

3. 評価結果

3.1 津波時

(1) 断面①

断面①の短杭の影響評価結果を表 3-1～表 3-6 及び図 3-1～図 3-6 に示す。

表 3-1 鋼管杭の曲げ圧縮照査における最大照査値

解析 ケース		杭種	曲げモーメン ト (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ圧縮応力 度 σ_s (N/mm ²)	短期許容応力 度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
長杭	①*	C	40963	1183	261	382	0.69
	②*	C	40998	1182	261	382	0.69
	③*	C	40828	1172	260	382	0.69
短杭	①	C	40910	1180	261	382	0.69

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

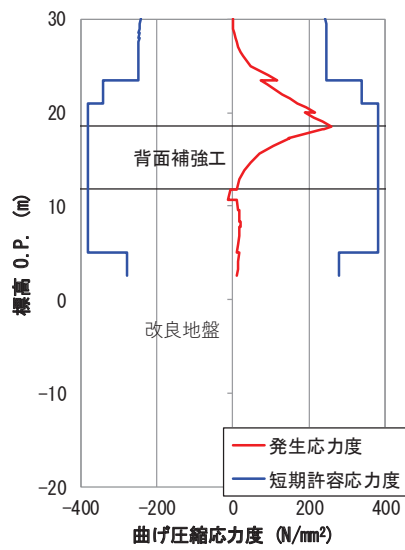
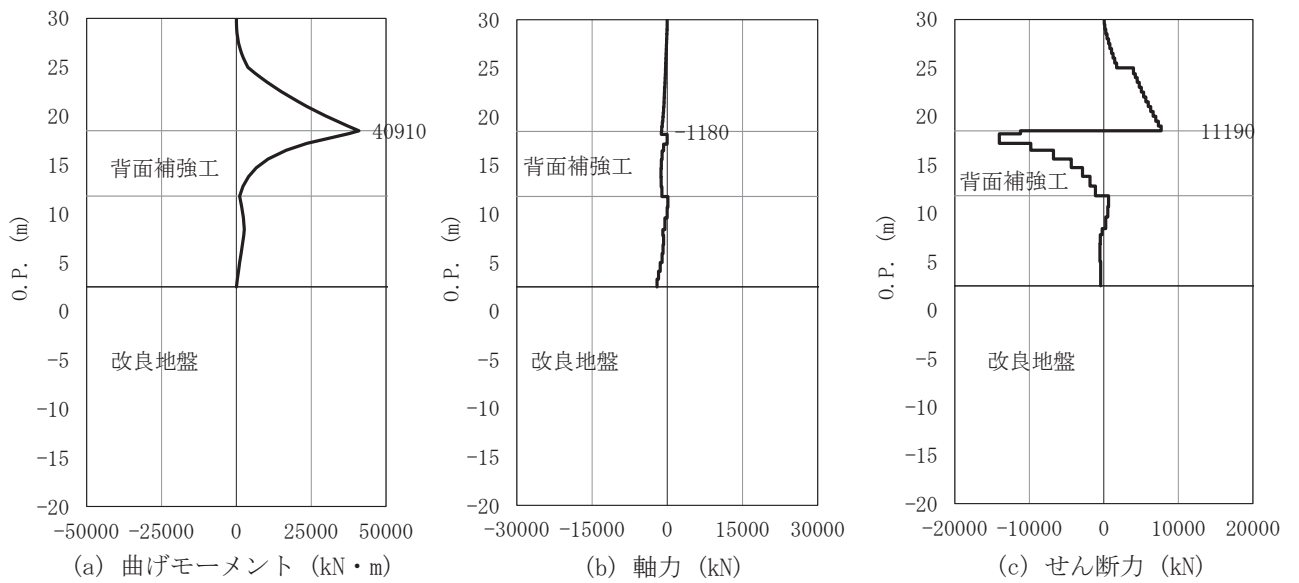


図 3-1 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における評価時刻での断面力及び曲げ圧縮応力度 (断面①, 短杭)

表 3-2 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値

解析 ケース		杭種	せん断力 (kN)	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容応力 度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
長杭	①*	C	12572	96	217	0.45
	②*	C	12566	96	217	0.45
	③*	C	12551	96	217	0.45
短杭	①	C	14031	107	217	0.50

注記* : 「4. 評価結果」の値を再掲。

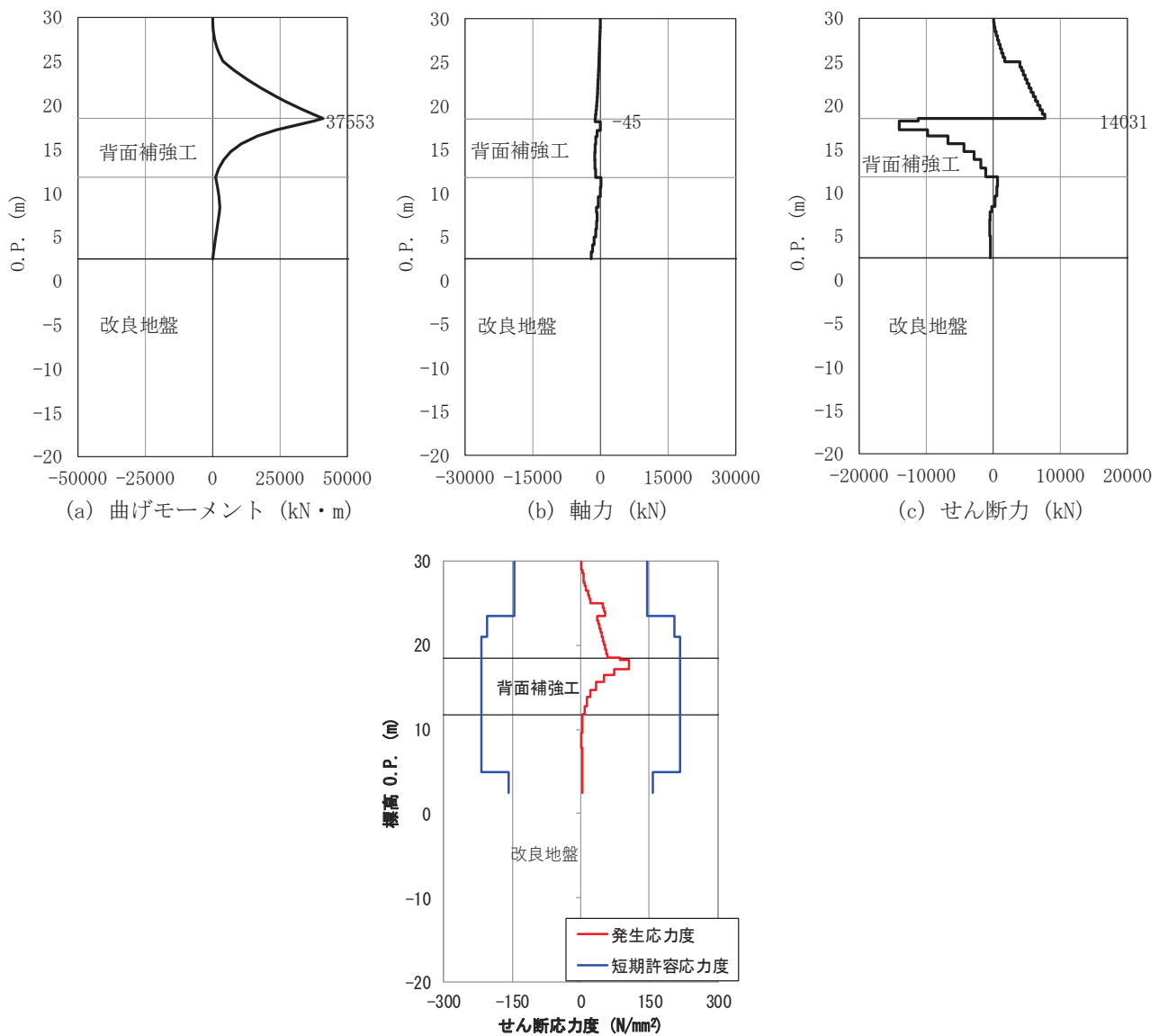


図 3-2 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における評価時刻での断面力及び曲げ圧縮応力度 (断面①, 短杭)

表 3-3 背面補強工のすべり安全率

解析 ケース		最小すべり 安全率
長杭	①*	12.2
	②*	12.2
	③*	12.2
短杭	①	11.6

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

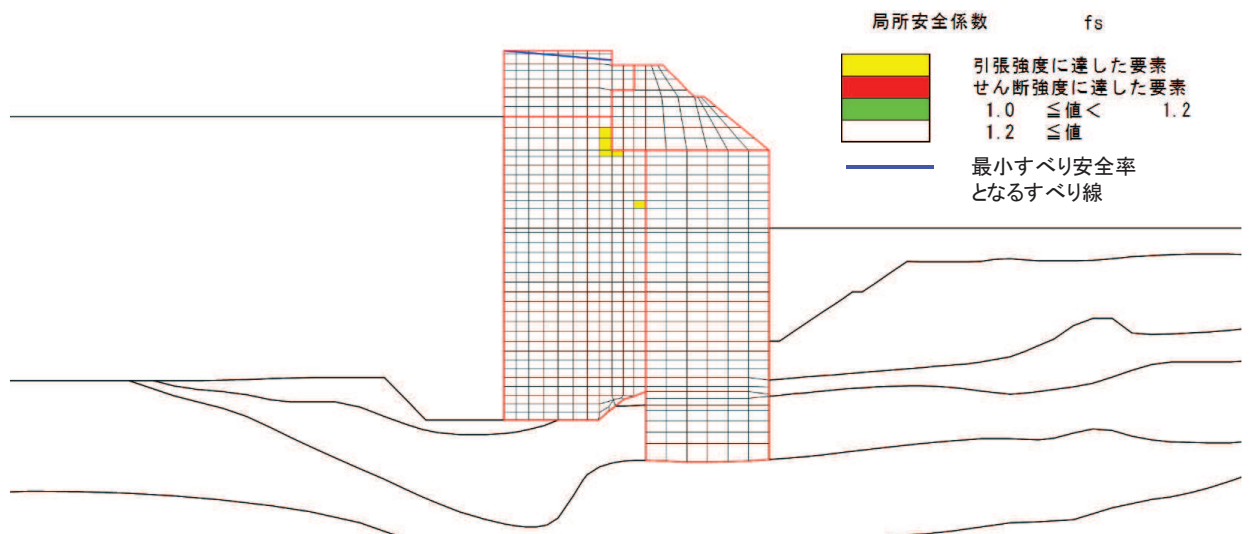


図 3-3 背面補強工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面①, 短杭)

表 3-4 置換コンクリートのすべり安全率

解析 ケース		最小すべり 安全率
長杭	①*	26.0
	②*	26.8
	③*	24.6
短杭	①	26.2

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

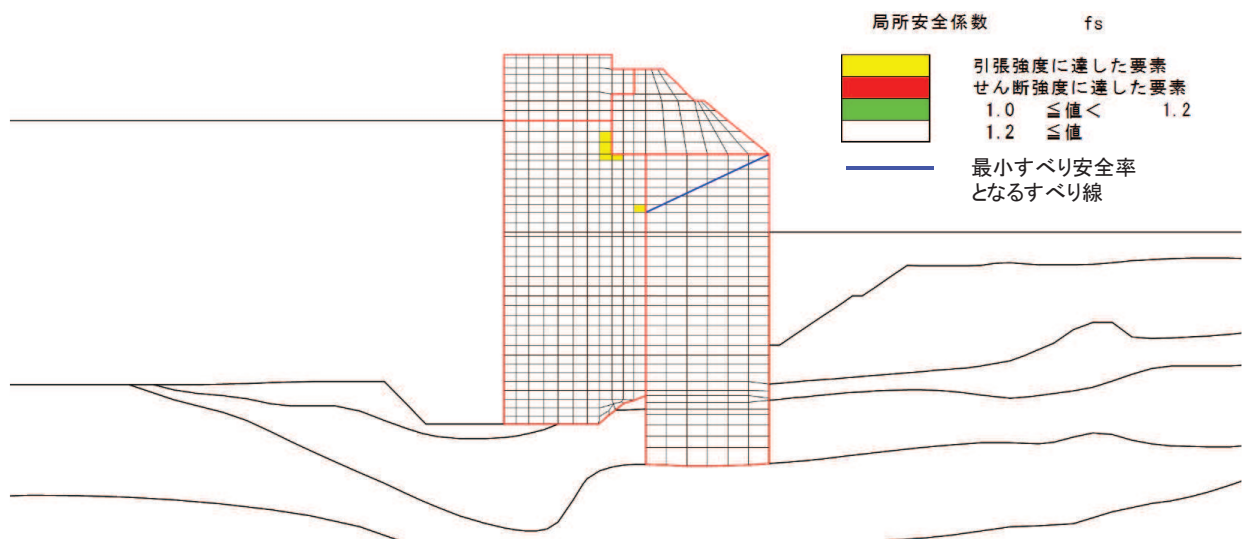


図 3-4 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面①, 短杭)

表 3-5 改良地盤のすべり安全率

解析 ケース		最小すべり 安全率
長杭	①*	4.2
	②*	3.9
	③*	4.7
短杭	①	3.9

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

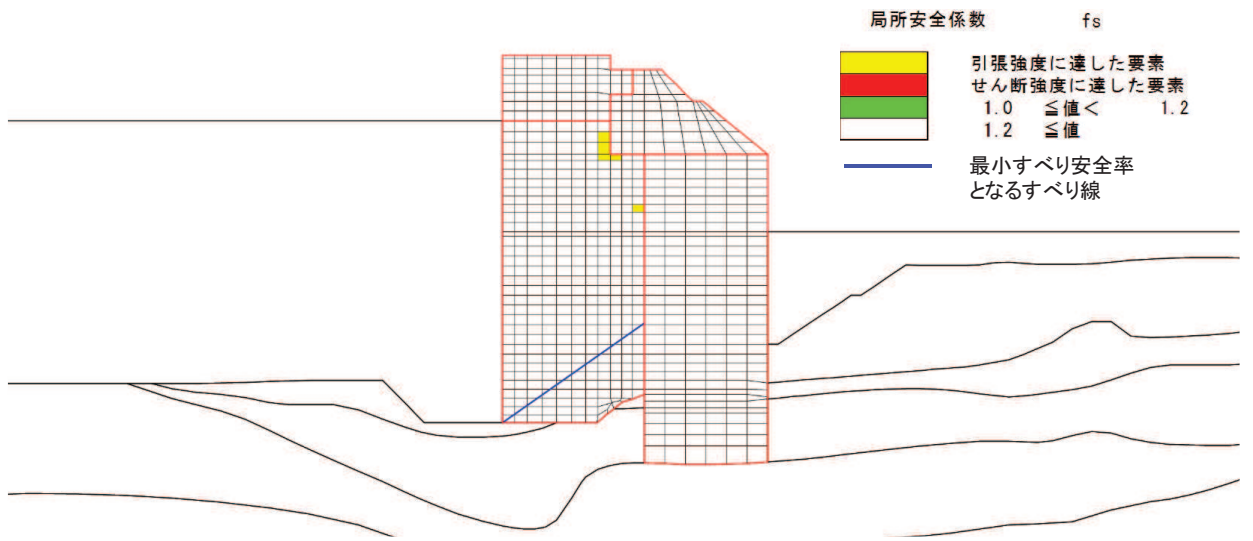


図 3-5 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面①, 短杭)

表 3-6 セメント改良土のすべり安全率

解析 ケース		最小すべり 安全率
長杭	①*	42.1
	②*	40.7
	③*	43.9
短杭	①	38.7

注記* : 「4. 評価結果」の値を再掲。

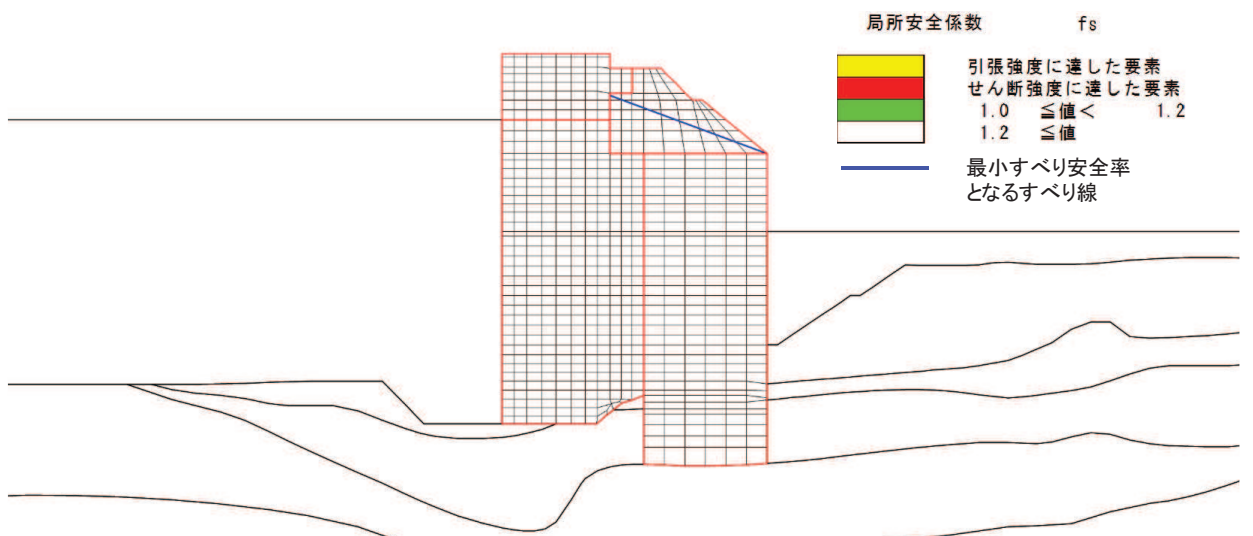


図 3-6 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面①, 短杭)

(2) 断面②

断面②の短杭の影響評価結果を表 3-7～表 3-12 及び図 3-7～図 3-12 に示す。

表 3-7 鋼管杭の曲げ圧縮照査における最大照査値

解析 ケース		杭種	曲げモーメン ト (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ圧縮応力 度 σ_s (N/mm ²)	短期許容応力 度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
長杭	①*	C	40932	1182	261	382	0.69
	②*	C	41017	1180	261	382	0.69
	③*	C	40983	1181	261	382	0.69
短杭	①	C	40997	1179	261	382	0.69

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

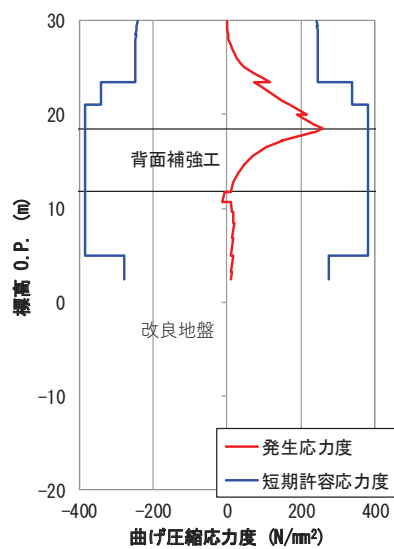
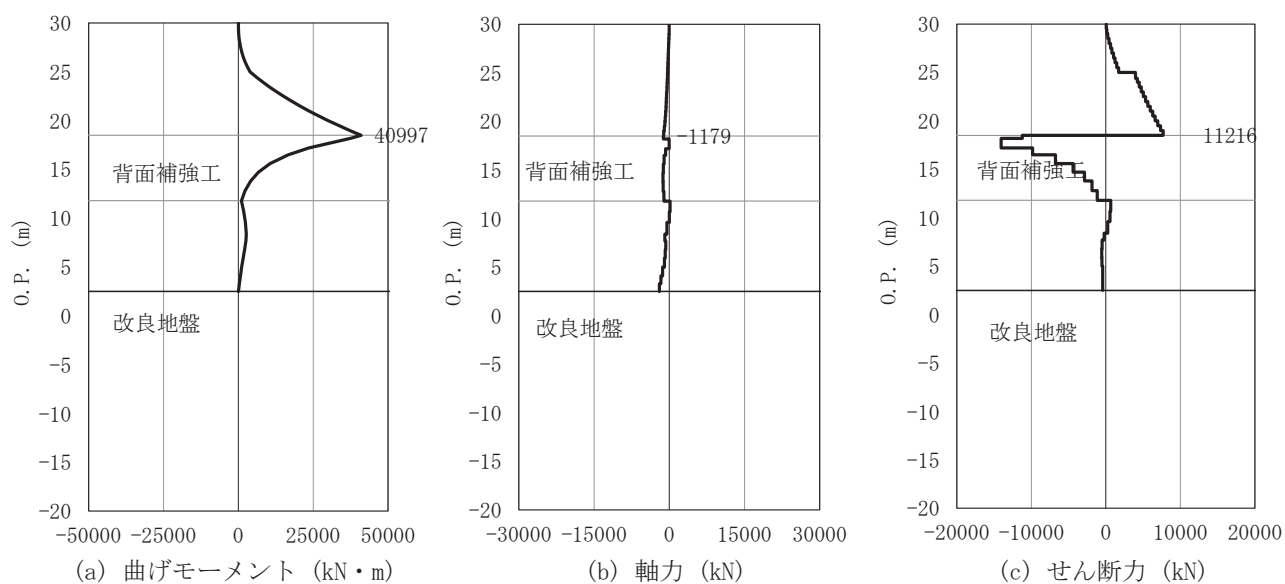


図 3-7 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における評価時刻での断面力及び曲げ圧縮応力度
(断面②, 短杭)

表 3-8 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値

解析ケース		杭種	せん断力 (kN)	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
長杭	①*	C	12563	96	217	0.45
	②*	C	12650	97	217	0.45
	③*	C	12606	96	217	0.45
短杭	①	C	14062	107	217	0.50

注記* : 「4. 評価結果」の値を再掲。

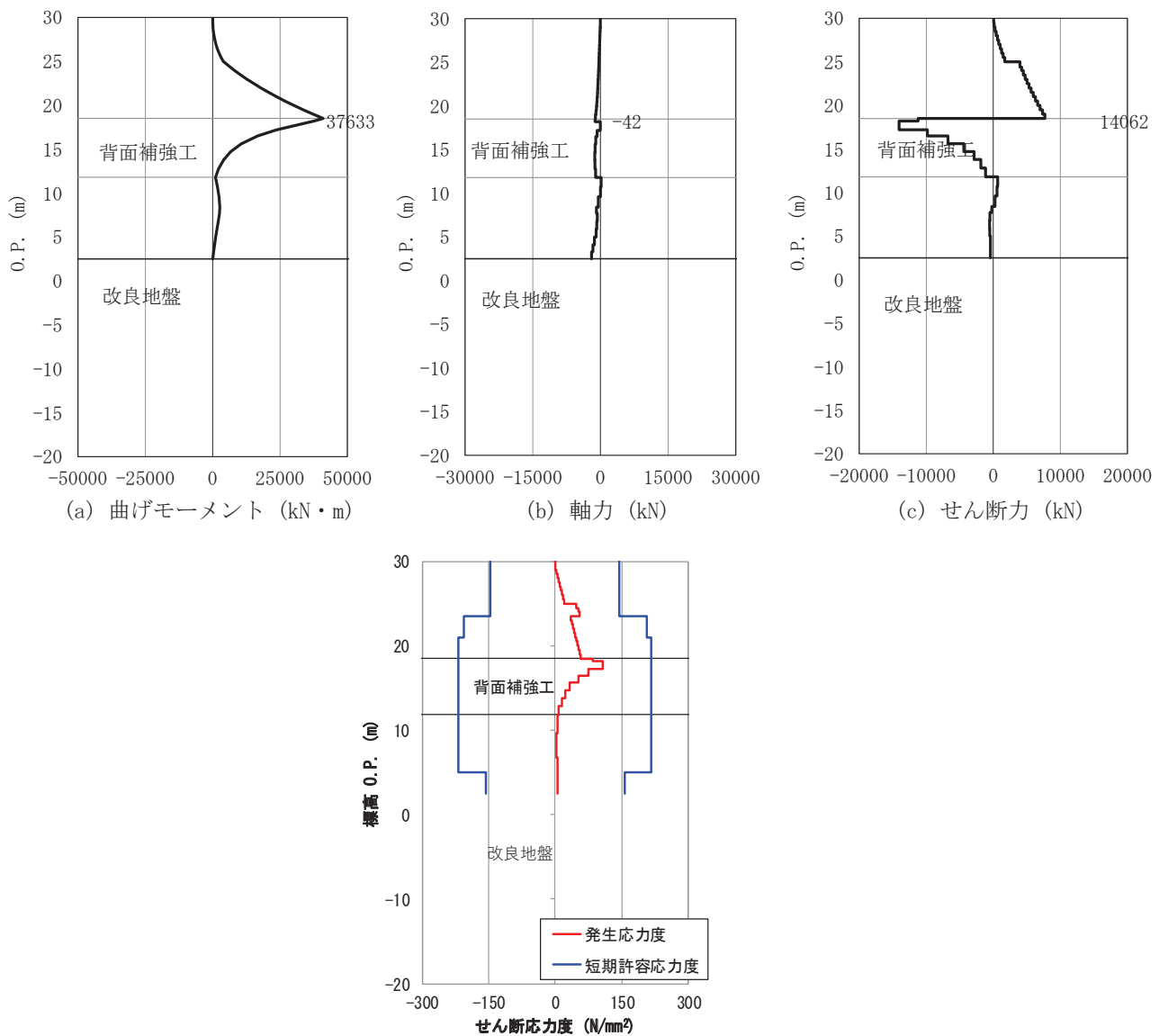


図 3-8 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における評価時刻での断面力及び曲げ圧縮応力度 (断面②, 短杭)

表 3-9 背面補強工のすべり安全率

解析 ケース		最小すべり 安全率
長杭	①*	12.2
	②*	12.1
	③*	12.2
短杭	①	11.6

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

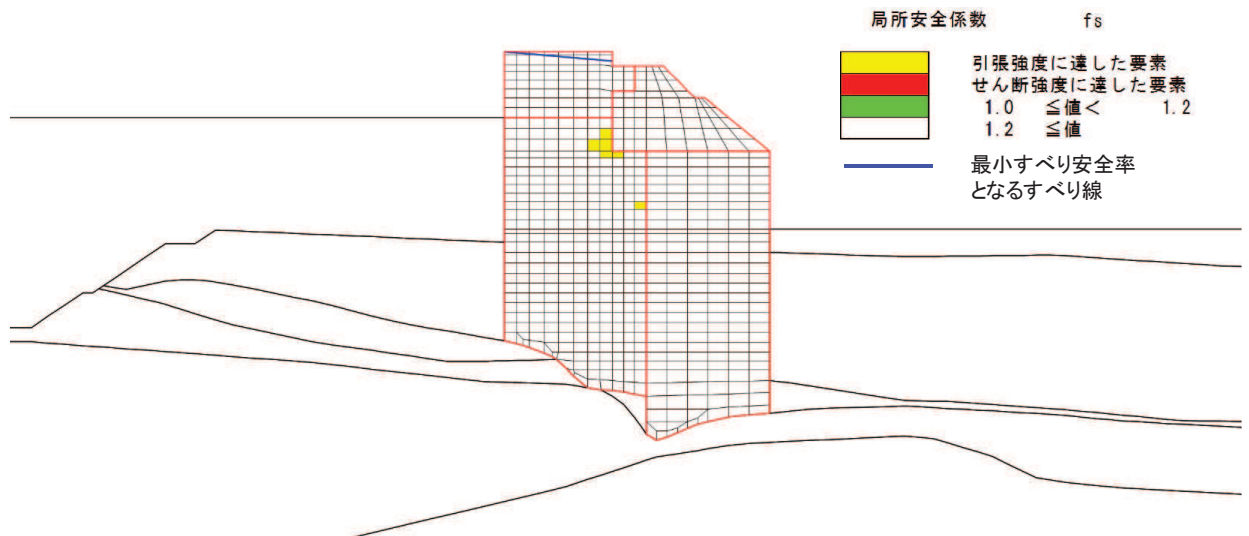


図 3-9 背面補強工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布 (断面②, 短杭)

表 3-10 置換コンクリートのすべり安全率

解析 ケース		最小すべり 安全率
長杭	①*	26.0
	②*	27.2
	③*	24.7
短杭	①	26.2

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

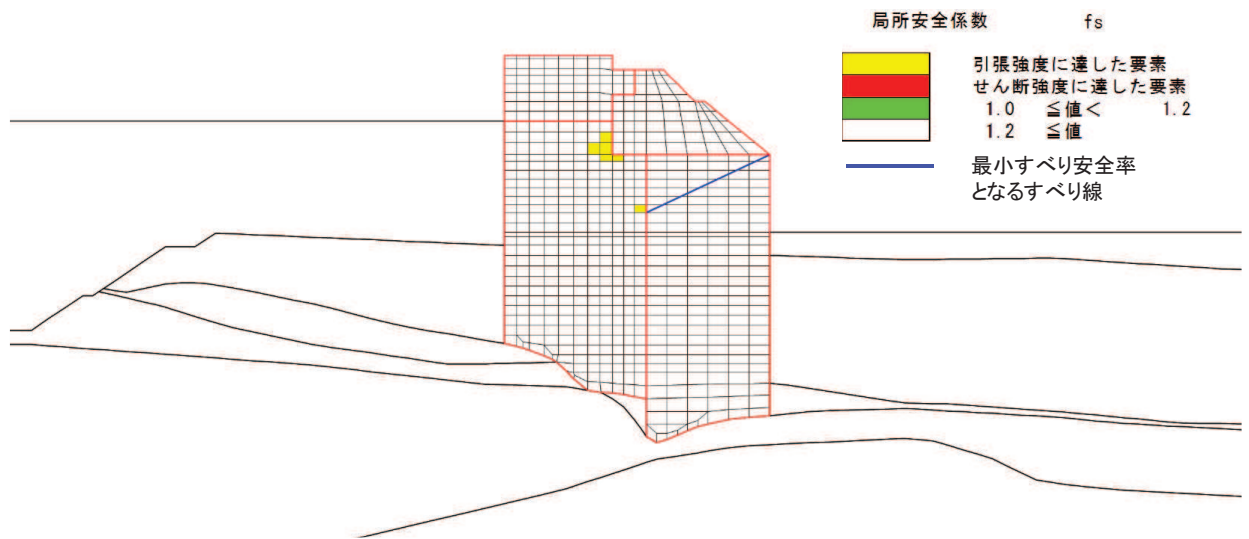


図 3-10 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面②, 短杭)

表 3-11 改良地盤のすべり安全率

解析 ケース		最小すべり 安全率
長杭	①*	5.0
	②*	4.9
	③*	5.1
短杭	①	4.8

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

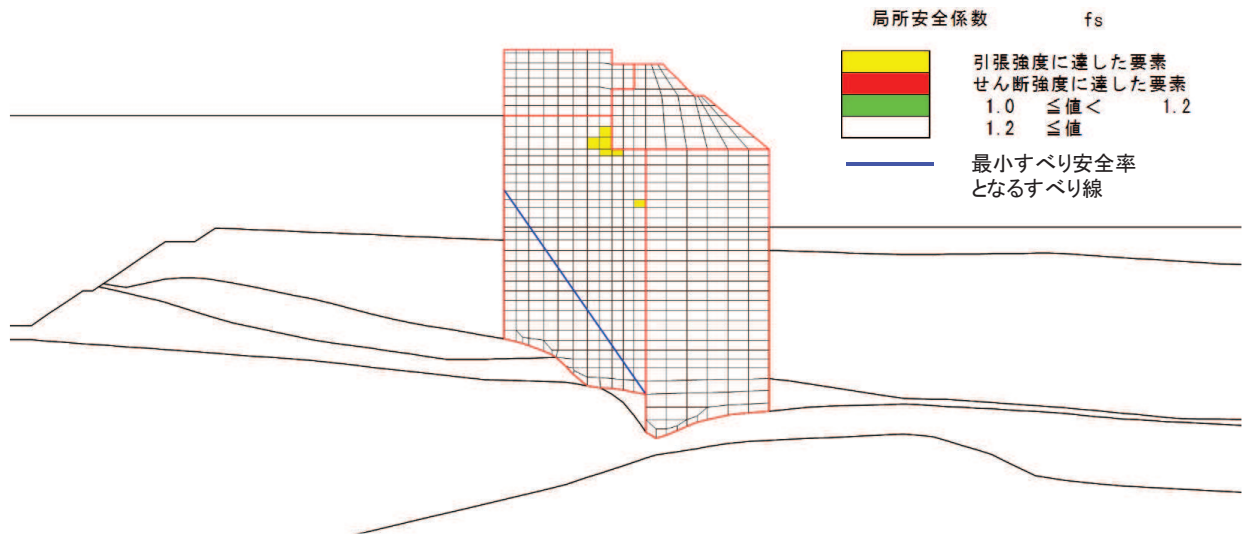


図 3-11 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面②, 短杭)

表 3-12 セメント改良土のすべり安全率

解析 ケース		最小すべり 安全率
長杭	①*	42.7
	②*	41.3
	③*	44.1
短杭	①	39.3

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

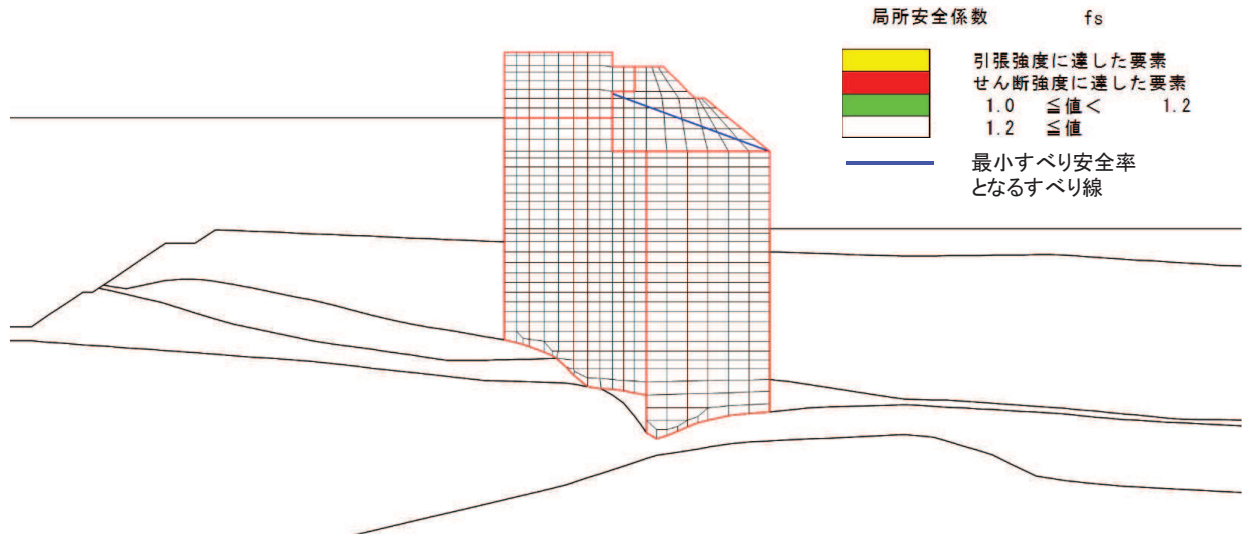


図 3-12 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面②, 短杭)

(3) 断面③

断面③の短杭の影響評価結果を表 3-13～表 3-18 及び図 3-13～図 3-18 に示す。

表 3-13 鋼管杭の曲げ圧縮照査における最大照査値

解析 ケース		杭種	曲げモーメン ト (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ圧縮応力 度 σ_s (N/mm ²)	短期許容応力 度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
長杭	①*	C	40946	1180	261	382	0.69
	②*	C	40978	1183	261	382	0.69
	③*	C	40981	1178	261	382	0.69
短杭	①	C	40872	1184	261	382	0.69

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

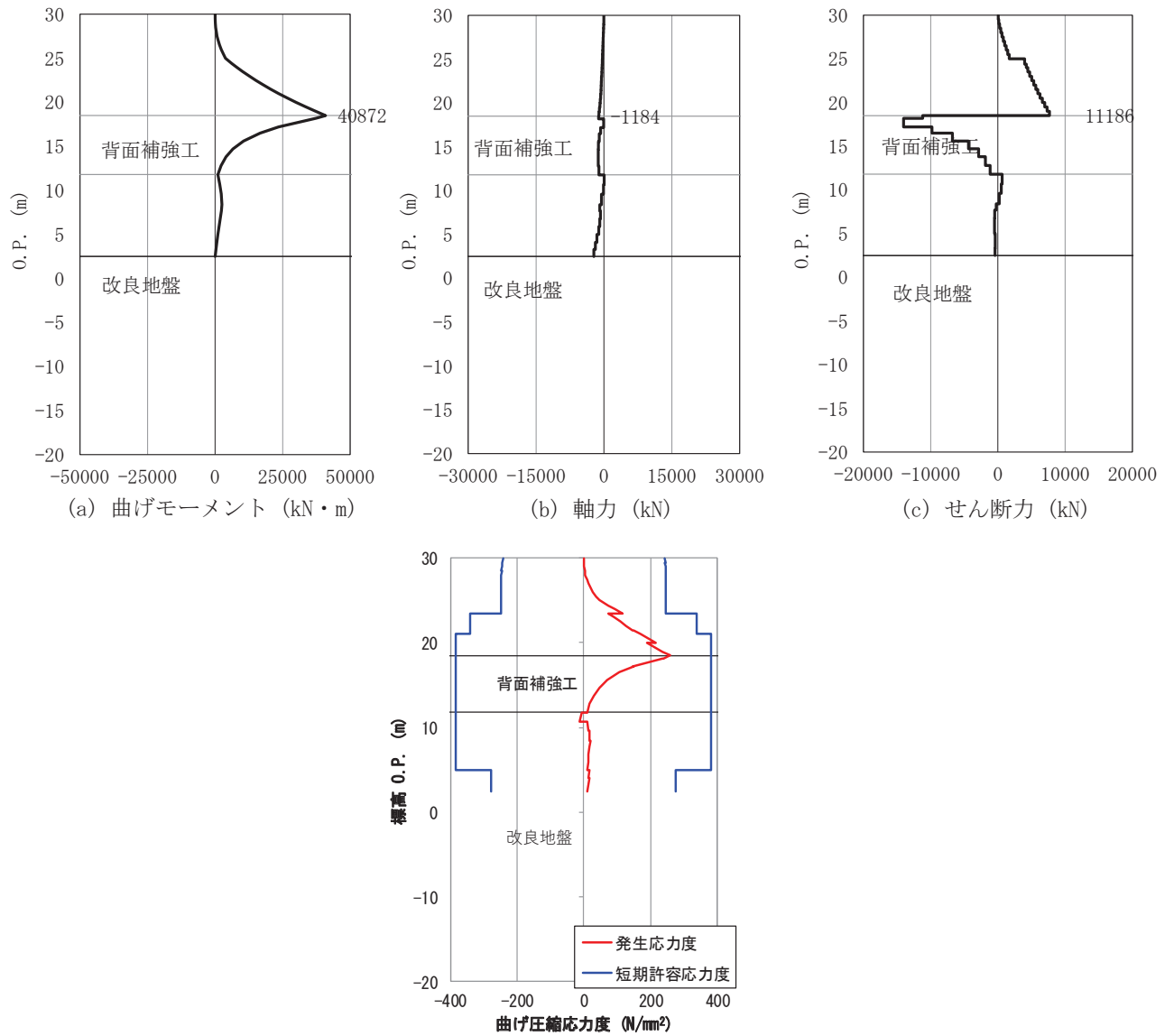


図 3-13 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における評価時刻での断面力及び曲げ圧縮応力度 (断面③, 短杭)

表 3-14 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値

解析 ケース	杭種	せん断力 (kN)	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容応力 度	照査値 τ_s / τ_{sa}	
				τ_{sa} (N/mm ²)		
長杭	①*	C	12568	96	217	0.45
	②*	C	12559	96	217	0.45
	③*	C	12604	96	217	0.45
短杭	①	C	14019	107	217	0.50

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

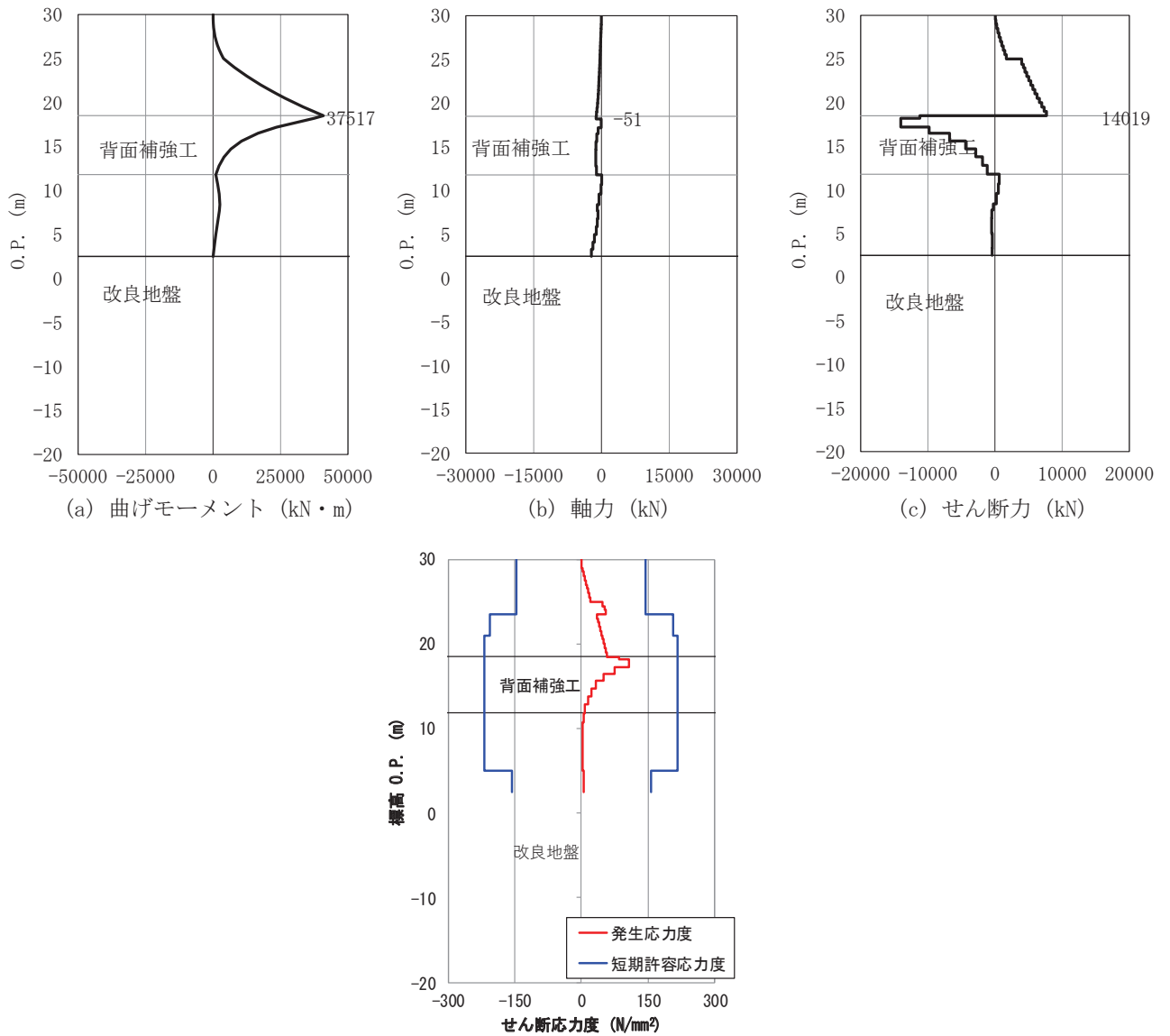


図 3-14 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における評価時刻での
断面力及び曲げ圧縮応力度
(断面③，短杭)

