

3.5 解析条件

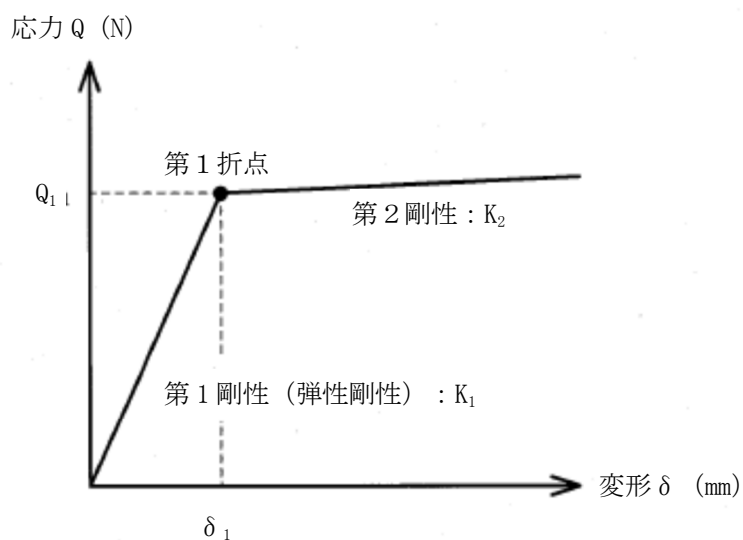
座屈拘束ブレースに作用する応力-変形関係は、特性確認試験結果をもとにバイリニア型スケルトン曲線とする。

座屈拘束ブレースに作用する応力-変形関係を第3.5-1図に示す。

座屈拘束ブレースに作用する応力-変形関係の履歴特性は特性確認試験結果をもとにノーマルバイリニア型スケルトン曲線とする。

座屈拘束ブレースに作用する応力-変形関係の履歴特性を第3.5-2図に示す。

座屈拘束ブレースの非線形ばね要素諸元を第3.5-1表に示す。



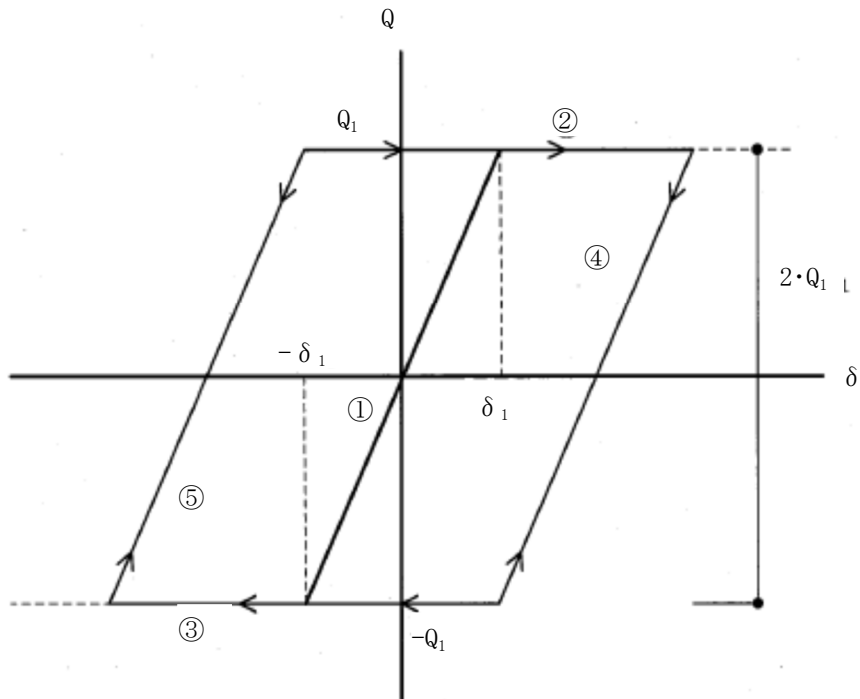
Q_1 : 第1 折点応力

δ_1 : 第1 折点変形

K_1 : 第1 剛性 (弾性剛性)

K_2 : 第2 剛性 ($K_1 \times 0.001$)

第3.5-1図 応力-変形関係(座屈拘束ブレース)



- ① : 第1剛性 (弾性剛性)
- ② : 正側第2剛性
- ③ : 負側第2剛性
- ④ : 正側第2剛性からの戻りの弾性剛性。 $2 \cdot Q_1$ 戻ると③に移る。
- ⑤ : 負側第2剛性からの戻りの弾性剛性。 $2 \cdot Q_1$ 戻ると②に移る。

第 3.5-2 図 応力-変形関係の履歴特性 (座屈拘束ブレース)

第3.5-1表 非線形ばね要素諸元

(a) NS断面

質点番号	質点位置 T. M. S. L. (m)	要素番号	要素位置 T. M. S. L. (m)	降伏変形量 δ_1 (m)	降伏せん断力 Q_1 (kN)
⑥	75.60	61	—	—	—
①	75.60	—	—	—	—
②	71.10	121	71.10~ 65.60	0.00754	408
③	65.60	131	65.60~ 60.60	0.00685	666
④	60.60	141	60.60~ 55.30	0.00726	738
⑤	55.30	—	—	—	—

(b) EW断面

質点番号	質点位置 T. M. S. L. (m)	要素番号	要素位置 T. M. S. L. (m)	降伏変形量 δ_1 (m)	降伏せん断力 Q_1 (kN)
⑥	75.60	61	—	—	—
①	75.60	—	—	—	—
②	71.10	121	71.10~ 65.60	0.00759	530
③	65.60	131	65.60~ 60.60	0.00700	854
④	60.60	141	60.60~ 55.30	0.00737	896
⑤	55.30	—	—	—	—

3.6 材料物性のばらつき

解析においては、「3.2 地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を基本ケースとし、材料物性のばらつきを考慮する。材料物性のばらつきを考慮した地震応答解析は、飛来物防護ネット架構の応答への影響が大きい地震動に対して実施することとし、基本ケースの地震応答解析において各応答値(屋根部の鉛直加速度、基礎梁の加速度(水平及び鉛直)、各層のせん断力、座屈拘束ブレースのひずみ、屋根部の曲げモーメント及び改良地盤の変位)が、最大となる地震動に対して実施する。

材料物性のばらつきのうち、地盤物性のばらつきについては、支持地盤及び埋戻し土ともに敷地内のボーリング調査結果等に基づき、「3.2.2 地盤」に示す地盤の物性値を基本とし、標準偏差 $\pm 1\sigma$ の変動幅を考慮する。なお、コンクリート強度のばらつきについては、コンクリート強度の実強度は設計基準強度よりも大きくなることから保守的に考慮しない。第3.6-1表～第3.6-8表に設定した地盤の物性値を示す。

材料物性のばらつきを考慮する解析ケースを、第3.6-9表及び第3.6-10表に示す。

第3.6-1表 埋戻し土の物性値(+1 σ)

項目	記号	設定値	単位	
質量密度* ¹	ρ	1.82+0.0028D	g/cm ³	
間隙率	n	0.46	—	
基準拘束圧	σ'_{ma}	52.3	kN/m ²	
せん断弾性係数の依存係数	m_G	0.703	—	
基準拘束圧におけるせん断弾性係数	G_{ma}	1.83×10^5	kN/m ²	
体積弾性係数の依存係数	m_K	0.703	—	
基準拘束圧における体積弾性係数	K_{ma}	4.78×10^5	kN/m ²	
ポアソン比	ν	0.33	—	
粘着力	c_u'	0.00×10^0	kN/m ²	
内部摩擦角	Φ_u'	39.7	度	
履歴減衰上限値	h_{max}	0.171	—	
液状化物性* ²	変相角	Φ_p	34.0	度
	液状化パラメータ	w_l	10.30	—
		p^1	0.5	—
		p^2	1.0	—
		c_1	1.81	—
		S_1	0.005	—

注記 *1 : D : 深度(m)とし, 要素中心深度とする。

*2 : 液状化物性は, 有効応力解析時に使用する。

第3.6-2表 細粒砂岩1の物性値(+1 σ)

地震動	質量密度 (g/cm ³)	動ポアソン比	せん断弾性 係数 ($\times 10^4$ kN/m ²)	減衰定数	P波速度 V _p (m/s)	S波速度 V _s (m/s)
S _s -A	1.87	0.42	102	0.02	2000	738
S _s -B2	1.87	0.42	102	0.02	2000	739
S _s -B3	1.87	0.42	102	0.02	2000	737
S _s -B4	1.87	0.42	102	0.02	2000	737
S _s -B5	1.87	0.42	101	0.02	1990	734
S _s -C1	1.87	0.42	100	0.02	1980	733
S _s -C2	1.87	0.42	103	0.02	2010	741
S _s -C3	1.87	0.42	103	0.02	2010	741
S _s -C4	1.87	0.42	102	0.02	2000	739

第3.6-3表 細粒砂岩2の物性値(+1 σ)

地震動	質量密度 (g/cm ³)	動ポアソン比	せん断弾性 係数 ($\times 10^4$ kN/m ²)	減衰定数	P波速度 V _p (m/s)	S波速度 V _s (m/s)
S _s -A	1.85	0.35	179	0.02	2050	984
S _s -B2	1.85	0.35	180	0.02	2060	988
S _s -B3	1.85	0.35	180	0.02	2050	986
S _s -B4	1.85	0.35	179	0.02	2050	982
S _s -B5	1.85	0.35	178	0.02	2040	981
S _s -C1	1.85	0.35	177	0.02	2030	977
S _s -C2	1.85	0.35	180	0.02	2060	987
S _s -C3	1.85	0.35	181	0.02	2060	988
S _s -C4	1.85	0.35	180	0.02	2050	986

第3.6-4表 泥岩の物性値(+1 σ)

地震動	質量密度 (g/cm ³)	動ポアソン比	せん断弾性 係数 ($\times 10^4$ kN/m ²)	減衰定数	P波速度 V _p (m/s)	S波速度 V _s (m/s)
S _s -A	1.72	0.38	121	0.02	1910	839
S _s -B2	1.72	0.38	122	0.02	1920	840
S _s -B3	1.72	0.38	122	0.02	1920	840
S _s -B4	1.72	0.38	120	0.02	1910	837
S _s -B5	1.72	0.38	121	0.02	1910	838
S _s -C1	1.72	0.38	120	0.02	1900	834
S _s -C2	1.72	0.38	121	0.02	1920	840
S _s -C3	1.72	0.38	121	0.02	1910	839
S _s -C4	1.72	0.38	121	0.02	1910	839

第3.6-5表 埋戻し土の物性値(-1σ)

項目	記号	設定値	単位	
質量密度* ¹	ρ	1.82+0.0028D	g/cm ³	
間隙率	n	0.46	—	
基準拘束圧	σ'_{ma}	52.3	kN/m ²	
せん断弾性係数の依存係数	m_G	0.703	—	
基準拘束圧におけるせん断弾性係数	G_{ma}	8.62×10^4	kN/m ²	
体積弾性係数の依存係数	m_K	0.703	—	
基準拘束圧における体積弾性係数	K_{ma}	2.25×10^5	kN/m ²	
ポアソン比	ν	0.33	—	
粘着力	c_u'	0.00×10^0	kN/m ²	
内部摩擦角	Φ_u'	39.7	度	
履歴減衰上限値	h_{max}	0.171	—	
液状化物性* ²	変相角	Φ_p	34.0	度
	液状化パラメータ	w_l	10.30	—
		p^1	0.5	—
		p^2	1.0	—
		c_1	1.81	—
		S_1	0.005	—

注記 *1 : D : 深度(m)とし, 要素中心深度とする。

*2 : 液状化物性は, 有効応力解析時に使用する。

第3.6-6表 細粒砂岩1の物性値(-1 σ)

地震動	質量密度 (g/cm ³)	動ポアソン比	せん断弾性 係数 ($\times 10^4$ kN/m ²)	減衰定数	P波速度 V _p (m/s)	S波速度 V _s (m/s)
S _s -A	1.87	0.43	61.8	0.02	1680	575
S _s -B2	1.87	0.43	62.1	0.02	1690	576
S _s -B3	1.87	0.43	62.1	0.02	1690	576
S _s -B4	1.87	0.43	61.4	0.02	1680	573
S _s -B5	1.87	0.43	61.0	0.02	1670	571
S _s -C1	1.87	0.43	60.1	0.02	1660	567
S _s -C2	1.87	0.43	62.7	0.02	1700	579
S _s -C3	1.87	0.43	62.7	0.02	1700	579
S _s -C4	1.87	0.43	62.1	0.02	1690	576

第3.6-7表 細粒砂岩2の物性値(-1 σ)

地震動	質量密度 (g/cm ³)	動ポアソン比	せん断弾性 係数 ($\times 10^4$ kN/m ²)	減衰定数	P波速度 V _p (m/s)	S波速度 V _s (m/s)
S _s -A	1.85	0.38	131	0.02	1920	843
S _s -B2	1.85	0.38	133	0.02	1930	847
S _s -B3	1.85	0.38	133	0.02	1930	847
S _s -B4	1.85	0.38	131	0.02	1910	840
S _s -B5	1.85	0.38	131	0.02	1910	842
S _s -C1	1.85	0.38	129	0.02	1900	834
S _s -C2	1.85	0.38	133	0.02	1930	847
S _s -C3	1.85	0.38	132	0.02	1920	846
S _s -C4	1.85	0.38	132	0.02	1920	844

第3.6-8表 泥岩の物性値(-1 σ)

地震動	質量密度 (g/cm ³)	動ポアソン比	せん断弾性 係数 ($\times 10^4$ kN/m ²)	減衰定数	P波速度 Vp (m/s)	S波速度 Vs (m/s)
Ss-A	1.72	0.40	88.8	0.02	1790	719
Ss-B2	1.72	0.40	89.2	0.02	1790	720
Ss-B3	1.72	0.40	89.3	0.02	1800	721
Ss-B4	1.72	0.40	88.1	0.02	1780	716
Ss-B5	1.72	0.40	88.6	0.02	1790	718
Ss-C1	1.72	0.40	87.5	0.02	1780	713
Ss-C2	1.72	0.40	89.1	0.02	1790	720
Ss-C3	1.72	0.40	88.8	0.02	1790	719
Ss-C4	1.72	0.40	89.2	0.02	1790	720

第3.6-9表 材料物性のばらつきを考慮する解析ケース(全応力解析)

ケース No.	地盤の物性値	解析ケース	基準地震動 S _s	
			NS 方向	EW 方向
0	第3.2.2-1表 ～ 第3.2.2-5表	基本ケース	全波	
1	第3.2.2-2表, 第3.6-1表 ～ 第3.6-4表	地盤物性の ばらつきを考慮した ケース(+1σ)	S _s -A S _s -B3 S _s -B4 S _s -C1 S _s -C2(NS) S _s -C4(EW)	S _s -A S _s -B3 S _s -B5 S _s -C1 S _s -C2(NS)
2	第3.2.2-2表, 第3.6-5表 ～ 第3.6-8表	地盤物性の ばらつきを考慮した ケース(-1σ)	S _s -A S _s -B3 S _s -B4 S _s -C1 S _s -C2(NS) S _s -C4(EW)	S _s -A S _s -B3 S _s -B5 S _s -C1 S _s -C2(NS)

第3.6-10表 材料物性のばらつきを考慮する解析ケース(有効応力解析)

ケース No.	地盤の物性値	解析ケース	基準地震動 S _s	
			NS 方向	EW 方向
0	第3.2.2-1表 ～ 第3.2.2-5表	基本ケース	全波	
1	第3.2.2-2表, 第3.6-1表 ～ 第3.6-4表	地盤物性の ばらつきを考慮した ケース(+1σ)	S _s -A S _s -B3 S _s -C1 S _s -C2(EW)	S _s -A S _s -B2 S _s -B3 S _s -B5 S _s -C1 S _s -C2(EW)
2	第3.2.2-2表, 第3.6-5表 ～ 第3.6-8表	地盤物性の ばらつきを考慮した ケース(-1σ)	S _s -A S _s -B3 S _s -C1 S _s -C2(EW)	S _s -A S _s -B2 S _s -B3 S _s -B5 S _s -C1 S _s -C2(EW)

4. 解析結果

4.1 固有値解析結果

支持架構の固有値解析結果(固有周期, 固有振動数及び刺激係数)を第4.1-1表に示す。刺激関数図を第4.1-1図及び第4.1-2図に示す。

なお, 刺激係数は, 各次の固有ベクトル(u)に対し, 最大振幅が1.0となるように基準化した値を示す。

第4.1-1表 支持架構の固有値解析結果

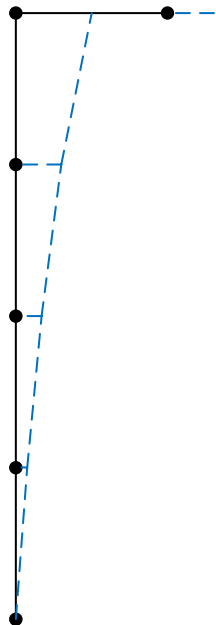
NS 方向モデル				
次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.393	2.55	1.232	水平1次
2	0.248	4.03	1.035	鉛直1次
3	0.146	6.83	0.480	水平2次
4	0.081	12.36	0.383	水平3次
5	0.049	20.55	0.184	水平4次
6	0.042	23.84	1.199	鉛直2次
EW 方向モデル				
次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.395	2.53	1.239	水平1次
2	0.248	4.03	1.035	鉛直1次
3	0.151	6.63	0.519	水平2次
4	0.080	12.53	0.386	水平3次
5	0.048	20.89	0.178	水平4次
6	0.042	23.84	1.199	鉛直2次

1 次モード

固有周期 : 0.393 (s)

振動数 : 2.55 (Hz)

刺激係数 : 1.232

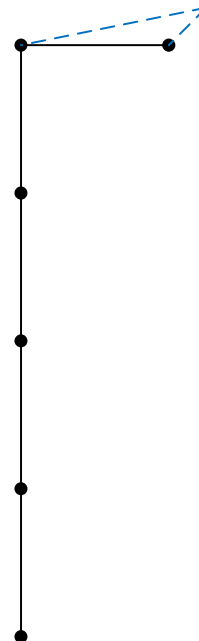


2 次モード

固有周期 : 0.248 (s)

振動数 : 4.03 (Hz)

刺激係数 : 1.035

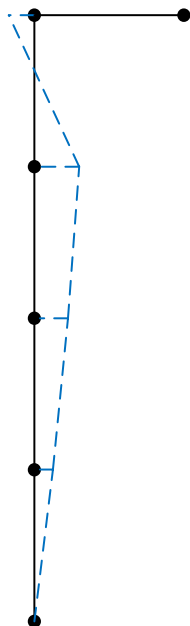


3 次モード

固有周期 : 0.146 (s)

振動数 : 6.83 (Hz)

刺激係数 : 0.480

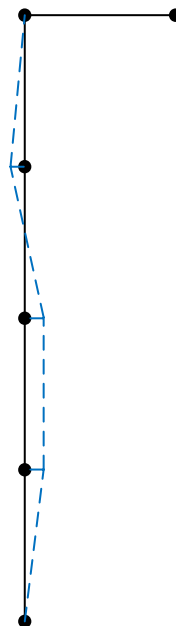


4 次モード

固有周期 : 0.081 (s)

振動数 : 12.36 (Hz)

刺激係数 : 0.383



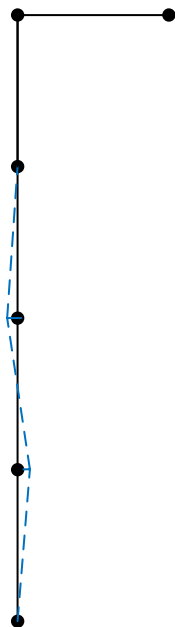
第4. 1-1図 刺激関数図 (NS方向モデル) (1/2)

5 次モード

固有周期 : 0.049 (s)

振 動 数 : 20.55 (Hz)

刺激係数 : 0.184

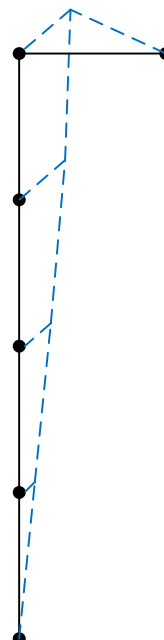


6 次モード

固有周期 : 0.042 (s)

振 動 数 : 23.84 (Hz)

刺激係数 : 1.199



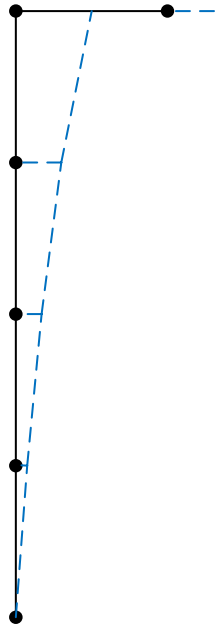
第4. 1-1図 刺激関数図 (NS方向モデル) (2/2)

1 次モード

固有周期 : 0.395 (s)

振動数 : 2.53 (Hz)

刺激係数 : 1.239

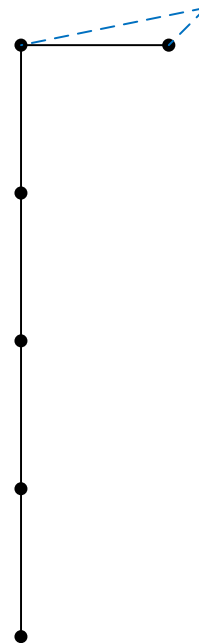


2 次モード

固有周期 : 0.248 (s)

振動数 : 4.03 (Hz)

刺激係数 : 1.035

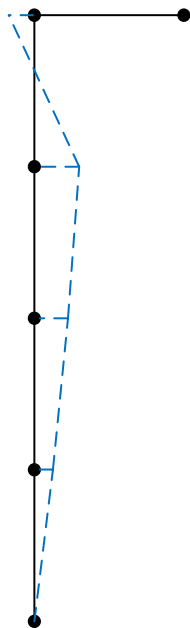


3 次モード

固有周期 : 0.151 (s)

振動数 : 6.63 (Hz)

刺激係数 : 0.519

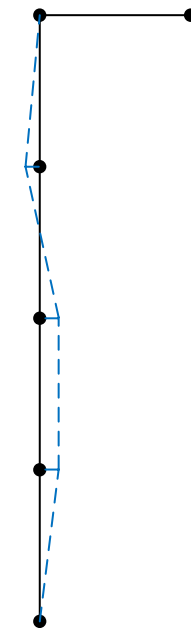


4 次モード

固有周期 : 0.080 (s)

振動数 : 12.53 (Hz)

刺激係数 : 0.386



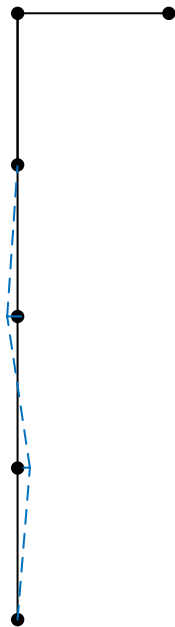
第4. 1-2図 刺激関数図 (EW方向モデル) (1/2)

5 次モード

固有周期 : 0.048 (s)

振 動 数 : 20.89 (Hz)

刺激係数 : 0.178

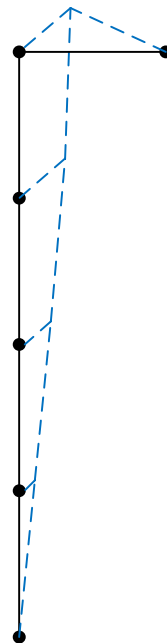


6 次モード

固有周期 : 0.042 (s)

振 動 数 : 23.84 (Hz)

刺激係数 : 1.199



第4. 1-2図 刺激関数図 (EW方向モデル) (2/2)

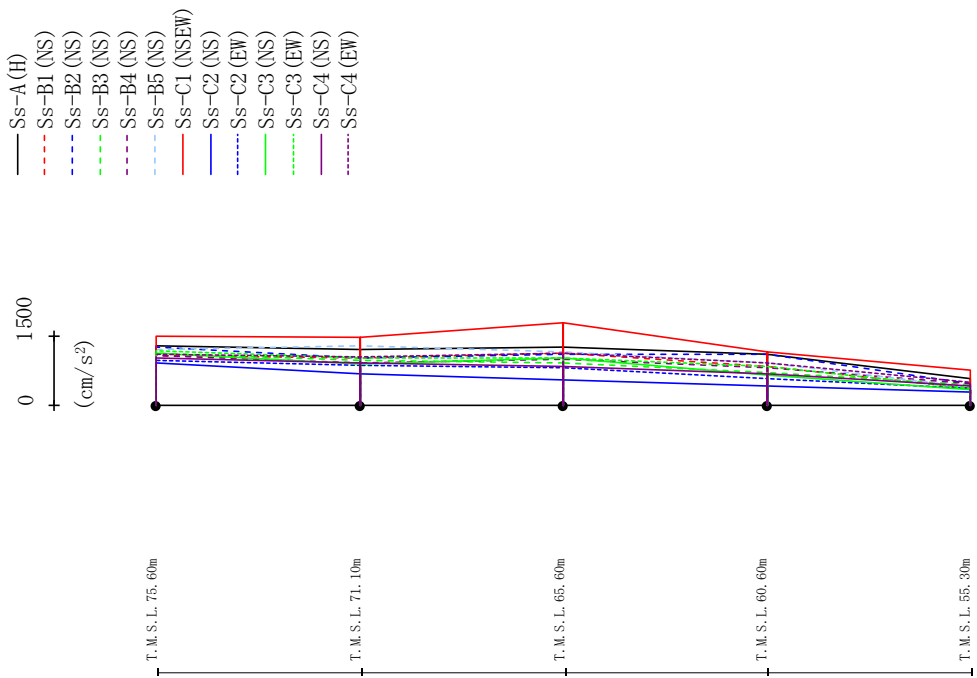
4.2 地震応答解析結果

4.2.1 全応力解析

全応力解析結果のうち、飛来物防護ネット架構の最大応答値(加速度,せん断力,曲げモーメント)を第4.2.1-1図～第4.2.1-24図に,座屈拘束ブレースの荷重-ひずみ曲線図を第4.2.1-25図～第4.2.1-30図に,改良地盤の最大応答変位*を第4.2.1-31図～第4.2.1-36図に示す。

注記 * : 応答変位は,改良地盤下端(T.M.S.L. 37.00m)からの相対変位とし,各レベルでの節点変位の平均値として算定する。最大応答変位は,応答変位の時刻歴における最大値を示す。

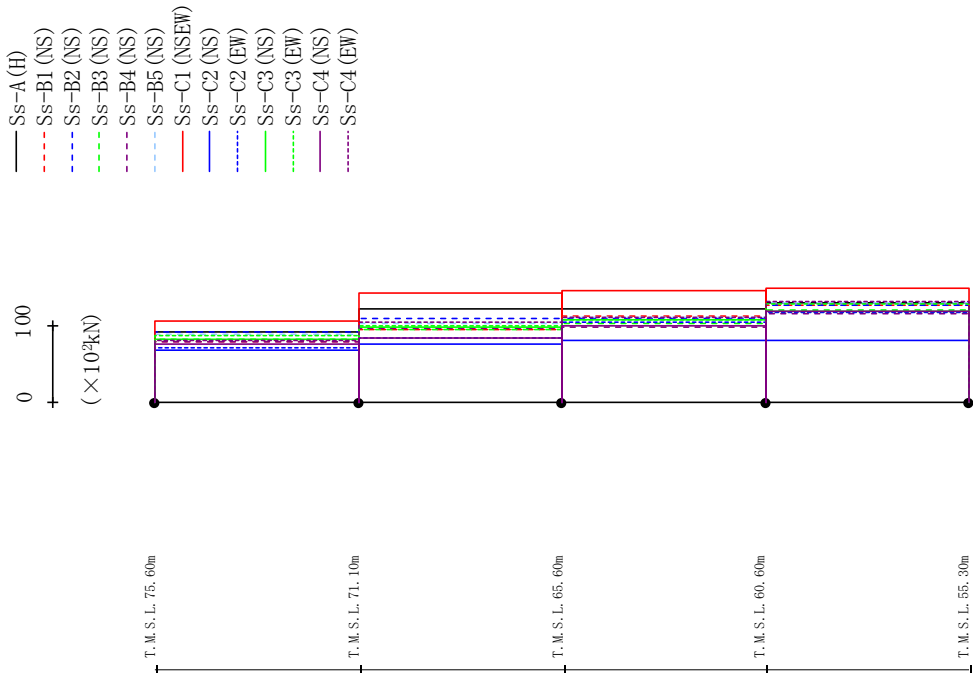
最大応答加速度 (NS方向)



	Ss-A (H)	Ss-B1 (NS)	Ss-B2 (NS)	Ss-B3 (NS)	Ss-B4 (NS)	Ss-B5 (NS)	Ss-C1 (N/EW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C2 (EW)	Ss-C3 (NS)	Ss-C3 (EW)	Ss-C4 (NS)	Ss-C4 (EW)
1281	1084	1274	1121	1074	1219	1498	921	974	1137	1193	1031	1108	
1203	1037	1032	979	932	1279	1467	691	869	885	1013	911	1048	
1258	1134	1095	923	1004	1161	1786	545	827	1015	1023	840	1119	
1101	850	1096	715	824	930	1160	414	564	662	839	684	920	
574	362	469	443	477	403	754	296	366	335	358	419	487	

第4.2.1-1図 最大応答加速度 (基本ケース, NS方向, 全応力解析)

最大応答せん断力 (NS方向)

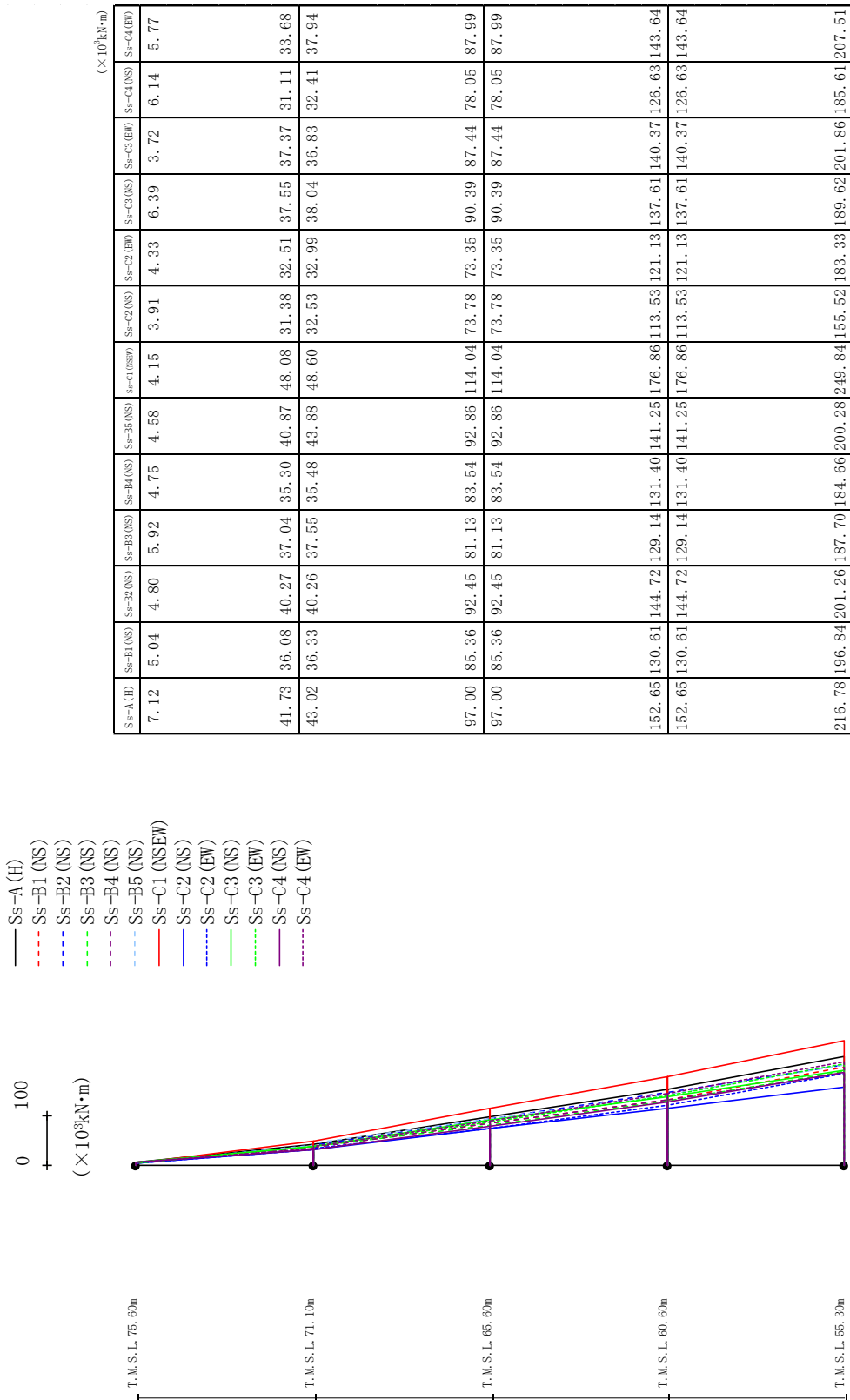


(×10²kN)

Ss-A (H)	Ss-B1 (NS)	Ss-B2 (NS)	Ss-B3 (NS)	Ss-B4 (NS)	Ss-B5 (NS)	Ss-C1 (NSEW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C2 (EW)	Ss-C3 (NS)	Ss-C3 (EW)	Ss-C4 (NS)	Ss-C4 (EW)
91.65	79.60	91.59	82.91	78.75	88.39	106.02	67.17	71.18	82.37	86.50	75.18	80.25
121.79	95.13	109.43	94.64	95.96	102.21	141.83	75.90	83.51	98.23	100.02	83.90	103.84
121.74	112.59	109.82	103.48	98.27	110.81	144.93	80.30	103.74	108.07	108.06	99.23	111.40
130.00	126.96	127.05	119.93	116.21	129.65	148.65	80.23	117.36	118.94	128.84	118.13	130.56

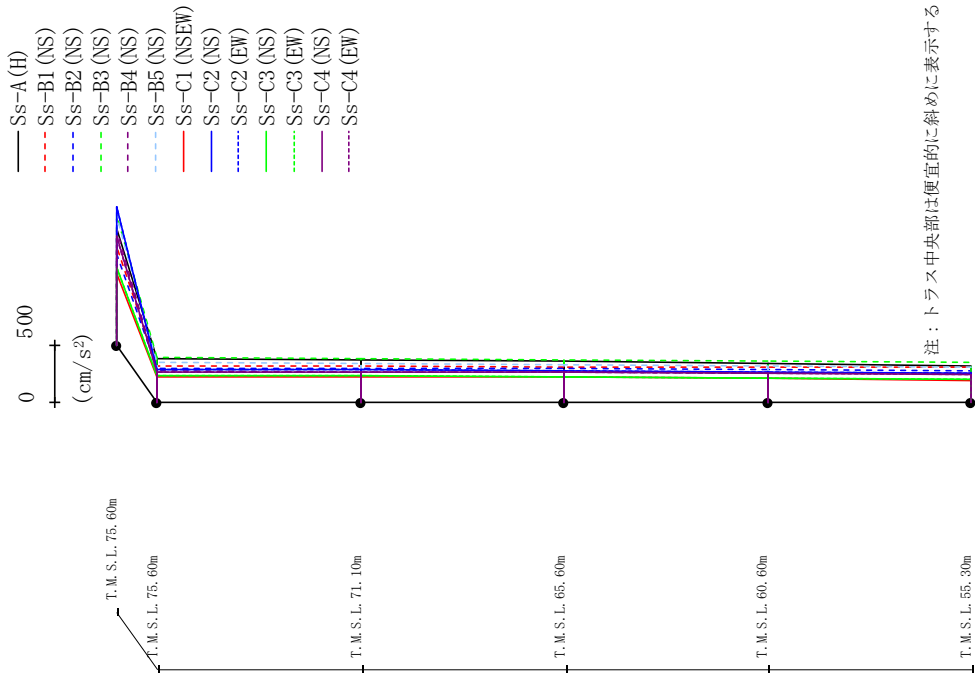
第4.2.1-2図 最大応答せん断力 (基本ケース, NS方向, 全応力解析)

最大応答曲げモーメント (NS方向)



第4.2.1-3図 最大応答曲げモーメント (基本ケース, NS方向, 全応力解析)

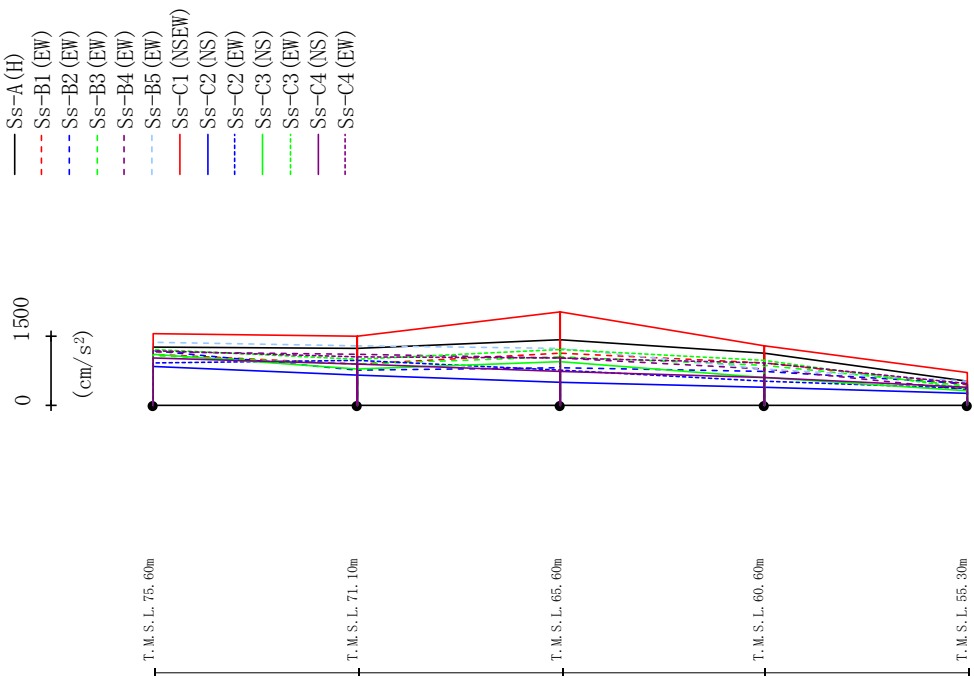
最大応答加速度 (UD方向)



	Ss-A (H)	Ss-B1 (NS)	Ss-B2 (NS)	Ss-B3 (NS)	Ss-B4 (NS)	Ss-B5 (NS)	Ss-C1 (NSEW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C2 (EW)	Ss-C3 (NS)	Ss-C3 (EW)	Ss-C4 (NS)	Ss-C4 (EW)
1006	847	784	1129	998	1119	619	1203	1198	675	674	945	940	
381	317	294	387	268	346	224	284	285	236	235	259	260	
372	311	292	381	264	340	222	280	281	231	231	259	261	
357	306	289	371	259	330	215	272	273	223	223	257	259	
338	304	284	361	253	319	206	261	262	211	211	253	254	
315	301	277	349	253	305	193	256	256	197	197	245	246	

第4.2.1-4図 最大応答鉛直加速度 (基本ケース, NS方向, 全応力解析)

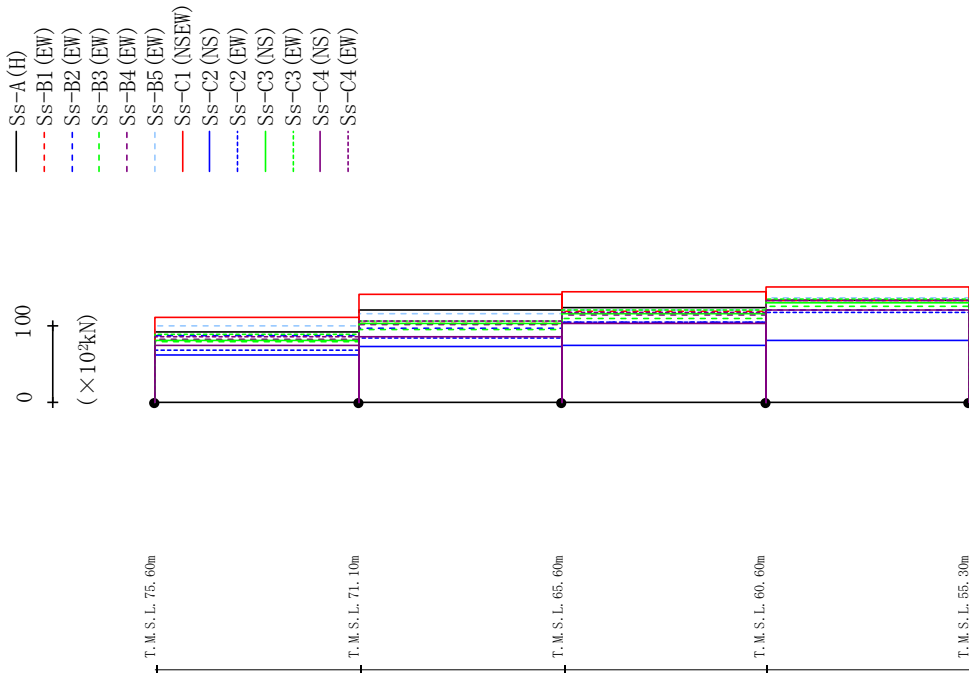
最大応答加速度 (EW方向)



Ss-A (H)	Ss-B1 (EW)	Ss-B2 (EW)	Ss-B3 (EW)	Ss-B4 (EW)	Ss-B5 (EW)	Ss-C1 (NSEW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C2 (EW)	Ss-C3 (NS)	Ss-C3 (EW)	Ss-C4 (NS)	Ss-C4 (EW)
1275	1105	1186	1086	1152	1368	1554	849	931	1101	1220	1015	1177
1233	883	772	893	1101	1283	1500	662	973	780	992	886	1059
1416	1130	825	1054	1015	1235	2034	490	774	934	1219	745	1035
1126	908	736	858	795	795	1284	395	536	614	963	598	918
534	451	465	427	327	512	719	248	355	320	368	400	468

第4.2.1-5図 最大応答加速度 (基本ケース, EW方向, 全応力解析)

最大応答せん断力 (EW方向)

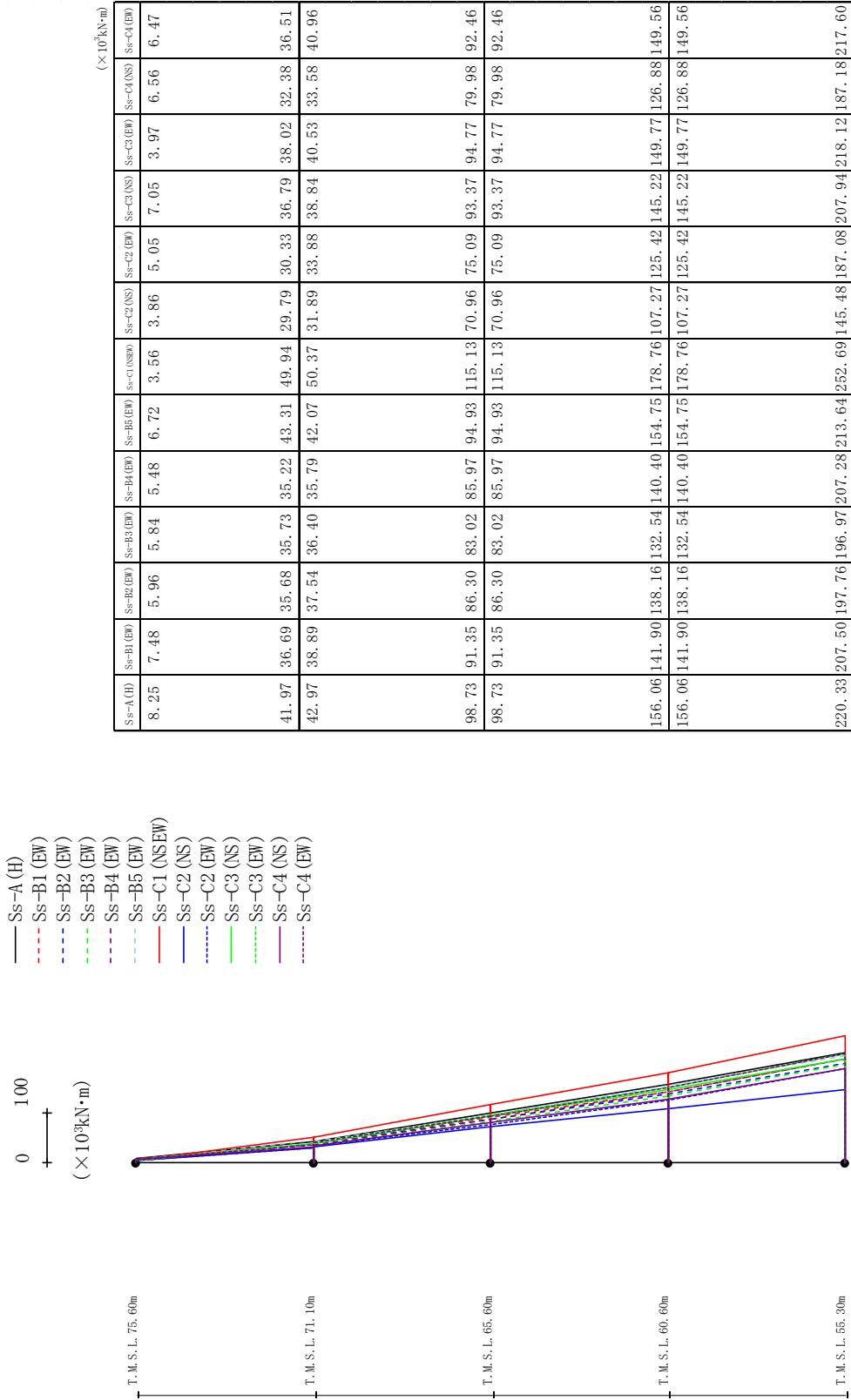


($\times 10^3 \text{kN}$)

Ss-A (H)	Ss-B1 (EW)	Ss-B2 (EW)	Ss-B3 (EW)	Ss-B4 (EW)	Ss-B5 (EW)	Ss-C1 (NSEW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C2 (EW)	Ss-C3 (NS)	Ss-C3 (EW)	Ss-C4 (NS)	Ss-C4 (EW)
91.69	80.95	86.69	79.02	82.42	99.47	110.01	61.71	67.60	79.88	88.30	74.30	85.13
119.47	102.49	95.82	94.67	101.79	115.50	141.32	72.92	84.40	102.70	106.40	84.71	105.75
123.66	118.53	104.54	108.70	113.98	119.63	143.25	74.50	104.23	115.53	119.59	102.00	116.45
132.98	132.55	119.78	124.42	132.40	136.67	150.43	79.97	116.35	130.50	133.77	119.79	132.89

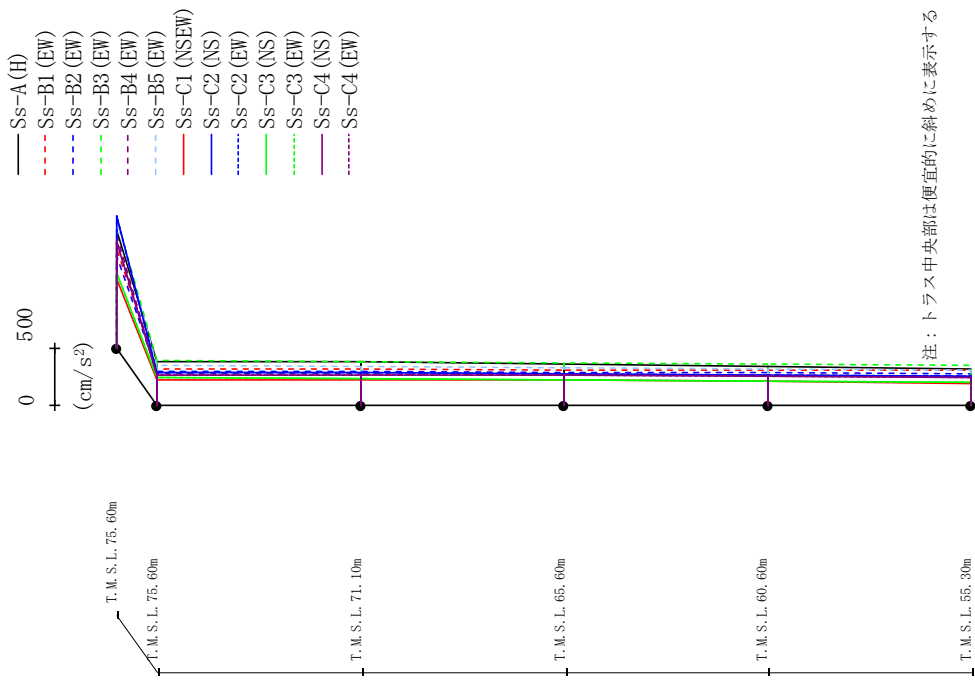
第4.2.1-6図 最大応答せん断力 (基本ケース, EW方向, 全応力解析)

最大応答曲げモーメント (EW方向)



第4.2.1-7図 最大応答曲げモーメント (基本ケース, EW方向, 全応力解析)

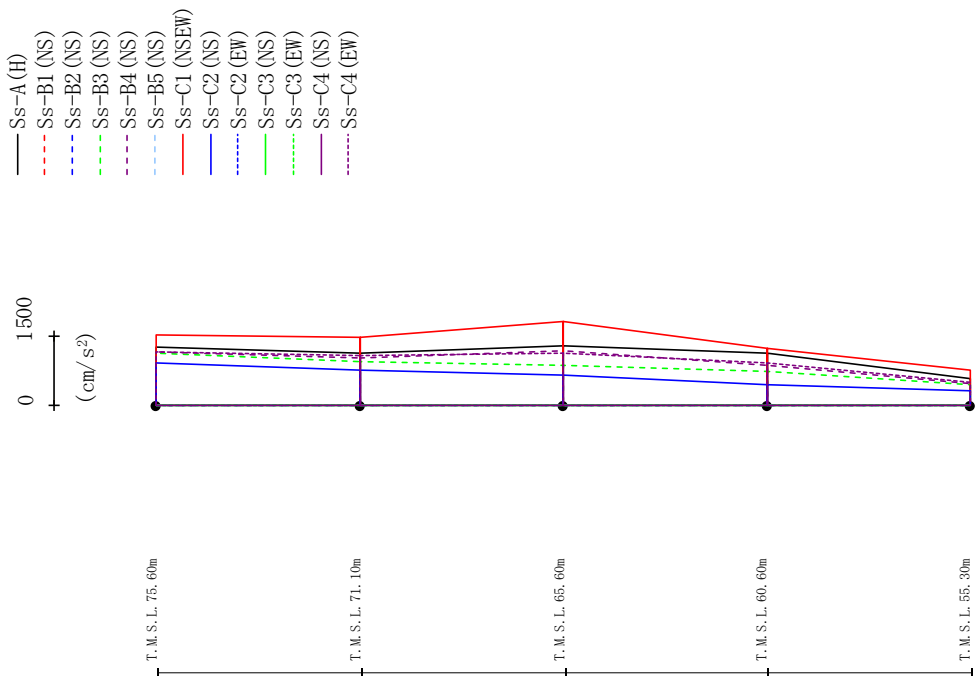
最大応答加速度 (UD方向)



	Ss-A(H)	Ss-B1(EW)	Ss-B2(EW)	Ss-B3(EW)	Ss-B4(EW)	Ss-B5(EW)	Ss-B1(EW)	Ss-B2(EW)	Ss-B3(EW)	Ss-B4(EW)	Ss-B5(EW)	Ss-C1(NSEW)	Ss-C2(NS)	Ss-C2(EW)	Ss-C3(NS)	Ss-C3(EW)	Ss-C4(NS)	Ss-C4(EW)
1018	861	803	1125	982	1101	595	1150	1142	647	648	929	922						
384	318	293	388	273	345	224	282	282	236	236	259	259						
375	312	292	381	269	340	221	278	279	232	232	259	260						
360	306	288	372	264	330	215	270	271	224	224	257	258						
341	304	283	361	258	319	206	261	262	212	212	253	253						
318	301	275	349	252	306	193	256	256	198	198	245	245						

第4.2.1-8図 最大応答鉛直加速度 (基本ケース, EW方向, 全応力解析)

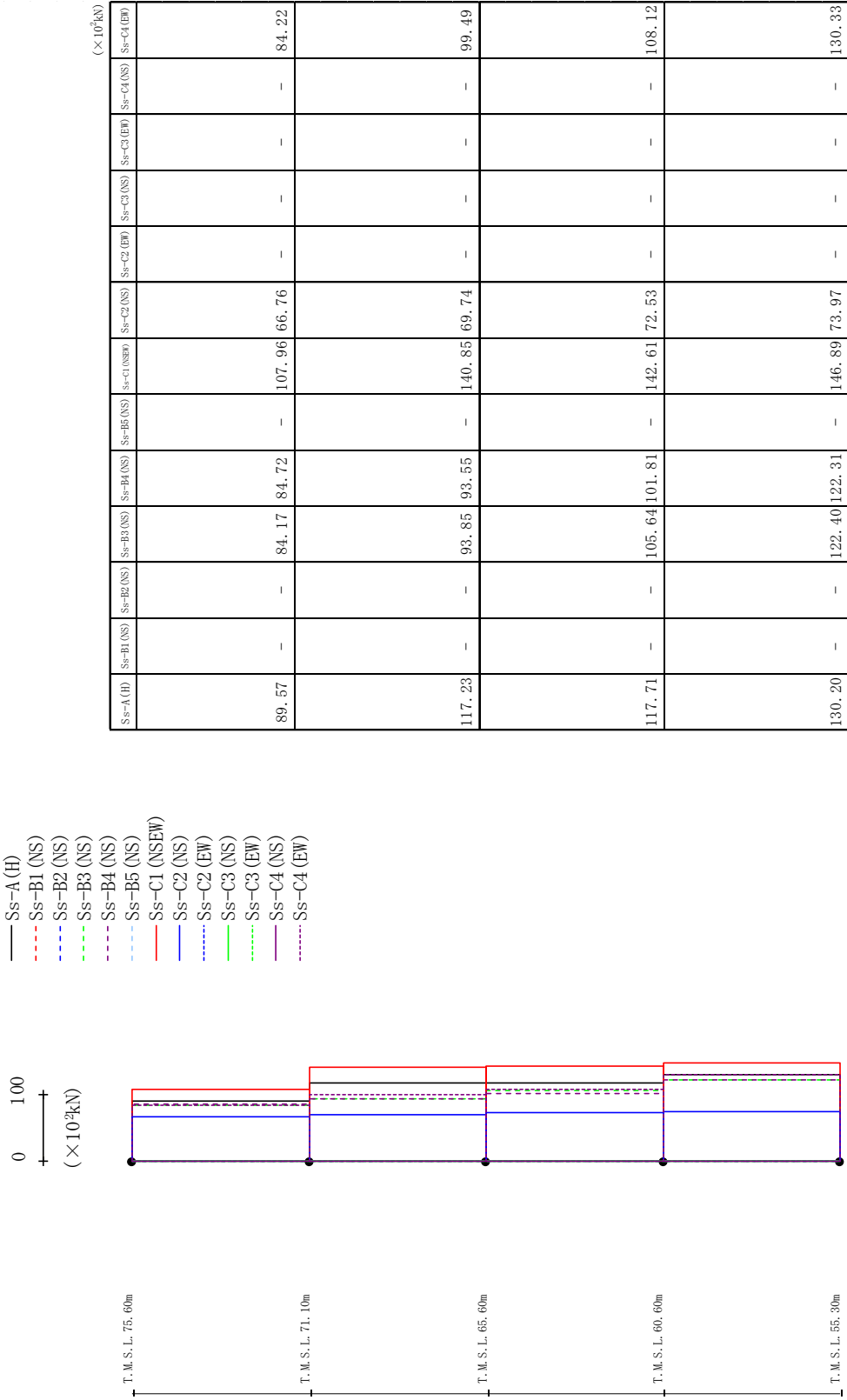
最大応答加速度 (NS方向)



Ss-A (H)	Ss-B1 (NS)	Ss-B2 (NS)	Ss-B3 (NS)	Ss-B4 (NS)	Ss-B5 (NS)	Ss-C1 (NSEW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C2 (EW)	Ss-C3 (NS)	Ss-C3 (EW)	Ss-C4 (NS)	Ss-C4 (EW)
1256	-	-	1142	1155	-	1527	915	-	-	-	-	1157
1133	-	-	956	1023	-	1484	772	-	-	-	-	1067
1284	-	-	866	1179	-	1812	643	-	-	-	-	1126
1125	-	-	722	866	-	1242	457	-	-	-	-	909
571	-	-	452	480	-	762	311	-	-	-	-	502

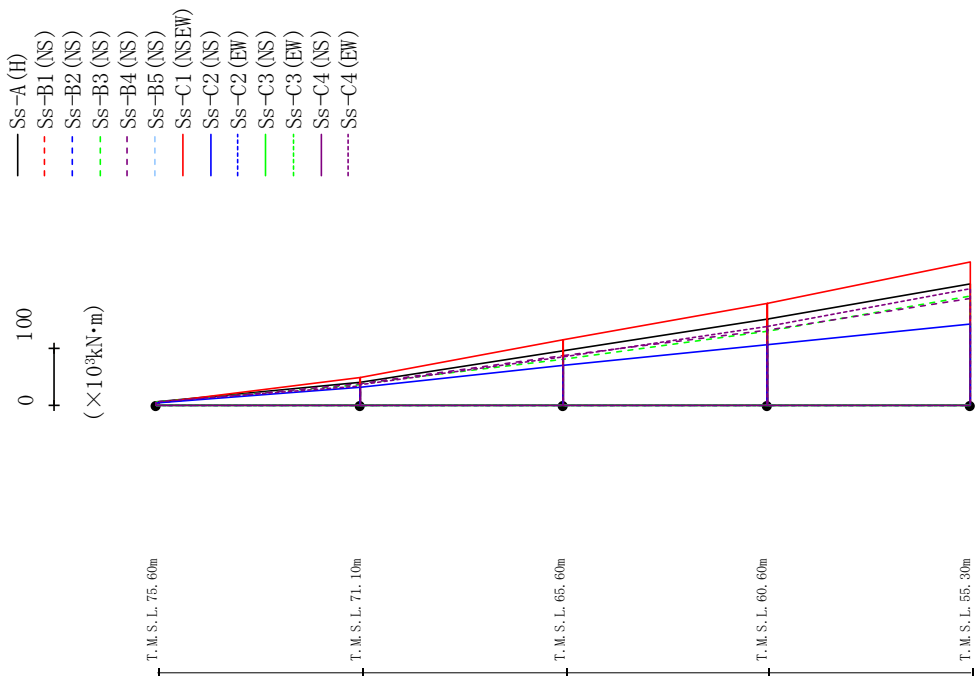
第4.2.1-9図 最大応答加速度 (+1σ 地盤, NS方向, 全応力解析)

最大応答せん断力 (NS方向)



第4.2.1-10図 最大応答せん断力 (+1σ地震, NS方向, 全応力解析)

最大応答曲げモーメント (NS方向)

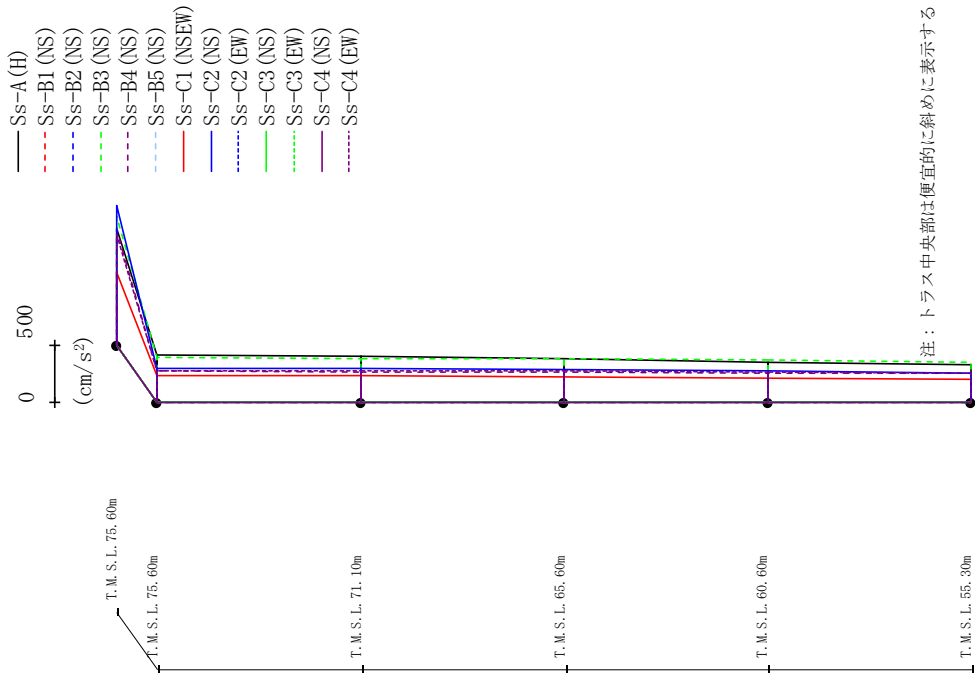


(×10³kN・m)

Ss-A (H)	Ss-B1 (NS)	Ss-B2 (NS)	Ss-B3 (NS)	Ss-B4 (NS)	Ss-B5 (NS)	Ss-C1 (N/EW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C2 (EW)	Ss-C3 (NS)	Ss-C3 (EW)	Ss-C4 (NS)	Ss-C4 (EW)
6.96	-	6.00	4.68	-	4.10	4.11	-	-	-	-	-	5.39
40.53	-	36.43	37.59	-	47.98	31.00	-	-	-	-	-	34.44
40.86	-	37.17	37.42	-	47.37	32.39	-	-	-	-	-	36.69
94.61	-	79.73	85.61	-	113.94	70.25	-	-	-	-	-	84.44
94.61	-	79.73	85.61	-	113.94	70.25	-	-	-	-	-	84.44
149.31	-	129.27	131.43	-	176.68	104.55	-	-	-	-	-	137.82
149.31	-	129.27	131.43	-	176.68	104.55	-	-	-	-	-	137.82
210.19	-	189.73	185.35	-	249.44	141.45	-	-	-	-	-	203.18

第4.2.1-11図 最大応答曲げモーメント (+1σ 地盤, NS方向, 全応力解析)

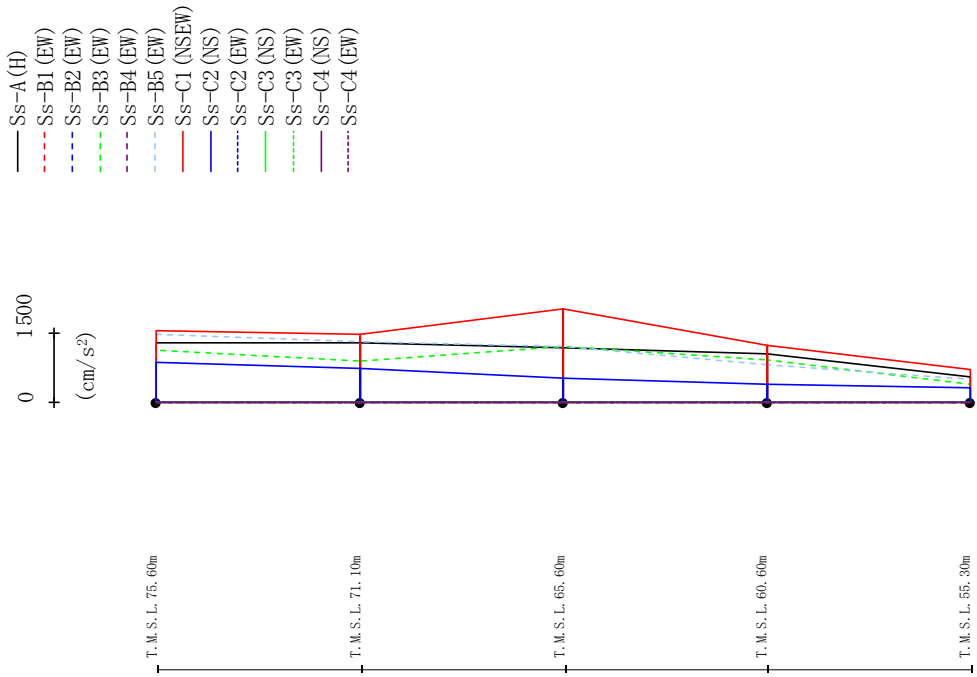
最大応答加速度 (UD方向)



Ss-A(H)	Ss-B1(NS)	Ss-B2(NS)	Ss-B3(NS)	Ss-B4(NS)	Ss-B5(NS)	Ss-C1(NSEW)	Ss-C2(NS)	Ss-C2(EW)	Ss-C3(NS)	Ss-C3(EW)	Ss-C4(NS)	Ss-C4(EW)
1005	-	-	1115	1004	-	627	1212	-	-	-	-	955
407	-	-	390	268	-	234	297	-	-	-	-	271
396	-	-	384	263	-	231	292	-	-	-	-	271
375	-	-	374	259	-	224	282	-	-	-	-	269
350	-	-	364	254	-	213	269	-	-	-	-	265
322	-	-	352	252	-	197	256	-	-	-	-	257

第4.2.1-12図 最大応答鉛直加速度 (+1σ地盤, NS方向, 全応力解析)

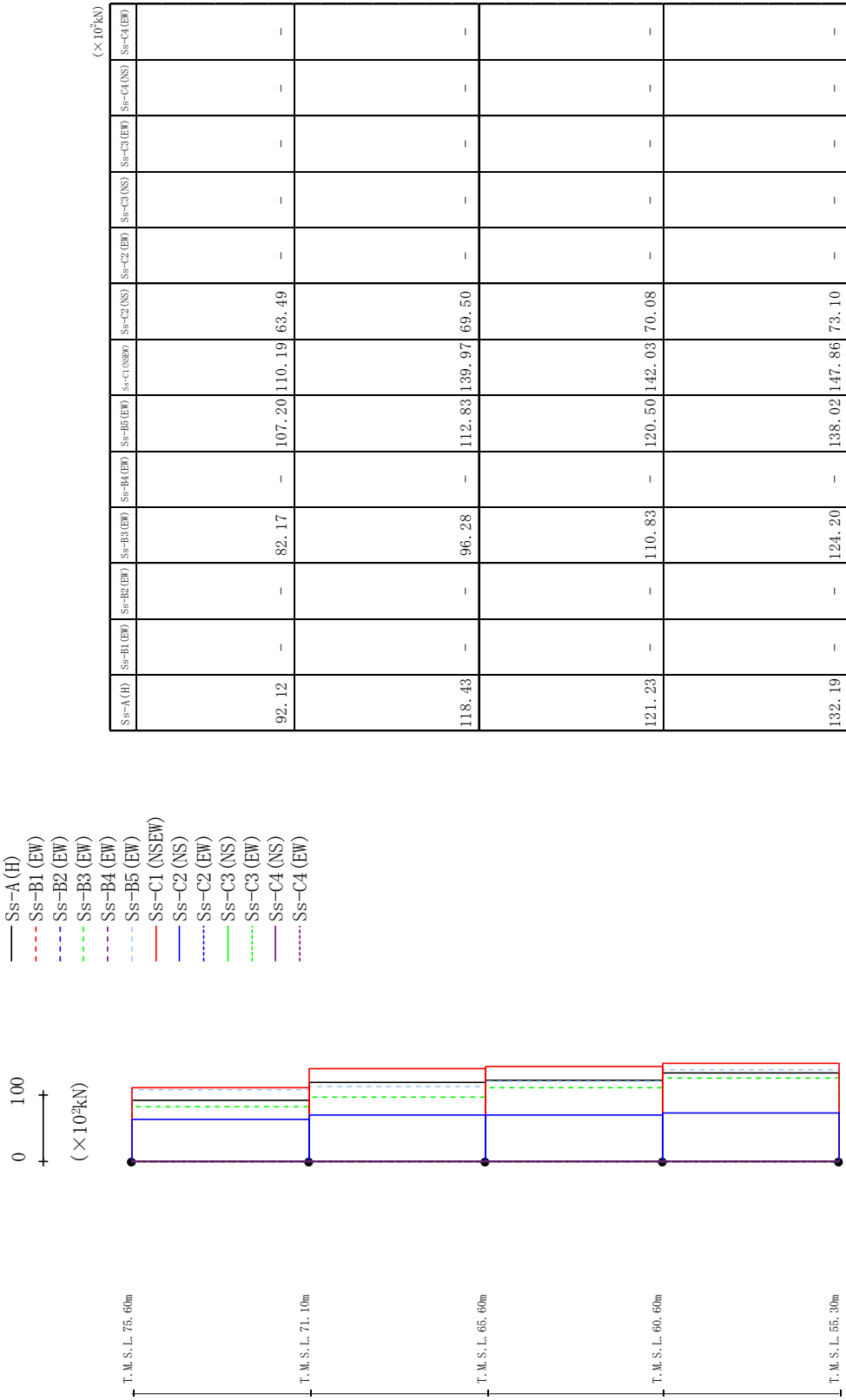
最大芯管加速度 (EW方向)



Ss-A (H)	Ss-B1 (EW)	Ss-B2 (EW)	Ss-B3 (EW)	Ss-B4 (EW)	Ss-B5 (EW)	Ss-C1 (NSEW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C2 (EW)	Ss-C3 (NS)	Ss-C3 (EW)	Ss-C4 (NS)	Ss-C4 (EW)
1285	-	-	1129	-	1473	1549	869	-	-	-	-	-
1285	-	-	891	-	1313	1463	741	-	-	-	-	-
1195	-	-	1199	-	1204	2040	517	-	-	-	-	-
1048	-	-	917	-	824	1242	387	-	-	-	-	-
555	-	-	391	-	495	712	300	-	-	-	-	-

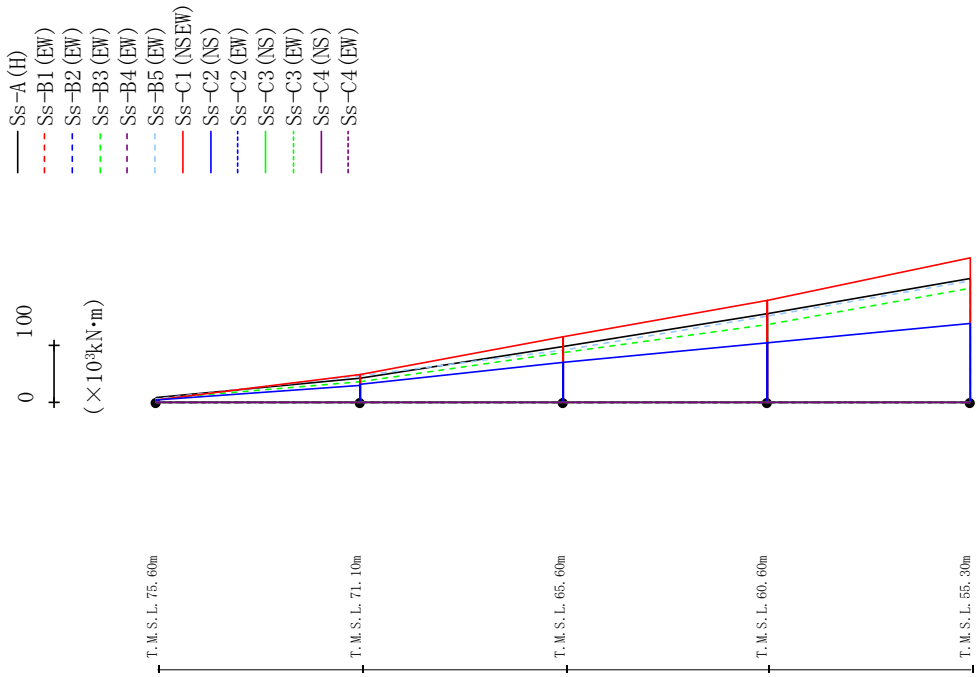
第4.2.1-13图 最大芯管加速度 (+1σ 地盤, EW方向, 全応力解析)

最大応答せん断力 (EW方向)



第4.2.1-14図 最大応答せん断力 (+1σ地震, EW方向, 全応力解析)

最大応答曲げモーメント (EW方向)

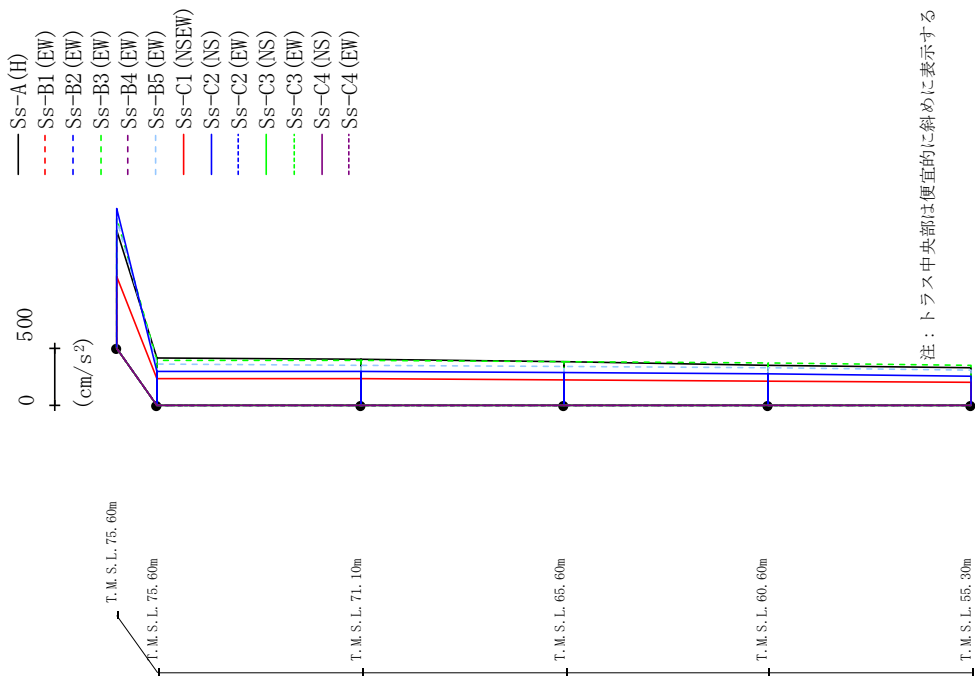


Ss-A (H)	Ss-B1 (EW)	Ss-B2 (EW)	Ss-B3 (EW)	Ss-B4 (EW)	Ss-B5 (EW)	Ss-C1 (NSEW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C2 (EW)	Ss-C3 (NS)	Ss-C3 (EW)	Ss-C4 (NS)	Ss-C4 (EW)
8.48	-	5.83	-	5.79	4.14	3.85	-	-	-	-	-	-
41.04	-	35.78	-	47.17	48.90	30.32	-	-	-	-	-	-
42.31	-	34.97	-	46.09	48.91	32.07	-	-	-	-	-	-
97.54	-	85.64	-	91.52	114.30	68.74	-	-	-	-	-	-
97.54	-	85.64	-	91.52	114.30	68.74	-	-	-	-	-	-
154.00	-	134.92	-	150.86	177.97	102.96	-	-	-	-	-	-
154.00	-	134.92	-	150.86	177.97	102.96	-	-	-	-	-	-
216.05	-	199.40	-	210.55	252.25	138.10	-	-	-	-	-	-

(×10³kN·m)

第4.2.1-15図 最大応答曲げモーメント (+1σ 地盤, EW方向, 全応力解析)

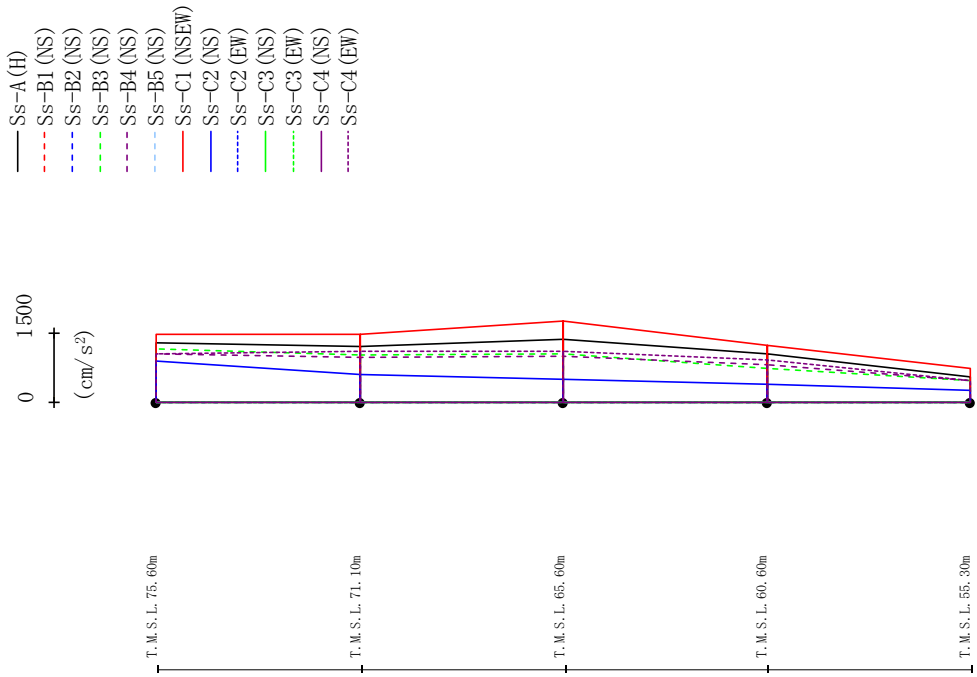
最大応答加速度 (UD方向)



Ss-A (H)	Ss-B1 (EW)	Ss-B2 (EW)	Ss-B3 (EW)	Ss-B4 (EW)	Ss-B5 (EW)	Ss-B1 (EW)	Ss-B2 (EW)	Ss-B3 (EW)	Ss-B4 (EW)	Ss-B5 (EW)	Ss-C1 (NSEW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C2 (EW)	Ss-C3 (NS)	Ss-C3 (EW)	Ss-C4 (NS)	Ss-C4 (EW)	(cm/s ²)
1018	-	-	-	-	1131	-	-	1120	621	1207	-	-	-	-	-	-	-	-
408	-	-	-	-	392	-	-	355	234	297	-	-	-	-	-	-	-	-
397	-	-	-	-	385	-	-	348	230	292	-	-	-	-	-	-	-	-
377	-	-	-	-	375	-	-	337	223	282	-	-	-	-	-	-	-	-
352	-	-	-	-	365	-	-	324	212	269	-	-	-	-	-	-	-	-
322	-	-	-	-	352	-	-	308	197	256	-	-	-	-	-	-	-	-

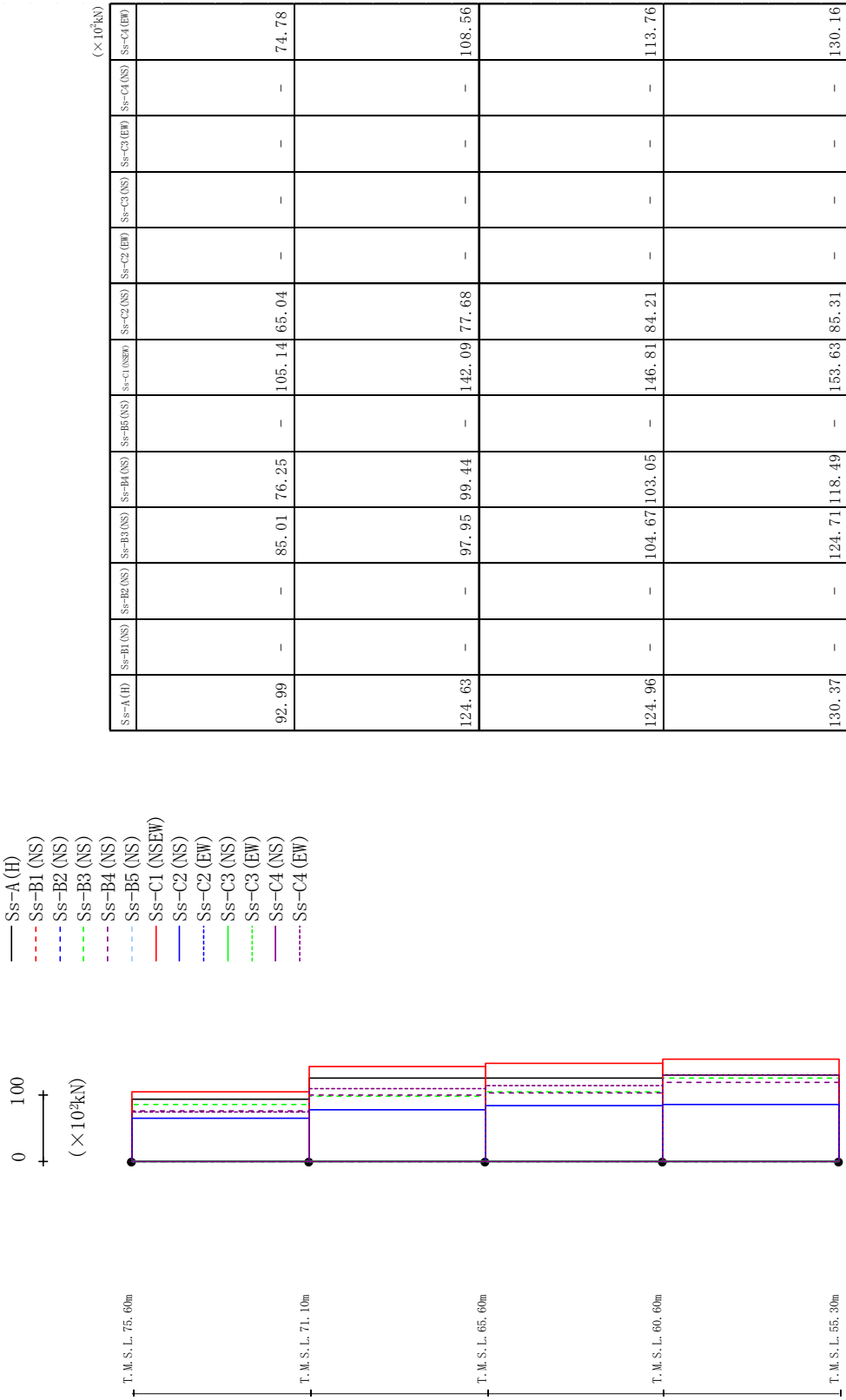
第4.2.1-16図 最大応答鉛直加速度 (+1σ地盤, EW方向, 全応力解析)

最大芯管加速度 (NS方向)



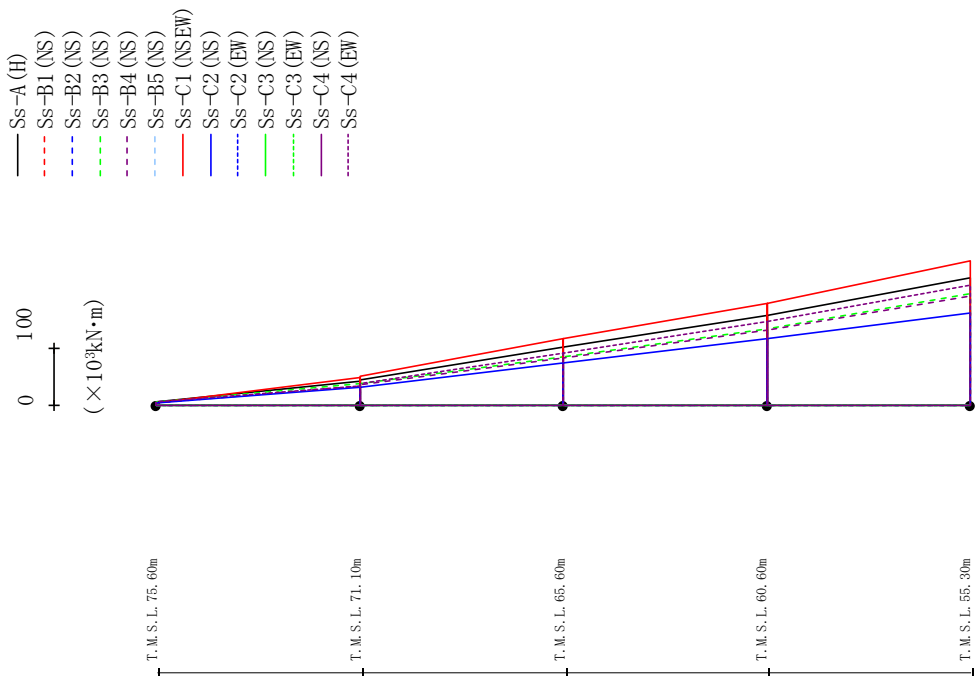
第4.2.1-17图 最大芯管加速度 (-1σ 地盤, NS方向, 全応力解析)

最大応答せん断力 (NS方向)



第4.2.1-18図 最大応答せん断力 (-1σ地震, NS方向, 全応力解析)

最大応答曲げモーメント (NS方向)

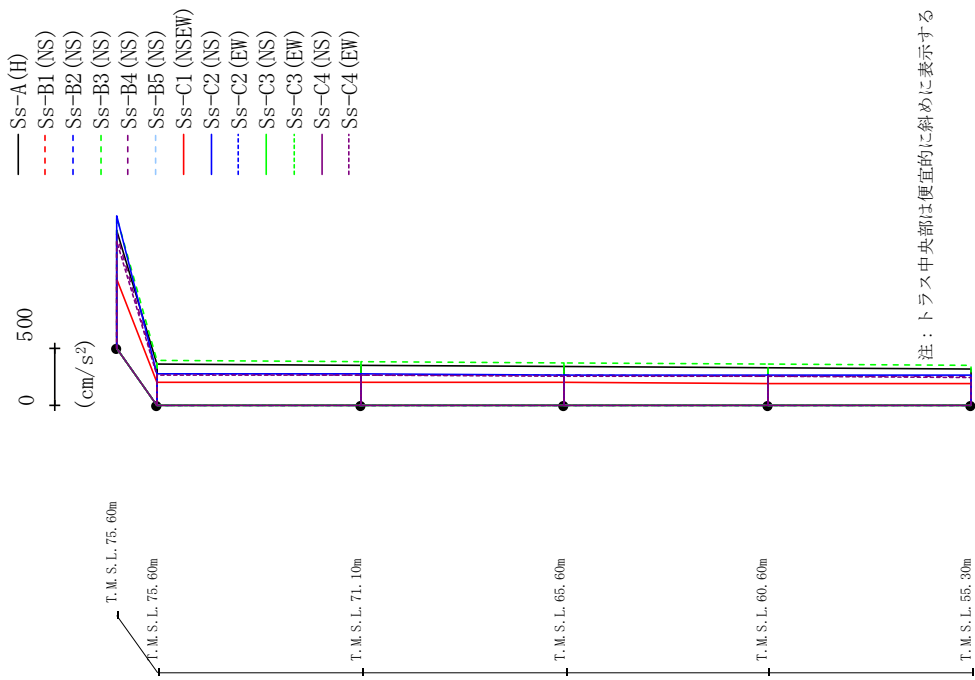


(×10³kN·m)

Ss-A (H)	Ss-B1 (NS)	Ss-B2 (NS)	Ss-B3 (NS)	Ss-B4 (NS)	Ss-B5 (NS)	Ss-C1 (NSEW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C2 (EW)	Ss-C3 (NS)	Ss-C3 (EW)	Ss-C4 (NS)	Ss-C4 (EW)
7.01	-	5.43	4.53	-	3.41	3.44	-	-	-	-	-	5.46
42.92	-	37.98	33.95	-	48.58	30.66	-	-	-	-	-	34.17
44.65	-	38.42	36.25	-	49.85	32.06	-	-	-	-	-	38.79
100.37	-	85.09	82.51	-	115.14	73.63	-	-	-	-	-	90.02
100.37	-	85.09	82.51	-	115.14	73.63	-	-	-	-	-	90.02
155.21	-	133.68	131.10	-	177.92	115.51	-	-	-	-	-	146.36
155.21	-	133.68	131.10	-	177.92	115.51	-	-	-	-	-	146.36
221.12	-	194.75	190.26	-	251.49	160.45	-	-	-	-	-	210.10

第4.2.1-19図 最大応答曲げモーメント (-1σ地盤, NS方向, 全応力解析)

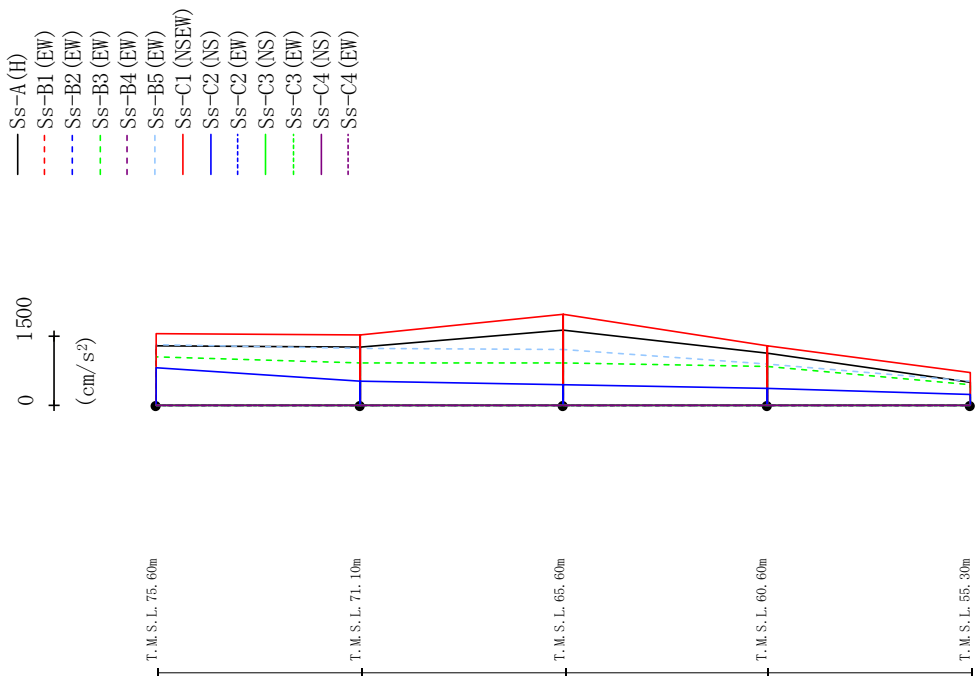
最大応答加速度 (UD方向)



Ss-A(H)	Ss-B1(NS)	Ss-B2(NS)	Ss-B3(NS)	Ss-B4(NS)	Ss-B5(NS)	Ss-C1(NSEW)	Ss-C2(NS)	Ss-C2(EW)	Ss-C3(NS)	Ss-C3(EW)	Ss-C4(NS)	Ss-C4(EW)
1023	-	-	1131	986	-	601	1152	-	-	-	-	920
359	-	-	385	270	-	204	275	-	-	-	-	257
352	-	-	379	267	-	202	271	-	-	-	-	258
341	-	-	371	261	-	199	267	-	-	-	-	255
327	-	-	361	256	-	192	262	-	-	-	-	251
311	-	-	351	254	-	183	257	-	-	-	-	243

第4.2.1-20図 最大応答鉛直加速度 (-1σ地盤, NS方向, 全応答解析)

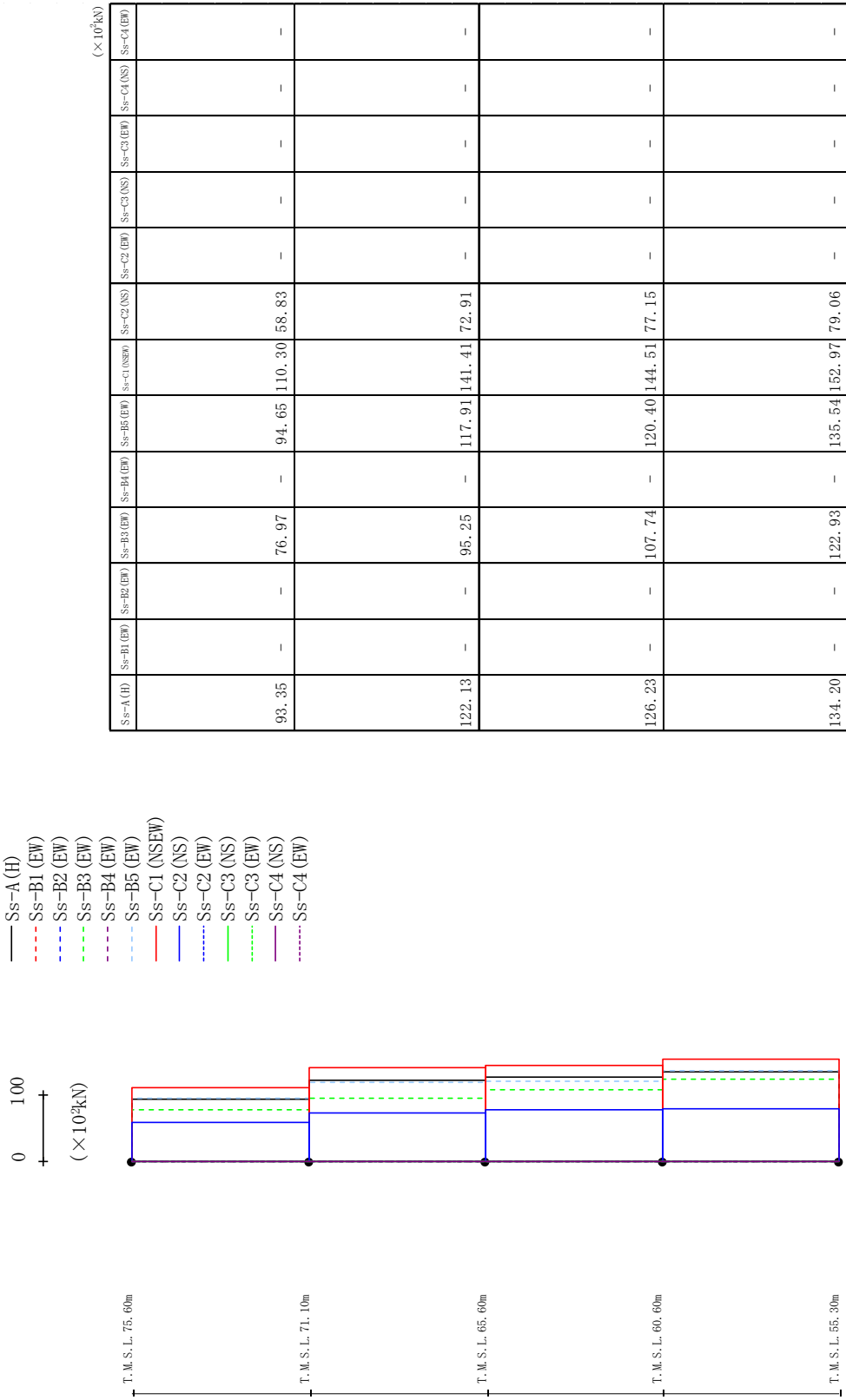
最大芯答加速度 (EW方向)



Ss-A (H)	Ss-B1 (EW)	Ss-B2 (EW)	Ss-B3 (EW)	Ss-B4 (EW)	Ss-B5 (EW)	Ss-C1 (NSEW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C2 (EW)	Ss-C3 (NS)	Ss-C3 (EW)	Ss-C4 (NS)	Ss-C4 (EW)
1302	-	-	1059	-	1316	1558	809	-	-	-	-	-
1271	-	-	926	-	1246	1530	530	-	-	-	-	-
1622	-	-	914	-	1222	1976	451	-	-	-	-	-
1125	-	-	833	-	890	1296	376	-	-	-	-	-
511	-	-	442	-	535	710	239	-	-	-	-	-

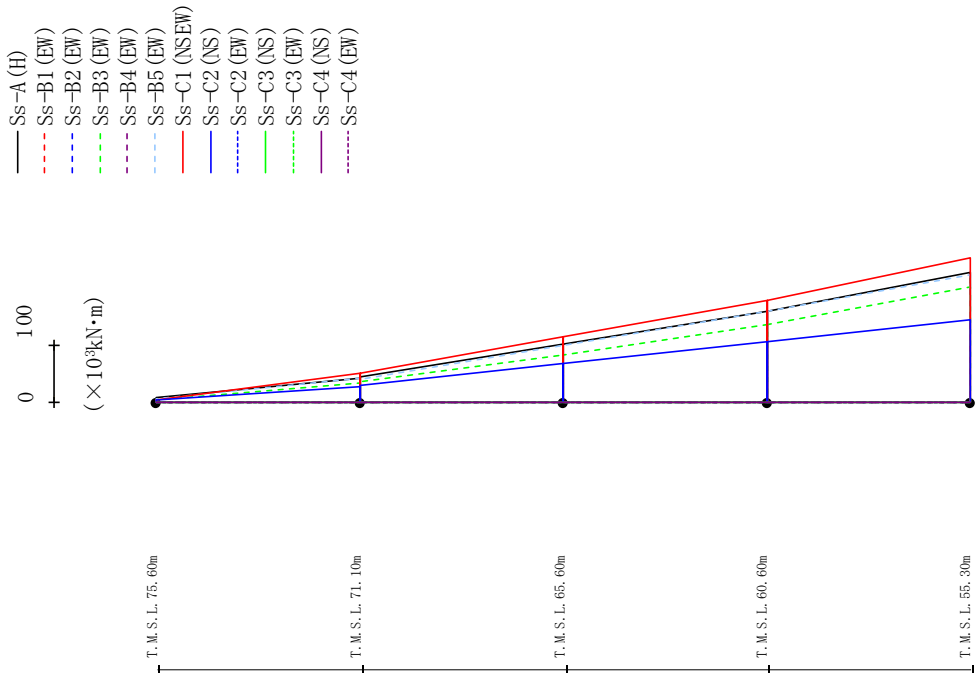
第4.2.1-21图 最大芯答加速度 (-1σ 地盤, EW方向, 全応力解析)

最大応答せん断力 (EW方向)



第4.2.1-22図 最大応答せん断力 (-1σ地震, EW方向, 全応力解析)

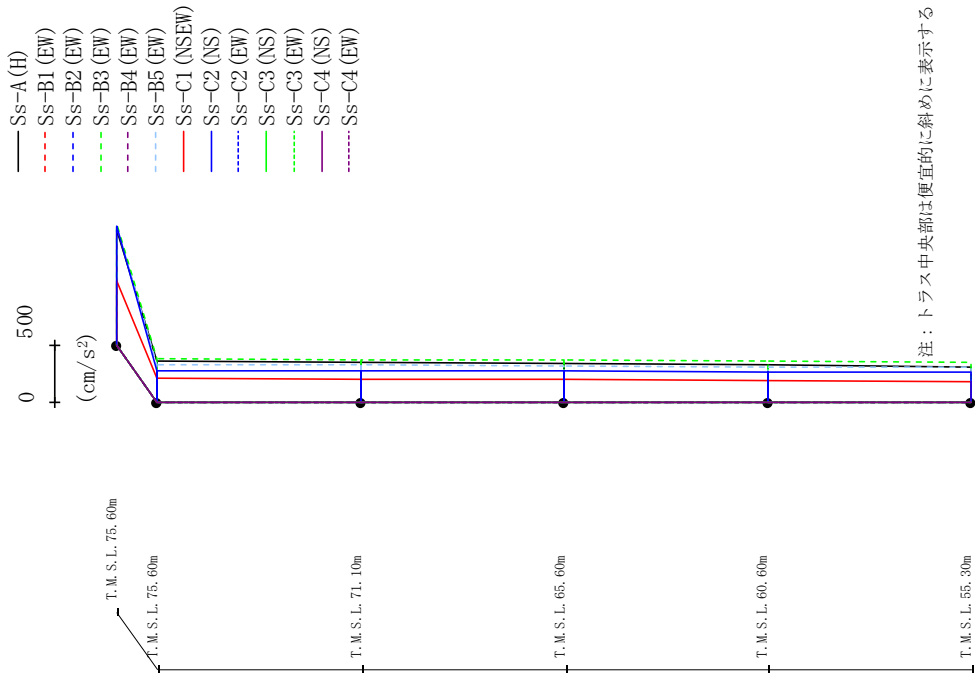
最大応答曲げモーメント (EW方向)



Ss-A (H)	Ss-B1 (EW)	Ss-B2 (EW)	Ss-B3 (EW)	Ss-B4 (EW)	Ss-B5 (EW)	Ss-C1 (N/EW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C2 (EW)	Ss-C3 (NS)	Ss-C3 (EW)	Ss-C4 (NS)	Ss-C4 (EW)
7.46	-	5.07	-	-	6.75	4.08	4.01	-	-	-	-	-
42.76	-	34.55	-	-	41.63	50.41	27.52	-	-	-	-	-
43.59	-	35.78	-	-	40.66	51.18	28.62	-	-	-	-	-
100.48	-	82.93	-	-	98.13	114.26	68.25	-	-	-	-	-
100.48	-	82.93	-	-	98.13	114.26	68.25	-	-	-	-	-
158.26	-	135.05	-	-	158.33	177.38	104.88	-	-	-	-	-
158.26	-	135.05	-	-	158.33	177.38	104.88	-	-	-	-	-
225.28	-	199.89	-	-	222.32	250.85	143.48	-	-	-	-	-

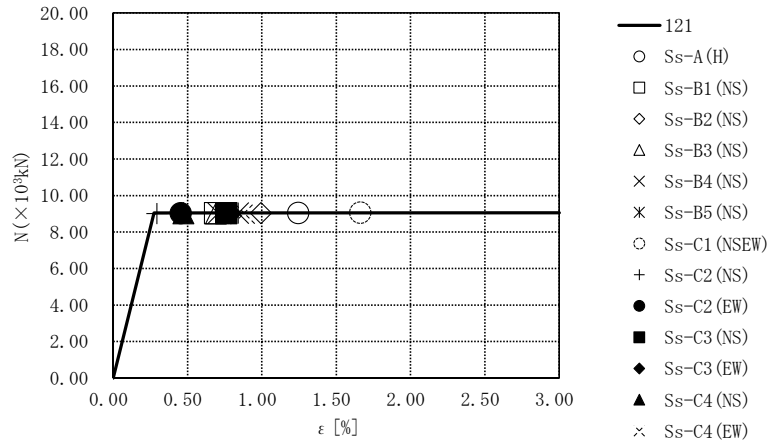
第4.2.1-23図 最大応答曲げモーメント (-1σ 地盤, EW方向, 全応力解析)

最大応答加速度 (UD方向)

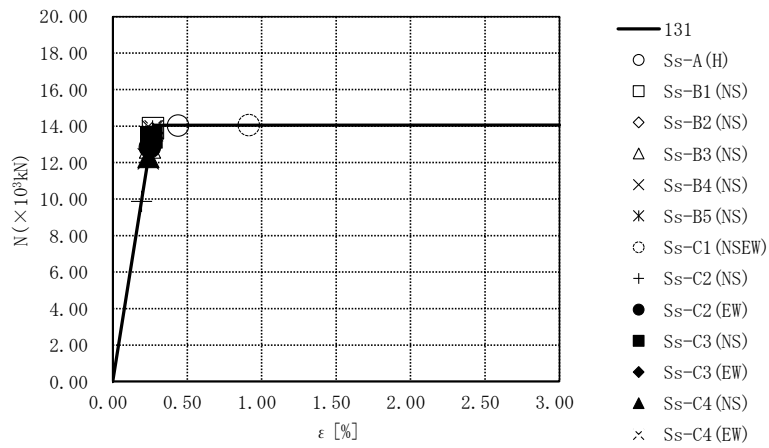


Ss-A (H)	Ss-B1 (EW)	Ss-B2 (EW)	Ss-B3 (EW)	Ss-B4 (EW)	Ss-B5 (EW)	Ss-C1 (NSEW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C2 (EW)	Ss-C3 (NS)	Ss-C3 (EW)	Ss-C4 (NS)	Ss-C4 (EW)
998	-	1053	-	-	1030	557	1027	-	-	-	-	-
360	-	379	-	-	327	205	276	-	-	-	-	-
351	-	373	-	-	323	204	273	-	-	-	-	-
339	-	365	-	-	316	199	269	-	-	-	-	-
326	-	357	-	-	309	193	266	-	-	-	-	-
310	-	347	-	-	302	183	262	-	-	-	-	-

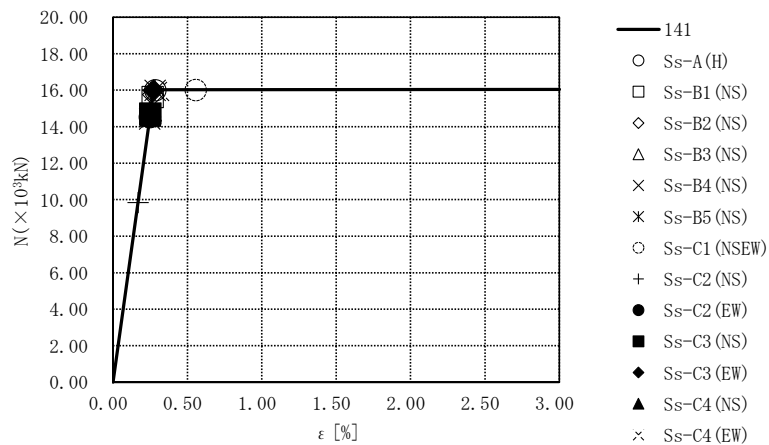
第4.2.1-24図 最大応答鉛直加速度 (-1σ地盤, EW方向, 全応答解析)



要素番号121

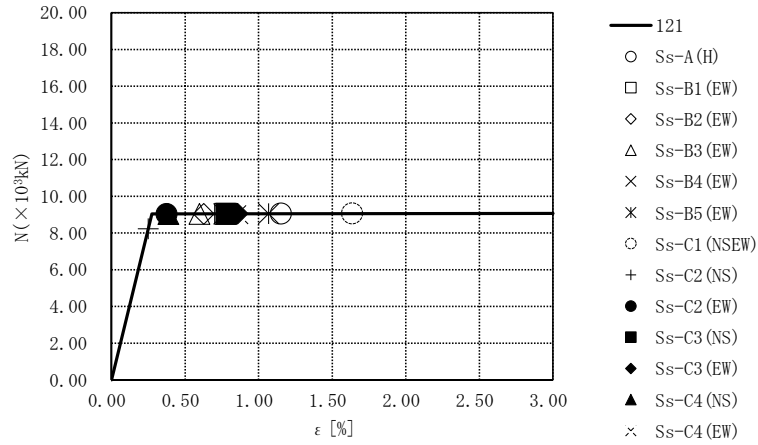


要素番号131

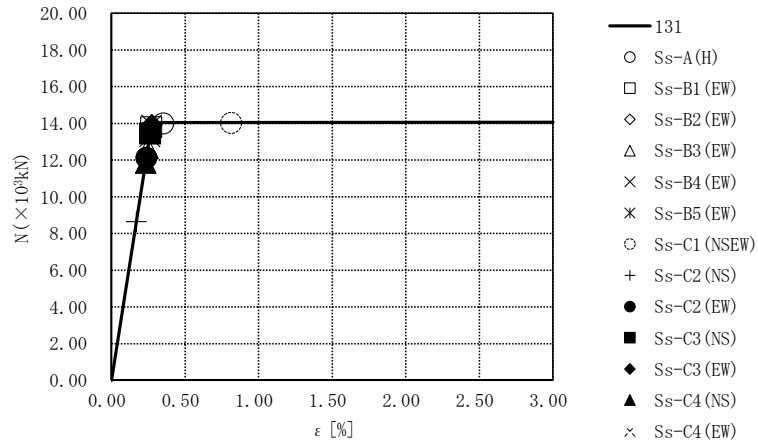


要素番号141

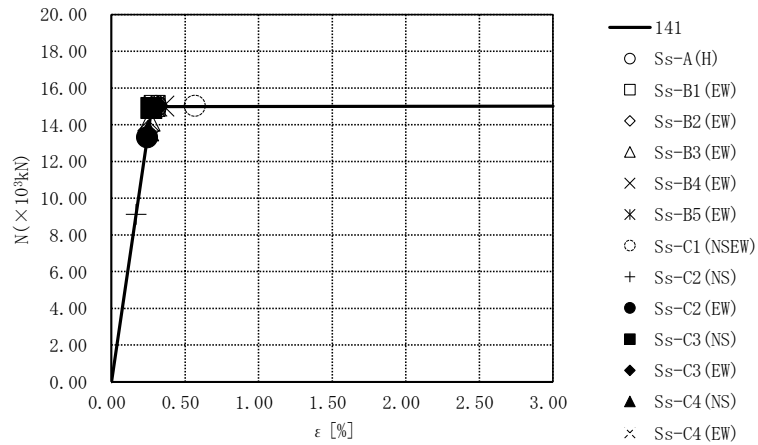
第4.2.1-25図 座屈拘束ブレースの荷重-ひずみ曲線
(基本ケース, NS方向, 全応力解析)



要素番号121

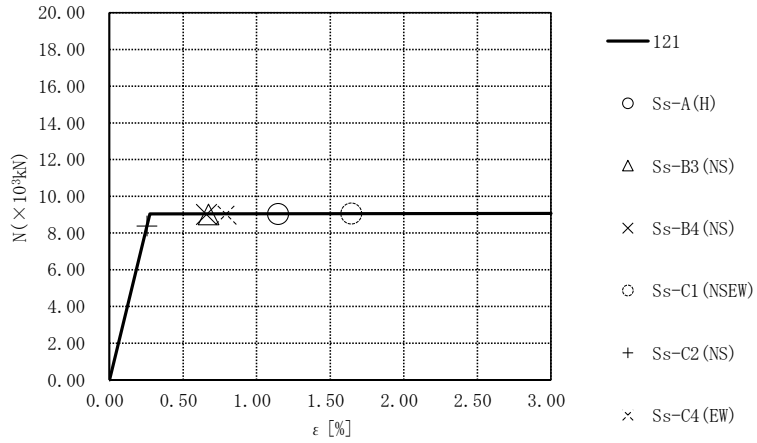


要素番号131

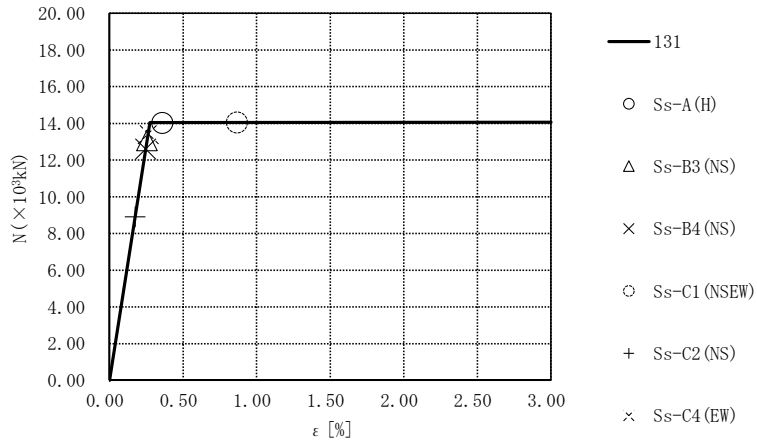


要素番号141

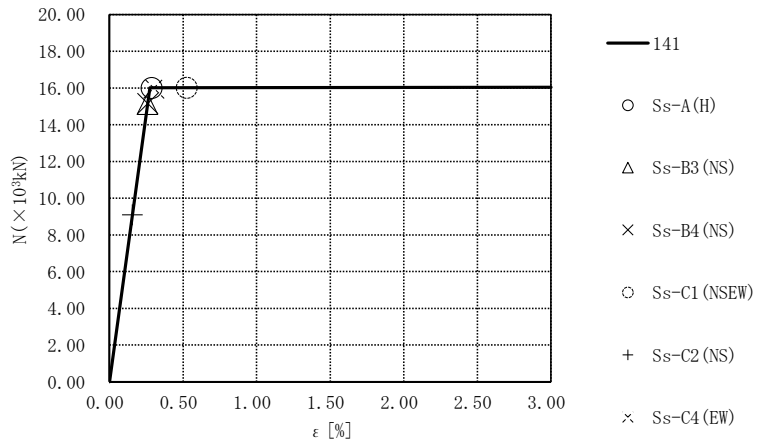
第4.2.1-26図 座屈拘束ブレースの荷重-ひずみ曲線
(基本ケース, EW方向, 全応力解析)



要素番号121

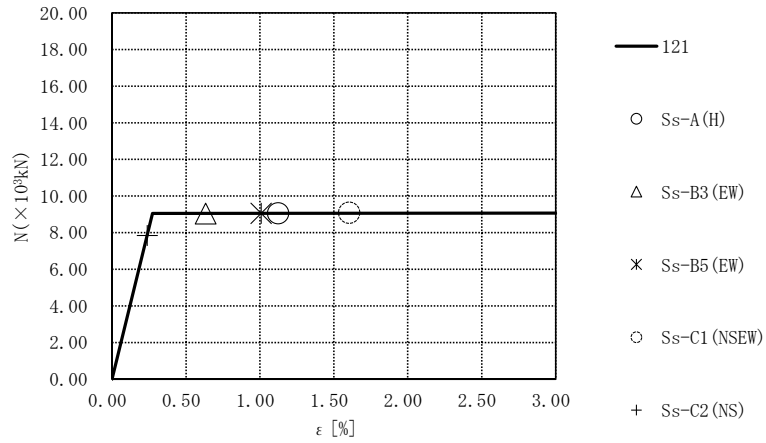


要素番号131

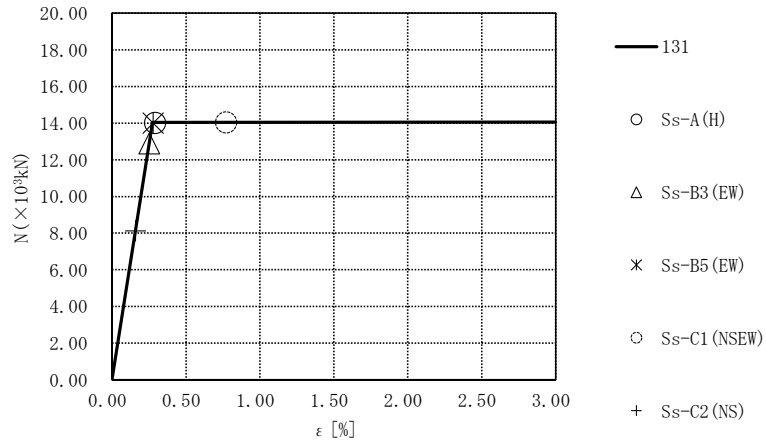


要素番号141

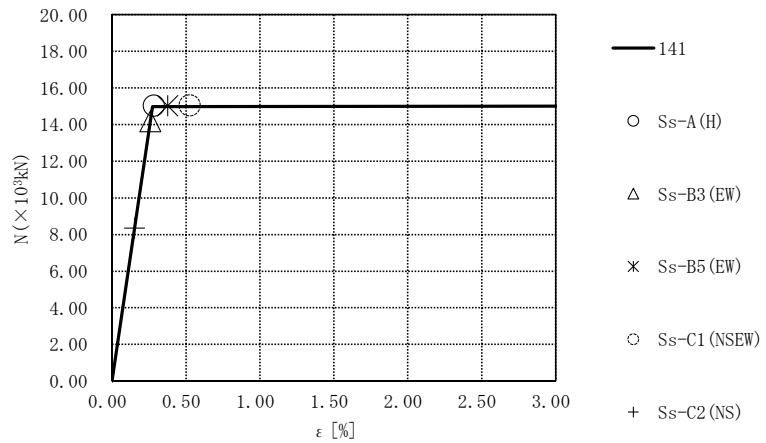
第4.2.1-27図 座屈拘束ブレースの荷重-ひずみ曲線
(+1σ地盤, NS方向, 全応力解析)



要素番号121

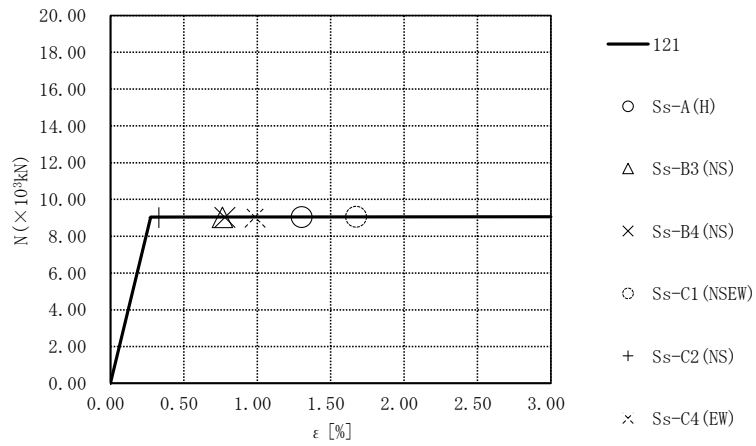


要素番号131

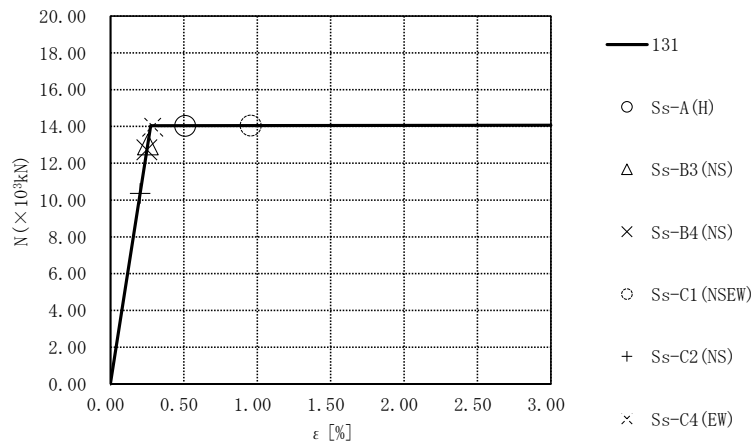


要素番号141

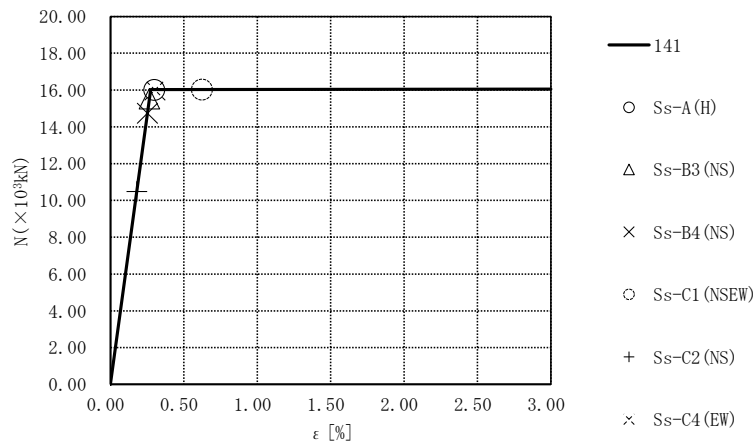
第4.2.1-28図 座屈拘束ブレースの荷重-ひずみ曲線
($+1\sigma$ 地盤, EW方向, 全応力解析)



要素番号121

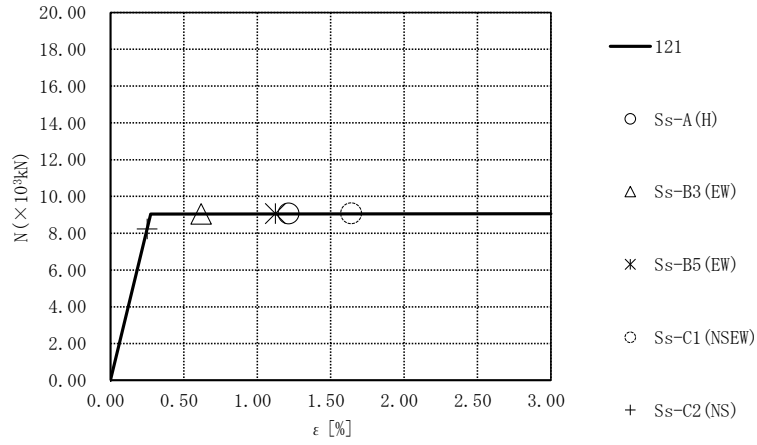


要素番号131

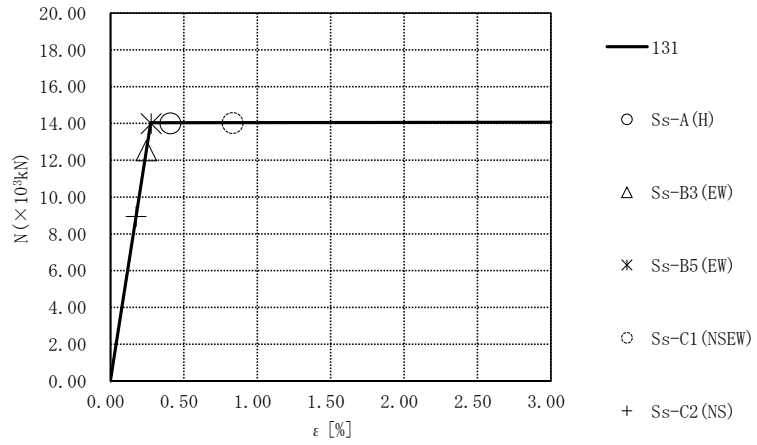


要素番号141

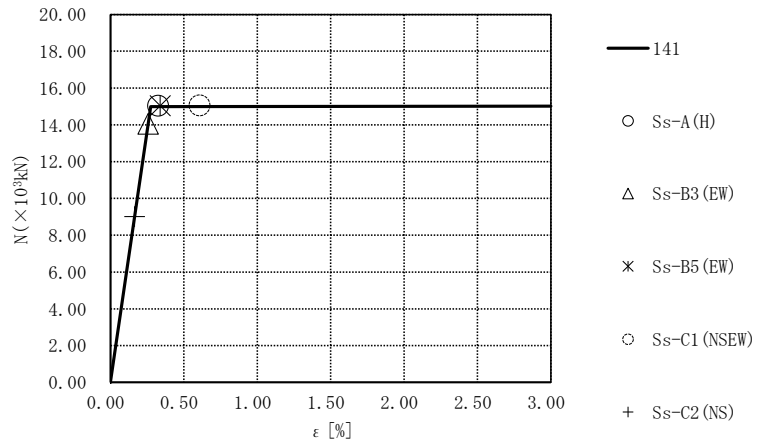
第4.2.1-29図 座屈拘束ブレースの荷重-ひずみ曲線
(-1σ地盤, NS方向, 全応力解析)



要素番号121

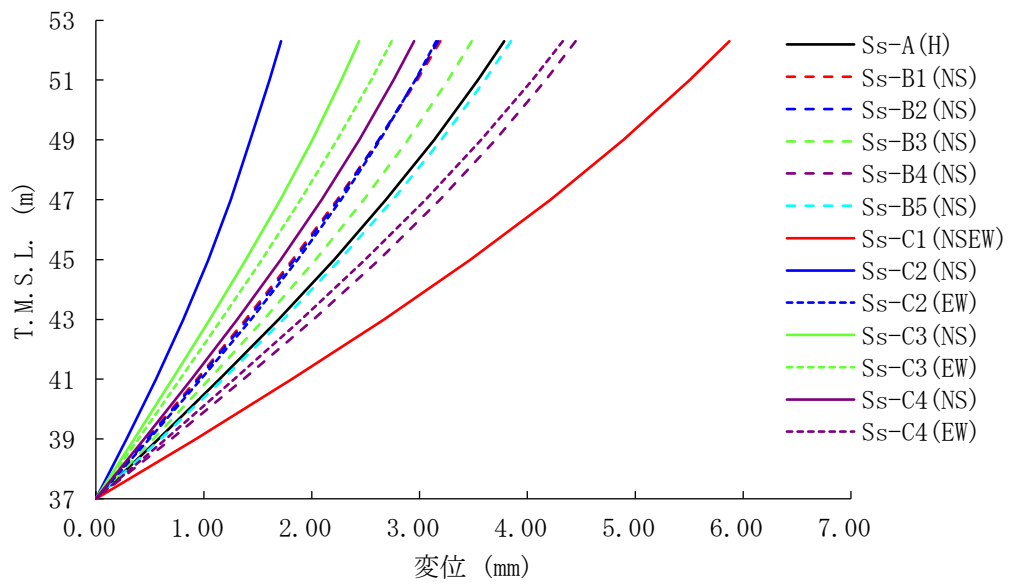


要素番号131

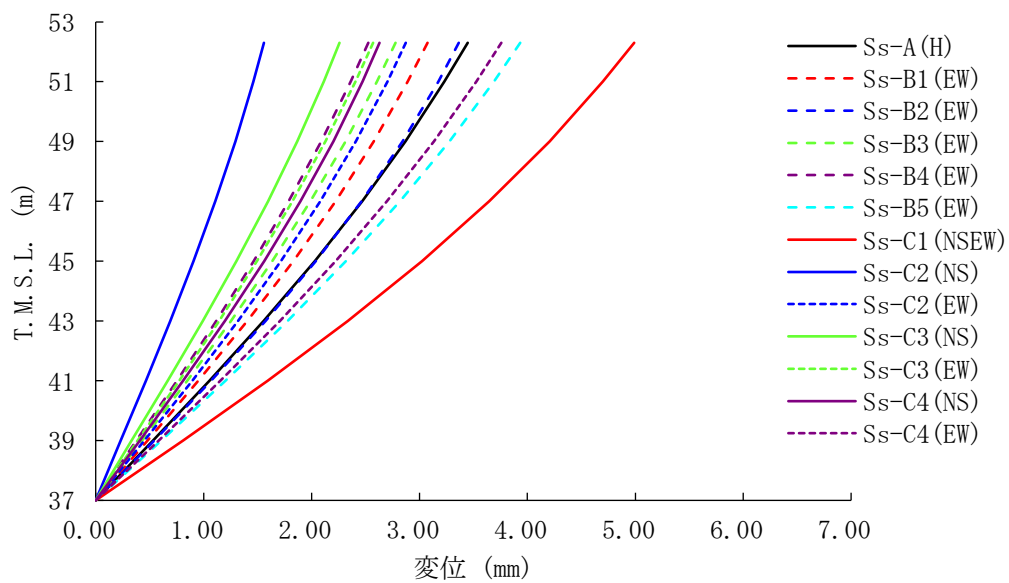


要素番号141

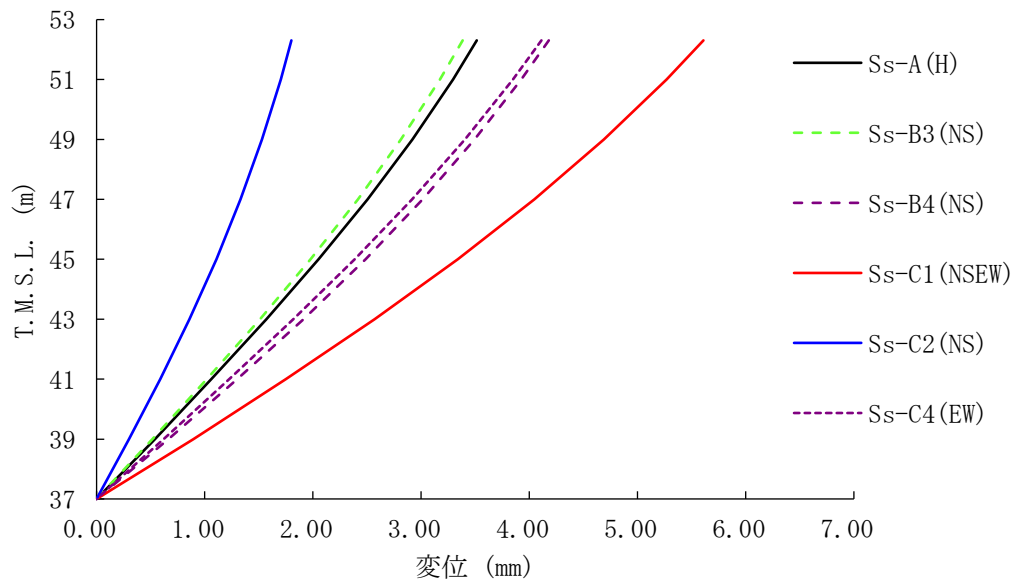
第4.2.1-30図 座屈拘束ブレースの荷重-ひずみ曲線
(-1σ 地盤, EW方向, 全応力解析)



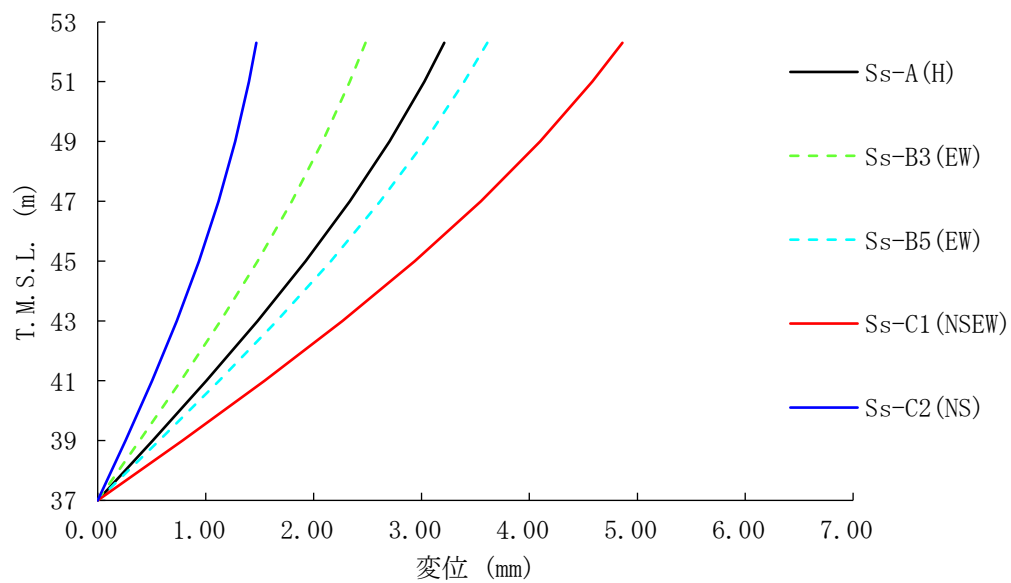
第4.2.1-31図 改良地盤の最大応答変位
(基本ケース, NS断面, 全応力解析)



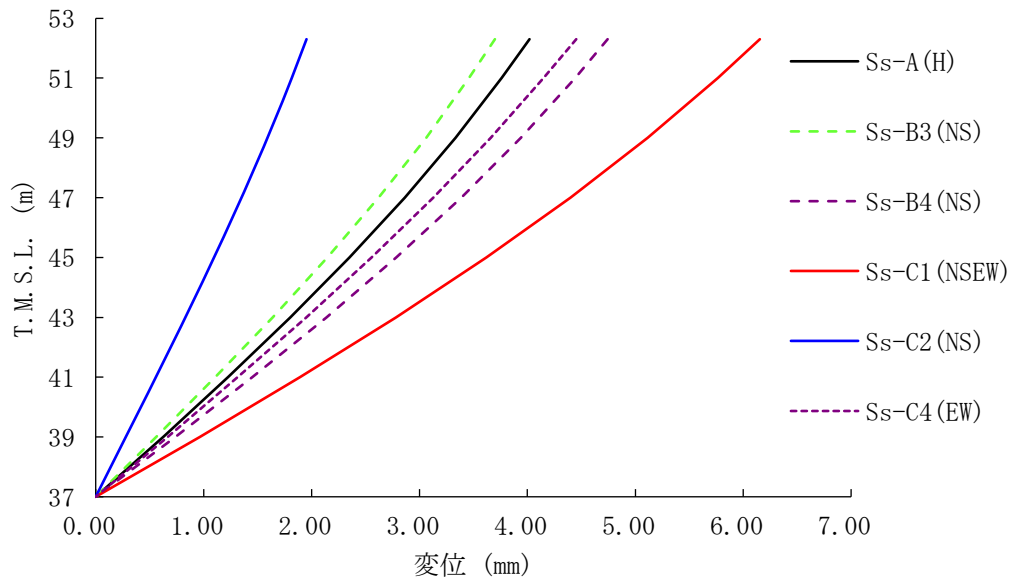
第4.2.1-32図 改良地盤の最大応答変位
(基本ケース, EW断面, 全応力解析)



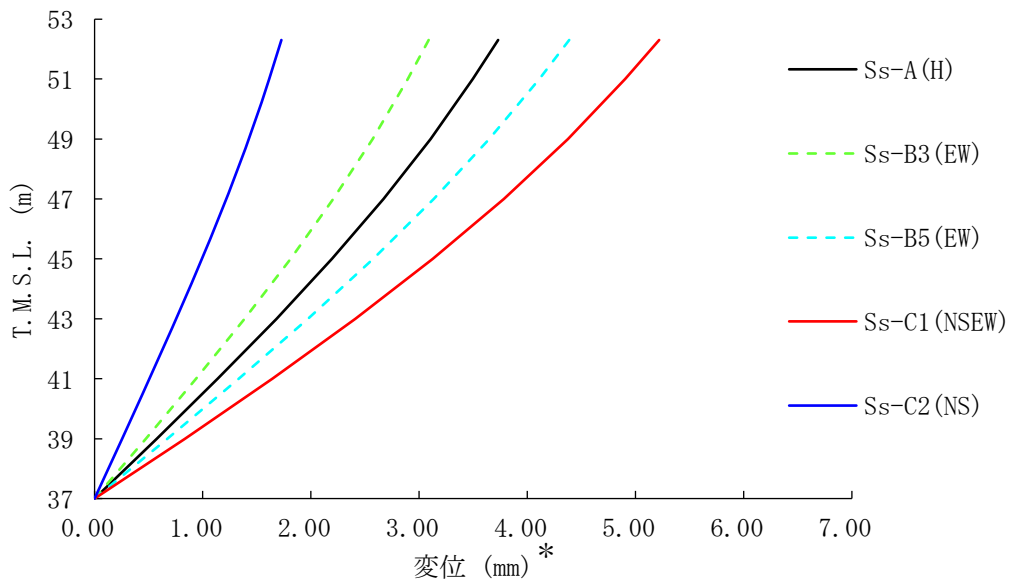
第4.2.1-33図 改良地盤の最大応答変位
(+1 σ 地盤, NS断面, 全応力解析)



第4.2.1-34図 改良地盤の最大応答変位
(+1 σ 地盤, EW断面, 全応力解析)



第4.2.1-35図 改良地盤の最大応答変位
(-1σ 地盤, NS断面, 全応力解析)



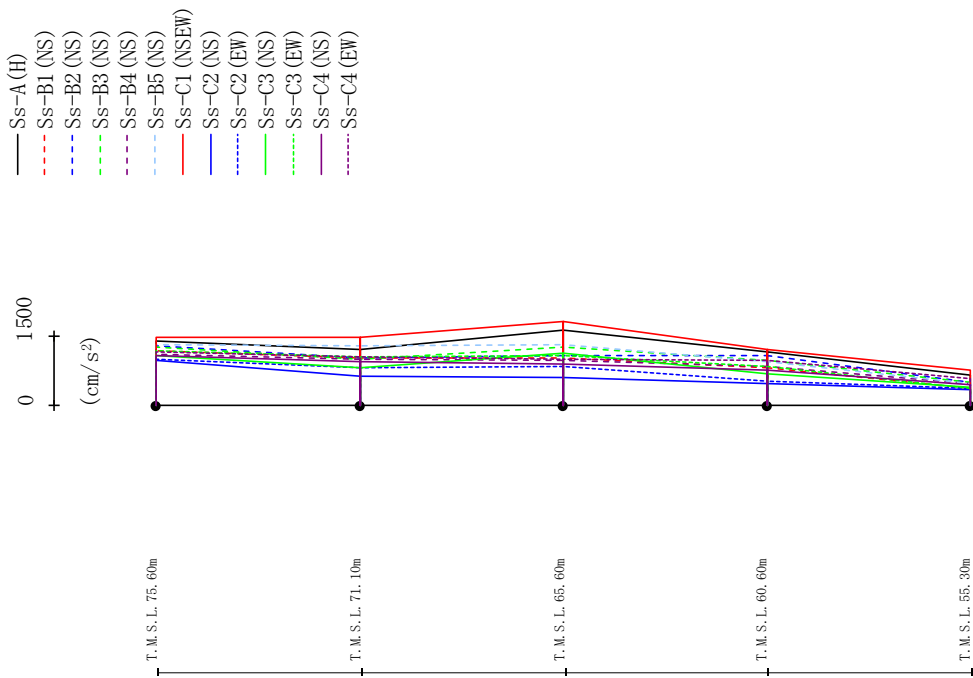
第4.2.1-36図 改良地盤の最大応答変位
(-1σ 地盤, EW断面, 全応力解析)

4.2.2 有効応力解析

有効応力解析結果のうち、飛来物防護ネット架構の最大応答値(加速度, せん断力, 曲げモーメント)を第4.2.2-1図～第4.2.2-24図に, 座屈拘束ブレースの荷重-ひずみ曲線図を第4.2.2-25図～第4.2.2-30図に, 改良地盤の最大応答変位*を第4.2.2-31図～第4.2.2-36図に示す。

注記 * : 応答変位は, 改良地盤下端(T.M.S.L. 37.00m)からの相対変位とし, 各レベルでの節点変位の平均値として算定する。最大応答変位は, 応答変位の時刻歴における最大値を示す。

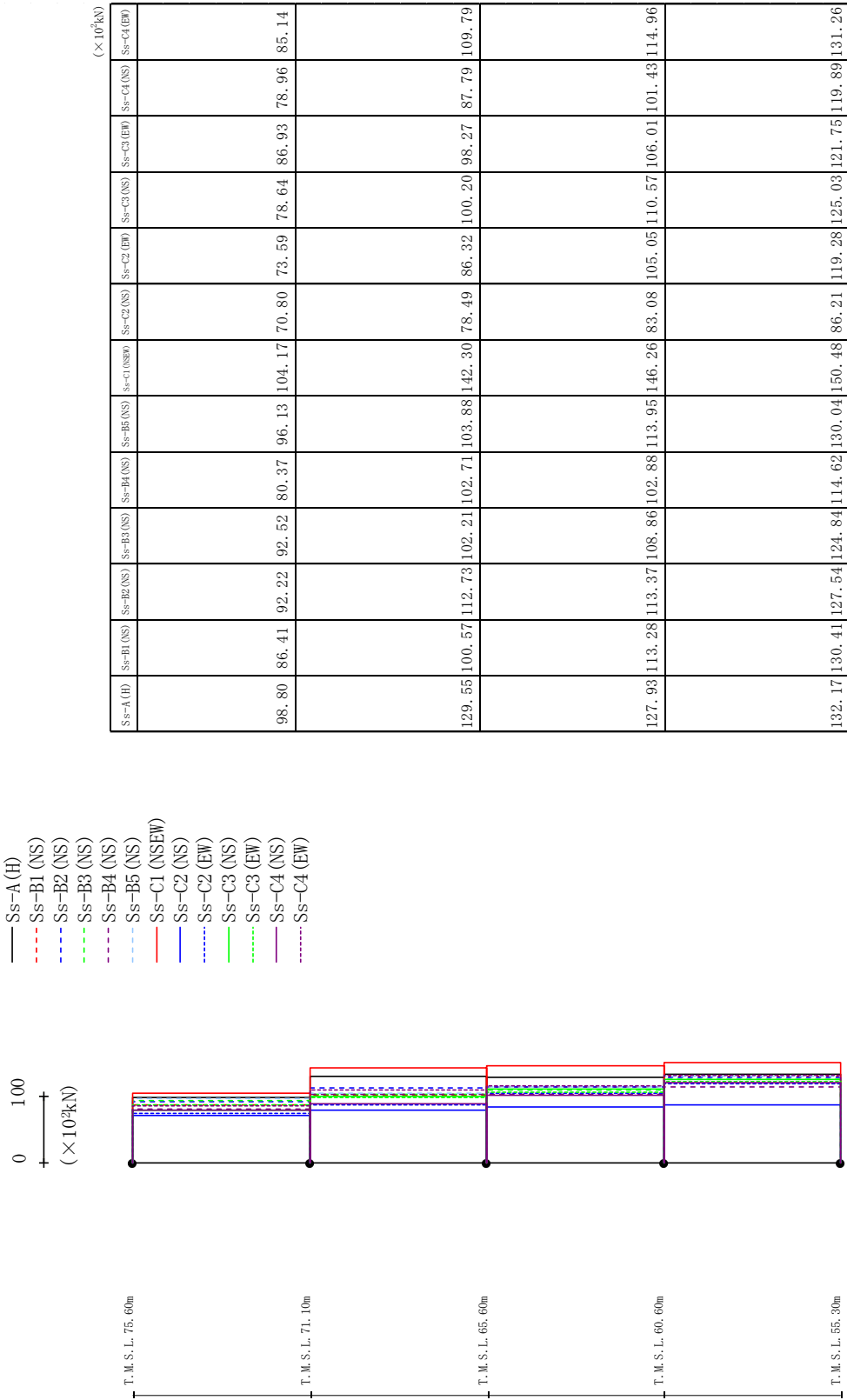
最大応答加速度 (NS方向)



	Ss-A (H)	Ss-B1 (NS)	Ss-B2 (NS)	Ss-B3 (NS)	Ss-B4 (NS)	Ss-B5 (NS)	Ss-C1 (NSEW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C2 (EW)	Ss-C3 (NS)	Ss-C3 (EW)	Ss-C4 (NS)	Ss-C4 (EW)
1386	1177	1284	1258	1115	1330	1475	971	1005	1085	1195	1079	1167	
1223	1023	1029	1006	997	1278	1476	624	807	826	1054	942	1046	
1633	1033	1086	1262	979	1317	1823	592	830	1121	1067	888	1004	
1169	826	1069	979	843	948	1198	471	529	688	852	759	986	
660	372	497	508	484	475	753	328	370	379	373	458	571	

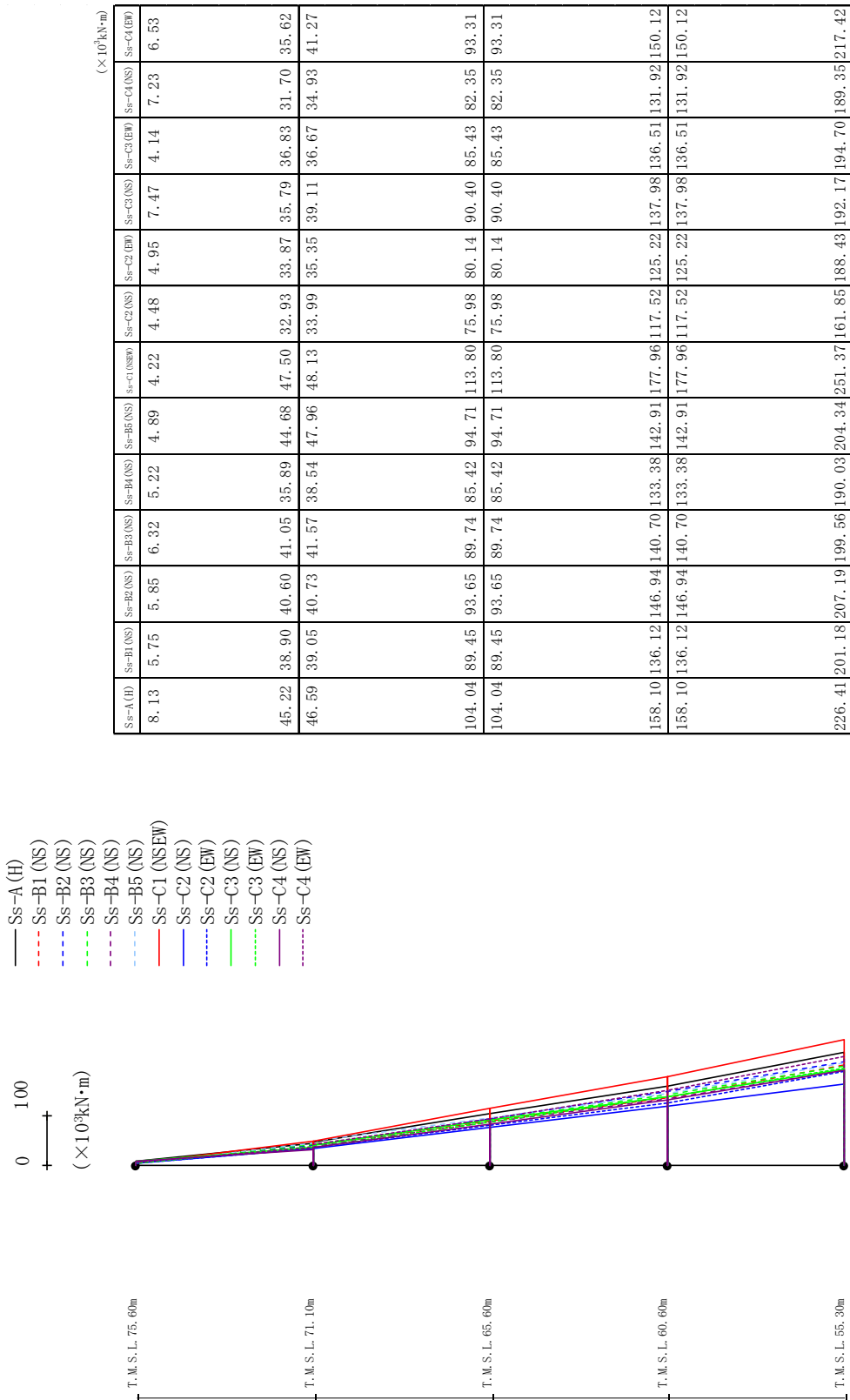
第4.2.2-1図 最大応答加速度 (基本ケース, NS方向, 有効応力解析)

最大応答せん断力 (NS方向)



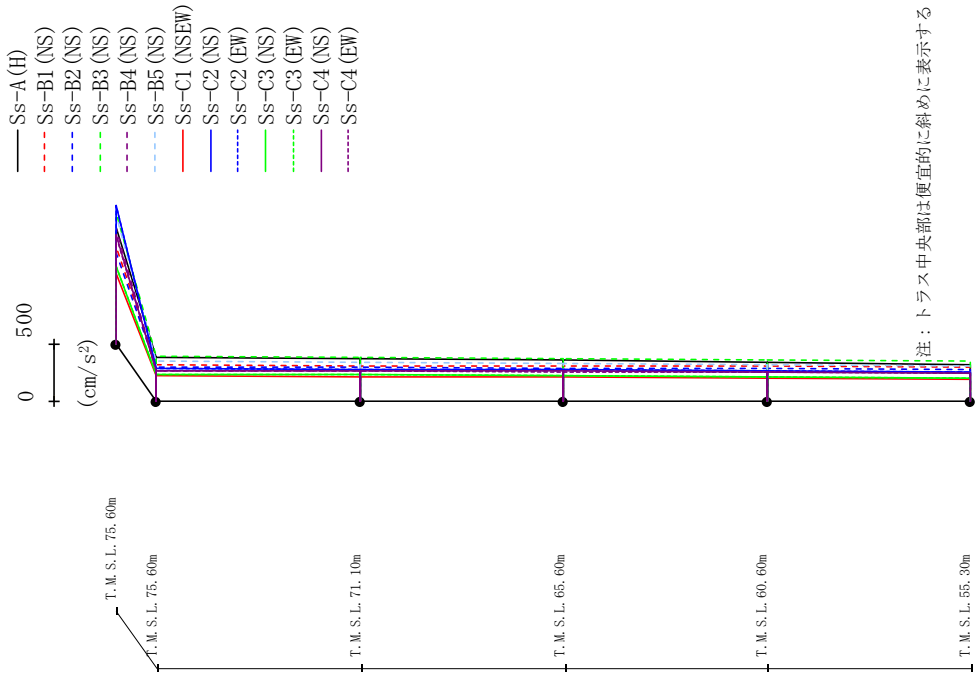
第4.2.2-2図 最大応答せん断力 (基本ケース, NS方向, 有効応力解析)

最大応答曲げモーメント (NS方向)



第4.2.2-3図 最大応答曲げモーメント (基本ケース, NS方向, 有効応力解析)

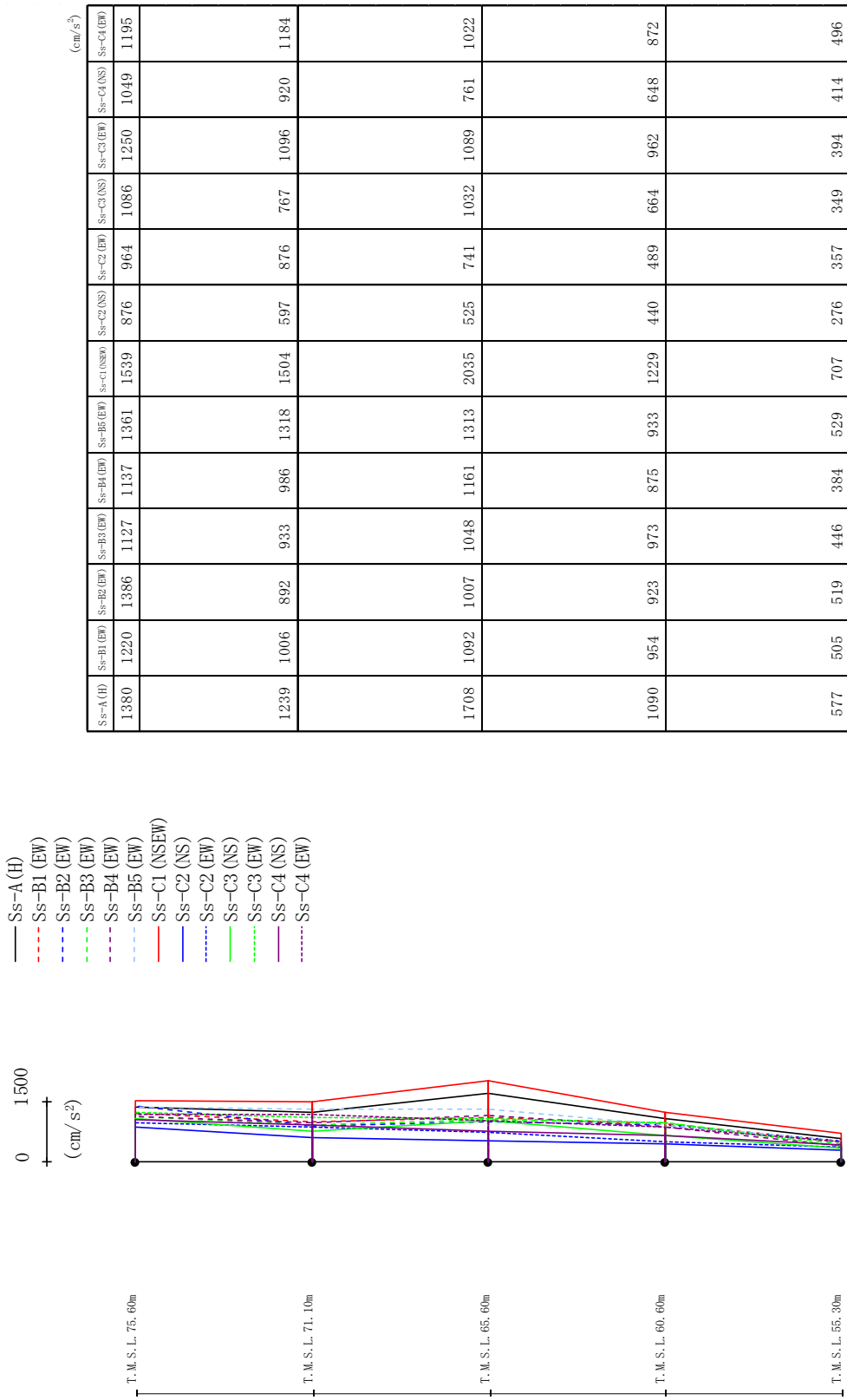
最大応答加速度 (UD方向)



	Ss-A (H)	Ss-B1 (NS)	Ss-B2 (NS)	Ss-B3 (NS)	Ss-B4 (NS)	Ss-B5 (NS)	Ss-C1 (NSEW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C2 (EW)	Ss-C3 (NS)	Ss-C3 (EW)	Ss-C4 (NS)	Ss-C4 (EW)
1008	847	786	1135	996	1117	614	1202	1205	673	671	943	940	
382	317	294	388	269	348	217	283	282	236	236	260	260	
374	311	292	381	265	342	215	279	278	232	232	261	260	
358	305	289	371	260	332	210	270	270	223	223	259	258	
340	304	284	361	254	320	201	260	260	212	212	254	254	
317	301	276	349	252	306	189	255	255	197	197	246	245	

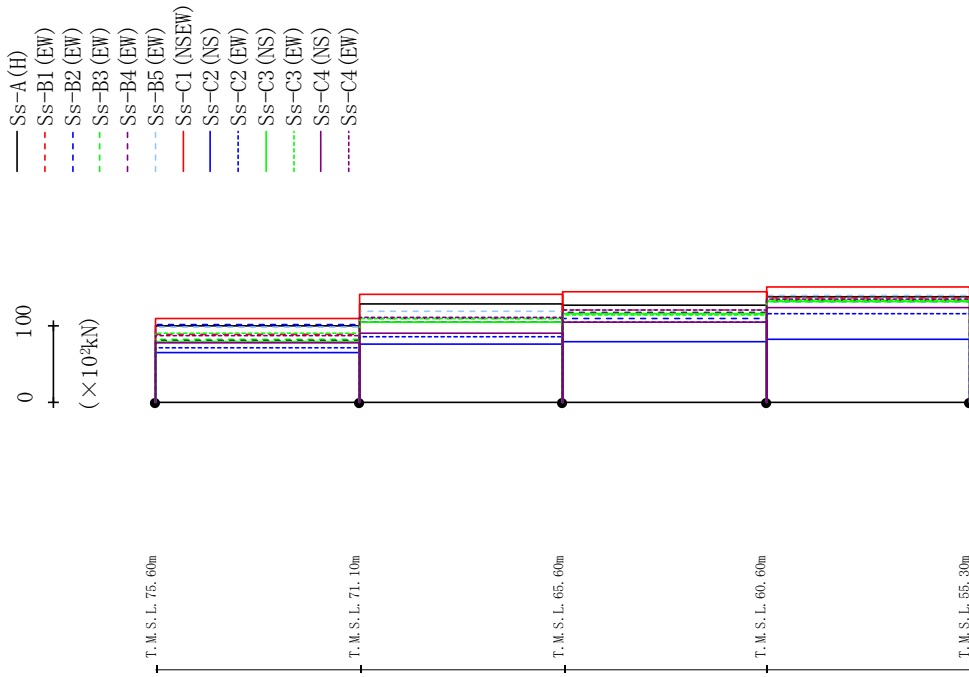
第4.2.2-4図 最大応答鉛直加速度 (基本ケース, NS方向, 有効応力解析)

最大応答加速度 (EW方向)



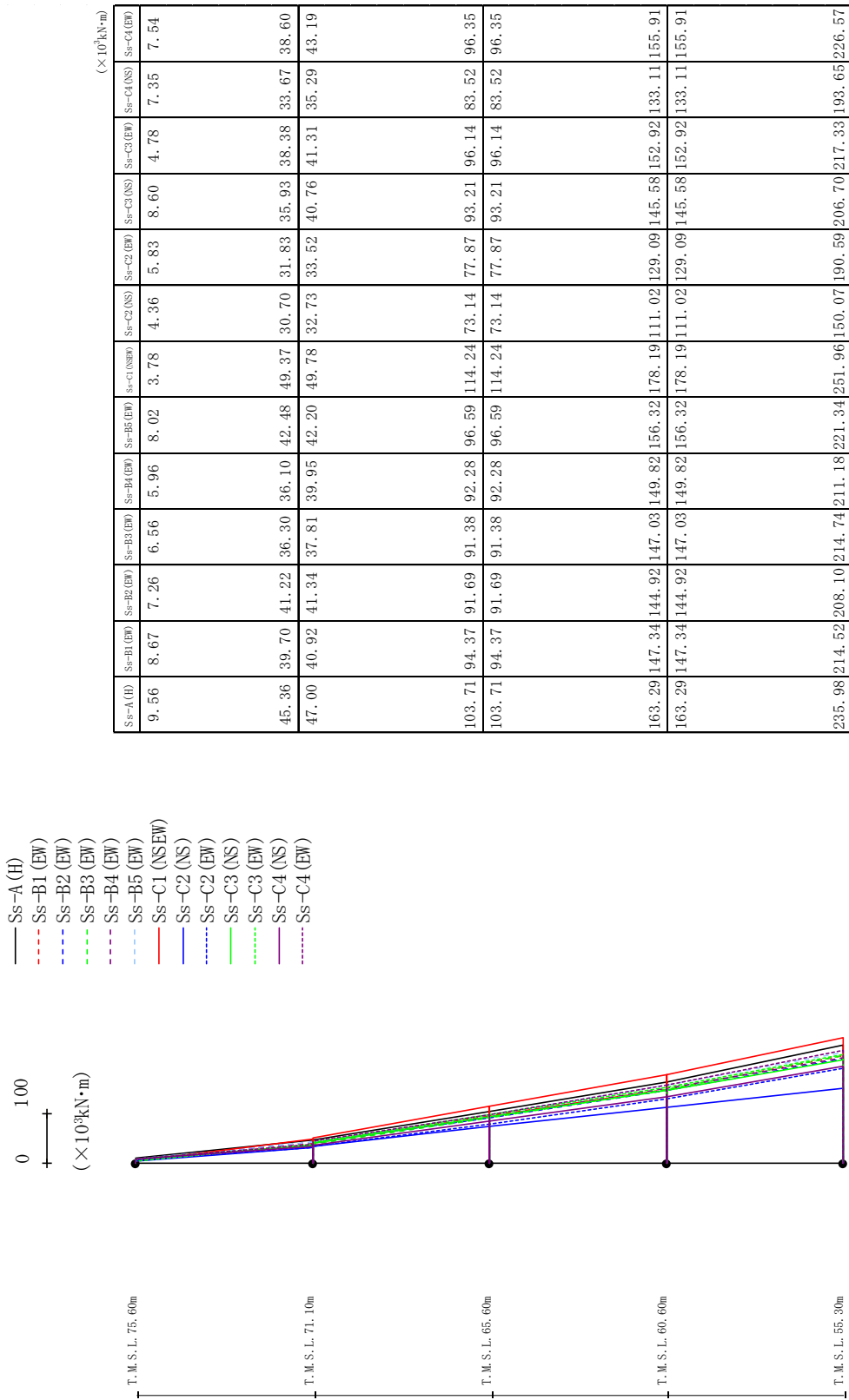
第4.2.2-5図 最大応答加速度 (基本ケース, EW方向, 有効応力解析)

最大応答せん断力 (EW方向)



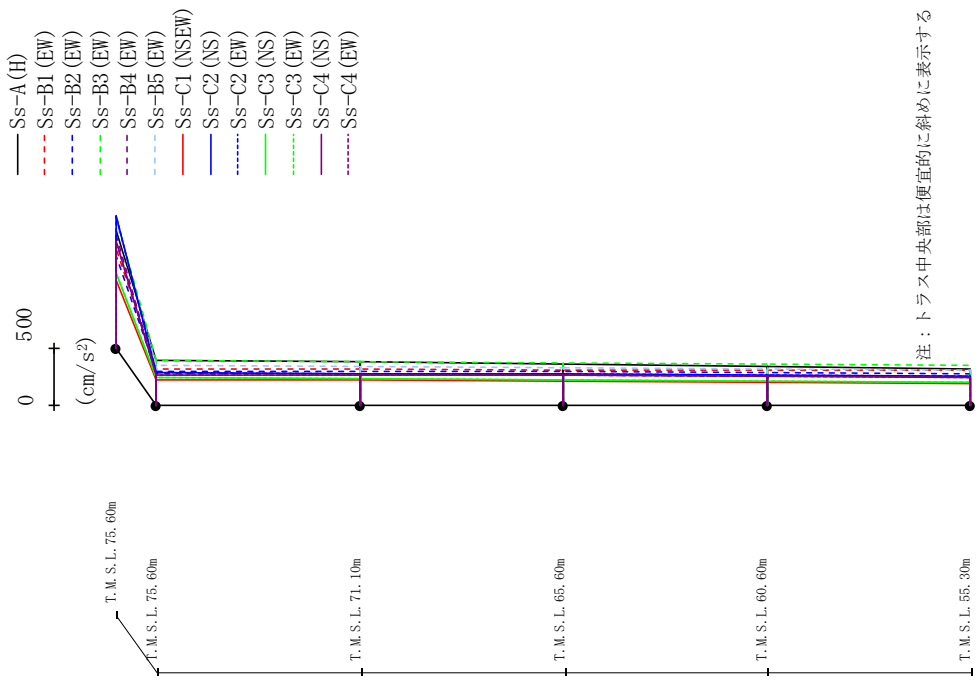
第4.2.2-6図 最大応答せん断力 (基本ケース, EW方向, 有効応力解析)

最大応答曲げモーメント (EW方向)



第4.2.2-7図 最大応答曲げモーメント (基本ケース, EW方向, 有効応力解析)

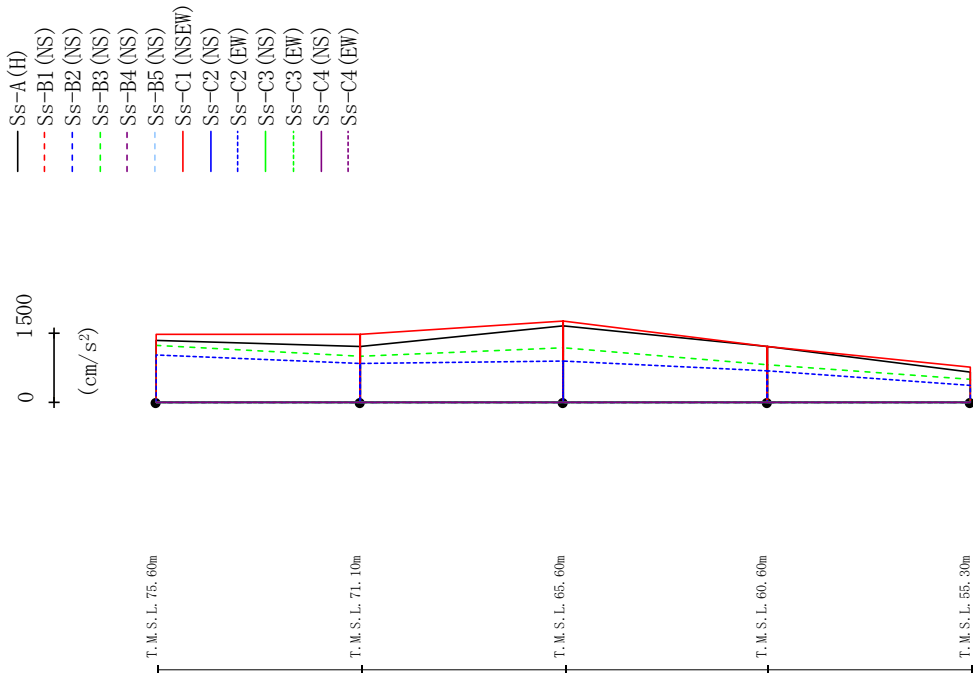
最大応答加速度 (UD方向)



	Ss-A (UD)	Ss-B1 (EW)	Ss-B2 (EW)	Ss-B3 (EW)	Ss-B4 (EW)	Ss-B5 (EW)	Ss-C1 (NSEW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C3 (NS)	Ss-C4 (NS)	Ss-C1 (NSEW)	Ss-C2 (EW)	Ss-C3 (EW)	Ss-C4 (EW)
1018	862	802	1130	983	1105	586	1149	1152	648	646	928	926		
384	319	295	388	272	345	217	280	280	237	237	260	260		
375	313	293	381	268	339	215	276	276	233	233	260	260		
360	306	290	372	263	330	210	268	268	224	224	258	258		
342	304	285	361	257	319	202	261	262	213	213	253	253		
319	301	277	349	252	305	190	256	256	198	198	245	245		

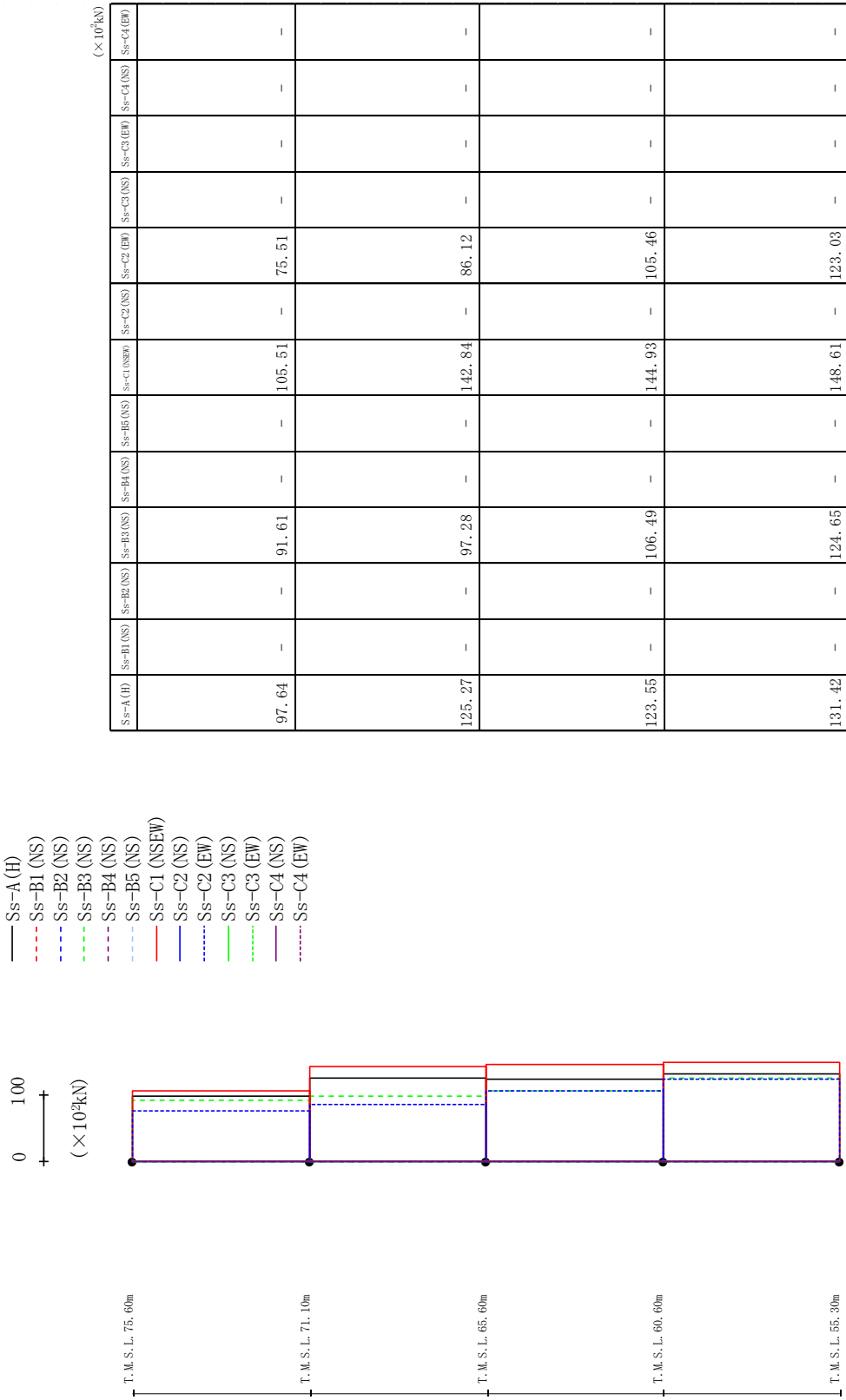
第4.2.2-8図 最大応答鉛直加速度 (基本ケース, EW方向, 有効応力解析)

最大応答加速度 (NS方向)



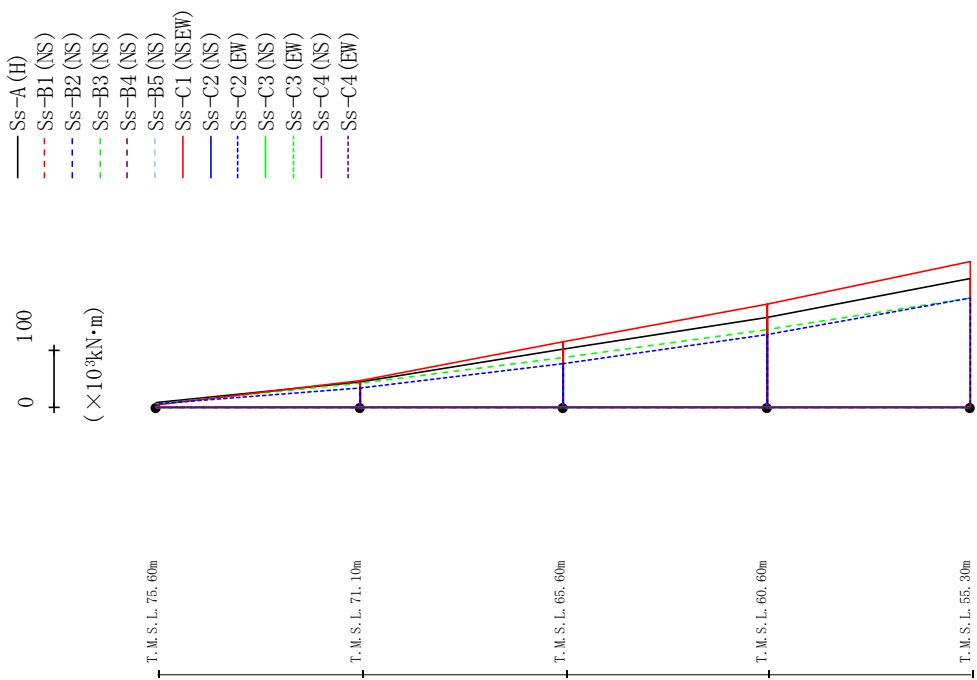
第4.2.2-9図 最大応答加速度 (+1σ地盤, NS方向, 有効応力解析)

最大応答せん断力 (NS方向)



第4.2.2-10図 最大応答せん断力 (+1σ地盤, NS方向, 有効応力解析)

最大応答曲げモーメント (NS方向)

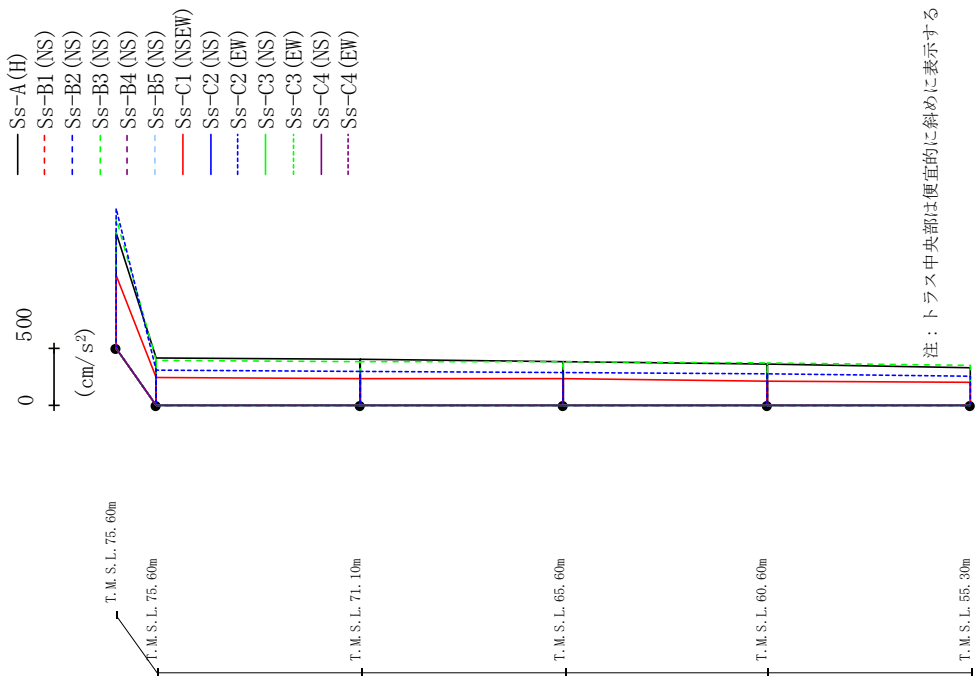


(×10³kN·m)

Ss-A (H)	Ss-B1 (NS)	Ss-B2 (NS)	Ss-B3 (NS)	Ss-B4 (NS)	Ss-B5 (NS)	Ss-C1 (NEEW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C2 (EW)	Ss-C3 (NS)	Ss-C3 (EW)	Ss-C4 (NS)	Ss-C4 (EW)
8.20	-	7.00	-	-	4.37	-	-	5.42	-	-	-	-
43.29	-	41.12	-	-	46.99	-	-	33.21	-	-	-	-
45.11	-	42.23	-	-	46.88	-	-	33.53	-	-	-	-
100.49	-	87.52	-	-	113.58	-	-	76.12	-	-	-	-
100.49	-	87.52	-	-	113.58	-	-	76.12	-	-	-	-
156.77	-	135.53	-	-	178.90	-	-	125.61	-	-	-	-
156.77	-	135.53	-	-	178.90	-	-	125.61	-	-	-	-
223.84	-	190.45	-	-	252.69	-	-	189.60	-	-	-	-

第4.2.2-11図 最大応答曲げモーメント (+1σ地盤, NS方向, 有効応力解析)

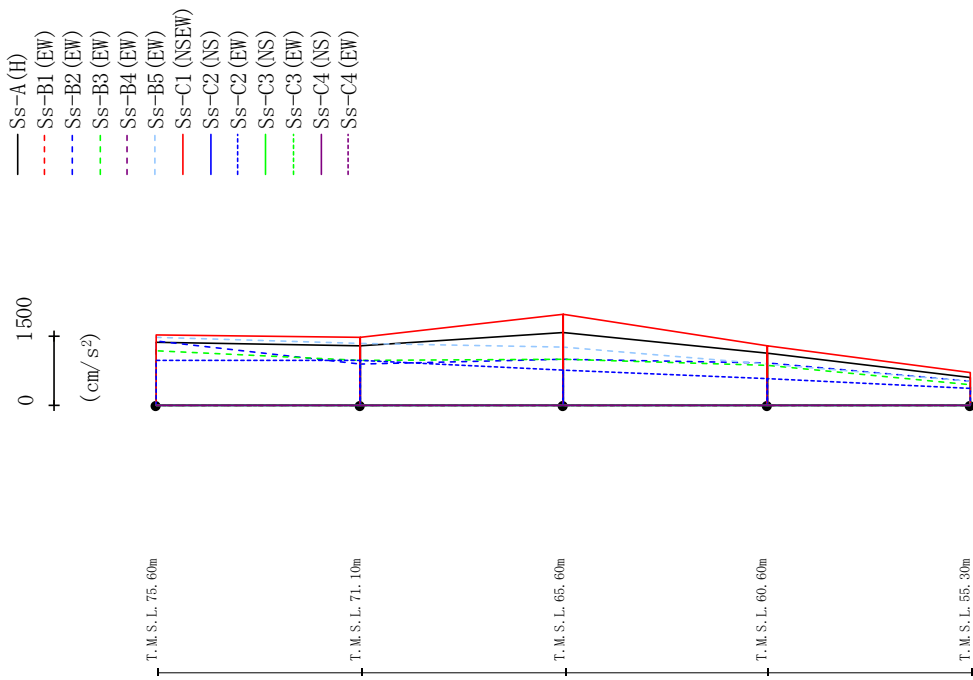
最大応答加速度 (UD方向)



SS-f(ID)	SS-B1(NS)	SS-B2(NS)	SS-B3(NS)	SS-B4(NS)	SS-B5(NS)	SS-C1(NSEW)	SS-C2(NS)	SS-C2(EW)	SS-C3(NS)	SS-C3(EW)	SS-C4(NS)	SS-C4(EW)	SS-C1(NSB)	SS-C2(NS)	SS-C2(EW)	SS-C3(NS)	SS-C3(EW)	SS-C4(NS)	SS-C4(EW)	
1004	-	-	1124	-	-	-	-	-	-	-	-	-	628	-	1212	-	-	-	-	-
409	-	-	390	-	-	-	-	-	-	-	-	-	239	-	300	-	-	-	-	-
398	-	-	383	-	-	-	-	-	-	-	-	-	235	-	295	-	-	-	-	-
377	-	-	374	-	-	-	-	-	-	-	-	-	226	-	284	-	-	-	-	-
353	-	-	363	-	-	-	-	-	-	-	-	-	214	-	270	-	-	-	-	-
322	-	-	351	-	-	-	-	-	-	-	-	-	197	-	257	-	-	-	-	-

第4.2.2-12図 最大応答鉛直加速度 (+1σ地盤, NS方向, 有効応力解析)

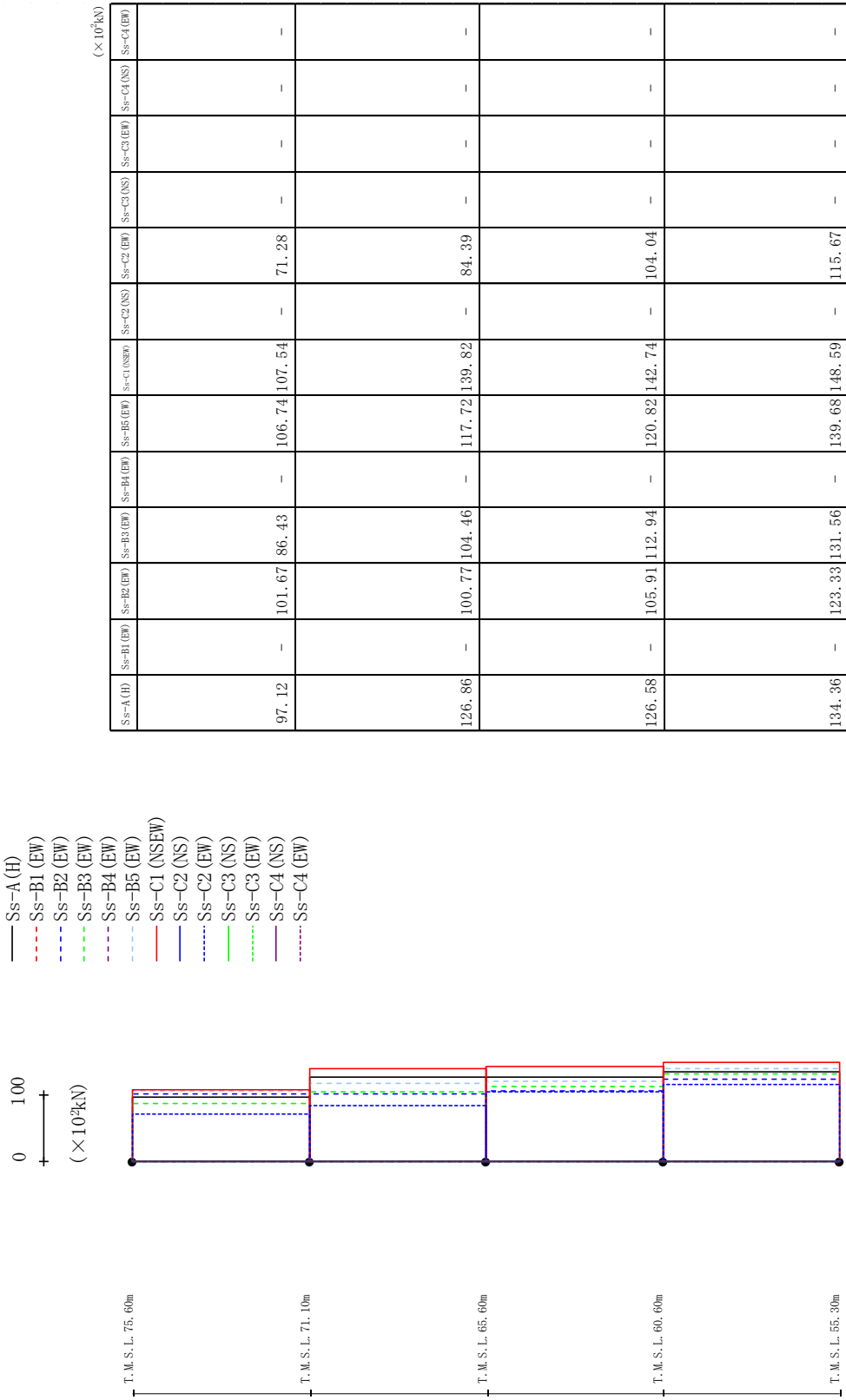
最大応答加速度 (EW方向)



Ss-A (H)	Ss-B1 (EW)	Ss-B2 (EW)	Ss-B3 (EW)	Ss-B4 (EW)	Ss-B5 (EW)	Ss-C1 (NSEW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C2 (EW)	Ss-C3 (NS)	Ss-C3 (EW)	Ss-C4 (NS)	Ss-C4 (EW)
1358	-	1393	1187	-	1470	1515	-	979	-	-	-	-
1291	-	899	969	-	1340	1476	-	965	-	-	-	-
1589	-	995	1012	-	1260	1973	-	761	-	-	-	-
1136	-	928	875	-	906	1281	-	566	-	-	-	-
616	-	531	453	-	519	699	-	365	-	-	-	-

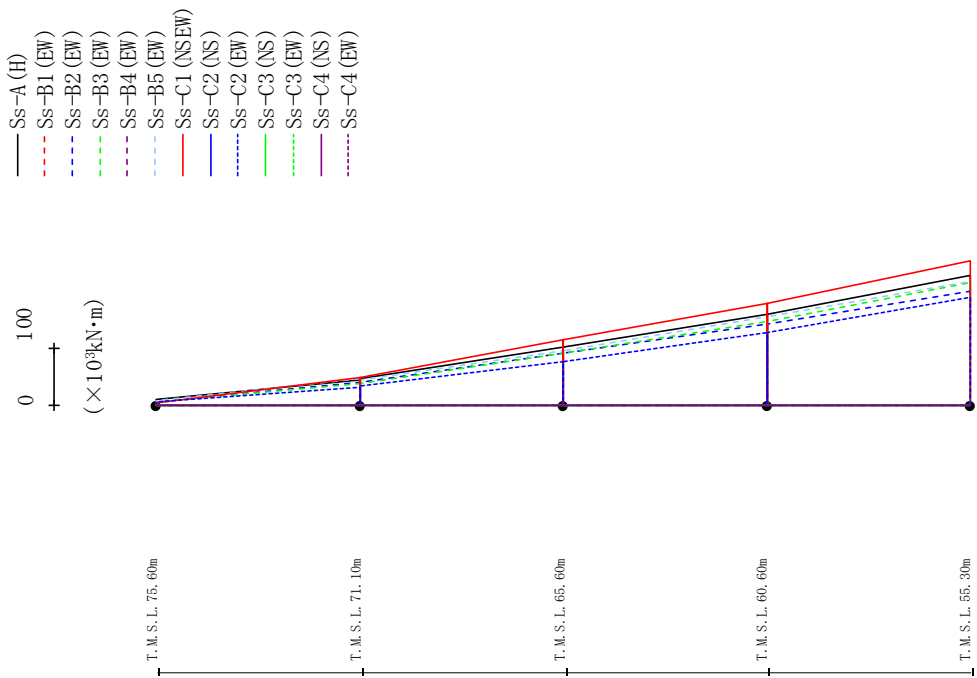
第4.2.2-13図 最大応答加速度 (+1σ 地盤, EW方向, 有効応力解析)

最大応答せん断力 (EW方向)



第4.2.2-14図 最大応答せん断力 (+1σ地盤, EW方向, 有効応力解析)

最大応答曲げモーメント (EW方向)

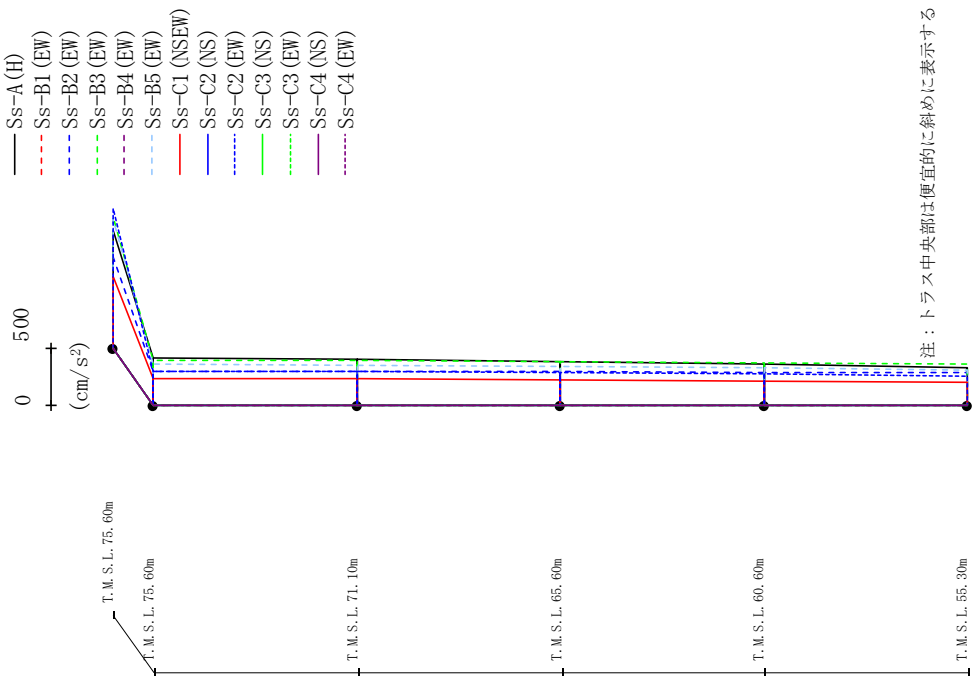


(×10³kN·m)

Ss-A (H)	Ss-B1 (EW)	Ss-B2 (EW)	Ss-B3 (EW)	Ss-B4 (EW)	Ss-B5 (EW)	Ss-C1 (NSEW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C2 (EW)	Ss-C3 (NS)	Ss-C3 (EW)	Ss-C4 (NS)	Ss-C4 (EW)
10.10	-	6.46	7.07	-	7.33	3.98	6.15	-	-	-	-	-
43.85	-	40.25	37.18	-	46.06	48.18	30.69	-	-	-	-	-
45.35	-	39.15	37.98	-	44.08	48.55	33.68	-	-	-	-	-
100.77	-	90.80	90.30	-	94.98	113.06	76.09	-	-	-	-	-
100.77	-	90.80	90.30	-	94.98	113.06	76.09	-	-	-	-	-
159.27	-	140.68	145.92	-	153.92	177.51	126.10	-	-	-	-	-
159.27	-	140.68	145.92	-	153.92	177.51	126.10	-	-	-	-	-
226.90	-	198.32	212.38	-	214.98	251.56	186.95	-	-	-	-	-

第4.2.2-15図 最大応答曲げモーメント (+1σ地盤, EW方向, 有効応力解析)

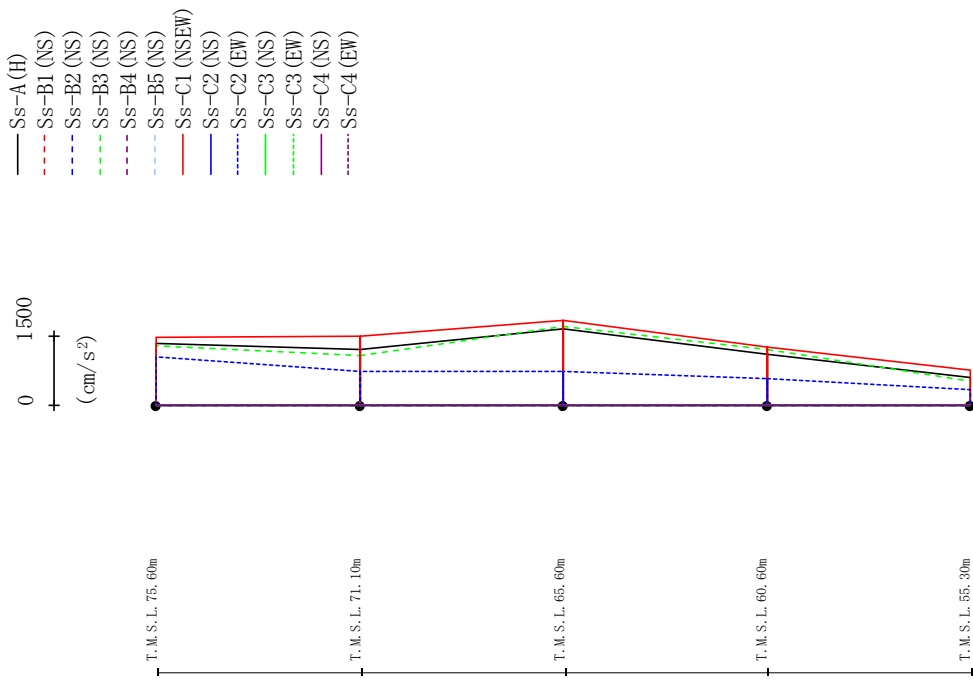
最大応答加速度 (UD方向)



Ss-A (UD)	Ss-B1 (EW)	Ss-B2 (EW)	Ss-B3 (EW)	Ss-B4 (EW)	Ss-B5 (EW)	Ss-B5 (NSEW)	Ss-C1 (NS)	Ss-C2 (EW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C3 (EW)	Ss-C3 (NS)	Ss-C4 (EW)	Ss-C4 (NS)	Ss-C4 (EW)
1017	787	1133	1117	619	1207	-	-	-	-	-	-	-	-	-
410	294	392	355	230	298	-	-	-	-	-	-	-	-	-
399	293	385	348	227	293	-	-	-	-	-	-	-	-	-
379	289	376	337	220	282	-	-	-	-	-	-	-	-	-
354	285	365	324	209	269	-	-	-	-	-	-	-	-	-
324	279	352	308	195	256	-	-	-	-	-	-	-	-	-

第4.2.2-16図 最大応答鉛直加速度 (+1σ地盤, EW方向, 有効応力解析)

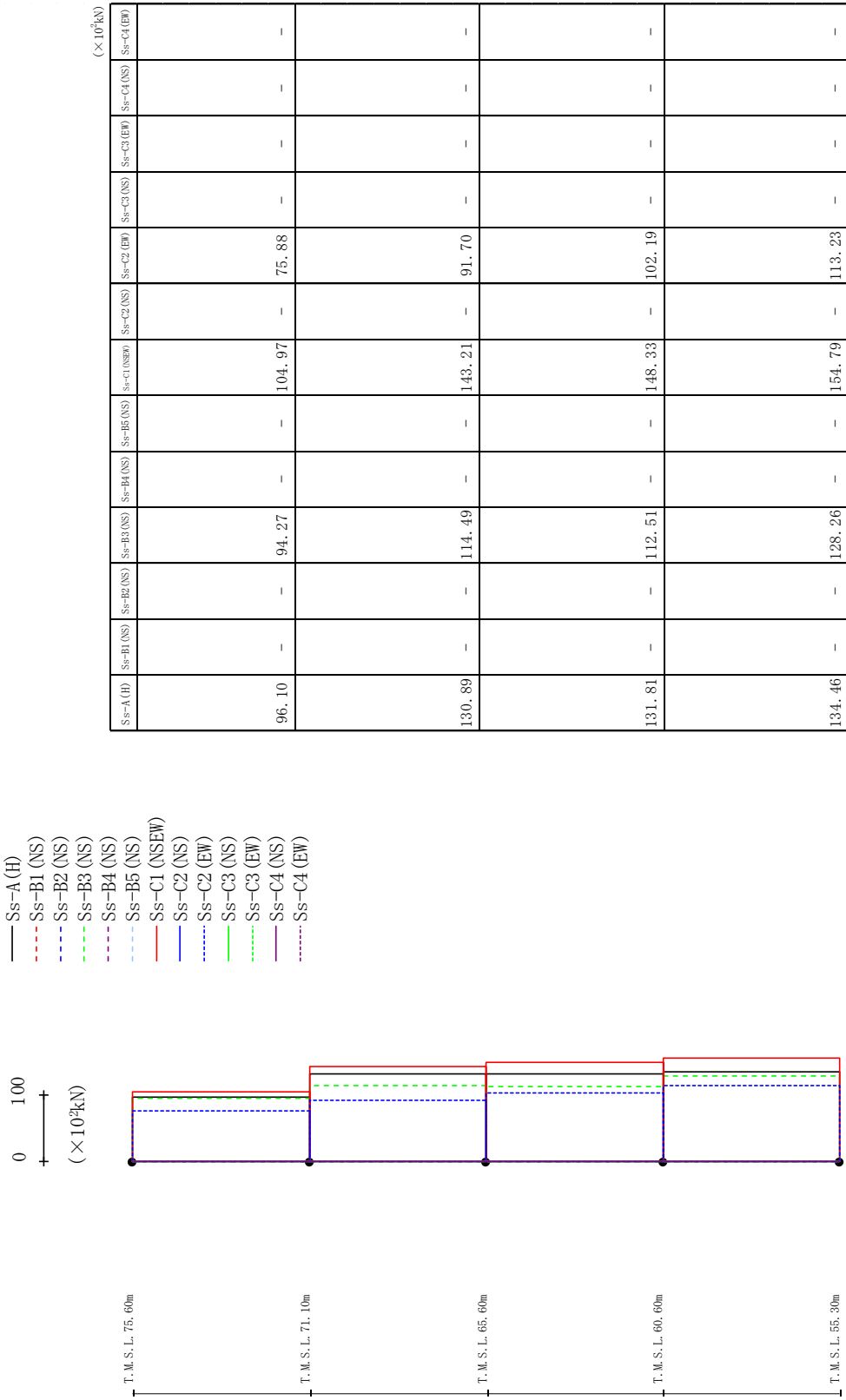
最大応答加速度 (NS方向)



Ss-A (H)	Ss-B1 (NS)	Ss-B2 (NS)	Ss-B3 (NS)	Ss-B4 (NS)	Ss-B5 (NS)	Ss-C1 (NSEW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C2 (EW)	Ss-C3 (NS)	Ss-C3 (EW)	Ss-C4 (NS)	Ss-C4 (EW)
1349	-	-	1282	-	-	1487	-	1040	-	-	-	-
1221	-	-	1081	-	-	1509	-	726	-	-	-	-
1666	-	-	1710	-	-	1848	-	745	-	-	-	-
1110	-	-	1219	-	-	1261	-	572	-	-	-	-
606	-	-	520	-	-	754	-	349	-	-	-	-

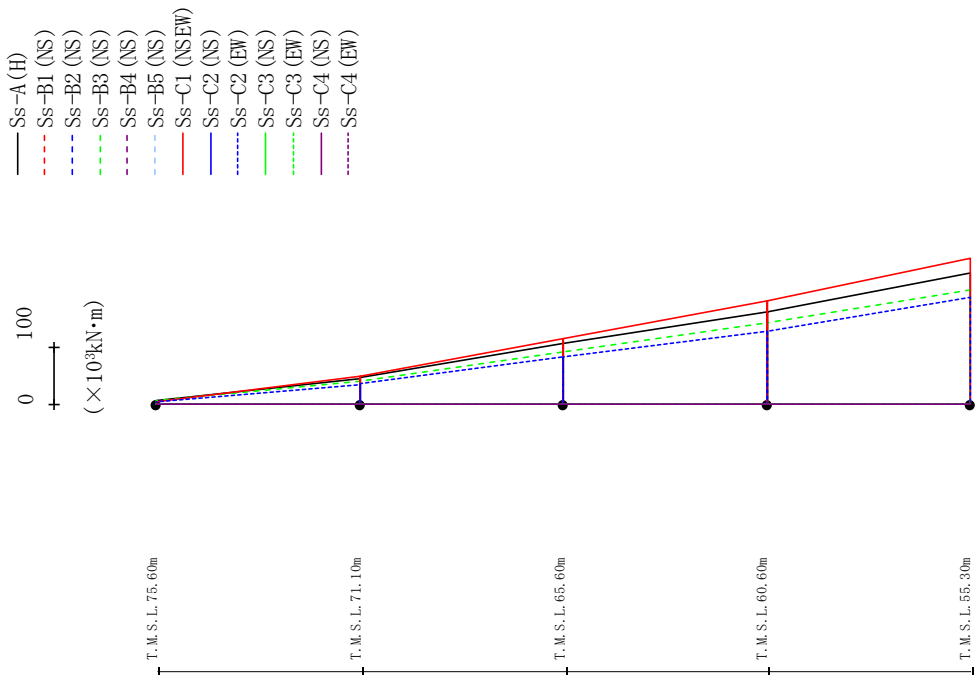
第4.2.2-17図 最大応答加速度 (-1σ地盤, NS方向, 有効応力解析)

最大応答せん断力 (NS方向)



第4.2.2-18図 最大応答せん断力 (-1σ地盤, NS方向, 有効応力解析)

最大応答曲げモーメント (NS方向)

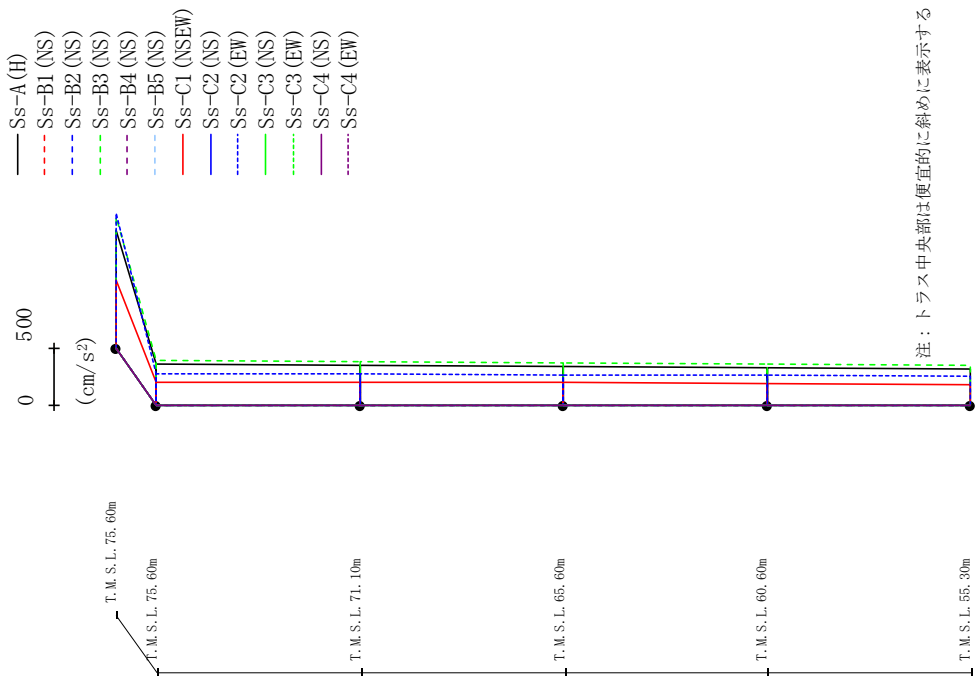


Ss-A (H)	Ss-B1 (NS)	Ss-B2 (NS)	Ss-B3 (NS)	Ss-B4 (NS)	Ss-B5 (NS)	Ss-C1 (NSEW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C2 (EW)	Ss-C3 (NS)	Ss-C3 (EW)	Ss-C4 (NS)	Ss-C4 (EW)
7.71	-	6.40	-	-	3.63	4.43	-	-	-	-	-	-
44.97	-	41.17	-	48.53	34.90	-	-	-	-	-	-	-
46.69	-	41.00	-	49.82	36.19	-	-	-	-	-	-	-
106.18	-	91.08	-	115.06	82.52	-	-	-	-	-	-	-
106.18	-	91.08	-	115.06	82.52	-	-	-	-	-	-	-
161.02	-	141.59	-	179.42	128.06	-	-	-	-	-	-	-
161.02	-	141.59	-	179.42	128.06	-	-	-	-	-	-	-
228.97	-	199.39	-	253.69	185.44	-	-	-	-	-	-	-

(× 10³ kN·m)

第4.2.2-19図 最大応答曲げモーメント (-1σ地盤, NS方向, 有効応力解析)

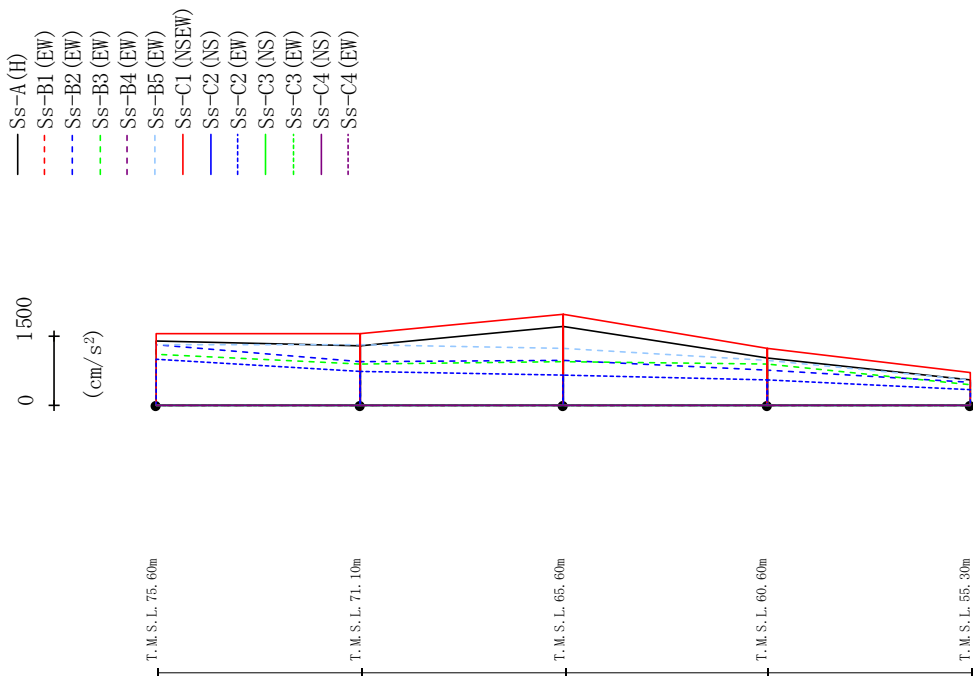
最大応答加速度 (UD方向)



SS-A (H)	SS-B1 (NS)	SS-B2 (NS)	SS-B3 (NS)	SS-B4 (NS)	SS-B5 (NS)	SS-C1 (NSEW)	SS-C2 (NS)	SS-C2 (EW)	SS-C3 (NS)	SS-C3 (EW)	SS-C4 (NS)	SS-C4 (EW)
1025	-	-	-	1137	-	587	-	-	-	1167	-	-
361	-	-	-	386	-	204	-	-	-	275	-	-
352	-	-	-	380	-	202	-	-	-	271	-	-
341	-	-	-	371	-	198	-	-	-	266	-	-
327	-	-	-	362	-	191	-	-	-	261	-	-
311	-	-	-	351	-	182	-	-	-	257	-	-

第4.2.2-20図 最大応答鉛直加速度 (—1σ地盤, NS方向, 有効応力解析)

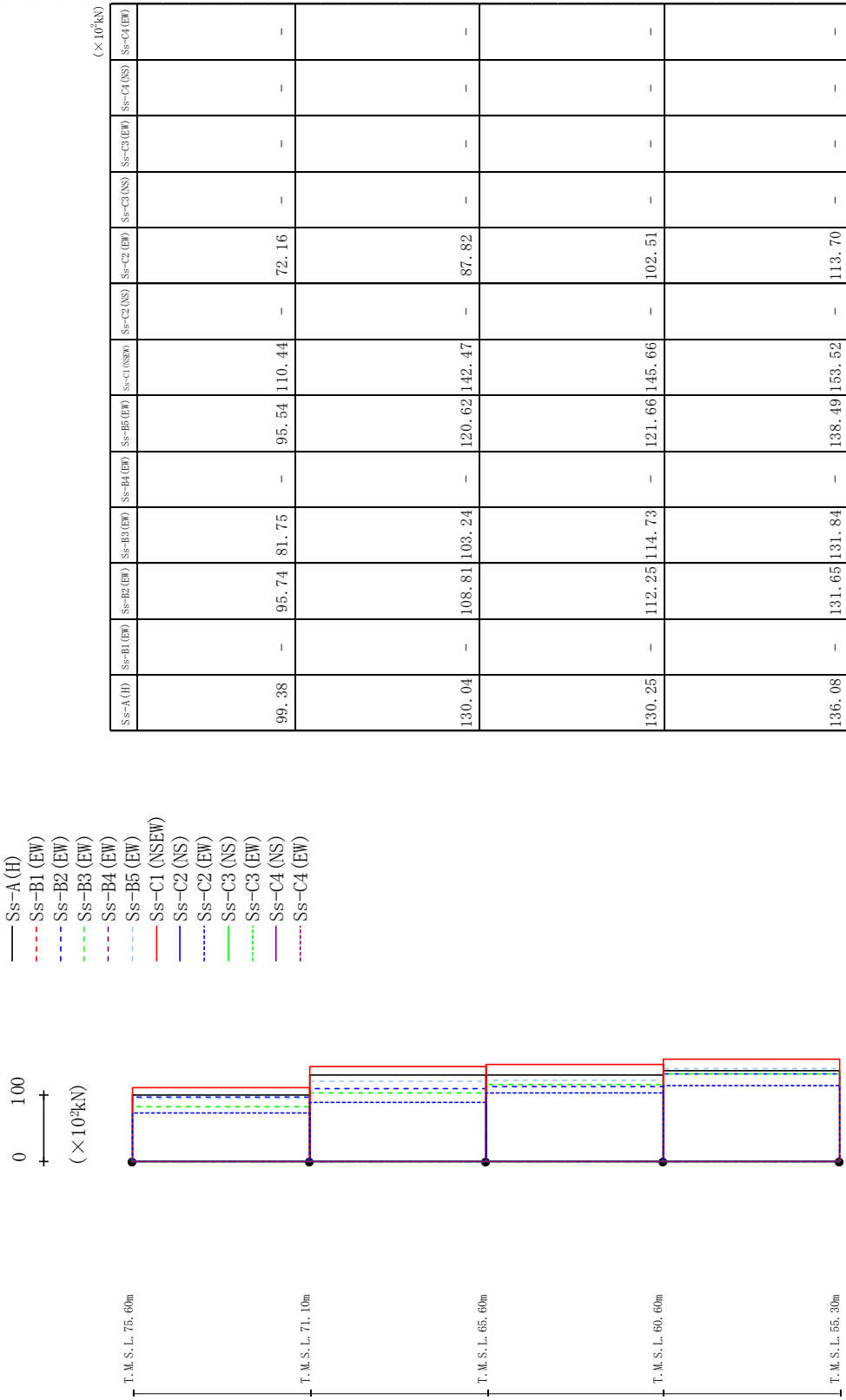
最大応答加速度 (EW方向)



Ss-A (H)	Ss-B1 (EW)	Ss-B2 (EW)	Ss-B3 (EW)	Ss-B4 (EW)	Ss-B5 (EW)	Ss-C1 (NSEE)	Ss-C2 (NS)	Ss-C2 (EW)	Ss-C3 (NS)	Ss-C3 (EW)	Ss-C4 (NS)	Ss-C4 (EW)
1388	1309	1111	1329	1562	989	1311	1544	723	-	-	-	-
1291	950	899	-	1311	1544	723	-	-	-	-	-	-
1725	966	938	-	1247	1970	669	-	-	-	-	-	-
1020	768	885	-	972	1245	559	-	-	-	-	-	-
557	496	435	-	543	715	343	-	-	-	-	-	-

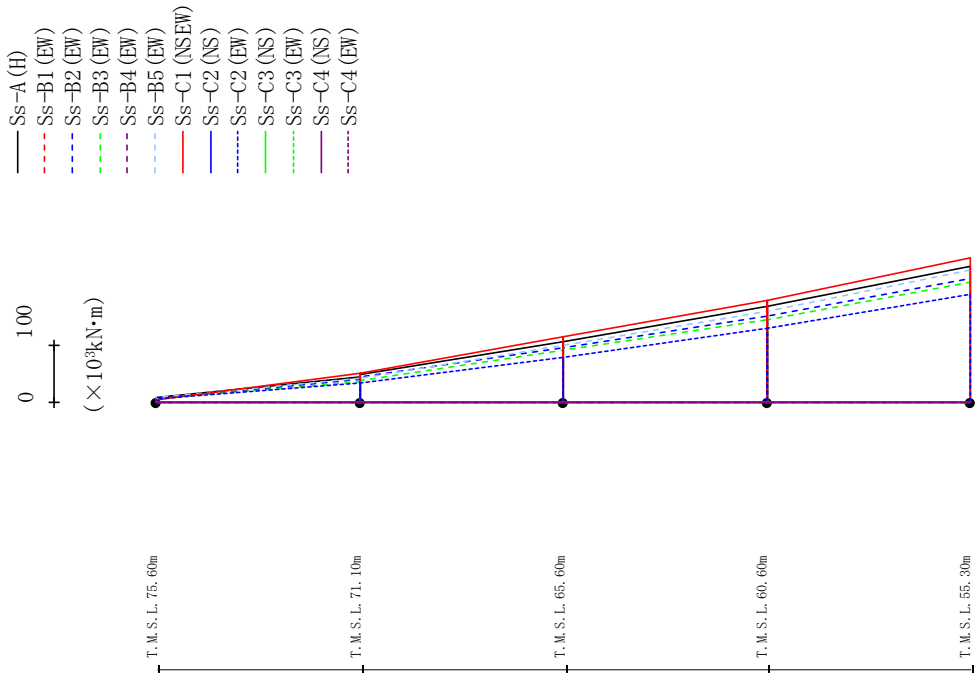
第4.2.2-21図 最大応答加速度 (-1σ地盤, EW方向, 有効応力解析)

最大応答せん断力 (EW方向)



第4.2.2-22図 最大応答せん断力 (-1σ地盤, EW方向, 有効応力解析)

最大応答曲げモーメント (EW方向)

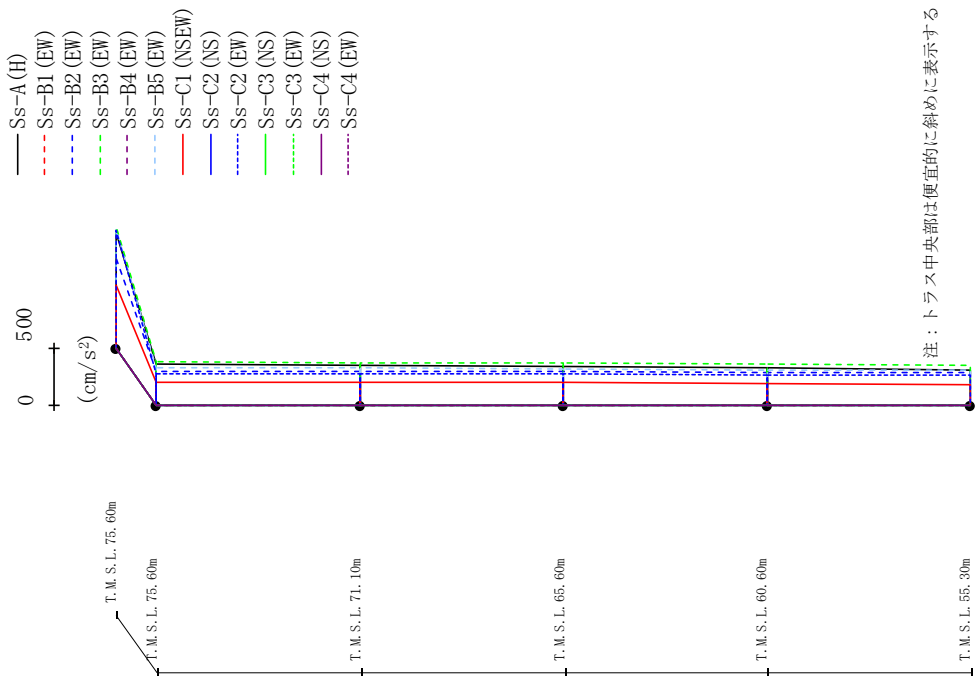


Ss-A (H)		Ss-B1 (EW)	Ss-B2 (EW)	Ss-B3 (EW)	Ss-B4 (EW)	Ss-B5 (EW)	Ss-C1 (NSEW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C2 (EW)	Ss-C3 (NS)	Ss-C3 (EW)	Ss-C4 (NS)	Ss-C4 (EW)
8.21	-	6.52	6.37	-	7.68	4.09	-	5.35	-	-	-	-	-
45.14	-	40.51	35.52	-	42.30	50.51	-	32.96	-	-	-	-	-
47.86	-	43.56	38.19	-	42.39	51.31	-	33.60	-	-	-	-	-
104.98	-	94.76	90.25	-	98.94	114.03	-	78.32	-	-	-	-	-
104.98	-	94.76	90.25	-	98.94	114.03	-	78.32	-	-	-	-	-
166.15	-	150.88	144.11	-	159.25	177.32	-	128.60	-	-	-	-	-
166.15	-	150.88	144.11	-	159.25	177.32	-	128.60	-	-	-	-	-
237.12	-	215.53	209.37	-	229.94	251.30	-	188.86	-	-	-	-	-

(× 10³ kN·m)

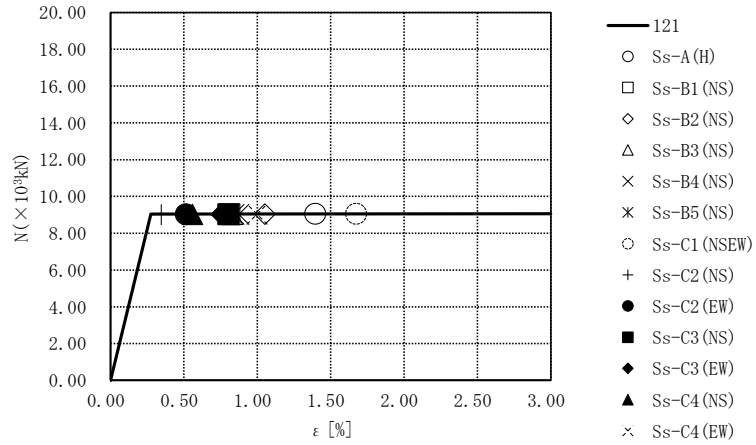
第4.2.2-23図 最大応答曲げモーメント (-1σ地盤, EW方向, 有効応力解析)

最大応答加速度 (UD方向)

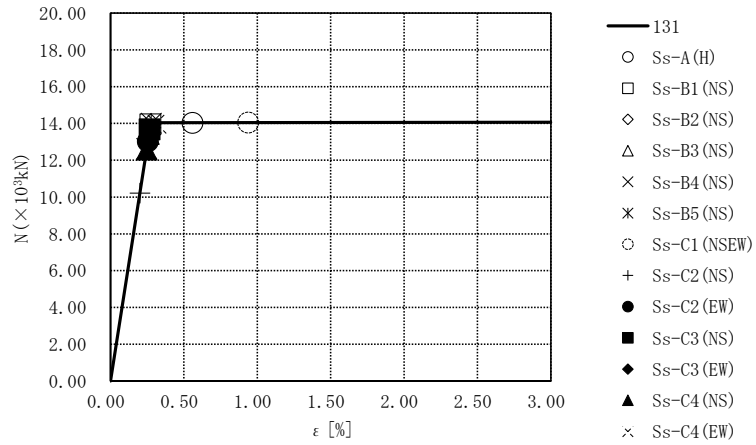


Ss-A (H)	Ss-B1 (EW)	Ss-B2 (EW)	Ss-B3 (EW)	Ss-B4 (EW)	Ss-B5 (EW)	Ss-C1 (NSEW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C3 (NS)	Ss-C4 (NS)	Ss-C1 (NSEW)	Ss-C2 (NS)	Ss-C3 (NS)	Ss-C4 (NS)	(cm/s ²)
998	781	1055	-	-	1030	542	-	1024	-	-	-	-	-	-
361	297	379	-	-	327	203	-	277	-	-	-	-	-	-
352	296	373	-	-	323	202	-	274	-	-	-	-	-	-
339	292	365	-	-	316	198	-	269	-	-	-	-	-	-
326	287	357	-	-	308	192	-	266	-	-	-	-	-	-
309	280	347	-	-	301	183	-	262	-	-	-	-	-	-

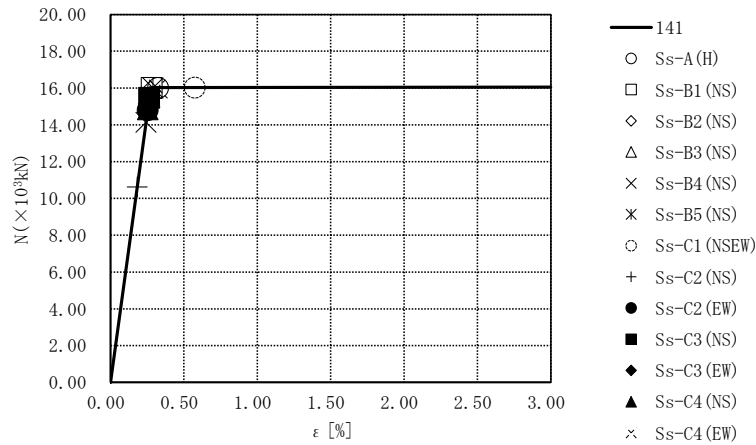
第4.2.2-24図 最大応答鉛直加速度 (-1σ地震, EW方向, 有効応力解析)



要素番号121

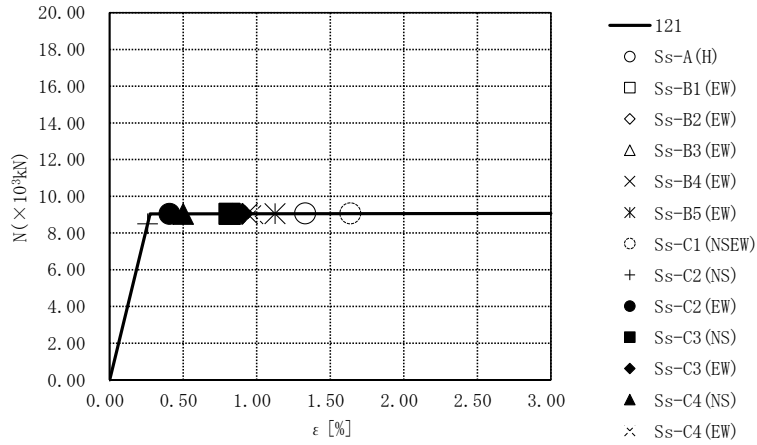


要素番号131

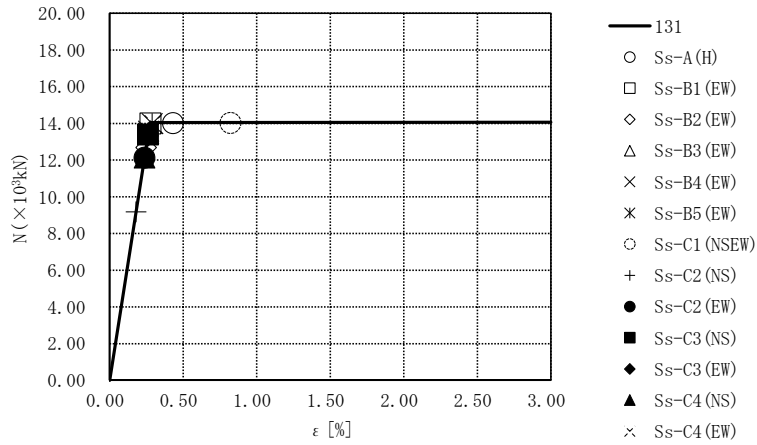


要素番号141

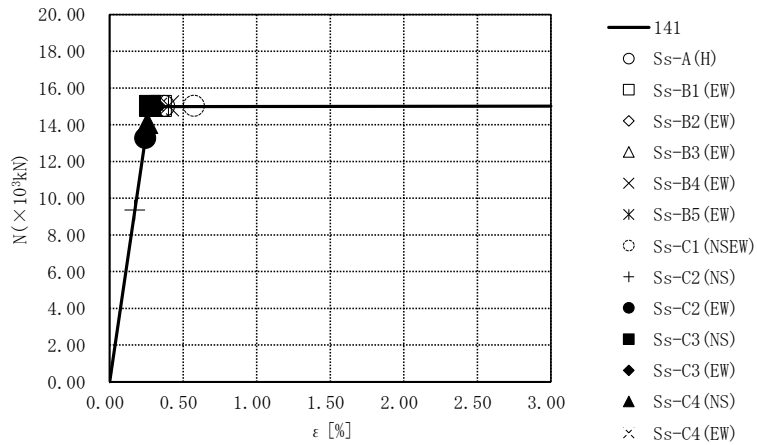
第4.2.2-25図 座屈拘束ブレースの荷重-ひずみ曲線
(基本ケース, NS方向, 有効応力解析)



要素番号121

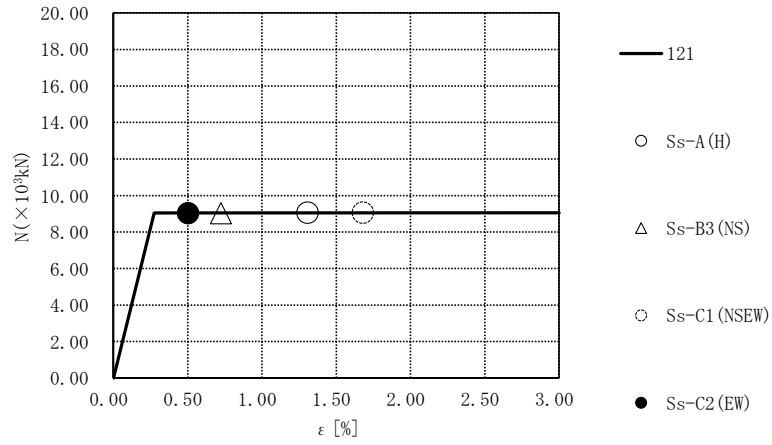


要素番号131

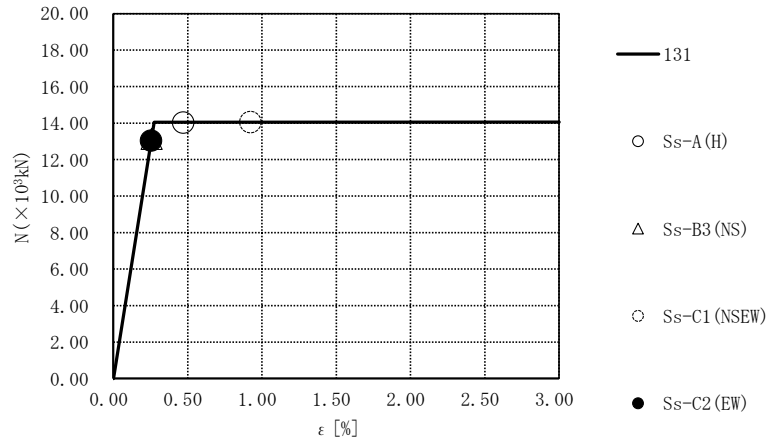


要素番号141

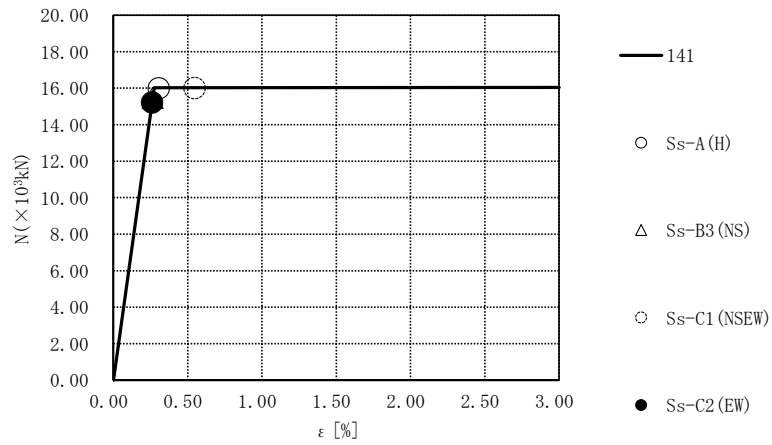
第4.2.2-26図 座屈拘束ブレースの荷重-ひずみ曲線
(基本ケース, EW方向, 有効応力解析)



