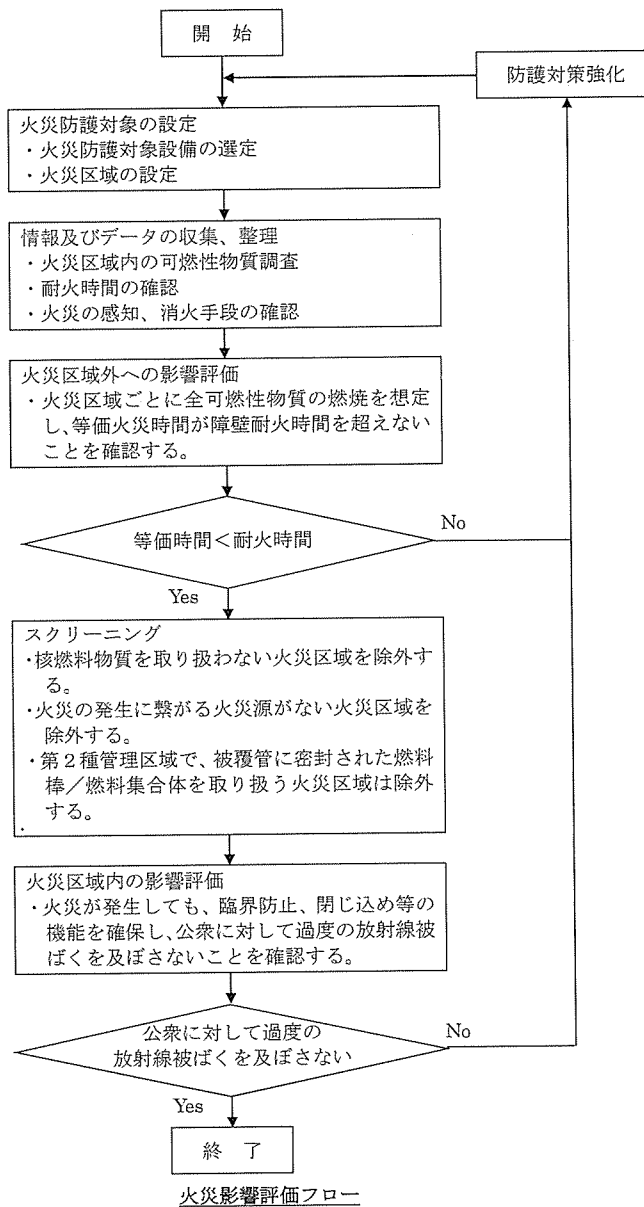


火災等による損傷の防止に関する説明書

1. 評価方法

原子力発電所の内部火災影響評価ガイド等に従い、以下の火災影響評価フローに基づいて火災影響評価を行い、万一の火災発生時においても安全機能を有する施設が機能を維持できることを確認する。



(1) 火災防護対象の設定

火災防護対象は、事業許可に示すとおり、万一の火災発生時に延焼を防止し、公衆に対し過度の放射線被ばくを及ぼさないために、臨界防止、閉じ込め及び遮蔽機能を有する設備・機器及び建物とした。

非常用ディーゼル発電機は、外部電源系統の機能喪失において、第1種管理区域の負圧を維持するための局所排気系統、放射線監視設備、火災等の警報設備、通信連絡設備、非常用照明及び誘導灯の安全機能の確保を確実に行うことより、非常用ディーゼル発電機を設置する付属建物発電機室を火災防護対象に設定した。

付属建物発電機室は、建築基準法に基づく防火区画に該当しないが、事業許可から火災区域を新たに追加した。

(2) 可燃性物質の調査

火災区域内の可燃性物質の種類及び可燃性物質量を調査した。調査した結果を添説建1-2表に示す。

(3) 等価時間の算出

等価時間は、添説建1-1表に示すガイドに基づき算出した。

添説建 1-1 表 ガイド等において参考にした箇所

ガイド等	参考にした箇所
原子力発電所の内部火災影響評価ガイド	火災影響評価手法
NFPA 801: Standard for Fire Protection for Facilities Handling Radioactive Materials 2014 Edition	・ 火災影響評価の要求 ・ 換気空調に関する設計
NFPA FIRE PROTECTION Handbook 20th Edition (以下「NFPA Handbook」という。)	・ コンクリートの厚さと耐火時間の関係 ・ 熱含有量

等価時間の算出結果を添説建1-3表に示す。

(4) 耐火時間の設定

耐火時間については、火災区域を構成する全ての耐火構造物の設計仕様を考慮し設定した。

各火災区域の耐火時間、および出典を添説建1-4表に示す。

耐火時間は、火災区域を構成する耐火構造物のうち、最も厳しい(小さい)値とした。また、材質が同じ耐火構造物については、保守的に最も厚さが小さいものの耐火時間で評価した。

2. 評価結果

各火災区域の等価時間と耐火時間を比較した結果を、添説建1-5表に示す。

2つの火災区域の耐火時間は等価時間を上回っており、万一の火災発生時において延焼を防止でき、外部電源系統の機能喪失時に第1種管理区域の排気設備、放射線監視設備、その他の安全機能を有する施設への電源供給ができる。

添説建1-2表 各火災区域の可燃性/難燃性物質質量

対象火災区域	可燃性物質質量(kg)										難燃性物質質量(kg)				盤内可燃物 ^{※3} の発熱量(MJ)
	火災区域を示す記号↓	床面積(m ²)	プラスチック	紙	布・ウエス	木材	洗浄剤	試薬	各種油	水素	塩化ビニル	ポリカーボネート	ゴム	電線被覆	
発電機室(1)	Z1	40	0	0	0	0	0	0	638	0	0	0	0	17	3,108
発電機室(2)	Z2	40	0	0	0	0	0	0	638	0	0	0	0	17	3,108
各物質の熱含有量(kJ/kg) ^{※1}		47,700	18,594	30,800	21,800	42,400	-	44,991	141,790	17,950	31,500	23,246	47,700	-	-

添説建1-3表 各火災区域の等価時間の算出結果

	可燃性物質質量(kg)										難燃性物質質量(kg)				盤内可燃物
	プラスチック	紙	布・ウエス	木材	洗浄剤	試薬	各種油	水素	塩化ビニル	ポリカーボネート	ゴム	電線被覆			
発電機室(1) Z1	0	0	0	0	0	0	28,704	0	0	0	0	0	811	3,108	
発熱量(MJ) = 物質質量 × 熱含有量	32,624														
合計発熱量(MJ)	908,095														
燃焼率(MJ/m ² /h) ^{※2}	0.90														
等価時間(h) = 合計発熱量 / 床面積 / 燃焼率															
発電機室(2) Z2	0	0	0	0	0	0	28,704	0	0	0	0	0	811	3,108	
発熱量(MJ) = 物質質量 × 熱含有量	32,624														
合計発熱量(MJ)	908,095														
燃焼率(MJ/m ² /h) ^{※2}	0.90														
等価時間(h) = 合計発熱量 / 床面積 / 燃焼率															

※1 熱含有量は、原子力発電所の内部火災影響評価ガイドまたはNPPA Handbookより引用した。

※2 燃焼率は、原子力発電所の内部火災影響評価ガイドより引用した。

※3 盤内可燃物は、盤のサイズが大きく、盤内部の収納密度が高い分電盤と制御盤を選定し、それぞれ盤内の物質質量を調査し、熱含有量を乗じて発熱量を算出した。これら盤の容積と発熱量を基準として、それ以外の盤については基準との容積比で発熱量を算出した。

添説建1-4表 火災区域の構造毎の耐火時間

火災区域	耐火構造物	材質	厚さ	耐火時間	出典 ¹⁾
Z1	外壁			3時間耐火	NFPA Handbook
	区画境界壁			3時間耐火	
	屋根			3時間耐火	
	床			3時間耐火	
	鉄扉			1時間耐火	建設省告示第1369号
	吸気/排気フード			3時間耐火	NFPA Handbook
Z2	外壁			3時間耐火	NFPA Handbook
	区画境界壁			3時間耐火	
	屋根			3時間耐火	
	床			3時間耐火	
	鉄扉			1時間耐火	建設省告示第1369号
	吸気/排気フード			3時間耐火	NFPA Handbook

1) 詳細を補足資料に示す。

添説建1-5表 火災区域外への影響評価結果

火災区域		評価結果(*1)		
火災区域を示す記号↓		等価時間(h)	耐火時間(h)	
発電機室(1)	Z1	0.90	1.00	○
発電機室(2)	Z2	0.90	1.00	○

備考) *1…評価結果 ○…等価時間<耐火時間 ×…等価時間≥耐火時間

耐火時間の設定について

1. コンクリート壁、屋根、床、吸気/排気フード

NFPA Handbook (CHAPTER 2 Structural Integrity During Fire 19-53 FIGURE 19.2.20) のNormal aggregate; 普通骨材におけるコンクリート厚さと耐火時間の関係を参考に、表1のとおり耐火時間を設定した。

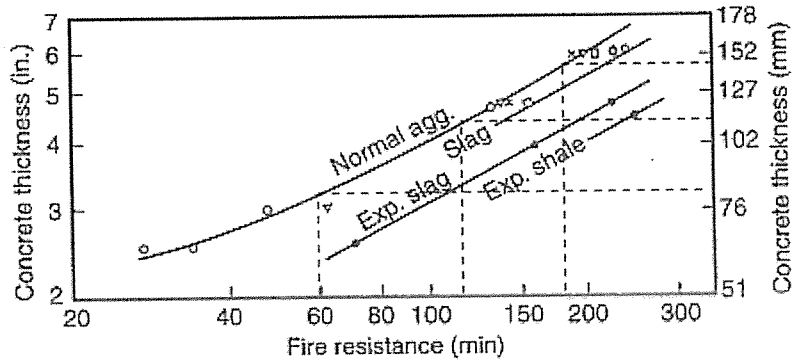


FIGURE 19.2.20 Relationship of Slab Thickness and Type of Aggregate to Fire Endurance

表 1. コンクリートの耐火時間

コンクリート厚さ : T	耐火時間
80mm ≤ T < 110mm	1.0hr
110mm ≤ T < 150mm	2.0hr
150 ≤ T	3.0hr

	T(mm)	耐火時間
1 時間耐火	80	1.00hr
	85	1.17hr
	90	1.33hr
	95	1.50hr
	100	1.67hr
	105	1.83hr
2 時間耐火	110	2.00hr
	115	2.13hr
	120	2.25hr
	125	2.38hr
	130	2.50hr
	135	2.63hr
	140	2.75hr
	145	2.88hr
3 時間耐火	150	3.00hr

2. 扉

一般的には、扉の耐火性能(時間)については防火戸としての役割を担う防火設備として規定されており、その種類として防火区画に使用される 1 時間耐火性能を有する「特定防火設備」がある。

特定防火設備の構造規定は以下に示す通り定められている。

- ・鉄製で鉄板の厚さが 1.5mm 以上の防火戸又は防火ダンパーとすること。
- ・骨組みを鉄製とし、両面にそれぞれ厚さ 0.5mm以上の鉄板を張った防火戸とすること。
- ・開口面積が 100cm² 以内の換気孔に設ける鉄板、モルタル板その他これらに類する材料で造られた防火覆い又は地面からの高さが 1 m 以下の換気孔に設ける網目 2mm 以下の金網とすること。

<出典>建設省告示第 1369 号「特定防火設備の構造方法を定める件」抜粋

当該鉄扉は、mm の鉄板 2 枚で構成されており、鉄板の厚さ 1.5mm 以上で造られた「特定防火設備」と同等の性能を有する鉄扉を 1 時間耐火と設定する。

加工施設の耐震性に関する説明書

I. 耐震設計の基本方針

1. 耐震設計の方針

本加工施設の耐震設計は、以下の方針とする。

- ・ 安全機能を有する施設に関して、地震力に十分に耐えることができる設計とする。
- ・ 地震による安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて耐震設計上の重要度を分類し、地震力を設定する。
- ・ 安全機能を有する施設を設置する建物、構築物は、常時作用する固定荷重及び積載荷重に加え、前記の耐震重要度分類の各分類に応じて算定する地震力が作用した場合においても、十分な支持性能を有する砂礫層への杭基礎、又は十分な支持性能を有する砂礫層の上部を地盤改良し直接基礎に支持させる。十分な支持性能を有する砂礫層のN値は30以上とする。ただし、基礎荷重の小さい建物、構築物は、地表近くのローム層に支持させる。
- ・ 放射線被ばくのおそれを低減するために、第1類に属する建物については、Sクラスに属する施設に求められる程度の静的地震力（1.0G程度）に対して、建物が過度の変形、損傷することを防止するため終局に至らない設計とする。

2. 耐震設計上の重要度分類

ウランを取り扱う設備、機器及びウランを収納する設備、機器等並びにこれらを収納する建物については、地震の発生による当該設備、機器の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度に応じて分類する。また、耐震重要度分類において、上位に属するものは、下位の分類に属するものの破損によって波及的破損が生じないものとするとともに、下位の分類に属するものを上位の分類の建物及び構築物と構造的に一体に設計することが必要な場合には、上位の分類による設計とする。耐震設計上独立した建物を接続する場合は、エキスパンションジョイントを介して接続する設計とする。なお、本加工施設には、耐震重要施設（Sクラスに属する施設）はなく、Sクラスの設備、機器及び建物はない。

【第1類】

安全機能を失うことによる影響の大きい設備、機器とする。なお、これらの設備、機器を収納する建物、構築物を含む。ウランを内包する設備、機器における第1類及び第2類の区分については、閉じ込め機能及び臨界防止機能が失われたことによる影響が大きいものとして、最小臨界質量以上のウランを取り扱うものを第1類に、それ未満のウランを取り扱うものを第2類とする。

- ① 非密封ウランを取り扱う設備、機器及び非密封ウランを閉じ込めるための設備、機器のうち、以下を含めその機能を失うことによる影響の大きい設備、機器。
 - ・ UF₆ガス取扱設備（大きな地震時に閉じ込めを期待する設備）及び著しく大きな地震力が作用する前に大きな地震を検知した場合に作動を期待するインターロック機構
 - ・ 水素取扱設備及び著しく大きな地震力が作用する前に大きな地震を検知した場合に作動を期待するインターロック機構
- ② 臨界安全上の核的制限値を有し、形状寸法を核的制限値とする設備、機器、中性子吸収材を使用する設備、機器又は最小臨界質量以上のウランを取り扱い、減速度を制限する設備、機器であって、その機能喪失による影響の大きい設備、機器。また、最小臨界質量未満のウランを取り扱う設備、機器であって、変形、破損等により最小臨界質量以上のウランが集合する可能性のある設備、機器。
- ③ 上記②の核的制限値を維持するための設備、機器であって、その機能を失うことによる影響の大きい設備、機器。
- ④ 上記①から③の設備、機器を収納する建物及び構築物。

【第2類】

安全機能を失うことによる影響の小さい設備、機器とする。なお、これらの設備、機器を収納する建物、構築物を含む。

- ① 非密封ウランを取り扱う設備、機器及び非密封ウランを閉じ込めるための設備、機器であって、その機能を失うことによる影響の小さい設備、機器。
- ② 臨界安全上の核的制限値を有し、最小臨界質量未満のウランを取り扱う設備、機器及びその制限値を維持するための設備、機器であって、その機能喪失による影響の小さい設備、機器。
- ③ 非常用電源設備、放射線管理設備であって、その機能喪失により加工施設の安全性が損なわれるおそれがある設備、機器。
- ④ 熱的制限値を有する設備、機器。
- ⑤ UF₆ガス漏えい時に局所排気中のUF₆等の除去を行う設備、機器。
- ⑥ 上記①～⑤の設備、機器を収納する建物及び構築物。

【第3類】

第1類及び第2類以外の設備、機器並びにそれらを収納する建物及び構築物。

3. 設計用地震力の算定

3.1. 建物、構築物の設計用地震力の算定

建物、構築物に対する地震力の算定は、以下に示す方法による。

- ・ 建物、構築物の耐震設計法については、各クラスとも原則として静的設計法を基本とし、かつ建築基準法等関係法令による。
- ・ 上位の分類に属するものは、下位の分類に属するものの破損によって波及的破損が生じないようにする。
- ・ 上位の分類の建物、構築物と構造的に一体に設計することが必要な場合には、上位の分類による設計とする。

【一次設計】

静的地震力は、建築基準法施行令第88条に規定する地震層せん断力係数 C_i に、耐震重要度に応じて下記に示す割り増し係数を乗じて算定する。ここで、地震層せん断力係数 C_i は、標準せん断力係数 C_0 を0.2とし、建物、構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

【二次設計】

保有水平耐力の算定においては、建築基準法施行令第82条の3に規定する構造計算により安全性を確認することを原則とする。また、必要保有水平耐力については、同条第2号に規定する式で計算した数値に下記に示す割り増し係数を乗じた値とする。また、必要保有水平耐力の算出に使用する標準せん断力係数 C_0 は1.0とする。

【割り増し係数】

- 耐震重要度分類第1類：1.5以上
- 耐震重要度分類第2類：1.25以上
- 耐震重要度分類第3類：1.0以上

3. 2. 設備、機器の設計用地震力の算定

設備、機器に対する地震力の算定は、以下に示す方法による。

- ・ 設備、機器の耐震設計法については、原則として静的設計法を基本とする。
- ・ 上位の分類に属するものは、下位の分類に属するものの破損によって波及的破損が生じないようにする。
- ・ 上位の分類の建物、構築物と構造的に一体に設計することが必要な場合には、上位の分類による設計とする。
- ・ 設備、機器は一次固有振動数を算出し、20Hz 以上の場合を剛構造とし、20Hz 未満を剛構造とならない設備、機器とする。
- ・ 固有振動数の算出式は原則として下記の式を用いる。

$$\text{一次固有振動数} = \frac{1}{T} = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

T : 弾性域における固有周期で国住指第 1335 号 4 (3) ①により定められる式

$$\text{一次固有周期 } T = \frac{\sqrt{\delta}}{C} \text{ [S]}$$

C : 国住指第 1335 号 4 (3) ①により定められる定数で、平屋建ての建築物にあつては 5.0 を用いる。

δ : それ自体の重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]

- ・ 剛構造となる設備、機器は、各クラスともに一次設計を行う。常時作用している荷重と一次地震力を組み合わせ、その結果発生する応力に対して許容応力度を許容限界とする設計とする。
- ・ 剛構造となる設備、機器において、耐震重要度分類第 1 類の設備、機器は、上記の一次設計に加え、二次設計を行う。常時作用している荷重と二次地震力を組み合わせ、その結果発生する応力に対して、設備、機器の相当部分が降伏し、塑性変形する場合でも過大な変形、亀裂、破損等が生じ、その施設の安全機能に重大な影響を及ぼすことがない設計とする。
- ・ 剛構造とならない設備、機器は、「建築設備耐震設計・施工指針（一般財団法人 日本建築センター発行）2014 年版」の局部震度法による「設備機器の設計用標準震度」に基づく水平地震力と常時作用している荷重の組み合わせに対して弾性範囲にとどまる設計を行う。

剛構造の地震力

【一次設計】

一次設計で使用する地震力は一次地震力であり、地震層せん断係数 C_i に、耐震重要度に応じて以下に示す割増係数を乗じたものに 20%増しして算定するものとする。

割り増し係数

耐震重要度分類第 1 類 : 1.5 以上

耐震重要度分類第 2 類 : 1.25 以上

耐震重要度分類第 3 類 : 1.0 以上

地震層せん断係数 C_i は以下に方法より算出する。

$$C_i = Z \times R_t \times A_i \times C_0$$

C_i : 建築物の地上部分の一定の高さにおける地震層せん断力係数。

Z : その地方における過去の地震の記録に基づく震害の程度及び地震活動の状況その他地震の性状に応じて 1.0 から 0.7 までの範囲内において国土交通大臣が定める数値。昭和 55 年建設省告示第 1793 号第 1 により定められる値。

R_t : 建築物の振動特性を表す物として、建築物の弾性域における固有周期及び地盤の種類に応じて国土交通大臣が定める方法（昭和 55 年建設省告示第 1793 号第 2）により算出した数値。

A_i : 建築物の振動特性に応じて地震層せん断力係数の建築物の高さ方向の分布を表す物として国土交通大臣が定める方法により算出した数値。昭和 55 年建設省告示第 1793 号第 3 により算出する値。

C_0 : 標準せん断力係数。建築基準法施工令第 88 条第 2 項より 0.2 とする。

【二次設計】

耐震重要度分類第1類において二次設計で使用する地震力は、一次地震力に1.5以上を乗じたものとする。

上記の方法により算出した地震力を添説建2-I.3.2-1表に示す。

添説建2-I.3.2-1表 設備の地震力

建物/重要度分類		C _o	A _i	C _i	一次設計			二次設計
					第1類	第2類	第3類	第1類
建物	1F	0.2	1.0	0.2	0.36G	0.3G	0.24G	0.54G

なお、設備、機器の耐震設計で一次設計に用いる設計用地震力は、上記の地震力に対して余裕をみた地震力である「建築設備耐震設計・施工指針（一般財団法人 日本建築センター発行）2014年版」の局部震度法による「設備機器の設計用標準震度」に基づく水平地震力を設定する。

添説建2-I.3.2-2表に設計に用いる地震力を示す。

添説建2-I.3.2-2表 設備機器の設計用標準震度に基づく水平地震力

耐震重要度分類	第1類	第2類	第3類
地階及び1階	1.0G	0.6G	0.4G
中間層	1.5G	1.0G	0.6G
上層階、屋上及び塔屋	2.0G	1.5G	1.0G

ここで、耐震重要度分類第1類の設備、機器は、二次設計を行うこととしているが、一次設計で使用する設計用地震力は二次設計で使用する地震力を上回り、弾性範囲であることを確認するため、二次設計は一次設計の結果に包絡される。

剛構造とならない設備、機器の地震力

剛構造とならない設備、機器の地震力は「建築設備耐震設計・施工指針（一般財団法人 日本建築センター発行）2014年版」の局部震度法による「設備機器の設計用標準震度」に基づく水平地震力を設定する。

添説建2-I.3.2-2表に設計に用いる地震力を示す。

4. 建物、構築物の耐震計算の方法

4.1. 評価方法

建物の耐震計算フローの概要を添説建 2-I.4.1-1 図に示す。

【一次設計】

建築基準法に基づき、常時作用している荷重に加え、地震力による荷重が作用した結果として発生する応力が、許容限界を超えないことを原則とする。

【二次設計】

- ① 保有水平耐力 (Q_u) と必要保有水平耐力 (Q_{un}) を求め、 Q_u が各耐震重要度に応じた割増係数を乗じた Q_{un} の値を上回る設計とする。
- ② 保有水平耐力 (Q_u) は、増分解析法で求めることを原則とする。
- ③ 保有水平耐力 (Q_u) は、鉄筋コンクリート造建物の建築耐震設計で一般的に用いられている、ある層の層間変形角が 1/100 に達した時点の値とする。また、鉄骨鉄筋コンクリート造建物及び鉄骨造建物の場合も保守的に鉄筋コンクリート造建物と合わせて、ある層の層間変形角が 1/100 に達した時点の値とする。

一般に建築、土木に関する技術計算においては以下の定義による用語を用いており、本資料もこれに準じることとする。

応力 : 部材に作用する内力を意味し、せん断力、軸力等の荷重の次元を持つ場合あるいは曲げモーメント、トルク等の荷重×距離の次元を持つ場合がある。

応力度 : 内力による単位面積あたりの荷重を意味し、荷重を面積で除した次元を持つ。

耐力 : 骨組や部材が破壊せずに耐えられる限界の応力を意味する。

4.2. 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せを以下に示す。

荷重は、常時作用する固定荷重及び積載荷重と地震荷重を考慮し、建築基準法に基づき添説建 2-I.4.2-1 表のと通りの組み合わせとする。

添説建 2-I.4.2-1 表 荷重の組合せ

荷重の状態		荷重の組合せ
長期	常時	G+P
短期	地震時	G+P+K

注) G : 固定荷重、P : 積載荷重、K : 地震荷重

4. 3. 許容限界

【一次設計】

日本建築学会「鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」、「鋼構造設計規準」に準拠して定めた許容応力度を許容限界とする。

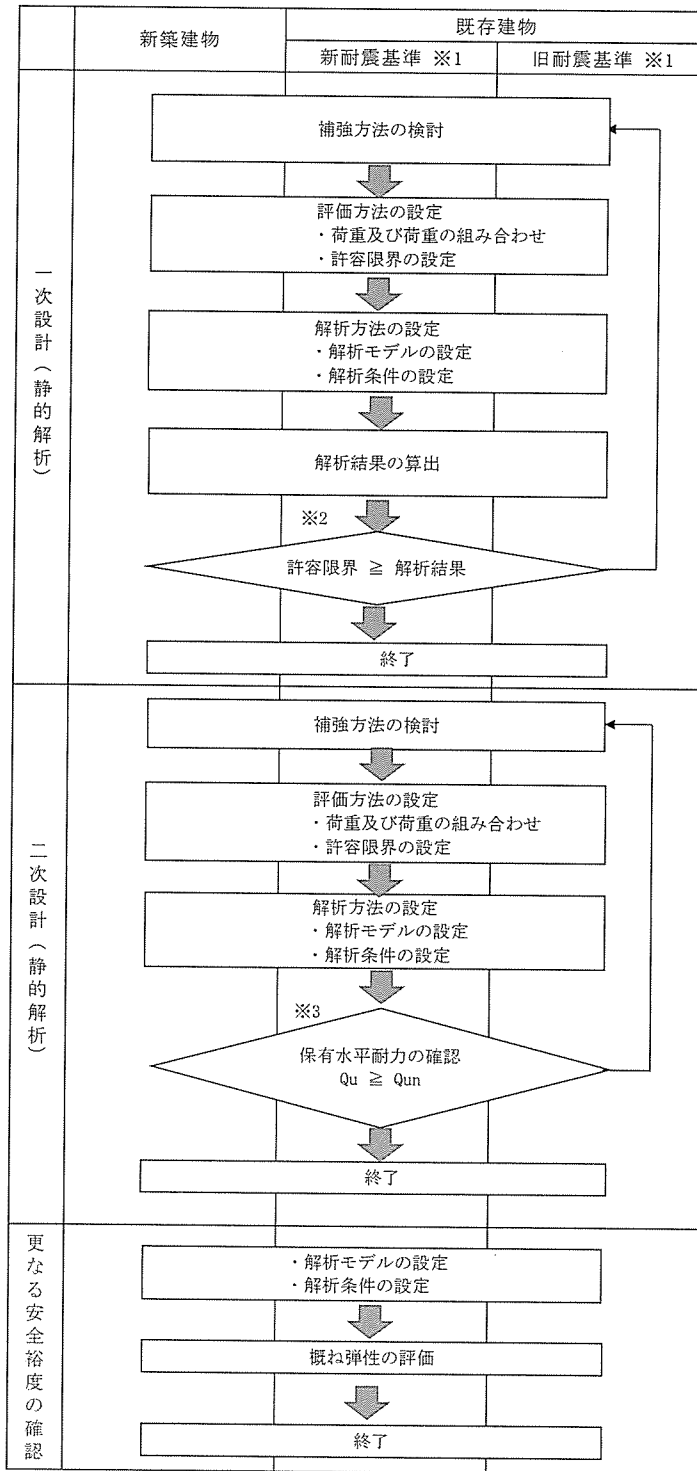
【二次設計】

建築基準法に基づいた方法(増分解析法)による保有水平耐力(Q_0)が必要保有水平耐力(Q_{un})以上であること。

4. 4. 適用規格

設計は原則として、次の関係規準に準拠する。

- ・ 建築基準法・同施行令・告示等
- ・ 日本産業規格 (JIS) (日本規格協会)
- ・ 鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (日本建築学会)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (日本建築学会)
- ・ 鋼構造設計規準 — 許容応力度設計法 — (日本建築学会)
- ・ 建築基礎構造設計指針 (日本建築学会)
- ・ 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (建築研究所)
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説 (日本建築学会)
- ・ 改訂版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針 (日本建築センター)
- ・ 建築工事標準仕様書・同解説 (日本建築学会)
- ・ 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針及び同解説 (日本建築防災協会)



【記号の説明】

Q_u : 保有水平耐力

Q_{un} : 必要保有水平耐力 (= $D_s \cdot F_{es} \cdot Q_{ud}$)

D_s : 構造特性係数 (鉄筋コンクリート構造の D_s は 0.3 ~ 0.55, 鉄骨造の D_s は 0.25 ~ 0.5)

F_{es} : 形状係数 (1.0 ~ 3.0で、偏心が大きい程大きい)

Q_{ud} : 地震力によって生じる水平力 (ここで耐震重要度に応じた割増し係数を考慮)

※1 : 1981年(S56年)6月1日以降の建物は二次設計が追加された新耐震基準で設計

※2 : 許容限界は許容応力度を原則とする。

※3 : 保有水平耐力は増分解析法により求めることを原則とする。

添説建 2-I.4.1-1 図 建物の耐震計算フロー概要

5. 更なる安全裕度の確認

建物の更なる安全裕度の向上策の確認として、耐震重要度分類第1類の建物は、Sクラス相当の割増係数 3.0 を乗じた静的地震力 $3C_i$ (0.6G) に対して概ね弾性範囲にある設計となっており、Sクラスに属する施設に求められる程度の地震力に対しても十分な強度を有していることを確認する。

5.1. 概ね弾性の評価方法

建物の概ね弾性の評価フローの概要を添説建 2-I.4.1-1 図に示す。概ね弾性の評価は、一次設計及び二次設計、竜巻補強が反映された評価モデルを用いて建物に作用する水平荷重 (Q) と変形量 (δ) の関係を示す曲線 (以下「Q- δ 曲線」と略記) を作成し、Q- δ 曲線を用いて S クラスに属する施設に求められる程度の静的水平地震力 $3C_i$ (0.6G) での状態を下記の評価基準を用いて評価する。なお、本体が鉄筋コンクリート造 (RC 造) で、その一部構造が鉄骨造 (S 造) となっている建物の場合は、本体の構造 (RC 造) にて概ね弾性の評価を行う。

5.2. 概ね弾性範囲の考え方

建物の Q- δ 曲線において、以下の場合を概ね弾性範囲にあると考える。

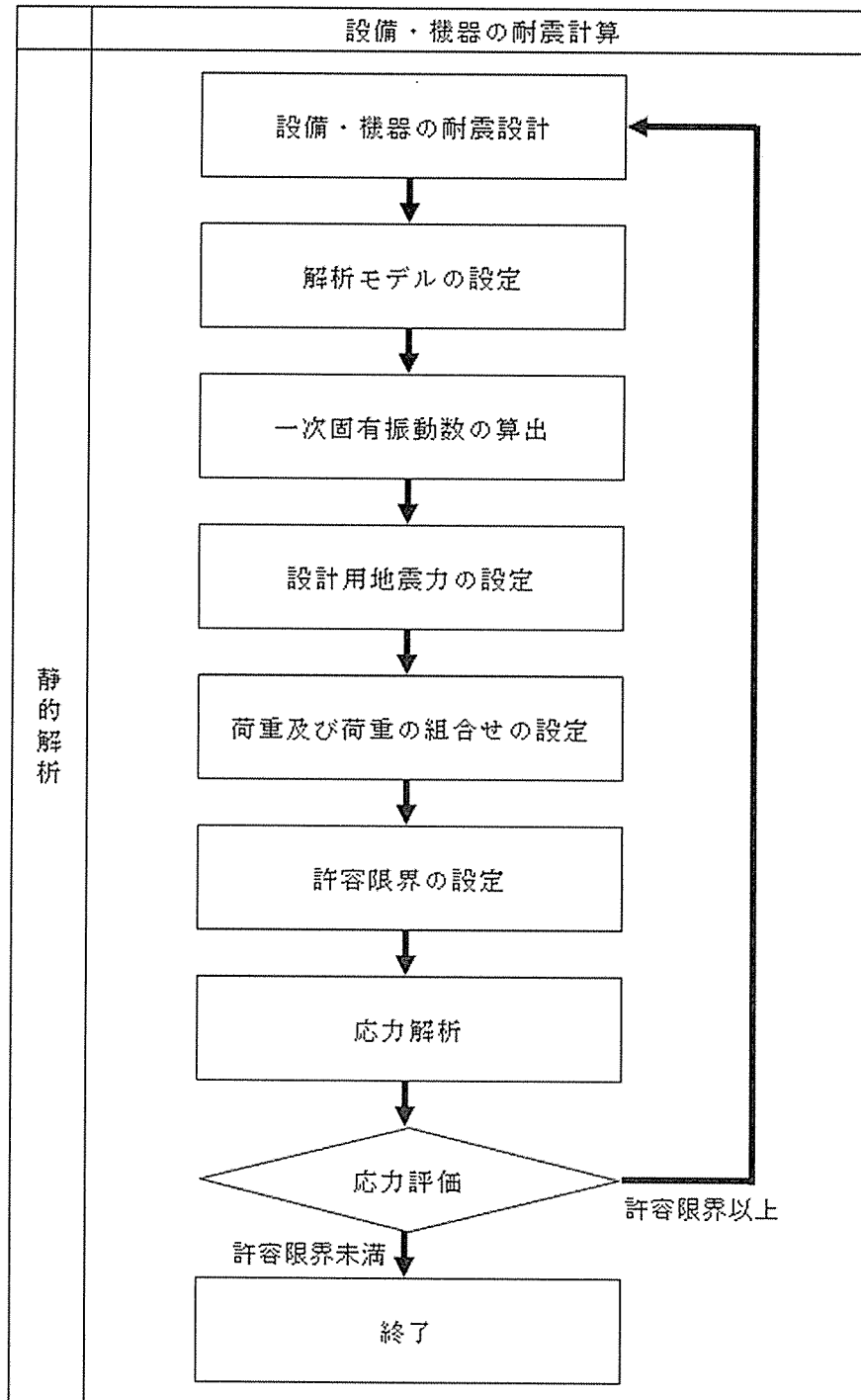
- ・ 鉄筋コンクリート造 (RC 造) の建物にあっては、S クラスに属する施設に求められる程度の地震力 $3C_i$ (0.6G) に対して変形量が第 2 折れ点以内で変形曲線の弾性域にある場合
- ・ 鉄骨造 (S 造) の建物にあっては、S クラスに属する施設に求められる程度の地震力 $3C_i$ (0.6G) に対して層間変形角が 1/200 (地震力による構造耐力上主要な部分の変形によって建築物の部分に著しい損傷が生じるおそれのない場合にあっては 1/120) 以内にある場合
- ・ 鉄骨鉄筋コンクリート造 (SRC 造) の建物にあっては、RC 造と S 造の両方の特性をもっており、S クラスに属する施設に求められる程度の地震力 $3C_i$ (0.6G) に対して、Q- δ 曲線に応じて RC 造と S 造どちらかの見方の範囲内にある場合

6. 設備、機器の耐震計算の方法

6.1. 評価方法

設備、機器の耐震評価方法は、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果を踏まえた地震力、固定荷重及び積載荷重を用いて応力を算出し、許容限界と比較する。

設備の耐震計算フローの概要を添説建2-I.6.1-1図に示す。



添説建2-I.6.1-1図 設備の耐震計算フロー概要

6.2. 荷重及び荷重の組合せ

設備、機器の荷重及び荷重の組合せを以下に示す。

剛構造となる設備、機器の一次設計、二次設計、および剛構造とならない設備、機器の設計で考慮する荷重は、常時作用する荷重である固定荷重と積載荷重及び地震荷重を考慮し、「鋼構造設計規準」に基づき添説建2-I.6.2-1表のと通りの組み合わせとする。

添説建2-I.6.2-1表 荷重の組合せ

荷重の状態		荷重の組合せ
長期	常時	G+Q
短期	地震時	G+Q+E

注) G: 固定荷重、Q: 積載荷重、E: 地震荷重

6.3. 許容限界

設備、機器の許容限界は原則として、以下の通りとする。

【一次設計】

一次設計で使用する許容限界は、長期状態において降伏応力又はこれと同等な安全性を有する応力に2/3を乗じた応力とし、短期状態において降伏応力又はこれと同等な安全性を有する応力とする。

【二次設計】

耐震重要度分類第1類の二次設計で使用する許容限界は、設備、機器の相当部分が降伏し、塑性変形する場合でも過大な変形、亀裂、破損などが生じ、その施設の安全機能に重大な影響を及ぼすことがないこととする。

【剛構造とはならない設備、機器】

剛構造とはならない設備、機器の耐震設計で使用する許容限界は、長期状態において弾性範囲に2/3を乗じた範囲にとどまることとし、短期状態において弾性範囲にとどまることとする。

6.4. 適用規格

設計は原則として、次の関係規準に準拠する。

- ・ 建築基準法・同施行令・告示等
- ・ 日本産業規格 (JIS) (日本規格協会)
- ・ 日本ステンレス協会規格 (SAS)
- ・ 鋼構造設計規準 — 許容応力度設計法 — (日本建築学会)
- ・ 軽鋼構造設計施工指針・同解説 (日本建築学会)
- ・ 建築設備耐震設計・施工指針 2014年版 (日本建築センター)
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説 (日本建築学会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術規定 JEAG4601-2008
- ・ 発電用原子力設備規格 材料規格 (2012年)

II. 付属建物 発電機室耐震計算書

1. 発電機室の概要

1.1. 構造概要

(1) 位置

発電機室の設置位置を図り建-1 に示す。

(2) 建物の概要

発電機室は平屋建ての鉄筋コンクリート造 (RC 造) であり、平面形状は、約 10.0m×約 8.0m、高さ約 6.45m の整形な新設建物である。

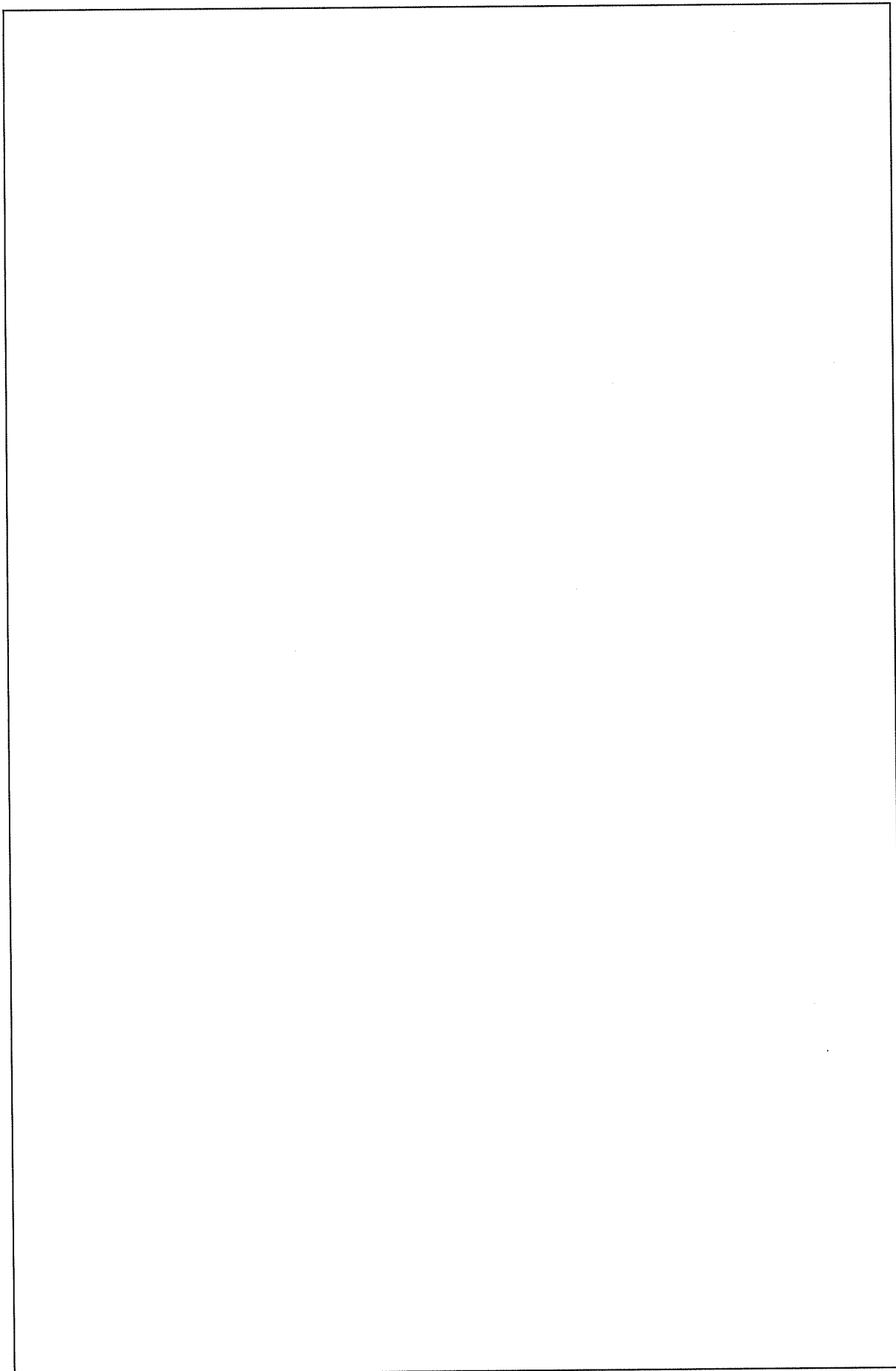
架構形式は X 方向、Y 方向ともに耐震壁付ラーメン構造である。

1 階床は構造スラブである。

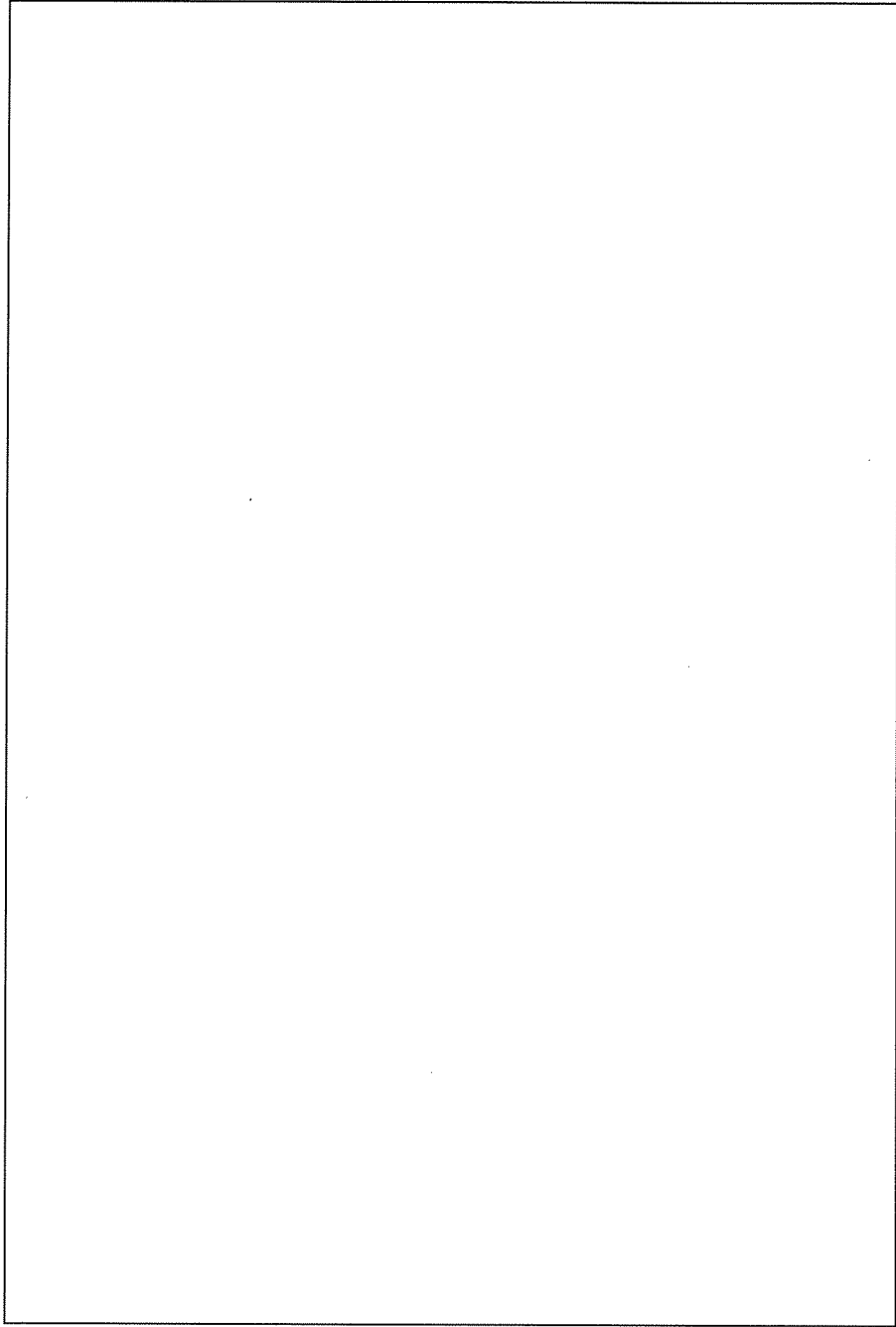
本建物は十分な支持性能を有する N 値が 30 以上ある砂礫層の上部を地盤改良し、直接支持されることより、基礎形式は直接基礎としている。

本建物の平面図、屋根伏図、立面図、断面図を添説建 2- II. 1. 1-1 図～添説建 2- II. 1. 1-4 図に示す。

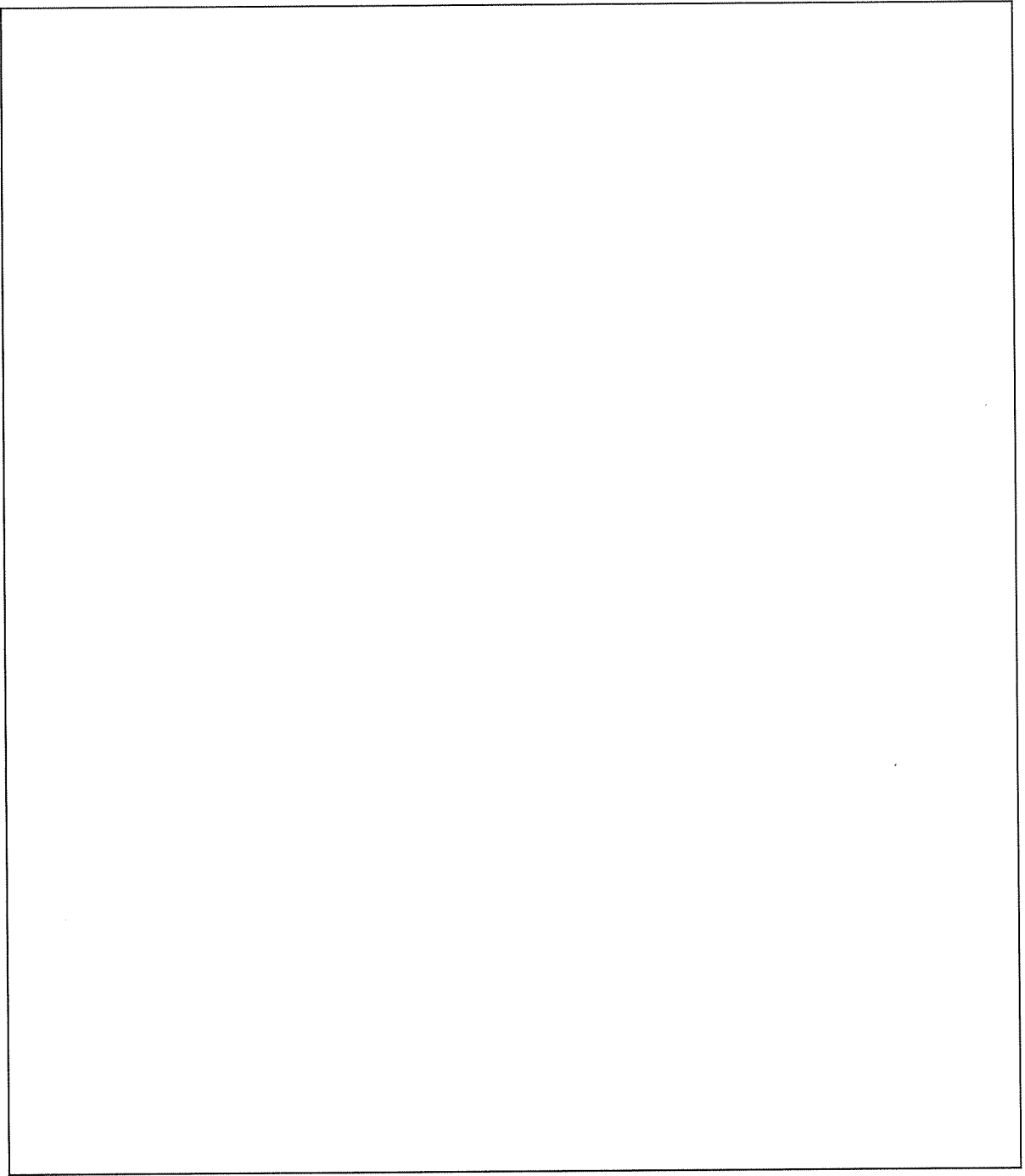
注) 添付説明書の図に示す寸法の単位は、特記以外ミリメートルとする。



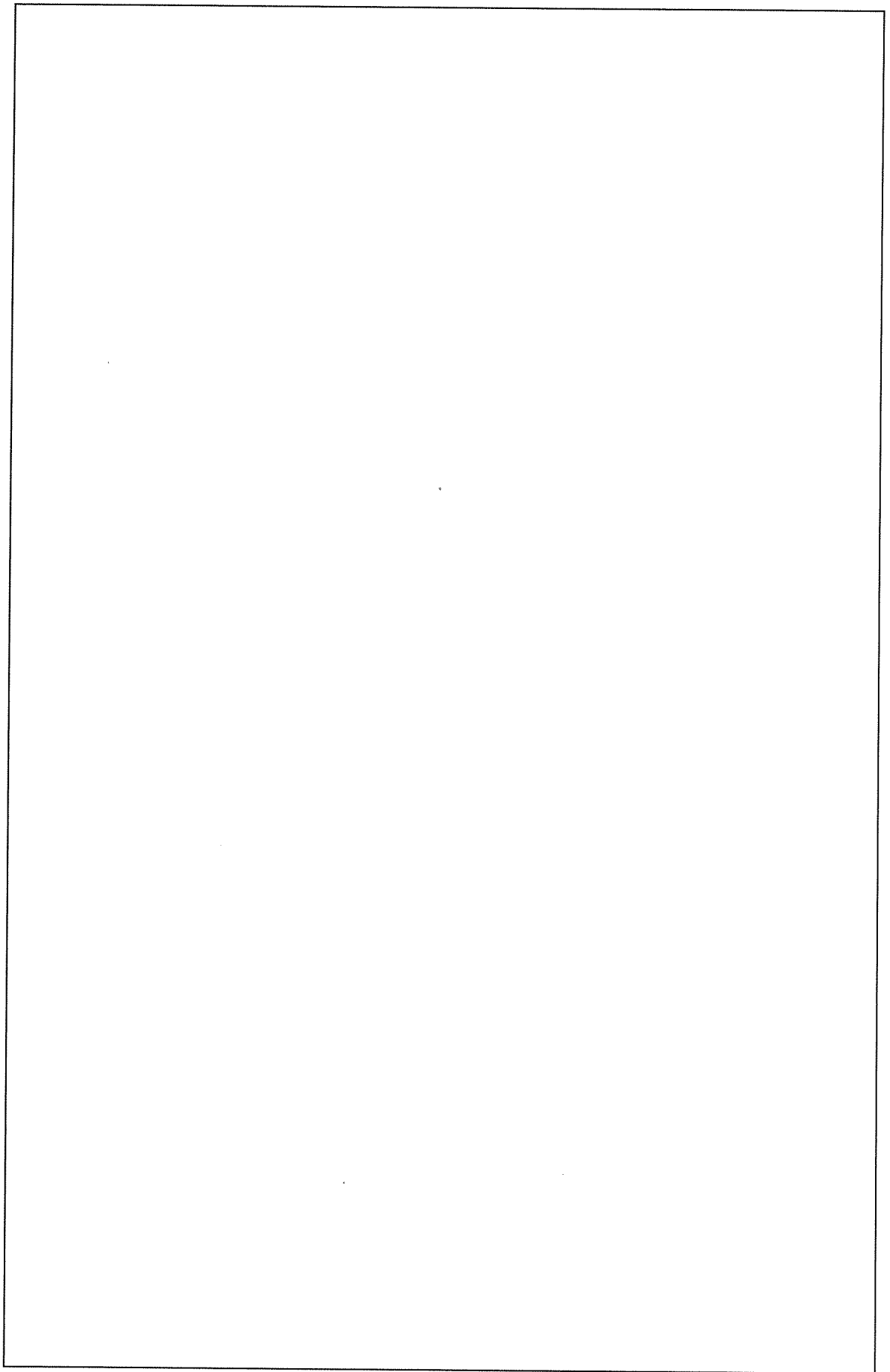
添説建 2-Ⅱ.1.1-1 図 1階平面図、屋根伏図



添説建 2-Ⅱ. 1. 1-2 図 立面図 (1/2)



添説建 2-Ⅱ.1.1-3 図 立面図 (2/2)



添説建 2-Ⅱ. 1. 1-4 図 断面図

1. 2. 評価方法

(1) 設計方針

本建物は、「加工施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」に基づく耐震上の重要度分類において第 2 類に属している。すなわち、耐震計算における層せん断力係数は、建築基準法施行令第 88 条に示す該当数値の 1.25 倍である。一次設計には $C_0=0.2$ として $0.2 \times 1.25=0.25$ 、二次設計には $C_0=1.0$ として $1.0 \times 1.25=1.25$ を採用し、これにより建物に作用する水平方向の静的地震力を想定する。

上記の地震力に対し、一次設計として構造体を構成する鉄筋、コンクリートの応力が、(3) 項に示す日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」等に定められた許容応力度以下に留まっていることを確認する。また、二次設計として建築基準法施行令第 82 条の 3 に規定する構造計算により、安全性を確認する。

(2) 具体的な解析方針

1) 解析プログラム

解析には一貫構造計算ソフト「Super Build/SS3 Ver. 1.1.1.42」を使用する。

なお、Super Build/SS3 は、国土交通大臣認定プログラムである Super Build/SS2 をベースとしたプログラムである。

2) 一次設計

a) 応力解析方法は、立体フレーム弾性解析とする。

b) 地震時は X 方向、Y 方向ともに正負加力の解析を行う。

c) 建築基準法施行令第 82 条に短期に生じる荷重及び外力を想定する状態として、暴風時、積雪時、地震時を想定する。暴風時については、建築基準法施行令第 87 条に準じて計算した風圧力が建築基準法施行令第 88 条に準じて計算した地震荷重を超えないことを確認し、また、積雪時については、建築基準法施行令第 86 条に準じて計算した積雪量を負荷した時に各部材に発生する応力と許容耐力との比が固定荷重及び積雪荷重が負荷された長期荷重時の各部材に発生する応力と許容耐力との比を超えないことを確認の上、本書では耐震計算書として地震時の評価結果のみを示すものとする。

d) 本項においては保守的に評価するため、許容数値は切り捨て、想定荷重は切上げる。

e) 応力解析の結果より、柱、大梁、耐震壁、基礎梁、杭等の各部位に対して長期荷重、短期荷重それぞれの検定を行う。

f) 断面検定は日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」等に準拠して 1.7. 項で定める許容応力度に基づいて行う。

3) 二次設計（保有水平耐力設計）

建築基準法施行令第 82 条の 3 により保有水平耐力 (Q_u) が下式で与えられる必要保有水平耐力 (Q_{un}) 以上であることを確認する。保有水平耐力の検討は荷重増分解析を用いて行う。部材の許容限界は終局耐力とし、鋼材の場合は降伏強度（基準強度の 1.1 倍）、コンクリートに対しては圧縮強度（基準強度）とする。保有水平耐力の判定は、層間変形角が 1/100 に達した時点とし、保有水平耐力が必要保有水平耐力を上回ることを確認する。

Q_{un} : 必要保有水平耐力

$$Q_{un} = D_s \times F_{es} \times Q_{ud}$$

Q_{ud} : 地震力によって生じる水平力

$$Q_{ud} = Z \times R_t \times A_i \times C_o \times \sum W_i \quad (\text{各記号の説明は 1.6. 項に示す。})$$

D_s : 構造特性係数

(各階の構造特性を表すものとして、建築物の構造耐力上主要な部分の構造方法に応じた減衰性及び各階の靱性を考慮して国土交通大臣が定める数値で、昭和 55 年建設省告示第 1792 号第 1～第 6 で定められる値)

F_e : 偏心率 (R_e) に応じた数値

(各階の形状特性を算出するための各階の偏心率に応じて、国土交通大臣が定める方法により算出した数値で、昭和 55 年建設省告示第 1792 号第 7 で定められる値)

F_s : 剛性率 (R_s) に応じた数値

(各階の形状特性を算出するための各階の剛性率に応じて、国土交通大臣が定める方法により算出した数値で、昭和 55 年建設省告示第 1792 号第 7 で定められる値)

F_{es} : 形状係数 (= $F_e \times F_s$)

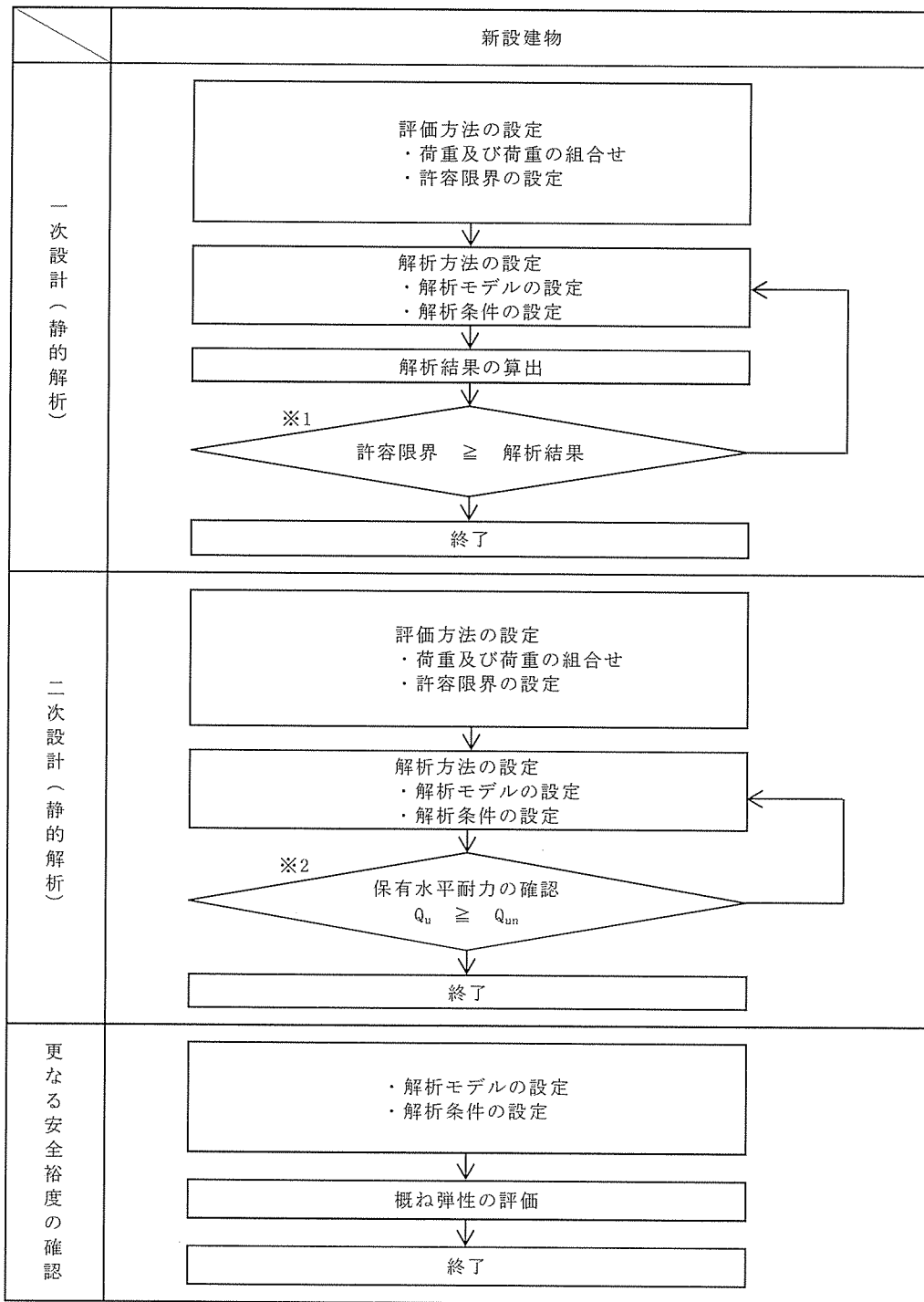
(各階の形状特性を表すものとして、各階の剛性率及び偏心率に応じて国土交通大臣が定める方法により算出した数値で、昭和 55 年建設省告示第 1792 号第 7 で定められる値)

(3) 適用基準

設計は原則として、次の関係基準に準拠する。

- ・ 建築基準法・同施行令・告示等
- ・ 日本産業規格（JIS）（日本規格協会）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会）
- ・ 建築基礎構造設計指針（日本建築学会）
- ・ 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書（建築研究所）
- ・ 改訂版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針（日本建築センター）

耐震設計のフローチャートは添説建 2-Ⅱ.1.2-1 図のとおりである。



【記号の説明】

Q_u : 保有水平耐力

Q_{un} : 必要保有水平耐力 ($=D_s \times F_{es} \times Q_{ud}$)

D_s : 構造特性係数 (鉄筋コンクリート造の D_s は0.30~0.55、
鉄骨造及び鉄骨鉄筋コンクリート造の D_s は0.25~0.50)

F_{es} : 形状係数 (1.0~3.0で、偏心が大きいのほど大きい)

Q_{ud} : 地震力によって生じる水平力 (ここで耐震重要度に応じた割増係数を考慮)

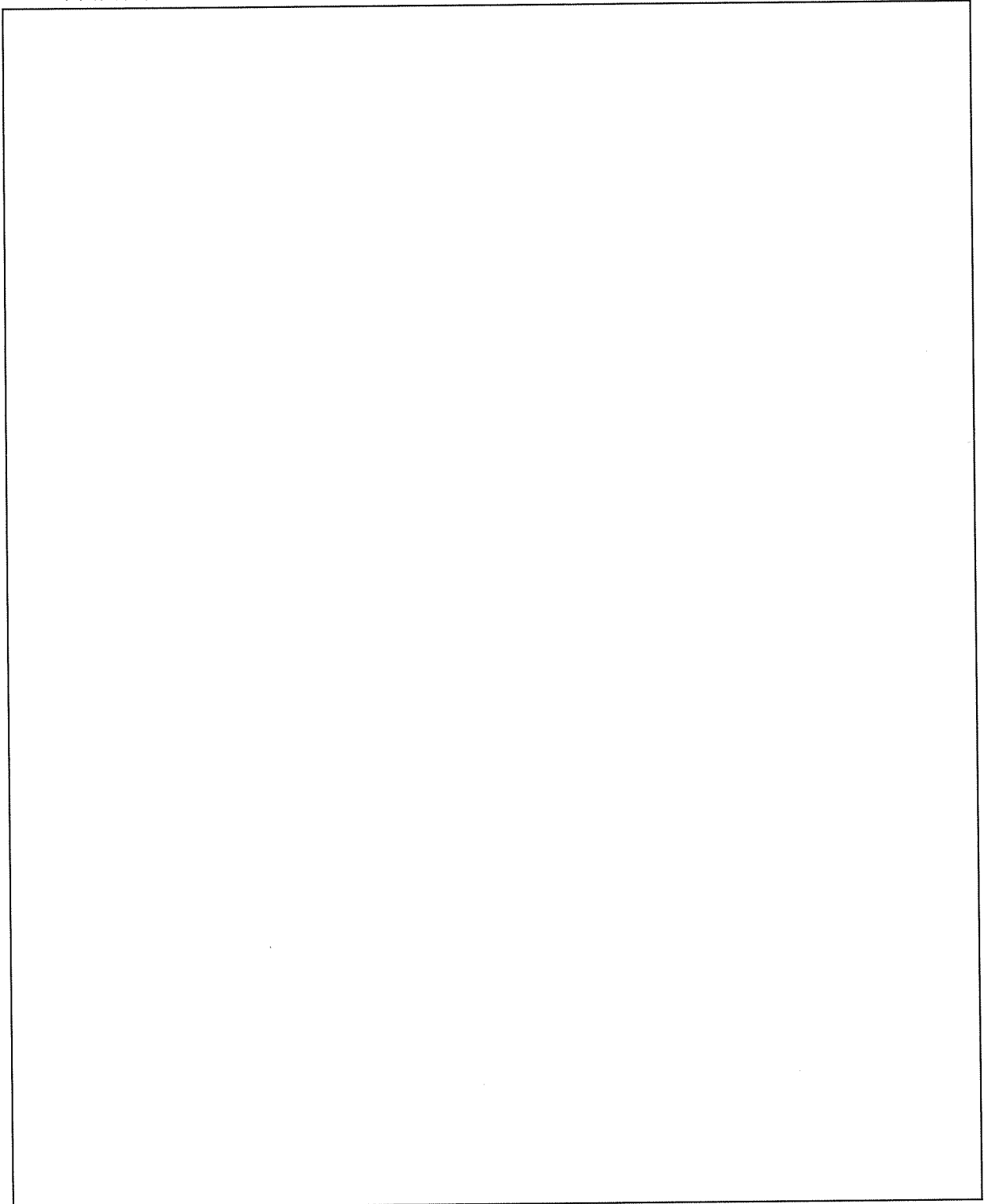
※1 : 許容限界は許容応力度を原則とする。

※2 : 保有水平耐力は増分解法により求めることを原則とする。




添説建 2-Ⅱ. 1. 2-1 図 耐震設計フロー

1. 3. 構造図

平面図、軸組図を添説建 2-Ⅱ. 1. 3-1 図～添説建 2-Ⅱ. 1. 3-4 図に示す。



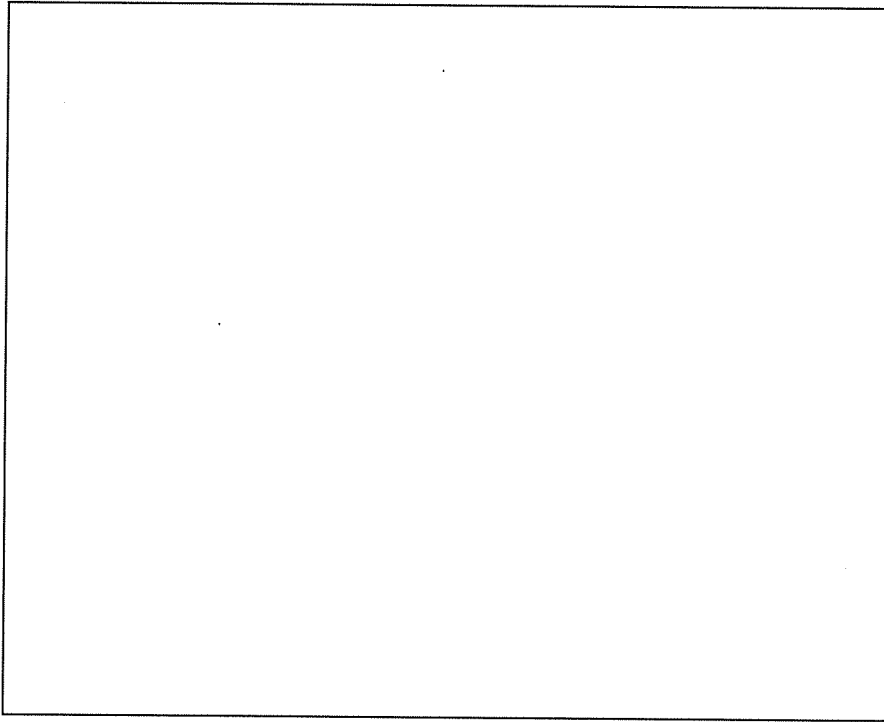
注記

1. 特記なきスラブはFS1とする。
2.  はFS2、FS3を示す。
3.  はピットを示す。
4.  は増打ちコンクリートを示す。

1階床伏図

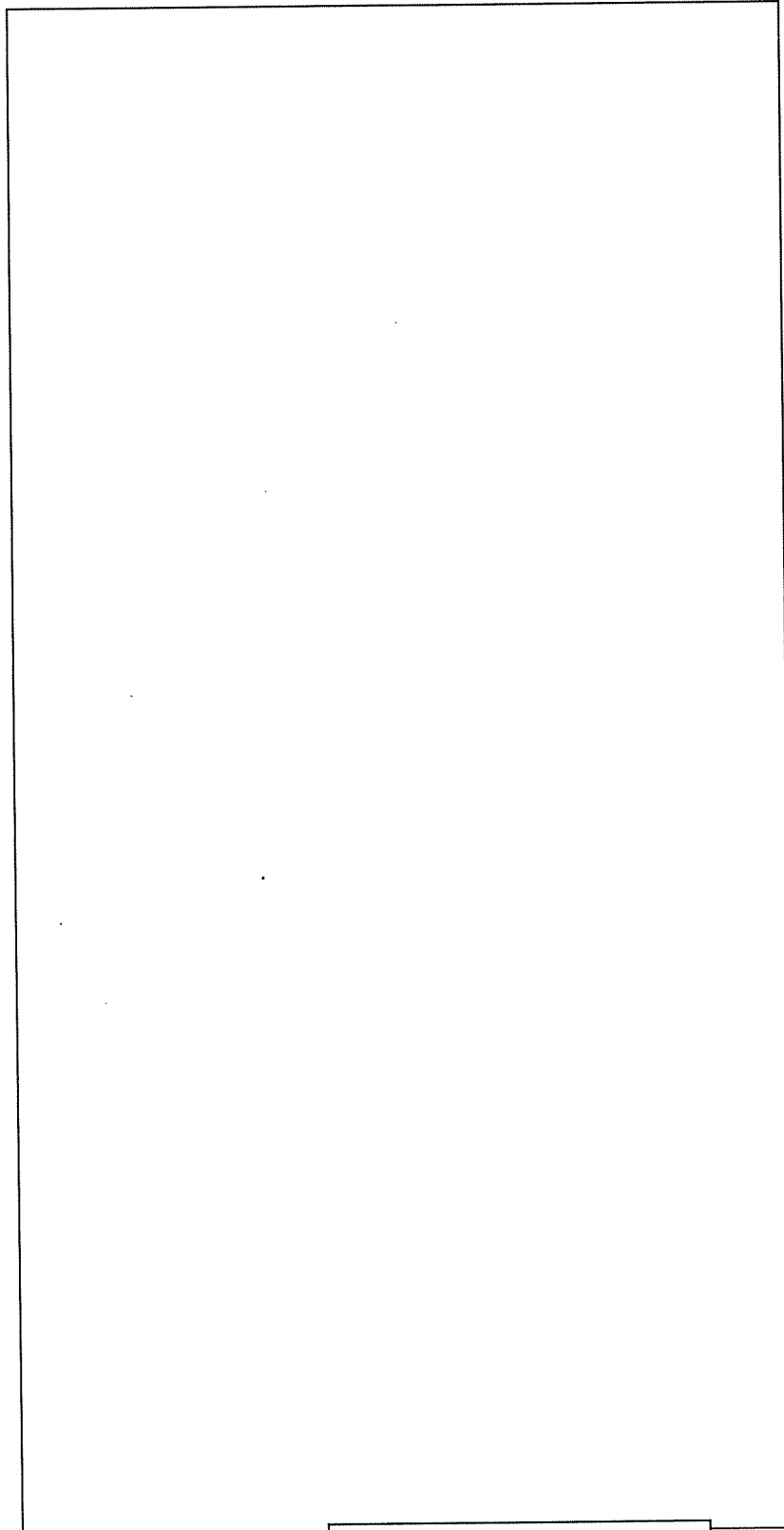
凡例	
F1, F2	: 基礎
FG1, FG11, FG12, FB1, FCB1	: 基礎梁
FS1, FS2, FS3	: 床スラブ

添説建 2-Ⅱ. 1. 3-1 図 基礎伏図、1階床伏図






凡例	
G1, G11	: RC大梁
B1	: RC小梁
S1	: 屋根スラブ
CS1, CS2	: 庇

添説建 2-Ⅱ. 1. 3-2 図 屋根伏図 (見上げ図)

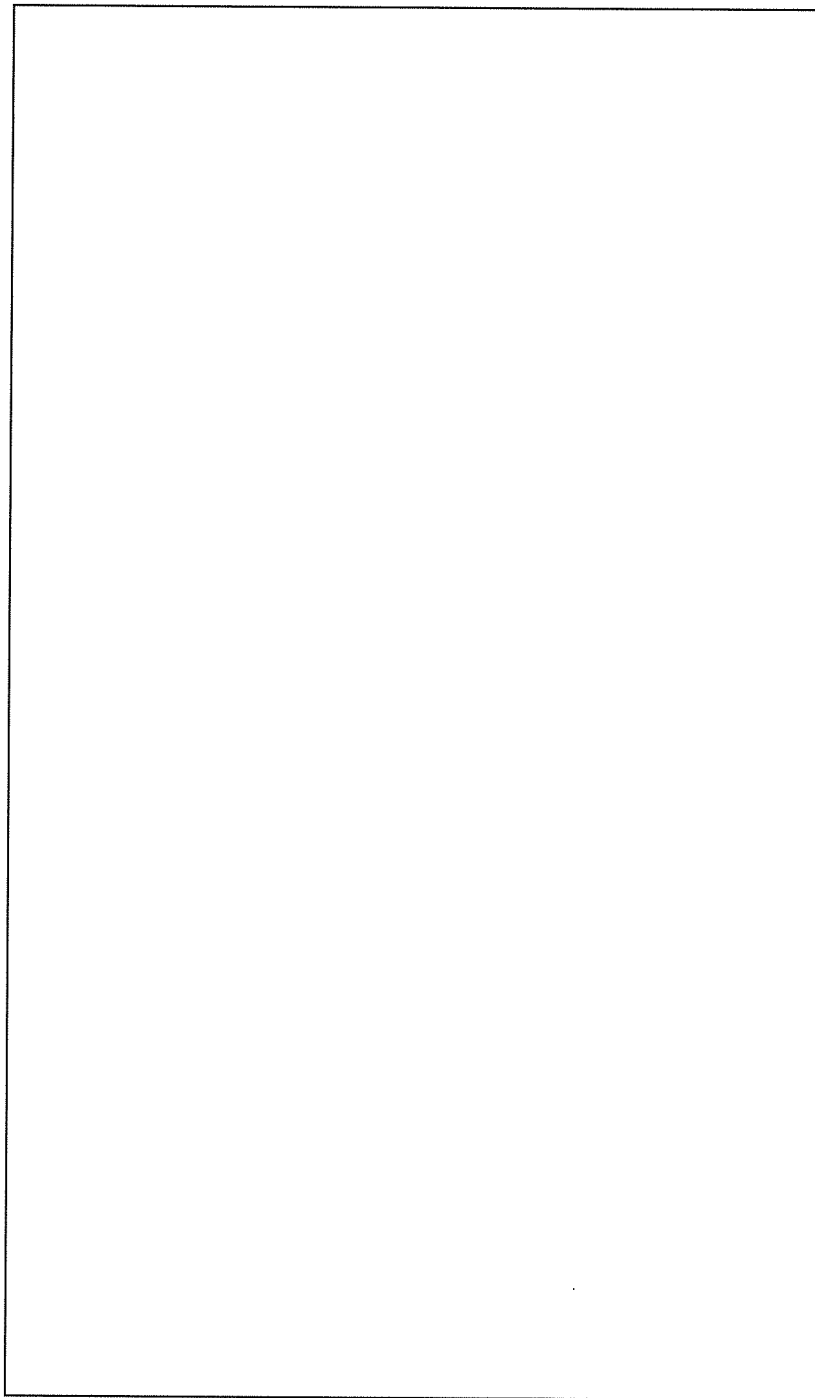


注記




1. 基礎梁天端は1FL-50とする。
2.  は増打ちコンクリートを示す。
3.  は地盤改良を示す。
4.  は開口部を示す。

凡例	
G11	: RC大梁
C1	: RC柱
F1, F2	: 基礎
FG11, FG12	: 基礎梁
SW25	: 耐震壁

添説建 2-Ⅱ. 1. 1. 3-3 図 X1、X2、X3 通り軸組図



注記

1. 基礎梁天端は1FL-50とする。
2.  は地盤改良を示す。
3.  は開口部を示す。
4.  は開口部を示す。

凡例	
G1	: RC大梁
C1	: RC柱
F1, F2	: 基礎
FG1	: 基礎梁
SW25	: 耐震壁
W25	: 雑壁

添説建 2-Ⅱ.1.3-4 図 Y1、Y2 通り軸組図

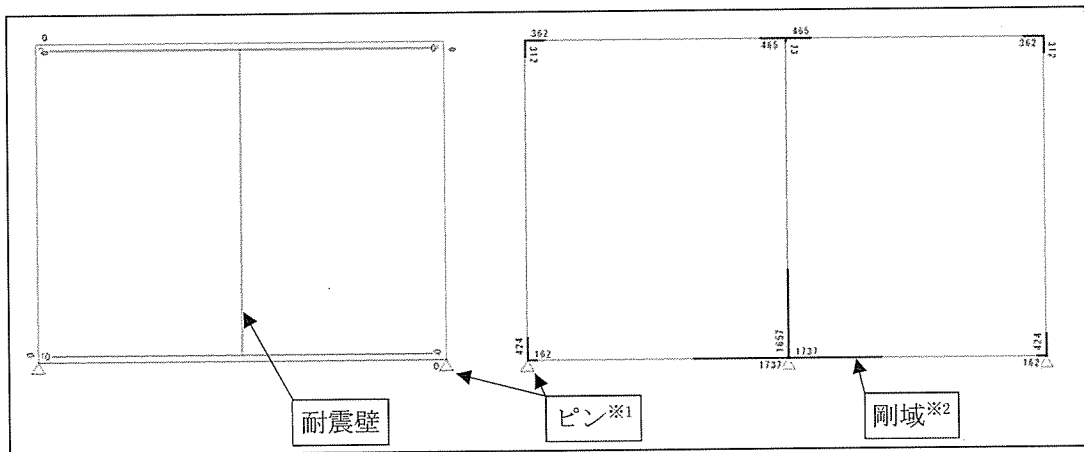
1. 4. 構造解析モデル

部材番号図を添説建 2-Ⅱ. 1. 4-1 図～添説建 2-Ⅱ. 1. 4-3 図に、解析モデル図を添説建 2-Ⅱ. 1. 4-4 図～添説建 2-Ⅱ. 1. 4-6 図に示す。

モデル図凡例を以下に示す。

解析モデル図の水平方向の寸法は柱芯間を示している。構造図、部材番号図で示す通り芯（壁芯）と区別するため、解析モデル図では通り符号を X'、Y' と表記する。また、部材番号図の階高さは梁天端高さを示し、解析モデル図は基礎梁の X 方向、Y 方向それぞれの天端高さについて平均値を求め、さらに両者の平均値を階高さとする。

凡例



※1：支点条件

柱脚曲げモーメントを基礎梁で負担：ピン

※2：剛域

「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による剛域を示す。

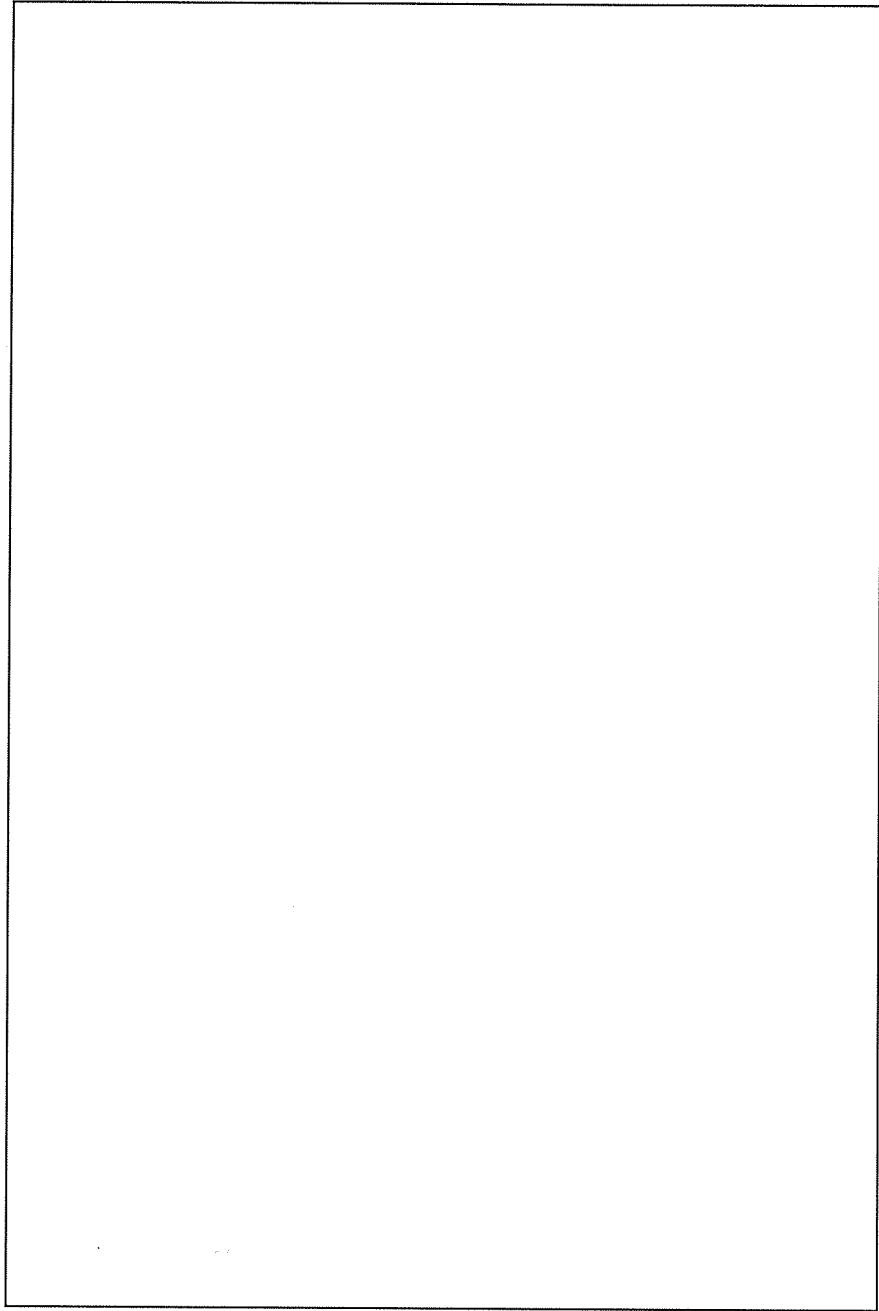
数字は節点からの長さを示す。

なお、解析部材番号は便宜上、構造図と異なる付番としている。読替対応表を添説建 2-Ⅱ. 1. 4-1 表に示す。

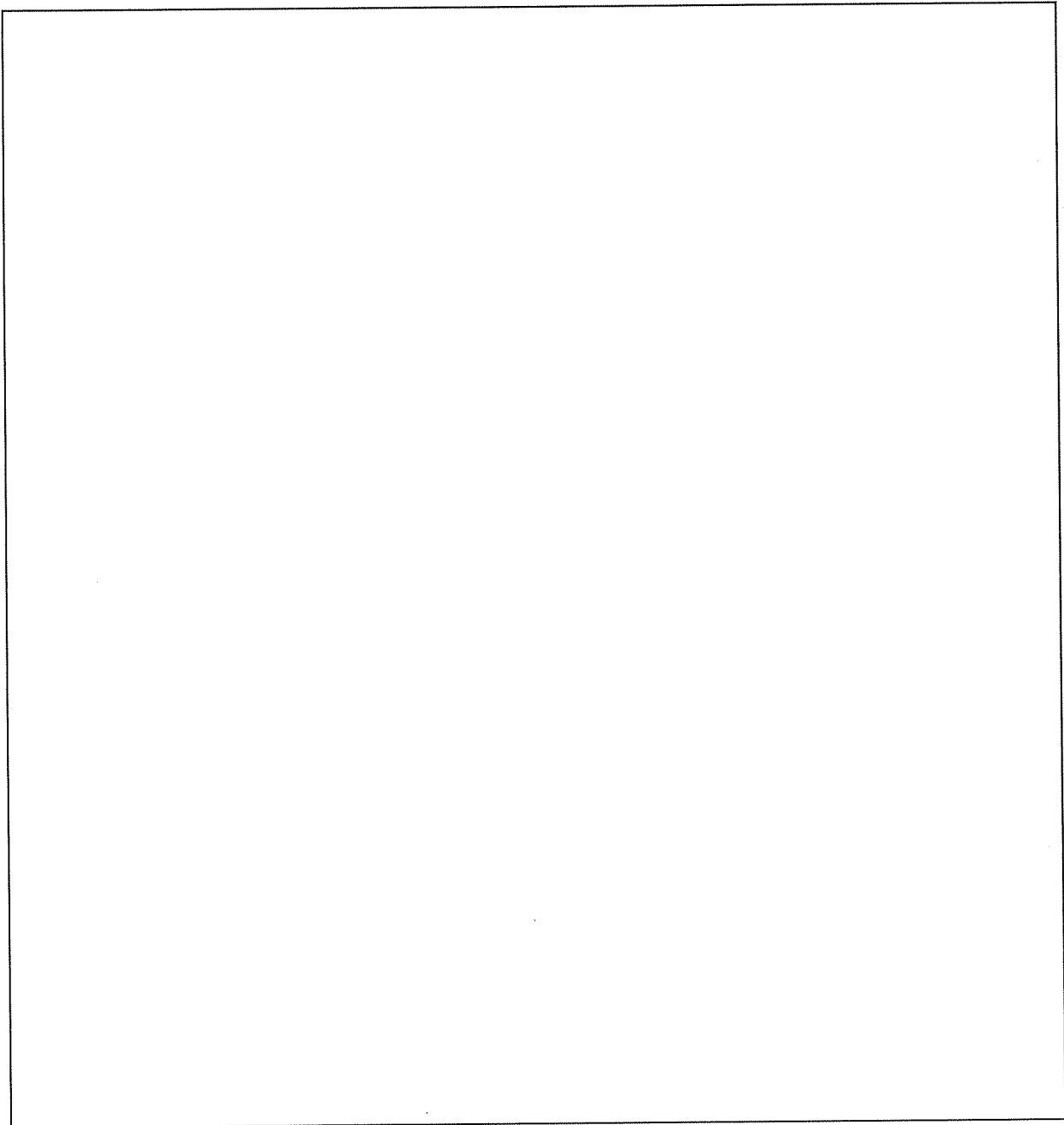
添説建 2-Ⅱ. 1. 4-1 表 部材番号読替対応表

部材	解析 部材番号		構造図 部材番号
柱	IC1	→	C1
大梁	RG1	→	G1
	RG11	→	G11
雑壁	W1	→	W25
耐震壁	EW25(1)	→	SW25

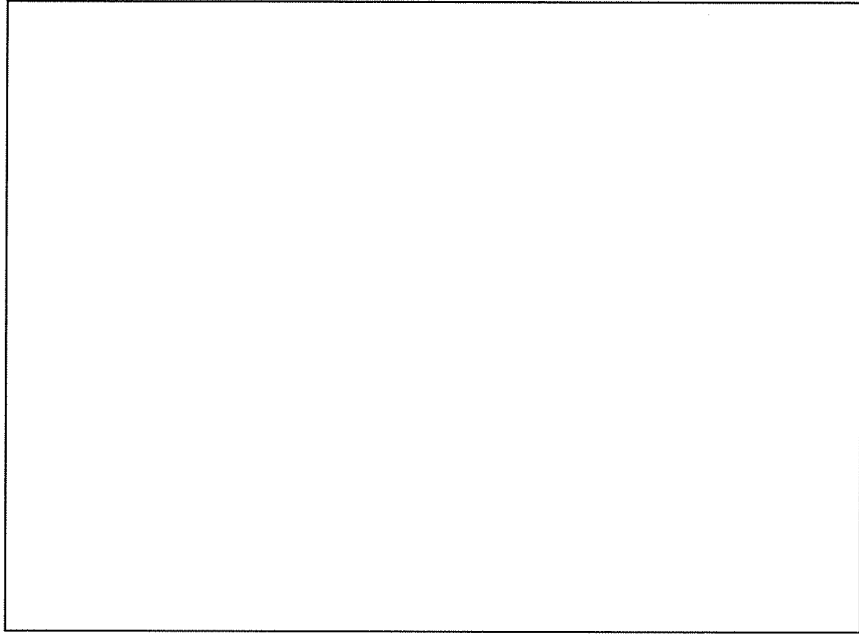
部材	解析 部材番号		構造図 部材番号
基礎梁	FG1	→	FG1
	FG11	→	FG11
	FG12	→	FG12
片持ち梁	CG3	→	—



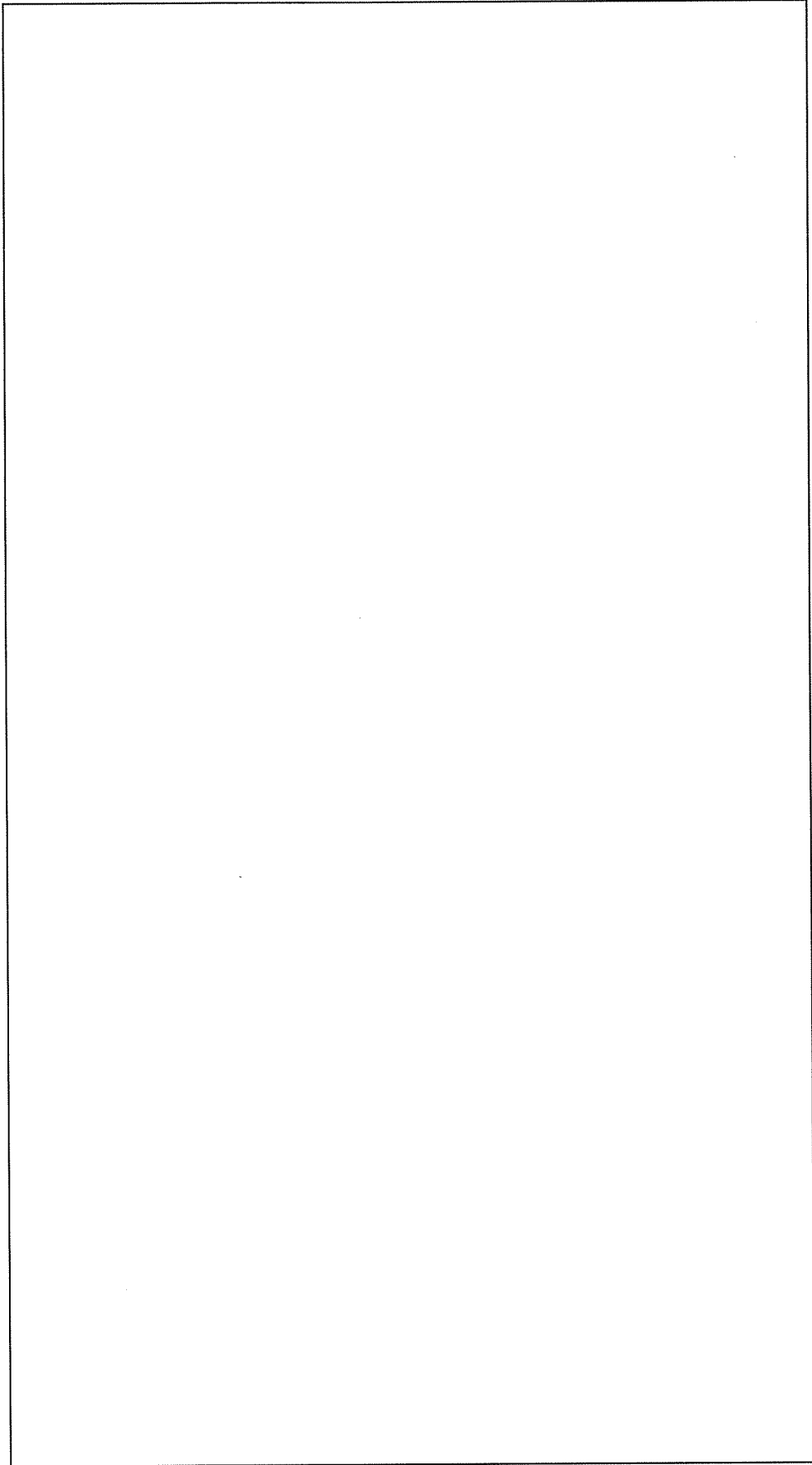
添説建 2-Ⅱ.1.4-1 図 部材番号図 (1/3)



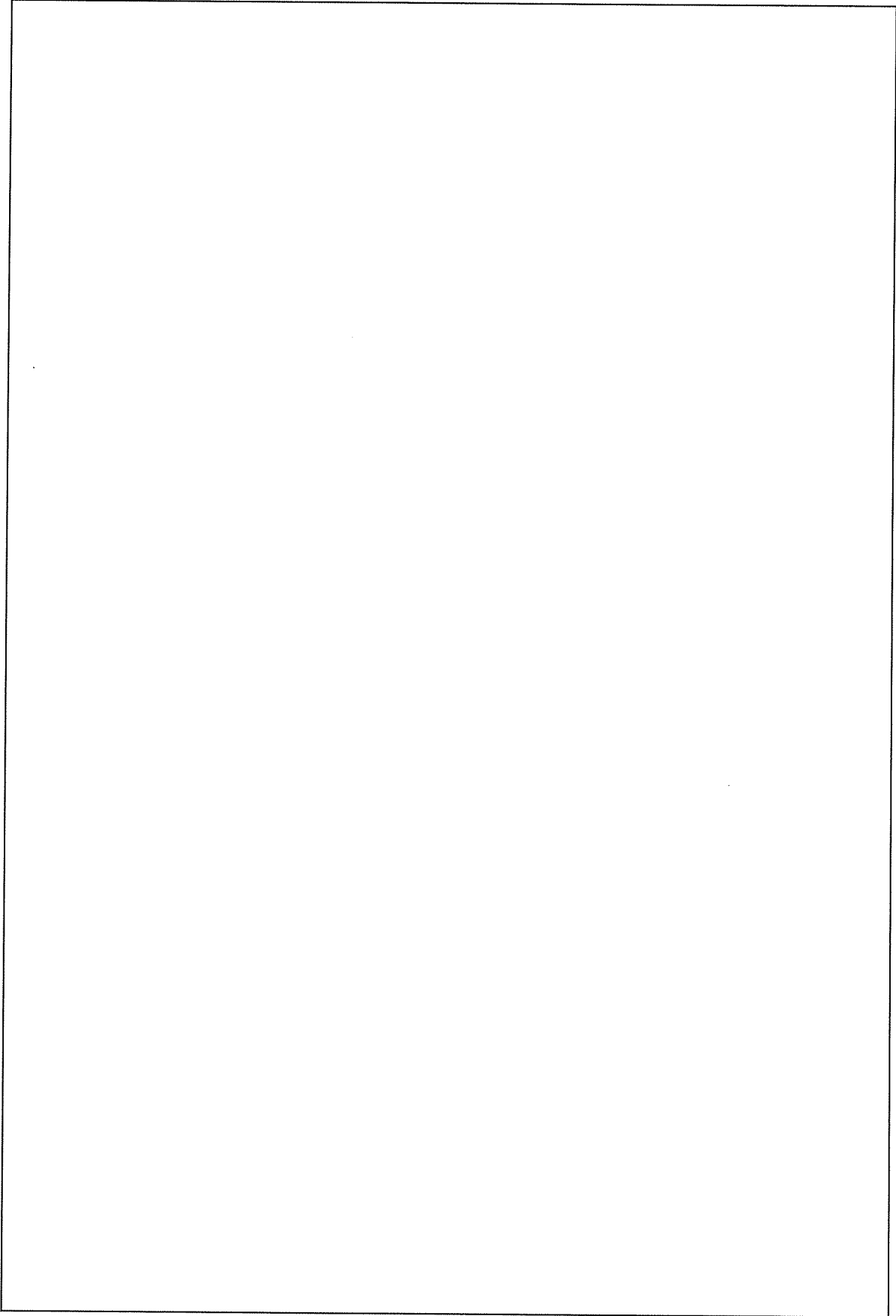
添説建 2-Ⅱ.1.4-2 図 部材番号図 (2/3)



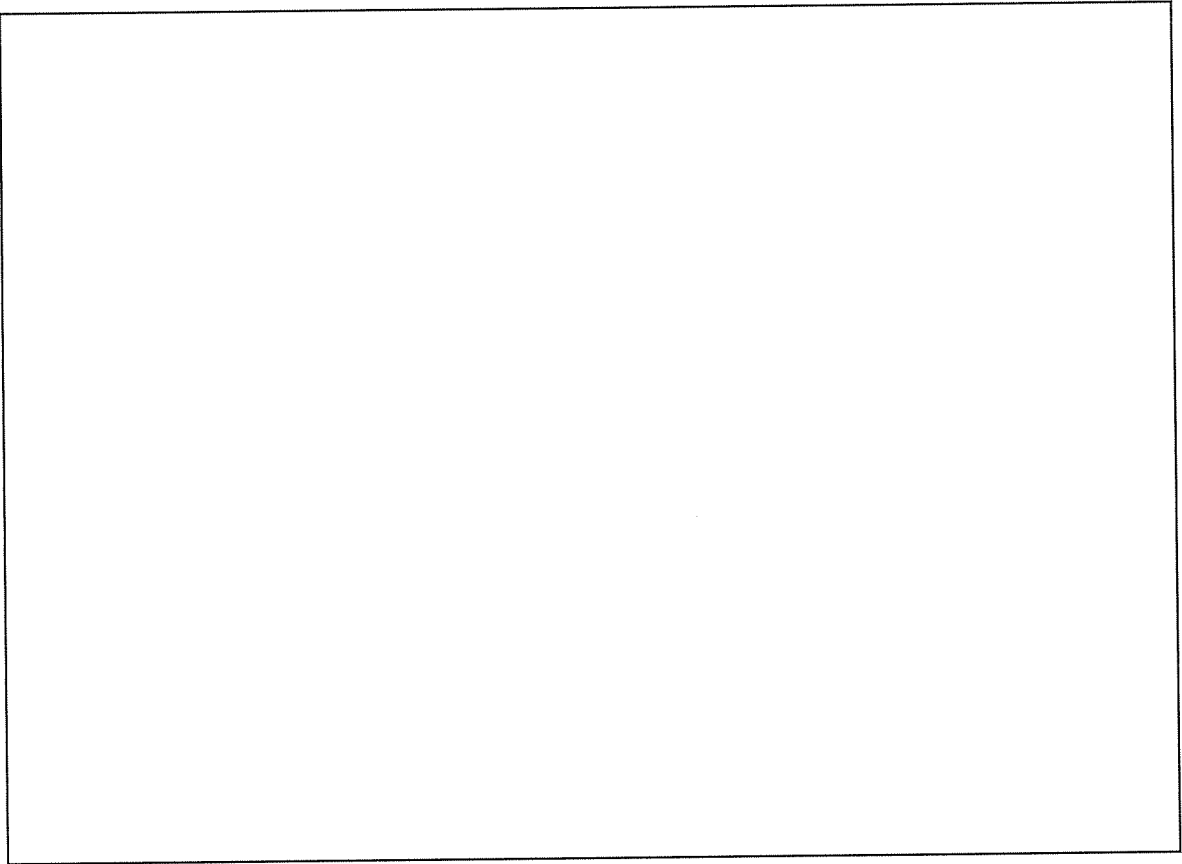
添説建 2-Ⅱ. 1. 4-3 図 部材番号図 (3/3)



添説建 2-Ⅱ.1.4-4 図 解析モデル図 (1/3)



添説建 2- II. 1. 4-5 図 解析モデル図 (2/3)



添説建 2-Ⅱ. 1. 4-6 図 解析モデル図 (3/3)

1.5. 部材一覧

柱、梁、スラブ、壁、基礎梁、基礎に関する各部材一覧（配筋図）を添説建 2-Ⅱ.1.5-1 表～添説建 2-Ⅱ.1.5-6 表に示す。

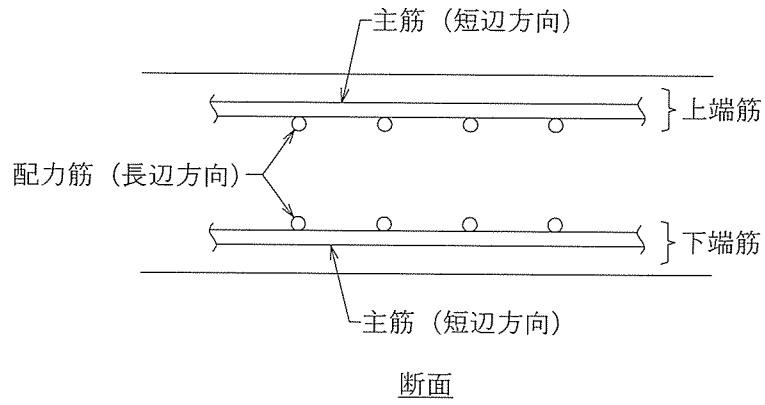
添説建 2-Ⅱ.1.5-1 表 柱一覧

符号	C1
位置	全断面
断面	
主筋	
フープ	
材質	
特記	

添説建 2-Ⅱ.1.5-2 表 梁一覧

符号	G1、G11	B1	
位置	全断面	X1、X3端部	X2端部、中央部
断面			
上端筋			
下端筋			
スターラップ			
腹筋			
材質			
特記			

添説建 2-Ⅱ.1.5-3 表 スラブ一覧



符号	厚さ	位置	主筋	配力筋
S1				
FS1				
FS2				
FS3				
材質				
特記				

添説建 2-Ⅱ. 1. 5-4 表 壁一覧

	符号	厚さ	主筋	水平断面
雑壁	W25			
耐震壁	SW25			
材質				
特記				

添説建 2-Ⅱ. 1. 5-5 表 基礎梁一覽

符号	FG1、FG11	FG12
位置	全断面	全断面
断面		
上端筋		
下端筋		
スターラップ		
腹筋		
材質		
特記		

添説建 2-Ⅱ.1.5-6 表 基礎一覽

符号	F1	F2
断面		

1.6. 設計用荷重

(1) 荷重諸元

建築基準法施行令第 83 条に従い設定する。

なお、各荷重の後の符号は建築基準法施行令第 82 条に従っている。

1) 固定荷重(G)

柱、梁、床、屋根、壁、その他建物部材の自重とする。

鉄筋コンクリート部材の場合には、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 表 7.1」により単位体積重量を 24kN/m^3 とする。

柱、大梁、スラブ、壁の重量は、一貫構造計算ソフト内での自動計算により算出され、二次部材や各建具等については、個別に重量を積算する。

2) 積載荷重(P)

各階の積載荷重を、添説建 2-Ⅱ.1.6-1 表に示す。

添説建 2-Ⅱ.1.6-1 表 積載荷重一覧

設計対象 階 用途		床用	小梁用	架構用	地震用
		(N/m^2)	(N/m^2)	(N/m^2)	(N/m^2)
R	屋根				
1	発電機室				
	発電装置架台				
	ラジエータ置場				

3) 積雪荷重(S)

建築基準法施行令第 86 条に従い、積雪荷重を計算する。積雪荷重は、建築基準法施行令第 82 条により、短期に生じる力とする。

4) 風荷重(W)

建築基準法施行令第 87 条に従い、風圧力を計算する。風圧力は建築基準法施行令第 82 条により、短期に生じる力とする。

5) 地震荷重(K)

建築基準法施行令第 88 条に従い、地震力を計算する。

昭和 55 年建設省告示第 1793 号第 1～第 3 より

- 地震地域係数 : $Z = 1.0$
 地盤種別 : 第 2 種地盤 $T_c = 0.6$
 建築物の設計用一次固有周期 : $T = 0.02h = 0.02 \times 5.85 = 0.117(\text{sec})$
 振動特性係数 : $R_t = 1.0$ ($T < T_c$ の場合)
 せん断力分布係数 : $A_i = 1 + (1 / \sqrt{\alpha_i - \alpha_j}) \times 2T / (1 + 3T)$
 $\alpha_i = \Sigma W_i / W$

建築基準法施行令第 88 条より

- 地震層せん断力係数 : $C_i = Z \times R_t \times A_i \times C_o$
 標準せん断力係数 : $C_o = 0.2$ (一次設計)
 : $C_o = 1.0$ (二次設計)
 地震層せん断力 : $Q_i = n \times C_i \times \Sigma W_i$

- 耐震重要度に応じた割増係数 : $n = 1.25$
 重量 : $\Sigma W_i =$ 当該階より上の固定荷重と積載荷重との和
 地上部分の全重量 : W
 建築物の高さ : $h = 5.85(\text{m})$
 ここで i は、当該階を示す。

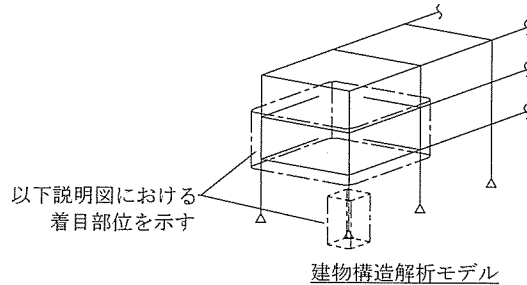
地震時の水平力を添説建 2-Ⅱ. 1. 6-2 表に示す。

添説建 2-Ⅱ. 1. 6-2 表 地震時水平力

階	共通パラメータ				一次設計用		二次設計用	
	W_i (kN)	ΣW_i (kN)	A_i	n	C_{i1}	Q_{i1} (kN) $= n \times C_{i1} \times \Sigma W_i$	C_{i2}	Q_{i2} (kN) $= n \times C_{i2} \times \Sigma W_i$
1								

(2) 解析モデルの荷重設定

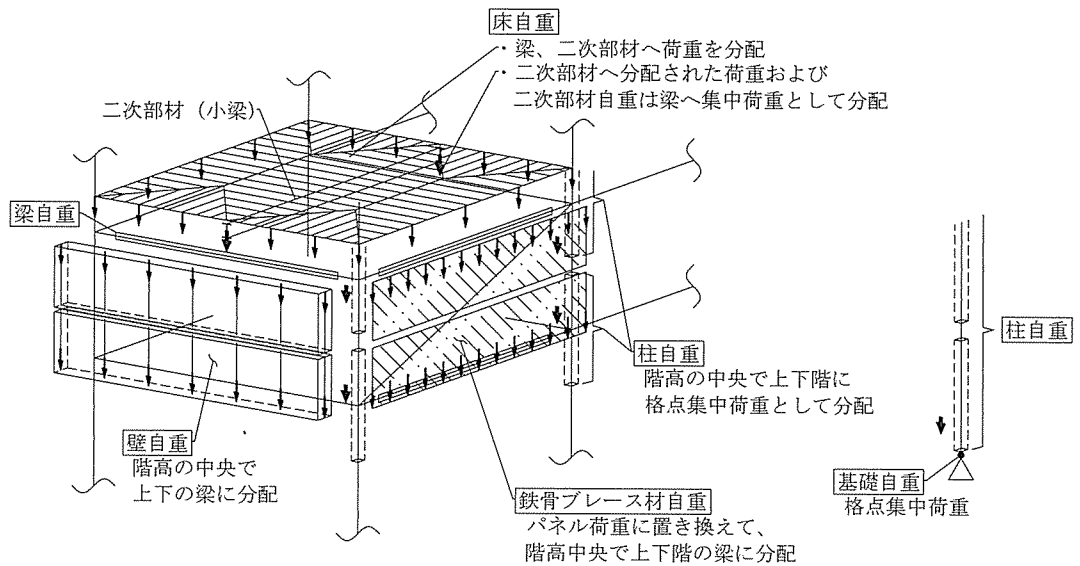
解析モデルへの長期荷重、短期荷重の設定方法概要を以下の説明図にて示す。



1) 長期荷重

a) 固定荷重

柱、梁、床、壁、基礎及びその他建物部材の自重は、以下の方法にて解析モデルに設定される。



b) 積載荷重

単位面積当りの積載荷重については、床自重の設定方法と同様とする。

2) 短期荷重

短期荷重のうち地震荷重については、以下の方法にて解析モデルに設定される。

a) 一次設計用地震荷重

各階に分配された長期荷重（固定荷重、積載荷重）それぞれに、一次設計用地震層せん断力係数 (C_{i1}) を乗じた地震荷重を X 方向、Y 方向の正負加力として設定する。

b) 二次設計用地震荷重

各階に分配された長期荷重（固定荷重、積載荷重）それぞれに、二次設計用地震層せん断力係数 (C_{i2}) を乗じた地震荷重を設定し、それに基づく荷重増分解析により保有水平耐力を計算する。

(3) 許容限界

一次設計においては、各評価部位に対して日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」等に準拠して定めた許容応力度を許容限界として断面検定を行う。

二次設計においては、保有水平耐力 (Q_u) が必要保有水平耐力 (Q_{un}) 以上であることを確認する。

1.7. 使用材料の許容応力度

コンクリート、鉄筋の基準強度、許容応力度を添説建 2-Ⅱ.1.7-1 表～添説建 2-Ⅱ.1.7-4 表に示す。

(1) コンクリート

添説建 2-Ⅱ.1.7-1 表 コンクリートの設計基準強度 F_c

コンクリート種別	設計基準強度 (N/mm^2)	使用箇所

添説建 2-Ⅱ.1.7-2 表 コンクリートの許容応力度

材料	長期		短期	
	圧縮 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)	圧縮 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)

建築基準法・同施行令・告示等

日本産業規格 (JIS) (日本規格協会)

鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (日本建築学会) による

(2) 鉄筋

添説建 2-Ⅱ.1.7-3 表 鉄筋の基準強度 F

鉄筋の種類	基準強度 (N/mm^2)	鉄筋径

添説建 2-Ⅱ.1.7-4 表 鉄筋の許容応力度

種別	長期			短期		
	圧縮 (N/mm^2)	引張 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)	圧縮 (N/mm^2)	引張 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)

建築基準法施行令第 90 条

建築基準法・同施行令・告示等

日本産業規格 (JIS) (日本規格協会)

鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (日本建築学会) による

1.8. 評価結果

部材評価にあたっては、建築基準法施行令第 82 条に基づき、長期または短期荷重時に各部材に生じる応力度が、それぞれの材料の許容応力度を超えないこと、もしくは各部材に生じる応力が許容応力度をもとに定める部材の許容耐力を超えないことを確認する。

確認は、各部材に生じる応力度に対する許容応力度の比、もしくは各部材に生じる応力に対する許容耐力の比を検定比とし、それが 1.0 以下になることにより行う。

なお、各部材の許容応力度、許容耐力の値は、鉄筋コンクリート部材については「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会）」に基づき算定する。

(1) 一次設計

いずれの部材についても最も厳しい箇所の検定比が 1.0 以下であることを確認する。

評価結果として、構造部位種別ごとの検定比最大箇所の計算結果を添説建 2-Ⅱ.1.8-1 表～添説建 2-Ⅱ.1.8-13 表に示す。

1) RC 柱の断面検定

添説建 2-Ⅱ.1.8-1 表 長期荷重による断面検定

曲げ			せん断		
X1 通り/Y2 通り (柱頭) C1			X1 通り/Y2 通り C1		
応力 ML (kN・m)	耐力 MAL (kN・m)	検定比	応力 QL (kN)	耐力 QAL (kN)	検定比

添説建 2-Ⅱ.1.8-2 表 短期荷重による断面検定

方向	曲げ			せん断		
	X2 通り/Y2 通り (柱脚) C1			X2 通り/Y2 通り C1		
	X 方向地震時			X 方向地震時		
	応力 MS (kN・m)	耐力 MAS (kN・m)	検定比	応力 QS (kN)	耐力 QAS (kN)	検定比
X						
Y						

※1：耐震壁もしくはそれに相当する壁付柱については、壁面内方向の地震時水平力に対し壁が抵抗し、柱には応力が発生しないため記載を省略する。

2) RC 大梁の断面検定

添説建 2- II. 1. 8-3 表 長期荷重による断面検定

曲げ			せん断		
Y2 通り/X1-X2 通り間 (X2 側) G1			Y2 通り/X1-X2 通り間 (X2 側) G1		
応力 ML (kN・m)	耐力 MAL (kN・m)	検定比	応力 QL (kN)	耐力 QAL (kN)	検定比

添説建 2- II. 1. 8-4 表 短期荷重による断面検定

曲げ			せん断		
Y2 通り/X1-X2 通り間 (X2 側) G1			Y2 通り/X1-X2 通り間 (X2 側) G1		
応力 MS (kN・m)	耐力 MAS (kN・m)	検定比	応力 QS (kN)	耐力 QAS (kN)	検定比

3) 耐震壁の断面検定 (短期荷重のみ)

添説建 2- II. 1. 8-5 表 断面検定

せん断 ^{※2}		
Y1 通り/X1-X2 通り間 SW25		
応力 QS (kN)	耐力 QAS (kN)	検定比

※2: 耐震壁部材は曲げ剛性が非常に大きく、強度評価はせん断耐力にて決定されるため、曲げの断面検定は省略する。

4) 基礎梁の断面検定

添説建 2- II. 1. 8-6 表 長期荷重による断面検定

曲げ			せん断		
Y2 通り/X1-X2 通り間 (X2 側) FG1			Y2 通り/ X1-X2 通り間 (X2 側) FG1		
応力 ML (kN・m)	耐力 MAL (kN・m)	検定比	応力 QL (kN)	耐力 QAL (kN)	検定比

添説建 2- II. 1. 8-7 表 短期荷重による断面検定

曲げ			せん断		
Y2 通り/ X1-X2 通り間 (X2 側) FG1			Y2 通り/X1-X2 通り間 (X2 側) FG1		
応力 MS (kN・m)	耐力 MAS (kN・m)	検定比	応力 QS (kN)	耐力 QAS (kN)	検定比

5) 基礎

a) 概要

基礎は直接基礎とする。建物の自重、地震力に対して十分な耐力を確保するため、基礎下部にセメント系固化材を用いた深層混合処理地盤改良工法による地盤改良（以下「改良コラム」と略記）を行う。改良コラムを介して、これらの荷重を安全に支持地盤に伝える設計とする。

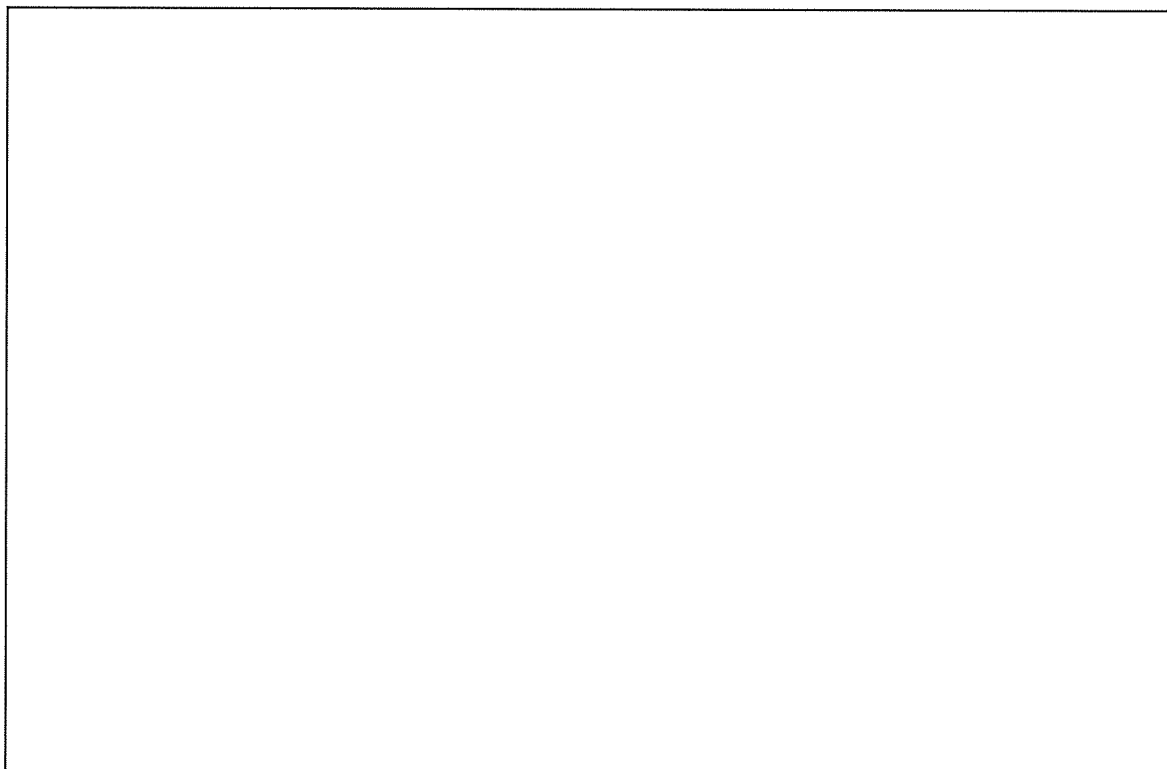
支持地盤は、GL-7.5m 以深の N 値 30 以上の砂礫層とし、計画地における柱状図を用いて、基礎の設計を行う。

b) 改良地盤の鉛直支持力度

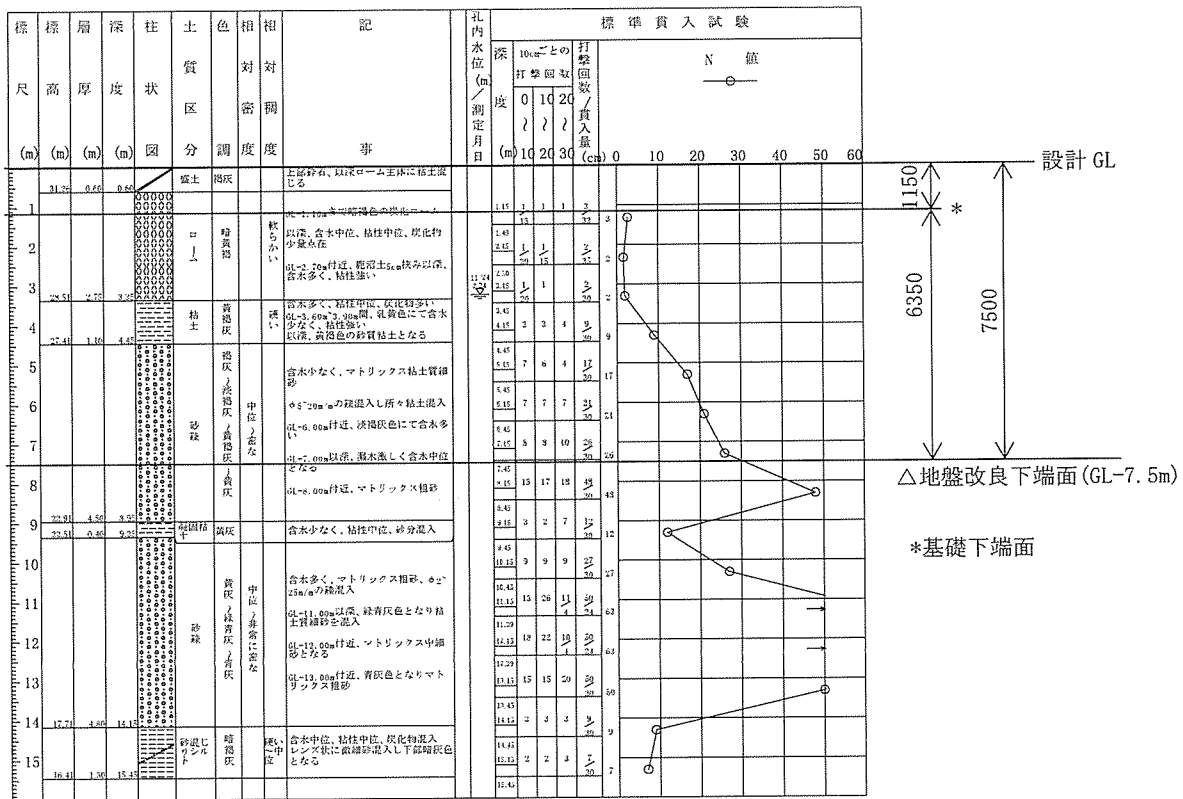
日本建築センター「改訂版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針」に準拠して設計する。

該当箇所の位置と柱状図を添説建 2-Ⅱ.1.8-1 図～添説建 2-Ⅱ.1.8-3 図に示す。事業許可に記載の通り、本加工施設を設置する敷地の土層は液状化の恐れがない洪積層の上にあることから、液状化の判定は不要としているが、念のため建設予定地の地質調査を実施した際に液状化危険度を調査し、いずれの土層についても液状化の危険度が低いと判定されており、問題がないことを確認している。

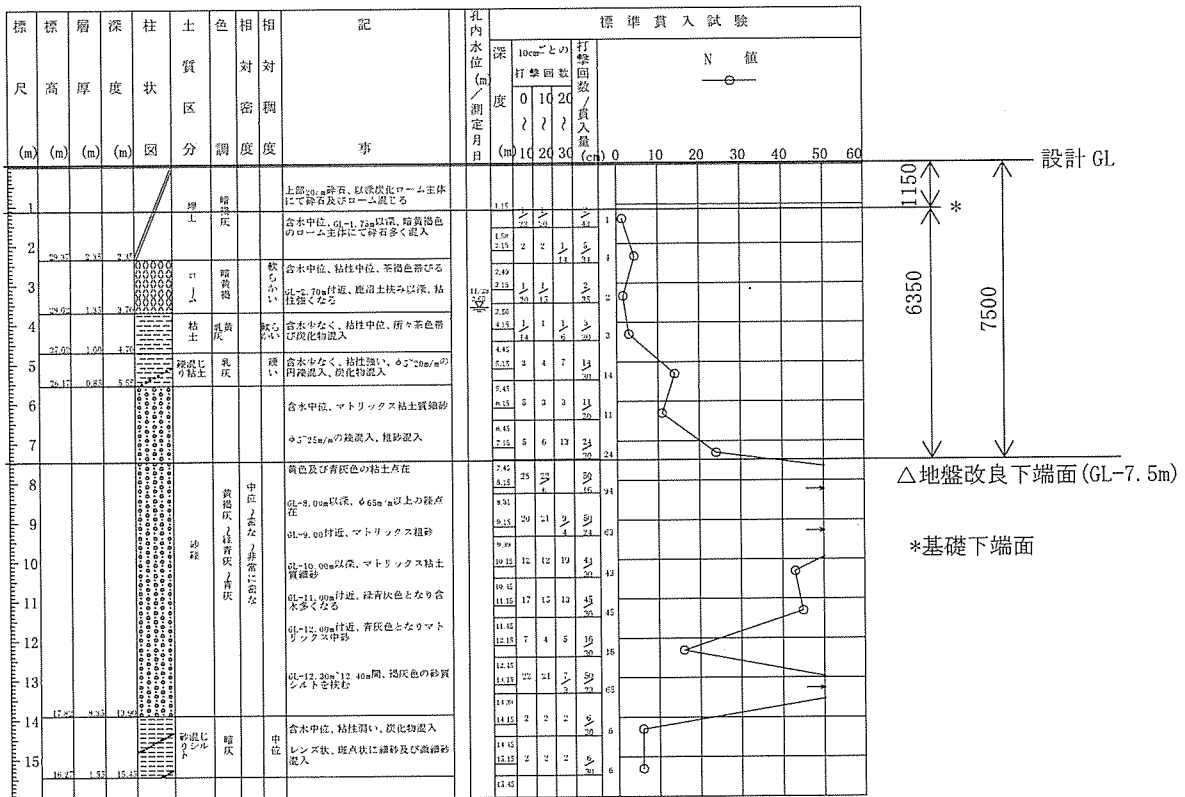
また、不等沈下については、建物の基礎は十分な支持性能を有する N 値が 30 以上ある砂礫層の上部を地盤改良し、直接支持させることとしており、不等沈下は起こらない。



添説建 2-Ⅱ.1.8-1 図 ボーリング採取位置図



添説建 2-Ⅱ. 1. 8-2 図 ボーリング柱状図 (①地点)



添説建 2-Ⅱ. 1. 8-3 図 ボーリング柱状図 (②地点)

c) 基礎の検定

基礎に作用する接地圧、曲げ、せん断それぞれに対する基礎耐力の最大検定比が 1.0 以下であることを確認する。評価結果を添説建 2-Ⅱ.1.8-8 表～添説建 2-Ⅱ.1.8-10 表に示す。

添説建 2-Ⅱ.1.8-8 表 接地圧評価結果

部位	荷重	接地圧の検討				
		軸力 N(kN)	基礎自重 NF(kN)	接地圧 σ (kN/m ²)	地耐力 f _e (kN/m ²)	検定比
F1 (X2/Y2 通り)	長期					
	短期					

添説建 2-Ⅱ.1.8-9 表 曲げ評価結果

部位	荷重	曲げ (X 方向)			曲げ (Y 方向)		
		応力 M (kN・m)	耐力 MA (kN・m)	検定比	応力 M (kN・m)	耐力 MA (kN・m)	検定比
F1 (X2/Y2 通り)	長期						
	短期						

添説建 2-Ⅱ.1.8-10 表 せん断評価結果

部位	荷重	せん断 (X 方向)			せん断 (Y 方向)		
		応力度 τ (N/mm ²)	許容値 f _s (N/mm ²)	検定比	応力度 τ (N/mm ²)	許容値 f _s (N/mm ²)	検定比
F1 (X2/Y2 通り)	長期						
	短期						

d) 改良コラムの検定

改良コラムの評価結果を添説建 2-Ⅱ.1.8-11 表、添説建 2-Ⅱ.1.8-12 表に示す。評価内容の詳細については、「添付説明書-建 2-Ⅱ付録 1」に示す。

添説建 2-Ⅱ.1.8-11 表 圧縮応力度に対する評価結果

部位	荷重	圧縮応力度 (kN/m ²)	曲げ応力度 (kN/m ²)	重ね合わせ応力度 q _p (kN/m ²)	許容圧縮応力度 f _c (kN/m ²)	検定比
F1 (X2/Y2 通り)	長期					
F1 (X2/Y2 通り)	短期					

添説建 2-Ⅱ.1.8-12 表 せん断応力度に対する評価結果

部位	荷重	最大せん断応力度 τ _{max} (kN/m ²)	許容せん断応力度 f _t (kN/m ²)	検定比
F1 (X2/Y2 通り)	短期			

e) 支持地盤の検定

支持地盤の評価結果を添説建 2-Ⅱ.1.8-13 表に示す。評価内容の詳細については、「添付説明書-建 2-Ⅱ付録 1」に示す。

添説建 2-Ⅱ.1.8-13 表 支持地盤の評価結果

部位	荷重	接地圧 σ _e (kN/m ²)	許容鉛直支持力度 q _a (kN/m ²)	検定比
F1 (X2/Y2 通り)	長期			
F1 (X2/Y2 通り)	短期			

(2) 二次設計

保有水平耐力 (Q_u) は、X 方向、Y 方向のいずれの加力に対しても必要保有水平耐力 (Q_{un}) 以上であることを確認する。

形状係数 (F_{es}) の算出結果及び保有水平耐力の評価結果を添説建 2-Ⅱ.1.8-14 表～添説建 2-Ⅱ.1.8-17 表及び添説建 2-Ⅱ.1.8-18 表～添説建 2-Ⅱ.1.8-21 表に示す。

$$Q_u \geq Q_{un} \quad (Q_u / Q_{un} \geq 1.0 \text{ であること})$$

$$Q_{un} = D_s \times F_{es} \times Q_{ud}$$

ここに

D_s : 構造特性係数

F_{es} : 形状係数 ($=F_s \times F_e$)

Q_{ud} : 地震力によって生じる水平力

(ここで耐震重要度に応じた割増し係数を考慮)

1) 形状係数 (F_{es}) の計算

各階の形状係数 (F_{es}) は、建築基準法施行令82条の6の規定による剛性率に応じた値 (F_s)、及び偏心率に応じた値 (F_e) を用い、両者を乗じて算出する。なお、 F_s 及び F_e の値は、昭和55年建設省告示第1792号第7より、剛性率 (R_s) が0.6以上の場合は $F_s=1.0$ となる。また、偏心率 (R_e) が0.15以下の場合は $F_e=1.0$ となる。各記号の詳細については、1. 2. (2) 3) 二次設計 (保有水平耐力設計) に示す。

添説建 2-Ⅱ.1.8-14 表 形状係数 (F_{es}) の算出結果 (X 方向正加力時)

階	剛性率 R_s	F_s	偏心率 R_e	F_e	F_{es}
1					

添説建 2-Ⅱ.1.8-15 表 形状係数 (F_{es}) の算出結果 (X 方向負加力時)

階	剛性率 R_s	F_s	偏心率 R_e	F_e	F_{es}
1					

添説建 2-Ⅱ.1.8-16 表 形状係数 (F_{es}) の算出結果 (Y 方向正加力時)

階	剛性率 R_s	F_s	偏心率 R_e	F_e	F_{es}
1					

添説建 2-Ⅱ.1.8-17 表 形状係数 (F_{es}) の算出結果 (Y 方向負加力時)

階	剛性率 R_s	F_s	偏心率 R_e	F_e	F_{es}
1					

2) 保有水平耐力の評価結果

添説建 2-Ⅱ. 1. 8-18 表 保有水平耐力の評価結果 (X 方向正加力)

階	Q_u (kN)	D_s	F_{cs}	Q_{ud} (kN)	Q_{un} (kN)	Q_u/Q_{un}
1						

添説建 2-Ⅱ. 1. 8-19 表 保有水平耐力の評価結果 (X 方向負加力)

階	Q_u (kN)	D_s	F_{cs}	Q_{ud} (kN)	Q_{un} (kN)	Q_u/Q_{un}
1						

添説建 2-Ⅱ. 1. 8-20 表 保有水平耐力の評価結果 (Y 方向正加力)

階	Q_u (kN)	D_s	F_{cs}	Q_{ud} (kN)	Q_{un} (kN)	Q_u/Q_{un}
1						

添説建 2-Ⅱ. 1. 8-21 表 保有水平耐力の評価結果 (Y 方向負加力)

階	Q_u (kN)	D_s	F_{cs}	Q_{ud} (kN)	Q_{un} (kN)	Q_u/Q_{un}
1						

地盤改良（深層混合処理工法）の強度評価に関する説明書

1. 概要

付属建物 発電機室は直接基礎を介して深層混合処理工法により改良された地盤（以下「改良コラム」と略記）で支持する構造としている。

この支持地盤の評価は、「改訂版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針（日本建築センター）」（以下「指針」と略記）に基づき、長期、短期の改良コラムの支持力の評価を行い、何れも許容値を満足していることを計算により確認する。

2. 支持力の評価内容

以下の 2 項についての評価を行う。

(1) 改良コラムの応力度

改良地盤の強度、即ち改良コラムの応力度についての評価を行う。直接基礎から伝達された荷重に対して改良コラムの耐力が安全であることを確認する。

(2) 改良コラム支持地盤の支持力度

改良コラムからその下にある支持地盤に伝達された荷重に対して支持地盤の耐力が安全であることを確認する。

3. 改良コラムと支持地盤の許容値

3.1. 改良コラムの形状

直接基礎、改良コラム寸法諸元を添説建 2—Ⅱ. 付 1—1 表に示す。

添説建 2—Ⅱ. 付 1—1 表 直接基礎、改良コラムの寸法諸元（1ヶ所当たり）

		単位	F1	F2
直接基礎	底面寸法 (B×W)	m		
	底面積 (A _r)	m ²		
改良コラム	直径 (d)	m		
	断面積 (A _p)	m ²		
	設計長さ (L)	m		
	本数 (n)	本		

※1：捨てコンクリート含む

3.2.改良コラムの許容応力度

改良コラムの設計基準強度 $F_c=1000\text{kN/m}^2$ とする。

指針に基づき設計基準強度を用いて許容応力度を求める。

(1) 許容圧縮応力度 f_c

指針（第1編）5.2.10式より

$$f_c \text{ (長期)} = F_c / F_s = \square \text{ kN/m}^2$$

$$f_c \text{ (短期)} = F_c / F_s = \square \text{ kN/m}^2$$

F_s : 安全率 (長期 = 3、短期 = 1.5)

(2) 許容引張応力度 f_t (短期のみ)

指針（第1編）表6.1.3より

$(-0.2)f_c$ または $(-2/3)q_{utmax}$ のうち絶対値が小さい方より求める。

ここで、 $q_{utmax} = \square \text{ kN/m}^2$

$$\begin{aligned} f_t \text{ (短期)} &= \square \\ &= \square \\ &= \square \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

(3) 許容せん断応力度 f_τ (短期のみ)

指針（第1編）6.1.8式より

許容せん断応力度 f_τ は設計せん断強度 F_τ を用いて求める。

$$f_\tau = F_\tau / F_s$$

$$F_\tau = \min(0.3 \times F_c + (Q_p / A_p) \times \tan \phi, 0.5 \times F_c)$$

ϕ : 改良コラムの内部摩擦角 ($\phi = 30^\circ$)

A_p : 改良コラム1本当り断面積 (m^2)

Q_p : 改良コラム1本当りの水平荷重 (kN)

F_s : 安全率 (長期 = 3、短期 = 1.5)

ここで、改良コラム1本当りの水平荷重は、分担する鉛直荷重に比例して作用するものとする。地震時に最大鉛直荷重が作用する基礎を選定し、改良コラム1本当り水平荷重 Q_p を以下の通りとする。(本書4.1.(2)項 参照)

$$Q_p \text{ (F1基礎、Y2-X2)} = \square \text{ kN}$$

$$Q_p \text{ (F2基礎、Y1-X3)} = \square \text{ kN}$$

F1 基礎 改良コラムの許容せん断応力度

$$\begin{aligned}
 F_{\tau} &= \boxed{} \\
 &= \boxed{} \\
 &= \boxed{} \rightarrow \boxed{} \text{ kN/m}^2 \\
 f_{\tau} &= F_{\tau} / F_s = \boxed{} = \boxed{} \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

F2 基礎 改良コラムの許容せん断応力度

$$\begin{aligned}
 F_{\tau} &= \boxed{} \\
 &= \boxed{} \\
 &= \boxed{} \rightarrow \boxed{} \text{ kN/m}^2 \\
 f_{\tau} &= F_{\tau} / F_s = \boxed{} = \boxed{} \rightarrow \boxed{} \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

3.3.改良コラム支持地盤の許容支持力度

改良コラムは、直接基礎をバランスよく保持できるように配置し、指針に基づき改良コラム底面接地圧が支持地盤の許容支持力度より小さく、下部地盤が改良コラムの伝達する荷重に対して安全であることを確認する。

(1) 改良コラム支持地盤の極限鉛直支持力 R_u

事前実施したボーリング調査の結果から改良コラムの下端位置の地盤は砂礫層（粘土混じり）であることが分かっている。改良コラムは事業許可に記載したとおり N 値 30 以上の地盤まで到達させるが、設計では保守的に考えて砂質土層での極限鉛直支持力を用いる。指針では改良コラムの極限鉛直支持力は先端支持力+周面摩擦支持力の合計より算出することになっているが、保守的に考えて周面摩擦支持力は無視することとし、先端支持力のみで評価する。

上記の条件での極限鉛直支持力は以下の式となる。

指針（第1編）5.1.12 式より

$$R_u = R_{pu} \quad (\text{先端支持力のみを考慮した場合})$$

$$R_{pu} = 75 \times \bar{N} \times A_p \quad (\text{砂質土の場合})$$

R_{pu} : 改良コラム先端での先端支持力 (kN)

\bar{N} : 先端地盤から下に 1d、上に 1d の範囲の N 値の平均値 (d : 改良コラム直径)

ボーリング柱状図より平均値を確認し、保守的に考えて $\bar{N}=24$ とする。

A_p : 改良コラム 1 本当り断面積 (m²)

この場合の改良コラム 1 本当りの地盤の極限鉛直支持力 (R_u) は以下の通り。

F1 基礎 改良コラムの極限鉛直支持力

$$\begin{aligned}
 R_{pu} &= \boxed{} = \boxed{} \text{ kN} \\
 R_u &= \boxed{} \text{ kN}
 \end{aligned}$$

F2 基礎 改良コラムの極限鉛直支持力

$$\begin{aligned}
 R_{pu} &= \boxed{} = \boxed{} \text{ kN} \\
 R_u &= \boxed{} \text{ kN}
 \end{aligned}$$

(2) 改良コラム支持地盤の許容鉛直支持力度 q_a

指針（第1編）5.1.4式より

$$q_a = 1 / F_s \times (n \times R_u) / A_f$$

q_a : 改良コラム支持地盤の許容鉛直支持力度 (kN/m²)

F_s : 安全率 (長期 = 3、短期 = 1.5)

n : 直接基礎を支える改良コラム本数

A_f : 直接基礎の底面積 (m²)

F1 基礎 改良コラム支持地盤の許容鉛直支持力度

q_a (長期) = = kN/m²

q_a (短期) = = kN/m²

F2 基礎 改良コラム支持地盤の許容鉛直支持力度

q_a (長期) = = kN/m²

q_a (短期) = = kN/m²

4. 改良コラムの評価

全ての基礎の改良コラムに関して長期荷重、短期荷重時に発生する応力度について評価する。

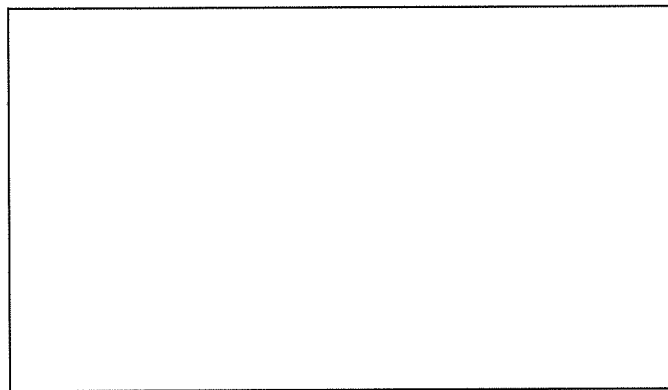
改良コラムには、長期は鉛直荷重のみ、短期は地震時における鉛直荷重+水平荷重が作用する。

4.1 評価方法

(1) 鉛直荷重についての評価方法

改良コラムに加わる鉛直荷重は、建物上部構造の固定荷重、積載荷重に加え、直接基礎の固定荷重である。

直接基礎から伝達される鉛直荷重は、改良コラムと改良コラムの無い部分の両方で支持されるが、直接基礎底面積より改良コラムの断面積が小さいため、保守的に考えて改良コラムの応力評価時には改良コラムだけで支持される状態を想定する。



単位 : (mm)

添説建 2-Ⅱ. 付 1-1 図 基礎の改良コラム配置

判定基準： $q_p / f_c \leq 1$

$$q_p = \mu_p \times \sigma_e$$

$$\mu_p = 1 / a_p$$

$$a_p = n \times A_p / A_f$$

q_p ：改良コラムの設計圧縮応力度 (kN/m²)

f_c ：許容圧縮応力度 (kN/m²)

μ_p ：応力集中係数

σ_e ：基礎底面に作用する接地圧 (kN/m²)

a_p ：改良率

n ：改良コラム1ヶ所当り本数 (本)

A_p ：改良コラム1本当り断面積 (m²)

A_f ：基礎底面積 (m²)

(2) 水平荷重についての評価方法

風荷重は地震荷重に包絡されるため、水平荷重は地震時のケースを対象とする。即ち地震時水平力を改良コラムの設計水平荷重とする。

改良コラムに載荷される地震時水平力 (Q) は上部構造物の地震時せん断力 (Q₁) と地中部分の構造物の地震時せん断力 (Q₂) の和となる。

改良コラムは地中に設置されるため、水平震度は建築基準法施行令第88条4項に基づくものとし、最も大きな水平力となる地盤面の水平震度 (k) は0.1を採用する。

なお、地域係数 (Z) は上部構造物と同一の1.0を採用する。

1) 地震時水平力

上部構造地中部重量 W_{SP} (kN)	:	<input type="text"/>
(固定荷重、積載荷重、(特殊荷重含む))		
直接基礎自重 ΣW_f (kN)	:	<input type="text"/>
地中部分の構造体の重量 W (kN)	:	$W_{SP} + \Sigma W_f =$ <input type="text"/>
地中部分の水平震度 k	:	<input type="text"/>
地域係数 Z	:	<input type="text"/>
上部構造1階の地震時せん断力 Q_1 (kN)	:	<input type="text"/> (添付説明書一建2より)
地中部分の構造物の地震時せん断力 Q_2 (kN)	:	$W \times k \times Z =$ <input type="text"/>
		$=$ <input type="text"/> \rightarrow <input type="text"/>
地震時水平力 Q (kN)	:	$Q_1 + Q_2 =$ <input type="text"/> $=$ <input type="text"/> kN
(改良コラムの設計水平荷重)		\rightarrow 保守的に考えて <input type="text"/> kN とする。

2) 地震時水平力の分担

地震時水平力を地震時鉛直荷重比により各基礎改良コラムに分担させるものとする。

$$Q_p = Q_{p1} / n$$

$$Q_{p1} = Q \times (NS / \Sigma NL)$$

Q_p : 改良コラム 1 本当り水平荷重

Q_{p1} : 改良コラム 1 ヶ所当り水平荷重

n : 改良コラム 1 ヶ所当りの本数

Q : 地震時水平力 (改良コラムの設計水平荷重)

NS : 各基礎に作用する地震時鉛直荷重の最大値

ΣNL : 上部構造総鉛直荷重

各基礎改良コラムの地震時最大鉛直荷重発生箇所に着目した水平力は以下の通り。

F1 基礎 (Y2-X2) 改良コラムに作用する水平荷重

$$\Sigma NL = \boxed{} \text{ kN}$$

$$NS = \boxed{} \text{ kN}$$

$$Q_{p1} = Q \times (NS / \Sigma NL) = \boxed{} = \boxed{} \text{ kN}$$

$$Q_p = Q_{p1} / n = \boxed{} = \boxed{} \text{ kN}$$

F2 基礎 (Y1-X3) 改良コラムに作用する水平荷重

$$\Sigma NL = \boxed{} \text{ kN}$$

$$NS = \boxed{} \text{ kN}$$

$$Q_{p1} = Q \times (NS / \Sigma NL) = \boxed{} = \boxed{} \text{ kN}$$

$$Q_p = Q_{p1} / n = \boxed{} = \boxed{} \text{ kN}$$

3) 最大曲げモーメント

地震時水平力が改良コラム上端に作用した時に発生する最大曲げモーメント (M_d) を算出する。

F1 基礎、F2 基礎における改良コラムの最大曲げモーメント (M_d) の算出は、固定度 α_y を 0.25 (半固定) として指針に従い線形弾性地盤反力法によって行い、結果を添説建 2-Ⅱ. 付 1-2 表に示す。