(参考) 1-20

表 3-15 背面補強工のすべり安全率

解析 ケース		最小すべり 安全率
長杭	①*	12.2
	②*	12.2
	③*	12.2
短杭	①	11.7

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

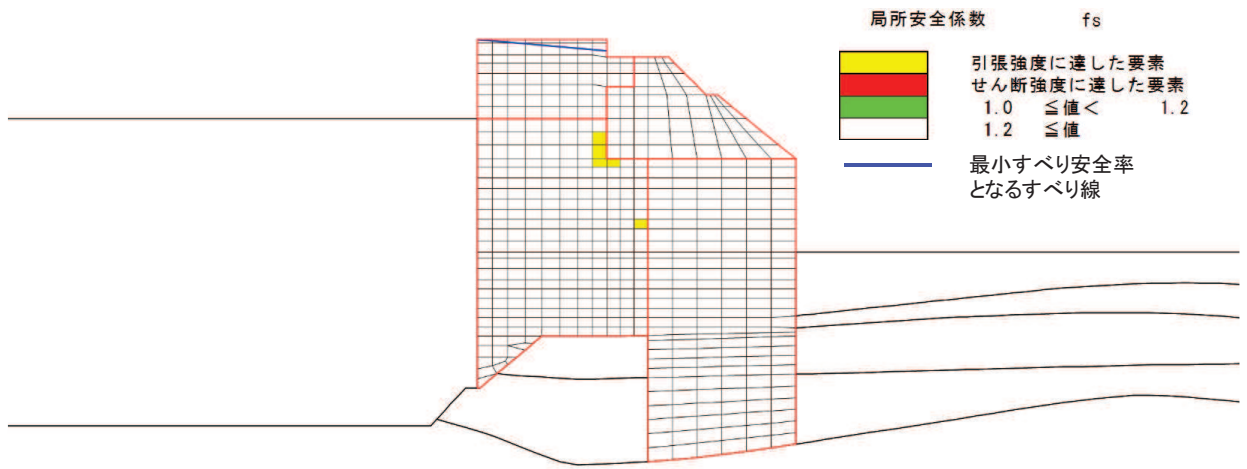


図 3-15 背面補強工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面③, 短杭)

表 3-16 置換コンクリートのすべり安全率

解析 ケース		最小すべり 安全率
長杭	①*	19.4
	②*	19.6
	③*	19.3
短杭	①	18.3

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

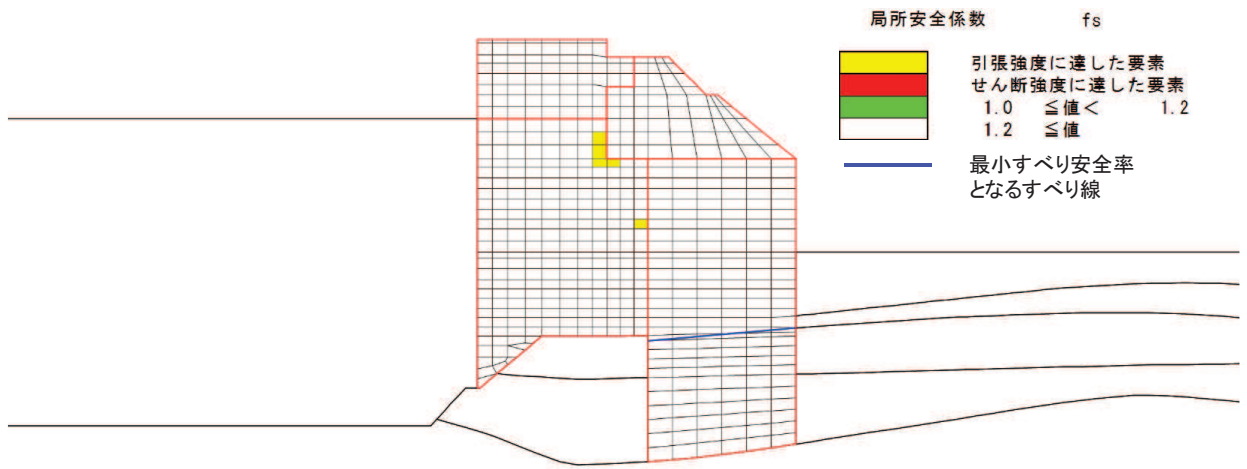


図 3-16 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面③, 短杭)

表 3-17 改良地盤のすべり安全率

解析 ケース		最小すべり 安全率
長杭	①*	4.8
	②*	4.4
	③*	4.9
短杭	①	4.3

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

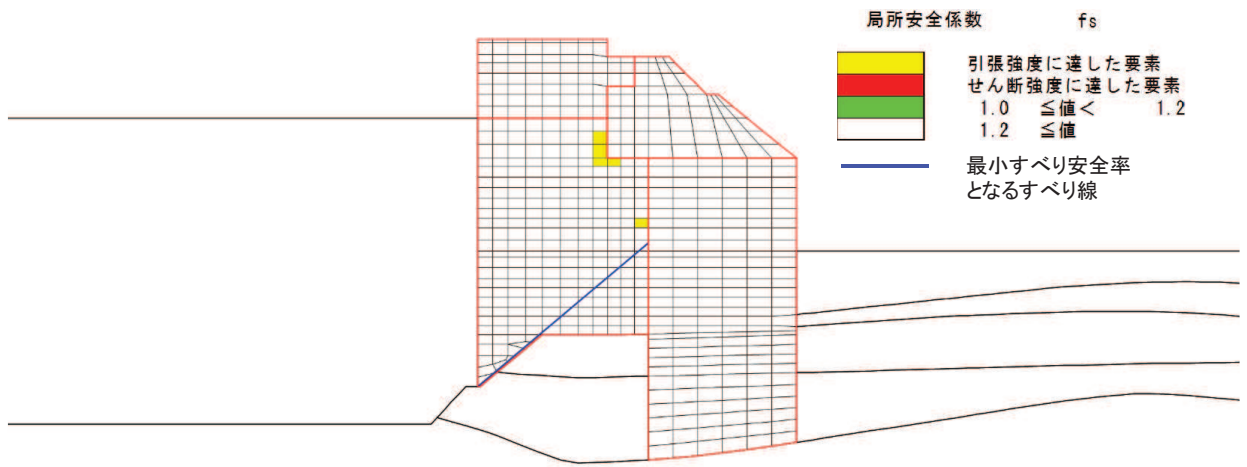


図 3-17 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面③, 短杭)

表 3-18 セメント改良土のすべり安全率

解析 ケース		最小すべり 安全率
長杭	①*	40.0
	②*	38.6
	③*	42.2
短杭	①	36.9

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

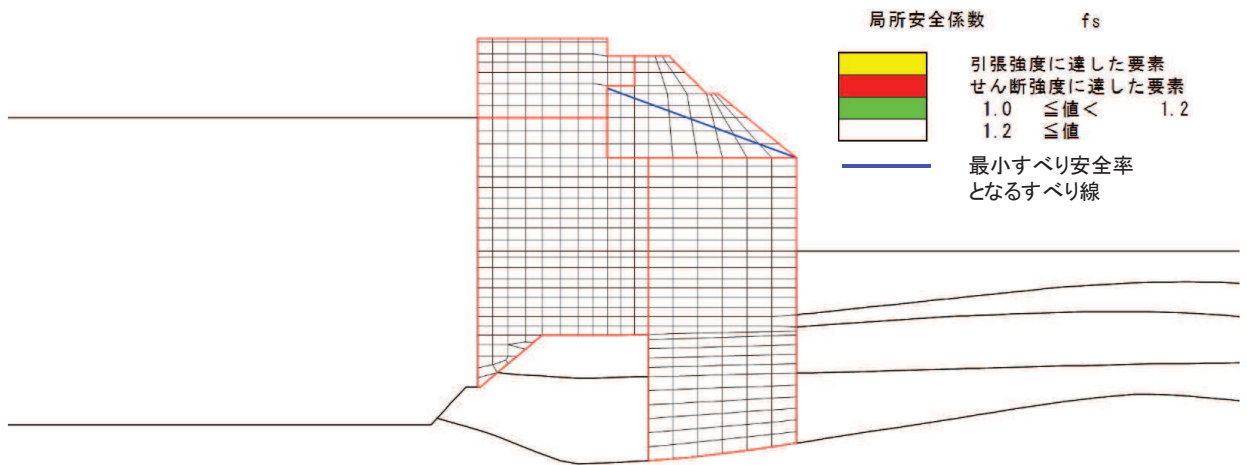


図 3-18 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面③, 短杭)

(4) 断面④

断面④の短杭の影響評価結果を表 3-19～表 3-24 及び図 3-19～図 3-24 に示す。

表 3-19 鋼管杭の曲げ圧縮照査における最大照査値

解析 ケース		杭種	曲げモーメン ト (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ圧縮応力 度 σ_s (N/mm ²)	短期許容応力 度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
長杭	①*	D	106	3001	18	277	0.07
	②*	D	92	2732	16	277	0.06
	③*	D	106	3334	19	277	0.07
短杭	①	D	105	2068	13	277	0.05

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

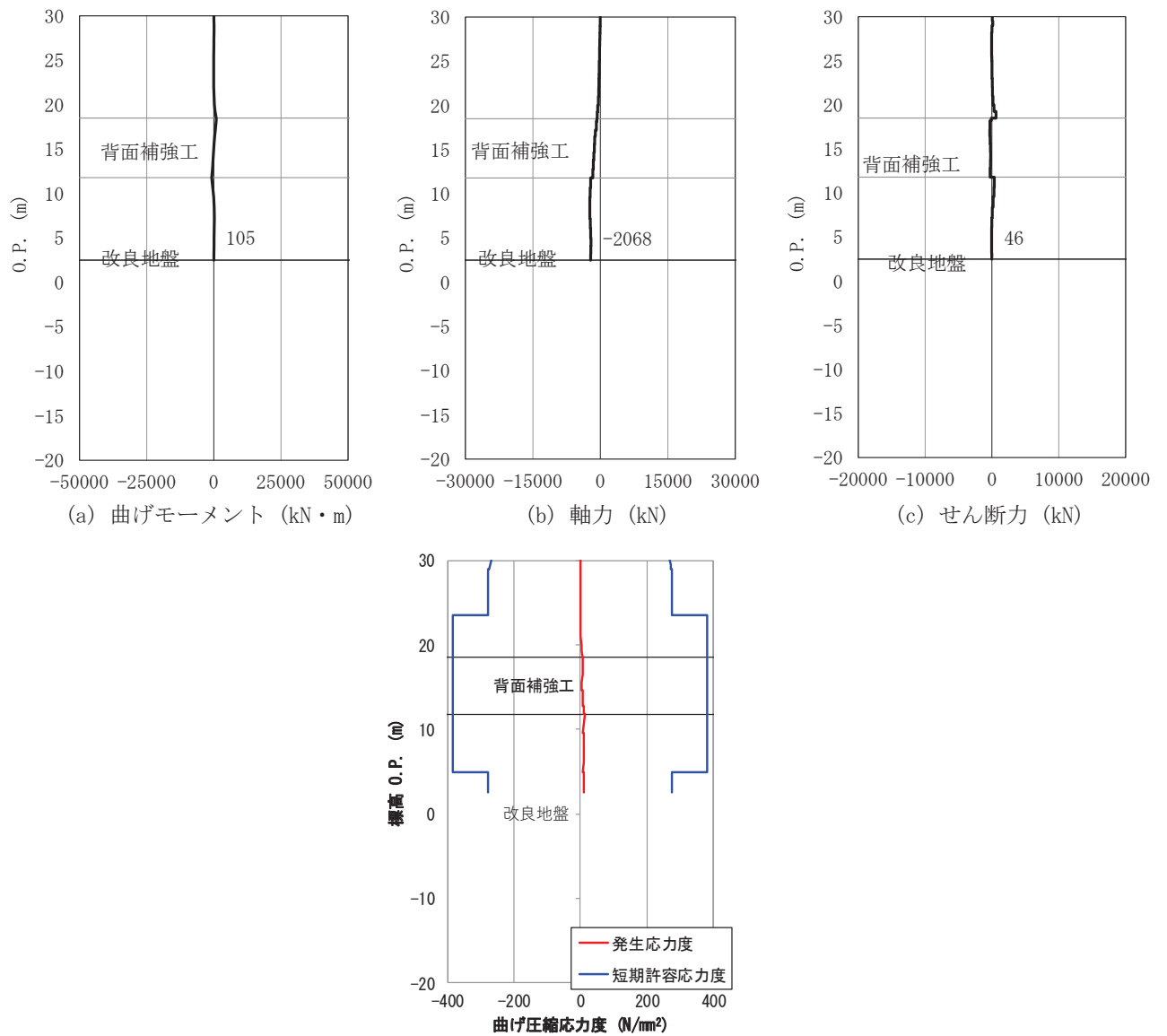


図 3-19 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における評価時刻での断面力及び曲げ圧縮応力度 (断面④, 短杭)

表 3-20 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値

解析 ケース	杭種	せん断力 (kN)	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容応力 度	照査値 τ_s / τ_{sa}
				τ_{sa} (N/mm ²)	
長杭	①*	595	5	217	0.03
	②*	504	4	217	0.02
	③*	713	6	217	0.03
短杭	①	607	5	217	0.03

注記* : 「4. 評価結果」の値を再掲。

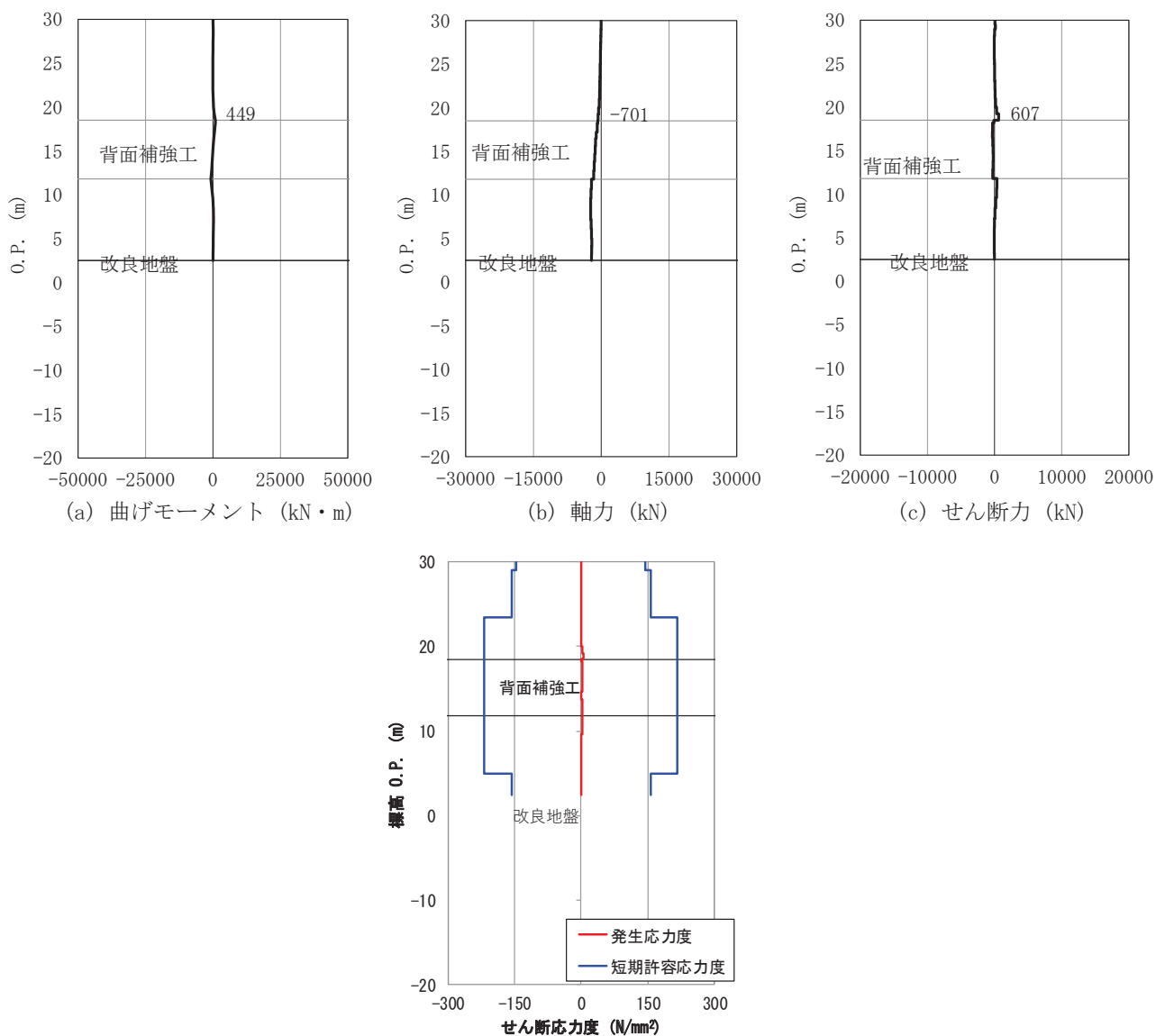


図 3-20 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における評価時刻での
断面力及び曲げ圧縮応力度
(断面④, 短杭)

表 3-21 背面補強工のすべり安全率

解析 ケース		最小すべり 安全率
長杭	①*	23.7
	②*	23.6
	③*	23.4
短杭	①	23.6

注記* : 「4. 評価結果」の値を再掲。

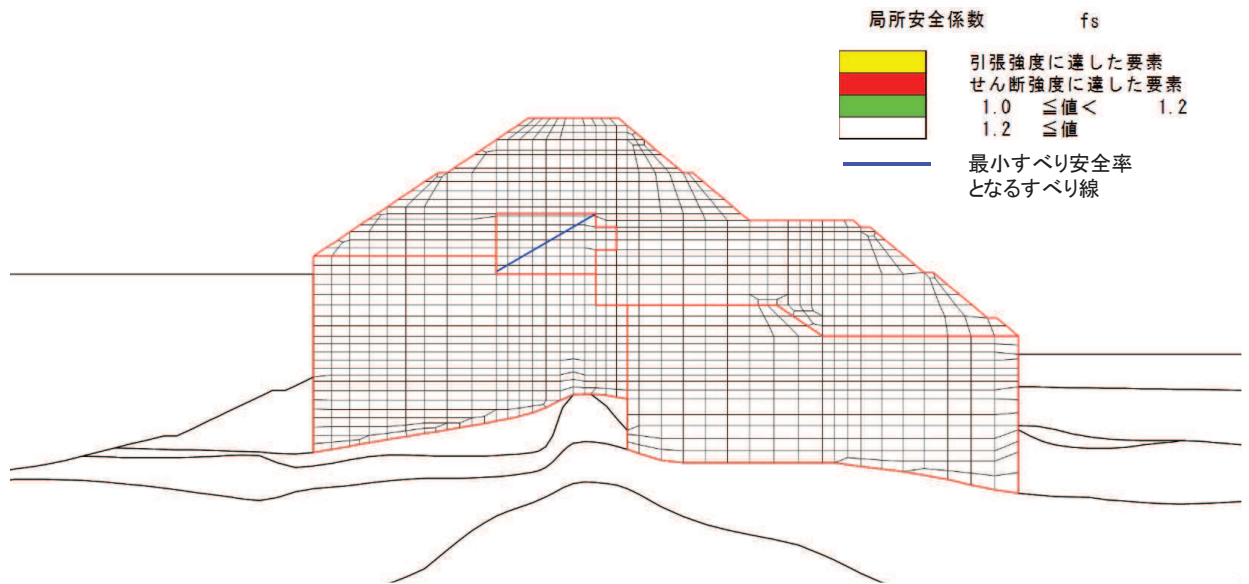


図 3-21 背面補強工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面④, 短杭)

表 3-22 置換コンクリートのすべり安全率

解析 ケース		最小すべり 安全率
長杭	①*	36.6
	②*	36.8
	③*	36.5
短杭	①	36.3

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

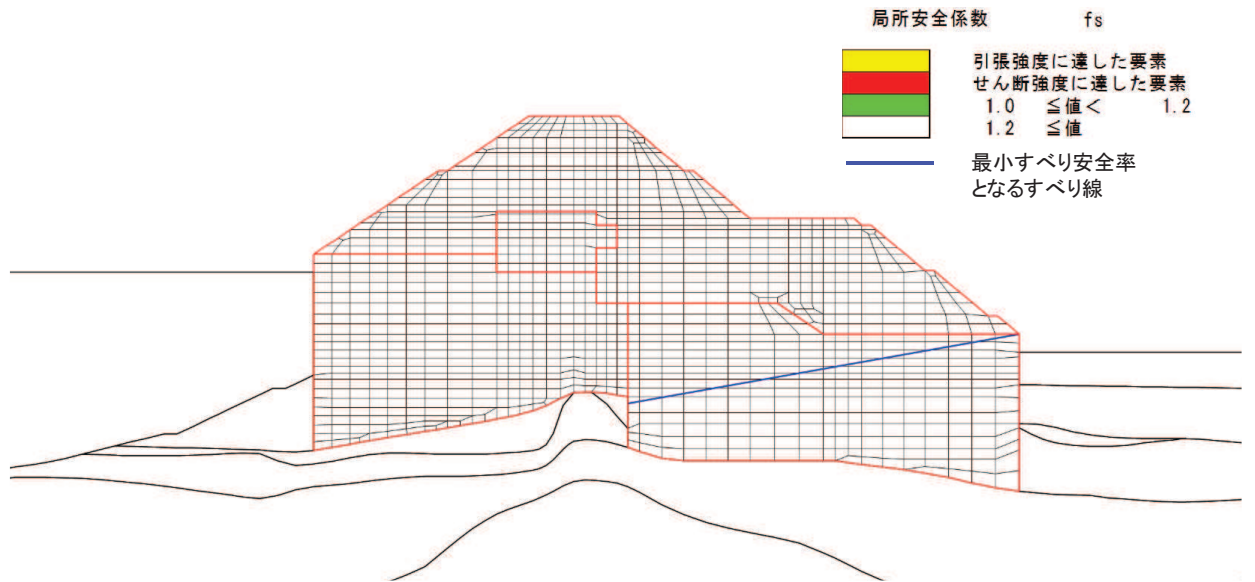


図 3-22 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面④, 短杭)

表 3-23 改良地盤のすべり安全率

解析 ケース		最小すべり 安全率
長杭	①*	7.9
	②*	7.7
	③*	8.2
短杭	①	7.9

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

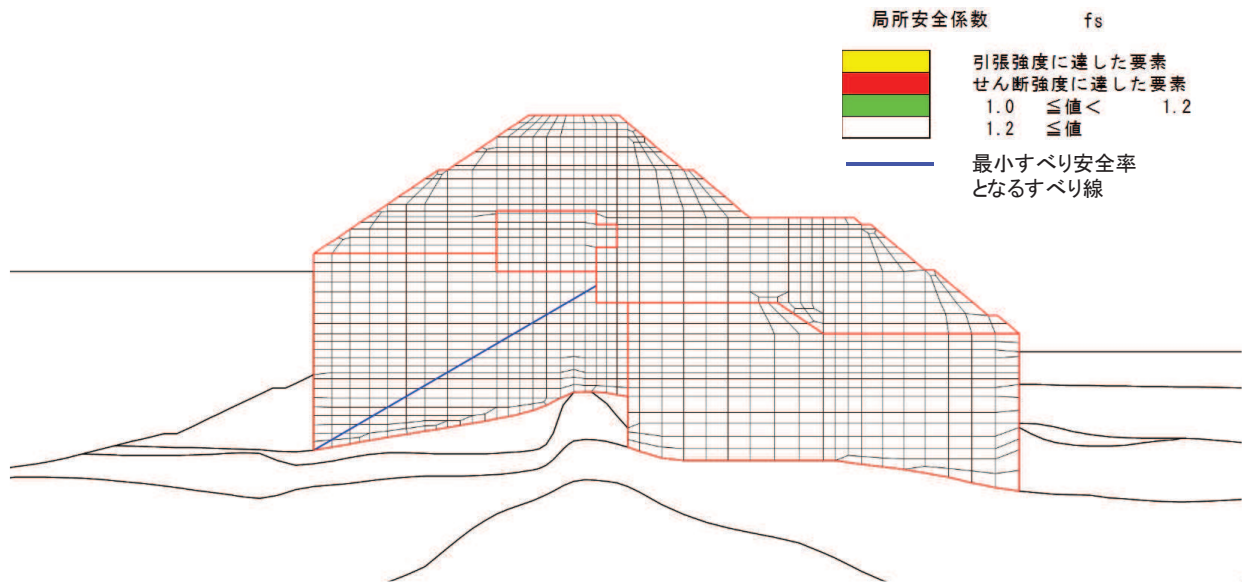


図 3-23 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面④, 短杭)

表 3-24 セメント改良土のすべり安全率

解析 ケース		最小すべり 安全率
長杭	①*	10.2
	②*	10.0
	③*	10.4
短杭	①	10.0

注記* : 「4. 評価結果」の値を再掲。

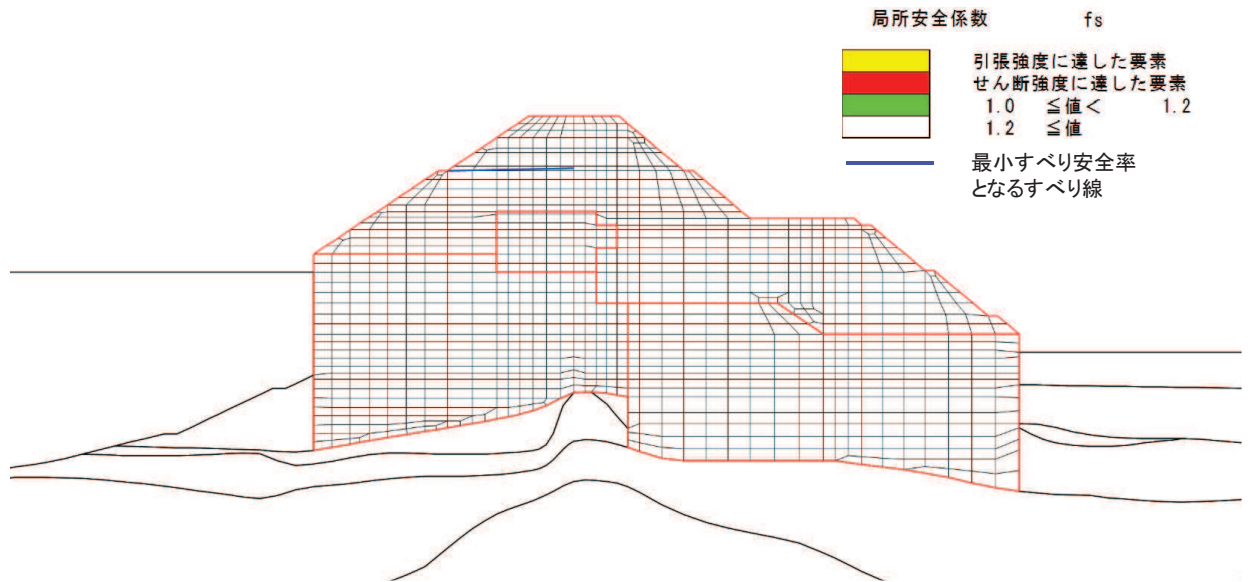


図 3-24 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面④, 短杭)

3.2 重畳時

(1) 断面①

断面①の短杭の影響評価結果を表 3-25～表 3-31 及び図 3-25～図 3-30 に示す。

表 3-25 鋼管杭の曲げ圧縮照査における最大照査値（断面①，S d - D 2（-+））

解析 ケース		杭種	曲げモーメン ト (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ圧縮応力 度 σ_s (N/mm ²)	短期許容応力 度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
長杭	①*	C	44972	1316	287	382	0.76
	②*	C	45243	1277	288	382	0.76
	③*	C	42182	1312	269	382	0.71
短杭	①	C	45193	1362	288	382	0.76

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

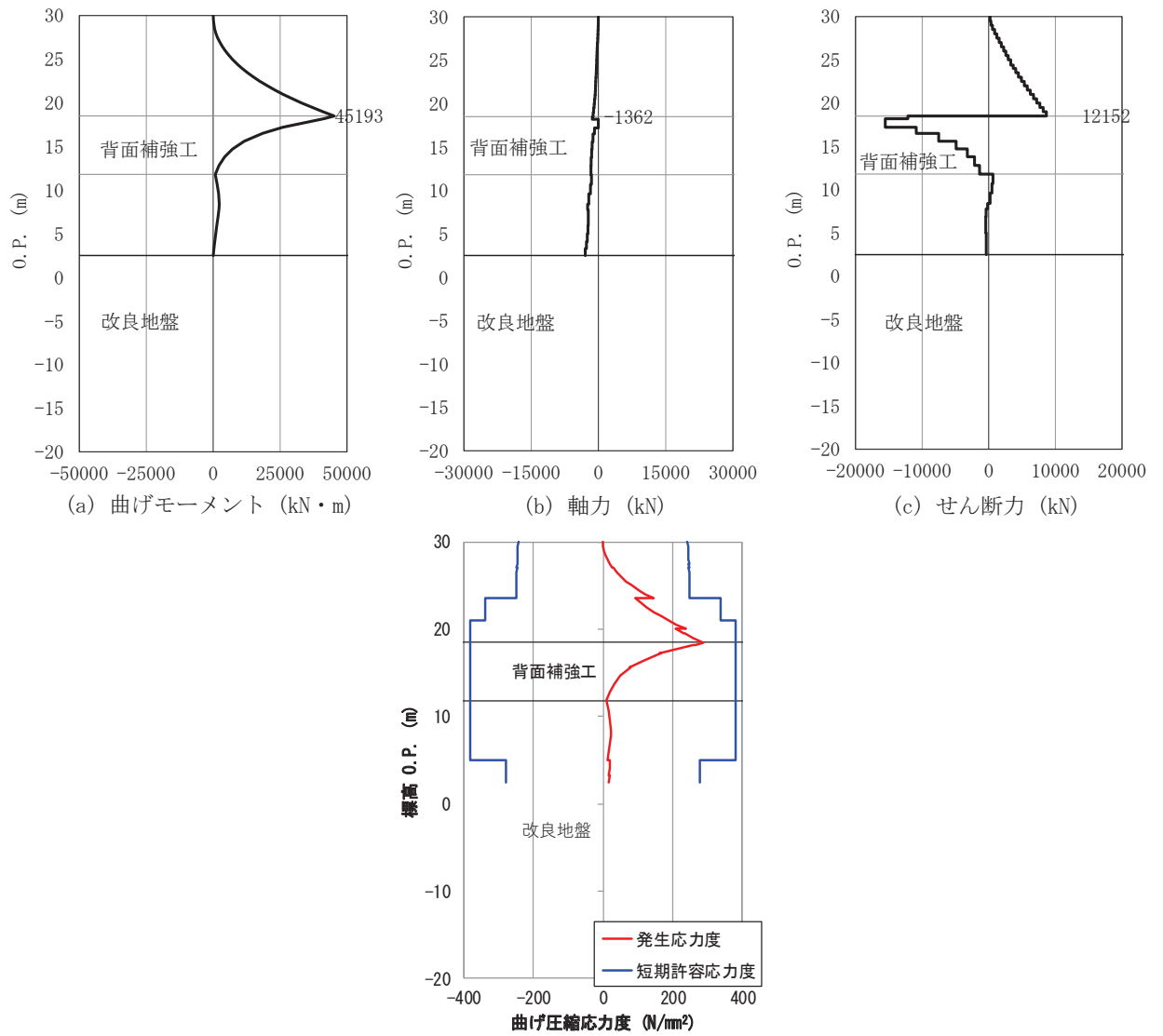


図 3-25 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における評価時刻での
断面力及び曲げ圧縮応力度
(断面①, 短杭, S d - D 2 (- +) , t=17.47s)

表 3-26 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値（断面①， S d - D 2（-+））

解析 ケース		杭種	せん断力 (kN)	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容応力 度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
長杭	①*	C	13526	103	217	0.48
	②*	C	13606	104	217	0.48
	③*	C	12646	97	217	0.45
短杭	①	C	15537	119	217	0.55

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

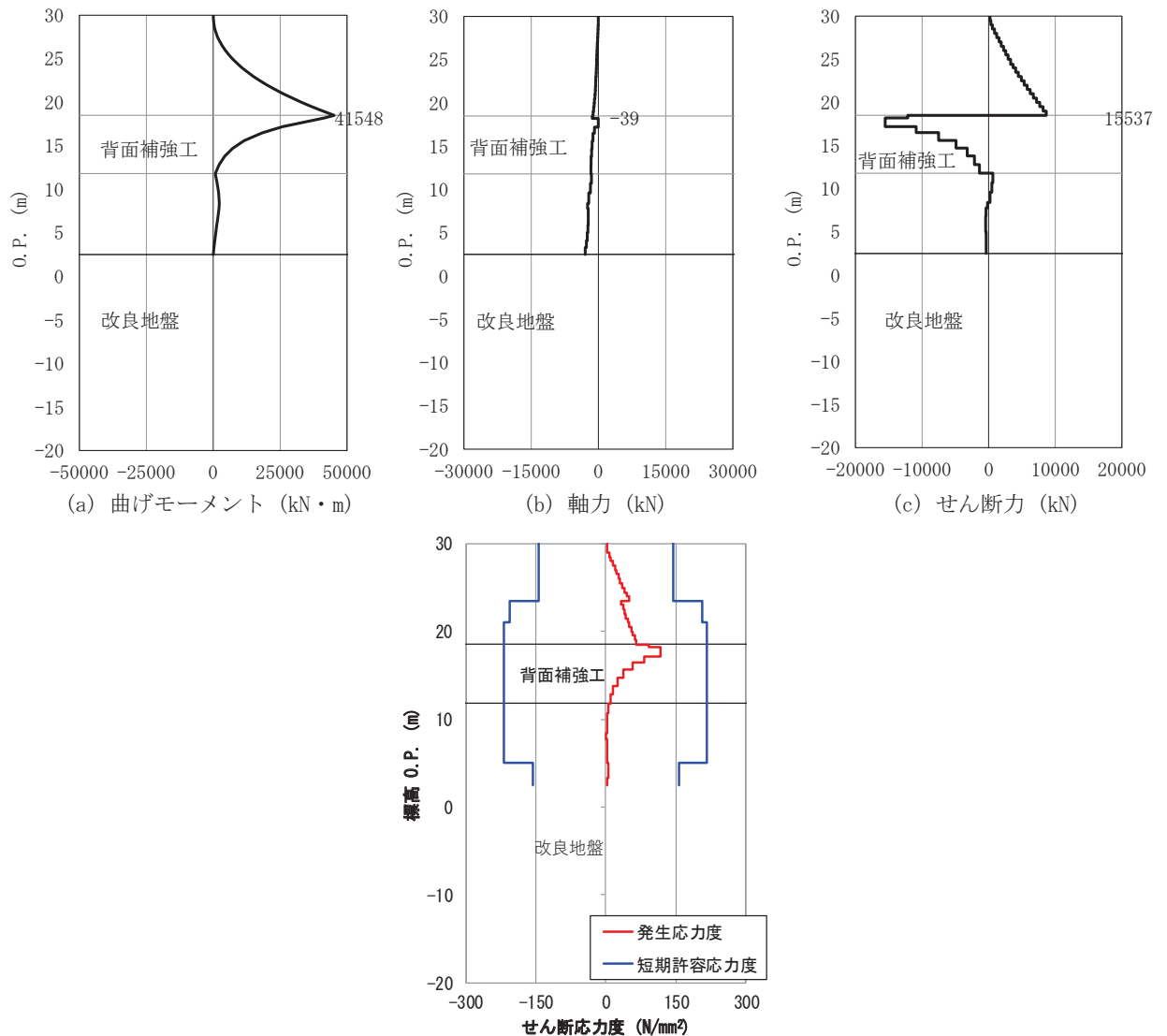


図 3-26 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力

(断面①, 短杭, S d - D 2（-+）, t=17.47s)

表 3-27 背面補強工のすべり安全率（断面①， S d - D 2（-+））

解析 ケース		発生時刻 (s)	最小すべり 安全率
長杭	①*	17.48	11.0
	②*	17.47	11.0
	③*	17.49	11.9
短杭	①	17.48	9.2

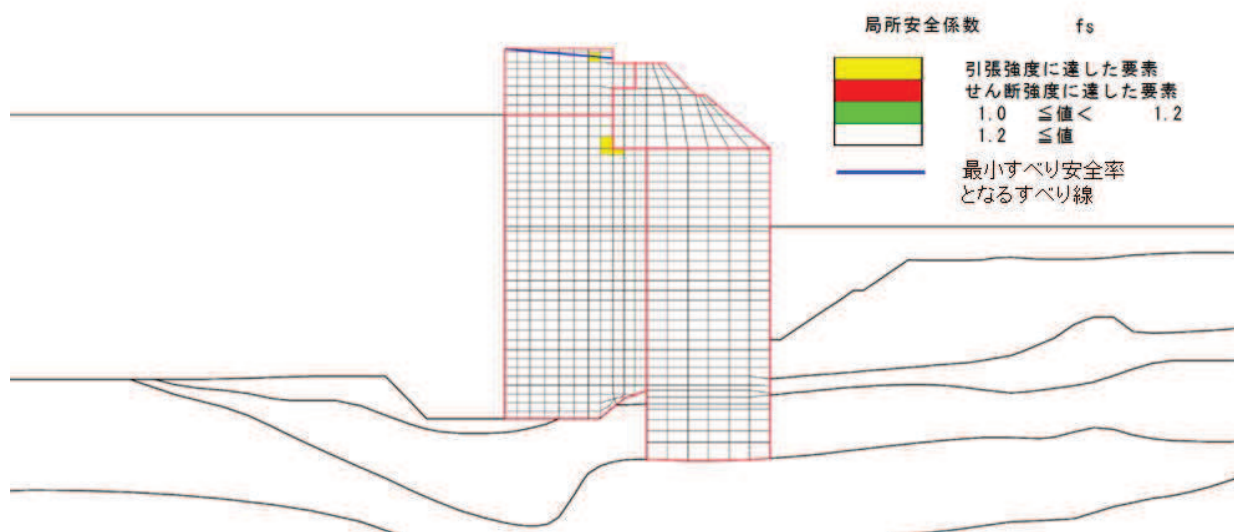


図 3-27 背面補強工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面①, 短杭)

表 3-28 置換コンクリートのすべり安全率 (断面①, S d - D 2 (-+))

解析 ケース		発生時刻 (s)	最小すべり 安全率
長杭	①*	13.20	15.1
	②*	25.55	14.1
	③*	25.32	15.6
短杭	①	13.20	15.2

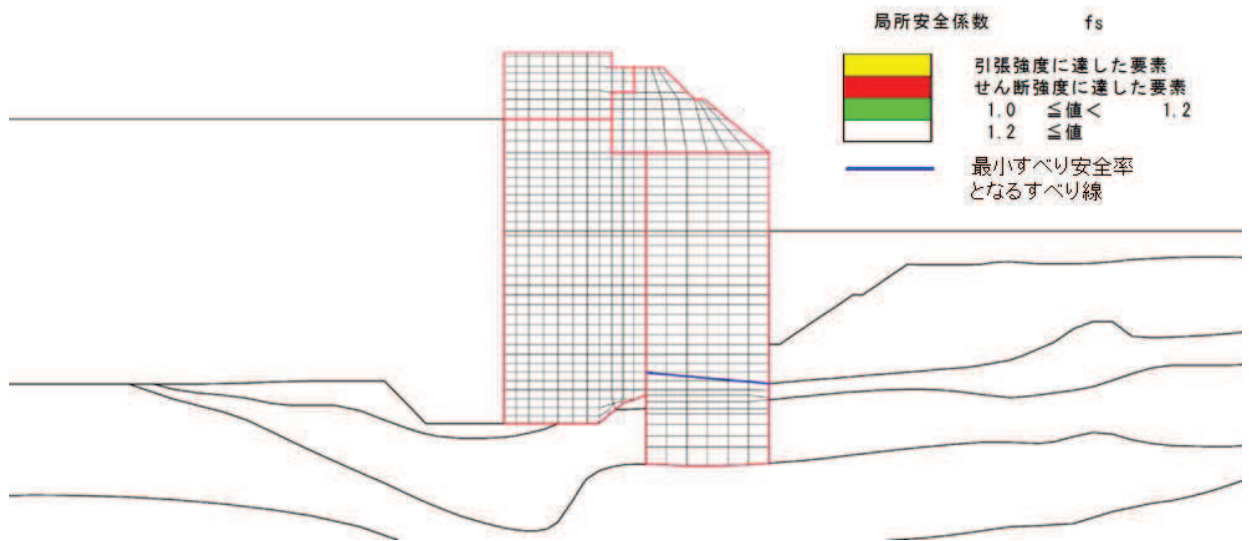


図 3-28 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面①, 短杭)

表 3-29 改良地盤のすべり安全率 (断面①, S d - D 2 (- +))

解析 ケース		発生時刻 (s)	最小すべり 安全率
長杭	①*	12.93	2.6
	②*	12.93	2.5
	③*	25.79	2.9
短杭	①	12.93	2.5

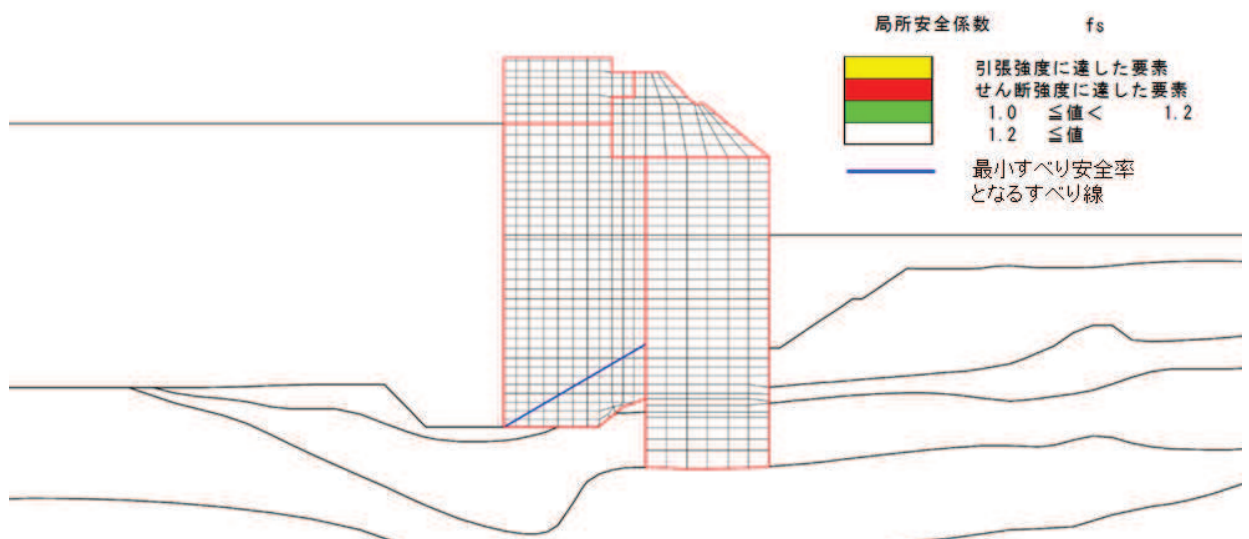


図 3-29 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面①, 短杭)