要素番号121

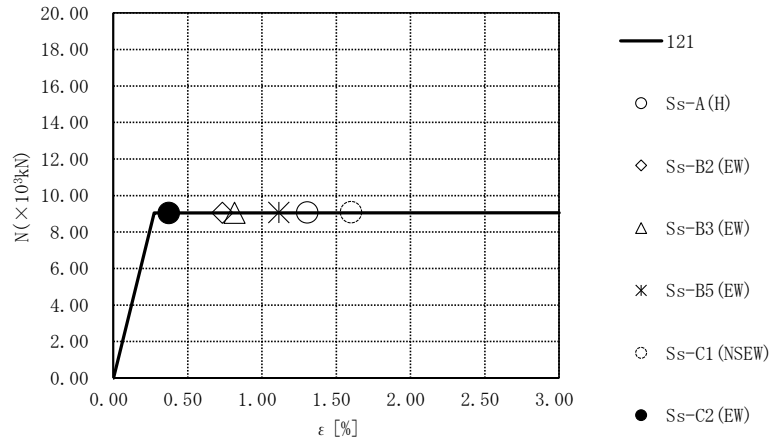


要素番号131

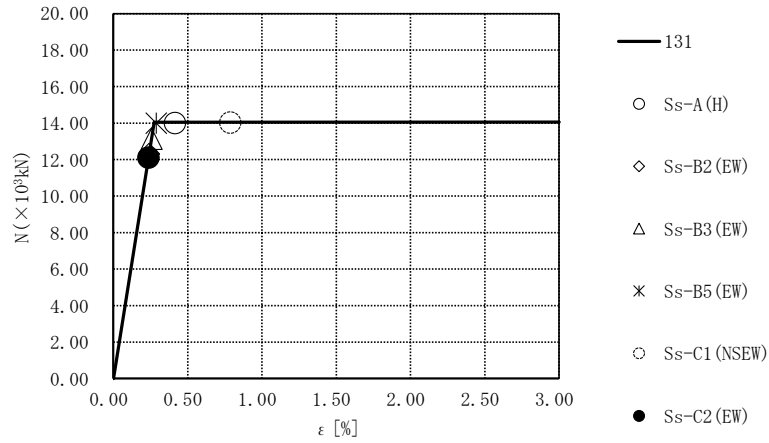


要素番号141

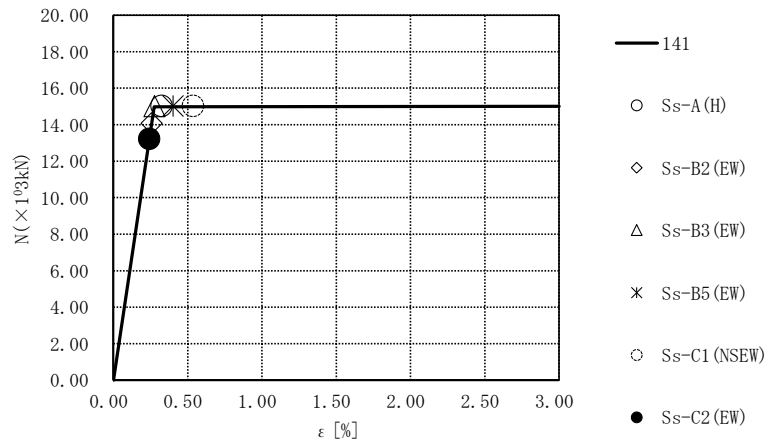
第4.2.2-27図 座屈拘束ブレースの荷重-ひずみ曲線
(+1 σ 地盤, NS方向, 有効応力解析)



要素番号121

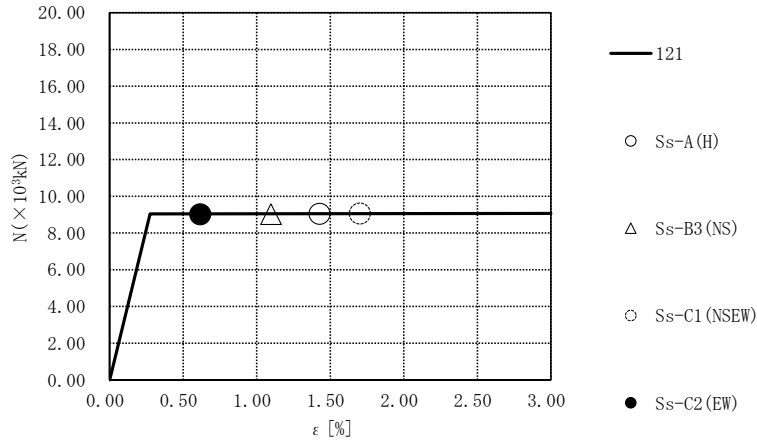


要素番号131

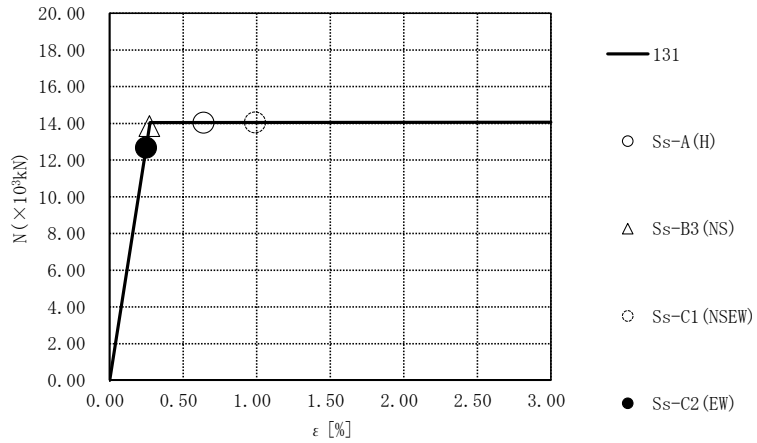


要素番号141

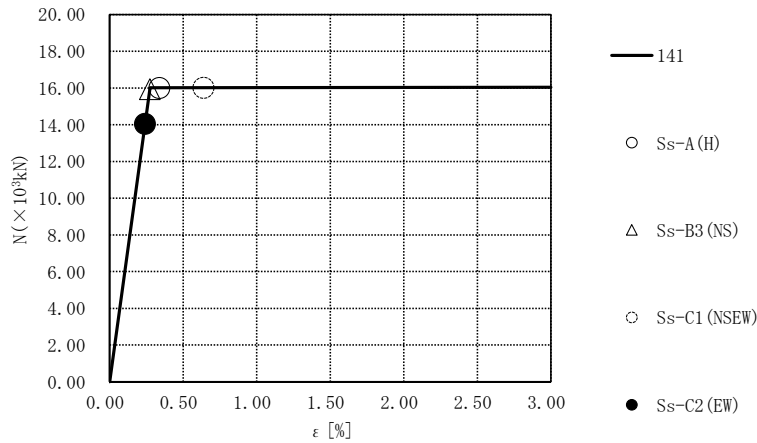
第4.2.2-28図 座屈拘束ブレースの荷重-ひずみ曲線
(+1 σ 地盤, EW方向, 有効応力解析)



要素番号121

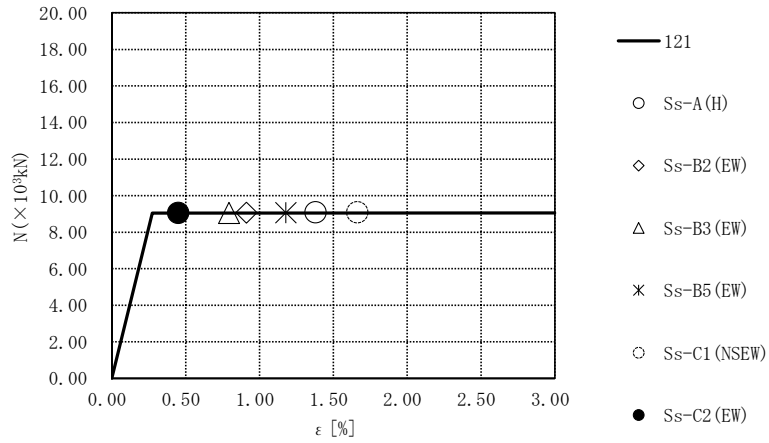


要素番号131

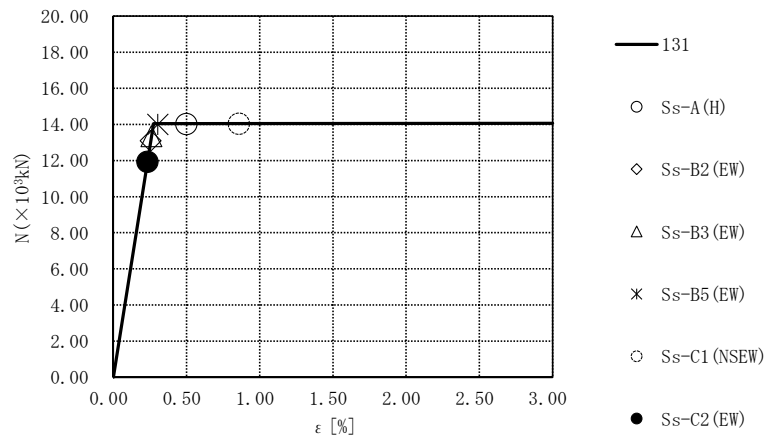


要素番号141

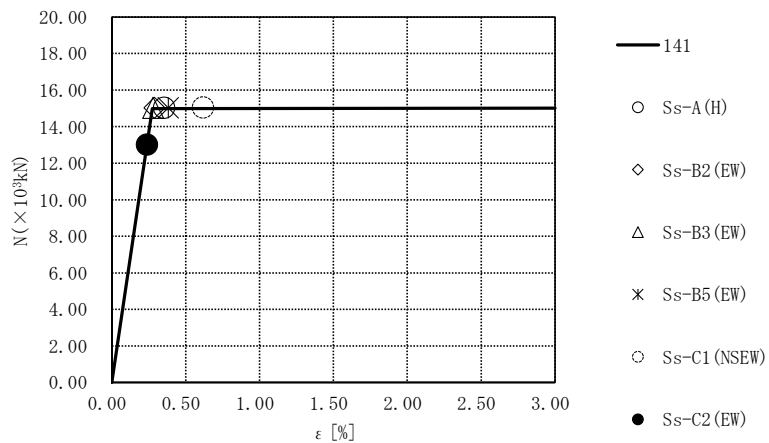
第4.2.2-29図 座屈拘束ブレースの荷重-ひずみ曲線
(-1σ 地盤, NS方向, 有効応力解析)



要素番号121

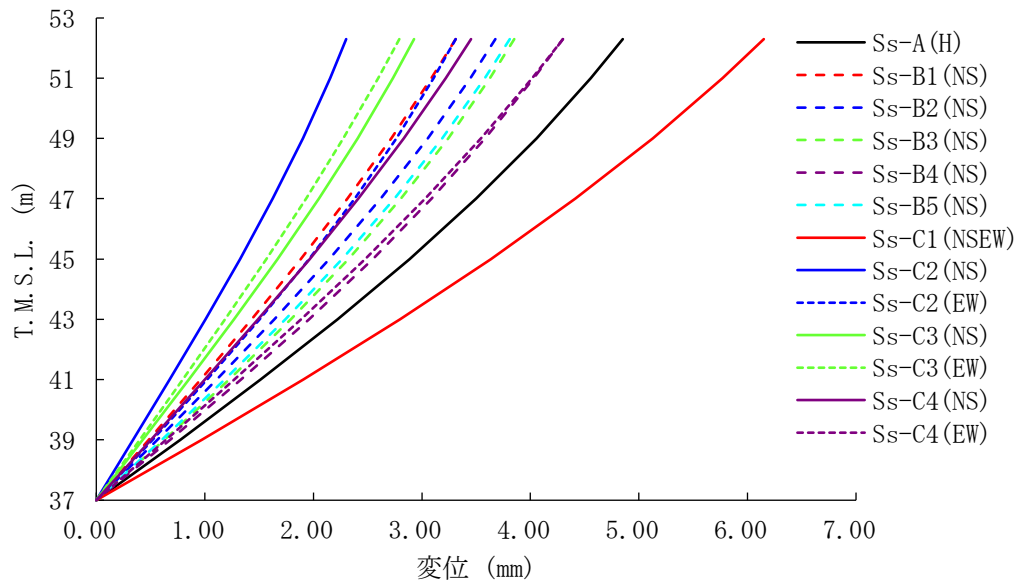


要素番号131

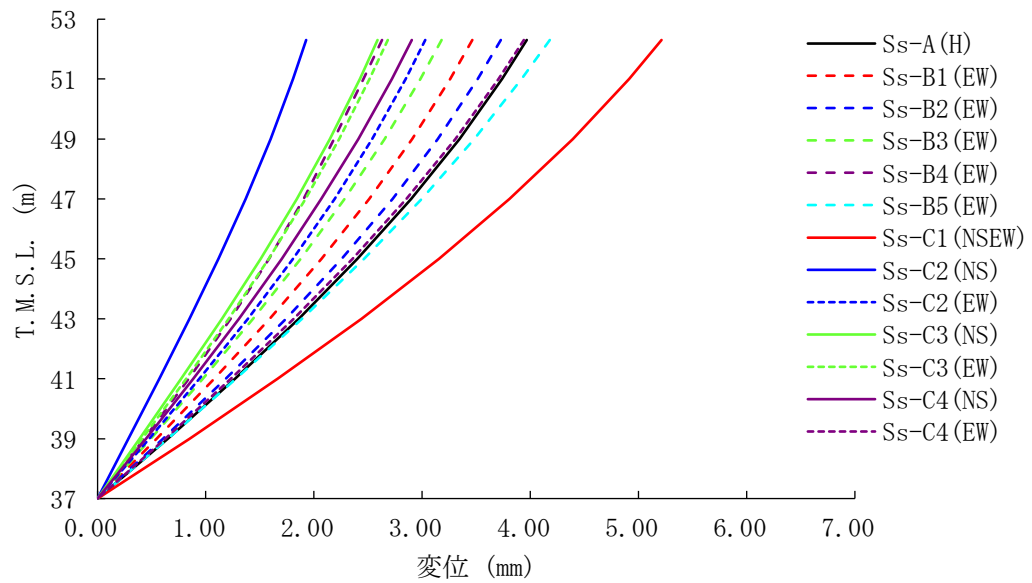


要素番号141

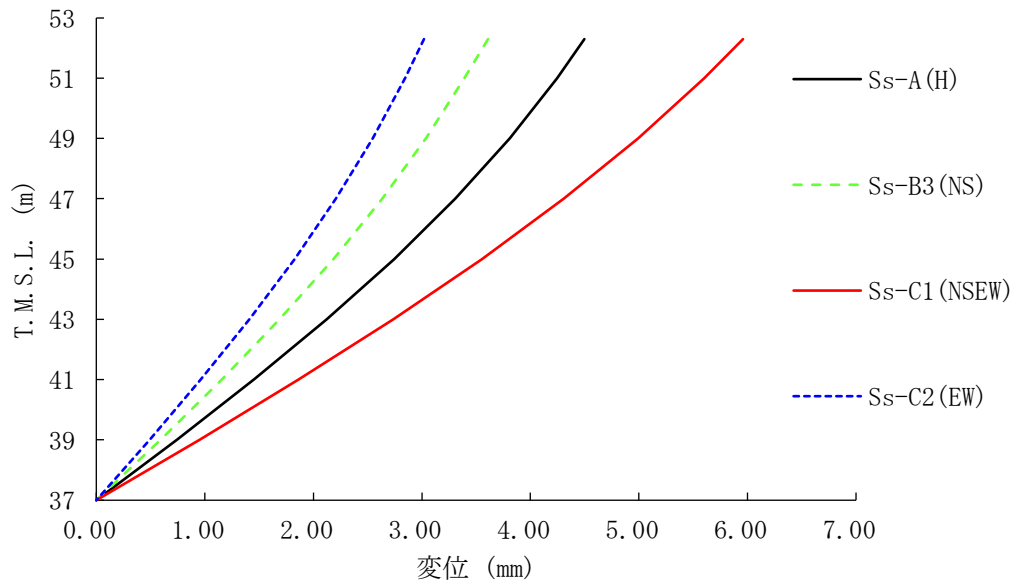
第4.2.2-30図 座屈拘束ブレースの荷重-ひずみ曲線
(-1σ 地盤, EW方向, 有効応力解析)



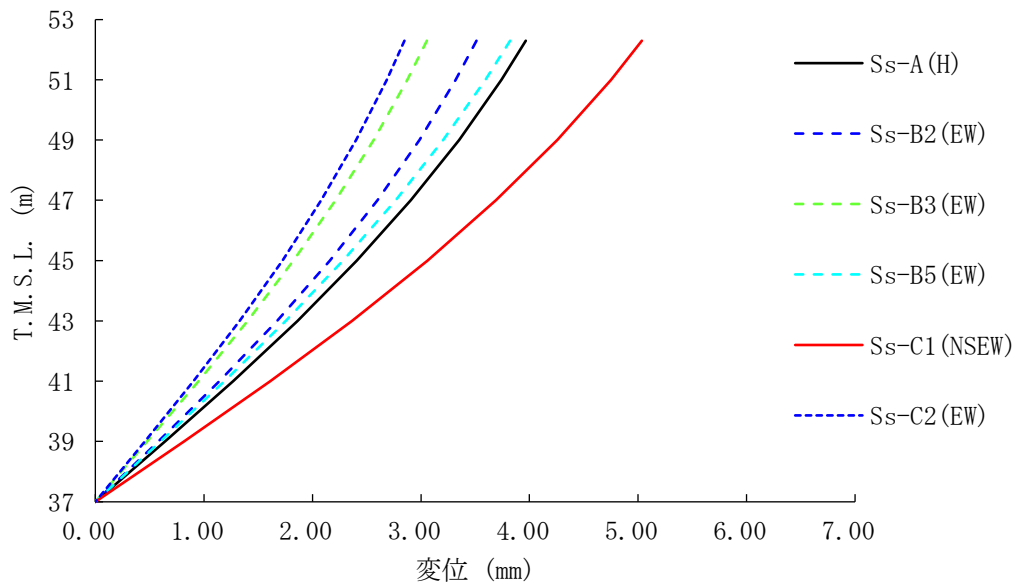
第4.2.2-31図 改良地盤の最大応答変位
(基本ケース, NS断面, 有効応力解析)



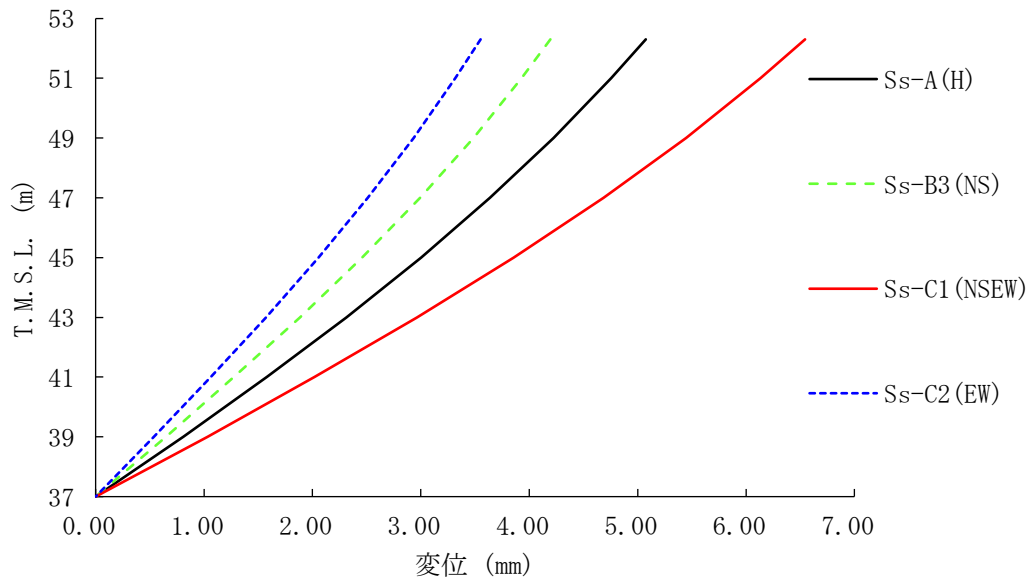
第4.2.2-32図 改良地盤の最大応答変位
(基本ケース, EW断面, 有効応力解析)



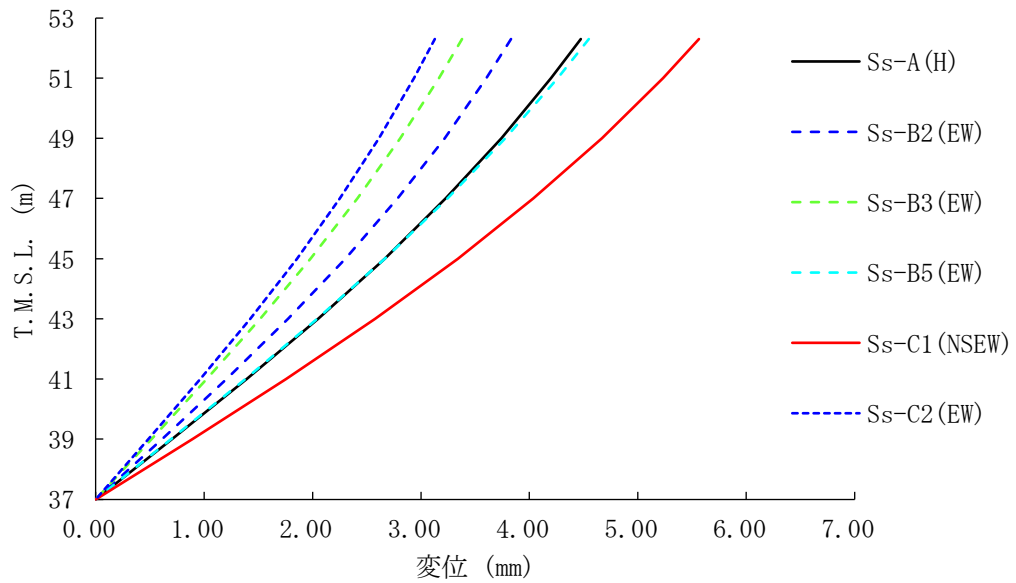
第4.2.2-33図 改良地盤の最大応答変位
(+1 σ 地盤, NS断面, 有効応力解析)



第4.2.2-34図 改良地盤の最大応答変位
(+1 σ 地盤, EW断面, 有効応力解析)



第4.2.2-35図 改良地盤の最大応答変位
(-1 σ 地盤, NS断面, 有効応力解析)



第4.2.2-36図 改良地盤の最大応答変位
(-1 σ 地盤, EW断面, 有効応力解析)

IV-2-2-2-1-2-1-2
飛来物防護ネット(再処理設備本体
用 安全冷却水系冷却塔 B)の耐震
計算書

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	10
2.4 準拠規格・基準等	12
3. 地震応答解析による評価方法	13
3.1 評価方針	13
3.2 評価方法	14
4. 応力解析による評価方法	16
4.1 評価対象部位及び評価方針	16
4.2 荷重及び荷重の組合せ	20
4.2.1 支持架構	21
4.2.2 基礎梁	22
4.2.3 杭	23
4.3 許容限界	24
4.4 評価方法	28
4.4.1 支持架構の評価方法	28
4.4.2 基礎梁の評価方法	38
4.4.3 杭の評価方法	45
5. 評価結果	49
5.1 地震応答解析による評価結果	49
5.2 応力解析による評価結果	51
5.2.1 支持架構の評価結果	51
5.2.2 基礎梁の評価結果	55
5.2.3 杭の評価結果	59

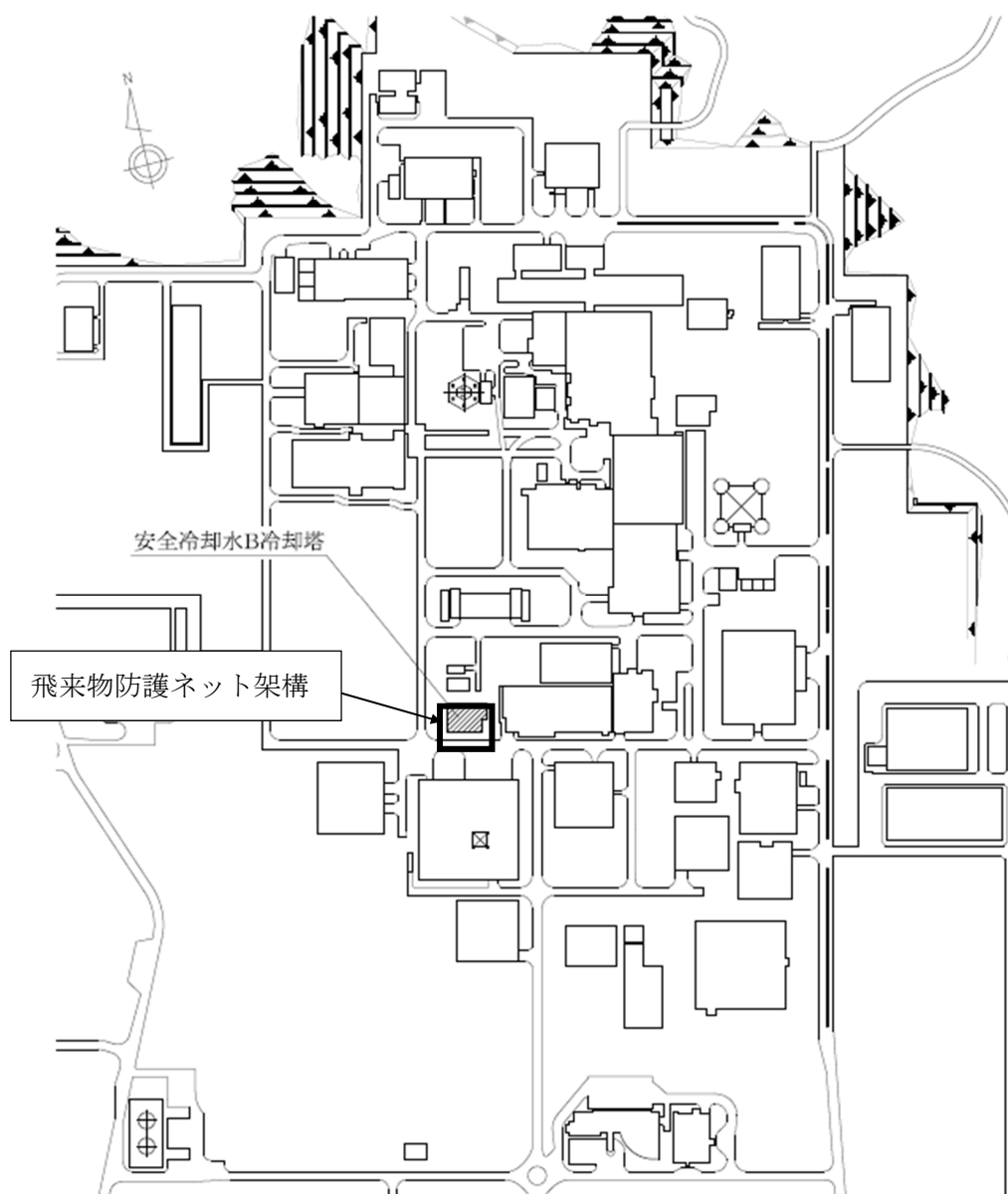
1. 概要

本資料は、添付書類「IV-2-2-1 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、屋外に設置される安全上重要な施設である竜巻防護対象施設を防護するための設備である飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)(以下、「飛来物防護ネット架構」という。)が基準地震動 S_s により安全冷却水B冷却塔(以下、「冷却塔」という。)に対して波及的影響を及ぼさないことを確認するものである。

2. 基本方針

2.1 位置

飛来物防護ネット架構の設置位置を第2.1-1図に示す。



第2.1-1図 飛来物防護ネット架構の設置位置

2.2 構造概要

飛来物防護ネット架構は、鉄骨造の支持架構、鉄筋コンクリート造の基礎梁及び杭によって構成される。

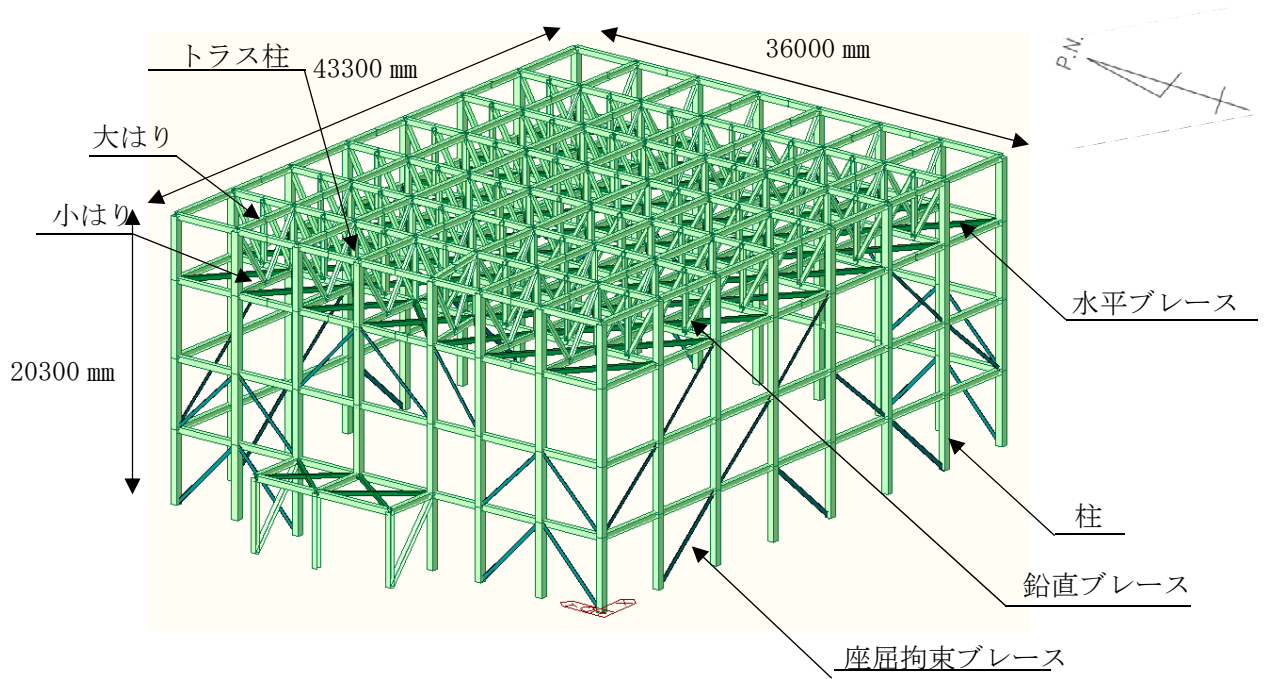
支持架構は、柱、大はり、小はり、トラス柱、鉛直ブレース及び水平ブレースからなるフレーム及び座屈拘束ブレースによって構成され、平面形状は、36.00m(NS方向)×47.90m(EW方向)であり、地上高さは、20.30mである。

座屈拘束ブレースは、中心鋼材を座屈拘束材(鋼管とモルタル)で拘束し、繰り返し作用する地震荷重に対して、安定的に塑性化することでエネルギーを吸収することにより、フレームに作用する荷重を低減するものであり、支持架構にねじれが生じないように配置している。なお、採用した座屈拘束ブレースは、平成12年建設省告示1461号の制振部材及び平成17年国土交通省告示第631号のエネルギー吸収部材に係る評定を受けたものである。

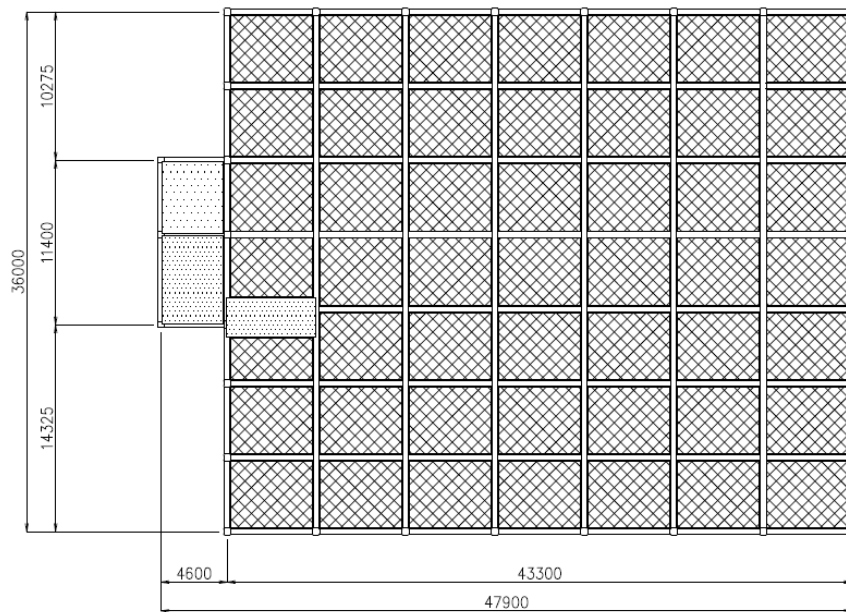
基礎梁は厚さ3.00mの鉄筋コンクリート造であり、支持地盤である岩盤に場所打ちコンクリート杭(外径1.00m及び1.50m、杭長16.80m及び17.80m、113本)を介して設置している。また、液状化対策として飛来物防護ネット架構下部の支持地盤以浅の地盤はセメント系の地盤改良を実施している。

なお、飛来物防護ネット架構は防護対象となる冷却塔と構造的に分離している。

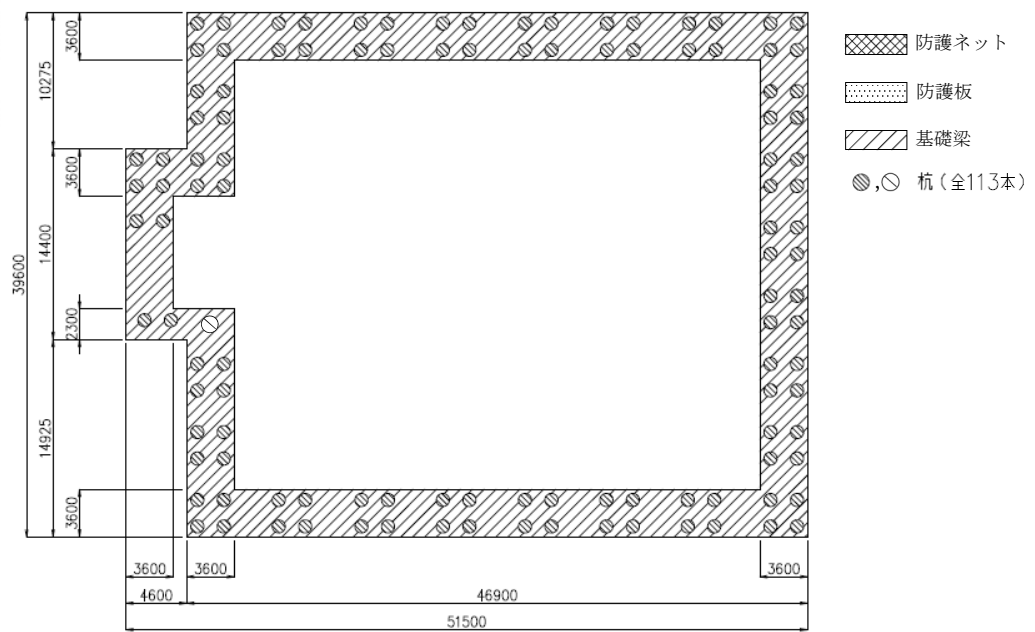
支持架構の全景を第2.2-1図に、屋根伏図及び杭伏図を第2.2-2図に、概略側面図を第2.2-3図に、基礎梁及び杭の断面図を第2.2-4図に示す。



第2.2-1図 支持架構の全景



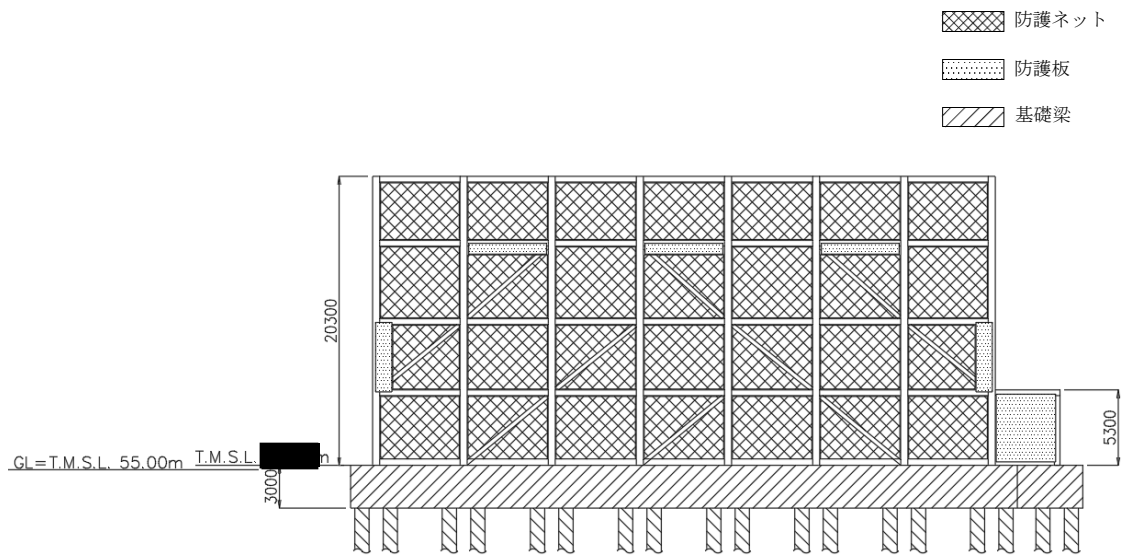
(a) 屋根伏図



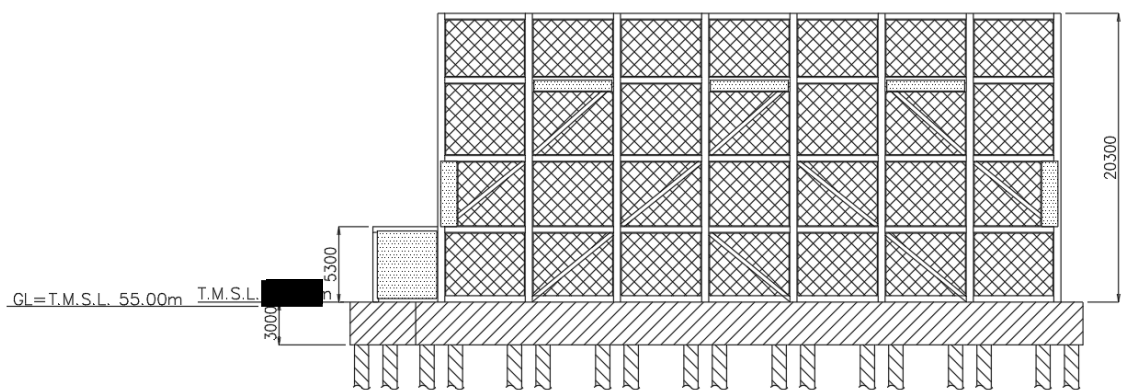
(b) 杭伏図

(単位：mm)

第2.2-2図 飛来物防護ネット架構の屋根伏図及び杭伏図



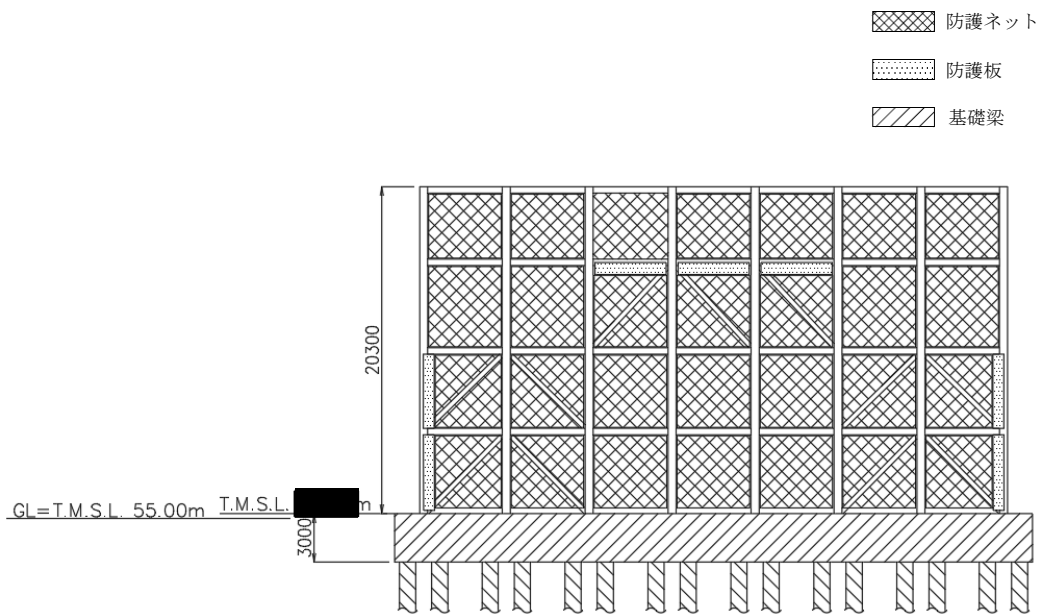
(a) 北面



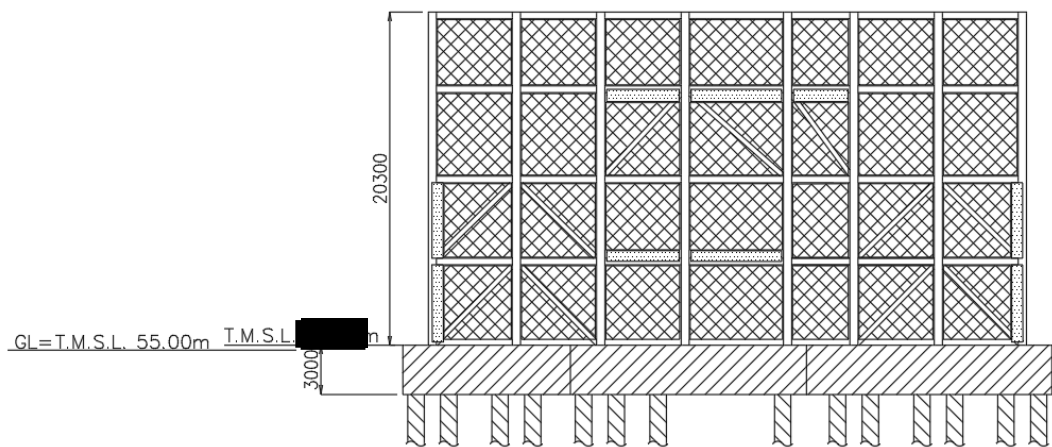
(b) 南面

(単位：mm)

第2.2-3図 飛来物防護ネット架構の概略側面図(1/2)



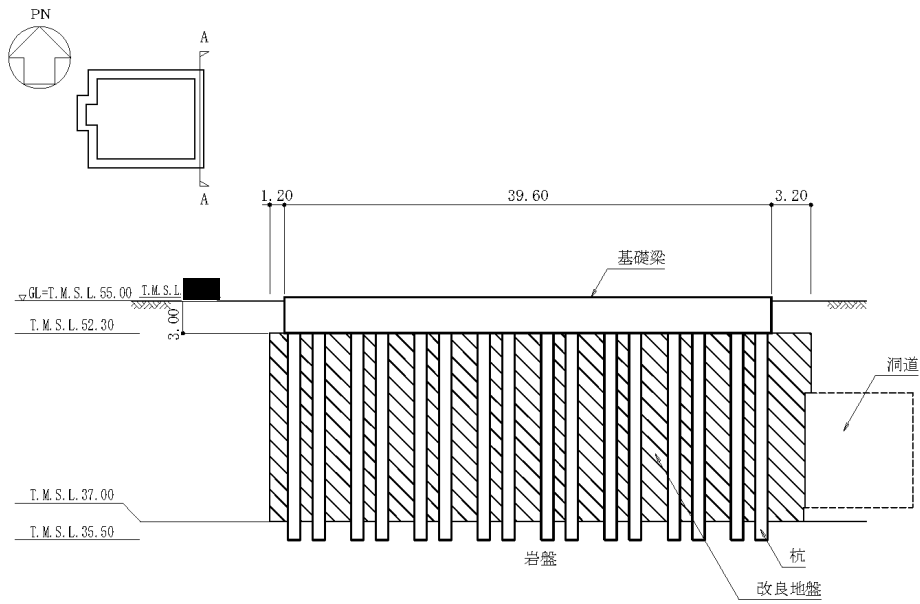
(c) 東面



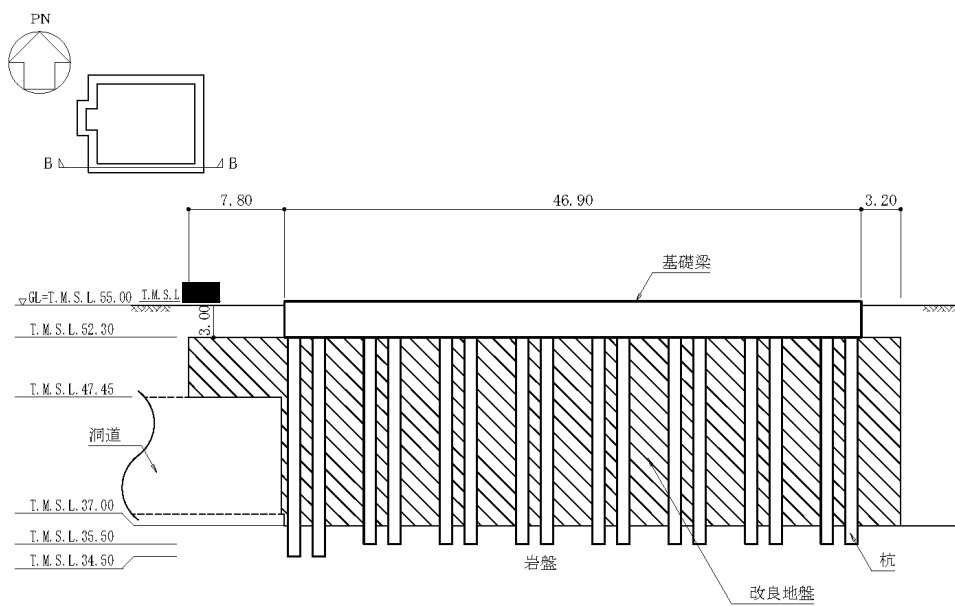
(d) 西面

(単位：mm)

第2.2-3図 飛来物防護ネット架構の概略側面図(2/2)



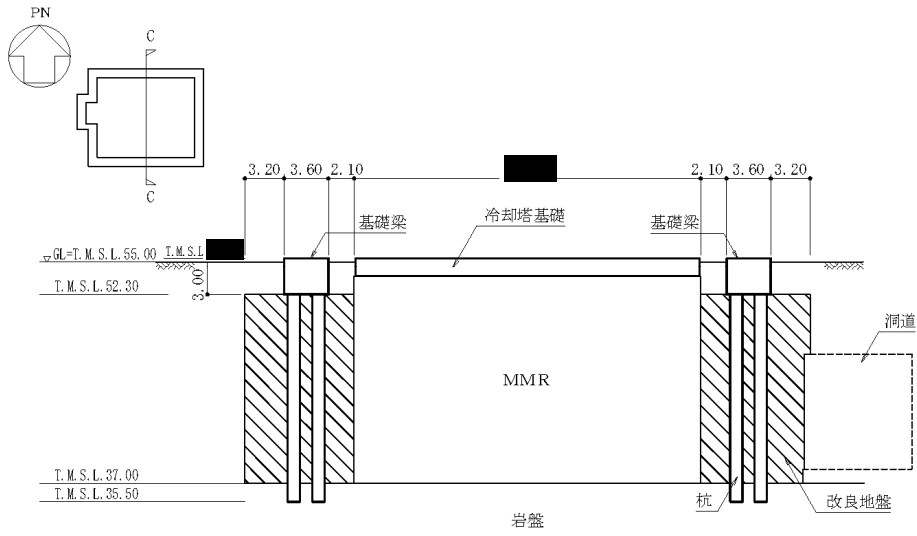
(a) A-A 断面図 (NS 方向)



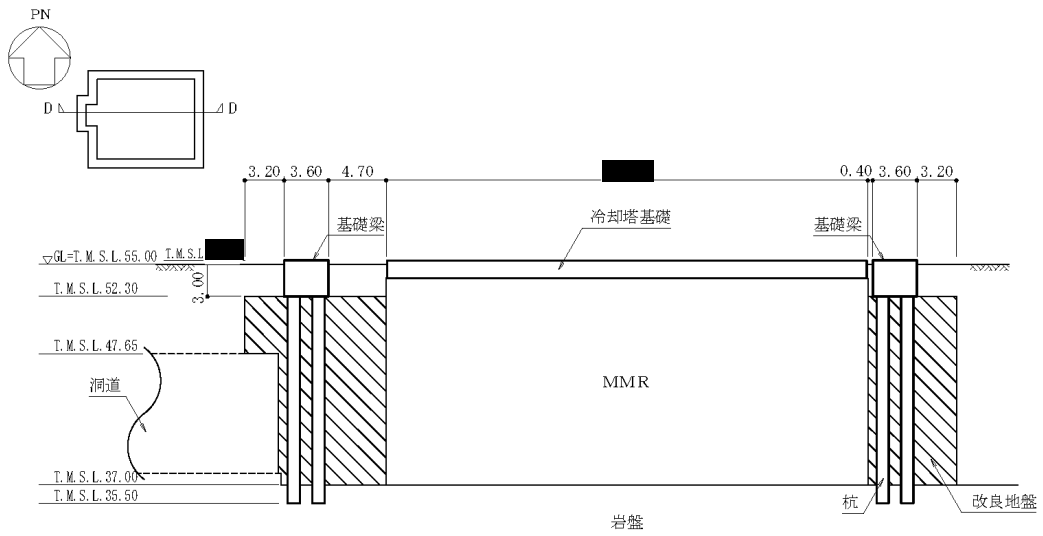
(b) B-B 断面図 (EW 方向)

(単位 : m)

第2.2-4図 基礎梁及び杭の断面図(1/2)



(c) C-C 断面図 (NS 方向)



(d) D-D 断面図 (EW 方向)

(単位：m)

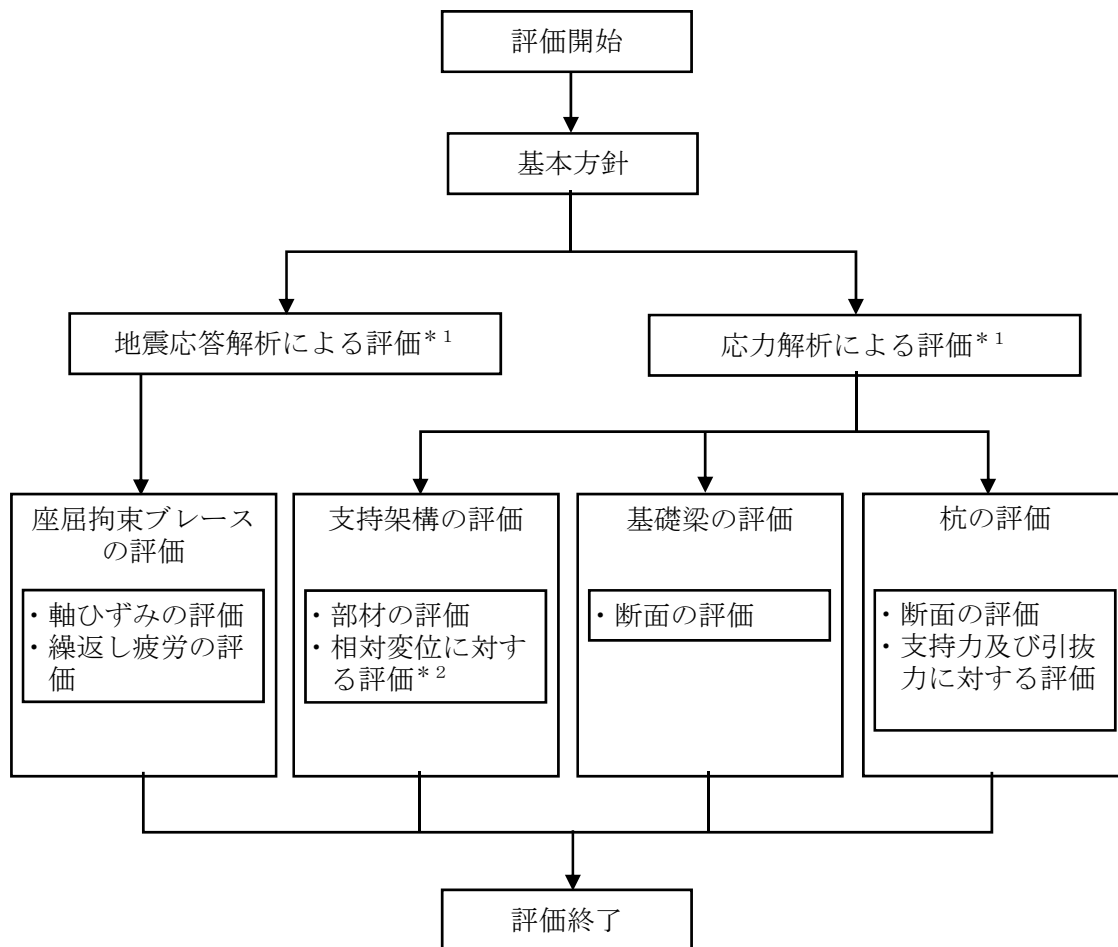
第2.2-4図 基礎梁及び杭の断面図(2/2)

2.3 評価方針

飛来物防護ネット架構の波及的影響評価においては、基準地震動 S_s による地震力(以下、「 S_s 地震時」という。)に対する評価を行うこととする。評価は、添付書類「IV-2-2-2-1-2-1-1 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。飛来物防護ネット架構の波及的影響評価は、添付書類「IV-2-2-1 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、地震応答解析及び応力解析により施設の損傷、転倒及び落下の観点並びに相対変位の観点で冷却塔への波及的影響の評価を行う。評価に当たっては地盤物性のばらつきを考慮する。

地震応答解析による評価においては、座屈拘束ブレースの評価を、応力解析による評価においては、支持架構、基礎梁及び杭の評価を行う。支持架構の評価における相対変位に対する評価においては、添付書類「IV-2-1-2-1-1-1 安全冷却水B冷却塔の耐震計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

飛来物防護ネット架構の波及的影響評価フローを第2.3-1図に示す。



注記 *1 : 添付書類「IV-2-2-2-1-2-1-1 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

*2 : 添付書類「IV-2-1-2-1-1-1 安全冷却水B冷却塔の耐震計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

第2.3-1図 飛来物防護ネット架構の波及的影響評価フロー

2.4 準拠規格・基準等

飛来物防護ネット架構の波及的影響評価において、準拠する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令・同告示
- ・ 日本産業規格
- ・ 鋼構造設計規準((社)日本建築学会, 2005)(以下, 「S規準」という。)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ―許容応力度設計法― ((社)日本建築学会, 1999)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社)日本建築学会, 2005)(以下, 「RC-N規準」という。)
- ・ 建築基礎構造設計指針((社)日本建築学会, 2001)(以下, 「基礎指針」という。)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987((社)日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984 ((社)日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版((社)日本電気協会)

3. 地震応答解析による評価方法

3.1 評価方針

地震応答解析による評価は、添付書類「IV-2-2-2-1-2-1-1 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の地震応答計算書」に基づき、地盤物性のばらつきを考慮した座屈拘束ブレースの軸ひずみ及び繰返し疲労が許容限界を超えないことを確認する。

地震応答解析による評価における飛来物防護ネット架構の許容限界は、添付書類「IV-2-2-1 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に記載の許容限界に基づき、第3.1-1表のとおり設定する。

第3.1-1表 地震応答解析による評価における許容限界

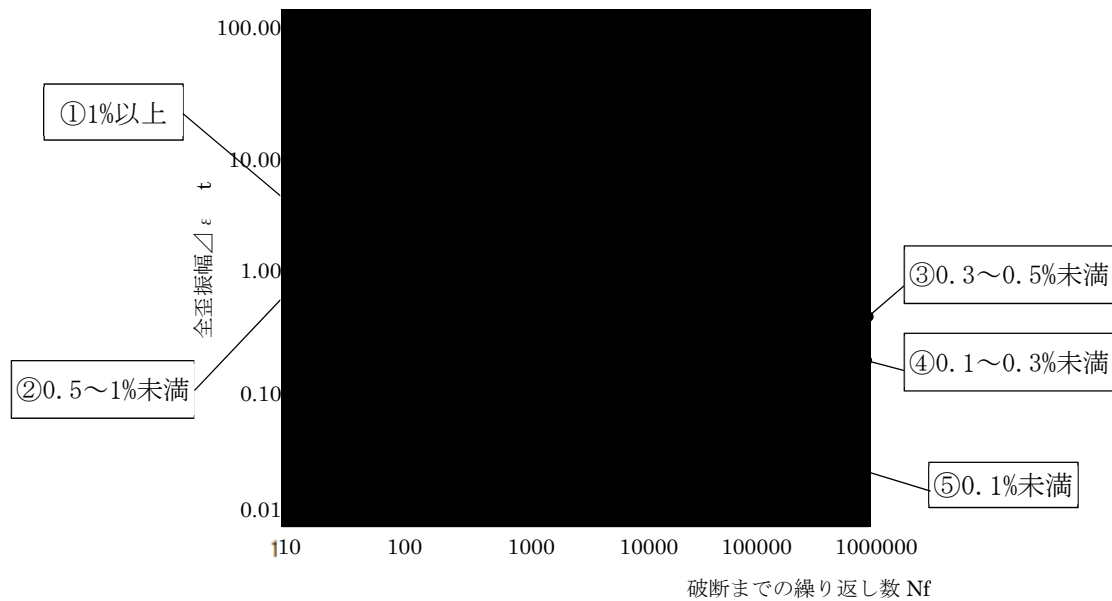
設計の観点	地震力	部位	許容限界設定の考え方	許容限界 (評価基準値)
損傷、転倒 及び落下	基準地震動 S s	座屈拘束 ブレース	軸ひずみが施設の構造を保つための許容限界を超えないことを確認	軸ひずみ 3.0%*
			繰返し疲労が施設の構造を保つための許容限界を超えないことを確認	疲労係数総和 1

注記 *：日本建築センターの評定書（BCJ評定-ST0126-06）に基づき設定する。

3.2 評価方法

軸ひずみの評価については、地震応答解析にて算出される軸ひずみの時刻歴から最大軸ひずみを算出し、許容限界である3.0%を超えないことを確認する。

繰返し疲労の評価については、地震応答解析にて算出される軸ひずみの時刻歴を用いて、座屈拘束ブレースの疲労性能曲線からひずみ振幅を5種類に分類して疲労係数を算出し、許容限界である疲労係数総和1を超えないことを確認する。座屈拘束ブレースの疲労性能曲線を第3.2-1図に、疲労係数算出方法を第3.2-1表に示す。



第3.2-1図 座屈拘束ブレースの疲労性能曲線

第3.2-1表 疲労係数算出方法

分類(ひずみ振幅)		疲労係数算出方法
①	1%以上	1%以上のひずみ振幅回数を算出し、最大ひずみ振幅の許容繰返し回数に対する比率を算出。
②	0.5%以上, 1%未満	0.5%以上, 1%未満のひずみ振幅回数を算出し、1%ひずみ振幅の許容繰返し回数に対する比率を算出。
③	0.3%以上, 0.5%未満	0.3%以上, 0.5%未満のひずみ振幅回数を算出し、0.5%ひずみ振幅の許容繰返し回数に対する比率を算出。
④	0.1%以上, 0.3%未満	0.1%以上, 0.3%未満のひずみ振幅回数を算出し、0.3%ひずみ振幅の許容繰返し回数に対する比率を算出。
⑤	0.1%未満(疲労限以下)	疲労評価の対象外とする。*

注記 * : 許容繰返し回数(100万回以上)が非常に大きいことから疲労評価の対象外とする。

4. 応力解析による評価方法

4.1 評価対象部位及び評価方針

飛来物防護ネット架構の応力解析による評価対象部位は、支持架構、基礎梁及び杭とし、S s地震時に対して以下の方針に基づき評価を行う。

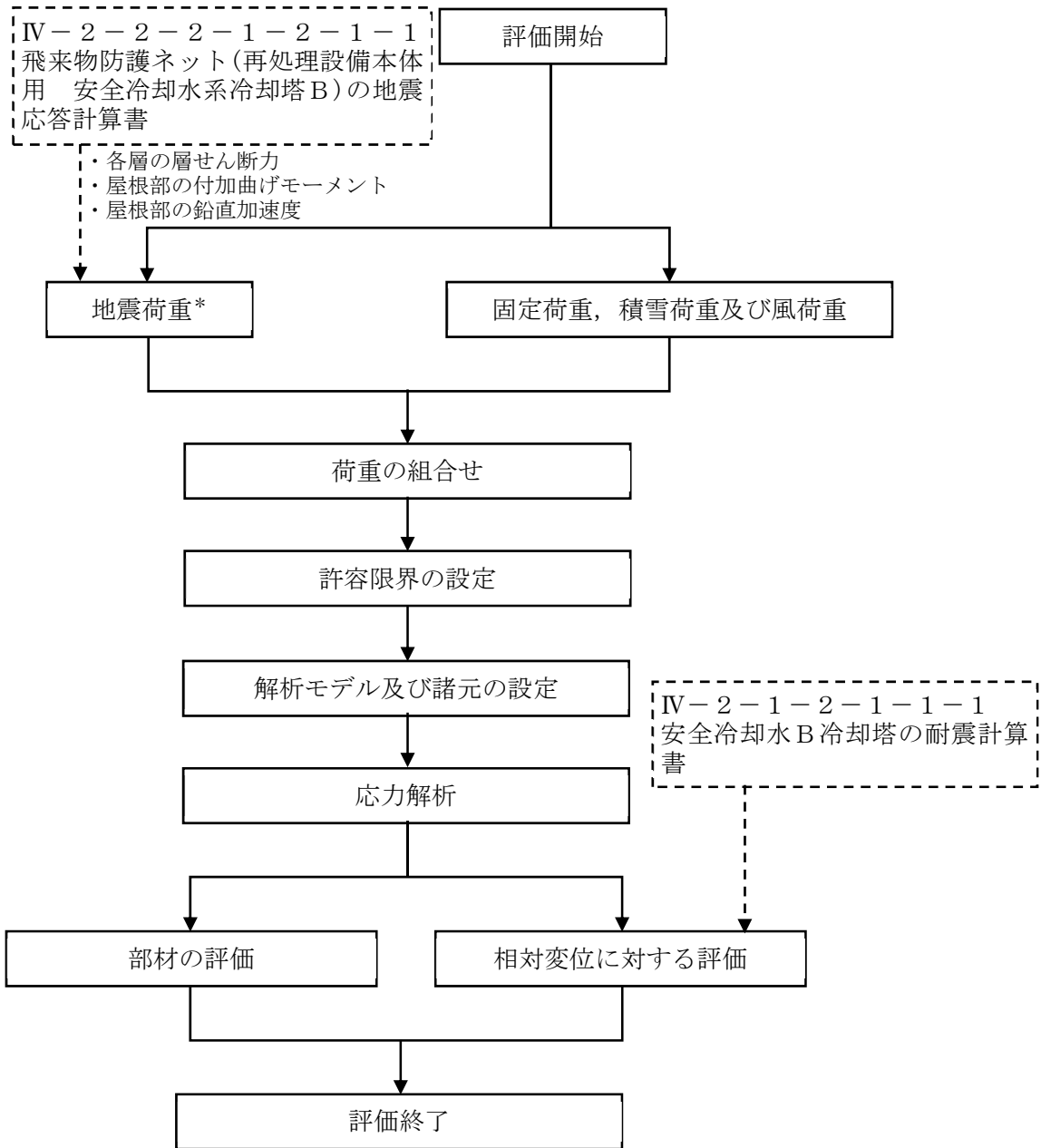
応力解析に当たっては、添付書類「IV-2-2-2-1-2-1-1 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の地震応答計算書」より得られた結果を用いて、荷重の組合せを行う。また、地震荷重の設定においては、地盤物性のばらつきを考慮する。

支持架構の評価は、3次元フレームモデルを用いた静的弾塑性応力解析によることとし、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が「S規準」に基づき設定した終局強度を超えないこと及び相対変位が施設間の離隔距離を超えないことを確認する。相対変位に対する評価においては、添付書類「IV-2-1-2-1-1-1 安全冷却水B冷却塔の耐震計算書」より得られた結果を用いる。

基礎梁の評価は、FEMモデルを用いた静的弾性応力解析によることとし、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が「RC-N規準」に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

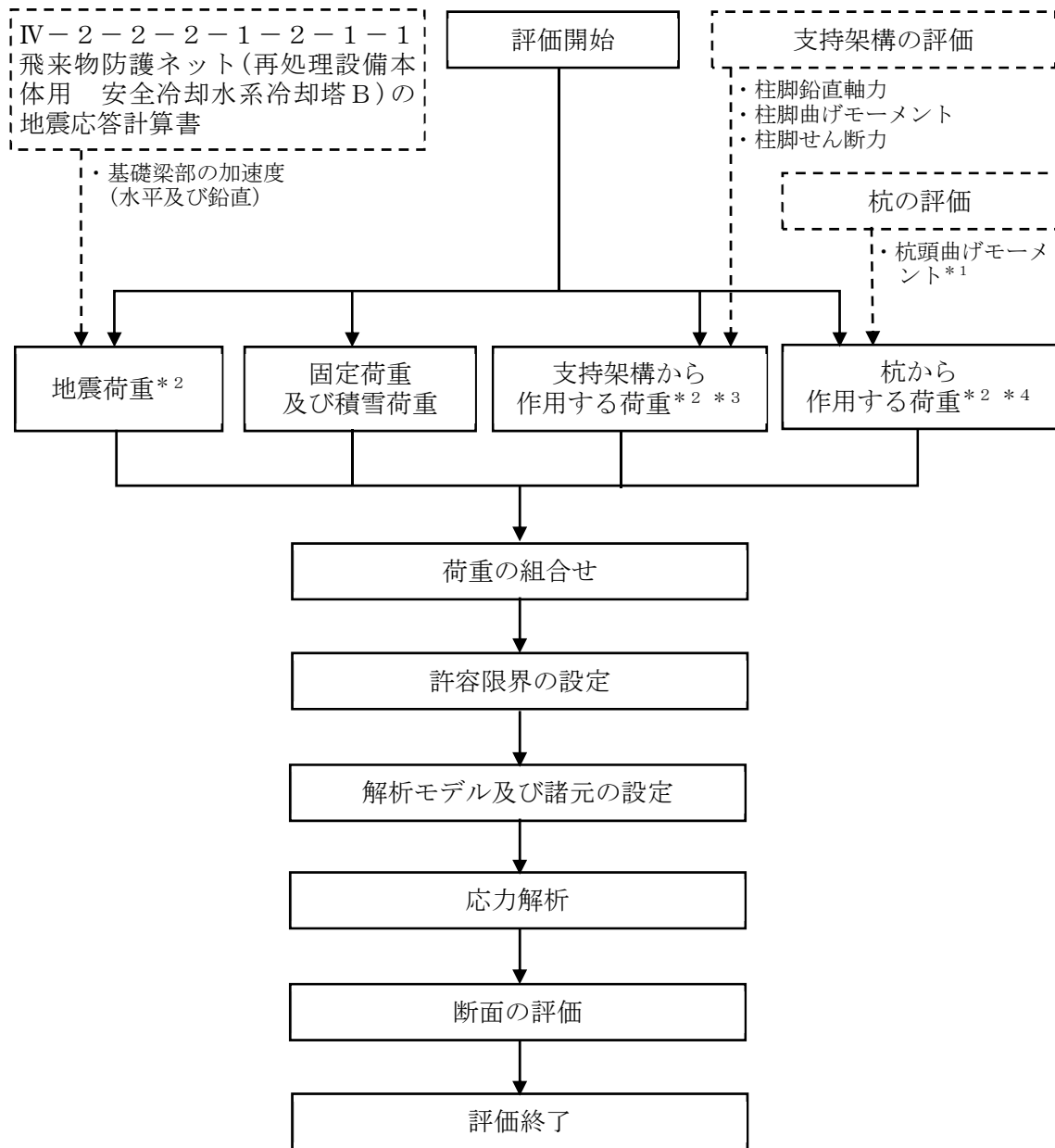
杭の評価は、地震応答解析結果を用いた応力解析、地震応答解析結果及び支持架構の評価結果を用いた応力計算並びに基礎梁の評価結果により応力を算定し、組み合わせた応力が「基礎指針」に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

支持架構、基礎梁及び杭の応力解析による評価フローを、それぞれ第4.1-1図、第4.1-2図及び第4.1-3図に示す。



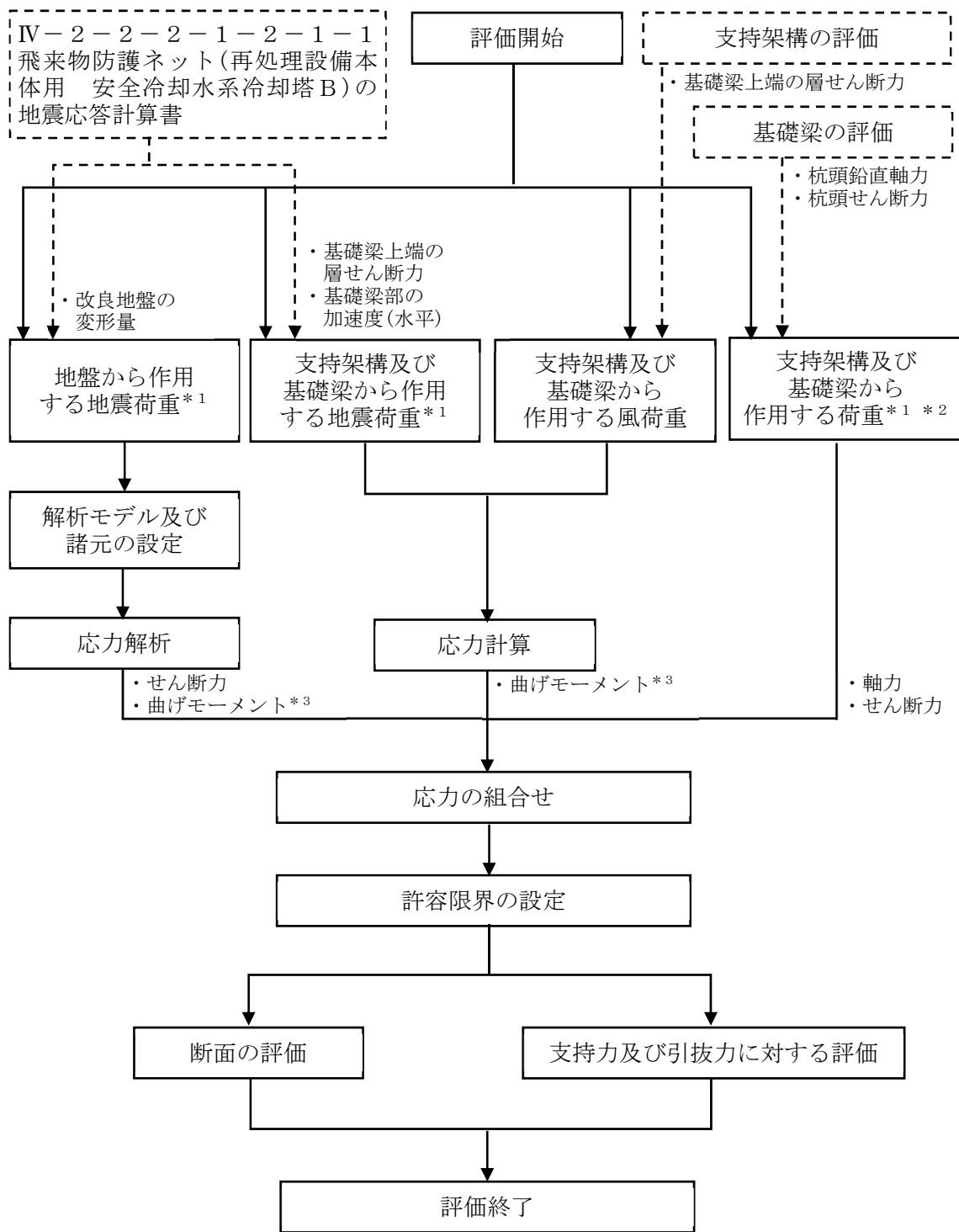
注記 * : 地盤物性のばらつきを考慮する。

第4.1-1図 支持架構の応力解析による評価フロー



- 注記 * 1 : 第4.1-3図における「応力解析」及び「応力計算」により算定する杭の「曲げモーメント」のうち、杭頭の曲げモーメントを用いる。
- * 2 : 地盤物性のばらつきを考慮する。
- * 3 : 固定荷重，積雪荷重，地震荷重及び風荷重を含む。
- * 4 : 地震荷重及び風荷重を含む。

第4.1-2図 基礎梁の応力解析による評価フロー



注記 *1 : 地盤物性のばらつきを考慮する。

*2 : 固定荷重, 積雪荷重, 地震荷重及び風荷重を含む。

*3 : これらの「曲げモーメント」のうち杭頭の曲げモーメントを第4.1-2図における「杭頭曲げモーメント」に用いる。

第4.1-3図 杭の応力解析による評価フロー

4.2 荷重及び荷重の組合せ

各部位の評価における荷重及び荷重の組合せは、添付書類「IV-2-2-1 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。

4.2.1 支持架構

支持架構の評価において考慮する荷重を第4.2.1-1表に、荷重の組合せを第4.2.1-2表に示す。

第4.2.1-1表 考慮する荷重

荷重名称	内容
固定荷重(D)	構造物(支持架構等)の自重
積雪荷重(Ls)	積雪量190cm 地震荷重と組み合わせる場合は0.35の係数を乗じた値とする。
地震荷重(Ss)	地震応答解析結果による地震荷重 <ul style="list-style-type: none"> ・各層の層せん断力 ・屋根部の付加曲げモーメント ・屋根部の鉛直加速度より設定する鉛直震度
風荷重(W _L)	建築基準法・同施行令・同告示による風荷重

第4.2.1-2表 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S s 地震時	$D + 0.35L_s + S_s + W_L$

4.2.2 基礎梁

基礎梁の評価において考慮する荷重を第4.2.2-1表に、荷重の組合せを第4.2.2-2表に示す。

第4.2.2-1表 考慮する荷重

荷重名称	内容
固定荷重(D)	構造物(基礎梁)の自重
積雪荷重(Ls)	積雪量190cm 地震荷重と組み合わせる場合は0.35の係数を乗じた値とする。
地震荷重(Ss)	地震応答解析結果による地震荷重 ・基礎梁部の加速度(水平及び鉛直)より設定する震度 支持架構の評価結果による荷重*1 ・柱脚鉛直軸力 ・柱脚曲げモーメント ・柱脚せん断力 杭の評価結果による荷重*2 ・杭頭曲げモーメント
風荷重(W _L)	建築基準法・同施行令・同告示の規定による風荷重*3

注記 *1：支持架構に作用する固定荷重，積雪荷重，地震荷重及び風荷重を含む。

*2：杭に作用する地震荷重及び風荷重を含む。

*3：支持架構の評価において支持架構に作用する風荷重を考慮しているため，本表の「地震荷重(Ss)」のうち「支持架構の評価結果による荷重」により，基礎梁に風荷重が考慮される。

第4.2.2-2表 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S s 地震時	$D + 0.35Ls + Ss + W_L$

4.2.3 杭

杭の評価において考慮する荷重を第4.2.3-1表に、荷重の組合せを第4.2.3-2表に示す。

第4.2.3-1表 考慮する荷重

荷重名称	内容
固定荷重(D)	構造物(支持架構及び基礎梁)の自重* ¹
積雪荷重(Ls)	積雪量 190cm* ¹ 地震荷重と組み合わせる場合は0.35の係数を乗じた値とする。
地震荷重(Ss)	地震応答解析結果による地盤から作用する地震荷重 <ul style="list-style-type: none"> 改良地盤の変形量より算定するせん断力及び曲げモーメント 地震応答解析結果による支持架構及び基礎梁から作用する地震荷重 <ul style="list-style-type: none"> 基礎梁上端の層せん断力より算定する曲げモーメント 基礎梁部の加速度(水平)より算定する曲げモーメント 基礎梁の評価結果による荷重* ² <ul style="list-style-type: none"> 杭頭鉛直軸力より算定する軸力 杭頭せん断力より算定するせん断力
風荷重(W _L)	支持架構の評価結果による風荷重 <ul style="list-style-type: none"> 基礎梁上端の層せん断力より算定する曲げモーメント*³

注記 *1：基礎梁の評価において支持架構及び基礎梁に作用する固定荷重及び積雪荷重を考慮しているため、本表の「地震荷重(Ss)」のうち「基礎梁の評価結果による荷重」により、杭に固定荷重及び積雪荷重が考慮される。

*2：支持架構及び基礎梁に作用する固定荷重、積雪荷重、地震荷重及び風荷重を含む。

*3：基礎梁の評価において支持架構に作用する風荷重を考慮しているため、せん断力については、本表の「地震荷重(Ss)」のうち「基礎梁の評価結果による荷重」に含まれる。

第4.2.3-2表 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S s 地震時	D+0.35Ls+Ss+W _L

4.3 許容限界

応力解析による評価における飛来物防護ネット架構の許容限界は、添付書類「IV-2-2-1 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に記載の許容限界に基づき、第4.3-1表のとおり設定する。

また、各部位に対する許容限界等を第4.3-2表～第4.3-6表及び第4.3-1図に示す。

第4.3-1表 応力解析による評価における許容限界

設計の観点	地震力	部位	許容限界設定の考え方	許容限界 (評価基準値)
損傷、転倒 及び落下	基準地震動 S _s	フレーム	部材に生じる応力が施設の構造を保つための許容限界を超えないことを確認	「S規準」に基づく終局強度*
		基礎梁		「RC-N規準」に基づく終局強度
		杭		「基礎指針」に基づく終局強度
相対変位	基準地震動 S _s	支持 架構	施設間の離隔による防護を講じるための許容限界を超えないことを確認	施設間の 離隔距離

注記 *：短期許容応力度の鋼材の基準強度Fを建築基準法・同施行令・同告示に基づき1.1倍した強度とする。

第4.3-2表 フレーム部材の基準強度

使用材料	基準強度 F (N/mm ²)
SN490B	325
BCP325	
G385	325*

注記 * : G385の基準強度は385N/mm²であるが、保守的に
325N/mm²として評価を行う。

第4.3-3表 コンクリートの設計基準強度

部位	設計基準強度 F _c (N/mm ²)
基礎梁	24
杭	27

第4.3-4表 鉄筋の降伏強度

鉄筋種類	引張及び圧縮* (N/mm ²)	せん断補強 (N/mm ²)
SD345	345	345

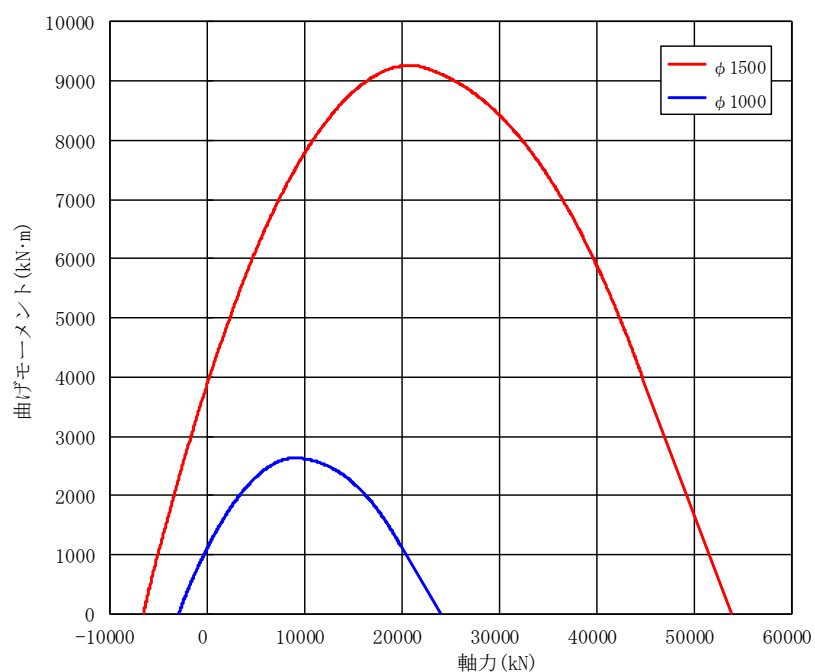
注記 * : 材料強度は降伏強度を1.1倍して算出する。

第4.3-5表 杭の支持力及び引抜力に関する許容限界

杭径 ϕ (mm)	杭の極限支持力 Ru (kN)	
	1000 (P1, P1A)	鉛直
	引抜	5022
1500 (P2)	鉛直	21898
	引抜	7672

第4.3-6表 杭の許容せん断力

杭径 ϕ (mm)	終局せん断耐力 Qsu (kN)
1000 (P1, P1A)	1838
1500 (P2)	4594



第4.3-1図 杭の終局強度(曲げモーメント-軸力相関)

4.4 評価方法

4.4.1 支持架構の評価方法

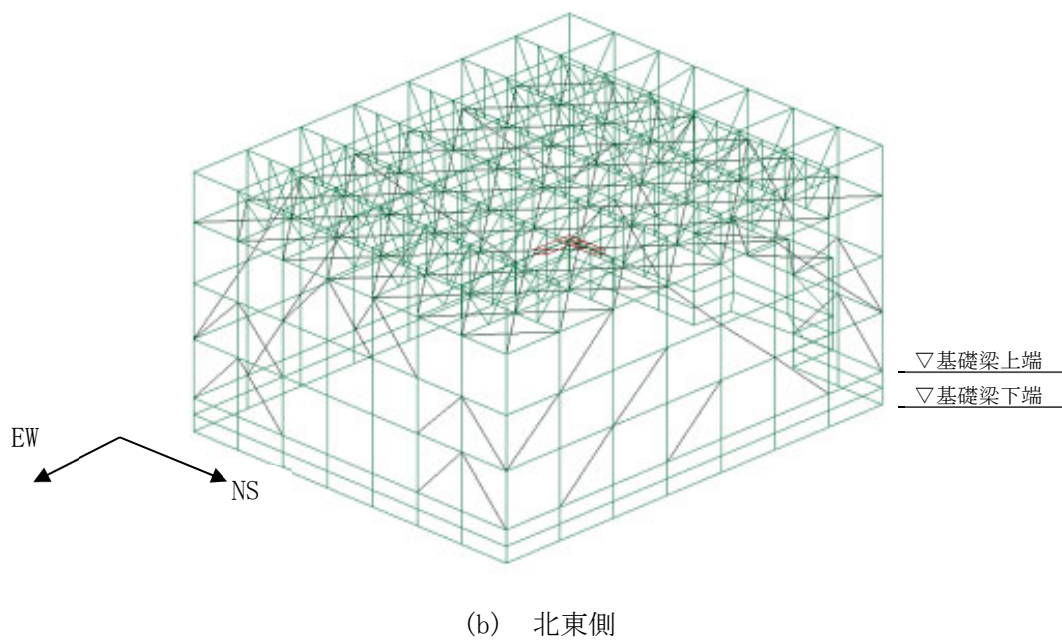
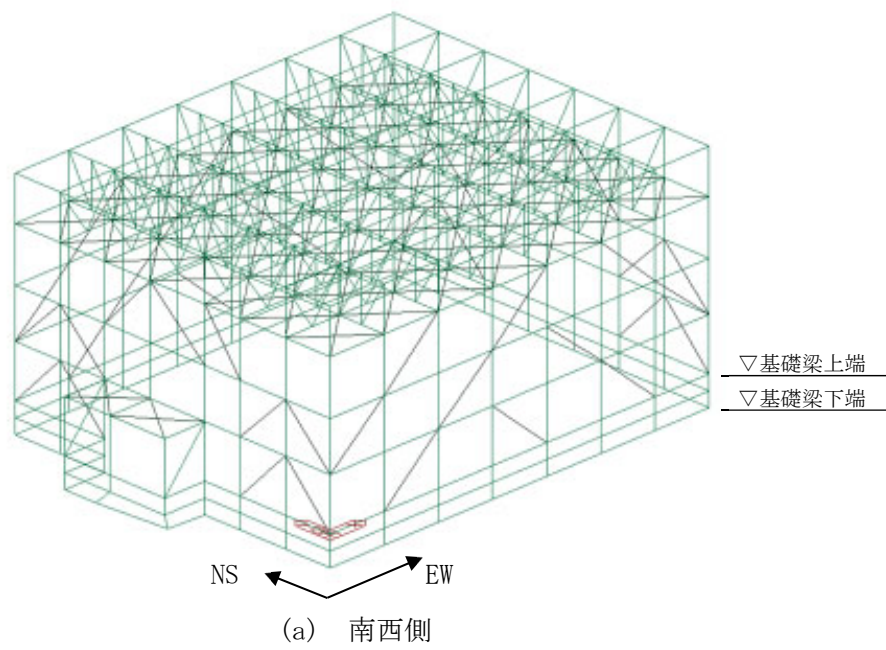
(1) 解析モデル

応力解析は、3次元フレームモデルを用いた静的弾塑性応力解析を実施する。解析には、解析コード「midas iGen(ver.845)」を用いる。また、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「IV-3 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

支持架構の解析モデル図を第4.4.1-1図に、使用材料の物性値を第4.4.1-1表に、部材リストを第4.4.1-2表に、座屈拘束ブレースの非線形特性を第4.4.1-2図に示す。

モデル化範囲は、基礎梁下端(T.M.S.L.52.30m)より上部とする。各部材は梁要素にてモデル化し、座屈拘束ブレースには非線形性を考慮する。解析モデルの節点数は438、要素数は1065である。

水平ブレース及び座屈拘束ブレースは両端ピン接合とし、基礎梁下端をピン支持とする。



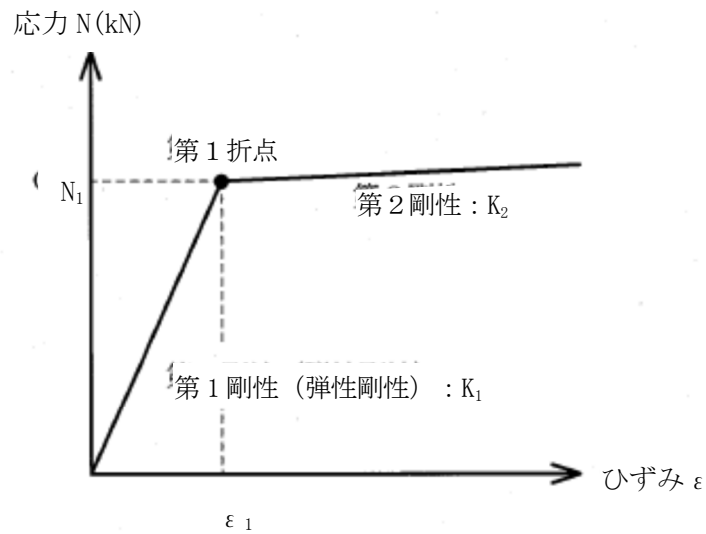
第4.4.1-1図 支持架構の解析モデル図

第4.4.1-1表 使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄骨： BCP325, G385, SN490B	2.05×10^5	0.3
座屈拘束ブレース： 中心鋼材 BT-LYP225	2.05×10^5	0.3

第4.4.1-2表 部材リスト

部材種別	材質	寸法
柱	G385B	□-500×500×32
	BCP325	□-500×500×28
	SN490B	H-400×400×13×21
大はり	SN490B	H-428×407×20×35
	SN490B	H-414×405×18×28
	SN490B	H-400×400×13×21
小はり	SN490B	H-400×400×13×21
	SN490B	H-390×300×10×16
トラス柱	SN490B	H-400×400×13×21
	SN490B	H-390×300×10×16
	SN490B	H-300×300×10×15
鉛直ブレース	SN490B	H-350×350×12×19
	SN490B	H-300×300×10×15
	SN490B	H-250×250×9×14
	SN490B	H-200×200×8×12
水平ブレース	SN490B	H-300×300×10×15
	SN490B	H-250×250×9×14
座屈拘束 ブレース (中心鋼材)	BT-LYP225	PL-32×208
	BT-LYP225	PL-32×243
	BT-LYP225	PL-32×278
	BT-LYP225	PL-36×308



N_1 : 第1折れ点応力

ϵ_1 : 第1折れ点ひずみ*1

K_1 : 第1剛性(弾性剛性)*2

K_2 : 第2剛性

中心鋼材寸法	種別	第1折れ点応力 N_1 (kN)	二次勾配倍率*3 (-)
PL-32×208	SV150	1500	0.001
PL-32×243	SV175	1750	
PL-32×278	SV200	2000	
PL-36×308	SV250	2500	

注記 *1 : 第1折れ点応力 N_1 を第1剛性 K_1 で除すことにより設定する。

*2 : 第4.4.1-1表のヤング係数に中心鋼材の断面積を乗じて設定する。

*3 : 第1剛性 K_1 に対する第2剛性 K_2 の倍率を示す。

第4.4.1-2図 座屈拘束ブレースの非線形特性

(2) 荷重の組合せ

支持架構に作用する応力は、次の荷重を組み合わせて求める。地震荷重は、 S_s -C1による地震荷重、その他の地震による地震荷重(S_s -C1以外包絡)の2種類を設定する。

D	: 固定荷重
L_s	: 積雪荷重
S_{SNS}	: NS方向の地震荷重(S→N方向を正とする。)
S_{SEW}	: EW方向の地震荷重(W→E方向を正とする。)
S_{SID}	: 鉛直方向の地震荷重(上向きを正とする。)
W_{LNS}	: NS方向の風荷重(S→N方向を正とする。)
W_{LEW}	: EW方向の風荷重(W→E方向を正とする。)

(3) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを第4.4.1-3表に示す。

水平方向と鉛直方向の荷重の組合せは、「原子力発電所耐震設計技術規程JEAC 4601-2008((社)日本電気協会)」を参考に、組合せ係数法(組合せ係数は1.0と0.4)を用いるものとする。

第4.4.1-3表 荷重の組合せケース

ケース	荷重組合せ	地震荷重
1-1	$D+0.35L_s+1.0S_{SNS}+0.4S_{SUD}+W_{LNS}$	Ss-C1による 地震荷重
1-2	$D+0.35L_s-1.0S_{SNS}+0.4S_{SUD}-W_{LNS}$	
1-3	$D+0.35L_s+1.0S_{SNS}-0.4S_{SUD}+W_{LNS}$	
1-4	$D+0.35L_s-1.0S_{SNS}-0.4S_{SUD}-W_{LNS}$	
1-5	$D+0.35L_s+0.4S_{SNS}+1.0S_{SUD}+W_{LNS}$	
1-6	$D+0.35L_s-0.4S_{SNS}+1.0S_{SUD}-W_{LNS}$	
1-7	$D+0.35L_s+0.4S_{SNS}-1.0S_{SUD}+W_{LNS}$	
1-8	$D+0.35L_s-0.4S_{SNS}-1.0S_{SUD}-W_{LNS}$	
1-9	$D+0.35L_s+1.0S_{SEW}+0.4S_{SUD}+W_{LEW}$	
1-10	$D+0.35L_s-1.0S_{SEW}+0.4S_{SUD}-W_{LEW}$	
1-11	$D+0.35L_s+1.0S_{SEW}-0.4S_{SUD}+W_{LEW}$	
1-12	$D+0.35L_s-1.0S_{SEW}-0.4S_{SUD}-W_{LEW}$	
1-13	$D+0.35L_s+0.4S_{SEW}+1.0S_{SUD}+W_{LEW}$	
1-14	$D+0.35L_s-0.4S_{SEW}+1.0S_{SUD}-W_{LEW}$	
1-15	$D+0.35L_s+0.4S_{SEW}-1.0S_{SUD}+W_{LEW}$	
1-16	$D+0.35L_s-0.4S_{SEW}-1.0S_{SUD}-W_{LEW}$	
2-1	$D+0.35L_s+1.0S_{SNS}+0.4S_{SUD}+W_{LNS}$	その他の地震による 地震荷重 (Ss-C1以外 包絡)
2-2	$D+0.35L_s-1.0S_{SNS}+0.4S_{SUD}-W_{LNS}$	
2-3	$D+0.35L_s+1.0S_{SNS}-0.4S_{SUD}+W_{LNS}$	
2-4	$D+0.35L_s-1.0S_{SNS}-0.4S_{SUD}-W_{LNS}$	
2-5	$D+0.35L_s+0.4S_{SNS}+1.0S_{SUD}+W_{LNS}$	
2-6	$D+0.35L_s-0.4S_{SNS}+1.0S_{SUD}-W_{LNS}$	
2-7	$D+0.35L_s+0.4S_{SNS}-1.0S_{SUD}+W_{LNS}$	
2-8	$D+0.35L_s-0.4S_{SNS}-1.0S_{SUD}-W_{LNS}$	
2-9	$D+0.35L_s+1.0S_{SEW}+0.4S_{SUD}+W_{LEW}$	
2-10	$D+0.35L_s-1.0S_{SEW}+0.4S_{SUD}-W_{LEW}$	
2-11	$D+0.35L_s+1.0S_{SEW}-0.4S_{SUD}+W_{LEW}$	
2-12	$D+0.35L_s-1.0S_{SEW}-0.4S_{SUD}-W_{LEW}$	
2-13	$D+0.35L_s+0.4S_{SEW}+1.0S_{SUD}+W_{LEW}$	
2-14	$D+0.35L_s-0.4S_{SEW}+1.0S_{SUD}-W_{LEW}$	
2-15	$D+0.35L_s+0.4S_{SEW}-1.0S_{SUD}+W_{LEW}$	
2-16	$D+0.35L_s-0.4S_{SEW}-1.0S_{SUD}-W_{LEW}$	

(4) 荷重の入力方法

a. 固定荷重(D)

鉄骨の自重については、各要素に密度として入力する。その他については、各節点又は各要素に集中荷重又は分布荷重として入力する。

b. 積雪荷重(Ls)

水平面の各要素に分布荷重として入力する。

c. 地震荷重(Ss)

各層の層せん断力については、各節点の支配重量に応じて離散化して集中荷重として入力する。

屋根部の付加曲げモーメントについては、鉛直方向の偶力に置換し、各節点の回転中心からの距離に応じて離散化して集中荷重として入力する。

屋根部の鉛直加速度については、各節点及び各要素に鉛直震度として入力する。地震応答解析結果から得られる地震荷重を第4.4.1-4表に示す。

d. 風荷重(W_L)

鉛直面の各要素に分布荷重として入力する。

第4.4.1-4表 地震応答解析結果から得られる支持架構の地震荷重

(a) 層せん断力

階層	NS方向 (kN)		EW方向 (kN)	
	Ss-C1	Ss-C1以外	Ss-C1	Ss-C1以外
4層目	10796	9880	11044	10720
3層目	14321	13089	14247	13004
2層目	14833	13181	14566	13025
1層目	15479	13446	15352	13968

(b) 付加曲げモーメント

階層	NS方向 (kN・m)		EW方向 (kN・m)	
	Ss-C1	Ss-C1以外	Ss-C1	Ss-C1以外
4層目	4380	8200	4150	10110
3層目	1270	2740	810	700
2層目	—	—	—	—
1層目	—	—	—	—

(c) 鉛直震度

Ss-C1	Ss-C1以外
0.65	1.25

注：震度は屋根部の最大応答加速度より設定し、3次元フレームモデル全体に入力する。

(5) 部材の評価方法

a. 軸力及び曲げモーメントに対する評価方法

軸力及び曲げモーメントが生じる部材は，座屈を考慮し，部材に生じる軸応力度及び曲げ応力度の組合せ応力が許容限界を超えないことを下式により確認する。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0 \quad \text{又は} \quad \frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

ここで，

- σ_c : 圧縮応力度
- σ_b : 曲げ応力度
- σ_t : 引張応力度
- f_c : 許容圧縮応力度
- f_b : 許容曲げ応力度
- f_t : 許容引張応力度

b. せん断力に対する評価方法

せん断力が生じる部材は，部材に生じるせん断応力度が，下式により許容限界を超えないことを確認する。

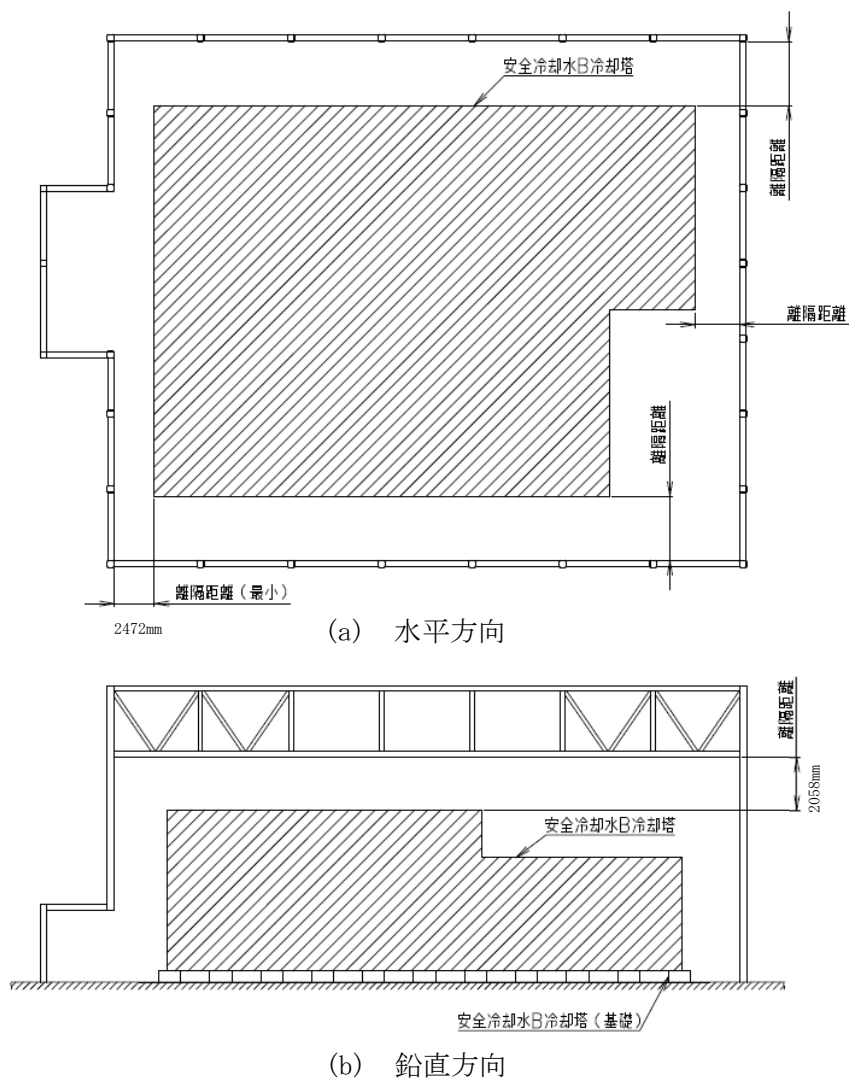
$$\frac{\tau_s}{f_s} \leq 1.0$$

ここで，

- τ_s : せん断応力度
- f_s : 許容せん断応力度

(6) 相対変位に対する評価方法

支持架構と冷却塔の最大変位の合計値により算出した相対変位が、第4.4.1-3図に示す冷却塔までの離隔距離(水平方向及び鉛直方向)を超えないことを確認する。このときの最大変位の合計値には、地盤の変位も考慮する。



第4.4.1-3図 離隔距離イメージ図

4.4.2 基礎梁の評価方法

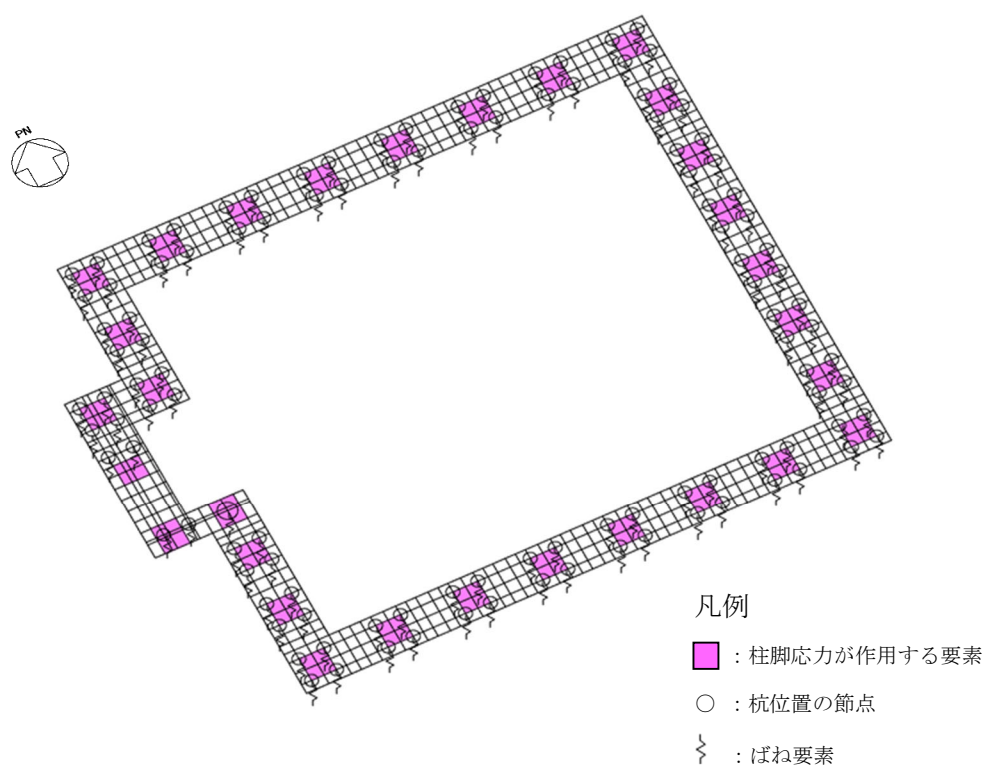
(1) 解析モデル

応力解析は、FEMモデルを用いた静的弾性応力解析を実施する。解析には、解析コード「midas iGen Ver.845」を用いる。また、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「IV-3 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

基礎梁の解析モデルを第4.4.2-1図に、使用材料の物性値を第4.4.2-1表に示す。

モデル化範囲は、基礎梁下端から上端まで(T.M.S.L. 52.30m~55.30m)とし、シェル要素にてモデル化する。解析モデルの節点数は959、要素数は771である。

杭位置の節点について、水平方向は並進を拘束し、鉛直方向はばね要素を設ける。ばね要素の剛性は、杭のコンクリートのヤング係数に杭の断面積を乗じ、杭の長さで除すことにより設定する。剛性を算出する際の杭の長さは、基礎梁下端(T.M.S.L. 52.30m)から支持地盤(T.M.S.L. 37.00m)までの長さとする。



第4.4.2-1図 基礎梁の解析モデル

第4.4.2-1表 使用材料の物性値

部位	設計基準強度 Fc (N/mm ²)	ヤング係数 Ec (N/mm ²)	ポアソン比 ν
基礎梁	24	2.27×10 ⁴	0.2
杭	27	2.36×10 ⁴	0.2

(2) 荷重ケース

基礎梁に作用する応力は、次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。

VL : 鉛直荷重(固定荷重 D+積雪荷重 L_s)
(積雪荷重は係数 0.35 を乗じたもの)

S_{SNS} : NS 方向の S_s 地震荷重(S→N 方向を正とする。)

S_{SEW} : EW 方向の S_s 地震荷重(W→E 方向を正とする。)

S_{SID} : 鉛直方向の S_s 地震荷重(上向きを正とする。)

W_{LNS} : NS 方向の風荷重(S→N 方向を正とする。)

W_{LEW} : EW 方向の風荷重(W→E 方向を正とする。)

(3) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを第4.4.2-2表に示す。

水平方向と鉛直方向の荷重の組合せは、「原子力発電所耐震設計技術規程JEAC 4601-2008((社)日本電気協会)」を参考に、組合せ係数法(組合せ係数は1.0と0.4)を用いるものとする。

第4.4.2-2表 荷重の組合せケース

ケース	荷重組合せ	地震荷重
1-1	$VL + 1.0S_{SNS} + 0.4S_{SUD} + W_{LNS}$	Ss-C1による 地震荷重
1-2	$VL - 1.0S_{SNS} + 0.4S_{SUD} - W_{LNS}$	
1-3	$VL + 1.0S_{SNS} - 0.4S_{SUD} + W_{LNS}$	
1-4	$VL - 1.0S_{SNS} - 0.4S_{SUD} - W_{LNS}$	
1-5	$VL + 0.4S_{SNS} + 1.0S_{SUD} + W_{LNS}$	
1-6	$VL - 0.4S_{SNS} + 1.0S_{SUD} - W_{LNS}$	
1-7	$VL + 0.4S_{SNS} - 1.0S_{SUD} + W_{LNS}$	
1-8	$VL - 0.4S_{SNS} - 1.0S_{SUD} - W_{LNS}$	
1-9	$VL + 1.0S_{SEW} + 0.4S_{SUD} + W_{LEW}$	
1-10	$VL - 1.0S_{SEW} + 0.4S_{SUD} - W_{LEW}$	
1-11	$VL + 1.0S_{SEW} - 0.4S_{SUD} + W_{LEW}$	
1-12	$VL - 1.0S_{SEW} - 0.4S_{SUD} - W_{LEW}$	
1-13	$VL + 0.4S_{SEW} + 1.0S_{SUD} + W_{LEW}$	
1-14	$VL - 0.4S_{SEW} + 1.0S_{SUD} - W_{LEW}$	
1-15	$VL + 0.4S_{SEW} - 1.0S_{SUD} + W_{LEW}$	
1-16	$VL - 0.4S_{SEW} - 1.0S_{SUD} - W_{LEW}$	
2-1	$VL + 1.0S_{SNS} + 0.4S_{SUD} + W_{LNS}$	その他の地震に よる地震荷重 (Ss-C1以外包絡)
2-2	$VL - 1.0S_{SNS} + 0.4S_{SUD} - W_{LNS}$	
2-3	$VL + 1.0S_{SNS} - 0.4S_{SUD} + W_{LNS}$	
2-4	$VL - 1.0S_{SNS} - 0.4S_{SUD} - W_{LNS}$	
2-5	$VL + 0.4S_{SNS} + 1.0S_{SUD} + W_{LNS}$	
2-6	$VL - 0.4S_{SNS} + 1.0S_{SUD} - W_{LNS}$	
2-7	$VL + 0.4S_{SNS} - 1.0S_{SUD} + W_{LNS}$	
2-8	$VL - 0.4S_{SNS} - 1.0S_{SUD} - W_{LNS}$	
2-9	$VL + 1.0S_{SEW} + 0.4S_{SUD} + W_{LEW}$	
2-10	$VL - 1.0S_{SEW} + 0.4S_{SUD} - W_{LEW}$	
2-11	$VL + 1.0S_{SEW} - 0.4S_{SUD} + W_{LEW}$	
2-12	$VL - 1.0S_{SEW} - 0.4S_{SUD} - W_{LEW}$	
2-13	$VL + 0.4S_{SEW} + 1.0S_{SUD} + W_{LEW}$	
2-14	$VL - 0.4S_{SEW} + 1.0S_{SUD} - W_{LEW}$	
2-15	$VL + 0.4S_{SEW} - 1.0S_{SUD} + W_{LEW}$	
2-16	$VL - 0.4S_{SEW} - 1.0S_{SUD} - W_{LEW}$	

(4) 荷重の入力方法

a. 鉛直荷重(VL)

各要素に単位体積重量として入力する。

b. 地震荷重(Ss)及び風荷重(W_L)

地震応答解析結果による地震荷重については、各要素に水平震度及び鉛直震度として入力する。地震応答解析から得られる地震荷重を第4.4.2-3表に示す。

支持架構の評価結果による支持架構から作用する荷重については、支持架構の柱脚位置の節点に集中荷重として入力する。この荷重には、固定荷重、積雪荷重、地震荷重及び風荷重を含む。

杭の評価結果による杭から作用する荷重については、杭位置の節点に集中荷重として入力する。この荷重には、地震荷重及び風荷重を含む。

第4.4.2-3表 地震応答解析結果から得られる地震荷重

方向	NS方向		EW方向	
	Ss-C1	Ss-C1以外	Ss-C1	Ss-C1以外
水平震度	0.80	0.70	0.75	0.65
鉛直震度	0.21	0.36	0.21	0.36

(5) 断面の評価方法

a. 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

各断面は、軸力及び曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート造長方形仮想柱として算定する。断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象部位に生じる曲げモーメントが曲げ終局強度を超えないことを下式により確認する。

$$M \leq M_u$$

$$M_u = 0.8a_t \sigma_y D + 0.4ND \quad (N_{\min} \leq N \leq 0)$$

$$M_u = 0.8a_t \sigma_y D + 0.5ND \left(1 - \frac{N}{bDF_c}\right) \quad (0 \leq N \leq 0.4bDF_c)$$

$$M_u = \left(0.8a_t \sigma_y D + 0.12bD^2F_c\right) \left(\frac{N_{\max} - N}{N_{\max} - 0.4bDF_c}\right) \quad (0.4bDF_c \leq N \leq N_{\max})$$

ここで、

M : 曲げモーメント

M_u : 許容限界(曲げ終局強度)

N_{\min} : 中心引張時終局強度であり、下式による値

$$N_{\min} = -a_g \sigma_y$$

N_{\max} : 中心圧縮時終局強度であり、下式による値

$$N_{\max} = bDF_c + a_g \sigma_y$$

N : 軸力

a_t : 引張主筋断面積

a_g : 主筋全断面積

b : 断面幅

D : 断面せい

σ_y : 鉄筋の引張に対する材料強度

F_c : コンクリート圧縮強度

b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断力が許容限界を超えないことを下式により確認する。

$$Q \leq Q_u$$
$$Q_u = \left\{ \frac{0.068 p_t^{0.23} (F_c + 18)}{M / (Qd) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_w \sigma_{wy}} + 0.1 \sigma_0 \right\} b j$$

ここで、

Q : 面外せん断力

Q_u : 許容限界(面外せん断終局強度)

p_t : 引張鉄筋比

F_c : コンクリートの圧縮強度

M/Q : 強度算定断面における曲げモーメントMと面外せん断力Qの比

d : 有効せい

p_w : 面外せん断補強筋比

σ_{wy} : 面外せん断補強筋の降伏強度

σ_0 : 平均軸方向応力度

b : 部材幅

j : 応力中心間距離

4.4.3 杭の評価方法

(1) 応力解析

地盤から作用する地震荷重による応力は、応力解析により算定する。

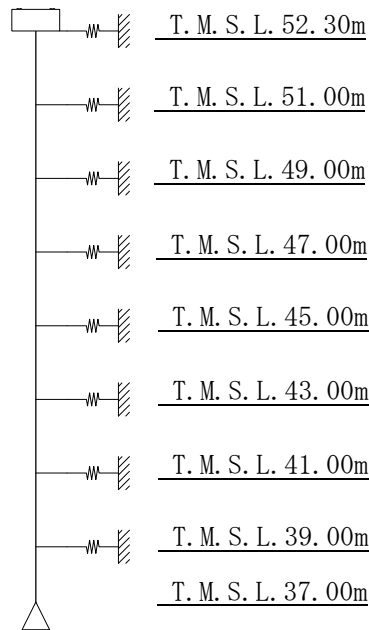
応力解析は、梁要素と地盤ばねによるモデルを用いた応答変位法による応力解析を実施する。解析には、解析コード「TDAPⅢ Ver. 3.07」を用いる。また、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「IV-3 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

杭の解析モデルを第4.4.3-1図に、杭及び地盤ばねの諸元を第4.4.3-1表及び第4.4.3-2表に示す。

モデル化範囲は、改良地盤と岩盤との境界面から基礎梁下端まで(T. M. S. L. 37.00m～52.30m)とする。杭は梁要素としてモデル化する。

杭先端位置ではピン支持とし、杭周には三軸圧縮試験結果から「基礎指針」に基づき設定した水平地盤ばねを設ける。

地盤から作用する地震荷重として、地震応答解析結果による改良地盤の各時刻の変形量を地盤ばねの固定位置に強制変位として入力する。ここで、改良地盤の変形量は、杭先端位置に対する相対変位とし、基礎梁の回転角も考慮する。



第4.4.3-1図 杭の解析のモデル

第4.4.3-1表 杭の諸元

諸元	P1, P1A	P2
設計基準強度 (N/mm ²)	27	27
比重 (kN/m ³)	24	24
ヤング係数 (N/mm ²)	23600	23600
杭径 (mm)	1000	1500
断面積 (m ²)	0.785	1.77
長さ (m)	15.3	15.3
軸剛性 (kN/m)	1210000	2720000

第4.4.3-2表 地盤ばねの諸元

諸元	P1, P1A	P2
変形係数E ₀ (kN/m ²)	614000	614000
評価法によって決まる定数α (m ⁻¹)	80	80
群杭の影響を考慮した係数ξ	0.4	1.0
水平地盤反力係数k _h (kN/m ³)	1960000	3620000
地盤ばね剛性 (kN/m ²)	1960000	5430000

(2) 応力計算

支持架構及び基礎梁から作用する地震荷重並びに風荷重による応力については、応力計算により算定する。

応力計算は、「基礎指針」に基づき、下式により実施する。

支持架構及び基礎梁から作用する地震荷重として、地震応答解析結果による基礎梁上端の層せん断力及び基礎梁部の加速度(水平)から求めた慣性力を考慮した各時刻の杭頭せん断力を用いる。また、支持架構及び基礎梁から作用する風荷重として、支持架構の応力解析による基礎梁上端の層せん断力を考慮した杭頭せん断力を用いる。

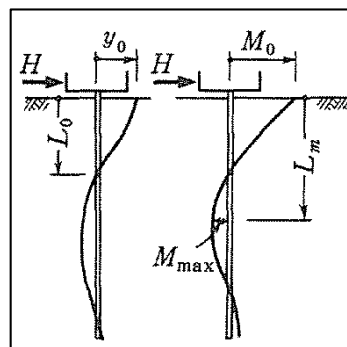
$$M_0 = \frac{H}{2\beta}$$

$$\beta = \left(\frac{k_h \cdot B}{4EI} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$k_h = 3.16 \cdot k_{h0} : 0.0 \leq y \leq 0.1$$

$$k_h = k_{h0} \cdot y^{\left(-\frac{1}{2}\right)} : 0.1 < y$$

$$k_{h0} = \alpha \cdot \xi \cdot E_0 \cdot \bar{B}^{-\frac{3}{4}}$$



ここで、

M_0 : 杭頭曲げモーメント (kN・m)

H : 杭頭せん断力 (kN)

β : 杭の特性係数 (m^{-1})

k_h : 水平地盤反力係数 (kN/m^3)

B : 杭径 (m)

E : 杭のコンクリートのヤング係数 (kN/m^2)

I : 杭の断面 2 次モーメント (m^4)

k_{h0} : 基準水平地盤反力係数 (kN/m^3)

y : 無次元化水平変位 (水平変位量を cm で表した無次元量)

α : 評価法によって決まる定数 (m^{-1})。 $\alpha=80$ とする。

ξ : 群杭の影響を考慮した係数。最小の杭間距離から算定する。

E_0 : 変形係数 (kN/m^2)。岩盤の三軸圧縮試験の結果から算定する。

\bar{B} : 無次元化杭径 (杭径を cm で表した無次元数値)

(3) 応力の組合せ

軸力については、「4.4.2 基礎梁の評価方法」による基礎梁の応力解析結果における杭位置の反力を用いる。引張軸力については浮力を考慮する。

曲げモーメントについては、「(1) 応力解析」及び「(2) 応力計算」による結果を各時刻で組み合わせ、その最大値を用いる。

せん断力については、「4.4.2 基礎梁の評価方法」による基礎梁の応力解析結果における杭位置の反力と「(1) 応力解析」による結果の最大値を組み合わせる。

(4) 断面の評価方法

a. 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

軸力及び曲げモーメントに対する評価は、「基礎指針」に基づき、杭に生じる軸力及び曲げモーメントが、第4.3-1図に示す杭の終局強度を超えないことを確認する。

b. せん断力に対する評価

せん断力に対する評価は、「基礎指針」に基づき、杭に生じるせん断力が第4.3-6表に示す許容限界を超えないことを確認する。

(5) 支持力及び引抜力に対する評価方法

支持力及び引抜力に対する評価は、「基礎指針」に基づき、杭に生じる最大軸力及び最小軸力が第4.3-5表に示す杭の極限支持力を超えないことを確認する。最小軸力の算定においては浮力を考慮する。

5. 評価結果

5.1 地震応答解析による評価結果

「3.2 評価方法」に基づいた評価結果を以下に示す。

軸ひずみが最大となる座屈拘束ブレースの評価結果を第5.1-1表に示す。座屈拘束ブレースの軸ひずみは最大で1.70%であり、許容限界を下回ることを確認した。

疲労係数総和が最も大きい座屈拘束ブレースの疲労評価結果を第5.1-2表に示す。疲労係数総和は最大で0.5950であり、許容限界を下回ることを確認した。

第5.1-1表 軸ひずみの評価結果(Ss-C1, -1σ 地盤, 有効応力解析, NS方向, 要素No.121)

軸ひずみ(%)	許容限界(%)	検定比	判定
1.70	3.0	0.57	OK

第5.1-2表 疲労評価結果(Ss-A, -1σ 地盤, 有効応力解析, NS方向, 要素No.121)

ひずみ振幅 (0.1%-0.3%)		ひずみ振幅 (0.3%-0.5%)		ひずみ振幅 (0.5%-1.0%)		ひずみ振幅 (1.0%-2.7%)		疲労係数総和	許容限界	判定
許容繰返し回数N : 5537回		許容繰返し回数N : 1952回		許容繰返し回数N : 474回		許容繰返し回数N : 62回				
繰返し数n	疲労係数 n/N	繰返し数n	疲労係数 n/N	繰返し数n	疲労係数 n/N	繰返し数n	疲労係数 n/N			
105	0.0190	91	0.0466	98	0.2068	20	0.3226	0.5950	1	OK

5.2 応力解析による評価結果

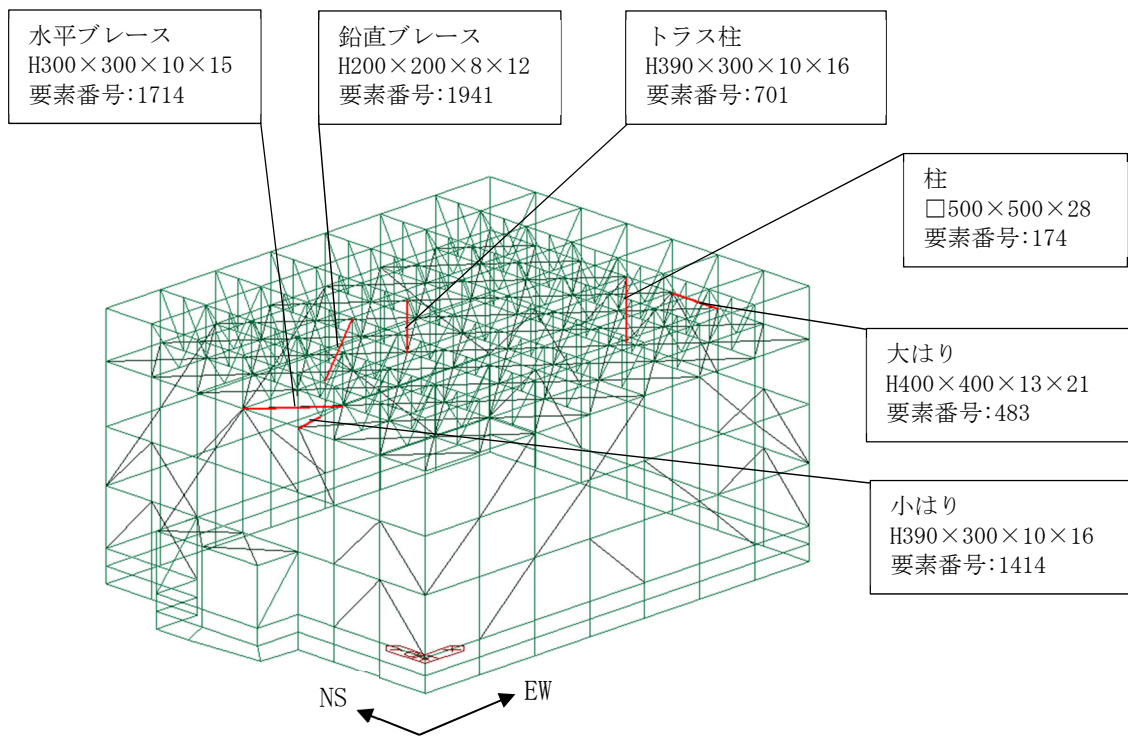
5.2.1 支持架構の評価結果

(1) 部材の評価

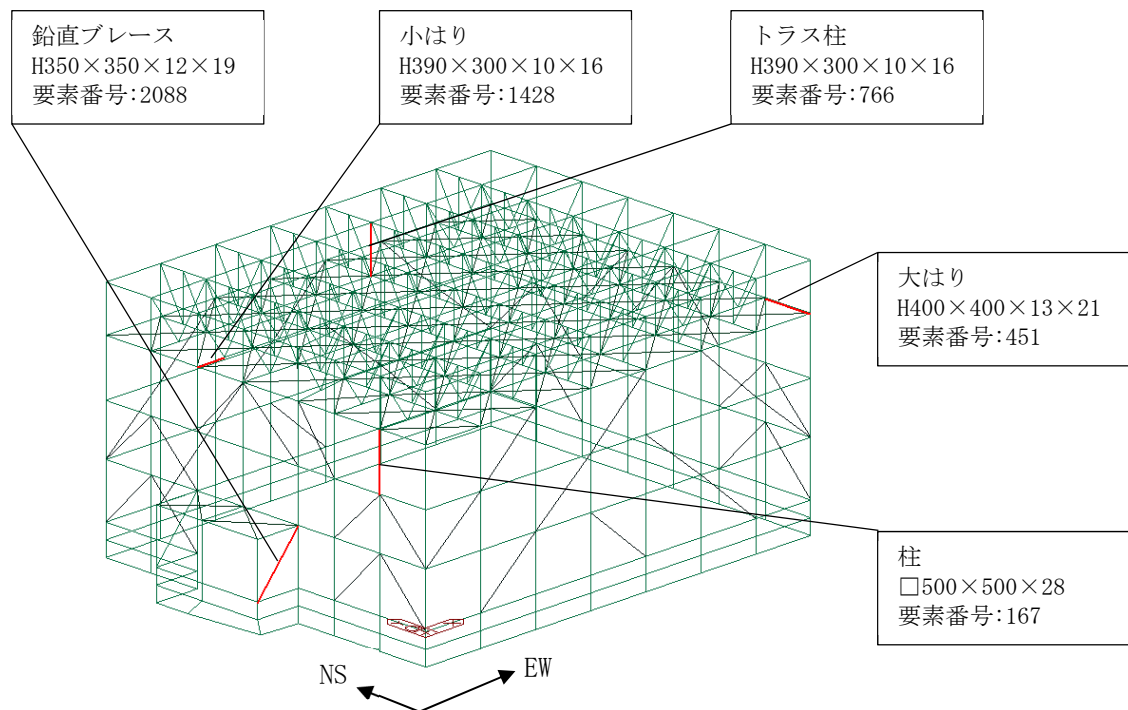
「4.4.1(5) 部材の評価方法」に基づいた評価結果を以下に示す。

評価結果は、部材種別ごとに検定比が最も大きい部材に対して示す。当該部材の位置を第5.2.1-1図に、評価結果を第5.2.1-1表に示す。

発生応力度が、許容限界を超えないことを確認した。



(a) 軸力+曲げ



(b) せん断

第5.2.1-1図 評価結果を記載する位置

第5.2.1-1表 部材の評価結果

部材種別	要素番号	ケース	応力度	発生応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	検定比	判定
柱	167	1-4	せん断	34.0	206.0	0.17	OK
	174	1-4	軸力+曲げ	(検定比) 0.89	(許容値) 1.00	0.89	OK
大はり	451	1-4	せん断	70.1	206.0	0.34	OK
	483	1-4	軸力+曲げ	(検定比) 0.87	(許容値) 1.00	0.87	OK
小はり	1428	1-12	せん断	38.5	206.0	0.19	OK
	1414	1-12	軸力+曲げ	(検定比) 0.87	(許容値) 1.00	0.87	OK
トラス柱	766	2-7	せん断	13.5	206.0	0.07	OK
	701	1-12	軸力+曲げ	(検定比) 0.72	(許容値) 1.00	0.72	OK
鉛直 ブレース	2088	1-12	せん断	10.3	206.0	0.05	OK
	1941	2-12	軸力+曲げ	(検定比) 0.69	(許容値) 1.00	0.69	OK
水平 ブレース	1714	1-1	軸力+曲げ	(検定比) 0.30	(許容値) 1.00	0.30	OK

(2) 相対変位に対する評価

「4.4.1(6) 相対変位に対する評価方法」に基づいた評価結果を以下に示す。

水平方向及び鉛直方向の相対変位に対する評価結果を第5.2.1-2表に示す。支持架構と冷却塔の相対変位が、許容限界を下回ることを確認した。

第5.2.1-2表 相対変位に対する評価結果

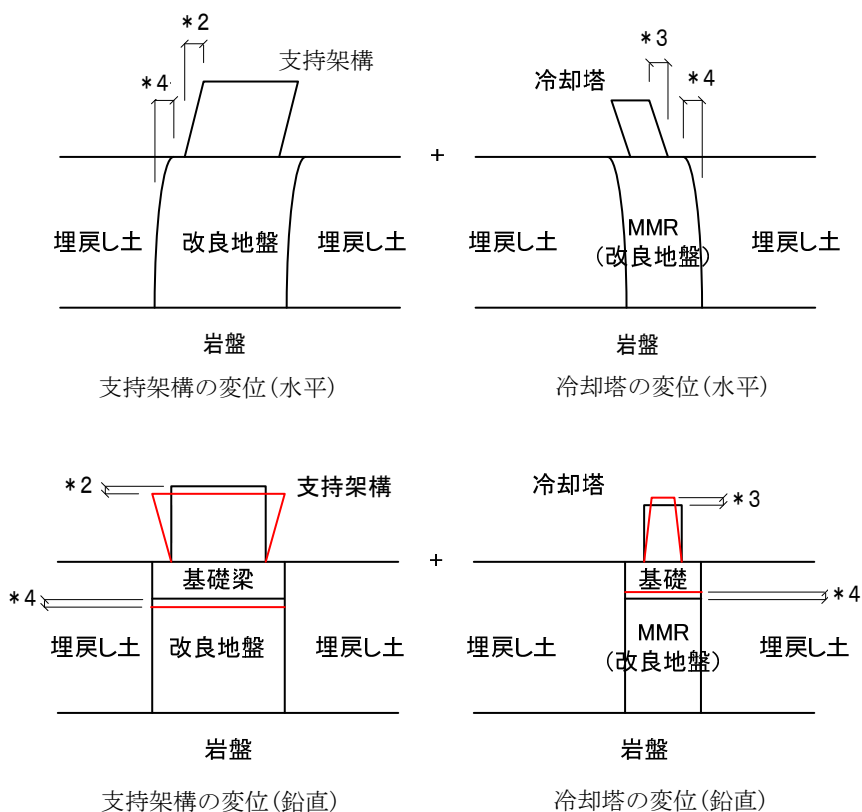
方向	相対変位*1 (mm)	許容限界(mm)	検定比	判定
水平方向	■	2472	■	OK
鉛直方向	■	2058	■	OK

注記 *1：支持架構と冷却塔との相対変位($*2 + *4$) + ($*3 + *4$) (第5.2.1-2図参照)。

*2：支持架構の応力解析における全節点の最大変位。

*3：冷却塔の最大変位。

*4：地震応答解析における地盤の最大変位。冷却塔の直下は剛性の高いMMRであるが、保守的に改良地盤の変位を用いて評価する。



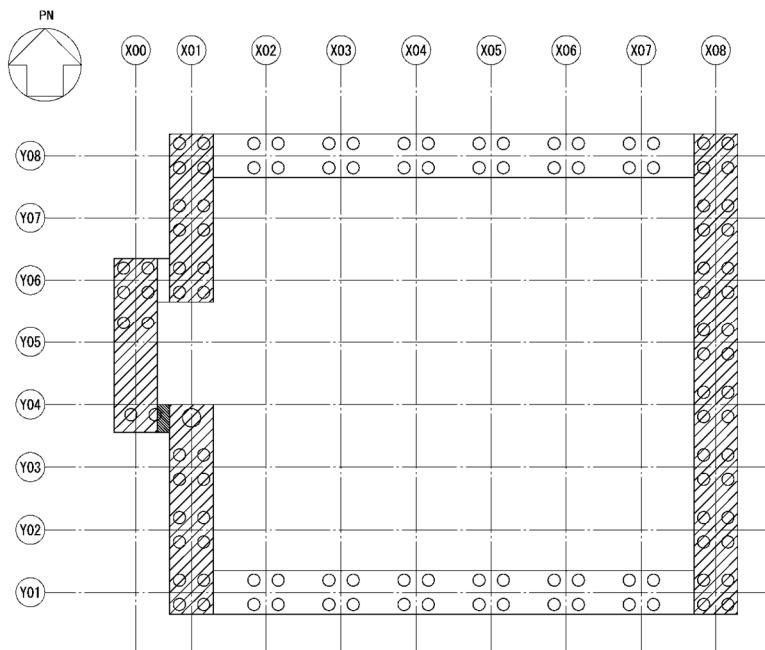
第5.2.1-2図 相対変位のイメージ図

5.2.2 基礎梁の評価結果

「4.4.2(5) 断面の評価方法」に基づいた評価結果を以下に示す。また、基礎梁の配筋を第5.2.2-1図及び第5.2.2-2図に示す。

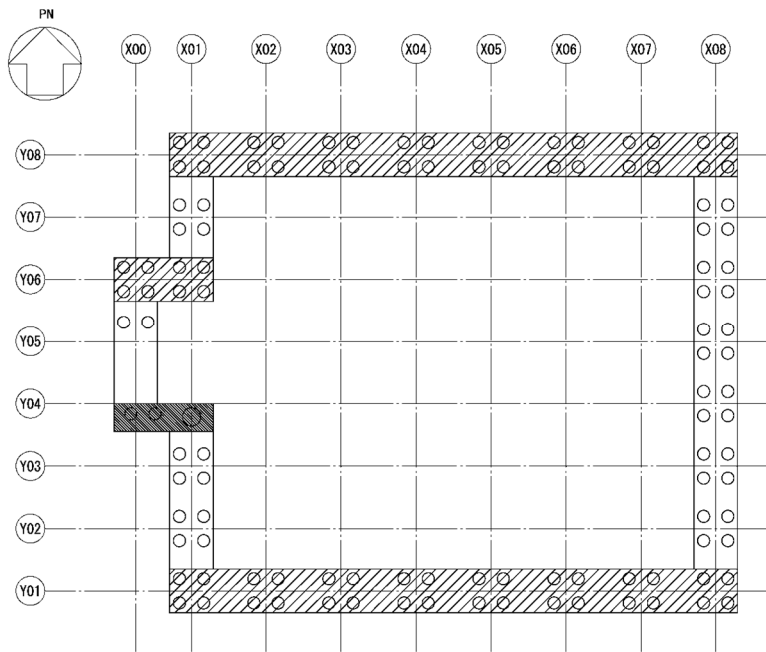
断面の評価結果は、許容限界に対する曲げモーメント及び面外せん断力の割合が最も大きい要素に対して示す。当該要素の位置を第5.2.2-3図に、評価結果を第5.2.2-1表に示す。

曲げモーメント及び面外せん断力が、それぞれの許容限界を超えないことを確認した。



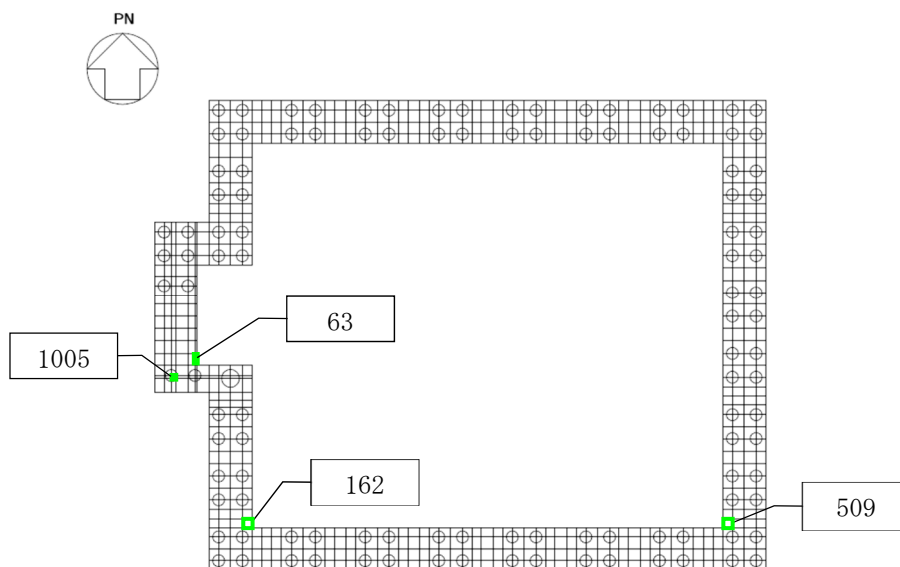
領域	主筋	せん断補強筋
	上端 24-D32	D22Ⅲ-@200
	下端 30-D32	
	上端 D22@200	D22Ⅲ-@200
	下端 D22@200	
	上端 D19@200	D19Ⅲ-@200
	下端 D19@200	

第5.2.2-1図 基礎梁の配筋(NS方向)



領域	主筋	せん断補強筋
	上端 24-D32	D22Ⅲ-@200
	下端 30-D32	
	上端 D22@200	D22Ⅲ-@200
	下端 D22@200	
	上端 18-D32	D19Ⅲ-@200
	上端 18-D32	

第5.2.2-2図 基礎梁の配筋(EW方向)



注： 内の数値は要素番号

第5.2.2-3図 評価結果を記載する要素の位置

第5.2.2-1表 基礎梁の評価結果

(a) 軸力及び曲げモーメントに対する評価

方向	解析結果			許容限界 (kN・m/m)	検定比	判定
	要素番号	ケース	曲げモーメント (kN・m/m)			
NS	162	1-4	3527	4791	0.74	OK
EW	509	1-10	1274	1755	0.73	OK

(b) 面外せん断力に対する評価

方向	解析結果			許容限界 (kN/m)	検定比	判定
	要素番号	ケース	面外せん断力 (kN/m)			
NS	63	1-4	2236	5661	0.40	OK
EW	1005	1-12	2061	5874	0.36	OK

5.2.3 杭の評価結果

(1) 断面の評価結果

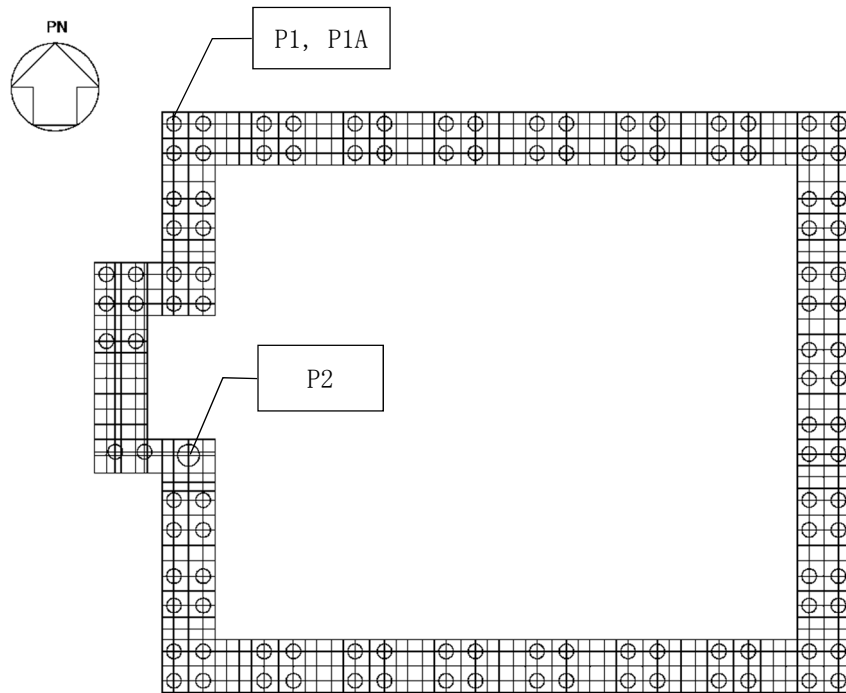
「4.4.3(4) 断面の評価方法」に基づいた評価結果を以下に示す。また、杭の配筋を第5.2.3-1表に示す。

断面の評価結果は、杭種ごとに、許容限界に対する曲げモーメント並びにせん断力の割合が最も大きい杭に対して示す。当該の杭の位置を第5.2.3-1図に、評価結果を第5.2.3-2表及び第5.2.3-2図に示す。

曲げモーメント及びせん断力が、それぞれの許容限界を超えないことを確認した。

第5.2.3-1表 杭の配筋一覧

杭種	主筋	帯筋
P1, P1A	8-D35	D16@150
P2	18-D35	D16@150



第5.2.3-1図 評価結果を記載する杭の位置

第5.2.3-2表 断面の評価結果

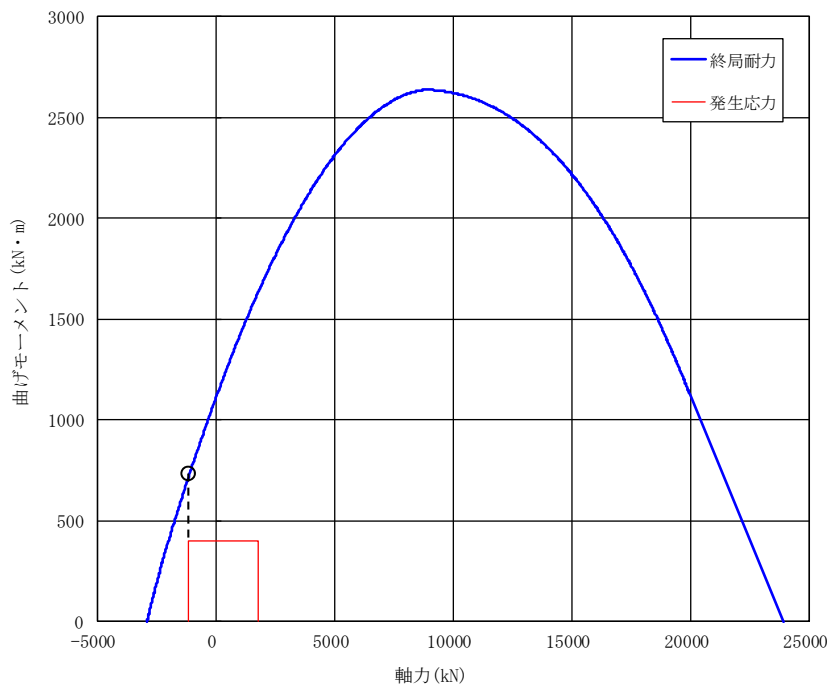
(a) 軸力及び曲げモーメントに対する評価

杭種	応力の組合せ結果			許容限界 (kN・m)	検定比	判定
	節点 番号*	ケース*	曲げモーメント (kN・m)			
P1, P1A	189	1-2	400	706	0.57	OK
P2	1207	1-2	1520	3583	0.43	OK

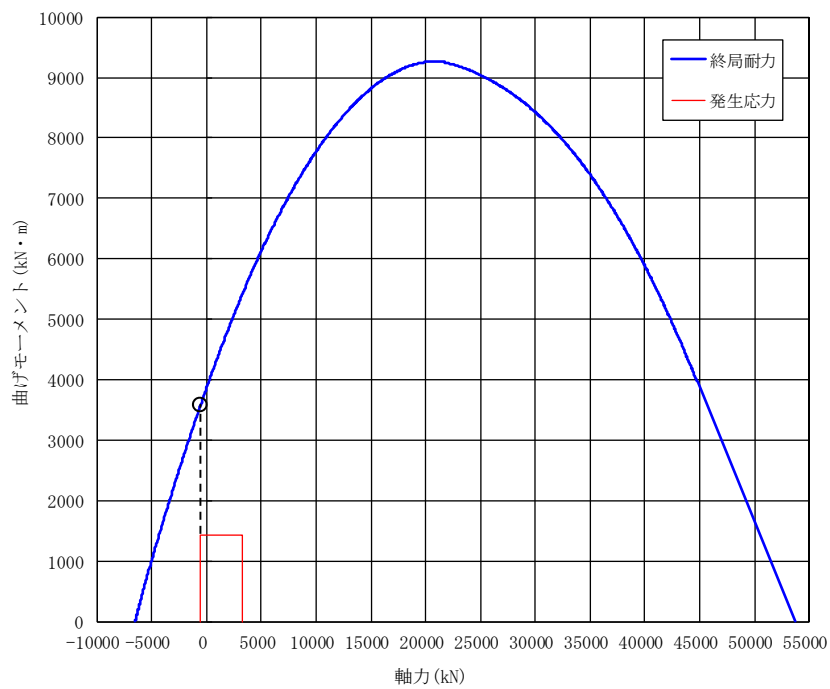
(b) せん断力に対する評価

杭種	応力の組合せ結果		許容限界 (kN)	検定比	判定
	ケース*	せん断力 (kN)			
P1, P1A	1-2	540	1838	0.30	OK
P2	1-2	1730	4594	0.38	OK

注記 * : 基礎梁の評価における節点番号及びケースを示す。



(a) P1, P1A



(b) P2

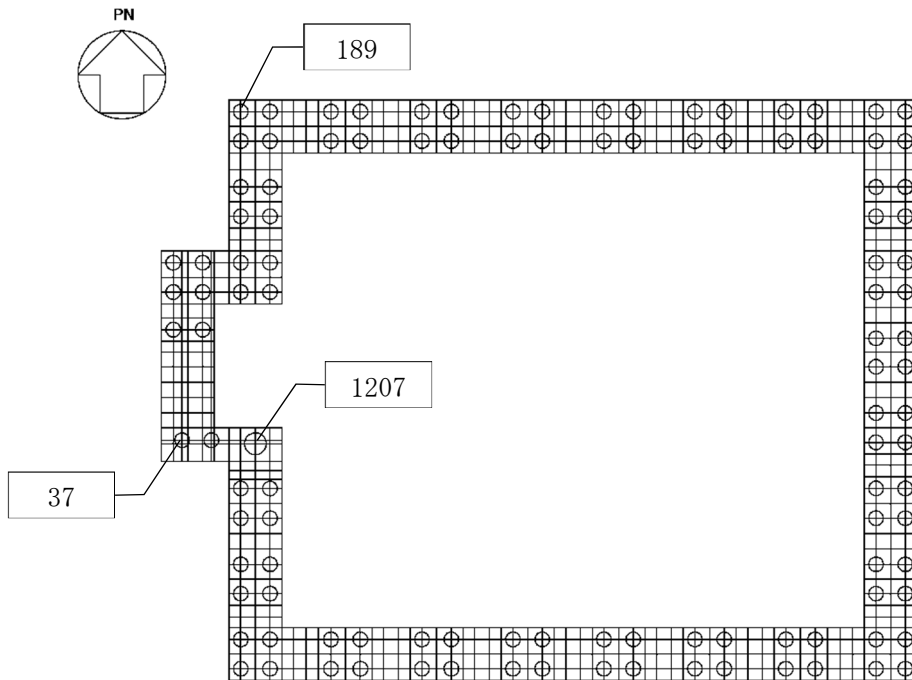
第5.2.3-2図 杭の軸力及び曲げモーメントに対する評価結果

(2) 支持力及び引抜力に対する評価結果

「4.4.3(5) 支持力及び引抜力に対する評価方法」に基づいた評価結果を以下に示す。

支持力及び引抜力に対する評価結果は、杭種ごとに、許容限界に対する軸力の割合が最も大きい杭に対して示す。当該の杭の位置を第5.2.3-3図に、評価結果を第5.2.3-3表に示す。

支持力及び引抜力が、それぞれの許容限界を超えないことを確認した。



注： 内の数値は節点番号

第5.2.3-3図 評価結果を記載する杭の位置

第5.2.3-3表 支持力及び引抜力に対する評価結果

項目	杭種	応力の組合せ結果			許容限界 (kN)	検定比	判定
		節点 番号*1	ケース*1	軸力*2 (kN)			
支持力	P1, P1A	37	1-12	1959	12635	0.16	OK
	P2	1207	1-3	3422	21898	0.16	OK
引抜力	P1, P1A	189	1-2	-1173	5022	0.24	OK
	P2	1207	1-2	-561	7672	0.08	OK

注記 *1：基礎梁の評価における節点番号及びケースを示す。

*2：軸力は正が圧縮，負が引張を示す。

IV－2－3

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果

IV-2-3-1 建物・構築物

IV-2-3-1-1
建物及び屋外機械基礎

IV-2-3-1-1-1

建物及び屋外機械基礎の水平 2 方向
及び鉛直方向地震力の組合せに関する
影響評価結果

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動	1
3. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果	1
3.1 影響評価部位の抽出	1
3.2 影響評価部位の抽出結果	8
3.3 影響評価	9
3.4 影響評価結果	9
3.5 まとめ	9
IV-2-3-1-1-1 別紙 1 安全冷却水 B 冷却塔基礎の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	

1. 概要

本資料は、「IV-1-1 耐震設計の基本方針」及び「IV-1-1-7 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」に基づき、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、建物・構築物(本資料においては、建物及び屋外機械基礎とし、洞道、竜巻防護対策設備及び排気筒は含まない。)(以下、「建物・構築物」という。)が有する耐震性に及ぼす影響について評価した結果を説明するものである。

2. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価には、基準地震動 S_s を用いる。基準地震動 S_s は、「IV-1-1-1 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の概要」による。

ここで、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる基準地震動 S_s は、複数の基準地震動 S_s における地震動の特性及び包絡関係を、施設の特性による影響も考慮した上で確認し、本影響評価に用いる。

3. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果

3.1 影響評価部位の抽出

建物・構築物において、従来設計手法に対して水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した場合に影響を受ける可能性がある部位を抽出し影響検討を行う。

(1) 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物の耐震評価上の構成部位を整理し、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認した。確認した結果を第3.1-1表に示す。

(2) 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性を整理した。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び3次元的な建屋挙動から影響が想定されるものに分けて整理した。整理した結果を第3.1-2表及び第3.1-3表に示す。

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

第3.1-1表に示す耐震評価上の構成部位のうち、第3.1-2表に示す荷重の組合せによる応答特性により、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を第3.1-4表に示す。

応答特性①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位として、安全冷却水B冷却塔基礎の基礎スラブを抽出した。

応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位は抽出されなかった。

(4) 3次元的な応答特性が想定される部位の整理

第3.1-1表に示す耐震評価上の構成部位のうち、第3.1-3表に示す3次元的な応答特性により、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される部位を整理した。整理した結果を第3.1-5表に示す。

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位として、該当する部位はなかった。

応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動が発生する」可能性がある部位として、該当する部位はなかった。

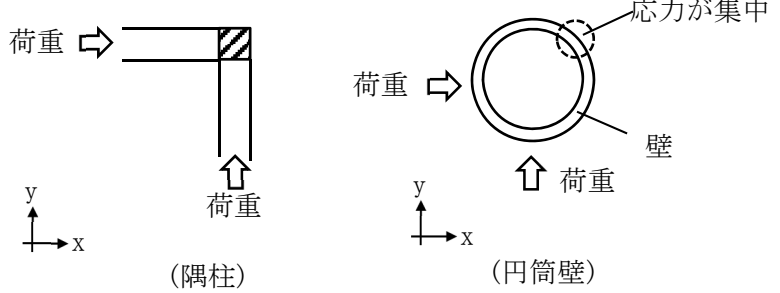
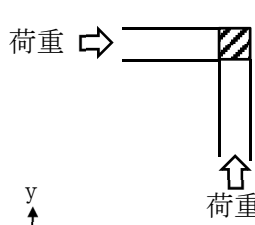
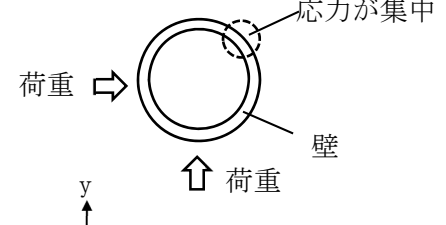
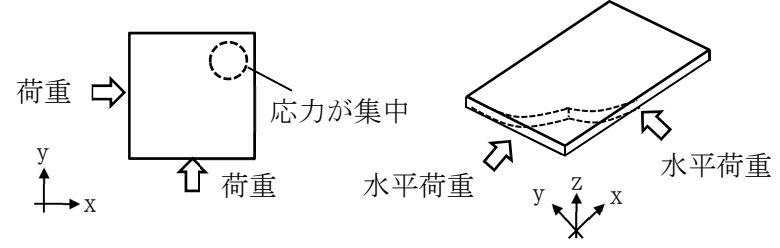
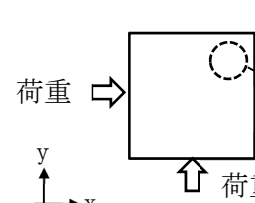
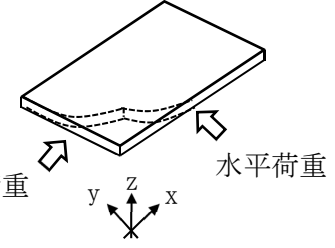
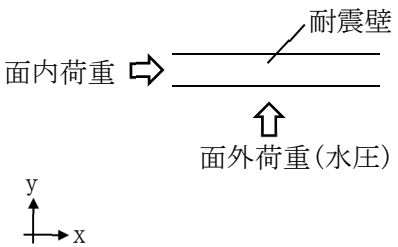
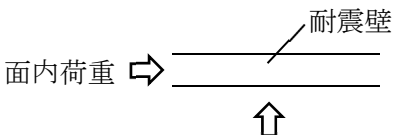
第 3.1-1 表 建物・構築物における耐震評価上の構成部位の整理

対象評価部位		安全冷却水B冷却塔基礎
		RC造（基礎）
柱	一般部	—
	地下部	—
	隅部	—
梁	一般部	—
	地下部	—
	鉄骨 トラス	—
壁	一般部	—
	地下部	—
	鉄骨 ブレース	—
床屋根	一般部	—
基礎 スラブ	矩形	○
	矩形以外	—

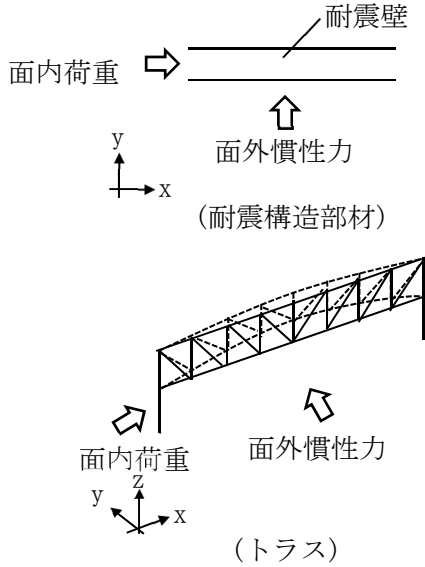
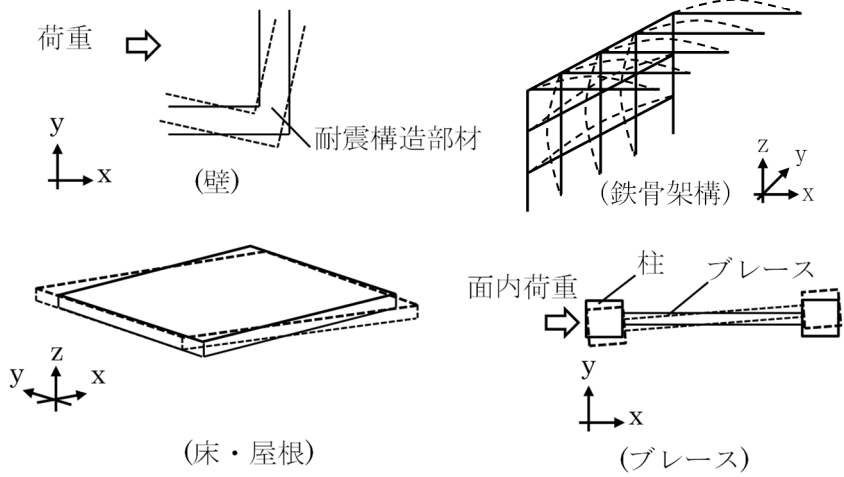
凡例 ○：対象の構造部材が存在する

—：対象の部材が存在しない

第 3.1-2 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性
(荷重の組合せによる応答特性)

荷重の組合せによる 応答特性	影響想定部位
<p>①-1</p> <p>直交する水平 2 方向の荷重 が、応力とし て集中</p>	<p>応力の集中する隅柱等 (例)</p>  <p>荷重 →  荷重 ↑ y ↑ x (隅柱)</p> <p>荷重 →  荷重 ↑ y ↑ x 壁 (円筒壁)</p> <p>応力が集中</p>  <p>荷重 →  荷重 ↑ y ↑ x 応力が集中</p> <p>水平荷重  水平荷重 y z ↑ x (矩形基礎スラブ)</p>
<p>①-2</p> <p>面内方向の荷 重を負担しつ つ、面外方向 の荷重が作用</p>	<p>水圧を負担するプール等 (例)</p>  <p>面内荷重 →  耐震壁 ↑ 面外荷重(水圧) y ↑ x</p>

第 3.1-3 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性
(3 次元的な応答特性)

3 次元的な 応答特性	影響想定部位
<p>②-1</p> <p>面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい</p>	<p>大スパンや吹き抜け部に設置された部位 (例)</p> 
<p>②-2</p> <p>加振方向以外の方に励起される振動</p>	<p>塔状構造物などを含む、ねじれ挙動が想定される建物・構築物 (例)</p> 

第3.1-4表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
影響の確認が必要な部位の抽出
(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

対象評価部位		安全冷却水B冷却塔基礎
		RC造（基礎）
柱	一般部	—
	地下部	—
	隅部	—
梁	一般部	—
	地下部	—
	鉄骨 トラス	—
壁	一般部	—
	地下部	—
	鉄骨 ブレース	—
床屋根	一般部	—
基礎 スラブ	矩形	①-1要
	矩形以外	—

凡例 ①-1 要：応答特性①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」
—：対象の構造部材が存在しない

第 3.1-5 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
影響の確認が必要な部位の抽出
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

対象評価部位		安全冷却水B冷却塔基礎
		RC造（基礎）
柱	一般部	—
	地下部	—
	隅部	—
梁	一般部	—
	地下部	—
	鉄骨 トラス	—
壁	一般部	—
	地下部	—
	鉄骨 ブレース	—
床屋根	矩形	—
基礎 スラブ	矩形以外	該当無し
	矩形以外	—

凡例 該当無し：応答特性②-1 または②-2 に該当しない

—：対象の構造部位が存在しない

3.2 影響評価部位の抽出結果

(1) 建物・構築物における影響評価部位の抽出結果

建物・構築物において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定されるとして抽出した部位を第 3.2-1 表に示す。

応答特性①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位のうち、安全冷却水 B 冷却塔基礎の基礎スラブについて、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

第 3.2-1 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出結果

応答特性	耐震評価部位		対象建物・構築物
	基礎スラブ	矩形	
①-1	基礎スラブ	矩形	安全冷却水 B 冷却塔基礎

凡例 ①-1：応答特性①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」

(2) 機器・配管系への影響が考えられる部位の抽出結果

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位のうち、間接支持構造物のものについて、3 次元的な挙動による応答増幅の観点から機器・配管系への影響の可能性が想定される部位を抽出する。

安全冷却水 B 冷却塔の基礎スラブについては、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにより応力集中する部位であり、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため、機器・配管系への影響の可能性はない。

3.3 影響評価

荷重の組合せによる応答特性より影響が想定される部位として抽出された部位については、構造部材の発生応力等を適切に組合せることで、各部位の設計上の許容値に対する評価を実施し、各部位の耐震性への影響を評価する。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価においては、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を組合せる方法として、米国 REGULATORY GUIDE 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として、組合せ係数法(1.0:0.4:0.4)に基づいて地震力を設定する。なお、組合せる荷重又は応力としては、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる局部評価の荷重又は応力の算出結果を用いる。

3.4 影響評価結果

建物・構築物の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果は、「IV-2-3-1-1-1 別紙 1 安全冷却水 B 冷却塔基礎の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」に示す。

3.5 まとめ

安全冷却水 B 冷却塔の基礎において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性がある耐震評価部位を抽出し、その部位における従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して影響を確認した。その結果、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応力は、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、増加する傾向にあるが、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応力が許容値を満足することを確認した。

以上より、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せについては、安全冷却水 B 冷却塔の基礎が有する耐震性への影響がないことを確認した。

IV—2—3—1—1—1

別紙 1 安全冷却水 B 冷却塔基礎の
水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組
合せに関する影響評価結果

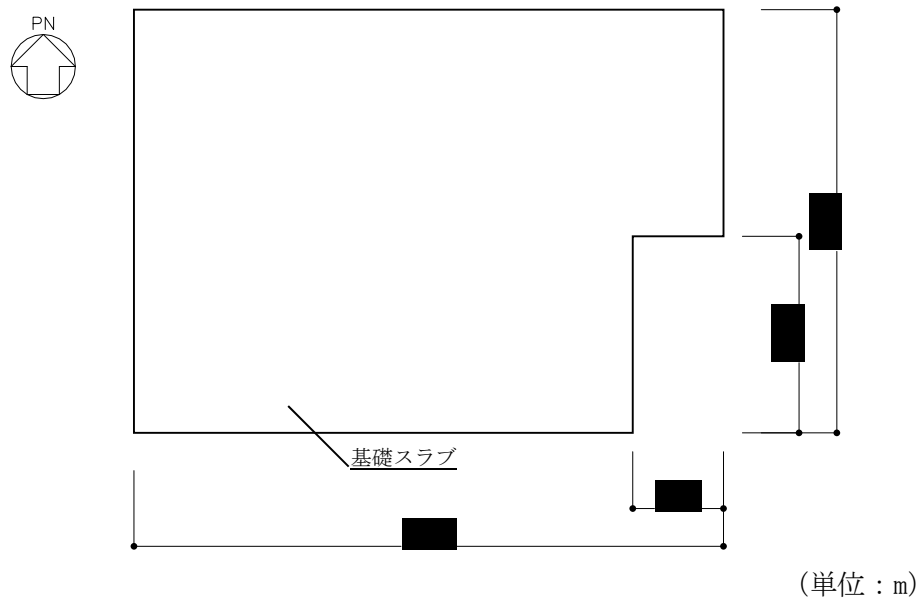
目 次

	ページ
1. 構造概要	1
2. 基礎スラブの評価	3

1. 構造概要

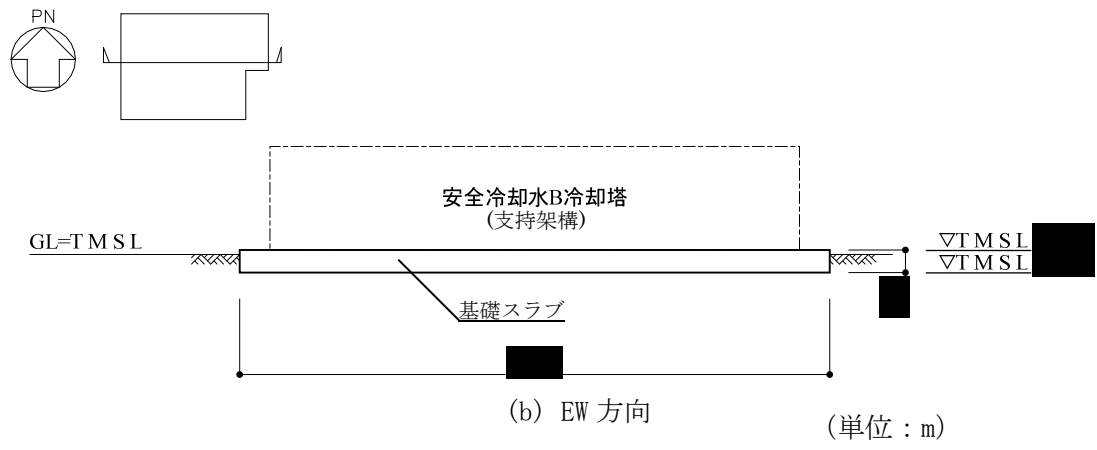
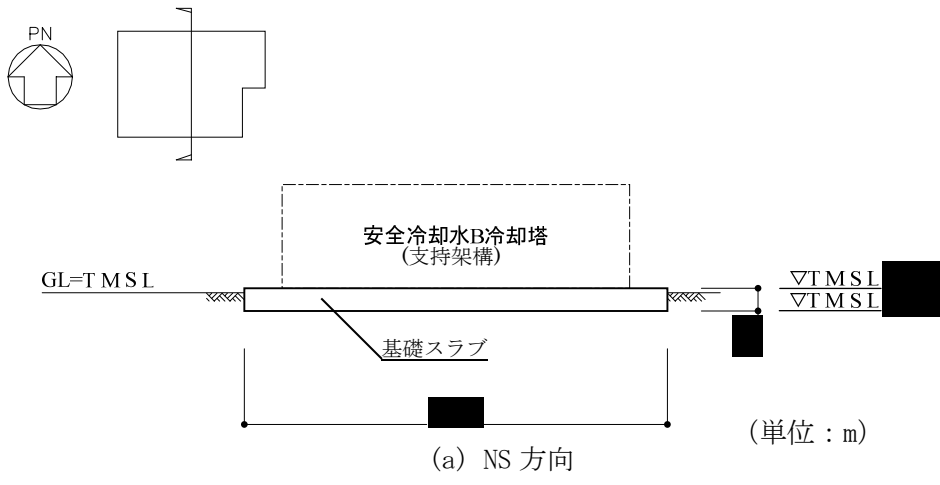
安全冷却水 B 冷却塔基礎の主体構造は鉄筋コンクリート造である。平面規模は主要部分で■■■m(NS)×■■■m(EW)であり、厚さは■■■mである。

主要耐震要素は、鉄筋コンクリート造の基礎スラブである。また、基礎スラブは、不陸調整用のマンメイドロックを介して岩盤に設置されている。安全冷却水 B 冷却塔基礎の概略平面図を第 1.-1 図に、概略断面図を第 1.-2 図に示す。



注記 : 建屋寸法は、壁外面押えとする。

第 1.-1 図 概略平面図(T. M. S. L. ■■■m)



第 1.-2 図 概略断面図

2. 基礎スラブの評価

S_s地震時を対象として、直交する水平2方向の荷重が、応力として集中する部位である安全冷却水B冷却塔基礎の基礎スラブについて、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を実施する。

基礎スラブについて、基準地震動S_sによる地震力を水平2方向及び鉛直方向に作用させ、FEMモデルを用いた弾性応力解析を実施する。FEM解析による断面の評価は、「IV-2-1-1-1-1-2 安全冷却水B冷却塔基礎の耐震計算書」に基づくこととする。

地震荷重は、「IV-2-1-1-1-1-1 安全冷却水B冷却塔基礎の地震応答計算書」にて、基準地震動S_sにより算定される動的地震力を用いる。

地震荷重以外の荷重については「IV-2-1-1-1-1-2 安全冷却水B冷却塔基礎の耐震計算書」に基づいて評価を実施する。

荷重の組合せは「IV-2-1-1-1-1-2 安全冷却水B冷却塔基礎の耐震計算書」にて設定されている荷重及び荷重の組合せを用いる。

基礎スラブのモデル化においては、シェル要素にてモデル化する。また、基礎スラブ底面に水平方向及び鉛直方向の地盤ばねを設ける。なお、基礎スラブ底面に設置した地盤ばねについては、引張力が発生したときに浮上りを考慮する。解析モデルの節点数は146、要素数は122である。解析モデルを第2.-1図に示す。コンクリートの物性値を第2.-1表に、鉄筋コンクリートの単位体積重量を第2.-2表に示す。

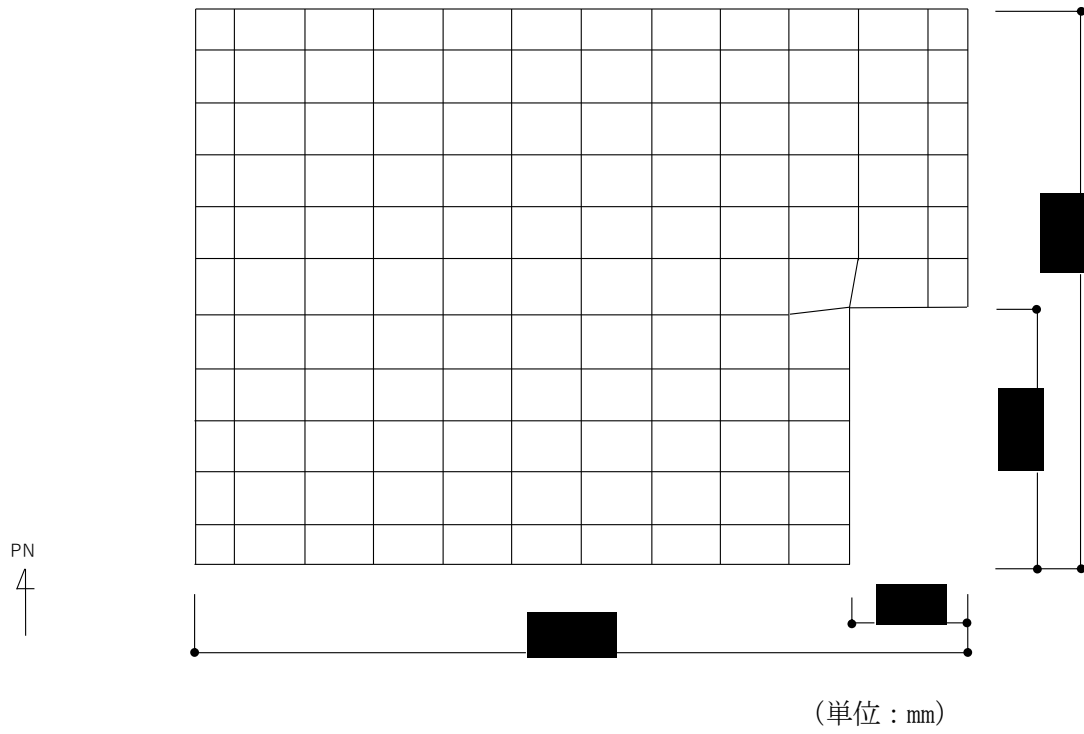
評価方法として、軸力及び曲げモーメントと面外せん断力に対して応力評価を行い、発生する応力が「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説((社)日本建築学会, 2005)」に基づく許容限界を超えないことを確認する。

評価結果を記載する要素の位置(許容限界に対する解析結果の割合が最大となる要素)を第2.-2図及び第2.-3図、評価結果を第2.-3表及び第2.-4表に示す。

評価の結果、S_s地震時における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる発生曲げモーメント及び発生面外せん断力が、それぞれの許容限界を超えないこと確認した。

ここで、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる発生応力は、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、増加する傾向であるが、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応力が許容値を満足することを確認した。

以上のことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、基礎スラブが有する耐震性への影響はないことを確認した。



第 2. -1 図 解析モデル

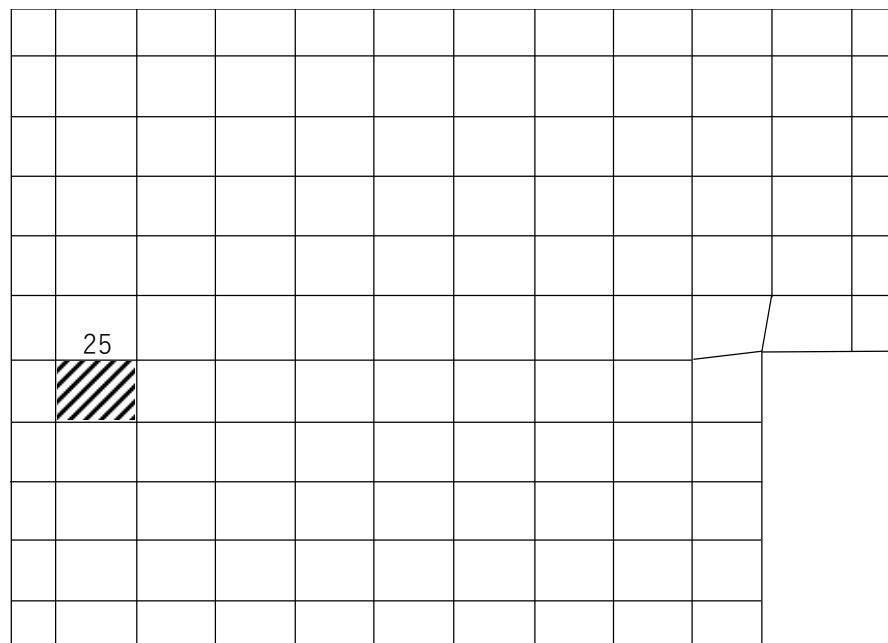
第 2. -1 表 コンクリートの物性値

設計基準強度 Fc (N/mm ²)	ヤング係数 Ec (N/mm ²)	ポアソン比 ν
23.5 (Fc=240kgf/cm ²)	2.25×10 ⁴	0.2

第2. -2表 鉄筋コンクリートの単位体積重量

単位体積重量 (kN/m ³)
24

PN
4
|



(a) NS方向 水平2方向+鉛直
(要素 No. 25)

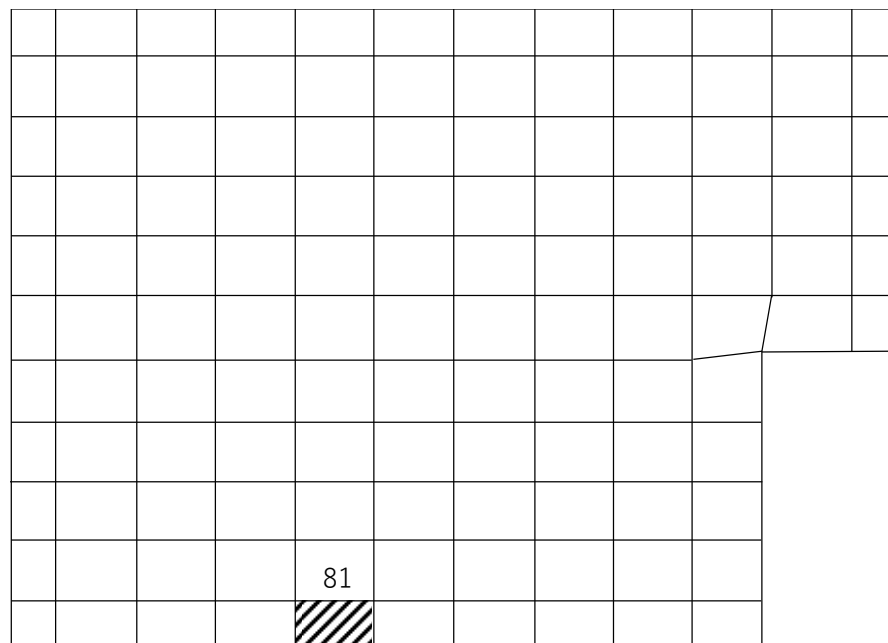
PN
4
|



(b) NS方向 水平1方向+鉛直
(要素No. 5)

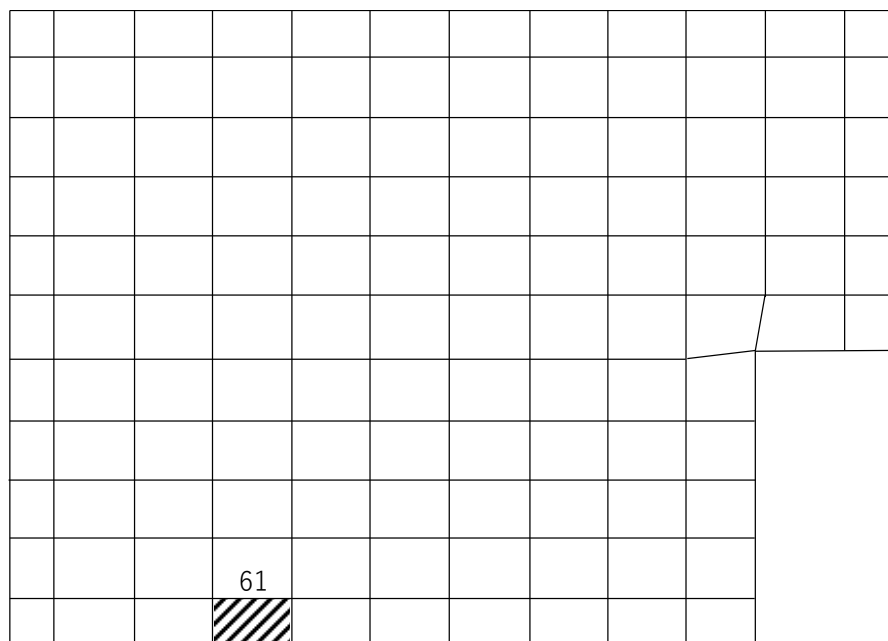
第2.-2図 軸力及び曲げモーメントに対する評価結果を示す要素の位置図(1/2)

PN
4
↑



(c) EW方向 水平2方向+鉛直
(要素No. 81)

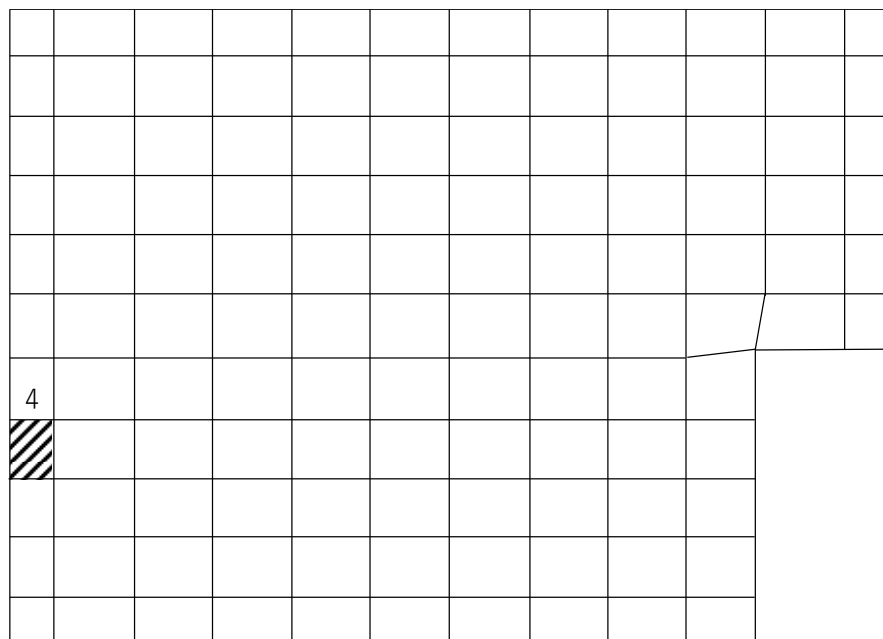
PN
4
↑



(d) EW方向 水平1方向+鉛直
(要素No. 61)

第2.-2図 軸力及び曲げモーメントに対する評価結果を示す要素の位置図(2/2)

PN
4
|



(a) NS方向 水平2方向+鉛直
(要素 No. 4)

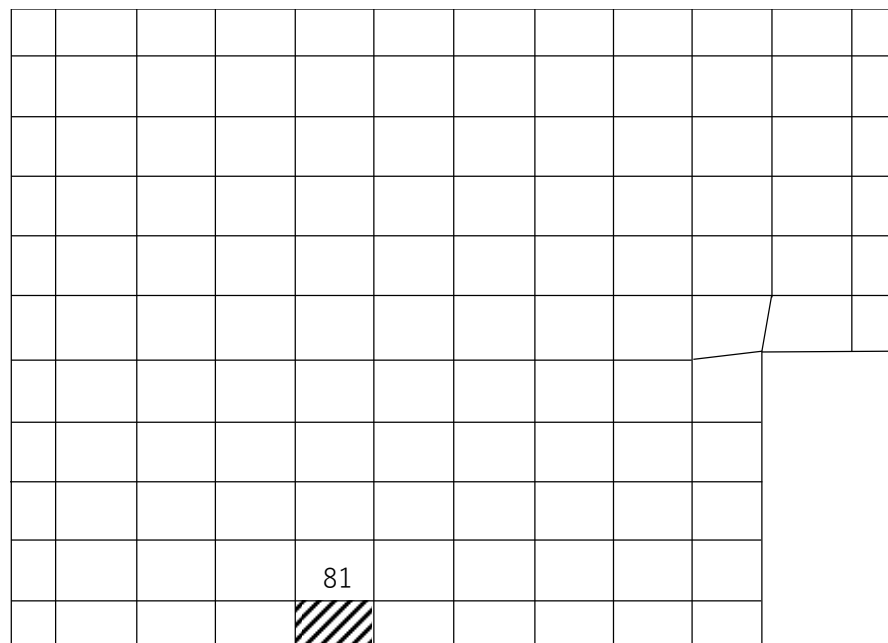
PN
4
|



(b) NS方向 水平1方向+鉛直
(要素 No. 6)

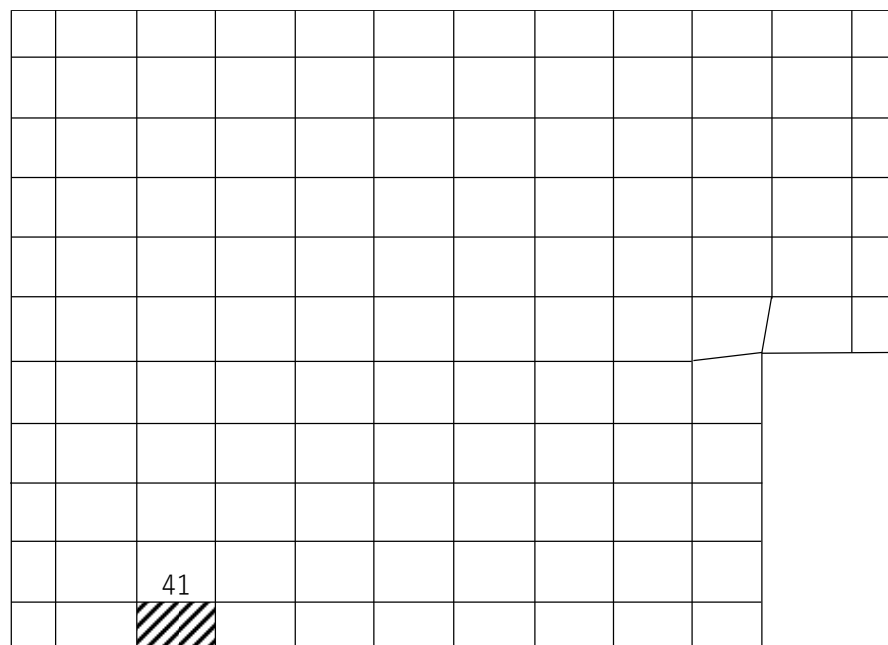
第2.-3図 面外せん断力に対する評価結果を示す要素の位置図(1/2)

PN
4
|



(c) EW方向 水平2方向+鉛直
(要素 No. 81)

PN
4
|



(d) EW方向 水平1方向+鉛直
(要素 No. 41)

第2.-3図 面外せん断力に対する評価結果を示す要素の位置図(2/2)

第2.-3表 軸力及び曲げモーメントに対する評価結果

(a) 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ

方向	解析結果		許容値 (kN・m/m)	検定比	判定
	要素番号	発生曲げモーメント (kN・m/m)			
NS	25	1540	1806	0.853	OK
EW	81	884	1884	0.470	OK

注記 1：許容値は曲げ終局強度を示す。

2：検定比＝(発生曲げモーメント)/(許容値)

3：軸力は圧縮を正とする。

(b) 水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ

方向	解析結果		許容値 (kN・m/m)	検定比	判定
	要素番号	発生曲げモーメント (kN・m/m)			
NS	5	1248	1972	0.633	OK
EW	61	647	2006	0.323	OK

注記 1：許容値は曲げ終局強度を示す。

2：検定比＝(発生曲げモーメント)/(許容値)

3：軸力は圧縮を正とする。

第2.-4表 面外せん断力に対する評価結果

(a) 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ

方向	解析結果		許容値 (kN/m)	検定比	判定
	要素番号	発生面外せん断力 (kN/m)			
NS	4	327	850	0.385	OK
EW	81	208	783	0.266	OK

注記 1：許容値は面外せん断終局強度を示す。

2：検定比＝(発生面外せん断力)/(許容値)

(b) 水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ

方向	解析結果		許容値 (kN/m)	検定比	判定
	要素番号	発生面外せん断力 (kN/m)			
NS	6	388	1565	0.249	OK
EW	41	178	1230	0.145	OK

注記 1：許容値は面外せん断終局強度を示す。

2：検定比＝(発生面外せん断力)/(許容値)

IV-2-3-1-3 竜巻防護対策設備

IV-2-3-1-3-1

竜巻防護対策設備の水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価結果

目 次

ページ

1. 概要	1
2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動	1
3. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果	1
3.1 影響評価部位の抽出	1
3.2 影響評価部位の抽出結果	8
4. 影響評価	11
5. 影響評価結果	11
6. まとめ	11

1. 概要

本資料は、添付書類「IV-1-1 耐震設計の基本方針」及び添付書類「IV-1-1-7 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」に基づき、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、竜巻防護対策設備が有する耐震性に及ぼす影響について評価した結果を説明するものである。

2. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価には、基準地震動 S_s を用いる。基準地震動 S_s は、添付書類「IV-1-1-1 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の概要」による。

ここで、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる基準地震動 S_s は、複数の基準地震動 S_s における地震動の特性及び包絡関係を、施設の特性による影響も考慮した上で確認し、本影響評価に用いる。

3. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果

3.1 影響評価部位の抽出

竜巻防護対策設備において、従来設計手法に対して水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した場合に影響を受ける可能性がある部位を抽出し影響検討を行う。

なお、後次回申請の竜巻防護対策設備に対する結果については、各申請回次で示す。

(1) 耐震評価上の構成部位の整理

竜巻防護対策設備の耐震評価上の構成部位を整理し、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認した。確認した結果を第3.1-1表に示す。

(2) 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性の整理

竜巻防護対策設備における耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性を整理した。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び3次元的な建屋挙動から影響が想定されるものに分けて整理した。整理した結果を第3.1-2表及び第3.1-3表に示す。

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

第 3.1-1 表に示す耐震評価上の構成部位のうち、第 3.1-2 表に示す荷重の組合せによる応答特性により、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を第 3.1-4 表に示す。

応答特性①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位として、飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B)の柱(隅部)、梁(一般部及び鉄骨トラス)、壁(鉄骨ブレース)、基礎梁及び杭を抽出した。

応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位は抽出されなかった。

(4) 3 次元的な応答特性が想定される部位の抽出

第 3.1-1 表に示す耐震評価上の構成部位のうち、第 3.1-3 表に示す 3 次元的な応答特性により、3 方向の応答の同時性を考慮することによる応答への影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を第 3.1-5 表に示す。

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」可能性のある部位は抽出されなかった。

応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動が発生する」可能性のある部位は抽出されなかった。

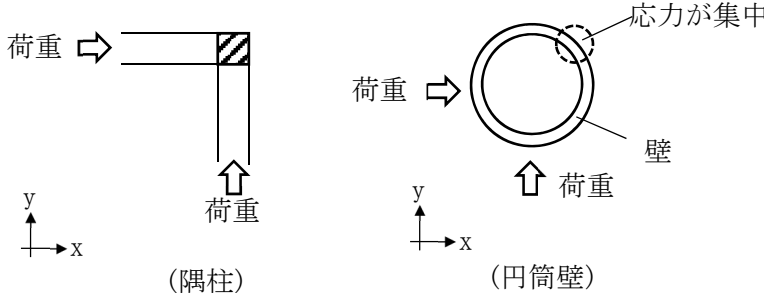
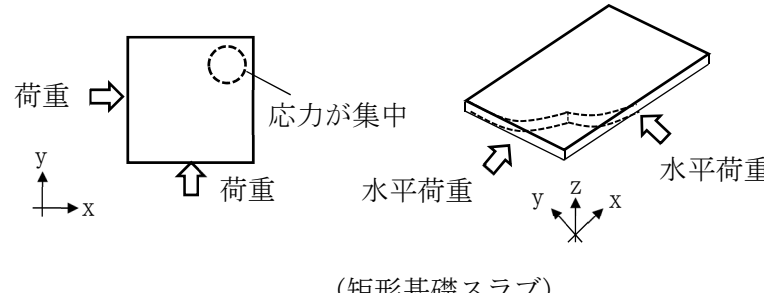
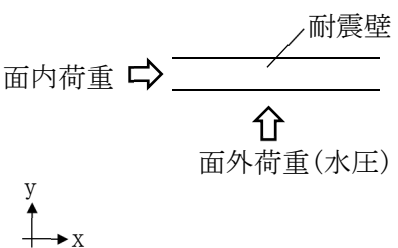
なお、後次回申請の竜巻防護対策設備に対する抽出結果については、各申請回次において精査した結果を示す。

第 3.1-1 表 竜巻防護対策設備における耐震評価上の構成部位の整理

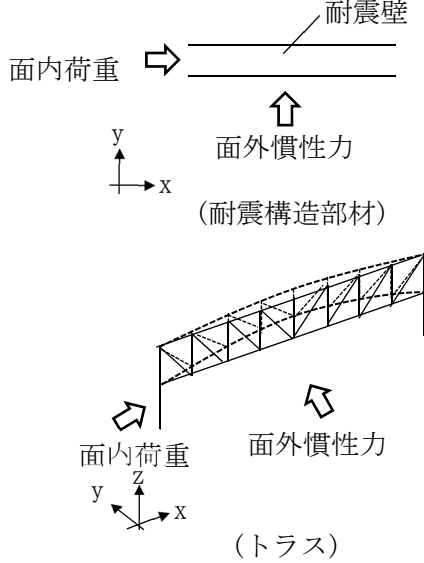
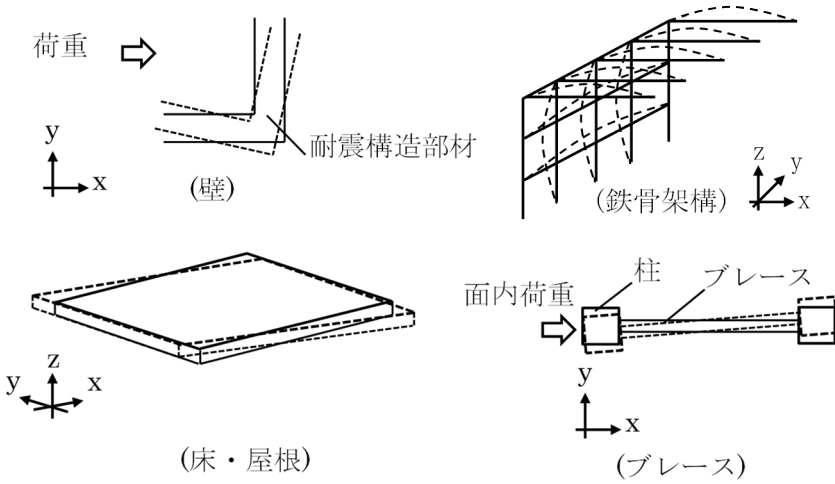
対象評価部位		飛来物防護ネット (再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B)
		支持架構：鉄骨造 基礎梁, 杭：RC 造
柱	一般部	—
	地下部	—
	隅部	○
梁	一般部	○
	地下部	—
	鉄骨 トラス	○
壁	一般部	—
	地下部	—
	鉄骨 ブレース	○
床屋根	一般部	—
基礎スラブ	矩形	—
	矩形以外	—
基礎梁		○
杭		○

凡例 ○：対象の構造部材有り,
—：対象の部材なし

第 3.1-2 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性
(荷重の組合せによる応答特性)

荷重の組合せによる 応答特性	影響想定部位
<p>①-1</p> <p>直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中</p>	<p>応力の集中する隅柱等 (例)</p>  <p>荷重 → ↑ 荷重 (隅柱)</p> <p>荷重 → ↑ 荷重 (円筒壁)</p> <p>応力が集中</p> <p>壁</p>  <p>荷重 → ↑ 荷重 (隅柱)</p> <p>応力が集中</p> <p>水平荷重 水平荷重 (矩形基礎スラブ)</p>
<p>①-2</p> <p>面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用</p>	<p>水圧を負担するプール等 (例)</p>  <p>面内荷重 →</p> <p>耐震壁</p> <p>↑ 面外荷重(水圧)</p> <p>y ↑ x</p>

第 3.1-3 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性
(3 次元的な応答特性)

3 次元的な応答特性	影響想定部位
<p>②-1</p> <p>面内方向の荷重に加え，面外慣性力の影響が大きい</p>	<p>大スパンや吹き抜け部に設置された部位 (例)</p>  <p>耐震壁</p> <p>面内荷重</p> <p>面外慣性力</p> <p>(耐震構造部材)</p> <p>面内荷重</p> <p>面外慣性力</p> <p>(トラス)</p>
<p>②-2</p> <p>加振方向以外の方向に励起される振動</p>	<p>塔状構造物などを含む，ねじれ挙動が想定される建物・構築物 (例)</p>  <p>荷重</p> <p>耐震構造部材</p> <p>(壁)</p> <p>鉄骨架構</p> <p>(床・屋根)</p> <p>柱</p> <p>ブレース</p> <p>面内荷重</p> <p>(ブレース)</p>

第 3.1-4 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
影響の確認が必要な部位の抽出
(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

対象評価部位		飛来物防護ネット (再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B)
		支持架構：鉄骨造 基礎梁，杭：RC 造
柱	一般部	—
	地下部	—
	隅部	①-1 要
梁	一般部	①-1 要
	地下部	—
	鉄骨 トラス	①-1 要
壁	一般部	—
	地下部	—
	鉄骨 ブレース	①-1 要
床屋根	一般部	—
基礎スラブ	矩形	—
	矩形以外	—
基礎梁		①-1 要
杭		①-1 要

凡例 ①-1 要：応答特性①-1「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」

①-2 要：応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ，面外方向の荷重が作用」

—：対象の構造部位が存在しない

第 3.1-5 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
影響の確認が必要な部位の抽出
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

対象評価部位		飛来物防護ネット (再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B)
		支持架構：鉄骨造 基礎梁，杭：RC 造
柱	一般部	—
	地下部	—
	隅部	①-1 要
梁	一般部	①-1 要
	地下部	—
	鉄骨 トラス	①-1 要
壁	一般部	—
	地下部	—
	鉄骨 ブレース	①-1 要
床屋根	一般部	—
基礎スラブ	矩形	—
	矩形以外	—
基礎梁		①-1 要
杭		①-1 要

凡例 ①-1要：応答特性①-1「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」でのスクリーニングで抽出済み

①-2要：応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ，面外方向の荷重が作用」でのスクリーニングで抽出済み

—：対象の構造部位が存在しない

3.2 影響評価部位の抽出結果

(1) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出結果

竜巻防護対策設備において、荷重の組合せによる応答特性による影響が想定される部位を抽出した結果を第3.2-1表に示す。

応答特性①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位として、飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の柱(隅部)、梁(一般部及び鉄骨トラス)、壁(鉄骨ブレース)、基礎梁及び杭を抽出した。

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)においては、応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位としては、抽出されなかった。

なお、後次回申請の竜巻防護対策設備に対する抽出結果については、各申請回次で示す。

第3.2-1表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
影響評価部位の抽出結果

応答特性	耐震評価部位		対象竜巻防護対策設備
	柱	隅部	
①-1	梁	一般部	飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)
		鉄骨トラス	
	壁	鉄骨ブレース	
	基礎梁		
	杭		
①-2	該当なし		

(2) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

竜巻防護対策設備において、「3.2(1) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出結果」で抽出されなかった部位に対し、3次元的な応答特性による影響が想定される部位を抽出した結果を第3.2-2表に示す。

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)においては、「3.2(1) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出結果」で抽出されなかった部位は存在しないため、3次元的な応答特性による影響が想定される部位としては、抽出されなかった。

なお、後次回申請の竜巻防護対策設備に対する抽出結果については、各申請回次で示す。

第3.2-2表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
影響評価部位の抽出結果

応答特性	耐震評価部位	対象竜巻防護対策設備
2-①	該当無し	飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)
2-②	該当無し	

(3) 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価部位の抽出結果一覧

竜巻防護対策設備の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される部位の抽出結果一覧を第3.2-3表に示す。

なお、後次回申請の竜巻防護対策設備においては、部位に作用する荷重を水平2方向及び鉛直方向に適切に組み合わせて耐震性への影響検討を行った結果を改めて示す。

第 3.2-3 表 竜巻防護対策設備における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の
組合せによる影響評価部位の抽出結果一覧

応答 特性	耐震評価部位		対象竜巻防護対策設備
	①-1	柱	隅部
梁		一般部	・飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水 系冷却塔 B) 後次回申請にて示す
		鉄骨 トラス	・飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水 系冷却塔 B) 後次回申請にて示す
壁		鉄骨 ブレース	・飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水 系冷却塔 B) 後次回申請にて示す
基礎梁		・飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水 系冷却塔 B) 後次回申請にて示す	
杭		・飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水 系冷却塔 B) 後次回申請にて示す	
①-2	—	—	後次回申請にて示す
②-1	—	—	後次回申請にて示す
②-2	—	—	後次回申請にて示す

- 凡例 ①-1：応答特性①-1「直交する 2 方向の荷重が，応力として集中」
 ①-2：応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ，面外方向の荷重が作用」
 ②-1：応答特性②-1「面内方向の荷重に加え，面外慣性力の影響が大きい」
 ②-2：応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」

4. 影響評価

荷重の組合せによる応答特性より影響が想定される部位として抽出された部位については、構造部材の発生応力等を適切に組合せることで、各部位の設計上の許容値に対する評価を実施し、各部位の耐震性への影響を評価する。

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価においては、水平2方向及び鉛直方向地震力を組合せる方法として、米国 REGULATORY GUIDE 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として、組合せ係数法(1.0:0.4:0.4)に基づいて地震力を設定する。なお、組合せる荷重又は応力としては、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる局部評価の荷重又は応力の算出結果を用いる。

5. 影響評価結果

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果は、別紙に示す。

なお、後次回申請の竜巻防護対策設備に対する結果については、各申請回次で示す。

6. まとめ

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性がある耐震評価部位を抽出し、その部位における従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して影響を確認した。その結果、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応力が許容値を満足することを確認した。

以上より、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せについては、飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)が有する耐震性への影響がないことを確認した。

なお、後次回申請の竜巻防護対策設備に対する結果については、各申請回次で示す。

IV-2-3-1-3-1 別紙 1
飛来物防護ネット（再処理設備本体
用 安全冷却水系冷却塔 B）の水平
2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ
に関する影響評価結果

目 次

ページ

1. 構造概要	1
2. 飛来物防護ネットの評価	8
2.1 支持架構の評価	8
2.2 基礎梁の評価	17
2.3 杭の評価	24
3. まとめ	33

1. 構造概要

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、鉄骨造の支持架構、鉄筋コンクリート造の基礎梁及び杭によって構成される。

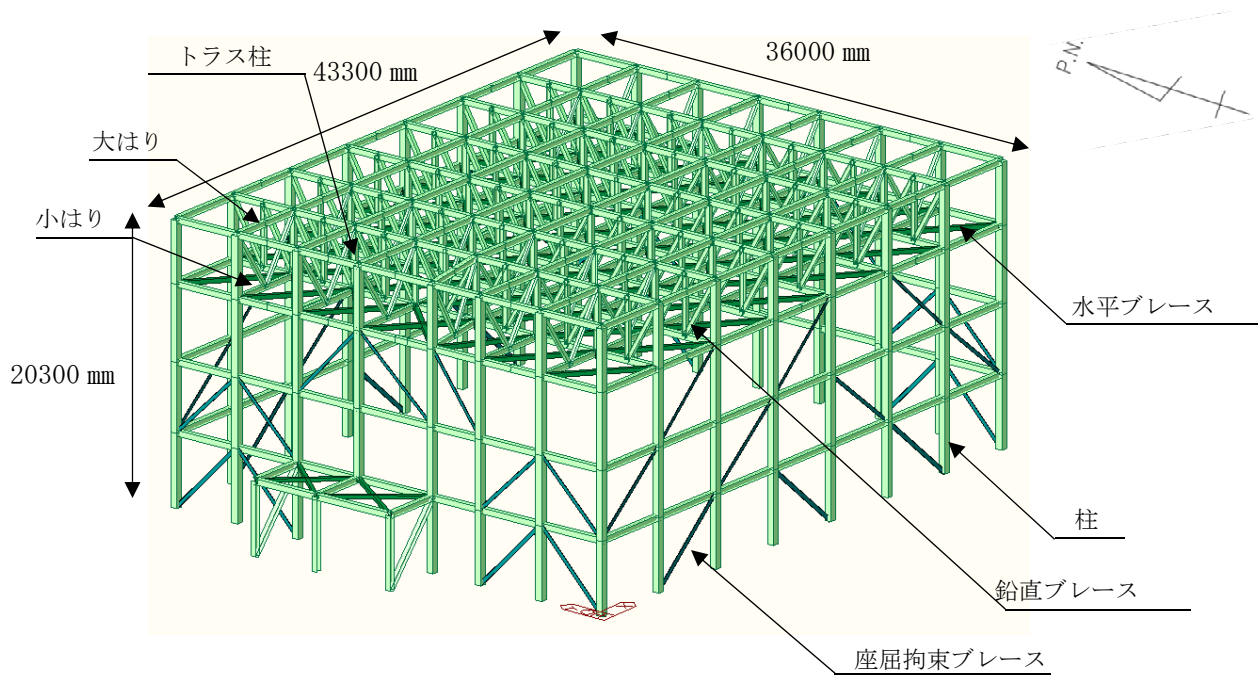
支持架構は、柱、大はり、小はり、トラス柱、鉛直ブレース及び水平ブレースからなるフレーム及び座屈拘束ブレースによって構成され、平面形状は、36.00m(NS方向)×47.90m(EW方向)であり、地上高さは、20.30mである。

座屈拘束ブレースは、中心鋼材を座屈拘束材(鋼管とモルタル)で拘束し、繰り返し作用する地震荷重に対して、安定的に塑性化することでエネルギーを吸収することにより、フレームに作用する荷重を低減するものであり、支持架構にねじれが生じないように配置している。なお、採用した座屈拘束ブレースは、平成12年建設省告示1461号の制振部材及び平成17年国土交通省告示第631号のエネルギー吸収部材に係る評定を受けたものである。

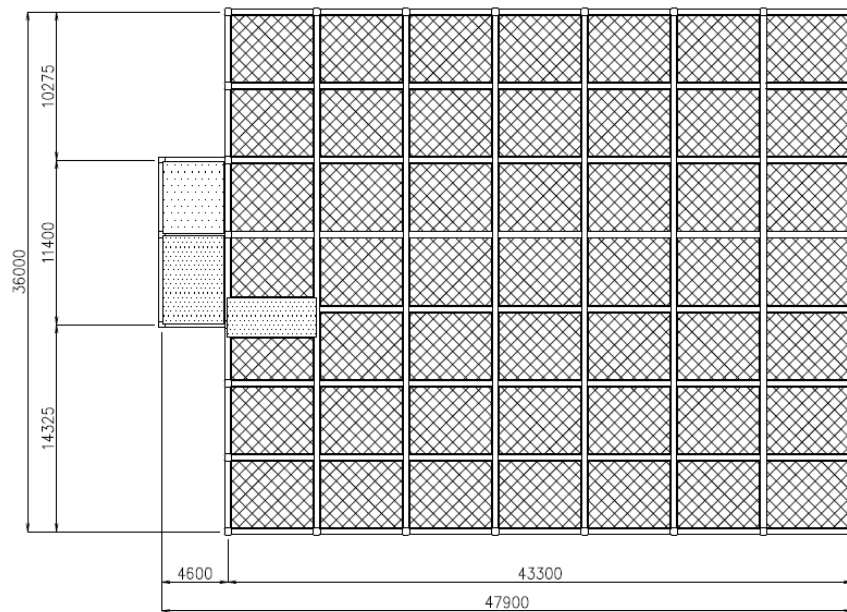
基礎梁は厚さ3.00mの鉄筋コンクリート造であり、支持地盤である岩盤に場所打ちコンクリート杭(外径1.00m及び1.50m、杭長16.80m及び17.80m、113本)を介して設置している。また、液状化対策として飛来物防護ネット架構下部の支持地盤以浅の地盤はセメント系の地盤改良を実施している。

なお、飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は防護対象となる安全冷却水B冷却塔と構造的に分離している。

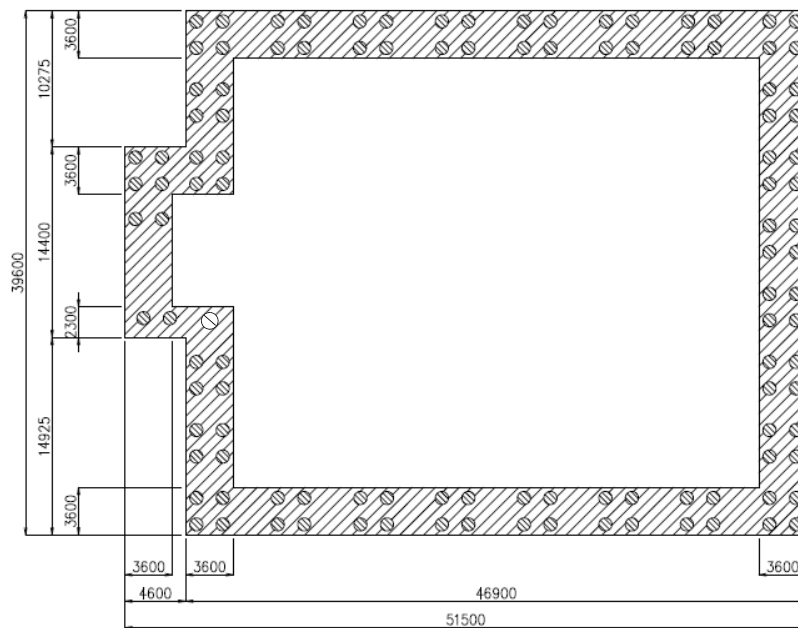
飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の支持架構の全景を第1-1図に、屋根伏図及び杭伏図を第1-2図に、概略側面図を第1-3図に、基礎梁及び杭の断面図を第1-4図に示す。



第 1-1 図 支持架構の全景



(a) 屋根伏図

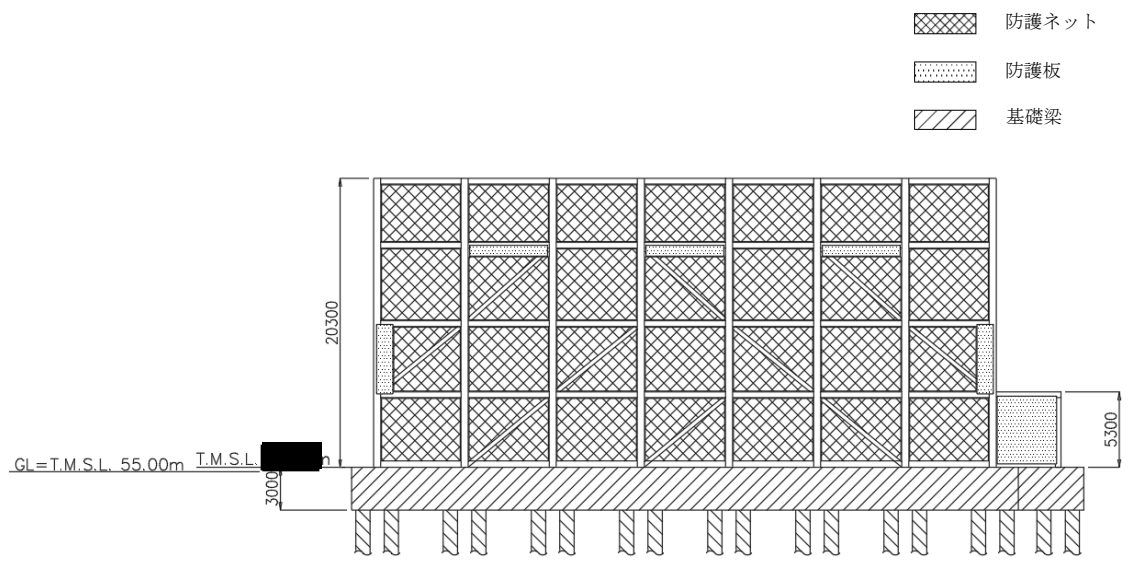


- 防護ネット
- 防護板
- 基礎梁
- 杭 (全113本)

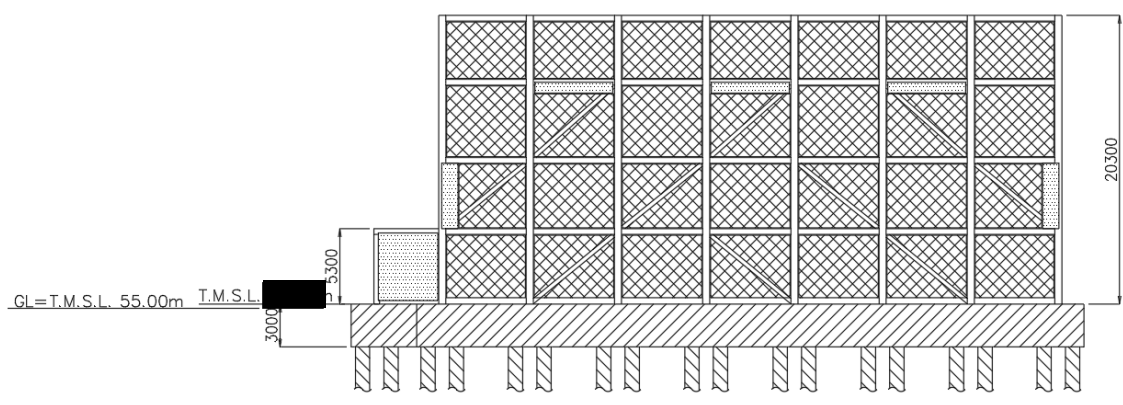
(b) 杭伏図

(単位：mm)

第1-2図 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)
の屋根伏図及び杭伏図



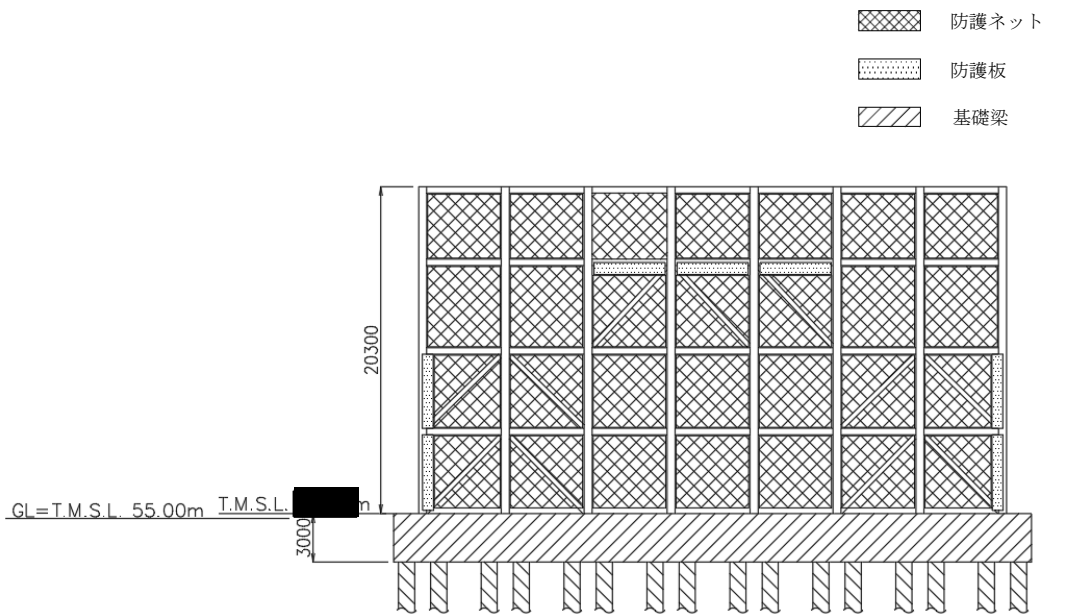
(a) 北面



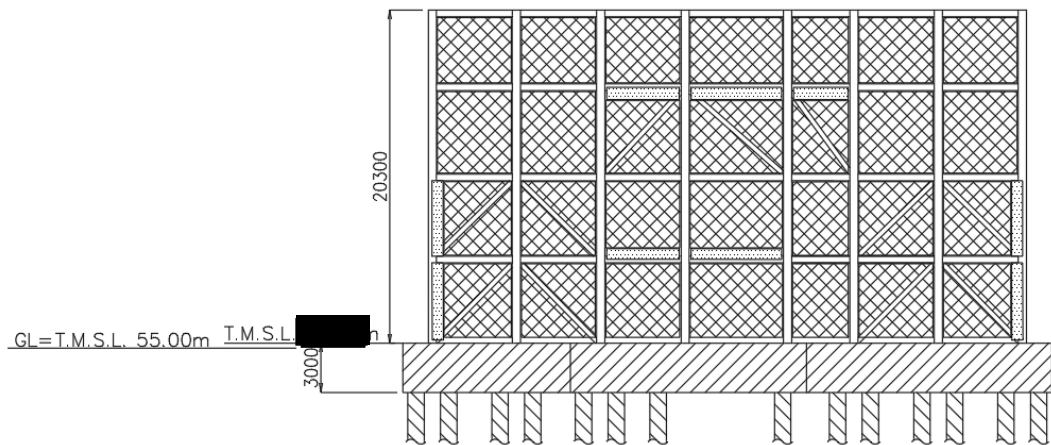
(b) 南面

(単位：mm)

第 1-3 図 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)
の概略側面図(1/2)



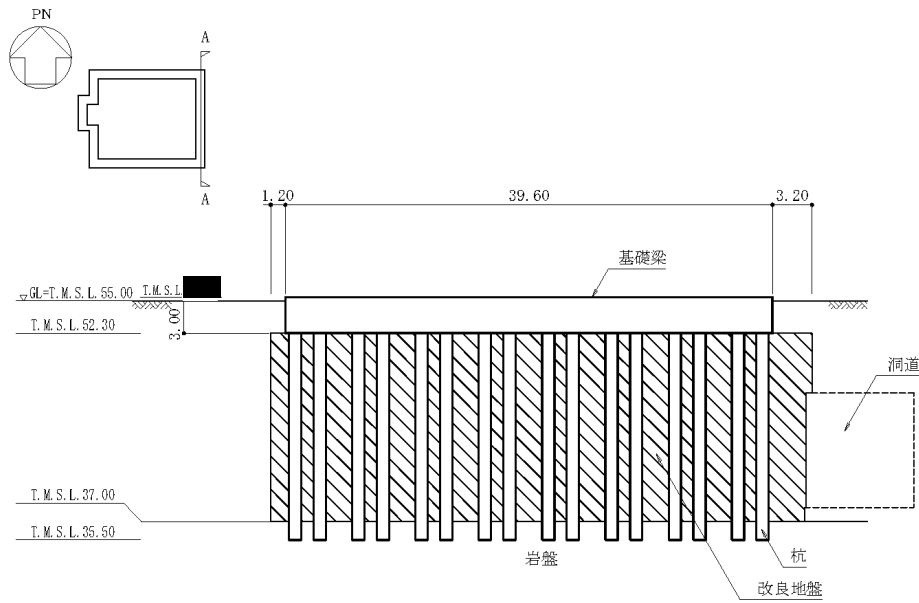
(c) 東面



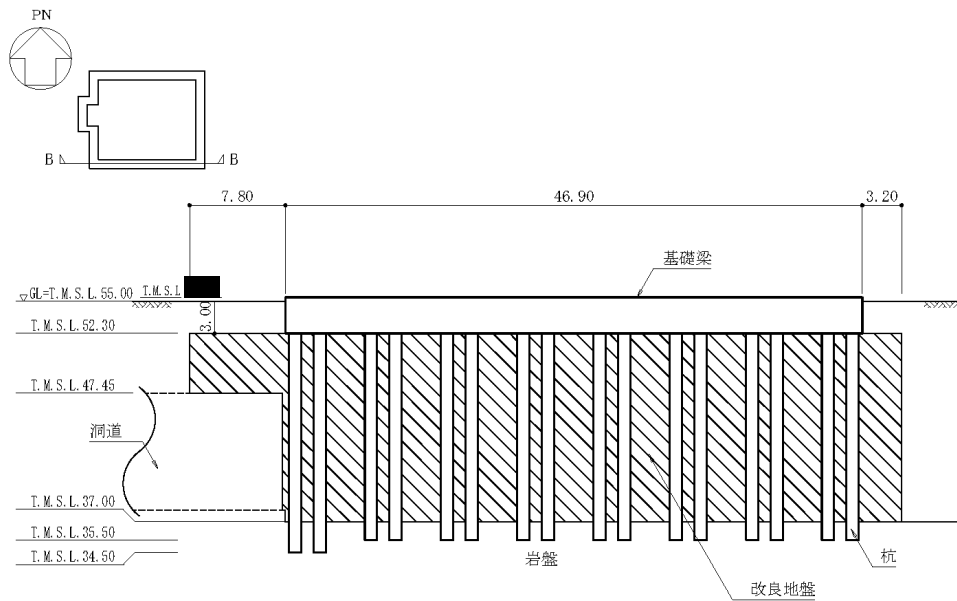
(d) 西面

(単位 : mm)

第 1-3 図 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B)の概略側面図(2/2)



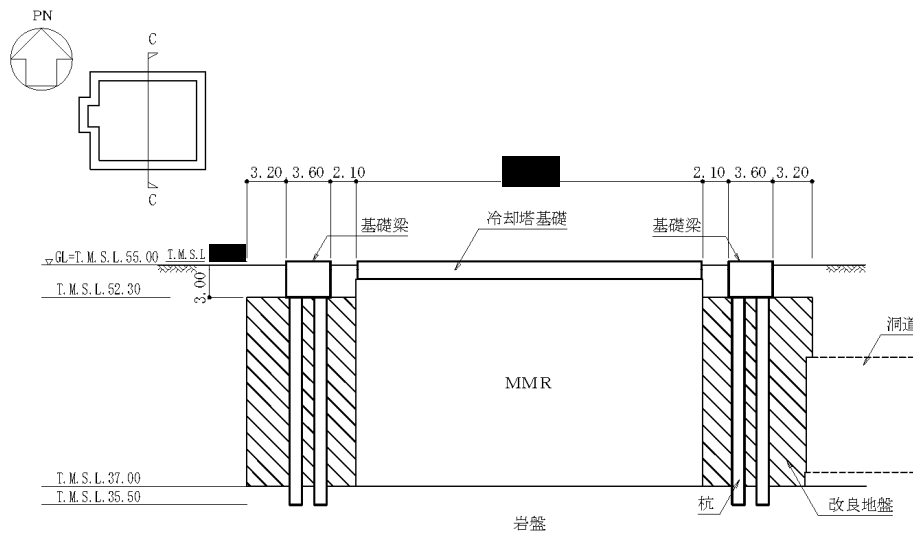
(a) A-A 断面図(NS 方向)



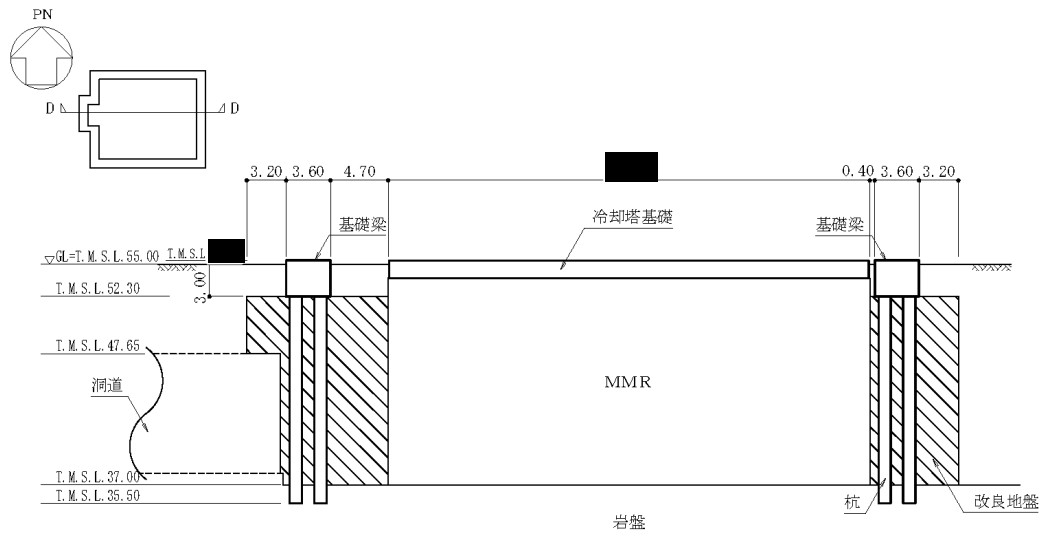
(b) B-B 断面図(EW 方向)

(単位 : m)

第1-4図 基礎梁及び杭の断面図(1/2)



(c) C-C 断面図 (NS 方向)



(d) D-D 断面図 (EW 方向)

(単位 : m)

第1-4図 基礎梁及び杭の断面図 (2/2)

2. 飛来物防護ネットの評価

添付書類「IV-2-2-2-1-2-1-2 飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）の耐震計算書」（以下、「耐震計算書」という。）における支持架構，基礎梁及び杭の耐震評価について，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を確認する。なお，準拠規格・基準等については，「耐震計算書」の「2.4 準拠規格・基準等」と同様とする。

2.1 支持架構の評価

支持架構の直交する水平2方向の荷重が応力として集中する部位である柱（隅部），梁（一般部及び鉄骨トラス），壁（鉄骨ブレース）について，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を実施する。

(1) 評価方針

支持架構の応力解析による評価について，許容限界を超えないことを確認する。

(2) 荷重及び荷重の組合せ

荷重の組合せは，「耐震計算書」の「4.2 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。支持架構の評価において考慮する荷重を第2.1-1表に，荷重の組合せを第2.1-2表に示す。

第2.1-1表 考慮する荷重

荷重名称	内容
固定荷重(D)	構造物(支持架構等)の自重
積雪荷重(Ls)	積雪量190cm 地震荷重と組み合わせる場合は0.35の係数を乗じた値とする。
地震荷重(Ss)*	地震応答解析結果による地震荷重 ・各層の層せん断力 ・屋根部の付加曲げモーメント ・屋根部の鉛直加速度より設定する鉛直震度
風荷重(WL)	建築基準法・同施行令・同告示による風荷重

注記 *：保守的に座屈拘束ブレースのばらつきの考慮をする。

第 2.1-2 表 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S s 地震時	$D+0.35L_s+S_s+W_L$

(3) 許容限界

許容限界は、「耐震計算書」の「4.3 許容限界」にて設定している許容限界を用いる。

(4) 評価方法

支持架構の評価は、3次元フレームモデルを用いた静的弾塑性応力解析により実施する。解析モデル図を第 2.1-1 図に示す。解析モデルは、「耐震計算書」の「4.4.1(1) 解析モデル」に基づき、設定する。

支持架構に作用する応力は、次の荷重を組み合わせて求める。

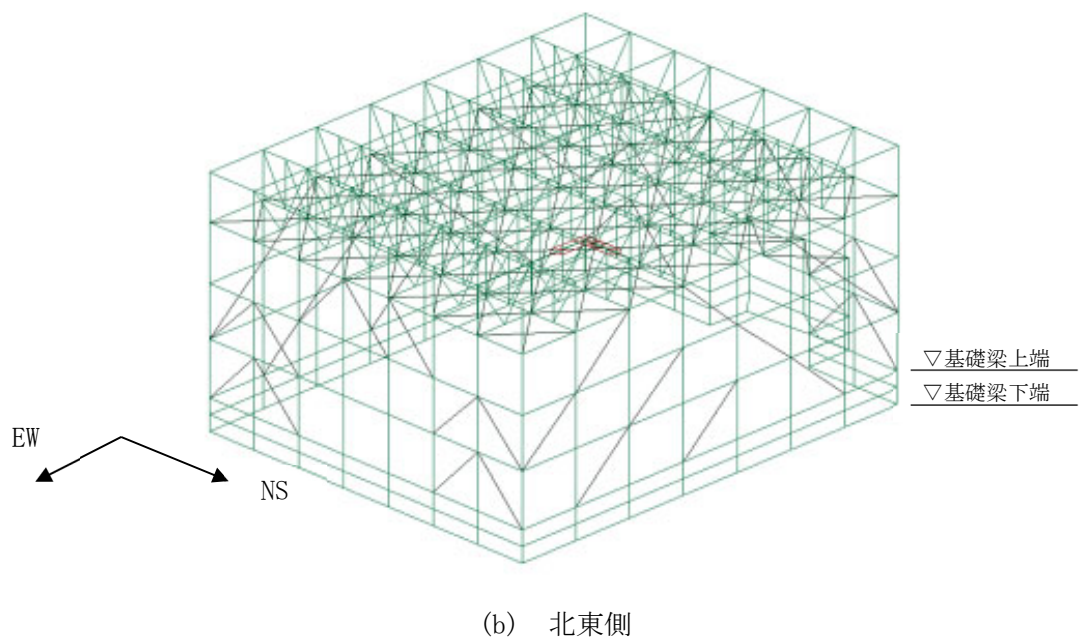
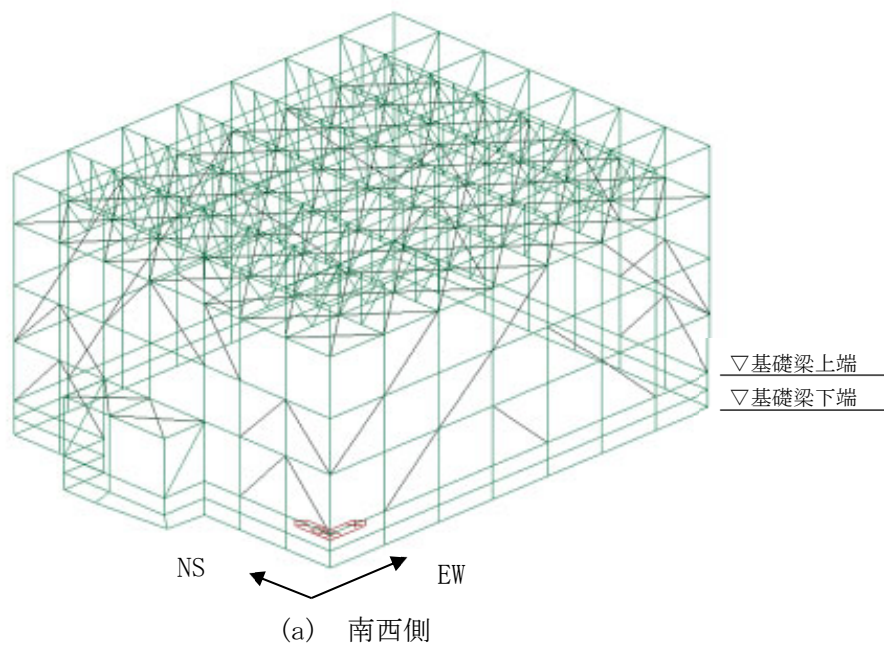
- D : 固定荷重
- L_s : 積雪荷重
- S_{NS} : NS方向の地震荷重(S→N方向を正とする。)
- S_{EW} : EW方向の地震荷重(W→E方向を正とする。)
- S_{UD} : 鉛直方向の地震荷重(上向きを正とする。)
- W_{LNS} : NS方向の風荷重(S→N方向を正とする。)
- W_{LEW} : EW方向の風荷重(W→E方向を正とする。)

水平方向と鉛直方向の荷重の組合せは、「耐震計算書」の「4.4.1(3) 荷重の組合せケース」にて設定されている荷重及び荷重の組合せを用いる。

荷重の組合せケースを第 2.1-3 表に示す。なお、水平方向を 1.0 とする場合については、 S_s-C1 による地震荷重とその他の地震による地震荷重(S_s-C1 以外包絡)による 2 種類の組合せケースを設定しているが、鉛直方向を 1.0 とする場合は、解析ケース数を少なくするため、全ての地震を包絡した地震荷重による 1 種類の組合せケースとしている。

荷重の入力方法は、「耐震計算書」の「4.4.1(4) 荷重の入力方法」に基づき、各節点又は各要素に各荷重を入力する。

部材の評価方法は、「耐震計算書」の「4.4.1(5) 部材の評価方法」に基づき、部材に生じる軸応力度及び曲げ応力度の組合せ応力が許容限界を超えないことを確認する。



第2.1-1図 支持架構の解析モデル図

第2.1-3表 荷重の組合せケース(1/2)