添説建 2-Ⅱ. 付 1-2 表 改良コラムの曲げモーメント算出

項目	単位	算出式	基礎タイプ	
			F1	F2
設計基準強度	F_c	kN/m ²		
改良コラムの変形係数	E_p	kN/m ²	= $180 \times F_c$	
N 値 (ボーリング No. 2 の基礎下端)	N			
地盤の変形係数	E_0	kN/m ²	= $7 \times N \times 100$	
加力直角方向幅	b_1	cm		
係数	α			
原地盤の水平方向地盤反力係数	k_h	kN/m ³	= $(1 / 30) \times \alpha \times E_0 \times (b_1 / 30)^{-3/4} \times 10^2$	
群杭効果に関する係数	μ_{12}			
群杭効果を考慮した水平方向地盤反力係数	k_h'	kN/m ³	= $\mu_{12} \times k_h$	
改良コラムの直径	ϕ	m		
改良コラムの断面 2 次モーメント	I_p	m ⁴	= $\pi \times \phi^4 / 64$	
杭の特性を示す係数	β	m ⁻¹	= $\sqrt[4]{\{(k_h' \times b_1 / 100) / (4 \times E_p \times I_p)\}}$	
改良コラム長	L	m		
指針表 6.1.2 の係数	Z		= $\beta \times L$	
地中部最大曲げモーメントに関する係数	$R_{M_{max}}$		指針の表 6.1.2 より	
改良コラム杭頭曲げモーメントに関する係数	R_{M_0}		指針の表 6.1.2 より	
改良コラム 1 本当りの水平力	Q_p	kN		
改良コラム地中部最大曲げモーメント	M_{max}	kN・m	= $(Q_p / (2 \times \beta)) \times R_{M_{max}}$	
改良コラム杭頭曲げモーメント	M_0	kN・m	= $(Q_p / (2 \times \beta)) \times R_{M_0}$	
改良コラム最大曲げモーメント	M_d	kN・m	= $\max(M_{max}, M_0)$	
改良コラムの断面係数	Z_p	m ³	= $2 \times I_p / \phi$	

4) 判定基準

地震時水平力が作用した時の水平荷重と最大曲げモーメントにより改良コラムに発生する圧縮応力度とせん断応力度が改良コラムの許容応力度以下であるものとする。

圧縮応力度の評価に当たっては、最大曲げモーメント (M_d) により発生する応力度と鉛直荷重により発生する応力度との重ね合わせ応力度により行う。

4.2. 評価結果

(1) 長期の評価結果

改良コラムに作用する長期荷重により発生する圧縮応力度が、許容圧縮応力度以下であることを確認する。検定比が最大となる基礎について添説建 2-Ⅱ. 付 1-3 表に示す。

添説建 2-Ⅱ. 付 1-3 表 圧縮応力度の評価結果（長期）

基礎タイプ	基礎位置	上部構造鉛直荷重 NL (kN)	基礎自重 W_f (kN)	設計鉛直荷重 $NL+W_f$ (kN)	改良コラム面積 $n \times A_p$ (m^2)	基礎底面積 A_f (m^2)	底面接地圧 σ_c $= (NL+W_f)/A_f$ (kN/m^2)	応力集中係数 μ_p ※1	圧縮応力度 q_p ※1 (kN/m^2)	改良コラム許容圧縮応力度 f_c ※2 (kN/m^2)	検定比 q_p/f_c
F1	Y2-X2										
F2	Y1-X3										

※1：4.1.(1)項 参照

※2：3.2.(1)項 参照

(2) 短期の評価結果

1) 圧縮応力度の評価

改良コラムに作用する短期荷重により発生する圧縮応力度が、許容圧縮応力度以下であることを確認する。検定比が最大となる基礎について添説建 2-Ⅱ. 付 1-4 表に示す。

添説建 2-Ⅱ. 付 1-4 表 圧縮応力度の評価結果（短期）

基礎タイプ	基礎位置	上部構造鉛直荷重 NS (kN)	基礎自重 W_f (kN)	設計鉛直荷重 $NS+W_f$ (kN)	改良コラム面積 $n \times A_p$ (m^2)	基礎底面積 A_f (m^2)	底面接地圧 σ_c $= (NS+W_f)/A_f$ (kN/m^2)	応力集中係数 μ_p ※1	圧縮応力度 q_p ※1 (kN/m^2)	改良コラム許容圧縮応力度 f_c ※2 (kN/m^2)	検定比 q_p/f_c
F1	Y2-X2										
F2	Y1-X3										

※1：4.1.(1)項 参照

※2：3.2.(1)項 参照

2) 曲げ応力度の評価

改良コラムに作用する最大曲げモーメントによる曲げ応力度と鉛直荷重による圧縮応力度との重ね合わせ応力度が、許容圧縮応力度以下であることを確認する。検定比が最大となる基礎について添説建 2-Ⅱ. 付 1-5 表に示す。

添説建 2-Ⅱ. 付 1-5 表 曲げ応力度の評価結果 (短期)

基礎タイプ	基礎位置	評価位置	最大曲げモーメント M_d ※1 (kN・m)	断面係数 Z_p ※1 (m ³)	改良コラム曲げ応力度 σ_b = M_d/Z_p (kN/m ²)	改良コラム圧縮応力度 q_p ※2 (kN/m ²)	重ね合わせ応力度 σ = σ_b+q_p (kN/m ²)	許容圧縮応力度 f_c ※3 (kN/m ²)	検定比 σ / f_c
								許容引張応力度 f_t ※4 (kN/m ²)	検定比 σ / f_t
F1	Y2-X2	圧縮側							
		引張側							
F2	Y1-X3	圧縮側							
		引張側							

※1: 4. 1. (2) 3)項 参照

※2: 4. 2. (2) 1)項 参照

※3: 3. 2. (1)項 参照

※4: 3. 2. (2)項 参照

※5: 改良コラムに引張応力は発生しない。

3) せん断応力度の評価

改良コラムに作用する地震時水平力による最大せん断応力度が、許容せん断応力度以下であることを確認する。検定比が最大となる基礎について添説建 2-Ⅱ. 付 1-6 表に示す。

指針 (第 1 編) 6. 1. 7 式より

$$\tau_{max} = \kappa \times (Q_p / A_p)$$

τ_{max} : 形状を考慮した断面内の最大せん断応力度 (kN/m²)

A_p : 改良コラム 1 本当り断面積 (m²)

κ : 形状係数 (円形、非ラップ配置の場合 4/3)

添説建 2-Ⅱ. 付 1-6 表 せん断応力度の評価結果 (短期)

基礎タイプ	基礎位置	形状係数 κ	設計水平力 Q_p ※1 (kN)	改良コラム断面積 A_p (m ²)	最大せん断応力度 τ_{max} (kN/m ²)	許容せん断応力度 f_τ ※2 (kN/m ²)	検定比 τ_{max}/f_τ
F1	Y2-X2						
F2	Y1-X3						

※1: 4. 1. (2) 2)項 参照

※2: 3. 2. (3)項 参照

5. 改良コラム支持地盤の評価

全ての改良コラムの下部地盤が改良コラムの伝達する荷重に対して安全であることを指針に基づいて確認する。

支持地盤の評価は長期、短期について行うものとし、支持地盤には長期、短期ともに鉛直荷重のみが作用する。

5.1. 評価方法

指針より、「支持地盤面の抵抗力から改良地盤の有効重量を減じないで良い」とされていることから、直接基礎の底面接地圧が改良コラムを介してそのまま支持地盤へ伝達されるものとし、改良コラム底面の接地圧 = 直接基礎の底面接地圧 (σ_0) として評価する。

5.2. 評価結果

長期、短期の評価を行い、いずれの位置においても許容値以内であることを確認する。検定比が最大となる場合の評価結果を添説建 2-Ⅱ. 付 1-7 表に示す。

添説建 2-Ⅱ. 付 1-7 表 支持地盤の評価結果

荷重 ケース	基礎タイプ	基礎位置	改良コラム 底面接地圧 σ_0 (kN/m ²)	支持地盤の 許容支持力度 q_a ※3 (kN/m ²)	検定比
長 期	F1	Y2-X2			
	F2	Y1-X3			
短 期	F1	Y2-X2			
	F2	Y1-X3			

※1： 4. 2. (1)項 参照

※2： 4. 2. (2)項 参照

※3： 3. 3. (2)項 参照

竜巻による損傷防止に関する説明書

I. 竜巻防護設計の基本方針

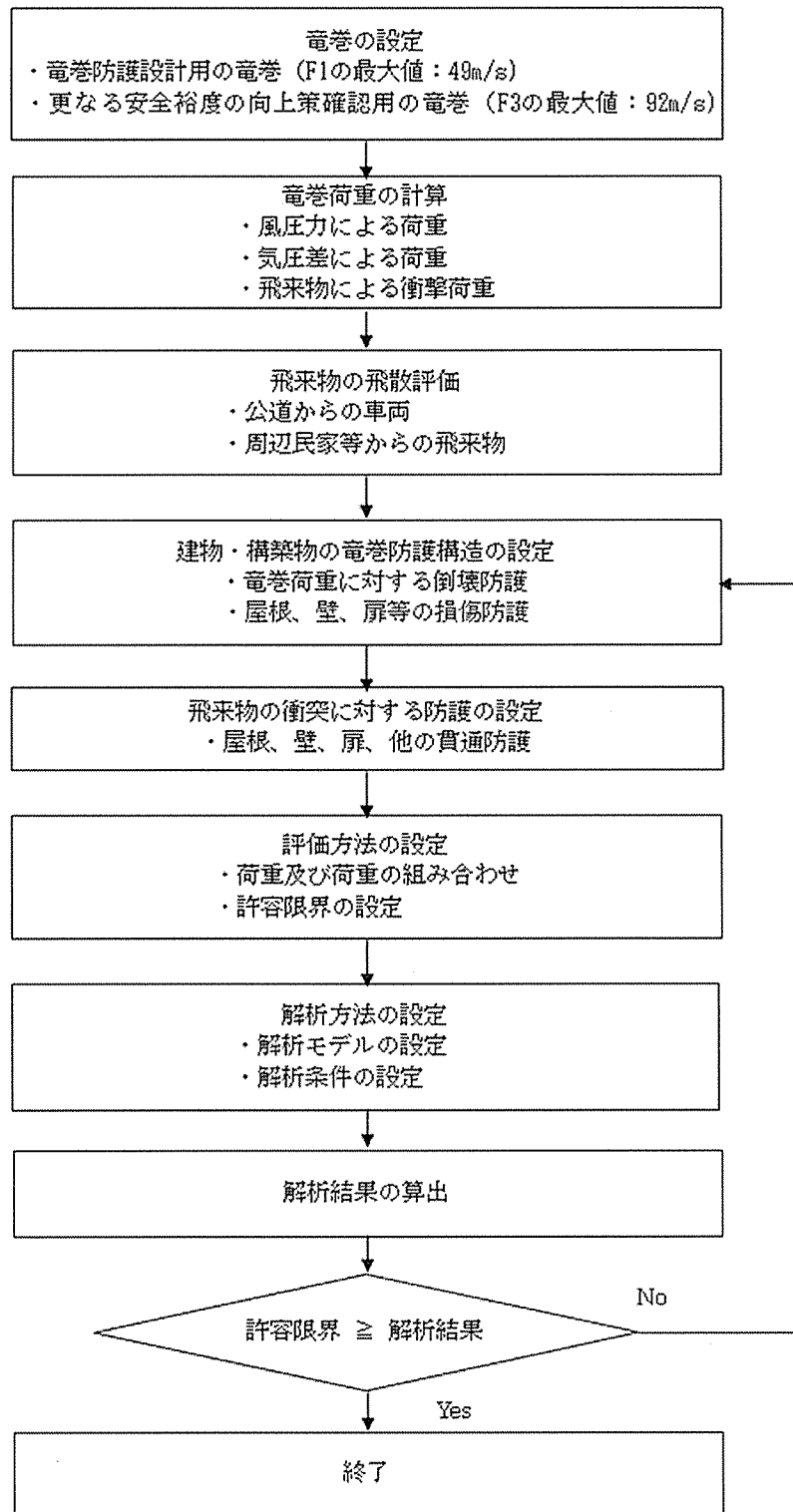
1. 竜巻防護設計の方針

「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」（以下「竜巻ガイド」と略記）を参考に算出した本加工施設が立地する地域での竜巻規模は、稀に発生する竜巻として年超過確率 10^{-4} に相当する風速は41m/sであり、藤田スケールのF1(33～49m/s)にあたる。

以上より、加工施設の建物、構築物の竜巻防護設計において想定する風速はF1の最大風速の49m/sとし、安全機能を有する施設の安全機能を損なうことがないように、竜巻荷重を上回る強度を有する設計とする。具体的には、建物に作用する竜巻荷重に対して、保有水平耐力との比較と局部評価として屋根、壁、扉、シャッタの強度との比較を実施する。飛来物については、敷地内の飛来物は予め防護対策を行うことから、敷地外からの飛来物に対して防護設計を実施する。

また、更なる安全裕度の向上策の確認として、藤田スケールのF3の最大風速（92m/s）で、同様の評価を実施する。

建物、構築物の竜巻防護設計フローの概要を添説建3－I.1図に示す。



添説建 3-I.1 図 建物、構築物の竜巻防護設計フロー概要

2. 竜巻荷重の算定

建物、構築物の竜巻防護の構造設計に用いる竜巻荷重は、竜巻ガイドを参考に以下のとおり算出する。

2. 1. 気圧低下による荷重

- ・ 竜巻の移動速度 : $V_T = 0.15 \times V_D$ (m/s)
- ・ 竜巻の最大接線風速 : $V_m = V_D - V_T$ (m/s)
- ・ 竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径 : $R_m = 30$ (m)
- ・ 竜巻の最大気圧低下量 : $\Delta P_{max} = \rho \times V_m^2$ (Pa)

ここで、 ρ は空気密度 (=1.22kg/m³) である。

F1 竜巻及び F3 竜巻の特性値は、以下に示すとおりである。

設計評価用 F1 竜巻の特性値

$$\begin{aligned}V_D &= 49 \text{ (m/s)} \\V_T &= 7 \text{ (m/s)} \\V_m &= 42 \text{ (m/s)} \\ \Delta P_{max} &= 2152 \text{ (Pa)}\end{aligned}$$

更なる安全裕度の向上策の確認用 F3 竜巻の特性値

$$\begin{aligned}V_D &= 92 \text{ (m/s)} \\V_T &= 14 \text{ (m/s)} \\V_m &= 78 \text{ (m/s)} \\ \Delta P_{max} &= 7422 \text{ (Pa)}\end{aligned}$$

これら特性値を用いて、竜巻荷重を算出する。

2. 2. 風圧力による荷重

竜巻の最大風速 (V_D) における風圧力 (P_D) は、竜巻ガイドを参考に次式で算出する。

$$P_D = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで、 q は設計用速度圧、 G はガスト影響係数、 C は風力係数、 A は施設の受圧面積を表し、 q は次式による。

$$q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2$$

なお、本評価では $G = 1.0$ とする。

また、風力係数 C 値については、建物を上面からみた場合の風向方向の建物寸法を D 、風向に垂直な方向の建物寸法を B とした場合の壁の風力係数を添説建3- I. 2. 2-1表、風上側からの屋根端部からの距離を R_b とした場合の屋根の風力係数を添説建3- I. 2. 2-2表に示す。(各係数の値は事業許可と同じ)

添説建 3-I.2.2-1 表 風力係数 C_w (正が圧縮、負が引張) (壁)

		風力係数
風上側 C_{wU}		0.80
風下側 C_{wL}	D/B 比 ≤ 1	-0.50
	D/B 比 > 1	-0.35

D : 風向方向の建物寸法

B : 風向に直交する方向の建物寸法

添説建 3-I.2.2-2 表 風力係数 C_R (正が圧縮、負が引張) (屋根)

風上側からの屋根端部からの距離 Rb	風力係数 (外圧係数)
$Rb \leq 0.50B$	-1.20
$0.50B < Rb \leq 1.50B$	-0.60
$Rb > 1.50B$	-0.20

2.3. 竜巻防護設計の組み合わせ荷重

建物、構築物に負荷される竜巻荷重としては、竜巻の最大風速における風圧力による荷重 (W_w)、建物内外の気圧差による荷重 (W_p) 及び設計飛来物による衝撃荷重 (W_M) がある。竜巻ガイドを参考に、これらの荷重を以下のとおり組み合わせて算出する。なお、加工施設においては飛来物衝撃は発生しないため、 W_M は考慮しない。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_w + 1/2 W_p + W_M$$

ここで

W_w : 竜巻の風圧力による荷重

W_p : 竜巻による気圧差による荷重

W_M : 飛来物による衝撃荷重

なお、荷重は評価対象部分の面積の取り方によって変化することから便宜上圧力の単位で検討する場合がある。圧力の単位で表記する場合、 W を小文字 (w) で表す。荷重の単位で表す場合は W を大文字 (W) で表す。

(1) 建物、構築物に作用する水平方向の竜巻荷重

建物、構築物の構造設計に用いる水平方向（x ないし y 方向）の竜巻荷重は以下の方法で算定する。なお、建物には気圧差が作用しても建物の水平方向の両側で打ち消しあうが、ここでは、保守的に建物の風下側の面にのみ気圧差が作用するものとする。

$$W_{T1} = w_p \cdot A_L$$

$$W_{T2} = (C_{wU} \cdot q \cdot A_U - C_{wL} \cdot q \cdot A_L) + \frac{1}{2} \cdot w_p \cdot A_L$$

A_U : 風上側面積

A_L : 風下側面積

C_{wU} : 風上側風力係数

C_{wL} : 風下側風力係数

(2) 屋根、壁、扉、シャッタ等に作用する竜巻荷重

建物の屋根、壁、扉、シャッタ等の局部強度設計に用いる竜巻荷重は、以下の方法で算定する。

【屋根に作用する竜巻荷重】

屋根については、風圧力と気圧差が作用する方向は常に上向きである。

なお、 W_{T2} については、局部強度に対する設計荷重であることを添え字の r で示す。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2_r} = C_R \cdot q + \frac{1}{2} W_p$$

【壁、扉、シャッタ等に作用する竜巻荷重】

壁、扉、シャッタ等に作用する荷重は、気圧差の大きさによって、風上側と風下側のいずれか厳しい結果を選択する。気圧差単独の荷重 $W_{T1} = W_p$ も含めて、評価すべき荷重は次のとおり算出される。なお、 W_{T2} については、局部評価荷重であることを添え字の w で示す。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2_w} = \begin{cases} C_{wU} \cdot q + \frac{1}{2} W_p & \text{if } (C_{wU} + C_{wL}) \cdot q \geq -W_p \\ C_{wL} \cdot q + \frac{1}{2} W_p & \text{if } (C_{wU} + C_{wL}) \cdot q < -W_p \end{cases}$$

3. 飛来物の飛散評価

竜巻ガイドを参考に、防護対象施設に影響を与える可能性がある飛来物を抽出し、飛散評価を実施する。飛来物の選定に際しては、大きな運動エネルギーをもつ飛来物(自動車、プレハブ物置等)、貫通力が大きな飛来物(鉄骨部材等)を考慮する。

飛散評価は、F1竜巻(風速49m/s)の条件下で実施し、飛散評価には電力中央研究所が開発した竜巻飛来物解析コード「TONBOS」を用いる。また、TONBOSで解析する際の竜巻風速場にはフジタモデル(DBT-77モデル)を適用する。

なお、F1竜巻(風速49m/s)で、敷地内で防護対象施設に影響を与える飛来物となり得るプレハブ物置については固縛措置等を講じることから、対象とする飛来物は敷地外にある自動車、プレハブ物置、鉄骨部材(竜巻ガイドに記載の鋼材等)とする。

4. 建物、構築物の竜巻防護設計の方法

4.1. 建物、構築物の構造強度評価

建物、構築物の保有水平耐力と建物、構築物に作用する水平方向(xないしy方向)の竜巻荷重の比較を行い、保有水平耐力が竜巻荷重を上回る設計とする。

4.2. 屋根、壁、扉、シャッタの局部評価

竜巻荷重に対して、屋根、壁、扉、シャッタ等の局部的な強度評価を行い、弾性範囲に留める設計とする。

一般に建築、土木に関する技術計算においては以下の定義による用語を用いており、本資料もこれに準じることとする。

応力 : 部材に作用する内力を意味し、せん断力、軸力等の荷重の次元を持つ場合あるいは曲げモーメント、トルク等の荷重×距離の次元を持つ場合がある。

応力度 : 内力による単位面積当りの荷重を意味し、荷重を面積で除した次元を持つ。

耐力 : 骨組や部材が破壊せずに耐えられる限界の応力を意味する。

4. 3. 飛来物の衝突に対する防護設計

(1) 鉄筋コンクリート壁の貫通評価

鉄筋コンクリートの屋根や外壁等の貫通限界厚さは、下記の修正 NDRC 式(1)及び Degen 式(2)により求める。

$$x_c = \alpha_c \sqrt{4KWND \left(\frac{V}{1000D} \right)^{1.8}} \quad (1)$$

x_c : 貫入深さ (in)

$$K = 180 \sqrt{F_c}$$

W : 重量 (lbs)

F_c : コンクリート強度 20.6N/mm²=2987.8 (psi)

D : 飛来物直径 (飛来物面積と等しくなる直径) (in)

V : 衝突速度 (ft/s)

N : 形状係数 (自動車の場合、0.72)

α_c : 飛来物低減係数 (1)

$$t_p = \alpha_p D \left\{ 2.2 \left(\frac{x_c}{\alpha_c D} \right) - 0.3 \left(\frac{x_c}{\alpha_c D} \right)^2 \right\} \quad (2)$$

t_p : 貫通限界厚さ (in)

α_p : 飛来物低減係数 (自動車の場合、0.65)

(2) 鋼板の貫通評価

鋼板で防護する壁や鉄扉等の貫通限界厚さは、下記に示す BRL 式 (3) により求める。

$$T^{3/2} = \frac{0.5MV^2}{17400K^2D^{3/2}} \quad (3)$$

T : 鋼板の貫通限界厚さ (in)

M : 飛来物質量 (lb \cdot s²/ft)

V : 飛来物速度 (ft/s)

D : 飛来物直径 (飛来物面積と等しくなる直径) (in)

K : 鋼板の材質に関する係数 (≈ 1)

4. 4. 許容限界

- ・ 建物、構築物に対する防護設計竜巻 F1 (49m/s) の水平荷重に対する許容限界は、建物、構築物の保有水平耐力とする。
- ・ 建物の屋根、壁、扉等の局部評価の許容限界は、単位面積当りの許容短期荷重を原則とする。
- ・ 鉄筋コンクリート壁、鋼板に対する飛来物貫通の許容限界は、4. 3. 項に示す貫通評価式で算出した厚さとする。

5. 更なる安全裕度の向上策の確認

竜巻ガイドに基づき、加工施設が立地する地域及び日本全国の類似の気象条件の地域において、過去に発生した最大規模の竜巻による風速及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速を求め、その結果、当該地域において発生するおそれがある最大の竜巻の規模は、藤田スケールで F3 規模となると推定した。また、日本全土で過去に発生した最大級の竜巻の規模は F3 である。

以上より、更なる安全裕度の向上策の確認は、竜巻 F3 の最大風速の 92m/s に対して、壁や屋根、扉等に部分的に塑性変形が仮に生じたとしても破断することが無いこと、また、建物が倒壊することが無いことを評価し、加工施設に大きな影響を及ぼすおそれが無いことを確認する。

5. 1. 建物、構築物の構造強度評価

- ・ 建物、構築物の保有水平耐力と建物、構築物に作用する水平方向（x ないし y 方向）の竜巻荷重の比較を行い、保有水平耐力が竜巻荷重を上回ることを確認する。
- ・ 屋根が折板等の建物で F3 竜巻では屋根が損傷する場合は、屋根内外の気圧差は解消されるものとして竜巻荷重を算定する。

5. 2. 屋根、壁、扉等の局部評価

- ・ 竜巻荷重による、屋根、壁、扉等の局部的な荷重と終局耐力荷重との比較評価により、部分的に塑性変形することはあるが、破断することが無いことを確認する。
- ・ 屋根が折板等の建物で F3 竜巻で屋根が損傷する場合は、屋根内外の気圧差は解消されるものとして竜巻荷重を算定する。
- ・ 屋根が損傷して屋内の設備、機器に竜巻が影響する場合は、設備、機器に 92m/s の風が作用した場合の竜巻荷重を上回る強度を有する設計とする。（アンカー補強、固縛等による防護）

5. 3. 飛来物の衝突に対する評価

- ・ 4. 3. 項と同様の方法で評価する。
- ・ 屋根が損傷する建物で、建物上部まで飛来物が到達する場合は、屋根の下に設置する屋内の設備、機器等の飛散防止用防護ネットでそれらを飛来物からも防護する設計とする。
- ・ 飛散防止用防護ネットを通過して飛来物（プレハブ物置のプレス）が到達する場合は、屋内の設備、機器に対する飛来物の影響を評価する。

5. 4. 許容限界の設定

- ・ 建物、構築物に対する F3 竜巻（92m/s）の水平荷重に対する許容限界は、建物、構築物の保有水平耐力とする。
- ・ 建物の屋根、壁、扉等の強度評価の許容限界は、単位面積当りの終局耐力荷重を原則とする。
- ・ 鉄筋コンクリート屋根、壁、鋼板に対する飛来物貫通の許容限界は、4. 3. 項に示す貫通評価式で算出した厚さとする。

6. 適用規格

設計は原則として、次の関係規準に準拠する。

- ・ 原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（原子力規制委員会）
- ・ 原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(案)及び解説（原子力安全基盤機構）
- ・ 建築基準法・同施行令・告示等
- ・ 日本産業規格（JIS）（日本規格協会）
- ・ 鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会）
- ・ 鋼構造設計規準 — 許容応力度設計法 —（日本建築学会）
- ・ 建築基礎構造設計指針（日本建築学会）
- ・ 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書（建築研究所）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会）
- ・ 改訂版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針（日本建築センター）
- ・ 建築工事標準仕様書・同解説（日本建築学会）

II. 付属建物 発電機室の竜巻防護設計計算書

1. 発電機室の概要

1.1. 位置

発電機室の設置位置を図り建-1に示す。

設置場所は敷地内中央の南側に位置し、最も近い民家や公道から 240m 以上離れている。

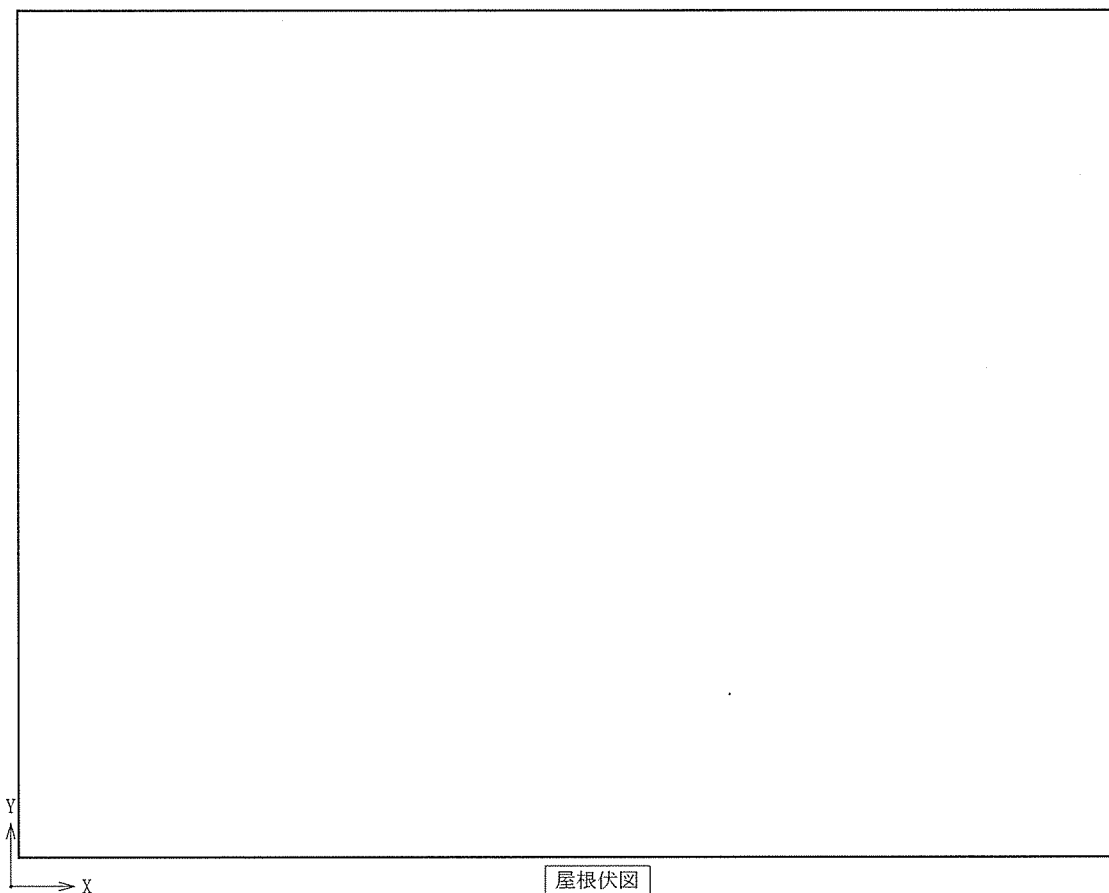
1.2. 建物の概要

発電機室は平屋建ての鉄筋コンクリート造（RC 造）であり、平面形状は、、
高さ約 m の整形な新設建物である。

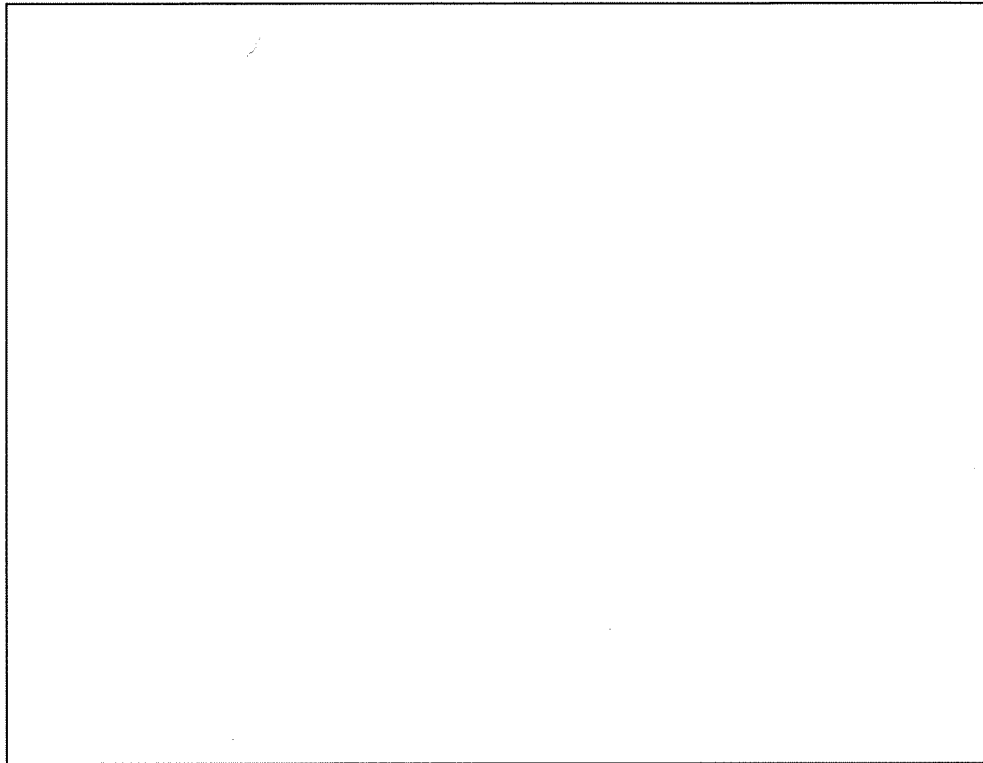
開口部としては、鉄扉、空調用開口を設置している。

屋根伏図、断面図を添説建 3-Ⅱ. 1. 2-1 図、添説建 3-Ⅱ. 1. 2-2 図に示す。

注) 添付説明書の図に示す寸法の単位は、特記以外ミリメートルとする。



添説建 3-Ⅱ. 1. 2-1 図 屋根伏図

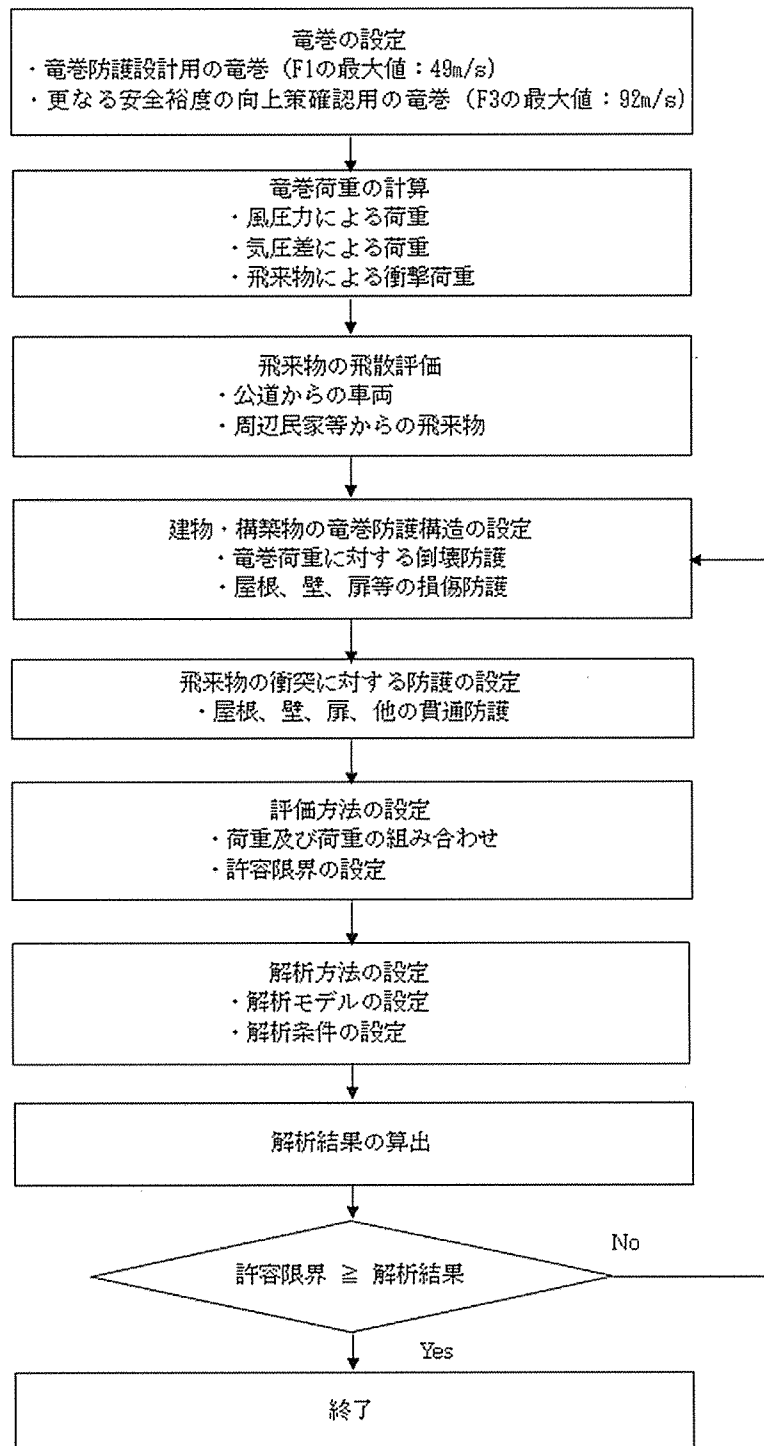


添説建 3-Ⅱ.1.2-2 図 A-A 断面図

1.3.設計方針

竜巻防護設計の方針に従い、竜巻は風速を藤田スケール F1 の最大風速 49m/s とし、構造強度評価「建物に作用する竜巻荷重と保有水平耐力との比較」、局部評価「屋根、壁、鉄扉等に作用する荷重と強度との比較」を実施する。なお、敷地内の飛来物は、加工施設に影響の無い距離まで離すことや固縛等を行うので対象外とし、評価対象は敷地外から想定される飛来物とする。

また、更なる安全裕度の向上策の確認として、F3 の最大風速 92m/s で同様の評価を実施する。建物、構築物の竜巻防護設計フローの概要を添説建 3-Ⅱ.1.3-1 図に示す。



添説建 3-Ⅱ.1.3-1 図 建物、構築物の竜巻防護設計フロー概要

2. 竜巻荷重の計算

2.1 建物の構造強度評価に用いる竜巻荷重の計算

構造強度評価は、「建物の保有水平耐力と同建物に作用する気圧差による荷重」と「気圧差による荷重と風圧力による荷重を組合わせた荷重」との比較で行う。この評価により、発電機室が竜巻により倒壊することが無いことを確認する。

(1) 竜巻荷重の計算

気圧差による荷重 W_{T1} 、気圧差による荷重と風圧力による荷重を組合わせた荷重 W_{T2} は以下の式で計算し、荷重の大きい方を採用する。また、F3 竜巻荷重についても同様に計算する。

$$W_{T1} = w_p \times A_L$$

$$W_{T2} = (C_{WU} \times q \times A_U - C_{WL} \times q \times A_L) + 1 / 2 \times w_p \times A_L$$

ここで

A_U : 風上側面積

A_L : 風下側面積

w_p : 竜巻による気圧差による荷重

C_{WU} : 風上側風力係数

C_{WL} : 風下側風力係数

q : 設計用速度圧

速度圧、気圧差による荷重の計算式と各パラメータを下記に示す。

$$q = 1 / 2 \times \rho \times V_D^2$$

$$w_p = \rho \times V_m^2$$

ここで

ρ : 空気密度 = 1.22 kg/m³

V_D : F1 竜巻最大風速 = 49 m/s、F3 竜巻最大風速 = 92 m/s

V_m : F1 竜巻の最大接線風速 = 42 m/s、F3 竜巻の最大接線風速 = 78 m/s

(2) 風力係数

壁、鉄扉の風力係数を添説建 3-Ⅱ. 2. 1-1 表（原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説（独立行政法人 原子力安全基盤機構）より）に示す。風下側の風力係数 C_{WL} は、風向方向の建物寸法 D と風向に直交する方向の建物寸法 B の比で整理されるが、保守的に絶対値が大きい -0.50 を用いて評価する。

添説建 3-Ⅱ. 2. 1-1 表 壁等の風力係数 C_w （正が圧縮、負が引張）

		風力係数
風上側 C_{WU}		0.80
風下側 C_{WL}	D/B 比 ≤ 1	-0.50
	D/B 比 > 1	-0.35

D : 風向方向の建物寸法

B : 風向に直交する方向の建物寸法

2.2. 局部評価に用いる竜巻荷重の計算

(1) 荷重計算方法

荷重計算方法を以下に示す。局部評価用のF1 竜巻荷重は、壁、鉄扉については w_{T1} と $w_{T2,w}$ の大きい方、屋根については w_{T1} と $w_{T2,r}$ の大きい方とする。

1) 壁、鉄扉

$$w_{T1} = w_p$$

$$w_{T2,w} = \begin{cases} C_{WU} \times q + 1 / 2 \times w_p & (C_{WU} + C_{WL}) \times q \geq -w_p \text{ の場合} \\ C_{WL} \times q + 1 / 2 \times w_p & (C_{WU} + C_{WL}) \times q < -w_p \text{ の場合} \end{cases}$$

2) 屋根

$$w_{T1} = w_p$$

$$w_{T2,r} = C_R \times q + 1 / 2 \times w_p$$

(2) 風力係数

壁、鉄扉の風力係数は添説建 3-Ⅱ. 2. 1-1 表に示す通りである。なお、風下側は、保守的に絶対値が大きい-0.5 を用いて評価する。

屋根の風力係数を添説建 3-Ⅱ. 2. 2-1 表（原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説（独立行政法人 原子力安全基盤機構）より）に示す。屋根に作用する荷重は、風上側の屋根端部からの距離 Rb で整理されるが、保守的に絶対値が大きい-1.20 を用いて評価する。

添説建 3-Ⅱ. 2. 2-1 表 屋根の風力係数 C_R （屋根健全時 正が圧縮、負が引張）

	風力係数
$Rb \leq 0.50B$	-1.20
$0.50B < Rb \leq 1.50B$	-0.60
$Rb > 1.50B$	-0.20

Rb : 風上側の屋根端部からの距離

B : 風向に直交する方向の建物寸法

3. 建物健全性の評価結果

3.1. 建物の構造強度評価

建物に作用する水平方向の竜巻荷重と保有水平耐力を比較することで構造強度評価を行う。保有水平耐力は、「添付説明書ー建 2 II. 附属建物 発電機室耐震計算書」1.8. 評価結果(2)二次設計の保有水平耐力の評価のうちの X 方向、Y 方向それぞれについて正負加力 2 ケースのうち小さい方の値を用いる。

保有水平耐力と竜巻荷重の比較結果を添説建 3ーII. 3.1ー1 表に示す。評価の結果、保有水平耐力は F1 竜巻荷重を上回っており、F1 竜巻に対して建物は健全である。

添説建 3ーII. 3.1ー1 表 保有水平耐力と F1 竜巻荷重の比較評価

	保有水平耐力 (kN)	F1 竜巻荷重 (kN) ※1	検定比	評価
X 方向 (東西方向)				○
Y 方向 (南北方向)				○

※1：添付説明書ー建 3ーII 付録 2 参照

3.2. 屋根、壁、鉄扉の局部評価

短期許容荷重と竜巻荷重とを比較した局部評価結果を添説建 3ーII. 3.2ー1 表に示す。評価の結果、各部の強度は F1 竜巻荷重を上回っており、F1 竜巻荷重に対して健全である。

添説建 3ーII. 3.2ー1 表 局部評価

	単位面積当りの 短期許容荷重 (Pa)	単位面積当りの F1 竜巻荷重 (Pa)	検定比	評価
屋根				○
壁				○
鉄扉				○

※1：添付説明書ー建 3ーII 付録 5 参照

(ただし、屋根については、F1 竜巻荷重が屋根固定荷重 (6200 N/m²) 以下であり、浮き上がり力は生じないことから検討を省略)

※2：添付説明書ー建 3ーIII. 発電機室新設標準鉄扉説明書 参照

※3：添付説明書ー建 3ーII 付録 4 参照

注) 表記の検定比は、建物の外殻を構成する屋根、外壁、建具等の各部における F1 竜巻荷重に対する短期許容荷重の比の最大値を示す。ただし、構成各部の評価の過程において、検定比が F1 竜巻荷重時の発生応力度に対する許容応力度で計算されている場合は、短期許容荷重は載荷されている F1 竜巻荷重を検定比で割り戻す (短期許容荷重=F1 竜巻荷重/検定比) ことで算出する。

3.3.飛来物の飛散による壁、屋根の貫通評価結果

電力中央研究所が開発した竜巻飛来物解析コード「TONBOS」を用いて飛来物の飛散評価を行う。TONBOS で解析する際の竜巻風速場にはフジタモデル (DBT-77 モデル) を適用する。F1 竜巻での評価結果を添説建 3-Ⅱ.3.3-1 表に示す。

評価の結果、最大飛散距離はプレハブ物置 (大) が 55m であるが、最も近い民家や公道から発電機室までは 240m 以上離れており、同建物まで到達する飛来物は無いことから、建物の壁、屋根の貫通評価は不要である。

添説建 3-Ⅱ.3.3-1 表 F1 竜巻での敷地外からの飛来物評価結果

竜巻条件 (F1)

最大風速	49	(m/s)
最大接線風速	42	(m/s)
移動速度	7	(m/s)

品名	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	設置高さ (m)	重量 (kgf)	空力係数 (m ² /kg)	最大水平速度 (m/s)	最大鉛直速度 (m/s)	運動エネルギー (水平) (kJ)	運動エネルギー (鉛直) (kJ)	最大飛散距離 (m)	最大飛散高さ (m)
鋼製材	4.2	0.2	0.3	0	135	0.0065	0.0	0.0	0	0	0	0.0
鋼製パイプ	0.05	2	0.05	0	8.4	0.0057	0.0	0.0	0	0	0	0.0
乗用車 (ワゴン)	5.2	1.9	2.3	0	1890	0.0073	0.0	0.0	0	0	0	0.0
軽自動車 1	3.4	1.5	1.6	0	840	0.0102	0.0	0.0	0	0	0	0.0
軽自動車 2	3.4	1.5	1.5	0	710	0.0116	4.2	0.2	6	0	1	0.0
軽トラック	3.4	1.5	1.8	0	740	0.0122	8.5	0.7	26	0	4	0.1
4 t トラック	8.1	2.2	2.5	0	3900	0.0059	0.0	0.0	0	0	0	0.0
15t トラック	12.0	2.5	3.3	0	9420	0.0045	0.0	0.0	0	0	0	0.0
バス (路線バスタイプ)	10.3	2.5	3.1	0	9920	0.0035	0.0	0.0	0	0	0	0.0
バス (観光バスタイプ)	12.0	2.5	3.5	0	13080	0.0034	0.0	0.0	0	0	0	0.0
プレハブ物置 (小)	0.75	1.10	1.305	0.18	60	0.0356	24.8	5.2	18	1	31	1.9
プレハブ物置 (中)	1.37	2.21	2.075	0.1	223	0.0309	27.0	6.0	81	4	45	3.1
プレハブ物置 (大)	2.22	5.14	2.35	0.1	599	0.0316	28.7	6.3	246	12	55	3.7

4. 更なる安全裕度の向上策の確認

4.1 建物の構造強度評価

建物に作用する水平方向の竜巻荷重と保有水平耐力を比較することで構造強度評価を行う。保有水平耐力は、「添付説明書ー建 2 II. 付属建物 発電機室耐震計算書」1.8. 評価結果(2)二次設計の保有水平耐力の評価のうちの X 方向、Y 方向それぞれについて正負加力 2 ケースのうち小さい方の値を用いる。

保有水平耐力と竜巻荷重の比較結果を添説建 3ーII. 4.1ー1 表に示す。評価の結果、保有水平耐力は F3 竜巻荷重を上回っており、F3 竜巻に対して建物は健全である。

添説建 3ーII. 4.1ー1 表 保有水平耐力と F3 竜巻荷重の比較評価

	保有水平耐力 (kN)	F3 竜巻荷重 (kN) ※1	検定比	評価
X 方向 (東西方向)				○
Y 方向 (南北方向)				○

※1：添付説明書ー建 3ーII 付録 3 参照

4.2.屋根、壁、鉄扉の局部評価

終局耐力荷重と竜巻荷重とを比較した局部評価結果を添説建 3-Ⅱ.4.2-1 表に示す。評価の結果、各部の強度は F3 竜巻荷重を上回っており、F3 竜巻荷重に対して、部分的に塑性変形が発生する可能性はあるが、終局耐力内であり、健全である。

F3 竜巻荷重については、発電機室の壁に空調用開口があるため、気圧差は発生しないものとして竜巻荷重を算出する。

添説建 3-Ⅱ.4.2-1 表 局部評価

	単位面積当りの 終局耐力荷重 (Pa)	単位面積当りの F3 竜巻荷重 (Pa)	検定比	評価
屋根				○
壁				○
鉄扉				○

※1：添付説明書—建 3-Ⅱ付録 5 参照

(ただし、屋根については、F3 竜巻荷重が屋根固定荷重 (6200 N/m²) 以下であり、浮き上がり力は生じないことから検討を省略)

※2：添付説明書—建 3-Ⅲ. 発電機室新設標準鉄扉説明書 参照

※3：添付説明書—建 3-Ⅱ付録 4 参照

注) 表記の検定比は、建物の外殻を構成する屋根、外壁、建具等の各部における F3 竜巻荷重に対する終局耐力荷重の比の最大値を示す。ただし、構成各部の評価の過程において、検定比が F3 竜巻荷重時の発生応力度に対する許容応力度で計算されている場合は、終局耐力荷重は載荷されている F3 竜巻荷重を検定比で割り戻す (終局耐力荷重=F3 竜巻荷重/検定比) ことで算出する。

4.3. 飛来物の飛散による壁、屋根の貫通評価結果

F1 竜巻と同様に F3 竜巻での飛来物評価を実施する。F3 竜巻での評価結果を添説建 3-Ⅱ. 4. 3-1 表に示す。

評価の結果、公道からは 240m 以上離れているため発電機室まで飛来しない。万一到達した場合でも、プレハブ物置（大）が鉄筋コンクリートを貫通する限界厚さは、添付説明書-建 3-Ⅱ 付録 6 の結果（水平：cm、鉛直：cm）に対して、壁（cm～cm）、屋根（cm～cm）の厚さが大きいことから、プレハブ物置（大）が飛来しても壁、屋根で防護できる。

以上より、F3 竜巻で飛来物が発生したとしても、発電機室に大きな影響を及ぼす恐れは無い。

添説建 3-Ⅱ. 4. 3-1 表 F3 竜巻での敷地外からの飛来物評価結果

竜巻条件 (F3)

最大風速	92	(m/s)
最大接線風速	78	(m/s)
移動速度	14	(m/s)

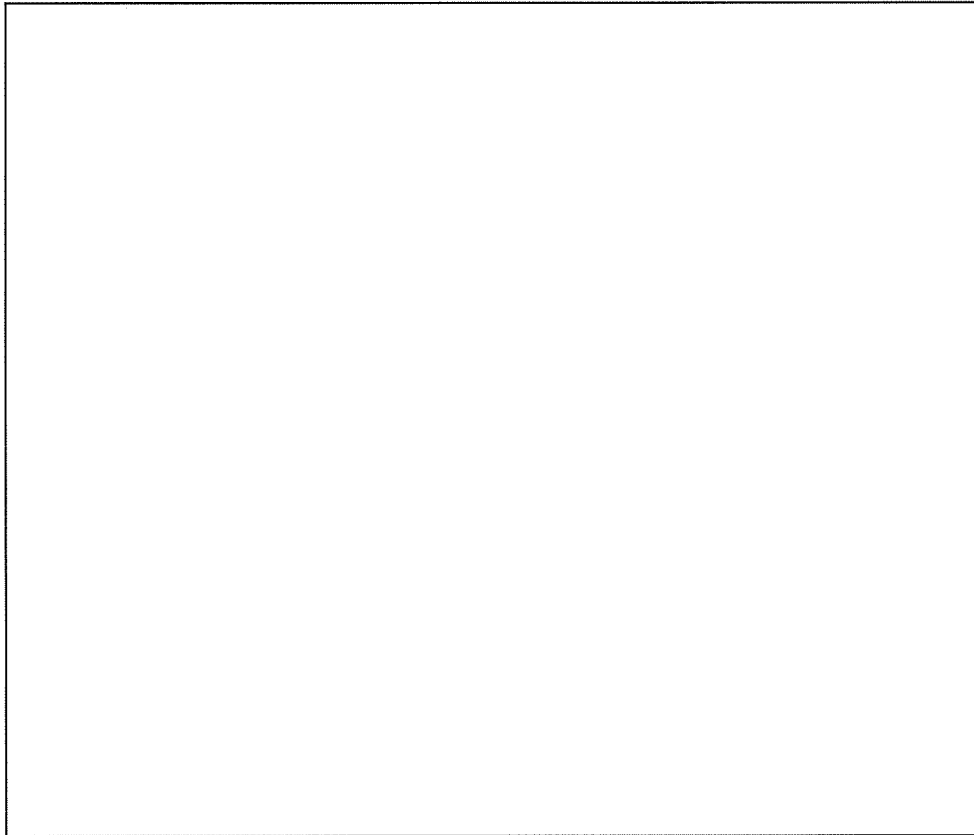
品名	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	設置高さ (m)	重量 (kgf)	空力係数 (m ² /kg)	最大水平速度 (m/s)	最大鉛直速度 (m/s)	運動エネルギー (水平) (kJ)	運動エネルギー (鉛直) (kJ)	最大飛散距離 (m)	最大飛散高さ (m)
鋼製材	4.2	0.2	0.3	0	135	0.0065	11.1	0.9	8	0	6	0.2
鋼製パイプ	0.05	2	0.05	0	8.4	0.0057	0.0	0.0	0	0	0	0.0
乗用車 (ワゴン)	5.2	1.9	2.3	0	1890	0.0073	42.5	7.8	1710	58	95	4.9
軽自動車 1	3.4	1.5	1.6	0	840	0.0102	46.2	7.7	896	25	99	4.9
軽自動車 2	3.4	1.5	1.5	0	710	0.0116	48.6	7.6	839	21	136	5.3
軽トラック	3.4	1.5	1.8	0	740	0.0122	50.5	9.3	944	32	160	8.2
4 t トラック	8.1	2.2	2.5	0	3900	0.0059	38.4	7.2	2880	101	71	3.9
15t トラック	12.0	2.5	3.3	0	9420	0.0045	32.8	6.7	5074	211	59	3.4
バス (路線バスタイプ)	10.3	2.5	3.1	0	9920	0.0035	22.9	3.0	2612	45	30	1.1
バス (観光バスタイプ)	12.0	2.5	3.5	0	13080	0.0034	23.9	3.4	3740	74	33	1.3
プレハブ物置 (小)	0.75	1.1	1.305	0.18	60	0.0356	63.6	12.4	121	5	191	20.3
プレハブ物置 (中)	1.37	2.21	2.075	0.1	223	0.0309	63.2	14.0	445	22	208	25.4
プレハブ物置 (大)	2.22	5.14	2.35	0.1	599	0.0316	63.7	14.4	1217	62	211	27.8

見付面積の算出方法について

見付面積 (A_p, A_{1F}) の算出にあたり、高さ方向の寸法はパラペットなどの上端部から一律 200mm を加算して裕度を確保する。また、X 方向、Y 方向の寸法は、通り芯から両側に一律 1500mm を加算して裕度を確保する。

X 方向（東西方向）の見付面積

見付面積の算出範囲を添説建 3-Ⅱ. 付 1-1 図に示す。



添説建 3-Ⅱ. 付 1-1 図 X 方向見付面積

$a =$ 壁幅 + 両側幅裕度

$=$

$b =$ パラペット高さ + 高さ裕度

$=$

$c =$ (1 階壁高さ + 150) / 2

$=$

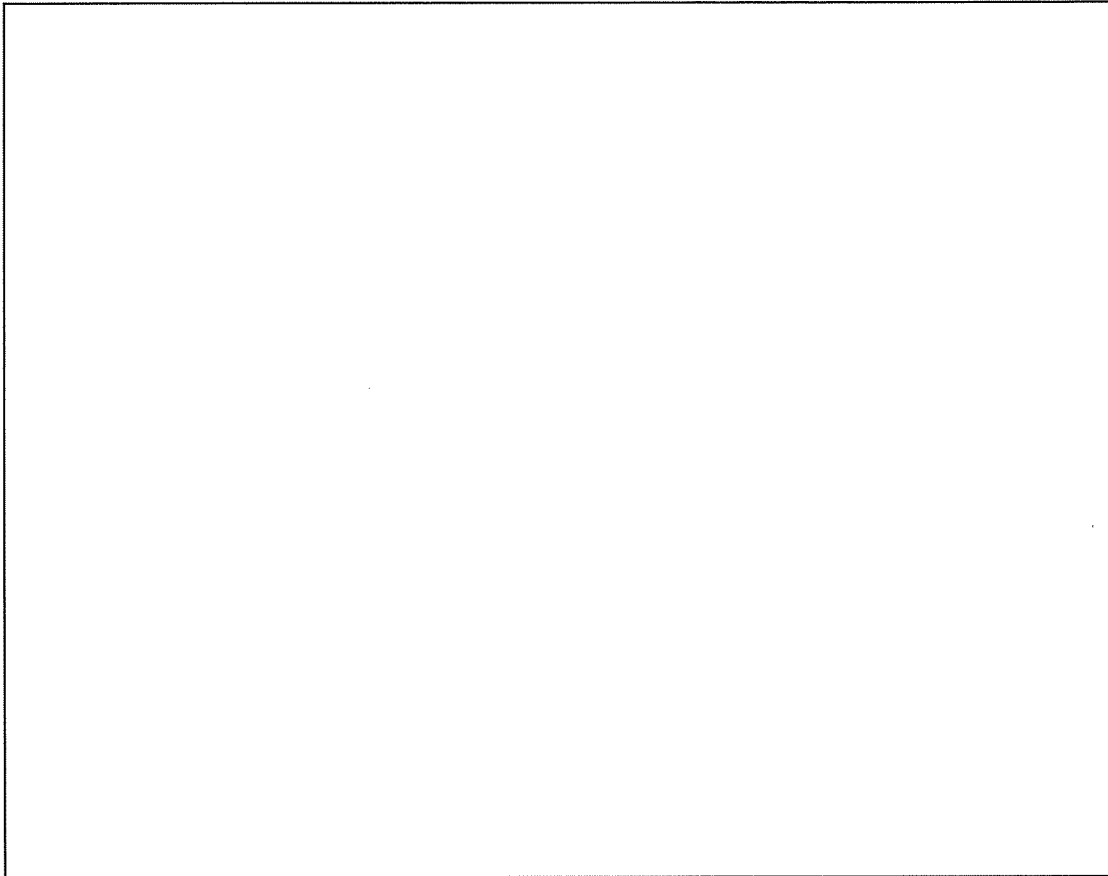
各階見付面積

1F : パラペット $A_p = a \times b =$

壁 $A_{1F} = a \times c =$

Y方向（南北方向）の見付面積

見付面積の算出範囲を添説建3-II.付1-2図に示す。



添説建3-II.付1-2図 Y方向見付面積

a = 壁幅 + 両側幅裕度

=

b = パラペット高さ + 高さ裕度

=

c = (1階壁高さ + 150) / 2

=

各階見付面積

1F: パラペット $A_p = a \times b =$

壁 $A_{1F} = a \times c =$

「添説建 3-Ⅱ.3.1-1 表 保有水平耐力と F1 竜巻荷重の比較評価」の竜巻荷重（層せん断力）の算出方法について

添説建 3-Ⅱ.付 2-1 表 X 方向（東西方向）の水平方向の竜巻荷重

階	算定位置	見付面積	風力係数	風圧力による荷重	風圧力による層せん断力	気圧差による荷重	気圧差による層せん断力	層せん断力の組合わせ荷重	
		A ※1 (m ²)	C (-)	q×A×C (kN)	Ww (kN)	ΔP×A (kN)	Wp (kN)	W _{T1} =Wp (kN)	W _{T2} =Ww+0.5×Wp (kN)
1	パラペット								
	風上								
	風下								

※1：見付面積は、添付説明書一建 3-Ⅱ付録 1 による。

※2：風上 0.8 と風下 0.5 の合計値。

添説建 3-Ⅱ.付 2-2 表 Y 方向（南北方向）の水平方向の竜巻荷重

階	算定位置	見付面積	風力係数	風圧力による荷重	風圧力による層せん断力	気圧差による荷重	気圧差による層せん断力	層せん断力の組合わせ荷重	
		A ※1 (m ²)	C (-)	q×A×C (kN)	Ww (kN)	ΔP×A (kN)	Wp (kN)	W _{T1} =Wp (kN)	W _{T2} =Ww+0.5×Wp (kN)
1	パラペット								
	風上								
	風下								

※1：見付面積は、添付説明書一建 3-Ⅱ付録 1 による。

※2：風上 0.8 と風下 0.5 の合計値。

発電機室の保有水平耐力との比較評価に用いる竜巻荷重による水平方向の層せん断力算出において気圧低下による荷重と風圧力による荷重は下記の値とする。

「Ⅰ. 竜巻防護設計の基本方針」の「2. 竜巻荷重の算定」より、

- ・気圧低下による荷重：ΔP = (Pa) → (Pa) として計算に使用
- ・風圧力による荷重：q = (Pa) → (Pa) として計算に使用

「添説建3-II.4.1-1表 保有水平耐力とF3竜巻荷重の比較評価」の竜巻荷重（層せん断力）の算出方法について

添説建3-II.付3-1表 X方向（東西方向）の水平方向の竜巻荷重

階	算定位置	見付面積	風力係数	風圧力による荷重	風圧力による層せん断力	気圧差による荷重	気圧差による層せん断力	層せん断力の 組合わせ荷重	
		A ※1 (m ²)	C (-)	q×A×C (kN)	Ww (kN)	ΔP×A (kN)	Wp (kN)	W _{T1} =Wp (kN)	W _{T2} =Ww+ 0.5×Wp (kN)
1	パラペット								
	風上								
	風下								

※1：見付面積は、添付説明書一建3-II付録1による。

※2：風上0.8と風下0.5の合計値。

添説建3-II.付3-2表 Y方向（南北方向）の水平方向の竜巻荷重

階	算定位置	見付面積	風力係数	風圧力による荷重	風圧力による層せん断力	気圧差による荷重	気圧差による層せん断力	層せん断力の 組合わせ荷重	
		A ※1 (m ²)	C (-)	q×A×C (kN)	Ww (kN)	ΔP×A (kN)	Wp (kN)	W _{T1} =Wp (kN)	W _{T2} =Ww+ 0.5×Wp (kN)
1	パラペット								
	風上								
	風下								

※1：見付面積は、添付説明書一建3-II付録1による。

※2：風上0.8と風下0.5の合計値。

発電機室の保有水平耐力との比較評価に用いる竜巻荷重による水平方向の層せん断力算出において気圧低下による荷重と風圧力による荷重は下記の値とする。

「I. 竜巻防護設計の基本方針」の「2. 竜巻荷重の算定」より、

- ・気圧低下による荷重： $\Delta P = \square$ (Pa) (気圧差荷重 \square)
- ・風圧力による荷重： $q = \square$ (Pa) \rightarrow \square (Pa) として計算に使用

1. 「添説建 3—II. 3. 2—1 表 局部評価」の F1 竜巻荷重の算出方法について

添説建 3—II. 付 4—1 表 F1 竜巻の特性値

空気密度	ρ	(kg/m ³)	1.22
竜巻最大風速	V_D	(m/s)	49
竜巻接線風速	V_m	(m/s)	42
速度圧	q	(Pa)	1465
気圧低下による荷重	ΔP_{max}	(Pa)	-2152

添説建 3—II. 付 4—2 表 F1 竜巻の局部評価用荷重の算定

風の方向		風上	風下
風力係数 (壁・鉄扉等)	C_w	—	0.8
風力係数 (屋根)	C_R	—	-1.2
気圧差荷重	W_p	(Pa)	-2152
壁・鉄扉等への荷重	W_{T1}	(Pa)	
	W_{T2}	(Pa)	-1808
屋根への荷重	W_{T1}	(Pa)	-2152
	W_{T2}	(Pa)	

注)・建物外殻への荷重が外側から内側に作用する場合は正、その逆が負

・※印の値が評価で使用した荷重

2. 「添説建 3—II. 4. 2—1 表 局部評価」の F3 竜巻荷重の算出方法について

添説建 3—II. 付 4—3 表 F3 竜巻の特性値

空気密度	ρ	(kg/m ³)	1.22
竜巻最大風速	V_D	(m/s)	92
竜巻接線風速	V_m	(m/s)	78
速度圧	q	(Pa)	5163
気圧低下による荷重	ΔP_{max}	(Pa)	0

添説建 3—II. 付 4—4 表 F3 竜巻の局部評価用荷重の算定

風の方向		風上	風下
風力係数 (壁・鉄扉等)	C_w	—	0.8
風力係数 (屋根)	C_R	—	-1.2
気圧差荷重	W_p	(Pa)	0
壁・鉄扉等への荷重	W_{T1}	(Pa)	
	W_{T2}	(Pa)	4130
屋根への荷重	W_{T1}	(Pa)	0
	W_{T2}	(Pa)	

注)・建物外殻への荷重が外側から内側に作用する場合は正、その逆が負

・※印の値が評価で使用した荷重

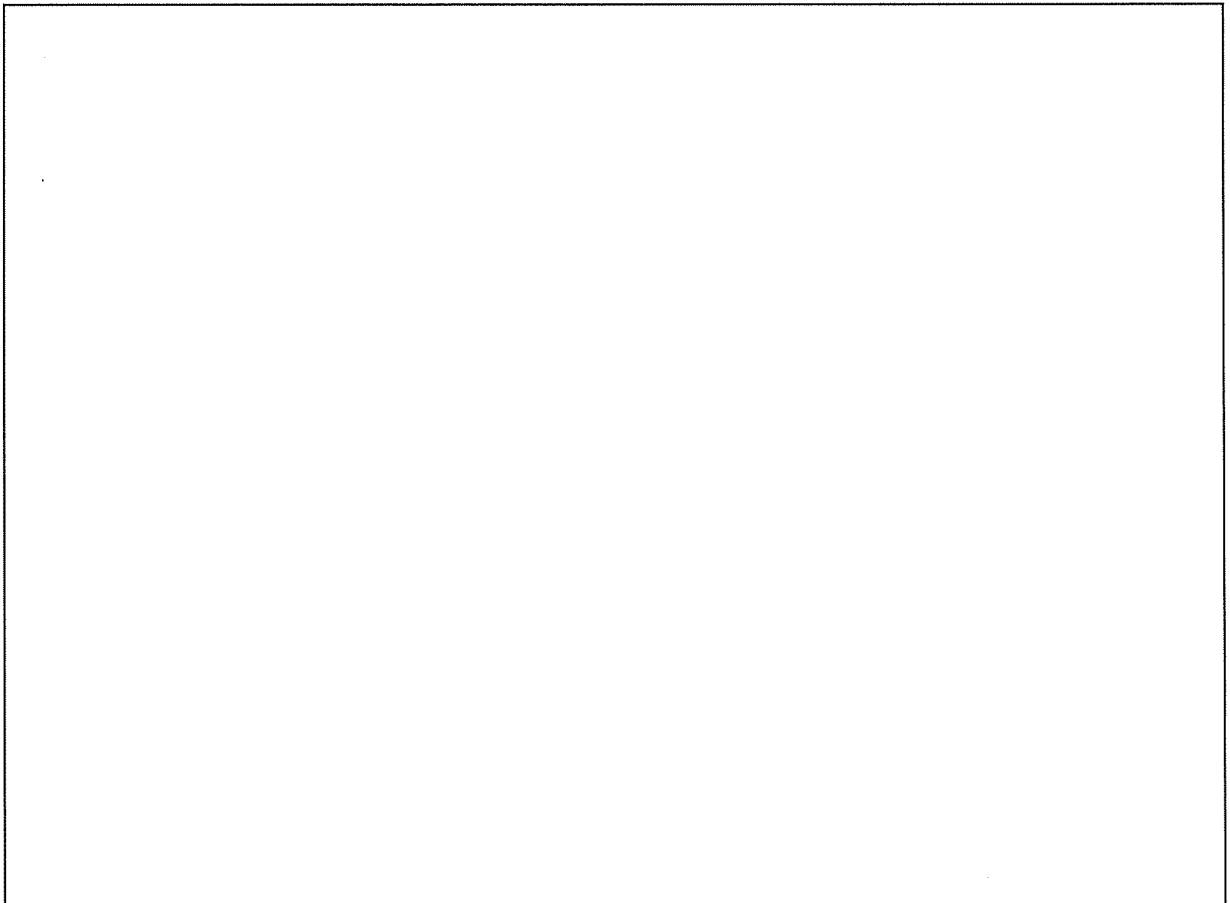
竜巻に対する局所評価用の竜巻許容荷重の計算に関する説明書

建物の損傷防護の観点から、局部評価として建物の屋根、壁とそれらを支持する構造二次部材について評価を行う。

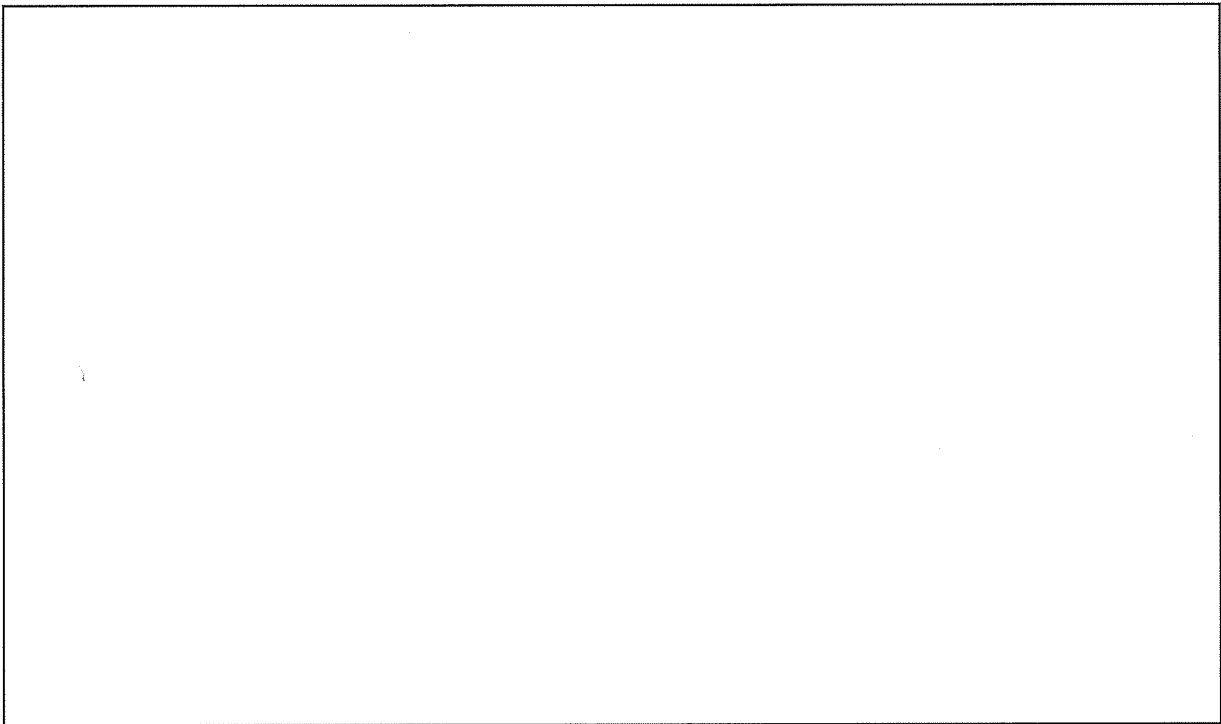
1. 屋根、壁の評価位置と評価モデルについて

発電機室の屋根、壁は鉄筋コンクリート構造であり、屋根スラブ、RC 小梁、壁スラブについて検討を行う。

検討位置を添説建 3-Ⅱ. 付 5-1 図、添説建 3-Ⅱ. 付 5-2 図に示す。スラブは内法寸法で評価する。



添説建 3-Ⅱ. 付 5-1 図 屋根スラブ、RC 小梁検討位置（見上げ図）



2. 竜巻許容荷重の考え方

屋根スラブ、RC 小梁、壁スラブは F1 竜巻時に作用する最大曲げモーメントが短期曲げ耐力以下、F3 竜巻時は終局曲げ耐力以下であることを確認する。確認にあたり、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（以下「RC 規準」と略記）に基づき評価する。

これらの評価により安全機能を損なわないことを確認する。

3. 竜巻許容荷重の算出

3.1 荷重

竜巻荷重は負圧で評価するため、固定荷重の値は切り捨てとする。

(1) 固定荷重

屋根スラブ (S1)

単位体積重量 γ_{RC} (N/m³) :

厚さ t_{RC} (m) :

単位面積重量 w_{RC1} (N/m²) : $\gamma_{RC} \times t_{RC} =$

仕上げ荷重 w_{RC2} (N/m²) :

検討用固定荷重 w_{RC} (N/m²) : $w_{RC1} + w_{RC2} =$

(2) 竜巻荷重

添説建 3-Ⅱ. 付 5-1 表に示す。(添付説明書-建 3-Ⅱ 付録 4 参照)

添説建 3-Ⅱ. 付 5-1 表 竜巻荷重

竜巻荷重	屋根	壁
F1 竜巻荷重 (短期) w_{F1} (N/m ²)		
F3 竜巻荷重 (終局) w_{F3} (N/m ²)		

3.2 使用材料と許容値

(1) コンクリート

設計基準強度 $F_c =$ N/mm²

(2) 鉄筋

使用材料 :

短期許容引張応力度 $f_t =$ N/mm²

降伏応力度 $\sigma_y =$ N/mm²

3.3. 屋根の検討

添説建 3-Ⅱ. 付 5-2 表に竜巻荷重と屋根固定荷重の比較を示す。F1 竜巻荷重、F3 竜巻荷重は屋根固定荷重以下であり、浮き上がり力は生じないため、屋根スラブ、RC 小梁の検討を省略する。

添説建 3-Ⅱ. 付 5-2 表 竜巻荷重と固定荷重の比較

F1 竜巻荷重 (N/m ²)	F3 竜巻荷重 (N/m ²)		屋根固定荷重 (N/m ²)

3.4. 壁の検討

(1) 壁スラブ (SW25)

1) 寸法諸元、パネル支持条件

水平スパン長 (パネル長) L(m) :

鉛直スパン長 (パネル幅) B(m) :

単位面積当り F1 竜巻荷重 w_{F1} (kN/m²) :

単位面積当り F3 竜巻荷重 w_{F3} (kN/m²) :

壁スラブ諸元

厚さ t(mm) :

配筋

縦筋 :

横筋 :

1 本当り断面積 (D13) A_{D13} (mm²) :

鉄筋 ()

短期許容引張応力度 f_t (N/mm²) :

降伏応力度 σ_y (N/mm²) :

支持条件 :

2) 検討結果

曲げモーメントが最大となる端部にて検討を行う。

引張側表面より引張側鉄筋中心までの距離 d_t (mm) :

有効せい d (mm) : $t - d_t =$

応力中心距離 j (mm) : $(7 / 8) \times d =$

引張鉄筋断面積 (1m 幅当り) a_t (mm²/m) : $1000 / 200 \times A_{D13}$
 =

a) F1 竜巻

最大曲げモーメント M (壁 1m 幅当り) は、RC 規準 (10.1) 式より

$$M = 1 / 12 \times \{L^4 / (B^4 + L^4)\} \times w_{F1} \times B^2$$

=

短期曲げ耐力 M_a (壁 1m 幅当り) は、RC 規準 (13.1) 式より

$$M_a = a_t \times f_t \times j =$$

最大曲げモーメント M と短期曲げ耐力 M_a の検定比

$$R_1 = M / M_a =$$
 OK

b) F3 竜巻 ($d=193$ となるが保守的に 189 とし検討)

最大曲げモーメント M (壁 1m 幅当り) は、RC 規準 (10.1) 式より

$$M = 1 / 12 \times \{L^4 / (B^4 + L^4)\} \times w_{F3} \times B^2$$

=

終局曲げ耐力 M_u (壁 1m 幅当り) は、RC 規準 (解 8.21) 式より

$$M_u = 0.9 \times a_t \times \sigma_y \times d =$$
 =

最大曲げモーメント M と終局曲げ耐力 M_u の検定比

$$R_2 = M / M_u =$$
 OK

(2) 壁の単位面積当りの短期許容荷重、終局耐力荷重

短期許容荷重 $w_a = w_{F1} / R_1 =$ N/m²
 終局耐力荷重 $w_u = w_{F3} / R_2 =$ N/m²

以上より、対象 F1 竜巻荷重 (短期)、F3 竜巻荷重 (終局) に対して、壁は健全である。

添説建 3-Ⅱ. 付 6-1 表 飛来物による壁損傷評価 (水平)

	項目	単位	プレハブ (大)	in、lb系換算値
飛来物諸元	飛来物重量	W	kgf	
	飛来物高さ	h	m	
	飛来物幅	w	m	
	飛来物面積	A	cm ²	
	等価直径	$D=\sqrt{(4A/\pi)}$	cm	
	飛来物衝突速度	V	m/s	
RC造 (コンクリート)	コンクリート強度	F _c	N/mm ²	
	先端形状係数	N		
	飛来物低減係数	α _c		
	飛来物低減係数	α _p		
	180/√F _c	K	√(mm/N)	
	貫入深さ	X _c	cm	
	コンクリート貫通限界厚さ	t _p	cm	

添説建 3-Ⅱ. 付 6-2 表 飛来物による屋根損傷評価 (鉛直)

	項目	単位	プレハブ (大)	in、lb系換算値
飛来物諸元	飛来物重量	W	kgf	
	飛来物高さ	h	m	
	飛来物幅	w	m	
	飛来物面積	A	cm ²	
	等価直径	$D=\sqrt{(4A/\pi)}$	cm	
	飛来物衝突速度	V	m/s	
RC造 (コンクリート)	コンクリート強度	F _c	N/mm ²	
	先端形状係数	N		
	飛来物低減係数	α _c		
	飛来物低減係数	α _p		
	180/√F _c	K	√(mm/N)	
	貫入深さ	X _c	cm	
	コンクリート貫通限界厚さ	t _p	cm	

※1: コンクリート強度は F_c=□N/mm² だが、保守的に F_c=□N/mm² として評価

Ⅲ. 発電機室新設標準鉄扉説明書

1. 概要

発電機室の竜巻対応鉄扉は、「新設鉄扉」4箇所により構成される。鉄扉は、溝形の内部構造材を2枚の表面板でサンドイッチした箱状の複板タイプである。

本書では扉面積が最大となる鉄扉を代表例に強度検討詳細を示すものとし、それ以外の検討結果を一覧表の形式にて記載するものとした。

検討の結果、全ての竜巻対応鉄扉は、竜巻荷重に対して健全であることを確認した。

2. 発電機室鉄扉配置図

発電機室竜巻対応鉄扉の配置については、本文図り建-2 および図り建-4 に示す。

3. 鉄扉の強度評価

3.1. 鉄扉概要

各鉄扉の概要を添説建 3-Ⅲ. 3.1-1 表に示す。尚、計算書の図に示す寸法の単位は、特記以外ミリメートルとする。

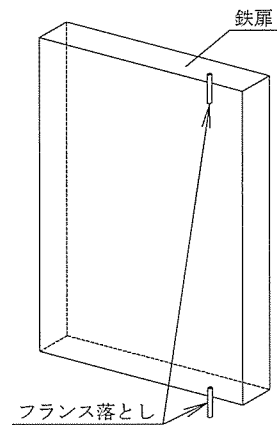
添説建 3-Ⅲ. 3.1-1 表 竜巻対応鉄扉一覧

扉番号	場所	型式	枚数	幅 W (mm)	高さ H (mm)	竜巻荷重		
						スケール	強度 (N/m ²)	
SD-200		両開	2			F3		
SD-201		両開	2			F3		
SD-202		両開	親扉			1		F3
			子扉			1		
SD-203		両開	親扉			1		F3
			子扉			1		

各鉄扉の概要図を次頁に示す。

鉄扉番号	SD-200	SD-201
竜巻荷重	F3	F3
概要図		
扉厚		

鉄扉番号	SD-202	SD-203
竜巻荷重	F3	F3
概要図		
扉厚		



3.2. 使用材料

鋼材

鋼材の種別	基準強度

$t \leq 40$ mm (鉄扉の部材は厚さ mm 以下)

* 鋼構造設計規準

3.3. 鉄扉の強度評価方法

(1) 評価方針

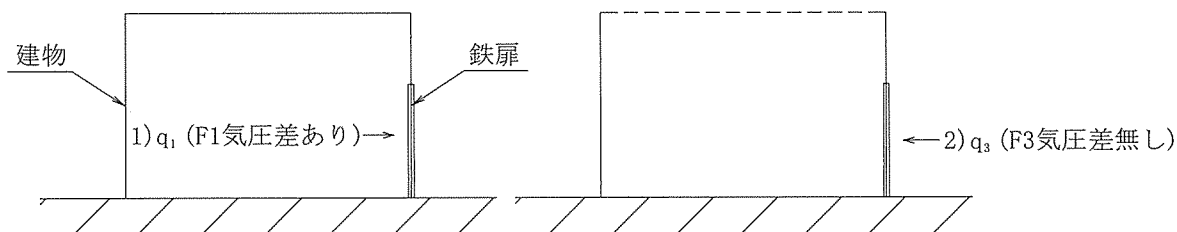
竜巻対応鉄扉の評価に当たっては、竜巻荷重が作用する以下の構成要素について、作用応力が耐力より小さいことを確認する。

- ・ 鉄扉表面板
- ・ 鉄扉内部構造材
- ・ 鉄扉扉枠
- ・ フランス落とし

(2) 設計荷重

鉄扉の強度評価に使用する竜巻荷重（局部評価用荷重のうち鉄扉への荷重）を以下に示す。

- 1) F1 竜巻気圧差ありの場合： $q_1 = 2,152 \text{ N/m}^2$
- 2) F3 竜巻気圧差無しの場合： $q_3 = 4,130 \text{ N/m}^2$



(3) 許容耐力

短期許容曲げ耐力 (F1 の場合)

$$F \text{ (基準強度)} = \boxed{} \text{ (N/mm}^2\text{)} : \boxed{}$$

Z : 弾性断面係数 (mm³)

$$M_{1a} = F \times Z = \boxed{} \times Z \text{ (N} \cdot \text{mm)}$$

終局曲げ耐力 (F3 の場合)

$$F_y = F \text{ (基準強度)} \times 1.1 = \boxed{} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Z_p : 塑性断面係数 (mm³)

$$M_{3u} = F_y \times Z_p = \boxed{} \times Z_p \text{ (N} \cdot \text{mm)}$$

短期許容せん断耐力 (F1 の場合)

A : せん断応力抵抗断面積 (mm²)

$$S_{1a} = \frac{F}{\sqrt{3}} \times A = \boxed{} \times A \text{ (N)}$$

終局せん断耐力 (F3 の場合)

A : せん断応力抵抗断面積 (mm²)

$$S_{3u} = \frac{F_y}{\sqrt{3}} \times A = \boxed{} \text{ (N)}$$

(4) 適用基準

- ・ 建築基準法・同施行令・告示等
- ・ 鋼構造設計規準—許容応力度設計法— (日本建築学会)
- ・ 鋼構造塑性設計指針 (日本建築学会)
- ・ 日本産業規格 (JIS) (日本規格協会)

3.4. 鉄扉の強度評価

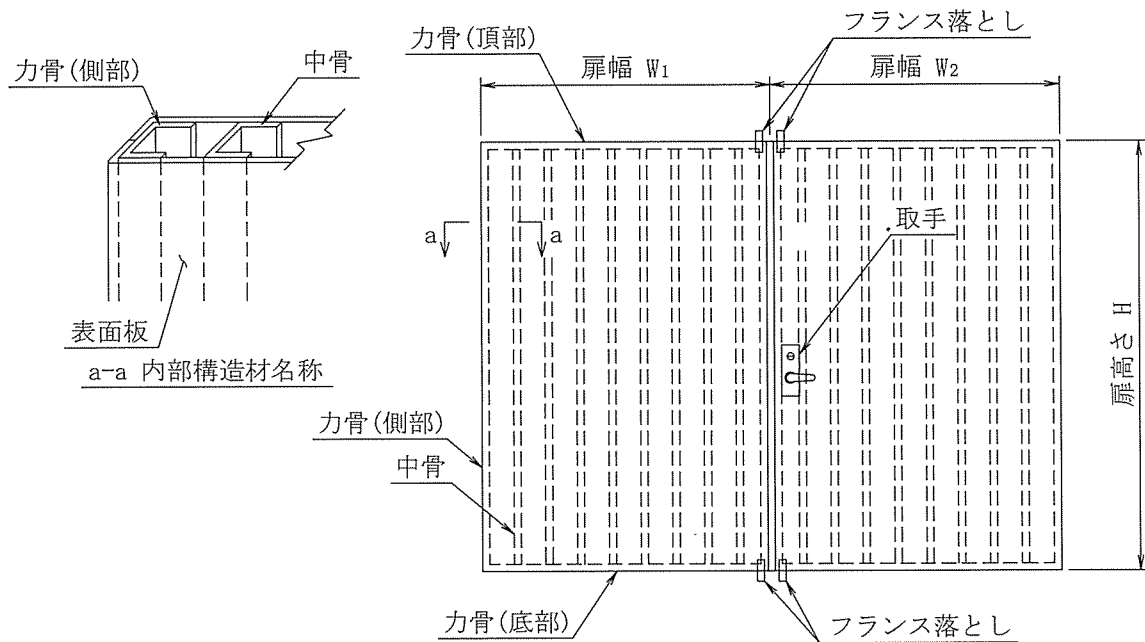
鉄扉の竜巻に対する強度検討に当たっては、扉面積が最大となる SD-200 に着目し、検討詳細を示す。SD-200 の寸法諸元を添説建 3-III. 3.4-1 表に示す。

また、SD-200 以外の鉄扉については、同様方法による検討結果を添説建 3-III. 3.5-1 表に記載する。

(1) 鉄扉の寸法諸元

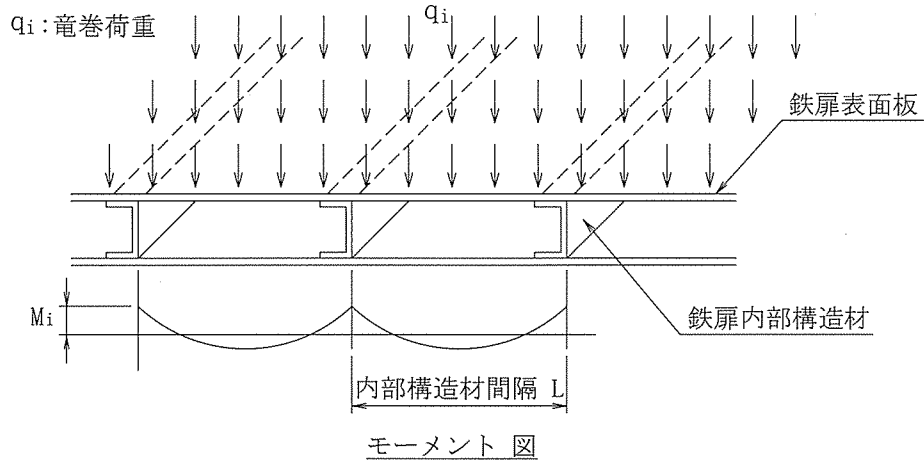
添説建 3-III. 3.4-1 表 鉄扉 SD-200 の寸法諸元

大項目	小項目	名称	記号	数値	単位	
荷重	短期荷重	竜巻荷重F1	q_1	2,152	N/m^2	
	終局荷重	竜巻荷重F3	q_3	4,130	N/m^2	
寸法諸元	扉	全幅	$W=W_1+W_2$		mm	
		扉幅	W_1		mm	
		扉幅	W_2		mm	
		高さ	H		mm	
		扉厚	T		mm	
		表面板厚	t		mm	
		内部補強材	力骨 (側部)	t_1		mm
			力骨 (頂部, 底部)	t_2		mm
			中骨 (縦部)	t_3		mm
		内部補強材 (中骨) ピッチ	L		mm	
	フランス落とし	ピン径	S_f		mm	



(2) 鉄扉の表面板の曲げ強度

鉄扉内部構造材で支持された鉄扉表面板が竜巻荷重を受けた場合に発生する曲げ応力に対して検討する。



竜巻荷重 q_i :

F1 竜巻荷重 : q_1

F3 竜巻荷重 : q_3

表面板の曲げ応力 M_i

$$M_i = \frac{1}{12} \times q_i \times L^2 \quad (\text{両端固定条件、単位幅 1mm 当り}) \quad (i = 1, 3)$$

弾性断面係数 Z

$$Z = \frac{t^2}{6} \quad (\text{単位幅 1mm 当り})$$

塑性断面係数 Z_p

$$Z_p = \frac{t^2}{4} \quad (\text{単位幅 1mm 当り})$$

曲げ耐力 M_{1a}, M_{3u}

短期許容曲げ耐力 $M_{1a} = F \times Z$ (単位幅 1mm 当り)

終局曲げ耐力 $M_{3u} = F_y \times Z_p$ (単位幅 1mm 当り)

検定比 K_i

$$K_1 = \frac{M_1}{M_{1a}}, \quad K_3 = \frac{M_3}{M_{3u}}$$

許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (検定比 1.0 相当の F1, F3 の竜巻荷重)

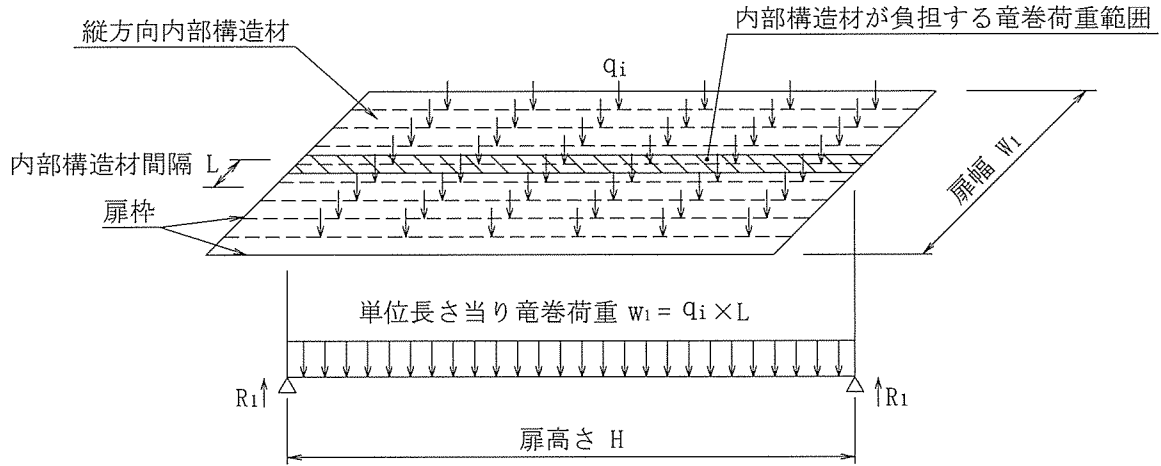
$$\text{短期許容荷重 } q_{1a} = \frac{q_1}{K_1} \quad \text{終局許容荷重 } q_{3u} = \frac{q_3}{K_3}$$

ケース	q_1, q_3 (N/m^2)	L (mm)	t (mm)	M_1, M_3 (Nmm/mm)	F, F_y (N/m^2)	Z, Z_p (mm^3/mm)	M_{1a}, M_{3u} (Nmm/mm)	検定比 K_1, K_3	許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (N/m^2)
F1									
F3									

(3) 鉄扉の内部構造材強度

鉄扉表面板を支持する内部構造材は、扉枠に支持された梁として検討する。

1) 縦方向内部構造材（鉛直方向）



内部構造材の曲げ応力 M_i

$$M_i = \frac{1}{8} \times w_1 \times H^2 = \frac{q_i \times L \times H^2}{8} \quad (i = 1, 3)$$

曲げ耐力 M_{1a}, M_{3u}

短期許容曲げ耐力 $M_{1a} = F \times Z_{DS1}$

終局曲げ耐力 $M_{3u} = F_y \times Z_{DS1}$

検定比 K_i

$$K_1 = \frac{M_1}{M_{1a}}, \quad K_3 = \frac{M_3}{M_{3u}}$$

許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (検定比 1.0 相当の F1, F3 の竜巻荷重)

$$\text{短期許容荷重 } q_{1a} = \frac{q_1}{K_1} \quad \text{終局許容荷重 } q_{3u} = \frac{q_3}{K_3}$$

ケース	q_1, q_3 (N/m^2)	L (mm)	H (mm)	M_1, M_3 (Nm)	F, F_y (N/mm^2)	Z_{DS1} (mm^3)	M_{1a}, M_{3u} (Nm)	検定比 K_1, K_3	許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (N/m^2)
F1									
F3									

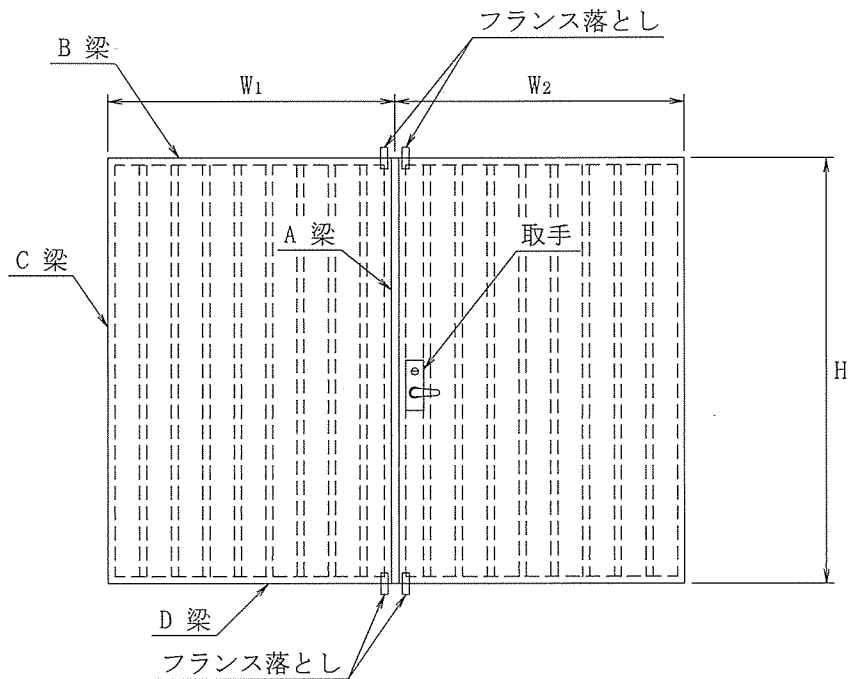
Z_{DS1} : 縦方向内部構造材の弾性断面係数

(4) 鉄扉の扉枠強度

鉄扉の側部扉枠 A 梁及び頂部扉枠 B 梁について検討する。

側部扉枠 C 梁及び底部扉枠 D 梁については上記扉枠と同様につき、検討を省略する。

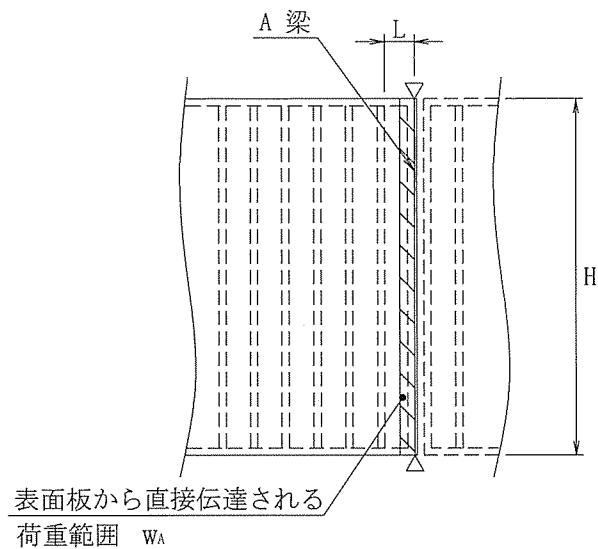
各扉枠は、フランス落としを支点とした単純梁モデルとして検討する。



1) 側部（召し合わせ側）扉枠 A 梁

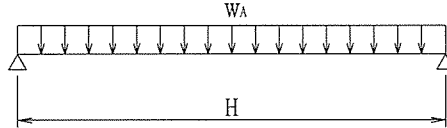
扉枠 A 梁には、以下の荷重が作用する。

- ・ 表面板から直接伝達される荷重 w_A



$$w_A = q_i \times \frac{L}{2}$$

以下の梁モデルとして検討する。



扉枠 A 梁の曲げ応力 M_i

$$M_i = \frac{w_A \times H^2}{8} = \frac{q_i \times L \times H^2}{16} \quad (i = 1, 3)$$

曲げ耐力 M_{1a}, M_{3u}

$$\text{短期許容曲げ耐力 } M_{1a} = F \times Z_{DA}$$

$$\text{終局曲げ耐力 } M_{3u} = F_y \times Z_{PDA}$$

検定比 K_i

$$K_1 = \frac{M_1}{M_{1a}}, \quad K_3 = \frac{M_3}{M_{3u}}$$

許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (検定比 1.0 相当の F1, F3 の竜巻荷重)

$$\text{短期許容荷重 } q_{1a} = \frac{q_1}{K_1} \quad \text{終局許容荷重 } q_{3u} = \frac{q_3}{K_3}$$

ケース	q_1, q_3 (N/m^2)	L (mm)	H (mm)	W_1 (mm)	R_2 (N)	M_1, M_3 (Nm)	F, F_y (N/mm^2)	Z_{DA}, Z_{PDA} (mm^3)	M_{1a}, M_{3u} (Nm)	検定比 K_1, K_3	許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (N/m^2)
F1											
F3											

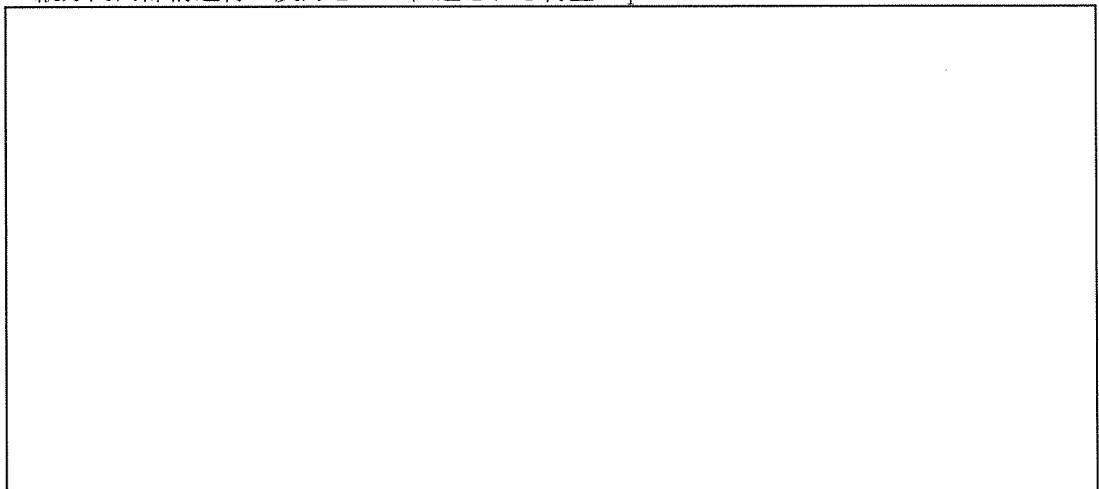
Z_{DA} : 扉枠 A 梁の補強後の弾性断面係数

Z_{PDA} : 扉枠 A 梁の補強後の塑性断面係数

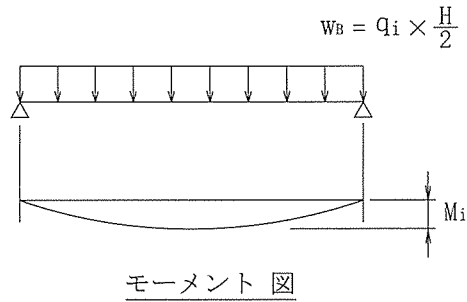
2) 頂部扉枠 B 梁

扉枠 B 梁には以下の荷重が作用する。

- ・ 縦方向内部構造材の反力として伝達される荷重 R_1



以下の梁モデルとし、曲げ応力については安全側に梁全長の等分布荷重として検討する。



扉枠 B 梁の曲げ応力 M_i

$$M_i = \frac{1}{8} \times w_B \times W_1^2 = \frac{q_i \times H \times W_1^2}{16} \quad (i = 1, 3)$$

曲げ耐力 M_{1a}, M_{3u}

短期許容曲げ耐力 $M_{1a} = F \times Z_{DC}$

終局曲げ耐力 $M_{3u} = F_y \times Z_{PDC}$

検定比 K_i

$$K_1 = \frac{M_1}{M_{1a}}, \quad K_3 = \frac{M_3}{M_{3u}}$$

許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (検定比 1.0 相当の F1, F3 の竜巻荷重)

$$\text{短期許容荷重 } q_{1a} = \frac{q_1}{K_1} \quad \text{終局許容荷重 } q_{3u} = \frac{q_3}{K_3}$$

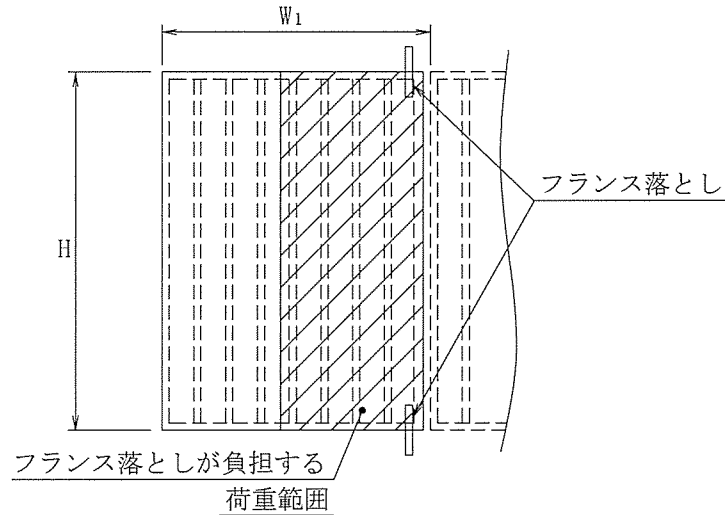
ケース	q_1, q_3 (N/m^2)	H (mm)	W_1 (mm)	M_1, M_3 (Nm)	F, F_y (N/mm^2)	Z_{DC}, Z_{PDC} (mm^3)	M_{1a}, M_{3u} (Nm)	検定比 K_1, K_3	許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (N/m^2)
F1									
F3									

Z_{DC} : 扉枠 B 梁の補強後の弾性断面係数

Z_{PDC} : 扉枠 B 梁の補強後の塑性断面係数

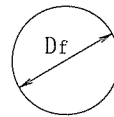
(5) フランス落としの検討

扉に作用する荷重の 1/2 については、扉上下の新設フランス落としが全て負担するものとし、ピンの必要最小寸法を確認する。



フランス落としピンの断面積 A_f

$$A_f = \frac{\pi}{4} \times D_f^2$$



フランス落とし断面

ピンの形状係数 κ (円形断面 4/3) “構造力学公式集, 土木学会” より
扉のフランス落としに作用する荷重 R_{fi}

$$R_{fi} = \kappa \times \frac{q_i \times H_1 \times W_1}{4} \quad (i = 1, 3)$$

せん断耐力 S_{1a}, S_{3u}

短期許容せん断耐力 $S_{1a} = \boxed{} \times A_f$ (N)

終局せん断耐力 $S_{3u} = \boxed{} \times A_f$ (N)

検定比 K_i

$$K_1 = \frac{R_{f1}}{S_{1a}}, \quad K_3 = \frac{R_{f3}}{S_{3u}}$$

許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (検定比 1.0 相当の F1, F3 の竜巻荷重)

$$\text{短期許容荷重 } q_{1a} = \frac{q_1}{K_1} \quad \text{終局許容荷重 } q_{3u} = \frac{q_3}{K_3}$$

ケース	q_1, q_3 (N/m^2)	H (mm)	W_1 (mm)	D_f (mm)	κ (-)	R_{f1}, R_{f3} (N)	A_f (mm^2)	$F/\sqrt{3}, F_y/\sqrt{3}$ (N/mm^2)	S_{1a}, S_{3u} (N)	検定比 K_1, K_3	許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (N/m^2)
F1											
F3											

3.5. 発電機室 鉄扉最大検定比一覧

竜巻荷重に対する鉄扉の強度評価において、各鉄扉の最大検定比を添説建 3-III.3.5-1 表に示す。全ての竜巻対応鉄扉は、竜巻荷重に対して健全であることを確認した。

添説建 3-III.3.5-1 表 各鉄扉の最大検定比一覧

	鉄扉部位	項目	記号	単位	SD-200	SD-201	
					新設	新設	
					両開	両開	
鉄扉仕様	竜巻荷重	F1	q_1	N/m^2			
		F3	q_3	N/m^2			
	扉	幅	W	mm			
		高さ	H	mm			
		厚み	T	mm			
フランス落とし	ピンサイズ	RB ^{※1}	mm				
評価	許容荷重 (q_{1a}, q_{3u}) 検定比 (K_1, K_3)	F1	q_{1a}	N/m^2			
			K_1	—			
		判定					
		F3	q_{3u}	N/m^2			
			K_3	—			
		判定					

	鉄扉部位	項目	記号	単位	SD-202	SD-203	
					新設	新設	
					両開	両開	
鉄扉仕様	竜巻荷重	F1	q_1	N/m^2			
		F3	q_3	N/m^2			
	扉	幅	W	mm			
		高さ	H	mm			
		厚み	T	mm			
フランス落とし	ピンサイズ	RB	mm				
評価	許容荷重 (q_{1a}, q_{3u}) 検定比 (K_1, K_3)	F1	q_{1a}	N/m^2			
			K_1	—			
		判定					
		F3	q_{3u}	N/m^2			
			K_3	—			
		判定					

※1 RB : 丸棒 (ROUND BAR)

積雪及び降下火砕物による損傷防止に関する説明書

I. 積雪及び降下火砕物による損傷防止に関する方針

1. 基本方針

加工施設の安全機能に影響を及ぼし得る自然現象のうち、積雪及び降下火砕物による損傷防止に関する基本方針は以下のとおりとする。

- ・ 敷地及び敷地周辺の自然環境を基に想定される積雪及び降下火砕物に対し、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。具体的には、加工施設の建物の主な屋根構造である鉄骨下地構造屋根（以下「折板屋根」及び「ALC 板屋根」と略記）及び鉄筋コンクリート屋根（以下「RC 屋根」と略記）の実耐荷重がそれぞれ降下火砕物（湿潤密度 1.2g/cm^3 ）で約 10cm（約 60cm の積雪に相当）及び約 28cm（約 168cm の積雪に相当）に耐える実力を有する設計とする。
- ・ 降下火砕物が加工施設で観測された場合、気中の降下火砕物の状態を踏まえて、除去作業等の措置を講じることとする。
- ・ 積雪及び降下火砕物の重畳を踏まえ、安全機能を損なうことがないよう、余裕をもって堆積物を取り除く方針とする。

2. 設計方針

2.1. 荷重

(1) 積雪荷重

積雪単位荷重 m_s (N/cm/m^2) : 20（建築基準法施行令第 86 条第 2 項による）

1) 折板屋根

検討用積雪深度 d_s (cm) : 60

検討用積雪荷重 w_s (N/m^2) : $m_s \times d_s = 20 \times 60 = 1200$

2) ALC 板屋根

検討用積雪深度 d_{ALCS} (cm) : 60

検討用積雪荷重 w_{ALCS} (N/m^2) : $m_s \times d_{ALCS} = 20 \times 60 = 1200$

3) RC 屋根

検討用積雪深度 d_{RCS} (cm) : 168

検討用積雪荷重 w_{RCS} (N/m^2) : $m_s \times d_{RCS} = 20 \times 168 = 3360$

(2) 固定荷重

検討対象物に応じて設定する。

(3) 荷重の組み合わせ

建築基準法施行令第 82 条に基づき積雪荷重（多雪区域以外の場合）は短期荷重として評価する。

短期荷重：固定荷重 + 積雪荷重

2. 2. 使用材料と許容値

検討対象物に応じて設定する。

2. 3. 評価方法

(1) 折板屋根

屋根の支持スパンがメーカー資料による許容スパン以下となっていることを確認する。折板を支える小梁は鉄骨構造であるため、日本建築学会「鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一」に基づき、梁に作用する最大曲げ応力度が短期許容曲げ応力度以下であることを確認する。

(2) ALC 板屋根

屋根の支持スパンがメーカー資料による許容スパン以下となっていることを確認する。ALC 板を支える小梁は鉄骨構造であるため、日本建築学会「鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一」に基づき、梁に作用する最大曲げ応力度が短期許容曲げ応力度以下であることを確認する。

(3) RC 屋根

日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」に基づき、スラブ及び小梁に作用する最大曲げモーメントが終局曲げ耐力以下であることを確認する。

これらの確認により安全機能を損なわないことを確認する。

一般に建築、土木に関する技術計算においては以下の定義による用語を用いており、本資料もこれに準じることとする。

応力：部材に作用する内力を意味し、せん断力、軸力等の荷重の次元を持つ場合あるいは曲げモーメント、トルク等の荷重×距離の次元を持つ場合がある。

応力度：内力による単位面積あたりの荷重を意味し、荷重を面積で除した次元を持つ。

耐力：骨組や部材が破壊せずに耐えられる限界の応力を意味する。

3. 適用規格

設計は原則として、次の関係規準に準拠する。

- ・ 建築基準法・同施行令・告示等
- ・ 日本産業規格（JIS）（日本規格協会）
- ・ 鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一（日本建築学会）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会）
- ・ ALC パネル構造設計指針・同解説（ALC 協会）

II. 付属建物 発電機室積雪及び降下火砕物による損傷防止に関する計算書

1. 発電機室の概要

1.1. 位置

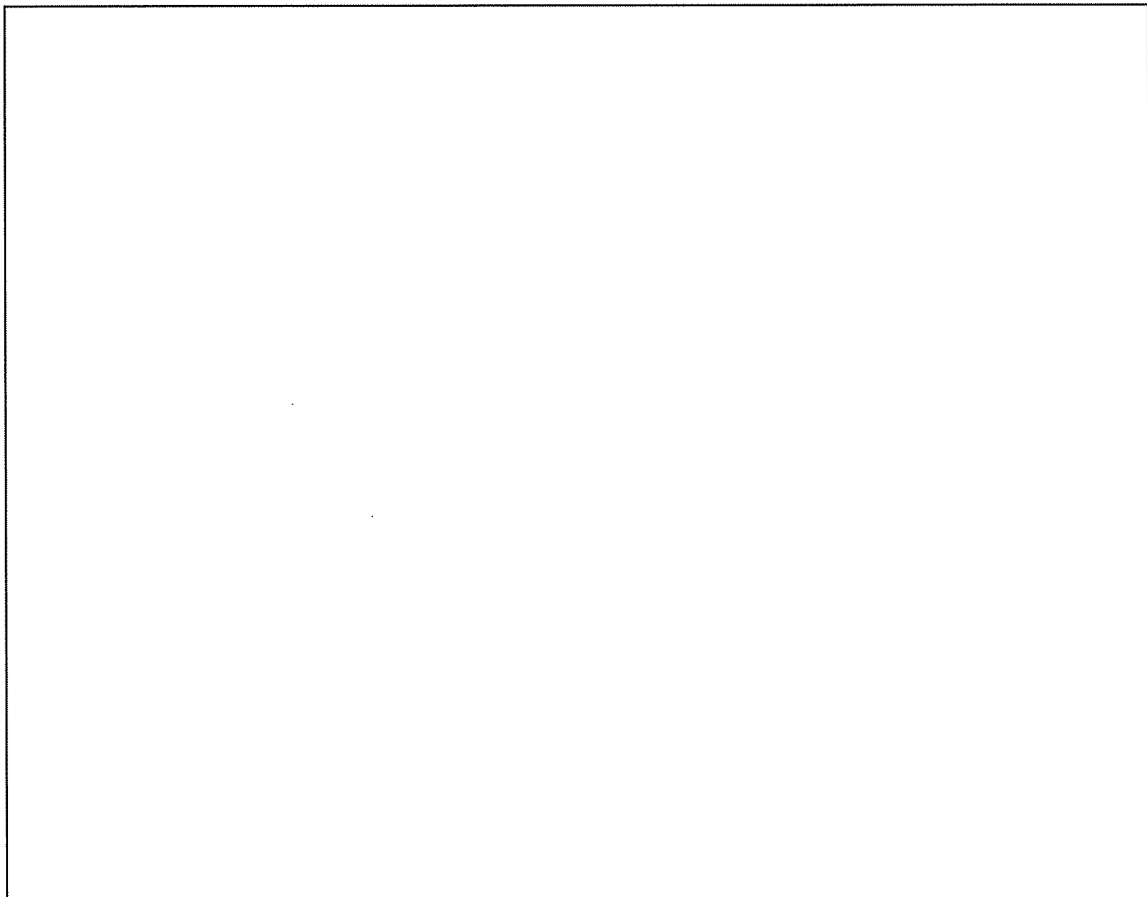
発電機室の設置位置を図り建-1に示す。

1.2. 建物の概要

発電機室は平屋建ての鉄筋コンクリート造（RC造）であり、平面形状は、約 、
高さ約 m の整形な新設建物である。

屋根伏図を添説建 4- II. 1. 2-1 図に示す。

注) 添付説明書の図に示す寸法の単位は、特記以外ミリメートルとする。



添説建 4- II. 1. 2-1 図 屋根伏図

2. 設計方針

2.1. 荷重

(1) 屋根固定荷重

屋根スラブ (S1)

単位体積重量 γ_{RC} (N/m ³)	:	<input type="text"/>
厚さ t (m)	:	<input type="text"/>
単位面積重量 w_{RC1} (N/m ²)	:	$\gamma_{RC} \times t =$ <input type="text"/>
仕上げ荷重 ^{※1} w_{RC2} (N/m ²)	:	<input type="text"/>
検討用固定荷重 w_{RC} (N/m ²)	:	$w_{RC1} + w_{RC2} =$ <input type="text"/>

※1：仕上げ重量にはシート防水増し打ち、設備荷重を含む

RC 小梁 (B1)

高さ h (m)	:	<input type="text"/>
幅 b (m)	:	<input type="text"/>
鉄筋コンクリートの単位体積重量 γ (N/m ³)	:	<input type="text"/>
検討用固定荷重 W_B (N/m)	:	$\gamma \times b \times (h - t)$
	=	<input type="text"/>

(2) 積雪荷重

検討用積雪深度 d_{RCS} (cm)	:	<input type="text"/> (降下火砕物 28cm に相当)
積雪単位荷重 m_s (N/cm/m ²)	:	<input type="text"/> (建築基準法施行令第 86 条第 2 項による)
検討用積雪荷重 w_{RCS} (N/m ²)	:	$m_s \times d_{RCS} =$ <input type="text"/>

(3) 荷重の組み合わせ

建築基準法施行令第 82 条に基づき積雪荷重 (多雪区域以外の場合) は短期荷重として評価する。

短期荷重 : 固定荷重 + 積雪荷重

2.2. 使用材料と許容値

(1) コンクリート

設計基準強度 $F_c =$ N/mm²

(2) 鉄筋

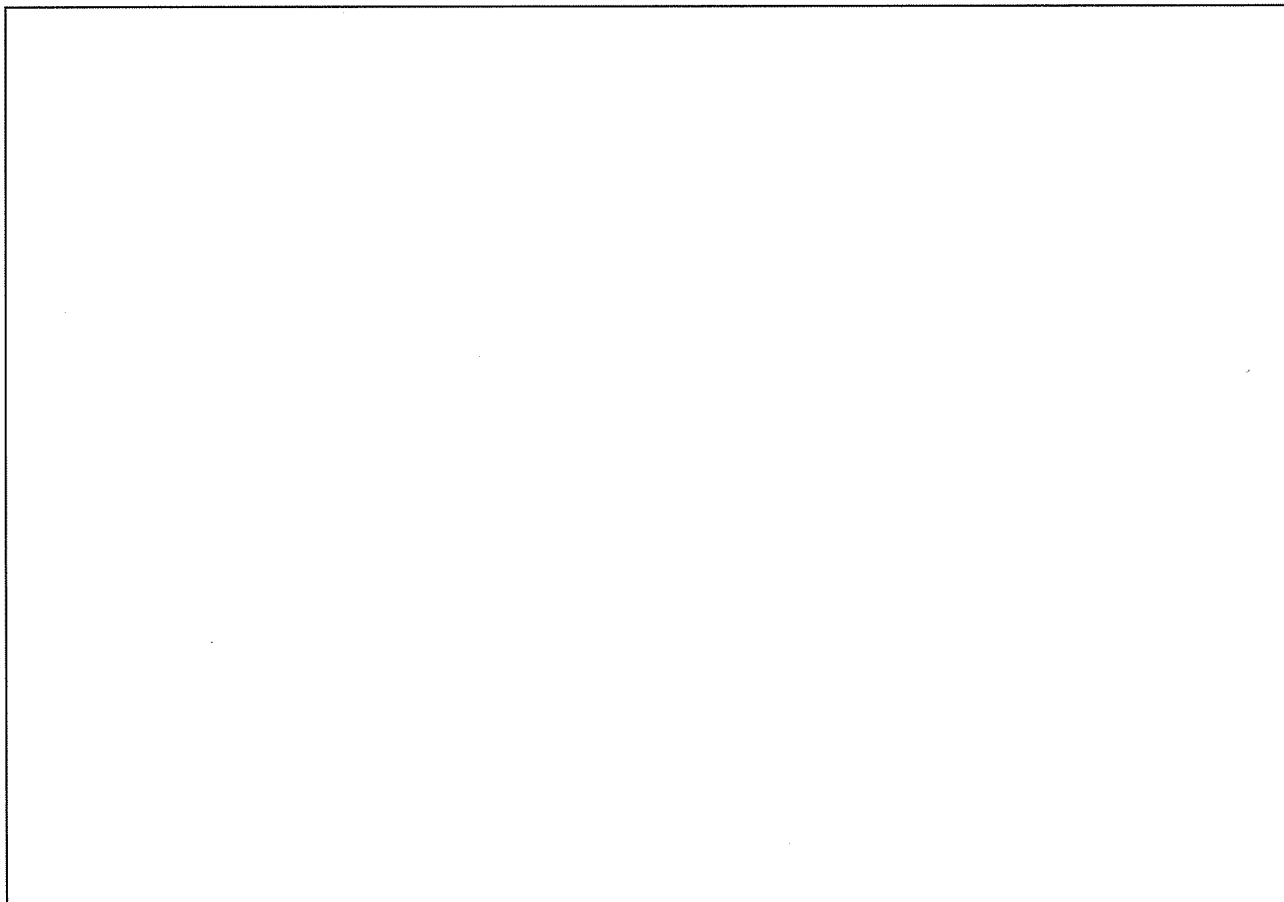
使用材料 :

SD295A	:	短期許容引張応力度 $f_{t1} =$ <input type="text"/> N/mm ²
SD345	:	短期許容引張応力度 $f_{t2} =$ <input type="text"/> N/mm ²

3. 検討対象

検討対象は、添説建 4-Ⅱ.3-1 図に示す屋根スラブ、RC 小梁とする。

屋根スラブは内法寸法で評価する。積雪荷重に対して厳しくなる箇所（積雪荷重を受ける面積が大きい箇所）を選定して評価する。



添説建 4-Ⅱ.3-1 図 検討対象（見上げ図）

4. 検討結果

4.1. 評価方法

屋根スラブ、RC小梁は積雪荷重時に作用する最大曲げモーメントが短期曲げ耐力以下であることを確認する。確認にあたり、屋根スラブ、RC小梁は日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（以下「RC規準」と略記）に基づき評価する。

これらの評価により安全機能を損なわないことを確認する。

4.2. 評価結果

(1) 屋根スラブ (S1)

1) 計算諸条件

長辺スパン長 L (m) :
短辺スパン長 B (m) :
単位面積当り積雪荷重 w_{RCS} (kN/m²) :

屋根スラブ諸元

厚さ t (mm) :
単位面積当り固定荷重 w_{RC} (kN/m²) :

配筋

上端筋 主筋 :
配力筋 :
下端筋 主筋 :
配力筋 :
1本当り断面積 (D10) A_{D10} (mm²) :
(D13) A_{D13} (mm²) :

鉄筋 (SD295A)

短期許容引張応力度 f_{t1} (N/mm²) :

支持条件

着目方向 :

単位面積当り荷重 w (kN/m²) : $w_{RC} + w_{RCS} =$

2) 短辺方向（端部）での検討結果

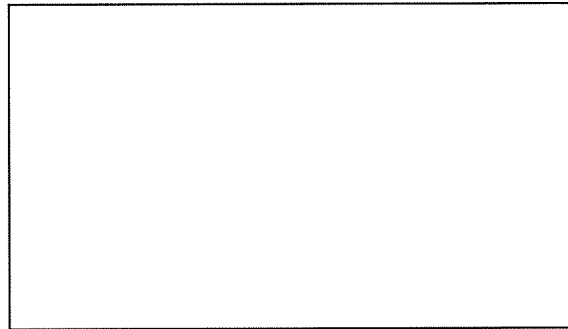
この位置での計算条件は以下の通り。

引張側表面より引張側鉄筋中心までの距離 d_t (mm) :

有効せい d (mm) : $t - d_t =$

応力中心距離 j (mm) : $(7 / 8) \times d =$

引張鉄筋断面積（スラブ 1 m 幅当り） a_t (mm²/m) : $1000 / 200 \times (A_{D10} + A_{D13}) / 2$
 =



屋根スラブ断面（端部）

最大曲げモーメント M （スラブ 1 m 幅当り）は、RC 規準（10.1）式より

$$M = 1 / 12 \times \{L^4 / (B^4 + L^4)\} \times w \times B^2$$

$$= 1 / 12 \times \text{} \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

短期曲げ耐力 M_a （スラブ 1 m 幅当り）は、RC 規準（13.1）式より

$$M_a = a_t \times f_{t1} \times j = \text{} \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

最大曲げモーメント M と短期曲げ耐力 M_a の検定比

$$R = M / M_a = \text{} \quad \text{OK}$$

3) 短辺方向（中央部）での検討結果

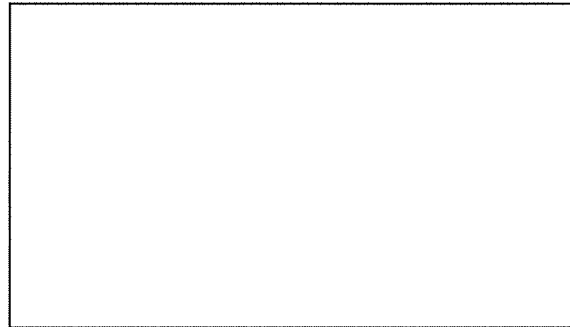
この位置での計算条件は以下の通り。

引張側表面より引張側鉄筋中心までの距離 d_t (mm) :

有効せい d (mm) : $t - d_t =$

応力中心距離 j (mm) : $(7 / 8) \times d = (7 / 8) \times 164 = 143.5$

引張鉄筋断面積（スラブ 1 m 幅当り） a_t (mm²/m) : $1000 / 200 \times A_{D10}$
 =



屋根スラブ断面（中央）

最大曲げモーメント M （スラブ 1 m 幅当り）は、RC 規準（10.1）式より

$$M = 1 / 18 \times \{L^4 / (B^4 + L^4)\} \times w \times B^2$$

$$= 1 / 18 \times \text{} \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

短期曲げ耐力 M_a （スラブ 1 m 幅当り）は、RC 規準（13.1）式より

$$M_a = a_t \times f_{t1} \times j = \text{} \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

最大曲げモーメント M と短期曲げ耐力 M_a の検定比

$$R = M / M_a = \text{} \quad \text{OK}$$

以上より、積雪深さ 168cm の積雪荷重に対して、屋根スラブ（S1）は健全である。

(2) RC 小梁 (B1)

1) 計算諸条件

支持スパン長 L (m) :
屋根スラブ単位面積当り固定荷重 w_{RC} (kN/m²) :
屋根スラブ単位面積当り積雪荷重 w_{RCS} (kN/m²) :

小梁諸元

高さ h (m) :
幅 b (m) :
単位長さ当り固定荷重 W_B (kN/m) :
配筋 (端部)
上端筋 :
下端筋 :
1 本当り断面積 (D19) A_{D19} (mm²) :

鉄筋 (SD345)

短期許容引張応力度 f_{t2} (N/mm²) :

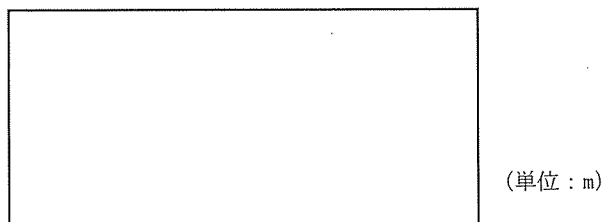
小梁の分担する単位長さ当り荷重

分担幅 B_b (m) :
小梁分担屋根固定荷重 W_{RC} (kN/m) : $w_{RC} \times B_b =$
小梁分担積雪荷重 W_{RCS} (kN/m) : $w_{RCS} \times B_b =$
小梁分担荷重 W (kN/m) : $W_{RC} + W_B + W_{RCS}$
=

集中荷重

チェーンブロック P_c (kN) : 15.2

チェーンブロックの載荷位置を以下に示す。



2) 小梁の検討結果

梁の端部では上端側、中央部では下端側に引張が発生する。引張が発生する側の配筋は端部と中央部で同じ※1であるため、曲げモーメントが最大となる端部にて検討を行う。

この位置での計算条件は以下の通り。

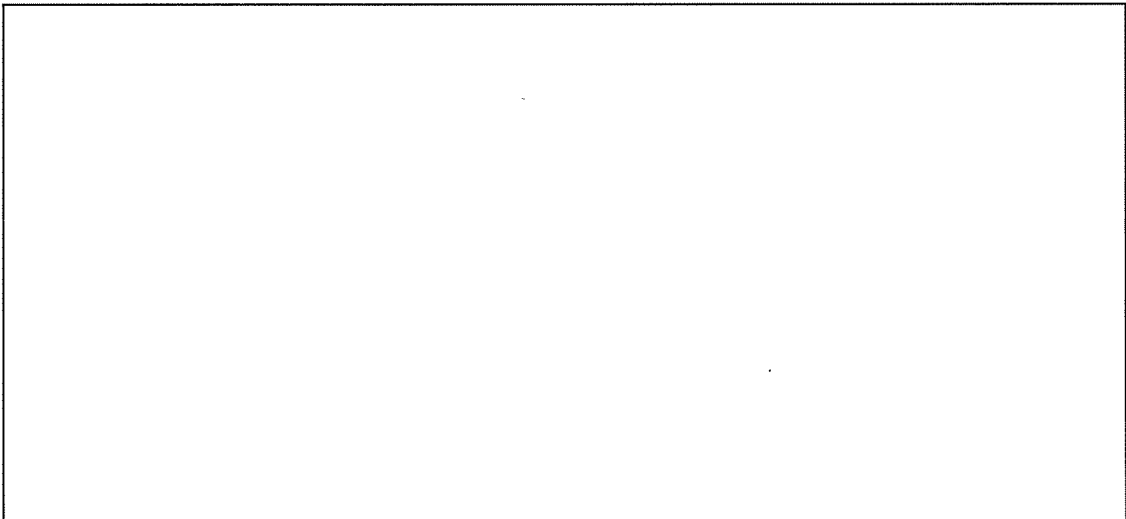
引張側表面より引張側鉄筋中心までの距離 d_t (mm) :

有効せい d (mm) : $h - d_t =$

応力中心距離 j (mm) :

引張鉄筋断面積 a_t (mm²) : $A_{b19} \times 3^{※1} =$

※1：上端筋は4本であるが、保守的に3本と考える。



分布荷重による曲げモーメント M_w

$$M_w = 1 / 12 \times W \times L^2 = \text{} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

集中荷重による最大曲げモーメント M_p

$$M_p = P_c \times a_p \times b_p^2 / L^2 = \text{} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

最大曲げモーメント M

$$M = M_w + M_p = \text{} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

短期曲げ耐力 M_a は、RC 規準 (13.1) 式より

$$M_a = a_t \times f_{t2} \times j = \text{} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

最大曲げモーメント M と短期曲げ耐力 M_a の検定比

$$R = M / M_a = \text{} \quad \text{OK}$$

以上より、積雪深さ 168cm の積雪荷重に対して、RC 小梁 (B1) は健全である。

外部火災・爆発による損傷防止に関する説明書

1. 評価対象と方法

(1) 評価対象

敷地内外の屋外危険物貯蔵施設及び燃料輸送車両（以下「危険物（施設・車両）」という。）の火災又は爆発による建物への影響を評価した。

1) 対象建物

評価対象建物は、非常用ディーゼル発電機(1)、(2)が設置されている付属建物発電機室とした。また、評価対象とする壁、屋根、鉄扉は、以下のとおりとする。

- ・ 危険物（施設・車両）から途中に火災・爆発の影響を遮る障壁がない付属建物発電機室の壁、屋根、鉄扉を評価対象とする（車両の場合は移動ルートも考慮）。
- ・ 壁（コンクリート：□m厚み）、屋根（コンクリート：□m厚み）、吸気／排気フード（コンクリート：□m厚み）は同一の材料であることから、コンクリート：□m厚みで評価する。
- ・ 鉄扉（□：□）では、外側の鉄板のみを評価対象とする。

2) 対象とする危険物（施設・車両）

対象とする危険物（施設・車両）は、以下の通り選定した。

・ 敷地内：

事業許可 添付書類五の別添りー18 に示す危険物（施設・車両）のすべてを選定した。

・ 敷地外：

事業許可 別添りー24 及び別添りー25 に示す危険物（施設・車両）のすべてを選定した。

添説建5-1図～添説建5-4図に各危険物の施設と建物との位置関係と障壁および離隔の関係、添説建5-5図に危険物（施設・車両）と建物との離隔距離、評価対象を示す。

(2) 外部火災発生時の壁の温度評価方法及び爆発発生時の影響評価方法

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」に則り、影響モードとして敷地内外の火災、爆発を設定し評価した。

- ・火災：発生した火炎からの輻射熱により施設の外壁、屋根、鉄扉が加熱されることを想定し、壁面温度を評価した。

$$T = T_0 + \frac{E}{h} \left(1 - e^{-\frac{ht}{C_v}} \right)$$

$$C_v = \rho \times C_p \times X$$

$$\phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left[\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right) - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right) \right]$$

(「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」より)

T：壁の入熱後の温度 (°C) T₀：初期温度 (°C)

E：輻射強度=R_r×φ (W/m²) R_r：輻射発散度 (W/m²) h：熱伝達率 (W/m²/K)

t：燃焼継続時間 (s)

C_v：建物壁の面積あたりの熱容量 (J/m²/K)

ρ：建物壁の密度 (kg/m³) C_p：建物壁材の比熱 (J/kg/K)

X：壁の厚み (m)

φ：形態係数 n=L/R m=H/R≒3

A=(1+n)²+m² B=(1-n)²+m² L：離隔距離 (m)

H：炎の高さ (m) R：燃焼半径=√S/π (m) S：燃焼面積 (m²)

- ・爆発：爆発源から発生した爆風 (危険限界距離*) を想定し、爆風による影響の有無を評価した。

$$X = 0.04 \times 14.4 \sqrt[3]{K \times W} \quad (\text{「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」より})$$

X：危険限界距離 (m) K：石油類の定数 (-) W：設備定数 (-)

* 「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」に記載されている、人体に対して影響を与える爆風圧が及ぶ範囲で、範囲外の建物は爆発の影響を受けないとしている。

(3) 判定基準

1) 敷地内の火災

- ・火災源と対象建物との間に影響を遮る障壁がある場合は、火災の影響が及ばないものとする。
- ・危険物と対象建物との最短距離を離隔距離として評価する。
- ・評価温度 T (°C) と許容温度を比較し、評価温度 < 許容温度であることを確認する。
- ・許容温度は、以下のとおりとする。

壁・屋根 (コンクリート) : 200°C (出典：建築火災のメカニズムと火災安全設計)

鉄扉 : 450°C (出典：建築火災のメカニズムと火災安全設計(自重 (長期荷

重) に対して変形が認められない温度 (許容鋼材温度))) . . . 補足資料参照

2) 敷地外の火災

- ・ 敷地外のタンクローリの火災は、敷地内の火災と同様に評価し判定する。
- ・ 当社敷地の東側に隣接するニュークリア・デベロップメント株式会社の火災源（危険物屋外タンク貯蔵所）に最も近い当社加工施設の建物は、事業許可のとおり第1廃棄物処理所（申請対象外）であり、火災源との距離は109mである。
- ・ 対象建物と敷地外の火災源の距離は109m以上であり、外壁温度が許容温度になる危険距離が109mより小さいことを確認する。

3) 敷地内の爆発

- ・ 爆発源と対象建物との間に影響を遮る障壁がある場合は、爆発の影響が及ばないものとする。
- ・ 爆発源と対象建物との最短距離を、離隔距離として評価する。
- ・ 危険限界距離 $X(m)$ と離隔距離 $L(m)$ を比較し、危険限界距離 $<$ 離隔距離であることを確認する。

4) 敷地外の爆発

- ・ 敷地外のタンクローリの爆発は、敷地内の爆発と同様に評価し判定する。
- ・ 当社敷地の西側に隣接する三菱マテリアル株式会社の爆発源（LPガス貯蔵設備、高圧ガス貯蔵所（第二種貯蔵所））に最も近い当社加工施設の建物は、事業許可のとおり容器管理棟であり、爆発源との距離は228mである。
対象建物と敷地外の爆発源の距離が228m以上であることを示す。

2. 評価結果

対象建物に対する危険物（施設・車両）の影響モードと、評価結果を添説建 5-1 表に示す。添説建 5-2 表に火災影響評価結果、添説建 5-3 表に敷地外危険物屋外タンク貯蔵所の各壁に対する危険距離、添説建 5-4 表に危険限界距離を示す。

評価を実施した結果、火災及び爆発に対して対象建物は健全性を維持できることを確認した。

添説建 5-1 表 危険物(施設・車両)の仕様と火災・爆発評価結果(1/2)

区分	危険物の 施設	油種等	影響 モード	評価結果
敷 地 内	危険物屋外タンク 貯蔵所(1)	A 重油	火災	離隔距離評価及び温度評価により外部火災の影響はない。
	危険物屋外タンク 貯蔵所(2)	灯油	火災	離隔距離評価及び温度評価により外部火災の影響はない。
	危険物屋外タンク 貯蔵所(3)	灯油	火災	障壁となる建物(シリンダ洗浄棟 [※])があるため影響はない。
	高圧ガス製造所	液化アン モニア	火災	離隔距離評価及び温度評価により外部火災の影響はない。
			爆発	危険限界距離(26.6m)以上離隔している(29m)ため影響はない。
	LP ガス供給設備	液化プロ パンガス	火災	障壁となる建物(高圧ガス貯蔵所障壁 [※])があるため影響はない。
			爆発	障壁となる建物(高圧ガス貯蔵所障壁 [※])があるため影響はない。
	高圧ガス貯蔵所	水素	爆発	障壁となる建物(高圧ガス貯蔵所障壁 [※])があるため影響はない。
	A 重油用タンク ローリ	A 重油	火災	離隔距離評価及び温度評価により外部火災の影響はない。
	灯油用タンク ローリ	灯油	火災	離隔距離評価及び温度評価により外部火災の影響はない。
	液化アンモニア ローリ	液化アン モニア	火災	離隔距離評価及び温度評価により外部火災の影響はない。
			爆発	危険限界距離(26.0m)以上離隔している(32m)ため影響はない。
LP ガスローリ	液化プロ パンガス	火災	離隔距離評価及び温度評価により外部火災の影響はない。	
		爆発	危険限界距離(47.8m)以上離隔している(219m)ため影響はない。	
水素トレーラ	水素	爆発	危険限界距離(50.6m)以上離隔している(219m)ため影響はない。	

※ シリンダ洗浄棟、高圧ガス貯蔵所障壁については、次回以降の申請にて説明する。

添説建 5-1 表 危険物(施設・車両)の仕様と火災・爆発評価結果(2/2)

区分	危険物の施設	油種等	影響モード	評価結果
敷地外	タンクローリ*1	ガソリン	火災	障壁となる建物(成型工場、組立工場)があるため影響はない。
			爆発	障壁となる建物(成型工場、組立工場)があるため影響はない。
		液化プロパンガス	爆発	障壁となる建物(成型工場、組立工場)があるため影響はない。
			液化天然ガス	爆発
	危険物屋外タンク貯蔵所*2	A重油	火災	離隔距離評価により外部火災影響はない。
	LPガス貯蔵設備*3	液化プロパンガス	爆発	危険限界距離(33.6m)以上離隔している(228m以上)ため影響はない。
高圧ガス貯蔵所*3(第二種貯蔵所)	水素	爆発	危険限界距離(27.4m)以上離隔している(228m以上)ため影響はない。	

*1：当社敷地から最も近い公道である国道6号線におけるタンクローリ

*2：当社敷地の東側に隣接するニュークリア・デベロップメント株式会社に設置

*3：当社敷地の西側に隣接する三菱マテリアル株式会社に設置

添説建5-2表 危険物(施設・車両)の発電機室に対する火災影響評価結果(1/4)

項目	単位	危険物屋外タンク貯蔵所(1)	危険物屋外タンク貯蔵所(2)
— 油種等	—	A 重油	灯油
— 影響モード	—	火災	火災
L 離隔距離	m	15	193
S 燃焼面積	m ²	80	4.12
R 燃焼半径	m	5.1	1.2
t 燃焼継続時間	s	25,880	3,530
φ 形態係数	—	0.1547	0.0001
R _c 放射発散度 ¹⁾	kW/m ²	23	50
E 放射強度	W/m ²	3558.4	3.8
T ₀ 初期温度	°C	40	40
h 熱伝達率 ²⁾	W/m ² /K	17	17
— 評価対象外壁種類	—		
X 壁の平均厚み	m		
ρ 建物壁の密度	kg/m ³	2,400 ³⁾	2,400 ³⁾
C _p 建物壁材の比熱	J/kg/K	900 ³⁾	900 ³⁾
C _v 壁の単位面積あたりの熱容量	J/m ² /K	345,000	345,000
T 外壁評価温度	°C	191	41
— 許容温度 ⁴⁾	°C	200	200
— 影響	—	無し	無し
L ₀ 危険距離	m	14.4	1.8
			7,830 ⁵⁾
			465 ⁵⁾
			5,820
			41
			450
			無し
			3.9

添説建 5-2 表 危険物(施設・車両)の発電機室に対する火災影響評価結果(2/4)

項目	単位	高圧ガス製造所		A 重油用タンクローリ	
		液化アンモニア	火災	火災	A 重油
—	—	—	—	—	—
—	—	—	火災	火災	火災
L	m	30	30	7	7
S	m ²	27.36	27.36	23.78	23.78
R	m	3.0	3.0	2.8	2.8
t	s	84,480	84,480	13,930	13,930
φ	—	0.0194	0.0194	0.1897	0.1897
R _f	kW/m ²	134	134	23	23
E	W/m ²	2603.2	2603.2	4362.6	4362.6
T ₀	°C	40	40	40	40
h	W/m ² /K	17	17	17	17
—	—	—	—	—	—
X	m	—	—	—	—
ρ	kg/m ³	2,400 ³⁾	7,830 ³⁾	2,400 ³⁾	7,830 ³⁾
C _p	J/kg/K	900 ³⁾	465 ³⁾	900 ³⁾	465 ³⁾
C _v	J/m ² /K	345,000	5,820	345,000	5,820
T	°C	191	194	168	297
—	°C	200	450	200	450
—	—	無し	無し	無し	無し
L ₀	m	29.1	17.8	5.8	4.6

添説建5-2表 危険物(施設・車両)の発電機室に対する火災影響評価結果(3/4)

項目	単位	灯油用タンクローリー	液化アンモニアローリー
— 油種等	—	灯油	液化アンモニア
— 影響モード	—	火災	火災
L 離隔距離	m	219	30
S 燃焼面積	m ²	13.99	23.78
R 燃焼半径	m	2.2	2.8
t 燃焼継続時間	s	5,600	85,030
φ 形態係数	—	0.0002	0.0170
R _f 輻射発散度 ¹⁾	kW/m ²	50	134
E 輻射強度	W/m ²	9.8	2274.3
T ₀ 初期温度	°C	40	40
h 熱伝達率 ²⁾	W/m ² /K	17	17
— 評価対象外壁種類	—		
X 壁の平均厚み	m		
ρ 建物壁の密度	kg/m ³	2,400 ³⁾	7,830 ⁵⁾
C _p 建物壁材の比熱	J/kg/K	900 ³⁾	465 ⁵⁾
C _v 壁の単位面積あたりの熱容量	J/m ² /K	345,000	345,000
T 外壁評価温度	°C	41	172
— 許容温度 ⁴⁾	°C	200	200
— 影響	—	無し	無し
L ₀ 危険距離	m	4.8	27.2
			16.6

添説建 5-2 表 危険物(施設・車両)の発電機室に対する火災影響評価結果(4/4)

項目		単位	LP ガスローリ	
—	油種等	—	液化プロパンガス	
—	影響モード	—	火災	
L	離隔距離	m	219	
S	燃焼面積	m ²	14.25	
R	燃焼半径	m	2.2	
t	燃焼継続時間	s	2,000	
φ	形態係数	—	0.0002	
R _f	輻射発散度 ¹⁾	kW/m ²	74	
E	輻射強度	W/m ²	14.4	
T ₀	初期温度	°C	40	
h	熱伝達率 ²⁾	W/m ² /K	17	
—	評価対象外壁種類	—		
X	壁の平均厚み	m		
ρ	建物壁の密度	kg/m ³	2,400 ³⁾	7,830 ⁵⁾
C _p	建物壁材の比熱	J/kg/K	900 ³⁾	465 ⁵⁾
C _v	壁の単位面積あたりの熱容量	J/m ² /K	345,000	5,820
T	外壁評価温度	°C	41	41
—	許容温度 ⁴⁾	°C	200	450
—	影響	—	無し	無し
L ₀	危険距離	m	2.9	9.2

- 1) 原子力規制委員会. 原子力発電所の外部火災影響評価ガイド. 2013, B-8.
- 2) 社団法人 空気調和・衛生工学会. 空気調和・衛生工学便覧 1. 基礎編. 第14版, 2010, p. 402.
- 3) 社団法人 日本機械学会. 伝熱工学資料. 改訂第4版, 2005, p. 322.
- 4) 原田和典. 建築火災のメカニズムと火災安全設計. 財団法人 日本建築センター, 2007.
- 5) 社団法人 日本機械学会. 機械工学便覧. 1990, A6-176

添説建 5-3 表 敷地外危険物屋外タンク貯蔵所の各壁に対する危険距離

項目	単位	発電機室の壁、屋根、吸気/排気フード、鉄扉		
—	油種等	—	A 重油	
—	影響モード	—	火災	
S	燃焼面積	m ²	20.8	
R	燃焼半径	m	2.6	
t	燃焼継続時間	s	13,460	
φ	形態係数	—	0.2399	0.3002
R _r	輻射発散度 ¹⁾	kW/m ²	23	
E	輻射強度	W/m ²	5518.7	6905.6
T ₀	初期温度	°C	40	
h	熱伝達率 ²⁾	W/m ² /K	17	
—	評価対象外壁種類	—		
X	壁の平均厚み	m		
ρ	建物壁の密度	kg/m ³	2,400 ³⁾	7,830 ⁵⁾
C _p	建物壁材の比熱	J/kg/K	900 ³⁾	465 ⁵⁾
C _v	壁の単位面積あたりの熱容量	J/m ² /K	345,000	5,820
—	許容温度 ⁴⁾	°C	200	450
L ₀	危険距離	m	5.3	4.3

1) 原子力規制委員会. 原子力発電所の外部火災影響評価ガイド. 2013, B-8.

2) 社団法人 空気調和・衛生工学会. 空気調和・衛生工学便覧 1. 基礎編. 第14版, 2010, p. 402.