表 3-30 セメント改良土のすべり安全率（断面①， S d - D 2（-+））

解析 ケース		発生時刻 (s)	最小すべり 安全率
長杭	①*	24.99	48.2
	②*	25.55	56.7
	③*	30.05	52.2
短杭	①	24.99	54.7

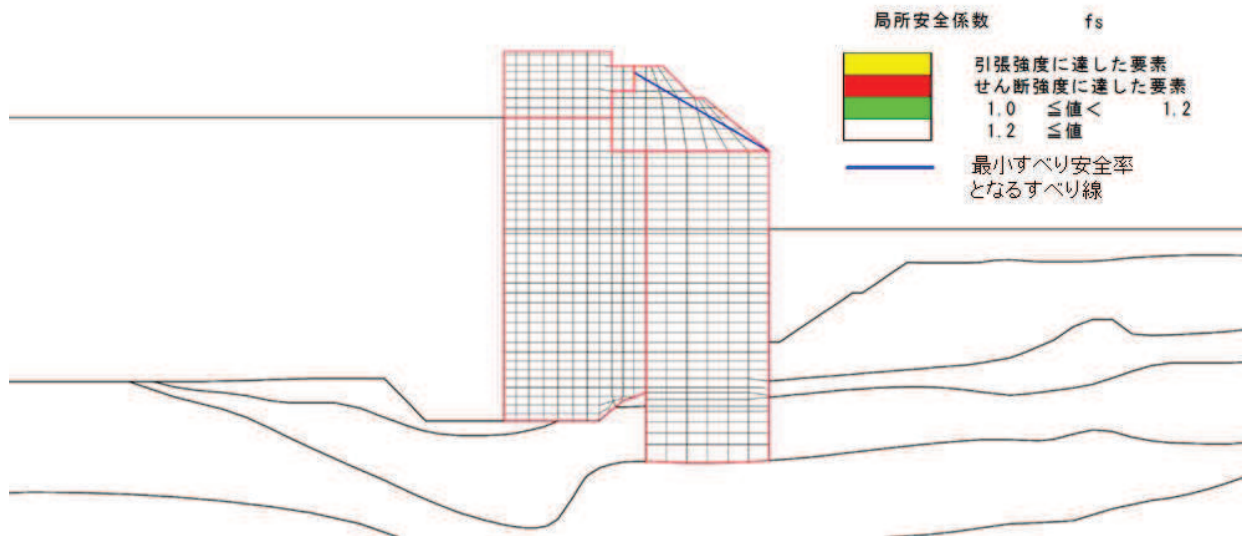


図 3-30 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布（断面①，短杭）

表 3-31(1) 基礎地盤の支持性能に対する最大照査値

(鋼管杭, 断面①, S d - D 2 (- +))

解析 ケース		最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 $R_{u a}$ (N/mm ²)	照査値 $R_a / R_{u a}$
長杭	①*	2.7	11.4	0.24
	②*	2.5	11.4	0.22
	③*	3.0	11.4	0.27
短杭	①	0.8	4.4	0.19

表 3-31(2) 基礎地盤の支持性能に対する最大照査値

(背面補強工, 断面①, S d - D 2 (- +))

解析 ケース		最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 $R_{u a}$ (N/mm ²)	照査値 $R_a / R_{u a}$
長杭	①*	1.1	4.4	0.25
	②*	1.1	4.4	0.25
	③*	1.1	4.4	0.25
短杭	①	1.1	4.4	0.25

表 3-31(3) 基礎地盤の支持性能に対する最大照査値

(置換コンクリート, 断面①, S d - D 2 (- +))

解析 ケース		最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 $R_{u a}$ (N/mm ²)	照査値 $R_a / R_{u a}$
長杭	①*	1.7	11.4	0.15
	②*	1.8	11.4	0.16
	③*	1.7	11.4	0.15
短杭	①	1.7	11.4	0.15

(2) 断面②

断面②の短杭の影響評価結果を表 3-32～表 3-38 及び図 3-31～図 3-36 に示す。

表 3-32 鋼管杭の曲げ圧縮照査における最大照査値（断面②， S d - D 2（++））

解析ケース		杭種	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ圧縮応力 度 σ_s (N/mm ²)	短期許容応力 度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
長杭	①*	C	44856	1136	285	382	0.75
	②*	C	45234	1095	288	382	0.76
	③*	C	43416	1095	276	382	0.73
短杭	①	C	44873	1143	285	382	0.75

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

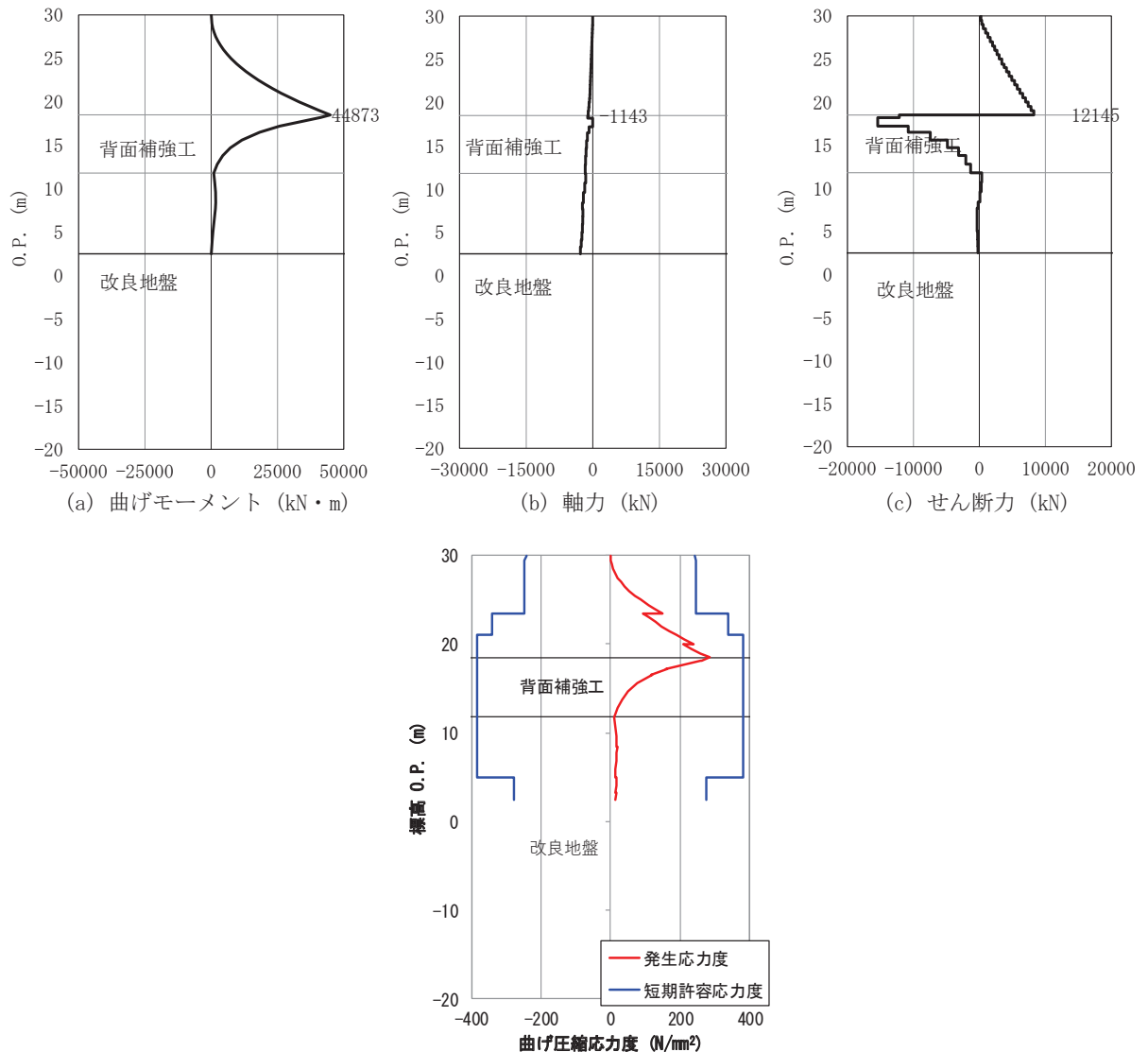


図 3-31 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における評価時刻での断面力及び曲げ圧縮応力度（断面②，短杭， S d - D 2（++）， t=6.93s）

表 3-33 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値（断面②， S d - D 2（++））

解析 ケース	杭種	せん断力 (kN)	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容応力 度	照査値 τ_s / τ_{sa}	
				τ_{sa} (N/mm ²)		
長杭	①*	C	13476	103	217	0.48
	②*	C	13590	104	217	0.48
	③*	C	13023	99	217	0.46
短杭	①	C	15413	118	217	0.55

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

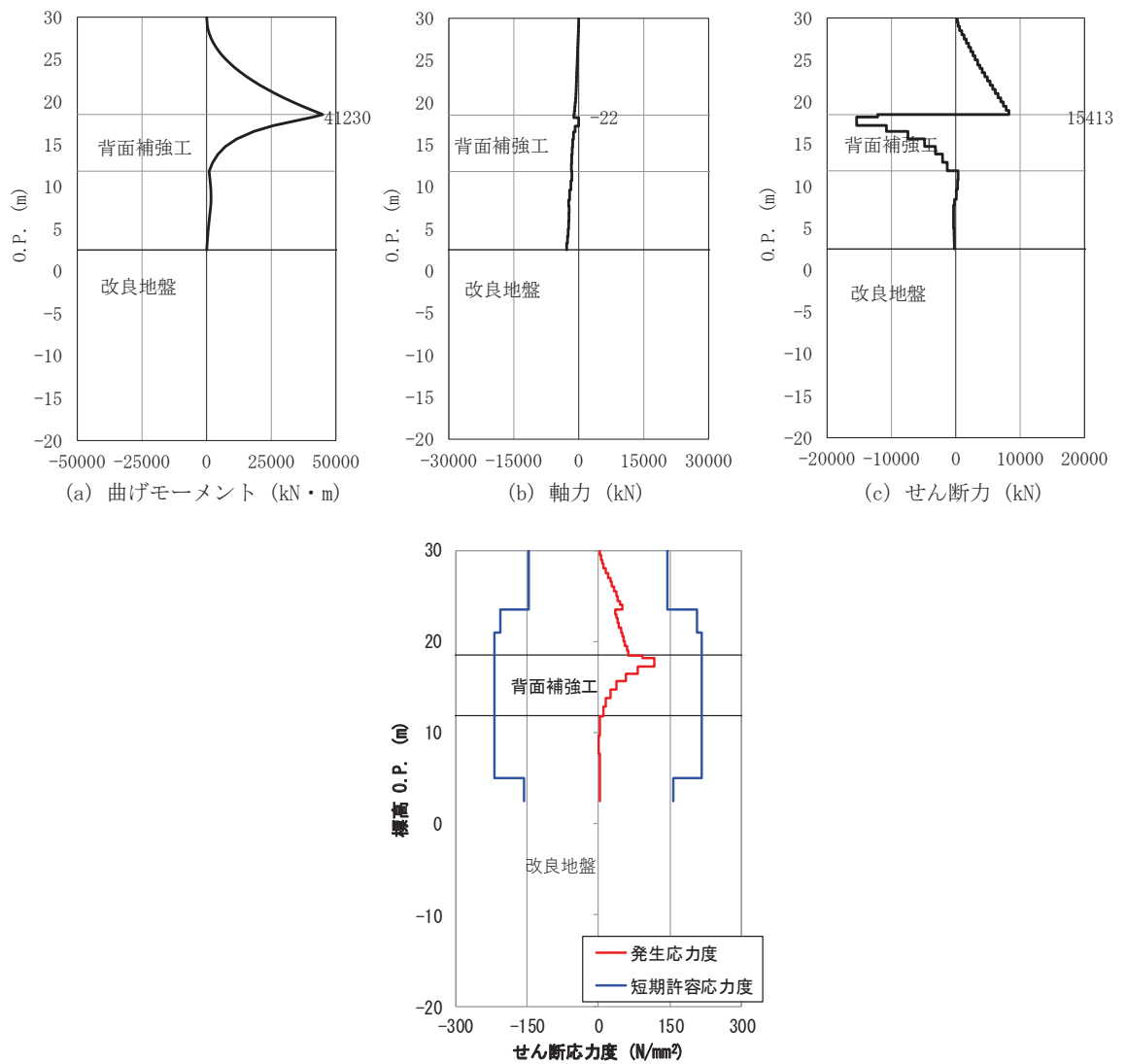


図 3-32 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における評価時刻での断面力及び曲げ圧縮応力度

(断面②， 短杭， S d - D 2（++）， t=6.93s)

表 3-34 背面補強工のすべり安全率（断面②， S d - D 2（++））

解析 ケース		発生時刻 (s)	最小すべり 安全率
長杭	①*	25.17	11.4
	②*	6.93	11.3
	③*	25.19	11.6
短杭	①	6.93	9.6

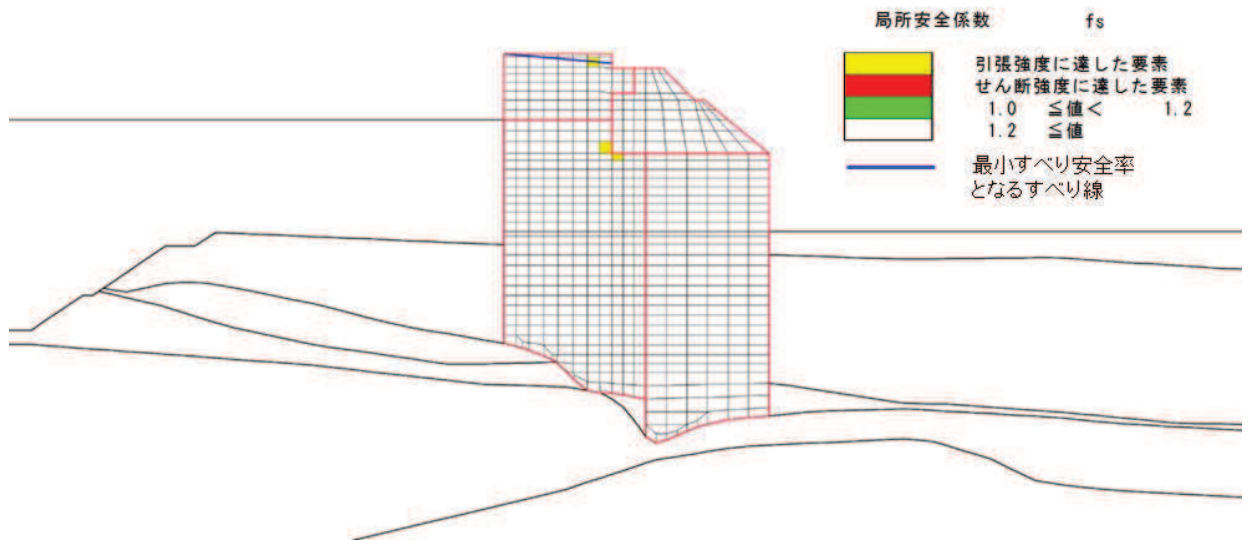


図 3-33 背面補強工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
（断面②， 短杭， S d - D 2（++）， t=6.93s）

表 3-35 置換コンクリートのすべり安全率（断面②， S d - D 2（++））

解析 ケース		発生時刻 (s)	最小すべり 安全率
長杭	①*	12.91	13.1
	②*	25.31	13.5
	③*	12.92	12.6
短杭	①	12.91	13.0

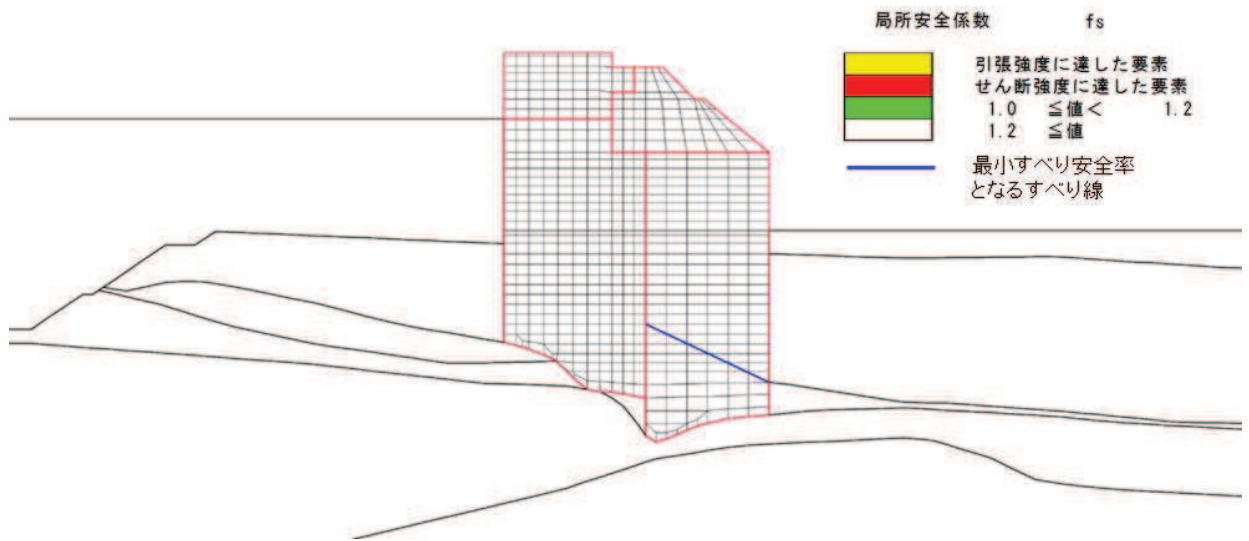


図 3-34 置換コンクリート工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面②, 短杭, S d - D 2 (+ +) , $t=12.91s$)

表 3-36 改良地盤のすべり安全率 (断面②, S d - D 2 (+ +))

解析 ケース		発生時刻 (s)	最小すべり 安全率
長杭	①*	25.45	3.0
	②*	25.44	2.9
	③*	25.49	3.0
短杭	①	25.45	2.9

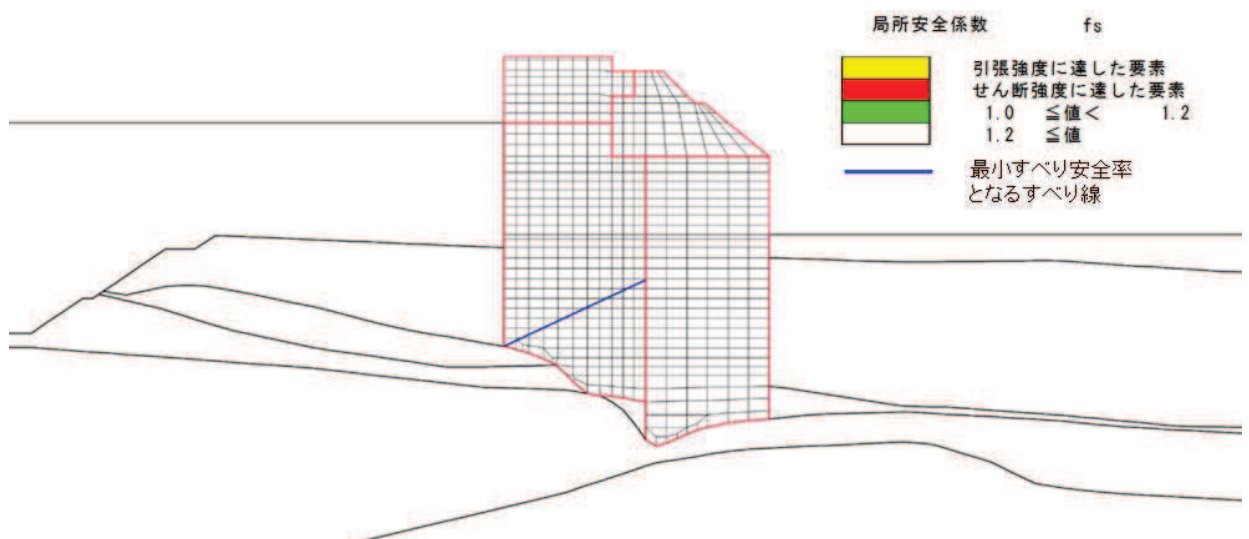


図 3-35 置換コンクリート工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面②, 短杭, S d - D 2 (+ +) , $t=25.45s$)

表 3-37 セメント改良土のすべり安全率（断面②， S d - D 2（++））

解析 ケース		発生時刻 (s)	最小すべり 安全率
長杭	①*	25.25	29.5
	②*	25.24	46.4
	③*	25.27	15.1
短杭	①	25.25	32.8

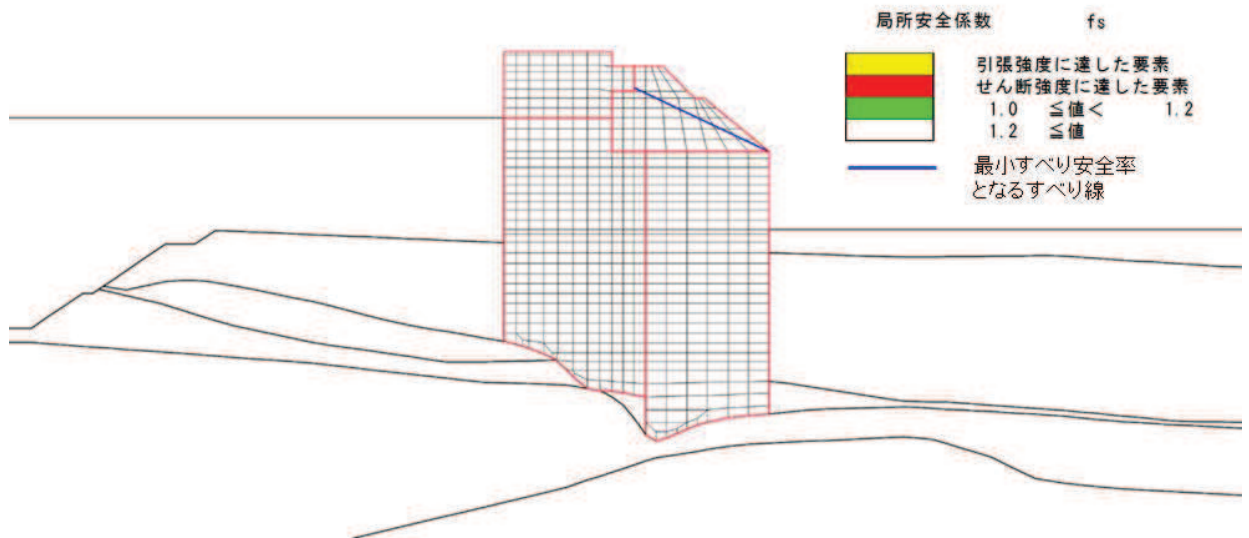


図 3-36 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布（断面②，短杭， S d - D 2（++）， t=25.25s）

表 3-38(1) 基礎地盤の支持性能に対する最大照査値（鋼管杭，断面②， S d - D 2（++））

解析 ケース		最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a / R_{ua}
長杭	①*	1.0	11.4	0.09
	②*	1.0	11.4	0.09
	③*	1.1	11.4	0.10
短杭	①	0.9	4.4	0.21

表 3-38(2) 基礎地盤の支持性能に対する最大照査値
(背面補強工, 断面②, S d - D 2 (++))

解析 ケース		最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
長杭	①*	1.1	4.4	0.25
	②*	1.1	4.4	0.25
	③*	1.1	4.4	0.25
短杭	①	1.1	4.4	0.25

表 3-38(3) 基礎地盤の支持性能に対する最大照査値
(置換コンクリート, 断面②, S d - D 2 (++))

解析 ケース		最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
長杭	①*	1.6	11.4	0.15
	②*	1.5	11.4	0.14
	③*	1.6	11.4	0.15
短杭	①	1.6	11.4	0.15

(3) 断面③

断面③の短杭の影響評価結果を表 3-39～表 3-45 及び図 3-37～図 3-42 に示す。

表 3-39 鋼管杭の曲げ圧縮照査における最大照査値 (断面③, S d - D 2 (-+))

解析 ケース		杭種	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ圧縮応力 σ_s (N/mm ²)	短期許容応力 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s/σ_{sa}
長杭	①*	C	44733	1208	285	382	0.75
	②*	C	45437	828	288	382	0.76
	③*	C	44683	1318	285	382	0.75
短杭	①	C	44172	1285	282	382	0.74

注記* : 「4. 評価結果」の値を再掲。

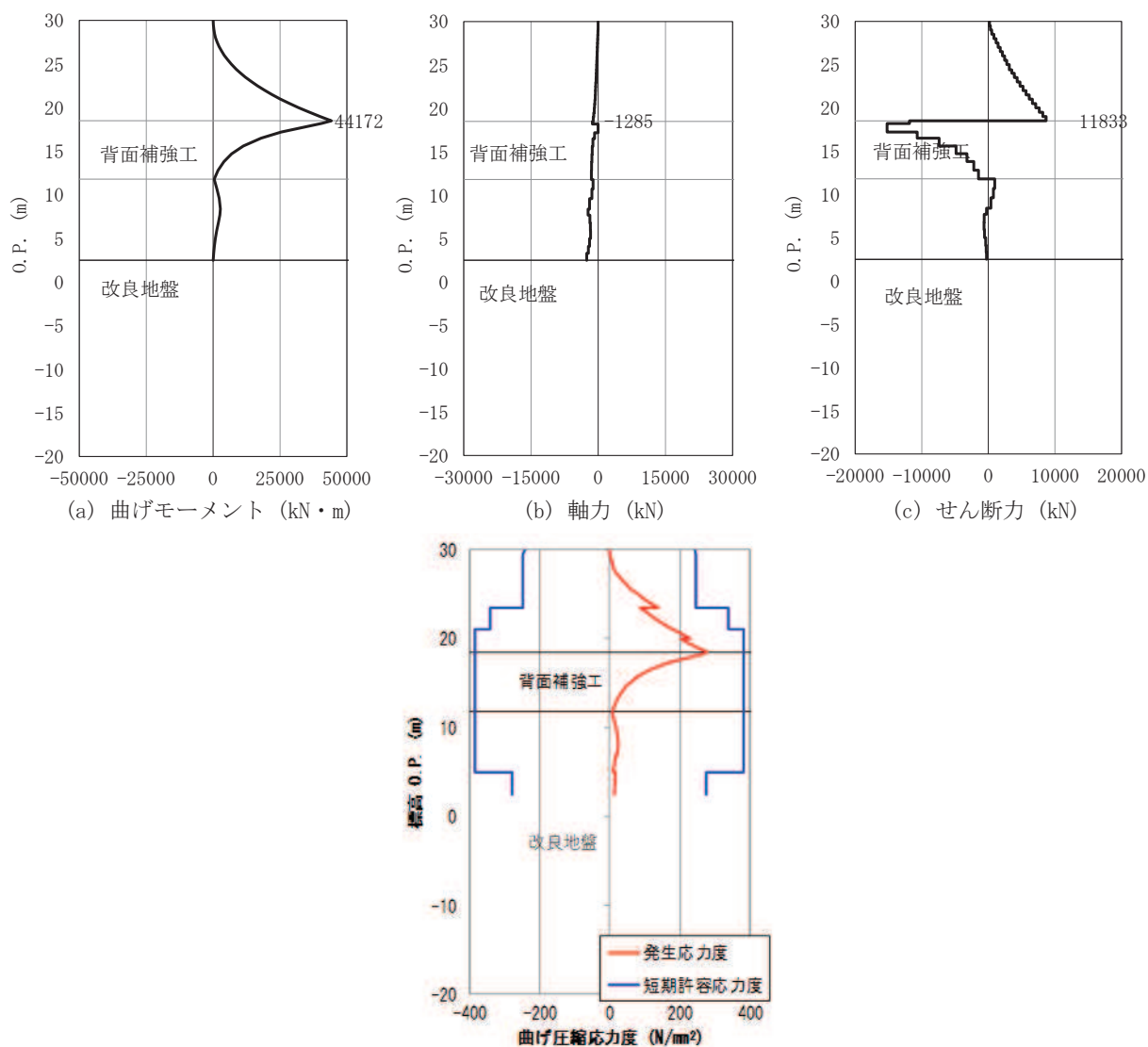


図 3-37 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における評価時刻での断面力及び曲げ圧縮応力度

(断面③, 短杭, S d - D 2 (- +) , t=13.58s)

表 3-40 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面③, S d - D 2 (- +))

解析 ケース	杭種	せん断力 (kN)	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容応力 度	照査値 τ_s / τ_{sa}	
				τ_{sa} (N/mm ²)		
長杭	①*	C	13466	103	217	0.48
	②*	C	13661	104	217	0.48
	③*	C	13447	103	217	0.48
短杭	①	C	15214	116	217	0.54

注記* : 「4. 評価結果」の値を再掲。

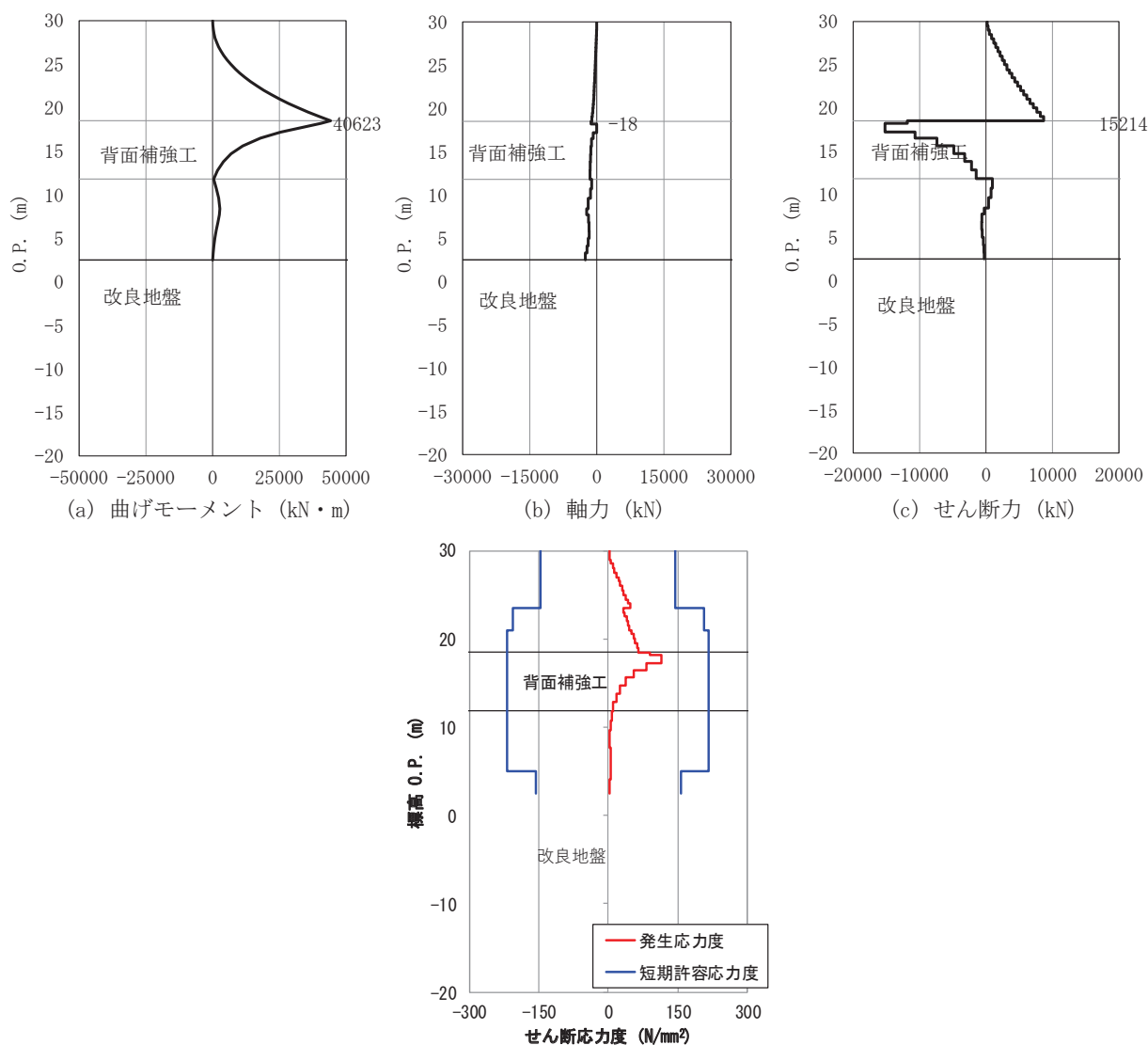


図 3-38 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における評価時刻での断面力及び曲げ圧縮応力度
(断面③, 短杭, S d - D 2 (++) , t=13.58s)

表 3-41 背面補強工のすべり安全率 (断面③, S d - D 2 (-+))

解析 ケース		発生時刻 (s)	最小すべり 安全率
長杭	①*	13.58	10.8
	②*	13.57	10.9
	③*	13.58	10.9
短杭	①	13.58	9.2



図 3-39 背面補強工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面③, 短杭, S d - D 2 (++) , t=13.58s)

表 3-42 置換コンクリートのすべり安全率 (断面③, S d - D 2 (- +))

解析 ケース		発生時刻 (s)	最小すべり 安全率
長杭	①*	12.92	12.2
	②*	12.92	12.2
	③*	25.30	12.5
短杭	①	12.91	11.6

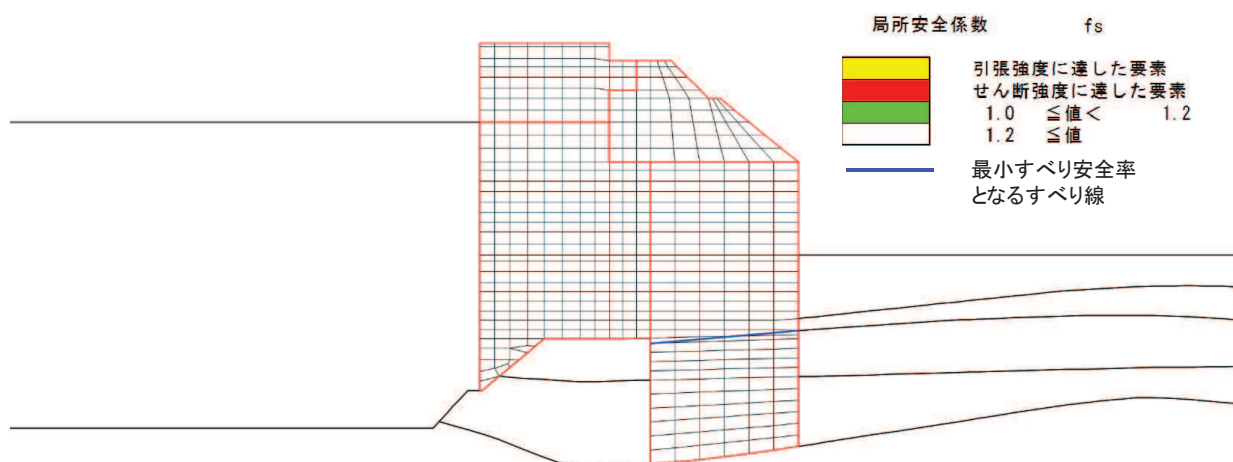


図 3-40 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面③, 短杭, S d - D 2 (++) , t=12.91s)

表 3-43 改良地盤のすべり安全率（断面③， S d - D 2（-+））

解析 ケース		発生時刻 (s)	最小すべり 安全率
長杭	①*	12.93	2.8
	②*	12.92	2.7
	③*	12.93	3.3
短杭	①	12.93	2.7

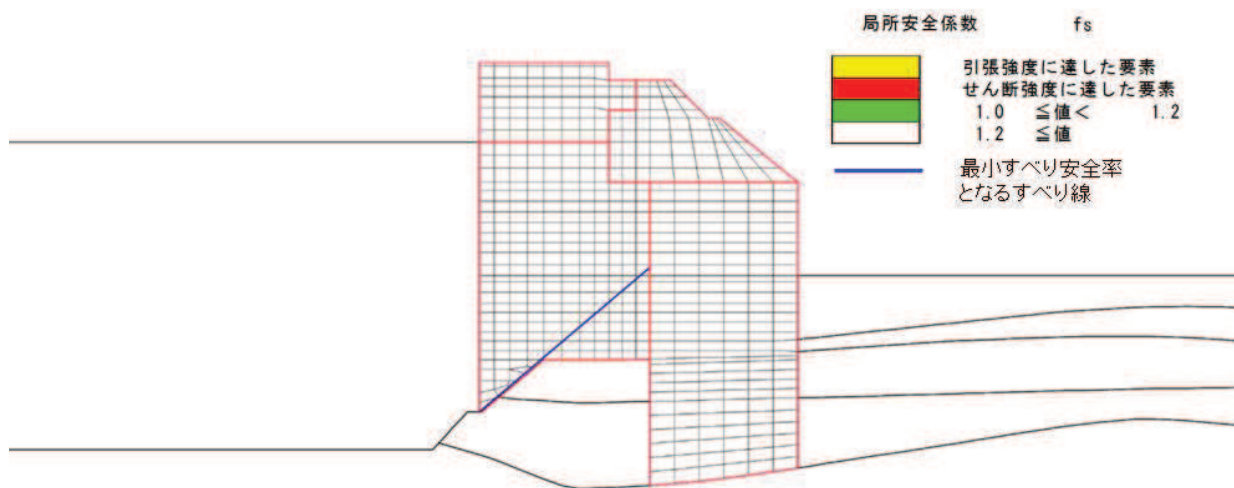


図 3-41 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
（断面③，短杭， S d - D 2（++）， t=12.93s）

表 3-44 セメント改良土のすべり安全率（断面③， S d - D 2（-+））

解析 ケース		発生時刻 (s)	最小すべり 安全率
長杭	①*	25.53	32.2
	②*	25.52	38.3
	③*	13.46	22.0
短杭	①	25.50	66.6

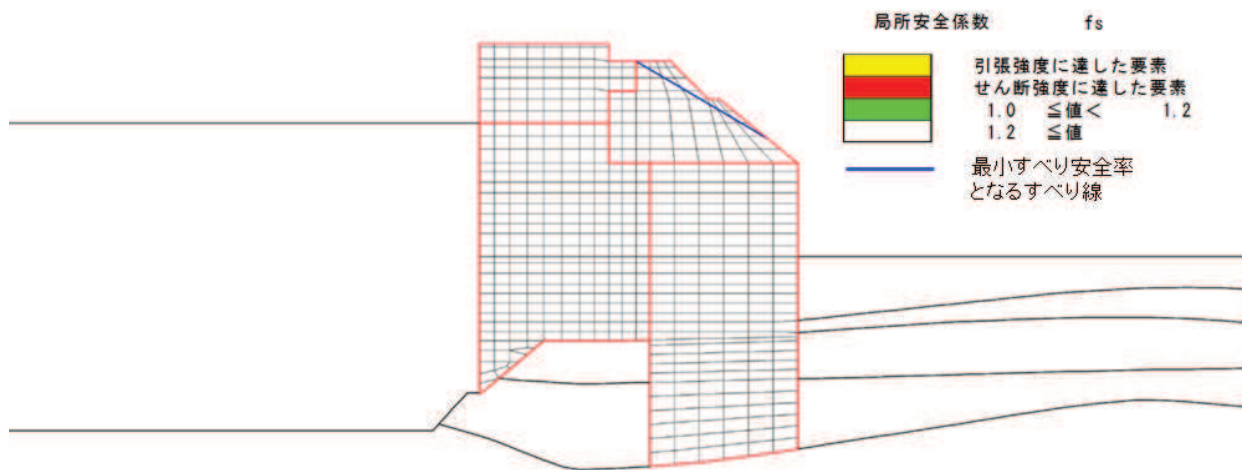


図 3-42 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面③, 短杭, S d - D 2 (++) , t=25.50s)

表 3-45(1) 基礎地盤の支持性能に対する最大照査値
(鋼管杭, 断面③, S d - D 2 (-+))

解析 ケース		最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 $R_{u a}$ (N/mm ²)	照査値 $R_a / R_{u a}$
長杭	①*	2.0	13.7	0.15
	②*	1.7	13.7	0.13
	③*	2.4	13.7	0.18
短杭	①	0.9	4.4	0.21

表 3-45(2) 基礎地盤の支持性能に対する最大照査値
(背面補強工, 断面③, S d - D 2 (-+))

解析 ケース		最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 $R_{u a}$ (N/mm ²)	照査値 $R_a / R_{u a}$
長杭	①*	1.1	4.4	0.25
	②*	1.1	4.4	0.25
	③*	1.1	4.4	0.25
短杭	①	1.1	4.4	0.25

表 3-45(3) 基礎地盤の支持性能に対する最大照査値
 (置換コンクリート, 断面③, S d - D 2 (-+))

解析 ケース		最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
長杭	①*	2.0	13.7	0.15
	②*	1.9	13.7	0.14
	③*	2.0	13.7	0.15
短杭	①	2.2	13.7	0.17

(4) 断面④

断面④の短杭の影響評価結果を表 3-46～表 3-52 及び図 3-43～図 3-48 に示す。

表 3-46 鋼管杭の曲げ圧縮照査における最大照査値（断面④， S d - D 2 (- -) ）

解析 ケース	杭種	曲げモーメン ト (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ圧縮応力	短期許容応力	照査値 σ_s / σ_{sa}
				σ_s (N/mm ²)	σ_{sa} (N/mm ²)	
長杭	①*	836	11475	69	277	0.25
	②*	678	9618	58	277	0.21
	③*	1153	14401	88	277	0.32
短杭	①	286	4479	27	277	0.10