ケース	荷重組合せ	地震荷重
1-1	$D + 0.35 L_s + 1.0 S_{S_{NS}} + 0.4 S_{S_{EW}} + 0.4 S_{S_{UD}} + 1.0 W_{LNS}$	Ss-C1による 地震荷重
1-2	$D + 0.35 L_s - 1.0 S_{S_{NS}} + 0.4 S_{S_{EW}} + 0.4 S_{S_{UD}} - 1.0 W_{LNS}$	
1-3	$D + 0.35 L_s + 1.0 S_{S_{NS}} + 0.4 S_{S_{EW}} - 0.4 S_{S_{UD}} + 1.0 W_{LNS}$	
1-4	$D + 0.35 L_s - 1.0 S_{S_{NS}} + 0.4 S_{S_{EW}} - 0.4 S_{S_{UD}} - 1.0 W_{LNS}$	
1-5	$D + 0.35 L_s + 1.0 S_{S_{NS}} - 0.4 S_{S_{EW}} + 0.4 S_{S_{UD}} + 1.0 W_{LNS}$	
1-6	$D + 0.35 L_s - 1.0 S_{S_{NS}} - 0.4 S_{S_{EW}} + 0.4 S_{S_{UD}} - 1.0 W_{LNS}$	
1-7	$D + 0.35 L_s + 1.0 S_{S_{NS}} - 0.4 S_{S_{EW}} - 0.4 S_{S_{UD}} + 1.0 W_{LNS}$	
1-8	$D + 0.35 L_s - 1.0 S_{S_{NS}} - 0.4 S_{S_{EW}} - 0.4 S_{S_{UD}} - 1.0 W_{LNS}$	
1-9	$D + 0.35 L_s + 0.4 S_{S_{NS}} + 1.0 S_{S_{EW}} + 0.4 S_{S_{UD}} + 1.0 W_{LEW}$	
1-10	$D + 0.35 L_s - 0.4 S_{S_{NS}} + 1.0 S_{S_{EW}} + 0.4 S_{S_{UD}} + 1.0 W_{LEW}$	
1-11	$D + 0.35 L_s + 0.4 S_{S_{NS}} + 1.0 S_{S_{EW}} - 0.4 S_{S_{UD}} + 1.0 W_{LEW}$	
1-12	$D + 0.35 L_s - 0.4 S_{S_{NS}} + 1.0 S_{S_{EW}} - 0.4 S_{S_{UD}} + 1.0 W_{LEW}$	
1-13	$D + 0.35 L_s + 0.4 S_{S_{NS}} - 1.0 S_{S_{EW}} + 0.4 S_{S_{UD}} - 1.0 W_{LEW}$	
1-14	$D + 0.35 L_s - 0.4 S_{S_{NS}} - 1.0 S_{S_{EW}} + 0.4 S_{S_{UD}} - 1.0 W_{LEW}$	
1-15	$D + 0.35 L_s + 0.4 S_{S_{NS}} - 1.0 S_{S_{EW}} - 0.4 S_{S_{UD}} - 1.0 W_{LEW}$	
1-16	$D + 0.35 L_s - 0.4 S_{S_{NS}} - 1.0 S_{S_{EW}} - 0.4 S_{S_{UD}} - 1.0 W_{LEW}$	
1-17	$D + 0.35 L_s + 1.0 S_{S_{NS}} + 0.4 S_{S_{EW}} + 0.4 S_{S_{UD}} + 1.0 W_{LNS}$	その他の 地震による 地震荷重 (Ss-C1以外 包絡)
1-18	$D + 0.35 L_s - 1.0 S_{S_{NS}} + 0.4 S_{S_{EW}} + 0.4 S_{S_{UD}} - 1.0 W_{LNS}$	
1-19	$D + 0.35 L_s + 1.0 S_{S_{NS}} + 0.4 S_{S_{EW}} - 0.4 S_{S_{UD}} + 1.0 W_{LNS}$	
1-20	$D + 0.35 L_s - 1.0 S_{S_{NS}} + 0.4 S_{S_{EW}} - 0.4 S_{S_{UD}} - 1.0 W_{LNS}$	
1-21	$D + 0.35 L_s + 1.0 S_{S_{NS}} - 0.4 S_{S_{EW}} + 0.4 S_{S_{UD}} + 1.0 W_{LNS}$	
1-22	$D + 0.35 L_s - 1.0 S_{S_{NS}} - 0.4 S_{S_{EW}} + 0.4 S_{S_{UD}} - 1.0 W_{LNS}$	
1-23	$D + 0.35 L_s + 1.0 S_{S_{NS}} - 0.4 S_{S_{EW}} - 0.4 S_{S_{UD}} + 1.0 W_{LNS}$	
1-24	$D + 0.35 L_s - 1.0 S_{S_{NS}} - 0.4 S_{S_{EW}} - 0.4 S_{S_{UD}} - 1.0 W_{LNS}$	
1-25	$D + 0.35 L_s + 0.4 S_{S_{NS}} + 1.0 S_{S_{EW}} + 0.4 S_{S_{UD}} + 1.0 W_{LEW}$	
1-26	$D + 0.35 L_s - 0.4 S_{S_{NS}} + 1.0 S_{S_{EW}} + 0.4 S_{S_{UD}} + 1.0 W_{LEW}$	
1-27	$D + 0.35 L_s + 0.4 S_{S_{NS}} + 1.0 S_{S_{EW}} - 0.4 S_{S_{UD}} + 1.0 W_{LEW}$	
1-28	$D + 0.35 L_s - 0.4 S_{S_{NS}} + 1.0 S_{S_{EW}} - 0.4 S_{S_{UD}} + 1.0 W_{LEW}$	
1-29	$D + 0.35 L_s + 0.4 S_{S_{NS}} - 1.0 S_{S_{EW}} + 0.4 S_{S_{UD}} - 1.0 W_{LEW}$	
1-30	$D + 0.35 L_s - 0.4 S_{S_{NS}} - 1.0 S_{S_{EW}} + 0.4 S_{S_{UD}} - 1.0 W_{LEW}$	
1-31	$D + 0.35 L_s + 0.4 S_{S_{NS}} - 1.0 S_{S_{EW}} - 0.4 S_{S_{UD}} - 1.0 W_{LEW}$	
1-32	$D + 0.35 L_s - 0.4 S_{S_{NS}} - 1.0 S_{S_{EW}} - 0.4 S_{S_{UD}} - 1.0 W_{LEW}$	

第2.1-3表 荷重の組合せケース(2/2)

ケース	荷重組合せ	地震荷重
1-33	$D + 0.35 L_s + 0.4 S_{SNS} + 0.4 S_{SEW} + 1.0 S_{SUD} + 1.0 W_{LNS}$	全地震包絡
1-34	$D + 0.35 L_s - 0.4 S_{SNS} + 0.4 S_{SEW} + 1.0 S_{SUD} - 1.0 W_{LNS}$	
1-35	$D + 0.35 L_s + 0.4 S_{SNS} + 0.4 S_{SEW} - 1.0 S_{SUD} + 1.0 W_{LNS}$	
1-36	$D + 0.35 L_s - 0.4 S_{SNS} + 0.4 S_{SEW} - 1.0 S_{SUD} - 1.0 W_{LNS}$	
1-37	$D + 0.35 L_s + 0.4 S_{SNS} - 0.4 S_{SEW} + 1.0 S_{SUD} + 1.0 W_{LNS}$	
1-38	$D + 0.35 L_s - 0.4 S_{SNS} - 0.4 S_{SEW} + 1.0 S_{SUD} - 1.0 W_{LNS}$	
1-39	$D + 0.35 L_s + 0.4 S_{SNS} - 0.4 S_{SEW} - 1.0 S_{SUD} + 1.0 W_{LNS}$	
1-40	$D + 0.35 L_s - 0.4 S_{SNS} - 0.4 S_{SEW} - 1.0 S_{SUD} - 1.0 W_{LNS}$	
1-41	$D + 0.35 L_s + 0.4 S_{SNS} + 0.4 S_{SEW} + 1.0 S_{SUD} + 1.0 W_{LEW}$	
1-42	$D + 0.35 L_s - 0.4 S_{SNS} + 0.4 S_{SEW} + 1.0 S_{SUD} + 1.0 W_{LEW}$	
1-43	$D + 0.35 L_s + 0.4 S_{SNS} + 0.4 S_{SEW} - 1.0 S_{SUD} + 1.0 W_{LEW}$	
1-44	$D + 0.35 L_s - 0.4 S_{SNS} + 0.4 S_{SEW} - 1.0 S_{SUD} + 1.0 W_{LEW}$	
1-45	$D + 0.35 L_s + 0.4 S_{SNS} - 0.4 S_{SEW} + 1.0 S_{SUD} - 1.0 W_{LEW}$	
1-46	$D + 0.35 L_s - 0.4 S_{SNS} - 0.4 S_{SEW} + 1.0 S_{SUD} - 1.0 W_{LEW}$	
1-47	$D + 0.35 L_s + 0.4 S_{SNS} - 0.4 S_{SEW} - 1.0 S_{SUD} - 1.0 W_{LEW}$	
1-48	$D + 0.35 L_s - 0.4 S_{SNS} - 0.4 S_{SEW} - 1.0 S_{SUD} - 1.0 W_{LEW}$	

(5) 評価結果

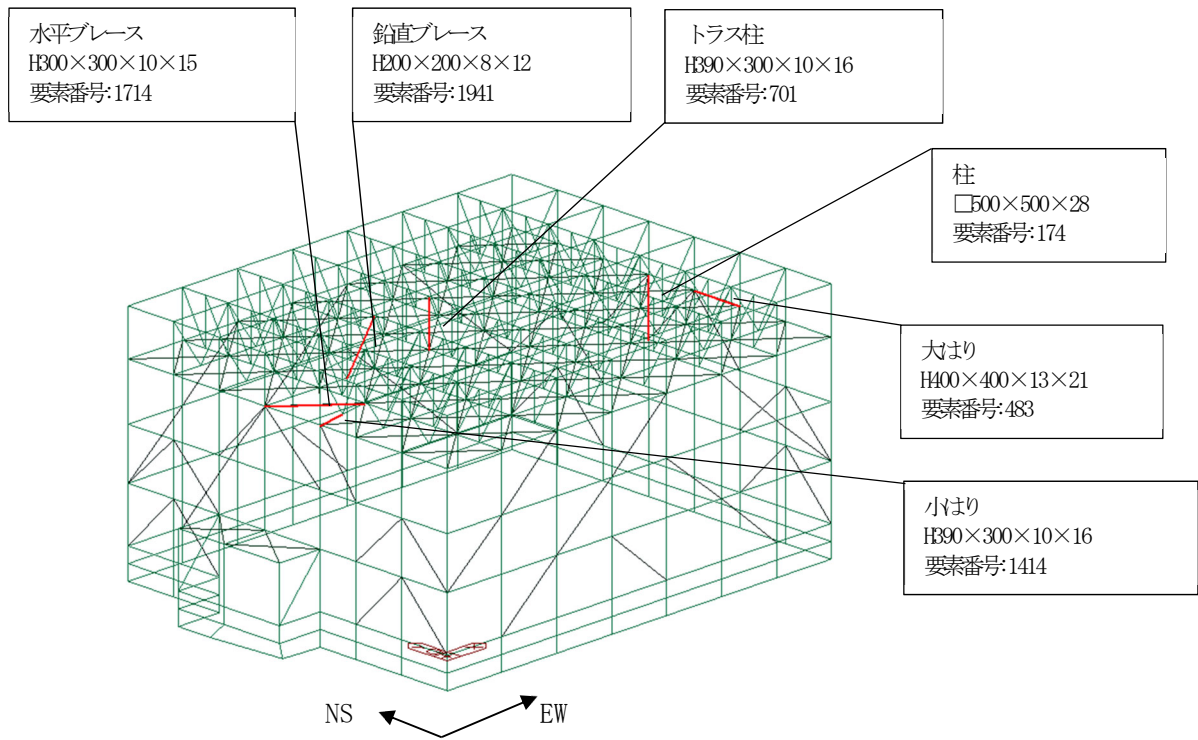
「(4) 評価方法」に基づいた評価結果を以下に示す。

評価結果を記載する部材は、部材種別ごとに検定比が最も大きいものを対象とする。当該部材の位置を第2.1-2図に、評価結果を第2.1-4表に示す。なお、参考に耐震計算書の水平1方向及び鉛直地震力の組合せの結果を第2.1-4表に併せて示す。

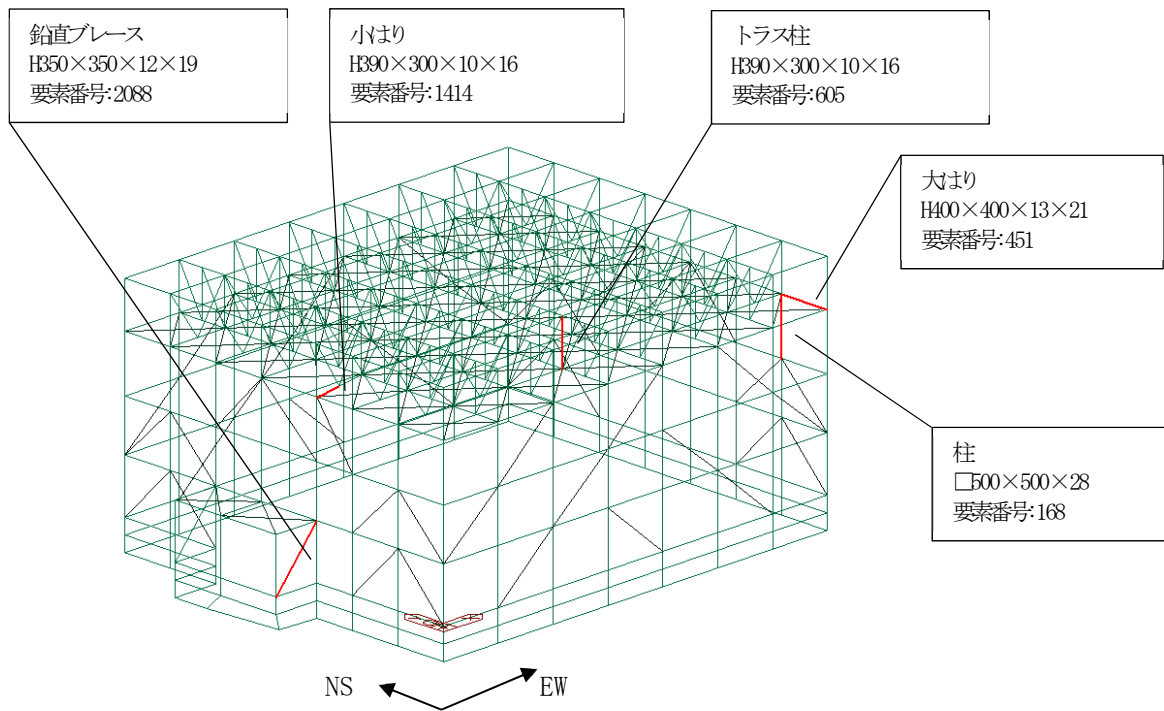
応答特性①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」で抽出した飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）の結果を以下に示す。

- ・柱(隅部)について、柱の検定比が1.0を下回っており、許容限界を超えないことを確認した。
- ・梁(鉄骨トラス)について、大はり、小はり、トラス柱、鉛直ブレース、水平ブレースの検定比が1.0を下回っており、許容限界を超えないことを確認した。
- ・梁(一般部)については、梁(鉄骨トラス)の大はりの最大検定比を下回っており、許容限界を超えないことを確認した。
- ・壁(鉄骨ブレース)の軸力+曲げの評価は、梁(鉄骨トラス)の鉛直ブレースの最大検定比を下回っている。また、せん断の評価は検定比が1.0を下回っている。よって、許容限界を超えないことを確認した。

以上のことから、支持架構の耐震性評価において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響がないことを確認した。



(a) 軸力+曲げ



(b) せん断

第2.1-2図 評価結果を記載する位置(水平2方向及び鉛直地震力の組合せ)

第2.1-4表 部材の評価結果(1/2)

(a) 水平2方向及び鉛直地震力の組合せ

部材種別	要素番号	ケース	応力度	発生応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	検定比	判定
柱	168	1-4	せん断	35.4	206.0	0.18	OK
	174	1-4	軸力+曲げ	(検定比) 0.94	(許容値) 1.00	0.94	OK
大はり	451	1-8	せん断	72.5	206.0	0.36	OK
	483	1-4	軸力+曲げ	(検定比) 0.92	(許容値) 1.00	0.92	OK
小はり	1414	1-16	せん断	38.9	206.0	0.19	OK
	1414	1-16	軸力+曲げ	(検定比) 0.95	(許容値) 1.00	0.95	OK
トラス柱	605	1-36	せん断	14.4	206.0	0.07	OK
	701	1-15	軸力+曲げ	(検定比) 0.77	(許容値) 1.00	0.77	OK
鉛直 ブレース	2088	1-16	せん断	10.3	206.0	0.05	OK
	1941	1-16	軸力+曲げ	(検定比) 0.71	(許容値) 1.00	0.71	OK
水平 ブレース	1714	1-1	軸力+曲げ	(検定比) 0.32	(許容値) 1.00	0.32	OK

第2.1-4表 部材の評価結果(2/2)

(b) 水平1方向及び鉛直地震力の組合せ

部材種別	要素番号	ケース	応力度	発生応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	検定比	判定
柱	167	1-4	せん断	34.0	206.0	0.17	OK
	174	1-4	軸力+曲げ	(検定比) 0.89	(許容値) 1.00	0.89	OK
大はり	451	1-4	せん断	70.1	206.0	0.34	OK
	483	1-4	軸力+曲げ	(検定比) 0.87	(許容値) 1.00	0.87	OK
小はり	1428	1-12	せん断	38.5	206.0	0.19	OK
	1414	1-12	軸力+曲げ	(検定比) 0.87	(許容値) 1.00	0.87	OK
トラス柱	766	2-7	せん断	13.5	206.0	0.07	OK
	701	1-12	軸力+曲げ	(検定比) 0.72	(許容値) 1.00	0.72	OK
鉛直 ブレース	2088	1-12	せん断	10.3	206.0	0.05	OK
	1941	2-12	軸力+曲げ	(検定比) 0.69	(許容値) 1.00	0.69	OK
水平 ブレース	1714	1-1	軸力+曲げ	(検定比) 0.30	(許容値) 1.00	0.30	OK

2.2 基礎梁の評価

直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中する部位である基礎梁について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を実施する。

(1) 評価方針

基礎梁の応力解析による評価について、許容限界を超えないことを確認する。

(2) 荷重及び荷重の組合せ

荷重の組合せは、「耐震計算書」の「4.2 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。基礎梁の評価において考慮する荷重を第 2.2-1 表に、荷重の組合せを第 2.2-2 表に示す。

第2.2-1表 考慮する荷重

荷重名称	内容
固定荷重(D)	構造物(基礎梁)の自重
積雪荷重(Ls)	積雪量190cm 地震荷重と組み合わせる場合は0.35の係数を乗じた値とする。
地震荷重(Ss)*4	地震応答解析結果による地震荷重 ・基礎梁部の加速度(水平及び鉛直)より設定する震度 支持架構の評価結果による荷重*1 ・柱脚鉛直軸力 ・柱脚曲げモーメント ・柱脚せん断力 杭の評価結果による荷重*2 ・杭頭曲げモーメント
風荷重(WL)	建築基準法・同施行令・同告示の規定による風荷重*3

注記 *1: 支持架構に作用する固定荷重, 積雪荷重, 地震荷重及び風荷重を含む。

*2: 杭に作用する地震荷重及び風荷重を含む。

*3: 支持架構の評価において支持架構に作用する風荷重を考慮しているため, 本表の「地震荷重(Ss)」のうち「支持架構の評価結果による荷重」により, 基礎梁に風荷重が考慮される。

*4: 保守的に座屈拘束ブレースのばらつきの考慮をする。

第2.2-2表 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S s 地震時	$D + 0.35Ls + Ss + WL$

(3) 許容限界

許容限界は, 「耐震計算書」の「4.3 許容限界」にて設定している許容限界を用いる。

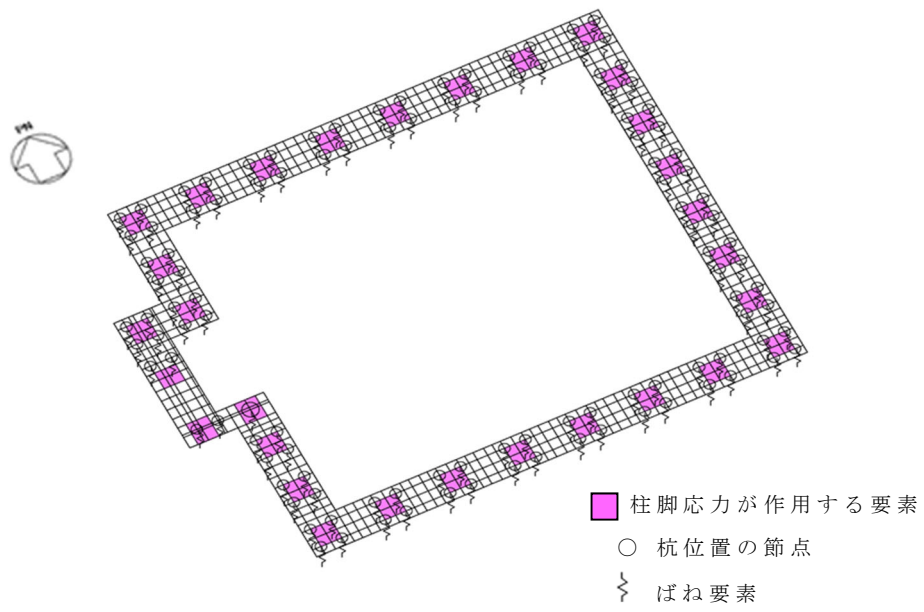
(4) 評価方法

基礎梁の評価は、FEMモデルを用いた静的弾性応力解析により実施する。解析モデル図を第2.2-1図に示す。解析モデルは、「耐震計算書」の「4.4.2(1) 解析モデル」に基づき、設定する。

基礎梁に作用する応力は、支持架構と同様の荷重の組合せとする。

荷重の入力方法は、「耐震計算書」の「4.4.2(4) 荷重の入力方法」に基づき、各節点又は各要素に各荷重を入力する。ただし、支持架構から作用する荷重については、2.1項における応力解析結果を用いる。また、杭から作用する荷重については、「耐震計算書」の「4.4.3(3) 応力の組合せ」において算定したNS方向の応力とEW方向の応力を用い、支持架構と同様の2.1項の第2.1-3表の地震荷重の組合せ係数に対応した組合せ係数を考慮して用いる。

断面の評価方法は、「耐震計算書」の「4.4.2(5) 断面の評価方法」に基づき、曲げモーメント及び面外せん断力が許容限界を超えないことを確認する。



第2.2-1図 基礎梁の解析モデル

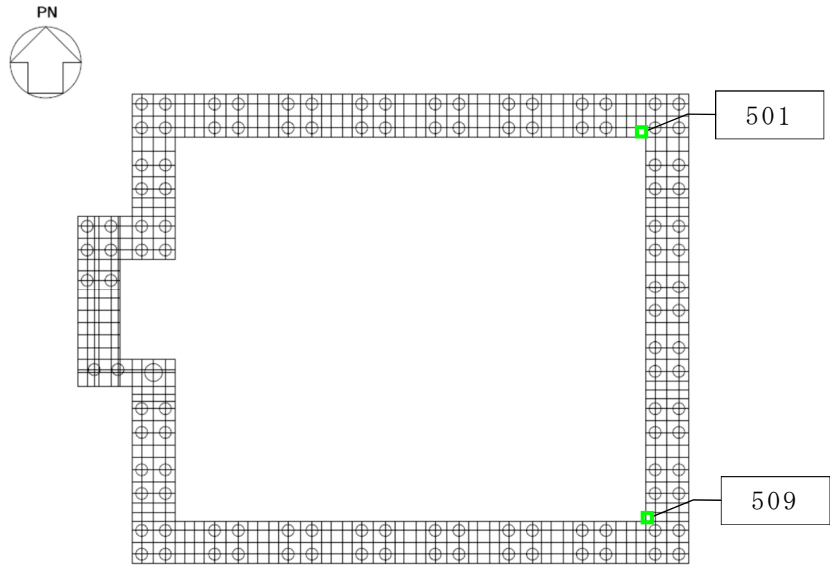
(5) 評価結果

「(4) 評価方法」に基づいた評価結果を以下に示す。

断面の評価結果を記載する要素は、許容限界に対する曲げモーメント及び面外せん断力の割合が最も大きいものを対象とする。当該要素の位置を第 2.2-2 図に、評価結果を第 2.2-3 表に示す。なお、参考に耐震計算書の水平 1 方向及び鉛直地震力の組合せの結果を第 2.2-4 表に併せて示す。

応答特性①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」で抽出した飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B）の基礎梁の検定比が 1.0 を下回っており、許容限界を超えないことを確認した。

以上のことから、基礎梁の耐震性評価において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響がないことを確認した。



注： 内の数値は要素番号

第2.2-2図 評価結果を記載する要素の位置
(水平2方向及び鉛直地震力の組合せ)

第2.2-3表 基礎梁の評価結果
 (水平2方向及び鉛直地震力の組合せ)
 (a) 軸力及び曲げモーメントに対する評価

方向	解析結果			許容限界 (kN・m/m)	検定比	判定
	要素番号	ケース	曲げモーメント (kN・m/m)			
NS	509	1-4	3656	4812	0.76	OK
EW	509	1-12	1317	1745	0.76	OK

(b) 面外せん断力に対する評価

方向	解析結果			許容限界 (kN/m)	検定比	判定
	要素番号	ケース	面外せん断力 (kN/m)			
NS	509	1-11	2630	5648	0.47	OK
EW	501	1-4	2529	5644	0.45	OK

第2.2-4表 基礎梁の評価結果
 (水平1方向及び鉛直地震力の組合せ)
 (a) 軸力及び曲げモーメントに対する評価

方向	解析結果			許容限界 (kN・m/m)	検定比	判定
	要素番号	ケース	曲げモーメント (kN・m/m)			
NS	162	1-4	3527	4791	0.74	OK
EW	509	1-10	1274	1755	0.73	OK

(b) 面外せん断力に対する評価

方向	解析結果			許容限界 (kN/m)	検定比	判定
	要素番号	ケース	面外せん断力 (kN/m)			
NS	63	1-4	2236	5661	0.40	OK
EW	1005	1-12	2061	5874	0.36	OK

2.3 杭の評価

直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中する部位である杭について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を実施する。

(1) 評価方針

杭の応力解析による評価について、許容限界を超えないことを確認する。

(2) 荷重及び荷重の組合せ

荷重の組合せは、「耐震計算書」の「4.2 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。杭の評価において考慮する荷重を第 2.3-1 表に、荷重の組合せを第 2.3-2 表に示す。

第2.3-1表 考慮する荷重

荷重名称	内容
固定荷重(D)	構造物(支持架構及び基礎梁)の自重* ¹
積雪荷重(L _s)	積雪量 190cm* ¹ 地震荷重と組み合わせる場合は0.35の係数を乗じた値とする。
地震荷重(S _s)* ⁴	地震応答解析結果による地盤から作用する地震荷重 ・改良地盤の変形量より算定するせん断力及び曲げモーメント 地震応答解析結果による支持架構及び基礎梁から作用する地震荷重 ・基礎梁上端の層せん断力より算定する曲げモーメント ・基礎梁部の加速度(水平)より算定する曲げモーメント 基礎梁の評価結果による荷重* ² ・杭頭鉛直軸力より算定する軸力 ・杭頭せん断力より算定するせん断力
風荷重(W _L)	支持架構の評価結果による風荷重 ・基礎梁上端の層せん断力より算定する曲げモーメント* ³

注記 *1: 基礎梁の評価において支持架構及び基礎梁に作用する固定荷重及び積雪荷重を考慮しているため、本表の「地震荷重(S_s)」のうち「基礎梁の評価結果による荷重」により、杭に固定荷重及び積雪荷重が考慮される。

*2: 支持架構及び基礎梁に作用する固定荷重、積雪荷重、地震荷重及び風荷重を含む。

*3: 基礎梁の評価において支持架構に作用する風荷重を考慮しているため、せん断力については、本表の「地震荷重(S_s)」のうち「基礎梁の評価結果による荷重」に含まれる。

*4: 保守的に座屈拘束ブレースのばらつきの考慮をする。

第2.3-2表 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S s 地震時	D + 0.35L _s + S _s + W _L

(3) 許容限界

許容限界は、「耐震計算書」の「4.3 許容限界」にて設定している許容限界を用いる。

(4) 評価方法

杭の評価は、「耐震計算書」の「4.4.3(1) 応力解析」及び「4.4.3(2) 応力計算」により算定した応力と基礎梁から作用する荷重による応力を組み合わせて実施する。

「4.4.3(1) 応力解析」及び「(2) 応力計算」により算定した地震荷重による応力（せん断力及び曲げモーメント）については、NS 方向と EW 方向の応力に組合せ係数 1.0 : 0.4 を考慮した上で二乗和平方根により算出する。

「4.4.3(2) 応力計算」により算定した風荷重による応力（せん断力及び曲げモーメント）については、そのまま用いる。

基礎梁から作用する荷重による応力（せん断力及び軸力）については、2.2 項における応力解析結果を用いる。

断面及び支持力に対する評価方法は、「耐震計算書」の「4.4.3(4) 断面の評価方法」及び「4.4.3(5) 支持力及び引抜力に対する評価方法」に基づき、曲げモーメント、せん断力、支持力及び引抜力が許容限界を超えないことを確認する。

(5) 評価結果

「(4) 評価方法」に基づいた評価結果を以下に示す。

a. 断面の評価結果

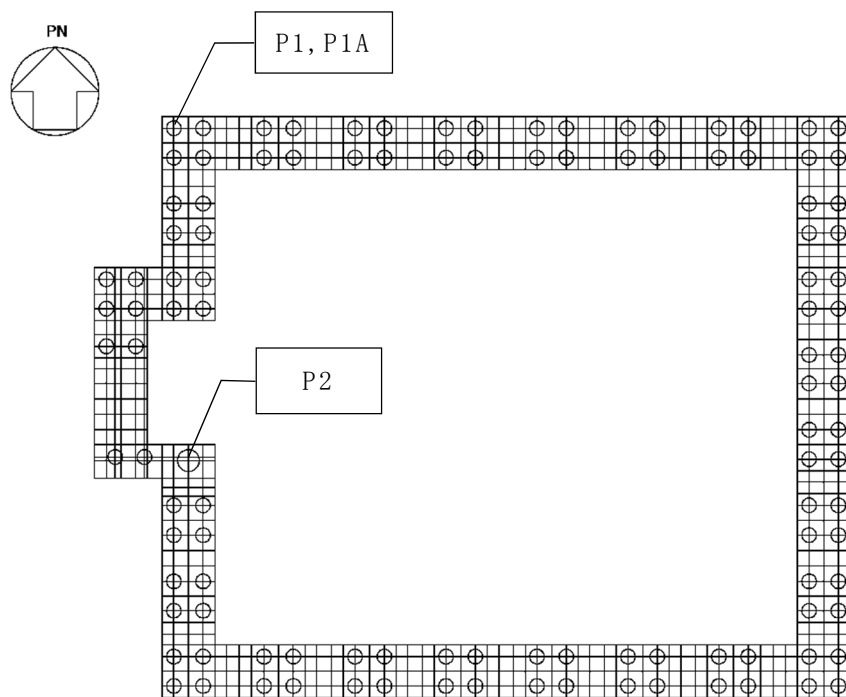
断面の評価結果を記載する杭は、杭種ごとに、許容限界に対する曲げモーメント並びにせん断力の割合が最も大きいものを対象とする。当該の杭の位置を第2.3-1図に、評価結果を第2.3-3表、第2.3-2図に示す。なお、参考に耐震計算書の水平1方向及び鉛直地震力の組合せの結果を第2.3-4表及び第2.3-3図に併せて示す。

b. 支持力及び引抜力に対する評価結果

支持力及び引抜力に対する評価結果を記載する杭は、杭種ごとに、許容限界に対する軸力の割合が最も大きいものを対象とする。当該の杭の位置を第2.3-4図に、評価結果を第2.3-5表に示す。なお、参考に耐震計算書の水平1方向及び鉛直地震力の組合せの結果を第2.3-5表に併せて示す。

a. 及びb. から、応答特性①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」で抽出した飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の杭の検定比が1.0を下回っており、許容限界を超えないことを確認した。

以上のことから、杭の耐震性評価において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響がないことを確認した。



第2.3-1図 評価結果を記載する杭の位置

IV - 2 - 3 - 2
機器・配管系

IV－2－3－2－1

機器・配管系の水平2方向及び
鉛直方向地震力の組合せに関する
影響評価結果

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動	1
3. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する検討結果	1
3.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備(部位)の抽出	1
3.2 建物・構築物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出	3
3.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果	3
3.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価	3
3.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	4

1. 概要

本資料は、「IV-1-1 耐震設計の基本方針」のうち、「4.1 地震力の算定方法 4.1.2 動的地震力」及び「IV-1-1-7 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」に基づき、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響の可能性のある設備及び評価部位の抽出内容について説明するものである。

2. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動

本影響評価に用いる地震動については、「IV-2-3-1-1-1 建物及び屋外機械基礎の水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価結果」の「2. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動」に従う。

3. 各施設における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する検討結果

3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備(部位)の抽出

評価対象設備を機種ごとに分類した結果を、第3.1-1表に示す。機種ごとに分類した設備の各評価部位、応力分類に対し構造上の特徴から水平2方向の地震力による影響を以下の項目より検討し、影響の可能性のある設備を抽出した。

(1) 水平2方向の地震力が重複する観点

水平1方向の地震力に加えて、さらに水平直交方向に地震力が重複した場合、水平2方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものを抽出する。以下の場合、水平2方向の地震力による影響が軽微な設備であると整理した。

なお、ここでの影響が軽微な設備とは、構造上の観点から発生応力への影響に着目し、その増分が1割程度以下となる設備を分類しているが、水平1方向地震力による裕度(許容応力/発生応力)が1.1未満の設備については個別に検討を行うこととする。

a. 水平2方向の地震力を受けた場合でも、その構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの

横置きの容器等は、水平2方向の地震力を想定した場合、水平1方向を拘束する構造であることや、水平各方向で振動特性及び荷重の負担断面が異なる構造であることにより、特定の方向の地震力の影響を受ける部位であるため、水平1方向の地震力しか負担しないものとして分類した。

b. 水平2方向の地震力を受けた場合、その構造により最大応力の発生箇所が異なるもの

一様断面を有する容器類の胴板等は、水平2方向の地震力を想定した場合、それぞれの水平方向地震力に応じて応力が最大となる箇所があることから、最大応力の発生箇所が異なり、水平2方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものとして分類した。

その他の設備についても同様の理由から最大応力の発生箇所が異なり、水平2方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものとして分類した。

- c. 水平2方向の地震力を組み合わせても水平1方向の地震による応力と同等と言えるもの

標準支持間隔法を適用した配管は建物応答軸に沿った配管配置では、水平1方向の地震力のみが曲げ荷重となるため、水平2方向の地震力の大きさを1:1と仮定しても水平1方向の地震力と同等となる。

配管と同様に水平2方向による荷重の寄与が1方向に限定されることが明確である他の設備においても水平2方向の地震力を組み合わせても1方向の地震力による応力と同等のものとして分類した。

- (2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じる可能性のある設備を抽出する。

機器・配管系設備のうち、円筒形容器のように水平方向の各軸方向に対して均等な構造となっている機器は、評価上有意なねじれ振動は生じない。

一方、3次元的な広がりを持つ配管系等は、系全体として考えた場合、有意なねじれ振動が発生する可能性がある。

- (3) 水平1方向及び鉛直方向地震力に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

(1)(2)において影響の可能性のある設備について、水平2方向の地震力が各方向1:1で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の設計手法による発生値と比較し、その増分により影響の程度を確認し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。

水平1方向に対する水平2方向の地震力による発生値の増分の検討は、機種ごとの分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備(部位)を対象とする。水平2方向の地震力の組合せは米国 Regulatory Guide 1.92の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として非同時性を考慮した Square-Root-of-the-Sum-of-the-Squares (以下「非同時性を考慮した SRSS 法」という。)又は組合せ係数法(1.0:0.4:0.4)により組み合わせ、発生値の増分を算出する。増分の算出は、従来の評価で考慮している保守性により増分が低減又は包絡されることも考慮する。

- ・従来の評価データを用いた簡易的な算出では、地震・地震以外の応力に分離可能なものは地震による発生値のみを組み合わせ後、地震以外による応力と組み合わせ

せて算出する。

- ・応答軸が明確な設備で、設備の応答軸の方向あるいは厳しい応力が発生する向きへ地震力を入力している場合は、耐震性への影響が懸念されないものとして扱う。

3.2 建物・構築物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出

建物・構築物の影響評価において、「IV-1-1-7 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」のうち、「4.1 建物・構築物（洞道以外）」における「機器・配管系への影響検討」に基づき、機器・配管系への影響を検討し、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がある場合は、当該応答値による影響検討結果を示す。

3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果

3.1項で検討した、水平2方向の地震力が重複する観点、水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点、水平1方向及び鉛直方向地震力に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の増分の観点で、水平2方向の地震力による影響の可能性のある設備の評価部位を抽出した結果を第3.3-1表に示す。

第1回申請範囲については影響軽微であり、設備が有する耐震性に影響のないことを確認した。

3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

3.1項の観点から3.3項で抽出された設備について、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値を以下の方法により算出する。

発生値の算出における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せは、米国 Regulatory Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として非同時性を考慮した SRSS 法を適用する。

(1) 従来評価データを用いた算出

従来水平1方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた評価結果を用いて、以下の条件により水平2方向及び鉛直方向地震力に対する発生値を算出することを基本とする。

- ・水平各方向及び鉛直方向地震力をそれぞれ個別に用いて従来発生値を算出している設備は、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせて水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。
- ・水平1方向と鉛直方向の地震力を組合せた上で従来発生値を各方向で算出している設備は、鉛直方向を含んだ水平各方向別の発生値を組み合わせて水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。
- ・水平各方向を包絡した床応答曲線による地震力と鉛直方向の地震力を組み合わせた上で従来発生値を算出している設備は、鉛直方向を含んだ水平各方向同一の

発生値を組み合わせて水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。

また、算出にあたっては必要に応じて以下も考慮する。

- ・発生値が地震以外の応力成分を含む場合、地震による応力成分と地震以外の応力成分を分けて算出する。

3.2項の観点から3.3項で抽出された設備について、以下のいずれかの方法を用いて影響評価を行う。

- ① 3次元FEMモデルにより得られた壁及び床の応答震度に係数を掛け、影響評価用の震度を推定し、従来評価に用いている震度(設計条件)又は耐震裕度に包絡されることを確認する。
- ② 運転時の異常な過渡変化時の状態、設計基準事故時の状態及び重大事故等時の状態で施設に作用する荷重のうち、地震によって引き起こされるおそれがある事象によって作用する荷重と基準地震動による地震力。

3.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

影響評価確認結果については、影響評価を実施する設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

第3.1-1表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響検討対象設備

設備	部位
冷却塔	支持架構
	伝熱管
	基礎ボルト、取付ボルト
配管(標準支持間隔法)	直管配管(水平)
	直管配管(鉛直)
	曲がり部、分岐部

第 3.3-1 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果

設備	部位	応力分類	(1) 水平 2 方向の地震力が重複する形状	(2) 水平 2 方向の振動モードによりねじれ振動が生じる形状	(3) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにより応力が増化する形状 (応答軸が明確)	影響評価の要否 (1) 又は(2) で△かつ (3) で○の場合は 影響評価を実施
			△：影響の可能性有 ×：影響軽微	△：ねじれ振動発生の可能性有 ×：発生しない	○：応答軸が明確ではない ×：応答軸が明確	影響評価実施 又は影響軽微
冷却塔	支持架構	組合せ	×	×	×	影響軽微
	伝熱管	一次応力	×			
		一次+二次応力	×			
	基礎ボルト, 取付ボルト	引張	×			
		せん断	×			
配管 (標準支持間隔法)	直管配管 (水平)	一次応力	×	×	×	影響軽微
	直管配管 (鉛直)	一次応力	×			
	曲がり部 分岐部	一次応力	×			

IV－2－4

耐震性に関する影響評価結果

IV－2－4－1

一 関東評価用地震動（鉛直）に関する影響評価結果

IV-2-4-1-1

建物・構築物

IV-2-4-1-1-1
建物及び屋外機械基礎

IV-2-4-1-1-1-1

建物及び屋外機械基礎の一関東評価
用地震動（鉛直）に関する影響評価
結果

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 一関東評価用地震動（鉛直）の概要	2
3. 影響評価方針	4
4. 評価対象部位の抽出と評価方法	6
4.1 評価対象部位の抽出	6
4.2 評価対象部位の評価方法	8
5. まとめ	10
IV-2-4-1-1-1-1 別紙1 安全冷却水B冷却塔基礎の一関東評価用地震動 （鉛直）に関する影響評価結果	

1. 概要

本資料は、「IV-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、建物・構築物の耐震評価において、一関東評価用地震動（鉛直）を考慮した場合の影響について、以下の添付書類とあわせて説明するものである。

影響評価の方法については、各計算書に示す耐震評価結果に、鉛直方向の地震荷重として一関東評価用地震動（鉛直）による影響を考慮した比率を乗じ、その評価結果が許容限界の範囲内に留まることを確認する。影響評価の方法についての詳細は「3. 影響評価方針」に示す。

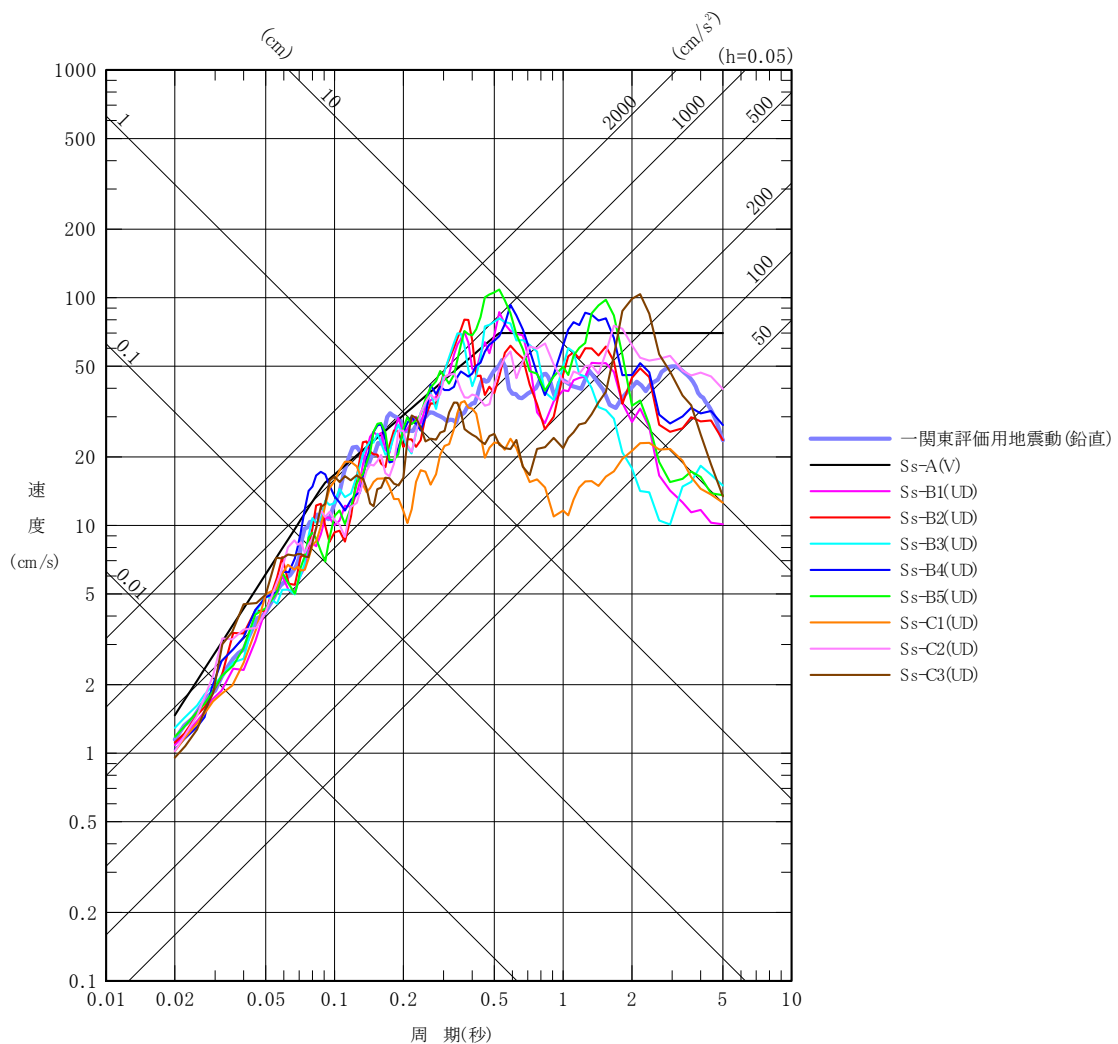
本資料では、一関東評価用地震動（鉛直）を用いた影響評価を行うにあたって、評価対象部位の抽出とその評価方法を示すとともに、各建物・構築物の影響評価結果を示す。なお、各建物・構築物の影響評価結果については、本文においては概要のみを示すこととし、その詳細については別紙に示す。

- ・「IV-2-1-1-1-1-1 安全冷却水B冷却塔基礎の地震応答計算書」
- ・「IV-2-1-1-1-1-2 安全冷却水B冷却塔基礎の耐震計算書」

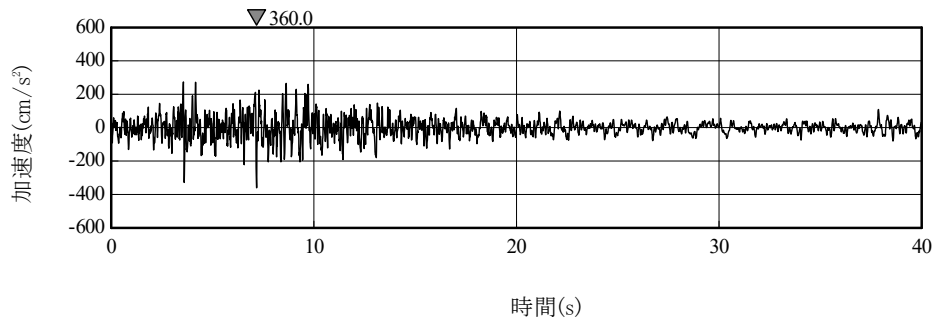
2. 一関東評価用地震動（鉛直）の概要

影響評価に用いる一関東評価用地震動（鉛直）について、解放基盤表面位置で一関東評価用地震動（鉛直）の設計用応答スペクトルを、基準地震動 S_s の設計用応答スペクトルと併せて第2.-1図に、設計用模擬地震波の加速度時刻歴波形を第2.-2図に示す。

事業変更許可申請書に示すとおり、一関東評価用地震動（鉛直）は、一関東観測点における岩手・宮城内陸地震の水平方向の地震観測記録の応答スペクトルに、水平方向に対する鉛直方向の地震動の比率として2/3を乗じた応答スペクトルから、一関東観測点における岩手・宮城内陸地震で得られた鉛直方向の地中記録の位相を用いて作成した地震動である。



注記 : 再処理施設の事業変更許可申請書 第1.6-5図から引用
 第2.-1図 一関東評価用地震動（鉛直）の設計用応答スペクトル



注記 : MOX 燃料加工施設の事業変更許可申請書 添5 第15 図から引用
第2.-2 図 一関東評価用地震動（鉛直）の加速度時刻歴波形

3. 影響評価方針

本章では、建物・構築物の耐震評価において、鉛直方向の地震荷重として一関東評価用地震動（鉛直）及び一関東評価用地震動（鉛直）に対して係数0.5を乗じた地震動（以下、「 $0.5 \times$ 一関東評価用地震動（鉛直）」という。）を考慮した場合の影響評価の方針について示す。

各計算書に示す耐震評価結果は、 S_s 地震時に対する評価及び S_d 地震時に対する評価において地盤物性のばらつきを考慮し、水平方向及び鉛直方向の各地震力を包絡した結果となっている。

そこで、影響評価の方法は、評価対象部位に対して、一関東評価用地震動（鉛直）、または $0.5 \times$ 一関東評価用地震動（鉛直）による影響を考慮した割増係数を、各計算書に示す地盤物性のばらつきを考慮した耐震評価結果（検定比）に乘じ、その検定比が1.000を超えないことで保守的に確認することを基本とした。なお、割増係数については、 S_s 地震時に対する評価及び S_d 地震時に対する評価それぞれについて基本ケースの解析結果による応答比率から算出する。具体的には、 S_s 地震時に対する評価については、各建物・構築物の応答解析モデルに、基準地震動 S_s （鉛直）を入力した場合に対する一関東評価用地震動（鉛直）を入力した場合のそれぞれの最大応答値による応答比率から算出する。 S_d 地震時に対する評価については、各建物・構築物の応答解析モデルに、弾性設計用地震動 S_d （鉛直）を入力した場合に対する $0.5 \times$ 一関東評価用地震動（鉛直）を入力した場合のそれぞれの最大応答値の応答比率から算出する。基準地震動 S_s （鉛直）及び弾性設計用地震動 S_d （鉛直）の最大応答値については全波をそれぞれ入力した場合の各々の波に対する最大応答値の包絡値を示す。

また、本検討は、鉛直方向の影響検討であることから、水平方向の地震力が寄与する部分への割増しは不要であるが、保守的に水平方向と鉛直方向の両方向の地震力を考慮した検定比に対して、一律割増しを行う。

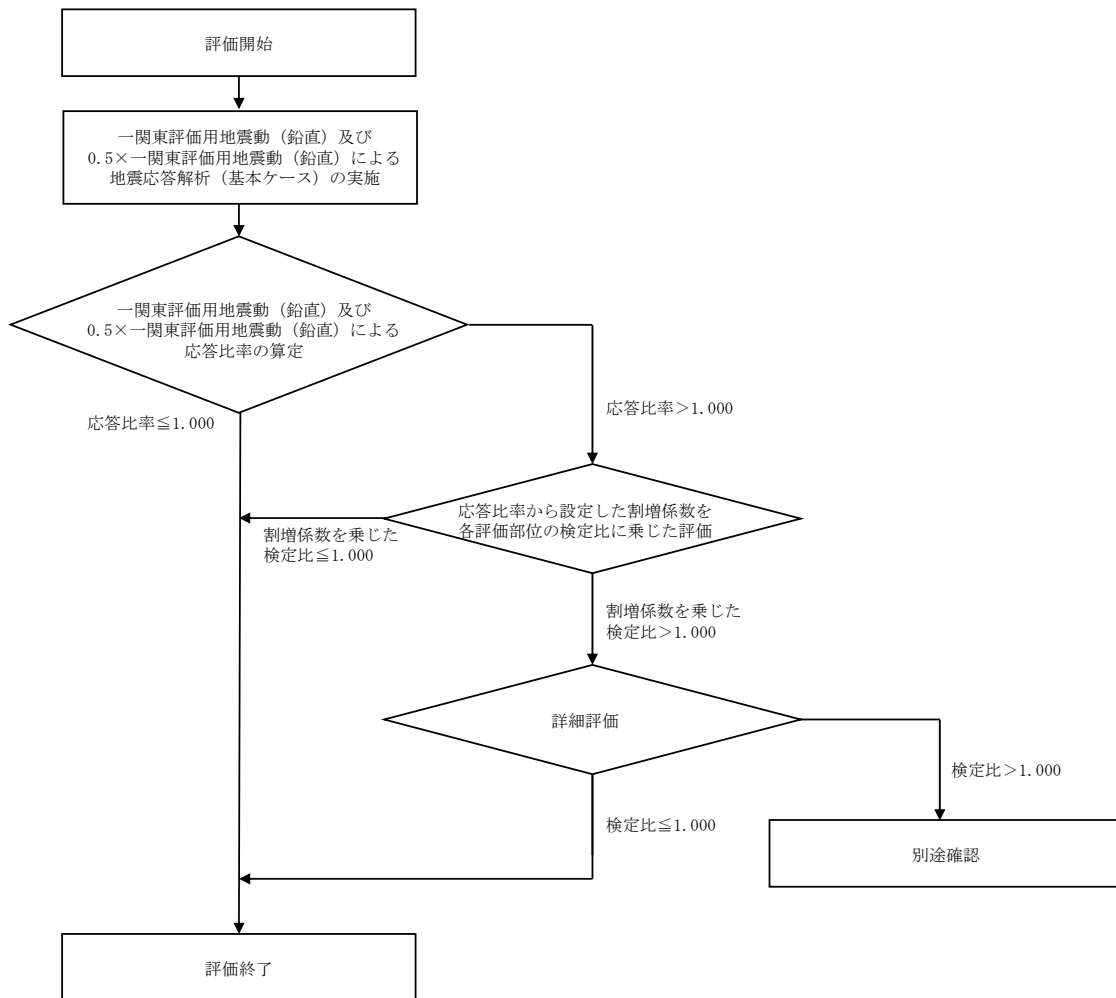
ここで、一関東評価用地震動（鉛直）及び $0.5 \times$ 一関東評価用地震動（鉛直）による地震応答解析に用いる応答解析モデルは、「IV-2-1-1-1-1-1 安全冷却水B冷却塔基礎の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデル（鉛直方向）とする。

評価対象部位は、各計算書において耐震評価を実施している部位のうち、鉛直方向の地震力の影響を受ける部位とし、詳細は「4.1 評価対象部位の抽出」に示す。

抽出した評価対象部位に対する評価方法の詳細は、「4.2 評価対象部位の評価方法」に示す。

また、割増係数を乗じた検定比が1.000を超える場合、即ち、安全上支障がないと言えない場合は、詳細評価として、基準地震動 $S_s - C4$ （水平）と一関東評価用地震動（鉛直）、または弾性設計用地震動 S_d （水平）と $0.5 \times$ 一関東評価用地震動（鉛直）を組み合わせた地震荷重を用いた応力解析による評価を実施する。

上記を踏まえた、評価フローを第3.-1図に示す。



第3.-1図 評価フロー

4. 評価対象部位の抽出と評価方法

4.1 評価対象部位の抽出

「3. 影響評価方針」に示すとおり、評価対象部位は、各計算書において耐震評価を実施している部位のうち、鉛直方向の地震力の影響を受ける部位とする。

計算書において耐震評価結果を示す部位としては、耐震壁、地盤（接地圧）、基礎スラブ、Sクラスの壁及び床*、屋根鉄骨及び屋根トラスが存在する。このうち、耐震評価において鉛直方向の地震荷重を組み合わせる耐震評価を行っている、地盤（接地圧）、基礎スラブ、Sクラスの壁及び床、屋根鉄骨及び屋根トラスを本評価における評価対象部位として抽出した。

耐震壁、並びにSクラスの壁のうちセル壁、貯蔵区域の壁、受入れ室の壁及び貯蔵室等の壁（以下、「セル壁等」という。）については、S_s地震時に対する評価において、水平方向の地震荷重により求まる各層の最大せん断ひずみ度が許容限界を超えないことを確認することで、構造強度、機能維持の確認が可能であり、鉛直方向の地震荷重は組み合わせしていない。以上のことから、耐震壁及びセル壁等のS_s地震時に対する評価については本評価の対象外とする。

また、Sクラスの床についてはS_d地震時に対する評価及びS_s地震時に対する評価の判定値は短期許容応力度であり、弾性設計用地震動S_dによる地震力よりも基準地震動S_sによる地震力の方が大きいことから、S_s地震時の評価にS_d地震時の評価が包含されるため、本評価ではS_s地震時の評価を対象とする。

各建物・構築物の評価対象部位及び応答比率の算定に用いる地震動の整理結果を第4.1-1表に示す。

注記 *：セル壁及び床、貯蔵区域の壁及び床、受入れ室の壁及び床、貯蔵室等の壁及び床、プールの壁及び床

第4. 1-1表 評価対象部位及び応答比率の算定に用いる地震動の整理結果

施設区分	評価対象部位及び 応答比率の算定に用いる地震動 建物・構造物名称		地盤 (接地圧)	基礎スラブ	耐震壁	Sクラス壁		Sクラス床		屋根鉄骨 屋根トラス
			基準地震動S _s (鉛直)と 一関東評価用地震動 (鉛直)	基準地震動S _s (鉛直)と 一関東評価用地震動 (鉛直)	基準地震動S _g (鉛直)と 一関東評価用地震動 (鉛直)	基準地震動S _s (鉛直)と 一関東評価用地震動 (鉛直)	弾性設計用地震動S _d (鉛直)と 0.5×一関東評価用地震動 (鉛直)	基準地震動S _s (鉛直)と 一関東評価用地震動 (鉛直)	弾性設計用地震動S _d (鉛直)と 0.5×一関東評価用地震動 (鉛直)	基準地震動S _s (鉛直)と 一関東評価用地震動 (鉛直)
再処理施設	安全冷却水B冷却塔 (基礎)	A4基礎	○	○	—	—	—	—	—	—

○：対象建屋に当該評価対象部位が存在する場合
 —：対象建屋に当該評価対象部位が存在しない場合

4.2 評価対象部位の評価方法

① 地盤（接地圧）

地盤（接地圧）については、 S_s 地震時に対する評価として、水平地震力及び鉛直地震力の組合せにより算出していることから、基礎スラブの要素の最大応答軸力の応答比率（一関東評価用地震動（鉛直）/基準地震動 S_s （鉛直））を割増係数として設定し、各計算書に示す最大接地圧の検定比に乗じて検定比が1.000を超えないことを確認する。

② 基礎スラブ

基礎スラブについては、 S_s 地震時に対する評価として、上部構造からの水平地震力及び鉛直地震力の組合せ応力を考慮することから、基礎スラブの直上の要素における最大応答軸力の応答比率（一関東評価用地震動（鉛直）/基準地震動 S_s （鉛直））の最大値を割増係数として設定し、各計算書に示す応力評価結果の検定比に乗じて検定比が1.000を超えないことを確認する。

③ Sクラスの壁及び床

a. Sクラスの壁

Sクラスの壁のうち、セル壁等については、 S_d 地震時に対する評価として、水平地震力及び鉛直地震力の組合せ応力を考慮することから、セル壁等の位置する要素における最大応答軸力の応答比率（ $0.5 \times$ 一関東評価用地震動（鉛直）/弾性設計用地震動 S_d （鉛直））の最大値を割増係数として設定し、各計算書に示す応力評価結果の検定比に乗じて検定比が1.000を超えないことを確認する。

Sクラスの壁のうち、プールの壁については、 S_s 地震時に対する評価及び S_d 地震時に対する評価として、水平地震力及び鉛直地震力の組合せ応力を考慮することから、プールの壁の位置する要素における最大軸応力度の応答比率（ S_s 地震時の評価の場合は一関東評価用地震動（鉛直）/基準地震動 S_s （鉛直）、 S_d 地震時の評価の場合は $0.5 \times$ 一関東評価用地震動（鉛直）/弾性設計用地震動 S_d （鉛直））の最大値を割増係数として設定し、各計算書に示す応力評価結果の検定比に乗じて検定比が1.000を超えないことを確認する。

b. Sクラスの床

Sクラスの床については、 S_s 地震時に対する評価として、鉛直方向の地震荷重として慣性力を考慮することから、Sクラスの床の位置する質点における鉛直方向の最大応答加速度の応答比率（一関東評価用地震動（鉛直）/基準地

震動 S_s (鉛直)) の最大値を割増係数として設定し、各計算書に示す応力評価結果の検定比に乗じて検定比が1.000を超えないことを確認する。

④ 屋根鉄骨，屋根トラス

屋根鉄骨，屋根トラスの S_s 地震時に対する評価として，屋根鉄骨，屋根トラスを支持する柱部材までモデル化した立体フレームモデルへの入力地震動に柱脚部の時刻歴応答加速度（水平方向及び鉛直方向）を用いることから，柱脚部レベルの質点における最大応答加速度の応答比率（一関東評価用地震動（鉛直）/基準地震動 S_s (鉛直)) の最大値を割増係数として設定し，各計算書に示す応力評価結果の検定比に乗じて検定比が1.000を超えないことを確認する。

なお，①～④の評価において，応答比率の最大値が1.000を超えない場合は，その時点で評価終了とする。また，割増係数に乗じた検定比が1.000を超える場合は，詳細評価として，水平方向の基準地震動 $S_s - C4$ と一関東評価用地震動（鉛直），または水平方向の弾性設計用地震動 $S_d - C4$ と $0.5 \times$ 一関東評価用地震動（鉛直）を組み合わせた地震荷重を用いた応力解析による評価を実施することとし，その評価方法は，各計算書の評価方法に倣うものとする。

5. まとめ

各建物・構築物について、一関東評価用地震動（鉛直）及び $0.5\times$ 一関東評価用地震動（鉛直）の影響評価結果の概要を第5.-1表に示す。（影響評価結果の詳細は別紙を参照。）

各建物・構築物の評価対象部位について、応答比率が1.000を超えないこと、または応答比率が1.000を超える場合は、割増係数を乗じた検定比が1.000を超えないことを確認した。

以上のことから、各建物・構築物の耐震評価について、鉛直方向の地震荷重として一関東評価用地震動（鉛直）及び $0.5\times$ 一関東評価用地震動（鉛直）を考慮した場合においても影響はなく、安全上支障がないことを確認した。

第5.-1表 一関東評価用地震動（鉛直）及び0.5×一関東評価用地震動（鉛直）の
影響評価結果（検定比一覧）

申請 回次	建物・構築物名称		影響評価結果*1*2				
			地盤 （接地圧）	基礎スラブ	Sクラスの 壁	Sクラスの 床	屋根鉄骨 屋根トラス
再処理施設	安全冷却水B冷却塔（基礎）	A4基礎	影響なし	影響なし	—	—	—

注記 *1：応答比率が1.000を超えない場合、又は応答比率が1.000を超える場合でも割増係数を考慮した検定比が1.000を超えない場合は、「影響なし」と表記する。

*2：各計算書に示す応力評価結果の検定比に応答比率から設定した割増係数を乗じた時の値を示す。

IV-2-4-1-1-1-1

別紙1 安全冷却水B冷却塔基礎の
一関東評価用地震動（鉛直）に関する
影響評価結果

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 一関東評価用地震動（鉛直）による入力地震動	2
3. 応答比率の算定	3
4. 評価結果	6

1. 概要

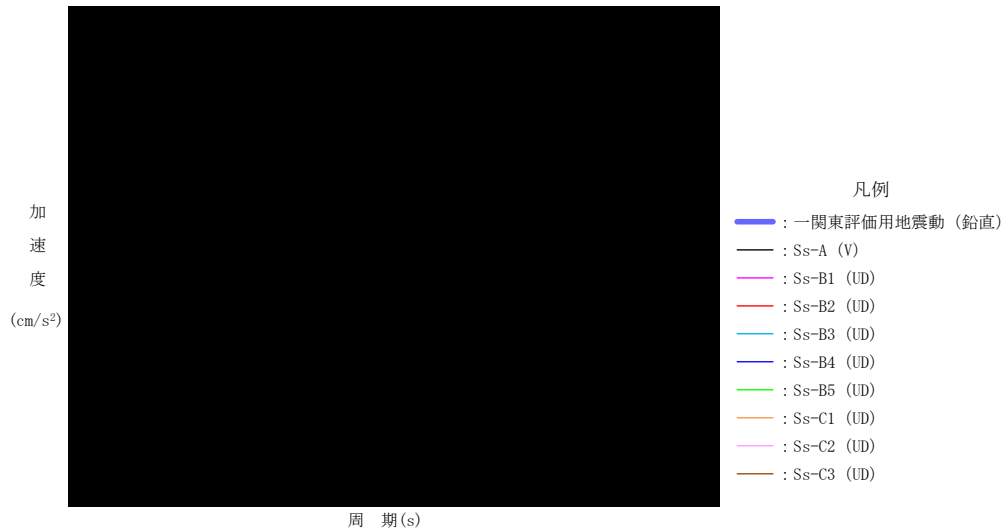
本資料は、「IV-2-4-1-1-1-1 建物及び屋外機械基礎の一関東評価用地震動（鉛直）に関する影響評価結果」本文の「3. 影響評価方針」に基づき、安全冷却水B冷却塔（基礎）の耐震評価における鉛直方向の地震力の影響を受ける評価対象部位について、鉛直方向の地震荷重として一関東評価用地震動（鉛直）を考慮した場合の影響評価結果の詳細を示す。

2. 一関東評価用地震動（鉛直）による入力地震動

本文の「3. 影響評価方針」に示すとおり，割増係数の算出に用いる応答比率を算定するために，一関東評価用地震動（鉛直）を用いた鉛直方向の地震応答解析（基本ケース）を実施する。

一関東評価用地震動（鉛直）について，安全冷却水B冷却塔の鉛直方向の入力地震動として用いる，基礎底面位置（T.M.S.L. 53.80m）における地盤応答の加速度応答スペクトルを，基準地震動 S_s の同位置における地盤応答の加速度応答スペクトルと併せて第2.-1図に示す。

なお，鉛直方向の入力地震動は基本ケースの地盤物性を用い，「IV-2-1-1-1-1-1 安全冷却水B冷却塔基礎の地震応答計算書」に示す手法と同様に，1次元波動論に基づき，解放基盤表面で定義される一関東評価用地震動（鉛直）に対する構築物基礎底面レベルでの地盤の応答として評価したものである。



第2.-1図 一関東評価用地震動（鉛直）による入力地震動の加速度応答スペクトル
(T.M.S.L. 53.80m)

3. 応答比率の算定

一関東評価用地震動（鉛直）による鉛直方向の地震応答解析は、「IV-2-1-1-1-1-1 安全冷却水B冷却塔基礎の地震応答計算書」に示す鉛直方向の地震応答解析モデルを用いる。第3.-1図に地震応答解析モデル（鉛直方向）を示す。

基準地震動 S_s （鉛直）の全波と一関東評価用地震動（鉛直）による鉛直方向の地震応答解析結果の最大応答値（基本ケース）の比較、及び本文の「3. 影響評価方針」に示した方法で算定した応答比率を第3.-1表～第3.-2表に示す。

なお、基準地震動 S_s （鉛直）による最大応答値（基本ケース）については全波をそれぞれ入力した場合の各々の波に対する最大応答値の包絡値を示す。

基準地震動 S_s （鉛直）による最大応答値に対する一関東評価用地震動（鉛直）による最大応答値の応答比率は第3.-1表～第3.-2表より、最大応答加速度では ██████████ であり、最大応答軸力では ██████████ である。



第3.-1図 地震応答解析モデル (鉛直方向)

第3.-1表 基準地震動S_s（鉛直）と一関東評価用地震動（鉛直）の
最大応答加速度の比較

T. M. S. L. (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²) * ¹		応答比率* ² (②/①)
		①基準地震動S _s (鉛直) 全波包絡	②一関東評価用 地震動 (鉛直)	

注記 *1：基本ケースの結果，網掛けは最大値を示す

*2：小数第4位を保守的に切上げ

第3.-2表 基準地震動S_s（鉛直）と一関東評価用地震動（鉛直）の最大応答軸力の比較

T. M. S. L. (m)	要素番号	最大応答軸力 (×10 ³ kN) * ¹		応答比率* ² (②/①)
		①基準地震動S _s (鉛直) 全波包絡	②一関東評価用 地震動 (鉛直)	

注記 *1：基本ケースの結果，網掛けは最大値を示す

*2：小数第4位を保守的に切上げ

4. 評価結果

安全冷却水B冷却塔（基礎）について地盤（接地圧）、基礎スラブの評価を実施した。

鉛直方向の地震力の影響を受ける評価対象部位について、以下のとおり一関東評価用地震動（鉛直）の影響評価結果を示す。

(1) 地盤（接地圧）

地盤（接地圧）については、鉛直方向の地震荷重として軸力を考慮することから、基礎スラブが位置するT. M. S. L. ■■■■m～■■■■m（要素番号3）の最大応答軸力の応答比率を割増係数として設定する。第4. -1表に応答比率及び割増係数を示す。

第4. -1表より、応答比率は■■■■であり1.000を超えないことから、地盤（接地圧）の評価に及ぼす影響がないことを確認した。

(2) 基礎スラブ

基礎スラブは、鉛直方向の地震荷重として上部構造から基礎への軸力を考慮することから、基礎スラブ上層T. M. S. L. ■■■■m～■■■■m（要素番号1～2）の最大応答軸力の応答比率を割増係数として設定する。第4. -2表に応答比率及び割増係数を示す。

第4. -2表より、応答比率は■■■■であり1.000を超えないことから、基礎スラブの耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

以上より、安全冷却水B冷却塔（基礎）の耐震評価について、鉛直方向の地震荷重として一関東評価用地震動（鉛直）を考慮した場合においても、安全上支障がないことを確認した。

第4.-1表 最大応答軸力の応答比率及び割増係数（地盤（接地圧））

T. M. S. L. (m)	要素 番号	最大応答軸力（×10 ³ kN）* ¹		応答比率* ² (②/①)	割増 係数* ³	割増係数 を乗じた 評価の要 否
		①基準地震動 Ss（鉛直） 全波包絡	②一関東評価 用地震動 （鉛直）			
						不要

注記 *1：基本ケースの結果，網掛けは最大値を示す

*2：小数第4位を保守的に切上げ

*3：応答比率が1.000を超えない場合は「-」とする

(単位 :m)

	TMSL	
	TMSL	
	TMSL	
	TMSL	

注記 1：○数字は質点番号を示す。

2：□数字は要素番号を示す。

3：破線囲みは該当する要素番号を示す。

第4.-2表 最大応答軸力の応答比率及び割増係数（基礎スラブ）

T. M. S. L. (m)	要素 番号	最大応答軸力 (×10 ³ kN) * ¹		応答比率* ² (②/①)	割増 係数* ³	割増係数 を乗じた 評価の要 否
		①基準地震動 Ss (鉛直) 全波包絡	②一関東評価 用地震動 (鉛直)			
						不要

注記 *1：基本ケースの結果，網掛けは最大値を示す

*2：小数第4位を保守的に切上げ

*3：応答比率が1.000を超えない場合は「-」とする



注記 1：○数字は質点番号を示す。

2：□数字は要素番号を示す。

3：破線囲みは該当する要素番号を示す。

IV-2-4-1-1-3

竜巻防護対策設備

IV－2－4－1－1－3－1

竜巻防護対策設備の一関東評価用地
震動(鉛直)に関する影響評価結果

飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）の一関東評価用地震動（鉛直）に関する影響評価結果については、「IV-2-2-2-1-2-1-1 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の地震応答計算書」に記載する。

IV - 2 - 4 - 1 - 2

機器・配管系

IV－2－4－1－2－1

機器・配管系の一関東評価用地震動
(鉛直)に関する影響評価結果

目 次

1. 概要	1
2. 影響評価方針	1
3. 影響評価内容	1
4. 影響評価結果	2

別紙 1 安全冷却水 B 冷却塔

1. 概要

本資料は、「IV-2-4-1-1 建物・構築物」にて示している一関東評価用地震動(鉛直)を考慮した地震応答解析の結果を踏まえ、機器・配管系の耐震安全性への影響について説明するものである。

2. 影響評価方針

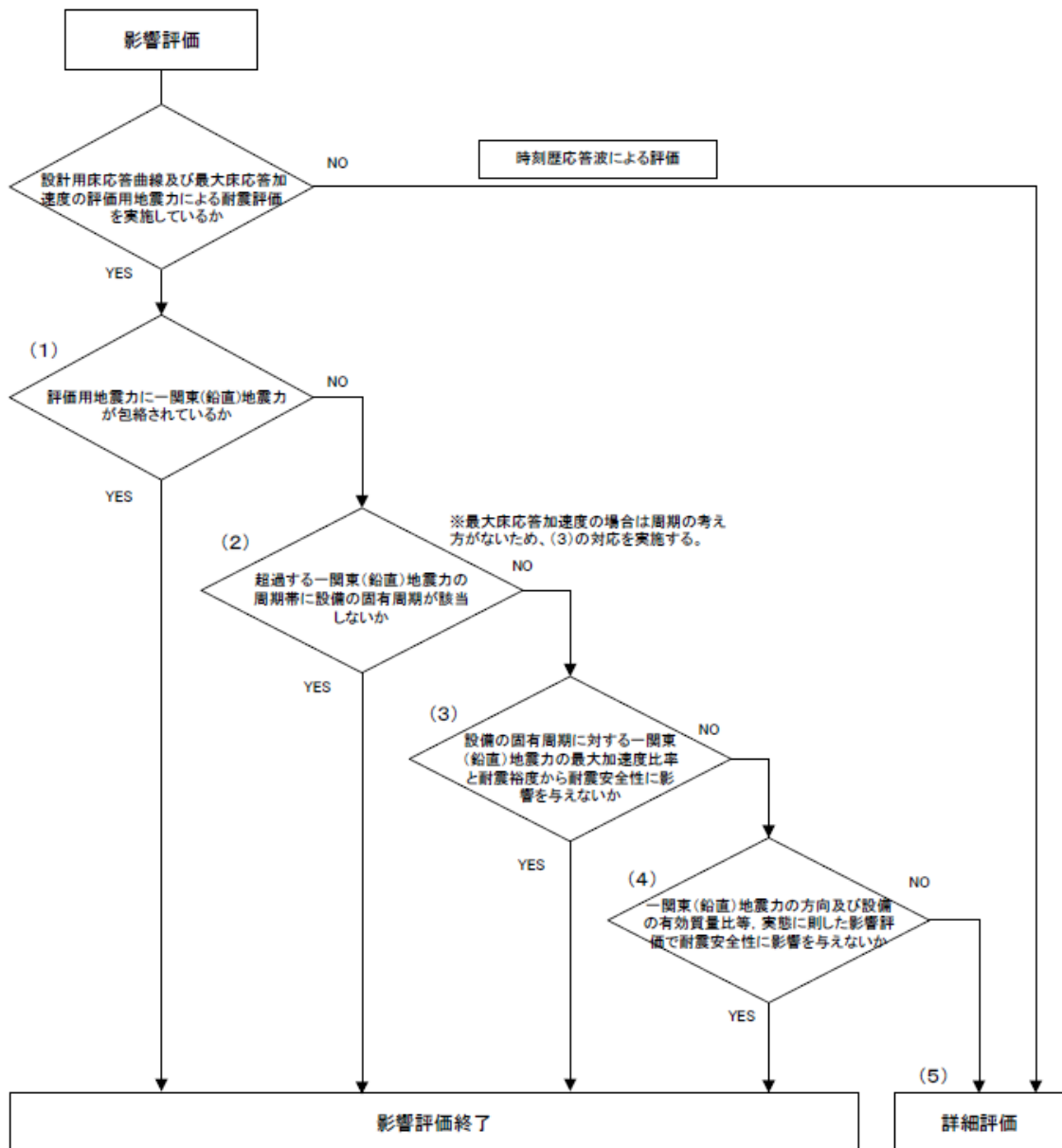
一関東評価用地震動(鉛直)の影響評価の方針としては、「IV-2-1 再処理設備本体等に係る耐震性に関する計算書」(以下「耐震計算書」という。)に示している評価結果に影響を与えないことの確認として、設計用地震力と一関東評価用地震動(鉛直)を考慮した地震力(以下「一関東(鉛直)地震力」という。)の比較により行う。

3. 影響評価内容

設計用地震力と一関東(鉛直)地震力の比較による影響評価の内容としては、設計用地震力と一関東(鉛直)地震力の重ね合わせを行い、設計用地震力に対して一関東(鉛直)地震力が超過する場合は、超過する周期帯(以下「超過周期帯」という。)に固有周期を有する設備を特定し、超過周期帯の最大加速度比と耐震計算書の評価結果の耐震裕度を用いて耐震安全性に影響がないことを確認する。

なお、剛な設備については、設計用地震力と一関東(鉛直)地震力の最大床応答加速度の加速度比較を行い、超過する場合には加速度比と耐震計算書の評価結果の耐震裕度を用いて耐震安全性に影響がないことを確認する。

一関東(鉛直)地震力の影響評価対応フローを第3-1図に示す。



第 3-1 図 一関東評価用地震動(鉛直)の影響を考慮した影響評価対応フロー

4. 影響評価結果

影響評価方針に基づく一関東(鉛直)地震力との比較による耐震安全性への影響評価結果を別紙に示す。

IV-2-4-1-2-1 別紙 1
安全冷却水 B 冷却塔

一関東評価用地震力(鉛直)に対する影響確認結果(基準地震動S s)

IV-2 再処理施設の耐震性に関する計算書					確認結果*1							
添付書類番号	添付書類名称	発生値*2 (MPa)	許容値 (MPa)	1次固有周期 (s)	簡易評価				(5)詳細評価			
					(1)	(2)	(3)		(4)		発生値 (MPa)	応力比
							発生値 (MPa)	応力比	発生値 (MPa)	応力比		
IV-2-1-2-1-1(1)	安全冷却水B冷却塔 [REDACTED]の耐震計算書	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	○	/	/	/	/	/	/	/

注記 *1 : 「IV-2-4-1-2-1 機器・配管系の一関東評価用地震動(鉛直)に関する影響評価結果」の「3. 影響評価内容 第3-1 図」において、「YES」となった結果を「○」又は数値で示す。

*2 : 「IV-2 再処理施設の耐震性に関する計算書」に示す、機器・配管系の各計算書において最大応力比となった評価部位に対する計算結果を示す。

IV-2-4-2

隣接建屋に関する影響評価結果

IV-2-4-2-1

建物・構築物

IV-2-4-2-1-1

建物及び屋外機械基礎

IV-2-4-2-1-1-1

建物及び屋外機械基礎の隣接建屋に
関する影響評価結果

IV－2－4－2－1－1－1－1
安全冷却水 B 冷却塔基礎の
隣接建屋に関する影響評価結果

目 次

	ページ
1. 概要	1
1.1 位置	2
1.2 構造概要	3
1.3 検討方針	4
1.4 準拠規格・基準等	5
2. 隣接建屋の影響を考慮した地震応答解析	6
2.1 検討ケース	6
2.2 建屋のモデル化	9
2.3 地盤モデルの詳細	15
2.4 建屋-地盤間の境界条件の詳細	18
2.5 検討用地震動及び検討用モデルへの入力方法	19
2.6 地震応答解析結果	21
3. 建物・構築物の応答増幅の評価	28
3.1 検討対象部位及び検討方法	28
3.1.1 検討対象部位	28
3.1.2 地盤（接地圧）の検討方法	29
3.1.3 基礎スラブの検討方法	30
3.2 検討結果	30

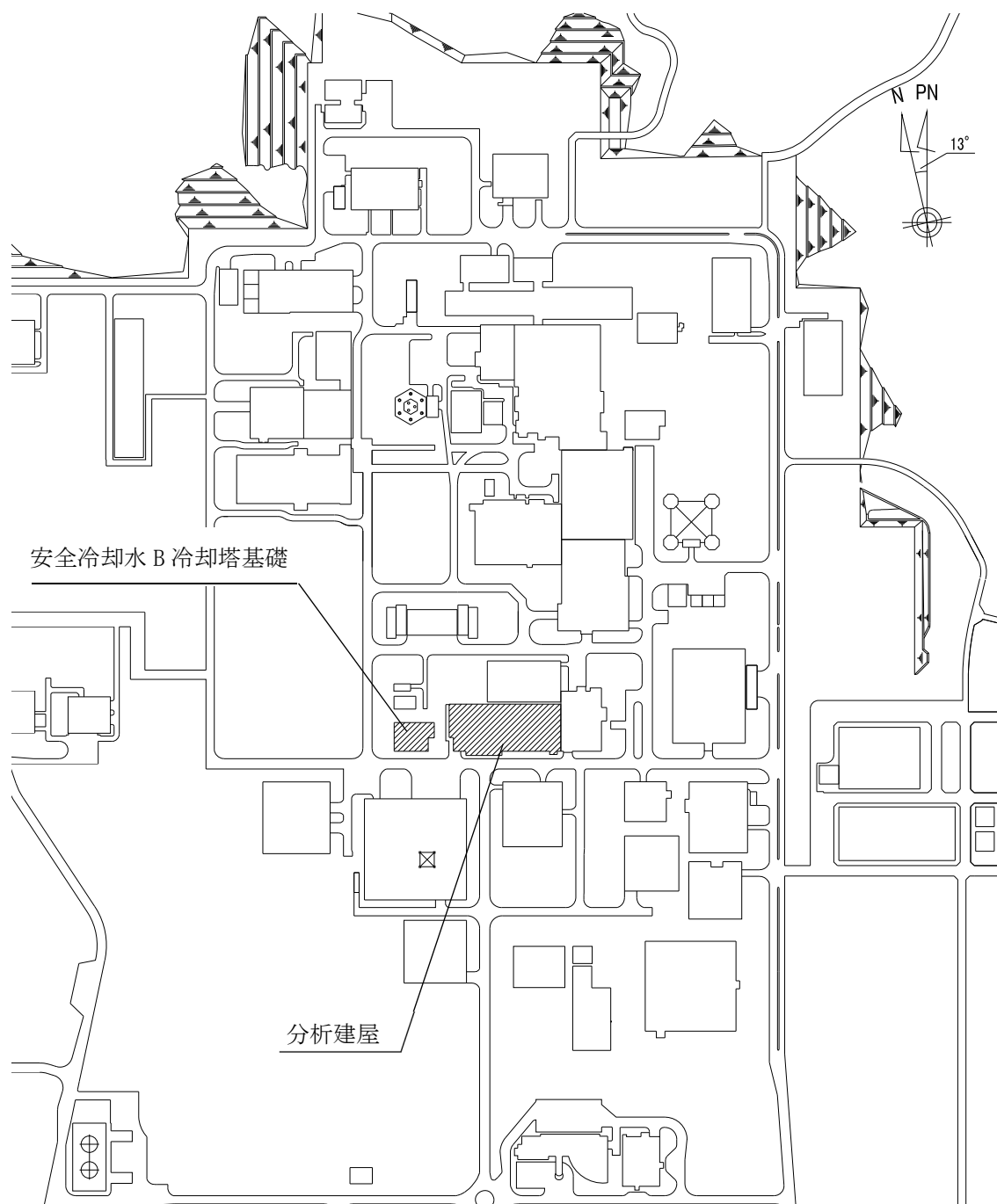
1. 概要

本資料は、「IV-1-1 耐震設計の基本方針」, 「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」, 「IV-1-1-5 地震応答解析の基本方針」及び「IV-1-1-8 機能維持の基本方針」に基づく隣接建屋の影響を考慮した地震応答解析及び建物・構築物の耐震性について、以下の添付書類とあわせて説明するものである。なお、機器・配管系の耐震評価に対する隣接建屋の影響については、本資料で示す隣接建屋の影響を考慮した地震応答解析より得られた床応答に基づき、「IV-2-4-2 隣接建屋に関する影響評価結果」のうち、「IV-2-4-2-2 機器・配管系」で説明する。

- ・「IV-2-1-1-1-1-1 安全冷却水B冷却塔基礎の地震応答計算書」
- ・「IV-2-1-1-1-1-2 安全冷却水B冷却塔基礎の耐震計算書」

1.1 位置

評価対象建屋である安全冷却水B冷却塔基礎と、隣接建屋と設定する分析建屋の配置位置を第1.1-1図に示す。



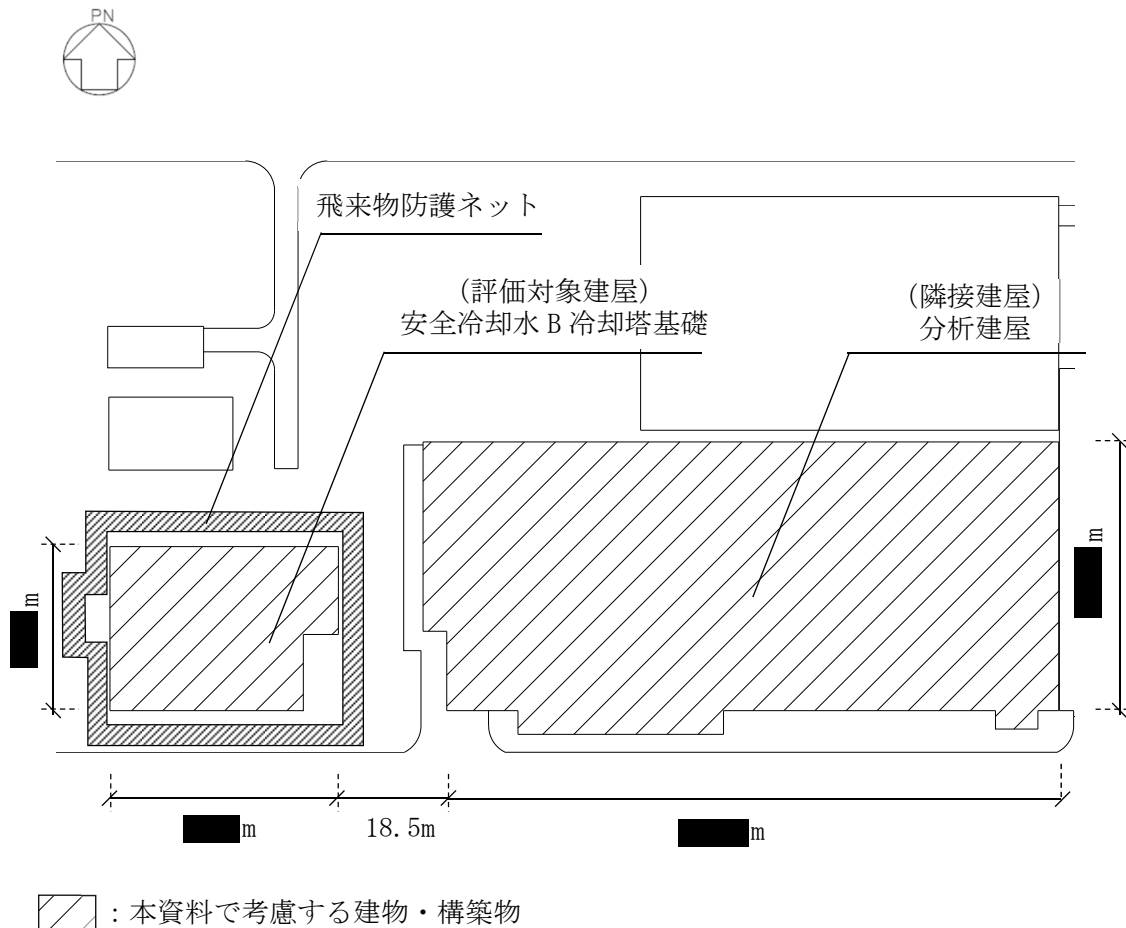
第1.1-1図 安全冷却水B冷却塔基礎，分析建屋の設置位置

1.2 構造概要

安全冷却水系B冷却塔基礎は、「IV-2-1-1-1-1-1 安全冷却水B冷却塔基礎の地震応答計算書」に示すとおり、ファン駆動部、管束、ルーバとこれを支持する鉄骨造からなる冷却塔を支持するための鉄筋コンクリート造の基礎である。平面規模は主要部分で █████m(NS) × █████m(EW) であり、周囲を鉄骨造の飛来物防護ネットに囲われている。

安全冷却水B冷却塔基礎の東側に隣接する分析建屋は、地下3階、地上3階建てで、主体構造は鉄筋コンクリート造である。平面規模は主要部分で █████m(NS) × █████m(EW) であり、建屋の高さは基礎スラブ下端から █████m である。

これら建物・構築物の概略平面図を第 1.2-1 図に示す。



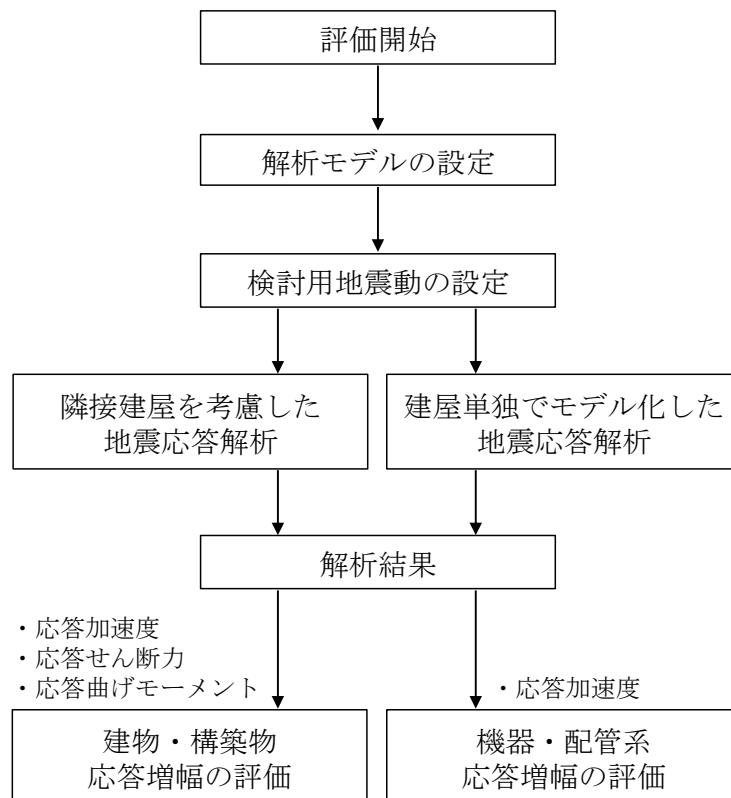
第 1.2-1 図 概略平面図

1.3 検討方針

隣接建屋を考慮した地震応答解析は、「IV-1-1-5 地震応答解析の基本方針」に基づいて行う。

FEMを用いた検討として、実際の建屋配置状況に則して各建屋を配置する場合と、建屋を単独でモデル化する場合の地震応答解析を実施し、両者の建屋応答の比較から得られる応答比率を用いて建物・構築物の耐震評価に与える影響を確認する。

隣接建屋を考慮した評価のフローを第1.3-1図に示す。なお、機器・配管系の耐震評価に対する隣接建屋の影響については、本資料で示す隣接建屋の影響を考慮した地震応答解析より得られた床応答に基づき、「IV-2-4-2 隣接建屋に関する影響評価結果」のうち、「IV-2-4-2-2 機器・配管系」で説明する。



第1.3-1図 隣接建屋を考慮した評価のフロー

1.4 準拠規格・基準等

- 地震応答解析及び施設の耐震性の確認において準拠する規格・基準等は、「IV-1-1 耐震設計の基本方針」と同一とする。

2. 隣接建屋の影響を考慮した地震応答解析

本検討で用いる地震応答解析モデルは、建屋を質点系モデルとし、地盤を3次元FEMモデルとした地盤3次元FEMモデルとする。

建物・構築物は、評価対象建屋である安全冷却水B冷却塔基礎に加えて、当該評価対象建屋に隣接する分析建屋と飛来物防護ネットをモデル化に考慮する。

地震応答解析は、解析コード「NAPISOS Ver. 2.0」を用いる。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「IV-3 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

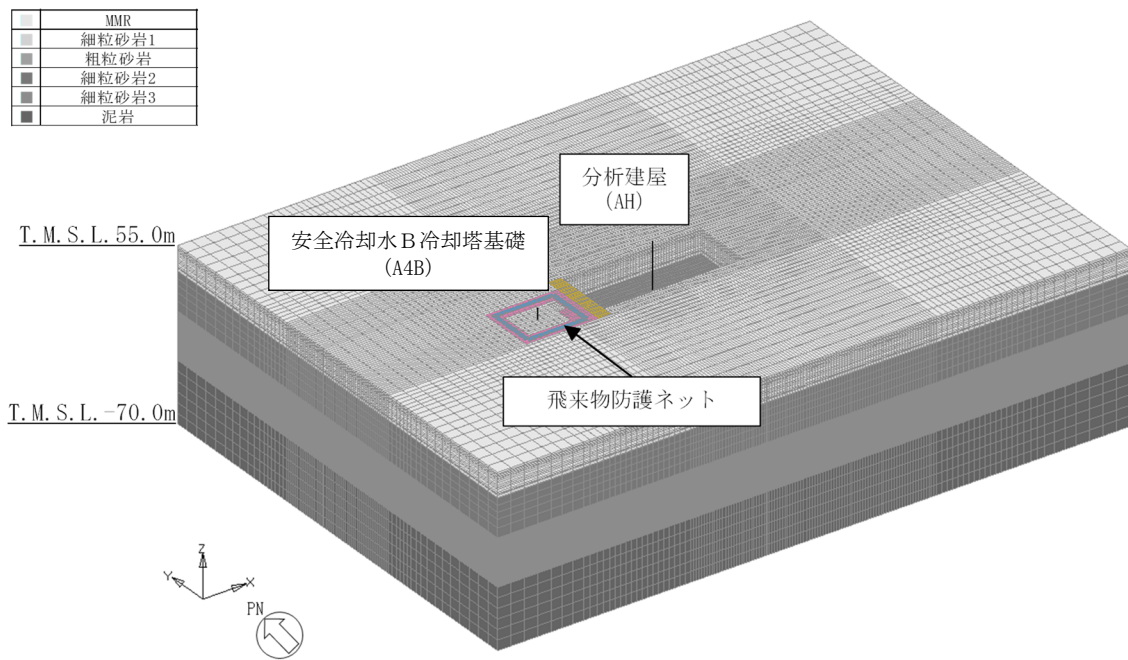
2.1 検討ケース

検討にあたっては、実際の建屋配置状況に則して各建屋を配置した場合の地震応答解析モデル（以下、「隣接モデル」という。）と、各建屋（評価対象建屋）を単独でモデル化した場合の地震応答解析モデル（以下、「単独モデル」という。）を用いる。検討は、各ケースそれぞれについて水平方向のNS方向及びEW方向の2成分について行う。

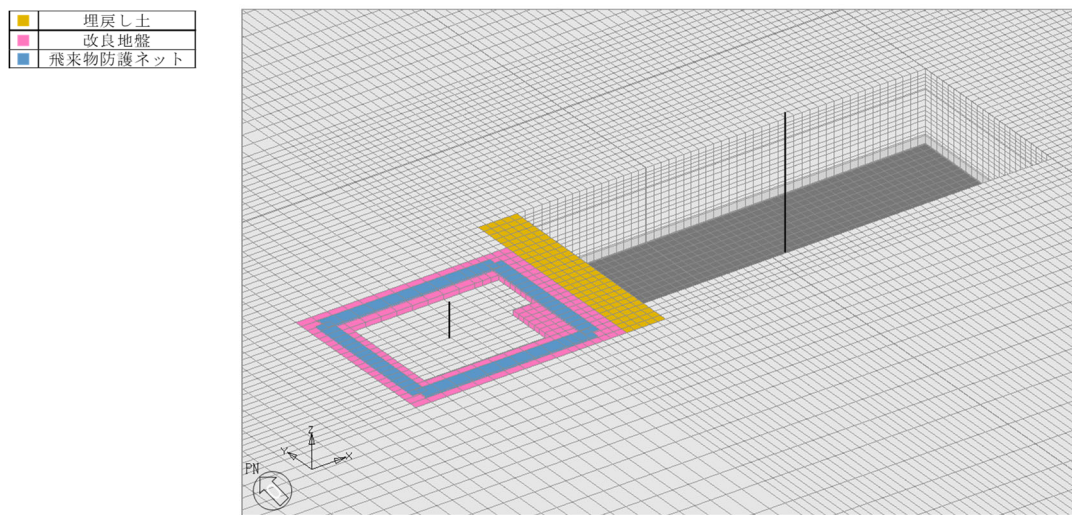
解析ケースの一覧を第2.1-1表に示す。また、第2.1-1図及び第2.1-2図に各解析ケースのモデルの概要を示す。

第2.1-1表 解析ケース一覧

解析ケース	解析モデル	モデル化する建屋
隣接	隣接モデル	・安全冷却水B冷却塔基礎 (A4B) ・分析建屋 (AH)
A4B 単独	単独モデル	・安全冷却水B冷却塔基礎 (A4B)



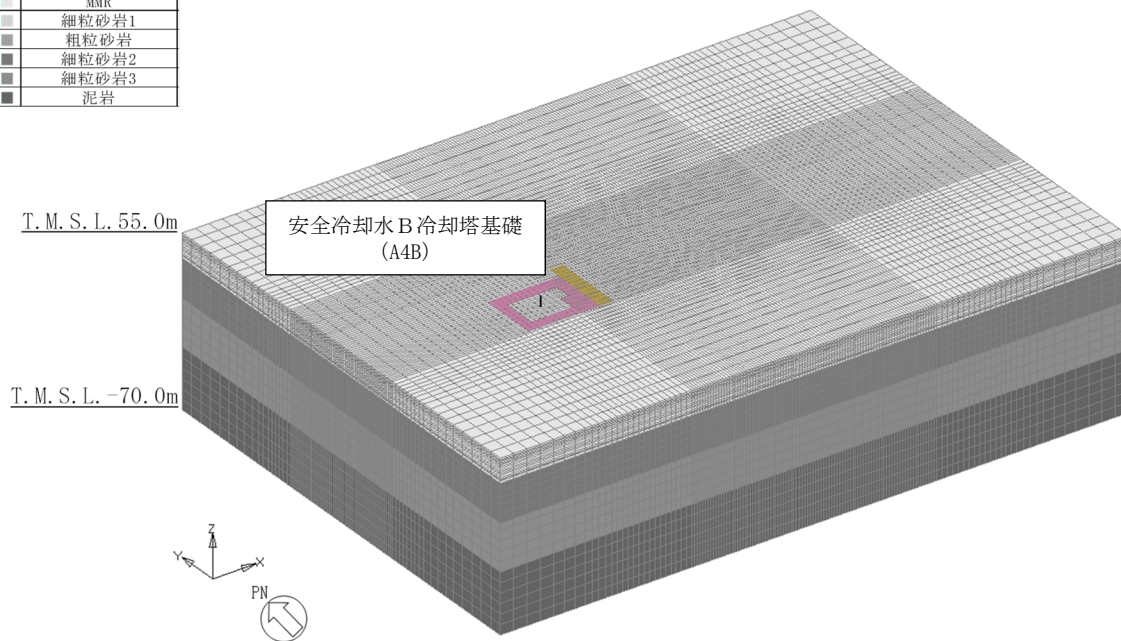
(a) 全体図



(b) 建屋周辺図

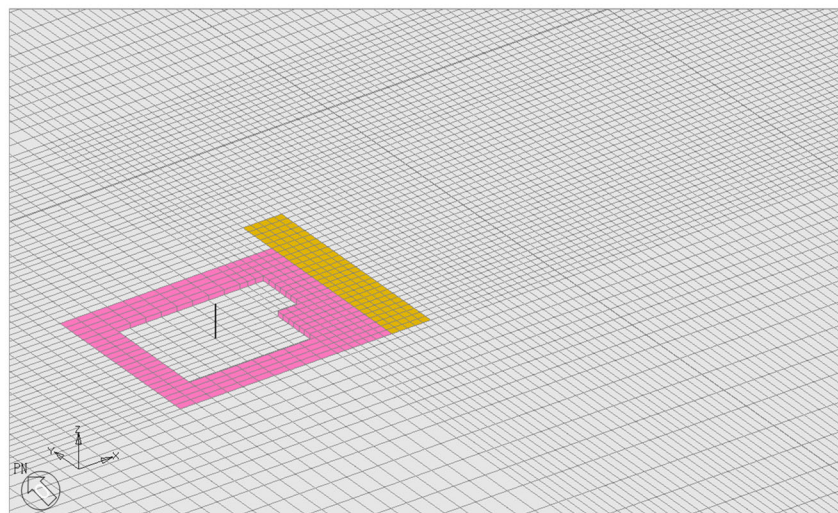
第2.1-1図 隣接モデルの概要

■	MMR
■	細粒砂岩1
■	粗粒砂岩
■	細粒砂岩2
■	細粒砂岩3
■	泥岩



(a) 全体図

■	埋戻し土
■	改良地盤



(b) 建屋周辺図

第2.1-2図 単独モデルの概要（安全冷却水B冷却塔基礎）

2.2 建屋のモデル化

建屋モデルは、「IV-2-1 再処理設備本体等に係る耐震性に関する計算書」に示す解析モデルの諸元に倣うものとする。

飛来物防護ネットのモデルは、支持架構の固有振動数と安全冷却水B冷却塔基礎の固有振動数が大きく離れており、支持架構の振動が周辺地盤を介して安全冷却水B冷却塔基礎の応答に与える影響は小さいと考えられることから、総重量(支持架構+基礎)を集約した基礎部分を梁要素でモデル化する。また、杭基礎部分は、剛性の高い地盤改良体に設置されており、当該部分の地盤剛性に与える影響は軽微であると考えられるため考慮しない。

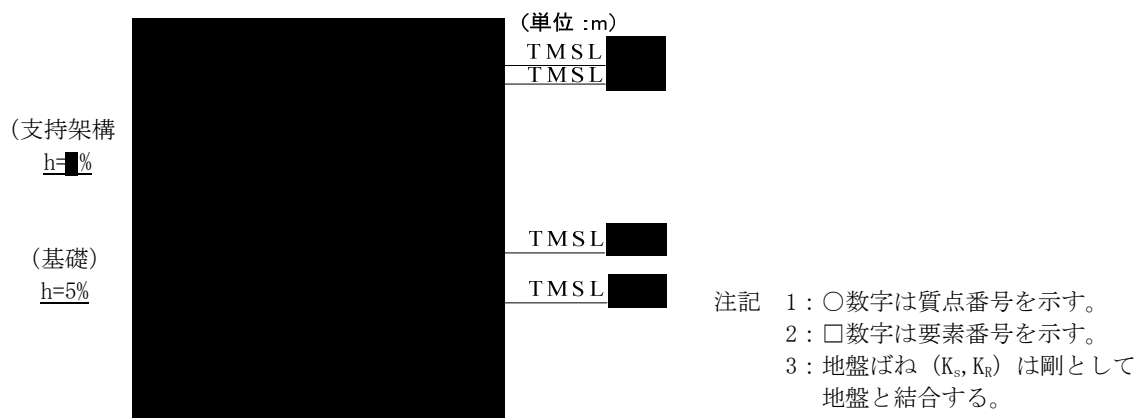
また、本検討の検討用地震動は、「2.5 検討用地震動及び検討用モデルへの入力方法」で後述するとおり弾性設計用地震動 S_d (S_d-A)であり、建屋はほぼ弾性状態と考えられることから、建屋モデル各部材の非線形特性は考慮しない。

各モデルは基礎の中心に各建屋モデルを配置する。

安全冷却水B冷却塔基礎の地震応答解析モデルの設定に用いた使用材料の物性値を第2.2-1表に、建屋モデル図を第2.2-1図に、解析諸元を第2.2-2表に示す。分析建屋の地震応答解析モデルの設定に用いた使用材料の物性値を第2.2-3表に、建屋モデル図を第2.2-2図に、解析諸元を第2.2-4表に示す。また、飛来物防護ネット基礎の解析諸元を第2.2-5表に示す。

第 2.2-1 表 安全冷却水 B 冷却塔基礎の使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)	備考
鉄筋コンクリート コンクリート : Fc=23.5 (N/mm ²) (Fc=240 (kgf/cm ²)) 鉄筋 : SD345	2.25 × 10 ⁴	9.38 × 10 ³	5	基礎
支持架構 鉄骨架構 : 基礎ボルト : 				冷却塔 (支持架構)



第 2.2-1 図 安全冷却水 B 冷却塔基礎の建屋モデル図

第 2.2-2 表 安全冷却水 B 冷却塔基礎の解析諸元

(a) NS 方向

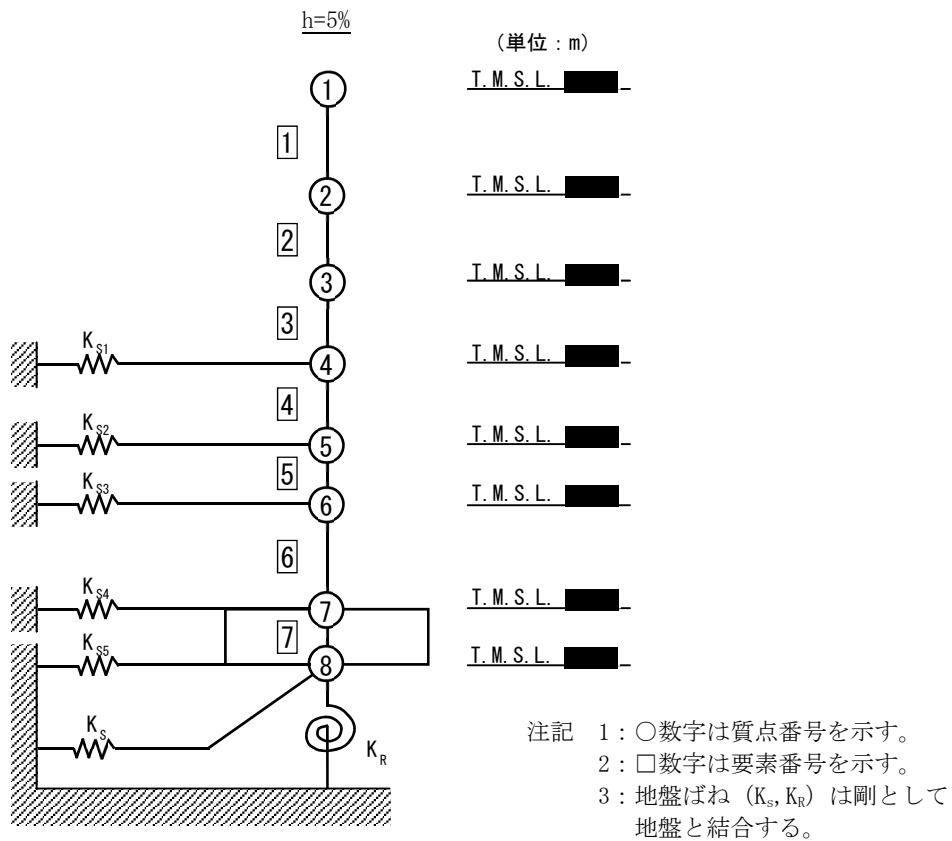
質点番号	質点位置 T. M. S. L. (m)	重量 W (kN)	回転慣性 重量 I_g ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	要素番号	要素位置 T. M. S. L. (m)	断面二次 モーメント I ($\times 10^4 \text{m}^4$)	せん断 断面積 A_s (m^2)
				—	—	—	—
	構築物総重量		—	—	—	—	—

(b) EW 方向

質点番号	質点位置 T. M. S. L. (m)	重量 W (kN)	回転慣性 重量 I_g ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	要素番号	要素位置 T. M. S. L. (m)	断面二次 モーメント I ($\times 10^4 \text{m}^4$)	せん断 断面積 A_s (m^2)
				—	—	—	—
	構築物総重量		—	—	—	—	—

第 2. 2-3 表 分析建屋の使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)
コンクリート : Fc=29. 4 (N/mm ²) (Fc=300kgf/cm ²) 鉄筋 : SD345	2. 43 × 10 ⁴	1. 01 × 10 ⁴	5



第 2. 2-2 図 分析建屋の建屋モデル図

第 2.2-4 表 分析建屋の解析諸元

(a) NS 方向

質点番号	質点位置 T. M. S. L. (m)	重量 W (kN)	回転慣性 重量 I_g ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	要素 番号	要素位置 T. M. S. L. (m)	断面二次 モーメント I ($\times 10^4 \text{m}^4$)	せん断 断面積 A_s (m^2)
①		31780	0.8	①		0.16	44.6
②		257330	45.2	②		4.43	204.9
③		182500	32.0	③		4.22	203.4
④		195400	34.3	④		4.42	215.5
⑤		164920	28.9	⑤		4.50	239.3
⑥		262360	46.1	⑥		4.52	243.4
⑦		240510	42.2	⑦		83.90	4791.3
⑧		162240	28.4	—	—	—	—
建屋総重量		1497040	—	—	—	—	—

(b) EW 方向

質点番号	質点位置 T. M. S. L. (m)	重量 W (kN)	回転慣性 重量 I_g ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	要素 番号	要素位置 T. M. S. L. (m)	断面二次 モーメント I ($\times 10^4 \text{m}^4$)	せん断 断面積 A_s (m^2)
①		31780	3.8	①		0.21	26.6
②		257330	234.3	②		44.54	404.9
③		182500	166.1	③		43.64	400.9
④		195400	177.9	④		44.01	407.1
⑤		164920	150.1	⑤		45.48	416.2
⑥		262360	238.9	⑥		47.40	428.7
⑦		240510	219.0	⑦		436.00	4791.3
⑧		162240	147.7	—	—	—	—
建屋総重量		1497040	—	—	—	—	—

第 2.2-5 表 飛来物防護ネット基礎の解析諸元

単位重量* W (kN/m)	基礎梁断面 B (mm) × D (mm)	減衰定数 h
233	3600 × 3000	0.05

注記 *：飛来物防護ネットの総重量（支持架構＋基礎：62990kN）と飛来物防護ネット基礎が位置する部分の総重量が等価となるように設定

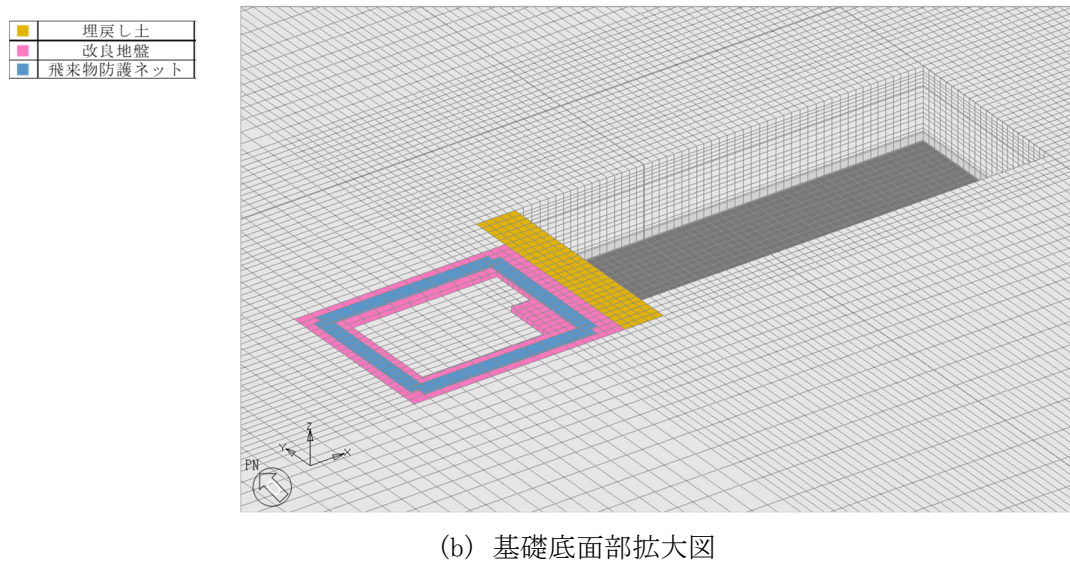
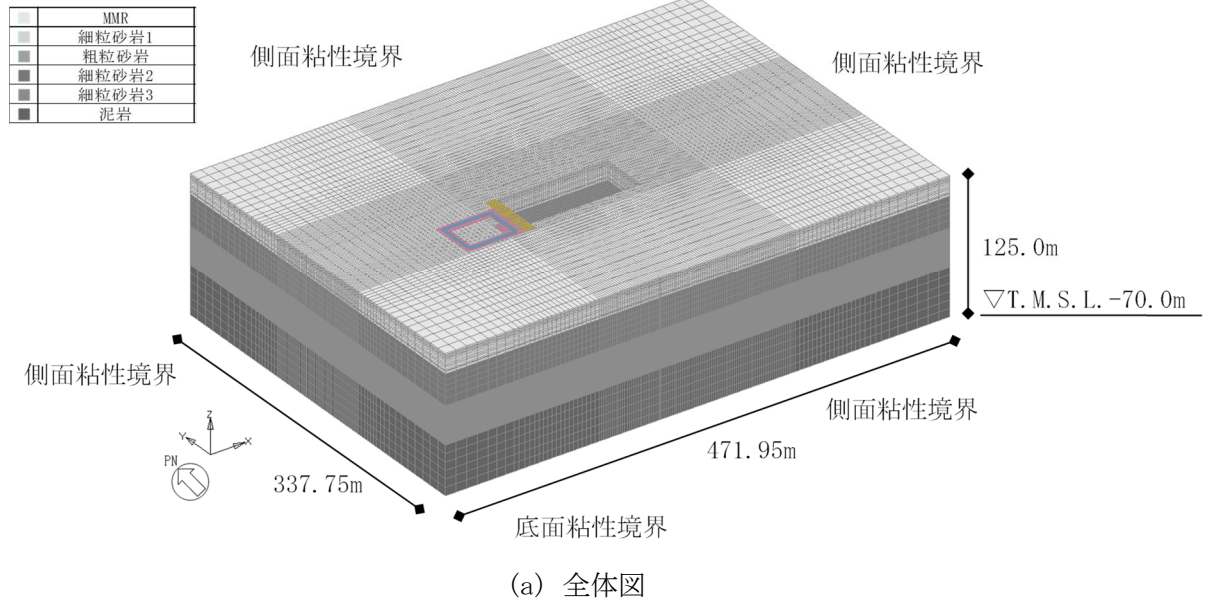
2.3 地盤モデルの詳細

地盤モデルを第2.3-1図に示す。地盤はソリッド要素でモデル化し、平面的にはNS方向337.75m, EW方向471.95mの領域を、深さ方向はT.M.S.L. -70.0m（解放基盤表面）～T.M.S.L. 55.0m（地表面）の領域をモデル化する。深さ方向のメッシュサイズは、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987（（社）日本電気協会）」に基づき、地盤のS波速度 V_s に対応する波長の1/5以下を目安として設定する。

地盤モデルは、「IV-2-1-1-1-1-1 安全冷却水B冷却塔基礎の地震応答計算書」と整合するよう構成される水平成層地盤とする。ただし、建屋周辺に分布する改良地盤及び埋戻し土を実態に即してモデル化することで、隣接建屋の影響をより精緻に評価する。なお、単独モデルでは、隣接モデルにおいて隣接建屋が埋め込まれていた部分を周辺の支配的な地盤であるMMR、細粒砂岩及び粗粒砂岩に置き換えた地盤モデルとする。

弾性設計用地震動Sd-Aにおける地盤物性を第2.3-1表～第2.3-3表に示す。地盤物性は、「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき設定することとし、地盤のひずみ依存特性を考慮して求めた収束物性値を用いる。また、地盤の減衰はレーリー減衰とし、基準振動数は、「2.5 検討用地震動及び検討用モデルへの入力方法」で後述するように評価対象建屋の基礎底面及び地表面レベルにおける地盤の応答が1次元波動論に基づき算定した地盤の応答と等価となるように設定する。

地盤の境界条件は、底面粘性境界及び側方粘性境界とする。



第2.3-1図 地盤モデル

第 2.3-1 表 地盤物性値 (S d - A)

標高 T. M. S. L. (m)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	減衰定数 h	レーリー減衰の 基準振動数 (Hz)	
					f1	f2
▽地表	55.00					
▽A4Bの基礎底面	53.80	18.3	674	1890	0.01	0.5 30
MMR	39.00					
細粒砂岩	37.08	18.3	671	1880	0.02	
粗粒砂岩		18.3	643	1800	0.02	
▽AHの基礎底面	36.82					
細粒砂岩	9.02	18.3	667	1870	0.02	
		18.1	925	2010	0.02	
泥岩 (下部層)	-25.57	16.9	783	1860	0.01	
▽解放基盤表面	-70.00					
		16.9	790	1880	0.01	

第 2.3-2 表 地盤物性値 (埋戻し土, S d - A)

標高 T. M. S. L. (m)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	減衰定数 h	レーリー減衰の 基準振動数 (Hz)	
					f1	f2
▽地表	55.00					
▽A4Bの基礎底面	53.80	17.8	177	418	0.03	0.5 30
	53.05	17.9	178	419	0.05	
	50.03	18.0	184	433	0.07	
	47.65	18.0	191	451	0.07	
埋戻し土	46.12	18.1	207	487	0.07	
	42.80	18.2	228	538	0.07	
	39.32	18.2	243	573	0.07	
	37.08	18.2	243	573	0.07	
▽AHの基礎底面	36.82	18.3	251	592	0.06	
細粒砂岩						

第 2.3-3 表 地盤物性値 (改良地盤, S d - A)

標高 T. M. S. L. (m)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	減衰定数 h	レーリー減衰の 基準振動数 (Hz)	
					f1	f2
▽地表	55.00					
▽A4Bの基礎底面	53.80	16.9	795	1580	0.001	0.5 30
	53.05		792	1570	0.003	
	50.03		788	1560	0.004	
	47.65		784	1560	0.005	
改良地盤	46.12		784	1560	0.006	
	42.80		781	1550	0.007	
	39.32		781	1550	0.008	
	37.08		781	1550	0.008	
▽AHの基礎底面	36.82		781	1550	0.008	
細粒砂岩						

2.4 建屋-地盤間の境界条件の詳細

第2.4-1図に建屋と地盤間の結合イメージを示す。

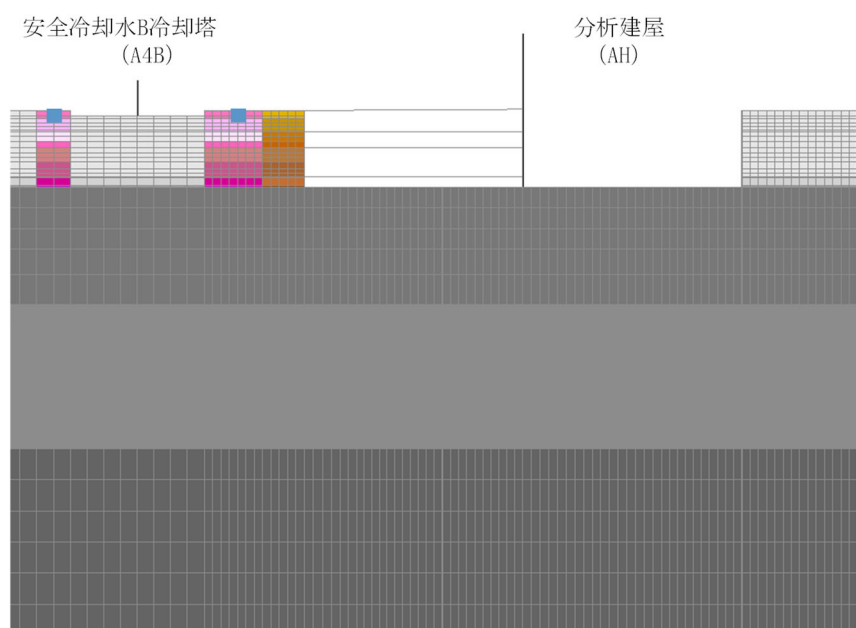
a. 基礎底面-底面地盤

構造物の基礎底面は剛体として考慮し、浮き上がりは考慮せず完全固着とし、基礎底面と支持地盤が同一に挙動するように結合する。

b. 建屋側面-側面地盤

建屋側面と側面地盤間については、建屋埋込み質点とそれと同じ高さの地盤節点（1FLの建屋質点は地表面）について、水平方向に対しては同一挙動するように結合し、鉛直方向は、建屋質点と地盤節点が独立して挙動する設定とする。

また、分析建屋における北側の一部分及び東側については、他の建屋が近接しており、地盤と接していないことから、当該部分については地盤節点と結合しない。



第2.4-1図 建屋と地盤間の結合イメージ

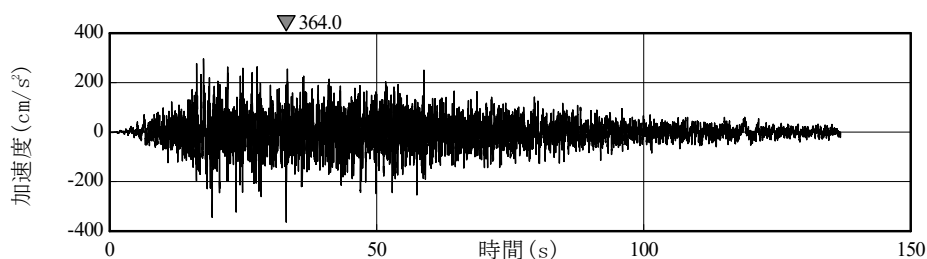
2.5 検討用地震動及び検討用モデルへの入力方法

本検討は、隣接建屋の影響程度の把握を主たる検討目的としていることから、材料の非線形特性による影響を受けないよう、地震応答解析は線形解析とする。検討用地震動は、「IV-1-1-1 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の概要」に示す解放基盤表面レベルで定義された弾性設計用地震動 S_d のうち、卓越周期に著しい偏りがなく、継続時間が長い S_d-A を用いる。 S_d-A の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを第 2.5-1 図及び第 2.5-2 図に示す。

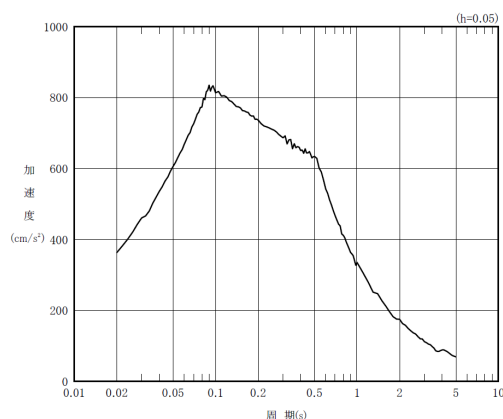
検討用モデルへの入力は第 2.5-3 図に示すように、評価対象建屋である安全冷却水 B 冷却塔基礎の基礎下位置における自由地盤の応答が、 S_d-A が入射した時の 1 次元波動論による応答計算と等価となるように地盤 3 次元 FEM モデルの底面に入力する*。なお、入力の方向は、NS 方向及び EW 方向それぞれに対して行うこととする。

1 次元波動論による入力地震動の算定には、解析コード「REFLECT Ver. 2.0」を用いる。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「IV-3 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

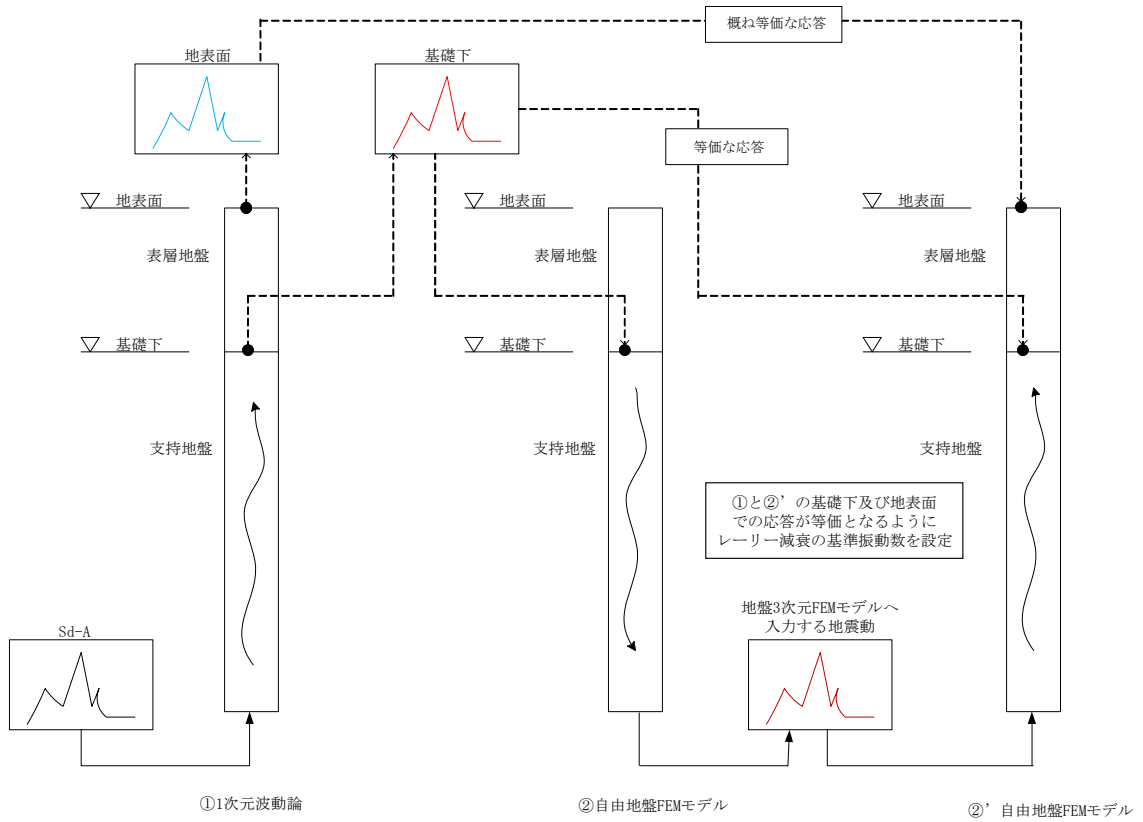
注記 *：評価対象建屋の基礎底面における地盤の応答が 1 次元波動論に基づき算定した地盤の応答と等価となるようにレーリー減衰の基準振動数を調整している。



第 2.5-1 図 S_d-A の加速度波形



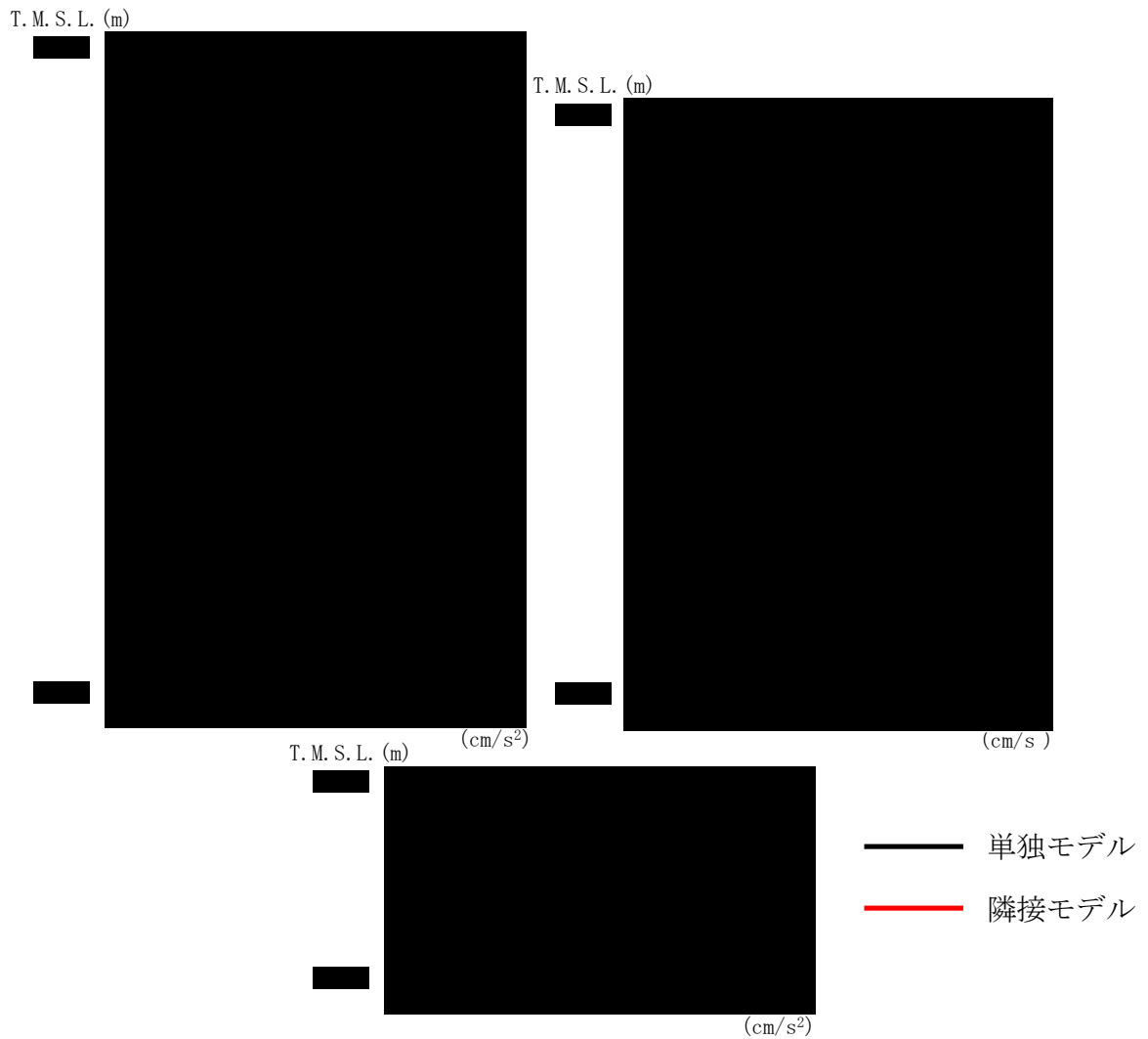
第 2.5-2 図 S_d-A の加速度応答スペクトル



第 2.5-3 図 地盤 3DFEM モデルへ入力する地震動の概念図

2.6 地震応答解析結果

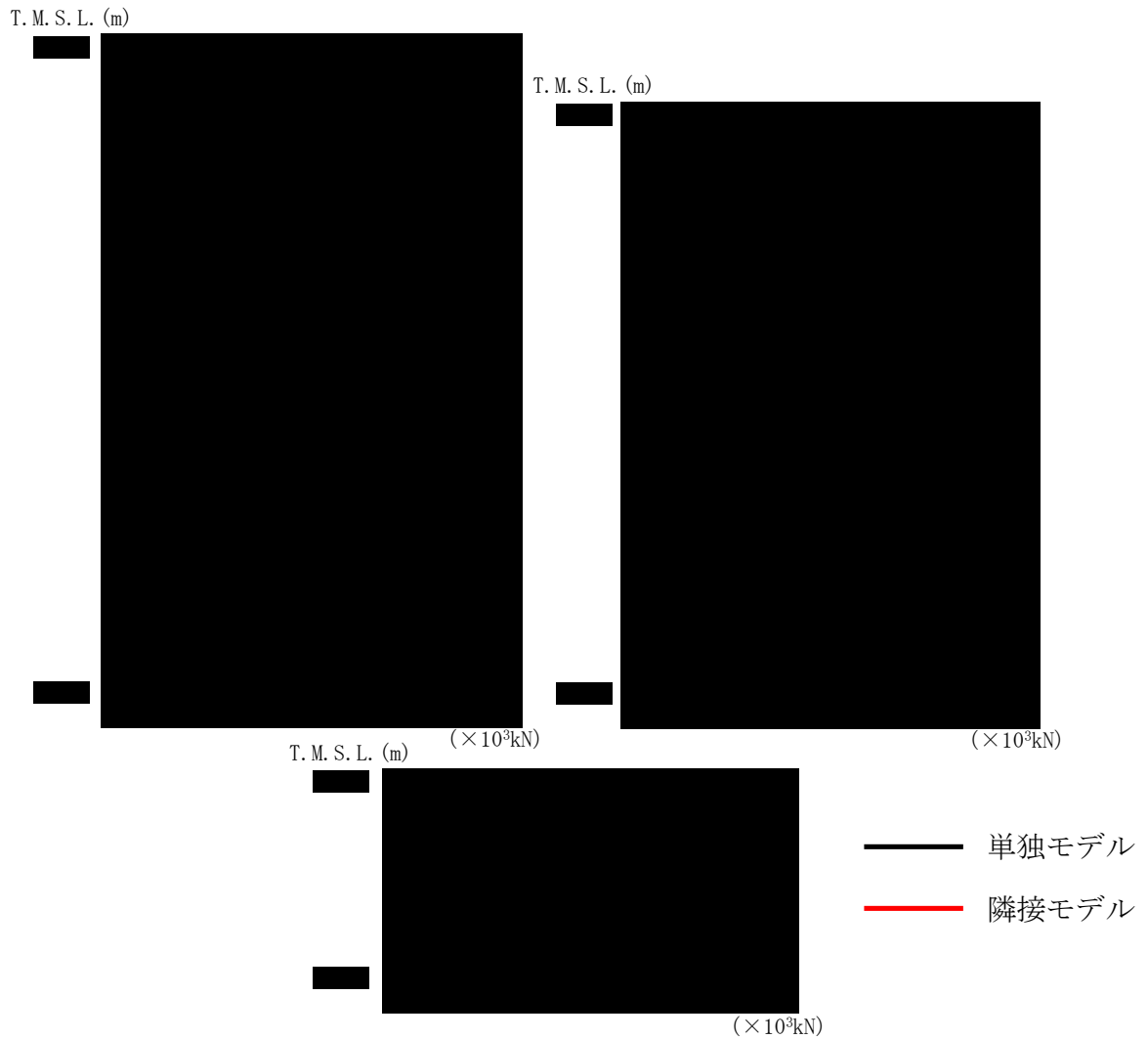
安全冷却水B冷却塔基礎の最大応答値を第2.6-1図～第2.6-6図及び第2.6-1表～第2.6-6表に示す。なお、応答比率は少数第4位を保守的に切上げた値を示す。



第2.6-1 図 安全冷却水B冷却塔基礎の最大応答加速度 (NS 方向)

第2.6-1 表 安全冷却水B冷却塔基礎の最大応答加速度一覧表 (NS 方向)

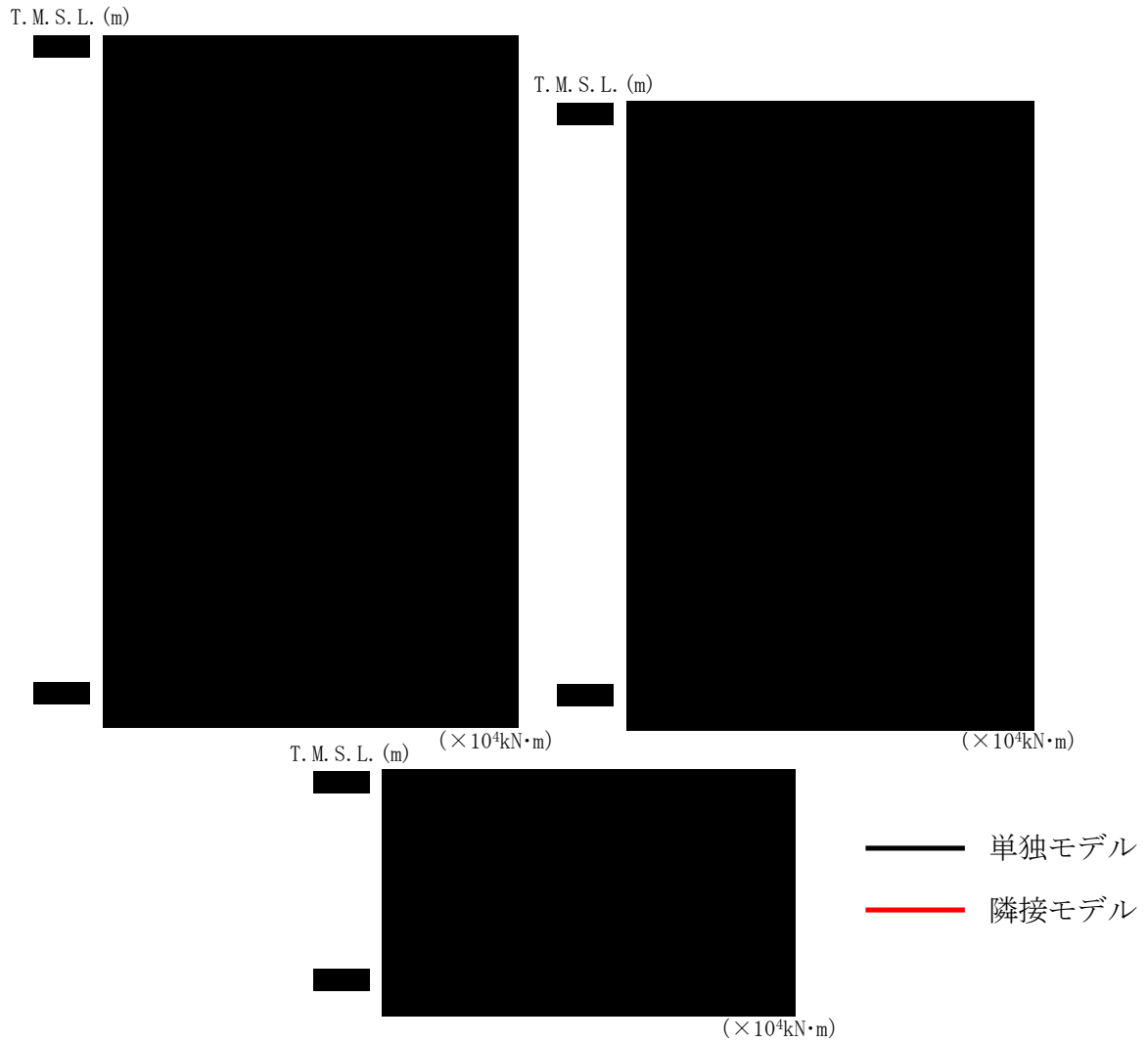
T. M. S. L. (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)		応答比率 (②/①)
		①単独モデル	②隣接モデル	
[Redacted Data]				



第2.6-2 図 安全冷却水 B 冷却塔基礎の最大応答せん断力 (NS 方向)

第2.6-2 表 安全冷却水 B 冷却塔基礎の最大応答せん断力一覧表 (NS 方向)

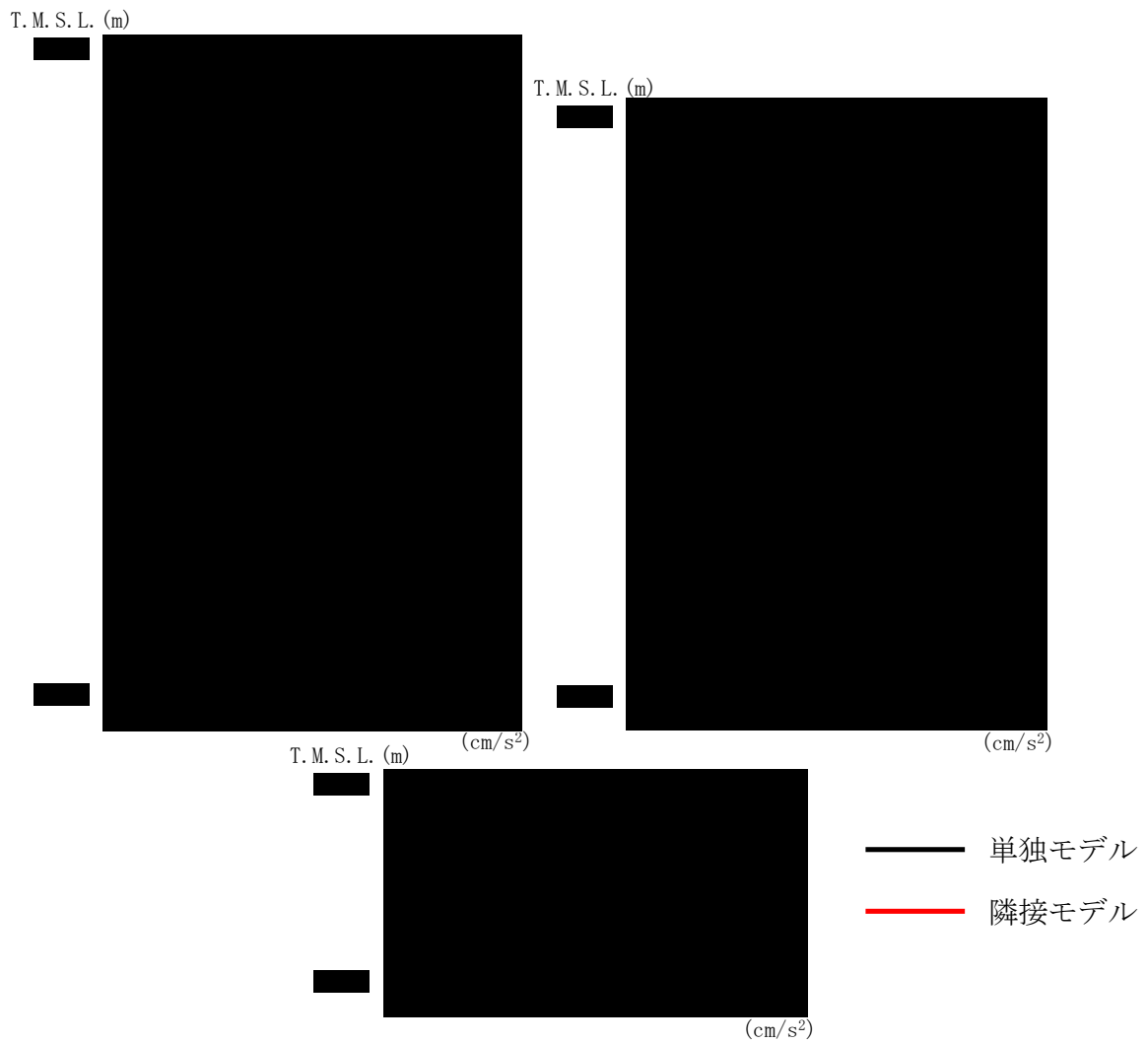
T. M. S. L. (m)	要素番号	最大応答せん断力 ($\times 10^3 \text{kN}$)		応答比率 (②/①)
		① 単独モデル	② 隣接モデル	



第2.6-3図 安全冷却水B冷却塔基礎の最大応答曲げモーメント (NS方向)

第2.6-3表 安全冷却水B冷却塔基礎の最大応答曲げモーメント一覧表 (NS方向)

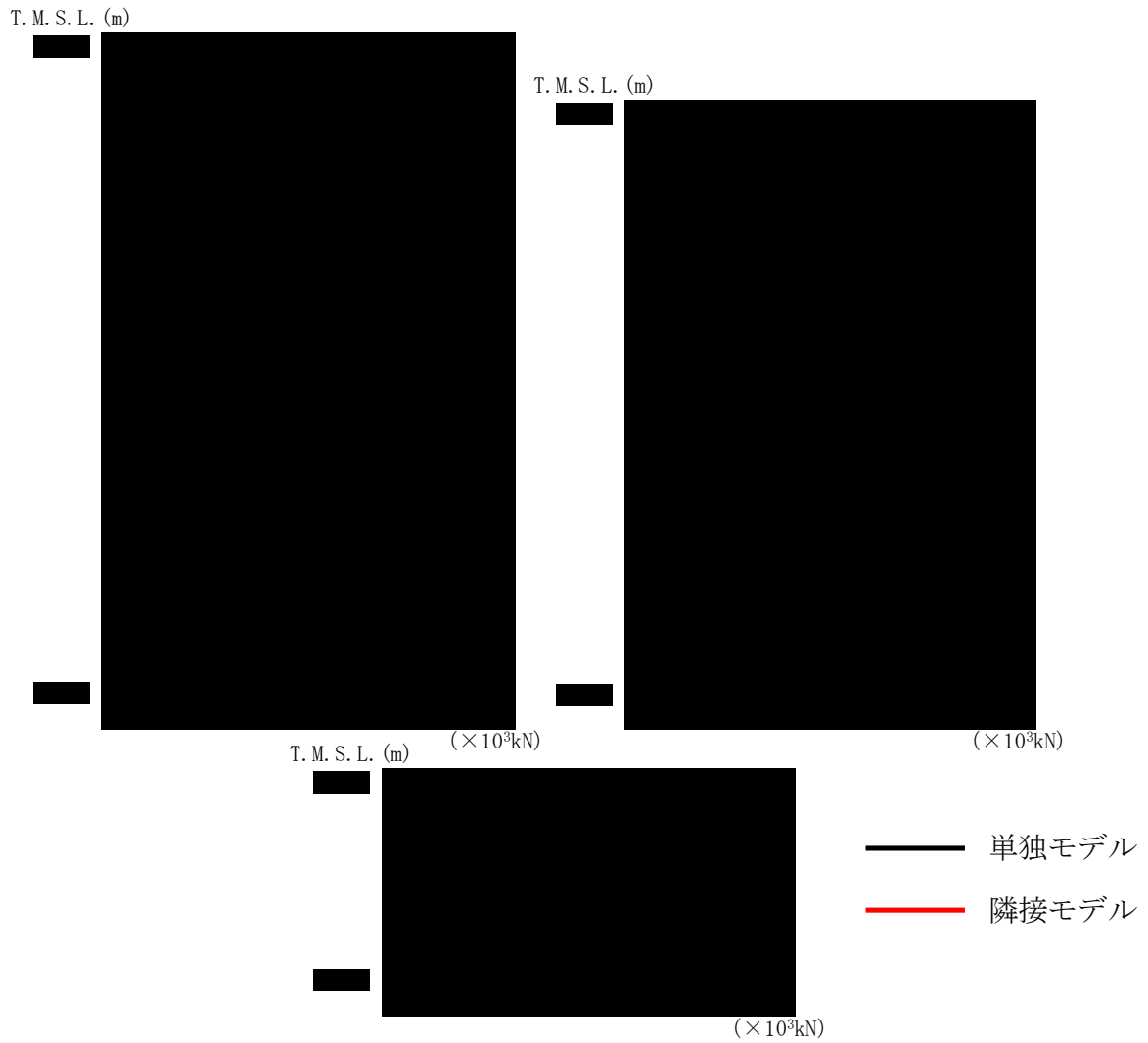
T. M. S. L. (m)	要素番号	最大応答曲げモーメント (×10 ⁴ kN・m)		応答比率 (②/①)
		①単独モデル	②隣接モデル	



第2.6-4図 安全冷却水B冷却塔基礎の最大応答加速度 (EW方向)

第2.6-4表 安全冷却水B冷却塔基礎の最大応答加速度一覧表 (EW方向)

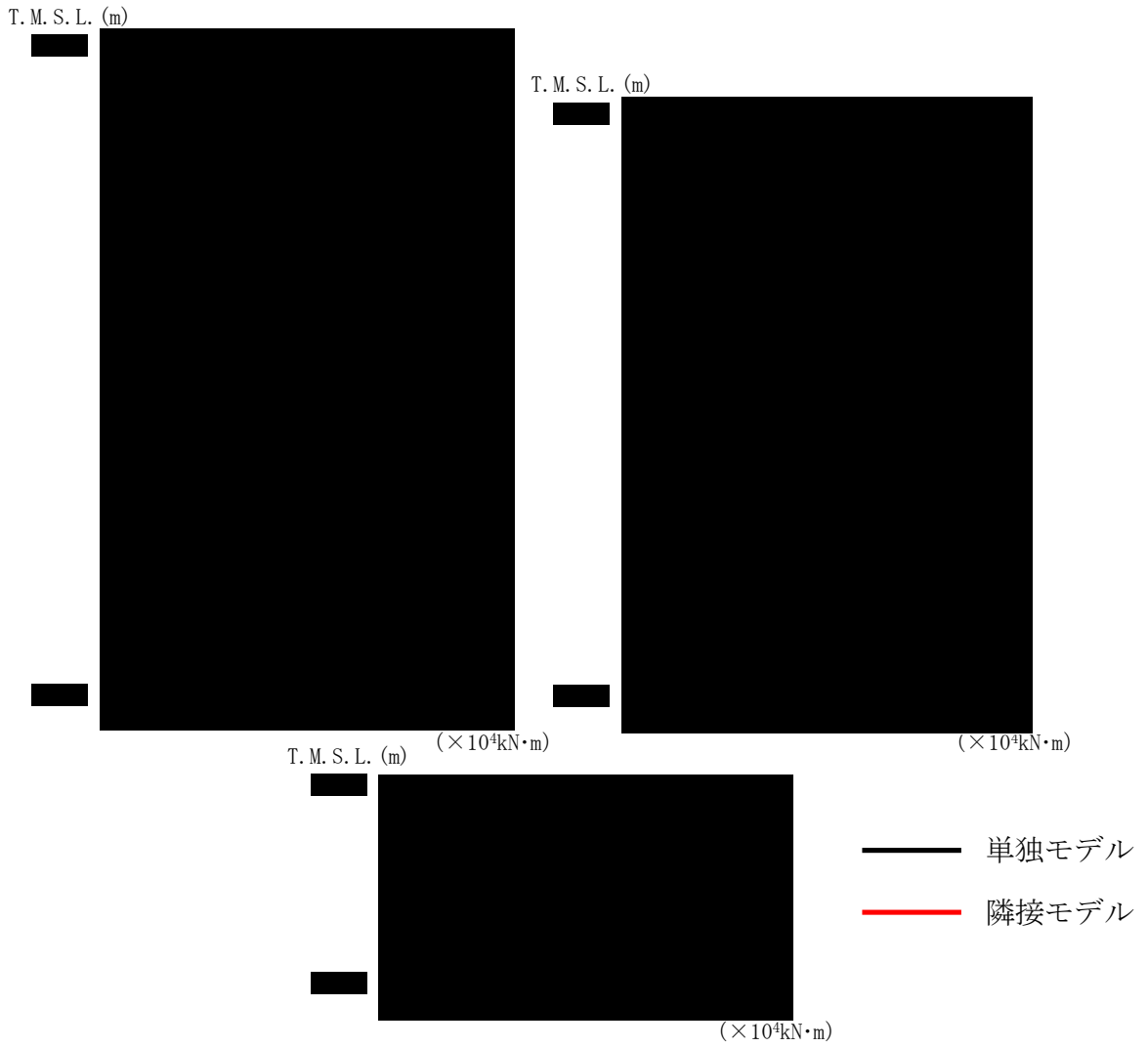
T. M. S. L. (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)		応答比率 (②/①)
		①単独モデル	②隣接モデル	



第2.6-5図 安全冷却水B冷却塔基礎の最大応答せん断力 (EW方向)

第2.6-5表 安全冷却水B冷却塔基礎の最大応答せん断力一覧表 (EW方向)

T. M. S. L. (m)	要素番号	最大応答せん断力(×10 ³ kN)		応答比率 (②/①)
		①単独モデル	②隣接モデル	



第2.6-6図 安全冷却水B冷却塔基礎の最大応答曲げモーメント (EW方向)

第2.6-6表 安全冷却水B冷却塔基礎の最大応答曲げモーメント一覧表 (EW方向)

T. M. S. L. (m)	要素番号	最大応答曲げモーメント ($\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)		応答比率 (②/①)
		①単独モデル	②隣接モデル	
[Redacted data]				

3. 建物・構築物の応答増幅の評価

「2.6 地震応答解析結果」で算定した隣接建屋を考慮した応答比率（割増係数）と、「IV-2-1-1-1-1-2 安全冷却水B冷却塔基礎の耐震計算書」の耐震評価結果より隣接建屋の影響評価を行う。

3.1 検討対象部位及び検討方法

3.1.1 検討対象部位

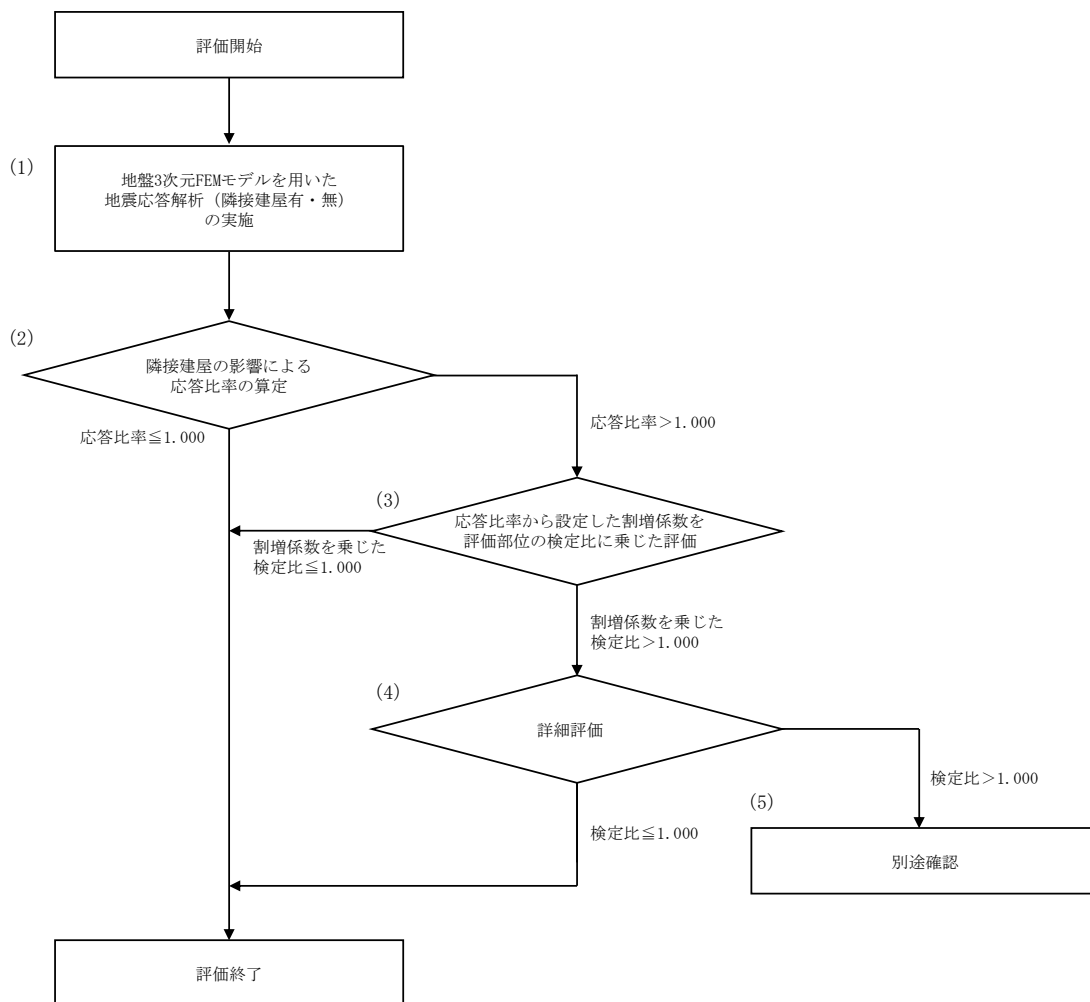
検討対象部位は、「IV-2-1-1-1-1-2 安全冷却水B冷却塔基礎の耐震計算書」において耐震評価を実施している部位のうち、水平方向の地震力の影響を受ける部位として、地盤（接地圧）及び基礎スラブとする。

3.1.2 地盤（接地圧）の検討方法

地盤（接地圧）の評価フローを第3.1.2-1図に示す。

地盤（接地圧）については、 S_s 地震時に対する評価として、水平地震力及び鉛直地震力の組合せにより算出していることから、基礎スラブ下端の最大応答曲げモーメントの応答比率を割増係数として設定し、割増係数が1.000を超える場合には、「IV-2-1-1-1-1-2 安全冷却水B冷却塔基礎の耐震計算書」に示す地盤物性のばらつきを考慮した最大接地圧の検定比に乗じて検定比が1.000を超えないことを確認する。

また、割増係数を乗じた検定比が1.000を超える場合には、詳細評価として、割増係数を考慮した地震荷重を用いた応力解析による評価を実施する。



第3.1.2-1図 地盤（接地圧）の評価フロー

3.1.3 基礎スラブの検討方法

基礎スラブの評価フローは、第 3.1.2-1 図に示す地盤（接地圧）の評価フローと同様とする。

基礎スラブに対する評価には、上部構造から伝わる基礎スラブへの地震時反力を地震荷重として考慮することから、基礎スラブ直上の部材における応答比率を割増係数として設定し、割増係数が 1.000 を超える場合には、「IV-2-1-1-1-1-2 安全冷却水 B 冷却塔基礎の耐震計算書」に示す地盤物性のばらつきを考慮した評価結果の検定比に乗じて検定比が 1.000 を超えないことを確認する。この際、割増係数にはせん断力及び曲げモーメントのうち大きい方の応答比率を用いる。

3.2 検討結果

水平方向の地震力の影響を受ける評価対象部位について、以下のとおり隣接建屋の影響評価を示す。

(1) 地盤（接地圧）

地盤（接地圧）については、水平方向の地震荷重として曲げモーメントを考慮することから、基礎下端における最大応答曲げモーメントの応答比率の最大値を割増係数として設定する。第 3.2-1 表に応答比率及び割増係数を示す。

第 3.2-1 表より、EW 方向は割増係数は■■■■であることから、地盤（接地圧）の評価に及ぼす影響がないことを確認した。NS 方向は割増係数が■■■■と 1.000 を超えることから、割増係数を乗じた評価結果を第 3.2-2 表に示す。第 3.2-2 表より、NS 方向について耐震計算書に示す評価結果の検定比に割増係数を乗じた場合においても、検定比は最大で■■■■であり、検定比が 1.000 を超えないことを確認した。

(2) 基礎スラブ

基礎スラブは、水平方向の地震荷重として上部構造から基礎への曲げモーメント及びせん断力を考慮することから、基礎スラブ直上の部材における最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントの応答比率の最大値を割増係数として設定する。第 3.2-3 表に応答比率及び割増係数を示す。

第 3.2-3 表より、割増係数が■■■■と 1.000 を超えることから、割増係数を乗じた評価結果を第 3.2-4 表に示す。第 3.2-4 表より、耐震計算書に示す評価結果の検定比に割増係数を乗じた場合においても、検定比は最大で■■■■であり、検定比が 1.000 を超えないことを確認した。

第 3. 2-1 表 基礎下端における最大応答曲げモーメント
の応答比率及び割増係数（地盤（接地圧））

方向	T. M. S. L. (m)	要素 番号	最大応答曲げモーメント ($\times 10^4 \text{kN} \cdot \text{m}$) *1		応答比率*2 (②/①)	割増 係数*3	割増係数を 乗じた評価 の要否
			①単独 モデル	②隣接 モデル			
NS							要
EW							不要

注記 *1：網掛けは最大値を示す

*2：小数第4位を保守的に切上げ

*3：応答比率が1.000を超えない場合は1.000とする



注記 1：○数字は質点番号を示す

2：□数字は要素番号を示す

3：破線囲みは該当する要素番号を示す

第 3. 2-2 表 接地圧の評価結果（基準地震動 S s）*1

方向	最大接地圧 (kN/m^2)	極限支持力度 (kN/m^2)	① 検定比*2*3	② 割増係数	①×② 検定比*3	判定
NS						OK

注記 *1：地盤物性のばらつきを考慮した結果

*2：①検定比 = (最大接地圧) / (極限支持力度)

*3：有効数字 3 桁表記（4 桁目を保守的に切り上げ）

第3.2-3表 基礎スラブ直上の最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメント
の応答比率及び割増係数（基礎スラブ）

方向	T. M. S. L. (m)	要素 番号	応力	①単独 モデル	②隣接 モデル	応答 比率* ² (②/①)	割増 係数* ³	割増係数 を乗じた 評価の 要否
NS								-
								-
								-
								-
EW								-
								-
								-
								-
割増係数（最大値）* ⁴								要

- 注記 *1：網掛けは最大値を示す
 *2：小数第4位を保守的に切上げ
 *3：応答比率が1.000を超えない場合は1.000とする
 *4：NS方向及びEW方向の包絡値を割増係数として設定する



- 注記 1：○数字は質点番号を示す
 2：□数字は要素番号を示す
 3：破線囲みは該当する要素番号を示す

第3.2-4表 基礎スラブの評価結果（基準地震動S_s）

(1) 軸力及び曲げモーメントに対する評価*¹

方向	要素 番号	荷重組合せ ケース (水平加力方向)	発生曲げ モーメント (kN・m/m)	許容値 (kN・m/m) * ₂	① 検定比 * ₃ * ₄	② 割増係数	①×② 検定比 * ₄	判定
NS								OK
EW								OK

注記 *₁：地盤物性のばらつきを考慮した結果

*₂：許容値は曲げ終局強度を示す

*₃：①検定比＝（発生曲げモーメント）／（許容値）

*₄：有効数字3桁表記（4桁目を保守的に切り上げ）

(2) 面外せん断力に対する評価*¹

方向	要素 番号	荷重組合せ ケース (水平加力方向)	発生面外 せん断力 (kN/m)	許容値 (kN/m) * ₂	① 検定比 * ₃ * ₄	② 割増係数	①×② 検定比 * ₄	判定
NS								OK
EW								OK

注記 *₁：地盤物性のばらつきを考慮した結果

*₂：許容値は面外せん断終局強度を示す

*₃：①検定比＝（発生面外せん断力）／（許容値）

*₄：有効数字3桁表記（4桁目を保守的に切り上げ）

IV - 2 - 4 - 2 - 2

機器・配管系

IV－2－4－2－2－1

機器・配管系の隣接建屋に関する
影響評価結果

目 次

1. 概要	1
2. 影響評価方針	1
3. 影響評価内容	1
3.1 隣接建屋の影響を考慮した地震力の算定	1
3.2 隣接建屋の影響を考慮した地震力による影響評価	3
4. 影響評価結果	4

別紙1 安全冷却水B冷却塔

1. 概要

本資料は、「IV-2-4-2-1 建物・構築物」にて示している隣接建屋の影響を考慮した地震応答解析の結果を踏まえ、機器・配管系の耐震安全性への影響について説明するものである。

2. 影響評価方針

隣接建屋の影響評価の方針としては、「IV-2-1 再処理設備本体等に係る耐震性に関する計算書」（以下「耐震計算書」という。）に示している設備の耐震評価結果の算出に用いた地震力については、複数ある基準地震動 S_s 若しくは弾性設計用地震動 S_d の建屋応答から添付書類「IV-1-1-6 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき作成した設計用床応答曲線 (FRS) 又は最大床応答加速度 (ZPA) による地震力 (以下「設計用地震力」という。) を用いて評価を行っている。

これに対する隣接建屋の影響評価の方法としては、耐震計算書に示している耐震安全性に影響を与えないことの確認として、設計用地震力と隣接建屋の影響を考慮した地震力 (以下「隣接影響地震力」という。) の比較により行う。

3. 影響評価内容

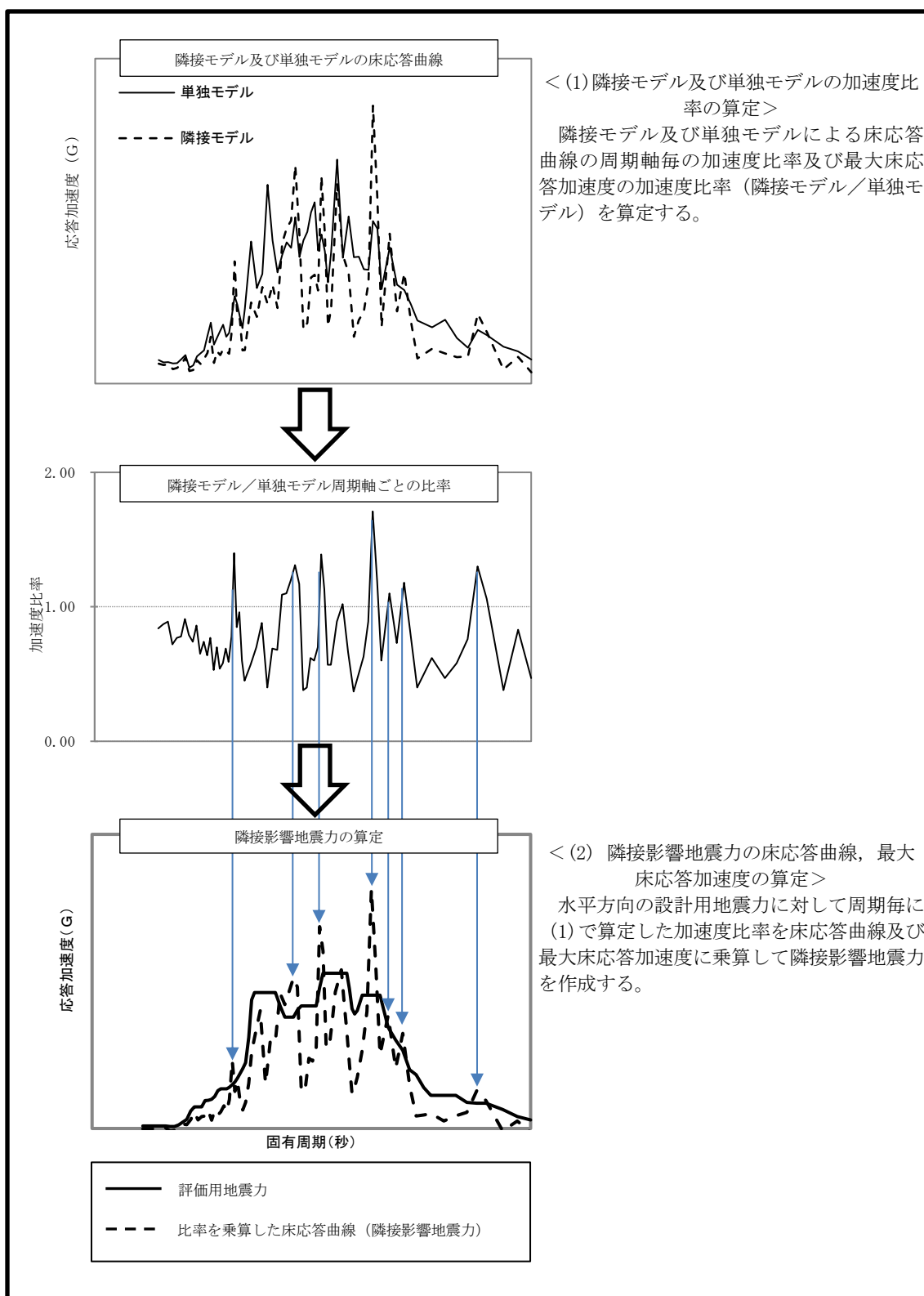
3.1 隣接建屋の影響を考慮した地震力の算定方法

隣接影響地震力の算定については、「IV-2-4-2-1 建物・構築物」にて示している隣接モデル及び単独モデルの地震応答解析の結果から作成した床応答曲線を用いて、以下の方法により作成する。

- (1) 隣接モデル及び単独モデルの床応答曲線を作成し、周期毎に加速度の比較を行い加速度比率の算定を行う。
- (2) 設計用地震力の水平方向の床応答曲線に対して、(1)の加速度比率を周期毎に乗じて隣接影響地震力の床応答曲線を作成。

なお、剛な設備においては、上記同様に設計用地震力の最大床応答加速度に隣接モデル及び単独モデルの最大床応答加速度から得られた加速度比率を乗じて求められる隣接影響地震力の最大床応答加速度の算定を行う。

隣接建屋の影響を考慮した加速度比率を乗算して算定する隣接影響地震力の作成例について第 3.1-1 図に示す。



第 3.1-1 図 隣接建屋の影響を考慮した加速度比率を乗算して算定する隣接影響地震力の作成例

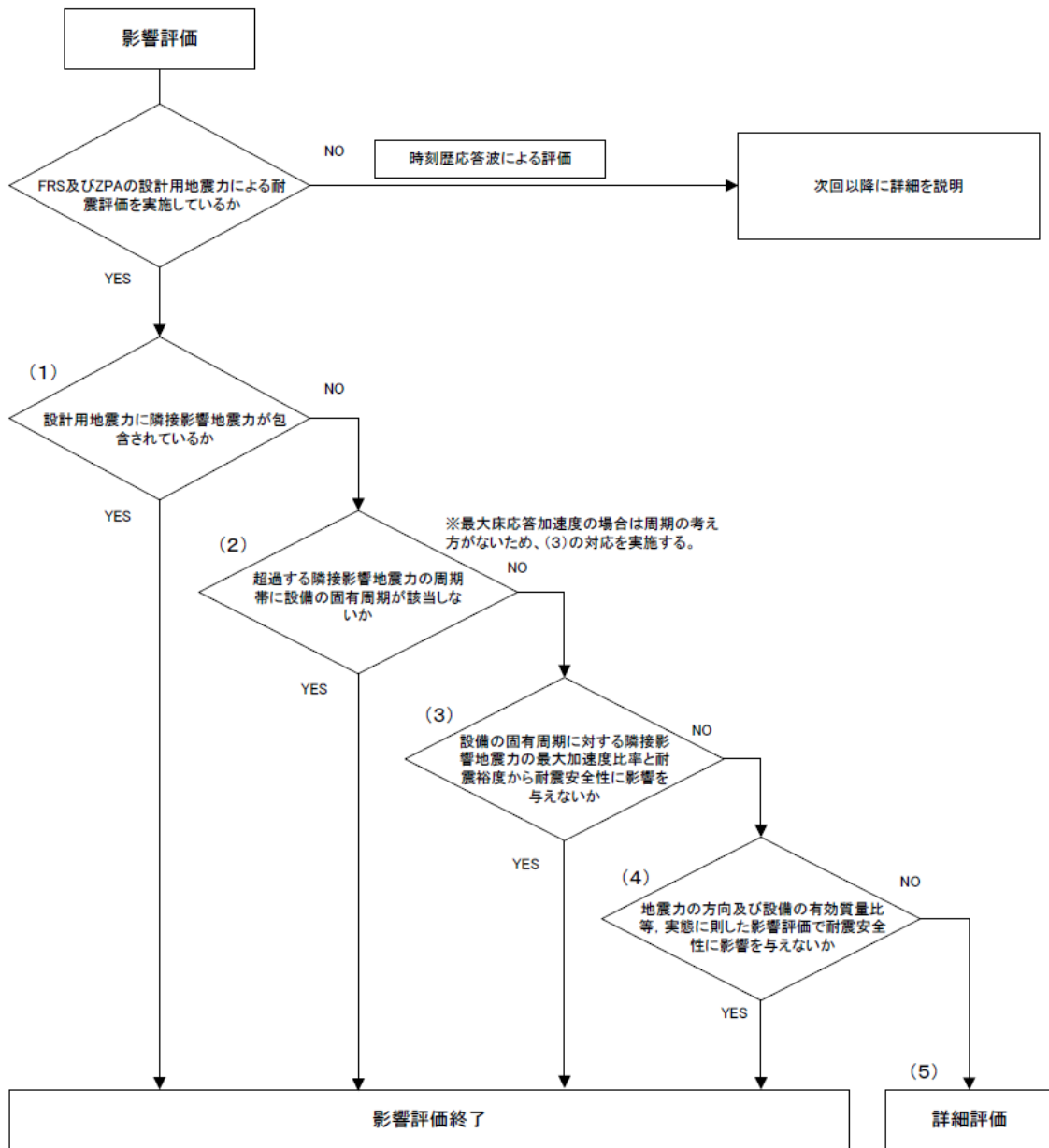
3.2 隣接建屋の影響を考慮した地震力による影響評価

設計用地震力と隣接影響地震力の比較による影響評価の内容としては、設計用地震力と隣接影響地震力の重ね合わせを行い、設計用地震力に対して隣接影響地震力が超過する場合は、超過する周期帯（以下「超過周期帯」という。）に固有周期を有する設備を特定し、超過周期帯の最大加速度比と耐震計算書の評価結果の耐震裕度を用いて耐震安全性に影響がないことを確認する。

剛な設備においては、設計用地震力と隣接影響地震力の最大床応答加速度の加速度比較を行い、超過する場合には加速度比と耐震計算書の評価結果の耐震裕度を用いて耐震安全性に影響がないことを確認する。

なお、時刻歴応答波を用いて評価を実施している設備については次回以降に詳細を説明する。

隣接建屋の影響を考慮した影響評価対応フローを第 3.2-1 図に示す。



第 3.2-1 図 隣接建屋の影響を考慮した影響評価対応フロー

4. 影響評価結果

影響評価方針に基づく隣接影響地震力との比較による耐震安全性への影響確認結果を別紙に示す。

IV-2-4-2-2-1 別紙 1
安全冷却水 B 冷却塔

隣接建屋に対する影響確認結果(基準地震動 S s)

IV-2 再処理施設の耐震性に関する計算書					確認結果*1							
添付書類番号	添付書類名称	発生 応力 *2 (MPa)	許容 応力 (MPa)	1次 固有 周期 (s)	簡易評価				(5) 詳細評価			
					(1)	(2)	(3)		(4)		発生 応力 (MPa)	応力 比
							発生 応力 (MPa)	応力 比	発生 応力 (MPa)	応力 比		
IV-2-1-2-1-1(1)	安全冷却水B冷却塔 [REDACTED]の耐震計 算書	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	-	-	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]

注記 *1: 「IV-2-4-2-2-1 機器・配管系の隣接建屋に関する影響評価結果」の「3.2 隣接建屋の影響を考慮した地震力による影響評価 第3.2-1図」において、「YES」となった結果を「○」又は数値で示す。

*2: 「IV-2 再処理施設の耐震性に関する計算書」に示す機器・配管系の各計算書において最大応力比となった評価部位に対する計算結果を示す。

IV－3

計算機プログラム（解析コード）の 概要

目 次

	ページ
1. はじめに	1
IV-3-1 建物・構築物	
IV-3-2 機器・配管系	

1. はじめに

本資料は、「IV 再処理施設の耐震性に関する説明書」において使用した解析コードについて説明するものである。

「IV 再処理施設の耐震性に関する説明書」において使用した解析コードの使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

IV - 3 - 1

建物・構築物

目 次

	ページ
別紙 1 MSC NASTRAN	1-1
別紙 2 REFLECT	2-1
別紙 3 TDAPⅢ	3-1
別紙 4 VA	4-1
別紙 5 FLIP	5-1
別紙 6 midas iGen	6-1
別紙 7 NAPISOS	7-1

別紙1 MSC NASTRAN

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-1-2	安全冷却水B冷却塔基礎の耐震計算書	Ver. 2013. 1. 0
IV-2-3-1 -1-1 別紙 1	安全冷却水B冷却塔基礎の水平 2 方向及び鉛直方向 地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 2013. 1. 0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	MSC NASTRAN
開発機関	The MacNeal-Schwendler Corporation (現 MSC Software Corporation)
開発時期	1971年 (一般商用リリース)
使用したバージョン	Ver. 2013.1.0
使用目的	弾性応力解析
コードの概要	<p>MSC NASTRAN (以下、「本解析コード」という。) は、航空機の機体強度解析用として開発された有限要素法による汎用解析計算機コードである。</p> <p>動的解析、静的解析、熱伝導解析等の機能を有し、固有振動数、刺激係数及び応力等の算定が可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・関西電力株式会社の高浜発電所3号機にて、同じ使用目的の解析に使用されており、実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは、上述の先行発電プラントにおいて使用されているものからバージョンアップしているが、その変更点は、今回の解析に使用していない解析機能の拡張として材料の追加や計算パフォーマンスの向上などに関するものであり、今回の解析結果に影響を及ぼさないことを確認している。 ・本申請における使用目的と整合した確認として、弾性応力解析に対して本解析コードと理論解との比較を実施し、本解析コードが理論解と同等の解を与えることを確認していることから、本解析コードを本申請における弾性応力解析に使用することは妥当である。

別紙2 REFLECT

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-1-1	安全冷却水B冷却塔基礎の地震応答計算書	Ver. 2.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	REFLECT
開発機関	大成建設株式会社
開発時期	1986 年
使用したバージョン	Ver. 2.0
使用目的	1次元波動論に基づく入力地震動の策定
コードの概要	<p>REFLECT (以下, 「本解析コード」という。) は, 米国カリフォルニア大学から発表された SHAKE を基本に開発されたもので, 1次元重複反射理論に基づく地盤の伝達関数や時刻歴応答波形を算出するプログラムである。</p> <p>日本国内の原子力関連施設等での多くの利用実績がある。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードによる弾性地盤の増幅特性の解析結果と理論モデルによる理論解を比較し, 解析結果と理論解が一致することを確認している。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・九州電力株式会社の川内発電所 1号機にて, 同じ使用目的の解析に使用されており, 実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは, 上述の先行発電プラントにおいて使用されているものと同じであることを確認している。 ・上述の検証の内容のとおり, 本申請における使用目的と整合した検証として, 弾性地盤の増幅特性に対して本解析コードと理論解との比較を実施し, 本解析コードが理論解と同等の解を与えることを確認していることから, 本解析コードを本申請における1次元波動論に基づく入力地震動の策定に使用することは妥当である。

別紙3 TDAPⅢ

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-1-1	安全冷却水B冷却塔基礎の地震応答計算書	Ver. 3.07

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	TDAPⅢ
開発機関	大成建設株式会社, 株式会社アーク情報システム
開発時期	1980年代後半
使用したバージョン	Ver. 3.07
使用目的	固有値解析, 地震応答解析
コードの概要	<p>TDAPⅢ（以下、「本解析コード」という。）は、静荷重（節点力、静的震度、強制変形）及び動荷重（節点加振力、強制変位・速度・加速度、地震動入力）を扱うことができる構造解析の汎用解析コードである。線形解析及び非線形解析を時間領域における数値積分により行う。</p> <p>土木及び建築分野に特化した要素群及び材料非線形モデルを数多くサポートしていることが特徴で、日本国内では、官公庁、大学及び民間を問わず、多くの利用実績がある。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードによる地震応答解析の検証として、実績ある解析コードと同一諸元による固有値解析、地震応答解析を行い、算定結果が一致することを確認している。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・九州電力株式会社の川内発電所1号機にて、同じ使用目的の解析に使用されており、実績を有することを確認している。 ・本申請において使用するバージョンは、上述の先行発電プラントにおいて使用されているものからバージョンアップしているが、その変更点は、今回の解析に使用していない材料や要素の追加及び出力関連の機能の追加に関するものであり、今回の解析結果に影響を及ぼさないことを確認している。 ・上述の検証の内容のとおり、本申請における使用目的と整合した検証として、固有値解析及び地震応答解析に対して本解析コードと実績ある他コードとの比較を実施し、本解析コードが他コードと同等の解を与えることを確認していることから、本解析コードを本申請における固有値解析及び地震応答解析に使用することは妥当である。

別紙4 VA

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-1-1 -1-1-1	安全冷却水B冷却塔基礎の地震応答計算書	Ver. 2.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	VA
開発機関	大成建設株式会社
開発時期	1990 年
使用したバージョン	Ver. 2.0
使用目的	地震応答解析モデルにおける基礎底面地盤ばね算定
コードの概要	<p>VA (以下, 「本解析コード」という。) は, 振動アドミッタンス理論により, 矩形基礎の水平動, 上下動及び回転に対する地盤の複素ばね剛性を半無限地盤に対する点加振解から, 振動数領域で計算するプログラムである。</p> <p>日本国内の原子力施設の工事計画認可申請において多くの利用実績がある。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証 (Verification)】 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 既往文献^{※1※2}に記載されている理論モデルによる基礎底面の水平ばね, 回転ばね及び鉛直ばねの評価例について本解析コードを用いて評価し, 本解析コードによる結果と既往文献の結果が一致することを確認している。 ・ 動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 九州電力株式会社の川内発電所 1 号機にて, 同じ使用目的の解析に使用されており, 実績を有することを確認している。 ・ 本申請において使用するバージョンは, 上述の先行発電プラントにおいて使用されているものと同じであることを確認している。 ・ 上述の検証の内容のとおり, 本申請における使用目的と整合した検証として, 基礎底面地盤ばね算定に対して本解析コードと既往文献の評価結果との比較を実施し, 本解析コードが既往文献の評価結果と同等の解を与えることを確認していることから, 本解析コードを本申請における基礎底面地盤ばね算定に使用することは妥当である。

※1：建築構造力学の最近の発展－応力解析の考え方－，日本建築学会，2008 年

※2：基礎-地盤複素剛性解析コード SANBANE の保守に関する報告書，原子力発電技術機構，1998 年

別紙5 FLIP

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
IV - 2 - 2 - 2 - 1 - 2 - 1 - 1	飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安 全冷却水系冷却塔B)の地震応答計算書	Ver. 7. 4. 1

2. 解析コードの概要

コード名 項目	FLIP
開発機関	FLIP コンソーシアム
開発時期	1988 年
使用したバージョン	Ver. 7. 4. 1
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析 (全応力・有効応力)
コードの概要	<p>有効応力解析コード FLIP (Finite element analysis program of Liquefaction Process) は、1988 年に運輸省港湾技術研究所 (現：(独) 港湾空港技術研究所) において開発された平面ひずみ状態を対象とする有効応力解析法に基づく、2次元地震応答解析プログラムである。</p> <p>地盤の過剰間隙水圧の上昇を適切に考慮できる解析コードとして、港湾の施設の設計を中心に数多くの実績を有しており、FLIP の主な特徴として、以下の①～⑤を挙げることができる。</p> <p>①有限要素法に基づくプログラムである。</p> <p>②平面ひずみ状態を解析対象とする。</p> <p>③地盤の有効応力の変化を考慮した地震応答解析を行い、部材断面力や変形等を計算する。</p> <p>④土の応力-ひずみモデルとして、マルチスプリング・モデルを採用している。</p> <p>⑤有効応力の変化は有効応力法により考慮する。そのために必要な過剰間隙水圧算定モデルとして井合モデルを用いている。</p>

項目	コード名 FLIP
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・マニュアルに記載された例題の提示解と本解析コードによる解析解との比較を実施し、解析解が提示解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、港湾施設の設計に用いられる「港湾の施設の技術上の基準・同解説(2007)(日本港湾協会)」において、有効応力解析に対しての適用性が確認されている解析コードとして扱われている。 ・本解析コードは、海岸構造物で多くの適用実績があるものの、その適用範囲が海岸構造物に限定されるものではないことを確認している。 ・東京電力ホールディングス株式会社柏崎刈羽発電所7号機の工事計画認可申請において、屋外重要土木構造物などの地震応答解析(全応力・有効応力)に本解析コード(Ver. 7. 4. 1)が使用された実績があることを確認している。 ・本申請における2次元有限要素法による地震応答解析(全応力・有効応力)という使用目的に対し、本解析コードの使用用途及び使用に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

別紙6 midas iGen

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
IV-2-2-2-1 -2-1-2	飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の耐震計算書	Ver. 845

2. 解析コードの概要

コード名 項目	midas iGen
開発機関	MIDAS IT
開発時期	1990年代前半
使用したバージョン	Ver. 845
使用目的	静的解析
コードの概要	midas iGen(以下, 「本解析コード」という。)は, 建築分野に特化した要素群及び材料非線形モデルを数多くサポートしている構造解析用の汎用計算機プログラムである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードは, 安全冷却水冷却塔B 飛来物防護ネットの静的解析に使用している。</p> <p>【検証(Verification)】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・フレームモデルを対象に, 本解析コードによる解析結果と, 別計算機コード「汎用計算機コード(TDAPⅢ)」による解析結果を比較し, 両者の解析結果が概ね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について, 開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日本原電株式会社「東海第2発電所」において, 原子炉建屋の静的解析に本解析コードが使用された実績がある。 ・検証の体系と今回申請で使用する体系が同等であることから, 検証結果をもって解析機能の妥当性も確認できる。 ・今回の申請において使用するバージョンは, 他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが, バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・今回申請で行う使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

別紙7 NAPISOS

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-2-4-2 -1-1-1- 1	安全冷却水B冷却塔基礎の隣接建屋に関する影響評価結果	Ver. 2.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	NAPISOS
開発機関	電力中央研究所，株式会社竹中工務店
開発時期	1996 年
使用したバージョン	Ver. 2.0
使用目的	質点系モデルによる地震応答解析
コードの概要	<p>NAPISOS（以下、「本解析コード」という。）は，地盤をソリッド要素で，建屋を非線形積層シェル要素や非線形ビーム要素でモデル化することにより，建屋の地盤建屋連成系 3 次元非線形地震応答解析が可能である。</p> <p>建屋基礎と地盤モデル間に，ジョイント要素を設置することにより，基礎浮上り性状を評価することができる。</p> <p>日本国内の原子力関連施設等での多くの利用実績がある。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 1 質点系モデルについて，本解析コードで地震応答解析を行った解析解と，Nigam-Jennings の理論式による理論解を比較し，解析解と理論解が一致することを確認している。また，地震応答解析に対して，原子力産業界において使用実績のある TDAS を用いた解析解と，本解析コードによる解析解を比較したベンチマーキングを行った結果，双方の解が概一致していることを確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 東京電力ホールディングス株式会社の柏崎刈羽 7 号機にて，同じ使用目的の解析に使用されており，実績を有することを確認している。 ・ 本申請において使用するバージョンは，上述の先行発電プラントにおいて使用されているものと同じであることを確認している。 ・ 上述の検証の内容のとおり，本申請における使用目的と整合した検証として，質点系モデルによる地震応答解析に対して本解析コードと理論解及び他コードの解析解との比較を実施し，本解析コードが理論解及び他解析コードと同等の解を与えることを確認していることから，本解析コードを本申請における質点系モデルによる地震応答解析に使用することは妥当である。

IV - 3 - 2
機器・配管系

目 次

	ページ
別紙 1 FACT-B	1-1
別紙 2 SPAN2000	2-1
別紙 3 MSC NASTRAN	3-1

別紙 1 FACT-B

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
IV-1-1-6 別紙 1-1	安全冷却水 B 冷却塔の設計用床応答曲線	V1.3

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	FACT-B
開発機関	辰星技研株式会社
開発時期	2016 年
使用したバージョン	V1.3
使用目的	設計用床応答曲線作成
コードの概要	<p>FACT-B（以下「本解析コード」という。）は、加速度時刻歴から床応答スペクトルを作成するプログラムであり、建物・構築物の床応答時刻歴から設計用床応答曲線を作成することを目的とする。</p> <p>一定の固有周期及び減衰定数を有する 1 質点系の与えられた加速度時刻歴に対する最大応答加速度を計算し、減衰定数が同一の系で計算された複数の床応答スペクトルの包絡値を求め、また床応答スペクトルの拡幅を行う。</p> <p>本解析コードは、設計用床応答曲線を作成するために開発したハウスコードである。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 発電炉にて使用実績がある別解析コード「FACS」により作成した設計用床応答曲線と本解析コードで作成した設計用床応答曲線を比較し、一致していることを確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本申請で使用する床応答スペクトルの作成機能は、理論モデルをそのままコード化したものであり、拡幅機能及び包絡機能を含め使用実績がある別解析コードとの比較により妥当性は確認している。 ・ 床応答スペクトルを作成する際、入力する加速度時刻歴データの時間刻み幅、データの形式については、使用実績がある別解析コードとの比較により妥当性を確認した範囲内にて使用している。 ・ ±10%拡幅、時刻歴波の時間刻み及び固有周期計算間隔は JEAG4601-1987 に従っており、妥当性は確認している。

3. 解析コードの解析手法について

3.1 一般事項

本書は、建物・構築物の地震応答解析から算出される加速度時刻歴から床応答スペクトルを作成する解析コードである FACT-B の説明書である。

本解析コードは、一定の固有周期及び減衰定数を有する 1 質点系の与えられた加速度時刻歴に対する最大応答加速度を計算する。また、減衰定数が同一の系で計算された複数の床応答スペクトルの包絡値を求め、拡幅した設計用床応答曲線の作成を行う。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードにおける 1 自由度系を用いた床応答スペクトルの作成は、線形加速度法を用いることにより行う。主な特徴を以下に示す。

- ・ 加速度時刻歴から周期及び減衰定数に応じた床応答スペクトルを作成する。
- ・ 複数の床応答スペクトルを包絡させた床応答スペクトルに対して拡幅した設計用床応答曲線を作成する。

3.3 解析手法

加速度時刻歴を入力とする 1 自由度系における応答について、減衰定数をパラメータとして以下のとおり算出する。

各質点における相対変位を x 、固有円振動数を ω 、減衰定数を h 、地動の加速度時刻歴を \ddot{y}_t としたとき、1 質点系の運動方程式は時刻 t において以下のように表される。

$$\ddot{x}_t + 2h \cdot \omega \cdot \dot{x}_t + \omega^2 \cdot x_t = -\ddot{y}_t \quad (3.1)$$

時刻刻み Δt 後の各質点における相対変位 x を x_{n+1} とすると、時刻 t_{n+1} において成立する運動方程式は以下となる。

$$\ddot{x}_{n+1} + 2h \cdot \omega \cdot \dot{x}_{n+1} + \omega^2 \cdot x_{n+1} = -\ddot{y}_{n+1} \quad (3.2)$$

ここで、時間 Δt の間で加速度が線形に変化するものとする、以下のように表される。

$$\ddot{X}_n = \frac{\ddot{x}_{n+1} - \ddot{x}_n}{\Delta t} \quad (3.3)$$

時刻 t_{n+1} における加速度 \ddot{x}_{n+1} 、速度 \dot{x}_{n+1} 及び変位 x_{n+1} は次のようになる。

$$\ddot{x}_{n+1} = \ddot{x}_n + \frac{\ddot{x}_{n+1} - \ddot{x}_n}{\Delta t} \Delta t \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_{n+1} &= \dot{x}_n + \Delta t \cdot \ddot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t^2 \cdot \ddot{\ddot{x}}_n \\ &= \dot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t \cdot \ddot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t \cdot \ddot{x}_{n+1} \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= x_n + \Delta t \cdot \dot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t^2 \cdot \ddot{x}_n + \frac{1}{6} \Delta t^3 \cdot \ddot{\ddot{x}}_n \\ &= x_n + \Delta t \cdot \dot{x}_n + \frac{1}{3} \Delta t^2 \cdot \ddot{x}_n + \frac{1}{6} \Delta t^2 \cdot \ddot{x}_{n+1} \end{aligned} \quad (3.6)$$

時刻 t_{n+1} において成立する運動方程式(3.2)に(3.5), (3.6)を代入すると, (3.7)が得られる。

$$\begin{aligned} &\left(1 + \frac{2h \cdot \omega \cdot \Delta t}{2} + \frac{\omega^2 \cdot \Delta t^2}{6}\right) \ddot{x}_{n+1} \\ &= -\left\{\ddot{y}_{n+1} + 2h \cdot \omega \left(\dot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t \cdot \ddot{x}_n\right) + \omega^2 \left(x_n + \Delta t \cdot \dot{x}_n + \frac{1}{3} \Delta t^2 \cdot \ddot{x}_n\right)\right\} \end{aligned} \quad (3.7)$$

(3.7)において式を簡略化するため,

$$R = 1 + \frac{2h \cdot \omega \cdot \Delta t}{2} + \frac{\omega^2 \cdot \Delta t^2}{6} \quad (3.8)$$

$$E_n = \dot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t \cdot \ddot{x}_n \quad (3.9)$$

$$F_n = x_n + \Delta t \cdot \dot{x}_n + \frac{1}{3} \Delta t^2 \cdot \ddot{x}_n \quad (3.10)$$

とおくと, (3.7)から(3.11)が得られる。

$$\ddot{x}_{n+1} = -\frac{1}{R} (\ddot{y}_{n+1} + 2h \cdot \omega \cdot E_n + \omega^2 \cdot F_n) \quad (3.11)$$

(3.11)を(3.5), (3.6)に代入すると, 時刻 t_n での加速度 \ddot{x}_n , 速度 \dot{x}_n 及び変位 x_n から1つ先の時刻 t_{n+1} での加速度 \ddot{x}_{n+1} , 速度 \dot{x}_{n+1} 及び変位 x_{n+1} を求めることができる。

ここで, 1つの減衰定数 h , 1つの計算固有周期点に対して, (3.5), (3.6), (3.11)により入力地震動 \ddot{y}_n の全継続時間にわたって応答加速度 \ddot{x}_n を算出し, $\ddot{x}_n + \ddot{y}_n$ の絶対値の最大値を求め, これを1つの減衰定数 h , 1つの計算固有周期点での加速度応答スペクトル算出値とする。

計算固有周期の範囲で同様に最大値を求め, これら最大値で床応答スペクトルを作成する。

なお, 初期値 ($t=0$) での応答加速度 \ddot{x}_0 , 応答速度 \dot{x}_0 , 応答変位 x_0 は以下のように表される。

$$x_{t=0}=0 \tag{3.12}$$

$$\dot{x}_{t=0}=-\ddot{y}_{t=0} \cdot \Delta t \tag{3.13}$$

$$(\ddot{x}+\ddot{y})_{t=0}=2h \cdot \omega \cdot \ddot{y}_{t=0} \Delta t \tag{3.14}$$

3.4 解析フローチャート

本解析コードを用いた解析フローチャートを図 3-1 に示す。

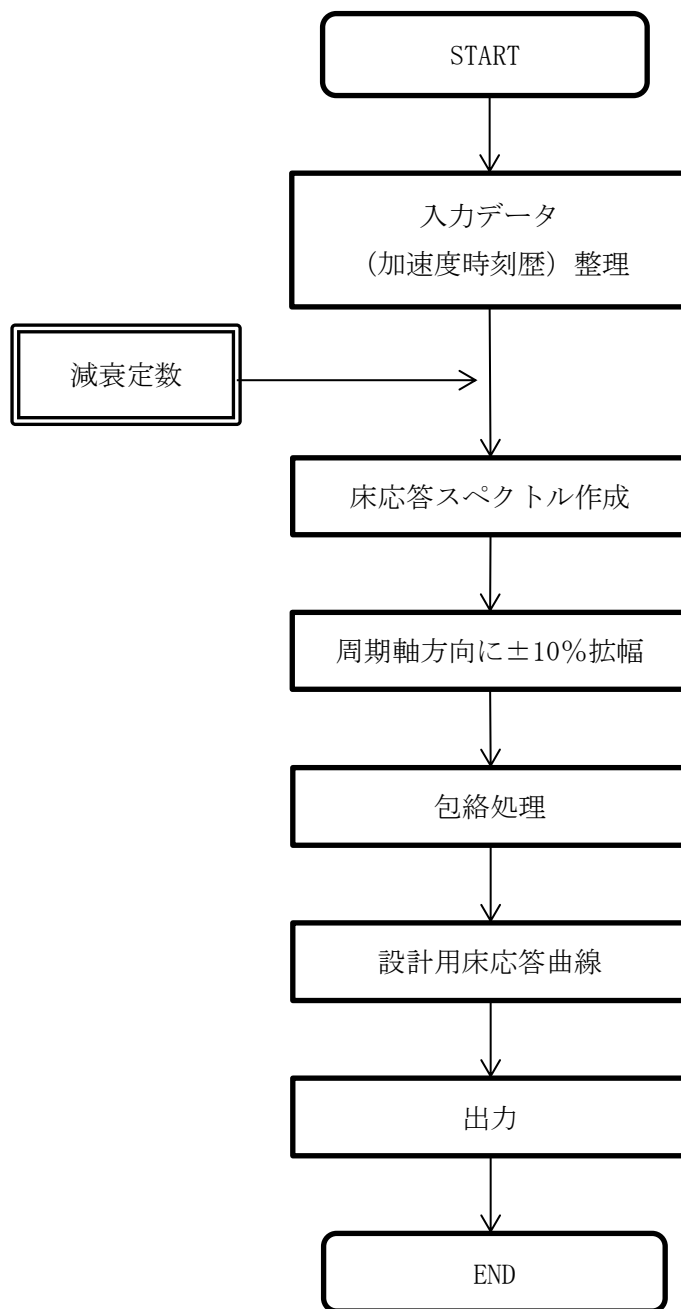


図 3-1 解析フローチャート

3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)

3.5.1 検証 (Verification)

(1) 検証の概要

別解析コード「FACS」にて作成した設計用床応答曲線（検証用データ）と本解析コードで作成した設計用床応答曲線の加速度（震度）を比較することで、本プログラムの検証を行った。

表 3-1 検証における比較項目

検証対象	比較項目
設計用床応答曲線	応答加速度（震度）

(2) 検証条件

第1非常用ディーゼル発電設備用重油タンク室の地震応答解析から得られた基準地震動 S_s に対する加速度時刻歴として、EW 方向モデルの床レベル 55.30m の質点番号①及びNS 方向の床レベル 47.70m の質点番号②の S_s-A の応答を用いた。また、設計用床応答曲線を作成するための減衰定数は、機器・配管系の耐震計算に適用するもののうち、1.0%とした。図 3-2 に第1非常用ディーゼル発電設備用重油タンク室の地震応答解析モデルを示す。

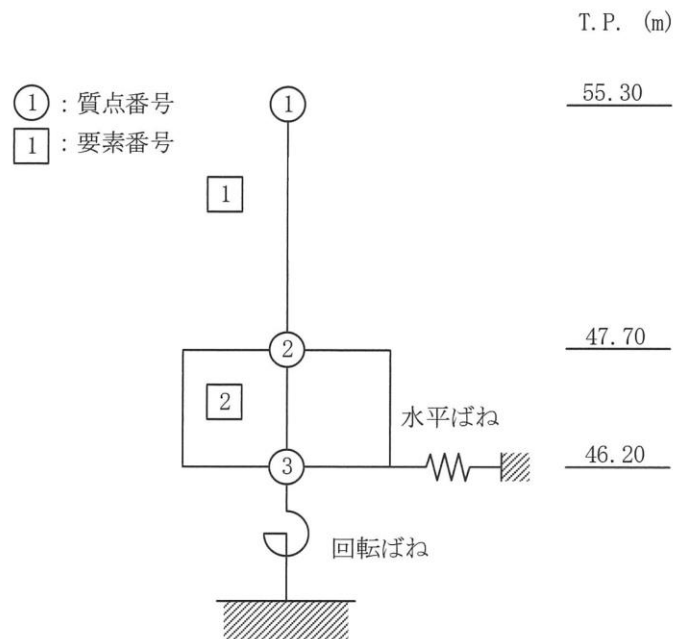


図 3-2 第1非常用ディーゼル発電設備用重油タンク室地震応答解析モデル
(水平方向)

(3) 解析結果の比較

各検証条件で作成した設計用床応答曲線について、検証用データと本解析コードで作成したデータの比較結果を図 3-3～図 3-6 に示す。

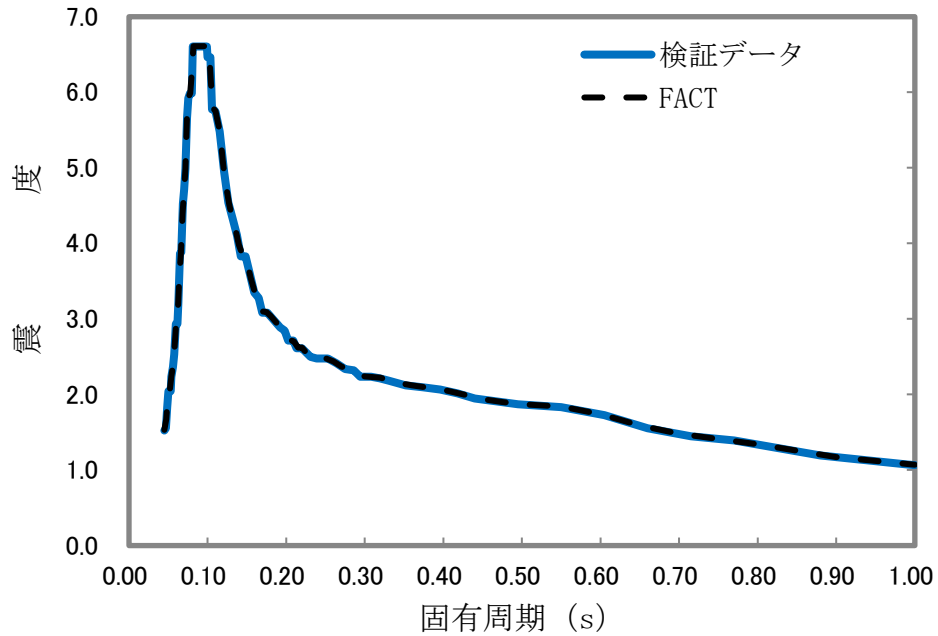


図 3-3 検証用データと本解析コードの比較結果
(EW 方向床レベル 55.30m 減衰 1.0%)

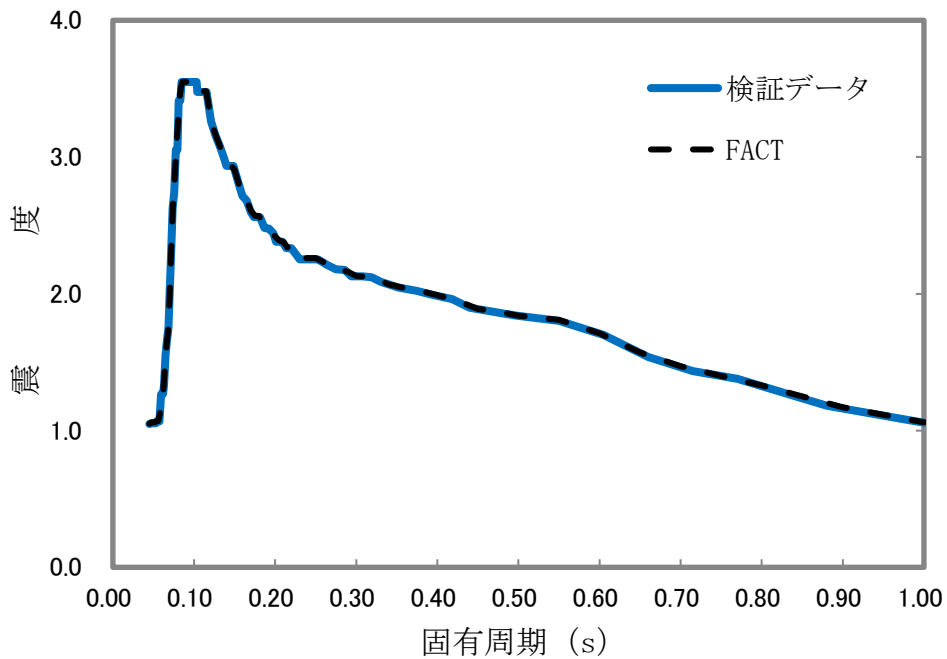


図 3-4 検証用データと本解析コードの比較結果
(NS 方向床レベル 47.70m 減衰 1.0%)

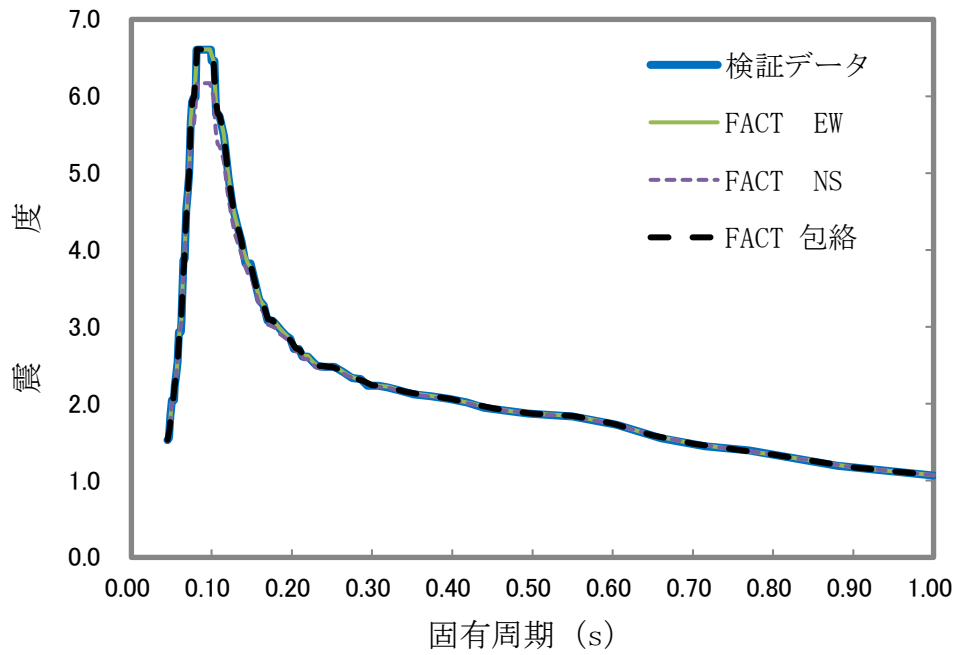


図 3-5 検証用データと本解析コードの比較結果
(水平方向包絡 床レベル 55.30m 減衰 1.0%)

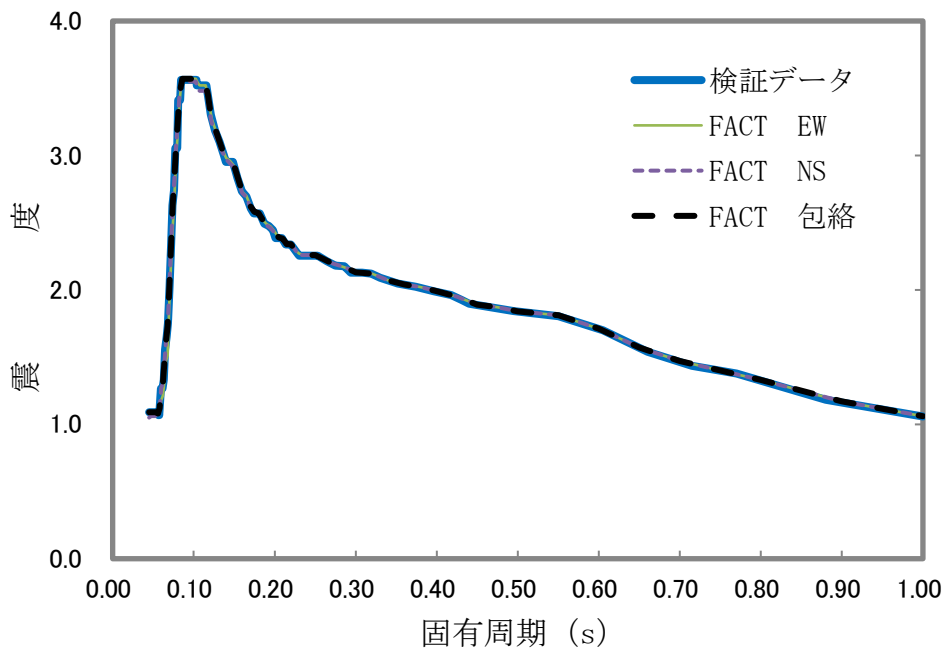


図 3-6 検証用データと本解析コードの比較結果
(水平方向包絡 床レベル 47.70m 減衰 1.0%)

(4) 検証結果

前項に示す設計用床応答曲線（固有周期と応答加速度（震度））の比較結果のとおり、両者は一致しており、本解析コードを用いて得られた計算結果の妥当性を確認した。

3.5.2 妥当性確認 (Validation)

本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。

- ・ 本申請で使用する機能は床応答スペクトルの作成機能、拡幅機能及び包絡機能であり、同一の入力条件に対する1自由度系の最大応答加速度を固有周期ごとに算定し、別解析コード「FACS」と本解析コードの結果を比較することで妥当性を確認している。
- ・ 床応答スペクトルを作成する際、入力する加速度時刻歴データの時間刻み幅、データの形式については、使用実績がある別解析コードとの比較により妥当性を確認した範囲内にて使用している。
- ・ $\pm 10\%$ 拡幅、時刻歴波の時間刻み及び固有周期計算間隔は JEAG4601-1987 に従っており、妥当性は確認している。

3.5.3 評価結果

3.5.1 及び 3.5.2 より、本解析コードを、使用目的に示す設計用床応答曲線の作成に用いることは妥当である。

別紙2 SPAN2000

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
IV-1-1-11-1 別紙1-1	安全冷却水 B 冷却塔の配管標準支持間隔	■

2. 解析コードの概要

コード名 項目	SPAN2000
開発機関	三菱重工業株式会社
開発時期	■■■■
使用したバージョン	■■■■
使用目的	等分布質量連続はり要素による耐震最大支持間隔算出
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> • SPAN2000(以下,「本解析コード」という。)は,配管等の耐震設計に活用することを目的として三菱重工業株式会社が開発したものである。 • 配管直管部(一般部)について,発生応力,固有振動数等が許容値や制限値を超えない範囲における最大長さを標準支持間隔として求めることが可能であり,加圧水型原子力発電設備において,多くの使用実績を有している。

<div style="text-align: right;">コード名</div> <div style="text-align: left;">項目</div>	SPAN2000
<p style="text-align: center;"> 検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation) </p>	<p>本解析コードは、配管を等分布質量連続はりモデル化し、許容値や制限値を超えない範囲における最大の支持間隔を求めるために使用している。</p> <p>【検証(Verification)】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・等分布質量連続はりモデルによる配管直管部(一般部)の耐震最大支持間隔算出、及びそれに発生する一次応力の算出について、入力データ()に対する応力算出結果において、解析解と理論モデルによる理論解との比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。また、固有振動数に関しても、上記検証において、解析解と理論解との比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。 ・地震動の組合せ処理に関しては、本解析コード内で処理しており、アウトプットファイルと理論計算結果が一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日本原子力発電株式会社「東海第2発電所」において、本解析コードが使用された実績がある。 ・耐震最大支持間隔算出は、JEAG4601-1987の定ピッチスパン法に従い等分布質量連続はりにモデル化している。 ・本解析コードは、配管系で使用される要素形状のうち直管部の支持間隔の算出、発生応力の算出に用いられる。 ・今回の申請で行う支持間隔算出、発生応力算出の用途及び適用範囲が、上述の妥当性確認範囲内になることを確認している。 ・今回の申請において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。

別紙3 MSC NASTRAN

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
IV-2-1-2-1 -1-1	安全冷却水冷却塔 () の耐震計算書	Ver. 2008.0.4

2. 解析コードの概要

コード名 項目	MSC NASTRAN
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年(一般商用リリース)
使用したバージョン	Ver. 2008. 0. 4
使用目的	3次元有限要素法による応力解析
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> • MSC NASTRAN(以下, 「本解析コード」という。)は, 航空機の機体強度解析を目的として開発された有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。 • 適用モデル(主にはり要素, シェル要素, ソリッド要素)に対して, 静的解析(線形, 非線形), 動的解析(過渡応答解析, 周波数応答解析), 固有値解析, 伝熱解析(温度分布解析), 熱応力解析, 線形座屈解析等の機能を有している。 • 数多くの研究機関や企業において, 航空宇宙, 自動車, 造船, 機械, 建築, 土木など様々な分野の構造解析に使用されている。

項目	コード名 MSC NASTRAN
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードは、安全冷却水B冷却塔の3次元有限要素法による応力解析に使用している。</p> <p>【検証(Verification)】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・構造力学分野における一般的知見により解を求めることが出来る体系について、本解析コードを用いた3次元有限要素法による応力解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日本原子力発電株式会社「東海第2発電所」において、使用済燃料乾式貯蔵建屋の静的応力解析及び動的応力解析に本解析コードが使用された実績がある。 ・検証の体系と今回申請で使用する体系が同等であることから、検証結果をもって解析機能の妥当性も確認できる。 ・今回の申請において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本解析コードの適用制限として使用要素数があるが、使用した要素数は適用制限以下であり、本申請における使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

V 強度及び耐食性に関する説明書

目 次

V-1 強度計算の基本方針

V-2 強度計算方法

V-3 強度計算書

V-4 水素爆発を仮定する機器の気相部における水素爆発時の影響に関する説明書 次
回以降申請

V-5 TBP 等の錯体の急激な分解反応発生時の影響に関する説明書 次回以降申請

V-6 計算機プログラム（解析コード）の概要 次回以降申請

V - 1 強度計算の基本方針

目 次

ページ

1. 概要	1
2. 安全機能を有する施設の容器等の強度計算の基本方針	4
2.1 安全機能を有する施設の容器等の対象範囲	4
2.2 安全機能を有する施設の容器等の材料及び構造	4
2.2.1 安全機能を有する施設の容器等の材料	4
2.2.2 安全機能を有する施設の容器等の構造	7
3. 常設重大事故等対処設備の容器等の強度計算の基本方針	次回以降申請 9
3.1 常設重大事故等対処設備の容器等の対象範囲	次回以降申請 9
3.2 常設重大事故等対処設備の容器等の材料及び構造	次回以降申請 9
3.2.1 常設重大事故等対処設備の容器等の材料	次回以降申請 9
3.2.2 常設重大事故等対処設備の容器等（緊急時対策建屋加圧ユニットを除く）の構造	次回以降申請 9
3.2.3 常設重大事故等対処設備の容器等のうち緊急時対策建屋加圧ユニットの構造	次回以降申請 9
4. 可搬型重大事故等対処設備の容器等の強度評価の基本方針	次回以降申請 10
4.1 可搬型重大事故等対処設備の容器等の対象範囲	次回以降申請 10
4.2 可搬型重大事故等対処設備の容器等の材料及び構造	次回以降申請 10
4.2.1 可搬型重大事故等対処設備の容器等の材料	次回以降申請 10
4.2.2 可搬型重大事故等対処設備の容器等の構造	次回以降申請 10

1. 概要

本資料は、「再処理施設の技術基準に関する規則」（令和2年3月17日 原子力規制委員会規則第九号）（以下「技術基準規則」という。）第十七条に規定されている安全機能を有する施設に属する容器及び管並びにこれらを支持する構造物（以下「支持構造物」という。）のうち、再処理施設の安全性を確保する上で重要なもの（以下「安全機能を有する施設の容器等」という。）又は第三十七条に規定されている重大事故等対処設備に属する容器及び管並びに支持構造物のうち、再処理施設の安全性を確保する上で重要なもの（以下「重大事故等対処設備の容器等」という。）の材料及び構造について、適切な材料を使用し、適切な構造及び十分な強度を有することを説明するものである。

なお、安全機能を有する施設の容器等のうち材料及び構造の要求事項に変更がなく、改造を実施しない機器については、今回の申請において変更は行わない。

今回、安全機能を有する施設の容器等のうち改造に伴い強度評価が必要な範囲並びに新たに材料及び構造の要求が追加となる常設の重大事故等対処設備の容器等（以下「常設重大事故等対処設備の容器等」という。）及び可搬型の重大事故等対処設備の容器等（以下「可搬型重大事故等対処設備の容器等」という。）について、強度計算の基本方針及び計算方法について以下の資料により構成する。

なお、安全機能を有する施設の容器等のうち改造に伴い強度評価が必要な範囲、常設重大事故等対処設備の容器等及び可搬型重大事故等対処設備の容器等については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

安全機能を有する施設の容器等のうち支持構造物又は常設重大事故等対処設備の容器等のうち支持構造物であって、その損壊により安全機能を有する施設の容器等（支持構造物は除く。）又は常設重大事故等対処設備の容器等（支持構造物は除く。）に損壊を生じさせるおそれがある支持構造物の強度計算については、計算方法が耐震評価と同じであり、地震荷重が支配的であることから「IV 耐震性に関する説明書」にて説明する。

上記の機器と評価条件が異なる水素爆発及びTBP等の錯体の急激な分解反応による荷重を考慮した評価が必要な設備のうち水素爆発を仮定する機器の気相部及び当該機器に接続するセル導出設備における水素爆発による荷重を考慮した評価を「V-4 水素爆発の発生を仮定する機器の気相部における水素爆発時の影響に関する説明書」に、TBP等の錯体の急激な分解反応の発生を想定する機器の気相部及び廃ガス貯留槽への導出に用いる設備におけるTBP等の錯体の急激な分解反応による荷重を考慮した評価を「V-5 TBP等の錯体の急激な分解反応発生時の影響に関する説明書」に示す。

なお、水素爆発を仮定する機器の気相部及び当該機器に接続するセル導出設備における水素爆発による荷重を考慮した評価及びTBP等の錯体の急激な分解反応の発生を仮定する機器の気相部及び廃ガス貯留槽への導出に用いる設備におけるTBP等の錯体の急激

な分解反応による荷重を考慮した評価については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

また、再処理施設における材料及び構造に係る経年劣化事象に関する事項については、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（昭和 32 年 6 月 10 日法律第 166 号）第四十八条第 1 項の規定に基づく再処理施設の経年劣化に関する技術的な評価にて確認を実施することから、今回の申請の対象外とする。

V-1 強度計算の基本方針（本紙）

V-2 強度計算方法

第一部 容器の強度計算方法 次回以降申請

第二部 管の強度計算方法 次回以降申請

第三部 可搬型重大事故等対処設備の容器等の強度評価方法 次回以降申請

添付-1 容器等の材料及び構造に関する設計の基本方針

添付-2 腐食代に関する設計の基本方針

2. 安全機能を有する施設の容器等の強度計算の基本方針

2.1 安全機能を有する施設の容器等の対象範囲

安全機能を有する施設の容器等に属する容器及び管は、以下のいずれかに該当するものとする。

- ・機器区分（再処理第1種機器から再処理第5種機器）に属する容器及び管
- ・「安全上重要な施設」に属する容器及び管

安全機能を有する施設の容器等に属する支持構造物は、上記の安全機能を有する施設の容器等に属する容器及び管に直接溶接されるものであり、その破損により当該機器の損壊を生じさせるおそれのあるものとする。

また、安全機能を有する施設の容器等に該当しないものの、上記の安全機能を有する施設の容器等に接続するポンプ及び弁についても材料及び構造の確認の対象範囲とする。

2.2 安全機能を有する施設の容器等の材料及び構造

安全機能を有する施設の容器等の材料及び構造については、材料及び構造に係る細目の設計方針として準拠する「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2005年版(2007年追補版含む)) <第1編軽水炉規格> JSME S NC1-2005/2007」(日本機械学会)(以下「設計・建設規格」という。)、圧力容器構造規格(平成15年4月30日厚生労働省告示第196号)、再処理施設用ステンレス鋼規格等を取りまとめた「V-2 強度計算方法」における添付-1「容器等の材料及び構造に関する設計の基本方針」(以下「構造等に関する設計方針」という。)に従い設計する。

技術基準規則の施行の際現に施設した安全機能を有する施設の容器等については、施設時の準拠規格として平成5年12月27日付け5安(核規)第534号にて認可を受けた設工認申請書の「V 主要な容器及び管の耐圧強度及び耐食性に関する説明書」における「別添-1 容器・管等の材料及び構造に関する設計の基本方針」(以下「既認可構造等に関する設計方針」という。)に従い設計する。

また、安全機能を有する施設の容器等に接続するポンプ及び弁の材料及び構造については、安全機能を有する施設の容器等と同等の適切な材料及び構造を有するものを使用する設計とする。

2.2.1 安全機能を有する施設の容器等の材料

安全機能を有する施設の容器等は、取り扱う放射性物質の濃度、腐食環境(硝酸濃度、使用温度)等の条件を考慮して定めた既認可構造等に関する設計方針の「別表第1 六ヶ所再処理施設の材料選定フロー」(以下「材料選定フロー」という。)による指定材料又はこれと同等以上の材料特性を有する材料を使用する設

計とする。

放射性物質を含む硝酸溶液を取り扱う系統及び機器の閉じ込め部材には、新規規制基準以前の事業指定（変更許可）申請書で参照した文献に基づき、硝酸溶液、アルカリ性溶液に対して優れた耐食性を有し豊富な使用実績のある 304 系ステンレス鋼を基本的に採用する。沈殿物による局部腐食を考慮する必要がある場合は、耐孔食性を増した 316 系ステンレス鋼を採用する。常圧沸騰状態で 2 mol/l 以上の硝酸溶液を取り扱う場合には再処理施設用ジルコニウムを使用する。

放射性物質を内包しない系統及び機器の耐圧部材には、用途に応じて定められている JIS 規格材又はこれと同等以上の材料特性を有するものを用途に応じて選択する。

また、放射性物質を内包し硝酸濃度が 0.2 mol/l 以上で使用温度が 70℃を超える機器の常時液に接する部分に使用するステンレス鋼の鍛造材については、ESR 処理等の加工フロー腐食対策を行うものとする。

なお、通常では液体を保有しない再処理第 5 種容器（ドリフトレイ等）については、材料選定フローに関わらず使用温度が 70℃を超え、かつ、硝酸濃度が 0.2 mol/l 以上の安全機能を有する施設の容器等がある場合は、低炭素鋼種 SUS-L 以上、それ以外は普通鋼種 SUS 以上の材料の選定をする。

非凝縮性の気体、粉体を取り扱う機器には、指定された材料よりも 1 ランク下位の材料の選定を可とする。

材料選定フローでステンレス鋼が指定される場合で、304 系、316 系ステンレス以外のステンレス鋼種あるいは耐食・耐熱合金鋼等を使用する場合に当たっては、以下の「材料選定理由に関する説明書」にて材料選定理由及び材料物性値を説明している。

- ・平成 9 年 5 月 27 日付け 9 安（核規）第 245 号にて認可を受けた設工認申請書の「V 主要な容器及び管の耐圧強度及び耐食性に関する説明書」における「別添 7 材料選定理由に関する説明書」
- ・平成 10 年 6 月 9 日付け 9 安（核規）第 596 号にて認可を受けた設工認申請書の「V 主要な容器及び管の耐圧強度及び耐食性に関する説明書」における「別添 7 材料選定理由に関する説明書」
- ・平成 11 年 6 月 22 日付け 11 安（核規）第 334 号にて認可を受けた設工認申請書の「V 主要な容器及び管の耐圧強度及び耐食性に関する説明書」における「別添 7 材料選定理由に関する説明書」
- ・平成 11 年 7 月 5 日付け 11 安（核規）第 135 号にて認可を受けた設工認申請書の「V 主要な容器及び管の耐圧強度及び耐食性に関する説明書」における「別添 7 材料選定理由に関する説明書」

安全機能を有する施設の容器等に使用する材料の板厚（公称厚さ）については、最高使用圧力，最高使用温度，腐食環境等の設計条件を考慮しても強度及び耐食性を確保するため，耐圧強度計算から求まる板厚に素材の負の公差，曲げ加工公差及び腐食代を加えた値以上になるように選定する。

材料の腐食代については，平成7年9月26日付け7安（核規）第710号にて認可を受けた設工認申請書の「V 主要な容器及び管の耐圧強度及び耐食性に関する説明書」における「別添－5 腐食代に関する設計の基本方針」（以下「腐食代設計方針」という。）に基づき，腐食性流体（ 0.2mol/l 以上の硝酸溶液）を内包する安全機能を有する容器等を対象に，新規制基準以前の事業指定（変更許可）申請書で参照した文献等を参考に使用環境を考慮して腐食速度を定め，設計寿命に基づく腐食量に設計余裕を加味して設定する。

なお，腐食代設計方針によらない場合に当たっては，以下の「腐食代設定に関する説明書」にて設定の考え方を説明している。

- ・平成9年5月27日付け9安（核規）第245号にて認可を受けた設工認申請書の「V 主要な容器及び管の耐圧強度及び耐食性に関する説明書」における「別添－8 腐食代設定に関する説明書」
- ・平成10年6月9日付け9安（核規）第596号にて認可を受けた設工認申請書の「V 主要な容器及び管の耐圧強度及び耐食性に関する説明書」における「別添－8 腐食代設定に関する説明書」
- ・平成11年1月29日付け10安（核規）第538号にて認可を受けた設工認申請書の「V 主要な容器及び管の耐圧強度及び耐食性に関する説明書」における「別添－8 腐食代設定に関する説明書」

また，安全機能を有する施設の容器等に接続するポンプ及び弁の材料についても，安全機能を有する施設の容器等と同様に，材料選定フローによる指定材料又はこれと同等以上の材料特性を有する材料を使用する設計とするとともに，材料の腐食代については腐食代設計方針に基づき設定する。

2.2.2 安全機能を有する施設の容器等の構造

安全機能を有する施設の容器等の構造強度評価は、施設時の準拠規格による評価とし、施設時の準拠規格が既認可構造等に関する設計方針の場合は、既認可構造等に関する設計方針によるものとする。

施設時の準拠規格が構造等に関する設計方針の場合は、構造等に関する設計方針による評価を実施する。

なお、既認可構造等に関する設計方針又は構造等に関する設計方針の適用に当たって、容器が放射性物質の閉じ込め上オフガス系に接続されており、フィルタ差圧変化及び液移送などによる圧力変動等を考慮した運転時の気相部最大負圧が弱圧（水中 300mm=0.003MPa 以内）に維持されるもの（排風機能力の低下等のため、一時的に、弱正圧になるもので、その正圧値が絶対値で上記最大負圧値以下の圧力になるものを含む。）も開放タンクとして取り扱う。

こうした取扱いの妥当性は、平成 5 年 12 月 27 日付け 5 安（核規）第 534 号にて認可を受けた設工認申請書の「V 主要な容器及び管の耐圧強度及び耐食性に関する説明書」における「別添-3 弱負圧・弱正圧の塔槽類等の耐圧強度評価に関する説明書」に添付した設計線図により、当該容器の最小厚さ（公称厚さから素材の負の公差，加工減公差及び腐食代を差し引いた値）及び塔高・径が弱負圧（水中 300mm=0.003MPa 以内）で外圧強度が確保される寸法及び形状である場合には、当該容器を開放タンクとして取り扱っても耐圧強度は確保されると評価されることによる。

既認可構造等に関する設計方針又は構造等に関する設計方針に構造強度に関する規格計算式等の規定がないものについては、ASME BOILER & PRESSURE VESSEL CODE その他の規格及び基準に基づく適切な応力評価により構造設計する。

ジルコニウム／ステンレス鋼の接続にあつては、異材継手を使用する設計とする。

なお、ジルコニウム／ステンレス鋼の異材継手の使用に当たっては、平成 10 年 6 月 9 日付け 9 安（核規）第 596 号にて認可を受けた設工認申請書の「V 主要な容器及び管の耐圧強度及び耐食性に関する説明書」における「別添-9 ジルコニウム／ステンレス鋼の異材継手の爆着施工法について」にて爆着施工法の妥当性について説明している。