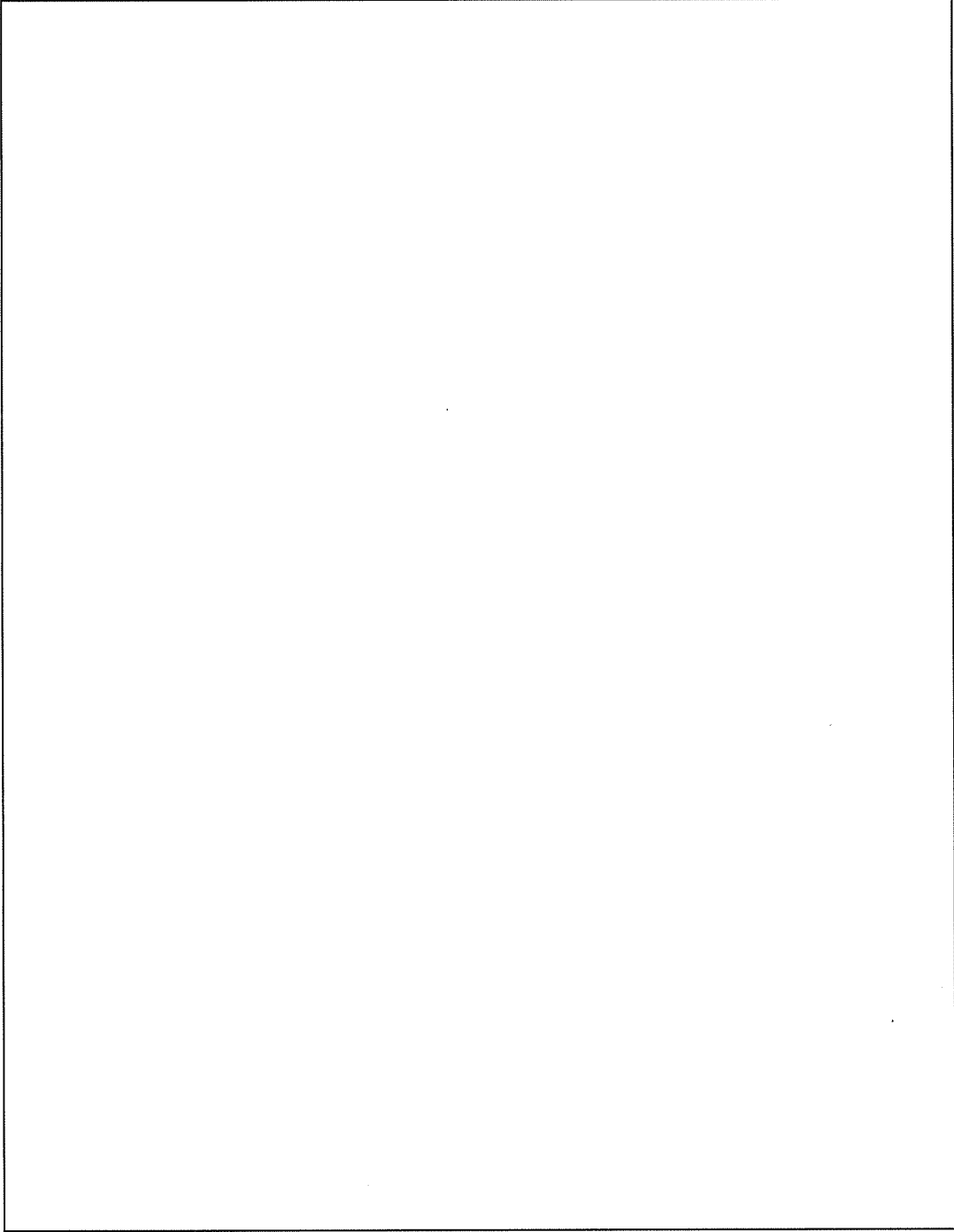
3) 社団法人 日本機械学会. 伝熱工学資料. 改訂第4版, 2005, p. 322.

4) 原田和典. 建築火災のメカニズムと火災安全設計. 財団法人 日本建築センター, 2007.

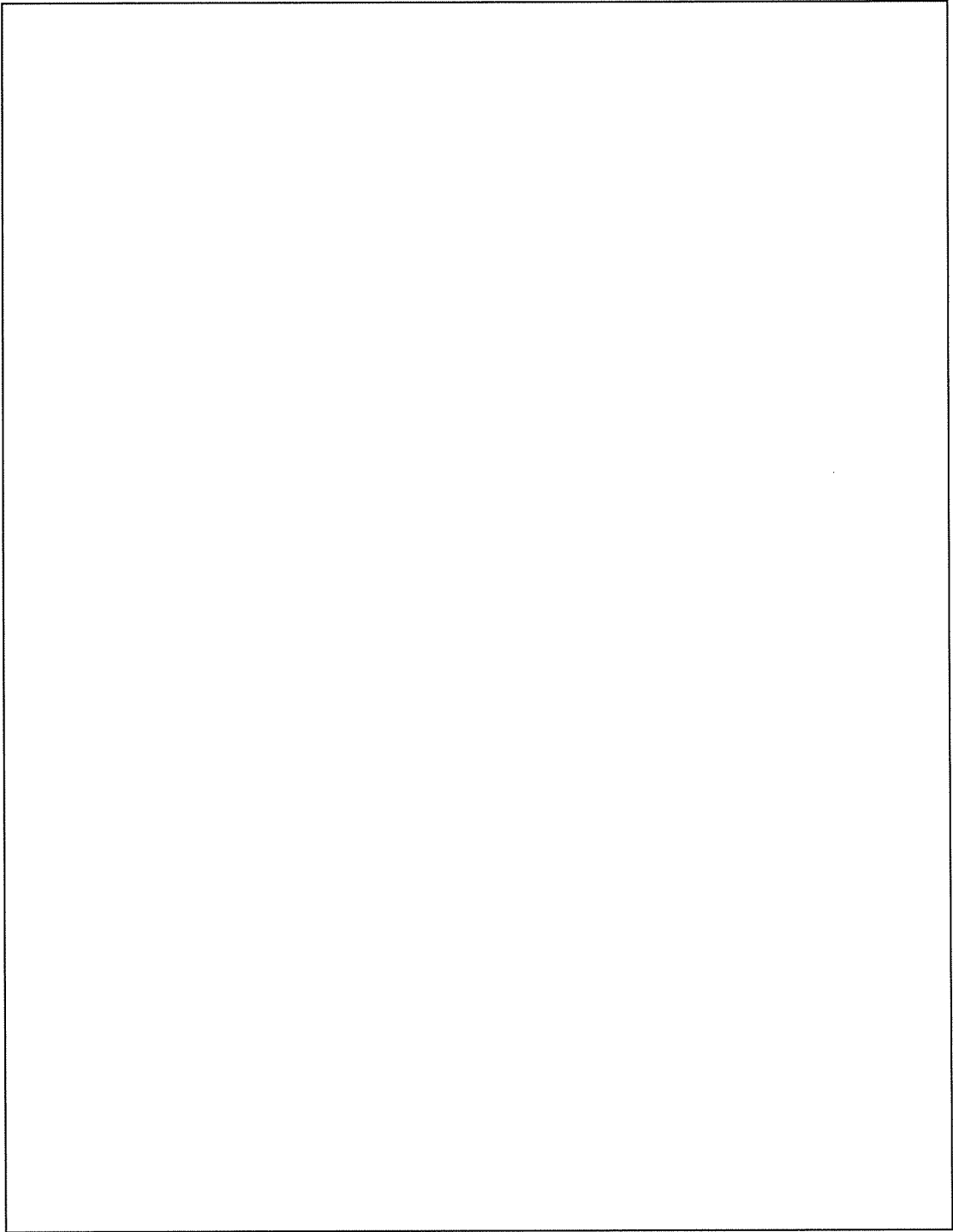
5) 社団法人 日本機械学会. 機械工学便覧. 1990, A6-176

添説建 5-4 表 危険物(施設・車両)の爆発における危険限界距離
(事業許可 別添リ-18、リ-24、リ-25 より抜粋)

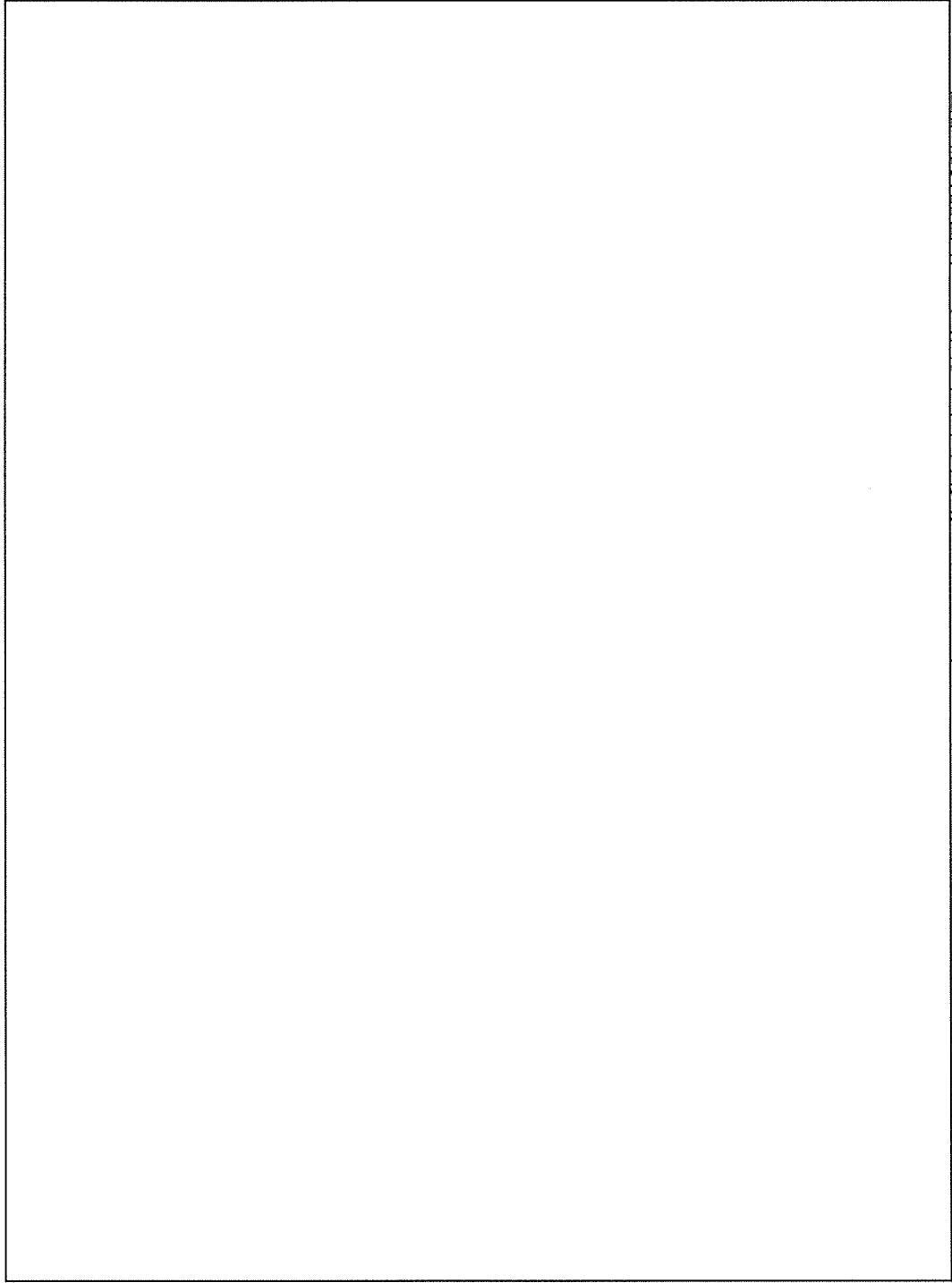
危険物の施設	ガス種	貯蔵量	K 値	W 値	危険限界距離
高圧ガス製造所	液化アンモニア				
LP ガス供給設備	液化プロパンガス				
高圧ガス貯蔵所	水素				
液化アンモニアローリ	液化アンモニア				
LP ガスローリ	液化プロパンガス				
水素トレーラ	水素				
タンクローリ (ガソリン)	ガソリン				
タンクローリ (液化プロパンガス)	液化プロパンガス				
タンクローリ (液化天然ガス)	液化天然ガス				
LP ガス貯蔵設備	液化プロパンガス				
高圧ガス貯蔵所 (第二種貯蔵所)	水素				



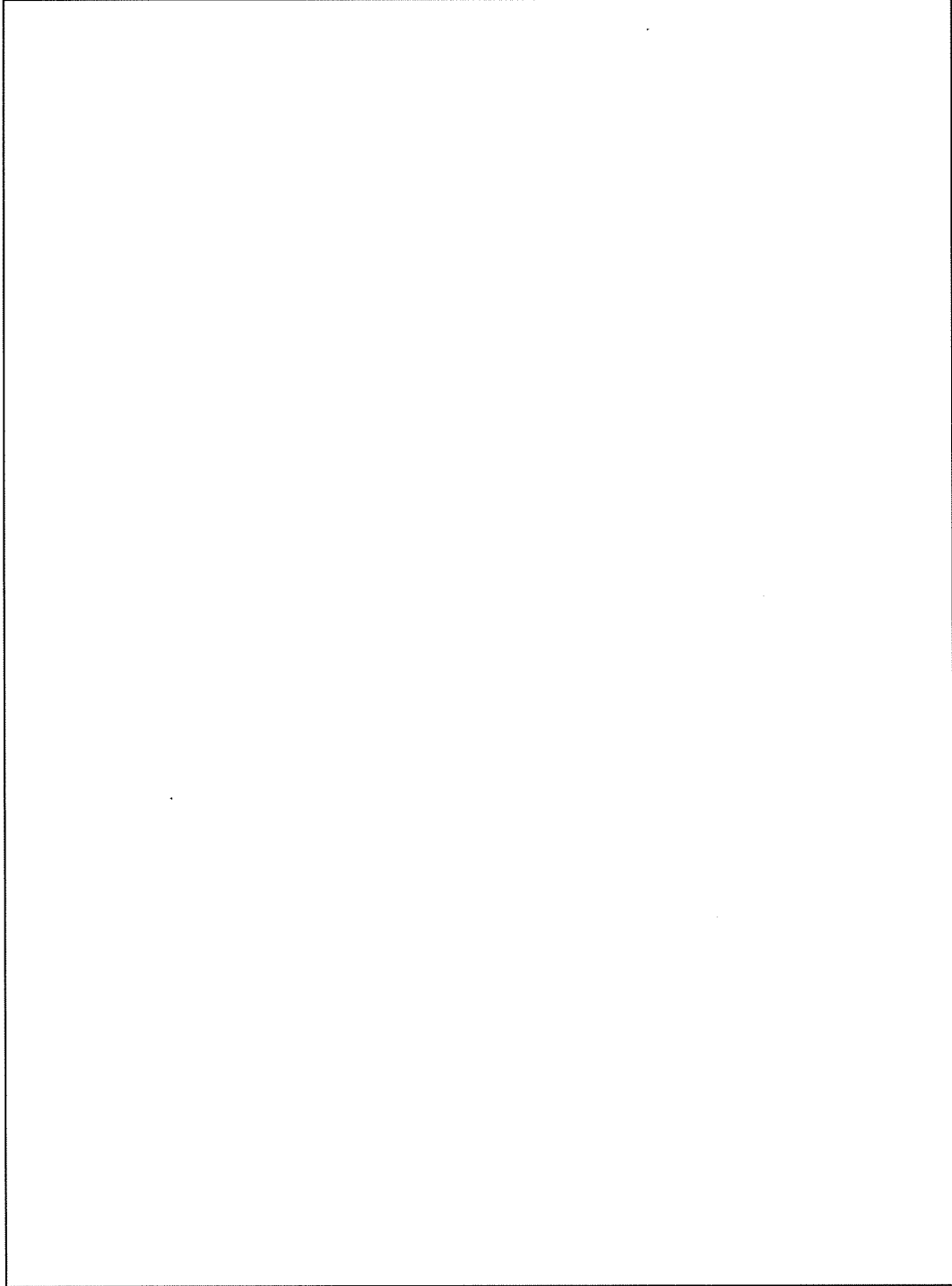
添説建5-1図 各危険物の施設と発電機室との離隔距離・位置関係説明図



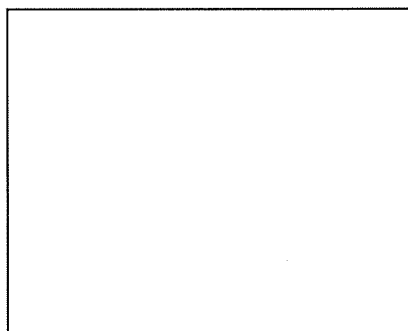
添説建5-2図 A重油用タンクローリ、灯油用タンクローリの移動経路と各建物との位置関係説明図



添説建5-3図 液化アンモニアローリ、LPガスローリの移動経路と各建物との位置関係説明図



添説建5-4図 水素トレーラの移動経路と各建物との位置関係説明図



危険物の施設名称	油種等	離隔距離	対象壁・屋根	影響を受ける方角			
				北	南	東	西
危険物屋外タンク貯蔵所(1)	A 重油	15m		—	○	—	—
危険物屋外タンク貯蔵所(2)	灯油	193m		—	○	○	—
高圧ガス製造所	液化アンモニア	30m		—	○	○	—
A 重油用タンクローリ	A 重油	7m		○	○	○	○
灯油用タンクローリ	灯油	219m		—	○	○	—
液化アンモニアローリ	液化アンモニア	30m		—	○	○	○
LP ガスローリ	液化プロパンガス	219m		—	○	○	—
敷地外危険物屋外タンク貯蔵所	A 重油	109m 以上		—	○	○	—

注) 危険物の施設と建物の位置関係は添説建 5-1 図参照

添説建 5-5 図 各危険物と発電機室との離隔距離・評価対象説明図

SS400 (一般構造用鋼) の許容温度
 「建築火災のメカニズムと火災安全設計」
 (原田 和貴著 財団法人 日本建築センター発行より抜粋)

鋼材の特性を踏まえ、高温時の構造計算には1%ひずみ時の耐力を用いる。図1に、各種鋼材の1%ひずみ時耐力の測定結果を示す。縦軸の値は、各温度での測定値を常温の基準強度 (F 値) で割ったものであり、これを鋼材の強度低下率と呼ぶ。構造耐火設計のためには、測定値の下限をとり次式で強度低下率が定義されている。

$$\kappa(T) = \delta y(T) / F = \begin{cases} 1 & (T \leq 325) \\ (700 - T) / 375 & (325 < T \leq 700) \end{cases}$$

これを用いると、素材としての限界温度を求めることができる。例えば、鋼材の長期許容応力度は基準強度の2/3なので、長期許容応力度一杯で設計された部材では、
 $0.667 = (700 - T) / 375$
 より、450°Cが許容鋼材温度となる。

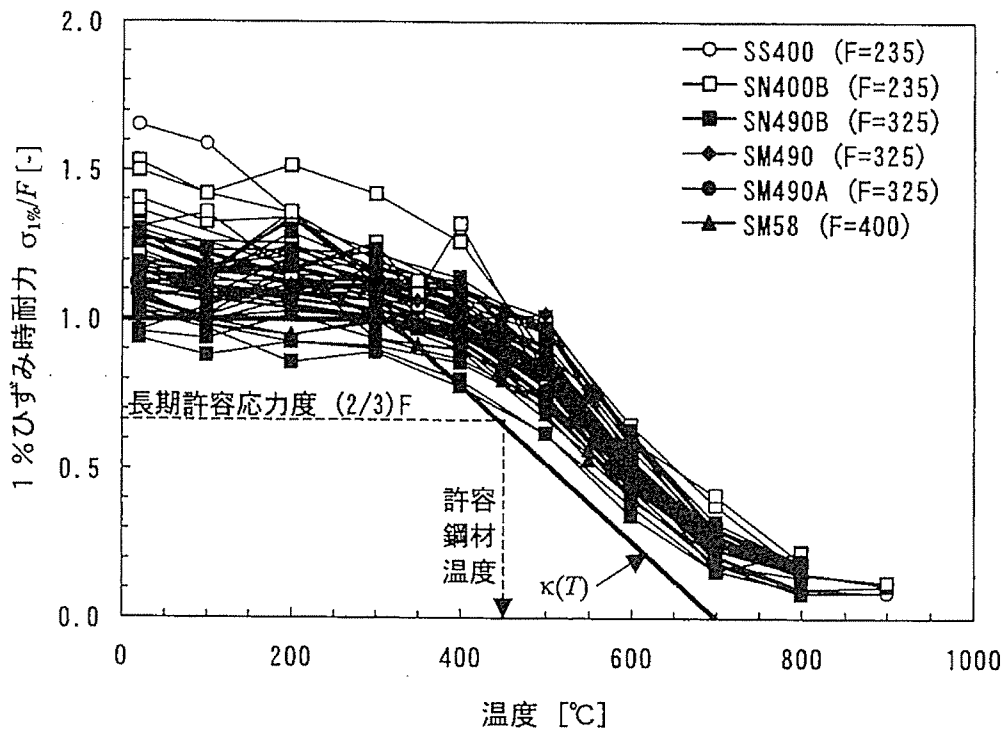


図1 各種鋼材の高温時の1%歪時耐力

放射線による被ばく防止に関する説明書

1. 放射線業務従事者の被ばく線量

今回申請する設備・機器における取り扱いウラン量は、事業許可から変更はない。今後再生濃縮ウランを充填した UF₆ シリンダの加熱蒸発は行わないこととするため、本申請により放射線業務従事者の内部被ばく及び外部被ばくは従来よりも減少する。

過去 5 年間（平成 26 年度から平成 30 年度）における放射線業務従事者の外部被ばくの実績は、全工程における最高値で年間 2.4mSv である。また、内部被ばくの実績はない。

2. 管理区域境界での線量

従来から管理区域境界は建物の壁等により区画し、その境界における線量率を 2 μSv/h 以下に管理しており、3 ヶ月間の実効線量は、以下に示すとおり 1.0mSv/3 ヶ月となるため、「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」（以下「線量告示」という）に基づく管理区域の設定基準 1.3mSv/3 ヶ月を下回る。

$$2 (\mu\text{Sv/h}) \times 500 (\text{h}/3 \text{ ヶ月})^{(\text{注}1)} = 1.0\text{mSv}/3 \text{ ヶ月}$$

(注 1) 「国際放射線防護委員会の勧告 (ICRP Pub. 60) の取り入れ等による放射線障害防止関係法令の改正について (通知)」(平成 12 年 10 月 23 日、科学技術庁原子力安全局放射線安全課長) に基づき、3 ヶ月間の時間を 500 時間とした。

なお上記 1 項と同様、本申請の設備・機器における取り扱いウラン量については、変更はなく、再生濃縮ウランを充填した UF₆ シリンダの加熱蒸発は行わないこととするため、本申請により管理区域境界での線量は従来よりも減少する。

3. 周辺監視区域境界での線量

事業許可において、周辺監視区域境界における実効線量は、各建物における核燃料物質等の貯蔵及び放射性固体廃棄物の保管が最大量であることを前提で評価している。別途申請する加工施設の壁、屋根等の遮蔽により周辺監視区域境界における最大線量は年間 7×10^{-2} mSv であることが確認され、線量告示に定められる周辺監視区域外の線量限度である年間 1mSv より十分に低い数値となる。このとき、ウランが放出す

るガンマ線による線量を考慮するものとし、中性子線による線量は小さいため無視した。

工場棟 飛散防止用防護ネットの説明書

1. 概要

工場棟（転換工場、成型工場、組立工場）及び隣接する付属建物（除染室・分析室）、放射線管理棟（一部）の屋根材は[]の折板（以下、折板屋根という。）であり、また、付属建物（第2核燃料倉庫）前室の屋根はALC屋根である。折板屋根及びALC屋根は、竜巻防護設計の竜巻である藤田スケールのF1の最大風速49m/sに対しては、安全機能を損なうことがないよう、竜巻荷重を上回る強度を有する設計であるが、更なる安全裕度の向上策の確認として用いる藤田スケールのF3の最大風速92m/sに対しては、同建物の屋根が損傷するおそれがあることから、建物内に設置される設備・機器等の建物外部へ飛散を防止するため、建物の屋根の下に飛散防止用防護ネット（以下、防護ネットという。）を設置する。

なお、竜巻が襲来時の敷地外からの飛来物で、工場棟及び隣接する建物の屋根に落下する可能性がある飛来物（プレハブ及び軽トラック）も、当該の防護ネットにより屋内への落下防止も可能な設計とする。

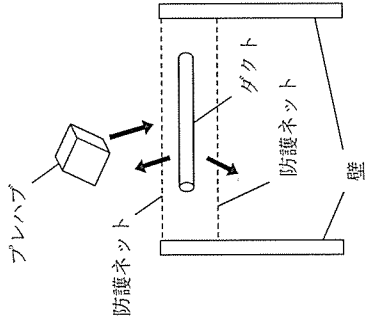
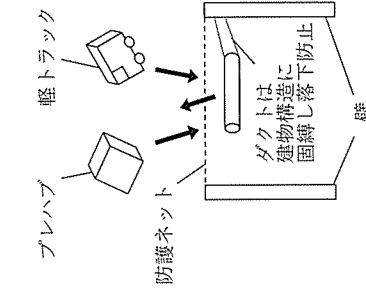
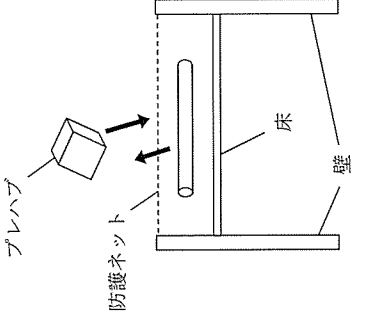
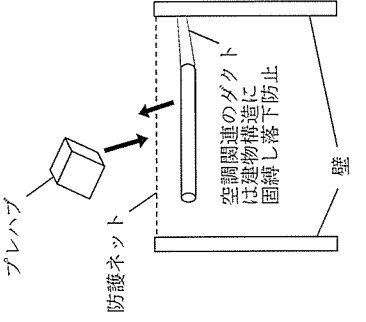
また、転換工場においては、屋根下に配置されるダクトの落下による設備・機器等の損傷対策としての防護ネットを設け、二重に防護ネットを敷設する。

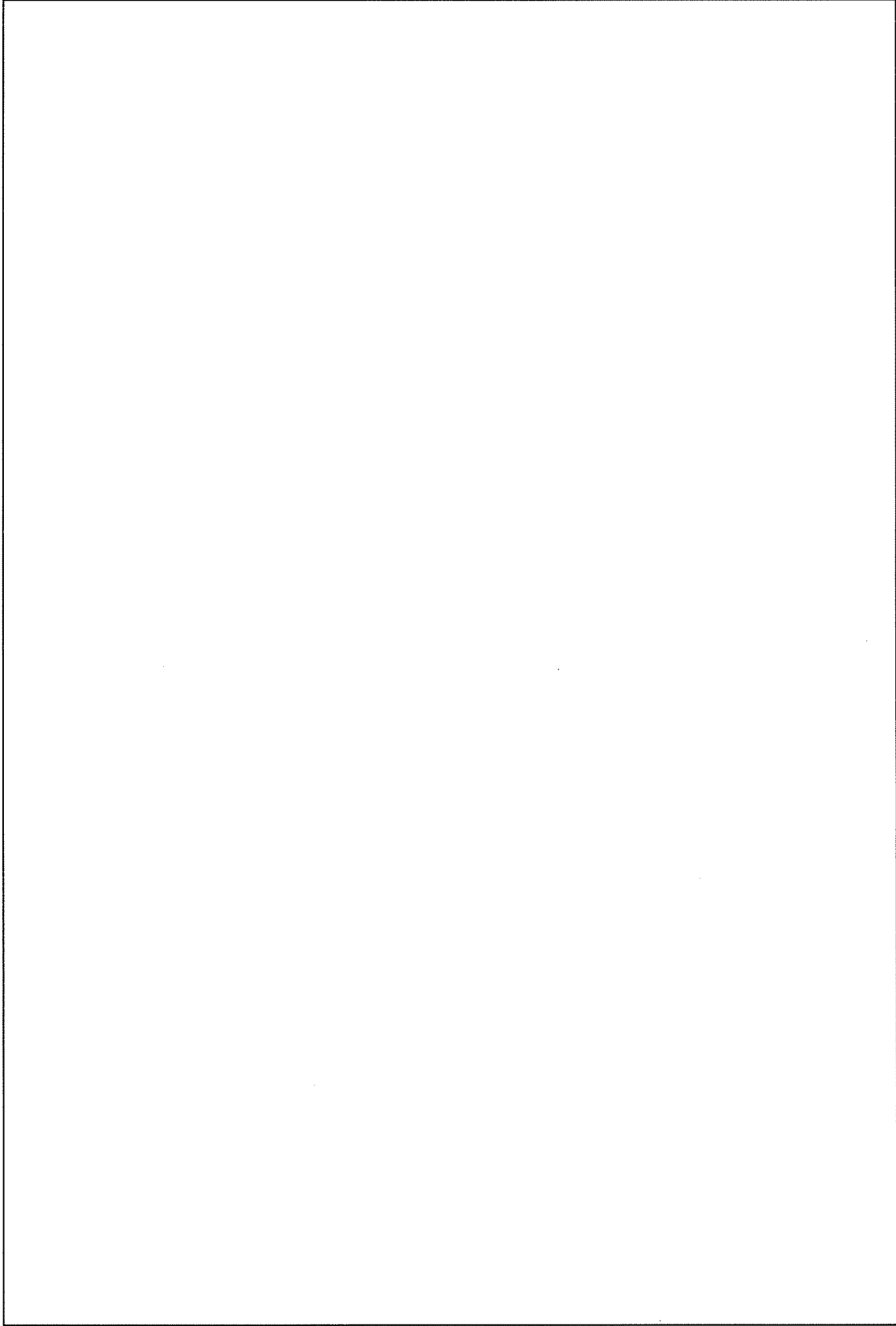
2. 防護ネットの機能と設置位置

添説建 7.2-1 表に各建物の飛散防止用防護ネット機能とその対象物を示す。

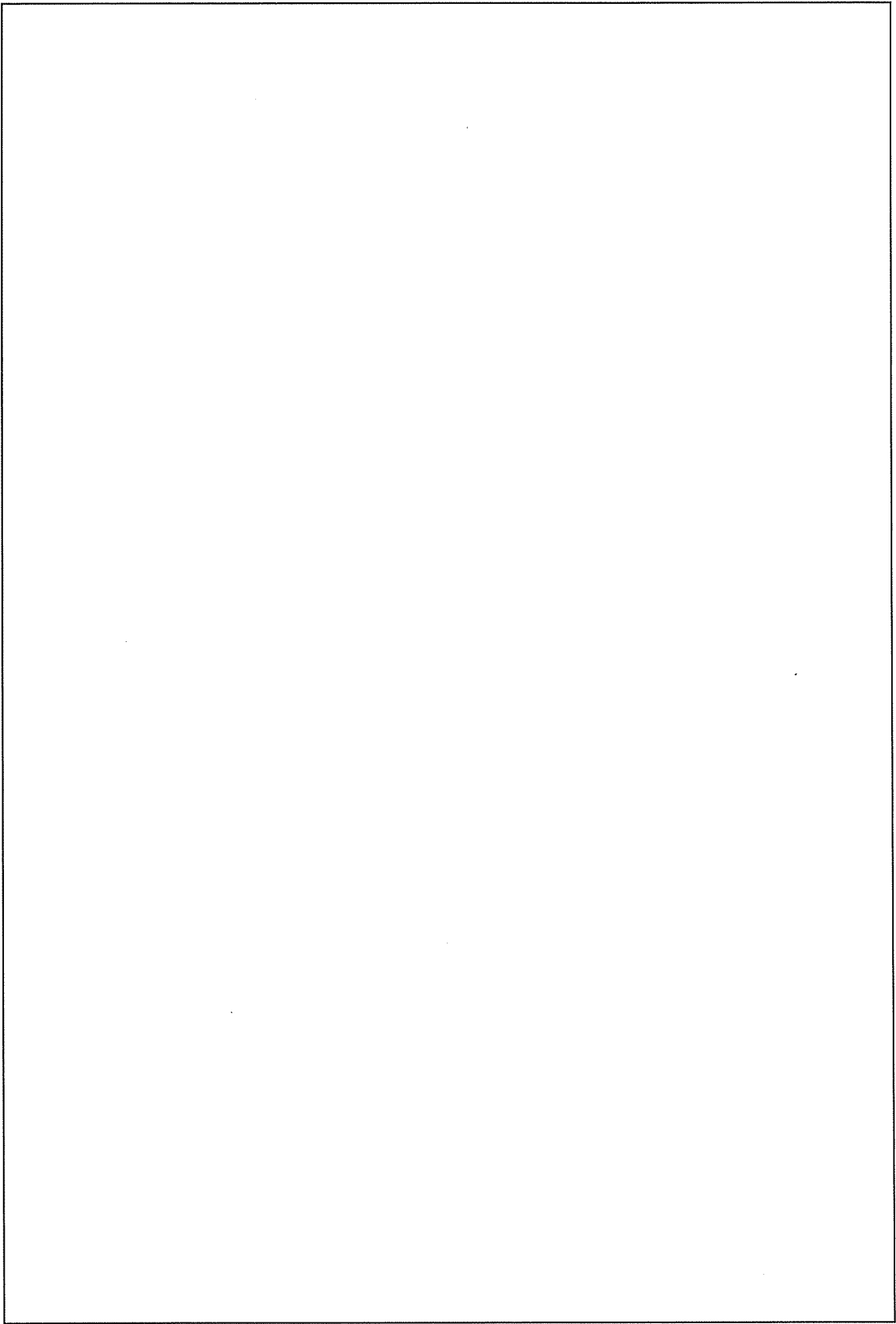
また、添説建 7.2-1 図～2-3 図に防護ネット設置範囲平面図を示す。

添説建 7.2-1 表 各建物の防護ネット機能とその対象物

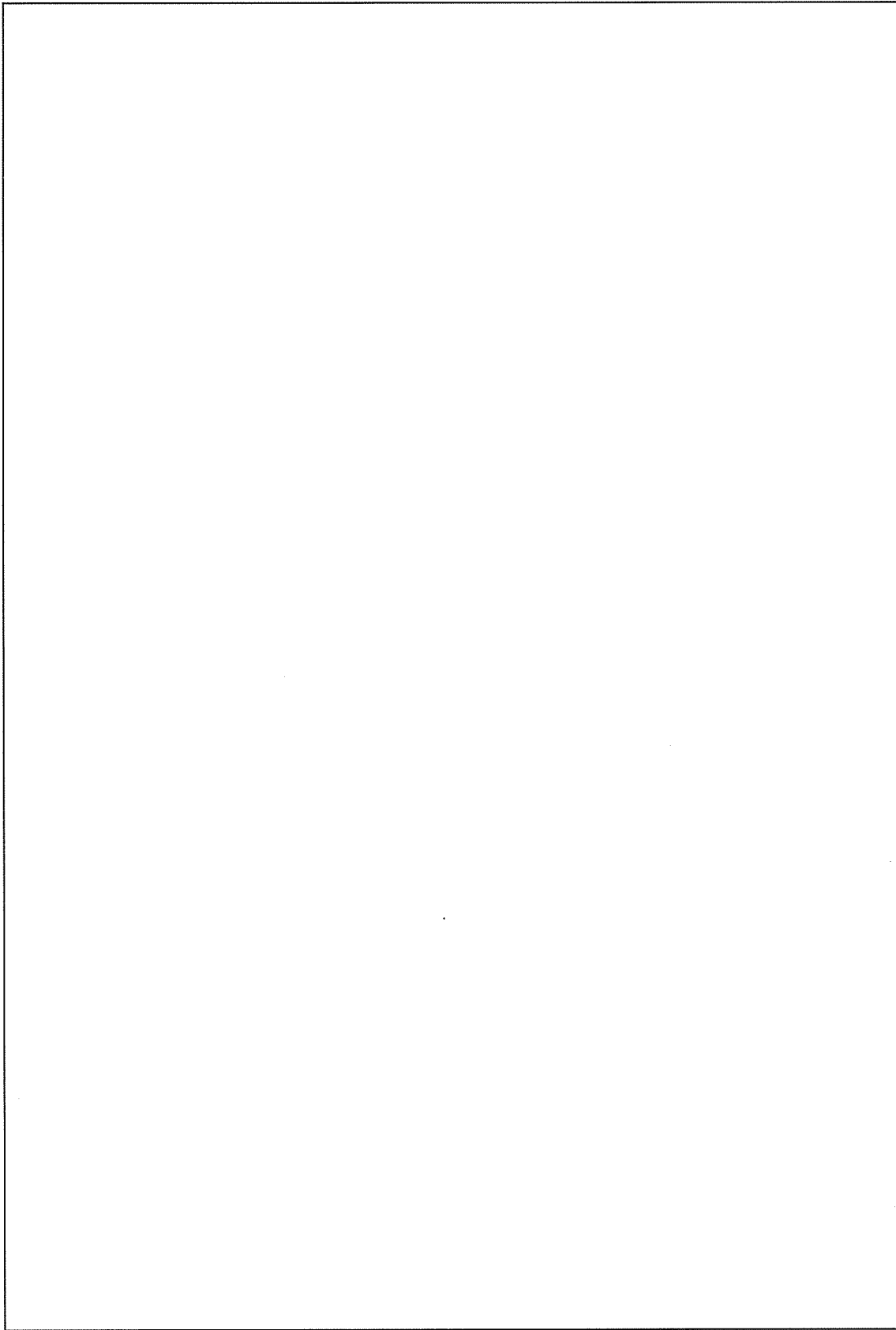
建物 機能	建物	転換工場 (東側) 除染室・分析室 放射線管理棟 (一部) 第2核燃料倉庫 (前室)	成型工場	組立工場
飛散防止機能	ダクト	ダクト	ダクト	ダクト
落下防止機能	ダクト	不要 (固縛による落下防止)	不要 (上層階の床あり)	不要 (固縛による落下防止)
飛来物防護機能	プレハブ物置	プレハブ物置 軽トララック	プレハブ物置	プレハブ物置
建物高さ	約 12m	約 5m	約 12m	約 12m
防護ネット 設置模式図				



添説建 7.2-1 図 防護ネット設置範囲平面図 (成型工場・組立工場・転換工場・上面)



添説建 7.2-2 図 防護ネット設置範囲平面図 (転換工場:下面)



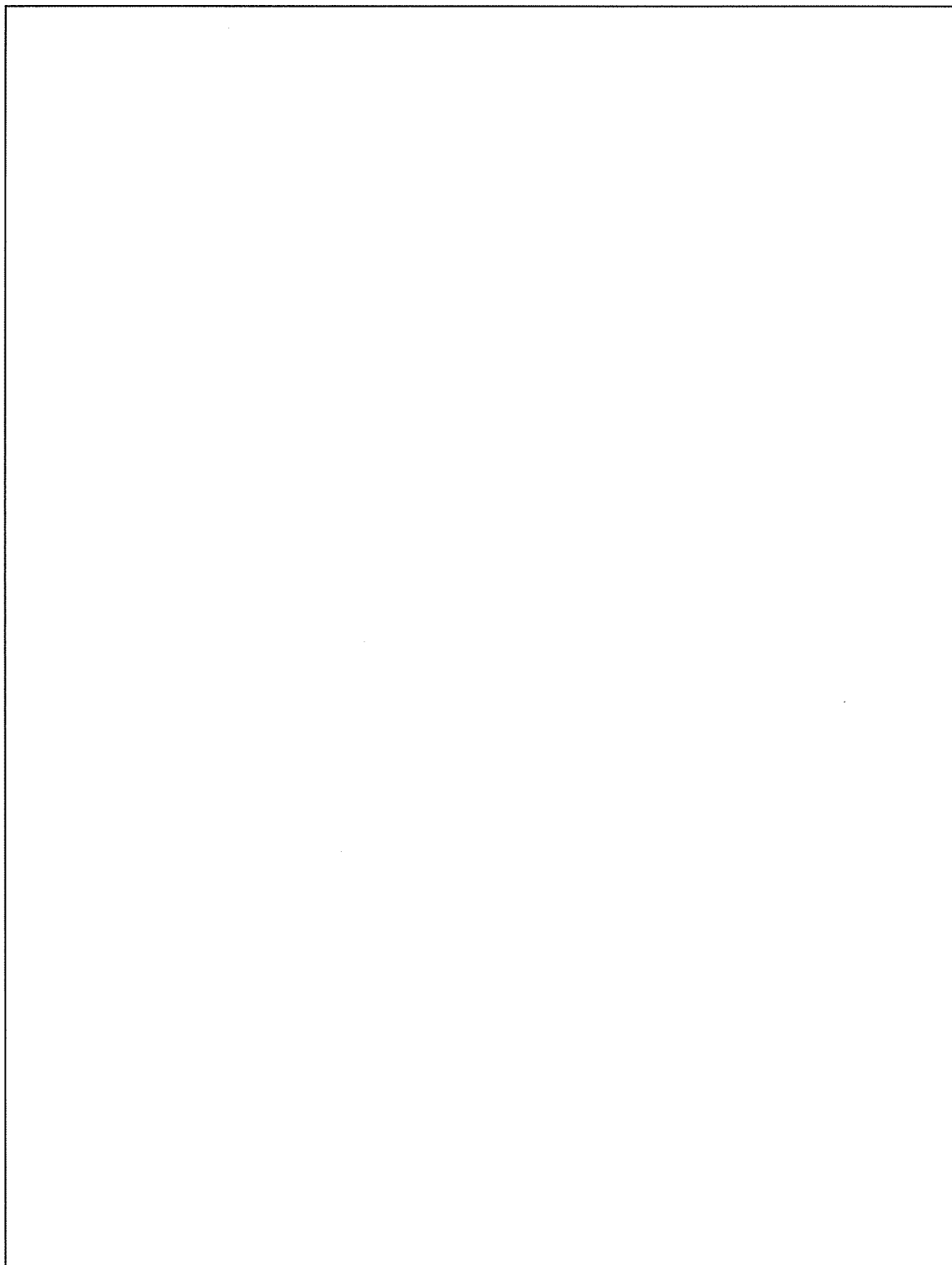
添説建 7.2-3 図 防護ネット設置範囲平面図（除染室・分析室、放射線管理棟（一部）、第2核燃料倉庫（前室）、転換工場（東側））

3. 防護ネット仕様

3. 1. 防護ネット標準図

防護ネットの標準図を添説建 7. 3. 1-1 図に示す。

防護ネットは、金網及び付属物からなる。



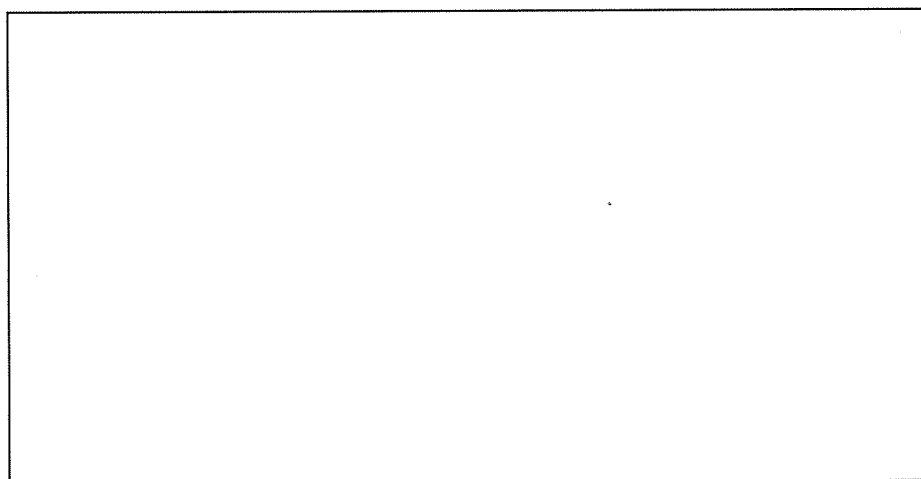
添説建 7. 3. 1-1 図 防護ネット標準図（組立工場）

3.2. 防護ネット各部の仕様

防護ネット各部の仕様を添説建 7.3.2-1 表、添説建 7.3.2-2 表、添説建 7.3.2-1 図、添説建 7.3.2-2 図に示す。

添説建 7.3.2-1 表 防護ネット仕様（金網）

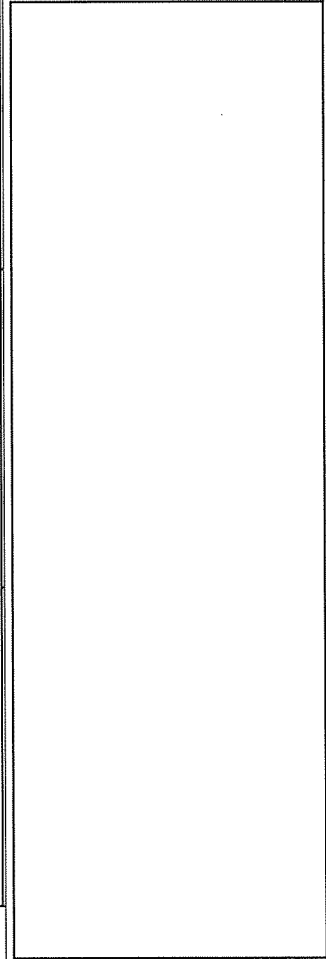
	項目	成型工場	組立工場	転換工場 (上面)	転換工場 (下面)
金網	線材材質				
	線材引張強度				
	線材破断伸び				
	目合い				
	線径				
	全体サイズ				



添説建 7.3.2-1 図 金網線径と目合い寸法

添説建 7.3.2-2 表 防護ネット仕様 (付属物)

成型工場		組立工場	転換工場(上面)	転換工場(下面)
縁取り用ワイヤー	項目			
	素線材質			
	縦弾性係数 径、断面積、破断強度			
クランプ	規格			
	定着効率			
ターンバックル	規格			
	使用荷重			
シャックル	規格			
	使用荷重			
強力長シャックル	規格			
	使用荷重			
結合コイル	線材材質			
	線径、内径、コイル長さ			
	線材材質			
結束線	線径、重ね			



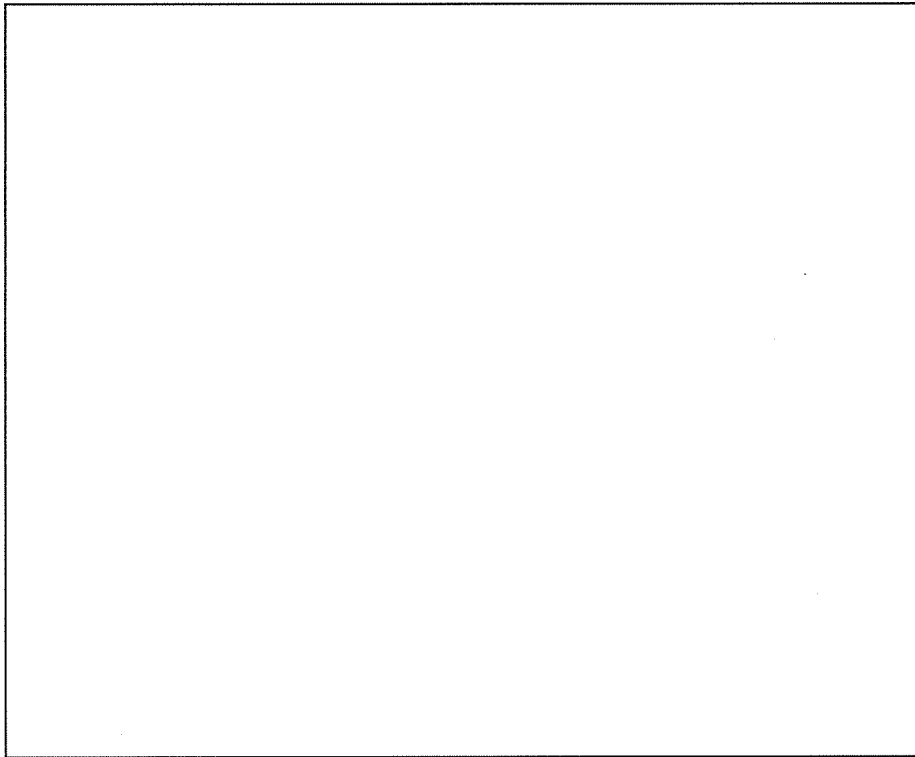
添説建 7.3.2-2 図 付属物取り付け図

4. 防護ネット評価手法の説明

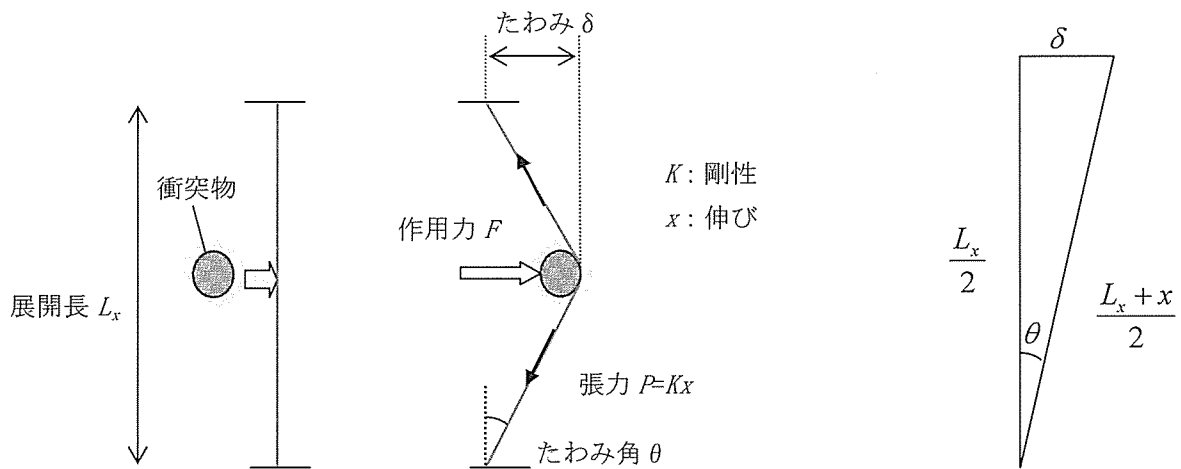
4.1. 防護ネット吸収エネルギー

ここでは、想定している防護ネットが吸収できるエネルギーについて、評価手法を示す。

金網の評価モデル及び全長（幅）を添説建 7.4.1-1 図に示す。添説建 7.4.1-1 図において、金網は編みこみの方向から x 方向が展開方向となる。また、金網の展開長さ L_x の中央に作用する荷重 F とたわみ δ の関係を添説建 7.4.1-2 図に示す。



添説建 7.4.1-1 図 金網の評価モデル及び全長（幅）



添説建 7. 4. 1-2 図 金網に作用する荷重

金網の吸収エネルギーの算出については文献 8 に基づき、次のように求めた。

金網の展開方向を x 方向の水平面に展開されるとして、金網 1 交点の剛性を K 、 x 方向の交点数を N_x とすると、 x 方向の剛性は、

$$K_x = \frac{K}{N_x} \quad (1)$$

となる。

i 列目の交点列の金網の張力を P_i とすると

$$P_i = K_x x_i \quad (2)$$

i 列目の交点列の金網の作用力 F_i は、

$$F_i = 2P_i \cdot \sin\theta_i = 2K_x x_i \cdot \sin\theta_i \quad (3)$$

となる。また、作用力方向のたわみを δ_i として、

$$\delta_i^2 + \frac{L_x^2}{4} = \left(\frac{L_x + x_i}{2}\right)^2 \quad (4)$$

添説建 7. 4. 1-2 図より、

$$\sin\theta_i = \frac{\delta_i}{\frac{L_x + x_i}{2}} = \frac{\delta_i}{\sqrt{\delta_i^2 + \frac{L_x^2}{4}}} \quad (5)$$

$$x_i = 2\sqrt{\delta_i^2 + \frac{L_x^2}{4}} - L_x \quad (6)$$

となる。また、(5)(6)を(3)に代入して、

$$\begin{aligned}
F_i &= 2K_x \cdot \left(2\sqrt{\delta_i^2 + \frac{L_x^2}{4}} - L_x \right) \cdot \frac{\delta_i}{\sqrt{\delta_i^2 + \frac{L_x^2}{4}}} \\
&= 2 \cdot K_x \delta_i \left(2 - \frac{L_x}{\sqrt{\delta_i^2 + \frac{L_x^2}{4}}} \right) = 2 \cdot K_x \delta_i \left(2 - \frac{2L_x}{\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2}} \right)
\end{aligned}$$

したがって、

$$F_i = 4 \cdot K_x \delta_i \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2}} \right) \quad (7)$$

i 列の弾性エネルギーは次のとおり。

$$\begin{aligned}
E_i &= \int_0^{\delta_i} F_i d\delta \\
&= \int_0^{\delta_i} 4K_x \delta \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4\delta^2 + L_x^2}} \right) d\delta \quad (8)
\end{aligned}$$

$$\phi = 4\delta^2 + L_x^2 \quad \text{とすると} \quad (9)$$

$$\frac{d\phi}{d\delta} = 8\delta \quad d\delta = \frac{1}{8\delta} d\phi$$

$$\begin{aligned}
E_i &= \int_0^{\delta_i} 4K_x \delta \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4\delta^2 + L_x^2}} \right) d\delta \\
&= 4K_x \int_0^{\delta_i} \delta d\delta - \int_0^{\delta_i} \frac{4K_x L_x \delta}{\sqrt{4\delta^2 + L_x^2}} d\delta = 2K_x \delta_i^2 - \int_0^{\delta_i} \frac{4K_x L_x \delta}{\sqrt{\phi}} \frac{1}{8\delta} d\phi
\end{aligned}$$

$$\text{第 2 項} = - \int_0^{\delta_i} \frac{K_x L_x}{\sqrt{\phi}} \frac{1}{2} d\phi = \left[-K_x L_x \sqrt{4\delta^2 + L_x^2} \right]_0^{\delta_i} = -K_x L_x \sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2} + K_x L_x^2$$

したがって、

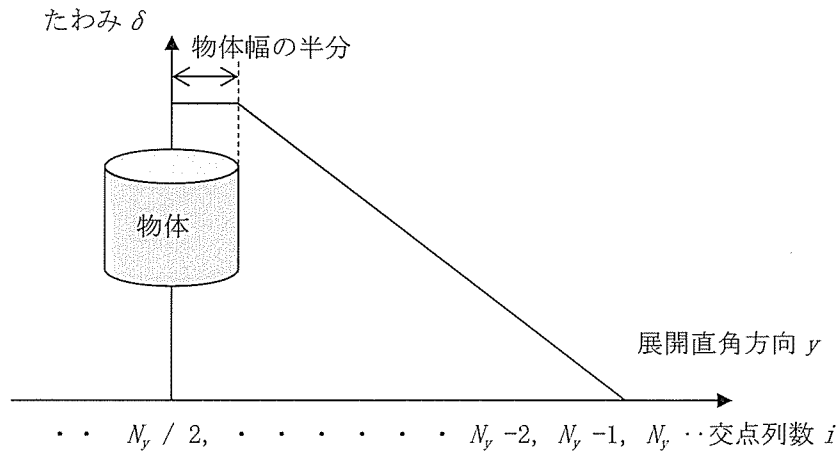
$$E_i = 2K_x \delta_i^2 - K_x L_x \left(\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \quad (10)$$

金網の総エネルギーは、

$$E = \sum_i^{N_y} E_i \quad (11)$$

以上のとおり、展開直角方向の各交点列のたわみ δ_i を決定することで金網全体の吸収可能エネルギーを求めることができる。

展開直角方向の金網のたわみは直線的になると考えられることから、衝突する物体と接触する中央部分はたわみ一定とし、添説建 7.4.1-3 図に示す通りとする。



添説建 7. 4. 1-3 図 金網各列のたわみの与え方

金網の吸収エネルギーを評価するうえで、金網の交点剛性を求める必要がある。ここではその評価手法を示す。

金網 1 交点分の剛性を求める。

1 本の線材の線方向の剛性は、

$$K_s = \frac{AE}{S} \quad (12)$$

ここで、

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

E : 線材のヤング率

S : 目合い寸法 (線材の長さ)

金網は展開方向のみに伸びるものとし、金網の角度は変化するとする。目合い寸法 S の金網に対し、1 目合い分の金網の展開方向 (x) の伸びを q 、金網の線材方向の伸びを r とする。金網の 1 交点の変形模式図を添説建 7. 4. 1-4 図に示す。

金網の張力は金網 1 目合い分の線材の剛性より、

$$P = K_s r \quad (13)$$

金網の初期角度を 45° とし、破断伸びを ε_u とすると、破断する直前の角度を μ とし、

$$r = \varepsilon_u \cdot S$$

$$\cos \mu = \frac{q + S/\sqrt{2}}{S + r} = \frac{q + S/\sqrt{2}}{S(1 + \varepsilon_u)}$$

一方、添説建 7.4.1-4 図より、

$$\left(\frac{S}{\sqrt{2}} + q\right)^2 = (S+r)^2 - \left(\frac{S}{\sqrt{2}}\right)^2 \quad (14)$$

$$q = \sqrt{(S+r)^2 - \left(\frac{S}{\sqrt{2}}\right)^2} - S/\sqrt{2}$$

となる。

金網 1 交点に作用する展開方向力 F は、

$$F = 2P \cdot \cos\mu = 2K_S r \cos\mu$$

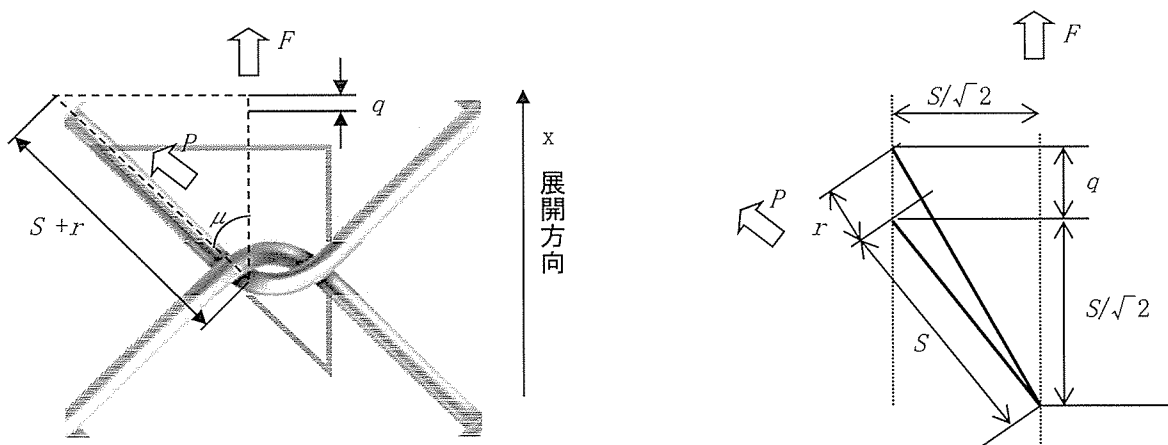
1 交点の剛性 K は展開方向張力 F を添説建 7.4.1-4 図に示した q の 2 倍のたわみ量で除し、

$$K = \frac{F}{2q} = \frac{r \cos\mu}{q} K_S = \eta K_S \quad (15)$$

ここで、

$$\eta = \frac{r \cos\mu}{q} = \frac{\frac{\varepsilon_u}{1 + \varepsilon_u} (q + S/\sqrt{2})}{\sqrt{(S+r)^2 - \left(\frac{S}{\sqrt{2}}\right)^2} - S/\sqrt{2}} \quad (16)$$

とすると、破断伸びが与えられれば η を求めることができ、1 交点の展開方向の引張剛性を線材の諸元から求めることができる。



添説建 7.4.1-4 図 1 交点の変形模式図

なお、線材のヤング率 E は塑性変形後の挙動を評価するため、以下の E_p を用いる。

$$E_p = \frac{\sigma_u}{\varepsilon_u}$$

E_p : 塑性変形を考慮したヤング率 (N/mm²)

σ_u : 引張強さ (N/mm²)

ε_u : 破断伸び (—)

また、金網破断時のたわみ角は以下の通りとなる。金網の線材が破断するときの最大のたわみ角は添説建 7.4.1-2 図より伸びを x_i とし、金網の展開長 L_x とすると、

$$\cos\theta_i = \frac{\frac{L_x}{2}}{\frac{L_x + x_i}{2}} = \frac{L_x}{L_x + x_i}$$

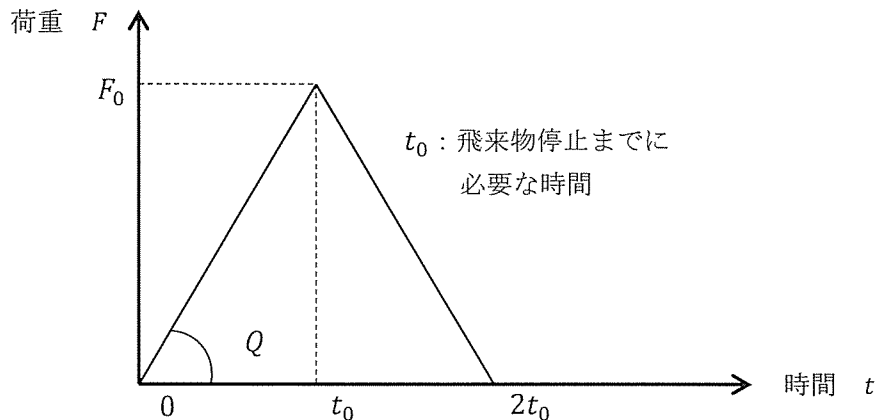
となり、破断伸びを ε_u とすると、 $x_i = L_x \varepsilon_u$

$$\cos\theta_i = \frac{L_x}{L_x + L_x \varepsilon_u} = \frac{1}{1 + \varepsilon_u}$$

$$\theta_i = \cos^{-1}\left(\frac{1}{1 + \varepsilon_u}\right)$$

4.2. 防護ネット作用荷重

飛来物が防護ネットに衝突することで、防護ネットに衝撃荷重が作用する。この衝撃荷重は金網のたわみとともに時間的に変化するが、この荷重変化を添説建 7.4.2-1 図に示す通り、二等辺三角形荷重と仮定する。この場合、金網に作用する荷重 F は、時間とともに比例する。この比例定数を Q とする。



添説建 7.4.2-1 図 二等辺三角形荷重 (金網への衝撃荷重の時刻歴変化)

金網に作用する衝撃荷重は、

$$F = Qt$$

(17)

金網に衝突した物体が初速 v_0 からある速度 v に至るまでの運動量変化は、飛来物に作用する力積に等しいので、飛来物の質量を m とすると、

$$mv_0 - mv = \int_0^t F dt = \int_0^t Qt dt = \frac{1}{2} Qt^2 \quad (18)$$

$$v = -\frac{Qt^2}{2m} + v_0 \quad (19)$$

変位 d は速度 v を時間で積分したものとなるため、

$$d = \int_0^t v dt = -\frac{Qt^3}{6m} + v_0 t \quad (20)$$

$t = t_0$ のとき、変位 d は最大値 d_{max} となり、 v は 0 となる。

$$v_0 = \frac{Qt_0^2}{2m} \quad (21)$$

$$d_{max} = -\frac{Qt_0^3}{6m} + v_0 t_0 = t_0 \left(-\frac{v_0}{3} + v_0 \right) = \frac{2}{3} v_0 t_0 \quad (22)$$

$$t_0 = \frac{3d_{max}}{2v_0} \quad (23)$$

$$F_0 = Qt_0 = \frac{2mv_0}{t_0} = \frac{4mv_0^2}{3d_{max}} \quad (24)$$

飛来物の運動エネルギーは $E = mv_0^2/2$ 、とあらわされるので

$$F_0 = \frac{8E}{3d_{max}} \quad (25)$$

このように飛来物の運動エネルギーと金網の最大たわみを用いて金網に作用する最大荷重を求めることができる。

4. 3. 防護ネット取付部荷重

電中研文献に基づくと、金網の周を縁取るワイヤーに作用する荷重として、以下の式が提案されている。

$$T_w = \frac{F}{4n \cdot \sin\theta} \quad (26)$$

ここで、

T_w : ワイヤー張力

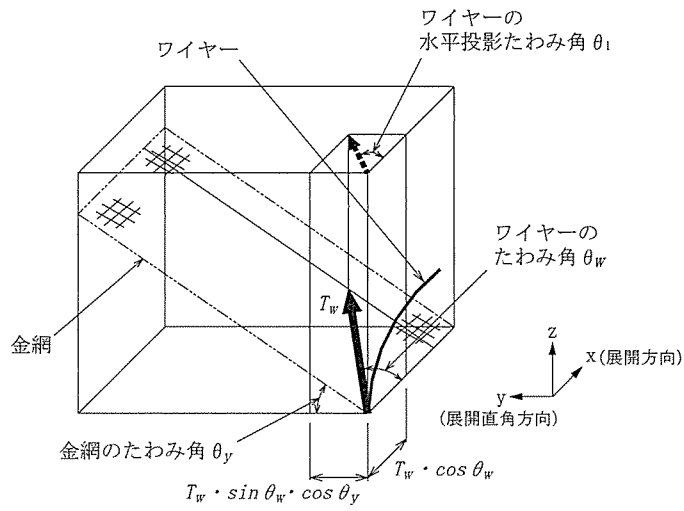
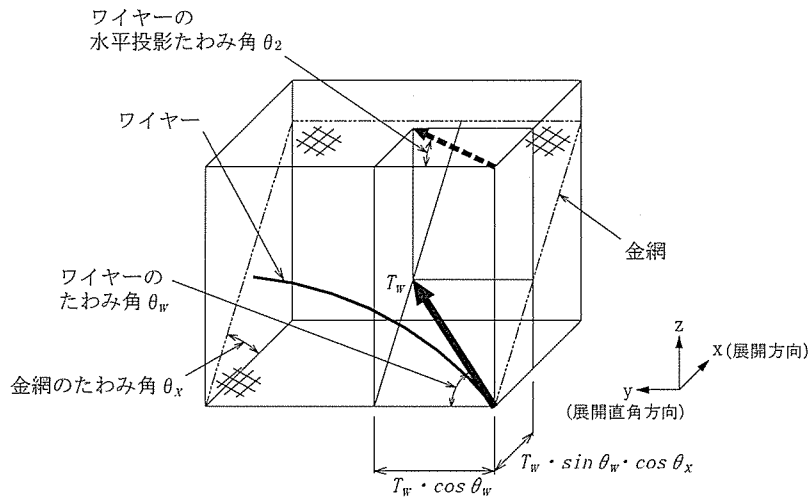
n : 金網枚数

θ : 金網たわみ角

F : 金網に作用する衝撃力

このワイヤーからの支持部材に作用する荷重の評価手法は以下の方法による。

ここで、金網の一つのコーナー部についての荷重の状況を添説建 7. 4. 3-1 図に示す。



添説建 7.4.3-1 図 ワイヤーの水平投影たわみ角

ここで、

x 軸と金網のなす角度を θ_x 、y 軸と金網のなす角度を θ_y

x 方向（展開方向）の金網の長さを L_x 、y 方向（展開直角方向）の金網の長さを L_y 、

金網のたわみは δ

(1) 金網の展開直角方向の辺に設置されているワイヤーについて、

$$\theta_x = \tan^{-1} \left(\frac{2\delta}{L_x} \right) \quad (27)$$

T_W が x-z 平面に投影される成分は

$$T_W \cdot \sin\theta_w \quad (28)$$

さらにこの成分が x 軸に投影される成分は

$$T_W \cdot \sin\theta_w \cdot \cos\theta_x \quad (29)$$

T_W が y 軸に投影される成分は

$$T_W \cdot \cos\theta_w \quad (30)$$

ここから、このワイヤーと y 軸とのなす角度が x-y 平面に投影される角度は

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{T_W \cdot \sin\theta_w \cdot \cos\theta_x}{T_W \cdot \cos\theta_w} \right) = \tan^{-1}(\tan\theta_w \cdot \cos\theta_x) \quad (31)$$

ここで、ワイヤーのたわみを δ_w とする。

$$\theta_w = \tan^{-1} \left(\frac{4\delta_w}{L_x} \right) \quad (32)$$

(2) 金網の展開方向の辺に設置されているワイヤーについて、

$$\theta_y = \tan^{-1} \left(\frac{2\delta}{L_y} \right) \quad (33)$$

T_W が y-z 平面に投影される成分は

$$T_W \cdot \sin\theta_w \quad (34)$$

さらにこの成分が y 軸に投影される成分は

$$T_W \cdot \sin\theta_w \cdot \cos\theta_y \quad (35)$$

T_W が x 軸に投影される成分は

$$T_W \cdot \cos\theta_w \quad (36)$$

ここから、このワイヤーと x 軸とのなす角度が x-y 平面に投影される角度は

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{T_W \cdot \sin\theta_w \cdot \cos\theta_y}{T_W \cdot \cos\theta_w} \right) = \tan^{-1}(\tan\theta_w \cdot \cos\theta_y) \quad (37)$$

ここで

$$\theta_w = \tan^{-1} \left(\frac{4\delta_w}{L_y} \right) \quad (38)$$

(3) θ_w の導出について

ワイヤーが放物線形状となるものとする、

$$y = a \left(x - \frac{L}{2} \right)^2 + b \quad (39)$$

とできる。

ここで

y : ワイヤーたわみ

L : ワイヤー長さ

x : ワイヤー座標

$x = L/2$ のとき、たわみが δ_w であるとする、 $b = \delta_w$

$x = 0$ のときたわみが 0 であるとする、

$$a = -\frac{4\delta_w}{L^2} \quad (40)$$

$x = 0$ のときのワイヤーのたわみ角は

$$\frac{dy}{dx}_{x=0} = \tan\theta_w = 2a \left(x - \frac{L}{2} \right)_{x=0} = 2 \frac{4\delta_w L}{L^2} \frac{L}{2} = \frac{4\delta_w}{L} \quad (41)$$

$$\theta_w = \tan^{-1} \left(\frac{4\delta_w}{L} \right) \quad (42)$$

(4) δ_w の計算について

ワイヤーに作用する張力からワイヤーの歪をもとめ、ワイヤーの伸び δ' を求める。

$$\delta' = L \cdot \varepsilon \quad (43)$$

ワイヤーの縦弾性係数を E_w とすると、ワイヤーの歪は張力を下式に代入してもとめる。

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_w} = \frac{T_w}{AE_w} \quad (44)$$

ワイヤーが放物線上にたわむとすると、その変形後の長さ S は放物線の経路積分から以下の式が導出される。

この S が $S = L + \delta'$ となることから、 δ_w を逆算する。この S の算出については、後述する。

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{L^2 + 16\delta_w^2} + \frac{L^2}{8\delta_w} \ln \left(\frac{4\delta_w + \sqrt{L^2 + 16\delta_w^2}}{L} \right) \quad (45)$$

以上より、標準金網を $\phi 16$ のワイヤーで縁取った場合の金網 4 コーナーのワイヤー固定部分 1 箇所作用する荷重を以下の通り求めた。

鉛直方向荷重 F_z

$$F_z = \frac{1}{4} F \quad (46)$$

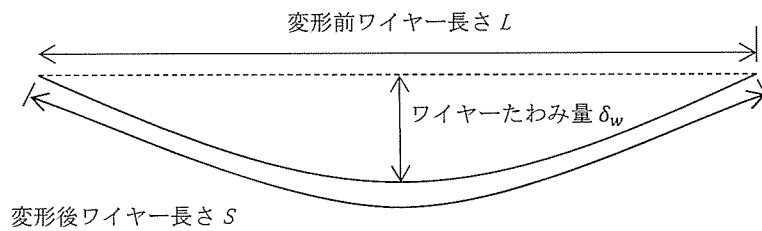
水平方向荷重 F_x

$$F_x = \sqrt{T_w^2 - F_z^2} \cos\theta_1 + \sqrt{T_w^2 - F_z^2} \sin\theta_2 \quad (47)$$

水平方向荷重 F_y

$$F_y = \sqrt{T_w^2 - F_z^2} \cos\theta_2 + \sqrt{T_w^2 - F_z^2} \sin\theta_1 \quad (48)$$

ワイヤー長さの式の導出について



添説建 7. 4. 3-2 図 ワイヤー変形図

S の求め方について、変形後のワイヤーの形状が放物線になるものとして、式を再掲すると、

$$y = a \left(x - \frac{L}{2} \right)^2 + b \quad (49)$$

この線積分は

$$2 \int_{x=0}^{x=\frac{L}{2}} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2} dx \quad (50)$$

$$2 \int \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2} dx = 2 \int \sqrt{1 + 4a^2 \left(x - \frac{L}{2} \right)^2} dx \quad (51)$$

ここで、 $t = 2a(x - L/2)$ とすると、

$$dt/dx = 2a \quad dx = dt/2a$$

$$2 \int \sqrt{1 + 4a^2 \left(x - \frac{L}{2} \right)^2} dx = \frac{1}{a} \int \sqrt{1 + t^2} dt \quad (52)$$

$$\int \sqrt{1 + t^2} dt = \frac{1}{2} \left\{ t\sqrt{t^2 + 1} + \ln(t + \sqrt{t^2 + 1}) \right\} \quad (53)$$

$$x = 0 \rightarrow t = -aL$$

$$x = \frac{L}{2} \rightarrow t = 0$$

$$\begin{aligned}
\int_{x=0}^{x=\frac{L}{2}} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx &= \left[\frac{1}{a} \frac{1}{2} \left\{ t\sqrt{t^2+1} + \ln(t + \sqrt{t^2+1}) \right\} \right]_{t=-aL}^{t=0} \\
&= \frac{1}{a} \frac{1}{2} \left\{ aL\sqrt{(aL)^2+1} - \ln(-aL + \sqrt{(aL)^2+1}) \right\} \\
&= \frac{1}{2} L\sqrt{(aL)^2+1} - \frac{1}{2a} \ln(-aL + \sqrt{(aL)^2+1})
\end{aligned} \tag{54}$$

式(40)で a を求めているので、これを式(54)に代入し、

$$a = -\frac{4\delta_w}{L^2} \tag{55}$$

$$\begin{aligned}
\frac{1}{2} L \sqrt{\left(\frac{4\delta_w}{L}\right)^2 + 1} + \frac{L^2}{8\delta_w} \ln\left(\frac{4\delta_w}{L} + \sqrt{\left(\frac{4\delta_w}{L}\right)^2 + 1}\right) \\
= \frac{1}{2} \sqrt{16\delta_w^2 + L^2} + \frac{L^2}{8\delta_w} \ln\left(\frac{4\delta_w + \sqrt{16\delta_w^2 + L^2}}{L}\right)
\end{aligned} \tag{56}$$

したがって、

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{16\delta_w^2 + L^2} + \frac{L^2}{8\delta_w} \ln\left(\frac{4\delta_w + \sqrt{16\delta_w^2 + L^2}}{L}\right) \tag{57}$$

動的倍率について

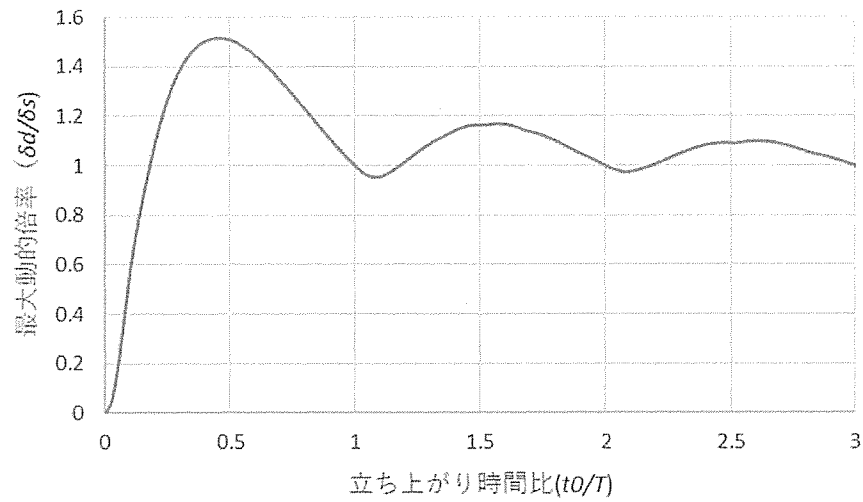
防護ネットには、時刻歴に二等辺三角形の波形により、時刻歴に変化する荷重が発生する。この荷重が防護ネットの支持構造物に伝達する際、動的倍率を考慮する必要がある。防護ネット及びその支持構造物全体の系の固有周期を $T=2\pi/\omega$ とする一質点系モデルに二等辺三角荷重が作用する場合の動的変位の倍率（動的変位 δ_d / 静的変位 δ_s ）は、二等辺三角荷重の立ち上がり時間を t_0 とすると、時間 t の区分毎に以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned}
0 \leq t \leq t_0 \\
\frac{\delta_d}{\delta_s} = \frac{t}{t_0} - \frac{\sin\omega t}{\omega t_0}
\end{aligned} \tag{58}$$

$$\begin{aligned}
t_0 \leq t \leq 2t_0 \\
\frac{\delta_d}{\delta_s} = 2 - \frac{t}{t_0} - \frac{\sin\omega t}{\omega t_0} + \frac{2}{\omega t_0} \sin\omega(t - t_0)
\end{aligned} \tag{59}$$

$$\begin{aligned}
2t_0 \leq t \\
\frac{\delta_d}{\delta_s} = \frac{1}{\omega t_0} \{2\sin\omega(t - t_0) - \sin\omega t - \sin\omega(t - 2t_0)\}
\end{aligned} \tag{60}$$

立ち上がり時間 t_0 と固有周期 T の比（立ち上がり時間比 t_0/T ）を横軸として最大動的倍率を求めると、添説建 7.4.3-3 図のとおりとなる。ここで、最大動的倍率は最大で 1.52 となる。この動的倍率を荷重に考慮することとする。



添説建 7.4.3-3 図 二等辺三角荷重に対する最大動的倍率

5. 防護ネット評価結果

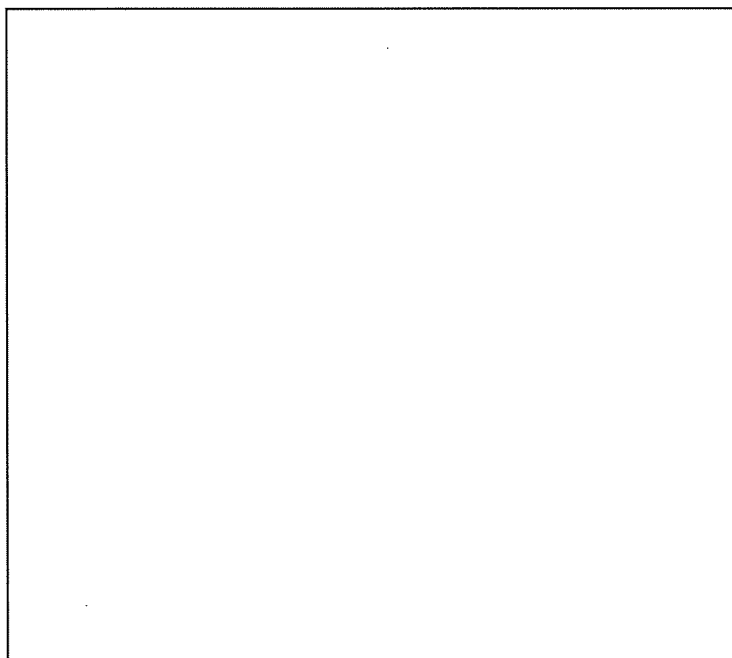
各建物の防護ネットに対し、最大可能エネルギー吸収量、評価用ワイヤー張力及び取付金物作用荷重の評価結果を添説建 7.5-1 表に示す。

評価は、工場棟（成型工場、組立工場、転換工場）について行う。

添説建 7.5-1 表 防護ネット 評価結果

項目		成型工場	組立工場	転換工場(上面)	転換工場(下面)
最大可能吸収エネルギー					
プレハブ落下時エネルギー					
ダクト飛散時鉛直エネルギー					
動的倍率					
評価用鉛直荷重					
評価用ワイヤー張力					
取付金物 作用荷重※1	展開方向 水平方向荷重 F_{xx}				
	展開直角方向 水平方向荷重 F_{xy}				
	鉛直方向荷重 F_{xz}				
	展開方向 水平方向荷重 F_{yx}				
	展開直角方向 水平方向荷重 F_{yy}				
	鉛直方向荷重 F_{yz}				

※1： ワイヤー固定部分 1 箇所（添説建 7.5-1 図）に作用する荷重



添説建 7.5-1 図 取付金物作用荷重

6. 防護ネット各部の強度検討

工場棟（成型工場、組立工場、転換工場）に設置する防護ネットの各部の強度検討を行う。

6.1. 金網の強度検討

成型工場、組立工場、転換工場（上面）の金網の強度評価においては、飛来物（プレハブ）が落下した時のエネルギーを対象とし、金網の最大可能吸収エネルギーとの比で評価する。

また、転換工場（下面）の金網については、ダクト飛散時の鉛直エネルギーを対象とし、金網の最大可能吸収エネルギーとの比で評価する。

対象飛来物、飛散物エネルギー量 : E (kJ)

金網の最大可能吸収エネルギー量 : E_a (kJ)

$$\text{検定比 } K_1 = \frac{E}{E_a}$$

添説建 7.6.1-1 表 金網の吸収エネルギー検討

	成型工場	組立工場	転換工場 (上面)	転換工場 (下面)
防護対象	プレハブ落下	プレハブ落下	プレハブ落下	ダクト飛散
対象エネルギー量 E (kJ)				
最大可能吸収エネルギー量 E_a (kJ)				
検定比 K_1				

6.2. 防護ネット付属物の強度検討

防護ネットを構成する付属物であるワイヤー、ターンバックル、シャックルの強度検討を行う。

(1) ワイヤー

ワイヤー端末施工部に現地圧着シンコークランプを使用するものとし、定着効率 90%とする。

ワイヤー :

使用径 : ϕD (mm)

規格破断荷重 : BL_0 (kN)

クランプ :

クランプ定着効率 : 90%

評価用破断荷重 : BL (kN)

$$BL = BL_0 \times 0.90$$

評価用ワイヤー張力 : T (kN)

$$\text{検定比 } K_2 = \frac{T}{BL}$$

添説建 7.6.2-1 表 ワイヤーの強度検討

	成型工場	組立工場	転換工場 (上面)	転換工場 (下面)
評価用ワイヤー張力 T (kN)				
使用ワイヤー径 ϕD (mm)				
規格破断荷重 BL_0 (kN)				
評価用破断荷重 BL (kN)				
検定比 K_2				

(2) ターンバックル

ターンバックルの強度検討にあたっては、ターンバックルのカタログ使用荷重に対して、最低限確保される安全率を保守的に 5.0 と設定し、それを乗じた値を評価用破断荷重として、評価用ワイヤー張力との比で評価する。

ターンバックル :
 参考使用荷重 : WL_1 (kN)
 最低限安全率 F : 5.0 (保守的設定値)
 評価用破断荷重 : TB (kN)

$$TB = WL_1 \times F = WL_1 \times 5.0$$

 評価用ワイヤー張力 : T (kN)

$$\text{検定比 } K_3 = \frac{T}{TB}$$

添説建 7.6.2-2 表 ターンバックルの強度検討

	成型工場	組立工場	転換工場 (上面)	転換工場 (下面)
評価用ワイヤー張力 T (kN)				
枠式ターンバックル				
参考使用荷重 WL_1 (kN)				
評価用破断荷重 TB (kN)				
検定比 K_3				

(3) シャックル

シャックルの強度検討にあたっては、シャックルのカタログ使用荷重に対して、最低限確保される安全率を保守的に 5.0 と設定し、それを乗じた値を評価用破断荷重として、評価用ワイヤー張力との比で評価する。

シャックル :

使用荷重 : WL_2 (kN)

最低限安全率 F : 5.0 (保守的設定値)

評価用破断荷重 : SH (kN)

$$SH = WL_2 \times F = WL_2 \times 5.0$$

評価用ワイヤー張力 : T (kN)

$$\text{検定比 } K_4 = \frac{T}{SH}$$

添説建 7.6.2-3 表 シャックルの強度検討^{*1}

	成型工場	組立工場	転換工場 (上面)	転換工場 (下面)
評価用ワイヤー張力 T (kN)				
JIS 形シャックル				
使用荷重 WL_2 (kN)				
評価用破断荷重 SH (kN)				
検定比 K_4				

*1 : 強力長シャックルの使用荷重は JIS 形シャックルより大きいので記載省略

6.3. 防護ネット固定部

(1) 成型工場

1) 固定部の仕様

材質	:	<input type="text"/>
サイズ	:	<input type="text"/>
基準強度 f (N/mm ²)	:	<input type="text"/> (鋼構造設計規準 — 許容応力度設計法 —) (第 2464 号告示より $f_y = f \times 1.1$)
終局強度 f_y (N/mm ²)	:	
短期許容せん断応力度 $f/\sqrt{3}$ (N/mm ²)	:	
終局せん断耐力 $f_y/\sqrt{3}$ (N/mm ²)	:	

2) 固定部に作用する荷重

固定部のシャックル取合孔部に作用する荷重を計算する。

(地震時)

防護ネットの単位重量 w (kN/m ²)	:	<input type="text"/>
防護ネットの展開長さ L_x (m)	:	
防護ネットの展開直角長さ L_y (m)	:	
固定部の個数 N (箇所)	:	
水平方向荷重分担固定部の個数 N' (箇所)	:	
固定部の孔数 n (箇所)	:	
水平震度 k	:	

鉛直方向荷重 $F_z = w \times L_x \times L_y / N / n =$ kN

水平方向荷重 $F_{xy} = w \times L_x \times L_y \times k / N' / n$
 $=$ kN

地震時作用荷重 $F_e = \sqrt{F_z^2 + F_{xy}^2} =$ kN

(飛来物衝撃時)

展開方向 水平方向荷重 F_{xx} (kN)	:	<input type="text"/>
展開直角方向 水平方向荷重 F_{xy} (kN)	:	
鉛直方向荷重 F_{xz} (kN)	:	

上記の F_{xx} , F_{xy} , F_{xz} の数値は、添説建 7. 5-1 表を参照。

飛来物衝撃時作用荷重 $F_i = \sqrt{F_{xx}^2 + F_{xy}^2 + F_{xz}^2} =$ kN

3) 孔部端抜けの検討

固定部のシャックルが取り合う孔部の端抜けの検討を行う。

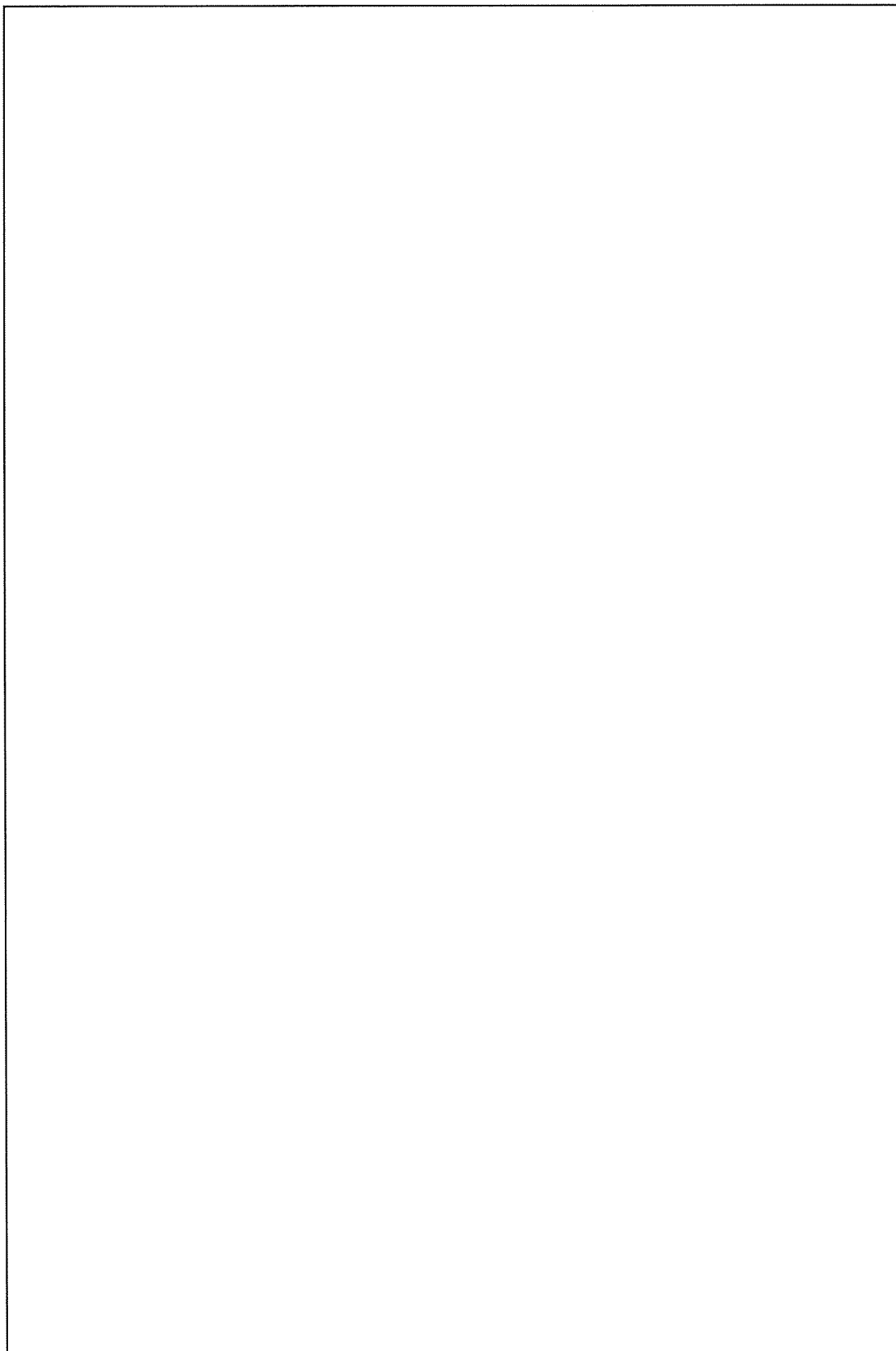
(地震時)

地震時作用荷重 F_e (kN) :
端抜けライン長さ L_s (mm) :
固定部板厚 t (mm) :
短期許容端抜け抵抗力 $Q_s = L_s \times t \times f / \sqrt{3} =$ kN
地震時端抜け検定比 $R_1 = F_e / Q_s =$

(飛来物衝撃時)

飛来物衝撃時作用荷重 F_i (kN) :
終局端抜け抵抗力 $Q_p = L_s \times t \times f_y / \sqrt{3} =$
飛来物衝撃時端抜け検定比 $R_2 = F_i / Q_p =$
最大検定比 $K = \max(R_1, R_2) =$

防護ネット固定部詳細図を添説建 7.6.3-1 図に示す。



添説建 7.6.3-1 図 防護ネット固定部詳細図 (成型工場)

(2) 組立工場

1) 固定部の仕様

材質	:	<input type="text"/>
サイズ (ガセットプレート)	:	<input type="text"/>
基準強度 f (N/mm ²)	:	<input type="text"/> (鋼構造設計規準 — 許容応力度設計法 —)
終局強度 f_y (N/mm ²)	:	<input type="text"/> (第 2464 号告示より $f_y=f \times 1.1$)
短期許容せん断応力度 $f/\sqrt{3}$ (N/mm ²)	:	<input type="text"/> (鋼構造設計規準 — 許容応力度設計法 —)
終局せん断耐力 $f_y/\sqrt{3}$ (N/mm ²)	:	<input type="text"/> (第 2464 号告示より $f_y=f \times 1.1$)

2) 固定部に作用する荷重

固定部のシャックル取合孔部に作用する荷重を計算する。

(地震時)

防護ネットの単位重量 w (kN/m ²)	:	<input type="text"/>
防護ネットの展開長さ L_x (m)	:	<input type="text"/>
防護ネットの展開直角長さ L_y (m)	:	<input type="text"/>
固定部の個数 N (箇所)	:	<input type="text"/>
水平方向荷重分担固定部の個数 N' (箇所)	:	<input type="text"/>
固定部の孔数 n (箇所)	:	<input type="text"/>
水平震度 k	:	<input type="text"/>

鉛直方向荷重 $F_z = w \times L_x \times L_y / N / n =$ kN

水平方向荷重 $F_{xy} = w \times L_x \times L_y \times k / N' / n$
 $=$ kN

地震時作用荷重 $F_e = \sqrt{F_z^2 + F_{xy}^2} =$ kN

(飛来物衝撃時)

展開方向 水平方向荷重 F_{xx} (kN)	:	<input type="text"/>
展開直角方向 水平方向荷重 F_{xy} (kN)	:	<input type="text"/>
鉛直方向荷重 F_{xz} (kN)	:	<input type="text"/>

上記の F_{xx} , F_{xy} , F_{xz} の数値は、添説建 7.5-1 表を参照。

飛来物衝撃時作用荷重 $F_i = \sqrt{F_{xx}^2 + F_{xy}^2 + F_{xz}^2} =$ kN

3) 孔部端抜きの検討

固定部のシャックルが取り合う孔部の端抜きの検討を行う。

(地震時)

地震時作用荷重 F_e (kN)

:

端抜けライン長さ L_s (mm)

:

固定部板厚 t (mm)

:

短期許容端抜け抵抗力 $Q_s = L_s \times t \times f / \sqrt{3} =$ kN

地震時端抜け検定比 $R_1 = F_e / Q_s =$

(飛来物衝撃時)

飛来物衝撃時作用荷重 F_i (kN)

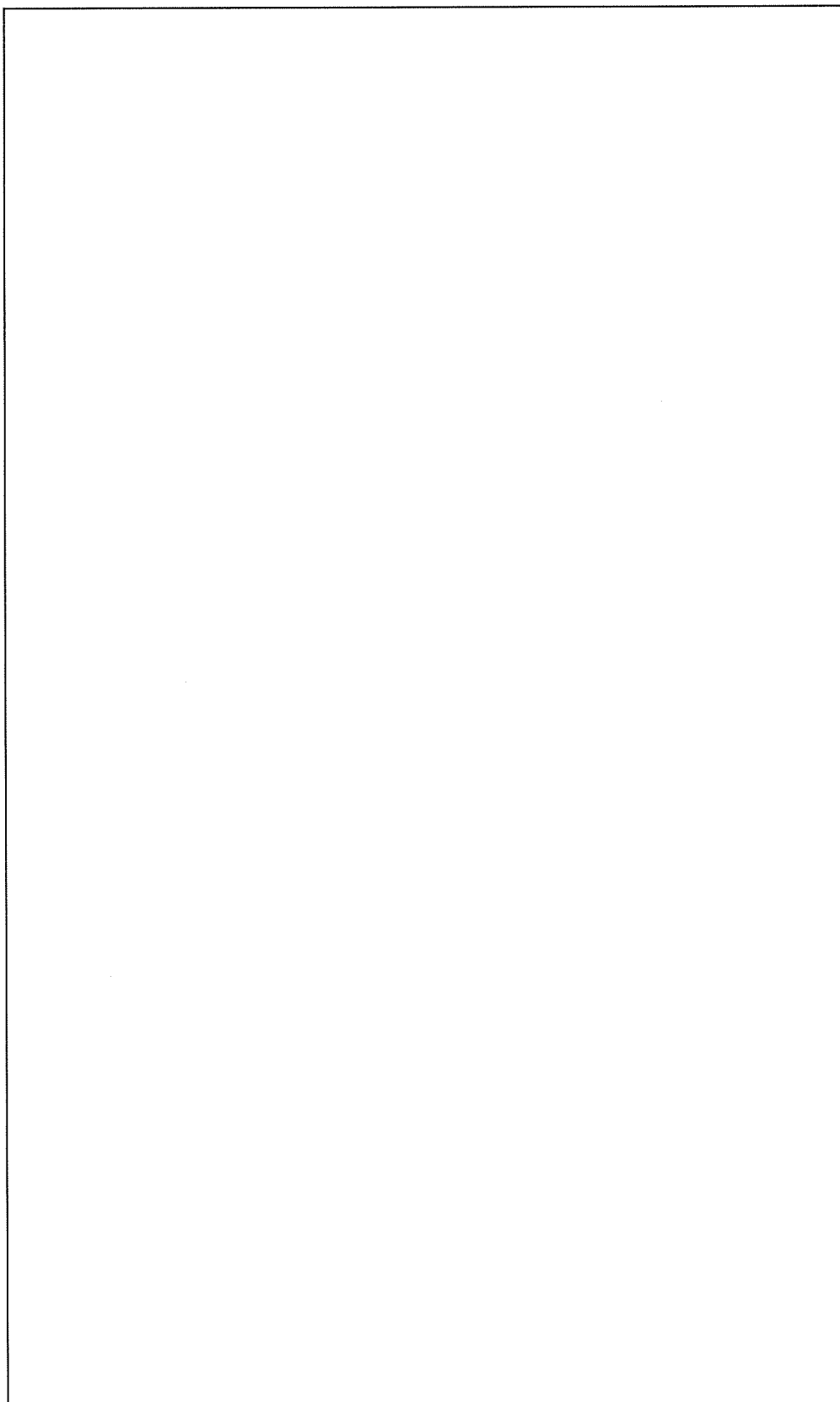
:

終局端抜け抵抗力 $Q_p = L_s \times t \times f_y / \sqrt{3} =$ kN

飛来物衝撃時端抜け検定比 $R_2 = F_i / Q_p =$

最大検定比 $K = \max(R_1, R_2) =$

防護ネット固定部詳細図を添説建 7.6.3-2 図に示す。



添説建 7.6.3-2 図 防護ネット固定部詳細図（組立工場）

(3) 転換工場(上面)

1) 固定部の仕様

材質	:	<input type="text"/>
サイズ(ガセットプレート)	:	<input type="text"/>
基準強度 f (N/mm ²)	:	<input type="text"/> (鋼構造設計規準 — 許容応力度設計法 —)
終局強度 f_y (N/mm ²)	:	<input type="text"/> (第 2464 号告示より $f_y=f \times 1.1$)
短期許容せん断応力度 $f/\sqrt{3}$ (N/mm ²)	:	<input type="text"/> (鋼構造設計規準 — 許容応力度設計法 —)
終局せん断耐力 $f_y/\sqrt{3}$ (N/mm ²)	:	<input type="text"/> (第 2464 号告示より $f_y=f \times 1.1$)

2) 固定部に作用する荷重

固定部のシャックル取合孔部に作用する荷重を計算する。

(地震時)

防護ネットの単位重量 w (kN/m ²)	:	<input type="text"/>
防護ネットの展開長さ L_x (m)	:	<input type="text"/>
防護ネットの展開直角長さ L_y (m)	:	<input type="text"/>
固定部の個数 N (箇所)	:	<input type="text"/>
水平方向荷重分担固定部の個数 N' (箇所)	:	<input type="text"/>
固定部の孔数 n (箇所)	:	<input type="text"/>
水平震度 k	:	<input type="text"/>

鉛直方向荷重 $F_z = w \times L_x \times L_y / N / n =$ kN

水平方向荷重 $F_{xy} = w \times L_x \times L_y \times k / N' / n$
 $=$ kN

地震時作用荷重 $F_e = \sqrt{F_z^2 + F_{xy}^2} =$ kN

(飛来物衝撃時)

展開方向 水平方向荷重 F_{xx} (kN)	:	<input type="text"/>
展開直角方向 水平方向荷重 F_{xy} (kN)	:	<input type="text"/>
鉛直方向荷重 F_{xz} (kN)	:	<input type="text"/>

上記の F_{xx} , F_{xy} , F_{xz} の数値は、添説建 7.5-1 表を参照。

飛来物衝撃時作用荷重 $F_i = \sqrt{F_{xx}^2 + F_{xy}^2 + F_{xz}^2} =$ kN

3) 孔部端抜きの検討

固定部のシャックルが取り合う孔部の端抜きの検討を行う。

(地震時)

地震時作用荷重 F_e (kN)

:

端抜けライン長さ L_s (mm)

:

固定部板厚 t (mm)

:

短期許容端抜け抵抗力 $Q_s = L_s \times t \times f / \sqrt{3} =$ kN

地震時端抜け検定比 $R_1 = F_e / Q_s =$

(飛来物衝撃時)

飛来物衝撃時作用荷重 F_i (kN)

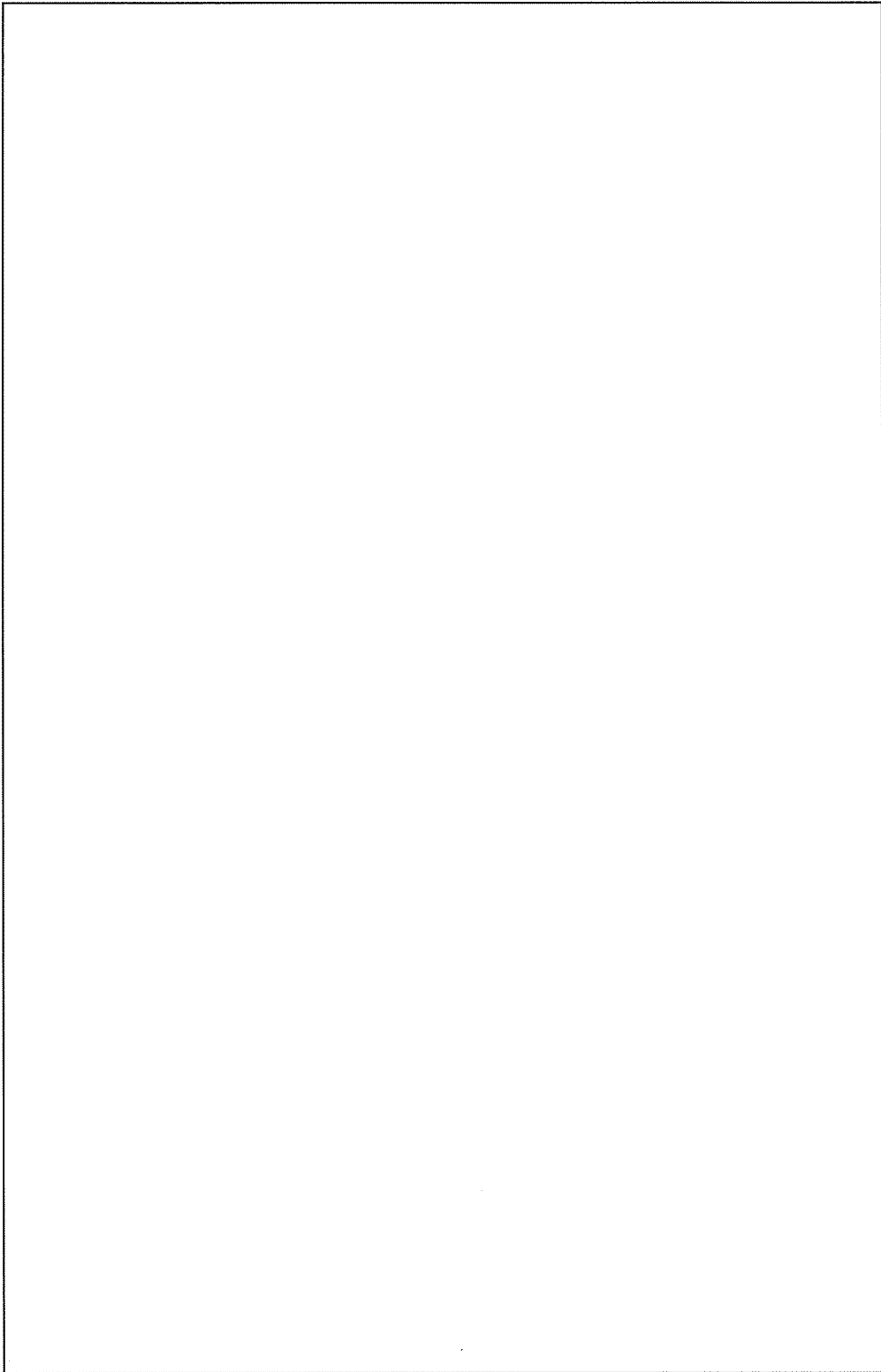
:

終局端抜け抵抗力 $Q_p = L_s \times t \times f_y / \sqrt{3} =$ kN

飛来物衝撃時端抜け検定比 $R_2 = F_i / Q_p =$

最大検定比 $K = \max(R_1, R_2) =$

防護ネット固定部詳細図を添説建 7.6.3-3 図に示す。



添説建 7.6.3-3 図 防護ネット固定部詳細図（転換工場：上面）

(4) 転換工場(下面)

1) 固定部の仕様

材質	:	<input type="text"/>
サイズ (ガセットプレート)	:	<input type="text"/>
基準強度 f (N/mm ²)	:	(鋼構造設計規準 — 許容応力度設計法 —)
終局強度 f_y (N/mm ²)	:	(第 2464 号告示より $f_y=f \times 1.1$)
短期許容せん断応力度 $f/\sqrt{3}$ (N/mm ²)	:	(鋼構造設計規準 — 許容応力度設計法 —)
終局せん断耐力 $f_y/\sqrt{3}$ (N/mm ²)	:	(第 2464 号告示より $f_y=f \times 1.1$)

2) 固定部に作用する荷重

固定部のシャックル取合孔部に作用する荷重を計算する。

(地震時)

防護ネットの単位重量 w (kN/m ²)	:	<input type="text"/>
防護ネットの展開長さ L_x (m)	:	<input type="text"/>
防護ネットの展開直角長さ L_y (m)	:	<input type="text"/>
固定部の個数 N (箇所)	:	<input type="text"/>
水平方向荷重分担固定部の個数 N' (箇所)	:	<input type="text"/>
固定部の孔数 n (箇所)	:	<input type="text"/>
水平震度 k	:	<input type="text"/>

鉛直方向荷重 $F_z = w \times L_x \times L_y / N / n =$ kN

水平方向荷重 $F_{xy} = w \times L_x \times L_y \times k / N' / n$
 $=$ kN

地震時作用荷重 $F_e = \sqrt{F_z^2 + F_{xy}^2} =$ kN

(飛来物衝撃時)

展開方向 水平方向荷重 F_{xx} (kN)	:	<input type="text"/>
展開直角方向 水平方向荷重 F_{xy} (kN)	:	<input type="text"/>
鉛直方向荷重 F_{xz} (kN)	:	<input type="text"/>

上記の F_{xx} , F_{xy} , F_{xz} の数値は、添説建 7.5-1 表を参照。

飛来物衝撃時作用荷重 $F_i = \sqrt{F_{xx}^2 + F_{xy}^2 + F_{xz}^2} =$ kN

3) 孔部端抜きの検討

固定部のシャックルが取り合う孔部の端抜きの検討を行う。

(地震時)

地震時作用荷重 F_e (kN)

:

端抜けライン長さ L_s (mm)

:

固定部板厚 t (mm)

:

短期許容端抜け抵抗力 $Q_s = L_s \times t \times f / \sqrt{3} =$ kN

地震時端抜け検定比 $R_1 = F_e / Q_s =$

(飛来物衝撃時)

飛来物衝撃時作用荷重 F_i (kN)

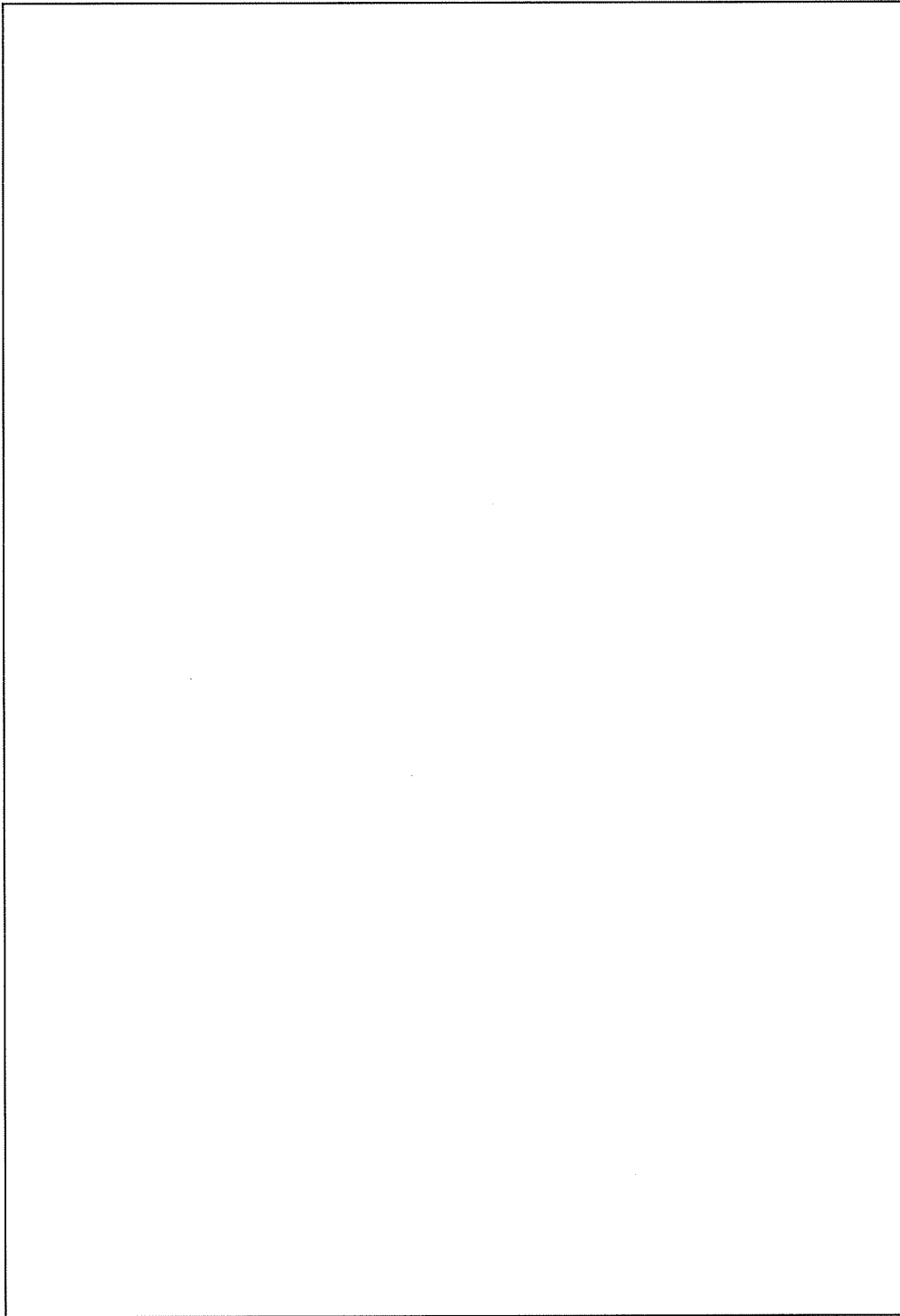
:

終局端抜け抵抗力 $Q_p = L_s \times t \times f_y / \sqrt{3} =$ kN

飛来物衝撃時端抜け検定比 $R_2 = F_i / Q_p =$

最大検定比 $K = \max(R_1, R_2) =$

防護ネット固定部詳細図を添説建 7.6.3-4 図に示す。



添説建 7.6.3-4 図 防護ネット固定部詳細図 (転換工場 : 下面)

7. 評価結果一覧

工場棟（成型工場、組立工場、転換工場）に設置する防護ネットの強度評価結果を添説建 7.7-1 表に示す。

添説建 7.7-1 表 防護ネットの強度評価結果

防護ネット各部	成型工場	組立工場	転換工場 (上面)	転換工場 (下面)
金網				
ワイヤー				
ターンバックル				
シャックル				
取付金物				

工場棟各建物共に、防護ネット各部のうち金網の検定比が最も大きくなる。

8. 文献

- ・ 電中研報告：竜巻飛来物に対する防護ネットの評価手法と対策工法の提案（N13014）
- ・ 土木学会：竜巻防護設備に用いる金網形状の異なる高強度金網に関する吸収エネルギー算定手法の適用性
- ・ 電中研報告：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（001）

核燃料物質の臨界防止に関する説明書

1. 概要

本資料では、「加工施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」第二条及び「加工施設の技術基準に関する規則」第四条にて適合することが要求されている事項に対し、安全機能を有する施設において核燃料物質が臨界に達する恐れがないよう、臨界を防止するための措置その他適切な措置を講じることを説明する。

2. 基本方針

加工施設で取り扱う核燃料物質は、濃縮度5%以下の濃縮ウラン、天然ウラン及び劣化ウランとし、このうち濃縮ウランを取り扱う設備・機器に対して適切な核的制限値を設定して臨界管理を行う。

加工施設で取り扱う濃縮ウランは、通常時に予想される機械若しくは器具の単一故障、若しくはその誤作動又は運転員の単一の誤操作を想定した場合に、核燃料物質が臨界に達する恐れがないようにするため、核燃料物質の取り扱い上の一つの単位を単一ユニットとし、形状寸法を制限し得るものについてはその形状寸法について適切な核的制限値を設ける。それが困難な設備・機器等については質量若しくは幾何学的形状を管理し、又はそれらのいずれかと減速度を組み合わせで管理する。

複数の単一ユニットに対し、臨界安全評価を行う上で領域区分を定め、臨界安全評価により領域毎に核的に安全な配置を決定する。

3. 対象設備

対象設備は、工場棟転換工場に設置する化学処理施設、放射性廃棄物の廃棄施設、貯蔵施設及びその他の加工施設、附属建物 廃棄物管理棟に設置する放射性廃棄物の廃棄施設、附属建物 発電機室に設置するその他の加工施設及び附属建物 除染室・分析室に設置するその他の加工施設、附属建物 原料貯蔵所に設置する貯蔵施設を対象とする。対象となる機器は添付説明書一設 1 付録 1 に示す。

4. 臨界防止のための設計

本章に該当する適合性の対象は、以下となる。

◆ 「加工施設の技術基準に関する規則」 第四条

当社では次に示す設備を取り扱わない。

- ・ 臨界質量以上のウラン（ウラン二三五の量のウランの総量に対する比率が百分の五を超えるものに限る。）を取り扱う加工施設
- ・ プルトニウムを取り扱う加工施設

したがって、以下に示す「加工施設の技術基準に関する規則」第四条のうち、破線で囲んだ部分を適合性説明の対象とする。

(核燃料物質の臨界防止)

第四条 安全機能を有する施設は、核燃料物質の取扱い上の一つの単位（次項において「単一ユニット」という。）において、通常時に予想される機械若しくは器具の単一の故障若しくはその誤作動又は運転員の単一の誤操作が起きた場合に、核燃料物質が臨界に達するおそれがないよう、核燃料物質を収納する機器の形状寸法の管理、核燃料物質の濃度、質量若しくは同位体の組成の管理若しくは中性子吸収材の形状寸法、濃度若しくは材質の管理又はこれらの組合せにより臨界を防止するための措置その他の適切な措置が講じられたものでなければならない。

2 安全機能を有する施設は、単一ユニットが二つ以上存在する場合において、通常時に予想される機械若しくは器具の単一の故障若しくはその誤作動又は運転員の単一の誤操作が起きた場合に、核燃料物質が臨界に達するおそれがないよう、単一ユニット相互間の適切な配置の維持若しくは単一ユニットの相互間における中性子の遮蔽材の使用又はこれらの組合せにより臨界を防止するための措置が講じられたものでなければならない。

3 臨界質量以上のウラン（ウラン二三五の量のウランの総量に対する比率が百分の五を超えるものに限る。）又はプルトニウムを取り扱う加工施設には、臨界警報設備その他の臨界事故を防止するために必要な設備が設けられていなければならない。

◆ 事業許可の内容（2-1～2-23）

3章で示した設備を対象とすることから、事業許可の内容のうち該当する以下の項目を適合性説明の対象とする。

【単一ユニットに関する機能（4.1章）】

- ・ 設備・機器の形状寸法に対する核的制限値設定に関する事項（2-1）

- ・ 質量の核的制限値設定に関する事項(2-2)
- ・ 減速度の組み合わせ管理に関する事項(2-3)
- ・ 溶液状のウランを取り扱う形状寸法機器の材料に関する事項(2-4)
- ・ 単一故障、誤作動又は誤操作を考慮した核的制限値設定に関する事項(2-6)
- ・ 水全反射条件を考慮した核的制限値設定に関する事項(2-7)
- ・ 二重装荷を想定しても未臨界となる質量管理、ウラン移動に伴い質量の核的制限値を超えない管理に関する事項(2-9)
- ・ ウラン溶液取扱い機器における全濃度担保を前提とした形状寸法に関する事項(2-20)

【複数ユニットに関する機能(4.2章)】

- ・ 臨界安全評価を行う上での領域区分に関する事項(2-13)
- ・ 単一ユニットの相互作用、領域内のユニット相互間に対する核的に安全な配置に関する事項(2-14)
- ・ ウランを取り扱う設備・機器の核的安全配置に関する事項(2-16)

4. 1. 単一ユニットに関する機能（第四条1）

事業許可にて新たに設定した単一ユニットの核的制限値を添付説明書一設1-1に示す。

各単一ユニットに対し、設備・機器の形状寸法を制限し得るものについては、形状寸法について核的制限値を設定し、その制限値を満足する設計とする。(2-1)

今回の申請設備において、単一ユニットに対する核的制限値として、濃縮度5%以下のウラン取扱いに対して形状寸法を設定する機器とその核的制限値を添説設1-1表に示す。なお、備考欄の{ }内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ [4.1-設1]核的制限値を設定する。

添説設1-1表に示す機器は、各単一ユニットに対する核的制限値として、濃縮度5%以下のウラン取扱いに対して形状寸法を設定し、その制限値を満足する設計とする。

添説設 1-1 表 核的制限値として形状寸法制限を設定する機器

施設区分	機器名		核的制限値 (形状寸法)	備考
化学処理 施設	循環貯槽(1)	貯槽本体部	直 径 26.7cm 以下	{22}
		ポンプ部	容 積 26.5L 以下	
		加水分解装置 (エジェクタ)	直 径 26.7cm 以下	{21}
	循環貯槽(2)	貯槽本体部	直 径 26.7cm 以下	{22}
		ポンプ部	容 積 26.5L 以下	
		加水分解装置 (エジェクタ)	直 径 26.7cm 以下	{21}
	堰 (循環貯槽)		厚 み 12.7cm 以下	{23}
	熱交換器 (循環貯槽) (1)		容 積 26.5L 以下	{28}
	熱交換器 (循環貯槽) (2)		容 積 26.5L 以下	
	UO ₂ ブロータンク (1)	UO ₂ ブロータンク本体部	直 径 25.1cm 以下	{106}
		サイクロン部	直 径 25.1cm 以下	
	UO ₂ ブロータンク (2)	UO ₂ ブロータンク本体部	直 径 25.1cm 以下	
		サイクロン部	直 径 25.1cm 以下	
	UO ₂ フィルタ (1)		厚 み 11.7cm 以下	{107}
	UO ₂ フィルタ (2)		厚 み 11.7cm 以下	
	UO ₂ 受けホッパ (1)		直 径 25.1cm 以下	{110}
	UO ₂ 受けホッパ (2)		直 径 25.1cm 以下	
	粉砕機 (1)	粉砕機本体部	厚 み 11.7cm 以下	{112}
		粉砕機バグフィルタ部	厚 み 11.7cm 以下	{113}
粉砕機 (2)	粉砕機本体部	厚 み 11.7cm 以下	{112}	
	粉砕機バグフィルタ部	厚 み 11.7cm 以下	{113}	
充填装置 (1)		直 径 25.1cm 以下	{115}	
充填装置 (2)		直 径 25.1cm 以下		

容器からウランを取り出す等、形状寸法を維持できない場合は、質量の核的制限値を設定し、管理する。(2-2)

今回の申請設備において、単一ユニットに対する核的制限値として、濃縮度 5%以下のウラン取扱いに対して質量制限を設定する設備は分析設備である。その核的制限値を添説設 1-2 表に示す。なお、備考欄の { } 内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

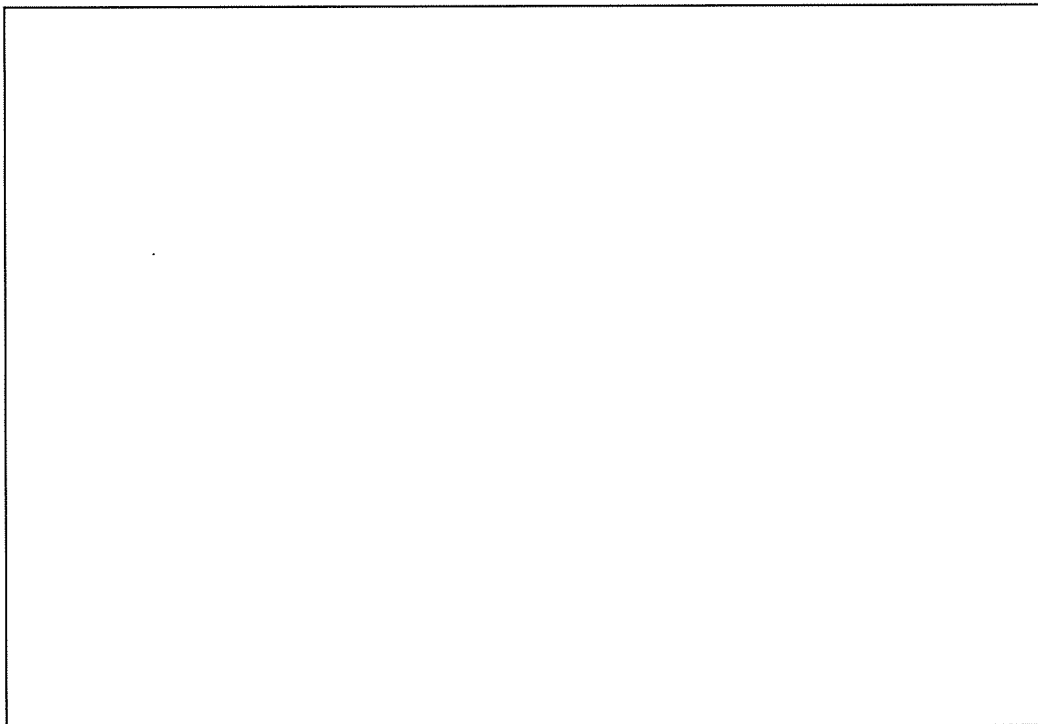
➤ [4.1-設 1]核的制限値を設定する。

添説設 1-2 表に示す機器は、各単一ユニットに対する核的制限値として、機器を設置するエリア全体で濃縮度 5%以下のウラン取扱いに対して質量制限値を設定し、その制限値を超えないように管理する設計とする。

質量制限値を設定するエリアを添説設 1-1 図に示す。

添説設 1-1 図に示す赤枠のエリアで取り扱うウランの質量は 14.8kgU 以下を常に維持するように保安規定で規定する。

なお、分析室に設置する廃水タンクに流入する廃液は、保安規定に基づく操作記録により放射性液体廃棄物レベルに管理することから、廃水タンクは質量制限値管理機器の対象外とする。



添説設 1-1 図 質量制限値を設定するエリア

添説設 1-2 表 核的制限値として質量制限を設定する機器

施設区分	機器名	設置場所	核的制限値 (質量制限)	備考
付属施設	同位体分析設備	転換工場 分光分析室	質量 14.8kgU 以下 (分光分析室及び分析室全体で質量制限)※	{906}
	不純物分析設備			{907}
	物性測定設備	付属建物 除染室・分析室 分析室		{908}
	試料回収ボックス			{909}

※廃水タンクを除く

最適減速条件の推定臨界下限値を超える量のウランを取り扱う場合は、減速度を組み合わせて管理する。(2-3)

今回の申請設備において、濃縮度 5%以下で最適減速条件の推定臨界下限値 (35kgU) を超える量のウランを取り扱う機器を添説設 1-3 表に示す。なお、備考欄の { } 内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ [4.1-設 1] 核的制限値を設定する。

添説設 1-3 表に示す機器は、濃縮度 5%以下で減速度を組み合わせて核的制限値を設定し、管理する設計とする。

なお、UF₆シリンダ内のウランの濃縮度及び減速度は UF₆シリンダの受入時に内容物の材料証明書により、核的制限値以下であることを確認する。この核的制限値の確認は保安規定で規定する。

添説設 1-3 表 核的制限値として減速度を組み合わせる核的制限値を設定する機器

施設区分	機器名	核的制限値 (減速度+質量または形状寸法)	備考
化学処理 施設	蒸発器(1)-A 蒸発器(1)-B 蒸発器(2)-A 蒸発器(2)-B	— 〔 UF ₆ シリンダ 減速度 H/U=0.088 以下 〕	{1}
	UF ₆ シリンダ	減速度 H/U=0.088 以下	{2} ANSI N14.1- 2012 規定仕様
	コールドトラップ(1)	減速度 H/U=0.088 以下	{14}
	コールドトラップ(2)	減速度 H/U=0.088 以下	
	コールドトラップ(小)(1)	減速度 H/U=0.088 以下	{17}
	コールドトラップ(小)(2)	減速度 H/U=0.088 以下	
	UO ₂ バックアップフィルタ(1)	質量 1,500kgU 以下 減速度 H/U=0.5 (含水率 1.6%) 以下	{108}
	UO ₂ バックアップフィルタ(2)	質量 1,500kgU 以下 減速度 H/U=0.5 (含水率 1.6%) 以下	{108}
	核燃料物 質の貯蔵 施設	UF ₆ シリンダ	減速度 H/U=0.088 以下

溶液状のウランを取り扱う設備・機器で、その形状寸法を制限するものについては、ウラン溶液の温度上昇に対して変形、破損するおそれのない材料を用いる設計とする。
(2-4)

今回の申請設備において、溶液状のウランを取り扱い、その核的制限値を形状寸法で担保する機器とその使用主材料を添説設 1-4 表に示す。なお、備考欄の { } 内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

- [4.1-設 5]使用温度に対して核的制限値（形状寸法）を維持する材料を選定する。
添説設 1-4 表に示す機器は、濃縮度 5%以下のウラン溶液の温度上昇に対して変形、破損する恐れのない材料を用いる設計とする。
添説設 1-4 表に示す材料の熱膨張率は使用温度範囲内で 10^{-4} ~ 10^{-5} であり、核的制限値（形状寸法）に対して、十分小さい寸法変化である。したがって、ウラン溶液の温度上昇による核的制限値への影響はない。

添説設 1-4 表 核的制限値を形状寸法で担保する機器とその使用主材料

施設区分	機器名		使用温度範囲	使用主材料	備考	
化学処理 施設	循環貯槽 (1)	貯槽本体部 (温度上昇部)	0~121℃		{22}	
		貯槽内面部 (温度上昇部)				
		ポンプ本体部 (温度上昇部)				
		ポンプ内面部 (温度上昇部)				
		加水分解装置 (エジェクタ) (1) (温度上昇部)				{21}
	循環貯槽 (2)	貯槽本体部 (温度上昇部)	0~121℃			{22}
		貯槽内面部 (温度上昇部)				
		ポンプ本体部 (温度上昇部)				
		ポンプ内面部 (温度上昇部)				
		加水分解装置 (エジェクタ) (2) (温度上昇部)				
	堰 (循環貯槽) (温度上昇部)		0~60℃			{23}
	熱交換器 (循環貯槽) (1) (温度上昇部)		0~40℃			{28}
	熱交換器 (循環貯槽) (2) (温度上昇部)					

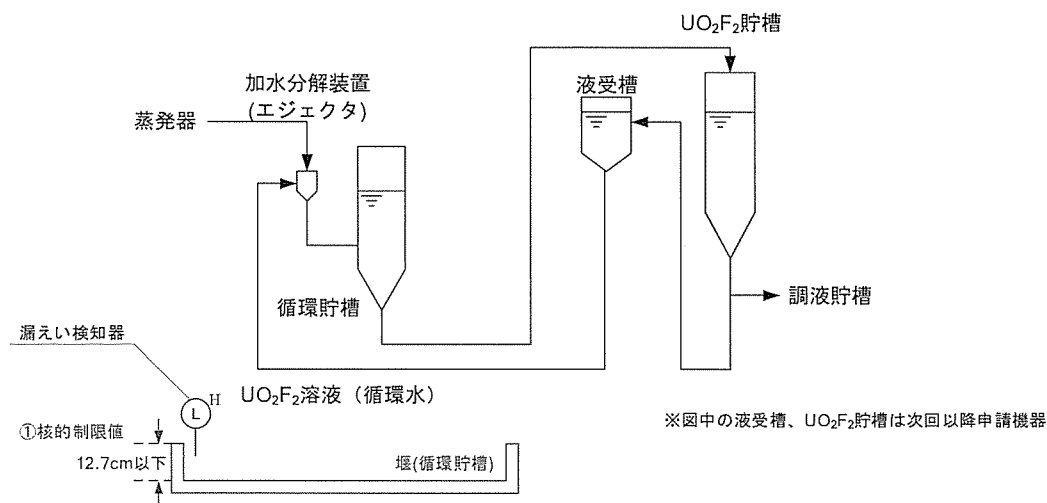
通常時に予想される設備・機器の単一故障若しくはその誤作動又は運転員の単一の誤操作により、ウランが流入するおそれのある設備・機器は、臨界に達しないようあらかじめ核的制限値を設定し、その制限値を満足する設計とする。(2-6)

今回の申請設備において、設備・機器の単一故障若しくはその誤作動又は運転員の単一の誤操作により、濃縮度 5%以下のウランが流入する恐れのある機器とそれに付与する核的制限値を添説設 1-5 表に示す。なお、備考欄の { } 内に示す数字は事業許可の「表安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

- [4.1-設 2] ウランが流入する恐れがある設備・機器に対して核的制限値を設定する。
 - ① 循環貯槽において槽の破損（故障）が起こった場合、槽から濃縮度 5%以下のウラン溶液が漏えいし、部屋内に拡散する恐れがあるため、拡散を防止する堰を設置し、その堰にも核的制限値を設定する。

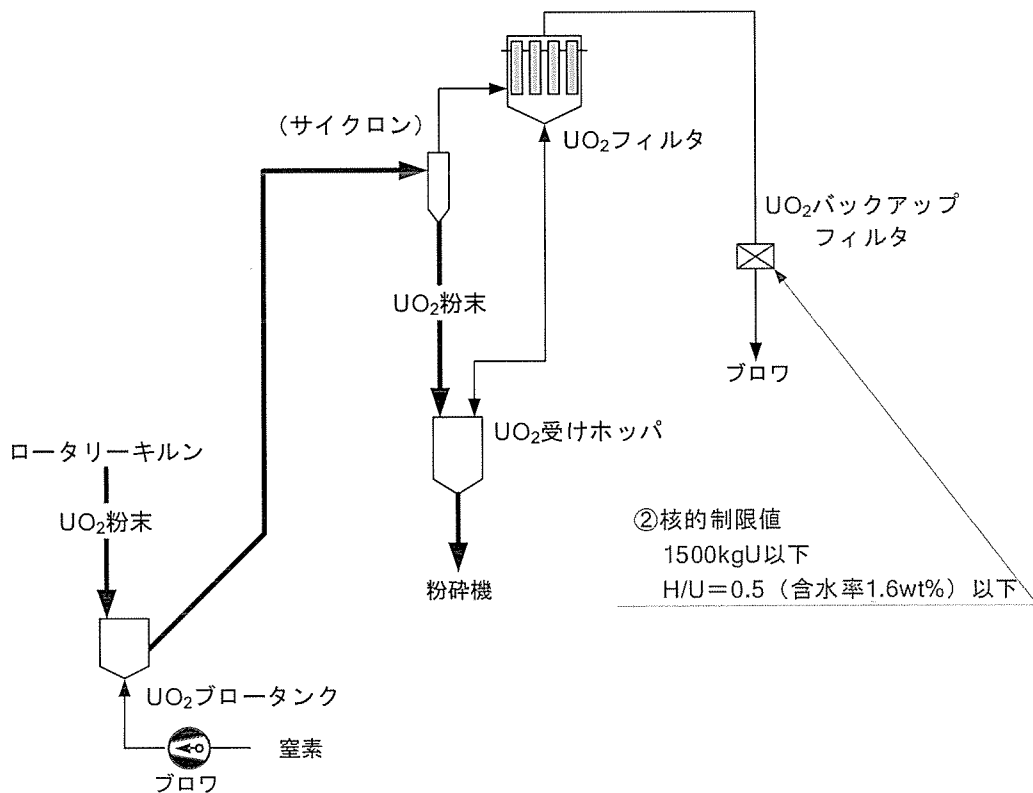
なお、循環貯槽からウランが漏えいすると、堰（循環貯槽）に漏えいするが、この場合には、集積されていたウランが拡散することになり、より中性子が逃げやすい形状となるため、臨界にはならない。

循環貯槽からの漏えいに備え、設定する核的制限値の概要を添説設 1-2 図に示す。



添説設 1-2 図 循環貯槽からの漏えいに備えて設定する核的制限値の概要

- ② 気流輸送する粉末状のウランはフィルタ (UO₂フィルタ) を設置して、ウランを回収する。このフィルタの破損 (故障)、脱落 (誤作動) 又は未装着 (運転員の単一の誤操作) が起こった場合、その排気下流側に濃縮度 5%以下の粉末状のウランが流入する恐れがあるため、フィルタ (UO₂フィルタ) の下流側に設置するフィルタ (UO₂バックアップフィルタ) にも核的制限値を設定する。
- フィルタ (UO₂フィルタ) からの漏えいに備え、設定する核的制限値の概要を添説設 1-3 図に示す。



添説設 1-3 図 フィルタ (UO₂フィルタ) からの漏えいに備えて設定する核的制限値の概要

添説設 1-5 表 ウランが流入する恐れのある機器

施設区分	機器名	核的制限値	説明	備考
化学処理	堰（循環貯槽）	厚み 12.7cm 以下	①	{23}
施設	UO ₂ バックアップフィルタ (1)	質量 1,500kgU 以下	②	{108}
	UO ₂ バックアップフィルタ (2)	減速度 H/U=0.5 (含水率 1.6%) 以下		

単一ユニットに係る核的制限値はすべて水全反射条件で設定することにより、裕度を見込んだ設計とする。(2-7)

事業許可に示したとおり単一ユニットに係る核的制限値はすべて水全反射条件で設定している。

ウランの質量による核的制限値の管理については、二重装荷を想定しても未臨界となる質量とし、信頼性の高いインターロック、運転員と監視システムによる確認又は複数の運転員による確認措置を講じる。

質量の核的制限値を設定したバッチ処理の場合、移動するウランについて移動先の単一ユニットの核的制限値を超えないよう管理する。(2-9)

質量の核的制限値を有する設備に濃縮度5%以下のウランを挿入する際は、保安規定に基づく操作記録により核的制限値を管理する。

具体的には分析室及び分光分析室に分析サンプルを受け入れる場合、ウランを容器に収納する際に運転員がそのウラン質量を2人以上でチェックしたこと、及び分析室及び分光分析室エリアのウラン量が核的制限値以下であることを2人以上でチェックして受け入れる。

減速度で管理する設備・機器については、火災時の消火水等が浸入しない対策を講じる。(2-12)

詳細は添付説明書-設5に示す。

転換加工工程等のウランを溶液として取り扱う設備・機器は、全濃度で未臨界となる設計とする。ただし、少量の溶液の化学分析に使用する分析機器、質量の核的制限値を設定したバッチ方式で処理を行い最小臨界質量以下のウランを取り扱う設備・機器は除く。(2-20)

今回の申請設備において、転換加工工程等で濃縮度 5%以下のウランを溶液として取り扱う機器を添説設 1-6 表に示す。なお、備考欄の { } 内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

- [4.1-設 7] ウラン溶液を取り扱う設備・機器は全濃度で未臨界とする。
添説設 1-6 表に示す機器は、濃縮度 5%以下のウランを取り扱う各単一ユニットに対する核的制限値として全濃度で未臨界となる形状寸法を設定し、管理する設計とする。

添説設 1-6 表 ウラン溶液を取り扱う機器とその核的制限値

施設区分	機器名		核的制限値 (形状寸法)	備考
化学処理施設	循環貯槽(1)	貯槽本体部	直 径 26.7cm 以下	{22}
		ポンプ部	容 積 26.5L 以下	
		加水分解装置 (エジェクタ) (1)	直 径 26.7cm 以下	{21}
	循環貯槽(2)	貯槽本体部	直 径 26.7cm 以下	{22}
		ポンプ部	容 積 26.5L 以下	
		加水分解装置 (エジェクタ) (2)	直 径 26.7cm 以下	{21}
	堰 (循環貯槽)		厚 み 12.7cm 以下	{23}
	熱交換器 (循環貯槽) (1)		容 積 26.5L 以下	{28}
	熱交換器 (循環貯槽) (2)		容 積 26.5L 以下	

4. 2 複数ユニットに関する機能（第四条 2）

同一領域内の単一ユニット間の相互作用は、立体角法又は臨界計算コードにより評価し、単一ユニット相互間は核的に安全であることを確認する。

1. 工場棟領域

領域内のユニット相互間は、臨界計算コード評価又は表面間距離を 30.5cm 以上とし、TID - 7016 Rev. 1 に基づく立体角法により、核的に安全な配置とする。

2. 加工棟領域

領域内のユニット相互間は、臨界計算コード評価又は表面間距離を 30.5cm 以上とし、TID - 7016 Rev. 1 に基づく立体角法により、核的に安全な配置とする。

3. 原料貯蔵所領域

原料貯蔵所領域に存在する施設は貯蔵施設のみであり、シリンダ貯蔵ピット内のユニットとウラン輸送物の配置は、シリンダの内径を 75.3cm、シリンダの高さを 1000cm(床から天井までの高さ)とし、ウラン輸送物に収納されているウラン粉末の H/U=0.5(含水率 1.6%) 又は 100%理論密度のペレットとして臨界計算コード (JACS コードシステム) により解析し、核的に安全な配置とする。

4. 第 2 核燃料倉庫領域

第 2 核燃料倉庫領域に存在する施設は貯蔵施設のみであり、スクラップ貯蔵棚 (粉末用) 内のユニットの配置は、検証された信頼度の高い臨界計算コードにより解析し、核的に安全な配置とする。

5. 第 3 核燃料倉庫(1)領域

第 3 核燃料倉庫(1)領域に存在する施設は貯蔵施設のみであり、スクラップ貯蔵棚 (粉末用) 内のユニットの配置は、検証された信頼度の高い臨界計算コードにより解析し、核的に安全な配置とする。

6. 第 3 核燃料倉庫(2)領域

第 3 核燃料倉庫(2)領域に存在する施設は貯蔵施設のみであり、核的に隔離されていないユニット相互間は、臨界計算コード評価又は表面間距離を 30.5cm 以上とし、TID - 7016 Rev. 1 に基づく立体角法により、核的に安全な配置とする。

7. シリンダ洗浄棟領域

領域内のユニット相互間は、臨界計算コード評価又は表面間距離を 30.5cm 以上とし、TID - 7016 Rev. 1 に基づく立体角法により、核的に安全な配置とする。

(2-14)

(次ページに続く)

(前ページの続き)

ウランを取り扱う設備・機器（未臨界を確保するため使用する中性子遮蔽材を含む）は、使用条件において十分な強度を有する構造材を用い、未臨界であることが確認された核的に安全な配置に固定する設計とする。

二つ以上の単一ユニットが存在する場合については、ユニット相互間における間隔を維持する等により臨界を防止する。(2-16)

- [4.2-設 1]ウランの使用は、その形状寸法及び位置について立体角法により安全である範囲に制限する。

濃縮度 5%以下のウラン取扱いに対して、核的に安全な配置となることを工場棟領域については添付説明書一設 1-2 のとおり確認した。

単一ユニットを構成する機器が十分な強度を有することを、添付説明書一設 3 の耐震性に関する説明書のとおり確認した。

なお、試料回収ボックスのウランは分光分析室及び分析室全体で質量管理されたウランの一部であり、分光分析室及び分析室にあるウランが試料回収ボックスに集まっているものとして、工場棟領域全体で立体角評価を行い核的に安全な配置であることを確認した。

複数の単一ユニット（以下「複数ユニット」という。）は、核的に安全な配置を決定するため、臨界安全評価を行う上での領域区分を定める。これらの領域区分は、領域同士での相互干渉がないように厚さ 30.5cm 以上のコンクリート又は同等以上の中性子遮蔽材である臨界隔離壁によって隔離するか、関係する単一ユニットの中心を結ぶ線に直交する面への単一ユニットの投影の最大寸法と 3.66m のうちいずれか大きい方の距離以上離れた配置とする設計とする。(2-13)

今回の申請設備において、臨界隔離壁(第2核燃料倉庫領域)よりも高い位置(=490cm以上)にある機器を添説設1-7表に示す。なお、備考欄の{ }内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ [4.2-建1] 臨界隔離壁(第2核燃料倉庫領域)よりも高い位置に設置するユニットは、第2核燃料倉庫領域のユニットとの距離を必要離隔距離以上離れた配置に制限する。

なお、臨界隔離壁よりも高い位置にあるユニットが第2核燃料倉庫領域のユニットから必要離隔距離以上離れた配置となることについては、必要離隔距離が第2核燃料倉庫領域のユニットの寸法及び配置にも依存するため、第2核燃料倉庫領域のユニットとなる設備・機器の次回以降申請時に説明する。

添説設1-7表 工場棟領域の本申請範囲における上端高さ490cm以上のユニットの一覧

施設区分	機器名		ユニット 上端	備考
化学処理 施設	UO ₂ ブロータンク(1)	サイクロン部	cm	{106}
	UO ₂ ブロータンク(2)	サイクロン部		
	UO ₂ フィルタ(1)		cm	{107}
	UO ₂ フィルタ(2)		cm	
	UO ₂ 受けホッパ(1)	UO ₂ 受けホッパ本体	cm	{110}
	UO ₂ 受けホッパ(2)	UO ₂ 受けホッパ本体	cm	
	粉砕機(1)	粉砕機バグフィルタ部	cm	{113}
	粉砕機(2)	粉砕機バグフィルタ部	cm	

本申請における新たな単一ユニットの核的制限値

① 核的制限値を新たに設定する設備・機器

新設又は改造に伴い、新規制基準に基づき受けた核燃料物質の事業の許可（平成 29 年 11 月 1 日付け原規規発第 1711011 号にて許可）に係る加工施設の変更として、核的制限値を新たに設定する設備・機器について、その核的制限値を添説設 1 - 1 - 1 表に示す。

添説設 1 - 1 - 1 表 核的制限値を新たに設定する設備・機器

施設区分	設備・機器名称	核的制限値	備考 {安全機能一覧番号}
化学処理 施設	循環貯槽(1) ポンプ部	濃縮度 5%以下	{22}
	循環貯槽(2) ポンプ部	容積 26.5L 以下	
	堰（循環貯槽）	濃縮度 5%以下 厚み 12.7cm 以下	{23}
	熱交換器(循環貯槽) (1)	濃縮度 5%以下 容積 26.5L 以下	{28}
	熱交換器(循環貯槽) (2)		
	UO ₂ バックアップフィル タ(1)	濃縮度 5%以下 質量 1,500kgU 以下	{108}
	UO ₂ バックアップフィル タ(2)	減速度 H/U=0.5(含水 率 1.6%) 以下	
	粉砕機(1) 粉砕機バグフ ィルタ部	濃縮度 5%以下 厚み 11.7cm 以下	{113}
	粉砕機(2) 粉砕機バグフ ィルタ部		

② 核的制限値を変更する設備・機器

新設又は改造に伴い、核燃料物質の事業許可(平成20年8月29日付け平成19・06・20原第1号にて許可)及び新規制基準に基づき受けた核燃料物質の加工の事業の変更許可(平成29年11月1日付け原規規発第1711011号にて許可)に係る加工施設の変更として、核的制限値を変更する設備・機器について、その核的制限値を添説設1-1-2表に示す。

添説設1-1-2表 核的制限値を変更する設備・機器

施設区分	設備・機器名称	核的制限値	備考 {安全機能一覧番号}
化学処理 施設	UO ₂ ブロータンク(1)	濃縮度 5%以下	{106}
	UO ₂ ブロータンク本体部	直径 25.1cm 以下	
	UO ₂ ブロータンク(2)		
	UO ₂ ブロータンク本体部		
	UO ₂ ブロータンク(1) サイクロン部		
	UO ₂ ブロータンク(2) サイクロン部		
	UO ₂ フィルタ(1)	濃縮度 5%以下	{107}
	UO ₂ フィルタ(2)	厚み 11.7cm 以下	
	UO ₂ 受けホッパ(1)	濃縮度 5%以下	{110}
	UO ₂ 受けホッパ(2)	直径 25.1cm 以下	
	粉砕機(1)粉砕機本体部	濃縮度 5%以下	{112}
	粉砕機(2)粉砕機本体部	厚み 11.7cm 以下	
	充填装置(1)	濃縮度 5%以下	{115}
	充填装置(2)	直径 25.1cm 以下	