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

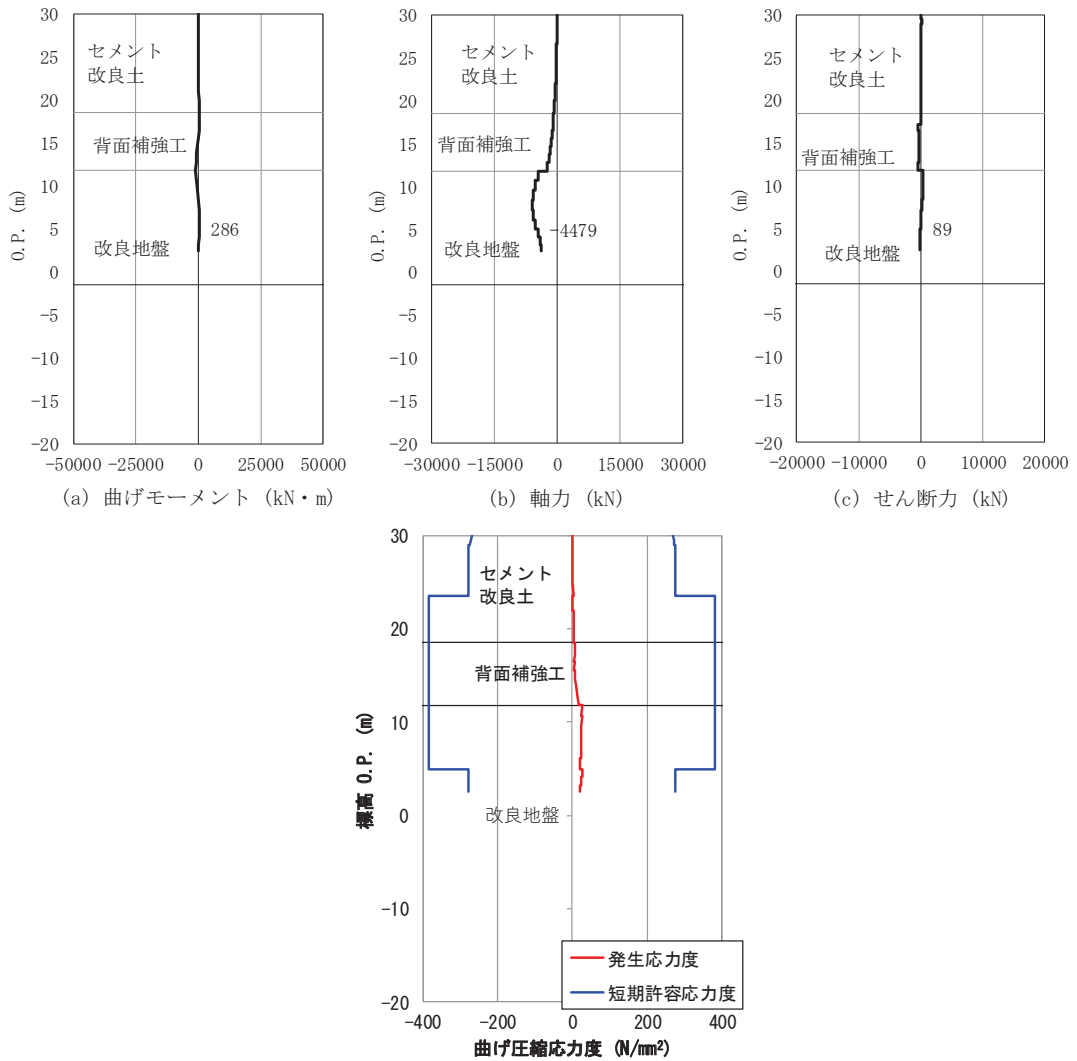


図 3-43 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における評価時刻での断面力及び曲げ圧縮応力度（断面④，短杭）

表 3-47 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値（断面④， S d - D 2（--））

解析ケース		杭種	せん断力 (kN)	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
長杭	①*	D	1357	11	157	0.08
	②*	D	2531	9	157	0.06
	③*	D	1358	14	157	0.09
短杭	①	C	1353	6	217	0.03

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

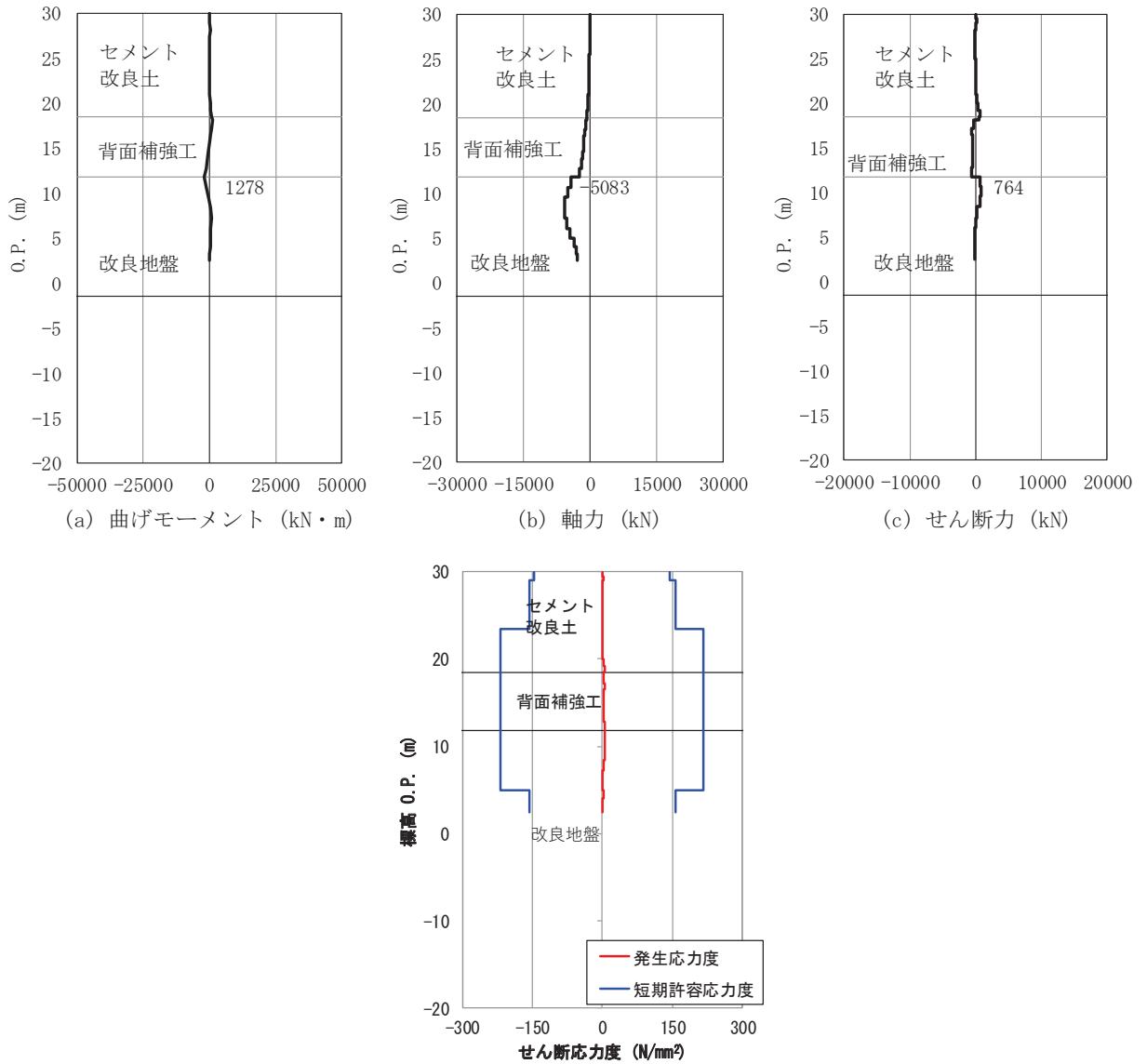


図 3-44 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における評価時刻での断面力及び曲げ圧縮応力度（断面④，短杭）

表 3-48 背面補強工のすべり安全率（断面④， S d - D 2（-））

解析 ケース		発生時刻 (s)	最小すべり 安全率
長杭	①*	13.53	14.3
	②*	13.52	14.6
	③*	13.55	14.1
短杭	①	13.53	14.3

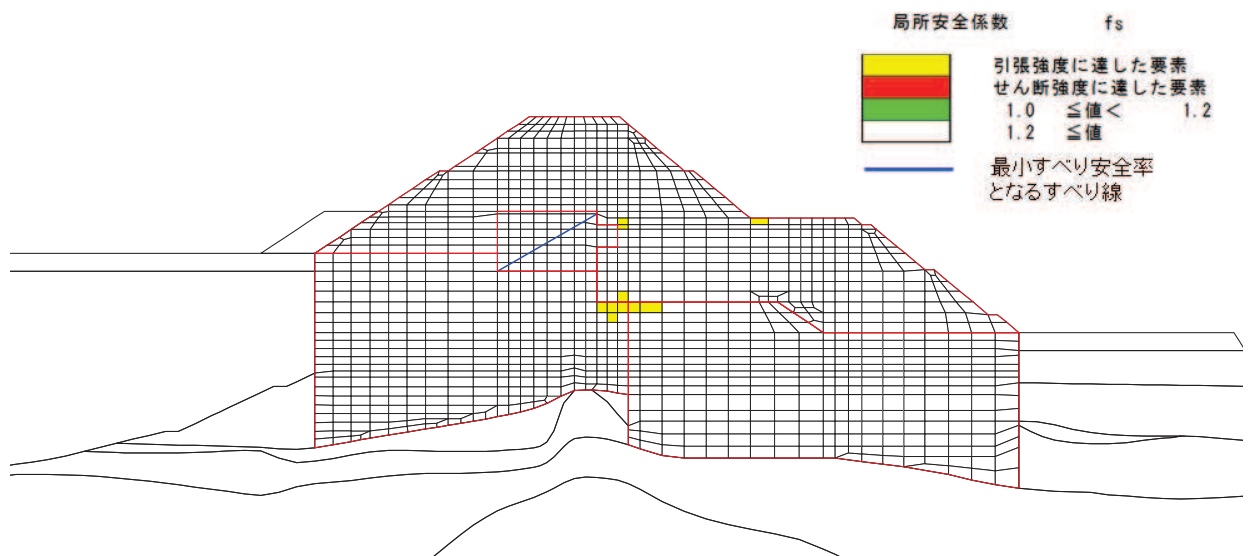


図 3-45 背面補強工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
（断面④， 短杭， S d - D 2（-） ， t=13.53s）

表 3-49 置換コンクリートのすべり安全率（断面④， S d - D 2（-））

解析 ケース		発生時刻 (s)	最小すべり 安全率
長杭	①*	13.55	12.6
	②*	13.54	12.7
	③*	13.55	12.4
短杭	①	13.55	12.8

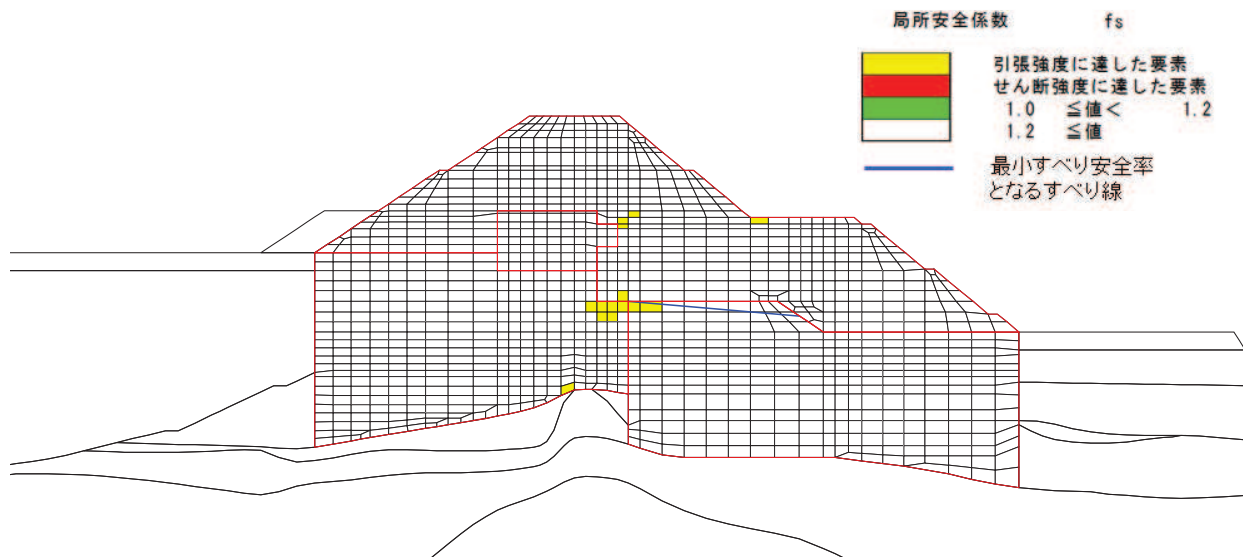


図 3-46 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面④, 短杭, S d - D 2 (- -) , t=13.55s)

表 3-50 改良地盤のすべり安全率 (断面④, S d - D 2 (- -))

解析 ケース		発生時刻 (s)	最小すべり 安全率
長杭	①*	13.57	4.2
	②*	13.57	4.2
	③*	13.57	4.1
短杭	①	13.57	4.3

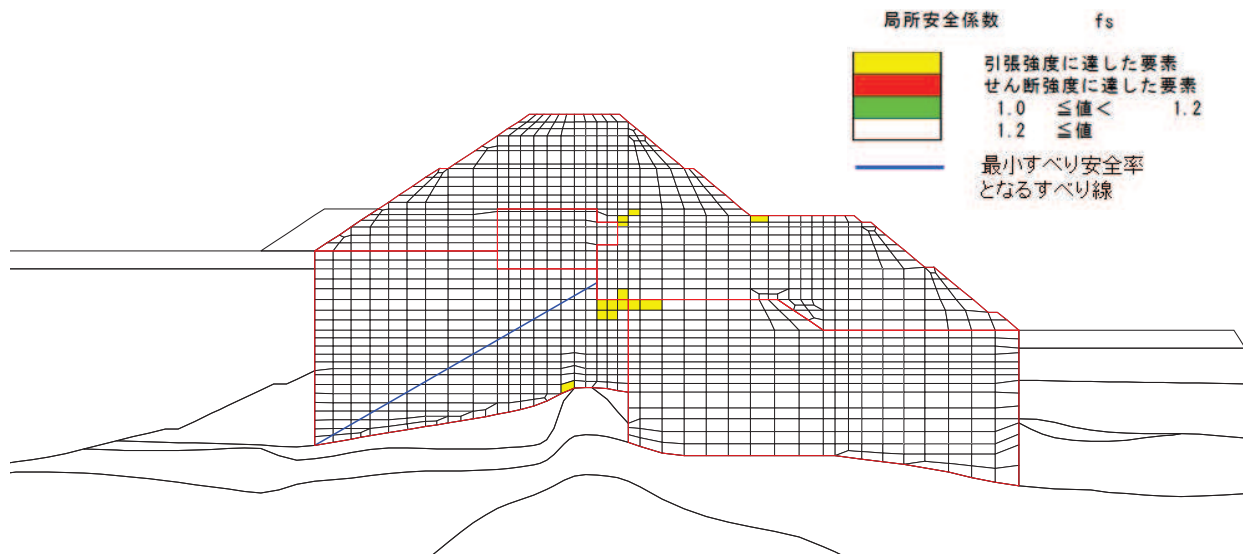


図 3-47 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面④, 短杭, S d - D 2 (- -) , t=13.57s)

表 3-51 セメント改良土のすべり安全率（断面④， S d - D 2（-））

解析 ケース		発生時刻 (s)	最小すべり 安全率
長杭	①*	25.49	7.0
	②*	25.47	7.6
	③*	25.50	6.9
短杭	①	25.49	7.0

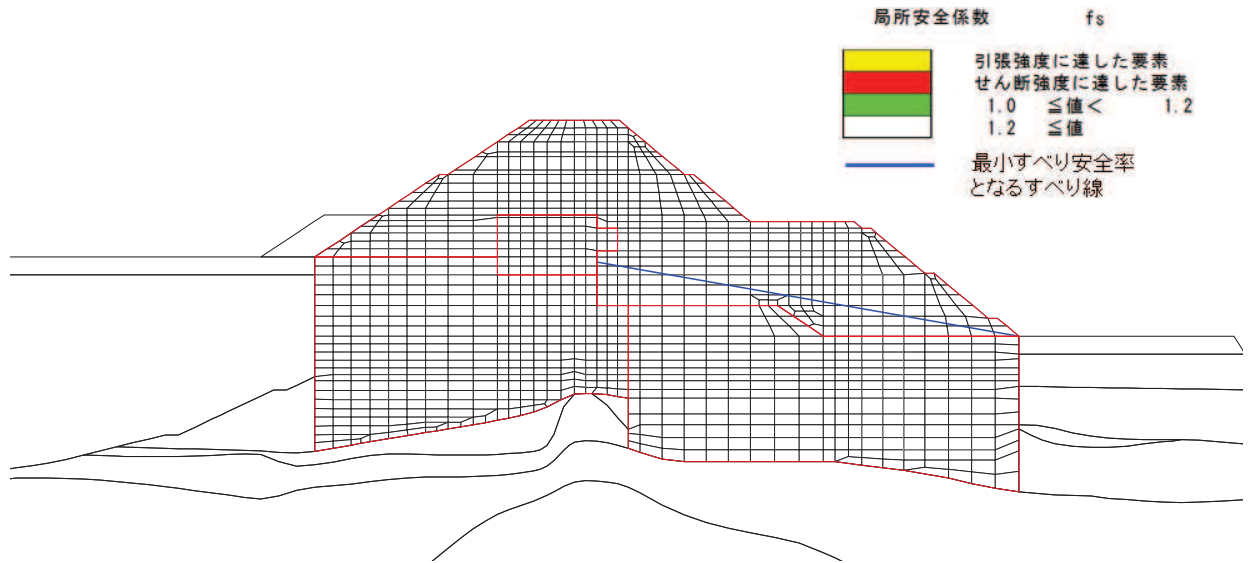


図 3-48 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
（断面④，短杭， S d - D 2（-） ， t=25.49s）

表 3-52(1) 基礎地盤の支持性能に対する最大照査値
（鋼管杭，断面④， S d - D 2（-））

解析 ケース		最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a / R_{ua}
長杭	①*	2.4	11.4	0.22
	②*	2.0	11.4	0.18
	③*	3.0	11.4	0.27
短杭	①	0.9	4.4	0.21

表 3-52(2) 基礎地盤の支持性能に対する最大照査値
 (背面補強工, 断面④, S d - D 2 (- -))

解析 ケース		最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
長杭	①*	1.3	4.4	0.30
	②*	1.3	4.4	0.30
	③*	1.2	4.4	0.28
短杭	①	1.2	4.4	0.28

表 3-52(3) 基礎地盤の支持性能に対する最大照査値
 (置換コンクリート, 断面④, S d - D 2 (- -))

解析 ケース		最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
長杭	①*	2.2	11.4	0.20
	②*	2.1	11.4	0.19
	③*	2.2	11.4	0.20
短杭	①	2.3	11.4	0.21

4. まとめ

本検討の結果, 短杭としてモデル化した場合, 照査値が若干変動するものの, 最大照査値(鋼管杭の曲げ圧縮照査)に与える影響は小さく, 防潮堤(鋼管式鉛直壁)の成立性に対する影響は無いことを確認した。

(参考資料 2) 津波荷重, 余震荷重及び衝突荷重を組合せる場合と津波時及び重畳時の比較について

1. 概要

津波荷重, 余震荷重及び衝突荷重の組合せ (以下「重畳時 2」という。) については, 「5.6 津波防護施設の強度計算における津波荷重, 余震荷重及び衝突荷重の組合せについて」に示すように, それぞれの荷重が同時に作用する可能性は小さいと考えられるが, 安全側の評価を行う観点から, これらの組合せを考慮する方針としている。ただし, 重畳時 2 の荷重及び断面力は, 津波時又は重畳時に包絡されることが確認されたため, 重畳時 2 による強度評価は実施しない。

本参考資料では, 津波時, 重畳時及び重畳時 2 の荷重及び断面力を比較した結果から, 重畳時 2 が津波時又は重畳時に包絡されることを示すものである。

なお, 本検討において設定する津波水位は入力津波水位 0.P. +24.4m を用いることとする。

2. 荷重の組合せについて

重畳時2で考慮する津波荷重，余震荷重及び衝突荷重は，それぞれの最大荷重の継続時間は短時間であり，同時に作用する可能性は非常に小さいことから，各荷重の最大荷重同士の組合せは考慮せず，津波により浸水している状態で余震が発生することを想定し，津波荷重は入力津波による浸水深さに応じた静水圧とする。なお，津波により浸水している状態においては，衝突荷重についても最大流速で衝突する可能性が小さいと考えられるが，十分な余裕を有した設定とするために，最大流速での衝突荷重を考慮する。津波時，重畳時及び重畳時2の荷重の組合せの考え方を表2-1に示す。

表 2-1 荷重の組合せの考え方

事象	組合せ	津波荷重	余震荷重	衝突荷重	備考
津波時	津波荷重 +衝突荷重	波圧 (最大波高)	—	衝突荷重 (最大流速)	最大荷重同士の組合せ
重畳時	津波荷重 +余震荷重	波圧 (最大波高)	慣性力+動水圧 (最大加速度)	—	最大荷重同士の組合せ
重畳時 2	津波荷重 +余震荷重 +衝突荷重	静水圧 (最大浸水深さ)	慣性力+動水圧 (最大加速度)	衝突荷重 (最大流速)	津波により浸水している状態での余震を想定

3. 比較対象部位について

津波時、重畳時及び重畳時2の荷重及び断面力を比較する部位については、津波荷重、余震荷重及び衝突荷重による影響が大きい鋼管杭、鋼製遮水壁及び漂流物防護工を選定する。

鋼管杭、鋼製遮水壁及び漂流物防護工の構造図を図3-1に示す。

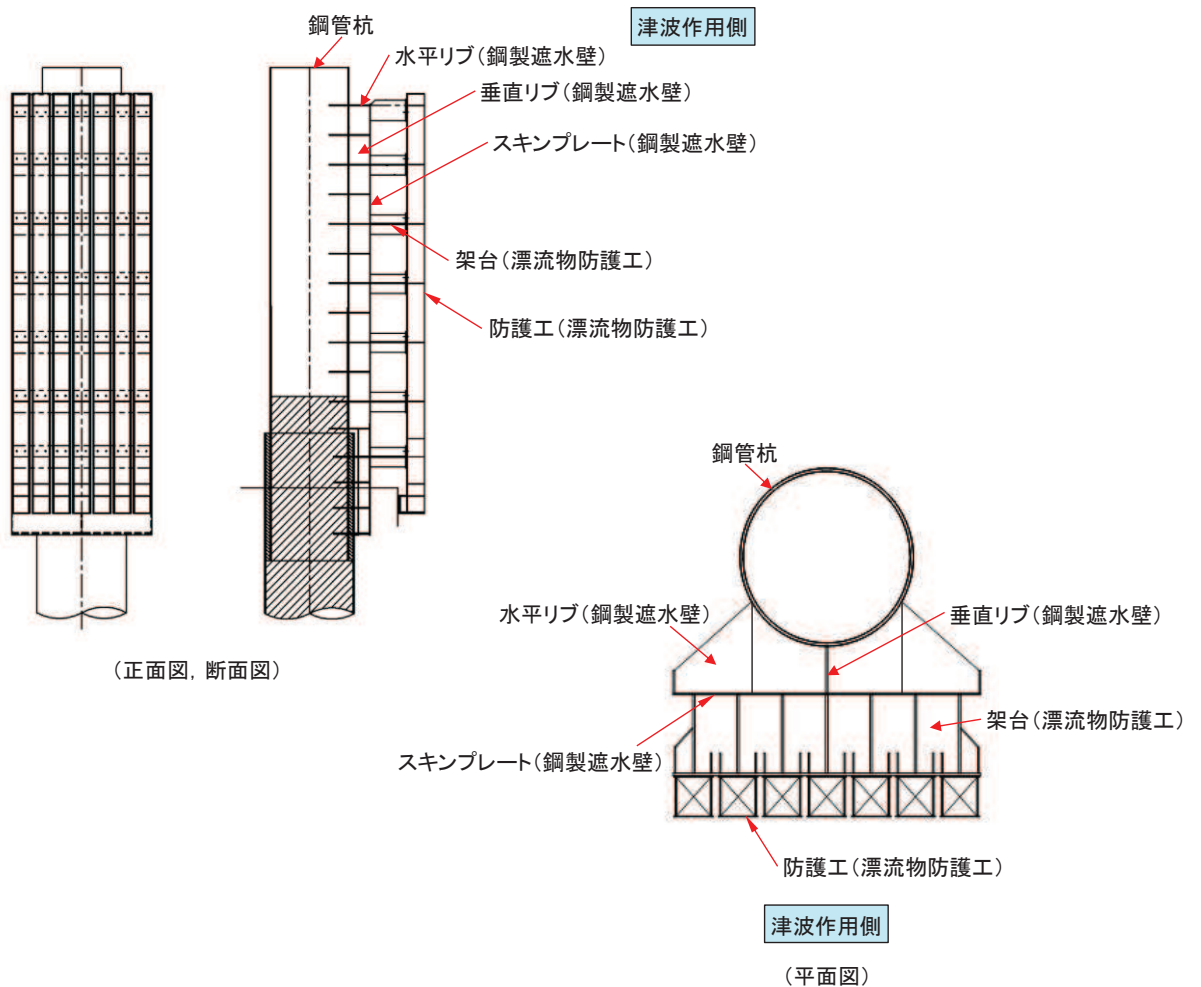


図 3-1 鋼管杭、鋼製遮水壁及び漂流物防護工の構造図

4. 重畳時 2 と比較する事象の選定について

重畳時 2 と比較する事象については、本編「4. 評価結果」から鋼管杭，鋼製遮水壁及び漂流物防護工に厳しい評価となる事象（津波時又は重畳時）を表 4-1 のとおり選定した。

表 4-1 重畳時 2 と比較する事象

比較対象部位	重畳時 2 と比較する事象
鋼管杭	鋼管杭は、本編「4. 評価結果」から最も厳しい照査値となるのは重畳時であることを確認しているため、重畳時 2 と比較する事象としては重畳時を選定する。なお、重畳時と重畳時 2 は、余震荷重が同じであるため、津波荷重及び衝突荷重を用いた比較を行う。
鋼製遮水壁 及び 漂流物防護工	鋼製遮水壁の水平リブ，漂流物防護工の架台及び防護工は、本編「4. 評価結果」から津波時の方が厳しい照査値となることを確認しているため、重畳時 2 と比較する事象としては津波時を選定する。なお、津波時と重畳時 2 は、衝突荷重が同じであるため、津波荷重及び余震荷重を用いた比較を行う。 一方、鋼製遮水壁のうちスキンプレート及び垂直リブは、本編「4. 評価結果」から重畳時の方が厳しい照査値となることを確認しているため、重畳時 2 と比較する事象としては重畳時を選定するが、重畳時と重畳時 2 は余震荷重が同じであり、スキンプレート及び垂直リブには衝突荷重が作用しないことから、津波荷重のみの比較となる。津波荷重は、重畳時が朝倉式の 3 倍波圧，重畳時 2 が静水圧を考慮するため、重畳時の方が厳しい評価となるのは明らかであり、本検討から除外する。

5. 荷重及び断面の比較方法について

5.1 鋼管杭

鋼管杭については、重畳時と重畳時2の断面力（発生曲げモーメント及びせん断力）による比較を行う。

重畳時と重畳時2では余震荷重（慣性力及び動水圧）が同じで、荷重として差が生じるのは津波波圧と衝突荷重であることから、津波波圧と衝突荷重を考慮する。また、鋼管杭は本編「4. 評価結果」から重畳時は弾性範囲内にあることを確認しているため、図5-1に示す片持ちばりでモデル化し、津波波圧と衝突荷重による断面力（発生曲げモーメント及びせん断力）の比較を行う。

なお、重畳時の津波荷重は朝倉式の3倍波圧を考慮し、重畳時2の津波荷重は「2. 荷重の組合せについて」のとおり静水圧を考慮するとともに、衝突荷重は漂流物防護工の端部に作用することを想定してねじり影響を考慮する。

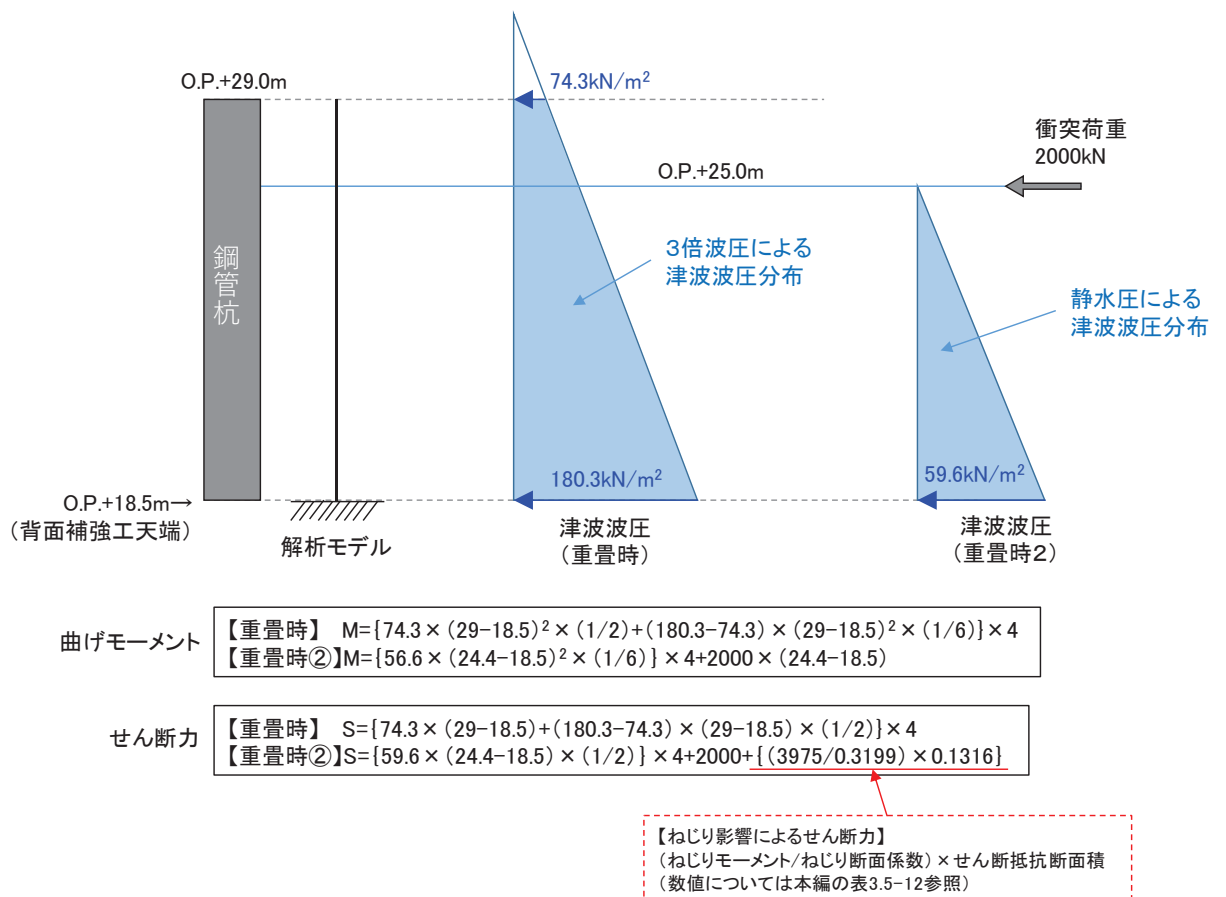


図5-1 鋼管杭に作用する津波波圧及び衝突荷重

5.2 鋼製遮水壁及び漂流物防護工

鋼製遮水壁及び漂流物防護工については，津波時と重畳時 2 の断面力（発生曲げモーメント及びせん断力）による比較を行う。

津波時と重畳時 2 では衝突荷重が同じで，荷重として差が生じるのは津波波圧と余震荷重であることから，津波波圧と余震荷重を考慮する。また，断面力の算定方法は「3.5 評価方法」と同様とし，津波波圧と余震荷重による断面力（発生曲げモーメント及びせん断力）の比較を行う。

津波時と重畳時 2 に作用する津波波圧の詳細を図 5-2 に示す。また，重畳時 2 で考慮する余震荷重（慣性力及び動水圧）の詳細を図 5-3 に示す。

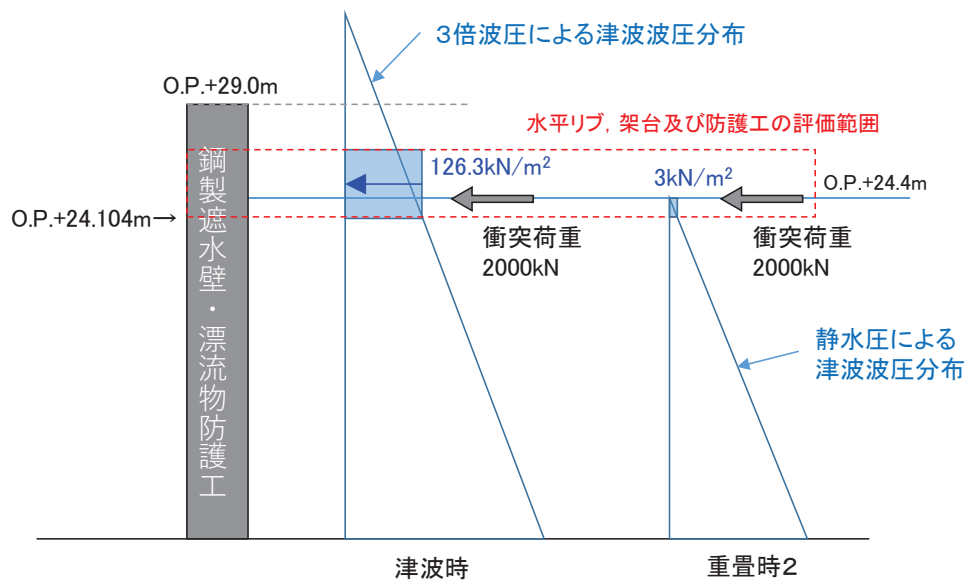


図 5-2 鋼製遮水壁及び漂流物防護工に作用する津波波圧

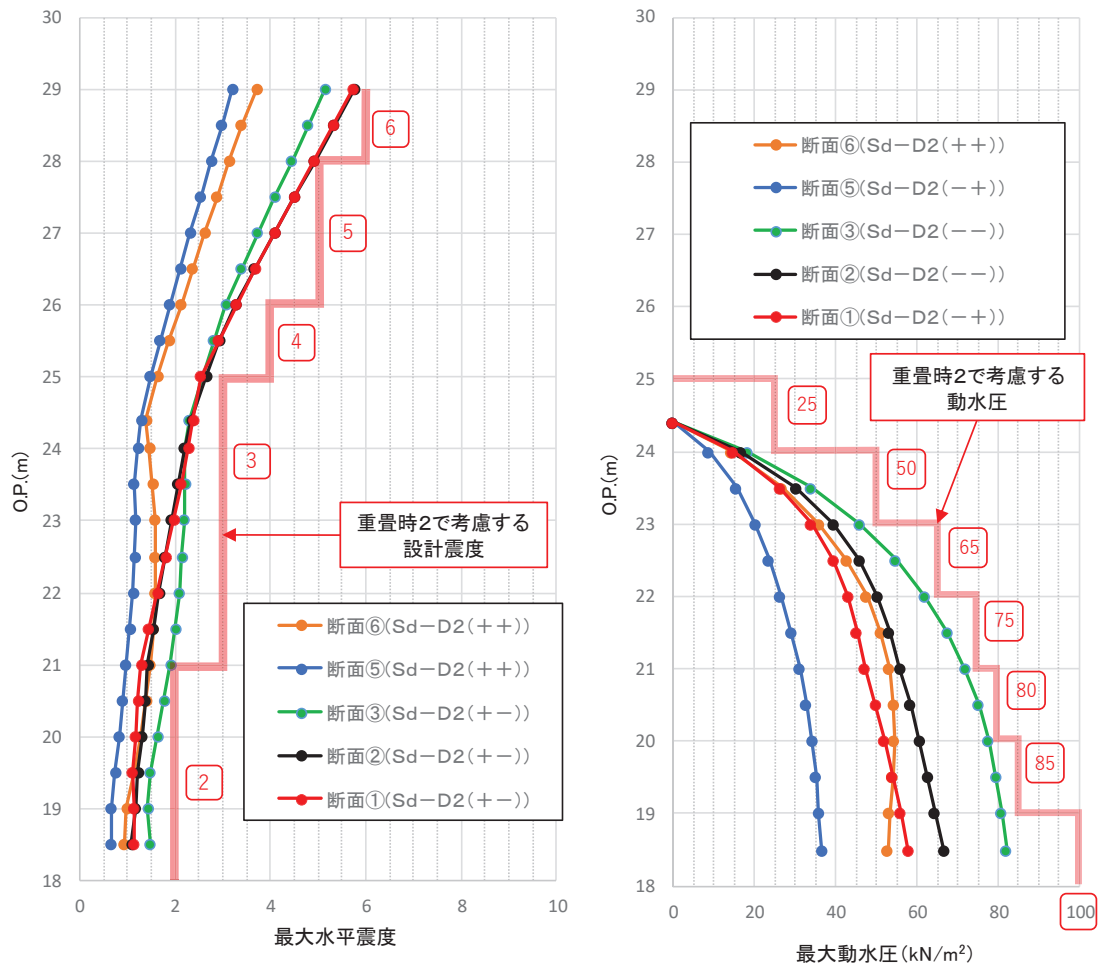


図 5-3 鋼製遮水壁及び漂流物防護工で考慮する設計震度及び動水圧
(各評価断面での震度・動水圧が最大となる位相の地震動を図化)

6. 評価結果

6.1 鋼管杭

鋼管杭について、重畳時と重畳時2の断面力（発生曲げモーメントとせん断力）を比較した結果を表6-1に示す。

この結果から、鋼管杭の重畳時2は重畳時に包絡されることを確認した。

表6-1 鋼管杭の断面力の比較

部材	区分	0. P. +18. 5m での 津波波圧 (kN/m ²)	衝突荷重 (kN)	曲げモーメント* (kN・m)	せん断力* ¹ (kN)
鋼管杭	重畳時	180. 3	0	24175	5347
	重畳時2	59. 6	2000	13184	2704 4339* ²

注記*1：余震荷重（慣性力及び動水圧）は重畳時と重畳時2で同一であることから含めず算定。

*2：衝突荷重を漂流物防護工の端部に作用させてねじり影響を考慮した場合。

6.2 鋼製遮水壁及び漂流物防護工

鋼製遮水壁の水平リブ、漂流物防護工の架台及び防護工について、津波時と重畳時2の断面力（曲げモーメント及びせん断力）を比較した結果を表6-2に示す。

なお、鋼製遮水壁のうちスキンプレート及び垂直リブは、表4-1に示したとおり重畳時2よりも重畳時の方が厳しい評価となるのは明らかである。

これらの結果から、鋼製遮水壁及び漂流物防護工の重畳時2は津波時又は重畳時に包絡されることを確認した。

表6-2 鋼製遮水壁の水平リブ、漂流物防護工の架台及び防護工の断面力の比較

部材		区分	0. P. + 24. 104m での津波波圧 (kN/m ²)	余震 慣性力 (kN/m ²)	動水圧 (kN/m ²)	曲げ モーメント* (kN・m)	せん断力* (kN)
鋼製 遮水壁 及び 漂流物 防護工	水平リブ 及び 架台	津波時	126. 3	0	0	409. 7	409. 7
		重畳時2	3. 0	48. 0	25. 0	246. 5	246. 5
	防護工	津波時	126. 3	0	0	20. 8	51. 2
		重畳時2	3. 0	15. 0	25. 0	7. 1	17. 4

注記*：衝突荷重は津波時と重畳時2で同一であることから荷重として含めず算定している。

6.3 まとめ

津波荷重，余震荷重及び衝突荷重による影響が大きい鋼管杭，鋼製遮水壁及び漂流物防護工の重畳時2については，津波時又は重畳時に包絡されることを確認した。

このことから，防潮堤は津波時及び重畳時の評価を実施し，重畳時2の評価を実施しないこととする。

(参考資料 3) 海水に浮遊砂が混入した場合の津波波圧への影響について

1. 概要

朝倉式を用いた津波波圧の算定(水深係数 3)を行うことで、津波による海底土砂の巻き上げに伴う浮遊砂濃度の影響を考慮した場合においても、保守的な津波波圧の設定となる。

しかしながら、念のため、海水に浮遊砂が混入した場合の海水密度を用いて朝倉式による津波波圧を評価した場合に、防潮堤の照査結果に及ぼす影響を確認する。

2. 評価内容

津波時の評価対象断面については、「4.1 津波時」から解析ケース①(基本ケース)の結果において、照査値が最も厳しい「断面②」(鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査)とする。また、評価部位は津波波圧の変化が照査値へ及ぼす影響が大きいと想定される鋼管杭、鋼製遮水壁及び漂流物防護工とする。

断面②の地震応答解析モデルを図 2-1 に示す。

重畳時の評価対象断面及び入力地震動については、「4.2 重畳時」から解析ケース①(基本ケース)の結果において、照査値が最も厳しい「断面①, S d - D 2 (-+)」(鋼管杭の曲げ軸力系の破壊に対する照査)とする。また、評価部位は津波波圧及び動水圧の変化が照査値へ及ぼす影響が大きいと想定される鋼管杭、鋼製遮水壁及び漂流物防護工とする。

断面①の地震応答解析モデルを図 2-2 に示す。

解析ケースを表 2-1 に示す。浮遊砂が混入した場合の海水密度は、浮遊砂体積濃度の上限値を設置変更許可申請書にて妥当な設定値として評価した 1%として算定した 1.05g/cm^3 を基本とし、参考として、浮遊砂体積濃度 5% (FEMA (2012)) を仮定した海水密度 1.1g/cm^3 についても影響を確認する。