また、安全機能を有する施設の容器等に接続するポンプ及び弁の構造については、安全機能を有する施設の容器等は耐圧部材の最小板厚が、最高使用圧力、最高使用温度に対して算出される計算上必要厚さ以上の厚さを有することを確認することを基本としているのに対して、以下の理由により接続する配管より十分肉厚のものを使用することから、接続する配管の最小厚さ以上の厚さを有するものを使用する設計とする。

(1) ポンプ

ポンプは、一般的に型式毎に使用圧力及び温度範囲を定められていることから、使用条件（最高使用圧力、最高使用温度）に対して、これまでの使用実績も踏まえた十分余裕を有した型式を選定することとしている。

また、ポンプの耐圧部材であるポンプケーシングは一般的に鋳造品であり、鋳物の湯流れ性等の製作性も考慮した部材の肉厚が設定されており、耐圧強度における必要厚さに対しても十分な余裕を有している。

したがって、同じ使用条件（最高使用圧力、最高使用温度）である接続配管に対してポンプケーシングは十分肉厚であり、接続配管が十分な強度を有することを確認することで、ポンプも十分な強度を有することが確認できる。

(2) 弁

弁の設計方法は、一般的に標準的な使用圧力（呼び圧力）及び温度条件をあらかじめ設定し、これに対応して使用材料別に口径及び肉厚を段階的に定めて弁を製作する標準圧力温度基準弁方針が採用されていることから、使用条件（最高使用圧力、最高使用温度）に対して、最適な弁を選定することとしている。

なお、一般的な標準圧力温度基準弁方針では、弁の最小厚さは弁箱の流路を形成する部位のうち入口流路内径を基準に最小厚さを設定するが、この最小厚さは安全率を考慮し、呼び圧力に等しい内圧を受ける単純な薄肉円筒容器の最小厚さより 1.5 倍の裕度を有するよう設定されている。

したがって、同じ使用条件（最高使用圧力、最高使用温度）である接続配管に対して弁の最小厚さは十分肉厚であり、接続配管が十分な強度を有することを確認することで、弁も十分な強度を有することが確認できる。

3. 常設重大事故等対処設備の容器等の強度計算の基本方針
常設重大事故等対処設備の容器等の強度計算の基本方針については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。
- 3.1 常設重大事故等対処設備の容器等の対象範囲
常設重大事故等対処設備の容器等の対象範囲については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。
- 3.2 常設重大事故等対処設備の容器等の材料及び構造
常設重大事故等対処設備の容器等の材料及び構造については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。
 - 3.2.1 常設重大事故等対処設備の容器等の材料
常設重大事故等対処設備の容器等の材料については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。
 - 3.2.2 常設重大事故等対処設備の容器等（緊急時対策建屋加圧ユニットを除く）の構造
常設重大事故等対処設備の容器等の構造については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。
 - 3.2.3 常設重大事故等対処設備の容器等のうち緊急時対策建屋加圧ユニットの構造
常設重大事故等対処設備の容器等のうち緊急時対策建屋加圧ユニットの構造については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

4. 可搬型重大事故等対処設備の容器等の強度評価の基本方針

可搬型重大事故等対処設備の容器等の強度評価の基本方針については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

4.1 可搬型重大事故等対処設備の容器等の対象範囲

可搬型重大事故等対処設備の容器等の対象範囲については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

4.2 可搬型重大事故等対処設備の容器等の材料及び構造

可搬型重大事故等対処設備の容器等の材料及び構造については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

4.2.1 可搬型重大事故等対処設備の容器等の材料

可搬型重大事故等対処設備の容器等の材料については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

4.2.2 可搬型重大事故等対処設備の容器等の構造

可搬型重大事故等対処設備の容器等の構造については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

V - 2 強度計算方法

まえがき

本強度計算方法は、設計及び工事計画認可申請書に添付する安全機能を有する施設の容器等及び重大事故等対処設備の容器等の強度計算及び強度評価について説明するものである。

本書は、以下により構成される。

第一部 容器の強度計算方法 次回以降申請

第二部 管の強度計算方法 次回以降申請

第三部 可搬型重大事故等対処設備の容器等の強度評価方法 次回以降申請

添付－1 容器等の材料及び構造に関する設計の基本方針

添付－2 腐食代に関する設計の基本方針

容器等の材料及び構造に関する
設計の基本方針

目 次

ページ

まえがき	1
第1章 総則	2
第1条 適用範囲	2
第2条 定義	2
第3条 特殊な方法による設計	2
第2章 材料	2
第4条 材料	2
第5条 機器の構造の規格	2
第3章 容器の構造	2
第6条 容器の構造の規格	2
第6条の2 開放タンク	2
第7条 容器の胴	2
第8条 容器の鏡板	2
第8条の2 容器の平板	2
第9条 容器のフランジ付きさら形ふた板	2
第10条 容器の管板	2
第11条 容器の管台	2
第12条 容器のフランジ	2
第12条の2 伸縮継手	2
第4章 管の構造	2
第13条 管の構造の規格	2
第14条 管の形状	2
第15条 管の接続	2
第15条の2 穴と捕強	2
第15条の3 管継手	2
第16条 ダクトの構造の規格	2
第16条の2 ダクトの形状	2
第16条の3 ダクトの接続	2

第 5 章 支持構造物	次回以降申請	2
第 17 条 支持構造物の規格	次回以降申請	2

まえがき

本資料は、技術基準規則第十七条に規定されている安全機能を有する施設の容器等又は第三十七条に規定されている重大事故等対処設備の容器等のうち常設重大事故等対処設備の容器等の材料及び構造に係る細目の設計方針として定めたものである。

なお、技術基準規則の施行の際現に施設した安全機能を有する施設の容器等については、既認可構造等に関する設計方針に準拠することとする。

今回新たに評価を実施する安全機能を有する施設の容器等又は常設重大事故等対処設備の容器等に適用する細目の設計方針については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

第1章 総則 次回以降申請

第1条 適用範囲 次回以降申請

第2条 定義 次回以降申請

第3条 特殊な方法による設計 次回以降申請

第2章 材料 次回以降申請

第4条 材料 次回以降申請

第5条 機器の構造の規格 次回以降申請

第3章 容器の構造 次回以降申請

第6条 容器の構造の規格 次回以降申請

第6条の2 開放タンク 次回以降申請

第7条 容器の胴 次回以降申請

第8条 容器の鏡板 次回以降申請

第8条の2 容器の平板 次回以降申請

第9条 容器のフランジ付きさら形ふた板 次回以降申請

第10条 容器の管板 次回以降申請

第11条 容器の管台 次回以降申請

第12条 容器のフランジ 次回以降申請

第12条の2 伸縮継手 次回以降申請

第4章 管の構造 次回以降申請

第13条 管の構造の規格 次回以降申請

第14条 管の形状 次回以降申請

第15条 管の接続 次回以降申請

第15条の2 穴と捕強 次回以降申請

第15条の3 管継手 次回以降申請

第16条 ダクトの構造の規格 次回以降申請

第16条の2 ダクトの形状 次回以降申請

第16条の3 ダクトの接続 次回以降申請

第5章 支持構造物 次回以降申請

第17条 支持構造物の規格 次回以降申請

腐食代に関する設計の基本方針

目 次

	ページ
まえがき	1
腐食代に関する設計の基本方針.....	2

まえがき

本資料は、技術基準規則第十七条に規定されている安全機能を有する施設の容器等の材料の腐食代を設定するための基本方針について定めたものである。

腐食代に関する設計の基本方針

安全機能を有する施設の容器等の材料の腐食代については、「V-1 強度計算の基本方針」に基づき、腐食性流体（0.2mol/l以上の硝酸溶液）に接する場合、新規制基準以前の事業指定変更申請書で参照した文献等を参考に使用環境を考慮して腐食速度（以下「設計腐食速度」という。）を定め、設備の設計寿命及び接液時間率に基づく腐食量（以下「必要腐食代」という。）に設計余裕を加味して設定する。

設計腐食速度は、純硝酸中での腐食速度に、流体に含まれる酸化性イオン等による腐食の加速または、抑制を表す係数（以下「腐食速度補正係数」という。）を乗じて求めるか、もしくは、使用環境を模擬した腐食試験値（文献値）を参考に設定する。

なお、純硝酸中での腐食速度は、新規制基準以前の事業指定変更申請書で参照した文献等を参考にして定めた腐食速度評価線図（以下「腐食評価線図」という。）から通常使用状態（運転温度、硝酸濃度）での値を読み取る。また、腐食速度補正係数も新規制基準以前の事業指定変更申請書で参照した文献等を参考に定める。

$$\begin{aligned} \text{腐食代} &= \text{必要腐食代} + \text{設計余裕} \\ \text{必要腐食代} &= \text{設計腐食速度} \times \text{接液時間率} \times \text{設計寿命} \\ \text{設計腐食速度} &= \text{純硝酸中腐食速度} \times \text{腐食速度補正係数} \\ &\text{または} = \text{模擬液腐食試験値} \\ \text{純硝酸中腐食速度} &= \text{腐食評価線図からの読み取り値} \end{aligned}$$

安全機能を有する施設の容器等の材料の腐食代設計方針の詳細は、平成7年9月26日付け7安（核規）第710号にて認可を受けた設工認申請書の「V 主要な容器及び管の耐圧強度及び耐食性に関する説明書」における「別添-5 腐食代に関する設計の基本方針」による。

V - 3 強度計算書

V - 3 - 1

今回変更を実施しない安全機能を有する施設の容器等の強度計算書

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 強度計算書	2

1. 概要

技術基準規則第十七条に規定されている安全機能を有する施設の容器等にあつて、材料及び構造の要求事項に変更がなく、改造を実施しない機器については、「V-1 強度計算の基本方針」に示すとおり、今回の申請において変更は行わない方針としている。

本資料では、変更を行わない安全機能を有する施設の容器等の強度計算書について、該当する既に認可を受けた設工認の添付書類を示すものである。

2. 強度計算書

2.1 その他再処理設備の附属施設

2.1.1 給水施設及び蒸気供給施設

2.1.1.1 冷却水設備

2.1.1.1 安全冷却水系

(1) 容器

機器名称 (機器番号)	申請回次*	添付書類
安全冷却水冷却塔 ()	第6回	V-2-2-3-2-1 安全冷却水系の耐圧強度に関する計算書

注記* : 「申請回次」は, 「付表1」による。

(2)管

主配管名称		申請回次*	添付書類
安全冷却水系	安全冷却水冷却塔 () ~ 安全冷却水冷却塔 () 供給ヘッダー合流点	第6回	V-2-2-3-2-1 安全冷却水系の耐圧強度に関する計算書
	安全冷却水冷却塔 () 戻りヘッダー分岐点 ~ 安全冷却水冷却塔 ()		
	安全冷却水B冷却塔 ()まわり		

注記* : 「申請回次」は、「付表1」による。

付表1 略語の定義

略語	定義
第2回	平成5年12月27日付け5安(核規)第534号にて認可を受けた設工認申請書の「V 主要な容器及び管の耐圧強度及び耐食性に関する説明書」
第3回	平成6年7月22日付け6安(核規)第220号にて認可を受けた設工認申請書の「V 主要な容器及び管の耐圧強度及び耐食性に関する説明書」
第4回	平成7年9月26日付け7安(核規)第710号にて認可を受けた設工認申請書の「V 主要な容器及び管の耐圧強度及び耐食性に関する説明書」
第5回	平成9年5月27日付け9安(核規)第245号にて認可を受けた設工認申請書の「V 主要な容器及び管の耐圧強度及び耐食性に関する説明書」
第6回	平成10年6月9日付け9安(核規)第596号にて認可を受けた設工認申請書の「V 主要な容器及び管の耐圧強度及び耐食性に関する説明書」
第7回	平成11年1月29日付け10安(核規)第538号にて認可を受けた設工認申請書の「V 主要な容器及び管の耐圧強度及び耐食性に関する説明書」
第8回	平成11年7月5日付け11安(核規)第135号にて認可を受けた設工認申請書の「V 主要な容器及び管の耐圧強度及び耐食性に関する説明書」

VI その他の説明書

目 次

VI-1 説明書

VI-1-1 各施設に共通の説明書

VI-1-1-1 再処理施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書

VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書

VI-1-1-1-2 竜巻への配慮に関する説明書

VI-1-1-1-3 火山への配慮に関する説明書

VI-1-1-1-4 外部火災への配慮に関する説明書

VI-1-1-1-5 落雷への配慮に関する説明書

VI-1-1-1-6 航空機に対する防護設計に関する説明書

VI-1-1-1-7 津波への配慮に関する説明書

VI-1-1-2 再処理施設の閉じ込めの機能に関する説明書

VI-1-1-3 設備別記載事項の設定根拠に関する説明書 次回以降申請

VI-1-1-4 安全機能を有する施設及び重大事故等対処設備が使用される条件下における健全性に関する説明書

VI-1-1-5 再処理施設への人の不法な侵入等の防止に関する説明書

VI-1-1-6 再処理施設内における溢水による損傷の防止に関する説明書

VI-1-1-7 再処理施設内における化学薬品の漏えいによる損傷の防止に関する説明書

VI-1-1-8 通信連絡設備に関する説明書 次回以降申請

VI-1-1-9 安全避難通路等に関する説明書 次回以降申請

VI-1-1-10 使用済燃料等の破損の防止に関する説明書 次回以降申請

VI-1-1-11 放射性物質の濃度及び線量に関する説明書 次回以降申請

VI-1-2 計測制御系統施設に関する説明書 次回以降申請

VI-1-3 制御室及び緊急時対策所に関する説明書 次回以降申請

VI-1-4 放射線管理施設に関する説明書 次回以降申請

VI-1-5 その他の再処理施設に関する説明書 次回以降申請

VI-1-5-1 電源設備に関する説明書 次回以降申請

VI-1-5-2 重大事故等対処設備に関する説明書 次回以降申請

VI-1-5-2-1 臨界事故の拡大を防止するための設備に関する説明書 次回以降申請

- VI-1-5-2-2 冷却機能の喪失による蒸発乾固に対処するための設備に関する説明書 次回以降申請
- VI-1-5-2-3 放射線分解により発生する水素による爆発に対処するための設備に関する説明書 次回以降申請
- VI-1-5-2-4 有機溶媒等による火災又は爆発に対処するための設備に関する説明書 次回以降申請
- VI-1-5-2-5 使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備に関する説明書 次回以降申請
- VI-1-5-2-6 工場等外への放射性物質の放出を抑制するための設備に関する説明書 次回以降申請
- VI-1-5-2-7 重大事故等への対処に必要な水の供給設備に関する説明書 次回以降申請

VI-1-6 計算機プログラム（解析コード）の概要

VI-1 説明書

VI-1-1 各施設に共通の説明書

VI-1-1-1

再処理施設の自然現象等による損傷
防止に関する説明書

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 自然現象等による損傷の防止に対する配慮に係る基本方針	1
2.1 基本方針	1
2.2 組合せ	2
2.2.1 異種の自然現象の組合せ	2
2.2.2 設計基準事故時の荷重との組合せ	7
2.2.3 組合せを考慮した荷重評価について	7

1. 概要

本資料は、自然現象等の外部からの衝撃への配慮について説明するものである。「再処理施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第六条（地震による損傷の防止）及び第三十三条（地震による損傷の防止）については、「IV-1 再処理施設の耐震性に関する基本方針」にてその適合性を説明するため、本資料においては、地震及び津波を除く自然現象等の外部からの衝撃による損傷の防止に関する設計が、技術基準規則第八条（外部からの衝撃による損傷の防止）に適合することを説明する。なお、第七条（津波による損傷の防止）における、敷地に遡上する津波への配慮が不要であることについては、「VI-1-1-1-7 津波への配慮に関する説明書」に示す。

また、技術基準規則第三十六条に規定される「重大事故等対処設備」を踏まえた自然現象等に対する重大事故等対処設備への具体的な対策については、「VI-1-1-4 安全機能を有する施設及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」にて説明するが、当該設計に基づく荷重又は熱影響評価については「VI-1-1-1-2-4 竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書」、「VI-1-1-1-3-4 火山への配慮が必要な施設の強度に関する説明書」又は「VI-1-1-1-4-3 外部火災への配慮が必要な施設の設計方針及び評価方針」の中で説明する。

なお、自然現象の組合せについては、全ての組合せを網羅的に確認するため、地震を含めた自然現象について本資料で説明する。

2. 自然現象等による損傷の防止に対する配慮に係る基本方針

2.1 基本方針

安全機能を有する施設は、敷地内又はその周辺の自然環境を基に想定される風（台風）、竜巻、凍結、高温、降水、積雪、落雷、火山の影響、生物学的事象、森林火災及び塩害の自然現象（地震及び津波を除く。）又は地震及び津波を含む組合せに遭遇した場合において、自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として再処理施設で生じ得る環境条件においても、その安全機能が損なわれないよう、防護措置、基礎地盤の改良及び運用上の措置を講ずる設計とする。

安全機能を有する施設は、敷地内又はその周辺の状況を基に想定され、再処理施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）（以下「人為事象」という。）として、飛来物（航空機落下）、爆発、近隣工場等の火災（危険物を搭載した車両及び船舶の火災を含む）、有毒ガス、電磁的障害及び再処理事業所内における化学物質の漏えいに対して、その安全機能が損なわれないよう、防護措置及び運用上の措置を講ずる設計とする。

想定される自然現象（地震及び津波を除く。）に対する影響評価並びに安全機能を損なうおそれがある場合の防護措置及び運用上の措置においては、波及的影響を及ぼ

して安全機能を損なわせるおそれのある施設についても考慮する。

また、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）及び人為事象に対しては、安全機能を有する施設が安全機能を損なわないために必要な安全機能を有する施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。

想定される自然現象（地震及び津波を除く。）及び人為事象の発生により、再処理施設に重大な影響を及ぼすおそれがあると判断した場合は、必要に応じて使用済燃料の再処理を停止する等、再処理施設への影響を軽減するための措置を講ずることを保安規定に定めて、管理する。

自然現象（地震及び津波を除く。）及び人為事象のうち、風（台風）、凍結、高温、降水、積雪、生物学的事象、塩害、有毒ガス、電磁的障害及び再処理事業所内における化学物質の漏えいに対する設計方針については「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」において説明する。

また、自然現象（地震及び津波を除く。）及び人為事象のうち竜巻に対する設計方針については「VI-1-1-1-2 竜巻への配慮に関する説明書」、森林火災、爆発及び近隣工場等の火災に対する設計方針については「VI-1-1-1-4 外部火災への配慮に関する説明書」、火山の影響に対する設計方針については「VI-1-1-1-3 火山への配慮に関する説明書」、落雷に対する設計方針については「VI-1-1-1-5 落雷の配慮に関する説明書」並びに航空機落下に対する設計方針については「VI-1-1-1-6 航空機に対する防護設計に関する説明書」において説明する。

なお、基礎地盤の改良については「IV-1-1 耐震設計の基本方針」において説明する。

2.2 組合せ

2.2.1 異種の自然現象の組合せ

安全機能を有する施設の安全機能が損なわれないことを広く確認する観点から、地震を含めた自然現象の組合せについて、敷地及びその敷地周辺の地学、気象学的背景を踏まえて検討する。

(1) 組合せを検討する自然現象の抽出

自然現象が安全機能を有する施設に与える影響を考慮し、組合せを検討する自然現象を抽出する。

自然現象及び人為事象の組合せについては、地震、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、火山の影響、生物学的事象、森林火災等を考慮し、複数の事象が重畳することで影響が増長される組合せとして、事業指定（変更許可）申請書において示すとおり、風（台風）及び積雪、竜巻及び積雪、地震及び積雪、火山の影響（降下火砕物）及び積雪、火山の影響（降下火砕物）及び風

(台風)並びに地震及び風(台風)の組合せを、施設の形状及び配置に応じて考慮する。

荷重の組合せを考慮する自然現象のうち、竜巻、地震及び火山の影響(降下火砕物)は、発生頻度が低い偶発的事象であるが、発生すると荷重が比較的大きい。

これに対して積雪及び風(台風)による荷重は、発生頻度が竜巻、地震又は火山の影響(降下火砕物)による荷重と比べて高い変動荷重であり、発生する荷重は竜巻、地震又は火山の影響(降下火砕物)による荷重と比べて小さい。

そのため、「竜巻、地震又は火山の影響(降下火砕物)」の荷重と「積雪又は風(台風)」の荷重との組合せを考慮する。

なお、竜巻及び地震並びに竜巻及び火山の影響(降下火砕物)の組合せについては、独立事象であること及び各々の発生頻度が十分小さいことから、竜巻及び地震並びに竜巻及び火山の影響(降下火砕物)の組合せを考慮する必要はない。

また、地震及び火山の影響(降下火砕物)の組合せについては、地震(基準地震動)の震源と火山とは十分な距離があることから、独立事象として扱い、各々の発生頻度が十分小さいことから、地震及び火山の影響(降下火砕物)の組合せを考慮する必要はない。

火山性地震を考慮した場合においても、火山は敷地から十分な距離があることから、火山性地震とこれに関連する事象による影響はないと判断し、地震及び火山の影響(降下火砕物)の組合せは考慮しない。(事業指定(変更許可)申請書添付書類四「9. 6. 2 その他の火山事象」参照)

荷重評価においては、地震又は火山の影響(降下火砕物)と同時に積雪及び風(台風)が発生する場合を考慮し、地震動による地震力、積雪荷重及び風荷重の組合せ並びに火山の影響(降下火砕物)による荷重、積雪荷重及び風荷重の組合せについても検討する。地震動による地震力又は火山の影響(降下火砕物)による荷重に積雪荷重及び風荷重を組み合わせる場合の考え方については、各事象に関する説明書に示す。

地震又は火山の影響(降下火砕物)による荷重と組み合わせるべき積雪荷重及び風荷重については、それぞれの性質を考慮し、建築基準法等に定める荷重を設定する。

(2) 荷重の性質

安全機能を有する施設に影響を与えるおそれのある自然現象による荷重の性質を第2. 2. 1-1表に示す。

最大荷重の継続時間については、地震、竜巻及び風(台風)は最大荷重の継続時間が短い。これに対し、火山の影響(降下火砕物)及び積雪は、一度

事象が発生すると、降下火砕物又は雪が降り積もって堆積物となり、長時間にわたって荷重が作用するため、最大荷重の継続時間が長い。発生頻度については、地震、竜巻及び火山の影響（降下火砕物）は積雪及び風（台風）と比較して発生頻度が非常に低い。

第2.2.1-1表 自然現象の荷重の性質

荷重の種類	荷重の大きさ	最大荷重の継続時間	発生頻度 (年 ⁻¹)
基準地震動	特大	短 (150秒程度)	10 ⁻³ ~10 ⁻⁵ 程度*1
設計竜巻	特大	短 (60秒程度) *2	1.86×10 ⁻⁸ *3
火山の影響 (降下火砕物)	大	長 (30日程度)	5.5×10 ⁻⁶ *4
積雪	小	長 (1週間程度)	2×10 ⁻² 程度*5
風 (台風)	小	短 (10分程度)	2×10 ⁻² 程度*5

注記

*1 事業指定申請書 添付資料6「1.6.1.4.2 動的地震力」より

*2 竜巻影響エリアφ=560mに最大接線風速半径Rm=30mの2倍を加えた距離を、竜巻の移動速度Vt=15m/sで横切る時間

*3 風速100m/sに相当する年超過確率

*4 北八甲田火山群の噴火年代(28~18万年前)の逆数

*5 50年再現期待値

上記の荷重の性質を考慮して、安全機能を有する施設に影響を与えるおそれのある自然現象による荷重の組合せについて検討する。

(3) 荷重の組合せ

a. 風荷重及び積雪荷重の組合せ

風（台風）及び積雪の組合せについては、風荷重の継続時間は短い、積雪荷重の継続時間が長い、ため組合せを考慮し、施設の形状及び配置により適切に組み合わせる。

組み合わせるべき荷重のうち、風荷重については、建築基準法の多雪区域における風荷重と積雪荷重の組合せの基準を適用して、「Eの数値を算出する方法並びにV₀及び風力係数を定める件」（平成12年5月31日建設省告示第1454号）に定められた六ヶ所村の基準風速34m/sを用いて求める荷重とする。

また、積雪荷重については、六ヶ所村統計書における観測記録上の極値190cmに、「建築基準法施行令」第八十二条に定めるところの建築基準法の多雪区域において、積雪時に強い季節風等の暴風又は地震を想定する場合に適用する平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮する。

ただし、上記の条件下での風（台風）及び積雪の組合せは、竜巻及び積雪の組合せに包絡されるため、実際の評価は竜巻に対する評価において実施する。

b. 竜巻荷重及び積雪荷重の組合せ

竜巻及び積雪の組合せについては、竜巻による荷重の継続時間は短い、積雪荷重の継続時間が長い、ため組合せを考慮し、施設の形状及び配置により適切に組み合わせる。

具体的には、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物による衝撃荷重を適切に組み合わせた設計竜巻荷重に対して、六ヶ所村統計書における観測記録上の極値190cmに、「建築基準法施行令」第八十二条に定めるところの建築基準法の多雪区域における積雪荷重と地震力の組合せを適用して、平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮した積雪荷重を組み合わせる。

荷重の組合せに係る設計方針については、「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」に示す。

c. 地震力及び積雪荷重の組合せ

地震及び積雪の組合せについては、地震荷重の継続時間は短い、積雪荷重の継続時間が長い、ため組合せを考慮し、施設の形状及び配置により適切に組み合わせる。

建築基準法では、多雪区域においては暴風時あるいは地震時の荷重評価を実施する際、積雪を組み合わせた評価を求めており、「風」や「地震」を主荷重、組み合わせる「積雪」を従荷重とし、従たる荷重は稀に起こる積雪荷重ではなく平均的な積雪荷重としており、平均的な積雪荷重は短期積雪荷重の0.35倍としている。

地震力に組み合わせる積雪荷重としては、「青森県建築基準法施行細則」に定められた六ヶ所村の垂直積雪量(150cm)と六ヶ所村統計書における最深積雪深(190cm)を比較し、より厳しい条件である六ヶ所村統計書における最深積雪深190cm に対し、平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮して組み合わせる。

荷重の組合せに係る設計方針については、「IV-1-1 耐震設計の基本方針」に示す。

d. 火山の影響（降下火砕物）による荷重及び積雪荷重による荷重の組合せ

火山の影響（降下火砕物）及び積雪の組合せについては、火山の影響(降下火砕物)による荷重の継続時間が他の荷重と比較して長く、積雪荷重の継続時間も長い、ため組合せを考慮し、施設の形状及び配置により適切に組み合わせる。

組み合わせるべき荷重は、「c. 地震力及び積雪荷重の組合せ」に示す建築基準法における主従の考え方を参考として、降下火砕物を主荷重、積雪を従荷重として扱い、積雪荷重は、地震との組合せと同様に、六ヶ所村統計書

における最深積雪深190cmに、冬季の平均的な積雪状態を与えるための係数0.35を考慮したものが考えられる。

しかしながら、降下火砕物の荷重は竜巻等の瞬間的な荷重とは異なり継続的に影響を及ぼしうることから、堆積荷重に対する冬季の平均的な積雪状態を与えるための係数0.35は考慮しない。また、降下火砕物及び積雪は共に堆積し始めてから時間をかけて堆積する荷重であるという特徴があることから、積雪深については、六ヶ所村統計書における最深積雪深190cmではなく、「青森県建築基準法施行細則」に定められた六ヶ所村の垂直積雪量150cmを用いることとする。

以上より、火山の影響（降下火砕物）及び積雪の組合せについては、湿潤状態の降下火砕物の層厚55cmから求める火山の影響（降下火砕物）による荷重に対して、建築基準法に基づき「青森県建築基準法施行細則」に定められた六ヶ所村の垂直積雪量150cmを用いて求める積雪荷重を組み合わせる。

荷重の組合せに係る設計方針については、「VI-1-1-1-3-1 火山への配慮に関する基本方針」に示す。

e. 火山の影響（降下火砕物）による荷重及び風荷重の組合せ

火山の影響（降下火砕物）及び風（台風）の組合せについては、火山の影響（降下火砕物）による荷重の継続時間が風荷重と比較して長いこと及び火山の影響（降下火砕物）と比較して風（台風）は発生頻度が高いため組合せを考慮し、施設の形状及び配置により荷重を適切に組み合わせる。

具体的には、湿潤状態の降下火砕物の層厚55cmから求める火山の影響（降下火砕物）による荷重に対して、「Eの数値を算出する方法並びに V_b 及び風力係数を定める件」（平成12年5月31日建設省告示第1454号）に定められた六ヶ所村の基準風速34m/sを用いて求める風荷重を組み合わせる。

荷重の組合せに係る設計方針については、「VI-1-1-1-3-1 火山への配慮に関する基本方針」に示す。

f. 地震力及び風荷重の組合せ

地震及び風（台風）の組合せについては、それぞれの最大荷重の継続時間が短いですが、地震と比較して風（台風）は発生頻度が高いことから、風荷重の影響が大きいと考えられるような構造や形状の施設に対し、組合せを考慮する。

具体的には、地震力に対して、「Eの数値を算出する方法並びに V_b 及び風力係数を定める件」（平成12年5月31日建設省告示第1454号）に定められた六ヶ所村の基準風速34m/sを用いて求める風荷重を組み合わせる。

荷重の組合せに係る設計方針については、「IV-1-1 耐震設計の基本方針」に示す。

2.2.2 設計基準事故時の荷重との組合せ

最新の科学的技術的知見を踏まえ、安全上重要な施設は、当該安全上重要な施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象（地震を除く。）により当該安全上重要な施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を、それぞれの因果関係及び時間的変化を考慮して適切に組み合わせた条件においても、安全機能を損なわない設計とする。

具体的には、安全上重要な施設は、建屋内への収納等の防護措置によって当該安全上重要な施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象（地震を除く。）の影響を防止することにより、設計基準事故が発生した場合でも、自然現象（地震を除く。）による影響を受けることがない設計とする。

屋外に設置される安全上重要な施設については、設計基準事故が発生した場合でも機器の運転圧力、温度等は変わらないため、設計基準事故時荷重が発生することはなく、自然現象による荷重と重なることはない。

したがって、安全上重要な施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象（地震を除く。）による衝撃と設計基準事故時の荷重は重なることのない設計とする。

2.2.3 組合せを考慮した荷重評価について

自然現象の組合せによる荷重以外の荷重として、常時作用している荷重（自重等）及び運転時荷重の組合せについては、「IV-1-1 耐震設計の基本方針」、 「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」及び「VI-1-1-1-3-1 火山への配慮に関する基本方針」に基づき評価する。

VI-1-1-1-1

自然現象等への配慮に関する説明書

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 防護すべき施設	1
3. 防護設計に係る荷重等の設定	1
4. 自然現象及び人為事象に対する防護対策	1
4.1 自然現象に対する防護対策	1
4.2 人為事象に対する防護対策	5
4.3 必要な機能を損なわないための運用上の措置	7

1. 概要

本資料は、再処理施設における自然現象（竜巻，森林火災，火山の影響，落雷，地震及び津波を除く。）及び人為事象（航空機落下，爆発及び近隣工場等の火災を除く。）に対する防護方針が「再処理施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第八条に適合することを説明するものである。

2. 防護すべき施設

想定される自然現象（竜巻，森林火災，火山の影響，落雷，地震及び津波を除く。）（以下「自然現象」という。）又は人為事象（航空機落下，爆発及び近隣工場等の火災を除く。）（以下「人為事象」という。）から防護する施設（以下「外部事象防護対象施設」という。）としては，安全評価上その機能を期待する構築物，系統及び機器を漏れなく抽出する観点から，安全上重要な機能を有する構築物，系統及び機器とする。外部事象防護対象施設及びそれらを収納する建屋（以下「外部事象防護対象施設等」という。）は，自然現象又は人為事象に対し，機械的強度を有すること等により，外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

また，想定される自然現象及び人為事象の影響により外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼして安全機能を損なわせるおそれがある施設の影響を考慮した設計とする。

外部事象防護対象施設等以外の安全機能を有する施設は，自然現象又は人為事象に対して機能を維持すること若しくは損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること，安全上支障の生じない期間での修理を行うこと又はそれらを組み合わせることにより，安全機能を損なわない設計とする。

また，上記の施設に対する損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること及び安全上支障のない期間での修理を行うことを保安規定に定めて，管理する。

なお，使用済燃料輸送容器に使用済燃料が収納された使用済燃料収納使用済燃料輸送容器（以下，「使用済燃料収納キャスク」という。）は，再処理施設内に一時的に保管されることを踏まえ，自然現象及び人為事象により使用済燃料収納キャスクを収納する建屋が使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

3. 防護設計に係る荷重等の設定

想定される自然現象及び人為事象そのものがもたらす環境条件並びにその結果として再処理施設で生じ得る環境条件を考慮し，防護設計に係る荷重等の条件を設定する。

4. 自然現象及び人為事象に対する防護対策

外部事象防護対象施設等は，以下の自然現象及び人為事象に係る設計方針に基づき機械的強度を有すること等により，安全機能を損なわない設計とする。

4.1 自然現象に対する防護対策

(1) 風（台風）

敷地付近で観測された日最大瞬間風速は，八戸特別地域気象観測所での観測記録

(1951年～2018年3月)で41.7m/s(2017年9月18日)である。

外部事象防護対象施設は、この観測値を基準とし、建築基準法及び平成12年5月31日建設省告示第1454号「Eの数値を算出する方法並びに V_0 及び風力係数の数値を定める件」に基づき算出する風荷重に対して機械的強度を有する建屋内に収納すること又は機械的強度を有する設計とすることにより、外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

ただし、建築基準法及び告示に基づき算出する風荷重は、設計竜巻の最大風速(100m/s)による風荷重を大きく下回るため、風(台風)に対する安全設計は竜巻に対する設計の中で確認する。

(2) 凍 結

敷地付近で観測された日最低気温は、むつ特別地域気象観測所での観測記録(1935年～2018年3月)によれば -22.4°C (1984年2月18日)、八戸特別地域気象観測所での観測記録(1937年～2018年3月)によれば -15.7°C (1953年1月3日)である。

敷地及び敷地周辺の観測値を適切に考慮し、むつ特別地域気象観測所、八戸特別地域気象観測所及び六ヶ所地域気象観測所における日最低気温の推移を比較する。その結果、むつ特別地域気象観測所の観測値は、六ヶ所地域気象観測所の観測値に比べて低く推移しており、かつ乖離が大きい。一方、八戸特別地域気象観測所の観測値は、六ヶ所地域気象観測所の観測値と近似し、かつ極値が六ヶ所地域気象観測所の値を下回っている。以上のことから、八戸特別地域観測所における観測記録の日最低気温を用いて、凍結において考慮する外気温を -15.7°C と設定する。

外部事象防護対象施設は、建屋内に収納すること、屋外施設で凍結のおそれのあるものについては保温、不凍液の使用等の凍結防止対策を行うことにより、凍結に対して安全機能を損なわない設計とする。

仮に外気温が -15°C を下回り外気温が -22.4°C に至った場合には、運転管理による凍結防止措置を講ずることにより、外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(3) 高 温

敷地付近で観測された日最高気温の極値は、むつ特別地域気象観測所での観測記録(1935年～2018年3月)によれば 34.7°C (2012年7月31日)、八戸特別地域気象観測所での観測記録(1937年～2018年3月)によれば 37.0°C (1978年8月3日)である。

敷地及び敷地周辺の観測値を適切に考慮し、むつ特別地域気象観測所、八戸特別地域気象観測所及び六ヶ所地域気象観測所における日最高気温の推移を比較する。その結果、むつ特別地域気象観測所と八戸特別地域気象観測所のいずれの観測値も六ヶ所地域気象観測所の観測値に近いことから、より厳しい条件となるように、八

戸特別地域気象観測所の日最高気温の極値37.0℃を高温において考慮する外気温として設定する。

外部事象防護対象施設は、高温に対し、建屋内に収納することにより、安全機能を損なわない設計とする。

なお、安全冷却水系及びガラス固化体貯蔵設備の崩壊熱除去等の設計においては、これらが連続的に稼働する設備であり管理する温度の通常値と上限値に余裕があることを踏まえると、一時的な外気温の変動の影響は小さいことから、日最高気温の極値が一時的に発生した場合ではなく、長期的な温度変動を考慮する。

具体的には、六ヶ所地域気象観測所(1977年～2020年)の日平均気温の極値28.5℃(1994年8月12日)を超える温度29℃を設定する。

(4) 降 水

敷地付近で観測された日最大降水量は、八戸特別地域気象観測所での観測記録(1937年～2018年3月)で160.0mm(1982年5月21日)、むつ特別地域気象観測所での観測記録(1937年～2018年3月)で162.5mm(1981年8月22日及び2016年8月17日)、六ヶ所地域気象観測所での観測記録(1976年4月～2020年3月)で208mm(1990年10月26日)である。また、敷地付近で観測された日最大1時間降水量は、八戸特別地域気象観測所での観測記録(1937年～2018年3月)で67.0mm(1969年8月5日)、むつ特別地域気象観測所での観測記録(1937年～2018年3月)で51.5mm(1973年9月24日)、六ヶ所地域気象観測所での観測記録(1976年4月～2020年3月)で46mm(1990年10月26日)である。これらの観測記録のうち、日最大1時間降水量が最も大きい八戸特別地域気象観測所に対し、森林法に基づき10分間降雨強度98.8mm/hを設定する。

設計上考慮する降水量については、これらの観測記録及び降雨強度のうち、最も大きい98.8mm/hを設計基準降水量として設定する。

外部事象防護対象施設は、設定した設計基準降水量(98.8mm/h)の降水による浸水に対し、排水溝及び排水路によって敷地外へ排水するとともに、外部事象防護対象施設を収納する建屋の貫通部の止水処理をすること及び外部事象防護対象施設を収納する建屋の開口部の高さの確保により、雨水が当該建屋に浸入することを防止することで、外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

設備が建屋外壁を貫通する際の貫通部の止水処理については、「VI-1-1-6-1 溢水による損傷の防止に対する基本方針」において示す。

(5) 積 雪

建築基準法施行令第八十六条に基づく六ヶ所村の垂直積雪量は150cmとなっているが、敷地付近で観測された最深積雪深は、むつ特別地域気象観測所での観測記録(1935年～2018年3月)によれば170cm(1977年2月15日)であり、六ヶ所村統計書における記録(1973年～2002年)による最深積雪深は190cm(1977年2月)であ

る。

積雪荷重に対しては、最も厳しい観測値となる六ヶ所村統計書における最深積雪深である190cmを考慮し、外部事象防護対象施設は積雪荷重に対して機械的強度を有する建屋内に収納すること又は機械的強度を有する設計とすることにより、外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

積雪に対する設計は、同様な構造物への静的負荷として降下火砕物の堆積荷重の影響を考慮する火山の影響に対する設計の中で確認する。

また、外部事象防護対象施設を収納する建屋の外気取入口には防雪フードを設置することにより、雪を取り込み難い設計とすること、閉塞に対して外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

外部事象防護対象施設を収納する建屋の外気取入口及び排気口は、最深積雪深に対して閉塞しない位置に設置すること、積雪を抑制する設計とすること又は除雪に配慮した設計とすることにより、積雪による閉塞に対して外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

気体廃棄物の廃棄施設の換気設備、制御建屋中央制御室換気設備、使用済燃料受入れ・貯蔵建屋制御室換気設備、第2非常用ディーゼル発電機等においては給気を加熱することにより、雪の取り込みによる閉塞を防止し、建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

(6) 生物学的事象

生物学的事象としては、敷地周辺の生物の生息状況の調査に基づいて鳥類、昆虫類及び小動物を対象生物に選定し、これらの生物が再処理施設へ侵入することを防止又は抑制することにより、外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

具体的には、外部事象防護対象施設を収納する建屋の外気取入口にはバードスクリーンとしてステンレス製の金網を設置することにより、鳥類及び小動物の侵入を防止し、昆虫類の侵入を抑制する設計とする。

また、建屋貫通部は止水処理により、小動物の建屋内への侵入を防止することで、外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

気体廃棄物の廃棄施設の換気設備、制御建屋中央制御室換気設備、使用済燃料の受入れ・貯蔵建屋制御室換気設備、第1非常用ディーゼル発電機、第2非常用ディーゼル発電機、安全圧縮空気系等の給気系統にはフィルタ等を設置し、生物の侵入を防止する設計とする。

また、外部事象防護対象施設以外の安全機能を有する施設のうち屋外に設置する電気設備は、密封構造、メッシュ構造、シール処理を施す構造又はこれらを組み合わせることにより、鳥類の侵入を防止し、昆虫類の侵入を抑制する設計とする。

(7) 塩 害

一般に大気中の塩分量は、平野部で海岸から200m付近までは多く、数百mの付近で激減する傾向がある。再処理施設は海岸から約5km離れており、塩害の影響は小さいと考えられるが、外部事象防護対象施設は、塩害の影響で安全機能を損なわない設計とする。

外部事象防護対象施設を収納する建屋においては、気体廃棄物の廃棄施設の換気設備、制御建屋中央制御室換気設備、使用済燃料受入れ・貯蔵建屋制御室換気設備等の給気系統に粒子フィルタ、高性能粒子フィルタ等を設置することにより、建屋内の外部事象防護対象施設への塩害の影響を防止する設計とする。また、直接外気を取り込むガラス固化体貯蔵設備の収納管及び通風管には防食処理（アルミニウム溶射）を施す設計とする。

屋外の外部事象防護対象施設については、塗装すること及び腐食しにくい金属を用いることにより、塩害による腐食を防止する設計とする。

なお、外部事象防護対象施設以外の安全機能を有する施設のうち受電開閉設備は、碍子部分の絶縁を保つために洗浄が行える設計とする。

4.2 人為事象に対する防護対策

(1) 有毒ガス

外部事象防護対象施設は、再処理事業所内及びその周辺で発生する有毒ガスに対して安全機能を損なわない設計とする。有毒ガスの漏えいについては、固定施設（六ヶ所ウラン濃縮工場）と可動施設（陸上輸送、海上輸送）からの流出が考えられる。

再処理施設周辺の固定施設である六ヶ所ウラン濃縮工場から漏えいする有毒ガスについては、外部事象防護対象施設の安全機能に直接影響を及ぼすことは考えられないため、再処理施設の運転員に対する影響を想定する。

六ヶ所ウラン濃縮工場は、有毒ガスの漏えいが発生した場合の周辺監視区域境界の公衆に対する影響が小さくなるよう設計されており、制御建屋の中央制御室の居住性を損なうことはない。

再処理施設周辺の可動施設から発生する有毒ガスについては、敷地周辺には鉄道路線がないこと、最も近接する幹線道路については中央制御室が設置されている制御建屋までは約700m離れていること及び海岸から再処理施設までは約5km離れていることから、幹線道路及び船舶航路にて運搬される有毒ガスが漏えいしたとしても、外部事象防護対象施設の安全機能及び中央制御室の居住性を損なうことはない。

また、想定される有毒ガスの発生に対し、人体への影響の観点から、制御建屋の中央制御室の運転員に対する影響を想定し、制御建屋中央制御室換気設備の外気との連絡口を遮断し、中央制御室内の空気を再循環する措置を講ずることができる設計とする。再循環時においては、中央制御室内の酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影

響を考慮し、想定される有毒ガスの発生に対しても中央制御室内の居住性を損なわない設計とする。

使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室については、運転員への影響を防止するため、必要に応じて外気との連絡口を遮断し、制御室内の空気を再循環する措置を講ずることができる設計とする。

なお、再処理事業所内における化学物質の漏えいにより発生する有毒ガスについては、「(3)再処理事業所内における化学物質の漏えい」に対する設計方針として示す。

(2) 電磁的障害

外部事象防護対象施設は、電磁的障害に対して安全機能を維持するために必要な計測制御設備及び安全保護回路は、日本産業規格に基づいたノイズ対策を行うとともに、電氣的及び物理的な独立性を持たせることにより、安全機能を損なわない設計とする。

ノイズ対策としては、制御盤の制御部は鋼製の筐体に格納するとともに筐体は接地すること、ケーブルは金属シールド付ケーブルを使用するとともに金属シールドは接地することにより、ノイズの侵入を防止する設計とする。

電氣的分離対策としては、絶縁増幅器又は継電器により、入力と出力を電氣的に絶縁することで、安全上重要な施設と安全上重要な施設以外の施設を電氣的に分離する設計とする。

物理的分離対策としては、安全上重要な施設と安全上重要な施設以外の施設のケーブルトレイを物理的に分離する設計とする。

(3) 再処理事業所内における化学物質の漏えい

再処理事業所内にて運搬及び貯蔵又は使用される化学物質としては、再処理施設の試薬建屋の機器に内包される化学薬品、再処理施設の各建屋の機器に内包される化学薬品並びに試薬建屋への受入れの際に運搬される化学物質がある。再処理事業所内において化学物質を貯蔵する施設については化学物質が漏えいし難い設計とするため、人為事象として試薬建屋への受入れの際に運搬される化学物質の漏えいを想定する。

これらの化学物質の漏えいによる影響としては、再処理施設が直接被水することによる安全性への影響及び漏えいした化学物質の反応によって発生する有毒ガスによる人体への影響が考えられる。

このうち屋外で運搬又は受入れ時における化学物質の漏えいに対する設計については、添付書類「VI-1-1-7 再処理施設内における化学薬品の漏えいによる損傷の防止に関する説明書」に示す。

また、想定される再処理事業所内における漏えいした化学物質の反応等によって発生する有毒ガスによる人体への影響の観点から、制御建屋の中央制御室の運転員

に対する影響を想定し、制御建屋中央制御室換気設備の外気との連絡口を遮断し、中央制御室内の空気を再循環する措置を講ずることができる設計とする。再循環時においては、中央制御室内の酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響を考慮し、再処理事業所内の化学物質の漏えいの発生に対しても中央制御室内の居住性を損なわない設計とする。

使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室については、運転員への影響を防止するため、必要に応じて外気との連絡口を遮断し、制御室内の空気を再循環する措置を講ずることができる設計とする。

4.3 必要な機能を損なわないための運用上の措置

自然現象及び人為事象に関する設計条件等に係る新知見の収集並びに自然現象及び人為事象に対する防護措置との組合せにより安全機能を損なわないための運用上の措置として、以下を保安規定に定めて、管理する。

- ・ 定期的に自然現象に係る気象条件等の新知見の収集を実施するとともに、新知見が得られた場合に影響評価を行うこと
- ・ 除雪を適宜実施すること
- ・ 有毒ガスが発生した場合又は再処理事業所内において化学物質の漏えいが発生した場合は、中央制御室の運転員への影響を防止するため、制御建屋中央制御室換気設備の外気との連絡口を遮断し、中央制御室内の空気の再循環を行う措置を講ずること
- ・ 有毒ガスが発生した場合又は再処理事業所内において化学物質の漏えいが発生した場合は、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室の運転員への影響を防止するため、必要に応じて外気との連絡口を遮断すること

VI-1-1-1-2

竜巻への配慮に関する説明書

目 次

- VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針
- VI-1-1-1-2-2 竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定
- VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針
- VI-1-1-1-2-4 竜巻への配慮が必要な施設等の強度に関する説明書
 - VI-1-1-1-2-4-1 竜巻への配慮が必要な施設等の強度計算の方針
 - VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針
 - VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針
 - VI-1-1-1-2-4-2 竜巻への配慮が必要な施設等の強度計算書
 - VI-1-1-1-2-4-2-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算書
 - VI-1-1-1-2-4-2-2 竜巻防護対策設備の強度計算書
 - VI-1-1-1-2-4-2-2-1 飛来物防護ネットの強度計算書

VI-1-1-1-2-1

竜巻への配慮に関する基本方針

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 竜巻防護に関する基本方針	1
2.1 基本方針	1
2.1.1 竜巻防護に対する設計方針	1
2.1.2 設計竜巻及び設計飛来物の設定	2
2.1.3 荷重の設定及び荷重の組合せ	3
2.1.4 竜巻の影響を考慮する施設に対する竜巻防護設計方針	4
2.2 準拠規格	8

1. 概要

本資料は、再処理施設の竜巻防護設計に対する防護設計（以下「竜巻防護設計」という。）が「再処理施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第八条に適合することを説明するものである。

2. 竜巻防護に関する基本方針

2.1 基本方針

安全機能を有する施設は、事業指定（変更許可）を受けた想定される竜巻（以下「設計竜巻」という。）が発生した場合においても、作用する設計荷重に対してその安全機能を損なわない設計とする。

なお、「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4. 自然現象及び人為事象に対する防護対策 4.1自然現象に対する防護対策 (1)風(台風)」及び「VI-1-1-1-3-1 火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.4(1)b. 構造物への粒子の衝突に対する設計方針」に記載している粒子の衝突による影響についても、竜巻防護に対する設計方針の中で示す。

2.1.1 竜巻防護に対する設計方針

設計竜巻から防護する施設（以下「竜巻防護対象施設」という。）としては、安全評価上その機能を期待する構築物、系統及び機器を漏れなく抽出する観点から、安全上重要な機能を有する構築物、系統及び機器を対象とする。

竜巻防護対象施設及びそれらを収納する建屋（以下「竜巻防護対象施設等」という。）は、竜巻に対し、機械的強度を有すること等により、竜巻防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

竜巻防護対象施設は、以下のように施設分類できる。

- (1) 建屋内の竜巻防護対象施設（外気と繋がっている竜巻防護対象施設を除く）
- (2) 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設
- (3) 建屋内に収納されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設
- (4) 屋外の竜巻防護対象施設

また、その施設の倒壊等により竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼして安全機能を損なわせるおそれがある施設（以下「竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設」という。）の影響及び竜巻の随件事象による影響を考慮した設計とする。

竜巻防護対象施設等以外の安全機能を有する施設は、竜巻及びその随件事象に対して機能を維持すること若しくは竜巻及びその随件事象による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。

また、上記の施設に対する損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること及び安全上支障のない期間での修理を行うことを保安規定に定めて、管理する。

なお、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、使用済燃料収納キャスクが再処理施設内に一時的に保管されることを踏まえ、竜巻により使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

2.1.2 設計竜巻及び設計飛来物の設定

(1) 設計竜巻の設定

風圧力による荷重及び気圧差による荷重は、事業指定（変更許可）を受けた設計竜巻（最大風速100m/s）の特性値に基づいて設定する。

なお、設計竜巻の最大風速100m/sに対して、風（台風）の風速は41.7m/sであるため、風（台風）の設計は竜巻の設計に包絡される。

具体的な設計方針を、「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」に示す。

(2) 設計飛来物の設定

事業指定（変更許可）を受けたとおり、固縛等の運用、管理を考慮して、鋼製材（長さ4.2 m×幅0.3 m×高さ0.2 m、質量135 kg、飛来時の水平速度51 m/s、飛来時の鉛直速度34 m/s）及び鋼製パイプ（長さ2.0 m×直径0.05 m、質量8.4 kg、飛来時の水平速度49 m/s、飛来時の鉛直速度33 m/s）を設計飛来物として設定する。設計飛来物のうち鋼製パイプは、飛来物防護ネットが通過させない設計とすること、運動エネルギー及び貫通力は鋼製材の方が大きいことから、飛来物による衝撃荷重は、鋼製材が衝突する場合の荷重を設定する。

さらに、評価対象物の設置状況及びその他環境状況を踏まえて、防護ネットを通過する砂利（長さ0.04 m×幅0.04 m×奥行0.04 m、質量0.18 kg、飛来時の水平速度62 m/s、飛来時の鉛直速度42 m/s）についても、評価において設計飛来物に代わる飛来物として設定する。

砂利は、衝突時の運動エネルギーは十分小さいため、竜巻防護対象施設に有意な変形は生じないが、防護ネットを通過することから、衝突による貫通影響評価を実施する。火山における降下火砕物の粒子の衝突による影響評価は、降下火砕物の粒子の硬度が砂利より低い特性を持つため、砂利の評価に包絡される。

飛来した場合の運動エネルギー又は貫通力が設計飛来物である鋼製材よりも大きな資機材等及び飛来物防護ネット内の資機材等については、設置場所及び障害物の有無を考慮し、固定、固縛、建屋収納又は撤去並びに車両の入構管理及び退避を実施することにより、飛来物とならない設計とする。

また、再処理事業所外から飛来するおそれがあり、かつ、再処理事業所内からの設計飛来物による衝撃荷重を上回ると想定されるものとしてむつ小川原ウィンドファームの風力発電施設のブレードがある。むつ小川原ウィンドファームの風力発電施設から竜巻防護対象施設等までの距離及び設計竜巻によるブレードの飛来距離を考慮すると、ブレードが竜巻防護対象施設等まで到達するおそれはないこ

とから、ブレードは飛来物として考慮しない。

固縛対象物の選定については、「VI-1-1-1-2-2 竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」に示す。

2.1.3 荷重の設定及び荷重の組合せ

竜巻防護設計を行うための設計荷重は事業指定（変更許可）を受けた最大風速100 m/sとし、設計荷重は、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物による衝撃荷重を組み合わせた荷重(以下「設計竜巻荷重」という。)並びに安全機能を有する施設に常時作用する荷重、運転時荷重及びその他竜巻以外の自然現象による荷重を適切に組み合わせたもの(以下「設計荷重(竜巻)」という。)を設定する。

竜巻防護設計における構造強度評価は、以下に示す設計荷重(竜巻)を適切に考慮して、施設の構造強度評価を実施し、その結果がそれぞれ定める許容限界内にあることを確認する。

設計竜巻荷重の算出については、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す。

(1) 荷重の種類

a. 常時作用する荷重

常時作用する荷重としては、持続的に生じる固定荷重（自重）及び積載荷重を考慮する。

b. 設計竜巻荷重

設計竜巻荷重としては、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物による衝撃荷重を考慮する。飛来物による衝撃荷重としては、設計飛来物である鋼製材が衝突する場合の荷重を設定する。これらの荷重は短期荷重とする。

c. 運転時荷重

運転時荷重としては、配管にかかる内圧等とする。

d. 積雪荷重

その他の自然現象による荷重としては、冬季における竜巻の発生を想定し、「VI-1-1-1-1 再処理施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」の「2.2 組合せ」に記載している積雪荷重を考慮する。

(2) 荷重の組合せ

a. 竜巻防護設計における荷重の組合せとしては、常時作用する荷重、設計竜巻荷重、運転時荷重及び積雪荷重を適切に考慮する。

b. 設計竜巻荷重及び積雪荷重については、対象とする施設の設置場所及びその他の環境条件によって設定する。

c. 飛来物による衝突の設定においては、評価に応じて影響の大きくなる向きで衝突するように設定する。さらに、衝突断面積についても、影響が大きくなるような形状として設定する。

- d. 常時作用する荷重及び運転時荷重については、組み合わせることで設計竜巻荷重の抗力となる場合には、保守的に組み合わせないことを基本とする。

2.1.4 竜巻の影響を考慮する施設に対する竜巻防護設計方針

「2.1.1 竜巻防護に対する設計方針」にて設定した竜巻防護対象施設について、設計荷重(竜巻)を踏まえた竜巻防護設計を実施する。

竜巻防護設計として、設計荷重(竜巻)に対する影響評価を実施することから、影響評価の対象として、竜巻の影響を考慮する施設を選定する。

竜巻の影響を考慮する具体的な施設については、「VI-1-1-1-2-2 竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」に示す。

選定したそれぞれの施設に対する詳細な設計方針について、「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」に示す。

(1) 設計竜巻による直接的影響に対する設計

竜巻防護設計において、竜巻防護対象施設は、設計荷重(竜巻)に対して機械的強度を有する建屋により保護すること、竜巻防護対策設備を設置すること等により、安全機能を損なわない設計とする。

a. 設計方針

(a) 建屋内の竜巻防護対象施設

建屋内の竜巻防護対象施設は、設計荷重(竜巻)に対して、竜巻時及び竜巻通過後において、安全機能を損なわないよう、竜巻防護対象施設を収納する建屋内に設置し、建屋により防護する設計とする。

(b) 竜巻防護対象施設を収納する建屋

竜巻防護対象施設を収納する建屋は、設計荷重(竜巻)に対して、構造強度評価を実施し、主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とすることにより、建屋内の竜巻防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

また、竜巻防護対象施設を収納する建屋は、設計飛来物の衝突に対して、貫通並びに裏面剥離の発生により竜巻防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

(c) 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設

建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設は、気圧差による荷重に対して、竜巻時及び竜巻通過後において、構造強度評価を実施し、構造健全性を維持し、安全機能を損なわないよう施設に要求される機能を維持する設計とする。

(d) 建屋内に収納されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設

建屋内に収納されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設は、設計飛来物の侵入を防止するための防護対策として、竜巻防護対策設備を設置することにより、設計飛来物の衝突に対し、竜巻時及び竜巻通過後において、安全機

能を損なわない設計とする。

(e) 屋外の竜巻防護対象施設

屋外の竜巻防護対象施設は、設計荷重(竜巻)に対して、構造強度評価を実施し、竜巻時及び竜巻通過後において、安全機能を損なわないよう、施設に要求される機能を維持する設計とする。なお、竜巻防護対象施設が安全機能を損なうおそれがある場合には、防護措置として飛来物防護ネット等の竜巻防護対策設備を設置する設計とする。また、屋外の竜巻防護対象施設は、飛来物防護ネットを通過する飛来物の衝突に対し、竜巻防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(f) 竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、竜巻時及び竜巻通過後において、機械的影響及び機能的影響により竜巻防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

機械的波及影響としては、施設及び資機材等の破損に伴う倒壊、損傷、飛散等により竜巻防護対象施設に与える影響を考慮する。

機能的波及影響としては、付属施設の破損により竜巻防護対象施設の安全機能が喪失することを考慮する。

(g) 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

使用済燃料収納キャスクが頑健な構造であることを踏まえ、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、竜巻時及び竜巻通過後において、設計荷重(竜巻)に対し、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の構造健全性を維持することにより、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

(h) 竜巻防護対策設備

竜巻防護対策設備は、竜巻時及び竜巻通過後において、設計荷重(竜巻)に対して、構造強度評価を実施し、内包する竜巻防護対象施設が安全機能を損なわないよう、設計飛来物が竜巻防護対象施設に衝突することを防止可能な設計とする。

イ. 飛来物防護板

飛来物防護板については、次回以降に詳細を説明する。

ロ. 飛来物防護ネット

飛来物防護ネットは、防護ネット及び防護板(鋼材)とそれらを支持する支持架構で構成し、以下の設計とする。

防護ネットは、設計飛来物の運動エネルギーを吸収することができる強度を有する設計とする。

防護ネットは、飛来物の衝突によりたわみが生じた場合でも、竜巻防護対象施設に衝突しない離隔距離を確保する設計とする。

防護ネットは、設計飛来物の通過を防止できる設計とする。

支持架構に直接設置する防護ネットは、防護ネットと支持架構の隙間を設計上考慮する飛来物の大きさ以下とするため、鋼製の補助防護板を設置する設計とする。

防護板(鋼材)は、防護ネットが設置できない箇所に設置し、設計飛来物の貫通を防止することができる設計とする。

支持架構は、設計荷重(竜巻)に対して、防護ネット及び防護板(鋼材)の支持機能を維持可能な強度を有する設計とする。

飛来物防護ネットは、防護ネットを主体構造とすることで、内包する冷却塔の冷却能力に影響を与えない設計とする。

飛来物防護ネットは、設計荷重(竜巻)に対して、脱落、転倒及び倒壊により竜巻防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。

竜巻防護対策設備は、その他考えられる自然現象(地震、火山、外部火災)に対して、構造強度評価又は耐火被覆の施工等を実施し、竜巻防護対象施設等に波及的影響を与えない設計とする。また、地震、火山、外部火災以外の自然現象に対しても、「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」に基づき設計する。

耐震、火山、外部火災に対する具体的な設計については、「IV 再処理施設の耐震性に関する説明書」、「VI-1-1-1-3 火山への配慮に関する説明書」、「VI-1-1-1-4 外部火災への配慮に関する説明書」において示す。

b. 許容限界

許容限界は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」(改定 令和元年9月6日 原規技発第1909069号 原子力規制委員会)を参照し、設計竜巻荷重と地震荷重との類似性、規格等への適用性を踏まえ、「原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1987」((社)日本電気協会)、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601-補1984」((社)日本電気協会)及び「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」((社)日本電気協会)(以下「JEAG4601」という。)等の安全上適切と認められる規格及び基準又は試験等で妥当性が確認されている値を用いて、以下のことを確認する。

(a) 建屋内の竜巻防護対象施設

建屋内の竜巻防護対象施設の許容限界については、次回以降に詳細を説明する

(b) 竜巻防護対象施設を収納する建屋

竜巻防護対象施設を収納する建屋の許容限界については、次回以降に詳細を説明する。

- (c) 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設
建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設の許容限界については、次回以降に詳細を説明する。
- (d) 建屋内に収納されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設
建屋内に収納されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設の許容限界については、次回以降に詳細を説明する。
- (e) 屋外の竜巻防護対象施設
屋外の竜巻防護対象施設の許容限界は、設計荷重(竜巻)に対し、構成する主要構造部材が、おおむね弾性状態に留まることを基本とする。ただし、設計飛来物の衝突を考慮する竜巻防護対象施設は、竜巻防護対象施設の安全機能に影響を与えるおそれのある変形を生じないこととする。
- (f) 竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設
竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の許容限界については、次回以降に詳細を説明する。
- (g) 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋
使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の許容限界については、次回以降に詳細を説明する。
- (h) 竜巻防護対策設備
竜巻防護対策設備の構成部品である防護ネットは、設計荷重(竜巻)に対し、主要な構造部材の破断が生じないように、破断荷重に対して十分な余裕を持った強度を有し、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないものとする。また、たわみを生じて、設計飛来物が竜巻防護対象施設と衝突しないよう竜巻防護対象施設との離隔を確保できることとする。
竜巻防護対策設備の構成部品である防護板(鋼材)は、設計荷重(竜巻)に対し、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止するために、設計飛来物が、防護板を貫通せず、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないものとする。
防護ネット及び防護板(鋼材)の支持構造物である支持架構は、設計荷重(竜巻)が防護ネット及び防護板(鋼材)に作用する場合には、主要な構造部材に塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないよう防護ネット等を支持出来るようにする。そのため、設計荷重(竜巻)が主要な構造部材に直接作用した際にも、主要な構成部材は貫通せず又構成部材の損傷に伴う架構の崩壊に至らず、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないものとする。
竜巻の影響を考慮する施設に対する設計の詳細について、「VI-1-1-1

- － 2－3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」及び「VI－1－1－1－2
- － 4 竜巻への配慮が必要な施設等の強度に関する説明書」に示す。

(2) 竜巻随伴事象に対する設計

竜巻防護対象施設は、竜巻による随伴事象として過去の竜巻被害の状況及び再処理施設における施設の配置から想定される、危険物貯蔵施設等の火災、屋外タンク等からの溢水及び設計竜巻又は設計竜巻と同時に発生する雷の影響による外部電源喪失によって、その安全機能を損なわない設計とする。

竜巻随伴事象のうち外部火災に対しては、火災源と竜巻防護対象施設の位置関係を踏まえて熱影響を評価した上で、竜巻防護対象施設の許容温度を超えないことにより、竜巻防護対象施設の安全機能に影響を与えない設計とし、当該設計については、「VI－1－1－1－4－1 外部火災への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 近隣の産業施設の火災及び爆発に対する設計方針」に基づく設計とする。

竜巻随伴事象のうち内部火災に対しては、火災の感知・消火等の対策により竜巻防護対象施設の安全機能に影響を与えない設計とし、当該設計については、「Ⅲ 火災及び爆発の防止に関する説明書」に基づく設計とする。

竜巻随伴事象のうち溢水に対しては、溢水源と竜巻防護対象施設の位置関係を踏まえた影響評価を行った上で、竜巻防護対象施設の安全機能に影響を与えない設計とし、当該設計については、「VI－1－1－6－1 溢水による損傷の防止に対する基本方針」に基づく設計とする。

竜巻随伴のうち外部電源喪失に対しては、外部電源喪失の発生を防止する設計とする。また、外部電源喪失が生じたとしても、非常用所内電源系統等の安全機能を確保する設計とし、非常用所内電源系統等による電源供給を可能とすることで竜巻防護対象施設の安全機能を維持する設計とする。

(3) 必要な機能を損なわないための運用上の措置

竜巻に関する設計条件等に係る新知見の収集及び竜巻に関する防護措置との組合せにより安全機能を損なわないための運用上の措置として、以下を保安規定に定めて、管理する。

- ・設計竜巻の特性値、竜巻と同時に発生する積雪等の自然現象、敷地周辺の環境条件について、定期的に新知見の確認を行い、新知見が得られた場合に評価を行うこと
- ・資機材等の固定、固縛、建屋収納又は撤去並びに車両の入構管理及び退避場所へ退避を行うこと

2.2 準拠規格

準拠する規格、基準等を以下に示す。

- ・建築基準法・同施行令・同告示
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984((社)

日本電気協会)

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987((社)日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版((社)日本電気協会)
- ・「タービンミサイル評価について」(昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)
- ・原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(原規技発第1909069号)
- ・「発電用原子力設備規格設計・建設規格 JSME S N C 1-2005/2007」(社)日本機械学会
- ・「新版機械工学便覧」(1987年日本機械学会編)
- ・「建築物荷重指針・同解説」((社)日本建築学会, 2015改定)

なお, 次回以降に申請する施設に係る準拠規格については, 当該施設の申請に合わせて次回以降に示す。

VI-1-1-1-2-2

竜巻の影響を考慮する施設及び固縛
対象物の選定

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 竜巻の影響を考慮する施設の選定	1
2.1 竜巻の影響を考慮する施設の選定の基本方針	1
2.2 竜巻の影響を考慮する施設	1
2.2.1 設計竜巻による直接的影響を考慮する施設の選定	1
2.2.2 竜巻随伴事象を考慮する施設の選定	5
3. 竜巻防護のための固縛対象物の選定	5
3.1 竜巻防護のための固縛対象物の選定の基本方針	5
3.2 屋外に保管する資機材等	6
3.2.1 再処理事業所内における飛来物の調査	6
3.2.2 固縛対象物の選定	7

1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」に基づき、竜巻の影響を考慮する施設及び竜巻防護のための固縛対象物の選定について説明するものである。

2. 竜巻の影響を考慮する施設の選定

2.1 竜巻の影響を考慮する施設の選定の基本方針

竜巻の影響を考慮する施設は、竜巻防護対象施設として選定した施設の設計方針を踏まえて選定する。

建屋内の竜巻防護対象施設(外気と繋がっている竜巻防護対象施設を除く)は、建屋により竜巻の影響から防護されるため、竜巻防護対象施設を収納する建屋を竜巻の影響を考慮する施設として選定する。

建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設は、気圧差の影響を受けることから、竜巻の影響を考慮する施設として選定する。

建屋内に収納されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設は、竜巻防護対策設備を設置する方針としていることから、建屋内の竜巻防護対象施設の代わりに竜巻防護対策設備を竜巻の影響を考慮する施設として選定する。

屋外に設置している竜巻防護対象施設及び防護措置として設置する竜巻防護対策設備は、竜巻による荷重が作用するため、竜巻の影響を考慮する施設として選定する。

また、竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設として、破損に伴う施設の倒壊等により竜巻防護対象施設等に機械的影響を及ぼし得る施設及び機能的影響を及ぼし得る施設を抽出し、竜巻の影響を考慮する施設として選定する。

なお、使用済燃料キャスクを収納する建屋は、倒壊により、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与える可能性があることから、使用済燃料キャスクを収納する建屋を、竜巻の影響を考慮する施設として選定する。

竜巻随件事象として想定される外部電源喪失は、外部電源喪失の発生を防止する設計又は、外部電源喪失が生じたとしても、非常用所内電源系統等の安全機能を確保する設計としていることから、竜巻の影響を考慮する施設として選定する。

なお、竜巻随件事象として想定される火災及び溢水については、「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」にて、他事象の設計に基づくことを説明しているため、竜巻の影響を考慮する施設として選定しない。

2.2 竜巻の影響を考慮する施設

「2.1 竜巻の影響を考慮する施設の選定の基本方針」を踏まえ、以下のとおり竜巻の影響を考慮する施設を選定する。

2.2.1 設計竜巻による直接的影響を考慮する施設の選定

(1) 竜巻防護対象施設を収納する建屋

建屋内の竜巻防護対象施設は、建屋にて防護されることから、建屋内の竜巻防護

対象施設の代わりに竜巻防護対象施設を収納する施設を、竜巻の影響を考慮する施設とする。

- ・使用済燃料受入れ・貯蔵建屋
- ・前処理建屋
- ・分離建屋
- ・精製建屋
- ・ウラン脱硝建屋
- ・ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋
- ・ウラン酸化物貯蔵建屋
- ・ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋
- ・高レベル廃液ガラス固化建屋
- ・第1 ガラス固化体貯蔵建屋
- ・チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋
- ・ハル・エンドピース貯蔵建屋
- ・制御建屋
- ・分析建屋
- ・非常用電源建屋
- ・主排気筒管理建屋

(2) 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設

建屋内の竜巻防護対象施設のうち、外気と繋がっている竜巻防護対象施設については、竜巻の気圧差による荷重が作用するおそれがあるため、竜巻の影響を考慮する施設とする。

- ・せん断処理・溶解廃ガス処理設備
- ・前処理建屋塔槽類廃ガス処理設備
- ・分離建屋塔槽類廃ガス処理設備
- ・精製建屋塔槽類廃ガス処理設備
- ・ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋塔槽類廃ガス処理設備
- ・高レベル廃液ガラス固化建屋塔槽類廃ガス処理設備
- ・高レベル廃液ガラス固化廃ガス処理設備
- ・前処理建屋換気設備の排気系
- ・分離建屋換気設備の排気系
- ・精製建屋換気設備の排気系
- ・ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋換気設備の排気系
- ・ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋換気設備の貯蔵室からの排気系
- ・高レベル廃液ガラス固化建屋換気設備の排気系
- ・ガラス固化体貯蔵設備の収納管

- ・制御建屋中央制御室換気設備

(3) 屋外の竜巻防護対象施設

屋外の竜巻防護対象施設のうち、以下の施設を、竜巻の影響を考慮する施設として選定する。

- ・安全冷却水系冷却塔 A, B
- ・安全冷却水 A, B 冷却塔
- ・冷却塔 A, B
- ・安全冷却水系膨張槽
- ・安全冷却水系(安全冷却水系冷却塔 A, B, 安全冷却水 A, B 冷却塔, 冷却塔 A, B, 安全冷却水系膨張槽周りの配管)
- ・主排気筒
- ・ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋塔槽類廃ガス処理設備
- ・高レベル廃液ガラス固化建屋塔槽類廃ガス処理設備
- ・前処理建屋換気設備
- ・分離建屋換気設備
- ・精製建屋換気設備
- ・ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋換気設備
- ・高レベル廃液ガラス固化建屋換気設備

(4) 竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護対象施設等に対して、破損に伴う倒壊又は転倒による機械的影響を及ぼし得る施設及び付属施設の破損による機能的影響を及ぼし得る施設を竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出する。

a. 機械的影響を及ぼし得る施設

倒壊又は転倒により竜巻防護対象施設等に機械的影響を及ぼし得る施設としては、施設高さが低い施設は倒壊しても竜巻防護対象施設等に影響を与えないため、当該施設の高さと竜巻防護対象施設等までの最短距離を比較することにより選定する。

また、竜巻の風圧力による荷重により飛来物となる可能性がある資機材等のその他の施設についても機械的影響を及ぼし得る可能性がある施設として選定する。

(a) 倒壊又は転倒により竜巻防護対象施設等に損傷を及ぼし得る施設

倒壊又は転倒により竜巻防護対象施設等に損傷を及ぼし得る以下の施設を選定する。

- ・北換気筒
- ・使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫
- ・使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋
- ・低レベル廃棄物処置建屋

- ・ 出入管理建屋

(b) その他の施設

その他、竜巻の風圧力により機械的影響を及ぼし得る施設として、以下の施設を選定する。

- ・ 再処理事業所内の屋外に保管する資機材等

運動エネルギー又は貫通力が設計飛来物より大きな資機材等及び飛来物防護ネット内の資機材等についても、固縛等の飛来物発生防止対策を実施する。

具体的な固縛対象物については、「3. 竜巻防護のための固縛対象物の選定」に示す。

b. 機能的影響を及ぼし得る施設

附属施設の破損による機能的影響を及ぼす可能性のある施設としては、竜巻の影響により竜巻防護対象施設の安全機能を損なわせるおそれがある施設を選定する。

竜巻防護対象施設への機能的な波及的影響については、附属施設に対し、竜巻防護対象施設の安全機能を損なわないよう設計していることから、機能的影響を及ぼし得る施設に該当する施設はない。

(5) 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

使用済燃料収納を収納する建屋は、倒壊により使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与える可能性があることから、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋を、竜巻の影響を考慮する施設として選定する。

- ・ 使用済燃料輸送容器管理建屋（使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫）

(6) 竜巻防護対策設備

竜巻防護対象施設の損傷防止のために防護措置として設置する施設を、竜巻の影響を考慮する施設として選定する。

a. 飛来物防護板

- ・ 飛来物防護板(前処理建屋 安全蒸気系設置室)
- ・ 飛来物防護板(前処理建屋 非常用所内電源系統及び計測制御系統施設設置室 A 東ブロック)
- ・ 飛来物防護板(前処理建屋 非常用所内電源系統及び計測制御系統施設設置室 A 南ブロック)
- ・ 飛来物防護板(前処理建屋 非常用所内電源系統及び計測制御系統施設設置室 B)
- ・ 飛来物防護板(精製建屋 非常用所内電源系統及び計測制御系統施設設置室 A)
- ・ 飛来物防護板(精製建屋 非常用所内電源系統及び計測制御系統施設設置室 B)

- ・飛来物防護板(高レベル廃液ガラス固化建屋 非常用所内電源系統及び計測制御系統施設 A)
 - ・飛来物防護板(高レベル廃液ガラス固化建屋 非常用所内電源系統及び計測制御系統施設 B)
 - ・飛来物防護板(高レベル廃液ガラス固化建屋 非常用所内電源系統, 計測制御系統施設及び安全冷却水系設置室)
 - ・飛来物防護板(非常用電源建屋 第2非常用ディーゼル発電機及び非常用所内電源系統設置室 A 北ブロック)
 - ・飛来物防護板(非常用電源建屋 第2非常用ディーゼル発電機及び非常用所内電源系統設置室 A 南ブロック)
 - ・飛来物防護板(非常用電源建屋 第2非常用ディーゼル発電機及び非常用所内電源系統設置室 B 北ブロック)
 - ・飛来物防護板(非常用電源建屋 第2非常用ディーゼル発電機及び非常用所内電源系統設置室 B 南ブロック)
 - ・飛来物防護板(第1ガラス固化体貯蔵建屋 床面走行クレーン 遮蔽容器設置室)
 - ・飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り)
 - ・飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 分離建屋屋外)
 - ・飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 精製建屋屋外)
 - ・飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 高レベル廃液ガラス固化建屋屋外)
 - ・飛来物防護板(制御建屋 中央制御室換気設備設置室)
 - ・飛来物防護板(冷却塔接続 屋外設備)
- b. 飛来物防護ネット
- ・飛来物防護ネット(使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔A, B)
 - ・飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔A, B)
 - ・飛来物防護ネット(第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔A, B)

2.2.2 竜巻随伴事象を考慮する施設の選定

外部電源喪失事象を考慮する施設として受電開閉設備等を選定する。

- ・受電開閉設備等(外部電源喪失)

3. 竜巻防護のための固縛対象物の選定

3.1 竜巻防護のための固縛対象物の選定の基本方針

竜巻防護対象施設に対して竜巻による飛来物の影響を防止する観点から、竜巻による飛来物として想定すべき資機材等を調査し、設計竜巻により飛来物となり竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性があるものを固定、固縛又は建屋収納並びに

車両の入構管理及び退避をする。

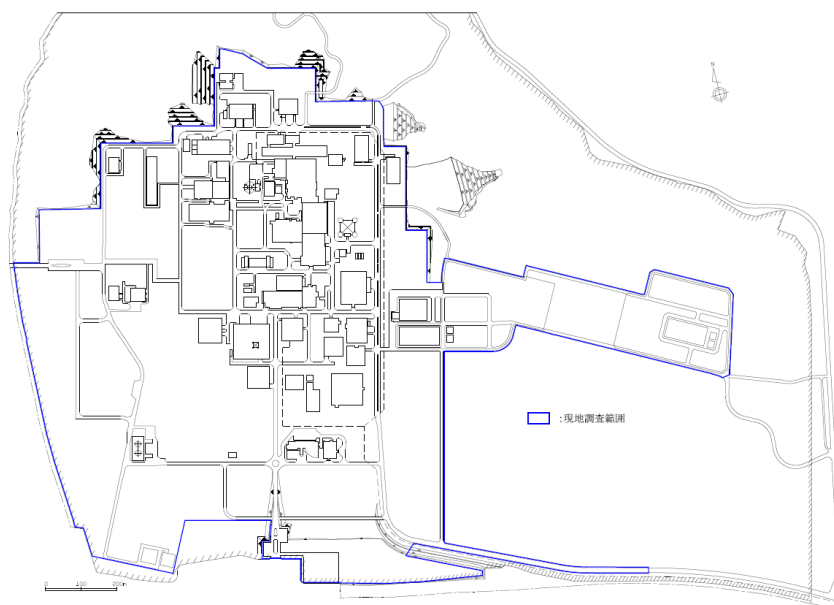
再処理事業所内の屋外に保管する資機材等のうち、固縛を実施するものの選定について説明する。

3.2 屋外に保管する資機材等

3.2.1 再処理事業所内における飛来物の調査

再処理事業所内において、竜巻防護の観点から想定すべき飛来物を選定するために現地調査を行い、その結果を基に想定すべき飛来物となり得る資機材等を抽出した。

調査範囲は再処理事業所の建屋、構造物の外回り、建屋屋上、構内道路、駐車場及び資機材が保管可能な空き地を調査した。第3.2.1-1図に再処理事業所における現地調査範囲を示す。



第3.2.1-1図 現地調査範囲

また、調査結果について第3.2.1-1表に示す。

第3.2.1-1表 再処理事業所における竜巻防護の観点から想定すべき主な飛来物の一覧表

棒状。	板状。	塊状。	
・鉄骨。 ・鋼管。 。	・鋼板。 ・鋼製架台。 。	・トラック。 ・社用バス。 ・乗用車。 ・工事用車両。	・自動販売機。 ・ドラム缶。 ・コンテナ。 。

注：各ジャンルにおける代表的な形状にて整理した表であり、ジャンル内の物品全てが同一の形状となるわけではない。

3.2.2 固縛対象物の選定

飛来物調査により抽出した、飛来物となり得る資機材等について、資機材等の寸法、質量及び形状より空力パラメータ ($C_D A/m$) を次式により算出する。

$$\frac{C_D A}{m} = \frac{c(C_{D1}A_1 + C_{D2}A_2 + C_{D3}A_3)}{m}$$

A : 代表面積 (m^2)

c : 係数 (1/3)

C_D : 抗力係数

m : 質量 (kg)

出典：東京工芸大学(平成23年2月)「平成21～22年度原子力安全基盤調査研究(平成22年度)竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」，独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書

代表面積A (m^2) は、想定すべき飛来物の形状に応じて直方体又は円柱に置換した各面の面積を表し、資機材等の形状に応じて適切に選定する。また、抗力係数 C_D は、想定すべき飛来物の形状に応じた係数として、第3.2.2-1表に示す $C_{D1} \sim C_{D3}$ を用いる。

算出した空力パラメータを用いて、竜巻による風速場の中での飛来物の軌跡を解析する解析コードの「TONBOS」により、飛来物の速度、飛散距離及び飛散高さを算出する。

また、飛来物の運動エネルギー ($=1/2 \cdot m \cdot V^2$) は飛来物の質量と解析コード「TONBOS」により算出した速度から求める。

さらに、飛来物の貫通力として、飛来物の衝突による貫通が発生する時の部材厚(以下「貫通限界厚さ」という。)を算出する。貫通限界厚さは、コンクリートに対して米国NRCの基準類に算出式として記載されている修正NDRC式(4.1)及びDegen式(4.2)、鋼板に対して「タービンミサイル評価(昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会)」の中で貫通厚さの算出式に使用されているBRL式から求める。

<修正NDRC式及びDegen式>

(4.1)

$$\frac{x_c}{acd} \leq 2 \quad \text{の場合} \quad \frac{x_c}{d} = 2 \left\{ \left(\frac{12145}{\sqrt{F_c}} \right) N d^{0.2} \frac{M}{d^3} \left(\frac{V}{1000} \right)^{1.8} \right\}^{0.5}$$

$$\frac{x_c}{acd} \geq 2 \quad \text{の場合} \quad \frac{x_c}{d} = \left(\frac{12145}{\sqrt{F_c}} \right) N d^{0.2} \frac{M}{d^3} \left(\frac{V}{1000} \right)^{1.8} + 1$$

(4.2)

$$\frac{X_c}{a_c d} \leq 1.52 \quad \text{の場合} \quad t_p = a_p d \left\{ 2.2 \left(\frac{X_c}{a_c d} \right) - 0.3 \left(\frac{X_c}{a_c d} \right)^2 \right\}$$

$$1.52 \leq \frac{X_c}{a_c d} \leq 13.42 \quad \text{の場合} \quad t_p = a_p d \left\{ 0.69 + 1.29 \left(\frac{X_c}{a_c d} \right) \right\}$$

t_p : 貫通限界厚さ (cm)

x_c : 貫入深さ (cm)

F_c : コンクリートの設計基準強度 (固縛対象物の選定では300kgf/cm²とする。)

d : 飛来物の直径 (cm) (飛来物の衝突面の外形の最小投影面積に等しい円の直径)

M : 飛来物の重量 (kgf)

V : 飛来物の最大水平速度 (m/s)

N : 飛来物の先端形状係数 (=1.14) (保守的な評価となる, 非常に鋭い場合の数値を使用)

α_c : 飛来物の低減係数 (=1.0)

α_p : 飛来物の低減係数 (=1.0)

<BRL式>

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5mv^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

T : 貫通限界厚さ (m)

d : 飛来物が衝突する衝突断面の等価直径 (m) (最も投影面積が小さくなる衝突断面の等価直径)

K : 鋼板の材質に関する係数 (=1.0)

m : 飛来物の質量 (kg)

v : 飛来物の飛来速度 (m/s)

固縛対象物の選定は, 設計上考慮している飛来物に包含されているか否かについての観点により, 以下の項目を満たすものを抽出する。

[固縛対象物の選定]

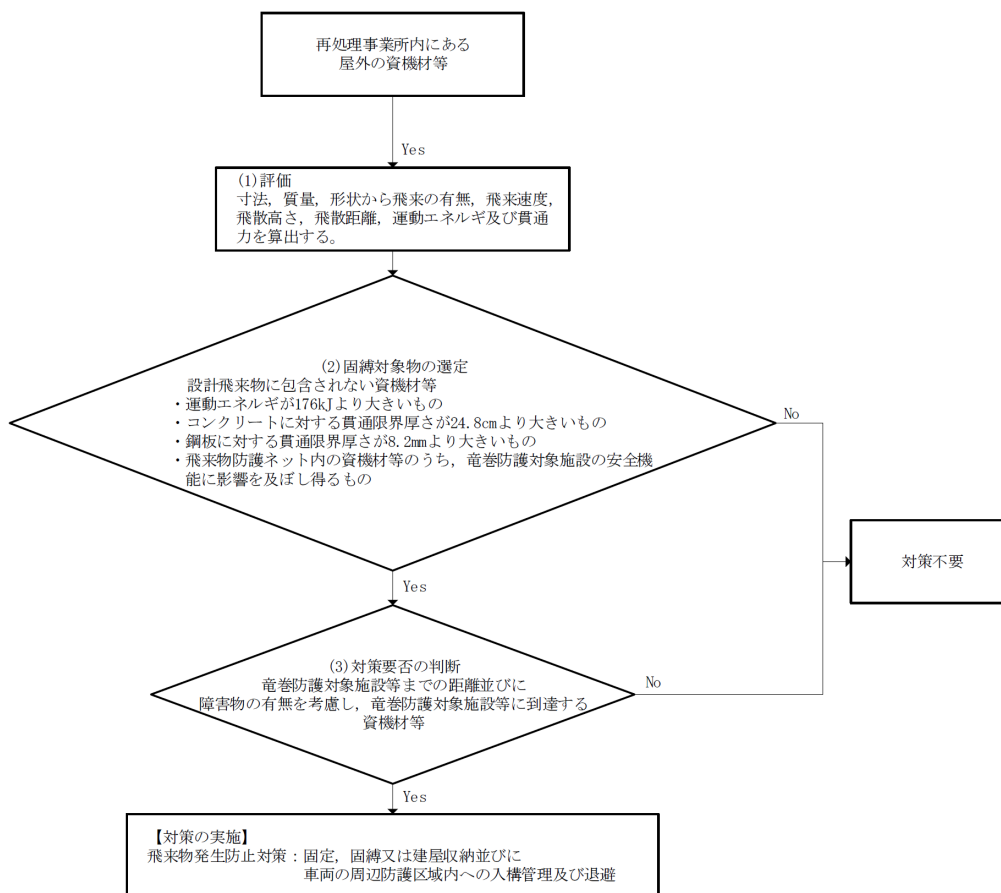
- 運動エネルギーが設計飛来物に設定している鋼製材の176kJより大きいもの。
- コンクリートに対する貫通力 (貫通限界厚さ) が設計飛来物に設定している鋼製材の24.8cmより大きいもの。
- 鋼板に対する貫通力 (貫通限界厚さ) が設計飛来物に設定している鋼製材の8.2mmより大きいもの。
- 飛来物防護ネット内の資機材等のうち, 竜巻防護対象施設の安全機能に影響を及ぼし得るもの。

なお、評価に用いた解析コード「TONBOS」の検証、妥当性確認等の概要については、「VI-1-6 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

固縛対象物の選定フローを第3.2.2-1図に示す。

第3.2.2-1表 飛来物の抗力係数

想定飛来物形状	C _{p1}	C _{p2}	C _{p3}
棒状物体	2.0	0.7(円形断面) 1.2(矩形断面)	0.7(円形断面) 1.2(矩形断面)
板状物体	1.2	1.2	2.0
塊上物体	2.0	2.0	2.0



第3.2.2-1図 固縛対象物等及び固縛対象設備の選定フロー

VI-1-1-1-2-3

竜巻の影響を考慮する施設の設計方針

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 設計の基本方針	1
3. 要求機能及び性能目標	2
3.1 設計竜巻による直接的影響を考慮する施設の防護設計方針	2
3.2 竜巻随伴事象を考慮する施設	5
4. 機能設計	5
4.1 設計竜巻による直接的影響を考慮する施設の機能設計	6
4.2 竜巻随伴事象を考慮する施設	8

1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」及び「VI-1-1-1-2-2 竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」に基づき、竜巻防護に関する施設の施設分類、要求機能及び性能目標を明確にし、各施設分類の機能設計及び構造強度設計に対する設計方針について説明するものである。

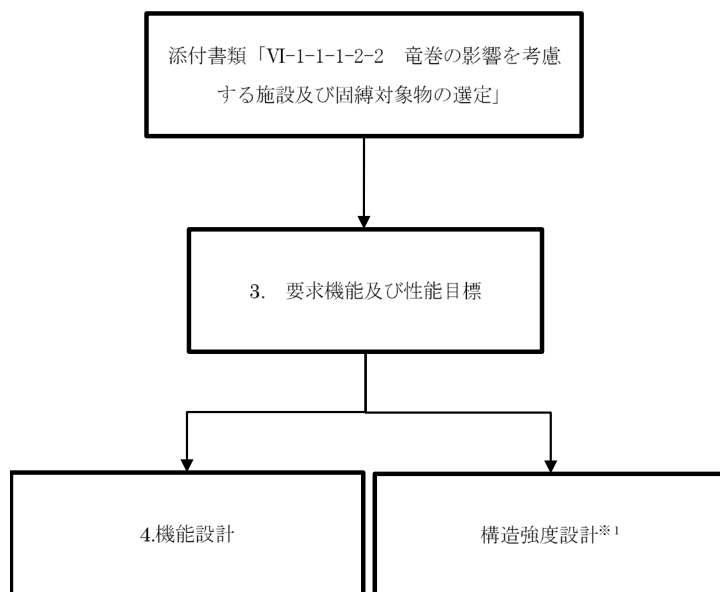
2. 設計の基本方針

「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」に基づき、竜巻防護対象施設が、その安全機能を損なうおそれがないようにするため、竜巻の影響を考慮する施設の防護設計を行う。

防護設計に当たっては、「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」にて設定している竜巻防護設計の目的及び「VI-1-1-1-2-2 竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」にて選定している施設分類を踏まえて、施設分類ごとの要求機能を整理するとともに、施設ごとに機能設計上の性能目標及び構造強度設計上の性能目標を定める。

竜巻の影響を考慮する施設の機能設計上の性能目標を達成するため、施設分類ごとに各機能の設計方針を示す。

竜巻の影響を考慮する施設の設計フローを第2.-1図に示す。



第2.-1図 施設の設計フロー※2

※1 「VI-1-1-1-2-4-1 竜巻への配慮が必要な施設等の強度計算の方針」

※2 フロー中の番号は本資料での記載箇所を示す。

竜巻の影響を考慮する施設が構造強度設計上の性能目標を達成するための施設ごとの

構造強度の設計方針等については、「VI-1-1-1-2-4-1 竜巻への配慮が必要な施設等の強度計算の方針」に示す。

3. 要求機能及び性能目標

竜巻防護設計を実施する目的は、再処理施設に影響を与える可能性がある竜巻の発生に伴い、竜巻防護対象施設の安全機能を損なわないことである。また、施設の種類については、「VI-1-1-1-2-2 竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」に基づき、竜巻防護対象施設を収納する建屋、建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設、屋外の竜巻防護対象施設、竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設、竜巻防護対策設備及び竜巻随件事象を考慮する施設に分類している。これらを踏まえ、施設分類ごとに要求機能を整理するとともに、施設分類ごとの要求機能を踏まえた施設ごとの機能設計上の性能目標及び構造強度設計上の性能目標を設定する。

3.1 設計竜巻による直接的影響を考慮する施設の防護設計方針

(1) 竜巻防護対象施設を収納する建屋

竜巻防護対象施設を収納する建屋に対する要求機能及び性能目標については、次回以降に詳細を説明する。

(2) 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設

建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設に対する要求機能及び性能目標については、次回以降に詳細を説明する。

(3) 屋外の竜巻防護対象施設

a. 施設

- ・安全冷却水B冷却塔
- ・安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)

その他の屋外の竜巻防護対象施設に対する要求機能及び性能目標については、当該施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

b. 要求機能

屋外の竜巻防護対象施設は、設計荷重(竜巻)に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、安全機能を損なわないことが要求される。

c. 性能目標

屋外の竜巻防護対象施設のうち、設計飛来物の衝突により、安全機能を損なうおそれがある安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)は、設計飛来物から竜巻防護対象施設を防護することを目的として、竜巻防護対策設備である飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)を設置する。

(a) 安全冷却水B冷却塔

竜巻防護対策設備に内包される安全冷却水B冷却塔は、設計荷重(竜巻)及び防護ネットを通過する飛来物の衝突に対し、竜巻時及び竜巻通過後におい

ても、電源を確保するとともに、冷却塔の機能を維持することにより、崩壊熱除去の機能を維持することを機能設計上の性能目標とする。

竜巻防護対策設備に内包される安全冷却水B冷却塔の構成品のうち、飛散により機械的影響を及ぼし得るものは、固定又は固縛を実施し、安全冷却水B冷却塔の冷却能力に影響を及ぼす飛来物とならないことを機能設計上の性能目標とする。

これらの構成品は、固定又は固縛により、飛来物とならない運用とすることから、構造強度上の性能目標は設定しない。

竜巻防護対策設備に内包される安全冷却水B冷却塔は、設計荷重(竜巻)に対し、設計竜巻の影響を受けない電路とするとともに、冷却塔の機能を維持するために、

通水する冷却水を冷却する機能を維持可能な構造強度を有すること、動的機能を維持することを構造強度設計上の性能目標とする。

また、竜巻防護対策設備に内包される安全冷却水B冷却塔は、竜巻防護対策設備を構成する防護ネットを通過する飛来物による衝撃荷重に対し、冷却塔の機能を維持するために、安全機能に影響を及ぼすような貫入を生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。

竜巻防護対策設備に内包される安全冷却水B冷却の構成品のうち、脱落及び転倒により、冷却塔の機能維持に必要な機器に機械的影響を及ぼし得るものは、設計荷重(竜巻)に対し、機械的影響を及ぼさない強度を有することを構造強度設計上の性能目標とする。

(b) 安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)

竜巻防護対策設備に内包される安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)は、設計荷重(竜巻)及び防護ネットを通過する飛来物の衝突に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、崩壊熱除去の機能を維持することを機能設計上の性能目標とする。

竜巻防護対策設備に内包される安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)は、設計荷重(竜巻)に対し、支持構造物を基礎等に固定し、主要な構造部材が流路を確保する機能を維持することが可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。

また、竜巻防護対策設備に内包される安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)は、竜巻防護対策設備を構成する防護ネットを通過する飛来物による衝撃荷重に対し、流路を確保する機能を維持するために、安全機能に影響を及ぼすような貫入を生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。

- (4) 竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設
竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設に対する要求機能及び性能目標については、当該施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。
- (5) 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋
使用済燃料収納キャスクを収納する建屋に対する要求機能及び性能目標については、次回以降に詳細を説明する。
- (6) 竜巻防護対策設備
- a. 施設
- (a) 飛来物防護板
飛来物防護板に対する要求機能及び性能目標については、次回以降に詳細を説明する。
- (b) 飛来物防護ネット
イ. 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)
その他の飛来物防護ネットに対する要求機能及び性能目標については、次回以降に詳細を説明する。
- b. 要求機能
竜巻防護対策設備は、設計荷重(竜巻)に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、竜巻防護対象施設の安全機能を損なわないよう、竜巻防護対象施設に設計飛来物が衝突することを防止し、また、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないことが要求される。
- c. 性能目標
- (a) 飛来物防護板
飛来物防護板の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。
- (b) 飛来物防護ネット
イ. 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)
飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、防護ネット、防護板(鋼材)及び支持架構で構成し、設計荷重(竜巻)に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止可能なものとし、また、竜巻防護対象施設の安全機能を損なわないよう、波及的影響を与えないことを機能設計上の性能目標とする。
飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)のうち防護ネットは、設計荷重(竜巻)に対し、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止するために、主要な部材が破断せず、たわみが生じて、竜巻防護対象施設の機能喪失に至る可能性がある飛来物が衝突しないよう捕捉し、支持架構と防護ネットの隙間から飛来物が侵入することを防止できる設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)のうち防護板(鋼材)は、設計荷重(竜巻)に対し、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止するために、設計飛来物が防護板本体を貫通せず、また、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)のうち支持架構は、設計荷重(竜巻)に対し、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止するために、設計飛来物が支持架構を構成する主要な構造部材を貫通せず、防護ネット及び防護板(鋼材)を支持する機能を維持可能な構造強度を有する設計とし、また、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないために、支持架構を構成する部材自体の倒壊、転倒及び脱落を生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。

なお、設計竜巻による気圧差による荷重については、外気と通じており気圧差は発生しないことから考慮しない。

その他の飛来物防護ネットに対する要求機能及び性能目標については、当該施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

3.2 竜巻随件事象を考慮する施設

(1) 施設

a. 受電開閉設備等(外部電源喪失)

(2) 要求機能

受電開閉設備等(外部電源喪失)は、設計荷重(竜巻)に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、竜巻随件事象により竜巻防護対象施設の機能を損なうおそれのないことが要求される。

(3) 性能目標

a. 受電開閉設備等(外部電源喪失)

竜巻の影響により受電開閉設備等(外部電源喪失)が損傷し、外部電源が喪失したとしても、非常用所内電源設備は、竜巻時及び竜巻通過後において、設計荷重(竜巻)に対して安全機能が損なわれず、電源供給ができることを機能設計上の性能目標とする。

なお、竜巻随件事象のうち火災及び溢水について、火災は「VI-1-1-1-4-1 外部火災への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 近隣の産業施設の火災及び爆発に対する設計方針」及び「Ⅲ 火災及び爆発の防止に関する説明書」に基づく設計とし、溢水は、「VI-1-1-6-1 溢水による損傷の防止に対する基本方針」に基づく設計とする。

4. 機能設計

「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」で設定している設計竜

巻に対し、「3. 要求機能及び性能目標」で設定している竜巻の影響を考慮する施設の機能設計上の性能目標を達成するために、各施設の機能設計の方針を定める。

4.1 設計竜巻による直接的影響を考慮する施設の機能設計

(1) 竜巻防護対象施設を収納する建屋

竜巻防護対象施設を収納する建屋に対する機能設計については、次回以降に詳細を説明する。

(2) 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設

建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設に対する機能設計については、次回以降に詳細を説明する。

(3) 屋外の竜巻防護対象施設

a. 安全冷却水B冷却塔の設計方針

安全冷却水B冷却塔は、「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(3)c. 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針としている。

竜巻防護対策設備に内包される安全冷却水B冷却塔は、設計荷重(竜巻)及び防護ネットを通過する飛来物の衝突に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、電源を確保するために、設計竜巻に対し、構造健全性を維持する制御建屋に設置している非常用所内電源から、設計竜巻の影響を受けない洞道及び固定又は固縛により経路を維持するケーブルトレイ内の電路を通じて受電する構成とする。

また、安全冷却水B冷却塔の崩壊熱除去機能を維持するために、管束は流路を維持し、ファン駆動部は送風機能を維持することで、管束内を通水する冷却水を冷却する設計とする。

安全冷却水B冷却塔の構成品のうち、脱落及び転倒により機械的影響を及ぼし得るものは、脱落及び倒壊しない強度を有する設計とする。

安全冷却水B冷却塔の構成品のうち、飛散により機械的影響を及ぼし得るものは、固定又は固縛を実施し、安全冷却水B冷却塔の冷却能力に影響を及ぼす飛来物とならない設計とする。

b. 安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)の設計方針

安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)は、「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(3)c. 性能目標」で設定した機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針とする。

竜巻防護対策設備に内包される安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)は、設計荷重(竜巻)及び防護ネットを通過する飛来物の衝突に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、内部流体を保持する機能を維持するため、流路を確保する設計とする。

その他の屋外の竜巻防護対象施設の機能設計は、次回以降に詳細を説明する。

- (4) 竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設
竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の機能設計については、次回以降に詳細を説明する。
- (5) 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋
使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の機能設計については、次回以降に詳細を説明する。
- (6) 竜巻防護対策設備
- a. 飛来物防護板
飛来物防護板の機能設計については、次回以降に詳細を説明する。
- b. 飛来物防護ネット
飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は防護ネット、防護板(鋼材)及び支持架構で構成し、「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(5)
- c. 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針としている。
- 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)のうち防護ネットは、設計荷重(竜巻)に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止可能とするために、竜巻防護対象施設の上部及び側面に設置し、設計飛来物が防護ネットに衝突した際に破断せず、設計飛来物の鋼製材を受け止める設計とする。
- 防護ネットは設計竜巻の風圧力及び設計飛来物の鋼製材の衝突に対し、防護ネットがたわんだとしても、竜巻防護対象施設の必要な機能を損なわないように、竜巻防護対象施設に対し一定の離隔を有する設計とする。
- 防護ネットについては、網目の細かいネット(補助防護ネット)を重ねて設置することにより、設計飛来物の鋼製パイプは補助防護ネットに衝突し、防護ネット内側に侵入させない設計とする。
- また、防護ネットと支持架構の間に生じる隙間を、防護ネットの通過を許容できる飛来物以下の大きさとするため、鋼製の補助防護板を設置する設計とする。
- 竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないために、防護ネットの脱落を生じない設計とする。
- 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)のうち防護板(鋼材)は、設計荷重(竜巻)に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止するために、防護ネットが設置できない箇所に設置し、設計飛来物が防護板(鋼材)を貫通できない設計とする。
- また、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないために、防護板(鋼材)の脱落を生じない設計とする。
- 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)のうち支持架構

は、設計荷重(竜巻)に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、竜巻防護対象施設が必要な機能を維持するために、防護ネット及び防護板(鋼材)を支持し、竜巻防護対象施設を取り囲むように設置し、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないために、倒壊、転倒及び脱落を生じない設計とする。

その他の飛来物防護ネットの機能設計については、次回以降に詳細を説明する。

4.2 竜巻随件事象を考慮する施設

(1) 受電開閉設備等(外部電源喪失)の設計方針

受電開閉設備等(外部電源喪失)は、「3. 要求機能及び性能目標」の「3.2(3)性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針としている。

受電開閉設備等(外部電源喪失)が竜巻により損傷し、外部電源が喪失した場合を想定したとしても、代替設備による電源供給ができるように、設計荷重(竜巻)に対し、十分な強度を有する建屋等にディーゼル発電機を設置するとともに、竜巻時及び竜巻通過後においても、冷却水を冷却するための冷却塔は、構造健全性を維持できる設計とする。

VI-1-1-1-2-4

竜巻への配慮が必要な施設等の強度
に関する説明書

VI-1-1-1-2-4-1

竜巻への配慮が必要な施設等の強度
計算の方針

VI-1-1-1-2-4-1-1
竜巻への配慮が必要な施設の強度計
算の方針

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	1
2.1 評価対象施設	1
2.1.1 竜巻防護対象施設	1
2.1.2 重大事故等対処設備	2
2.2 評価方針	2
2.2.1 評価の分類	2
3. 構造強度設計	3
3.1 構造強度の設計方針	3
3.2 構造強度の評価方針	4
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	10
4.1 荷重及び荷重の組合せ	10
4.2 許容限界	16
5. 強度評価方法	19
5.1 建物・構築物に関する評価式	20
5.2 機器・配管系に関する評価式	20
5.2.1 構造強度評価	20
5.2.2 衝突評価	30
6. 準拠規格	31

1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-2-2 竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」及び「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」に基づき、竜巻の影響を考慮する施設が、設計荷重(竜巻)に対して要求される強度を有することを確認するための強度評価の方針について説明するものである。

強度評価は、「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」に示す準拠規格を用いて実施する。

なお、竜巻への配慮が必要な施設のうち、竜巻防護対策設備(飛来物防護ネット及び飛来物防護板)の設計方針については、「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」に示す。

2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「2.1 評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す設計荷重(竜巻)により生じる応力等が「4.2 許容限界」で示す許容限界内にあることを「5. 強度評価方法」に示す計算方法を使用し、「6. 準拠規格」に示す規格を用いて確認する。

2.1 評価対象施設

2.1.1 竜巻防護対象施設

「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」にて構造強度設計上の性能目標を設定している竜巻の影響を考慮する施設を強度評価の対象とする。強度評価を行うにあたり、評価対象施設を以下の通り分類することとし、第2.1.1-1表に示す。

(1) 竜巻防護対象施設を収納する建屋

建屋内の竜巻防護対象施設を防護する外殻となる、竜巻防護対象施設を収納する建屋とする。

(2) 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設

気圧差による荷重に対し構造強度を維持する必要がある、外気と繋がっている建屋内の竜巻防護対象施設とする。

(3) 屋外の竜巻防護対象施設

設計荷重(竜巻)に対し構造強度を維持する必要がある屋外の竜巻防護対象施設とする。

(4) 竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設とする。

(5) 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

使用済燃料収納キャスクを防護する外殻となる、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋とする。

第2.1.1-1 評価対象施設(竜巻防護対象施設)

施設分類	評価対象施設
(3) 屋外の竜巻防護対象施設	・安全冷却水B冷却塔 ・安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)

注記：第1回申請の対象設備のみを記載。

なお、その他の竜巻の影響を考慮する施設に係る強度計算の方針については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

2.1.2 重大事故等対処設備

重大事故等対処設備については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

2.2 評価方針

竜巻の影響を考慮する施設は、「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設的设计方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で示す構造強度設計上の性能目標を達成するため、竜巻に対する強度評価を実施する。

強度評価の評価方針は、それぞれ「2.2.1(1) 衝突評価」の方針、「2.2.1(2) 構造強度評価」の方針及び「2.2.1(3) 動的機能維持評価」の方針に分類でき、評価対象施設はこれらの評価を実施する。

2.2.1 評価の分類

(1) 構造強度評価

構造強度評価は、設計荷重(竜巻)により生じる応力等に対し、評価対象施設及びその支持構造物が、当該施設の機能を維持可能な構造強度を有することを確認する。構造強度評価は、構造強度により閉止性及び開閉機能を確保することの評価を含む。

構造強度評価は、評価対象施設の構造を考慮し、以下の分類ごとに評価方針を設定する。

a. 建物・構築物

建物・構築物の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

b. 機器・配管系

(a) 冷却塔

(b) 配管

(2) 衝突評価

衝突評価は、設計竜巻による設計飛来物による衝撃荷重に対する直接的な影響の評価として、評価対象施設が、貫入が生じた場合においても、当該施設の機能を維持可能な状態に留めることを確認する評価とする。

評価対象施設の構造及び当該施設の機能を考慮し、飛来物の衝突により想定さ

れる損傷モードを以下のとおり分類し、それぞれの評価方針を設定する。

a. 建物・構築物

建物・構築物の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

b. 機器・配管系

(a) 貫入

(3) 動的機能維持評価

動的機能維持評価は、設計荷重(竜巻)に対し、竜巻時及び竜巻通過後において、冷却塔のファン駆動部等の動的機器が、当該施設の動的機能を維持可能なことを確認する評価とする。

a. 冷却塔

3. 構造強度設計

「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」で設定している設計竜巻に対し、「2.1 評価対象施設」で示す施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するように、「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 機能設計」で設定している各施設が有する機能を踏まえ、構造強度の設計方針を設定する。

各施設の構造強度の設計方針を設定し、設計荷重(竜巻)に対し、各施設の構造強度を維持するように構造設計と評価方針を設定する。

3.1 構造強度の設計方針

「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で示す構造強度上の性能目標を達成するための設計方針を、「2.1 評価対象施設」で示す評価対象施設分類ごとに示す。

(1) 竜巻防護対象施設を収納する建屋

竜巻防護対象施設を収納する建屋の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(2) 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設

建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(3) 屋外の竜巻防護対象施設

a. 安全冷却水B冷却塔

安全冷却水B冷却塔は、「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1.3 c.性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計荷重(竜巻)に対し、冷却水を冷却する機能を維持するために、
、冷却用空気の送気機能の維持及び流路の確保が可能な構造強度を有すること並びに冷却用空気

を送風するための動的機能を維持する設計とする。

また、防護ネットを通過する飛来物による衝撃荷重に対し、冷却塔の機能を維持するために、安全機能に影響を及ぼすような貫入を生じない設計とする。

b. 安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)

安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)は、「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1.3 c.性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計荷重(竜巻)に対し、配管本体を基礎等に支持された支持構造物により支持し、主要な構造部材が流路を確保する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

また、防護ネットを通過する飛来物による衝撃荷重に対し、流路を確保する機能を維持するために、安全機能に影響を及ぼすような貫入を生じない設計とする

(4) 竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(5) 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

3.2 構造強度の評価方針

「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度上の性能目標を達成するために「3.1 構造強度の設計方針」に示す設計方針を踏まえ、「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重、「2.1.4 竜巻の影響を考慮する施設に対する竜巻防護設計」に示す許容限界を適切に考慮して、施設の構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

(1) 竜巻防護対象施設を収納する建屋

竜巻防護対象施設を収納する建屋の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(2) 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設

建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(3) 屋外の竜巻防護対象施設

a. 安全冷却水B冷却塔

(a) 構造設計

安全冷却水B冷却塔は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」の

「4. 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

安全冷却水B冷却塔は、

構造とする。

安全冷却水B冷却塔は、管束、ファン駆動部及び支持架構を主体構造とし、

構造とする。

また、作用する荷重については、

基礎に伝達する構造とする。

安全冷却水B冷却塔の構造計画を第3.2-1表に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

構造強度評価については、設計荷重（竜巻）に対し、冷却塔の機能に影響を与える機器である支持架構（基礎ボルト含む）、管束、ファン駆動部及び遮熱板を構成する部位のうち、設計竜巻荷重が直接作用する部位に生じる応力が、許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.2(1) 冷却塔」に示すとおり、FEM解析及び評価式により算出した応力を基に評価を行う。

ロ. 衝突評価

衝突評価については、防護ネットを通過する飛来物である砂利による衝撃荷重に対し、が外殻を構成する部材の厚さ未満であることを計算により確認することを基本とする。但し、耐圧部については、外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さが貫通限界厚さ以上となることを確認する。

評価方法としては、「5.2.1 衝突評価」に示すとおり、評価式により算出した貫通限界厚さを基に評価を行う。

ハ. 動的機能維持評価

動的機能維持評価は、設計荷重（竜巻）に対し、竜巻時及び竜巻通過後において、動的機器であるファン駆動部が、動的機能を維持可能なことを確認する評価であり、以下の2点について評価を行う。

- ・ファンリングとファンの接触評価
- ・原動機等の軸受け部の破損評価

安全冷却水B冷却塔においては、動的機能を維持するため、以下の設計としている。

- [Redacted], 十分な曲げ剛性を有する設計とすること
- [Redacted] 変位は生じない設計とすること。

上記の設計を踏まえ、各機器の取付ボルトの構造健全性を確認することで、動的機能は維持されていると判断できることから、動的機能維持評価は、取付ボルトの構造健全性評価に包絡される。

第3.2-1表 冷却塔の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主要構造	支持構造	
【位置】 冷却塔は、屋外に設置する設計としている。			
冷却塔	鋼製の支持架構に管束、ファン駆動部等を固定する構造とする。	コンクリート基礎ボルトで固定する。	[Redacted]

- b. 安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)
- (a) 構造設計

安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配

慮に関する基本方針」の「4. 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)は、鋼製の配管及び弁を主体構造とし、支持構造物により建屋の床・壁や基礎等から支持する構造とする。また、作用する荷重については、配管本体に作用する構造とする。

配管の構造計画を第3.2-2表に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

構造強度評価については、設計荷重(竜巻)に対し、配管本体に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.2(2)配管」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

ロ. 衝突評価

衝突評価については、防護ネットを通過する飛来物である砂利による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さが貫通限界厚さ以上となることをもって、その施設の安全機能に影響を及ぼさないことを確認する。評価方法としては、「5.2.1 衝突評価」に示すとおり、評価式により算出した貫通限界厚さを基に評価を行う。

第3.2-2表 配管の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主要構造	支持構造	
【位置】 配管及び弁(安全冷却水B冷却塔)は、支持架構で支持する設計とする。			
配管	鋼製の配管本体及び弁で構成する。	配管本体及び弁は支持構造物により、冷却塔本体の支持架構又は基礎上面から支持する。	<p>The diagram illustrates the piping structure. It shows a horizontal main pipe (配管) and a vertical valve (弁) connected to it. The pipe and valve are supported by a support structure (支持架構) which is anchored to a foundation (基礎). The support structure is shown as a vertical column with a horizontal beam supporting the pipe. Labels include: 支持構造物 (Support structure), 支持架構 (Support framework), 弁 (Valve), 配管 (Piping), and 基礎 (Foundation).</p>

(4) 竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(5) 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

「3.2 構造強度の評価方針」に示す構造設計と作用する荷重の伝達を基に、第3.2-3表に示すとおり評価対象部位を設定する。

第3.2-3表 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位

施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
安全冷却水 B 冷却塔	外殻を構成する部材	衝突	貫入	
	支持架構を構成する部材 基礎ボルト ファンリング ファンリングサポート ファンリングサポート取付ボルト 管束フレーム ヘッダー 管束取付けボルト 遮熱板 遮熱板取付ボルト	構造強度	冷却塔	
配管	外殻を構成する部材	衝突	貫入	
	配管本体	構造強度	配管及び弁	

4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

評価対象施設の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せを、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「4.2 許容限界」に示す。

4.1 荷重及び荷重の組合せ

評価対象施設の強度評価にて考慮する荷重及び荷重の組合せは、「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」を踏まえ、以下のとおり設定する

(1) 荷重の種類

a. 常時作用する荷重 (F_d)

常時作用する荷重は、持続的に生じる荷重であり、固定荷重及び積載荷重とする。

b. 設計竜巻荷重 (W_T)

竜巻による荷重は、設計竜巻の以下の特性値を踏まえ、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物による衝撃荷重とする。設計竜巻の特性値を第4.1-1表に示す。

- ・設計竜巻の最大気圧低下量 (ΔP_{max})

$$\Delta P_{max} = \rho \times V_{Rm}^2$$

ρ : 空気密度 (1.22 (kg/m³))

V_{Rm} : 設計竜巻の最大接線風速 (m/s)

- ・設計竜巻の最大接線風速 (V_{Rm})

$$V_{Rm} = V_D - V_T$$

V_D : 設計竜巻の最大風速 (m/s)

V_T : 設計竜巻の移動速度 (m/s)

- ・設計竜巻の移動速度 (V_T)

$$V_T = 0.15 \times V_D$$

V_D : 設計竜巻の最大風速 (m/s)

第4.1-1表 設計竜巻の特性値

最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線風速 V_{Rm} (m/s)	最大気圧低下量 ΔP_{max} (N/m ²)
100	15	85	8900

(a) 風圧力による荷重 (W_w)

風圧力による荷重は、竜巻の最大風速による荷重である。竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として設定されるが、鉛直方向の風圧力による荷重に対して脆弱と考えられる評価対象施設が存在する場合には、

鉛直方向の最大風速等に基づいて算出した鉛直方向の風圧力による荷重についても考慮する。

風圧力による荷重は、施設の形状により変化するため、施設の部位ごとに異なる。そのため、各施設及び評価対象部位に対して厳しくなる方向からの風を想定し、各施設の部位ごとに荷重を設定する。

ガスト影響係数(G)は設計竜巻の風速が最大瞬間風速をベースとしていること等から、施設の形状によらず「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」(改定 令和元年9月6日 原規技発第1909069号 原子力規制委員会決定)(以下「竜巻ガイド」という。)を参考に、 $G=1.0$ とする。空気密度(ρ)は「建築物荷重指針・同解説(2015改定)」より $\rho=1.22 \text{ kg/m}^3$ とする。

設計用速度圧については施設の形状に影響を受けないため、設計竜巻の設計用速度圧(q)は施設の形状によらず $q=6,100 \text{ N/m}^2$ と設定する。

(b) 気圧差による荷重(W_p)

外気と隔離されている区画の境界部など、気圧差による圧力影響を受ける竜巻防護対象施設及び竜巻防護対象施設を収納する建屋の壁、屋根等においては、設計竜巻による気圧低下によって生じる施設等の内外の気圧差による荷重が発生する。閉じた施設(通気がない施設)については、この気圧差により閉じた施設の隔壁に外向きに作用する圧力が生じるとみなし、設定することを基本とする。

部分的に閉じた施設(通気がある施設等)については、施設の構造健全性を評価する上で厳しくなるよう作用する荷重を設定する。

気圧差による荷重は、施設の形状により変化するため、施設の部位ごとに異なる。そのため、各施設の部位ごとに荷重を算出する。

最大気圧低下量(ΔP_{max})は空気密度及び最大接線風速から、 $\Delta P_{max}=8,900 \text{ N/m}^2$ とする。

(c) 飛来物による衝撃荷重(W_M)

設計飛来物である鋼製材及び鋼製パイプのうち、運動エネルギー及び貫通力が大きい鋼製材にて飛来物による衝撃荷重を算出する。飛来物防護ネットを設置する竜巻防護対象施設は、鋼製パイプを通過させないために網目40mmの補助防護ネットを設置していることから、鋼製パイプを含めた設計飛来物による衝撃荷重は考慮しない。

また、防護ネットの網目40mmを通過し得る飛来物として砂利のような極小飛来物が考えられる。しかし、砂利のような極小飛来物の衝突時間は極めて短く、また質量差もあることから、竜巻防護対象施設に有意な変形を生じさせることはないため、極小飛来物による衝撃荷重は考慮しない。

一方、極小飛来物の衝突による貫通現象は想定されることから、貫通影響

評価として、網目40mmと同サイズの砂利を想定する。

鋼製材が衝突した場合において、影響が大きくなる向きで評価対象施設に衝突した場合の衝撃荷重を算出する。衝突評価においては、飛来物の衝突による影響が大きくなる向きで衝突することを考慮して評価を行う。

飛来物の寸法、質量及び飛来速度を第4.1-2表に示す。設計飛来物の飛来速度については、事業指定（変更許可）を受けたとおり設定する。その他の飛来物として、防護ネットを通過する砂利については、解析コード「TONBOS」を用いて算出した速度を飛来速度として設定する。

なお、評価に用いた解析コード「TONBOS」の検証及び妥当性確認等の概要については、「VI-1-6 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

第4.1-2表 飛来物の諸元

飛来物の種類	鋼製材	砂利
寸法 (m)	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2	0.04×0.04×0.04
質量 (kg)	135	0.18
最大水平速度 (m/s)	51	62
最大鉛直速度 (m/s)	34	42

c. 運転時荷重(F_P)

運転時の状態で作用する荷重として、配管等にかかる内圧を運転時荷重とする。

d. 積雪荷重(SL)

組み合わせる積雪は、「青森県建築基準法等施行細則」による六ヶ所村の垂直積雪量190cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し66.5cmとする。積雪荷重については、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量1cmごとに30 N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(2) 荷重の組合せ

評価対象施設の設計に用いる設計竜巻荷重は、竜巻ガイドを参考に設計竜巻の風圧力による荷重(W_W)、気圧差による荷重(W_P)及び設計飛来物による衝撃荷重(W_M)を組み合わせた複合荷重とし、下式より算出する。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$$

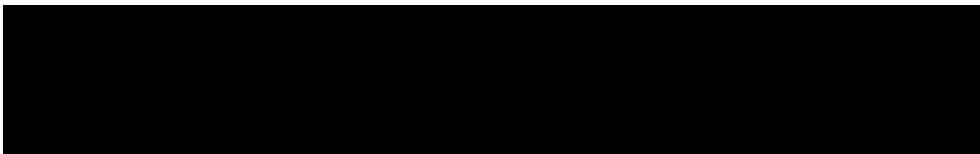
評価対象施設には W_{T1} 及び W_{T2} の両荷重をそれぞれ作用させる。各施設の設計竜巻による荷重の組合せについては、施設の設置状況及び構造を踏まえ適切な組合せを設定する。施設分類ごとの荷重の組合せの考え方を以下に示す。

- a. 竜巻防護対象施設を収納する建屋
竜巻防護対象施設を収納する建屋の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。
- b. 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設
建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。
- c. 屋外の竜巻防護対象施設
 - (a) 安全冷却水B冷却塔
安全冷却水B冷却塔は、
を考慮する。
 - (b) 安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)
安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)は、常時作用する荷重、風圧力による荷重、気圧差による荷重、防護ネットを通過する飛来物による衝撃荷重及び積雪荷重並びに運転時荷重として、内圧により発生する荷重を考慮する。
- d. 竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設
竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。
- e. 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋
使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。
上記の施設分類ごとの荷重の組合せの考え方を踏まえ、各評価対象施設における評価項目ごとの荷重の組合せ一覧表を第4.1-3表に示す。

第4.1-3表 竜巻の影響を考慮する施設の荷重の組合せ

分類	強度評価の対象施設	評価項目	荷重							
			常時作用する荷重			風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物による衝撃荷重	運転時荷重	積雪荷重
			自重	水頭圧	積載荷重					
冷却塔	安全冷却水B冷却塔	衝突								
		構造強度								
配管及び弁	配管及び弁	衝突	-	-	-	-	-	○	-	-
		構造強度	○	-	-	○	○	-	○ (注4)	-

(○：考慮する荷重を示す)



注4：配管に作用する内圧

(3) 荷重の算定方法

「4.1(1) 荷重の種類」で設定している荷重の算出式を以下に示す。

a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を第4.1-4表に示す。

第4.1-4表 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
A	m ²	施設の受圧面積
C	—	風力係数(施設の形状や風圧力が作用する部位(屋根, 壁等)に応じて設定する。)
G	—	ガスト影響係数
g	m/s ²	重力加速度
H	N	自重による荷重
m	kg	質量
q	N/m ²	設計用速度圧
R _m	m	最大接線風速半径
V _D	m/s	設計竜巻の風速
V _{Rm}	m/s	設計竜巻の最大接線風速
W _M	N	飛来物による衝撃荷重
W _P	N	気圧差による荷重
W _W	N	風圧力による荷重
ρ	kg/m ³	空気密度
ΔP _{max}	N/m ²	最大気圧低下量

b. 自重による荷重の算出

自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$H = m \cdot g$$

c. 竜巻による荷重の算出

(a) 風圧力による荷重

風圧力による荷重は、竜巻の最大風速による荷重であり、竜巻ガイドを参考に次式のとおり算出する。

$$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで、

$$q = 1/2 \cdot \rho \cdot V_D^2$$

(b) 気圧差による荷重

気圧差による荷重は、次式のとおり算出する。

$$W_P = \Delta P_{max} \cdot A$$

ここで、

$$\Delta P_{max} = \rho \times V_{Rm}^2$$

(c) 設計飛来物による衝撃荷重

設計飛来物による衝撃荷重は、設計飛来物が衝突する評価対象施設、評価対象部位及び評価方法に応じて適切に設定する必要があるため、個別計算書にその算出方法を含めて記載する。

評価条件を第4.1-5表に示す。

第4.1-5表 評価条件

最大風速 V_D (m/s)	空気密度 ρ (kg/m ³)	ガスト影響 係数 G (-)	設計用 速度圧 q (N/m ²)	最大接線 風速 V_{Rm} (m/s)	最大気圧 低下量 ΔP_{max} (N/m ²)
100	1.22	1.0	6100	85	8900

4.2 許容限界

許容限界は、「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で示す構造強度設計上の性能目標及び「3.2 構造強度の評価方針」に示す評価方針を踏まえて、評価項目ごとに設定する。

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す荷重及び荷重の組合せを含めた、評価項目ごとの許容限界を第4.2-1表に示す。

各施設の許容限界の詳細は、各計算書で評価対象部位の損傷モードを踏まえ評価項目を選定し、評価項目ごとに許容限界を定める。

「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」((社)日本電気協会)、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601-補1984」((社)日本電気協会)及び「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版」((社)日本電気協会)(以下「JEAG4601」という。)を準用できる施設については、JEAG 4601に基づき「発電用原子力設備規格設計・建設規格JSME S NC1-2005/2007(以下「JSME」という。))の付録材料図表及びJISの材料物性値により許容限界を算出している。その他施設や衝撃荷重のみを考慮する施設については、JSMEや既往の実験式に基づき許容限界を設定する。

ただし、JSMEの適用を受ける機器であって、許容値の規定がJSMEにないものは機能維持の評価方針を考慮し、JEAG4601に基づいた許容限界を設定する。

第 4.2-1 表 施設ごとの許容限界

施設名称	荷重の 組合せ	評価対象 部位	評価 項目	機能損傷モード		許容限界
				応力等の状態	限界状態	
安全冷却水 B 冷却 塔	$F_d +$ $W_T (W_w, W_P)$	外殻を構成する部材	衝突	変形	流路を確保 する機能の 喪失	施設の最小部材厚さが貫通限 界厚さ以上とする。
		支持架構を構成する部材 基礎ボルト 管束取付ボルト 原動機取付ボルト 減速機取付ボルト ファンリングサポート取付ボルト 遮熱板取付ボルト				JEAG4601 等に準じて許容応 力状態Ⅲ _A S の許容応力以下 とする。
配管	$F_d + W_T (W_w,$ $W_P, W_M) + F_P$	外殻を構成する部材	衝突	変形	流路を確保 する機能の 喪失	評価式により算定した貫通限 界厚さが、外殻を構成する部 材の厚さから計算上必要な厚 さを差し引いた残りの厚さ未 満とする。
		配管本体				構造 強度

(1) 許容限界の設定

a. 衝突評価

(a) 建物・構築物

建物・構築物の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(b) 機器・配管系

衝突評価においては、飛来物による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材が、機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、部材厚さを許容限界として設定する。ただし、耐圧部については部材厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さを許容限界として設定する。

b. 構造強度評価

(a) 建物・構築物

建物・構築物の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(b) 機器・配管系

イ. 冷却塔

構造強度評価においては、設計荷重(竜巻)に対し、冷却塔の機能に影響を与える機器のうち、設計竜巻荷重が直接作用する部位が、概ね弾性域に収まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、JEAG4601等に準じて許容応力状態ⅢASの許容応力を許容限界として設定する。

ロ. 配管

構造強度評価においては、設計荷重(竜巻)に対し、配管本体が、概ね弾性域に収まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを踏まえ、JEAG4601等に準じて許容応力状態ⅢASの許容応力を許容限界として設定する。

(2) 構造強度評価における許容限界の算出

(a) 建物の許容限界

建物の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(b) 冷却塔の許容限界

冷却塔の許容限界は、JEAG4601等を準用し、支持構造物の許容限界を適用する。許容限界を第4.2-2表に示す。

第4.2-2表 冷却塔の許容応力

許容応力状態	許容限界 (ボルト以外)			許容限界 (ボルト)		
	一次応力			一次応力		
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
Ⅲ _A S	1.5f _t	1.5f _s	1.5f _c	1.5f _b	※1	1.5f _s

※1 引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容限界は、
 $\text{Min}(1.4 \cdot 1.5f_t - 1.6 \tau_b, 1.5f_t)$ とする。

(c) 配管の許容限界

配管の許容限界は、JEAG4601等を準用し、配管の許容限界を適用する。許容限界を第4.2-3表に示す。

第4.2-3表 配管の許容応力

状態	許容限界
	一次応力(膜+曲げ)
許容応力 状態Ⅲ _A S	Sy

5. 強度評価方法

評価手法は、以下に示す解析法により、適用性に留意の上、規格及び基準類並びに既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- ・ FEM等を用いた解析法
- ・ 定式化された評価式を用いた解析法

竜巻ガイドを参照して、設計竜巻荷重は、地震荷重と同様に施設に作用する場合は、地震荷重と同様に外力として評価をするため、JEAG4601を適用可能とする。

ただし、閉じた施設となる屋外配管等については、その施設の大きさ及び形状を考慮した上で、気圧差を見かけ上の配管の内圧の増加として評価する。

風圧力による荷重の影響を考慮する施設については、建築基準法施行令等に基づき風圧力による荷重を考慮し、設備の受圧面に対して等分布荷重として扱って良いことから、評価上高さの1/2又は荷重作用点より高い重心位置に集中荷重として作用するものとする。

設計竜巻による荷重が作用する場合に強度評価を行う施設のうち、強度評価方法として、容器及び建屋等の定式化された評価式を用いた解析法を以下に示す。

ただし、以下に示す強度評価方法が適用できない施設及び評価対象部位については、個

別計算書にその強度評価方法を含めて記載する。

5.1 建物・構築物に関する評価式

建屋・構築物の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

5.2 機器・配管系に関する評価式

5.2.1 構造強度評価

(1) 冷却塔

a. 評価条件

冷却塔の強度評価は、以下の条件に従うものとする。

(a) 支持架構，基礎ボルト

イ. 支持架構及び基礎ボルトは、三次元はりモデルに設計竜巻の風圧力による荷重を作用させ静解析を行う。

(b) 管束，ファン駆動部及び遮熱板

イ. 支持架構に搭載される機器である管束，ファン駆動部及び遮熱板を構成する部位のうち，設計竜巻荷重が直接作用する部位に対して評価を行う。

ロ. 設計竜巻の風圧力による荷重は発生応力が大きくなる方向から当たるものとする。

ハ. 荷重が全高の半分又はそれ以上となる位置に作用することとする。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を第5.2-1表に示す。

第5.2-1表 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
支持架構	・引張 ・圧縮 ・せん断 ・曲げ ・組合せ(引張+曲げ) ・組合せ(圧縮+曲げ)
ファン駆動部	・曲げ ・引張 ・せん断
管束	・曲げ ・せん断
遮熱板	・曲げ ・引張 ・せん断

c. 強度評価方法

(a) 記号の定義

イ. 支持架構の記号の定義

支持架構の構造強度評価に用いる記号を第5.2-2表に示す。

第5.2-2表 支持架構の応力評価に用いる記号

記号	単 位	定 義
F_a	N	はり要素に作用する引張, 圧縮荷重
F_y, F_z	N	はり要素に作用するせん断荷重
M_y, M_z	N・mm	はり要素に作用する曲げモーメント
M_a	N・mm	はり要素に作用するねじりモーメント
A_f	mm ²	部材の断面積
A_{f_y}, A_{f_z}	mm ²	部材の有効せん断断面積
Z_y, Z_z	mm ³	部材の断面係数
Z_p	mm ³	部材のねじり断面係数
$1.5 f_t$	MPa	許容引張応力
$1.5 f_s$	MPa	許容せん断応力
$1.5 f_c$	MPa	許容圧縮応力
$1.5 f_b$	MPa	許容曲げ応力
σ_t	MPa	引張応力
σ_c	MPa	圧縮応力
σ_b	MPa	曲げ応力
τ	MPa	せん断応力
i_y, i_z	mm	x軸(強軸), y軸(弱軸)廻りの部材の断面二次半径
E	MPa	縦弾性係数
F	MPa	「JSME S NC1」SSB-3121.1(1)に定める値

ロ. 基礎ボルト

基礎ボルトの応力評価に用いる記号を第5.2-3表に示す。

第5.2-3表 基礎ボルトの応力評価に用いる記号

記号	単位	定義
F_{bt}	N	ボルトの引張力
F_{bs}	N	ボルトのせん断力
A_b	mm ²	ボルトの断面積
σ_{ao}	MPa	引張応力
τ_b	MPa	ボルトに生じるせん断応力
n_a	—	柱脚部1ヶ所当たりの本数
F	—	「JSME S NC1」SSB-3121.1(1)に定める値
$1.5f_t$	MPa	許容引張応力
$1.5f_s$	MPa	許容せん断応力

ハ. 機器本体

機器本体の応力評価に用いる記号を第5.2-4表に示す。

第5.2-4表 機器本体の応力評価に用いる記号

記号	単位	定義
C	—	風力係数
q	N/m ²	風圧力
β_1	—	4辺支持平板として評価する機器の最大応力の係数
a	mm	4辺支持平板として評価する機器の短手側の辺の長さ
t	mm	4辺支持平板として評価する機器の板厚
σ_1	MPa	ヘッダーの風圧力による応力
σ_2	MPa	ヘッダーの内圧及び気圧差による圧力による応力
σ_i	MPa	ヘッダーの内圧による応力
B	mm	ヘッダーの高さ
L	mm	ヘッダーの支持間距離
P_i	MPa	ヘッダーの内圧
P_b	MPa	気圧差による圧力
g	m/s ²	重力加速度
h	mm	重心高さ
m	kg	自重
Z	mm ³	断面係数
W _w	N	風圧力による荷重
n	本	ファンリングサポートの本数
ℓ	mm	機器中心と取付ボルトの距離
σ	MPa	発生応力
F	MPa	「JSME」SSB-3121.1(1)に定める値
1.5 f _b	MPa	許容曲げ応力

二. 機器取付ボルト

機器取付ボルトの応力評価に用いる記号を第5.2-5表に示す。

第5.2-5表 機器取付ボルトの応力評価に用いる記号

記号	単位	定義
m	kg	各評価機器の自重
g	m/s ²	重力加速度
C _p	—	ファン駆動部の振動による震度
W _w	N	竜巻の風圧力による荷重
h	mm	各評価機器の重心高さ
M _p	N・mm	ファン駆動部の回転により作用するモーメント
A _b	mm ²	各評価機器の取付ボルトの軸断面積
n _t	本	引張力の作用する取付ボルトの評価本数
n	本	せん断力の作用する取付ボルトの評価本数
ℓ	mm	取付ボルト間の中心から、各取付ボルトまでの距離
L	mm	取付ボルト間の距離
F _b	N	引張力
σ _o	MPa	引張応力
F	MPa	「JSME S NC1」SSB-3121.1(1)に定める値
τ _b	MPa	せん断応力
1.5 f _t	MPa	許容引張応力
1.5 f _s	MPa	許容せん断応力

(b) 評価方法

イ. 支持架構

FEM解析の結果から得られる支持架構のはり要素の荷重、モーメントを用いて、以下の式により応力を算出する。

(イ) 引張応力及び圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{F_a}{A}$$

$$\sigma_c = \frac{F_a}{A}$$

(ロ) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z}$$

(ハ) せん断応力

$$\tau = \frac{F_y}{A_y} + \frac{F_z}{A_z} + \frac{M_a}{Z_p}$$

(二) 組合せ

発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007((社)日本機械学会)に基づき,引張力と曲げモーメントを受ける部材の組合せ応力を下式より算出する。

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5 f_t} \leq 1.0$$

同様に,圧縮力と曲げモーメントを受ける部材の組合せ応力を下式より算出する。

$$\frac{\sigma_c}{1.5 f_c} + \frac{\sigma_b}{1.5 f_b} \leq 1.0$$

ロ. 基礎ボルト

FEM解析の結果から得られる基礎ボルト部の最大荷重を用いて,以下の式により応力を算出する。

(イ) 引張応力

$$\sigma_{ao} = \frac{F_{bt}}{A_b}$$

(ロ) せん断応力

$$\tau_b = \frac{F_{bs}}{A_b}$$

ハ. 機器本体

(イ) 管束フレーム及びファンリング

4辺支持で等分布荷重を受ける板の大たわみ式により,以下の計算式により求めるものとする。

$$\sigma = \beta_1 \frac{C q G a^2}{t}$$

(ロ) ヘッダー

ヘッダーは両端を固定されているため,風圧力による荷重を一様に受ける単純支持はりとして評価を行う。

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$$

$$\sigma_1 = \frac{C q G B L^2}{8 Z}$$

$$\sigma_2 = \sigma_i \frac{(P_i + 0.5 P_b)}{P_i}$$

- (ニ) ファンリングサポート及び遮熱板
機械工学便覧を参考に算出する。

$$\sigma = \frac{W_w h - m g \ell}{n Z}$$

二. 機器取付ボルト

- (イ) ファンリングサポート及び管束

① 引張応力

「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987((社)日本電気協会)」に記載されている式を準用し、次式より算出する。

$$\sigma_0 = -\frac{m g \ell}{n_t L A_b} + \frac{W_w h}{n_t L A_b} \dots (1)$$

② せん断応力

「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987((社)日本電気協会)」に記載されている式を準用し、次式より算出する。

$$\tau_b = \frac{W_w}{A_b n} \dots (2)$$

- (ハ) 遮熱板

① 引張応力

(2)式において、遮熱板はボルトの設置方向が異なることから、次式により算出する。

$$\sigma_0 = \frac{W_w}{A_b n}$$

② せん断応力

(1)式において、遮熱板はボルトの設置方向が異なることから、次式により算出する。

$$\tau_b = -\frac{m g \ell}{n L A_b} + \frac{W_w h}{n L A_b} \dots (8)$$

- (2) 配管

a. 評価条件

配管の強度評価は、以下の条件に従うものとする。

- (a) 配管は一定距離ごと支持構造物によって支えられているため，風圧力による一様な荷重を受ける単純支持はりとし，機械工学便覧の計算方法を参考に評価を行う。評価に用いる支持間隔は標準支持間隔を用いる。配管モデル図を第5.2.2-1図に示す。
 - (b) 弁を設置している箇所においては，弁の断面係数は配管に比べ大きく，配管の評価に包絡されるため配管の評価のみを実施する。
 - (c) 支持構造物については，建屋内外にかかわらず地震に対して耐荷重設計がなされており，配管本体に竜巻による荷重が作用した場合でも，作用荷重は耐荷重以下であるため，竜巻による荷重に対する支持構造物の設計は耐震設計に包絡される。
 - (d) 計算に用いる寸法は公称値を使用する。
- b. 評価対象部位
- 評価対象部位及び評価内容を第5.2-6表に示す。

第5.2-6表 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
配管本体	一次応力(膜+曲げ)

c. 強度評価方法

(a) 記号の定義

配管の強度評価に用いる記号を第5.2-7表に示す。

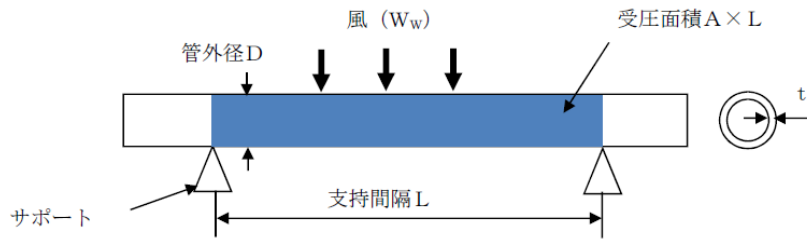
第5.2-7表 配管の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
D	mm	管外径
g	m/s^2	重力加速度
L	M	支持間隔
M	$N \cdot m$	風により作用する曲げモーメント
m	Kg/m	単位長さ当たりの質量
P	MPa	内圧
t	Mm	板厚
W_w	N/m	単位長さ当たりの風圧力による荷重
w	N/m	単位長さ当たりの自重による荷重
Z	m^3	断面係数
ΔP	N/m^2	気圧差
σ_1, σ_2	MPa	配管に生じる応力
σ_{WP}	MPa	気圧差により生じる応力
σ_{w1}, σ_{w2}	MPa	複合荷重により生じる応力
σ_{ww}	MPa	風圧力により生じる応力
$\sigma_{自重}$	MPa	自重により生じる応力
$\sigma_{内圧}$	MPa	内圧により生じる応力

(b) 計算モデル

配管は一定距離ごとに支持構造物によって支えられているため、風圧力による一様な荷重を受ける単純支持はりとして評価を行う。評価に用いる支持間隔は標準支持間隔とする。弁を設置している場合は支持構造物の支持間隔が短くなるため、弁を設置している場合の受圧面積は最大支持間隔での受圧面積に包絡される。

配管モデル図を第5.2.2-1図に示す。



第5.2.2-1図 配管モデル図

d. 評価方法

(a) 竜巻による応力計算

イ. 風圧力により生じる応力

風圧力による荷重が配管の支持スパンに等分布荷重として加わり、曲げ応力を発生させるものとして、以下の式により算定する。

$$\sigma_{ww} = \frac{M}{Z} = \frac{W_w \cdot L^2}{8Z}$$

ここで、

$$Z = \frac{\pi}{32D} \{D^4 - (D-2t)^4\}$$

ロ. 気圧差により生じる応力

気圧差による荷重は、気圧が低下した分、内圧により生じる一次一般膜応力が増加すると考えて、その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{wp} = \frac{\Delta P \cdot D}{4t}$$

したがって、イ.及びロ.項の複合荷重により生じる応力 σ_{WT1} 及び σ_{WT2} は以下の式により算出する。

$$\begin{aligned} \sigma_{WT1} &= \sigma_{wp} \\ \sigma_{WT2} &= \sigma_{ww} + 0.5 \sigma_{wp} \end{aligned}$$

(b) 組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として、配管に常時作用する荷重である自重及び運転時荷重である内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる一次一般膜応力は、以下の式により算定する。

$$\sigma_{自重} = \frac{w \cdot L^2}{8Z}$$

$$w = m \cdot g$$

$$\sigma_{内圧} = \frac{P \cdot D}{4t}$$

したがって、自重及び風圧力による荷重により生じる曲げ応力と気圧差による荷重及び内圧により生じる一次一般膜応力を足し合わせ、配管に生じる応力として以下の式により σ_1 及び σ_2 を算出する。

$$\sigma_1 = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT1}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT2}$$

5.2.2 衝突評価

(1) 評価条件

衝突評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 衝突評価においては、評価対象機器に飛来物が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を第5.2-8表に示す。

第5.2-8表 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
外殻を構成する部材のうち最も薄い部材	衝突による貫通力

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

衝突評価に用いる記号を第5.2-9表に示す。

第5.2-9 表 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	飛来物の質量
T	m	貫通限界厚さ(鋼製部材)
Tc	mm	BRL 式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率で除した鋼板の貫通限界厚さ
v	m/s	飛来物の衝突速度(鉛直)

b. 評価方法

(a) BRL式による貫通限界厚さの算出

飛来物が竜巻防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について(昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

等価直径は、「電力中央研究所報告O19003」(以下「O19003」という。)から「衝突部の周長と等価な周長の円の直径」として算出する。O19003に

おける，設計飛来物である鋼製材のような四角形衝突に対する貫通限界厚さ付近の実験データが不十分であることを考慮し，BRL式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率(0.97)で除した値を貫通限界厚さとする。

6. 準拠規格

「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.4 準拠規格」においては，竜巻の影響を考慮する施設の設計に係る規格を示している。

これらのうち，竜巻防護対策設備及び屋外重大事故等対処設備の固縛装置を除く施設の強度設計に用いる規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令・同告示
- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007((社)日本機械学会)
- ・ 「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編JEAG4601-補1984」(社)日本電気協会
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987((社)日本電気協会)
- ・ 「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」(社)日本電気協会
- ・ 「タービンミサイル評価について」(昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)
- ・ 「建築物荷重指針・同解説」((社)日本建築学会，2015 改定)
- ・ 機械工学便覧((社)日本機械学会)
- ・ 原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(原規技発第1909069号)

なお，次回以降に申請する施設に係る準拠規格については，当該施設の申請に合わせて次回以降に示す。

VI-1-1-1-2-4-1-2
竜巻防護対策設備の強度計算の方針

目 次

ページ

1. 概要	1
2. 強度設計の基本方針	1
2.1 評価対象施設	1
2.2 構造強度の設計方針	1
2.3 荷重及び荷重の組合せ	2
2.4 構造設計	7
3. 竜巻防護対策設備の構成要素の設計方針	9
3.1 防護ネットの構造設計	10
3.2 防護板(鋼材)の構造設計	14
3.3 支持架構の構造設計	15
3.4 防護板(鉄筋コンクリート)	16
4. 竜巻防護対策設備の構成要素の評価方針	16
4.1 防護ネットの評価方針	17
4.2 防護板(鋼材)の評価方針	21
4.3 支持架構の評価方針	21
5. 許容限界	23
5.1 防護ネットの許容限界	23
5.1.1 許容限界の設定	23
5.1.2 許容限界の設定方法	27
5.2 防護板(鋼材)の許容限界	33
5.2.1 衝突評価	33
5.2.2 許容限界の設定方法	34
5.3 支持架構の許容限界	35
5.3.1 衝突評価	35
5.3.2 支持架構全体の波及的影響評価	35
5.4 防護板(鉄筋コンクリート)の許容限界	36

6. 強度評価方法	36
6.1 防護ネットの強度評価	36
7. 準拠規格	52

1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-2-2 竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」及び「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」に基づき、竜巻の影響を考慮する施設のうち、竜巻防護対策設備が、設計荷重(竜巻)に対して要求される強度を有することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

2. 強度設計の基本方針

強度評価は、「2.1 強度評価の対象施設」に示す施設を対象として、「2.3 荷重及び荷重の組合せ」で示す設計荷重(竜巻)を考慮し、「6. 強度評価方法」で示す評価方法により、「5. 許容限界」で設定する許容限界を超えない設計とする。

2.1 評価対象施設

「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」に基づき、以下の竜巻防護対策設備を対象とする。

(1) 飛来物防護板

飛来物防護板の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(2) 飛来物防護ネット

- ・飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)

その他の飛来物防護ネットは、当該施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する

2.2 構造強度の設計方針

竜巻防護対策設備は、事業指定(変更許可)を受けた設計飛来物のうち鋼製材が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止するものである。竜巻防護対策設備は、「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」の「3.6(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計飛来物が竜巻防護対象施設に衝突することを防止するため、防護ネット、防護板(鋼材)、防護板(鉄筋コンクリート)及び支持架構を組み合わせて構成し、以下の設計とする。

(1) 防護ネット

防護ネットは、設計荷重(竜巻)に対し、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止するために、主要な部材が破断せず、たわみを生じても、竜巻防護対象施設の機能喪失に至る可能性がある設計飛来物が竜巻防護対象施設に衝突しないよう捕捉し、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。

(2) 防護板(鋼材)

防護板(鋼材)は、設計荷重(竜巻)に対し、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止するために、設計飛来物が防護板(鋼材)を貫通せず、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。

(3) 支持架構

支持架構は、設計荷重(竜巻)に対し、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突する

ことを防止するために、設計飛来物が支持架構を構成する主要な構造部材を貫通せず、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないために、支持架構を構成する部材自体の脱落、転倒及び倒壊を生じない設計とする。

(4) 防護板(鉄筋コンクリート)

防護板(鉄筋コンクリート)の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

2.3 荷重及び荷重の組合せ

竜巻防護対策設備の強度評価にて考慮する荷重及び荷重の組合せは、以下のとおり設定する。「VI-1-1-1-1 再処理施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」を踏まえ、以下のとおり設定する。

(1) 荷重の種類

a. 常時作用する荷重(F_d)

常時作用する荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重及び積載荷重とする。なお、防護ネットのワイヤロープ及び接続治具(支持部、固定部)の評価時は、積載荷重としてネットの自重を考慮する。

b. 設計竜巻による荷重(F_T)

設計竜巻(最大風速100 m/s)による荷重は、設計竜巻の特性を踏まえ、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物による衝撃荷重とする。設計竜巻の特性値を第2.3-1表に示す。

・設計竜巻の移動速度(V_T)

$$V_T = 0.15 \cdot V_D$$

V_D : 設計竜巻の最大風速(m/s)

・設計竜巻の最大接線風速(V_{Rm})

$$V_{Rm} = V_D - V_T$$

V_T : 設計竜巻の移動速度(m/s)

・設計竜巻の最大気圧低下量(ΔP_{max})

$$\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{Rm}^2$$

ρ : 空気密度(=1.22 kg/m³)

V_{Rm} : 設計竜巻の最大接線風速(m/s)

第2.3-1表 設計竜巻の特性値

最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線風速 V_{Rm} (m/s)	最大気圧低下量 ΔP_{max} (N/m ²)
100	15	85	8900

(a) 風圧力による荷重(W_w)

風圧力による荷重は、設計竜巻の最大風速による荷重である。

竜巻の最大風速は、一般的には水平方向の風速として算出されるが、鉛直方向の風圧力に対して脆弱と考えられる竜巻防護対策設備が存在する場合には、鉛直方向の最大風速に基づいて算出した鉛直方向の風圧力についても考慮する。

風圧力による荷重は、設備の形状により変化するため、設備の部位ごとに異なる。そのため、各設備及び評価対象部位に対して厳しくなる方向からの風を想定し、各設備の部位ごとに荷重を設定する。

ガスト影響係数(G)は、設計竜巻の風速が最大瞬間風速をベースとしていること等から設備の形状によらず「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」(平成25年6月19日 原規技発第13061911号 原子力規制委員会決定)(以下「竜巻ガイド」という。)を参考に、 $G=1.0$ とする。空気密度(ρ)は「建築物荷重指針・同解説(2015改定)」より $\rho=1.22 \text{ kg/m}^3$ とする。

設計用速度圧(q)については、設備の形状によらず $q=6100 \text{ N/m}^2$ とする。

(b) 気圧差による荷重(W_p)

外気と隔離されている区画の境界部など、気圧差による圧力影響を受ける設備の建屋壁、屋根等においては、設計竜巻による気圧低下によって生じる設備等の内外の気圧差による荷重が発生する。閉じた設備(通気がない設備)については、この圧力差により閉じた設備の隔壁に外向きに作用する圧力が生じるとみなし、気圧差による荷重を設定することを基本としているが、竜巻防護対策設備は外気と通じており、設備の外殻に面する部材に気圧差は生じないことから考慮しない。

(c) 飛来物による衝撃荷重(W_M)

衝突による影響が大きくなる向きで飛来物が竜巻防護対策設備に衝突した場合の衝撃荷重を算出する。

衝突評価においても、飛来物の衝突による影響が大きくなる向きで衝突することを考慮して評価を行う。

飛来物の飛来速度及び諸元を第2.3-2表に示す。

第2.3-2表 設計飛来物の諸元

飛来物の種類	鋼製材
寸法(m)	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2
質量(kg)	135
最大水平速度(m/s)	51
最大鉛直速度(m/s)	34

c. 運転時荷重(F_p)

運転時の状態で作用する荷重は、配管に作用する内圧等であり、竜巻防護対策設備には作用しないため考慮しない。

d. 積雪荷重(S_L)

組み合わせる積雪は、「青森県建築基準法等施行細則」による六ヶ所村の垂直積雪量190cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し66.5cmとする。積雪荷重については、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量1cmごとに30N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(2) 荷重の組合せ

竜巻防護対策設備の設計に用いる竜巻の荷重は、気圧差による荷重(W_p)を考慮した複合荷重(W_{T1})、並びに設計竜巻の風圧力による荷重(W_w)、気圧差による荷重(W_p)及び飛来物による衝撃荷重(W_M)を組み合わせた複合荷重(W_{T2})を以下のとおり設定する。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M$$

竜巻防護対策設備には W_{T1} 及び W_{T2} の両荷重をそれぞれ作用させる。各施設の設計竜巻による荷重の組合せについては、施設の設置状況及び構造を踏まえ適切な組合せを設定する。竜巻防護対策設備の構成部材別の荷重の組合せを第2.3-3表に示す。

第2.3-3表 竜巻防護対策設備の構成部材別の荷重の組合せ

構成部材		評価内容	荷重						
			常時作用する荷重		風圧力による荷重	気圧差による荷重 ^(注1)	飛来物による荷重	積雪荷重	運転時荷重
			自重	積載荷重					
防護ネット	上面	構造強度	○	—	— ^(注2)	—	○	○	—
	側面		—	—	○	—	○	—	—
防護板(鋼板)	上面	構造強度	○	—	— ^(注2)	—	○	○	—
	側面		—	—	○	—	○	—	—
支持架構		構造強度	○	○ ^(注3)	○	—	○	○	—

(注1)：外気と通じている竜巻防護対策設備には、気圧差は生じない。

(注2)：自重に対する抗力となるため、考慮しない。

(注3)：防護ネット及び防護板の自重を考慮する。

(3) 荷重の算定方法

「(1) 荷重の種類」で設定している荷重の算出式を以下に示す。

a. 防護ネット

(a) 記号の定義

防護ネットの部材の評価における荷重算出に用いる記号を、第2.3-4表に示す。

第2.3-4表 防護ネットの部材の評価における荷重算出に用いる記号

記号	単位	定義
A	m ²	防護ネットの受圧面積
A _a	m ²	ネットの面積
C	—	風力係数(施設の形状や風圧力が作用する部位(屋根, 壁等)に応じて設定する。)
d	m	設計飛来物衝突後の設計飛来物の移動距離
E _f	kJ	設計飛来物衝突時にネットに作用するエネルギー
F _a	kN	設計飛来物衝突時にネットが受ける最大衝撃荷重
F _a ''	kN	設計飛来物衝突時にネットが受ける衝撃荷重
G	—	ガスト影響係数
g	m/s ²	重力加速度 (g = 9.80665)
L _x	m	ネット展開方向の寸法
L _y	m	ネット展開直角方向の寸法
m	kg	設計飛来物の質量
m _N	kg/m ²	ネットの単位面積当たりの質量
n	—	主金網の枚数
P _w	kN	ネットの自重により作用する荷重
Q	kN/s	衝撃荷重が時間とともに比例する際の比例係数
q	N/mm ²	設計用速度圧
t	s	時間
t ₁	s	設計飛来物が衝突しネットのたわみ量が最大になる時間
V	m/s	ネットへの衝突後の設計飛来物の移動速度
V ₁	m/s	ネットへの設計飛来物の衝突速度
V _D	m/s	設計竜巻の最大風速
W _w	kN	風圧力による荷重
δ	m	設計飛来物衝突時のネットの最大たわみ量
ρ	kg/m ³	空気密度
φ	—	ネットの充実率

(b) 自重による荷重の算出

防護ネット及び防護板(鋼板)に常時作用する荷重として、自重を考慮する。自重により作用する荷重は、ネット等の設置方向を考慮する。水平設置の場合は、鉛直下向きに発生するものとして評価する。鉛直設置の場合は、自重と飛来物による衝撃荷重の作用する方向が異なることから考慮しない。

防護ネットにおいては、自重による荷重 P_w は、

$$P_w = \frac{A_a \cdot g \cdot (m_1 \cdot n + m_2 \cdot l)}{1000}$$

と算出される。

A_a はネットの実寸法 L_x 、 L_y を用いて、以下の式で求められる。

$$A_a = L_x \cdot L_y$$

(c) 竜巻による荷重の算出

イ. 風圧力による荷重

風圧力による荷重は、竜巻の最大風速による荷重であり、竜巻ガイドを参考に次式のとおり算出する。

$$W_w = \frac{q \cdot G \cdot C \cdot A}{1000}$$

ここで、 $q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$

防護ネットにおいては、ネットの充実率を ϕ とすると、風圧力による荷重を受けるネットの受圧面積 A は次式のとおりとなる。

$$A = \phi \cdot A_a$$

(d) 飛来物による衝撃荷重の算出

防護ネットにおいて、設計飛来物の衝突時に受ける衝撃荷重 F_a'' は時間とともに比例して増加すると仮定すると、 F_a'' は以下のとおり算出される。

$$F_a'' = Q \cdot t \cdots (2.1)$$

従って、ネットへの衝突後の設計飛来物の移動速度 V は、(2.1)式の衝撃荷重 F_a'' から、以下のとおり算出される。

$$\begin{aligned} V &= -\frac{1}{m} \int_0^t F_a'' dt \\ &= -\frac{Q \cdot t^2}{2 \cdot m} + V_1 \cdots (2.2) \end{aligned}$$

さらに、ネットへの衝突後の設計飛来物の移動距離 d は、(2.2)式の数値 V から以下のとおり算出される。

$$d = \int_0^t V dt$$

$$= -\frac{Q \cdot t^3}{6 \cdot m} + V_1 \cdot t \quad \dots(2.3)$$

設計飛来物が衝突しネットのたわみが最大になる時間 t_1 におけるネットの最大変位 δ は、設計飛来物の速度は $V=0$ であるから、(2.2)式及び(2.3)式より、

$$Q \cdot t_1^2 = 2 \cdot m \cdot V_1 \quad \dots(2.4)$$

$$\delta = -\frac{Q \cdot t_1^3}{6 \cdot m} + V_1 \cdot t_1$$

上記2式を連立し、

$$\delta = \frac{2}{3} \cdot V_1 \cdot t_1$$

よって、

$$t_1 = \frac{3 \cdot \delta}{2 \cdot V_1} \quad \dots(2.5)$$

以上より、時間 t_1 における設計飛来物による衝撃荷重 F_a は(2.1)式及び(2.4)式より、

$$F_a = \frac{2 \cdot m \cdot V_1}{t_1}$$

さらに、(2.5)式と連立し、

$$F_a = \frac{4 \cdot m \cdot V_1^2}{3 \cdot \delta} \quad \dots(2.6)$$

また、時間 t_1 における設計飛来物の衝突によりネットに作用するエネルギー E_f は、衝突時の設計飛来物の運動エネルギーとして、以下より求められる。

$$E_f = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_1^2 \quad \dots(2.7)$$

したがって、(2.6)式及び(2.7)式より

$$F_a = \frac{8 \cdot E_f}{3 \cdot \delta} \quad \dots(2.8)$$

(2.8)式に、たわみ評価で算出する、設計飛来物が衝突する場合のネットの最大たわみ量 δ を代入し、 F_a を算出する。

2.4 構造設計

竜巻防護対策設備は、「2.2 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「2.

3 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

(1) 飛来物防護板

飛来物防護板の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(2) 飛来物防護ネット

飛来物防護ネットは、電力中央研究所報告書「高強度金網を用いた竜巻飛来物対策工の合理的な衝撃応答評価手法」(総合報告：O01)(以下「電中研報告書」という。)と同型の防護ネット(以下「防護ネット(鋼製枠)」という。), 支持架構の耐震性への配慮から鋼製枠を設けず, 支持架構に直接設置する防護ネット(以下「防護ネット(支持架構に直接設置)」という。), 防護板(鋼材)及び支持架構で構成し, 竜巻防護対象施設を取り囲むように設置することで, 飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止し, 竜巻防護対象施設と防護ネットの離隔を確保することにより, 防護ネットにたわみが生じたとしても, 竜巻防護対象施設に飛来物を衝突させない構造とする。また, 支持架構は杭基礎により支持される構造とする。

防護ネット(支持架構に直接設置)は, ネット, ワイヤロープ, ターンバックル, シャックル, 隅角部固定ボルト, 取付プレート, ネット取付金物, 取付ボルト及び押さえボルトを主体構造とし, これらを支持架構により支持する。また, ワイヤロープと支持架構の隙間を, 設計上考慮する飛来物である砂利以下の大きさとするため, 鋼製の補助防護板を設置する。なお, ターンバックル及びシャックルを接続治具(支持部), 隅角部固定ボルト及び取付プレートを接続治具(固定部), 取付ボルト及び押さえボルトを接続部とする。

防護ネット(鋼製枠)は, ネット, ワイヤロープ, ターンバックル, シャックル, 隅角部固定ボルト, 取付プレート及び鋼製枠を主体構造とし, トロリを用いて支持架構から支持される。

なお, ターンバックル及びシャックルを接続治具(支持部), 隅角部固定ボルト及び取付プレートを接続治具(固定部)とする。

防護ネットのうちネットは, らせん状の硬鋼線を3次的に編み込み, 編み込みの方向によって荷重を受け持つ展開方向と展開直角方向の異方性を持ち, 支持架構の配置, ネットに作用する荷重及び竜巻防護対象施設との離隔距離に応じて, ネットの展開方向と展開直角方向の長さの比を考慮して, 網目50mmのネットを複数枚重ねて設置する構造とする。また, 設計飛来物である鋼製パイプを捕捉するため, 網目40mmの補助ネットを設置する構造とする。

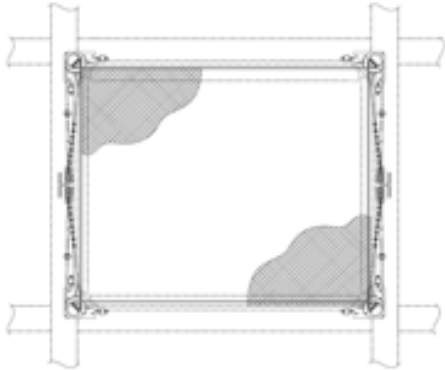
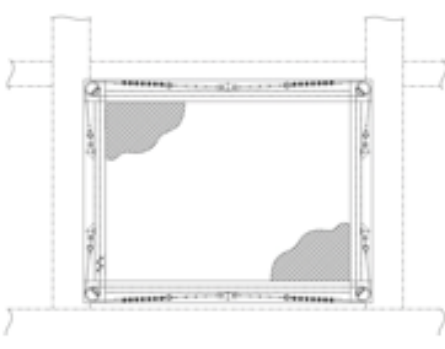
防護ネットの構造計画を第2.4-1表に示す。

防護板(鋼材)は, 設計荷重(竜巻)に対し, 設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止するために, 設計飛来物が防護板(鋼材)を貫通せず, 竜巻防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。

防護ネット及び防護板(鋼材)を支持する支持架構は, H形鋼等より構成され, 施設の外殻に作用する荷重並びに積載する防護ネット及び防護板(鋼材)からの荷重

を支持する構造とする。また、支持架構に作用する荷重は、柱脚部から基礎に伝達する構造とする。

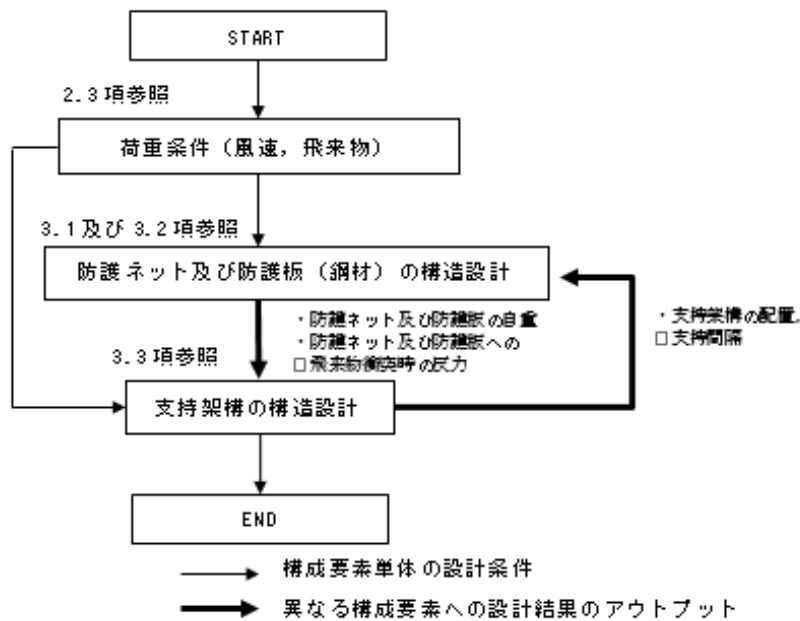
表2.4-1表 防護ネットの構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主要構造	支持構造	
防護ネット	ネット、ワイヤロープ、緩衝器具（支持部及び固定部）、ネット取付金物及び緩衝部から構成する。	緩衝部及び取付プレートにより支持架構に直接支持され、支持架構を介して荷重を基礎に伝達する構造とする。	 <p>防護ネット（架構に直接設置）</p>
	ネット、ワイヤロープ、緩衝器具（支持部及び固定部）、綱製棒及び緩衝部から構成する。	トロリを用いて支持架構により支持され、支持架構を介して荷重を基礎に伝達する構造とする。	 <p>防護ネット（綱製棒）</p>

3. 竜巻防護対策設備の構成要素の設計方針

竜巻防護対策設備は、「2.2 構造強度の設計方針」に基づき、「2.4 構造設計」に示した構造と、「2.3 荷重及び荷重の組合せ」で設定した荷重を踏まえ、竜巻防護対策設備を構成する要素間での荷重の受け渡し、要素ごとの設計及び設計結果の全体設計へ反映を行う。

竜巻防護対策設備の設計フローを第3.-1図に示す。

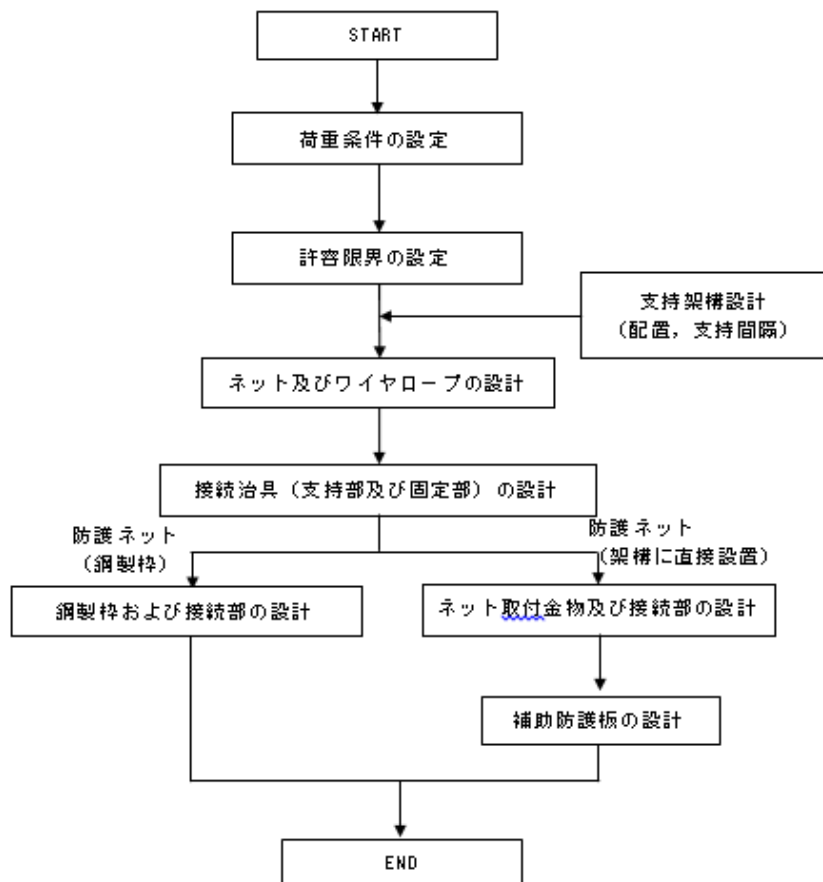


第3.-1図 竜巻防護対策設備の設計フロー

3.1 防護ネットの構造設計

「2.2 構造強度の設計方針」に基づき、竜巻防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止可能な設計とするため、設計飛来物の防護ネットへの衝突に対し、主要な部材が破断することなく支持架構に荷重を伝達し、たわみを生じても、設計飛来物が竜巻防護対象施設と衝突しないよう、防護ネットで捕捉できる設計とする。

防護ネットの設計フローを第3.1-1図に示す。



第3. 1-1図 防護ネットの設計フロー

防護ネットの概要図を第3. 1-2図及び第3. 1-3図に示す。

防護ネット(支持架構に直接設置)のうちネットは、ネット端部の網目を縫うようにはわせたワイヤロープにより支持し、ワイヤロープはターンバックル及びシャックル並びに鋼製枠の四隅に設置した隅角部固定ボルトにて支持する。ターンバックル及びシャックルは支持架構に設置した取付プレートにより支持し、隅角部固定ボルト、ネット取付金物は支持架構に設置した押さえボルト及び取付ボルトにより支持される構造とする。また、ネットと支持架構の隙間を砂利以下の大きさとするため、補助防護板を設置する設計とする。

防護ネット(鋼製枠)のうちネットは、ネット端部の網目を縫うようにはわせたワイヤロープにより支持し、ワイヤロープはターンバックル及びシャックル並びに鋼製枠の四隅に設置した隅角部固定ボルトにて支持する。また、ターンバックル及びシャックルは、鋼製枠内に具備した取付プレートにより支持される構造とする。

防護ネットは、50mm目合いのネット2枚及び40mm目合いのネット1枚(補助ネット)で構成する。

防護ネットは、電中研報告書にて適用性が確認されている評価式及びネットの物性

値を用いた設計とする。

防護ネットを構成するネット、ワイヤロープ、接続治具(支持部及び固定部)及び接続部についての構造設計を以下に示す。

(1) ネット

ネットは、らせん状の硬鋼線を3次的に編み込み、編み込みの方向によって荷重を受け持つ展開方向と展開直角方向の異方性を有する。展開方向が主に荷重を受け持ち、展開方向と展開直角方向で剛性や伸び量が異なるため、これらの異方性を考慮した設計とする。ネットは、電中研報告書において、その剛性、最大たわみ時のたわみ角、1目合いの破断変位等が確認されている。

ネットの寸法は、支持架構の柱及びはりの間隔並びにネットの展開方向と展開直角方向の剛性や伸び量の異方性を考慮して、展開方向と展開直角方向の寸法の比(以下「アスペクト比」という。)について、電中研報告書にて適用性が確認されている範囲(1:1~2:1)に入るように設計する。ただし、設定する寸法での限界吸収エネルギー量等を踏まえ、設置するネットの枚数を増やし、衝撃荷重に対する耐力を持たせるとともにたわみ量を低減させる設計とする。

(2) ワイヤロープ

ワイヤロープの取付部は、展開方向のワイヤロープと展開直角方向のワイヤロープで荷重の伝達分布が異なり、さらにワイヤロープの巻き方によりワイヤロープ間の荷重伝達に影響を及ぼす可能性があるため、ネットに対して2本をL字に設置することにより、ワイヤロープに作用する荷重が均一となるような設計とする。

防護ネットの基本構造において、ワイヤロープは上下2段設置しており、上段のワイヤロープは50mm目合いと40mm目合いのネット2枚を支持するため、ワイヤロープは支持するネット枚数を考慮した設計とする。

(3) 接続治具(支持部及び固定部)

電中研報告書の評価式を適用するため、衝突試験における試験体と同じ構造を採用しており、飛来物衝突時に急激な荷重が作用するのを抑制するために、緩衝装置を四隅に設置する設計とする。

接続治具(支持部及び固定部)は、ネットへの設計飛来物の衝突によりネットからワイヤロープを介して作用する荷重もしくは発生する応力に対して、破断することのない強度を有する設計とする。

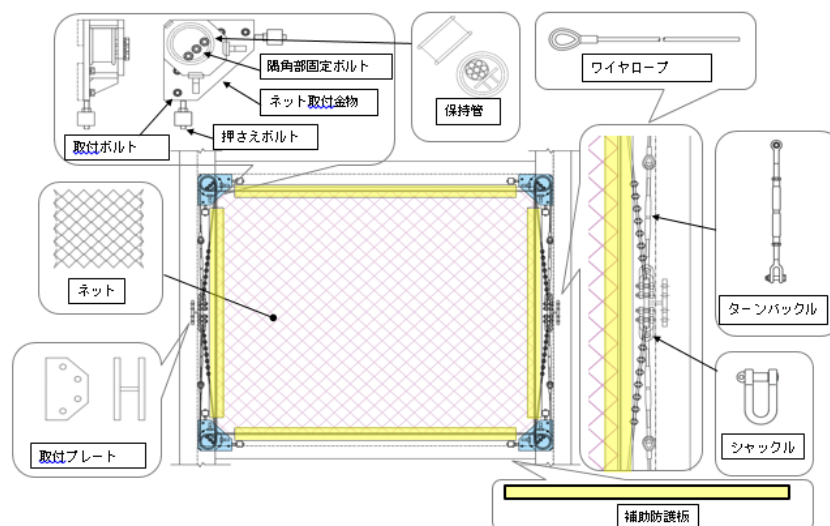
(4) 接続部

接続部は、ネット取付金物から伝播する荷重に対し、破断することのない強度を有する設計とする。

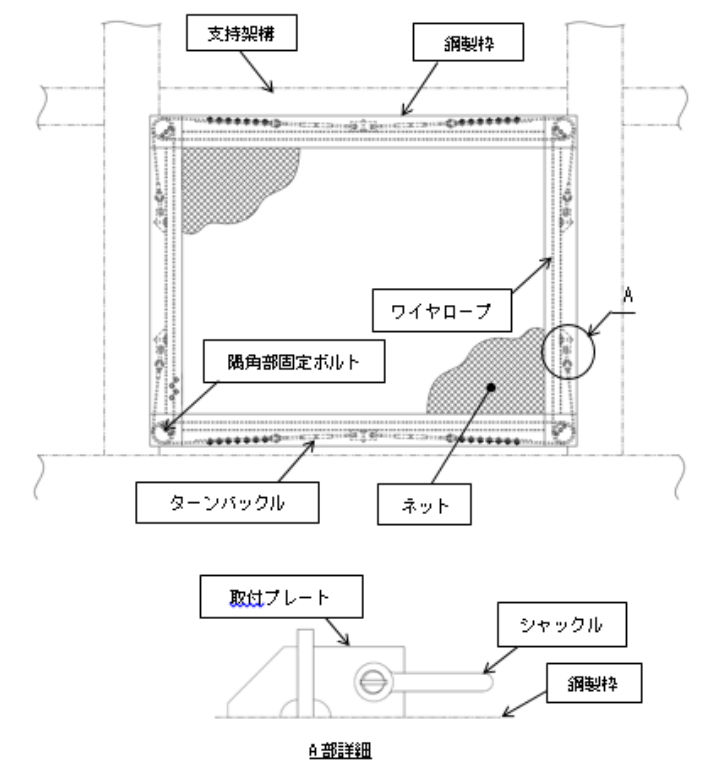
(5) 補助防護板

防護ネット(支持架構に直接設置)のうち、補助防護板は、ネットと支持架構の隙間から飛来物が侵入し、竜巻防護対象施設に衝突することを防止可能な設計とす

るため、隙間から侵入する飛来物の衝突に対し、補助防護板が貫通することなく、また竜巻防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。



第3.1-2図 防護ネット(支持架構に直接設置)の概要図

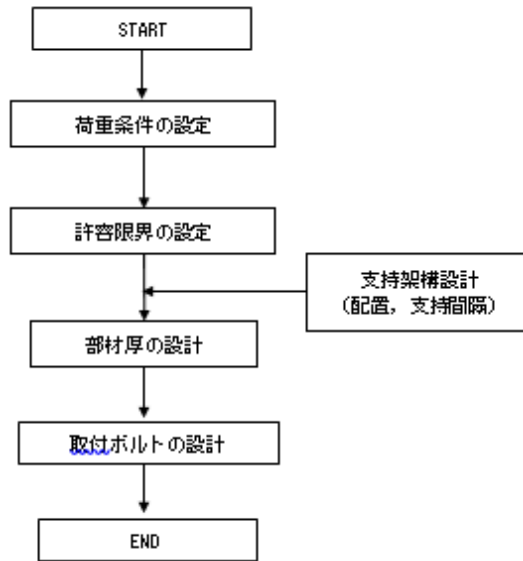


第3.1-3図 防護ネット(鋼製枠)の概要図

3.2 防護板(鋼材)の構造設計

「2.2 構造強度の設計方針」に基づき、竜巻防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止可能な設計とするため、飛来物の防護板(鋼材)への衝突に対し、防護板(鋼材)が貫通することなく支持架構に荷重を伝達し、また、防護板(鋼材)は脱落することのない強度を有する設計とする。

防護板の設計フローを第3.2-1図に示す。



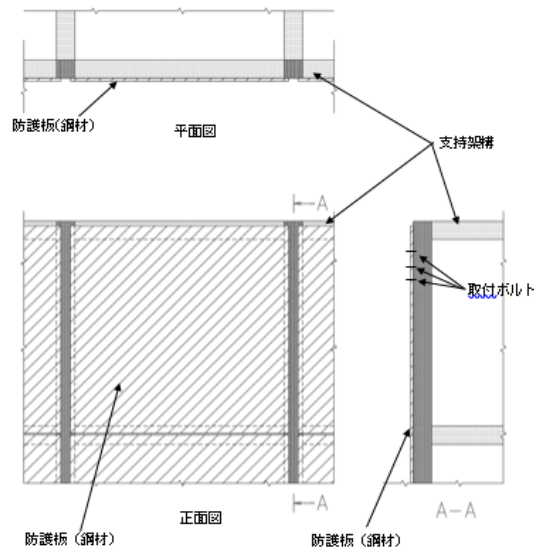
第3.2-1図 防護板の設計フロー

防護板(鋼材)の概要図を第3.2-2図に示す。

防護板(鋼材)は、鋼板で構成し、飛来物の衝突に対し防護板(鋼材)が貫通することがないように部材厚を有する設計とする。

防護板(鋼材)は取付ボルトにより支持架構に接続し、飛来物の衝突によって脱落しない設計とする。

防護板への飛来物衝突時の荷重は、支持架構へ伝達する設計とする。

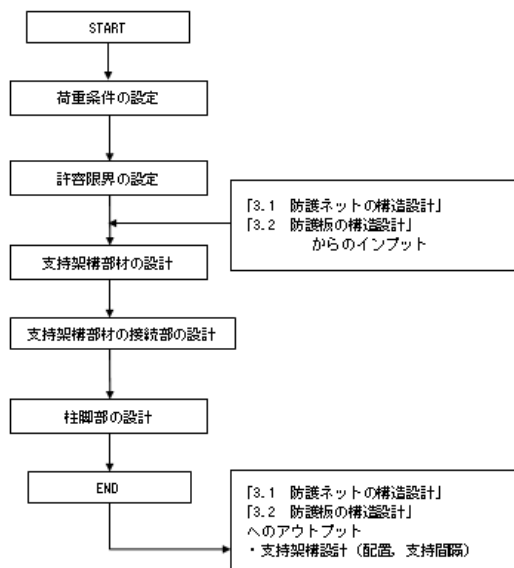


第3. 2-2図 防護板(鋼材)の概要図

3. 3 支持架構の構造設計

「2. 2 構造強度の設計方針」に基づき、竜巻防護対象施設の機能喪失に至る可能性がある設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止可能な設計とするため、設計飛来物が支持架構を構成する主要な構造部材を貫通せず、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないために、脱落、倒壊及び転倒を生じない構造強度を有する設計とする。

支持架構の設計フローを第3. 3-1図に示す。



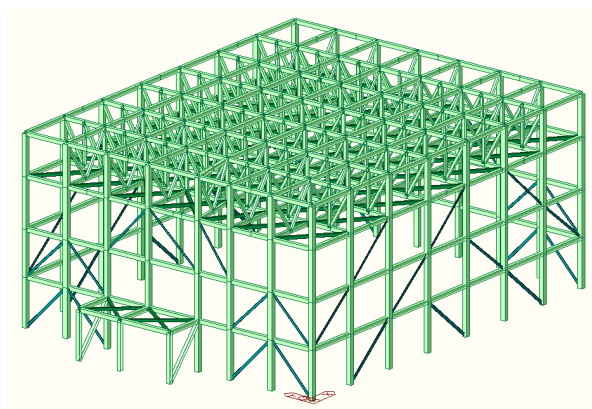
第3. 3-1図 支持架構の設計フロー

支持架構の概要図を第3.1-2図に示す。

支持架構は、角形鋼管やH形鋼等から構成され、防護ネット及び防護板(鋼材)からの荷重を支持する設計とする。

支持架構は、支持架構部材、支持架構部材の接続部及び柱脚部より構成され、支持架構の接続部は溶接又はボルトにより接続し、柱脚部は基礎又は建屋に固定する設計とする。支持架構部材の接続部については、母材と同等の耐力を有する設計とする。

防護ネット及び防護板への飛来物衝突時の荷重は、隣り合う支持架構部材から柱などの主架構及び柱脚部を介して基礎又は建屋へ伝達する設計とする。飛来物が支持架構に直接衝突する場合は、支持架構から柱脚部を介して基礎又は建屋へ伝達する設計とする。



第3.1-2図 支持架構の概要図

3.4 防護板(鉄筋コンクリート)

防護板(鉄筋コンクリート)の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

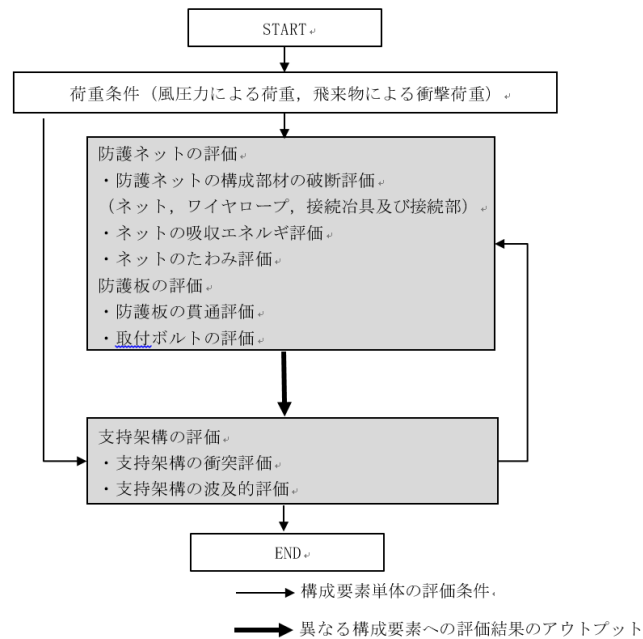
4. 竜巻防護対策設備の構成要素の評価方針

「2.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「3. 竜巻防護対策設備の構成要素の設計方針」に基づき、竜巻防護対策設備の構成要素ごとの評価方針を設定する。

竜巻防護対策設備を設計する上で、屋外の鋼製材等の飛来物となり得るものは、飛散防止管理を実施し、飛来物となるものが少なくなるように運用することにより、竜巻襲来時及び竜巻通過時において複数の飛来物が同一の竜巻防護対策設備に衝突する可能性は十分低いことから、同一の竜巻防護対策設備への複数の飛来物の衝突は考慮しない設計とする。

竜巻防護対策設備は、飛来物の衝突に対し、竜巻防護対策設備を構成する部材が許容限界に至ることなく、竜巻防護対象施設が飛来物の影響を受けないことを確認する。

竜巻防護対策設備の評価フローを第4.-1図に示す。



第4. -1図 竜巻防護対策設備の評価フロー

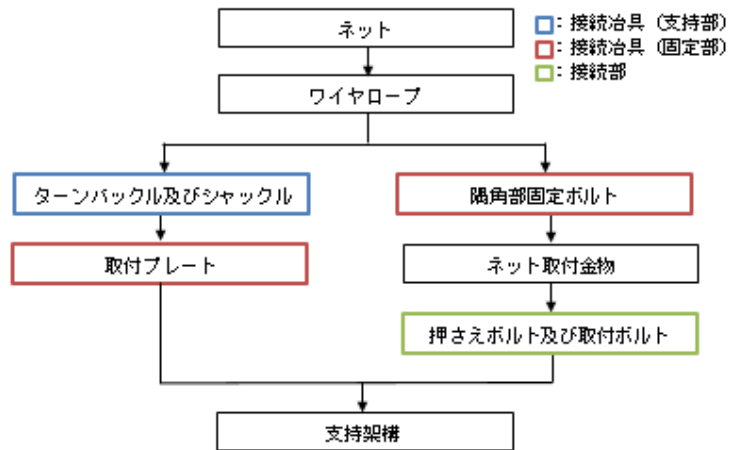
4.1 防護ネットの評価方針

防護ネット(架構に直接設置)及び防護ネット(鋼製枠)は,設計飛来物が竜巻防護対象施設に衝突することを防止するだけの強度を有していることを確認するため,以下の評価を実施する。

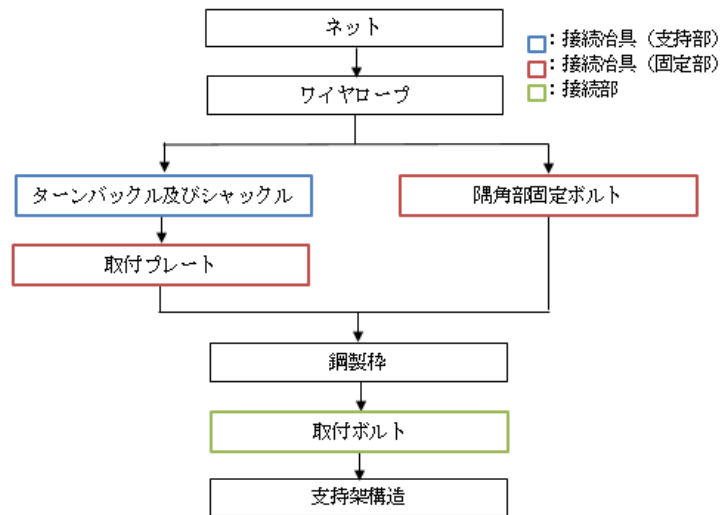
設計荷重(竜巻)に対し,主要な部材が破断しなければ設計飛来物は捕捉可能であり,設計飛来物は竜巻防護対象施設と衝突しない。従って,設計飛来物がネットに衝突した際の荷重の伝達経路を踏まえ,ワイヤロープ,接続治具(支持部及び固定部)及び接続部に破断が生じないように十分な余裕を持った強度を有していることを確認する。防護ネット(架構に直接設置)の荷重の伝達経路を第4.1-1図,防護ネット(鋼製枠)の荷重の伝達経路を第4.1-2図に示す。

また,設計荷重(竜巻)に対し,防護ネットのうちネット及びワイヤロープにたわみを生じても,設計飛来物が竜巻防護対象施設と衝突しないよう,竜巻防護対象施設との隔離を確保できていることを計算により確認する。

防護ネット(架構に直接設置)の一部である補助防護板は,ワイヤロープと架構の隙間から侵入する飛来物が衝突しても貫通しない厚さを有していることを確認する。



第4.1-1図 防護ネット(架構の直接設置)の荷重の伝達経路



第4.1-2図 防護ネット(鋼製柱)の荷重の伝達経路

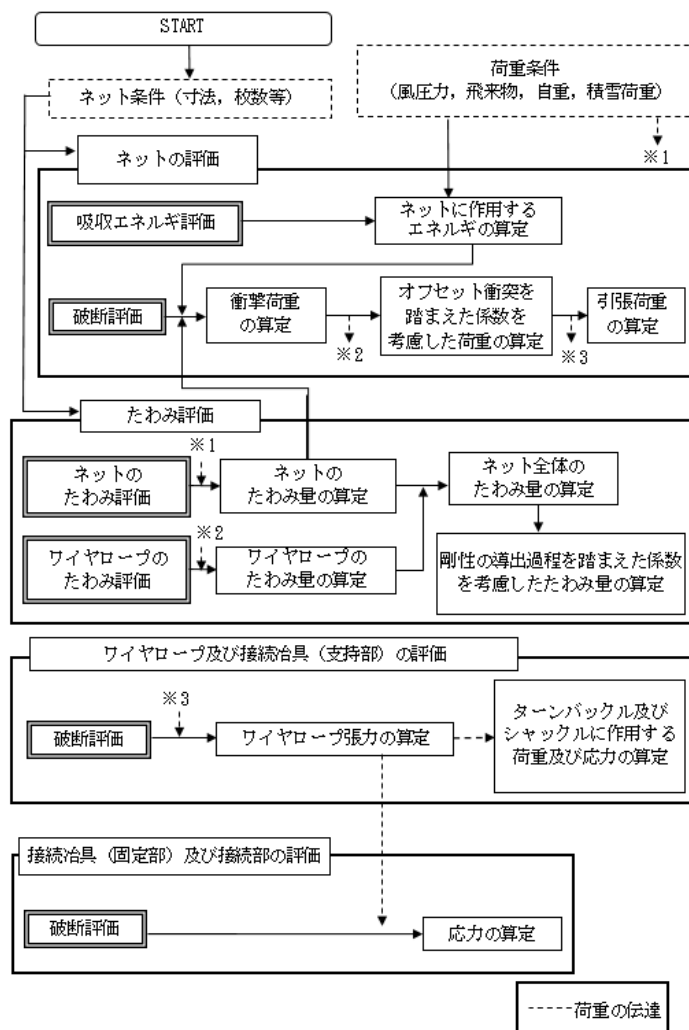
第4.1-1図, 第4.1-2図に基づき, 設計荷重(竜巻)に対し, 主要な部材が破断しないために, 防護ネットのうちネット, ワイヤロープ, 接続治具(支持部及び固定部)及び接続部が, 破断が生じないように十分な余裕を持った強度を有することを計算により確認する。その方法は, 算出されるネットの限界吸収エネルギー及び衝撃荷重を基に吸収エネルギー評価及び破断評価を行う。

また, 設計荷重(竜巻)に対し, ネット及びワイヤロープにたわみが生じて, 飛来物が竜巻防護対象施設と衝突しないよう, 竜巻防護対象施設との離隔を確保できることを計算により確認する。その方法は, 算出されるネットのたわみ量を基にたわみ評価を行う。

防護ネットの評価フローを第4.1-3図に示す。

防護ネットの破断及びたわみに対する評価方針を以下に示す。

防護ネットの具体的な計算方法及び結果は、「VI-1-1-1-2-4-2-2 竜巻防護対策設備の強度計算書」に示す。



第4.1-3図 防護ネットの評価フロー

(1) 強度評価

設計荷重(竜巻)に対し、主要な部材が破断しないために、防護ネットのうちネット、ワイヤロープ、接続治具(支持部及び固定部)及び接続部に破断が生じないように十分な余裕を持った強度を有することを計算により確認する。

ネットについては、設計荷重(竜巻)に対し、ネット全体でエネルギーを吸収することから、ネットの吸収エネルギーを評価する。評価方法としては、電中研報告書において、ネットへの適用性が確認されている評価式(以下「電中研評価式」という。)を参照して評価する。また、飛来物の衝突箇所において破断が生じないことを確認

するために、ネットに作用する引張荷重を、電中研評価式を参照して評価する。さらに、ネットが機能を発揮できるように、ネットに作用する荷重がワイヤロープ、接続治具(支持部及び固定部)及び接続部に伝達された際、その荷重により発生する荷重並びに応力が、各部材の許容値以下であることを確認する。

また、防護ネット(架構に直接設置)においては、補助防護板に飛来物が衝突したとしても、貫通しない厚さを有していること、及び竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないことを確認する。

a. ネットの吸収エネルギー評価

ネットの吸収エネルギー評価においては、ネットの目合いの方向に従ってネット剛性を設定し、ネットのエネルギー吸収に有効な面積を考慮し、ネットの有効面積を設定し評価を実施する。また、設計飛来物の衝突位置の違いによりたわみ量の影響があり、衝突位置、ネット剛性の設定によるたわみ量への影響を考慮して、評価を実施する。

b. ネット、ワイヤロープ、接続治具(支持部及び固定部)及び接続部の破断評価

ネット、ワイヤロープ、接続治具(支持部及び固定部)及び接続部の破断評価においては、飛来物の衝突位置として、中央位置からずれた(以下「オフセット」という。)衝突についても考慮する。具体的には、電中研評価式では飛来物がネット中央位置に衝突する場合についてのみ評価を実施するため、オフセット位置に衝突する場合の評価においては、中央位置に衝突する場合とオフセット位置に衝突する場合の飛来物の移動距離を考慮した評価を実施する。また、ネットの剛性の設定によるたわみ量への影響を考慮して、評価を実施する。

接続部の破断評価においては、緩衝装置によるワイヤ張力の急激な増加を抑制する効果が得られないため、動的応答倍率の影響を考慮して評価を実施する。

c. 補助防護板

補助防護板は、ネットと支持架構の隙間から侵入する飛来物を貫通させない厚さを有する設計とすることから、「4.2 防護板(鋼板)の評価方針」に基づき、必要最小厚さを上回っていること及び竜巻防護対象施設と衝突するおそれがある補助防護板の接続部が脱落しないことを確認する。

なお、設計においては、ネットと架構の隙間から侵入してくる飛来物の設定が困難であることから、保守的に設計飛来物を用いて必要厚さを設計する。

(2) たわみ評価

設計荷重(竜巻)に対し、飛来物が竜巻防護対象施設と衝突しないよう捕捉するために、防護ネットのうちネット及びワイヤロープにたわみが生じて、飛来物が竜巻防護対象施設と衝突しないよう竜巻防護対象施設との離隔を確保できることを計算により確認する。

防護ネットは、設計荷重(竜巻)がネットに作用する場合に、ネットがたわむこと

でエネルギーを吸収することから、ネット及びワイヤロープにたわみが生じても、ネットと竜巻防護対象施設が衝突しないことを確認するために、ネットとワイヤロープのたわみ量を考慮して評価する。評価方法としては、電中研評価式等を用いて評価する。

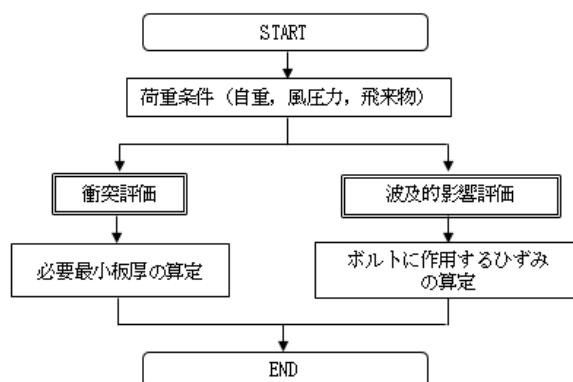
評価の条件についても、構造強度評価と同様に飛来物のネットの衝突位置、ネットの剛性の設定によるたわみ量への影響を考慮して評価を実施する。

4.2 防護板(鋼材)の評価方針

「3.2 防護板(鋼材)の構造設計」の設計方針に基づき、飛来物による衝撃荷重に対し、飛来物を貫通させないために、防護板(鋼材)が飛来物の貫通を生じない板厚を有していること及び脱落せず波及的影響を与えないことを確認する。

防護板(鋼材)の評価フローを第4.2-1図に示す。

防護板(鋼材)の具体的な計算方法及び結果は、「VI-1-1-1-2-4-2-2 竜巻防護対策設備の強度計算書」に示す。



第4.2-1図 防護板(鋼材)の評価フロー

(1) 衝突評価

設計荷重(竜巻)に対し、設計飛来物が防護板(鋼材)を貫通しない設計とするために、防護板(鋼材)が設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。

(2) 波及的影響評価

設計飛来物による衝撃荷重に対し、防護板(鋼材)が脱落しないことを、FEM解析を用いて確認する。

4.3 支持架構の評価方針

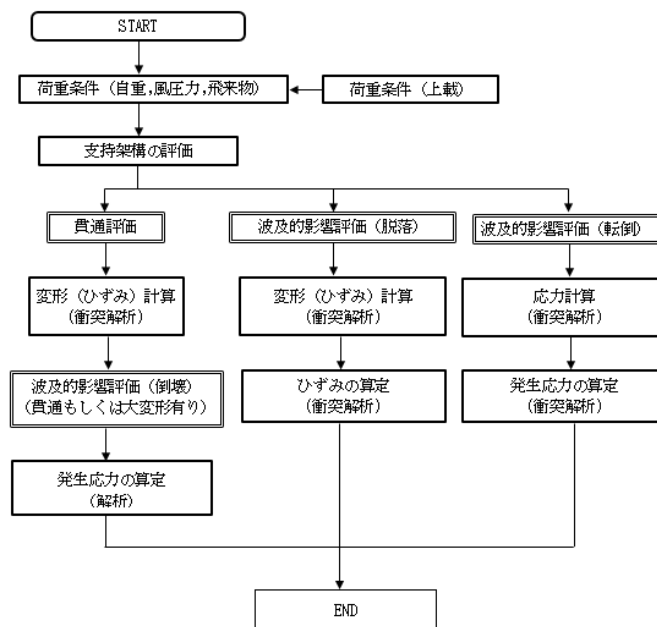
「3.3 支持架構の構造設計」の設計方針に基づき、設計荷重(竜巻)に対し、飛来物を貫通させないために、支持架構部材が破断に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する。

また、竜巻防護対象施設への波及的影響評価として、支持架構を構成する部材が脱落

しないこと及び支持架構が転倒しないことを解析により確認する。

なお、支持架構を構成する部材の貫通もしくは大変形が確認された場合、その影響範囲を確認し、支持架構が倒壊しないことを確認する。

支持架構の評価フローを第4.3-1図に示す。



第4.3-1図 支持架構の評価フロー

(1) 貫通評価

設計荷重(竜巻)に対し、支持架構を構成する部材が飛来物を貫通させないために、支持架構部材が破断に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する。評価方法はFEMを用いた解析とする。

(2) 波及的影響評価

設計荷重(竜巻)に対し、竜巻防護対策設備の架構が脱落、倒壊及び転倒により、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないことを解析により確認する。

a. 脱落評価

設計荷重(竜巻)に対し、支持架構の接続部は十分な強度を有し、部材の脱落を生じさせないために、接続部が破断に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する。評価方法はFEMを用いた解析とする。

b. 倒壊評価

「(1) 貫通評価」において、部材の貫通もしくは大変形が確認された場合、支持架構は、当該部位を欠損した状態で構造健全性が維持されていることを確認する。評価方法はFEMを用いた解析とする。

c. 転倒評価

設計荷重(竜巻)に対し、支持架構の柱脚部は十分な強度が確保されていることを確認する。評価方法はFEMを用いた解析とする。

5. 許容限界

「4. 竜巻防護対策設備の構成要素の評価方針」を踏まえ、竜巻防護対策設備の構成要素ごとの設計に用いる許容限界を設定する。

5.1 防護ネットの許容限界

5.1.1 許容限界の設定

(1) 強度評価

防護ネットは、設計荷重(竜巻)に対する評価を行うため、破断せず、荷重が作用するとしても飛来物防護ネットが内包する竜巻防護対象施設に設計飛来物を衝突させないために、防護ネットの主要な部材が、破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを許容限界として設定する。

防護ネットのうちネット、ワイヤロープ、接続治具(支持部及び固定部)、接続部及び取付けボルトの許容限界を以下のとおり設定する。

a. ネット

ネットの許容限界は、吸収エネルギー評価及び破断評価(引張荷重評価)において設定する。

吸収エネルギー評価は、飛来物によりネットに与えられる全エネルギーがネットの限界吸収エネルギー以下であることにより、ネットが破断しないことを確認することから、ネットの限界吸収エネルギーを許容限界とする。

破断評価は、ネットが破断を生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する評価方針としている。ネットは、飛来物の衝突に対し、塑性変形することでエネルギーを吸収し、飛来物を捕捉することから、飛来物による衝撃荷重に対し、ネットの許容引張荷重を許容限界とする。ネットの許容限界を第5.1.1-1表に示す。

第5.1.1-1表 ネットの許容限界

許容限界	
吸収エネルギー評価の許容値	破断評価の許容値
n枚のネット及び1枚の補助ネットを考慮した限界吸収エネルギー	ネット設置枚数を考慮した総交点強度
E_{max} (注1)	F_n (注2)

注記(注1)：ネット1目合い毎の吸収エネルギーのネット総和より算出

(注2)：ネット交点の引張試験から求めた破断荷重からネット枚数及び有効交点数を乗じ算出

b. ワイヤロープ

ワイヤロープの端部にはワイヤグリップを取付ける。一般にワイヤロープの破断荷重の値はメーカーの引張試験によれば J I S 規格値よりも大きいので、ワイヤロープの許容限界は、J I S に規定する破断荷重にワイヤグリップ効率 C_C を乗じた値とする。ワイヤロープの許容限界を第5.1.1-2表に示す。

第5.1.1-2表 ワイヤロープの許容限界

規格値	許容値
F_{bw} ^(注1)	C_C ^(注2) ・ F_{bw} ^(注1)

注記(注1)：JIS G 3549の破断荷重

(注2)：JIS B 2809及び(社)日本道路協会「小規模吊橋指針・同解説」

c. 接続治具(支持部)

(a) ターンバックル

ワイヤロープの強度評価は、ワイヤロープから受ける引張荷重に対し、破断が生じない十分な強度を有することを確認する評価方針としていることを踏まえ、ターンバックルについては J I S に規定する保証荷重の1.5倍を許容限界とする。ターンバックルの許容限界を第5.1.1-3表に示す。

第5.1.1-3表 ターンバックル及びシャックルの許容限界

評価部位	許容荷重
ターンバックル	P_4 ^(注)

注記 (注)：JIS A 5540の保証荷重の1.5倍

(b) シャックル

シャックルの強度評価は、ワイヤロープから受ける引張荷重に対し、破断が生じない十分な強度を有することを確認する評価方針としていることを踏まえ、シャックルについては試験結果に基づくメーカー保証値を許容限界とする。シャックルの許容限界を第5.1.1-4表に示す。

第5.1.1-4表 ターンバックル及びシャックルの許容限界

評価部位	許容荷重
シャックル	P_5 ^(注)

注記 (注)：試験結果に基づくメーカー保証値

d. 接続治具(固定部)

(a) 隅角部固定ボルト

隅角部固定ボルトの破断評価は、破断が生じないように十分な余裕を持った強度を有することを確認する評価方針としていることを踏まえ、「鋼構造設計規準(2005改定)」に基づいた短期での許容応力を許容限界とする。

接続治具の許容限界を第5.1.1-5表に示す。

第5.1.1-5表 隅角部固定ボルトの許容限界

部位	隅角部固定ボルト
応力分類	せん断
許容限界	$1.5f_s$ ^(注)

(注) f_s : 許容せん断応力「鋼構造設計規準」(2005改定)に基づき算出する。

(b) 取付プレート

取付プレートの破断評価は、取付けプレートに、破断が生じないように十分な余裕を持った強度を有することを確認する評価方針としていることを踏まえ、「鋼構造設計規準(2005改定)」に基づいた短期での許容応力を許容限界とする。

防護ネット(支持架構に直接設置)の取付プレートは支持架構に溶接されているため、溶接部が存在するが、同じ荷重が作用することから、許容荷重の小さいプレート本体を評価対象とする。

防護ネット(鋼製柱)の取付プレートは、プレート本体、プレートと鋼製柱、プレートとリブ及び鋼製柱とリブの溶接部が存在するが、強度評価上、溶接脚長が短い取付けプレートとリブの溶接部及びプレート本体を評価対象部位とする。

取付プレート(防護ネット(支持架構に直接設置))の許容限界を第5.1.1-6表、取付プレート(防護ネット(鋼製柱))の許容限界を第5.1.1-7表に示す。

第5.1.1-6表 取付プレート(防護ネット(支持架構に直接設置))の許容限界

部位	取付けプレート本体
応力分類	せん断
許容限界	$1.5f_s$ ^(注)

(注) f_s : 許容せん断応力「鋼構造設計規準」(2005改定)に基づき算出する。

第5.1.1-7表 取付プレート(防護ネット(鋼製棒))の許容限界

部位	取付けプレート本体及び溶接部
応力分類	せん断
許容限界	$1.5f_s$ ^(注)

(注) f_s : 許容せん断応力「鋼構造設計規準」(2005改定)に基づき算出する。

e. 接続部

(a) 取付ボルト

取付ボルトの破断評価は、取付ボルトに破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する評価方針としていることを踏まえ、「鋼構造設計規準(2005改定)」に基づいた短期での許容応力を許容限界とする。

取付ボルトの許容限界を第5.1.1-8表に示す。

第5.1.1-8表 取付ボルトの許容限界

部位	取付ボルト
応力分類	引張
許容限界	$1.5f_t$ ^(注)

(注) f_t : 許容引張応力「鋼構造設計規準」(2005改定)に基づき算出する。

(b) 押さえボルト

押さえボルトの破断評価は、押さえボルトに、破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する評価方針としていることを踏まえ、「鋼構造設計規準(2005改定)」に基づいた短期での許容応力を許容限界とする。

押さえボルトは支持架構に溶接されているため、溶接部が存在するが、同じ荷重が作用することから、許容荷重の小さいボルト部を評価対象とする。

押さえボルトの許容限界を第5.1.1-9表に示す。

第5.1.1-9表 押さえボルトの許容限界

部位	押さえボルト
応力分類	圧縮
許容限界	$1.5f_t$ ^(注)

(注) f_t : 許容引張応力「鋼構造設計規準」(2005改定)に基づき算出する。

(2) たわみ評価

防護ネットは、飛来物衝突時にたわんだとしても、飛来物が竜巻防護対象施設に衝突することがないように、十分な離隔を有していることを確認する評価方針としていることを踏まえ、ネットと竜巻防護対象施設の最小離隔距離 L_{min} を許容限界として設定する。

防護ネットのたわみ評価の許容限界を第5.1.1-10表に示す。

第5.1.1-10表 防護ネットのたわみ評価の許容限界

許容限界
ネットと竜巻防護対象施設の最小離隔距離
L_{min}

5.1.2 許容限界の設定方法

(1) 記号の定義

防護ネットのうち、ネットの強度評価における許容値の算出に用いる記号を第5.1.2-1表に示す。

第5.1.2-1表 ネットの強度評価における許容値の算出に用いる記号

記号	単位	定義
a	mm	ネット1目合いの対角寸法
a_s	mm	ネット1目合いの破断変位
b	mm	飛来物の端面の長辺方向寸法
c	mm	飛来物の端面の短辺方向寸法
E_i	kJ	i 番目の列におけるネットの吸収可能なエネルギー
E_{max}	kJ	ネット設置枚数 n を考慮した吸収エネルギー
F_i	kN	飛来物衝突時の i 番目の列における作用力
F_n	kN	ネット設置枚数 n を考慮したネットの総交点強度
F_{50}	kN	50 mm目合いネットの1交点当たりの許容引張荷重
F_{40}	kN	40 mm目合いネットの1交点当たりの許容引張荷重
K	kN/m	ネット1目合いの等価剛性
K_x	kN/m	ネット設置枚数を考慮したネット1目合いの展開方向の1列の等価剛性
K_x'	kN/m	ネット1枚のネット1目合いの展開方向の1列の等価剛性
L_x	m	ネット展開方向寸法
L_y	m	ネット展開直角方向寸法
n	枚	ネットの設置枚数
N_i	個	i 列目のネット展開直角方向目合い数
N_x	個	ネット展開方向目合い数
N_y	個	ネット展開直角方向目合い数
P_i	kN	飛来物衝突時にネットに発生する i 番目の列における張力
X_i	m	i 列目のネットの伸び
δ_i	m	飛来物衝突時の i 番目の列におけるネットのたわみ量
δ_{max}	m	ネットの最大たわみ量
θ_i	deg	i 番目の列におけるネットたわみ角
θ_{max}	deg	ネットの最大たわみ角

(2) ネットの吸収エネルギー評価

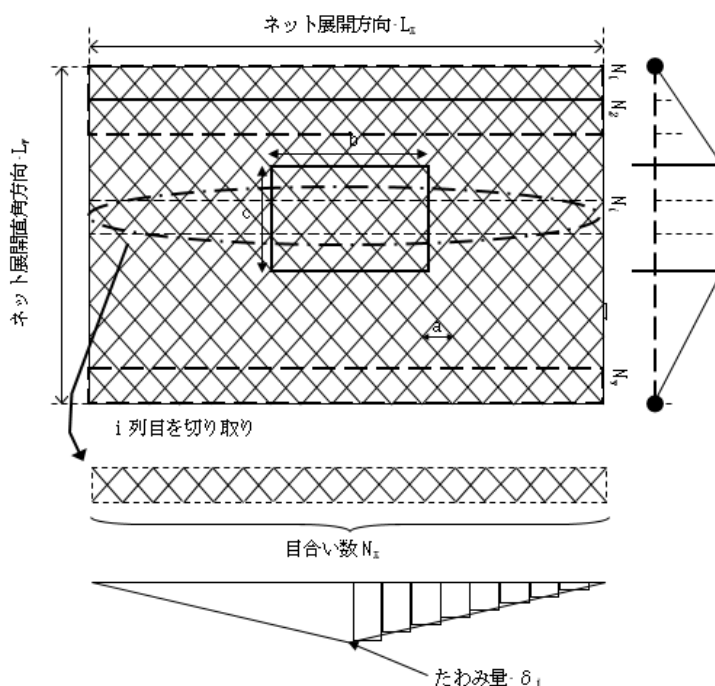
吸収エネルギー評価においては、計算により算出するネットの限界吸収エネルギーがネットに作用するエネルギー以上であることにより、ネットが破断しないことを確認する。ネット1目合いの要素試験の結果から得られる目合い展開方向の限界伸び量によりネットの最大変形角が定まり、ネット最大変形角における吸収エネルギーがネットの有する限界吸収エネルギー E_{max} となる。

限界吸収エネルギーは、複数枚を重ね合わせたネットを一体として扱ったモデル

にて算出する。また、ネットの変形及び吸収エネルギーの分布を考慮したオフセット衝突位置での吸収エネルギー評価の結果、電中研報告書を参照して、ネット最大たわみ時のネットの全長は飛来物のネットへの衝突位置によらずネット最大たわみ時展開方向の長さで一定であり、ネットに発生する張力も一定となることから、飛来物のネットへの衝突位置によらずネットから飛来物への反力も同等となり、オフセット位置への飛来物の衝突時の吸収エネルギーは中央衝突時と同等となる。したがって、吸収エネルギー評価では中央衝突の場合にて評価を行う。

さらに、設計条件の設定において等価剛性の算出方法の影響を裕度として考慮する。評価に用いる等価剛性は、引張試験による荷重-伸び曲線から各々の最大荷重発生時までの最大エネルギーを算出し、これらの平均値と等価な剛性を用いており、平均値と実測値との間で最大5.6%の差があることから、本影響を係数として考慮する。吸収エネルギー評価においては、等価剛性の影響を考慮した係数を限界吸収エネルギーが小さくなるように考慮する。

限界吸収エネルギーは、ネット1目合いの展開方向の1列の等価剛性、展開方向寸法及びたわみ量から、以下のとおり算出される。吸収エネルギー評価におけるネットのモデル図を第5.1.2-1図に示す。



第5.1.2-1図 吸収エネルギー評価におけるネットのモデル図

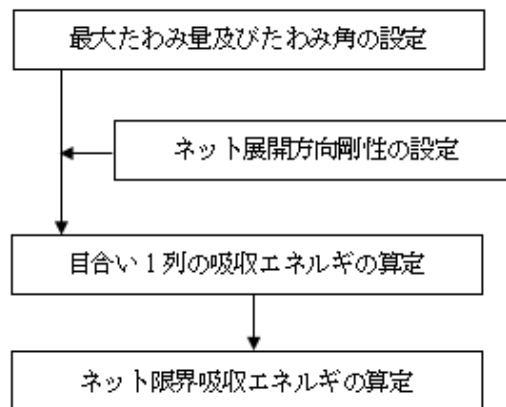
第5.1.2-1図に示すとおりネットの展開方向に1目合いごとに「」で囲った形に帯状に分割し、 N_1 から N_y までの各列が分担するエネルギーを各列のたわみ量から算定し、それらを積算することによりネットの吸収するエネルギーを算出し、ネットが吸収可能な限界吸収エネルギーを算出する。

ただし、中央部の最大たわみ量が発生する列数は、飛来物の寸法及びネット目合いの対角寸法から算出されるネット展開直角方向目合い列数を考慮して設定する。飛来物の端部寸法($b \times c$)及びネット目合いの対角寸法 a を考慮し、最大たわみが発生する場合のネット展開直角方向目合い列数を以下のとおり算出する。ネットの吸収エネルギーが小さくなるよう、目合い列数の算出に用いる飛来物の寸法として値の小さい寸法 c を適用し、最大たわみが生じる目合い列数を少なくすることにより、限界吸収エネルギー量が小さくなるように評価する。

$$\text{ネット展開直角方向目合い列数} = \frac{c}{a}$$

評価モデルとしては、展開方向に1目合いごとに帯状に分割するモデルとしており、限界吸収エネルギー量が小さく算出されるよう、三角形モデルとして評価を実施する。

吸収エネルギー評価の許容限界の算定フローを第5.1.2-2図に示す。

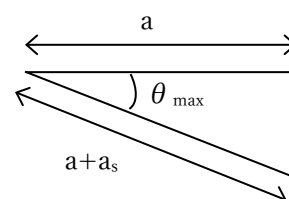


第5.1.2-2図 吸収エネルギー評価の許容限界の算定フロー

ネット1目合いの最大伸び量は、電中研報告書のネット目合いの引張試験から求められ、そこから算出する最大たわみ角から、飛来物が衝突した際の列の最大たわみ量 δ_{max} は次式により算定される。

$$\delta_{max} = \frac{L_x}{2} \cdot \tan(\theta_{max})$$

$$\theta_{max} = \cos^{-1} \left(\frac{a}{a+a_s} \right)$$



ネットを構成するネットの展開方向の目合い数 N_x は、ネット展開方向寸法 L_x 及びネット1目合いの対角寸法 a から求める。展開直角方向の目合い数 N_y は、ネット展開直角方向寸法 L_y 及びネット1目合いの対角寸法 a から求める。ネットを構成する1目合いはそれぞれ K の等価剛性を持っているため、1列当たりバネ定数 K を持つバネを N_x 個直列に接続したものと考えることができる。

そのため、1列当たりの剛性 K_x' は、

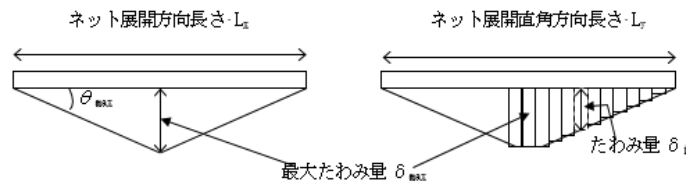
$$N_x = \frac{1000L_x}{a}, \quad N_y = \frac{1000L_y}{a}$$

$$\text{ネット展開方向剛性 } K_x' = \frac{K}{N_x}$$

となる。ただし、 N_x 、 N_y の算出において限界吸収エネルギーの値が小さくなるように N_x は保守的に切り上げ、 N_y は保守的に切り捨てた値を用いる。また、補助ネットはネット0.5枚相当のエネルギー吸収能力があるため、ネット設置枚数を考慮したネット展開方向剛性 K_x は、次式により算出される。

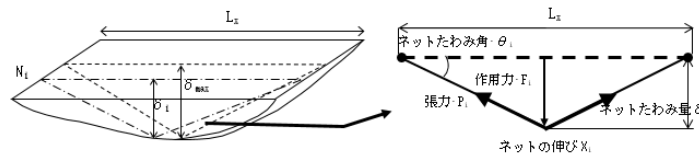
$$K_x = K_x' \cdot (n+0.5)$$

飛来物が衝突しなかった列のたわみ量 δ_i は、最大たわみ量 δ_{max} からネット端部のたわみ量0までの間を、非接触の列の数の分だけ段階的に減少していくと考える。ネットの最大たわみ量と最大たわみ角を第5.1.2-3図に示す。



第5.1.2-3図 ネットの最大たわみ量と最大たわみ角

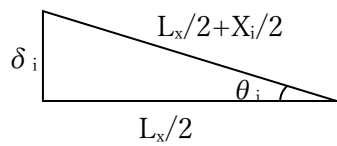
ネットに飛来物が衝突した際のネットにかかる張力を、ネットの剛性及びネットの伸び量から算出する。ネットに作用する力のつり合いを第5.1.2-4図に示す。



第5.1.2-4図 ネットに作用する力のつり合い

i 番目の列におけるネットの張力 P_i は、飛来物の衝突位置の左右を分割して考えると、伸び量は $\frac{X_i}{2}$ 、剛性は $2K_x$ となることから、

$$\begin{aligned}
P_i &= 2K_x \cdot \left(\frac{X_i}{2} \right) \\
&= K_x \cdot X_i \\
&\text{となる。また、作用力 } F_i \text{ は変位量とたわみ量の関係から、} \\
F_i &= 2P_i \cdot \sin(\theta_i) \\
&= 2K_x \cdot X_i \cdot \sin(\theta_i) \\
&= 2K_x \cdot L_x \cdot (\tan(\theta_i) - \sin(\theta_i)) \\
&= 4K_x \cdot \delta_i \cdot \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2}} \right) \cdots (5.1)
\end{aligned}$$



ネットに飛来物が衝突した際のネットにかかる作用力 F_i を積分することにより i 番目の列における吸収エネルギー E_i を次式に示す。

$$\begin{aligned}
E_i &= \int_0^{\delta_i} F_i d\delta_i \\
&= \int_0^{\delta_i} 4K_x \cdot \delta_i \cdot \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2}} \right) d\delta_i \\
&= 2K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \left(\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \cdots (5.2)
\end{aligned}$$

以上から、 n 枚のネット及び1枚の補助ネットを考慮した限界吸収エネルギー E_{\max} は、各列の吸収エネルギー E_i を第1列から第 N_y 列まで積算することにより求められる。

$$\begin{aligned}
E_{\max} &= \sum_{i=1}^{N_y} E_i \\
&= \sum_{i=1}^{N_y} \left(2K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \left(\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \right) \cdots (5.3)
\end{aligned}$$

飛来物衝突時にネットに生じるエネルギー並びに自重、積雪荷重及び風圧力により生じるエネルギーの総量を算出し、等価剛性の算出方法の影響から定められる係数を考慮した n 枚のネット及び1枚の補助ネットから算出される限界吸収エネルギーを E_{\max}' とする。

係数としては、上記を踏まえ $\frac{1}{1.056}$ 倍と定める。

したがって、限界吸収エネルギーの許容限界は、以下のとおりである。

$$E_{\max}' = \frac{1}{1.056} E_{\max}$$

(3) ネットの許容引張荷重の評価

破断評価においては、計算により算出するネットに作用する荷重がネットの素材の持つ破断強度以下であることにより、ネットに破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する。

破断評価モデルを第5.1.2-5図に示す。

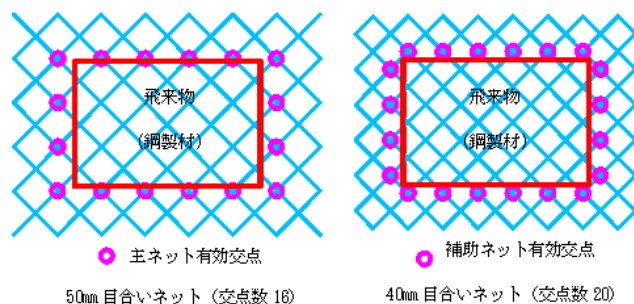
ネットの構造及び飛来物の大きさを考慮し、衝突位置周辺の交点数が最小となるモデル化を行う。衝突位置周辺の交点数はネット1枚あたり16点(主ネット)及び20点(補助ネット)となる。

ネットは、飛来物の衝突に対し、塑性変形することでエネルギーを吸収し、飛来物を捕捉することから、ネット交点の破断試験結果から算出したネット1目合いに作用する引張荷重を安全側に整理したものと全有効交点数から算出される総交点強度を許容限界とする。具体的には、引張強度評価においては、ネット交点に作用する引張荷重を算出するため、電中研報告書を参照してネット交点の引張試験に基づいたネット交点の破断荷重 F_{50} 及び F_{40} に全有効交点数を乗じた総交点強度 F_n を許容限界とする。なお、破断評価では補助ネットの交点数も考慮する。

$$F_n = F_{50} \times 16 \times 2 + F_{40} \times 20 \times 1$$

ここで、等価剛性の算出方法の影響を考慮し、ネットの破断評価における許容荷重を以下の通り算出する。

$$F_n' = \frac{F_n}{1.056}$$



第5.1.2-5図 破断評価モデル図

5.2 防護板(鋼材)の許容限界

5.2.1 衝突評価

飛来物による衝撃荷重に対し、飛来物が竜巻防護対象施設に衝突することを防止するために、飛来物が防護板(鋼材)を貫通しないことを確認する評価方針としてい

ることを踏まえ、計算にて求められる防護板が飛来物の貫通を生じない最小厚さを許容限界として設定する。

また、防護板(鋼材)の接続部について、設計飛来物が衝突したとしても、脱落しないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ、破断ひずみを許容限界として設定する。

5.2.2 許容限界の設定方法

(1) 貫通評価

a. 記号の定義

防護板(鋼材)の貫通限界厚さの算出に用いる記号を第5.1.2-2表に示す。

第5.1.2-2表 BRL式による貫通限界厚さの算定に用いる記号

記号	単位	定義
D	m	飛来物の(等価)直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	飛来物の質量
T	m	貫通限界厚さ(鋼製材)
V	m/s	飛来物の衝突速度(水平)
L	m	飛来物断面の外周長さ

b. 防護板(鋼材)の貫通限界厚さの評価

飛来物が防護板(鋼材)に直接衝突した場合の貫通限界厚さを「タービンミサイル評価について(昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)」で用いられているBRL式を用いて算出する。BRL式を以下に示す。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot V^2}{1.4396 \cdot 10^9 \cdot K^2 \cdot D^2}$$

ここで、等価直径Dは下式のとおり。

$$D = \frac{L}{\pi}$$

等価直径は、「電力中央研究所報告O19003」(以下「O19003」という。)から「衝突部の周長と等価な周長の円の直径」として算出する。O19003における、設計飛来物である鋼製材のような四角形衝突に対する貫通限界厚さ付近の実験データが不十分であることを考慮し、BRL式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率(0.97)で除した値を貫通限界厚さとする。

(2) 波及的影響評価

a. 記号の定義

取付ボルトの許容限界の算出に用いる記号を第5.1.2-3表に示す。

第5.1.2-3表 取付ボルトの許容限界の算定に用いる記号

記号	単位	定義
A_b	m^2	取付ボルトの有効断面積
P_{ua}	N	取付ボルト1本あたりの引張耐力
q_{ua}	N	取付ボルト1本あたりのせん断耐力
S_u	MPa	取付ボルトの引張強さ

b. 防護板(鋼材)取付ボルトの破断評価

飛来物による衝撃荷重に対し、防護板(鋼材)が脱落しないことを確認する評価方針としていることを踏まえ、取付ボルトに作用する各方向荷重と破断耐力との比率により破断判定を行い、取付ボルトが2本以上破断せずに残ることを許容限界とする。

取付ボルトの許容限界は、「鋼構造接合部設計指針」に基づき、下式より算出する。

$$\left(\frac{p_u}{p_{ua}}\right)^2 + \left(\frac{q_u}{q_{ua}}\right)^2 \leq 1$$

$$p_{ua} = S_u \times A_b$$

$$q_{ua} = 0.6 \cdot S_u \times A_b$$

5.3 支持架構の許容限界

5.3.1 衝突評価

設計荷重(竜巻)に対し、支持架構が飛来物を貫通させないために、支持架構部材が終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえて、部材のひずみが破断ひずみを超えないことを許容限界として設定する。破断ひずみは、JISに規定されている伸びの下限値を基に設定するが、「Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Design」(以下「NEI07-13」という。)において、TF(多軸性係数)を2とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕としてTF= 2 を考慮して設定する。

5.3.2 支持架構全体の波及的影響評価

架構全体の評価は、飛来物が衝突した際の衝撃荷重により、支持架構を構成する部材の接続部が破断し脱落が生じないこと、倒壊に至るような変形が生じないこと及び柱脚部が破損し転倒しないことを確認する方針としていることを踏まえ、以下の通り許容限界を設定する。

(1) 脱落評価

設計飛来物が支持架構を構成する部材に衝突した際の局所的なひずみの影響を考慮し、ひずみ量を評価し、部材の接続に破断が生じないことを確認する評価方針

としていることを踏まえ、破断ひずみを許容限界として設定する。破断ひずみは、JISに規定されている伸びの下限値を基に設定するが「NEI 07-13」において、TF(多軸性係数)を2.0とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕としてTF=2.0を考慮して設定する。最大ひずみが破断ひずみを超える場合には、破断箇所を確認し全断面に発生しないことを確認する。

(2) 倒壊評価

支持架構を構成する部材のうち、飛来物の衝突により大変形した部材を欠損させた状態で構造が自立可能であることを確認することを踏まえ、終局強度に十分な余裕を考慮した許容応力を許容限界とする。

(3) 転倒評価

設計荷重(竜巻)に対し、柱脚部が構造健全性を維持することを確認することを踏まえ、柱脚部は十分な余裕を持った強度を許容限界とする。具体的には、「鋼構造設計規準」に基づいた短期の1.1倍での許容応力を許容限界とする。

5.4 防護板(鉄筋コンクリート)の許容限界

(1) 評価方針

防護板(鉄筋コンクリートの申請に合わせて、次回以降に詳細で説明する。)

(2) 許容限界の設定方法

防護板(鉄筋コンクリートの申請に合わせて、次回以降に詳細で説明する。)

6. 強度評価方法

評価手法は、以下に示す解析法により、適用性に留意の上、規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- ・定式化された評価式を用いた解析法
- ・FEM等を用いた解析法

6.1 防護ネットの強度評価

(1) 評価方針

- a. ネットの限界吸収エネルギーの算出においては、ネットの展開直角方向に1目合い毎に帯状に分割し、各列が分担するエネルギーを各列のたわみ量から算定し、それらを積算することによりネットの吸収するエネルギーを算出する。
- b. ネットの限界吸収エネルギーの算出においては、ネットを構成する1目合いはそれぞれKの等価剛性を持っているため、1列当たりバネ定数Kを持つバネを N_x 個直列に接続したものとする。
- c. 自重、風圧力及び積雪荷重によるネットに作用する荷重は、ネット全体に等分布荷重として作用するものであり、ネット展開直角方向に対しては荷重が均一となるよう作用させる。
- d. 一方、ネット展開方向に対しては、設計モデル上均一に荷重を作用させることが困難であるため、保守的にエネルギー量が大きくなるよう、自重、風圧力及び積雪荷

重によりネットに作用する荷重 F_w が全てネット展開方向 L_x の中央に作用したとして、ネットにかかる作用力の式を用いて1列当たりの自重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギーを算出し、列数倍することでネット全体が自重、風圧力及び積雪荷重による荷重により受けるエネルギーを算出する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価を第6.1-1表に示す。

第6.1-1表 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位		評価内容
ネット		<ul style="list-style-type: none"> ・限界吸収エネルギー ・引張 ・たわみ
ワイヤロープ		<ul style="list-style-type: none"> ・引張 ・たわみ*
接続治具 (支持部)	ターンバックル	・引張
	シャックル	・引張
接続治具 (固定部)	隅角部固定ボルト	・せん断
	取付プレート	・せん断
接続部	取付ボルト	・引張
	押さえボルト	・圧縮

注記 *：ネット全体のたわみ評価に用いる。

(3) 強度計算

a. 記号の定義

ネットの強度評価に用いる記号を第6.1-2表に示す。

第6.1-2表 強度評価に用いる記号(1/3)