工場棟領域内の設備・機器の単一ユニット間の
相互干渉作用の評価

工場棟領域内の単一ユニット相互の表面間距離を 30.5cm 以上とし、米国の臨界安全ハンドブック TID-7016 Rev. 1 に基づく立体角法による評価により、核的に安全な配置であることを確認した。なお、工場棟領域内の設備・機器を対象に評価を行っていることから、次回以降に申請する設備・機器も評価対象としているが、それらの評価結果については当該の設備・機器の申請時に示すこととする。

また、事業許可において、直径 50.8mm 以下の配管については接続する本体機器の中性子実効増倍率に影響を与えないとしているため、立体角評価に含めない。加水分解装置(エジェクタ)についても直径 50.8mm 以下であるため、立体角評価に含めないものとした。

評価手順を以下に示す。

1. ユニットの中性子実効増倍率 k_{eff} を JACS コードシステムで計算する。
2. 以下の式から各ユニットの許容立体角 (Ω) を求める。
 $k_{eff} < 0.3$ のとき $\Omega = 6$ ステラジアン
 $0.3 \leq k_{eff} \leq 0.8$ のとき $\Omega = (9 - 10k_{eff})$ ステラジアン
3. 各ユニットの総立体角を求める。
4. 総立体角と許容立体角を比較する。

立体角法で評価した結果、添説設 1-2-1 表に示すとおり各ユニットともそれぞれの総立体角は許容立体角以下である。

以上より、今回の申請に係わる設備・機器は核的に安全な配置であることを確認した。

添説設1-2-1表 立体角評価結果表

施設名称	ユニット名称(注1)	ユニット番号	ユニットの形状(注2)	ユニット寸法・座標(cm) (注2)						中性子実効増倍率(keff)	許容立体角	総立体角
				X	Y	Z	D	x	y			
化学処理施設	蒸発器(2)-B	101	C									
	蒸発器(2)-A	102	C									
	蒸発器(1)-B	103	C									
	蒸発器(1)-A	104	C									
	コールドトラップ(1)	105	C2									
	コールドトラップ(2)	106	C2									
	コールドトラップ(小)(1)	107	C									
	コールドトラップ(小)(2)	108	C									
	循環貯槽(1)	109	C									
	循環貯槽(2)	110	C									
	循環貯槽(1) ポンプ部	109-03	C2									
	循環貯槽(2) ポンプ部	110-03	C2									
	熱交換器(循環貯槽)(1)	109-04	B									
	熱交換器(循環貯槽)(2)	110-04	B									
	UO ₂ プロータンク(1)	199	C									
	UO ₂ プロータンク(2)	200	C									
	UO ₂ プロータンク(サイクロン部)(1)	203	C									
	UO ₂ プロータンク(サイクロン部)(2)	204	C									
	UO ₂ フィルタ(1)	201	B									
	UO ₂ フィルタ(2)	202	B									
	UO ₂ バックアップフィルタ(1)	831-01	B									
UO ₂ バックアップフィルタ(2)	831-02	B										
UO ₂ 受けホッパ(1)	205	C										
UO ₂ 受けホッパ(2)	206	C										
粉砕機(1)	207	B										
粉砕機(2)	208	B										
粉砕機バグフィルタ(1)	207-02	B										
粉砕機バグフィルタ(2)	208-02	B										
充填装置(1)	209	C2										
充填装置(2)	210	C2										
その他の加工施設	試料回収ボックス	247-02	C									

(注1) 工場棟の臨界管理上の領域と各ユニットの配置を図臨配-1～図臨配-3 ユニット配置図に示す。

(注2) ユニット形状記号と、寸法・座標の示し方は次の通りである。

ユニット形状記号	モデルの形状	寸法・座標を示す記号						
		X	Y	Z	D	x	y	z
C	縦置円筒モデル	—	—	円筒の高さ	円筒の直径	原点に対する底面中心座標		
C2	横置円筒モデル	原点に対する片側の円筒面の中心座標		円筒の直径	原点に対する対面側の円筒面の中心座標			
B	箱モデル	軸に平行な辺の長さ			—	原点に対する底面中心座標		
S	球モデル	—	—	球の半径	—	原点に対する球の中心座標		

付録-1表 今回の申請対象となる機器リスト (1/2)

施設区分	設置場所	機器名
化学処理施設	工場棟 転換工場 原料倉庫	蒸発器(1)-A, B、(2)-A, B
化学処理施設	工場棟 転換工場 原料倉庫	UF ₆ フードボックス
化学処理施設	工場棟 転換工場 原料倉庫	UF ₆ 防護カバー
化学処理施設	工場棟 転換工場 原料倉庫	コールドトラップ(1)(2)
化学処理施設	工場棟 転換工場 原料倉庫	コールドトラップ(小)(1)(2)
化学処理施設	工場棟 転換工場 原料倉庫	循環貯槽(1)(2)
化学処理施設	工場棟 転換工場 原料倉庫	堰(循環貯槽)
化学処理施設	工場棟 転換工場 転換加工室	熱交換器(循環貯槽)(1)(2)
化学処理施設	工場棟 転換工場 転換加工室	UO ₂ ブロータンク(1)(2)
化学処理施設	工場棟 転換工場 転換加工室	UO ₂ フィルタ(1)(2)
化学処理施設	工場棟 転換工場 転換加工室	UO ₂ バックアップフィルタ(1)(2)
化学処理施設	工場棟 転換工場 転換加工室	UO ₂ 受けホッパ(1)(2)
化学処理施設	工場棟 転換工場 転換加工室	粉碎機(1)(2)
化学処理施設	工場棟 転換工場 転換加工室	充填装置(1)(2)
核燃料物質の貯蔵施設	工場棟 転換工場 原料倉庫 付属建物 原料貯蔵所	UF ₆ シリンダ
放射性廃棄物の廃棄施設	工場棟 転換工場 原料倉庫	スクラバ(原料倉庫局所排気系統)
放射性廃棄物の廃棄施設	工場棟 転換工場 原料倉庫	切替ダンパ(原料倉庫局所排気系統)
放射性廃棄物の廃棄施設	工場棟 転換工場 原料倉庫	地震連動閉止ダンパ(原料倉庫局所排気系統)
放射性廃棄物の廃棄施設	工場棟 転換工場 原料倉庫	給気ダクト・ダンパ(原料倉庫給気系統)
放射性廃棄物の廃棄施設	工場棟 転換工場 原料倉庫	排気ダクト・ダンパ(原料倉庫局所排気系統)
放射性廃棄物の廃棄施設	工場棟 転換工場 原料倉庫	排気ダクト・ダンパ(原料倉庫室内排気系統)
放射性廃棄物の廃棄施設	工場棟 転換工場 機械室	給気逆流防止ダンパ(原料倉庫との境界部)(原料倉庫給気系統)
放射性廃棄物の廃棄施設	工場棟 転換工場 フィルタ室	排気逆流防止ダンパ(原料倉庫との境界部)(原料倉庫局所排気系統)

付録ー1 表 今回の申請対象となる機器リスト (2/2)

施設区分	設置場所	機器名
放射性廃棄物の廃棄施設	工場棟 転換工場 フィルタ室	排気逆流防止ダンパ（原料倉庫との境界部）（原料倉庫室内排気系統）
放射性廃棄物の廃棄施設	付属建物 廃棄物管理棟 測定室(2)	ドラム缶ウラン量測定装置
その他の加工施設	付属建物 発電機室 発電機室(1)	非常用ディーゼル発電機(1)
その他の加工施設	付属建物 発電機室 発電機室(2)	非常用ディーゼル発電機(2)
その他の加工施設	工場棟 転換工場 分光分析室	表面電離型質量分析装置(1)(2)
その他の加工施設	工場棟 転換工場 分光分析室	固体発光分光分析装置
その他の加工施設	工場棟 転換工場 分光分析室	ICP 質量分析装置
その他の加工施設	付属建物 除染室・分析室 分析室	ICP 発光分光分析装置
その他の加工施設	付属建物 除染室・分析室 分析室	自動水分分析装置
その他の加工施設	付属建物 除染室・分析室 分析室	炭素・硫黄同時分析装置
その他の加工施設	付属建物 除染室・分析室 分析室	自動ハロゲン分析装置
その他の加工施設	付属建物 除染室・分析室 分析室	α 線スペクトル分析装置
その他の加工施設	付属建物 除染室・分析室 分析室	廃水タンク
その他の加工施設	付属建物 除染室・分析室 分析室	比表面積測定装置
その他の加工施設	付属建物 除染室・分析室 分析室	嵩密度測定装置
その他の加工施設	付属建物 除染室・分析室 分析室	平均粒径測定装置
その他の加工施設	付属建物 除染室・分析室 分析室	サンプル保管庫
その他の加工施設	付属建物 除染室・分析室 分析室	試料回収ボックス

設備の火災等による損傷の防止に関する説明書

1. 概要

本資料は、「加工施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」第五条及び「加工施設の技術基準に関する規則」第十一条にて適合することが要求されている事項に対し、火災又は爆発により加工施設の安全性を脅かされることのないよう、火災区域に対して、火災発生防止、火災の感知及び消火並びに火災の影響軽減のそれぞれを考慮した火災防護対策を行うことを説明するものである。

2. 基本方針

火災等により加工施設の安全性が損なわれないようにするため、火災及び爆発の発生防止、火災の感知及び消火並びに火災及び爆発の影響を軽減するための安全機能を有する設計とする。また、火災又は爆発の発生を想定しても加工施設全体として、公衆に対し過度の放射線被ばくを及ぼさない十分な臨界防止、閉じ込め等の機能が確保される設計とする。なお、火災及び爆発の発生防止、火災の感知及び消火並びに影響軽減の対策を行うに当たって、国内の法令及び規格に基づくとともに、施設の特徴に応じて、米国の「放射性物質取扱施設の火災防護に関する基準」を参考とする。

3. 対象設備

対象設備は、工場棟転換工場に設置する化学処理施設、放射性廃棄物の廃棄施設、貯蔵施設及びその他の加工施設、附属建物 廃棄物管理棟に設置する放射性廃棄物の廃棄施設、附属建物 発電機室に設置するその他の加工施設及び附属建物 除染室・分析室に設置するその他の加工施設、附属建物 原料貯蔵所に設置する貯蔵施設を対象とする。対象となる機器は添付説明書一設 1 付録 1 に示す。

4. 適合性の説明

本章に該当する適合性の対象は、以下となる。

◆ 加工施設の技術基準に関する規則第十一条

3章に示す設備・機器には以下を含まない。

- ・ 消火設備及び警報設備（警報設備にあつては自動火災報知設備、漏電火災警報器その他の火災の発生を自動的に検知し、警報を発する設備に限る）
- ・ 水素を取り扱う設備
- ・ 水素その他の可燃性ガスを取り扱う設備
- ・ 焼結設備

したがって、以下に示す加工施設の技術基準に関する規則第十一条のうち、破線で囲んだ部分を適合性説明の対象とする。

（火災等による損傷の防止）

第十一条 安全機能を有する施設は、火災又は爆発の影響を受けることにより加工施設の安全性に著しい支障が生ずるおそれがある場合において、消火設備（事業許可基準規則第五条第一項に規定する消火設備をいう。以下同じ。）及び警報設備（警報設備にあつては自動火災報知設備、漏電火災警報器その他の火災の発生を自動的に検知し、警報を発するものに限る。以下同じ。）が設置されたものでなければならない。

2 前項の消火設備及び警報設備は、その故障、損壊又は異常な作動により安全上重要な施設の安全機能に著しい支障を及ぼすおそれがないものでなければならない。

3 安全機能を有する施設であつて、火災又は爆発により損傷を受けるおそれがあるものは、可能な限り不燃性又は難燃性の材料を使用するとともに、必要に応じて防火壁の設置その他の適切な防護措置が講じられたものでなければならない。

4 水素を取り扱う設備（爆発の危険性がないものを除く。）は、適切に接地されているものでなければならない。

5 水素その他の可燃性ガスを取り扱う設備（爆発の危険性がないものを除く。）を設置するグローブボックス及び室は、当該設備から可燃性ガスが漏れいした場合においてもこれが滞留しない構造とすることその他の爆発を防止するための適切な措置が講じられたものでなければならない。

6 焼結設備その他の加熱を行う設備（次項において「焼結設備等」という。）は、当該設備の熱的制限値を超えて加熱されるおそれがないものでなければならない。

7 水素その他の可燃性ガスを使用する焼結設備等（爆発の危険性がないものを除く。）は、前三項に定めるところによるほか、次に掲げるところによらなければならない。

一 焼結設備等の内部において空気の混入により可燃性ガスが爆発することを防止するための適切な措置を講ずること。

二 焼結設備等から排出される可燃性ガスを滞留することなく安全に排出するための適切な措置を講ずること。

三 焼結設備等の内部で可燃性ガスを燃焼させるものは、燃焼が停止した場合に可燃性

ガスの供給を自動的に停止する構造とすること。

◆ 事業許可の内容 (5-1～5-30)

3章で示した設備を対象とすることから、事業許可の内容のうち該当する以下の項目を適合性説明の対象とする。

【火災の発生防止 (4.1.章)】

- ・ 使用材料に関する事項(5-2)
- ・ UF₆を取り扱う設備・機器近傍の設置に関する事項(5-3)
- ・ 可燃性油類の漏えい防止に関する事項(5-12)

【火災影響の軽減対策 (4.2.章)】

- ・ 電力用及び計測・制御用ケーブル損傷に関する事項(5-14)
- ・ 可燃性油類を使用する設備・機器並びに油火災に関する事項(5-15)
- ・ スクラバに関する事項(5-21)
- ・ 火災の延焼防止 (金属製容器) に関する事項(5-22)

4. 1. 火災発生の防止(第十一条3)

加工施設の建物内に設置する核燃料物質を取り扱うフードボックス等の設備・機器は、火災発生防止のため、不燃性又は難燃性材料を使用した設計とする。

設備・機器は、火災発生防止のため、主要な構造材は不燃性又は難燃性材料を使用した設計とする。(5-2)

➤ [11.3-設1]

加工施設の建物内に設置する核燃料物質を取り扱うフードボックス等の設備・機器及びその使用材料を添付表(材料一覧)に示す。

添付表(材料一覧)に示すとおり、加工施設の建物内に設置する核燃料物質を取り扱うフードボックス等の設備・機器は、不燃性材料又は事業許可に示す難燃性材料である塩化ビニル又はポリカーボネートを使用している。これらの難燃性材料は、「消防法施行令の一部改正に伴う運用について(通知)昭和54年10月2日」にて、酸素指数が26以上であることから不燃性又は難燃性を有するものとして取り扱うことが示されている。

➤ [11.3-設2]

添付表(材料一覧)に示すとおり、設備・機器の主要な構造材(設備・機器を構成する柱、はり及び気体廃棄設備のダンプ本体)は、不燃性材料又は難燃性材料を使用しているため火災の発生源となることはない。また、その他の安全機能を確保するための材料についても添付表(材料一覧)に示すとおり不燃性材料又は難燃性材料を使用しているため火災の発生源となることはない。

なお、火災荷重が大きい廃棄施設のスクラバは金属製カバーで覆っていること、構成部材として木材を使用しているその他の加工施設の平均粒径測定装置(物性測定設備)は金属製カバーで覆っていることから、いずれも火災の発生源となることはない。

添付表(材料一覧)に示す材料のうち、鉄鋼や金属材料を除く材料の耐燃性を添説設2-4.1表に示す。

添説設 2-4.1 表 材料及び耐燃性（鉄鋼及び金属材料を除く）

材料	耐燃性区分
ポリカーボネート	難燃性 ^{注1}
塩化ビニル	難燃性 ^{注1}
フッ素樹脂	難燃性 ^{注1}
不浸透黒鉛	難燃性 ^{注2}
シリコーンコーティングガラスクロス	難燃性 ^{注3}
繊維強化樹脂	可燃性 ^{注4}
ポリエチレン	可燃性 ^{注5}

注1：（出典）消防法施行令の一部改正に伴う運用について（通知）昭和54年10月2日

注2：不浸透黒鉛とは、黒鉛（炭素）を焼成させた際に生じる細孔への流体の浸透を防止する目的で細孔に合成樹脂を含浸し熱硬化させた材料であり、大部分が不燃性である黒鉛である。

注3：表面をシリコーン（ケイ素樹脂）でコーティングしたもので、ケイ素樹脂は上記注1に示す運用にて難燃性を有する材料とされている。

注4：マトリックス部（母材）に樹脂を用いており、樹脂の種類によっては難燃性を示すものの一般的には可燃性材料として取り扱うものである。スクラバ等に用いる場合は耐腐食性能が求められることから、火災対策として着火防止のため金属カバーで覆う設計としている（[11.3-設9]参照）。

注5：ポリエチレンは可燃性材料であるが、非常用ディーゼル発電機に用いるケーブルは、JIS C 3005「ゴム・プラスチック絶縁電線試験方法」4.26項（難燃）に定める60度傾斜試験を満足する材料を用いる。

UF₆を正圧で取り扱う設備・機器は転換工場原料倉庫へ集約するとともに、UF₆を取り扱う設備・機器の近傍には可能な限り火災源となり得るものを設置しない設計とする。

また、火災源となり得るものを設置する場合には、火災影響評価を実施し、閉じ込め機能を確保する設計とする。(5-3)

➤ [11.3-設6]

UF₆を正圧で取り扱う設備・機器を添説設2-4.2表に示す。

同表及び添付図(図イ配-1)に示すとおり、UF₆を正圧で取り扱う設備・機器については工場棟転換工場原料倉庫へ集約している。

なお、コールドトラップ(1)、(2)及びコールドトラップ(小)(1)、(2)の近くに設置するポンプの潤滑油については、火災源となりえるので、内包油の全量を溜めるオイルパンを設置して火災範囲を限定する。オイルパンについては、保安規定及び社内管理要領により適切に管理する。

火災源に最も近いUF₆を正圧で取り扱う設備・機器であるコールドトラップ(1)、(2)及びコールドトラップ(小)(1)、(2)に対して、オイルパンに滞留した油(内包油量の全量)が燃焼した場合の火災熱評価結果を添付説明書-設2-1付1に示す。

その結果、火災源からの離隔距離として、コールドトラップ(1)、(2)は0.4m、コールドトラップ(小)(1)、(2)は1.2m確保した場合の昇温幅は最大18℃と評価される。これは、同機器の設計温度225℃、使用温度130℃に対し、使用時に火災が発生した場合でも148℃であり、設計温度を十分下回る。よって、火災時のコールドトラップ(1)、(2)及びコールドトラップ(小)(1)、(2)の閉じ込め機能は維持できる。

添説設 2-4.2 表 UF₆を正圧で取り扱う機器及びそれらの設置場所

設備・機器名	機器名	設置場所
UF ₆ 蒸発・加水分解設備	蒸発器 (1) -A	工場棟 転換工場 原料倉庫
UF ₆ 蒸発・加水分解設備	蒸発器 (1) -B	工場棟 転換工場 原料倉庫
UF ₆ 蒸発・加水分解設備	蒸発器 (2) -A	工場棟 転換工場 原料倉庫
UF ₆ 蒸発・加水分解設備	蒸発器 (2) -B	工場棟 転換工場 原料倉庫
UF ₆ 蒸発・加水分解設備	UF ₆ フードボックス	工場棟 転換工場 原料倉庫
UF ₆ 蒸発・加水分解設備	UF ₆ 防護カバー	工場棟 転換工場 原料倉庫
UF ₆ 蒸発・加水分解設備	コールドトラップ(1)	工場棟 転換工場 原料倉庫
UF ₆ 蒸発・加水分解設備	コールドトラップ(2)	工場棟 転換工場 原料倉庫
UF ₆ 蒸発・加水分解設備	コールドトラップ (小) (1)	工場棟 転換工場 原料倉庫
UF ₆ 蒸発・加水分解設備	コールドトラップ (小) (2)	工場棟 転換工場 原料倉庫
UF ₆ 蒸発・加水分解設備	循環貯槽(1)	工場棟 転換工場 原料倉庫
UF ₆ 蒸発・加水分解設備	循環貯槽(2)	工場棟 転換工場 原料倉庫

可燃性油類を使用する設備・機器は、発火及び異常な温度上昇を防止する対策、可燃性油類の漏えいを防止する対策を講じる設計とする。(5-12)

➤ [11.3-設 15]

発電機室内での発火を防止するため、可燃性油以外の可燃物を設置しないこととし、可燃性油の発電機室内への漏えいを防止するため、内包油全量(650リットル)を貯油できるのに十分な高さ200mm以上の防油堤を設置する(添付図り配—1参照)。

4. 2. 火災影響の軽減対策(第十一条3)

使用電圧が高い幹線動力用ケーブル及び配電設備から大きな電流を扱う盤までのケーブルは、難燃性ケーブルを使用した設計とする。また、UF₆ガス及び水素を取り扱う設備に関し、地震時にそのガスの供給を自動停止するインターロックに係るケーブルについては、火災から防護するため、検出端から作動端まで金属製カバーに収納する設計とする。なお、設備機器に係る電力用ケーブル及び計測・制御用ケーブルについては、火災によるケーブル損傷でその機能を喪失しても、対象の設備機器は安全側に動作する(運転停止する)設計とする。(5-14)

➤ [11.3-設7]

3章に示す設備・機器のうち、地震時にUF₆ガスの供給を自動停止するインターロックを有する設備・機器は、蒸発器である。蒸発器及び気体廃棄設備(1)の地震連動閉止ダンパの地震インターロックに係るケーブルは添説設2-4.3表に示すとおり、厚さ約2mmの鋼製の管に収納する設計とし、火災による影響の軽減を図る。

➤ [11.3-設3]

3章に示す設備・機器のうち、使用電圧が高い幹線動力用ケーブル及び配電設備から大きな電流を扱う盤に該当する設備・機器は、非常用ディーゼル発電機([11.3-設16]参照)を除いて無いが、電力用ケーブル及び計測・制御用ケーブルが火災により損傷し、その機能を喪失した場合に臨界防止機能・閉じ込め機能への影響が考えられる設備・機器を添説設2-4.4表に示す。火災によるケーブル損傷で機能喪失した場合は、ヒーターの加熱を停止する設計とする。なお、工場棟転換工場に位置し水素ガスを使用するロータリーキルンは次回以降申請の機器である。

なお、難燃性ケーブルは、管理区域内において高圧に区分される600V以上となる幹線電力用ケーブルと、一般用の電圧200Vよりも高く、かつ400A以上の大きな電流を扱う連続焼結炉、バッチ式小型焼結炉の電気盤までのケーブルとする。連続焼結炉及びバッチ式小型焼結炉は、次回以降の申請を予定している。連続焼結炉及びバッチ式小型焼結炉では水素を取り扱うため、地震時に水素の供給を自動停止するインターロックに係るケーブルは、検出端から作動端まで金属製カバーに収納する設計とするが、当該設備は次回以降申請の機器である。

➤ [11.3-設16]

3章に示す設備・機器のうち、非常用ディーゼル発電機に接続されるケーブルは、JIS C 3005「ゴム・プラスチック絶縁電線試験方法」4.26項(難燃)に定める60度傾斜試験で確認した難燃性ケーブルを使用する。

添説設 2-4.3 表 UF₆ガス供給に関する地震インターロックケーブルの火災防護

施設区分	設備・機器名称	機器名	ガス	ILケーブルの火災防護対策
化学処理施設	UF ₆ 蒸発・加水分解設備	蒸発器(1)-A	UF ₆	鋼製の管（厚さ約2mm）に収納
化学処理施設	UF ₆ 蒸発・加水分解設備	蒸発器(1)-B	UF ₆	鋼製の管（厚さ約2mm）に収納
化学処理施設	UF ₆ 蒸発・加水分解設備	蒸発器(2)-A	UF ₆	鋼製の管（厚さ約2mm）に収納
化学処理施設	UF ₆ 蒸発・加水分解設備	蒸発器(2)-B	UF ₆	鋼製の管（厚さ約2mm）に収納
放射性物質の 廃棄施設	気体廃棄設備(1)	地震連動閉止 ダンパ	気体 廃棄物	鋼製の管（厚さ約2mm）に収納

添説設 2-4.4 表 対象設備・機器及び機能喪失時の動作一覧

施設区分	設備・機器名称	機器名	機能喪失時の動作
化学処理施設	UF ₆ 蒸発・加水分解設備	蒸発器(1)-A	ケーブル損傷時は加熱停止
化学処理施設	UF ₆ 蒸発・加水分解設備	蒸発器(1)-B	ケーブル損傷時は加熱停止
化学処理施設	UF ₆ 蒸発・加水分解設備	蒸発器(2)-A	ケーブル損傷時は加熱停止
化学処理施設	UF ₆ 蒸発・加水分解設備	蒸発器(2)-B	ケーブル損傷時は加熱停止
化学処理施設	UF ₆ 蒸発・加水分解設備	コールドトラップ(1)	ケーブル損傷時は加熱停止
化学処理施設	UF ₆ 蒸発・加水分解設備	コールドトラップ(2)	ケーブル損傷時は加熱停止
化学処理施設	UF ₆ 蒸発・加水分解設備	コールドトラップ(小)(1)	ケーブル損傷時は加熱停止
化学処理施設	UF ₆ 蒸発・加水分解設備	コールドトラップ(小)(2)	ケーブル損傷時は加熱停止

油火災は燃焼速度が速く、周辺の難燃性物質に延焼するおそれがあることから、潤滑油や油圧作動油を内包する設備機器は、火災熱影響評価で閉じ込め機能が不全となる場合は、遮熱板を設置する等により影響軽減させる設計とする。(5-15)

➤ [11.3-設4]

火災の発生源として考慮すべき潤滑油や作動油を内包する部品を有する設備・機器及び火災の影響を受ける機器を添説設 2-4.5 表に示す。

潤滑油や作動油を内包する部位については、火災範囲を限定するためにオイルパンを設置する。なお、オイルパンの容量は内包油の全量を溜める設計とする。

ウラン粉末を取り扱う設備・機器のうち、加工中のウランの閉じ込めに直接寄与しているフードボックスパネル^(注1)(以下、フードパネルと称す)に難燃性樹脂材料を使用している設備・機器については、上記のオイルパンに滞留した油(内包油量の10%)が燃焼した場合の火災熱評価を実施し(添付説明書-設 2-1 付 2)、閉じ込め機能が不全となる場合は、以下の対策を施し影響を軽減させる設計とする(添付説明書-設 2-1)。

- ① 厚さ 1.5 mm以上の鋼製の遮熱板を難燃性フードパネルから離隔距離を確保して設置する。
- ② フードパネル材をポリカーボネートに限定し、火災源から危険限界距離以上を確保する。

以上の考えを基に設計した結果を添説設 2-4.5 表に示す。同表に示すとおり油火災に対して閉じ込め機能不全を軽減させる設計とする。

注1：火災対策を図るフードボックスパネルは、事業許可における「閉じ込めバウンダリとして難燃性材料のパネルを使用している」機器を指し、安全機能一覧において、ウラン形態として粉末状のウランを取り扱い、臨界防止を機能として有する機器として示されている。なお、ウランを直接取り扱う部位が不燃材で構成される機器を囲うフードボックスパネルは、火災により閉じ込め機能が不全とならないため火災対策対象外とした。

添説設 2-4.5 表 潤滑油や作動油を内包する設備・機器と影響一覧（化学処理施設）

機器名	閉じ込め機能部		潤滑油・作動油を内包する部位	オイルパン	遮熱板	閉じ込め機能部材から遮熱板又は火災源までの距離 ^(注2) (mm)	判定基準 ^(注3) (mm)	判定
	安全機能番号	使用材料 ^(注1)						
粉碎機(1)、(2)	— ^(注4)	— ^(注4)	減速機	設置	無	— ^(注4)	— ^(注4)	○
充填装置(1)、(2)	{116}	PC、 <input type="text"/>	減速機	設置	無	PC：約 2400	> 54 (L' (PC))	○

注 1：PC は を示す。


注 2：保守的に投影距離とした。

注 3：L' は水平火災熱評価距離を示す（添付説明書-設 2-1）。

注 4：火災熱評価エリア内に火災源より高い位置でウランを取り扱うフードボックスは無いため「—」とした。

主要な構造材が難燃物であり火災荷重が大きなスクラバは、金属で覆うことにより延焼しない設計とする。(5-21)

➤ [11.3-設9]

気体廃棄設備（1）スクラバ（蒸発・加水分解系統）に使用している繊維強化樹脂は、周辺で発生した火災により着火し延焼する可能性が否定できない。したがって着火を防止する目的で繊維強化樹脂に金属製カバー（）を覆うことにより延焼しない設計とする（図ト設-1 参照）。

火災の延焼を防止するために、核燃料物質及び核燃料物質によって汚染された物は金属製容器に収納する設計とする。また、高性能エアフィルタの木枠は金属カバーで覆う設計とする。(5-22)

➤ [11.3-設5]

UF₆シリンダは核燃料物質を収納する容器である。UF₆シリンダの使用材料は、添付表（材料一覧）に示すとおり炭素鋼であり不燃性材料であることから火災の延焼防止を図っている。なお、高性能エアフィルタは次回以降申請の機器である。

フードボックスパネルの設計について

1. はじめに

ウラン粉末を取り扱う機器のうち、加工中のウランの閉じ込めに直接寄与しているフードボックスパネル（以下、フードパネルと称す）材料は、機器の導入時期や補修時の加工性の違いによって塩化ビニル（以下、PVC と称す）とポリカーボネート（以下、PC と称す）が混在している。また、火災源となりうる潤滑油や作動油の量やオイルパン寸法も機器によって異なる。以上のような条件を勘案し、以下の方針でフードパネルの設計を行った。

2. 設計方針

火災による損傷の防止について、加工施設の技術基準に関する規則第十一条 3（以下、技術基準と称す）では以下のとおり定められている。

加工施設の技術基準に関する規則第十一条

3 安全機能を有する施設であって、火災又は爆発により損傷を受けるおそれがあるものは、可能な限り不燃性又は難燃性の材料を使用するとともに、必要に応じて防火壁の設置その他の適切な防護措置が講じられたものでなければならない。

このうち、「安全機能を有する施設であって、火災又は爆発により損傷を受けるおそれがあるものについては、可能な限り不燃性又は難燃性の材料を使用する」に対しては、PVC、PC のいずれの材料を使用しても技術基準を満たすことができる。

一方、同条項の「必要に応じて防火壁の設置その他の適切な防護措置が講じられたものでなければならない」という点に対して、潤滑油は引火点が高いことから容易には引火しないがこれを火災源と仮定し、熱的影響を受ける場合は、火災源となりうる対象を遮熱板で囲うことで火災の影響を軽減させる設計とする。このとき、フードパネル材料の特性の違いから、同じ火災に対しても熱的な影響が異なるため、適合するための設計としては、熱影響を受けない材料を選択する、遮熱板をつけ熱影響を軽減させる、もしくは両者の組み合わせ、のいずれの設計が選択できる。

3. フードパネルの設計の流れ

フードパネルの設計の流れを以下に示す。

- (1) 潤滑油や作動油を内包する部品を抽出する。

- (2) 内包油全量を溜めることができるオイルパン寸法を設定する。
- (3) オイルパン寸法及び評価油量より PVC 及び PC の危険限界距離 (L_0) を求める。計算結果は添付説明書一設 2-1 付 2 参照。
- (4) オイルパン寸法、等価火炎の大きさ及び危険限界距離 (L_0) より、火災熱評価エリアとして PVC 及び PC それぞれに対して以下の通り設定する。
- ・火災熱評価エリア (水平方向) : 各材料の危険限界距離 (L_0) からオイルパンの短辺の 1/2 を引いた距離 (水平火災熱評価距離 (L')) (図 1)) をオイルパンの端部から設定。材料毎に設定する (図 2)。
 - ・火災熱評価エリア (鉛直方向) : 火炎高さ (H =等価火炎半径の 3 倍) 上端部から火災熱評価距離 (L') を設定。材料毎に設定する。ここで、 $L' + H$ を鉛直火災熱評価距離 (H') と呼び、オイルパン下面から設定する。なお、鉛直方向のうちオイルパン上の全てを火炎による影響範囲とする (図 3)。
- (5) 火災熱評価エリア内のフードパネルの有無に応じて表 1 に示す火災熱の影響軽減設計を図る。

表 1 火災熱評価エリア区分に応じた影響軽減設計

	A	B	C
火災熱評価 エリア区分 (図 2, 3)	PC に対する火災熱 評価エリア内	PVC に対する火災熱評 価エリア内で PC の同エ リア外	PVC に対する火災熱 評価エリア外
火災源に対す る設計	遮熱板の設置	遮熱板の設置 又は フードパネル材料をポ リカーボネートに限定	対策不要

- (6) 表 1 の火災熱評価エリア区分 B については、以下を考慮していずれかの対策を選択する。
- ① PVC 又は PC のいずれの材料も使用できるように遮熱板を設置する。遮熱板はフードパネルと必要離隔距離 (添付説明書一設 2-1 付 2 参照) 以上を確保して設置する。遮熱板の設計については次項に示す。
 - ② 火災源を遮熱板で囲えない場合や、火災熱評価エリア内に PC 製のパネルのみが存在し、今後 PVC を用いる予定が無い場合は、フードパネル材料を PC に限定する。

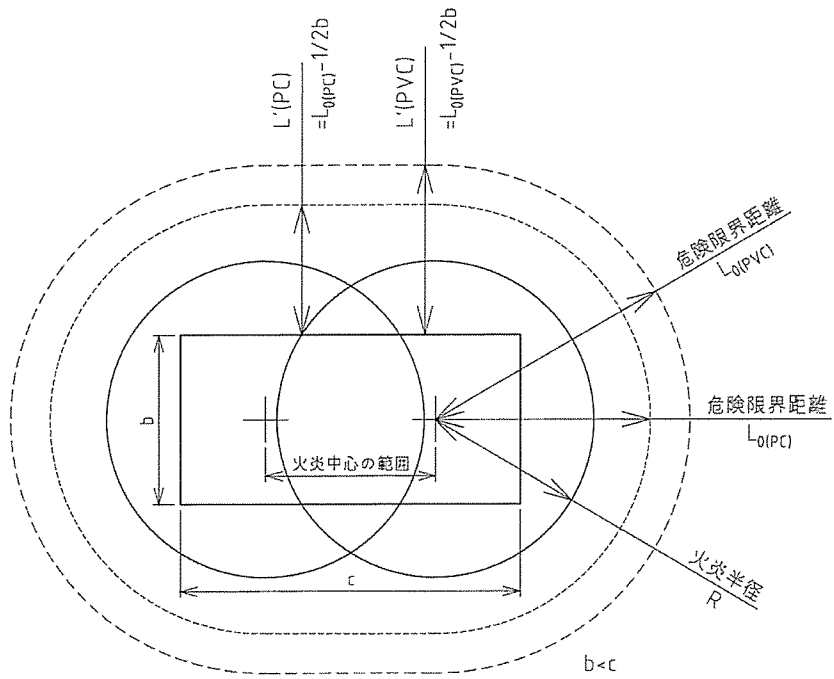
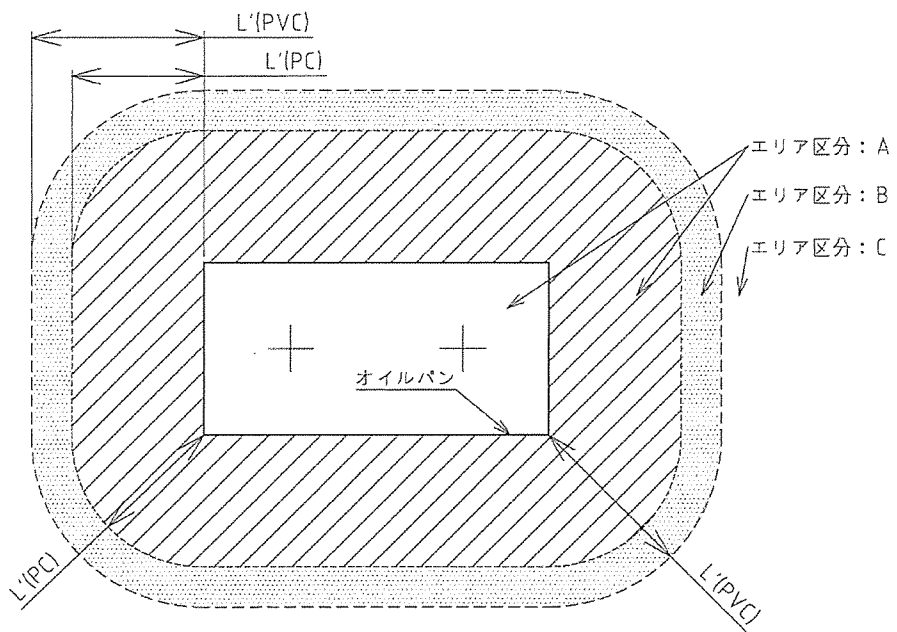
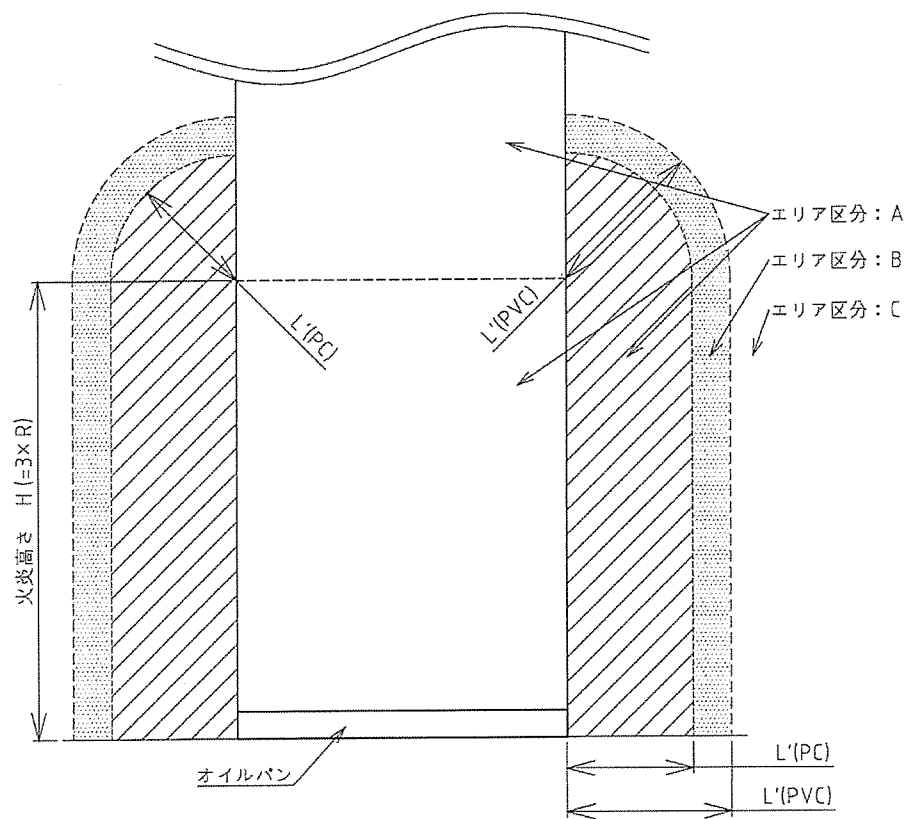


図1 水平火災熱評価距離 (L')



上面図

図2 火災熱評価エリア (水平方向)



側面図

図3 火災熱評価エリア (鉛直方向)

4. 遮熱板について

遮熱板を設置することで、火炎による輻射熱を遮断できフードパネルの温度上昇を抑えることができる。金属機器本体で遮熱する場合も同様に輻射熱の遮断が可能である。また、前述のオイルパンと併用することで火炎の範囲を限定することにより火災の影響範囲を軽減することができる。なお、本申請では遮熱板を設置する設備はない。

UF₆ ガス取扱い機器の火災源火災に対する影響評価

1. UF₆ 取扱機器への影響評価

潤滑油が燃焼した場合のコールドトラップ及びコールドトラップ(小)の閉じ込め機能への影響を評価する。コールドトラップ及びコールドトラップ(小)は周囲に保温材が施工されているため直接機器が加熱されることはないが、保守的に保温材が無いものとして評価する。

1.1 評価方法

UF₆ 取扱機器と火災が最も近いケースとして、真空ポンプの潤滑油が燃焼した際のコールドトラップ及びコールドトラップ(小)の閉じ込め機能への影響を「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」の方法で評価する。なお、使用している潤滑油は容易に燃焼しないが、保守的に熱容量、燃焼時間の観点より灯油の物性値を代用し評価する。

ポンプ及びコールドトラップ、コールドトラップ(小)の配置を図 1 に示す。

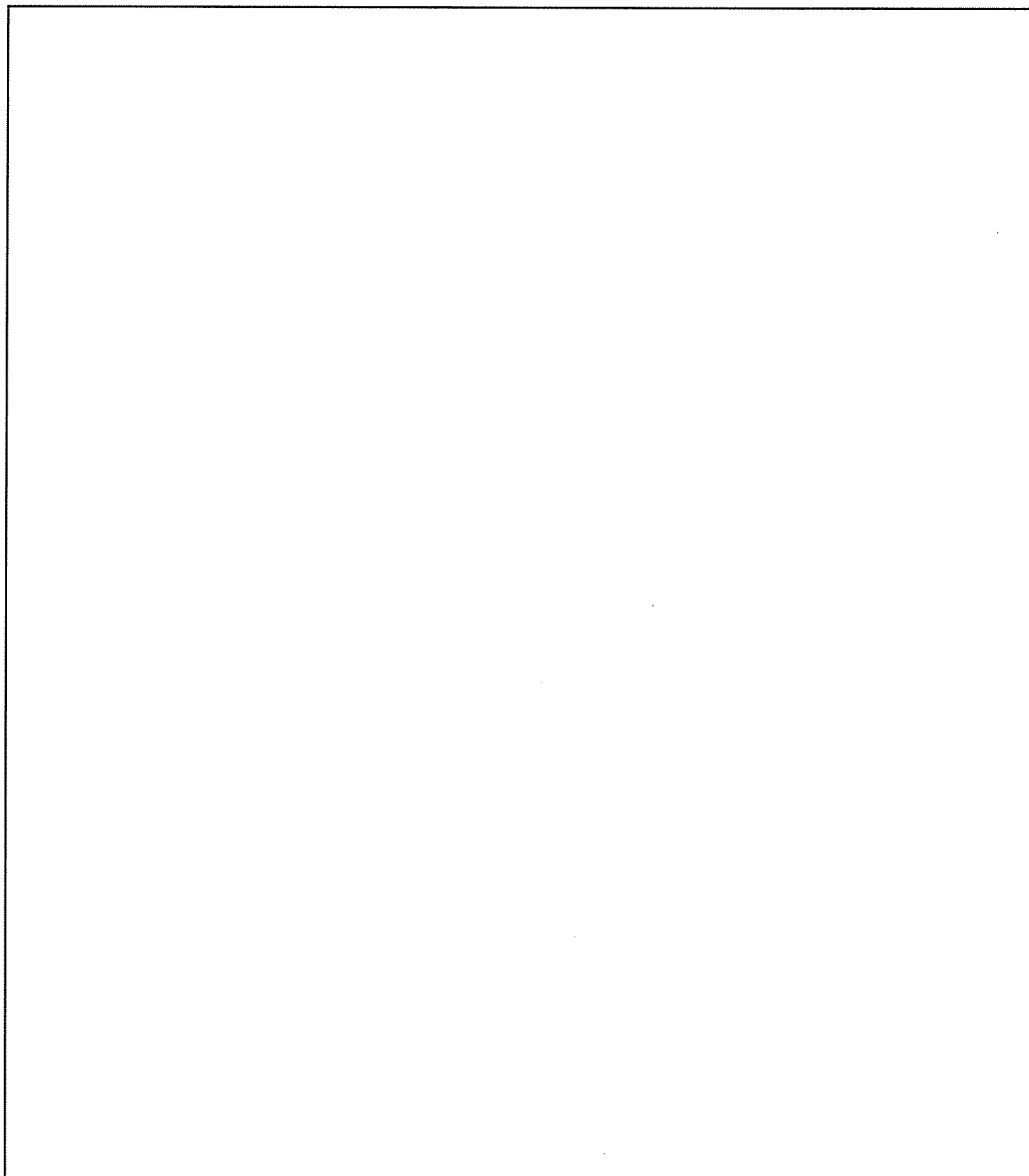


図1 オイルパン及び防護対象設備配置図

1.2 燃焼半径の算出

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書」(以下「附属書」という。)に掲載の式より、表1に示すとおり燃焼半径を算出した。

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{w \times d}{\pi}}$$

R : 燃焼半径 (m)

S : 燃焼面積 (m²)

w : 幅 (m)

d : 奥行き (m)

表1 燃焼半径

項目	値	備考
幅 w (m)		真空ポンプのオイルパン外寸
奥行き d (m)		真空ポンプのオイルパン外寸
燃焼半径 R (m)		計算値

1.3 燃焼継続時間の算出

附属書に掲載の式より、表 2 に示すとおり燃焼継続時間を算出した。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}$$

t : 燃焼継続時間 (s)

V : 燃料積載量 (m³)

v : 燃焼速度 = M / ρ (m/s)

M : 質量低下速度 (kg/m²/s)

ρ : 燃料密度 (kg/m³)

表 2 燃焼継続時間

項目	値	備考
燃料積載量 V (m ³)		真空ポンプの内包油量
質量低下速度 M (kg/m ² /s)		灯油の値 (NRC「NUREG-1805」(Dec. 2004) より)
燃料密度 ρ (kg/m ³)		灯油の値 (NRC「NUREG-1805」(Dec. 2004) より)
燃焼速度 v (m/s)		計算値
燃焼継続時間 t (s)		計算値

1.4 形態係数の算出

附属書に掲載の式より、表3に示すとおり形態係数を算出した。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\}$$

$$m = H/R \div 3$$

$$n = L/R$$

$$A = (1+n)^2 + m^2$$

$$B = (1-n)^2 + m^2$$

Φ : 形態係数

L : 離隔距離 (m)

H : 炎高さ (m)

R : 燃焼半径 (m)

表3 各設備の形態係数

項目	コールド トラップ	コールド トラップ(小)	備考
離隔距離 L (m)			火炎と各設備との設計最短距離
形態係数 Φ			計算値

1.5 輻射強度の算出

附属書に掲載の式より、表 4 に示すとおり輻射強度を算出した。

$$E = R_f \cdot \Phi$$

E : 輻射強度 (kW/m²)

R_f : 輻射発散度 (kW/m²)

Φ : 形態係数

表 4 輻射強度

項目	コールド トラップ	コールド トラップ(小)	備考
輻射発散度 R _f (kW/m ²)			灯油の値 (原子力発電所の外部火災影 響評価ガイドより)
輻射強度 E (kW/m ²)			計算値

1.6 輻射熱量の算出

以下の式より、表 5 に示すとおり輻射熱量を算出した。

$$Q = E \cdot R \cdot H \cdot t$$

Q : 輻射熱量 (kJ)

E : 輻射強度 (kW/m²)

W : 輻射を受ける面の幅 (m)

H : 輻射を受ける面の長さ/高さ (m)

t : 燃焼継続時間 (s)

表 5 各設備の輻射熱量

項目	コールド トラップ	コールド トラップ(小)	備考
輻射を受ける面の 幅 W (m)			寸法値
輻射を受ける面の 長さ/高さ H (m)			寸法値
輻射熱量 Q (kJ)			計算値

1.7 各設備の昇温の評価

以下の式より、表 6 に示すとおり昇温幅を算出した。なお、コールドトラップは、加熱、冷却の運用があり、コールドトラップ内部の UF₆ の温度が一定ではないため、保守的に UF₆ の温度上昇による熱量の消費を除外した。

$$\Delta T = \frac{Q}{C_p \times W}$$

ΔT：昇温幅 (K)

C_p：機器比熱 (kJ/K/kg)

W：機器質量 (kg)

表 6 各設備の昇温幅

項目	コールドトラップ	コールドトラップ(小)
各設備の比熱 C _p (kJ/K/kg)		
各設備の質量 W (kg)		
昇温幅 ΔT (K)		

※1 ステンレス鋼の比熱(日本機械学会「機械工学便覧 1989」より)

※2 機器仕様より

1.8 評価結果

コールドトラップ及びコールドトラップ(小)の設計温度 225℃－使用温度 130℃(事業許可記載内容からの変更点)に対し、昇温幅は最大 18℃であることから、使用時に火災が発生したとしてもコールドトラップ及びコールドトラップ(小)の昇温後の温度は 148℃となり、設計温度を十分下回る。よって、火災時のコールドトラップの閉じ込め機能は維持できる。

火災源となる機器と影響評価

1. 火災影響評価の考え方

閉じ込め機能を有している設備・機器が、周囲機器の油火災により加熱され、温度が上昇することに対し、閉じ込め機能を担保している部位のうち、火災の熱影響を受け、機能喪失のおそれのある樹脂製の部位の温度上昇を計算する。工場棟の申請範囲の機器で、閉じ込め機能を担保している部位の材質を下表に示す。

表 1 閉じ込め機能を担保している部位の材質、仕様

No.	材質名	主な使用部位	許容温度 ^{※6} T_M [°C]	比熱 C_p [J/kg/K]	密度 ρ_M [kg/m ³]	厚み X [mm]
①	塩化ビニル (PVC)	フードボックス パネル・ダクト				
②	ポリカーボネート (PC)	フードボックス パネル				
③	ゴム	ガスケット				

※1 工業調査会 プラスチック材料読本 1983

※2 日本機械学会 機械工学便覧 1989

※3 NFPA Fire Protection Handbook Twentieth Edition

※4 JIS G 3459「配管用ステンレス鋼鋼管」

ゴムは主にステンレス製構造物の間で閉じ込め機能を担保していることから、受熱面積が小さいので、ステンレス鋼の温度上昇により加熱されると想定する。

※5 使用部材のうち、最も薄い厚みで評価する。

※6 本評価では、一定温度で放置した場合に変形変質して破損するおそれのある温度（耐熱温度）を許容温度とした。

火災源となる機器の周囲には、閉じ込め機能を有する機器が複数あり得ることから、火災源と表 1 に示す材質との危険限界距離を算出し、危険限界距離外にある材質は閉じ込め機能が維持できるとする。危険限界距離内にある材質は閉じ込め機能の喪失の可能性があるとし、対策を実施する。

2. 評価計算

前提条件：

- ・評価の手法は、「原子力規制委員会 原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書 2013」（以下、「附属書」という。）に則ることとする。
 - ・「原子力規制委員会 原子力発電所の内部火災影響評価ガイド 2013」に基づき、火災源の油量については仕様上の最大量の10%が燃焼することを想定する。
 - ・初期温度 T_0 を 40 [°C] とする。
 - ・潤滑油・作動油の評価上の性能が不明な場合は、保守的に、熱容量、燃焼時間の観点より、評価上最も厳しい結果となる灯油と見立てて評価する。
- 以下に、油の仕様を示す。

表 2 火災源油の仕様

油種	燃料密度※1 ρ_f [kg/m ³]	質量低下速度※1 M [kg/m ² /s]	輻射発散度※2 R_f [kW/m ²]
灯油			

※1 NRC NUREG-1805 2004

※2 原子力規制委員会 原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 2013

計算方法：

- ① 表 1 の通り、閉じ込め部材の種類と厚みを設定する。
- ② 附属書に掲載の式より、等価火炎の燃焼半径を算出する。

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{w \times d}{\pi}}$$

R：燃焼半径 [m]

S：燃焼面積 [m²]

w：幅 [m]

d：奥行き [m]

なお、w 及び d は火炎範囲の寸法を用いる。

- ③ 附属書に掲載の式より、燃焼継続時間を算出する。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}$$

t : 燃焼継続時間 [s]

V : 燃料積載量 [m³]

v : 燃焼速度 = M / ρ_f [m/s]

M : 質量低下速度 [kg/m²/s] ρ_f : 燃料密度 [kg/m³]

- ④ 附属書に掲載の式より、閉じ込め部材が許容温度 T に達する危険限界距離 L₀ を算出する (L₀ は火炎の中心からの距離)。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\}$$

$$m = H/R \doteq 3$$

$$n = L/R$$

$$A = (1+n)^2 + m^2$$

$$B = (1-n)^2 + m^2$$

Φ : 形態係数

L : 離隔距離 [m]

H : 炎高さ [m]

R : 燃焼半径 [m]

$$E = R_f \cdot \Phi$$

E : 輻射強度 [kW/m²]

R_f : 輻射発散度 [kW/m²]

Φ : 形態係数

$$T = T_0 + \frac{E}{h} \left(1 - e^{-\frac{ht}{c_v}} \right)$$

T : 閉じ込め部材の入熱後の温度 [°C]

T₀ : 初期温度 [°C]

ρ_M : 閉じ込め部材の密度 [kg/m³]

C_p : 閉じ込め部材の比熱 [J/kg/K]

h : 熱伝達率 [W/m²/K] = 8.29[※]

X : 閉じ込め部材の厚み [m]

C_v : 閉じ込め部材の面積あたりの熱容量 [J/m²/K] = ρ_M × C_p × X

※ 空気調和・衛生工学会 空気調和・衛生工学便覧 2010

- ⑤ 危険限界距離 L₀ の範囲外にある閉じ込め部材は、火災源で火災が発生しても機能が維持できるとする。L₀ の範囲内の場合は閉じ込め機能が維持できないとし、対策を実施する。

3. 火災源の抽出と各計算結果

火災の発生源として考慮すべき潤滑油や作動油を内包する設備・機器及び、火災熱評価によって算出した、各材質に対する危険限界距離（L₀）を表3に示す。

表3 工場棟 火災源となる機器と、閉じ込め部材に対する危険限界距離の結果

申請機器 名称	No. ※1	火災源	燃料 積載量 V [m ³]	火災範囲 寸法※2 [m] w幅×d奥行き 又はφ直径	オイルパン 高さ [m] h 高さ	等価火災 外寸 [m]		燃焼 継続 時間 t [s]	各材質に対する 危険限界距離 L ₀ [m]			
						R 燃焼半径	H 炎高さ		PVC	PC	ゴム※3	
粉砕機(1)、(2)	112	減速機										
充填装置(1)、(2)	115	減速機										

※1 事業許可の安全機能を有する施設の安全機能一覧表のNo.に対応。

※2 オイルパンまたはオイル取扱機器を収納した機器の外寸。

※3 ゴムは受熱面積が小さいことから、ステンレス鋼の温度上昇により加熱されると想定する。

設備の耐震性に関する説明書

1. 耐震設計の基本方針

1-1. 耐震設計の方針

本加工施設の耐震設計は、以下の方針とする。

- ・安全機能を有する施設に関して、地震力に十分に耐えることができる設計とする。
- ・地震による安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて耐震設計上の重要度を分類し、地震力を設定する。

1-2. 耐震設計上の重要度分類

ウランを取り扱う設備・機器及びウランを収納する設備・機器等及びにこれらを収納する建物については、地震の発生による当該設備・機器の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度に応じて分類する。また、耐震重要度分類において、上位に属するものは、下位の分類に属するものの破損によって波及的破損が生じないものとするとともに、下位の分類に属するものを上位の分類の建物及び構築物と構造的に一体に設計することが必要な場合には、上位の分類による設計とする。耐震設計上独立した建物を接続する場合は、エキスパンションジョイントを介して接続する設計とする。なお、本加工施設には、耐震重要施設（Sクラスに属する施設）及び、Sクラスの設備・機器及び建物はない。

【第1類】

安全機能を失うことによる影響の大きい設備・機器とする。なお、これらの設備・機器を収納する建物・構築物を含む。ウランを内包する設備・機器における第1類及び第2類の区分については、閉じ込め機能及び臨界防止機能が失われたことによる影響が大きいものとして、最小臨界質量以上を取り扱うものを第1類に、それ未満を第2類とする。

- ① 非密封ウランを取り扱う設備・機器及び非密封ウランを閉じ込めるための設備・機器のうち、以下を含めその機能を失うことによる影響の大きい設備・機器。
 - ・ UF₆ガス取扱設備（大きな地震時に閉じ込めを期待する設備）及び著しく大きな地震力が作用する前に大きな地震を検知した場合に作動を期待するインターロック機構
 - ・ 水素取扱設備及び著しく大きな地震力が作用する前に大きな地震を検知した場合に作動を期待するインターロック機構
- ② 臨界安全上の核的制限値を有し、形状寸法を核的制限値とする設備・機器、中性子吸収材を使用する設備・機器又は最小臨界質量以上のウランを取り扱い、減速度を制限する設備・機器であって、その機能喪失による影響の大きい設備・機器。また、最小臨界質量未満のウランを取り扱う設備・機器であって、変形、破損等により最小臨界質量以上のウランが集合する可能性のある設備・機器。
- ③ 上記②の核的制限値を維持するための設備・機器であって、その機能を失うことによる影響の大きい設備・機器。
- ④ 上記①から③の設備・機器を収納する建物及び構築物。

【第2類】

安全機能を失うことによる影響の小さい設備・機器とする。なお、これらの設備・機器を収納する建物・構築物を含む。

- ① 非密封ウランを取り扱う設備・機器及び非密封ウランを閉じ込めるための設備・機器であって、その機能を失うことによる影響の小さい設備・機器。
- ② 臨界安全上の核的制限値を有する設備・機器であって、最小臨界質量未満のウランを取り扱う設備・機器及びその制限値を維持するための設備・機器であって、その機能喪失による影響の小さい設備・機器。
- ③ 非常用電源設備、放射線管理設備であって、その機能喪失により加工施設の安全性が損なわれるおそれがある設備・機器。
- ④ 熱的制限値を有する設備・機器。
- ⑤ UF₆ガス漏えい時に局所排気中のUF₆等の除去を行う設備・機器。
- ⑥ 上記①～⑤の設備・機器を収納する建物及び構築物。

【第3類】

第1類及び第2類以外の設備・機器並びにそれらを収納する建物及び構築物。

1-3. 設計用地震力の算定

1-3.1. 設備・機器の設計用地震力の算定

設備・機器に対する地震力の算定は、以下に示す方法による。

- ・設備・機器の耐震設計法については、原則として静的設計法を基本とする。
- ・上位の分類に属するものは、下位の分類に属するものの破損によって波及的破損が生じないようにする。
- ・上位の分類の建物・構築物と構造的に一体に設計することが必要な場合には、上位分類の設計法による。
- ・設備・機器は一次固有振動数を算出し、20Hz 以上の場合を剛構造とし、20Hz 未満を剛構造とならない設備・機器とする。
- ・固有振動数の算出式は原則として下記の式を用いる。

$$\text{一次固有振動数} = \frac{1}{T} = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

T：弾性域における固有周期で国住指第 1335 号 4 (3) ①により定められる式

$$\text{一次固有周期 } T = \frac{\sqrt{\delta}}{C}$$

C：国住指第 1335 号 4 (3) ①により定められる定数で、平屋建ての建築物にあつては 5.0 を用いる。

δ：それ自体の重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]

- ・剛構造となる設備・機器は各クラスともに一次設計を行う。常時作用している荷重と、一次地震力を組み合わせ、その結果発生する応力に対して、許容応力度を許容限界とする設計とする。
- ・剛構造となる設備・機器において耐震重要度分類第 1 類の設備は、上記の一次設計に加え、二次設計を行う。常時作用している荷重と二次地震力を組み合わせ、その結果発生する応力に対して、設備・機器の相当部分が降伏し、塑性変形する場合でも過大な変形、亀裂、破損等が生じ、その施設の安全機能に重大な影響を及ぼすことがない設計とする。
- ・剛構造とならない設備・機器は、「建築設備耐震設計・施工指針（一般財団法人日本建築センター発行）2014 年版」の局部震度法による「設備機器の設計用標準震度」に基づく水平地震力と常時作用している荷重の組み合わせに対して弾性範囲にとどまる設計を行う。

剛構造の地震力

【一次設計】

- ・一次設計で使用する地震力は一次地震力であり、地震層せん断係数 C_i に、耐震重要度に応じて以下に示す割増係数を乗じたものに20%増しして算定するものとする。

割増係数

- 耐震重要度分類第1類：1.5
- 耐震重要度分類第2類：1.25
- 耐震重要度分類第3類：1.0

- ・地震層せん断係数 C_i は以下に方法より算出する。

$$C_i = Z \times R_t \times A_i \times C_0$$

C_i ：建築物の地上部分の一定の高さにおける地震層せん断力係数。

Z ：その地方における過去の地震の記録に基づく震害の程度及び地震活動の状況その他地震の性状に応じて1.0から0.7までの範囲内において国土交通大臣が定める数値。

昭和55年建設省告示第1793号第1により定められる値であり、1.0とする。

R_t ：建築物の振動特性を表す物として、建築物の弾性域における固有周期及び地盤の種類に応じて国土交通大臣が定める方法により算出した数値。

昭和55年建設省告示第1793号第2により算出する値であり、1.0とする。

A_i ：建築物の振動特性に応じて地震層せん断力係数の建築物の高さ方向の分布を表す物として国土交通大臣が定める方法により算出した数値。

昭和55年建設省告示第1793号第3により算出する値。

C_0 ：標準せん断力係数。

建築基準法施工令第88条第2項より0.2とする。

【二次設計】

- ・耐震重要度分類第1類において二次設計で使用する地震力は、一次地震力に1.5を乗じたものとする。

上記の方法により算出した地震力を添説設3-1表に示す。

添説設3-1表 設置した設備の地震力

建物/重要度分類	C ₀	A _i	C _i	一次設計			二次設計
				第1類	第2類	第3類	第1類
1F	0.2	1.0	0.2	0.36 G	0.3 G	0.24 G	0.54 G
2F	0.2	1.0	0.2	0.36 G	0.3 G	0.24 G	0.54 G

なお、設備・機器の耐震設計で一次設計に用いる設計用地震力は、上記の地震力に対して余裕をみた地震力である「建築設備耐震設計・施工指針」の局部震度法による「設備機器の設計用標準震度」に基づく水平地震力を用いる。

添説設3-2表に「設備機器の設計用標準震度」に基づく水平地震力を示す。なお、耐震クラスSは耐震重要度分類第1類、耐震クラスAは同第2類、耐震クラスCは同第3類、に読み替えている。

添説設3-2表 設備機器の設計用標準震度に基づく水平地震力

耐震重要度分類	第1類	第2類	第3類
地階及び1階	1.0 G	0.6 G	0.4 G
中間層	1.5 G	1.0 G	0.6 G
上層階、屋上及び塔屋	2.0 G	1.5 G	1.0 G

ここで、設備・機器の第1類は、二次設計を行うこととしているが、一次設計で使用する設計用地震力は二次設計で使用する地震力を上回り、弾性範囲であることを確認するため、二次設計は一次設計の結果に包絡される。

剛構造ではない設備・機器の地震力

剛構造ではない設備・機器の地震力は「建築設備耐震設計・施工指針（一般財団法人 日本建築センター発行）2014年版」の局部震度法による「設備機器の設計用標準震度」に基づく水平地震力を設定する。

添説設3-2表に設計に用いる地震力を示す。

1-4. 設備・機器の耐震計算の方法

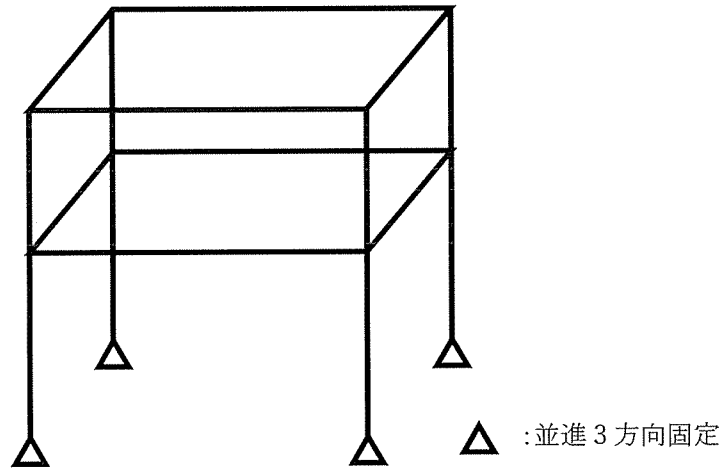
1-4.1. 評価方法

設備・機器の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

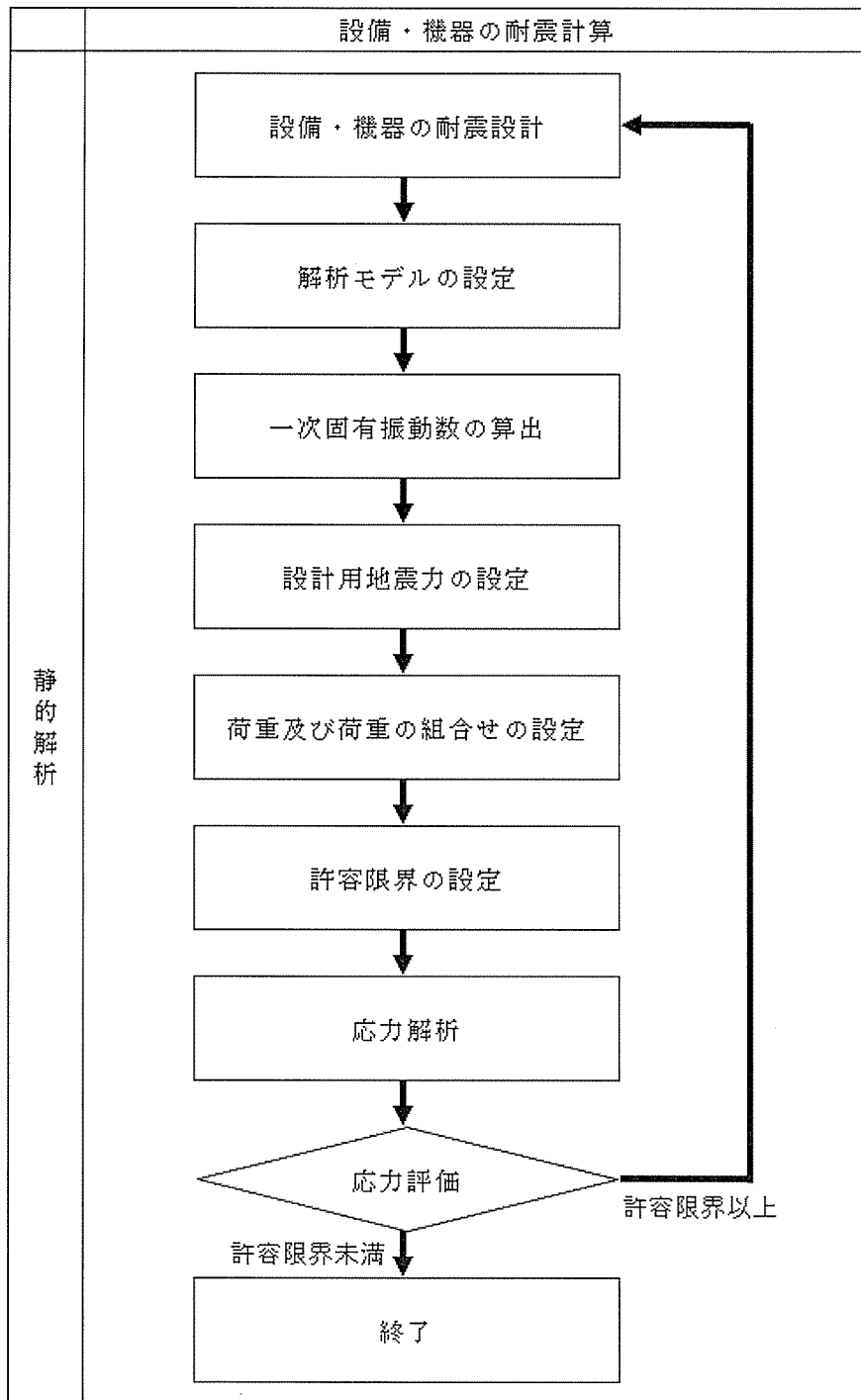
- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、解析モデルに静的荷重を付与することで実施する。
- (2) 添説設 3-1 図に示すような 3 次元解析モデルの場合は、既設工認で使用実績がある、解析コード FAP-3 を使用する（スクラバ {618} については、シェル要素を用いるため NASTRAN を使用する。）。部材は短期荷重作用時に水平方向に与えられる地震荷重による全体変形に伴うモーメントが支配的であることから、要素節点に着目する。
- (3) 拘束条件は、据付ボルト部では並進 3 方向固定するなど、実条件をもとに設定する。
- (4) 荷重は長期荷重と短期荷重を考慮する。長期荷重は鉛直方向の固定荷重、積載荷重*である。短期荷重は長期荷重と地震力の合計であり、水平 2 方向についてそれぞれ考慮する。

* 槽、タンク類の内容液は、通常運転時重量を考慮する。

設備の耐震計算フローの概要を添説設3-2図に示す。



添説設3-1図 3次元モデルの例



添説設3-2図 設備の耐震計算フロー概要

1-4.2. 荷重及び荷重の組合せ

設備・機器の荷重及び荷重の組合せを以下に示す。

剛構造の一次設計、二次設計、及び剛構造ではない設備・機器の設計で考慮する荷重は、常時作用する荷重である固定荷重と積載荷重及び地震荷重を考慮し、「鋼構造設計規準」に基づき添説設3-3表のと通りの組合せとする。積載部材のモーメントの考慮については、添付説明書-設3-1-付3に示す。

添説設 3-3 表 荷重の組合せ

荷重の状態		荷重の組合せ
長期	常時	G + Q
短期	地震時	G + Q + E

注) G : 固定荷重、Q : 積載荷重、E : 地震荷重

1-4.3. 許容限界

設備・機器の許容限界は原則として、以下の通りとする。

なお、使用する許容限界は添付説明書-設3-1-付1に示す。

【一次設計】

- ・一次設計で使用する許容限界は、長期状態において降伏応力又はこれと同等な安全性を有する応力に2/3を乗じた応力とし、短期状態において降伏応力又はこれと同等な安全性を有する応力とする。

【二次設計】

- ・耐震重要度分類第1類の二次設計で使用する許容限界は、設備・機器の相当部分が降伏し、塑性変形する場合でも過大な変形、亀裂、破損などが生じ、その施設の安全機能に重大な影響を及ぼすことがないこととする。

【剛構造とはならない設備・機器】

- ・剛構造とはならない設備・機器の耐震設計で使用する許容限界は、長期状態において弾性範囲に2/3を乗じた範囲にとどまることとし、短期状態において弾性範囲にとどまることとする。

1-4.4. 適用規格

設計は原則として、次の関係規準に準拠する。

- (1) 建築基準法・同施行令・告示等
- (2) 日本産業規格 (JIS) (日本規格協会)
- (3) 日本ステンレス協会規格 (SAS)
- (4) 鋼構造設計規準 — 許容応力度設計法 — (日本建築学会)
- (5) 軽鋼構造設計施工指針・同解説 (日本建築学会)
- (6) 建築設備耐震設計・施工指針 2014年版 (日本建築センター)
- (7) 各種合成構造設計指針・同解説 (日本建築学会)
- (8) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-2008
- (9) 発電用原子力設備規格 材料規格 (2012年)

設備の耐震計算書

目次

1. 計算結果まとめ

2. 各種評価結果

<化学処理施設>

添付説明書一設 3-1-転 1	蒸発器の耐震計算書
添付説明書一設 3-1-転 2	UF ₆ フードボックス・堰・UF ₆ 防護カバーの耐震計算書
添付説明書一設 3-1-転 3	コールドトラップの耐震計算書
添付説明書一設 3-1-転 4	コールドトラップ (小) の耐震計算書
添付説明書一設 3-1-転 5	循環貯槽の耐震計算書
添付説明書一設 3-1-転 6	UO ₂ ブロータンクの耐震計算書
添付説明書一設 3-1-転 7	UO ₂ フィルタの耐震計算書
添付説明書一設 3-1-転 8	UO ₂ 受けホッパの耐震計算書
添付説明書一設 3-1-転 9	粉碎機の耐震計算書
添付説明書一設 3-1-転 10	充填装置の耐震計算書

<放射性廃棄物の廃棄施設>

添付説明書一設 3-1-気 1	スクラバの耐震計算書
-----------------	------------

<その他の加工施設>

添付説明書一設 3-1-他 1	非常用ディーゼル発電機の耐震計算書
-----------------	-------------------

1. 設備・機器の耐震計算まとめ

耐震計算結果をまとめたものを添説設3-1-1表～添説設3-1-3表に示し、2項に各種評価結果を示す。評価対象は部材とボルトとし、部材は短期荷重作用時に自重相当の水平方向荷重による全体変形に伴うモーメントが支配的であることから、要素節点に着目する。表中には部材とボルトの結果を代表して記載する。申請機器は耐震重要度分類にもとづき耐震計算を実施し、許容値を満足することを確認した。

添説設3-1-1表 転換工場 計算結果

申請書番号	機器名	部位名称	固有振動数 (Hz)	剛柔	部材		ボルト		結果
					評価種類	検定比	評価種類	検定比	
添説設3-1-軽1	蒸発器	蒸発器	7	柔	組合せ応力	0.94	引抜力	0.87	合格
添説設3-1-軽2	UF ₆ フードボックス・堰・UF ₆ 防護カバー	UF ₆ フードボックス及び堰	10	柔	組合せ応力度	0.23	引抜力	0.28	合格
		ガス溜めバッファ部1	9	柔	組合せ応力	0.37	引張応力度	0.27	合格
		ガス溜めバッファ部2	10	柔	組合せ応力	0.33	せん断応力度	0.37	合格
		ガス溜めバッファ部3	11	柔	組合せ応力	0.36	せん断応力度	0.29	合格
		ガス溜めバッファ部4	9	柔	組合せ応力	0.51	引抜力	0.71	合格
		蒸発器用防護カバー	33	剛	組合せ応力	0.11	せん断応力度	0.03	合格
		蒸発器用防護カバー架台	27	剛	曲げ応力	0.15	引抜力	0.13	合格
		フードボックス用防護カバー	4	柔	曲げ応力	0.93	引抜力	0.90	合格
		UF ₆ 配管用フードボックス	13	柔	組合せ応力	0.20	引抜力	0.28	合格
		UF ₆ 配管用防護カバー	10	柔	組合せ応力	0.21	引抜力	0.17	合格
添説設3-1-軽3	コールドトラップ	コールドトラップ(1),(2)	27	剛	組合せ応力	0.29	引抜力	0.88	合格
添説設3-1-軽4	コールドトラップ (小)	コールドトラップ (小) (1),(2)	158	剛	-*	-*	引抜力	0.32	合格
添説設3-1-軽5	循環貯槽	循環貯槽(1),(2)	111	剛	-*	-*	引張応力度	0.18	合格
		熱交換器(1),(2)	9	柔	組合せ応力	0.48	引抜力	0.44	合格
		循環貯槽(1),(2)架台	5	柔	組合せ応力	0.51	引抜力	0.19	合格
添説設3-1-軽6	UO ₂ プロータンク	UO ₂ プロータンク(1),(2)	158	剛	-*	-*	せん断応力度	0.10	合格
		UO ₂ プロータンク(1),(2)架台	7	柔	組合せ応力	0.87	引抜力	0.32	合格
添説設3-1-軽7	UO ₂ フィルタ	UO ₂ フィルタ	158	剛	-*	-*	引張応力度	0.21	合格
		フードボックス (UO ₂ フィルタ) (1),(2)	7	柔	組合せ応力	0.51	せん断応力	0.06	合格
		UO ₂ フィルタ架台	158	剛	-*	-*	引張応力	0.19	合格
		UO ₂ バックアップフィルタ	70	剛	組合せ応力	0.12	引抜力	0.08	合格
添説設3-1-軽8	UO ₂ 受けホッパ	UO ₂ 受けホッパ(1),(2)	111	剛	-*	-*	せん断応力	0.13	合格
添説設3-1-軽9	粉碎機	粉碎機(1),(2)フード	7	柔	曲げ応力	0.52	せん断応力	0.10	合格
		充填設備共通架台	3	柔	曲げ応力	0.93	引抜力	0.97	合格
添説設3-1-軽10	充填装置	充填装置(1),(2)	52	剛	組合せ応力	0.07	せん断応力	0.05	合格
		フードボックス (充填装置(1),(2))	5	柔	組合せ応力	0.54	せん断応力	0.29	合格
		充填装置(1),(2)架台	11	柔	組合せ応力	0.41	引張応力	0.19	合格

添説設 3-1-2 表 気体廃棄設備 計算結果

申請書番号	機器名	部位名称	固有振動数 (Hz)	剛柔	部材		ボルト		結果
					評価種類	検定比	評価種類	検定比	
添説設3-1-気1	スクラバ	スクラバ							合格
		スクラバ架台(1)							合格
		スクラバ架台(2)							合格

添説設 3-1-3 表 その他の加工施設 計算結果

申請書番号	機器名	部位名称	固有振動数 (Hz)	剛柔	部材		ボルト		結果
					評価種類	検定比	評価種類	検定比	
添説設3-1-他1	非常用ディーゼル発電機	非常用ディーゼル発電機							合格
		潤滑油タンク							合格
		燃料油タンク							合格
		ラジエータ							合格

* : コールドトラップ (小) (1),(2)、循環貯槽(1),(2)、UO₂ブロータンク(1),(2)、UO₂フィルタ、UO₂フィルタ架台、UO₂受けホッパ(1),(2)、非常用ディーゼル発電機の明らかに高剛性の設備については、ボルト評価で代表する。

2. 各種評価結果

各種評価結果を以下の添付説明書に示す。

蒸発器の耐震計算書

1. 設備・機器概要

1. 1. 耐震重要度分類

耐震重要度分類は第1類である。

1. 2. 設置位置

設置位置を添説設3-1-転1-1-1表に示す。

添説設3-1-転1-1-1表 対象設備 設置位置

機器名	建物名	区分	部屋名	参照図面
蒸発器(1)-A、蒸発器(1)-B、蒸発器(2)-A、蒸発器(2)-B	工場棟	転換工場	原料倉庫	添付図 図イ配-1

1. 3. 構造

構造図を添説設3-1-転1-1-2表に示す。

添説設3-1-転1-1-2表 対象設備 構造図

機器名	構造図
蒸発器(1)-A、蒸発器(1)-B、蒸発器(2)-A、蒸発器(2)-B	添付図 図イ設-1

2. 蒸発器の耐震計算

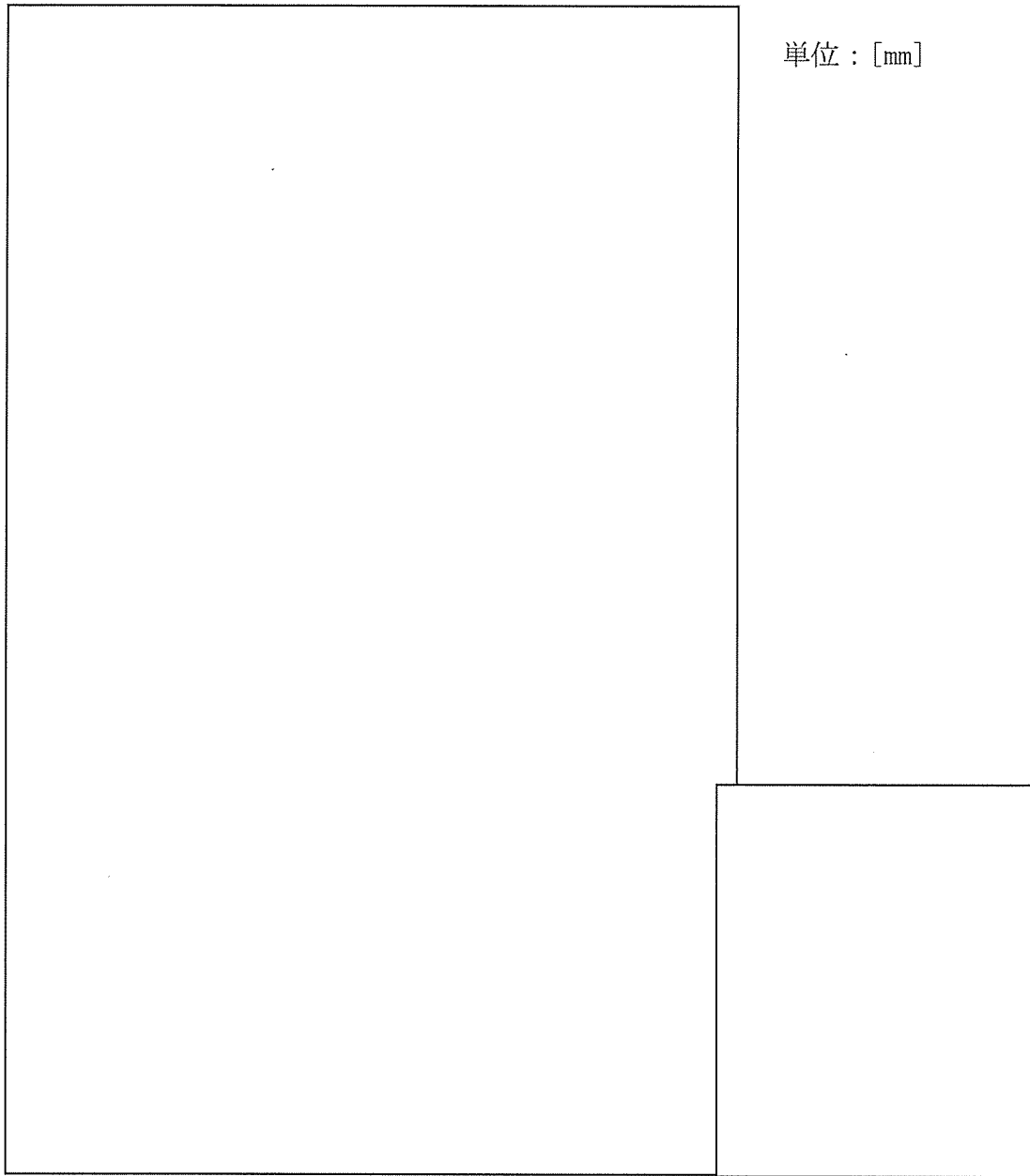
2. 1. 評価方法

蒸発器の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

2. 1. 1. 構造解析モデル

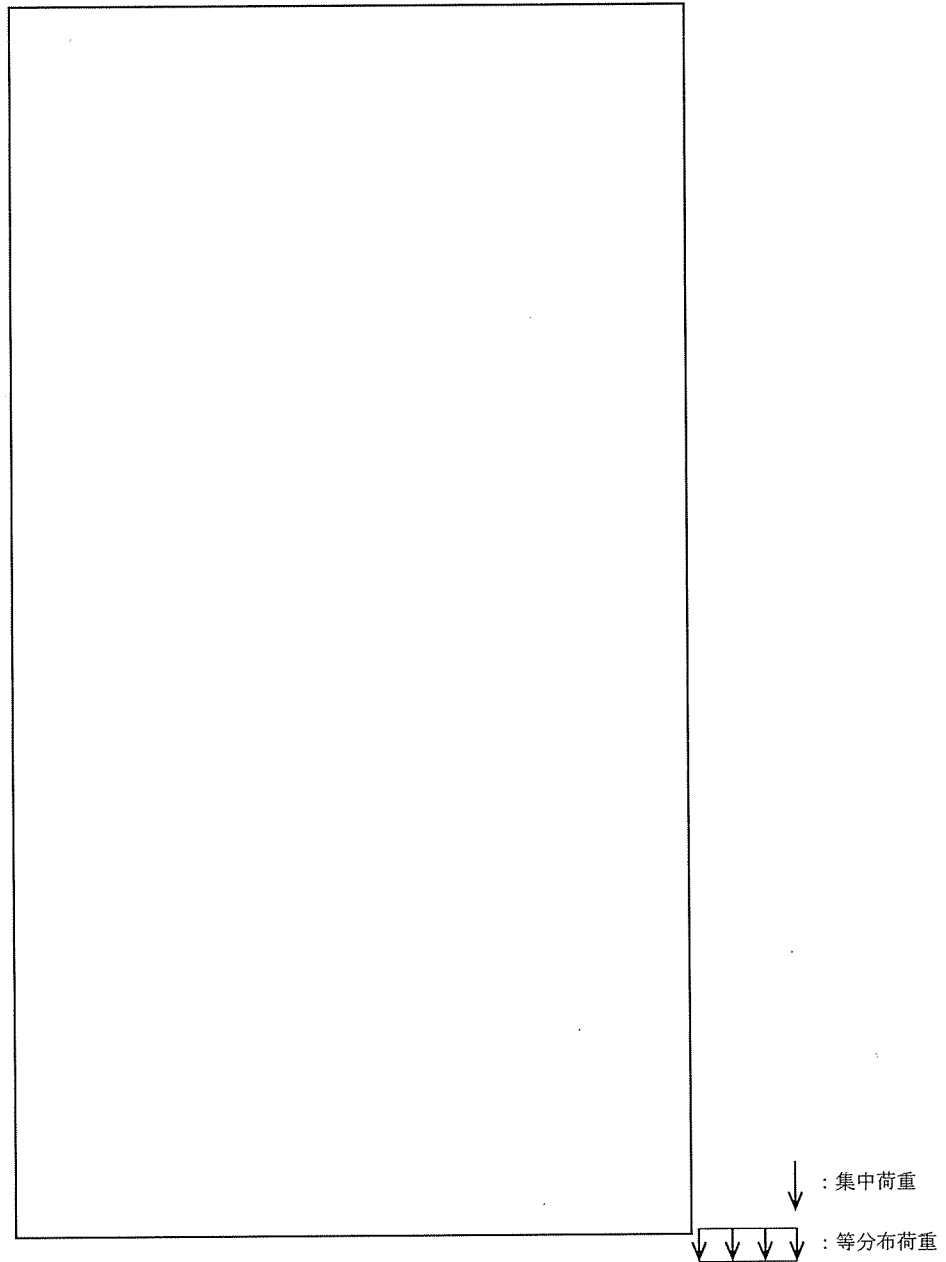
はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-転 1-2-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-転 1-2-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-転 1-2-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-転 1-2-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



単位：[mm]

(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-転 1-2-1 図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-転 1-2-1 図 (2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-転 1-2-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面二次モーメント		断面係数		断面二次半径 [mm]	出典	
				断面積 [mm ²]	[mm ⁴] × 10 ⁴	[mm ³] × 10 ³	Zy			Zz
柱				A	Iy	Iz	Zy	Zz	I	JIS G3192
柱										計算値
柱										計算値

添説設 3-1-転 1-2-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-転 1-2-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

*：節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

2. 1. 2. 設計用地震力

2. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\square} \doteq \square \cdot \cdot \cdot \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz]となり、20[Hz]未満であるので、剛構造とならない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

2. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造とならない設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 1 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 1.0G とする。

2. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

2. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

2. 2. 応力評価

2. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 1-2-4 表及び添説設 3-1-転 1-2-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 1-2-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	—	03_03								
圧縮応力度	—	00_01								
せん断応力度	—	00_01								
曲げ応力度	—	03_01								
組合せ応力度	—	00_01								
組合せ応力	—	00_01								

添説設 3-1-転 1-2-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	X 正	03_02								
圧縮応力度	X 正	00_03								
せん断応力度	X 正	00_01								
曲げ応力度	X 正	03_01								
組合せ応力度	X 正	03_01								
組合せ応力	X 正	03_01								

2. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 1-2-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 1-2-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	X 正							
せん断応力度	X 正							
引抜力	X 正							

工場棟 転換工場の原料倉庫地下ピットの耐震計算書

1. 転換工場原料倉庫地下ピットの概要

1.1.配置

転換工場の原料倉庫地下ピットの配置図を図 1.1-1 に示す。

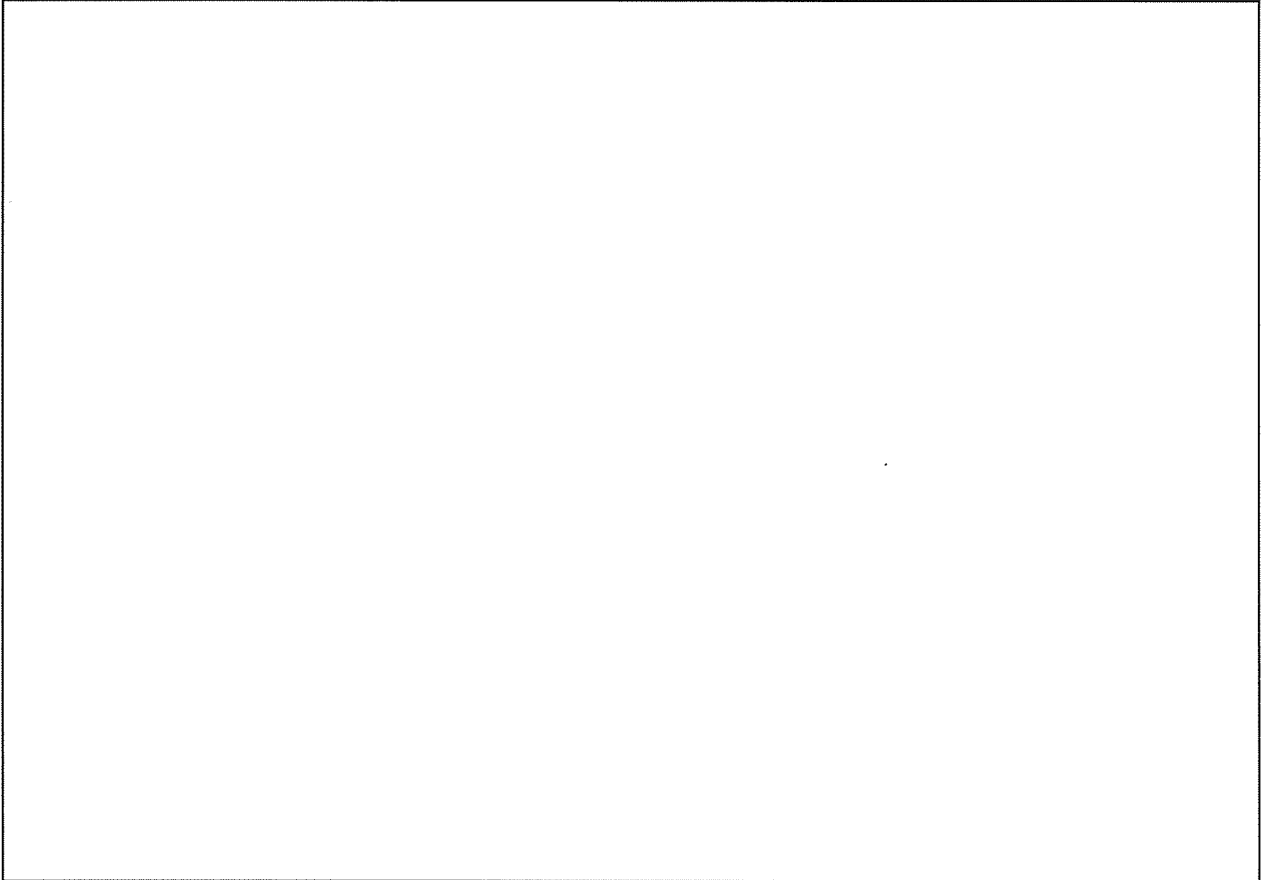


図 1.1-1 原料倉庫地下ピットの配置図

1.2.構造概要

原料倉庫地下ピットは、平面形状が主要部分で□m×□m、深さ□mの鉄筋コンクリート造であり、上部構造は無い。

図 1.2-2 に原料倉庫地下ピットの平面図及び断面図を示す。

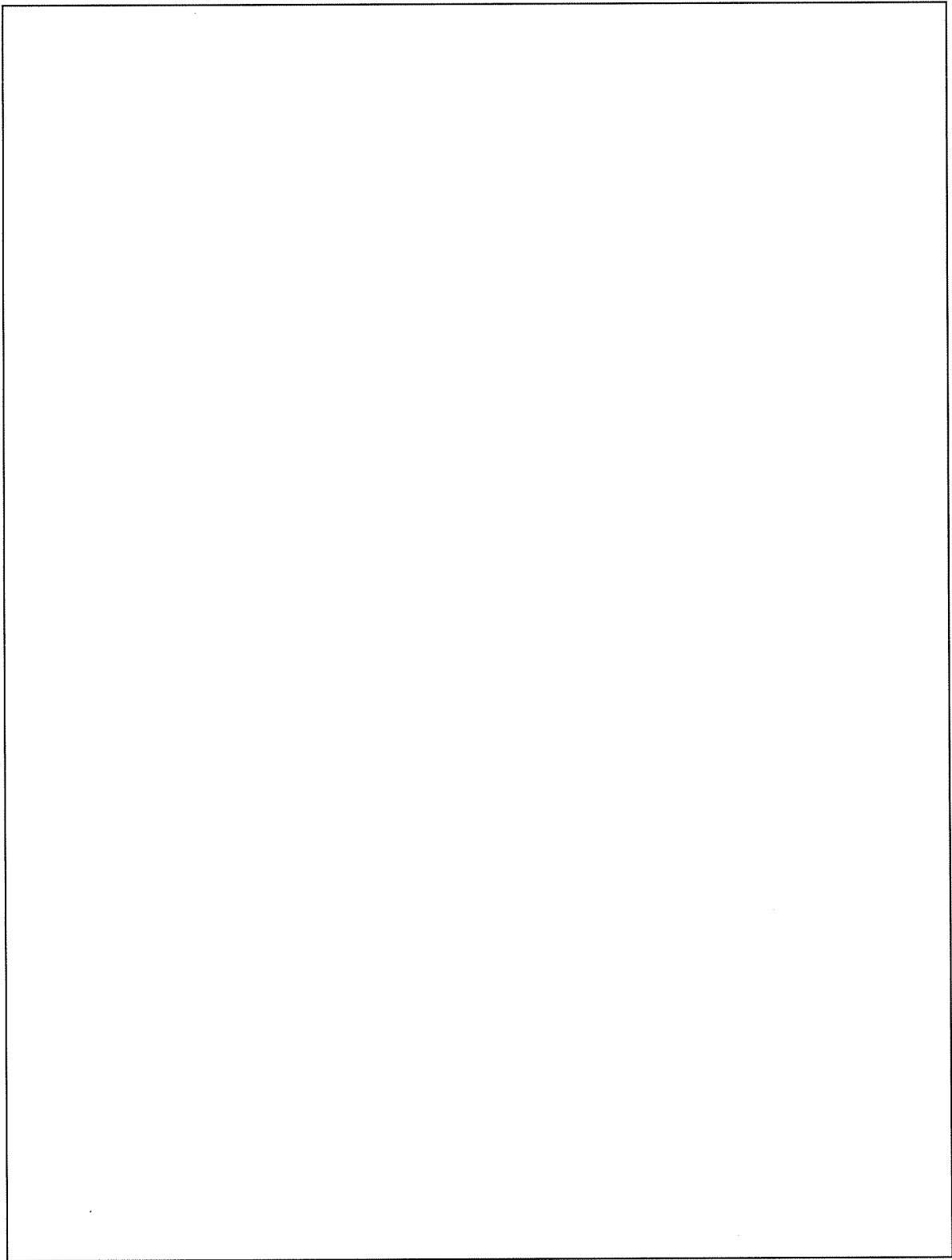


図 1.2-2 原料倉庫地下ピットの平面図及び断面図

2. 評価方法

2.1. 検討方針

検討は建築基準法及び施行令で規定された地震力により耐震性の評価を行い、建物の耐震安全性を確認するものとする。

なお、地下部分の地震力に対しては、許容応力度計算のみにて耐震性の評価を行うものとする。
(2015年版建築物の構造関係技術基準解説書)

2.2. 適用基準

検討は原則として、下記の関係基準に準拠する。

- 1) 建築基準法・同施行令・告示等
- 2) 日本産業規格 (JIS) (日本規格協会)
- 3) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (日本建築学会)
- 4) 鉄筋コンクリート構造計算用資料集
- 5) 建築基礎構造設計指針 (日本建築学会)
- 6) 2015年版建築物の構造関係技術基準解説書 (建築研究所)
- 7) 建築物荷重指針・同解説 (日本建築学会)

3. 使用材料

原料倉庫地下ピットに使用されている材料および許容応力度を表 3.1-1~2 に示す。

表 3.1-1 コンクリートの許容応力度 (単位: N/mm²)

設計基準強度	長期		短期	
	圧縮	せん断	圧縮	せん断

表 3.1-2 鉄筋の許容応力度 (単位: N/mm²)

種別	使用範囲	長期		短期	
		引張・圧縮	せん断	引張・圧縮	せん断
SR24	壁、底版				

4. 原料倉庫地下ピットの耐震検討

4.1. 原料倉庫地下ピットの検討

原料倉庫地下ピットの地震時の耐力評価は RC 規準に準拠する。

図 4.1-1 に原料倉庫地下ピットの主要寸法を示す。

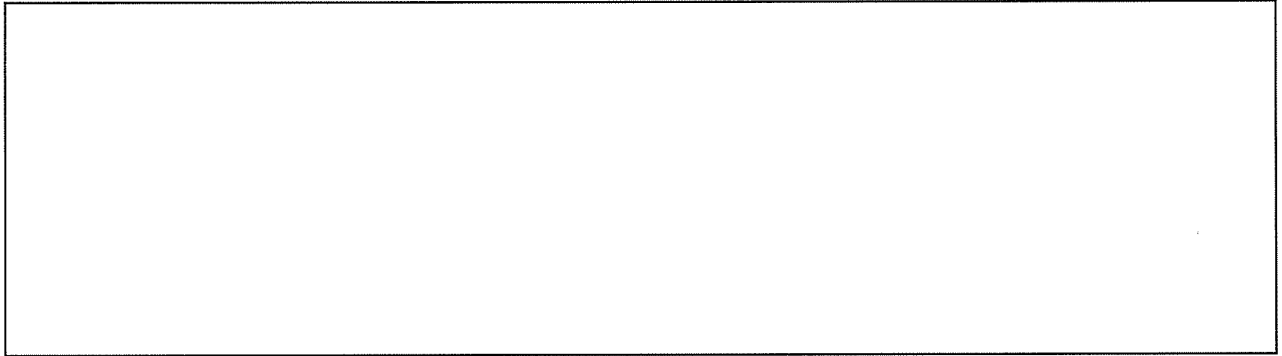


図 4.1-1 原料倉庫地下ピットの主要寸法と壁名称

地下部分にかかる水平地震力（慣性力）と土圧荷重の概念を図 4.1-2 に示す。

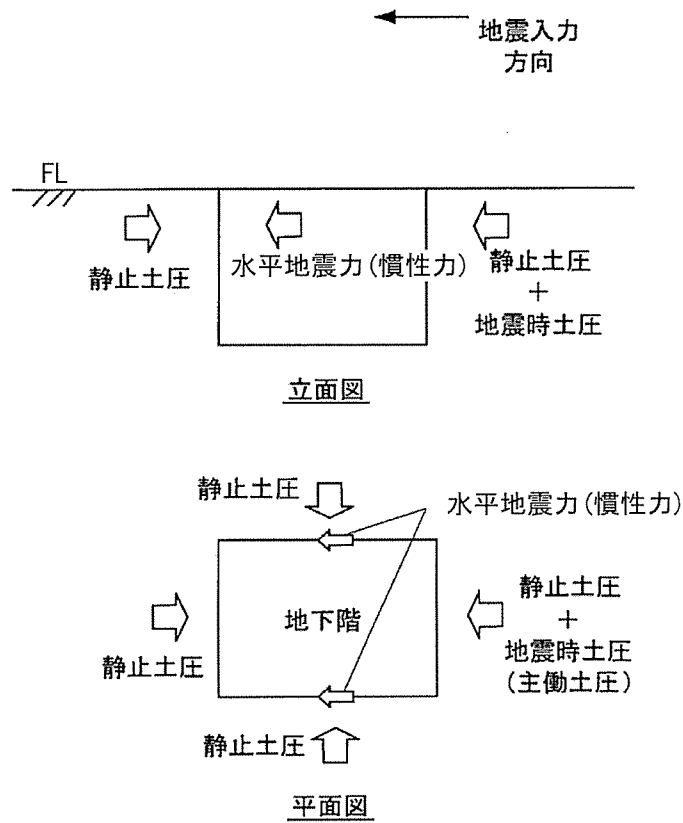


図 4.1-2 荷重概念図

静止土圧（常時土圧）は周囲から中央に向けて作用するが、地震時土圧（主働土圧）は地震入力方向に対して直交する壁に作用する。また、原料倉庫地下ピットに作用する水平地震力（慣性力）及び、地震入力方向直交壁に作用した地震時土圧は全て地震力方向に対して平行な壁よりピット底板へ伝達されるものとする。ここでは、「静止土圧＋地震時土圧」を受ける地震入力方向直交壁と「水平地震力（慣性力）＋地震時土圧」を底板へ伝達する地震入力方向平行壁に分けて検討する。

ここで、C壁については、直近の転換工場建物15通りに基礎梁及び基礎が平行に存在するため、静止土圧及び地震時土圧の作用が小さいことを考慮し、評価を省略する。

4.2.水平地震力の算定

地下部分にある鉄筋コンクリート製ピットに作用する水平地震力 Q_2 は次式の水平震度により算定する。

$$Q_2 = n \times k \times W_{D2}$$

$$k \geq 0.1(1 - H/40) Z \quad (\text{建築基準法施行令第88条})$$

ここで

- n : 耐震重要度に応じた割増係数 (=1.5)
- k : 水平震度
- W_{D2} : 鉄筋コンクリート製ピット壁部重量 (kN)
- H : 地盤面よりの深さ (20を超えれば20とする。) (m)
- Z : 地震地域係数 (地域ごとに地震の発生頻度から地震の大きさを低減する係数 茨城県は1.0)

$$k = 0.1 \times (1 - 0/40) \times 1.0 = 0.1$$

地下部分の地震時水平力は

$$Q_2 = n \times k \times W_{D2} = \boxed{} \text{ kN}$$

原料倉庫地下ピット壁部重量 (W_{D2}) による。水平地震力を表 5.2-1 に示す。

表 4.2-1 水平地震力

対象	壁部重量 W_{D2} (kN)	水平地震力 Q_2 (kN)
原料倉庫 地下ピット		

4.3.土圧荷重

静止土圧荷重は基礎指針により以下となる。

$$P_0 = K_0 \times \gamma \times Z$$

P_0 : 深さ Z における静止土圧 (kN/m²)

K_0 : 静止土圧係数 (=)

γ : 土の単位体積重量 (kN/m³) (建築物荷重指針・同解説 (日本建築学会))

Z : 地表面からの深さ (m)

$$P_{0z} = \text{} \text{ kN/m}^2$$

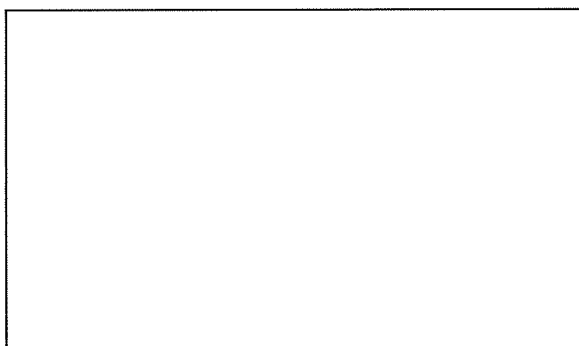


図 4.3-1 ピットに作用する静止土圧荷重

地震時土圧荷重は基礎指針に記載の物部の式を用いる。

地盤関連定数は転換工場のボーリング柱状図 (添付資料 1) を用いる。

ボーリング試験から抜粋した内容を表 4.3-1 ボーリング柱状図に示す。

表 4.3-1 ボーリング柱状図

深さ (m)	層厚 (m)	地質	標準貫入試験回数 N 値	重み付層厚 (m)	ピット深さ (m)

N 値と重み付層厚から等価 N 値 (N_e) を算定する。

$$N_e = \text{}$$

土圧算定に用いる内部摩擦角は N 値を用いて基礎指針の大崎の式により算定する。

$$\phi = \text{}$$

土圧公式（物部式）による地震時土圧の算出

$$P_{EA} = \frac{1}{2} \times K_{EA} \times \gamma \times H^2$$

$$K_{EA} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \theta_k)}{\cos \theta_k \times \cos^2 \theta \times \cos(\delta + \theta + \theta_k) \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \times \sin(\phi - \alpha - \theta_k)}{\cos(\theta - \alpha) \times \cos(\delta + \theta + \theta_k)}} \right\}^2}$$

P_{EA} : 地震時の主働土圧合力 (kN/m)

ϕ : 土の内部摩擦角 (度)

γ : 土の単位体積重量 (kN/m³)

H : 地下壁高さ (m)

θ : 地下壁と鉛直面のなす角 (度) (壁面が垂直⇒0)

δ : 壁面の摩擦角 (度) (保守的に考えて壁面摩擦を考慮しない⇒0)

α : 地表面傾斜角 (度) (地表が水平⇒0)

n : 耐震重要度に応じた割増係数 (=1.5)

k_h : 設計水平震度 (=0.1)

θ_k : 地震合成角 (度) $\theta_k = \tan^{-1}(n \times k_h) = \tan^{-1}(1.5 \times 0.1) = 8.54$

$$K_{EA2} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \theta_k)}{\cos \theta_k \times \cos^2 \theta \times \cos(\delta + \theta + \theta_k) \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \times \sin(\phi - \alpha - \theta_k)}{\cos(\theta - \alpha) \times \cos(\delta + \theta + \theta_k)}} \right\}^2}$$

=

$$P_{EA2} = \frac{1}{2} \times K_{EA2} \times \gamma \times H^2 \text{ kN/m}$$

= kN/m

地震時の土圧合力を通常の三角形分布と仮定する。

$$P_{EA2} = \frac{1}{2} \times W_{02} \times H_2$$

W_{02} : 深さ H_2 における単位面積当たりの地震時土圧 (kN/m²)

$$W_{02} = \frac{2 \times P_{EA2}}{H_2} = \frac{2 \times \text{}}{\text{}} \text{ kN/m}^2$$



図 4.3-2 ピットに作用する地震時土圧荷重

4.4.コンクリート壁発生応力

(1) NS 方向地震時

1) 地震力方向直交壁 (壁 B, 壁 D)

コンクリート壁に発生する応力は、ピット FL 高さに存在する溝形鋼フレームの効果を保守的に考えて無視し、ピット上縁は自由辺として鉄筋コンクリート構造計算用資料集の等変分布荷重時 3 辺固定 1 辺自由スラブの応力算定図表を用いる。(添付資料 2)

応力は全て単位幅 (1.0m) に対して算定する。

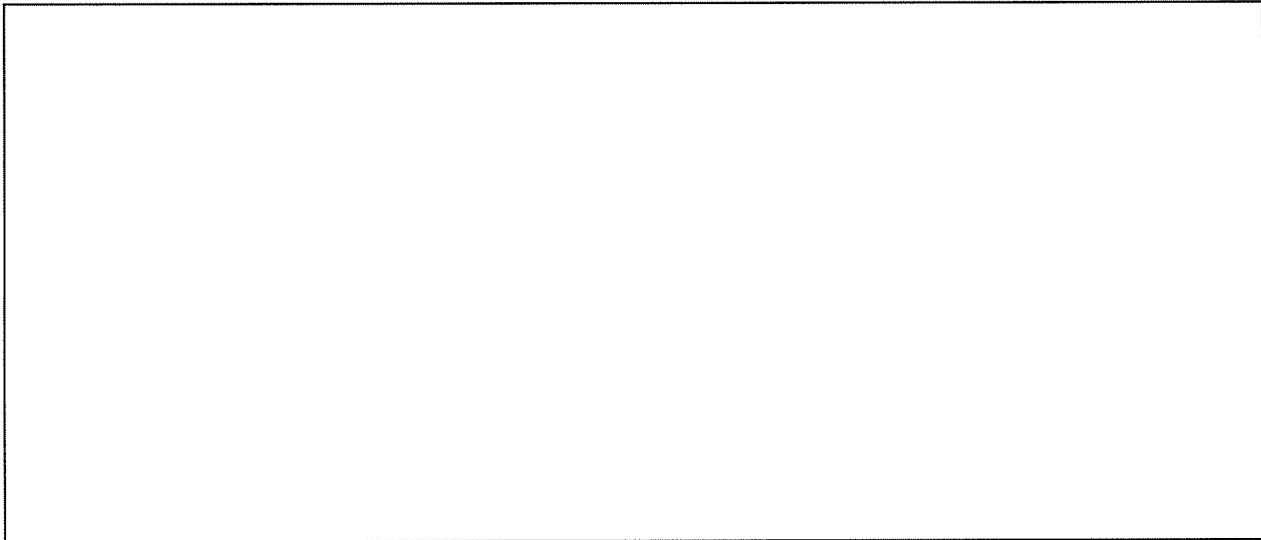


図 4.4-1 等変分布荷重時 3 辺固定 1 辺自由スラブの応力算定図

地震力方向直交壁には、静止土圧と地震時土圧が作用する。

$$w_2 = P_{02} + W_{02}$$
$$= \boxed{} \text{ kN/m}^2$$

$$L_{FW2} / H_2 = \boxed{}$$

$$M_{y1} = \beta \times w_2 \times H_2^2 = \boxed{} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y2 \text{ max}} = \beta \times w_2 \times H_2^2 = \boxed{} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{x1} = \beta \times w_2 \times H_2^2 = \boxed{} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{x2 \text{ max}} = \beta \times w_2 \times H_2^2 = \boxed{} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{y1} > M_{y2 \text{ max}}$ より $M_{y2 \text{ max}}$ の評価は省略する。

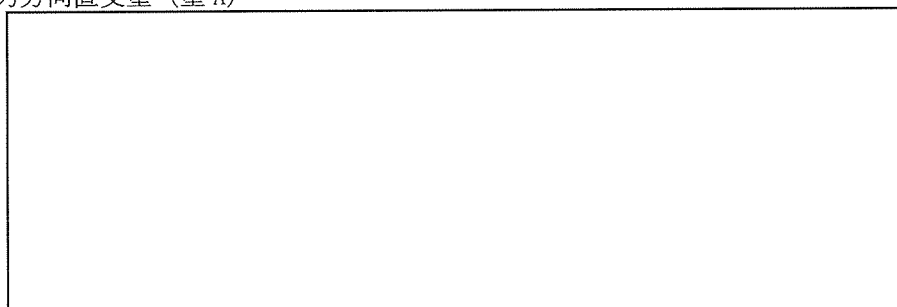
上式の β の値は次頁の図表より求める。

(2) EW 方向地震時

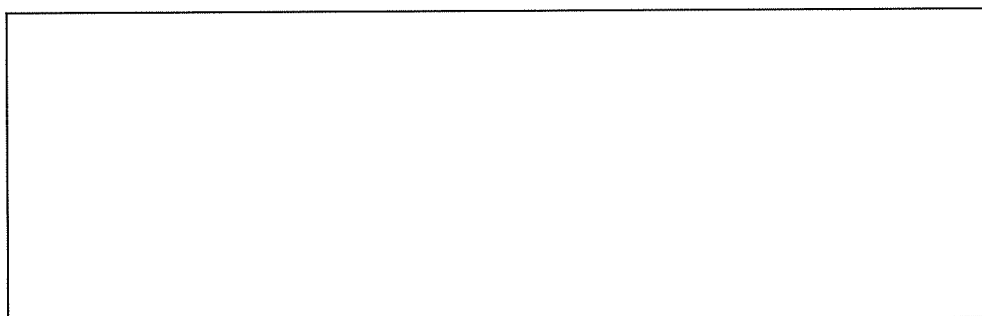
コンクリート壁に発生する応力は、ピット FL 高さに存在する溝形鋼フレームの効果を考慮し、構造力学公式集（土木学会）の「相対 2 辺単純支持、他の 2 辺が固定である応力算定表」と「3 辺単純支持、1 辺が固定である応力算定表」を用いる。（添付資料 3）

壁 A は、深さ 2.0m に対して、幅 11.2m 幅深さ比が大きいいため、壁一般部左右端及び壁中央部の発生曲げモーメントの算出には、「相対 2 辺単純支持、他の 2 辺固定の応力算定表」を用い、底部下端の発生曲げモーメントの算出には「3 辺単純支持、1 辺固定板の応力算定表」を用いるものとする。

1) 地震力方向直交壁（壁 A）



「相対 2 辺単純支持他の 2 辺固定板」



「3 辺単純支持、1 辺固定板」

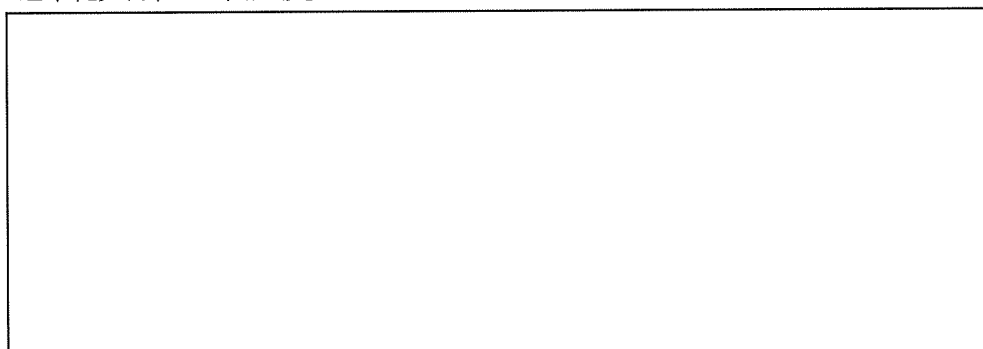


図 4. 4-2 等変分布荷重時の応力算定図

地震力方向直交壁には、静止土圧と地震時土圧が作用する。

$$w_2 = P_{02} + W_{02}$$
$$= \boxed{} \text{ kN/m}^2$$

$L_{NS2}/H_2 = 11200/2000 = 5.6 \rightarrow$ 保守的に考えて ∞ として算定する。

$$M_{y1} = \beta \times w_2 \times H_2^2 = \boxed{} \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$M_{y2} = \beta \times w_2 \times H_2^2 = \boxed{} \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$M_{x3} = \beta \times w_2 \times H_2^2 = \boxed{} \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$M_{x2} = \beta \times w_2 \times H_2^2 = \boxed{} \text{ N}\cdot\text{m/m}$$

上式の β の値は次頁の図表より求める。

コンクリートのポアソン比 $\nu_2 = 0.2^{*1}$ として補正する。

(*1 RC 規準より)

$$M'_{y1} = \frac{(\gamma_2 - \gamma_1) \times M_{x1} + (1 - \gamma_1 \gamma_2) \times M_{y1}}{1 - \gamma_1^2}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

ここに

$$M_{x1} = \boxed{} \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$M_{y1} = \boxed{} \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$\nu_1 = \boxed{}$$

$$M'_{x2} = \frac{(1 - \gamma_1 \gamma_2) \times M_{x2} + (\gamma_2 - \gamma_1) \times M_{y2}}{1 - \gamma_1^2}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$M'_{y2} = \frac{(\gamma_2 - \gamma_1) \times M_{x2} + (1 - \gamma_1 \gamma_2) \times M_{y2}}{1 - \gamma_1^2}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

ここに

$$M_{x2} = \boxed{} \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$M_{y2} = \boxed{} \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$\nu_1 = \boxed{}$$

$$M'_{x3} = \frac{(1 - \gamma_1 \gamma_2) \times M_{x3} + (\gamma_2 - \gamma_1) \times M_{y3}}{1 - \gamma_1^2}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

ここに

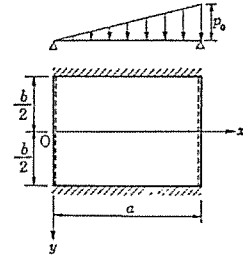
$$M_{x3} = \boxed{} \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$M_{y3} = \boxed{} \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$\nu_1 = \boxed{}$$

$M'_{y1} > M'_{y2}$ より M'_{y2} の評価は省略する。

表 10.6 (e) 等変分布荷重を受ける相対 2 辺単純支持, 他の 2 辺固定板のモーメント ($\nu_1=0.3$)

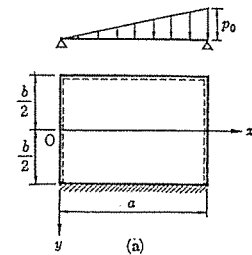


$\frac{b}{a}$	$x=a/2, y=0$		$x=3a/4, y=0$		$x=a/2, y=\pm b/2$	$x=3a/4, y=\pm b/2$	係 数
	M_x	M_y	M_x	M_y	M_y	M_y	
							$p_0 b^2$ $p_0 b^2$ $p_0 a^2$ $p_0 a^2$ $p_0 a^2$ $p_0 a^2$ $p_0 a^2$

表 10.6 (g) 等変分布荷重を受ける 3 辺単純支持, 1 辺固定板のたわみおよびモーメント ($\nu_1=0.3$)

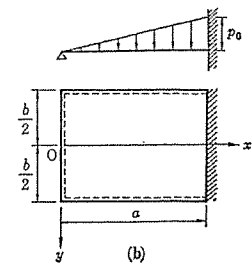
荷重状態 (a) の場合

$\frac{b}{a}$	$(M_y)_{y=b/2}$			係 数
	$x=a/4$	$x=a/2$	$x=3/4 a$	
∞	-0.039	-0.062	-0.055	$p_0 a^2$
2	-0.038	-0.061	-0.053	$p_0 a^2$
3/2	-0.034	-0.056	-0.050	$p_0 a^2$
1	-0.025	-0.042	-0.040	$p_0 a^2$
2/3	-0.030	-0.056	-0.060	$p_0 b^2$
1/2	-0.031	-0.061	-0.073	$p_0 b^2$
0	-0.031	-0.062	-0.094	$p_0 b^2$



荷重状態 (b) の場合

b/a	$(w)_{x=a/2, y=0}$	係 数	$(M_x)_{x=a/2, y=0}$	$(M_y)_{x=a/2, y=0}$	$(M_x)_{x=a, y=0}$	係 数
						$p_0 a^2$ $p_0 a^2$ $p_0 a^2$ $p_0 a^2$ $p_0 b^2$ $p_0 b^2$ $p_0 b^2$



2) 地震力方向平行壁 (壁 B, 壁 D)

水平地震力 (慣性力) と地震時土圧は、2 対の平行壁が均等に全て負担するものとし、静止土圧によるせん断力も保守的に考えて単純加算して算定する。

水平地震力 (慣性力) + 地震時土圧 + 静止土圧 : S_{22}

$$S_{22} = \frac{1}{2} \times Q_2 + \frac{1}{2} \times P_{EA2} \times L_{NS2} + \frac{1}{2} \times P_{02} \times L_{EW2} \times H_2$$

= kN

4.5. コンクリート壁検討条件

(1) コンクリート壁の配筋

ピットの各コンクリート壁の配筋は以下の通り。

表 4.5-1 コンクリート壁の配筋位置による引張鉄筋断面積

地震力方向	地震力方向直交壁位置	配筋位置		引張鉄筋 配筋	単位幅当たり引張鉄筋断面積 (mm ²)
EW 方向	壁 A	縦筋	一般部		
			底部		
	横筋	一般部			
		底部			
NS 方向	壁 B	縦筋	一般部		
			底部		
	壁 D	横筋	一般部		
			底部		

静止土圧及び地震時土圧の作用が小さい壁 C については、評価を省略する。

(2) コンクリート壁厚

コンクリート壁厚さは、 mm として評価する。

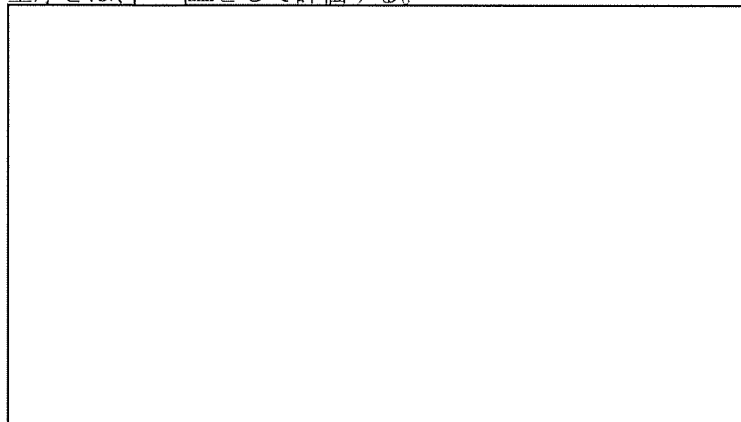


図 4.5-1 コンクリート壁厚と位置

4.6. 検討結果

地震時に各コンクリート壁に発生する単位幅当たりの応力に対して、許容応力との検定比にて評価する。

(1) NS 方向地震時の検討

1) 地震力方向直交壁

「静止土圧+地震時土圧」による発生曲げモーメントに対して評価を行う。

コンクリート壁の短期許容曲げモーメントは、RC 規準 (13.1) 式より算定する。

$$M_a = a_t \times f_t \times j$$

M_a : 短期許容曲げモーメント (kN・m)

a_t : 引張鉄筋の断面積 (mm²)

f_t : 引張鉄筋の短期許容応力度 (=235N/mm²)

j : 応力中心距離 (mm) $j = (7/8) \times d$

d : 有効せい (mm)

d_t : かぶり厚 (mm)

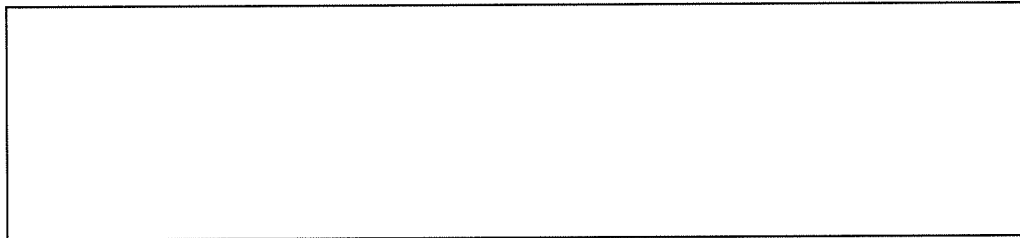


図 4.6-1 コンクリート壁断面と応力関係図

表 4.6-1 「静止土圧+地震時土圧」による曲げモーメント評価 (単位幅当たり)

地震力方向	地震力方向直交壁位置	発生曲げモーメント M (kN・m)	引張鉄筋		コンクリート壁厚 τ (mm)	有効せい d (mm)	応力中心距離 j (mm)	短期許容曲げモーメント Ma (kN・m)	検定比 M/Ma	判定
			断面積 at (mm ²)	短期許容応力度 ft (N/mm ²)						
NS	壁B 壁D	一般部左右端							OK	
		一般部中央							OK	
		底部下端							OK	

2) 地震力方向平行壁

「水平地震力（慣性力）＋地震時土圧＋静止土圧」により、地震力方向平行壁に発生するせん断力に対して評価を行う。

コンクリート壁の短期許容せん断力は、以下にて算定する。

$$S_a = f_s \times t \times L_{NS2}$$

S_a : 短期許容せん断力 (kN)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (=1.02N/mm²)

t : コンクリート壁厚 (mm)

L_{NS2} : ピットの地震力方向長さ (mm)

表 4.6-2 「水平地震力（慣性力）＋地震時土圧＋静止土圧」によるせん断評価

地震力方向	地震力方向平行壁位置		発生せん断力 S_{21} (kN)	f_s (N/mm ²)	t (mm)	L_{NS2} (mm)	短期許容せん断力 S_a (kN)	検定比 S_{21}/S_a	判定
NS	壁 A	底部下端							OK

以上より、原料倉庫地下ピットは、NS 方向地震力に対して安全である。

(2) EW 方向地震時の検討

1) 地震力方向直交壁

(1)と同様の検討結果を下表に示す。

表 4.6-3 「静止土圧+地震時土圧」による曲げモーメント評価 (単位幅当たり)

地震力方向	地震力方向直交壁位置		発生曲げモーメント M (kN・m)	引張鉄筋		コンクリート壁厚 t (mm)	有効せい d (mm)	応力中心距離 j (mm)	短期許容曲げモーメント Ma (kN・m)	検定比 M/Ma	判定
				断面積 a _t (mm ²)	短期許容応力度 f _t (N/mm ²)						
EW	壁A	一般部左右端									OK
		一般部中央									OK
		底部下端									OK

*1: 横筋ピッチ変化のため、一般部と底部の平均値とした。

2) 地震力方向平行壁

(1)と同様の検討結果を下表に示す。

表 4.6-4 「水平地震力 (慣性力) + 地震時土圧 + 静止土圧」によるせん断評価

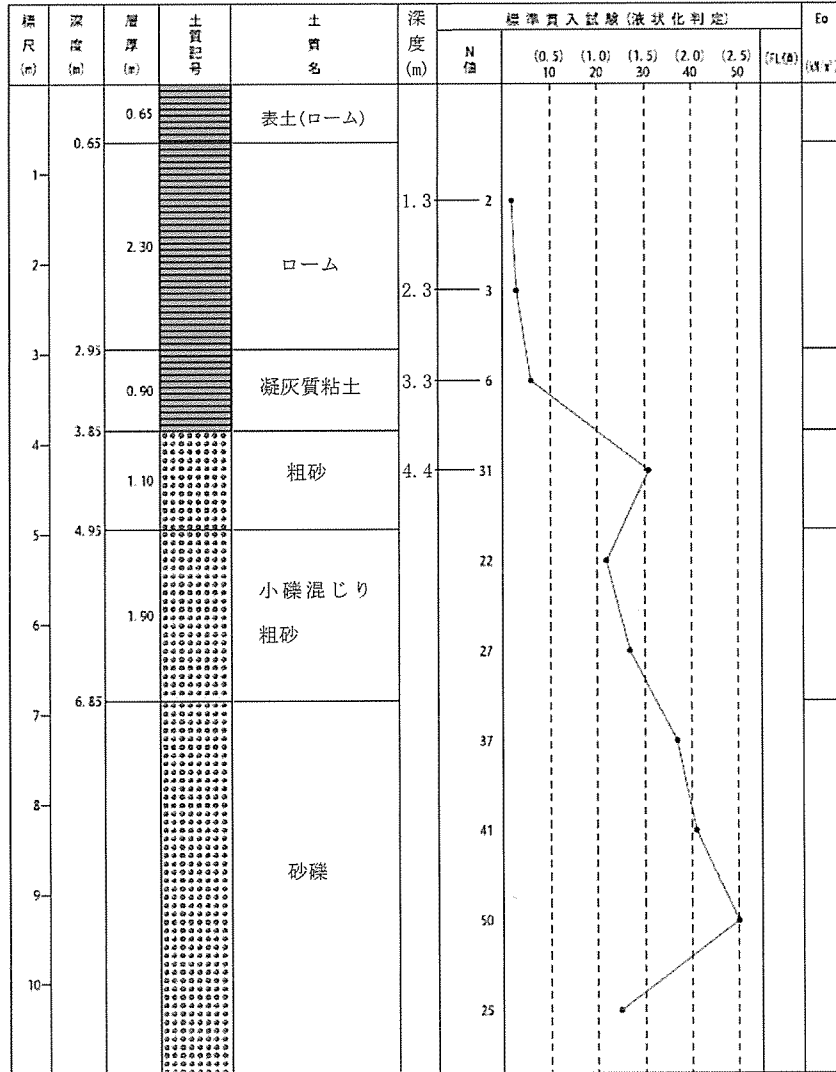
地震力方向	地震力方向平行壁位置		発生せん断力 S ₂₂ (kN)	f _s (N/mm ²)	t (mm)	L _{EW2} (mm)	短期許容せん断力 S _a (kN)	検定比 S ₂₂ /S _a	判定
EW	壁B 壁D	底部下端							OK

以上より、原料倉庫地下ピットは、EW 方向地震力に対して安全である。

添付説明書一設 3-1-転 1-付 1(1)

添付資料

添付資料1 ボーリング柱状図



等変分布荷重時 3 辺固定 1 自由スラブの応力算定図表

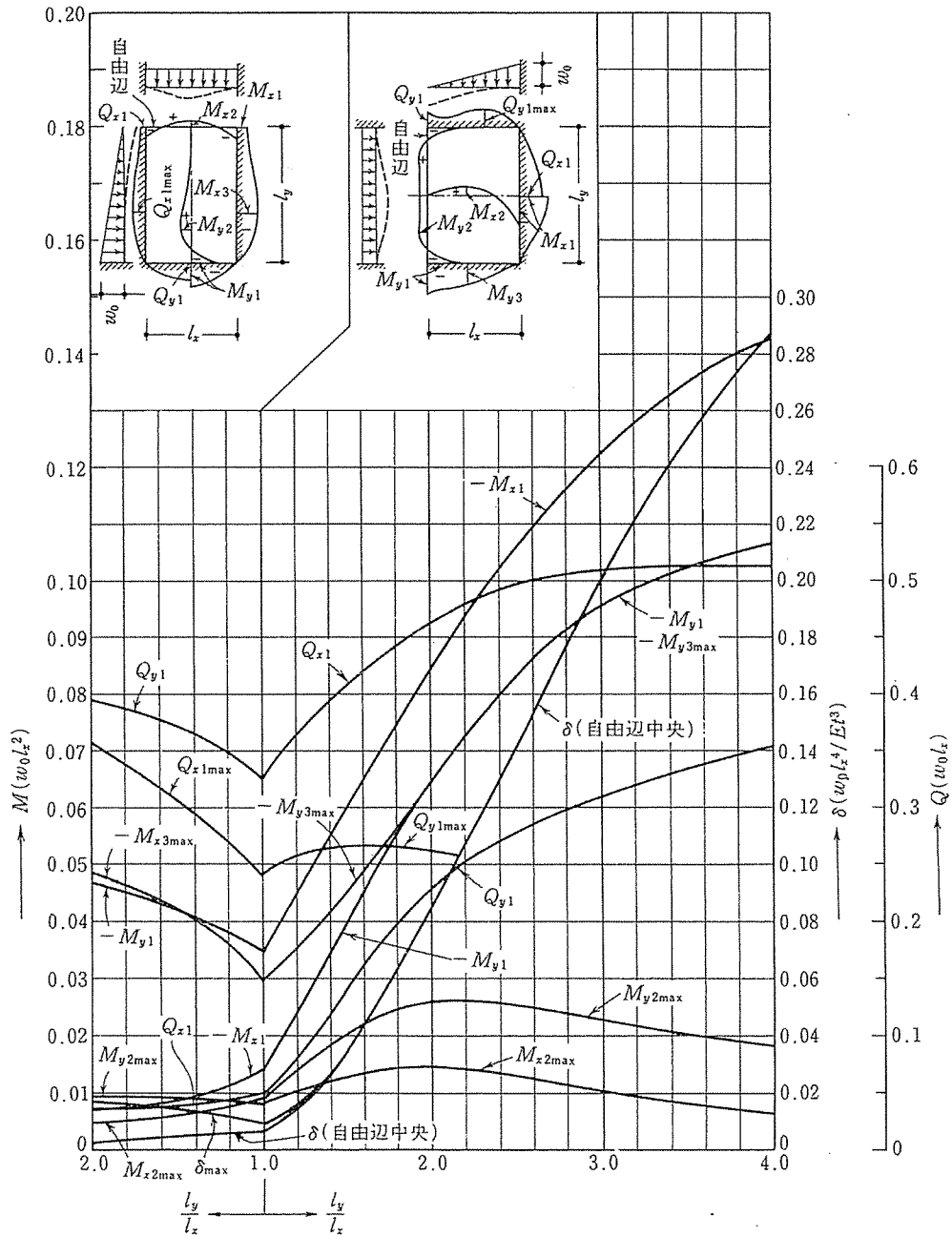


図 6.4 等変分布荷重時 3 変固定 1 辺自由スラブの応力図と自由辺中央のたわみ δ^1 ($\nu = 0$)

添付資料 3 構造力学公式集 相対 2 辺単純支持、他の 2 辺が固定である応力算定表
3 辺単純支持、1 辺が固定である応力算定表

等分布荷重、等変分布荷重、集中荷重などを受ける各種の形状および支持条件をもつ長方形板のたわみ、モーメントの値を表 10.6 に示す^{1), 2)}。

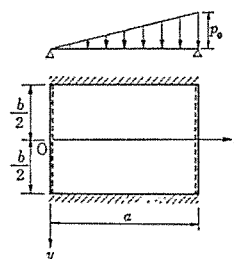
これらの表を利用するときに、もし求めようとする平板の辺長比 (b/a) が表にない場合は、隣接する辺長比に対する値を求め、線形補間によって計算することで実用的には十分である。またこの表では、ポアソン比 (ν) を 0.3, 1/6 または 0 と仮定した計算値が示されているが、これらの値以外のポアソン比に対しては、次式を用いて修正すれば実用的には十分である。

$$M_{x_2} = \frac{(1-\nu_1\nu_2)M_{x_1} + (\nu_2-\nu_1)M_{y_1}}{1-\nu_1^2} \dots\dots\dots(10.112)$$

$$M_{y_2} = \frac{(\nu_2-\nu_1)M_{x_1} + (1-\nu_1\nu_2)M_{y_1}}{1-\nu_1^2} \dots\dots\dots(10.113)$$

ここに、 ν_1, M_{x_1}, M_{y_1} は表に示されたポアソン比およびモーメントであり、 ν_2, M_{x_2}, M_{y_2} は求めようとする平板のポアソン比およびモーメントである。

表 10.6 (e) 等変分布荷重を受ける相対 2 辺単純支持、他の 2 辺固定板のモーメント ($\nu=0.3$)¹⁾

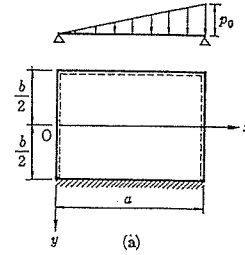


$\frac{b}{a}$	$x=a/2, y=0$		$x=3a/4, y=0$		$x=a/2,$ $y=\pm b/2$	$x=3a/4,$ $y=\pm b/2$	係 数
	M_x	M_y	M_x	M_y	M_y	M_y	
0.50	0.007	0.021	0.018	0.029	-0.042	-0.062	$p_0 b^2$
0.75	0.011	0.020	0.018	0.021	-0.040	-0.045	$p_0 b^2$
1.00	0.013	0.017	0.017	0.015	-0.035	-0.035	$p_0 a^2$
1.25	0.021	0.021	0.024	0.019	-0.045	-0.043	$p_0 a^2$
1.50	0.030	0.023	0.031	0.020	-0.051	-0.048	$p_0 a^2$
2.00	0.043	0.024	0.042	0.020	-0.060	-0.053	$p_0 a^2$
∞	0.053	0.019	0.055	0.017	-0.063	-0.055	$p_0 a^2$

表 10.6 (g) 等変分布荷重を受ける3辺単純支持, 1辺固定板のたわみおよびモーメント ($\nu=0.3$)¹⁾

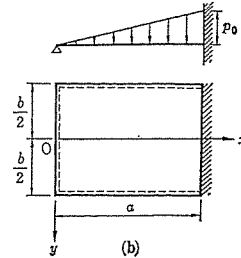
荷重状態 (a) の場合

$\frac{b}{a}$	$(M_y)_{y=b/2}$			係 数
	$x=a/4$	$x=a/2$	$x=3/4 a$	
∞	-0.039	-0.062	-0.055	$p_0 a^2$
2	-0.038	-0.061	-0.053	$p_0 a^2$
3/2	-0.034	-0.056	-0.050	$p_0 a^2$
1	-0.025	-0.042	-0.040	$p_0 a^2$
2/3	-0.030	-0.056	-0.060	$p_0 b^2$
1/2	-0.031	-0.061	-0.073	$p_0 b^2$
0	-0.031	-0.062	-0.094	$p_0 b^2$



荷重状態 (b) の場合

b/a	$(w)_{x=a/2, y=0}$	係 数	$(M_x)_{x=a/2, y=0}$	$(M_y)_{x=a/2, y=0}$	$(M_x)_{x=a, y=0}$	係 数
∞	0.0024	$p_0 a^4/D$	0.029	0.009	-0.067	$p_0 a^2$
2	0.0023	$p_0 a^4/D$	0.029	0.011	-0.063	$p_0 a^2$
3/2	0.0019	$p_0 a^4/D$	0.026	0.013	-0.061	$p_0 a^2$
1	0.0013	$p_0 a^4/D$	0.019	0.016	-0.048	$p_0 a^2$
2/3	0.0030	$p_0 b^4/D$	0.028	0.034	-0.071	$p_0 b^2$
1/2	0.0045	$p_0 b^4/D$	0.024	0.046	-0.084	$p_0 b^2$
0	0.0065	$p_0 b^4/D$	0.019	0.062	-0.125	$p_0 b^2$



UF₆フードボックス・堰・UF₆防護カバーの耐震計算書

1. 設備・機器概要

1. 1. 耐震重要度分類

耐震重要度分類は第1類である。

1. 2. 設置位置

設置位置を添説設3-1-転2-1-1表に示す。

添説設3-1-転2-1-1表 対象設備 設置位置

機器名	建物名	区分	部屋名	参照図面
UF ₆ フードボックス、 ガス溜めバッファ部 UF ₆ 防護カバー、堰（循環貯槽）	工場棟	転換工場	原料倉庫	添付図 図イ配-1

1. 3. 構造

構造図を添説設3-1-転2-1-2表に示す。フードボックスは安全機能を有する設備としてUF₆フードボックス及び堰、ガス溜めバッファ部1、2、3、4、蒸発器用防護カバー、蒸発器用防護カバー架台、フードボックス用防護カバー、UF₆配管用フードボックス及びUF₆配管用防護カバーを有する。

添説設3-1-転2-1-2表 対象設備 構造図

機器名	構造図
UF ₆ フードボックス、ガス溜めバッファ部1、ガス溜めバッファ部2、ガス溜めバッファ部3、ガス溜めバッファ部4、UF ₆ 配管用フードボックス	添付図 図イ設-3
蒸発器用防護カバー、蒸発器用防護カバー架台、フードボックス用防護カバー、UF ₆ 配管用防護カバー	添付図 図イ設-2
堰（循環貯槽）	添付図 図イ設-7

2. UF₆フードボックス及び堰の耐震計算

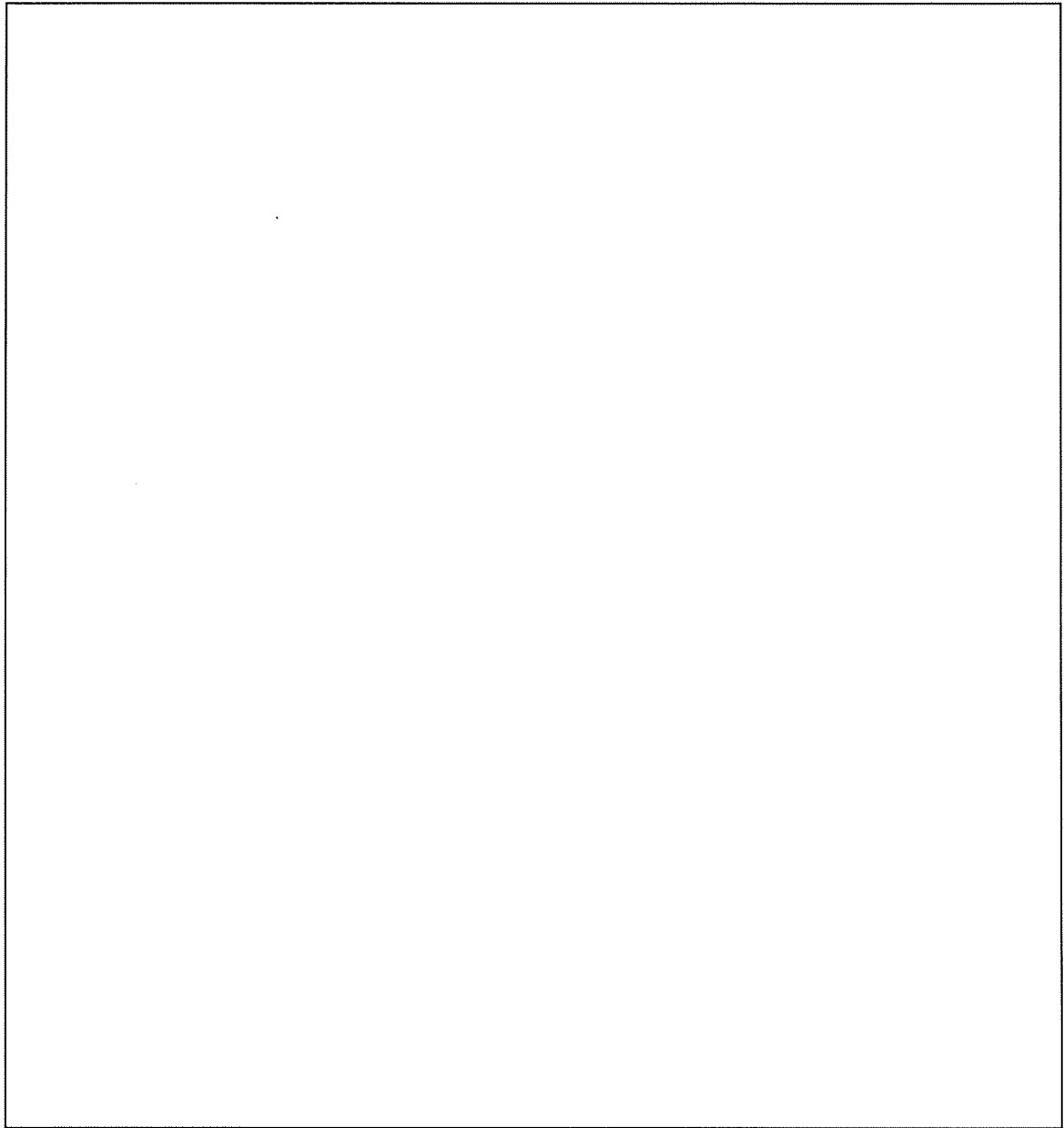
2. 1. 評価方法

UF₆フードボックス及び堰の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

2. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-転 2-2-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-転 2-2-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-転 2-2-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-転 2-2-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



添説設 3-1-転 2-2-1 図 構造解析モデル

添説設 3-1-転 2-2-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴]×10 ⁴		断面係数 [mm ³]×10 ⁴		断面二次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
はり										
柱										
はり										
はり										
柱										

添説設 3-1-転 2-2-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-転 2-2-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

*：節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

2. 1. 2. 設計用地震力

2. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \doteq \square \cdots \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz] となり、20 [Hz] 未満であるので、剛構造とならない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

2. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造とならない設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分

類第1類であることから、設計用地震力は静的地震力の1.0Gとする。

2. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

2. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設3-1-付1に示す。

2. 2. 応力評価

2. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設3-1-付2に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設3-1-転2-2-4表及び添説設3-1-転2-2-5表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設3-1-転2-2-4表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	—									
圧縮応力度	—									
せん断応力度	—									
曲げ応力度	—									
組合せ応力度	—									
組合せ応力	—									

添説設3-1-転2-2-5表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y負	08_29								
圧縮応力度	X負	00_23								
せん断応力度	Y負	03_11								
曲げ応力度	Y負	08_35								
組合せ応力度	Y負	08_35								
組合せ応力	Y負	00_10								

2. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 2-2-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 2-2-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 負	00_21						
せん断応力度	X 負	00_05						
引抜力	Y 負	00_21						