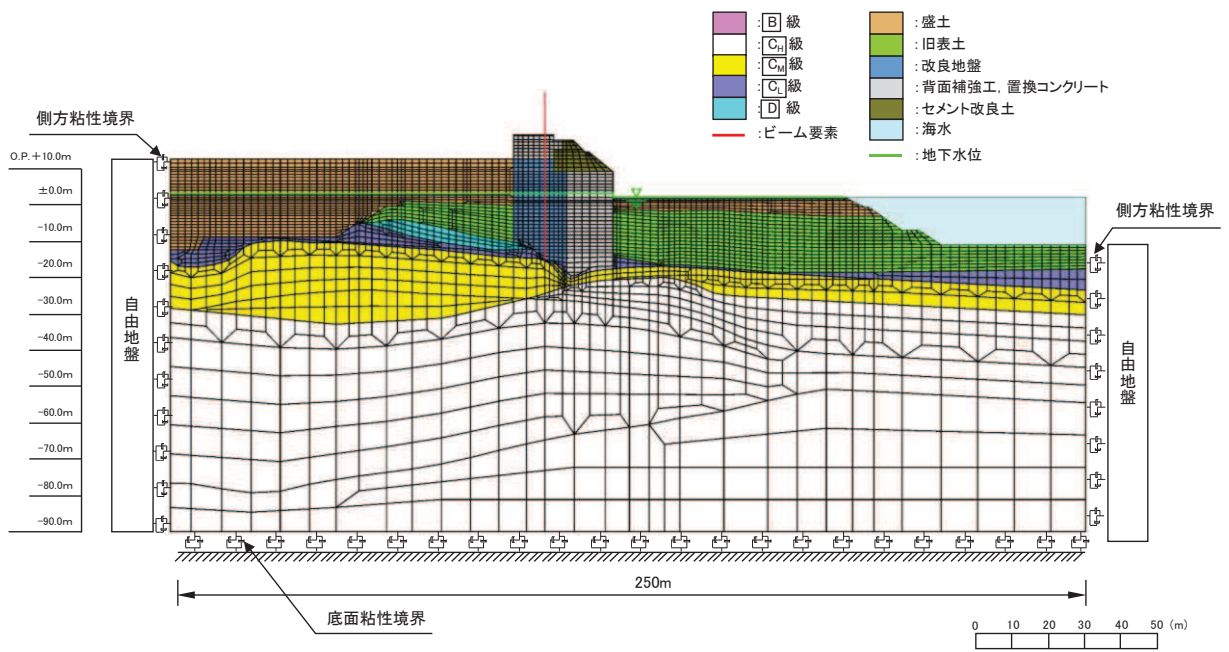


図 2-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の断面②の解析モデル（津波時）

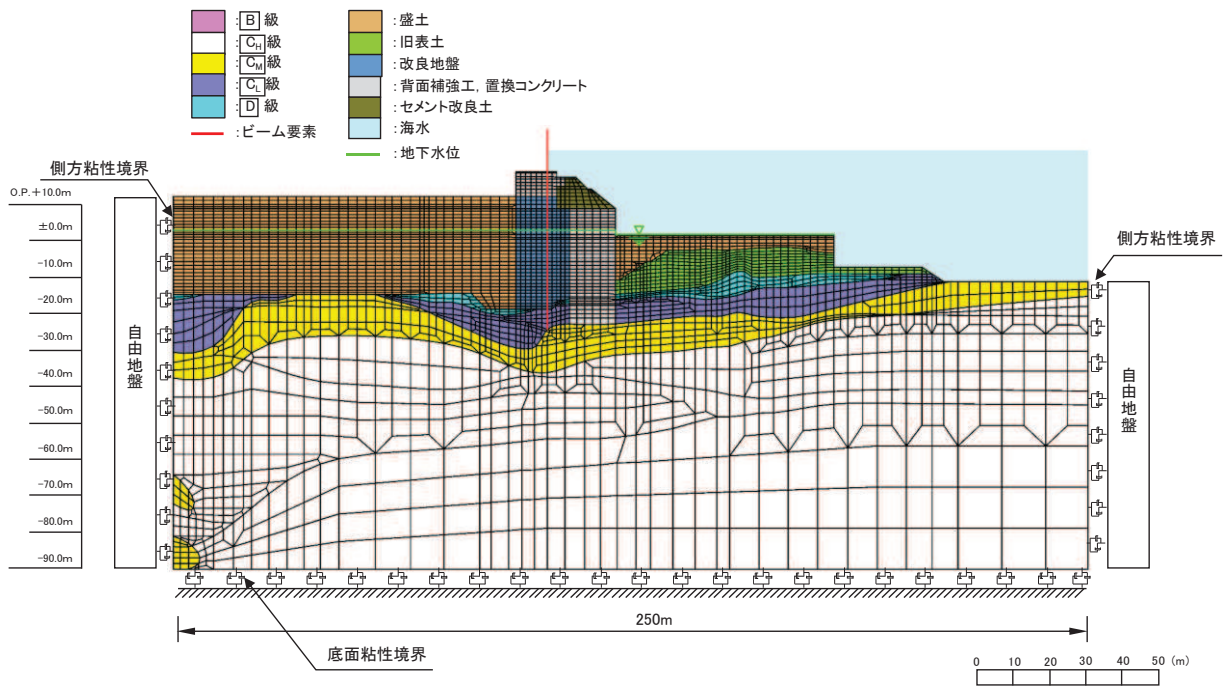


図 2-2 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の断面①の解析モデル（重畳時）

表 2-1 解析ケース（防潮堤（鋼管式鉛直壁））

海水密度 (g/cm ³)	解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E ₀ : ヤング係数)	地盤物性	
			旧表土, 盛土, D級岩盤, セメント改良土, 改良地盤 (G ₀ : 初期せん断弾性係数)	C _L 級岩盤, C _M 級岩盤, C _H 級岩盤, B級岩盤 (G _d : 動せん断弾性係数)
1.03	ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
1.05	ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
1.1 (参考)	ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値

3. 評価結果

海水密度を 1.05g/cm^3 又は 1.1g/cm^3 に仮定した場合、防潮堤の照査結果について、鋼管杭の評価結果を表 3-1～表 3-4 に、鋼製遮水壁及び漂流物防護工の主部材の照査結果を表 3-5 に示す。

本検討の結果、浮遊砂が混入した場合の海水密度を考慮した場合、鋼管杭、鋼製遮水壁及び漂流物防護工の照査値は多少低下するものの、いずれの部材も発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 3-1 鋼管杭の曲げ圧縮照査における最大照査値（断面②，津波時）

海水密度 (g/cm^3)	解析 ケース	杭種	曲げモーメント ($\text{kN}\cdot\text{m}$)	軸力 (kN)	曲げ圧縮応力 σ_s (N/mm^2)	短期許容応力 度 σ_{sa} (N/mm^2)	照査値 σ_s / σ_{sa}
1.03*	①	C	40932	1182	261	382	0.69
1.05	①	C	41486	1182	264	382	0.70
1.1 (参考)	①	C	42882	1181	273	382	0.72

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

表 3-2 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値（断面②，津波時）

海水密度 (g/cm^3)	解析 ケース	杭種	せん断力 (kN)	せん断応力度 τ_s (N/mm^2)	短期許容応力 度 τ_{sa} (N/mm^2)	照査値 τ_s / τ_{sa}
1.03*	①	C	12563	96	217	0.45
1.05	①	C	12733	97	217	0.45
1.1 (参考)	①	C	13162	101	217	0.47

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

表 3-3 鋼管杭の曲げ圧縮照査における最大照査値（断面①，重畳時）

海水密度 (g/cm ³)	解析 ケース	杭種	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ圧縮応力 度 σ_s (N/mm ²)	短期許容応力 度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
1.03*	①	C	44972	1316	287	382	0.76
1.05	①	C	45447	1294	290	382	0.76
1.1 (参考)	①	C	46795	1280	298	382	0.79

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

表 3-4 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値（断面①，重畳時）

海水密度 (g/cm ³)	解析 ケース	杭種	せん断力 (kN)	せん断応力 度 τ_s (N/mm ²)	短期許容応力 度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
1.03*	①	C	13526	103	217	0.48
1.05	①	C	13662	104	217	0.48
1.1 (参考)	①	C	14058	107	217	0.50

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

表 3-5 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の主要部材の照査結果

部材		材質	応力成分	応力度* (a)	許容限界 (b)	照査値* (a/b)
鋼製 遮水壁	スキンプレー ト	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm ²)	144	315	0.46
				147		0.47
				154		0.49
	垂直リブ	SM490Y	圧縮応力度 (N/mm ²)	34	190	0.17
				35		0.18
				36		0.19
水平リブ	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm ²)	221	315	0.71	
			221		0.71	
			223		0.71	
せん断応力度 (N/mm ²)	SM490Y	せん断応力度 (N/mm ²)	68	180	0.38	
			68		0.38	
			69		0.39	
合成応力度	SM490Y	合成応力度	0.63	1.20	0.53	
			0.64		0.54	
			0.65		0.55	
漂流物 防護工	架台	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm ²)	169	315	0.54
				169		0.54
				170		0.54
	せん断応力度 (N/mm ²)	SM490Y	せん断応力度 (N/mm ²)	68	180	0.38
				68		0.38
				69		0.39
	合成応力度	SM490Y	合成応力度	0.43	1.20	0.36
				0.43		0.36
				0.44		0.37
防護工	SM570	曲げ応力度 (N/mm ²)	275	382	0.72	
			275		0.72	
			275		0.72	
せん断応力度 (N/mm ²)	SM570	せん断応力度 (N/mm ²)	179	217	0.83	
			179		0.83	
			179		0.83	
合成応力度	SM570	合成応力度	0.68	1.20	0.57	
			0.68		0.57	
			0.68		0.57	

注記*：応力度及び照査値の上段は海水密度 1.03g/cm³とした場合，中段は海水密度 1.05g/cm³とした場合，下段は海水密度 1.1g/cm³（参考）とした場合を示す。

(参考資料 4) 風荷重の影響について

1. 概要

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の強度計算書で考慮する風荷重については、敷地側から海側に作用する場合は遡上津波荷重を打ち消す側に荷重が作用するため、海側から敷地側の方向で津波水位から防潮堤天端までに作用することを考慮している。

その上で、評価上考慮する風荷重は、遡上津波荷重に含めることとし、防潮堤前面における入力津波水位 O.P. +24.4m に余裕を考慮した津波水位 O.P. +25.0m を設定している。

ただし、風荷重を遡上津波荷重に含めず、独立荷重として作用させた場合に、風荷重が防潮堤（鋼管式鉛直壁）に及ぼす影響を検討する。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部の荷重作用図を図 1-1 に示す。

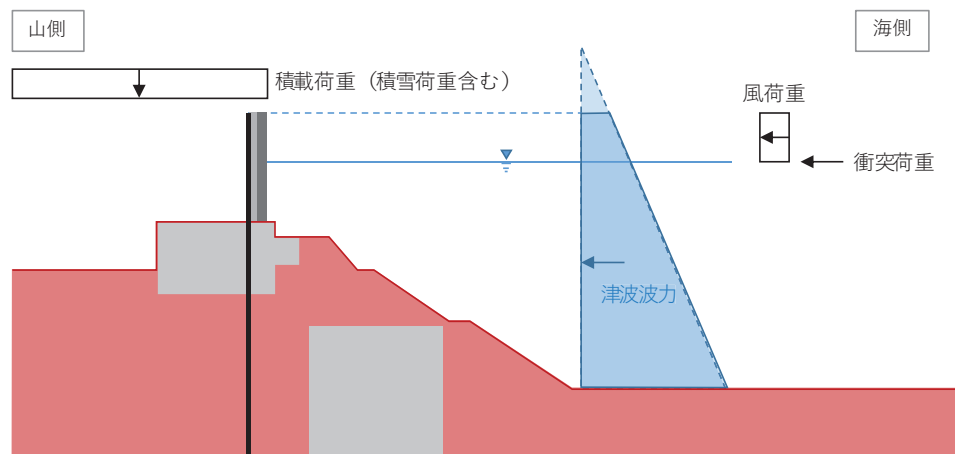


図 1-1(1) 荷重作用図（一般部，津波時）

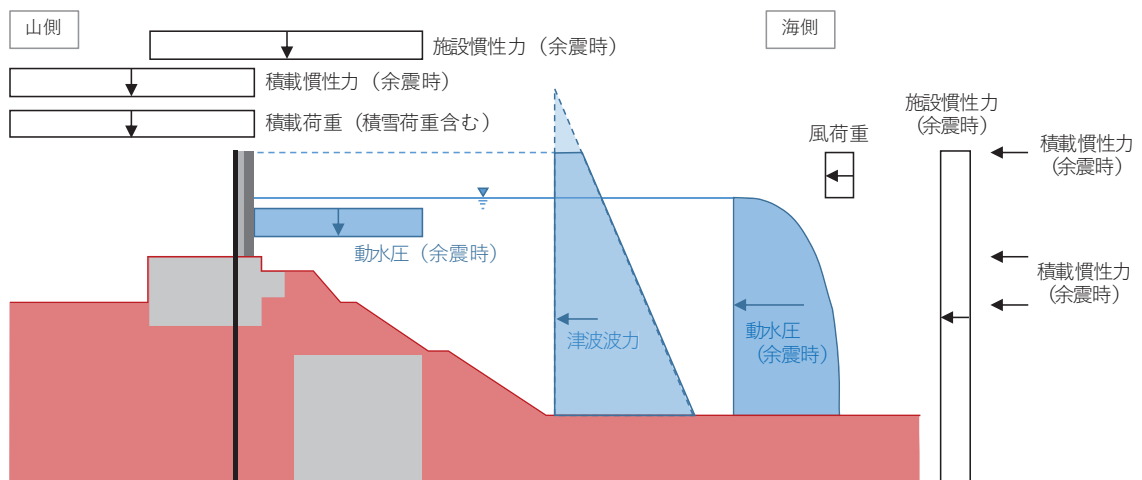


図 1-1(2) 荷重作用図（一般部，重畳時）

2. 評価方針

津波時及び重畳時において、照査値が最も厳しくなる部位は、重畳時のスキンプレート（鋼製遮水壁）であり、津波遡上荷重及び動水圧が大きくなる津波水位（O. P. +25. 0m）よりも下部となるが、この位置は風荷重が作用しない位置である（図 2-1）。

次に照査値が厳しくなる部位は、津波時の防護工（漂流物防護工）であり、防護工の照査位置は津波水位（O. P. +25. 0m）をまたいでいるため、照査対象の防護工には一部風荷重が作用する。

以上のことから、検討対象部位として津波時の防護工を選定する（図 2-1）。

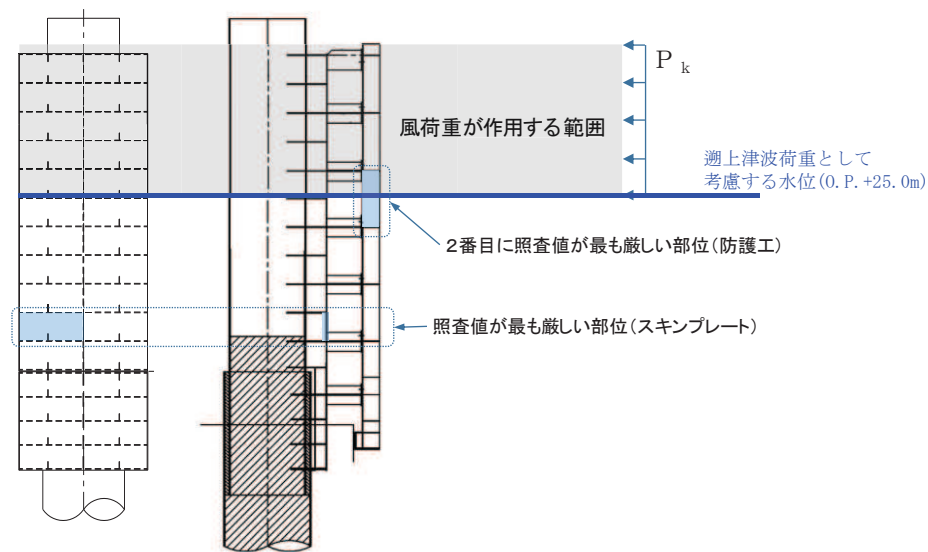


図 2-1 風荷重が作用する範囲と検討対象部位

本検討では風荷重による影響の程度を確認するため、風荷重を含めて設定している津波水位 O. P. +25. 0m による照査と、津波水位 O. P. +25. 0m とは別に風荷重を考慮した場合の照査値を比較する。

防護工の照査方法は「3.5 評価方法」に示す方法と同様に、防護工は架台を支点とする単純ばりモデル化し、曲げモーメント及びせん断力よりそれぞれ応力を算出する。また、風荷重については図 2-2 のとおり考慮する。

曲げ応力照査（衝突荷重が防護工中心に作用する場合）

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

$$M = P_t \cdot b'' \cdot \frac{\ell^2}{8} + P_c \cdot \frac{\ell}{4}$$

せん断力照査（衝突荷重が防護工端部に作用する場合）

$$\tau = \frac{S}{A_{wc}}$$

$$S = P_t \cdot b'' \cdot \frac{\ell}{2} + P_c$$

ここで、

σ : 曲げモーメントによる防護工の発生応力度 (N/mm²)

M : 防護工に発生する曲げモーメント (kN・m)

Z : 防護工の断面係数 (mm³) *

P_t : 防護工に作用する津波波圧 (kN/m²)

τ : せん断力による防護工の発生応力度 (N/mm²)

S : 防護工に発生するせん断力 (kN)

b'' : 防護工の幅 (m)

ℓ : 架台間隔 (mm)

P_c : 衝突荷重 (kN)

A_{wc} : 防護工のせん断抵抗断面積 (mm²) *

注記 * : 防護工は外側 1mm を腐食代として考慮する。

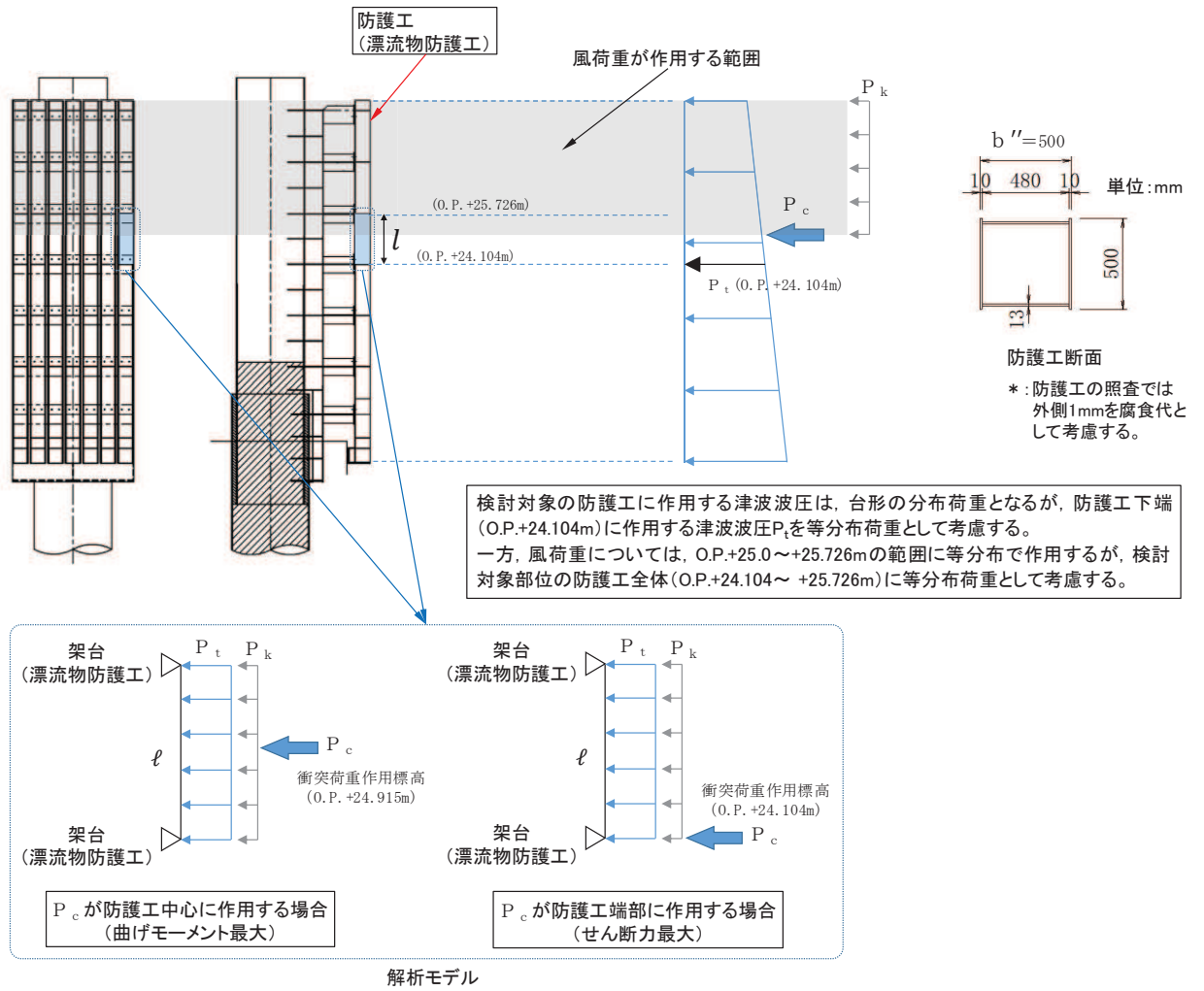


図 2-2 防護工の照査概念図 (津波時)

3. 評価結果

防護工（漂流物防護工）の照査結果を表 3-1 に示す。この結果から、風荷重による影響はほとんどないことを確認した。

表 3-1(1) 漂流物防護工の風荷重による影響
(風荷重を津波水位 0. P. +25. 0m に含めて評価した場合)

材質	応力成分	応力度 (a) 【】は小数点第三位を 切り上げて表示	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
SM570	曲げ応力度 (N/mm ²)	275 【274.04】	382	0.72
	せん断応力度 (N/mm ²)	179 【178.38】	217	0.83

表 3-1(2) 漂流物防護工の風荷重による影響
(津波水位 0. P. +25. 0m とは別に風荷重考慮して評価した場合)

材質	応力成分	応力度 (a) 【】は小数点第三位を 切り上げて表示	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
SM570	曲げ応力度 (N/mm ²)	275 【274.10】	382	0.72
	せん断応力度 (N/mm ²)	179 【178.41】	217	0.83

(参考資料5) ジョイント要素非設定箇所ジョイント要素を設定した場合の影響について

1. 概要

防潮堤の二次元 FEM 解析においては、図 1-1 に示すとおり、地盤と構造体の接合面にジョイント要素を設けることにより、津波時及び重畳時の地盤と構造体の接合面における剥離及びすべりを考慮している。

なお、背面補強工（コンクリート）と改良地盤の水平境界及びセメント改良土と置換コンクリートの水平境界については、双方の材料がセメント系の材料であって一体化しやすいこと及び打継処理が可能であることから、ジョイント要素を設定しない。

一方、背面補強工と改良地盤の境界は鋼管杭が貫いていることも踏まえ、ジョイント要素を設定しない箇所では、剥離を考慮した場合に防潮堤の構造成立性に与える影響を確認するため、背面補強工と改良地盤及びセメント改良土と置換コンクリートの水平境界にジョイントを設定した場合の影響について確認する。

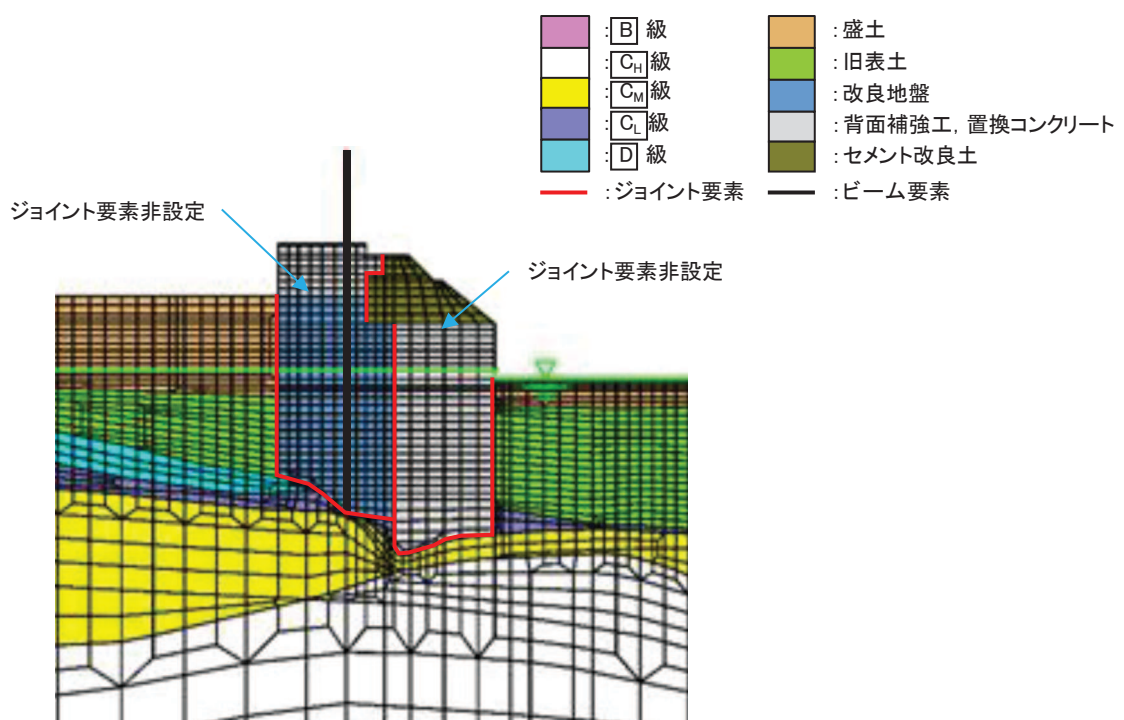


図 1-1 ジョイント要素の配置図（断面②の例）

2. 評価方針

2.1 津波時

評価対象断面については、「4.1 津波時」から解析ケース①（基本ケース）の結果において、照査値が最も厳しい断面②とする。

断面②の解析モデルを図 2-1 に、追加ジョイント要素の配置を図 2-2 に示す。

また、影響検討を行う解析ケースを表 2-1 に示す。

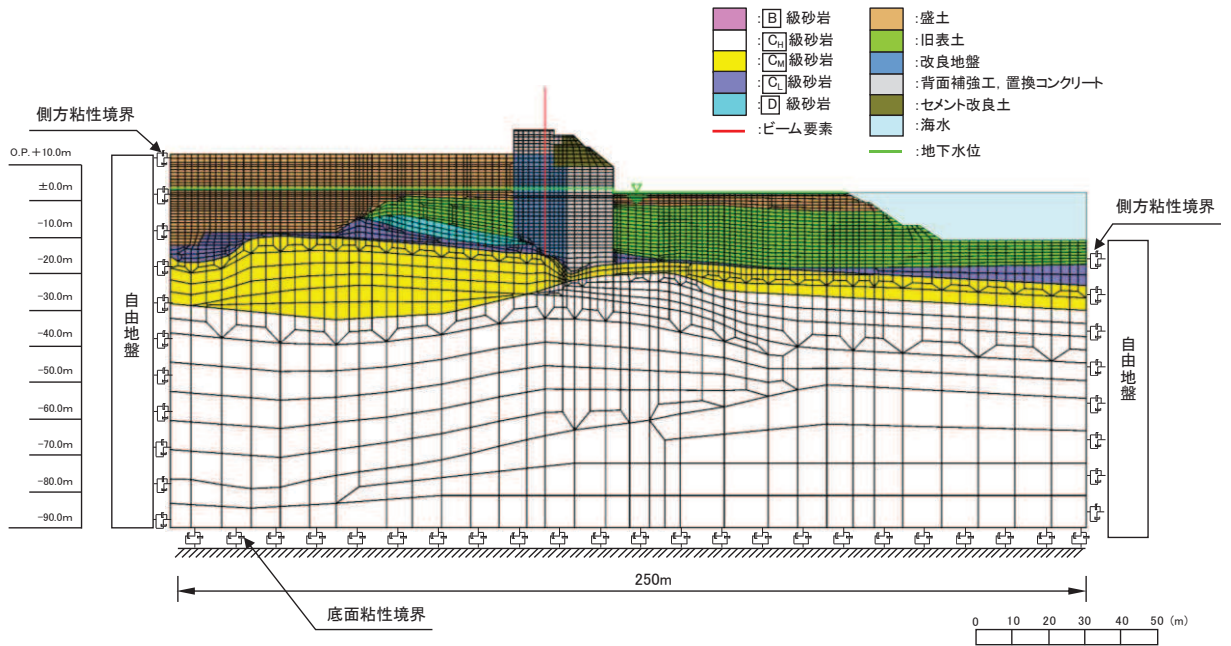


図 2-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部の解析モデル（断面②）

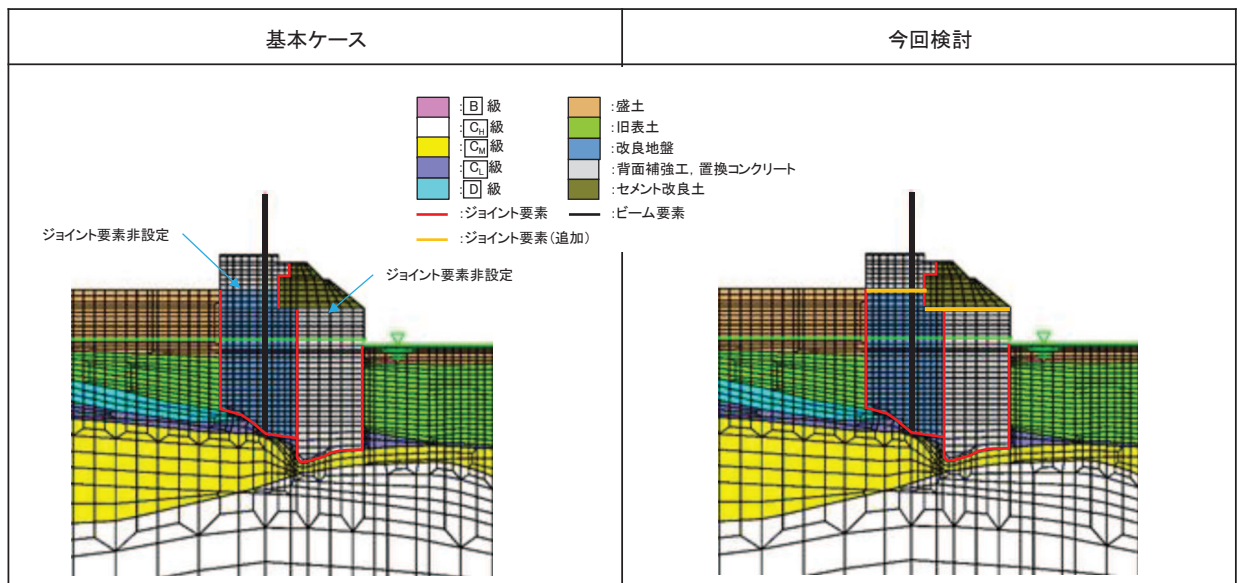


図 2-2 本検討における追加ジョイント要素の配置（断面②）

表 2-1 解析ケース

ジョイント 水平境界	解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
			旧表土, 盛土, D級岩盤, セメント改良土, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係 数)	C _L 級岩盤, C _M 級岩盤, C _H 級岩盤, B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係 数)
非設定	ケース①* ¹ (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
	ケース②* ¹	設計基準強度	平均値 + 1 σ	平均値
	ケース③* ¹	設計基準強度	平均値 - 1 σ	平均値
設定	ケース①* ²	設計基準強度	平均値	平均値

注記* 1 : 「4. 評価結果」にて評価済

注記* 2 : 今回検討

2.2 重畳時

評価対象断面，入力地震動については，「4.2 重畳時」から解析ケース①（基本ケース）の結果において，照査値が最も厳しい「断面①，Sd-D2（-+）」とする。

断面①の解析モデルを図 2-3 に，追加ジョイント要素の配置を図 2-4 に示す。

また，影響検討を行う解析ケースを表 2-2 に示す。

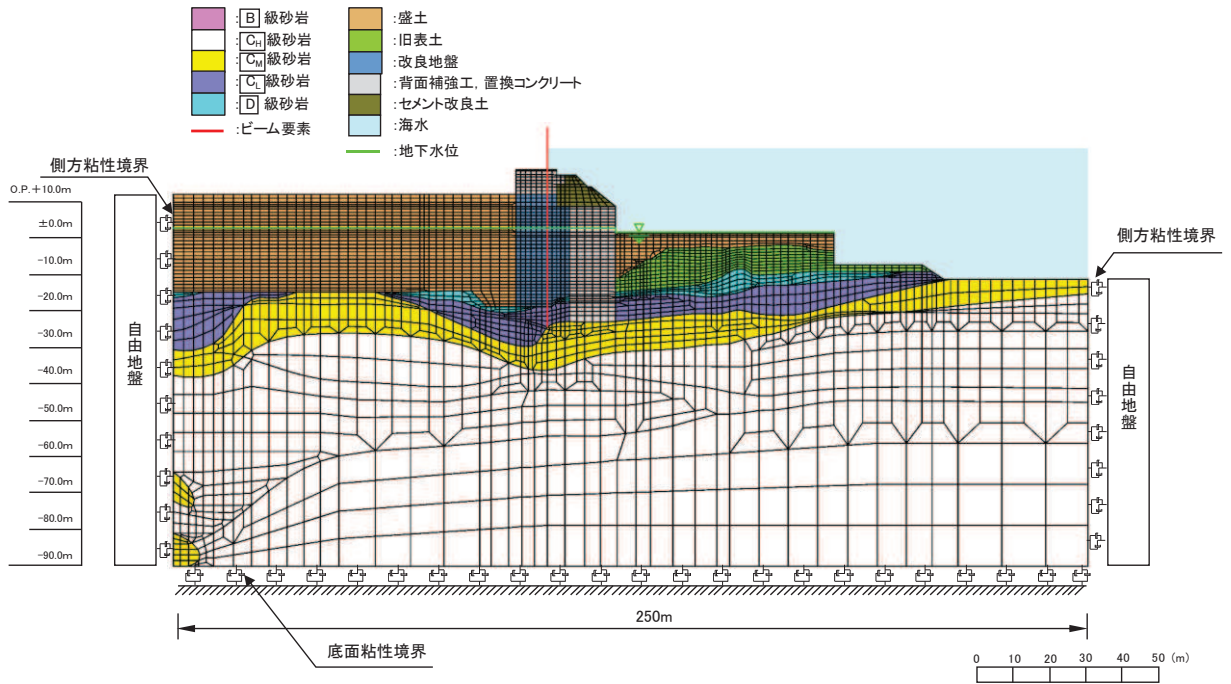


図 2-3 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部の解析モデル（断面①）

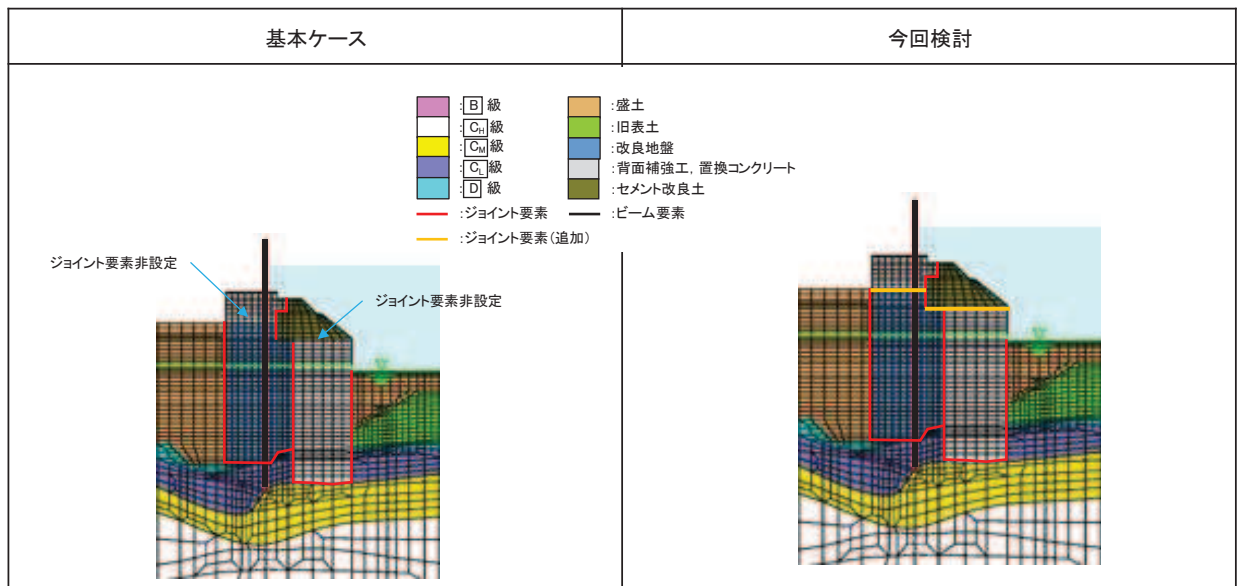


図 2-4 本検討における追加ジョイント要素の配置（断面①）

表 2-2 解析ケース

ジョイント 水平境界	解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
			旧表土, 盛土, D級 岩盤, セメント改 良土, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾 性係数)	C _L 級岩盤, C _M 級岩 盤, C _H 級岩盤, B 級岩盤 (G_d : 動せ ん断弾性係数)
非設定	ケース①* ¹ (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
	ケース②* ¹	設計基準強度	平均値 + 1 σ	平均値
	ケース③* ¹	設計基準強度	平均値 - 1 σ	平均値
設定	ケース①* ²	設計基準強度	平均値	平均値

注記* 1 : 「4. 評価結果」にて評価済

注記* 2 : 今回検討

3. 評価結果

3.1 津波時

背面補強工と改良地盤及びセメント改良土と置換コンクリートの水平境界にジョイントを設定した場合の影響評価結果を表 3-1～表 3-6 及び図 3-1～図 3-6 に示す。

本検討の結果，各照査項目ともに照査値はおおむね同等であり，背面補強工と改良地盤及びセメント改良土と置換コンクリートの水平境界にジョイント要素を設定した場合の影響は小さいことを確認した。

表 3-1 鋼管杭の曲げ圧縮照査における最大照査値

解析 ケース	杭種	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ圧縮応力	短期許容応力	照査値 σ_s / σ_{sa}	
				σ_s (N/mm ²)	σ_{sa} (N/mm ²)		
非設定	①*	C	40932	1182	261	382	0.69
	②*	C	41017	1180	261	382	0.69
	③*	C	40983	1181	261	382	0.69
追加 設定	①	C	40952	1196	261	382	0.69

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

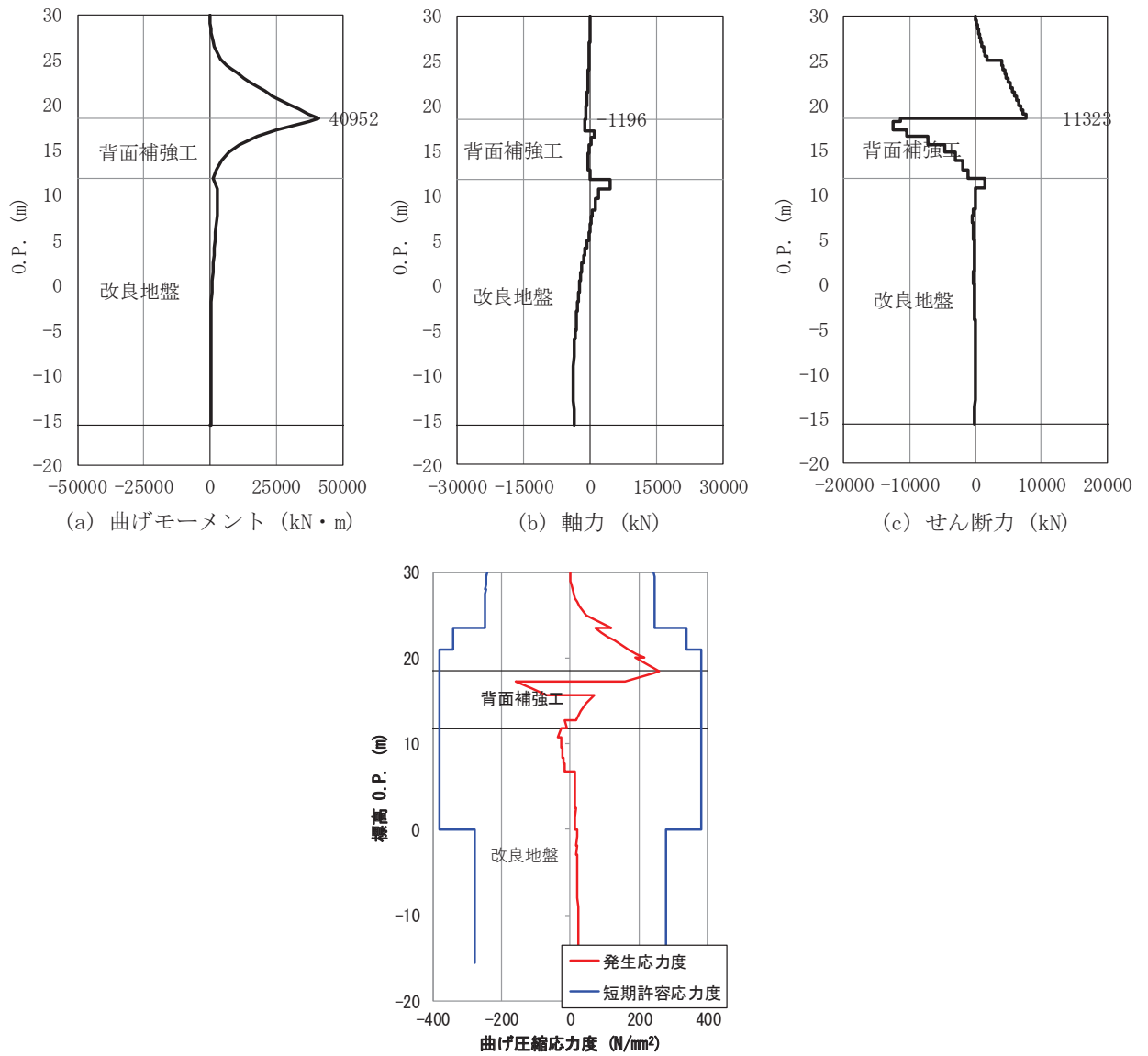


図 3-1 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における評価時刻での
断面力及び曲げ圧縮応力度
(断面②, ジョイント要素追加設定)

表 3-2 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値

解析ケース		杭種	せん断力 (kN)	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
非設定	①*	C	12563	96	217	0.45
	②*	C	12650	97	217	0.45
	③*	C	12606	96	217	0.45
追加設定	①	C	12581	96	217	0.45

注記* : 「4. 評価結果」の値を再掲。

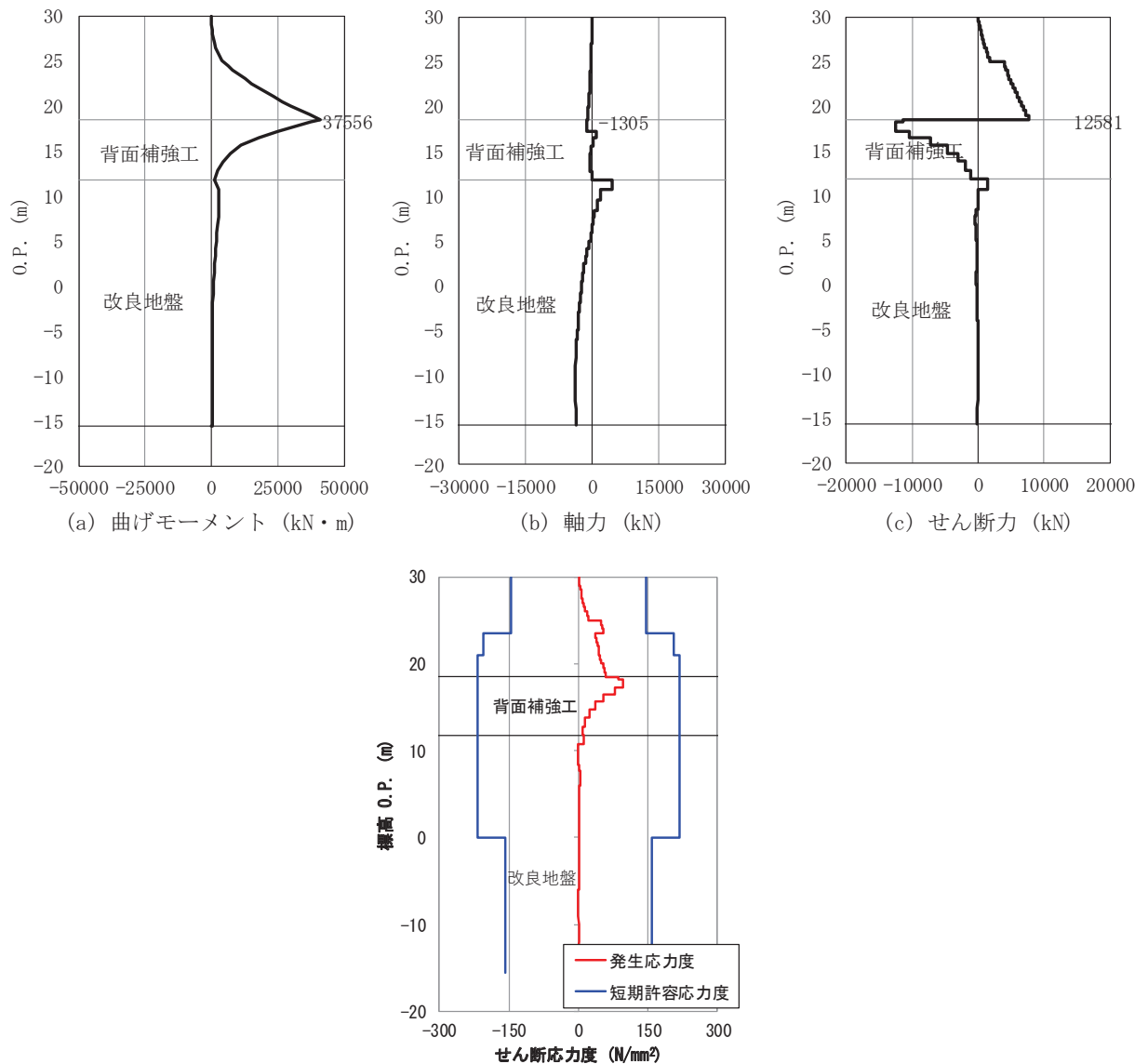


図 3-2 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における評価時刻での断面力及び曲げ圧縮応力度 (断面②, ジョイント要素追加設定)