記号	単位	定義
A_{b1}	mm^2	隅角部固定ボルト有効断面積
A_{b2}	mm^2	取付金物の取付ボルト有効断面積
A_{b3}	mm^2	取付金物の押さえボルト有効断面積
A_{s1}	mm^2	取付プレート(支持架構設置)の有効せん断面積
A_{s2}	mm^2	取付プレート(鋼製柱設置)の有効せん断面積
a_w	mm	取付プレート溶接部ののど厚
E_f	kJ	飛来物衝突時にネットに作用するエネルギー
E_i	kJ	i番目の列におけるネットの吸収可能なエネルギー
E_{\max}	kJ	ネット設置枚数nを考慮した吸収エネルギー
E_t	kJ	ネット設置枚数nを考慮したネットに作用する全エネルギー
E_w	kJ	自重, 積雪荷重, 風圧力によりネットに作用するエネルギー
F_a	kN	飛来物衝突時にネットが受ける最大衝撃荷重
F_a'	kN	衝突位置を考慮した飛来物衝突時にネットが受ける衝撃荷重
F_p	kN	ワイヤロープにより支持部に作用する荷重
F_{p1}	kN	1枚目ネットのワイヤロープにより支持部に作用する荷重
F_{p2}	kN	2枚目ネットのワイヤロープにより支持部に作用する荷重
F_w	kN	自重, 積雪荷重, 風圧力によりネットに作用する荷重
F_x	kN	取付金物及び鋼製柱に作用する展開方向荷重
F_y	kN	取付金物及び鋼製柱に作用する展開直角方向荷重
F_z	kN	取付金物及び鋼製柱に作用する鉛直方向荷重
H	mm	取付金物の取付け面から緩衝装置中心までの距離
K_x	kN/m	ネット設置枚数を考慮したネット1目合いの展開方向の1列の等価剛性
L_1	mm	取付金物のモーメント支点からボルトまでの距離
L_2	mm	取付金物のモーメント支点から緩衝装置中心までの距離
L_3	mm	鋼製柱下端から緩衝装置中心までの距離
L_4	mm	鋼製柱の緩衝装置中心から取付ボルト群中心までの距離
L_b	m	変形前のワイヤロープ長さ
L_{pw}	mm	取付プレート溶接部の有効長さ

第6.1-2表 強度評価に用いる記号(2/3)

記号	単位	定義
L_{p1}	mm	取付プレート(支持架構設置)取付け孔位置寸法
L_{p2}	mm	取付プレート(支持架構設置)取付け孔位置寸法
L_{p3}	mm	取付プレート(鋼製枠設置)長さ(縦方向)
L_{p4}	mm	取付プレート(鋼製枠設置)長さ(横方向)
L_{p5}	mm	取付プレート(鋼製枠設置)取付け孔位置寸法
L_x	m	ネット展開方向寸法
L_y	m	ネット展開直角方向寸法
L_z	m	ワイヤロープの全長
m	kg	飛来物の質量
M_p	kN・mm	鋼製枠に発生するモーメント
N_y	個	ネット展開直角方向目合い数
n	枚	ネット設置枚数
n_2	個	隅角部固定ボルト本数
n_3	個	取付金物の取付ボルト評価対象ボルト本数
P_s	kN	ネットへの積雪により作用する荷重
P_w	kN	ネットの自重により作用する荷重
P_1	kN	取付金物の取付ボルトに作用する引張荷重
S	m	変形後のワイヤロープ長さ
S_x	m	ネット展開方向と平行に配置されているワイヤロープの変形後の長さ
S_y	m	ネット展開直角方向と平行に配置されているワイヤロープの変形後の長さ
S_w	mm	取付プレート(鋼製枠設置)溶接部の溶接脚長
T'	kN	飛来物のネットへの衝突によりn枚のネットに発生する張力の合計の最大値
T_1	kN	飛来物のネット中央への衝突により1枚のネットのワイヤロープ1本に作用する張力の最大値
T_1'	kN	衝突位置を考慮した飛来物のネットへの衝突により1枚目のネットのワイヤロープ1本に作用する張力の最大値
T_T	kN	全ワイヤロープの合計張力
t_2	mm	取付プレート(支持架構設置)の板厚
t_3	mm	取付プレート(鋼製枠設置)の板厚
v_1	m/s	飛来物衝突時の速度
W_w	kN	風圧力によりネットに作用する荷重
Z_y	mm ³	鋼製枠の断面係数(弱軸)
δ	m	飛来物衝突時のネットの最大たわみ量
δ'	m	飛来物衝突時のワイヤロープの変形による伸び量

第6.1-2表 強度評価に用いる記号(3/3)

記号	単位	定義
δ_a	m	自重, 積雪荷重及び風圧力による荷重によるたわみ量
δ_i	m	飛来物衝突時のi番目の列におけるネットのたわみ量
δ_t	m	ワイヤロープのたわみ量を含めたネット全体のたわみ量
δ_t'	m	等価剛性の導出過程を踏まえた係数を考慮したネット全体の最大たわみ量
δ_w	m	ワイヤロープのたわみ量
δ_{wx}	m	ネット展開方向に平行に配置されているワイヤロープの変形後のたわみ量
δ_{wy}	m	ネット展開直角方向に平行に配置されているワイヤロープの変形後のたわみ量
ε	-	ワイヤロープのひずみ量
θ	deg	飛来物衝突時のネットのたわみ角
θ_{h1}	deg	ネット展開方向に平行なワイヤロープの水平投影たわみ角
θ_{h2}	deg	ネット展開直角方向に平行なワイヤロープの水平投影たわみ角
θ_i	deg	i番目の列におけるネットたわみ角
θ_{w1}	deg	ネット展開方向に平行なワイヤロープのたわみ角
θ_{w2}	deg	ネット展開直角方向に平行なワイヤロープのたわみ角
θ_x	deg	飛来物衝突時のネット展開方向に平行のネットたわみ角
θ_y	deg	飛来物衝突時のネット展開直角方向に平行のネットたわみ角
σ_b	MPa	鋼製枠に作用する曲げ応力
σ_{b1}	MPa	取付金物の取付ボルトに発生する引張応力
σ_{b2}	MPa	取付金物の押さえボルトに発生する圧縮応力
σ_c	MPa	鋼製枠に作用する軸方向圧縮応力
τ_{p1}	MPa	取付プレート(支持架構設置)に発生するせん断応力
τ_{p2}	MPa	取付プレート(鋼製枠設置)に発生するせん断応力
τ_s	MPa	隅角部固定ボルトに発生するせん断応力
τ_w	MPa	取付プレート(鋼製枠設置)溶接部に発生するせん断応力
ϕd_1	mm	取付プレート(支持架構設置)の孔径
ϕd_2	mm	取付プレート(鋼製枠設置)の孔径

b. 吸収エネルギー評価

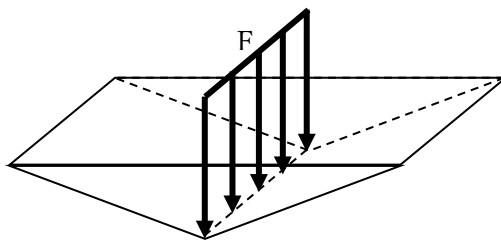
吸収エネルギー評価においては、電力中央研究所の評価式を参照して、ネットが異方性材料であることを考慮した吸収エネルギー量算定のモデル化を行い、自重、積雪荷重、風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重によるエネルギーがネットの有する限界吸収エネルギーを下回ることを確認する。

(5.3)式より、 E_{\max} は以下のとおりである。

$$E_{\max} = \sum_{i=1}^{N_y} \left(2K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \left(\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \right)$$

自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によりネットに作用する荷重は、ネット全体に等分布荷重として作用するものであるため、実現象に合わせネット展開直角方向に対しては荷重が等分布となるよう作用させる。一方、ネット展開方向に対しては、評価モデル上の制約により均一に荷重を作用させることが困難であるため、ネットに作用するエネルギーが保守的に大きくなるよう、 F_w が全てネット展開方向 L_x の中央に作用したとして、ネットにかかる作用力の式を用いて展開方向の1列当たりの自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギーを算出し、列数倍することでネット全体が自重、積雪荷重及び風圧力による荷重により受けるエネルギーを算出する。自重、積雪荷重及び風圧力の作用イメージを第6.1-1図に示す。

評価条件である K_x 及び L_x 並びに自重、積雪荷重及び風圧力による荷重から算出する F_w を(5.1)式に代入して数値計算を実施することにより、自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によるたわみ量 δ_a が算出される。



第6.1-1図 自重、積雪荷重及び風圧力の作用イメージ

$$F_w = N_y \cdot 4K_x \cdot \delta_a \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4\delta_a^2 + L_x^2}} \right)$$

但し、 $F_w = P_w + W_w + P_s$

上式にて算出した δ_a を(5.3)式において、展開方向の1列当たりの自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギーを列数倍する以下の式に

代入することにより、自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギー E_w が算出される。

$$E_w = N_y \cdot \left(2K_x \cdot \delta_a^2 - K_x \cdot L_x \left(\sqrt{4\delta_a^2 + L_x^2} - L_x \right) \right)$$

飛来物の衝突によりネットに作用するエネルギー E_f としては、衝突時の飛来物の運動エネルギーとして、以下より求められる。

$$E_f = \frac{1}{2} m v_1^2$$

飛来物の飛来速度は、ネット設置方向により水平設置の場合は鉛直の飛来速度、鉛直設置の場合は水平の飛来速度にて算出する。斜め方向から衝突した場合の飛来速度の水平方向速度成分及び鉛直方向速度成分は、評価に用いる水平最大飛来速度及び鉛直最大飛来速度を下回る。また、飛来物がネットに対して斜め方向から衝突する場合は、飛来物が衝突後に回転し、ネットと飛来物の衝突面積が大きくなるため、ネットに局部的に作用する荷重は小さくなる。したがって、飛来物の衝突方向は、ネットに局部的に作用する荷重が大きくなるようにネットに対して垂直に入射するものとし、その飛来速度はネット設置方向に応じ、水平設置の場合は鉛直最大飛来速度、鉛直設置の場合は水平最大飛来速度を用いる。

以上から、 n 枚のネット及び1枚の補助ネットを考慮したネットに作用する全エネルギー E_t が以下のとおり算出される。

$$E_t = E_f + E_w \quad \dots (6.1)$$

c. 破断評価

(a) ネットの引張荷重評価

ネットに飛来物が衝突した際に生じる衝撃荷重の最大値 F_a は、「2.3 荷重及び荷重の組合せ」にて算出した(2.8)式のたわみ量と飛来物による衝撃荷重の関係式を用いて算出する。

飛来物の衝突による荷重に加え、自重、積雪荷重及び風圧力による荷重を考慮するため、 E_f を E_t と置き換えて、(6.1)式より、

$$F_a = \frac{8E_t}{3 \cdot \delta}$$

となる。

E_t としては、(6.1)式に基づいて飛来物による運動エネルギー E_f 並びに自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギー E_w から算出したネットに作用する全エネルギー量を代入する。 δ としては、たわみ評価で算出する飛来物が衝突する場合のネットの最大たわみ量を代入し、 F_a を算出する。

ここで、オフセット衝突による衝撃荷重の増加分を踏まえた係数1.22を考慮し、衝撃荷重の最大値 F_a' は

$$F_a' = F_a \cdot 1.22$$

と算出される。

(b) ワイヤロープの破断評価

破断評価における衝撃荷重と、ネットとワイヤロープの接続構造からワイヤロープに作用する荷重を導出する。

ワイヤロープの設計において、ワイヤロープに発生する荷重として以下を考慮する。

- ① ネットの自重により作用する荷重
- ② 風圧力及び積雪荷重によりネットに作用する荷重
- ③ 飛来物の衝突によりネットに作用する衝撃荷重

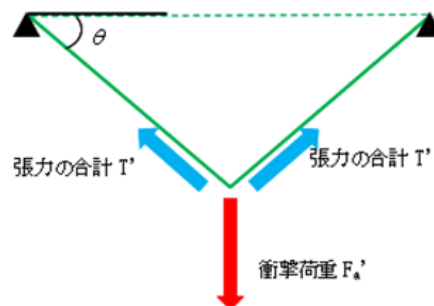
ネットは、電中研報告書と同様に2本のワイヤロープをL字に設置し、さらにワイヤロープが緩衝材により拘束されない構造としており、衝突試験における実測値が包絡されることを確認している評価式を用いて評価を実施する。ネットに発生する荷重のつり合いのイメージ図を第6.1-2図に示す。

自重、積雪荷重、飛来物の衝撃荷重及び風圧力による荷重によりネットに作用する衝撃荷重の最大値 F_a' が集中荷重として作用するとしてモデル化すると、飛来物が衝突する場合のネット n 枚及び補助ネット1枚に発生する張力の合計の最大値 T' は、第6.1-2図の力のつり合いより以下のとおり算出される。

$$T' = \frac{F_a'}{2 \sin \theta}$$

θ は以下の式で求められる。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2 \delta}{L_x}$$



第6.1-2図 ネットに発生する荷重のつり合い

各辺のワイヤロープは結合されていることから張力が一定となるため、ワイヤロープ1本が負担する張力は等分されると設定する。電中研報告書を参照すると、ネット n 枚及び補助ネット1枚を重ねて設置する場合、補助ネットを設置したネットのワイヤロープに作用する張力は、その他のネットの張力の1.5

倍となることを考慮すると、ネットn枚及び補助ネット1枚を重ねて設置する場合、1枚のネットのワイヤロープに発生する張力の最大値 T_1' は、

$$T_1' \cdot 2 + \frac{2 \cdot 2}{3} T_1' \cdot (n-1) = T'$$

$$T_1' = \frac{3}{4n+2} T' = \frac{3}{4(2n+1)} \cdot \frac{F_a'}{\sin \theta}$$

と算出される。

また、全ワイヤロープの合計張力 T_T は、

$$T_T = \frac{T'}{2}$$

算出される。

ネットに対して飛来物がオフセット衝突した場合においても、各ワイヤロープに対して均等に張力が発生することが衝突試験により確認されており、算出結果は飛来物の衝突位置によらず適用可能である。

(c) 接続治具(支持部)の破断評価

イ. ターンバックル

ターンバックルの評価については、以下の評価を実施する。

ターンバックルに作用するワイヤロープに発生する張力の最大値が、ターンバックルの許容限界未満であることを確認する。

ロ. シャックル

シャックルの評価については、以下の評価を実施する。

シャックルに作用するワイヤロープに発生する張力の最大値が、シャックルの許容限界未満であることを確認する。

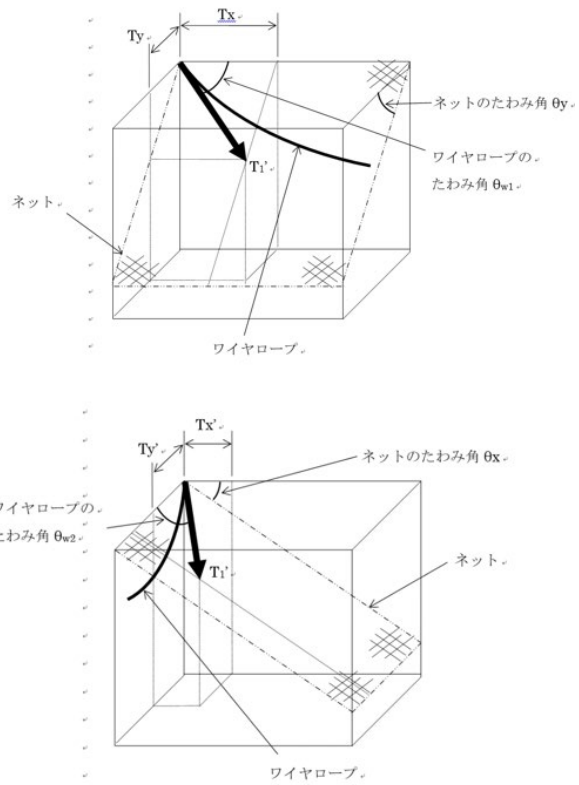
(d) 接続治具(固定部)の破断評価

イ. 隅角部固定ボルト

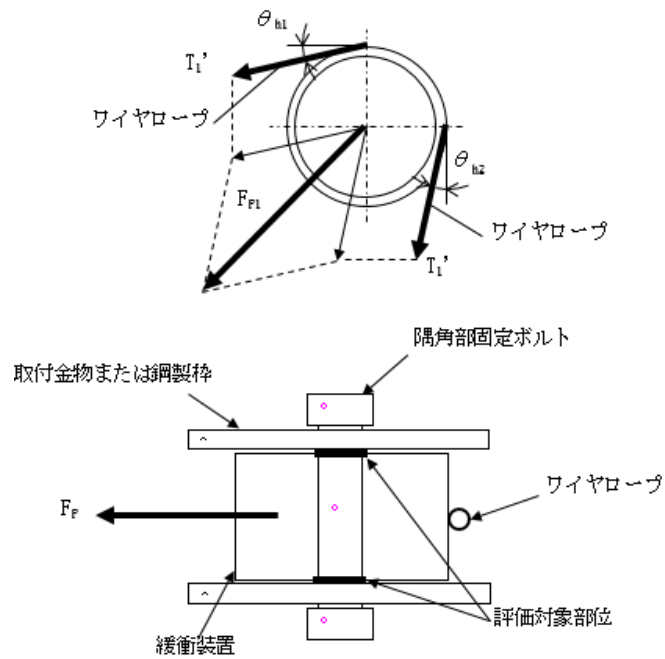
ワイヤロープは、設置するネット枚数に応じて設置するため、隅角部固定ボルトにかかる応力は、ネット枚数毎に評価する。

ここで、ワイヤロープはたわみにより緩衝装置に対して θ_{h1} 、 θ_{h2} の水平投影たわみ角を有することから、隅角部固定ボルトへ作用する荷重にはこのたわみ角を考慮する。

ネットのたわみとワイヤロープのたわみ角の関係を第6.1-3図に、隅角部固定ボルトの荷重状態を第6.1-4図に示す。



第6.1-3図 ネットのたわみとワイヤロープのたわみ角の関係



第6.1-4図 隅角部固定ボルトの荷重状態

隅角部固定ボルトに発生するせん断応力を力の釣合いの関係から以下の評価式を用いて算出する。

ネット展開方向ワイヤロープから発生する各方向の荷重、 T_x 及び T_y は、以下のとおりとなる。

$$Tx = Tl' \cos \theta_{w1}$$

$$Ty = Tl' \sin \theta_{w1} \cdot \cos \theta_y$$

ただし、 θ_y 、 θ_{w1} は以下の式で求められる。

$$\theta_y = \tan^{-1} \left(\frac{2 \cdot \delta}{L_y} \right)$$

$$\theta_{w1} = \cos^{-1} \frac{1}{\sqrt{1+16 \left(\frac{\delta_{wx}}{L_x} \right)^2}}$$

また、ネット展開直角方向ワイヤロープから発生する各方向の荷重、 T_x' 及び T_y' は以下の関係となる。

$$Tx' = Tl' \sin \theta_{w2} \cdot \cos \theta_x$$

$$Ty' = Tl' \cos \theta_{w2}$$

ただし、 θ_x 、 θ_{w2} は以下の式で求められる。

$$\theta_x = \tan^{-1} \left(\frac{2 \cdot \delta}{L_x} \right)$$

$$\theta_{w2} = \cos^{-1} \frac{1}{\sqrt{1+16 \left(\frac{\delta_{wy}}{L_y} \right)^2}}$$

隅角部へ作用するX方向及びY方向への合成荷重は

$$Fx = Tx + Tx'$$

$$Fy = Ty + Ty'$$

より求まる。

1 本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重は

$$Fp1 = \sqrt{Fx^2 + Fy^2}$$

より求まる。

2 本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重は

$$Fp2 = Fp1 / 1.5$$

より求まる。

ワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重 F_p は

$$F_p = F_{p1} + F_{p2}$$

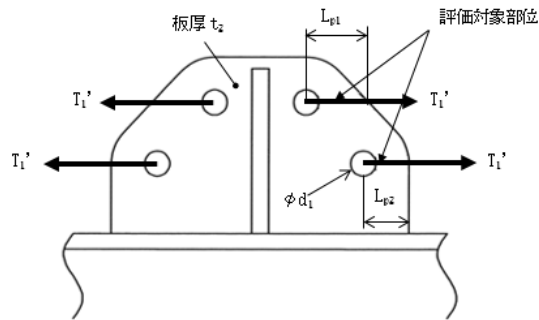
以上より，隅角部固定ボルトに発生するせん断応力 τ_s は，

$$\tau_s = \frac{F_p}{2 \cdot n_2 \cdot A_b}$$

ロ. 取付プレート

① 取付プレート(支持架構設置)

飛来物がネットに衝突する場合にネット取付部への衝撃荷重は，ワイヤロープの引張荷重 T_1' として作用し，取付プレートにせん断応力が発生するため，せん断応力評価を実施する。取付プレートを第6.1-5図に示す。



第6.1-5図 取付プレート(支持架構設置)

取付プレートの有効せん断面積 A_{s1} は，

$$A_{s1} = 2 \cdot \left(\text{Min}(L_{p1}, L_{p2}) - \frac{d_1}{2} \right) \cdot t_2$$

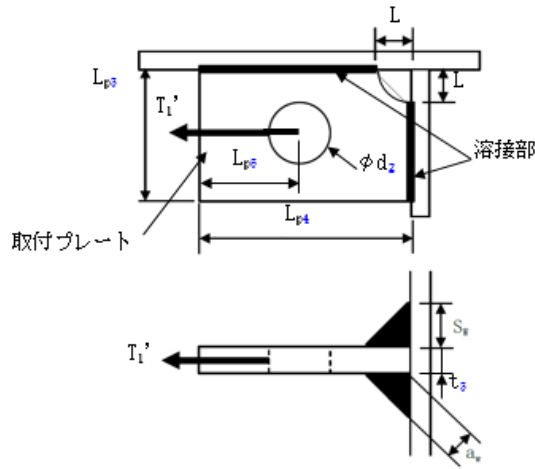
取付プレートに発生するせん断応力 τ_{p1} は，

$$\tau_{p1} = \frac{T_1'}{A_{s1}}$$

となる。

② 取付プレート(鋼製枠設置)

飛来物がネットに衝突する場合にネット取付部への衝撃荷重は，ワイヤロープの引張荷重 T_1' として作用し，取付プレート及び隅肉溶接部にせん断応力が発生するため，せん断応力評価を実施する。取付プレート及び溶接部を第6.1-6図に示す。



第6.1-6図 取付プレート(鋼製枠設置)

溶接部の有効長さ L_{pw} は、

$$L_{pw} = L_{p3} - L - 2 \cdot S_w + L_{p4} - L - 2 \cdot S_w$$

溶接部に発生するせん断応力 τ_w は、

$$\tau_w = \frac{T_1'}{2 \cdot a_w \cdot L_{pw}}$$

ここで、溶接部ののど厚 a_w は以下により求められる。

$$a_w = \frac{S_w}{\sqrt{2}}$$

取付プレートの有効せん断面積 A_{s2} は、

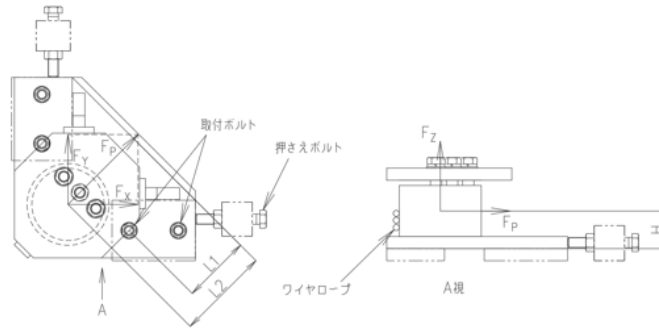
$$A_{s2} = 2 \cdot \left(L_{p5} - \frac{d_2}{2} \right) \cdot t_3$$

取付プレートに発生するせん断応力 τ_{p2} は、

$$\tau_{p2} = \frac{T_1'}{A_{s2}}$$

(e) 接続部の破断評価

飛来物がネットに衝突するとワイヤロープを介して取付金物に荷重 F_x , F_y , F_z が作用し、取付ボルトに引張応力が発生するため、引張応力評価を実施する。また、押さえボルトには圧縮応力が発生するため、圧縮応力評価を実施する。取付金物を第6.1-7図に示す。



第6.1-7図 取付金物

取付ボルトへ作用する荷重 P_1 は、緩衝装置中心部に生じるモーメントより、以下の式で求められる。

$$P_1 = \frac{F_p \cdot H + F_z \cdot L_2}{L_1}$$

ここで、

$$F_z = T_T \cdot \sin \theta_{w1} \cdot \sin \theta_y + T_T \cdot \sin \theta_{w2} \cdot \sin \theta_x$$

取付ボルトに生じる引張応力 σ_{b1} は、動的倍率を踏まえた係数1.52を考慮し、

$$\sigma_{b1} = \frac{P_1 \cdot 1.52}{n_3 \cdot A_{b2}}$$

また、押さえボルトに生じる圧縮応力 σ_{b2} は、動的倍率を踏まえた係数1.52を考慮し、

$$\sigma_{b2} = \frac{\text{Max}(F_x, F_y) \cdot 1.52}{A_{b3}}$$

ここで、

$$F_x = T_T \cdot \sin \theta_1 + T_T \cdot \cos \theta_2$$

$$F_y = T_T \cdot \cos \theta_1 + T_T \cdot \sin \theta_2$$

d. たわみ評価

(a) ネットのたわみ量の算出

ネットの変位量と吸収エネルギーとの関係は(5.2)式のとおり、以下の式にて導出される。

$$E_i = 2K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \left(\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right)$$

ここで、 K_x 及び L_x は定数であるため、

$$\sum_{i=1}^{N_y} E_i = E_t$$

とすることで、ネットへの付加エネルギーに応じたたわみ量 δ を算出することができる。

(b) ワイヤロープたわみ量を含めたネット全体のたわみ量の算出

ワイヤロープのたわみ量は、ネット張力によりワイヤロープが放物線状に変形するとし、算出したワイヤロープに発生する張力及びワイヤロープの引張試験結果(荷重-ひずみ曲線)から変形後のワイヤロープ長さを求めることで導出する。ネットのたわみ量は中央衝突時に最大となるため、ワイヤロープたわみ量を導出する際のワイヤロープ張力は、(6.2)式にて算出される中央衝突時の値を用いる。

$$T_1 = \frac{3}{4(2n+1)} \cdot \frac{F_a}{\sin \theta} \dots (6.2)$$

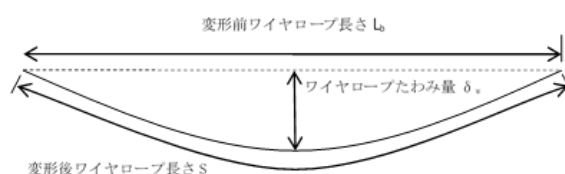
また、ワイヤロープの初期張力は小さくワイヤロープのたわみ量の算出において有意ではないため計算上考慮しない。

(6.2)式に示す計算方法を用いて算出されるワイヤロープに発生する張力からワイヤロープのひずみ量 ε が算出される。したがって、変形によるワイヤロープの伸び量 δ' は以下のとおり算出される。

$$\delta' = L_z \cdot \varepsilon$$

また、飛来物の衝突によりワイヤロープが第6.1-9図のとおり放物線状に変形すると、変形後のワイヤロープ長さ S は放物線の弦長の式を用いて以下のとおり表される。

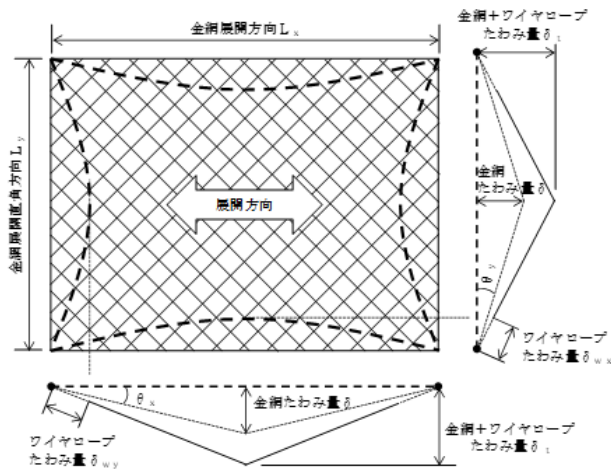
$$S = \frac{1}{2} \sqrt{L_b^2 + 16 \delta_w^2} + \frac{L_b^2}{8 \delta_w} \ln \left(\frac{4 \delta_w + \sqrt{L_b^2 + 16 \delta_w^2}}{L_b} \right)$$



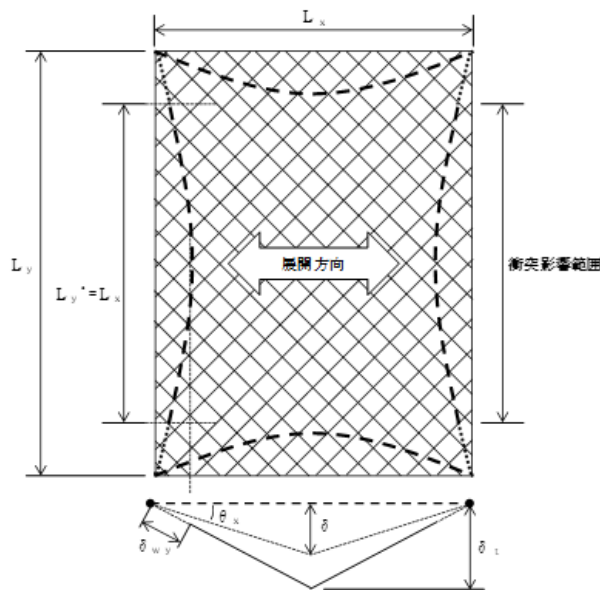
第6.1-9図 ワイヤロープ変形図

また、ワイヤロープはネットのアスペクト比により、変形形状が異なる。ネット及びワイヤロープ変形図(展開方向が長い場合)を第6.1-10図、ネット及びワイヤロープ変形図(展開方向が短い場合)を第6.1-11図に示す。

ただし、竜巻防護対策設備においては、長辺方向を展開方向とする構造としているため、すべての飛来物防護ネットで展開方向が長い場合(第6.1-10図)となる。



第6.1-10図 ネット及びワイヤロープ変形図(展開方向が長い場合)



第6.1-11図 ネット及びワイヤロープ変形図(展開方向が短い場合)

ネット展開方向と平行に配置されているワイヤロープの変形後の長さを S_x 、ネット展開直角方向に配置されているワイヤロープの変形後の長さを S_y とすると、 S_x 及び S_y はそれぞれ δ_{wx} 、 δ_{wy} の関数であり、ワイヤロープ伸び量 δ' は、

$$\delta' = (S_x (\delta_{wx}) - L_x) + (S_y (\delta_{wy}) - L_y)$$

と表される。

また、ネット展開方向と平行な断面から見たたわみ量と、ネット展開方向と直交する断面から見たたわみ量は等しいことから、

$$\delta_t = \sqrt{\left(\delta_{wy} + \frac{L_y}{2\cos\theta_x}\right)^2 - \left(\frac{L_y}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\delta_{wx} + \frac{L_x}{2\cos\theta_x}\right)^2 - \left(\frac{L_x}{2}\right)^2}$$

と表され、ワイヤロープたわみ量 δ_{wx} 及び δ_{wy} を導出することができ、同時にワイヤロープたわみ量を含めたネット全体のたわみ量 δ_t が算出される。

ここで、等価剛性の導出過程を踏まえた係数1.056を考慮し、ネット全体の最大たわみ量 δ_t' は、

$$\delta_t' = \delta_t \cdot 1.056$$

となる。

7. 準拠規格

「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.4 準拠規格」においては、竜巻の影響を考慮する施設の設計に係る規格を示している。

これらのうち、竜巻防護対策設備の強度設計に用いる規格、基準等を以下に示す。

- 日本産業規格 (JIS)
- 建築物荷重指針・同解説 (2015改定) ((社) 日本建築学会)
- 鋼構造設計規準 (2005改定) ((社) 日本建築学会)
- 2015年度版 建築物の構造関係技術基準解説書 (国土交通省国土技術政策総合研究所他監修)
- 小規模吊橋指針・同解説 ((社) 日本道路協会)
- 建築基準法・同施行令・同告示
- Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Desings (Nuclear Energy Institute 2011 Rev 8P (NEI07-13))
- 原子力発電所の竜巻影響評価ガイド (原子力規制委員会)
- タービンミサイル評価について 昭和52年7月20日
- ISES7607-3 昭和50年度日本原子力研究所委託調査「軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査 その3 ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討」(昭和51年10月 高温構造安全技術研究組合)
- 竜巻飛来物を模擬した角管の落下衝突による鋼板の貫通評価 (日本機械学会論文集, Vol. 83, Vol1851 (2017))
- 機械工学便覧 基礎編 A4材料力学 ((社) 日本機械学会)
- 発電用原子力設備規格 竜巻飛来物の衝撃荷重による構造物の構造健全性評価手法ガイドライン JSME S NS6-2019 2019年6月 ((社) 日本機械学会)

VI-1-1-1-2-4-2

竜巻への配慮が必要な施設等の強度
計算書

VI-1-1-1-2-4-2-1
竜巻への配慮が必要な施設の強度計
算書

(1) 冷却塔の強度計算書

(1)-2 安全冷却水 B 冷却塔の強度 計算書

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.2.1 安全冷却水B冷却塔の概要	5
2.3 評価方針	7
2.3.1 衝突評価の評価方針	7
2.3.2 構造強度評価の評価方針	8
2.4 準拠規格	9
3. 強度評価方法	10
3.1 評価対象機器の選定	10
3.2 評価対象部位の選定	10
3.3 記号の定義	14
3.4 荷重及び荷重の組合せ	19
3.4.1 荷重の設定	19
3.4.2 荷重の組合せ	24
3.5 許容限界	24
3.6 評価方法	26
4. 評価条件	36
4.1 安全冷却水B冷却塔の評価条件	36
5. 評価結果	43
5.1 安全冷却水B冷却塔の評価結果	43

1. 概要

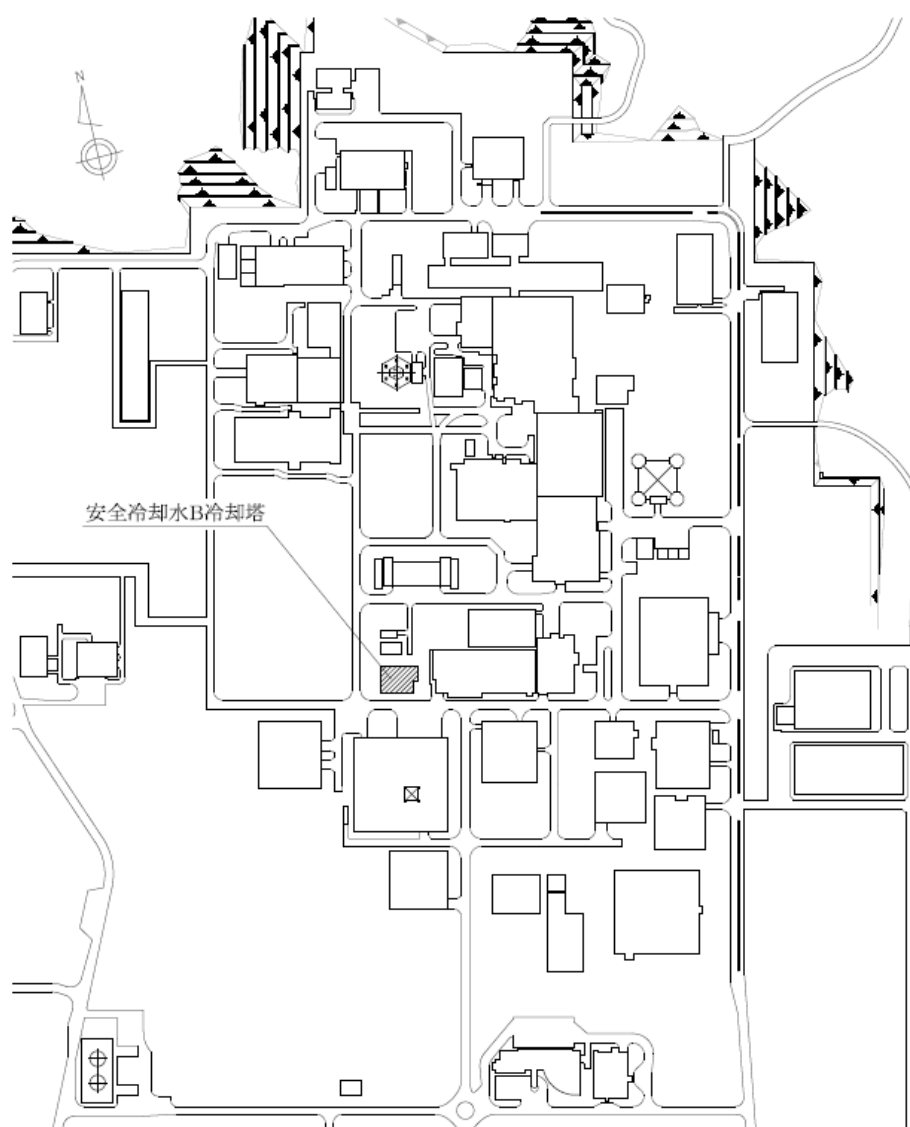
本資料は、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、屋外の竜巻防護対象施設である安全冷却水B冷却塔に設計荷重(竜巻)が作用することにより、冷却塔の安全機能を損なわないよう、冷却塔の主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。

2. 基本方針

冷却塔について、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、「2.1 位置」,
「2.2 構造概要」,「2.3 評価方針」及び「2.4 準拠規格」を示す。

2.1 位置

安全冷却水B冷却塔の配置を第2.1-1図に示す。



第2.1-1図 配置図

2.2 構造概要

冷却塔は、

複合構造物である。

管束

:

第2.2-1図に管束構造図を示す。

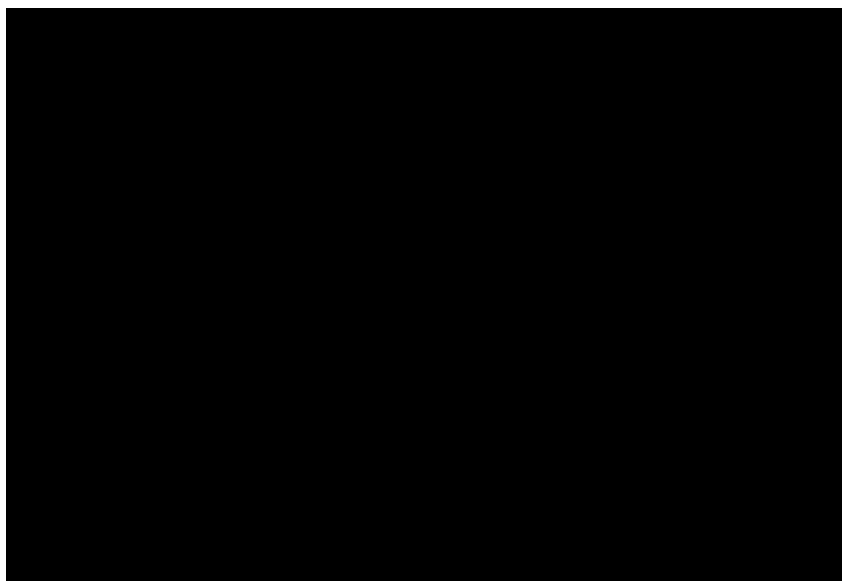
ファン駆動部

:

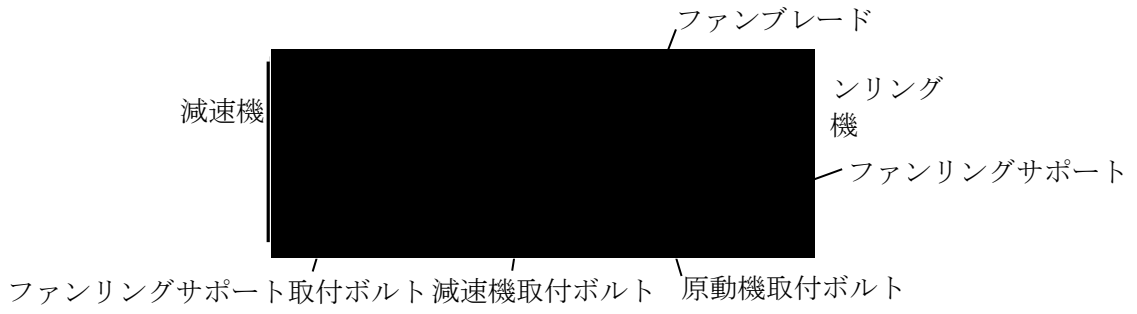
第2.2-2図にファン駆動部構造図を示す。

支持架構

:



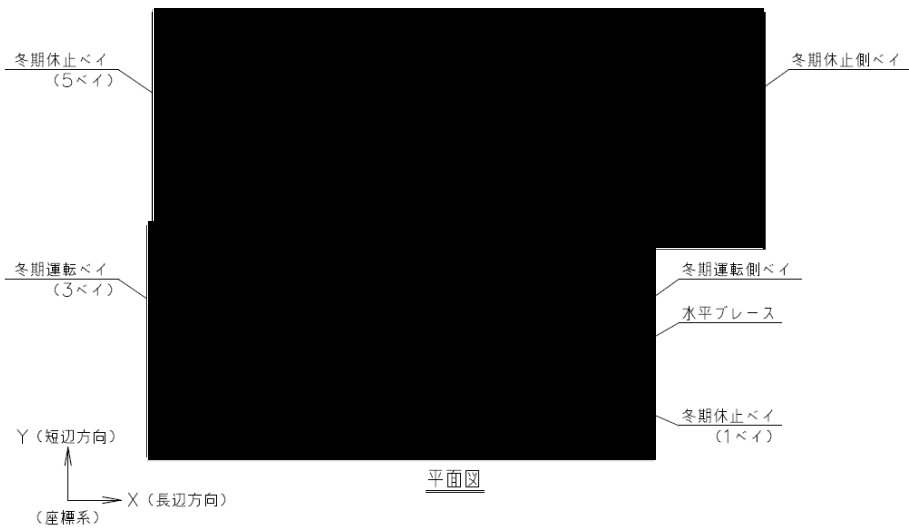
第 2. 2-1 図 管束構造図



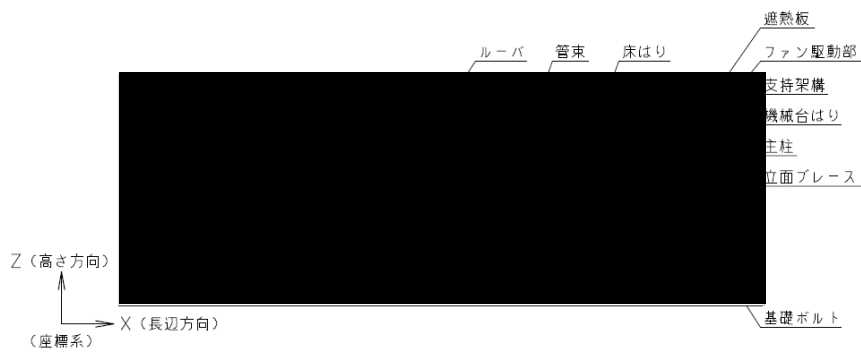
第 2.2-2 図 ファン駆動部構造図

2.2.1 安全冷却水B冷却塔の概要

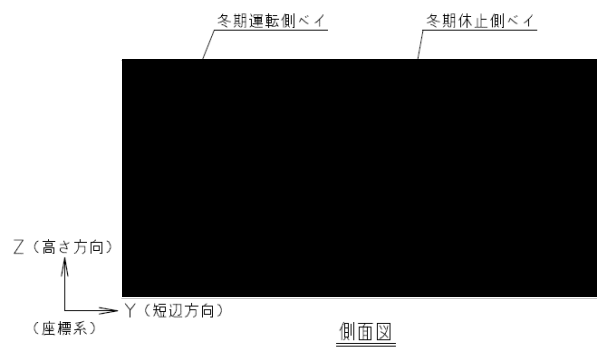
安全冷却水B冷却塔の概要図を第2.2.1-1図に示す。安全冷却水B冷却塔は、冬期運転側ベイと冬期休止側ベイによって構成される。



(a) 上面図



(b) 側面図 (長辺方向)



(c) 側面図 (短辺方向)

第 2.2.1-1 図 安全冷却水 B 冷却塔 概要図

2.3 評価方針

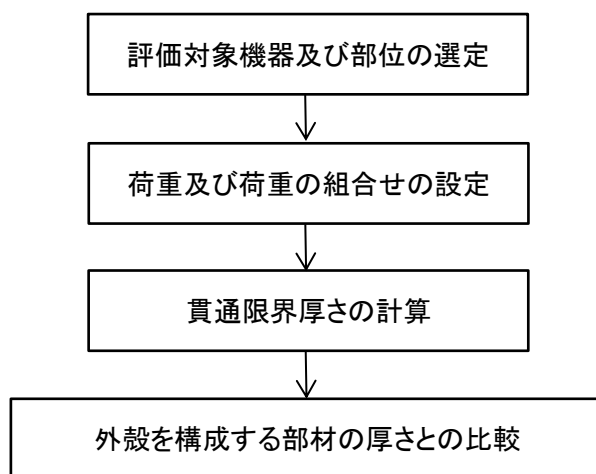
冷却塔の強度評価は、冷却塔の評価対象部位に作用する応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 評価結果」にて確認する。

2.3.1 衝突評価の評価方針

冷却塔の衝突評価フローを第 2.3.1-1 図に示す。衝突評価においては、防護ネットを通過する飛来物である砂利による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材の厚さ未満であることを確認する。

衝突評価では、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す衝突評価の評価式を用いる。

冷却塔の衝突評価における許容限界は、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、外殻を構成する部材の厚さとする。



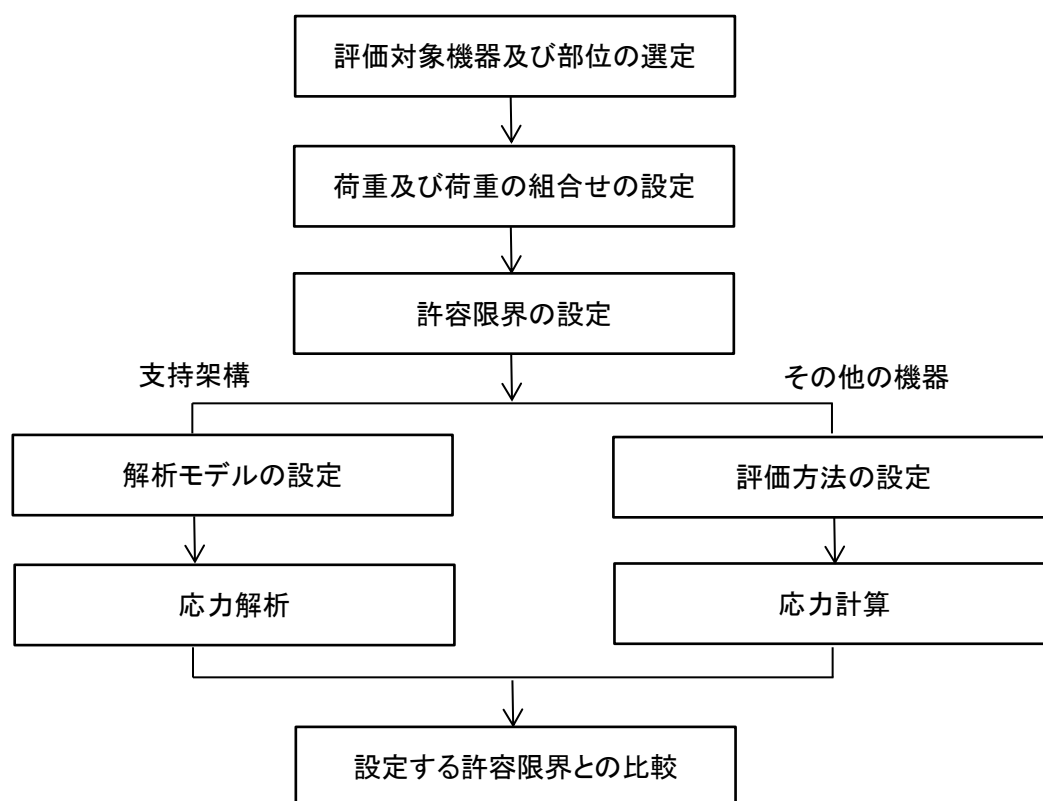
第 2.3.1-1 図 冷却塔の衝突評価フロー

2.3.2 構造強度評価の評価方針

冷却塔の構造強度評価フローを第2.3.2-1図に示す。

構造強度評価においては、冷却塔に対して、設計荷重(竜巻)により作用する応力が許容応力以下であることを確認する。各部材の構造強度評価において、その部材に対して応力が大きくなる方向から風が当たることを想定する。構造強度評価では、設計荷重(竜巻)は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同等なものであると考え、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」((社)日本電気協会)、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編JEAG 4601-補 1984」((社)日本電気協会)及び「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991追補版」((社)日本電気協会)(以下、「JEAG4601」という。)における1質点系モデルによる評価若しくは3次元はりモデルを用いた弾性応力解析による評価を行う。

冷却塔の許容限界は、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、JEAG4601の許容応力状態Ⅲ_ASとする。



第2.3.2-1図 冷却塔の構造強度評価フロー

2.4 準拠規格

準拠する規格，規準等を以下に示す。

- ・タービンミサイル評価について(昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)
- ・建築基準法・同施行令・同告示
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007((社)日本機械学会)(以下,「JSME」という。)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987((社)日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601-補1984((社)日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991追補版((社)日本電気協会)
- ・原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(原規技発第1909069号)
- ・機械工学便覧((社)日本機械学会)

3. 強度評価方法

3.1 評価対象機器の選定

冷却塔の評価対象となる機器は、冷却機能を維持するために必要な機器及び冷却機能を維持するために必要な機器に対し、影響を及ぼすおそれのある機器を対象とする。冷却塔における構造強度評価の評価対象機器を第3.1-1表に示す。

第3.1-1表 冷却塔における構造強度評価の評価対象機器

名称	評価対象機器	選定理由
安全冷却水B冷却塔	管束	[REDACTED]
	ファン駆動部	
	支持架構 (基礎ボルト含む)	
	遮熱板	[REDACTED]

3.2 評価対象部位の選定

(1) 衝突評価の評価対象部位

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]を評価対象部位として設定する。冷却塔における衝突評価の評価対象部位を第3.2-1表に示す。

第3.2-1表 冷却塔における衝突評価の評価対象部位

名称	機器	評価対象部位	理由
安全冷却水B冷却塔	管束	管束フレーム	[REDACTED]
	ファン駆動部	ファンリング	[REDACTED]
	支持架構	支持架構を構成する鋼材	[REDACTED]
	遮熱板	遮熱板本体	[REDACTED]

(2) 構造強度評価の評価対象部位

「3.1 評価対象機器の選定」において選定した評価対象機器において、評価対象とする部位を選定する。冷却塔における構造強度評価の評価対象部位を第3.2-2表に示す。


a. 管束及びファン駆動部の評価対象部位




以下の部位を構造強度評価の評価対象部位として選定する。

- ・管束フレーム
- ・ヘッダー
- ・管束取付ボルト
- ・ファンリング
- ・ファンリングサポート
- ・ファンリングサポート取付ボルト

b. 支持架構(基礎ボルト含む)の評価対象部位

支持架構の評価対象部位は、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」に示している構造に基づき、選定する。

支持架構の構造強度評価の評価対象部位は、支持架構を構成する主柱，床はり，2F機械台はり，立面ブレース及び水平ブレースを選定する。

また、
基礎ボルトを構造強度評価の評価対象部位として選定する。

c. 遮熱板の評価対象部位

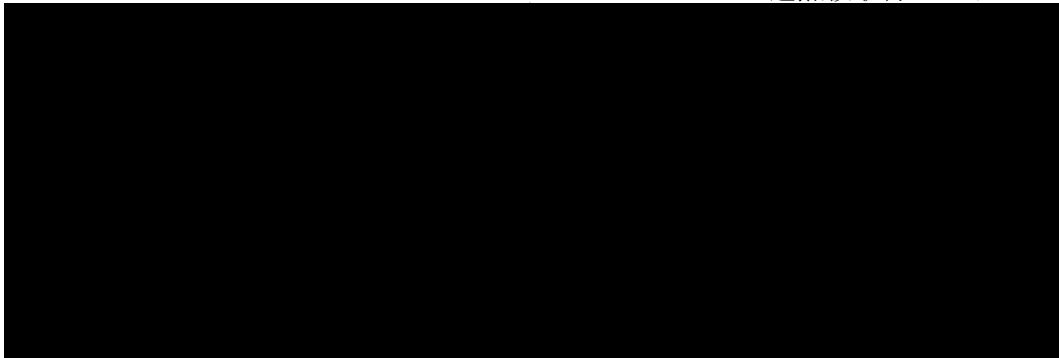
遮熱板の概要図を第3.2-1図に示す。設計荷重(竜巻)は、遮熱板本体に作用し、遮熱板を介して取付ボルトに作用することから、遮熱板と遮熱板取付ボルトを構造強度評価の評価対象部位として選定する。

第 3.2-2 表 冷却塔における構造強度評価の評価対象部位

名称	評価対象機器	評価対象部位
安全冷却水 B 冷却塔	管束	管束フレーム
		ヘッダー
		管束取付ボルト
	ファン駆動部	ファンリング
		ファンリングサポート
		ファンリングサポート取付ボルト
	支持架構 (基礎ボルト含む)	主柱, 床はり, 2F 機械台はり, 立面ブレース及び水平ブレース
		基礎ボルト
	遮熱板	遮熱板
		遮熱板取付ボルト



遮熱板取付ボルト



第 3.2-1 図 安全冷却水 B 冷却塔の遮熱板概要図

3.3 記号の定義

(1) 衝突評価の記号の定義

冷却塔の衝突評価に用いる記号を第 3.3-1 表に示す。

第 3.3-1 表 冷却塔の衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
T	mm	鋼板の貫通限界厚さ
Tc	mm	BRL 式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率で除した鋼板の貫通限界厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度

(2) 設計竜巻による荷重算出

設計竜巻による荷重の算出に用いる記号を第3.3-2表に示す。

第3.3-2表 設計竜巻による荷重の算定に用いる記号

記号	単位	定義
A	m ²	施設の受圧面積
C	—	風力係数(施設の形状や風圧力が作用する部位(屋根, 壁等)に応じて設定する。)
G	—	ガスト影響係数(G=1.0)
q	N/m ²	設計用速度圧
V _D	m/s	最大風速(V _D =100)
W _W	N	風圧力による荷重
ρ	kg/m ³	空気密度(ρ=1.22)
V _T	m/s	移動速度
V _{Rm}	m/s	最大接線風速
ΔP _{max}	N/m ²	最大気圧低下量
W _P	N	気圧差による荷重
W _M	N	飛来物による衝撃荷重

(3) 機器本体

機器本体の構造強度評価に用いる記号を第3.3-3表に示す。

第3.3-3表 機器本体の構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
β_1	—	4辺支持平板として評価する機器の最大応力の係数
a	mm	4辺支持平板として評価する機器の短手側の辺の長さ
b	mm	4辺支持平板として評価する機器の長手側の辺の長さ
t	mm	4辺支持平板として評価する機器の板厚
σ_1	MPa	ヘッダーの風圧力による応力
σ_2	MPa	ヘッダーの内圧及び気圧差による圧力による応力
σ_i	MPa	ヘッダーの内圧による応力
B	mm	ヘッダーの高さ
L	mm	ヘッダーの支持間距離
P_i	MPa	ヘッダーの内圧
P_b	MPa	気圧差による圧力
g	m/s ²	重力加速度
h	mm	重心高さ
m	kg	自重
Z	mm ³	断面係数
n	本	ファンリングサポートの本数
ℓ	mm	機器中心と取付ボルトの距離
σ	MPa	発生応力
F	MPa	「JSME」SSB-3121.1(1)に定める値
$1.5 f_b$	MPa	許容曲げ応力

(4) 機器取付ボルト

機器取付ボルトの構造強度評価に用いる記号を第3.3-4表に示す。

第 3.3-4 表 機器取付ボルトの構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
m	kg	各評価機器の自重
g	m/s^2	重力加速度
h	mm	各評価機器の重心高さ
A_b	mm^2	各評価機器の取付ボルトの軸断面積
n_t	本	引張力の作用する取付ボルトの評価本数
n	本	せん断力の作用する取付ボルトの評価本数
ϱ	mm	取付ボルト間の中心から、各取付ボルトまでの距離
L	mm	取付ボルト間の距離
F_b	N	引張力
σ_o	MPa	引張応力
F	MPa	「JSME」SSB-3121.1(1)に定める値
τ_b	MPa	せん断応力
$1.5 f_t$	MPa	許容引張応力
$1.5 f_s$	MPa	許容せん断応力

(5) 支持架構の記号の定義

支持架構の構造強度評価に用いる記号を第3.3-5表に示す。

第 3.3-5 表 支持架構の構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
F_a	N	はり要素に作用する引張, 圧縮荷重
F_y, F_z	N	はり要素に作用するせん断荷重
M_y, M_z	N・mm	はり要素に作用する曲げモーメント
M_a	N・mm	はり要素に作用するねじりモーメント
A_f	mm ²	部材の断面積
A_{fy}, A_{fz}	mm ²	部材の有効せん断断面積
Z_y, Z_z	mm ³	部材の断面係数
Z_p	mm ³	部材のねじり断面係数
$1.5 f_t$	MPa	許容引張応力
$1.5 f_s$	MPa	許容せん断応力
$1.5 f_c$	MPa	許容圧縮応力
$1.5 f_b$	MPa	許容曲げ応力
σ_t	MPa	引張応力
σ_c	MPa	圧縮応力
σ_b	MPa	曲げ応力
τ	MPa	せん断応力
i_y, i_z	mm	部材の断面二次半径
E	MPa	縦弾性係数
F	MPa	「JSME」SSB-3121.1(1)に定める値

(6) 基礎ボルト

基礎ボルトの構造強度評価に用いる記号を第3.3-6表に示す。

第3.3-6表 基礎ボルトの構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
F_{bt}	N	ボルトの引張力
F_{bs}	N	ボルトのせん断力
A_b	mm ²	ボルトの断面積
σ_{ao}	MPa	ボルトに生じる引張応力
τ_b	MPa	ボルトに生じるせん断応力
n_a	本	柱脚部1ヶ所当たりのボルト本数
F	MPa	「JSME」SSB-3121.1(1)に定める値
$1.5f_t$	MPa	許容引張応力
$1.5f_s$	MPa	許容せん断応力

3.4 荷重及び荷重の組合せ

3.4.1 荷重の設定

(1) 衝突評価の荷重

衝突評価においては考慮する飛来物として防護ネット(ネットの網目寸法 40mm)をすり抜ける砂利を設定し、砂利による衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては、評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

砂利の諸元を第 3.4.1-1 表に示す。

第 3.4.1-1 表 砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂 利	0.05	1.0	0.18	62	42

(2) 構造強度評価の荷重

構造強度評価に用いる荷重を以下のa.～d.に示す。

また、荷重の算定に用いる竜巻の特性値を第3.4.1-2表に示す。

第 3.4.1-2 表 竜巻の特性値

最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線 風速 V_{Rm} (m/s)	最大気圧 低下量 ΔP_{max} (N/m ²)
100	15	85	8,900

a. 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、

を考慮する。

b. 設計竜巻荷重

「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」に従い、設計竜巻の風圧力による荷重を考慮する。自重により作用する荷重は、評価対象部位の設置方向を考慮する。

(a) 風圧力による荷重

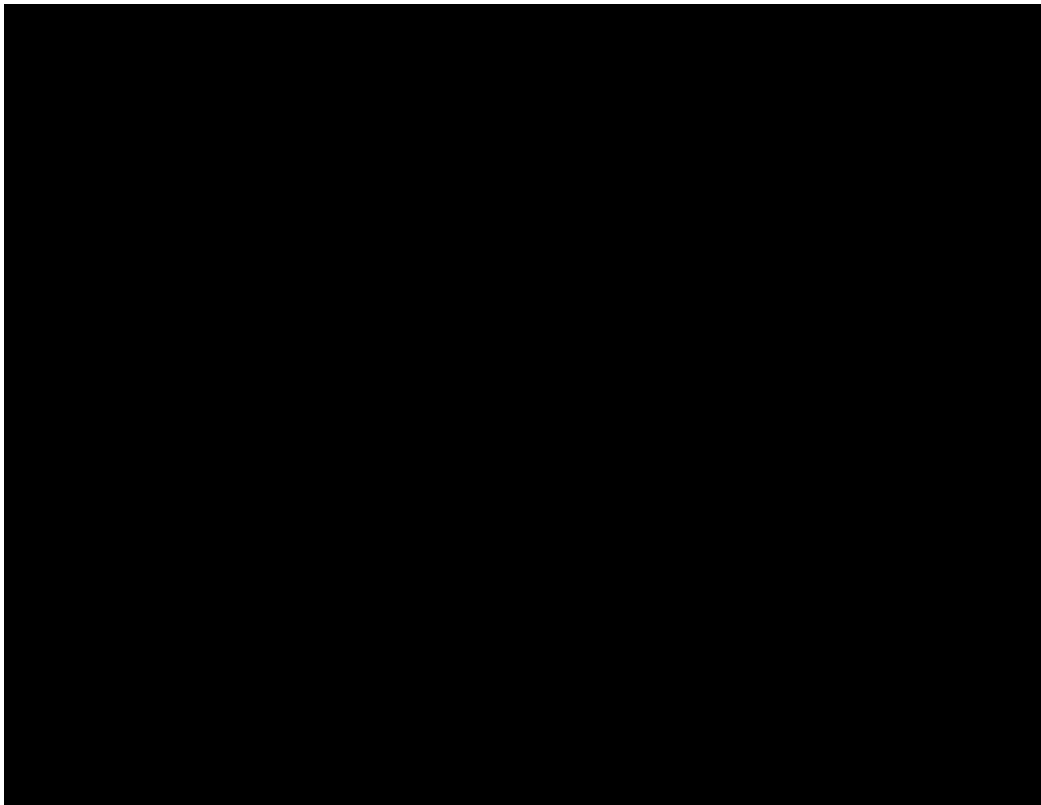
風圧力による荷重は、下式により算定する。受圧面積は、冷却塔の形状を考慮して算定する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

$$q = 1/2 \cdot \rho \cdot V_b^2$$

イ. 管束, ファン駆動部及び遮熱板

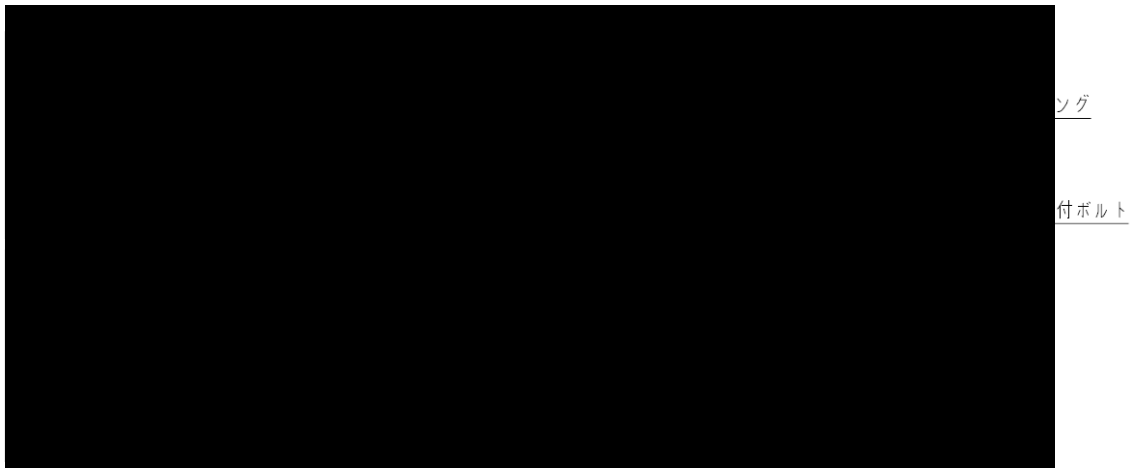
管束, ファン駆動部及び遮熱板に対するそれぞれの受圧部の寸法を示す図を第3.4.1-1図, 第3.4.1-2図及び第3.4.1-3図に示す。



第 3.4.1-1 図 安全冷却水 B 冷却塔の管束の受圧部寸法(単位 : mm)



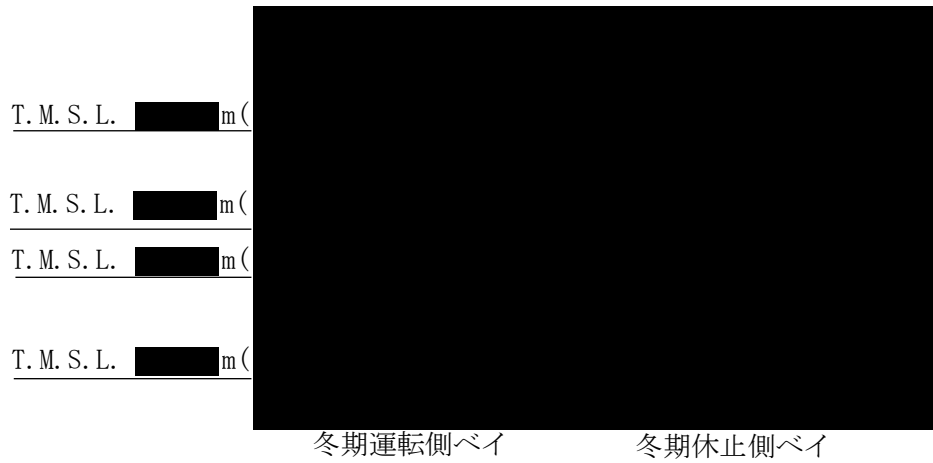
第3.4.1-2図 安全冷却水B冷却塔のファン駆動部(ファンリング)の受圧部寸法
(単位：mm)



第3.4.1-3図 安全冷却水B冷却塔の遮熱板の受圧部寸法(単位：mm)

ロ. 支持架構(基礎ボルト含む)

支持架構における受圧部の寸法を示す図を第3.4.1-4図及び第3.4.1-5図に示す。



第3.4.1-4図 安全冷却水B冷却塔の支持架構のEW方向*受圧部寸法(単位:mm)



第3.4.1-5図 安全冷却水B冷却塔の支持架構のNS方向*受圧部寸法(単位:mm)

*: 風が作用する方向を示す

3.4.2 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、評価対象部位ごとに設定する。冷却塔の構造強度評価に用いる荷重の組合せを第3.4.2-1表に示す。

第3.4.2-1表 荷重の組合せ

名称	評価対象機器	評価対象部位	考慮する荷重
安全冷却水B冷却塔	管束	管束フレーム	[Redacted]
		ヘッダー	
		管束取付ボルト	
	ファン駆動部	ファンリング	
		ファンリングサポート	
		ファンリングサポート取付ボルト	
	支持架構 (基礎ボルト含む)	主柱, 床はり, 2F機械台はり, 立面ブレース及び水平ブレース	
		基礎ボルト	
	遮熱板	遮熱板	
		遮熱板取付ボルト	

3.5 許容限界

冷却塔の許容限界は、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している許容限界を踏まえ、「3.2 評価対象部位の選定」にて設定している評価対象部位ごとに、[Redacted]を用いる。

(1) 衝突評価の許容限界

衝突評価における許容限界は、
 を許容限界とする。

冷却塔を構成する機器の外殻を構成する部材の厚さを第 3.5-1 表に示す。

第 3.5-1 表 冷却塔を構成する機器の外殻を構成する部材厚さ

名称	評価対象機器	評価対象部位	板厚(mm)
安全冷却水B 冷却塔	管束	管束フレーム	
	ファン駆動部	ファンリング	
	支持架構	支持架構を構成する鋼材	
	遮熱板	遮熱板本体	

(2) 構造強度評価の許容限界

冷却塔の許容限界は、JEAG4601 を準拠し、「その他支持構造物」を適用する。設計荷重(竜巻)に対して、当該施設に過大な変形を起こして必要な機能が損なわれないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、許容応力状態Ⅲ_AS から算出した以下の許容応力を許容限界とする。

冷却塔における構造強度評価の許容限界を第 3.5-2 表に示す。

第3.5-2表 冷却塔における構造強度評価の許容限界

許容応力状態	許容限界 (ボルト以外)				許容限界 (ボルト)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
Ⅲ _A S						

注記

3.6 評価方法

(1) 衝突評価の評価方法

衝突評価は、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が竜巻防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について(昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

等価直径は、「電力中央研究所報告O19003」(以下、「O19003」という。)から「衝突部の周長と等価な周長の円の直径」として算出する。O19003における、設計飛来物である鋼製材のような四角形衝突に対する実験データ数の不確かさを考慮し、BRL式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率(0.97)で除した値を貫通限界厚さとする。

したがって、BRL式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率で除した鋼板の貫通限界厚さは、以下の式により算出する。

$$T_c = T / 0.97$$

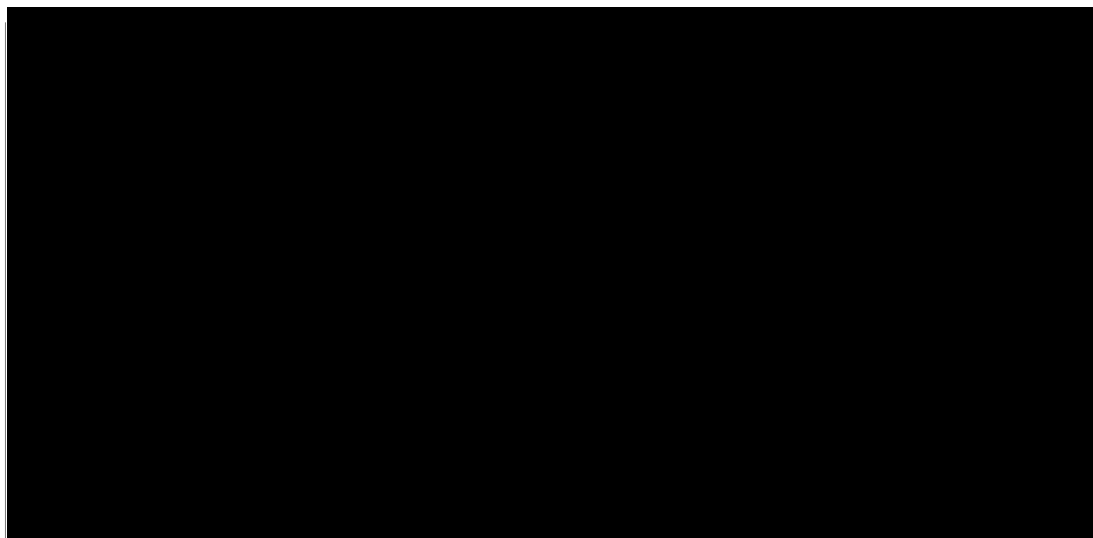
(2) 構造強度評価の評価方法

a. 機器本体の評価方法

(a) 計算モデル

イ. 管束フレーム

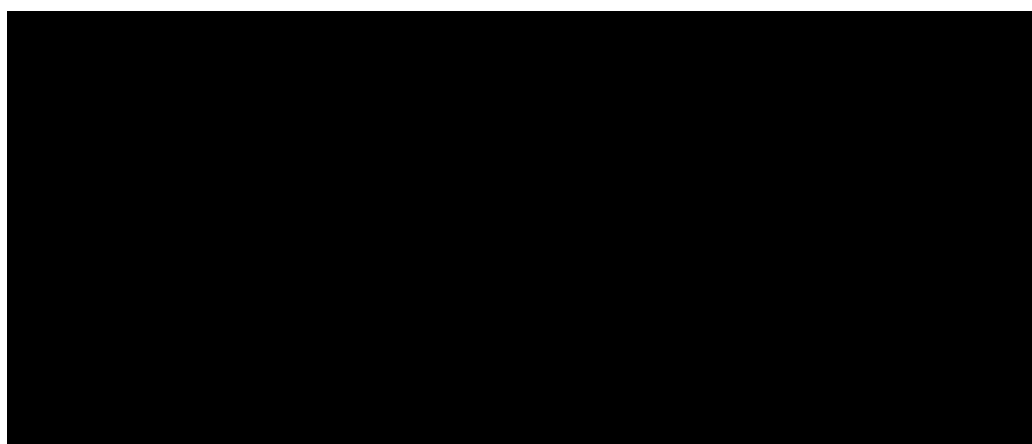
[Redacted]
[Redacted] 管束フレームの評
価概要図を第 3.6-1 図に示す。



第 3.6-1 図 管束フレーム評価概要図

ロ. ヘッダー

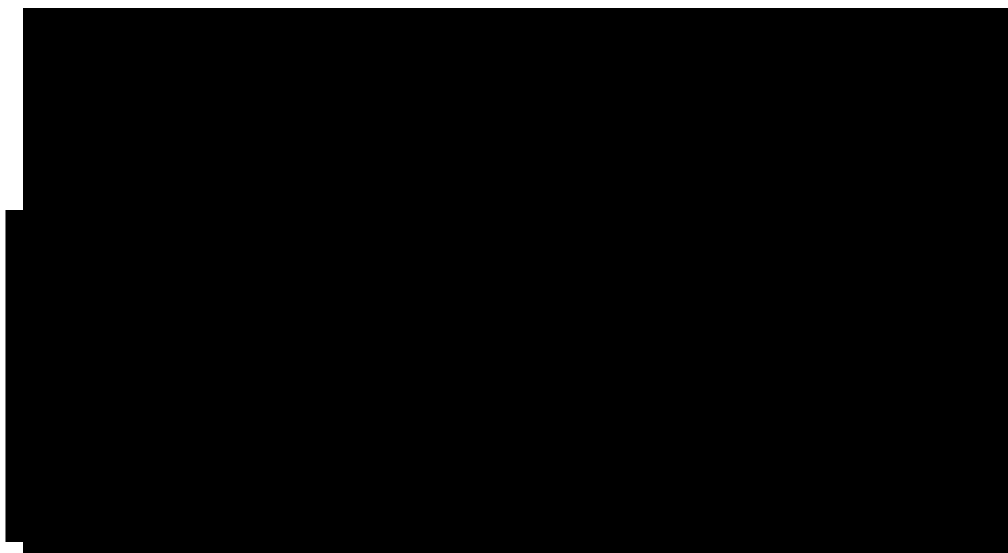
[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]ヘッ
ダーの評価概要図を第 3.6-2 図に示す。



第 3.6-2 図 ヘッダー評価概要図

ハ. ファンリング

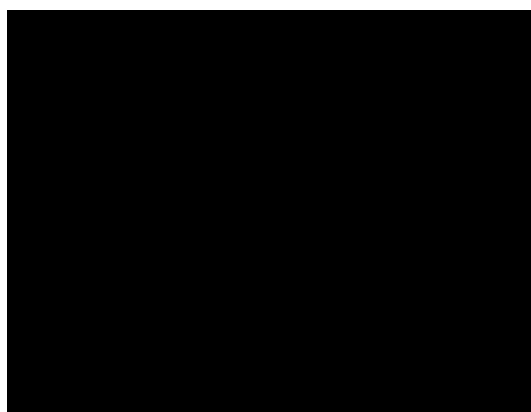
[Redacted]
ファンリングの評価概要図を第3.6-3図に示す。



第 3.6-3 図 ファンリング評価概要図

ニ. ファンリングサポート

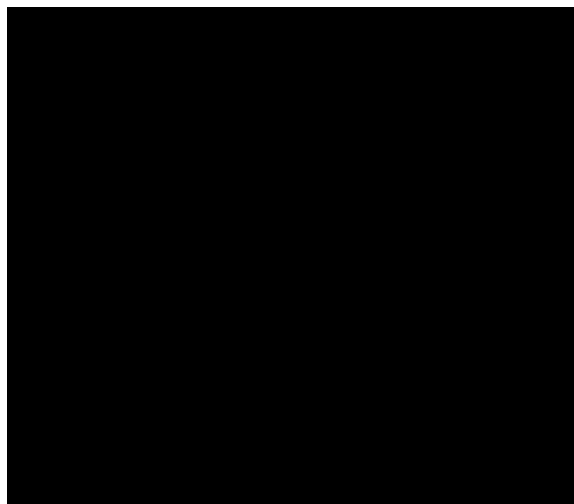
[Redacted]
ファンリングサポートの評価概要図を第 3.6-4 図に示す。



第 3.6-4 図 ファンリングサポート評価概要図

ホ. 遮熱板

遮熱板に風圧力による荷重が作用し、遮熱板下端に全体の曲げ荷重が作用するものとして評価する。遮熱板の評価概要図を第 3.6-5 図に示す。



第 3.6-5 図 遮熱板評価概要図

(b) 計算方法

イ. 管束フレーム

以下の計算式により求めるものとする。

$$\sigma = \beta_1 \frac{C q G a^2}{t}$$

ロ. ヘッダー

[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]以下の計算式により求める。
[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$$

$$\sigma_1 = \frac{C q G B L^2}{8 Z}$$

$$\sigma_2 = \sigma_i \frac{(P_i + 0.5 P_b)}{P_i}$$

ハ. ファンリング

[Redacted]以下の計算式により求めるものとする。

$$\sigma = \beta_1 \cdot \frac{C q G a^2}{t}$$

ニ. ファンリングサポート

[Redacted]
[Redacted]以下の計算式により求めるものとする。

$$\sigma = \frac{W_w h - m g \ell}{n Z}$$

ホ. 遮熱板

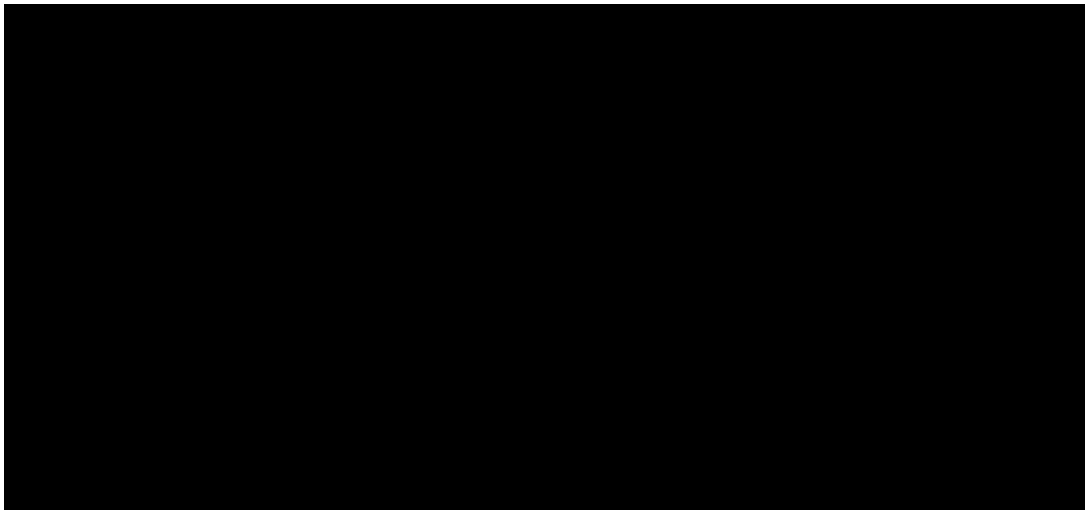
[Redacted]
[Redacted]以下の計算式により求めるものとする。

$$\sigma = \frac{W_w h - m g \ell}{Z}$$

b. 機器取付ボルトの評価方法

(a) 計算モデル

管束，ファン駆動部(ファンリング)及び遮熱板に生じるせん断応力及び引張応力は，取付ボルトの配置形状に応じて以下の計算式により求めるものとする。取付ボルト配置を第 3.6-6 図に示す。



管束及びファン駆動部
(ファンリング)

遮熱板

第 3.6-6 図 取付ボルトの配置

(b) 計算方法

イ. ファンリング及び管束

①引張応力

「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987((社)日本電気協会)」に記載されている式を準拠し，次式より算出する。

$$\sigma_0 = -\frac{mg\ell}{n_t LA_b} + \frac{W_w h}{n_t LA_b} \dots (1)$$

②せん断応力

「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987((社)日本電気協会)」に記載されている式を準拠し，次式より算出する。

$$\tau_b = \frac{W_w}{A_b n} \dots (2)$$

ロ. 遮熱板

①引張応力

(1)式において、遮熱板は取付ボルトの設置方向が違うことから、次式により算出する。

$$\sigma_0 = \frac{W_w}{A_b n_t} \dots (3)$$

②せん断応力

(2)式において、遮熱板は取付ボルトの設置方向が違うことから、次式により算出する。

$$\tau_b = -\frac{m g \ell}{n L A_b} + \frac{W_w h}{n L A_b} \dots (4)$$

c. 支持架構及び基礎ボルトの評価方法

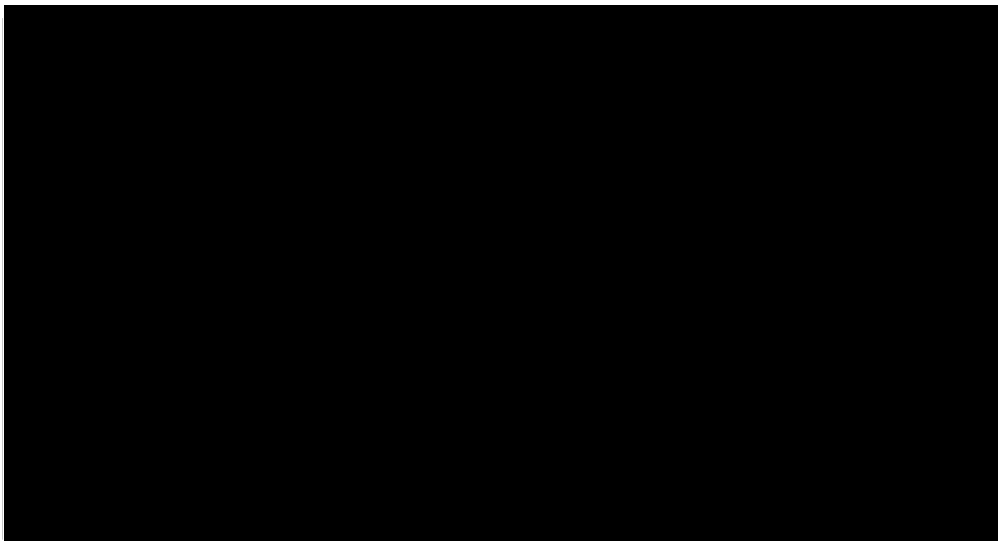
(a) 計算モデル

イ. 安全冷却水B冷却塔のモデル

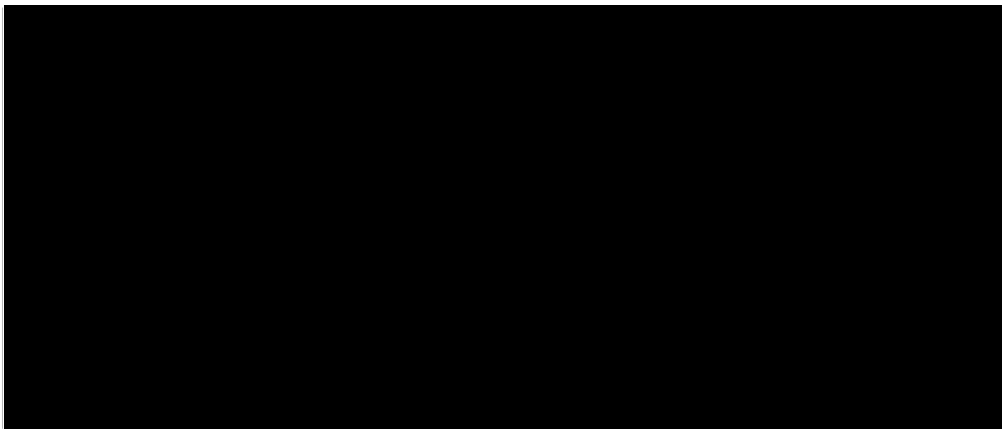
安全冷却水B冷却塔の計算モデルを第3.6-7図、第3.6-8図に、計算モデルの諸元を第3.6-1表に示す。



構造強度評価に用いる解析コード「MSC NASTRAN(ver. 2008.0.4)」の検証及び妥当性確認等の概要については、「VI-1-6 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。



第 3.6-7 図 安全冷却水 B 冷却塔の計算モデル(冬期運転側ベイ)



第 3.6-8 図 安全冷却水 B 冷却塔の計算モデル(冬期休止側ベイ)

第 3.6-1 表 安全冷却水 B 冷却塔の計算モデル諸元

解析モデル	節点数	要素数
安全冷却水 B 冷却塔 冬期運転側ベイ		
安全冷却水 B 冷却塔 冬期休止側ベイ		

(b) 計算方法

イ. 支持架構

以下の式により応力を算出する。

(イ) 引張応力及び圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{F_a}{A}$$

$$\sigma_c = \frac{F_a}{A}$$

(ロ) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z}$$

(ハ) せん断応力

$$\tau = \frac{F_y}{A_{fy}} + \frac{F_z}{A_{fz}} + \frac{M_a}{Z_p}$$

(ニ) 組合せ

JSMEに基づき、引張力と曲げモーメントを受ける部材の組合せ応力を下式より算出する。

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5 f_t} \leq 1.0$$

同様に、圧縮力と曲げモーメントを受ける部材の組合せ応力を下式より算出する。

$$\frac{\sigma_c}{1.5 f_c} + \frac{\sigma_b}{1.5 f_b} \leq 1.0$$

ロ. 基礎ボルト

以下

の式により応力を算出する。

(イ) 引張応力

$$\sigma_{ao} = \frac{F_{bt}}{A_b \cdot n_a}$$

(ロ) せん断応力

$$\tau_b = \frac{F_{bs}}{A_b \cdot n_a}$$

4. 評価条件

4.1 安全冷却水B冷却塔の評価条件

安全冷却水B冷却塔の「3. 構造強度評価方法」に用いる評価条件を第4.1-1表から第4.1-6表に示す。

第4.1-1表 支持架構(冬期運転側ベイ)の評価条件

部材	断面形状	材料	運転重量 (kg)	A _f (mm ²)	Z (mm ³)		i (mm)		E (MPa)	F (MPa)
					Z _y	Z _z	i _y	i _z		
支柱										
床 はり										
2F 機械台はり										
立面ブレース										
水平ブレース										

第4.1-2表 支持架構(冬期運転側ベイ)の風力係数及び受圧面積

名称		標高 T. M. S. L. (m)	風力係数C (-)		受圧面積A (m ²)	
			NS方向*1	EW方向*1	NS方向*1	EW方向*1
安全冷却水B冷却塔	冬期運転側ベイ					

注記 * 1 : 風が作用する方向を示す。

第4.1-3表 支持架構(冬期休止側ベイ)の評価条件

部材	断面形状	材料	運転 重量 (kg)	A _F (mm ²)	Z (mm ³)		i (mm)		E (MPa)	F (MPa)
					Z _y	Z _z	i _y	i _z		
主柱										
床 はり										
2F 機械台はり										
立面ブレース										
水平ブレース										

第4.1-4表 支持架構(冬期休止側ベイ)の風力係数及び受圧面積

名称		標高 T. M. S. L. (m)	風力係数C (-)		受圧面積A (m ²)	
			NS方向*1	EW方向*1	NS方向*1	EW方向*1
安全冷却水B冷却塔	冬期休止側ベイ					

注記 *1: 風が作用する方向を示す

第4.1-5表 基礎ボルト(冬期運転側ベイ)の評価条件

部材	材料	A _b (mm ²)	n _a (本)	F (MPa)
基礎ボルト				

第4.1-6表 基礎ボルト(冬期休止側ベイ)の評価条件

部材	材料	A _b (mm ²)	n _a (本)	F (MPa)
基礎ボルト				

第 4.1-7 表 機器本体(冬期運転側ベイ)の評価条件

機器	部材	材料	β_1 (-)	a (mm)	t (mm)	C (-)	F (MPa)
管束	管束フレーム						
ファン 駆動部	ファンリング						

機器	部材	材料	B (mm)	L (mm)	C (-)	σ_i (MPa)	P_i (MPa)	P_b (MPa)	Z (mm ³)	F (MPa)
管束	ヘッダー									

機器	部材	材料	h (mm)	m (kg)	A (m ²)	C (-)	ℓ (mm)	n (本)	Z (mm ³)	F (MPa)
ファン 駆動部	ファンリング サポート									
遮熱板	遮熱板									

第 4.1-8 表 機器取付ボルト(冬期運転側ベイ)の評価条件

機器	部材	材料	m (kg)	h (mm)	A (m ²)	C (-)	取付 ボルト 配置	L (mm)	φ (mm)	A _b (mm ²)	n (本)	n _t (本)	F (MPa)
管 束	管 束 取付ボルト												
ファン 駆動部	ファンリン グ サポ ー ト 取付ボルト												
遮熱板	遮 熱 板 取付ボルト												

第 4.1-9 表 機器本体(冬期休止側ベイ)の評価条件

機器	部材	材料	β_1 (-)	a (mm)	t (mm)	C (-)	F (MPa)	
管束	管束フレーム							
ファン 駆動部	ファンリング							

機器	部材	材料	B (mm)	L (mm)	C (-)	σ_i (MPa)	P_i (MPa)	P_b (MPa)	Z (mm ³)	F (MPa)
管束	ヘッダー									

機器	部材	材料	h (mm)	m (kg)	A (m ²)	C (-)	ℓ (mm)	n (本)	Z (mm ³)	F (MPa)
ファン 駆動部	ファンリング サポート									
遮熱板	遮熱板									

第 4.1-10 表 機器取付ボルト(冬期休止側ベイ)の評価条件

機器	部材	材料	m (kg)	h (mm)	A (m ²)	C (-)	取付ボ ルト配 置	L (mm)	ℓ (mm)	A _b (mm ²)	n (本)	n _t (本)	F (MPa)
管束	管束 取付ボルト												
ファン 駆動部	ファンリング サポート 取付ボルト												
遮熱板	遮熱板 取付ボルト												

5. 評価結果

5.1 安全冷却水B冷却塔の評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利に対する貫通限界厚さの算出結果を第 5. 1-1 表に示す。

第 5. 1-1 表 砂利に対する貫通限界厚さの算出結果

飛来物	貫通限界厚さ Tc (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂 利	1.0	1.0

砂利に対する貫通限界厚さ(1.0mm)と管束, ファン駆動部, 支持架構及び遮熱板の板厚を第 5. 1-2 表に示す。

第 5. 1-2 表 評価対象機器の評価結果

評価対象機器	板厚 (mm)	貫通限界厚さ Tc (mm)	結 果
管束(管束フレーム*1)		1.0	貫通しない
ファン駆動部(ファンリング*1)		1.0	貫通しない
支持架構		1.0	貫通しない
遮熱板		1.0	貫通しない

注記 * 1 : 評価対象となる部位を示す。

砂利に対する貫通限界厚さは, 板厚未満であることを確認した。

(2) 支持架構の構造強度評価結果

支持架構の構造強度評価結果を第 5. 1-3 表に示す。

第 5.1-3 表 支持架構の構造強度評価結果(1 / 2)

名称	評価対象 部位	応力分類	発生応力*1*2 (MPa)	許容応力*2 (MPa)	応力比*3	
安全冷却水B冷却塔	冬期運転側ベイ	主柱	引張	-	-	-
			圧縮			
			せん断			
			曲げ			
			組合せ(引張+曲げ)			
			組合せ(圧縮+曲げ)			
		床はり	引張			
			圧縮			
			せん断			
			曲げ			
			組合せ(引張+曲げ)			
			組合せ(圧縮+曲げ)			
		2F機械台 はり	引張			
			圧縮			
			せん断			
			曲げ			
			組合せ(引張+曲げ)			
			組合せ(圧縮+曲げ)			
		立面 ブレース	引張			
			圧縮			
			せん断			
			曲げ			
			組合せ(引張+曲げ)			
			組合せ(圧縮+曲げ)			
水平 ブレース	引張					
	圧縮					
	せん断					
	曲げ					
	組合せ(引張+曲げ)					
	組合せ(圧縮+曲げ)					

注記 *1: 組合せについては応力比を記載

*2: 組合せについては応力比で評価を行うため単位なし

*3: 応力比=発生応力/許容応力

第 5.1-3 表 支持架構の構造強度評価結果(2 / 2)

名称	評価対象部位	応力分類	発生応力*1*2 (MPa)	許容応力*2 (MPa)	応力比*3	
安全冷却水B冷却塔	冬期休止側ベイ	主柱	引張	-	-	-
			圧縮			
			せん断			
			曲げ			
			組合せ(引張+曲げ)			
			組合せ(圧縮+曲げ)			
		床はり	引張			
			圧縮			
			せん断			
			曲げ			
			組合せ(引張+曲げ)			
			組合せ(圧縮+曲げ)			
		2F機械台はり	引張			
			圧縮			
			せん断			
			曲げ			
			組合せ(引張+曲げ)			
			組合せ(圧縮+曲げ)			
		立面ブレース	引張			
			圧縮			
			せん断			
			曲げ			
			組合せ(引張+曲げ)			
			組合せ(圧縮+曲げ)			
水平ブレース	引張					
	圧縮					
	せん断					
	曲げ					
	組合せ(引張+曲げ)					
	組合せ(圧縮+曲げ)					

- 注記 *1：組合せについては応力比を記載
 *2：組合せについては応力比で評価を行うため単位なし
 *3：応力比＝発生応力／許容応力

支持架構に発生する応力が許容限界を超えないことを確認した。

(3) 基礎ボルトの構造強度評価結果

基礎ボルトの構造強度評価結果を第 5. 1-4 表に示す。

基礎ボルトに発生する応力が許容限界を超えないことを確認した。

第 5. 1-4 表 基礎ボルトの構造強度評価結果

名称		評価対象 部位	応力 分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比*1
安全冷却水 B 冷却塔	冬期運転側ベイ	基礎 ボルト	引張			
			せん断			
	冬期休止側ベイ	基礎 ボルト	引張			
			せん断			

注記 *1：応力比＝発生応力／許容応力

(4) 機器及び機器取付ボルトの構造強度評価結果

機器及び機器取付ボルトの構造強度評価結果を第 5. 1-5 表に示す。

機器及び機器取付ボルトに発生する応力が許容限界を超えないことを確認した。

第 5. 1-5 表 機器及び機器取付ボルトの構造強度評価結果

名称	機器	評価対象 部位	応力 分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	(注1) 応力比	
安全冷却水 B 冷却塔	冬期 運転側 ベイ	管束	管束フレーム				
			ヘッダー				曲げ
			管束取付ボルト				引張 せん断
		ファン 駆動部	ファンリング				曲げ
			ファンリングサポート				曲げ
			ファンリング サポート取付ボルト				引張 せん断
			遮熱板				遮熱板
		遮熱板取付ボルト					引張 せん断
	冬期 休止側 ベイ	管束	管束フレーム				
			ヘッダー				曲げ
			管束取付ボルト				組合せ 引張 せん断
		ファン 駆動部	ファンリング				曲げ
			ファンリングサポート				曲げ
			ファンリング サポート取付ボルト				引張 せん断
			遮熱板				遮熱板
遮熱板取付ボルト		引張 せん断					

注記 *1：応力比＝発生応力／許容応力

(2) 安全冷却水系の配管の強度計算書

(2)-2 安全冷却水 B 冷却塔の配管 の強度計算書

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	3
2.4 準拠規格	5
3. 構造強度評価方法	6
3.1 構造強度評価の評価対象部位	6
3.2 記号の定義	6
3.3 荷重及び荷重の組合せ	8
3.3.1 荷重の設定	8
3.3.2 荷重の組合せ	9
3.4 許容限界	10
3.5 評価方法	11
4. 評価条件	14
5. 評価結果	16

1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-2-4-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、屋外の竜巻防護対象施設である安全冷却水B冷却塔まわり配管が、設計荷重(竜巻)に対して、竜巻防護対象施設の安全機能を損なわないよう、構造健全性を維持することを確認するものである。

2. 基本方針

配管について、「VI-1-1-1-2-4-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、「2.1 位置」, 「2.2 構造概要」, 「2.3 評価方針」及び「2.4 準拠規格」を示す。

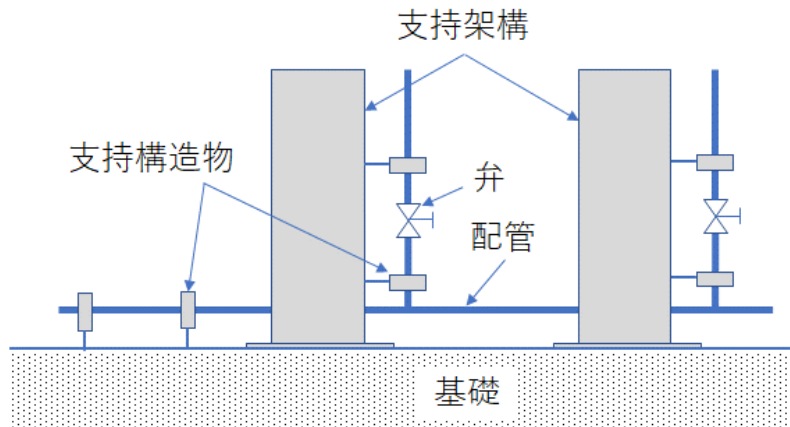
2.1 位置

配管の配置を以下に示す。

- (1) 安全冷却水B冷却塔まわり配管(安全冷却水冷却塔()～安全冷却水冷却塔()供給配管合流点, 安全冷却水冷却塔()戻り配管分岐点～安全冷却水冷却塔())は, 安全冷却水B冷却塔周辺に設置する。

2.2 構造概要

配管は, 鋼管及び鋳鍛鋼材の弁で構成され, 支持構造物により基礎又は壁もしくは支持架構から支持する構造となる。配管の概要図を第 2.2-1 図に示す。



第 2.2-1 図 配管の概要図

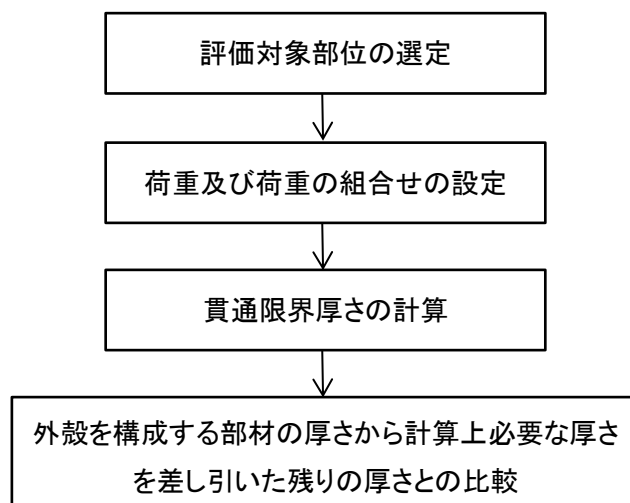
2.3 評価方針

配管の構造強度評価は、評価対象部位に発生する応力等が、許容限界に収まることを「3. 構造強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 評価結果」にて確認する。

(1) 衝突評価の評価方針

配管の衝突評価フローを第 2.3-1 図に示す。衝突評価においては、防護ネットを通過する飛来物である砂利による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さ※を差し引いた残りの厚さが貫通限界厚さ以上となることをもって、その施設の安全機能に影響を及ぼさないことを確認する。衝突評価では、「VI-1-1-1-2-4-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す衝突評価の評価式を用いる。配管の衝突評価における許容限界は、「VI-1-1-1-2-4-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとする。

※ 計算上必要な厚さとは、最高使用圧力等使用環境から要求される厚さであり、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007」(社)日本機械学会(以下、「JSME」という。)に基づき算出される。



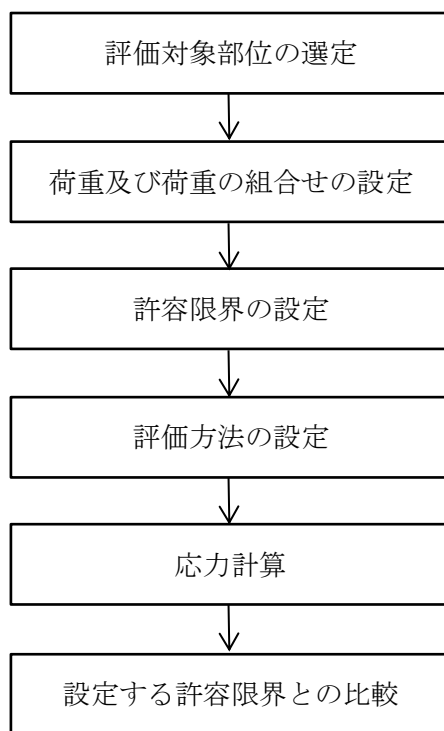
第 2.3-1 図 配管の衝突評価フロー

(2) 構造強度評価の評価方針

配管の構造強度評価フローを第 2.3-2 図に示す。

構造強度評価においては、配管に対して、設計荷重(竜巻)により作用する応力が許容応力以下であることを確認する。構造強度評価においては、標準支持間隔を用いて評価を行い、それ以下の支持間隔を持つ箇所の評価を包絡させる。

配管の構造強度評価における許容限界は、「VI-1-1-1-2-4-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」((社)日本電気協会)、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601-補1984」((社)日本電気協会)及び「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」((社)日本電気協会)(以下、「JEAG4601」という。)の許容応力状態Ⅲ_ASとする。



第 2.3-2 図 配管の強度評価フロー

2.4 準拠規格

準拠する規格，規準等を以下に示す。

- ・タービンミサイル評価について(昭和 52 年 7 月 20 日 原子炉安全専門審査会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007(社)日本機械学会
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984(社)日本電気協会
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987(社)日本電気協会
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版(社)日本電気協会
- ・建築物荷重指針・同解説(社)日本建築学会(2004)
- ・原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(原規技発第 1909069 号)

3. 構造強度評価方法

3.1 構造強度評価の評価対象部位

(1) 衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により、配管に飛来物による衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため、貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所を評価対象部位として設定する。弁を設置している箇所においては、弁の板厚は配管の板厚に比べ厚く、配管の評価に包絡されるため、配管のみを評価対象とする。

(2) 構造強度評価の評価対象部位

設計荷重(竜巻)は、鋼管に作用する。弁を設置している箇所においては、弁の断面係数は配管に比べ大きく、配管の評価に包絡されることから、配管のみを評価対象とする。支持構造物については、建屋内外に関らず地震に対して耐荷重設計がなされており、建屋外部に設計竜巻の風圧力による荷重が作用した場合でも、作用荷重は耐荷重以下であるため、設計竜巻の風圧力による荷重に対する支持構造物の評価は耐震評価に包絡されることから、評価対象外とする。

3.2 記号の定義

(1) 衝突評価の記号の定義

配管の衝突評価に用いる記号を第 3.2-1 表に示す。

第 3.2-1 表 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
T	mm	鋼板の貫通限界厚さ
T _c	mm	BRL 式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率で除した鋼板の貫通限界厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度

(2) 設計竜巻荷重の算出

設計竜巻荷重の算出に用いる記号を第 3.2-2 表に示す。

第 3.2-2 表 設計竜巻による荷重の算定に用いる記号

記号	単位	定義
A	m ² /mm	単位長さ当たりの施設の受圧面積(風向に垂直な面に投影した面積)
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
D	mm	管外径
G	—	ガスト影響係数
g	m/s ²	重力加速度
L	mm	支持間隔
M	N・mm	風により作用する曲げモーメント
m	kg/mm	単位長さ当たりの質量
P	MPa	内圧
q	N/m ²	設計用速度圧
Sy	MPa	JSME 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
t	mm	板厚
V _D	m/s	設計竜巻の最大風速
W _w	N/mm	単位長さ当たりの風圧力による荷重
w	N/mm	単位長さ当たりの自重による荷重
Z	mm ³	断面係数
ΔP	MPa	設計竜巻の気圧低下量
ρ	kg/m ³	空気密度
σ ₁ , σ ₂	MPa	配管に生じる応力
σ _{WP}	MPa	気圧差により生じる応力
σ _{WT1} , σ _{WT2}	MPa	複合荷重により生じる応力
σ _{WW}	MPa	風圧力により生じる応力
σ _{自重}	MPa	自重により生じる応力
σ _{内圧}	MPa	内圧により生じる応力

3.3 荷重及び荷重の組合せ

3.3.1 荷重の設定

(1) 衝突評価の荷重

衝突評価においては考慮する飛来物として防護ネット(ネットの網目寸法 40mm)をすり抜ける砂利を設定し、砂利による衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては、評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

砂利の諸元を第 3.3.1-1 表に示す。

第 3.3.1-1 表 砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.05	1.0	0.18	62	42

(2) 構造強度評価の荷重

構造強度評価に用いる荷重を以下の a. ~d. に示す。

また、荷重の算定に用いる竜巻の特性値を第 3.3.1-2 表に示す。

第 3.3.1-2 表 竜巻の特性値

最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線 風速 V_{Rm} (m/s)	最大気圧 低下量 ΔP_{max} (MPa)
100	15	85	0.0089

a. 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

b. 設計竜巻荷重

「VI-1-1-1-2-4-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」に従い，設計竜巻の風圧力による荷重を考慮する。

(a) 風圧力による荷重

風圧力による荷重は，下式により算定する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

$$q = 1/2 \cdot \rho \cdot V_b^2$$

(b) 気圧差による荷重

気圧差による荷重を考慮する。

(c) 飛来物による衝撃荷重 (W_M)

本設備は，竜巻防護対策設備を設置することで，設計飛来物が衝突しないことから， $W_M=0$ とする。

c. 運転時荷重

運転時の状態で作用する荷重としては，配管に作用する内圧を考慮する。

d. 積雪荷重

配管は，構造上，積雪しにくい構造であることから，0 とする。

3.3.2 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは，評価対象部位ごとに設定する。配管の評価に用いる荷重の組合せを第 3.3.2-1 表に示す。

第 3.3.2-1 表 荷重の組合せ

名称	評価部位	考慮する荷重
配管	配管本体	・ 常時作用する荷重 ・ 風圧力による荷重 ・ 気圧差による荷重 ・ 運転時荷重

3.4 許容限界

配管の許容限界は、「VI-1-1-1-2-4-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している許容限界を踏まえ、「3.1 構造強度評価の評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、許容応力状態Ⅲ_ASとする。

(1) 衝突評価の許容限界

衝突評価における許容限界は、評価において考慮する飛来物による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材が、機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認するため、評価式により算定した貫通限界厚さが配管の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であることを許容限界とする。

配管における計算上必要な厚さについて平成7年7月22日付け7安(核規)第710号にて認可を受けた設工認申請書の「V-1 主要な容器及び管の耐圧強度及び耐食性に関する設計の基本方針」の別添-6図-37の値を用いる。配管の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さを第3.4-1表に示す。

第3.4-1表 配管の外殻を構成する部材の厚さから
計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ

竜巻防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ (mm)	計算上必要な厚さ (mm)	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)
安全冷却水B冷却塔まわり配管(安全冷却水冷却塔()～安全冷却水冷却塔()供給配管合流点, 安全冷却水冷却塔()戻り配管分岐点～安全冷却水冷却塔())			

(2) 構造強度評価の許容限界

配管の許容限界は、JEAG4601を準用し、「クラス2・クラス3配管」の許容限界を適用し、許容応力Ⅲ_ASから算出した許容応力を許容限界とする。



配管の構造強度評価における許容限界を第3.4-2表に示す。

第3.4-2表 配管の構造強度評価における許容限界

状態	許容限界
	一次応力(膜+曲げ)
許容応力状態Ⅲ _A S	Sy

3.5 評価方法

(1) 衝突評価の評価方法

衝突評価は、「VI-1-1-1-2-4-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が竜巻防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について(昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

等価直径は、「電力中央研究所報告O19003」(以下、「O19003」という。)から「衝突部の周長と等価な周長の円の直径」として算出する。O19003における、設計飛来物である鋼製材のような四角形衝突に対する実験データ数不確かさを考慮し、BRL式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率(0.97)で除した値を貫通限界厚さとする。

したがって、BRL式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率で除した鋼板の貫通限界厚さは、以下の式により算出する。

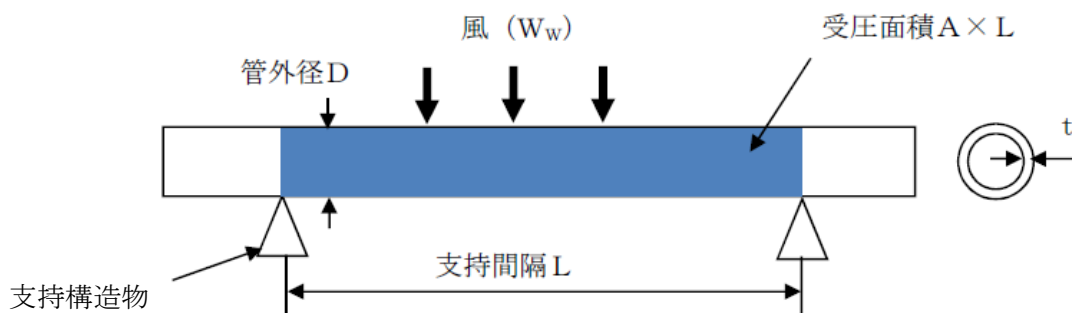
$$T_c = T / 0.97$$

(2) 構造強度評価の評価方法

a. 計算モデル

配管は一定間隔ごとに支持構造物によって支えられているため、風圧力による荷重を一様に受ける単純支持はりとして評価を行う。評価に用いる支持間隔は標準支持間隔を用いる。弁を設置している場合は支持構造物の支持間隔が短くなるため、弁を設置している場合の受圧面積は標準支持間隔での受圧面積に包絡される。

配管モデル図を第 3.5-1 図に示す。



第 3.5-1 図 配管モデル図

b. 計算方法

(a) 竜巻による応力計算

イ. 風圧力により生じる応力

風圧力による荷重が配管の支持間隔に等分布荷重として加わり、曲げ応力を発生させるものとして、以下の式により算定する。

$$\sigma_{WW} = \frac{M}{Z} = \frac{W_W \cdot L^2}{8Z}$$

ここで、断面係数 Z は以下の式により算定する。

$$Z = \frac{\pi}{32D} \{D^4 - (D - 2t)^4\}$$

ロ. 気圧差により生じる応力

気圧差による荷重は、気圧が低下した分、内圧により生じる一次一般膜応力が増加すると考えて、その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{WP} = \frac{\Delta P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって、イ.及びロ.項の複合荷重により生じる応力 σ_{WT1} 及び σ_{WT2} は以下の式により算出する。

$$\begin{aligned}\sigma_{WT1} &= \sigma_{WP} \\ \sigma_{WT2} &= \sigma_{WW} + 0.5\sigma_{WP}\end{aligned}$$

(b) 組合せ応力

設計竜巻荷重と組み合わせる荷重として、配管に常時作用する荷重である自重及び運転時荷重である内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる一次一般膜応力は、以下の式により算定する。

$$\sigma_{自重} = \frac{w \cdot L^2}{8Z}$$

$$w = m \cdot g$$

$$\sigma_{内圧} = \frac{P \cdot D}{4t}$$

したがって、自重及び風圧力による荷重により生じる曲げ応力と気圧差による荷重及び内圧により生じる一次一般膜応力を足し合わせ、配管に生じる応力として以下の式により σ_1 及び σ_2 を算出する。

$$\sigma_1 = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT1}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT2}$$

4. 評価条件

(1) 構造強度評価の評価条件

配管の構造強度評価に用いる評価条件を第 4-1 表及び第 4-2 表に示す。

第 4-1 表 構造強度評価に用いる評価条件

評価対象配管	管外径 D* ¹ (mm)	材 料	温度条件 (°C)	Sy* ³ (MPa)	支持間隔 L* ¹ (mm)	板 厚 t* ¹ (mm)	質量 m (kg/mm)	受圧面積 A (m ² /mm)	内 圧 P (MPa)
安全冷却水 B 冷却 塔まわり配管 (安全冷却水冷却 塔() ~ 安 全冷却水冷却塔 () 供給配 管合流点, 安全冷 却水冷却塔 () () 戻り配管分岐 点 ~ 安全冷却水冷 却塔 ()									

注記 * 1 : 評価に用いる寸法は, 公称値を使用する。

* 2 : 最高使用温度

* 3 : JSME

第 4-2 表 構造強度評価に用いる評価条件

q (N/m ²)	ΔP (MPa)	G (-)	C (-)	g (m/s ²)	W _M (N)
6, 100	0. 0089	1. 0	1. 2	9. 80665	0

5. 評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利に対する貫通限界厚さの評価結果を第 5-1 表に示す。

第 5-1 表 砂利に対する貫通限界厚さの評価結果

飛来物	貫通限界厚さ Tc (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂 利	1.0	1.0

砂利に対する貫通限界厚さ(1.0mm)と配管の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとの比較を第 5-2 表に示す。

第 5-2 表 配管の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとの比較結果

名称	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)	貫通限界厚さ Tc (mm)	結 果
安全冷却水B冷却塔まわり配管 (安全冷却水冷却塔()～安全冷却水冷却塔()供給配管合流点, 安全冷却水冷却塔()戻り配管分岐点～安全冷却水冷却塔())		1.0	貫通しない

砂利に対する貫通限界厚さは、外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満である。また、弁の板厚は配管に比べ厚いため、配管の評価に包絡される。

(2) 配管の構造強度評価結果

竜巻発生時の構造強度評価結果を第 5-3 表に示す。

第 5-3 表 配管の構造強度評価結果

名称	管外径 D (mm)	a 許容応力 (MPa)	b σ_1 (MPa)	応力比 (b/a)	c σ_2 (MPa)	応力比 (c/a)
安全冷却水B冷却塔まわり配管 (安全冷却水冷却塔 ■■■■■ ～ 安全冷却水冷却塔 ■■■■■ 供給配管合流点, 安全冷却水冷却塔 ■■■■■ 戻り配管分岐点 ～ 安全冷却水冷却塔 (■■■■■))						

配管に発生する応力は、許容応力以下である。また、弁を設置している箇所においては、弁の断面係数は配管に比べ大きく配管の評価に包絡される。

VI-1-1-1-2-4-2-2
竜巻防護対策設備の強度計算書

VI-1-1-1-2-4-2-2-
-1

飛来物防護ネットの強度計算書

(2) 安全冷却水 B 冷却塔 飛来物
防護ネットの強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	6
2.3.1 防護ネットの評価方針	6
2.3.2 防護板(鋼材)の評価方針	9
2.3.3 支持架構の評価方針	10
2.4 準拠規格	11
3. 構造強度評価方法	12
3.1 構造強度評価の評価対象部位	12
3.2 記号の定義	20
3.3 荷重及び荷重の組合せ	27
3.4 許容限界	31
3.5 評価方法	41
3.5.1 防護ネットの評価方法	41
3.5.2 防護板(鋼材)の評価方法	55
3.5.3 支持架構の評価方法	61
4. 評価条件	65
4.1 荷重条件	65
4.2 防護ネットの評価条件	66
4.3 防護板(鋼材)の評価条件	78
4.4 支持架構の評価条件	79
5. 評価結果	81
5.1 防護ネットの強度評価結果	81
5.2 防護板(鋼材)の強度評価結果	104
5.3 支持架構の強度評価結果	105

1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」に示すとおり、竜巻防護対策設備である飛来物防護ネットが、竜巻襲来時及び竜巻通過後においても、竜巻防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止し、また、波及的影響による機能を損なわないことを確認するために、以下を計算により確認するものである。

- ・防護ネットは設計飛来物を捕捉し、構成する主要な部材が破断しないこと。また、ネットにたわみが生じても、設計飛来物は竜巻防護対象施設に衝突しないこと。
- ・防護板(鋼材)は、飛来物を貫通させず、また脱落による波及的影響を与えないこと。
- ・支持架構は脱落、倒壊及び転倒により竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないこと。

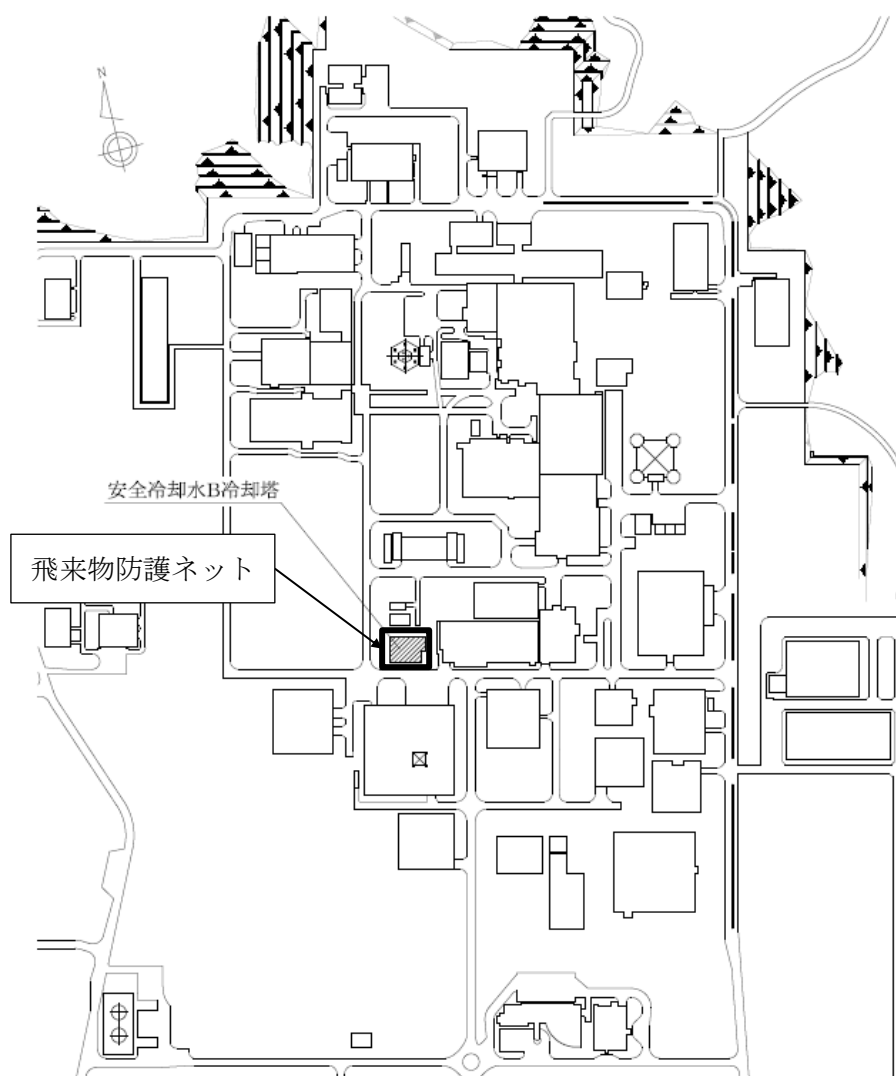
2. 基本方針

飛来物防護ネットは、「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」を踏まえ、「2.1 位置」及び「2.2 構造概要」を設定している。

2.1 位置

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の設置位置は、竜巻防護対象施設である安全冷却水B冷却塔の周囲に設置している。

飛来物防護ネットの配置図を第2.1-1図に示す。



第2.1-1図 飛来物防護ネットの配置図

2.2 構造概要

飛来物防護ネットの構造は「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「2.4 構造設計」を踏まえて設計し、防護ネット、防護板(鋼材)及び支持架構を組み合わせて、竜巻防護対象施設の周囲に設置する。

(1) 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の構造概要

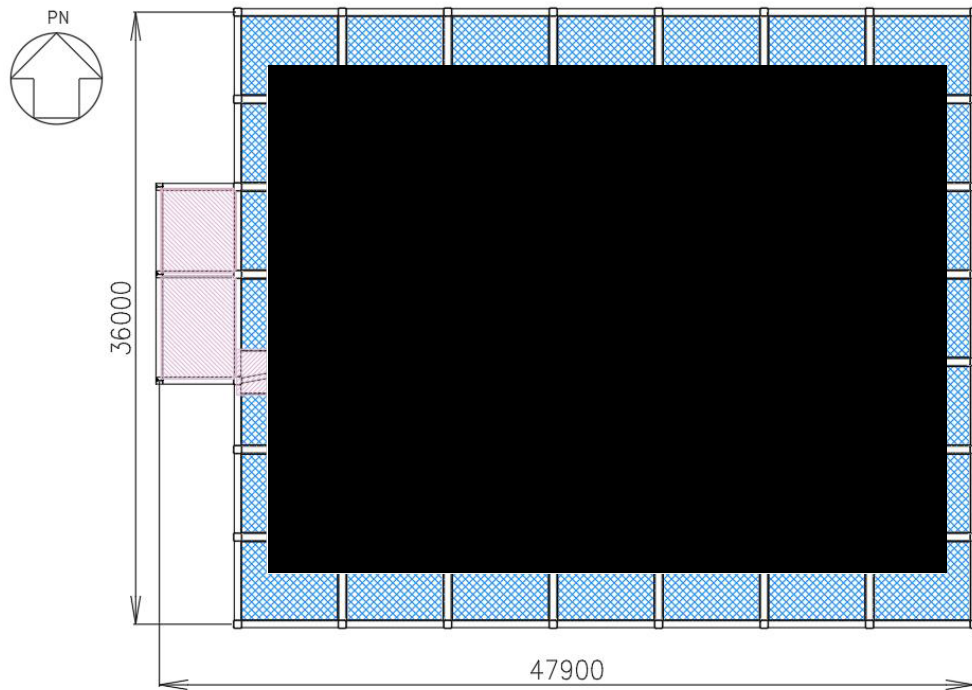
飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の防護ネットは、支持架構に直接設置する防護ネット(以下、「防護ネット(支持架構に直接設置)」という。)及び電中研報告書と同一構造の防護ネット(以下、「防護ネット(鋼製枠)」という。)の2種類が存在する。

また、離隔距離が確保できない箇所には防護板(鋼材)を設置する。

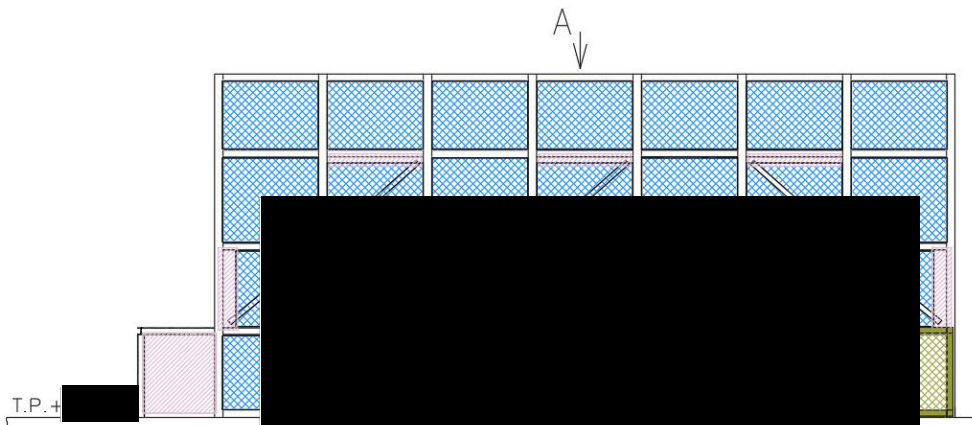
支持架構は、柱、はり及びブレースによって構成されるラーメン・トラス構造であり、溶接又はボルトにより接合される鉄骨構造物である。

また、飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は杭基礎を介して支持地盤である鷹架層に支持される構造としている。

構成部材は、「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「3. 竜巻防護対策設備の構成要素の設計方針」に基づき設計し、飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の平面図・側面図を第2.2-1図に示す。



A視 (T.P.+75600)



南面

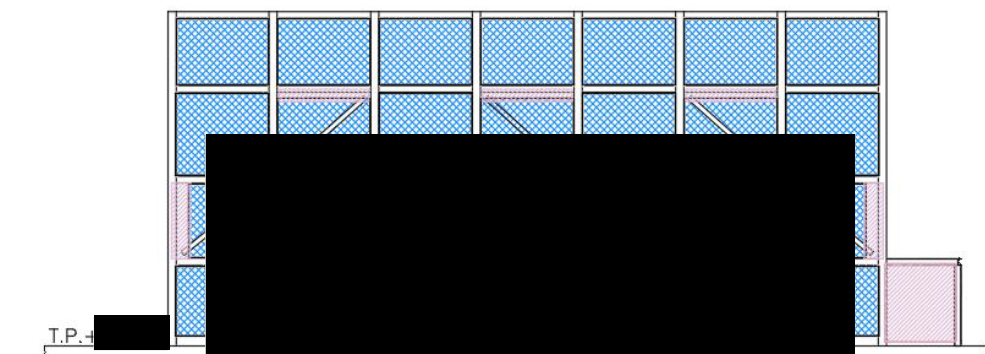
【凡例】

: 防護ネット (支持架構に直接設置)

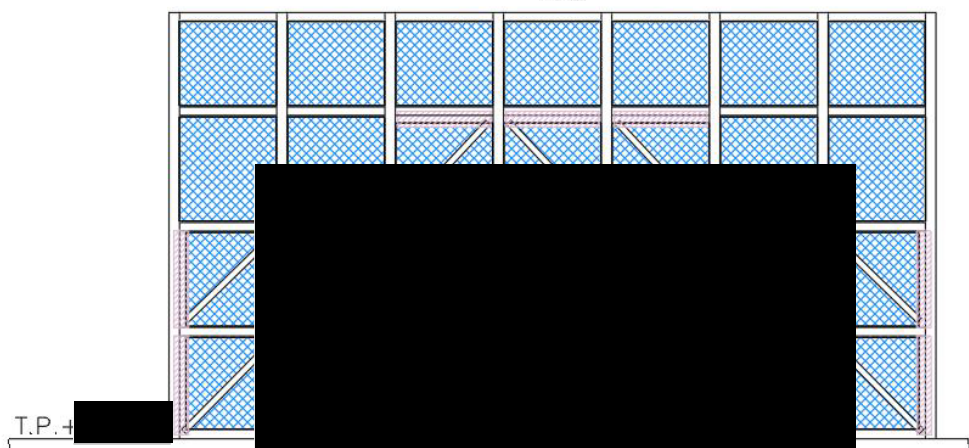
 : 防護ネット (銅製枠)

 : 防護板

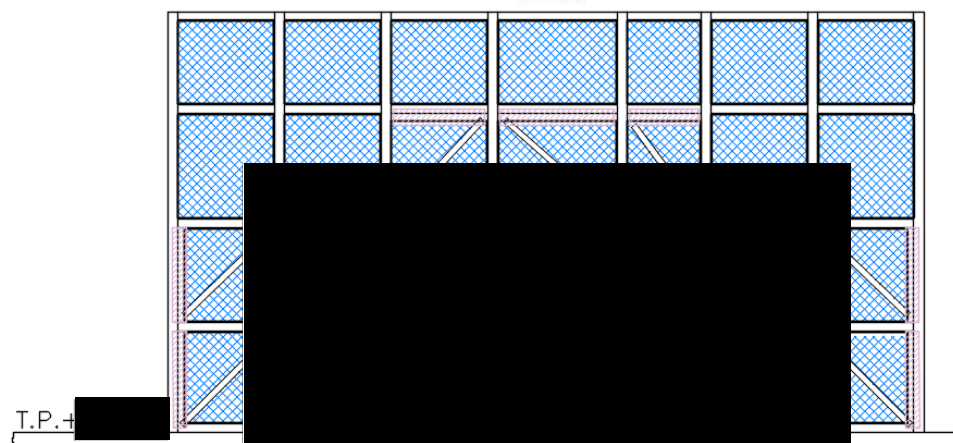
第2.2-1図 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の
平面図・側面図(単位: mm) (1/2)



北面



東面



西面

【凡例】

- : 防護ネット（支持架構に直接設置）

 : 防護ネット（鋼製枠）

 : 防護板

第2.2-1図 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の
平面図・側面図(単位: mm) (2/2)

飛来物防護ネットを構成する部材を第2.2-1表に示す。

第2.2-1表 飛来物防護ネットの構成部材

名称	構成部材			
	防護ネット		防護板 (鋼材)	支持架構
	支持架構に 直接設置	鋼製枠		
飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)	○	○	○	○

○：使用している部材，－：使用していない部材

2.3 評価方針

飛来物防護ネットの構造強度評価は、「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」，「4. 竜巻防護対策設備の構成要素の評価方針」及び「5. 許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて，飛来物防護ネットの評価対象部位に作用する応力が，許容限界に収まることを「3. 構造強度評価方法」に示す方法により，「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5. 評価結果」にて確認する。

2.3.1 防護ネットの評価方針

防護ネットの構造強度評価は、「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「4.1 防護ネットの評価方針」に基づき，以下を評価する。

防護ネットの評価における配慮事項を第2.3.1-1表に示す。

(1) 構造強度評価

設計荷重(竜巻)に対し、主要な部材が破断しないために、防護ネットのうちネット、ワイヤロープ、接続治具(支持部及び固定部)、接続部に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを計算により確認する。

ネットについては、設計荷重(竜巻)が作用する場合に、ネット全体でエネルギーを吸収することから、ネットの吸収エネルギーを評価する。評価方法としては、電中研報告書において、ネットへの適用性が確認されている評価式(以下、「電中研評価式」という。)を参照して評価する。また、飛来物の衝突箇所において破断が生じないことを確認するために、ネットに作用する引張荷重を、電中研評価式を参照して評価する。さらに、ネットが機能を発揮できるように、ネットに作用する荷重がワイヤロープ、接続治具(支持部及び固定部)及び接続部に伝達された際、その荷重により発生する荷重並びに応力が、各部材の許容値以下であることを確認する。

防護ネット(支持架構に直接設置)においては、補助防護板に飛来物が衝突したとしても、貫通しない厚さを有していること及び竜巻防護対象施設に衝突するおそれのある補助防護板が脱落しないことを確認する。

a. ネットの吸収エネルギー評価

ネットの吸収エネルギー評価においては、ネットの目合の方向に従ってネット剛性を設定し、ネットのエネルギー吸収に有効な面積を考慮し、ネットの有効面積を設定し評価を実施する。また、ネット剛性の設定によるたわみ量への影響を考慮して、評価を実施する。

b. ネット、ワイヤロープ、接続治具(支持部及び固定部)及び接続部の破断評価

ネット、ワイヤロープ、接続治具、及び接続部の破断評価においては、飛来物の衝突位置として、中央位置からずれた(以下、「オフセット」という。)衝突についても考慮する。具体的には、電中研評価式では飛来物がネット中央位置に衝突する場合についてのみ評価を実施しているため、オフセット位置に衝突する場合の評価においては、中央位置に衝突する場合とオフセット位置に衝突する場合の飛来物の移動距離を考慮した評価を実施する。また、ネット剛性の設定によるたわみ量への影響を考慮して、評価を実施する。

接続部の破断評価においては、緩衝装置を有する保持管によるワイヤロープ張力の急激な増加を抑制する効果が得られないため、動的応答倍率の影響を考慮して評価を実施する。

c. 補助防護板

補助防護板は、ネットと支持架構の隙間から侵入する飛来物を貫通させない厚さを有する設計とすることから、「2.3.2 防護板(鋼材)の評価方針」の評価方針に基づき、必要最小厚さを上回っていること及び補助防護板の取付部が破断しないことを確認する。

なお、設計においては、ネットと支持架構の隙間から侵入してくる飛来物の設定が困難であることから、保守的に設計飛来物を用いて必要厚さを設計する。

(2) たわみ評価

設計荷重(竜巻)に対し、飛来物が竜巻防護対象施設と衝突しないよう捕捉するために、防護ネットのうちネット及びワイヤロープにたわみが生じて、飛来物が竜巻防護対象施設と衝突しないよう竜巻防護対象施設との離隔を確保できることを計算により確認する。

防護ネットは、設計荷重(竜巻)がネットに作用する場合に、ネットがたわむことでエネルギーを吸収することから、ネット及びワイヤロープにたわみが生じて、ネットと竜巻防護対象施設が衝突しないことを確認する。この際、ネットとワイヤロープのたわみ量を考慮して評価する。評価方法としては、電中研評価式等を用いて評価する。

評価の条件についても、構造強度評価と同様に飛来物のネットの衝突位置、ネット剛性の設定によるたわみ量への影響を考慮して評価を実施する。

第2.3.1-1表 ネット評価の考慮事項の選定

	吸収エネルギー評価	破断評価	たわみ評価
算出方法	飛来物による衝撃荷重のエネルギーと自重、積雪荷重及び風圧力による荷重から生じるエネルギーを算出し、ネットに生じるエネルギーの総量を算出。	飛来物による衝撃荷重に対し、ネットの引張荷重、ワイヤロープの張力、接続治具(支持部及び固定部)、接続部に発生する荷重及び応力を算出。	自重、積雪荷重、飛来物による衝撃荷重及び風圧力による荷重によりネット及びワイヤロープに生じるたわみ量を算出。
衝突位置	オフセット位置での衝突時のネットの吸収エネルギーは中央衝突時と同等であることから、オフセットによる影響は考慮不要。	オフセット位置での衝突時の飛来物による衝撃荷重が中央衝突時より増加することを算出荷重に考慮する。	ネットのたわみ量が最大となる中央位置への衝突時のたわみ量を算出。
ネット剛性	等価剛性の算出過程の影響から定められる係数を限界吸収エネルギーに考慮する。	等価剛性の算出過程の影響から定められる係数をネットの許容引張荷重に考慮する。	等価剛性の算出過程の影響から定められる係数を飛来物による衝突によりネット本体に生じるたわみ量に考慮する。
動的応答倍率	吸収エネルギー評価において考慮不要。	緩衝装置を有する保持管による効果を得られない接続部の荷重に考慮する。	たわみ評価において考慮不要。

2.3.2 防護板(鋼材)の評価方針

防護板(鋼材)の構造強度評価は、「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「4.2 防護板(鋼材)の評価方針」に基づき、以下を評価する。

(1) 貫通評価

設計荷重(竜巻)に対し、設計飛来物が防護板(鋼材)を貫通しない設計とするために、防護板(鋼材)が設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。

(2) 波及的影響評価

設計飛来物による衝撃荷重に対し、防護板(鋼材)が脱落しないことを、FEM解析を用いて確認する。

2.3.3 支持架構の評価方針

支持架構の構造強度評価は、「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「4.3 支持架構の評価方針」に基づき、以下を評価する。

(1) 貫通評価

設計荷重(竜巻)に対し、支持架構を構成する部材が飛来物を貫通させないために、支持架構部材が破断に至るようなひずみを生じないことをFEM解析により確認する。

(2) 波及的影響評価

設計荷重(竜巻)に対し、竜巻防護対策設備の支持架構が脱落、倒壊及び転倒により、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないことをFEM解析により確認する。

a. 脱落評価

設計荷重(竜巻)に対し、支持架構の接続部は十分な強度を有し、部材の脱落を生じさせないために、接続部が破断に至るようなひずみを生じないことをFEM解析により確認する

b. 倒壊評価

「(1) 貫通評価」において、部材の貫通もしくは大変形が確認された場合、支持架構は、当該部位を欠損した状態で構造健全性が維持されていることをFEM解析により確認する。

c. 転倒評価

設計荷重(竜巻)に対し、支持架構の柱脚部は十分な強度が確保されていることをFEM解析により確認する。

2.4 準拠規格

準拠する規格，基準，指針等を以下に示す。

- 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—((社)日本建築学会, 2005)
- 日本産業規格(JIS)
- 小規模吊橋指針・同解説((社)日本道路協会)
- タービンミサイル評価について(昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会)
- ISES7607-3 昭和50年度日本原子力研究所委託調査「軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査 その3 ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討」(昭和51年10月 高温構造安全技術研究組合)
- 竜巻飛来物を模擬した角管の落下衝突による鋼板の貫通評価(日本機械学会論文集, Vol. 83, Vol1851(2017))
- 発電用原子力設備規格 竜巻飛来物の衝撃荷重による構造物の構造健全性評価手法ガイドライン JSME S NS6-2019 2019年6月((社)日本機械学会)
- 「Eの数値を算出する方法並びにVo及び風力係数の数値」(平成12年5月31日, 建設省告示第1454号)
- NEI07-13 Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs April 2011
- 鋼構造限界状態設計指針・同解説(2010)((社)日本建築学会)
- 「動的繰返し大変形を受ける溶接鋼構造物の脆性破壊性能評価方法, WES2808:2003(社)日本溶接協会

3. 構造強度評価方法

3.1 構造強度評価の評価対象部位

飛来物防護ネットの評価対象部位は、「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「2.4 構造設計」及び「2.5 評価方針」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

(1) 防護ネット

a. ネット

設計飛来物は、ネットに直接衝突する。このため、設計荷重(竜巻)に対する評価対象部位は、ネットとする。

評価対象部位について第3.1-1図及び第3.1-2図に示す。

b. ワイヤロープ

ワイヤロープはネットを支持する部材であり、ネットに作用した荷重は、ワイヤロープに作用するため、設計荷重(竜巻)に対する評価対象部位は、ワイヤロープとする。

評価対象部位について第3.1-1図及び第3.1-2図に示す。

c. 接続治具(支持部)

接続治具(支持部)は、ワイヤロープを支持する部材であり、ネットに作用した荷重は、ワイヤロープを介して接続治具(支持部)に作用するため、設計荷重(竜巻)に対する評価対象部位は、接続治具(支持部)とする。

評価対象部位を第3.1-1図及び第3.1-2図に示す。

d. 接続治具(固定部)

接続治具(固定部)は、保持管を固定する隅角部固定ボルト及び接続治具(支持部)を固定する取付プレートであり、ワイヤロープからの荷重が作用するため、設計荷重(竜巻)に対する評価対象部位は、接続治具(固定部)とする。

防護ネット(支持架構に直接設置)の取付プレートは、プレート本体及び取付プレートと支持架構の溶接部があるが、プレート本体を評価対象部位とする。取付プレートと支持架構の溶接部は、プレート本体と同じ荷重を受ける部材であり、プレート本体の評価結果に包絡されることから、評価対象外とする。

防護ネット(鋼製枠)の取付プレートは、プレート本体、取付プレートと鋼製枠、取付プレートとリブ及び鋼製枠とリブの溶接部が存在するが、構造強度評価上、溶接脚長が短い取付プレートとリブの溶接部及びプレート本体を評価対象部位とする。取付プレートと鋼製枠及び鋼製枠とリブの溶接部は、プレート本体及び取付プ

プレートとリブの溶接部と同じ荷重を受ける部材であり、プレート本体及び取付プレートとリブの溶接部の評価結果に包絡されることから、評価対象外とする。

評価対象部位を第3.1-1図から第3.1-4図に示す。

e. 接続部

接続部は、防護ネットと支持架構を接続する部位であり、防護ネットが受ける荷重を支持架構に伝える部位であるため、設計荷重(竜巻)に対する評価対象部位は、接続部とする。

押さえボルトは、ボルト、ボルト取付座及び溶接部があるが、ボルトを評価対象部位とする。ボルト取付座及び溶接部は、ボルトと同じ荷重を受ける部材であり、ボルトの評価結果に包絡されることから、評価対象外とする。

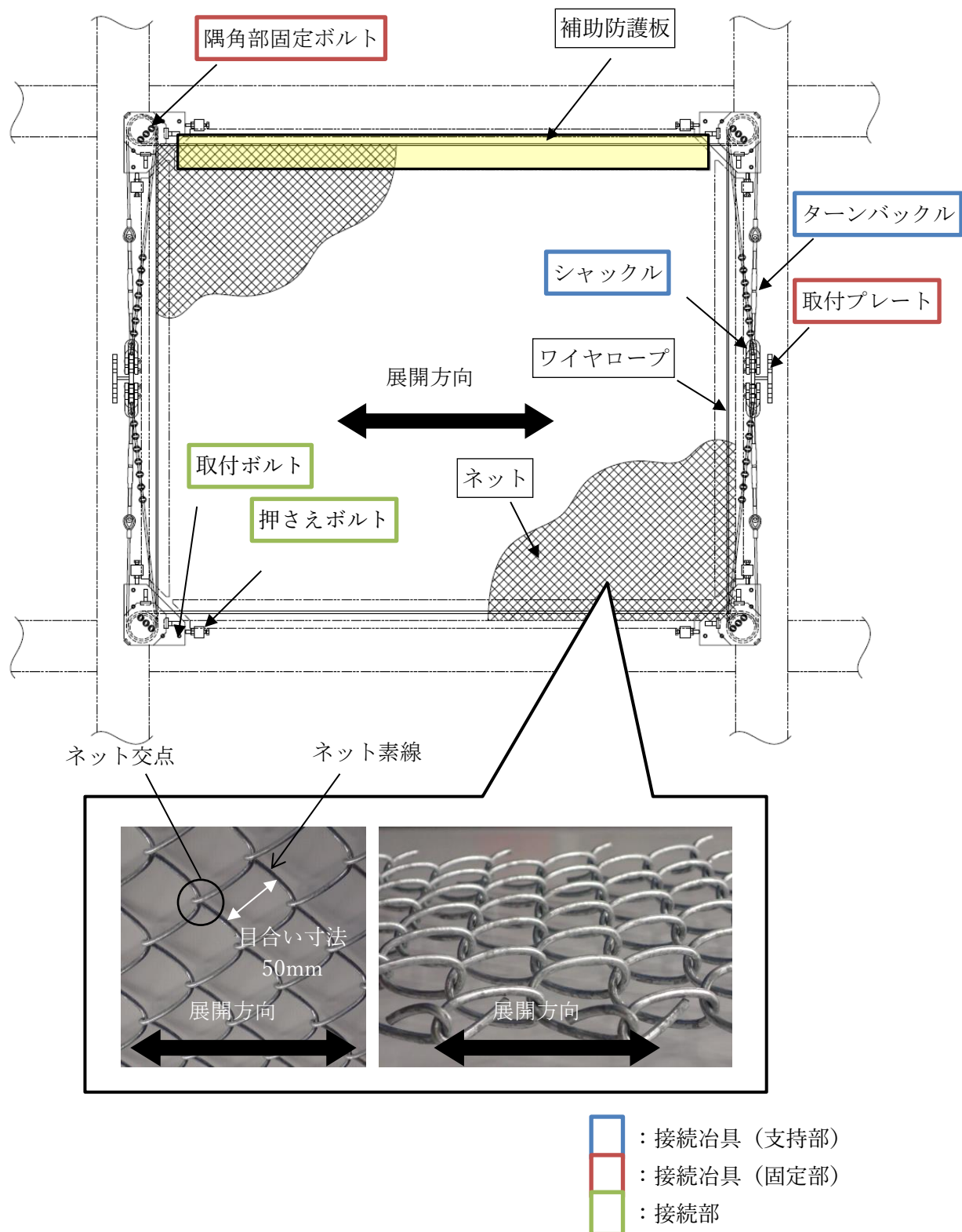
評価対象部位を第3.1-1図及び第3.1-5図に示す。

f. 補助防護板

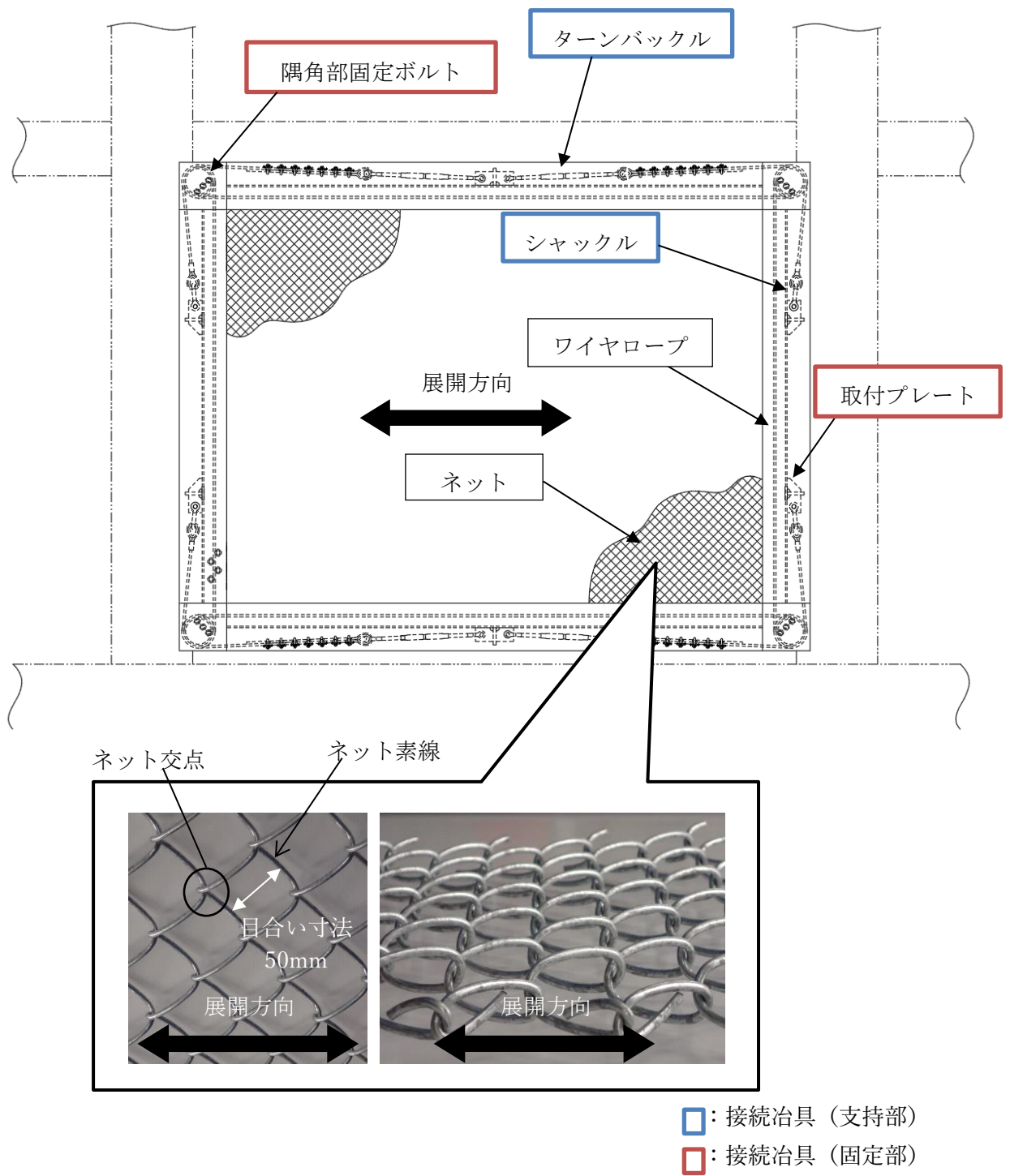
補助防護板は、ネットと支持架構の隙間が設計上通過を許容する飛来物以下のサイズにするための部材であり、隙間より侵入してきた飛来物は鋼板に直接衝突するため、設計荷重(竜巻)に対する評価対象部位は、鋼板とする。

補助防護板は、ネットの前に設置されている構造とネットの後ろに設置されている構造がある。このうち、ネットの前に設置されている補助防護板は、脱落したとしても、ネットに捕捉されることから評価対象外とする。

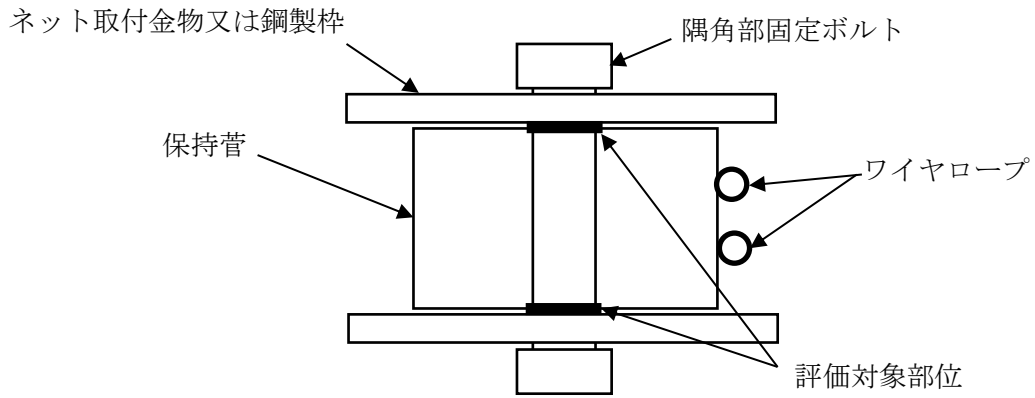
また、ネットの後ろに設置されている補助防護板は、モーメントアームの長さ及び断面二次係数は防護板(鋼材)の評価結果に包絡されることから、評価対象外とする。



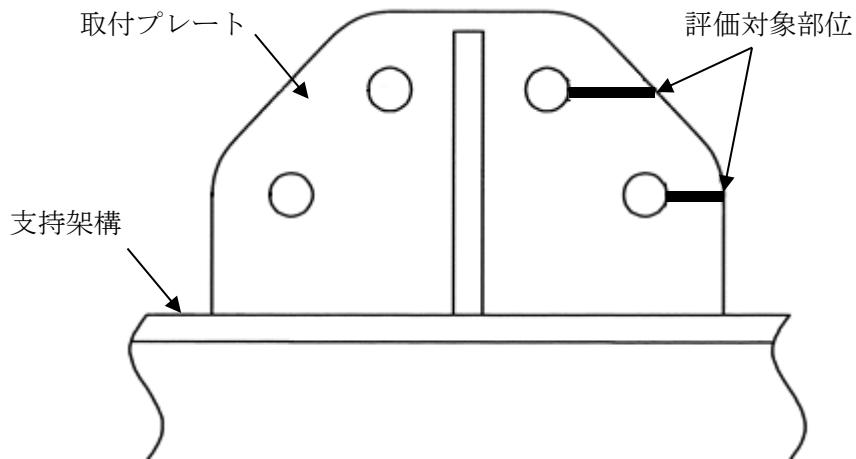
第3.1-1図 防護ネット(支持架構に直接設置)の評価対象部位



第3.1-2図 防護ネット(鋼製枠)の評価対象部位

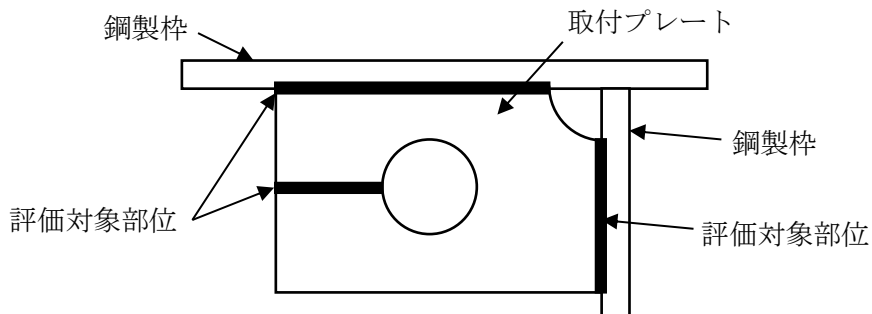


第3.1-3図 隅角部固定ボルトの評価対象部位



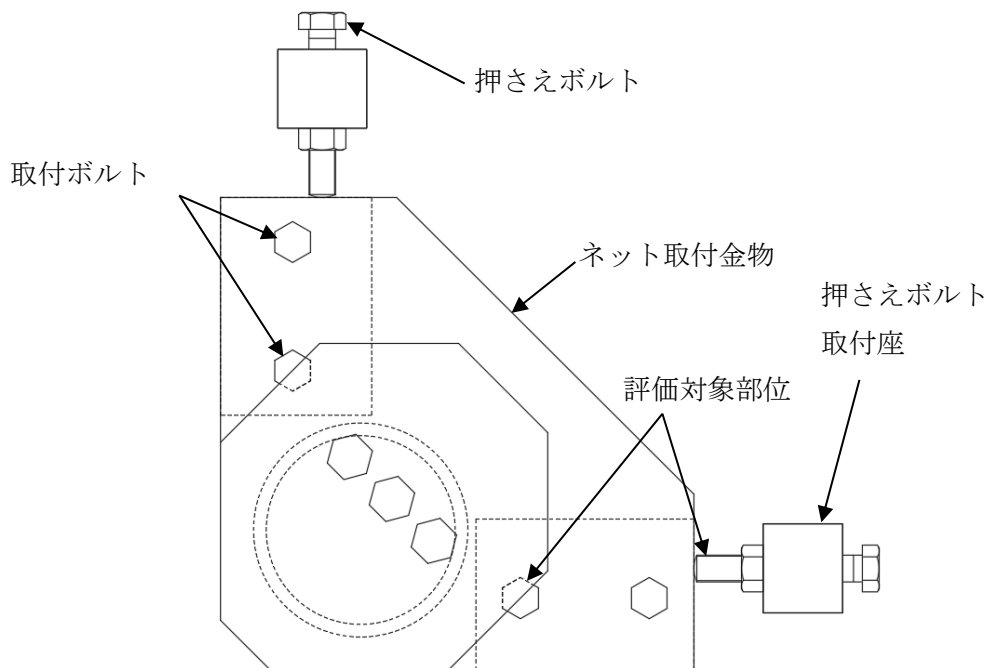
※取付プレート溶接部は、評価対象部位より許容荷重が大きいいため評価を省略している。

(i) 防護ネット(支持架構に直接設置)



(ii) 防護ネット(鋼製枠)

第3.1-4図 ワイヤロープの取付プレートの評価対象部位



※ボルト取付座及び溶接部は評価対象部位より許容荷重が大きいため評価を省略している

第3.1-5図 ネット取付金物等の評価対象部位

(2) 防護板(鋼材)

a. 鋼板

設計飛来物は、鋼板に直接衝突する。このため、設計荷重(竜巻)に対する評価対象部位は、鋼板とする。

b. 取付ボルト

取付ボルトは、鋼板を支持架構に接続する部位であり、鋼板に作用する荷重は取付ボルトに作用するため、設計荷重(竜巻)に対する評価対象部位は、取付ボルトとする。

評価対象の防護板(鋼材)は、飛来物による衝撃荷重により取付ボルトに作用するモーメントが大きいと考えられるものを選定する。具体的には、防護板(鋼材)の支持方法、モーメントアームの長さ及び断面二次係数を踏まえて選定する。

(3) 支持架構

支持架構は、防護ネット及び防護板(鋼材)を支持する部材であり、防護ネット及び防護板(鋼材)に設計荷重(竜巻)が作用した際、伝播する荷重に対し、支持架構は構造健全性を維持する必要がある。また、設計荷重(竜巻)が支持架構に直接作用した際に竜巻防護対象施設へ波及的影響を与えないための強度を有する必要があることから、支持架構を構成する部材を評価対象とする。

なお、支持架構の構造強度評価は、評価が最も厳しくなるよう、支持架構に設計荷重(竜巻)が直接作用した際に、その健全性をFEM解析により確認する方針としており、FEM解析における飛来物の衝突箇所としては、部材の中央位置を選定する。

これは、衝突により支持架構に発生するひずみを大きくするため、被衝突部材の曲げモーメントが最大となる位置を選定したためである。

支持機能評価においては、支持架構を構成する主要部材に発生する曲げモーメントが最大となるよう、部材長さ(支持スパン)が最長となる部材を選定することを基本とする。

支持架構の評価項目に対する、衝突位置選定の考え方を以下に示す。

a. 貫通評価の評価対象部位

飛来物が支持架構の主要部材に衝突した場合に、被衝突部材が破断し貫通するおそれがあることから、飛来物が支持架構の主要部材に直接衝突した場合についてのFEM解析を実施し、評価を行う。

評価対象部位は、支持架構を構成する部材のうち、最も板厚が薄い部材とし、衝突位置も同様とする。

b. 波及的影響評価の評価対象部位

(a) 脱落評価

飛来物が支持架構の主要部材に衝突した場合に、支持架構の接続部が破断すると、飛来物は破断した部材とともに、竜巻防護対象施設に落下するおそれがあることから、支持架構の接続部を評価対象部位とする。

評価対象部位は、支持架構の接続部に生じる応力が最も大きくなるよう、最も長い部材とし、衝突位置は部材中央とする。

飛来物防護ネットの部材の支持機能評価対象部位を第5.1.2-2表に示す。

(b) 倒壊評価

「a. 貫通評価の評価対象部位」の結果，貫通もしくは大きな変形が確認された部材の欠損評価を実施する。

評価対象部位は，支持架構を構成する部材とする。

(c) 転倒評価

支持架構と基礎を定着している柱脚部が破断すると，支持架構が転倒するおそれがあることから，柱脚部を評価対象部位とする。

評価対象部位は，柱脚部に生じる応力が最も大きくなるよう，支持架構の頂部を衝突位置とする。

3.2 記号の定義

a. 防護ネット

防護ネットの構造強度評価に用いる記号を第3.2-1表に示す。

第3.2-1表 防護ネットの構造強度評価に用いる記号(1/5)

記号	単位	定義
A_a	m^2	ネットの面積
A_{b1}	mm^2	隅角部固定ボルト断面積
A_{b2}	mm^2	ネット取付金物等のうち取付ボルト有効断面積
A_{b3}	mm^2	ネット取付金物等のうち押さえボルト有効断面積
A_{s1}	mm^2	取付プレート(支持架構設置)の有効せん断面積
A_{s2}	mm^2	取付プレート(鋼製枠設置)の有効せん断面積
A_w	m^2	風圧力による荷重を受けるネットの受圧面積
a	mm	ネット1目合の対角寸法
a_s	mm	ネット1目合の破断変位
a_w	mm	取付プレート(鋼製枠設置)溶接部ののど厚
b	mm	飛来物の端面の長辺方向寸法
c	mm	飛来物の端面の短辺方向寸法
C	-	ネットの風力係数
C_c	-	ワイヤグリップの効率
d	m	飛来物衝突時の飛来物の移動距離
E_f	kJ	飛来物の運動エネルギー
E_i	kJ	i番目の列におけるネットの吸収エネルギー
E_{max}	kJ	ネットの限界吸収エネルギー
E_{max}'	kJ	ネットの補正限界吸収エネルギー
E_t	kJ	ネットに作用する全エネルギー
E_w	kJ	自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によりネットに作用するエネルギー
F_{40}	kN	40mm目合金網の1交点当たりの許容引張荷重
F_{50}	kN	50mm目合金網の1交点当たりの許容引張荷重
F_a	kN	ネットが受ける最大衝撃荷重
F_a'	kN	衝突位置を考慮した飛来物衝突時にネットが受ける飛来物による衝撃荷重
F_a''	kN	飛来物衝突時にネットが受ける飛来物による衝撃荷重

第3.2-1表 防護ネットの構造強度評価に用いる記号(2/5)

(つづき)

記号	単位	定義
F_{bm}	kN	飛来物衝突時のネットの許容荷重(ネット交点の破断荷重)
F_{bw}	kN	ワイヤロープ破断荷重(JIS規格値)
F_i	kN	飛来物衝突時のi番目の列における作用力
F_n	kN	ネットの総交点強度
F_n'	kN	等価剛性のばらつきを考慮したネットの総交点強度
F_p	kN	ワイヤロープにより支持部に作用する荷重
F_{p1}	kN	1本目のワイヤロープにより支持部に作用する荷重
F_{p2}	kN	2本目のワイヤロープにより支持部に作用する荷重
F_t	kN	ネット取付金物に作用する水平方向合成荷重
F_w	kN	自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によりネットに作用する荷重
F_x	kN	ネット取付金物に作用する展開方向荷重
F_y	kN	ネット取付金物に作用する展開直角方向荷重
F_{x1}	kN	飛来物がネットに衝突によりワイヤロープから発生するX方向荷重
F_{y2}	kN	飛来物がネットに衝突によりワイヤロープから発生するY方向荷重
F_z	kN	ネット取付金物及び鋼製枠に作用する鉛直方向荷重
g	m/s ²	重力加速度($g=9.80665$)
G	-	ガスト影響係数
H	mm	ネット取付金物の取付け面から保持管中心までの距離
K	kN/m	ネット1目合の等価剛性
K_x	kN/m	ネット設置枚数を考慮したネット1目合の展開方向1列の等価剛性
K_x'	kN/m	ネット1枚のネット1目合の展開方向1列の等価剛性
L	mm	取付けプレート(鋼製枠設置)の面取り長さ
L_1	mm	ネット取付金物のモーメント支点からボルトまでの距離
L_2	mm	ネット取付金物のモーメント支点から保持管中心までの距離
L_b	m	変形前のワイヤロープ長さ
L_{min}	m	防護ネットと竜巻防護対象施設の最小離隔距離
L_{pw}	mm	取付プレート(鋼製枠設置)溶接部の有効長さ
L_{p1}	mm	取付プレート(支持架構設置)取付け孔位置寸法
L_{p2}	mm	取付プレート(支持架構設置)取付け孔位置寸法
L_{p3}	mm	取付プレート(鋼製枠設置)縦寸法

第3.2-1表 防護ネットの構造強度評価に用いる記号(3/5)

(つづき)

記号	単位	定義
L_{p4}	mm	取付プレート(鋼製枠設置)横寸法
L_{p5}	mm	取付プレート(鋼製枠設置)孔位置寸法
L_x	m	ネット展開方向寸法
L_y	m	ネット展開直角方向寸法
L_z	m	ワイヤロープの全長
m	kg	飛来物の質量
m_1	kg/m ²	ネットの単位面積当たりの質量
m_2	kg/m ²	補助ネットの単位面積当たりの質量
N_i	個	i 列目のネット展開直角方向目合数
N_x	個	ネット展開方向目合数
N_y	個	ネット展開直角方向目合数
n	枚	ネット設置枚数
n_1	個	飛来物の衝突位置周辺のネット1枚当たりの交点数
n_2	個	隅角部固定ボルト本数
n_3	個	ネット取付金物等のうち取付ボルト評価対象ボルト本数
P	kN	ワイヤロープの許容荷重
P_i	kN	飛来物衝突時にネットに発生する i 番目の列における張力
P_s	kN	積雪荷重
P_w	kN	ネットの自重により作用する荷重
P_1	kN	ネット取付金物等のうち取付ボルトに作用する引張荷重
Q	kN/s	衝撃荷重が時間とともに比例する際の比例係数
q	kN/m ²	設計用速度圧
S	m	変形後のワイヤロープ長さ
S_x	m	展開方向端部のワイヤロープの弧長
S_y	m	展開直角方向端部のワイヤロープの弧長
S_w	mm	取付プレート(鋼製枠設置)溶接部の溶接脚長
T'	kN	飛来物のネットへの衝突によりn枚のネットに発生する張力の合計の最大値
T_1	kN	飛来物のネット中央への衝突により1枚のネットのワイヤロープ1本に作用する張力の最大値

第3.2-1表 防護ネットの構造強度評価に用いる記号(4/5)

(つづき)

記号	単位	定義
T_1'	kN	衝突位置を考慮した飛来物のネットへの衝突により1枚目のネットのワイヤロープ1本に作用する張力の最大値
T_T	kN	全ワイヤロープの合計張力
T_x	kN	飛来物がネットに衝突により展開方向のワイヤロープから発生するX方向荷重
T_x'	kN	飛来物がネットに衝突により展開直角方向のワイヤロープから発生するX方向荷重
T_y	kN	飛来物がネットに衝突により展開方向のワイヤロープから発生するY方向荷重
T_y'	kN	飛来物がネットに衝突により展開直角方向のワイヤロープから発生するY方向荷重
t	s	飛来物衝突後の時間
t_1	s	飛来物停止までに必要な現象時間
t_2	mm	取付プレート(支持架構設置)の板厚
t_3	mm	取付プレート(鋼製枠設置)の板厚
V_D	m/s	設置(変更)許可を受けた竜巻の最大風速
v	m/s	飛来物の移動速度
v_i	m/s	飛来物の衝突速度
W_w	kN	風圧力による荷重によりネットに作用する荷重
X_i	m	i列目のネットの伸び
δ	m	飛来物衝突時のネットのたわみ量
δ'	m	飛来物衝突時のワイヤロープの変形による伸び量
δ_a	m	自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によるたわみ量
δ_i	m	飛来物衝突時のi番目の列におけるネットのたわみ量
δ_{max}	m	ネットの最大たわみ量
δ_t	m	ネット変形、ワイヤたるみを考慮した対策工全体の最大たわみ量
δ_t'	m	等価剛性の算出過程を踏まえた係数を考慮した対策工全体の最大たわみ量
δ_w	m	ワイヤロープのたわみ量
δ_{wx}	m	ネット展開方向端部のワイヤロープのたわみ量

第3.2-1表 防護ネットの構造強度評価に用いる記号(5/5)

(つづき)

記号	単位	定義
δ_{wy}	m	ネット展開直角方向端部のワイヤロープのたわみ量
ε	-	ワイヤロープの伸び率
θ	deg	飛来物衝突時のネットのたわみ角
θ_1	deg	ネット展開方向に平行なワイヤロープの水平投影たわみ角
θ_2	deg	ネット展開直角方向に平行なワイヤロープの水平投影たわみ角
θ_i	deg	i番目の列におけるネットたわみ角
θ_{max}	deg	破断時のネット変位角
θ_{w1}	deg	ネット展開方向に平行なワイヤロープのたわみ角
θ_{w2}	deg	ネット展開直角方向に平行なワイヤロープのたわみ角
θ_x	deg	飛来物衝突時の展開方向断面のネットたわみ角
θ_y	deg	飛来物衝突時の展開直角方向断面のネットたわみ角
σ_{b1}	MPa	ネット取付金物等のうち取付ボルトに発生する引張応力
σ_{b2}	MPa	ネット取付金物等のうち押さえボルトに発生する圧縮応力
ρ	kg/m ³	空気密度
τ_{p1}	MPa	取付プレート(支持架構設置)に発生するせん断応力
τ_{p2}	MPa	取付プレート(鋼製枠設置)に発生するせん断応力
τ_s	MPa	隅角部固定ボルトに発生するせん断応力
τ_w	MPa	取付プレート(鋼製枠設置)溶接部に発生するせん断応力
ϕ	-	ネットの充実率
ϕd_1	mm	取付プレート(支持架構設置)の孔径
ϕd_2	mm	取付プレート(鋼製枠設置)の孔径

b. 防護板(鋼材)

防護板(鋼材)の構造強度評価に用いる記号を第3.2-2表に示す。

第3.2-2表 防護板(鋼材)の構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A_b	m^2	取付ボルトの有効断面積
A_w	m^2	風圧力による荷重を受ける防護板(鋼材)の受圧面積
C	-	防護板(鋼材)の風力係数
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
E	MPa	使用材料の縦弾性係数
E'	MPa	使用材料の接線係数
G	-	ガスト影響係数
K	-	鋼材の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
p_u	N	取付ボルト1本あたりに生じる引張荷重
p_{ua}	N	取付ボルト1本あたりの引張耐力
q_u	N	取付ボルト1本あたりに生じるせん断荷重
q_{ua}	N	取付ボルト1本あたりのせん断耐力
T	m	鋼板の許容限界板厚
T_c	m	BRL式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率で除した鋼板の貫通限界厚さ
S_u	MPa	取付ボルトの引張強さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
ρ	kg/m^3	空気密度
σ_y	MPa	使用材料の降伏応力

c. 支持架構

支持架構の構造強度評価に用いる記号を第3.2-3表に示す。

第3.2-3表 防護板(鋼材)の構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A_w	m^2	風圧力による荷重を受ける受圧面積
C	—	風力係数
f_b	MPa	曲げに対する許容限界
f_{bx}	MPa	X軸廻り曲げに対する許容限界
f_{by}	MPa	Y軸廻り曲げに対する許容限界
f_c	MPa	圧縮に対する許容限界
f_s	MPa	せん断に対する許容限界
f_t	MPa	引張に対する許容限界
G	—	ガスト影響係数
q	N/m^2	設計用速度圧
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
W_w	N	風圧力による荷重
σ_b	MPa	支持架構の曲げ応力
σ_{bx}	MPa	支持架構のX軸廻り曲げ応力
σ_{by}	MPa	支持架構のY軸廻り曲げ応力
σ_c	MPa	支持架構の圧縮応力
σ_t	MPa	支持架構の引張応力
τ_s	MPa	支持架構のせん断応力
ρ	kg/m^3	空気密度

3.3 荷重及び荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の種類を踏まえ設定する。

(1) 荷重の設定

a. 常時作用する荷重

自重及び積載荷重を考慮する。なお、防護ネットの常時作用する荷重は設置方向を考慮する。水平方向に設置した防護ネットは、自重は鉛直下向きに発生することを考慮することとする。鉛直に設置した防護ネットは、自重と飛来物による衝撃荷重は作用する方向が異なることから、自重は考慮しない。

また、防護ネットのうちワイヤロープ及び接続治具(支持部, 固定部)並びに防護板(鋼材)のうち取付ボルトに作用する自重については、ネットもしくは鋼板から作用する荷重に比べ十分に小さいことから考慮しない。

防護ネットのうち、ワイヤロープ、接続治具(支持部, 固定部)及び接続部の評価時は、積載荷重としてネットの自重を考慮する。

防護ネットにおいては、自重による荷重 P_w は、

$$P_w = \frac{A_a \cdot g \cdot (m_1 \cdot n + m_2 \cdot 1)}{1000}$$

と算出される。

A_a はネットの実寸法 L_x , L_y を用いて、以下の式で求められる。

$$A_a = L_x \cdot L_y$$

b. 設計竜巻荷重

設計竜巻荷重として、飛来物による衝撃荷重及び風圧力による荷重を考慮する。飛来物による衝撃荷重としては、衝撃荷重が大きくなる向きで飛来物がネットに衝突することを想定する。構造強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

(a) 風圧力による荷重

風圧力による荷重は、防護ネット及び防護板(鋼材)の設置方向を考慮する。風圧力による荷重は水平方向に発生するため、鉛直方向に設置した防護ネット及び防護板(鋼材)に対し、考慮することとする。

$$W_w = \frac{q \cdot G \cdot C \cdot A_a \cdot \phi}{1000}$$

$$q = \frac{1}{2} \rho V D^2$$

(b) 飛来物による衝撃荷重

防護ネットの破断評価においては、飛来物による衝撃荷重は以下のとおり算出する。

ネットの飛来物による衝撃荷重 F_a'' は時間とともに比例的に増加すると仮定すると、以下のとおり算出される。

$$F_a'' = Qt \cdots \textcircled{1}$$

したがって、飛来物の移動速度 v は式①の飛来物による衝撃荷重 F_a'' から、以下のとおり算出される。

$$\begin{aligned} v &= -\frac{1}{m} \int_0^t F_a'' dt \\ &= -\frac{Qt^2}{2m} + v_1 \cdots \textcircled{2} \end{aligned}$$

さらに、飛来物の移動距離 d は、式②の飛来物の移動速度 v から以下のとおり算出される。

$$\begin{aligned} d &= \int_0^t v dt \\ &= -\frac{Qt^3}{6m} + v_1 t \cdots \textcircled{3} \end{aligned}$$

飛来物が衝突しネットのたわみが最大になる時間 t_1 におけるネットの最大変位は δ 、飛来物の移動速度は $v=0$ であるから、式②、③より、

$$Qt_1^2 = 2mv_1 \dots \textcircled{4}$$

$$\delta = -\frac{Qt_1^3}{6m} + v_1t_1$$

上記2式を連立し、

$$\delta = \frac{2}{3} v_1t_1$$

よって、

$$t_1 = \frac{3}{2v_1} \cdot \delta \dots \textcircled{5}$$

以上より、時間 t_1 における飛来物による衝撃荷重 F_a は式①、④より、

$$F_a = \frac{2mv_1}{t_1}$$

さらに、式⑤と連立し、

$$F_a = \frac{4mv_1^2}{3 \cdot \delta} \dots \textcircled{6}$$

また、時間 t_1 における飛来物の衝突によりネットに作用するエネルギー E_f は、衝突時の飛来物の運動エネルギーとして、以下より求められる。

$$E_f = \frac{1}{2} mv_1^2 \dots \textcircled{7}$$

したがって、式⑥、⑦より、

$$F_a = \frac{8E_f}{3 \cdot \delta} \dots \textcircled{8}$$

式⑧にたわみ評価で算出する飛来物が衝突する場合のネットの最大たわみ量 δ を代入し、 F_a を算出する。

c. 積雪荷重

積雪荷重を考慮する。

(2) 荷重の組合せ

防護ネット及び防護板(鋼材)の設置方向を踏まえ、考慮すべき荷重の組合せを第3.3-1表に示す。

第3.3-1表 荷重の組合せ

名称			部材	常時作用する荷重	積雪荷重	飛来物の衝撃荷重	風圧力による荷重
飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)	防護ネット	水平	ネット	○	○	○	-
			ワイヤロープ	○※1	○※2	○	-
			接続冶具(支持部)	○※1	○※2	○	-
			接続冶具(固定部)	○※1	○※2	○	-
			接続部	○※1	○※2	○	-
		鉛直	ネット	-	-	○	○※3
			ワイヤロープ	-	-	○	○※3
			接続冶具(支持部)	-	-	○	○※3
			接続冶具(固定部)	-	-	○	○※3
			接続部	-	-	○	○※3
	防護板(鋼材)	水平	鋼板	-	-	○	-
			取付ボルト	○※4	○※5	○	-
		鉛直	鋼板	-	-	○	-
			取付ボルト	○※4	-	○	○※6
支持架構			○※7	○※8	○	○※9	

注記 ※1：ネットの自重

※2：ネットの積雪荷重

※3：ネットの風圧力による荷重

※4：防護板(鋼材)の自重

※5：防護板(鋼材)の積雪荷重

※6：防護板(鋼材)の風圧力による荷重

※7：防護ネット及び防護板(鋼材)の自重も考慮する。

※8：防護ネット及び防護板(鋼材)の積雪荷重も考慮する。

※9：防護ネット及び防護板(鋼材)の風圧力による荷重も考慮する。

3.4 許容限界

許容限界は、「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「5. 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえて、「3.1.1 構造強度評価の評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮して設定する。

(1) 防護ネット

吸収エネルギー評価、破断評価及びたわみ評価の許容限界を以下に示す。

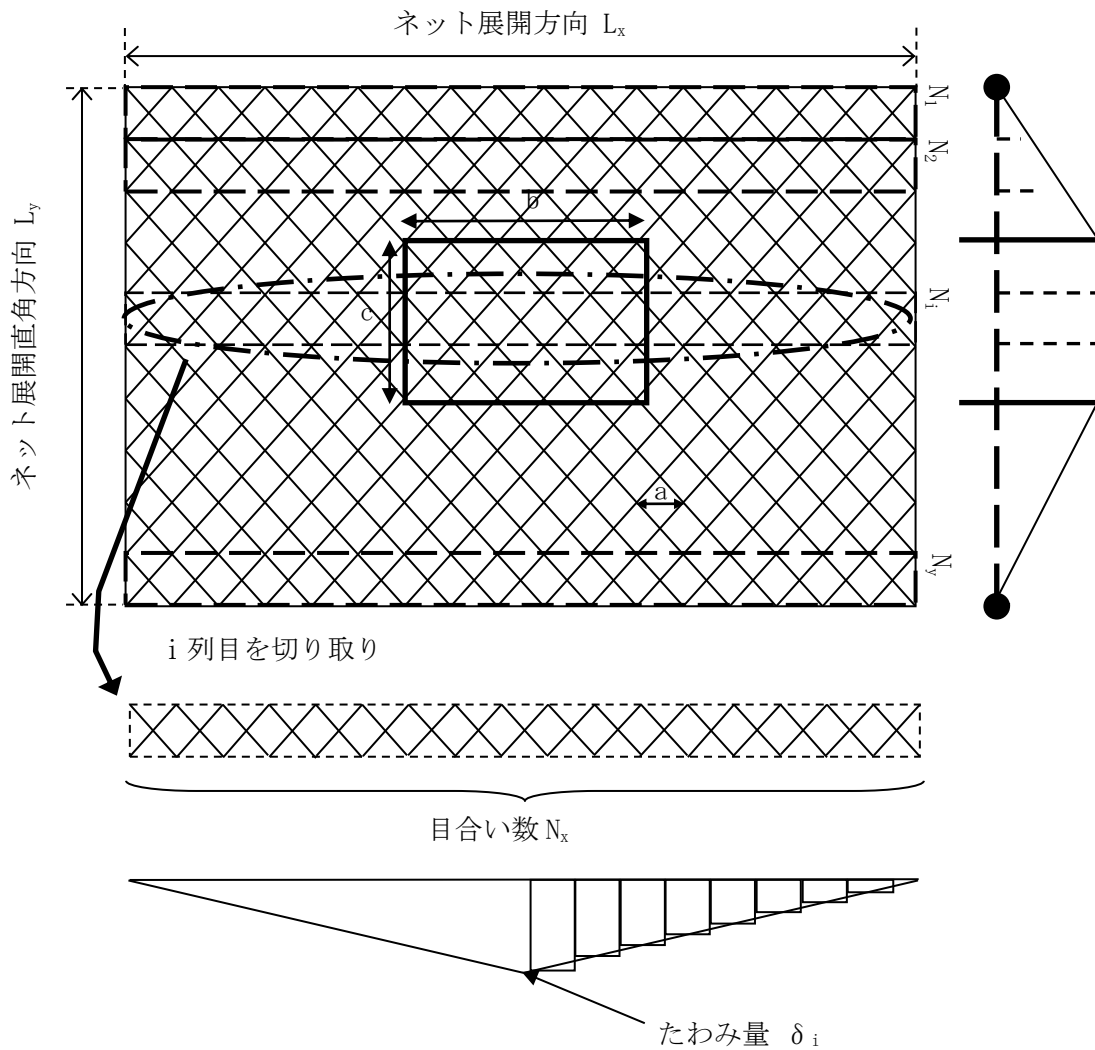
a. 吸収エネルギー評価

吸収エネルギー評価においては、計算により算出するネットの限界吸収エネルギーがネットに作用するエネルギー以上であることにより、ネットが破断しないことを確認する。ネット1目合の要素試験の結果から得られるネット展開方向の限界伸び量によりネットの最大変形角が定まり、ネット最大変形角における吸収エネルギーがネットの有する限界吸収エネルギー E_{max} となる。

限界吸収エネルギーは、複数枚を重ね合わせたネットを一体として扱ったモデルにて算出する。また、ネットの変形及び吸収エネルギーの分布を考慮したオフセット衝突位置での吸収エネルギー評価の結果、電中研報告書を参照して、ネット最大たわみ時のネットの全長は飛来物のネットへの衝突位置によらずネット最大たわみ時展開方向の長さで一定であり、ネットに発生する張力も一定となることから、飛来物のネットへの衝突位置によらずネットから飛来物への反力も同等となり、オフセット位置への飛来物の衝突時の吸収エネルギーは中央衝突時と同等となる。したがって、吸収エネルギー評価では中央衝突の場合にて評価を行う。

さらに、設計条件の設定において等価剛性の算出方法の影響を裕度として考慮する。評価に用いる等価剛性は、引張試験による荷重-伸び曲線から各々の最大荷重発生時までの最大エネルギーを算出し、これらの平均値と等価剛性を用いており、平均値と実測値との間で最大5.6%の差があることから、本影響を係数として考慮する。吸収エネルギー評価においては、等価剛性の影響を考慮した係数を限界吸収エネルギーが小さくなるように考慮する。

最大吸収エネルギーは、ネット1目合の展開方向の1列の等価剛性、展開方向寸法及びたわみ量から、以下のとおり算出される。吸収エネルギー評価におけるネットのモデル図を第3.4-1図に示す。



第3.4-1図 吸収エネルギー評価におけるネットのモデル図

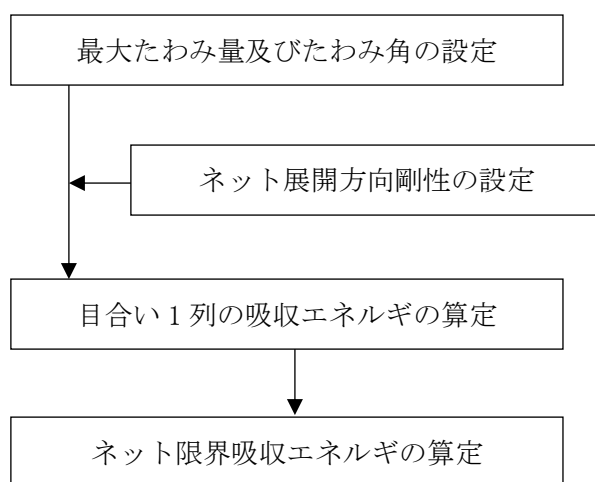
第3.4-1図に示すとおりネットの展開方向に1目合いごとに□で囲った形に帯状に分割し、 N_1 から N_y までの各列が分担するエネルギーを各列のたわみ量から算定し、それらを積算することによりネットの吸収するエネルギーを算出し、ネットが吸収可能な限界吸収エネルギーを算出する。

ただし、中央部の最大たわみ量が発生する列数は、飛来物の寸法及びネット目合いの対角寸法から算出されるネット展開直角方向目合い列数を考慮して設定する。飛来物の端部寸法(b×c)及びネット目合いの対角寸法aを考慮し、最大たわみが発生する場合のネット展開直角方向目合い列数を以下のとおり算出する。ネットの吸収エネルギーが小さくなるよう、目合い列数の算出に用いる飛来物の寸法として値の小さい寸法cを適用し、最大たわみが生じる目合い列数を少なくすることにより、限界吸収エネルギー量が小さくなるように評価する。

$$\text{ネット展開直角方向目合い列数} = \frac{c}{a}$$

評価モデルとしては、展開方向に1目合いごとに帯状に分割するモデルとしており、限界吸収エネルギー量が小さく算出されるよう、三角形モデルとして評価を実施する。

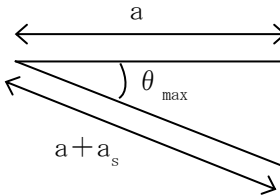
吸収エネルギー評価の許容限界の算定フローを第3.4-2図に示す。



第3.4-2図 吸収エネルギー評価の許容限界の算定フロー

ネット1目合いの最大伸び量は、電中研報告書のネット目合いの引張試験から1目合いの最大破断変位が求められ、そこから算出する最大たわみ角から、飛来物が衝突した際の列の最大たわみ量 δ_{\max} は次式により算定される。

$$\delta_{\max} = \frac{L_x}{2} \cdot \tan(\theta_{\max})$$

$$\theta_{\max} = \cos^{-1} \left(\frac{a}{a+a_s} \right)$$


ネットを構成するネットの展開方向の目合い数 N_x は、ネット展開方向寸法 L_x 及びネット1目合いの対角寸法 a から求める。展開直角方向の目合い数 N_y は、ネット展開直角方向寸法 L_y 及びネット1目合いの対角寸法 a から求める。ネットを構成する1目合いはそれぞれ K の等価剛性を持っているため、1列当たりバネ定数 K を持つバネを N_x 個直列に接続したものと考えることができる。

そのため、1列当たりの剛性 K_x' は、

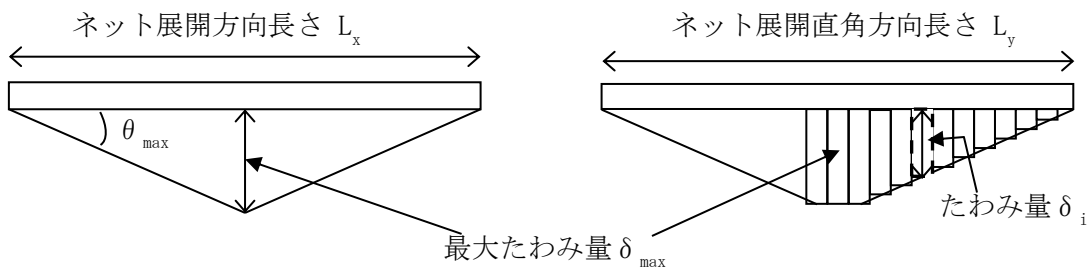
$$N_x = \frac{1000L_x}{a}, \quad N_y = \frac{1000L_y}{a}$$

$$\text{ネット展開方向剛性 } K_x' = \frac{K}{N_x}$$

となる。ただし、 N_x 、 N_y の算出において限界吸収エネルギーの値が小さくなるように N_x は保守的に切り上げ、 N_y は保守的に切り捨てた値を用いる。また、補助ネットはネット0.5枚相当のエネルギー吸収能力があるため、ネット設置枚数を考慮したネット展開方向剛性 K_x は、次式により算出される。

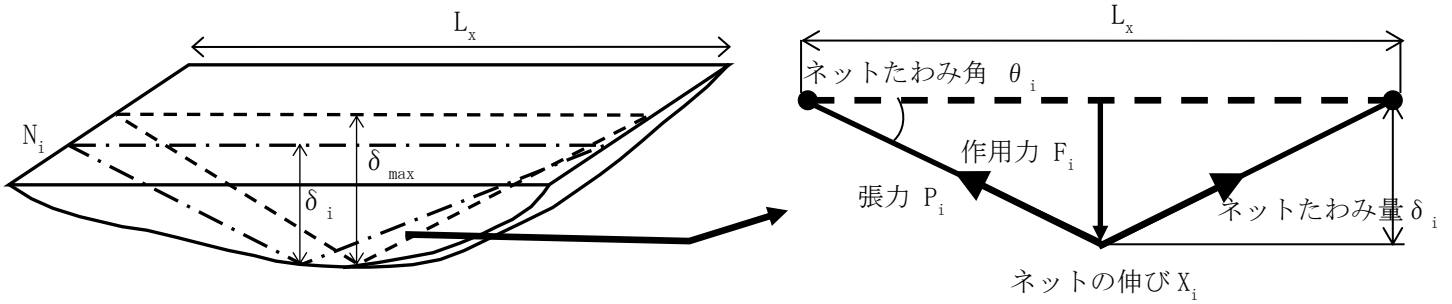
$$K_x = K_x' \cdot (n+0.5)$$

飛来物が衝突しなかった列のたわみ量 δ_i は、最大たわみ量 δ_{\max} からネット端部のたわみ量0までの間を、非接触の列の数の分だけ段階的に減少していくと考える。ネットの最大たわみ量と最大たわみ角を第3.4-3図に示す。



第3.4-3図 ネットの最大たわみ量と最大たわみ角

ネットに飛来物が衝突した際のネットにかかる張力を，ネットの剛性及びネットの伸び量から算出する。ネットに作用する力のつり合いを第3.4-4図に示す。



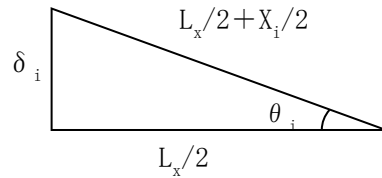
第3.4-4図 ネットに作用する力のつり合い

i 番目の列におけるネットの張力 P_i は，飛来物の衝突位置の左右を分割して考えると，伸び量は $\frac{X_i}{2}$ ，剛性は $2K_x$ となることから，

$$P_i = 2K_x \cdot \left(\frac{X_i}{2} \right) = K_x \cdot X_i$$

となる。また，作用力 F_i は変位量とたわみ量の関係から，

$$\begin{aligned} F_i &= 2P_i \cdot \sin(\theta_i) \\ &= 2K_x \cdot X_i \cdot \sin(\theta_i) \\ &= 2K_x \cdot L_x \cdot (\tan(\theta_i) - \sin(\theta_i)) \\ &= 4K_x \cdot \delta_i \cdot \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2}} \right) \dots \textcircled{9} \end{aligned}$$



ネットに飛来物が衝突した際のネットにかかる作用力 F_i を積分することにより i 番目の列における吸収エネルギー E_i を次式に示す。

$$\begin{aligned} E_i &= \int_0^{\delta_i} F_i d\delta_i \\ &= \int_0^{\delta_i} 4K_x \cdot \delta_i \cdot \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2}} \right) d\delta_i \\ &= 2K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \cdot (\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2} - L_x) \dots \textcircled{10} \end{aligned}$$

以上から、n枚のネット及び1枚の補助ネットを考慮した限界吸収エネルギー E_{\max} は、各列の吸収エネルギー E_i を第1列から第 N_y 列まで積算することにより求められる。

$$E_{\max} = \sum_{i=1}^{N_y} E_i$$

$$= \sum_{i=1}^{N_y} \left(2K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \left(\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \right) \dots \textcircled{11}$$

飛来物衝突時にネットに生じるエネルギー並びに自重、積雪荷重及び風圧力により生じるエネルギーの総量を算出し、等価剛性の算出方法の影響から定められる係数を考慮したn枚のネット及び1枚の補助ネットから算出される限界吸収エネルギーを E_{\max}' とする。

係数としては、上記を踏まえ $\frac{1}{1.056}$ 倍と定める。

したがって、限界吸収エネルギーの許容限界は、以下のとおりである。

$$E_{\max}' = \frac{1}{1.056} E_{\max}$$

b. 破断評価

(a) ネット

ネット交点の破断試験結果から算出したネット1目合いあたりが有する引張強度と設計飛来物が衝突した際に接触する交点数から算出する F_n に、等価剛性の算出方法の影響から定められる係数を考慮した F_n' を許容限界とする。

$$F_n = F_{50} \times 16 \times 2 + F_{40} \times 20 \times 1$$

ここに、等価剛性の算出方法の影響を考慮し、 F_n' を下式より算出する。

$$F_n' = \frac{1}{1.056} F_n$$

(b) ワイヤロープ

第3.4-1表に示すとおりワイヤロープの破断荷重に、ワイヤグリップ効率を考慮した値を許容限界とする。

第3.4-1表 ワイヤロープの破断評価の許容限界

規格値	許容値
F_{bw} ^(注1)	$P = C_c$ ^(注2) $\cdot F_{bw}$ ^(注1)

(注1) : JIS G 3549 の破断荷重

(注2) : JIS B 2809 及び(社)日本道路協会「小規模吊橋指針・同解説」

(c) 接続治具(支持部)

ターンバックル及びシャックルの許容限界を第3.4-2表のとおりとする。

第3.4-2表 接続治具(支持部)の許容限界

評価部位	許容荷重
ターンバックル	P_4 ^(注1)
シャックル	P_5 ^(注2)

(注1) : JIS A 5540 の保証荷重の1.5倍

(注2) : 試験結果に基づくメーカー保証値

(d) 接続治具(固定部)

第3.4-3表に示すとおり「鋼構造設計基準(2005改訂)」に基づいた短期での許容応力を許容限界とする。

第3.4-3表 接続冶具(固定部)の許容限界

部位	隅角部固定ボルト及び取付プレート
応力分類	せん断
許容限界	$1.5f_s$ (注)

(注) f_s : 許容せん断応力「鋼構造設計規準」(2005 改定)に基づき算出する。

(e) 接続部

第3.4-4表「鋼構造設計基準(2005 改訂)」に基づいた短期での許容応力を許容限界とする。

第3.4-4表 接続部の許容限界

部位	取付ボルト	押さえボルト
応力分類	引張	圧縮
許容限界	$1.5f_t$ (注)	

(注) f_t : 許容引張応力「鋼構造設計規準」(2005 改定)に基づき算出する

c. たわみ評価

ネットに飛来物が衝突した際、ネットがたわんだとしても、竜巻防護対象施設に衝突しないことを確認することから、ネットと竜巻防護対象施設までの離隔距離を許容限界とする。なお、第3.4-5表に示すとおり離隔距離 L_{min} は、ネットと竜巻防護対象施設の最も短い距離とする。

第3.4-5表 ネットのたわみ評価の許容限界

許容限界
ネットと竜巻防護対象施設の最小離隔距離
L_{min}

(2) 防護板(鋼材)

a. 貫通評価

貫通評価の許容限界は、飛来物が防護板(鋼材)に直接衝突した場合の貫通限界厚さを「タービンミサイル評価について(昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)」で用いられているBRL式を用いて算出する。

なお、評価において考慮する飛来物が衝突する断面の等価直径(下式中の d)は、「竜巻飛来物を模擬した角管の落下衝突による鋼板の貫通評価(2017年日本機械学会論文集)」を適用し、飛来物の周長から換算する。

$$\frac{3}{T_2} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

等価直径は、「電力中央研究所報告O19003」(以下、「O19003」という。)から「衝突部の周長と等価な周長の円の直径」として算出する。O19003における、設計飛来物である鋼製材のような四角形衝突に対する実験データ数の不確かさを考慮し、BRL式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率(0.97)で除した値を貫通限界厚さとする。

したがって、BRL式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率で除した鋼板の貫通限界厚さは、以下の式により算出する。

$$T_c = T / 0.97$$

b. 波及的影響評価

「鋼構造限界状態設計指針・同解説」に基づき、取付ボルトに作用する各方向荷重と破断耐力との比率により破断判定を行い、取付ボルトが2本以上破断せずに残ることを許容限界とする。

(3) 支持架構

許容限界は、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮して設定する。

a. 貫通評価

貫通評価における許容限界として、破断ひずみを設定する。

破断ひずみはNEI07-13に従い、0.14/TF(多軸性係数)とする。ここで、多軸性係数について、支持架構部材はTF=2とする。従って、破断ひずみは0.07となる。

b. 波及的影響評価

(a) 脱落評価

部材の支持機能評価における許容限界として、破断ひずみを設定する。

破断ひずみはNEI07-13に従い、0.14/TF(多軸性係数)とする。ここで、多軸性係数について、支持架構部材はTF=2とする。従って、破断ひずみは0.07となる。

(b) 倒壊評価

支持架構全体の支持機能評価における許容限界として、「鋼構造設計規準」(2005 改定)に基づくものとして、応力比は 1.0 以下とする。

(c) 転倒評価

柱脚部の構造健全性評価における許容限界として、「鋼構造設計規準」(2005 改定)に基づき短期の 1.1 倍での許容応力に対し応力比は 1.0 以下とする。

3.5 評価方法

「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「6. 強度評価方法」に基づき、発生荷重等を算出し、「3.4 許容限界」にて設定した許容限界を満足していることを確認する。

3.5.1 防護ネットの評価方法

防護ネットの吸収エネルギー評価、破断評価及びたわみ評価の方法を以下に示す。

評価に際しては、飛来物の衝突位置の影響を考慮した評価を実施する。

評価においては、飛来物の衝突位置として中央位置に衝突することを想定した評価を実施しており、中央位置からずれたオフセット位置に衝突する場合の影響を考慮する。

吸収エネルギー評価においては、電中研報告書を参照して、ネット最大たわみ時のネットの全長は飛来物のネットへの衝突位置によらずネット最大たわみ時展開方向の長さで一定であり、ネットに発生する張力も一定となることから、飛来物のネットへの衝突位置によらずネットから飛来物への反力も同等となり、オフセット位置への飛来物の衝突時の吸収エネルギーは中央衝突時と同等となる。したがって、吸収エネルギー評価では中央衝突の場合にて評価を行う。

破断評価においては、中央位置への衝突に対してオフセット位置への衝突では、その移動距離が短くなることから、式⑧から中央位置衝突時よりもオフセット位置衝突時の方が作用する荷重が大きくなることを踏まえ、作用する荷重が大きくなるように、中央位置衝突時とオフセット位置衝突時の移動距離を踏まえた係数を作用する荷重に乗じる。ただし、ネット端部近傍に衝突する場合には、飛来物は傾き、飛来物の側面がネットや支持架構に接触すると考えられ、飛来物による衝撃荷重は小さくなる。

たわみ評価においては、ネットの全長が飛来物の衝突位置によらず、ネット最大たわみ時展開方向の長さで一定となるため、たわみの軌跡が楕円状となることを考慮して評価する。さらに、ネットに対して飛来物がオフセット位置へ衝突した場合においても、各ワイヤロープに対して均等に張力が発生するため、算出結果は飛来物の衝突位置によらず適用可能である。また、ワイヤロープの初期張力は小さくワイヤロープの評価において有意ではないため計算上考慮しない。

(1) 吸収エネルギー評価

吸収エネルギー評価においては、電力中央研究所の評価式を参照して、ネットが異方性材料であることを考慮した吸収エネルギー量算定のモデル化を行い、自重、積雪荷重、風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重によるエネルギーがネットの有する最大吸収エネルギーを下回ることを確認する。

自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によりネットに作用する荷重は、評価条件である K_x 及び L_x 並びに自重、積雪荷重及び風圧力による荷重から算出する F_w を式⑨に代入して数値計算を実施することにより、自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によるたわみ量 δ_a が算出される。

$$F_w = N_y \cdot 4K_x \cdot \delta_a \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4\delta_a^2 + L_x^2}} \right)$$

但し、 $F_w = P_w + W_w + P_s$

上式にて算出したたわみ量 δ_a を式⑩において、展開方向の1列当たりの自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギーを列数倍する以下の式に代入することにより、自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギー E_w が算出される。

$$E_w = N_y \cdot \left(2K_x \cdot \delta_a^2 - K_x \cdot L_x \left(\sqrt{4\delta_a^2 + L_x^2} - L_x \right) \right)$$

飛来物の衝突によりネットに作用するエネルギー E_f としては、衝突時の飛来物の運動エネルギーとして、以下より求められる。

$$E_f = \frac{1}{2} m v_1^2$$

飛来物の飛来速度は、ネット設置方向により水平設置の場合は鉛直の飛来速度、鉛直設置の場合は水平の飛来速度にて算出する。

以上から、 n 枚のネット及び1枚の補助ネットを考慮したネットに作用する全エネルギー E_t が以下のとおり算出される。

$$E_t = E_f + E_w \cdot \dots \cdot \text{⑫}$$

(2) 破断評価

破断評価においては、電力中央研究所の評価式を参照して、ネットに作用する飛来物による衝撃荷重がネットの局所的な耐力未満であることを確認する。

評価に際しては、「2.3 評価方針」のとおり、飛来物の衝突位置の影響として、オフセット衝突する場合の影響を考慮する。以下に、オフセット衝突する場合の影響を係数として考慮した発生値の割増係数の設定方法を示す。

・オフセット衝突を考慮する係数

飛来物の移動距離が最も小さくなる場合のオフセット衝突を考えると，電中研報告書に基づき，中央衝突に比べ飛来物による衝撃荷重が1.22倍となる。ネット端部近傍に衝突する場合には，飛来物は傾き，飛来物の側面がネットや支持架構に接触すると考えられ，飛来物による衝撃荷重は小さくなる。

・動的応答倍率を考慮する係数

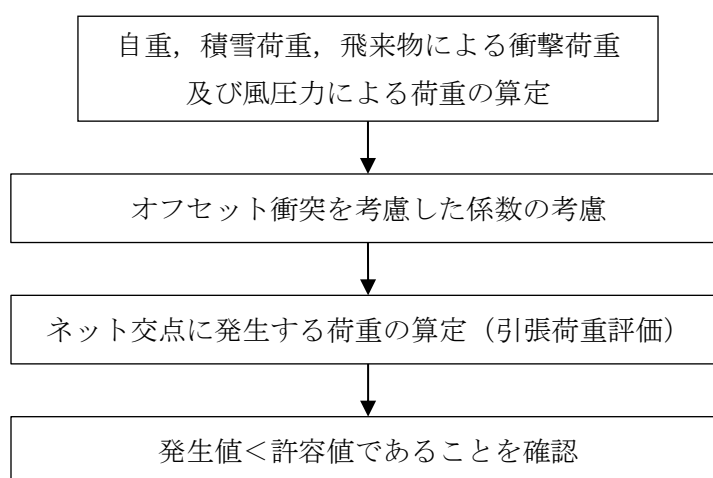
ネットの衝突試験結果より，金網に急速荷重を負荷した場合，作用時間と荷重を受ける構造物の固有周期の比に応じた動的倍率を考慮する必要がある。防護ネットには，急速荷重を抑制するため，緩衝装置を有する保持管を設置しているが，この効果が得られない部位に対して，動的応答倍率を考慮する。電中研報告書に基づき，ネットに設計飛来物が衝突する場合の動的応答倍率は，1.52とする。

a. ネット

ネットに飛来物が衝突した後，ネットのたわみが増加し，飛来物の運動エネルギーを吸収する。ネットに発生する飛来物による衝撃荷重はネット変位の増加に伴い大きくなり，最大変位発生時に最大値を示すため，破断評価では最大変位発生時の飛来物による衝撃荷重を用いる。

最大変位発生時において，飛来物の衝突によりネットの交点はネット展開方向に引張力を受けることから，破断評価としてネット交点の引張荷重評価を実施する。

ネットの破断評価の評価フローを第3.5.1-1図に示す。



第3.5.1-1図 ネットの破断評価フロー

ネットに飛来物が衝突した際に生じる飛来物による衝撃荷重が、ネットの破断荷重以下であり、ネットに破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する。

ここで、ネットに飛来物が衝突する場合の最大変位 δ は、「3.1.3 荷重及び荷重の組合せ」にて算出した式⑧のたわみ量と飛来物による衝撃荷重の関係式を用いて算出する。

飛来物の衝突による荷重に加え、自重、積雪荷重及び風圧力による荷重を考慮するため、 E_f を E_t と置き換えて、式⑧より、

$$F_a = \frac{8E_t}{3 \cdot \delta}$$

となる。

E_t としては、式⑫に基づいて飛来物による運動エネルギー E_f 並びに自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギー E_w から算出したネットに作用する全エネルギー量を代入する。 δ としては、たわみ評価で算出する飛来物が衝突する場合のネットの最大たわみ量を代入し、 F_a を算出する。

ここで、オフセット衝突による衝撃荷重の増加分を踏まえた係数1.22を考慮し、飛来物による衝撃荷重の最大値 F_a' は

$$F_a' = F_a \cdot 1.22$$

と算出される。

b. ワイヤロープ及び接続治具(支持部)

(a) ワイヤロープ

飛来物による衝撃荷重については、「3.1.3 荷重及び荷重の組合せ」において算出した飛来物が衝突する場合のネットごとに作用する飛来物による衝撃荷重の最大値 F_a' を考慮する。

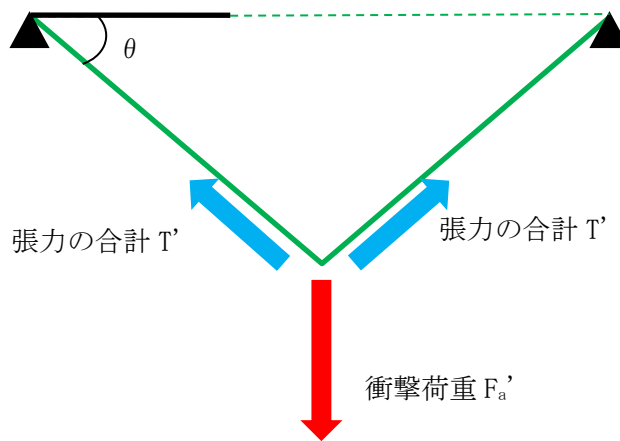
ネットは、電中研報告書と同様に2本のワイヤロープをL字に設置し、さらにワイヤロープが接続治具により拘束されない構造としており、電中研報告書において実施されている衝撃試験における実測値が包絡されることを確認している評価式を用いて評価を実施する。ネットに発生する荷重のつり合いのイメージ図を第3.5.1-2図に示す。

自重、積雪荷重、飛来物による衝撃荷重及び風圧力による荷重によりネットに作用する飛来物による衝撃荷重の最大値 F_a' が集中荷重として作用するとしてモデル化すると、飛来物が衝突する場合のネット n 枚及び補助ネット1枚に発生する張力の合計の最大値 T' は、第3.5.1-2図の力のつり合いより以下のとおり算出される。

$$T' = \frac{F_a'}{2\sin\theta}$$

θ は以下の式で求められる。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2\delta}{L_x}$$



第3.5.1-2図 ネットに発生する荷重のつり合いのイメージ

と、ネット n 枚及び補助ネット1枚を重ねて設置する場合、補助ネットを設置したネットのワイヤロープに作用する張力は、その他のネットの張力の1.5倍となることを考慮すると、ネット n 枚及び補助ネット1枚を重ねて設置する場合、1枚のネットのワイヤロープに発生する張力の最大値 T_1' は、

$$T_1' \cdot 2 + \frac{2 \cdot 2}{3} T_1' \cdot (n-1) = T'$$

$$T_1' = \frac{3}{4n+2} T' = \frac{3}{4(2n+1)} \cdot \frac{F_a'}{\sin\theta}$$

と算出される。

また、全ワイヤロープの合計張力 T_T は、

$$T_T = \frac{T'}{2}$$

と算出される。

(b) ターンバックル

ターンバックルの評価については、以下の評価を実施する。

ターンバックルに作用するワイヤロープに発生する張力の最大値が、ターンバックルの許容限界未満であることを確認する。

(c) シャックル

シャックルの評価については、以下の評価を実施する。

シャックルに作用するワイヤロープに発生する張力の最大値が、シャックルの許容限界未満であることを確認する。

c. 接続治具(固定部)

(a) 隅角部固定ボルト

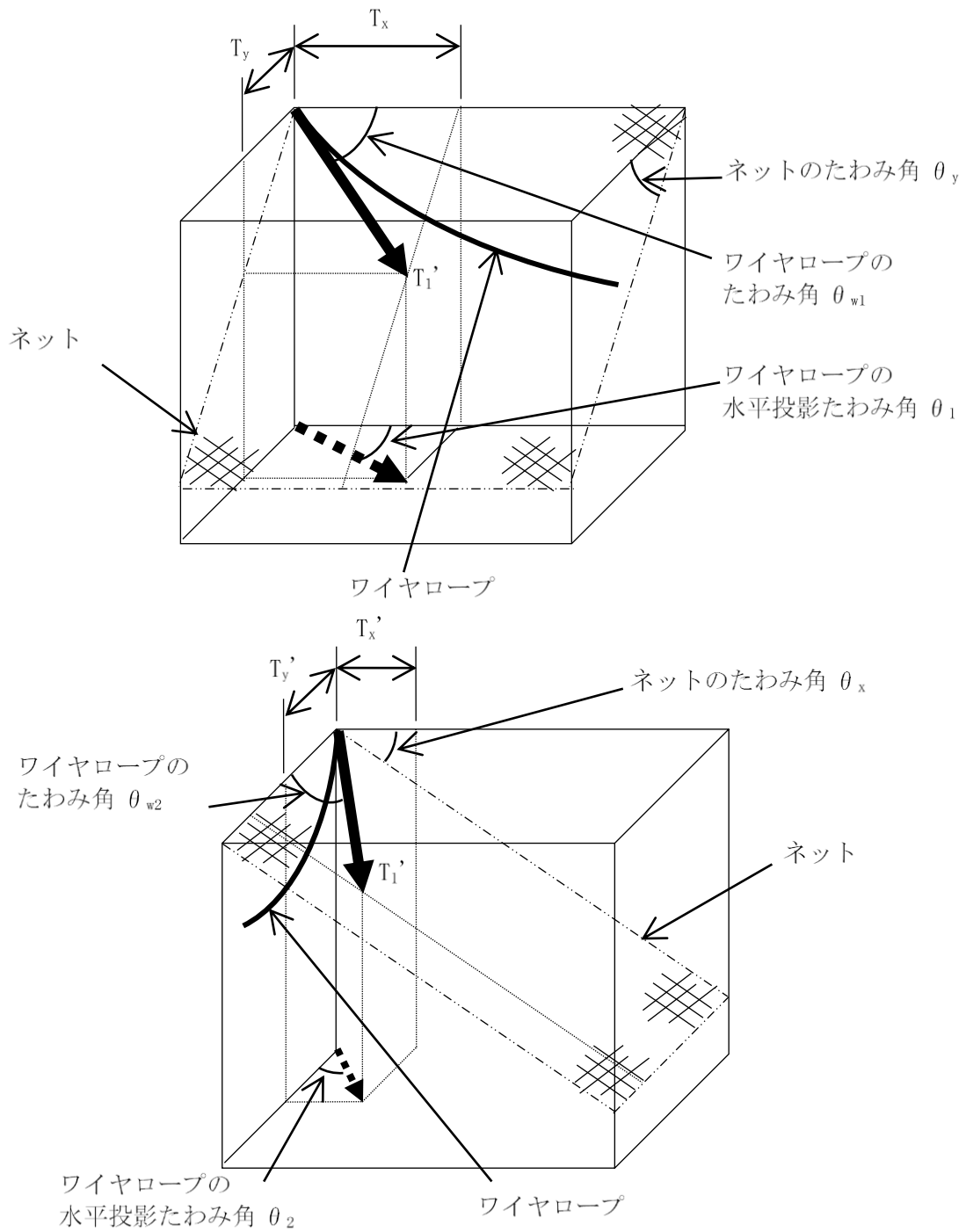
ワイヤロープは、設置するネット枚数に応じて設置するため、隅角部固定ボルトにかかる応力は、ネット枚数毎に評価する。

支持架構又は鋼製枠の四隅に設置した隅角部固定ボルトは、ワイヤロープの荷重を、保持管を介して受けることとなる。

ワイヤロープはたわみにより保持管に対して $\theta w1$ 、 $\theta w2$ のたわみ角を有することから、隅角部固定ボルトへ作用する荷重にはこのたわみ角を考慮する。

隅角部固定ボルトに発生するせん断応力を力の釣合いの関係から以下の評価式を用いて算出する。

ネットのたわみとワイヤロープのたわみ角の関係を第3.5.1-3図に示す。



第 3.5.1-3 図 ネットのたわみとワイヤロープのたわみ角の関係

1 本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重 F_{p1} は

$$F_{p1} = \sqrt{F_{x1}^2 + F_{y1}^2}$$

より求まる。

ここで、

$$\begin{aligned} F_{x1} &= T_x + T_x' \\ F_{y1} &= T_y + T_y' \end{aligned}$$

2 本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重 F_{p2} は

$$F_{p2} = F_{p1}/1.5$$

より求まる。

ワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重 F_p は

$$F_p = F_{p1} + F_{p2}$$

以上より、隅角部固定ボルトに発生するせん断応力 τ_s は、

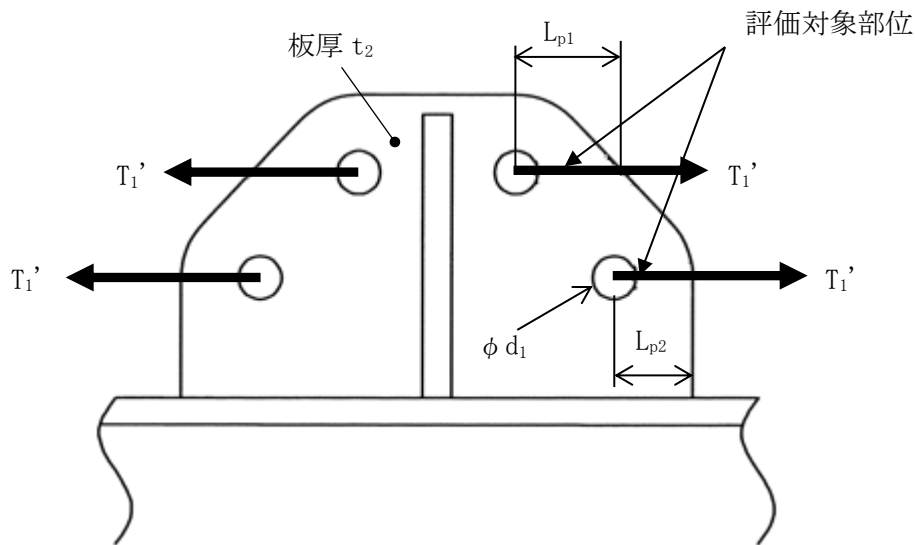
$$\tau_s = \frac{F_p}{2 \cdot n_2 \cdot A_{b1}}$$

となる。

(b) 取付プレート

イ. 支持架構設置

飛来物がネットに衝突する場合にネット取付部への飛来物による衝撃荷重は、ワイヤロープの引張荷重 $T1'$ として作用し、取付プレートにせん断応力が発生するため、せん断応力評価を実施する。取付プレートを第3.5.1-4図に示す。



第3.5.1-4図 取付プレート(支持架構設置)

取付プレートの有効せん断面積 A_{s1} は,

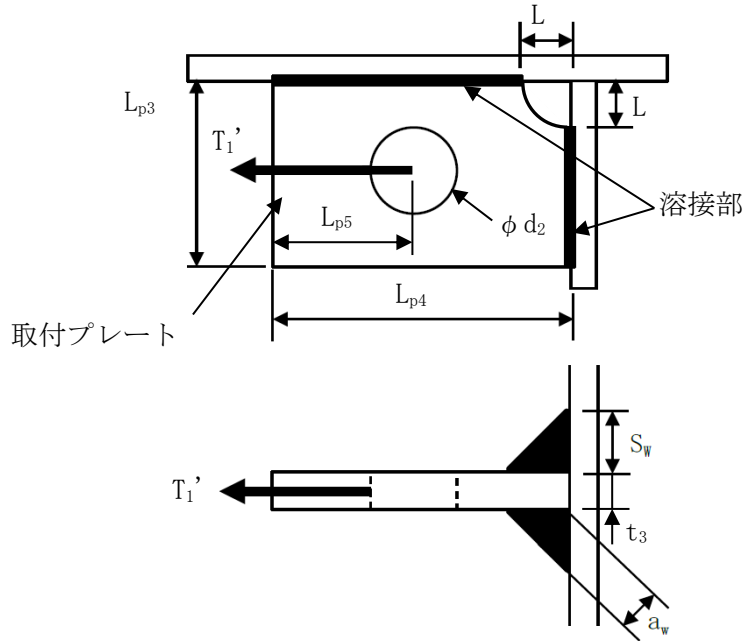
$$A_{s1} = 2 \cdot \left(\text{Min}(L_{p1}, L_{p2}) - \frac{\phi d_1}{2} \right) \cdot t_2$$

取付プレートに発生するせん断応力 τ_{p1} は,

$$\tau_{p1} = \frac{T_1'}{A_{s1}}$$

ロ. 鋼製枠設置

飛来物がネットに衝突する場合にネット取付部への飛来物による衝撃荷重は、ワイヤロープの引張荷重 T_1' として作用し、取付プレート及び隅肉溶接部にせん断応力が発生するため、せん断応力評価を実施する。取付プレート及び溶接部を第3.5.1-5図に示す。



第3.5.1-5図 取付プレート(鋼製枠設置)

溶接部の有効長さ L_{pw} は,

$$L_{pw} = L_{p3} - L - 2 \cdot S_w + L_{p4} - L - 2 \cdot S_w$$

溶接部に発生するせん断応力 τ_w は,

$$\tau_w = \frac{T_1'}{2 \cdot a_w \cdot L_{pw}}$$

ここで、溶接部ののど厚 a_w は以下により求められる。

$$a_w = \frac{S_w}{\sqrt{2}}$$

取付プレートの有効せん断面積 A_{s2} は,

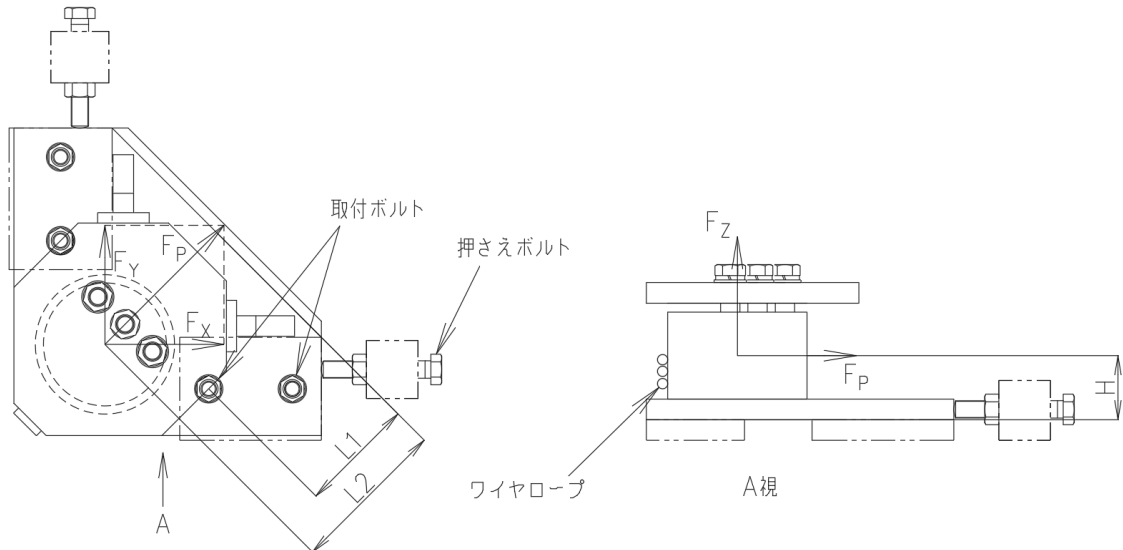
$$A_{s2} = 2 \cdot \left(L_{p5} - \frac{\phi d_2}{2} \right) \cdot t_3$$

取付プレートに発生するせん断応力 τ_{p2} は,

$$\tau_{p2} = \frac{T_1'}{A_{s2}}$$

d. 接続部

飛来物がネットに衝突するとワイヤロープを介してネット取付金物等に荷重 F_x , F_y , F_z が作用し、取付ボルトに引張応力が発生するため、引張応力評価を実施する。また、押さえボルトには圧縮応力が発生するため、圧縮応力評価を実施する。ネット取付金物等を第3.5.1-6図に示す。



第3.5.1-6図 ネット取付金物等

取付ボルトへ作用する荷重 P_1 は、保持管中心部に生じるモーメントより、以下の式で求められる。

$$P_1 = \frac{F_t \cdot H + F_z \cdot L_2}{L_1}$$

ここで、

$$F_t = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

$$F_z = T_T \cdot \sin \theta_{w1} \cdot \sin \theta_y + T_T \cdot \sin \theta_{w2} \cdot \sin \theta_x$$

取付ボルトに生じる引張応力 σ_{bl} は、動的倍率を踏まえた係数1.52を考慮し、

$$\sigma_{bl} = \frac{P_1 \cdot 1.52}{n_3 \cdot A_{b2}}$$

また、押さえボルトに生じる圧縮応力 σ_{b2} は、動的倍率を踏まえた係数1.52を考慮し、

$$\sigma_{b2} = \frac{\text{Max}(F_x, F_y) \cdot 1.52}{A_{b3}}$$

ここで、

$$F_x = T_T \cdot \sin \theta_1 + T_T \cdot \cos \theta_2$$

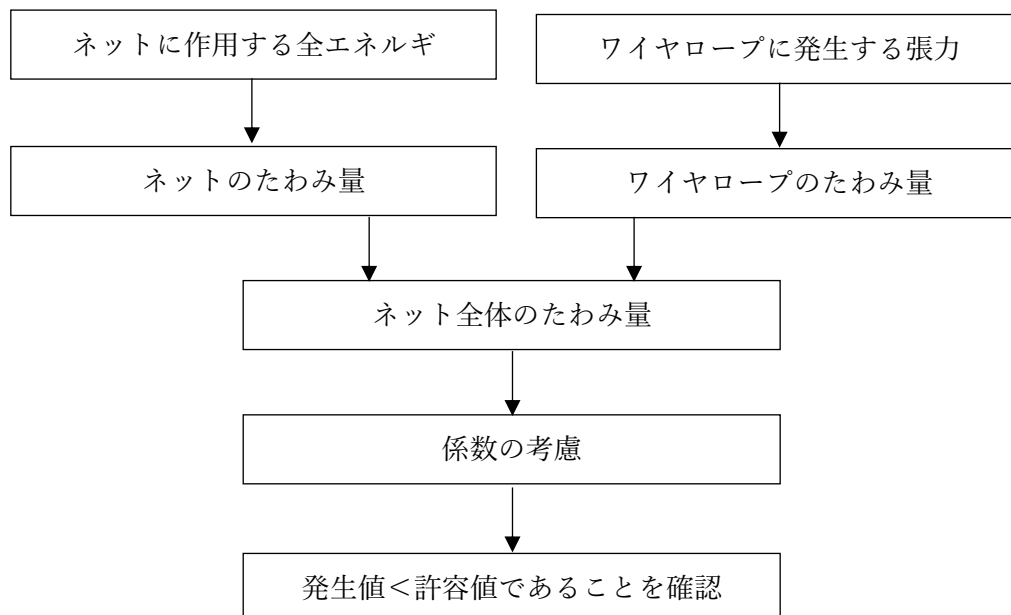
$$F_y = T_T \cdot \cos \theta_1 + T_T \cdot \sin \theta_2$$

(3) たわみ評価

たわみ評価においては、吸収エネルギー算定モデルを用い、飛来物の運動エネルギー、風圧力による荷重、積雪荷重及び自重によるエネルギーを吸収するために必要となるネットのたわみ量を算出する。また、合わせてワイヤロープ張力に応じたワイヤロープのたわみ量についても算出し、離隔距離未満であることを確認する。

たわみ評価においては、等価剛性の影響を考慮した「3.1.4 許容限界 (1) 吸収エネルギー評価」と同様の係数を最大たわみ量が大きくなるように考慮する。

たわみ評価の評価フローを第3.5.1-7図に示す。



第3.5.1-7図 たわみ評価の評価フロー

a. ネット

ネットの変位量と吸収エネルギーとの関係は式⑩のとおり，以下の式にて算出される。

$$E_i = 2K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \left(\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right)$$

ここで， K_x 及び L_x は定数であるため，

$$\sum_{i=1}^{N_y} E_i = E_t$$

とすることで，ネットへの付加エネルギーに応じたたわみ量 δ を算出することができる。

b. ワイヤロープ，ターンバックル及びシャックル

(a) ワイヤロープたわみ量を含めたネット全体のたわみ量の算出

ワイヤロープのたわみ量は，ネット張力によりワイヤロープが放物線状に変形するとし，算出したワイヤロープに発生する張力及びワイヤロープの引張試験結果（荷重-ひずみ曲線）から変形後のワイヤロープ長さを求めることで算出する。ネットのたわみ量は中央衝突時に最大となるため，ワイヤロープたわみ量を算出する際のワイヤロープ張力は，式⑬にて算出される中央衝突時の値を用いる。

$$T_1 = \frac{3}{4(2n+1)} \cdot \frac{F_a}{\sin \theta} \dots \textcircled{13}$$

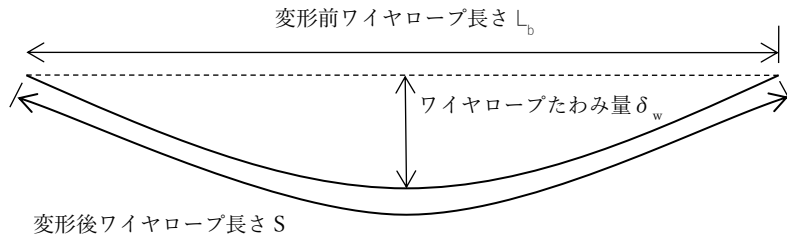
また，ワイヤロープの初期張力は小さくワイヤロープのたわみ量の算出において有意ではないため計算上考慮しない。

式⑬に示す計算方法を用いて算出されるワイヤロープに発生する張力からワイヤロープのひずみ量 ε が算出される。したがって，変形によるワイヤロープの伸び量 δ' は以下のとおり算出される。

$$\delta' = L_z \cdot \varepsilon$$

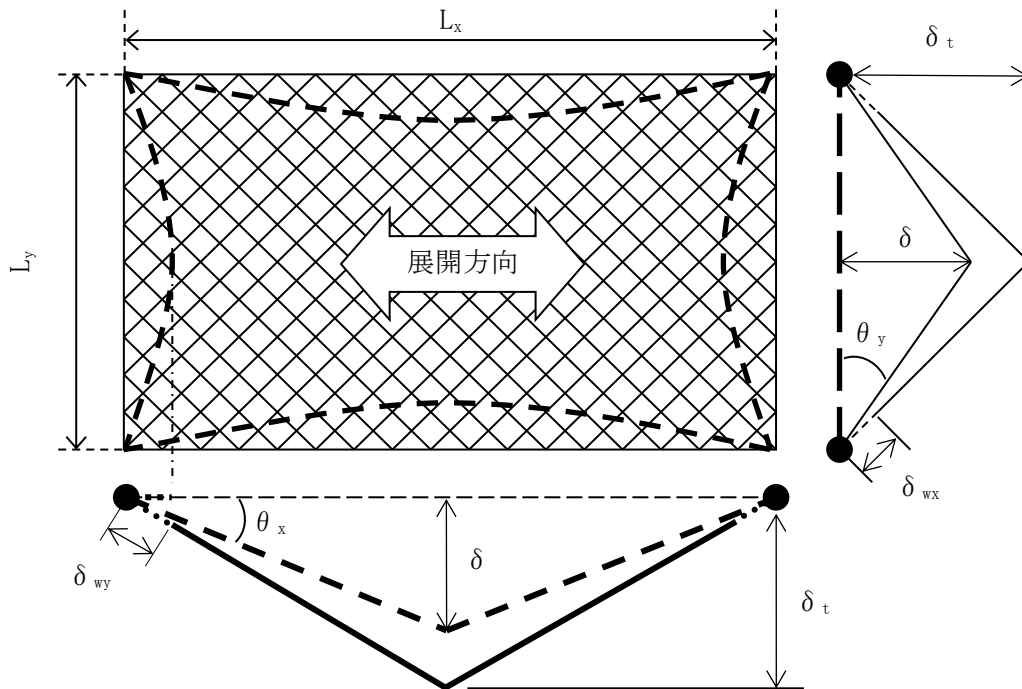
また，飛来物の衝突によりワイヤロープが第3.5.1-8図のとおり放物線状に変形すると，変形後のワイヤロープ長さ S は放物線の弦長の式を用いて以下のとおり表される。

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{L_b^2 + 16 \delta_w^2} + \frac{L_b^2}{8 \delta_w} \ln \left(\frac{4 \delta_w + \sqrt{L_b^2 + 16 \delta_w^2}}{L_b} \right)$$