3. ガス溜めバッファ部 1 の耐震計算

3. 1. 評価方法

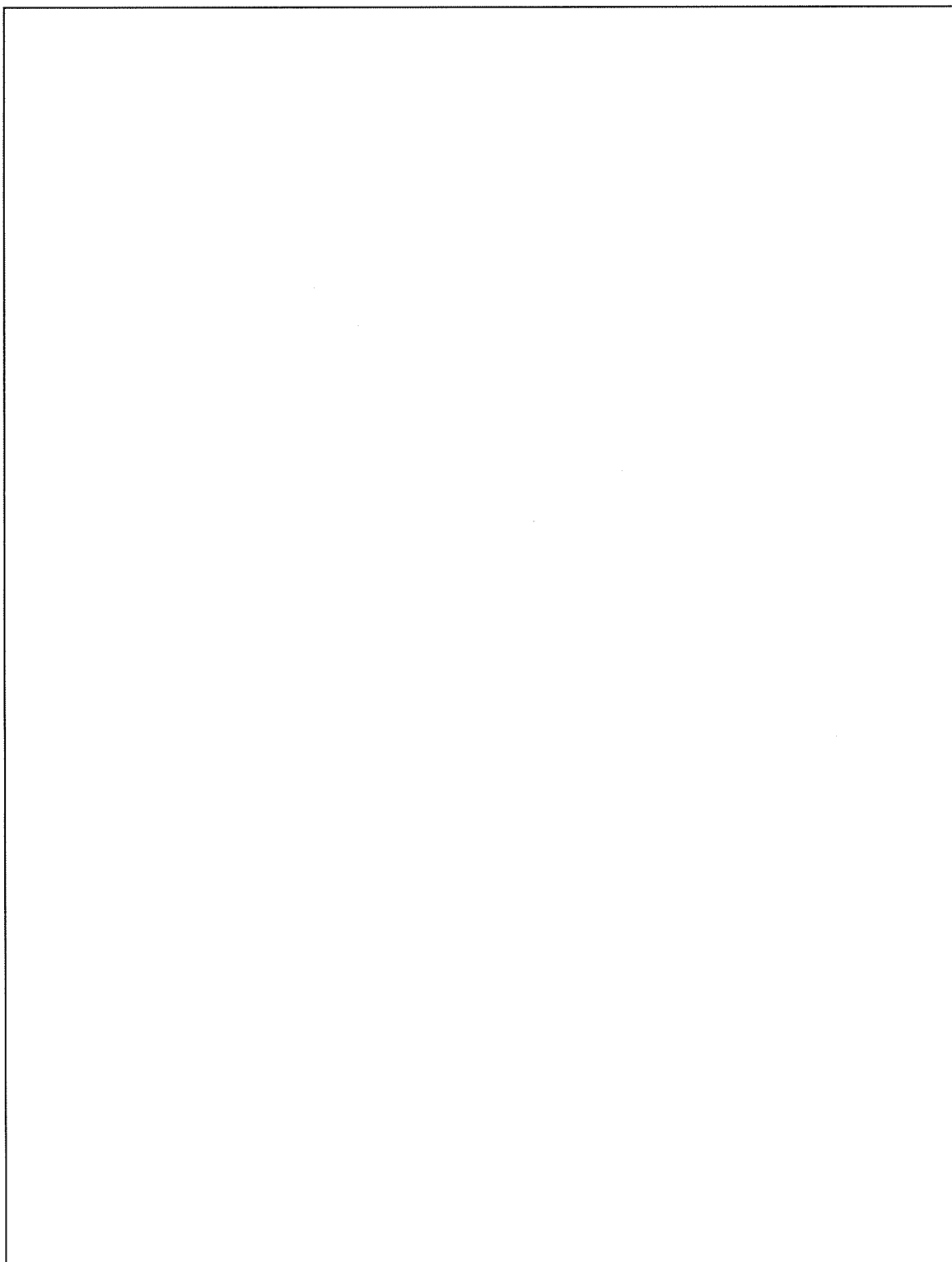
ガス溜めバッファ部 1 の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

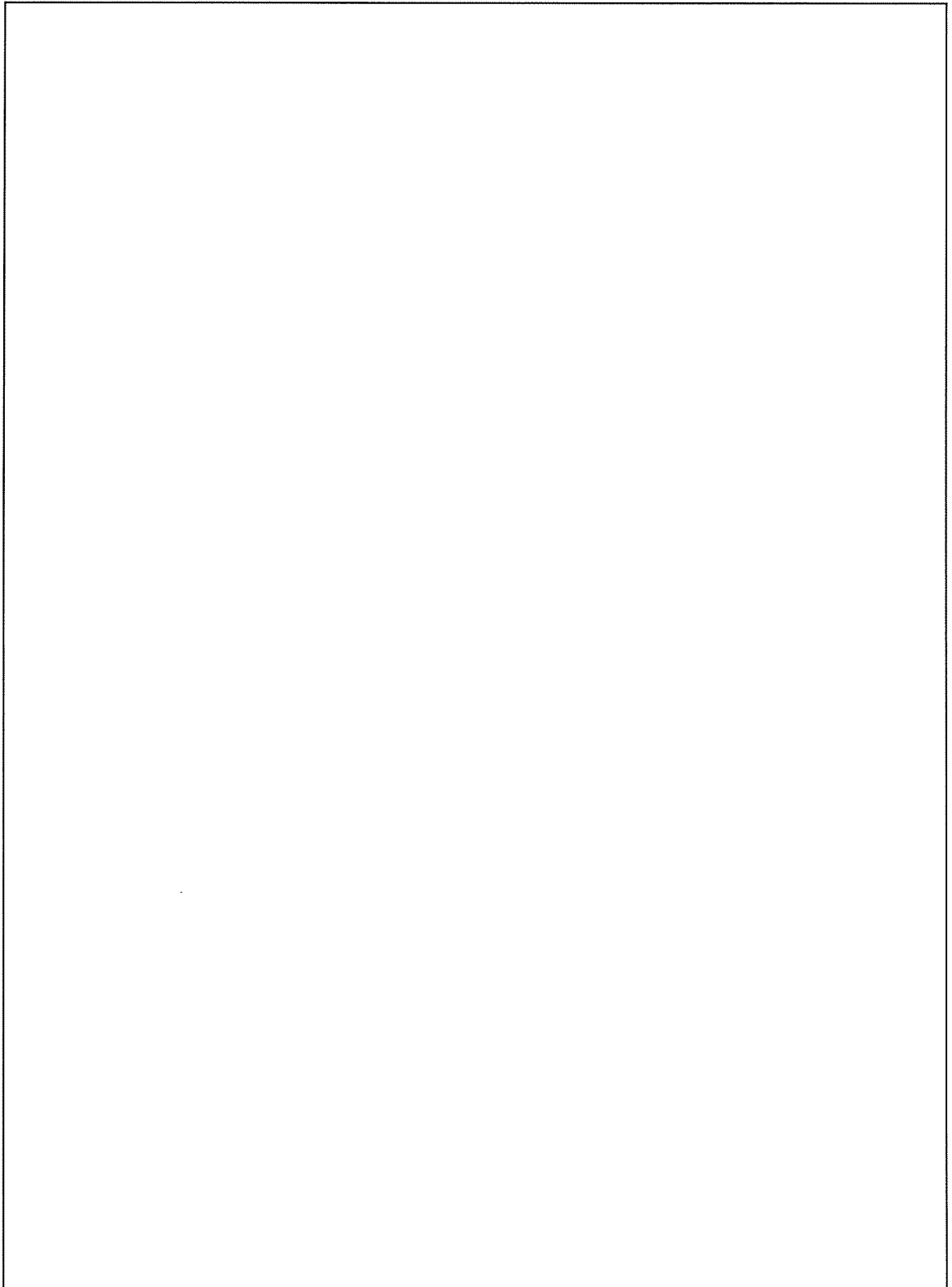
3. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-転 2-3-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-転 2-3-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-転 2-3-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-転 2-3-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。

単位：[mm]



添説設 3-1-転 2-3-1 図(1/2) 構造解析モデル



添説設 3-1-転 2-3-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-転 2-3-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴] × 10 ⁴		断面係数 [mm ³] × 10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
はり										計算値
柱										計算値
はり										計算値
柱										計算値

添説設 3-1-転 2-3-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				JSME S NJ1-2012

添説設 3-1-転 2-3-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

* : 節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

3. 1. 2. 設計用地震力

3. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \doteq \square \dots \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz] となり、20 [Hz] 未満であるので、剛構造とならない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

3. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造とならない設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 1 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 1.0G とする。

3. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

3. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

3. 2. 応力評価

3. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 2-3-4 表及び添説設 3-1-転 2-3-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 2-3-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	—	01_01								
圧縮応力度	—	00_20								
せん断応力度	—	00_33								
曲げ応力度	—	00_32								
組合せ応力度	—	00_32								
組合せ応力	—	00_32								

添説設 3-1-転 2-3-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	Y 正	02_10								
圧縮応力度	Y 負	04_15								
せん断応力度	Y 負	00_19								
曲げ応力度	Y 負	00_20								
組合せ応力度	Y 負	00_20								
組合せ応力	Y 負	00_20								

3. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 2-3-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 2-3-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 負	00_39						
せん断応力度	Y 負	00_02						
引抜力	-	-						

4. ガス溜めバッファ部 2 の耐震計算

4. 1. 評価方法

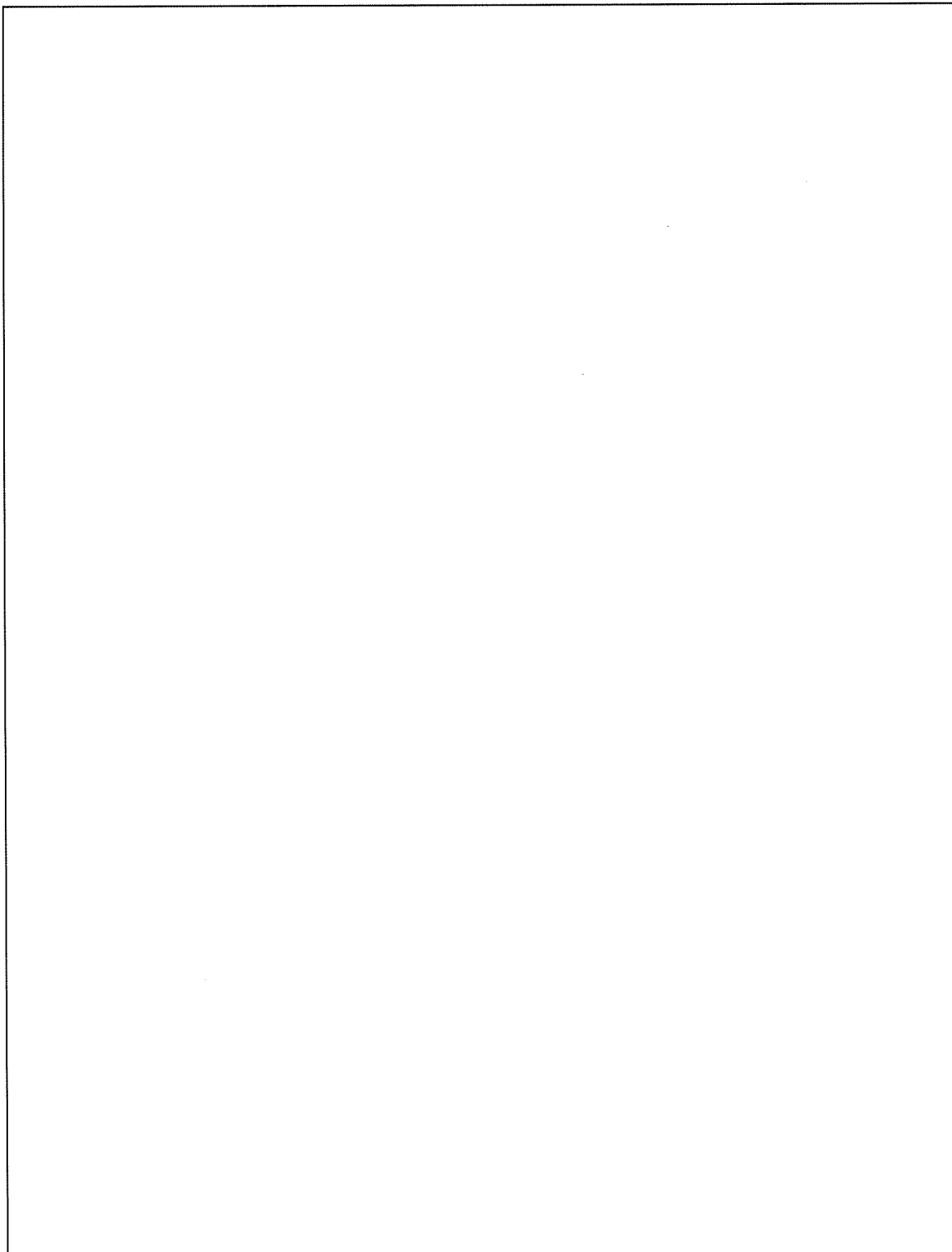
ガス溜めバッファ部 2 の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

4. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-転 2-4-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-転 2-4-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-転 2-4-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-転 2-4-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。

単位：[mm]



添説設 3-1-転 2-4-1 図 構造解析モデル

添説設 3-1-転 2-4-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴] × 10 ⁴		断面係数 [mm ³] × 10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	Iy	Iz	Zy	Zz	I	
はり										計算値
柱										計算値
はり										計算値
柱										計算値

添説設 3-1-転 2-4-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				JSME S NJ1-2012

添説設 3-1-転 2-4-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

*：節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

4. 1. 2. 設計用地震力

4. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \doteq \square \cdot \cdot \cdot \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz] となり、20 [Hz] 未満であるので、剛構造としない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

4. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造としない設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 1 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 1.0G とする。

4. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

4. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

4. 2. 応力評価

4. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 2-4-4 表及び添説設 3-1-転 2-4-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 2-4-4 表 部材の評価結果 (長期)

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	—	01_01								
圧縮応力度	—	00_01								
せん断応力度	—	00_15								
曲げ応力度	—	00_06								
組合せ応力度	—	00_06								
組合せ応力	—	00_01								

添説設 3-1-転 2-4-5 表 部材の評価結果 (短期)

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 負	05_05								
圧縮応力度	Y 正	04_05								
せん断応力度	Y 負	00_02								
曲げ応力度	Y 負	00_01								
組合せ応力度	Y 負	00_01								
組合せ応力	Y 負	00_01								

4. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 2-4-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 2-4-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	Y 負							
せん断応力度	Y 負							
引抜力	—							

5. ガス溜めバッファ部 3 の耐震計算

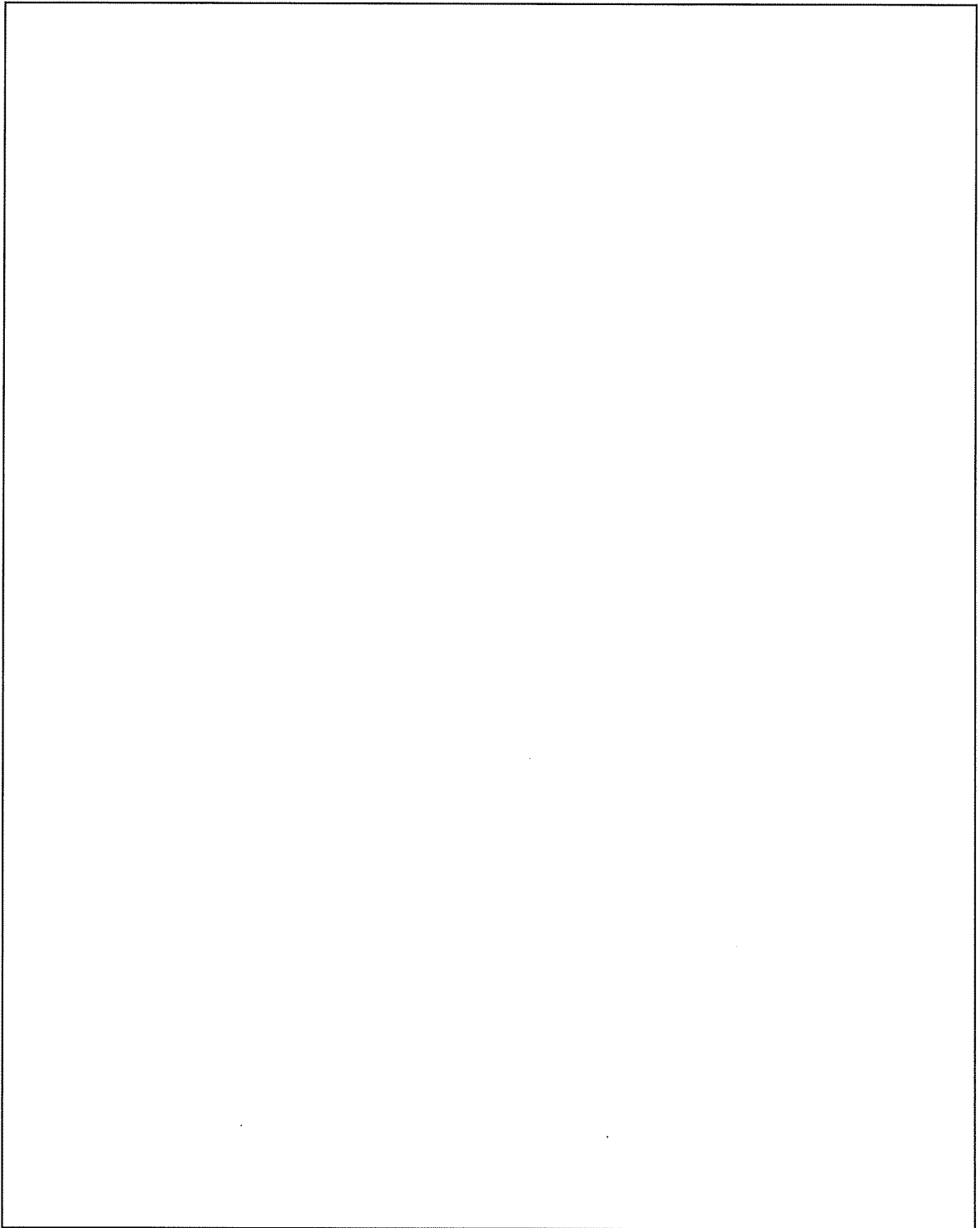
5. 1. 評価方法

ガス溜めバッファ部 3 の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

5. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-転 2-5-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-転 2-5-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-転 2-5-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-転 2-5-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



添説設 3-1-転 2-5-1 図 構造解析モデル

添説設 3-1-転 2-5-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積	断面二次モーメント		断面係数		断面二次半径	出典
				[mm ²] A	[mm ⁴] I _y	[mm ⁴] I _z	[mm ³] Z _y	[mm ³] Z _z	[mm] I	
はり										計算値
柱										計算値
はり										計算値
柱										計算値

添説設 3-1-転 2-5-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				JSME S NJ1-2012

添説設 3-1-転 2-5-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

*：節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

5. 1. 2. 設計用地震力

5. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\square} \doteq \square \dots \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz] となり、20 [Hz] 未満であるので、剛構造としない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

5. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造としない設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 1 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 1.0G とする。

5. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

5. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

5. 2. 応力評価

5. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 2-5-4 表及び添説設 3-1-転 2-5-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 2-5-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	—	01_01								
圧縮応力度	—	00_39								
せん断応力度	—	00_14								
曲げ応力度	—	00_05								
組合せ応力度	—	00_05								
組合せ応力	—	00_05								

添説設 3-1-転 2-5-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	Y 負	02_14								
圧縮応力度	Y 正	05_05								
せん断応力度	Y 正	00_40								
曲げ応力度	Y 正	00_59								
組合せ応力度	Y 正	00_59								
組合せ応力	Y 正	00_59								

5. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 2-5-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 2-5-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 負	00_40						
せん断応力度	Y 正	00_40						
引抜力	-	-						

6. ガス溜めバッファ部 4 の耐震計算

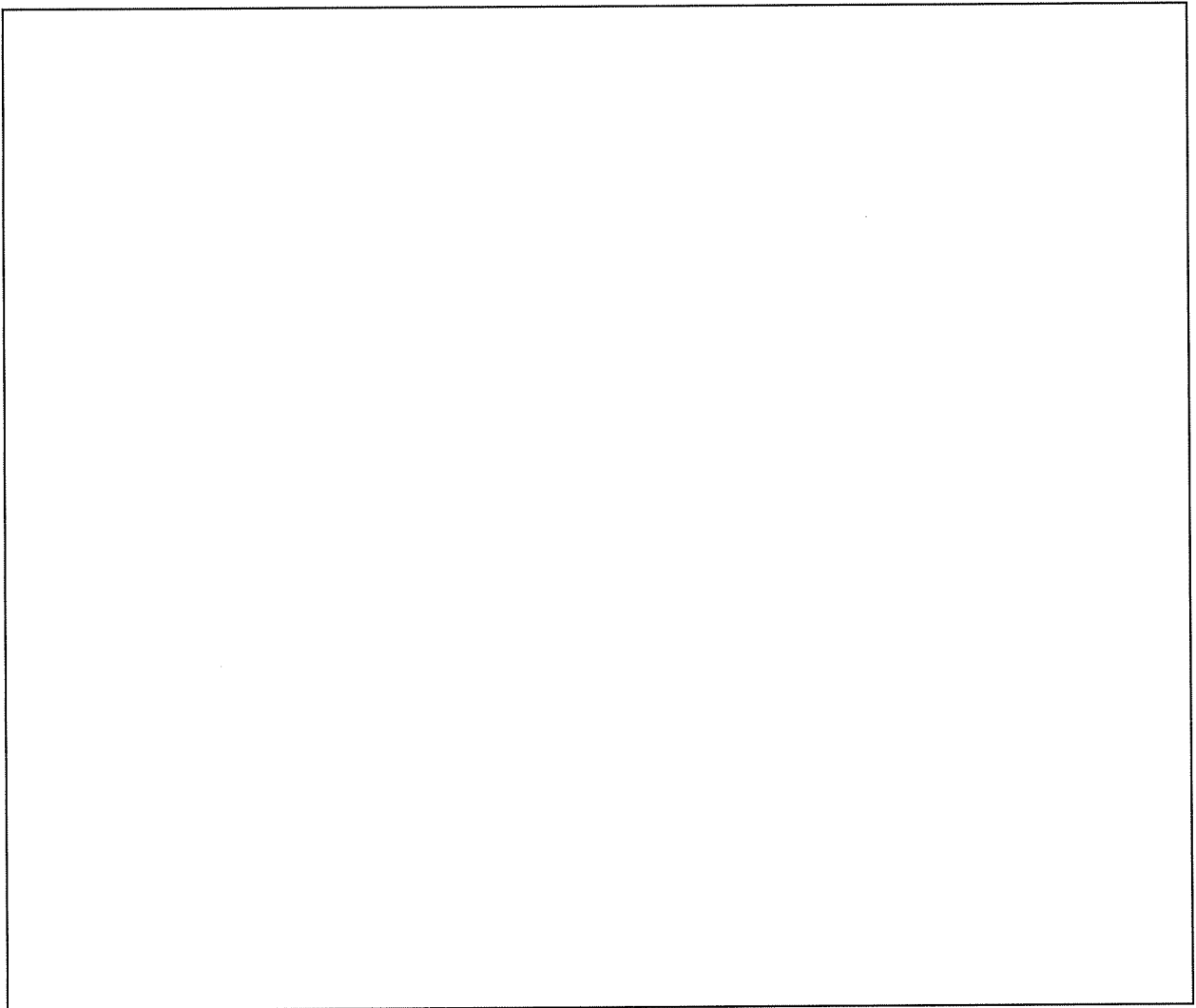
6. 1. 評価方法

ガス溜めバッファ部 4 の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

6. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-転 2-6-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-転 2-6-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-転 2-6-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-転 2-6-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



添説設 3-1-転 2-6-1 図 構造解析モデル

添説設 3-1-転 2-6-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴] $\times 10^4$		断面係数 [mm ³] $\times 10^3$		断面二次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
はり									計算値	
柱									計算値	
はり									計算値	
柱									計算値	

添説設 3-1-転 2-6-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				JSME S NJ1-2012

添説設 3-1-転 2-6-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

*：節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

6. 1. 2. 設計用地震力

6. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \text{[]}$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\text{[]}} \div \text{[]} \cdot \cdot \cdot \div \text{[]} \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は [] [Hz] となり、20 [Hz] 未満であるので、剛構造とならない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

6. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造とならない設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 1 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 1.0G とする。

6. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

6. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

6. 2. 応力評価

6. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 2-6-4 表及び添説設 3-1-転 2-6-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 2-6-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	—	02_01								
圧縮応力度	—	00_05								
せん断応力度	—	00_04								
曲げ応力度	—	00_02								
組合せ応力度	—	00_02								
組合せ応力	—	00_02								

添説設 3-1-転 2-6-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 負	06_03								
圧縮応力度	Y 負	00_03								
せん断応力度	Y 負	00_02								
曲げ応力度	Y 負	00_02								
組合せ応力度	Y 負	00_02								
組合せ応力	Y 負	00_02								

6. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 2-6-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 2-6-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	Y 負	00_22						
せん断応力度	Y 負	00_02						
引抜力	Y 負	00_22						

7. 蒸発器用防護カバーの耐震計算

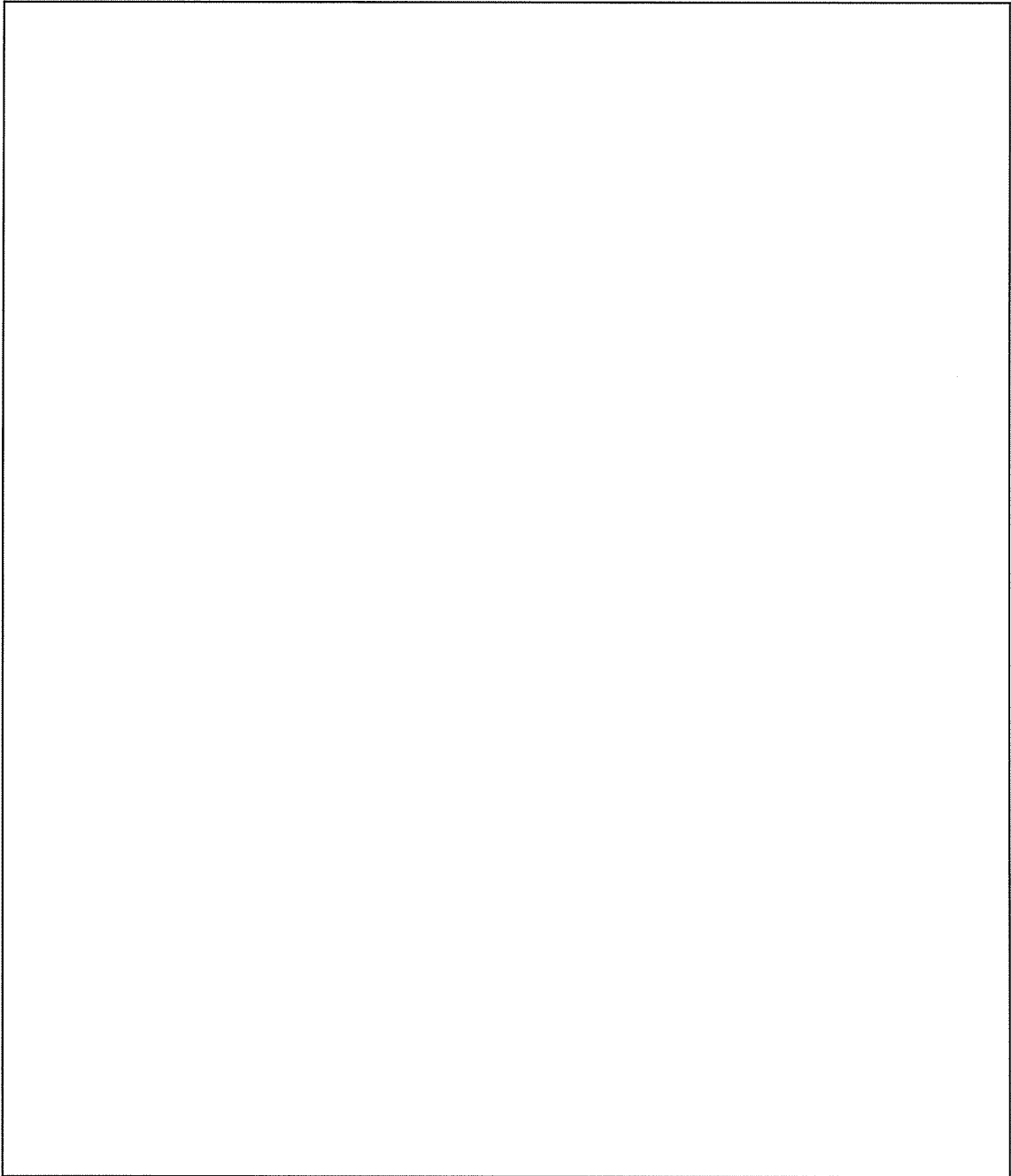
7. 1. 評価方法

蒸発器用防護カバーの地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

7. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-転 2-7-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-転 2-7-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-転 2-7-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-転 2-7-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



添説設 3-1-転 2-7-1 図 構造解析モデル

添説設 3-1-転 2-7-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴]×10 ⁴		断面係数 [mm ³]×10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
はり										JIS G3466
柱										JIS G3466
はり										JIS G3466
柱										JIS G3466

添説設 3-1-転 2-7-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-転 2-7-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

* : 節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

7. 1. 2. 設計用地震力

7. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\square} \doteq \square \cdots \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz] となり、20 [Hz] 以上であるので、剛構造の設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

7. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造の設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 1 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 1.0G とする。

7. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

7. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

7. 2. 応力評価

7. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 2-7-4 表及び添説設 3-1-転 2-7-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 2-7-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	—	01_01								
圧縮応力度	—	00_01								
せん断応力度	—	00_02								
曲げ応力度	—	00_02								
組合せ応力度	—	00_02								
組合せ応力	—	00_01								

添説設 3-1-転 2-7-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	Y 正	01_01								
圧縮応力度	Y 負	00_01								
せん断応力度	Y 負	00_02								
曲げ応力度	X 負	00_03								
組合せ応力度	X 正	00_01								
組合せ応力	Y 負	00_01								

7. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 2-7-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 2-7-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 正	00_02						
せん断応力度	X 負	00_02						
引抜力	-	-						

8. 蒸発器用防護カバー架台の耐震計算

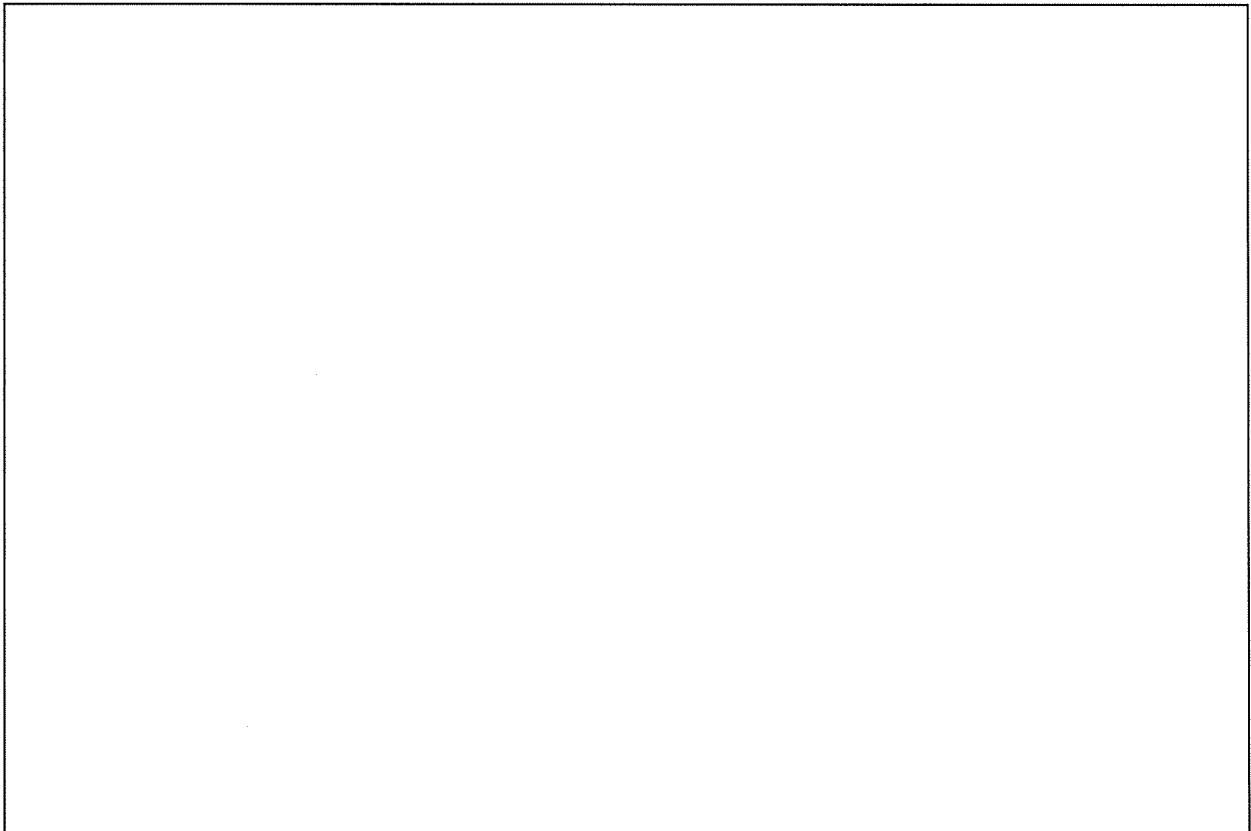
8. 1. 評価方法

蒸発器用防護カバー架台の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

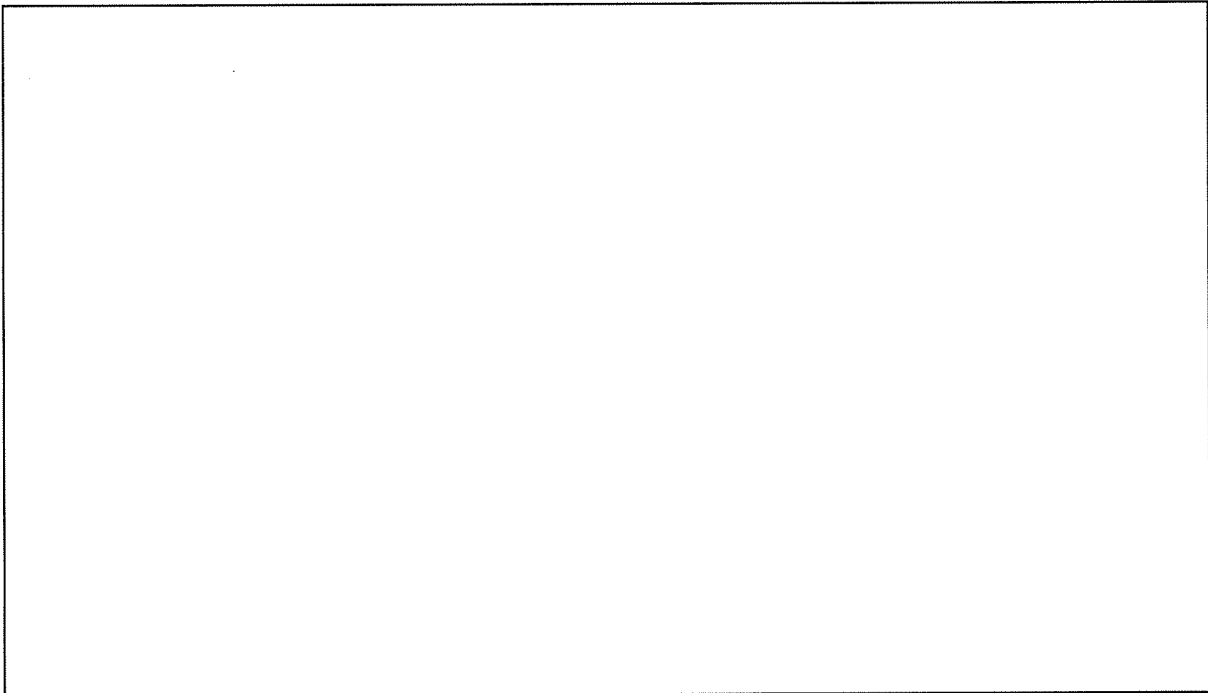
- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

8. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-転 2-8-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-転 2-8-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-転 2-8-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-転 2-8-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



添説設 3-1-転 2-8-1 図(1/2) 構造解析モデル



添説設 3-1-転 2-8-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-転 2-8-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴]×10 ⁴		断面係数 [mm ³]×10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
はり										JIS G3192

添説設 3-1-転 2-8-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-転 2-8-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

(注 1) 蒸発器用防護カバーの計算結果より設定

* : 節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

8. 1. 2. 設計用地震力

8. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\square} \div \square \cdots \div \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz]となり、20[Hz]以上であるので、剛構造の設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

8. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造の設備であり、転換工場1階に設置しており、耐震重要度分類第1類であることから、設計用地震力は静的地震力の1.0Gとする。

8. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

8. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設3-1-付1に示す。

8. 2. 応力評価

8. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設3-1-付2に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設3-1-転2-8-4表及び添説設3-1-転2-8-5表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 2-8-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	—	00_06								
圧縮応力度	—	00_06								
せん断応力度	—	00_08								
曲げ応力度	—	00_10								
組合せ応力度	—	00_10								
組合せ応力	—	00_10								

添説設 3-1-転 2-8-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	X 正	00_06								
圧縮応力度	X 負	00_06								
せん断応力度	X 正	00_06								
曲げ応力度	X 正	00_05								
組合せ応力度	X 正	00_05								
組合せ応力	X 負	00_05								

8. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 2-8-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 2-8-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	X 負	00_02						
せん断応力度	X 正	00_04						
引抜力	X 負	00_02						

9. フードボックス用防護カバーの耐震計算

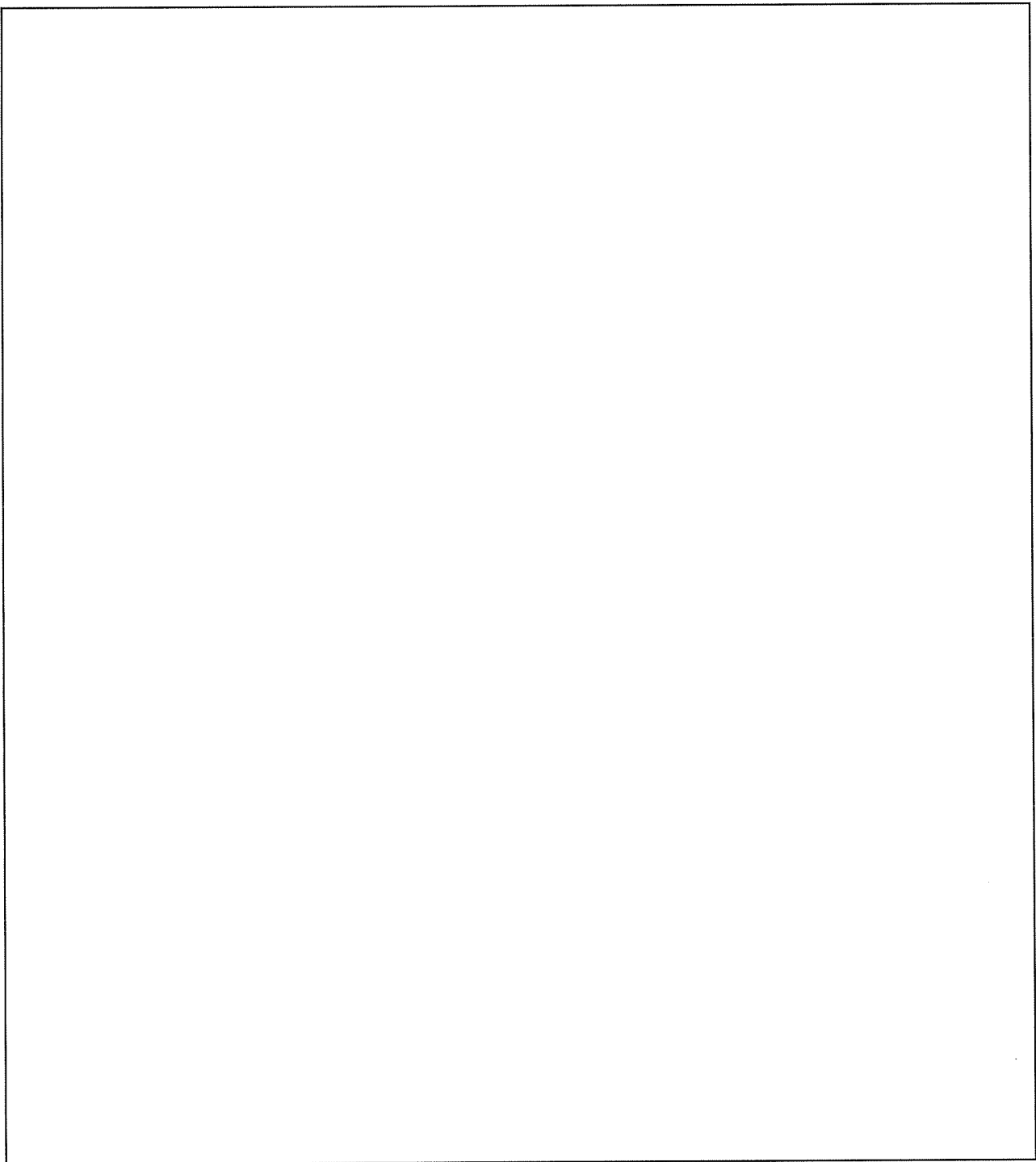
9. 1. 評価方法

フードボックス用防護カバーの地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

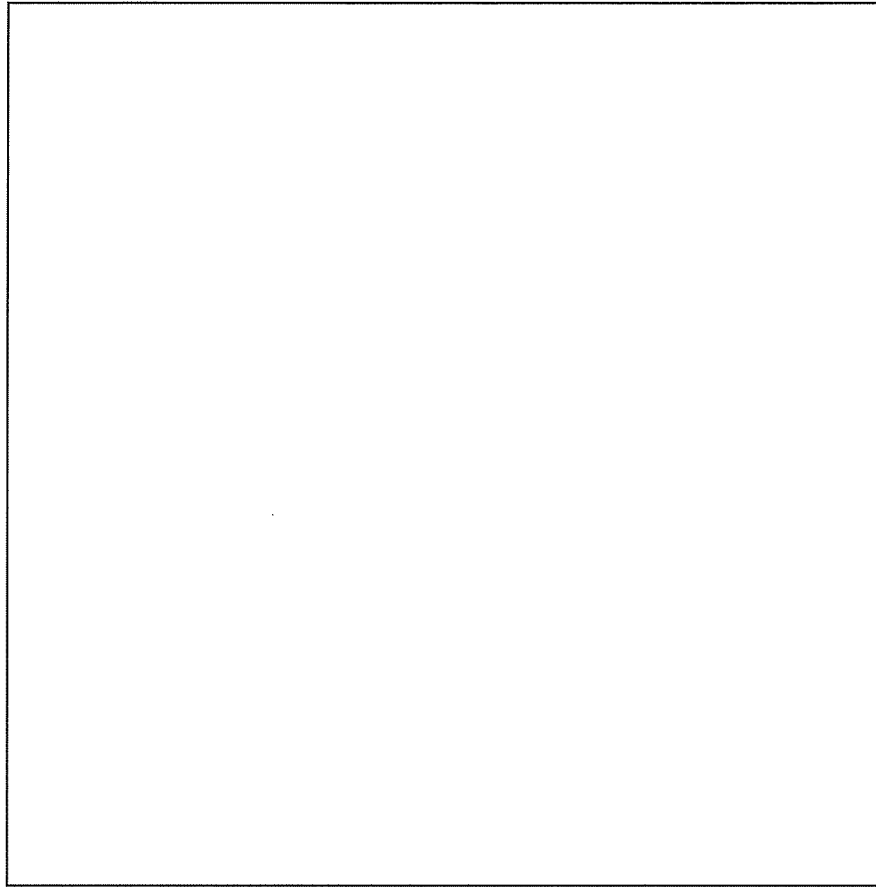
- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

9. 1. 1. 構造解析モデル

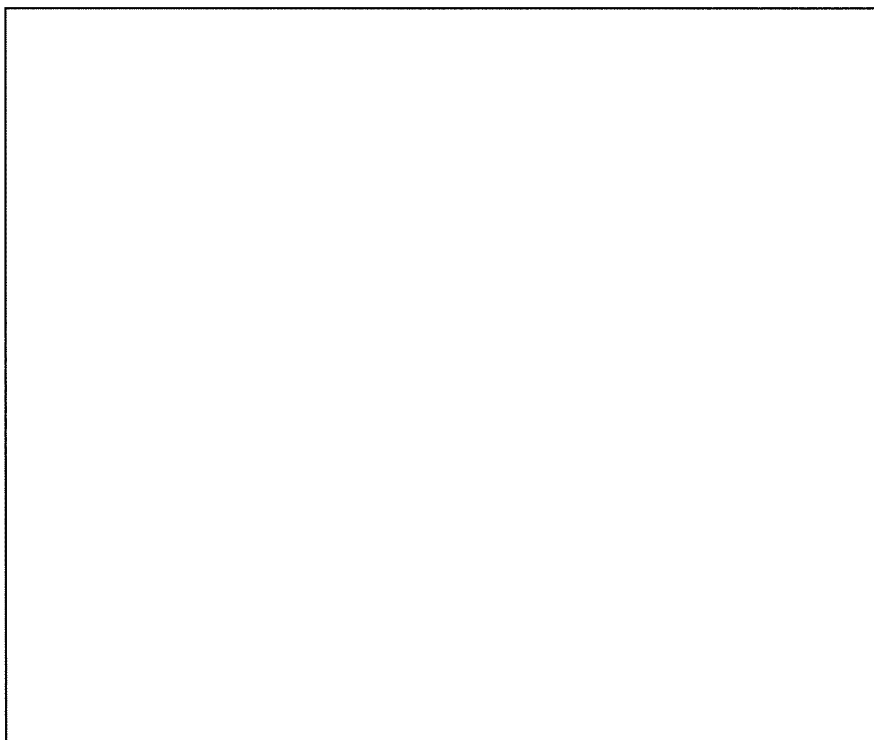
はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-転 2-9-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-転 2-9-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-転 2-9-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-転 2-9-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



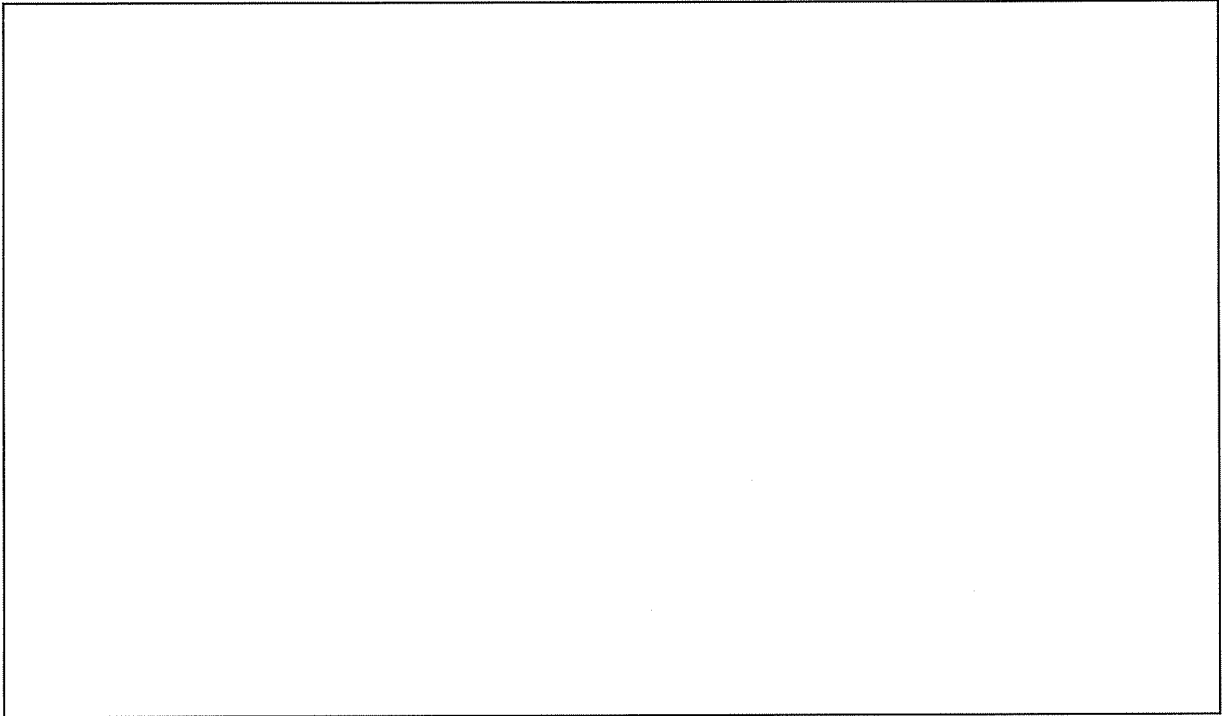
添説設 3-1-転 2-9-1 図(1/9) 構造解析モデル



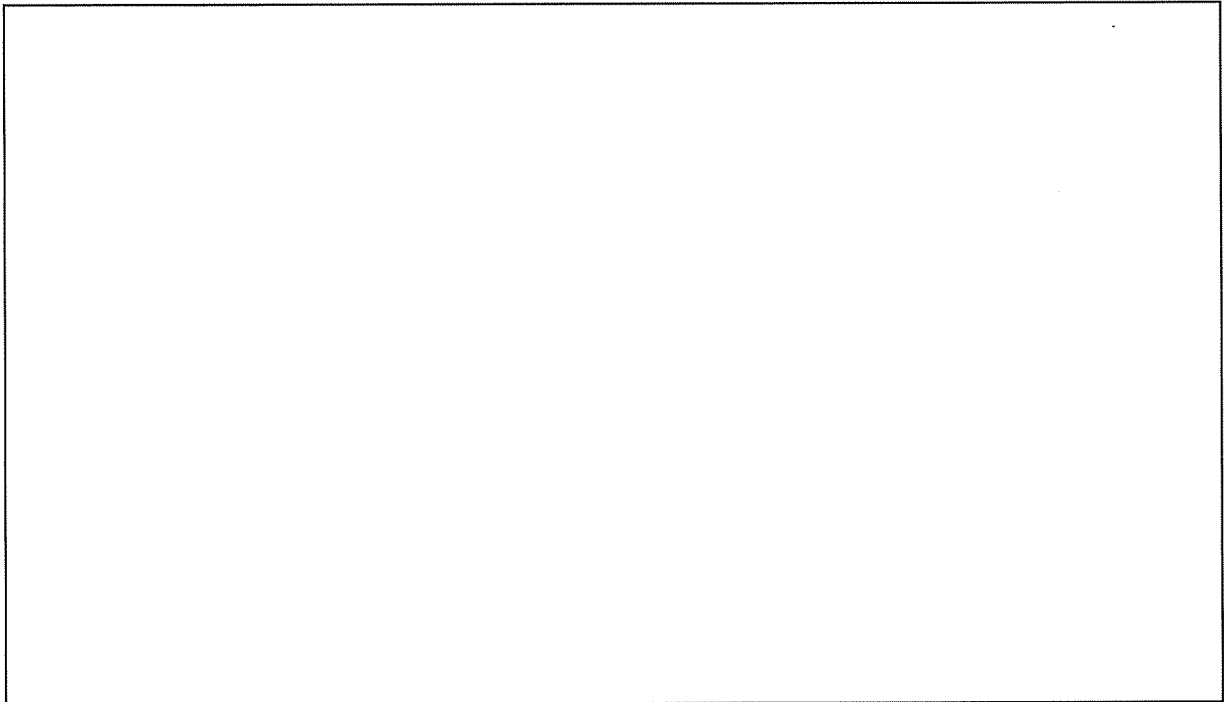
添説設 3-1-転 2-9-1 図(3/9) 構造解析モデル



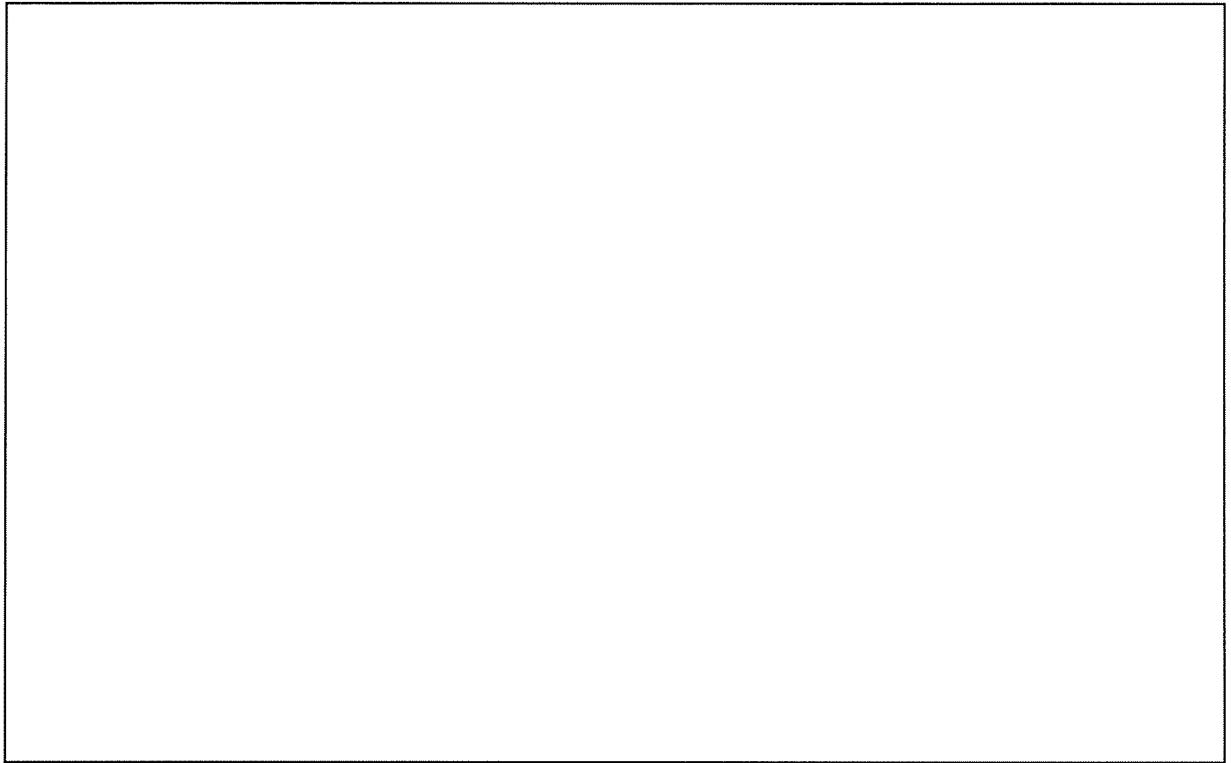
添説設 3-1-転 2-9-1 図(4/9) 構造解析モデル



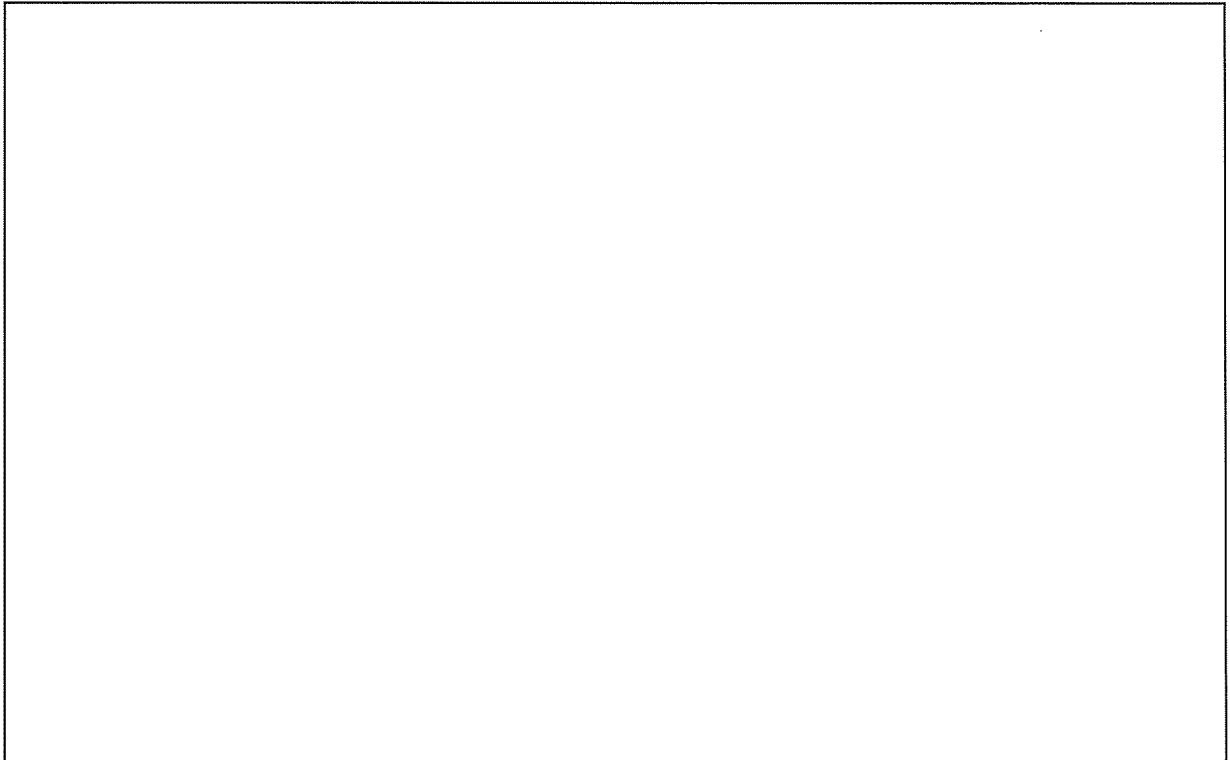
添説設 3-1-転 2-9-1 図(5/9) 構造解析モデル



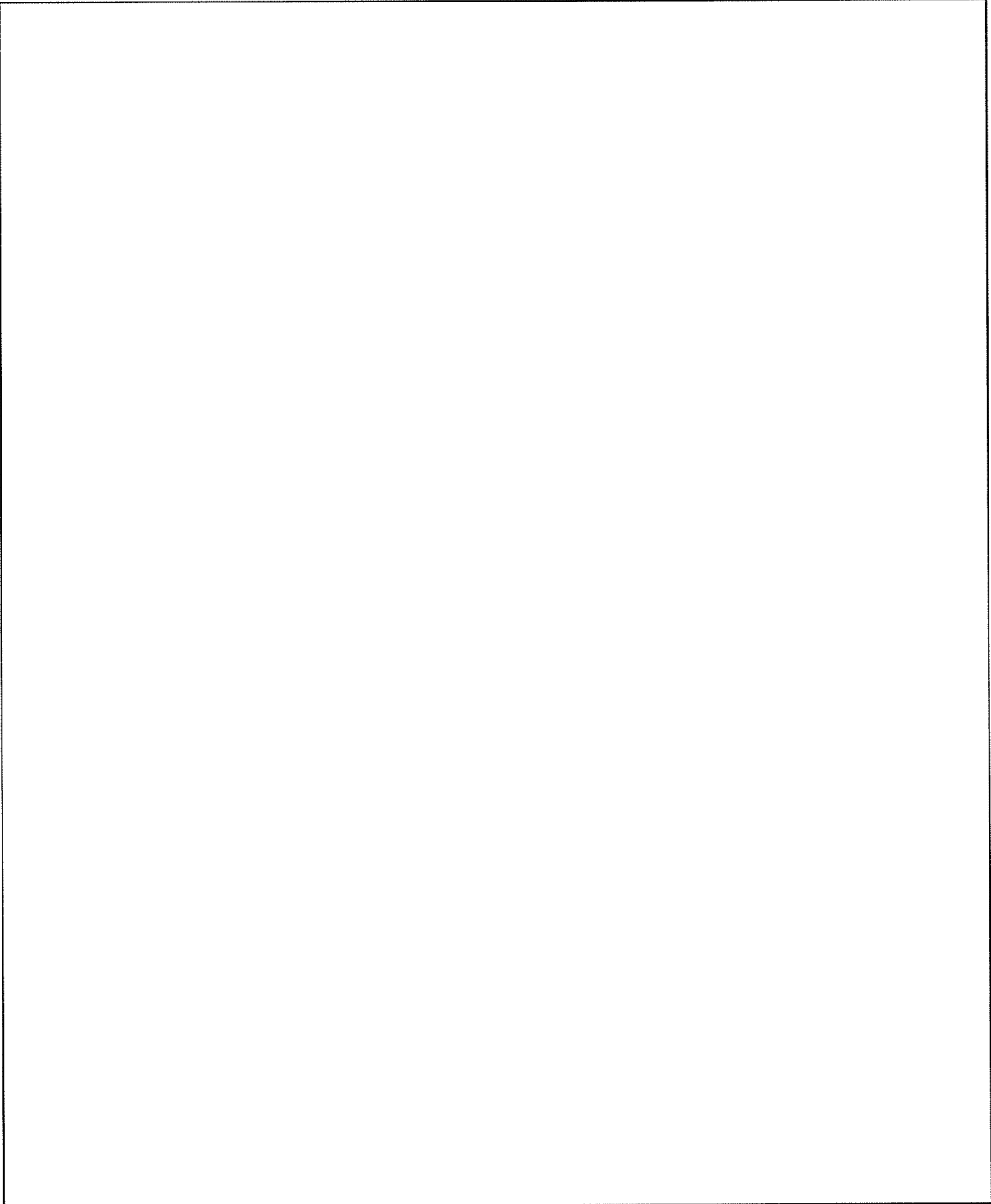
添説設 3-1-転 2-9-1 図(6/9) 構造解析モデル



添説設 3-1-転 2-9-1 図(7/9) 構造解析モデル



添説設 3-1-転 2-9-1 図(8/9) 構造解析モデル



添説設 3-1-転 2-9-1 図(9/9) 構造解析モデル

添説設 3-1-転 2-9-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴] $\times 10^4$		断面係数 [mm ³] $\times 10^3$		断面二次半径 [mm]	出典
					A	I _y	I _z	Z _y		
柱										
はり										
はり										
柱										
はり										
はり										

添説設 3-1-転 2-9-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典

添説設 3-1-転 2-9-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

*：節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

9. 1. 2. 設計用地震力

9. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \approx \square \cdot \cdot \cdot \approx \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz]となり、20[Hz]未満であるので、剛構造としない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

9. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造とならない設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 1 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 1.0G とする。

9. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

9. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

9. 2. 応力評価

9. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 2-9-4 表及び添説設 3-1-転 2-9-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 2-9-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	—	06_024								
圧縮応力度	—	00_036								
せん断応力度	—	08_046								
曲げ応力度	—	08_046								
組合せ応力度	—	08_046								
組合せ応力	—	08_046								

添説設 3-1-転 2-9-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	X 正	08_004								
圧縮応力度	X 負	06_003								
せん断応力度	Y 正	05_013								
曲げ応力度	Y 負	00_011								
組合せ応力度	X 負	00_030								
組合せ応力	Y 負	00_011								

9. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書—設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 2-9-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 2-9-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	X 正	00_001						
せん断応力度	Y 負	00_017						
引抜力	X 正	00_001						

10. UF₆配管用フードボックスの耐震計算

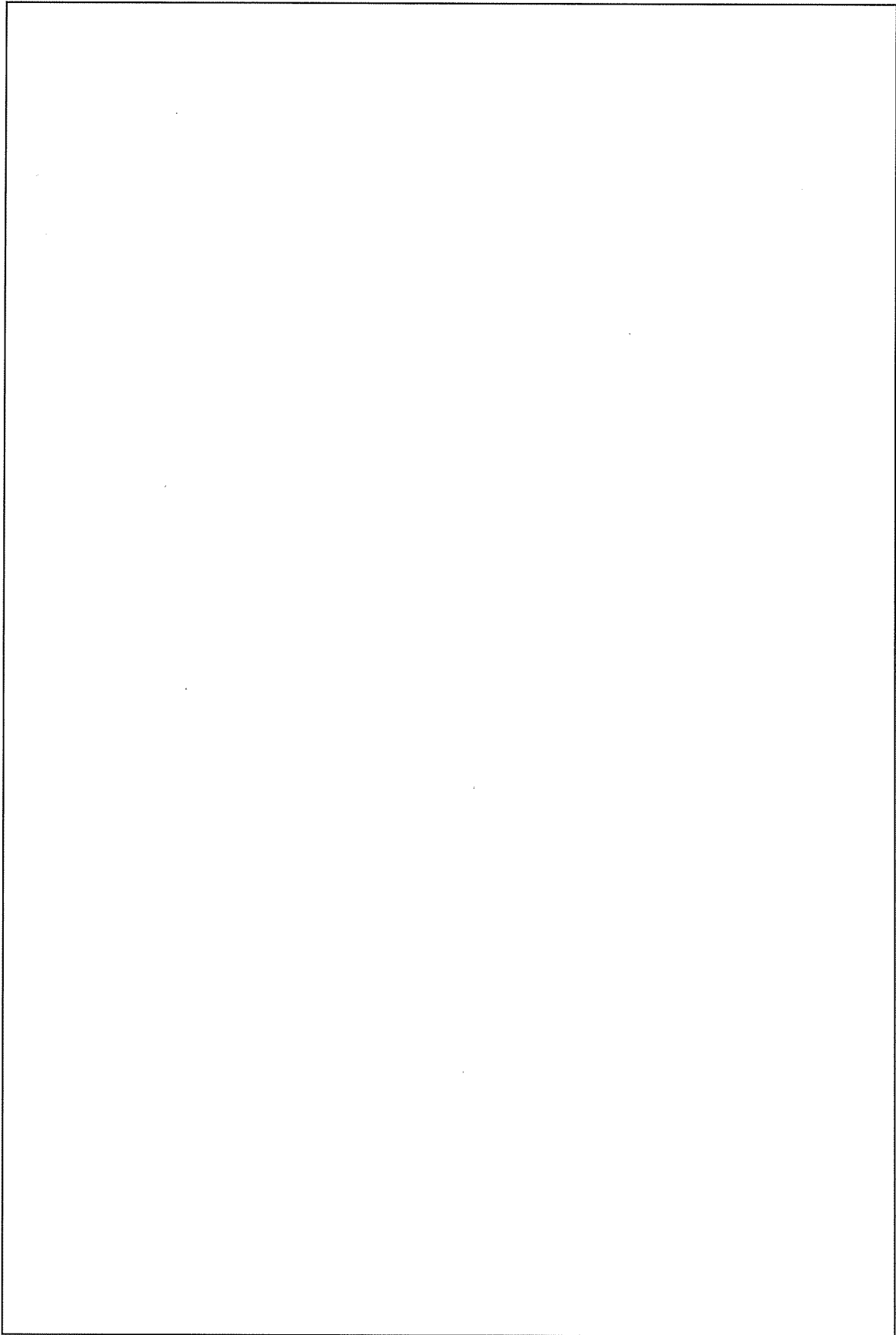
10. 1. 評価方法

UF₆配管用フードボックスの地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

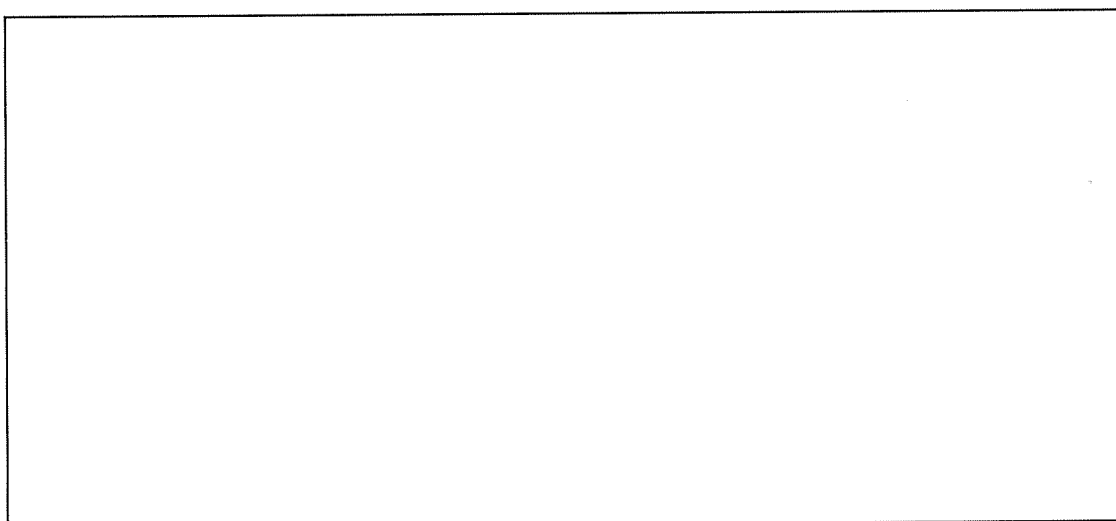
- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による3次元FEMによる静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードはFAP-3を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進3方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平2方向の荷重をそれぞれ考慮する。

10. 1. 1. 構造解析モデル

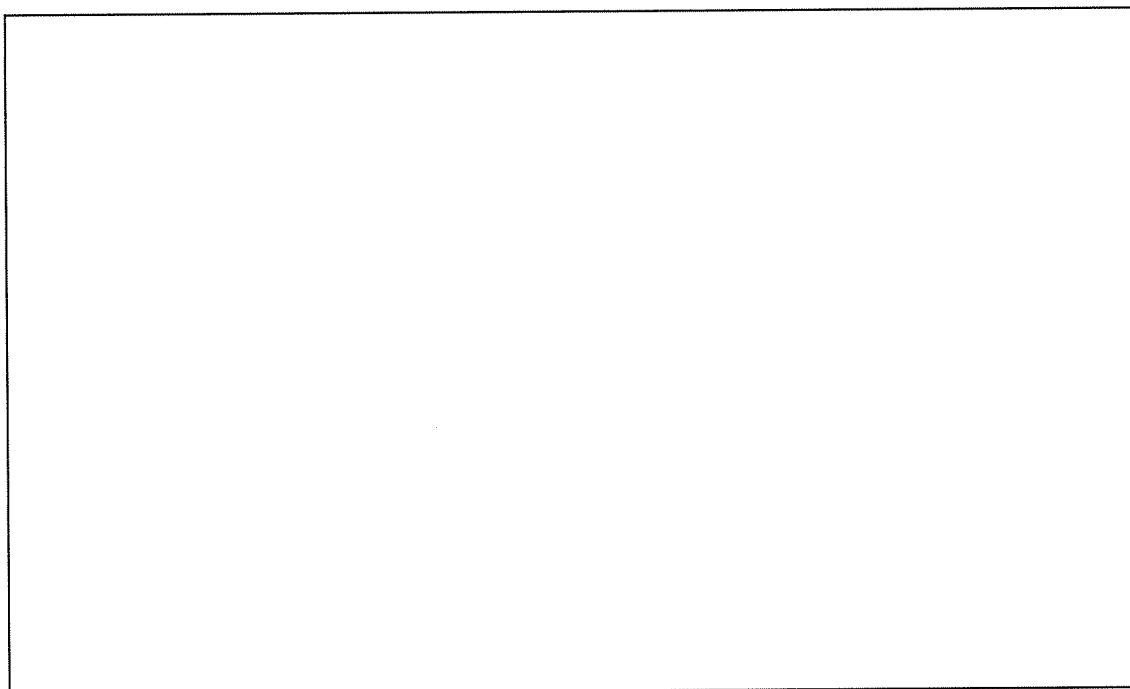
はり要素3次元構造解析モデルを添説設3-1-転2-10-1図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設3-1-転2-10-1表に示す。また、材料定数を添説設3-1-転2-10-2表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設3-1-転2-10-3表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



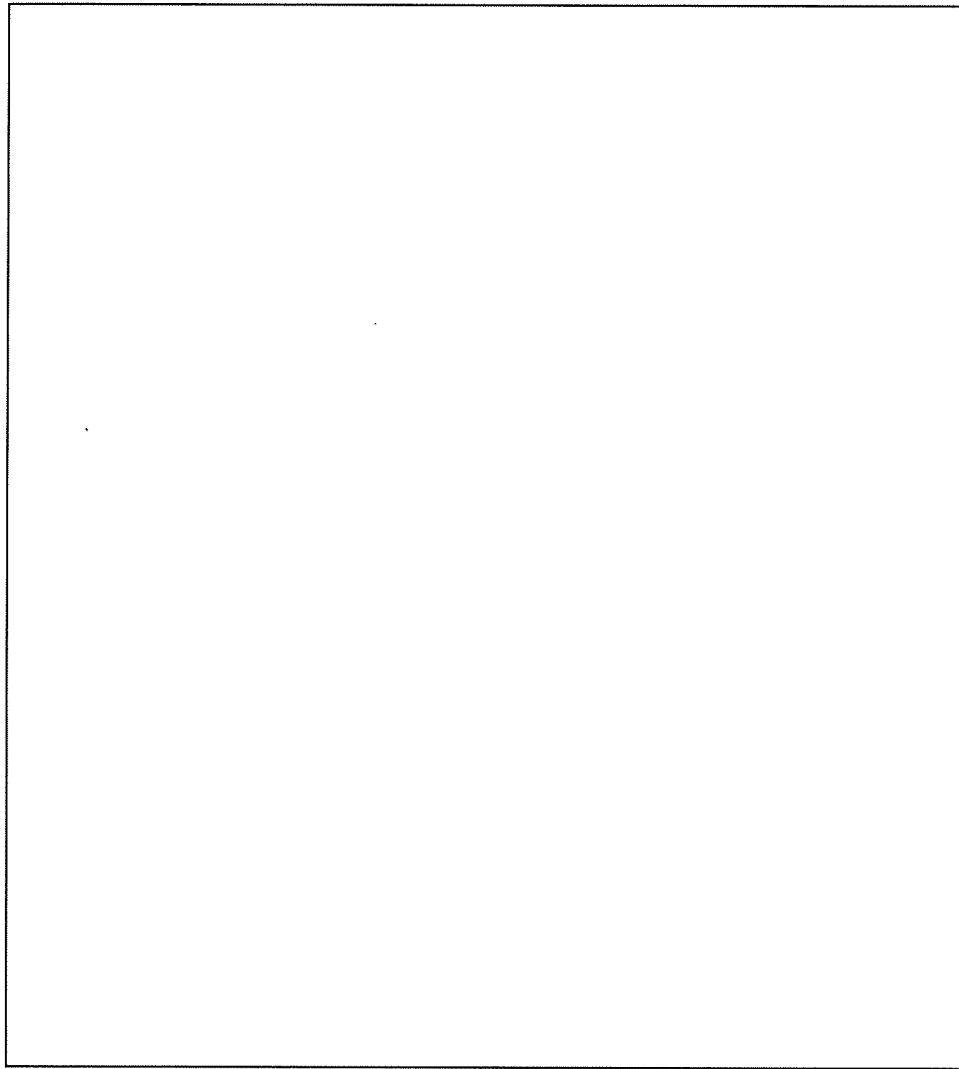
添説設 3-1-転 2-10-1 図 (2/5) 構造解析モデル



添説設 3-1-転 2-10-1 図 (3/5) 構造解析モデル



添説設 3-1-転 2-10-1 図 (4/5) 構造解析モデル



添説設 3-1-転 2-10-1 図 (5/5) 構造解析モデル

添説設 3-1-転 2-10-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴] × 10 ⁴		断面係数 [mm ³] × 10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	Iy	Iz	Zy	Zz	I	
はり									JIS G4317	
柱									JIS G4317	
はり									JIS G4317	

添説設 3-1-転 2-10-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				JSME S NJ1-2012

添説設 3-1-転 2-10-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

*：節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

10. 1. 2. 設計用地震力

10. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \div \square \cdots \div \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz] となり、20 [Hz] 未満であるので、剛構造としない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

10. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造としない設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 1 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 1.0G とする。

10. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

10. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

10. 2. 応力評価

10. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 2-10-4 表及び添説設 3-1-転 2-10-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 2-10-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	—	02_103								
圧縮応力度	—	00_001								
せん断応力度	—	02_094								
曲げ応力度	—	02_105								
組合せ応力度	—	02_105								
組合せ応力	—	02_095								

添説設 3-1-転 2-10-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	X 負	01_002	1048							
圧縮応力度	X 負	00_001	1430							
せん断応力度	Y 正	03_003	196							
曲げ応力度	X 負	02_001	18							
組合せ応力度	X 負	02_001	18							
組合せ応力	X 負	02_001	18							

10. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 2-10-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 2-10-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	X 負	00_002						
せん断応力度	Y 正	00_050						
引抜力	X 負	00_002						

1 1. UF₆配管用防護カバーの耐震計算

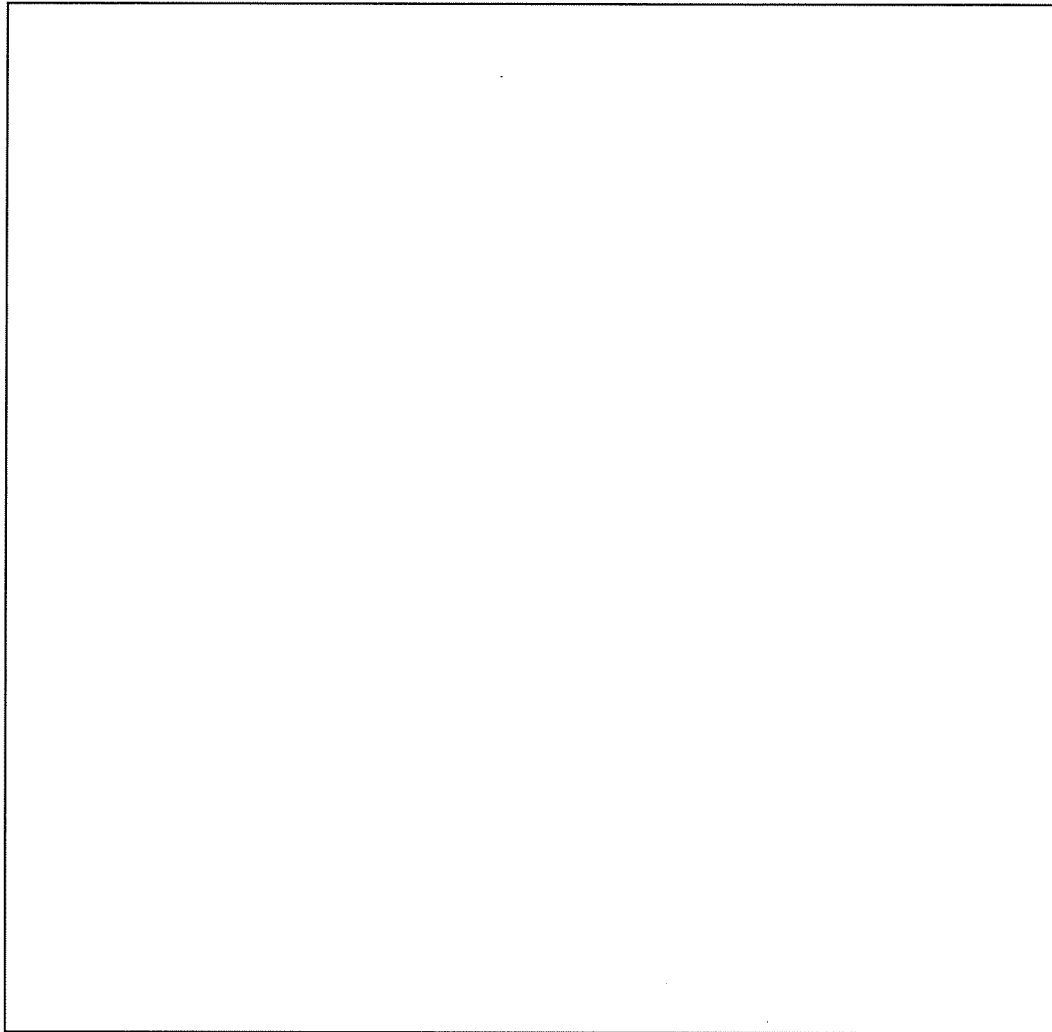
1 1. 1. 評価方法

UF₆配管用防護カバーの地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

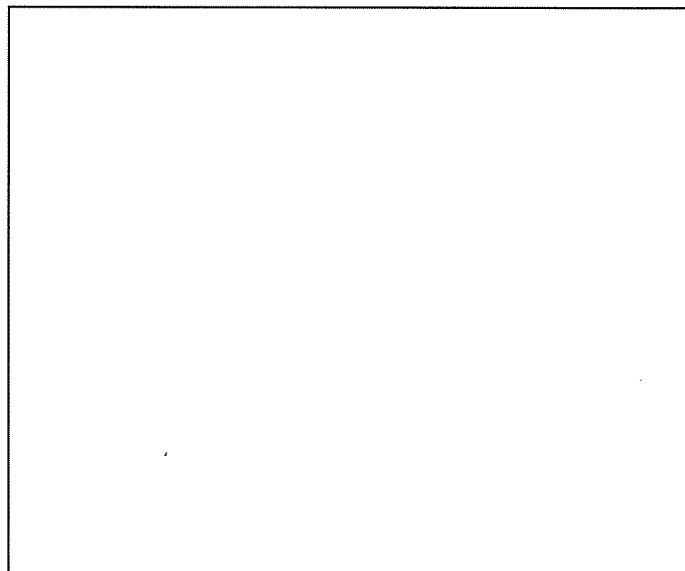
1 1. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-転 2-11-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-転 2-11-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-転 2-11-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-転 2-11-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



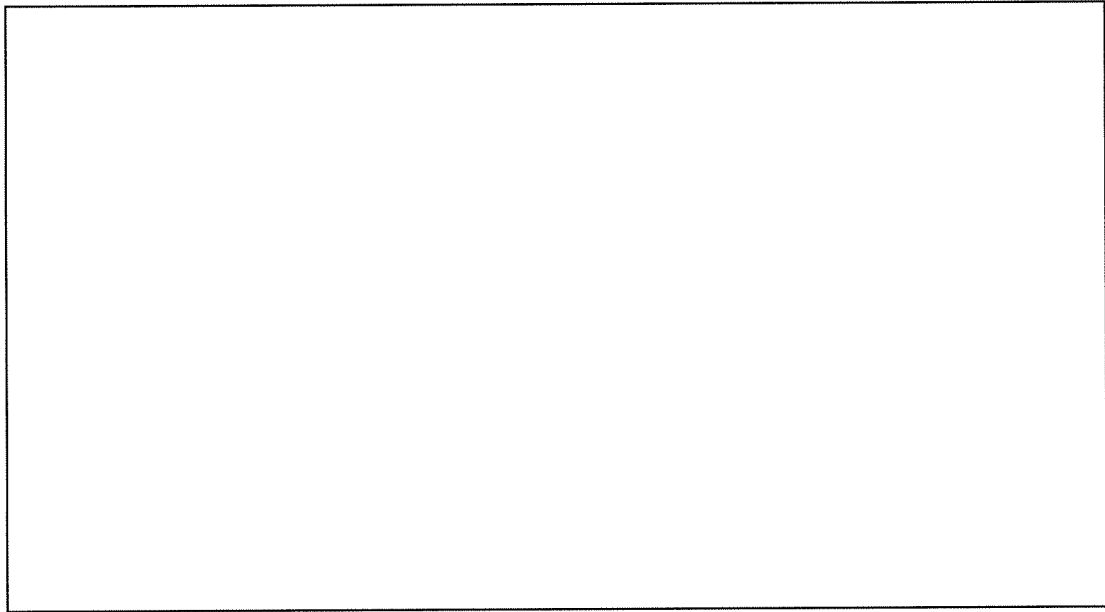
寸法及び節点

添説設 3-1-転 2-11-1 図 (1/5) 構造解析モデル



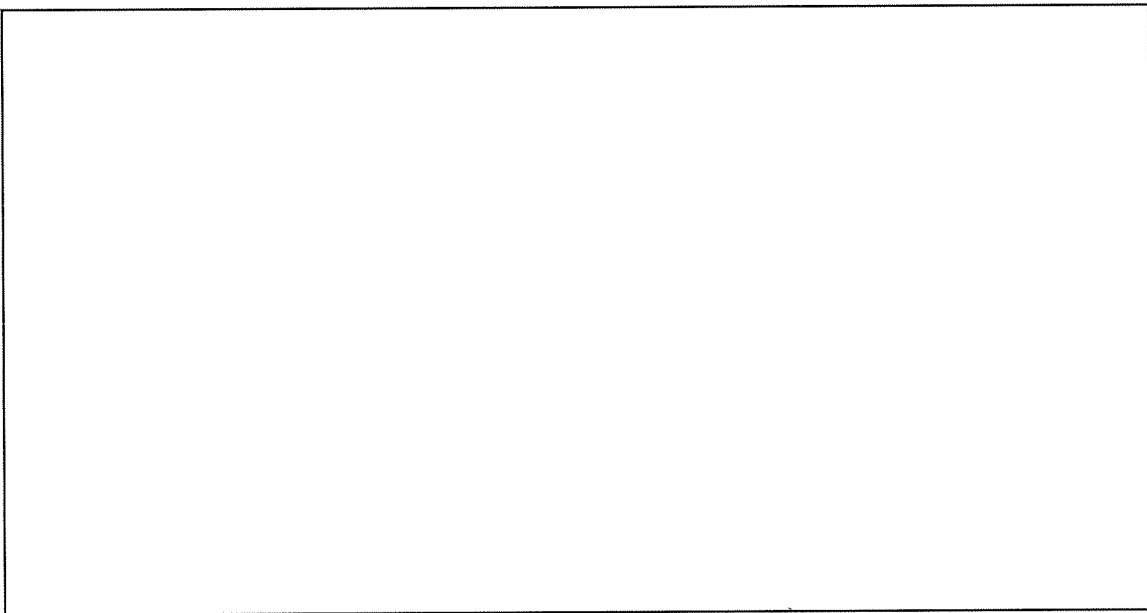
寸法及び節点

添説設 3-1-転 2-11-1 図 (2/5) 構造解析モデル



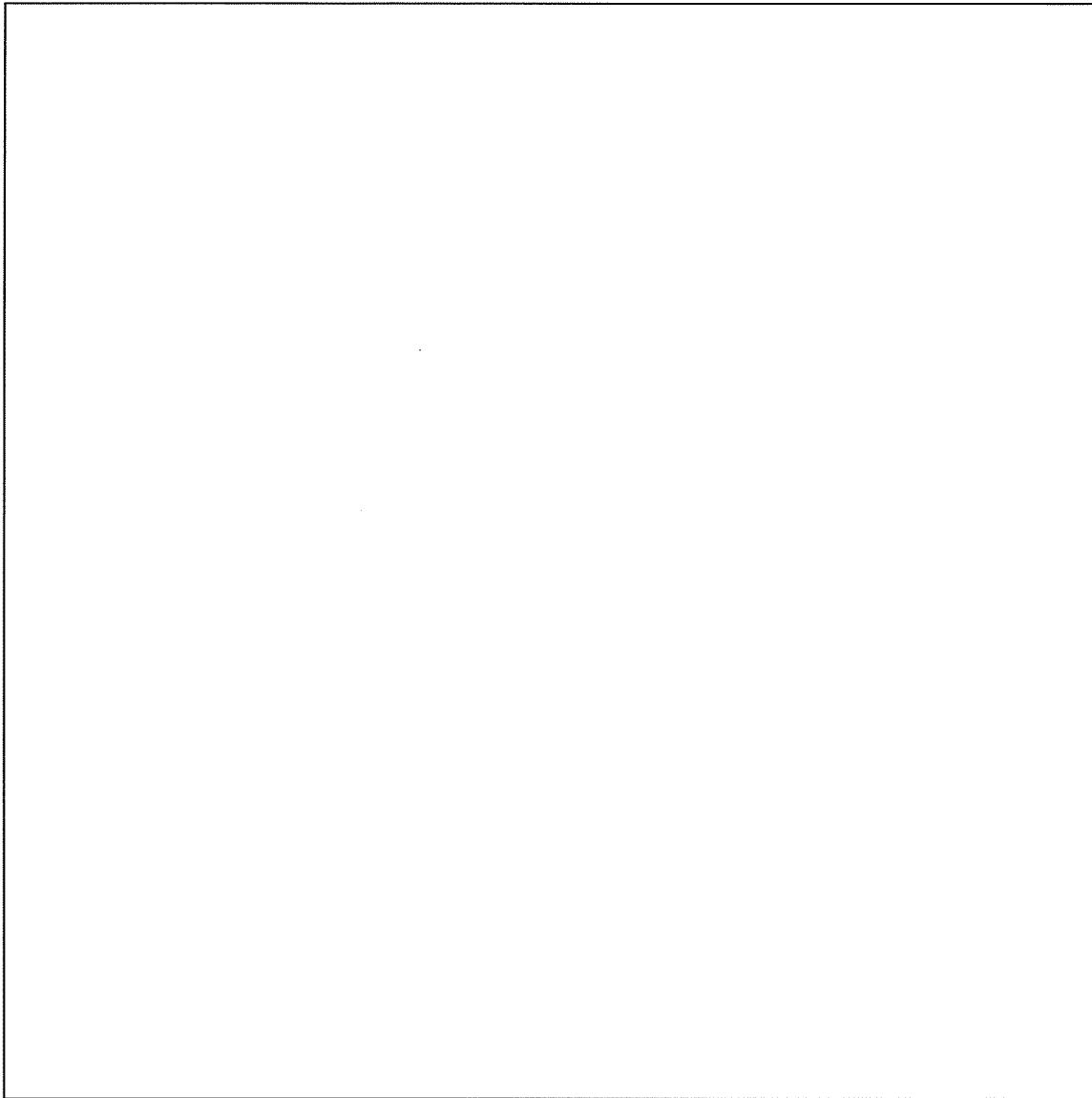
寸法及び節点

添説設 3-1-転 2-11-1 図 (3/5) 構造解析モデル



寸法及び節点

添説設 3-1-転 2-11-1 図 (4/5) 構造解析モデル



寸法及び節点

添説設 3-1-転 2-11-1 図 (5/5) 構造解析モデル

添説設 3-1-転 2-11-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴] × 10 ⁴		断面係数 [mm ³] × 10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	

添説設 3-1-転 2-11-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-転 2-11-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

*：節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

1 1. 1. 2. 設計用地震力

1 1. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \doteq \square \cdot \cdot \cdot \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz] となり、20 [Hz] 未満であるので、剛構造としない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

1 1. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造としない設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 1 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 1.0G とする。

1 1. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

1 1. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

1 1. 2. 応力評価

1 1. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 2-11-4 表及び添説設 3-1-転 2-11-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 2-11-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	—	02_057								
圧縮応力度	—	00_001								
せん断応力度	—	02_044								
曲げ応力度	—	02_044								
組合せ応力度	—	03_083								
組合せ応力	—	03_065								

添説設 3-1-転 2-11-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	Y 負	01_080								
圧縮応力度	X 負	00_001								
せん断応力度	Y 負	04_007								
曲げ応力度	X 負	03_001								
組合せ応力度	X 負	03_001								
組合せ応力	X 負	03_001								

1 1. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 2-11-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 2-11-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	Y 負	00_082						
せん断応力度	Y 正	00_052						
引抜力	Y 負	00_082						

コールドトラップの耐震計算書

1. 設備・機器概要

1. 1. 耐震重要度分類

耐震重要度分類は第1類である。

1. 2. 設置位置

設置位置を添説設3-1-転3-1-1表に示す。

添説設3-1-転3-1-1表 対象設備 設置位置

機器名	建物名	区分	部屋名	参照図面
コールドトラップ(1)、コールドトラップ(2)	工場棟	転換工場	原料倉庫	添付図 図イ配-1

1. 3. 構造

構造図を添説設3-1-転3-1-2表に示す。

添説設3-1-転3-1-2表 対象設備 構造図

機器名	構造図
コールドトラップ(1)、コールドトラップ(2)	添付図 図イ設-4

2. コールドトラップ(1), (2)の耐震計算

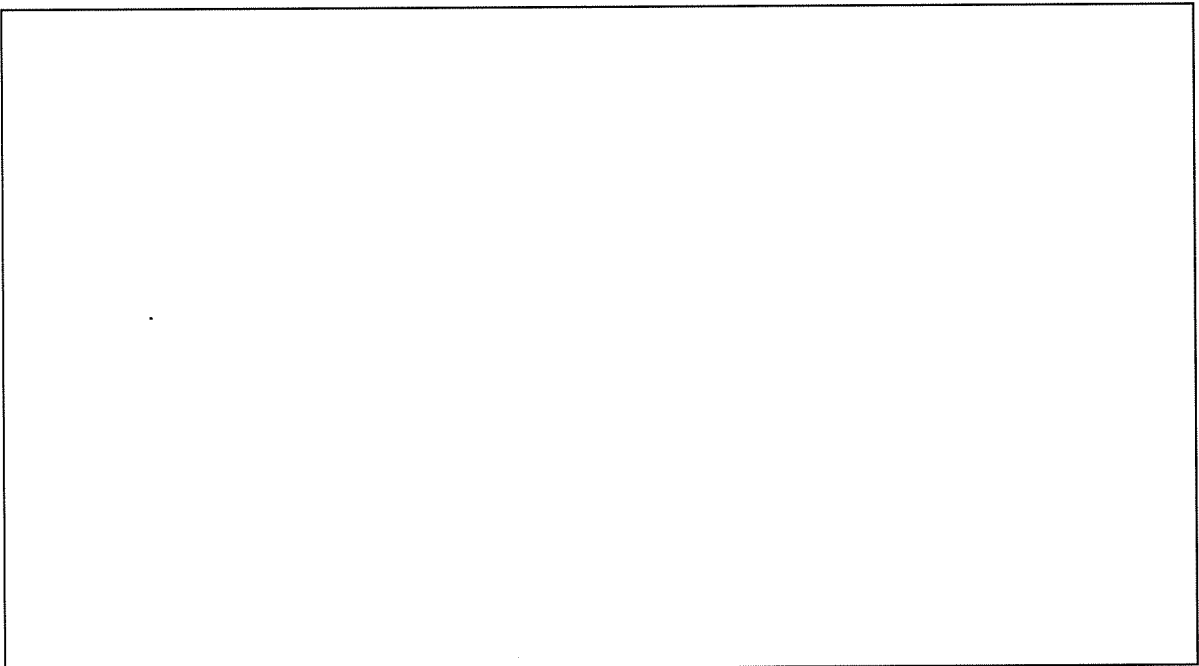
2. 1. 評価方法

コールドトラップ(1), (2)の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

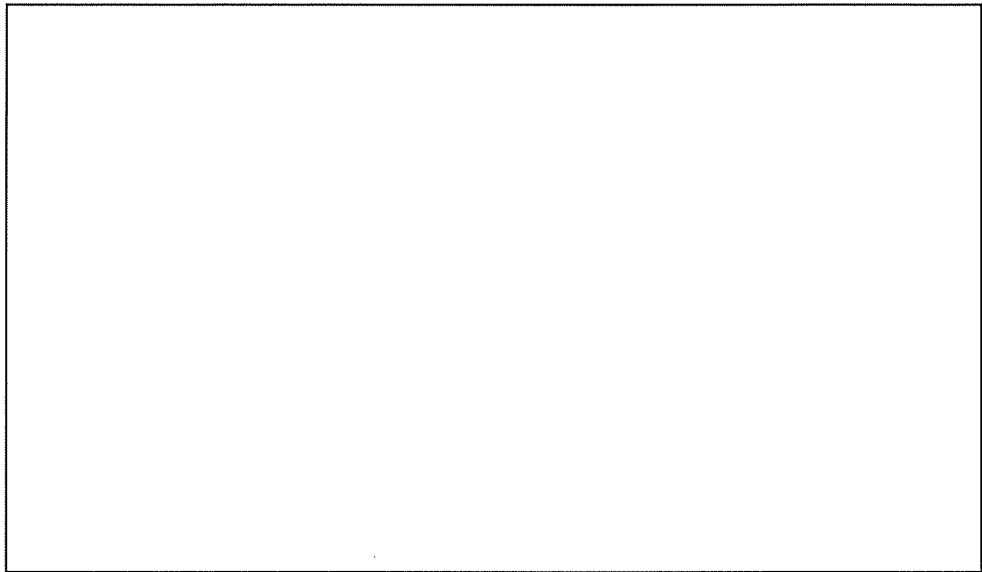
2. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-転 3-2-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-転 3-2-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-転 3-2-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-転 3-2-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-転 3-2-1 図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-転 3-2-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-転 3-2-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次 モーメント [mm ⁴]×10 ⁴		断面係数 [mm ³]×10 ³		断面二 次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
柱									JIS G3466	
はり									JIS G3192	

添説設 3-1-転 3-2-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-転 3-2-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

*：節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

2. 1. 2. 設計用地震力

2. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \doteq \square \cdots \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz]となり、20 [Hz]以上であるので、剛構造の設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

2. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造の設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 1 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 1.0G とする。

2. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

2. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書－設 3-1-付 1 に示す。

2. 2. 応力評価

2. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書－設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 3-2-4 表及び添説設 3-1-転 3-2-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 3-2-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	—	—								
圧縮応力度	—	00_01								
せん断応力度	—	01_01								
曲げ応力度	—	01_03								
組合せ応力度	—	01_03								
組合せ応力	—	01_01								

添説設 3-1-転 3-2-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	Y 正	01_01								
圧縮応力度	Y 正	00_03								
せん断応力度	Y 正	01_07								
曲げ応力度	X 正	01_02								
組合せ応力度	Y 正	01_07								
組合せ応力	Y 正	01_07								

2. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 3-2-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 3-2-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	Y 正	00_01						
せん断応力度	Y 正	00_03						
引抜力	Y 正	00_01						

コールドトラップ (小) の耐震計算書

1. 設備・機器概要

1. 1. 耐震重要度分類

耐震重要度分類は第1類である。

1. 2. 設置位置

設置位置を添説設3-1-転4-1-1表に示す。

添説設3-1-転4-1-1表 対象設備 設置位置

機器名	建物名	区分	部屋名	参照図面
コールドトラップ(小)(1)、コールドトラップ(小)(2)	工場棟	転換工場	原料倉庫	添付図 図イ配-1

1. 3. 構造

構造図を添説設3-1-転4-1-2表に示す。

添説設3-1-転4-1-2表 対象設備 構造図

機器名	構造図
コールドトラップ(小)(1)、コールドトラップ(小)(2)	添付図 図イ設-5

2. コールドトラップ (小) (1), (2)の耐震計算

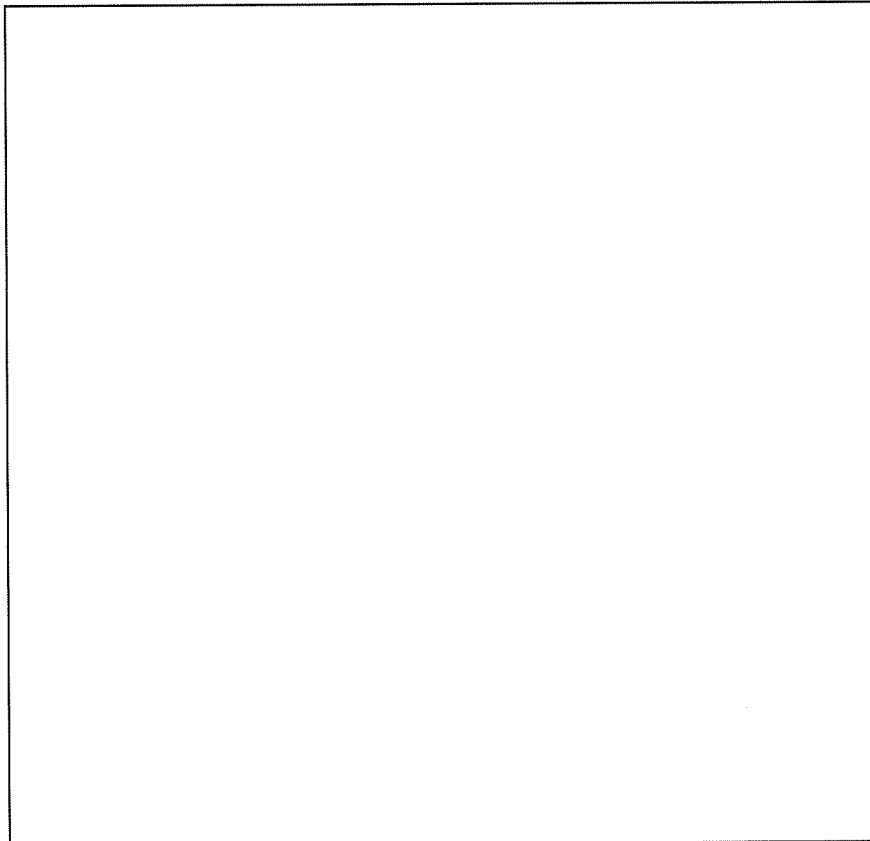
2. 1. 評価方法

コールドトラップ (小) (1), (2)の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

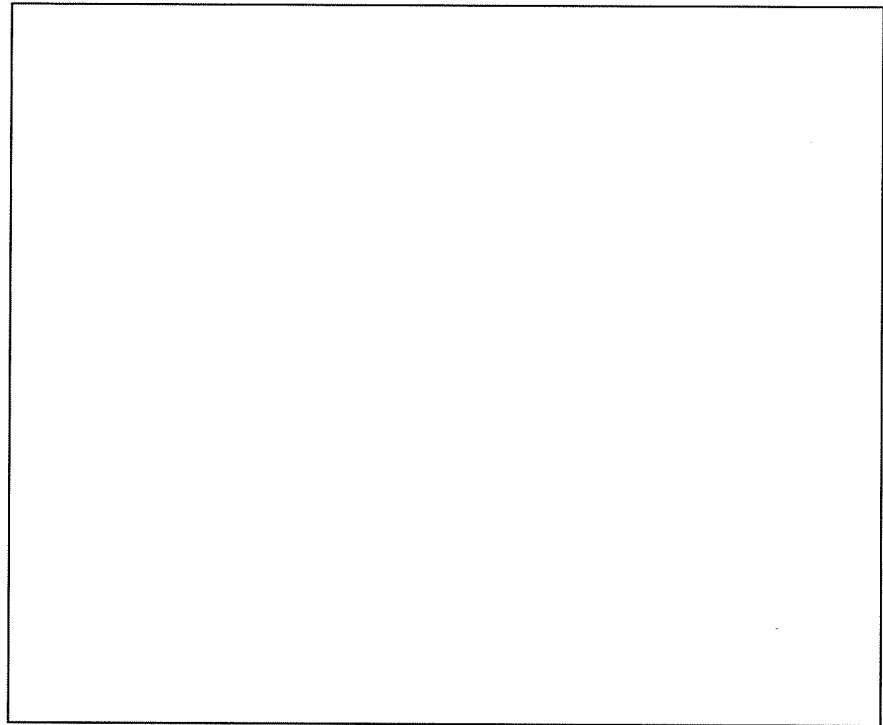
- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

2. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-転 4-2-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-転 4-2-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-転 4-2-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-転 4-2-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



添説設 3-1-転 4-2-1 図 (1/2) 構造解析モデル



添説設 3-1-転 4-2-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-転 4-2-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴] × 10 ⁴		断面係数 [mm ³] × 10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
はり										
柱										

添説設 3-1-転 4-2-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-転 4-2-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

* : 節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

2. 1. 2. 設計用地震力

2. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \doteq \square \cdots \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz] となり、20 [Hz] 以上であるので、剛構造となる。また、一次固有振動数が十分に大きいことから、本体は剛であると判断でき、据付ボルトの評価で代表する。

2. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造の設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 1 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 1.0G とする。

2. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

2. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

2. 2. 応力評価

据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 4-2-4 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 4-2-4 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	X 正	00_01						
せん断応力度	X 正	00_02						
引抜力	X 正	00_01						

循環貯槽の耐震計算書

1. 設備・機器概要

1. 1. 耐震重要度分類

耐震重要度分類は第1類である。

1. 2. 設置位置

設置位置を添説設3-1-転5-1-1表に示す。

添説設3-1-転5-1-1表 対象設備 設置位置

機器名	建物名	区分	部屋名	参照図面
循環貯槽(1)、循環貯槽(2)、熱交換器(循環貯槽)(1)、熱交換器(循環貯槽)(2)	工場棟	転換工場	原料倉庫及び転換加工室	添付図 図イ配-1

1. 3. 構造

構造図を添説設3-1-転5-1-2表に示す。循環貯槽は安全機能を有する設備として循環貯槽(1)、(2)、熱交換器(1)、(2)、循環貯槽(1)、(2)架台を有する。

添説設3-1-転5-1-2表 対象設備 構造図

機器名	構造図
循環貯槽(1)、循環貯槽(2)	添付図 図イ設-6
熱交換器(循環貯槽)(1)	添付図 図イ設-8
熱交換器(循環貯槽)(2)	添付図 図イ設-9

2. 循環貯槽(1), (2)の耐震計算

2. 1. 評価方法

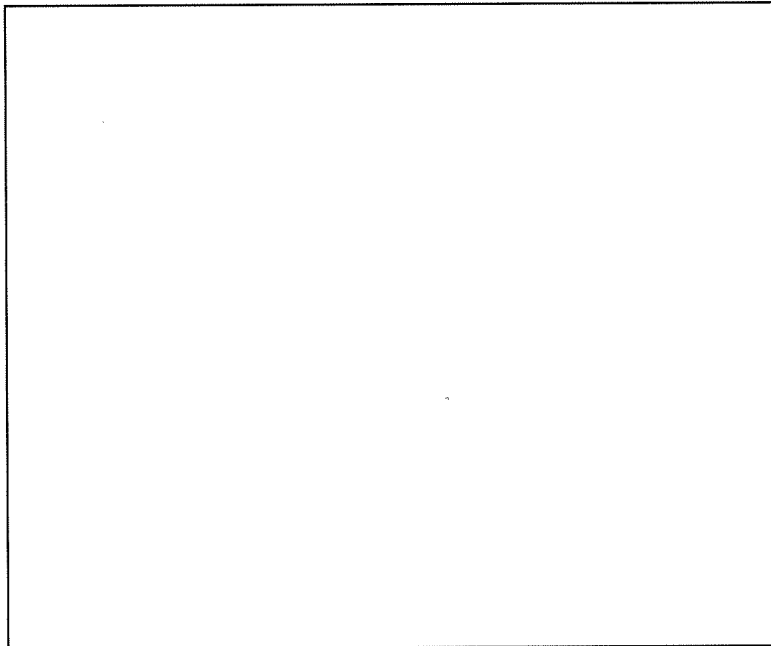
循環貯槽(1), (2)の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による3次元FEMによる静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードはFAP-3を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部を完全固定とする。
- (4) 地震荷重は、水平2方向の荷重をそれぞれ考慮する。

2. 1. 1. 構造解析モデル

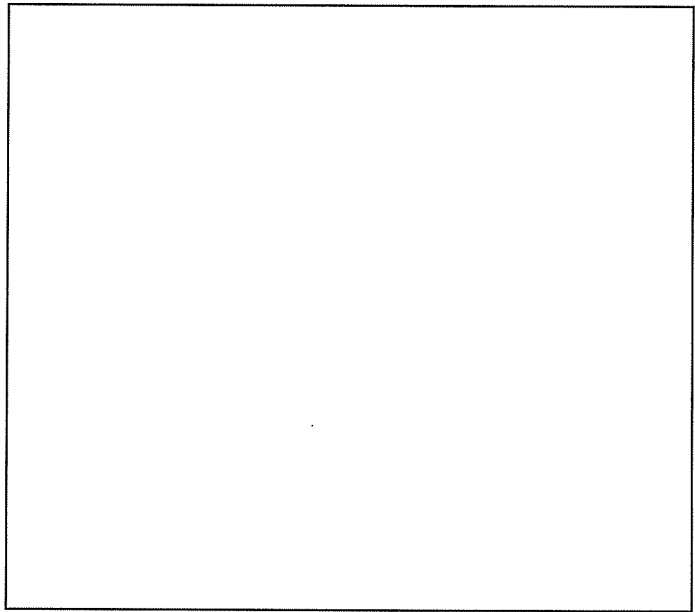
はり要素3次元構造解析モデルを添説設3-1-転5-2-1図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設3-1-転5-2-1表に示す。また、材料定数を添説設3-1-転5-2-2表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設3-1-転5-2-3表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。

単位：[mm]



(1) 寸法及び節点

添説設3-1-転5-2-1図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-転 5-2-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-転 5-2-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴] × 10 ⁴		断面係数 [mm ³] × 10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
柱									計算値	

添説設 3-1-転 5-2-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				JSME S NJ1-2012

添説設 3-1-転 5-2-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

* : 節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

2. 1. 2. 設計用地震力

2. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\square} \approx \square \cdots \approx \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz] となり、20 [Hz] 以上であるので、剛構造となる。また、一次固有振動数が十分に大きいことから、本体は剛であると判断でき、据付ボルトの評価で代表する。

2. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造の設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 1 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 1.0G とする。

2. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

2. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

2. 2. 応力評価

据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 5-2-4 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 5-2-4 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	Y 正	01_01						
せん断応力度	X 正	01_01						
引抜力	—	—						

3. 熱交換器(1), (2)の耐震計算

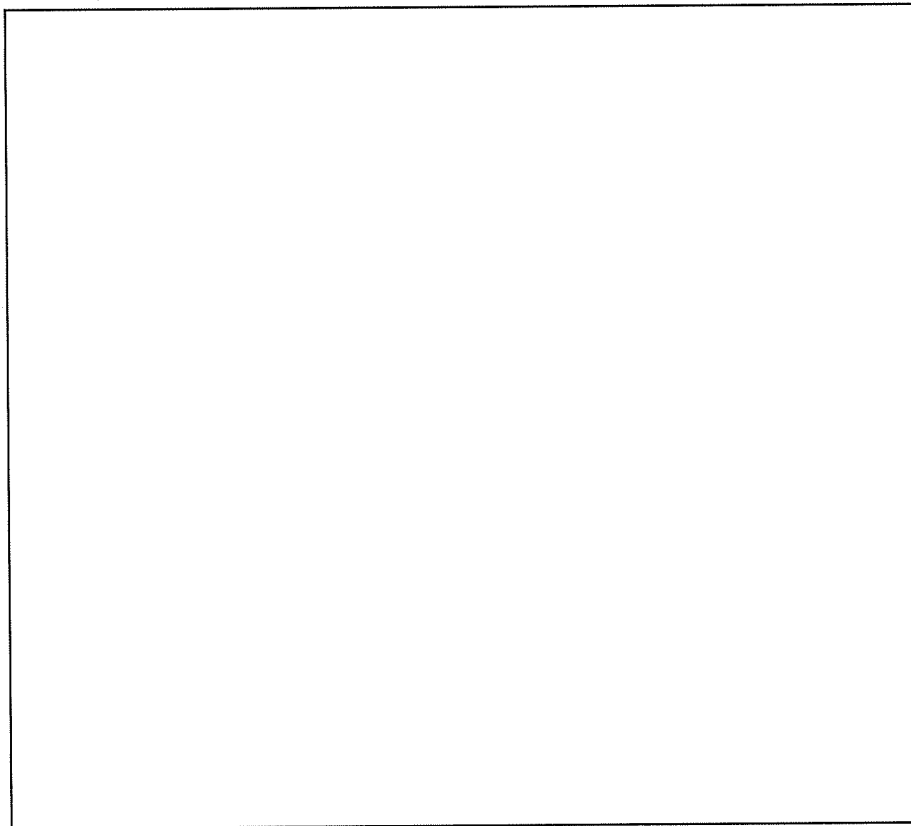
3. 1. 評価方法

熱交換器(1), (2)の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

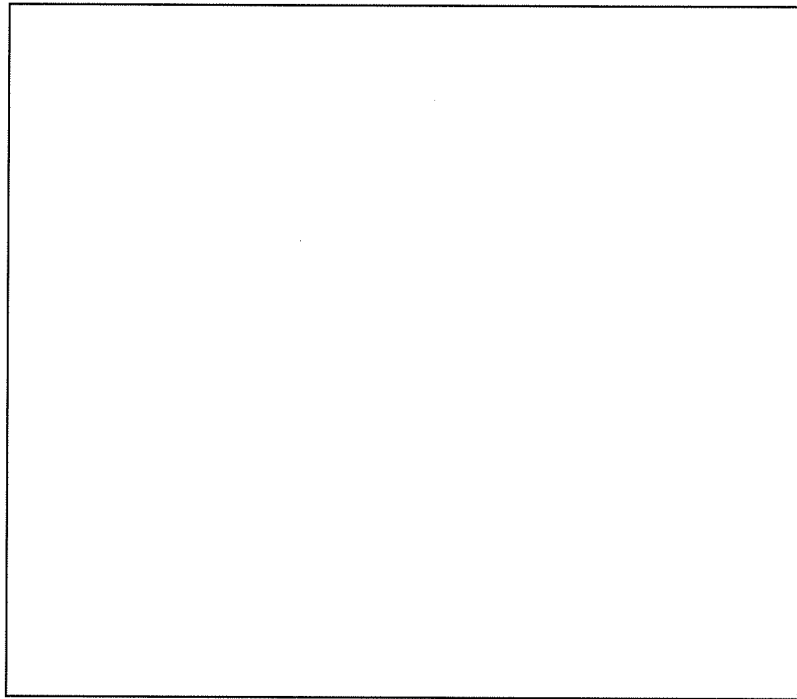
3. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-転 5-3-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-転 5-3-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-転 5-3-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-転 5-3-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-転 5-3-1 図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-転 5-3-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-転 5-3-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴] $\times 10^4$		断面係数 [mm ³] $\times 10^3$		断面二次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
はり									JIS G3466	
柱									JIS G3466	
はり									JIS G3192	

添説設 3-1-転 5-3-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-転 5-3-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

* : 節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

3. 1. 2. 設計用地震力

3. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\square} \div \square \cdots \div \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz]となり、20[Hz]未満であるので、剛構造とならない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

3. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造とならない設備であり、転換工場1階に設置しており、耐震重要度分類第1類であることから、設計用地震力は静的地震力の1.0Gとする。

3. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

3. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設3-1-付1に示す。

3. 2. 応力評価

3. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設3-1-付2に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設3-1-転5-3-4表及び添説設3-1-転5-3-5表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 5-3-4 表 部材の評価結果 (長期)

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	—	01_01								
圧縮応力度	—	00_01								
せん断応力度	—	02_01								
曲げ応力度	—	02_04								
組合せ応力度	—	02_04								
組合せ応力	—	02_04								

添説設 3-1-転 5-3-5 表 部材の評価結果 (短期)

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	X 正	01_01								
圧縮応力度	X 正	00_02								
せん断応力度	X 正	01_02								
曲げ応力度	X 正	01_02								
組合せ応力度	X 正	01_02								
組合せ応力	X 正	01_02								

3. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 5-3-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 5-3-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	X 正	00_01						
せん断応力度	Y 正	00_01						
引抜力	X 正	00_01						

4. 循環貯槽(1), (2)架台の耐震計算

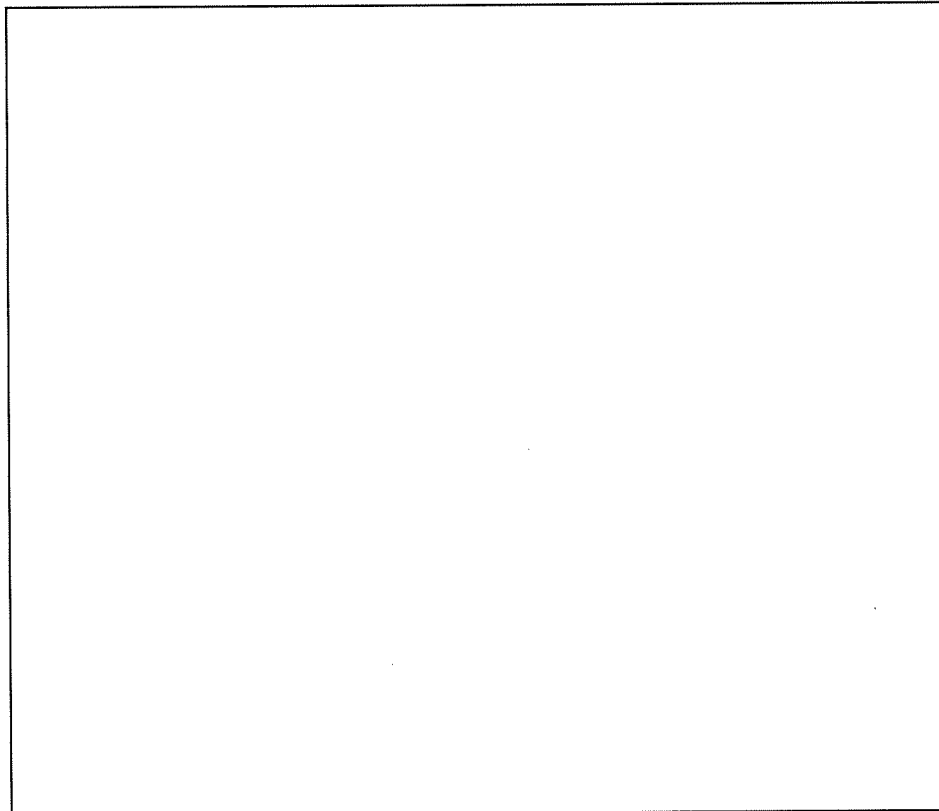
4. 1. 評価方法

循環貯槽(1), (2)架台の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することによって実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

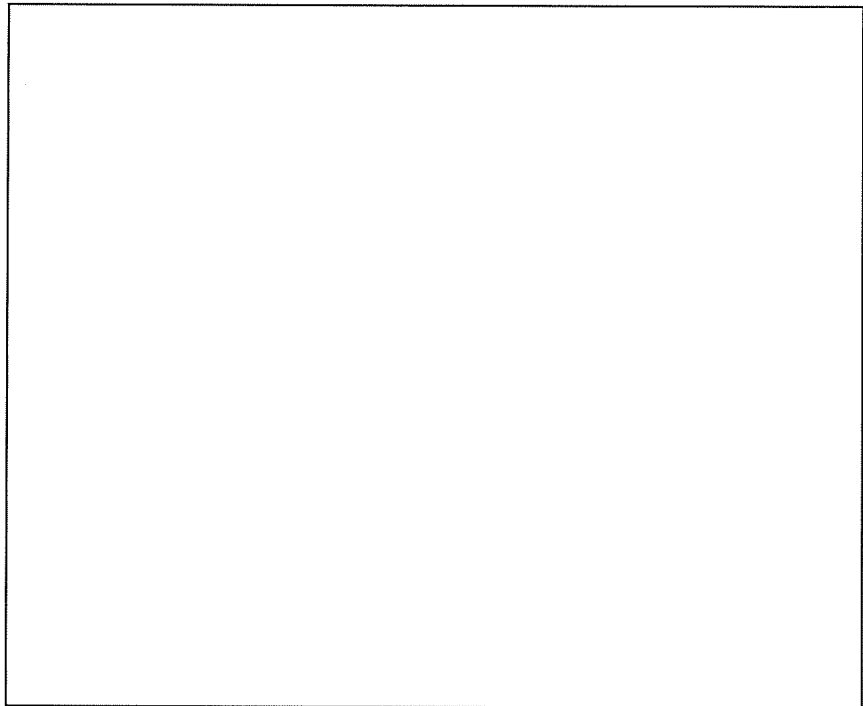
4. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-転 5-4-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-転 5-4-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-転 5-4-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-転 5-4-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-転 5-4-1 図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-転 5-4-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-転 5-4-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴] × 10 ⁴		断面係数 [mm ³] × 10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	Iy	Iz	Zy	Zz	I	
はり									JIS G3466	
柱									JIS G3466	
はり									JIS G3192	

添説設 3-1-転 5-4-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-転 5-4-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

(注 1) 循環貯槽(1), (2)の計算結果より設定

* : 節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

4. 1. 2. 設計用地震力

4. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \div \square \cdot \cdot \cdot \div \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz]となり、20 [Hz]未満であるので、剛構造としない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

4. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造としない設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 1 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 1.0G とする。

4. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

4. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

4. 2. 応力評価

4. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 5-4-4 表及び添説設 3-1-転 5-4-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 5-4-4 表 部材の評価結果 (長期)

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	—	01_01								
圧縮応力度	—	00_01								
せん断応力度	—	02_01								
曲げ応力度	—	02_06								
組合せ応力度	—	02_06								
組合せ応力	—	02_06								

添説設 3-1-転 5-4-5 表 部材の評価結果 (短期)

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 正	01_02								
圧縮応力度	Y 正	00_03								
せん断応力度	Y 正	01_03								
曲げ応力度	Y 正	01_03								
組合せ応力度	Y 正	01_03								
組合せ応力	Y 正	01_03								

4. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 5-4-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 5-4-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 正	00_02						
せん断応力度	Y 正	00_01						
引抜力	Y 正	00_02						

UO₂ブロータンクの耐震計算書

1. 設備・機器概要

1. 1. 耐震重要度分類

耐震重要度分類は第1類である。

1. 2. 設置位置

設置位置を添説設3-1-転6-1-1表に示す。

添説設3-1-転6-1-1表 対象設備 設置位置

機器名	建物名	区分	部屋名	参照図面
UO ₂ ブロータンク(1)、UO ₂ ブロータンク(2)	工場棟	転換工場	転換加工室	添付図 図イ配-1

1. 3. 構造

構造図を添説設3-1-転6-1-2表に示す。UO₂ブロータンクは安全機能を有する設備としてUO₂ブロータンク(1)、(2)及びUO₂ブロータンク(1)、(2)架台を有する。

添説設3-1-転6-1-2表 対象設備 構造図

機器名	構造図
UO ₂ ブロータンク(1)、UO ₂ ブロータンク(2)	添付図 図イ設-10

2. UO₂ブロータンク(1),(2)の耐震計算

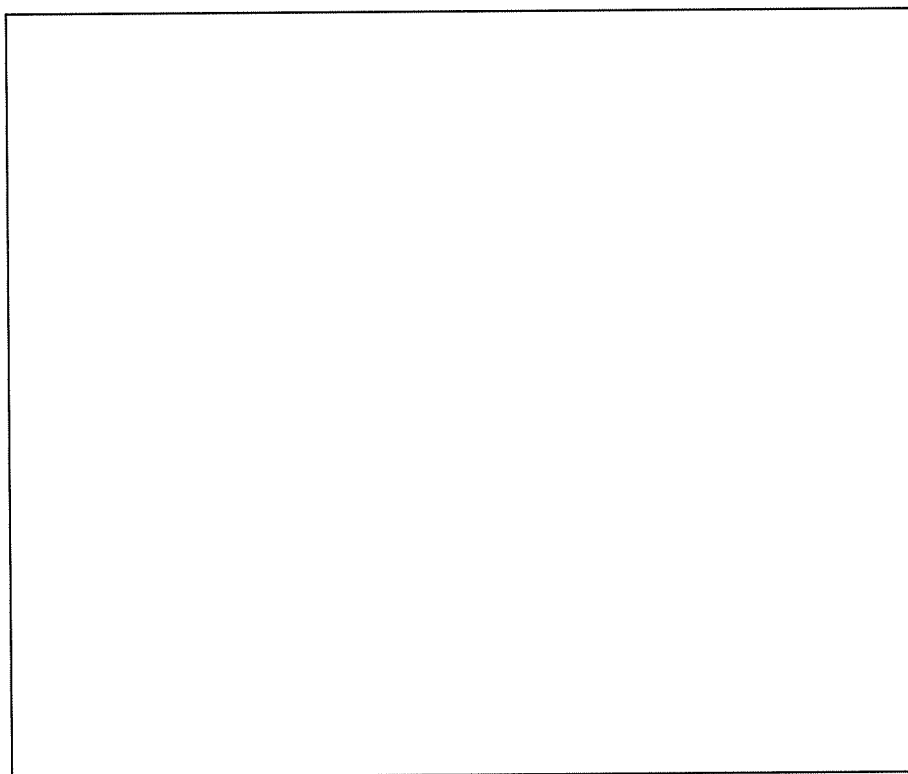
2. 1. 評価方法

UO₂ブロータンク(1),(2)の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による3次元FEMによる静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードはFAP-3を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部を完全固定とする。
- (4) 地震荷重は、水平2方向の荷重をそれぞれ考慮する。

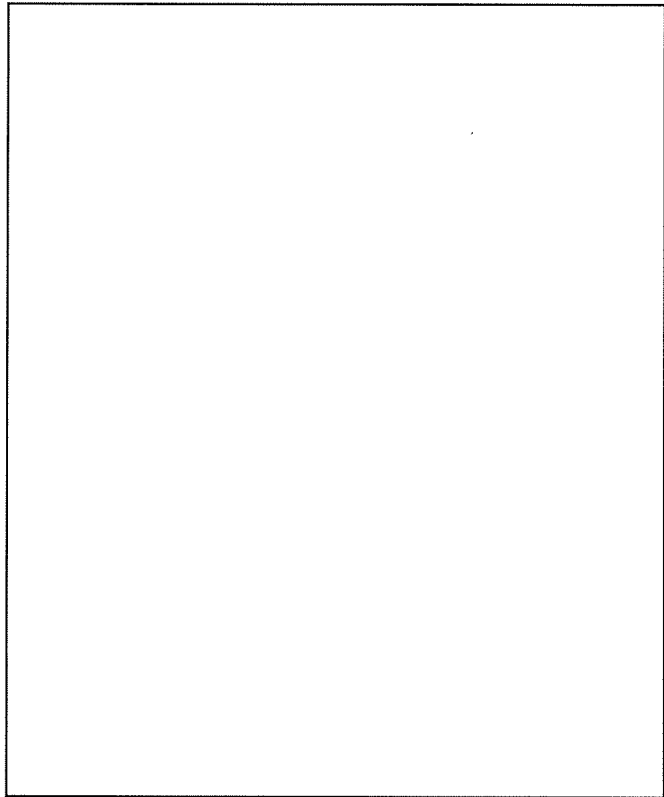
2. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素3次元構造解析モデルを添説設3-1-転6-2-1図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設3-1-転6-2-1表に示す。また、材料定数を添説設3-1-転6-2-2表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設3-1-転6-2-3表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



(1) 寸法及び節点

添説設3-1-転6-2-1図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-転 6-2-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-転 6-2-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面二次モーメント [mm ⁴] × 10 ⁴		断面係数 [mm ³] × 10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	
柱									計算値
柱									計算値
柱									計算値
柱									計算値
柱									計算値

添説設 3-1-転 6-2-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				JSME S NJ1-2012

添説設 3-1-転 6-2-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

*：節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

2. 1. 2. 設計用地震力

2. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \doteq \square \cdots \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz] となり、20 [Hz] 以上であるので、剛構造となる。また、一次固有振動数が十分に大きいことから、本体は剛であると判断でき、据付ボルトの評価で代表する。

2. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造の設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 1 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 1.0G とする。

2. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

2. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

2. 2. 応力評価

据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 6-2-4 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 6-2-4 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	X 正	05_01						
せん断応力度	X 正	05_01						
引抜力	-	-						

3. UO₂ブロータンク(1), (2)架台の耐震計算

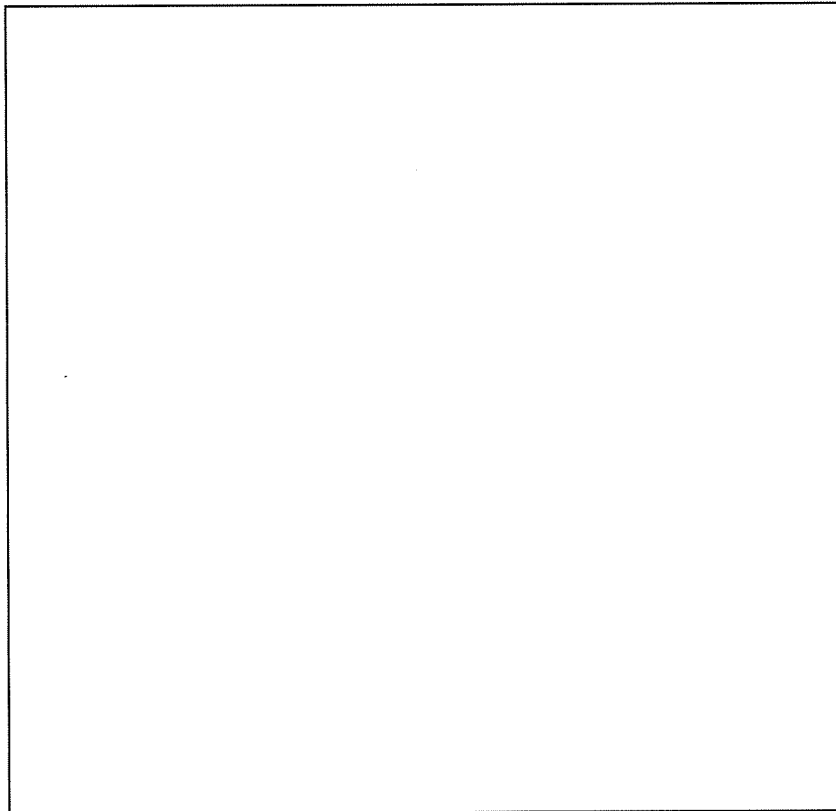
3. 1. 評価方法

UO₂ブロータンク(1), (2)架台の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による3次元FEMによる静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードはFAP-3を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進3方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平2方向の荷重をそれぞれ考慮する。

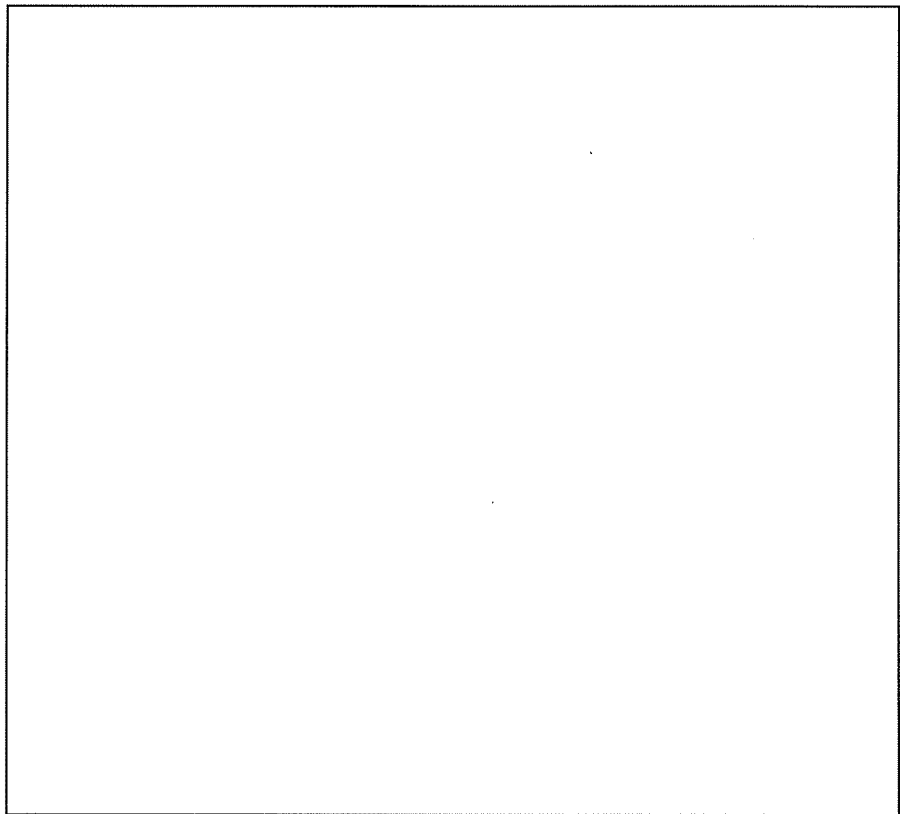
3. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素3次元構造解析モデルを添説設3-1-転6-3-1図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設3-1-転6-3-1表に示す。また、材料定数を添説設3-1-転6-3-2表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設3-1-転6-3-3表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



(1) 寸法及び節点

添説設3-1-転6-3-1図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-転 6-3-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-転 6-3-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴]×10 ⁴		断面係数 [mm ³]×10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	Iy	Iz	Zy	Zz	I	
はり										JIS G3192
柱										JIS G3192

添説設 3-1-転 6-3-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-転 6-3-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

(注 1) U₀₂ ブロータンク (1), (2) の計算結果より設定

* : 節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

3. 1. 2. 設計用地震力

3. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \doteq \square \cdots \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz]となり、20 [Hz]未満であるので、剛構造としない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

3. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造としない設備であり、転換工場1階に設置しており、耐震重要度分類第1類であることから、設計用地震力は静的地震力の1.0Gとする。

3. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

3. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書―設3-1-付1に示す。

3. 2. 応力評価

3. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書―設3-1-付2に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設3-1-転6-3-4表及び添説設3-1-転6-3-5表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 6-3-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	—	01_01								
圧縮応力度	—	00_01								
せん断応力度	—	01_01								
曲げ応力度	—	01_04								
組合せ応力度	—	01_04								
組合せ応力	—	01_01								

添説設 3-1-転 6-3-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	X 正	01_01								
圧縮応力度	X 正	00_02								
せん断応力度	X 正	01_02								
曲げ応力度	X 正	01_02								
組合せ応力度	X 正	01_02								
組合せ応力	X 正	01_02								

3. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 6-3-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 6-3-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	X 正	00_01						
せん断応力度	Y 正	00_03						
引抜力	X 正	00_01						

UO₂フィルタの耐震計算書

1. 設備・機器概要

1. 1. 耐震重要度分類

耐震重要度分類は第1類である。

1. 2. 設置位置

設置位置を添説設3-1-転7-1-1表に示す。

添説設3-1-転7-1-1表 対象設備 設置位置

機器名	建物名	区分	部屋名	参照図面
UO ₂ フィルタ(1)、UO ₂ フィルタ(2)、UO ₂ バックアップフィルタ(1)、UO ₂ バックアップフィルタ(2)	工場棟	転換工場	転換加工室	添付図 図イ配-1

1. 3. 構造

構造図を添説設3-1-転7-1-2表に示す。UO₂フィルタは安全機能を有する設備としてUO₂フィルタ、フードボックス(UO₂フィルタ)(1)、(2)、UO₂フィルタ架台、UO₂バックアップフィルタを有する。

添説設3-1-転7-1-2表 対象設備 構造図

機器名	構造図
UO ₂ フィルタ(1)、UO ₂ フィルタ(2)	添付図 図イ設-11
UO ₂ バックアップフィルタ(1)、UO ₂ バックアップフィルタ(2)	添付図 図イ設-12

2. U₀₂フィルタの耐震計算

2. 1. 評価方法

U₀₂フィルタの地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として評価する。

2. 2. 本体の評価方法

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

$$\text{解析結果より、} \delta = \boxed{} \text{ [cm]}$$

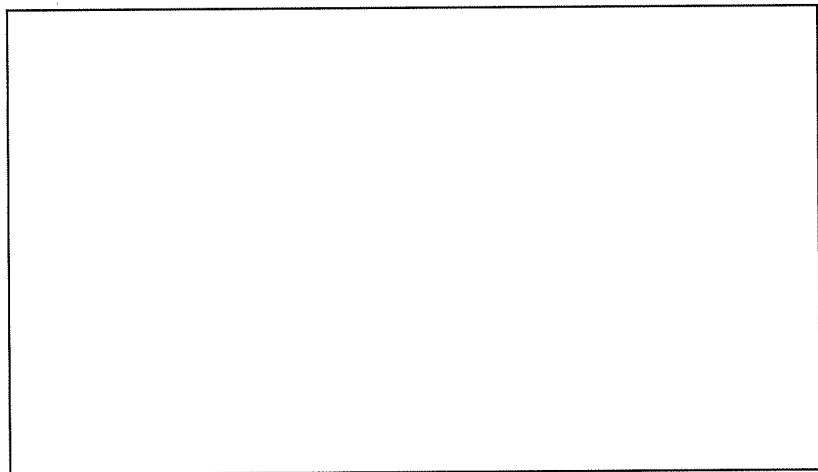
$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\boxed{}}} \doteq \boxed{} \cdot \cdot \cdot \doteq \boxed{} \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は $\boxed{}$ [Hz]となり、20[Hz]以上であるので、剛構造の設備となる。また、一次固有振動数が十分に大きいことから、本体は剛であると判断でき、据付ボルトの評価で代表する。

2. 3. 据付ボルトの評価方法

2. 3. 1. 構造解析モデル

据付ボルトの評価モデルは添説設 3-1-転 7-2-1 図に示すとおりであり、本体を質点としてモデル化し、重心位置に水平地震力Pが作用した際の転倒モーメント、安定モーメントを算出し、それらをもとにボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。許容限界は添付説明書一設 3-1-付 1 参照。



添説設 3-1-転 7-2-1 図 モデル図

2. 3. 2. 評価結果

U₀₂フィルタは剛構造のため、重心位置に自重相当の水平地震力 $P(=W \cdot K_H)$ が作用した際の転倒モーメント M1、安定モーメントM2を下式より算出する。ここで総重量 $W=\boxed{}$ [N]、設計用水平震度 $K_H=\boxed{}$ 、高さ $h=\boxed{}$ [mm]、ボルト支点間距離 l_0

=[mm]、回転中心までの長さ l_1 =[mm]を用いる。

$$M1 = P \cdot h = \text{} [\text{N} \cdot \text{mm}]$$

$$M2 = W \cdot l_1 = \text{} [\text{N} \cdot \text{mm}]$$

よって、ボルト本数 $nt=4$ 、引抜力に作用するボルト本数 $nt'=2$ より、引抜力 R_b 、引張応力度 σ_t 、せん断応力度 τ は以下の通りであり、添説設 3-1-転 7-2-1 表にまとめる。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

$$R_b = \frac{M1 - M2}{l_0 \cdot nt'} = \text{} [\text{N}]$$

$$\sigma_t = \frac{R_b}{A} = \text{} [\text{N}/\text{mm}^2]$$

$$\tau = \frac{P}{A \cdot nt} = \text{} [\text{N}/\text{mm}^2]$$

$$A = \text{} = \text{} [\text{mm}^2]$$

添説設 3-1-転 7-2-1 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度			
せん断応力度			
引抜力			

3. フードボックス (UO₂フィルタ) (1), (2)の耐震計算

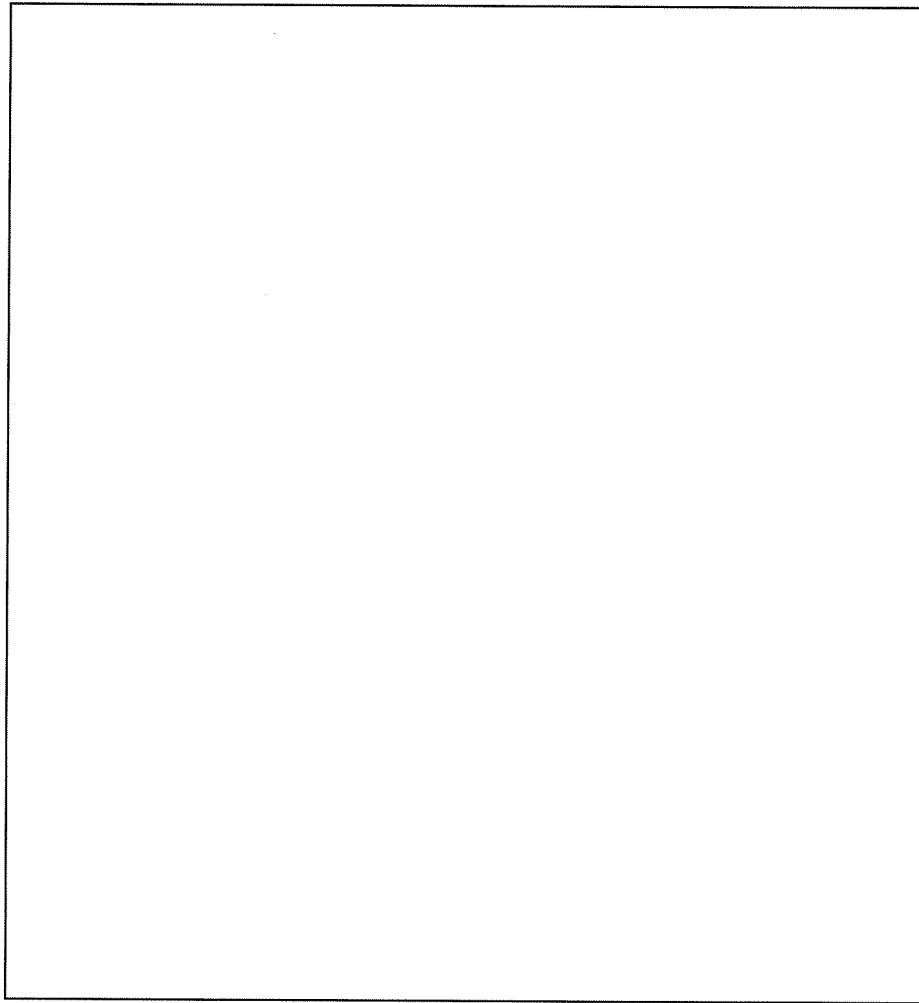
3. 1. 評価方法

フードボックス (UO₂フィルタ) (1), (2)の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

3. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-転 7-3-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-転 7-3-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-転 7-3-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-転 7-3-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



寸法及び節点

添説設 3-1-転 7-3-1 図 構造解析モデル

添説設 3-1-転 7-3-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次 モーメント [mm ⁴] $\times 10^4$		断面係数 [mm ³] $\times 10^3$		断面二 次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
はり										JIS G3466
柱										JIS G3466
はり										計算値
柱										計算値
はり										JIS G3192

添説設 3-1-転 7-3-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-転 7-3-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

*：節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

3. 1. 2. 設計用地震力

3. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \doteq \square \cdot \cdot \cdot \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz] となり、20 [Hz] 未満であるので、剛構造としない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

3. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造としない設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 1 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 1.0G とする。

3. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

3. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

3. 2. 応力評価

3. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 7-3-4 表及び添説設 3-1-転 7-3-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 7-3-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	—	02_04								
圧縮応力度	—	00_09								
せん断応力度	—	02_01								
曲げ応力度	—	02_07								
組合せ応力度	—	01_06								
組合せ応力	—	01_08								

添説設 3-1-転 7-3-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	Y 正	01_03								
圧縮応力度	Y 正	00_09								
せん断応力度	Y 正	00_05								
曲げ応力度	Y 負	00_03								
組合せ応力度	Y 負	00_03								
組合せ応力	Y 負	00_03								

3. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 7-3-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 7-3-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	Y 正							
せん断応力度	Y 正							
引抜力	—							