表 3-3 背面補強工のすべり安全率

解析 ケース		最小すべり 安全率
非設定	①*	12.2
	②*	12.1
	③*	12.2
追加 設定	①	12.2

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

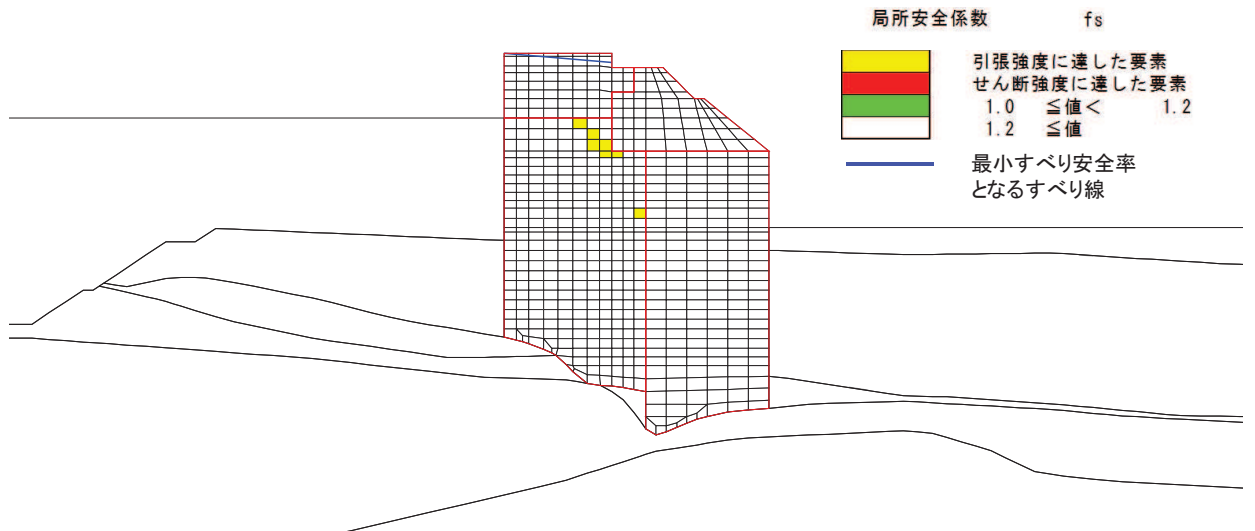


図 3-3 背面補強工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面②, ジョイント要素追加設定)

表 3-4 置換コンクリートのすべり安全率

解析 ケース		最小すべり 安全率
非設定	①*	26.0
	②*	27.2
	③*	24.7
追加 設定	①	26.0

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

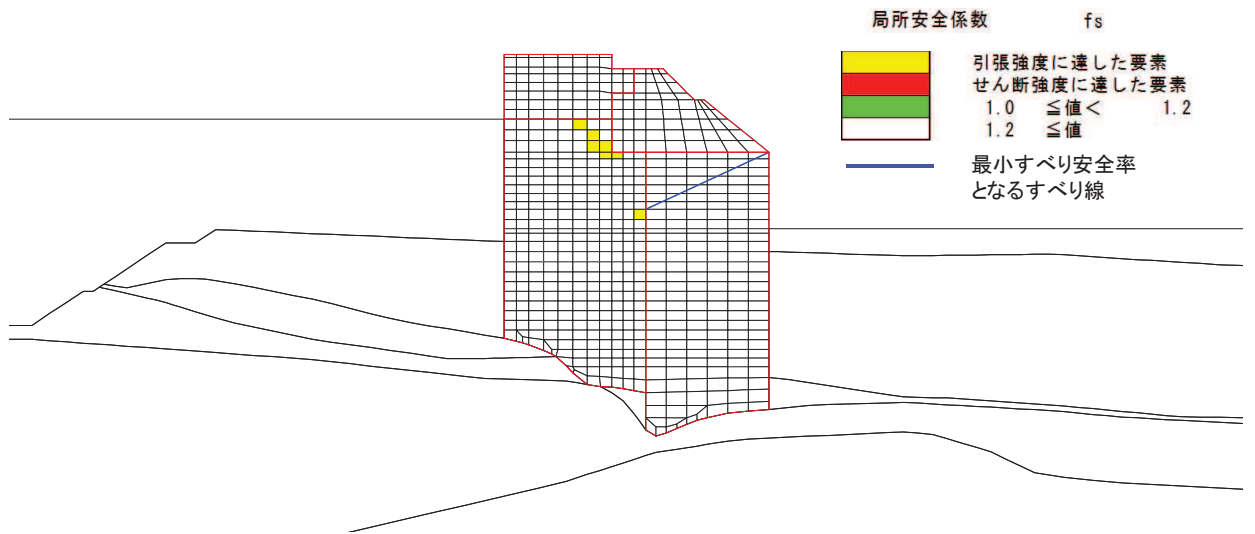


図 3-4 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面②, ジョイント要素追加設定)

表 3-5 改良地盤のすべり安全率

解析 ケース		最小すべり 安全率
非設定	①*	5.0
	②*	4.9
	③*	5.1
追加 設定	①	5.0

注記* : 「4. 評価結果」の値を再掲。

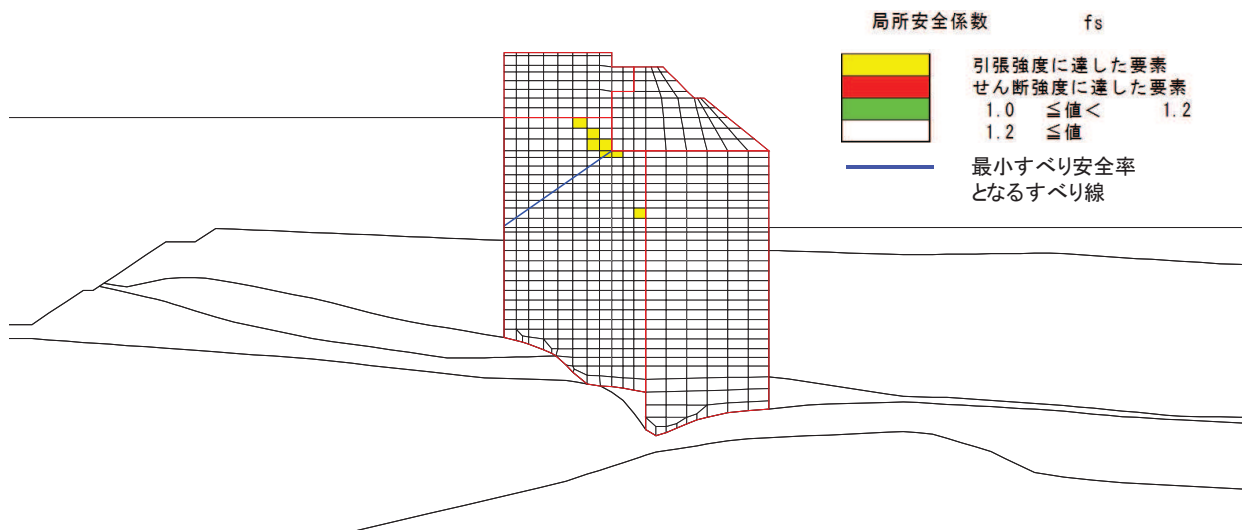


図 3-5 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面②, ジョイント要素追加設定)

表 3-6 セメント改良土のすべり安全率

解析 ケース		最小すべり 安全率
非設定	①*	42.7
	②*	41.3
	③*	44.1
追加 設定	①	42.4

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

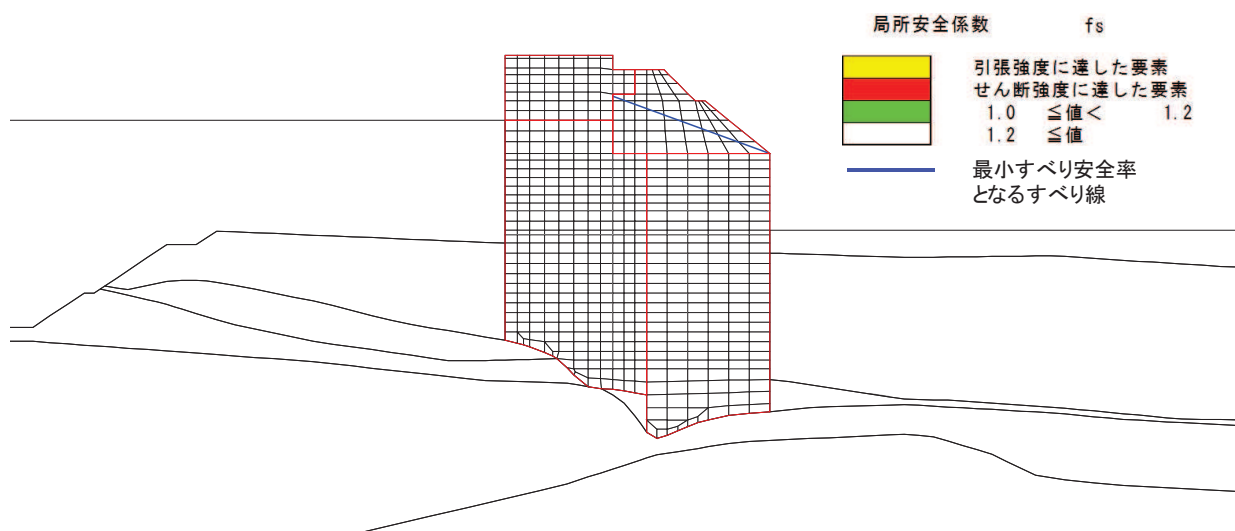


図 3-6 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面②, ジョイント要素追加設定)

3.2 重畳時

背面補強工と改良地盤及びセメント改良土と置換コンクリートの水平境界にジョイントを設定した場合の影響評価結果を表 3-7～表 3-13 及び図 3-7～図 3-12 に示す。

本検討の結果，各照査項目ともに照査値はおおむね同等であり，背面補強工と改良地盤及びセメント改良土と置換コンクリートの水平境界にジョイント要素を設定した場合の影響は小さいことを確認した。

表 3-7 鋼管杭の曲げ圧縮照査における最大照査値（断面①，S d - D 2（-+））

解析 ケース	杭種	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ圧縮応力 σ_s (N/mm ²)	短期許容応力 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}	
非設定	①*	C	44972	1316	287	382	0.76
	②*	C	45243	1277	288	382	0.76
	③*	C	42182	1312	269	382	0.71
追加 設定	①	C	45149	1282	288	382	0.76

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

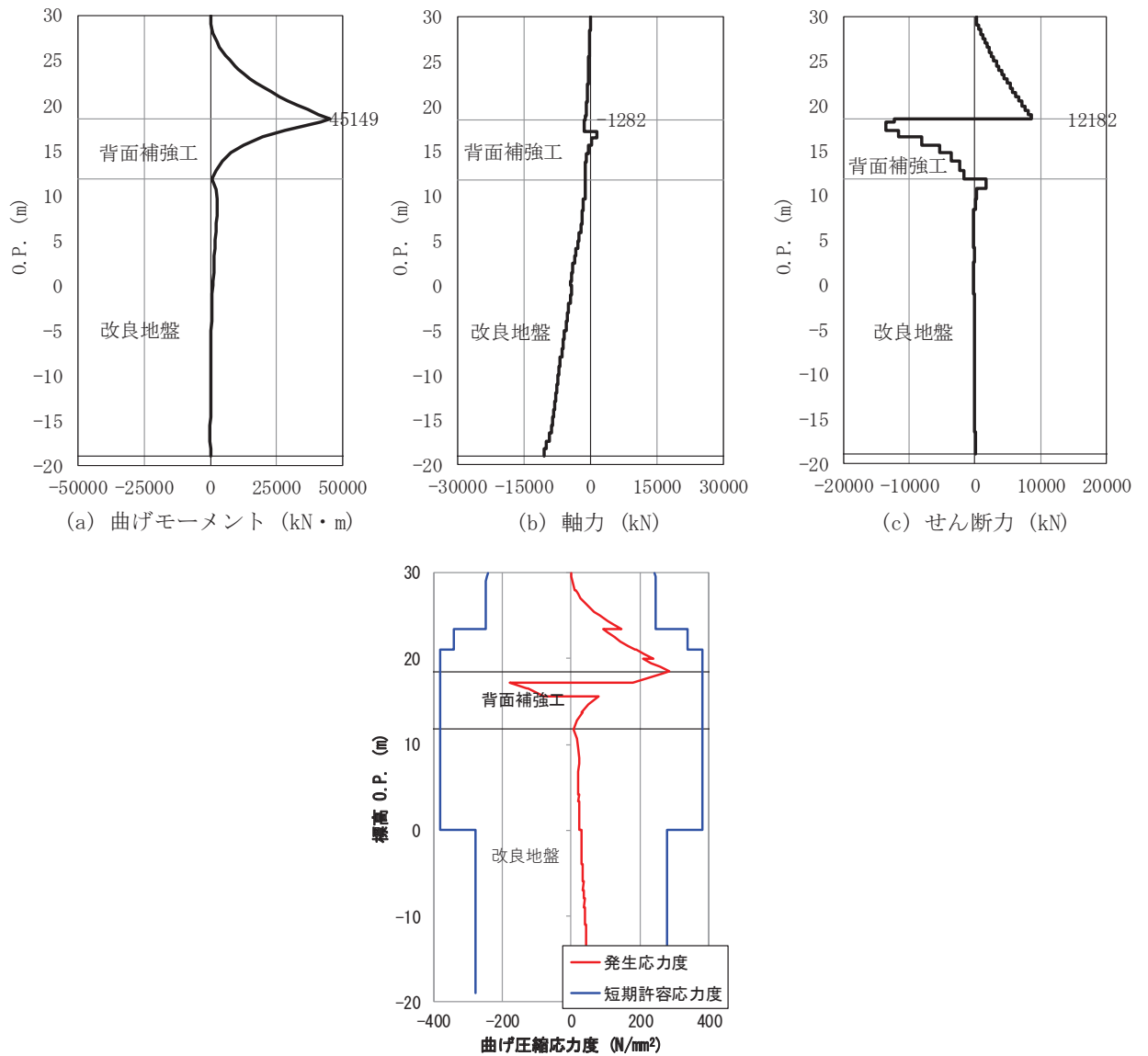


図 3-7 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値の評価時刻での断面力
(断面①, ジョイント要素追加設定, S d - D 2 (- +) , t=17.48s)

表 3-8 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値（断面①，S d - D 2（-+））

解析 ケース		杭種	せん断力 (kN)	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容応力 度 $\tau_{s a}$ (N/mm ²)	照査値 $\tau_s / \tau_{s a}$
非設定	①*	C	13526	103	217	0.48
	②*	C	13606	104	217	0.48
	③*	C	12646	97	217	0.45
追加 設定	①	C	13556	104	217	0.48

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

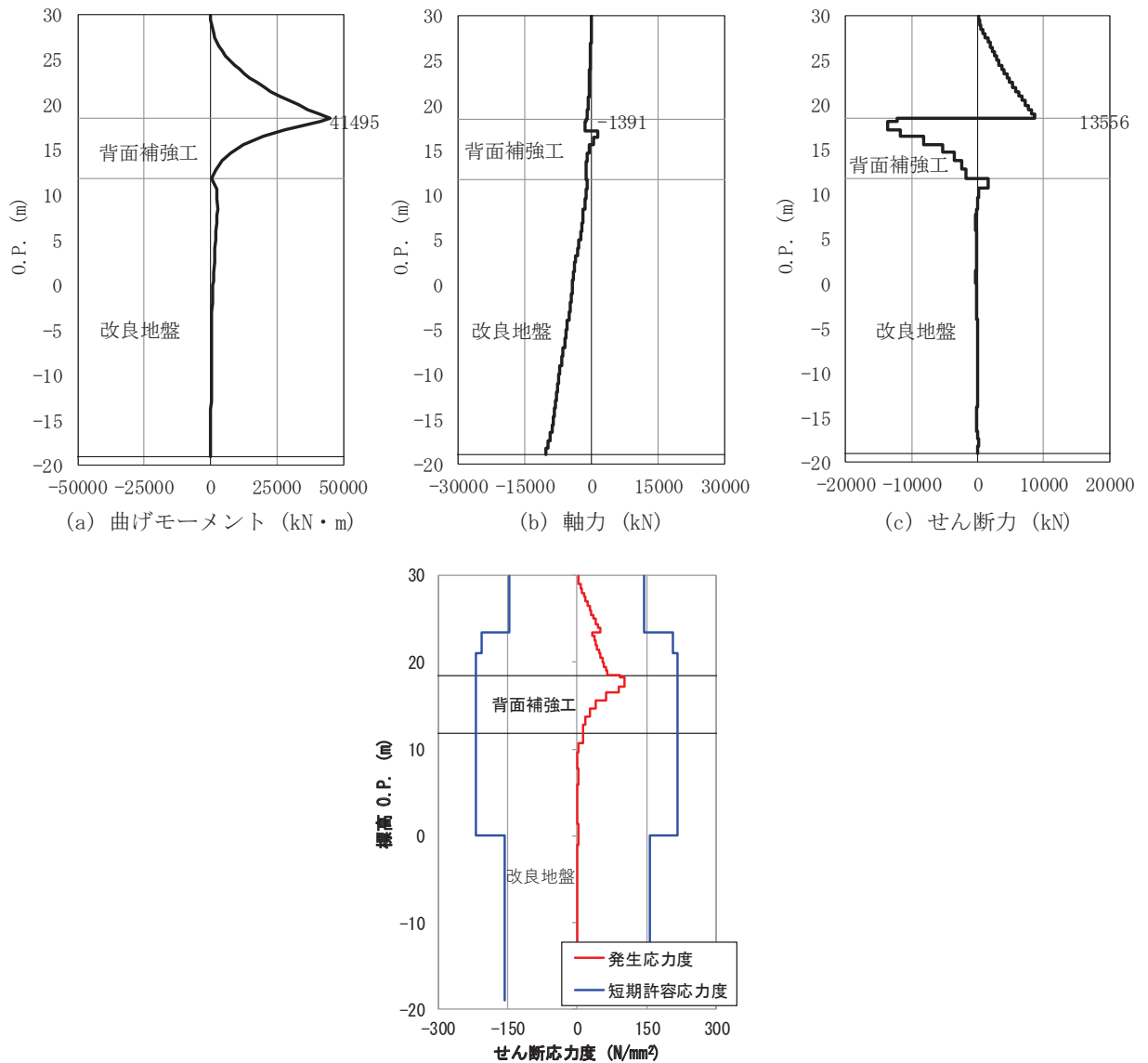


図 3-8 鋼管杭のせん断破壊に対する最大照査値の評価時刻での断面力（断面①，ジョイント要素追加設定，S d - D 2（-+），t=17.48s）

表 3-9 背面補強工のすべり安全率

解析 ケース	発生時刻 (s)	最小すべり 安全率
非設定	①*	17.48
	②*	17.47
	③*	17.49
追加 設定	①	17.48

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。



図 3-9 背面補強工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面①, ジョイント要素追加設定, S d - D 2 (- +) , t=17.48s)

表 3-10 置換コンクリートのすべり安全率

解析 ケース	発生時刻 (s)	最小すべり 安全率
非設定	①*	13.20
	②*	25.55
	③*	25.32
追加 設定	①	13.21

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

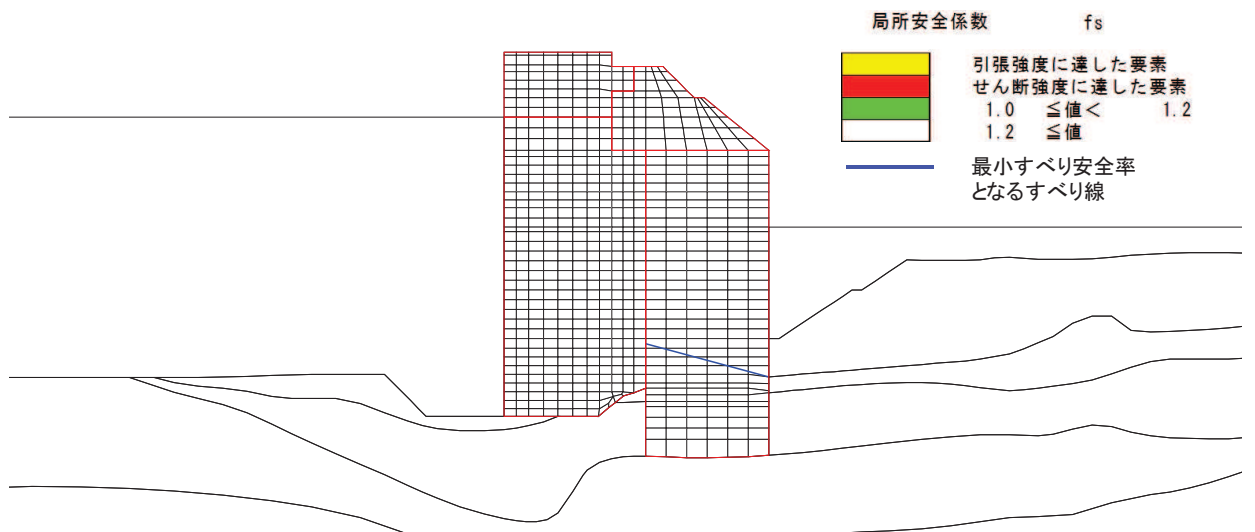


図 3-10 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面①, ジョイント要素追加設定, S d - D 2 (- +) , t=13.21)

表 3-11 改良地盤のすべり安全率

解析 ケース	発生時刻 (s)	最小すべり 安全率
非設定	①*	12.93
	②*	12.93
	③*	25.79
追加 設定	①	12.93

注記* : 「4. 評価結果」の値を再掲。

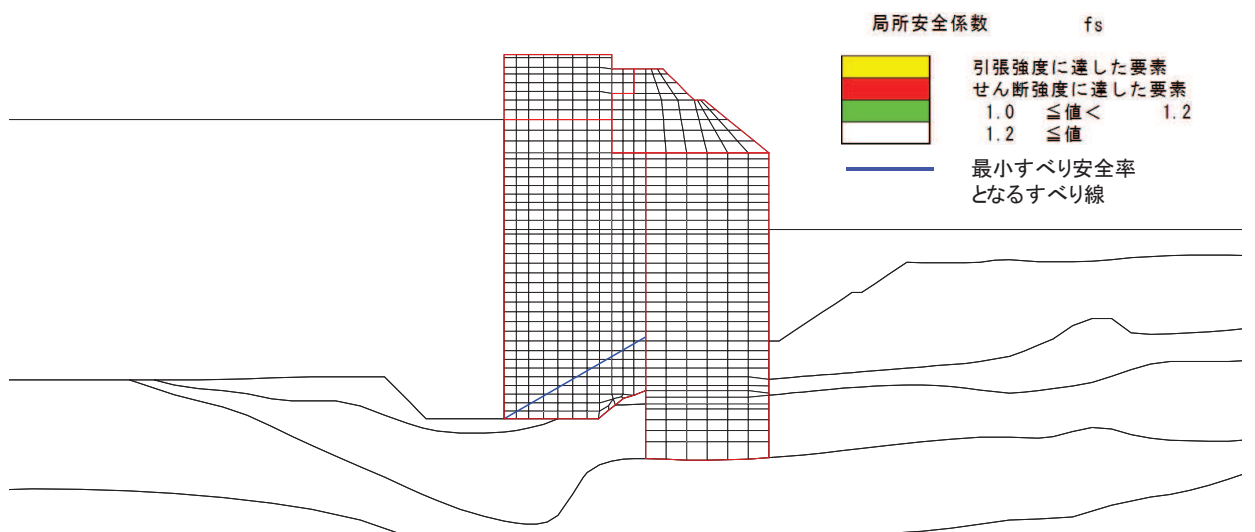


図 3-11 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面①ジョイント要素追加設定, S d - D 2 (- +) , t=12.93)

表 3-12 セメント改良土のすべり安全率

解析 ケース		発生時刻 (s)	最小すべり 安全率
非設定	①*	24.99	48.2
	②*	25.55	56.7
	③*	30.05	52.2
追加 設定	①	8.96	71.7

注記* : 「4. 評価結果」の値を再掲。

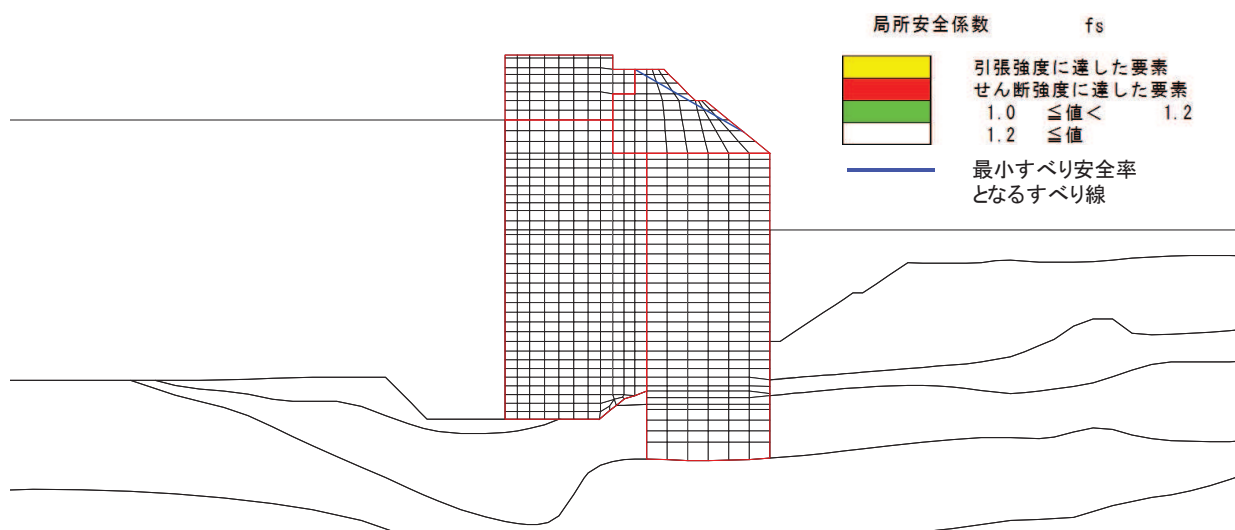


図 3-12 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面①, ジョイント要素追加設定, S d - D 2 (- +) , t=8.96)

表 3-13(1) 基礎地盤の支持性能に対する最大照査値 (鋼管杭, 断面①)

解析 ケース		最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a / R_{ua}
非設定	①*	2.7	11.4	0.24
	②*	2.5	11.4	0.22
	③*	3.0	11.4	0.27
追加 設定	①	2.7	11.4	0.24

注記* : 「4. 評価結果」の値を再掲。

表 3-13(2) 基礎地盤の支持性能に対する最大照査値（背面補強工，断面①）

解析 ケース		最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
非設定	①*	1.1	4.4	0.25
	②*	1.1	4.4	0.25
	③*	1.1	4.4	0.25
追加 設定	①	1.1	4.4	0.25

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

表 3-13(3) 基礎地盤の支持性能に対する最大照査値（置換コンクリート，断面①）

解析 ケース		最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
非設定	①*	1.7	11.4	0.15
	②*	1.8	11.4	0.16
	③*	1.7	11.4	0.15
追加 設定	①	1.7	11.4	0.15

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

(参考資料 6) 津波荷重が作用した場合の防潮堤敷地側の隣接構造物への影響について

1. 概要

防潮堤敷地側には図 1-1 に示すとおり、海水ポンプ室等の隣接構造物が存在するが、防潮堤に津波荷重が作用した場合に、防潮堤敷地側に隣接する構造物への影響を、地震時と津波時に発生するせん断ひずみを用いて検討する。

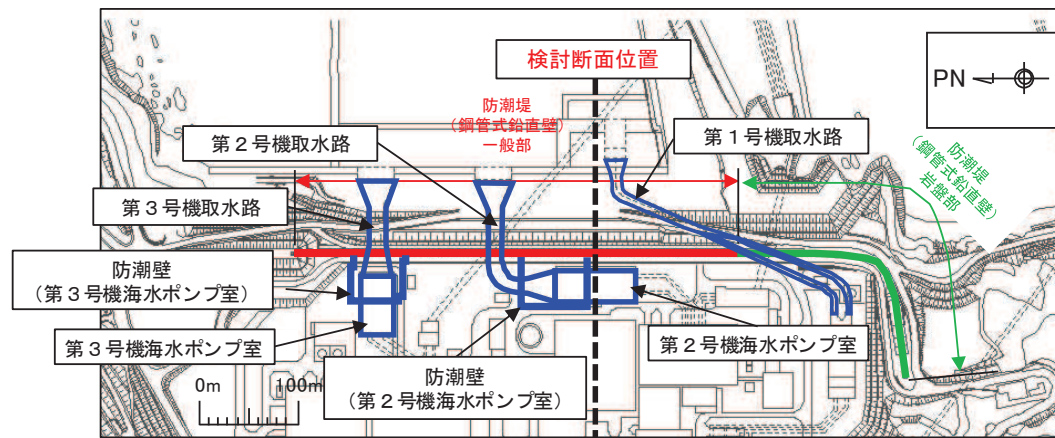


図 1-1 防潮堤と近接する構造物位置図

2. 防潮堤敷地側の盛土・旧表土の発生せん断ひずみの確認

津波荷重が作用した場合の防潮堤敷地側の隣接構造物への影響確認として、地震時及び津波時に防潮堤敷地側の盛土・旧表土に発生するせん断ひずみを比較する。

検討断面は、防潮堤敷地側に盛土・旧表土が厚く分布する断面②とする。断面②の津波時の解析モデルを図 2-1 に示す。また、地震時における検討地震動は防潮堤の全部材で照査値が最も厳しくなる $S_s - D2$ (—) とする。なお、地盤物性値は平均値 (基本ケース) とする。

津波時における最大せん断ひずみ分布を図 2-2 に、地震時における最大せん断ひずみ分布を図 2-3 に示す。

津波時において防潮堤敷地側に発生するせん断ひずみレベルは、地震時と比較して小さいことから、津波荷重が防潮堤敷地側の構造物へ及ぼす影響は小さい。

なお、各構造物の耐震評価において、防潮堤が近接している影響が想定される場合には、個別に検討を行い、構造健全性を確認している。

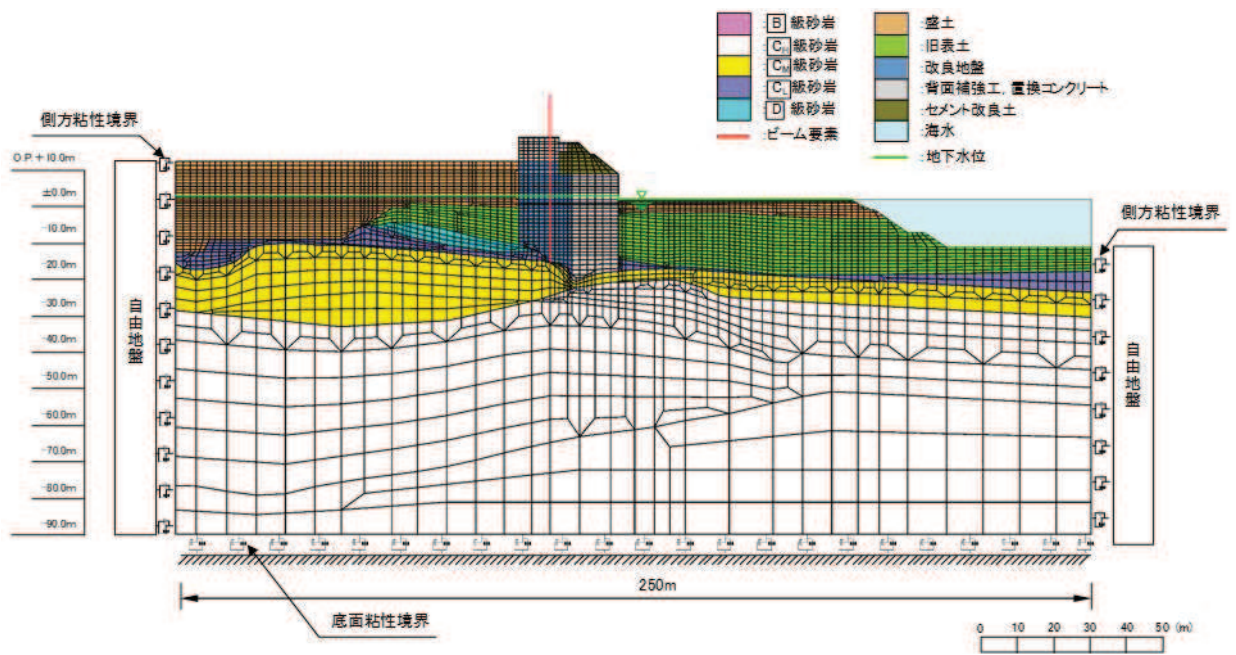


図 2-1 解析モデル（断面②，津波時）

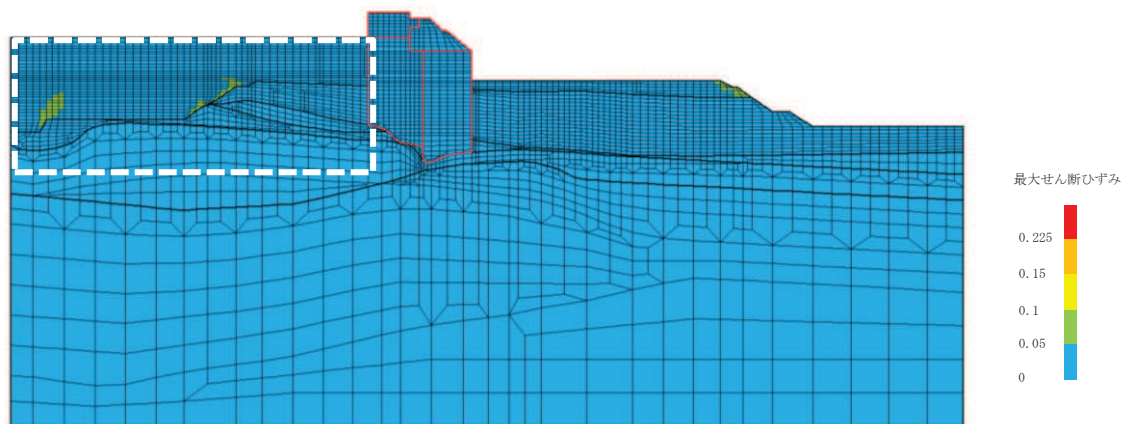


図 2-2 津波時における最大せん断ひずみ分布（断面②）

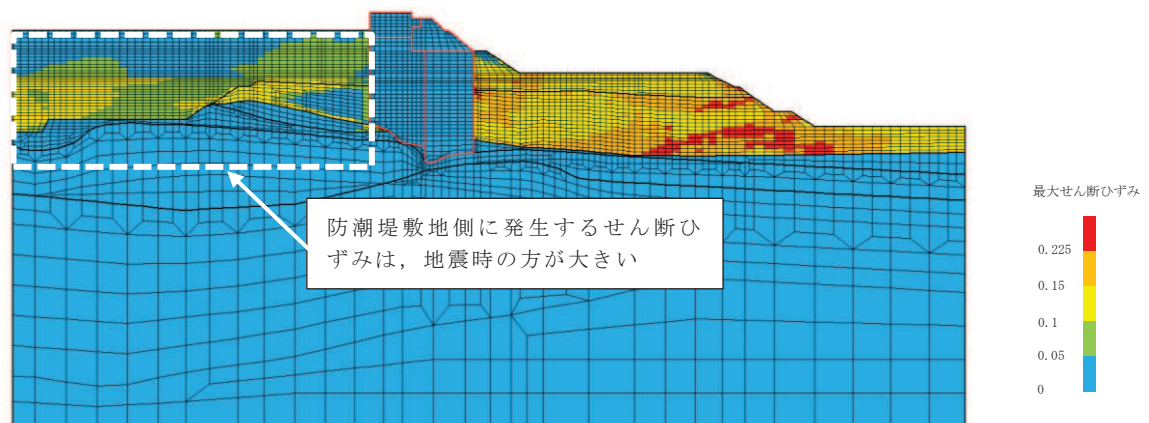


図 2-3 地震時（S s - D 2（-））の最大せん断ひずみ分布（断面②）

- 6. 浸水防護施設に関する補足説明
- 6.1 防潮堤の設計に関する補足説明
- 6.1.3 防潮堤（盛土堤防）の耐震性についての計算書に関する補足説明

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	4
2.4 適用基準	10
3. 耐震評価	12
3.1 評価対象断面	12
3.2 解析方法	15
3.3 荷重及び荷重の組合せ	20
3.4 入力地震動	23
3.5 解析モデル及び諸元	39
3.6 評価対象部位	51
3.7 許容限界	52
3.8 評価方法	53
4. 耐震評価結果	57
4.1 地震応答解析結果	57
4.2 セメント改良土	70
4.3 置換コンクリート	72
4.4 改良地盤	73
4.5 基礎地盤	79
5. 防潮堤（盛土堤防）の耐震性に関する影響検討	83
5.1 コンクリートの剛性の影響について	83
5.2 液状化しない場合の不確かさの影響検討について	89

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、防潮堤（盛土堤防）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び止水機能を有していることを確認するものである。

防潮堤（盛土堤防）に要求される機能の維持を確認するに当たっては、地震応答解析に基づく施設・地盤の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

なお、本資料においては各照査値が最も厳しいケースだけでなく、検討した全ケースの結果を示している。

また、防潮堤（盛土堤防）の耐震評価においては、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約 1 m の地盤沈下が発生したことを考慮し、地盤沈下量を考慮した敷地高さや施設高さ等を記載する。

2. 基本方針

2.1 位置

防潮堤（盛土堤防）の範囲を図 2.1-1 に示す。

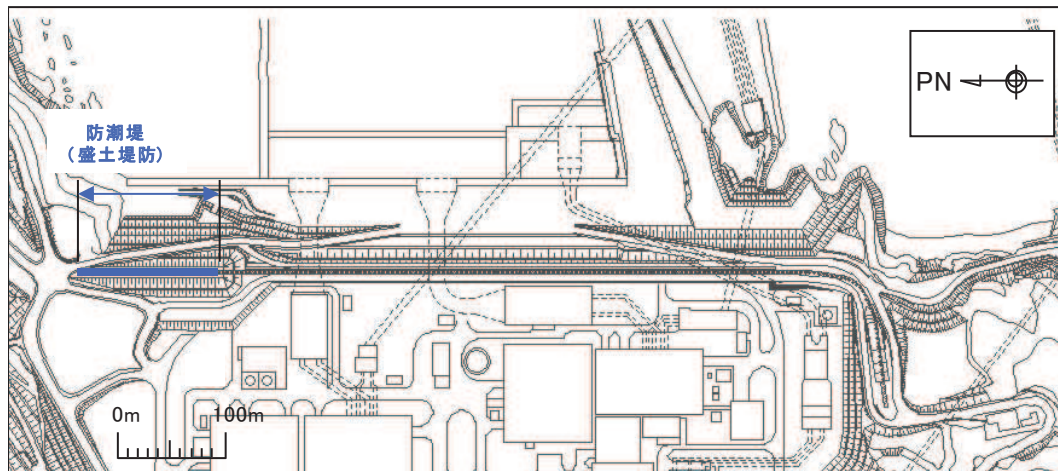


図 2.1-1 防潮堤（盛土堤防）の範囲

2.2 構造概要

防潮堤（盛土堤防）は，入力津波による浸水高さ（防潮堤前面：O.P.+24.4m）に対して余裕を考慮した天端高さ（O.P.+29.0m）とする。

防潮堤（盛土堤防）は，改良地盤に設置されたセメント改良土による堤体と，基礎地盤のすべり安定性を確保する観点から設置する置換コンクリートで構成される。

防潮堤（盛土堤防）の構造図を図 2.2-1 に示す。

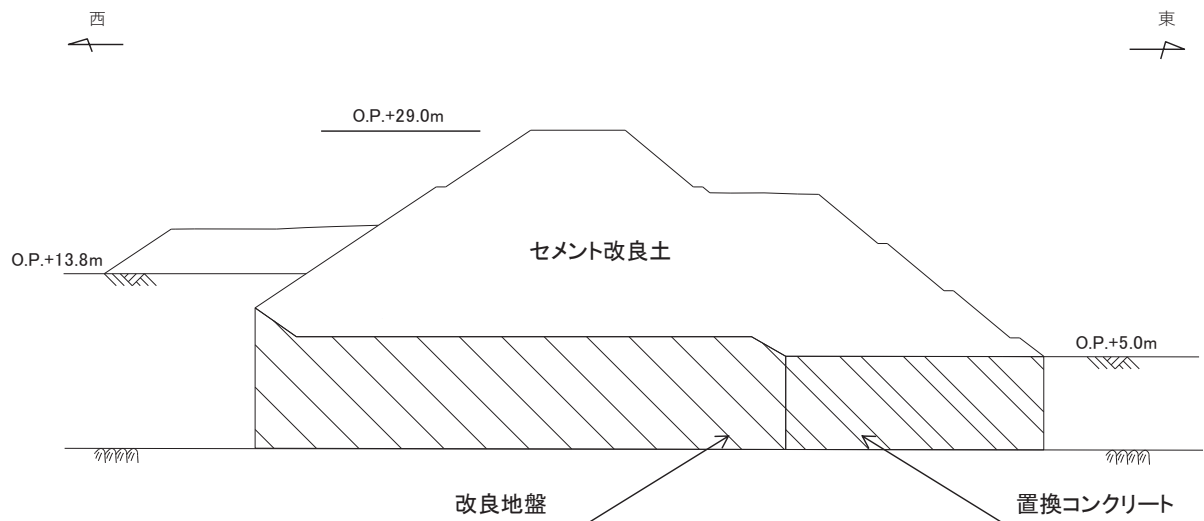


図 2.2-1 防潮堤（盛土堤防）の構造図

2.3 評価方針

2.3.1 各部位の性能目標

防潮堤（盛土堤防）は、Sクラス施設である津波防護施設に分類される。

新規制基準への適合性において、防潮堤直下の盛土・旧表土は沈下対策として地盤改良を行うことを踏まえ、盛土堤防における設置許可基準規則の各条文に対する検討要旨を表2.3-1に示す。