第3.5.1-8図 ワイヤロープ変形図

ワイヤロープたわみ量を含めたネット全体のたわみ量の算出を行う。ネット及びワイヤロープ変形図を第3.5.1-9図に示す。



第3.5.1-9図 ネット及びワイヤロープ変形図

ネット展開方向と平行に配置されているワイヤロープの変形後の長さを S_x 、ネット展開直角方向に配置されているワイヤロープの変形後の長さを S_y とすると、 S_x 及び S_y はそれぞれ δ_{wx} 、 δ_{wy} の関数であり、ワイヤロープ伸び量 δ' は、

$$\delta' = (S_x(\delta_{wx}) - L_x) + (S_y(\delta_{wy}) - L_y)$$

と表される。

また、ネット展開方向と平行な断面から見たたわみ量と、ネット展開方向と直交する断面から見たたわみ量は等しいことから、

$$\delta_t = \sqrt{\left(\delta_{wy} + \frac{L_x}{2\cos\theta_x}\right)^2 - \left(\frac{L_x}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\delta_{wx} + \frac{L_y}{2\cos\theta_y}\right)^2 - \left(\frac{L_y}{2}\right)^2}$$

と表され、ワイヤロープたわみ量 δ_{wx} 及び δ_{wy} を算出することができ、同時にワイヤロープたわみ量を含めたネット全体のたわみ量 δ_t が算出される。

ここで、等価剛性の導出過程を踏まえた係数1.056を考慮し、ネット全体の最大たわみ量 δ_t' は、

$$\delta_t' = \delta_t \cdot 1.056$$

となる。

3.5.2 防護板(鋼材)の評価方法

(1) 貫通評価

防護板(鋼材)の貫通評価方法は、設定した許容限界板厚と設計板厚を比較し、設計板厚が許容限界板厚を上回っていることを確認することとする。

(2) 波及的影響評価

防護板(鋼材)の評価モデルを用いて、波及的影響評価を行い、取付ボルトが許容限界未満であることを確認する。

a. 評価モデル

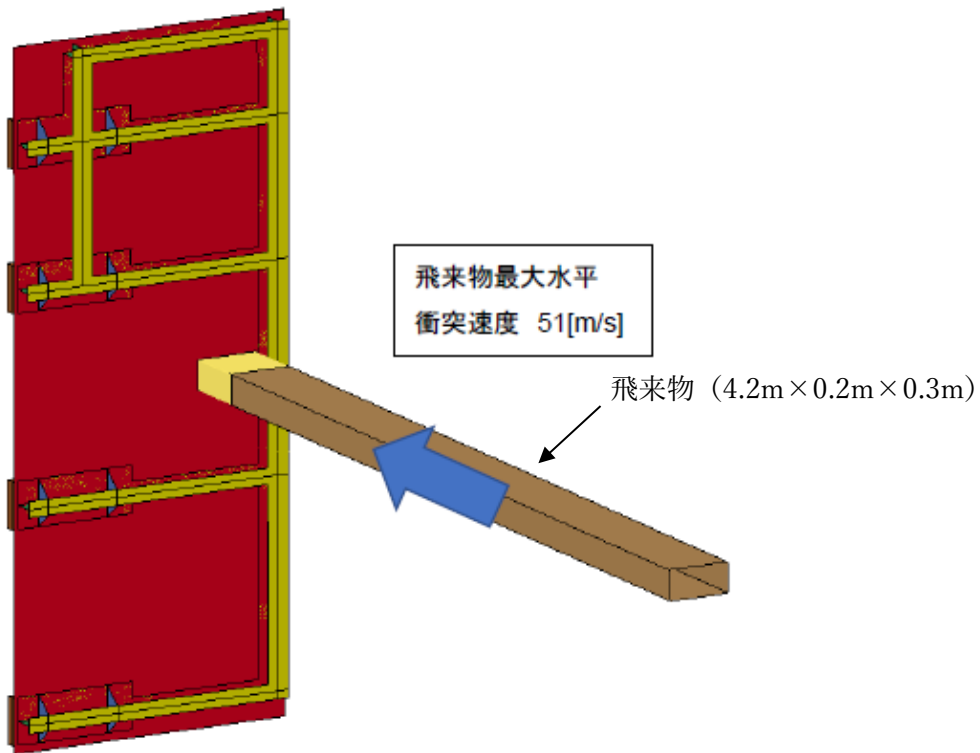
計算においては、防護板(鋼材)をシェル要素で、取付ボルトはビーム要素でモデル化し、解析コード「LS-DYNA(R.7.1.2)」を用いて評価を実施する。

なお、評価に用いる解析コード「LS-DYNA(R.7.1.2)」の検証及び妥当性確認等の概要については、「VI-1-6 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

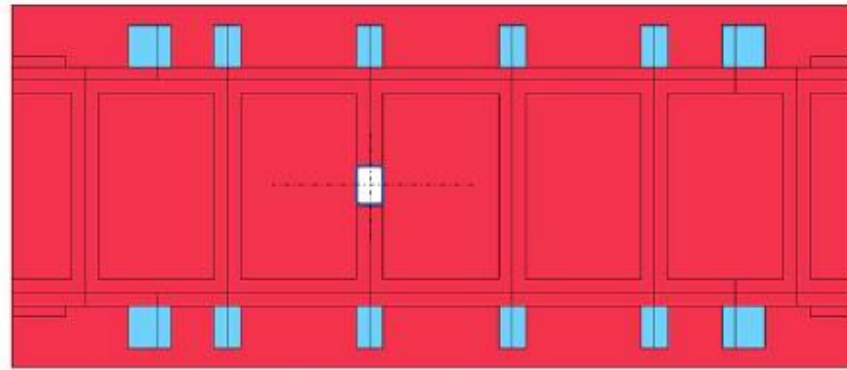
「3.2 評価対象部位」に基づき、評価ケースを第3.5.2-1表に、評価モデルを第3.5.2-1図に示す。

第3.5.2-1表 評価ケース

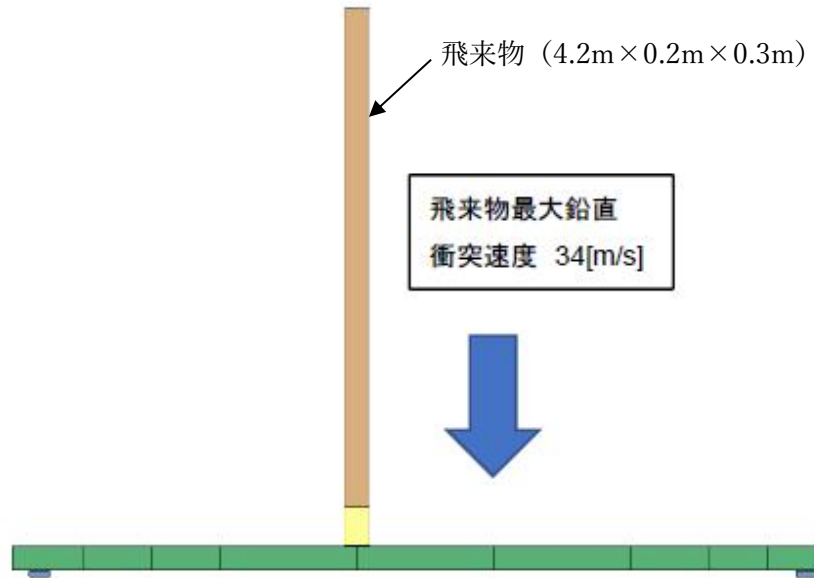
評価ケース	防護板(鋼材)の支持方法	飛来物速度	防護板(鋼材)サイズ
①	1辺で支持	51m/s ² (水平衝突)	1, 300mm×4, 400mm
②	相対する2辺以上で支持	34m/s ² (鉛直衝突)	2, 700mm×6, 300mm
③		51m/s ² (水平衝突)	2, 300mm×5, 100mm



第3.5.2-1図(1/3) 取付ボルト評価用の解析モデル図(ケース①)



屋上部分(伏図)

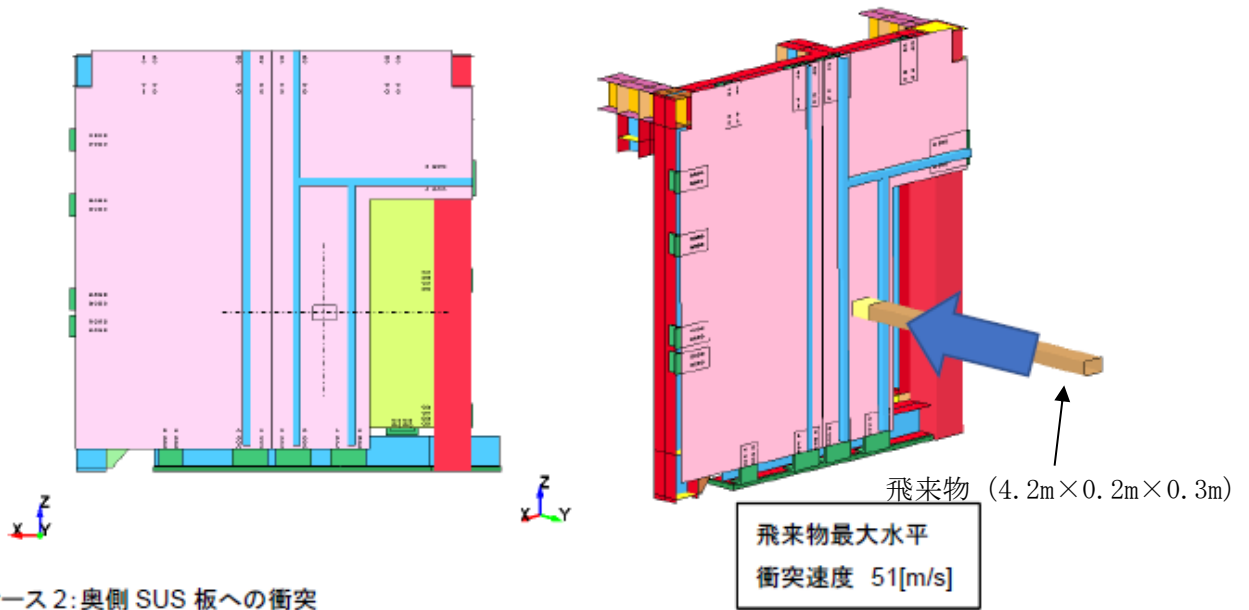


屋上部分(正面図)

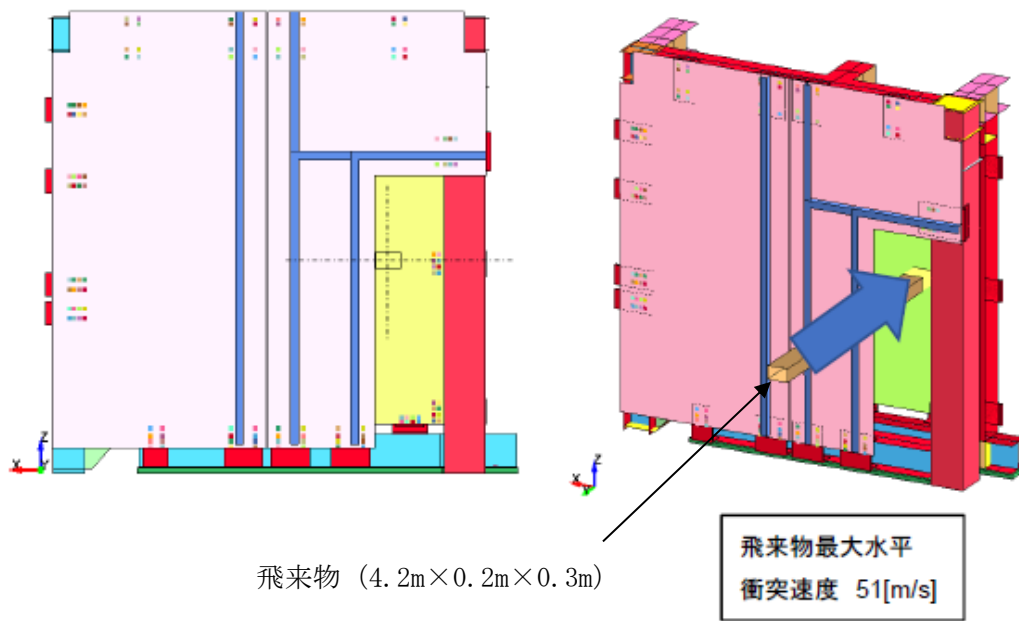


第3.5.2-1図(2/3) 取付ボルト評価用の解析モデル図(ケース②)

ケース1:手前側 SUS 板への衝突



ケース2:奥側 SUS 板への衝突



第3.5.2-1図(3/3) 取付ボルト評価用の解析モデル図(ケース③)

b. 材料モデル

防護板(鋼材), 取付ボルト及び飛来物に使用する鋼材の材料定数を第3.5.2-2表に示す。

材料定数は, JIS及び「鋼構造設計規準」(2005改定)に基づき設定する。

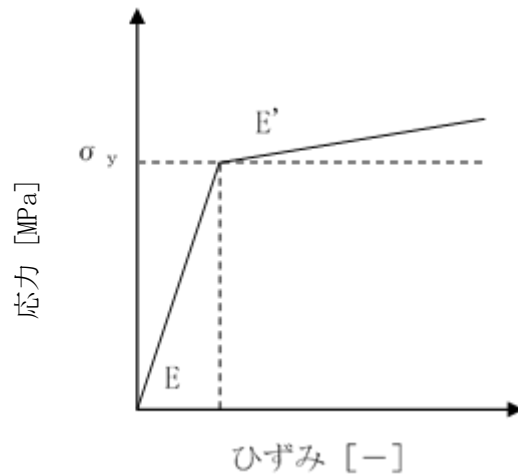
飛来物の衝突に対する解析は, 変形速度が大きいためひずみ速度効果を考慮することとし, 日本溶接協会の動的物性の推定式(WES式)を適用する。

材料の応力-ひずみ関係はバイリニア型とする。

バイリニア型応力-ひずみ関係の概念図を第3.5.2-2図に示す。

第3.5.2-2表 使用材料の材料定数

部材	材質	降伏応力 σ_y (MPa)	縦弾性係数 E (MPa)	接線係数 E' (MPa)	ポアソン比
防護板(鋼材)	SUS304	205	1.95×10^5	1, 350	0.3
取付ボルト	強度区分8.8	660	2.05×10^5	1, 410	0.3
飛来物	SN490B	325	2.05×10^5	1, 380	0.3



第3.5.2-2図 バイリニア型応力-ひずみ関係の概念図

c. 評価式

ボルトに作用する各方向荷重と破断耐力との比率により破断判定を行い、ボルトが2本以上破断せずに残ることを確認する。

$$\left(\frac{p_u}{p_{u a}}\right)^2 + \left(\frac{q_u}{q_{u a}}\right)^2 \leq 1$$

$$p_{u a} = S_u \times A_b$$

$$q_{u a} = 0.6 \cdot S_u \times A_b$$

3.5.3 支持架構の評価方法

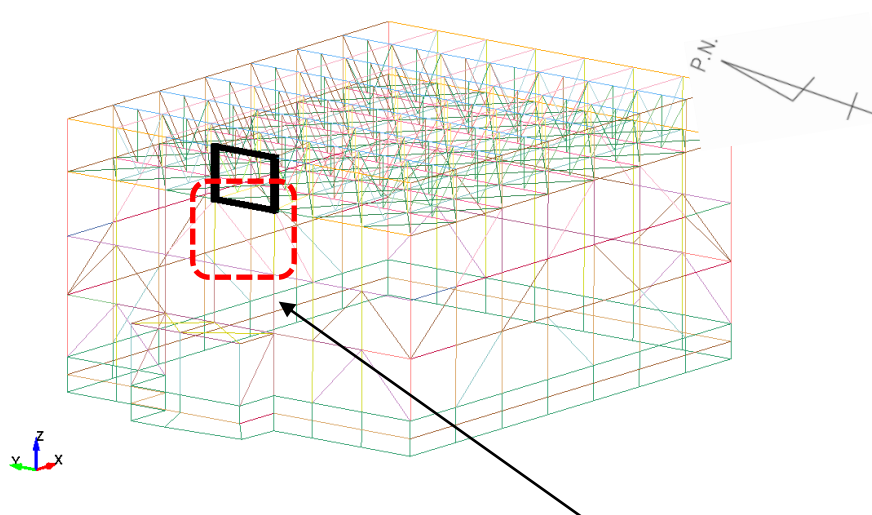
飛来物防護ネットの評価は，支持架構の評価モデルを用いて，貫通評価及び波及的影響評価を行い，許容限界未満であることを確認する。

(1) 評価モデル

計算においては，支持架構全体を三次元フレームモデルによりモデル化し，解析コード「LS-DYNA(R. 7. 1. 2)」を用いて評価を実施する。

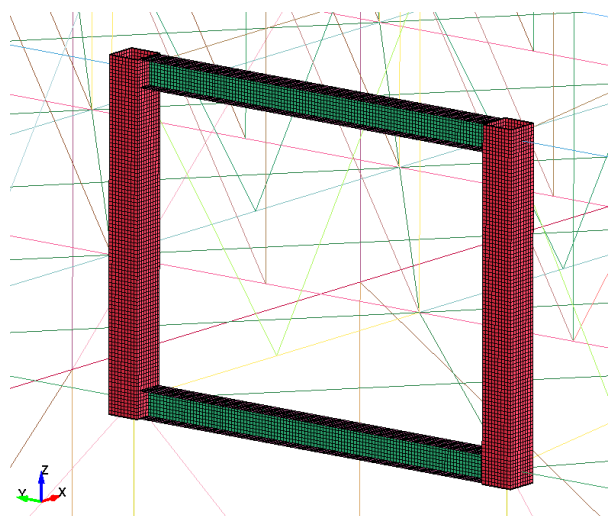
なお，評価に用いる解析コード「LS-DYNA(R. 7. 1. 2)」の検証及び妥当性確認等の概要については，「VI-1-6 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

支持架構の評価モデルを第3.5.3-1図，飛来物の解析モデルを第3.5.3-2図に示す。

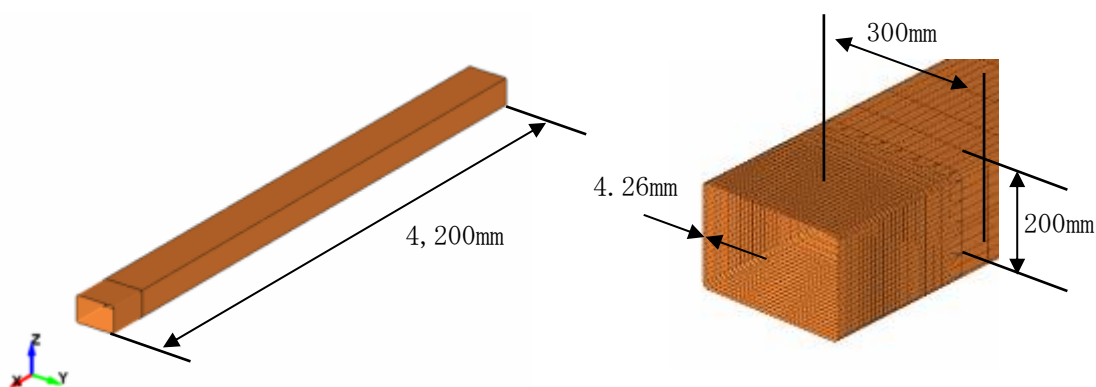


衝突部近傍の支持架構

第3.5.3-1図 飛来物防護ネットの評価モデル図(1/2)



第3.5.3-1図 飛来物防護ネットの評価モデル図(2/2)



第3.5.3-2図 飛来物の解析モデル図

(2) 材料モデル

材料モデルでは、支持架構の破断ひずみを設定し、破断ひずみを超えた要素は消去することにより部材の破壊を表現する。鋼材の応力-ひずみ関係はバイリニア型とし、鋼材の材料モデルにおける折れ点の強度は、JISの規格値(降伏応力、引張強さ)の下限値に対してNEI07-13に従って動的増加率を乗じた値とする。動的増加率はNEI07-13に基づき、降伏応力1.29、引張強さ1.10とする。

また、飛来物は保守的に破断ひずみを超えても要素が消去しないものとし、破断ひずみはNEI07-13に従い $0.14/TF$ (多軸性係数)とする。ここで、多軸性係数について、支持架構部材は $TF=2$ 、飛来物は $TF=1$ とする。

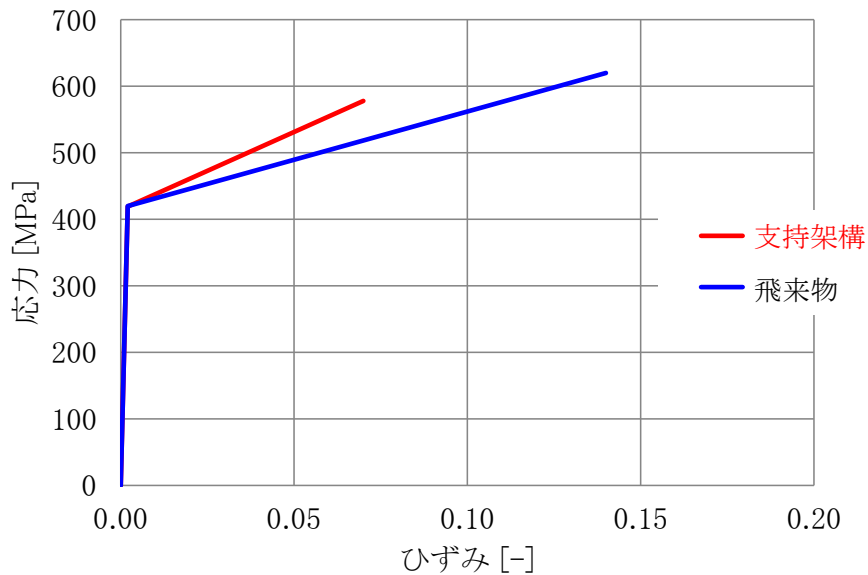
材料モデルの降伏応力及び引張強さの強度を第3.5.3-1表に、材料モデルにおける破断ひずみを第3.5.3-2表に、支持架構及び飛来物の応力-ひずみ線図を第3.5.3-3図に示す。

第3.5.3-1表 材料モデルの降伏応力及び引張強さ(単位：MPa)

種別	材質	規格値		材料モデル	
		降伏応力	引張強さ	降伏応力	引張強さ
支持架構	SN490B	325	490	419	578
飛来物	SN490B	325	490	420	620

第3.5.3-2表 材料モデルにおける破断ひずみ

種別	材質	破断ひずみ
支持架構	SN490B	0.07



第3.5.3-3図 支持架構及び飛来物の応力-ひずみ線図

(3) 評価式

a. 軸力及び曲げモーメントに対する評価方法

軸力及び曲げモーメントが生じる部材は、座屈を考慮し、部材に生じる軸応力及び曲げ応力の組合せ応力が、許容限界を超えないことを確認する。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0 \quad \text{又は} \quad \frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

b. せん断力に対する評価方法

せん断力が生じる部材は，部材に生じるせん断応力が，許容限界を超えないことを確認する。

$$\frac{\tau_s}{f_s} \leq 1.0$$

4. 評価条件

4.1 荷重条件

飛来物による衝撃荷重の算定条件を第4.1-1表に，風圧力による荷重の算定条件を第4.1-2表に，積雪荷重の算定条件を第4.1-3表に示す。

第4.1-1表 飛来物の衝撃荷重の算定条件

飛来物	b×c (mm)	m (kg)	V ₁ (m/s)	
			鉛直方向	水平方向
鋼製材	300×200	135	34	51

第4.1-2表 風圧力による荷重の算定条件

C (-)	G (-)	ρ (kg/m ³)	V _D (m/s)
1.4	1.0	1.22	100

第4.1-3表 積雪荷重の算定条件

単位面積当たりの積雪荷重 (N/m ² /cm)	積雪高さ (cm)
30	66.5* ¹

注記 *1：六ヶ所村統計書における観測記録上の極値 190cm に，「建築基準法施行令」第八十二条に定める建築基準法の多雪区域における積雪荷重と地震荷重の組合せを適用して，平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値

4.2 防護ネットの評価条件

(1) ネット

a. ネット仕様

ネット仕様として，電中研報告書等を参照し，引張試験に用いたネットの仕様を第4.2-1表に示す。

第4.2-1表 ネットの諸元

項目	記号	仕様		備考
		主ネット	補助ネット	
ネット材料	-	SWG F-4 (JIS G 3548)		-
ネット目合い寸法	-	50mm	40mm	電中研報告書による
ネット1目合いの対角寸法	a	$50 \times \sqrt{2} = 70.7\text{mm}$	$40 \times \sqrt{2} = 56.6\text{mm}$	
ネット1目合いの破断変位	a _s	17.6mm	13.9mm	
ネット素線の直径	-	4mm	4mm	
ネット1目合いの破断荷重	F _{bm}	15.1kN	17.2kN	
ネット1目合いの等価剛性	K	858kN/m	1,239kN/m	
衝突箇所周辺のネットの1枚当たりの交点数	n ₁	16個	20個	
ネットの素線の引張強度	-	1,400N/mm ² 以上	1,400N/mm ² 以上	
破断時たわみ角	θ _{max}	36.8deg	36.6deg	
ネットの単位面積あたりの質量	-	4.6kg/m ²	5.7kg/m ²	メーカーの標準的な値
ネットの充実率	φ	0.39(3枚* ²)		(計算値* ¹)

注記 *1: $\phi = 1 - \left(\frac{(\text{ネット目合い寸法: } 50\text{mm})^2}{(\text{ネット目合い寸法: } 50\text{mm} + \text{ネット素線径: } 4\text{mm})^2} \right)^2$

$\cdot \frac{(\text{ネット目合い寸法: } 40\text{mm})^2}{(\text{ネット目合い寸法: } 40\text{mm} + \text{ネット素線径: } 4\text{mm})^2}$

*2: 補助ネットを含む。

b. ネット構成

ネットの構成を第4.2-2表及び第4.2-1図に示す。

第4.2-2表 ネットの構成(1/3)

No.	ネットサイズ(m)			ネット枚数 n
	Lx	×	Ly	
AT01-14	5.673	×	4.623	2枚 (1枚)
AT15	5.673	×	3.033	
AT16-21	5.673	×	4.623	
AT22	5.673	×	4.233	
AT23-49	5.673	×	4.623	
AS01-03	5.673	×	4.380	
AS04	5.890	×	4.730	
AS05-06	5.673	×	4.473	
AS07-10	5.673	×	4.973	
AS11-17	5.673	×	4.013	
AS18-20	5.673	×	4.380	
AS21	4.880	×	4.473	
AS22-24	5.673	×	4.473	
AS25	4.880	×	4.473	
AS26-28	5.673	×	4.680	
AN01-04	5.673	×	4.230	
AN05-07	5.673	×	4.473	
AN08-11	5.673	×	4.973	
AN12-18	5.673	×	4.013	
AN19-21	5.673	×	4.380	

()内は補助ネット枚数

第4.2-2表 ネットの構成(2/3)

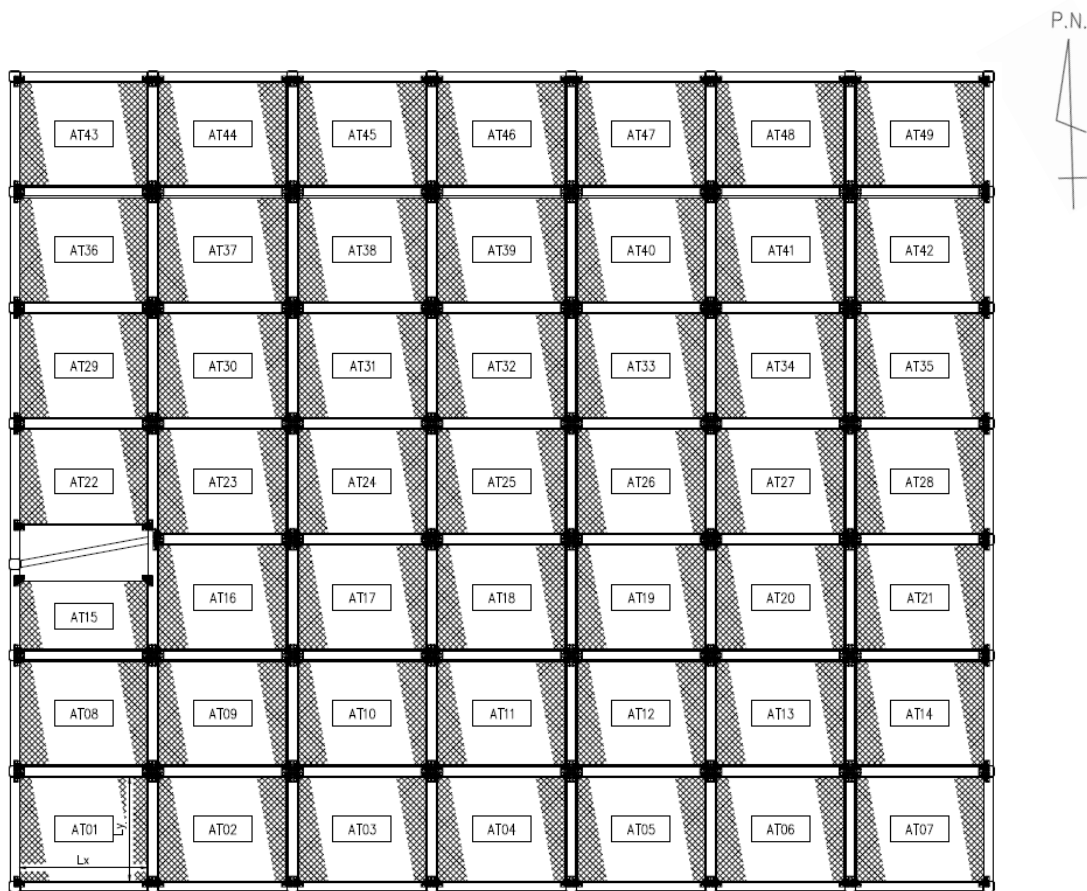
No.	ネットサイズ(m)			ネット枚数 n
	Lx	×	Ly	
AN22	4.880	×	4.473	2枚 (1枚)
AN23-24	5.673	×	4.473	
AN25	4.880	×	4.473	
AN26-28	5.673	×	4.680	
AE01-03	4.623	×	4.230	
AE04-06	4.623	×	4.473	
AE07-10	4.973	×	4.623	
AE11-17	4.623	×	4.013	
AE18	4.380	×	4.305	
AE19-20	4.623	×	4.380	
AE21	4.380	×	4.305	
AE22	4.473	×	4.305	
AE23-24	4.623	×	4.473	
AE25	4.473	×	4.305	
AE26-28	4.680	×	4.623	
AW01	4.623	×	4.180	
AW02	5.723	×	4.180	
AW03-06	4.973	×	4.623	
AW07-09	4.623	×	4.013	
AW10	5.723	×	4.013	
AW11	4.013	×	3.523	
AW12-13	4.623	×	4.013	
AW14	4.380	×	4.305	
AW15	4.623	×	4.380	
AW16	4.380	×	3.523	
AW17	4.623	×	4.380	
AW18	4.380	×	4.305	

()内は補助ネット枚数

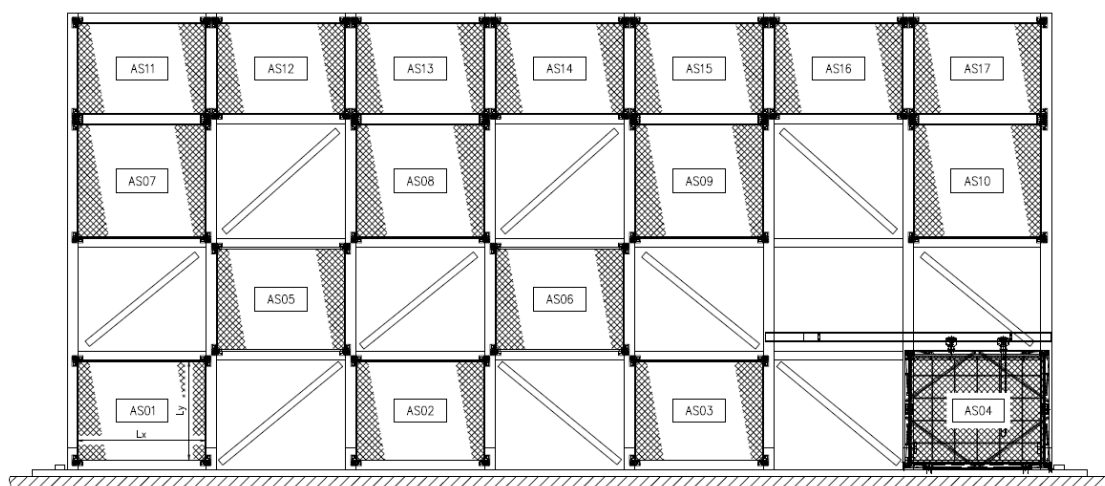
第4.2-2表 防護ネットの構成(3/3)

No.	ネットサイズ(m)			ネット枚数 n
	Lx	×	Ly	
AW19	4.473	×	4.305	2枚 (1枚)
AW20	4.623	×	4.473	
AW21	4.473	×	3.523	
AW22	4.623	×	4.473	
AW23	4.473	×	4.305	
AW24	4.680	×	3.523	
AW25	5.723	×	4.680	
AW26	4.680	×	4.623	
AHW01	4.623	×	4.230	
AHW02	5.723	×	4.230	

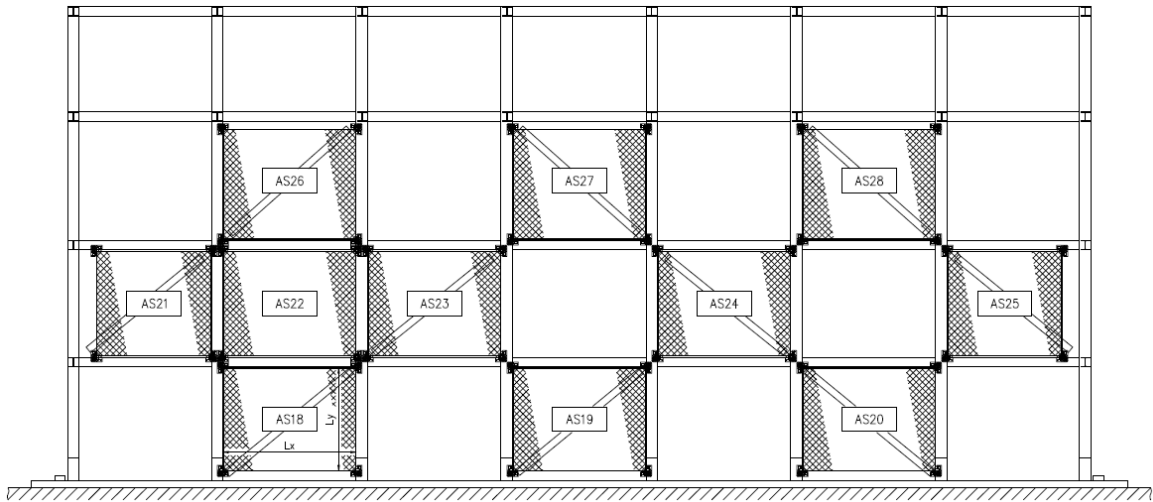
()内は補助ネット枚数



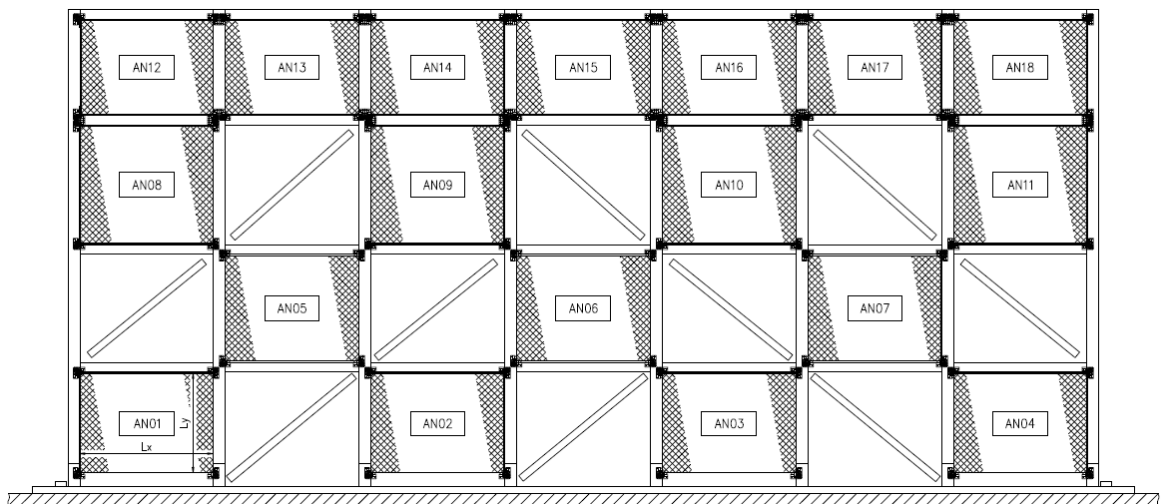
第4.2-1図 ネット割付展開図(天面) (1/10)



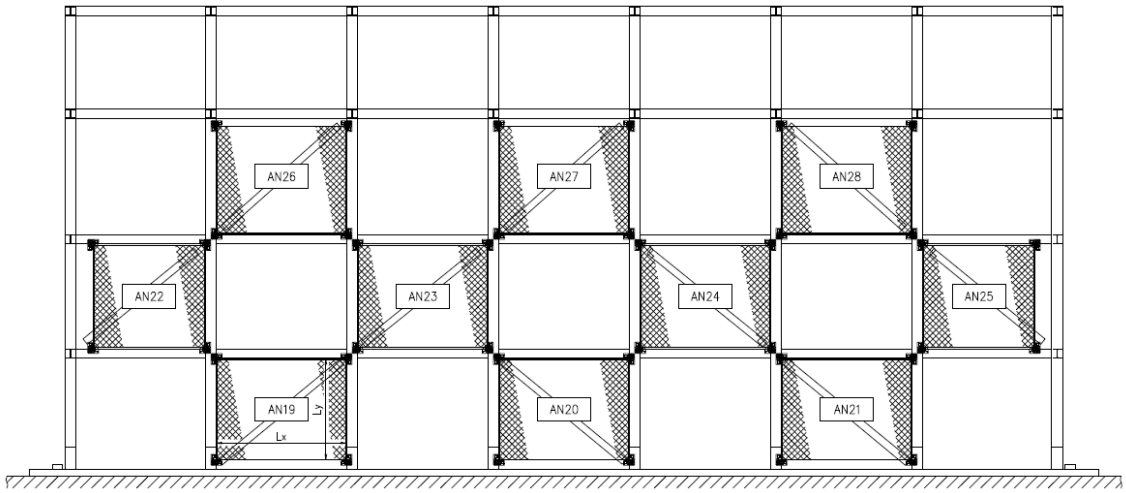
第4.2-1図 ネット割付展開図(南側外面) (2/10)



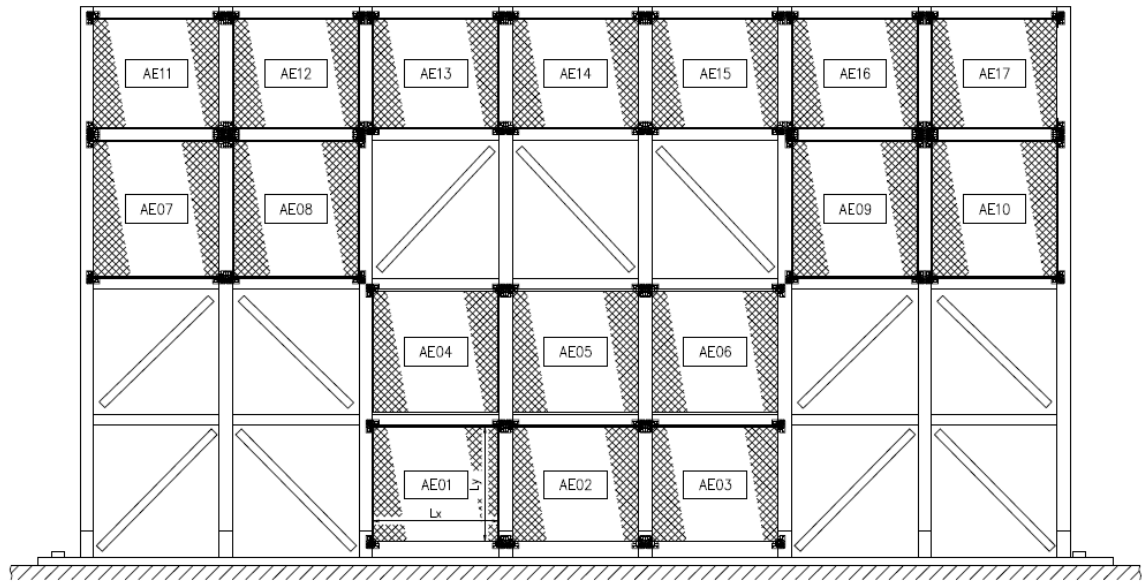
第4.2-1図 ネット割付展開図(南側内面) (3/10)



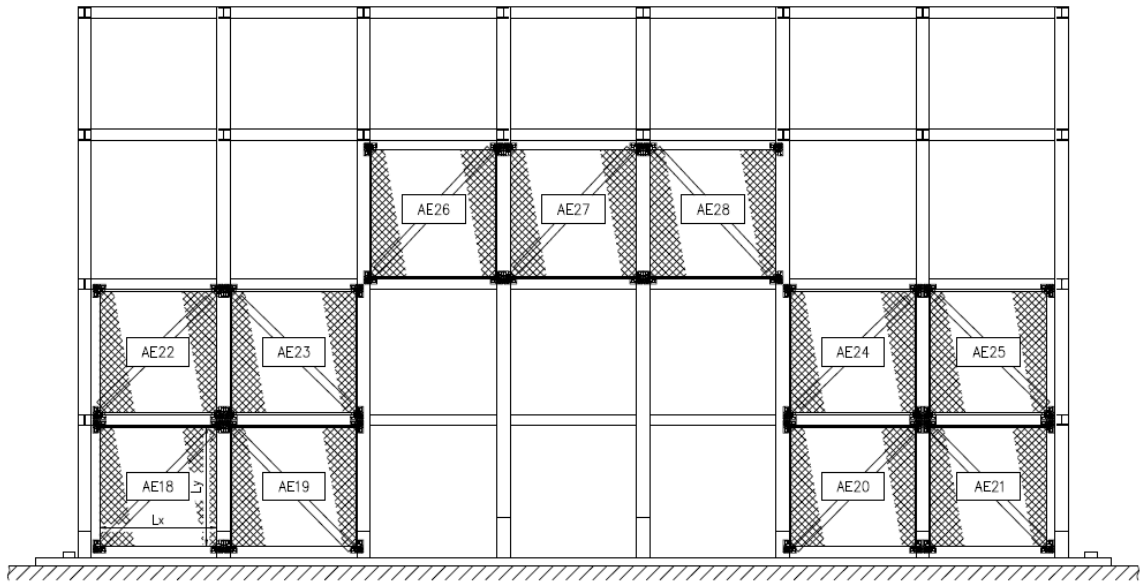
第4.2-1図 ネット割付展開図(北側外面) (4/10)



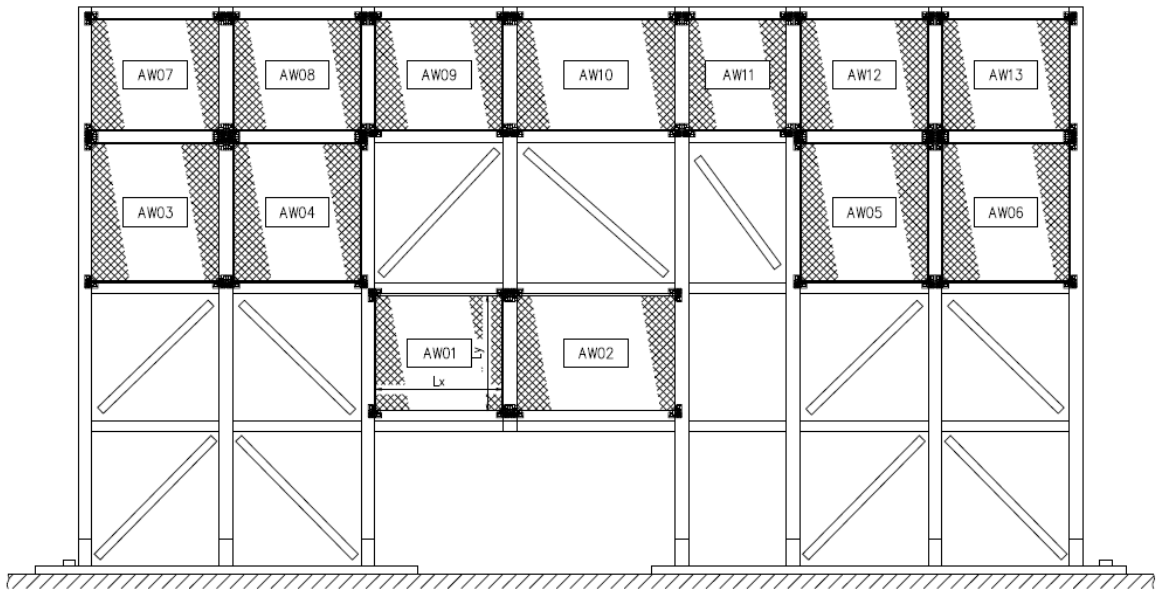
第4.2-1図 ネット割付展開図(北側内面) (5/10)



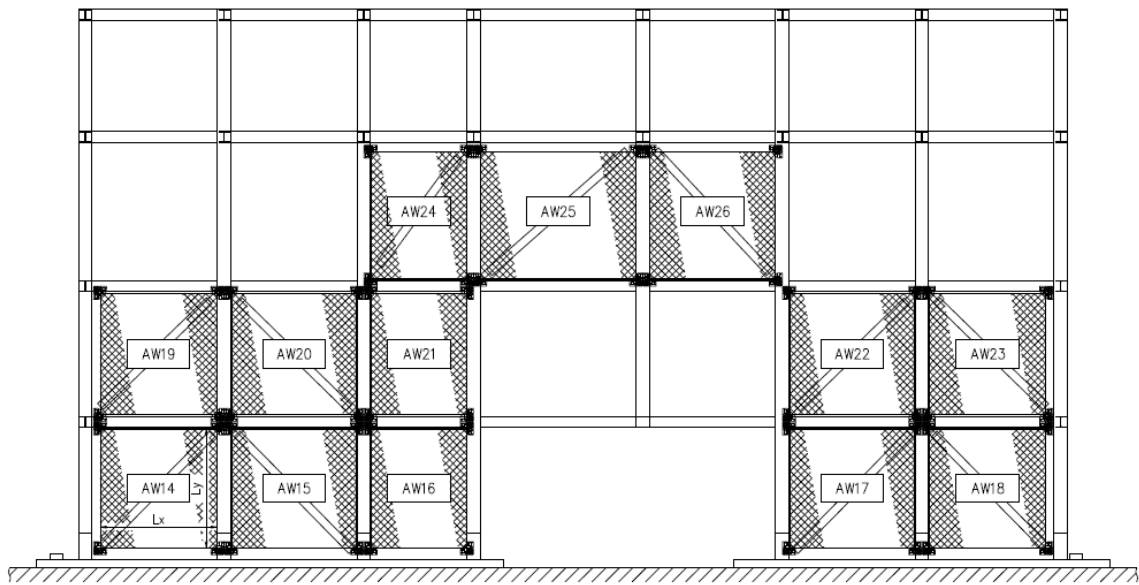
第4.2-1図 ネット割付展開図(東側外面) (6/10)



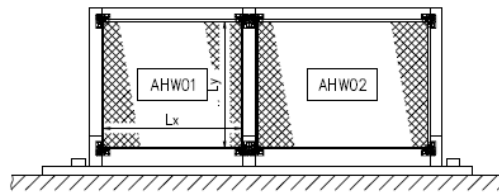
第4.2-1図 ネット割付展開図(東側内面) (7/10)



第4.2-1図 ネット割付展開図(西側外面) (8/10)



第4.2-1図 ネット割付展開図(西側内面) (9/10)



第4.2-1図 ネット割付展開図(西側張り出し部) (10/10)

(2) ワイヤロープ及び接続治具(支持部)

評価における条件を以下に示す。

a. ワイヤロープ

ワイヤロープの仕様を第4.2-3表に示す。

第4.2-3表 ワイヤロープの仕様

評価対象部位	仕様	径	破断荷重 F _{bw} (kN)	ワイヤグリップ効率 C _c
ワイヤロープ	7×7	φ16	165 ^(*1)	0.8 ^(*2)

注記 *1 : JIS G 3549の破断強度

*2 : JIS B 2809及び(社)日本道路協会「小規模吊橋指針・同解説」

b. ターンバックル

ターンバックルの仕様を第4.2-4表に示す。

第4.2-4表 ターンバックルの仕様

評価対象部位	規格値 (kN)	許容限界 (kN)
ターンバックル	86.8	130.2

c. シャックル

シャックルの仕様を第4.2-5表に示す。

第4.2-5表 シャックルの仕様

評価対象部位	規格値 (kN)	許容限界 (kN)
シャックル	78.4	156.8

(3) 接続治具(固定部)

a. 接続治具(固定部)

評価における条件を以下に示す。

(a) 隅角部固定ボルト

隅角部固定ボルトの評価条件を第4.2-6表に示す。

第4.2-6表 隅角部固定ボルトの評価条件

評価対象部位	ボルト径	材質	ボルト本数 n_2
隅角部固定ボルト	M27	強度区分8.8	3本

(b) 取付プレート

イ. 支持架構設置

取付プレート(支持架構設置)の評価条件を第4.2-7表に示す。

第4.2-7表 取付プレート(支持架構設置)の評価条件

評価対象部位	材質	取付け孔位置寸法		取付け孔径 ϕd_1 (mm)	板厚 t_2 (mm)
		L_{p1} (mm)	L_{p2} (mm)		
取付プレート	SN490B	69.6	55	33	32

ロ. 鋼製枠設置

取付プレート(鋼製枠設置)の評価条件を第4.2-8表に示す。

第4.2-8表 取付プレート(鋼製枠設置)の評価条件

評価対象項目	材質	プレート長さ		取付け孔位置寸法 L_{p5} (mm)	面取り長さ L (mm)	取付け孔径 ϕd_2 (mm)	板厚 t_3 (mm)	溶接脚長 S_w (mm)
		L_{p3} (mm)	L_{p4} (mm)					
取付プレート	SS400	-	-	45	-	33	22	-
溶接部	SS400*1	100	130	-	25	-	-	9

注記 *1: 母材である取付プレートの材質

b. ネット取付金物等

ネット取付金物等の評価条件を第4.2-9表に示す。

第4.2-9表 ネット取付金物等の評価条件

評価対象項目	ボルト径	材質	モーメント支点からの距離		取付け面から保持管中心までの距離H (mm)	評価対象の取付ボルト本数 n_3 (本)
			ボルトまで L_1 (mm)	保持管中心まで L_2 (mm)		
取付ボルト	M24	強度区分10.9	180.3	245.5	106.5	2
押さえボルト	M27		-※	-※	-※	-※

※押さえボルトには、モーメントによる荷重は作用しないため、対象外

4.3 防護板(鋼材)の評価条件

(1) 貫通評価

貫通評価に用いる条件を第4.3-1表に示す。

なお、評価において考慮する飛来物の飛来速度は、鉛直方向よりも値が大きい水平方向で代表する。

第4.3-1表 評価に用いる条件

記号	単位	数値
d	m	0.311
K	-	1.0
M	kg	135
v	m/s	51

(2) 波及的影響評価

及的影響評価に用いる条件を第4.3-2表に示す。

第4.3-2表 取付ボルトの評価に用いる条件

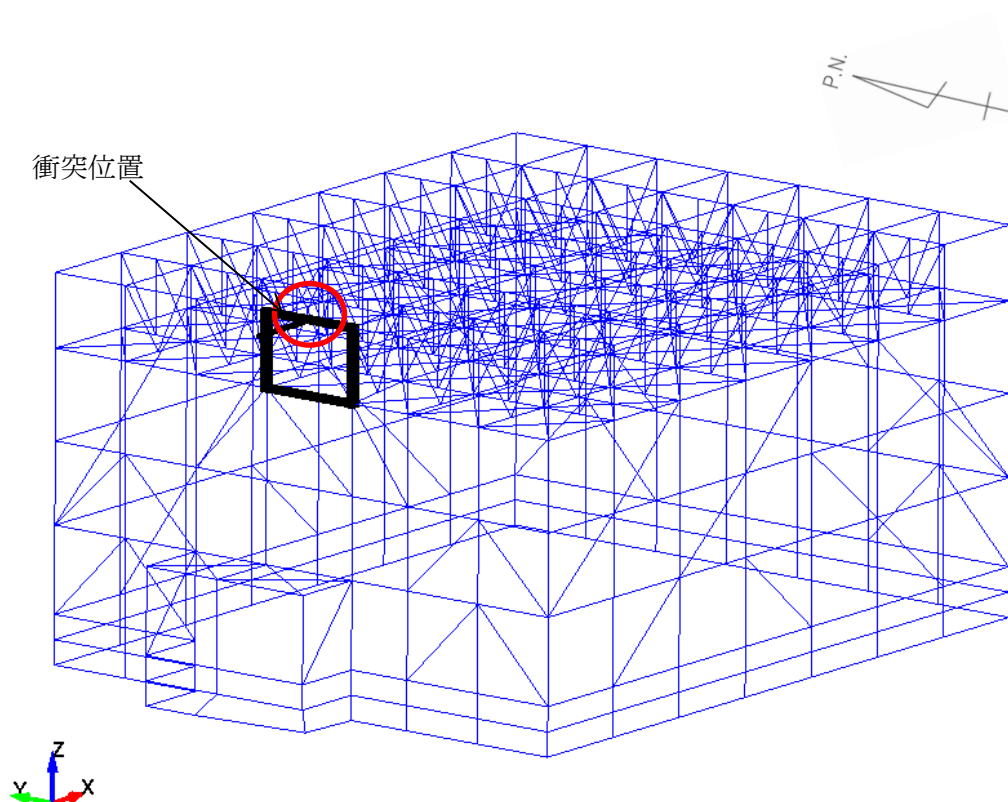
評価ケース	防護板(鋼材) サイズ (mm)	取付ボルト 引張強さSu (MPa)	取付ボルト 有効断面積A _b (mm ²)
①	1, 300×4, 400	830	694
②	2, 700×6, 300	830	353
③	2, 300×5, 100	830	353

4.4 支持架構の評価条件

(1) 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の評価モデル

「3.2 評価対象部位」に基づき、飛来物の衝突位置を第4.4-1図に示す。飛来物の衝突位置は、以下の条件に該当する部材を選定した。

- ・支持架構を構成する部材のうち、板厚が最も薄いもの
- ・部材が最長のもの。
- ・支持架構の頂部のもの。



第4.4-1図 飛来物衝突位置図

(2) 材料定数

貫通評価に用いる部材の材料定数を第4.4-1表に示す。材料定数は、「鋼構造設計規準」(2005改定)に基づいて設定する。

第4.4-1表 材料定数

部材	材料	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比
支持架構	SN490B	2.05×10^5	0.3
	BCP325		
飛来物	SN490B	2.05×10^5	0.3

(3) 使用材料の許容限界

使用材料の許容限界を第4.4-2表、衝突部の仕様を第4.4-3表から第4.4-5表に示す。

第4.4-2表 使用材料の許容限界

部材	材料	基準強度F (MPa)	備考
支持架構	SN490B	325	短期応力の許容応力を1.1倍した値を許容限界として設定
	BCP325		
飛来物	SN490B		

第4.4-3表 飛来物防護ネットの貫通評価対象部位

対象	仕様(mm)	材質
支持架構	はり H-400×400×13×21	SN490B

第4.4-4表 飛来物防護ネットの脱落評価対象部位

対象	仕様(mm)	材質
支持架構	はり端部 (柱はり接合部) H-400×400×13×21	SN490B

第4.4-5表 飛来物防護ネットの転倒評価対象部位

対象	仕様(mm)	材質
支持架構	柱脚部1 □-500×500×28	BCP325
	柱脚部2 H-400×400×13×21	SN490B

5. 強度評価結果

5.1 防護ネットの強度評価結果

(1) 吸収エネルギー評価

竜巻発生時の吸収エネルギー評価結果を第5.1-1表に示す。

すべてのネットにおいて、作用する全エネルギー(E_t)は、ネットの限界吸収エネルギー(E_{max}')を下回っている。

第5.1-1表 吸収エネルギー評価結果(1/3)

No.	E_t (kJ)	E_{max}' (kJ)	検定比* ¹ (-)
AT01-14	86	390	0.23
AT15	83	249	0.34
AT16-21	86	390	0.23
AT22	85	358	0.24
AT23-49	86	390	0.23
AS01-03	189	369	0.52
AS04	191	391	0.49
AS05-06	189	380	0.50
AS07-10	190	397	0.48
AS11-17	188	323	0.59
AS18-20	189	369	0.52
AS21	185	325	0.57
AS22-24	189	380	0.50
AS25	185	325	0.57
AS26-28	189	376	0.51
AN01-04	188	358	0.53
AN05-07	189	380	0.50
AN08-11	190	397	0.48
AN12-18	188	323	0.59
AN19-21	189	369	0.52
AN22	185	325	0.57
AN23-24	189	380	0.50

注記 *1: 検定比= E_t/E_{max}' (小数第三位を切上げ)

第5.1-1表 吸収エネルギー評価結果(2/3)

(つづき)

No.	E_t (kJ)	E_{max}' (kJ)	検定比* ¹ (-)
AN25	185	325	0.57
AN26-28	189	376	0.51
AE01-03	184	292	0.64
AE04-06	184	309	0.60
AE07-10	186	342	0.55
AE11-17	183	263	0.70
AE18	183	268	0.69
AE19-20	184	301	0.62
AE21	183	268	0.69
AE22	183	271	0.68
AE23-24	184	309	0.60
AE25	183	271	0.68
AE26-28	184	321	0.58
AW01	183	292	0.63
AW02	188	365	0.52
AW03-06	186	342	0.55
AW07-09	183	263	0.70
AW10	188	329	0.58
AW11	181	217	0.84
AW12-13	183	263	0.70
AW14	183	268	0.69
AW15	184	301	0.62
AW16	182	238	0.77
AW17	184	301	0.62
AW18	183	268	0.69
AW19	183	271	0.68
AW20	184	309	0.60

注記 *1: 検定比= E_t/E_{max}' (小数第三位を切上げ)

第5.1-1表 吸収エネルギー評価結果(3/3)

(つづき)

No.	E_t (kJ)	E_{max}' (kJ)	検定比* ¹ (-)
AW21	182	240	0.76
AW22	184	309	0.60
AW23	183	271	0.68
AW24	182	251	0.73
AW25	190	383	0.50
AW26	184	321	0.58
AHW01	184	292	0.64
AHW02	188	365	0.52

注記 *1: 検定比= E_t/E_{max}' (小数第三位を切上げ)

(2) 破断評価

a. ネット

竜巻発生時の局部貫通(飛来物による衝撃荷重)評価結果を第5.1-2表に示す。

すべてのネットにおいて、飛来物による衝撃荷重(F_a')は、ネットの許容荷重(F_n)を下回っている。

第5.1-2表 局部貫通(飛来物による衝撃荷重)評価結果(1/3)

No.	F_a' (kN)	F_n' (kN)	検定比* ¹ (-)
AT01-14	200.4	783	0.26
AT15	173.2	783	0.23
AT16-21	200.4	783	0.26
AT22	194.2	783	0.25
AT23-49	200.4	783	0.26
AS01-03	352.4	783	0.46
AS04	347.1	783	0.45
AS05-06	355.1	783	0.46
AS07-10	360.3	783	0.47
AS11-17	338.8	783	0.44
AS18-20	352.4	783	0.46
AS21	389.8	783	0.50
AS22-24	355.1	783	0.46
AS25	389.8	783	0.50
AS26-28	353.6	783	0.46
AN01-04	348.1	783	0.45
AN05-07	355.1	783	0.46
AN08-11	360.3	783	0.47
AN12-18	338.8	783	0.44
AN19-21	352.4	783	0.46
AN22	389.8	783	0.50
AN23-24	355.1	783	0.46

注記 *1: 検定比= F_a'/F_n' (小数第三位を切上げ)

第5.1-2表 局部貫通(飛来物による衝撃荷重)評価結果(2/3)

(つづき)

No.	F_a' (kN)	F_n' (kN)	検定比* ¹ (-)
AN25	389.8	783	0.50
AN26-28	353.6	783	0.46
AE01-03	398.6	783	0.51
AE04-06	404.5	783	0.52
AE07-10	389.5	783	0.50
AE11-17	385.7	783	0.50
AE18	409.2	783	0.53
AE19-20	401.6	783	0.52
AE21	409.2	783	0.53
AE22	401.6	783	0.52
AE23-24	404.5	783	0.52
AE25	401.6	783	0.52
AE26-28	403.1	783	0.52
AW01	396.4	783	0.51
AW02	346.8	783	0.45
AW03-06	389.5	783	0.50
AW07-09	385.7	783	0.50
AW10	337.4	783	0.44
AW11	419.1	783	0.54
AW12-13	385.7	783	0.50
AW14	409.2	783	0.53
AW15	401.6	783	0.52
AW16	395.1	783	0.51
AW17	401.6	783	0.52
AW18	409.2	783	0.53
AW19	401.6	783	0.52
AW20	404.5	783	0.52

注記 *1: 検定比= F_a'/F_n' (小数第三位を切上げ)

第5.1-2表 局部貫通(飛来物による衝撃荷重)評価結果(3/3)

(つづき)

No.	F_a' (kN)	F_n' (kN)	検定比* ¹ (-)
AW21	387.8	783	0.50
AW22	404.5	783	0.52
AW23	401.6	783	0.52
AW24	374.8	783	0.48
AW25	354.1	783	0.46
AW26	403.1	783	0.52
AHW01	398.6	783	0.51
AHW02	346.5	783	0.45

注記 *1: 検定比= F_a' / F_n' (小数第三位を切上げ)

b. ワイヤロープ及び接続冶具(支持部)

(a) ワイヤロープ

竜巻発生時の評価結果を第5. 1-3表に示す。

ワイヤロープが負担する荷重(T_1')は, ワイヤロープの許容荷重(P)を下回っている。

第5. 1-3表 ワイヤロープ評価結果(1/3)

No.	T_1' (kN)	P (kN)	検定比* ¹ (-)
AT01-14	68. 1	132	0. 52
AT15	53. 9	132	0. 41
AT16-21	68. 1	132	0. 52
AT22	64. 9	132	0. 50
AT23-49	68. 1	132	0. 52
AS01-03	100. 9	132	0. 77
AS04	100. 3	132	0. 76
AS05-06	102. 2	132	0. 78
AS07-10	104. 5	132	0. 80
AS11-17	94. 7	132	0. 72
AS18-20	100. 9	132	0. 77
AS21	109. 4	132	0. 83
AS22-24	102. 2	132	0. 78
AS25	109. 4	132	0. 83
AS26-28	101. 5	132	0. 77
AN01-04	99. 2	132	0. 76
AN05-07	102. 2	132	0. 78
AN08-11	104. 5	132	0. 80
AN12-18	94. 7	132	0. 72
AN19-21	100. 9	132	0. 77
AN22	109. 4	132	0. 83
AN23-24	102. 2	132	0. 78

注記 *1 : 検定比= T_1' / P (小数第三位を切上げ)

第5.1-3表 ワイヤロープ評価結果(2/3)

(つづき)

No.	T ₁ ' (kN)	P (kN)	検定比* ¹ (-)
AN25	109.4	132	0.83
AN26-28	101.5	132	0.77
AE01-03	109.8	132	0.84
AE04-06	112.6	132	0.86
AE07-10	110.3	132	0.84
AE11-17	104.2	132	0.79
AE18	111.0	132	0.85
AE19-20	111.2	132	0.85
AE21	111.0	132	0.85
AE22	109.0	132	0.83
AE23-24	112.6	132	0.86
AE25	109.0	132	0.83
AE26-28	112.9	132	0.86
AW01	109.2	132	0.83
AW02	99.2	132	0.76
AW03-06	110.3	132	0.84
AW07-09	104.2	132	0.79
AW10	94.6	132	0.72
AW11	109.6	132	0.84
AW12-13	104.2	132	0.79
AW14	111.0	132	0.85
AW15	111.2	132	0.85
AW16	105.0	132	0.80
AW17	111.2	132	0.85
AW18	111.0	132	0.85
AW19	109.0	132	0.83
AW20	112.6	132	0.86

注記 *1: 検定比=T₁'/P(小数第三位を切上げ)

第5.1-3表ワイヤロープ評価結果(3/3)

(つづき)

No.	T ₁ ' (kN)	P (kN)	検定比* ¹ (-)
AW21	103.2	132	0.79
AW22	112.6	132	0.86
AW23	109.0	132	0.83
AW24	100.5	132	0.77
AW25	102.0	132	0.78
AW26	112.9	132	0.86
AHW01	109.8	132	0.84
AHW02	99.0	132	0.75

注記 *1: 検定比=T₁'/P(小数第三位を切上げ)

(b) ターンバックル

竜巻発生時の評価結果を第5.1-4表に示す。

発生荷重は、ターンバックルの許容限界を下回っている。

第5.1-4表 ターンバックルの評価結果

評価対象部位	発生荷重 (kN)	許容限界 (kN)	検定比 ^{*2} (-)
ターンバックル	112.9 ^{*1}	130.2	0.87

注記 *1：ワイヤロープ張力が最大である T1' の値を示す。

*2：検定比=発生荷重/許容限界(小数第三位を切上げ)

(c) シャックル

竜巻発生時の評価結果を第5.1-5表に示す。

発生荷重は、シャックルの許容限界を下回っている。

第5.1-5表 シャックルの評価結果

評価対象部位	発生荷重 (kN)	許容限界 (kN)	検定比 ^{*2} (-)
シャックル	112.9 ^{*1}	156.8	0.73

注記 *1：ワイヤロープ張力が最大である T1' の値を示す。

*2：検定比=発生荷重/許容限界(小数第三位を切上げ)

c. 接続治具(固定部)

(a) 隅角部固定ボルト

接続治具(固定部)のうち、隅角部固定ボルトの竜巻発生時の評価結果を第5.1-6表に示す。ワイヤロープが負担する荷重(T1')による発生応力は、隅角部固定ボルトの許容限界を下回っている。

第5.1-6表 接続治具(固定部)(隅角部固定ボルト)の評価結果(1/3)

No.	T ₁ ' (kN)	発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	応力比*1 (-)
AT01-14	68.1	65	334	0.20
AT15	53.9	51	334	0.16
AT16-21	68.1	65	334	0.20
AT22	64.9	62	334	0.19
AT23-49	68.1	65	334	0.20
AS01-03	100.9	98	334	0.30
AS04	100.3	97	334	0.30
AS05-06	102.2	99	334	0.30
AS07-10	104.5	101	334	0.31
AS11-17	94.7	91	334	0.28
AS18-20	100.9	98	334	0.30
AS21	109.4	107	334	0.33
AS22-24	102.2	99	334	0.30
AS25	109.4	107	334	0.33
AS26-28	101.5	98	334	0.30
AN01-04	99.2	96	334	0.29
AN05-07	102.2	99	334	0.30
AN08-11	104.5	101	334	0.31
AN12-18	94.7	91	334	0.28
AN19-21	100.9	98	334	0.30
AN22	109.4	107	334	0.33

注記 *1 : 応力比=発生応力/許容限界(小数第三位を切上げ)

第5.1-6表 接続治具(固定部)(隅角部固定ボルト)の評価結果(2/3)

(つづき)

No.	T ₁ ' (kN)	発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	応力比*1 (-)
AN23-24	102.2	99	334	0.30
AN25	109.4	107	334	0.33
AN26-28	101.5	98	334	0.30
AE01-03	109.8	107	334	0.33
AE04-06	112.6	110	334	0.33
AE07-10	110.3	107	334	0.33
AE11-17	104.2	101	334	0.31
AE18	111.0	108	334	0.33
AE19-20	111.2	108	334	0.33
AE21	111.0	108	334	0.33
AE22	109.0	106	334	0.32
AE23-24	112.6	110	334	0.33
AE25	109.0	106	334	0.32
AE26-28	112.9	110	334	0.33
AW01	109.2	106	334	0.32
AW02	99.2	96	334	0.29
AW03-06	110.3	107	334	0.33
AW07-09	104.2	101	334	0.31
AW10	94.6	91	334	0.28
AW11	109.6	106	334	0.32
AW12-13	104.2	101	334	0.31
AW14	111.0	108	334	0.33
AW15	111.2	108	334	0.33
AW16	105.0	101	334	0.31
AW17	111.2	108	334	0.33
AW18	111.0	108	334	0.33
AW19	109.0	106	334	0.32

注記 *1：応力比=発生応力/許容限界(小数第三位を切上げ)

第5.1-6表 接続治具(固定部)(隅角部固定ボルト)の評価結果(3/3)

(つづき)

No.	T ₁ ' (kN)	発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	応力比*1 (-)
AW20	112.6	110	334	0.33
AW21	103.2	100	334	0.30
AW22	112.6	110	334	0.33
AW23	109.0	106	334	0.32
AW24	100.5	97	334	0.30
AW25	102.0	99	334	0.30
AW26	112.9	110	334	0.33
AHW01	109.8	107	334	0.33
AHW02	99.0	96	334	0.29

注記 *1 : 応力比=発生応力/許容限界(小数第三位を切上げ)

(b) 取付プレート

イ. 支持架構設置

接続冶具(固定部)のうち、取付プレート(支持架構設置)の竜巻発生時の評価結果を第5.1-7表に示す。

ワイヤロープが負担する荷重(T_1')による発生応力は、取付プレート(支持架構設置)の許容限界を下回っている。

第5.1-7表 接続冶具(固定部)(取付プレート(支持架構設置))の評価結果(1/3)

No.	T_1' (kN)	発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	応力比*1 (-)
AT01-14	68.1	28	187	0.15
AT15	53.9	22	187	0.12
AT16-21	68.1	28	187	0.15
AT22	64.9	27	187	0.15
AT23-49	68.1	28	187	0.15
AS01-03	100.9	41	187	0.22
AS05-06	102.2	42	187	0.23
AS07-10	104.5	43	187	0.23
AS11-17	94.7	39	187	0.21
AS18-20	100.9	41	187	0.22
AS21	109.4	45	187	0.25
AS22-24	102.2	42	187	0.23
AS25	109.4	45	187	0.25
AS26-28	101.5	42	187	0.23
AN01-04	99.2	41	187	0.22
AN05-07	102.2	42	187	0.23
AN08-11	104.5	43	187	0.23
AN12-18	94.7	39	187	0.21
AN19-21	100.9	41	187	0.22
AN22	109.4	45	187	0.25
AN23-24	102.2	42	187	0.23

注記 *1: 応力比=発生応力/許容限界(小数第三位を切上げ)

第5.1-7表 接続治具(固定部)(取付プレート(支持架構設置))の評価結果(2/3)

(つづき)

No.	T ₁ ' (kN)	発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	応力比*1 (-)
AN25	109.4	45	187	0.25
AN26-28	101.5	42	187	0.23
AE01-03	109.8	45	187	0.25
AE04-06	112.6	46	187	0.25
AE07-10	110.3	45	187	0.25
AE11-17	104.2	43	187	0.23
AE18	111.0	46	187	0.25
AE19-20	111.2	46	187	0.25
AE21	111.0	46	187	0.25
AE22	109.0	45	187	0.25
AE23-24	112.6	46	187	0.25
AE25	109.0	45	187	0.25
AE26-28	112.9	46	187	0.25
AW01	109.2	45	187	0.25
AW02	99.2	41	187	0.22
AW03-06	110.3	45	187	0.25
AW07-09	104.2	43	187	0.23
AW10	94.6	39	187	0.21
AW11	109.6	45	187	0.25
AW12-13	104.2	43	187	0.23
AW14	111.0	46	187	0.25
AW15	111.2	46	187	0.25
AW16	105.0	43	187	0.23
AW17	111.2	46	187	0.25
AW18	111.0	46	187	0.25
AW19	109.0	45	187	0.25
AW20	112.6	46	187	0.25

注記 *1：応力比=発生応力/許容限界(小数第三位を切上げ)

第5.1-7表 接続治具(固定部)(取付プレート(支持架構設置))の評価結果(3/3)

(つづき)

No.	T ₁ ' (kN)	発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	応力比* ¹ (-)
AW21	103.2	42	187	0.23
AW22	112.6	46	187	0.25
AW23	109.0	45	187	0.25
AW24	100.5	41	187	0.22
AW25	102.0	42	187	0.23
AW26	112.9	46	187	0.25
AHW01	109.8	45	187	0.25
AHW02	99.0	41	187	0.22

注記 *1: 応力比=発生応力/許容限界(小数第三位を切上げ)

ロ. 鋼製枠設置

接続治具(固定部)のうち, 取付プレート(鋼製枠設置)の竜巻発生時の評価結果を第5.1-8表に示す。

ワイヤロープが負担する荷重(T_1')による発生応力は, 取付プレート(鋼製枠設置)の許容限界を下回っている。

第5.1-8表 接続治具(固定部)(取付プレート(鋼製枠設置))の評価結果

No.	T_1' (kN)	発生応力(MPa)		許容限界(MPa)		応力比*1(-)	
		溶接部	プレート	溶接部	プレート	溶接部	プレート
AS04	100.3	55	80	135	135	0.41	0.60

注記 *1: 応力比=発生応力/許容限界(小数第三位を切上げ)

d. 接続部

ネット取付金物等のうち取付ボルト及び押さえボルトの竜巻発生時の評価結果を第5.1-9表に示す。

発生応力は、取付ボルト及び押さえボルトの許容限界を下回っている。

第5.1-9表 ネット取付金物等のうち取付ボルト及び押さえボルトの評価結果(1/3)

No.	発生応力 (MPa)		許容限界 (MPa)		応力比*1(-)	
	取付ボルト	押さえボルト	取付ボルト	押さえボルト	取付ボルト	押さえボルト
AT01-14	183	422	727	727	0.26	0.59
AT15	137	335	727	727	0.19	0.47
AT16-21	183	422	727	727	0.26	0.59
AT22	173	403	727	727	0.24	0.56
AT23-49	183	422	727	727	0.26	0.59
AS01-03	245	638	727	727	0.34	0.88
AS05-06	248	646	727	727	0.35	0.89
AS07-10	258	659	727	727	0.36	0.91
AS11-17	226	598	727	727	0.32	0.83
AS18-20	438	638	727	727	0.61	0.88
AS21	477	690	727	727	0.66	0.95
AS22-24	442	646	727	727	0.61	0.89
AS25	477	690	727	727	0.66	0.95
AS26-28	437	640	727	727	0.61	0.89
AN01-04	239	627	727	727	0.33	0.87
AN05-07	248	646	727	727	0.35	0.89
AN08-11	258	659	727	727	0.36	0.91
AN12-18	226	598	727	727	0.32	0.83
AN19-21	438	638	727	727	0.61	0.88
AN22	477	690	727	727	0.66	0.95
AN23-24	442	646	727	727	0.61	0.89
AN25	477	690	727	727	0.66	0.95
AN26-28	437	640	727	727	0.61	0.89

注記 *1：応力比=発生応力/許容限界(小数第三位を切上げ)

第5.1-9表 ネット取付金物等のうち取付ボルト及び押さえボルトの評価結果(2/3)
(つづき)

No.	発生応力 (MPa)		許容限界 (MPa)		応力比*1(-)	
	取付 ボルト	押さえ ボルト	取付 ボルト	押さえ ボルト	取付 ボルト	押さえ ボルト
AE01-03	266	692	727	727	0.37	0.96
AE04-06	275	710	727	727	0.38	0.98
AE07-10	270	696	727	727	0.38	0.96
AE11-17	249	656	727	727	0.35	0.91
AE18	485	698	727	727	0.67	0.97
AE19-20	486	701	727	727	0.67	0.97
AE21	485	698	727	727	0.67	0.97
AE22	475	685	727	727	0.66	0.95
AE23-24	491	710	727	727	0.68	0.98
AE25	475	685	727	727	0.66	0.95
AE26-28	492	711	727	727	0.68	0.98
AW01	264	689	727	727	0.37	0.95
AW02	238	628	727	727	0.33	0.87
AW03-06	270	696	727	727	0.38	0.96
AW07-09	249	656	727	727	0.35	0.91
AW10	225	598	727	727	0.31	0.83
AW11	257	691	727	727	0.36	0.96
AW12-13	249	656	727	727	0.35	0.91
AW14	485	698	727	727	0.67	0.97
AW15	486	701	727	727	0.67	0.97
AW16	462	662	727	727	0.64	0.92
AW17	486	701	727	727	0.67	0.97
AW18	485	698	727	727	0.67	0.97
AW19	475	685	727	727	0.66	0.95
AW20	491	710	727	727	0.68	0.98
AW21	453	651	727	727	0.63	0.90

注記 *1：応力比=発生応力/許容限界(小数第三位を切上げ)

第5.1-9表 ネット取付金物等のうち取付ボルト及び押さえボルトの評価結果(3/3)
(つづき)

No.	発生応力 (MPa)		許容限界 (MPa)		応力比*1(-)	
	取付 ボルト	押さえ ボルト	取付 ボルト	押さえ ボルト	取付 ボルト	押さえ ボルト
AW22	491	710	727	727	0.68	0.98
AW23	475	685	727	727	0.66	0.95
AW24	440	635	727	727	0.61	0.88
AW25	440	644	727	727	0.61	0.89
AW26	492	711	727	727	0.68	0.98
AHW01	266	692	727	727	0.37	0.96
AHW02	239	626	727	727	0.33	0.87

注記 *1 : 応力比=発生応力/許容限界(小数第三位を切上げ)

(3) たわみ評価

竜巻発生時の評価結果を第5.1-10表に示す。

すべてのネットにおいて、飛来物の衝突によるネット全体の最大たわみ量(δ_t')は、防護ネットと竜巻防護対象施設の最小離隔距離(L_{min})を下回っている。

第5.1-10表 たわみ評価結果(1/3)

No.	最大たわみ量 δ_t' (m)	最小離隔距離 L_{min} (m)	検定比*1 (-)
AT01-14	1.85	2.97	0.63
AT15	1.89	2.97	0.64
AT16-21	1.85	2.97	0.63
AT22	1.85	2.97	0.63
AT23-49	1.85	2.97	0.63
AS01-03	2.22	5.92	0.38
AS04	2.30	5.92	0.39
AS05-06	2.22	4.86	0.46
AS07-10	2.24	6.10	0.37
AS11-17	2.25	5.17	0.44
AS18-20	2.22	5.16	0.44
AS21	2.01	4.09	0.50
AS22-24	2.22	4.09	0.55
AS25	2.01	4.09	0.50
AS26-28	2.24	5.33	0.43
AN01-04	2.22	5.92	0.38
AN05-07	2.22	4.86	0.46
AN08-11	2.24	19.45	0.12
AN12-18	2.25	5.17	0.44
AN19-21	2.22	5.16	0.44
AN22	2.01	4.09	0.50
AN23-24	2.22	4.09	0.55

注記 *1: 検定比= δ_t' / L_{min} (小数第三位を切上げ)

第5.1-10表 たわみ評価結果(2/3)

(つづき)

No.	最大たわみ量 δ_t' (m)	最小離隔距離 L_{min} (m)	検定比*1 (-)
AN25	2.01	4.09	0.50
AN26-28	2.24	18.68	0.12
AE01-03	1.94	4.20	0.47
AE04-06	1.94	3.53	0.55
AE07-10	2.04	17.35	0.12
AE11-17	1.96	6.20	0.32
AE18	1.89	3.43	0.56
AE19-20	1.94	3.43	0.57
AE21	1.89	3.43	0.56
AE22	1.92	2.77	0.70
AE23-24	1.94	2.77	0.71
AE25	1.92	2.77	0.70
AE26-28	1.96	16.59	0.12
AW01	1.94	3.23	0.61
AW02	2.23	3.23	0.70
AW03-06	2.04	4.07	0.51
AW07-09	1.96	6.20	0.32
AW10	2.26	6.20	0.37
AW11	1.77	6.20	0.29
AW12-13	1.96	6.20	0.32
AW14	1.89	3.13	0.61
AW15	1.94	3.13	0.62
AW16	1.88	3.13	0.61
AW17	1.94	3.13	0.62
AW18	1.89	3.13	0.61
AW19	1.92	2.47	0.78
AW20	1.94	2.47	0.79
AW21	1.90	2.47	0.77

注記 *1 : 検定比 = δ_t' / L_{min} (小数第三位を切上げ)

第5.1-10表 たわみ評価結果(3/3)

(つづき)

No.	最大たわみ量 δ_t' (m)	最小離隔距離 L_{min} (m)	検定比*1 (-)
AW22	1.94	2.47	0.79
AW23	1.92	2.47	0.78
AW24	1.96	3.31	0.60
AW25	2.25	3.31	0.68
AW26	1.96	3.31	0.60
AHW01	1.94	3.60	0.54
AHW02	2.23	3.60	0.62

注記 *1 : 検定比 = δ_t' / L_{min} (小数第三位を切上げ)

5.2 防護板(鋼材)の強度評価結果

(1) 貫通評価

防護板(鋼材)の貫通評価結果を第5.2-1表に示す。

防護板(鋼材)の設計板厚は、許容限界板厚を上回っており、飛来物が防護板(鋼材)を貫通しないことから、飛来物による衝撃荷重に対して十分な構造強度を有している。

第5.2-1表 防護板の強度評価結果

評価対象部位	許容限界板厚 (mm)	設計板厚 (mm)
防護板(鋼材) (補助防護板含む)	8.2	9.0

(2) 波及的影響評価

取付ボルトの強度評価結果を第5.2-2表に示す。

ボルトが2本以上破断せずに残るため、防護板(鋼材)は脱落しないことから健全である。

第5.2-2表 取付ボルトの強度評価結果

評価対象部位	評価ケース	残存数 (本)	必要残存数 (本)
取付ボルト	①	12	2
	②	28	2
	③	32(手前側) 8(奥側)	2

5.3 支持架構の強度評価結果

(1) 貫通評価

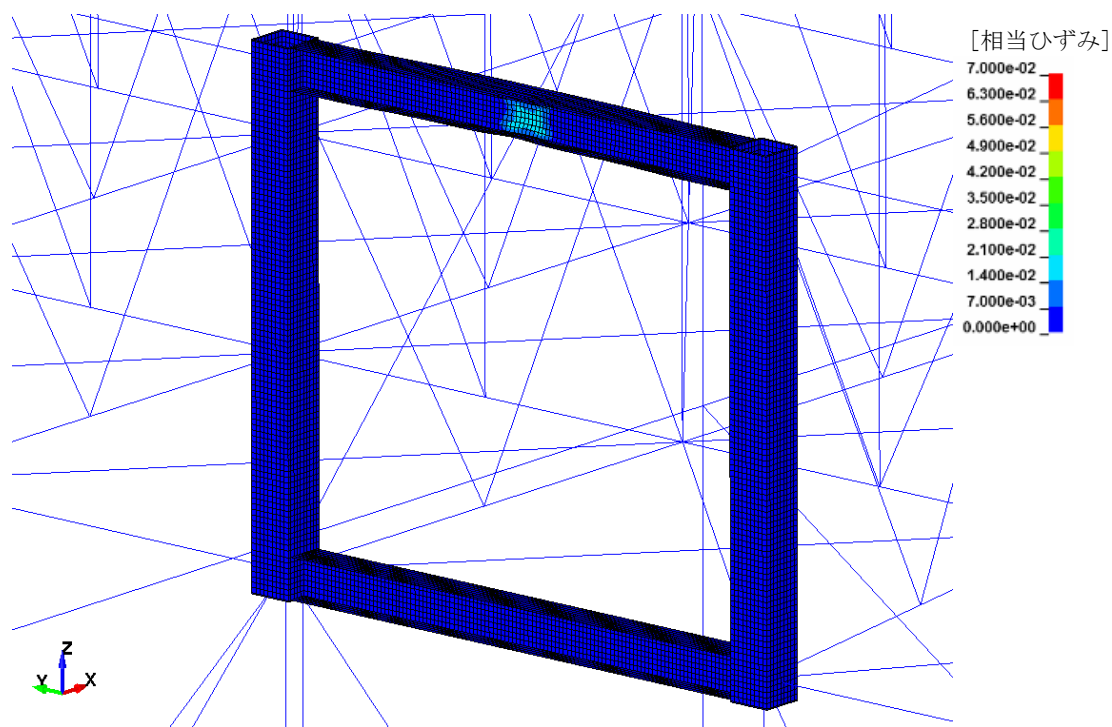
飛来物防護ネットの貫通評価結果を第5.3-1表に示す。飛来物が飛来物防護ネットから離れる直前の衝突位置拡大図を第5.3-1図及び飛来物防護ネットに最大ひずみが発生する時刻での衝突位置拡大図を第5.3-2図に示す。

評価結果は許容限界以下となっており、飛来物は評価対象部位を貫通しないことから、飛来物による衝撃荷重に対して十分な構造強度を有している。

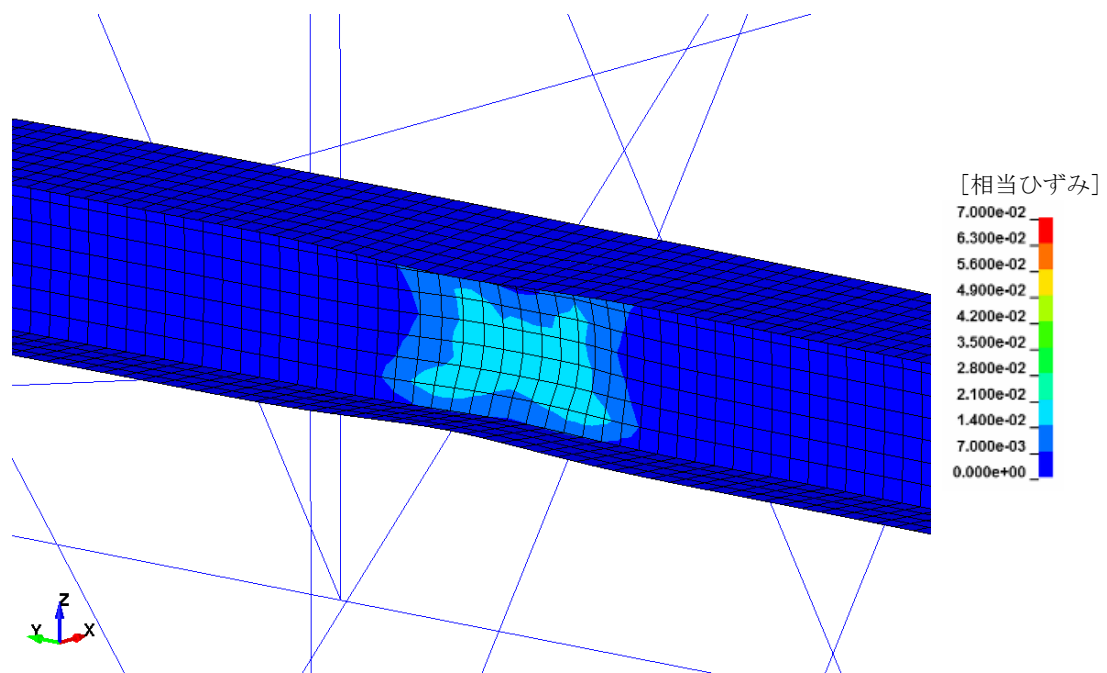
また、変形量も微小な範囲に留まっており、支持架構の構造健全性には影響ないと判断できることから、倒壊評価は実施しない。

第5.3-1表 飛来物防護ネットの貫通評価結果

対象	部材		相当ひずみ	
			評価結果	許容限界
飛来物防護ネット	支持架構	はり中央	0.028	0.07



第5.3-1図 衝突位置拡大図
(飛来物防護ネットに最大ひずみが発生する時刻)



第5.3-2図 衝突位置拡大図

(2) 波及的影響評価

a. 脱落評価

飛来物防護ネットの部材の脱落評価結果を第5.3-2表に示す。

評価結果，接続部は許容限界を超えないことから，部材の支持機能に対して十分な構造強度を有している。

第5.3-2表 飛来物防護ネットの脱落評価結果

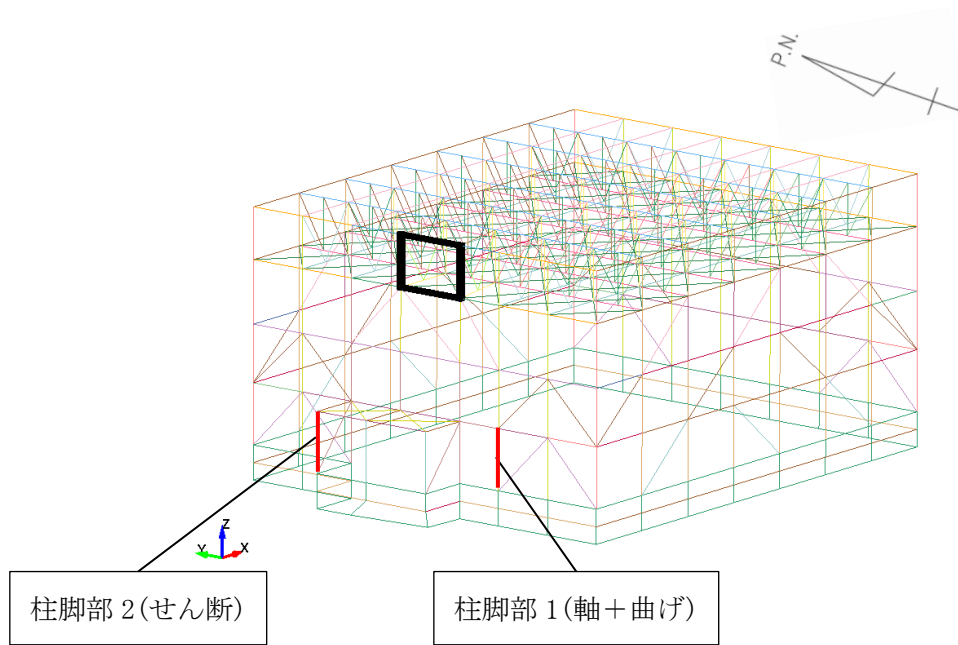
対象	部材		相当ひずみ	
			評価結果	許容限界
飛来物防護ネット	支持架構	接続部	0.024	0.07

b. 転倒評価

飛来物防護ネットの支持架構全体の転倒評価結果を第5.3-3表に示す。また、最大応力比の発生箇所を第5.3-3図に示す。
 評価結果が許容限界を超えないことから、支持架構全体は、十分な構造強度を有している。

第5.3-3表 支持架構全体の転倒評価結果

対象	部材		応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比
飛来物防護ネット	支持架構	柱脚部1	引張	$\sigma_t = -$	$f_t = 357$	—
			圧縮	$\sigma_c = 18.59$	$f_c = 199$	0.10
			曲げ	$\sigma_{bx} = 4.97$	$f_{bx} = 357$	0.02
				$\sigma_{by} = 101.39$	$f_{by} = 357$	0.29
			せん断	$\tau_s = 9.66$	$f_s = 206$	0.05
			組合せ(引張+曲げ)	(応力比)—	(許容値)1.00	—
			組合せ(圧縮+曲げ)	(応力比)0.41	(許容値)1.00	0.41
		柱脚部2	引張	$\sigma_t = -$	$f_t = 357$	—
			圧縮	$\sigma_c = 30.83$	$f_c = 285$	0.11
			曲げ	$\sigma_{bx} = 4.64$	$f_{bx} = 357$	0.02
				$\sigma_{by} = 28.26$	$f_{by} = 357$	0.08
			せん断	$\tau_s = 134.04$	$f_s = 206$	0.65
			組合せ(引張+曲げ)	(応力比)—	(許容値)1.00	—
			組合せ(圧縮+曲げ)	(応力比)0.21	(許容値)1.00	0.21



第5. 3-3図 飛来物防護ネットの最大応力比の発生箇所

VI-1-1-1-3

火山への配慮に関する説明書

目 次

- VI-1-1-1-3-1 火山への配慮に関する基本方針
- VI-1-1-1-3-2 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定
- VI-1-1-1-3-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針
- VI-1-1-1-3-4 火山への配慮が必要な施設の強度に関する説明書
 - VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針
 - VI-1-1-1-3-4-2 火山への配慮が必要な施設の強度計算書
 - VI-1-1-1-3-4-2-1 冷却塔の強度計算書
 - VI-1-1-1-3-4-2-6 飛来物防護ネットの強度計算書

VI-1-1-1-3-1

火山への配慮に関する基本方針

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 火山防護に関する基本方針	1
2.1 基本方針	1
2.1.1 降下火砕物防護対象施設及び設計方針	1
2.1.2 設計に用いる降下火砕物特性	2
2.1.3 荷重の組合せ及び許容限界	2
2.1.4 降下火砕物の影響に対する防護対策方針	4
2.2 準拠規格	11

1. 概要

本資料は、再処理施設の火山に対する防護設計が「再処理施設の技術基準に関する規則」(以下「技術基準規則」という。) 第八条に適合することを説明するものである。

2. 火山防護に関する基本方針

2.1 基本方針

安全機能を有する施設は、想定される火山事象により、降下火砕物が発生した場合においても、安全機能を損なわないことを目的とし、技術基準規則に適合するように設計する。

想定される火山事象は、再処理施設の運用期間中において再処理施設の安全機能に影響を及ぼし得る火山事象として、事業指定(変更許可)を受けた「降下火砕物」であり、降下火砕物の影響を受ける場合においても、その安全機能を有する施設が安全機能を損なわない設計とする。

また、「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1 (5) 積雪」で設定している設計に従って、火山事象と同様に施設に堆積する積雪の影響について確認する。確認結果については、本資料に示す。

2.1.1 降下火砕物防護対象施設及び設計方針

降下火砕物から防護する施設(以下「降下火砕物防護対象施設」という。)としては、安全評価上その機能を期待する構築物、系統及び機器を漏れなく抽出する観点から、安全上重要な機能を有する構築物、系統及び機器を対象とする。

降下火砕物防護対象施設及びそれらを収納する建屋(以下「降下火砕物防護対象施設等」という。)は、降下火砕物の影響に対し、機械的強度を有すること等により、降下火砕物防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物防護対象施設は、以下のように分類できる。

- ・ 建屋内の降下火砕物防護対象施設
- ・ 降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設
- ・ 外気から取り入れた建屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する降下火砕物防護対象施設
- ・ 屋外の降下火砕物防護対象施設

また、降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼして安全機能を損なわせるおそれがある施設(以下「降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設」という。)の影響を考慮した設計とする。

降下火砕物防護対象施設等以外の安全機能を有する施設については、降下火砕物に対して機能を維持すること若しくは降下火砕物による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。

また、上記の施設に対する損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保する

こと及び安全上支障のない期間での修理を行うことを保安規定に定めて、管理する。

なお、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、使用済燃料収納キャスクが再処理施設内に一時的に保管されることを踏まえ、降下火砕物により使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

2.1.2 設計に用いる降下火砕物特性

敷地において考慮する火山事象として、事業指定(変更許可)を受けた層厚55cm、密度 1.3g/cm^3 (湿潤状態)の降下火砕物を設計条件として設定する。その特性値を第2.1.2-1表に示す。

また、設計上考慮すべき降下火砕物の特性は、以下のとおりである。

- ・火山ガラス片及び鉱物結晶片からなる。ただし、砂よりももろく硬度が低い。
- ・亜硫酸ガス、硫化水素、ふっ化水素等の毒性及び腐食性のある火山ガス成分が付着している。ただし、直ちに金属腐食を生じさせることはない。

第 2.1.2-1 表 降下火砕物の特性値

層 厚 (cm)	密 度 (湿潤) (g/cm^3)
55	1.3

2.1.3 荷重の組合せ及び許容限界

降下火砕物に対する防護設計を行うために、降下火砕物防護対象施設に作用する荷重として、降下火砕物を湿潤状態とした場合における荷重、個々の施設に常時作用する荷重、運転時荷重及び火山と同時に発生し得る自然現象による荷重を組み合わせた設計荷重(火山)を設定する。

また、火山と同時に発生し得る自然現象による荷重については、「VI-1-1-1 再処理施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」の「2.2 組合せ」を踏まえ、風(台風)及び積雪による荷重を考慮する。

構造物への荷重に対しては、降下火砕物による荷重とその他の荷重の組合せを考慮して構造強度評価を行い、その結果がそれぞれ定める許容限界以下となるよう設計する。

建築基準法における積雪の荷重の考え方に準拠し、降下火砕物の降下から30日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定めて、管理することで、降下火砕物による荷重を短期に生じる荷重とする。

設備については、機能設計上の性能目標を満足するように、おおむね弾性状態に留まることを許容限界とする。

また、建物・構築物については、機能設計上の性能目標を満足するように、建屋を構成する部位ごとに応じた許容限界を設定する。

降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設については、機能設計

上の性能目標を満足するように、施設を構成する部位ごとに応じた許容限界を設定する。

(1) 荷重の種類

a. 常時作用する荷重

常時作用する荷重としては、持続的に生じる荷重である固定荷重及び積載荷重を考慮する。

b. 降下火砕物の堆積による荷重

降下火砕物の堆積による荷重としては、湿潤状態の降下火砕物が堆積した場合の荷重を考慮する。ただし、この荷重は短期荷重とする。

c. 運転時荷重

運転時荷重としては、配管にかかる内圧等とする。

d. 積雪荷重

積雪荷重としては、「VI-1-1-1 再処理施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」の「2.2 組合せ」で示す自然現象の組合せに従って垂直積雪量150cmを考慮する。ただし、この荷重は短期荷重とする。

e. 風荷重

風荷重としては、「VI-1-1-1 再処理施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」の「2.2 組合せ」で示す自然現象の組合せに従って基準風速34 m/sを考慮する。ただし、この荷重は短期荷重とする。

(2) 荷重の組合せ

a. 降下火砕物の影響を考慮する施設における荷重の組合せとしては、設計に用いる常時作用する荷重、降下火砕物の堆積による荷重、運転時荷重、積雪荷重及び風荷重を適切に考慮する。

b. 積雪荷重及び風荷重との組合せについては、降下火砕物による荷重の継続時間が長く、積雪荷重の継続時間も長いことから、3つの荷重が同時に発生する場合は考慮する。

c. 設計に用いる降下火砕物の堆積による荷重、積雪荷重及び風荷重については、対象とする施設の設置場所及びその他の環境条件によって設定する。

d. 常時作用する荷重、積雪荷重、風荷重及び運転時荷重については、組み合わせることで降下火砕物の堆積による荷重の抗力となる場合には、保守的に組合せないことを基本とする。

なお、「VI-1-1-1 再処理施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」の「2.2 組合せ」に記載のとおり、地震については、地震(基準地震動)の震源と火山とは十分な距離があることから、独立事象として扱い、各々の発生頻度が十分小さいこと、火山性地震については、火山は敷地から十分な距離があることから、火山性地震とこれに関連する事象による影響はないと判断し、地震との組合

せは考慮しない。

設計に用いる降下火砕物の堆積による荷重，積雪荷重及び風荷重の組合せを考慮した荷重の算出については，「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す。

2.1.4 降下火砕物の影響に対する防護対策方針

「2.1.1 降下火砕物防護対象施設及び設計方針」にて設定した降下火砕物防護対象施設について，設計荷重(火山)を踏まえた降下火砕物防護設計を実施する。

降下火砕物防護設計として，設計荷重(火山)に対する影響評価を実施することから，降下火砕物の影響を考慮する施設を選定する。

降下火砕物の影響を考慮する施設の選定については，「VI-1-1-1-3-2 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定」に示す。

「原子力発電所の火山影響評価ガイド」を参考に対象とした降下火砕物による直接的影響及び間接的影響に対して，降下火砕物の影響を考慮する施設は，「2.1.2 設計に用いる降下火砕物特性」を踏まえ，安全機能を損なわないことを目的として，適切な防護措置を講じる。

降下火砕物の影響を考慮する施設において，考慮する直接的影響因子が異なることから，降下火砕物の影響を考慮する施設ごとに影響因子との組合せを行う。

降下火砕物の影響を考慮する施設は，上記の影響因子との組合せを考慮し，「2.1.2 設計に用いる降下火砕物特性」にて設定している降下火砕物に対する降下火砕物防護設計を実施する。

降下火砕物防護設計にあたっては「2.1.3 荷重の組合せ及び許容限界」に示すとおり，火山と同時に発生し得る自然現象が与える影響を踏まえ，風(台風)及び積雪による荷重を考慮する。

降下火砕物の影響を考慮する施設と影響因子との関連については，「VI-1-1-1-3-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」に示す。

(1) 直接的影響に対する設計方針

a. 構造物への静的負荷に対する設計方針

(a) 設計方針

建屋内の降下火砕物防護対象施設は，設計荷重(火山)に対して構造健全性を維持する建屋内に設置することにより，安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物防護対象施設を収納する建屋は，設計荷重(火山)に対して，構造強度評価を実施し，主要構造の構造健全性を維持することにより，建屋内の降下火砕物防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

屋外の降下火砕物防護対象施設は，設計荷重(火山)に対して，構造強度評価を実施し，構造健全性を維持することにより，安全機能を損なわない設計とする。

なお、屋外の降下火砕物防護対象施設への静的負荷については、降下火砕物が堆積することによる荷重の影響を確認することから、円筒形等の平面の少ない形状によって降下火砕物が堆積し難い場合は、構造強度評価を行う対象としない。

降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、設計荷重(火山)に対して、構造強度評価を実施し、周辺の降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼさない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、設計荷重(火山)に対して、構造強度評価を実施し、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

降下火砕物の荷重は湿潤状態の 7150 N/m^2 とする。なお、積雪単独の堆積荷重は 5700 N/m^2 (積雪量: 190 cm)であるため、積雪の設計は火山の設計に包絡される。

(b) 許容限界

設計荷重(火山)に対する許容限界は、「原子力発電所耐震設計技術指針JEA G4601-1987」((社)日本電気協会)等の安全上適切と認められる規格、基準等で妥当性が確認されている値を用いて、降下火砕物が堆積する期間を考慮し設定する。

構造物への静的負荷を考慮する施設のうち、建屋については、建屋内の降下火砕物防護対象施設に降下火砕物を堆積させない機能に加え、放射性物質の閉じ込め機能及び放射線の遮蔽機能を維持できるように、建屋を構成する部位ごとに応じた許容限界を設定する。

構造物への静的負荷を考慮する施設のうち、屋外の降下火砕物防護対象施設については、当該構造物全体の変形能力に対して十分な余裕を有するように、設備を構成する材料がおおむね弾性状態に留まることを基本とする。

構造物への静的負荷を考慮する施設のうち、降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設については、終局耐力に妥当な安全裕度を有する許容限界を設定する。

構造物への静的負荷を考慮する施設のうち、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋については、終局耐力に妥当な安全裕度を有する許容限界を設定する。

詳細な設計方針については「VI-1-1-1-3-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」に、許容限界の詳細については、「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す。

b. 構造物への粒子の衝突に対する設計方針

降下火砕物防護対象施設を収納する建屋及び屋外の降下火砕物防護対象施設は、

構造物への降下火砕物の粒子の衝突の影響により、降下火砕物防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、構造物への降下火砕物の粒子の衝突の影響により、周辺の降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼさない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、構造物への降下火砕物の粒子の衝突の影響により、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

なお、降下火砕物は微小な鉱物結晶で、砂よりも硬度が低い特性を持つことから、降下火砕物の粒子の衝突の影響は、「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」に示す竜巻で設定する飛来物の影響に包絡される。

c. 閉塞に対する設計方針

屋外の降下火砕物防護対象施設である主排気筒は、降下火砕物の侵入による閉塞の影響に対して降下火砕物が侵入し難い設計とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

具体的には、排気の吹き上げにより降下火砕物が侵入し難い構造とする。降下火砕物が主排気筒内に侵入した場合でも、異物の除去が可能な構造とすること及び異物の溜まる空間を設けることで、安全機能を損なわない設計とする。

建屋内の降下火砕物防護対象施設及び降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設は、降下火砕物を含む空気による流路の閉塞の影響に対して降下火砕物が侵入し難い設計とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物防護対象施設を収納する建屋は、外気取入口に防雪フードを設置すること等により、降下火砕物が侵入し難い構造とする。

降下火砕物が取り込まれたとしても、気体廃棄物の廃棄施設の換気設備の給気系等にフィルタを設置し、建屋内部に降下火砕物が侵入し難い設計とすることにより、建屋内の降下火砕物防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設である制御建屋中央制御室換気設備は、外気取入口に防雪フードを設置すること等により、降下火砕物が侵入し難い構造とする。

降下火砕物が取り込まれたとしても、制御建屋中央制御室換気設備の給気系統にフィルタを設置し、中央制御室内部に降下火砕物が侵入し難い設計とすることにより、降下火砕物防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設であるガラス固化体貯蔵設備の収納管及び通風管で構成する貯蔵ピットの冷却空気流路は、冷却空気入口シャフトの外気取入口に防雪フードを設置すること等により、降下火砕物が侵入し難い構造とする。

降下火砕物が取り込まれたとしても、貯蔵ピットの下部に空間を設けることにより、安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設である非常用ディーゼル発電機等は、外気取入口に防雪フードを設置すること等により、降下火砕物が侵入し難い構造とする。

降下火砕物が取り込まれたとしても、当該機器の給気系統にフィルタを設置し、当該機器内部に降下火砕物が侵入し難い設計とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

さらに、非常用ディーゼル発電機等は、降下火砕物用フィルタの追加設置等のさらなる降下火砕物対策を実施できるよう設計する。

降下火砕物がフィルタに付着した場合でもフィルタの交換又は清掃が可能な構造とすることで、降下火砕物により閉塞しない設計とする。

また、降下火砕物防護対象施設を収納する建屋の外気取入口及び排気口は、降下火砕物の層厚及び積雪深に対して閉塞しない位置に設置すること又は除灰並び除雪に配慮した設計とすることで、降下火砕物防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

d. 磨耗に対する設計方針

建屋内の降下火砕物防護対象施設、降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設である制御建屋中央制御室換気設備等及び屋外に設置される降下火砕物防護対象施設である安全冷却水系の冷却塔は、降下火砕物による磨耗の影響に対して降下火砕物が侵入し難い設計とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物防護対象施設を収納する建屋は、外気取入口に防雪フードを設け、降下火砕物が侵入し難い構造とする。

降下火砕物が取り込まれたとしても、気体廃棄物の廃棄施設の換気設備の給気系等にフィルタを設置し、建屋内部に降下火砕物が侵入し難い設計とすることにより、建屋内の降下火砕物防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設である制御建屋中央制御室換気設備は、外気取入口に防雪フードを設け、降下火砕物が侵入し難い構造とする。

降下火砕物が取り込まれたとしても、制御建屋中央制御室換気設備の給気系統にフィルタを設置し、中央制御室内部に降下火砕物が侵入し難い設計とすることにより、降下火砕物防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設である非常用ディーゼル発電機等は、外気取入口に防雪フードを設け、降下火砕物が侵入し難い構造とする。

降下火砕物が取り込まれたとしても、当該機器の給気系統にフィルタを設置し、当該機器内部に降下火砕物が侵入し難い設計とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

さらに、非常用ディーゼル発電機等は、降下火砕物用フィルタの追加設置等のさらなる降下火砕物対策を実施できるよう設計する。

降下火砕物がフィルタに付着した場合でもフィルタの交換又は清掃が可能な構造とすることで、降下火砕物により磨耗しない設計とする。

屋外の降下火砕物防護対象施設である安全冷却水系の冷却塔の冷却ファンの回転軸部は、冷却空気を上方に流し降下火砕物が侵入し難い構造とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

e. 腐食に対する設計方針

(a) 構造物の化学的影響(腐食)

降下火砕物防護対象施設を収納する建屋及び屋外の降下火砕物防護対象施設は、降下火砕物に含まれる腐食性のあるガスによる化学的影響(腐食)に対して短期での腐食が発生しない設計とすることにより、降下火砕物防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、降下火砕物に含まれる腐食性のあるガスによる化学的影響(腐食)に対して短期での腐食が発生しない設計とすることにより、周辺の降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼさない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、降下火砕物に含まれる腐食性のあるガスによる化学的影響(腐食)に対して短期での腐食が発生しない設計とすることにより、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

屋外の降下火砕物防護対象施設は、塗装又は腐食し難い金属の使用により、短期での腐食が発生しない設計とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物防護対象施設を収納する建屋は、外壁塗装及び屋上防水を実施することにより、短期での腐食が発生しない設計とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、塗装若しくは腐食し難い金属の使用又は外壁塗装及び屋上防水により、短期での腐食が発生しない設計とすることで、周辺の降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼさない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、外壁塗装及び屋上防水を実施することにより、短期での腐食が発生しない設計とすることで、使用済燃料収

納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

また、降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、堆積した降下火砕物の除去後に点検し、必要に応じて修理を行うこと並びに日常的な保守及び修理を行うことにより、安全機能を損なわない設計とする。

(b) 換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系に対する化学的影響(腐食)

建屋内の降下火砕物防護対象施設及び降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設は、降下火砕物に含まれる腐食性のあるガスによる化学的影響(腐食)に対して短期での腐食が発生しない設計とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物防護対象施設を収納する建屋は、外気取入口に防雪フードを設け、降下火砕物が侵入し難い構造とする。

降下火砕物を取り込まれたとしても、気体廃棄物の廃棄施設の換気設備の給気系等にフィルタを設置し、建屋内部に降下火砕物が侵入し難い設計とすることにより、建屋内の降下火砕物防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設である制御建屋中央制御室換気設備は、外気取入口に防雪フードを設け、降下火砕物が侵入し難い構造とする。

降下火砕物を取り込まれたとしても、制御建屋中央制御室換気設備の給気系統にフィルタを設置し、中央制御室内部に降下火砕物が侵入し難い設計とすることにより、降下火砕物防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設は、塗装、腐食し難い金属の使用又は防食処理により、短期での腐食が発生しない設計とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

また、降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、堆積した降下火砕物の除去後に点検し、必要に応じて修理を行うこと並びに日常的な保守及び修理を行うことにより、安全機能を損なわない設計とする。

f. 敷地周辺の大気汚染に対する設計方針

制御建屋の中央制御室は、降下火砕物による大気汚染により、中央制御室内の居住性を損なわない設計とする。

制御建屋中央制御室換気設備は、外気取入口に防雪フードを設け、降下火砕物が侵入し難い構造とする。

降下火砕物を取り込まれたとしても、制御建屋中央制御室換気設備の給気系統にフィルタを設置し、中央制御室内部に降下火砕物が侵入し難い設計とすることにより、中央制御室内の居住性を損なわない設計とする。

敷地周辺で大気汚染が発生した場合には、制御建屋中央制御室換気設備の外気との連絡口を遮断し、中央制御室内の空気を再循環する措置を講ずることができる設計とする。再循環時においては、中央制御室内の酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響を考慮し、敷地周辺で大気汚染が発生した場合においても、中央制御室内の居住性を損なわない設計とする。

使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室については、運転員への影響を防止するため、必要に応じて外気との連絡口を遮断し、制御室内の空気を再循環する措置を講ずることができる設計とする。

g. 絶縁低下に対する設計方針

外気から取り入れた建屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する降下火砕物防護対象施設は、降下火砕物による絶縁低下の影響により、安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物防護対象施設を収納する建屋は、外気取入口に防雪フードを設け、降下火砕物が侵入し難い構造とする。

降下火砕物が取り込まれたとしても、気体廃棄物の廃棄施設の換気設備の給気系等にフィルタを設置し、建屋内部に降下火砕物が侵入し難い設計とすることにより、外気から取り入れた建屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する降下火砕物防護対象施設である計測制御設備の制御盤等の安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設である制御建屋中央制御室換気設備は、外気取入口に防雪フードを設け、降下火砕物が侵入し難い構造とする。

降下火砕物が取り込まれたとしても、制御建屋中央制御室換気設備の給気系統にフィルタを設置し、中央制御室内部に降下火砕物が侵入し難い設計とすることにより、外気から取り入れた建屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する降下火砕物防護対象施設である計測制御設備の制御盤等の安全機能を損なわない設計とする。

(2) 間接的影響に対する設計方針

降下火砕物による間接的影響である7日間の外部電源喪失及び敷地内外での交通の途絶によるアクセス制限事象に対し、再処理施設の安全性を維持するために必要となる電源の供給が継続できるよう、非常用ディーゼル発電機の燃料を貯蔵する設備及び移送する設備を降下火砕物の影響を受けないよう設置することにより安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物の影響を考慮する施設と影響因子との関連及び詳細な設計方針については、「VI-1-1-1-3-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」に示す。

(3) 必要な機能を損なわないための運用上の措置

火山に関する設計条件等に係る新知見の収集及び火山に関する防護措置との組合せにより安全機能を損なわないための運用上の措置として、以下を保安規定に定めて、管理する。

- ・定期的に新知見の確認を行い、新知見を得られた場合に評価すること
- ・火山活動のモニタリングを行い、評価時からの状態の変化の検知により評価の根拠が維持されていることを確認すること
- ・降下火砕物が長期的に堆積しないよう当該施設に堆積する降下火砕物の除去を適切に行うこと
- ・降灰時には、降下火砕物による閉塞及び磨耗を防止するために、換気設備の停止又はフィルタの交換若しくは清掃を行うこと
- ・降下火砕物によりガラス固化体貯蔵設備の冷却空気流路が閉塞しないよう必要に応じて貯蔵ピットの点検用の開口部より吸引による除灰を行うこと
- ・降下火砕物により外気取入口が閉塞しないよう必要に応じて除灰を行うこと
- ・降灰時には、非常用ディーゼル発電機等に対するフィルタの追加設置等を行うこと
- ・堆積した降下火砕物の除去後に点検し、必要に応じて修理を行うこと並びに日常的な保守及び修理を行うこと
- ・敷地周辺で大気汚染が発生した場合は、中央制御室の運転員への影響を防止するため、制御建屋中央制御室換気設備の外気との連絡口を遮断し、中央制御室内の空気の再循環を行う措置を講ずること
- ・敷地周辺で大気汚染が発生した場合は、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室の運転員への影響を防止するため、必要に応じて外気との連絡口を遮断し、制御室内の空気の再循環を行う措置を講ずること

2.2 準拠規格

準拠する規格、基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法・同施行令・同告示
- (2) 青森県建築基準法施行細則(昭和36年2月9日青森県規則第20号)
- (3) 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—((社)日本建築学会, 2005)
- (4) 建築物荷重指針・同解説((社)日本建築学会, 2004)
- (5) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987((社)日本電気協会)
- (6) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984((社)日本電気協会)
- (7) 原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1991 追補版((社)日本電気協会)
- (8) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格JSME S NC1-2005/2007((社)日本電気協会)

(9) 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書(国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所 2015)

なお, 次回以降に申請する施設に係る準拠規格については, 当該施設の申請に合わせて次回以降に示す。

VI-1-1-1-3-2

降下火砕物の影響を考慮する施設の
選定

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定.....	1
2.1 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定の基本方針.....	1
2.2 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定.....	1

1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-3-1 火山への配慮に関する基本方針」に示す降下火砕物の影響に対する設計方針を踏まえて、降下火砕物の影響を考慮する施設の選定について説明するものである。

2. 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定

2.1 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定の基本方針

降下火砕物の影響を考慮する施設は、降下火砕物防護対象施設として選定した施設の設計方針を踏まえて選定する。

降下火砕物の影響を考慮する施設は以下により選定する。

建屋内の降下火砕物防護対象施設は、建屋により降下火砕物の影響から防護されることから、降下火砕物防護対象施設を収納する建屋を降下火砕物の影響を考慮する施設として選定する。

建屋内の降下火砕物防護対象施設に対し、外気を取り込む空調系統から建屋内部に降下火砕物を取り込まれることによる影響を防止するため、外気を取り込む空調系統を降下火砕物の影響を考慮する施設として選定する。

降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設を降下火砕物の影響を考慮する施設として選定する。

外気から取り入れた建屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する降下火砕物防護対象施設を降下火砕物の影響を考慮する施設として選定する。

屋外の降下火砕物防護対象施設のうち、降下火砕物が堆積する施設を降下火砕物の影響を考慮する施設として選定する。

また、降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設として、施設の倒壊、転倒又は破損により、降下火砕物防護対象施設等に機械的影響を及ぼす可能性がある施設又は機能的影響を及ぼす可能性がある施設を抽出し、降下火砕物の影響を考慮する施設として選定する。

降下火砕物防護対象施設に対する降下火砕物の間接的影響を考慮し、再処理施設の安全性に間接的に影響を与える可能性がある施設を、降下火砕物の影響を考慮する施設として選定する。

また、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、倒壊により使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与える可能性があることから、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋を、降下火砕物の影響を考慮する施設として選定する。

なお、「水質汚染」については、再処理施設には取水が必要となる降下火砕物防護対象施設がないため、「水質汚染」の影響を考慮する施設はない。

2.2 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定

「2.1 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定の基本方針」を踏まえ、以下のとおり降下火砕物の影響を考慮する施設を選定する。

(1) 降下火砕物防護対象施設を収納する建屋

建屋内の降下火砕物防護対象施設は、建屋にて防護されることから、降下火砕物防護対象施設の代わりに、降下火砕物防護対象施設を収納する建屋を降下火砕物の影響を考慮する施設として、以下のとおり選定する。

- a. 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋
 - b. 前処理建屋
 - c. 分離建屋
 - d. 精製建屋
 - e. ウラン脱硝建屋
 - f. ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋
 - g. ウラン酸化物貯蔵建屋
 - h. ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋
 - i. 高レベル廃液ガラス固化建屋
 - j. 第1ガラス固化体貯蔵建屋
 - k. チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋
 - l. ハル・エンドピース貯蔵建屋
 - m. 制御建屋
 - n. 分析建屋
 - o. 非常用電源建屋
 - p. 主排気筒管理建屋
- (2) 外気を取り込む空調系統

建屋内の降下火砕物防護対象施設に対し、外気を取り込む空調系統から建屋内部に降下火砕物を取り込まれることによる影響を防止するため、降下火砕物の影響を考慮する施設として、以下のとおり選定する。

- a. 降下火砕物防護対象施設を収納する建屋の換気設備の給気系
 - b. 非管理区域換気空調設備の給気系
- (3) 降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設

降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設については、直接降下火砕物の影響を受ける可能性があるため、降下火砕物の影響を考慮する施設として、以下のとおり選定する。

- a. 制御建屋中央制御室換気設備
 - b. ガラス固化体貯蔵設備の収納管及び通風管
 - c. 第1非常用ディーゼル発電機
 - d. 第2非常用ディーゼル発電機
 - e. 安全圧縮空気系の空気圧縮機
- (4) 外気から取り入れた建屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する降下火砕物

防護対象施設

建屋内の降下火砕物防護対象施設のうち、外気から取り入れた建屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する降下火砕物防護対象施設については、降下火砕物の影響を受ける可能性があるため、降下火砕物の影響を考慮する施設として、以下のとおり選定する。

- a. 計測制御設備のうち空気を取り込む機構を有する制御盤
 - b. 安全保護回路を収納し空気を取り込む機構を有する制御盤
 - c. 非常用所内電源系統のうち空気を取り込む機構を有する電気盤
 - d. 放射線監視設備のうち空気を取り込む機構を有する監視盤
- (5) 屋外の降下火砕物防護対象施設

屋外の降下火砕物防護対象施設は、直接降下火砕物の影響を受ける可能性があるため、降下火砕物の影響を考慮する施設として、以下のとおり選定する。

- a. 安全冷却水系冷却塔A, B
- b. 安全冷却水A, B冷却塔
- c. 冷却塔A, B
- d. 安全冷却水系膨張槽
- e. 安全冷却水系(a., b., c. 及びd. 周りの配管)
- f. 安全冷却水系膨張槽液位計
- g. 主排気筒
- h. ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋塔槽類廃ガス処理設備
- i. 高レベル廃液ガラス固化建屋塔槽類廃ガス処理設備
- j. 前処理建屋換気設備
- k. 分離建屋換気設備
- l. 精製建屋換気設備
- m. ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋換気設備
- n. 高レベル廃液ガラス固化建屋換気設備

上記に示す屋外の降下火砕物防護対象施設のうち、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋塔槽類廃ガス処理設備、高レベル廃液ガラス固化建屋塔槽類廃ガス処理設備、前処理建屋換気設備、分離建屋換気設備、精製建屋換気設備、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋換気設備及び高レベル廃液ガラス固化建屋換気設備を合わせて、以下「主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクト」という。

- (6) 降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

降下火砕物防護対象施設等に対して、破損に伴う倒壊又は転倒による機械的影響を及ぼし得る施設及び付属施設の破損による機能的影響を及ぼし得る施設を降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出する。

- a. 機械的影響を及ぼし得る施設

倒壊又は転倒により降下火砕物防護対象施設等に機械的影響を及ぼし得る施設としては、施設高さが低い施設は倒壊しても降下火砕物防護対象施設等に影響を与えないため、当該施設の高さと降下火砕物防護対象施設等までの最短距離を比較することにより選定する。

なお、降下火砕物が堆積しにくい形状の施設については、降下火砕物が堆積したとしても倒壊しないことから、降下火砕物防護対象施設等に機械的影響を及ぼし得る施設とならない。

上記を踏まえて選定した結果、機械的影響を及ぼし得る施設として、以下のとおり選定する。

(a) 飛来物防護ネット

- イ. 飛来物防護ネット(使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔A, B)
- ロ. 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔A, B)
- ハ. 飛来物防護ネット(第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔A, B)

(b) 飛来物防護板

- イ. 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り)
- ロ. 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 分離建屋屋外)
- ハ. 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 精製建屋屋外)
- ニ. 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 高レベル廃液ガラス固化建屋屋外)
- ホ. 飛来物防護板(冷却塔接続 屋外設備)

b. 機能的影響を及ぼし得る施設

降下火砕物防護対象施設の屋外の付属施設の破損により降下火砕物防護対象施設に機能的影響を及ぼす可能性のある施設としては、降下火砕物の影響により降下火砕物防護対象施設の安全機能を損なわせるおそれがある施設を選定する。

なお、降下火砕物防護対象施設の屋外の付属施設は、降下火砕物防護対象施設の安全機能に影響を与えないよう設計していることから、降下火砕物防護対象施設に機能的影響を及ぼし得る施設に該当する施設はない。

(7) 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、倒壊により使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与える可能性があることから、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋を、降下火砕物の影響を考慮する施設として、以下のとおり選定する。

- a. 使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫
- (8) 間接的影響を考慮する施設
 - 想定する降下火砕物により，再処理施設の安全性に間接的に影響を与える可能性がある施設を，降下火砕物の影響を考慮する施設として，以下のとおり選定する。
 - a. 電気設備（ディーゼル発電機）
 - (a) 第1非常用ディーゼル発電機
 - (b) 重油タンク
 - (c) 燃料移送ポンプ
 - (d) 第2非常用ディーゼル発電機
 - (e) 燃料油貯蔵タンク
 - (f) 燃料油移送ポンプ

VI-1-1-1-3-3

降下火碎物の影響を考慮する施設の
設計方針

目 次

1. 概要	1
2. 設計の基本方針	1
3. 施設分類	2
3.1 降下火砕物の影響を考慮する施設と影響因子との関連	2
3.2 影響因子を考慮した施設分類	8
4. 要求機能及び性能目標	13
4.1 構造物への静的負荷を考慮する施設	13
4.2 構造物，換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系における閉塞を考慮する施設	14
4.3 構造物，換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系における磨耗を考慮する施設	14
4.4 構造物，換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系における腐食を考慮する施設	15
4.5 敷地周辺の大気汚染を考慮する施設	16
4.6 電気系及び計測制御系における絶縁低下を考慮する施設	16
4.7 間接的影響を考慮する施設	16
5. 機能設計	16
5.1 構造物への静的負荷を考慮する施設	16
5.2 構造物，換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系における閉塞を考慮する施設	17
5.3 構造物，換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系における磨耗を考慮する施設	17
5.4 構造物，換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系における腐食を考慮する施設	17
5.5 敷地周辺の大気汚染を考慮する施設	18
5.6 電気系及び計測制御系における絶縁低下を考慮する施設	18
5.7 間接的影響を考慮する施設	18

1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-3-1 火山への配慮に関する基本方針」に示す降下火砕物の影響に対する設計方針を踏まえて、降下火砕物の影響を考慮する施設の影響因子との組合せ、施設分類、要求機能及び性能目標を明確にし、各施設分類の機能設計に関する設計方針について説明するものである。

2. 設計の基本方針

再処理施設に影響を与える可能性がある火山事象の発生により、「VI-1-1-1-3-1 火山への配慮に関する基本方針」にて設定している降下火砕物防護対象施設がその安全機能を損なわないよう、降下火砕物の影響を考慮する施設の設計を行う。

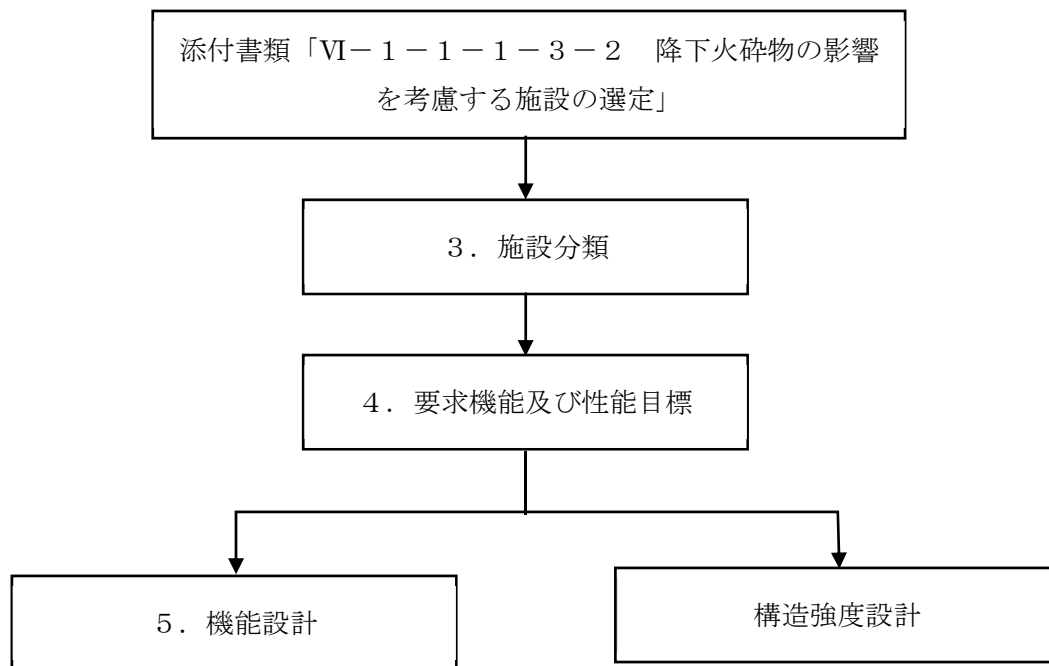
降下火砕物の影響を考慮する施設は、「VI-1-1-1-3-1 火山への配慮に関する基本方針」にて設定している降下火砕物に対して、その機能が維持できる設計とする。

降下火砕物の影響を考慮する施設の設計に当たっては、「VI-1-1-1-3-2 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定」にて選定している施設を踏まえて、影響因子ごとに施設を分類する。その施設分類及び「VI-1-1-1-3-1 火山への配慮に関する基本方針」にて設定している火山防護設計の目的を踏まえて、施設分類ごとに要求機能を整理するとともに、施設ごとに機能設計上の性能目標及び構造強度設計上の性能目標を定める。

降下火砕物の影響を考慮する施設の機能設計上の性能目標を達成するため、施設分類ごとに各機能の設計方針を示す。

なお、降下火砕物の影響を考慮する施設が構造強度設計上の性能目標を達成するための構造強度の設計方針等については、「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示し、強度計算の方法及び結果については、「VI-1-1-1-3-4-2 火山への配慮が必要な施設の強度計算書」に示す。

降下火砕物の影響を考慮する施設の設計フローを第2.-1図に示す。



注：フロー中の番号は本資料での記載事項の章を示す。
 なお、構造強度設計については、「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す。

第2.-1図 施設的设计フロー

3. 施設分類

「VI-1-1-1-3-2 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定」で選定した降下火砕物の影響を考慮する施設において、考慮する直接的影響因子が異なることから、降下火砕物の影響を考慮する施設と影響因子との関連について整理した上で、直接的影響及び間接的影響に対する各施設分類を以下に示す。

3.1 降下火砕物の影響を考慮する施設と影響因子との関連

設計にて考慮すべき直接的影響因子については、降下火砕物の特徴から以下のものが考えられる。

降下火砕物はマグマ噴出時に粉碎、急冷したガラス片及び鉱物結晶片からなる粒子であり、堆積することによる荷重並びに粒子の衝突や施設への取り込みによる閉塞、磨耗、降下火砕物には亜硫酸ガス、硫化水素、フッ化水素等の火山ガス成分が付着しているため、施設への接触による腐食及び施設への取り込みによる大気汚染が考えられる。

さらに、降下火砕物は水に濡れると導電性を生じるため、絶縁低下が考えられる。

これらの直接的影響因子を踏まえ、間接的影響を考慮する施設以外の降下火砕物の影響を考慮する施設の形状及び機能に応じて、影響因子を設定する。

なお、「水質汚染」は、再処理施設には取水が必要となる降下火砕物防護対象施設が

ないため、影響因子として設定しない。

(1) 構造物への静的負荷

降下火砕物の影響を考慮する施設のうち、降下火砕物防護対象施設を収納する建屋、屋外の降下火砕物防護対象施設、降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋については、降下火砕物の堆積に対して、静的負荷による影響を考慮するため、構造物への静的負荷を影響因子として設定する。

なお、屋外の降下火砕物防護対象施設への静的負荷については、降下火砕物が堆積することによる荷重の影響を確認することから、円筒形等の平面の少ない形状によって降下火砕物が堆積し難い場合は、構造強度評価を行う対象としない。

(2) 構造物への粒子の衝突

降下火砕物の影響を考慮する施設のうち、降下火砕物防護対象施設を収納する建屋、屋外の降下火砕物防護対象施設、降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋については、粒子の衝突による影響を考慮するため、構造物への粒子の衝突を影響因子として設定する。

なお、粒子の衝撃荷重による影響は、竜巻で設定する飛来物の影響に包絡されるため、竜巻防護に対する設計によって構造健全性を確保する。

(3) 閉塞

降下火砕物の影響を考慮する施設のうち、屋外の降下火砕物防護対象施設である主排気筒、降下火砕物防護対象施設を収納する建屋及び降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設については、閉塞による影響を考慮するため、構造物、換気系、電気系、計測制御系及び安全圧縮空気系における閉塞を影響因子として設定する。

(4) 磨耗

降下火砕物の影響を考慮する施設のうち、降下火砕物防護対象施設を収納する建屋、降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設である非常用ディーゼル発電機等及び屋外の降下火砕物防護対象施設である安全冷却水系の冷却塔については、磨耗による影響を考慮するため、構造物、換気系、電気系、計測制御系及び安全圧縮空気系における磨耗を影響因子として設定する。

(5) 腐食

降下火砕物の影響を考慮する施設のうち、屋外の降下火砕物防護対象施設、降下火砕物防護対象施設を収納する建屋、降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋及び降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設については、腐食による影響を考慮するため、構造物、換気系、電気系、計測制御系及び安全圧縮空気系における腐食を影響因子として設定する。

(6) 敷地周辺の大気汚染

降下火砕物の影響を考慮する施設のうち、制御建屋中央制御室換気設備については、大気汚染による影響を考慮するため、敷地周辺の大気汚染を影響因子として設定する。

(7) 絶縁低下

降下火砕物の影響を考慮する施設のうち、降下火砕物防護対象施設を収納する建屋及び外気から取り入れた建屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する降下火砕物防護対象施設については、絶縁低下による影響を考慮するため、電気系及び計測制御系の絶縁低下を影響因子として設定する。

設定した影響因子(構造物への粒子の衝突を除く。)と間接的影響を考慮する施設以外の降下火砕物の影響を考慮する施設との組合せを整理する。

降下火砕物の影響を考慮する施設の特性を踏まえて必要な設計項目を選定した結果を第3.1-1表に示す。

その結果を踏まえ、間接的影響を考慮する施設を含めた施設の分類を「3.2 影響因子を考慮した施設分類」に示す。

第3.1-1表 降下火砕物の影響を考慮する施設(間接的影響を考慮する施設を除く。)と影響因子の組合せ(1/3)

施設	影響因子	直接的影響の要因					
		構造物への静的負荷	構造物, 換気系, 電気系, 計測制御系及び安全圧縮空気系における閉塞	構造物, 換気系, 電気系, 計測制御系及び安全圧縮空気系における磨耗	構造物, 換気系, 電気系, 計測制御系及び安全圧縮空気系における腐食	敷地周辺の大気汚染	電気系及び計測制御系の絶縁低下
(一)内の記載は建屋内の降下火砕物防護対象施設を収納する建屋	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋	○ (*1)	- (○)	- (○)	○ (○)	-	- (○)
	前処理建屋	○ (*1)	- (○)	- (○)	○ (○)	-	- (○)
	分離建屋	○ (*1)	- (○)	- (○)	○ (○)	-	- (○)
	精製建屋	○ (*1)	- (○)	- (○)	○ (○)	-	- (○)
	ウラン脱硝建屋	○ (*1)	- (○)	- (○)	○ (○)	-	- (○)
	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	○ (*1)	- (○)	- (○)	○ (○)	-	- (○)
	ウラン酸化物貯蔵建屋	○ (*1)	- (○)	- (○)	○ (○)	-	- (○)
	ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋	○ (*1)	- (○)	- (○)	○ (○)	-	- (○)
	高レベル廃液ガラス固化建屋	○ (*1)	- (○)	- (○)	○ (○)	-	- (○)
	第1ガラス固化体貯蔵建屋	○ (*1)	- (○)	- (○)	○ (○)	-	- (○)
	チャンネルボックス・バーナブルボイゾン処理建屋	○ (*1)	- (○)	- (○)	○ (○)	-	- (○)
	ハル・エンドピース貯蔵建屋	○ (*1)	- (○)	- (○)	○ (○)	-	- (○)
	制御建屋	○ (*1)	- (○)	- (○)	○ (○)	-	- (○)
	分析建屋	○ (*1)	- (○)	- (○)	○ (○)	-	- (○)
非常用電源建屋	○ (*1)	- (○)	- (○)	○ (○)	-	- (○)	
主排気筒管理建屋	*3 (*1)	- (○)	- (○)	○ (○)	-	- (○)	
降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設	制御建屋中央制御室換気設備	*1	○	○	○	○	-
	ガラス固化体貯蔵設備の収納管及び通風管	*1	○	-	○	-	-
	第1非常用ディーゼル発電機	*1	○	○	○	-	-
	第2非常用ディーゼル発電機	*1	○	○	○	-	-
	安全圧縮空気系の空気圧縮機	*1	○	○	○	-	-

影響因子に対する個別評価を実施：○ 影響因子と直接関連しないため個別評価不要：-

- *1: 建屋により影響を無視できるため考慮不要。
- *2: 外気を取り込む空調系統から建屋内部に降下火砕物が取り込まれることによる影響を考慮。
- *3: 竜巻防護対策設備に覆われ堆積し難いため考慮不要。
- *4: 堆積し得る平面が少なく堆積し難いため考慮不要。

第3.1-1表 降下火砕物の影響を考慮する施設(間接的影響を考慮する施設を除く。)と影響因子の組合せ(2/3)

施設		影響因子					
		直接的影響の要因					
		構造物への静的負荷	構造物, 換気系, 電気系, 計測制御系及び安全圧縮空気系における閉塞	構造物, 換気系, 電気系, 計測制御系及び安全圧縮空気系における磨耗	構造物, 換気系, 電気系, 計測制御系及び安全圧縮空気系における腐食	敷地周辺の大気汚染	電気系及び計測制御系の絶縁低下
外気から取り込む機構を有する降下火砕物防護対象施設内に	計測制御設備のうち空気を取り込む機構を有する制御盤	*1	*2	*2	*2	-	○
	安全保護回路を収納し空気を取り込む機構を有する制御盤	*1	*2	*2	*2	-	○
	非常用所内電源系統のうち空気を取り込む機構を有する電気盤	*1	*2	*2	*2	-	○
	放射線監視設備のうち空気を取り込む機構を有する監視盤	*1	*2	*2	*2	-	○
外気を取り込む空調系統	降下火砕物防護対象施設を収納する建屋の換気設備の給気系及び非管理区域換気空調設備の給気系	*1	○	○	○	-	○
屋外の降下火砕物防護対象施設	安全冷却水系冷却塔A, B	○	-	○	○	-	-
	安全冷却水A, B冷却塔	○	-	○	○	-	-
	冷却塔A, B	○	-	○	○	-	-
	安全冷却水系膨張槽	○	-	-	○	-	-
	安全冷却水系(安全冷却水系冷却塔A, B, 安全冷却水A, B冷却塔, 冷却塔A, B及び安全冷却水系膨張槽周りの配管)	*4	-	-	○	-	-
	安全冷却水系膨張槽液位計	○	-	-	○	-	-
	主排気筒	○	○	-	○	-	-
	主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクト	*3	-	-	○	-	-

影響因子に対する個別評価を実施：○ 影響因子と直接関連しないため個別評価不要：-

- *1: 建屋により影響を無視できるため考慮不要。
- *2: 外気を取り込む空調系統から建屋内部に降下火砕物を取り込まれることによる影響を考慮。
- *3: 竜巻防護対策設備に覆われ堆積し難いため考慮不要。
- *4: 堆積し得る平面が少なく堆積し難いため考慮不要。

第3.1-1表 降下火砕物の影響を考慮する施設(間接的影響を考慮する施設を除く。)と影響因子の組合せ(3/3)

施設		影響因子	直接的影響の要因				
		構造物への静的負荷	構造物, 換気系, 電気系, 計測制御系及び安全圧縮空気系における閉塞	構造物, 換気系, 電気系, 計測制御系及び安全圧縮空気系における磨耗	構造物, 換気系, 電気系, 計測制御系及び安全圧縮空気系における腐食	敷地周辺の大気汚染	電気系及び計測制御系の絶縁低下
降下火砕物防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設	飛来物防護ネット(使用済燃料の受入れ施設用 安全冷却水系冷却塔A, B)	○	-	-	○	-	-
	飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔A, B)	○	-	-	○	-	-
	飛来物防護ネット(第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔A, B)	○	-	-	○	-	-
	飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り)	○	-	-	○	-	-
	飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 分離建屋屋外)	○	-	-	○	-	-
	飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 精製建屋屋外)	○	-	-	○	-	-
	飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 高レベル廃液ガラス固化建屋屋外)	○	-	-	○	-	-
	飛来物防護板(冷却塔接続 屋外設備)	○	-	-	○	-	-
使用済燃料収納する建屋	使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫	○	-	-	○	-	-

影響因子に対する個別評価を実施：○ 影響因子と直接関連しないため個別評価不要：-

- *1: 建屋により影響を無視できるため考慮不要。
- *2: 外気を取り込む空調システムから建屋内部に降下火砕物を取り込まれることによる影響を考慮。
- *3: 竜巻防護対策設備に覆われ堆積し難いため考慮不要。
- *4: 堆積し得る平面が少なく堆積し難いため考慮不要。

3.2 影響因子を考慮した施設分類

降下火砕物により直接的影響を考慮する施設及び間接的影響を考慮する施設に対する各施設の分類を以下のとおりとする。

- (1) 構造物への静的負荷を考慮する施設
 - a. 降下火砕物防護対象施設を収納する建屋
 - (a) 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋
 - (b) 前処理建屋
 - (c) 分離建屋
 - (d) 精製建屋
 - (e) ウラン脱硝建屋
 - (f) ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋
 - (g) ウラン酸化物貯蔵建屋
 - (h) ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋
 - (i) 高レベル廃液ガラス固化建屋
 - (j) 第1ガラス固化体貯蔵建屋
 - (k) チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋
 - (l) ハル・エンドピース貯蔵建屋
 - (m) 制御建屋
 - (n) 分析建屋
 - (o) 非常用電源建屋
 - (p) 主排気筒管理建屋
 - b. 屋外の降下火砕物防護施設
 - (a) 安全冷却水系冷却塔A, B
 - (b) 安全冷却水A, B冷却塔
 - (c) 冷却塔A, B
 - (d) 安全冷却水系膨張槽
 - (e) 安全冷却水系((a), (b), (c)及び(d)周りの配管)
 - (f) 安全冷却水系膨張槽液位計
 - (g) 主排気筒
 - (h) 主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクト
 - c. 降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設
 - (a) 飛来物防護ネット(使用済燃料の受入れ及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔A, B)
 - (b) 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔A, B)
 - (c) 飛来物防護ネット(第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔A, B)

- (d) 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り)
- (e) 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 分離建屋屋外)
- (f) 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 精製建屋屋外)
- (g) 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 高レベル廃液
ガラス固化建屋屋外)
- (h) 飛来物防護板(冷却塔接続 屋外設備)
- d. 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋
 - (a) 使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫
- (2) 構造物, 換気系, 電気系, 計測制御系及び安全圧縮空気系における閉塞を考慮する施設
 - a. 降下火砕物防護対象施設を収納する建屋
 - (a) 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋
 - (b) 前処理建屋
 - (c) 分離建屋
 - (d) 精製建屋
 - (e) ウラン脱硝建屋
 - (f) ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋
 - (g) ウラン酸化物貯蔵建屋
 - (h) ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋
 - (i) 高レベル廃液ガラス固化建屋
 - (j) 第1ガラス固化体貯蔵建屋
 - (k) チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋
 - (l) ハル・エンドピース貯蔵建屋
 - (m) 制御建屋
 - (n) 分析建屋
 - (o) 非常用電源建屋
 - (p) 主排気筒管理建屋
 - b. 外気を取り込む空調系統
 - (a) 降下火砕物防護対象施設を収納する建屋の換気設備の給気系
 - (b) 非管理区域換気空調設備の給気系
 - c. 降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設
 - (a) 制御建屋中央制御室換気設備
 - (b) ガラス固化体貯蔵設備の収納管及び通風管
 - (c) 第1非常用ディーゼル発電機
 - (d) 第2非常用ディーゼル発電機
 - (e) 安全圧縮空気系の空気圧縮機

- d. 屋外の降下火砕物防護施設
 - (a) 主排気筒
- (3) 構造物，換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系における磨耗を考慮する施設
 - a. 降下火砕物防護対象施設を収納する建屋
 - (a) 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋
 - (b) 前処理建屋
 - (c) 分離建屋
 - (d) 精製建屋
 - (e) ウラン脱硝建屋
 - (f) ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋
 - (g) ウラン酸化物貯蔵建屋
 - (h) ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋
 - (i) 高レベル廃液ガラス固化建屋
 - (j) 第1ガラス固化体貯蔵建屋
 - (k) チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋
 - (l) ハル・エンドピース貯蔵建屋
 - (m) 制御建屋
 - (n) 分析建屋
 - (o) 非常用電源建屋
 - (p) 主排気筒管理建屋
 - b. 外気を取り込む空調系統
 - (a) 降下火砕物防護対象施設を収納する建屋の換気設備の給気系
 - (b) 非管理区域換気空調設備の給気系
 - c. 降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設
 - (a) 制御建屋中央制御室換気設備
 - (b) 第1非常用ディーゼル発電機
 - (c) 第2非常用ディーゼル発電機
 - (d) 安全圧縮空気系の空気圧縮機
 - d. 屋外の降下火砕物防護施設
 - (a) 安全冷却水系冷却塔A, B
 - (b) 安全冷却水A, B冷却塔
 - (c) 冷却塔A, B
- (4) 構造物，換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系における腐食を考慮する施設
 - a. 降下火砕物防護対象施設を収納する建屋

- (a) 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋
 - (b) 前処理建屋
 - (c) 分離建屋
 - (d) 精製建屋
 - (e) ウラン脱硝建屋
 - (f) ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋
 - (g) ウラン酸化物貯蔵建屋
 - (h) ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋
 - (i) 高レベル廃液ガラス固化建屋
 - (j) 第1ガラス固化体貯蔵建屋
 - (k) チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋
 - (l) ハル・エンドピース貯蔵建屋
 - (m) 制御建屋
 - (n) 分析建屋
 - (o) 非常用電源建屋
 - (p) 主排気筒管理建屋
- b. 外気を取り込む空調系統
- (a) 降下火砕物防護対象施設を収納する建屋の換気設備の給気系
 - (b) 非管理区域換気空調設備の給気系
- c. 降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設
- (a) 制御建屋中央制御室換気設備
 - (b) ガラス固化体貯蔵設備の収納管及び通風管
 - (c) 第1非常用ディーゼル発電機
 - (d) 第2非常用ディーゼル発電機
 - (e) 安全圧縮空気系の空気圧縮機
- d. 屋外の降下火砕物防護施設
- (a) 安全冷却水系冷却塔A, B
 - (b) 安全冷却水A, B冷却塔
 - (c) 冷却塔A, B
 - (d) 安全冷却水系膨張槽
 - (e) 安全冷却水系((a), (b), (c)及び(d)周りの配管)
 - (f) 安全冷却水系膨張槽液位計
 - (g) 主排気筒
 - (h) 主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクト
- e. 降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設
- (a) 飛来物防護ネット(使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用) 安全冷却水

- 系冷却塔A, B)
- (b) 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔A, B)
- (c) 飛来物防護ネット(第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔A, B)
- (d) 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り)
- (e) 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 分離建屋屋外)
- (f) 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 精製建屋屋外)
- (g) 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 高レベル廃液ガラス固化建屋屋外)
- (h) 飛来物防護板(冷却塔接続 屋外設備)
- f. 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋
 - (a) 使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫
- (5) 敷地周辺の大気汚染を考慮する施設
 - a. 降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設
 - (a) 制御建屋中央制御室換気設備
- (6) 電気系及び計測制御系の絶縁低下を考慮する施設
 - a. 降下火砕物防護対象施設を収納する建屋
 - (a) 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋
 - (b) 前処理建屋
 - (c) 分離建屋
 - (d) 精製建屋
 - (e) ウラン脱硝建屋
 - (f) ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋
 - (g) ウラン酸化物貯蔵建屋
 - (h) ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋
 - (i) 高レベル廃液ガラス固化建屋
 - (j) 第1ガラス固化体貯蔵建屋
 - (k) チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋
 - (l) ハル・エンドピース貯蔵建屋
 - (m) 制御建屋
 - (n) 分析建屋
 - (o) 非常用電源建屋
 - (p) 主排気筒管理建屋
 - b. 外気を取り込む空調系統
 - (a) 降下火砕物防護対象施設を収納する建屋の換気設備の給気系
 - (b) 非管理区域換気空調設備の給気系

- c. 外気から取り入れた建屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する降下火砕物防護対象施設
 - (a) 計測制御設備のうち空気を取り込む機構を有する制御盤
 - (b) 安全保護回路を収納し空気を取り込む機構を有する制御盤
 - (c) 非常用所内電源系統のうち空気を取り込む機構を有する電気盤
 - (d) 放射線監視設備のうち空気を取り込む機構を有する監視盤
- (7) 間接的影響を考慮する施設
 - a. 電気設備（ディーゼル発電機）
 - (a) 第1非常用ディーゼル発電機
 - (b) 重油タンク
 - (c) 燃料移送ポンプ
 - (d) 第2非常用ディーゼル発電機
 - (e) 燃料油貯蔵タンク
 - (f) 燃料油移送ポンプ

4. 要求機能及び性能目標

火山事象の発生に伴い、降下火砕物防護対象施設の安全機能を損なわないよう火山防護設計を行う施設を「3. 施設分類」において、構造物への静的負荷を考慮する施設、構造物、換気系、電気系、計測制御系及び安全圧縮空気系における閉塞を考慮する施設、構造物、換気系、電気系、計測制御系及び安全圧縮空気系における磨耗を考慮する施設、構造物、換気系、電気系、計測制御系及び安全圧縮空気系における腐食を考慮する施設、敷地周辺の大気汚染を考慮する施設、電気系及び計測制御系における絶縁低下を考慮する施設及び間接的影響を考慮する施設に分類している。

これらを踏まえ、施設分類ごとに要求機能を整理するとともに、機能設計上の性能目標及び構造強度設計上の性能目標を設定する。

4.1 構造物への静的負荷を考慮する施設

(1) 施設

建物・構築物及び機器・配管系に分類する。

a. 建物・構築物

- (a) 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)

上記以外の施設については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

b. 機器・配管系

- (a) 安全冷却水B冷却塔

なお、安全冷却水B冷却塔に接続する安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)(以下「配管(A4B)」という。)については、円筒形であり平面の少ない形状によって降下火砕物が堆積し難いことから、構造強度評価を行う対象としない。

上記以外の施設については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(2) 要求機能

a. 建物・構築物

構築物への静的負荷を考慮する施設のうち建物・構築物は、設計荷重(火山)を考慮した場合においても、降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を与えないことが要求される。

b. 機器・配管系

構築物への静的負荷を考慮する施設のうち機器・配管系は、設計荷重(火山)を考慮した場合においても、その安全機能を損なわないことが要求される。

(3) 性能目標

a. 建物・構築物

(a) 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、設計荷重(火山)に対し、降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を与えないことを機能設計上の性能目標とする。

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、設計荷重(火山)に対し、波及的影響を与えないよう、倒壊、転倒及び脱落を生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。

b. 機器・配管系

(a) 安全冷却水B冷却塔

安全冷却水B冷却塔は、設計荷重(火山)に対し、崩壊熱除去の機能を維持することを機能設計上の性能目標とする。

安全冷却水B冷却塔は、設計荷重(火山)に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、

通水する冷却水を冷却する機能を維持可能な構造強度を有することを構造強度設計上の性能目標とする。

また、安全冷却水B冷却塔の構成品のうち、脱落及び転倒により、冷却塔の機能維持に必要な機器に機械的影響を及ぼし得るものは、設計荷重(火山)に対し、機械的影響を及ぼさない強度を有することを構造強度設計上の性能目標とする。

4.2 構築物，換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系における閉塞を考慮する施設

構築物，換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系における閉塞を考慮する施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

4.3 構築物，換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系における磨耗を考慮する施設

設

(1) 施設

a. 安全冷却水B冷却塔

上記以外の施設については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(2) 要求機能

構造物、換気系、電気系、計測制御系及び安全圧縮空気系における磨耗を考慮する施設は、想定する降下火砕物に対し、その安全機能を損なわないことが要求される。

(3) 性能目標

a. 安全冷却水B冷却塔

安全冷却水B冷却塔は、想定する降下火砕物による磨耗に対し、降下火砕物の摺動部への侵入を低減させることにより、崩壊熱除去の機能を維持することを機能設計上の性能目標とする。

4.4 構造物、換気系、電気系、計測制御系及び安全圧縮空気系における腐食を考慮する施設

(1) 施設

a. 安全冷却水B冷却塔

b. 配管(A4B)

c. 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)

上記以外の施設については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(2) 要求機能

構造物、換気系、電気系、計測制御系及び安全圧縮空気系における腐食を考慮する施設は、想定する降下火砕物に対し、その安全機能を損なわないことが要求される。

(3) 性能目標

a. 安全冷却水B冷却塔

安全冷却水B冷却塔は、想定する降下火砕物による腐食に対し、施設に耐食性を持たせること又は降下火砕物と施設を接触させないことにより、崩壊熱除去の機能を維持することを機能設計上の性能目標とする。

また、安全冷却水B冷却塔の構成品のうち、脱落及び転倒により、冷却塔の機能維持に必要な機器に機械的影響を及ぼし得るものは、施設に耐食性を持たせること又は降下火砕物と施設を接触させないことにより、機械的影響を及ぼさないことを機能設計上の性能目標とする。

b. 配管(A4B)

配管(A4B)は、想定する降下火砕物による腐食に対し、降下火砕物と施設を接触

させないことにより、内部流体を送水する機能を維持することを機能設計上の性能目標とする。

c. 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、想定する降下火砕物による腐食に対し、施設に耐食性を持たせること又は降下火砕物と施設を接触させないことにより、降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を与えないことを機能設計上の性能目標とする。

4.5 敷地周辺の大気汚染を考慮する施設

敷地周辺の大気汚染を考慮する施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

4.6 電気系及び計測制御系における絶縁低下を考慮する施設

電気系及び計測制御系における絶縁低下を考慮する施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

4.7 間接的影響を考慮する施設

間接的影響を考慮する施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

5. 機能設計

「VI-1-1-1-3-1 火山への配慮に関する基本方針」で設定している降下火砕物特性に対し、「4. 要求機能及び性能目標」で設定している降下火砕物の影響を考慮する施設の機能設計上の性能目標を達成するために、各施設の機能設計の方針を定める。

5.1 構造物への静的負荷を考慮する施設

(1) 施設

a. 建物・構築物

(a) 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の設計方針

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針とする。

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、設計荷重(火山)に対し、倒壊、転倒及び脱落を生じない設計とすることで、降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を与えない機能を維持する設計とする。

降下火砕物の堆積による荷重を短期荷重とするために、降下火砕物を適切に除去する。

上記以外の施設については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

b. 機器・配管系

(a) 安全冷却水B冷却塔の設計方針

安全冷却水B冷却塔は、「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針とする。

安全冷却水B冷却塔は、設計荷重(火山)に対し、構造健全性を維持することで、崩壊熱除去の機能を維持する設計とする。

また、安全冷却水B冷却塔の構成品のうち、脱落及び転倒により機械的影響を及ぼし得るものは、脱落及び転倒しない強度を有する設計とする。

降下火砕物の堆積による荷重を短期荷重とするために、降下火砕物を適切に除去する。

上記以外の施設については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

5.2 構造物，換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系における閉塞を考慮する施設

構造物，換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系における閉塞を考慮する施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

5.3 構造物，換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系における磨耗を考慮する施設

(1) 施設

a. 安全冷却水B冷却塔の設計方針

安全冷却水B冷却塔は、「4. 要求機能及び性能目標」の「4.3(3) 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針とする。

安全冷却水B冷却塔は、想定する降下火砕物による磨耗に対し、XXXXXXXXXX XXXXXXXXXXとする
XXXXXXXXXX XXXXXXXXXXとする
ことで摺動部に降下火砕物が侵入し難い構造とする。

上記以外の施設については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

5.4 構造物，換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系における腐食を考慮する施設

(1) 施設

a. 安全冷却水B冷却塔の設計方針

安全冷却水B冷却塔は、「4. 要求機能及び性能目標」の「4.4(3) 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針とする。

安全冷却水B冷却塔は、想定する降下火砕物による腐食に対し、腐食し難い金属の使用又は外装の塗装を実施することで短期での腐食が発生しない設計とする。

降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、堆積した降下火砕物の除去後に点検し、必要に応じて修理を行うこと並びに日常的な保守及び修理を行うことにより、安全機能を損なわない設計とする。

b. 配管(A4B)の設計方針

配管(A4B)は、「4. 要求機能及び性能目標」の「4.4(3) 性能目標」で設定し

ている機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針とする。

配管(A4B)は、想定する降下火砕物による腐食に対し、外装の塗装を実施することで短期での腐食が発生しない設計とする。

降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、堆積した降下火砕物の除去後に点検し、必要に応じて修理を行うこと並びに日常的な保守及び修理を行うことにより、安全機能を損なわない設計とする。

c. 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の設計方針

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、「4. 要求機能及び性能目標」の「4.4(3) 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針とする。

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、想定する降下火砕物による腐食に対し、腐食し難い金属の使用又は外装の塗装を実施することで短期での腐食が発生しない設計とする。

降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、堆積した降下火砕物の除去後に点検し、必要に応じて修理を行うこと並びに日常的な保守及び修理を行うことにより、安全機能を損なわない設計とする。

上記以外の施設については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

5.5 敷地周辺の大気汚染を考慮する施設

敷地周辺の大気汚染を考慮する施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

5.6 電気系及び計測制御系における絶縁低下を考慮する施設

電気系及び計測制御系における絶縁低下を考慮する施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

5.7 間接的影響を考慮する施設

間接的影響を考慮する施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

VI-1-1-1-3-4

火山への配慮が必要な施設の強度に
関する説明書

VI-1-1-1-3-4-1

火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針

目 次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	1
2.1 強度評価の対象施設	1
2.1.1 降下火砕物防護対象施設	1
2.1.2 重大事故等対処設備	1
2.2 評価方針	1
3. 構造強度設計	2
3.1 構造強度の設計方針	2
3.2 機能維持の方針	3
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	7
4.1 荷重及び荷重の組合せ	7
4.2 許容限界	10
5. 強度評価方法	12
5.1 建物・構築物	12
5.1.1 竜巻防護対策設備(飛来物防護ネット)	12
5.1.2 建屋	16
5.1.3 排気筒および換気筒	16
5.1.4 竜巻防護対策設備(飛来物防護板)	16
5.2 機器・配管系	16
5.2.1 冷却塔	16
5.2.2 容器	21
5.2.3 計装設備	21
6. 準拠規格	21

1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-3-2 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定」及び「VI-1-1-1-3-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」に設定している降下火砕物の影響を考慮する施設が、降下火砕物に対して構造健全性を維持することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

強度評価は、「VI-1-1-1-3-1 火山への配慮に関する基本方針」に示す準拠規格を用いて実施する。

重大事故等対処設備については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「2.1 強度評価の対象施設」に示す評価対象施設について、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す降下火砕物の堆積による荷重と組み合わせるべき他の荷重による組合せ荷重により発生する応力等が、「4.2 許容限界」で示す許容限界内にあることを、「5. 強度評価方法」で示す評価方法及び考え方を使用し、「6. 準拠規格」で示す準拠規格を用いて確認する。

2.1 強度評価の対象施設

2.1.1 降下火砕物防護対象施設

「VI-1-1-1-3-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」にて構造強度上の性能目標を設定している構造物への静的負荷を考慮する施設のうち、強度評価の対象施設となる建物・構築物及び機器・配管系を第2.1.1-1表に示す。

第2.1.1-1表 評価対象施設

施設分類	評価対象施設
建物・構築物	飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)
機器・配管系	安全冷却水B冷却塔

なお、上記以外の評価対象施設については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

2.1.2 重大事故等対処設備

重大事故等対処設備については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

2.2 評価方針

強度評価の対象施設は、「VI-1-1-1-3-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」にて設定している構造強度設計上の性能目標を達成するため、降下火砕物の堆積に対する強度評価を実施する。

強度評価は、降下火砕物の堆積により生じる応力等に対し、評価対象施設が当該施設の機能を維持可能な構造強度を有することを確認する。

構造強度評価は、評価対象施設の構造を考慮し、以下の分類とする。

- (1) 建物・構築物
 - a. 竜巻防護対策設備(飛来物防護ネット)
- (2) 機器・配管系
 - a. 冷却塔

3. 構造強度設計

「VI-1-1-1-3-1 火山への配慮に関する基本方針」で設定している降下火砕物特性に対し、構造物への静的負荷を考慮する施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するように、「VI-1-1-1-3-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「5. 機能設計」で設定している各施設が有する機能を踏まえ、構造強度の設計方針を設定する。

重大事故等対処設備については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

施設の構造強度の設計方針においては、想定する荷重及び荷重の組合せを踏まえ、それらの荷重に対し、施設の構造強度を保持するように構造設計と評価方針を設定する。

3.1 構造強度の設計方針

「VI-1-1-1-3-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するための設計方針を示す。

- (1) 建物・構築物
 - a. 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、「VI-1-1-1-3-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計荷重(火山)に対し、降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼさない設計とする。

降下火砕物の堆積による荷重を短期荷重とするために、30日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定めて、管理する。

- (2) 機器・配管系
 - a. 安全冷却水B冷却塔

安全冷却水B冷却塔は、「VI-1-1-1-3-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計荷重(火山)に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、

冷却塔の主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

降下火砕物の堆積による荷重を短期荷重とするために、30日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定めて、管理する。

3.2 機能維持の方針

「VI-1-1-1-3-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度上の性能目標を達成するために、「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえ「VI-1-1-1-3-1 火山への配慮に関する基本方針」で設定している荷重条件を適切に考慮して、施設の構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

(1) 建物・構築物

a. 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)

(a) 構造設計

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「VI-1-1-1-3-1 火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ、以下の構造とする。

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、防護ネット、防護板及び支持架構を主体構造とし、支持架構は杭基礎を介して支持地盤である鷹架層に支持される構造とする。

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の構造計画を第3.2-1表に示す。

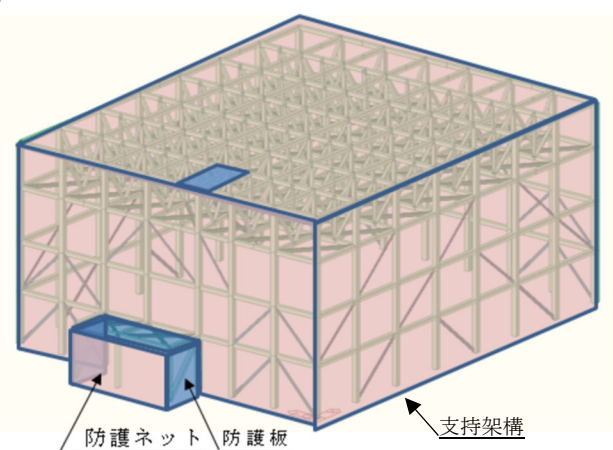
(b) 評価方針

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、「(a) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

設計荷重(火山)に対し、荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて、飛来物防護ネットを構成する支持架構部材に生じる応力が、許容応力以下であることを「5. 強度評価方法」に示す解析を用いて確認する。

設計荷重(火山)に対する強度評価を、「VI-1-1-1-3-4-2 火山への配慮が必要な強度計算書」に示す。

第3.2-1表 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主要構造	支持構造	
【位置】			
竜巻防護対策設備（飛来物防護ネット）は，屋外に設置する設計としている。			
竜巻防護対策設備（飛来物防護ネット）	鋼製の支持架構に防護ネット,防護板等を固定する構造とする。	杭基礎を介して支持地盤に固定する。	

(2) 機器・配管系

a. 安全冷却水B冷却塔

(a) 構造設計

安全冷却水B冷却塔は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「VI-1-1-1-3-1 火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ、以下の構造とする。

安全冷却水B冷却塔は、

構造とする。

安全冷却水B冷却塔は、

構造とする。

安全冷却水B冷却塔の

構造とする。

安全冷却水B冷却塔の構造計画を第3.2-2表に示す。

(b) 評価方針

安全冷却水B冷却塔は、「(a) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

設計荷重(火山)に対し、安全冷却水B冷却塔の機能維持に必要な機器を支持する支持架構を構成する部材及び基礎ボルト並びにルーバに生じる応力が、許容応力以下であることを「5. 強度評価方法」に示す解析を用いて確認する。

設計荷重(火山)に対する強度評価を、「VI-1-1-1-3-4-2 火山への配慮が必要な施設の強度計算書」に示す。

第3.2-2表 安全冷却水B冷却塔の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主要構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>冷却塔は、屋外に設置する設計としている。</p>			
冷却塔	鋼製の支持架構に管束、ファン駆動部等を固定する構造とする。	コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	<p>側面図</p>

4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

評価対象施設の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せを「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「4.2 許容限界」に示す。

4.1 荷重及び荷重の組合せ

評価対象施設の強度評価にて考慮する荷重は、「VI-1-1-1-3-1 火山への配慮に関する基本方針」にて設定しており、それらを「(1) 荷重の種類」に示す。

また、評価対象施設の強度評価にて考慮する荷重の組合せの考え方は、「VI-1-1-1-3-1 火山への配慮に関する基本方針」にて定めており、これらを踏まえて、強度評価において考慮すべき荷重の組合せを設定する。

評価対象施設の荷重の組合せを「(2) 荷重の組合せ」に示す。

(1) 荷重の種類

a. 常時作用する荷重(F_d)

常時作用する荷重は、「VI-1-1-1-3-1 火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(1)a. 常時作用する荷重」で設定している常時作用する荷重に従って、固定荷重及び積載荷重とする。

なお、除灰のために人員が積載する施設については、積載荷重として除灰時人員荷重を考慮する。

b. 降下火砕物の堆積による荷重(V_L)

降下火砕物の堆積による荷重は、「VI-1-1-1-3-1 火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.2 設計に用いる降下火砕物特性」の降下火砕物の特性及び「2.1.3(1)b. 降下火砕物の堆積による荷重」に示す降下火砕物の堆積による荷重を踏まえて、湿潤密度 1.3g/cm^3 の降下火砕物が55cm堆積した場合の荷重とする。

c. 運転時荷重(F_p)

運転時の状態で施設に作用する荷重としては、「VI-1-1-1-3-1 火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(1)c. 運転時荷重」で設定している運転時の状態で作用する荷重に従って、配管にかかる内圧等を運転時荷重とする。

d. 積雪荷重(S_L)

積雪深は、「VI-1-1-1-3-1 火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3 荷重の組合せ及び許容限界」に示す組み合わせる積雪深さを踏まえて、降下火砕物堆積時の積雪荷重は青森県建築基準法施行細則（昭和36年2月9日青森県規則第20号）による六ヶ所村の垂直積雪量150cmに設定し、積雪量1cmごとに 30N/m^2 が作用することを考慮する。

e. 風荷重(W_L)

風荷重は、「VI-1-1-1-3-1 火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3 荷重の組合せ及び許容限界」に示す組み合わせる風速を踏まえて、建築基準

法施行令第87条及び平成12年建設省告示第1454号に従い、地表面粗度区分Ⅱとし、地方の区分に応じて定められた風速34m/s及び施設の形状に基づき算定する。

(2) 荷重の組合せ

a. 降下火砕物の堆積による荷重，積雪荷重及び風荷重の組合せ

降下火砕物の堆積による荷重，積雪荷重及び風荷重については，それらの組合せを考慮し，自然現象の荷重として扱う。自然現象の荷重は短期荷重として扱う。

b. 降下火砕物の影響を考慮する施設の荷重の組合せ

降下火砕物の影響を考慮する施設の荷重の組合せについては，自然現象の荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

なお，常時作用する荷重，運転時荷重，積雪荷重及び風荷重については，組み合わせることで降下火砕物の堆積による荷重の抗力となる場合には，評価結果が厳しい結果を与えるように荷重の算出において考慮しないこととする。

上記を踏まえ，評価対象施設の強度評価における荷重の組合せの設定については，施設の設置状況及び構造等を考慮し設定する。評価対象施設ごとの荷重の組合せの考え方を第4.1-1表に示す。

第4.1-1表 降下火砕物の影響を考慮する施設の荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価項目	荷重の種類				
			常時作用する荷重	降下火砕物による荷重	積雪荷重	風荷重	運転時の状態で作用する荷重等
（飛来物防護対策設備） 竜巻防護ネット	・飛来物防護ネット （再処理本体用 安全冷却水系冷却塔B）	構造強度	○	○	○	○	—
冷却塔	・安全冷却水B冷却塔	構造強度					

○：考慮する荷重を示す。

(3) 荷重の算定方法

「4.1(1) 荷重の種類」で設定している荷重のうち、「4.1(2)a. 降下火砕物の堆積による荷重, 積雪荷重及び風荷重の組合せ」で設定している自然現象の荷重の鉛直荷重及び水平荷重の算出式を以下に示す。

鉛直荷重については、「VI-1-1-1-3-4-2 火山への配慮が必要な施設の強度計算書」にて共通で使用するための算出式を用いた荷重の算出も行う。

a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を第4.1-2表に示す。

第4.1-2表 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
A_1	m^2	風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
C	—	風力係数
E'	—	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
E_r	—	建設省告示第 1454 号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表わす係数
f_s	$N/(m^2 \cdot cm)$	建築基準法施行令に基づき設定する積雪の単位荷重
G	—	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度
H	m	全高
H_v	cm	降下火砕物の層厚
H_s	cm	組合せ荷重として考慮する積雪深
q	N/m^2	設計用速度圧
S_L	N/m^2	積雪荷重
V_D	m/s	基準風速
V_L	N/m^2	湿潤状態の降下火砕物による荷重
W_L	N	風荷重
W_v	$N/(m^2 \cdot cm)$	湿潤状態の降下火砕物による単位荷重
Z_b	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値
Z_G	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値
α	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値
ρ	kg/m^3	降下火砕物の湿潤密度

b. 鉛直荷重

鉛直荷重については、湿潤状態の降下火砕物及び積雪を考慮する。
 湿潤状態の降下火砕物の堆積による荷重は、次式のとおり算出する。

$$W_v = \rho \cdot g$$

$$V_L = W_v \cdot H_v$$

積雪荷重は、次式のとおり算出する。

$$S_L = f_s \cdot H_s$$

第4.1-3表に入力条件を示す。

第4.1-3表 入力条件

ρ (kg/m ³)	g (m/s ²)	H_v (cm)	f_s (N/(m ² ・cm))	H_s (cm)
1300	9.80665	55	30	150

上記式より W_v は128N/(m²・cm)と算出されるが、保守的に $W_v=130$ N/(m²・cm)とする。

よって、 $V_L=7150$ N/m²、 $S_L=4500$ N/m²である。

c. 水平荷重

水平荷重については、風を考慮する。風速を建築基準法施行令の基準風速に基づき34 m/sに設定し、風荷重については施設の形状により異なるため施設ごとに算出する。

風荷重の算出式は建築基準法施行令第87条に基づき、以下のとおりである。

$$W_L = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H/Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合})$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b/Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ 以下の場合})$$

4.2 許容限界

許容限界は、「VI-1-1-1-3-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた、施設分類ごとの評価対象部位の許容限界を第4.2-1表に示す。

施設分類ごとの許容限界の詳細は、各計算書で評価対象部位の損傷モードを踏まえ、

評価項目を選定し定める。

(1) 建物・構築物

a. 竜巻防護対策設備(飛来物防護ネット)

飛来物防護ネットの構造強度評価においては、設計荷重(火山)に対し、飛来物防護ネットを構成する支持架構が、終局状態に至らないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—((社)日本建築学会, 2005)」の短期許容応力を許容限界として設定する。

(2) 機器・配管系

a. 冷却塔

冷却塔の構造強度評価においては、設計荷重(火山)に対し、冷却機能の維持に必要な機器を支持する支持架構を構成する部材、基礎ボルト及びルーバが、おおむね弾性状態に留まることを解析及び評価式により確認する評価方針としていることを踏まえ、JEAG4601に準じて許容応力状態ⅢA Sの許容応力を許容限界として設定する。

第4.2-1表 施設分類ごとの許容限界

施設分類	荷重の 組合せ	評価対象 部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
竜巻防護対策設備 (飛来物防護 ネット)	$F_d + V_L + W_L + S_L$	支持架構	引張 圧縮 曲げ せん断 組合せ	終局耐力	S規準* ² の 短期許容応 力
冷却塔	$F_d + V_L + W_L + S_L$	支持架構	引張 圧縮 せん断 曲げ 組合せ	部材の降伏	JEAG4601 に準じて許 容応力状態 ⅢA Sの許容 応力以下と する* ¹
		基礎ボルト	引張 せん断		
ルーバ	$F_d + V_L + S_L$	ルーバ ブレード	曲げ		
		ブレード シャフト	せん断		

F_d : 常時作用する荷重 V_L : 降下火砕物の堆積による鉛直荷重 W_L : 風荷重

S_L : 積雪荷重

注記 *1 : 第4.2-2表 JEAG4601「クラス2, 3支持構造物」の許容限界を準用する。

*2 : 「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—((社)日本建築学会, 2005)」(以下, S規準という。)

第4.2-2表 JEAG4601「クラス2, 3支持構造物」の許容限界

許容応力状態	許容限界 (ボルト以外)				許容限界 (ボルト)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
Ⅲ _{AS}	$1.5f_t$	$1.5f_s$	$1.5f_c$	$1.5f_b$	※1	$1.5f_{so}$

※1 引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容限界は、
 $\text{Min}(1.4 \cdot 1.5f_{to} - 1.6\tau_b, 1.5f_{to})$ とする。

5. 強度評価方法

評価手法は、以下に示す解析法により、適用性に留意の上、規格、基準類及び既文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- ・ FEM等を用いた解析法
- ・ 定式化された評価式を用いた解析法

風荷重による影響を考慮する施設については、建築基準法施行令等に基づき風荷重を考慮し、設備の受圧面に対して等分布荷重として扱って良いことから、評価上高さの1/2又は荷重作用点より高い重心位置に集中荷重として作用するものとしており、これはJEA G4601耐震評価における1質点モデルと等価なものであり、地震荷重を風荷重と置き換えJEAG4601に基づき評価を行う。

風荷重を考慮した、降下火砕物等堆積による鉛直荷重が作用する場合に強度評価を行う施設のうち、評価対象施設分類ごとの強度評価方法を以下に示す。

5.1 建物・構築物

5.1.1 竜巻防護対策設備(飛来物防護ネット)

(1) 評価条件

竜巻防護対策設備(飛来物防護ネット)の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 支持架構は、FEM解析を用いて構成部材に対する発生荷重及び発生モーメントを算定し評価を行う。評価モデルを第5.1.1-1図に示す。
- b. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(2) 強度評価方法

a. 記号の定義

竜巻防護対策設備(飛来物防護ネット)の強度評価に用いる記号を第5.1.1-1表に示す。

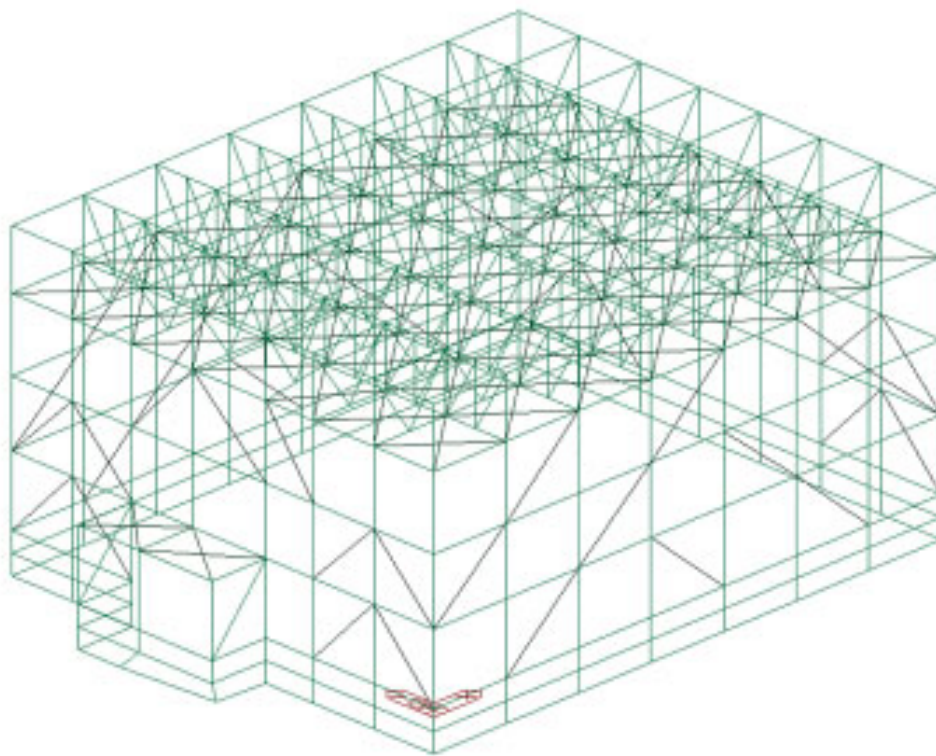
第5.1.1-1表 竜巻防護対策設備(飛来物防護ネット)の強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A_1	m^2	受風面積
C	—	風力係数
E'	—	建築基準法施行令第87条第2項に規定する数値
E_r	—	建設省告示第1454号第2項の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表わす係数
f_b	MPa	曲げに対する許容限界
f_{bx}	MPa	X軸廻り曲げに対する短期許容応力
f_{by}	MPa	Y軸廻り曲げに対する短期許容応力
f_c	MPa	圧縮に対する短期許容応力
f_s	MPa	せん断に対する短期許容応力
f_t	MPa	引張に対する短期許容応力
G	—	ガスト影響係数
H	m	建築物の高さと軒の高さとの平均
q	N/m^2	設計用速度圧
V_D	m/s	基準風速
W_L	N	風荷重
Z_b	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値
Z_G	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値
α	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値
σ_b	MPa	部材の曲げ応力
σ_{bx}	MPa	部材のX軸廻り曲げ応力
σ_{by}	MPa	部材のY軸廻り曲げ応力

第5.1.1-1表 竜巻防護対策設備(飛来物防護ネット)の強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
σ_c	MPa	部材の圧縮軸応力
σ_t	MPa	部材の引張軸応力
τ_s	MPa	部材のせん断応力
V_L	N/m ²	単位面積あたりの降下火砕物堆積による鉛直荷重
S_L	N/m ²	単位面積あたりの積雪による鉛直荷重
A_2	m ²	降下火砕物の堆積及び積雪する面積
F_{V0}	N	降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重
L_c	N/m ²	単位面積あたりの除灰時の人員荷重
F_t	N	部材に作用する引張荷重
F_c	N	部材に作用する圧縮荷重
M_x	N・mm	部材に作用するX軸廻りの曲げモーメント
M_y	N・mm	部材に作用するY軸廻りの曲げモーメント
Q_x	N	部材に作用するせん断荷重
Q_y	N	部材に作用するせん断荷重
A	mm ²	引張荷重, 圧縮荷重に対する部材の断面積
Z_x	mm ³	部材のX軸廻りの断面係数
Z_y	mm ³	部材のY軸廻りの断面係数
A_{SX}	mm ²	部材のX軸方向のせん断力に対する断面積
A_{SY}	mm ²	部材のY軸方向のせん断力に対する断面積

b. 評価モデル



第5.1.1-1図 FEM解析に用いるモデル図

c. 応力計算

(a) 支持架構に生じる応力

イ. 引張応力

引張力が生じる部材は、下式にて算出される引張応力が、許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A}$$

ロ. 圧縮応力

圧縮力が生じる部材は、下式にて算出される圧縮応力が、許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A}$$

ハ. 曲げ応力

曲げモーメントが生じる部材は、下式にて算出される曲げ応力が、許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{Z_x} \quad \sigma_{by} = \frac{M_y}{Z_y}$$

$$\sigma_b = \sigma_{bx} + \sigma_{by}$$

ニ. せん断応力

せん断力が生じる部材は、下式にて算出されるせん断応力の大きい方の値が、許容限界を超えないことを確認する。

$$\tau_{sx} = \frac{Q_x}{A_{sx}} \quad \tau_{sy} = \frac{Q_y}{A_{sy}}$$

ホ. 組合せ応力

支持架構に生じる組合せ応力のうち、軸力及び曲げモーメントが生じる部材は、座屈を考慮し、部材に生じる軸応力及び曲げ応力の組合せ応力が、許容限界を超えないことを確認する。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

又は

$$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

5.1.2 建屋

建屋の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

5.1.3 排気筒および換気筒

排気筒の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

5.1.4 竜巻防護対策設備(飛来物防護板)

竜巻防護対策設備(飛来物防護板)の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

5.2 機器・配管系

5.2.1 冷却塔

(1) 評価条件

冷却塔の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 支持架構及び基礎ボルトは、FEM解析を用いて構成部材に対する発生荷重及び発生モーメントを算定し評価を行う。評価モデルを第5.2.1-1図に示す。
- b. ルーバは定式化された評価式を用いて評価を行う。評価モデルを第5.2.1-2図に示す。
- c. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(2) 強度評価方法

a. 記号の定義

冷却塔の強度評価に用いる記号を第5.2.1-1表に示す。

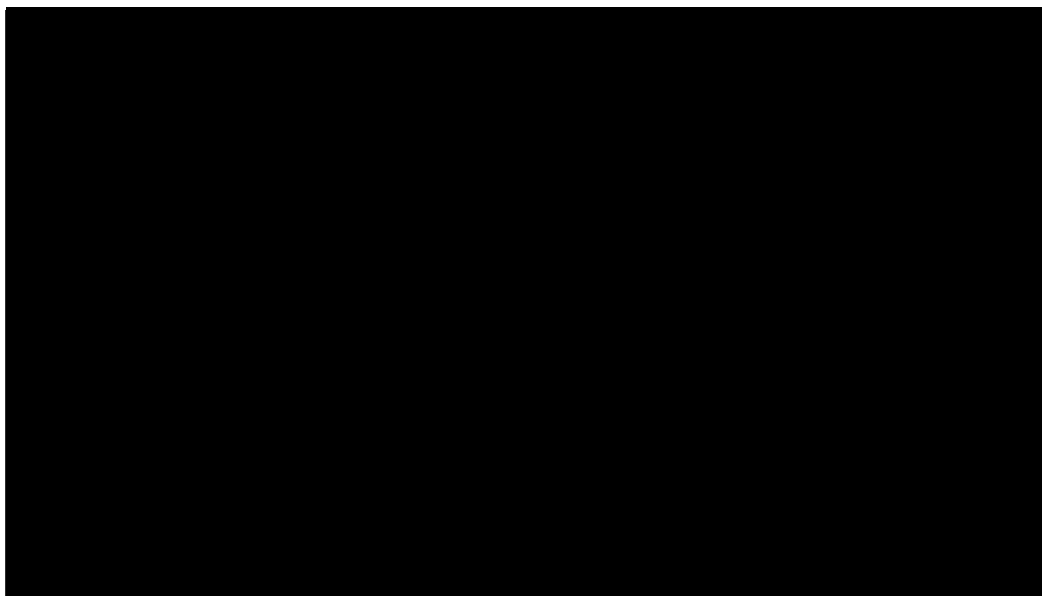
第5.2.1-1表 冷却塔の強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
F_a	N	はり要素に作用する引張, 圧縮荷重
F_y, F_z	N	はり要素に作用するせん断荷重
F_{bt}	N	基礎ボルトの引張力
F_{bs}	N	基礎ボルトのせん断力
M_y, M_z	N・mm	はり要素に作用する曲げモーメント
M_x	N・mm	はり要素に作用するねじりモーメント
A	mm ²	部材の断面積
A_b	mm ²	ボルトの断面積
A_y, A_z	mm ²	部材の有効せん断断面積
Z, Z_y, Z_z	mm ³	部材の断面係数
Z_p	mm ³	部材のねじり断面係数
F	MPa	JSME SSB-3121.1により規定される値
f_t	MPa	JSME SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容引張応力
f_s	MPa	JSME SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容せん断応力
f_c	MPa	JSME SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容圧縮応力
f_b	MPa	JSME SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容曲げ応力
f_{to}	MPa	ボルトの許容引張応力
f_{so}	MPa	ボルトの許容せん断応力
σ_t	MPa	支持架構に生じる引張応力
σ_c	MPa	支持架構に生じる圧縮応力
σ_b	MPa	支持架構に生じる曲げ応力
τ	MPa	支持架構に生じるせん断応力
σ_{ao}	MPa	基礎ボルトの引張応力
τ_b	MPa	基礎ボルトのせん断応力
W_L	N	風荷重
q	N/m ²	設計用速度圧
G	—	ガスト影響係数

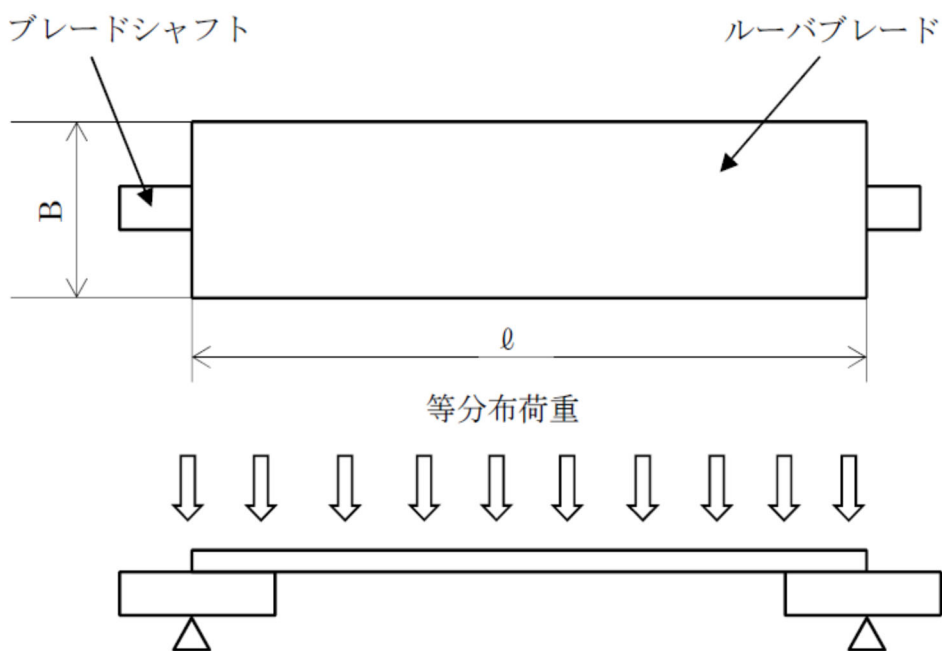
第5.2.1-1表 冷却塔の強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
C	—	風力係数（「建築基準法及び同施行令」に基づき設定する。）
A ₁	m ²	風の受圧面積
V _D	m/s	基準風速
H	m	建築物の高さと軒の高さとの平均
E'	—	建築基準法施行令第87条第2項に規定する数値
E _r	—	建設省告示第1454号第2項の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表わす係数
Z _b	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値
Z _G	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値
α	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値
V _L	N/m ²	単位面積あたりの降下火砕物堆積による鉛直荷重
L _c	N/m ²	単位面積あたりの除灰時の人員荷重
S _L	N/m ²	単位面積あたりの積雪による鉛直荷重
A ₂	m ²	支持架構の降下火砕物の堆積及び積雪する面積
B	m	ルーバブレードの幅
F _{V0}	N	支持架構の降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重
F _{V1}	N/mm	ルーバブレードの単位長さあたりの降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重
F ₁	N/mm	ルーバブレードの単位長さあたりの自重
E	MPa	支持架構部材の縦弾性係数
i, i _y , i _z	mm	断面二次半径
n _a	本	柱脚部1ヶ所当たりの基礎ボルトの本数
ℓ	mm	ルーバブレード長さ

b. 評価モデル



第5.2.1-1図 FEM解析に用いるモデル図



第5.2.1-2図 ルーバ評価モデル図

c. 応力計算

(a) 支持架構に生じる応力

イ. 引張応力

支持架構に生じる引張応力 σ_t は次式より算出される。

$$\sigma_t = \frac{F}{A} a$$

ロ. 圧縮応力

支持架構に生じる圧縮応力 σ_c は次式より算出される。

$$\sigma_c = \frac{F}{A} a$$

ハ. 曲げ応力

支持架構に生じる曲げ応力 σ_b は次式より算出される。

$$\sigma_b = \frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z}$$

ニ. せん断応力

支持架構に生じるせん断応力 τ は次式より算出される。

$$\tau = \frac{F_y}{A_y} + \frac{F_z}{A_z} + \frac{M_x}{Z_p}$$

ホ. 組合せ応力

(イ) 支持架構に生じる組合せ応力のうち、引張+曲げ応力が、許容限界を超えないことを次式より確認する。

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5f_t} \leq 1.0$$

(ロ) 支持架構に生じる組合せ応力のうち、圧縮+曲げ応力が、許容限界を超えないことを次式より確認する。

$$\frac{\sigma_c}{1.5f_c} + \frac{\sigma_b}{1.5f_b} \leq 1.0$$

(b) 基礎ボルトに生じる応力

イ. 引張応力

基礎ボルトに生じる引張応力 $\sigma_{a o}$ は次式より算出される。

$$\sigma_{a o} = \frac{F_{bt}}{A_b \cdot n_a}$$

ロ. せん断応力

基礎ボルトに生じるせん断応力 τ_b は次式より算出される。

$$\tau_b = \frac{F_{bs}}{A_b \cdot n_a}$$

(c) ルーバブレード及びブレードシャフトに生じる応力

イ. 曲げ応力 (ルーバブレード)

ルーバブレードに生じる曲げ応力 σ_{bl} は次式より算出される。

$$\sigma_{bl} = \frac{(F_{v1} + F_l) \cdot \ell^2}{8 \cdot Z}$$

ロ. せん断応力 (ブレードシャフト)

ブレードシャフトに生じるせん断応力 τ_1 は次式より算出される。

$$\tau_l = \frac{(F_{v1} + F_l) \cdot \ell}{2 \cdot A}$$

5.2.2 容器

容器の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

5.2.3 計装設備

計装設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

具体的な計算の方法及び結果は、「VI-1-1-1-3-4-2 火山への配慮が必要な施設の強度計算書」に示す。

6. 準拠規格

「VI-1-1-1-3-1 火山への配慮に関する基本方針」においては、降下火砕物の影響を考慮する施設の設計に係る準拠規格を示している。

これらのうち、評価対象施設の強度評価に用いる規格、基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法・同施行令・同告示
- (2) 青森県建築基準法施行細則(昭和36年2月9日青森県規則第20号)
- (3) 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－((社)日本建築学会, 2005)
- (4) 建築物荷重指針・同解説((社)日本建築学会, 2004)
- (5) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987((社)日本電気協会)
- (6) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984
(社)日本電気協会)
- (7) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版((社)日本電気協会)
- (8) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格JSME S NC1-2005/2007((社)日本機械学会)
- (9) 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書(国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所 2015)

(参考文献)

- ・ 建築構造設計基準の資料(国土交通省 平成27年版)

なお、次回以降に申請する施設に係る準拠規格については、当該施設の申請に合わせて次回以降に示す。

VI-1-1-1-3-4-2

火山への配慮が必要な施設の強度計算書

VI-1-1-1-3-4-2-1
冷却塔の強度計算書

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.2.1 安全冷却水B冷却塔の概要	5
2.3 評価方針	7
2.4 準拠規格	8
3. 構造強度評価方法	9
3.1 評価対象機器の選定	9
3.2 評価対象部位の選定	9
3.3 記号の定義	11
3.4 荷重及び荷重の組合せ	13
3.5 許容限界	17
3.6 評価方法	18
4. 評価条件	22
4.1 安全冷却水B冷却塔の評価条件	22
5. 評価結果	25
5.1 安全冷却水B冷却塔の評価結果	25

1. 概要

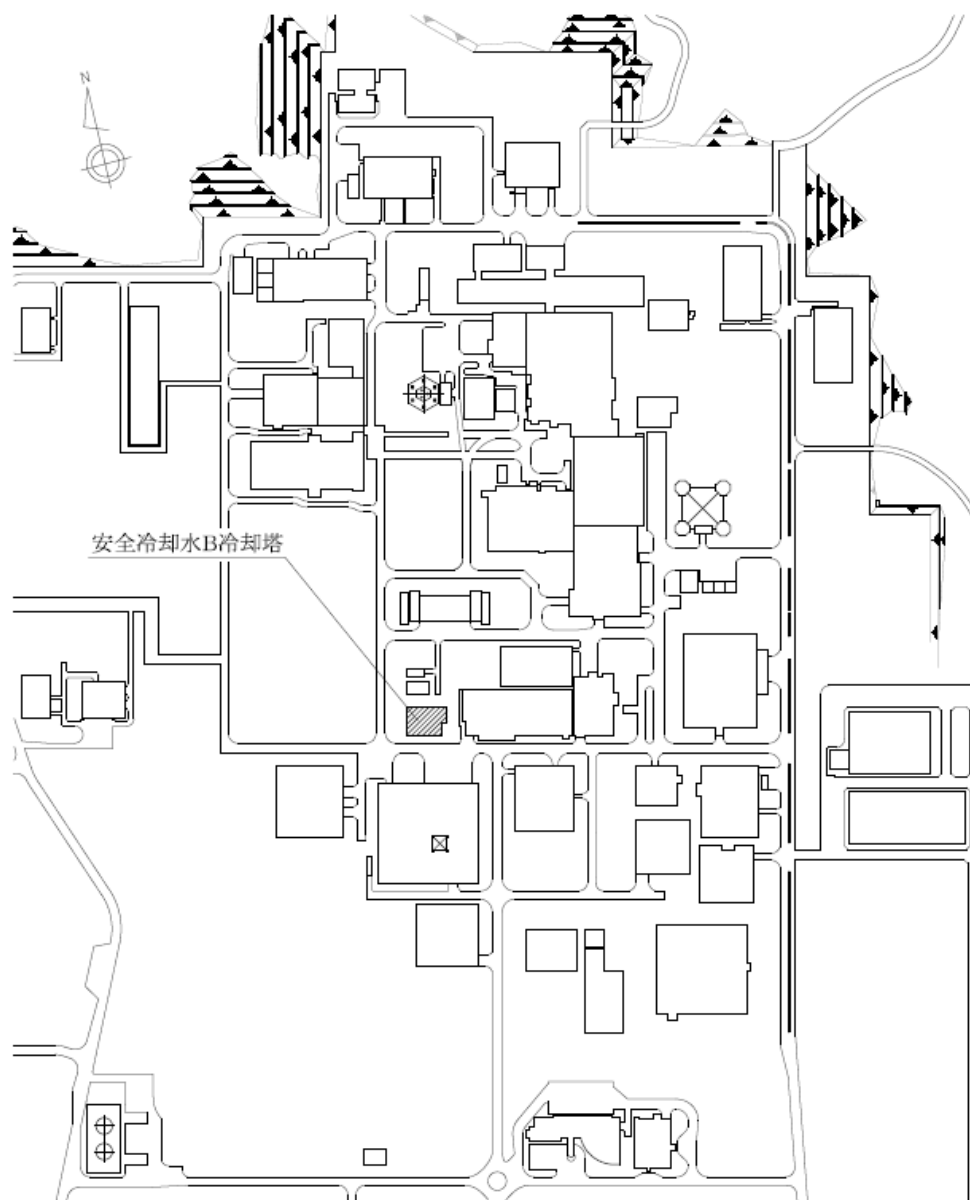
本資料は、「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、降下火砕物防護対象施設である冷却塔に設計荷重（火山）が作用することにより、冷却塔の安全機能を損なわないよう、冷却塔の主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。

2. 基本方針

冷却塔は、「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造設計を踏まえ、「2.1 位置」、「2.2 構造概要」を示す。

2.1 位置

安全冷却水B冷却塔の配置図を第2.1-1図に示す。









第 2.1-1 図 冷却塔の配置図

2.2 構造概要

冷却塔は、「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造設計を踏まえて設計する。

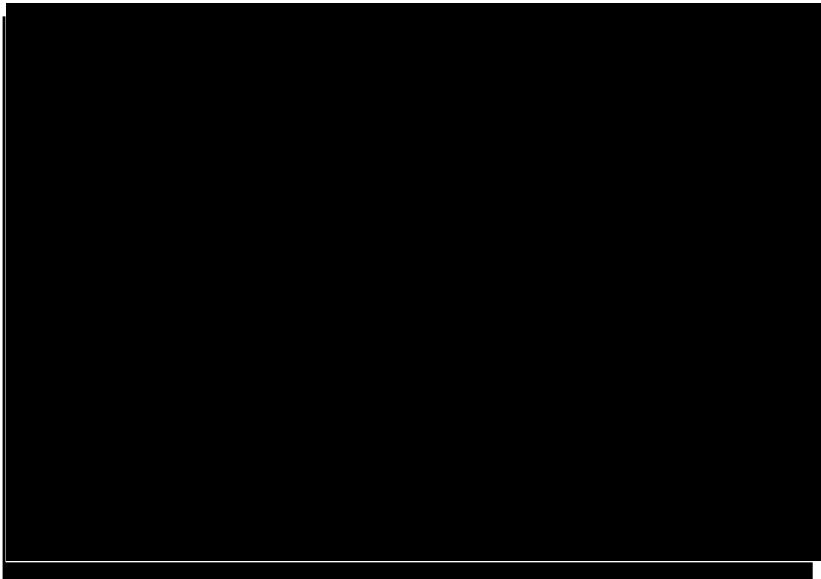
冷却塔は、
複合構造物である。

管束：


第2.2-1図に管束構造図を示す。

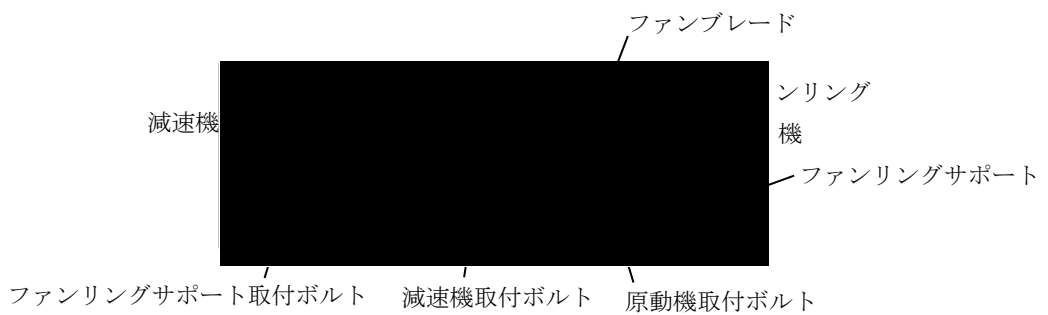
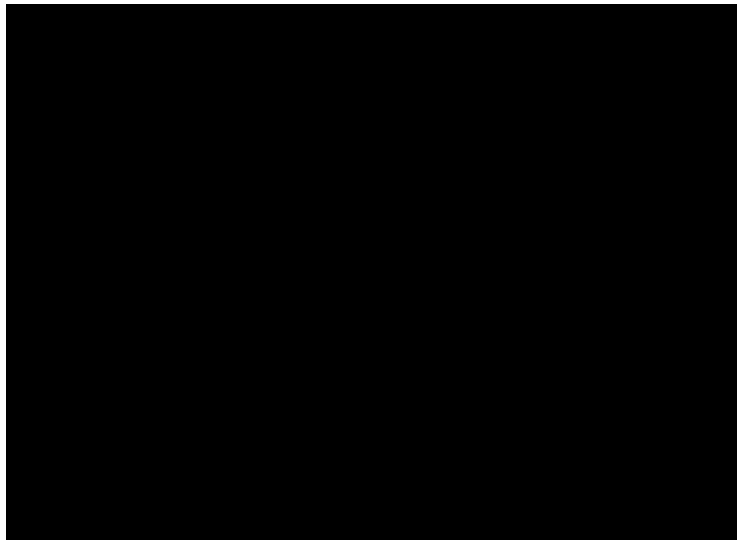
ファン駆動部：


第2.2-2図にファン駆動部構造図を示す。

支持架構：





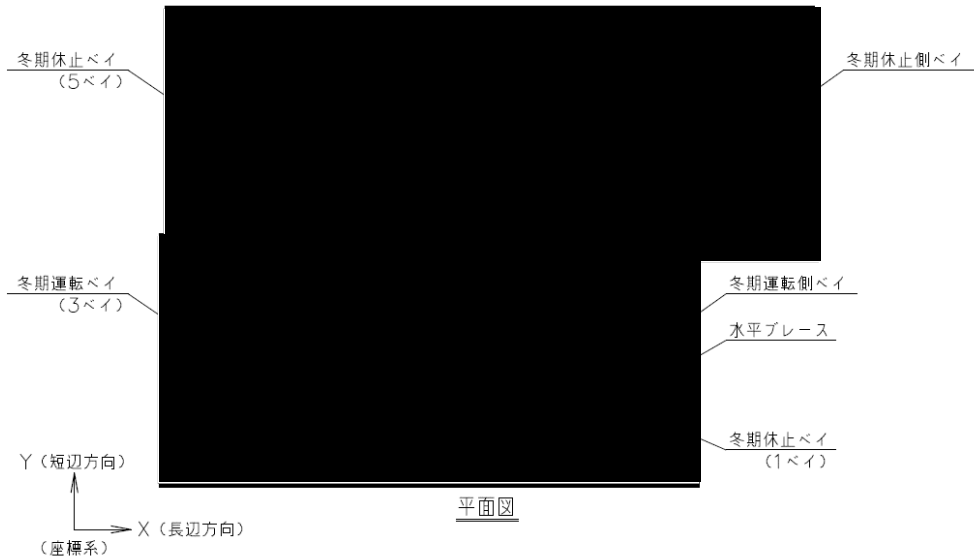
第2.2-1図 管束構造図



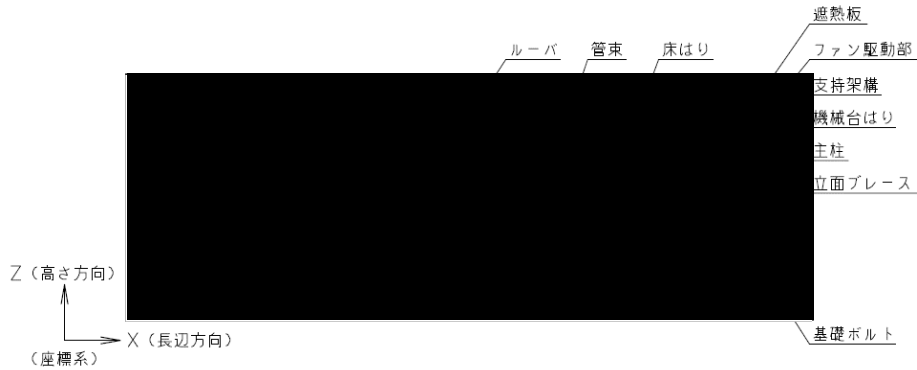
第 2.2-2 図 ファン駆動部構造図

2.2.1 安全冷却水B冷却塔の概要

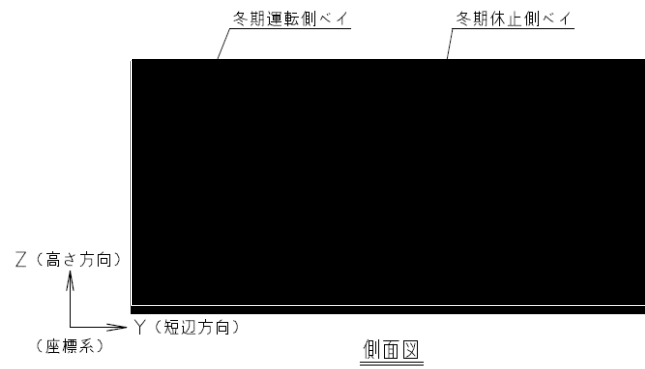
安全冷却水B冷却塔の概要図を第2.2.1-1図に示す。安全冷却水B冷却塔は、冬期運転側ベイと冬期休止側ベイによって構成される。



(a) 上面図



(b) 側面図 (長辺方向)



(c) 側面図 (短辺方向)

第 2.2.1-1 図 安全冷却水 B 冷却塔 概要図

2.3 評価方針

冷却塔の構造強度評価は、「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、冷却塔の評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「3. 構造強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 評価結果」にて確認する。

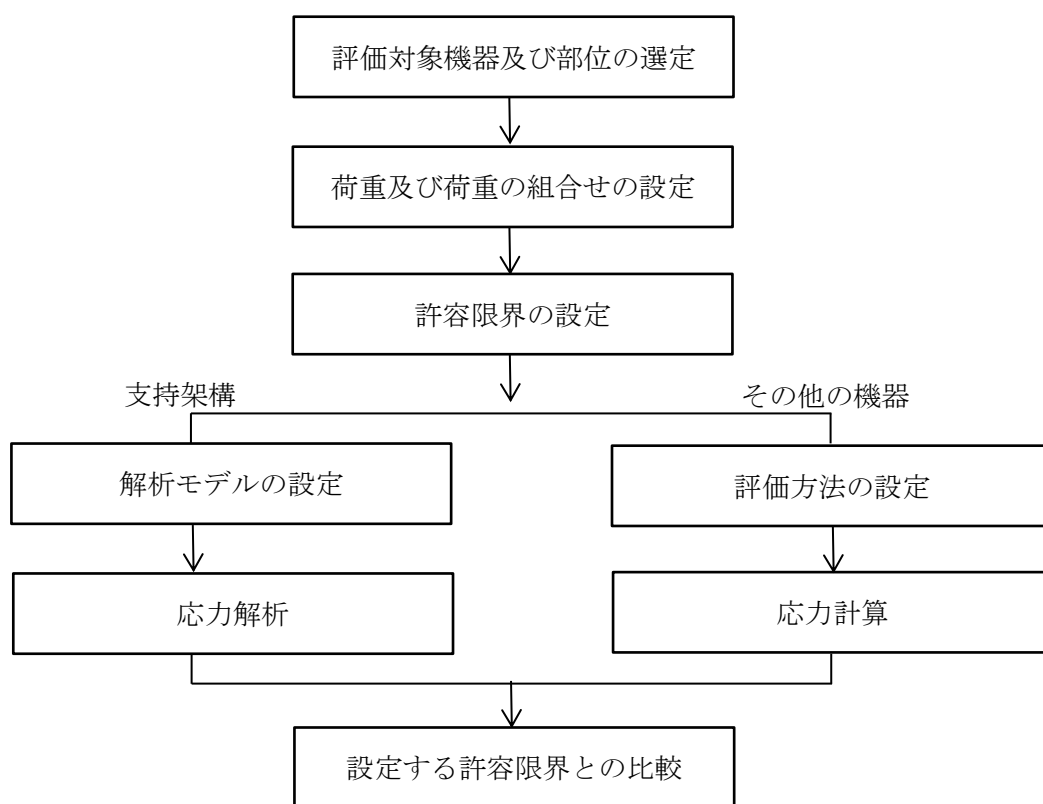
冷却塔の構造強度評価フローを第2.3-1図に示す。

構造強度評価においては、冷却塔に対して、設計荷重（火山）により作用する応力が許容応力以下であることを確認する。構造強度評価では、冷却塔の構造を踏まえ、設計荷重（火山）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

降下火砕物は、積雪と同様に水平部に堆積するものとし、施設の形状を踏まえて堆積面積を設定し、荷重を算出する。

構造強度評価においては、「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示すとおり、FEM解析もしくは評価式を用いて評価対象部位に対する発生荷重及び発生モーメントを算定する。

冷却塔の許容限界は、「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」（(社)日本電気協会）、「原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編 JEAG 4601-補 1984」（(社)日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」（(社)日本電気協会）（以下、「JEAG4601」という。）の許容応力状態Ⅲ_ASとする。



第 2.3-1 図 冷却塔の構造強度評価フロー

2.4 準拠規格

準拠する規格，規準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令・同告示
- ・ 青森県建築基準法施行規則（昭和 36 年 2 月 9 日青森県規則第 20 号）
- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007（（社）日本機械学会）（以下，「JSME」という。）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4604-1991 追補版（（社）日本電気協会）

（参考文献）

- ・ 建築構造設計基準の資料（国土交通省 平成 27 年版）

3. 構造強度評価方法

3.1 評価対象機器の選定

冷却塔の評価対象となる機器は、冷却機能を維持するために必要な機器及び冷却機能を維持するために必要な機器に対し影響を及ぼすおそれのある機器を対象とする。冷却塔における構造強度評価の評価対象機器を第3.1-1表に示す。

第3.1-1表 冷却塔における構造強度評価の評価対象機器

名称	評価対象機器	選定理由
安全冷却水 B冷却塔	支持架構 (基礎ボルト含む)	
	ルーバ	

3.2 評価対象部位の選定

「3.1 評価対象機器の選定」において選定した評価対象機器において、評価対象とする部位を選定する。冷却塔における構造強度評価の評価対象部位を第3.2-1表に示す。

(1) 支持架構（基礎ボルト含む）の評価対象部位

支持架構の評価対象部位は、「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」に示している構造に基づき、設計荷重（火山）の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

支持架構の構造強度評価の評価対象部位は、支持架構を構成する支柱、床はり、2F機械台はり、立面ブレース及び水平ブレースを選定する。

また、基礎ボルトを構造強度評価の評価対象部位として選定する。

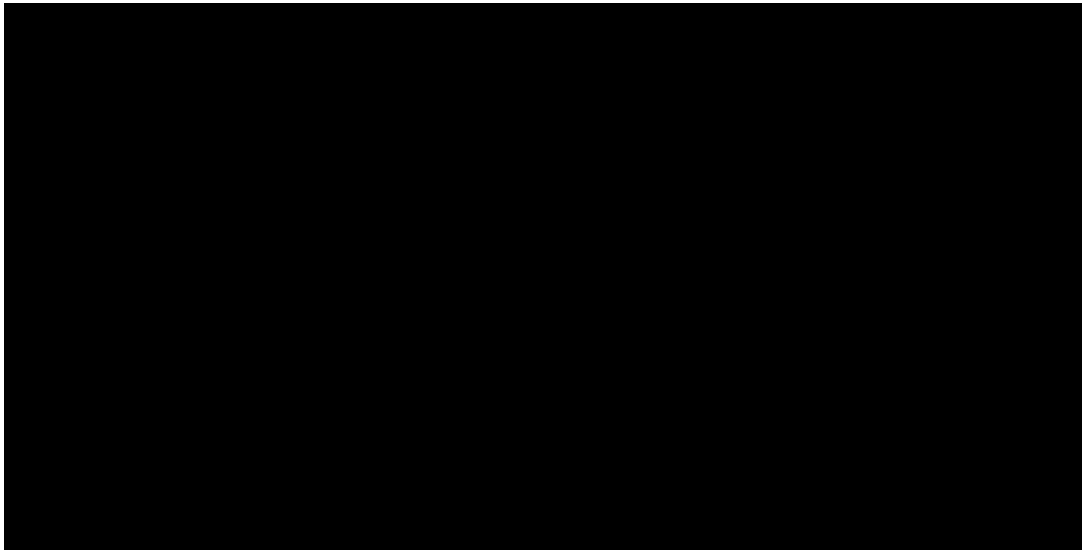
(2) ルーバの評価対象部位

ルーバの概要図を第3.2-1図に示す。

ルーバブレード及びブレードシャフトは、構造強度評価の評価対象部位として選定する。

第 3. 2-1 表 冷却塔における構造強度評価の評価対象部位

名称	評価対象機器	評価対象部位
安全冷却水 B 冷却塔	支持架構 (基礎ボルト含む)	主柱, 床はり, 2F 機械台はり, 立面ブレース, 水平ブレース
		基礎ボルト
	ルーバ	ルーバブレード, ブレードシャフト



第 3. 2-1 図 ルーバ構造図

3.3 記号の定義

冷却塔の構造強度評価に用いる記号を第 3.3-1 表に示す。

第 3.3-1 表 冷却塔の構造強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
F_a	N	はり要素に作用する引張, 圧縮荷重
F_y, F_z	N	はり要素に作用するせん断荷重
F_{bt}	N	基礎ボルトの引張力
F_{bs}	N	基礎ボルトのせん断力
M_y, M_z	N・mm	はり要素に作用する曲げモーメント
M_x	N・mm	はり要素に作用するねじりモーメント
A	mm ²	部材の断面積
A_b	mm ²	ボルトの断面積
A_y, A_z	mm ²	部材の有効せん断断面積
Z, Z_y, Z_z	mm ³	部材の断面係数
Z_p	mm ³	部材のねじり断面係数
F	MPa	JSME SSB-3121.1 により規定される値
f_t	MPa	JSME SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容引張応力
f_s	MPa	JSME SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容せん断応力
f_c	MPa	JSME SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容圧縮応力
f_b	MPa	JSME SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容曲げ応力
f_{to}	MPa	ボルトの許容引張応力
f_{so}	MPa	ボルトの許容せん断応力
σ_t	MPa	支持架構に生じる引張応力
σ_c	MPa	支持架構に生じる圧縮応力
σ_b	MPa	支持架構に生じる曲げ応力
τ	MPa	支持架構に生じるせん断応力
σ_{ao}	MPa	基礎ボルトの引張応力
τ_b	MPa	基礎ボルトのせん断応力
W_L	N	風荷重
q	N/m ²	設計用速度圧
G	—	建設省告示第 1454 号第 3 項の規定によって算出したガスト影響係数

第 3.3-1 表 冷却塔の構造強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
C	—	風力係数（「建築基準法及び同施行令」に基づき設定する。）
A_1	m^2	風の受圧面積
V_D	m/s	基準風速
H	m	建築物の高さと軒の高さとの平均
E'	—	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
E_r	—	建設省告示第 1454 号第 2 項の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表わす係数
Z_b	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値
Z_G	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値
α	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値
V_L	N/m^2	単位面積あたりの降下火砕物堆積による鉛直荷重
L_c	N/m^2	単位面積あたりの除灰時の人員荷重
S_L	N/m^2	単位面積あたりの積雪による鉛直荷重
A_2	m^2	支持架構の降下火砕物の堆積及び積雪する面積
B	m	ルーバブレードの幅
F_{V0}	N	支持架構の降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重
F_{V1}	N	ルーバブレードの降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重
σ_{b1}	MPa	ルーバブレードに生じる曲げ応力
F_1	N/mm	ルーバブレードの単位長さあたりの自重
τ_1	MPa	ブレードシャフトに生じるせん断応力
E	MPa	支持架構部材の縦弾性係数
i, i_y, i_z	mm	断面二次半径
n_a	本	柱脚部 1 ヶ所当たりの基礎ボルトの本数
l	mm	ルーバブレード長さ

3.4 荷重及び荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

冷却塔の構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、部材、配管、耐火被覆等の自重を考慮する。

また、降下火砕物が堆積し、除灰運用が必要な機器については、除灰時の人員荷重として、「建築構造設計基準の資料（国土交通省 平成 27 年版）」における「屋上（通常人が使用しない場合）」の床版計算用積載荷重における 980 N/m^2 を包絡するように $1,000 \text{ N/m}^2$ を荷重として考慮する。なお、評価対象機器のうち、ルーバについては、作業安全の観点からのルーバ上で除灰作業をしないため、ルーバブレード及びブレードシャフトの評価においては、人員荷重は考慮しない。

b. 降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重

単位面積あたりの降下火砕物の堆積による鉛直荷重及び積雪による鉛直荷重は「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)b. 鉛直荷重」に基づき設定する。

(a) 支持架構（基礎ボルト含む）

支持架構の降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重は、以下の式を用いて算出する。

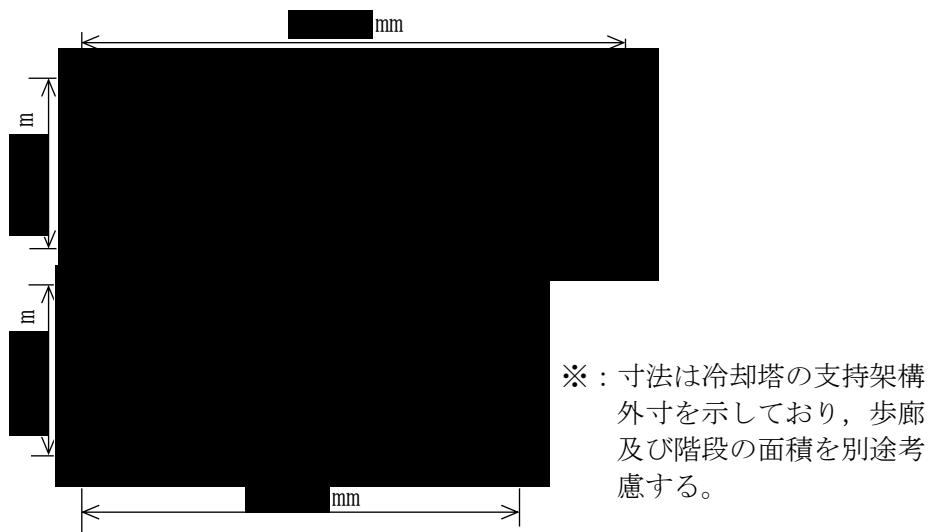
$$F_{v0} = (V_L + S_L) \cdot A_2$$

支持架構の降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重の受圧面積を第 3.4-1 表、受圧部寸法を第 3.4-1 図に示す。



第3.4-1表 支持架構の降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重の受圧面積

名称		評価対象機器	受圧面積 A_2 (m ²)
安全冷却水 B 冷却塔	冬期運転 側ベイ	支持架構 (基礎ボルト含む)	[Redacted]
	冬期休止 側ベイ		



第3. 4-1図 降下火碎物の堆積及び積雪による鉛直荷重の受圧部寸法

(b) ルーバ

ルーバの降下火碎物の堆積及び積雪による鉛直荷重は，以下の式を用いて算出する。

$$F_{v1} = \frac{(V_L + S_L) \cdot B \cdot \ell}{1000}$$



c. 風（台風）による水平荷重

風（台風）による水平荷重は、基準風速 34m/s に基づき設定する。

風（台風）による水平荷重は「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. 水平荷重」に示す式に従い、冷却塔の形状を考慮して算出する。

$$W_L = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで、

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H/Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合})$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b/Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ 以下の場合})$$

支持架構の風（台風）による水平荷重の受圧面積及び風力係数を第 3.4-2 表、受圧部寸法を第 3.4-2 図、第 3.4-3 図に示す。

風力係数については、冷却塔の構造の形状を踏まえ、「建設省告示 1454 号」に基づき設定する。

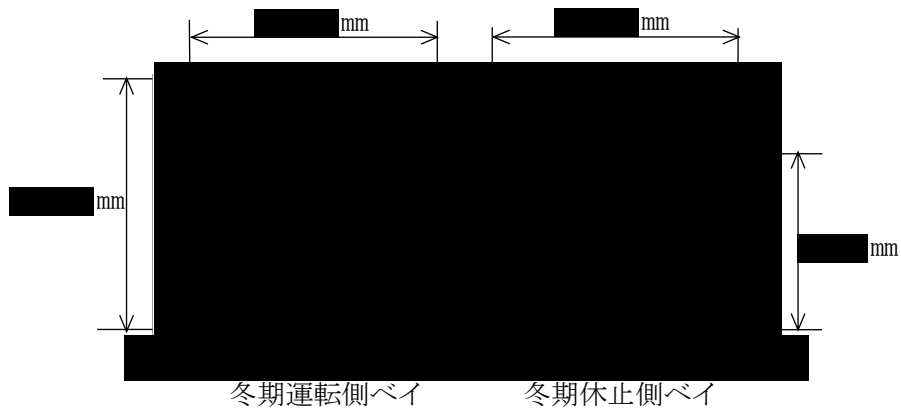
ガスト影響係数 (G) は、「建設省告示 1454 号」において高さが 10m 以下の場合 2.2、40m 以上の場合 2.0、10m を超え 40m 未満の場合は直線的に補間した数値とする

とされていることから、

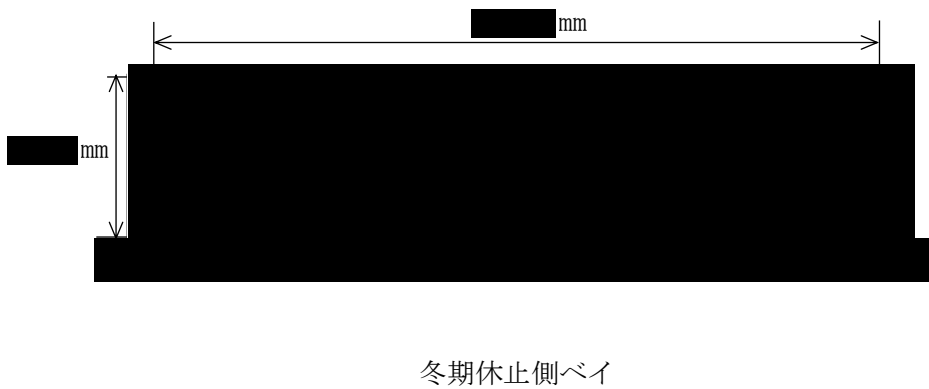
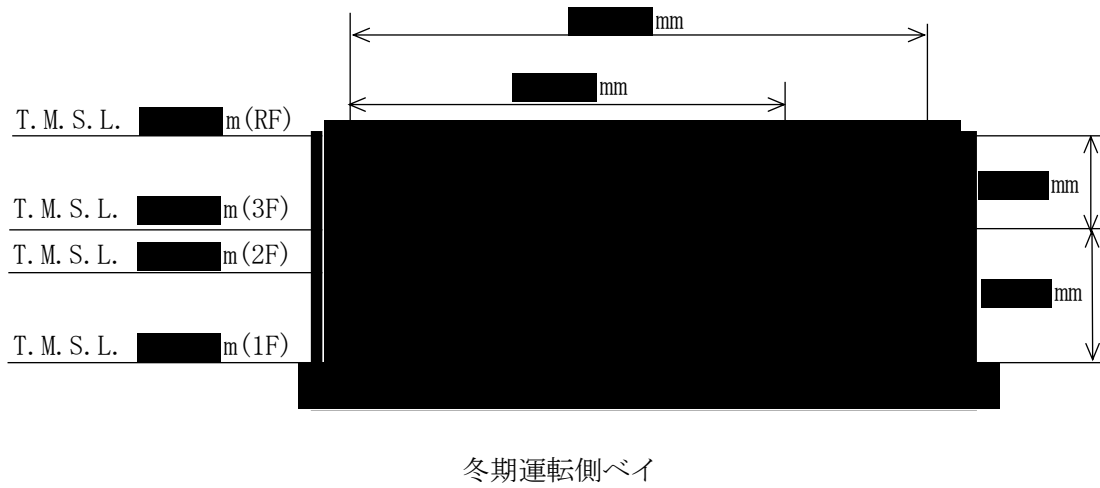
とする。

第3.4-2表 風（台風）による水平荷重の受圧面積及び風力係数

名称		評価対象機器	標高 T. M. S. L. (m)	風力係数 C(-)		受圧面積 A ₁ (m ²)	
				NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
安全冷却水 B 冷却塔	冬期運転 側ベイ	支持架構 (基礎ボルト含む)					
	冬期休止 側ベイ						



第 3.4-2 図 風（台風）による水平荷重（EW 方向）の受圧部寸法



第 3.4-3 図 風（台風）による水平荷重（NS 方向）の受圧部寸法

(2) 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、冷却塔の評価対象部位ごとに設定する。冷却塔の構造強度評価にて考慮する荷重の組合せを第 3.4-3 表に示す。

第 3.4-3 表 荷重の組合せ

名称	評価対象機器	評価対象部位	考慮する荷重
安全冷却水 B 冷却塔	支持架構 (基礎ボルト含む)	主柱, 床はり, 2F 機械台はり, 立面ブレース, 水平ブレース	[Redacted]
		基礎ボルト	
	ルーバ	ルーバブレード, ブレードシャフト	

3.5 許容限界

冷却塔の許容限界は、「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ、「3.2 評価対象部位の選定」にて選定した評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、JEAG4601 に基づき許容応力状態Ⅲ_AS の許容応力を用いる。

冷却塔の許容限界は、JEAG4601 を準拠し、「その他支持構造物」を適用する。設計荷重（火山）に対して、当該施設に要求される機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ_AS から算出した以下の許容応力を許容限界とする。

[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]

安全冷却水 B 冷却塔の許容限界を第 3.5-1 表に示す。

第3.5-1表 許容限界

許容応力状態	許容限界 (ボルト以外)				許容限界 (ボルト)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
Ⅲ _A S	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]

注記

[Redacted]
[Redacted]

3.6 評価方法

冷却塔のうち支持架構の応力評価は、「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している FEM を用いた解析法により行う。

冷却塔のうちルーバブレード及びブレードシャフトの応力評価は、評価式を用いて行う。その際、

(1) 支持架構及び基礎ボルトの評価方法

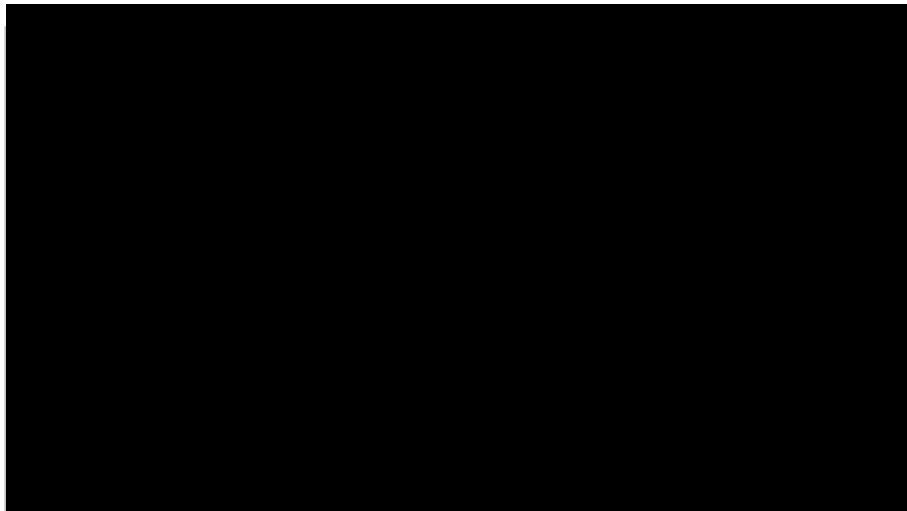
a. 計算モデル

(a) 安全冷却水 B 冷却塔のモデル

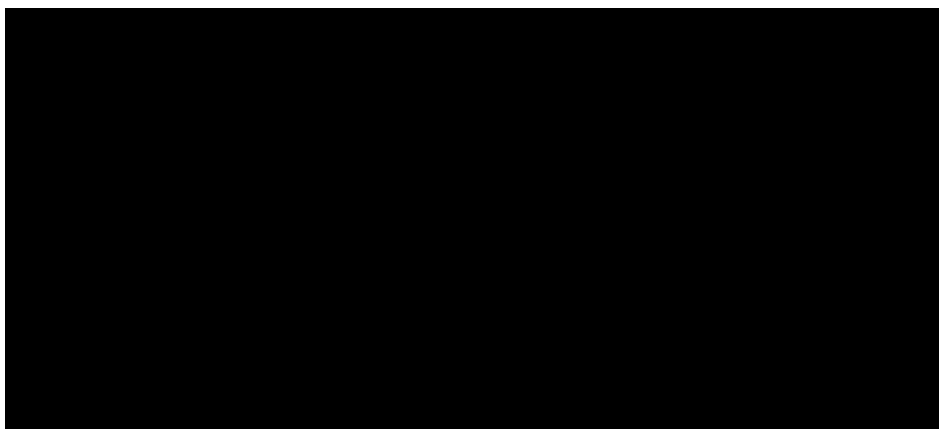
安全冷却水 B 冷却塔の計算モデルを第 3.6-1 図、第 3.6-2 図に、計算モデルの諸元を第 3.6-1 表に示す。