4. UO₂フィルタ架台の耐震計算

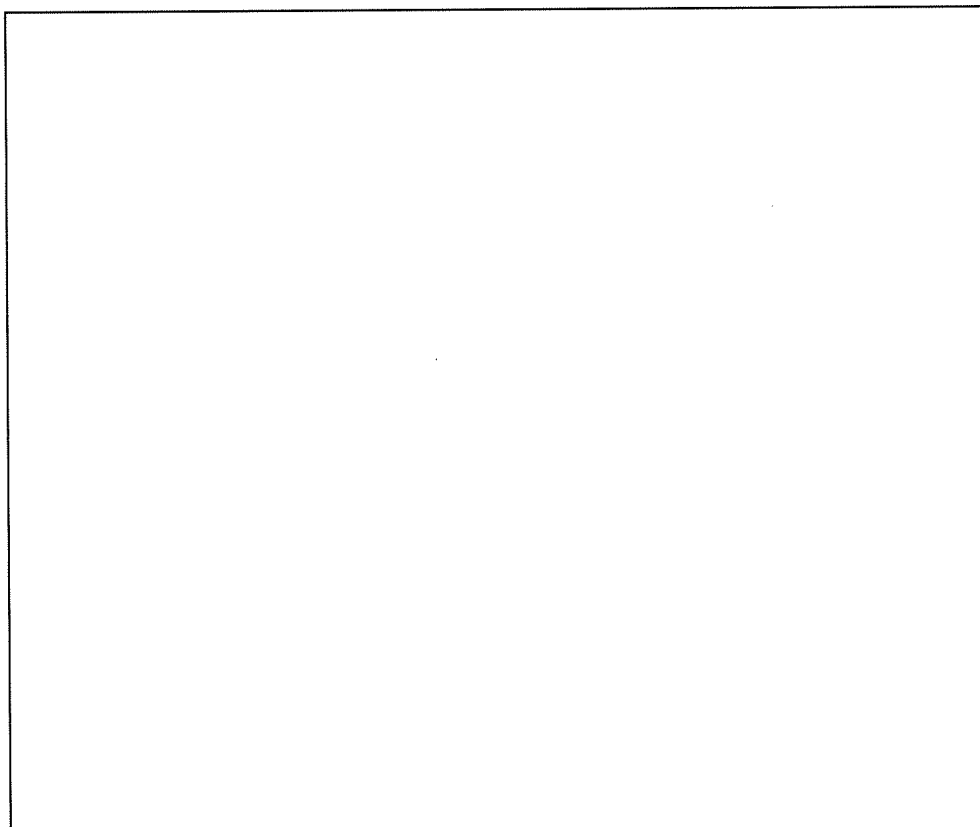
4. 1. 評価方法

UO₂フィルタ架台の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

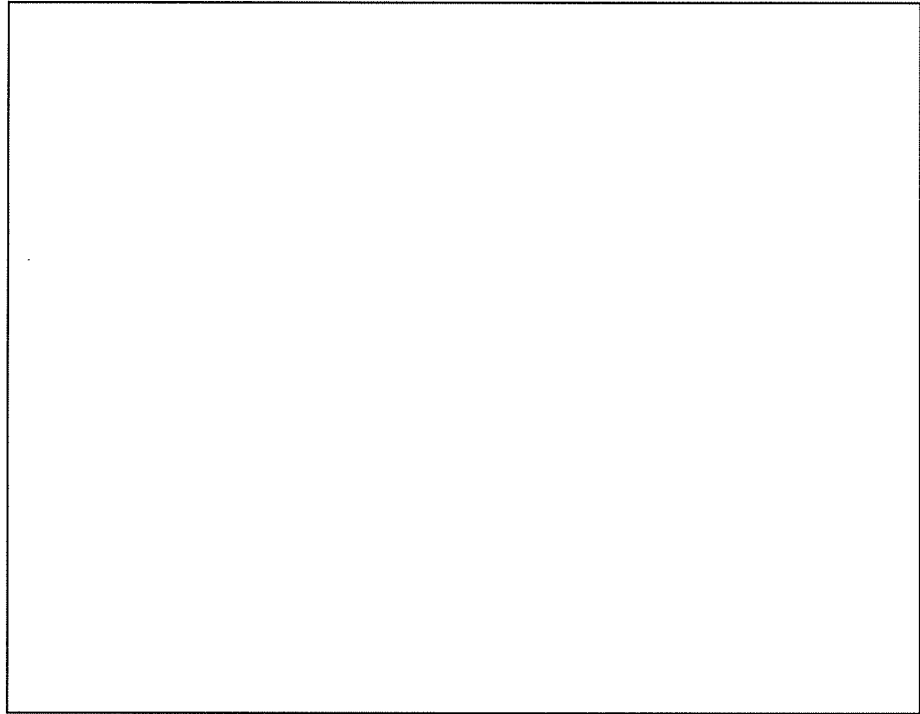
4. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-転 7-4-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-転 7-4-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-転 7-4-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-転 7-4-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-転 7-4-1 図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-転 7-4-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-転 7-4-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次 モーメント [mm ⁴]×10 ⁴		断面係数 [mm ³]×10 ³		断面二 次半径 [mm]	出典
				A	Iy	Iz	Zy	Zz	I	
柱										JIS G3466
はり										JIS G3192
はり										JIS G3192

添説設 3-1-転 7-4-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-転 7-4-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

*：節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

4. 1. 2. 設計用地震力

4. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \doteq \square \cdots \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz]となり、20 [Hz]以上であるので、剛構造となる。また、一次固有振動数が十分に大きいことから、本体は剛であると判断でき、据付ボルトの評価で代表する。

4. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造の設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 1 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 1.0G とする。

4. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

4. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

4. 2. 応力評価

据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 7-4-4 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 7-4-4 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震 方向	節点 番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	X 正	00_01						
せん断応力度	Y 正	00_01						
引抜力	—	—						

5. UO₂バックアップフィルタの耐震計算

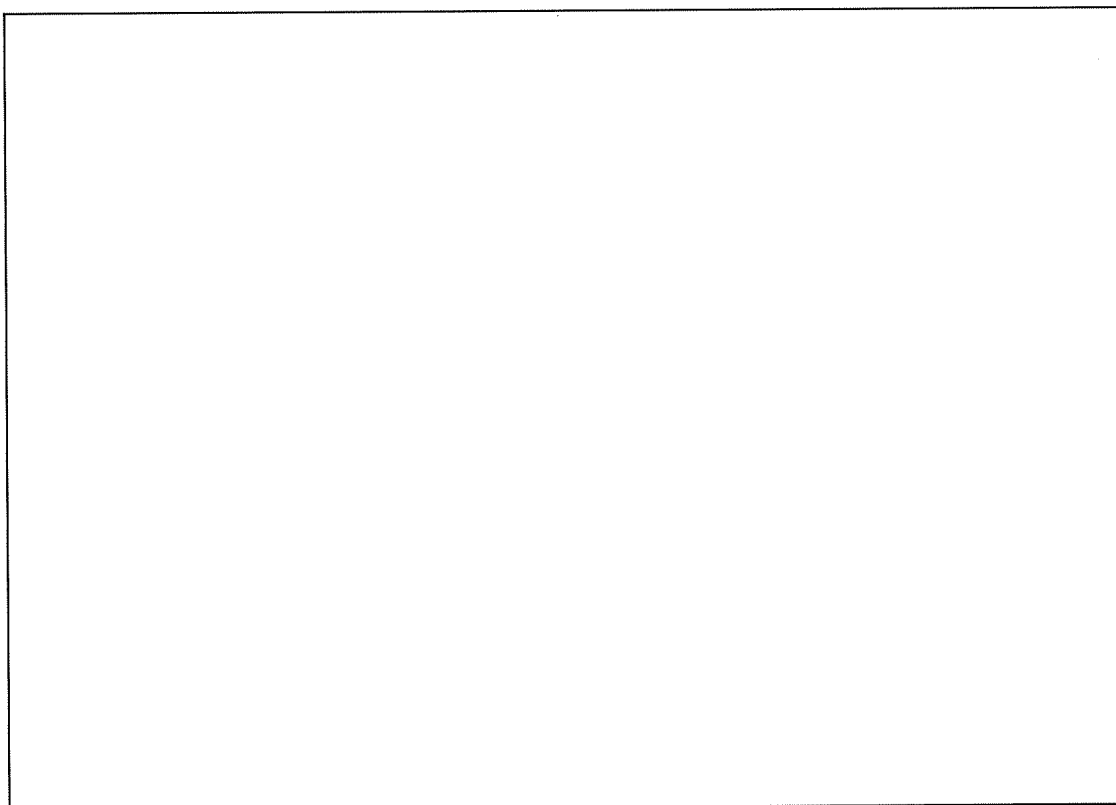
5. 1. 評価方法

UO₂バックアップフィルタの地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

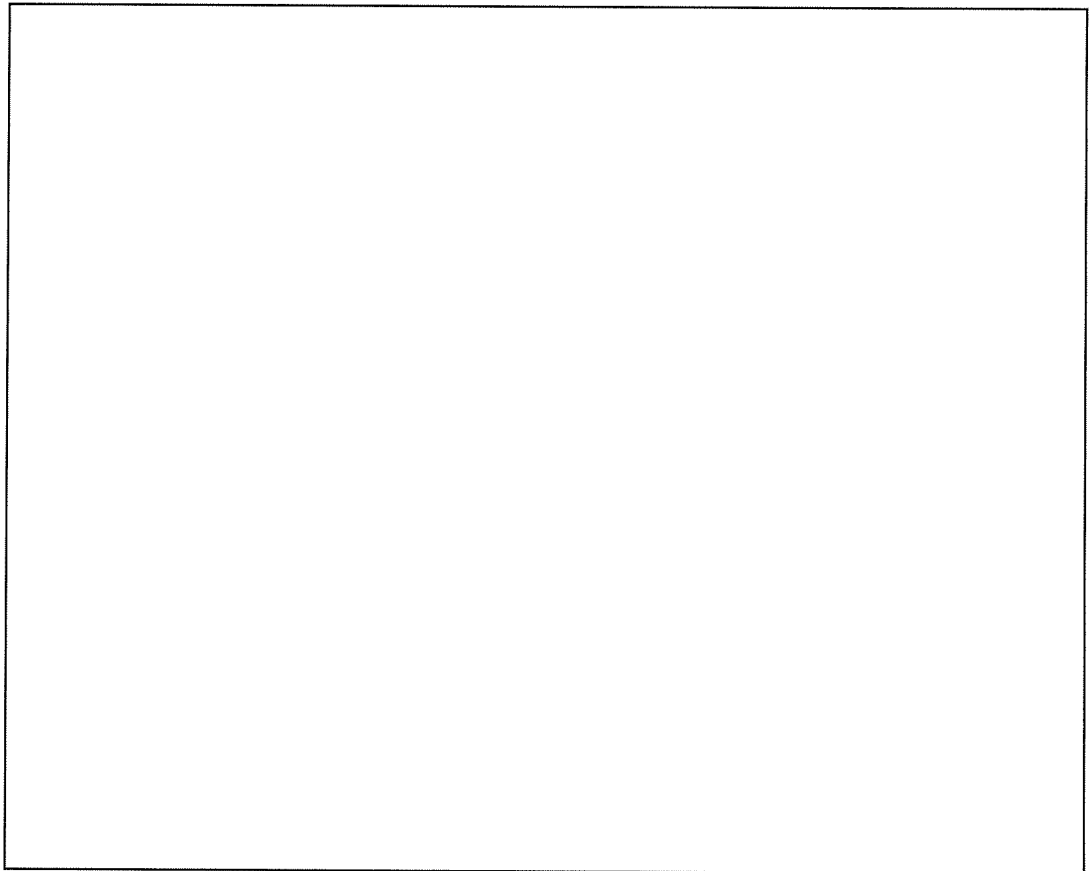
5. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-転 7-5-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-転 7-5-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-転 7-5-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-転 7-5-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-転 7-5-1 図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-転 7-5-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-転 7-5-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次 モーメント [mm ⁴]×10 ⁴		断面係数 [mm ³]×10 ³		断面二 次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
はり									JIS G4317	
柱									JIS G4317	

添説設 3-1-転 7-5-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				JSME S NJ1-2012

添説設 3-1-転 7-5-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

*：節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

5. 1. 2. 設計用地震力

5. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \doteq \square \cdot \cdot \cdot \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz] となり、20 [Hz] 以上であるので、剛構造の設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

5. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造の設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 1 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 1.0G とする。

5. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

5. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

5. 2. 応力評価

5. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 7-5-4 表及び添説設 3-1-転 7-5-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 7-5-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	—	01_01								
圧縮応力度	—	00_01								
せん断応力度	—	01_01								
曲げ応力度	—	01_01								
組合せ応力度	—	01_01								
組合せ応力	—	01_01								

添説設 3-1-転 7-5-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	X 正	01_01								
圧縮応力度	X 正	00_02								
せん断応力度	X 正	00_02								
曲げ応力度	X 正	01_02								
組合せ応力度	X 正	01_02								
組合せ応力	X 正	01_02								

5. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 7-5-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 7-5-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	X 正	00_01						
せん断応力度	X 正	00_02						
引抜力	X 正	00_01						

UO₂受けホッパの耐震計算書

1. 設備・機器概要

1. 1. 耐震重要度分類

耐震重要度分類は第1類である。

1. 2. 設置位置

設置位置を添説設3-1-転8-1-1表に示す。

添説設3-1-転8-1-1表 対象設備 設置位置

機器名	建物名	区分	部屋名	参照図面
UO ₂ 受けホッパ(1)、UO ₂ 受けホッパ(2)	工場棟	転換工場	転換加工室	添付図 図イ配-1

1. 3. 構造

構造図を添説設3-1-転8-1-2表に示す。

添説設3-1-転8-1-2表 対象設備 構造図

機器名	構造図
UO ₂ 受けホッパ(1)、UO ₂ 受けホッパ(2)	添付図 図イ設-13

2. U₀₂受けホッパ(1), (2)の耐震計算

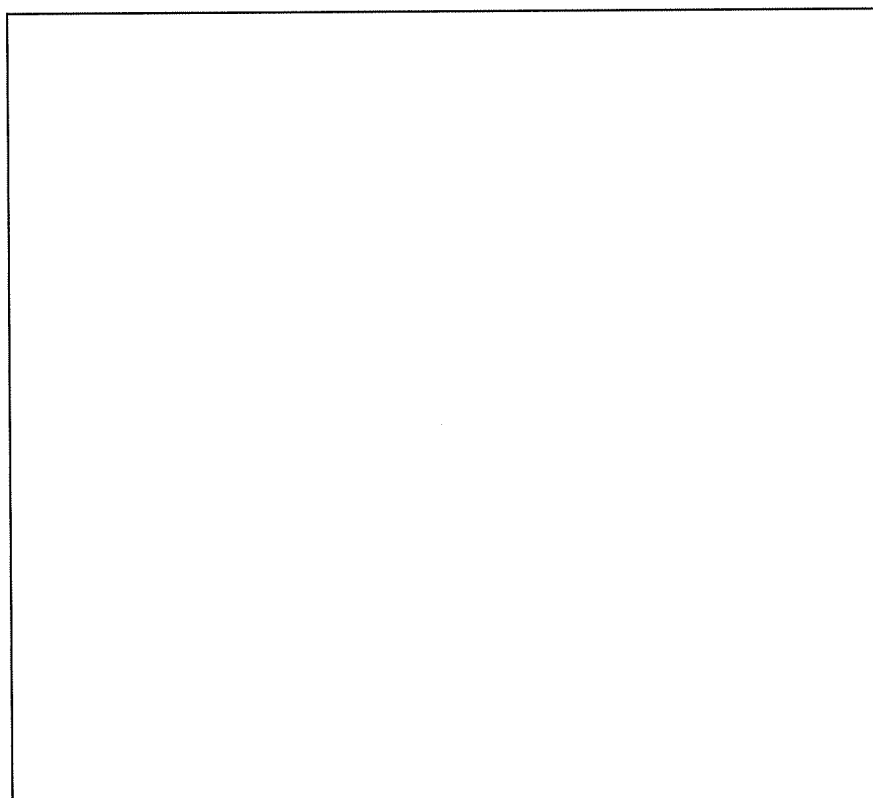
2. 1. 評価方法

U₀₂受けホッパ(1), (2)の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認すること
で実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計
用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施
する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部を完全固定とする。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

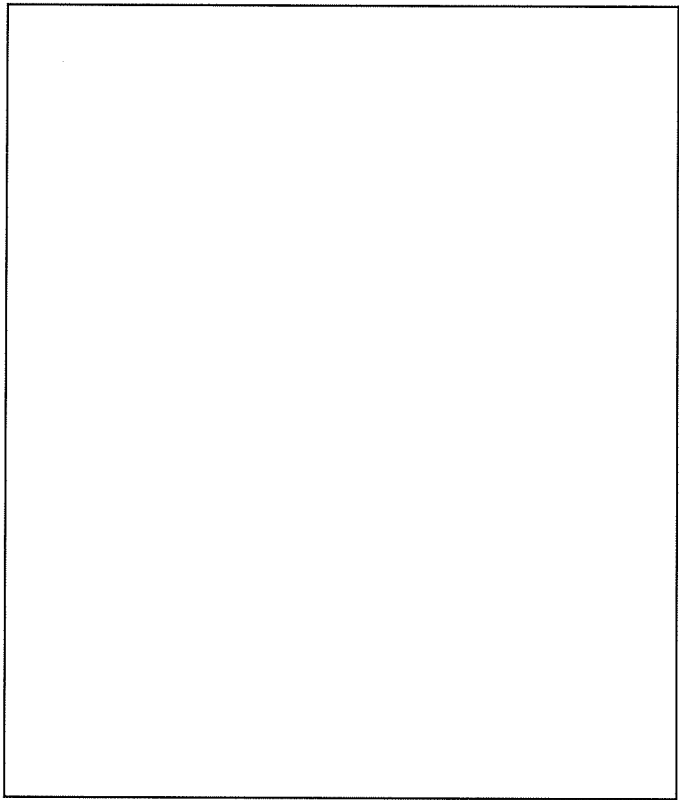
2. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-転 8-2-1 図に示す。溶接構造な
どの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説
設 3-1-転 8-2-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-転 8-2-2 表に示す。
柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-転 8-2-3 表の通りとする。な
お、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期
時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-転 8-2-1 図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-転 8-2-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-転 8-2-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴] × 10 ⁴		断面係数 [mm ³] × 10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
柱									計算値	
柱									計算値	
柱									計算値	

添説設 3-1-転 8-2-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				JSME S NJ1-2012

添説設 3-1-転 8-2-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

* : 節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

2. 1. 2. 設計用地震力

2. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \div \square \cdots \div \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz]となり、20 [Hz]以上であるので、剛構造となる。また、一次固有振動数が十分に大きいことから、本体は剛であると判断でき、据付ボルトの評価で代表する。

2. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造の設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 1 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 1.0G とする。

2. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

2. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。据付ボルトの許容限界を添付説明書-3-1-付 1 に示す。

2. 2. 応力評価

据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 8-2-4 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 8-2-4 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]	
引張応力度	X 正								0.10
せん断応力度	X 正								0.13
引抜力	—								—

粉碎機の耐震計算書

1. 設備・機器概要

1. 1. 耐震重要度分類

耐震重要度分類は第1類である。

1. 2. 設置位置

設置位置を添説設3-1-転9-1-1表に示す。

添説設3-1-転9-1-1表 対象設備 設置位置

機器名	建物名	区分	部屋名	参照図面
粉砕機(1)、粉砕機(2)、充填設備共通架台	工場棟	転換工場	転換加工室	添付図 図イ配-1

1. 3. 構造

構造図を添説設3-1-転9-1-2表に示す。粉砕機は安全機能を有する設備として粉砕機(1)、(2)フード及び充填設備共通架台を有する。

添説設3-1-転9-1-2表 対象設備 構造図

機器名	構造図
UO ₂ 受けホッパ(1)、UO ₂ 受けホッパ(2)	添付図 図イ設-13
粉砕機(1)、粉砕機(2)	添付図 図イ設-14
充填設備共通架台	添付図 図イ設-16

2. 粉砕機(1), (2)フードの耐震計算

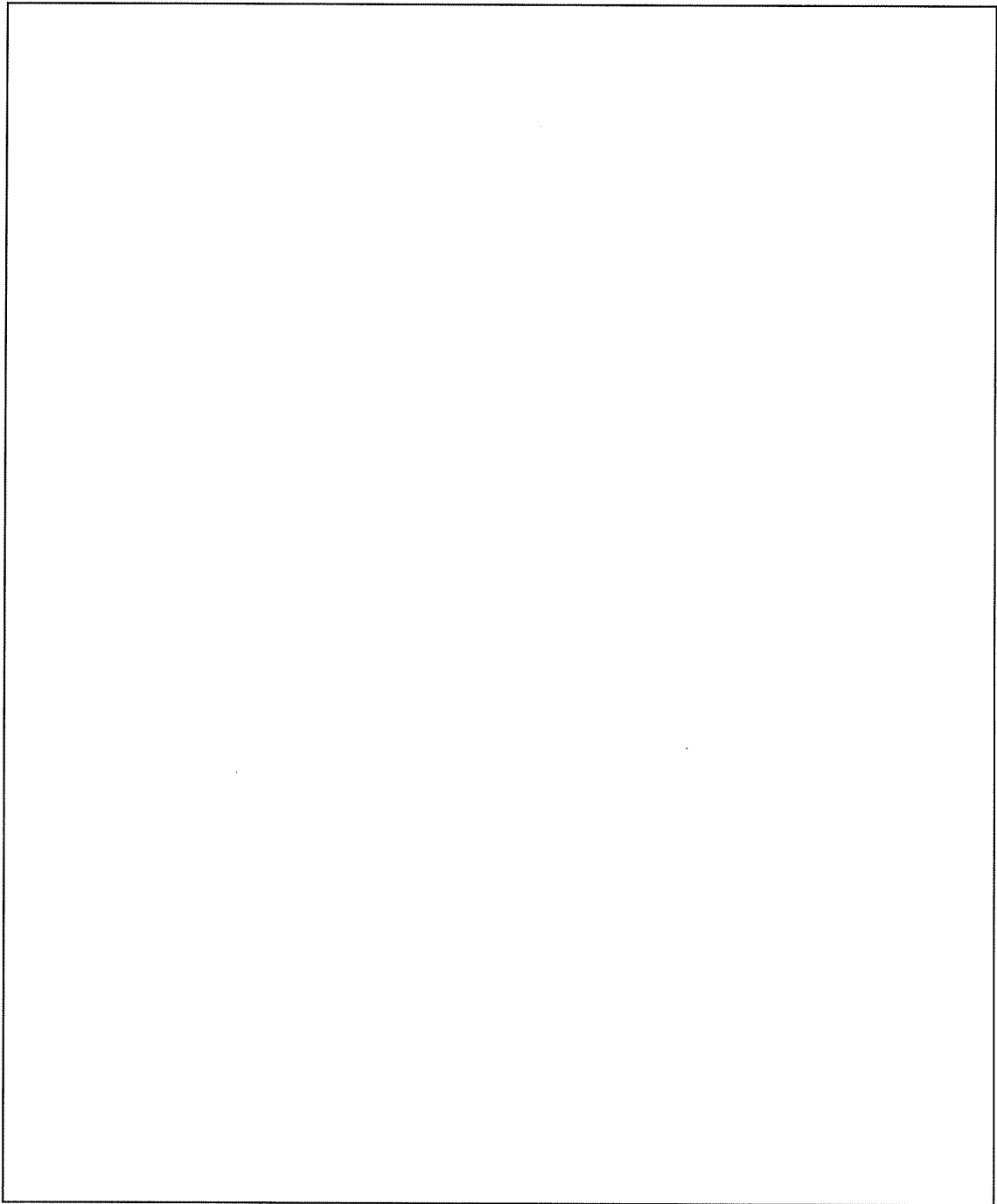
2. 1. 評価方法

粉砕機(1), (2)フードの地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

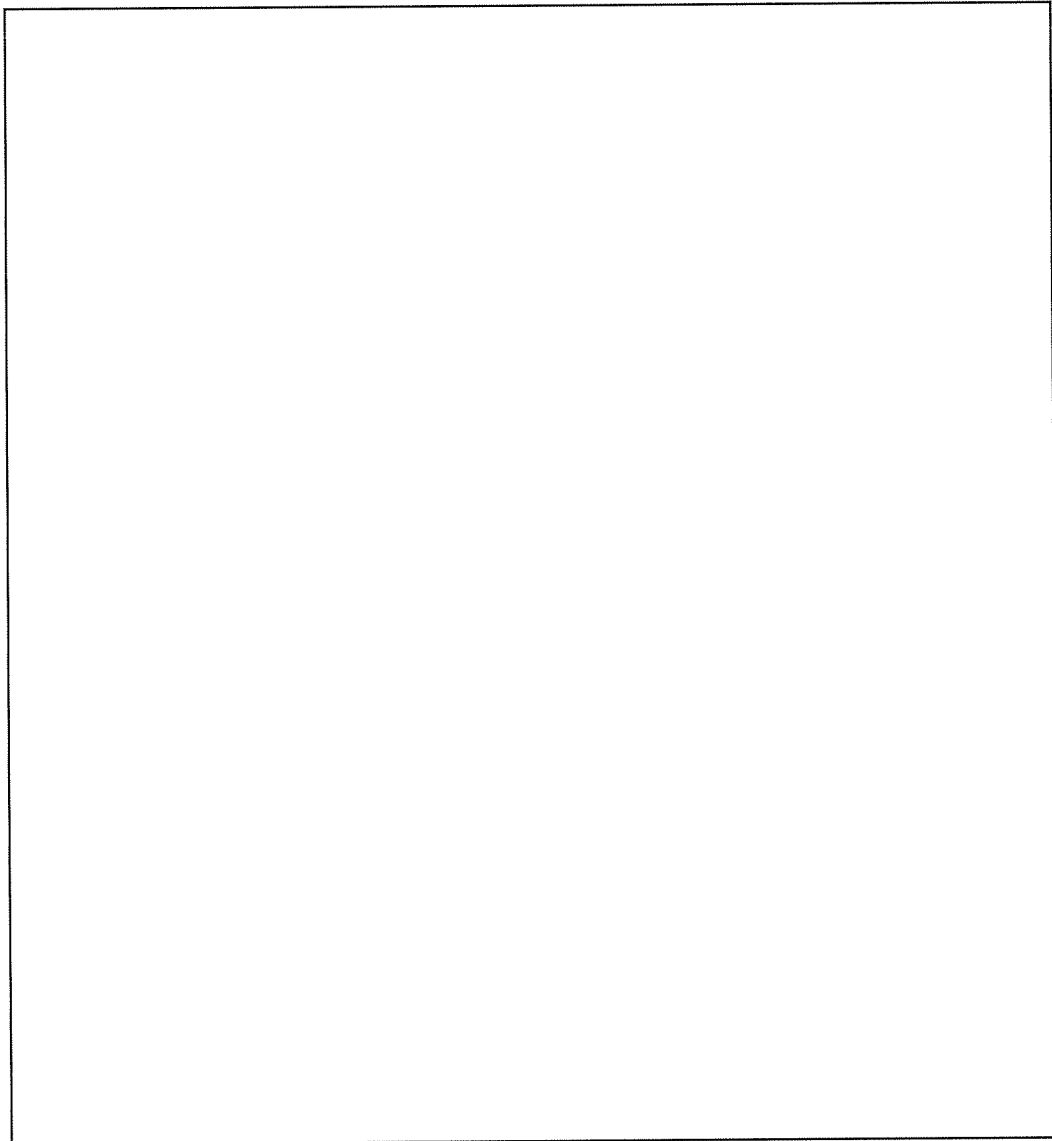
- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。
- (5) ボルトは、保守的に柱付近の 8 本を対象とする。

2. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-転 9-2-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-転 9-2-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-転 9-2-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-転 9-2-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



(1) 寸法及び節点
添説設 3-1-転 9-2-1 図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-転 9-2-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-転 9-2-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次 モーメント [mm ⁴]×10 ⁴		断面係数 [mm ³]×10 ³		断面二 次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
はり										JIS G3466
柱										JIS G3466
はり										JIS G3192
柱										JIS G3192
はり										JIS G3192

添説設 3-1-転 9-2-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-転 9-2-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

*：節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

2. 1. 2. 設計用地震力

2. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

$$\text{解析結果より、} \delta = \boxed{} \text{ [cm]}$$

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\boxed{}}} \doteq \boxed{} \cdot \cdot \cdot \doteq \boxed{} \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は $\boxed{}$ [Hz]となり、20[Hz]未満であるので、剛構造としない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

2. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造としない設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 1 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 1.0G とする。

2. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

2. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

2. 2. 応力評価

2. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 9-2-4 表及び添説設 3-1-転 9-2-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 9-2-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	—	02_06								
圧縮応力度	—	00_02								
せん断応力度	—	01_15								
曲げ応力度	—	01_15								
組合せ応力度	—	01_15								
組合せ応力	—	01_15								

添説設 3-1-転 9-2-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 負	01_20								
圧縮応力度	Y 負	00_02								
せん断応力度	X 正	01_05								
曲げ応力度	Y 正	00_04								
組合せ応力度	Y 正	00_04								
組合せ応力	Y 正	00_04								

2. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 9-2-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 9-2-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	X 正	00_03						
せん断応力度	Y 負	00_02						
引抜力	—	—						

3. 充填設備共通架台の耐震計算

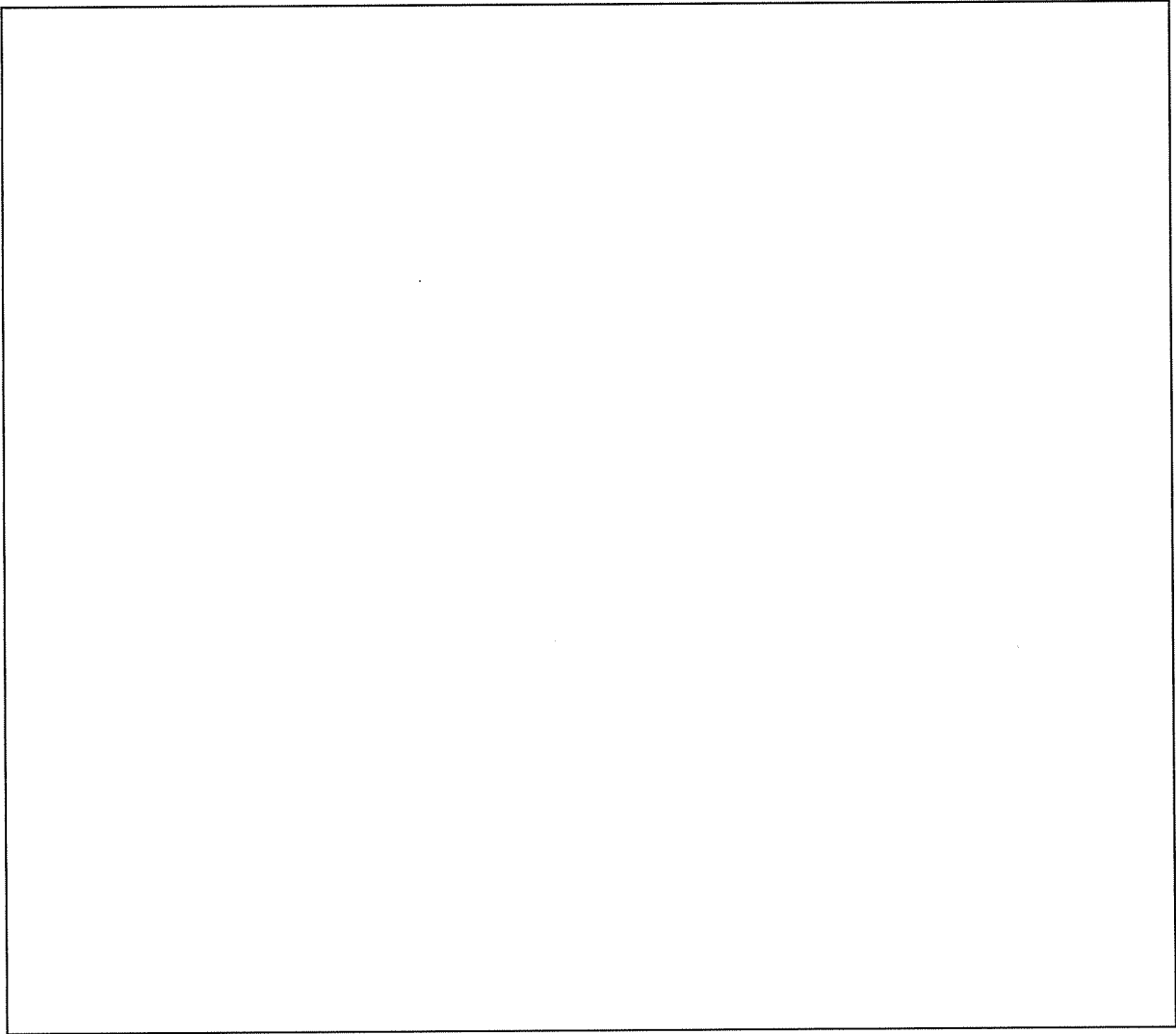
3. 1. 評価方法

充填設備共通架台の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部を完全固定とする。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

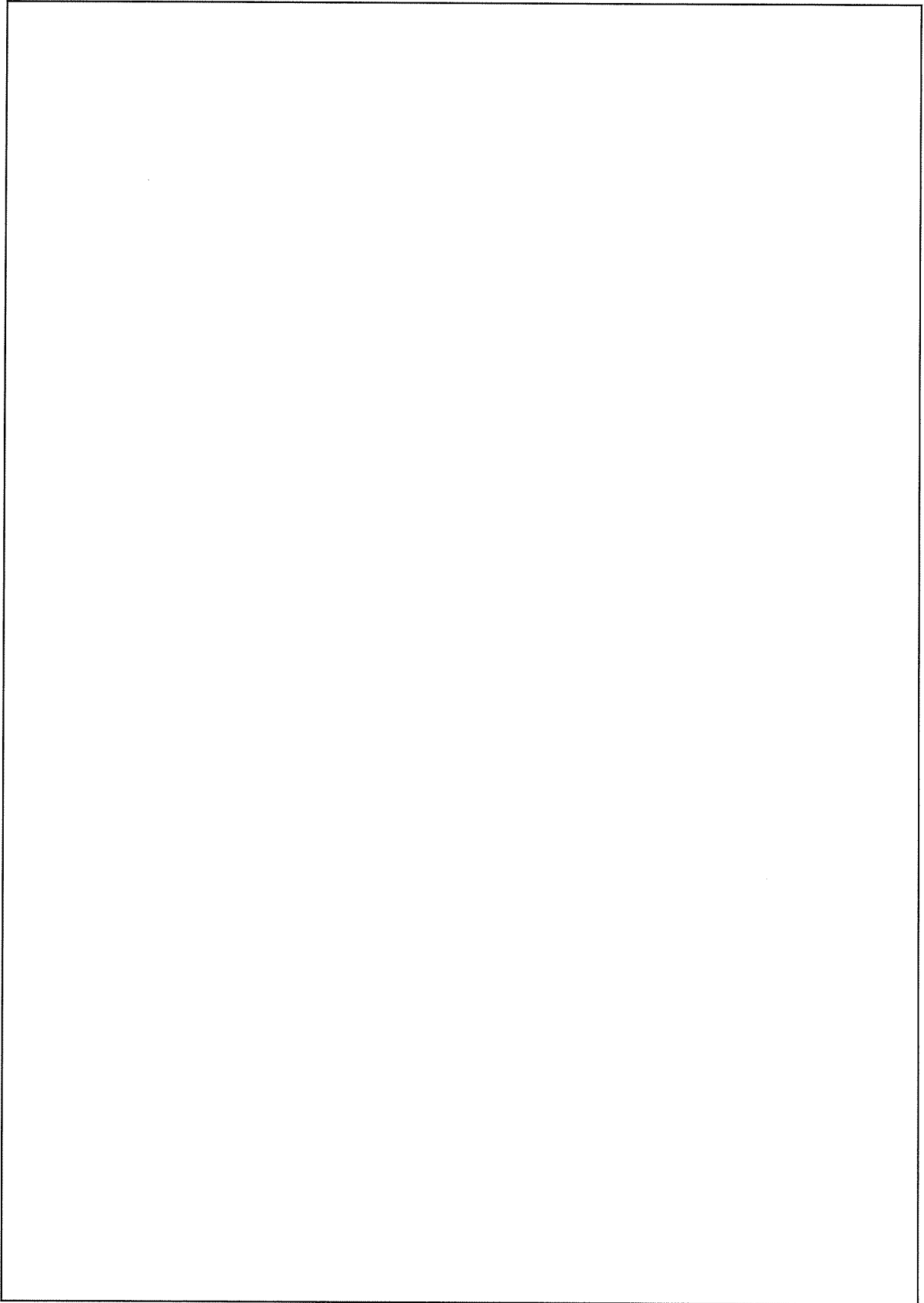
3. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-転 9-3-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-転 9-3-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-転 9-3-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-転 9-3-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



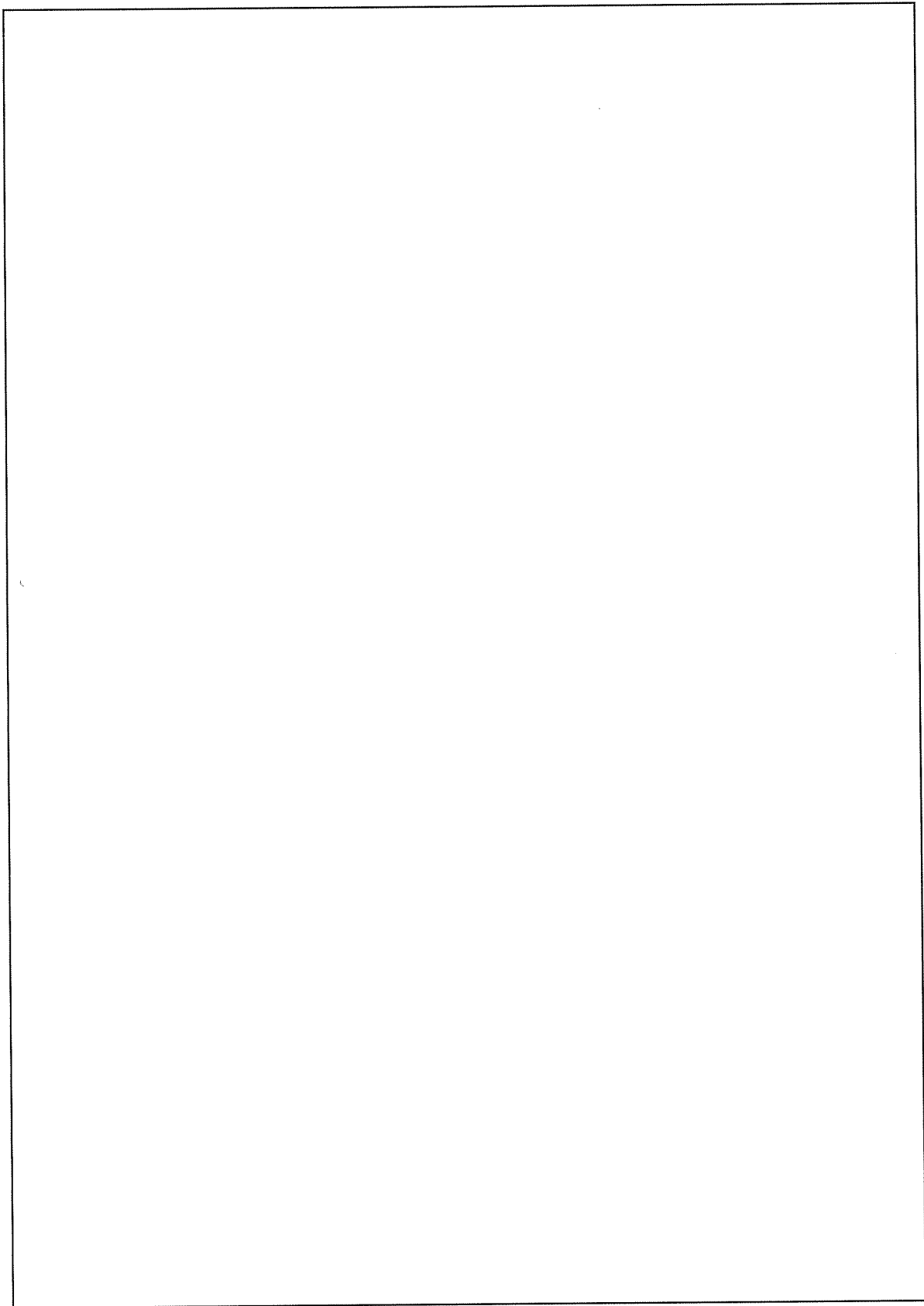
(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-転 9-3-1 図(1/7) 構造解析モデル



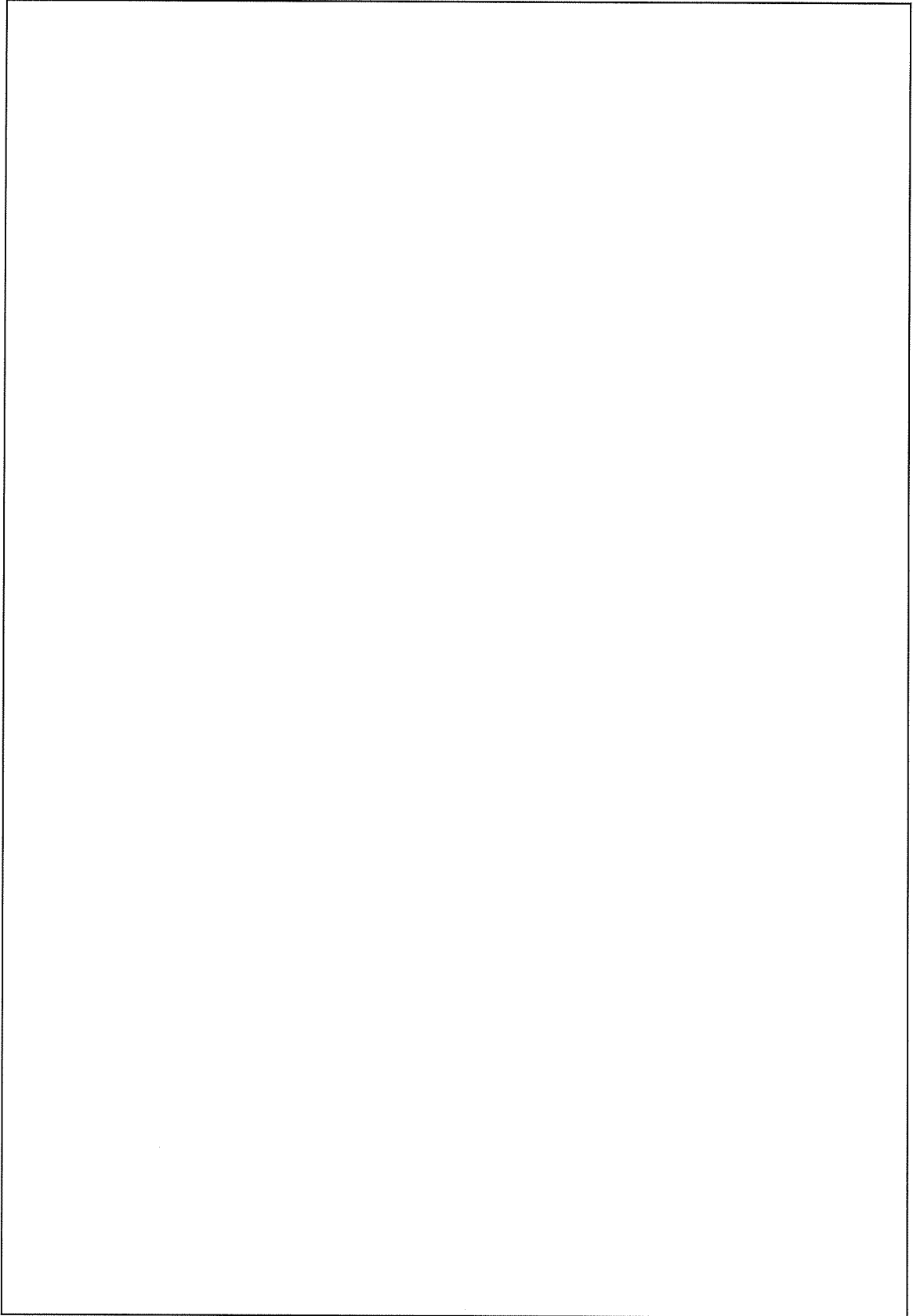
(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-転 9-3-1 図(2/7) 構造解析モデル



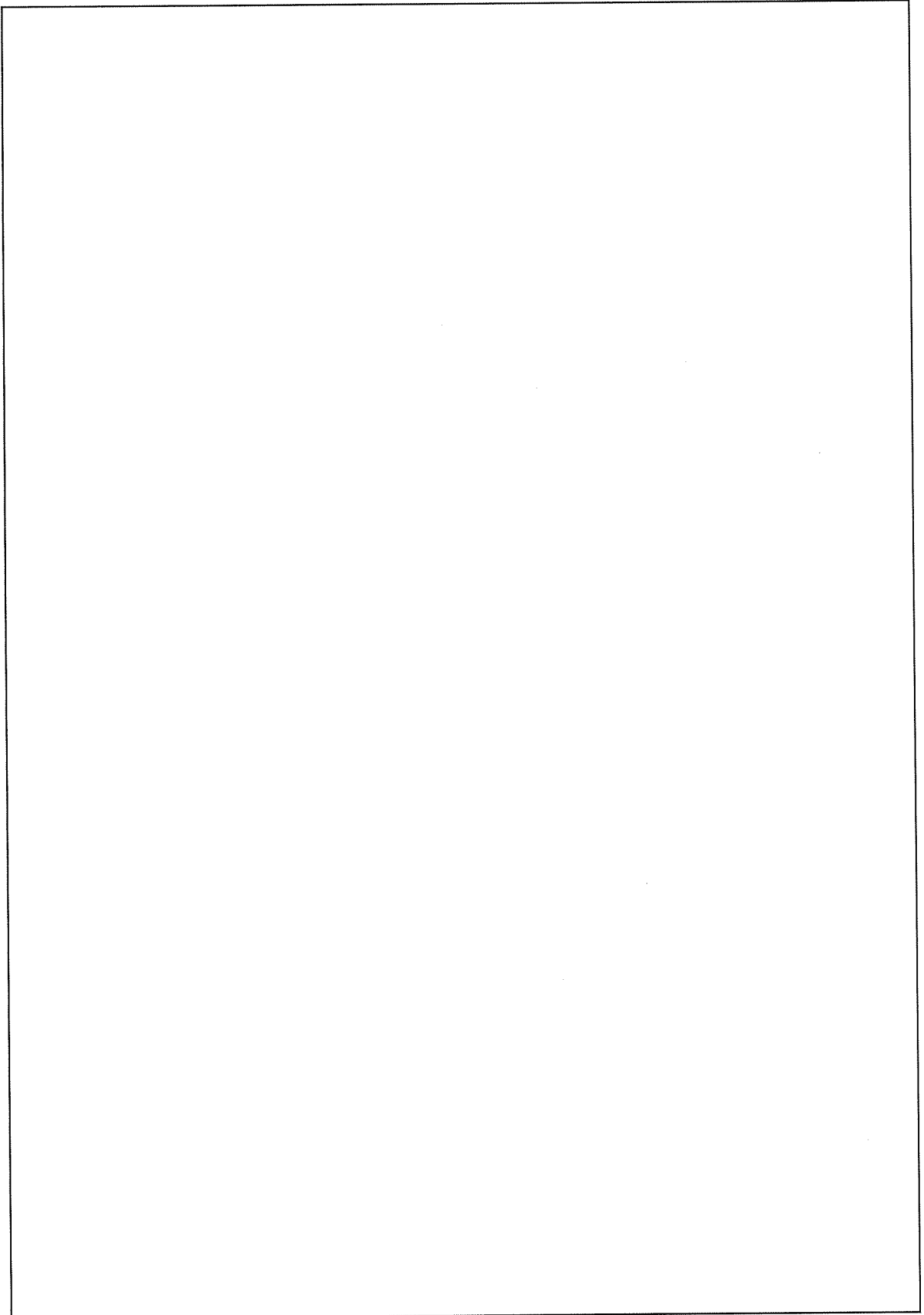
(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-転 9-3-1 図(3/7) 構造解析モデル



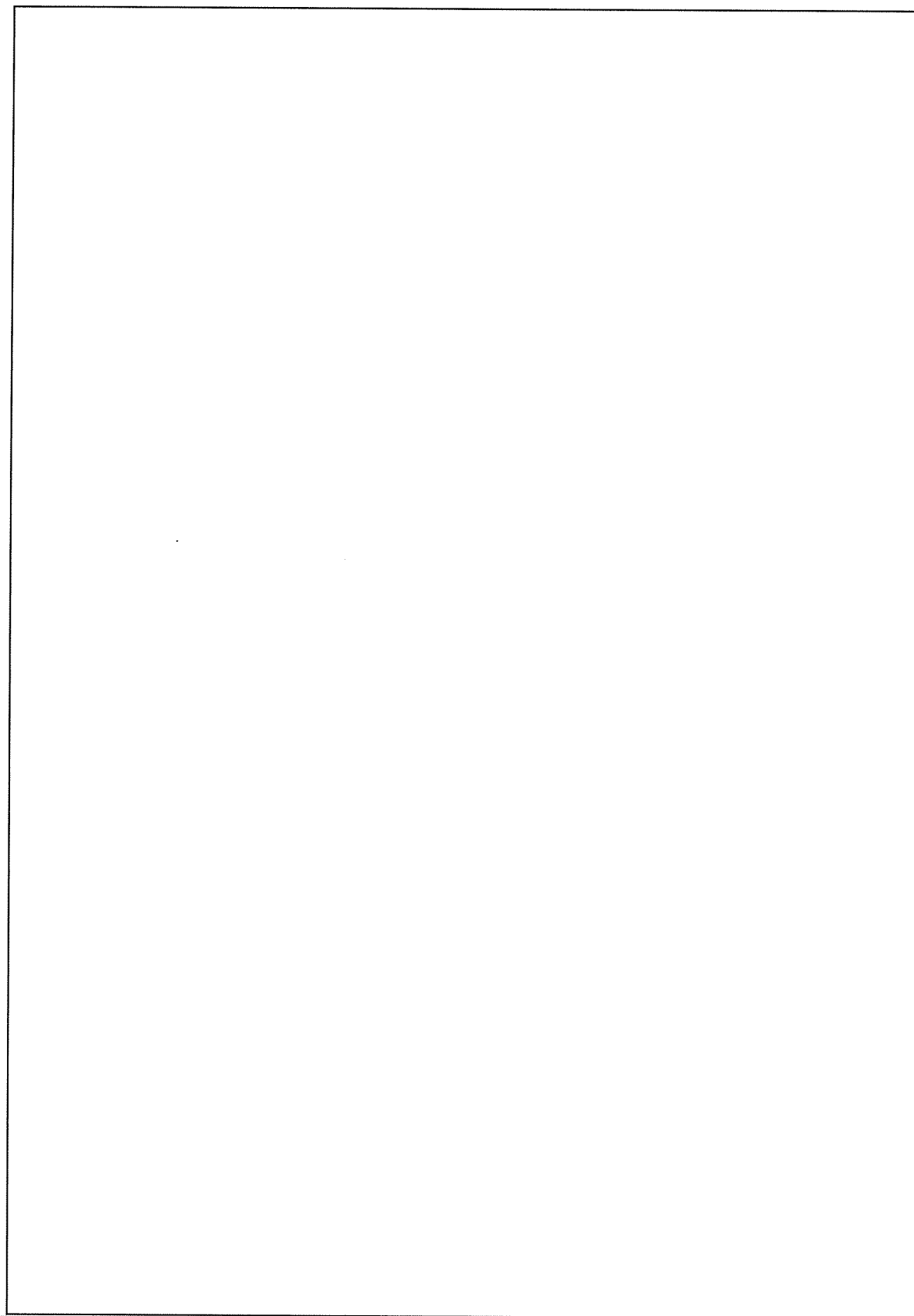
(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-転 9-3-1 図(4/7) 構造解析モデル



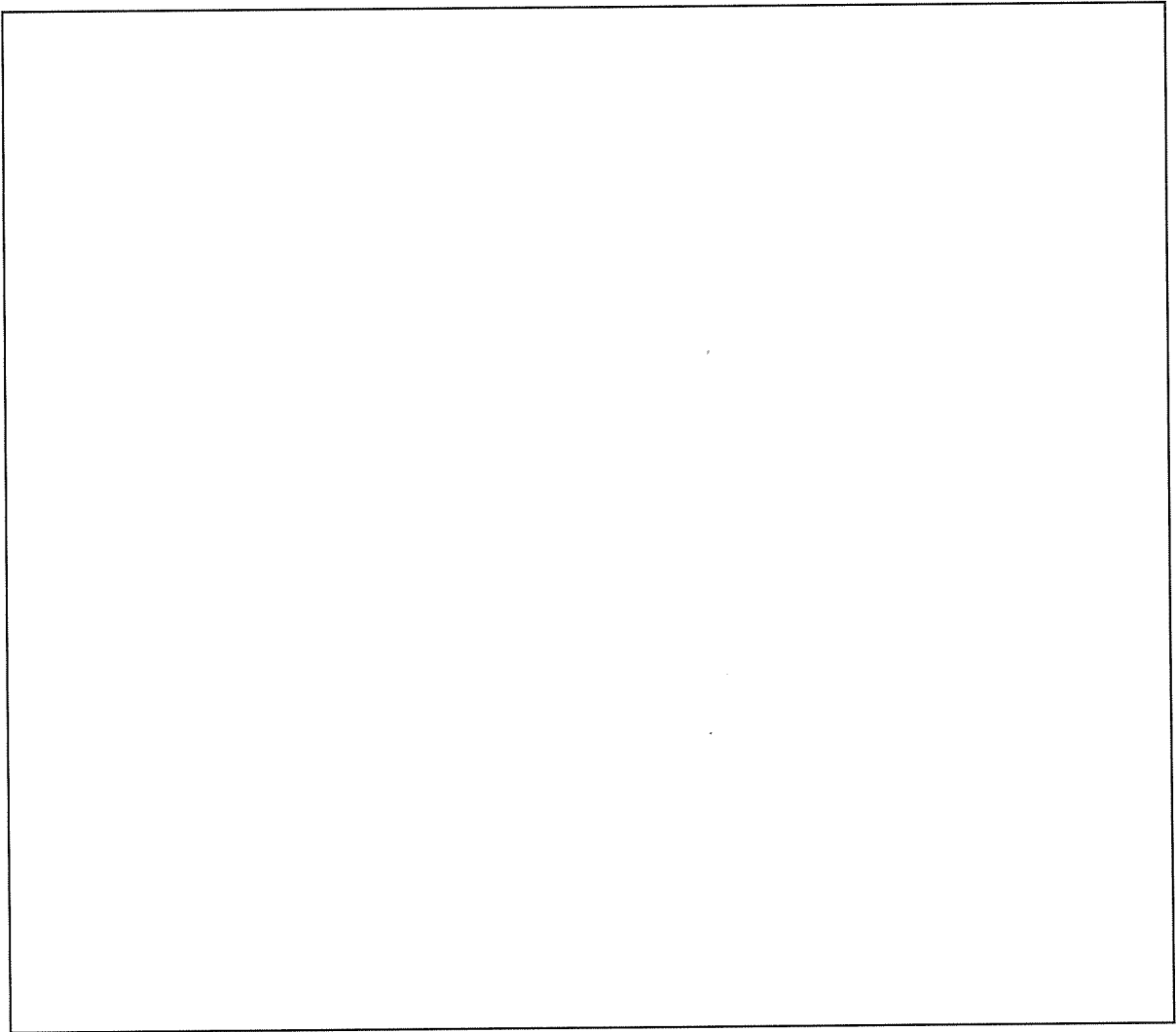
(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-転 9-3-1 図(5/7) 構造解析モデル



(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-転 9-3-1 図(6/7) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-転 9-3-1 図(7/7) 構造解析モデル

添説設 3-1-転 9-3-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴]×10 ⁴		断面係数 [mm ³]×10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
柱										JIS G3466
はり										JIS G3192
はり										JIS G3192
はり										JIS G3192
はり										JIS G3192
はり										JIS G3192
柱										JIS G3192
はり										JIS G3192
柱										JIS G3192
はり										計算値
柱										JIS G3466
はり										計算値

添説設 3-1-転 9-3-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-転 9-3-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

*：節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

3. 1. 1. 設計用地震力

3. 1. 1. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \div \square \cdots \div \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz] となり、20[Hz]未満であるので、剛構造としない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

3. 1. 1. 2. 設計地震力の設定

剛構造としない設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 1 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 1.0G とする。

3. 1. 2. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

3. 1. 3. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

3. 2. 応力評価

3. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 9-3-4 表及び添説設 3-1-転 9-3-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 9-3-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	—	03_038								
圧縮応力度	—	00_034								
せん断応力度	—	10_088								
曲げ応力度	—	10_030								
組合せ応力度	—	04_019								
組合せ応力	—	10_030								

添説設 3-1-転 9-3-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	Y 負	04_002								
圧縮応力度	X 正	08_003								
せん断応力度	Y 負	08_041								
曲げ応力度	Y 負	10_088								
組合せ応力度	X 負	10_026								
組合せ応力	Y 負	10_078								

3. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 9-3-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 9-3-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 負	00_039						
せん断応力度	X 正	00_021						
引抜力	Y 負	00_039						

充填装置の耐震計算書

1. 設備・機器概要

1. 1. 耐震重要度分類

耐震重要度分類は第1類である。

1. 2. 設置位置

設置位置を添説設3-1-転10-1-1表に示す。

添説設3-1-転10-1-1表 対象設備 設置位置

機器名	建物名	区分	部屋名	参照図面
充填装置(1)、充填装置(2)	工場棟	転換工場	転換加工室	添付図 図イ配-1

1. 3. 構造

構造図を添説設3-1-転10-1-2表に示す。充填装置は安全機能を有する設備として充填装置(1)、(2)、フードボックス（充填装置(1)、(2)）及び充填装置(1)、(2)架台を有する。

添説設3-1-転10-1-2表 対象設備 構造図

機器名	構造図
充填装置(1)、充填装置(2)	添付図 図イ設-15

2. 充填装置(1), (2)の耐震計算

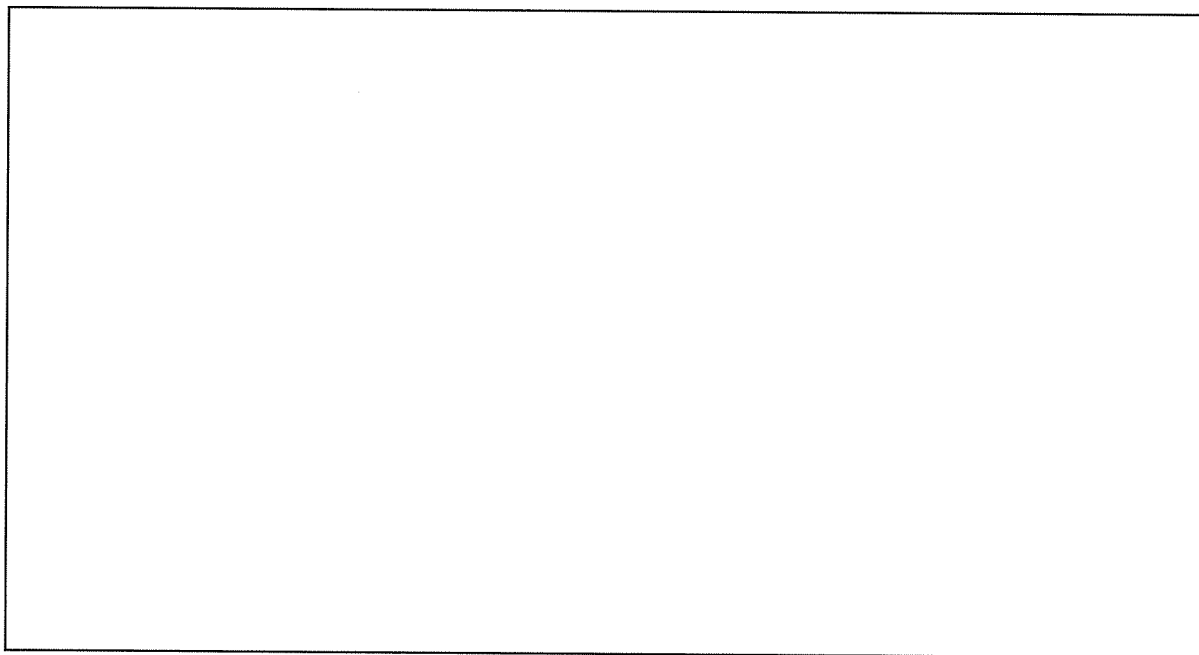
2. 1. 評価方法

充填装置(1), (2)の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による3次元FEMによる静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードはFAP-3を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進3方向を固定、もしくは完全固定する。
- (4) 地震荷重は、水平2方向の荷重をそれぞれ考慮する。

2. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素3次元構造解析モデルを添説設3-1-転10-2-1図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設3-1-転10-2-1表に示す。また、材料定数を添説設3-1-転10-2-2表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設3-1-転10-2-3表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



寸法及び節点

添説設3-1-転10-2-1図 構造解析モデル

添説設 3-1-転 10-2-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴]×10 ⁴		断面係数 [mm ³]×10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	Iy	Iz	Zy	Zz	I	
はり										計算値

添説設 3-1-転 10-2-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				JSME S NJ1-2012

添説設 3-1-転 10-2-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

*：節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

2. 1. 2. 設計用地震力

2. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \doteq \square \cdot \cdot \cdot \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz] となり、20 [Hz] 以上であるので、剛構造の設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

2. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造の設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 1 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 1.0G とする。

2. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

2. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

2. 2. 応力評価

2. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 10-2-4 表及び添説設 3-1-転 10-2-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 10-2-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	—	—								
圧縮応力度	—	—								
せん断応力度	—	00_02								
曲げ応力度	—	00_02								
組合せ応力度	—	00_02								
組合せ応力	—	00_02								

添説設 3-1-転 10-2-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	X 正	00_02								
圧縮応力度	X 負	00_02								
せん断応力度	Y 正	00_02								
曲げ応力度	Y 正	00_02								
組合せ応力度	Y 正	00_02								
組合せ応力	Y 正	00_02								

2. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 10-2-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 10-2-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	X 正	00_02						
せん断応力度	X 正	00_02						
引抜力	-	-						

3. フードボックス（充填装置(1),(2)）の耐震計算

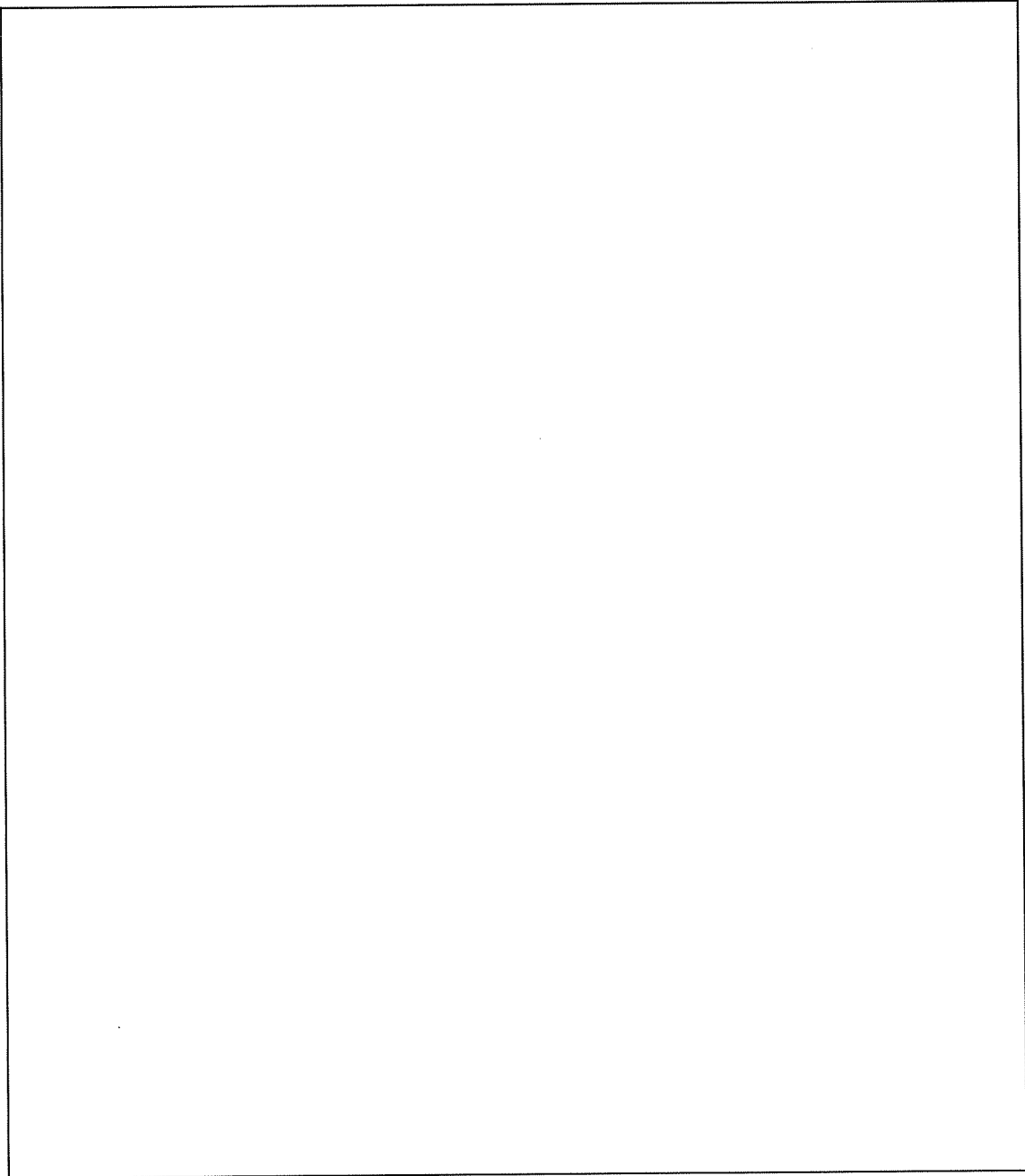
3. 1. 評価方法

フードボックス（充填装置(1),(2)）の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

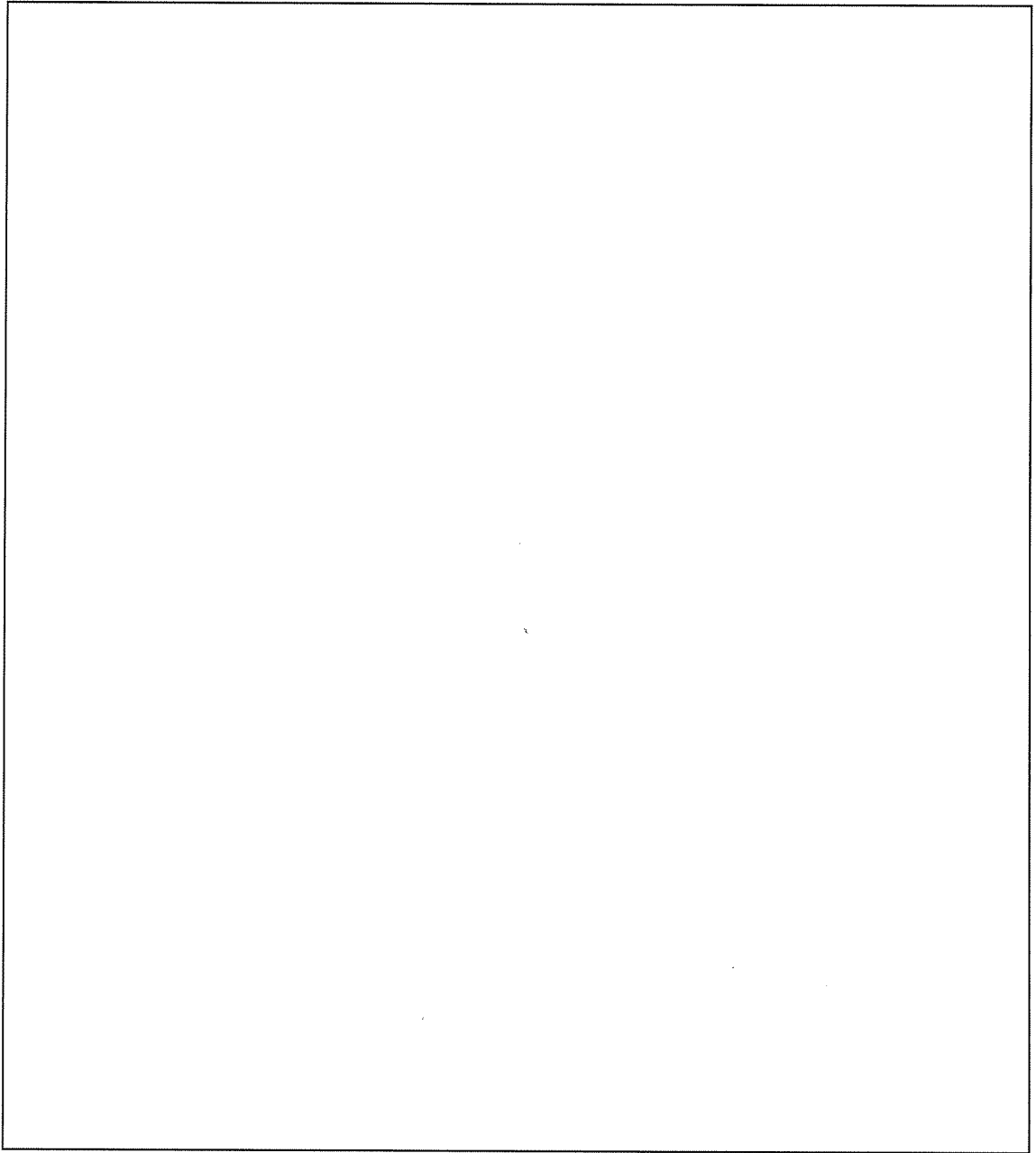
3. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-転 10-3-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-転 10-3-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-転 10-3-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-転 10-3-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-転 10-3-1 図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-転 10-3-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-転 10-3-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴]×10 ⁴		断面係数 [mm ³]×10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
はり										JIS G4317
柱										JIS G4317
はり										JIS G4317
柱										JIS G4317

添説設 3-1-転 10-3-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				JSME S NJ1-2012

添説設 3-1-転 10-3-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

*：節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

3. 1. 2. 設計用地震力

3. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \doteq \square \cdot \cdot \cdot \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz]となり、20[Hz]未満であるので、剛構造とならない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

3. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造とならない設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 1 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 1.0G とする。

3. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

3. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

3. 2. 応力評価

3. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 10-3-4 表及び添説設 3-1-転 10-3-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 10-3-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	—	02_05								
圧縮応力度	—	03_10								
せん断応力度	—	03_09								
曲げ応力度	—	06_12								
組合せ応力度	—	06_12								
組合せ応力	—	06_12								

添説設 3-1-転 10-3-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	X 正	02_01								
圧縮応力度	X 正	01_03								
せん断応力度	Y 正	03_09								
曲げ応力度	X 正	03_04								
組合せ応力度	X 正	03_04								
組合せ応力	X 正	03_04								

3. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 10-3-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 10-3-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	X 正	00_01						
せん断応力度	X 正	00_03						
引抜力	-	-						

4. 充填装置(1), (2)架台の耐震計算

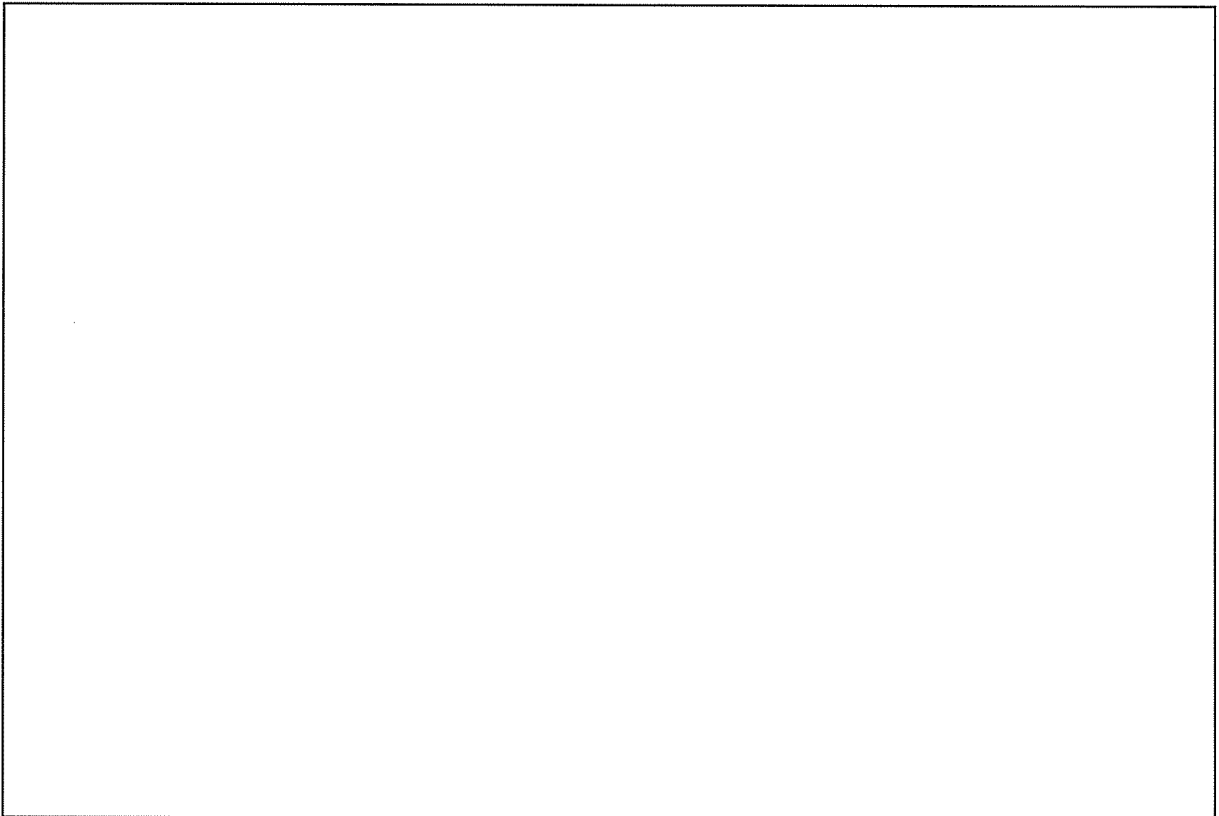
4. 1. 評価方法

充填装置(1), (2)架台の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

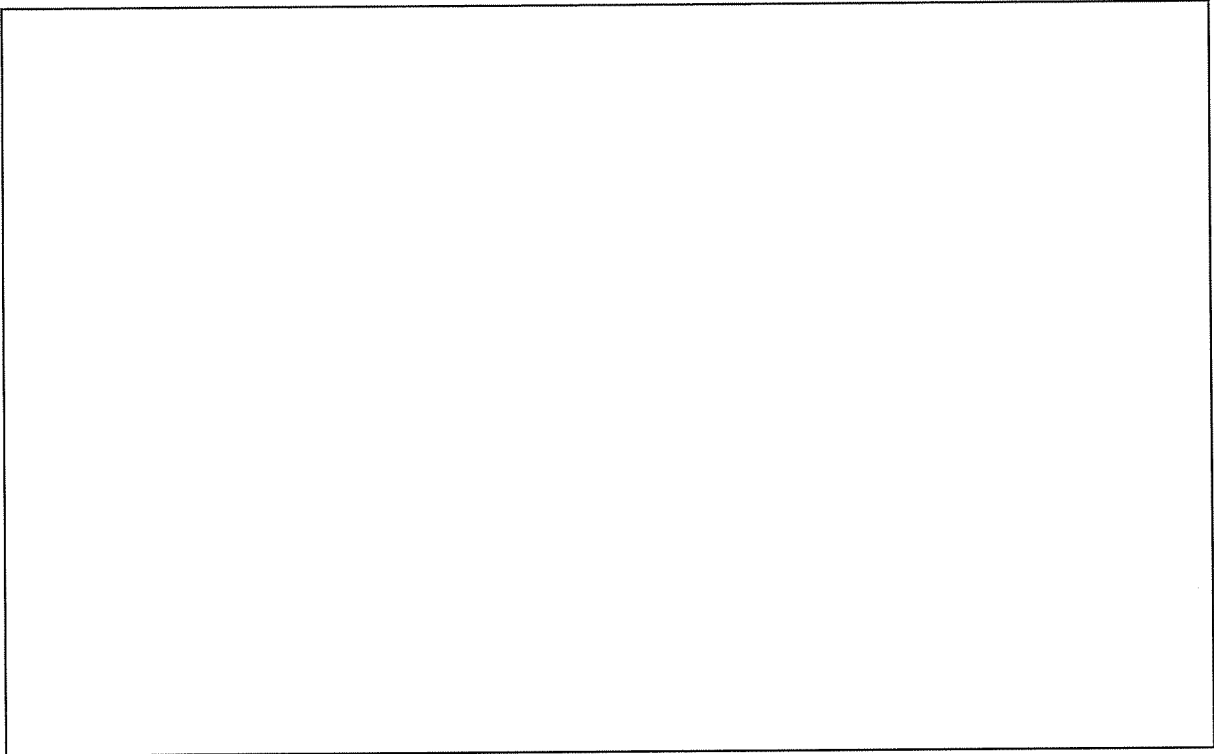
4. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-転 10-4-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-転 10-4-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-転 10-4-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-転 10-4-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-転 10-4-1 図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-転 10-4-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-転 10-4-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次 モーメント [mm ⁴]×10 ⁴		断面係数 [mm ³]×10 ³		断面二 次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
はり										JIS G3192
柱										JIS G3192

添説設 3-1-転 10-4-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-転 10-4-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

* : 節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

4. 1. 2. 設計用地震力

4. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \doteq \square \cdots \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz]となり、20 [Hz]未満であるので、剛構造としない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

4. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造としない設備であり、転換工場1階に設置しており、耐震重要度分類第1類であることから、設計用地震力は静的地震力の1.0Gとする。

4. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

4. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書―設3-1-付1に示す。

4. 2. 応力評価

4. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書―設3-1-付2に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設3-1-転10-4-4表及び添説設3-1-転10-4-5表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 10-4-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	—	00_01								
圧縮応力度	—	00_05								
せん断応力度	—	00_04								
曲げ応力度	—	00_04								
組合せ応力度	—	00_04								
組合せ応力	—	00_04								

添説設 3-1-転 10-4-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 正	01_03								
圧縮応力度	Y 正	00_10								
せん断応力度	Y 正	00_09								
曲げ応力度	Y 正	00_09								
組合せ応力度	Y 正	00_09								
組合せ応力	Y 正	00_09								

4. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-転 10-4-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-転 10-4-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 正	00_04						
せん断応力度	Y 正	00_09						
引抜力	—	—						

スクラバの耐震計算書

1. 設備・機器概要

1. 1. 耐震重要度分類

耐震重要度分類は第2類である。

1. 2. 設置位置

設置位置を添説設 3-1-気 1-1-1 表に示す。

添説設 3-1-気 1-1-1 表 対象設備 設置位置

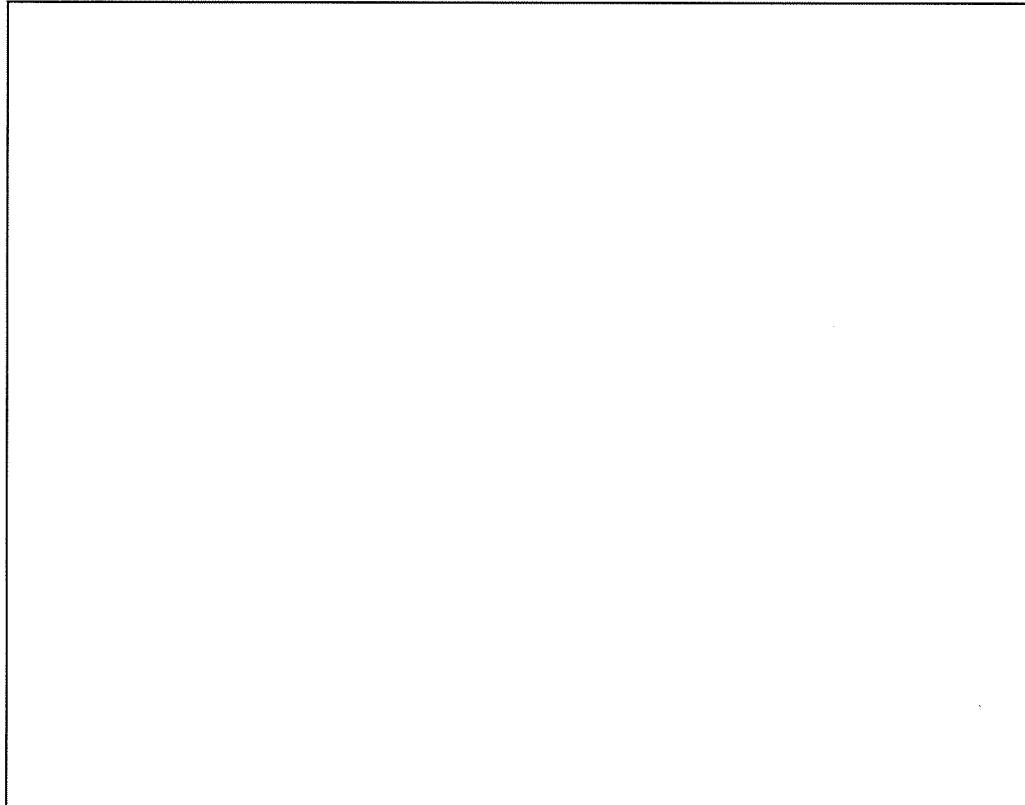
機器名	建物名	区分	部屋名	参照図面
スクラバ (原料倉庫局所排気系統)	工場棟	転換工場	原料倉庫	添付図 図ト配-1

1. 3. 構造

構造図を添説設 3-1-気 1-1-2 表に示す。スクラバは安全機能を有する設備としてスクラバ、スクラバ架台(1)及びスクラバ架台(2)を有する。添説設 3-1-気 1-1-1 図に示すように、スクラバ及びスクラバ架台(1)は一体でモデル化する。

添説設 3-1-気 1-1-2 表 対象設備 構造図

機器名	構造図
スクラバ (原料倉庫局所排気系統)	添付図 図ト設-1



添説設 3-1-気 1-1-1 図 スクラバ、スクラバ架台(1) 構造解析モデル

2. スクラバの耐震計算

2. 1. 評価方法

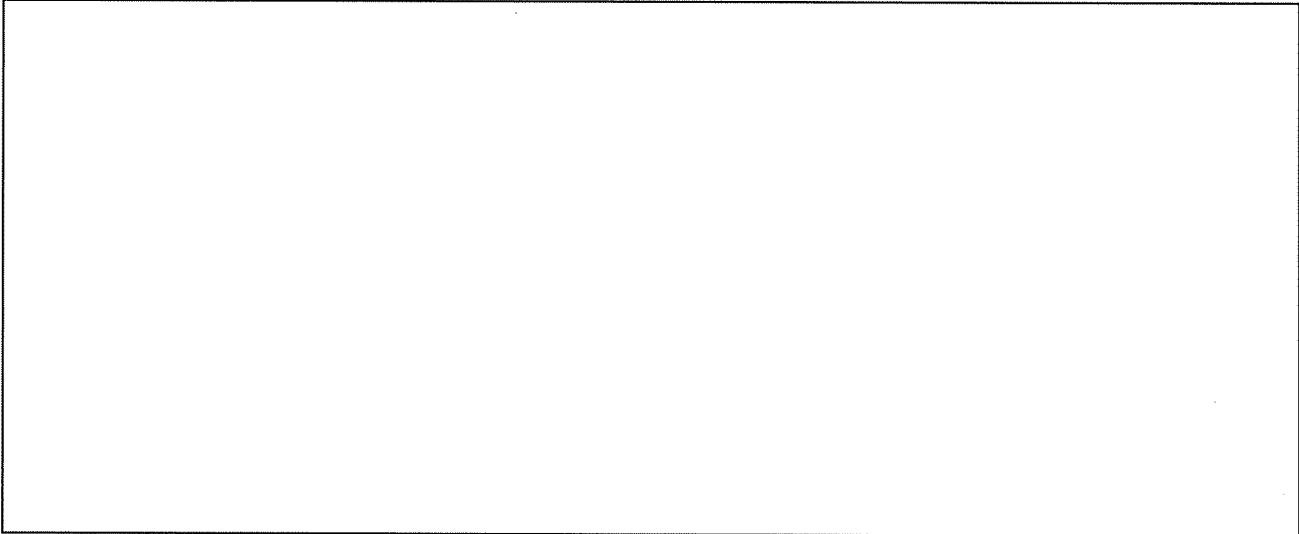
スクラバの地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素、シェル要素による3次元FEMによる静的解析を解析コードで実施する（添付説明書一設3-1-気1-付1参照）。
- (2) 解析コードはNASTRAN Ver. 2008. 0. 4^{*1}を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進3方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平2方向の荷重をそれぞれ考慮する。

*1 NASTRANはNASAの「有限要素法プログラム作成プロジェクト」により、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構造解析用計算機コードである。1971年にThe MacNeal-SchwendlerからMSC NASTRANとして一般商業用にリリースされた。現在ではPWR原子力発電施設の応力解析をはじめ、航空宇宙、自動車、造船、機械、土木及び建築など様々な分野の使用実績を有している。

2. 1. 1. 構造解析モデル

3次元構造解析モデルを添説設3-1-気1-2-1図に示す。スクラバ、リングサポート及び押え板はシェル要素、それ以外のフレームははり要素でモデル化している。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。シェル要素の材料と寸法を添説設3-1-気1-2-1表に示し、はり要素の部材の断面性能を添説設3-1-気1-2-2表に示す。また、材料定数を添説設3-1-気1-2-3表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設3-1-気1-2-4表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



添説設3-1-気1-2-1図 構造解析モデル

添説設 3-1-気 1-2-1 表 シェル要素 材料、寸法

材料	寸法

添説設 3-1-気 1-2-2 表 はり要素 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴]×10 ⁴		断面係数 [mm ³]×10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
はり										JIS G3192
柱										JIS G3192

添説設 3-1-気 1-2-3 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				FRP 構造設計便覧
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-気 1-2-4 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所

2. 1. 2. 設計用地震力

2. 1. 2. 1. 剛構造判定

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の最大変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \doteq \square \cdots \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz]となり、20[Hz]未満であるので、剛構造としない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

2. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造とならない設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 2 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 0.6G とする。

2. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

2. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

2. 2. 応力評価

2. 2. 1. 部材

部材の評価については、シェル要素では組合せ応力度であるミーゼス応力及びトレスカ応力をそれぞれ求め、厳しい値を用いる。評価値算出方法を以下に示す。

<シェル要素>

応力の種類	単位	応力計算式
ミーゼス応力	N/mm ²	$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \times \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$
トレスカ応力	N/mm ²	Max(σ_1 , σ_2 , $\sigma_1 - \sigma_2$)

記号説明

- σ_x : シェル要素 X 方向応力 (N/mm²)
- σ_y : シェル要素 Y 方向応力 (N/mm²)
- τ_{xy} : シェル要素せん断 XY 方向応力 (N/mm²)
- σ_1 : シェル要素主応力 (N/mm²)
- σ_2 : シェル要素主応力 (N/mm²)

はり要素では引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。

各々最大発生点の評価結果をシェル要素について添説設 3-1-気 1-2-5 表及び添説設 3-1-気 1-2-6 表、はり要素について添説設 3-1-気 1-2-7 表及び添説設 3-1-気 1-2-8 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-気 1-2-5 表 シェル要素の評価結果 (長期)

評価対象	位置*	地震 方向	評価値	許容限界	検定比 [-]
組合せ応力度					

* : 添説設 3-1-気 1-2-2 図参照

添説設 3-1-気 1-2-6 表 シェル要素の評価結果 (短期)

評価対象	位置*	地震 方向	評価値	許容限界	検定比 [-]
組合せ応力度					

* : 添説設 3-1-気 1-2-2 図参照

添説設 3-1-気 1-2-7 表 はり要素の評価結果 (長期)

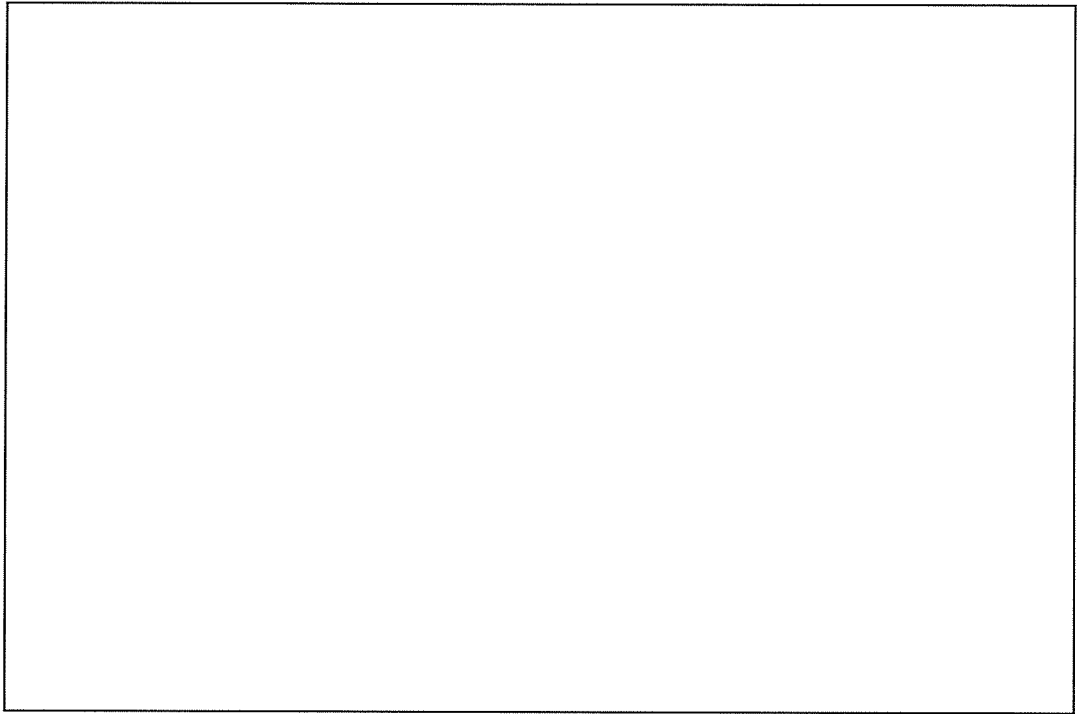
評価対象	位置*	地震 方向	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	-	-			
圧縮応力度	b	-			
せん断応力度	c	-			
曲げ応力度	d	-			
組合せ応力度	e	-			
組合せ応力	d	-			

* : 添説設 3-1-気 1-2-3 図参照

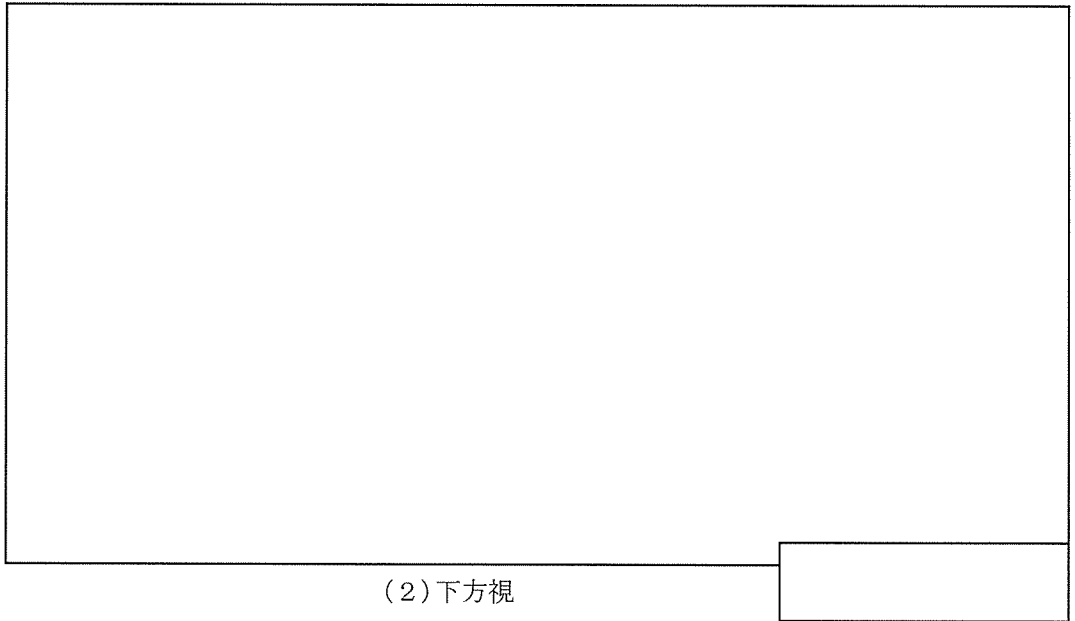
添説設 3-1-気 1-2-8 表 はり要素の評価結果 (短期)

評価対象	位置*	地震 方向	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	B	Y負			
圧縮応力度	C	Y負			
せん断応力度	D	Y負			
曲げ応力度	E	Y負			
組合せ応力度	D	Y負			
組合せ応力	E	Y負			

* : 添説設 3-1-気 1-2-3 図参照

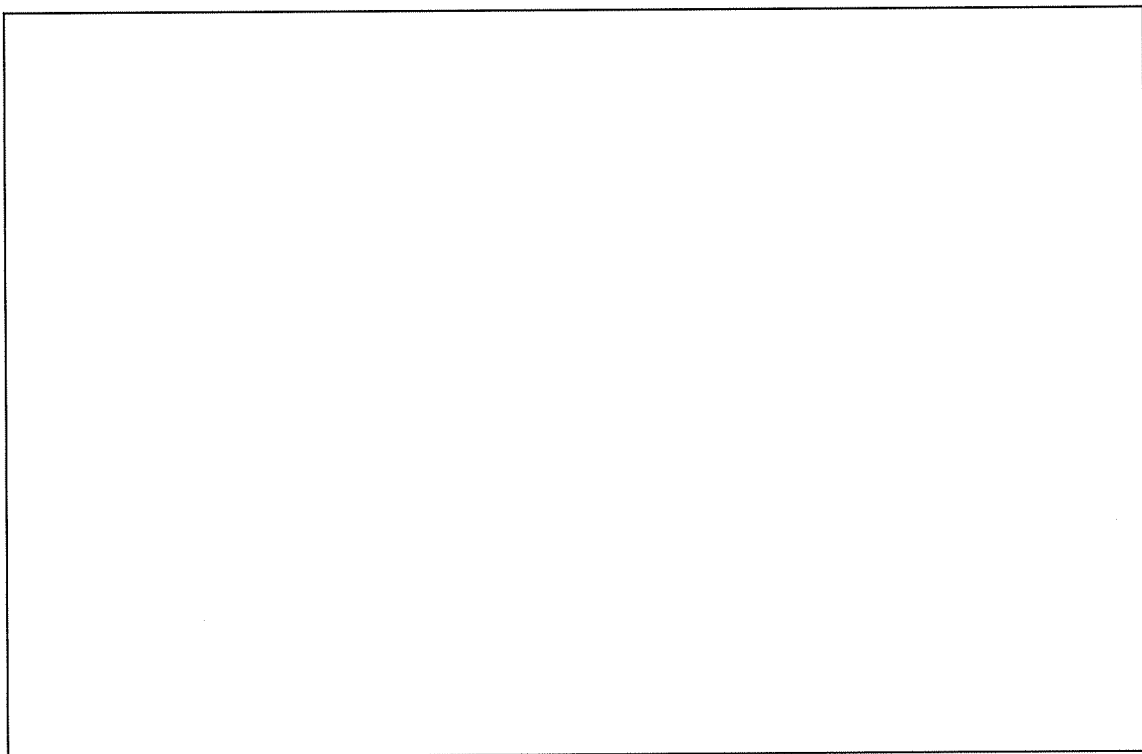


(1)鳥瞰図



(2)下方視

添説設 3-1-気 1-2-2 図 スクラバ 最大検定比発生位置



添説設 3-1-気 1-2-3 図 補強枠、据付ボルト 最大検定比発生位置

2. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-気 1-2-9 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-気 1-2-9 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	位置*	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	Y 負	α			
せん断応力度	X 正	β			
引抜力	Y 負	α			

* : 添説設 3-1-気 1-2-3 図参照

3. スクラバ架台(1)の耐震計算

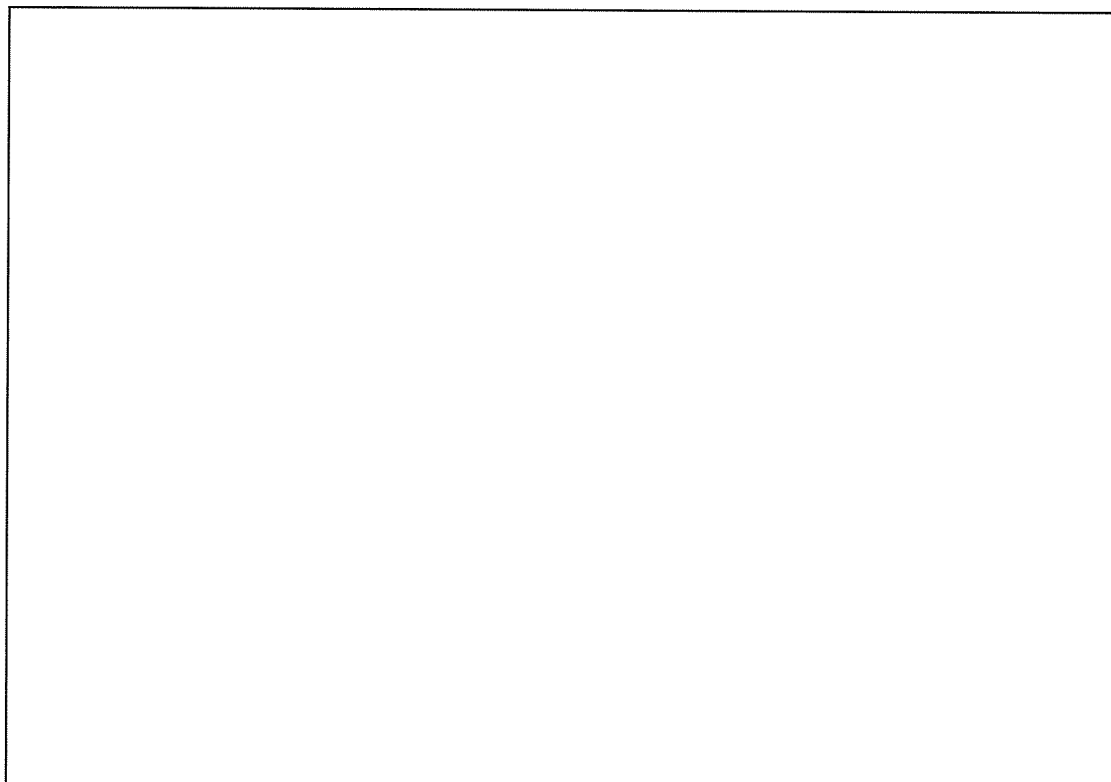
3. 1. 評価方法

スクラバ架台(1)の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは NASTRAN Ver. 2008. 0. 4 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部を完全固定とする。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

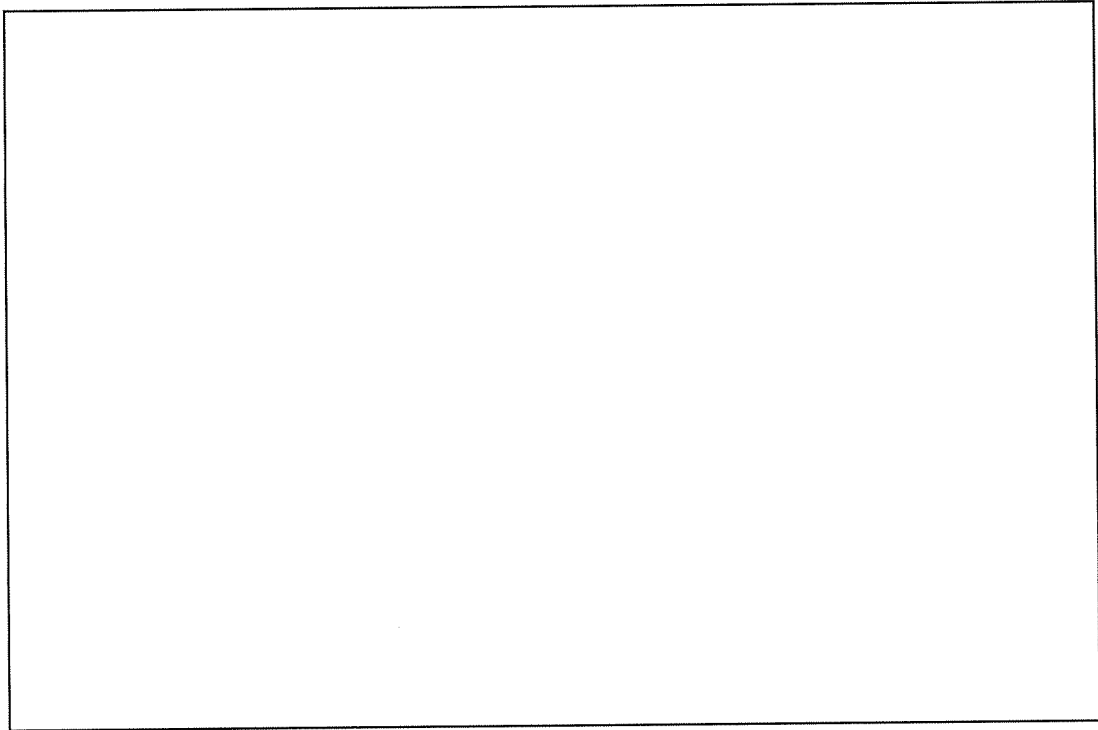
3. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-気 1-3-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-気 1-3-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-気 1-3-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-気 1-3-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



(1) 外形図

添説設 3-1-気 1-3-1 図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-気 1-3-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-気 1-3-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴]×10 ⁴		断面係数 [mm ³]×10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
柱										JIS G3192
はり										JIS G3192
はり										JIS G3192
はり										JIS G3192
はり										計算値
はり										JIS G3192
その他										JIS G3192

添説設 3-1-気 1-3-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-気 1-3-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所

3. 1. 2. 設計用地震力

3. 1. 2. 1. 剛構造判定

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の最大変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \doteq \square \cdots \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz] となり、20 [Hz] 未満であるので、剛構造とならない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

3. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造とならない設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 2 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 0.6G とする。

3. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

3. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

3. 2. 応力評価

3. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-気 1-3-4 表及び添説設 3-1-気 1-3-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-気 1-3-4 表 部材の評価結果（長期）

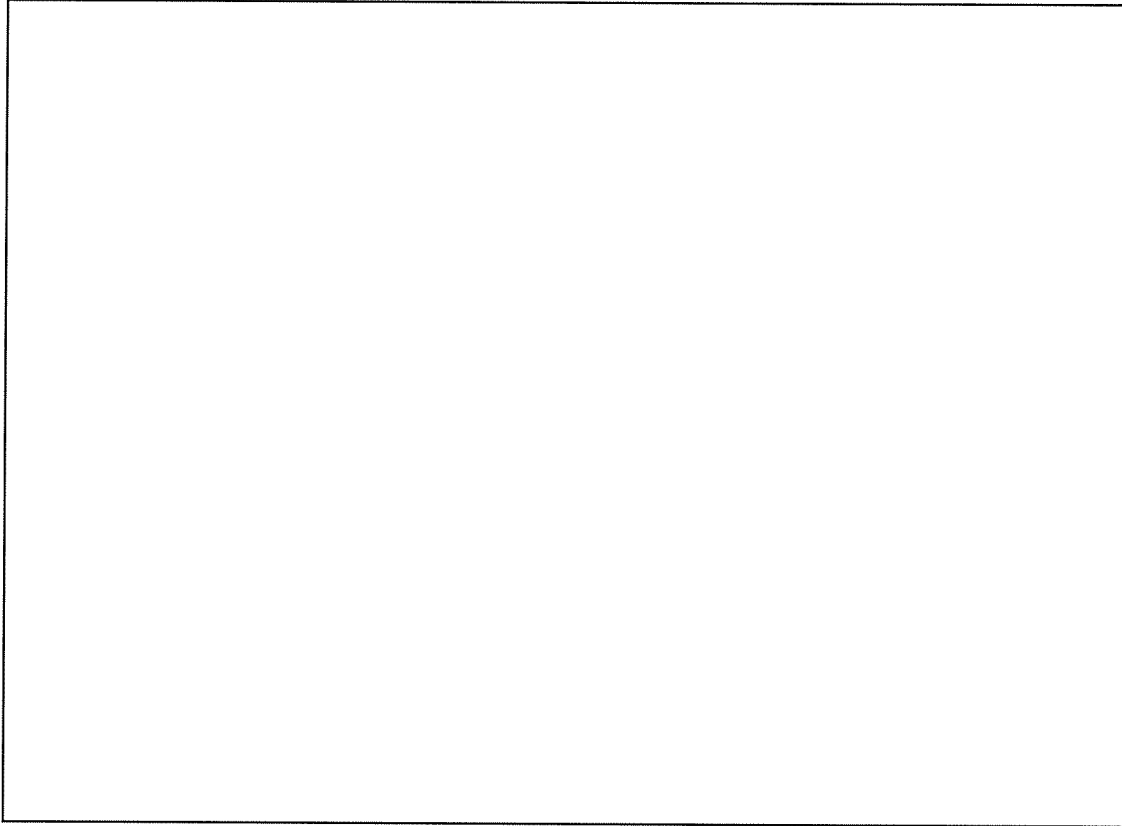
評価対象	地震方向	位置*	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	—	a			
圧縮応力度	—	b			
せん断応力度	—	c			
曲げ応力度	—	d			
組合せ応力度	—	d			
組合せ応力	—	d			

*：添説設 3-1-気 1-3-2 図参照

添説設 3-1-気 1-3-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	位置*	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	X 正	A			
圧縮応力度	X 正	B			
せん断応力度	Y 正	C			
曲げ応力度	Y 正	D			
組合せ応力度	Y 正	D			
組合せ応力	Y 正	D			

*：添説設 3-1-気 1-3-2 図参照



添説設 3-1-気 1-3-2 図 最大検定比発生位置

3. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。評価結果を添説設 3-1-気 1-3-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-気 1-3-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	位置*	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 負	α			
せん断応力度	Y 負	β			
引抜力	Y 負	α			

* : 添説設 3-1-気 1-3-2 図参照

4. スクラバ架台(2)の耐震計算

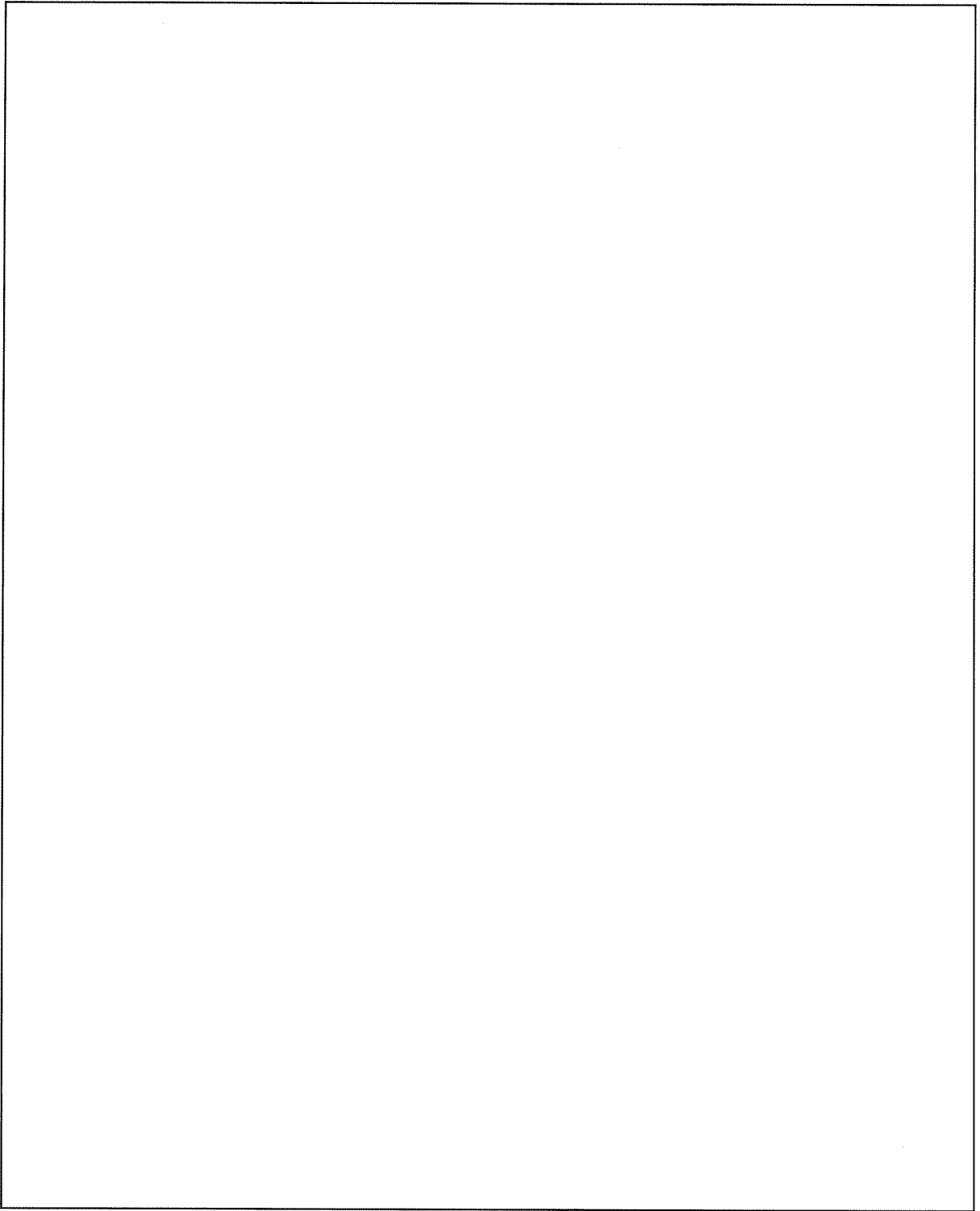
4. 1. 評価方法

スクラバ架台(2)の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

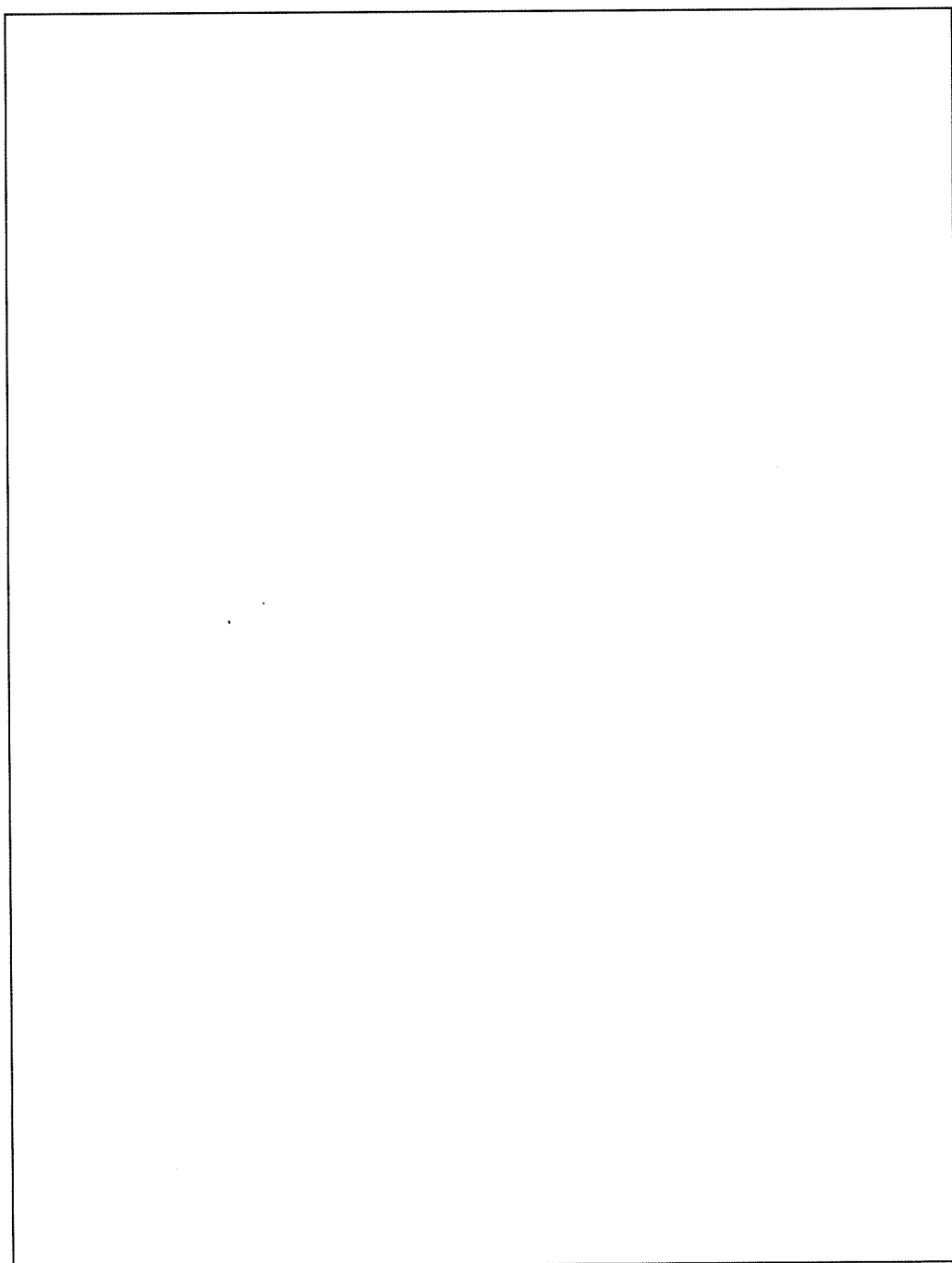
4. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-気 1-4-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-気 1-4-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-気 1-4-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-気 1-4-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-気 1-4-1 図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-気 1-4-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-気 1-4-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴]×10 ⁴		断面係数 [mm ³]×10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	Iy	Iz	Zy	Zz	I	
柱										JIS G3466
はり										JIS G3192
柱										JIS G3192
はり										JIS G3192
はり										JIS G3192
はり										JIS G3192
はり										JIS G3192

添説設 3-1-気 1-4-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-気 1-4-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

* : 節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

4. 1. 2. 設計用地震力

4. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \doteq \square \cdots \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz] となり、20 [Hz] 未満であるので、剛構造とならない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

4. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造とならない設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 2 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 0.6G とする。

4. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

4. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

4. 2. 応力評価

4. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-気 1-4-4 表及び添説設 3-1-気 1-4-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-気 1-4-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	—	02_089								
圧縮応力度	—	01_005								
せん断応力度	—	02_081								
曲げ応力度	—	02_055								
組合せ応力度	—	02_055								
組合せ応力	—	02_055								

添説設 3-1-気 1-4-5 表 部材の評価結果 (短期)

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	Y 負	02_042								
圧縮応力度	Y 負	01_001								
せん断応力度	X 負	02_087								
曲げ応力度	X 正	02_052								
組合せ応力度	Y 負	01_001								
組合せ応力	Y 負	01_001								

4. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-気 1-4-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-気 1-4-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	Y 正	00_001						
せん断応力度	X 負	00_005						
引抜力	Y 正	00_001						

シェルモデルによるスクラバの計算について

1. はじめに

スクラバ{626}は、耐震解析に用いる有限要素の種類としてシェル要素を用いた評価と
している。

設工認申請における耐震解析では、はり要素を用いるが、ここでは、シェル要素を用い
た理由とスクラバ解析で考慮した注意事項をまとめた。

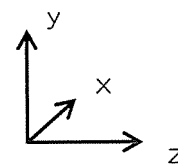
2. はり要素とシェル要素の違い

有限要素法のはり要素とシェル要素の違いを以下に示す。

(1) はり要素（3次元）

棒（柱）梁など、両端に力がかかる線として扱うことができる要素をいう。

材料や断面としての特性は、線状の要素内部で考慮される。



自由度

$$\begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_\theta \\ M_\phi \\ M_\psi \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ \theta \\ \phi \\ \psi \end{pmatrix}$$

x : x 軸方向のたわみ（曲げたわみ）

y : y 軸方向のたわみ（曲げたわみ）

z : z 軸方向のたわみ（引張、圧縮たわみ）

θ : x 軸まわりのたわみ角

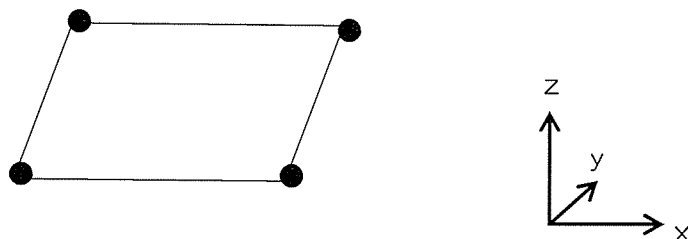
ϕ : y 軸回りのたわみ角

ψ : z 軸回りのねじり角

図1 はり要素の模式図

(2) シェル要素

板厚が薄い面として扱うことができる要素をいう。



自由度

$$\begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_\theta \\ M_\phi \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ \theta \\ \phi \end{pmatrix}$$

x : x 軸方向のたわみ (シェル方向の引張・圧縮たわみ)

y : y 軸方向のたわみ (シェル方向の引張・圧縮たわみ)

z : z 軸方向のたわみ (シェルの面外たわみ)

θ : x 軸まわりのたわみ角 (シェルのたわみ角)

ϕ : y 軸まわりのたわみ角 (シェルのたわみ角)

※シェルは面に直交する軸の回転自由度はない。

図2 シェル要素の模式図

3. スクラバのモデル化

3.1 モデルの選定

塔槽類であるスクラバは、耐フッ酸性の観点から 製（鉄鋼に比べてヤング率が約 1/30）であり、断面の変形が比較的生じやすいと考えられるため、スクラバの変形による剛性の変化を模擬できるように、シェル要素を用いて評価する。

主として耐震解析に適用している FAP-3 では、シェル要素を備えていないため、同モデル解析で一般的に使用されている NASTRAN を使用した。

* 1

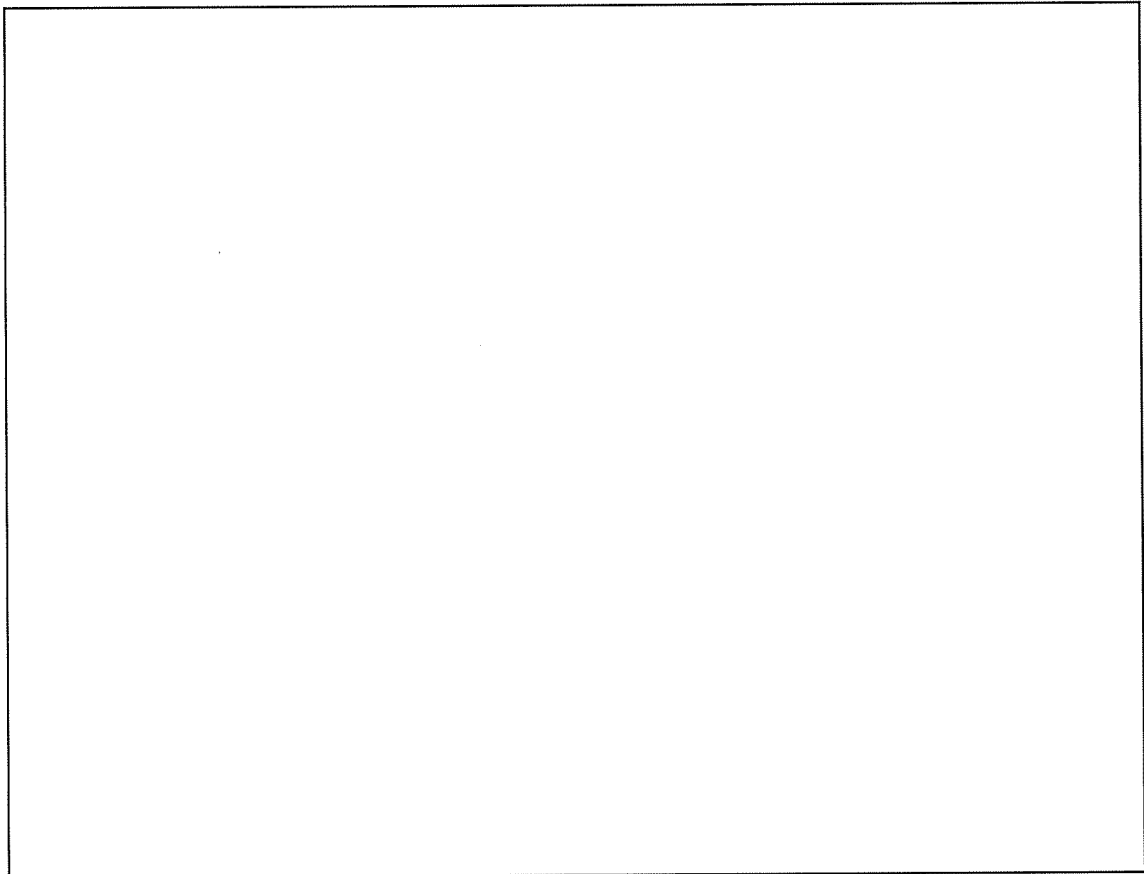


図3 シェル要素によるスクラバの解析モデル図

3.2 モデル化の考え方

スクラバは円筒形の形状のものである。地震時の横方向の荷重によって曲げによる変形が生じる。評価結果は添付説明書一設 3-1-気 1 に記載しているが、ここでは、モデル化の考え方を模式的に表す。

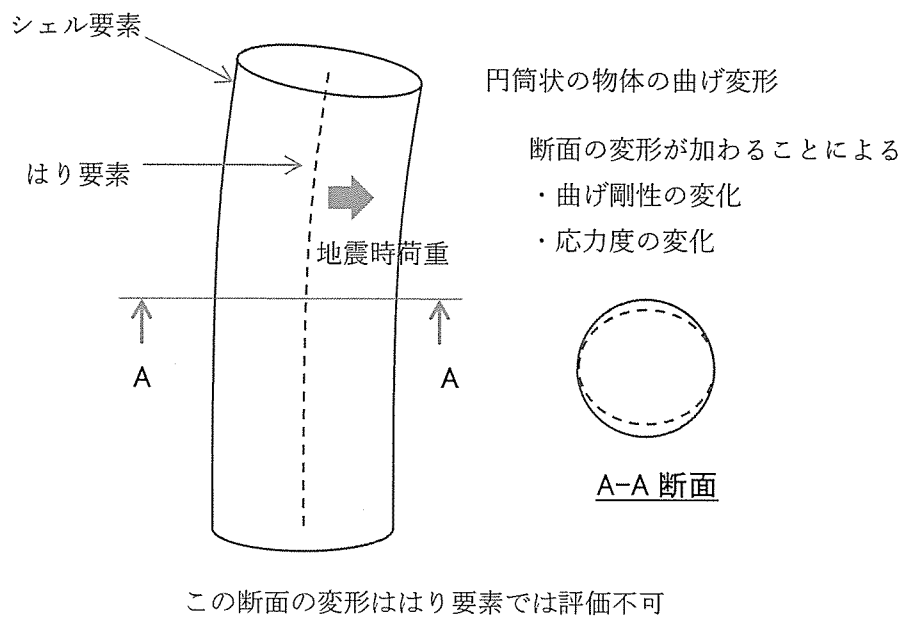


図 4 円筒形構造物の曲げ変形説明図

通常、円筒状の物体であっても、この断面変形は無視しうるほど小さいため、はり要素でモデル化するが、ヤング率の低い FRP の場合変形の影響を確認することを兼ねて、念のためシェル要素でモデル化している。

4. その他の考慮事項

(1) 金属カバー

スクラバは[]製であり、火災荷重が大きいため、火災発生源とならないように金属カバーで覆う設計としている。

この金属カバーは耐震強度上期待しないが、保守的に、質量のみをスクラバ本体に均質荷重として考慮し評価している。

(2) NASTRAN の過去の事例の確認

汎用解析コード NASTRAN を使用するにあたっては、原子力安全推進協会発行の「原子力施設における許認可申請等に係る解析業務の品質向上ガイドライン」に準じ、手計算結果と比較するなどして検証を行った上で使用している。また、この手順は、当社の保安品質保証計画書に準拠したものである。

なお、2018 年の発電用原子炉施設において、NASTRAN を用いた評価の中で誤りが認められた事例がある。当該事例は「解析プログラムの注意すべき計算式」を入力する必要のある「応答スペクトル解析」だが*1、本申請では NASTRAN を静的解析に用いており、当該事例の誤りの原因を含むものではない。

* 1 東京電力ホールディングス株式会社 HP (2018. 12. 3)

非常用ディーゼル発電機の耐震計算書

1. 設備・機器概要

1. 1. 耐震重要度分類

耐震重要度分類は第2類である。

1. 2. 設置位置

設置位置を添説設3-1-他1-1-1表に示す。

添説設3-1-他1-1-1表 対象設備 設置位置

機器名	建物名	区分	部屋名	参照図面
非常用ディーゼル発電機	付属建物	発電機室	発電機室1,2	添付図 図り配-1

1. 3. 構造

構造図を添説設3-1-他1-1-2表に示す。非常用ディーゼル発電機は安全機能を有する設備として、非常用ディーゼル発電機、潤滑油タンク及び燃料油タンク、ラジエータを有する。

添説設3-1-他1-1-2表 対象設備 構造図

機器名	構造図
非常用ディーゼル発電機	添付図 図り設-1

2. 非常用ディーゼル発電機の耐震計算

2. 1. 評価方法

非常用ディーゼル発電機の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として評価する。

2. 2. 本体の評価方法

一次固有振動数を算出する。本体の上端に自重相当の水平地震力 $P(=W)$ が作用した際の上端における変形量を算出する。ここで総重量 $W=$ [N]である。

$$P = W = \text{} \text{ [N]}$$

本体上端に発生する最大たわみは下式より算出される。

$$\delta = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I_y}$$

ここで、

- P : 水平方向作用荷重
- L : 評価長さ
- E : ヤング係数
- I_y : 断面二次モーメント

評価長さは重心高さから $L=$ [mm]、ヤング率は使用部材である鋳鉄から $E=$ [MPa]、断面二次モーメントは最小断面積となる断面から $I_y=$ [mm⁴]を用いると、たわみ量は以下の通りとなる。

$$\delta = \text{} \text{ [mm]} = \text{} \text{ [cm]}$$

算出したその変位量を下記の式に用いて一次固有振動数 f を算出する。

$$f = \frac{5}{\sqrt{\delta}}$$

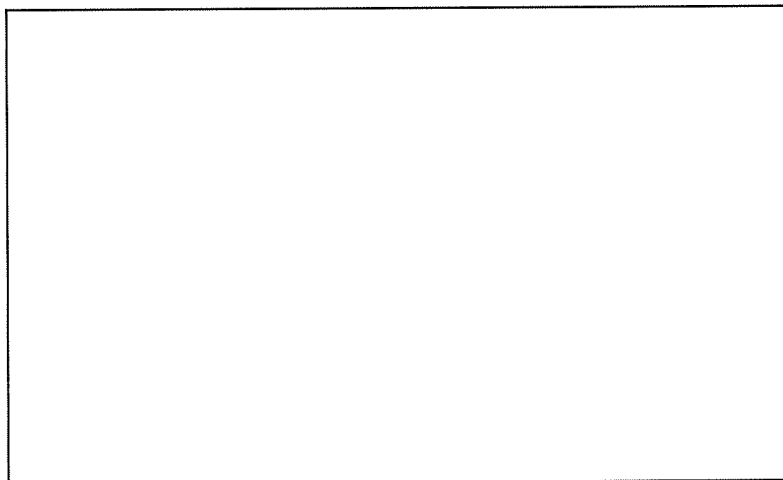
$$f = \frac{5}{\sqrt{\text{}}} = \text{} = \text{} \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は[Hz]となり、20[Hz]以上であるので、剛構造となる。また、一次固有振動数が十分に大きいことから、本体は剛であると判断でき、据付ボルトの評価で代表する。

2. 3. 据付ボルトの評価方法

2. 3. 1. 構造解析モデル

据付ボルトの評価モデルは添説設 3-1-他 1-2-1 図に示すとおりであり、本体を質点としてモデル化し、重心位置に水平地震力 P が作用した際の転倒モーメント、安定モーメントを算出し、それらをもとにボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認する。許容限界は添付説明書一設 3-1-付 1 参照。



添説設 3-1-他 1-2-1 図 モデル図

2. 3. 2. 評価結果

非常用ディーゼル発電機は剛構造のため、重心位置に自重相当の水平地震力 $P(=W \cdot K_H)$ が作用した際の転倒モーメント M_1 、安定モーメント M_2 を下式より算出する。ここで総重量 $W = \square$ [N]、設計用水平震度 $K_H = \square$ 、重心高さ $h = \square$ [mm]、ボルト支点間距離 $l_0 = \square$ [mm]、回転中心までの長さ $l_1 = \square$ [mm] を用いる。

$$M_1 = P \cdot h = \square \text{ [N} \cdot \text{mm]}$$

$$M_2 = W \cdot l_1 = \square \text{ [N} \cdot \text{mm]}$$

よって、ボルト本数 $n_t = 10$ 、引抜力に作用するボルト本数 $n_t' = 5$ より、引抜力 R_b 、引張応力度 σ_t 、せん断応力度 τ は以下の通りであり、添説設 3-1-他 1-2-1 表にまとめる。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

$$R_b = \frac{M1 - M2}{l_0 \cdot nt'} = \boxed{} \text{ [N]}$$

$$\sigma_t = \frac{R_b}{A} = \boxed{} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\tau = \frac{P}{A \cdot nt} = \boxed{} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$A = \boxed{} = \boxed{} \text{ [mm}^2\text{]}$$

添説設 3-1-他 1-2-1 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度			
せん断応力度			
引抜力			

3. 潤滑油タンクの耐震計算

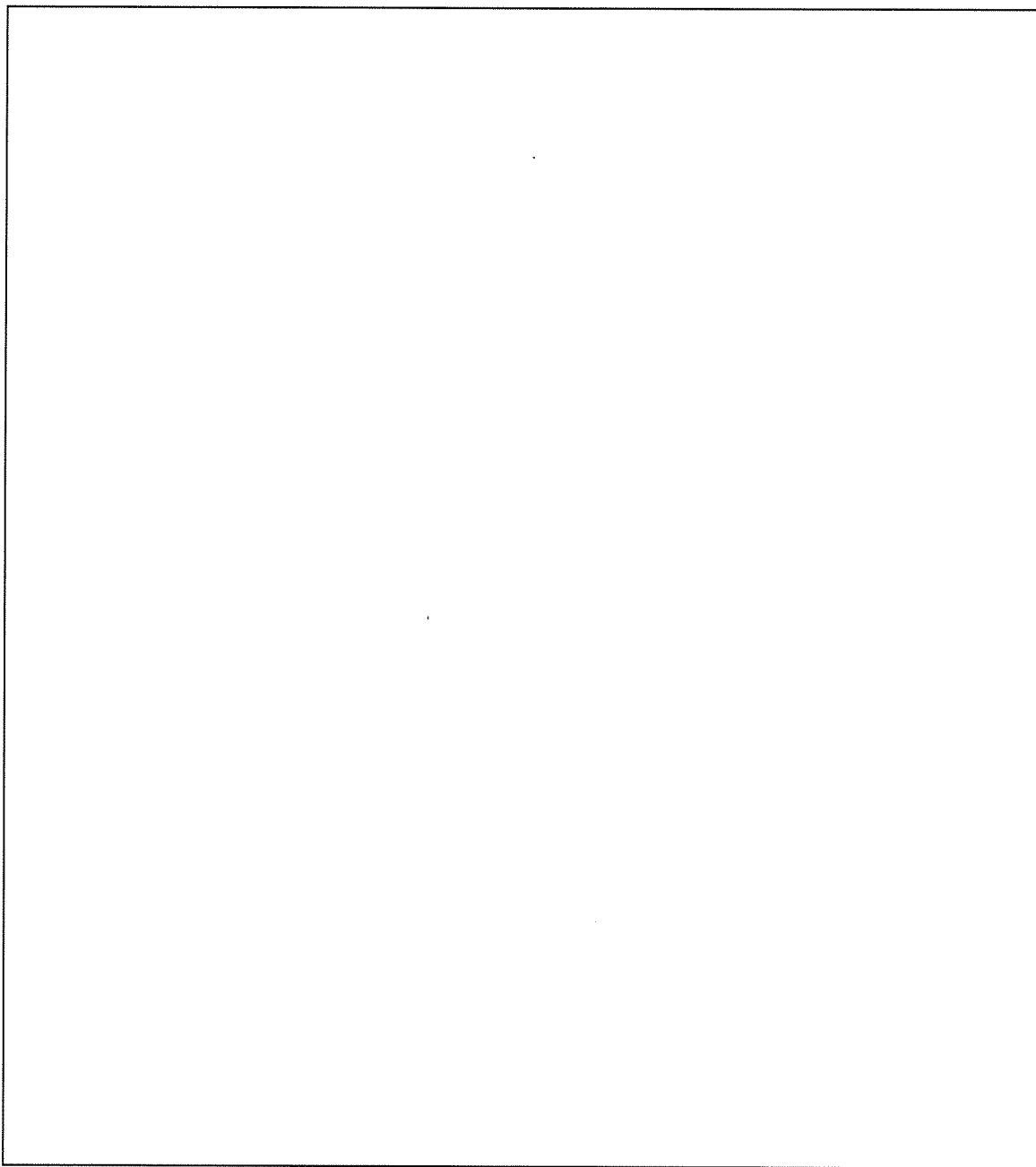
3. 1. 評価方法

潤滑油タンクの地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として評価する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

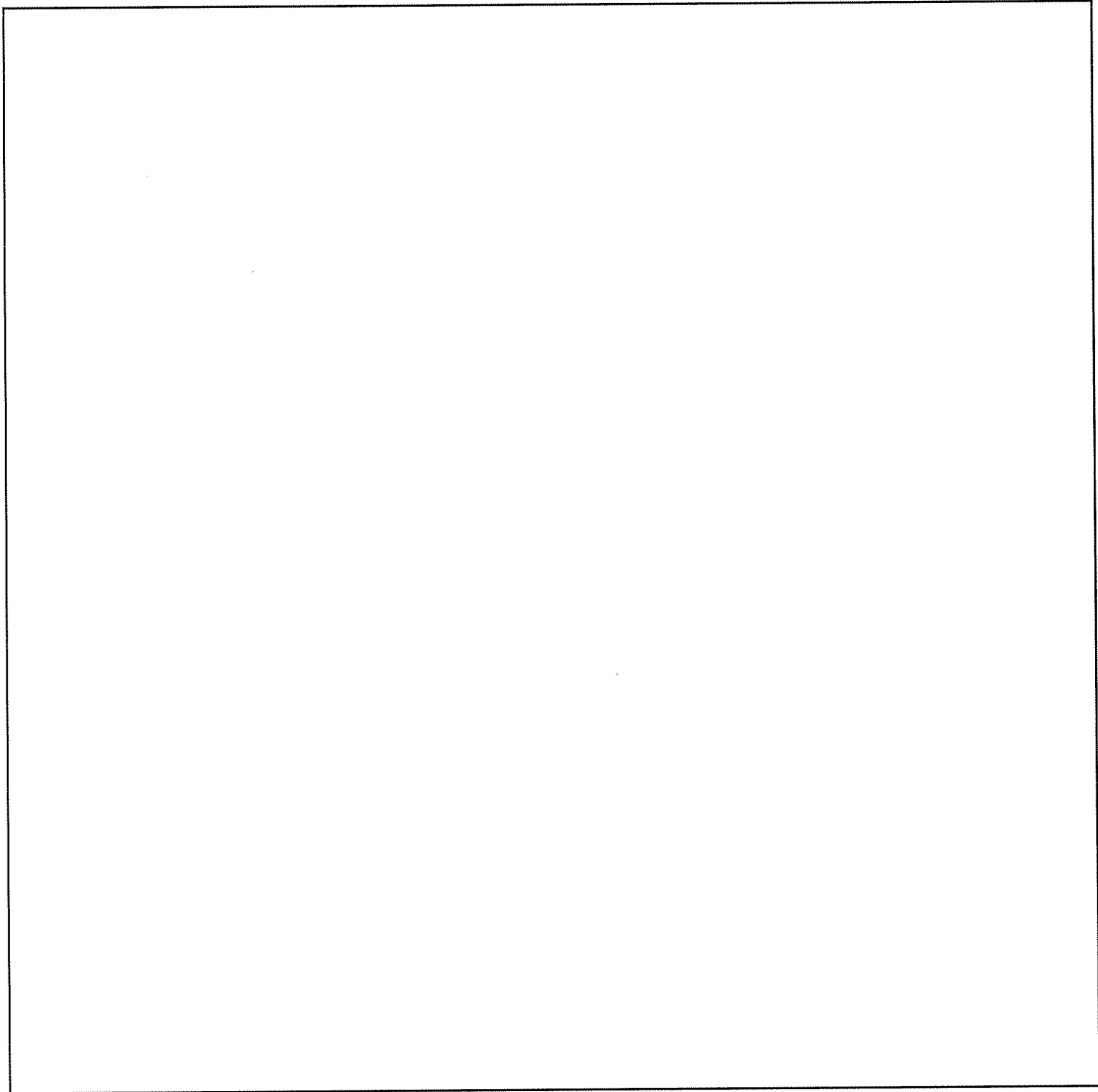
3. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-他 1-3-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-他 1-3-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-他 1-3-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-他 1-3-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-他 1-3-1 図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-他 1-3-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-他 1-3-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴]×10 ⁴		断面係数 [mm ³]×10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
はり									JIS G3192	
柱									JIS G3192	
その他									JIS G3192	

添説設 3-1-他 1-3-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-他 1-3-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

*：節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

3. 1. 2. 設計用地震力

3. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \doteq \square \cdot \cdot \cdot \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz] となり、20 [Hz] 未満であるので、剛構造としない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

3. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造としない設備であり、発電機室 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 2 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 0.6G とする。

3. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

3. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

3. 2. 応力評価

3. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-他 1-3-4 表及び添説設 3-1-他 1-3-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-他 1-3-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	—	02_02								
圧縮応力度	—	00_01								
せん断応力度	—	00_02								
曲げ応力度	—	00_02								
組合せ応力度	—	00_02								
組合せ応力	—	00_02								

添説設 3-1-他 1-3-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 正	02_01								
圧縮応力度	Y 正	00_07								
せん断応力度	Y 正	00_08								
曲げ応力度	X 正	02_01								
組合せ応力度	X 正	02_01								
組合せ応力	X 正	02_01								

3. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-他 1-3-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-他 1-3-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 正	00_02						
せん断応力度	Y 正	00_08						
引抜力	Y 正	00_02						

4. 燃料油タンクの耐震計算

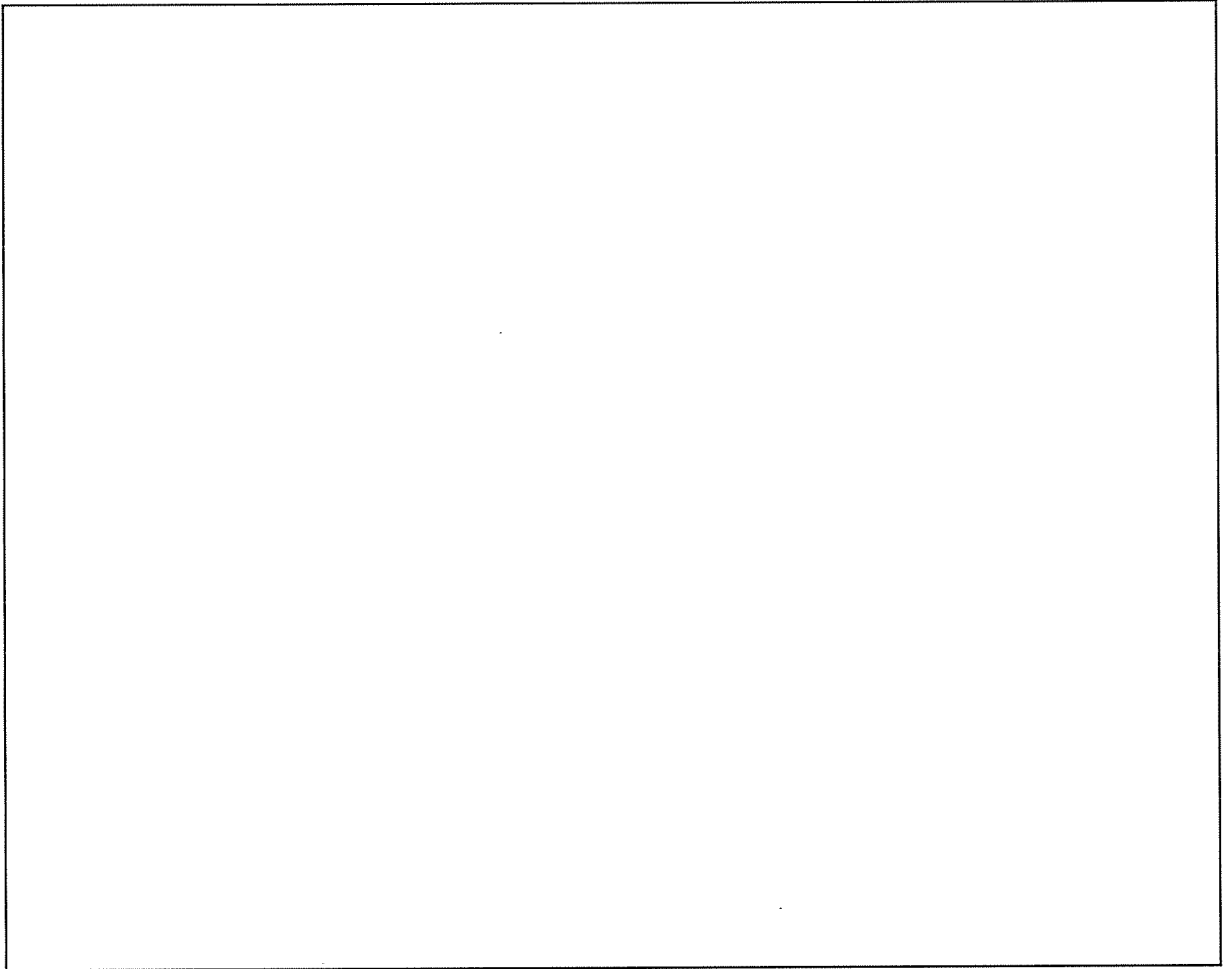
4. 1. 評価方法

燃料油タンクの地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

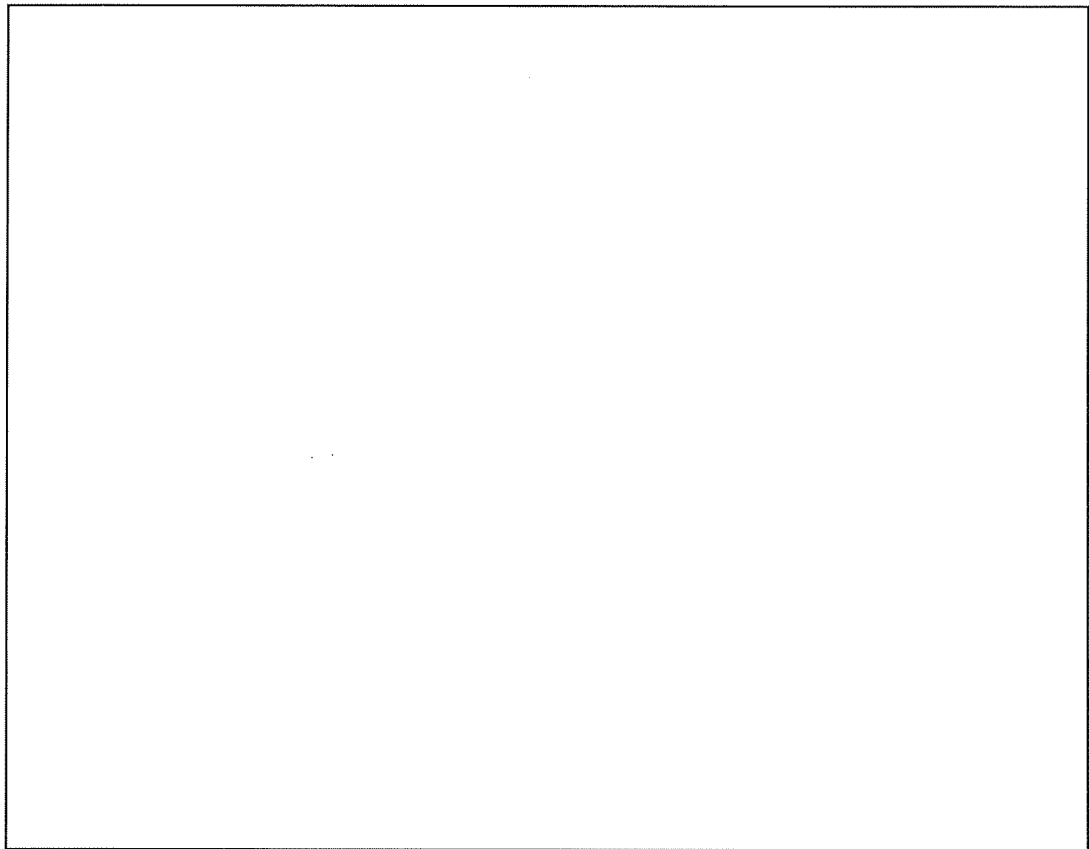
4. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-他 1-4-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-他 1-4-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-他 1-4-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-他 1-4-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-他 1-4-1 図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-他 1-4-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-他 1-4-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次 モーメント [mm ⁴] $\times 10^4$		断面係数 [mm ³] $\times 10^3$		断面二 次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
はり									JIS G3192	
柱									JIS G3192	
その他									JIS G3192	