表 2.3-1 盛土堤防における検討要旨

規 則	検 討 要 旨
第3条 (設計基準対象施設の地盤)	<ul style="list-style-type: none"> 施設（セメント改良土及び置換コンクリート）を支持する地盤を対象とし、地盤内にすべり線を想定し、安定性を確認する。
第4条 (地震による損傷の防止)	<ul style="list-style-type: none"> 施設と地盤との動的相互作用や液状化検討対象層の地震時の挙動を考慮した上で、施設の耐震安全性を確認する。
第5条 (津波による損傷の防止)	<ul style="list-style-type: none"> 地震（本震及び余震）による影響を考慮した上で、機能を保持できることを確認する。 液状化検討対象層の地震時の挙動の考慮を含む。

盛土堤防における条文に対応する施設の範囲及び各部位の役割を図2.3-1、図2.3-2及び表2.3-2に示す。セメント改良土については、堤体として本体部分と海側の道路部分を一体的に構築しており、津波荷重も全体で受けることから、海側の道路部分も含めたセメント改良土全体を施設として評価する。

なお、セメント改良土の陸側の道路部分は、盛土堤防とは構造的に一体化していない。荷重に対する抵抗力等の具体的な役割は期待していないが、適切にモデル化して施設への影響を評価する。

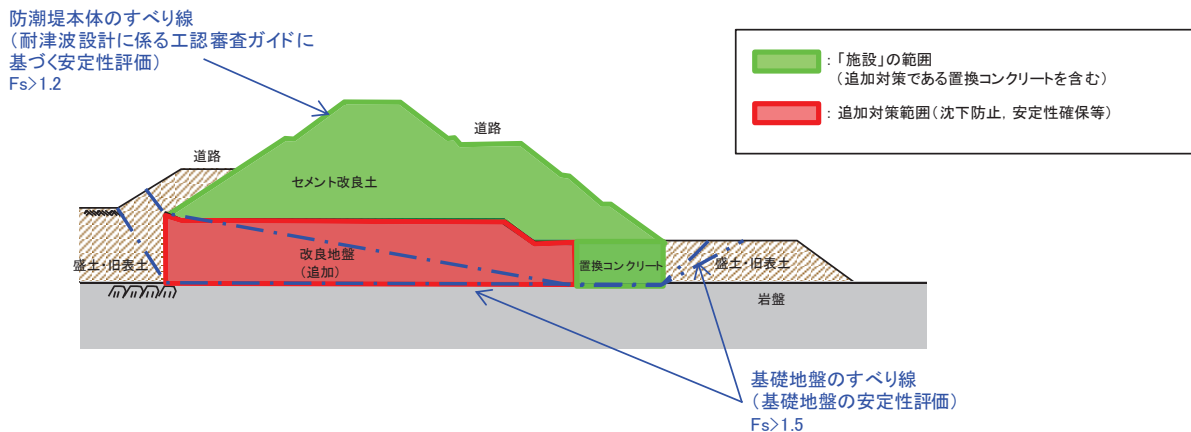


図 2.3-1 盛土堤防の「施設」の範囲

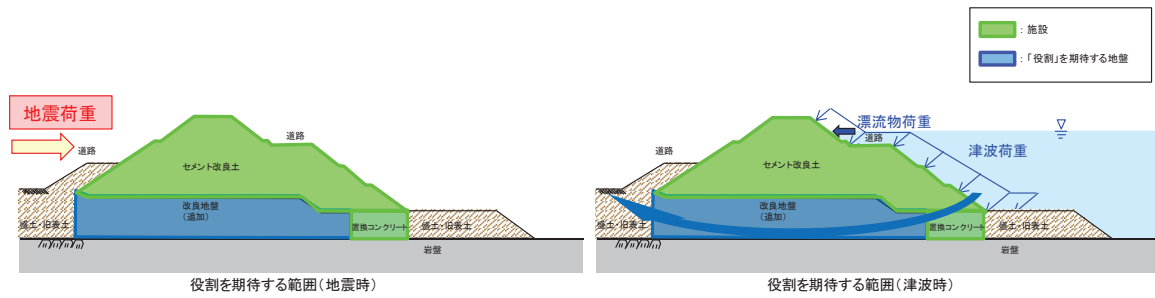


図 2.3-2 盛土堤防の役割を期待する範囲

表 2.3-2 盛土堤防の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割*	津波時の役割*
施設	セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 入力津波に対して十分な裕度を確保した堤体高さを維持する。 	<ul style="list-style-type: none"> 入力津波に対して十分な裕度を確保した堤体高さを維持する。 難透水性を有し、堤体により止水性を維持する。
	置換コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート強度を考慮して基礎地盤のすべり安定性を確保する。 	<ul style="list-style-type: none"> 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する（難透水性を保持する）。
地盤	改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土を鉛直支持する（下方の岩盤に荷重を伝達する）。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土を鉛直支持する（下方の岩盤に荷重を伝達する）。 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する（難透水性を保持する）。
	岩盤	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土及び置換コンクリートを鉛直支持する。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土及び置換コンクリートを鉛直支持する。

注記 *：津波+余震時は地震時及び津波時の両方の役割を参照する。

各部位の『施設』と『地盤』を区分するに当たり、セメント改良土、置換コンクリート及び改良地盤の具体的な役割を表 2.3-3 のとおり整理した。

要求機能を満たすために設計上必要な項目（表 2.3-3 中に「◎」と記載）を持つ部位として、セメント改良土は堤体本体としての高さ維持（第 4・5 条）、止水性維持（第 5 条）の役割を主体的に果たすこと、置換コンクリートは地震時にすべり安定性確保（第 3 条）の役割を主体的に果たすことから、『施設』と区分する。また、支持地盤としての役割（表 2.3-3 中「○」と記載）を有する改良地盤は『地盤』と区分する。

なお、施設の役割を維持するための条件として設計に反映する項目「○」と評価した具体的な考え方を以下に示す。

- 改良地盤の役割である鉛直支持については、セメント改良土を鉛直支持するために支持力を設計に反映することから「○」とした。
- 改良地盤の役割であるすべり安定性については、基礎地盤のすべり安定性を確保するために滑動抵抗（強度特性）を設計に反映することから「○」とした。
- 置換コンクリート及び改良地盤の役割である健全性については、堤体であるセメント改良土の堤体高さ及び難透水性を維持するために、剛性（変形特性）を設計に反映することから「○」とした。

- 置換コンクリート及び改良地盤の役割である止水性については、地盤中からの回り込みによる浸水を防止するために透水係数を設計に反映することから「○」とした。なお、透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを浸透流解析により確認する。

表 2.3-3 盛土堤防の各部位の具体的な役割

凡 例	
◎	要求機能を主体的に満たすために設計上必要な項目 (該当する部位を施設と区分とする)
○	施設の役割を維持するための条件として設計に反映する項目
-	設計上考慮しない項目

部位	具体的な役割				『施設』と『地盤』の区分の考え方		
	地震時	津波時	※1 鉛直支持	すべり安定性 健全性 (難透水性) 止水性			
セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 強度・剛性の高いセメント改良土を大断面で設置することで、入力津波に対して十分な裕度を確保した堤体本体としての高さを維持する。 	<ul style="list-style-type: none"> 強度・剛性の高いセメント改良土を大断面で設置することで、入力津波に対して十分な裕度を確保した堤体高さを維持する。 難透水性を有し、堤体本体としての止水性を保持することで、津波時の水みちを形成しない。 	-	-	◎	◎	堤体本体として、高さ・止水性維持の役割を主体的に果たすことから、『施設』と区分する。
置換コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート強度を考慮して置換範囲を設計することで、基礎地盤のすべり安定性を確保する(第3条)。 	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土の周囲で難透水性を保持することで、地盤中からの回り込みによる浸水を防止する。 	-	◎	○	○ ^{※2}	地震時にすべり安定性確保の役割を主体的に果たすことから、『施設』と区分する。
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土の下方の盛土・旧表土を地盤改良(沈下防止)することで、防潮堤を鉛直支持するとともに基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土の下方の盛土・旧表土を地盤改良(沈下防止)することで、防潮堤を鉛直支持する。 セメント改良土の周囲で難透水性を保持することで、地盤中からの回り込みによる浸水を防止する。 	○	○	○	○ ^{※2}	施設の鉛直支持、すべり安定性への寄与及び健全性が主な役割であり、施設の支持地盤に要求される役割と同様であること、難透水性の保持の役割をもつことから、『地盤』と区分する。

※1:鉛直支持については岩盤が主体的に役割を果たす。

※2:施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、置換コンクリート、改良地盤及びセメント改良土の透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを確認する。

以上を踏まえ、盛土堤防における各部位の役割に対する性能目標を表 2.3-4 に示す。

表 2.3-4 盛土堤防の各部位の役割に対する性能目標

部位		性能目標			
		鉛直支持	すべり安定性	健全性	止水性 (難透水性)
施設	セメント改良土	—	—	セメント改良土の健全性を保持して、入力津波に対して十分な裕度を確保した堤体高さを維持するために、堤体内部にすべり破壊が生じないこと(内的安定を保持)。	セメント改良土を横断する水みちが形成されて有意な漏洩を生じないために、堤体内部にすべり破壊が生じないこと(内的安定を保持)。
	置換コンクリート	—	基礎地盤のすべり安定性を確保するため、コンクリートの強度を維持し、すべり抵抗を保持すること。	コンクリートの強度を維持すること及び堤体であるセメント改良土の堤体高さ及び難透水性を維持するため、置換コンクリートがすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。	地盤中からの回り込みによる浸水を防止(難透水性を保持)するため、置換コンクリートがすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。
地盤	改良地盤	セメント改良土を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	基礎地盤のすべり安定性を確保するため、置換コンクリートのすべり抵抗も考慮した上で、十分なすべり安定性を保持すること。	堤体であるセメント改良土の堤体高さ及び難透水性を維持するため、改良地盤にすべり破壊が生じないこと(内的安定を保持)。	地盤中からの回り込みによる浸水を防止(難透水性を保持)するため、改良地盤がすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。
	岩盤	セメント改良土及び置換コンクリートを鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。		—	—

2.3.2 評価方針

防潮堤（盛土堤防）の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、設計基準対象施設として、表 2.3-5 に示すとおり、施設・地盤の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価を行う。

施設・地盤の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

施設・地盤の健全性評価については、施設・地盤ごとに定める照査項目（すべり安全率）が許容限界を満足することを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、基礎地盤に生じる接地圧が許容限界以下であることを確認する。

防潮堤（盛土堤防）の耐震評価フローを図 2.3-3 に示す。

表 2.3-5 防潮堤（盛土堤防）の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	施設・地盤の健全性	セメント改良土	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
		置換コンクリート	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
		改良地盤	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力*
止水性を損なわないこと	施設・地盤の健全性	セメント改良土	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
		置換コンクリート	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
		改良地盤	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力*

注記 *： 妥当な安全余裕を考慮する。

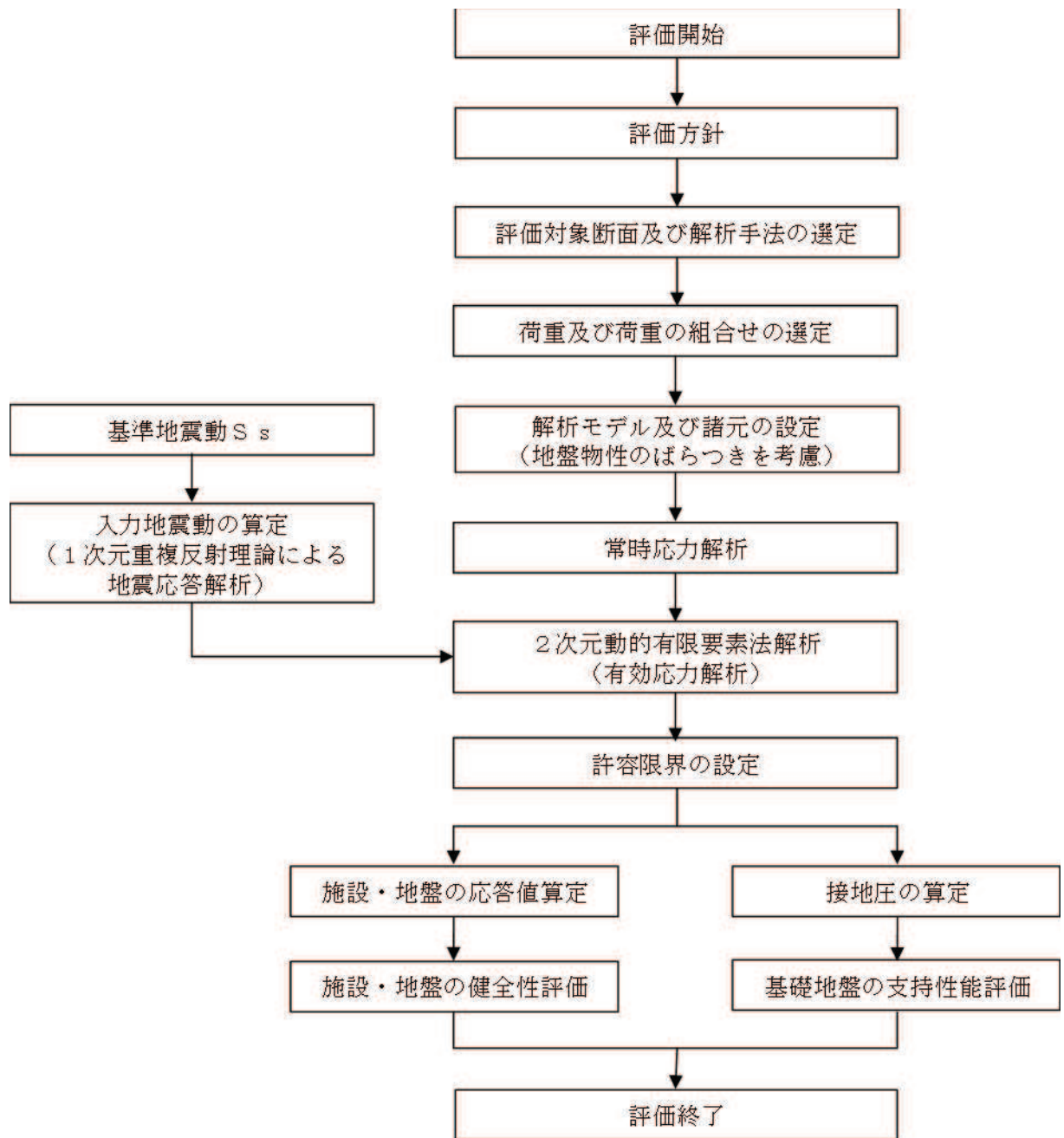


図 2.3-3 防潮堤（盛土堤防）の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 土木学会 2002年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]
- ・ 耐津波設計に係る工認審査ガイド (平成25年6月19日原管地発第1306196号)
- ・ 日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I共通編・IV下部構造編
- ・ 土木学会 2013年 コンクリート標準示方書 ダムコンクリート編
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1-1987)
- ・ 日本建築学会 2013年 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5N 原子力
- ・ 日本原子力学会 2015 発電所施設における鉄筋コンクリート工事日本原子力学会標準
原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準

表 2.4-1 適用する規格，基準類

項目		適用する規格，基準類	備考
使用材料及び材料定数		・ 土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]	
荷重及び荷重の組合せ		・ 土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ・ 日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編	・ 永久荷重+偶発荷重+従たる変動荷重の適切な組み合わせを検討
許容限界	置換コンクリート	・ 土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ・ 土木学会 2013 年 コンクリート標準示方書 ダムコンクリート ・ 編耐津波設計に係る工認審査ガイド	・ すべり安全率が 1.2 以上であることを確認
	改良地盤及びセメント改良土	・ 耐津波設計に係る工認審査ガイド	
地震応答解析		・ 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)	・ 有限要素法による二次元モデルを用いた時刻歴非線形解析
		・ 日本建築学会 2013 年 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5N 原子力 ・ 日本原子力学会 2015 発電所施設における鉄筋コンクリート工事日本原子力学会標準 原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準	・ 新設構造物の圧縮強度の推定

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

防潮堤（盛土堤防）の評価対象断面は、設置変更許可段階における構造成立性評価断面として選定した断面を基本とした上で、「補足-140-1 津波への配慮に関する説明書の補足説明資料」の「5.10 津波防護施設の設計における評価対象断面の選定について」に記載したとおり、耐震評価においては、構造的特徴、周辺地盤状況、地下水位、近接構造物の有無、間接支持される機器・配管系の有無及び断層の有無が耐震評価結果に及ぼす影響の観点から、耐震評価上厳しいと考えられる断面を評価対象断面として選定する。

防潮堤（盛土堤防）の評価対象断面は、斜面形状であり傾斜方向への変形が支配的である横断方向を評価対象とする。防潮堤（盛土堤防）の総延長は約 120m であり、横断方向の断面では大きな構造的特徴はなく、防潮堤（盛土堤防）を I 区間として評価対象断面を選定する。

評価対象断面選定結果を表 3.1-1 に、評価対象断面位置を図 3.1-1 に、評価対象断面を図 3.1-2～図 3.1-3 に示す。

評価対象断面選定の詳細については、「5.10 津波防護施設の設計における評価対象断面の選定について」の「5.10.3 防潮堤（盛土堤防）」に示す。

表 3.1-1 評価対象断面選定結果

評価対象断面		①岩盤上面の深さ (セメント改良土の 厚さ)	②C _M 級岩盤上面 深さ	③盛土+旧表土 厚さ	④旧表土厚さ
I 区 間	断面①*	○：岩盤上面が最も 深い	○：C _M 級岩盤上面が 最も深い	○：盛土+旧表土が 最も厚い	○：旧表土が最も厚 い

注記 *：設置変更許可段階における基礎地盤の安定性評価及び構造成立性評価で示した断面

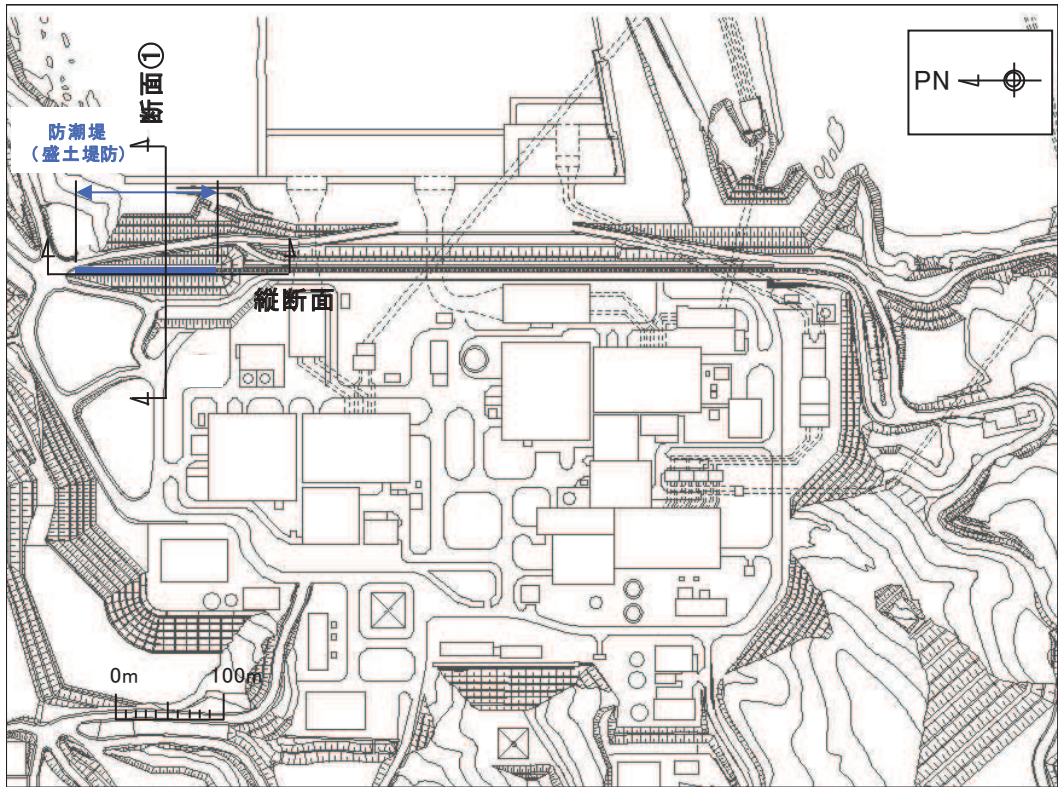


图 3.1-1 防潮堤（盛土堤防）位置图

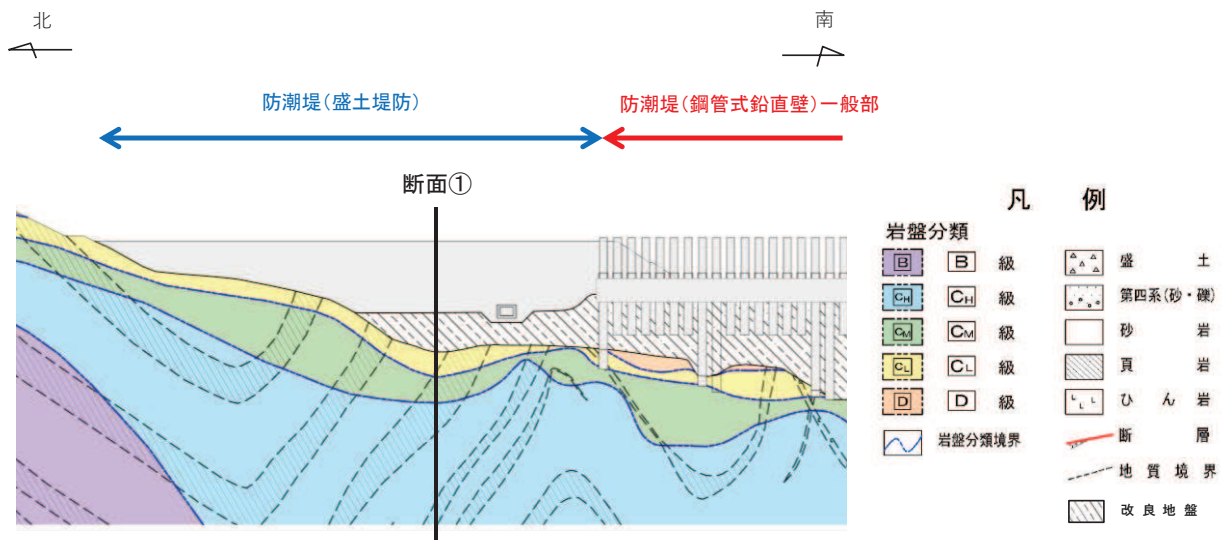


図 3.1-2 防潮堤（盛土堤防）の縦断面図

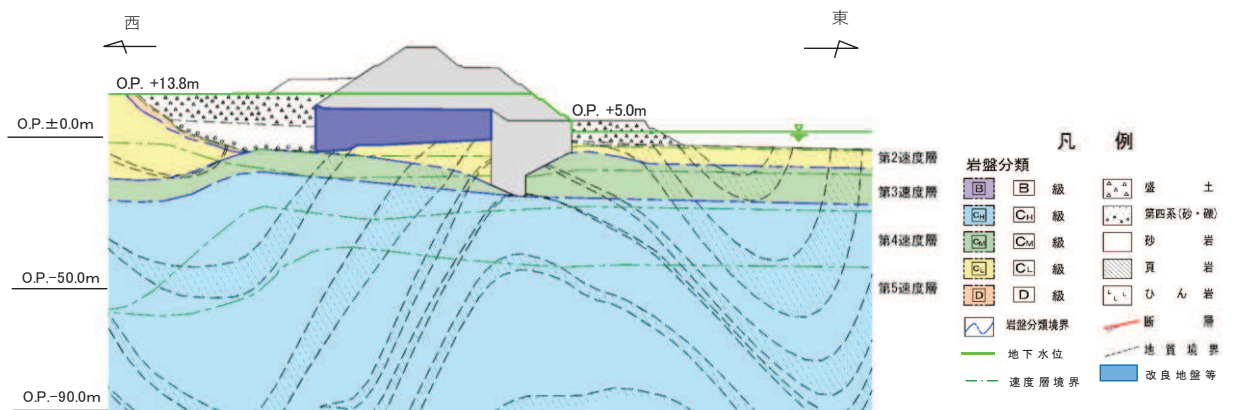


図 3.1-3 評価対象断面図（断面①）

3.2 解析方法

地震応答解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる二次元動的有限要素法により、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析を行う。また、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮できる有効応力解析とする。解析手法の選定フローを図 3.2-1 に示す。

地震応答解析には、解析コード「FLIP Ver. 7.3.0_2」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

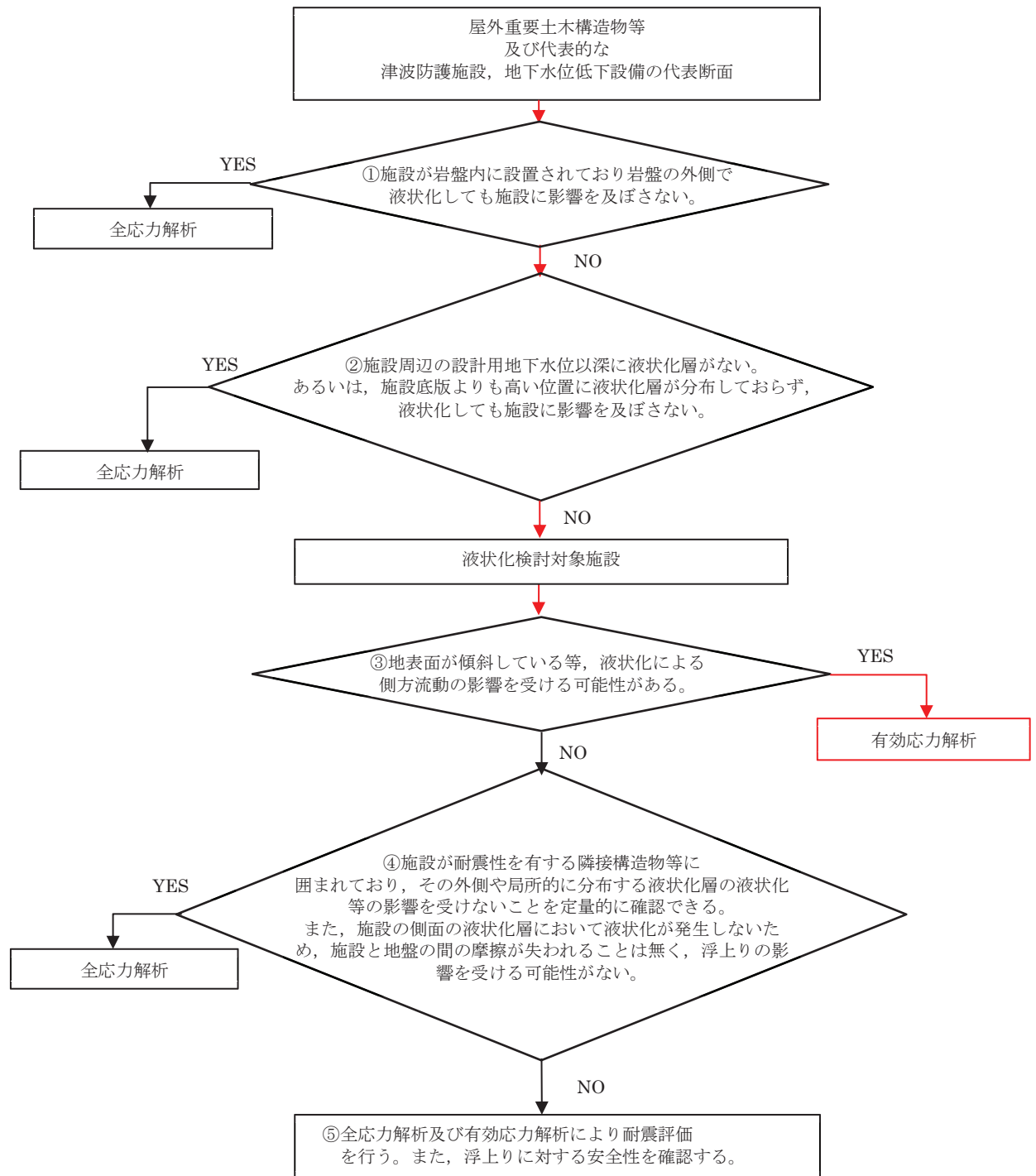


図 3.2-1 解析手法選定のフロー

3.2.1 地震応答解析手法

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の地震応答解析は、地盤と構造物の動的相互作用を考慮できる連成系の地震応答解析を用いて、基準地震動に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。

地震応答解析手法の選定フローを図 3.2-2 に示す。

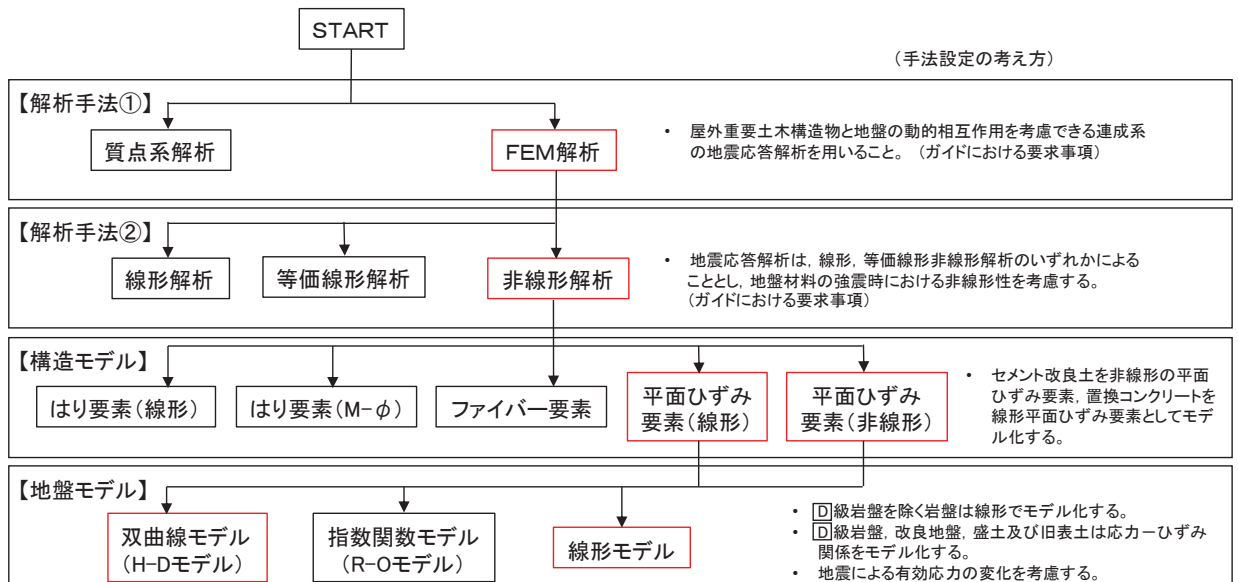


図 3.2-2 地震応答解析手法の選定フロー（盛土堤防）

3.2.2 施設

セメント改良土は非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）、置換コンクリートは線形平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

3.2.3 材料物性及び地盤物性のばらつき

図 3.1-3 に示すとおり、防潮堤（盛土堤防）の周辺には、主として旧表土、盛土、D級岩盤及び改良地盤といった、動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が地震時に防潮堤（盛土堤防）の応答に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

また、施設として位置付けているセメント改良土についても、他の地盤と同様にばらつきの影響を考慮する。

解析ケースを表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 解析ケース（防潮堤（盛土堤防））

解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土, 盛土, D 級岩盤, セメント改良土*, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	C_L 級岩盤, C_M 級岩盤, C_H 級岩盤, B 級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値 + 1 σ	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 σ	平均値

注記 * : 防潮堤（盛土堤防）においては施設として定義

3.2.4 減衰定数

Rayleigh 減衰を考慮することとし, 剛性比例型減衰 ($\alpha=0$, $\beta=0.002$) を考慮する。
 なお, 係数 β の設定については, 「FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」」を基に設定している。

3.2.5 解析ケース

耐震評価においては, 全ての基準地震動 S_s に対し, 解析ケース①（基本ケース）を実施する。解析ケース①において, 各照査値が最も厳しい地震動を用い, 表 3.2-1 に示すケース②～③を実施する。耐震評価における解析ケースを表 3.2-2 に示す。

表 3.2-2 解析ケース

解析ケース		ケース①		ケース②	ケース③
		基本ケース		地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値		平均値+1σ	平均値-1σ
地震動 (位相)	S _s -D 1	++* ¹	○	基準地震動 S _s (7 波) 及び位相反転を考慮した地震動 (13 波) を加えた全 20 波により照査を行ったケース① (基本ケース) の結果から、すべり安全率が 2.4 以下* ² となる又は基礎地盤の支持力照査において照査値が 0.5 以上となる全ての照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いてケース②~③を実施する。 照査値がいずれも 0.5 未満の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②~③を実施する。	
		-+* ¹	○		
		+-* ¹	○		
		--* ¹	○		
	S _s -D 2	++* ¹	○		
		-+* ¹	○		
		+-* ¹	○		
		--* ¹	○		
	S _s -D 3	++* ¹	○		
		-+* ¹	○		
		+-* ¹	○		
		--* ¹	○		
	S _s -F 1	++* ¹	○		
		-+* ¹	○		
	S _s -F 2	++* ¹	○		
		-+* ¹	○		
	S _s -F 3	++* ¹	○		
		-+* ¹	○		
	S _s -N 1	++* ¹	○		
		-+* ¹	○		

注記 *1: 地震動の位相について (++) の左側は水平動, 右側は鉛直動を表し, 「-」は位相を反転させたケースを示す。

*2: 許容限界であるすべり安全率 1.2 に対して 2 倍の裕度

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.3.1 耐震評価上考慮する状態

防潮堤（盛土堤防）の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪及び風の影響を考慮する。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

3.3.2 荷重

防潮堤（盛土堤防）の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重(G)

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重(P)

積載荷重として、積雪荷重を含めて地表面に 4.9kN/m^2 を考慮する。

(3) 積雪荷重(P_s)

積雪荷重として、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量 1cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮する。

(4) 風荷重(P_k)

風荷重については、設計基準風速を 30m/s とし、建築基準法に基づき算定する。

(5) 地震荷重(S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3.3-1 に、荷重の作用図を図 3.3-1 に示す。

表 3.3-1(1) 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + P + P_k + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重 P_s を含めて 4.9kN/m^2)

P_k : 風荷重

S_s : 地震荷重

表 3.3-1(2) 荷重の組合せ

種別		荷重		算定方法
永久 荷重	常時 考慮 荷重	躯体自重	○	設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管自重	○	津波監視カメラの重量 (2.97kN/m^2) を考慮する。
		土被り荷重	—	土被りはないため考慮しない。
		積載荷重	○	積雪荷重及び機器・配管荷重を含めて 4.9kN/m^2 を考慮する。
		静止土圧	○	常時応力解析により設定する。
		外水圧	—	外水圧は考慮しない。
		内水圧	—	内水はないため考慮しない。
		積雪荷重	○	積雪荷重 (0.301kN/m^2) を考慮する。
		風荷重	○	風荷重を考慮する。
偶発荷重		水平地震動	○	基準地震動 S_s による水平及び鉛直同時加振を考慮する。
		鉛直地震動	○	
		動水圧	○	朔望平均満潮位での動水圧を考慮する。

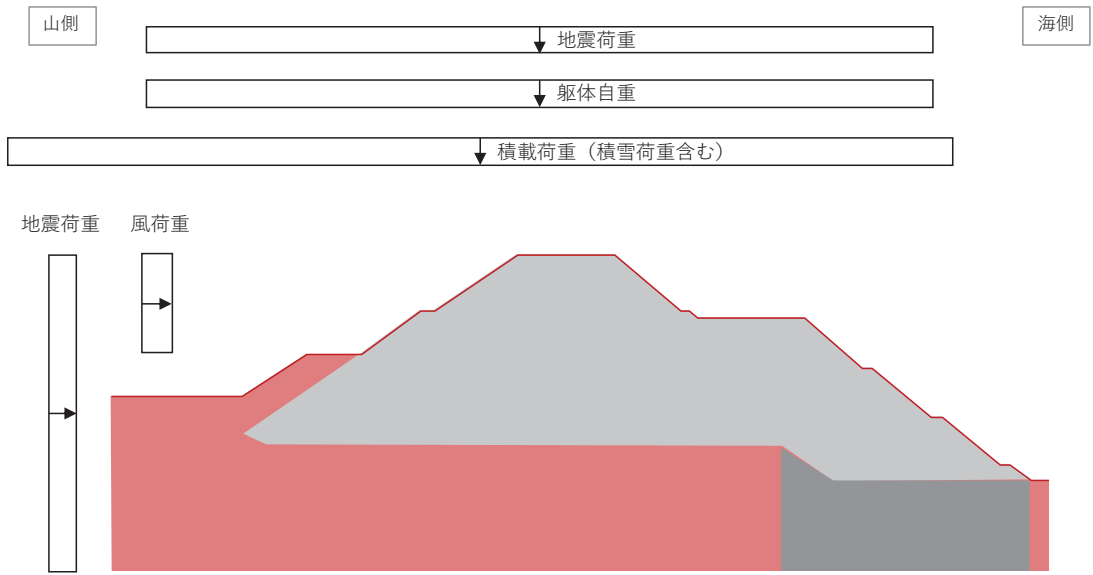


図 3.3-1 荷重の作用図

3.4 入力地震動

入力地震動は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図 3.4-1 に入力地震動算定の概念図を、図 3.4-2 に一次元解析モデル図を、図 3.4-3～図 3.4-9 に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE Ver 1.6」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