支持架構の構成部材及び基礎ボルトに発生する荷重及び発生モーメントは、FEM 解析を用いて算定する。

FEM 解析に用いる解析コード「MSC NASTRAN (ver. 2008.0.4)」の検証及び妥当性確認等の概要については「VI-1-6 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。



第 3.6-1 図 安全冷却水B冷却塔の計算モデル（冬期運転側ベイ）



第 3.6-2 図 安全冷却水B冷却塔の計算モデル（冬期休止側ベイ）

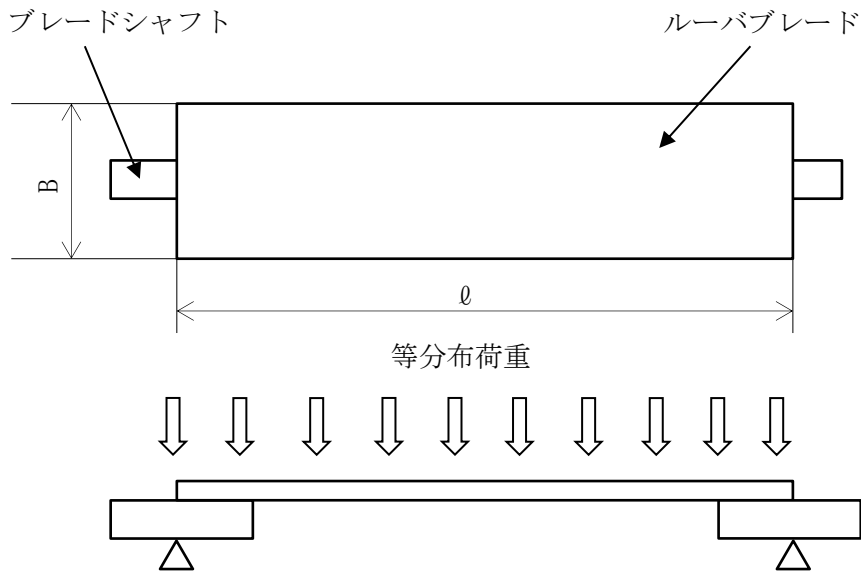
第 3.6-1 表 安全冷却水B冷却塔の計算モデル諸元

計算モデル	節点数	要素数
安全冷却水B冷却塔 冬期運転側ベイ	■	■
安全冷却水B冷却塔 冬期休止側ベイ	■	■

(2) ルーバブレード及びブレードシャフトの評価方法

安全冷却水B冷却塔のうち、ルーバブレード及びブレードシャフトの計算モデルを第 3.6-3 図に示す。

ルーバブレード及びブレードシャフトは単純支持はりとして評価する。



第 3.6-3 図 ルーバブレード及びブレードシャフトの計算モデル

(3) 計算方法

a. 支持架構に生じる応力

(a) 引張応力

支持架構に生じる引張応力 σ_t は次式より算出される。

$$\sigma_t = \frac{F_a}{A}$$

(b) 圧縮応力

支持架構に生じる圧縮応力 σ_c は次式より算出される。

$$\sigma_c = \frac{F_a}{A}$$

(c) 曲げ応力

支持架構に生じる曲げ応力 σ_b は次式より算出される。

$$\sigma_b = \frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z}$$

(d) せん断応力

支持架構に生じるせん断応力 τ は次式より算出される。

$$\tau = \frac{F_y}{A_y} + \frac{F_z}{A_z} + \frac{M_x}{Z_P}$$

(e) 組合せ応力

支持架構に生じる組合せ応力のうち、引張+曲げ応力は次式より算出される。

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5f_t} \leq 1.0$$

支持架構に生じる組合せ応力のうち、圧縮+曲げ応力は次式より算出される。

$$\frac{\sigma_c}{1.5f_c} + \frac{\sigma_b}{1.5f_b} \leq 1.0$$

b. 基礎ボルトに生じる応力

(a) 引張応力

基礎ボルトに生じる引張応力 σ_{a0} は次式より算出される。

$$\sigma_{a0} = \frac{F_{bt}}{A_b \cdot n_a}$$

(b) せん断応力

基礎ボルトに生じるせん断応力 τ_b は次式より算出される。

$$\tau_b = \frac{F_{bs}}{A_b \cdot n_a}$$

c. ルーバブレード及びブレードシャフトに生じる応力

(a) 曲げ応力 (ルーバブレード)

ルーバブレードに生じる曲げ応力 σ_{b1} は次式より算出される。

$$\sigma_{b1} = \frac{(F_{v1} + F_l \cdot \ell) \cdot \ell}{8 \cdot Z}$$

(b) せん断応力 (ブレードシャフト)

ブレードシャフトに生じるせん断応力 τ_1 は次式より算出される。

$$\tau_1 = \frac{F_{v1} + F_l \cdot \ell}{2 \cdot A}$$

4. 評価条件

4.1 安全冷却水B冷却塔の評価条件

「3. 構造強度評価方法」に用いる評価条件を第4.1-1表から第4.1-8表に示す。

第4.1-1表 評価条件（支持架構冬期運転側ベイ）

q (N/m ²)	G (-)	V _D (m/s)	H (m)	Z _b (m)	Z _G (m)	α (-)
--------------------------	----------	-------------------------	----------	-----------------------	-----------------------	----------

C (-)		A ₁ (m ²)	
NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向

注記 *1: 標高 T. M. S. L. [] m の値を示す。

*2: 標高 T. M. S. L. [] m の値を示す。

V _L (N/m ²)	L _c (N/m ²)	S _L (N/m ²)	A ₂ (m ²)
---------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	-------------------------------------

第4.1-2表 評価条件（支持架構冬期休止側ベイ）

q (N/m ²)	G (-)	V _D (m/s)	H (m)	Z _b (m)	Z _G (m)	α (-)
--------------------------	----------	-------------------------	----------	-----------------------	-----------------------	----------

C (-)		A ₁ (m ²)	
NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向

V _L (N/m ²)	L _c (N/m ²)	S _L (N/m ²)	A ₂ (m ²)
---------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	-------------------------------------

第4.1-3表 評価条件（ルーバブレード及びブレードシャフト）

V _L (N/m ²)	S _L (N/m ²)	B (m)	F ₁ (N/mm)
---------------------------------------	---------------------------------------	----------	--------------------------

第 4.1-4 表 評価条件 (支持架構 (冬期運転側ベイ))

部 材	断面形状	材 料	A (mm ²)	Z (mm ³)		i (mm)		E (MPa)	F (MPa)
				Z _y	Z _z	i _y	i _z		
主 柱									
床 はり									
2F 機械台はり									
立面ブレース									
水平ブレース									

23

第 4.1-5 表 評価条件 (基礎ボルト (冬期運転側ベイ))

材 料	A _b (mm ²)	n _a (本)	F (MPa)

第 4.1-6 表 評価条件 (支持架構 (冬期休止側ベイ))

部 材	断面形状	材 料	A (mm ²)	Z (mm ³)		i (mm)		E (MPa)	F (MPa)
				Z _y	Z _z	i _y	i _z		
主 柱									
床 はり									
2F 機械台はり									
立面ブレース									
水平ブレース									

第 4.1-7 表 評価条件 (基礎ボルト (冬期休止側ベイ))

材 料	A _b (mm ²)	n _a (本)	F (MPa)

第 4.1-8 表 評価条件 (ルーバブレード及びブレードシャフト)

部 材	材 料	B(m)	φ (mm)	A(mm ²)	Z (mm ³)	F (MPa)
ルーバブレード						
ブレードシャフト						

5. 評価結果

5.1 安全冷却水 B 冷却塔の評価結果

降下火砕物等の堆積時の構造強度評価結果を第 5.1-1 表から第 5.1-5 表に示す。
 支持架構, 基礎ボルト, ルーバブレード及びブレードシャフトに発生する応力は,
 許容応力以下である。

第 5.1-1 表 支持架構（冬期運転側ベイ）の構造強度評価結果

評価対象 部位	応力分類	発生応力*1*2 (MPa)	許容応力*2 (MPa)	応力比*3
支柱	引張			
	圧縮			
	せん断			
	曲げ			
	組合せ(引張+曲げ)			
	組合せ(圧縮+曲げ)			
床はり	引張			
	圧縮			
	せん断			
	曲げ			
	組合せ(引張+曲げ)			
	組合せ(圧縮+曲げ)			
2F機械台 はり	引張			
	圧縮			
	せん断			
	曲げ			
	組合せ(引張+曲げ)			
	組合せ(圧縮+曲げ)			
立面 ブレース	引張			
	圧縮			
	せん断			
	曲げ			
	組合せ(引張+曲げ)			
	組合せ(圧縮+曲げ)			
水平 ブレース	引張			
	圧縮			
	せん断			
	曲げ			
	組合せ(引張+曲げ)			
	組合せ(圧縮+曲げ)			

注記 *1 : 組合せについては応力比を記載

注記 *2 : 組合せについては応力比で評価を行うため単位なし

注記 *3 : 応力比=発生応力/許容応力

第 5.1-2 表 支持架構（冬期休止側ベイ）の構造強度評価結果

評価対象 部位	応力分類	発生応力*1*2 (MPa)	許容応力*2 (MPa)	応力比*3
主柱	引張			
	圧縮			
	せん断			
	曲げ			
	組合せ(引張+曲げ)			
	組合せ(圧縮+曲げ)			
床はり	引張			
	圧縮			
	せん断			
	曲げ			
	組合せ(引張+曲げ)			
	組合せ(圧縮+曲げ)			
2F機械台 はり	引張			
	圧縮			
	せん断			
	曲げ			
	組合せ(引張+曲げ)			
	組合せ(圧縮+曲げ)			
立面 ブレース	引張			
	圧縮			
	せん断			
	曲げ			
	組合せ(引張+曲げ)			
	組合せ(圧縮+曲げ)			
水平 ブレース	引張			
	圧縮			
	せん断			
	曲げ			
	組合せ(引張+曲げ)			
	組合せ(圧縮+曲げ)			

注記 *1 : 組合せについては応力比を記載

注記 *2 : 組合せについては応力比で評価を行うため単位なし

注記 *3 : 応力比=発生応力/許容応力

第 5.1-3 表 基礎ボルト（冬期運転側ベイ）の構造強度評価結果

評価対象 部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比* ¹
基礎ボルト	引張			
	せん断			

注記 * 1 : 応力比=発生応力/許容応力

第 5.1-4 表 基礎ボルト（冬期休止側ベイ）の構造強度評価結果

評価対象 部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比* ¹
基礎ボルト	引張			
	せん断			

注記 * 1 : 応力比=発生応力/許容応力

第 5.1-5 表 ルーバブレード及びブレードシャフトの構造強度評価結果

評価対象 部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比* ¹
ルーバブレード	曲げ			
ブレードシャフト	せん断			

注記 * 1 : 応力比=発生応力/許容応力

VI-1-1-1-3-4-2-6

飛来物防護ネットの強度計算書

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	8
2.4 準拠規格	9
3. 構造強度評価方法	10
3.1 評価対象部位の選定	10
3.2 記号の定義	11
3.3 荷重及び荷重の組合せ	13
3.4 許容限界	18
3.5 評価方法	19
4. 評価条件	22
4.1 飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）の 評価条件	22
5. 評価結果	24
5.1 飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）の 評価結果	24

1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、評価対象施設である飛来物防護ネットに設計荷重（火山）が作用することにより、降下火砕物防護対象施設である冷却塔に対して波及的影響を与えないよう、飛来物防護ネットの主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

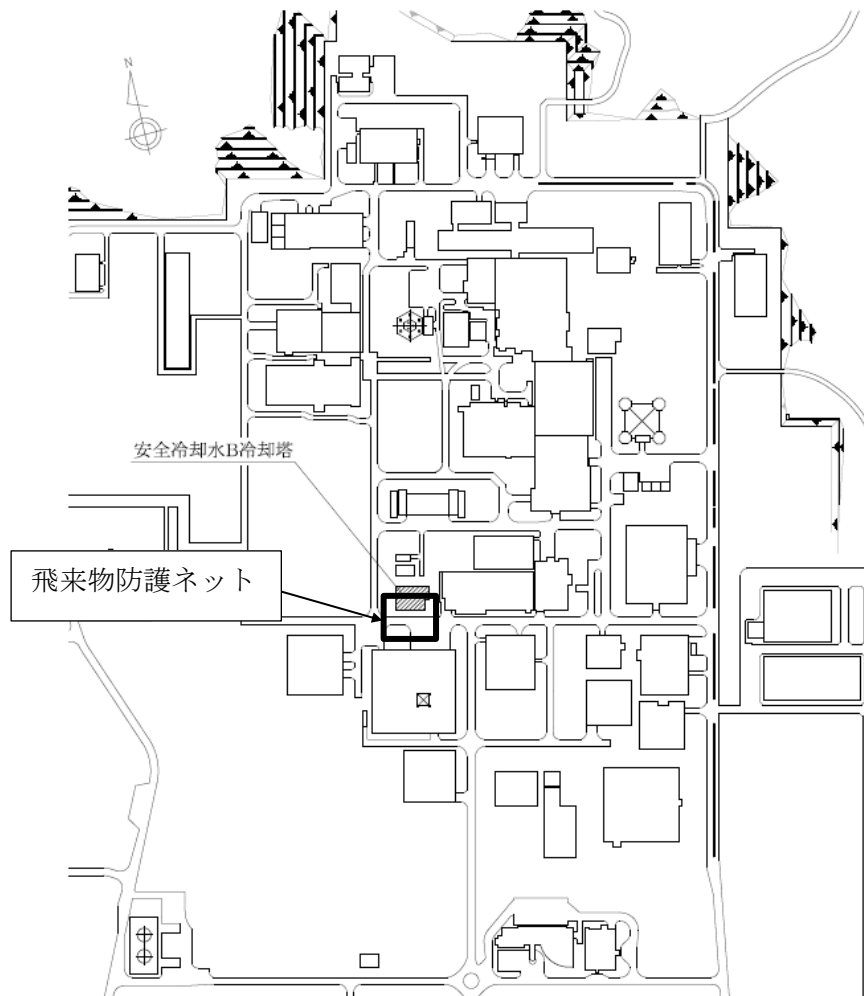
2. 基本方針

飛来物防護ネットは、「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造設計を踏まえ、「2.1 位置」、「2.2 構造概要」を示す。

2.1 位置

飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）の設置位置は、降下火砕物防護対象施設である安全冷却水B冷却塔の周囲に設置している。

飛来物防護ネットの配置図を第2.1-1図に示す。



第2.1-1図 飛来物防護ネットの配置図

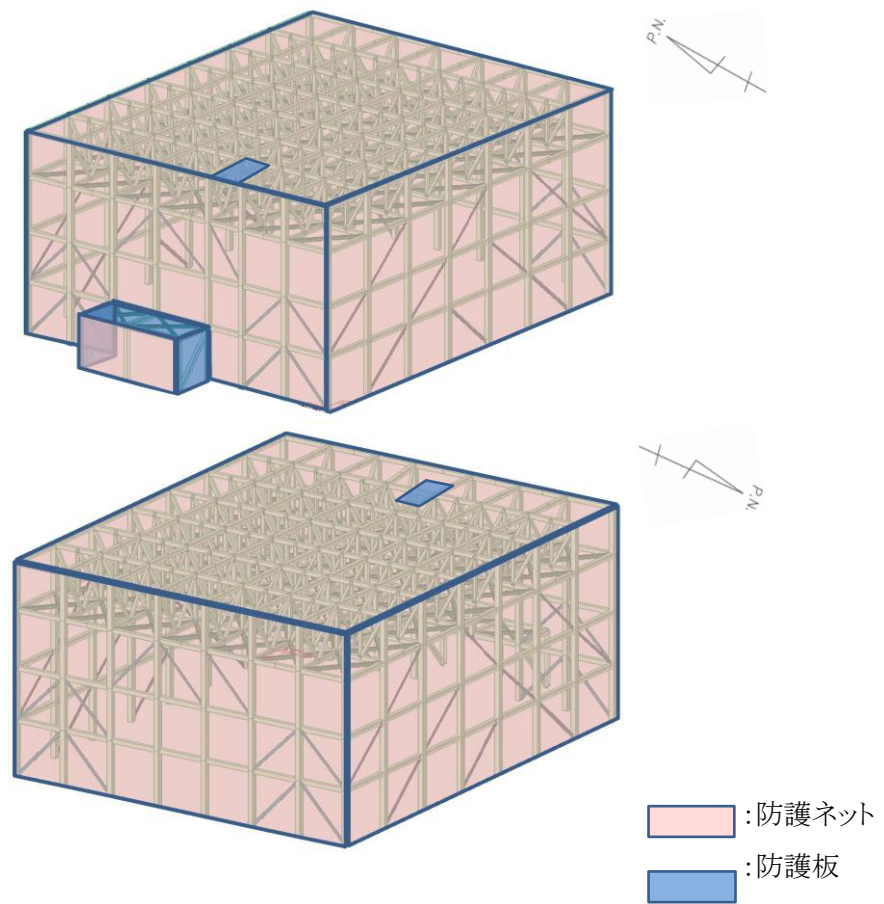
2.2 構造概要

飛来物防護ネットは、「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造設計を踏まえて設計する。

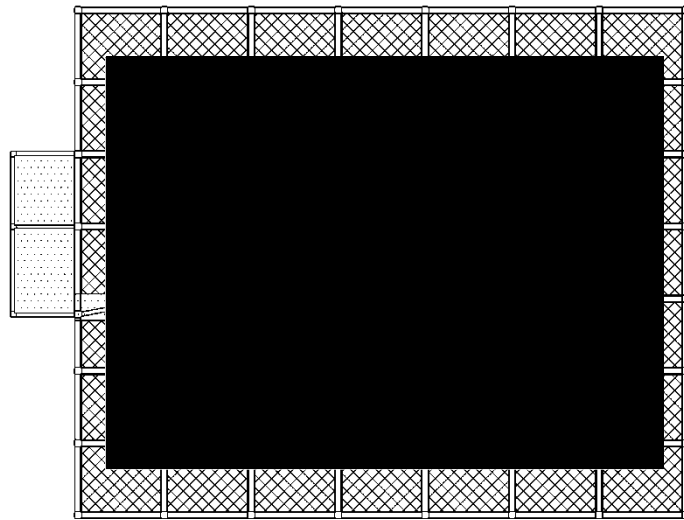
飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）の構造概要飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）は、竜巻防護対象施設を竜巻による飛来物から防護するための設備であり、防護ネット、防護板とそれらを支える支持架構によって構成される。支持架構は、柱、はり及びブレースによって構成されるラーメン・トラス構造であり、溶接又はボルトにより接合される鉄骨構造物である。また、飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）は杭基礎を介して支持地盤である鷹架層に支持される構造としている。

設計荷重（火山）のうち、降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重及び風（台風）による水平荷重を直接受ける据付位置より上部の全景を第 2.2-1 図、概要図を第 2.2-2 図に示す。

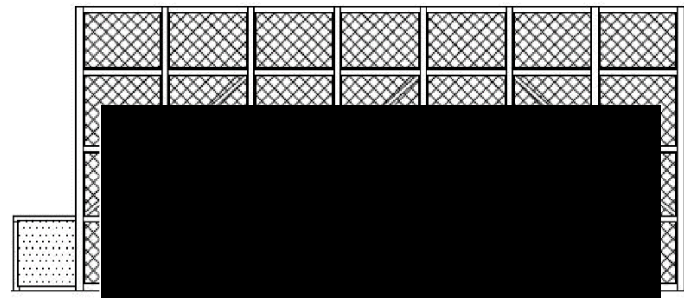
飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）が降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重を受けることを想定する面の状態図を第 2.2-3 図、飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）が風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面の状態図を第 2.2-4 図に示す。



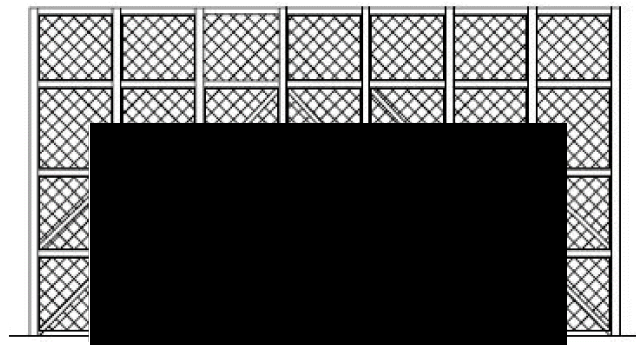
第2.2-1図 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の全景





(a) 上面図



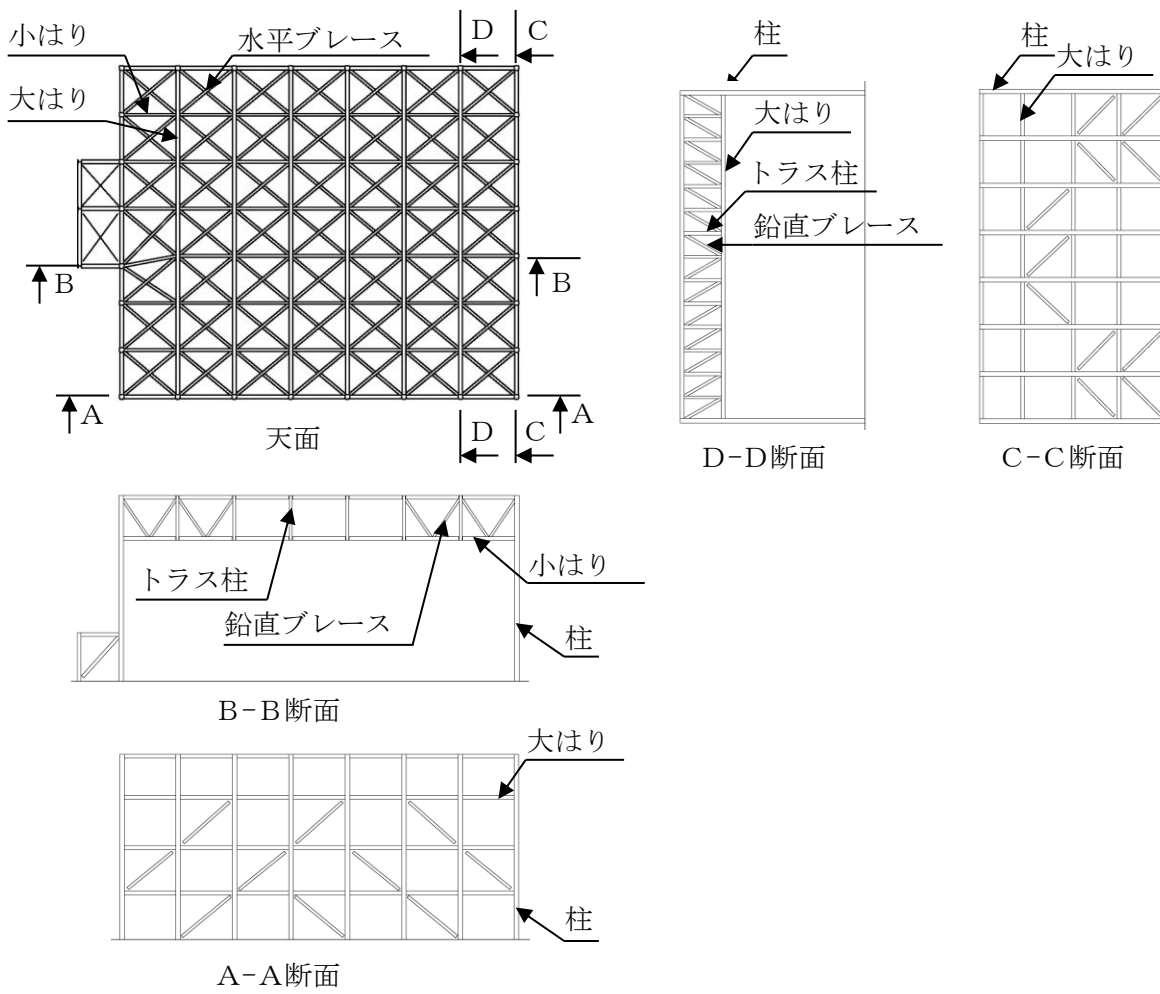
(b) 側面図 (南面)



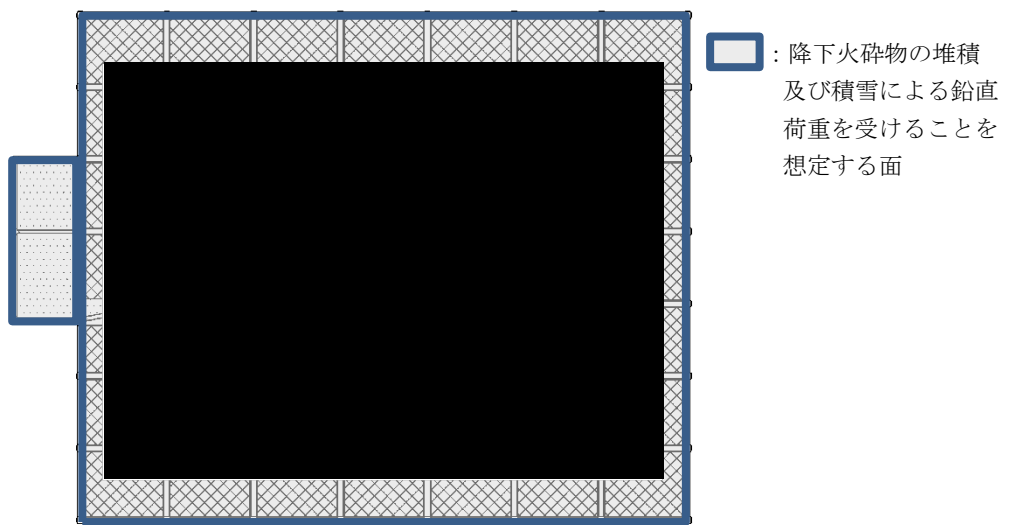
(c) 側面図 (東面)

 :防護ネット
  :防護板

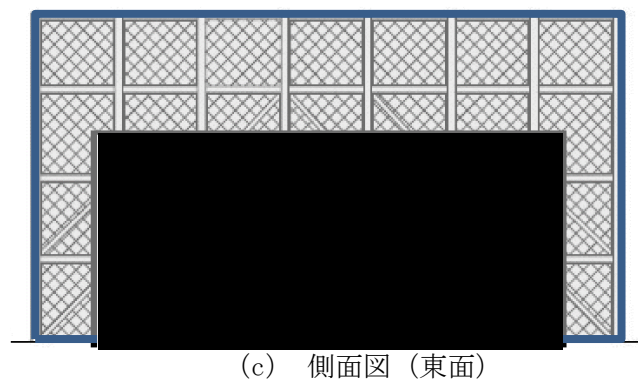
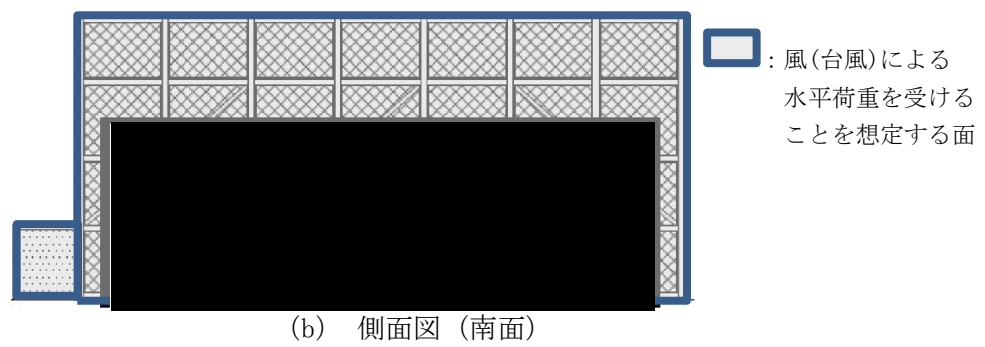
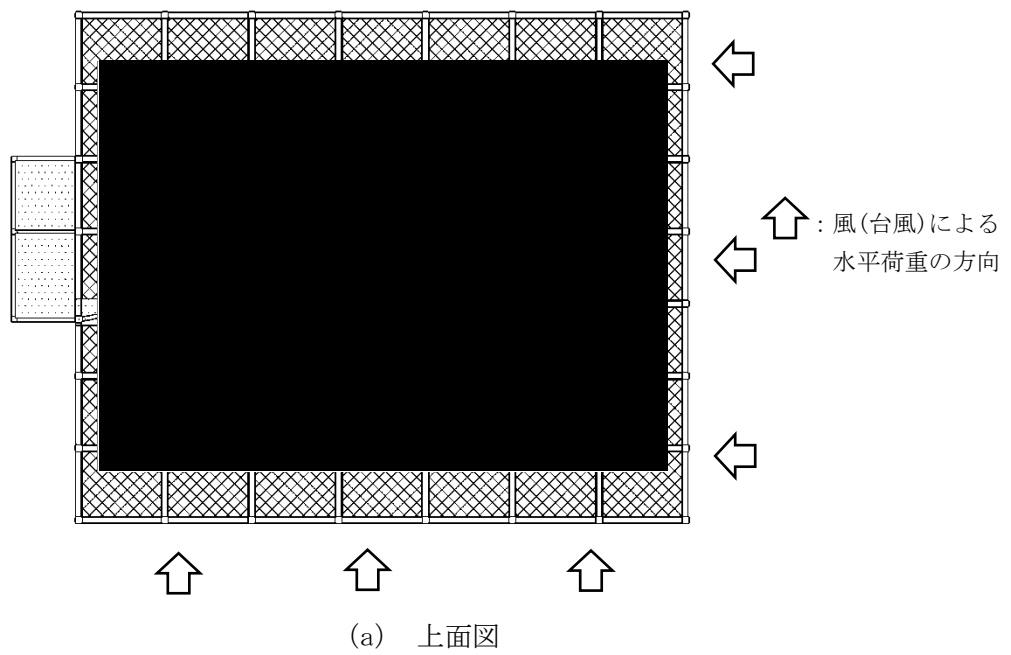
第2.2-2図 飛来物防護ネット (再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B) の概要図 (1/2)



第2.2-2図 飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）の概要図（2/2）



第 2.2-3 図 降下火碎物の堆積及び積雪による鉛直荷重を受けることを想定する面の状態図



第 2.2-4 図 風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面の状態図

2.3 評価方針

飛来物防護ネットの構造強度評価は、「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、飛来物防護ネットの評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「3. 構造強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 評価結果」にて確認する。

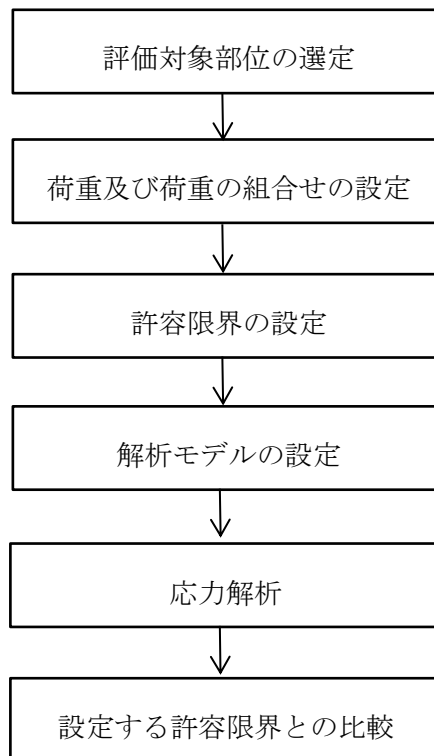
飛来物防護ネットの構造強度評価フローを第2.3-1図に示す。

構造強度評価においては、飛来物防護ネットに対して、設計荷重（火山）により作用する応力が許容応力以下であることを確認する。構造強度評価では、飛来物防護ネットの構造を踏まえ、設計荷重（火山）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

降下火砕物は、積雪と同様に水平部に堆積するものとし、施設の形状を踏まえて堆積面積を設定し、荷重を算出する。

構造強度評価においては、「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示すとおり、FEM解析を用いて評価対象部位に対する発生荷重及び発生モーメントを算定する。

飛来物防護ネットの許容限界は「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（社）日本建築学会，2005」の短期許容応力とする。



第 2.3-1 図 飛来物防護ネットの構造強度評価フロー

2.4 準拠規格

準拠する規格，基準，指針等を以下に示す。

- 建築基準法・同施行令・同告示
- 青森県建築基準法施行規則（昭和36年2月9日青森県規則第20号）
- 建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004）
- 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書
（国土交通省国土技術政策総合研究所 国立研究開発法人建築研究所，2015）
- 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005）

（参考文献）

- 建築構造設計基準の資料（国土交通省 平成27年版）

3. 構造強度評価方法

3.1 評価対象部位の選定

飛来物防護ネットの評価対象部位は、「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」に示している構造に基づき、設計荷重（火山）の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

設計荷重（火山）は、飛来物防護ネットの支持架構全体に作用する。このことから、支持架構の構造強度評価の評価対象部位は、支持架構を構成する柱、大はり、小はり、トラス柱、鉛直ブレース及び水平ブレースを選定する。

飛来物防護ネットの構造強度評価における評価対象部位を第 3.1-1 表に示す。

第 3.1-1 表 飛来物防護ネットの評価対象部位

名称	評価対象	評価対象部位
飛来物防護ネット (再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B)	支持架構	柱, 大はり, 小はり, トラス柱, 鉛直ブレース, 水平ブレース

3.2 記号の定義

飛来物防護ネットの構造強度評価に用いる記号を第3.2-1表に示す。

第3.2-1表 構造強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
A_1	m^2	受風面積
C	—	風力係数
E'	—	建築基準法施行令第87条第2項に規定する数値
E_r	—	建設省告示第1454号第2項の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表わす係数
f_b	MPa	曲げに対する許容限界
f_{b_x}	MPa	X軸廻り曲げに対する短期許容応力
f_{b_y}	MPa	Y軸廻り曲げに対する短期許容応力
f_c	MPa	圧縮に対する短期許容応力
f_s	MPa	せん断に対する短期許容応力
f_t	MPa	引張に対する短期許容応力
G	—	建設省告示第1454号第3項の規定によって算出したガスト影響係数
H	m	建築物の高さと軒の高さとの平均
q	N/m^2	設計用速度圧
V_D	m/s	基準風速
W_L	N	風荷重
Z_b	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値
Z_G	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値
α	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値
σ_b	MPa	部材の曲げ応力
σ_{b_x}	MPa	部材のX軸廻り曲げ応力
σ_{b_y}	MPa	部材のY軸廻り曲げ応力

第3.2-1表 構造強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
σ_c	MPa	部材の圧縮軸応力
σ_t	MPa	部材の引張軸応力
τ_s	MPa	部材のせん断応力
V_L	N/m ²	単位面積あたりの降下火砕物堆積による鉛直荷重
S_L	N/m ²	単位面積あたりの積雪による鉛直荷重
A_2	m ²	降下火砕物の堆積及び積雪する面積
F_{V0}	N	降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重
L_c	N/m ²	単位面積あたりの除灰時の人員荷重
F_t	N	部材に作用する引張荷重
F_c	N	部材に作用する圧縮荷重
M_x	N・mm	部材に作用するX軸廻りの曲げモーメント
M_y	N・mm	部材に作用するY軸廻りの曲げモーメント
Q_x	N	部材に作用するせん断荷重
Q_y	N	部材に作用するせん断荷重
A	mm ²	引張荷重, 圧縮荷重に対する部材の断面積
Z_x	mm ³	部材のX軸廻りの断面係数
Z_y	mm ³	部材のY軸廻りの断面係数
A_{SX}	mm ²	部材のX軸方向のせん断力に対する断面積
A_{SY}	mm ²	部材のY軸方向のせん断力に対する断面積

3.3 荷重及び荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

飛来物防護ネットの構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 常時作用する荷重

常時作用する荷重は、支持架構、防護ネット、防護板等の自重を考慮する。

また、降下火砕物が堆積し、除灰運用が必要な部位については、除灰時の人員荷重として、「建築構造設計基準の資料（国土交通省 平成27年版）」における「屋上（通常人が使用しない場合）」の床版計算用積載荷重における980 N/m²を包絡するように1,000 N/m²を荷重として考慮する。

b. 降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重

単位面積あたりの降下火砕物の堆積による鉛直荷重及び積雪による鉛直荷重は「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 (3) b. 鉛直荷重」に基づき設定する。

降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重は、以下の式を用いて算出する。

$$F_{v0} = (V_L + S_L) \cdot A_2$$

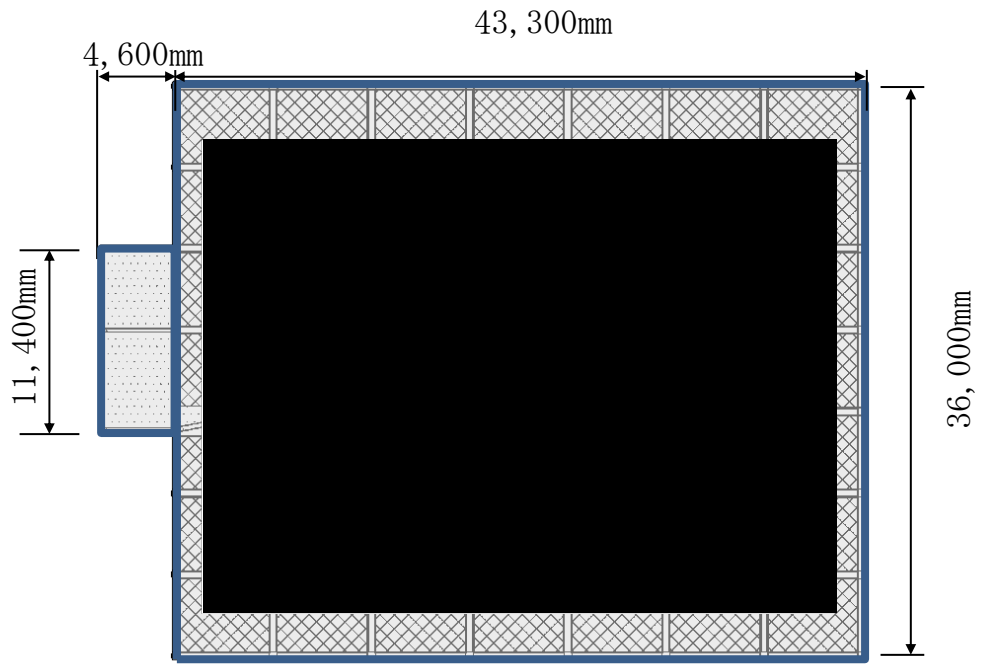
支持架構の降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重の受圧面積を第3.3-1表、受圧部寸法を第3.3-1図に示す。


支持架構の受圧面積の設定については、堆積することが想定される飛来物防護ネットの投影面を降下火砕物及び積雪による鉛直荷重が作用する範囲とし設定する。

なお、防護ネットについても堆積する受圧面積として考慮する。

第3.3-1表 降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重の受圧面積

名称	評価対象	受圧面積 A ₂ (m ²)
飛来物防護ネット (再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)	支持架構	1,647.08



 : 受圧面積

注記 * : 寸法は芯々を示しており，外周大はりの半幅分の面積を別途考慮する。

第3.3-1図 降下火碎物の堆積及び積雪による鉛直荷重の受圧部寸法

c. 風（台風）による水平荷重

風（台風）による水平荷重は、基準風速 34m/s に基づき設定する。

風（台風）による水平荷重は「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 (3) c. 水平荷重」に示す式に従い、飛来物防護ネットの形状を考慮して算出する。

$$W_L = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで、

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_b^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H/Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合})$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b/Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ 以下の場合})$$

支持架構の風（台風）による水平荷重の受圧面積及び風力係数を第 3.3-2 表、受圧部寸法を第 3.3-2 図、第 3.3-3 図に示す。

支持架構の受圧面積の設定については、飛来物防護ネットの全ての部材に風（台風）による水平荷重が作用することから、飛来物防護ネットのすべての部材を受圧面積として設定する。なお、防護ネット、防護板、支持架構部材の交差部では受圧面積を重複させている。

風力係数については、飛来物防護ネットの構造の形状を踏まえ、防護ネット及び防護板は「建設省告示 1454 号」、支持架構は「建築物荷重指針・同解説（2004）」に基づき設定する。

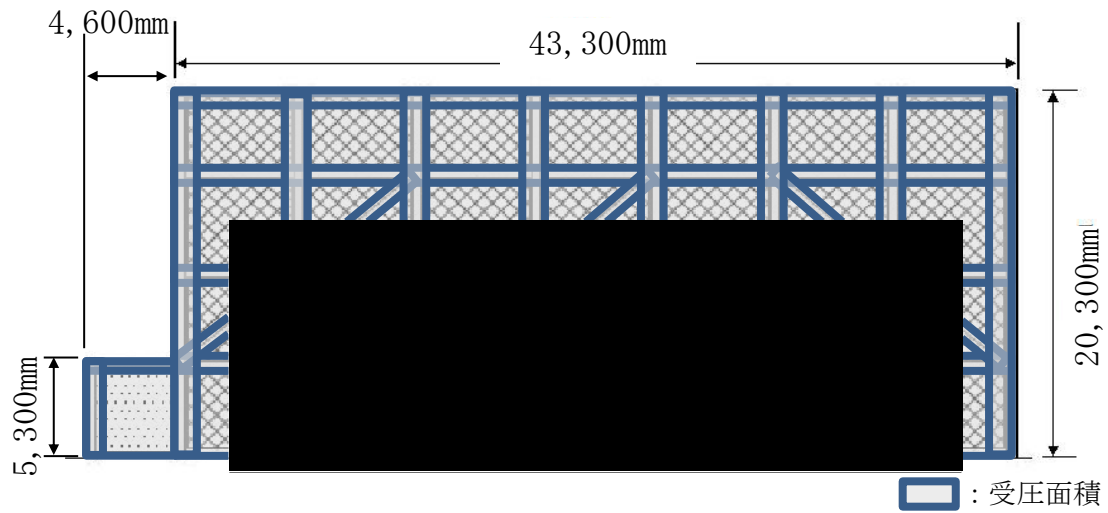
ガスト影響係数 (G) は、「建設省告示 1454 号」において高さが 10m 以下の場合 2.2、40m 以上の場合 2.0、10m を超え 40m 未満の場合は直線的に補間した数値とするとされていることから、高さ 20.3m に相当する 2.13 とする。

第3.3-2表 風（台風）による水平荷重の受圧面積及び風力係数

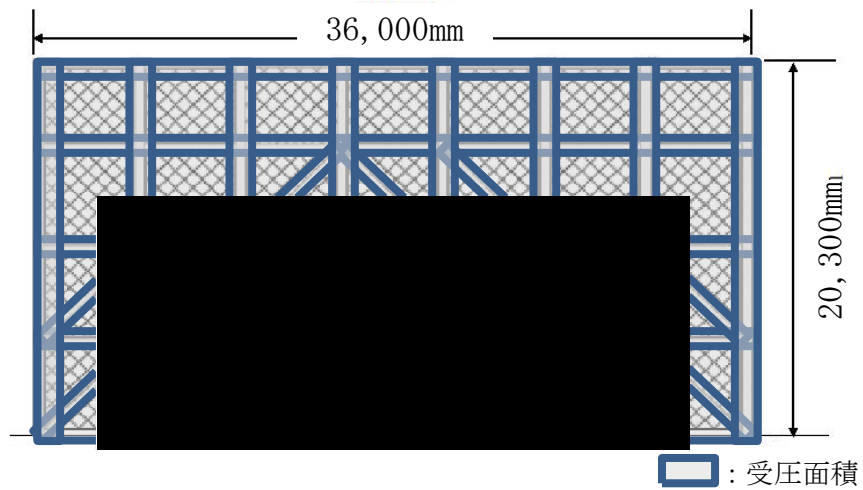
名称	評価対象	受圧面積を考慮する部材	風力係数*2 C (-)	受圧面積 A ₁ (m ²)	
				NS方向	EW方向
飛来物防護ネット (再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)	支持架構	防護ネット	1.4	1,758.0	1,461.6
		防護板*2	1.2	48.8	-
		支持架構 (座屈拘束ブレース以外)	2.1	1,503.2	1,397.8
		支持架構 (座屈拘束ブレース)	1.2	100.0	96.0

注記 *1：柱，はりの表面を覆う防護板の受圧面積は支持架構（座屈拘束ブレース以外）に含める。

注記 *2：NS方向，EW方向共に同じ値



第3.3-2図 風（台風）による水平荷重（NS方向）の受圧部寸法



第3.3-3図 風（台風）による水平荷重（EW方向）の受圧部寸法

(2) 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、飛来物防護ネットの評価対象部位ごとに設定する。飛来物防護ネットの構造強度評価にて考慮する荷重の組合せを第3.3-3表に示す。

第3.3-3表 荷重の組合せ

名称	評価対象	評価対象部位	考慮する荷重
飛来物防護ネット (再処理設備本体 用 安全冷却水系 冷却塔B)	支持架構	柱, 大はり, 小はり, トラス柱, 鉛直ブレース, 水平ブレース	<ul style="list-style-type: none">・ 常時作用する荷重・ 降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重・ 風 (台風) による水平荷重

3.4 許容限界

飛来物防護ネットの許容限界は、「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ、「3.1評価対象部位の選定」にて選定した評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（社）日本建築学会，2005）」の短期許容応力を用いる。

飛来物防護ネットに使用している鋼材の許容応力を第3.4-1表に示す。

第3.4-1表 鋼材の許容限界

種類	F値 (MPa)	短期許容応力		
		引張及び曲げ	圧縮	せん断
SN490B	325	325	—*1	187
BCP325	325	325	—*1	187
G385	325*2	325	—*1	187

注記 *1：部材長さに応じて算出

注記 *2：G385の基準強度は385MPaであるが，保守的に325MPaとして評価を行う。

3.5 評価方法

飛来物防護ネットのうち支持架構の応力評価は、「VI-1-1-1-3-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定しているFEMを用いた解析法により行う。

(1) 支持架構の評価方法

a. 計算モデル

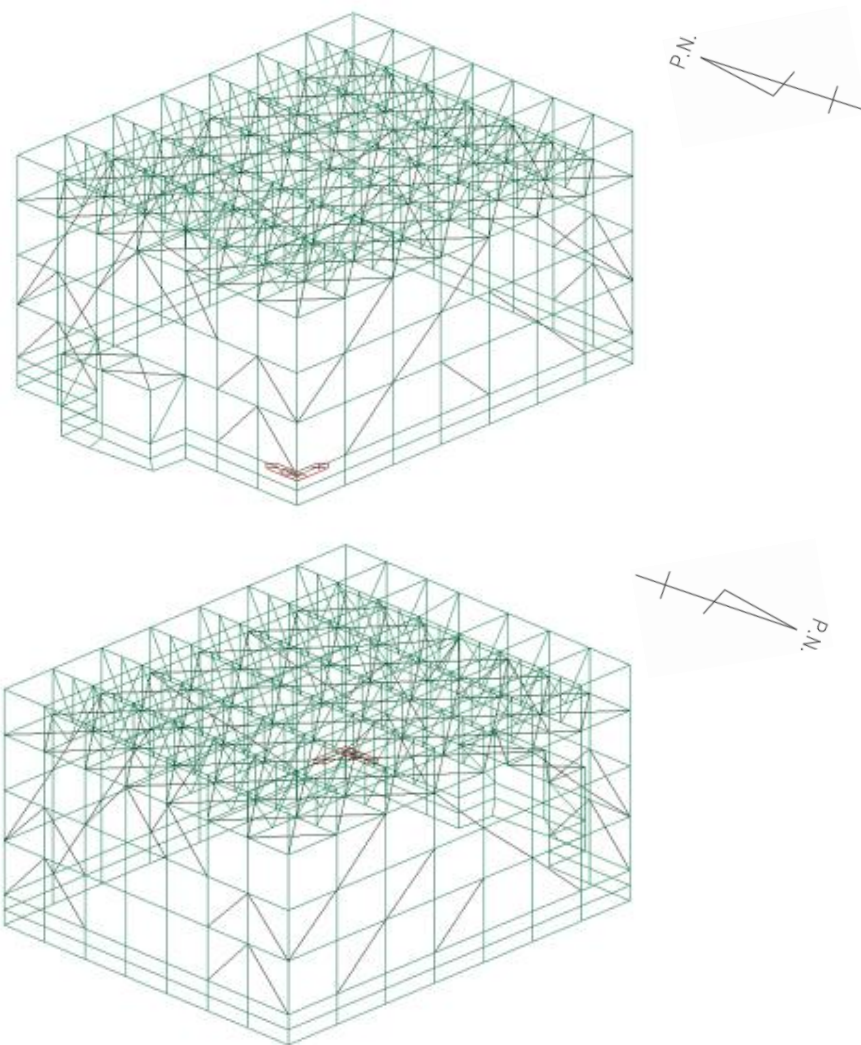
(a) 飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）

飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）の計算モデルを第3.5-1図に、計算モデルの諸元を第3.5-1表に示す。

支持架構の構成部材に発生荷重及び発生モーメントは、FEM解析を用いて算定する。

降下火砕物及び積雪の堆積による鉛直荷重については、飛来物防護ネットの水平影面積に対して算出し、保守的な評価とするため、重心位置が高くなるよう、解析モデルの天面に負荷する。

FEM解析に用いる解析コードは「midas iGen (ver.845)」の検証及び妥当性確認等の概要については、「VI-1-6 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。



第3.5-1図 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の
計算モデル

第3.5-1表 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の
計算モデル諸元

評価モデル	節点数	要素数
飛来物防護ネット (再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)	438	1,065

(2) 計算方法

a. 引張応力

引張力が生じる部材は、下式にて算出される引張応力が、許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A}$$

b. 圧縮応力

圧縮力が生じる部材は、下式にて算出される圧縮応力が、許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A}$$

c. 曲げ応力

曲げモーメントが生じる部材は、下式にて算出される曲げ応力が、許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{Z_x} \quad \sigma_{by} = \frac{M_y}{Z_y}$$
$$\sigma_b = \sigma_{bx} + \sigma_{by}$$

d. せん断応力

せん断力が生じる部材は、下式にて算出されるせん断応力の大きい方の値が、許容限界を超えないことを確認する。

$$\tau_{sx} = \frac{Q_x}{A_{sx}} \quad \tau_{sy} = \frac{Q_y}{A_{sy}}$$

e. 組合せ応力

支持架構に生じる組合せ応力のうち、軸力（引張力又は圧縮力）及び曲げモーメントが生じる部材は、座屈を考慮し、部材に生じる軸応力（引張応力又は圧縮応力）及び曲げ応力の組合せ応力が、許容限界を超えないことを確認する。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0 \quad \text{又は} \quad \frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

4. 評価条件

- 4.1 飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）の評価条件「3. 構造強度評価方法」に用いる評価条件を第4.1-1表から第4.1-2表に示す。

第4.1-1表 評価条件

q (N/m ²)	G (—)	V _D (m/s)	H (m)	Z _b (m)	Z _G (m)	α (—)
1,860	2.13	34	20.3	5	350	0.15

C* ¹ (—)	A ₁ (m ²)	
	NS 方向	EW 方向
1.4* ²	1,758.0* ²	1,461.6* ²
1.2* ³	48.8* ³	—* ³
2.1* ⁴	1,503.2* ⁴	1,397.8* ⁴
1.2* ⁵	100.0* ⁵	96.0* ⁵

注記 *1 : NS方向, EW方向共に同じ値

注記 *2 : 防護ネットの値を示す。

注記 *3 : 防護板の値を示す。

注記 *4 : 支持架構（座屈拘束ブレース以外）の値を示す。

注記 *5 : 支持架構（座屈拘束ブレース）の値を示す。

V _L (N/m ²)	L _c (N/m ²)	S _L (N/m ²)	A ₂ (m ²)
7,150	1,000	4,500	1,647.08

第 4. 1-2 表 評価条件

部材	断面形状	材料	A (mm ²)	Z _x (mm ³)	Z _y (mm ³)	As _x (mm ²)	As _y (mm ²)
柱	□-500x500x28	BCP325	48, 830	6.87×10^6	6.87×10^6	20, 160	20, 160
	□-500x500x32	G385	54, 630	7.47×10^6	7.47×10^6	21, 760	21, 760
	H-400x400x13x21	SN490B	21, 870	3.33×10^6	1.12×10^6	16, 800	5, 200
大はり	H-400x400x13x21	SN490B	21, 870	3.33×10^6	1.12×10^6	16, 800	5, 200
	H-414x405x18x28	SN490B	29, 540	4.48×10^6	1.53×10^6	22, 680	7, 452
	H-428x407x20x35	SN490B	36, 070	5.57×10^6	1.93×10^6	28, 490	8, 560
	BH-430x430x28x40	SN490B	44, 200	6.57×10^6	2.47×10^6	34, 400	12, 040
小はり	H-390x300x10x16	SN490B	13, 330	1.94×10^6	4.80×10^5	9, 600	3, 900
	H-400x400x13x21	SN490B	21, 870	3.33×10^6	1.12×10^6	16, 800	5, 200
トラス柱	H-300x300x10x15	SN490B	11, 850	1.35×10^6	4.50×10^5	9, 000	3, 000
	H-390x300x10x16	SN490B	13, 330	1.94×10^6	4.80×10^5	9, 600	3, 900
	H-400x400x13x21	SN490B	21, 870	3.33×10^6	1.12×10^6	16, 800	5, 200
鉛直ブレース	H-350x350x12x19	SN490B	17, 190	2.28×10^6	7.76×10^5	13, 300	4, 200
	H-300x300x10x15	SN490B	11, 850	1.35×10^6	4.50×10^5	9, 000	3, 000
	H-250x250x9x14	SN490B	9, 143	8.60×10^5	2.92×10^5	7, 000	2, 250
	H-200x200x8x12	SN490B	6, 353	4.72×10^5	1.60×10^5	4, 800	1, 600
水平ブレース	H-300x300x10x15	SN490B	11, 850	4.50×10^5	1.35×10^6	3, 000	9, 000
	H-250x250x9x14	SN490B	9, 143	2.92×10^5	8.60×10^5	2, 250	7, 000

5. 評価結果

- 5.1 飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）の評価結果降下火砕物等の堆積時の構造強度評価結果を第5.1-1表に示す。支持架構に発生する応力は、許容応力以下である。

第5.1-1表 支持架構の構造強度評価結果 (1/2)

評価対象 部位	応力分類	発生応力*1*2 (MPa)	許容応力*2 (MPa)	応力比*2	
柱	引張	—	—	—	
	圧縮	39.2	181	0.22	
	曲げ	X軸廻り	1.1	325	0.01
		Y軸廻り	93.9	325	0.29
	せん断	7.6	187	0.05	
	組合せ (引張+曲げ)	—	—	—	
	組合せ (圧縮+曲げ)	0.51	1.00	0.51	
大はり	引張	—	—	—	
	圧縮	105.7	264	0.41	
	曲げ	X軸廻り	17.0	325	0.06
		Y軸廻り	8.1	325	0.03
	せん断	1.7	187	0.01	
	組合せ (引張+曲げ)	—	—	—	
	組合せ (圧縮+曲げ)	0.48	1.00	0.48	
小はり	引張	—	—	—	
	圧縮	39.5	182	0.22	
	曲げ	X軸廻り	87.0	267	0.33
		Y軸廻り	42.9	325	0.14
	せん断	19.1	187	0.11	
	組合せ (引張+曲げ)	—	—	—	
	組合せ (圧縮+曲げ)	0.68	1.00	0.68	
トラス柱	引張	—	—	—	
	圧縮	87.0	239	0.37	
	曲げ	X軸廻り	67.8	325	0.21
		Y軸廻り	52.9	325	0.17
	せん断	14.8	187	0.08	
	組合せ (引張+曲げ)	—	—	—	
	組合せ (圧縮+曲げ)	0.74	1.00	0.74	

注記 *1 : 組合せについては応力比を記載

注記 *2 : 組合せについては応力比で評価を行うため単位なし

注記 *3 : 応力比=発生応力/許容応力

第5.1-1表 支持架構の構造強度評価結果 (2/2)

評価対象 部位	応力分類	発生応力*1*2 (MPa)	許容応力*2 (MPa)	応力比*3	
水平ブレ ース	引張	64.2	325	0.20	
	圧縮	—	—	—	
	曲げ	X軸廻り	—	—	—
		Y軸廻り	—	—	—
	せん断	—	—	—	
	組合せ (引張+曲げ)	—	—	—	
	組合せ (圧縮+曲げ)	—	—	—	
鉛直ブレ ース	引張	—	—	—	
	圧縮	95.1	173	0.55	
	曲げ	X軸廻り	34.9	325	0.11
		Y軸廻り	1.4	325	0.01
	せん断	3.7	187	0.02	
	組合せ (引張+曲げ)	—	—	—	
	組合せ (圧縮+曲げ)	0.66	1.00	0.66	

注記 *1 : 組合せについては応力比を記載

注記 *2 : 組合せについては応力比で評価を行うため単位なし

注記 *3 : 応力比=発生応力/許容応力

VI-1-1-1-4

外部火災への配慮に関する説明書

目 次

- VI-1-1-1-4-1 外部火災への配慮に関する基本方針
- VI-1-1-1-4-2 外部火災の影響を考慮する施設の選定
- VI-1-1-1-4-3 外部火災への配慮が必要な施設の設計方針及び評価方針
 - VI-1-1-1-4-3-1
外部火災への配慮が必要な施設の許容温度及び許容応力の設定根拠
- VI-1-1-1-4-4 外部火災防護における評価結果

VI-1-1-1-4-1

外部火災への配慮に関する基本方針

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 外部火災防護に関する基本方針.....	1
2.1 基本方針	1
2.1.1 外部火災防護に対する設計方針.....	1
2.1.2 外部火災に係る事象の設定.....	2
2.1.3 外部火災から防護すべき施設の設計方針.....	3
2.1.4 外部火災防護対象施設の評価方針.....	11
2.2 準拠規格及び準拠基準.....	11

1. 概要

本資料は、再処理施設の外部火災防護設計が「再処理施設の技術基準に関する規則」(以下「技術基準規則」という。)第八条に適合することを説明するものである。

2. 外部火災防護に関する基本方針

2.1 基本方針

安全機能を有する施設は、想定される外部火災において、最も厳しい火災が発生した場合においても、防火帯の設置、離隔距離の確保及び建屋による防護等により、その安全機能を損なわない設計とする。

その上で、外部火災により発生する火炎及び輻射熱からの直接的影響並びにばい煙及び有毒ガスの二次的影響によってその安全機能を損なわない設計とする。

2.1.1 外部火災防護に対する設計方針

外部火災から防護する施設(以下「外部火災防護対象施設」という。)としては、安全評価上その機能を期待する構築物、系統及び機器を漏れなく抽出する観点から、安全上重要な機能を有する構築物、系統及び機器を対象とする。外部火災防護対象施設及びそれらを収納する建屋(以下「外部火災防護対象施設など」という。)は、外部火災の直接的影響及び二次的影響に対し、機械的強度を有すること等により、外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

外部火災防護対象施設は、建屋内の外部火災防護対象施設、屋外の外部火災防護対象施設及び建屋内の施設で外気を取り込む外部火災防護対象施設又は竜巻防護対策設備の飛来物防護板(以下「飛来物防護板」という。)から影響を受ける外部火災防護対象施設に分類される。また、外部火災の影響について評価を行う施設(以下「外部火災の影響を考慮する施設」という。)としては外部火災防護対象施設を収納する建屋、屋外の外部火災防護対象施設及び建屋内の施設で外気を取り込む外部火災防護対象施設又は飛来物防護板から影響を受ける外部火災防護対象施設がある。

また、外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼして安全機能を損なわせるおそれがある施設(以下「外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼしうる施設」という。)の影響を考慮した設計とする。

外部火災防護対象施設等以外の安全機能を有する施設については、外部火災に対して機能を維持すること、若しくは外部火災による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理を行うこと、モニタリングポスト、ダストモニタ及び積算線量計に対する事前散水により延焼防止を図ること又はそれらを適切に組み合わせることにより、安全機能を損なわない設計とする。

また、上記の施設に対する損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理を行うこと及びモニタリングポスト、ダストモニタ及び積算線量計に対する事前散水により延焼防止を図ることを保安規定に定めて、管理する。

なお、使用済燃料収納キャスクは再処理施設内に一時的に保管されることを踏まえ、外部火災により使用済燃料収納キャスクを収納する建屋が使用済燃料収納キャスクに対して波及的破損を与えない設計とする。

外部火災防護対象施設等が外部火災に対し、安全機能を損なわないことを確認するため、再処理施設に最も厳しい火災及び爆発が発生した場合を想定し、外部火災影響評価を行う。

また、上記施設のうち、外部火災の影響を考慮する施設の選定については、「VI-1-1-1-4-2 外部火災の影響を考慮する施設の選定」に示す。

2.1.2 外部火災に係る事象の設定

外部火災としては、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」（以下「外部火災ガイド」という。）を参考として、森林火災、近隣の工場、石油コンビナート等特別防災区域、危険物貯蔵所及び高圧ガス貯蔵施設（以下「近隣の産業施設」という。）の火災及び爆発並びに航空機墜落による火災を想定する。

森林火災は、初期条件（可燃物量（植生）、気象条件および発火点）を、再処理施設への影響が最も厳しい評価になるように設定する。

また、上記設定にあたり、森林火災と同時に発生する可能性がある自然現象として風（台風）及び高温を考慮する。

近隣の産業施設による火災及び爆発については、敷地外の近隣の産業施設、敷地内に存在する屋外の危険物貯蔵施設及び可燃性ガスボンベ（以下「危険物貯蔵施設等」という。）のうち、外部火災防護対象施設への影響が最も厳しいものを火災源及び爆発源として想定する。

ただし、地下に設置する危険物貯蔵施設については、火災の影響を受けないことから、地下の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発は想定しない。

なお、危険物を搭載した車両の火災及び爆発並びに船舶の火災についても想定する。

また、再処理施設の危険物貯蔵施設等については、森林火災並びに近隣の産業施設の火災の熱影響により火災及び爆発が生じないことを確認する。

航空機墜落による火災については、外部火災ガイド及び「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」（以下、「航空機落下評価ガイド」という。）を参考として、航空機墜落による火災の条件となる航空機を選定し、建屋外壁等の直近で火災が発生することを想定する。

さらに、近隣の産業施設の火災においては、近隣の産業施設周辺の森林へ飛び火することにより再処理施設へ迫る場合を想定し、近隣の産業施設の火災と森林火災の重畳を考慮する。

航空機墜落による火災においては、敷地内への航空機墜落による火災を想定することから、航空機墜落による火災と危険物貯蔵施設等の火災及び爆発との重畳を考

慮する。

これら火災の二次的影響により安全機能を有する施設の安全機能が損なわれないことを確認するため、火災に伴い発生するばい煙及び有毒ガスを考慮する。

2.1.3 外部火災から防護すべき施設の設計方針

(1) 森林火災に対する設計方針

自然現象として想定される森林火災については、敷地への延焼防止を目的として、再処理施設の敷地周辺の植生を確認し、作成した植生データ及び敷地の気象条件等を基に、再処理施設への影響が厳しい評価となるように解析条件を設定し、森林火災シミュレーション解析コードを用いて求めた最大火線強度(9,128kW/m)から算出される、事業指定(変更許可)を受けた防火帯(幅25m以上)を敷地内に設ける設計とする。

防火帯は延焼防止機能を損なわない設計とし、防火帯を不燃性領域として維持するため、防火帯内には原則として可燃物となるものは設置しない設計とする。ただし、防火帯に可燃物を含む機器等を設置する場合には、延焼防止機能を損なわないよう必要最小限とするとともに、不燃性シートで覆う等の対策を施す設計とする。

また、森林火災からの輻射強度の影響を考慮した場合においても、離隔距離の確保及び建屋による防護により、外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

森林火災からの輻射強度の影響評価に当たっては、事業指定(変更許可)を受けた外部火災防護対象施設への熱影響が最も厳しくなるよう、火炎最前線の中から、最も火炎影響の大きくなる火炎(反応強度:750kW/m²)を評価対象の最短として配置し、到達した火炎最前線の火炎を横一列に並べて、すべての火炎からの火炎輻射強度を考慮する。

建屋内の外部火災防護対象施設は、外部火災に対して損傷の防止が図られた外部火災防護対象施設を収納する建屋内に設置することにより、安全機能を損なわない設計とする。

森林火災からの輻射強度の影響に対する評価として、外部火災防護対象施設を収納する建屋は、防火帯の外縁(火炎側)からの離隔距離を、外壁表面温度がコンクリートの圧縮強度を維持できる温度(以下「コンクリートの許容温度」という。)となる危険距離を上回るように確保することで、建屋内の外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

安全冷却水系の冷却塔等の屋外の外部火災防護対象施設(以下「屋外の外部火災防護対象施設」という。)については、輻射強度に基づき算出された施設の温度を、冷却水出口温度等の安全機能を維持するために必要な温度(以下「屋外の外部火災防護対象施設の許容温度」という。)以下となる設計とする。

建屋の外気取入口から空気を取り込む設備である非常用ディーゼル発電機における流入する空気の森林火災による温度上昇に対する温度評価は、輻射熱の影響が厳しい石油備蓄基地火災の熱影響評価に包絡されるため、「(2) 近隣の産業施設の火災及び爆発に対する設計方針」に基づく設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、外壁表面温度がコンクリートの許容温度となる危険距離を上回る離隔距離を確保することにより、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

(2) 近隣の産業施設の火災及び爆発に対する設計方針

人為事象として想定される近隣の産業施設の火災及び爆発については、外部火災ガイドを参考として、敷地周辺10km範囲内に存在する近隣の産業施設及び敷地内の危険物貯蔵施設等を網羅的に調査し、石油備蓄基地の火災並びに敷地内の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発を対象とし、火災及び爆発源からの離隔距離の確保及び建屋による防護により、外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

近隣の産業施設の火災の重畳としては、石油備蓄基地の火災と森林火災の重畳を想定する。

再処理施設の敷地周辺敷地周辺には国道が通っており、危険物を搭載した車両も通行するが、それらの火災及び爆発については、貯蔵量が多く外部火災防護対象施設までの距離が近い敷地内の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発の評価に包絡されるため、「c. 敷地内の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発に対する設計方針」において示す。

また、敷地内において、危険物を搭載したタンクローリ火災が発生した場合の影響については、燃料、n-ドデカン、リン酸トリブチル(TBP)及び硝酸ヒドラジンの補充時は監視人が立会を実施することを保安規定に定めて管理し、万一の火災発生時は速やかな消火活動が可能である体制とすることから、外部火災防護対象施設への影響を与えることはない。

船舶の火災については、危険物の貯蔵量が多く外部火災防護対象施設までの距離が近い敷地近傍の石油備蓄基地火災の影響に包絡されることから、「a. 石油備蓄基地火災に対する設計方針」において示す。

a. 石油備蓄基地火災に対する設計方針

石油備蓄基地火災については、石油備蓄基地に配置している51基の原油タンク(約11.1万m³/基)の原油全てが防油堤内に流出した全面火災を想定する。

外部火災防護対象施設を収納する建屋については、外壁表面温度がコンクリートの許容温度となる危険距離を上回る離隔距離を確保することで、上記の火災により、建屋内の外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。評価においては、外壁表面で受ける輻射強度がコンクリートの許容温度以下となる危険

輻射強度を下回ることを確認する。

屋外の外部火災防護対象施設については、輻射強度に基づき算出した施設の温度を屋外の外部火災防護対象施設の許容温度以下とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

建屋の外気取入口から空気を取り込む設備である非常用ディーゼル発電機は、外気取入口から流入する空気の温度が、石油備蓄基地火災の熱影響によって上昇したとしても、空気の温度を非常用ディーゼル発電機の設計上の最高使用温度以下とすることで、非常用ディーゼル発電機の安全機能を損なわない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、外壁表面が、石油備蓄基地の火災により受ける輻射強度を算出し、コンクリートの許容温度となる危険距離を上回る離隔距離を確保することにより、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。評価においては、外部火災防護対象施設と同様に危険輻射強度を下回ることを確認する。

b. 石油備蓄基地火災及び森林火災の重畳に対する設計方針

石油備蓄基地火災及び森林火災の重畳については、石油備蓄基地火災により周辺の森林へ飛び火し敷地へ火災が迫ることを想定する。

外部火災防護対象施設を収納する建屋については、石油備蓄基地火災及び森林火災の輻射強度に基づき外壁表面温度を算出し、コンクリートの許容温度以下とすることで、建屋内の外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

屋外の外部火災防護対象施設については、石油備蓄基地火災及び森林火災の輻射強度に基づき施設の温度を算出し、屋外の外部火災防護対象施設の許容温度以下とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋については、石油備蓄基地火災及び森林火災の輻射強度に基づき外壁表面温度を算出し、コンクリートの許容温度以下とすることで、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

c. 敷地内の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発に対する設計方針

敷地内の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発に対しては、敷地内に複数存在する危険物貯蔵施設等の中から、貯蔵量及び配置状況並びに外部火災防護対象施設を収納する建屋及び屋外の外部火災防護対象施設への距離を考慮し、外部火災防護対象施設に火災及び爆発の影響を及ぼすおそれがある火災源又は爆発源として、事業指定(変更許可)を受けたボイラ用燃料受入れ・貯蔵所、ボイラ用燃料貯蔵所、ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所、低レベル廃棄物処理建屋プロパンボンベ庫、ボイラ建屋ボンベ置場、精製建屋ボンベ庫、還元ガス製造建屋及びMOX燃料加工施設の第1高圧ガストレーラ庫を選定する。

敷地内の危険物貯蔵施設等のうち、ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所、ボイラ用燃料貯蔵所、ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所の火災においては、危険物貯蔵

施設ごとに輻射強度及び燃焼継続時間を求め、この輻射強度に基づき外部火災防護対象施設を収納する建屋の外壁表面温度をコンクリートの許容温度以下とすることで、建屋内の外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

屋外の外部火災防護対象施設については、敷地内の危険物貯蔵施設ごとに輻射強度に基づき施設の温度を算出し、屋外の外部火災防護対象施設の許容温度以下とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、敷地内の危険物貯蔵施設ごとに外壁表面温度を算出し、コンクリートの許容温度以下とすることで、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

低レベル廃棄物処理建屋プロパンボンベ庫、ボイラ建屋ボンベ置場、精製建屋ボンベ庫及び還元ガス製造建屋は、屋内に収納され、着火源を排除するとともに可燃性ガスが漏えいした場合においても滞留しない構造とすることで爆発を防止する設計とする。

また、MOX燃料加工施設の第1高压ガストレーラ庫は、高压ガス保安法に基づき爆発時に発生する爆風や飛来物が上方向に開放される構造として設計しているが、評価においては、この設計を考慮せず、他の危険物貯蔵施設等と同じ方法により評価する。

その上で、敷地内に設置する低レベル廃棄物処理建屋プロパンボンベ庫、ボイラ建屋ボンベ置場、精製建屋ボンベ庫及び還元ガス製造建屋並びにMOX燃料加工施設の第1高压ガストレーラ庫の爆発を想定し、ガス爆発の爆風圧が0.01MPaとなる危険限界距離を求め、危険限界距離を上回る離隔距離を確保することで外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とすること及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

また、精製建屋ボンベ庫、還元ガス製造建屋から危険限界距離を上回る離隔距離を確保できない外部火災防護対象施設を収納する建屋は、爆発によって発生する爆風圧に対して健全性を維持する設計とすることで、外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(3) 航空機墜落による火災に対する設計方針

航空機墜落による火災の対象航空機については、航空機落下評価ガイドの落下事故の分類を踏まえ、事業指定(変更許可)を受けた自衛隊機のKC-767、自衛隊機のF-2又は米軍機のF-16とする。

なお、直行経路を巡航中の計器飛行方式民間航空機については、航空機落下の発生確率が 10^{-7} 回/年となる範囲が敷地外であり、輻射熱の影響が厳しい石油備蓄基地火災の熱影響評価に包絡されるため、「(2) 近隣の産業施設の火災及び爆発に対する設計方針」に基づく設計とする。

外部火災防護対象施設を収納する建屋については、建屋直近となる位置に対象

航空機が墜落する火災を想定し、外部火災ガイドを参考として、建屋外壁が受ける輻射強度を算出する。

この輻射強度に基づき算出される外壁及び建屋内の温度上昇により建屋内の外部火災防護対象施設の安全機能及び建屋外壁が要求される機能を損なわない設計とする。

屋外の外部火災防護対象施設については、外殻となる竜巻防護対策設備の直近となる位置に対象航空機が墜落する火災を想定する。この輻射強度に基づき算出される施設の温度上昇により、屋外の外部火災防護対象施設の許容温度以下とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

また、外部火災防護対象施設の安全機能を損なうおそれがある場合には、耐火被覆又は遮熱板の対策を講ずることにより安全機能を損なわない設計とする。

外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、支持構造物である架構等の必要な部位に、耐火被覆の防護対策を講じることにより、構造が維持できる温度以下とし、外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼさない設計とする。

竜巻防護対策設備の鋼板の飛来物防護板(以下「飛来物防護板」という。)を設置する建屋内の外部火災防護対象施設については、火災からの輻射強度を受けた飛来物防護板の熱影響を考慮した場合においても、施設の温度を外部火災防護対象施設の性能維持に必要な温度以下とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋については、建屋の周辺配置条件を考慮し、建屋直近となる位置に対象航空機が墜落する火災を想定する。この火災からの輻射強度に基づき使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の外壁の温度を算出し、構造強度を維持するために必要な温度以下とすることにより、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を及ぼさない設計とする。

航空機墜落火災の熱影響により、外部火災防護対象施設の安全機能を損なうおそれがある場合には、耐火被覆による対策を講じ、耐火被覆を施工できない駆動部等の部材に対しては、遮熱板による対策を講ずることにより、安全機能を損なわない設計とする。

耐火被覆(主材)は、1時間耐火の大臣認定を取得した塗料を用い、外部火災防護対象施設に対し、構造強度を維持する温度以下とするのに必要な施工厚さ3mm以上を、外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設に対し、構造が維持される温度以下とするのに必要な厚さ2mm以上を施工する設計とする。

耐火被覆の施工にあたっては、主材に対し、主材の剥がれを防止するため、上記認定を受けた下塗りを施工し、劣化等から保護する中塗り及び上塗りの塗装を施工する設計とする。

施工対象となる部材は、航空機墜落火災の1m以下の離隔距離で想定される施設

の安全機能を損なうおそれがある部材は離隔距離によらず全てを対象とし、その他の部材は離隔距離が確保できない部材に対し耐火被覆に係る塗装を施工する設計とする。

耐火被覆に係る塗装は、全周方向の輻射を遮るように施工する。

遮熱板は、鋼板の受熱面側に耐火被覆に係る塗装を施工し、駆動部等の全周方向を囲うように設置し、輻射を遮り、安全機能を損なわない設計とする。

遮熱板に塗装する耐火被覆の施工厚さは、遮熱板の温度上昇による輻射の影響により、外部火災防護対象施設が安全機能を損なわない厚さとする。

遮熱板の設置にあたり、防護される外部火災防護対象施設の点検等の保守性も考慮した取り外し可能な設計とする。

- (4) 航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発の重畳に対する設計方針

航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の火災の重畳として、航空機が敷地内の危険物貯蔵施設等に直撃し、危険物及び航空機燃料による重畳火災が発生することを想定する。上記の危険物及び航空機燃料による重畳火災を想定した場合の外部火災防護対象施設等が受ける輻射強度は、建屋等の直近における航空機墜落による火災を想定した場合の輻射強度よりも小さいことから、「(3) 航空機墜落による火災に対する設計方針」に基づくことで、外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発が重畳については、敷地内の危険物貯蔵施設等で選定された爆発源に対し、航空機が直撃することを想定する。この爆発に対し、爆風圧が0.01MPaとなる危険限界距離を算出し、外部火災防護対象施設等及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋が、その危険限界距離を上回る離隔距離を確保する設計とする。

また、敷地内の危険物貯蔵施設等に隣接し、危険限界距離を上回る離隔距離を確保できない外部火災防護対象施設を収納する建屋は、爆発によって発生する爆風圧に対して建屋の健全性を維持する設計とすることで、建屋内の外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない

- (5) 再処理施設の危険物貯蔵施設等への火災及び爆発に対する防護対策

再処理施設の危険物貯蔵施設等への熱影響については、森林火災及び近隣の産業施設の火災の影響を想定しても、再処理施設の危険物貯蔵施設等の貯蔵物の温度を許容温度以下とすることで、危険物貯蔵施設等の火災及び爆発を防止する設計とする。また、近隣の産業施設の爆発の影響を想定しても、爆風圧が0.01MPaとなる危険限界距離を算出し、危険限界距離を上回る離隔距離を確保する設計とする。上記設計により、再処理施設の危険物貯蔵施設等が、外部火災防護対象施設等へ影響を与えない設計とすること及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、

使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

(6) 外部火災の影響を考慮する施設の許容温度及び許容応力

外部火災の影響を考慮する施設が外部火災に対して十分な健全性を有することを確認するための評価に用いる許容温度及び許容応力は「VI-1-1-1-4-3 外部火災への配慮が必要な施設の設計方針及び評価方針」に、この設定根拠は、「VI-1-1-1-4-3-1 外部火災への配慮が必要な施設の許容温度、許容応力の設定根拠」に示す。

(7) 外部火災による二次的影響に対する設計方針

a. ばい煙の影響に対する設計方針

外部火災の二次的影響であるばい煙による影響については、建屋換気設備等に適切な防護対策を講じることで、外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(a) 換気空調系統

外部火災防護対象施設を収納する建屋の換気設備の給気系は、ばい煙の侵入に対して、フィルタを設置することで、外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

制御建屋の中央制御室は、運転員の居住性を確保するため、制御建屋中央制御室換気設備の外気取入口に対しフィルタを設置することで、一定以上の粒径のばい煙粒子を捕獲する設計とするとともに、制御建屋中央制御室換気設備の外気との連絡口を遮断し、制御建屋の中央制御室内の空気を再循環する措置を講ずる設計とする。

再循環時においては、制御建屋の中央制御室内の酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響を考慮し、敷地内でばい煙が発生した場合においても、制御建屋の中央制御室内の居住性を損なわない設計とする。

使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室については、運転員への影響を防止するため、必要に応じて外気との連絡口を遮断し、制御室内の空気を再循環する措置を講ずることができる設計とする。

(b) ディーゼル発電機

外部火災防護対象施設の非常用ディーゼル発電機については、ばい煙の侵入に対し、フィルタやワイヤーネットを設置することで、安全機能を損なわない設計とする。

(c) 安全空気圧縮機系の圧縮空気

外部火災防護対象施設の安全圧縮空気系の空気圧縮機の吸気側については、ばい煙の侵入に対し、フィルタを設置することで、安全機能を損なわない設計とする。

(d) ガラス固化体貯蔵設備の収納管及び通風管

ガラス固化体貯蔵設備の収納管と通風管については、外気とともに自然空冷の通気流路にばい煙が流入するが、流路の閉塞を防止する構造とし、ばい煙が流路に溜まりにくい構造とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

b. 有毒ガスの影響に対する設計方針

有毒ガスによる影響については、運転員の作業環境を確保するため中央制御室換気設備の連絡口との外気取入れを遮断し制御室内空気を再循環することにより、居住性に影響を及ぼさない設計とする。

再循環時においては、中央制御室内の酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響を考慮し、敷地内で有毒ガスが発生した場合においても、中央制御室内の居住性を損なわない設計とする。

使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室については、運転員への影響を防止するため、必要に応じて外気との連絡口を遮断し、制御室内の空気を再循環する措置を講ずることができる設計とする。

なお、ばい煙及び有毒ガスに対する設計方針については、「VI-1-1-1-4-3 外部火災への配慮が必要な施設の設計方針及び評価方針」に示す。

ばい煙及び有毒ガスに対する具体的な設計については「VI-1-1-1-4-5 二次的影響（ばい煙及び有毒ガス）に対する設計」に示す。

(8) 必要な機能を損なわないための運用上の措置

外部火災に関する設計条件等に係る新知見の収集及び防護措置との組合せにより安全機能を損なわないための運用上の措置として、以下を保安規定に定めて、管理する。

- ・外部火災の評価の条件及び新知見について、定期的に確認を行い、評価条件の大きな変更又は新知見が得られた場合に評価を行うこと。
- ・延焼防止機能を損なわないために、防火帯の維持管理を行うとともに、防火帯内には原則として可燃物となるものは設置せず、可燃物を含む機器等を設置する場合には、必要最小限として、不燃性シートで覆う等の対策を行うこと。
- ・危険物を搭載したタンクローリ火災が発生した場合の影響については、万一の火災発生時に速やかな消火活動が可能となるよう、燃料補充時は監視人が立会を実施すること。
- ・耐火被覆及び遮熱板の定期的な保守管理を行うこと。
- ・外部火災によるばい煙及び有毒ガスの発生時には、居住性を損なわないよう、中央制御室換気設備の外気との連絡口を遮断し、中央制御室内の空気を再循環すること。
- ・外部火災によるばい煙及び有毒ガスの発生時には、運転員への影響を防止するよう、必要に応じて使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室の外気と

の連絡口を遮断すること。

2.1.4 外部火災防護対象施設の評価方針

建屋内の外部事象防護対象施設及び使用済燃料収納キャスクは、建屋にて防護することから建屋の評価を行い、屋外の外部事象防護対象施設や外部火災防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設は、当該施設を評価する。

建屋内の外部火災防護対象施設については、建屋の外気取入口からの空気及び飛来物防護板の温度上昇による熱影響を評価する。

なお、再処理施設の危険物貯蔵施設等については、再処理施設の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発を防止することにより、再処理施設の危険物貯蔵施設等が、外部火災防護対象施設等及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋へ影響を与えない設計とするため、再処理施設の危険物貯蔵施設等に内包する貯蔵物の温度を評価する。

外部火災影響評価は、火災及び爆発源ごとに設定した評価対象の危険距離又は危険限界距離を算出し離隔距離と比較する方法、危険輻射強度を算出し輻射強度と比較する方法若しくは建屋の温度や屋外の施設の温度又は爆風圧を算出し、許容温度又は許容応力と比較する方法を用いる。

森林火災をはじめとする火災源及び爆発源ごとの設計方針及び評価方針は、「VI-1-1-1-4-3 外部火災への配慮が必要な施設の設計方針及び評価方針」に示す。

森林火災をはじめとする火災源及び爆発源ごとの評価条件及び評価結果は、「VI-1-1-1-4-4 外部火災防護における評価結果」に示す。

2.2 準拠規格及び準拠基準

準拠する規格としては、最新の規格基準を含め技術的妥当性及び適用性を示した上で当該規格に準拠する。

準拠する規格を以下に示す。

- (1) 「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド(原規技発第13061912号(平成25年6月19日原子力規制委員会制定))」(原子力規制委員会)
- (2) 「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について(内規)」(平成21・06・25原院第1号)
- (3) 「石油コンビナートの防災アセスメント指針」(平成25年3月 消防庁特殊災害室)
- (4) 伝熱工学資料第4版(日本機械学会)
- (5) 伝熱工学資料第5版(日本機械学会)

VI-1-1-1-4-2

外部火災の影響を考慮する施設の選
定

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 外部火災の影響を考慮する施設の選定の基本方針.....	1
2.1 外部火災の直接的影響を考慮する施設の選定.....	1
2.2 外部火災防護対象施設等に対して波及的影響を及ぼし得る施設.....	3
2.3 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋.....	4
2.4 外部火災の二次的影響(ばい煙)を考慮する施設の選定.....	4
2.5 外部火災の二次的影響(有毒ガス)を考慮する施設の選定.....	4

1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-4-1 外部火災への配慮に関する基本方針」に従い、外部火災の影響を考慮する施設の選定について説明するものである。

2. 外部火災の影響を考慮する施設の選定の基本方針

外部火災の影響を考慮する施設は、外部火災防護対象施設のうち、外部火災防護対象施設として選定した施設の設計方針を踏まえ、外部火災の影響について評価を行う施設を選定する。

外部火災防護対象施設は、安全評価上その機能を期待する構築物、系統及び機器を漏れなく抽出する観点から、安全上重要な機能を有する構築物、系統及び機器を対象とする。

建屋内の外部火災防護対象施設は、建屋により外部火災の影響から防護されることから、外部火災防護対象施設を収納する建屋を外部火災の影響を考慮する施設として選定する。ただし、地下に設置されている外部火災防護対象施設は外部火災からの熱影響を受けないため、地下階のみに外部火災防護対象施設を収納している建屋は外部火災の影響を考慮する施設の対象としない。

また、外部火災による影響を考慮し、建屋内に収納される外部火災防護施設のうち、外気を取り込む又は飛来物防護板から外部火災防護対象施設を外部火災の影響を考慮する施設として選定する。

さらに、外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設として、施設の倒壊等により外部火災防護対象施設等に機械的影響を及ぼす可能性がある施設又は機能的影響を及ぼす可能性がある施設を抽出し、外部火災の影響を考慮する施設として選定する。

なお、使用済燃料収納キャスクは、外部火災の影響により、内包する使用済燃料の閉じ込め機能に影響を及ぼさないよう、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋により防護する設計としていることから、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋を外部火災の影響を考慮する施設として選定する。

2.1 外部火災の直接的影響を考慮する施設の選定

「2. 外部火災の影響を考慮する施設の選定の基本方針」を踏まえ、以下のとおり外部火災の影響を考慮する施設を選定する。

(1) 外部火災防護対象施設を収納する建屋

建屋内の外部火災防護対象施設は、建屋にて防護されることから、外部火災防護対象施設を収納する建屋を外部火災の影響を考慮する施設として選定する。

- ・使用済燃料受入れ・貯蔵建屋
- ・前処理建屋
- ・分離建屋
- ・精製建屋
- ・ウラン脱硝建屋
- ・ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋

- ・ウラン酸化物貯蔵建屋
- ・ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋
- ・高レベル廃液ガラス固化建屋
- ・第1ガラス固化体貯蔵建屋
- ・制御建屋
- ・非常用電源建屋
- ・主排気筒管理建屋

(2) 屋外の外部火災防護対象施設

屋外の外部事象防護対象施設は、外部火災の影響により安全性を損なうおそれがあるため、外部火災の影響を考慮する施設として選定する。

- ・安全冷却水系冷却塔A, B
- ・安全冷却水A, B冷却塔
- ・冷却塔A, B
- ・安全冷却水系膨張槽
- ・安全冷却水系
(安全冷却水系冷却塔A, B, 安全冷却水A, B冷却塔, 冷却塔A, B及び安全冷却水系膨張槽周りの配管)
- ・安全冷却水系膨張槽水位計
- ・主排気筒
- ・ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋塔槽類廃ガス処理設備
- ・高レベル廃液ガラス固化建屋塔槽類廃ガス処理設備
- ・前処理建屋換気設備
- ・分離建屋換気設備
- ・精製建屋換気設備
- ・ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋換気設備
- ・高レベル廃液ガラス固化建屋換気設備

上記に示す屋外の外部火災防護対象施設のうち、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋塔槽類廃ガス処理設備、高レベル廃液ガラス固化建屋塔槽類廃ガス処理設備、前処理建屋換気設備、分離建屋換気設備、精製建屋換気設備、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋換気設備及び高レベル廃液ガラス固化建屋換気設備を合わせて「主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクト」という。

(3) 建屋内の施設で外気を取り込む外部火災防護対象施設

建屋内に収納される外部火災防護施設のうち、外気を取り込む外部火災防護対象施設を外部火災の影響を考慮する施設とする。

- ・第1非常用ディーゼル発電機
- ・第2非常用ディーゼル発電機

(4) 飛来物防護板から影響を受ける外部火災防護対象施設

建屋内の外部火災防護対象施設を防護するため飛来物防護板を建屋開口部に設置する。

飛来物防護板には、コンクリート製又は金属製の板を使用することとしており、外部火災の温度上昇により、内部の施設に影響を及ぼす可能性があることから、飛来物防護板から影響を受ける対象を選定する。

コンクリート製の飛来物防護板は建屋の評価に包絡されることから、鋼板の飛来物防護板の温度上昇により影響を受ける外部火災防護対象施設を外部火災の影響を考慮する施設として選定する。

- ・第2非常用ディーゼル発電機

2.2 外部火災防護対象施設等に対して波及的影響を及ぼし得る施設

外部火災防護対象施設等に対して、破損に伴う倒壊又は転倒並びに熱伝達による機械的影響を及ぼし得る施設及び付属設備の破損による機能的影響を及ぼし得る施設を外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出する。

a. 機械的影響を及ぼし得る施設

倒壊又は転倒により外部火災防護対象施設等に機械的影響を及ぼし得る施設としては、施設高さが低い施設は倒壊しても外部火災防護対象施設等に影響を与えないため、当該施設の高さと外部火災防護対象施設等までの最短距離を比較し、外部火災により倒壊または転倒の恐れがある施設を選定する。

外部火災防護対象施設を収納する建屋内の設備については、建屋により防護されるため、倒壊及び転倒により波及的影響を及ぼすおそれがないことから対象外とする。

屋外の建屋及び施設については外壁の材質、厚さや、外部火災からの離隔距離の観点から対象を選定とする。

また、熱伝達により外部火災防護対象施設等に機械的影響を及ぼし得る施設としては、外部火災防護対象施設に接触がなければ影響を与えないため、外部火災防護対象施設等と接触しているものを選定する。

(a) 倒壊又は転倒により外部火災防護対象施設等に損傷を及ぼし得る施設

イ. 飛来物防護ネット

- ・飛来物防護ネット(使用済燃料の受入れ施設用 安全冷却水系冷却塔)
- ・飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔)
- ・飛来物防護ネット(第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔)

ロ. 飛来物防護板

- ・飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り)
- ・飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 分離建屋屋外)
- ・飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 精製建屋屋外)

- ・飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 高レベル廃液ガラス 固化建屋屋外)

- ・飛来物防護板(冷却塔接続 屋外設備)

(b) 熱伝達により外部火災防護対象施設等に損傷を及ぼし得る施設

外部火災防護対象施設等に直接接触している施設, 機器からの熱伝達は火災の直接的な輻射と比較して小さくなるため各種火災の直接的影響の評価に包絡される。従って, 外部火災防護対象施設等に波及的影響を与えることは想定されない。

b. 機能的影響を及ぼし得る施設

外部火災防護対象施設の屋外の付属設備の破損による機能的影響を及ぼす可能性のある施設としては, 外部火災の直接的影響及び二次的影響により外部火災防護対象施設の安全機能を損なわせるおそれがある施設を選定する。

なお, 外部火災の影響を考慮する施設以外の外部火災の影響について, 外部火災防護対象施設の屋外の付属設備に対し, 屋内の外部火災防護対象施設の安全機能に影響を与えないように設計していることから, 波及的影響を及ぼし得る施設に該当する施設はない。

屋外の外部火災防護対象施設の付属設備については, 屋外の外部火災防護対象施設の安全機能を維持するために必要な部位として抽出し, 評価することから, これ以外の外部火災防護対象施設等に機能的影響を及ぼし得る施設はない。

2.3 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

使用済燃料収納キャスクに波及的影響を及ぼし得る使用済燃料収納キャスクを収納する建屋を, 外部火災の影響を考慮する施設として選定する。

- ・使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫

2.4 外部火災の二次的影響(ばい煙)を考慮する施設の選定

外部火災防護対象施設が二次的影響(ばい煙)により安全機能を損なうおそれがないよう, 建屋内の外気を取り込む施設及び運転員の居住性に影響がある施設を, 二次的影響(ばい煙)を考慮する施設として選定する。

- ・外部火災防護対象施設を収納する建屋の換気空調設備
- ・制御建屋中央制御室換気設備
- ・第1非常用ディーゼル発電機
- ・第2非常用ディーゼル発電機
- ・安全圧縮空気系の空気圧縮機
- ・ガラス固化体貯蔵設備の収納管及び通風管

2.5 外部火災の二次的影響(有毒ガス)を考慮する施設の選定

外部火災防護対象施設が二次的影響(有毒ガス)により安全機能を損なうおそれがないよう, 有毒ガスを考慮する施設を選定する。

- ・制御建屋中央制御室換気設備
- ・使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室換気設備

VI-1-1-1-4-3

外部火災への配慮が必要な施設の設計方針及び評価方針

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 設計方針	1
3. 評価方針	4
3.1 評価の対象施設	4
3.1.1 外部火災の影響を考慮する施設	4
3.1.2 重大事故等対処設備	5
3.1.3 屋外の再処理施設の危険物貯蔵施設等	5
3.2 評価の基本方針	5
3.2.1 評価の分類	5
4. 許容温度及び許容応力	6
4.1 許容温度	6
4.1.1 外部火災の影響を考慮する施設	6
4.1.2 重大事故等対処設備	7
4.1.3 再処理施設の危険物貯蔵施設等	8
4.2 許容応力	8
4.2.1 外部火災の影響を考慮する施設	8
5. 評価方針	8
5.1 森林火災に対する熱影響評価	8
5.2 近隣の産業施設の火災に対する熱影響評価	15
5.2.1 石油備蓄基地火災に対する熱影響評価	15
5.2.2 石油備蓄基地火災と森林火災の重畳に対する熱影響評価	19
5.2.3 敷地内の危険物貯蔵施設等の火災に対する熱影響評価	20
5.2.4 敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発に対する影響評価	25
5.3 航空機墜落による火災の熱影響評価	28
5.4 航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発の重畳の影響評価	40
5.5 再処理施設の危険物貯蔵施設等の火災の発生防止の影響評価	42

1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-4-1 外部火災への配慮に関する基本方針」に従い、「VI-1-1-1-4-2 外部火災の影響を考慮する施設」において選定した外部火災の影響を考慮する施設に対する外部火災防護における設計方針及び評価方針について説明するものである。

また、再処理施設の危険物貯蔵施設等が森林火災、近隣の産業施設の火災及び爆発により、外部火災防護対象施設等及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋に影響を与えないことを確認することとし、その評価方針についても説明する。

重大事故等対処設備に係る評価方針については、当該施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

2. 設計方針

外部火災から防護すべき施設は、外部火災に対して、「VI-1-1-1-4-1 外部火災への配慮に関する基本方針」に示すとおり、以下の設計方針とする。

(1) 森林火災に対する設計方針

森林火災からの輻射強度の影響を考慮した場合においても、外部火災防護対象施設を収納する建屋は、離隔距離の確保及び建屋による防護により、外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

屋外の外部火災防護対象施設は、冷却水出口温度等の安全機能を維持するために必要な温度（以下「屋外の外部火災防護対象施設の許容温度」という。）以下となる設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、離隔距離を確保することにより、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

(2) 石油備蓄基地火災に対する設計方針

石油備蓄基地火災に対し、外部火災防護対象施設を収納する建屋は、危険距離以上の離隔を確保し、建屋内の外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

屋外の外部火災防護対象施設については、屋外の外部火災防護対象施設の許容温度以下とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

建屋の外気取入口から空気を取り込む設備である非常用ディーゼル発電機は、非常用ディーゼル発電機の設計上の最高使用温度以下とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、危険輻射強度を下回る離隔距離を確保し、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

(3) 石油備蓄基地火災と森林火災の重畳に対する設計方針

石油備蓄基地火災と森林火災の重畳に対し、外部火災防護対象施設を収納する建屋の外壁表面温度をコンクリートの許容温度以下とすることで、建屋内の外部

火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

屋外の外部火災防護対象施設については、屋外の外部火災防護対象施設の許容温度以下とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、離隔距離を確保することにより、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

(4) 敷地内の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発に対する設計方針

敷地内の危険物貯蔵施設等の火災に対し、外部火災防護対象施設を収納する建屋の外壁表面温度をコンクリートの許容温度以下とすることで、建屋内の外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

屋外の外部火災防護対象施設は、外部火災防護対象施設の許容温度以下とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の外壁表面温度をコンクリートの許容温度以下とすることで、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発に対し、ガス爆発の爆風圧が0.01MPaとなる危険限界距離を求め、危険限界距離を上回る離隔距離を確保することで外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とすること及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

また、敷地内の危険物貯蔵施設等に隣接し、危険限界距離を上回る離隔距離を確保できない外部火災防護対象施設を収納する建屋は、爆風圧に対して健全性を維持する設計とすることで、外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(5) 航空機墜落による火災に対する設計方針

航空機墜落による火災に対し、外部火災防護対象施設を収納する建屋の外壁及び建屋内の温度上昇により建屋内の外部火災防護対象施設の安全機能及び建屋外壁が要求される機能を損なわない設計とする。

屋外の外部火災防護対象施設については、屋外の外部火災防護対象施設の許容温度以下とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

外部火災防護対象施設の安全機能を損なうおそれがある場合には、耐火被覆又は遮熱板の対策を講ずることにより安全機能を損なわない設計とする。

外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、耐火被覆の防護対策を講じることで、外部火災防護対象施設等へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

竜巻防護対策設備の鋼板の飛来物防護板（以下「飛来物防護板」という。）を設置する建屋内の外部火災防護対象施設については、施設の温度を外部火災防護対象施設の性能維持に必要な温度以下とすることで、安全機能を損なわない設計と

する。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋については、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の外壁を、構造強度を維持するために必要な温度以下とすることにより、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を及ぼさない設計とする。

(6) 航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発の重畳に対する設計方針

航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発の重畳に対し、ガス爆発の爆風圧が0.01MPaとなる危険限界距離を求め、危険限界距離を上回る離隔距離を確保することで外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とすること及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

また、敷地内の危険物貯蔵施設等に隣接し、危険限界距離を上回る離隔距離を確保できない外部火災防護対象施設を収納する建屋は、爆風圧に対して健全性を維持する設計とすることで、外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(7) 再処理施設の危険物貯蔵施設等に対するへの火災及び爆発に対する影響

再処理施設の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発を防止する設計とする。また、再処理施設の危険物貯蔵施設等は、近隣の産業施設の爆発の影響を想定しても、危険限界距離以上の離隔距離を確保する設計とする。

上記設計方針に従ったものであることを、3. 評価方針に基づき評価を行い、確認する。

(8) 外部火災によるばい煙に対する設計方針

外部火災による二次的影響のうち、ばい煙に対し、「VI-1-1-1-4-1 外部火災への配慮に関する基本方針」に示すとおり、再処理施設の建屋の換気空調等については、ばい煙の侵入に対して、フィルタを設置することで、安全機能を損なわない設計とする。

また、ばい煙が侵入したとしてもばい煙が流路に溜まりにくい構造とし、ばい煙により閉塞しない設計とする。

(9) 外部火災による有毒ガス煙に対する設計方針

外部火災による二次的影響のうち、有毒ガスに対し、「VI-1-1-1-4-1 外部火災への配慮に関する基本方針」に示すとおり、有毒ガスによる影響については、運転員の作業環境を確保するため中央制御室換気設備等の連絡口との外気取入れを遮断し制御室内空気を再循環する設計とする。

ばい煙及び有毒ガスに対する具体的な設計については「VI-1-1-1-4-5 二次的影響（ばい煙及び有毒ガス）に対する設計」に示す。

3. 評価方針

3.1 評価の対象施設

外部火災の影響評価の対象施設(以下「評価対象施設」という。)は、「VI-1-1-1-4-2 外部火災の影響を考慮する施設の選定」において選定した外部火災の直接的影響を考慮する施設を外部火災の影響を評価する施設(以下「評価対象施設」という。)とする。

また、外部火災の影響を考慮する施設には該当しないが、「VI-1-1-1-4-1 外部火災への配慮に関する基本方針」に示した設計方針に基づき、森林火災並びに近隣の産業施設の火災及び爆発の熱影響を確認する再処理施設の危険物貯蔵施設等を評価対象施設とする。

3.1.1 外部火災の影響を考慮する施設

外部火災の影響を考慮する施設のうち、外部火災の直接的影響を考慮する施設は以下のとおり。

(1) 外部火災防護対象施設を収納する建屋

外部火災防護対象施設を収納する建屋に係る評価方針については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(2) 屋外の外部火災防護対象施設

- ・ 安全冷却水B冷却塔
- ・ 安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)

なお、安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系

(安全冷却水B冷却塔周りの配管)以外の屋外の外部火災防護対象施設に係る評価方針については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(3) 建屋内の施設で外気を取り込む外部火災防護対象施設

建屋内の施設で外気を取り込む外部火災防護対象施設に係る評価方針については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(4) 飛来物防護板から影響を受ける外部火災防護対象施設

飛来物防護板から影響を受ける外部火災防護対象施設に係る評価方針については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(5) 外部火災防護対象施設等に対して波及的影響を及ぼし得る施設

a. 飛来物防護ネット

- ・ 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)

なお、飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)以外の評価方針については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

b. 飛来物防護板

飛来物防護板の評価方針については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(6) 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋に係る評価方針については、当該施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

3.1.2 重大事故等対処設備

重大事故等対処設備に係る評価方針については、当該施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

3.1.3 屋外の再処理施設の危険物貯蔵施設等

「VI-1-1-1-4-1 外部火災への配慮に関する基本方針」を踏まえ再処理施設の危険物貯蔵施設等を評価対象施設とする。評価対象施設を以下に示す。

- (1) ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所
- (2) ボイラ用燃料貯蔵所
- (3) ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所
- (4) 低レベル廃棄物処理建屋プロパンボンベ庫
- (5) ボイラ建屋ボンベ置場
- (6) 精製建屋ボンベ庫
- (7) 還元ガス製造建屋

3.2 評価の基本方針

「VI-1-1-1-4-1 外部火災への配慮に関する基本方針」に従い評価する。

3.2.1 評価の分類

外部火災としては、外部火災ガイドを参考として、森林火災、石油備蓄基地火災、石油備蓄基地火災と森林火災の重畳、危険物貯蔵施設等の火災、危険物貯蔵施設等の爆発、航空機墜落による火災及び航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発の重畳を対象とする。また、再処理施設の危険物貯蔵施設等への熱影響については、森林火災、近隣の産業施設の火災及び爆発を対象とする。

評価対象施設は、「3.1 評価の対象施設」で示す外部火災の直接影響を考慮する施設及び再処理施設の危険物貯蔵施設等であるが、外部火災の分類ごとに条件の厳しい評価対象施設を選定し、代表で評価を行う。

敷地内の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発については、敷地内の危険物貯蔵施設等のうち、評価対象施設への影響が最も厳しいものを火災源及び爆発源として想定する。

さらに、敷地内の危険物貯蔵施設等が外部火災により、外部火災防護対象施設に影響を与えないことを確認するため、敷地内の危険物貯蔵施設等に対する熱影響を評価する。

再処理施設の危険物貯蔵施設等に対する影響評価の際に考慮する外部火災は森林火災並びに近隣の産業施設の火災及び爆発とする。想定する火災と影響評価を行う危険物貯蔵施設等については、第3.2.1-1表に示す火災に対して評価する。

第3.2.1-1表 森林火災並びに近隣の産業施設の火災及び爆発における影響評価の対象となる再処理施設の危険物貯蔵施設等

分類	再処理施設の危険物貯蔵施設等	貯蔵物	離隔距離(m)
森林火災	ボイラ用燃料貯蔵所*1	重油	168
	精製建屋ボンベ庫	水素	230
	ボイラ建屋ボンベ置場	プロパン	347
近隣の産業施設の火災*2	ボイラ用燃料貯蔵所*1	重油	1500
	ボイラ建屋 ボンベ置場	プロパン	1500
近隣の産業施設の爆発*3	還元ガス製造建屋	水素	217
	低レベル廃棄物処理建屋 プロパンボンベ庫	プロパン	224

注記 *1: 再処理施設の重油タンクのうち、防火帯又は石油備蓄基地から最短となる重油タンクを選定している。

*2: 水素ガスを内包する精製建屋ボンベ庫、還元ガス製造建屋 LPG ボンベ庫は、石油備蓄基地との間に建屋があり、石油備蓄基地火災に対して受熱面を有していないため、評価対象施設にしない。

*3: MOX 燃料加工施設の第1 高压ガストレーラ庫

4. 許容温度及び許容応力

評価対象施設が外部火災に対して十分な健全性を有することを確認するための評価に用いる許容温度及び許容応力は以下に示す。その設定根拠は「VI-1-1-1-4-3-1 外部火災への配慮が必要な施設の許容温度及び許容応力の設定根拠」に示す。

4.1 許容温度

4.1.1 外部火災の影響を考慮する施設

外部火災の影響を考慮する施設のうち、外部火災の直接影響を考慮する施設の許容温度について以下に示す。

(1) 外部火災防護対象施設を収納する建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

建屋の許容温度については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(2) 屋外の外部火災防護対象施設

屋外の外部火災防護対象施設は、系統構成を踏まえて評価することをから、評価分類を踏まえて許容温度を設定する。

a. 安全冷却水系(再処理設備本体用)

屋外の外部火災防護対象施設のうち、安全冷却水系(再処理設備本体用)の系統構成に関連する安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)が、火災時においても、冷却機能を損なわないこととして、冷却水の最高使用温度、機能を維持するために必要な部位の最高使用温度及び支持架構の構造強度を維持する温度を許容温度とし、以下に示す。

(a) 冷却水の最高使用温度：■℃

(b) 機能を維持するために必要な部位の最高使用温度

イ. 管束及び配管

・ チューブサポート、管束フレーム：■℃

ロ. ファン駆動部

・ ファンブレード：■℃

・ 減速機：■℃

・ 原動機：停止時：■℃、運転時：■℃

ハ. その他部材

・ ファンリング、ファンリングサポート、コモンベッド、ケーブルトレイ：■℃

(c) 支持架構の構造強度を維持する温度

鋼材：325℃

安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)以外の施設の許容温度については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(3) 建屋内で外気を取り込む外部火災防護対象施設

建屋内で外気を取り込む外部火災防護対象施設の許容温度については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(4) 飛来物防護板から影響を受ける外部火災防護対象施設

飛来物防護板から影響を受ける外部火災防護対象施設の許容温度については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(5) 外部火災防護対象施設に対して波及的影響を及ぼし得る施設

外部火災防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設については、施設を構成する部材について、一時的に強度が低下しても、構造を維持することで、倒壊等により波及的影響を及ぼさない温度450℃を許容温度とする。

4.1.2 重大事故等対処設備

重大事故等対処設備の許容温度については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

4.1.3 再処理施設の危険物貯蔵施設等

以下の敷地内の危険物貯蔵施設等が内包する危険物等について、危険物等の種別ごとに発火点温度を許容温度とする。

(1) ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所

ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所の貯蔵物である重油の発火点温度約240℃を許容温度として設定する。

(2) ボイラ用燃料貯蔵所

上記a. と同じ。

(3) ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所

上記a. と同じ。

(4) 水素

水素ガスの貯蔵容器の貯蔵物である水素の発火点温度である571.2℃を許容温度として設定する。

(5) プロパン

プロパンガスの貯蔵容器の貯蔵物であるプロパンの発火点温度である405℃を許容温度として設定する。

4.2 許容応力

4.2.1 外部火災の影響を考慮する施設

外部火災の影響を考慮する施設のうち、外部火災の影響を考慮する施設の許容応力について以下に示す。

(1) 外部火災防護対象施設を収納する建屋

外部火災防護対象施設を収納する建屋のうち、精製建屋ボンベ庫、還元ガス製造建屋は爆発源となる危険物貯蔵施設等に対し危険限界距離を確保できないことから、許容応力以下であることを説明する必要がある。これについては、当該建屋の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

5. 評価方針

5.1 森林火災に対する熱影響評価

(1) 輻射強度の算出

a. 評価方針

事業指定(変更許可)申請書において示すとおり、防火帯外縁における最も火災影響の大きくなる火炎(反応強度:750kW/m²)を評価対象の最短となる位置に配置して、その解析において火炎最前線に到達した火炎を横一列に並べ、すべての火炎から評価対象施設が受ける輻射強度を算出する。

輻射強度算出、温度評価及び危険距離算出の流れを第5.1-1図、算出に用いる評価指標とその内容を第5.1-1表、評価対象施設と防火帯の位置関係を第5.1-2図にそれぞれ示す。

また、再処理施設の危険物貯蔵施設等の貯蔵容器の内部温度の算出は「5.5 再処理施設の危険物貯蔵施設等の火災の発生防止の影響評価」に示す。

b. 評価条件

(a) 森林火災による熱を受ける面と森林火災の火炎輻射強度が発する地点が同じ高さにあると仮定し最短距離にて算出する。

(b) 森林火災の火炎は、円筒火炎モデルを使用する。火炎の高さは燃焼半径の3倍とし、燃焼半径から円筒火炎モデルの数を算出する。円筒火炎モデル数は、火炎最前線の火炎のメッシュ*1毎に設定する。

注記 *1：植生データの最小単位(=10m)を火炎のメッシュとする。

(c) 評価対象施設への熱影響が厳しくなるよう、火炎最前線の火炎から最大火炎輻射強度となる火炎を評価対象施設から最短となるように配置し、火炎最前線の到達した火炎を横一列に並べ、全ての火炎からの火炎輻射強度を考慮する。森林火災における円筒火炎モデルの概要を第5.1-3図に示す。

(d) 円筒火炎モデルの燃焼の考え方は、ある地点の燃焼完了後に隣へ移動する解析であり、隣へ移動した後は燃焼していた地点の可燃物を燃焼しつくしていることから、消炎するものとする。また、メッシュの燃焼途中で移動は考慮しない。

(e) 気象条件は無風状態とする。

c. 評価方法

外部火災ガイドを参考として、FARSITEによる解析結果を用い、評価対象施設への輻射強度を算出する。

(a) 記号の説明

算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
R	m	燃料半径
H	m	火炎長
F	-	円筒火炎モデル数
W	m	メッシュ幅
ϕi	-	各円筒火炎モデルの形態係数
L	m	各円筒火炎モデルから評価対象施設までの離隔距離
E	W/m ²	メッシュごとの輻射強度の合計
Rf	W/m ²	火炎輻射発散度
ϕt	-	形態係数の合計値

(b) 燃焼半径の算出

燃焼半径 R を式 5.1-1 により算出する。

$$R = \frac{H}{3} \cdots \text{(式 5.1-1)}$$

(出典：外部火災ガイド)

(c) 円筒火炎モデル数の算出

火炎が到達したメッシュごとに円筒火炎モデル数 F を次式のとおり算出する。

$$F = \frac{W}{2R} \cdots \text{(式 5.1-2)}$$

(出典：外部火災ガイド)

(d) 各円筒火炎モデルの形態係数の算出

円筒火炎モデルの形態係数 ϕ_i を式 5.1-3 により算出する。

$$\phi_i = \frac{1}{\pi m} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \cdots \text{(式 5.1-3)}$$

ただし、 $m = \frac{H}{R} = 3$ 、 $n = \frac{L}{R}$ 、 $A = (1 + n)^2 + m^2$ 、 $B = (1 - n)^2 + m^2$

(出典：外部火災ガイド)

各円筒火炎モデルの形態係数を合計した値として形態係数 ϕ_t を次式のとおり算出する。円筒火炎モデルを第 5.1-4 図に示す。

$$\phi_t = \left(\phi_i + \phi_{i+1} + \phi_{i+2} \cdots \cdots + \phi_{i+x} \right) \cdots \text{(式 5.1-4)}$$

ただし、 i 、 $(i+1)$ 、 $(i+2)$ 、 \cdots 、 $(i+x)$ の円筒火炎モデル数の合計は F 個とする。

(出典：外部火災ガイド)

(e) 輻射強度の算出

火炎最前線に到達した各メッシュの火炎輻射発散度 Rf から受熱面の輻射強度を式 5.1-5 により算出する。

$$E = \phi_t \times Rf \cdots \text{(式 5.1-5)}$$

(出典：外部火災ガイド)

(2) 熱影響評価

a. 評価方針

防火帯外縁から評価対象施設の建屋までの離隔距離が危険距離以上であること並びに建屋及び屋外の評価対象施設が許容温度以下となることを確認する。

b. 評価方法

屋外の外部火災防護対象施設の安全冷却水系（再処理設備本体用）の算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
ΔT_2	K	火炎からの輻射による冷却水の出口温度上昇
A	m ²	1ベイ当たりの配管表面積 (側部板にて直接輻射が当たらない伝熱管を除いた、 冷却水配管の表面積)
G	kg/s	1ベイ当たりの冷却水の質量流量
c_p	J/kg/K	冷却水の比熱

(a) 外部火災防護対象施設を収納する建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の建屋

評価対象施設の建屋の評価方法については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(b) 屋外の外部火災防護対象施設

イ. 安全冷却水系(再処理設備本体用)

安全冷却水 B 冷却塔及び安全冷却水系（安全冷却水 B 冷却塔周りの配管）については、安全機能を維持する上で最も低い許容温度となる冷却水の冷却塔出口温度上昇を確認することで、安全機能を損なわないことを確認する。冷却水温度への熱影響評価の計算モデルを第 5. 1-5 図に示す。

また、冷却水については、系統への影響を考慮し、流体の温度上昇を以下の式 5. 1-6 に 3 基づき算出する。

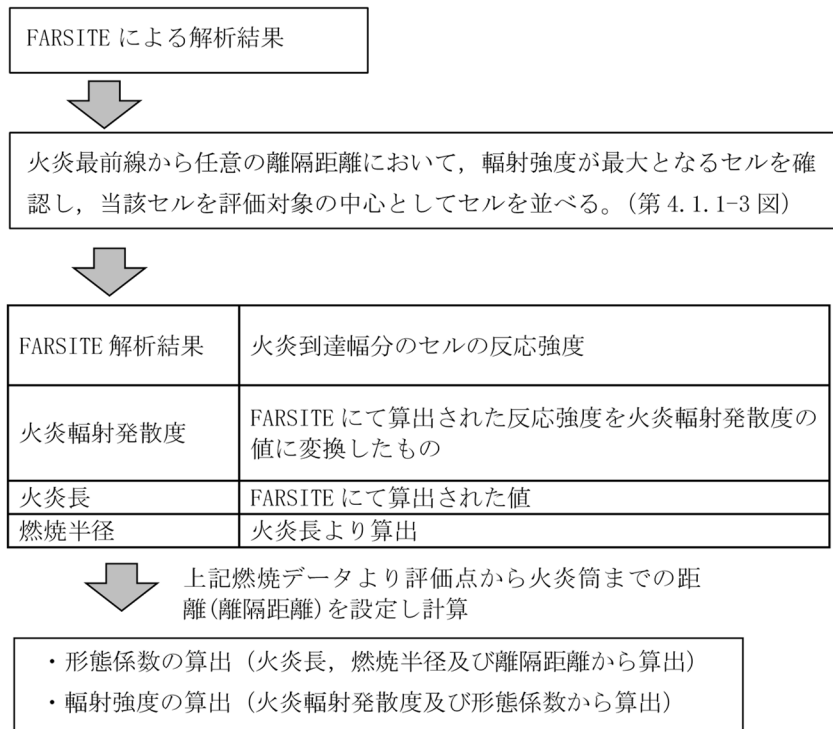
$$\Delta T_2 = \frac{E \times A}{c_p \times G} \dots \text{(式 5. 1-6)}$$

(出典：日本機械学会 伝熱工学資料 改訂第 5 版 p. 40 管内流熱伝達)

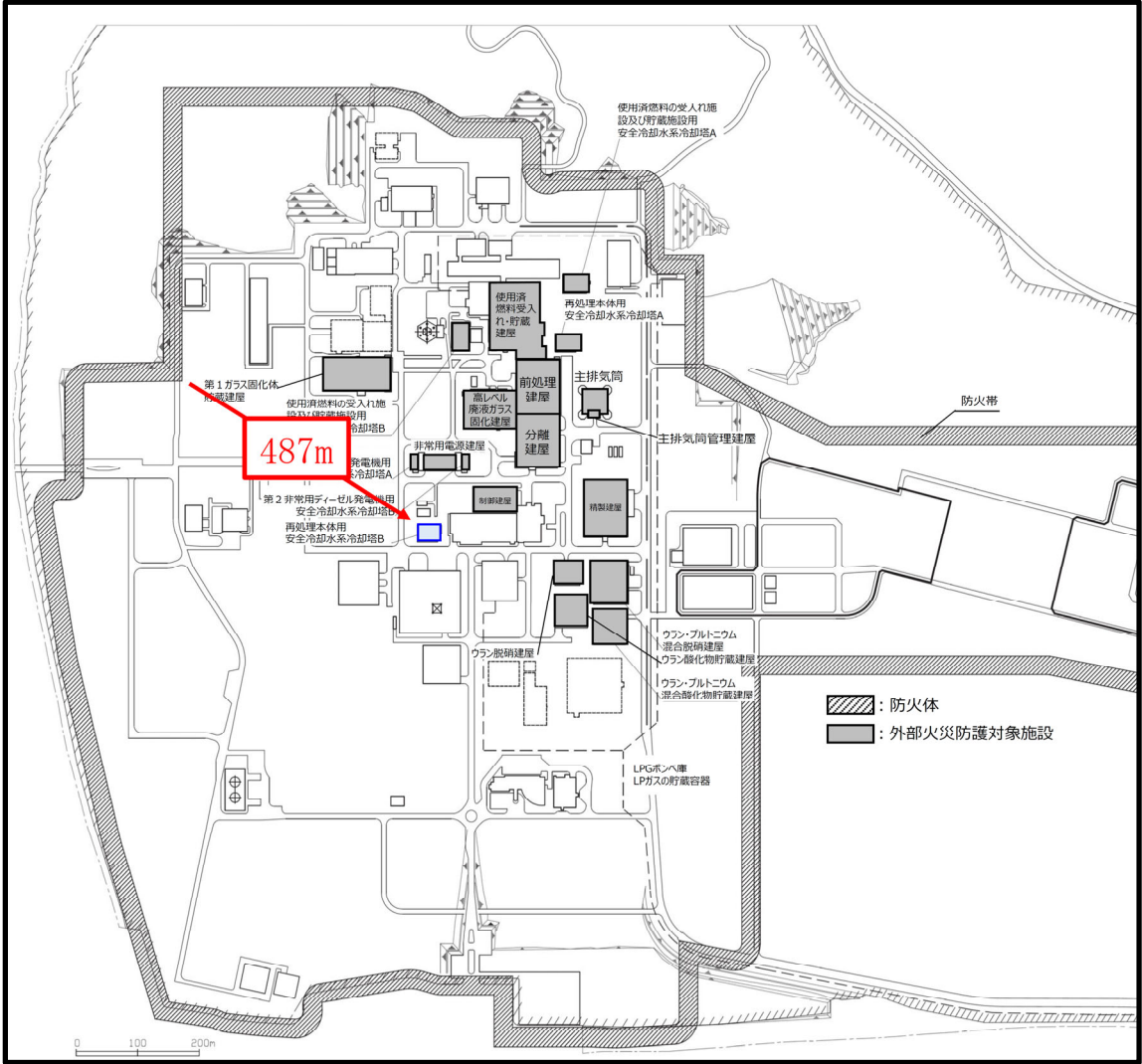
安全冷却水 B 冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水 B 冷却塔周りの配管)以外の施設の評価方法については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

第 5.1-1 表 評価指標について

評価指標	内容
反応強度 (kW/m ²)	単位面積当たりの熱放出速度であり、火炎輻射強度の根拠となる火災規模。火炎輻射強度の算出に使用する。(FARSITE の解析で算出された値)
火炎長 (m)	反応強度が最大位置の火炎の高さ。円筒火炎モデルの形態係数の算出に使用する。(FARSITE の解析で算出された値)
火炎輻射強度 (kW/m ²)	反応強度に米国 NFPA の係数 0.377 を乗じて算出され、円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出に使用する。
燃焼半径 (m)	火炎長さに基づき算出され、円筒火炎モデルの形態係数の算出に使用する。
火炎到達幅 (m)	防火帯外縁に到達した火炎の数×火炎幅(10m) (FARSITE の解析で算出された値)
形態係数	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる定数
危険距離 (m)	外壁表面温度がコンクリートの圧縮強度が維持できる温度である 200℃となる距離



第 5.1-1 図 輻射強度の算出の流れ



第 5.1-2 図 評価対象施設と防火帯の位置関係

① 火災最前線上で最も影響度が大きいメッシュ **11** を抽出する。



凡例

- : 最も影響度が大きいメッシュ
- : 2番目に影響度が大きいメッシュ
- : 3番目に影響度が大きいメッシュ
- : 4番目に影響度が大きいメッシュ
- : 火災が未到達のメッシュ

枠内の数字は、メッシュの並びに基づいて連番にて与える番号

② **11** を中心に火災最前線を展開する。

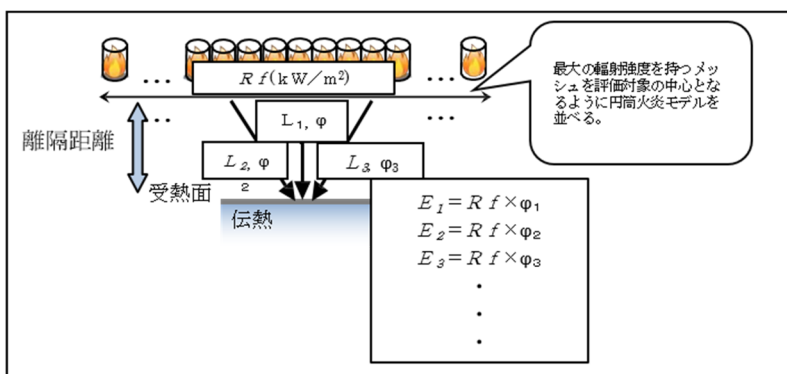


③ 未到達メッシュを除いて詰め、メッシュ毎の輻射強度から温度上昇値を算出する。

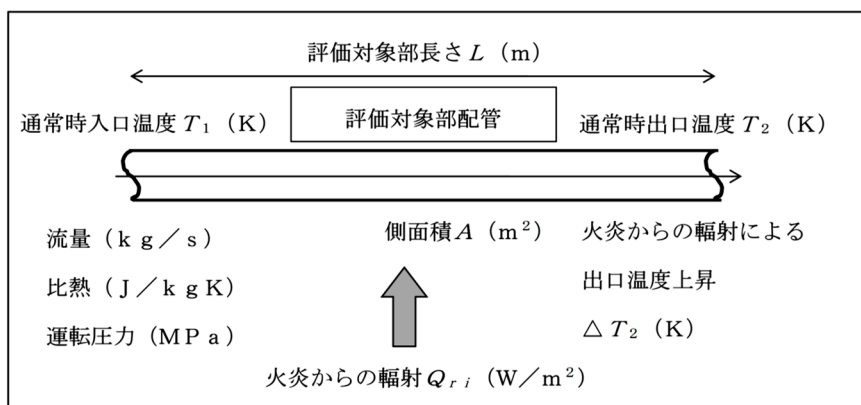


評価対象

第 5.1-3 図 円筒火炎モデルの概要



第 5.1-4 図 円筒火炎モデル



第 5.1-5 図 冷却水温度への熱影響評価の計算モデル

5.2 近隣の産業施設の火災に対する熱影響評価

近隣の産業施設の火災については、石油備蓄基地の火災、敷地内の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発並びに石油備蓄基地の火災と森林火災の重畳について影響評価を行う。

5.2.1 石油備蓄基地火災に対する熱影響評価

(1) 評価方針

石油備蓄基地の火災については、敷地西方向約 0.9km 離れた場所に存在する、51 基の原油貯蔵タンク(約 11.1 万 m³/基)の原油全てが防油堤内に流出した全面火災を想定する。評価は、評価対象施設の建屋は、算出した輻射強度がコンクリートの許容温度となる危険輻射強度以下であることを確認する。屋外の評価対象施設は代表部位が許容温度以下となることを確認する。

また、敷地内の危険物貯蔵施設等の貯蔵物の温度の算出は「5.5 再処理施設の危険物貯蔵施設等の火災の発生防止の影響評価」に示す。

石油備蓄基地の火災に対する考慮のうち、非常用ディーゼル発電機に対する考慮については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(2) 評価条件

- a. 気象条件は無風状態とする。
- b. 石油備蓄基地に配置している 51 基の原油貯蔵タンク(約 11.1 万 m³/基)の原油全てが原油貯蔵タンクから防油堤内に流出した全面火災を想定し、原油貯蔵タンクから流出した石油類は全て防油堤内に留まるものとする。
- c. 火災は原油貯蔵タンク 9 基(3 列×3 行)又は 6 基(2 列×3 行)を 1 単位とした円筒火災モデルとし、火災の高さは燃焼半径の 3 倍とする。円筒火災モデルの概念図を第 5.4.1-1 図に示す。
- d. 原油貯蔵タンクは、燃焼半径が大きく、燃焼時に空気供給が不足し、大量の黒煙が発生するため、輻射発散度の低減率(0.3)を考慮する。

(出典:消防庁特殊災害室 石油コンビナートの防災アセスメント指針,平成 25 年 3 月)

(3) 評価方法

石油備蓄基地火災については、原油貯蔵タンクの貯蔵量、原油貯蔵タンクから評価対象施設の受熱面までの距離等から評価対象施設で受ける輻射強度を求めるとともに、その輻射強度が建屋外壁の許容温度に達する危険輻射強度を算出する。屋外の評価対象施設は、代表部位の温度を算出する。

a. 記号の説明

記号	単位	定義
R	m	燃料半径
w	m	防油堤 3 基分の縦幅 (160m×3=480m)
d	m	防油堤 3 基分の横幅又は 2 基分の横幅 (160m×3=480m 又は 160m×2=320m)
φ	-	形態係数
H	m	火炎の高さ
L	m	燃焼面（円筒火災底面）の中心から受熱面（評価点）までの距離
E	W/m ²	輻射強度
Rf	W/m ²	輻射発散度

b. 燃焼半径の算出

原油貯蔵タンクは、隣接するタンクと防油堤を共有しているものが複数あることから、現実的な底面積の設定として、原油貯蔵タンク 9 基(3 列×3 行)又は 6 基(2 列×3 行)を 1 単位として円筒形にモデル化し、円筒火災相互の輻射遮蔽効果は無視する。また、防油堤の大きさは航空写真から概算で原油貯蔵タンク 1 基あたり縦幅及び横幅ともに 160m と設定し、外部火災ガイドを参考に燃焼半径 R は式 5.2.1-1 より算出する。円筒火災モデルを第 5.2.1-1 図に示す。

$$R = \sqrt{\frac{W \cdot d}{\pi}} \dots (\text{式 5.2.1-1})$$

(出典：外部火災ガイド)

c. 輻射強度の算出

外部火災ガイドを参考として、各円筒火災からの形態係数 φ_i を式 5.2.1-2 により求める。

$$\phi_i = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{A(n-1)}}{\sqrt{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \dots (\text{式 5.2.1-2})$$

ただし、 $m = \frac{H}{R} = 3$, $n = \frac{L}{R}$, $A = (1+n)^2 + m^2$, $B = (1-n)^2 + m^2$

(出典：外部火災ガイド)

φ_i (i = 1~6) : 第 5.2.1-1 図に示した各円筒火災の形態係数

ここで、求めた各円筒火災の形態係数から、外部火災ガイドを参考として、輻射強度を式 5.2.1-3 により求める。

$$E = \sum_{i=1}^6 (\phi_i \cdot R_f \cdot r) \dots (\text{式 5.2.1-3})$$

φ_i(i=1~6) : 第 5.2.1-1 図に示した各円筒火災の形態係数

ここで、輻射発散度 R_f は油種により決まるものであり、外部火災ガイドを参考として、カフジ原油の値を採用し、 $41\text{kW}/\text{m}^2$ と設定する。

また、大規模な石油備蓄基地火災を想定するため、輻射発散度の低減率 ($r=0.3$ ※) を考慮する。

※防災アセスメント指針に基づく低減率

(出典：消防庁特殊災害室 石油コンビナートの防災アセスメント指針，平成 25 年 3 月)

- d. 外部火災防護対象施設を収納する建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の危険輻射強度の算出方法

評価対象施設の建屋の評価方法については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

- e. 屋外の外部火災防護対象施設の温度の算出方法

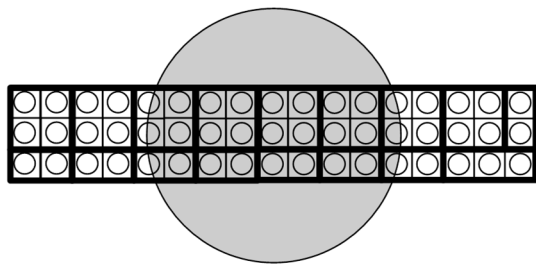
- (a) 安全冷却水系(再処理設備本体用)

5.1(2)b.(b)イ.と同様に評価する。

安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水 B 冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水 B 冷却塔周りの配管)以外の施設の評価方法については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

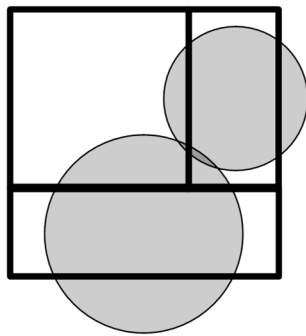
- f. 建屋内で外気を取り込む外部火災防護対象施設

非常用ディーゼル発電機の評価方法については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。



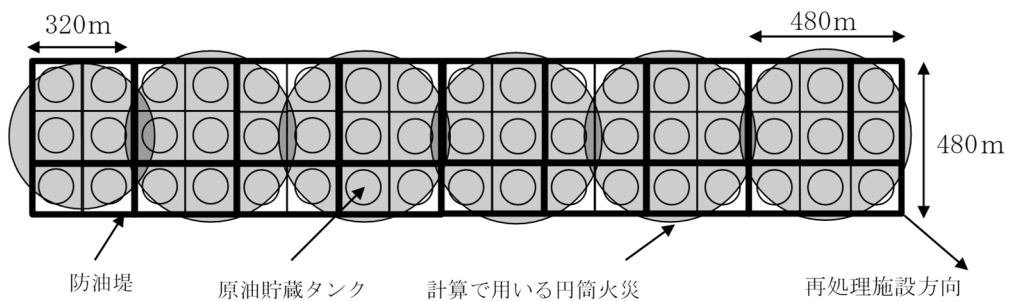
想定する防油堤内火災の燃焼形態とモデルの燃焼形態の乖離が大きく、非現実的な円筒火災モデルとなる。

<全防油堤の面積を一つの円筒火災モデルとする場合>



3列1行や2行1列で設置された防油堤については、想定する防油堤内火災の燃焼形態との間に乖離がある。

<防油堤単位で円筒火災モデルとする場合>



第 5.2.1-1 図 円筒火災モデルの概念図

5.2.2 石油備蓄基地火災と森林火災の重畳に対する熱影響評価

(1) 評価方針

石油備蓄基地火災においては、防油堤外部へ延焼する可能性は低いですが、外部火災ガイドを参考として、石油備蓄基地周辺の森林へ飛び火することにより評価対象施設へ迫る場合を想定し、石油備蓄基地火災と森林火災の重畳を想定する。評価は、この重畳火災による評価対象施設の建屋の外壁表面温度を算出し、許容温度以下となることを確認する。

(2) 評価条件

石油備蓄基地火災については、「5.2.1(2) 評価条件」と同じである。

森林火災については、「5.1(1) 輻射強度の算出」と同じである。

(3) 評価方法

石油備蓄基地火災及び森林火災の重畳による影響評価は、火炎からの輻射強度による評価対象施設の建屋の外壁表面温度及び屋外の評価対象施設の温度を算出する。

石油備蓄基地火災については、「5.2.1(3) 計算方法」に対し、森林火災の中で太陽輻射を考慮することから、火炎からの輻射強度のみとする。

森林火災については、「5.1(2) 熱影響評価」と同じである。

石油備蓄基地火災と森林火災の重畳については、評価対象施設に対し、石油備蓄基地火災の熱影響評価で算出した温度と森林火災の熱影響評価で算出した温度を加え、算出する。

検討手順を第 5.2.2-1 図に示す。

一ティリティ建屋に設置する受電変圧器(絶縁油)の火災による影響は、他の敷地内の危険物貯蔵施設等の火災による影響に包絡されるため、上記にて想定するボイラ用燃料受入れ・貯蔵所において火災を想定して熱影響を評価する。

地下の敷地内の危険物貯蔵施設等は乾燥砂で周囲を覆って設置しており、火災が発生しても影響は小さいことから評価対象外とした。

(2) 評価条件

- a. 気象条件は無風状態とする。
- b. 敷地内の危険物貯蔵施設等の危険物の貯蔵量は、危険物施設として許可された危険物の貯蔵容量を超えない運用上の最大貯蔵量とする。
- c. 離隔距離は、評価上厳しくなるよう、タンク位置から外部火災防護対象施設等までの直線距離とする。
- d. タンク内の重油全てがタンクから防油堤内に流出した全面火災を想定し、タンクから流出した重油は全て防油堤内に留まるものとする。
- e. 火災は円筒火災モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。想定する円筒火災モデルを第5.2.3-1図に示す。
- f. 輻射発散度の低減は考慮しない。

(3) 評価方法

敷地内の危険物貯蔵施設等の火災については、防油堤面積から求める燃焼半径、重油の貯蔵量及び燃焼速度から、防油堤内における重油の燃焼継続時間を設定する。その燃焼継続時間、輻射強度等を用いて、評価対象施設の建屋は外壁表面温度を算出する。屋外の評価対象施設は、代表部位の温度を算出する。

a. 記号の説明

算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
R	m	燃焼半径
w	m	防油堤の幅
d	m	防油堤の奥行
ϕ	-	形態係数
L	m	燃焼面(円筒火災底面)の中心から受熱面(評価点)までの距離
H	m	火炎の高さ
E	W/m ²	輻射強度
Rf	W/m ²	輻射発散度

b. 燃焼半径の算出

外部火災ガイドを参考として、燃焼半径 R は式 5.2.3-1 より算出する。

$$R = \sqrt{\frac{W \cdot d}{\pi}} \dots \text{(式 5.2.3-1)}$$

(出典：外部火災ガイド)

c. 輻射強度の算出

火災からの輻射強度を算出するに当たっては、外部火災ガイドを参考として、形態係数 ϕ を式 5.2.3-2 により算出する。

$$\phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \dots \text{(式 5.2.3-2)}$$

ただし、 $m = \frac{H}{R} = 3$, $n = \frac{L}{R}$, $A = (1+n)^2 + m^2$, $B = (1-n)^2 + m^2$

(出典：外部火災ガイド)

ここで、求めた形態係数から、外部火災ガイドを参考として、輻射強度 E を以下の式 5.2.3-3 により算出する。

$$E = R_f \cdot \phi \dots \text{(式 5.2.3-3)}$$

(出典：外部火災ガイド)

ここで、輻射発散度 R_f は外部火災ガイドを参考として、重油の値を採用し 23kW/m^2 と設定する。

d. 燃焼継続時間の算定

評価対象施設の建屋に使用する評価式については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

e. 外部火災防護対象施設を収納する建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の外壁表面温度の算出方法

評価対象施設の建屋の評価方法については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

f. 屋外の外部火災防護対象施設の温度の算出方法

(a) 安全冷却水系(再処理設備本体用)

5.1(2)b.(b)イ.と同様に評価する。

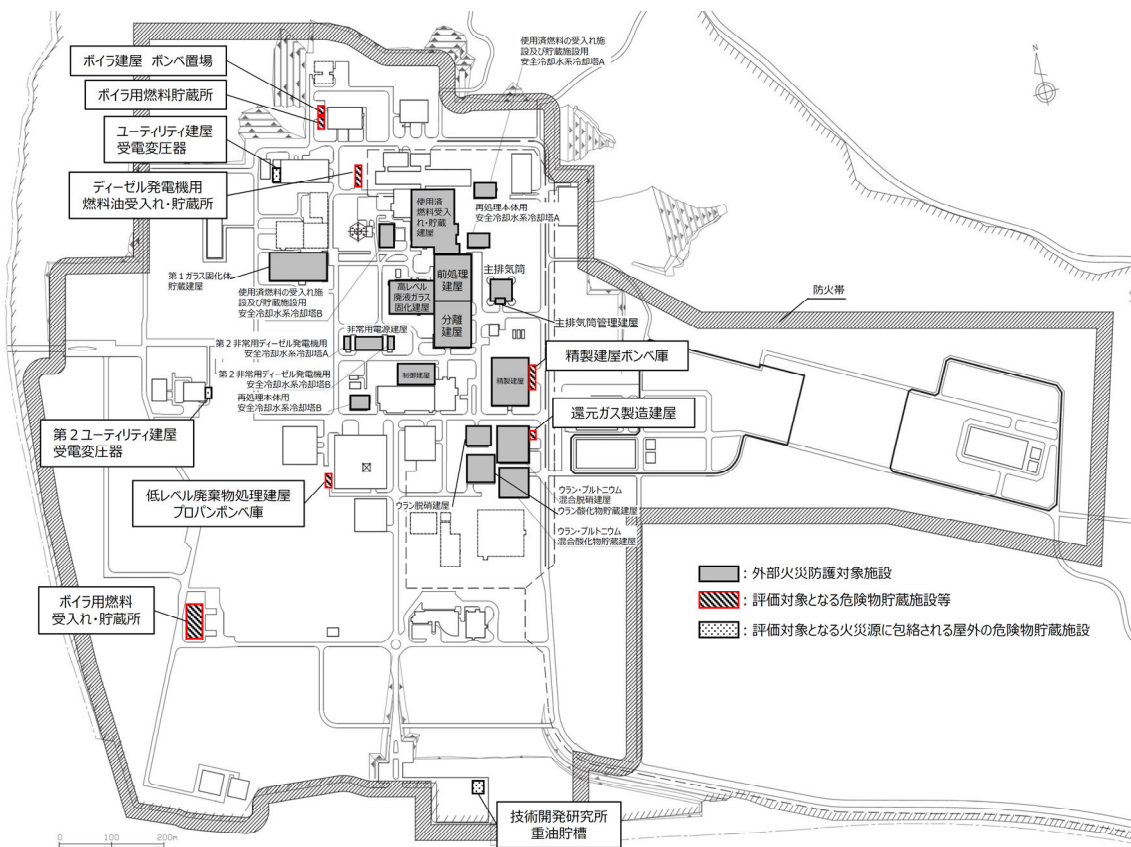
安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水 B 冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水 B 冷却塔周りの配管)以外の施設の評価方法については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

第 5.2.3-1 表 敷地内に存在する危険物貯蔵施設等

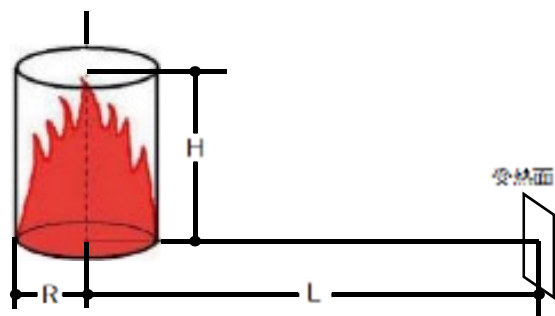
敷地内の危険物タンク等	貯蔵物
ボイラ用燃料貯蔵所	重油
ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所* ¹	重油
ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所* ¹	重油
技術開発研究所重油貯槽	重油
精製建屋ボンベ庫	水素
還元ガス製造建屋	水素
第 1 高压ガストレーラ庫* ²	水素
LPG ボンベ庫* ²	LP ガス
ボイラ建屋 ボンベ置場	プロパン
低レベル廃棄物処理建屋 プロパンボンベ庫	プロパン
ユーティリティ建屋 受電変圧器	絶縁油
第 2 ユーティリティ建屋 受電変圧器	絶縁油

注記 *1: MOX 燃料加工施設及び廃棄物管理施設と共用

*2: MOX 燃料加工施設の危険物貯蔵施設等



第 5. 2. 3-1 図 危険物貯蔵施設等の配置状況



第 5. 2. 3-2 図 想定する円筒火炎モデル

5.2.4 敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発に対する影響評価

(1) 評価方針

敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発については危険物の貯蔵量等を勘案して、再処理施設の精製建屋ボンベ庫及び還元ガス製造建屋における水素ガスボンベ、ボイラ建屋 ボンベ置場及び低レベル廃棄物処理建屋プロパンボンベ庫のプロパンボンベ並びに再処理施設以外の危険物貯蔵施設として、MOX 燃料加工施設の第1 高圧ガストレーラ庫及びLPG ボンベ庫の爆発を想定する。評価は、爆発源ごとに、評価対象施設へのガス爆発の爆風圧が人体に対して影響を与えない 0.01MPa となる距離である危険限界距離を算出し、その危険限界距離を上回る離隔距離が確保されていることを評価する。

敷地内の危険物貯蔵施設等の配置状況を第 5.3.4-1 図に示す。

(2) 評価条件

- a. 離隔距離は、評価上厳しくなるよう爆発源から外部火災の影響を考慮する外部火災防護対象施設までの直線距離とする。」
- b. 爆発源は燃料を満載した状態を想定する。
- c. 敷地内の危険物貯蔵施設等の高圧ガス漏えい及び引火による爆発を想定する。
- d. 気象条件は無風状態とする。

(3) 評価方法

爆発源のガスの種類及び貯蔵量から貯蔵設備の W 値を求める。その貯蔵設備の W 値を用いて、ガス爆発の爆風圧が人体に対して影響を与えない 0.01MPa となる距離である危険限界距離を算出する。

a. 記号の説明

算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
V	m ³	燃料量
ρ	kg/m ³	ガス密度
W	-	設備定数
X	m	危険限界距離
λ	m · kg ^{-1/3}	換算距離 (14.4)
K	W/m ²	ガス定数 水素ガス：2,860,000 プロパンガス：888,000 (100°C以上)

b. 貯蔵設備の W 値の算出

外部火災ガイドを参考とし、設備定数(W)は敷地内の危険物貯蔵施設等の貯蔵能力(単位 t)の平方根の数値(貯蔵能力が 1t 未満のものにあつては、貯蔵能力(単位 t)の数値)を用いる。必要な場合は、体積 V と密度 ρ から、貯蔵能力(単位 t)を求める。貯蔵設備の W 値を次式のとおり算出する。

$$m = V \cdot \rho$$

$$m \geq 1t \text{ の場合 } W = \sqrt{m} \cdots \text{ (式 5.2.4-1)}$$

$$m < 1t \text{ の場合 } W = m \cdots \text{ (式 5.2.4-2)}$$

V: 体積, ρ : 密度, m: 危険物質量

(出典: 外部火災ガイド)

c. 危険限界距離の算出

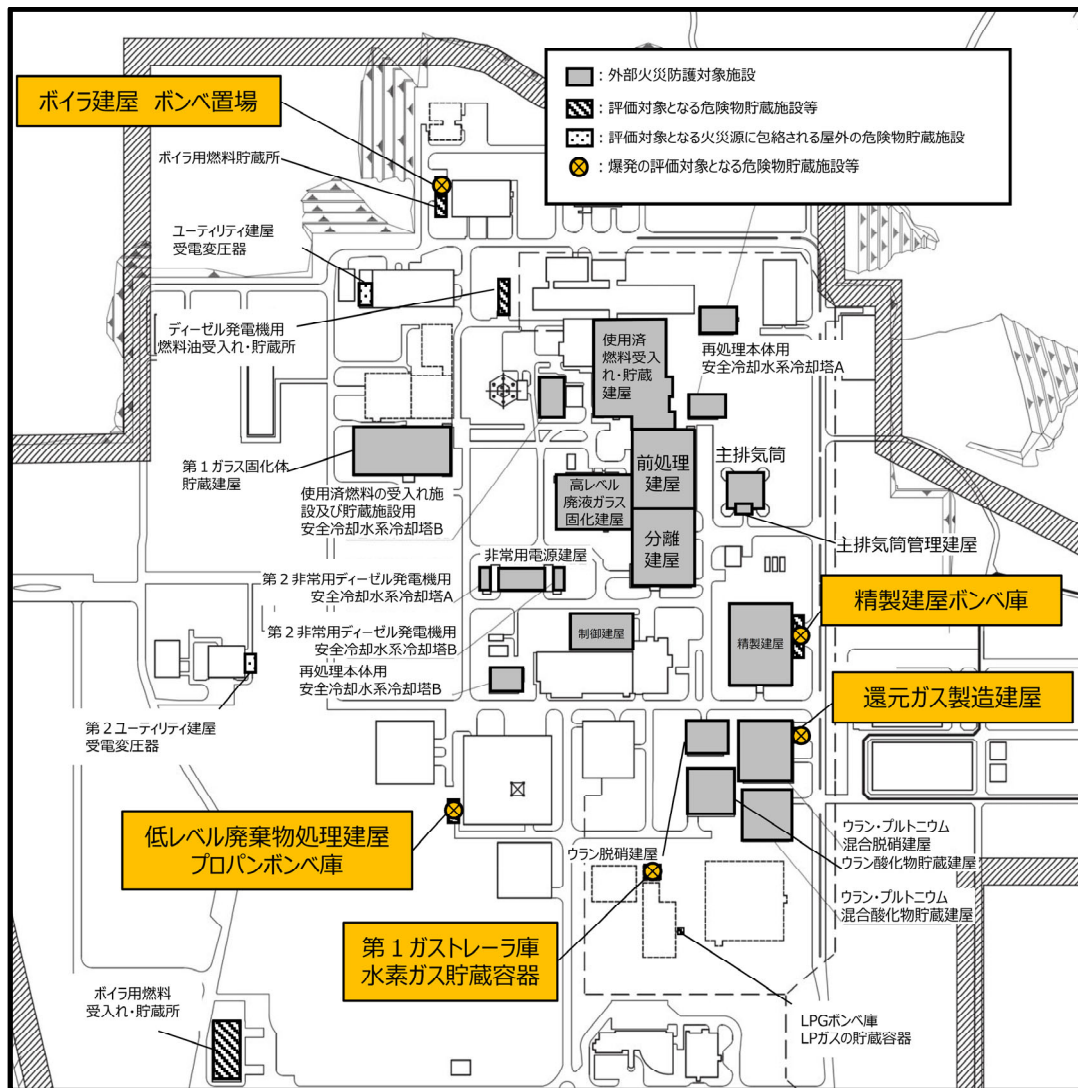
外部火災ガイドを参考とし、式 5.2.4-3 より危険限界距離を算出する。

$$X = 0.04\lambda \cdot \sqrt[3]{K \cdot W} \cdots \text{ (式 5.2.4-3)}$$

(出典: 外部火災ガイド)

(4) 危険限界距離を確保できない施設における健全性評価

危険限界距離を確保できない施設における健全性評価については、次回以降に詳細を説明する。



第 5. 2. 4-1 図 評価対象施設と危険物貯蔵施設(爆発源)の位置関係

5.3 航空機墜落による火災の熱影響評価

(1) 評価方針

航空機墜落による火災の対象航空機は、落下事故の分類を踏まえ、以下の航空機の落下事故における航空機を選定する。

自衛隊機又は米軍機の落下事故として、燃料積載量が最大の自衛隊機であるKC-767を選定する。また、再処理施設の南方向約10kmに三沢対地訓練区域があり、自衛隊機及び米軍機が訓練を行っている。このため、当社による調査結果から、三沢対地訓練区域を訓練飛行中の自衛隊機又は米軍機として、自衛隊機のF-2及び米軍機のF-16を選定する。さらに、今後訓練飛行を行う主要な航空機となる可能性のあるF-35についても選定する。対象航空機の燃料積載量を第5.3-1表に示す。

選定した対象航空機の燃焼面積及び燃料積載量を考慮して、対象航空機ごとに評価対象施設の受熱面における輻射強度及び燃焼時間を算出する。そのうち、熱影響が厳しい航空機を熱影響評価の対象航空機とする。

評価対象施設の建屋は、航空機墜落による火災について建屋外壁温度及び建屋内の温度上昇を算出し、建屋内の外部火災防護対象施設の安全機能を損なわないこと又は使用済燃料収納キャスクに波及的破損を及ぼさないことを確認する。

また、この航空機墜落火災の輻射強度による外部火災防護対象施設を収納する建屋の外壁の表面温度が、許容温度を超えてコンクリートの強度低下によるひび割れ等があっても、外壁に要求される機能を損なわないことを確認し、建屋内壁の温度上昇が、建屋内の外部火災防護対象施設に影響を及ぼさないことを確認する。

屋外の評価対象施設は、航空機墜落による火災について安全機能を損なうおそれのある部位の温度上昇を算出し、安全機能を損なわないことを確認し、周辺施設からの波及的影響がないことを確認する。

評価対象施設が、飛来物防護板から影響を受ける場合は、航空機墜落による火災による温度上昇を考慮し、その輻射強度により安全機能を維持することを確認する。

航空機墜落火災により、安全機能を損なうおそれがある場合には、耐火被覆及び遮熱板の対策が必要となる範囲を確認する。

(2) 評価条件

- a. 熱影響評価の対象航空機は選定した対象航空機のうち、火災が終了するまでの燃焼継続時間が最も長く、外部火災防護対象施設への熱影響が厳しくなる機種とする。
- b. 航空機は、燃料を満載した状態を想定する。
- c. 航空機墜落地点は、建屋外壁等への影響が厳しい地点とする。
- d. 航空機の墜落によって燃料に着火し、火災が起こることを想定する。

- e. 火災は円筒火災をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。
- f. 円筒モデルの円筒の底面積は、航空機の機体投影面積とする。
- g. 輻射強度の算出にあたり、気象条件は無風状態とする。

(3) 航空機墜落地点

再処理施設は放射性物質を取り扱う建屋が多く、面的に広く分布していることから、航空機墜落地点は建屋等の直近とし、離隔距離を想定しない航空機墜落による火災としてとらえ、評価対象施設の直近での航空機墜落による火災を想定する。

(4) 評価方法

熱影響評価の対象航空機の機体投影面積から求める燃焼半径及び燃料量により燃焼継続時間を求め、その燃焼継続時間及び輻射強度を用いて建屋外壁温度及び建屋内の温度上昇並びに屋外の評価対象施設の温度を算出する。

a. 記号の説明

算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
R	m	燃焼半径
A	m	燃焼面積
π	-	円周率
ϕ	-	形態係数
H	m	火炎高さ
E	W/m ²	火災の影響による輻射強度
Rf	W/m ²	輻射発散度
Es	W/m ²	太陽の影響による輻射強度
t	s	燃焼継続時間
V	m ³	燃料積載量
T	°C	評価点温度

冷却塔の温度の算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
T	°C	評価点温度
Δt	s	時間刻み
ρ	kg/m ³	評価点の部材の密度
c_p	J/kg/K	評価点の部材の比熱(定圧)
V	m ³	評価点の部材の体積
Q	W	熱の授受量(輻射入熱, 放熱, 熱伝導)

必要離隔距離の算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
Ta	°C	外気温度
h	W/m ² /K	熱伝達率
Qr	W	火炎からの輻射熱伝達
E	W/m ²	輻射強度
A	m ²	対象鋼板の面積(=1 単位面積)
Qt	W	裏面での対流熱伝達
h	W/m ² /K	熱伝達率(=12.5)
Ta	°C	周囲雰囲気温度(=37 外気温)
Tc(i)	°C	平板の温度
i	-	節点(=1~N)
Q	W	区分区間への熱量
λc	W/m/K	鋼板の熱伝導率
Lc	m	区分区間
V	m ³	区分区間の体積
dt	s	時間刻み(=0.01)
ρc	kg/m ³	鋼板の密度
cc	J/kg/K	鋼板の比熱
N	-	節点数
Tc(i)new	°C	時間経過後の平板の温度

b. 燃焼半径の算出

外部火災ガイドを参考として、燃焼半径 R は式 5.3-1 より算出する。

$$R = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad \dots(\text{式 5.3-1})$$

c. 輻射強度の算出

火炎からの輻射強度を算出するに当たっては、外部火災ガイドを参考として、形態係数を式 5.3-2 により算出することを基本とするが、評価対象部位の設置位置並びに火炎－評価対象部位間の遮蔽物及びそれらの形状によっては、評価対象部位ごとに個別に形態係数を算出することとする。

$$\phi = \frac{1}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \dots(\text{式 5.3-2})$$

ただし、

$$m = \frac{H}{R} = 3, \quad n = \frac{L}{R}, \quad A = (1+n)^2 + m^2, \quad B = (1-n)^2 + m^2$$

(出典：外部火災ガイド)

ここで、求めた形態係数 ϕ から、輻射強度 E を以下の式 5.3-3 により算出する。

$$E = R_f \times \phi + E_s \cdots (\text{式 5.3-3})$$

(出典：外部火災ガイド)

輻射発散度 R_f は外部火災ガイドを参考として、輻射発散度を 58kW/m^2 と設定する。また、太陽光の入射 E_s として 0.4kW/m^2 を加算する。

d. 燃焼継続時間

外部火災ガイドを参考として、燃焼継続時間 t は、式 5.3-4 より算出する。

$$t = \frac{V}{A \cdot v} \cdots (\text{式 5.3-4})$$

(出典：外部火災ガイド)

燃焼速度 v については、「日本火災学会編. 火災便覧 新版, 共立出版, 1984.」に基づき、油面降下速度 $8.0 \times 10^{-5} \text{m/s}$ とする。

燃焼範囲は航空機の機体投影面積を文献の図面から設定し、KC-767 は $1,500\text{m}^2$ 、F-2 は 110m^2 、F-16 は 90m^2 、F-35 は 110m^2 とする。

燃料積載量 V は、第 5.3.5-1 表から KC-767 は 145.1m^3 、F-2 は 10.4m^3 、F-16 は 9.8m^3 、F-35 は 10.8m^3 とする。

これらから、燃焼継続時間が最も長く、評価対象施設への熱影響が厳しくなる F-16 を熱影響評価の対象航空機とする。

e. 外部火災防護対象施設を収納する建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の建屋の外壁表面温度及び建屋内面の温度上昇の算出方法

評価対象施設の建屋の評価方法については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

f. 屋外の外部火災防護対象施設の温度の算出方法

屋外の外部火災防護対象施設が安全機能を損なうおそれがある場合は、耐火被覆又は遮熱板の対象とする。

耐火被覆を施工する評価対象については、1時間耐火の大臣認定を取得した耐火被覆を施工することで許容温度以下とする設計とすることから、「i. 必要離隔距離の算出」に基づき、耐火被覆を施工することとし、温度の評価対象としない。

(a) 安全冷却水系(再処理設備本体用)

安全冷却水系(再処理設備本体用)については、第5.3-2表に示す部位を評価対象とし、安全機能を損なうおそれがある部位に対する、耐火被覆又は遮熱板

の耐火被覆の施工範囲及び構造図については、「VI-2-5 構造図」に示す。

イ. 冷却水温度の評価

5.1(2)b.(b)イ.と同様とする。

ロ. チューブサポート

チューブサポートは [REDACTED] 火炎からの直接輻射を上面が受けることを考慮し、この輻射強度に基づきチューブサポートの温度上昇を評価する。

チューブサポートが受ける輻射影響を第5.3-1図に示す。

火炎からチューブサポートへの直接輻射の形態係数の算出は、ファンブレードの円筒火炎に対して水平受熱面を考慮した形態係数は、式5.3-5に基づき算出する。

$$\phi = \frac{1}{\pi} \left\{ \tan^{-1} \sqrt{\frac{n+1}{n-1}} - \frac{n^2-1+m^2}{\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] \right\} \dots \text{(式 5.3-5)}$$

ただし、

$$m = \frac{H}{R} = 3, \quad n = \frac{L}{R}, \quad A = (1+n)^2 + m^2, \quad B = (1-n)^2 + m^2$$

(出典：C. J. H. van den Bosch, R. A. P. M. Weterings, Methods for the calculation of physical effects, Appendix 6.1-3, 式6.A.10)

温度評価に当たっては、チューブサポートの厚み方向の熱伝導を考慮し、一次元の熱伝導計算である式5.3-6により算出する。

$$\rho \times c_p \times V \times \frac{dT}{dt} = Q \dots \text{(式 5.3-6)}$$

(出典：日本機械学会 伝熱工学資料 改訂第5版 p.2 熱伝導方程式)

燃焼継続時間における温度上昇を評価するため、式5.3-6を陽解法により時間刻み Δt ごとの時間進行の式とした式5.3-7により、燃焼後の温度を評価する。

$$T_{(t+\Delta t)} = T_{(t)} + \frac{Q \times \Delta t}{\rho \times c_p \times V} \dots \text{(式 5.3-7)}$$

ハ. ファンブレード

ファンブレードの周囲には耐火被覆を施工したファンリングがあることから、ファンリングの温度上昇による二次輻射を考慮する。また、ファンブレードの下面は、火炎からの直接輻射が見込まれることから、この輻射強度に基づきファンブレードの温度上昇を評価する。

ファンブレードが受ける輻射影響を第5.3-2図に示す。

火炎からファンブレードへの直接輻射の形態係数の算出は、円筒火炎に対

して水平受熱面を考慮した次の形態係数の式5.3-7を用いる。

なお、ファンリングの温度については、保守的にファンリングの許容温度 250°C と同じ温度とし、ファンリングからファンブレードへの熱影響の考慮に当たっては、実際にはファンリングの温度上昇は火炎側のみに生じるものの、保守的にファンリング全周からの二次輻射を考慮するものとする。

ファンリングからファンブレードへの二次輻射は保守的に全ての輻射影響を受けるとし、形態係数の算出は、円筒内面と円盤面の形態係数の算出式を用いる。円筒内面と円盤面の形態係数の算出モデル及び算出式を第5.3-3図に示す。

温度評価に当たっては、「ロ. チューブサポート」と同様に式5.3-6及び式5.3-7を用いる。

ニ. 減速機

減速機については、火炎からの直接輻射の影響に対し、遮蔽板による防護を実施する。そのため、周辺設備であるファンリング及び遮熱板の温度上昇による輻射強度に対する減速機の温度上昇を評価する。

減速機が受ける輻射影響を第5.3-4図に示す。

火炎から遮熱板への直接輻射の形態係数の算出は、5.3(4)c. と同様とする。なお、火炎からファンリングへの直接輻射の形態係数については、ファンリングの温度は、評価結果を用いるのではなく、保守的に鋼材の許容温度 325°C に設定し、全周からの輻射を受けることとする。

ファンリングから遮熱板への二次輻射の形態係数の算出は、ファンリングに遮熱板が囲われる形となることから、評価が厳しくなるよう遮熱板とファンリングが最も近い位置を起点として、二重円筒の形態係数の評価式を用いる。二重円筒の形態係数の算出モデル及び算出式を第5.3-5図に示す。

遮熱板から減速機への形態係数は、保守的に遮熱板からの輻射を全て減速機が受けるものとして1とする。

温度評価に当たっては、「ロ. チューブサポート」と同様に式5.3-6及び式5.3-7を用いる。

ホ. 原動機

原動機については、火炎からの直接輻射の影響に対し、遮蔽板による防護を実施する。

原動機が受ける輻射影響を第5.3-6図に示す。

火炎からの直接輻射を遮熱板が受け、遮熱板の温度が上昇した場合の原動機の温度が上昇を評価する。

なお、原動機については、ファンリングの外周側に設置されていることから、保守的にファンリングによる遮熱効果は無視するとともに、太陽輻射を

考慮する。

火炎から遮熱板への直接輻射の形態係数の算出は、5.3(4)c.と同様とする。

遮熱板から原動機への形態係数は、保守的に遮熱板からの輻射を全て原動機が受けるものとして1とする。

温度評価に当たっては、「ロ. チューブサポート」と同様に式5.3-6及び式5.3-7を用いる。

安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)以外の施設の評価方法については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

g. 外部火災防護対象施設等に対して波及的影響を及ぼし得る施設

外部火災防護対象施設等に対して波及的影響を及ぼし得る施設については、波及的影響を及ぼし得る部位について、「i. 必要離隔距離の算出」に基づき、1時間耐火の大臣認定を取得した耐火被覆を施工することで許容温度以下とする設計とする。

耐火被覆の施工範囲及び構造図については、「VI-2-5 構造図」に示す。

h. 飛来物防護板から影響を受ける外部火災防護対象施設

飛来物防護板から影響を受ける外部火災防護対象施設の評価方法については、当該施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

i. 必要離隔距離の算出

必要離隔距離の算出にあたり、保守的な評価を行うため、輻射を最も受けやすく、密度及び比熱が小さい平板の中炭素鋼により評価する。

任意の距離に応じた輻射強度を考慮し、部材の材質及び板厚ごとに5.3-8式から5.3-18式に基づき、許容温度を下回る離隔距離を算出する。

計算モデルを第5.3-7図に示す。輻射を受ける平板の温度は、一次元熱伝導として非定常計算する。区分区間ごとに温度節点を設定する。区分区間は温度一様とし、時間変化をステップ計算にて計算する。時間変化は差分式(陽解法)にて計算する。

$$Q_r = E \cdot A \cdots \text{(式 5.3-8)}$$

(対流熱伝達)

$$Q_t = h \cdot A \cdot (T_c(N) - T_a) \cdots \text{(式 5.3-9)}$$

(出典:日本機械学会 伝熱工学資料 改訂第5版 p.23 対流熱伝達)

空気調和衛生工学便覧 第14版 1基礎篇 環境・エネルギー評価第17章に記載される外表面熱伝達率を設定。

(平板の温度)

$i=1$ (表面温度)

$$Q = Q_r - \lambda_c / L_c \cdot A \cdot (T_c(1) - T_c(2)) \cdots \text{(式 5.3-10)}$$

$$V = L_c / 2 \cdot A \cdots \text{(式 5.3-11)}$$

$$Tc(1)_{new}=Tc(1)+dt\cdot Q/(\rho c\cdot cc\cdot V) \quad \cdots \text{(式 5.3-12)}$$

$i=2\sim N-1$ (内部温度)

$$Q=\lambda c/Lc\cdot A\cdot(Tc(i-1)-Tc(i))-\lambda c/Lc\cdot A\cdot(Tc(i)-Tc(i+1)) \quad \cdots \text{(式 5.3-13)}$$

$$V=Lc\cdot A \quad \cdots \text{(式 5.3-14)}$$

$$Tc(i)_{new}=Tc(i)+dt\cdot Q/(\rho c\cdot cc\cdot V) \quad \cdots \text{(式 5.3-15)}$$

$i=N$ (裏面温度)

$$Q=\lambda c/Lc\cdot A\cdot(Tc(N-1)-Tc(N))-Qt \quad \cdots \text{(式 5.3-16)}$$

$$V=Lc/2\cdot A \quad \cdots \text{(式 5.3-17)}$$

$$Tc(N)_{new}=Tc(N)+dt\cdot Q/(\rho c\cdot cc\cdot V) \quad \cdots \text{(式 5.3-18)}$$

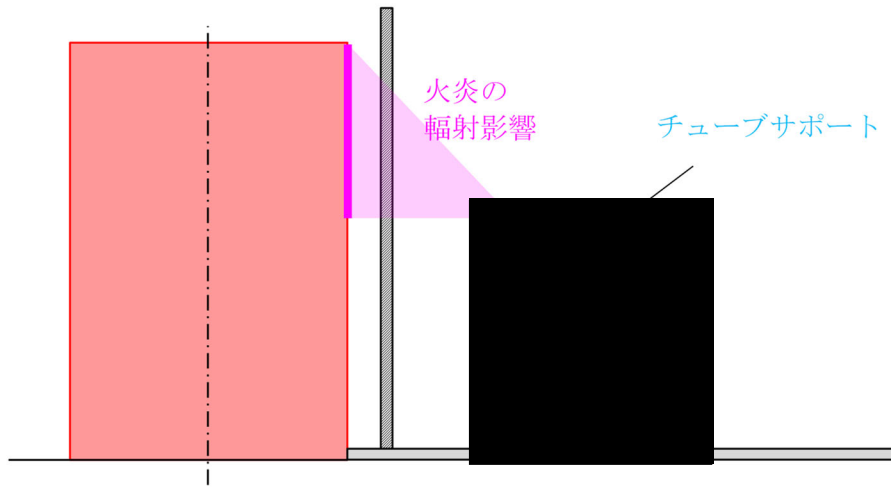
第 5.3-1 表 航空機の燃料積載量

対象航空機	燃料積載量 (m ³)
KC-767	145.1 ^{*1}
F-2	10.4 ^{*2, *3}
F-16	9.8 ^{*3, *4}
F-35	10.8 ^{*3, *5}

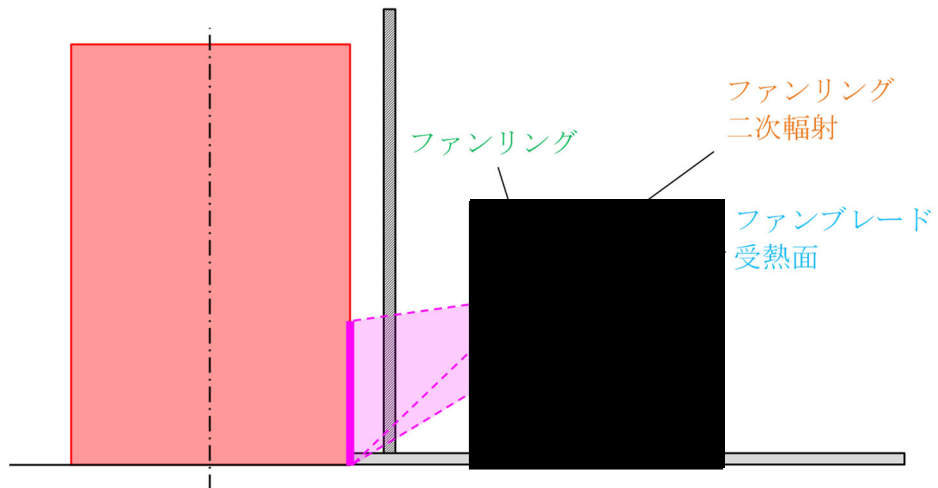
- 注記 *1: 佐瀬亨, 航空情報 特別編集 世界航空年鑑 2018-2019 年版, せきれい社, 2019.
 *2: Paul, Jackson. ed. Jane's All the World's Aircraft 1997-98. Jane's Information Group, 1997.
 *3: NASA. "Analysis of NASA JP-4 Fire Tests Data and Development of a Simple Fire Model". NASA Contractor Report. 1980, CR-159209.
 *4: John, W. R. Taylor. ed. Jane's All the World's Aircraft 1987-88. Jane's Publishing Company Limited, 1987.
 *5: Paul, Jackson. Jane's All The World's Aircraft: Development & Production 2017-2018. HIS Markit, 2017.

第 5.3.-2 表 評価対象部位と防護対策

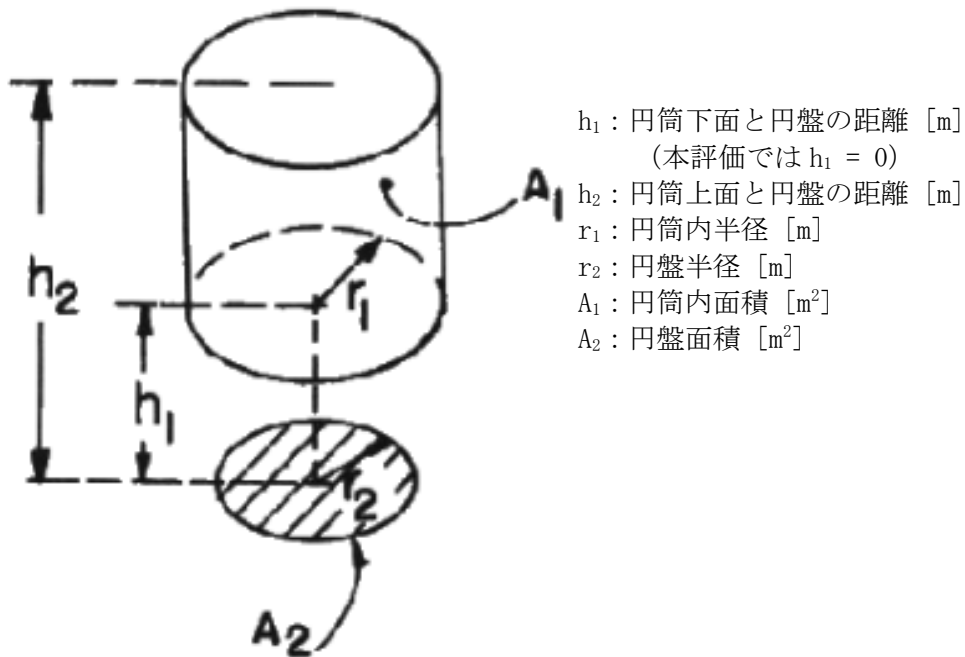
部位	評価対象	防護対策
冷却水	冷却水	—
管束・配管	チューブサポート	—
	管束フレーム, ボルト類	耐火被覆
ファン駆動部	ファンリング	耐火被覆
	ファンブレード	—
	減速機	遮熱板
	原動機	遮熱板
	ファンリングサポート, ボルト類, コモンベット, ケーブルトレイ	耐火被覆
支持架構	支柱, 床はり, 機械台はり, 立面ブレース, 水平ブレース, 基礎ボルト	耐火被覆



第 5.3-1 図 チューブサポートが受ける輻射熱



第 5.3-2 図 ファンが受ける輻射熱



$$F_{1-2} = \frac{1}{4R(H_2 - H_1)} \left[(X_1 - X_2) - (X_1^2 - 4R^2)^{1/2} + (X_2^2 - 4R^2)^{1/2} \right]$$

ただし,

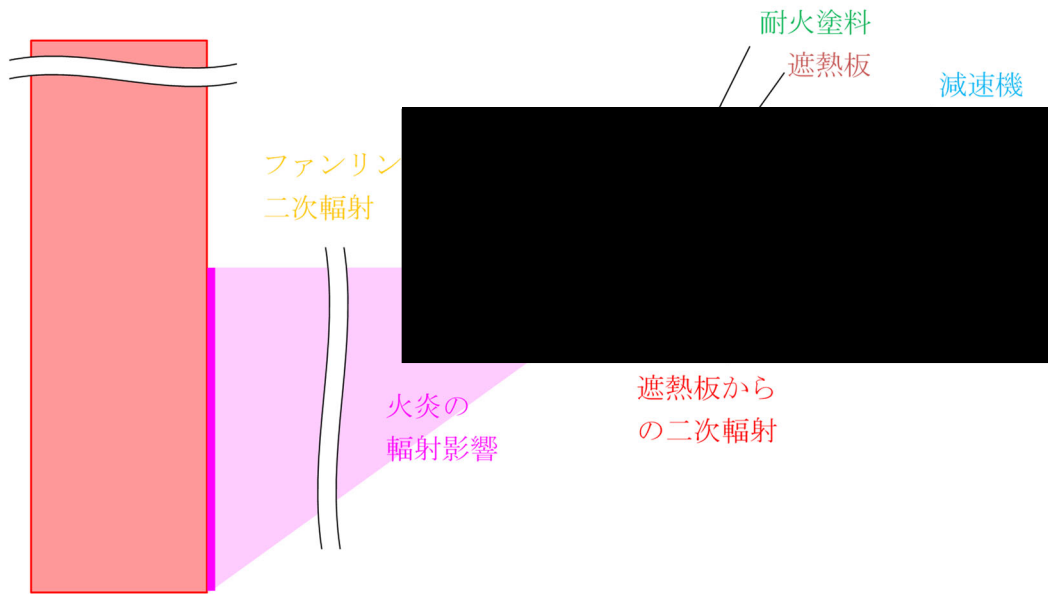
$$R = r_1/r_2 \quad H_1 = h_1/r_2 \quad H_2 = h_2/r_2 \quad X = H^2 + R^2 + 1$$

円盤 (ブレード) を基準とする形態係数は次式である。

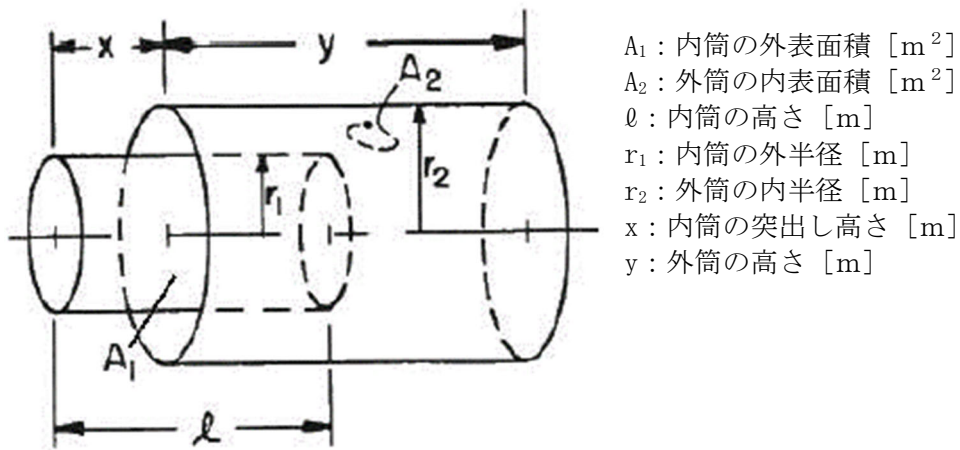
$$F_{21} = F_{12} \frac{A_1}{A_2}$$

(出典: John R. Howell, A Catalog of Radiation Heat Transfer Configuration Factors, 3rd Edition)

第 5.3-3 図 円盤 (ファンブレード) を基準とする形態係数



第 5.3-4 図 減速機が受ける輻射熱



- A_1 : 内筒の外表面積 [m²]
- A_2 : 外筒の内表面積 [m²]
- l : 内筒の高さ [m]
- r_1 : 内筒の外半径 [m]
- r_2 : 外筒の内半径 [m]
- x : 内筒の突出し高さ [m]
- y : 外筒の高さ [m]

$$X=x/r_2 \quad Y=y/r_2 \quad L=l/r_2 \quad R=r_1/r_2$$

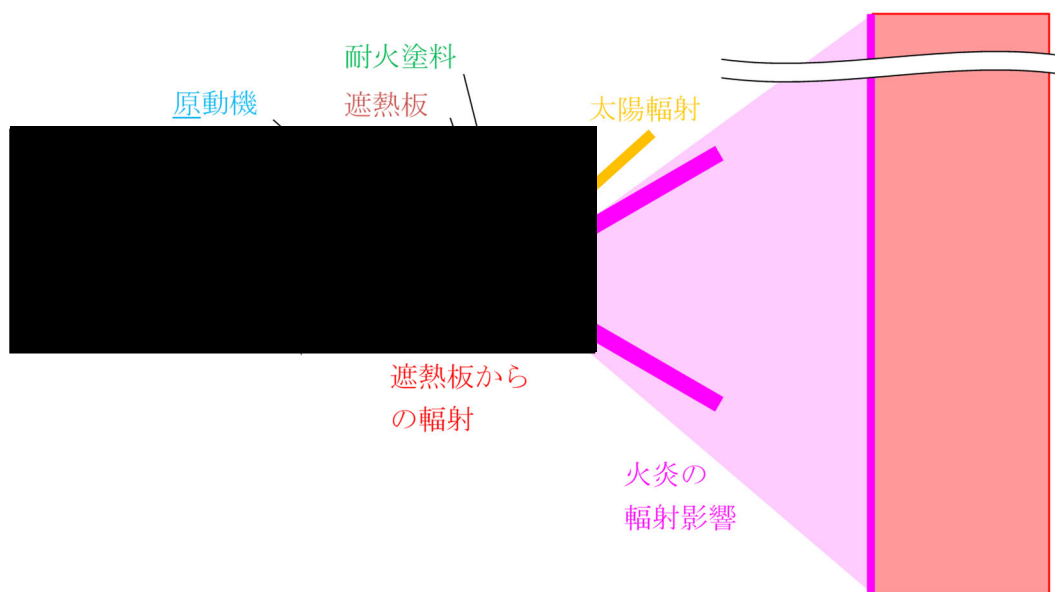
$$A_\xi = \xi^2 + R^2 - 1 \quad B_\xi = \xi^2 - R^2 + 1$$

$$F_\xi = \frac{B_\xi}{8R\xi} + \frac{1}{2\pi} \left\{ \cos^{-1} \frac{A_\xi}{B_\xi} - \frac{1}{2\xi} \left[\frac{(A_\xi + 2)^2}{R^2} - 4 \right]^{1/2} \cos^{-1} \frac{A_\xi R}{B_\xi} - \frac{A_\xi}{2\xi R} \sin^{-1} R \right\}$$

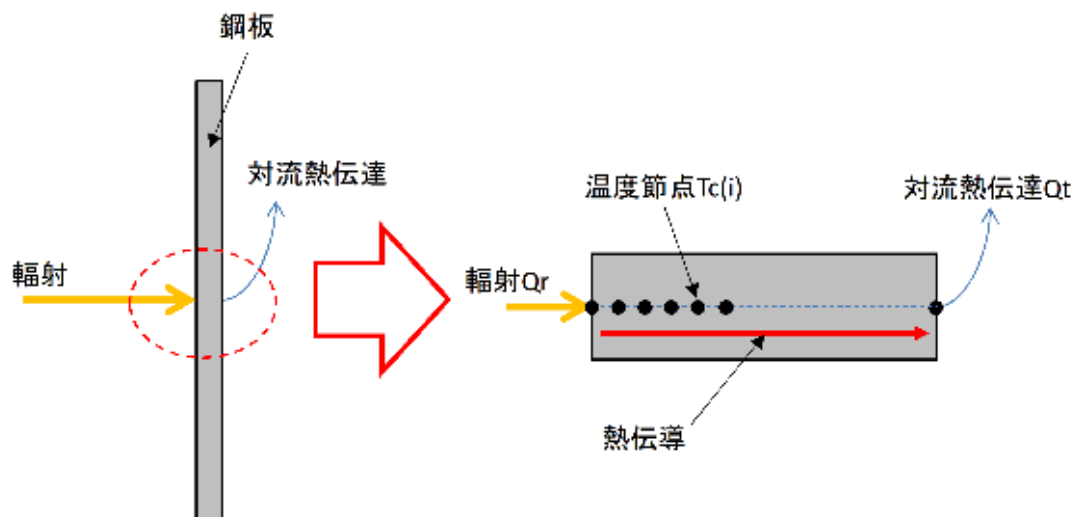
$$F_{1-2} = \frac{X}{L} \cdot F_X + \frac{L-X}{L} \cdot (1-F_{L-X}) + \frac{Y+X-L}{L} \cdot F_{Y+X-L} - \frac{X+Y}{L} \cdot F_{X+Y}$$

(出典 : John R. Howell, A Catalog of Radiation Heat Transfer Configuration Factors, 3rd Edition)

第 5.3-5 図 二重円筒の形態係数



第 5.3-6 図 原動機が受ける輻射熱



第 5.3-7 図 必要離隔距離の計算モデル

5.4 航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発の重畳の影響評価

(1) 評価方針

航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発については、再処理施設の精製建屋ボンベ庫及び還元ガス製造建屋における水素ガスボンベ、ボイラ建屋 ボンベ置場及び低レベル廃棄物処理建屋プロパンボンベ庫のプロパンボンベ並びに再処理施設以外の危険物貯蔵施設として、MOX燃料加工施設の第1高压ガストレーラ庫及びLPGボンベ庫の爆発を想定する。評価は、「5.2.4 (1) 評価方針」と同様に行う。

(2) 評価条件

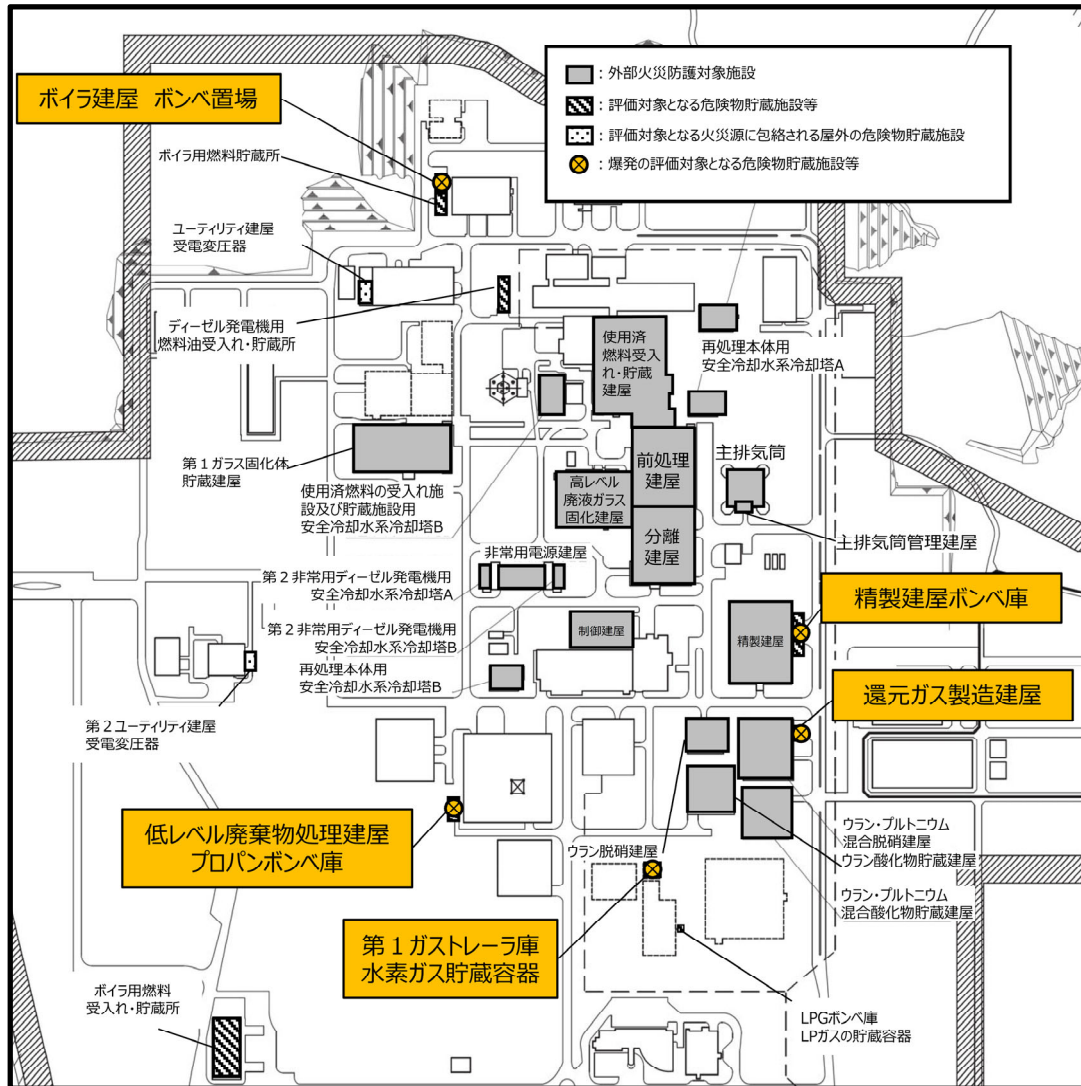
航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発の重畳については、「5.2.4 (2) 評価条件」と同じである。

(3) 評価方法

航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発の重畳については、「5.2.4 (3)c. 評価方法」と同じである。

(4) 危険限界距離を確保できない施設における健全性評価

危険限界距離を確保できない施設における健全性評価については、5.2.4 (3)d. と同様とする。



第5.4-1図 評価対象施設と敷地内の危険物貯蔵施設等(爆発源)の位置関係

5.5 再処理施設の危険物貯蔵施設等の火災の発生防止の影響評価

(1) 森林火災に対する熱影響評価

a. 評価方針

ボイラ用燃料貯蔵所の重油タンク，精製建屋ボンベ庫の水素ガスボンベ並びにボイラ建屋 ボンベ置場のプロパンボンベの内部温度を算出し，算出される内部温度を危険物貯蔵物等の許容温度以下とすることで，危険物貯蔵施設等の火災を防止し，外部火災防護対象施設等へ影響を与えないことを評価する。

b. 評価条件

評価条件は，5.1(1)と同様とする。

重油タンクへの影響評価算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
E	W/m^2	輻射強度
T	$^{\circ}C$	重油の温度
T_o	$^{\circ}C$	初期温度
T_s	$^{\circ}C$	タンク内表面に位置する重油の温度
t	s	燃焼時間
χ	m	タンク内表面の重油の深さ
α	m^2/s	温度伝導率
λ	$W/m/K$	重油の熱伝導率
ρ	kg/m^3	重油の密度
c	$J/kg/K$	重油の比熱

水素ガスのボンベ及びプロパンボンベへの影響評価算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
E	W/m^2	輻射強度
T	$^{\circ}C$	容器内温度
T_o	$^{\circ}C$	初期温度
t	s	燃焼時間
V	m^3	体積
ρ_p	kg/m^3	貯蔵物密度
C_{pp}	$J/kg/K$	貯蔵物比熱
ρ_s	kg/m^3	容器材密度
C_{ps}	$J/kg/K$	容器材比熱
D_i	m	ボンベ内径
D_o	m	ボンベ外径
e	m	ボンベ最小板厚
h	m	ボンベ円筒高さ

c. 評価方法

(a) 重油タンクへの熱影響評価方法

重油タンクは屋外に設置され、一方向から直接的に熱影響を受ける。ここでは、厳しい評価となるようにタンクの構造材を無視し、大気への放熱を考慮しない貯蔵物への熱計算を実施し、その温度が許容温度以下であることを確認する。温度評価は、熱流束一定の半無限固体の熱伝導に関する以下の(5.5.1-1)式に基づき算出する。

$$T = T_0 + \frac{2 \times E \times \sqrt{\alpha \times t}}{\lambda} \times \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \times \exp\left(-\frac{\chi^2}{4 \times \alpha \times t}\right) - \frac{\chi}{2 \times \sqrt{\alpha \times t}} \operatorname{erfc}\left(\frac{\chi}{2 \times \sqrt{\alpha \times t}}\right) \right] \quad \dots(\text{式 } 5.5.1-1)$$

ただし、 $\alpha = \lambda / (\rho \times c)$

$\operatorname{erfc}(\chi) = 1 - \operatorname{erf}(\chi)$ ($\operatorname{erf}(\chi)$: 誤差関数)

(出典: 日本機械学会 伝熱工学資料 改訂第4版)

評価に当たっては、厳しい評価となるようにタンク最表面からの対流及び輻射放熱は考慮しないため、火炎からの輻射エネルギーは全て重油内面に向かう評価モデルとする。最高温度の位置は外壁最表面となり上式の χ に0を適用できる。

$$T = T_0 + \frac{2 \times E \times \sqrt{\alpha \times t}}{\sqrt{\pi} \lambda} \quad \dots(\text{式 } 5.5.1-2)$$

(出典: 日本機械学会 伝熱工学資料 改訂第4版)

(b) 水素ボンベ及びプロパンボンベへの熱影響評価

水素ボンベ及びプロパンボンベについては、屋内に設置され、外壁から熱影響を受ける。評価においては、厳しい評価となるように外壁を考慮せず、一定の熱流束を与え、ボンベ内部温度を評価し、貯蔵物の温度が許容温度以下となることを確認する。

一定の熱流束を与えた容器内の温度評価については「日本機械学会 伝熱工学資料 改訂第4版」を参考に受ける熱量と熱容量の関係から、以下の式5.5.1-3を使用して実施する。

$$T = T_0 + \frac{E \cdot t \left(\frac{\pi \cdot D_0 \cdot h}{2} + \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \right)}{\rho_p \cdot c_{pp} \cdot V + \rho_s \cdot c_{ps} \left\{ \frac{(D_0^2 - D_i^2) \cdot \pi \cdot h}{4} + 2 \cdot \pi \cdot \frac{D_0^2}{4} \cdot e \right\}} \quad \dots(\text{式 } 5.5.1-3)$$

(2) 石油備蓄基地火災に対する熱影響評価

a. 評価方針

ボイラ用燃料貯蔵所の重油タンク及びボイラ建屋 ボンベ置場のプロパンボンベの内部温度を輻射強度に基づき算出し、算出される内部温度を貯蔵物の許容温度以下とすることで、危険物貯蔵施設等の火災及び爆発を防止し、外部火災防護対象施設等へ影響を与えないことを評価する。

b. 評価条件

評価条件5.2(2)「評価条件」と同様とする。

重油タンクへの影響評価算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
Q_{ri}	W/m^2	火炎からの輻射
Q_{ro}	W/m^2	大気への輻射放熱
Q_h	W/m^2	熱伝達による大気への放熱
Q_{sun}	W/m^2	太陽光入射：400W/m ²
T_c	K	表面温度
T_a	K	大気側温度
h	$W/m^2/K$	熱伝達係数

プロパンボンベへの影響評価算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
Q_{rad}	W/m^2	建屋内面から容器表面への輻射
Q_{cnv}	W/m^2	熱伝達による放熱
σ	$W/m^2/K^4$	ステファン-ボルツマン定数
T_c	K	建屋内面温度
T_w	K	容器表面温度
T_b	K	室内温度
ε_w	°C	容器表面の輻射率
h	$W/m^2/K$	熱伝達係数
Nu	-	ヌセルト数
Ra	-	レイリー数
Gr	-	グラスホフ数
Pr	-	プラントル数*1
ν	m^2/s	大気の動粘性係数*1
λ	$W/m/K$	大気の熱伝導率*1
T_r	K	代表温度
β	1/K	体膨張係数
L_w	m	評価対象高さ
g	m/s^2	重力加速度

注記 *1: 「日本機械学会. 伝熱工学資料 改訂第4版. 1986.」に基づく代表温度 T_r における値に線形補間する。

c. 評価方法

(a) 重油タンク表面温度評価方法

重油タンクは、屋外に設置されるため、建屋外壁と同様に、火災の影響を直接受けることとなる。したがって、建屋外壁と同様の定常計算を実施する。第5.5.2-1図に、温度上昇の計算モデルを示す。具体的には、石油備蓄基地火災における火災からの輻射入熱及び(5.5.2-1)式を基に放熱量と入熱量の関係が成立する際の評価対象表面温度を算出する。算出された評価対象表面温度が、貯蔵物の許容温度以下であることを確認する。

$$Q_{\text{sun}}+Q_{\text{ri}}=Q_{\text{ro}}+Q_{\text{h}} \cdots (\text{式 } 5.5.2-1)$$

大気への輻射放熱及び熱伝達による大気への放熱量は式(5.5.2-2)により計算した。

$$Q_{\text{ro}}+Q_{\text{h}}=h(T_{\text{c}}-T_{\text{a}}) \cdots (\text{式 } 5.5.2-2)$$

(出典:日本機械学会 伝熱工学資料 改訂第5版 p.23 対流熱伝達)

なお、 h は、空気調和・衛生工学会、空気調和・衛生工学便覧第14版より、一般的な放熱量の最小値 $17\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$ を考慮する。

(b) プロパンボンベの評価方法

プロパンボンベは屋内に設置されるため、ボンベの設置される建屋外面まで及び建屋内面からボンベ表面までの2段階の定常計算を実施する。評価に当たっては、厳しい評価となるように外壁での熱伝導を考慮せず、建屋外面温度と建屋内面温度が同じであるとして、定常計算を実施する。温度上昇の計算モデルを第5.5.2-2図及び第5.5.2-3図に示す。

ここで、ボンベについても、放熱量と入熱量の関係が成立する際の評価対象表面温度を算出する。算出された評価対象表面温度が、貯蔵物の許容温度以下であることを確認する。

イ. 建屋外面までの評価

建屋外面までの評価については、重油タンク表面温度評価(5.5(2)b.(a))と同一の評価式を用いる。

ロ. 建屋内面からボンベ表面までの評価

入熱と放熱の関係は、次式に示す。

$$Q_{\text{rad}}-Q_{\text{cnv}}=0 \cdots (\text{式 } 5.5.2-3)$$

建屋内面からボンベ表面までの輻射 Q_{rad} は、次式に示す。

$$Q_{\text{rad}}=\varepsilon_{\text{w}}\sigma(T_{\text{c}}^4-T_{\text{w}}^4) \cdots (\text{式 } 5.5.2-4)$$

(伝熱工学資料 改訂第5版 p.139 ふく射伝熱計算 灰色拡散面間のふく射伝熱計算)

熱伝達による放熱量 Q_{cnv} は、鉛直平板まわりの自然対流熱伝達として、(式5.5.2-5)から(式5.5.2-13)により算出する。

$$Q_{\text{rad}}=h(T_w-T_b)\cdots \text{(式 5.5.2-5)}$$

(伝熱工学資料 改訂第4版 p.68 熱伝達率)

$$h=\frac{Nu\times\lambda}{L}\cdots \text{(式 5.5.2-6)}$$

(伝熱工学資料 改訂第4版 p.68 平均ヌセルト数)
 ヌセルト数 Nu は、算出したレイリー数 Ra の値により層流又は乱流の式を用いて算出する。

$$Nu=(0.0185-0.0035)Ra^{2/5} \quad 10^{10}\leq Ra \cdots \text{(式 5.5.2-7)}$$

(鉛直平板まわりの乱流下における自然対流熱伝達とする。)
 (伝熱工学資料 改訂第4版 p.69 熱伝達率 乱流 平均ヌセルト数)

$$Nu=\frac{4}{3}C_1\times Ra^{1/4} \quad 10^4\leq Ra\leq 4\times 10^9\sim 3\times 10^{10}\cdots \text{(式 5.5.2-8)}$$

(伝熱工学資料 改訂第4版 p.69 熱伝達率 層流 平均ヌセルト数)
 ($Ra < 10^{10}$ では、層流の式を使用。)

$$C_1=\frac{3}{4}\left(\frac{Pr}{2.4+4.9\sqrt{Pr}+5Pr}\right)^{1/4} \cdots \text{(式 5.5.2-9)}$$

(伝熱工学資料 改訂第4版 p.68 プラントル数の関数)
 ($3\times 10^{10} < Ra$ では、乱流の式を使用。 $10^{10}\leq Ra\leq 3\times 10^{10}$ では、厳しい評価となるように小さい側を使用する。)

$$Ra = Pr \times Gr\cdots \text{(式 5.5.2-10)}$$

(伝熱工学資料 改訂第4版 p.68 レイリー数)

$$Gr=g\cdot\beta(T_w-T_b)L^3/\nu^2\cdots \text{(式 5.5.2-11)}$$

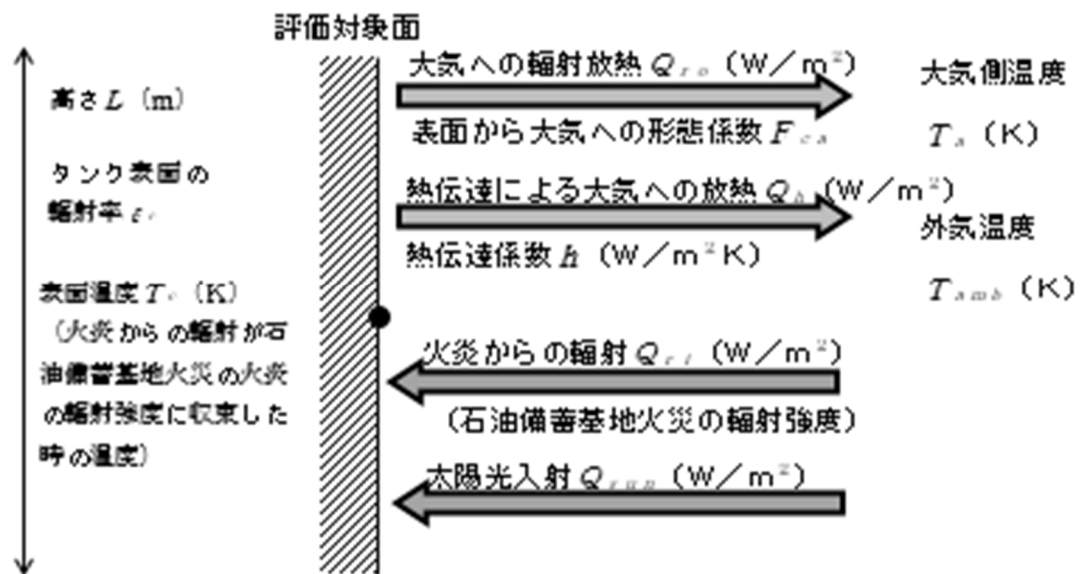
(伝熱工学資料 改訂第4版 p.68 グラフホフ数)

$$\beta=1/T_b\cdots \text{(式 5.5.2-12)}$$

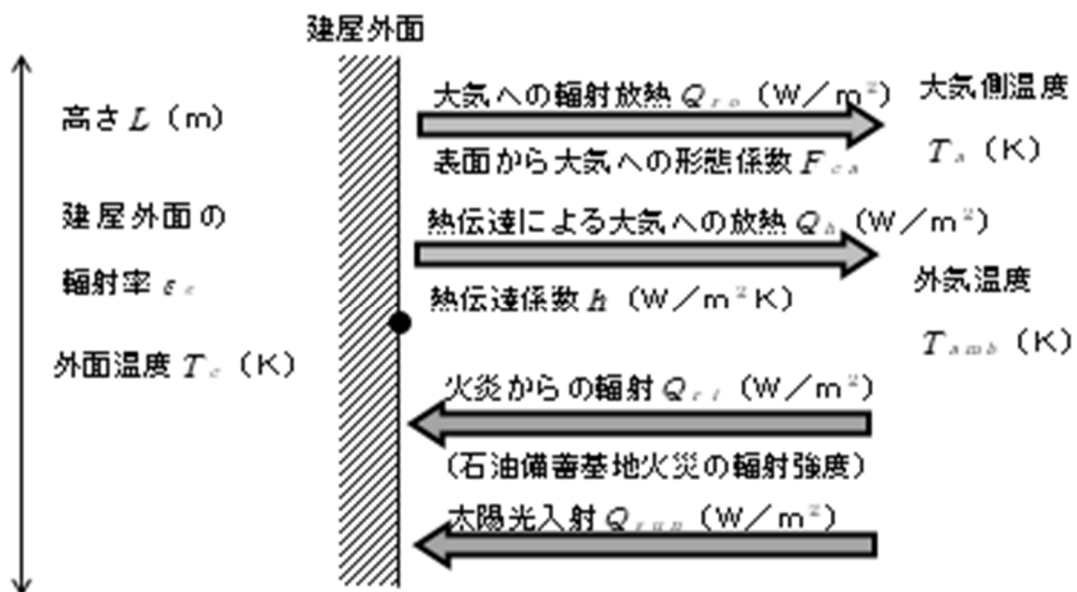
(伝熱工学資料 改訂第4版 p.68 体膨張係数の理想気体)

$$T_r=T_w-0.38\times(T_w-T_b)\cdots \text{(式 5.5.2-13)}$$

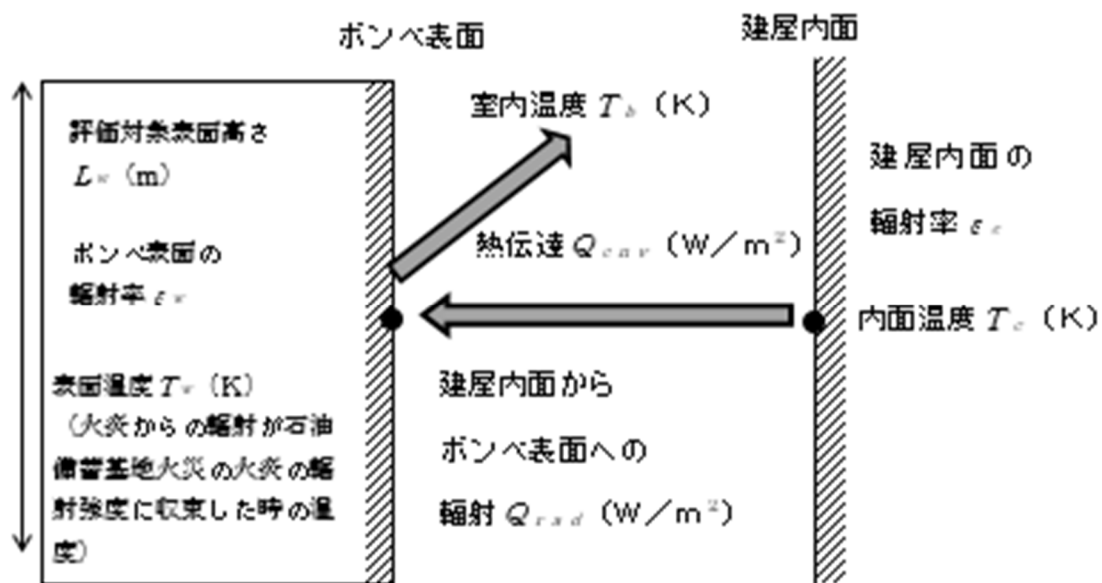
(熱伝導率, プラントル数, 動粘性係数算出時の代表温度とする。)
 (伝熱工学資料 改訂第4版 p.69 代表物性値の理想気体)



第 5.5.2-1 図 温度上昇の評価モデル (重油タンク)



第 5.5.2-2 図 温度上昇の評価モデル (ボンベ収納建屋)



第5.5.2-3図 温度上表評価モデル（ボンベ）

(3) 石油備蓄基地火災及び森林火災の重畳に対する熱影響評価

a. 評価方針

石油備蓄基地火災と森林火災の輻射熱量及び離隔距離を考慮し、石油備蓄基地火災と森林火災から受ける輻射強度が大きくなる敷地内の危険物貯蔵施設等への評価を実施する。

石油備蓄基地火災の定常評価にて算出する温度を、森林火災の評価で用いる非定常評価の初期温度として設定して温度を算出する。算出した温度が許容温度以下であることを確認する。

b. 評価条件

石油備蓄基地火災については、「5.5 (2) b. 評価条件」と同じである。

森林火災については、「5.5 (1) b. 評価条件」と同じである。

c. 評価方法

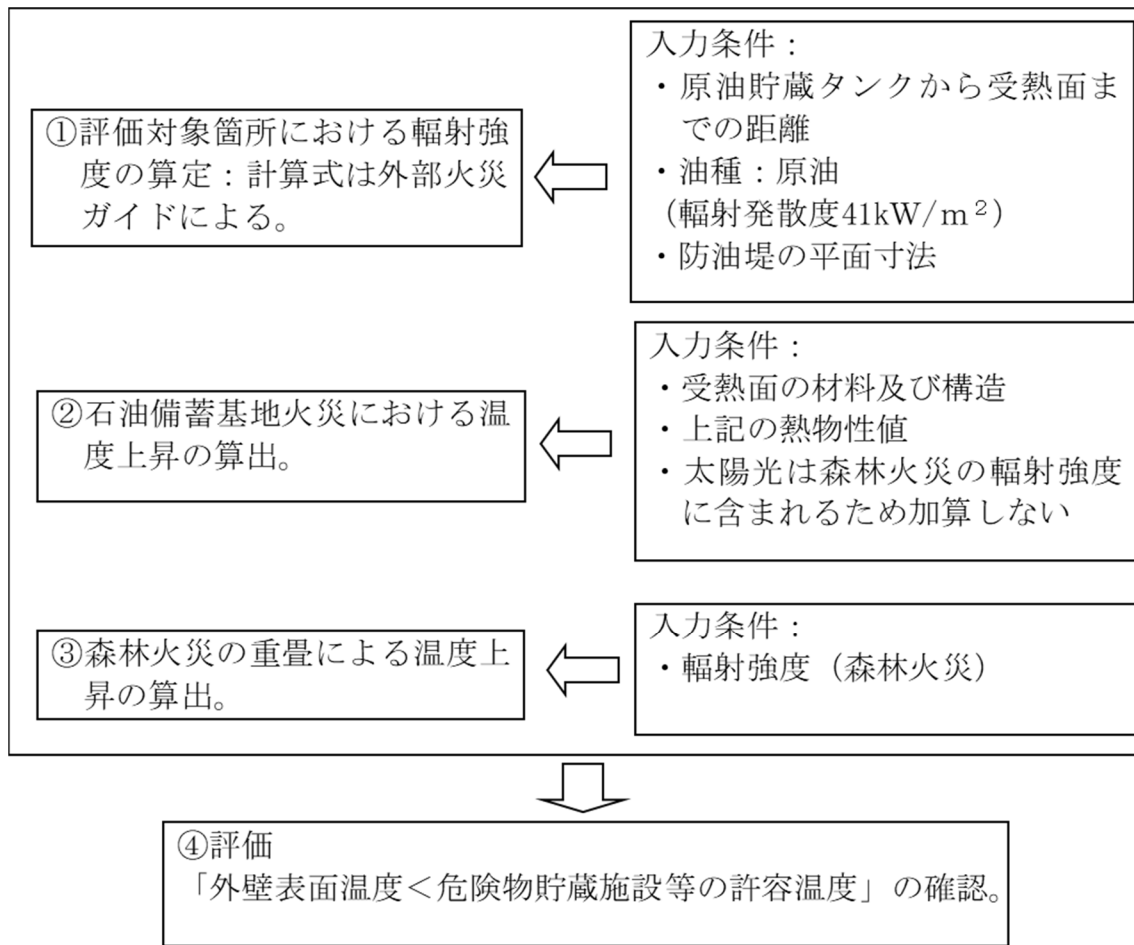
石油備蓄基地火災及び森林火災の重畳による影響評価は、火災からの輻射強度による評価対象温度を算出する。

石油備蓄基地火災については、「5.5 (2) c. 評価方法」と同じである。

森林火災については、「5.5 (1) c. 評価方法」と同じである。

温度上昇の評価は、石油備蓄基地火災の熱影響評価で算出した温度に、森林火災の熱影響評価で算出した温度を加え、算出する。

検討手順を第5.5.3-1図に示す。



第5.5.3-1図 石油備蓄基地火災及び森林火災の重畳評価に関する検討手順

(4) 近隣の産業施設の爆発

a. 評価方針

再処理施設の危険物貯蔵施設等は、MOX燃料加工施設の第1高圧ガストレーラ庫に対して危険限界距離以上の離隔距離を確保していることを確認し、評価対象施設へ影響を与えないことを評価する。

b. 評価条件

再処理施設の危険物貯蔵施設への影響評価算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
X	m	危険限界距離
λ	$\text{m} \cdot \text{kg}^{-1/3}$	換算距離：14.4
K	-	ガス定数 水素ガス：2860000 プロパンガス：888000(100℃以上)
W	-	設備定数

c. 評価方法

第1高压ガストレーラ庫について、外部火災ガイドを参考とし、(5.5.4-1)式より危険限界距離を算出する。

$$X = 0.04\lambda \cdot \sqrt[3]{K \cdot W} \quad \dots \text{(式5.5.4-1)}$$

ここで、

X ：危険限界距離(m)

λ ：換算距離(14.4m/kg^{1/3})

K ：水素ガスの定数(2860000)

プロパンガスの定数(888000(100℃以上))

W ：設備定数

(出典：外部火災ガイド)

VI-1-1-1-4-3-1

外部火災への配慮が必要な施設の許容温度及び許容応力の設定根拠

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 許容温度の設定根拠	1
2.1 外部火災の影響を考慮する施設	1
2.2 重大事故等対処設備	4
2.3 敷地内の危険物貯蔵施設等	4
3. 許容応力の設定根拠	5
3.1 外部火災の影響を考慮する施設	5
4. 参考文献	5

チューブサポート及び管束フレームは [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED] °Cを許容温度とする。 [REDACTED]

[REDACTED]

ロ. ファン駆動部

ファン駆動部については、減速機、原動機、ファン及びその他部材を評価対象とする。

・ 減速機については [REDACTED]

[REDACTED] °Cとする。

・ 原動機については、 [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED] °Cであり、これを許容温度とする。

・ ファンブレードについては、 [REDACTED]

[REDACTED] °Cとする。

ハ. その他部材

その他部材については、ファンリング、ファンリングサポート、コモンベッド及びケーブルトレイを対象とし、「2.1(2)(c)支持架構の構造強度を維持する温度」に基づき [REDACTED] °Cを許容温度とする。

(c) 支持架構の構造強度を維持する温度

支持架構については主に鋼材で構成されており、鋼材の強度が維持される温度 325°Cを許容温度とする。

一般的に、鋼材は温度上昇に伴い強度が低下するが、その高温強度に対する公的規格は存在していない。一方、文献^{[2][3]}によると、鋼材の高温時における有効降伏応力度は以下の式により近似され、第 1-1 図のように表される。

$$\sigma_y(T) = \begin{cases} F & T \leq 325 \\ F \cdot \left(\frac{700-T}{375} \right) & 325 < T < 700 \end{cases} \cdots (式2.2.1-1)$$

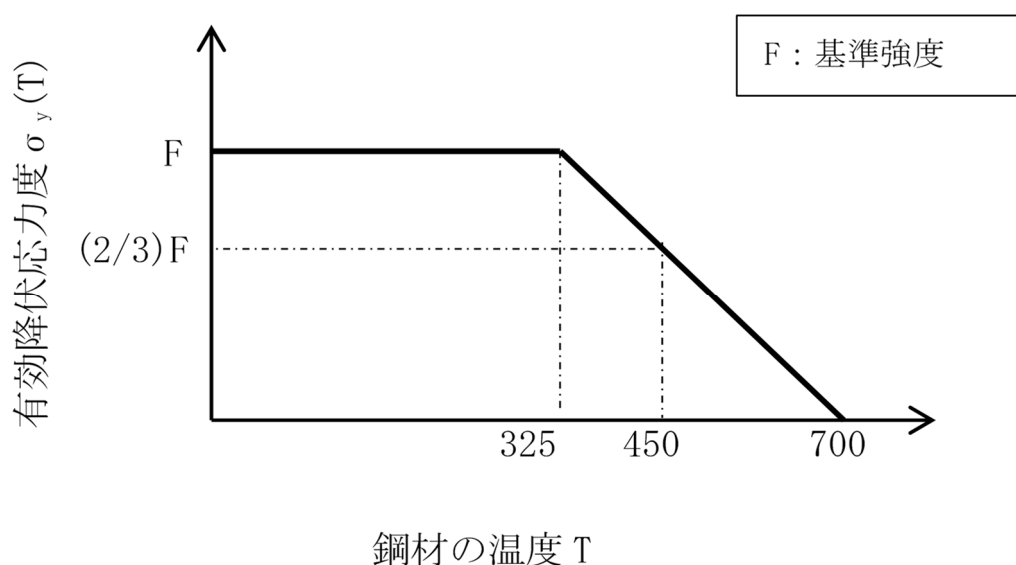
(出典:財団法人日本建築センター 建築火災のメカニズムと火災安全設計 p.154 鋼材の高温耐力)

鋼材の評価にあたり、航空機墜落火災と組み合わせるべき荷重を、発生頻度が極めて小さい地震及び竜巻による荷重を除き、自重、風荷重、積雪荷重とした。これら重畳する荷重に対して、第 1-1 図のように鋼材の有効降伏応力度が低下した場合においても、外部火災防護対象施設が耐え得る設計とする。

外部火災防護対象施設を構成する鋼材の許容温度については、その施設の重

要度を考慮し、航空機墜落火災においても強度が低下しない設計とし、第 1-1 図より、有効降伏応力度が常温時と変わらない 325℃を許容温度として設定した。

なお、発電用原子力設備規格 設計・建設規格^[4]において鋼材の制限温度を 350℃としており、安全上重要な施設の支持機能を期待する鋼材の許容温度を 325℃とすることは、この制限温度を踏まえも妥当であると判断している。



第1-1図 鋼材の高温時の有効降伏応力度

安全冷却水系（再処理設備本体用）に該当する安全冷却水 B 冷却塔及び安全冷却水系（安全冷却水 B 冷却塔周りの配管）以外の施設の許容温度については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

- (3) 建屋内の施設で外気を取り込む外部火災防護対象施設
建屋内の施設で外気を取り込む外部火災防護対象施設については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。
- (4) 飛来物防護板から影響を受ける外部火災防護対象施設
飛来物防護板から影響を受ける外部火災防護対象施設については、次回以降に詳細を説明する。
- (5) 外部火災防護対象施設等に対して波及的影響を及ぼし得る施設
外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設については、一時的に強度が低下しても構造を維持することで倒壊、転倒及び脱落により波及的影響を及ぼさない温度を許容温度とする。構造を維持する温度として、屋外の外部火災防

護対象施設の「2.1(2)(c)支持架構の構造強度を維持する温度」を踏まえ、第 1-1 図より以下の考えから、鋼材の有効降伏応力度が 2/3 まで低下した際の鋼材温度である 450℃を許容温度とした。

- ・ 外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、航空機墜落火災時に機能維持を求められる施設ではないため、構造を維持する鋼材強度を維持することが要求事項であること。
- ・ 航空機墜落火災発生時において、考慮すべき荷重を踏まえると、有効降伏応力度は 1/3 程度に低下しても、構造は維持できることから、保守性を考慮し、有効降伏応力度の低下は 2/3 まで許容する設計とした。
- ・ 外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設については、防護板に使用されるステンレス鋼も含まれる。防護板は脱落の防止を考慮するものであるが、炭素鋼と同様に有効降伏応力度が 2/3 まで低下する温度は、発電用原子力設備規格 設計・建設規格^[4]に基づき評価した結果、525℃であることから、炭素鋼と合わせ 450℃を許容温度とする。

2.2 重大事故等対処設備

重大事故等対処設備については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

2.3 敷地内の危険物貯蔵施設等

敷地内の危険物貯蔵施設等に内包される危険物等が森林火災や近隣の産業施設による火災により発火し、外部火災から防護すべき施設へ影響を及ぼさないことを評価する。危険物等が発火する温度については、引火点と発火点があるが、危険物貯蔵施設等に内包された危険物等が直接火災源と接近することはないことから発火点を許容温度とする。

(1) ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所

ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所に貯蔵される A 重油の発火点温度については危険物取扱主任者に関連する文献^[5] 新石油事典^[6] 安全データシート^[7]から 240℃を許容温度として設定する。

(2) ボイラ用燃料貯蔵所

ボイラ用燃料貯蔵所に貯蔵される A 重油の発火点温度については、上記 a. と同じである。

(3) ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所

ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所に貯蔵される A 重油の発火点温度については、上記 a. と同じである。

(4) 水素

再処理施設における水素の発火点温度については文献^[8]から 571.2℃を許容温度として設定する。

(5) プロパン

再処理施設におけるプロパンの発火点温度については文献^[9]から 405℃を許容温度として設定する。

3. 許容応力の設定根拠

3.1 外部火災の影響を考慮する施設

(1) 外部火災防護対象施設を収納する建屋

外部火災防護対象施設を収納する建屋のうち、爆発に対し危険限界距離を確保できない建屋の許容応力については、爆発に対し危険限界距離を確保できない建屋の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

4. 参考文献

- (1) 安部武雄ほか. “高温度における高強度コンクリートの力学的特性に関する基礎的研究”. 日本建築学会構造系論文集 第 515 号. 日本建築学会, 1999.
- (2) 2001 年版 耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説
- (3) 建築火災のメカニズムと火災安全設計, 日本建築センター
- (4) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格, 一般社団法人日本機械学会
- (5) 危険物取扱主任者試験対策本 第 3 石油類 重油の性質 発火点 250℃～380℃
- (6) 新石油事典 初版(1982 年 11 月 20 日) 朝倉書店発行 P874 表 10.11.2 石油製品類の燃焼特性の一例 にて 重油 発火点約 250℃
- (7) ENEOS 安全データシート
- (8) 東邦アセチレン. 圧縮水素, 化学物質等安全データシート
- (9) 鈴商総合ガスセンター. 液化石油ガス. 製品安全データシート

VI-1-1-1-4-4

外部火災防護における評価結果

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 外部火災による熱影響評価	1
2.1 森林火災に対する熱影響評価	1
2.2 近隣の産業施設の火災に対する熱影響評価	2
2.2.1 石油備蓄基地火災に対する熱影響評価	2
2.2.2 石油備蓄基地火災と森林火災の重畳に対する熱影響評価	5
2.2.3 敷地内の危険物貯蔵施設等の火災に対する熱影響評価	6
2.2.4 敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発に対する影響評価	8
2.3 航空機墜落による火災の熱影響評価	10
2.3.1 航空機墜落による火災に対する熱影響評価	10
2.4 航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発の重畳の影響評価	20
2.5 再処理施設の危険物貯蔵施設等への影響の評価	21
2.5.1 森林火災に対する熱影響評価	21
2.5.2 近隣の産業施設の火災に対する熱影響評価	24
2.5.3 森林火災と近隣の産業施設の火災の重畳に対する影響評価	26
2.5.4 近隣の産業施設の爆発に対する影響評価	26

1. 概要

本資料は、評価対象施設が外部火災に対して十分な健全性を有することを確認するための評価条件及び評価結果について説明するものである。

評価対象施設の健全性を確認するための評価は、「VI-1-1-1-4-3 外部火災への配慮が必要な施設の設計方針及び評価方針」に従って行う。

重大事故等対処設備については、次回以降に詳細を説明する。

2. 外部火災による熱影響評価

2.1 森林火災に対する熱影響評価

- a. 外部火災防護対象施設を収納する建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

外部火災防護対象施設を収納する建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の評価結果については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

- b. 屋外の外部火災防護対象施設

- (a) 安全冷却水系(再処理設備本体用)

安全冷却水 B 冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水 B 冷却塔周りの配管)に対する森林火災の評価条件を第 2.1-1 表に示す。

輻射による冷却水の温度上昇は \blacksquare °C である。一方、実際の伝熱面積を考慮し、仮に外気温度を 37°C とした場合の冷却水温度は \blacksquare °C であり、 \blacksquare °C 温度上昇したとしても、安全冷却水系(再処理設備本体用)の最高使用温度 \blacksquare °C を超えることはなく、安全機能に影響を与えることはない。

第2.1-1表 熱影響評価の評価条件及び評価結果

項目	記号	単位	数値	備考
離隔距離	L	m	487	防火帯外縁からの最短距離。評価にあたり、最大の火炎輻射強度となるメッシュを横一列に配置し、解析により確認した到達した火炎を直線に並べ評価する。
火炎長	H	m	※	—
火炎輻射発散度	Rf	W/m ²	※	—
円筒火炎モデル数	f	—	※	—
輻射強度	E	kW/m ²	0.292	発火点3のFARSITEの解析結果から算出。
流量	G	m ³ /h	\blacksquare	設計値より1ベイ分の流量を設定。評価においては、質量流量に換算。
受熱面	A	m ²	\blacksquare	設計値より1ベイ分の受熱面を設定。
比熱	c _p	J/kg/K	\blacksquare	—
温度上昇	ΔT	°C	\blacksquare	—

注記 *1: 各メッシュの火炎長H、燃焼時間t円筒火炎モデル数f及び火炎輻射発散度RfはFARSITEの解析結果による。

安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水 B 冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)以外の施設の評価結果については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

2.2 近隣の産業施設の火災に対する熱影響評価

2.2.1 石油備蓄基地火災に対する熱影響評価

敷地周辺10km範囲内に存在する近隣の産業施設として、石油備蓄基地(敷地西方向0.9km)の火災を想定する。

a. 外部火災防護対象施設を収納する建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

外部火災防護対象施設を収納する建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の評価結果については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

b. 屋外の外部火災防護対象施設

(a) 安全冷却水系(再処理設備本体用)

安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)に対する石油備蓄基地火災の評価条件及び評価結果を第2.2.1-1表に示す。

輻射による冷却水の温度上昇は■■■■℃である。一方、実際の伝熱面積を考慮し、仮に外気温度を37℃とした場合の冷却水温度は■■℃であり■■■■℃温度上昇したとしても安全冷却水系(再処理設備本体用)の最高使用温度■■℃を超えることはなく、安全機能に影響を与えることはない。

第2.2.1-1表 熱影響評価の評価条件及び評価結果

項目	記号	単位	数値	備考
離隔距離	L ₁	m	1996	原油貯蔵タンク9基又は6基を囲う防潮堤を1単位として円筒火炎モデルを想定し、それぞれの円筒火炎モデルの中心から安全冷却水系（再処理設備本体用）の最短距離。
	L ₂	m	2394	
	L ₃	m	2818	
	L ₄	m	3258	
	L ₅	m	3708	
	L ₆	m	4088	
燃焼半径	R ₁	m	270.8	R ₁ ～R ₅ は石油備蓄基地の防油堤（480m×480m）の面積、R ₆ は防油堤（320m×480m）の面積から半径に換算。
	R ₂	m	270.8	
	R ₃	m	270.8	
	R ₄	m	270.8	
	R ₅	m	270.8	
	R ₆	m	221.1	
輻射発散度	Rf	W/m ²	41	—
低減率	r	—	0.3	—
輻射強度	E	kW/m ²	1.32	—
流量	G	m ³ /h	■*3	設計値より1ベイ分の流量を設定。評価においては、質量流量に換算。
受熱面	A	m ²	■*4	設計値より1ベイ分の受熱面を設定。
比熱	c _p	J/kg/K	■	—
温度上昇	ΔT	℃	■	—

安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系（安全冷却水B冷却塔周りの配管）以外の施設の評価結果については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(c) 建屋内で外気を取り込む外部火災防護対象施設

建屋内で外気を取り込む外部火災防護対象施設である非常用ディーゼル発電機の評価結果については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

2.2.2 石油備蓄基地火災と森林火災の重畳に対する熱影響評価

a. 外部火災防護対象施設を収納する建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

外部火災防護対象施設を収納する建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の評価結果については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

b. 屋外の外部火災防護対象施設

(a) 安全冷却水系(再処理設備本体用)

安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系（安全冷却水B冷却塔周りの配管）に対する石油備蓄基地火災と森林火災の重畳の評価条件を第2.2.2-1表に示す。

輻射による冷却水の温度上昇は■■■■℃である。一方、実際の伝熱面積を考慮し、仮に外気温度を37℃とした場合の冷却水温度は■■℃であり■■■■℃温度上昇したとしても安全冷却水系(再処理設備本体用)の最高使用温度■■℃を超えることはなく、安全機能に影響を与えることはない。

第2.2.2-1表 安全冷却水系(再処理設備本体用)を対象とした熱影響評価の評価条件及び評価結果

項目	記号	単位	数値	備考	
森林火災	離隔距離	L	m	487	防火帯外縁からの最短距離。評価にあたり、最大の火炎輻射強度となるメッシュを配置し、解析により確認した到達した火炎を直線に並べ評価する。
	火炎長	H	m	※	—
	火炎輻射発散度	Rf	W/m ²	※	—
	円筒火炎モデル数	f	—	※	—
	輻射強度	E	kW/m ²	0.292	発火点3のFARSITEの解析結果から算出
石油備蓄基地火災	離隔距離*3	L ₁	m	1996	原油貯蔵タンク9基又は6基を囲う防潮堤を1単位として円筒火炎モデルを想定し、それぞれの円筒火炎モデルの中心から安全冷却水系(再処理設備本体用)の最短距離。
		L ₂	m	2394	
		L ₃	m	2818	
		L ₄	m	3258	
		L ₅	m	3708	
		L ₆	m	4088	
	燃焼半径*4	R ₁	m	270.8	R ₁ ~R ₅ は石油備蓄基地の防油堤(480m×480m)の面積、R ₆ は防油堤(320m×480m)の面積から半径に換算。
		R ₂	m	270.8	
		R ₃	m	270.8	
		R ₄	m	270.8	
		R ₅	m	270.8	
		R ₆	m	221.1	
	輻射発散度	Rf	kW/m ²	41	—
	低減率	r	—	0.3	—
輻射強度	E	kW/m ²	1.32	—	
流量	G	m ³ /h	■*5	設計値より1ベイ分の流量を設定。評価においては、質量流量に換算。	
受熱面	A	m ²	■*6	設計値より1ベイ分の受熱面を設定。	
比熱	c _p	J/kg/K	■	—	
温度上昇	ΔT	℃	■	—	

注記 *1: 各メッシュの火炎長H、燃焼時間t及び火炎輻射発散度RfはFARSITEの解析結果による。

安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)以外の施設の評価結果については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

2.2.3 敷地内の危険物貯蔵施設等の火災に対する熱影響評価

危険物貯蔵施設等の火災の評価は、「VI-1-1-1-4-3 外部火災への配慮が必要な施設の設計方針及び評価方針」の「4.2.3敷地内の危険物貯蔵施設等による熱影響評価」で選定した危険物貯蔵施設を第2.2.3-1表に示す。

第2.2.3-1表 火災源となる危険物与蔵施設等

重油タンク	防油堤幅*1 (m)	防油堤奥行*1 (m)	貯蔵量*1 (m ³)
ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所	31.6	65	4,327
ボイラ用燃料貯蔵所	11	22	300
ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所	10	31	200

注記 *1：設計値より設定。

- a. 外部火災防護対象施設を収納する建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

外部火災防護対象施設を収納する建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の評価結果については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

- b. 屋外の外部火災防護対象施設

- (a) 安全冷却水系(再処理設備本体用)

安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)に対する危険物貯蔵施設等の火災の評価条件及び評価結果を第2.2.3-1表から第2.2.3-3表に示す。

輻射による冷却水の温度上昇は、ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所は■■■■℃、ボイラ用燃料貯蔵所は■■■■℃、ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所は■■■■℃である。一方、実際の伝熱面積を考慮し、仮に外気温度を37℃とした場合の冷却水温度は■■■■℃であり、危険物貯蔵施設等の火災が発生した場合の温度上昇が最大でも■■■■℃とごくわずかで、安全冷却水系(再処理設備本体用)の最高使用温度■■■■℃を超えることはなく、安全機能に影響を与えることはない。

第 2.2.3-1 表 ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所の火災に対する安全冷却水系(再処理設備本体用)を対象とした熱影響評価の評価条件及び評価結果

項目	記号	単位	数値	備考
離隔距離	L	m	494	ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所の防油堤の面積に応じた円筒火炎モデルを想定し、その中心からの離隔距離。一の位を切り捨てた値で評価。
燃焼半径	R	m	25.6	ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所の防油堤の面積から半径に換算。
火炎輻射発散度	Rf	kW/m ²	23	—
輻射強度	E	kW/m ²	0.123	—
流量	G	m ³ /h	■	設計値より 1 ベイ分の流量を設定。評価においては、質量流量に換算。
受熱面	A	m ²	■	設計値より 1 ベイ分の受熱面を設定。
比熱	c _p	J/kg/K	■	—
温度上昇	ΔT	°C	■	—

第 2.2.3-2 表 ボイラ用燃料貯蔵所の火災に対する安全冷却水系(再処理設備本体用)を対象とした熱影響評価の評価条件及び評価結果

項目	記号	単位	数値	備考
離隔距離	L	m	513	ボイラ用燃料貯蔵所の防油堤の面積に応じた円筒火炎モデルを想定し、その中心からの離隔距離。一の位を切り捨てた値で評価。
燃焼半径	R	m	8.8	ボイラ用燃料貯蔵所の防油堤の面積から半径に換算。
火炎輻射発散度	Rf	kW/m ²	23	—
輻射強度	E	kW/m ²	0.013	—
流量	G	m ³ /h	■	設計値より 1 ベイ分の流量を設定。評価においては、質量流量に換算。
受熱面	A	m ²	■	設計値より 1 ベイ分の受熱面を設定。
比熱	c _p	J/kg/K	■	—
温度上昇	ΔT	°C	■	小数点第3位を切り上げ。

第 2.2.3-3 表 ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所の火災に対する安全冷却水系
(再処理設備本体用)を対象とした熱影響評価の評価条件及び評価結果

項目	記号	単位	数値	備考
離隔距離	L	m	415	ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所の防油堤の面積に応じた円筒火炎モデルを想定し、その中心からの離隔距離。一の位を切り捨てた値で評価。
燃焼半径	R	m	9.9	ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所の防油堤の面積から半径に換算。
火炎輻射発散度	Rf	kW/m ²	23	—
輻射強度	E	kW/m ²	0.027	—
流量	G	m ³ /h	■	設計値より 1 ベイ分の流量を設定。評価においては、質量流量に換算。
受熱面	A	m ²	■	設計値より 1 ベイ分の受熱面を設定。
比熱	c _p	J/kg/K	■	—
温度上昇	ΔT	℃	■	—

安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)以外の施設の評価結果については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

2.2.4 敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発に対する影響評価

危険物貯蔵施設等の爆発の評価は、「VI-1-1-1-4-3 外部火災への配慮が必要な施設の設計方針及び評価方針」の「4.2.4敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発」で選定した以下を対象とする。

- ・ボイラ建屋 ボンベ置場
- ・低レベル廃棄物処理建屋 プロパンボンベ庫
- ・精製建屋ボンベ庫
- ・還元ガス製造建屋

ボイラ建屋 ボンベ置場、低レベル廃棄物処理建屋 プロパンボンベ庫及び精製建屋ボンベ庫の爆発による危険距離の評価条件を第2.2.4-1表から第2.2.4-4表に、危険限界距離の評価結果を第2.2.4-5表に示す。危険限界距離の評価結果を第2.2.4-5表に示す。

第2.2.4-1表 ボイラ建屋 ボンベ置場の評価条件

項目	記号	単位	数値
換算距離	λ	m/kg ^{1/3}	14.4
プロパンの定数	K	-	888,000 (100℃以上の値)
設備定数	W	-	0.15* ¹

注記 *1: ボンベの貯蔵能力から換算。

第2.2.4-2表 低レベル廃棄物処理建屋 プロパンボンベ庫の評価条件

項目	記号	単位	数値
換算距離	λ	m/kg ^{1/3}	14.4
プロパンの定数	K	-	888,000 (100℃以上の値)
設備定数	W	-	(2.975) ^{0.5} * ¹

注記 *1: ガス質量が1t以上のため、平方根の値を用いる。

第2.2.4-3表 精製建屋ボンベ庫の評価条件

項目	記号	単位	数値
換算距離	λ	m/kg ^{1/3}	14.4
プロパンの定数	K	-	2,860,000
設備定数	W	-	0.056* ¹

注記 *1: ボンベの貯蔵能力から換算。

第2.2.4-4表 還元ガス製造建屋の評価条件

項目	記号	単位	数値
換算距離	λ	m/kg ^{1/3}	14.4
プロパンの定数	K	-	2,860,000
設備定数	W	-	0.025* ¹

注記 *1: ボンベの貯蔵能力から換算。

第2.2.4-5表 危険限界距離の評価結果

危険物貯蔵施設等	至近の外部火災防護対象施設	危険限界距離(m)	離隔距離(m)
ボイラ建屋 ボンベ置場	再処理設備本体用 安全冷却水B冷却塔	30	537
低レベル廃棄物処理建屋 プロパンボンベ庫	再処理設備本体用 安全冷却水B冷却塔	67	132
精製建屋ボンベ庫	再処理設備本体用 安全冷却水B冷却塔	32	310
還元ガス製造建屋	再処理設備本体用 安全冷却水B冷却塔	24	315

爆発による爆風圧が人体に対して影響を与えない0.01MPaとなる距離を評価した結果、危険限界距離以上の離隔距離が確保されており、安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)の安全機能に影響がないことを確認した。

安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)以外の施設の評価結果については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

c. 危険限界距離を確保できない施設の評価

危険限界距離を確保できない施設の評価については、次回以降に詳細を説明する。

2.3 航空機墜落による火災の熱影響評価

対象航空機の航空機墜落による火災時の燃焼継続時間を第2.3-1表に示す。燃焼継続時間が長く、外部火災防護対象施設への熱影響が厳しいF-16を熱影響評価の対象航空機とする。

燃焼半径は、F-16の燃焼面積を円の面積とした時の半径5.4mとして評価する。

第2.3-1表 熱影響評価の対象航空機

対象航空機	燃焼面積 A(m ²)	燃料積載量 V(m ³)	燃焼速度 (m/s)	燃焼継続時間 (s)
KC-767	約 1,500	145.1	8.0×10 ^{-5*1}	約 1,200
F-2	約 110	10.4		約 1,200
F-16	約 90	9.8		約 1,400
F-35	約 110	10.8		約 1,300

注記 *1: 日本火災学会編. 火災便覧 新版, 共立出版, 1984.