添説設 3-1-他 1-4-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-他 1-4-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

*：節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

4. 1. 2. 設計用地震力

4. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \doteq \square \cdot \cdot \cdot \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz] となり、20 [Hz] 未満であるので、剛構造としない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

4. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造としない設備であり、発電機室 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 2 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 0.6G とする。

4. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

4. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

4. 2. 応力評価

4. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-他 1-4-4 表及び添説設 3-1-他 1-4-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-他 1-4-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	—	00_01								
圧縮応力度	—	00_01								
せん断応力度	—	00_02								
曲げ応力度	—	02_07								
組合せ応力度	—	02_01								
組合せ応力	—	02_07								

添説設 3-1-他 1-4-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 正	02_01								
圧縮応力度	Y 正	00_09								
せん断応力度	Y 正	00_10								
曲げ応力度	X 正	02_01								
組合せ応力度	X 正	02_01								
組合せ応力	X 正	02_01								

4. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-他 1-4-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-他 1-4-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 正	00_02						
せん断応力度	Y 正	00_10						
引抜力	Y 正	00_02						

5. ラジエータの耐震計算

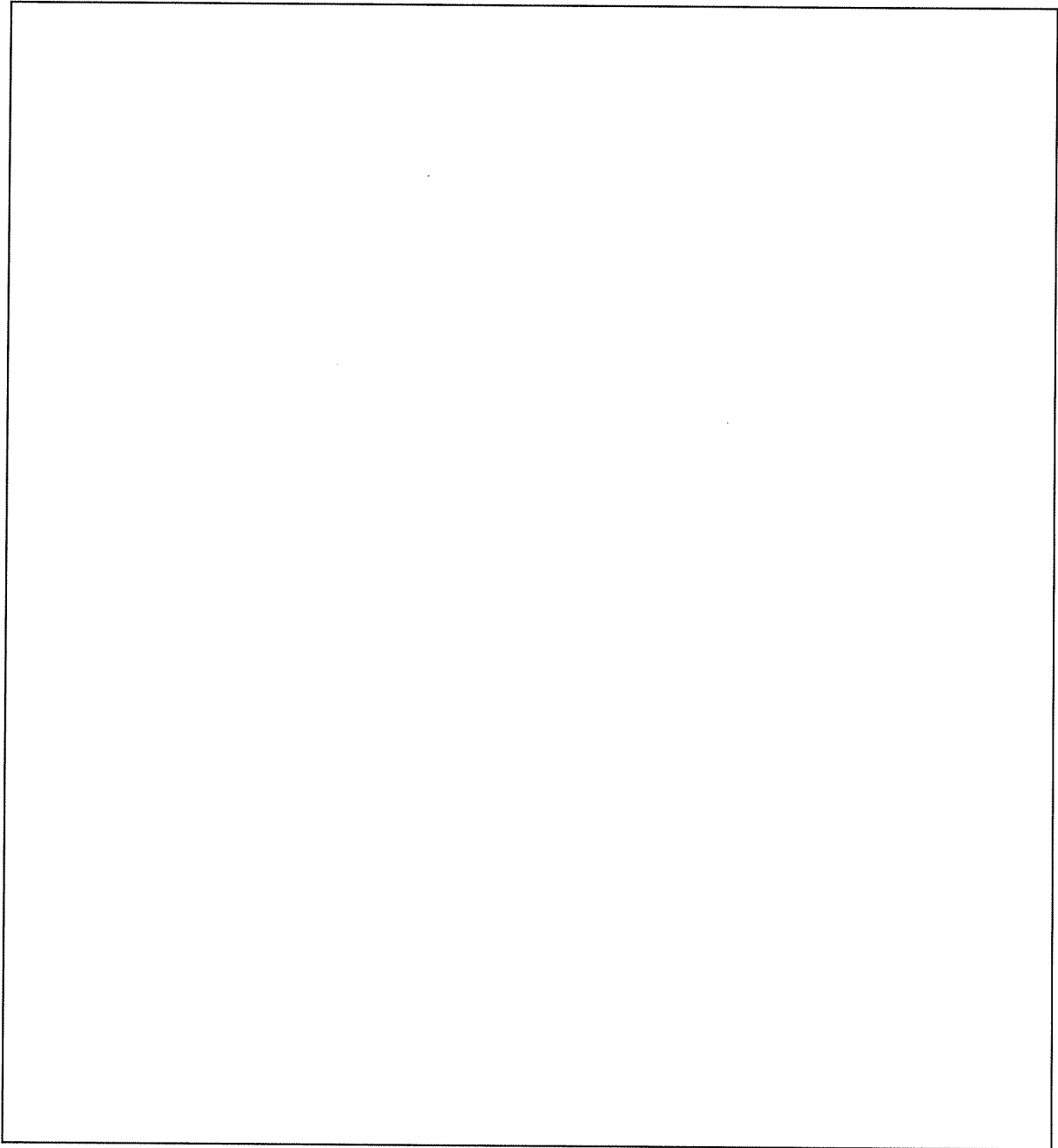
5. 1. 評価方法

ラジエータの地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

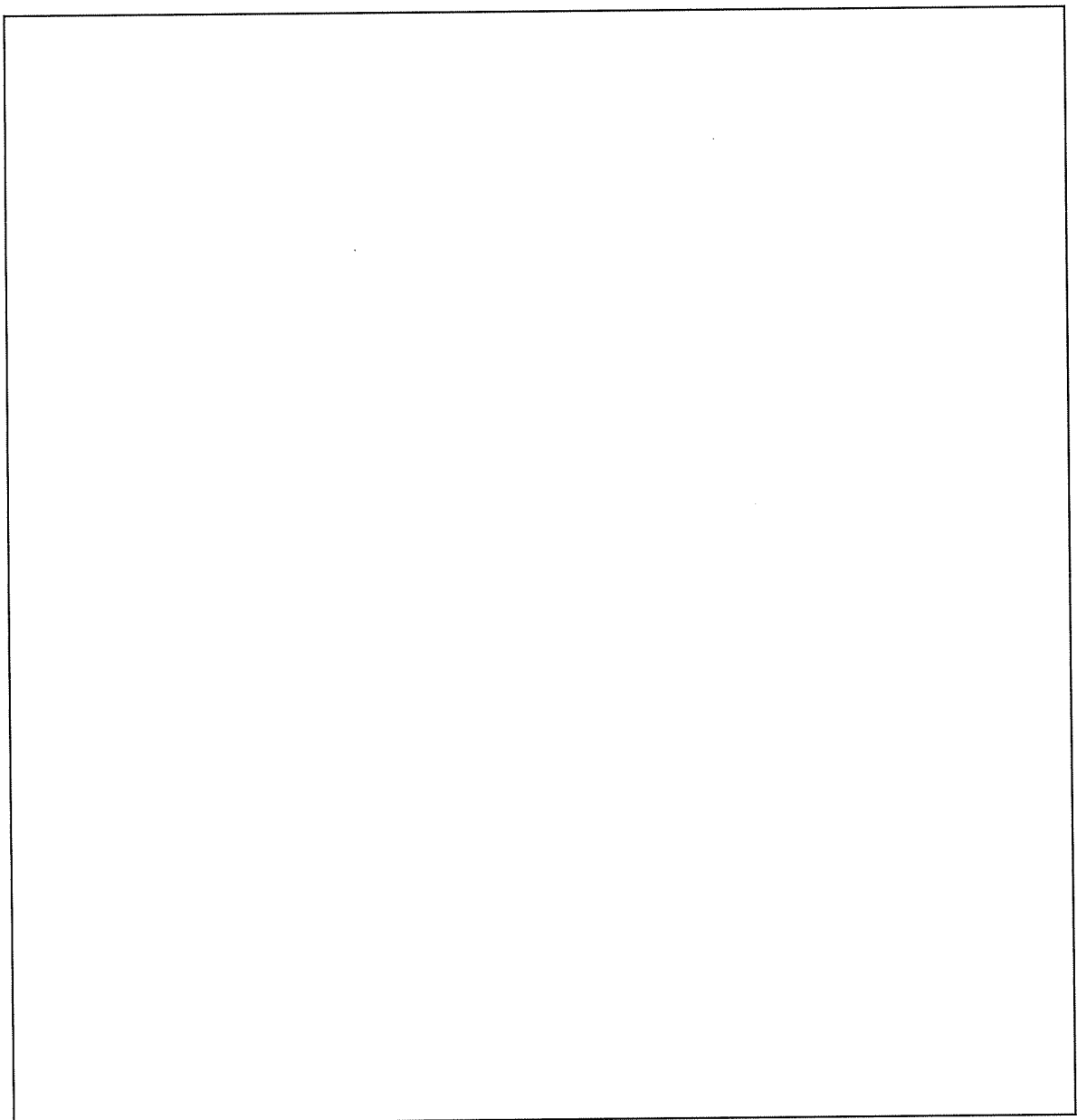
5. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-他 1-5-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-他 1-5-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-他 1-5-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-他 1-5-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-他 1-5-1 図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-他 1-5-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-他 1-5-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴]×10 ⁴		断面係数 [mm ³]×10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
柱										JIS G3192
その他										JIS G3192

添説設 3-1-他 1-5-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-他 1-5-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

*：節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

5. 1. 2. 設計用地震力

5. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

$$\text{解析結果より、} \delta = \boxed{} \text{ [cm]}$$

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\boxed{}}} \doteq \boxed{} \cdot \cdot \cdot \doteq \boxed{} \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は $\boxed{}$ [Hz] となり、20 [Hz] 未満であるので、剛構造としない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

5. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造としない設備であり、発電機室 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 2 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 0.6G とする。

5. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

5. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

5. 2. 応力評価

5. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-他 1-5-4 表及び添説設 3-1-他 1-5-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-他 1-5-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	—	—								
圧縮応力度	—	1								
せん断応力度	—	5								
曲げ応力度	—	5								
組合せ応力度	—	5								
組合せ応力	—	5								

添説設 3-1-他 1-5-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	X 正	5								
圧縮応力度	Y 正	7								
せん断応力度	X 正	2								
曲げ応力度	Y 正	9								
組合せ応力度	Y 正	9								
組合せ応力	Y 正	9								

5. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-他 1-5-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-他 1-5-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	X 正	1						
せん断応力度	Y 正	3						
引抜力	X 正	1						

許容限界の設定

1. 許容限界の設定

許容限界は、日本産業規格（JIS）（日本規格協会）、建築設備耐震設計・施工指針 2014年版（日本建築センター）及び鋼構造設計規準 — 許容応力度設計法 —（日本建築学会）等、適切な基準類にもとづき設定する。耐震計算に用いた部材及びボルトの許容限界は以下の通り設定する。

2. 据付ボルトの許容限界

建築設備耐震設計・施工指針に従い、据付ボルトの許容限界を2.1節の表1のとおり設定する。長期状態では自重により引張、せん断が発生しないことから、短期状態についてのみ設定する。なお、引抜力はアンカーボルトに対する許容限界である。

建築設備耐震設計・施工指針を適用できないアンカーボルトについては、各種合成構造設計指針・同解説に従い、据付ボルトの許容限界を設定する。その手法については2.2節に示す。

2.1. 引張応力度及びせん断応力度

表1 ボルトの許容限界

材料	種類	許容限界	参照
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針

材料	種類	許容限界	参照
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針

2.2. 各種合成構造設計指針・同解説

2.2.1. 金属拡張アンカーボルト

各種合成構造設計指針・同解説に従い、金属拡張アンカーボルトの許容限界として、以下に示す許容引張荷重、許容せん断荷重を設定する。

金属拡張アンカーボルトの許容引張力 p_a は、下式にて算出される。

$$p_a = \min(p_{a1}, p_{a2})$$

ここで、 p_{a1} はアンカーボルトの降伏により決まる許容引張力、 p_{a2} はコンクリートのコーン破壊により決まる許容引張力で、それぞれ下式であらわされる。

$$p_{a1} = \phi_1 \cdot s\sigma_{pa} \cdot s_c a^2$$

$$p_{a2} = \phi_2 \cdot \alpha_c \cdot c\sigma_t \cdot A_c$$

α_c : 施工のバラツキを考慮した低減係数で $\alpha_c = 0.75$ とする

ϕ_1, ϕ_2 : 低減係数(表 2 参照)

$s\sigma_{pa}$: アンカーボルトの引張強度で $s\sigma_{pa} = s\sigma_y$ とする

$s\sigma_y$: アンカーボルトの降伏点強度

$s_c a$: アンカーボルトの最小断面積

$c\sigma_t$: コーン状破壊のコンクリートの割裂強度で $c\sigma_t = 0.31\sqrt{F_c}$ とする。軽量コンクリートの場合は、この 90%とする

F_c : コンクリートの設計基準強度

A_c : コーン状破壊面の有効水平投影面積(図 1 参照)

D : アンカーボルトの軸部の直径 (図 1 参照)

l : アンカーボルトの埋め込み長さ(図 1 参照)

l_{ce} : アンカーボルトの強度評価用埋め込み深さ(図 1 参照)

表 2 低減係数

	ϕ_1	ϕ_2
長期荷重用	2 / 3	1 / 3
短期荷重用	1.0	2 / 3

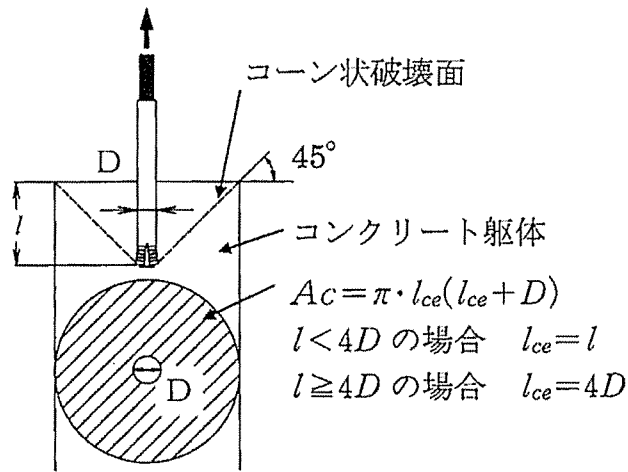


図 1 引張荷重作用時のアンカーボルト模式図

次に、金属拡張アンカーボルトの許容せん断力 q_a は、下式にて算出される。

$$q_a = \min(q_{a1}, q_{a2}, q_{a3})$$

ここで、 q_{a1} はアンカーボルトのせん断強度により決まる許容せん断力、 q_{a2} はコンクリートの支圧強度により決まる許容せん断力、 q_{a3} はコンクリートのコーン状破壊により決まる許容せん断力で、それぞれ下式であらわされる。

$$q_{a1} = \phi_1 \cdot s\sigma_{qa} \cdot s_c a$$

$$q_{a2} = \phi_2 \cdot \alpha_c \cdot c\sigma_{qa} \cdot s_c a$$

$$q_{a3} = \phi_2 \cdot \alpha_c \cdot c\sigma_t \cdot A_{qc}$$

α_c : 施工のバラツキを考慮した低減係数で $\alpha_c = 0.75$ とする

ϕ_1, ϕ_2 : 低減係数(表 2 参照)

$s\sigma_{qa}$: アンカーボルトのせん断強度で $s\sigma_{qa} = 0.7 \cdot s\sigma_y$ とする

$s\sigma_y$: アンカーボルトの降伏点強度

$s_c a$: アンカーボルトの断面積

$c\sigma_{qa}$: コンクリートの支圧強度で $c\sigma_{qa} = 0.5\sqrt{F_c \cdot E_c}$ とする

$c\sigma_t$: コーン状破壊のコンクリートの割裂強度で $c\sigma_t = 0.31\sqrt{F_c}$ とする。軽量コンクリートの場合は、この 90%とする

F_c : コンクリートの設計基準強度

E_c : コンクリートのヤング係数

A_{qc} : せん断力方向のコーン状破壊面の有効投影面積(図 2 参照)

c : へりあき寸法

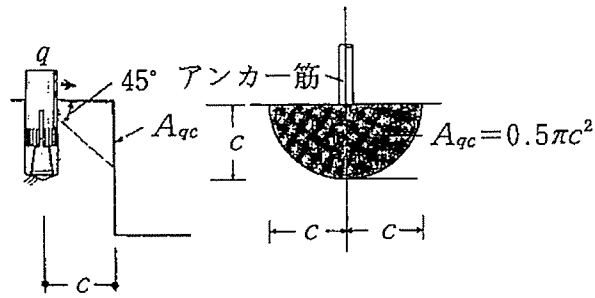


図2 セン断荷重作用時のアンカーボルト模式図

2.2.2. 接着系アンカーボルト

各種合成構造設計指針・同解説に従い、接着系アンカーボルトの許容限界として、以下に示す許容引張荷重、許容せん断荷重を設定する。

接着系アンカーボルトの許容引張力 p_a は、下式にて算出される。

$$p_a = \min(p_{a1}, p_{a3})$$

ここで、 p_{a1} はアンカーボルトの降伏により決まる許容引張力、 p_{a3} はコンクリートのコーン破壊により決まる許容引張力で、それぞれ下式であらわされる。

$$p_{a1} = \phi_1 \cdot s\sigma_{pa} \cdot s_c a^2$$

$$p_{a3} = \phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_{ce}$$

ϕ_1, ϕ_3 : 低減係数(表3参照)

$s\sigma_{pa}$: 接着系アンカーボルトの引張強度で $s\sigma_{pa} = s\sigma_y$ とする。降伏を保証する場合は、 $s\sigma_{pa} = \alpha_{yu} \cdot s\sigma_y$

$s\sigma_y$: 接着系アンカーボルトの規格降伏点強度

α_{yu} : 材料強度のバラツキを考慮した割増係数で $\alpha_c = 1.25$ とする

$s_c a$: 接着系アンカーボルトの最小断面積

d_a : 接着系アンカーボルトの径

l_{ce} : アンカーボルトの強度算定用埋め込み深さ(図3参照)

l_e : 接着系アンカーボルトの有効埋込み長さ(図3参照)

τ_a : へりあき及びアンカーボルトのピッチを考慮した接着系アンカーボルトの引張力に対する付着強度。 $\tau_a = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \tau_{bavg}$

α_n : へりあき、アンカーボルトのピッチによる付着強度の低減係数。
最も小さい寸法となる3面までを考慮する。

$$\alpha_n = 0.5 \cdot \frac{c_n}{l_e} + 0.5 \quad (n = 1, 2, 3)$$

τ_{bavg} : 接着系アンカーボルトの基本平均付着強度 (表4参照)

c_n : へりあき寸法、または、ボルトピッチ a の半分で

$c_n = \frac{a_n}{2}$ ($n = 1, 2, 3$)。最も小さい寸法となる3面までを考慮する。
(図4参照)

表3 低減係数

	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3
長期荷重用	2/3	1/3	1/3
短期荷重用	1.0	2/3	2/3

表4 基本平均付着強度

	カプセル方式		注入方式
	有機系	無機系	有機系
普通コンクリート	$10\sqrt{F_c/21}$	$5\sqrt{F_c/21}$	$7\sqrt{F_c/21}$
軽量コンクリート	$8\sqrt{F_c/21}$	$4\sqrt{F_c/21}$	$5.6\sqrt{F_c/21}$

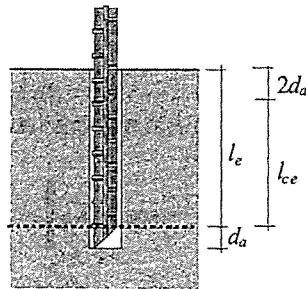


図3 引張荷重作用時のアンカーボルト模式図

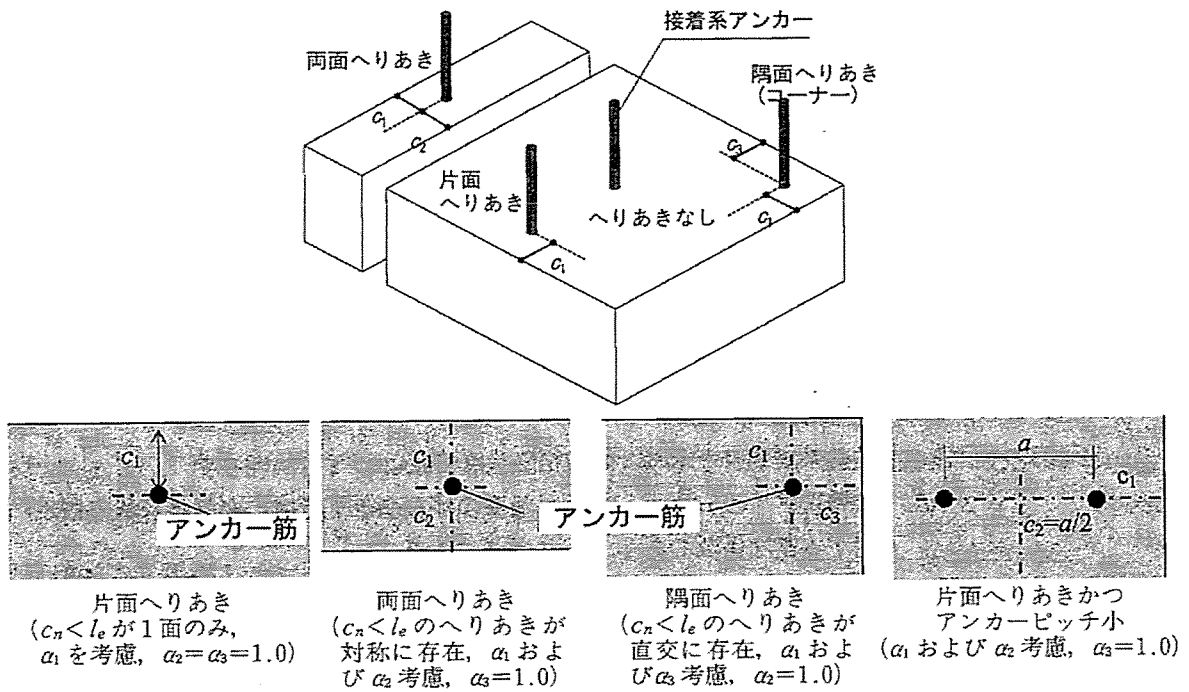


図4 へりあき面とへりあき寸法

次に、接着系アンカーボルトの許容せん断力 q_a は、下式にて算出される。

$$q_a = \min(q_{a1}, q_{a2}, q_{a3})$$

ここで、 q_{a1} はアンカーボルトのせん断強度により決まる許容せん断力、 q_{a2} は定着した躯体の支圧強度により決まる許容せん断力、 q_{a3} は定着した躯体のコーン状破壊により決まる許容せん断力で、それぞれ下式であらわされる。

$$q_{a1} = \phi_1 \cdot s\sigma_{qa} \cdot s_c a^2$$

$$q_{a2} = \phi_2 \cdot c\sigma_{qa} \cdot s_c a^2$$

$$q_{a3} = \phi_2 \cdot c\sigma_t \cdot A_{qc}$$

ϕ_1, ϕ_2 : 低減係数(表3参照)

$s\sigma_{qa}$: 接着系アンカーボルトのせん断強度で、 $s\sigma_{qa} = 0.7 \cdot s\sigma_y$ とする

$s\sigma_y$: 接着系アンカーボルトの規格降伏点強度

$s_c a$: 接着系アンカーボルトの最小断面積

$c\sigma_{qa}$: コンクリートの支圧強度で、 $c\sigma_{qa} = 0.5\sqrt{F_c \cdot E_c}$ とする

- $c\sigma_t$: コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度で、 $c\sigma_t = 0.31\sqrt{F_c}$ とする。軽量コンクリートの場合は、この90%とする
 F_c : コンクリートの設計基準強度(N/mm²)
 E_c : コンクリートのヤング係数(N/mm²)
 A_{qc} : せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積(図5参照)
 c : へりあき寸法

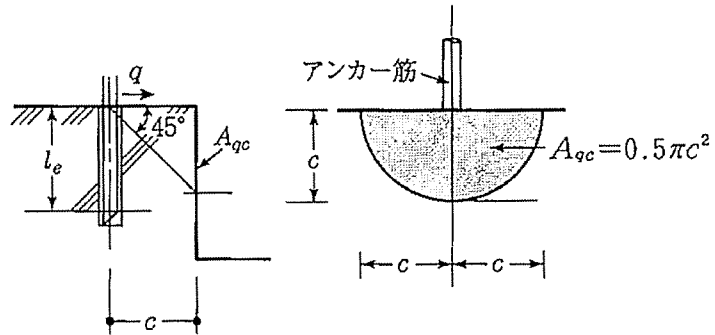


図5 せん断荷重作用時のアンカーボルト模式図

3. 部材の許容限界

3.1. 許容限界

部材は、長期状態、短期状態のそれぞれについて、表5の通り設定する。

表5 部材の許容限界

材料	種類	許容限界			参照
		長期	短期	単位	
				[N/mm ²]	鋼構造設計規準
				[N/mm ²]	鋼構造設計規準
				[N/mm ²]	鋼構造設計規準
				[-]	鋼構造設計規準
				[N/mm ²]	JSME S NJ1-2012
				[N/mm ²]	JSME S NJ1-2012
				[N/mm ²]	JSME S NJ1-2012
				[-]	JSME S NJ1-2012
				[N/mm ²]	JSME S NJ1-2012
				[N/mm ²]	JSME S NJ1-2012
				[N/mm ²]	JSME S NJ1-2012
				[-]	JSME S NJ1-2012
				[N/mm ²]	材料証明書 FRP 構造設計便覧

なお、圧縮応力度、曲げ応力度の許容限界に関しては鋼構造設計規準に準拠して下式にて算出する。

<圧縮応力度>

鋼構造設計規準 5章 5.1.(3)により以下の方法で算出される値。

$\lambda \leq \Lambda$ のとき

$$\text{許容圧縮応力度} = \frac{\left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} F}{\nu}$$

$\lambda > \Lambda$ のとき

$$\text{許容圧縮応力度} = \frac{0.277F}{\left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2}$$

短期状態に対する許容限界は鋼構造設計規準 5章 5.6により、上記の許容圧縮応力度に50[%]増しとする。

ここで、各記号は次の通り

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}} \quad , \quad \nu = \frac{2}{3} + \frac{3}{2} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

λ : 圧縮材の細長比、 Λ : 限界細長比

F : 許容応力度を決定する場合の基準値 (降伏点)
 E : ヤング係数

<曲げ応力度>

鋼構造設計規準 5章 5.1.(4)により以下の方法で算出される値。

a) 強軸まわりに曲げを受ける材(中空断面を除く)

$\lambda_b \leq p\lambda_b$ のとき

$$\text{許容曲げ応力度} = \frac{F}{\nu_b}$$

$p\lambda_b < \lambda_b \leq e\lambda_b$ のとき

$$\text{許容曲げ応力度} = \frac{\left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda_b - p\lambda_b}{e\lambda_b - p\lambda_b} \right)^2 \right\} F}{\nu_b}$$

$e\lambda_b < \lambda_b$ のとき

$$\text{許容曲げ応力度} = \frac{1}{\lambda_b^2} \frac{F}{2.17}$$

ここで、各記号は次の通り

$$\lambda_b = \sqrt{\frac{M_y}{M_e}}, \quad e\lambda_b = \frac{1}{\sqrt{0.6}}, \quad p\lambda_b = 0.3, \quad \nu_b = \frac{2}{3} + \frac{3}{2} \left(\frac{\lambda_b}{e\lambda_b} \right)^2$$

M_y : 降伏モーメント、 M_e : 弾性横座屈モーメント

b) 円形鋼管、矩形中空断面材及び荷重面内に対称軸を有し、弱軸まわりに曲げを受ける材

許容曲げ応力度 = 許容引張応力度

許容圧縮応力度及び許容曲げ応力度の短期状態に対する許容限界は鋼構造設計規準 5章 5.6により、上記の許容圧縮応力度に50[%]増しとする。

3.2. 温度考慮

設計温度は原則常温とする。

設備が加熱され温度が高くなることで、設計温度を考慮する必要がある設備を表6に示す。

設計温度が常温でない場合、許容応力度及びヤング係数は設計温度における値を使用する。

表6 温度考慮をする設備

機器名	部位名称	温度 [°C]
蒸発器	蒸発器	
UO ₂ ブロータンク	ブロータンク(1),(2)	
UO ₂ 受けホッパ	UO ₂ 受ホッパ(1),(2)	

評価値算出方法

1. FEM 解析の座標軸

FAP-3 解析コードを用いた FEM 解析により、部材に生じる荷重 Q 及びモーメント M を算出する。
座標軸と荷重、モーメントの向きは図 1 に示す矢印の向きを正とする。

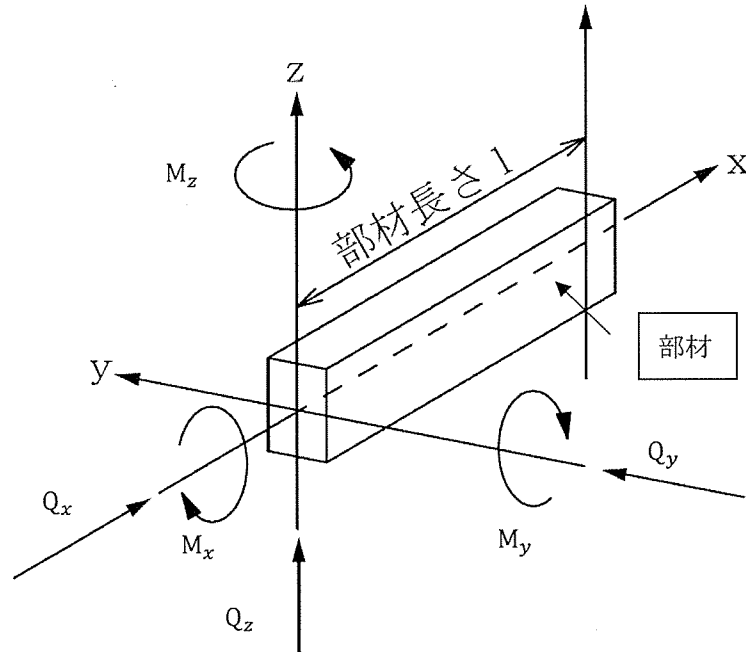


図 1 部材と座標軸

2. 部材の評価値

部材の評価値は、FEM 解析結果を用いて以下の通り算出した。

○圧縮応力度 σ_c 、引張応力度 σ_t

$$\sigma_c = \frac{N}{A} \quad (N \text{ が圧縮の場合})$$

$$\sigma_t = \frac{N}{A} \quad (N \text{ が引張の場合})$$

$N(= Q_x)$: 軸力

A : 断面積

○せん断応力度 τ

$$\tau = \sqrt{\tau_y^2 + \tau_z^2}$$

$$\tau_y = \frac{Q_y}{A_y}$$

$$\tau_z = \frac{Q_z}{A_z}$$

- τ_y : y 軸方向せん断応力
- Q_y : y 軸方向荷重
- A_y : y 軸方向せん断変形用断面積
- τ_z : z 軸方向せん断応力
- Q_z : z 軸方向荷重
- A_z : z 軸方向せん断変形用断面積

○曲げ応力度 σ_b

$$\sigma_b = \sigma_{by} + \sigma_{bz}$$

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{Z_y}$$

$$\sigma_{bz} = \frac{M_z}{Z_z}$$

- σ_{by} : y 軸回りの曲げ応力
- M_y : y 軸回りのモーメント
- Z_y : y 軸回りの断面二次モーメント
- σ_{bz} : z 軸回りの曲げ応力
- M_z : z 軸回りのモーメント
- Z_z : z 軸回りの断面二次モーメント

○組合せ応力度 σ_{vm}

$$\sigma_{vm} = \sqrt{(\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2} \quad (\text{圧縮応力度が生じる場合})$$

$$\sigma_{vm} = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3\tau^2} \quad (\text{引張応力度が生じる場合})$$

○組合せ応力 σ_{cm}

$$\sigma_{cm} = \frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \quad (\text{圧縮応力度が生じる場合})$$

$$\sigma_{cm} = \frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \quad (\text{引張応力度が生じる場合})$$

- 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

3. 据付ボルトの評価値

3.1. 据付ボルトが並進3方向固定の場合

据付ボルトの評価値は、FEM 解析結果を用いて以下の通り算出した。尚、各作用荷重は下図に示す据付ボルトの据付方向に応じて下表に従う。

○引抜力T

$$T = \frac{P_3}{n}$$

P_3 : 引抜荷重、ただし値が負の場合は圧縮力となるため、評価対象外とする。

n : ボルト本数

○引張応力度 σ_{tb}

$$\sigma_{tb} = \frac{T}{A_b}$$

A_b : ボルト断面積

○せん断応力度 τ_b

$$\tau_b = \sqrt{\tau_{b1}^2 + \tau_{b2}^2}$$

$$\tau_{b1} = \frac{P_1}{A_b \cdot n}$$

$$\tau_{b2} = \frac{P_2}{A_b \cdot n}$$

τ_{b1} : せん断応力

P_1 : せん断に作用する荷重

τ_{b2} : P_1 の直交方向に作用するせん断応力

P_2 : P_1 の直交方向に作用する荷重

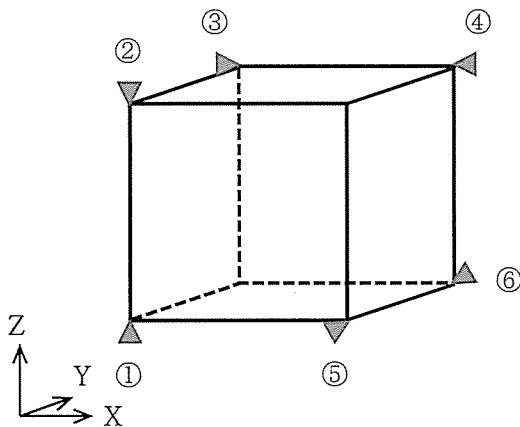


図 3.1 据付ボルト方向

表 3.1 据付方向に応じた作用荷重

据付位置	固定箇所	せん断力		引抜力
		P_1	P_2	
①	床固定	P_x	P_y	$-P_z$
②	天井固定	P_x	P_z	P_z
③	X-側壁固定	P_y	P_z	$-P_x$
④	X+側壁固定	P_y	P_z	P_x
⑤	Y-側壁固定	P_x	P_z	$-P_y$
⑥	Y+側壁固定	P_x	P_z	P_y

3.2. 据付ボルトが完全固定の場合

○引抜力T

$$T = \frac{P_3}{n} + \frac{M_1}{L_2 \cdot n_1} + \frac{M_2}{L_1 \cdot n_2}$$

P_3 : 引抜荷重、ただし値が負の場合は圧縮力となるため、評価対象外とする。

M_1 : 1軸回りのモーメント

M_2 : 2軸回りのモーメント

L_1 : 1軸方向のボルト間距離

L_2 : 2軸方向のボルト間距離

n : ボルト本数

n_1 : 1軸回りのモーメントで引張を受けるボルト本数

n_2 : 2軸回りのモーメントで引張を受けるボルト本数

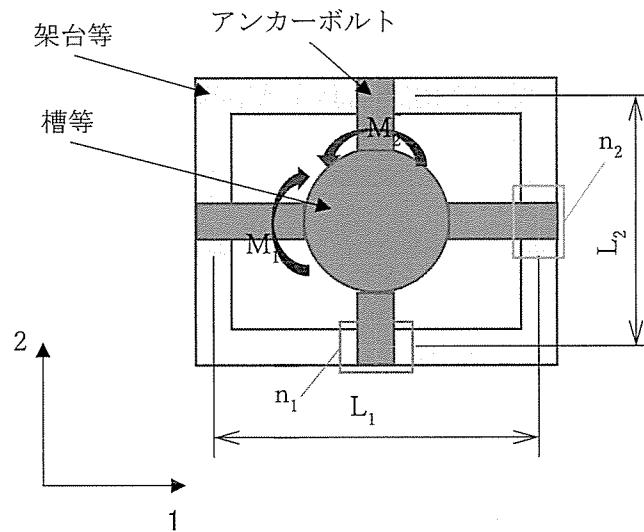


図 3.2 アンカーボルトに作用する曲げモーメント

○引張応力度 σ_{tb}

$$\sigma_{tb} = \frac{T}{A_b}$$

A_b : ボルト断面積

○せん断応力度 τ_b

$$\tau_b = \sqrt{\tau_{b1}^2 + \tau_{b2}^2}$$

$$\tau_{b1} = \frac{P_1}{A_b \cdot n}$$

$$\tau_{b2} = \frac{P_2}{A_b \cdot n}$$

- τ_{b1} : せん断応力
 P_1 : せん断に作用する荷重
 τ_{b2} : P_1 の直交方向に作用するせん断応力
 P_2 : P_1 の直交方向に作用する荷重

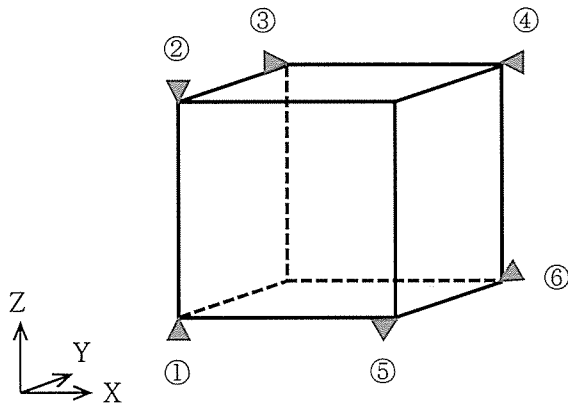


表 3.2 据付方向に応じた作用荷重

据付位置	固定箇所	せん断力		引抜き力	曲げモーメント	
		P_1	P_2	P_3	M_1	M_2
①	床固定	P_x	P_y	$-P_z$	M_x	M_y
②	天井固定	P_x	P_z	P_z	M_x	M_y
③	X-側壁固定	P_y	P_z	$-P_x$	M_y	M_z
④	X+側壁固定	P_y	P_z	P_x	M_y	M_z
⑤	Y-側壁固定	P_x	P_z	$-P_y$	M_x	M_z
⑥	Y+側壁固定	P_x	P_z	P_y	M_x	M_z

はり要素による 3次元 FEM 解析モデルについて

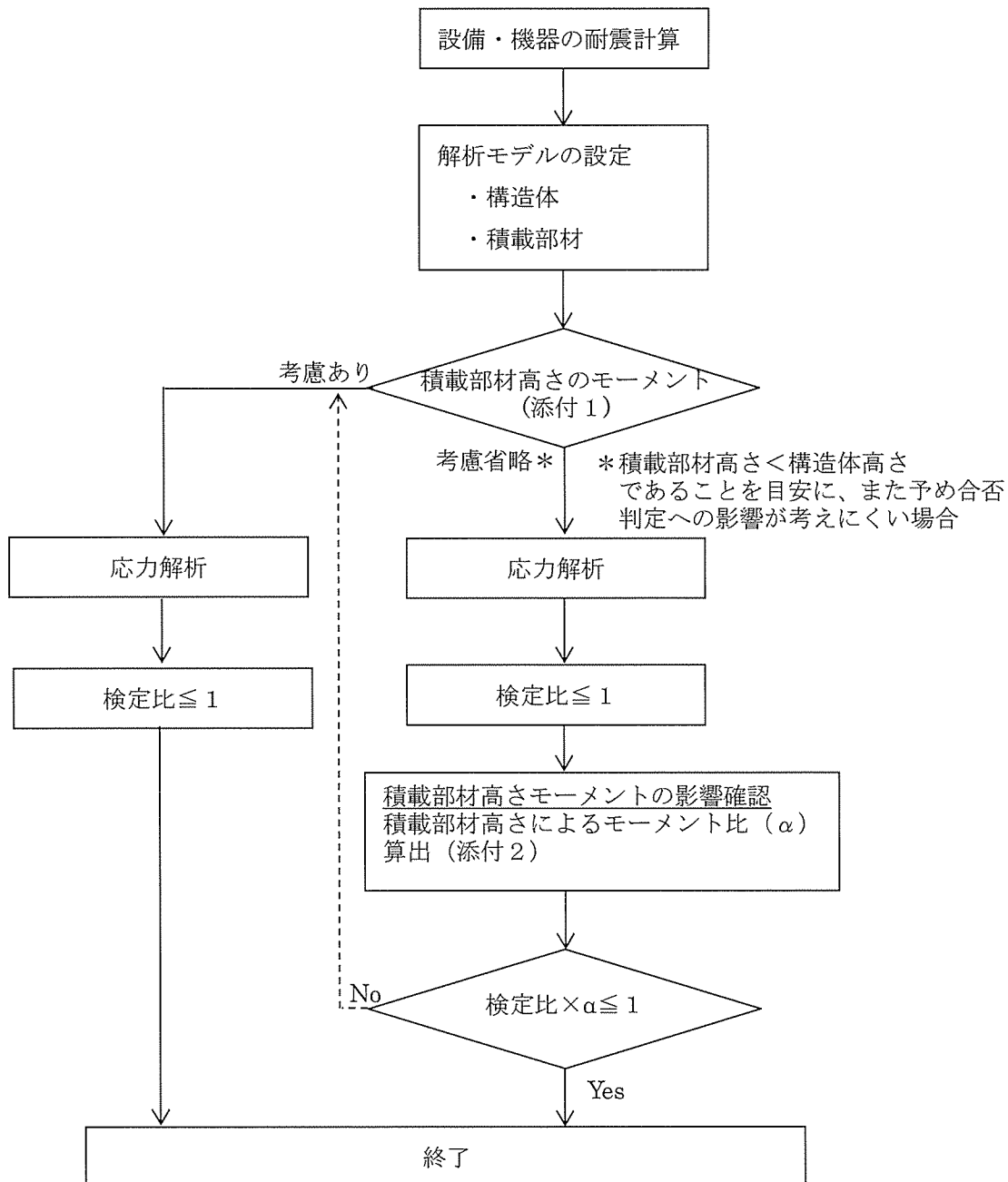
1. 積載部材のモデル化について

対象設備(以下、構造体と呼ぶ)の耐震計算のため、はり要素により3次元FEM解析モデルを構築するにあたり、構造強度に寄与しない部材(以下、積載部材と呼ぶ)については、長期荷重ではその積載部材の重量を鉛直方向荷重として、短期荷重ではその荷重による地震力を水平方向荷重として入力し、モデル化している。

ここで、積載部材高さによるモーメントは、積載部材の高さが低い場合は小さいものの、積載部材の高さが高くなるにつれて大きくなる。そのため本評価では以下のフローに基づき計算を行う。

2. 積載部高さによるモーメントの考慮について

耐震計算を実施するにあたり、積載部高さによるモーメントの考慮要否をまとめた表を添付3に示す。



積載部材のモーメントの考慮について

1. 解析モデルについて

対象設備(以下、構造体と呼ぶ)の耐震計算のため、はり要素による 3 次元 FEM 解析のモデル化にあたっては、構造強度に寄与しない部材 (以下、積載部材と呼ぶ) について、長期荷重ではその積載部材の重量を鉛直方向荷重として、短期荷重ではその荷重による地震力を水平方向荷重として入力し、モデル化している。

ここで、積載部材高さによるモーメントは、積載部材の高さが低い場合は小さいものの、積載部材の高さが高くなるにつれて大きくなる。そのため、以下の通り、積載物荷重負荷点位置に、モーメントを考慮して評価する。

2. 説明

下図の通り構造体を簡略化して一本のはり要素として考え、その上に高さ h の積載部材がある場合 (図 1 (a))、構造体に発生するモーメントは、

$$FH+A(h+H) \cdots (1)$$

で与えられる。

F : 構造体の地震荷重、H : 構造体の高さ

A : 積載部材の地震荷重、h : 積載部材の重心高さ

これに対して、上述の通り積載部材の高さ h が十分小さい場合は構造体に対して、積載部材のモデル化を省略し、その水平方向の荷重のみを考慮する (図 1 (b))。その場合の発生モーメントは、

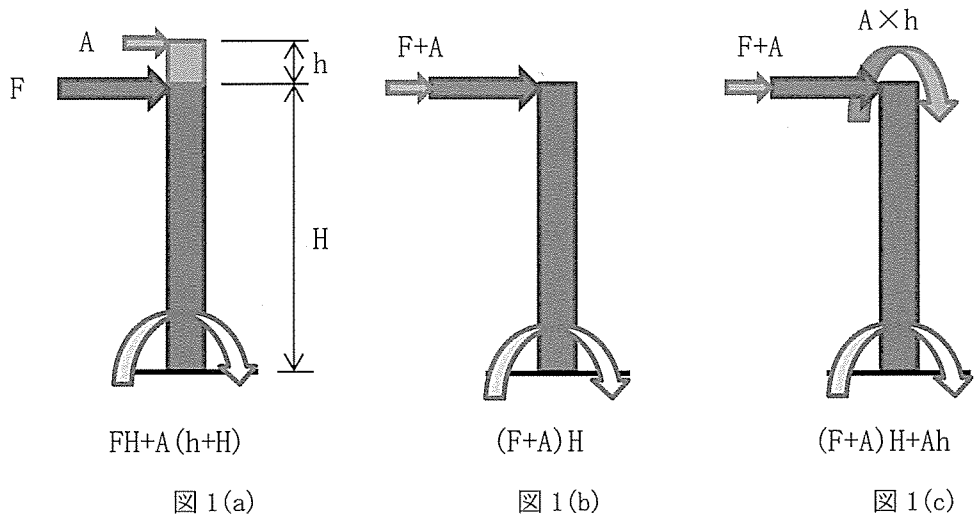
$$(F+A)H \cdots (2)$$

となるが、積載部材の高さ h が小さい場合は、 FH が Ah より十分大きい (F は A より十分大きい) ため、(1) 式の結果と (2) 式の結果に有意差はない。

一方、積載部材の高さ h が大きくなると、積載部材のモーメントの影響が大きくなり (1) 式と (2) 式の結果に差が大きくなる。そのため、本評価では、部材荷重による水平荷重とそれによるモーメント (Ah) を考慮する (図 1 (c))。この場合、発生モーメントは、

$$(F+A)H+Ah \cdots (3)$$

となり、(1) 式と同じとなる。



積載部材によるモーメントの影響について

1. はじめに

積載部材のモデル化にあたっては、積載部材高さのモーメントの影響が小さいと考えられる場合はそれを省略して計算を行う。ただし、上記モーメントの考慮を省略した設備については、計算結果に積載部材高さのモーメントの影響を勘案し、以下の通り省略したことが健全性評価結果に影響しないことを確認する。

2. 説明

図 1 (a) に示すように、積載部材高さによるモーメントの考慮を省略した場合の発生モーメントは、下式にて与えられる。

$$(F_0 + F_1)h_0 \cdots (1)$$

F_0 : 構造体の地震荷重、 F_1 : 積載部材の地震荷重、 h_0 : 構造体の高さ

これに対して、積載部材高さによるモーメントを考慮した場合（図 1 (b)）の発生モーメントは下式にて与えられる。

$$F_0h_0 + F_1(h_0 + l) \cdots (2)$$

l : 積載部材の重心高さ

以上より、(1)式と(2)式の比は下式で与えられ、積載部材高さを考慮することによるモーメントの影響を示す係数 α とする。

$$\alpha = \frac{F_0h_0 + F_1(h_0 + l)}{(F_0 + F_1)h_0} = 1 + \frac{F_1l}{(F_0 + F_1)h_0} \cdots (3)$$

以上より求めた α （発生モーメント係数）をもとに、下式を満足することを確認することで、積載部材高さによるモーメントを省略したことが健全性評価結果に影響しないことを確認する。

$$(\text{解析結果より算出される検定比}) \times \alpha \leq 1 \cdots (4)$$

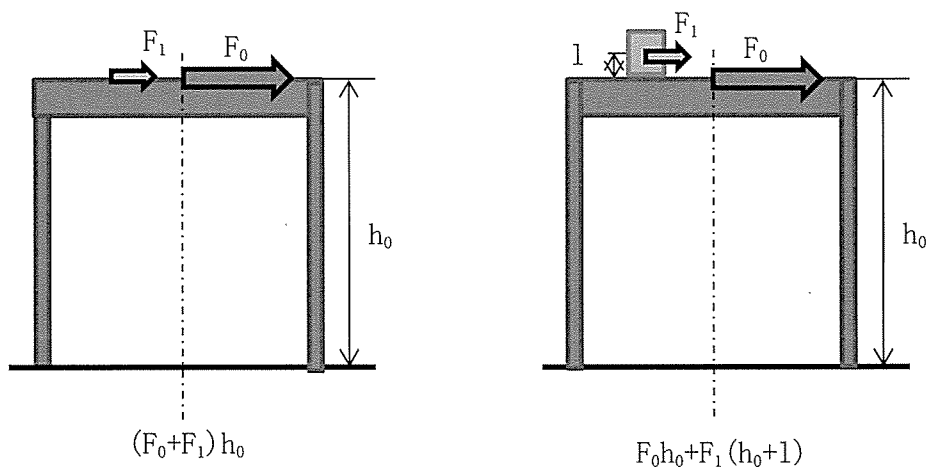


図 1 (a)

図 1 (b)

積載部材高さによるモーメントの考慮

1. 概要

積載部材高さによるモーメントの考慮について表 1 にまとめる。積載部材高さによるモーメントを考慮した部位は、考慮ありと記載している。

表 1-1 転換工場

機器名	部位名称	考慮
蒸発器	蒸発器	なし
UF ₆ フードボックス・埋・UF ₆ 防護カバー	UF ₆ フードボックス及び埋	なし
	ガス溜めバッファ部1	なし
	ガス溜めバッファ部2	なし
	ガス溜めバッファ部3	なし
	ガス溜めバッファ部4	なし
	蒸発器用防護カバー	なし
	蒸発器用防護カバー架台	なし
	フードボックス用防護カバー	あり
	UF ₆ 配管用フードボックス	なし
	UF ₆ 配管用防護カバー	なし
コールドトラップ	コールドトラップ(1),(2)	あり
コールドトラップ (小)	コールドトラップ (小) (1),(2)	なし
循環貯槽	循環貯槽(1),(2)	なし
	熱交換器(1),(2)	なし
	循環貯槽(1),(2)架台	あり
UO ₂ プロータンク	UO ₂ プロータンク(1),(2)	なし
	UO ₂ プロータンク(1),(2)架台	なし
UO ₂ フィルタ	UO ₂ フィルタ	あり
	フードボックス (UO ₂ フィルタ) (1),(2)	なし
	UO ₂ フィルタ架台	なし
	UO ₂ バックアップフィルタ	あり
UO ₂ 受けホッパ	UO ₂ 受けホッパ(1),(2)	なし
粉砕機	粉砕機(1),(2)フード	なし
	充填設備共通架台	あり
充填装置	充填装置(1),(2)	なし
	フードボックス (充填装置(1),(2))	なし
	充填装置(1),(2)架台	あり

表 1-3 その他の加工施設

機器名	部位名称	考慮
非常用ディーゼル発電機	非常用ディーゼル発電機	なし
	潤滑油タンク	あり
	燃料油タンク	あり
	ラジエータ	なし

表 1-2 気体廃棄設備

機器名	部位名称	考慮
スクラバ	スクラバ	なし
	スクラバ架台(1)	なし
	スクラバ架台(2)	あり

配管の耐震性に関する説明書

目 次

1. 概要
2. 基本方針
 2. 1. 設計方針
 2. 2. 設計手順
3. 配管の支持方針
 3. 1. 第1類、第2類配管の配管支持方針
 3. 2. 設計用地震力
4. 第1類、第2類配管の標準支持間隔法
 4. 1. 解析モデル
 4. 2. 解析方法
 4. 3. 解析条件
5. 標準支持間隔
6. 曲がり部の支持間隔
 6. 1. 解析モデル
 6. 2. 解析条件及び解析方法
 6. 3. 解析結果及び支持方針
7. 集中質量部の支持間隔
 7. 1. 解析モデル
 7. 2. 解析条件及び解析方法
 7. 3. 解析結果及び支持方針
8. 分岐部の支持間隔
 8. 1. 解析モデル
 8. 2. 解析条件及び解析方法
 8. 3. 解析結果及び支持方針
9. 支持構造物
 9. 1. 概要
 9. 2. 支持構造物の選定
 9. 3. 支持構造物の種類

1. 概要

本資料は、配管の耐震性について計算の基本方針を説明するものである。

配管の耐震設計を行う場合には、その配管の耐震重要度分類、仕様、形状、設置場所等を考慮して配管を分類し、定められた設計用地震力に対して、必要な機能が損なわれることが無いように耐震性を確保する。

配管の耐震性を確保する手法として、標準支持間隔法がある。標準支持間隔法とは、配管を直管部、曲がり部、分岐部及び集中質量を有する直管部の標準的な要素に分け、各要素の設計用地震力による応力等が許容限界を満足するように支持間隔を定め、この支持間隔以内に支持点を設定する方法である。

耐震重要度分類第3類配管については、4次申請書「添付説明書一設2-1 配管の耐震性に関する説明書」に従い「建築設備耐震設計・施工指針」の標準支持間隔以内に支持点を設定する。

2. 基本方針

2. 1. 設計方針

- (1) 配管は、適切な支持を講じることにより地震力による応力の低減を図るものとする。
- (2) 支持構造物は、配管の地震荷重、及び自重による荷重に対して十分な強度を持たせる。
- (3) 計算に用いる寸法は公称値を用いる。

2. 2. 設計手順

配管の耐震設計は、建物・構築物、機器・ダクト・トレイ等配管以外の設備との関連を十分に考慮した上で、総合的な調整をする。

3. 配管の支持方針

配管の支持方針は、定められた設計用地震力に対して、必要な機能が損なわれることが無いように、弾性域の許容応力以下となる標準支持間隔に基づき、配管の支持点を定めるものとする。

3. 1. 第1類、第2類配管の配管支持方針

標準支持間隔法は、配管を等分布荷重連続はりにモデル化し、配管を直管部、曲がり部、分岐部及び集中質量を有する直管部の標準的な要素に分け、各要素の設計用地震力による地震応力が添付説明書一設 3-1-付 1 に示す許容限界を満足するように支持間隔を定め、配管の支持点を設定する。

なお、標準支持間隔法に基づき設計することが困難な場合には、当該配管固有の設計条件（圧力、温度、材質、口径、板厚、保温材の有無、内部流体及び単位長さ当りの質量）に基づき算出した支持間隔以内に支持点を設定する。または、3次元はりモデルとして解析を行い、支持方法を定める。

3. 2. 設計用地震力

設計用地震力は、「建築設備耐震設計・施工指針」の局部震度法による「設備機器の設計用標準震度」に基づく水平地震力を用いる（添説設 3-2-1 表）。

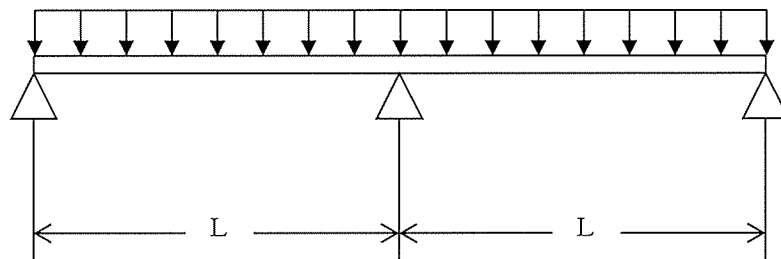
添説設 3-2-1 表 「設備機器の設計用標準震度」に基づく水平地震力

建物階層	耐震重要度分類		
	第1類	第2類	第3類
地階及び1階	1.0 G	0.6 G	0.4 G
中間層	1.5 G	1.0 G	0.6 G
上層階、屋上及び塔屋	2.0 G	1.5 G	1.0 G

4. 第1類、第2類配管の標準支持間隔法

4. 1. 解析モデル

各種配管を、下図のように支持間隔 L で3点支持した等分布荷重連続梁にモデル化する。この場合、支持点は配管の軸直角方向のみを拘束するものとし、軸方向及び回転に対しては自由とする。



4. 2. 解析方法

各種配管について、設計用地震力による応力を算定すると共に、内圧及び自重による応力を加算した合計値が許容限界以下となるように支持間隔を算出する。

4. 3. 解析条件

(1) 配管設計条件

標準支持間隔の算定に必要な配管設計条件を添説設 3-2-2 表～添説設 3-2-3 表に示す。

配管の重量としては、内部流体がある場合は、配管自体の重量と内部流体の重量とを合計した値とする。さらに、保温材の付く配管については、その重量を考慮する。

(2) 許容限界

各部材の許容限界は添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

5. 標準支持間隔

第1類、第2類配管

添説設 3-2-2 表～添説設 3-2-3 表の各種配管の設計条件をもとに、各配管の許容限界を満足させるための直管部最大支持間隔及び応力を評価した結果を添説設 3-2-4 表～添説設 3-2-11 表に示す。最大支持間隔は、耐震重要度分類第1類、第2類それぞれに対し算定する。

なお、応力（長期）は内圧応力及び自重応力の和、応力（短期）は内圧応力、自重応力及び設計用地震力による応力の和とする

添説設 3-2-2 表 配管設計条件 (オーステナイト系ステンレス鋼)

最高使用温度 (°C) : 150 最高使用圧力 (MPa) : 0.97
 内部流体比重 : 気体 (0.0) / 液体 (1.3) / 粉体 (2.5)

番号	配管仕様		単位長さあたり重量 (kg/m)					
	口径 (A)	板厚 (sch)	保温材無し			保温材有り		
			内部気体	内部液体	内部粉体	内部気体	内部液体	内部粉体
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								
40								
41								
42								
43								
44								
45								
46								
47								
48								
49								

添説設 3-2-3 表 配管設計条件 (炭素鋼)

最高使用温度 (°C) : 150 最高使用压力 (MPa) : 0.97

内部流体比重 : 気体 (0.0) / 液体 (1.3) / 粉体 (2.5)

番号	配管仕様		単位長さあたり重量 (kg/m)					
	口径 (A)	板厚 (sch)	保温材無し			保温材有り		
			内部気体	内部液体	内部粉体	内部気体	内部液体	内部粉体
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								

添設部 3-2-4 表 第 1 新直管部最大支持間隔 (オーステナイト系ステンレス鋼 保溫無し) 許容限界 長期: 102 短期: 154 (単位: MPa)

基礎階層 内部配管 支持間隔 配管口径(A) 及び壁厚	地階及び1階						中間階						上階階、屋上及び屋根					
	気体		液体		粉体		気体		液体		粉体		気体		液体		粉体	
	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)
	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)

添設図 3-2-5 表 第 1 種直管部最大支持間隔 (オーステナイト系ステンレス鋼 保溫有り) 許容限界 長期: 102 短期: 154 (単位: MPa)

配管 口径 (A) 及び板厚	内部流体												中間層												上層層、保上及び特殊											
	気体				液体				粉体				気体				液体				粉体				気体				液体				粉体			
	支持間隔 (mm)		応力 (MPa)		支持間隔 (mm)		応力 (MPa)		支持間隔 (mm)		応力 (MPa)		支持間隔 (mm)		応力 (MPa)		支持間隔 (mm)		応力 (MPa)		支持間隔 (mm)		応力 (MPa)		支持間隔 (mm)		応力 (MPa)		支持間隔 (mm)		応力 (MPa)		支持間隔 (mm)		応力 (MPa)	
	長期	短期	長期	短期	長期	短期	長期	短期	長期	短期	長期	短期	長期	短期	長期	短期	長期	短期	長期	短期	長期	短期	長期	短期	長期	短期	長期	短期	長期	短期	長期	短期				
地階及び1階																																				
中間層																																				
上層層、保上及び特殊																																				

表 3-2-6 第 1 類直管部最大支持間隔 (炭素鋼 低溫用) 許容限界 長期: 73 (SGP)、107 (炭素鋼) 短期: 110 (SGP)、161 (炭素鋼) (單位: MPa)

建造階層 內部流体 支持間隔 配管 口径 (A) 及壁厚	地階及び 1 階						中間階						上原階、屋上及び塔屋					
	気体		液体		粉体		気体		液体		粉体		気体		液体		粉体	
	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)
	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)

添註表 3-2-7 表 第 1 類直管部最大支持間隔 (碳素鋼 保溫有り) 許容限界 長期: 78 (SGP)、107 (炭素鋼 短期: 110 (SGP)、161 (炭素鋼) (単位: MPa)

起層階層 内部流体 支持間隔 配管口径 (A) 及び壁厚	地階及び1階						中間階						上階階、屋上及び塔屋					
	気体		液体		粉体		気体		液体		粉体		気体		液体		粉体	
	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)
	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)

図解 3-2-8 表 第 2 項直管部最大支持間隔 (オーステナイト系ステンレス鋼 保溫無し) 許容限界 長割: 102 短割: 154 (単位: MPa)

配管 口径 (A) 及び壁厚	地盤及び 1 階												中間層												上階層、屋上及び塔屋																						
	気体				液体				粉体				気体				液体				粉体				気体				液体				粉体														
	支持間隔 (mm)		応力 (MPa)		支持間隔 (mm)		応力 (MPa)		支持間隔 (mm)		応力 (MPa)		支持間隔 (mm)		応力 (MPa)		支持間隔 (mm)		応力 (MPa)		支持間隔 (mm)		応力 (MPa)		支持間隔 (mm)		応力 (MPa)		支持間隔 (mm)		応力 (MPa)		支持間隔 (mm)		応力 (MPa)		支持間隔 (mm)		応力 (MPa)								
	短割	長割	短割	長割	短割	長割	短割	長割	短割	長割	短割	長割	短割	長割	短割	長割	短割	長割	短割	長割	短割	長割	短割	長割	短割	長割	短割	長割	短割	長割	短割	長割	短割	長割	短割	長割	短割	長割									
(Blank area for data)																																															

表 3-2-10 第 2 种直管部最大支持间隔 (绿漆钢 保温無し) 许容限界 長期: 73 (SGP)、107 (绿漆钢) 短期: 110 (SGP)、161 (绿漆钢) (单位: MPa)

建造階層 内部流体 支持 配管 口径 (A) 及凸缘厚	地階及び1階						中間階						上階階、屋上及び塔屋						
	気体		液体		粉体		気体		液体		粉体		気体		液体		粉体		
	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	

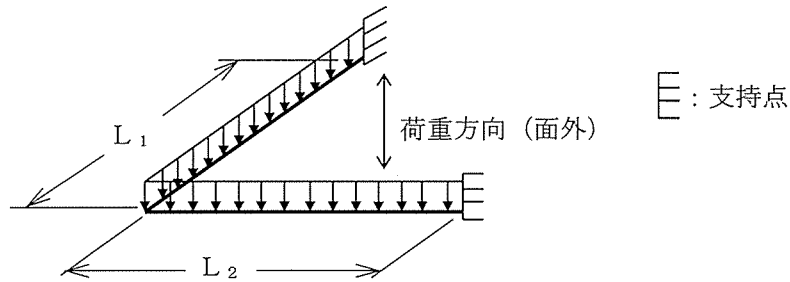
添設表 3-2-11 表 第 2 類直管部最大支持間隔 (炭素鋼 保溫有り) 許容限界 長期 : 73 (SGP)、107 (炭素鋼) 短期 : 110 (SGP)、161 (炭素鋼) (単位 : MPa)

基礎格層 配管 (A) 口径 (φ) 及び板厚	埋設及び 1 階												中間層												上階層、屋上及び塔屋					
	気体			液体			粉体			気体			液体			粉体			気体			液体			粉体					
	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)			
	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)			
(ここに表の内容が記載されています)																														

6. 曲がり部の支持間隔

6. 1. 解析モデル

配管の曲がり部は、下図に示すようにピン結合両端固定の等分布荷重の梁にモデル化する。



L_1, L_2 : 曲がり部から支持点までの長さ

L_E : 曲がり部支持間隔 ($L_E = L_1 + L_2$)

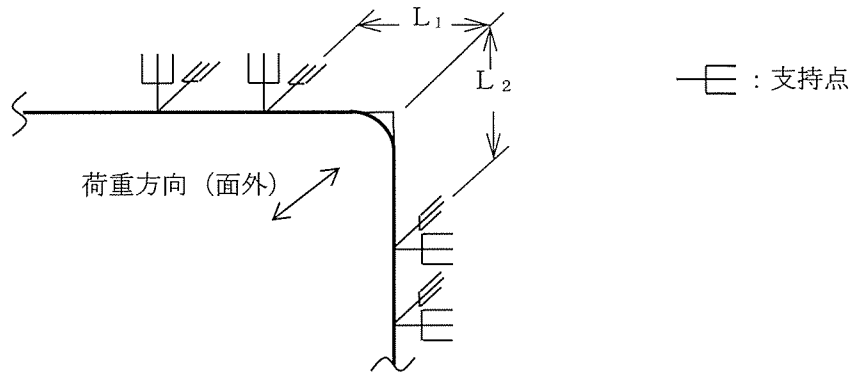
6. 2. 解析条件及び解析方法

- (1) 設計用地震力が作用した場合の曲げモーメントが、直管部最大支持間隔の設計用地震力による曲げモーメントより小さくなること。
- (2) 自重による曲げモーメントが、直管部最大支持間隔の自重による曲げモーメントより小さくなること。
- (3) (1), (2)の条件を満足する理論解を $\left(\frac{L_1}{L_E}\right)$ の関数として $\left(\frac{L_E}{L_0}\right)$ の最大値を求める。
ただし、 L_0 は直管部最大支持間隔。

6. 3. 解析結果及び支持方針

解析結果を添説設 3-2-1 図に示す。

本グラフは、曲がり部をはさむ支持構造物距離を直管部最大支持間隔に対する比として示すものであり、“許容領域”内に配管を支持するものとする。



$$L_1 + L_2 \leq L_E$$

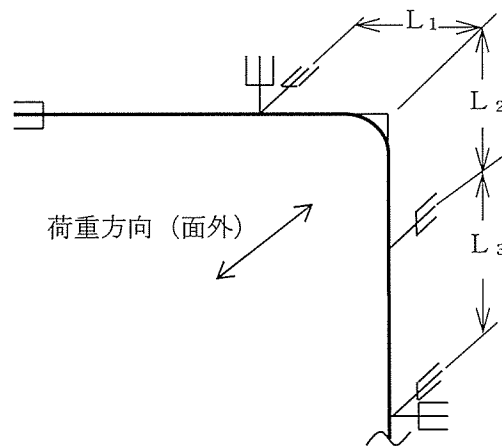
L_E は L_0 (直管部最大支持間隔) にグラフより求まる支持間隔比を乗じた長さ。

また、配管及び支持構造物の設計上、曲がり部をはさむ支持構造物間距離を長くする必要がある場合は、面外振動を拘束する支持構造物は下式を満足するように設ける。

$$L_1 + L_2 \leq L_E$$

$$L_2 + L_3 \leq L_0$$

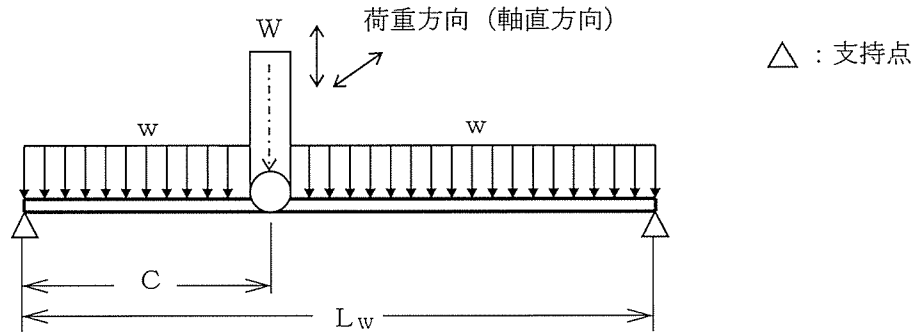
□ : 支持点



7. 集中質量部の支持間隔

7. 1. 解析モデル

配管の弁等の重量物が付く場合については、下図のように任意の位置に集中質量を有する両端支持の連続梁にモデル化する。



- L_w : 集中質量部支持間隔
- C : 支持端から集中質量点までの長さ
- w : 配管の単位長さ当たり質量
- W : 集中質量

7. 2. 解析条件及び解析方法

- (1) 設計用地震力が作用した場合の集中荷重及び等分布荷重の合計曲げモーメントが、直管部最大支持間隔の設計用地震力による曲げモーメントより小さくなること。
- (2) 自重による集中荷重及び等分布荷重の合計曲げモーメントが、直管部最大支持間隔の自重による曲げモーメントより小さくなること。

- (3) (1), (2)の条件を満足する理論解を $\left(\frac{W}{w \cdot L_0}\right)$ の関数として $\left(\frac{L_w}{L_0}\right)$ の最大値を求める。

ただし、 L_0 は直管部最大支持間隔。

7. 3. 解析結果及び支持方針

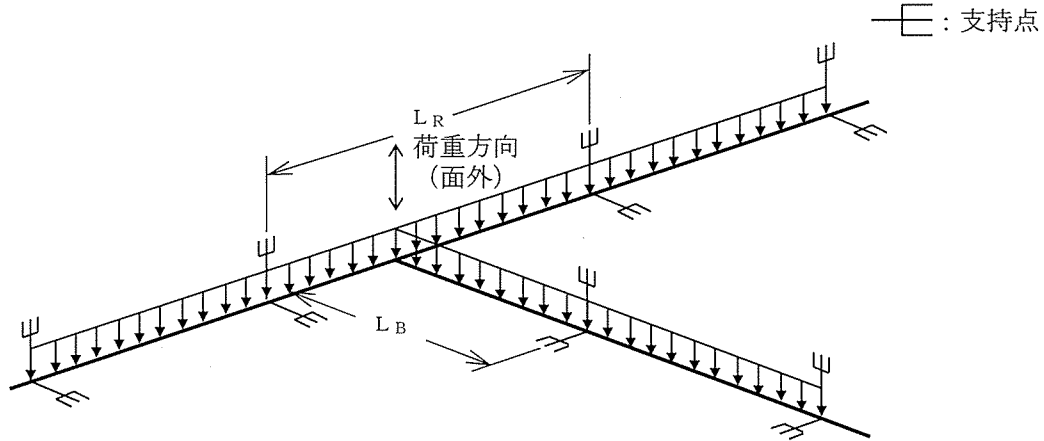
解析結果を添説設 3-2-2 図に示す。

本グラフは、弁等の重量物が取り付けいた場合の配管の許容支持間隔を直管部最大支持間隔に対する比として示し、”許容領域”内に配管を支持するものとする。

8. 分岐部の支持間隔

8. 1. 解析モデル

配管の分岐部は、下図に示すようにT字部の3つの支持端を単純支持とする分布質量の連続梁にモデル化する。



L_R : T字部母管長さ

L_B : 枝管長さ

8. 2. 解析条件及び解析方法

(1) 設計用地震力が作用した場合の曲げモーメントが、直管部最大支持間隔の設計用地震力による曲げモーメントより小さくなること。

(2) 自重による曲げモーメントが、直管部最大支持間隔の自重による曲げモーメントより小さくなること。

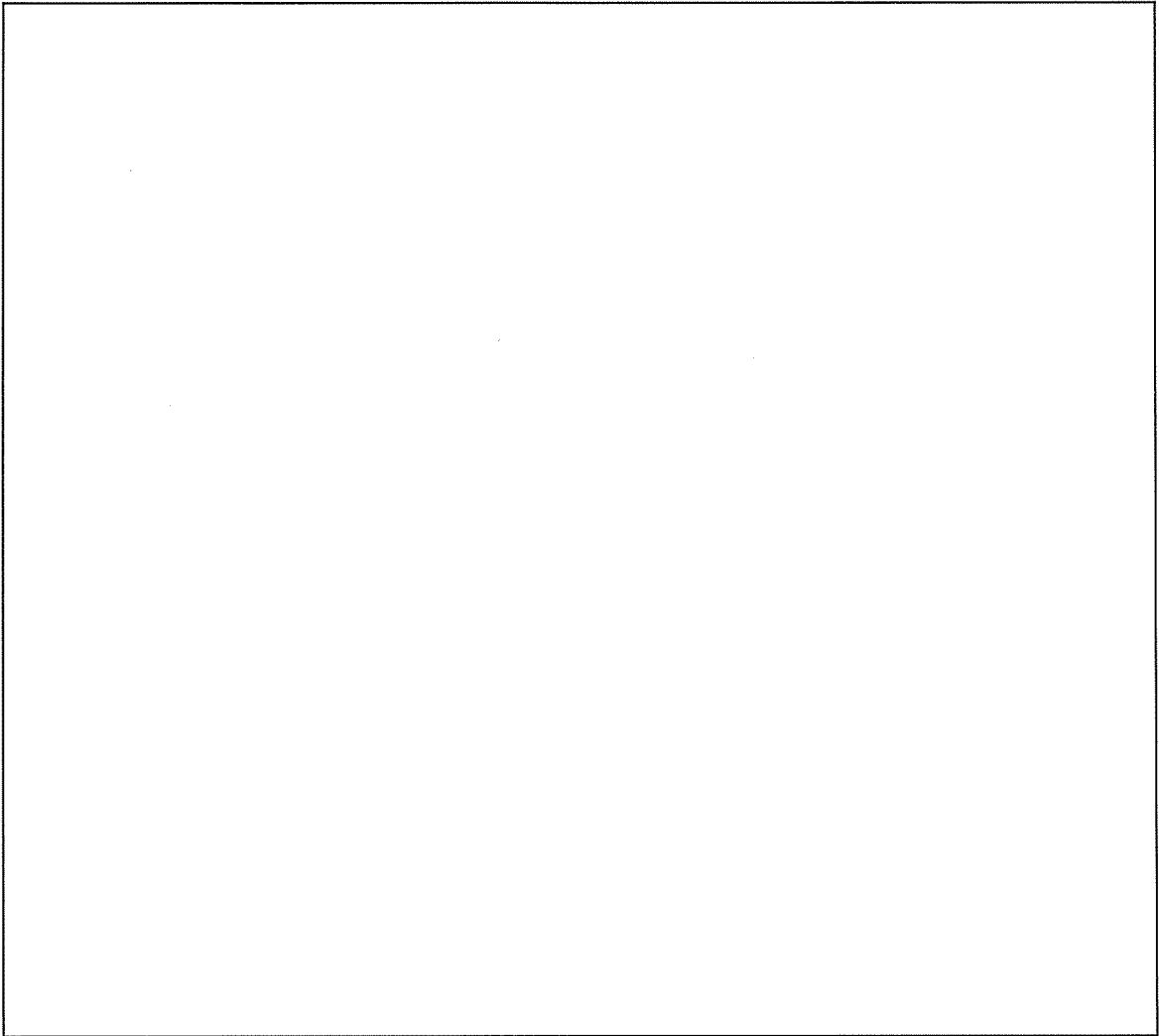
(3) (1), (2)の条件を満足する理論解を $\left(\frac{L_R}{L_0}\right)$ の関数として $\left(\frac{L_B}{L_0}\right)$ の最大値を求める。

解析結果は、分岐部の代表例として母管と枝管とが同一口径のものをまとめたものである。ただし、 L_0 は直管部最大支持間隔。

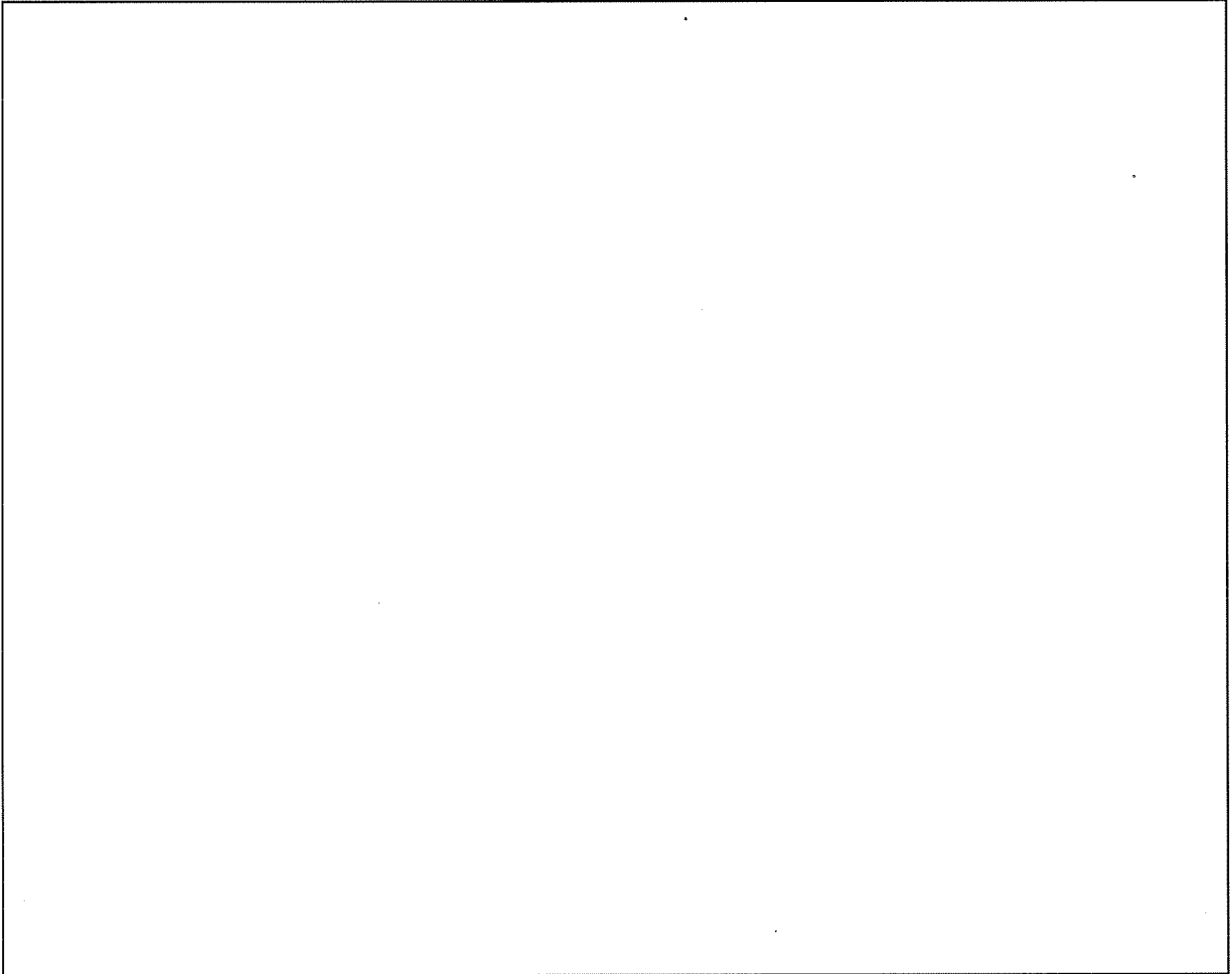
8. 3. 解析結果及び支持方針

解析結果を添説設 3-2-3 図に示す。

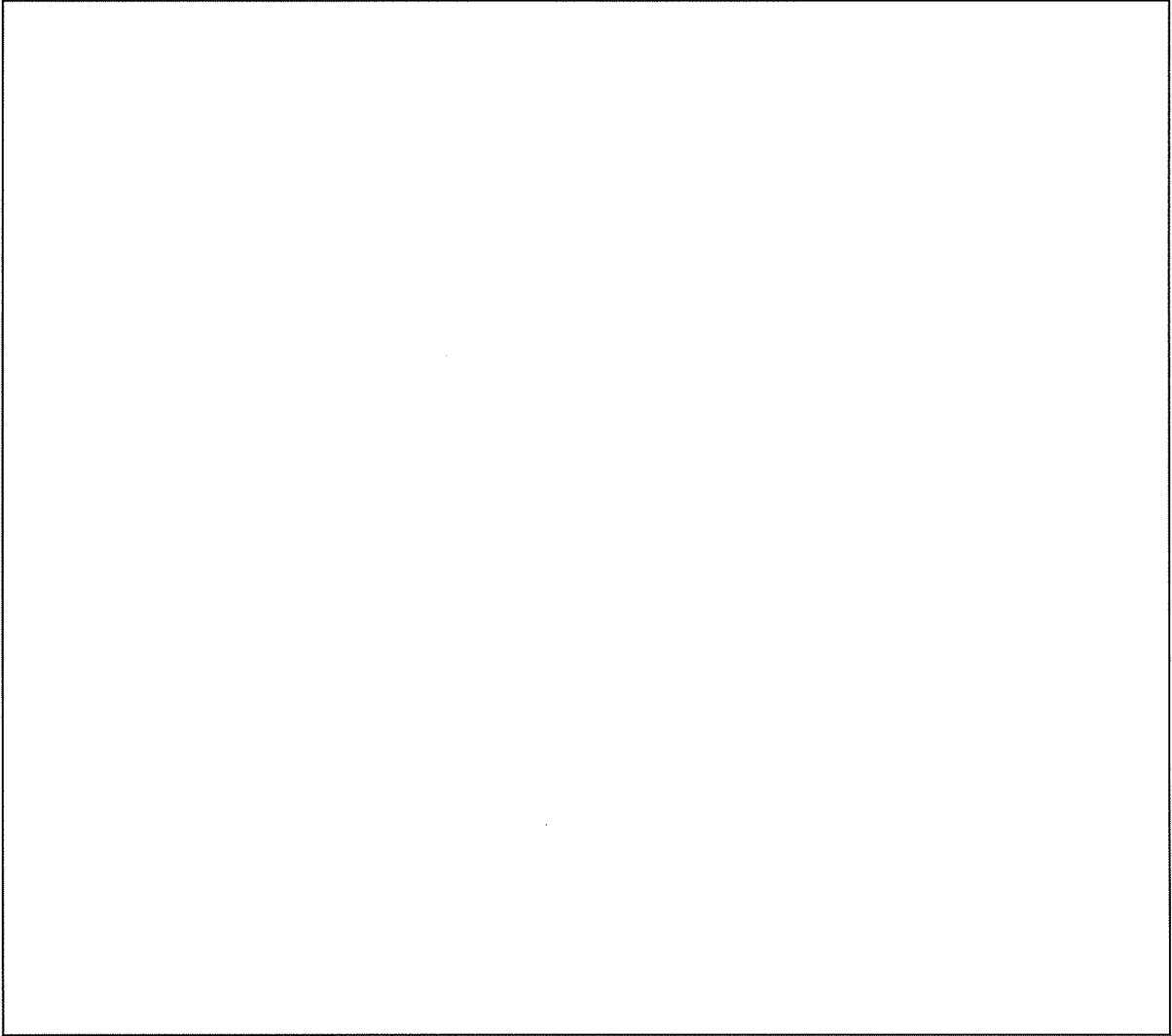
本グラフは、分岐部の許容支持間隔を直管部の最大支持間隔に対する比として示したもので、“許容領域”内に配管を支持するものとする。



添説設 3-2-1 図 曲がり部支持間隔グラフ



添説設3-2-2図 集中質量部支持間隔グラフ



添説設 3-2-3 図 分岐部支持間隔グラフ

9. 支持構造物

9. 1. 概要

配管の支持構造物は、その目的、設置場所等によって各種の形状、構造を考慮している。本章では、それらの支持構造物の選定及び支持構造物の代表的な種類について示す。

9. 2. 支持構造物の選定

(1) 支持ブラケット

支持ブラケットに際しては、ブラケット取り付け部形状及び荷重の方向等を考慮してその基本構造を決める。

ブラケット部材には原則として形鋼を用いるものとし、地震荷重、自重による荷重に対して、支持構造物に生ずる応力が弾性域の許容応力を満足するように形鋼の種類及びサイズ等を適切に選定する。

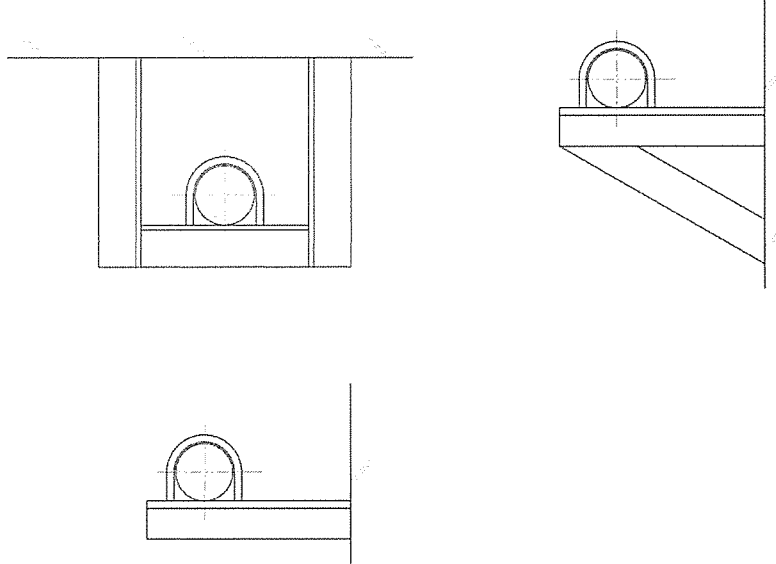
(2) 支持構造物部品

支持構造物に使用するUボルト等の部品は、支持点の荷重が各々の支持構造物部品の設計荷重以下になるように選定して使用する。

9. 3. 支持構造物の種類

(1) 支持ブラケット

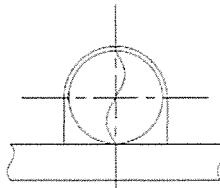
支持ブラケットの形状の代表例を添説設 3-2-4 図に示す。



添説設 3-2-4 図 支持ブラケットの代表例

(2) 支持構造物部品

支持構造物部品の形状の代表例を添説設 3-2-5 図に示す。



添説設 3-2-5 図 支持構造物部品の代表例

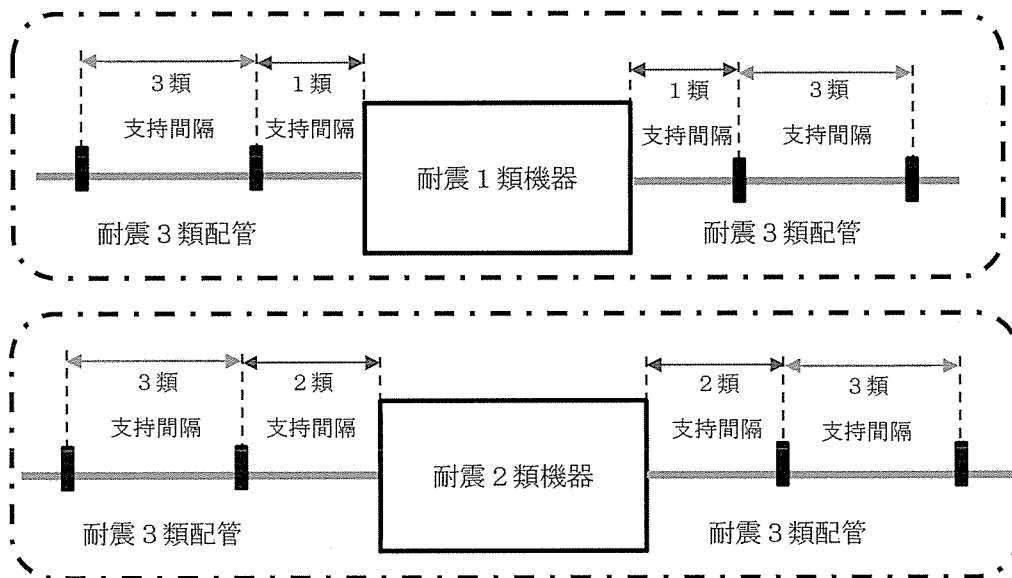
配管の波及的影響の考え方について

1. 波及的影響の考え方

耐震分類が異なる配管を接続する場合、接続部にはフレキシブルホースを設置し耐震区分を行うことを原則とする。

フレキシブルホースの設置が困難な配管については波及的影響を考慮して、耐震重要度分類が上位の機器に接続する箇所から一つ目の支持点までの間隔を、接続する機器の耐震重要度分類と同等として評価・設計をした。

耐震分類が異なる支持間隔の考え方



ダクトの耐震性に関する説明書

1. 概要

本資料は、ダクトの耐震性について計算の基本方針を説明するものである。

ダクトの耐震設計を行う場合には、そのダクトの耐震重要度分類、仕様、形状、設置場所等を考慮してダクトを分類し、定められた設計用地震力に対して、必要な機能が損なわれるおそれがないように耐震性を確保する。

ダクトの耐震性を確保する手法として、標準支持間隔法がある。標準支持間隔法とは、ダクトを直管部、曲がり部、分岐部及び集中質量を有する直管部の標準的な要素に分け、各要素の設計用地震力による応力等が許容限界を満足するように支持間隔を定め、この支持間隔以内に支持点を設定する方法である。

耐震重要度分類第3類ダクトについては「建築設備耐震設計・施工指針」の標準支持間隔以内に支持点を設定する。

2. 基本方針

2. 1. 耐震設計上の原則

- (1) ダクトは、適切な支持を講じることにより地震力による応力の低減を図るものとする。
- (2) 支持構造物は、ダクトの地震荷重、及び自重による荷重に対して十分な強度を持たせる。
- (3) 計算に用いる寸法は公称値を用いる。

2. 2. 設計手順

ダクトの耐震設計は、建物・構造物、機器・配管・トレイ等ダクト以外の設備との関連を十分に考慮した上で、総合的な調整をする。

3. ダクトの設計方針

3. 1. ダクトの構造

ダクトの構造は、溶接型、スパイラル型及びハゼ折型とし、その形状は角ダクト、丸ダクトを用いるものとする。

3. 2. 解析方法

ダクトの支持設計においては、施工方法、ダクトの周囲条件を考慮の上、標準支持間隔法により、設計地震力によりダクトに生じる曲げモーメントが許容座屈曲げモーメント以下となる最大支持スパン以下となるように支持する。

標準支持間隔法は、ダクトを直管部、曲がり部、分岐部及び集中質量を有する直管部の標準的な要素に分け、各要素の設計用地震力による曲げモーメントが許容座屈曲げモーメント以下となるように支持間隔を定める。

3. 3. 設計用地震力

設計用地震力は、「建築設備耐震設計・施工指針」の局部震度法による「設備機器の設計用標準震度」に基づく水平地震力を用いる(添説設 3-3-1 表)。

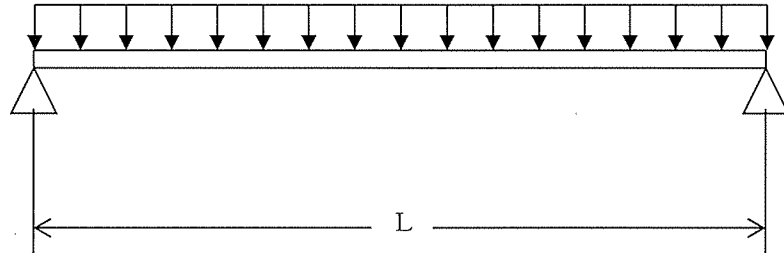
添説設 3-3-1 表 設備機器の設計用標準震度に基づく水平地震力

耐震重要度分類	第 1 類	第 2 類	第 3 類
地階及び 1 階	1.0 G	0.6 G	0.4 G
中間層	1.5 G	1.0 G	0.6 G
上層階、屋上及び塔屋	2.0 G	1.5 G	1.0 G

4. 第1類、第2類配管の標準支持間隔法

4. 1. 解析モデル

各種ダクトを、下図のように等分布荷重1スパンにモデル化する。この場合、支持点はダクトの軸直角方向のみを拘束するものとし、軸方向及び回転に対しては自由とする。



4. 2. 解析方法

各種ダクトについて、設計用地震力による曲げモーメントを算定すると共に、自重による曲げモーメントを算定し、これらの合成曲げモーメントが許容限界以下となるように支持間隔を算出する。

4. 3. 解析条件

(1) ダクト設計条件

標準支持間隔の算定に必要なダクト設計条件を添説設3-3-2表～添説設3-3-5表、添説設3-3-14表、添説設3-3-15表、添説設3-3-20表に示す。

ダクトの重量としては、補強材重量を含めた値とする。さらに、保温材の付くダクトについては、その重量を考慮する。

(2) 許容限界

地震及び自重による曲げモーメントの合成曲げモーメントに対する許容限界として許容座屈曲げモーメントを定める。以下に丸ダクト及び角ダクトの許容座屈曲げモーメント算出式を示す。

(a) 丸ダクト

$$M_R = K_R \cdot \frac{E}{1 - \nu^2} \cdot \frac{D}{2} \cdot t^2$$

ここに、 $K_R = 0.36$

丸ダクト許容座屈曲げモーメント式は、円筒殻の屈服座屈の式^(註1)を基に安全裕度を考慮して定めたものである。

(b) 角ダクト

$$M_s = K_s \sqrt{\frac{\pi^2 E \cdot S_y}{1 - \nu^2}} \cdot b \cdot t^2$$

ここに、 $K_s = 1/\sqrt{3}$

角ダクト許容座屈曲げモーメント式は、鶴戸口の式^(注2)を基に安全裕度を考慮して定めたものである。

(注1) 「新版機械工学便覧」(1987年4月日本機械学会編) A4-7.5.3a. iv項

(注2) 「薄肉長方形および箱形はりの座屈と強度」(1963年8月日本機械学会
Journal of the J. S. M. E., Vol. 66, No. 535)

記号

D	: 丸ダクト口径
E	: ダクト材の縦弾性係数
S_y	: ダクト材の設計降伏点
K_R 、 K_S	: 許容座屈曲げモーメント係数
M_R 、 M_S	: 許容座屈曲げモーメント
b	: 角ダクト辺長
t	: 板厚
ν	: ポアソン比

なお、塩化ビニルダクトについては、設計用地震力による曲げモーメントを算定すると共に、自重による曲げモーメントを算定し、これらの合成曲げモーメントにより発生する曲げ応力が許容応力以下となるように支持間隔を算出する。

許容応力、物性値については、「水道用硬質ポリ塩化ビニル管」に基づき設定する。

5. 標準支持間隔

5. 1. 第1類、第2類ダクト

添説設3-3-2表～添説設3-3-5表の各種ダクトの設計条件をもとに計算した直管部最大支持間隔、自重及び地震により発生する曲げモーメントと許容座屈曲げモーメントの比を添説設3-3-6表～添説設3-3-13表に示す。

なお、矩形断面の角ダクトの支持間隔については、短辺長さを基準とし、添説設3-3-6表、添説設3-3-8表、添説設3-3-10表及び添説設3-3-12表における角ダクトの支持間隔に添説設3-3-1図に示される支持間隔比を乗じた値を支持間隔とする。添説設3-3-1図は、基準となる正方形断面の角ダクトに比べて曲げモーメントが小さくなるように求めた辺長比及び板厚比と支持間隔比との関係を示すものである。

また、塩化ビニルダクトに関して、添説設3-3-14表及び添説設3-3-15表の各種ダクトの設計条件をもとに計算した直管部最大支持間隔、自重応力（長期）、自重及び地震により発生する応力を添説設3-3-16表～添説設3-3-19表に示す。なお、矩形断面の角ダクトの支持間隔については、短辺長さを基準とする。

FRPに関しても、添説設3-3-20表の各種ダクトの設計条件をもとに計算した直管部最大支持間隔、自重応力（長期）、自重及び地震により発生する応力（短期）を添説設3-3-21表、添説設3-3-22表に示す。

5. 2. 第3類ダクト

「建築設備耐震設計・施工指針」の標準支持間隔である「12 m」を用いる。

添説設 3-3-2 表 ダクトの設計条件 (ステンレス鋼角ダクト)

番号	ダクト幅×板厚(mm)	単位長さあたり重量 (kg/m)	
		保温材無	保温材有
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			

添説設 3-3-3 表 ダクトの設計条件 (ステンレス鋼丸ダクト)

番号	ダクト口径×板厚(mm)	単位長さあたり重量 (kg/m)	
		保温材無	保温材有
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			

添説設 3-3-4 表 (1/2) ダクトの設計条件 (炭素鋼角ダクト)

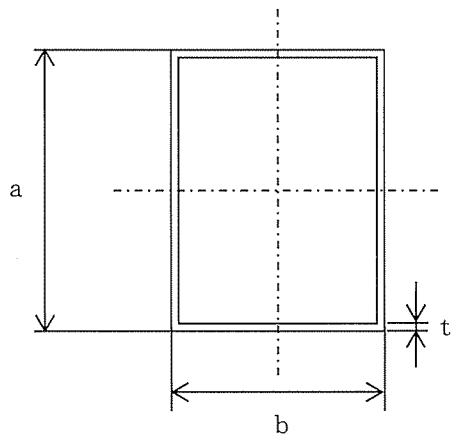
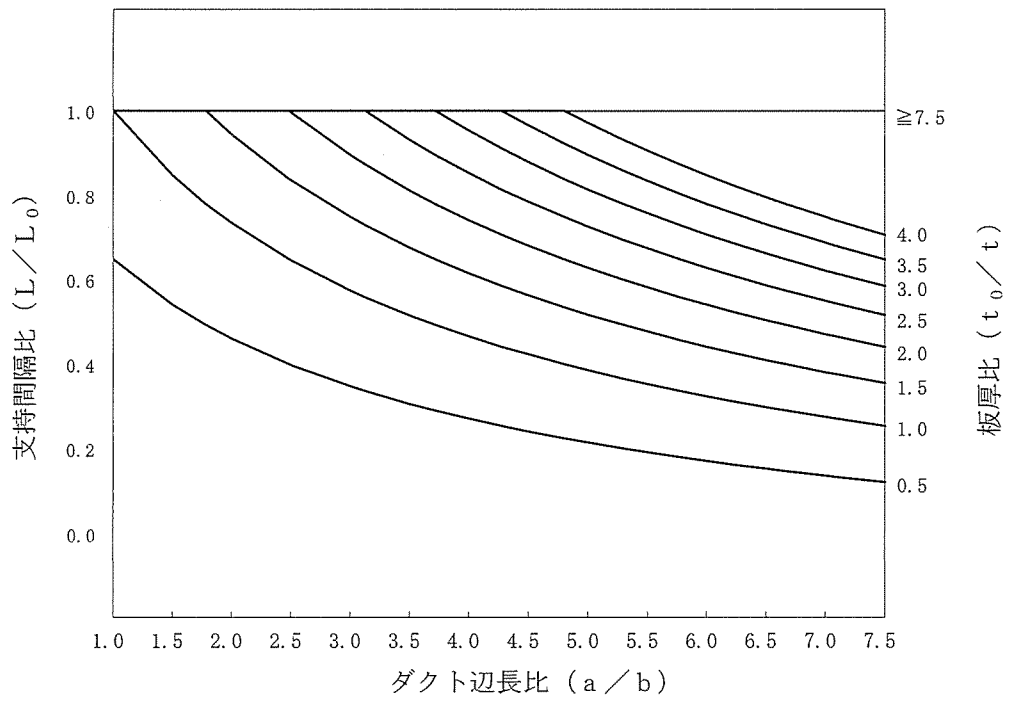
番号	ダクト幅×板厚(mm)	単位長さあたり重量 (kg/m)	
		保温材無	保温材有
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			

添説設 3-3-4 表 (2/2) ダクトの設計条件 (炭素鋼角ダクト)

番号	ダクト幅×板厚 (mm)	単位長さあたり重量 (kg/m)	
		保温材無	保温材有
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			

添説設 3-3-5 表 ダクトの設計条件 (炭素鋼丸ダクト)

番号	ダクト口径×板厚(mm)	単位長さあたり重量 (kg/m)	
		保温材無	保温材有
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			



- a : 角ダクト (矩形) 長辺
- b : 角ダクト (矩形) 短辺
- L : 角ダクト (矩形) の支持間隔
- L_0 : ダクト短辺を基にした支持間隔
- t : 角ダクト (矩形) の板厚
- t_0 : 支持間隔 L_0 のダクト板厚

添説設 3-3-1 図 矩形断面の角ダクトの支持間隔

添設 3-3-6 表 第 1 類直管部炭水支持間隔 (スナントス鋼角ダクト)

建物階層	地階及び 1 階				中間階				上階階、屋上及び塔屋			
	無		有		無		有		無		有	
ダクト幅×板厚(mm)	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比

添設3-3-7表 第1項直管部最大支持間隔（ステンレス鋼丸ダクト）

建物階層	地階及び1階				中間階				上階階、屋上及び塔屋			
	無		有		無		有		無		有	
保温材	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比
ダクト口径×板厚(mm)												

添設 3-3-8 表 (1/2) 第 1 類直管部最大支持間隔 (炭素鋼製ダクト)

建物階層	地階及び1階				中間層				上階階、屋上及び塔屋			
	無		有		無		有		無		有	
ダクト幅×板厚(mm)	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比

添録設 3-3-8 表 (2/2) 第 1 類吹管部最大支持間隔 (炭素鋼角ダクト)

建物階留	地階及び1階				中間階				上階階、屋上及び塔屋			
	無		有		無		有		無		有	
ダクト幅×壁厚 (mm)	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比

添設 3-3-9 表 第 1 類直管部最大支持間隔 (炭素鋼丸ダクト)

建物階層	地階及び 1 階				中間階				上階階、屋上及び塔屋			
	無		有		無		有		無		有	
保温材	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比
ダクト口径×壁厚 (mm)												

添設 3-3-10 表 第 2 型直管部最大支持間隔 (ステンレス鋼角ダクト)

建物階層	地階及び1階						中間階						上階階、屋上及び塔屋					
	無			有			無			有			無			有		
	支持間隔 (mm)	モーメント比	ダクト幅×板厚(mm)	支持間隔 (mm)	モーメント比	ダクト幅×板厚(mm)	支持間隔 (mm)	モーメント比	ダクト幅×板厚(mm)	支持間隔 (mm)	モーメント比	ダクト幅×板厚(mm)	支持間隔 (mm)	モーメント比	ダクト幅×板厚(mm)	支持間隔 (mm)	モーメント比	ダクト幅×板厚(mm)
保温材																		
ダクト幅×板厚(mm)																		

添設 3-3-11 表 第 2 種直管部最大支持間隔 (ステンレス鋼丸ダクト)

建物階層	地階及び1階				中間階				上階階、屋上及び塔屋			
	無		有		無		有		無		有	
ダクト口径×板厚 (mm)	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比

添紙 3-3-12 表 (1/2) 第 2 類直管部最大支持間隔 (成梁斜角ダクト)

建物階層	地下及び1階				中間階				上階階、屋上及び塔屋			
	無		有		無		有		無		有	
保温材 ダクト幅×板厚(mm)	支持間隔 (mm)	モースメント比	支持間隔 (mm)	モースメント比	支持間隔 (mm)	モースメント比	支持間隔 (mm)	モースメント比	支持間隔 (mm)	モースメント比	支持間隔 (mm)	モースメント比

添設 3-3-12 表 (2/2) 第 2 種直管部最大支持間隔 (縦断面角ダクト)

建物階層	地階及び1階				中間階				上階階、屋上及び塔屋			
	無		有		無		有		無		有	
保溫材	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比
ダクト幅×板厚(mm)												

添読書 3-3-13 表 第 2 項直管部最大支持間隔 (線索鋼丸ダクト)

建物階層	地階及び1階				中間階				上階階、屋上及び塔屋			
	無		有		無		有		無		有	
保温材	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比
ダクト口径×板厚 (mm)												

添説設 3-3-14 表 ダクトの設計条件 (塩化ビニル角ダクト)

番号	ダクト幅×板厚(mm)	単位長さあたり重量 (kg/m)	
		保温材無	保温材有
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			

添説設 3-3-15 表 ダクトの設計条件 (塩化ビニル丸ダクト)

番号	ダクト口径×板厚(mm)	単位長さあたり重量 (kg/m)	
		保温材無	保温材有
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			

添説書 3-3-16 表 第1種直管部最大支持間隔 (風化ヒニル角タクト) 許容限界 長期: 30 短期: 45 (単位: MPa)

建物階層	地盤及び1階				中間階				上部階、屋上及び密屋			
	無		有		無		有		無		有	
保溫材	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)
タクト幅×板厚 (mm)												

添設設 3-3-17 表 第 1 類直管部最大支持間隔 (酸化ビニルエタレンダクト) 許容限界 長期: 30 短期: 45 (単位: MPa)

建物階層	地盤及び 1 階						中間層						上階層、屋上及び塔屋						
	無			有			無			有			無			有			
保温材	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	
ダクト口径×板厚(mm)																			

添議書 3-3-18 表 第 2 類直管部最大支持間隔 (塩化ビニル角ダクト) 許容限界 長期 : 30 短期 : 45 (単位 : MPa)

建物階層	地階及び 1 階				中間階				上階階、屋上及び塔屋			
	無		有		無		有		無		有	
保温材	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)
ダクト幅×板厚(mm)												

添設 3-3-19 表 第 3 類直管部最大支持間隔 (塩化ビニル丸ダクト) 許容限界 長期: 30 短期: 45 (単位: MPa)

建物階層	地盤及び1階						中間階						上階階、屋上及び塔屋					
	無			有			無			有			無			有		
	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)
保温材 ダクト口径×板厚(mm)																		

添説設 3-3-20 表 ダクトの設計条件 (FRP)

番号	ダクト口径×板厚(mm)	単位長さあたり重量 (kg/m)	
		保温材無	保温材有
1			—
2			—
3			—
4			—
5			—

添設 3-3-21 表 第 1 類直管部最大支持間隔 (F R P) 許容限界 長期: 36 短期: 54 (単位: MPa)

建物階層	地階及び1階						中間階						上階階、屋上及び塔屋					
	無			有			無			有			無			有		
保温材	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)
ダクト口径×壁厚(mm)																		

施設設 3-3-22 表 第 2 類直管部最大支持間隔 (F R P) 許容限界 長期 : 36 短期 : 54 (単位 : MPa)

建物階層	地階及び1階				中間階				上階階、屋上及び塔屋			
	無		有		無		有		無		有	
保温材	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)
ダクト、白管×板厚(mm)												

6. 曲がり部の支持間隔

曲がり部の支持間隔を定めるための直管部標準支持間隔との比を求める解析モデル、解析条件、解析方法、解析結果及び曲がり部の支持方針については、添付説明書一設 3-2「配管の耐震性に関する説明書」に示す。

7. 集中質量部の支持間隔

集中質量部の支持間隔を定めるための直管部標準支持間隔との比を求める解析モデル、解析条件、解析方法、解析結果及び曲がり部の支持方針については、添付説明書一設 3-2「配管の耐震性に関する説明書」に示す。

8. 分岐部の支持間隔

分岐部の支持間隔を定めるための直管部標準支持間隔との比を求める解析モデル、解析条件、解析方法、解析結果及び曲がり部の支持方針については、添付説明書一設 3-2「配管の耐震性に関する説明書」に示す。

9. 個別解析モデルによる支持間隔の設定

前述の6. から8. に示した標準的な要素の支持間隔及びその組合せによってダクトの支持間隔を設定することが困難なダクト要素については、以下に示す方針によりダクト要素のモデル化及び個別解析を行い、支持間隔を設定する。

9. 1. 解析モデル

解析モデルは、当該ダクト要素の曲げモーメントが適切に評価できるように隣接するダクト要素の影響を考慮して、多質点系モデルにモデル化する。

9. 2. 解析条件及び解析方法

ダクトを多質点系モデル化し、有限要素法により曲げモーメント（自重+設計用地震力）が許容座屈曲げモーメント以下となるように支持間隔を設定する。

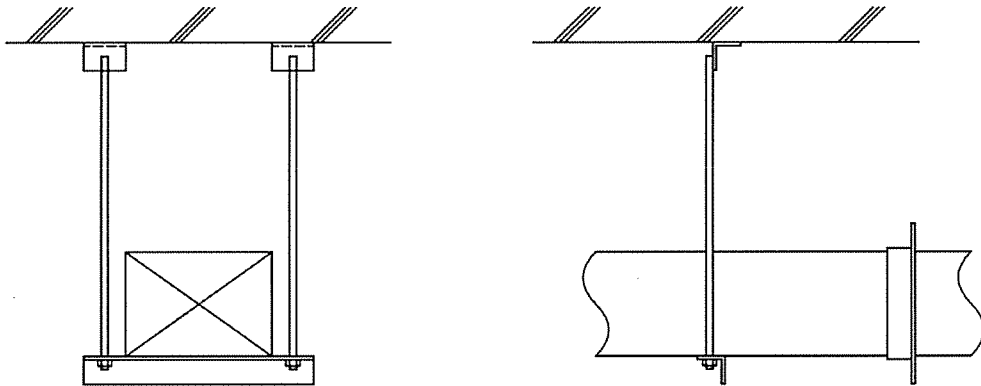
10. 支持構造物の設計方針

10. 1. 支持構造物の構造及び種類

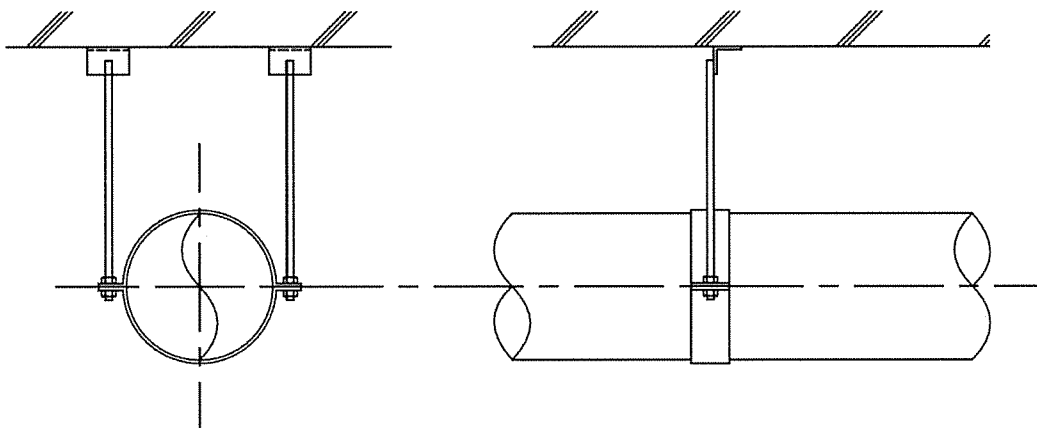
支持構造物の代表例を添説設3-3-2図～添説設3-3-4図に示す。

10. 2. 設計方針

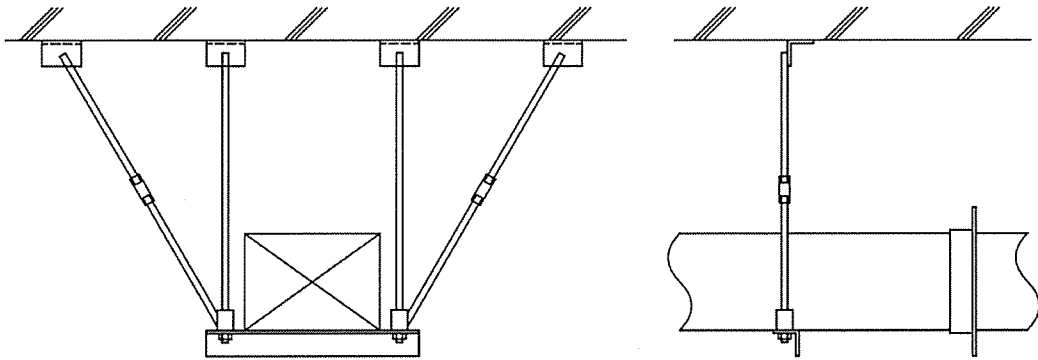
支持構造物は地震荷重、自重による荷重により作用する荷重に対して、支持構造物に生ずる応力が許容限界以下となるように設計する。



添説設 3-3-2 図 角ダクト自重サポート（ロッド）の例



添説設 3-3-3 図 丸ダクト自重サポート（ロッド）の例



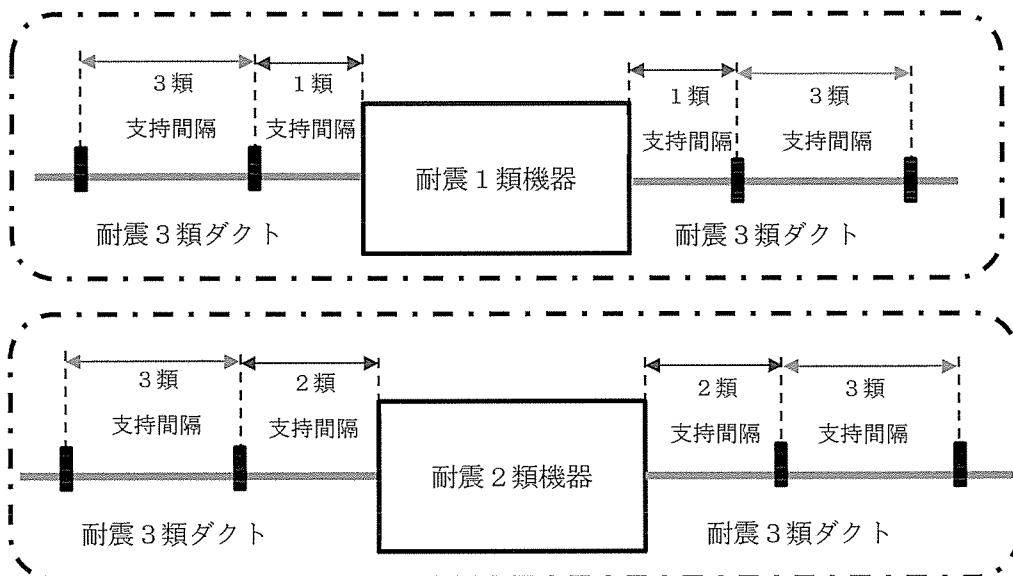
添説設 3-3-4 図 角ダクト水平方向拘束の例

気体廃棄設備の耐震重要度分類の考え方について

1. 波及的影響の考え方

気体廃棄設備において、給排気ダクト・ダンパについては波及的影響を考慮して、耐震重要度分類が上位の機器に接続する箇所から一つ目の支持点までの間隔を、接続する機器の耐震重要度分類と同等として評価・設計をした。

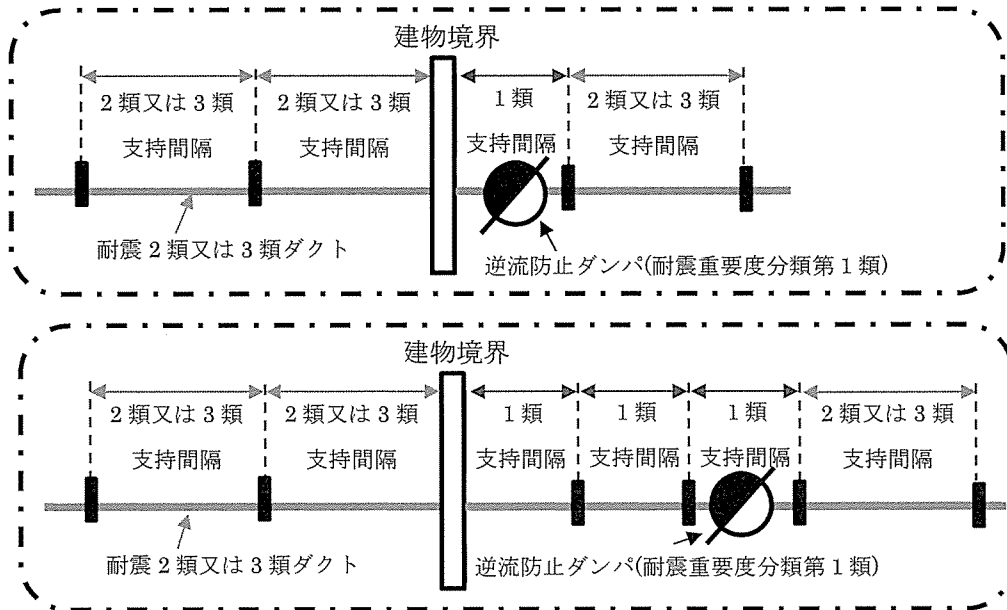
耐震分類が異なる標準支持間隔法の考え方



2. 建物境界部分の考え方

気体廃棄設備において、建物及び逆流防止ダンパを接続する給排気ダクト・ダンパについては、建物の耐震重要度分類と同等として評価・設計をした。

建物境界部の標準支持間隔法の考え方



設備に対する竜巻防護に関する説明書

1. 竜巻防護設計の方針

1. 1. 基本方針

「原子力発電所の竜巻影響ガイド」⁽¹⁾（以下「竜巻ガイド」という。）を参考に算出した本加工施設が立地する地域での竜巻規模は、稀に発生する竜巻として年超過確率 10^{-4} に相当する風速は 41m/s であり、藤田スケールの F1 (33~49m/s) にあたる。このため、設計評価用竜巻は藤田スケールの F1 竜巻（風速 49m/s）と設定する。設計評価用竜巻に対し、建物の壁及び屋根は損傷しないため、建物内の設備・機器において風圧力の作用を考慮する必要はなく、設備・機器の防護設計を要しない。

また、更なる安全裕度の向上策確認用の竜巻として、藤田スケールの F3 の最大風速(92m/s)を設定する。この竜巻に対し、一部の建物の壁及び屋根は損傷するため、屋根の損傷を仮定した建物は、屋根の損傷箇所を經由する風の吹き込みに対して、建物内部の床、壁により、設備・機器を防護する設計とするか、設備・機器に直接風圧力が作用する場合は、それら設備・機器（排気ダクトは除く）の固定が失われないことを確認する。

一方、非常用設備の非常用ディーゼル発電機は発電機室の建物の壁及び屋根が損傷しないため、設備・機器の防護設計を要しないが、非常用ディーゼル発電機のラジエータが屋外に設置されることから、F1 竜巻に対して防護設計を行うとともに、F3 竜巻に対して固定が失われないことを確認する。

1. 2. 評価対象

更なる安全裕度向上策確認用の F3 竜巻に対し、新規制基準に基づき受けた事業許可より、RC 造及び SRC 造の建物は健全であることから、これらの建物に内包される設備・機器は、建物により竜巻から防護される。

RC 造及び SRC 造以外の建物は、更なる安全裕度向上策確認用の竜巻に対し、屋根のみもしくは屋根と壁の両方が損傷するおそれがあるため、これらの施設の設備・機器については竜巻の影響を考慮する。

また、屋外に設置された設備・機器については、F1 竜巻、F3 竜巻両方に対して、竜巻の影響を考慮する。

転換工場、除染室・分析室は F3 竜巻に対して屋根が損傷するおそれがある。そのため、施設に内包される設備・機器である化学処理施設が影響評価の対象となる。また、分析設備である、試料を保管するサンプル保管庫*1と廃水タンクが影響評価の対象となる。さらに、屋外に設置される非常用ディーゼル発電機のラジエータが F1 竜巻、F3 竜巻に対する影響評価の対象となる。

*1：竜巻警報発報時、夜間休日不在時には分析サンプルをサンプル保管庫にて保護する。

2. 評価手法

2. 1. 評価方針

竜巻より設備・機器に作用する設計竜巻荷重に対して評価を実施する。設備と竜巻の位置関係は、竜巻中心から竜巻半径離れた風速が最も大きい位置で評価する。F1 竜巻の最大風速 49m/s、F3 竜巻の最大風速 92m/s より、竜巻の特性を竜巻ガイド⁽¹⁾に従い以下のとおりとする。

<F1 竜巻>

$V_{Rm} = 42\text{m/s}$: 最大接線風速

$V_T = 7\text{m/s}$: 移動速度

$R_{Rm} = 30\text{m}$: 最大接線風速半径

<F3 竜巻>

$V_{Rm} = 78\text{m/s}$: 最大接線風速

$V_T = 14\text{m/s}$: 移動速度

$R_{Rm} = 30\text{m}$: 最大接線風速半径

2. 2. 評価用荷重

(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、自重及び上載荷重を考慮する。

(b) 設計竜巻荷重

風速場のモデルは、屋根のみが損傷するおそれのある建物内でも、安全側に壁がないものとしてフジタモデルを用い、また、風圧力は飛来物と同じ手法で求めた飛行定数を用いて評価した揚力及び抗力を考慮する。風圧力評価は、飛来物評価手法 (TONBOS コード)⁽²⁾と同じ考えで評価することとする。

(1) 物体に作用する荷重

風圧力を受ける物体の運動方程式としては

$$\frac{d\mathbf{V}_M}{dt} = \frac{\rho C_D A}{2 m} |\mathbf{V}_W - \mathbf{V}_M| (\mathbf{V}_W - \mathbf{V}_M) - (g - L)\mathbf{k} \quad (1)$$

ここで、

\mathbf{V}_M : 物体の速度ベクトル

\mathbf{V}_W : 風速ベクトル

t : 時間

ρ : 空気密度

C_D : 抗力係数

A : 物体代表面積

m : 質量

g : 重力加速度

L : 揚力加速度

\mathbf{k} : 鉛直上向き単位ベクトル

$\frac{C_D A}{m}$: 飛行定数

ここで、設備は運動せず固定されているため、 $\mathbf{V}_M = \mathbf{0}$ であることから、設備への荷重（加速度）はベクトルの成分ごとに記述すると次のようになる。

$$\alpha_1 = \frac{C_D A \rho}{m} \frac{1}{2} \sqrt{V_{W1}^2 + V_{W2}^2 + V_{W3}^2} \cdot V_{W1} \quad (2)$$

$$\alpha_2 = \frac{C_D A \rho}{m} \frac{1}{2} \sqrt{V_{W1}^2 + V_{W2}^2 + V_{W3}^2} \cdot V_{W2} \quad (3)$$

$$\alpha_3 = \frac{C_D A \rho}{m} \frac{1}{2} \sqrt{V_{W1}^2 + V_{W2}^2 + V_{W3}^2} \cdot V_{W3} - (g - L) \quad (4)$$

（添え字の 1, 2, 3 はそれぞれ x 方向、y 方向、z 方向を示す。）

ここで、荷重方向を水平方向と軸方向に集約する。x 方向と y 方向を合成して水平方向とすると、

$$\alpha_h = \frac{C_D A \rho}{m} \frac{1}{2} \mathbf{V}_t \cdot \mathbf{V}_h$$

$$\text{変形して、 } F_h = \alpha_h m = C_D A \frac{\rho}{2} \mathbf{V}_t \cdot \mathbf{V}_h \quad (5)$$

軸方向については、

$$\alpha_z = \frac{C_D A \rho}{m} \frac{1}{2} \mathbf{V}_t \cdot \mathbf{V}_z - (g - L)$$

$$\text{変形して、 } F_z = \alpha_z m = C_D A \frac{\rho}{2} \mathbf{V}_t \cdot \mathbf{V}_z - (g - L)m \quad (6)$$

ここで、

α_h : 設備水平方向加速度

F_z : 設備軸方向荷重

$$V_t = \sqrt{V_{W1}^2 + V_{W2}^2 + V_{W3}^2} = \sqrt{V_h^2 + V_z^2} \quad : \text{風速の大きさ}$$

$$V_h = \sqrt{V_{W1}^2 + V_{W2}^2} \quad : \text{水平方向風速}$$

V_z : 軸方向風速

以上のとおり、竜巻の風圧力により設備水平方向荷重 F_h 、設備軸方向荷重 F_z が生じる。

(2) 物体に作用する揚力

揚力のモデルとしては、飛来物の揚力係数を抗力係数で代用した以下の式で評価する。

$$L = \frac{\rho C_{DA}}{2m} \{(V_{W1} - V_{M1})^2 + (V_{W2} - V_{M2})^2\} \cdot f\left(\frac{Z}{d}\right) = \frac{C_{DA}\rho}{m} \frac{\rho}{2} V_h^2 \cdot f\left(\frac{Z}{d}\right) \quad (7)$$

$$f\left(\frac{Z}{d}\right) = \begin{cases} 1 - \left(\frac{Z}{3d}\right) & (Z < 3d) \\ 1 + \left(\frac{Z}{d}\right) & \\ 0 & (Z \geq 3d) \end{cases} \quad (8)$$

ここで、

$$Z = z - \frac{d}{2}$$

d : 物体高さ

z : 軸方向の位置

(3) 飛行定数の算出方法

飛来物評価上の飛行定数は参考文献⁽³⁾⁽⁴⁾の評価手法に準じて、以下の式で評価する。

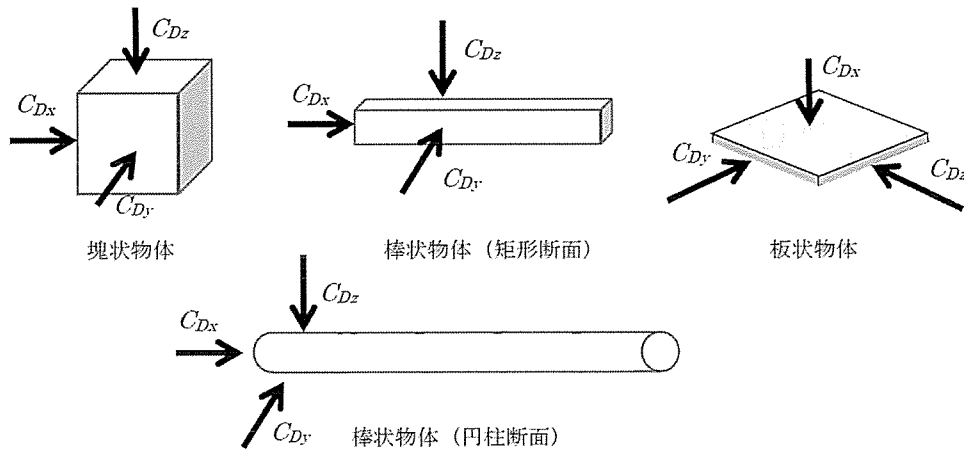
$$\frac{C_D A}{m} = \frac{c(C_{Dx} \cdot A_x + C_{Dy} \cdot A_y + C_{Dz} \cdot A_z)}{m} \quad (9)$$

ここで、

$$c = 0.33$$

A_x, A_y, A_z : それぞれ添説設 4-2-1 図に示す C_{Dx}, C_{Dy}, C_{Dz} に対する面の面積
(開口がある場合は、必要に応じて面積から開口部面積を除く。)

物体形状	C_{Dx}	C_{Dy}	C_{Dz}
塊状物体	2.0	2.0	2.0
板状物体			
棒状物体 (矩形断面)	2.0	1.2	1.2
棒状物体 (円形断面)	2.0	0.7	0.7



添説設 4-2-1 図 飛行定数算出パラメータ

2. 3. 許容限界

設計評価用の F1 竜巻の風圧力による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、弾性範囲にとどまることを許容限界とする。このため、耐力を許容限界とする。耐力は、添付説明書一設 3-1-付 1 の短期条件での許容限界となる。

更なる安全裕度向上策確認用の水平方向の設計竜巻荷重に対する評価では、設備・機器を固定しているアンカーボルトが部分的に塑性変形したとしても設備・機器の固定が失われないことを確保するため、許容限界としてアンカーボルト部材の引張強さを元に設定する。一方、軸方向の設計竜巻荷重に対しても、同様に設備・機器が固定されていればよいが、軸荷重に対しては、アンカーボルト部材の引張強さによる許容引張荷重よりも、アンカーボルトの許容引抜荷重の方が小さいため、アンカーボルトの許容引抜荷重を許容限界として設定する（添付説明書一設 4-付 1 参照）。

2. 4. 評価の方法

2. 4. 1. 水平方向荷重に対する評価

最初に 2. 2 項に示す手法にて水平方向の設計竜巻荷重を算出する。設計竜巻荷重を算出するための飛行定数は、対象とする設備・機器の外形形状の面積、質量より設定する。

水平方向の設計竜巻荷重により設備・機器を固定しているアンカーボルトに発生する応力を「横方向の設計竜巻荷重/アンカーボルトの総断面積」により求め、それが許容値以下であることを確認する。

なお、耐震計算では、耐震重要度分類に応じた入力荷重に対する発生応力を算出し、耐震計算での許容限界以下であることを確認している。よって、設計竜巻荷重が地震時の荷重より小さい場合、設計竜巻荷重による発生応力は耐震計算結果に含まれるため、発生応力を評価することなく、耐風圧設計であることを確認できる。

2. 4. 2. 軸方向荷重に対する評価

2. 2 項に示す手法にて、軸方向の設計竜巻荷重を算出する。軸方向の設計竜巻荷重によりアンカーボルトに生じる引抜荷重は、「軸方向の竜巻荷重 - (自重 + 上載荷重)」となることから、これによるアンカーボルトに発生する引抜荷重が許容値以下であることを確認する。(許容値については、添付説明書一設 4-付 1 参照)。

3. 評価結果のまとめ

1. 2 項に示した対象設備に対して、2. 4 項の水平方向及び軸方向の内、検定比が大きくなる評価結果を添説設 4-3-1 表～添説設 4-3-4 表に示す。いずれの設備も許容限界¹を満足しており、竜巻による設計竜巻荷重に対して設備・機器の固定が失われないことを確認した²。

なお、配管が F 3 竜巻荷重に耐えるよう標準支持間隔を設定する必要があるが、F 3 竜巻荷重による最大発生応力の許容限界に対する裕度は、地震荷重による裕度よりも大きい³。従って、地震荷重に対して標準支持間隔を設定しておけば、F 3 竜巻に耐えることができる。

添説設 4-3-1 表 竜巻荷重に対するアンカーボルトの評価結果(非常用設備)

名称	部位名称	竜巻荷重 [kN]		評価結果		許容限界 ¹
		軸方向 [kN]	水平方向 [kN]	竜巻荷重 方向	検定比 ² [-]	
非常用ディーゼル発電機(ラジエータ) [F1竜巻]	ラジエータ					合格
非常用ディーゼル発電機(ラジエータ) [F3竜巻]	ラジエータ					合格

添説設 4-3-2 表 竜巻荷重に対するアンカーボルトの評価結果(化学処理施設)

名称	部位名称	竜巻荷重 [kN]		評価結果		許容限界 ¹
		軸方向 [kN]	水平方向 [kN]	竜巻荷重 方向	検定比 ² [-]	
UF ₀ 防護カバー	蒸発器用防護カバー					合格
UF ₀ 防護カバー	フードボックス用防護カバー					合格
UF ₀ 防護カバー	UF ₀ 配管用防護カバー					合格
熱交換器(循環貯槽)	熱交換器					合格
UO ₂ ブロータンク	ブロータンク(1),(2)					合格
UO ₂ ブロータンク	ブロータンク(1),(2) 架台					合格
UO ₂ フィルタ	UO ₂ フィルタ					合格
UO ₂ フィルタ	フードボックス(UO ₂ フィルタ)(1),(2)					合格
UO ₂ フィルタ	UO ₂ フィルタ架台					合格
UO ₂ バックアップフィルタ	UO ₂ バックアップフィルタ					合格
UO ₂ 受ホッパ	UO ₂ 受ホッパ(1),(2)					合格
粉碎機	粉碎機(1),(2) フード					合格
充填装置	充填設備共通架台					合格
充填装置	充填装置(1),(2)					合格
充填装置	フードボックス(充填装置(1),(2))					合格
充填装置	充填装置(1),(2) 架台					合格

添説設 4-3-3 表 竜巻荷重に対するアンカーボルトの評価結果(分析設備)

名称	部位名称	竜巻荷重 [kN]		評価結果		許容限界 ¹
		軸方向 [kN]	水平方向 [kN]	竜巻荷重 方向	検定比 ² [-]	
不純物分析設備(廃水タンク)	廃水タンク					合格
物性測定設備(サンプル保管庫)	サンプル保管庫					合格

- ¹ 検定比を算出する際に使用した許容限界を記載している。
- ² 検定比は発生応力(荷重)を許容限界で除して小数点第3位以下を切上げた値とする。検定比算出に用いた発生応力は小数点以下を切り上げた値、許容限界は規格値もしくは規格値より算出して小数点以下を切り捨てた値とする。
- ³ 配管()、スパン長 6 m、地震加速度 1 G の場合
F 3 竜巻荷重による最大発生応力は [N/mm²]、許容限界は [N/mm²] (引張強さ)。地震荷重による最大発生応力は [N/mm²]、許容限界は [N/mm²] (耐力)。

添説設 4-3-4 表 竜巻荷重に対するアンカーボルトの評価結果(気体廃棄設備)

名称	部位名称	竜巻荷重 [kN]		評価結果		許容限界 ¹
		軸方向 [kN]	水平方向 [kN]	竜巻荷重方向	検定比 ² [-]	
スクラバ	スクラバ					合格
スクラバ	スクラバ架台(1)					合格
スクラバ	スクラバ架台(2)					合格

4. 参考文献

- (1) 原子力規制委員会 原子力発電所の竜巻影響評価ガイド 平成 25 年 6 月
- (2) 電力中央研究所報告 竜巻による物体の浮上・飛来解析コード TONBOS の開発 研究報告 : N14002 平成 26 年 6 月
- (3) 東京工芸大学 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 平成 23 年 2 月
- (4) 日本保全学会 原子力規制関連事項検討会 軽水型原子力発電所の竜巻影響評価における設計竜巻風速および飛来物速度の設定に関するガイドライン 平成 27 年 1 月

竜巻設計で使用する許容限界の設定

1. 竜巻設計で使用する許容限界の設定

竜巻設計で使用する許容限界は、建築設備耐震設計・施工指針 2014年版（日本建築センター）及び鋼構造設計規準 — 許容応力度設計法 —（日本建築学会）、JSME S NJ1-2012（日本機械学会）にもとづき設定する。

2. 据付ボルトの許容限界

水平方向及び軸方向の竜巻設計荷重に対するアンカーボルトの評価結果に対する許容限界を添説設 4-1 表及び添説設 4-2 表にそれぞれ示す。

添説設4-1表 水平方向竜巻設計荷重に対するアンカーボルトの許容限界

材料	種類	許容限界	参照
	せん断応力度		鋼構造設計規準、 建築設備耐震設計・施工指針
	せん断応力度		JSME S NJ1-2012、鋼構造設計規準、 建築設備耐震設計・施工指針

添説設 4-2 表 軸方向竜巻設計荷重に対するアンカーボルトの許容限界（許容引抜荷重）

材料	径	許容限界	参照
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針

設備の溢水による損傷の防止に関する説明書

1. 概要

本資料は、「加工施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」第十一条及び「加工施設の技術基準に関する規則」第十二条にて適合することが要求されている事項に対し、安全機能を有する施設が加工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恐れがある場合に、防護処置その他の適切な処置を講じることを説明するものである。

2. 溢水等による損傷防止の基本方針

事業許可基準規則第十一条（溢水による損傷の防止）に基づき、加工施設内部で溢水の発生を想定しても、加工施設の閉じ込め、臨界防止の安全機能を損なわないようにするとともに、溢水による火災の発生を防止するため、以下の設計とする。

① 閉じ込めの観点

- ・第1種管理区域の境界から外部へ溢水が流入出しない設計とする。なお、第2種管理区域では、密封したウランを取り扱うため汚染がないことから、第2種管理区域からの溢水の漏えい防止に関しては考慮しない。
- ・建物内の負圧を維持するため、被水又は没水により放射性廃棄物の廃棄施設（気体廃棄設備）の機能を喪失しない設計とする。

② 臨界防止の観点

- ・ウランを内包する設備・機器が、被水又は没水によって臨界とならない設計とする。

③ 火災の発生防止の観点

- ・被水又は没水による設備・機器における電気火災の発生を防止する設計とする。

④ 全般

- ・溢水源となる配管は、耐震重要度分類第1類に求められる地震力を超えない程度の地震加速度（150ガル＝0.15G）を検知した時点で、送液を停止する設計とする。

3. 対象設備

対象設備は、工場棟転換工場に設置する化学処理施設、放射性廃棄物の廃棄施設、核燃料物質の貯蔵施設及びその他の加工施設、付属建物 発電機室に設置するその他の加工施設並びに付属建物 除染室・分析室に設置するその他の加工施設、付属建物 原料貯蔵所に設置する核燃料物質の貯蔵施設を対象とする。対象となる機器は添付説明書一設1付録1に示す。

なお、付属建物 廃棄物管理棟に設置する放射性廃棄物の廃棄施設（ドラム缶ウラン量測定装置）は、臨界管理対象外で溢水防護区画外に設置する設備のため、溢水評価対象外とする。

4. 適合性の説明

本章に該当する適合性の対象は、以下となる

- ・加工施設の技術基準に関する規則第十二条

(加工施設内における溢水による損傷の防止)

第十二条 安全機能を有する施設は、加工施設内における溢水の発生によりその安全性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が講じられたものでなければならない。

◆ 事業許可の内容 (2-11、2-12、11-1～11-21)

3章で示した設備を対象とすることから、事業許可の内容のうち該当する以下の項目を適合性説明の対象とする。

【化学処理施設、貯蔵施設、その他の加工施設の溢水による損傷防止 (4.1章)】

- ・ 核的制限値を設定する設備・機器は没水しない設計(2-11)
- ・ 減速度で管理する設備・機器は消火水等が浸入しない対策(2-12)
- ・ 被水又は没水によって臨界とならない設計 (11-4)
- ・ 被水又は没水による電気火災の発生を防止する設計(11-5)
- ・ 被水による電気火災の発生を防止するため、被水防止カバー、又は配線用遮断器を設置する設計(11-9)
- ・ ウランへの水の浸入を考慮した最適減速度状態を想定した設計と、水の浸入を想定しない減速度を管理する設計 (11-11)
- ・ ウランが被水しないような設計、及び没水による水の浸入を防止する設計(11-12)
- ・ 制御盤には配線用遮断器を設置する設計 (11-16)

【廃棄施設 (気体廃棄設備(1)) の溢水による損傷防止 (4.2章)】

- ・ 被水又は没水による電気火災の発生を防止する設計(11-5)
- ・ 被水による電気火災の発生を防止するため、被水防止カバー、又は配線用遮断器を設置する設計(11-9)
- ・ 制御盤には配線用遮断器を設置する設計 (11-16)

【非常用ディーゼル発電機の溢水による損傷防止 (4.3章)】

- ・ 被水又は没水による電気火災の発生を防止する設計(11-5)
- ・ 被水による電気火災の発生を防止するため、被水防止カバー、又は配線用遮断器を設置する設計(11-9)
- ・ 制御盤には配線用遮断器を設置する設計 (11-16)

4. 1. 化学処理施設、貯蔵施設、その他の加工施設の溢水による損傷防止

4. 1-1 臨界の防止

溢水による防護対象設備・機器、溢水防護区画、通常ウランが存在する最低部の高さ、臨界防止の処置方法を添説設 5-4. 1-1 表に示す。なお、堰(循環貯槽)については、溶液漏えい時の拡大防止設備のため、溢水による臨界防護対象外とする。

添説設 5-4. 1-1 表 溢水による防護対象設備・機器及び臨界防止処置方法

設置場所	溢水防護区画番号	防護対象機器名	通常ウラン存在部高さ	臨界防止処置方法
工場棟転換工場 原料倉庫	1 溢水による水位 (100mm) *1	蒸発器(1)-A、(1)-B、(2)-A、(2)-B		③*2④
		UF ₆ シリンダ		③*2④
		コールドトラップ(1)、(2)		③④
		コールドトラップ(小)(1)、(2)		③④
		循環貯槽(1)、(2)		①③
工場棟転換工場 転換加工室	2 溢水による水位 (160mm) *1	熱交換器(循環貯槽)(1)、(2)		①③
		UO ₂ ブロータンク(1)、(2)		①③*2
		UO ₂ フィルタ(1)、(2)		①③
		UO ₂ バックアップフィルタ(1)、(2)		③④
		UO ₂ 受けホッパ(1)、(2)		①③
		粉碎機(1)、(2)		①③
		充填装置(1)、(2)		①③
工場棟転換工場 分光分析室 付属建物		同位体分析設備		②③
		不純物分析設備 (廃水タンクを除く)		②③
除染室・分析室 分析室		物性測定設備		②③
		試料回収ボックス		②③

*1：溢水防護区画及び溢水水位の設定については4次申請の添付説明書-建6を参照。

*2：ウランが存在する部位への水の浸入がないよう容器やケーシング等で覆う構造。

*3：UF₆防護カバー及びUF₆フードボックス内に設置することで溢水の影響がない設備・機器。

*4：複数設備のウラン存在部の最低高さ。

添説設 5-4. 1-1 表に示す臨界防止の処置方法①～④に係わる設計について以下に示す。

核的制限値を設定する設備・機器は、内部溢水に対し没水しない設計とする。(2-11)

臨界防止の観点から、核燃料物質を内包する設備・機器が、被水又は没水によって臨界とならない設計とする。(11-4)

➤ ①[12.1-設1]

形状寸法を管理する設備・機器である加水分解装置、循環貯槽、UO₂ブロータンクなどは、水の浸入を考慮し、最適減速度状態を想定した形状寸法を管理することで、被水又は没水による臨界の恐れがない設計とする。

➤ ②[12.1-設2]

転換工場の分光分析室及び付属建物除染室・分析室の分析室は、水の浸入を考慮し、最適減速度状態を想定したウラン質量を部屋全体で合算管理することで、被水又は没水による臨界の恐れがない設計とする。

➤ ③[12.1-設3]

核的制限値を設定する設備・機器は、内部溢水に対し没水しないようにウランが存在する部位を防護区画内で想定される溢水水位より高く設置するか、ウランが存在する部位への水の浸入がないよう容器やケーシング等で覆う設計とする。

なお、減速度で管理する設備・機器は、後述する臨界防止処置を講じることにより、被水又は没水による臨界の恐れはない。

減速度で管理する設備・機器については、火災時の消火水等が浸入しない対策を講じる。

(2-12)

ウランの減速度管理を適用する設備・機器は、ウランが被水しないよう設備・機器内（フードボックス、容器を含む）で取り扱う設計とし、没水による水の浸入を防止するため、空気取入れ口等の開口を水位より高くする設計とする。(11-12)

➤ ④[12.1-設5]

ウランの減速度管理を適用する蒸発器、コールドトラップ、コールドトラップ（小）、UO₂バックアップフィルタ、UF₆シリンダは、ウランが被水しないように、設備・機器内（フードボックス、容器を含む）で取り扱う設計とする。

なお、申請対象設備で空気取入れ口等の開口を有する減速度管理を適用する設備はない。

ウランを内包する設備・機器は、形状寸法又は質量を管理する設計でウランに水の浸入を考慮し最適減速状態を想定した設計とするか、ウランに水の浸入を想定しないウランの減速度を管理する設計とする。(11-11)

添付説明書一設1の[4.1-設1]に示す。

4. 1-2 火災の防止

溢水による電気火災の防止対象設備・機器、溢水防護区画、電気火災防止方法を添説設 5-4. 1-2 表に示す。

添説設 5-4. 1-2 表 溢水による電気火災防止対象設備・機器及び防止方法

設置場所	溢水防護区画番号	電気火災防止対象機器名 (機器のインターロック及び警報設備を含む)		電気火災防止方法
工場棟転換工場 原料倉庫	1 溢水による水位 (100mm) *	蒸発器(1)-A、(1)-B、(2)-A、(2)-B		⑤
		UF ₆ フードボックス		⑤
		UF ₆ 防護カバー		⑤
		コールドトラップ(1)、(2)		⑤
		コールドトラップ(小) (1)、(2)		⑤
		循環貯槽(1)、(2)		⑤
		堰(循環貯槽)		⑤
工場棟転換工場 転換加工室	2 溢水による水位 (160mm) *	粉砕機(1)、(2)		⑤
工場棟転換工場 分光分析室		充填装置(1)、(2)		⑤
		同位体分析設備	表面電離型質量分析装置(1)、(2)	⑤
付属建物 除染室・分析室 分析室		不純物分析設備	固体発光分光分析装置	⑤
			ICP 質量分析装置	⑤
			ICP 発光分光分析装置	⑤
			自動水素分析装置	⑤
			炭素・硫黄同時分析装置	⑤
			自動ハロゲン分析装置	⑤
			α線スペクトル分析装置	⑤
		廃水タンク	⑤	
		物性測定設備	比表面積測定装置	⑤
			嵩密度測定装置	⑤
			平均粒径測定装置	⑤

* 溢水防護区画及び溢水水位の設定については4次申請の添付説明書-建6を参照

添説設 5-4. 1-2 表に示す電気火災の防止方法に係わる設計⑤について以下に示す。

被水又は没水による設備・機器における電気火災の発生を防止する設計とする。(11-5)

被水による設備・機器の電気火災の発生を防止するため、配線用遮断器を設置する。
被水による設備・機器における電気火災の発生を防止するため、被水防止カバーを設置するか、配線用遮断器を設置する設計とする。(11-9)

使用電圧が高い幹線動力用ケーブルに接続する制御盤の設備高さについては、設備高さを没水許容高さより高くする設計とし、それ以外の制御盤は配線用遮断器を設置する設計とする。(11-16)

溢水防護区画に設置する電気を使用する設備・機器は、被水又は没水による電気火災の発生を防止するため、以下の設計としている。

➤ ⑤[12.1-設7]

水配管等の破断や消火水による被水及び没水が原因による、電気系統を有する設備・機器の短絡火災の発生を防止するため、溢水防護区画に設置する設備・機器の動作制御に使用する制御盤又は分電盤に、電気系統に異常な過電流が流れたときに電路を開放し電源供給を遮断する配線用遮断器を設置する。

4. 2 廃棄施設（気体廃棄設備(1)）の溢水による損傷防止

気体廃棄設備(1)を対象に、溢水による電気火災防止に対する設計について説明する。

被水又は没水による設備・機器における電気火災の発生を防止する設計とする。(11-5)

被水による設備・機器の電気火災の発生を防止するため、配線用遮断器を設置する。
被水による設備・機器における電気火災の発生を防止するため、被水防止カバーを設置するか、配線用遮断器を設置する設計とする。(11-9)

使用電圧が高い幹線動力用ケーブルに接続する制御盤の設備高さについては、設備高さを没水許容高さより高くする設計とし、それ以外の制御盤は配線用遮断器を設置する設計とする。(11-16)

電気を使用して動作制御している気体廃棄設備(1)のスクラバは、被水又は没水による電気火災の発生を防止するため、以下の設計としている。

➤ [12.1-設7]

溢水防護区画に設置する気体廃棄設備(1)スクラバの動作制御に使用する制御盤又は分電盤には、水配管等の破断や消火水による被水及び没水が原因による短絡火災の発生を防止するため、電気系統に異常な過電流が流れたときに電路を開放し電源供給を遮断する配線用遮断器を設置する。

4. 3 非常用ディーゼル発電機の溢水による損傷防止

非常用ディーゼル発電機を対象に、溢水による電気火災防止に対する設計について説明する。

被水又は没水による設備・機器における電気火災の発生を防止する設計とする。(11-5)

被水による設備・機器の電気火災の発生を防止するため、配線用遮断器を設置する。
被水による設備・機器における電気火災の発生を防止するため、被水防止カバーを設置するか、配線用遮断器を設置する設計とする。(11-9)

使用電圧が高い幹線動力用ケーブルに接続する制御盤の設備高さについては、設備高さを没水許容高さより高くする設計とし、それ以外の制御盤は配線用遮断器を設置する設計とする。(11-16)

非常用ディーゼル発電機は、屋外（管理区域外）の発電機室に設置されており、溢水防護区画対象外である。非常用ディーゼル発電機の冷却水が漏えいした場合も、建物構造的に閉じ込め機能を持たないため、発電機室内で水が滞留しないことから溢水によって没水することはない。

被水による非常用ディーゼル発電機における電気火災の発生を防止するため、以下の設計としている。

➤ [12.1-設7]

非常用ディーゼル発電機の制御盤には、水配管等の破断や消火水による被水が原因による、電気系統を有する設備・機器の短絡火災の発生を防止するため、電気系統に異常な過電流が流れたときに電路を開放し電源供給を遮断する配線用遮断器を設置する。

設備の閉じ込め機能及び廃棄施設に関する説明書

1. 概要

本資料は、「加工施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」第四条及び「加工施設の技術基準に関する規則」第十条に適合することが要求されている事項に対し、加工施設の安全性が損なわれることのないよう、放射性物質を限定された区域に閉じ込める対策を行うことを説明するものである。

2. 基本方針

放射性物質を限定された区域に閉じ込めるため、閉じ込めの機能に係る施設設計の基本方針を以下のとおりとする。

(1) 飛散又は漏えい防止及び拡大防止・影響緩和設計

ウランを収納する設備・機器は飛散又は漏えいのない設計とし、ウランを取り扱う設備・機器は、取り扱うウランの物理的・化学的性質に応じて耐食性を有する材料を用いるとともに空気中への飛散又は漏えいを防止する設計とする。

UF₆ガスを取り扱う設備は、万が一の漏えいに備えてフードボックスまたは蒸発器内に収納し、UF₆の漏えいを検知し、警報を発する設計とする。また、それに連動したインターロック機構により、自動的にウランの供給の停止や弁の閉止等を行う設計とする。

ウラン粉末を取り扱う設備・機器は飛散又は漏えいを起こさないように開口部のない構造とし、開口部を設ける場合はフードボックスを設置する。このフードボックスはその開口部風速を0.5m/秒以上を維持するか、その内部を室内に対して9.8Pa以上の負圧に維持する。また、加圧状態でウラン粉末を取り扱う設備は、万が一の漏えいに備え、局所排気系統に接続したフードボックスまたは配管カバーに収納する設計とする。なお、ウラン粉末の室内漏えい検知はエアスニファにより室内雰囲気を捕集し、放射能濃度を測定・監視すること、定期的に運転員が巡視点検することにより漏えいを早期に検知する。

(2) 第1種管理区域に関する設計

管理区域は、汚染の発生する恐れのない区域（第2種管理区域）と、汚染の発生する恐れのある区域（第1種管理区域）とに区分する。

第1種管理区域において、ウランを取り扱う工程の設備・機器のうち、ウランが設備・機器から空気中へ飛散する恐れがあるものについては、局所排気系統に接続することによりウランの空気中への飛散を防止する設計とする。

第1種管理区域は、無窓構造とするとともに、室内の圧力を外気に対して負圧に維持する設計とする。また、同区域の建物の内部の床及び人が触れる恐れがある壁は、表面をウランが浸透しにくく、除染が容易で、腐食しにくい樹脂系塗料等で仕上げる。

第1種管理区域の室内空気は、ウラン粉末が室内に漏えいした場合に備え、高性能エアフィルタ、排気ファン及びダクトから構成される室内排気系統により排気し、空気中のウランを除去する設計とする。なお、排気系統の一部については、高性能エアフィルタにより処理して部屋へ再循環給気を行う系統を設ける。ただし、作業環境中の空気中のウラン濃度に異常が発生した場合は、再循環給気を中止し、手動によりワンスルー方式に切り換えるように管理する。

第1種管理区域に係る建物の接続部に設けるエキスパンションジョイントは、建物外壁との接合部をシーリング等により漏えいの少ない設計とする。

給気ファンと排気ファンとの間にインターロック機構を設け、排気ファンが運転されない限り給気ファンが運転されない設計及び排気ファンが停止したときに給気ファンが停止する設計とする。

設計基準事故時において、公衆に対して著しい放射線被ばくを及ぼす恐れがないよう、事故に起因して環境に放出される放射性物質の量を低減させるため、局所排気系統及び室内排気系統には高性能エアフィルタを設置する。

設計基準事故として想定している閉じ込め機能の不全においても、第1種管理区域は、局所排気系統及び室内排気系統により負圧を維持する設計とするとともに、それらの系統に設置する高性能エアフィルタにより、環境に放出される放射性物質の量を低減させる設計とする。なお、UF₆の漏えいに対しては、上記のほか、スクラバによる処理を行い、二段の高性能エアフィルタ（後段は耐HF性）を通して排出する設計とする。また、局所排気系統については、外部電源が喪失した場合には非常用ディーゼル発電機による給電を行い、第1種管理区域の負圧維持ができる設計とする。

3. 対象設備

対象設備は、工場棟転換工場に設置する化学処理施設、核燃料物質の貯蔵施設、放射性廃棄物の廃棄施設及びその他の加工施設、附属建物 廃棄物管理棟に設置する放射性廃棄物の廃棄施設、附属建物 発電機室に設置するその他の加工施設及び附属建物 除染室・分析室に設置するその他の加工施設、附属建物 原料貯蔵所に設置する核燃料物質の貯蔵施設を対象とする。対象となる機器は添付説明書一設 1 付録 1 に示す。

4. 閉じ込めのための設計

本章に該当する適合性の対象は、以下となる。

◆ 加工施設の技術基準に関する規則第十条

3章に示す設備・機器には以下を含まない。

- ・ プルトニウム等を扱う設備

したがって、以下に示す「加工施設の技術基準に関する規則」第十条、第二十条のうち、破線で囲んだ部分の7項を適合性説明の対象とする。

(閉じ込めの機能)

第十条 安全機能を有する施設は、次に掲げるところにより、核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物（以下「核燃料物質等」という。）を限定された区域に閉じ込める機能を保持するように設置されたものでなければならない。

一 流体状の核燃料物質等を内包する容器又は管に核燃料物質等を含まない流体を導く管を接続する場合には、流体状の核燃料物質等が核燃料物質等を含まない流体を導く管に逆流するおそれがない構造であること。

二 六ふっ化ウランを取り扱う設備であって、六ふっ化ウランが著しく漏えいするおそれがあるものは、漏えいの拡大を適切に防止し得る構造であること。

三 プルトニウム及びその化合物並びにこれらの物質の一又は二以上を含む物質（以下この条において「プルトニウム等」という。）を取り扱うグローブボックスは、その内部を常時負圧状態に維持し得るものであり、かつ、給気口及び排気口を除き、密閉することができる構造であること。

四 液体状のプルトニウム等を取り扱うグローブボックスは、当該物質がグローブボックス外に漏えいするおそれがない構造であること。

五 密封されていない核燃料物質等を取り扱うフードは、その開口部の風速を適切に維持し得るものであること。

六 プルトニウム等を取り扱う室（保管廃棄する室を除く。）及び核燃料物質等による汚染の発生のおそれがある室は、その内部を負圧状態に維持し得るものであること。

七 液体状の核燃料物質等を取り扱う設備が設置される施設（液体状の核燃料物質等の漏えいが拡大するおそれがある部分に限る。）は、次に掲げるところによるものであること。

イ 施設内部の床面及び壁面は、液体状の核燃料物質等が漏えいし難いものであること。

ロ 液体状の核燃料物質等を取り扱う設備の周辺部又は施設外に通ずる出入口若しくはその周辺部には、液体状の核燃料物質等が施設外へ漏えいすることを防止するための堰が設置されていること。ただし、施設内部の床面が隣接する施設の床面又は地表面より低い場合であって、液体状の核燃料物質等が施設外へ漏えいするおそれがないときは、この限りでない。

ハ 工場等の外に排水を排出する排水路（湧水に係るものであって核燃料物質等により汚染するおそれがある管理区域内に開口部がないものを除く。）の上に施設の床面がないようにすること。ただし、当該排水路に核燃料物質等により汚染された排水を安全に廃棄する設備及び第十九条第二号に掲げる事項を計測する設備が設置されている場合は、この限りでない。

◆ 加工施設の技術基準に関する規則第二十条

(廃棄施設)

第二十条 放射性廃棄物を廃棄する設備（放射性廃棄物を保管廃棄する設備を除く。）は、次に掲げるところによるものでなければならない。

一 周辺監視区域の外の空気中及び周辺監視区域の境界における水中の放射性物質の濃度が、それぞれ原子力規制委員会の定める濃度限度以下になるように加工施設において発生する放射性廃棄物を廃棄する能力を有するものであること。

二 放射性廃棄物以外の廃棄物を廃棄する設備と区別して設置すること。ただし、放射性廃棄物以外の流体状の廃棄物を流体状の放射性廃棄物を廃棄する設備に導く場合において、流体状の放射性廃棄物が放射性廃棄物以外の流体状の廃棄物を取り扱う設備に逆流するおそれがないときは、この限りでない。

三 気体状の放射性廃棄物を廃棄する設備は、排気口以外の箇所において気体状の放射性廃棄物を排出することがないものであること。

四 気体状の放射性廃棄物を廃棄する設備にろ過装置を設ける場合にあつては、ろ過装置の機能が適切に維持し得るものであり、かつ、ろ過装置の核燃料物質等による汚染の除去又はろ過装置の取替えが容易な構造であること。

五 液体状の放射性廃棄物を廃棄する設備は、排水口以外の箇所において液体状の放射性廃棄物を排出することがないものであること。

◆ 事業許可の内容（4-1～4-33、11-1～11-21、12-1～12-4、14-1～14-8、15-1～15-3、17-1～17-13、22-1～22-11）

3章で示した設備を対象とすることから、事業許可の内容のうち該当する以下の項目を適合性説明の対象とする。

【UF₆を限定された区域に閉じ込める機能（4.1章）】（第十条2関連）

- ・ UF₆を収納する設備・機器の材料に関する事項（4-1）
- ・ UF₆を正圧で取り扱う設備・機器の集約設置に関する事項（4-2）
- ・ UF₆を加熱して取り扱う設備・機器の圧力／温度異常に関する事項（4-3、4-33）
- ・ UF₆の加水分解条件担保に関する事項（4-4）
- ・ UF₆の冷却捕集設備・機器の冷却不足に対する対処に関する事項（4-5）
- ・ 蒸発器に求める機能に関する事項（4-6、14-7、15-2、15-3）
- ・ UF₆の漏えい対処に関する事項（4-7、4-8、4-23、4-30、14-7、15-1、17-6、17-13、22-2）
- ・ 地震検知に対するUF₆の取扱いに関する事項（4-9、7-11、14-7）

- ・ UF₆配管切り替えに対する誤操作防止に関する事項 (12-4)

【粉末状のウランを限定された区域に閉じ込める機能 (4.2章)】(第十条5 関連)

- ・ 粉末状のウランを収納する設備・機器に関する事項 (4-10)
- ・ 非密封のウランを取り扱うフードボックス、粉末状のウランを取り扱う混合機、プレス、研削装置等に設けるフード等に関する事項 (4-12、4-23)
- ・ 粉末状のウランを加圧状態で取り扱う設備・機器に関する事項 (4-13)

【液体状のウランを限定された区域に閉じ込める機能 (4.3章)】(第十条1、7 関連)

- ・ 液体状のウラン及び放射性液体廃棄物を収納する設備・機器に関する事項 (4-15)
- ・ 槽上部開口部のオーバーフロー対策に関する事項 (4-16)
- ・ 液体状の放射性物質の施設外への漏えい防止に関する事項 (4-17)
- ・ UO₂F₂溶液を取り扱う設備・機器に必要な対策に関する事項 (4-19)
- ・ 第1種管理区域の境界から外部へ溢水が流入出しない対策に関する事項(11-2)

【ウランを限定された区域に閉じ込める機能 (4.4章)】(第十条全般関連)

- ・ 気体又は液体の放射性物質を内包する設備・機器の逆流による拡散防止に関する事項 (4-22)
- ・ 容器等の落下を防止することに関する事項 (4-32)

【第1種管理区域の閉じ込めに関わる機能 (4.5章)】(第十条6、第二十条1、4 関連)

- ・ 気体廃棄設備における給排気経路確保及び経路維持に関する事項 (4-25、4-29、17-1、17-3、17-4、17-13)
- ・ 外部電源喪失時の第1種管理区域の負圧維持に関する事項 (4-31)

4. 1. UF₆を限定された区域に閉じ込める機能（第十条2）

UF₆（ガス、固体）を収納する設備・機器は、UF₆に対し耐食性を有する材料を用い、耐圧・気密設計とする。（4-1）

今回の申請機器において、UF₆（ガス、固体）に対して耐腐食性を考慮する機器とその主要使用材料を添説設 6-1 表に示す。また、UF₆（ガス、固体）に対して耐腐食性を考慮する機器、UF₆（ガス、固体）の使用条件に対して耐圧・気密設計を考慮する機器を含む系統の概要を添説設 6-1 図に示す。

なお、以降の記述の中で、{ } 内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ [10.1-設 8]耐腐食性材料を使用する。

UF₆（ガス、固体）に対して耐腐食性を考慮する機器（添説設 6-1 図の赤色部：UF₆（ガス、固体）に直接接触する部位、閉じ込めを期待する 3 次境界部位）はその主要使用材料は UF₆ に対して耐腐食性を有する材料を使用するため、腐食により UF₆（ガス、固体）が漏えいする恐れはない。

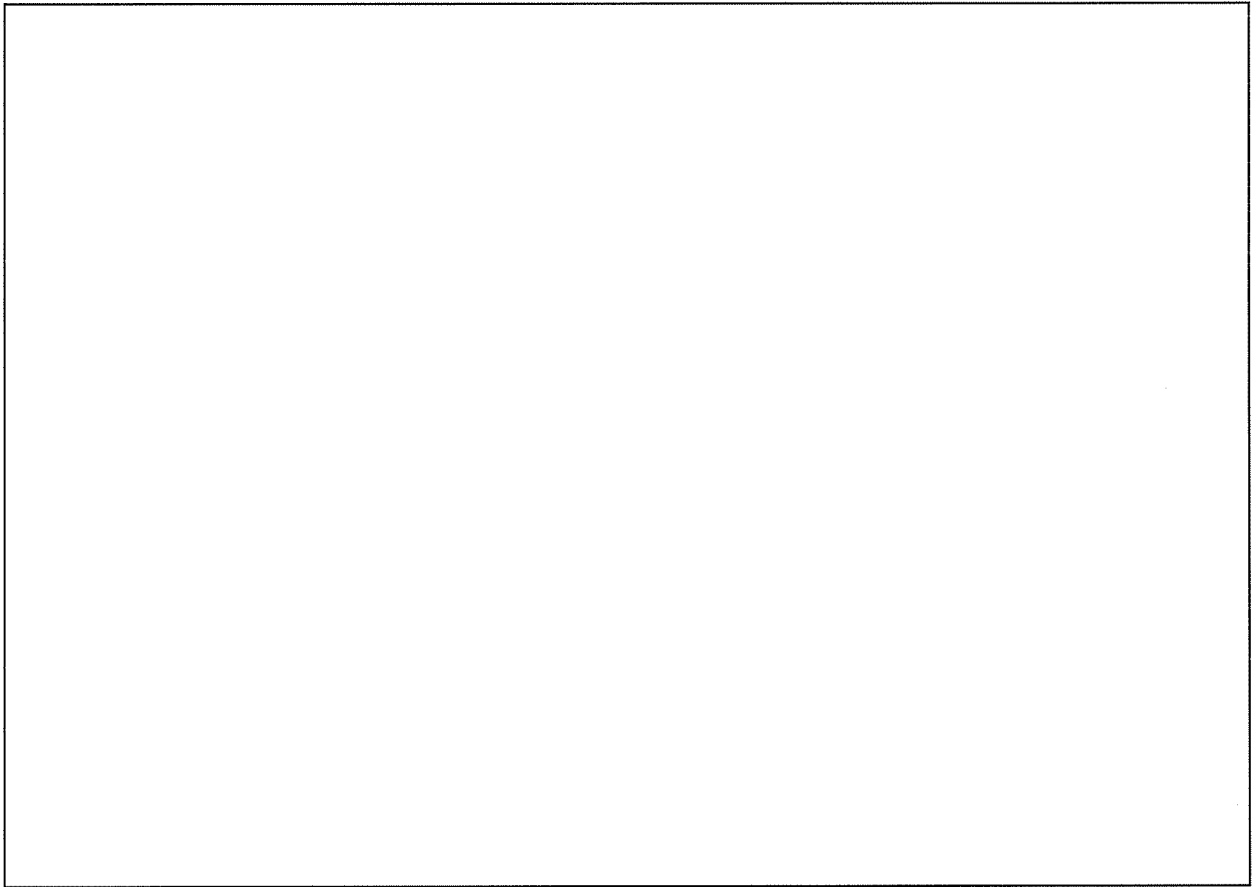
➤ [10.1-設 55] 使用条件に耐えうる耐圧強度を有する構造とする。

UF₆（ガス、固体）を収納する設備・機器（UF₆ シリンダ、コールドトラップ、コールドトラップ（小））は使用条件に対して耐圧強度を持つ構造とするため、破損により UF₆（ガス、固体）が漏えいする恐れはない。

添説設 6-1 表 UF₆ (ガス、固体) 耐腐食性を考慮する機器とその主要使用材料

施設区分	機器名		主要使用材料	備考		
化学処理 施設	蒸発器(1) -A	脱着式 UF ₆ 配管		{1}		
		UF ₆ 配管				
		窒素配管				
	蒸発器(1) -B	脱着式 UF ₆ 配管				
		UF ₆ 配管				
		窒素配管				
	蒸発器(2) -A	脱着式 UF ₆ 配管				
		UF ₆ 配管				
		窒素配管				
	蒸発器(2) -B	脱着式 UF ₆ 配管				
		UF ₆ 配管				
		窒素配管				
	UF ₆ 防護カバー					{11}
	コールドトラップ(1)	コールドトラップ本体				{14}
UF ₆ 配管						
窒素配管						
コールドトラップ(2)	コールドトラップ本体					
	UF ₆ 配管					
	窒素配管					
コールドトラップ (小) (1)	コールドトラップ本体		{17}			
	UF ₆ 配管					
	窒素配管					
	真空配管					
コールドトラップ (小) (2)	コールドトラップ本体					
	UF ₆ 配管					
	窒素配管					
	真空配管					
循環貯槽(1)	加水分解装置 (エジェクタ)		{21}			
循環貯槽(2)	加水分解装置 (エジェクタ)					
核燃料物質の 貯蔵施設	UF ₆ シリンダ			{2} {488} {492}		

※ : ANSI N14.1 で規定される 30B シリンダ



添説設 6-1 図 UF_6 (ガス、固体) に対して耐腐食性を考慮する機器

UF₆を正圧で取り扱う設備・機器は、より限定した区域に閉じ込めるため、工場棟転換工場原料倉庫に集約して設置する設計とする。(4-2)

今回の申請設備において、工場棟転換工場原料倉庫に集約して設置する機器を添説設6-2表に示す。添説設6-2表において下線部がUF₆を正圧で取り扱う機器である。

なお、備考欄で、{ }内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

- [10.1-設9]UF₆を正圧で取り扱う設備・機器は工場棟転換工場原料倉庫に集約設置する。
UF₆を正圧で取り扱う機器は工場棟転換工場原料倉庫に集約して設置する。具体的な機器配置は図イ配-1に示す。
UF₆フードボックス、UF₆防護カバーはUF₆を正圧で取り扱う機器には該当しない（UF₆を直接取り扱う機器ではない）が、UF₆を正圧で取り扱う蒸発器、コールドトラップ、コールドトラップ（小）におけるUF₆の漏えい拡大防止機器として、工場棟転換工場原料倉庫に集約して設置する。

添説設 6-2 表 工場棟転換工場原料倉庫に集約して設置する機器 (1/2)

施設区分	機器名		備考
化学処理施設	蒸発器(1)-A	蒸発器本体	{1}
		脱着式 UF ₆ 配管	
		UF ₆ 配管	
		窒素配管	
		UF ₆ シリンダ	
	蒸発器(1)-B	蒸発器本体	{1}
		脱着式 UF ₆ 配管	
		UF ₆ 配管	
		窒素配管	
		UF ₆ シリンダ	
	蒸発器(2)-A	蒸発器本体	{1}
		脱着式 UF ₆ 配管	
		UF ₆ 配管	
		窒素配管	
		UF ₆ シリンダ	
	蒸発器(2)-B	蒸発器本体	{1}
		脱着式 UF ₆ 配管	
		UF ₆ 配管	
		窒素配管	
		UF ₆ シリンダ	
コールドトラップ(1)	コールドトラップ本体部	{14}	
	UF ₆ 配管部		
	窒素配管		
コールドトラップ(2)	コールドトラップ本体部	{14}	
	UF ₆ 配管部		
	窒素配管		
コールドトラップ(小)(1)	コールドトラップ(小) 本体部	{17}	
	UF ₆ 配管部		
	窒素配管		
	真空配管		
コールドトラップ(小)(2)	コールドトラップ(小) 本体部	{17}	
	UF ₆ 配管部		
	窒素配管		
	真空配管		

添説設 6-2 表 工場棟転換工場原料倉庫に集約して設置する機器 (2/2)

施設区分	機器名		備考
化学処理施設	循環貯槽(1)	貯槽本体部	{22}
		ポンプ部	
		UO ₂ F ₂ 溶液配管	
		加水分解装置 (エジェクタ)	{21}
	循環貯槽(2)	貯槽本体部	{22}
		ポンプ部	
		UO ₂ F ₂ 溶液配管	
		加水分解装置 (エジェクタ)	{21}

注：下線部が UF₆ を正圧で取り扱う機器である。

UF ₆ を加熱して取り扱う設備・機器は、圧力異常／温度異常を検知した場合は、自動的にUF ₆ の供給を停止し、警報を発するとともに加熱を停止する設計とする。(4-3)
設備・機器の過加熱を防止する設計(可燃性ガスを取り扱う設備・機器以外)(4-33)

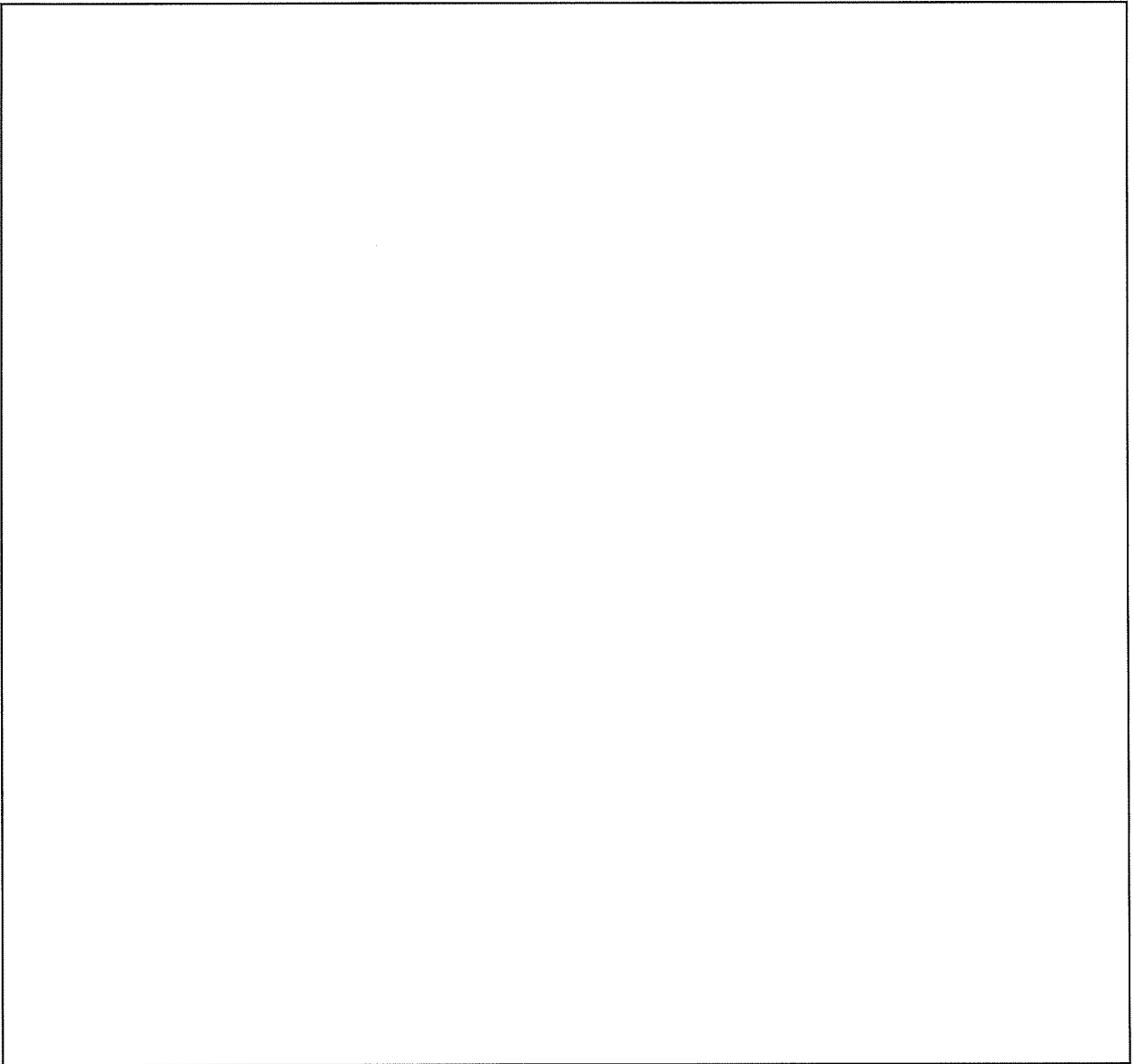
今回の申請設備において、UF₆を加熱して取り扱う機器を添説設6-3表に示す。また、圧力異常、温度異常に対する加熱停止の概要を添説設6-2図に示す。

なお、以降の記述及び表中で{ }内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

- [10.1-設6][18.2-設2]過加熱防止インターロック(熱的制限値)を設置する。 該当設備{3}
 - [10.1-設6][18.2-設2]温度高インターロック(温度)を設置する。 該当設備{15、18}
 - [10.1-設34][18.2-設7]圧力高インターロック(圧力)を設置する。 該当設備{4、16、19}
- UF₆を加熱する機器はUF₆加熱中に機器内の圧力異常、温度異常を検知した場合、速やかにその加熱を停止するインターロック(添説設6-2図中の赤色部)を設置する。
 設置するインターロックの設定値に関する必要根拠は添付説明書-設6付録1に示すとおりである。

添説設6-3表 UF₆を加熱して取り扱う機器とその警報設定必要値

施設区分	機器名	警報設定必要値		備考
化学処理施設	蒸発器(1)-A、(1)-B、(2)-A、(2)-B	温度	121℃以下	{3}
		圧力	0.58MPaG以下	{4}
	コールドトラップ(1)、(2)	温度	225℃以下	{15}
		圧力	0.98MPaG以下	{16}
	コールドトラップ(小)(1)、(2)	温度	225℃以下	{18}
		圧力	0.98MPaG以下	{19}



添説設 6-2 図 UF_6 を加熱して取り扱う機器における圧力異常／温度異常に対する加熱停止概要

UF₆ガスを加水分解する設備・機器は、未反応のUF₆ガスが後段に流出することを防止するため、水とUF₆ガスの反応のために十分な水を供給できる設計とする。(4-4)

今回の申請設備において、UF₆ガスを加水分解する機器は循環貯槽と加水分解装置（エジェクタ）である。また、循環貯槽と加水分解装置（エジェクタ）においてUF₆ガスと水との反応に十分な水量を担保するシステムの概要を添説設6-3図に示す。

なお、以降の記述の中で、{ }内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ [10.1-設10][18.2-設4]UF₆の供給停止インターロック（ポンプ作動）を設置する。

➤ [10.1-設10][18.2-設4]UF₆の供給停止インターロック（液位）を設置する。

該当設備{25}

① 加水分解装置（エジェクタ）において、未反応のUF₆ガスが後段に流出することを防止するため、供給するUF₆ガス量（約710gU/min）に対し、加水分解反応に必要な循環水量（0.2L/min以上）が得られることを循環ポンプの作動状態（定格流量）で確保する。

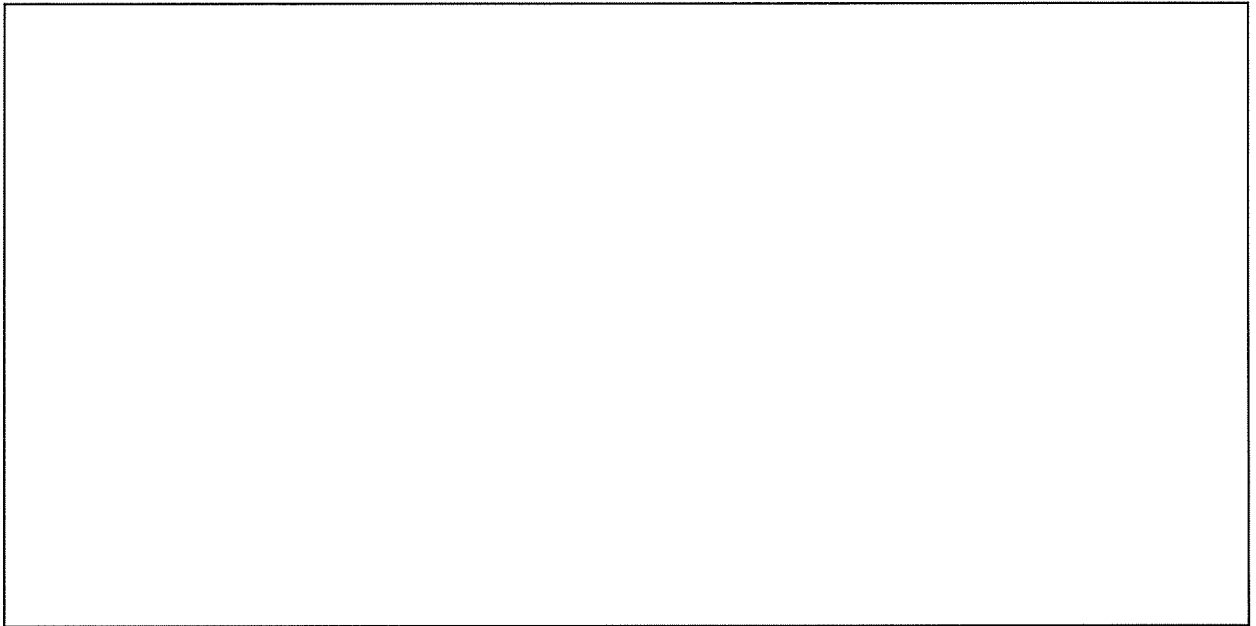
この循環ポンプが停止した場合は、加水分解装置（エジェクタ）へのUF₆ガス供給を停止するインターロックを設置する。このインターロックにより加水分解装置（エジェクタ）での未反応UF₆ガス生成を防止する。

設置するインターロックの設定値に関する必要根拠は添付説明書-設6付録2に示すとおりである。

該当設備{27}

② 供給するUF₆ガスを常に加水分解反応用の水と接触させるため、循環貯槽内の液位は加水分解装置（エジェクタ）からの接続位置より上位に維持（循環貯槽底部フランジより250mm以上の位置に液位を維持）するように循環貯槽の液位低検出位置を設定する。

循環貯槽内の液位低を検出した場合は加水分解装置（エジェクタ）へのUF₆ガス供給を停止するインターロックを設置する。このインターロックにより循環貯槽内での未反応UF₆ガス生成を防止する。



添説設 6-3 図 UF_6 ガスと水との反応に十分な水量担保の概要

UF₆を冷却して捕集する設備・機器では、冷却不足によりUF₆ガスを固化できないことによるUF₆ガスの漏えいを防止するため、冷却不足を検知した場合に真空配管系統の弁を自動閉止するインターロック機構を設置する設計とする。(4-5)

今回の申請設備において、UF₆を冷却捕集する系統の概要(図中の青色部)とUF₆ガスを固化する冷却不足を検知する系統の概要(図中の赤色部)を添説設6-4図に示す。

なお、以降の記述の中で、{ }内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

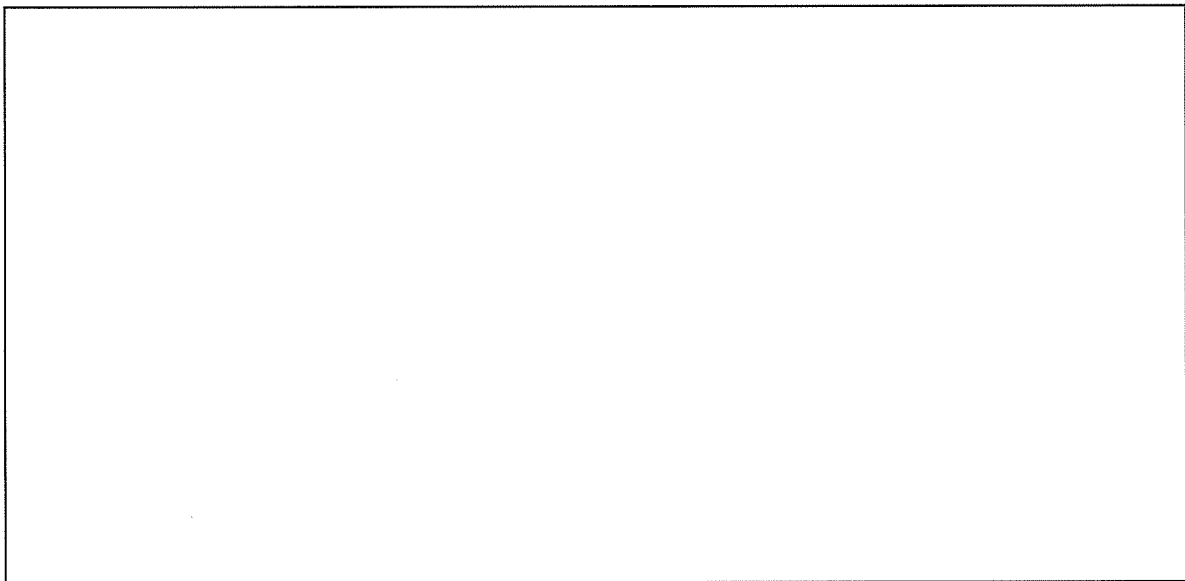
➤ [10.1-設11][18.2-設8]UF₆の捕集停止インターロック(温度)を設置する。

該当設備{20}

コールドトラップ(小)の冷却不足によりUF₆ガスが固化せず、真空配管系統に漏えいするのを防止するため、コールドトラップ(小)内の雰囲気温度低(4℃以下)でなければ、コールドトラップ(小)と真空配管系統を接続する配管上の弁を閉とするインターロックを設置する。

なお、コールドトラップを排気(真空引き)する場合はコールドトラップ(小)を経由して排気(真空引き)するため、コールドトラップの冷却不足によりUF₆ガスが固化せず、真空配管系統に漏えいすることはない。

設置するインターロックの設定値に関する必要根拠は添付説明書一設6付録3に示すとおりである。



添説設6-4図 UF₆ガスを固化するための冷却不足を防止する概要

<p>UF₆ シリンダを収納する蒸発器は、閉じ込めに関し、異常の発生防止機能を有する 2 次バウンダリとして耐圧・気密設計とし、蒸発器のドレン排出系統に UF₆ の漏えい検知設備を設け、漏えい検知時に自動的にドレン排出弁を閉止する設計とする。また、過加熱による UF₆ シリンダの損傷による UF₆ の漏えいを防止するため、熱的制限値を設定し、これを超えることのないようインターロック機構を設置する設計とする。(4-6)</p>
<p>インターロック機構は、損傷時の影響度に応じて、多重性又は多様性、耐震性による高い信頼性を確保する設計とする。</p> <p>UF₆ 漏えい検知、地震検知により動作するインターロック機構については、独立二系統とし、水素ガス漏えい検知により動作するインターロック機構については、複数の検出端を設置する設計とする。(14-7)</p>
<p>UF₆ シリンダ及び脱着式 UF₆ 配管は、労働安全衛生法に基づく第 1 種圧力容器である蒸発器内に収納されており、蒸発器内で UF₆ が漏えいした場合は、漏えいを検知し、加熱蒸気供給弁及びドレン排出弁を自動で停止する。(15-2)</p>
<p>コールドトラップ等は第 1 種圧力容器として設計・管理することに加え、容器と遮断弁までの配管部分を強化する。(15-3)</p>

今回の申請設備において該当する機器は蒸発器、コールドトラップ及びコールドトラップ (小) である。

なお、以降の記述の中で、{ } 内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ [10.1-設 12] 第 1 種圧力容器とする。

該当設備 {1, 14, 17}

UF₆ シリンダを収納する蒸発器は、UF₆ の閉じ込めに対する異常の発生防止機能 (2 次バウンダリ) として第 1 種圧力容器とする。

同じく UF₆ を収納するコールドトラップ及びコールドトラップ (小) も第 1 種圧力容器とする。また、コールドトラップ及びコールドトラップ (小) から遮断弁までの配管を添設設 6-5 図に示す。これらの配管は以下の考え方により強化する。

コールドトラップは第 1 種圧力容器であり、安全弁の設置が必要である。また、構造的な制約から安全弁とコールドトラップの間に遮断弁を設置することができないため、コールドトラップの管台に遮断弁の直付けができない。

このような条件があるため、コールドトラップの管台から遮断弁及び安全弁までの範囲 (現状図の点線範囲) をコールドトラップの管台と同じ仕様とし、以下の対策を図る。

- ① 配管径をコールドトラップ管台と同じ仕様とする (管台に合わせて太くする。) ことで剛性を高める。
- ② 配管の継手部は溶接化し一体とすることで、漏えいに対する信頼性を向上させる。
- ③ 管台から遮断弁と安全弁までの配管は短くし、配管サポートはコールドトラップと同じ架台から取ることにより、地震時はコールドトラップと一体として揺れる構造とすることで、耐震性を向上させる。



添説設 6-5 図 コールドトラップ遮断弁取り付け部までの強化の概要

次に蒸発器からの UF₆ の漏えいを防止するために設置するインターロックの概要を添説設 6-6 図に示す。

- [10.1-設 13][18.2-設 3]UF₆漏えいを検知するインターロック（電導度）を設置する。

該当設備 {5}

- ④ UF₆ シリンダを収納する蒸発器から発生するドレン水の排出ラインには、UF₆ の漏えいを検知する漏えい検知器を設置し、これが検知時（通常、ドレン水の電導度は電導度 200 μS/cm 以下）は自動的にドレン排出弁を閉止し、蒸発器の加熱も停止するインターロックを設置する。

設置するインターロックの設定値に関する根拠は添付説明書一設 6 付録 4 に示すとおりである。

このインターロックは独立二系統（検出部、回路、動作部とも 2 系統）で設置する。

- [10.1-設 6][18.2-設 2]過加熱防止インターロック（温度）を設置する。

該当設備 {3}

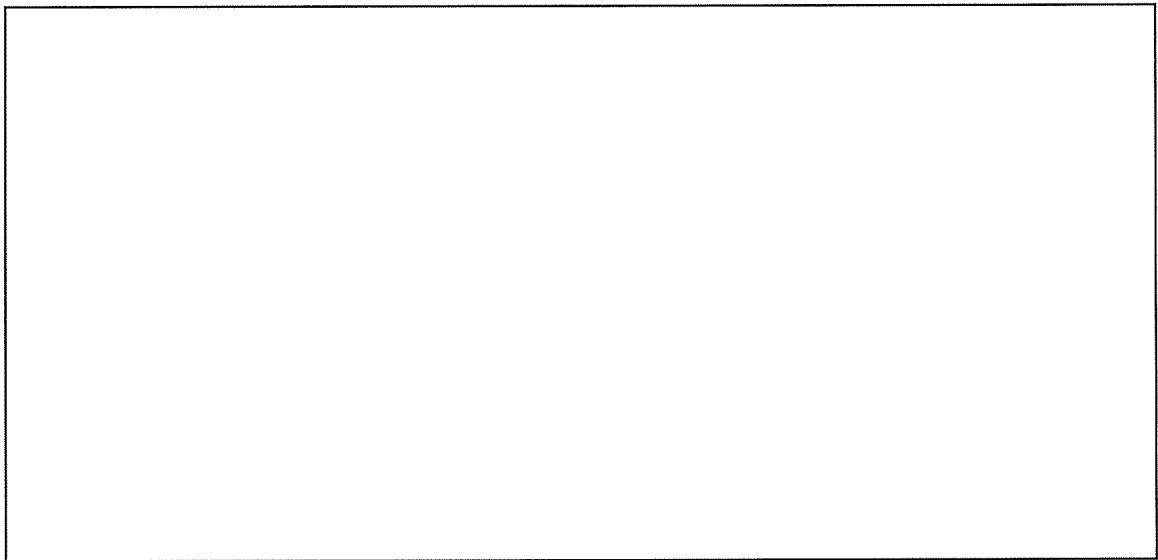
- ⑤ UF₆ シリンダを収納する蒸発器は、過加熱により UF₆ シリンダが損傷し、UF₆ が漏えいすることを防止するため、熱的制限値（121℃以下）を設定し、これを担保するインターロックを設置する。

設置するインターロックの設定値に関する根拠は添付説明書一設 6 付録 1 に示すとおりである。

- [10.1-設 15] UF₆ シリンダ及び脱着式 UF₆ 配管は蒸発器内に設置する。

該当設備 {1、2}

UF₆ガスを取り扱うUF₆シリンダ及び脱着式UF₆配管は、UF₆ガス漏えい時の拡大を防止するため、第1種圧力容器である蒸発器内に設置する。



添説設 6-6 図 蒸発器内のUF₆漏えい検知及びUF₆シリンダの過加熱による損傷防止の概要

<p>UF₆漏えいの拡大防止のため、フードボックス内にUF₆漏えい検知設備を設置し、漏えい検知時に自動的にUF₆の供給を停止するとともに、UF₆シリンダの加熱を停止する設計とする。また、影響緩和のため、UF₆の漏えい検知に伴い局所排気系統を切替え、ガス溜めバッファ機能を有するフードボックスを経由して、排気中のUF₆をスクラバにより処理を行うインターロック機構を設置する設計とする。なお、ガス溜めバッファ部はインターロックが作動するまでの時間に漏えいするUF₆ガスを貯留できる容量を持つ設計とする。</p> <p>UF₆シリンダ以外のUF₆ガスを取り扱う設備・機器は、閉じ込めに関し事故の拡大防止機能を有する2次バウンダリであるフードボックス内に設置する設計とする。フードボックスは負圧維持のため局所排気系に接続するとともに排気系統にはUF₆の漏えい検知設備を設置し、漏えいの検知時に自動的に警報を発生し、UF₆の供給を停止するとともに、加熱を停止するインターロック機構を設置する設計とする。さらに、建物外へのUF₆の漏えいによる影響を緩和するため、UF₆の漏えい検知に伴い排気系統を切替え、フードボックス内のガス溜めバッファを経由して、排気中のUF₆をスクラバにより処理してから二段の高性能エアフィルタ（後段は耐HF性）を通して排出する設計とする。なお、ガス溜めバッファはインターロックが作動するまでの時間に漏えいするUF₆ガスを貯留できる容量を持つ設計とする。（4-7）</p>
<p>蒸発器又はフードボックスからの室内への漏えいの拡大防止及び影響緩和のため、UF₆を正圧で取り扱う設備・機器をUF₆に対して耐食性がある材料を用いた防護カバーで覆うとともに、カバー内部及び原料倉庫室内に警報音発報機能及びバッテリーを備えたUF₆漏えい警報設備を設置する設計とする。</p> <p>UF₆ガスの閉じ込め性を強化するために、2次バウンダリである蒸発器、フードボックスの外側に3次バウンダリとしての防護カバーを設け、防護カバーの内側及び外側にUF₆の漏えい検知設備を設ける設計とする。（4-8）</p>
<p>第1種管理区域において、ウランを取り扱う工程の設備・機器のうち、ウランが設備・機器から空気中へ飛散するおそれがあるものについては、局所排気系統に接続することによりウランの空気中への飛散を防止する設計とする。（4-23）</p>
<p>UF₆の漏えいに対しては、スクラバによる処理を行い、二段の高性能エアフィルタ（後段は耐HF性）を通して排出する設計とする。（4-30）</p>
<p>インターロック機構は、損傷時の影響度に応じて、多重性又は多様性、耐震性による高い信頼性を確保する設計とする。</p> <p>UF₆漏えい検知、地震検知により動作するインターロック機構については、独立二系統とし、水素ガス漏えい検知により動作するインターロック機構については、複数の検出端を設置する設計とする。（14-7）</p>
<p>UF₆の漏えいの検知に伴う遮断弁の閉止までの40秒間の漏えいとした。</p> <p>漏えい検知してから遮断弁閉止までの40秒間の漏えいを仮定</p> <p>（15-1）</p>

（次ページに続く）

(前ページの続き)

HF を含む気体廃棄物が高性能エアフィルタの性能に影響を与える事故時にはスクラバにより処理してから2段の高性能エアフィルタ（後段は耐HF性）により処理して排出する設計とする。(17-6)
気体廃棄物の廃棄設備は、第1種管理区域で発生する気体廃棄物を処理することが十分に可能な能力を有するものとする。(17-13)
それら*による情報把握ができなかった場合に備えて、事故の状況を推定するために有効な情報把握ができるよう原料倉庫内のUF ₆ 漏えい検知設備による監視を成型工場一時退避場所及び転換工場の外においても可能とする。(22-2) (※) 転換工場の監視設備や放射線業務従事者（実施組織に所属）の巡視点検により事故事象の状況を常に把握する。(人的対応)

今回の申請設備において該当する機器はUF₆を取り扱う機器や配管を収納するフードボックスである。UF₆を取り扱う機器や配管を収納するフードボックス、その排気系統との配置概要を添説設6-7図に示す。また、UF₆の漏えい事象を検知するインターロックの概要を添説設6-8図に示す。

なお、以降の記述の中で、{ } 内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。また、丸囲み数値は添説設6-8図中の該当部を示す。

- [10.1-設15]UF₆を取り扱う設備・機器はフードボックス内に設置する。
- [10.1-設3]開口部は風速0.5m/秒以上を維持する。
- [10.1-設4]排気は局所排気系統に接続する。

該当設備{8}

- ① UF₆シリンダ以外のUF₆ガスを取り扱う機器及び配管（添説設6-7図中の赤色太線部）はUF₆ガス漏えい時の拡大を防止するため、局所排気系統に接続したフードボックス（添説設6-7図中の青色2点鎖線部）内に設置し、その開口部は風速0.5m/秒以上に維持する。

- [10.1-設16]UF₆の漏えい拡大遅延用ガス溜めバッファを設置する。

該当設備{8}

- ② ガス溜めバッファ部は、フードボックス排気風量とインターロックの動作時間を考慮し、フードボックスの排気先を切り替えるインターロックが作動するまでの間に漏えいするUF₆ガスを含む排気を貯留できる容量*とする。（添説設6-7図中の水色2点鎖線部）

* ガス溜めバッファ容量及び選定材料の考え方：

フードボックス排気風量（60m³/min）、UF₆漏えい検知（HF検知）からフードボックス排気経路の切替までの作動時間（40秒）を考慮して、フードボックス内のガス溜めバッファ容量は□m³に設定する。また、漏えいしたUF₆と空気中の水分との反応による到達温度（85℃）を考慮して、ガス溜めバッファ部は□ライニングとする。

- [10.1-設17][20.1-設76]UF₆の漏えいに対して、排気中のUF₆を処理するスクラバ（循環ポンプと排風機は独立二系統）と高性能エアフィルタ2段（2段目は耐HF性）を局所排気系統に設置する。

該当設備 {618、623}

③ UF₆の漏えいに対してスクラバと高性能エアフィルタ 2 段（2 段目は耐 HF 性）を有する排気経路を確保して排出する。高性能エアフィルタ 2 段（2 段目は耐 HF 性）は次回以降申請する（添説設 6-8 図参照）。

スクラバの捕集効率については、添付説明書一設 6 付録 5 に示す。

➤ [20.1-設 75]耐腐食性材料を使用する。

UF₆フードボックス内に漏えいした UF₆ガスを捕集するスクラバについても、スクラバの接液部は接触する液体の腐食性を考慮し、主要使用材料は UF₆に対して耐腐食性を有する材料を使用する。このため、腐食によりスクラバの UF₆捕集機能が損なわれる恐れはない。

スクラバの接液部の主要使用材料を添説設 6-4 表に示す。

添説設 6-4 表 スクラバ接液部の主要使用材料

施設区分	設備名称	機器名		接液部使用主材料	備考
放射性廃棄物の廃棄施設	気体廃棄物の廃棄設備	スクラバ (原料倉庫局所排気系統)	スクラバ		{618}

➤ [10.1-設 50][20.1-設 84]排気中の UF₆を処理するスクラバは非常用ディーゼル発電機に接続する。

該当設備 {618、888}

④ 排気中の UF₆を処理するスクラバは外部電源喪失時にもその機能を維持できるように循環ポンプと排風機（独立二系統）を非常用ディーゼル発電機に接続する。

非常用ディーゼル発電機において、スクラバの循環ポンプ及び排風機起動に必要な電源負荷の確保状況は資料 21 設 非常用電源設備に示す。

なお、気体廃棄設備の高性能エアフィルタ 2 段（2 段目は耐 HF 性）下流側に位置する排気ファンも外部電源喪失時にその機能を維持できるように非常用ディーゼル発電機から給電する。当該排気ファンは次回以降申請する。

➤ [10.1-設 18]防護カバーを設置する。

該当設備 {11}

⑤ 蒸発器又はフードボックスから室内への漏えいの拡大防止及び影響緩和のため、UF₆を正圧で取り扱う機器及び配管（添説設 6-7 図中の赤色太線部）は、UF₆に対して耐腐食性がある材料（添説設 6-1 表に示す）を用いた防護カバーで覆う。（添説設 6-7 図中の緑色 1 点鎖線部）

➤ [10.1-設 13][18.2-設 3]UF₆漏えいを検知するインターロック（HF 濃度）を設置する。

➤ [10.1-設 44][20.1-設 77]UF₆漏えい時に排気経路を切り替える（独立二系統）。

該当設備 {9、619}

⑥ UF₆を取り扱う機器や配管を収納するフードボックス内には、UF₆漏えい検知設備を設置し、UF₆と空気中の水分が反応して発生するHFを検知（3ppm以上）時には40秒以内でUF₆の供給を停止するとともに、UF₆シリンダの加熱を停止する。また、フードボックスの排気経路は切替ダンパによりスクラバを経由した排気経路に切り替える。

このインターロックは独立二系統（検出部、回路、動作部とも2系統）で設置する。（添説設6-8図中の赤色点線部及び紫色点線部）

設置するインターロックの設定値に関する根拠は添付説明書一設6付録4に示すとおりである。

➤ [10.1-設19][18.1-設1]UF₆漏えい警報設備（バッテリー付）を設置する。

該当設備{10、12、13}

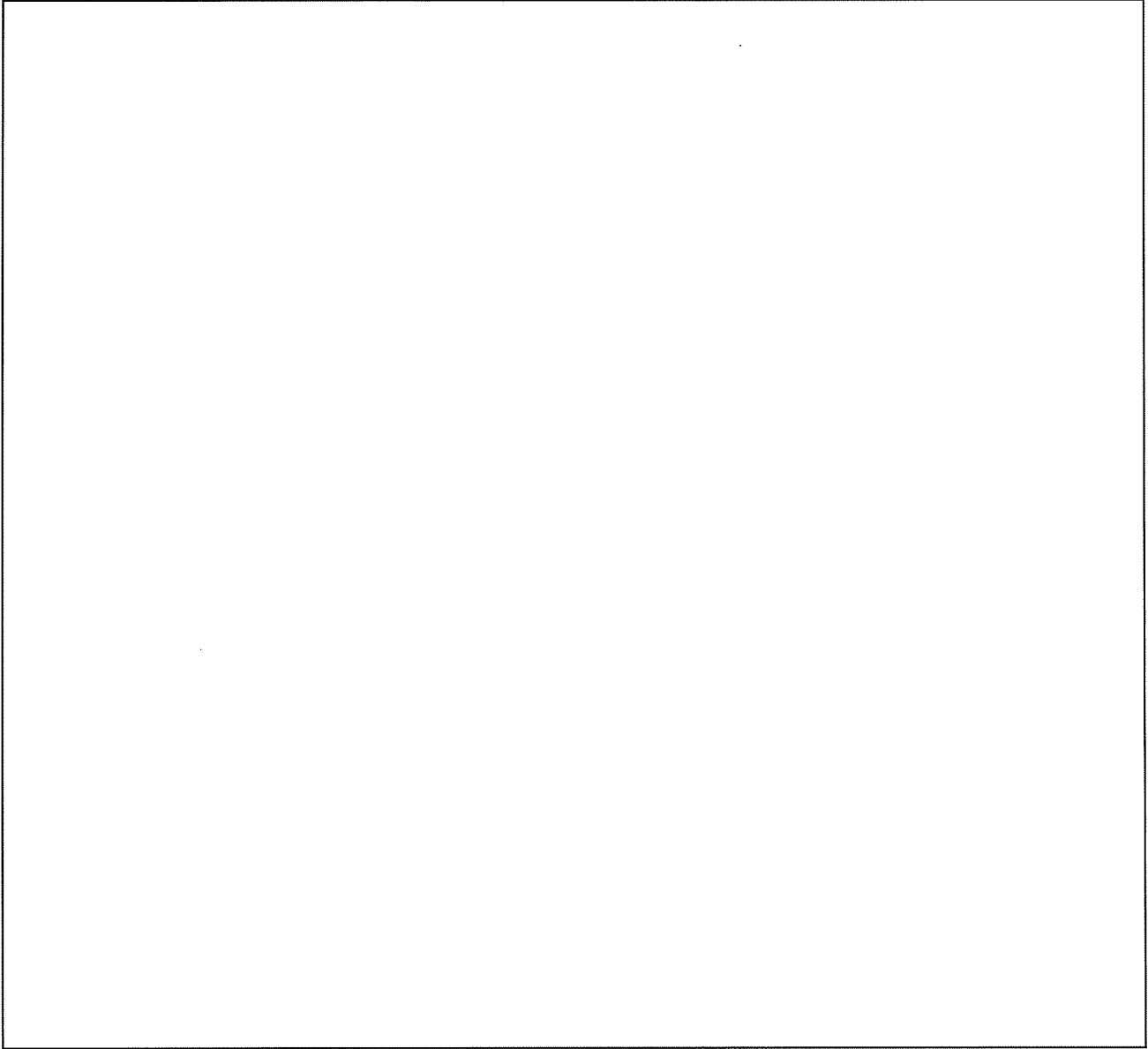
⑦ フードボックス内部、防護カバー内部及び原料倉庫室内には警報音発報機能及びバッテリーを備えたUF₆漏えい検知器を1個ずつ設置し、成型工場一時退避場所及び転換工場の外で監視可能とする。

バッテリーを備えたUF₆漏えい警報設備検知器の設置場所と、表示器の設置場所を添説設6-9図に示す。UF₆漏えい警報設備検知器と表示器を添説設6-10図に示す。

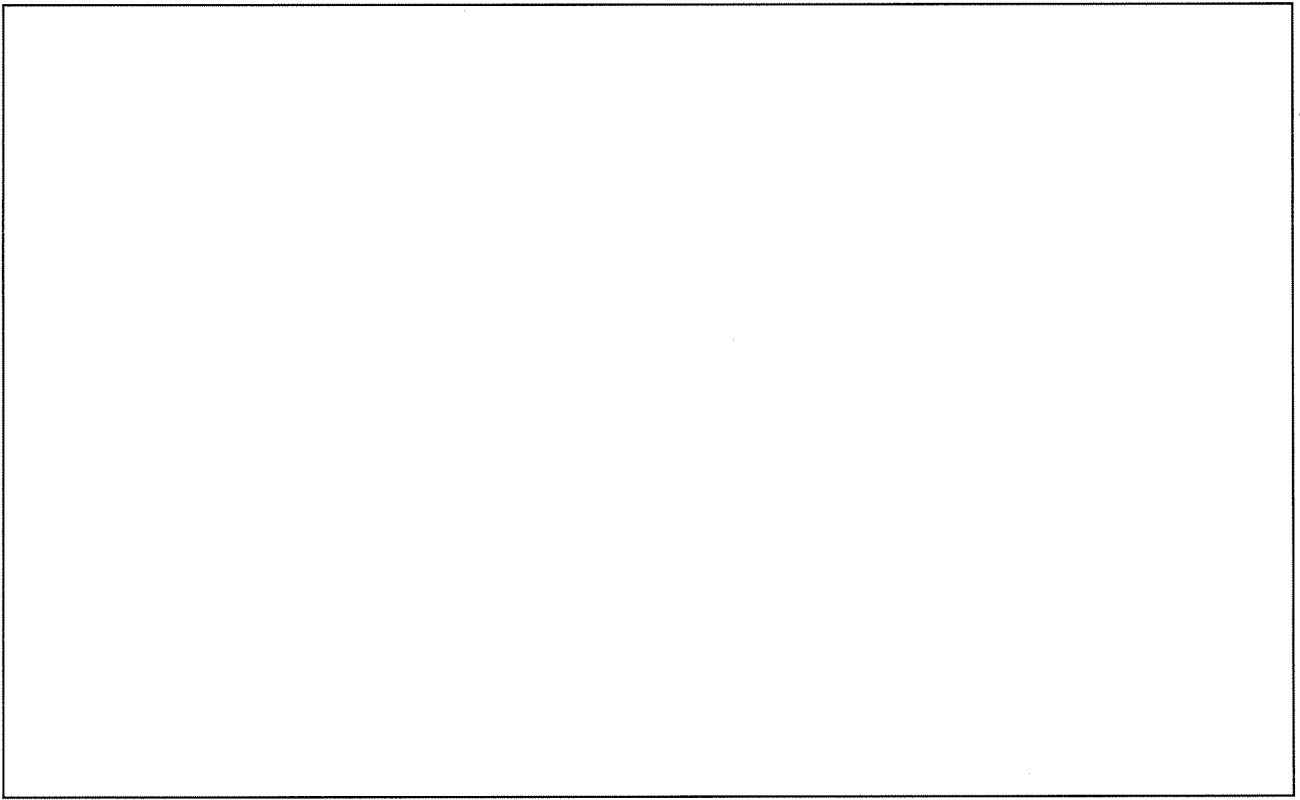
本検知器は、検知器同士を無線または有線で接続することにより、接続した検知器の測定値を別の検知器で表示することが可能である。



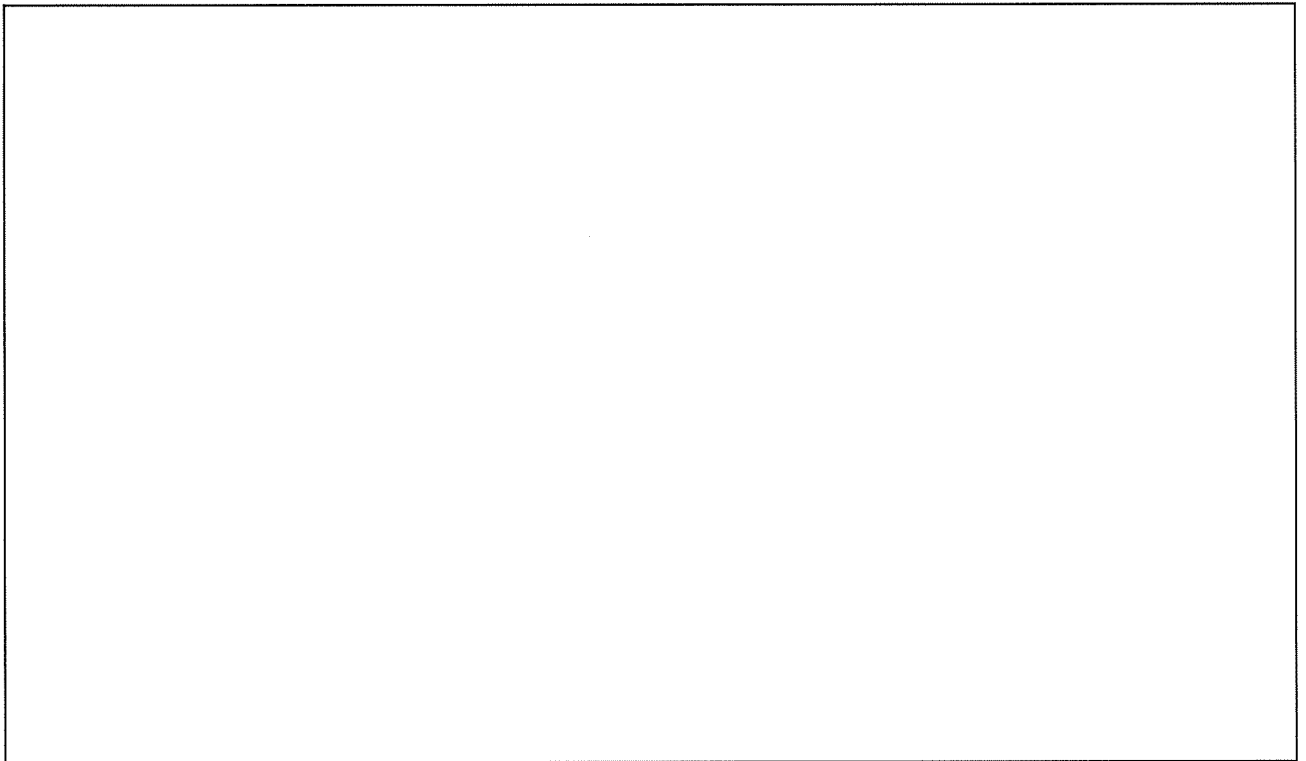
添説設 6-7 図 UF₆を取り扱う機器や配管とそれを収納するフードボックスとその排気系統概要



添説設 6-8 図 UF₆漏えいに関連するインターロックと警報の概要



添説設 6-9 図 UF₆漏えい警報設備検出器、表示器設置場所



添説設 6-10 図 UF₆漏えい警報設備検出器兼表示器の概要

<p>UF₆を正圧で取り扱う設備・機器は、耐震重要度分類第1類に求められる地震力を超えない程度の地震加速度(0.15G)を検知した時点で、遮断弁を自動閉止することにより、UF₆ガスの供給を停止する設計とする。(4-9)</p>
<p>六ふっ化ウランを正圧で取り扱う設備は、耐震重要度分類第1類とし、水平地震力1.0Gで弾性範囲の設計とする。</p> <p>耐震重要度 第1類</p> <p>UF₆ガス取扱設備(大きな地震時に閉じ込めを期待する設備)及び著しく大きな地震力が作用する前に大きな地震を検知した場合に作動を期待するインターロック機構(7-11)</p>
<p>インターロック機構は、損傷時の影響度に応じて、多重性又は多様性、耐震性による高い信頼性を確保する設計とする。</p> <p>UF₆漏えい検知、地震検知により動作するインターロック機構については、独立二系統とし、水素ガス漏えい検知により動作するインターロック機構については、複数の検出端を設置する設計とする。(14-7)</p>

今回の申請設備において該当する機器は蒸発器、コールドトラップ及びコールドトラップ(小)である。これらの機器に設置する地震加速度(0.15G)を検知した時点で遮断弁を自動閉止するインターロックの概要を添説設6-11図に示す。

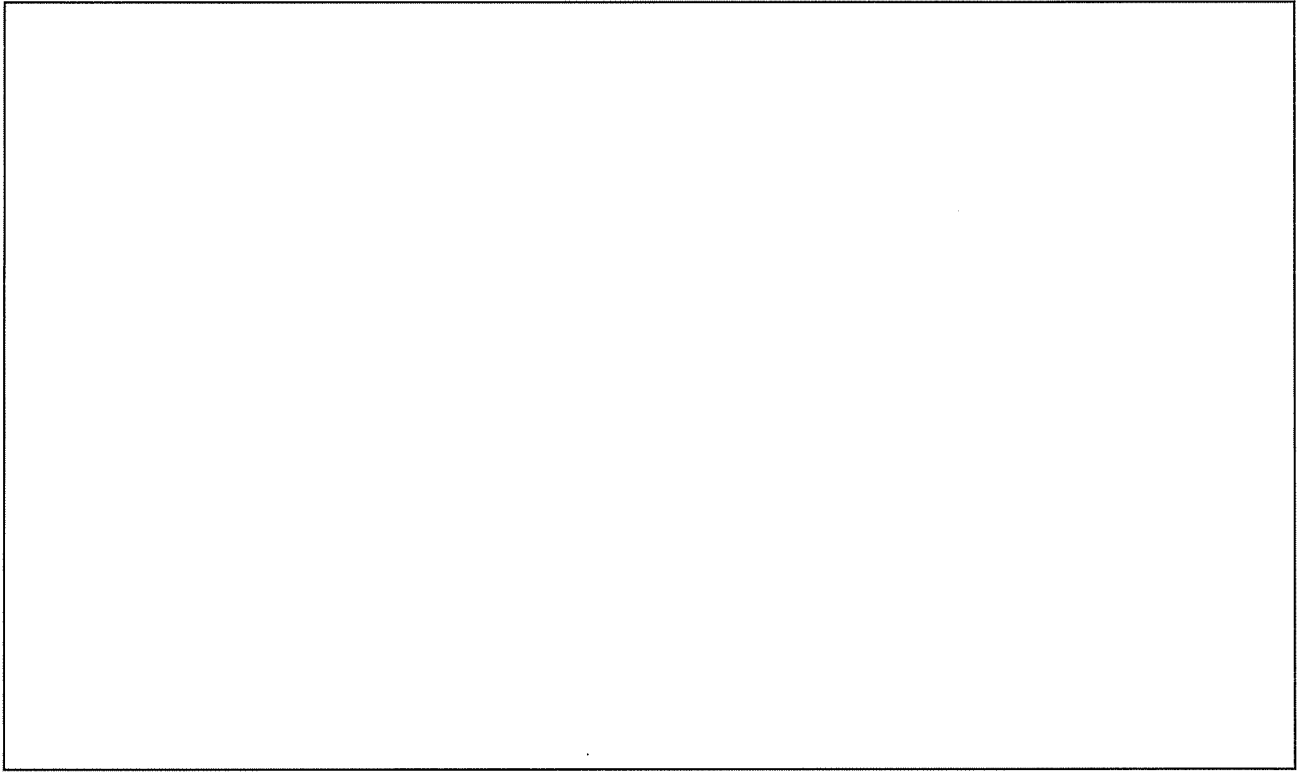
なお、以降の記述の中で、{ }内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

- [10.1-設10][18.2-設4]UF₆の供給停止インターロック(地震加速度)を設置する(独立二系統)。
- [10.1-設45]地震インターロックに連動し、防護カバー給気口及びフードボックス排気口を閉鎖する(独立二系統)。
- [18.2-設5]防護カバーの給排気口及びフードボックス排気口を閉鎖する地震インターロック(地震加速度0.15G以下)を設置する(独立二系統)。

該当設備{1、6、14、17、620、621}

蒸発器、コールドトラップ及びコールドトラップ(小)が設置される部屋には地震計を設置し、この地震計が異常な地震加速度(0.15G)を検知した時点でUF₆の移送を停止するとともに、蒸発器の加熱用蒸気ライン及びドレン排出ラインを閉止、コールドトラップ及びコールドトラップ(小)の加熱用ヒータ切、フードボックスの排気ラインを閉止及び防護カバーの給気ラインを閉止するインターロック(添説設6-11図中の赤線及び青線部)を設置する。

このインターロックは独立二系統(検出部、回路、動作部とも2系統)で設置する。



添説設 6-11 図 地震計による UF_6 ガス供給停止等に関わるインターロックの概要

UF₆配管の弁を自動閉止するインターロック機構を設置する設計とする。(12-4)

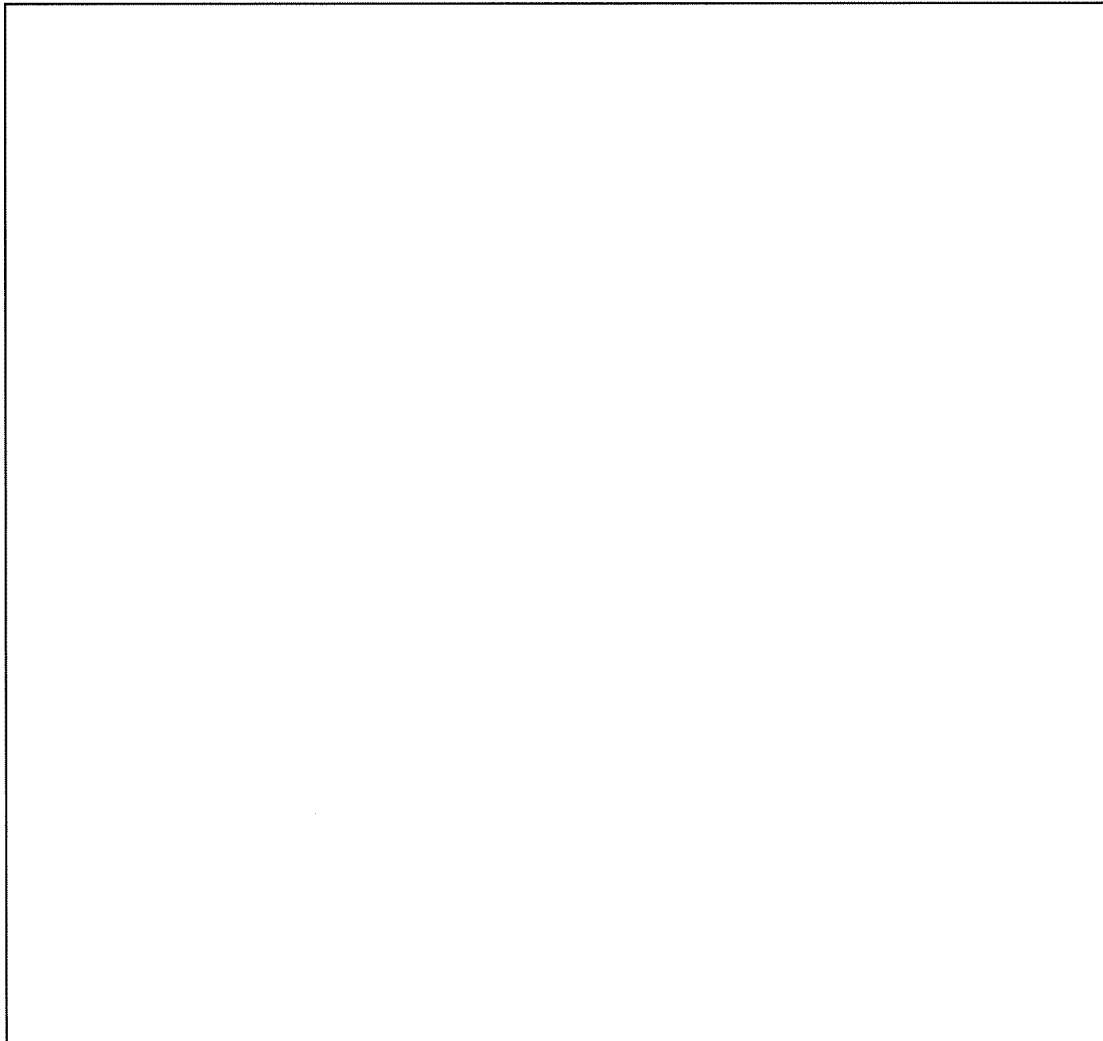
今回の申請設備において、該当する機器は蒸発器である。蒸発器における運転員の誤操作防止インターロックの概要を添説設 6-12 図に示す。

なお、以降の記述の中で、{ } 内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ [10.1-設 27][18.2-設 9]UF₆移送ライン確保のインターロックを設置する。

該当設備{7}

UF₆シリンダから UF₆供給中、運転員の誤操作により、UF₆を供給していないラインに UF₆が漏えいすることを防止するため、UF₆を供給するラインの切り替え弁同士 (A 同士、B 同士) の同時開を不可とするインターロックを設置する。



添説設 6-12 図 蒸発器における運転員の誤操作防止インターロックの概要

4. 2. 粉末状のウランを限定された区域に閉じ込める機能（第十条5）

粉末状のウランを収納する設備・機器は、ウランの飛散のない設計とする。（4-10）

- [10.1-設1]機器本体部（フードボックスを除く）は開口部のない構造とする。
 今回の申請設備において、該当する機器を添説設6-5表に示す。
 なお、表中で{ }内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。
 粉末状のウランを直接取り扱う機器本体（フードボックスを除く）は機器外へ粉末状のウランが飛散しないように開口部がない構造とする。

添説設6-5表 粉末状のウランを収納する機器

施設区分	設備名称	機器名	備考
化学処理施設	焙焼還元設備	UO ₂ ブロータンク(1)	{106}
	焙焼還元設備	UO ₂ ブロータンク(2)	
	焙焼還元設備	UO ₂ フィルタ(1)	{107}
	焙焼還元設備	UO ₂ フィルタ(2)	
	焙焼還元設備	UO ₂ バックアップフィルタ(1)	{108}
	焙焼還元設備	UO ₂ バックアップフィルタ(2)	
	焙焼還元設備	UO ₂ 受けホッパ(1)	{110}
	焙焼還元設備	UO ₂ 受けホッパ(2)	
	粉砕・充填設備	粉砕機(1)	{112}、 {113}
	粉砕・充填設備	粉砕機(2)	

- [10.1-設51]容器取り出し部は開口部のない構造とする。
 該当設備{115}
 大型粉末容器に粉末状のウランを充填する充填装置(1)(2){115}は、その充填口を大型粉末容器口と密着する構造とする。
- [10.1-設36]ウラン粉末を取り扱うフードボックスを設置する。
 該当設備{909}
 分析設備の試料回収ボックスでは粉末状のウランを直接取り扱うことから、試料回収ボックスには外へ粉末状のウランが飛散しないようにフードボックス機能（排気系統に接続、開口部は風速0.5m/秒以上維持）を持たせる。

今回の申請設備において、安全機能を有する施設の安全機能一覧の閉じ込め機能として、ウランを取り扱う機器は単体でウランの閉じ込めを行うが、粉末を気流輸送する系統はその閉じ込め機能のバックアップとして、排気に含まれるウランの除去対策を行う。

なお、以降の記述の中で、{ } 内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

閉じ込め機能のバックアップに関する概要を添説設 6-13 図に示す。

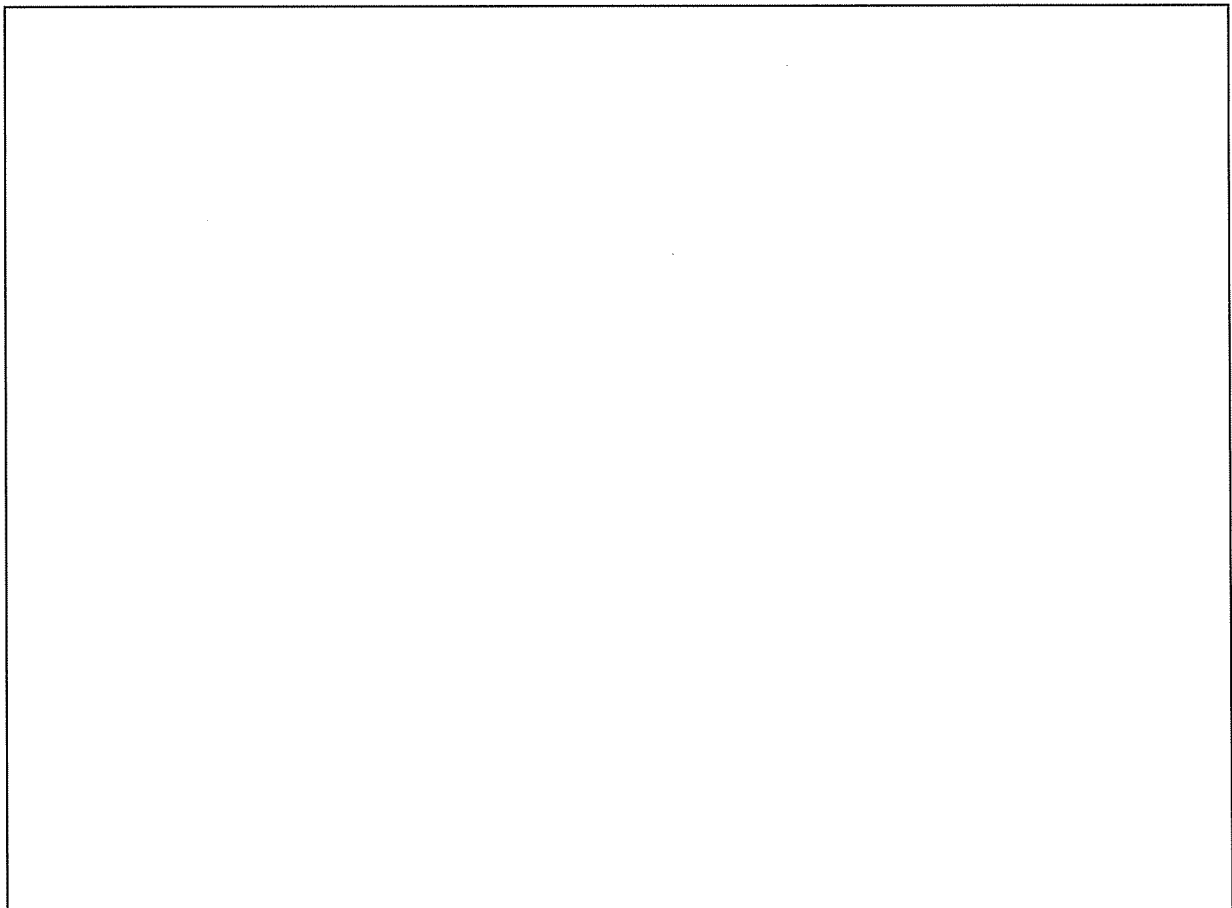
➤ [10.1-設 23]ウラン捕集用フィルタを設置する。

該当設備 {107、108}

粉末を気流輸送する系統にはフィルタ（バグフィルタ）を設置（添説設 6-13 図 A 部）して気流中に含まれるウランを除去する。このフィルタのバックアップとしてバックアップフィルタ（高性能エアフィルタ）を設置（添説設 6-13 図 B 部）する。

該当設備 {113}

粉砕機にはフィルタ（バグフィルタ）を設置（添説設 6-13 図 C 部）して、粉砕機の排気中に含まれるウランを除去する。



添説設6-13図 排気に含まれるウランの除去に関する一例
(粉末を気流輸送する系統及び粉砕機の排気系統)

非密封のウランを取り扱うフードボックスは、局所排気系統により、開口部の風速を0.5m/秒以上とするか、その内部を室内に対して9.8Pa以上の負圧を維持できる設計とする。

第1種管理区域の設備・機器のうち、粉末状のウランを取り扱う混合機、プレス、研削装置等に設けるフード等は、内部を排気することにより開口部の風速を0.5m/秒以上とするか、内部を室内に対して9.8Pa以上の負圧となるように管理する。(4-12)

今回の申請設備において、粉末状のウランを取り扱う機器に設置するフードボックスを添説設6-6表に示す。

なお、以降の記述及び表中で{ }内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ [10.1-設3]フードボックスの開口部は風速0.5 m/秒以上を維持する。

該当設備{96※、109、111、114、116、909}

粉末状のウランを取り扱う機器に設置するフード等は、局所排気系統に接続し、開口部の風速を0.5m/秒以上確保するため、粉末状のウランがフードボックス外に飛散する恐れはない。

添説設 6-6 表 粉末状のウランを取り扱う機器に設置するフード

施設区分	設備名称	粉末状のウランを取り扱う機器	設置するフード	備考
化学 処理 施設	焙焼還元設備	UO ₂ プロータンク(1)	フードボックス (ロータリーキルン(1))	{96}※
	焙焼還元設備	UO ₂ プロータンク(2)	フードボックス (ロータリーキルン(2))	
	焙焼還元設備	UO ₂ フィルタ(1)	フードボックス (UO ₂ フィルタ(1))	{109}
	焙焼還元設備	UO ₂ フィルタ(2)	フードボックス (UO ₂ フィルタ(2))	
	焙焼還元設備	UO ₂ 受けホッパ(1)	フードボックス (UO ₂ 受けホッパ(1))	{111}
	焙焼還元設備	UO ₂ 受けホッパ(2)	フードボックス (UO ₂ 受けホッパ(2))	
	粉砕・充填設備	粉砕機(1)	フードボックス (粉砕機(1))	{114}
	粉砕・充填設備	粉砕機(2)	フードボックス (粉砕機(2))	
	粉砕・充填設備	充填装置(1)	フードボックス (充填装置(1))	{116}
	粉砕・充填設備	充填装置(2)	フードボックス (充填装置(2))	
その他 加工設 備の附 属施設	分析設備	試料回収ボックス	試料回収ボックス	{909}

※ フードボックス (ロータリーキルン(1))、フードボックス (ロータリーキルン(2)) は次回以降申請する。

粉末状のウランを加圧状態で取り扱う設備は、局所排気系に接続したフードボックス又は配管カバー内に収納する設計とする。(4-13)

今回の申請設備において、粉末状のウランを加圧状態で取り扱う機器とその収納部を添説設6-7表に示す。

なお、表中で { } 内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

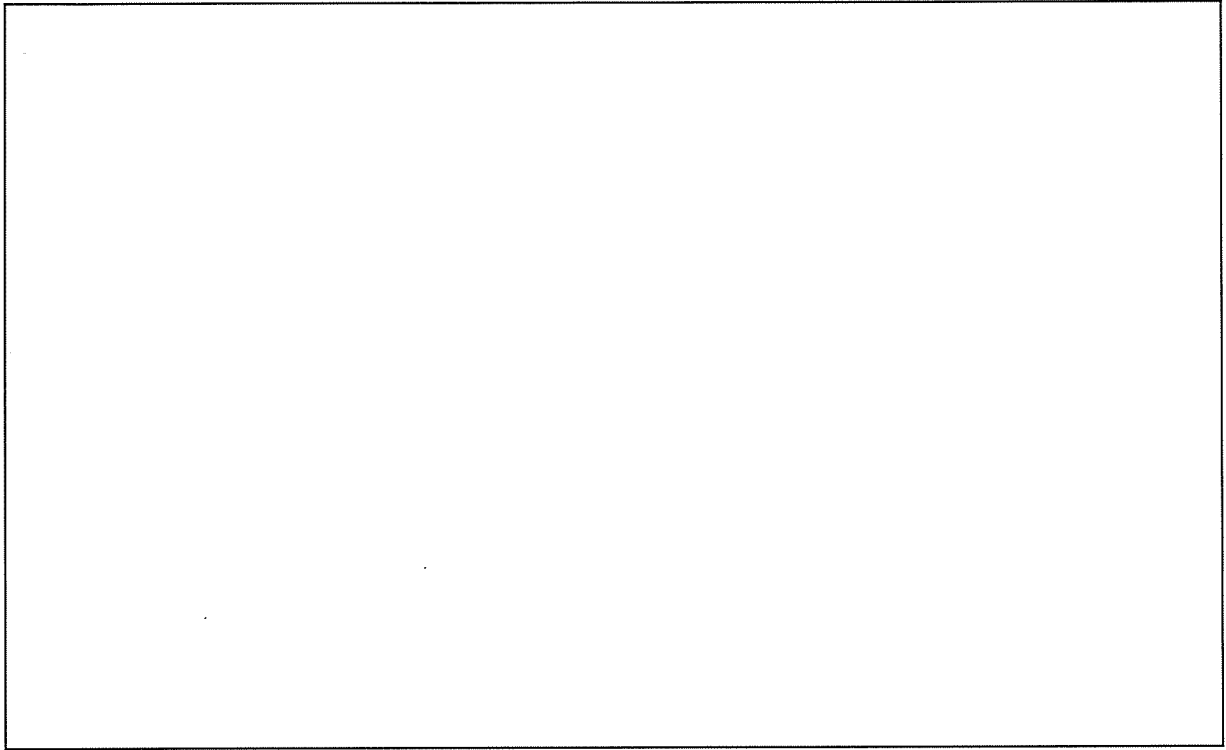
- ▶ [10.1-設20]粉末状のウランを加圧状態で取り扱う機器は局所排気系統に接続したフードボックス又は配管カバー内に設置する。

粉末状のウランを加圧状態で取り扱う機器は局所排気に接続したフードボックス(添説設6-14図中の赤色2点鎖線A部)に収納し、これらの機器を接続する配管も局所排気に接続したフードボックスを経由して局所排気に接続するカバー(添説設6-14図中の赤色2点鎖線B部)に収納する。

添説設6-7表 粉末状のウランを加圧状態で取り扱う機器とその収納部

施設区分	設備名称	機器名		収納部	備考
化学 処理 施設	焙焼還元 設備	UO ₂ ブロータンク(1)	本体部 配管部	フードボックス(ロータリーキルン(1)) 配管カバー	{96}※
	焙焼還元 設備	UO ₂ ブロータンク(2)	本体部 配管部	フードボックス(ロータリーキルン(2)) 配管カバー	
	焙焼還元 設備	UO ₂ フィルタ(1)	本体部 配管部	フードボックス(UO ₂ フィルタ(1))	{109}
	焙焼還元 設備	UO ₂ フィルタ(2)	本体部 配管部	フードボックス(UO ₂ フィルタ(2))	
	焙焼還元 設備	UO ₂ 受けホッパ(1)	本体部 配管部	フードボックス(UO ₂ 受けホッパ(1))	{111}
	焙焼還元 設備	UO ₂ 受けホッパ(2)	本体部 配管部	フードボックス(UO ₂ 受けホッパ(2))	

※ フードボックス(ロータリーキルン(1))、フードボックス(ロータリーキルン(2))は次回以降申請する。



添説設 6-14 図 粉末状のウランを加圧状態で取り扱う系統概要

第1種管理区域において、ウランを取り扱う工程の設備・機器のうち、ウランが設備・機器から空气中へ飛散するおそれがあるものについては、局所排気系統に接続することによりウランの空气中への飛散を防止する設計とする。(4-23)

今回の申請設備において、第1種管理区域において、ウランを取り扱う工程の機器のうち、ウランが機器から空气中へ飛散する恐れがある機器とそのウラン飛散防止対策を添説設6-8表に示す。

なお、表中で{ }内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ [10.1-設4]排気は局所排気系統に接続する。

該当設備 {96、109、111、114、116、909}

粉末状のウランを非密封で取り扱う機器に設置するフードボックスは局所排気に接続するため、空气中へ粉末状のウランが飛散する恐れはない。

添説設6-8表 ウランの空气中への飛散防止を要する機器とその飛散防止対策

施設区分	設備名称	機器名	飛散防止対策	備考
化学処理施設	焙焼還元設備	UO ₂ ブロータンク(1)	フードボックス	{96}※
	焙焼還元設備	UO ₂ ブロータンク(2)	フードボックス	
	焙焼還元設備	UO ₂ フィルタ(1)	フードボックス	{109}
	焙焼還元設備	UO ₂ フィルタ(2)	フードボックス	
	焙焼還元設備	UO ₂ 受けホッパ(1)	フードボックス	{111}
	焙焼還元設備	UO ₂ 受けホッパ(2)	フードボックス	
	粉砕・充填設備	粉砕機(1)	フードボックス	{114}
	粉砕・充填設備	粉砕機(2)	フードボックス	
	粉砕・充填設備	充填装置(1)	フードボックス	{116}
	粉砕・充填設備	充填装置(2)	フードボックス	
その他加工設備の附属施設	分析設備	試料回収ボックス	フードボックス	{909}

※ 該当するフードボックスであるロータリーキルン(1)、(2) (フードボックス部)は次回以降申請する。

4. 3. 液体状のウランを限定された区域に閉じ込める機能（第十条1、7）

液体状のウラン及び液体廃棄物を収納する設備・機器は、閉じ込めに関し、異常の発生防止機能を有する1次バウンダリとしてウランの漏えいを防止するため、収納するウランの形態に応じて耐食性を有する材料を用いる設計とする。また、接液部は必要に応じてライニング等により腐食による漏えいを防止する設計とする。さらに、運転条件において漏えいのない設計とする。（4-15）

今回の申請設備において、液体状のウランを収納する機器と接液部の使用主材料を添説設 6-9 表に示す。

なお、表中で { } 内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ [10.1-設1] 液体を内包する部位は漏えいのない構造とする。

該当設備 {22、28、907}

添説設 6-9 表に示す機器で液体状のウラン及び放射性液体廃棄物を内包する部位は、通常時に室内への漏えいを防止するため、液体を保持して漏えいを起こさない構造とする。

➤ [10.1-設8] 耐腐食性材料を使用する。

該当設備 {21、22、23、28、907}

添説設 6-9 表に示す機器は、液体状のウラン及び放射性液体廃棄物の漏えいを防止するため、接液部は収納するウランの形態に対して耐腐食性を有する材料を主材料として用いるため、腐食によりウランが漏えいする恐れはない。

また、槽からの漏えい時の拡大防止用として設置する堰は通常時に液体状のウランを保有することはない（漏えい発生時に保有する）が、保有する可能性のある液体状のウランの形態に対して、回収するまでに堰の機能を維持できる材質を主材料として用いるため、腐食によりウランの漏えいが拡大する恐れはない。

添説設 6-9 表 液体状のウラン及び液体廃棄物を収納する機器と接液部の使用材質

施設区分	設備名称	機器名		接液部 使用主材料	備考	
化学処理 施設	UF ₆ 蒸発・ 加水分解 設備	循環貯槽(1)	循環貯槽内面		{22}	
			加水分解装置内面		{21}	
			ポンプ内面		{22}	
			配管 (UO ₂ F ₂ 溶液配管) 内面			
		循環貯槽(2)	循環貯槽内面		{22}	
			加水分解装置内面		{21}	
			ポンプ内面		{22}	
			配管 (UO ₂ F ₂ 溶液配管) 内面			
		堰 (循環貯槽)				{23}
		熱交換器 (循環貯槽) (1)	熱交換器内面		{28}	
熱交換器 (循環貯槽) (2)	熱交換器内面					
その他 加工設備 の附属施 設	分析設備	廃水タンク	タンク内面		{907}	
			配管			

液体状のウラン及び液体廃棄物の貯槽で上部に開口部がある場合、オーバーフローによる漏えいを防止するため、それらの貯槽に液位計を設置し、液位異常を運転員に知らせる警報設備を設置する設計とし、液体状のウランの貯槽には液位異常の検知に連動し、給液を自動的に停止するインターロック機構を設置する設計とする。(4-16)

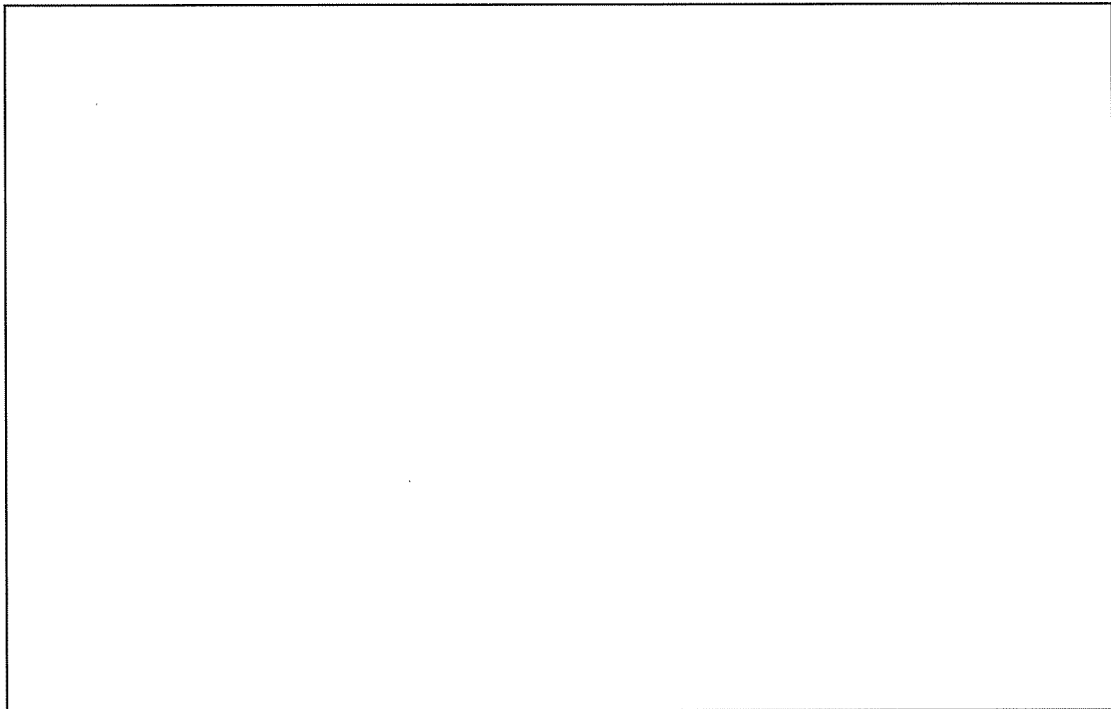
今回の申請設備において、液体状のウランの貯槽で上部に開口部があり、オーバーフローによる漏えいを防止する機器は循環貯槽である。循環貯槽の高さと液位計検出位置との関係、インターロック動作の概要を添説設 6-15 図に示す。また、今回申請する循環貯槽においてオーバーフローによる漏えいを防止するための液位計の検出高さを添説設 6-10 表に示す。

なお、以降の記述及び表中で { } 内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ [10.1-設 21][18.2-設 10]液位異常インターロックを設置する。

該当設備 {26}

液体状のウランを取り扱う貯槽で上部に開口部がある場合は、オーバーフローによる漏えいを防止するため、液位計を設置する。検出部は槽内液位が槽高さを超えないように槽上面に対して約 50mm 下位に設置し、検知した場合、連動して循環貯槽への給液を停止するインターロック（添説設 6-15 図赤線部）を設置する。これにより循環貯槽において液体状のウランが漏えいする恐れはない。



添説設 6-15 図 液位高インターロック検出部設置位置とインターロック動作の概要

添説設 6-10 表 オーバーフローによる漏えい防止対策を図る機器とその警報設定必要値

施設区分	設備名称	機器名	警報設定必要値	備考
化学処理施設	UF ₆ 蒸発・加水分解設備	循環貯槽(1)	940mm 以下	{26}
	UF ₆ 蒸発・加水分解設備	循環貯槽(2)	940mm 以下	

また、放射性液体廃棄物の貯槽で上部に開口部があり、オーバーフローによる漏えいを防止する機器は不純物分析設備の廃水タンクがある。

なお、以降の記述で { } 内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ 液位を監視する。(保安規定)

該当設備 {907}

放射性液体廃棄物を貯留する廃水タンクの液位は操作中、作業員がオーバーフローする恐れのない液位に維持されていることを確認することによりオーバーフローによる漏えいを防止するため、放射性液体廃棄物が漏えいする恐れはない。

また、休業時は操業しないことから、放射性液体廃棄物が廃水タンクから漏えいする恐れはない。

廃水タンクの液位点検については保安規定で規定する。

液体状の放射性物質を取り扱う施設では、当該放射性物質が施設外へ漏えいするおそれがある場合には、想定される漏えい量を考慮し、施設外への漏えいを防止するための堰又は段差を設け、漏えいを検知するために堰漏水検知警報設備を設けることとする。(4-17)

今回の申請設備において、液体状の放射性物質を取り扱う機器は循環貯槽(1)(2)、熱交換器と不純物分析設備の廃水タンクである。

液体状の核燃料物質等を取り扱う機器は、地震に起因する機器の破損(耐震重要度分類第2類、第3類機器の破損)により生じる溢水を想定する(事業許可p(添5)-89参照)ことから、溢水源として考慮する対象機器は耐震重要度分類第3類となる不純物分析設備の廃水タンクである。耐震重要度分類第1類で設計する循環貯槽や熱交換器は液体状の放射性物質を取り扱う機器であり、事故時や誤操作による液体状の放射性物質の漏えい拡大防止の観点から堰と漏えい検知器を設置する。

液体状の放射性物質を取り扱う循環貯槽や熱交換器には施設外への漏えいを防止するため、堰を設置する。設置する堰の概要を添設6-16図に示す。

以降の記述の中及び表中で{ }内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ [10.1-設28]漏えい拡大防止用の堰を設置する。

➤ [18.1-設4]漏えい検知器を設置する。

該当設備{23、24}

循環貯槽における漏えいに対して、漏えい拡大防止の点から堰を設置する。

設置する堰の高さは、

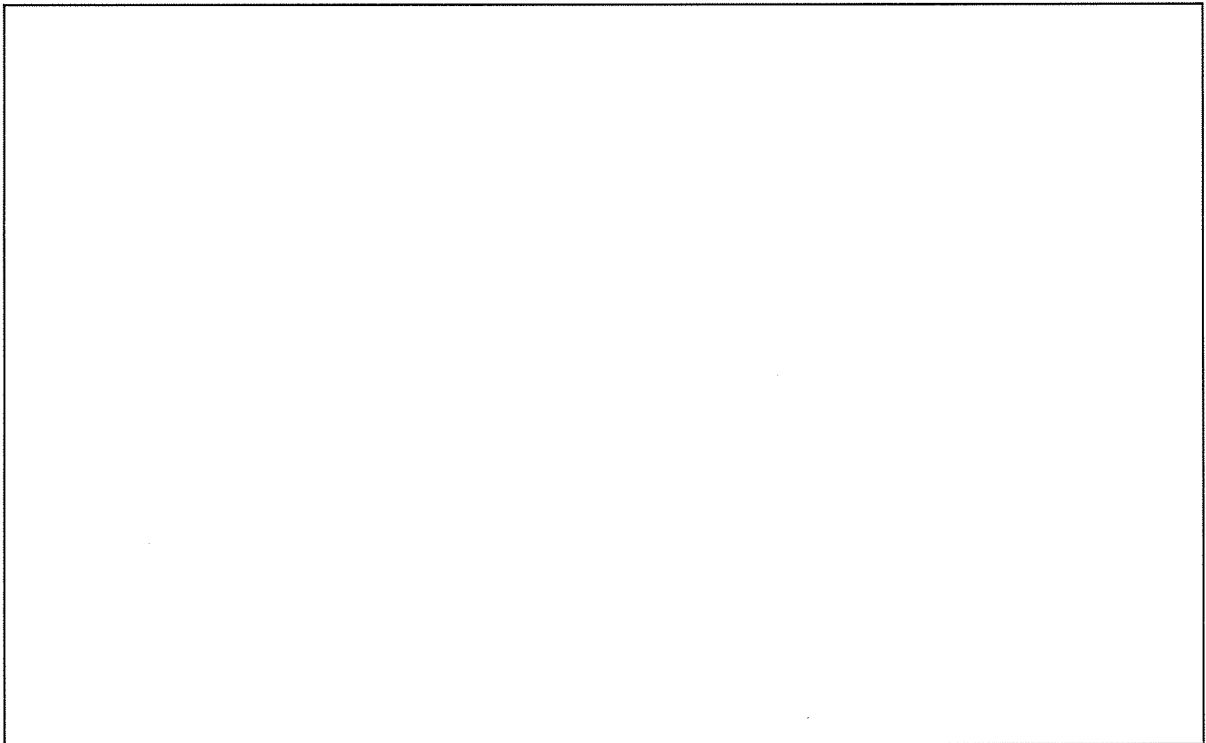
- ① ウラン溶液に対する核的制限値(厚み)12.7cm以下
- ② 堰の必要面積は漏えい拡大防止を図るエリア内にあるウラン溶液を内包する全機器の有効容量(有効容量とは、通常時の作業中に保有しうる最大液量)分の漏えいを上記①の高さ制限下で順守できる面積

で設定する。また、堰には漏えいを検知するために漏えい検知器を設置する。

堰の必要容量の必要数値設定に関わる詳細については、添付説明書一設6付録5に示す。

漏水検知器の設置高さは、堰高さよりも低い位置で、堰内の清掃水や自然発生する結露水(約20mmの液高さを想定)などにより誤動作するのを防止し、一方で漏えいを早期に検知することから床面より約50mmの位置に検出端を設定する。

なお、熱交換器をカバーする堰と漏えい検知器は次回以降申請である。



添説設 6-16 図 施設外への漏えいを防止するために設置する堰の概要

- [7.1-建 5(4次)]第1種管理区域から第2種管理区域または非管理区域への溢水の漏えいを防止するため、工場棟転換工場の1階、及び附属建物除染室・分析室には高さ160mm以上の緊急対策設備(3)(堰(内部一溢止水用))を設置する({852}{834}堰(内部溢水止水用)は既に4次で申請済み)。

該当設備{618、907}

気体廃棄設備(1)のスクラバ(原料倉庫局所排気系統)及び不純物分析設備の廃水タンクにおける漏えいに対しては、転換工場及び附属建物に設置する堰(内部溢水止水用、{834}及び{852})と漏えい検知器({835}及び{853})と共用する。その詳細は第4次設計及び工事の方法の認可申請書添付説明書-建6に示す。

なお、堰に設置する漏えい検知器は次回以降申請する。

UO₂F₂ 溶液を取り扱う設備・機器は、漏えい時に UO₂F₂ 溶液が飛散して運転員へ被液しないようにするとともに、漏えいした UO₂F₂ 溶液から揮発する HF の拡散を緩和するため、飛散防止カバーを設置するとともに、局所排気系統へ接続する設計とする。(4-19)

今回の申請設備において、UO₂F₂ 溶液を取り扱う機器とその被液及び拡散緩和対策を添説設 6-11 表に示す。

なお、以降の記述及び表中で { } 内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

- [10.1-設 22] UO₂F₂ 溶液を取り扱う設備・機器は UO₂F₂ 飛散防止カバーを設置する。
- [10.1-設 22] 保温カバーにより UO₂F₂ 溶液の飛散を防止する。
- [10.1-設 4] 排気は局所排気系統に接続する。

該当設備{11}

UO₂F₂ 溶液が漏えい時に飛散して運転員が被液しないようにするとともに、漏えいした UO₂F₂ 溶液から揮発する HF の拡散を緩和するため、局所排気系統へ接続する UO₂F₂ 飛散防止カバーを設置する。

今回の申請範囲において、

- ▶ 循環貯槽(1)、(2)、加水分解装置(エジェクタ)(1)、(2)及びその配管系統は、UF₆ フードボックス及び UO₂F₂ 溶液配管カバー内に収納(共用)するとともに、UF₆ フードボックス及び UO₂F₂ 溶液配管カバーは局所排気系統へ接続する。
- ▶ 熱交換器(循環貯槽)の1次バウンダリ部(熱交換器本体、ウラン溶液閉じ込め部)をカバーする保温カバーに UO₂F₂ 飛散防止カバーの機能を持たせる。
1次バウンダリを喪失したとしても、容易に UO₂F₂ 溶液が室内へ漏えい、拡散することはない構造とすることから、事業許可の方針に変更はない。

ことにより、UO₂F₂ 溶液が漏えい時に飛散して運転員が被液しないようにするとともに、漏えいした UO₂F₂ 溶液から揮発する HF の拡散を緩和する。

添説設 6-11 表 UO₂F₂ 溶液を取り扱う機器に設置する飛散防止カバー

施設区分	設備名称	機器名		被液及び拡散緩和対策	備考	
化学 処理 施設	UF ₆ 蒸発・ 加水分解 設備	循環貯槽(1)	貯槽本体部	UF ₆ フードボックス (配管養生部を含む)	{22}	
			ポンプ部			
			配管部			
			加水分解装置 (エジェクタ)		{21}	
		循環貯槽(2)	貯槽本体部	UF ₆ フードボックス (配管養生部を含む)	{22}	
			ポンプ部			
			配管部			
			加水分解装置 (エジェクタ)		{21}	
		熱交換器 (循環貯槽) (1)		保温カバー		{28}
		熱交換器 (循環貯槽) (2)				

第1種管理区域から第2種管理区域又は非管理区域への溢水の漏えいを防止する設計とする。

第1種管理区域の境界から外部へ溢水が流入出しない設計とする。(11-2)

- [7.1-建5(4次)]原料倉庫外への溢水の拡大防止のため、堰を設置する。
スクラバからの溢水は、建物に設置された堰により原料倉庫内に閉じ込める。
スクラバ及び堰の配置は図ト配-1に記載する。堰については第4回設工認で申請済みであり、漏水検知警報設備は、次回以降申請する。

4. 4. ウランを限定された区域に閉じ込める機能（第十条全般）

気体又は液体の放射性物質を内包する設備・機器については逆止弁、液封等を設け、放射性物質を内包しない設備・機器への逆流による拡散を防止する設計とする。また、換気設備においても同様とする。（4-22）

今回の申請設備において、気体又は液体の放射性物質、放射性液体廃棄物を内包する機器と逆流拡散防止方法を添説設 6-12 表に示す。

なお、表中で { } 内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ [10.1-設38]気体ウランの逆流を防止するため、窒素配管に逆止弁を設置する。

気体放射性物質を内包する機器に対して、供給する非放射性気体が気体放射性物質と接触する場合は非放射性気体の供給配管に逆止弁を設け、逆流による気体放射性物質の拡散を防止する。

添説設 6-12 表 放射性物質を内包しない機器への逆流拡散を防止する機器

施設区分	設備名称	機器名	供給流体	逆流拡散防止方法	備考
化学処理施設	UF ₆ 蒸発・加水分解設備	蒸発器(1)-A 蒸発器(1)-B 蒸発器(2)-A 蒸発器(2)-B	窒素	逆止弁	{1}
	UF ₆ 蒸発・加水分解設備	コールドトラップ(1) コールドトラップ(2)	窒素	逆止弁	{14}
	UF ₆ 蒸発・加水分解設備	コールドトラップ(小)(1) コールドトラップ(小)(2)	窒素	逆止弁	{17}

今回の申請機器において、安全機能を有する施設の安全機能一覧の閉じ込め機能として、分析用に取り扱うサンプルに対しても、サンプルが床に落ちないように保持（落下防止）対策を行うことで閉じ込め性を確保する。また、固体廃棄物を収納したドラム缶を取り扱うドラム缶ウラン量測定装置に対しても、ドラム缶が床に落ちないように落下防止対策を行うことで閉じ込め性を確保する。

今回の申請範囲で対象となる機器を添説設 6-13 表に示す。

なお、表中で { } 内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ [10.1-設 5]核燃料物質の落下を防止する。

該当設備 {906、907、908}

ウラン分析を行う分析装置はサンプルを保持できる構造であることから、分析中にサンプルが落下する恐れはない。

なお、分析装置の外力（地震力）に対するサンプル保持の健全性（サンプルが床に落ちない）は人の管理により行う。また、人による作業となる分析サンプルの前処理、後処理に関わる作業に対するサンプル保持の健全性（サンプルが床に落ちない）も人の管理により行う。

人の管理によるサンプルの保持については保安規定で規定する。

該当設備 {826}

ドラム缶ウラン量測定装置では固体廃棄物を収納したドラム缶を床に落とさない構造とする。

ドラム缶ウラン量測定装置で取り扱うドラム缶は高さが幅に比べて大きいことから、外力（地震力）に対する転倒防止と水平移動防止設計に基づく専用の収納枠（ドラム缶ガイド）を設置するため、ドラム缶が床に落下する恐れはない。

専用の収納枠（ドラム缶ガイド）はその高さ、厚さ、材料により転倒防止、水平方向移動防止を図る。

添説設 6-13 表 サンプルの保持（落下防止）対策を図る機器とその対策方法

施設区分	設備名称	機器名	保持（落下防止） 対策方法	備考	
その他 加工設備の 附属施設	同位体分析設備	表面電離型質量分析装置(1)	本体内に収納する。	{906}	
		表面電離型質量分析装置(2)			
その他 加工設備の 附属施設	不純物分析設備	固体発光分光分析装置	サンプルを保持する。	{907}	
		ICP 質量分析装置			
		ICP 発光分光分析装置			
		自動水分分析装置			
		炭素・硫黄同時分析装置			
		自動ハロゲン分析装置			
		α線スペクトル分析装置			
	物性測定設備	比表面積測定装置			{908}
		高密度測定装置			
		平均粒径測定装置			
サンプル保管庫					
放射性廃棄物の廃棄施設	保管廃棄設備	ドラム缶ウラン量測定装置	ドラム缶ガイド	{826}	

4. 5. 第1種管理区域の閉じ込めに関わる機能（第十条6、第二十条1、4）

<p>第1種管理区域の室内空気は、ウラン粉末が室内に漏えいした場合に備え、高性能エアフィルタ、排気ファン及びダクトから構成される室内排気系統により排気し、空気中のウランを除去する設計とする。なお、排気系統の一部については、高性能エアフィルタにより処理して部屋へ再循環給気を行う系統を設ける設計とする。（4-25）</p>
<p>設計基準事故として想定している閉じ込め機能の不全においても、第1種管理区域は、局所排気系統及び室内排気系統により負圧を維持する設計とする</p> <p>第1種管理区域は、気体廃棄設備によって負圧に維持することにより閉じ込めを管理する。事故時においても、ウランの飛散するおそれのある部屋は、当該区域の室内の圧力を外気に対して負圧に維持するように可能な限り管理する。</p> <p>第1種管理区域は、換気設備によって負圧に維持することにより閉じ込めを管理する。事故時においても、ウランの飛散するおそれのある部屋は、当該区域の室内の圧力を外気に対して19.6Pa以上の負圧に維持するように可能な限り管理する。（4-29）</p>
<p>通常時において、第1種管理区域からの排気を処理するため、気体廃棄物の廃棄設備である排気ダクトを通して高性能エアフィルタによって処理後、排気口から大気へ放出する設計とする。気体廃棄物は、プレフィルタ、高性能エアフィルタ等を通して排気中の放射性物質を除去したのち排気口から屋外に排出する。（17-1）</p>
<p>室内排気系の排気は、排気ダクトを通して高性能エアフィルタにより処理して排気塔より屋外へ排出する設計とする。なお、一部については高性能エアフィルタにより処理して部屋へ再循環する設計とする。（31）</p> <p>気体廃棄物は、気体廃棄設備を通して排気中の放射性物質を除去したのち排気口から屋外に排出する。（236）（17-3）</p>
<p>局所排気系の排気は、排気ダクトを通して高性能エアフィルタにより処理して排気塔より屋外へ排出する設計とする。（31）</p> <p>気体廃棄物は、気体廃棄設備を通して排気中の放射性物質を除去したのち排気口から屋外に排出する。（236）（17-4）</p>
<p>気体廃棄物の廃棄設備は、第1種管理区域で発生する気体廃棄物を処理することが十分に可能な能力を有するものとする。（17-13）</p>

今回の申請設備において、室内給気系の給気経路確保、室内排気系及び局所排気系の排気経路の確保に該当する機器は給気ダクト・ダンパ{622}、排気ダクト・ダンパ（部屋、設備～高性能エアフィルタ）である。

気体廃棄設備(1)とUF₆蒸発・加水分解設備との取り合いを添説設6-17図に示す。また、今回の気体廃棄設備(1)の申請範囲を赤色部で示す。

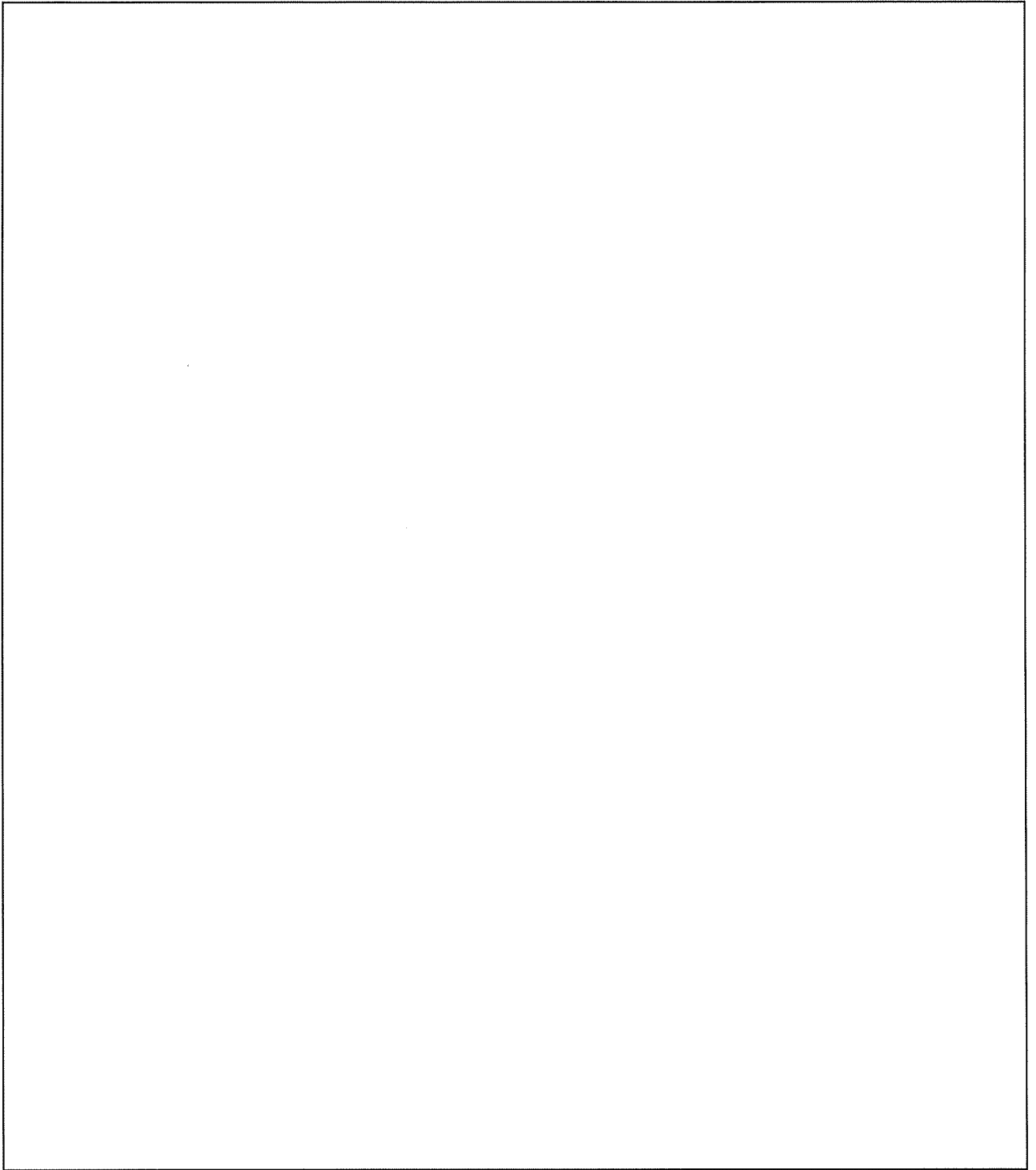
なお、上述の{ }内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ [23.1-設6]給気ファンにつながるダクト・ダンパに接続し、給気経路を確保する。

原料倉庫室内へ給気を行う給気ダクトは、給気ファンに接続するダクト・ダンパに接続して、屋外からの空気取入口からの給気経路を確保する。

- [23.1-設4]高性能エアフィルタにつながるダクト・ダンパに接続し、排気経路を確保する。
- [20.1-設80]UF₆の漏えいに対して、排気中のUF₆を処理するスクラバと高性能エアフィルタ2段（2段目は耐HF性）への排気経路を確保する。

原料倉庫室内、原料倉庫内の設備・機器を排気するダクトは屋外への排気口まで、高性能エアフィルタ、高性能エアフィルタに接続するダクト・ダンパに接続して、原料倉庫室内、原料倉庫内の設備・機器から排気する気流ラインを確保する。



添説設6-17図 気体廃棄設備(1)とUF₆蒸発・加水分解設備との取り合い

局所排気系統については、外部電源が喪失した場合には非常用ディーゼル発電機による給電を行い、第1種管理区域の負圧維持ができる設計とする。(4-31)

今回の申請設備では非常用ディーゼル発電機が該当する。非常用ディーゼル発電機の給電容量と第1種管理区域の負圧維持に必要な排気ファンの駆動維持に必要な負荷容量を添説設6-14表に示す。

なお、表中で{ }内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ [10.1-設41]第1種管理区域の負圧維持に必要な給電容量を有する非常用ディーゼル発電機を設置する。

加工施設第1種管理区域の負圧維持する排気ファン駆動に必要な給電容量に対して、1基に必要な給電容量を十分カバーする非常用ディーゼル発電機2基(1基は予備機)を設置する。これにより、外部電源喪失時も加工施設第1種管理区域の負圧は維持できる。

なお、加工施設第1種管理区域の負圧維持する排気ファンは次回以降申請する。

添説設6-14表 非常用ディーゼル発電機の給電容量と負圧維持に必要な排気ファンの負荷容量

施設区分	設備名称	機器名	給電容量	排気ファン負荷容量		備考
				設備名称	必要容量	
その他 加工設備の 附属施設	非常用 電源設備	非常用ディーゼル 発電機{888}	600kW/基 ×2基※	気体廃棄設備(1)	75kW	{608}
				気体廃棄設備(2)	50kW	{640}
				気体廃棄設備(3)	22kW	{658}
				気体廃棄設備(4)	4kW	{666}
				気体廃棄設備(5)	19kW	{679}
				気体廃棄設備(6)		{693}
				合計	170kW	

※ 1基は予備機である。

過加熱防止・温度高・圧力高インターロックで順守すべき数値と設定値

対象とするインターロック

- ▶ [10.1—設 6][18.2—設 2]過加熱防止インターロック（熱的制限値）を設置する。 該当設備{3}
- ▶ [10.1—設 6][18.2—設 2]温度高インターロック（温度）を設置する。 該当設備{15、18}
- ▶ [10.1—設 34][18.2—設 7]圧力高インターロック（圧力）を設置する。 該当設備{4、16、19}

閉じ込め機能に関わる説明書で取り上げた UF₆ を加熱する機器である蒸発器、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）に関する上記インターロックの設定値根拠を以下に示す。

蒸発器、コールドトラップまたはコールドトラップ（小）でインプット物質として取り扱うウランは固体状の UF₆ である。蒸発器では UF₆ シリンダに収納された UF₆、コールドトラップまたはコールドトラップ（小）では中に直接収納された UF₆ を加熱してガス化し、加水分解装置に供給する。

このため、蒸発器、コールドトラップまたはコールドトラップ（小）には加熱処理の逸脱により UF₆ シリンダ、コールドトラップまたはコールドトラップ（小）本体、UF₆ ガスを移送する配管が破損し、閉じ込め性を損なわないように、加熱温度及び UF₆ のガス圧力に上限値を設け、この温度上限値又は圧力上限値を検知した場合、蒸発器は加熱源である蒸気供給、コールドトラップまたはコールドトラップ（小）はヒータ電源を遮断し、速やかに加熱を停止するインターロックを設置する。

温度に対するインターロックの設定値根拠は以下の通りである。

- ▶ 蒸発器は UF₆ シリンダの熱的制限値 121℃に対して、下位側で計器誤差、動作裕度を考慮し 114℃とする。
- ▶ コールドトラップはコールドトラップの設計温度として 225℃を想定して設計していることから、コールドトラップの加熱防止に関するインターロックの設定値はこの温度より下位側で計器誤差、動作裕度を考慮し 140℃とする。
- ▶ コールドトラップ（小）はコールドトラップ（小）の設計温度として 225℃を想定して設計していることから、コールドトラップの加熱防止に関するインターロックの設定値はこの温度より下位側で計器誤差、動作裕度を考慮し 140℃とする。

圧力に対するインターロックの設定値根拠は以下の通りである。

- ▶ 蒸発器は UF₆ シリンダの熱的制限値 121℃に相当する圧力が 0.58MPaG であることから、これに対して下位側で、圧力計までの圧力損失、計器誤差、動作裕度を考慮し 0.44MPaG とする。
- ▶ コールドトラップ、コールドトラップ（小）の設計圧力が 0.98MPaG であることから、これに対して下位側で計器誤差、動作裕度とともに運用面から同様の圧力に対するインターロックを持つ蒸発器の設定圧力との整合を図り 0.44MPaG とする。

UF₆ガスの供給停止インターロックで順守すべき数値と設定値

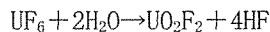
対象とするインターロック

➤ [10.1一設 10][18.2一設 4]UF₆ガスの供給停止インターロック（流量）を設置する。

閉じ込め機能に関わる説明書で取り上げた未反応 UF₆ が後段に流出することを防止するため、供給する UF₆ ガス量に対して、化学反応上、必要とする水量を確保するのインターロックに関わる設定値根拠を以下に示す。

加水分解装置（エジェクタ）1基当たりの UF₆ 供給量は 710gU/分である。

UF₆ ガスと水との化学反応は、以下の化学反応式であり、



UF₆ ガス供給量 710gU/分を反応させるために理論上必要な水量は、

$$710\text{gU/分} \div 238\text{gU/mol} \times 2 \text{ (反応当量)} = 6\text{mol/分}$$

これを重量換算（H₂O : 18g/mol）して、

$$6\text{mol/分} \times 18 \text{ g/mol} = 108\text{g/分}$$

供給する水の密度（15℃時）0.999×10³g/L より

$$108\text{g/分} \div 0.999 \times 10^3\text{g/L} \approx 0.11\text{L/分}$$

となり、0.11L/分以上の水流量が確保されていれば、UF₆ ガス供給量分の化学反応は理論上完結する。

この理論上必要とする水量に裕度を持たせ、加水分解装置（エジェクタ）では 0.2L/分以上の水量を確保するインターロックを設置する。

UF₆の捕集停止インターロックで順守すべき数値と設定値

対象とするインターロック

▶ [10.1一設 11][18.2一設 8]UF₆の捕集停止インターロック（温度）を設置する。

閉じ込め機能に関わる説明書で取り上げたコールドトラップ（小）の冷却不足検知インターロックに関わる設定値根拠を以下に示す。

コールドトラップ及びコールドトラップ（小）はUF₆シリンダ内に残留するUF₆ガスを圧力差により吸引（真空引き）し、捕集する機器である。UF₆を吸引する前にあらかじめコールドトラップ及びコールドトラップ（小）を真空ポンプで負圧に真空引きした後、真空ポンプを停止してコールドトラップ及びコールドトラップ（小）の負圧を利用してUF₆を捕集する。この吸引（真空ポンプによる真空引き）の際、コールドトラップまたはコールドトラップ（小）は事前に冷却を行うが、コールドトラップ（小）の冷却が不十分の場合、コールドトラップ（小）内の残留UF₆がUF₆ガスとして排気系に漏えいすることになる。

このため、コールドトラップ（小）に冷却処理の逸脱による残留UF₆ガスの排気系への漏えい防止のため、コールドトラップ（小）内の雰囲気温度の上限値を設け、この温度以上では排気系に接続できないインターロックを設置する。

この温度に対するインターロックの設定値根拠は以下の通りである。

コールドトラップ（小）の設計上考慮する最小負圧下でのUF₆の昇華温度は4℃であることから、この温度に対して下位側で計器誤差、動作裕度を考慮し-5℃とする。

UF₆漏えい検知インターロックで順守すべき数値と設定値

対象とするインターロック

- [10.1一設 13][18.2一設 3]UF₆漏えいを検知するインターロック（電導度）を設置する。

閉じ込め機能に関わる説明書で取り上げた蒸発器のドレン系における UF₆ 漏えい検知インターロックに関わる設定値根拠を以下に示す。

蒸発器内で UF₆ ガスが漏えいした場合、UF₆ シリンダを加熱するために供給する水蒸気のドレンに混入する。このため、蒸発器内のドレン排水ライン上に電導度計を設け、電導度計の異常値検知により蒸発器の加熱を停止するインターロックを設置する。

この電導度に対するインターロックの設定値根拠は以下の通りである。

通常、ドレン水の電導度範囲は 200 μS/cm 以下であり、ドレン水に漏えいした UF₆ が混入・溶解し、UO₂F₂ 溶液となった場合、その電導度は水の電導度より上昇する。設定値としては、計器誤差、動作裕度を考慮し、250 μS/cm とする。

対象とするインターロック

- [10.1一設 13][18.2一設 3]UF₆漏えいを検知するインターロック（HF 濃度）を設置する。
- [10.1一設 44][20.1一設 77]UF₆漏えい時に排気経路を切り替える（独立二系統）。

閉じ込め機能に関わる説明書で取り上げた UF₆ フードボックス内での UF₆ 漏えい検知インターロックに関わる設定値根拠を以下に示す。

UF₆ フードボックス内で UF₆ ガスが漏えいした場合、UF₆ フードボックス内雰囲気中の水分と反応し HF を発生する。このため、UF₆ フードボックス内に HF 検知器を設け、HF 検知器の異常値検知により、UF₆ フードボックスの排気経路を切り替え、漏えいした UF₆ 回収するインターロックを設置する。

この HF 濃度に対するインターロックの設定値根拠は以下の通りである。

通常、UF₆ フードボックス内の HF 濃度は HF 検知器の検出限界以下（1ppm 以下）であるが、設定値は計器誤差、動作裕度（IL の誤動作防止）を考慮し、3ppm（日本産業衛生学会による許容濃度勧告値）とする。

なお、UF₆ 漏えい警報のみの検出器（運転員が活動するエリア中の UF₆/HF 濃度監視）はエリア中の UF₆/HF 濃度をモニタリングし、異常値検出時は速やかにアクションを促す目的から、できる限り早期に検知させるため、UF₆ 漏えい警報のみの検出器設定値は検出下限の 1ppm とする。

スクラバ捕集効率

スクラバは同一形状の水スクラバが直列に 2 基で構成されている。
 UF₆ ガス漏えい時の本スクラバにおける HF 吸収率及びウラン吸収率については下記のとおりである。

1. HF 吸収率

本スクラバは、HF の除去率が 99.5%以上となるように充填高さが設計されている。以下に設計計算根拠を示す。

(1) 前提条件

UF₆ 漏えい発生時の排気中組成を添説設 6—付録 5-1 表のとおりとする。(Air は 35°C、湿度 80%とする。)

添説設 6—付録 5-1 表 UF₆ 漏えい発生時の排気中組成 (40 秒間分)

UF ₆ 漏えい発生時 (40 秒間)	UF ₆	27mol	0.6Nm ³
	Air	1690mol	37.8Nm ³
	H ₂ O	69mol	1.6Nm ³

なお、排気風量は、60Nm³/min (=排気ブロワ流量) としている。

また、漏えいした UF₆ は空気中の水分と反応し、添説設 6—付録 5-2 表の組成でスクラバに導入されるものとする。

添説設 6—付録 5-2 表 スクラバ直前での排気中組成 (反応考慮)

スクラバ 入口到達時 (40 秒間)	UO ₂ F ₂	27mol	(固体)
	HF	108mol	2.4Nm ³
	Air	1690mol	37.8Nm ³
	H ₂ O	16mol	0.4Nm ³

(2) 吸収率計算

前提条件の時、入口ガスの HF 濃度は、

$$2.4\text{Nm}^3 / (2.4\text{Nm}^3 + 37.8\text{Nm}^3 + 0.4\text{Nm}^3) = 6.0\%$$

出口ガスの HF 濃度は、第 1 塔で HF 除去率を 99%とし、同じ塔を直列に設置することでトータル HF 除去率を 99.5%以上とする。

第 1 塔における出口 HF 濃度は HF 除去率 99%とすると以下のとおりである。

第 1 塔出口 HF 濃度=

$$(2.4\text{Nm}^3 \times (1-0.99)) / ((2.4\text{Nm}^3 \times (1-0.99)) + 37.8\text{Nm}^3) = 0.063\%$$

このとき、要求される N_{OG} (移動単位係数) は以下のとおり。

$$N_{OG} = \ln(5.9/0.063) = 4.6$$

また、月島環境エンジニアリング製のテラレット S-0 型の HF-H₂O ガスのデータより、H_{OG}（移動単位高さ）=0.35 であるため、充填高さ Z は以下のとおりとなる。

$$Z = N_{OG} \times H_{OG} = 4.6 \times 0.35 = 1.61 \text{ [m]}$$

これに約 30% 余裕を見て、充填部高さを 2m とする。

次に第 1 塔の出口ガスがそのまま第 2 塔に導入されるとし、トータル HF 除去率を 99.5% 以上としたときの第 2 塔出口 HF 濃度は以下のとおりである。

第 2 塔出口 HF 濃度

$$= (2.4 \text{ Nm}^3 \times (1 - 0.995)) / (2.4 \text{ Nm}^3 \times (1 - 0.995) + 37.8 \text{ Nm}^3) = 0.03\%$$

このとき第 2 塔入口 HF 濃度は 0.064% であるため、要求される N_{OG} は以下のとおり。

$$N_{OG} = \ln(0.063/0.03) = 0.75$$

H_{OG} は同じであるため、要求される充填高さ Z は以下のとおりとなる。

$$Z = N_{OG} \times H_{OG} = 0.76 \times 0.35 = 0.27 \text{ m}$$

これより、HF 除去率 99.5% を達成させるためには、第 2 塔は 0.3m で十分であるが、実際には第 1 塔と同じ 2m の充填高さを持っているため、十分な裕度のある設備となっている。

2. ウラン吸収率

本スクラバは、ウランの除去率が 97% 以上となるように充填高さが設計されている。以下に設計計算根拠を示す。

(1) 前提条件

スクラバ（第 1 塔）に導入されるガス組成は 1. より、添説設 6-1 付録 5-3 表のとおりとする。スクラバ（第 1 塔）に供給されるガス温度は 85℃ とする。

添説設 6-1 付録 5-3 表 スクラバ（第 1 塔）に導入されるガス組成

スクラバ 入口到達時 (40 秒間)	UO ₂ F ₂	27mol	(固体)
	HF	108mol	2.4Nm ³
	Air	1690mol	37.8Nm ³
	H ₂ O	16mol	0.4Nm ³

なお、スクラバ（第 2 塔）スクラバに導入されるガス組成は、1. のスクラバ（第 1 塔）の HF 捕集効率（99%）を考慮し、添説設 6-1 付録 5-4 表のとおりとする。スクラバ（第 2 塔）に供給されるガス温度は 40℃ とする。

添説設 6-1 付録 5-4 表 スクラバ（第 2 塔）に導入されるガス組成

第 2 塔 スクラバ入口 (40 秒間)	UO ₂ F ₂	(第 1 塔の未捕集分)	(固体)
	HF	1.1mol	0.02Nm ³
	Air	1690mol	37.8Nm ³

(2) 吸収率計算

漏えいした UF₆ が全量 UO₂F₂ 微粒子となり、スクラバを流下する水により集塵されるとした UO₂F₂ 捕集率の計算を以下に行う（計算式の出典：井伊谷編著、集塵装置の性能、産業技術センター）。

Calvert の導いた式より

$$E = 1 - \exp(-B_3 \cdot (H_R/D_R) \cdot \Psi)$$

ここに、

- E : 集塵率
 B₃ : 充填物による係数
 H_R : 充填高さ[m]
 D_R : 充填物の特性値[m]

ただし、

$$\Psi = \rho_p \cdot d_p^2 \cdot u_{gs} / (9 \cdot \mu_g \cdot \delta)$$

- Ψ : 慣性パラメータ
 ρ_p : 粒子密度[kg/m³]
 d_p : 粒子径[m]
 u_{gs} : ガス流速[m/s]
 μ_g : ガス粘度[kg/m·s]
 δ : 充填物の代表長さ[m]

ここで、各入力値を添説設 6-付録 5-5 表に示す。

添説設 6-付録 5-5 表 吸収率評価に用いた各物性値

項目	諸量	備考
充填物による係数 B ₃	10	
充填高さ H _R	2 m	
充填物の特性値 D _R	0.025m	
粒子密度 ρ_p	6.37 × 10 ³ kg/m ³	J. J. katz, The Chemistry of Uranium
粒子径 d_p	1.6 × 10 ⁻⁶ m	等表面積球相当径*
ガス流速 u_{gs}	1.18 m/s (第1塔) 0.96 m/s (第2塔)	
ガス量	1.33m ³ /s (第1塔) 1.09m ³ /s (第2塔)	=40.6Nm ³ /40sec × (85+273) K/273K =37.9Nm ³ /40sec × (40+273) K/273K
塔内径	1.2 m	
ガス粘度 μ_g	1.3 × 10 ⁻⁵ kg/m·s	HF 40°C, Gmelin Handbook
充填物の代表長さ δ	0.025m	
充填物	テラレット	

* : UO₂F₂ 粒子は、一次粒子として粒径 0.5 μm、実際には一次粒子が鎖状に凝集し長さ 5 μm の二次粒子になるとした。

上記の条件で計算（安全側に捕集率の小数点第 2 位以下切り捨てとする）すると、UO₂F₂ 粒子の集塵（捕集）率は第 1 塔で 99.4%、第 2 塔で 98.6%となるため、トータル除去率は 99%以上を確保出来ている。

堰必要容量の考え方（核的制限値を伴う場合）

1. はじめに

液体状の核燃料物質を取り扱う貯槽には、貯槽から液が漏えいした際、漏えいを限定した区域に閉じ込める為の堰を設置する。本資料では、各堰に必要な容量の算出方法について説明する。

2. 方法

必要容量は以下の方法により算出し、その容積よりも大きくなるような堰を設置するものとする。

- ① 設備に設置する堰は、投影面内に収納するウラン溶液を取扱う貯槽の合計液量（Q）を貯留できる容量とする。
- ② 堰高さ（H）はウラン溶液漏えい時にも臨界安全を確保可能とするよう核的制限値（厚み制限値）以下の高さとする。このため、堰高さは UO_2F_2 溶液の核的制限値 12.7cm 以下である 10cm（0.1m）とする。
- ③ 堰内に設置する貯槽類の架台等により滞留容量とできない部分がある事を考慮し、堰面積のうち、設備占有率 α 分は、堰有効容量に考慮しないものとする。 α は 30% とする。

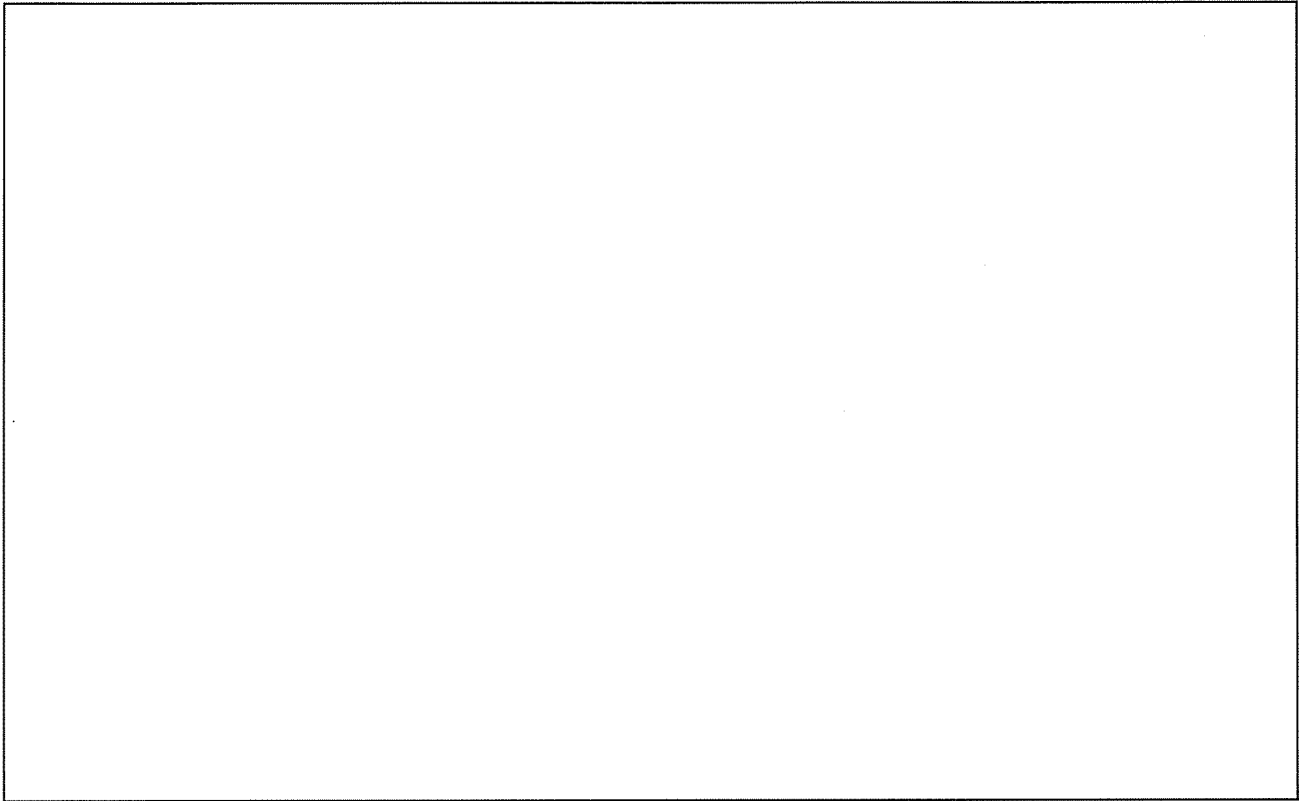
以上の条件を考慮し、以下の式により各堰の必要面積 A を算出した。

$$\text{堰必要面積 } A[m^2] = \text{合計液量 } Q[m^3] \div \text{堰高さ } H[m] \div (1 - \alpha \text{ 設備占有率兼裕度})$$

3. 必要面積 A 算出結果

今回申請対象の安全機能を有する施設の堰毎に保有を想定する合計液量 Q と必要面積 A を算出した結果を以下に示す。なお、「{ }」には安全機能有する施設番号を示している。

堰高さ及び面積設定の考え方を添説設 6 付録 6-1 図に示す。添説設 6 付録 6-1 図の通り、堰（循環貯槽）はフードボックス形状に合わせて 2 面にわかれるので、堰 1 面あたりの必要面積 A を算出している。



添説設 6 付録 6-1 図 堰高さ及び面積設定の考え方

① {23} 堰（循環貯槽）（1）の堰必要面積

安全機能 No.	対象設備	貯留液量 [m ³]	考え方
{21}	加水分解装置（エジェクタ）（1） 〔UO ₂ F ₂ 溶液配管系統を含む〕	—	貯留液量が循環貯槽の液量に比べ、十分少量であり、また循環貯槽側で保守的に設定しているため、考慮不要とした。
{22}	循環貯槽（1） 〔UO ₂ F ₂ 溶液配管系統を含む〕	0.5	循環貯槽、配管分（50L）+液受槽、配管分（120L）+UO ₂ F ₂ 貯槽 1 本、配管分（250L）+熱交換器、配管分（80L）とする ^注
—	合計液量 Q①	0.5	
—	必要面積 A① [m ²]	7.2	$0.5 \div 0.1 \div (1 - 0.3)$

注：原料倉庫に設置する、堰（循環貯槽）に収納する貯槽は循環貯槽のみであるが、保守的に転換加工室に設置する UO₂F₂ 貯槽及び熱交換器内に滞留するウラン溶液も保有できるだけの容量をもつ堰とした。