2.3.1 航空機墜落による火災に対する熱影響評価

a. 外部火災防護対象施設を収納する建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

外部火災防護対象施設を収納する建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の評価結果については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

b. 屋外の外部火災防護対象施設

(a) 安全冷却水系(再処理設備本体用)

安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)に対する航空機墜落による火災の評価結果は以下の通り。

イ. 冷却水温度

輻射による冷却水の温度上昇は \blacksquare °Cである。一方、実際の伝熱面積を考慮し、仮に外気温度を37°Cとした場合の冷却水温度は \blacksquare °Cであり、 \blacksquare °C温度上昇したとしても安全冷却水系(再処理設備本体用)の最高使用温度 \blacksquare °Cを超えることはなく、安全機能に影響を与えることはない。

第 2.3.1-2 表 冷却水温度の評価条件及び評価結果

項目	記号	単位	数値	備考
輻射発散度	Rf	kW/m ²	58	—
形態係数	ϕ	—	0.074	火炎に近い配管を代表距離として、ベイ配置に合わせ5等分し、外郭からの離隔距離により算出した形態係数の平均値
輻射強度	E	kW/m ²	4.7	—
流量	G	m ³ /h	\blacksquare	設計値より設定。評価においては、質量流量に換算。
受熱面	A	m ²	\blacksquare	設計値より設定。
比熱	c_p	J/kg/K	\blacksquare	—
温度上昇	ΔT	°C	\blacksquare	—

ロ. チューブサポート

チューブサポートの評価条件及び評価結果を第2.3.1-8表に示す。

第2.3.1-8表 チューブサポートの評価条件及び評価結果

項目	記号	単位	数値	備考
輻射発散度	Rf	kW/m ²	58	—
形態係数	ϕ	—	0.086	外郭からの離隔距離により算出した形態係数
太陽の輻射強度	Es	kW/m ²	0.4	—
放熱の熱伝達率	h	W/m ² /K	17	空気調和・衛生工学会, 空気調和・衛生工学便覧第14版より, 一般的な放熱量の最小値を設定。
初期温度	T ₀	°C	37	「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(3) 高温」に示す設計外気温を設定した。
密度	ρ	kg/m ³	■	伝熱工学資料改訂第5版, p. 284, ■
比熱	c _p	J/kg/K	■	300Kの値
部材の厚み	V	m	■	設計値
許容温度	—	°C	■	—
温度	T	°C	■	—

チューブサポートの温度上昇を評価した結果, 温度は■°Cであり, 許容温度■°C以下となることを確認した。

ハ. ファンブレード

ファンの評価条件及び評価結果を第2.3.1-7表に示す。

第2.3.1-7表 ファンの評価条件及び評価結果

パラメータ		記号	単位	値	備考
輻射発散度		Rf	kW/m ²	58	—
太陽の輻射強度		Es	kW/m ²	0.4	—
形態係数	火炎ブレード (下面)	ϕ	—	0.021	外郭からの離隔距離により算出した形態係数
	ファンリングブレード (上面)	ϕ	—	0.175	ファンリングからの離隔距離により算出した形態係数
	ファンリングブレード (下面)	ϕ	—	0.245	
放熱の熱伝達率		h	W/m ² /K	17	空気調和・衛生工学会, 空気調和・衛生工学便覧第14版より, 一般的な放熱量の最小値を設定。
初期温度		T ₀	°C	37	「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(3) 高温」に示す設計外気温を設定した。
ファンブレード (■)	密度	ρ	kg/m ³	■	化学工学会, 改訂六版 化学工学便覧, p.1294, 表28・1
	比熱	c_p	J/kg/K	■	
	熱伝導率	λ_c	W/m/K	■	
	厚み	V	m	■	設計値
	許容温度	—	°C	■	—
	評価結果	T	°C	■	—

ファンブレードの温度上昇を評価した結果, 温度は■°Cであり, 許容温度■°C以下となることを確認した。

二. 減速機

減速機の評価条件及び評価結果を第2.3.1-5-1表、第2.3.1-5-2表に示す。

第2.3.1-5-1表 減速機の評価条件及び評価結果

パラメータ	記号	単位	値	備考	
輻射発散度	Rf	kW/m ²	58		
太陽の輻射強度	Es	kW/m ²	0.4		
形態係数	火炎－遮熱板	ϕ	-	0.121	外郭からの離隔距離により算出した形態係数
	ファンリング－遮熱板	ϕ	-	0.318	ファンリングからの離隔距離により算出した形態係数
	遮熱板－減速機	ϕ	-	1	
放熱の熱伝達率	h	W/m ² /K	17	空気調和・衛生工学会, 空気調和・衛生工学便覧第14版より, 一般的な放熱量の最小値を設定。	
初期温度	T ₀	°C	37	「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(3) 高温」に示す設計外気温を設定した。	
耐火被覆	密度	ρ	kg/m ³	250	ニチアス ファインフレックス BIO ボード 5625-A
	比熱	c_p	J/kg/K	温度変化で与える (次表参照)	
	熱伝導率	λ_c	W/m/K		
遮熱板	密度	ρ	kg/m ³	7,860	伝熱工学資料改訂第5版, p.284, 軟鋼 300K の値
	比熱	c_p	J/kg/K	473	
	熱伝導率	λ_c	W/m/K	51.6	
	厚み	V	m	0.005	板厚 6mm に対して公差を考慮し、その下限値を丸めた, 必要最小厚さとして板厚を 5mm とした。
減速機	重量	m	kg	■	伝熱工学資料改訂第5版, p.284, ■ 300K の値
	比熱	c_p	J/kg/K	■	
	入・放熱面積	A	m ²	■	受熱面となる面積
	許容温度	-	°C	■	
	評価結果	T	°C	■	

表 2.3.1-5-2 断熱材*1 の熱物性値

温度 T	密度 ρd	比熱 c_d	熱伝導率 λd
[°C]	[g/cm ³]	[kJ/kg/K]	[W/m/K]
100	0.25	0.858	—
200	0.25	0.959	—
400	0.25	1.083	0.10
600	0.25	1.153	0.14
800	0.25	1.198	0.20
1000	0.25	1.227	0.26

注記 *1 : ニチアス ファインフレックス B10 ボード 5625-A

*2 : 400°C未満は 0.10W/m/K を設定

減速機の温度上昇を評価した結果、減速機の温度は■■°Cであり、許容温度■■°C以下となることを確認した。

ホ. 原動機

原動機の評価条件及び評価結果を第2.3.1-6表に示す。

第2.3.1-6表 原動機の評価条件

パラメータ		記号	単位	値		
輻射発散度		Rf	kW/m ²	58		
太陽の輻射強度		Es	kW/m ²	0.4		
形態係数	火炎－遮熱板	ϕ	-	0.199	外郭からの離隔距離により算出した形態係数	
	遮熱板－減速機	ϕ	-	1		
放熱の熱伝達率	停止中	h	W/m ² /K	12	空気調和・衛生工学会, 空気調和・衛生工学便覧第14版, p.402, 表17・19, 「対流」の最小値。	
	運転中	h	W/m ² /K	14 (遮熱板)	伝熱工学資料改訂第5版, p.28, 式(10), (13)から, 風速7.16m/s, 代表長L=0.5mを用いて算出。	
		h	W/m ² /K	21 (原動機)	伝熱工学資料改訂第5版, p.34, 式(55), から, 風速7.16m/s, 代表径d=0.5mを用いて算出。	
初期温度		T ₀	°C	37	「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(3) 高温」に示す設計外気温を設定した。	
耐火被覆	密度	ρ	kg/m ³	250	ニチアス ファインフレックス BIO ボード 5625-A	
	比熱	c _p	J/kg/K		温度変化で与える (次表参照)	
	熱伝導率	λ c	W/m/K			
遮熱板	密度	ρ	kg/m ³	7,860	伝熱工学資料改訂第5版, p.284, 軟鋼 300K の値	
	比熱	c _p	J/kg/K	473		
	熱伝導率	λ c	W/m/K	51.6		
	厚み	V	m	0.005	板厚 6mm に対して公差を考慮し、その下限値を丸めた、必要最小厚さとして板厚を 5mm とした。	
原動機	重量	m	kg	■	伝熱工学資料改訂第5版, p.284, ■ 300K の値	
	比熱	c _p	J/kg/K	■		
	入・放熱面積		A	m ²	■	受熱面となる面積
	許容温度	停止中	-	°C	■	
		運転中		°C	■	
	評価結果	停止中	T	°C	■	
運転中		°C		■		

原動機の温度上昇を評価した結果、原動機の温度は停止中■℃、運転中■℃であり、停止中の許容温度■℃、運転中の許容温度■℃以下となることを確認した。

安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)以外の施設の評価方法については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

c. 飛来物防護板等から影響を受ける外部火災防護対象施設

飛来物防護板等から影響を受ける外部火災防護対象施設については、次回以降に詳細を説明する。

d. 必要離隔距離の結果

外部火災防護対象施設及び外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設に必要となる離隔距離の評価結果は以下の通り。

必要離隔距離の評価条件を第2.3.1-10表、代表的な鋼材の板厚を第2.3.1-11表、炭素鋼の物性値及びステンレス鋼の物性値を第2.3.1-12表、第2.3.1-13表に示す。評価結果は第2.3.1-14表に示す。

表 2.3.1-10 必要離隔距離の評価条件

パラメータ	記号	単位	値	備考
輻射発散度	Rf	kW/m ²	58	—
太陽の輻射強度	Es	kW/m ²	0.4	IAEA. IAEA 安全基準 IAEA 放射性物質安全輸送規則のための助言文書(No. TS-G-1.1). 改訂1. 2008.
輻射強度	E	kW/m ²	—	評価する離隔距離に応じて設定
放熱の熱伝達率	h	W/m ² /K	12.5	空気調和・衛生工学会, 空気調和・衛生工学便覧第14版より, 一般的な放熱量の最小値17kW/m ² /Kに対し設計余裕を考慮し設定
大気温度	Ta	℃	37	「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(3) 高温」に示す設計外気温を設定した。
初期温度	Tc0	℃	50	外気温に対し, 余裕を見込んだ初期温度とした。

第 2.3.1-11 表 支持構造物の部材の条件

項目	条件	備考
形状	平板	保守的に平板と設定
材質	炭素鋼(低炭素鋼), ステンレス鋼(SUS304)	炭素鋼は、密度及び比熱が小さい中炭素鋼として設定する。
板厚 (炭素鋼) [mm]	36, 28, 22, 19, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 6.5, 6.4, 6, 4.5, 3.91, 3.9, 3.2, 2.3, 2.11, 1.2	屋外の外部火災防護対象施設及び竜巻防護対策設備を構成する部材を調査した結果から設定
板厚(ステン レス鋼) [mm]	20, 16, 12, 9	

第 2.3.1-12 表 炭素鋼の物性値^{*1*2}

温度 [K]	密度 [kg/m ³]	比熱 [kJ/kg/K]	熱伝導率 [W/m/K]
300	7,850	0.473	51.5
500	7,800	0.520	47.2
800	7,700	0.665	36.8

注記 *1:伝熱工学資料 改訂第5版, p284の中炭素鋼。
*2:上記以外の物性は、近似曲線により補間する。

第 2.3.1-13 表 ステンレス鋼の物性値^{*1*2}

温度 [K]	密度 [kg/m ³]	比熱 [kJ/kg/K]	熱伝導率 [W/m/K]
300	7,920	0.499	16.0
400	7,890	0.511	16.5
600	7,810	0.556	19.0
800	7,730	0.620	22.5
1,000	7,640	0.644	25.7

注記 *1:伝熱工学資料 改訂第5版, p285のSUS304。
*2:上記以外の物性は、近似曲線により補間する。

第2.3.1-14表 炭素鋼及びステンレス鋼の必要離隔距離の評価結果

材料	板厚 (mm)	必要離隔距離(m)	
		屋外に設置する 外部火災防護対象施設	波及的影響を 及ぼし得る施設
炭素鋼	36	1	-
	28	2	-
	22	4	1
	19	5	1
	15	7	3
	14	7	3
	13	8	4
	12	9	4
	11	9	5
	10	-	6
	9	11	7
	8	13	8
	6.5	15	9
	6.4	15	9
	6	15	10
	4.5	18	12
	3.91	19	13
	3.9	19	13
	3.2	21	15
	2.3	23	17
2.11	23	17	
1.2	25	19	

2.4 航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発の重畳の影響評価

危険物貯蔵施設等の爆発の評価は、「VI-1-1-1-4-3 外部火災への配慮が必要な施設の設計方針及び評価方針」の「4.2.4敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発」で選定した以下を対象とする。

- ・ボイラ建屋 ボンベ置場
- ・低レベル廃棄物処理建屋 プロパンボンベ庫
- ・精製建屋ボンベ庫
- ・還元ガス製造建屋

ボイラ建屋 ボンベ置場，低レベル廃棄物処理建屋 プロパンボンベ庫及び精製建屋ボンベ庫の爆発による危険距離の評価条件を第2.4-1表～第2.4-4表に，危険限界距離の評価結果を第2.4-5表に示す。

第2.4-1表 ボイラ建屋 ボンベ置場の評価条件

項目	記号	単位	数値
換算距離	λ	$\text{m/kg}^{1/3}$	14.4
プロパンの定数	K	-	888,000 (100°C以上の値)
設備定数	W	-	0.15 ^{*1}

注記 *1：ボンベの貯蔵能力から換算。

第2.4-2表 低レベル廃棄物処理建屋 プロパンボンベ庫の評価条件

項目	記号	単位	数値
換算距離	λ	$\text{m/kg}^{1/3}$	14.4
プロパンの定数	K	-	888,000 (100°C以上の値)
設備定数	W	-	(2.975) ^{0.5} *1

注記 *1：ガス質量が1t以上のため，平方根の値を用いる。

第2.4-3表 精製建屋ボンベ庫の評価条件

項目	記号	単位	数値
換算距離	λ	$\text{m/kg}^{1/3}$	14.4
プロパンの定数	K	-	2,860,000
設備定数	W	-	0.056 ^{*1}

注記 *1：ボンベの貯蔵能力から換算。

第2.4-4表 還元ガス製造建屋の評価条件

項目	記号	単位	数値
換算距離	λ	m/kg ^{1/3}	14.4
プロパンの定数	K	-	2,860,000
設備定数	W	-	0.025*1

注記 *1：ボンベの貯蔵能力から換算。

第2.4-5表 危険限界距離の評価結果

危険物貯蔵施設等	至近の外部火災防護対象施設	危険限界距離(m)	離隔距離(m)
ボイラ建屋 ボンベ置場	安全冷却水B冷却塔	30	537
低レベル廃棄物処理建屋 プロパンボンベ庫	安全冷却水B冷却塔	67	132
精製建屋ボンベ庫	安全冷却水B冷却塔	32	310
還元ガス製造建屋	安全冷却水B冷却塔	24	315

安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水 B 冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水 B 冷却塔周りの配管)以外の施設の評価方法については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

c. 危険限界距離を確保できない施設の評価

危険限界距離を確保できない施設の評価については、次回以降に詳細を説明する。

2.5 再処理施設の危険物貯蔵施設等への影響の評価

2.5.1 森林火災に対する熱影響評価

ボイラ用燃料貯蔵所に対する森林火災による熱影響評価の評価条件を第2.5.1-1表に、精製建屋ボンベ庫に対する森林火災による熱影響評価の評価条件を第2.5.1-2表に、ボイラ建屋ボンベ置場に対する森林火災による熱影響評価の評価条件を第2.5.1-3表に、評価結果を第2.5.1-4表に示す。

ボイラ用燃料貯蔵所は、表面温度は 94.2℃となり許容温度以下となることを確認した。

精製建屋ボンベ庫は、内部温度は 41.8℃となり許容温度以下となることを確認した。

ボイラ建屋ボンベ置場は、内部温度は 62℃となり許容温度以下となることを確認した。

第 2.5.1-1 表 ボイラ用燃料貯蔵所を対象とした熱影響評価の評価条件

項目	記号	単位	数値	備考
初期温度	T_0	°C	37*1	「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4. 4.1 (3) 高温」に示す理由から 37°Cと設定した。
輻射強度	E	kW/m ²	1.4 (森林火災)	—
重油密度	ρ	kg/m ³	820*2	JX 日鉱日石エネルギー. ENEOS A 重油. 安全データシート. 2012-12-10.
重油比熱	c	J/kg/K	1,700*3	JX 日鉱日石エネルギー. “第 4 編第 1 章第 3 節 石油の性質”. JX 日鉱日石エネルギー株式会社ホームページ. http://www.noe.jx-group.co.jp/binran/part04/chapter01/section03.html . (参照 2014-09-18).
重油熱伝導率	λ	W/m/K	0.109*4	潤滑油, スピンドル油及び変圧器油の値から各油について, 200°Cに外挿した値の最小値。

注記 *1: 各メッシュの火炎長 H, 燃焼時間 t, 及び火炎輻射発散度 Rf は FARSITE の解析結果による。

第 2.5.1-2 表 精製建屋ボンベ庫に対する森林火災による熱影響評価の評価条件

項目	記号	単位	数値	備考
初期温度	T_0	°C	37	「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4. 4.1 (3) 高温」に示す理由から 37°Cと設定した。
輻射強度	E	kW/m ²	0.89 (森林火災)	—
貯蔵物密度	ρ_p	kg/m ³	0.0899	長倉三郎, 井口洋夫, 江沢洋, 岩村秀, 佐藤文隆, 久保亮五編. 理化学辞典. 第 5 番, 岩波書店, 1998.
貯蔵物比熱	c_{pp}	J/kg/K	10,160	日本機械学会編. 機械工学便覧 基礎編 $\alpha 5$ 熱工学. 2006.
貯蔵物体積	V	L	47	設計値
ボンベ容器材	—	—	クロムモリブデン鋼	—
ボンベ容器材密度	ρ_s	kg/m ³	7,780	日本機械学会. 伝熱工学資料 改訂第 4
ボンベ容器材比熱	c_{ps}	J/kg/K	406	版. 1986.
ボンベ最小板厚	e	mm	8.7	設計値
ボンベ円筒長さ	h	mm	1,380	設計値
ボンベ内径	D_i	mm	214.6	設計値
ボンベ外径	D_o	mm	232	設計値

注記 *1: 各メッシュの火炎長 H, 燃焼時間 t, 及び火炎輻射発散度 Rf は FARSITE の解析結果による。

第 2.5.1-3 表 ボイラ建屋ボンベ置場に対する森林火災による熱影響評価の評価条件

項目	記号	単位	数値	備考
初期温度	T_0	°C	37	「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4. 4.1 (3) 高温」に示す理由から 37°C と設定した
輻射強度	E	kW/m ²	0.89 (森林火災)	—
貯蔵物密度	ρ_p	kg/m ³	1.895	鈴商総合ガスセンター. 液化石油ガス. 製品安全データシート. 2000-12-3.
貯蔵物比熱	c_{pp}	J/kg/K	1,667	日本 LP ガス協会. “LP ガスの概要 LP ガスの性質”. 日本 LP ガス協会 ホームページ. http://www.jp-lpgas.gr.jp/intr/seishitsu.html . (参照 2014-09-16).
貯蔵物体積	V	L	117.5	設計値
ボンベ容器材	—	—	クロムモリブデン鋼	—
ボンベ容器材密度	ρ_s	kg/m ³	7,780	日本機械学会. 伝熱工学資料 改訂第 4 版. 1986.
ボンベ容器材比熱	c_{ps}	J/kg/K	406	日本機械学会. 伝熱工学資料 改訂第 4 版. 1986.
ボンベ最小板厚	e	mm	2.45	設計値
ボンベ円筒長さ	h	mm	1,391	設計値
ボンベ内径	D_i	mm	368	設計値
ボンベ外径	D_o	mm	372.9	設計値

注記 *1: 各メッシュの火炎長 H , 燃焼時間 t , 及び火炎輻射発散度 R_f は FARSITE の解析結果による。

第 2.5.1-4 表 防火帯外側から最短となる施設への評価結果

事象	評価対象	貯蔵物	表面温度又は内部温	許容温度
森林火災	ボイラ用燃料貯蔵所	重油	94.2°C	240°C
	精製建屋ボンベ庫	水素	41.8°C	571.2°C
	ボイラ建屋ボンベ置場	プロパン	62°C	405°C

2.5.2 近隣の産業施設の火災に対する熱影響評価

ボイラ用燃料貯蔵所に対する石油備蓄基地火災による熱影響評価の評価条件を第2.5.2-1表に、ボイラ建屋ボンベ置場に対する石油備蓄基地火災による熱影響評価の評価条件を第2.5.2-2表に、評価結果を第2.5.2-3表に示す。

ボイラ用燃料貯蔵所は、表面温度は204.2℃となり許容温度以下となることを確認した。

ボイラ建屋ボンベ置場は、内部温度は150.6℃となり許容温度以下となることを確認した。

第2.5.2-1表 ボイラ用燃料貯蔵所の表面温度評価における評価条件

項目	記号	単位	数値	備考
太陽光入射	Q_{sun}	kW/m^2	0.4	IAEA. IAEA 安全基準 IAEA 放射性物質安全輸送規則のための助言文書(No. TS-G-1.1). 改訂1.2008.
タンクが受ける 輻射強度	Q_{ri}	kW/m^2	1.5	—
大気側温度	T_a	℃	37	「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4. 4.1 (3) 高温」に示す理由から37℃と設定した。
熱伝達率	h	$\text{W/m}^2/\text{K}$	17	空気調和・衛生工学会, 空気調和・衛生工学便覧第14版より, 一般的な放熱量の最小値を設定する。

第 2.5.2-2 表 ボイラ建屋 ボンベ置場の表面温度評価における評価条件

項目	記号	単位	数値	備考
ステファン-ボルツマン定数	σ	$W/m^2/K^4$	5.670×10^{-8}	国立天文台. 平成 26 年 理科年表 第 87 冊. 2013-11-30.
重力加速度	g	m/s^2	9.807	
大気側温度	T_a	$^{\circ}C$	37	「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4. 4.1 (3) 高温」に示す理由から $37^{\circ}C$ と設定した。
太陽光入射	Q_{sun}	kW/m^2	0.4	IAEA. IAEA 安全基準 IAEA 放射性物質安全輸送規則のための助言文書(No. TS-G-1.1). 改訂1. 2008.
ボイラ建屋 ボンベ置場が受ける輻射強度	Q_{ri}	kW/m^2	1.5	—
室内温度	T_b	$^{\circ}C$	37	「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4. 4.1 (3) 高温」に示す理由から $37^{\circ}C$ と設定した。
ボイラ建屋 ボンベ置場の評価対象表面高さ	L_w	m	1.391	設計値
ボンベ表面の輻射率	ϵ_w	—	0.9	日本機械学会. 伝熱工学資料 改訂 第4版. 1986. 塗料の場合の0.7~0.9に対し最大とする。
熱伝達率	h	$W/m^2/K$	17	空気調和・衛生工学会, 空気調和・衛生工学便覧第14版より, 一般的な放熱量の最小値を設定する。
大気の熱伝導率	λ	$W/(m \cdot K)$	0.0307	プラントル数 Pr , 大気の動粘性係数 ν 及び大気の熱伝導率 λ は, 日本機械学会 伝熱工学資料 改訂第4版の記載値を代表温度 T_r における値に線形補間し設定した。
プラントル数	Pr	-	0.7165	
大気の動粘性係数	ν	m^2/s	2.25×10^{-5}	

第 2.5.2-3 表 石油備蓄基地から最短となる施設への評価結果

事象	評価対象	貯蔵物	表面温度又は内部温度	許容温度
石油備蓄基地火災	ボイラ用燃料貯蔵所	重油	$147.0^{\circ}C$	$240^{\circ}C$
	ボイラ建屋ボンベ置場	プロパン	$125.6^{\circ}C$	$405^{\circ}C$

2.5.3 森林火災と近隣の産業施設の火災の重畳に対する影響評価

ボイラ用燃料貯蔵所に対する森林火災による熱影響評価結果の評価条件は「2.5.1 森林火災に対する熱影響評価」の第2.5.1-1表と同じである。ボイラ建屋ボンベ置場に対する森林火災による熱影響評価結果の評価条件は「2.5.1 森林火災に対する熱影響評価」の第2.5.1-1表と同じである。

ボイラ用燃料貯蔵所に対する石油備蓄基地火災による熱影響評価の評価条件は「2.5.2 近隣の産業施設の火災に対する熱影響評価」の第2.5.2-1表と同じである。ボイラ建屋ボンベ置場に対する石油備蓄基地火災による熱影響評価の評価条件は同項目の第2.5.2-2表と同じである。

ボイラ用燃料貯蔵所及びボイラ建屋ボンベ置場に対する森林火災と近隣の産業施設の火災の重畳における熱影響評価結果は第2.5.3-1表に示す。

ボイラ用燃料貯蔵所は、表面温度が204.2℃となり許容温度以下となることを確認した。

ボイラ建屋ボンベ置場は、表面温度が150.6℃となり許容温度以下となることを確認した。

第2.5.3-1表 森林火災と石油備蓄基地火災の重畳時の温度評価結果

事象	評価対象	貯蔵物	表面温度又は内部温度	許容温度
蓄基地火災と石油備	ボイラ用燃料貯蔵所	重油	204.2℃	240℃
	ボイラ建屋ボンベ置場	プロパン	150.6℃	405℃

2.5.4 近隣の産業施設の爆発に対する影響評価

敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発についての条件を第2.5.4-1表に、評価結果を第2.5.4-2表に示す。

以上より、外部火災防護対象施設の安全機能を損なわないことを確認した。

第2.5.4-1表 MOX燃料加工施設の第1 高压ガストレーラ庫の評価条件

項目	記号	数値	単位
換算距離	λ	14.4	m/kg ^{1/3}
水素の定数	K	2,860,000	—
設備定数	W	0.304	—

第 2.5.4-2 表 MOX 燃料加工施設の第 1 高圧ガストレーラ庫の危険限界距離の評価結果

危険物貯蔵施設等	危険限界距離 (m)
第1高圧ガストレーラ庫	55

MOX 燃料加工施設の第 1 高圧ガストレーラ庫から 55m の範囲に敷地内の危険物貯蔵施設等はないことから、近隣の産業施設の爆発により影響を受ける敷地内の危険物貯蔵施設はないことを確認した。

VI-1-1-1-5

落雷への配慮に関する説明書

目 次

VI-1-1-1-5-1 落雷への配慮に関する基本方針

VI-1-1-1-5-1

落雷への配慮に関する基本方針

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 落雷防護設計に係る基本方針	1
2.2 想定する落雷の規模及び荷重の組合せ	1
2.2.1 想定する落雷	1
2.2.2 荷重の組合せ	1
3. 落雷に対する防護設計	2
3.1 直撃雷に対する防護設計	3
3.2 間接雷に対する防護設計	6
4. 運用上の措置	9
5. 準拠規格	9

1. 概要

本資料は、再処理施設の落雷防護設計が「再処理施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第八条に適合することを説明するものである。

2. 基本方針

2.1 落雷防護設計に係る基本方針

安全機能を有する施設は、想定される落雷が発生した場合において安全機能を損なわない設計とする。また、落雷によってもたらされる影響及び再処理施設の特徴を考慮し、直撃雷及び間接雷に対して耐雷設計を行う。

落雷から防護する施設（以下「落雷防護対象施設」という。）としては、安全評価上その機能を期待する構築物、系統及び機器を漏れなく抽出する観点から、安全上重要な機能を有する構築物、系統及び機器を対象とする。落雷防護対象施設及びそれらを収納する建屋は、落雷の影響により落雷防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、直撃雷の影響及び間接雷の影響による設備の破損により、落雷防護対象施設に波及的影響を及ぼして安全機能を損なわせるおそれがある施設の影響を考慮した設計とする。

落雷防護対象施設以外の安全機能を有する施設は、落雷の影響に対して機能を維持すること、落雷による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。

また、上記の代替設備により必要な機能を確保すること及び安全上支障のない期間での修理を行うことを保安規定に定めて、管理する。

2.2 想定する落雷の規模及び荷重の組合せ

2.2.1 想定する落雷

再処理施設における耐雷設計の設計条件については、再処理施設が立地する地域の気候、再処理事業所及びその周辺で過去に観測された落雷データを踏まえて設定する。

再処理事業所及びその周辺で過去に観測された最大の落雷の雷撃電流値は211kAである。観測される雷撃電流値の精度は夏季雷と冬季雷で違いがあり、夏季雷はほぼ正確との見解がある一方で冬季雷では15～20%程度低く算出されるとの見解もある。再処理事業所及びその周辺で観測された最大の雷撃電流値は夏季に観測されたものであるが、観測データは過去約15年間のものであることを考慮し、想定する落雷の規模は安全余裕を見込んで270kAとする。

2.2.2 荷重の組合せ

落雷と同時に発生する可能性がある自然現象としては、竜巻、積雪、降雹及び降水が考えられる。これらの自然現象の組合せの考え方は、以下のとおりとする。

a. 竜巻

落雷及び竜巻が同時に発生する場合においても、竜巻による影響は風荷重、飛来物の衝突荷重及び気圧差による荷重であり、落雷による雷撃とは影響が異なるため、落雷と竜巻の組合せは考慮しない。

b. 積雪

落雷と積雪の組合せを想定しても、積雪による影響は建屋及び屋外施設に対する堆積荷重であり、落雷による雷撃とは影響が異なるため、落雷と積雪の組合せは考慮しない。

c. 降雹

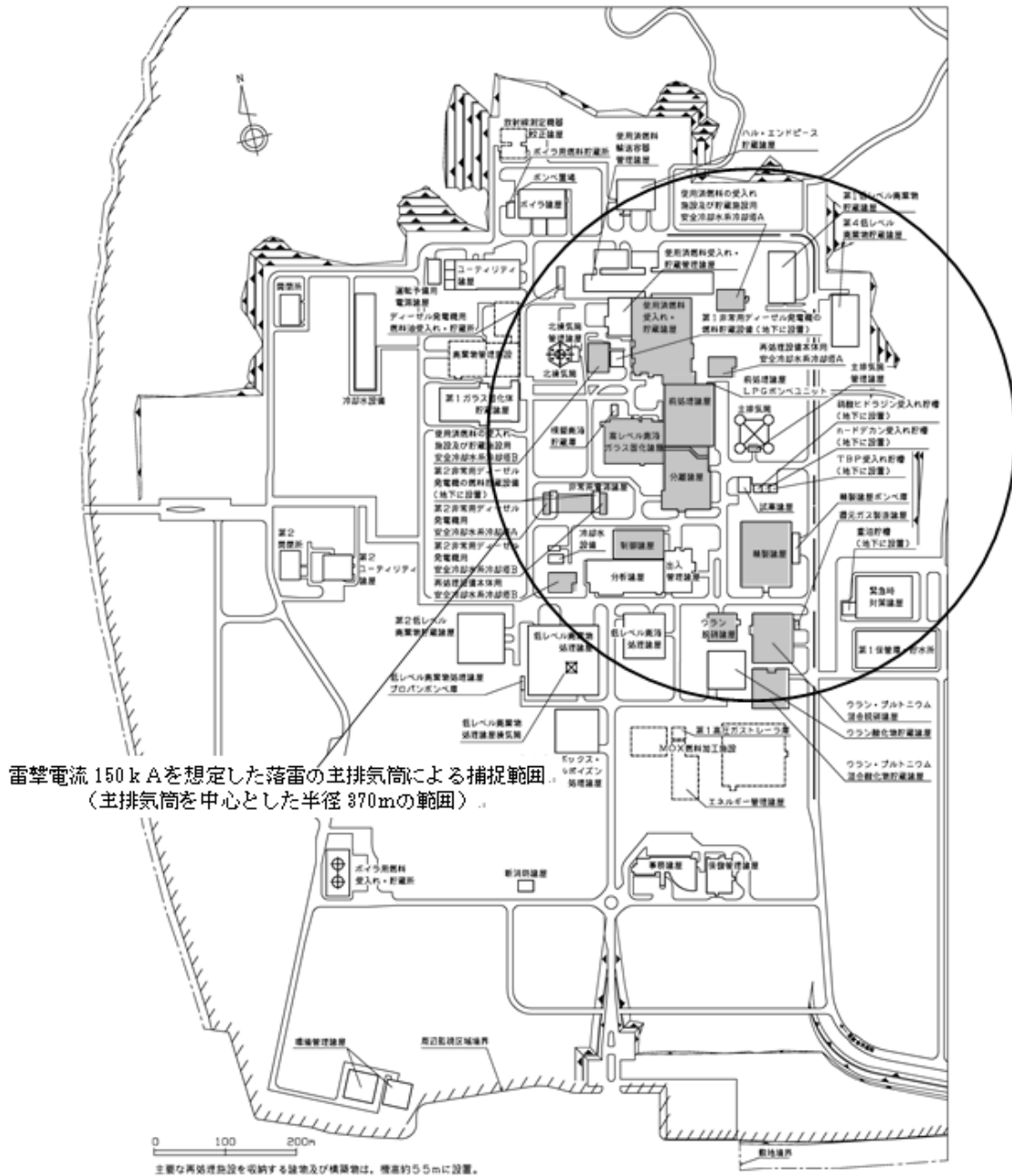
落雷と降雹の組合せを考慮しても、降雹の影響は建屋及び屋外施設に対する衝撃荷重であり、落雷による雷撃とは影響が異なるため、落雷と降雹の組合せは考慮しない。

d. 降水

落雷と降水が同時に発生する場合においても、降水による影響は浸水であり、落雷による雷撃とは影響が異なるため、落雷と降水の組合せは考慮しない。

3. 落雷に対する防護設計

一般的に落雷は高い建物及び構築物に対して発生しやすく、再処理施設では最も高い主排気筒（高さ150m）に発生しやすい。特に雷撃電流150kAを超える落雷については、雷撃電流と雷撃距離の関係（Armstrong & Whiteheadの式）から第3-1図に示す通り主排気筒にて捕捉できることから、主排気筒を270kAの落雷の雷撃点として防護設計を行う。



雷撃電流 150 k A を想定した落雷の主排気筒による捕捉範囲
 (主排気筒を中心とした半径 370m の範囲)。

■ : 間接雷に対する落雷防護対象施設のうち安全上重要な施設に係るもの。

※ Armstrong & Whitehead の式 ($r = 6.72 \times I^{0.8}$, r : 雷撃距離, I : 雷撃電流) より, 雷撃電流 150 kA の落雷の雷撃距離は約 370m となる。

第 3-1 図 主排気筒による 150kA の落雷の捕捉範囲

3.1 直撃雷に対する防護設計

直撃雷は外気にさらされた建屋及び屋外施設に対して影響を及ぼす。建屋内に設置する落雷防護対象施設は、建屋による防護により直撃雷によって安全機能を損なわな

い設計とする。

主排気筒は、雷撃電流270kAの直撃雷に対して安全機能を損なわない設計とし、落雷防護対象施設を収納する建屋及び主排気筒を除く屋外の落雷防護対象施設は、主排気筒にて捕捉されない直撃雷に対して安全機能を損なわない設計とする。具体的には、落雷防護対象施設を収納する建屋及び主排気筒を含む屋外の落雷防護対象施設の直撃雷に対する耐雷設計としては、「原子力発電所の耐雷指針」(JEAG4608)、建築基準法及び消防法に基づき、日本産業規格(JIS A4201)に準拠した避雷設備を設置する設計とする。

避雷設備の設計方針は以下のとおりとする。

- a. 各々の落雷防護対象施設を収納する建屋及び屋外の落雷防護対象施設に対して設置する避雷設備は、日本産業規格(JIS A4201-1992(以下、本添付書類では「旧JIS」という。))又は日本産業規格(JISA4201-2003(以下、本添付書類では「新JIS」という。))のいずれかに準拠したものとし、両者を混在させないものとする。
- b. 避雷設備の受雷部は、落雷防護対象施設を収納する建屋及び屋外の落雷防護対象施設への雷撃の侵入を極力防止するため、以下の設計とする。
 - ・旧JISに準拠した突針、むね上げ導体を基本とし、落雷防護対象施設を収納する建屋及び屋外の落雷防護対象施設の設置状況に応じて新JISに準拠した金属製の構造体利用を採用する。
 - ・むね上げ導体は、非保護範囲の部分の各点からの水平距離が10m以下となるように設ける。
 - ・受雷部がひとつの場合を除き、受雷部は、むね、パラペット又は屋根上に設置した避雷導線によって接続するか、又はループ状に接続する。
- c. 避雷設備の受雷部は、雷撃電流を大地に放流するため、避雷導線によって接地極に接続する。
- d. 避雷設備の引下げ導線は、火花放電の発生の低減を図るため、以下の設計とする。
 - ・落雷防護対象施設を収納する建屋及び屋外の落雷防護対象施設の外周に複数本をほぼ均等に配置し、旧JISに準拠する場合はその間隔を50m以下、新JISに準拠する場合は25m以下とする。
 - ・短い距離にて接地極へ接続する。
 - ・引下げ導線の材料として銅を使用する場合は、その断面積を38mm²以上とする。
- e. 避雷設備の引下げ導線は、建屋内の落雷防護対象施設への雷撃電流による影響を軽減するため、落雷防護対象施設を収納する建屋内の計測制御系統施設の接地幹線とは共用せずに独立して接地極へ接続する。
- f. 避雷設備の接地極は、接地抵抗の低減及び雷撃に伴う構内接地系の電位分布の平

坦化を図るため、構内接地系と接続する。

なお、落雷防護対象施設を収納する建屋及び屋外の落雷防護対象施設以外の施設のうち、建築基準法及び消防法の適用を受ける建屋、構築物については、落雷防護対象施設を収納する建屋及び屋外の落雷防護対象施設と同様の設計とする。

本申請における避雷設備を設置する対象施設を第3.1-1表に示す。

第3.1-1表 避雷設備設置対象一覧

設置対象建屋・設備	適用	受雷部	接地極	準拠規格
使用済燃料受入れ・貯蔵建屋	※2	※2	※2	※2
前処理建屋	※2	※2	※2	※2
分離建屋	※2	※2	※2	※2
精製建屋	※2	※2	※2	※2
ウラン脱硝建屋	※2	※2	※2	※2
ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	※2	※2	※2	※2
ウラン酸化物貯蔵建屋	※2	※2	※2	※2
ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋	※2	※2	※2	※2
高レベル廃液ガラス固化建屋	※2	※2	※2	※2
第1ガラス固化体貯蔵建屋	※2	※2	※2	※2
チャンネルボックス・ハーナブルボックス処理建屋	※2	※2	※2	※2
ハル・エンドピース貯蔵建屋	※2	※2	※2	※2
分析建屋	※2	※2	※2	※2
制御建屋	※2	※2	※2	※2
非常用電源建屋	※2	※2	※2	※2
主排気筒管理建屋	※2	※2	※2	※2
主排気筒	※2	※2	※2	※2
安全冷却水系冷却塔A	※2	※2	※2	※2
安全冷却水系冷却塔Aの飛来物防護ネット※1	※2	※2	※2	※2
安全冷却水系冷却塔B	※2	※2	※2	※2
安全冷却水系冷却塔Bの飛来物防護ネット※1	※2	※2	※2	※2
安全冷却水A冷却塔	※2	※2	※2	※2
安全冷却水A冷却塔の飛来物防護ネット※1	※2	※2	※2	※2
安全冷却水B冷却塔	—	△	△	△
安全冷却水B冷却塔の飛来物防護ネット※1	建	○	○	新

第3.1-1表 避雷設備設置対象一覧（続き）

設置対象建屋・設備	適用	受雷部	接地極	準拠規格
冷却塔A	※2	※2	※2	※2
冷却塔Aの飛来物防護ネット※1	※2	※2	※2	※2
冷却塔B	※2	※2	※2	※2
冷却塔Bの飛来物防護ネット※1	※2	※2	※2	※2

<凡例>

○：受雷部又は接地極の設置対象

△：周辺の避雷設備の保護範囲に入るため、一部または全部が設置対象外

建：建築基準法の適用を受けるもの

消：消防法の適用を受けるもの

ー：建築基準法，消防法いずれの適用も受けないが，落雷防護対象施設を収納する建屋又は屋外の落雷防護対象施設に該当するもの

新：新JISに準拠した避雷設備を設置

旧：旧JISに準拠した避雷設備を設置

※1 飛来物防護ネットは落雷防護対象施設ではないが，落雷防護対象施設を覆う構造であり，落雷防護対象施設への雷撃の侵入を防止するため，避雷設備の設置対象とする。

※2 当該建屋及び設備の設計については，各々の建屋及び設備の申請に合わせて次回以降に示す。

また，落雷防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設の設計として，直撃雷による機械的影響を考慮した設計とする。直撃雷による機械的影響としては，落雷防護対象施設以外の施設そのものの損傷又は避雷設備の温度上昇の影響による波及的影響が考えられる。しかし，再処理施設のうち外気にさらされているものは鉄筋コンクリート造の建屋や鋼構造物であり，直撃雷による損傷を受けて倒壊に至ることは考えられないため，周辺の落雷防護対象施設を収納する建屋及び屋外の落雷防護対象施設に機械的な波及的影響を及ぼすことはない。また，雷撃による避雷設備の温度上昇はわずかであり，避雷設備の損傷又は倒壊に至るおそれはないことから，周辺の落雷防護対象施設を収納する建屋及び屋外の落雷防護対象施設に機械的な波及的影響を及ぼすことはない。

3.2 間接雷に対する防護設計

間接雷は，建屋及び屋外施設への落雷により，避雷設備を介して雷撃電流が大地へ拡散及び分流する過程で，雷サージとなって接地系統から侵入し，屋内に設置される設備に対して影響を及ぼし得る。また，再処理施設の建屋間には配管，ダクト及びケ

ケーブルを収納する洞道が設置されるとともに、各施設の監視及び制御を制御建屋で集中的に実施する設計としている。以上のような落雷の特徴及び再処理施設の特徴を踏まえ、間接雷による雷サージによって各建屋に接地電位の差が生じることによる影響を考慮し、落雷防護対象施設のうち建屋間を取り合う計測制御系統施設、電気設備及び放射線監視設備（以下「計測制御系統施設等」という。）を対象として間接雷に対する耐雷設計を行う。

間接雷に対する耐雷設計としては、雷サージの侵入及び伝播経路を考慮し、雷撃電流270kAの主排気筒への落雷の影響に対して、接地設計及び雷サージの影響阻止設計により、安全機能を損なわない設計とする。

間接雷に対する耐雷設計の設計方針は以下のとおりとする。

(1) 接地設計

- a. 接地電位分布の平坦化を図るため、避雷設備と接続する接地極は網状接地極を基本とし、必要に応じて他の種類の接地極を併用する。
- b. 避雷設備と接続する各々の接地極は原則として2箇所以上で接続し、構内接地系の電位分布の平坦化を図る。
- c. 構内接地系の接地抵抗は、最大故障電流による最大接地電位上昇値、歩幅電圧及び歩幅電圧の制限によって定められる所定の目標値（JIS A 4201 による標準設計値10Ω）を十分下回る設計とし、3Ω以下となるよう設計する。

(2) 雷サージの影響阻止設計

- a. アナログ信号式の計測制御系統施設は、雷撃電流270kAの落雷によって想定される雷サージ電圧（3.0kV）に対して安全機能を損なわないよう、信号の出力側の建屋と信号の入力側の建屋の両方に絶縁耐力5.0kV以上の保安器を設置する設計とする。
- b. a. の設計において、万一落雷の影響が安全上重要な警報及びインターロック機能に及ぶ場合に備え、信号の出力側にアイソレータを設置し、安全上重要な警報及びインターロック機能への影響を防止する設計とする。
- c. デジタル信号式の計測制御系統施設及び放射線監視設備は、シールドケーブルを使用したうえで両端接地とするか、又は光伝送ケーブルを使用することにより、雷撃電流270kAの落雷によって想定される雷サージ電圧（3.0kV）に対して安全機能を損なわない設計とする。
- d. 電気設備については、電気学会電気規格調査会標準規格（JEC 2300）に準拠した雷インパルス絶縁耐力を有する設計とすることにより、雷撃電流270kAの落雷によって想定される雷サージ電圧（3.0kV）に対して安全機能を損なわない設計とする。

本申請における雷サージの影響阻止設計の対象施設を第3.2-1表に示す。

第3.2-1表 雷サージの影響阻止設計の対象施設一覧

対象建屋・設備	計	放	電
使用済燃料受入れ・貯蔵建屋	※1	※1	※1
前処理建屋	※1	※1	※1
分離建屋	※1	※1	※1
精製建屋	※1	※1	※1
ウラン脱硝建屋	※1	※1	※1
ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	※1	※1	※1
ウラン酸化物貯蔵建屋	※1	※1	※1
ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋	※1	※1	※1
高レベル廃液ガラス固化建屋	※1	※1	※1
第1ガラス固化体貯蔵建屋	※1	※1	※1
制御建屋	※1	※1	※1
非常用電源建屋	※1	※1	※1
主排気筒管理建屋	※1	※1	※1
安全冷却水系冷却塔A	※1	※1	※1
安全冷却水系冷却塔B	※1	※1	※1
安全冷却水A冷却塔	※1	※1	※1
安全冷却水B冷却塔	—	—	○
冷却塔A	※1	※1	※1
冷却塔B	※1	※1	※1

<凡例>

計：計測制御系統施設

放：放射線監視設備

電：電気設備

○：対象建屋・設備に雷サージの影響阻止設計の対象となる計測制御系統施設，放射線監視設備又は電気設備があり，間接雷対策の適用対象となるもの

—：対象建屋・設備に雷サージの影響阻止設計の対象となる計測制御系統施設，放射線監視設備又は電気設備がないもの

※1 当該建屋及び設備の設計については，各々の建屋及び設備の申請に合わせて次回以降に示す。

また，落雷防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設の設計として，間接雷による機能的影響を考慮する。即ち，落雷防護対象施設以外の計測制御系統施設等が落雷の影響

響によって機能喪失することによる落雷防護対象施設への波及的影響を考慮する。落雷防護対象施設である計測制御系統施設等は、落雷防護対象施設以外の計測制御系統施設等と電氣的・物理的な独立性を有する設計とするため、落雷防護対象施設以外の計測制御系統施設等が落雷の影響によって機能喪失したとしても、落雷防護対象施設に機能的な波及的影響を及ぼすことはない。

落雷防護対象施設である計測制御系統施設等の電氣的・物理的な独立性を有する設計については、当該の施設の申請に合わせて次回以降に示す。

4. 運用上の措置

落雷に関する設計条件等に係る新知見の収集，落雷の影響が確認された場合の運用上の措置として，以下を保安規定に定めて，管理する。

- ・定期的に落雷の規模，発生頻度，落雷の影響メカニズム等に係る新知見の確認を行うこと。
- ・落雷により，落雷防護対象施設の安全機能への影響のおそれがあると判断された場合には，当該の落雷防護対象施設に関連する工程を停止するか又は再処理施設を安定した状態に移行させる措置を取ること。

5. 準拠規格

準拠する規格，基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所の耐雷指針（JEAG4608-2007）
- ・建築基準法・同施行令・同告示
- ・消防法・危険物の規制に関する政令・省令
- ・建築物等の避雷設備（避雷針）（JIS A4201-1992）
- ・建築物等の雷保護（JIS A4201-2003）
- ・電気学会電気規格調査会標準規格 交流遮断器（JEC 2300-1998）

VI-1-1-1-6

航空機に対する防護設計に関する説明書

目 次

VI-1-1-1-6-1 航空機に対する防護設計の基本方針

VI-1-1-1-6-2 航空機に対する防護設計における分離配置 次回以降申請

VI-1-1-1-6-1

航空機に対する防護設計の基本方針

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 基本方針	1

1. 概要

本資料は、再処理施設の航空機に対する防護設計が「再処理施設の技術基準に関する規則」第八条に適合することを説明するものである。

2. 基本方針

再処理施設の上空には三沢特別管制区があり、南方向約10kmの位置には三沢対地訓練区域がある。三沢対地訓練区域で対地射爆撃訓練飛行中の航空機が施設に墜落する可能性は極めて小さいが、当区域で多くの訓練飛行が行われているという立地地点固有の社会環境等を配慮し、仮に訓練飛行中の航空機が施設に墜落することを想定したときに、公衆に対して著しい放射線被ばくのリスクを与えるおそれのある施設は、航空機に対して貫通が防止でき、かつ、航空機による衝撃荷重に対して健全性が確保できる堅固な建物・構築物で適切に保護する等、安全確保上支障がないように設計する。

安全上重要な施設については原則として防護対象とする。

ただし、安全上重要な施設のうち、航空機が墜落する可能性が無視できる施設又は仮に航空機が墜落することを想定しても公衆に対して著しい放射線被ばくのリスクを与えない以下の施設は防護対象外とする。

- ・主排気筒
- ・主排気筒の排気筒モニタ
- ・安全蒸気系のボイラ用燃料ポンペ
- ・第1ガラス固化体貯蔵建屋床面走行クレーンのしゃへい容器

防護方法としては、建物の外壁及び屋根により建物全体を適切に保護する方法を基本とし、放射性物質を内蔵する防護対象施設が一箇所に集中している場合は、建物の壁及び床により防護対象とする区画を適切に保護する方法を用いることにより、施設の安全性を確保する設計とする。

また、放射性物質を内蔵しておらず、かつ、多重化が要求される場合は、同時に2系列破損しないよう十分な離隔距離をとって配置する方法を用いることにより、施設の安全性を確保する設計とする。

上記の防護設計を踏まえ、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」（平成21・06・25 原院第1号）等に基づき評価した結果、再処理施設への航空機落下確率の総和は、最大の標的面積となるウラン・プルトニウム混合脱硝建屋及びウラン・プルトニウム混合脱硝の安全機能の維持に必要な施設を対象とした場合で 4.6×10^{-8} 回/炉・年となり、防護設計の要否を判断する基準である 10^{-7} 回/年を超えないことを評価して事業指定（変更許可）において確認している。

設工認申請時に、事業指定（変更許可）申請時（令和2年7月13日付け2020再計発第101号による再処理事業所再処理事業変更許可申請書 本文及び添付書類の一部補正）から、航空路を含めた航空機落下確率評価に用いる最新データにおいて、防護設計の要否を判断する基準を超えるような変更がないことを確認している。したがって、航空機

の墜落については、安全機能を有する施設に対して追加の防護措置その他適切な措置を講ずる必要はない。

なお、定期的に航空路を含めた航空機落下確率評価に用いる最新データの変更状況を確認し、追加の防護措置の要否を判断することを保安規定に定めて、管理する。

防護設計条件及び防護設計に係る説明は、平成11年1月29日付け10安（核規）第538号にて認可を受けた設工認申請書の添付書類Ⅶ－２－１「航空機に対する防護設計の基本方針」及び平成10年6月9日付け9安（核規）第596号にて認可を受けた設工認申請書の添付書類Ⅶ－２－３「航空機に対する防護設計における分離配置」に同じである。

VI-1-1-1-7

津波への配慮に関する説明書

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 耐津波設計の基本方針.....	2
3. 津波評価	3
3.1 概要	3
3.2 既往津波に関する検討.....	3
3.3 既往知見を踏まえた津波の評価.....	3
3.4 施設の安全性評価.....	6

1. 概要

本資料は、津波により再処理施設の安全機能を有する施設の安全性及び重大事故等対処施設の重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないとすることが、「再処理施設の技術基準に関する規則」第七条及び第三十四条（津波による損傷の防止）に適合することを説明するものである。

2. 耐津波設計の基本方針

設計上考慮する津波から防護する施設は、事業指定基準規則の解釈別記 3 に基づき安全機能を有する施設のうち耐震重要施設及び重大事故等対処施設とし、これらの施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して必要な機能が損なわれないよう、耐震重要施設及び重大事故等対処施設のうち常設重大事故等対処設備は津波による影響を受けない位置に設置し、また、可搬型重大事故等対処設備は津波による影響を受けない位置に保管する設計とする。

耐震重要施設及び重大事故等対処施設のうち常設重大事故等対処設備（これらの施設に波及的影響を及ぼして必要な機能を損なわせるおそれがある施設を含む）を設置する敷地並びに可搬型重大事故等対処設備を保管する敷地は、標高約 50m から約 55m 及び海岸からの距離約 4km から約 5km の地点に位置しており、事業指定（変更許可）においては、後述の「3. 津波評価」に示すとおり、断層のすべり量が既往知見を大きく上回る波源を想定した場合でも、より厳しい評価となるように設定した標高 40m の敷地高さへ津波が到達する可能性はなく、また、低レベル廃液処理建屋及び使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋から導かれ、汀線部から沖合約 3km まで敷設する海洋放出管は、低レベル廃液処理建屋及び使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋が標高約 55m の敷地に設置されることから、海洋放出管の経路からこれらの建屋に津波が流入するおそれはないことを確認している。

したがって、津波によって、耐震重要施設の安全機能及び重大事故等対処施設の重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれはない。

3. 津波評価

3.1 概要

本章においては、標高 40m の敷地高さへ津波が到達する可能性がないと評価した根拠である、事業指定（変更許可）における津波評価の概要を示す。

事業指定（変更許可）における津波評価においては、既往知見を踏まえた津波の評価を行い、想定される津波の規模観について把握した上で、施設の安全性評価として、すべり量が既往知見を大きく上回る波源モデルによる検討を行い、標高 40m の敷地高さへ津波が到達する可能性について検討を行っている。

3.2 既往津波に関する検討

(1) 近地津波

敷地周辺における主な既往の近地津波の津波高を比較した結果、敷地近傍に大きな影響を及ぼしたと考えられる近地津波は、1856 年の津波、1968 年十勝沖地震に伴う津波及び 2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う津波と評価した。

(2) 遠地津波

敷地周辺における主な既往の遠地津波の津波高を比較した結果、敷地近傍に影響を及ぼしたと考えられる遠地津波は 1960 年チリ地震津波であるが、近地津波の津波高を上回るものではないと評価した。

(3) 既往津波の評価

既往津波に関する文献調査の結果、敷地近傍に大きな影響を及ぼしたと考えられる既往津波は、1856 年の津波、1968 年十勝沖地震に伴う津波及び 2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う津波と評価した。

3.3 既往知見を踏まえた津波の評価

(1) 地震に起因する津波の評価

① 対象とする地震

地震に起因する津波の評価においては、敷地に影響を与える可能性がある津波の波源として、プレート間地震、海洋プレート内地震及び海域の活断層による地殻内地震について検討した。

② 数値シミュレーション

既往津波の再現性確認を行った計算モデルを用いて数値シミュレーションを行った。評価位置については、尾駸沼の形状を踏まえ尾駸沼奥の地点を選定した。

③ プレート間地震に起因する津波の評価

プレート間地震として、三陸沖北部のプレート間地震、津波地震及び三陸沖北部と隣り合う領域の連動を考慮した連動型地震について検討した。

連動型地震については、三陸沖北部から北方の千島海溝沿いの領域への連動を考慮した連動型地震（以下、「北方への連動型地震」という。）及び三陸沖北部から南方の日本海溝沿いの領域への連動を考慮した連動型地震（以下、「南方への連動

型地震」という。)が考えられるが、南方への連動型地震については青森県海岸津波対策検討会の検討結果の知見があることから、本評価では北方への連動型地震の波源モデルを設定して検討を実施した上で、当該結果と南方への連動型地震に係る青森県海岸津波対策検討会による検討結果を比較することとした。

a. 基本モデル

(a) 三陸沖北部のプレート間地震

三陸沖北部のプレート間地震の波源モデルについては、1856年の津波が古記録より推定されていることから、同一海域で発生し各地の津波高が数多く観測されている1968年十勝沖地震に伴う津波を対象とすることとし、1968年十勝沖地震に伴う津波の波源モデルをもとに、地震規模が既往最大のMw8.4となるようにスケーリング則に基づき設定した。当該波源モデルの位置及び諸元に基づき実施した数値シミュレーションの結果、評価位置における津波高はT. M. S. L. +1.38mであった。

(b) 津波地震

津波地震の波源モデルについては、1896年明治三陸地震津波の波源モデル(地震規模は既往最大のMw8.3)を設定した。当該波源モデルの位置及び諸元に基づき実施した数値シミュレーションの結果、評価位置における津波高はT. M. S. L. +1.28mであった。

(c) 北方への連動型地震

北方への連動型地震の波源モデルについては、敷地前面の三陸沖北部から根室沖までの領域を想定波源域とし、2011年東北地方太平洋沖地震の知見等も踏まえ、すべりの不均質性等を考慮した波源モデル(Mw9.04)を設定した。当該波源モデルの位置及び諸元に基づき実施した数値シミュレーションの結果、評価位置における津波高はT. M. S. L. +2.32mであった。

b. 不確かさの考慮に係る評価

評価位置における津波高が最大となる北方への連動型地震について、波源特性、波源位置及び破壊開始点の不確かさを考慮し評価を実施した。さらに、不確かさの考慮において評価位置における津波高が最大となるケースと、南方への連動型地震である青森県の結果の比較を行い、津波高の高いケースをプレート間地震に起因する津波の最大ケースとして評価した。

波源特性の不確かさについては、すべり量の不確かさを考慮したすべり量割増モデル及びすべり分布の不確かさを考慮した海溝側強調モデルを設定した。数値シミュレーションの結果、評価位置における津波高は、すべり量割増モデルでT. M. S. L. +3.01m、海溝側強調モデルでT. M. S. L. +3.00mであった。

波源位置の不確かさについては、すべり量割増モデル及び海溝側強調モデルのそれぞれについて、北へ約50km移動させたケース並びに南へ約50km、約100km及

び約 150km 移動させたケースを設定した。数値シミュレーションの結果、評価位置における津波高が最大となるのは、すべり量割増モデルを南に約 100km 移動させたケースで、T. M. S. L. +3.65m であった。

破壊開始点の不確かさについては、波源位置を変動させた検討において評価位置における津波高が最大となるすべり量割増モデルを南に約 100km 移動させたケースを対象に破壊開始点の異なる複数のケースを設定した。数値シミュレーションの結果、評価位置における津波高は最大ケースで、T. M. S. L. +4.00m であった。

また、以上の北方への連動型地震に係る検討結果と南方への連動型地震に係る検討結果を比較した結果、北方への連動型地震に起因する津波が南方への連動型地震に起因する津波を上回る結果であることを確認した。

以上より、プレート間地震に起因する津波について、評価位置における津波高が最大となるのは、北方への連動型地震に不確かさを考慮したケースであり、その津波高は評価位置において T. M. S. L. +4.00m であった。

④ 海洋プレート内地震に起因する津波の評価

海洋プレート内地震の波源モデルについては、1933 年昭和三陸地震津波の波源モデルをもとに、地震規模が既往最大の Mw8.6 となるようにスケーリング則に基づき設定した。当該波源モデルの位置及び諸元に基づき実施した数値シミュレーションの結果、評価位置における津波高は T. M. S. L. +1.35m であった。以上を踏まえると、海洋プレート内地震に起因する津波は、プレート間地震に起因する津波を上回るものではない。

⑤ 海域の活断層による地殻内地震に起因する津波の評価

海域の活断層による地殻内地震に起因する津波の推定津波高は最大でも 0.3m であり、プレート間地震に起因する津波と比べて影響は非常に小さい。

(2) 地震以外の要因に起因する津波の評価

① 地すべり等に起因する津波の評価

文献調査によると、敷地周辺における陸上及び海底の地すべり並びに斜面崩壊による歴史津波の記録は知られておらず、敷地周辺陸域の海岸付近における大規模な地すべり地形及び敷地周辺海域における海底地すべり地形は認められない。

また、海底地形調査により抽出された地すべり地形に基づく数値シミュレーションにより敷地への影響を評価した結果、評価位置前面における津波高は、最大でも 0.20m であり、プレート間地震に起因する津波と比べて影響は非常に小さいと評価した。

② 火山現象に起因する津波の評価

文献調査によると、敷地周辺に大きな影響を及ぼした、火山現象による歴史津波の記録は知られていないことから、火山現象に起因する津波については、影響は極めて小さいと評価した。

(3) まとめ

既往知見を踏まえた津波の評価として、地震及び地震以外の要因に起因する津波について評価を行った結果、想定される津波の規模観は評価位置において T. M. S. L. +4.00m 程度であった。なお、地震以外の要因に起因する津波の影響は非常に小さいことから、地震に起因する津波との重畳を考慮したとしても想定される津波の規模観への影響はない。

3.4 施設の安全性評価

(1) 評価概要

施設の安全性評価として、標高 40m の敷地高さへ津波が到達する可能性がないことを確認するため、すべり量が既往知見を大きく上回る波源モデルによる検討を実施した。

(2) 波源モデルの設定

すべり量が既往知見を大きく上回る波源モデルについては、国内外の巨大地震のすべり量に関する文献調査結果を踏まえ、既往の巨大地震及び将来予測のモデルにおける最大すべり量を上回るよう、既往知見を踏まえた津波の評価において津波高が最も高いケースの波源モデルの各領域のすべり量を 3 倍にしたモデル(以下、「すべり量 3 倍モデル」という。)を設定した。

また、既往の巨大地震及び将来予測のモデルにおけるすべり分布を見ると、超大すべり域のようなすべりの大きな領域は波源域全体には分布していないことを踏まえ、すべり量が既往知見を大きく上回るもう一つの波源モデルとして、波源域全体を超大すべり域としたモデル(以下、「全域超大すべり域モデル」という。)を設定した。

(3) 評価結果

すべり量が既往知見を大きく上回る「すべり量 3 倍モデル」及び「全域超大すべり域モデル」による検討の結果、津波は、標高 40m の敷地高さには到達しておらず、また、津波が海洋放出管を経路として標高 40m の敷地高さに到達する可能性もないことを確認した。

VI-1-1-2

再処理施設の閉じ込めの機能に関する説明書

今回の申請に係る本説明は、平成5年4月14日付け5安（核規）第24号、平成5年12月27日付け5安（核規）第534号、平成7年9月26日付け7安（核規）第710号、平成9年5月27日付け9安（核規）第245号、平成9年9月10日付け9安（核規）第506号、平成10年4月7日付け10安（核規）第148号、平成10年6月9日付け9安（核規）第596号、平成10年6月9日付け10安（核規）第322号、平成10年12月1日付け10安（核規）第814号、平成11年1月29日付け10安（核規）第538号、平成11年3月29日付け11安（核規）第163号、平成11年6月22日付け11安（核規）第334号、平成11年7月5日付け11安（核規）第135号、平成11年9月9日付け11安（核規）第849号、平成12年3月17日付け11安（核規）第1269号、平成12年10月24日付け12安（核規）第556号、平成12年12月13日付け12安（核規）第917号、平成14年6月20日付け平成14・04・30原第13号及び平成14年11月29日付け平成14・08・06原第12号にて認可を受けた設工認申請書の添付書類VI「設計及び工事の方法の技術基準への適合に関する説明書」に同じである。

VI-1-1-4

安全機能を有する施設及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書

目 次

	ページ
1. 安全機能を有する施設	1
1.1 概要	1
1.2 基本方針	3
1.3 安全機能を有する施設に対する設計方針	7
1.3.1 安全機能を有する施設の基本的な設計	7
1.3.2 環境条件	9
1.3.3 操作性の考慮	13
1.3.4 規格及び基準に基づく設計	15
1.4 多重性又は多様性等	16
1.5 検査・試験等	17
1.6 内部発生飛散物に対する考慮	20
1.6.1 基本方針	20
1.6.2 内部発生飛散物防護対象設備の選定	20
1.6.3 内部発生飛散物の発生要因	20
1.6.4 内部発生飛散物の発生防止対策	21
1.6.4.1 重量物の落下による飛散物	21
1.6.4.2 回転機器の損壊による飛散物	22
1.7 共用に対する考慮	23
1.8 系統施設毎の設計上の考慮	24
1.8.1 使用済燃料受入れ施設及び貯蔵施設	24
1.8.2 再処理設備本体	24
1.8.3 製品貯蔵施設	24
1.8.4 計測制御系統施設	24
1.8.5 放射性廃棄物の廃棄施設	24
1.8.6 放射線管理施設	24
1.8.7 その他再処理設備の附属施設	24
1.8.7.1 電気設備	24
1.8.7.2 圧縮空気設備	24
1.8.7.3 給水処理設備	24
1.8.7.4 冷却水設備	25
1.8.7.5 蒸気供給設備	27
1.8.7.6 分析設備	27
1.8.7.7 化学薬品貯蔵供給設備	27

1.8.7.8	火災防護設備	27
1.8.7.9	竜巻防護対策設備	27
1.8.7.10	溢水防護設備	28
1.8.7.11	化学薬品防護設備	28

本資料は、「再処理施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第十五条、第十六条、第三十六条及び第三十八条から第五十一条に基づき、安全機能を有する施設及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性について説明するものである。安全機能を有する施設が使用される条件の下における健全性については、「1. 安全機能を有する施設」、重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性については、「2. 重大事故等対処設備」にそれぞれ示す。

1. 安全機能を有する施設

1.1 概要

本項目は、「再処理施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第十五条(安全上重要な施設)、第十六条(安全機能を有する施設)及び第二十三条第2項(制御室等)に基づき、安全機能を有する施設が使用される条件の下における健全性について説明するものである。

健全性として、機器に要求される機能を有効に発揮するための系統設計及び構造設計に係る事項を考慮して、「安全機能を有する施設に想定される運転時、停止時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時の環境条件等における機器の健全性(技術基準規則第十六条第1項)」(以下「安全機能を有する施設に対する設計方針」という。), 「多重性又は多様性及び独立性に関する事項(技術基準規則第十五条)」(以下、「多重性又は多様性等」という。), 「要求される機能を達成するために必要な試験・検査性, 保守点検性等(技術基準規則第十六条第2項, 第3項)」(以下「検査・試験等」という。), 「機器相互の影響(技術基準規則第十六条第4項)」(以下「内部発生飛散物の考慮」という。)及び「共用化による再処理施設への影響(技術基準規則第十六条第5項)」(以下「共用に対する考慮」という。)を説明する。健全性を要求する対象設備については、技術基準規則だけではなく、「再処理施設の位置, 構造及び設備の基準に関する規則」(以下「事業指定基準規則」という。)及びその解釈も踏まえて、安全上重要な施設を含む安全機能を有する施設は以下のとおり対象を明確にして説明する。

「安全機能を有する施設に対する設計方針」については、技術基準規則第十六条第1項にて安全機能を有する施設に対して要求されているため、安全上重要な施設を含めた安全機能を有する施設を対象とする。なお、「安全機能を有する施設に対する設計方針」のうち、操作性の考慮は、事業指定基準規則第十三条第1項及びその解釈にて安全機能を有する施設、同条第2項及びその解釈にて安全上重要な施設に対して要求されていることから、安全上重要な施設を含めた安全機能を有する施設を対象とする。技術基準規則第二十三条第2項においては、制御室での操作に対する考慮が要求されているが、その操作対象を考慮すると、操作性の考慮の対象を安全機能を有する施設とすることに問題はない。

「多重性又は多様性等」については、技術基準規則第十五条並びに事業指定基準規則第十五条2項及びその解釈にて、安全上重要な施設に対して要求されていることから、安全上重要な施設を対象とする。

「検査・試験等」については、技術基準規則第十六条第2項及び第3項にて安全機能を有する施設に対して要求されているため、安全上重要な施設を含めた安全機能を有する施設を対象とする。

「内部発生飛散物の考慮」は、技術基準規則第十六条第4項にて安全機能を有する施設に対して要求されているため、安全上重要な施設を含めた安全機能を有する施設を対象とする。

「共用に対する考慮」は、技術基準規則第十六条第5項にて安全機能を有する施設に対して要求されているため、安全上重要な施設を含めた安全機能を有する施設を対象とする。

1.2 基本方針

(1) 安全機能を有する施設に対する設計方針

a. 安全機能を有する施設の基本的な設計

再処理施設のうち、重大事故等対処施設を除いたものを設計基準対象の施設とし、安全機能を有する構築物、系統及び機器を、安全機能を有する施設とする。

また、安全機能を有する施設のうち、その機能喪失により、公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがあるもの及び設計基準事故時に公衆又は従事者に及ぼすおそれがある放射線障害を防止するため、放射性物質又は放射線が再処理施設を設置する敷地外へ放出されることを抑制し又は防止する構築物、系統及び機器から構成される施設を、安全上重要な施設とする。

安全機能を有する施設は、その安全機能の重要度に応じて、その機能を確保する設計とする。

安全上重要な施設から安全上重要な施設以外の施設とした施設については、安全上重要な施設への波及的影響防止及び既設の設計を維持する観点から、安全上重要な施設と同等の信頼性を維持する設計とする。

安全機能を有する施設は、運転時の異常な過渡変化時においては、温度、圧力、流量その他の再処理施設の状態を示す事項を安全設計上許容される範囲内に維持できる設計とする。また、設計基準事故時においては、敷地周辺の公衆に放射線障害を及ぼさない設計とする。

b. 環境条件の考慮

安全機能を有する施設は、運転時、停止時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時に想定される圧力、温度、湿度、放射線量、荷重、屋外の天候による影響（凍結及び降水）、電磁的障害及び周辺機器等からの悪影響の全ての環境条件において、その安全機能を発揮することができる設計とする。

(a) 環境圧力、環境温度及び湿度による影響、放射線による影響、屋外の天候による影響（凍結及び降水）並びに荷重

安全機能を有する施設は、運転時、停止時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時における環境圧力、環境温度及び湿度による影響、放射線による影響、屋外の天候による影響（凍結及び降水）並びに荷重を考慮しても、安全機能を発揮できる設計とする。

(b) 電磁波による影響

電磁的障害に対しては、安全機能を有する施設は、運転時、停止時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故が発生した場合においても、電磁波によりその安全機能が損なわれない設計とする。

(c) 周辺機器等からの悪影響

安全機能を有する施設は、地震、火災、溢水、化学薬品の漏えい及びその他の自然

現象並びに人為事象による他設備からの悪影響により、安全機能が損なわれないよう措置を講じた設計とする。

c. 操作性の考慮

安全機能を有する施設の設置場所は、運転時、停止時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時においても従事者による操作及び復旧作業に支障がないように、遮蔽の設置や線源からの離隔により放射線量が高くなるおそれの少ない場所を選定した上で、設置場所から操作可能、放射線の影響を受けない異なる区画若しくは離れた場所から遠隔で操作可能、又は中央制御室若しくは使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室から操作可能な設計とする。

また、従事者が必要な操作及び措置を行えるように換気設備を設ける設計とする。

安全機能を有する施設は、運転員による誤操作を防止するため、機器、配管、弁及び盤に対して系統等による色分けや銘板取り付け等による識別管理を行い、人間工学上の諸因子、操作性及び保守点検を考慮した盤の配置を行うとともに、計器表示、警報表示により再処理施設の状態が正確かつ迅速に把握できる設計とする。

また、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の発生後、ある時間までは、運転員の操作を期待しなくても必要な安全上の機能が確保される設計とする。

安全上重要な施設は、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生した状況下（混乱した状態等）であっても、容易に操作ができるよう、中央制御室並びに使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室の制御盤や現場の機器、配管、弁及び盤に対して、誤操作を防止するための措置を講じ、また、簡単な手順によって必要な操作が行える等の運転員に与える負荷を少なくすることができる設計とする。

d. 規格及び基準に基づく設計

安全機能を有する施設の設計、材料の選定、製作、試験及び検査に当たっては、原則として現行国内法規に基づく規格及び基準によるものとする。また、これらに規定がない場合においては、必要に応じて、十分実績があり、信頼性の高い国外の規格、基準に準拠するか、又は規格及び基準で一般的でないものを、適用の根拠、国内法規に基づく規格及び基準との対比並びに適用の妥当性を明らかにしたうえで適用する。

a. ～d に基づき設計する安全機能を有する施設の維持管理に当たっては、保安規定に基づき、施設管理計画における保全プログラムを策定し、設備の維持管理を行う。

なお、安全機能を有する施設を構成する部品のうち、一般消耗品又は設計上交換を想定している部品（安全に係わる設計仕様に変更のないもので、特別な工事を要さないものに限る。）及び通信連絡設備、安全避難通路（照明設備）等の「原子力施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の基準に関する規則」で定める一般産業用工業品については、適切な時期に交換を行うことで設備の維持管理を行うことを保安規定に定めて、管理する。

(2) 多重性又は多様性

安全機能を有する施設のうち、安全上重要な系統及び機器については、それらを構成する動的機器に単一故障を仮定しても、所定の安全機能を果たし得るように多重性又は多様性を有する設計とする。

ただし、単一故障を仮定しても、安全上支障のない期間内に運転員、保守及び保修士による原因の除去又は修理が期待できる場合は、多重化又は多様化の配慮をしなくてもよいものとする。

(3) 検査・試験等

安全機能を有する施設は、その健全性及び能力を確認するため、その安全機能の重要度に応じ、再処理施設の運転中又は停止中に検査又は試験ができる設計とし、そのために必要な配置、空間及びアクセス性を備えた設計とする。

また、安全機能を有する施設は、その安全機能を健全に維持するための適切な保守及び修理ができる設計とし、そのために必要な配置、空間及びアクセス性を備えた設計とする。

安全上重要な施設から安全上重要な施設以外の施設とした施設については、安全上重要な施設への波及的影響を防止し、多重化による高い信頼性を確保して設置され運用している経緯を踏まえ、定期的な試験及び検査並びに点検及び保守により、安全上重要な施設と同等の信頼性を維持する。また、安全上重要な施設と同等の信頼性を維持することを保安規定に定めて、管理する。

(4) 内部発生飛散物に対する考慮

安全機能を有する施設は、再処理施設内におけるポンプその他の機器又は配管の損壊に伴う飛散物によって、その安全機能を損なわない設計とする。

内部発生飛散物とは、ガス爆発、重量機器の落下、TBP等の錯体の急激な分解反応による爆発、回転機器による損傷及びつり荷の落下によって発生する飛散物をいう。

なお、二次的飛散物、火災、化学反応、電氣的損傷、配管の損傷、機器の故障等の二次的影響も考慮するものとする。

安全機能を有する施設のうち、内部発生飛散物から防護する施設としては、安全評価上その機能を期待する構築物、系統及び機器を漏れなく抽出する観点から、安全上重要な構築物、系統及び機器を対象とする。安全上重要な構築物、系統及び機器は、内部発生飛散物の発生を防止することにより、安全機能を損なわない設計とする。

上記に含まれない安全機能を有する施設は、内部発生飛散物に対して機能を維持すること若しくは内部発生飛散物による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障がない期間での修理を行うこと又はそれらを適切に組み合わ

せることにより、その安全機能を損なわない設計とする。

また、上記の施設に対する損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障がない期間での修理を行うことを保安規定に定めて、管理する。

内部発生飛散物の発生要因として、重量物の落下による飛散物、回転機器の損壊による飛散物を考慮し、発生要因に対してつりワイヤ等を二重化、逸走を防止するための機構の設置、誘導電動機又は調速器を設けることにより過回転とならない設計とする等により飛散物の発生を防止できる設計とする。

(5) 共用に対する考慮

安全機能を有する施設のうち、廃棄物管理施設、MOX燃料加工施設、六ヶ所保障措置分析所又はバイオアッセイ設備と共用するものは、共用によって再処理施設の安全性を損なうことのない設計とする。

1.3 安全機能を有する施設に対する設計方針

再処理施設の安全性を確保するために、異常の発生を防止すること、仮に異常が発生したとしてもその波及、拡大を抑制すること、さらに、異常が拡大すると仮定してもその影響を緩和することとする「深層防護」の考え方を適切に採用した設計とする。

また、再処理施設は、平常時において、周辺監視区域外の公衆の線量及び放射線業務従事者の線量が「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（以下「原子炉等規制法」という。）に基づき定められている線量限度を超えないように設計する。さらに、公衆の線量については、合理的に達成できる限り低くなるように設計する。

1.3.1 安全機能を有する施設の基本的な設計

再処理施設のうち、重大事故等対処施設を除いたものを設計基準対象の施設とし、安全機能を有する構築物、系統及び機器を、安全機能を有する施設とする。

また、安全機能を有する施設のうち、その機能喪失により、公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがあるもの及び設計基準事故時に公衆又は従事者に及ぼすおそれがある放射線障害を防止するため、放射性物質又は放射線が再処理施設を設置する敷地外へ放出されることを抑制し又は防止する構築物、系統及び機器から構成される施設を、安全上重要な施設とする。

安全機能を有する施設は、その安全機能の重要度に応じて、その機能を確保する設計とする。

下記(1)～(6)の安全上重要な施設から安全上重要な施設以外の施設とした施設については、安全上重要な施設への波及的影響防止及び既設の設計を維持する観点から、安全上重要な施設と同等の信頼性を維持する設計とする。

- (1) 補助抽出器中性子検出器の計数率高による工程停止回路及び遮断弁
- (2) 抽出塔供給有機溶媒液流量低による工程停止回路及び遮断弁
- (3) 抽出塔供給溶解液流量高による送液停止回路及び遮断弁
- (4) 第1洗浄塔洗浄廃液密度高による工程停止回路及び遮断弁
- (5) プルトニウム濃縮缶に係る注水槽の液位低による警報
- (6) 注水槽

再処理施設は、平常時において、周辺環境に放出する放射性物質に起因する線量については、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針(昭和50年5月13日原子力委員会決定)」において定める線量目標値である年間50 μ Svを超えないよう設計する。

安全機能を有する施設は、運転時の異常な過渡変化時においては、温度、圧力、流量その他の再処理施設の状態を示す事項を安全設計上許容される範囲内に維持でき

る設計とする。また、設計基準事故時においては、周辺環境への放射性物質の過度の放出を防ぐための多重性を考慮した放射性物質の閉じ込め設備等を設けることにより、敷地周辺の公衆に放射線障害を及ぼさない設計とする。

再処理施設において再処理を行う使用済燃料は、発電用の軽水減速、軽水冷却、沸騰水型原子炉(以下「BWR」という。)及び軽水減速、軽水冷却、加圧水型原子炉(以下「PWR」という。)の使用済ウラン燃料集合体であって、以下の仕様を満たすものである。

a. 濃縮度

照射前燃料最高濃縮度：5wt%

使用済燃料集合体平均濃縮度：3.5wt%以下

b. 冷却期間

使用済燃料最終取出し前の原子炉停止時から再処理施設に受け入れるまでの冷却期間：4年以上

ただし、燃料貯蔵プールの容量 $3,000t \cdot U_{Pr}$ のうち、冷却期間4年以上12年未満の使用済燃料の貯蔵量が $600 t \cdot U_{Pr}$ 未満、それ以外は冷却期間12年以上となるよう受け入れを管理する。

使用済燃料集合体最終取出し前の原子炉停止時からせん断処理するまでの冷却期間：15年以上

c. 燃焼度

使用済燃料集合体最高燃焼度：55,000 MWd/t $\cdot U_{Pr}$

1日当たりに処理する使用済燃料の平均燃焼度：45,000 MWd/t $\cdot U_{Pr}$ 以下

ここでいう $t \cdot U_{Pr}$ は、照射前金属ウラン重量換算である。

ただし、再処理施設の安全設計は、新規制基準施行以前の事業変更許可申請書に示される設計条件を維持することとし、使用済燃料の仕様のうち冷却期間を以下の条件とする。

使用済燃料最終取出し前の原子炉停止時から再処理施設に受け入れるまでの冷却期間：1年以上

使用済燃料集合体最終取出し前の原子炉停止時からせん断処理するまでの冷却期間：4年以上

1.3.2 環境条件

安全機能を有する施設は、想定される環境条件において、その機能を発揮できる設計とする。

安全機能を有する施設のうち安全上重要な施設の設計条件を設定するに当たっては、材料疲労、劣化等に対しても十分な余裕を持って機能維持が可能となるよう、運転時、停止時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時に想定される圧力、温度、湿度、放射線等各種の環境条件を考慮し、十分安全側の条件を与えることにより、これらの条件下においても期待されている安全機能を発揮できる設計とする。

安全上重要な施設以外の安全機能を有する施設は、環境条件に対して機能を維持すること若しくは環境条件による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を発揮することができる設計とする。

安全機能を有する施設の環境条件には、通常時及び設計基準事故時における圧力、温度、湿度、放射線のみならず、荷重、屋外の天候による影響（凍結及び降水）、電磁的障害、及び周辺機器等からの悪影響を考慮する。

安全機能を有する施設について、これらの環境条件の考慮事項毎に、環境圧力、環境温度及び湿度による影響、放射線による影響、屋外の天候による影響（凍結及び降水）、荷重、電磁的障害並びに周辺機器等からの悪影響に分け、以下(1)から(3)に各考慮事項に対する設計上の考慮を説明する

(1) 環境圧力、環境温度及び湿度による影響、放射線による影響、屋外の天候による影響（凍結及び降水）並びに荷重

安全機能を有する施設は、運転時、停止時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時における環境条件を考慮した設計とする。

a. 環境圧力

安全機能を有する施設は、運転時、停止時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時に想定される環境圧力が加わっても、機能を損なわない設計とする。環境圧力については、設備の設置場所の適切な区分（屋外、屋内（セル外、セル））毎に設計基準事故時の環境を考慮して設定する。

屋外の環境圧力は大気圧を設定する。

設定した環境圧力に対して機器が機能を損なわないように、耐圧部にあつては、機器が使用される環境圧力下において、部材に発生する応力に耐えられることとする。耐圧部以外の部分にあつては、絶縁や回転等の機能が阻害される圧力に到達しないことを確認する。

確認の方法としては、環境圧力と機器の最高使用圧力との比較等によるものと

する。

なお、屋内(セル内、セル外)の環境圧力の設定値については、建屋の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

b. 環境温度及び湿度による影響

安全機能を有する施設は、運転時、停止時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時に想定される環境温度及び湿度にて機能を損なわない設計とする。環境温度については、設備の設置場所の適切な区分(屋外、屋内(セル外、セル内))毎に設計基準事故時の環境を考慮して設定する。

屋外の環境温度は、「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」にて高温に対する設計温度として定めた37℃を設定する。

屋外の環境湿度については、考えられる最高値として100%を設定する。

設定した環境温度に対して機器が機能を損なわないように、耐圧部にあっては、機器が使用される環境温度下において、部材に発生する応力に耐えられることとする。耐圧部以外の部分にあっては、絶縁や回転等の機能が阻害される温度に到達しないこととする。

環境温度に対する確認の方法としては、環境温度と機器の最高使用温度との比較等によるものとする。

また、設定した湿度に対して機器が機能を損なわないように、耐圧部にあっては、当該構造部が気密性・水密性を有し、一定の肉厚を有する金属製の構造とすることで、湿度の環境下であっても耐圧機能が維持される設計とする。耐圧部以外の部分にあっては、機器の外装を気密性の高い構造とし、機器内部を周囲の空気から分離することや、機器の内部にヒーターを設置し、内部で空気を加温して相対湿度を低下させること等により、絶縁や導通等の機能が阻害される湿度に到達しないこととする。

湿度に対する確認の方法としては、環境湿度と機器仕様の比較等によるものとする。

なお、屋内(セル内、セル外)の環境温度及び湿度の設定値については、建屋の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

c. 放射線による影響

安全機能を有する施設は、運転時、停止時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時に想定される放射線にて機能を損なわない設計とする。

放射線については、設備の設置場所の適切な区分(屋外、屋内(セル外、セル内))毎に設計基準事故時の環境を考慮して、設定する。

屋外の放射線は、設計基準事故時においても、外部への放射性物質の放出量は

小さく、設備に対して影響を及ぼすことはないことから、管理区域外の遮蔽設計の基準となる線量率を基に $2.6\mu\text{Gy/h}$ を設定する。

放射線による影響に対して機器が機能を損なわないように、耐圧部にあつては、耐放射線性が低いと考えられるパッキン・ガスケットも含めた耐圧部を構成する部品の性能が有意に低下する放射線量に到達しないこと、耐圧部以外の部分にあつては、電気絶縁や電気信号の伝送・表示等の機能が阻害される放射線量に到達しないこととする。

確認の方法としては、環境放射線を再現した試験環境下において機器が機能することを確認した実証試験等により得られた機器の機能が維持される積算線量を機器の放射線に対する耐性値とし、環境放射線条件と比較することとする。耐性値に有意な照射速度依存性がある場合には、実証試験の際の照射速度に応じて、機器の耐性値を補正することとする。

環境放射線条件との比較のため、機器の耐性値を機器が照射下にあると評価される期間で除算して線量率に換算することとする。なお、再処理施設の通常運転中に有意な放射線環境に置かれる機器にあつては、通常運転時などの設計基準事故等以前の状態において受ける放射線量分を設計基準事故時の線量率に割増すること等により、設計基準事故以前の放射線の影響を評価することとする。

放射線に対して中央制御室、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室並びに緊急時対策所は、設計基準事故時においても、遮蔽装置としての機能を損なわない設計とする。

放射線に対して中央制御室並びに使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室の遮蔽設計及び評価については、「VI-1-3-2 制御室及び緊急時対策所の居住性に関する説明書」に示す。

なお、屋内(セル内、セル外)の線量率の設定値については、建屋の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

d. 屋外の天候による影響（凍結及び降水）

屋外の安全機能を有する施設については、屋外の天候による影響（凍結及び降水）によりその機能が損なわれない設計とする。

安全機能を有する施設の屋外の天候による影響（凍結及び降水）に対する設計については、「VI-1-1-1 再処理施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」に示す。

e. 荷重

安全機能を有する施設については、自然現象（地震、風（台風）、竜巻、積雪及び火山の影響）による荷重の評価を行い、それぞれの荷重及びこれらの荷重の

組合せにも機能を有効に発揮できる設計とする。

組み合わせる荷重の考え方については、「VI-1-1-1 再処理施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」に示す

安全機能を有する施設の地震荷重及び地震を含む荷重の組合せに対する設計については、「IV 再処理施設の耐震性に関する説明書」に基づき実施する。

また、地震以外の荷重及び地震以外の荷重の組合せに対する設計については、「VI-1-1-1 再処理施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」に基づき実施する。

(2) 電磁的障害

安全機能を有する施設のうち電磁波に対する考慮が必要な機器は、運転時、停止時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故が発生した場合においても、電磁波によりその安全機能が損なわれない設計とする。

安全機能を有する施設の電磁的障害に対する設計については、「VI-1-1-1 再処理施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」に基づき実施する。

(3) 周辺機器等からの悪影響

安全機能を有する施設は、地震、火災、溢水、化学薬品の漏えい及びその他の自然現象並びに人為事象による他設備からの悪影響により、再処理施設としての安全機能が損なわれないよう措置を講じた設計とする。

波及的影響及び悪影響防止を含めた地震、火災、溢水、化学薬品の漏えい以外の自然現象及び人為事象に対する安全機能を有する施設の設計については、「VI-1-1-1 再処理施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」に基づき実施する。

波及的影響及び悪影響防止を含めた安全機能を有する施設の耐震設計については、「IV 再処理施設の耐震性に関する説明書」に基づき実施する。

波及的影響及び悪影響防止を含めた再処理施設で火災が発生する場合を考慮した安全機能を有する施設の火災防護設計については、「III 火災及び爆発の防止に関する説明書」に基づき実施する。

波及的影響及び悪影響防止を含めた再処理施設内で発生が想定される溢水の影響評価を踏まえた安全機能を有する施設の溢水防護設計については、「VI-1-1-6 再処理施設内における溢水による損傷の防止に関する説明書」に基づき実施する。

波及的影響及び悪影響防止を含めた再処理施設内で発生が想定される化学薬品の漏えいの影響評価を踏まえた安全機能を有する施設の化学薬品防護設計については、「VI-1-1-7 再処理施設内における化学薬品の漏えいによる損傷の防

止に関する説明書」に基づき実施する。

1.3.3 操作性の考慮

安全機能を有する施設の設置場所は、運転時、停止時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時においても従事者による操作及び復旧作業に支障がないように、遮蔽の設置や線源からの離隔により放射線量が高くなるおそれの少ない場所を選定した上で、設置場所から操作可能、放射線の影響を受けない異なる区画若しくは離れた場所から遠隔で操作可能、又は中央制御室若しくは使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室から操作可能な設計とする。

また、従事者が必要な操作及び措置を行えるように換気設備を設ける設計とする。

遮蔽のうち一時的に設置する遮蔽を除く遮蔽に係る設計及び評価については、「II 放射線による被ばくの防止に関する説明書」に示す。

中央制御室、並びに使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室における放射線の影響としての居住性に係る設計及び設計については、「VI-1-3-2 制御室及び緊急時対策所の居住性に関する説明書」に示す。

安全機能を有する施設は、運転員による誤操作を防止するため、機器、配管、弁及び盤に対して系統等による色分けや銘板取り付け等による識別管理を行い、人間工学上の諸因子、操作性及び保守点検を考慮した盤の配置を行うとともに、計器表示、警報表示により再処理施設の状態が正確かつ迅速に把握できる設計とする。

また、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の発生後、ある時間までは、運転員の操作を期待しなくても必要な安全上の機能が確保される設計とする。

安全上重要な施設は、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生した状況下（混乱した状態等）であっても、容易に操作ができるよう、中央制御室並びに使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室の制御盤や現場の機器、配管、弁及び盤に対して、誤操作を防止するための措置を講じ、また、簡単な手順によって必要な操作が行える等の運転員に与える負荷を少なくすることができる設計とする。

(1) 制御室の誤操作防止対策

- ・中央制御室、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室の安全系監視制御盤並びに監視制御盤は、操作性、視認性及び人間工学的観点の諸因子を考慮した盤の配置、操作器具の配置、計器の配置及び警報表示器具の配置を行い、操作性及び視認性に留意するとともに、再処理施設の状態を正確、かつ、迅速に把握できる設計とする。
- ・中央制御室、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室の安全系監視制御盤は、多重化を行い分離配置するとともに、系統ごとにグループ化して集約した操作器具を盤面上に配置し、操作性及び視認性に留意した設計とする。

- ・中央制御室の監視制御盤は、施設ごとにエリアを分けて配置する設計とする。また、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室の監視制御盤は、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室に配置する。
- ・中央制御室、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室の監視制御盤は、監視操作を行う画面を系統ごとにグループ化して集約し、操作性及び視認性に留意した設計とする。また、操作器具の統一化（色、形状、大きさ等の視覚的要素での識別）、並びに、操作器具の操作方法に統一性を持たせることで、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時又は設計基準事故時において運転員の誤操作を防止するとともに、容易に操作することができる設計とする。
- ・中央制御室、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室の安全系監視制御盤の操作器具は、誤接触による誤動作を防止するため、誤操作防止カバーを設置し、誤りを生じにくいよう留意した設計とする。
- ・中央制御室、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室の安全系監視制御盤の操作器具は、形状による区別を行うとともに、必要により鍵付スイッチを採用することにより、誤りを生じにくいよう留意した設計とする。
- ・中央制御室、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室の監視制御盤の画面上の操作スイッチは、タッチオペレーション式によるダブルアクション操作及び、通常時操作と機器単体保守時の操作を制限する施錠機能により、誤りを生じにくいよう留意した設計とする。
- ・中央制御室、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室の監視制御盤は、警報の重要度ごとに色分けによる識別表示をすることにより、正確、かつ、迅速に状況を把握できるよう留意した設計とする。
- ・当該操作が必要となる理由となった事象が有意な可能性をもって同時にもたらされる環境条件及び再処理施設で有意な可能性をもって同時にもたらされる環境条件（地震、内部火災、内部溢水、化学薬品の漏えい、外部電源喪失並びに燃焼ガスやばい煙、有毒ガス、降下火砕物及び凍結による操作雰囲気悪化）を想定しても、運転員が運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故に対応するための設備を中央制御室において操作に必要な照明の確保等により容易に操作することができる設計とする。

(2) 制御室以外の誤操作防止対策

- ・安全機能を有する施設の操作器具及び機器、弁等は、保守点検においても、点検状態を示す札掛けを行うとともに、必要に応じて施錠することにより、誤りを生じにくいよう留意した設計とする。
- ・設計基準事故時に操作が必要な現場設備については、その操作が必要となった場合にもたらされる環境条件を想定し、適切な対応を行うことにより容易に操作することができる設計とする。

1.3.4 規格及び基準に基づく設計

安全機能を有する施設の設計，材料の選定，製作，試験及び検査に当たっては，原則として現行国内法規に基づく規格及び基準によるものとする。また，これらに規定がない場合においては，必要に応じて，十分実績があり，信頼性の高い国外の規格，基準に準拠するか，又は規格及び基準で一般的でないものを，適用の根拠，国内法規に基づく規格及び基準との対比並びに適用の妥当性を明らかにしたうえで適用する。

1.3.1～1.3.4に基づき設計する安全機能を有する施設の維持管理に当たっては，保安規定に基づき，施設管理計画における保全プログラムを策定し，設備の維持管理を行う。

なお，安全機能を有する施設を構成する部品のうち，一般消耗品又は設計上交換を想定している部品（安全に係わる設計仕様に変更のないもので，特別な工事を要さないものに限る。）及び通信連絡設備，安全避難通路（照明設備）等の「原子力施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の基準に関する規則」で定める一般産業用工業品については，適切な時期に交換を行うことで設備の維持管理を行うことを保安規定に定めて，管理する。

1.4 多重性又は多様性等

安全機能を有する施設のうち、安全上重要な系統及び機器については、それらを構成する動的機器に単一故障を仮定しても、所定の安全機能を果たし得るように多重性又は多様性を有する設計とする。

ただし、単一故障を仮定しても、安全上支障のない期間内に運転員、保守及び保修員による原因の除去又は修理が期待できる場合は、多重化又は多様化の配慮をしなくてもよいものとする。

安全保護回路を含む安全上重要な施設の安全機能を維持するために必要な計測制御設備は、動的機器に単一故障を仮定しても、所定の安全機能を果たし得るよう多重化又は多様化した回路で構成するとともに、その多重化又は多様化した回路が相互干渉を起こさないように、電源及びケーブルトレイを2系統に分離し、電氣的・物理的な独立性を持たせる設計とする。

1.5 検査・試験等

安全機能を有する施設は、その健全性及び能力を確認するため、その安全機能の重要度に応じ、再処理施設の運転中又は停止中に検査又は試験ができる設計とし、そのために必要な配置、空間及びアクセス性を備えた設計とする。

また、安全機能を有する施設は、その安全機能を健全に維持するための適切な保守及び修理ができる設計とし、そのために必要な配置、空間及びアクセス性を備えた設計とする。

安全上重要な施設から安全上重要な施設以外の施設とした施設については、安全上重要な施設への波及的影響を防止し、多重化による高い信頼性を確保して設置され運用している経緯を踏まえ、定期的な試験及び検査並びに点検及び保守により、安全上重要な施設と同等の信頼性を維持する。また、安全上重要な施設と同等の信頼性を維持することを保安規定に定めて、管理する。

安全機能を有する施設は、原則として、系統試験及び漏えいの有無の確認が可能な設計とする。系統試験については、試験に必要な設備を設置又は必要に応じて準備することで試験可能な設計とする。

また、悪影響防止の観点から他と区分する必要があるもの又は単体で機能・性能を確認するものは、他の系統と独立して機能・性能確認（特性確認を含む。）が可能な設計とする。

安全機能を有する施設は、使用前事業者検査、定期事業者検査、自主検査等に加え、保守及び修理として、維持活動としての点検（日常の運転管理の活用含む。）取替え、保守及び改造ができるように以下について考慮した設計とする。

- ・再処理施設の運転中に待機状態にある安全機能を有する施設は、試験又は検査によって再処理施設の運転に大きな影響を及ぼす場合を除き、運転中に定期的な検査又は試験ができる設計とする。また、多様性又は多重性を備えた系統及び機器にあつては、その健全性並びに多様性又は多重性を確認するため、各々が独立して試験又は検査ができる設計とする。
- ・安全機能を有する施設は、機能・性能の確認、漏えいの有無の確認ができる構造とする。また、必要なものについては、分解・開放（非破壊検査を含む。）が可能な設計とする。
- ・機能・性能確認、各部の経年劣化対策及び日常点検を考慮することにより、分解・開放が不要なものについては外観の確認が可能な設計とする。
- ・セル内に設置される安全上重要な施設の機器・配管については、その健全性を確認するため、セル壁に貫通口を設ける設計とする。
- ・セル内に設置される安全上重要な施設のうち、必要なものについては、安全機能を維持するために保守セル等を設ける設計とする。また、必要に応じて、クレーン、マニ

プレータ（セル外からセル内の装置を操作する装置）等を用い、遠隔保守が可能な設計とする。

- ・再処理施設は、必要に応じて、将来機器を設置するためのセル（以下「予備セル」という。）を設ける設計とする。予備セルには、機器を設置する場合に、取り合い工事が可能なように放射性物質を移送する配管、冷却水配管等を設置する予備的措置を講ずる設計とする。放射性物質を移送する配管、冷却水配管、蒸気配管、圧縮空気配管、計測制御用の配管等は、セル内まで設置し閉止する設計とする。予備セルは、遮蔽機能及び耐震設計上の重要度分類に応じた設計地震力に対し十分な耐震性を有する設計とする。予備セルは、気体廃棄物の廃棄施設のセル排気系に接続する設計とする。
- ・液体状の放射性物質を移送する配管は、再処理施設の長期停止を避けるため、必要に応じ、予備の機器及び配管（長期予備）を設ける設計とする。

安全機能を有する施設は、具体的に以下の機器区分毎に示す試験・検査が実施可能な設計とし、その設計に該当しない設備は個別の設計とする。

(1) ポンプ、ファン、圧縮機

- ・機能・性能及び漏えいの有無の確認が可能な設計とするとともに、これらは他の系統へ悪影響を及ぼさず試験可能な設計とする。

(2) 弁（電動弁、空気作動弁、安全弁）

- ・機能・性能及び漏えいの有無の確認が可能な設計とするとともに、これらは他の系統へ悪影響を及ぼさず試験可能な設計とする。
- ・分解が可能な設計とする。

(3) 容器類（タンク類）

- ・機能・性能及び漏えいの有無の確認が可能な設計とするとともに、これらは他の系統へ悪影響を及ぼさず試験可能な設計とする。
- ・セル外に設置されるものについては、内部確認が可能なよう、マンホール等を設ける、又は外観の確認が可能な設計とする。
- ・ボンベは規定圧力の確認及び外観の確認が可能な設計とする。

(4) 熱交換器

- ・機能・性能及び漏えいの確認が可能な設計とするとともに、これらは他の系統へ悪影響を及ぼさず試験可能な設計とする。
- ・セル外に設置されるものについては、分解が可能な設計とする。

(5) フィルタ類

- ・機能・性能の確認が可能な設計とするとともに、これらは他の系統へ悪影響を及ぼさず試験可能な設計とする。

- ・差圧確認が可能な設計とする。
 - ・取替が可能な設計とする。
- (6) 流路
- ・機能・性能及び漏えいの有無の確認が可能な設計とするとともに、これらは他の系統へ悪影響を及ぼさず試験可能な設計とする。
- (7) その他静的機器
- ・外観の確認が可能な設計とする。
- (8) 発電機(内燃機関含む)
- ・分解が可能な設計とする。また、所定の負荷により機能・性能の確認が可能な設計とする。
- (9) その他電気設備
- ・所定の負荷、絶縁抵抗測定により、機能・性能の確認が可能な設計とする。
 - ・鉛蓄電池は、電圧測定が可能な系統設計とする。
- (10) 計測制御設備
- ・模擬入力により機能・性能の確認(特性確認又は設定値確認)及び校正が可能な設計とする。
 - ・論理回路を有する設備は、模擬入力による機能確認として、論理回路作動確認が可能な設計とする。
- (11) 遮蔽
- ・主要部分の断面寸法の確認が可能な設計とする。
 - ・外観の確認が可能な設計とする。
- (12) 通信連絡設備
- ・機能・性能の確認及び外観の確認が可能な設計とする
- (13) 放射線関係設備
- ・模擬入力等による機能・性能の確認及び校正が可能な設計とする。

1.6 内部発生飛散物に対する考慮

1.6.1 基本方針

安全機能を有する施設は、再処理施設内における内部発生飛散物によって、その安全機能を損なわない設計とする。

なお、二次的飛散物、火災、化学反応、電氣的損傷、配管の損傷、機器の故障等の二次的影響も考慮するものとする。

安全機能を有する施設のうち、内部発生飛散物から防護する施設（以下「内部発生飛散物防護対象設備」という。）としては、安全評価上その機能を期待する構築物、系統及び機器を漏れなく抽出する観点から、安全上重要な構築物、系統及び機器を対象とする。安全上重要な構築物、系統及び機器は内部発生飛散物の発生を防止することにより、安全機能を損なわない設計とする。

上記に含まれない安全機能を有する施設は、内部発生飛散物に対して機能を維持すること若しくは内部発生飛散物による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障がない期間での修理を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。

また、上記の施設に対する損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障がない期間での修理を行うことを保安規定に定めて、管理する。

1.6.2 内部発生飛散物防護対象設備の選定

安全機能を有する施設のうち、内部発生飛散物によってその安全機能が損なわれなことを確認する施設を、全ての安全機能を有する構築物、系統及び機器とする。内部発生飛散物防護対象設備としては、安全評価上その機能を期待する構築物、系統及び機器を漏れなく抽出する観点から、安全上重要な構築物、系統及び機器を抽出し、内部発生飛散物により冷却、水素掃気、火災・爆発の防止、臨界の防止等の安全機能を損なわないよう内部発生飛散物の発生を防止することにより、安全機能を損なわない設計とする。ただし、安全上重要な構築物、系統及び機器のうち、内部発生飛散物の発生要因となる機器又は配管と同室に設置せず内部発生飛散物の発生によって安全機能を損なうおそれのないものは内部発生飛散物防護対象設備として抽出しない。

1.6.3 内部発生飛散物の発生要因

(1) 爆発による飛散物

再処理施設の安全設計においては、水素を取り扱う設備の爆発、溶液及び有機溶媒の放射線分解により発生する水素の爆発並びにTBP等の錯体の急激な分解反応による爆発を想定するが、実際の再処理施設では、添付書類「Ⅲ 火災及び爆発の防止に関する説明書」に示す通り、爆発を防止する設計としている。このため、こ

これらの爆発に起因する機器又は配管の損壊により生じる飛散物については、考慮しない。

(2) 重量物の落下による飛散物

重量物の落下に起因して生じる飛散物(以下「重量物の落下による飛散物」という。)については、通常運転時において重量物をつり上げて搬送するクレーンその他の搬送機器からのつり荷の落下及び逸走によるクレーンその他の搬送機器の落下を発生要因として考慮する。

(3) 回転機器の損壊による飛散物

回転機器の損壊に起因して生じる飛散物(以下「回転機器の損壊による飛散物」という。)については、回転機器の異常により回転速度が上昇することによる回転羽根の損壊を発生要因として考慮する。

(4) その他

通常運転時以外の試験操作、保守及び修理並びに改造の作業において、クレーン等による重量物をつり上げての搬送や仮設ポンプの使用により内部発生飛散物が発生し、内部発生飛散物防護対象設備の安全機能を損なうおそれがある場合は、作業内容及び保安上必要な措置を記載した計画書に内部発生飛散物の発生を防止することにより内部発生飛散物防護対象設備の安全機能を損なわないための措置について記載し、その計画に基づき作業を実施することから、内部発生飛散物の発生要因として考慮しない。

1.6.4 内部発生飛散物の発生防止対策

1.6.4.1 重量物の落下による飛散物

重量物は以下の設計により内部発生飛散物となることを防止し、内部発生飛散物防護対象設備の安全機能を損なわない設計とする。

(1) クレーン等からのつり荷の落下

重量物をつり上げて搬送するクレーンその他の搬送機器は、つりワイヤ、つりベルト又はつりチェーンを二重化する設計とし、つり荷の落下による飛散物の発生を防止できる設計とする。

つり上げ用の治具又はフックにはつり荷の脱落防止機構を設置する又はつかみ不良時のつり上げ防止のインターロックを設ける設計とし、つり荷の落下による飛散物の発生を防止できる設計とする。

(2) クレーンその他の搬送機器の落下

重量物を積載して搬送する機器は、逸走防止のインターロックを設ける設計とし、クレーンその他の搬送機器の落下による飛散物の発生を防止できる設計とする。

1.6.4.2 回転機器の損壊による飛散物

回転機器は以下の設計により内部発生飛散物となることを防止し、内部発生飛散物防護対象設備の安全機能を損なわない設計とする。

(1) 電力を駆動源とする回転機器

電力を駆動源とする回転機器は、誘導電動機による回転数を制御する機構を有することで、回転機器の過回転による回転羽根の損壊に伴う飛散物の発生を防止できる設計とする。

また、各機器については運転状態を考慮し構造上十分な機械的強度を有する設計とし、通常運転時及び定期検査時等においても健全性を確認することにより、機器の損壊を防止する。

(2) 電力を駆動源としない回転機器

電力を駆動源とせず、駆動用の燃料を供給することで回転する回転機器は、調速器により回転数を監視し、回転数が上限値を超えた場合は非常調速装置等の回転機器を停止する機構を有することで、回転機器の過回転による回転羽根の損壊に伴う飛散物の発生を防止できる設計とする。

なお、内部発生飛散物の発生を防止できる設計であることから、内部発生飛散物による二次的影響はない。

1.7 共用に対する考慮

安全機能を有する施設のうち、廃棄物管理施設、MOX燃料加工施設、六ヶ所保障措置分析所又はバイオアッセイ設備と共用するものは、共用によって再処理施設の安全性を損なうことのない設計とする。

安全機能を有する施設のうち、共用する機器については、「1.8 系統施設毎の設計上の考慮」に示す。

1.8. 系統施設毎の設計上の考慮

申請範囲における安全機能を有する施設について、系統施設毎の機能と、機能としての健全性を確保するための設備の多重性又は多様性について説明する。あわせて、特に設計上考慮すべき事項及び主な施設構成について、系統施設毎に以下に示す。

なお、流路を形成する配管及び弁並びに電路を形成するケーブル及び盤等への考慮については、その系統内の動的機器（ポンプ、発電機等）を含めた系統としての機能を維持する設計とする。

1.8.1 使用済燃料受入れ施設及び貯蔵施設

使用済燃料受入れ施設及び貯蔵施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

1.8.2 再処理設備本体

再処理設備本体の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

1.8.3 製品貯蔵施設

製品貯蔵施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

1.8.4 計測制御系統施設

計測制御系統施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

1.8.5 放射性廃棄物の廃棄施設

放射性廃棄物の廃棄施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

1.8.6 放射線管理施設

放射線管理施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

1.8.7 その他再処理設備の附属施設

1.8.7.1 電気設備

電気設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

1.8.7.2 圧縮空気設備

圧縮空気設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

1.8.7.3 給水処理設備

給水処理設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

1.8.7.4 冷却水設備

(1) 一般冷却水系

一般冷却水系の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(2) 安全冷却水系

安全冷却水系は、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用、再処理設備本体用、第2非常用ディーゼル発電機用の系で構成する。

a. 使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用の安全冷却水系

(a) 機能

使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用の安全冷却水系は主に以下の機能を有する。

- ・使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設で発生する熱を除去する機能
- ・第1非常用ディーゼル発電機で発生する熱を除去する機能

(b) 主な構成

使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用の安全冷却水系は、冷却塔により冷却水を除熱し、冷却水循環ポンプによって、使用済燃料の貯蔵施設のプール水冷却系の熱交換器及びその他再処理設備の附属施設の第1非常用ディーゼル発電機等に冷却水を供給し、発生する熱を除去する設計とする。

なお、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用の安全冷却水系の屋外機器は、必要に応じて凍結を防止できる設計とする。

(c) 多重性

使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用の安全冷却水系は、独立した2系列の冷却塔、冷却水循環ポンプ等により構成し、1系列の運転でも必要とする熱除去ができる容量を有する設計とする。

(d) 共用

共用に関する設計は、次回以降に詳細を説明する。

b. 再処理本体用の安全冷却水系

(a) 機能

再処理本体用の安全冷却水系は主に以下の機能を有する。

- ・溶解施設等で発生する崩壊熱を除去する機能
- ・その他再処理設備の附属施設の安全圧縮空気系の空気圧縮機で発生する熱を除去する機能
- ・制御建屋等で非常用所内電源系統に接続する建屋換気設備等を冷却する機能

(b) 主な構成

再処理設備本体用の安全冷却水系は、冷却塔により冷却水を除熱し、冷却水循環ポンプによって再処理設備本体、計測制御系統施設、放射性廃棄物の廃棄施設及び

その他再処理設備の附属施設の機器類等に冷却水を供給し、各施設で発生する熱を除去する設計とする。

再処理設備本体用の安全冷却水系の冷却水は、崩壊熱により溶液が沸騰するおそれのある機器の崩壊熱の除去、安全圧縮空気系の空気圧縮機の冷却、建屋換気空調等のために供給する設計とする。

崩壊熱除去用の冷却水は、各建屋に中間熱交換器を設置して熱交換し、冷却水循環ポンプで各施設の機器に設ける冷却コイル、冷却ジャケット等に冷却水を供給する。

再処理設備本体用の安全冷却水系は、その他再処理設備の附属施設の安全圧縮空気系の空気圧縮機へ直接供給し、また、制御建屋等で非常用所内電源系統に接続する建屋換気設備等へ冷凍機を介して供給する設計とする。

なお、再処理設備本体用の安全冷却水系の屋外機器は、必要に応じて凍結を防止できる設計とする。

(c) 多重性

再処理設備本体用の安全冷却水系は、独立した2系列の冷却塔、冷却水循環ポンプ等により構成し、1系列の運転でも必要とする熱除去ができる容量を有する設計とする。

崩壊熱による溶液の沸騰までの時間余裕が小さい溶液を内包する機器に対して冷却水を供給する系統は、中間熱交換器以降は独立した2系列とする設計とする。

中間熱交換器以降を1系列により冷却する場合は、動的機器の単一故障を仮定しても、崩壊熱除去等の安全機能が確保できるよう多重化する設計とする。

c. 第2非常用ディーゼル発電機用の安全冷却水系

(a) 機能

第2非常用ディーゼル発電機用の安全冷却水系は主に以下の機能を有する。

- ・第2非常用ディーゼル発電機で発生する熱を除去する機能

(b) 主な構成

第2非常用ディーゼル発電機用の安全冷却水系は、冷却塔により冷却水を除熱し、冷却水循環ポンプによって、その他再処理設備の附属施設の第2非常用ディーゼル発電機に独立して冷却水を供給し、発生する熱を除去する設計とする。

(c) 多重性

第2非常用ディーゼル発電機用の安全冷却水系は、2台の第2非常用ディーゼル発電機にそれぞれに対して、独立した冷却系統を有する設計とする。

1.8.7.5 蒸気供給設備

気供給設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

1.8.7.6 分析設備

分析設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

1.8.7.7 化学薬品貯蔵供給設備

化学薬品貯蔵供給設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

1.8.7.8 火災防護設備

火災防護設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

1.8.7.9 竜巻防護対策設備

(1) 機能

- ・設計荷重(竜巻)に対して、建屋による防護が期待できない竜巻防護対象施設及び屋外に設置される竜巻防護対象施設が設計飛来物の衝突によって安全機能を損なうことを防止する機能

(2) 主な構成

a. 飛来物防護板

飛来物防護板の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

b. 飛来物防護ネット

飛来物防護ネットは、防護ネット及び防護板(鋼材)とそれらを支持する支持架構で構成し、以下の設計とする

- ・防護ネットは、設計飛来物の運動エネルギーを吸収できる強度を有する設計とする。
- ・防護ネットは、飛来物の衝突によりたわみが生じた場合でも、竜巻防護対象施設に衝突しない離隔距離を確保する設計とする。
- ・防護ネットは、設計飛来物の通過を防止できる設計とする。
- ・支持架構に直接設置する防護ネットは、ネットと支持架構の隙間を設計上考慮する飛来物の大きさ以下とするため、鋼製の補助防護板を設置する設計とする。
- ・防護板(鋼材)は、設計飛来物の貫通を防止できる設計とする。
- ・支持架構は、設計荷重(竜巻)に対し、防護ネット及び防護板(鋼材)を支持できる強度を有する設計とする。
- ・飛来物防護ネットは、内包する冷却塔の冷却能力に影響を与えない設計とする。
- ・飛来物防護ネットは、設計荷重(竜巻)により、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。
- ・飛来物防護ネットは、地震、火山の影響及び外部火災により竜巻防護対象施設に

波及的影響を与えない設計とする。

1.8.7.10 溢水防護設備

溢水防護設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

1.8.7.11 化学薬品防護設備

溢水防護設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

VI-1-1-4-1

安全上重要な施設の説明書

目 次

	ページ
1. 基本方針	1
1.1 安全上重要な施設の分類	1
1.2 安全上重要な施設の選定	1
2. 既設工認申請書からの変更点	3

1. 基本方針

1.1 安全上重要な施設の分類

安全機能を有する施設のうち、その機能喪失により、公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがあるもの及び設計基準事故時に公衆又は従事者に及ぼすおそれがある放射線障害を防止するため、放射性物質又は放射線が敷地外へ放出されることを抑制し又は防止する構築物、系統及び機器から構成される施設を、安全上重要な施設とする。

安全機能を有する施設のうち、下記の分類に属する施設を安全上重要な施設とする。

- ① プルトニウムを含む溶液又は粉末を内蔵する系統及び機器
- ② 高レベル放射性液体廃棄物を内蔵する系統及び機器
- ③ 上記①及び②の系統及び機器の換気系統及びオフガス処理系統
- ④ 上記①及び②の系統及び機器並びにせん断工程を収納するセル等
- ⑤ 上記④の換気系統
- ⑥ 上記④のセル等を収納する構築物及びその換気系統
- ⑦ ウランを非密封で大量に取り扱う系統及び機器の換気系統
- ⑧ 非常用所内電源系統及び安全上重要な施設の機能の確保に必要な圧縮空気等の主要な動力源
- ⑨ 熱的、化学的又は核的制限値を維持するための系統及び機器
- ⑩ 使用済燃料を貯蔵するための施設
- ⑪ 高レベル放射性固体廃棄物を保管廃棄するための施設
- ⑫ 安全保護回路
- ⑬ 排気筒
- ⑭ 制御室等及びその換気系統
- ⑮ その他上記各系統等の安全機能を維持するために必要な計測制御系統、冷却水系統等

ただし、その機能が喪失したとしても公衆及び従事者に過度な放射線被ばくを及ぼすおそれのないことが明らかな場合は、安全上重要な施設から除外する。

1.2 安全上重要な施設の選定

選定の具体化に当たっての主要な考え方を以下に示す。

- (1) 「1.1 安全上重要な施設の分類」に示す①及び②については、プロセス設計を基に公衆影響の観点から、以下のように設定する。
 - a. プルトニウム溶液又は高レベル廃液を処理又は貯蔵する以下の主要な系統を安全上重要な施設とする。

- (a) 溶解設備の溶解槽からウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵設備の混合酸化物貯蔵容器まで
 - (b) 清澄・計量設備の清澄機から高レベル廃液ガラス固化設備のガラス熔融炉まで
 - (c) 分離設備の抽出塔から高レベル廃液ガラス固化設備のガラス熔融炉まで
- b. その他の塔槽類（一時貯留処理槽等）については、その閉じ込め機能の必要性を工学的に判断し、不可欠な場合は安全上重要な施設とする。
- (2) 「1.1 安全上重要な施設の分類」に示す③、⑤及び⑥のオフガス処理系統及び換気系統については、気体廃棄物の主要な流れを構成している施設及びその閉じ込め機能を維持するために必要なしゃ断弁等で隔離できる範囲の施設を、放出経路の維持の観点で安全上重要な施設とする。また、これらの施設のうち、捕集・浄化機能又は排気機能を有する機器については、その機能の必要性を工学的に判断し、不可欠な場合はそれぞれの機能維持の観点でも安全上重要な施設とする。⑦の換気系統については、その閉じ込め機能の必要性を工学的に判断し、不可欠な場合は安全上重要な施設とする。
- (3) 「1.1 安全上重要な施設の分類」に示す④のセル及び⑥の洞道のうち、高レベル廃液の閉じ込め機能の観点で安全上重要な施設としたものは、遮蔽機能の観点でも安全上重要な施設とする。
- (4) 「1.1 安全上重要な施設の分類」に示す⑩については、使用済燃料集合体等の遮蔽及び崩壊熱除去のために不可欠なプール水を保持する施設を安全上重要な施設とする。また、使用済燃料集合体及びバスケットの落下・転倒防止機能を有する施設については、その機能の必要性を工学的に判断し、不可欠な場合は安全上重要な施設とする。
- (5) 「1.1 安全上重要な施設の分類」に示す⑪については、高レベル放射性固体廃棄物の遮蔽及び崩壊熱除去の観点で不可欠な施設を安全上重要な施設とする。
- (6) 「1.1 安全上重要な施設の分類」に示す⑫については、事業指定基準規則の要求事項を踏まえて、運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の事象のうち、拡大防止対策又は影響緩和対策として期待する安全上重要な施設のインターロックである以下の15回路を安全保護回路とする
- a. 液体廃棄物の廃棄施設の高レベル廃液濃縮缶加熱蒸気温度高による加熱停止回路
 - b. 精製施設の逆抽出塔溶液温度高による加熱停止回路
 - c. 分離施設のウラン濃縮缶加熱蒸気温度高による加熱停止回路
 - d. 精製施設のプルトニウム濃縮缶加熱蒸気温度高による加熱停止回路

- e. 酸及び溶媒の回収施設の第2酸回収系の蒸発缶加熱蒸気温度高による加熱停止回路
 - f. 溶解施設の溶解槽の可溶性中性子吸収材緊急供給回路及びせん断処理施設のせん断機のせん断停止回路
 - g. 脱硝施設の還元ガス受槽水素濃度高による還元ガス供給停止回路
 - h. 分離施設のプルトニウム洗浄器中性子計数率高による工程停止回路
 - i. 液体廃棄物の廃棄施設の高レベル廃液濃縮缶凝縮器排気出口温度高による加熱停止回路
 - j. 脱硝施設の焙焼炉ヒータ部温度高による加熱停止回路
 - k. 脱硝施設の還元炉ヒータ部温度高による加熱停止回路
 - l. 気体廃棄物の廃棄施設の外部電源喪失による建屋給気閉止ダンパの閉止回路（分離建屋）
 - m. 気体廃棄物の廃棄施設の外部電源喪失による建屋給気閉止ダンパの閉止回路（精製建屋）
 - n. 固体廃棄物の廃棄施設の固化セル移送台車上の質量高によるガラス流下停止回路
 - o. 気体廃棄物の廃棄施設の固化セル圧力高による固化セル隔離ダンパの閉止回路
- (7) 「1.1 安全上重要な施設の分類」に示す⑬については、設計基準事故の評価において、不可欠な影響緩和機能を有する施設を安全上重要な施設とする。
- (8) 「1.1 安全上重要な施設の分類」に示す⑭については、計測制御系統及び冷却水系統の他に、その施設が有する安全機能の必要性を工学的に判断し、不可欠な場合は安全上重要な施設とする。

2. 既設工認申請書からの変更点

安全上重要な施設として定める施設は、「1.2 安全上重要な施設の選定」に示す安全上重要な施設の選定の考え方に変更はないことから、添付1に示す安全上重要な施設と同等の信頼性を維持する施設を除き、新規制基準施行後においても、以下に示す既認可設工認申請書の安全上重要な施設に関する説明書の表及び図に示されるものと同じである。

- (1) 平成5年12月27日付け5安(核規)第534号にて認可を受けた設工認（第2回申請）の「VI 設計及び工事の方法の技術基準への適合に関する説明書」における「添付-10 第2回申請に係る安全上重要な施設に関する説明書」
- (2) 平成6年7月22日付け6安(核規)第220号にて認可を受けた設工認（第3回申請）の「VI 設計及び工事の方法の技術基準への適合に関する説明書」における「添付-6 第3回申請に係る安全上重要な施設に関する説明書」

- (3) 平成7年9月26日付け7安(核規)第710号にて認可を受けた設工認(第4回申請)の「VI 設計及び工事の方法の技術基準への適合に関する説明書」における「添付-2 第4回申請に係る安全上重要な施設に関する説明書」
- (4) 平成9年5月27日付け9安(核規)第245号にて認可を受けた設工認(第5回申請)の「VI 設計及び工事の方法の技術基準への適合に関する説明書」における「添付-2 第5回申請に係る安全上重要な施設に関する説明書」
- (5) 平成10年6月9日付け9安(核規)第596号にて認可を受けた設工認(第6回申請)の「VI 設計及び工事の方法の技術基準への適合に関する説明書」における「添付-7 第6回申請に係る安全上重要な施設に関する説明書」
- (6) 平成11年1月29日付け10安(核規)第538号にて認可を受けた設工認(第7回申請)の「VI 設計及び工事の方法の技術基準への適合に関する説明書」における「添付-10 第7回申請に係る安全上重要な施設に関する説明書」
- (7) 平成11年7月5日付け11安(核規)第135号にて認可を受けた設工認(第8回申請)の「VI 設計及び工事の方法の技術基準への適合に関する説明書」における「添付-5 第8回申請に係る安全上重要な施設に関する説明書」
- (8) 平成11年12月7日付け11安(核規)第980号にて認可を受けた設工認(第9回申請)の「VI 設計及び工事の方法の技術基準への適合に関する説明書」における「添付-2 第9回申請に係る安全上重要な施設に関する説明書」

安全上重要な施設と同等の信頼性を維持する施設

- (1) 補助抽出器中性子検出器の計数率高による工程停止回路及び遮断弁
- (2) 抽出塔供給有機溶媒液流量低による工程停止回路及び遮断弁
- (3) 抽出塔供給溶解液流量高による送液停止回路及び遮断弁
- (4) 第 1 洗浄塔洗浄廃液密度高による工程停止回路及び遮断弁
- (5) プルトニウム濃縮缶に係る注水槽の液位低による警報
- (6) 注水槽

※ 安全上重要な施設と同等の信頼性を維持する施設に該当する設備の詳細については各施設の申請時に示す。

VI-1-1-5

再処理施設への人の不法な侵入等の
防止に関する説明書

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 再処理施設への人の不法な侵入等の防止についての概要	1
3. 再処理施設への人の不法な侵入の防止方法について	1
3.1 物理的障壁による防護等	1
3.2 出入管理	2
3.3 車両の管理	2
3.4 探知施設	2
3.5 通信及び連絡	2
3.6 核燃料物質等の不法な移動及び妨害破壊行為への対策	2
4. 持込点検	3
5. 不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）の防止対策	3
6. 人の容易な侵入等を防止するための資機材の他施設との共用について	3

1. 概要

本資料は、「再処理施設の技術基準に関する規則」第九条に基づき、再処理施設への人の不法な侵入等の防止について説明するものである。

2. 再処理施設への人の不法な侵入等の防止についての概要

再処理施設への人の不法な侵入，核燃料物質等の不法な移動及び妨害破壊行為を防止するため，区域の設定，人の容易な侵入を防止できる柵，鉄筋コンクリート造りの壁等の障壁による防護，巡視，監視，出入口での身分確認及び施錠管理を行うことができる設計とする。

核物質防護上の措置が必要な区域については，接近管理及び出入管理を確実にを行うため，探知施設を設け，警報，映像等を集中監視することができる設計とするとともに，核物質防護措置に係る関係機関との通信及び連絡を行うことができる設計とする。さらに，防護された区域内においても，施錠管理により，再処理施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システム（以下「情報システム」という。）への不法な接近を防止する設計とする。

また，再処理施設への不正な爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え，又は他の物件を損傷するおそれがある物件の持込み（郵便物等による敷地外からの爆発物及び有害物質の持込みを含む。）を防止するため，持込点検を行うことができる設計とする。

さらに，不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を防止するため，情報システムが電気通信回線を通じた不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を受けないように，当該情報システムに対する外部からの不正アクセスを遮断することができる設計とする。

これらの対策を核物質防護規定に定めて，管理する。

人の容易な侵入を防止できる柵等を他施設と共用する場合は，共用によって再処理施設の安全性を損なわない設計とする。

3. 再処理施設への人の不法な侵入の防止方法について

再処理施設への人の不法な侵入，核燃料物質等の不法な移動及び妨害破壊行為を防止するため，以下のとおりの設計とする。

3.1 物理的障壁による防護等

再処理施設への人の不法な侵入，核燃料物質等の不法な移動及び妨害破壊行為を防止するため，区域の設定，人の容易な侵入を防止できる柵，鉄筋コンクリート造りの壁等の障壁による防護，巡視，監視，出入口での身分確認及び施錠管理を行うことができる設計とする。

さらに、防護された区域内においても、施錠管理により、情報システムへの不法な接近を防止する設計とする。

3.2 出入管理

業務上常時立ち入ろうとする者（以下「常時立入者」という。）については、その身分及び立入りの必要性を確認の上、当該者に立入りを認めたことを証明する書面等（以下「証明書等」という。）を発行し、立入りの際に所持させ、それをを用いて出入管理を行う。また、立入りの間、証明書等を常に容易に確認できる部位に取り付けさせる。

常時立入者以外の者については、その身分及び立入りの必要性を確認の上、当該者に証明書等を発行し、立入りの際に所持させ、それをを用いて出入管理を行う。また、立入りの間、証明書等を常に容易に確認できる部位に取り付けさせ、さらに防護された区域及び核物質防護上の措置が必要な区域に立ち入る場合には、当該区域内において常時立入者を同行させ、防護のために必要な監督を行う。

3.3 車両の管理

業務用の車両として再処理事業所に立ち入る車両については、事前にその立入りの必要性を確認の上、証明書等を発行し、立入りの際に掲示させる。業務用の車両以外の車両の再処理事業所への立入りを禁止する。ただし、当該区域に立ち入ることが特に必要な車両であって、再処理施設への人の不法な侵入、核燃料物質等の不法な移動及び妨害破壊行為の防止に支障がないと認められるものを除く。

3.4 探知施設

防護された区域及び核物質防護上の措置が必要な区域における監視を確実にを行うため、監視装置による監視をモニタ及び大型表示装置により集中的に行うことのできる見張人の詰所を設ける。

防護された区域及び核物質防護上の措置が必要な区域への人の侵入を確認することができる侵入検知器、監視カメラ等の監視装置により監視を行う。

3.5 通信及び連絡

核物質防護上の措置が必要な区域への人の不法な侵入、核燃料物質等の不法な移動及び妨害破壊行為があった際に、核物質防護措置に係る関係機関への通信及び連絡を迅速かつ確実にを行うために、通信及び連絡ができるPHS及び固定電話等を配備する。

3.6 核燃料物質等の不法な移動及び妨害破壊行為への対策

敷地内の人による核燃料物質等の不法な移動への対策については、核燃料物質の移動を行う前に所定の手続に基づき承認を得ること、また、核物質防護上の措置が必要な

区域の出口において、核燃料物質の不法な持出しを確認するための検知器を配備する。

敷地内の人による妨害破壊行為への対策については、社内基準に基づきあらかじめ認証を受けた者のみを再処理施設に出入りさせる。

4. 持込点検

再処理施設外からの不正な爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え、又は他の物件を損傷するおそれがある物件の持込み（郵便物等による敷地外からの爆発物及び有害物質の持込みを含む。）を防止するため、荷物の外観点検及び開封点検による持込点検を行う。また、防護された区域において、金属を探知することができる装置を用いて点検を行う。

5. 不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）の防止対策

不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を防止するため、情報システムが電気通信回線を通じた妨害破壊行為を受けることがないように、電気通信回線を通じた当該情報システムに対する外部からのアクセスを遮断する措置を講ずる。情報システムに対する不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）が行われるおそれがある場合又は行われた場合に迅速に対応できるよう情報システムセキュリティに関する計画を定める。

6. 人の容易な侵入等を防止するための資機材の他施設との共用について

人の容易な侵入等を防止するための資機材をMOX燃料加工施設又は特定廃棄物管理施設と共用する場合は、共用によって再処理施設の安全性を損なわない設計とする。

VI-1-1-6

再処理施設内における溢水による
損傷の防止に関する説明書

VI-1-1-6-1

溢水による損傷の防止に対する
基本方針

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 溢水による損傷の防止に対する基本方針.....	1
2.1 溢水防護対象設備の選定.....	3
2.2 溢水評価条件の設定.....	3
2.3 溢水評価及び防護設計方針.....	6
2.4 溢水防護設備の設計方針.....	9
3. 準拠規格	10

1. 概要

本資料は、再処理施設の溢水防護設計が「再処理施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第十二条に適合することを説明するものである。

2. 溢水による損傷の防止に対する基本方針

安全機能を有する施設は、再処理施設内における溢水の発生によりその安全機能を損なうおそれがある場合において、防護措置その他の適切な措置を講じることにより、溢水に対して安全機能を損なわない設計とする。

ここで、安全機能を有する施設のうち、安全評価上機能を期待する安全上重要な機能を有する構築物、系統及び機器を溢水から防護する設備（以下「溢水防護対象設備」という。）とし、これらの設備が、没水、被水及び蒸気の影響を受けて、その安全機能を損なわない設計（多重性又は多様性を有する設備が同時にその安全機能を損なわない設計）とする。

そのために、「原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド」（以下「内部溢水ガイド」という。）を参考に、溢水防護に係る設計時に再処理施設内において発生が想定される溢水の影響を評価（以下「溢水評価」という。）し、溢水防護対象設備の安全性を損なうおそれがある場合は、防護措置その他の適切な措置を講じることにより、安全機能を損なわない設計とする。

自然現象により発生する溢水及びその波及的影響により発生する溢水に関しては、溢水防護対象設備の配置を踏まえ、最も厳しい条件となる影響を考慮し、溢水防護対象設備が安全機能を損なわない設計とする。

また、事業指定基準規則の解釈に基づき、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故（以下「事故等」という。）の対処に必要な機器の単一故障を考慮しても異常事象を収束できる設計とする。

溢水防護対象設備の選定方針を「2.1 溢水防護対象設備の選定」に示す。

溢水評価では、溢水を発生要因別に分類し、溢水の影響を評価するために想定する機器の破損等により生じる溢水（以下「想定破損による溢水」という。）、再処理施設内で生じる異常状態（火災を含む。）の拡大防止のために設置される系統からの放水による溢水（以下「消火水の放水による溢水」という。）並びに地震に起因する機器の破損及び使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の燃料取出しピット、燃料仮置きピット、燃料貯蔵プール、チャンネルボックス・バーナブルポイズン取扱いピット、燃料移送水路及び燃料送出しピット（以下「燃料貯蔵プール・ピット等」という。）のスロッシングにより生じる溢水（以下「地震起因による溢水」という。）を踏まえ溢水源及び溢水量を設定する。

また、その他の要因による溢水として、地下水の流入、地震以外の自然現象、誤操作等により生じる溢水（以下「その他の溢水」という。）を想定し、溢水源及び溢水量を設定する。

溢水影響を評価するために、壁、扉、堰、床段差等の設置状況を踏まえ、溢水防護に対

する評価対象区画とする溢水防護区画及び溢水経路を設定する。溢水防護区画内外で発生を想定する溢水に対して、溢水評価がより厳しい結果を与えるように溢水経路を設定する。

溢水源、溢水量、溢水防護区画及び溢水経路の設定方針を「2.2 溢水評価条件の設定」に示す。

溢水評価では、溢水防護対象設備が、没水、被水及び蒸気の影響を受けて安全機能を損なうおそれがないことを評価し、必要に応じて防護対策を実施する。

具体的な評価及び防護設計方針を、「2.3.1 溢水防護建屋内で発生する溢水に関する溢水評価及び防護設計方針」のうち「(1) 没水の影響に対する評価及び防護設計方針」、 「(2) 被水の影響に対する評価及び防護設計方針」及び「(3) 蒸気影響に対する評価及び防護設計方針」に示す。

基準地震動による地震力によって生じるスロッシングにより、燃料貯蔵プール・ピット等の外へ漏えいする溢水を三次元流動解析により評価する。その際、燃料貯蔵プール・ピット等の周囲に止水板及び蓋を設置することにより溢水量を低減する設計とする。算出した溢水量からスロッシング後の燃料貯蔵プール・ピット等の水位低下を考慮しても、燃料貯蔵プール・ピット等の冷却機能及び燃料貯蔵プール・ピット等への給水機能が確保されることを確認し、それらを用いることにより適切な水温及び遮蔽に必要な水位を維持できる設計とする。

具体的な評価及び防護設計方針を、「2.3.2 燃料貯蔵プール・ピット等の機能維持に関する溢水評価及び防護設計方針」に示す。

溢水防護対象設備が設置されている建屋(以下「溢水防護建屋」という。)外で発生を想定する溢水に対しては、溢水防護建屋外で発生を想定する溢水による影響を評価する上で期待する範囲を境界とした溢水防護建屋内への流入を壁(貫通部止水処置を含む。), 扉, 堰等により防止する設計とし、溢水防護対象設備が安全機能を損なわない設計とする。

具体的な評価及び防護設計方針を、「2.3.3 溢水防護建屋外で発生する溢水に関する溢水評価及び防護設計方針」に示す。

溢水防護対象設備が発生を想定する溢水により安全機能を損なわないよう、必要に応じて防護対策その他の適切な処置を実施する。

発生を想定する溢水から溢水防護対象設備を防護するための設備(以下「溢水防護設備」という。)について、実施する防護対策その他の適切な処置の設計方針を「2.4 溢水防護

設備の設計方針」に示す。

溢水評価の条件の変更により評価結果が影響を受けないことを確認するために、溢水防護区画において、各種設備の追加、改造若しくは撤去又は資機材の持込みにより評価条件としている溢水源、溢水経路及び滞留面積に見直しがある場合は、溢水評価への影響確認を実施することを保安規定に定めて、管理する。

2.1 溢水防護対象設備の選定

溢水によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を全ての安全機能を有する構築物、系統及び機器とし、その上で事業指定基準規則及びその解釈並びに内部溢水ガイドで定められている、溢水から防護すべき安全機能を踏まえ、全ての安全機能を有する構築物、系統及び機器の中から安全評価上機能を期待するものとして、安全上重要な機能を有する構築物、系統及び機器を溢水防護対象設備として選定する。

具体的には、公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがあるもの及び設計基準事故時に公衆又は従事者に及ぼすおそれがある放射線障害を防止するため、放射性物質又は放射線が再処理施設外へ放出されることを抑制又は防止するために必要な設備(燃料貯蔵プール・ピット等の冷却及び給水の機能を適切に維持するために必要な設備を含む。)がこれに該当し、これらの設備には、事故等の拡大防止及び影響緩和のために必要な設備が含まれる。

溢水防護対象設備以外の安全機能を有する施設は、溢水による損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理の対応を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。

また、上記の施設に対する損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理を行うことを保安規定に定めて、管理する。

溢水防護対象設備の選定の具体的な内容を「VI-1-1-6-2 溢水防護対象設備の選定」に示す。

2.2 溢水評価条件の設定

2.2.1 溢水源及び溢水量の設定

溢水源及び溢水量は、想定破損による溢水、消火水の放水による溢水、地震起因による溢水及びその他の溢水を踏まえ設定する。

(1) 想定破損による溢水

想定破損による溢水は、内部溢水ガイドを参考に、1系統における単一の機器の破損を想定し、溢水源となり得る機器は流体を内包する配管とし、配管の破損箇所

を溢水源として設定する。

また、破損を想定する配管は、内包する流体のエネルギーに応じて、高エネルギー配管又は低エネルギー配管に分類する。

配管の破損形状の想定に当たっては、高エネルギー配管は、原則「完全全周破断」、低エネルギー配管は、原則「配管内径の1/2の長さと同配管肉厚の1/2の幅を有する貫通クラック(以下「貫通クラック」という。)」を想定する。

ただし、配管破損の想定に当たって、詳細な応力評価を実施する場合は、発生応力と許容応力の比による応力評価の結果に基づく破損形状を想定する。

高エネルギー配管については、ターミナルエンド部を除き、発生応力が許容応力の0.8倍を超える場合は「完全全周破断」、0.4倍を超え0.8倍以下であれば「貫通クラック」を想定し、0.4倍以下であれば破損は想定しない。

また、低エネルギー配管については、発生応力が許容応力の0.4倍を超える場合は「貫通クラック」を想定し、0.4倍以下であれば破損は想定しない。

応力評価の結果により破損形状の想定を行う場合は、評価結果に影響するような減肉がないことを確認するために継続的な肉厚管理を実施することを保安規定に定めて、管理する。

溢水源として設定する配管の破損箇所は溢水防護対象設備への溢水の影響が最も大きくなる位置とし、溢水量は、異常の検知、事象の判断及び漏えい箇所の特定並びに現場又は中央制御室、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室からの隔離(運転員の状況確認及び隔離操作を含む。)により漏えい停止するまでの時間を適切に考慮し、想定する破損箇所からの流出量と隔離後の溢水量として隔離範囲内の系統の保有水量を合算して設定する。

なお、手動による漏えいの停止のために現場、中央制御室並びに使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室を確認し操作することを保安規定に定めて、管理する。

(2) 消火水の放水による溢水

消火水の放水による溢水は、溢水防護建屋内において、水を使用する消火設備である屋内消火栓及び水噴霧消火設備を溢水源として想定する。その他、消火設備ではないが、消火活動に供する設備として、水を噴霧する連結散水からの放水を溢水源として設定する。

消火水の放水による溢水量は、消火設備及び消火活動に供する設備からの単位時間当たりの放水量と放水時間から溢水量を設定する。

なお、溢水防護建屋内には、自動作動するスプリンクラを設置しない設計とする。

(3) 地震起因による溢水

a. 再処理施設内に設置された機器の破損による溢水

地震起因による溢水については、耐震Sクラス機器は基準地震動による地震力によって破損は生じないことから、流体を内包する系統のうち、基準地震動による地震力に対する耐震性が確認されていない耐震B、Cクラスに属する系統を溢水源として設定する。

ただし、耐震B、Cクラスであっても基準地震動による地震力に対して耐震性が確保されるものについては、溢水源として設定しない。

溢水量の算出に当たっては、溢水が生じるとした機器について、溢水防護対象設備への溢水の影響が最も大きくなるように評価する。

溢水源となる系統については全保有水量を考慮した上で、流体を内包する機器のうち、基準地震動によって破損が生じる可能性のある機器について破損を想定し、その影響を評価する。この場合において、溢水源となる配管は、破損形状を完全全周破断とした溢水量とし、溢水源となる容器は、全保有水量を溢水量として設定する。

b. 燃料貯蔵プール・ピット等のスロッシングによる溢水

燃料貯蔵プール・ピット等のスロッシングによる溢水については、基準地震動による地震力により生じる燃料貯蔵プール・ピット等のスロッシングによる漏えい水を溢水源として設定する。

また、燃料貯蔵プール・ピット等のスロッシングによる溢水量の算出に当たっては、基準地震動による地震力により生じるスロッシングにより燃料貯蔵プール・ピット等の外へ漏えいする溢水量を設定する。

(4) その他の溢水

その他の溢水については、地震以外の自然現象やその波及的影響に伴う溢水、溢水防護区画内にて発生が想定されるその他の漏えい事象を想定する。

具体的には、地下水の流入、降水のような再処理施設への直接的な影響と、飛来物等による屋外タンク等の破損のような間接的な影響、機器ドレン、機器損傷(配管以外)、人的過誤及び誤作動を想定し、各事象において溢水源及び溢水量を設定する。

溢水源及び溢水量の設定の具体的な内容を「VI-1-1-6-3 溢水評価条件の設定」のうち「2. 溢水源及び溢水量の設定」に示す。

2.2.2 溢水防護区画及び溢水経路の設定

溢水防護区画は、溢水防護対象設備が設置されている区画、中央制御室、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室並びに運転員が、溢水が発生した区画を特定する又は必要により隔離等の操作が必要な設備にアクセスする通路部(以下「アクセス通路部」という。)について設定する。

溢水防護区画は、壁、扉、堰、床段差等又はそれらの組合せによって他の区画と分離される区画として設定し、溢水防護区画を構成する壁、扉、堰、床段差等については、現場の設備等の設置状況を踏まえ、溢水の伝播に対する評価の条件を設定する。

溢水評価に当たっては、溢水の影響を受けて、溢水防護対象設備の安全機能を損なうおそれがある高さ並びに溢水防護区画とその他の区画(溢水防護対象設備が存在しない区画又は通路)との間における伝播経路となる防水扉及び水密扉以外の扉、壁開口部及び貫通部、天井開口部及び貫通部、床面開口部及び貫通部、床ドレンの接続状況並びにこれらに対する流入防止対策の有無を踏まえ、溢水防護区画内の水位が最も高くなるように、より厳しい結果を与える溢水経路を設定する。

火災により貫通部の止水機能が損なわれる場合には、当該貫通部からの消火水の流入を考慮する。

消火活動により区画の防水扉及び水密扉を開放する場合は、開放した防水扉及び水密扉からの消火水の伝播を考慮した溢水経路とする。

防水扉及び水密扉については、扉の閉止運用を保安規定に定めて、管理する。

溢水防護区画及び溢水経路の設定の具体的な内容を「VI-1-1-6-3 溢水評価条件の設定」のうち「3. 溢水防護区画及び溢水経路の設定」に示す。

2.3 溢水評価及び防護設計方針

2.3.1 溢水防護建屋内で発生する溢水に関する溢水評価及び防護設計方針

(1) 没水の影響に対する評価及び防護設計方針

想定した溢水源から発生する溢水量と溢水防護区画及び溢水経路から算出した溢水水位に対し、溢水防護対象設備が安全機能を損なうおそれがある高さ(以下「機能喪失高さ」という。)を比較し、溢水防護対象設備が没水により安全機能を損なわないことを評価する。

また、溢水の流入状態、溢水源からの距離、溢水が滞留している区画での人のアクセスによる一時的な水位変動を考慮し、機能喪失高さは発生した溢水による水

位に対して安全余裕を確保する設計とする。

さらに、床勾配のある区画については、床面高さのばらつきを考慮し安全余裕を確保する設計とする。

防水扉、水密扉、堰及び床ドレン逆止弁の設置等の対策を行うことにより、溢水防護対象設備が没水により安全機能を損なわない設計とする。

消火水の放水による没水影響で溢水防護対象設備の機能を損なうおそれがある場合には、水を用いない消火手段(窒素消火装置による消火、二酸化炭素消火装置による消火、消火器による消火)を採用することで没水の影響が発生しない設計とする。

さらに当該エリアへの不用意な放水を行わない運用とすることとし保安規定に定めて、管理する。

没水影響に対する評価の具体的な内容を「VI-1-1-6-4 溢水影響に関する評価」のうち「2.1 防護すべき設備を内包する建屋内で発生する溢水に関する溢水評価」に示す。

(2) 被水の影響に対する評価及び防護設計方針

想定した溢水源からの直線軌道及び放物線軌道の飛散による被水、消火水による被水並びに天井面の開口部又は貫通部からの被水に対し、影響を受ける範囲内にある溢水防護対象設備が安全機能を損なわないことを評価する。

なお、溢水防護対象設備があらゆる方向からの水の飛まつによっても有害な影響を生じないように、保護構造を有していれば、溢水防護対象設備が安全機能を損なわない。

溢水防護板の設置等の対策により、溢水防護対象設備が被水により安全機能を損なわない設計とする。

保護構造を有さない場合は、機能を損なうおそれがない配置設計又は消火水の放水による被水の影響が発生しないよう溢水防護対象設備が設置されている溢水防護区画において水を用いない消火手段（窒素消火装置による消火、二酸化炭素消火装置による消火又は消火器による消火）を採用することにより、被水の影響が発生しない設計とする。

保護構造により安全機能を損なわない設計とする設備については、評価された被水条件を考慮しても安全機能を損なわないことを設計時に確認し、保護構造を維持するための保守管理を実施することを保安規定に定めて、管理する。

なお、水を用いる消火活動を行う場合には、水を用いる消火活動による被水の影響を最小限に止めるため、溢水防護対象設備に対して不用意な放水を行わないことを消火活動における運用及び留意事項として保安規定に定めて、管理する。

被水影響に対する評価の具体的な内容を「VI-1-1-6-4 溢水影響に関

する評価」のうち「2.1 防護すべき設備を内包する建屋内で発生する溢水に関する溢水評価」に示す。

(3) 蒸気影響に対する評価及び防護設計方針

想定した溢水源からの漏えい蒸気の直接噴出及び拡散による影響を確認するために、空調条件や解析区画を設定して解析を実施し、溢水防護対象設備が蒸気の影響により安全機能を損なわないことを評価する。

蒸気の影響に対しては、蒸気曝露試験又は机上評価によって蒸気の影響に対して耐性を有することを確認する。

具体的には、溢水防護対象設備が、溢水源から漏えいした蒸気の直接噴出及び拡散による影響を受け、蒸気曝露試験又は机上評価によって溢水防護対象設備の健全性が確認されている条件(温度、湿度及び圧力)を超えない耐蒸気性を有する設計とする。

自動で漏えい蒸気を早期隔離する自動検知・遠隔隔離システムの設置等の対策、溢水防護対象設備への蒸気曝露試験又は机上評価による健全性の確認により、溢水防護対象設備が蒸気の影響により安全機能を損なわない設計とする。

蒸気曝露試験は、漏えい蒸気による環境において要求される機能を損なうおそれがある設備を対象に、漏えい蒸気による環境条件(温度、湿度及び圧力)により対象設備が要求される機能を損なわないことを評価するために実施する。ただし、試験実施が困難な機器については、漏えい蒸気による環境条件に対する耐性を机上評価する。

溢水防護対象設備が蒸気環境に曝された場合、溢水防護対象設備の安全機能が損なわれていないことを確認することとし、保安規定に定めて、管理する。

蒸気影響に対する評価の具体的な内容を「VI-1-1-6-4 溢水影響に関する評価」のうち「2.1 防護すべき設備を内包する建屋内で発生する溢水に関する溢水評価」に示す。

(4) 燃料貯蔵プール・ピット等のスロッシング後の機能維持に関する溢水評価及び防護設計方針

基準地震動による地震力によって生じるスロッシングにより、燃料貯蔵プール・ピット等の外へ漏えいする水の量を三次元流動解析により評価する。

その際、燃料貯蔵プール・ピット等の周囲に止水板及び蓋を設置することによりスロッシング水量を低減する設計とする。

燃料貯蔵プール・ピット等の周囲に設置する止水板及び蓋の詳細設計を「VI-1-1-6-5 溢水防護設備の詳細設計」に示す。

算出した溢水量からスロッシング後の燃料貯蔵プール・ピット等の水位低下を

考慮しても、燃料貯蔵プール・ピット等の冷却機能及び燃料貯蔵プール・ピット等への給水機能が確保されることを確認し、それらを用いることにより適切な水温及び遮蔽に必要な水位を維持できる設計とする。

また、スロッシングによる溢水(その他機器の地震起因による溢水を含む。)の影響を受けて、燃料貯蔵プール・ピット等の冷却機能及び燃料貯蔵プール・ピット等への給水機能の維持に必要な機器が安全機能を損なうおそれがないことを確認する設計とする。

溢水防護対象設備が溢水により安全機能を損なうおそれがある場合には、防護対策その他の適切な処置を実施する。

燃料貯蔵プール・ピット等の機能維持に関する評価の具体的な内容を「VI-1-1-6-4 溢水影響に関する評価」のうち「2.1 防護すべき設備を内包する建屋内で発生する溢水に関する溢水評価」に示す。

2.3.2 溢水防護建屋外で発生する溢水に関する溢水評価及び防護設計方針

溢水防護建屋外で発生を想定する溢水が、溢水防護区画に流入しないことを評価する。

また、溢水防護建屋外で発生を想定する溢水に対しては、溢水防護建屋外で発生を想定する溢水による影響を評価する上で期待する範囲を境界とした溢水防護建屋内への流入を壁(貫通部止水処置を含む。), 扉, 堰等により防止する設計とすることにより、溢水防護対象設備が安全機能を損なわない設計とする。

地表面に滞留する溢水に対しては、溢水防護建屋外で発生を想定する溢水による影響を評価する上で期待する範囲を境界とした溢水防護建屋内へ流入しないよう、建屋外壁の開口部の設置高さを確保する設計とする。

また、地下水に対しては、流入経路に地下水面からの水頭圧に耐える壁(貫通部止水処置を含む。), 扉等による流入防止措置等を実施することにより、地下水の流入による影響を評価する上で期待する範囲を境界とした溢水防護建屋内への流入を防止する設計とし、溢水防護対象設備が安全機能を損なわない設計とする。

溢水防護建屋外で発生する溢水に関する溢水評価の具体的な内容を「VI-1-1-6-4 溢水影響に関する評価」のうち「2.2 防護すべき設備を内包する建屋外で発生する溢水に関する溢水評価」に示す。

2.4 溢水防護設備の設計方針

安全機能を有する施設は、再処理施設内における溢水が発生した場合においても、安全機能を損なわない設計とする。

そのために、再処理施設内に設置された機器及び配管の破損(地震起因を含む。)によ

る溢水，再処理施設内で生じる異常状態(火災を含む。)の拡大防止のために設置される系統からの放水による溢水又は燃料貯蔵プール・ピット等のスロッシングによる溢水が発生した場合においても，溢水防護設備により溢水防護対象設備が安全機能を損なわない設計とする。

また，燃料貯蔵プール・ピット等の冷却機能及び燃料貯蔵プール・ピット等への給水機能を維持できる設計とする。

再処理施設に設置する溢水防護設備及びその設計方針については，溢水防護設備及び溢水評価の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

3. 準拠規格

準拠する規格としては，既設工認で適用実績がある規格のほか，最新の規格基準についても技術的妥当性及び適用性を示したうえで適用可能とする。

準拠する規格，基準，指針等を以下に示す。

- ・「原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド（平成25年6月19日 原規技発第13061913号 原子力規制委員会決定）」

なお，次回以降に申請する施設に係る準拠規格については，当該施設の申請に合わせて次回以降に示す。

VI-1-1-6-2
溢水防護対象設備の選定

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 洪水防護対象設備の選定	1
2.1 洪水防護対象設備の選定方針	1
2.2 評価対象の洪水防護対象設備の選定について	1

1. 概要

本資料は、再処理施設の溢水防護設計が技術基準規則第十二条及び内部溢水ガイドを踏まえて、再処理施設内で発生を想定する溢水から防護する対象設備の選定の考え方を説明するものである。

2. 溢水防護対象設備の選定

2.1 溢水防護対象設備の選定方針

溢水によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を全ての安全機能を有する構築物、系統及び機器とし、その上で事業指定基準規則及びその解釈並びに内部溢水ガイドで定められている、溢水から防護すべき安全機能を踏まえ、全ての安全機能を有する構築物、系統及び機器の中から安全評価上機能を期待するものとして、安全上重要な機能を有する構築物、系統及び機器を溢水防護対象設備として選定する。

具体的には、公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがあるもの及び設計基準事故時に公衆又は従事者に及ぼすおそれがある放射線障害を防止するため、放射性物質又は放射線が再処理施設外へ放出されることを抑制又は防止するために必要な設備(燃料貯蔵プール・ピット等の冷却及び給水の機能を適切に維持するために必要な設備を含む。)がこれに該当し、これらの設備には、事故等の拡大防止及び影響緩和のために必要な設備が含まれる。

溢水防護区画以外の安全機能を有する施設は、溢水による損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理の対応を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。

2.2 評価対象の溢水防護対象設備の選定について

2.1で選定した溢水防護対象設備のうち、溢水により安全機能を損なうおそれのある設備を評価対象として選定する。そのため、溢水により安全機能を損なわないことが明らかでない以下に該当する設備は、影響評価の対象から除外する。

- (1) 臨界管理対象設備のうち溢水により臨界の発生に至らないもの
- (2) 溢水によって安全機能が損なわれない静的な安全機能を有する構築物、系統及び機器
- (3) 耐水性を有する動的機器
- (4) 動的機能が喪失しても安全機能に影響しない機器(フェイルセーフ機能を持つ設備を含む。)

評価対象外とする溢水防護対象設備の考え方を第2-1表に示す。

評価対象の溢水防護対象設備の選定結果及び溢水防護区画については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

第2-1表 溢水評価対象外とする溢水防護対象設備の考え方

項 目	解 説
①臨界管理対象設備のうち溢水により臨界の発生に至らないもの	<p>没水を想定しても臨界に至らない臨界管理対象設備は、溢水影響を受けることはないと評価する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・清澄機, 抽出塔, 定量ポット等
②溢水によって安全機能が損なわれない静的な安全機能を有する構築物, 系統及び機器	<p>構造が単純で外部から動力の供給を必要としない以下に示す静的な設備は、溢水影響を受けることはないと評価する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・燃料貯蔵プール, セル, 躯体等の構築物 ・容器, 熱交換器, 配管, 手動弁等の静的機器 ・被覆されているケーブル ・燃料貯蔵ラック, 燃料用バスケット等の機器
③耐水性を有する動的機器	<p>屋外や水中に設置されている設備は、水の影響を考慮した設計がなされていることから溢水影響を受けることはないと評価する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・屋外に設置される安全冷却水系冷却塔 ・水中に設置される第1ステップ測定装置等
④動的機能が喪失しても安全機能に影響しない機器 (フェイルセーフ機能を持つ設備を含む。)	<p>動的機能が喪失しても安全機能を維持する設備は、溢水影響を受けることはないと評価する。</p> <p>また、溢水影響に伴う異常の検知により工程停止のインターロックが作動する設備は、安全機能に影響はないと評価する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・固化セル移送台車等

VI-1-1-7

再処理施設内における化学薬品の漏えいによる損傷の防止に関する説明書

VI-1-1-7-1 化学薬品の漏
えいによる損傷の防止に対する基本
方針

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 化学薬品の漏えいによる損傷の防止に対する基本方針	1
2.1 化学薬品防護対象設備の選定	3
2.2 再処理施設における化学薬品取扱いの基本	3
2.3 設計上考慮すべき化学薬品の設定	4
2.4 化学薬品の漏えい評価条件の設定	5
2.5 化学薬品の漏えい評価及び防護設計方針	8
2.6 化学薬品防護設備の設計方針	10
3. 準拠規格	10

1. 概要

本資料は、再処理施設の化学薬品の漏えい防護設計が「再処理施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第十三条に適合することを説明するものである。

2. 化学薬品の漏えいによる損傷の防止に対する基本方針

安全機能を有する施設は、再処理施設内における化学薬品の漏えいの発生によりその安全機能を損なうおそれがある場合において、防護措置その他の適切な措置を講じることにより、化学薬品の漏えいに対して安全機能を損なわない設計とする。

ここで、安全機能を有する施設のうち、安全評価上機能を期待する安全上重要な機能を有する構築物、系統及び機器を化学薬品の漏えいから防護する設備（以下「化学薬品防護対象設備」という。）とし、これらの設備が、没水、被水及び蒸気の影響評価手法及び防護措置を参考に、漏えいした化学薬品の影響を受けて、その安全機能を損なわない設計（多重性又は多様性を有する設備が同時にその安全機能を損なわない設計）とする。

そのために、「原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド」（以下「内部溢水ガイド」という。）を参考に、化学薬品の漏えい防護に係る設計時に再処理施設内において発生が想定される化学薬品の漏えいの影響を評価（以下「化学薬品の漏えい評価」という。）し、化学薬品防護対象設備の安全性を損なうおそれがある場合は、防護措置その他の適切な措置を講じることにより、安全機能を損なわない設計であることを確認する。

また、事業指定基準規則の解釈に基づき、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故（以下「事故等」という。）の対処に必要な機器の単一故障を考慮しても異常事象を収束できる設計とする。

化学薬品防護対象設備の選定方針を「2.1 化学薬品防護対象設備の選定」に示す。

化学薬品の漏えい評価に当たっては、選定した化学薬品防護対象設備の安全機能を短時間で損なうおそれのある化学薬品を設計上考慮すべき対象として設定する。

設計上考慮すべき化学薬品の設定方針を「2.3 設計上考慮すべき化学薬品の設定」に示す。

化学薬品の漏えい評価では、化学薬品の漏えいを発生要因別に分類し、化学薬品の漏えいの影響を評価するために想定する機器の破損等により生じる化学薬品の漏えい（以下「想定破損による化学薬品の漏えい」という。）、再処理施設内で生じる異常状態の拡大防止のために設置される系統からの消火剤の放出による化学薬品の漏えい（以下「消火剤の放出による化学薬品の漏えい」という。）及び地震に起因する機器の破損等により生じる化学薬品の漏えい（以下「地震起因による化学薬品の漏えい」という。）を

踏まえ化学薬品の漏えい源及び漏えい量を設定する。

また、その他の要因による化学薬品の漏えいとして、地震以外の自然現象、誤操作等により生じる化学薬品の漏えい(以下「その他の化学薬品の漏えい」という。)を想定し、化学薬品の漏えい源及び漏えい量を設定する。

化学薬品の漏えい影響を評価するために、壁、扉、堰、床段差等の設置状況を踏まえ、化学薬品の漏えい防護に対する評価対象区画とする化学薬品防護区画及び化学薬品の漏えい経路を設定する。化学薬品防護区画内外で発生を想定する化学薬品の漏えいに対して、化学薬品の漏えい評価がより厳しい結果を与えるように化学薬品の漏えい経路を設定する。

化学薬品の漏えい源、化学薬品の漏えい量、化学薬品防護区画及び化学薬品の漏えい経路の設定方針を「2.4 化学薬品の漏えい評価条件の設定」に示す。

化学薬品の漏えい評価では、化学薬品防護対象設備が、液体状の化学薬品による没水(以下「没液」という。)、被液及び腐食性ガスの影響を受けて安全機能を損なうおそれがないことを評価し、必要に応じて防護対策を実施する。

具体的な評価及び防護設計方針を、「2.5.1 化学薬品防護建屋内で発生する化学薬品の漏えいに関する化学薬品の漏えい評価及び防護設計方針」のうち「(1) 没液の影響に対する評価及び防護設計方針」、「(2) 被液の影響に対する評価及び防護設計方針」及び「(3) 腐食性ガスの影響に対する評価及び防護設計方針」に示す。

化学薬品防護対象設備が設置されている建屋(以下「化学薬品防護建屋」という。)外で発生を想定する化学薬品の漏えいに対しては、化学薬品防護建屋外で発生を想定する化学薬品の漏えいによる影響を評価する上で期待する範囲を境界とした化学薬品防護建屋内への流入を壁(貫通部止水処置を含む。)、扉、堰等により防止する設計とし、化学薬品防護対象設備が安全機能を損なわない設計とする。

具体的な評価及び防護設計方針を、「2.5.2 化学薬品防護建屋外で発生する化学薬品の漏えいに関する化学薬品の漏えい評価及び防護設計方針」に示す。

化学薬品防護対象設備が発生を想定する化学薬品の漏えいにより安全機能を損なわないよう、必要に応じて防護対策その他の適切な処置を実施する。

発生を想定する化学薬品の漏えいから化学薬品防護対象設備を防護するための設備(以下「化学薬品防護設備」という。)について、実施する防護対策その他の適切な処置の設計方針を「2.6 化学薬品防護設備の設計方針」に示す。

化学薬品の漏えい評価の条件の変更により評価結果が影響を受けないことを確認する

ために、化学薬品防護区画において、各種設備の追加、改造若しくは撤去又は資機材の持込みにより評価条件としている化学薬品の漏えい源、漏えい経路及び滞留面積に見直しがある場合は、化学薬品の漏えい評価への影響確認を実施することを保安規定に定めて、管理する。

2.1 化学薬品防護対象設備の選定

化学薬品の漏えいによってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を全ての安全機能を有する構築物、系統及び機器とし、その上で事業指定基準規則及びその解釈並びに内部溢水ガイドで定められている、化学薬品の漏えいから防護すべき安全機能を踏まえ、全ての安全機能を有する構築物、系統及び機器の中から安全評価上機能を期待するものとして、安全上重要な機能を有する構築物、系統及び機器を化学薬品防護対象設備として選定する。

具体的には、公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがあるもの及び設計基準事故時に公衆又は従事者に及ぼすおそれがある放射線障害を防止するため、放射性物質又は放射線が再処理施設外へ放出されることを抑制又は防止するために必要な設備がこれに該当し、これらの設備には、事故等の拡大防止及び影響緩和のために必要な設備が含まれる。

化学薬品防護対象設備以外の安全機能を有する施設は、化学薬品の漏えいによる損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理の対応を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。

また、上記の施設に対する損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理を行うことを保安規定に定めて、管理する。

化学薬品防護対象設備の選定の具体的な内容を「VI-1-1-7-2 化学薬品防護対象設備の選定」に示す。

2.2 再処理施設における化学薬品取扱いの基本方針

再処理施設においては、液体として硝酸、水酸化ナトリウム、TBP、n-ドデカン、硝酸ヒドラジン、硝酸ヒドロキシルアミン(以下「HAN」という。)、硝酸ガドリニウム、硝酸ナトリウム、炭酸ナトリウム、亜硝酸ナトリウム、硫酸、ヒドラジン、りん酸ナトリウム及び模擬廃液並びに気体として窒素酸化物(以下「NO_x」という。)ガス、水素ガス、窒素ガス、酸素ガスの化学薬品を主な試薬として使用する。これらの化学薬品のうち、再処理におけるプロセス工程(以下「再処理プロセス」という。)におい

て大量に取り扱う硝酸，水酸化ナトリウム，TBP，n-ドデカン，硝酸ヒドラジン，HAN 及び炭酸ナトリウムは，試薬建屋の化学薬品貯蔵供給設備に貯蔵し，必要な量を各施設の化学薬品貯蔵供給系に移送する設計とする。

再処理施設における化学薬品の取扱いは，「消防法」，「労働安全衛生法」及び「毒物及び劇物取締法」の要求を満足するものとする。

化学薬品の取扱いの基本方針として，再処理施設及び従事者の安全性を確保するために，以下の安全設計及び対策を行う。

- (1) 化学薬品を内包する設備は，化学薬品の性状に応じた材料を選定し，腐食し難い設計とする。
- (2) 化学薬品を内包又は化学薬品が通過する機器の継ぎ手部は，化学薬品の性状に応じて適切な材料を選定するとともに，化学薬品が継ぎ手部から漏えいした際に従事者に飛散する可能性がある場合には，飛散防止措置を講じることを保安規定に定めて，管理する。
- (3) 化学薬品の漏えいが生じるおそれのある区画及び漏えいが伝播するおそれのある経路並びにそれらに設置する機器及び資機材については，耐薬品性を有する塗装材の塗布及び漏えいした化学薬品と反応する物質の撤去により，漏えいにより生じる腐食性ガスの発生，反応生成物の発生及び発熱の副次的な影響を低減する設計とする。

また，化学薬品の漏えいに備えた運転員の安全確保に係る対応として，作業リスクに応じた保護具の装着や漏えい発生時の作業員の対応を定め，必要な資機材の配備，対応に係る教育訓練，巡視点検による化学薬品の漏えいの検知及び避難経路の整備を実施することを保安規定に定めて，管理する。

2.3 設計上考慮すべき化学薬品の設定のための方針

設計上考慮すべき化学薬品の設定の具体的な内容を「VI - 1 - 1 - 7 - 2 化学薬品防護対象設備の選定」に示す。

2.3.1 漏えいによる影響を検討する化学薬品及び構成部材の抽出

再処理事業所内で用いられる化学薬品及び化学薬品防護対象設備の構成部材から，化学薬品防護対象設備の安全機能に影響を及ぼす化学薬品と構成部材の組合せを決定するため，文献調査及び耐薬品性試験の実施により，漏えいによる損傷の防止を検討する化学薬品及び構成部材を抽出する。

2.3.2 検討対象とする化学薬品と構成部材の組合せを踏まえた設計上考慮すべき化学薬品の設定

検討対象とする化学薬品と構成部材の組合せごとの腐食試験(浸漬及び曝露試験を含む。)又は文献調査の結果から、化学薬品防護対象設備の安全機能に短時間で影響を及ぼすおそれのある0.2mol/L以上の硝酸を含む溶液、水酸化ナトリウム、TBP及びn-ドデカン並びにNO_xガスを設計上考慮すべき化学薬品として設定する。

なお、ここでいう短時間とは、事故等の対処期間として見込んでおり、漏えいした化学薬品の回収及び現場環境の復帰に係る作業の実施期間として見込むことのできる7日間とする。

2.4 化学薬品の漏えい評価条件の設定

2.4.1 化学薬品の漏えい源及び漏えい量の設定

化学薬品の漏えい源及び漏えい量は、想定破損による化学薬品の漏えい、消火剤の放出による化学薬品の漏えい、地震起因による化学薬品の漏えい及びその他の化学薬品の漏えいを踏まえ設定する。

(1) 想定破損による化学薬品の漏えい

想定破損による化学薬品の漏えいは、内部溢水ガイドを参考に、1系統における単一の機器の破損を想定し、化学薬品の漏えい源となり得る機器は設計上考慮すべき化学薬品を内包する配管とし、配管の破損箇所を化学薬品の漏えい源として設定する。

また、破損を想定する配管は、内包する流体のエネルギーに応じて、高エネルギー配管又は低エネルギー配管に分類する。

配管の破損形状の想定に当たっては、高エネルギー配管は、原則「完全全周破断」、低エネルギー配管は、原則「配管内径の1/2の長さと同径の配管肉厚の1/2の幅を有する貫通クラック(以下「貫通クラック」という。)」を想定する。

ただし、配管破損の想定に当たって、詳細な応力評価を実施する場合は、発生応力と許容応力の比による応力評価の結果に基づく破損形状を想定する。

高エネルギー配管については、ターミナルエンド部を除き、発生応力が許容応力の0.8倍を超える場合は「完全全周破断」、0.4倍を超え0.8倍以下であれば「貫通クラック」を想定し、0.4倍以下であれば破損は想定しない。

また、低エネルギー配管については、発生応力が許容応力の0.4倍を超える場合は「貫通クラック」を想定し、0.4倍以下であれば破損は想定しない。

応力評価の結果により破損形状の想定を行う場合は、評価結果に影響するような減肉がないことを確認するために継続的な肉厚管理を実施することを保安規定

に定めて、管理する。

化学薬品の漏えい源として設定する配管の破損箇所は化学薬品防護対象設備への化学薬品の漏えいの影響が最も大きくなる位置とし、化学薬品の漏えい量は、異常の検知、事象の判断及び漏えい箇所の特定並びに現場又は中央制御室、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室からの隔離(運転員の状況確認及び隔離操作を含む。)により漏えい停止するまでの時間を適切に考慮し、想定する破損箇所からの流出量と隔離後の漏えい量として隔離範囲内の系統の保有量を合算して設定する。

なお、手動による漏えいの停止のために現場、中央制御室並びに使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室を確認し操作することを保安規定に定めて、管理する。

上記の想定破損による化学薬品の漏えい源及び化学薬品の漏えい量の設定については、洞道内で発生する化学薬品の漏えいにも適用する。

(2) 消火剤の放出による化学薬品の漏えい

消火設備については、設備の破損、誤作動又は誤操作により消火剤が放出されても、化学薬品防護対象設備に影響を与えない設計とすることを「Ⅲ 火災及び爆発の防止に関する説明書」に示していることから、消火剤の放出による化学薬品の漏えいは、化学薬品の漏えい源として設定しない。

(3) 地震起因による化学薬品の漏えい

地震起因による化学薬品の漏えいについては、耐震Sクラス機器は基準地震動による地震力によって破損は生じないことから、設計上考慮すべき化学薬品を内包する系統のうち、基準地震動による地震力に対する耐震性が確認されていない耐震B、Cクラスに属する系統を化学薬品の漏えい源として設定する。

ただし、耐震B、Cクラスであっても基準地震動による地震力に対して耐震性が確保されるものについては、化学薬品の漏えい源として設定しない。

また、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の燃料取出しピット、燃料仮置きピット、燃料貯蔵プール、チャンネルボックス・バーナブルポイズン取扱いピット、燃料移送水路及び燃料送出しピット(以下「燃料貯蔵プール・ピット等」という。)のスロッシングによる漏えい水については、プール中の流体が設計上考慮すべき化学薬品に該当しないことから、化学薬品の漏えい源としては設定しない。

化学薬品の漏えい量の算出に当たっては、化学薬品の漏えいが生じるとした機

器について、化学薬品防護対象設備への化学薬品の漏えいの影響が最も大きくなるように評価する。

化学薬品の漏えい源となる系統については全保有量を考慮した上で、設計上考慮すべき化学薬品を内包する機器のうち、基準地震動によって破損が生じる可能性のある機器について破損を想定し、その影響を評価する。この場合において、化学薬品の漏えい源となる配管は、破損形状を完全全周破断とした漏えい量とし、化学薬品の漏えい源となる容器は、全保有量を漏えい量として設定する。

上記の地震起因による化学薬品の漏えい源及び化学薬品の漏えい量の設定については、洞道内で発生する化学薬品の漏えいにも適用する。

(4) その他の化学薬品の漏えい

その他の化学薬品の漏えいについては、地震以外の自然現象やその波及的影響に伴う化学薬品の漏えい、化学薬品防護区画内にて発生が想定されるその他の漏えい事象を想定する。

具体的には、飛来物等による屋外タンクの破損、化学薬品の運搬及び補給のために一時的に再処理事業所に立ち入るタンクローリ等の破損のような間接的な影響、機器ドレン、機器損傷(配管以外)、人的過誤及び誤作動による漏えいを想定し、各事象において漏えい源及び漏えい量を設定する。

上記のその他の化学薬品の漏えい事象に係る漏えい源及び化学薬品の漏えい量の設定については、洞道内で発生する化学薬品の漏えいにも適用する。

化学薬品の漏えい源及び漏えい量の設定の具体的な内容を「VI-1-1-7-3 化学薬品の漏えい評価条件の設定」のうち「2. 化学薬品の漏えい源及び漏えい量の設定」に示す。

2.4.2 化学薬品防護区画及び化学薬品の漏えい経路の設定

化学薬品防護区画は、化学薬品防護対象設備が設置されている区画、中央制御室、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室並びに化学薬品の漏えいが発生した区画を特定する又は隔離等の操作が必要な設備に運転員がアクセスする通路部について設定する。

化学薬品防護区画は、壁、扉、堰、床段差等又はそれらの組合せによって他の区画と分離される区画として設定し、化学薬品防護区画を構成する壁、扉、堰、床段差等については、現場の設備等の設置状況を踏まえ、漏えいした化学薬品の伝播に

対する評価の条件を設定する。

化学薬品の漏えい評価に当たっては、化学薬品の漏えいの影響を受けて、化学薬品防護対象設備の安全機能を損なうおそれがある高さ並びに化学薬品防護区画とその他の区画(化学薬品防護対象設備が存在しない区画又は通路)との間における伝播経路となる防水扉及び水密扉以外の扉、壁開口部及び貫通部、天井開口部及び貫通部、床面開口部及び貫通部、床ドレンの接続状況並びにこれらに対する流入防止対策の有無を踏まえ、化学薬品防護区画内の液位が最も高くなるように、より厳しい結果を与える化学薬品の漏えい経路を設定する。

防水扉及び水密扉については、扉の閉止運用を保安規定に定めて、管理する。

化学薬品防護区画及び化学薬品の漏えい経路の設定の具体的な内容を「VI-1-1-7-3 化学薬品の漏えい評価条件の設定」のうち「3. 化学薬品防護区画及び化学薬品の漏えい経路の設定」に示す。

2.5 化学薬品の漏えい評価及び防護設計方針

2.5.1 化学薬品防護建屋内で発生する化学薬品の漏えいに関する化学薬品の漏えい評価及び防護設計方針

(1) 没液の影響に対する評価及び防護設計方針

想定した化学薬品の漏えい源から発生する漏えい量と化学薬品防護区画及び化学薬品の漏えい経路から算出した化学薬品の漏えい液位に対し、化学薬品防護対象設備が安全機能を損なうおそれがある高さ(以下「機能喪失高さ」という。)を比較し、化学薬品防護対象設備が没液により安全機能を損なわないことを評価する。

また、漏えいした化学薬品の流入状態、化学薬品の漏えい源からの距離、漏えいした化学薬品が滞留している区画での人のアクセスによる一時的な液位変動を考慮し、機能喪失高さは発生した化学薬品の漏えいによる液位に対して安全余裕を確保する設計とする。

さらに、床勾配のある区画については、床面高さのばらつきを考慮し安全余裕を確保する設計とする。

防水扉、水密扉、堰及び床ドレン逆止弁の設置等の対策を行うことにより化学薬品防護対象設備が没液により安全機能を損なわない設計とする。

没液影響に対する評価の具体的な内容を「VI-1-1-7-4 化学薬品の漏えい影響に関する評価」のうち「2.1 防護すべき設備を内包する建屋内で発生する化学薬品の漏えいに関する化学薬品の漏えい評価」に示す。

(2) 被液の影響に対する評価及び防護設計方針

想定した化学薬品の漏えい源からの直線軌道及び放物線軌道の飛散による被液並びに天井面の開口部又は貫通部からの被液に対し、影響を受ける範囲内にある化学薬品防護対象設備が安全機能を損なわないことを評価する。

なお、化学薬品防護対象設備があらゆる方向からの化学薬品の飛まつによっても有害な影響を生じないように、保護構造を有していれば、化学薬品防護対象設備は安全機能を損なわない。

薬品防護板の設置等の対策により、化学薬品防護対象設備が被液により安全機能を損なわない設計とする。

保護構造により安全機能を損なわない設計とする設備については、評価された被液条件を考慮しても安全機能を損なわないことを設計時に確認し、保護構造を維持するための保守管理を実施することを保安規定に定めて、管理する。

被液影響に対する評価の具体的な内容を「VI-1-1-7-4 化学薬品の漏えい影響に関する評価」のうち「2.1 防護すべき設備を内包する建屋内で発生する化学薬品の漏えいに関する化学薬品の漏えい評価」に示す。

(3) 腐食性ガスの影響に対する評価及び防護設計方針

想定した化学薬品の漏えい源からの腐食性ガスの拡散による影響を確認するために、漏えいが発生した区画から、天井面の開口部、壁の貫通部等を介して他区画へ伝播する条件とし、化学薬品防護対象設備のうち電子部品を有する設備が腐食性ガスの拡散経路以外に設置され、化学薬品防護対象設備が腐食性ガスの影響により安全機能を損なわないことを評価する。

化学薬品防護対象設備の設置区画における漏えい源の除外又は当該区画への腐食性ガスの移行を防止する対策等により、化学薬品防護対象設備が腐食性ガスの影響により安全機能を損なわない設計とする。

腐食性ガスの影響に対する評価の具体的な内容を「VI-1-1-7-4 化学薬品の漏えい影響に関する評価」のうち「2.1 防護すべき設備を内包する建屋内で発生する化学薬品の漏えいに関する化学薬品の漏えい評価」に示す。

2.5.2 化学薬品防護建屋外で発生する化学薬品の漏えいに関する化学薬品の漏えい評価及び防護設計方針

化学薬品防護建屋外で漏えいした化学薬品が、化学薬品防護区画に流入しないことを評価する。

また、化学薬品防護建屋外で発生を想定する化学薬品の漏えいに対しては、化

学薬品防護建屋外で発生を想定する化学薬品の漏えいによる影響を評価する上で期待する範囲を境界とした化学薬品防護建屋内への流入を壁(貫通部の止水処置を含む。), 扉, 堰等により防止する設計とすることにより, 化学薬品防護対象設備が安全機能を損なわない設計とする。

化学薬品防護建屋外で発生する化学薬品の漏えいに関する化学薬品の漏えい評価の具体的な内容を「VI-1-1-7-4 化学薬品の漏えい影響に関する評価」のうち「2.2 防護すべき設備を内包する建屋外で発生する化学薬品の漏えいに関する化学薬品の漏えい評価」に示す。

2.6 化学薬品防護設備の設計方針

安全機能を有する施設は, 再処理施設内における化学薬品の漏えいが発生した場合においても, 安全機能を損なわない設計とする。

そのために, 再処理施設内に設置された機器及び配管の破損(地震起因を含む。)による化学薬品の漏えい又は再処理施設内で生じる 異常状態の拡大防止のために設置される系統からの消火剤の放出による化学薬品の漏えいが発生した場合においても, 化学薬品防護設備により, 化学薬品防護対象設備が安全機能を損なわない設計とする。

再処理施設に設置する化学薬品防護設備及びその設計方針については, 化学薬品防護設備及び化学薬品の漏えい評価の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

3. 適用規格

準拠する規格としては, 既設工認で適用実績がある規格のほか, 最新の規格基準についても技術的妥当性及び適用性を示したうえで適用可能とする。

準拠する規格, 基準, 指針等を以下に示す。

- ・「原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド(平成25年6月19日 原規技発第13061913号 原子力規制委員会決定)」

なお, 次回以降に申請する施設に係る準拠規格については, 当該施設の申請に合わせて次回以降に示す。

VI-1-1-7-2 化学薬品防護 対象設備の選定

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 化学薬品防護対象設備の選定	1
2.1 化学薬品防護対象設備の選定方針	1
2.2 設計上考慮すべき化学薬品の設定	1
2.3 評価対象の化学薬品防護対象設備の選定	3

1. 概要

本資料は、再処理施設の化学薬品の漏えい防護設計が技術基準規則第十三条及び内部溢水ガイドを踏まえて、再処理施設内で発生を想定する化学薬品の漏えいの影響から防護する対象設備の選定の考え方を説明するものである。

2. 化学薬品防護対象設備の選定

2.1 化学薬品防護対象設備の選定方針

化学薬品の漏えいによってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を全ての安全機能を有する構築物、系統及び機器とし、その上で事業指定基準規則及びその解釈並びに内部溢水ガイドで定められている、化学薬品の漏えいから防護すべき安全機能を踏まえ、全ての安全機能を有する構築物、系統及び機器の中から安全評価上機能を期待するものとして、安全上重要な機能を有する構築物、系統及び機器を化学薬品防護対象設備として選定する。

具体的には、公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがあるもの及び設計基準事故時に公衆又は従事者に及ぼすおそれがある放射線障害を防止するため、放射性物質又は放射線が再処理施設外へ放出されることを抑制又は防止するために必要な設備がこれに該当し、これらの設備には、事故等の拡大防止及び影響緩和のために必要な設備が含まれる。

化学薬品防護対象設備以外の安全機能を有する施設は、化学薬品の漏えいによる損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理の対応を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。

2.2 設計上考慮すべき化学薬品の設定

化学薬品の漏えいに対する設計方針の検討に当たって、再処理事業所内における化学薬品を内包する機器及び配管の設置状況を踏まえて、構成部材の腐食又は劣化により化学薬品防護対象設備の安全機能を短時間で損なうおそれのある化学薬品を設定する。この際、設計図書(施工図面等)及び必要に応じ現場確認及び管理システムの確認により再処理事業所内に存在する全ての化学薬品及び化学薬品防護対象設備の構成部材を網羅的に抽出し、その中から構成部材の腐食試験、文献調査及び公開されている耐薬品性一覧表での調査を踏まえ、短時間で安全機能を損なうおそれのある化学薬品を設計上考慮すべき化学薬品として設定する。なお、ここで設定した以外の化学薬品については構成部材の腐食又は劣化の影響がないものとして設計上考慮すべき対象から除外する。

2.2.1 漏えいによる影響を検討する化学薬品及び構成部材の抽出

再処理事業所内で用いられる化学薬品及び化学薬品防護対象設備の構成部材から、化学薬品防護対象設備の安全機能に影響を及ぼす化学薬品と構成部材の組合せを決定するため、文献調査及び耐薬品性試験の実施により、漏えいによる損傷の防止の検討対象とする化学薬品及び構成部材を抽出する。

再処理事業所内で用いられる化学薬品は、再処理プロセスにおいて使用する化学薬品と、保守及び補修の非定常作業、その他再処理設備の附属施設で使用する化学薬品に大別される。

このうち、保守及び補修の非定常作業並びにその他再処理設備の附属施設で使用する化学薬品は、取扱作業及び範囲が限定されていること、作業安全管理を実施すること及び作業員が直接作業し、漏えいが発生した場合においても即座に対応することにより化学薬品の漏えいによる影響を及ぼすおそれがないため、漏えいによる損傷の防止を検討する化学薬品としない。

再処理プロセスにおいて使用する化学薬品から、漏えいによる影響を検討する化学薬品を抽出する。再処理プロセスにおいて使用する化学薬品を第2-1表に示す。具体的には、再処理プロセスにおいて使用する化学薬品を性状、腐食性及び反応性により分類し、腐食性や反応性を示さないことが明らかであるものを除外することにより、漏えいによる影響を検討する化学薬品を抽出する。ここで、文献調査の結果により明らかに腐食性や反応性を示さないものとして、固体の化学薬品、中性水溶液、非水溶液のうち燃料油並びに非腐食性のガスである窒素ガス、酸素ガス及び水素ガスを検討の対象から除外する。さらに、再処理施設において耐食性を有する材料の選定要件となる硝酸濃度が0.2mol/L以上であることから、0.2mol/L未満の硝酸を含む溶液は検討の対象から除外する。

また、化学薬品防護対象設備の構成部材について、主要な材質に分類し、化学薬品により損傷を受けないことが明らかなものを除外して、影響を検討する構成部材を抽出する。ここで、化学薬品の漏えいにより損傷を受けないことが明らかであるものとして、ステンレス、ジルコニウム、ハステロイ及びインコネルといった耐食性を有する金属材料、再処理プロセスで使用する化学薬品に対して、十分な厚さがあることや塗装が施されていることにより短時間で損傷しないコンクリート、再処理プロセスでは使用しない特定の化学薬品(フッ化水素等)のみに対して顕著な反応を示すガラスを検討の対象から除外する。

2.2.2 検討対象とする化学薬品と構成部材の組合せを踏まえた設計上考慮すべき化学薬品の設定

検討対象とする化学薬品と構成部材を組み合わせることで生じる腐食又は劣化

により、化学薬品防護対象設備の安全機能に短時間で影響を及ぼすおそれのある化学薬品を設計上考慮すべき対象として設定する。

なお、ここでいう短時間とは、事故等の対処期間として見込んでおり、漏えいした化学薬品の回収及び現場環境の復帰に係る作業の実施期間として見込むことのできる7日間とする。

具体的には、化学薬品防護対象設備で使用する主な構成部材のうち、検討の対象として選定された炭素鋼、アルミニウム及びプラスチックについて、検討対象として設定した化学薬品ごとに腐食試験(浸漬及び曝露試験を含む。)又は文献調査を実施する。ここで、検討の対象とする化学薬品としては、酸性水溶液として腐食に対する影響の主要因となる硝酸、アルカリ性水溶液として強アルカリであって、文献によりアルミニウムに影響を及ぼすことが明らかな水酸化ナトリウム、有機溶媒としてプラスチックに影響を与えるおそれがあるTBP及びn-ドデカン、並びに腐食性ガスとしてNO_xガスを設定する。

また、NO_xガスについては、腐食試験より配管、容器及び駆動機器の構造体の安全機能に直ちに影響を与えるものではないことが確認されているが、電子部品(集積回路、コンデンサ等)の機械的強度を必要としない材料厚みの精密機器についても曝露試験により影響を確認する。

これらの検討の結果から、設計上考慮すべき化学薬品として、0.2mol/L以上の硝酸を含む溶液、水酸化ナトリウム、TBP及びn-ドデカン並びにNO_xガスを設定する。

設計上考慮すべき化学薬品と化学薬品防護対象設備の主要な構成部材の組合せを第2-2表に示す。

2.3 評価対象の化学薬品防護対象設備の選定

2.1で選定した化学薬品防護対象設備のうち、化学薬品の漏えいにより安全機能を損なうおそれがある設備を評価対象として選定する。そのため、化学薬品の漏えいにより安全機能を損なわないことか明らかな以下に該当する設備は、影響評価の対象から除外する。

- (1) 設計上考慮すべき化学薬品の影響を受けない部材で構成される設備
- (2) 動的機能が喪失しても安全機能に影響しない設備(フェイルセーフ機能を持つ設備を含む。)

なお、以下に該当する設備は、化学薬品の漏えいが発生した場合においても、設計上考慮すべき化学薬品と接するおそれがないことから、化学薬品の漏えいにおける影

響評価の対象外とする。

- ・設計上考慮すべき化学薬品を保有していない建屋及び屋外に設置する設備
- ・設備が設置される建屋において、その建屋内で液体の設計上考慮すべき化学薬品を保有する最上のフロアより上のフロアに設置する設備

化学薬品の漏えい評価対象外とする化学薬品防護対象設備の考え方を第2-3表に示す。

評価対象の化学薬品防護対象設備の選定結果及び化学薬品防護区画については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

第2-1表 再処理プロセスで使用する化学薬品(1/2)

化学薬品	主な使用目的	使用場所	試薬建屋での保管
硝酸	使用済燃料の溶解, 核分裂生成物の洗浄, アルカリ性廃液の中和処理	再処理施設全体	○
水酸化ナトリウム	酸性廃液の中和処理, 有機溶媒の洗浄	再処理施設全体	○
TBP	溶解液からのウラン・プルト ニウムの抽出剤	分離建屋, 精製建屋	○
n-ドデカン	TBPの希釈剤	分離建屋, 精製建屋	○
硝酸ヒドラジン	硝酸ウラナスの分解抑制, HANの安定剤	分離建屋, 精製建屋	○
HAN	プルトニウムの還元剤	精製建屋	○
硝酸ガドリニウム	溶解槽における臨界管理	前処理建屋	—
硝酸ナトリウム	ガラス溶融炉供給液の成分調 整	高レベル廃液ガラス固化 建屋	—
炭酸ナトリウム	有機溶媒の洗浄	分離建屋, 精製建屋 高レベル廃液ガラス固化 建屋	○
亜硝酸ナトリウム	アジ化物の分解	前処理建屋, 分離建屋, 精製建屋, 高レベル廃液ガラス固化 建屋	—
模擬廃液	ガラス溶融炉の洗浄運転	高レベル廃液ガラス固化 建屋	—
調整液	ガラス溶融炉供給液の成分調 整	高レベル廃液ガラス固化 建屋	—
溶解液	使用済燃料の溶解液	前処理建屋, 分離建屋	—
硝酸ウラニル	溶解液からのウラン抽出液, ウラン製品溶液	分離建屋, 精製建屋, ウラン脱硝建屋, ウラ ン・プルトニウム混合脱 硝建屋	—
硝酸プルトニウム	溶解液からのプルトニウム抽 出液, プルトニウム製品溶液	分離建屋, 精製建屋, ウラン・プルトニウム混 合脱硝建屋	—
硝酸ウラナス	プルトニウムの還元剤	分離建屋, 精製建屋	—
放射性廃液	ウラン, プルトニウム抽出後 の廃液, 管理区域内での作業廃液	再処理施設全体	—
重油	ボイラ・発電機等の燃料	再処理施設全体	—
NOxガス	溶解液のよう素の追い出し, プルトニウムの酸化	前処理建屋, 分離建屋, 精製建屋, ウラン脱硝建 屋	—
水素ガス	硝酸ウラナスの製造	精製建屋	—
窒素ガス	貯槽内の不活性化	再処理施設全体	—

第2-1表 再処理プロセスで使用する化学薬品(2/2)

化学薬品	主な使用目的	使用場所	試薬建屋での保管
酸素ガス	廃ガス処理(NO _x 回収のためのNOの酸化)	前処理建屋	—
模擬ガラスビーズ (廃液模擬成分を含む)	ガラス溶融炉の熱上げ及び液位調整	高レベル廃液ガラス固化建屋	—
放射性廃棄物	管理区域内での作業廃棄物	再処理施設全体	—

第2-2表 設計上考慮すべき化学薬品と
化学薬品防護対象設備の主要な構成部材の組合せ

化学薬品 構成部材	酸性水溶液 (硝酸溶液)	アルカリ性水溶液 (水酸化ナトリウム)	有機溶媒 (TBP, n-ドデカン)	腐食性ガス (NO _x ガス)
炭素鋼, アルミニウム	○	○ (アルミニウム)	—	○ (電子部品)
プラスチック	—	—	○	—

○ : 影響(作用)あり

第2-3表 評価対象外とする化学薬品防護対象設備の考え方

項 目	解 説
①設計上考慮すべき化学薬品の影響を受けない構成部材で構成される設備	<p>静的な安全機能を有する構築物、系統及び機器で、その安全機能を担保する箇所が、設置建屋に保有する考慮すべき化学薬品により短時間で腐食等の影響を受けない部材で構成される設備は、化学薬品の漏えい影響を受けることはないと評価する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ステンレス鋼でライニングされた燃料貯蔵プール、コンクリート等の躯体構造物 ・考慮すべき化学薬品の影響を短時間で受けない部材で構成された容器、配管、手動弁等の設備
②動的機能が喪失しても安全機能に影響しない設備 (フェイルセーフ機能を持つ設備を含む。)	<p>化学薬品の漏えい影響を受けて動的機能が喪失しても安全機能を維持する設備は、化学薬品の漏えい影響を受けることはないと評価する。</p> <p>また、化学薬品の漏えい影響に伴う異常の検知により工程停止のインターロックが作動する設備は、安全機能に影響しないと評価する。</p>

なお、以下に該当する設備は、化学薬品の漏えいが発生した場合においても、設計上考慮すべき化学薬品と接するおそれがないことから、化学薬品の漏えいによる影響評価の対象外とする。

- ・設計上考慮すべき化学薬品を保有していない建屋及び屋外に設置する設備
- ・設備が設置される建屋において、その建屋内で液体の設計上考慮すべき化学薬品を保有する最上のフロアより上のフロアに設置する設備

VI-1-6
計算機プログラム（解析コード）の
概要

目 次

	ページ
1. はじめに	1
別紙 1 TONBOS	2
別紙 2 MSC NASTRAN	5
別紙 3 LS-DYNA	7
別紙 4 midas iGen	9

1. はじめに

本資料は、「VI その他の説明書」において使用した解析コードについて説明するものである。

「VI その他の説明書」において使用した解析コードの使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

別紙1 TONBOS

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-1 -2-2	竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定	Ver.3

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	TONBOS
開発機関	一般財団法人 電力中央研究所
開発時期	2013年
使用したバージョン	Ver. 3
使用目的	竜巻により発生する飛来物の速度及び飛散距離等の評価
コードの概要	<p>TONBOS（以下「本解析コード」という。）は、一般財団法人電力中央研究所にて開発・保守されているプログラムである。</p> <p>空気中の物体が受ける抗力による運動を計算することで、竜巻による風速場の中での飛来物の飛散軌跡を評価することができる解析コードであり、飛来物の速度、飛散距離等の算出が可能である。</p> <p>仮定する風速場として、資機材等では、鉛直方向には構造が変化しないランキン渦とし、車両では、地面付近の風速場をよく表現できているフジタモデルDBT-77(DBT:Design Basis Tornado)とする。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <p>(1) ランキン渦</p> <ul style="list-style-type: none"> • Simiu and Scanlan*1による解析結果と同じ条件下で、竜巻風速場での飛散軌跡の解析を実施し、概ね一致した結果を得ていることから、本解析コードの妥当性を確認した。 <p>(2) フジタモデル</p> <ul style="list-style-type: none"> • 車両の飛散解析においてフジタスケールの各スケールに対応する被災状況と概ね合致した結果が得られた。 • パイプ飛散解析において、Grand Gulf原子力発電所への竜巻襲来事例と概ね合致した結果が得られた。 • 車両の飛散解析において、佐呂間竜巻での車両飛散事例と概ね一致した結果を得られた。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 本解析コードは、竜巻により発生する飛来物の速度、飛散距離等の評価を目的に開発されたコードであり、使用目的が合致している。 • 開発機関が提示するマニュアルにより、本解析コードの適正な用途、適用範囲を確認している。 • 評価は妥当性を確認している範囲内で行うようにしている。

注記 *1: Simiu, E. and Scanlan, R. H., Wind Effects on Structures: Fundamentals and Applications to Design, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, August 1996.

別紙2 MSC NASTRAN

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-1 -2-4-2- 1	(1) 冷却塔の強度計算書	Ver. 2008.0.4
VI-1-1-1 -3-4-2- 1	冷却塔の強度計算書	Ver. 2008.0.4

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	MSC NASTRAN
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2008.0.4
使用目的	3次元有限要素法による応力解析
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> MSC NASTRAN（以下、「本解析コード」という。）は、航空機の機体強度解析を目的として開発された有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。 適用モデル（主にはり要素、シェル要素、ソリッド要素）に対して、静的解析（線形、非線形）、動的解析（過渡応答解析、周波数応答解析）、固有値解析、伝熱解析（温度分布解析）、熱応力解析、線形座屈解析等の機能を有している。 数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木など様々な分野の構造解析に使用されている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードは、安全冷却水B冷却塔の3次元有限要素法による応力解析に使用している。</p> <p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 構造力学分野における一般的知見により解を求めることが出来る体系について、本解析コードを用いた3次元有限要素法による応力解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 日本原子力発電株式会社「東海第2発電所」において、使用済燃料乾式貯蔵建屋の静的応力解析及び動的応力解析に本解析コードが使用された実績がある。 検証の体系と今回申請で使用する体系が同等であることから、検証結果をもって解析機能の妥当性も確認できる。 今回の申請において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 本解析コードの適用制限として使用要素数があるが、使用した要素数は適用制限以下であり、本申請における使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

別紙3 LS-DYNA

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-1 -2-4-2- 2-1	飛来物防護ネットの強度計算書	R7.1.2

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	LS-DYNA
開発機関	Livermore Software Technology Corporation
開発時期	1987年
使用したバージョン	R7.1.2
使用目的	竜巻飛来物衝突に対する構造物の健全性評価
コードの概要	<p>LS-DYNAはLawrence Livermore研究所により開発・公開された陽解法有限要素法DYNA3Dを基に開発された構造解析用汎用コードである。機械・土木・建築その他広範な分野に及ぶ要素群、非線形モデルを多数サポートしており、自動車、航空宇宙、機会、建築、土木などの様々な分野において多くの利用実績があり、陽的時間積分を用いていることから、衝突問題など短時間の動的現象のシミュレーションに適している。また、大変形の非線形問題への適用が容易である点に特徴がある。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 開発機関がマニュアルにおいて提示している3次元有限要素法による衝突解析に関する例題解析を実施し、解析結果が提示するマニュアルにより、本解析コードの適正な用途、適用範囲を確認している。 はりの衝撃曲げ、平板の衝撃曲げ、応力波伝播に関する検証解析を実施し、解析結果と理論解が一致することを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 本解析コードは、自動車、航空宇宙、機械、建築、土木などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 開発機関が提示するマニュアルにより、本解析コードの適正な用途、適用範囲を確認している。 設工認申請で行う要素（はり要素、シェル要素、ソリッド要素）による動的解析（衝突解析）の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。

別紙4 midas iGen

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-1 -3-4-2- 6	飛来物防護ネットの強度計算書	Ver. 845

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	midas iGen
開発機関	MIDAS IT
開発時期	1990年代前半
使用したバージョン	Ver. 845
使用目的	静的解析
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> midas iGen（以下「本解析コード」という。）は、建築分野に特化した要素群及び材料非線形モデルを数多くサポートしている構造解析用の汎用計算機プログラムである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードは、飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）の静的解析に使用している。</p> <p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> フレームモデルを対象に、本解析コードによる解析結果と、別計算機コード「汎用計算機コード（TDAPⅢ）による解析結果を比較し、両者の解析結果が概ね一致することを確認している。 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 日本原電株式会社「東海第2発電所」において、原子炉建屋の静的解析に本解析コードが使用された実績がある。 検証の体系と今回申請で使用する体系が同等であることから、検証結果をもって解析機能の妥当性も確認できる。 今回の申請において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 今回申請で行う使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

VI-2 再処理施設に関する図面

目 次

VI-2-1 構内配置図

1. 工場又は事業所の概要を明示した地形図
第 2.1-1 図 工場又は事業所の概要を明示した地形図
2. 主要設備の配置の状況を明示した平面図
第 2.1-2 図 主要設備の配置の状況を明示した平面図

VI-2-2 平面図及び断面図 次回以降申請

VI-2-3 系統図

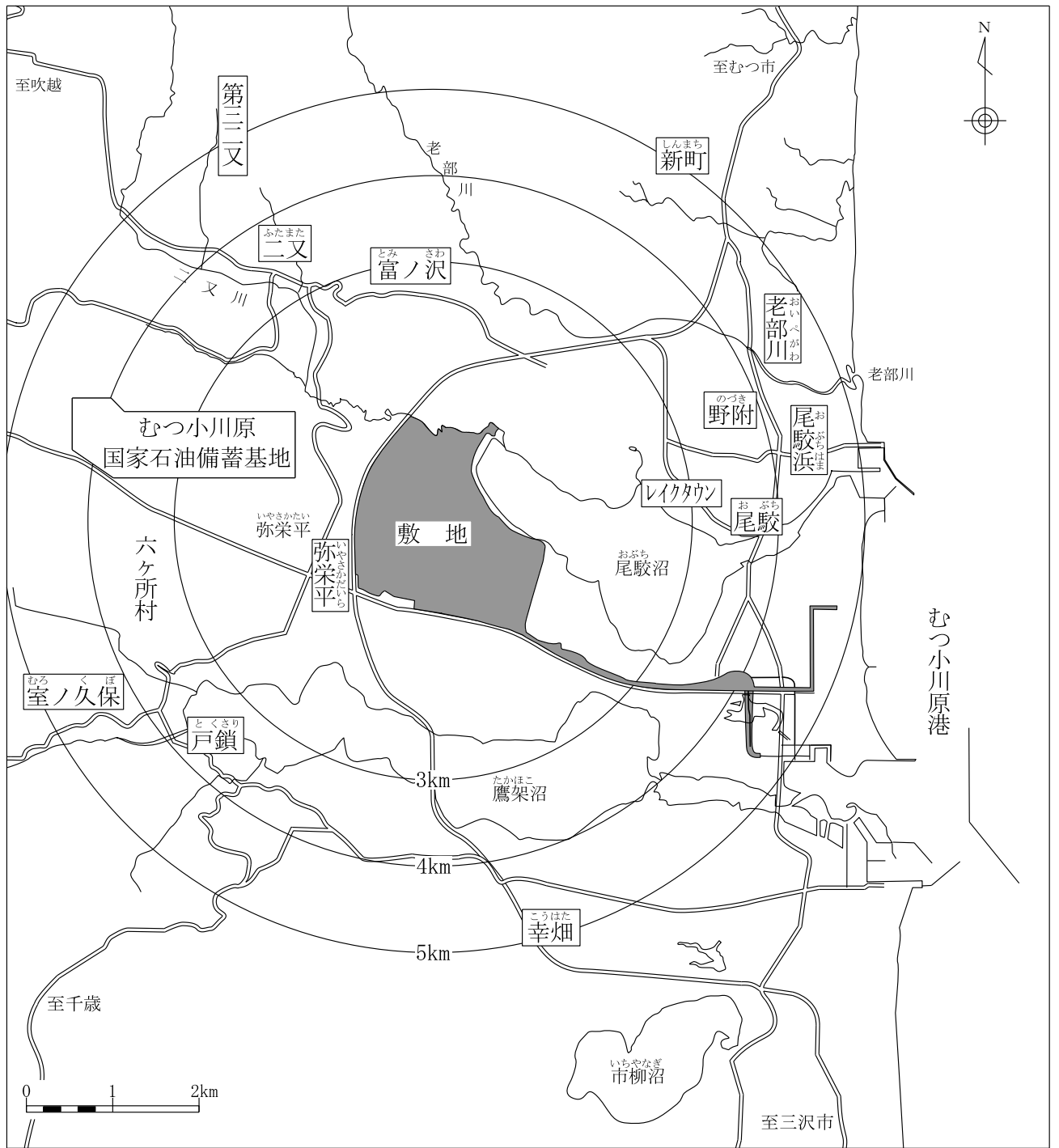
7. その他再処理設備の附属施設の系統図
7.4 冷却水設備
7.4.2 安全冷却水系
第 2.3.7.4.2-1 図 安全冷却水系の系統図 (XXXXXXXXXX)

VI-2-4 配置図 次回以降申請

VI-2-5 構造図

7. その他再処理設備の附属施設の構造図
7.4 冷却水設備
7.4.2 安全冷却水系
第 2.5.7.4.2-1 図 安全冷却水冷却塔 (XXXXXXXXXX) の構造図
- 7.9 竜巻防護対策設備
第 2.5.7.9-1 図 飛来物防護ネット (再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B) の構造図

VI-2-1 構内配置図



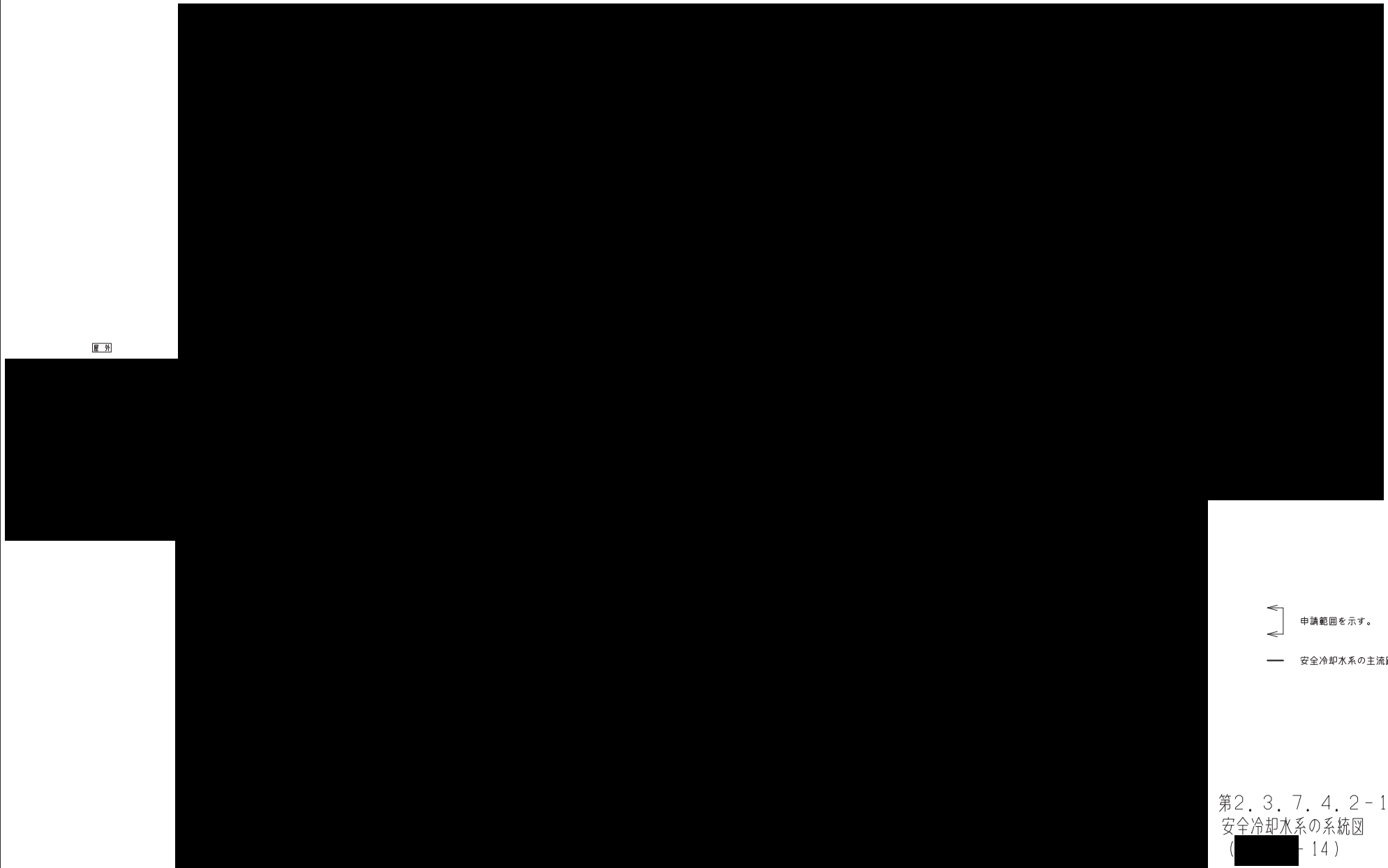
第2. 1-1図
工場又は事業所の概要を明示した地形図

VI-2-3 系統図

安工 A

安全冷却水 B 冷却塔 ([REDACTED])

系統番号	系統名称
[REDACTED]	安全冷却水系



← 申請範囲を示す。
— 安全冷却水系の主流路

第2.3.7.4.2-1図
安全冷却水系の系統図
([REDACTED] - 14)

第 2.3.7.4.2-1 図 安全冷却水系の系統図 別紙
主配管

	名称	最高 使用 圧力 (MPa)	最高 使用 温度 (°C)	外径* ¹ (mm)	厚さ* ¹ (mm)	材料	配管番号* ³
安全冷却水系	<p style="text-align: right;">* 2</p> <p>安全冷却水冷却塔 ()</p> <p style="text-align: center;">~</p> <p>安全冷却水冷却塔 ()</p> <p>供給ヘッダー合流 点</p>						

名称	最高 使用 圧力 (MPa)	最高 使用 温度 (°C)	外径* ¹ (mm)	厚さ* ¹ (mm)	材料	配管番号* ³
安全冷却水系	<div style="text-align: center;"> <p>*²</p> <p>安全冷却水冷却塔 ~ 安全冷却水冷却塔 供給ヘッダー合流 点</p> </div>					

	名称	最高 使用 圧力 (MPa)	最高 使用 温度 (℃)	外径* ¹ (mm)	厚さ* ¹ (mm)	材料	配管番号* ³
安全冷却水系	<p style="text-align: right;">*²</p> <p>安全冷却水冷却塔 () ~ 安全冷却水冷却塔 () 供給ヘッダー合流 点</p>						

名称	最高 使用 圧力 (MPa)	最高 使用 温度 (℃)	外径* ¹ (mm)	厚さ* ¹ (mm)	材料	配管番号* ³
安全冷却水系						
<p style="text-align: right;">* 2</p> <p>安全冷却水冷却塔 () 戻りヘッダー分岐 点 ~ 安全冷却水冷却塔 ()</p>						

名称	最高 使用 圧力 (MPa)	最高 使用 温度 (°C)	外径* ¹ (mm)	厚さ* ¹ (mm)	材料	配管番号* ³
安全冷却水系	<div style="text-align: center;"> <p>*²</p> <p>安全冷却水冷却塔 () 戻りヘッダー分岐 点 ~ 安全冷却水冷却塔 ()</p> </div>					

名称		最高 使用 圧力 (MPa)	最高 使用 温度 (℃)	外径* ¹ (mm)	厚さ* ¹ (mm)	材料	配管番号* ³
安全 冷却 水系	* ² 安全冷却水冷却塔 ()						
	戻りヘッダー分岐 点 ～ 安全冷却水冷却塔 ()						

注記 *¹ : 主要寸法は、設工認申請書記載の公称値を示す。

*² : 記載の適正化を行う。既設工認には「安全冷却水B冷却塔まわり配管 ()」と記載。

*³ : 第 2.3.7.4.2-1 図 安全冷却水系の系統図に記載の配管番号を示す。

VI-2-5 構造図



伝熱管詳細

N-4	ドレン			ドレン
N-3	ベント			ベント
N-2B	安全冷却水出口			安全冷却水出口配管
N-2A	安全冷却水出口			安全冷却水出口配管
N-1B	安全冷却水入口			安全冷却水入口配管
N-1A	安全冷却水入口			安全冷却水入口配管
符号	名称	呼び径	個数	接続配管
管台一覧表				

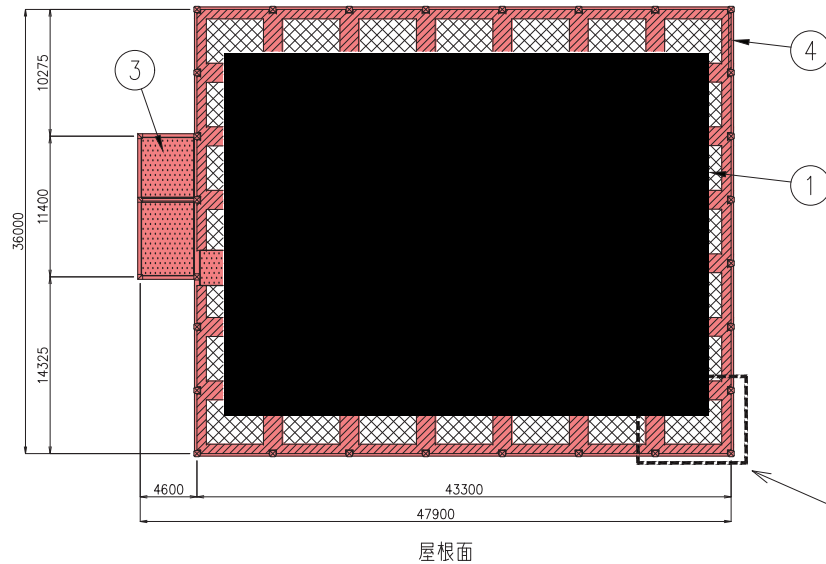
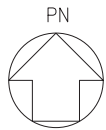
図中の管台は構造上の構成及び接続配管等の配置の状況を示す。

4	遮熱板		
3	伝熱管		
2	ヘッダー		
1	ヘッダー		
番号	名称	個数	材料
部品表			

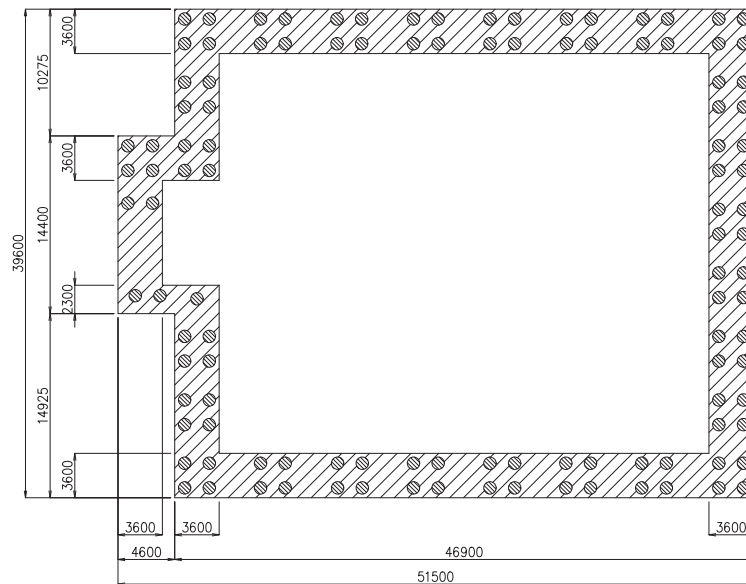
注記 1) : [] 相当 個数は、1個あたりの個数を示す。
 2) : [] 相当

※ [] は耐火被覆の塗装範囲を示す。主材厚さは3mm以上。
 なお、支持架構の柱・梁等は全周に耐火塗装を施す。
 また、遮熱板は外面に耐火被覆を施す。

第2.5.7.4.2-1図
安全冷却水冷却塔([])の構造図

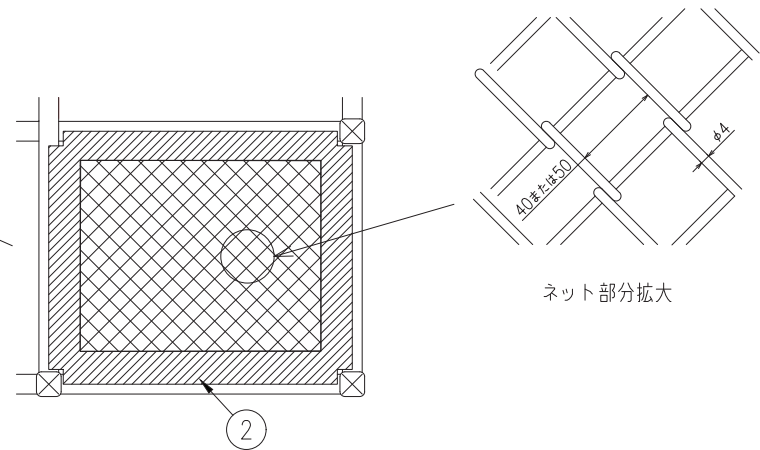


屋根面



基礎・杭配置

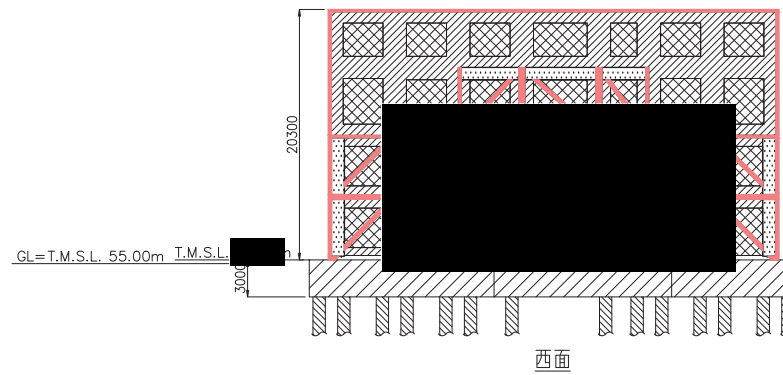
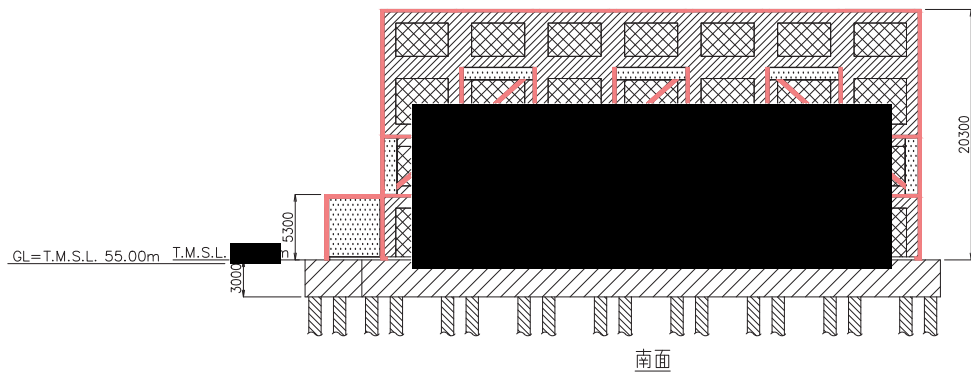
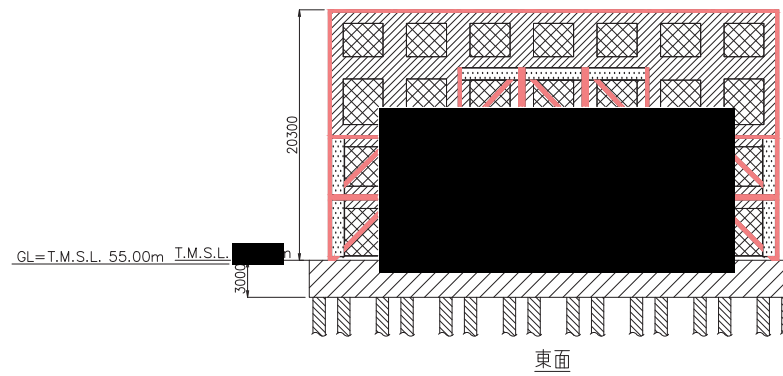
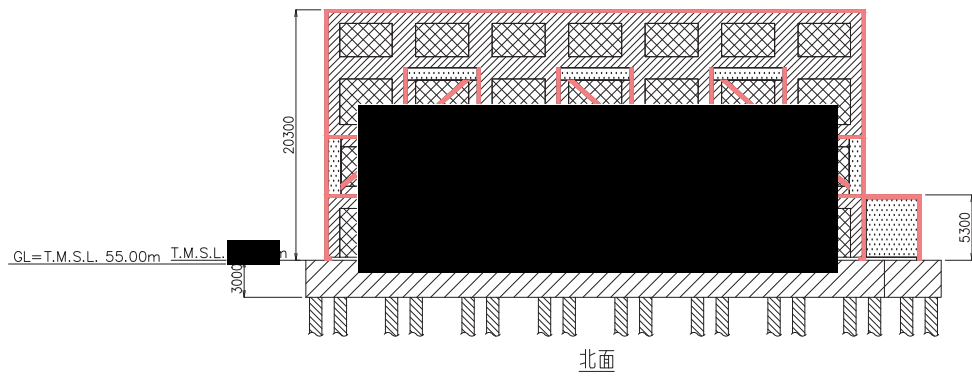
- 防護ネット
 - 防護板 (板厚: 9mm, 12mm)
 - 補助防護板 (板厚: 9mm, 12mm)
 - 基礎
 - 杭 (全113本)
(杭の径: 1000mm, 1500mm)
- [単位: mm]



ネット部分拡大

4	支持架構	1	BCP325, G385, SN490B
3	防護板	1	SUS304
2	補助防護板	1	SUS304
1	防護ネット	1	硬鋼線材
番号	名称	個数	材料
部 品 表			

※ は耐火被覆の塗装範囲を示す。主材厚さは2mm以上。
なお、支持架構の柱・梁等は全周に耐火塗装を施す。



第2.5.7.9-1図
飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の構造図(2/2)

第 2.5.7.9-1 図 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B)の構造図別紙

防護ネット

主要寸法* (mm)		許容範囲	根拠
線径	4	±0.08mm	製造能力, 製造実績を考慮したメーカー基準
網目	50	±1.5mm	製造能力, 製造実績を考慮したメーカー基準
	40	±1.2mm	製造能力, 製造実績を考慮したメーカー基準

防護板

主要寸法* (mm)		許容範囲	根拠
板厚	9	規定しない -0.8mm	製造能力, 製造実績を考慮したメーカー基準
	12	規定しない -3.8mm	製造能力, 製造実績を考慮したメーカー基準

支持架構

主要寸法* (mm)		許容範囲	根拠
たて	47900	±120mm	製造能力, 製造実績を考慮したメーカー基準
横	36000	±105mm	製造能力, 製造実績を考慮したメーカー基準
高さ	20300	±26mm	製造能力, 製造実績を考慮したメーカー基準

補助防護板

主要寸法* (mm)		許容範囲	根拠
板厚	9	規定しない -0.8mm	製造能力, 製造実績を考慮したメーカー基準
	12	規定しない -3.8mm	製造能力, 製造実績を考慮したメーカー基準

注 * : 主要寸法は, 仕様表記載の公称値を示す。