① 引戻し解析

引戻し地盤モデル（解放基盤モデル）を用いて、水平方向地震動及び鉛直方向地震動をそれぞれ引戻し地盤モデル下端位置まで引戻す。

② 水平方向地震動の引上げ解析

引上げ地盤モデル（水平方向地震動用）を用いて、構造物—地盤連成系解析モデル底面位置まで水平方向地震動を引き上げる。

③ 鉛直方向地震動の引上げ解析

引上げ地盤モデル（鉛直方向地震動用）を用いて、構造物—地盤連成系解析モデル下端位置まで鉛直方向地震動を引き上げる。

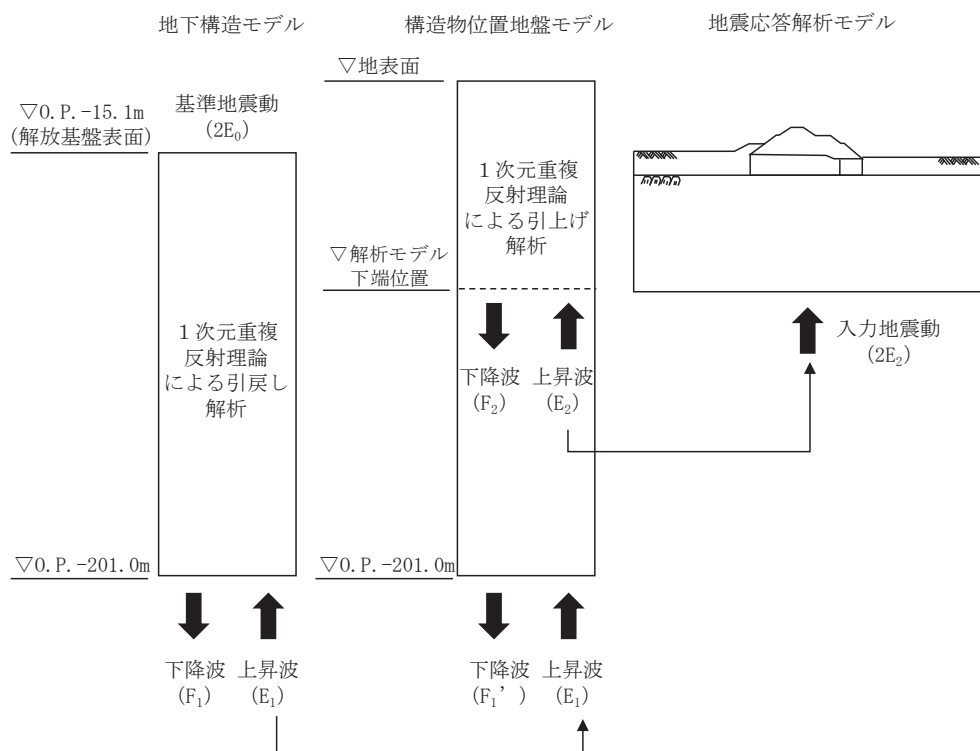


図 3.4-1 入力地震動算定の概念図

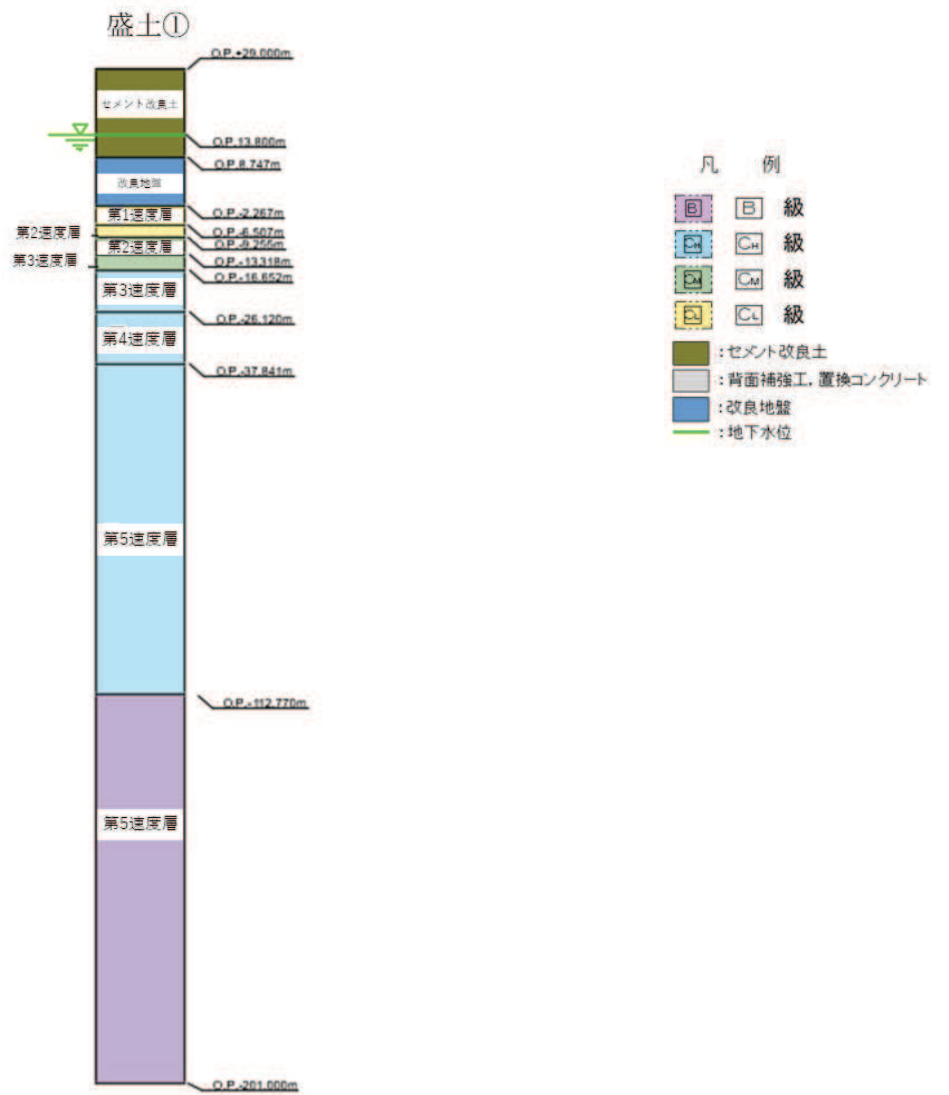
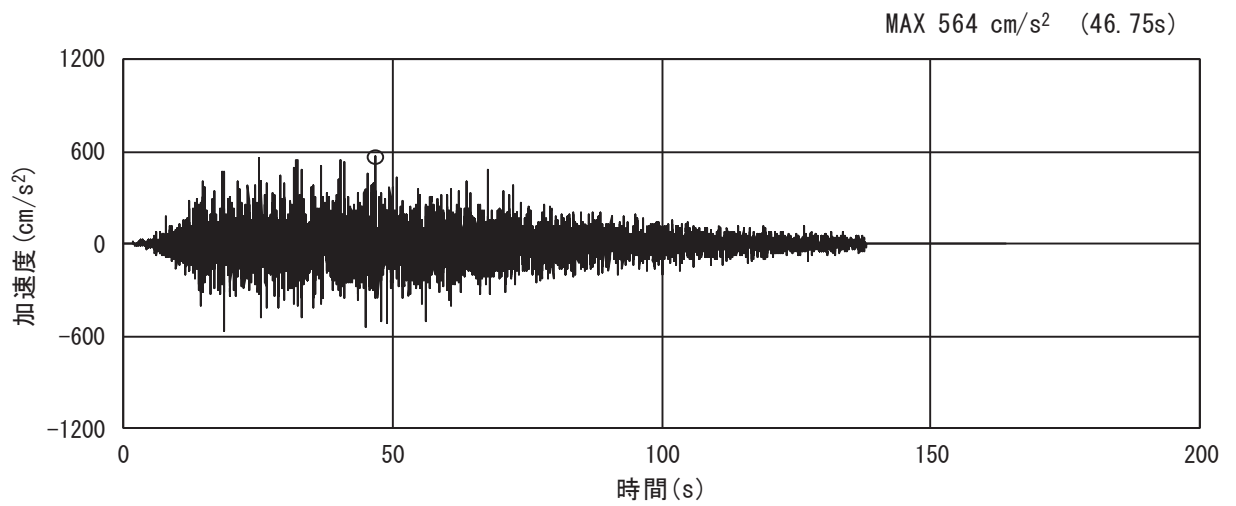
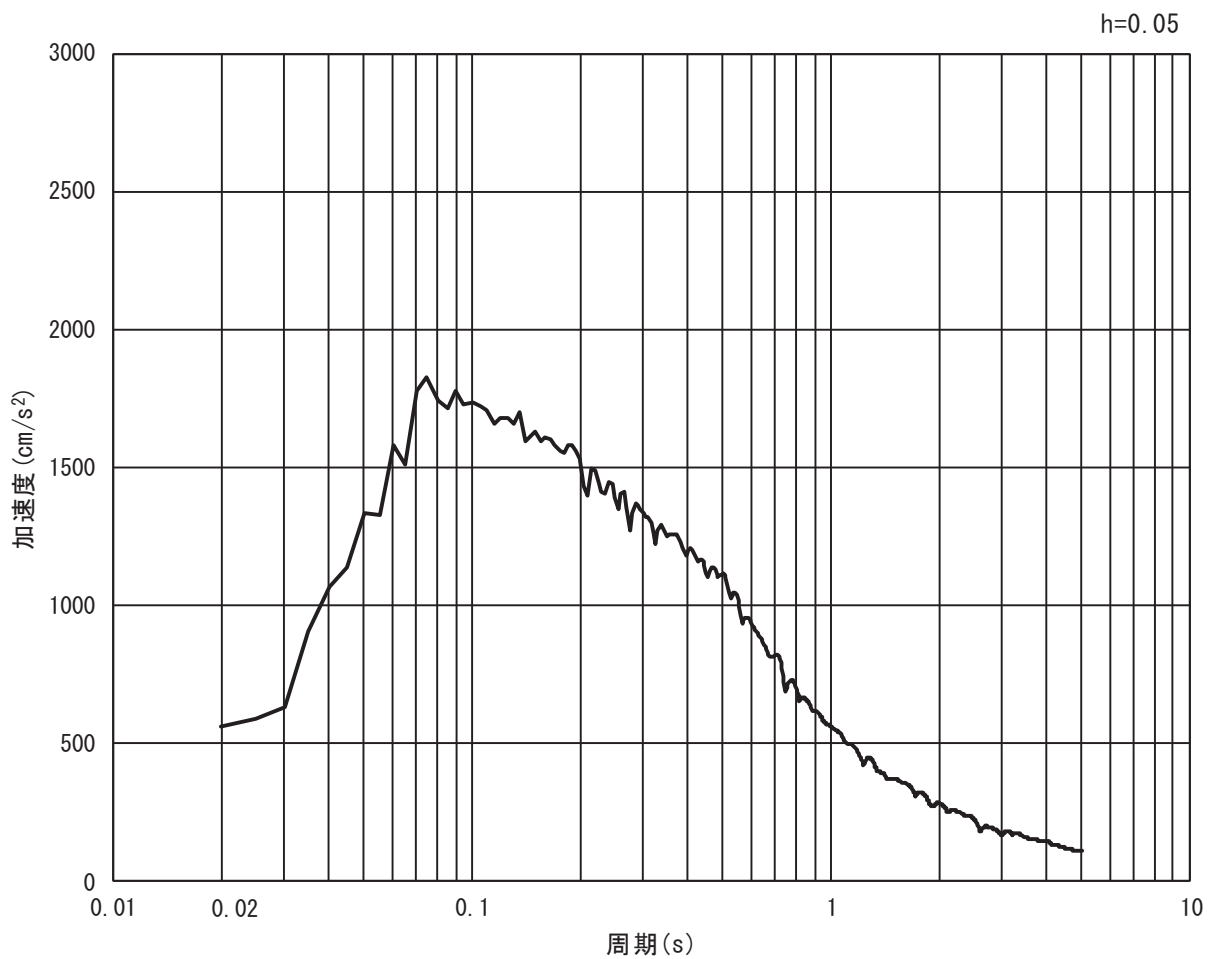


図 3. 4-2 一次元解析モデル図

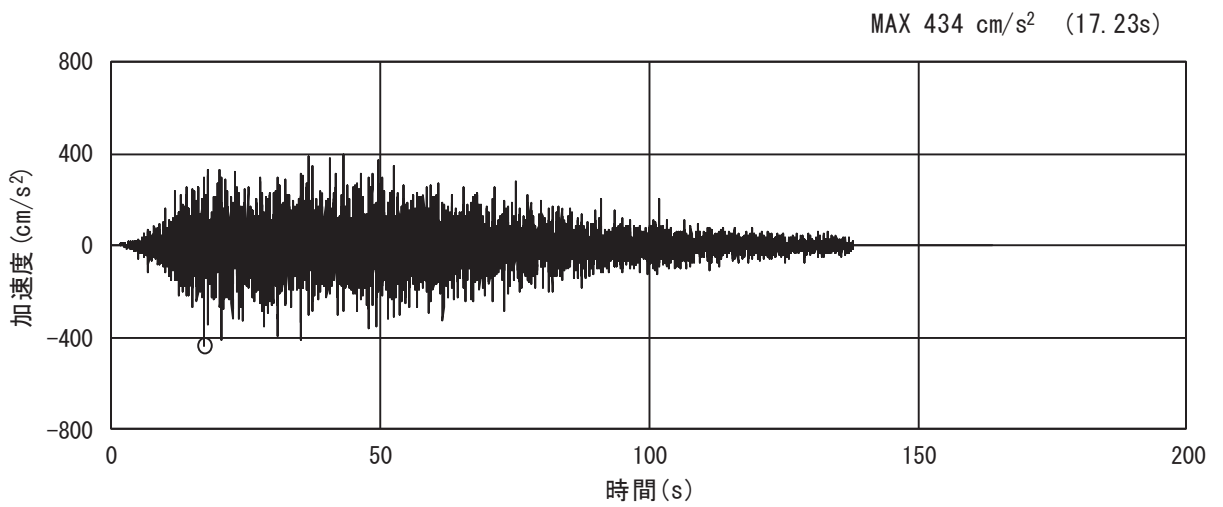


(a) 加速度時刻歴波形

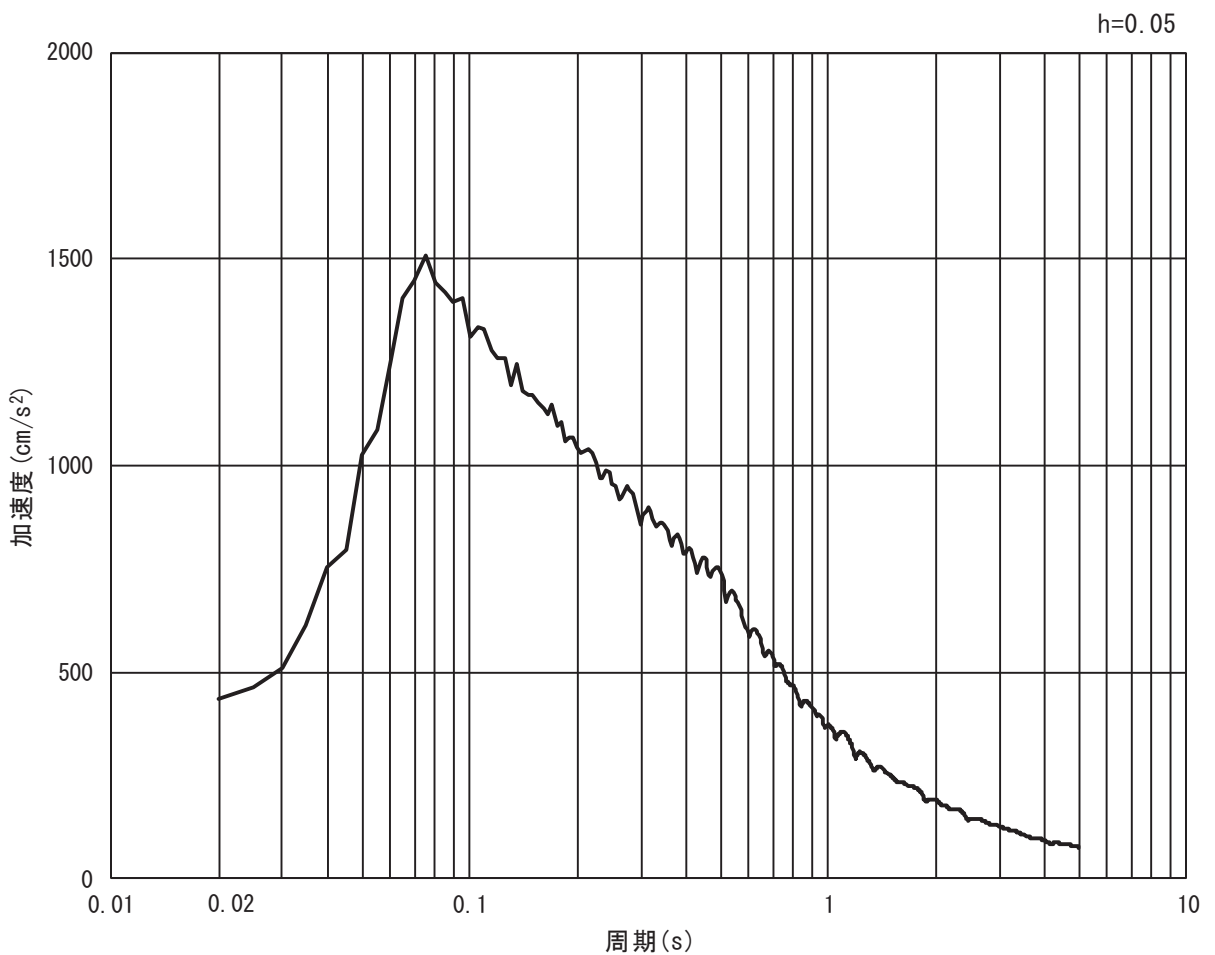


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-3(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - D 1)

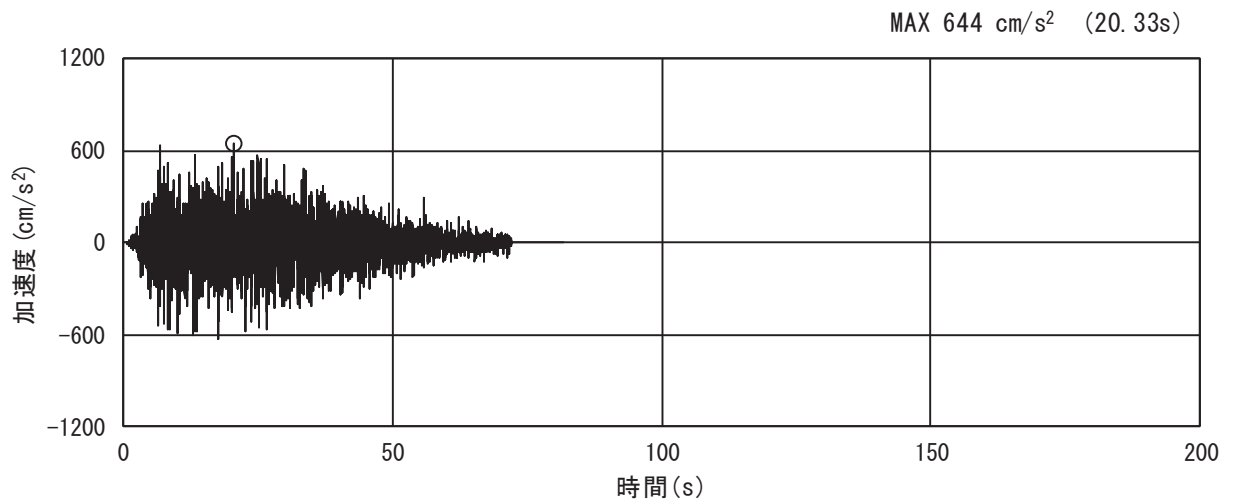


(a) 加速度時刻歴波形

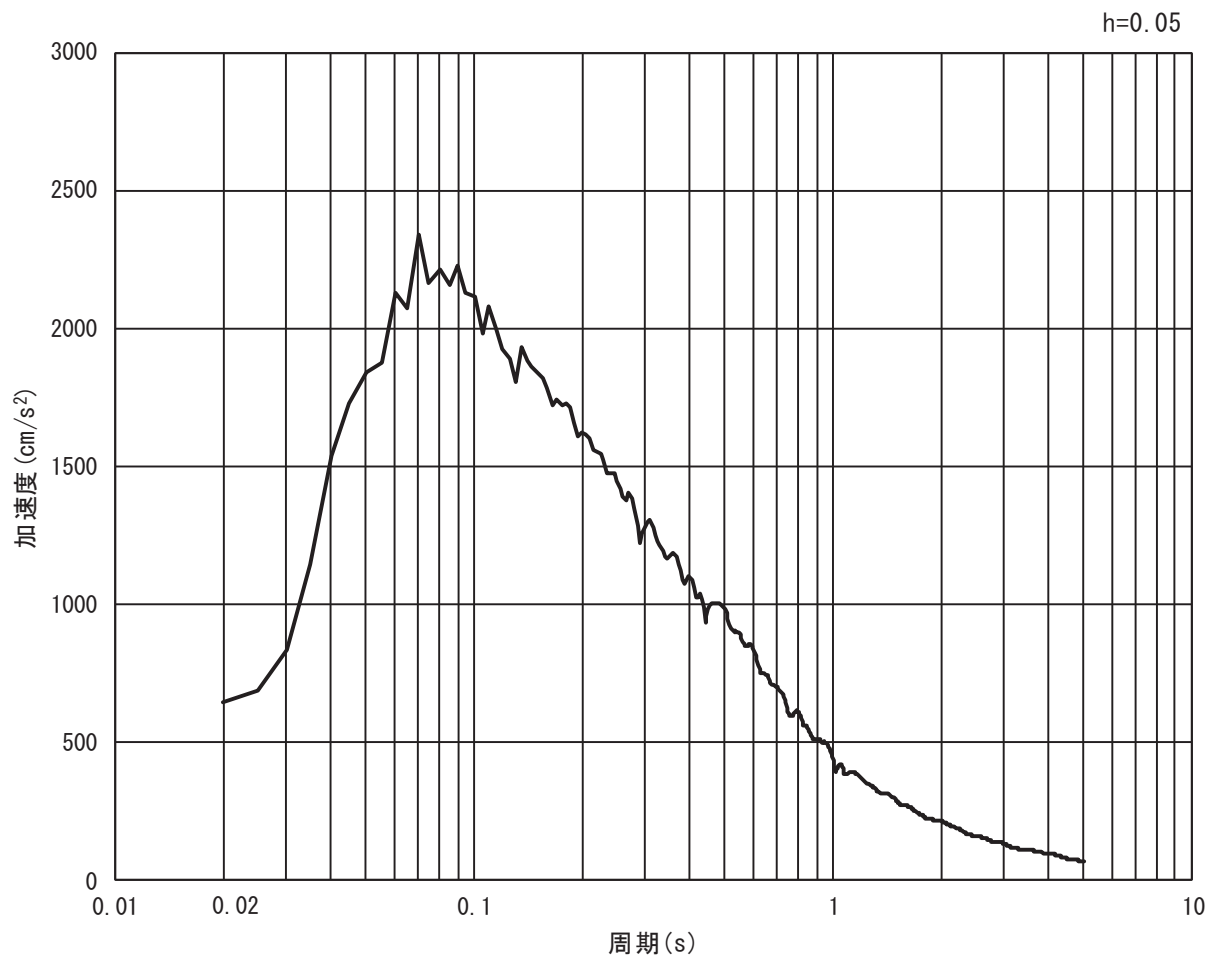


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-3(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - D 1)

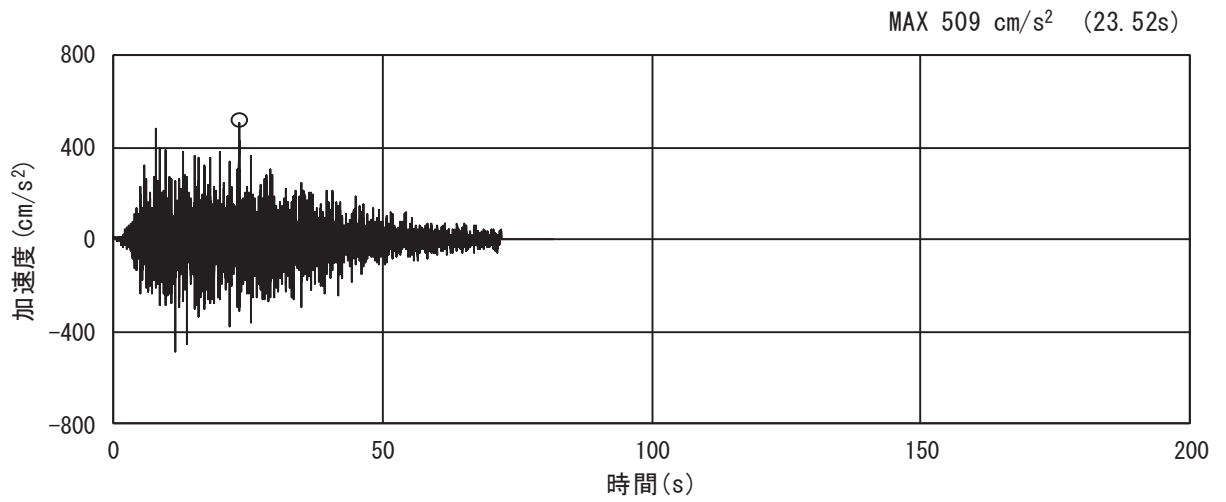


(a) 加速度時刻歴波形

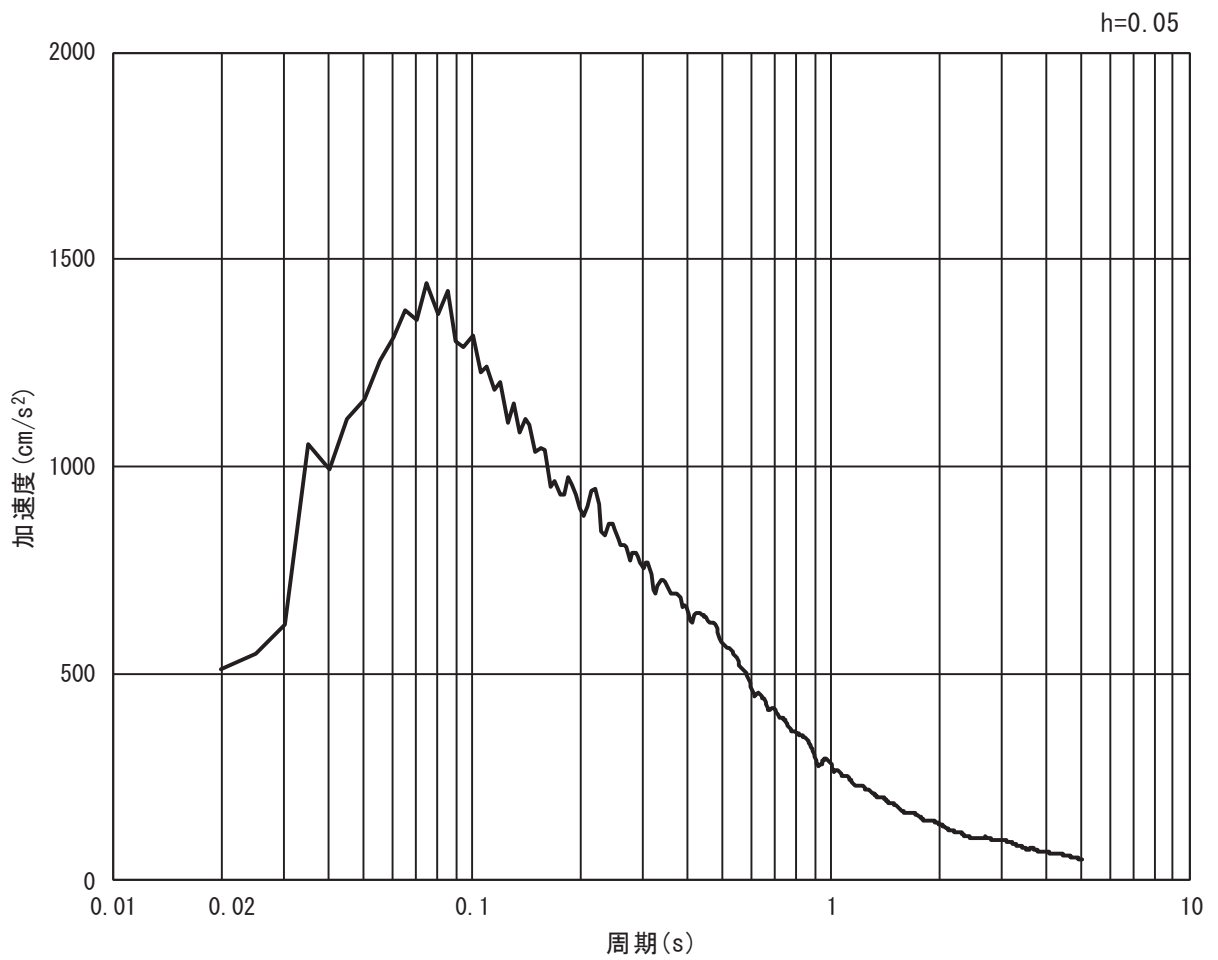


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-4(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - D 2)

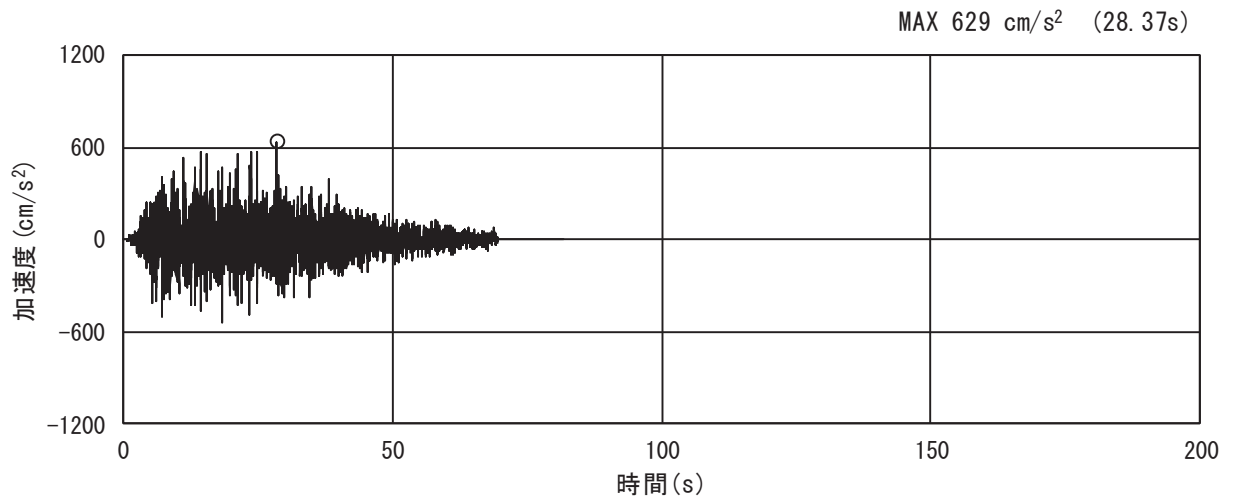


(a) 加速度時刻歴波形

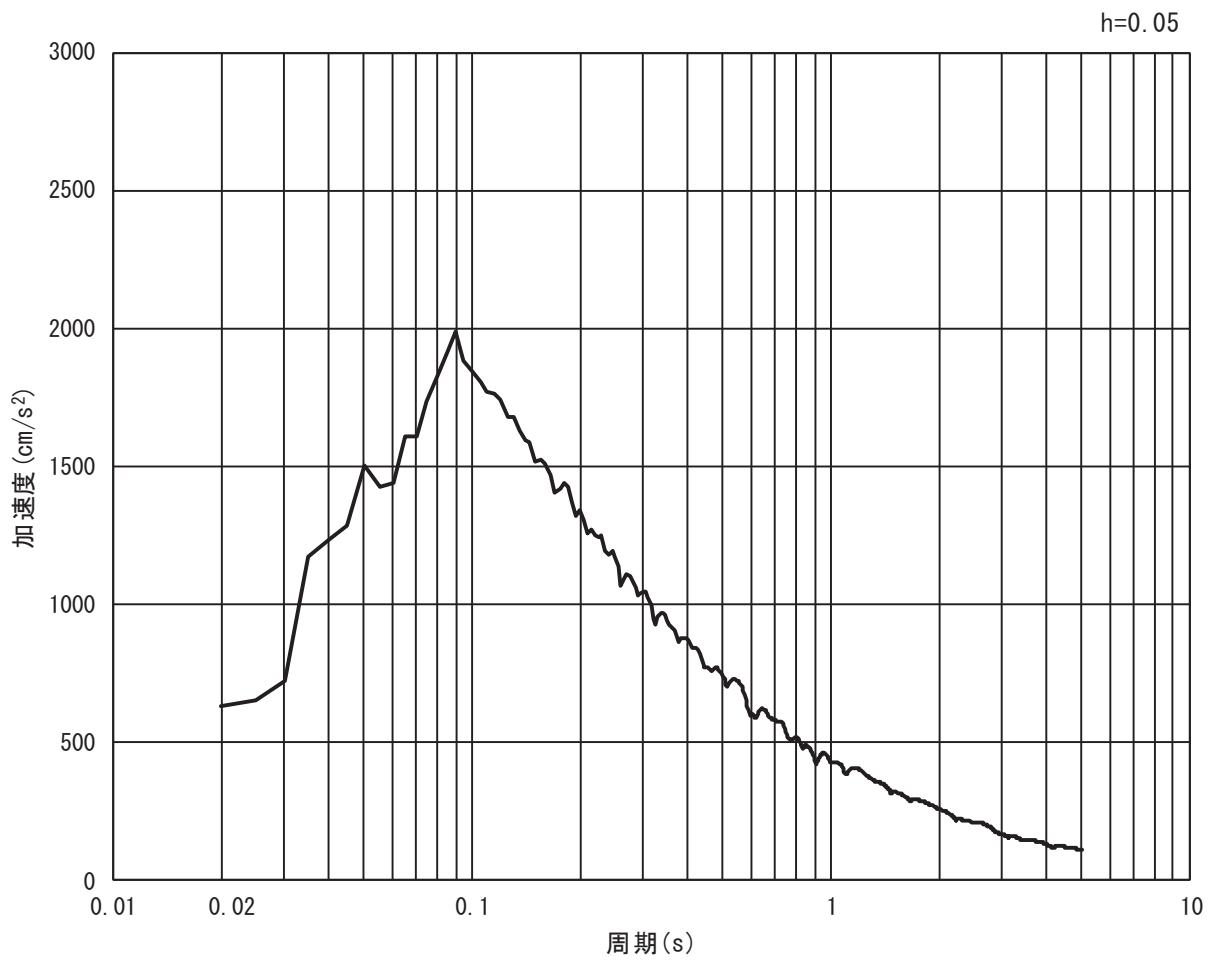


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-4(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - D 2)

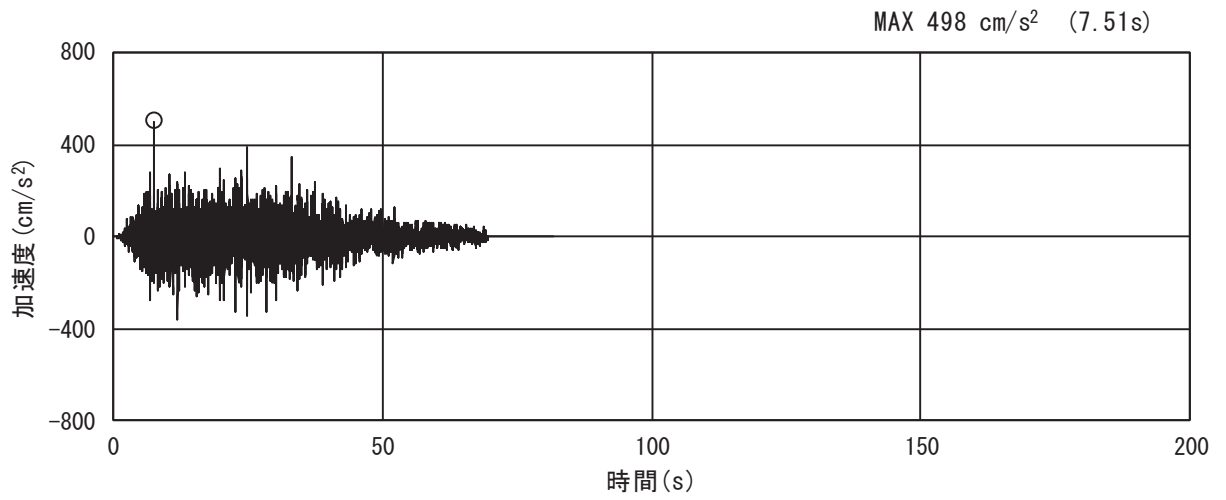


(a) 加速度時刻歴波形

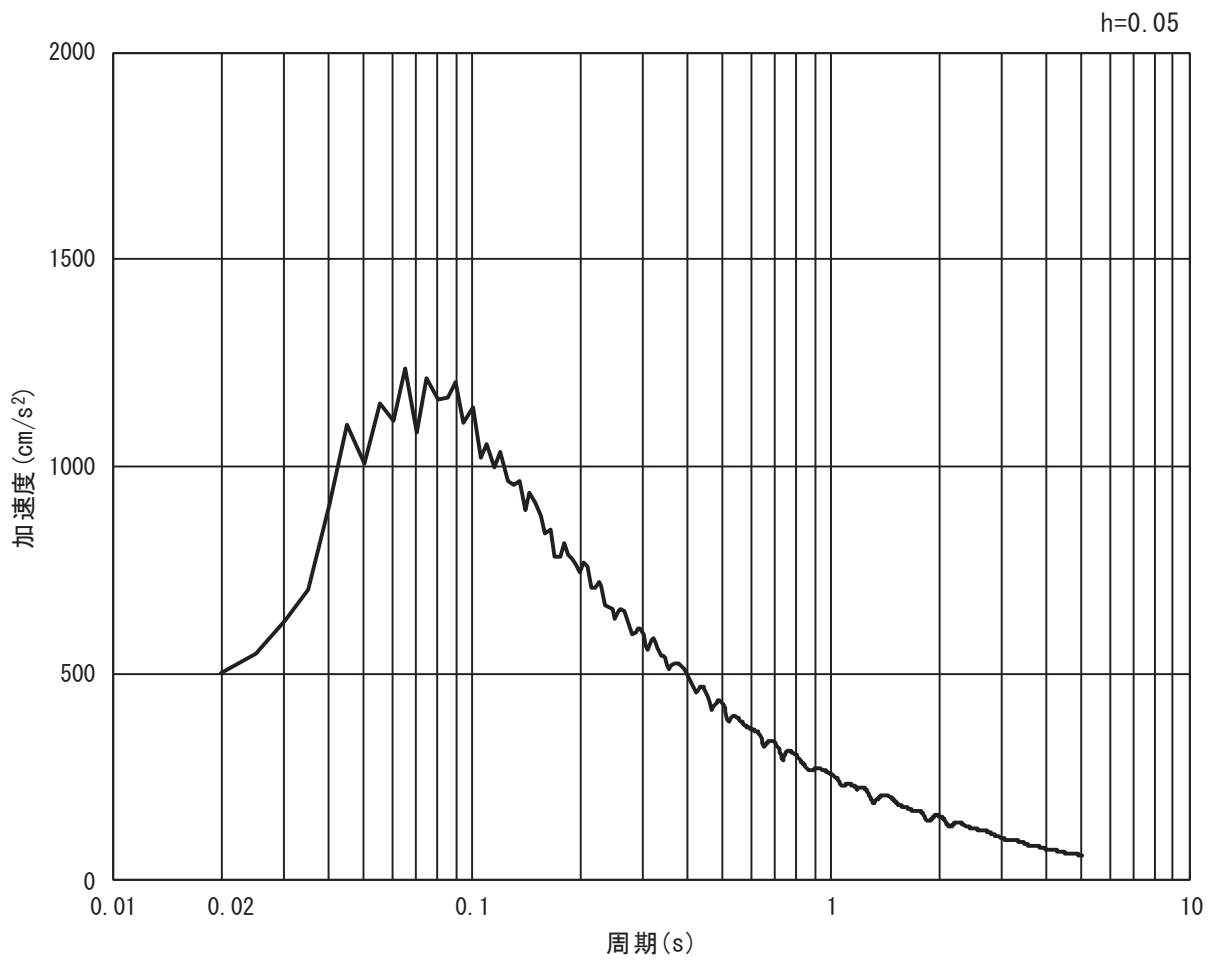


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-5(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - D 3)

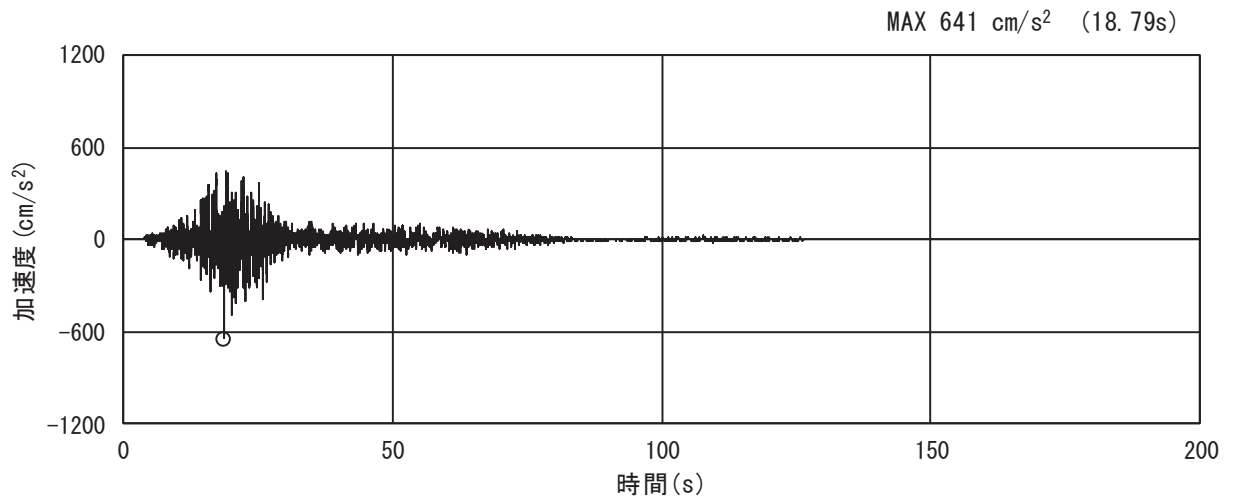


(a) 加速度時刻歴波形

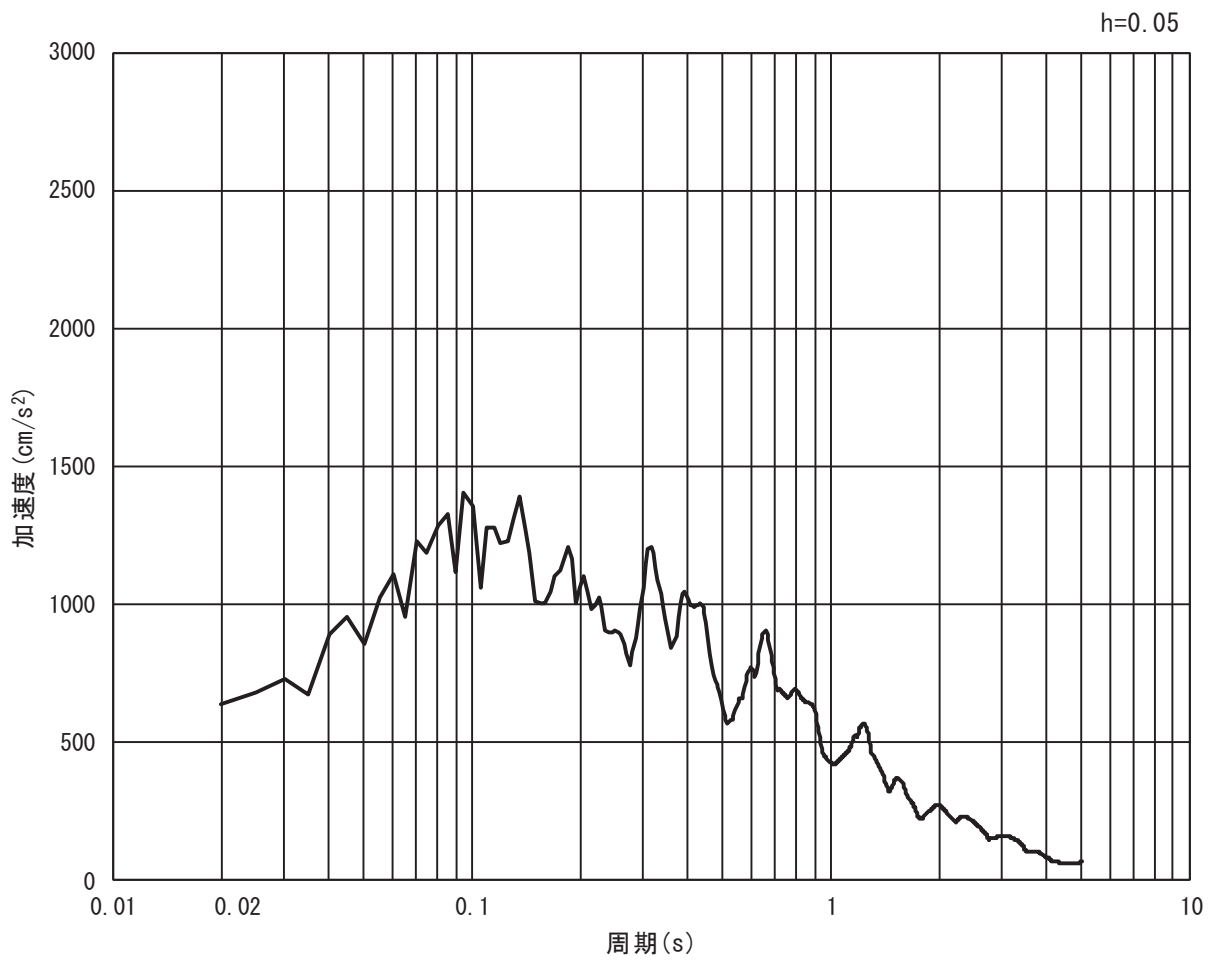


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-5(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - D 3)

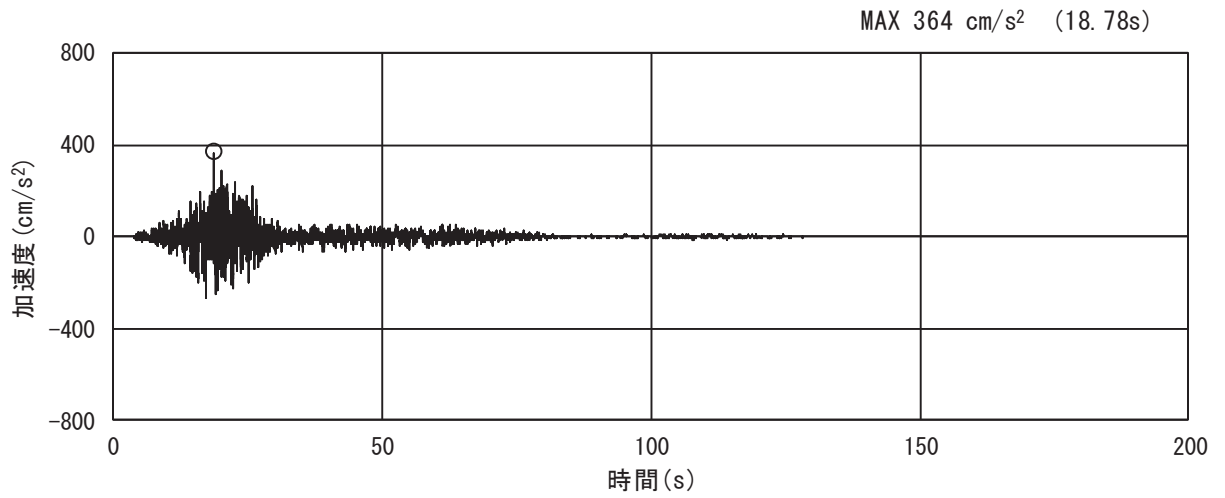


(a) 加速度時刻歴波形

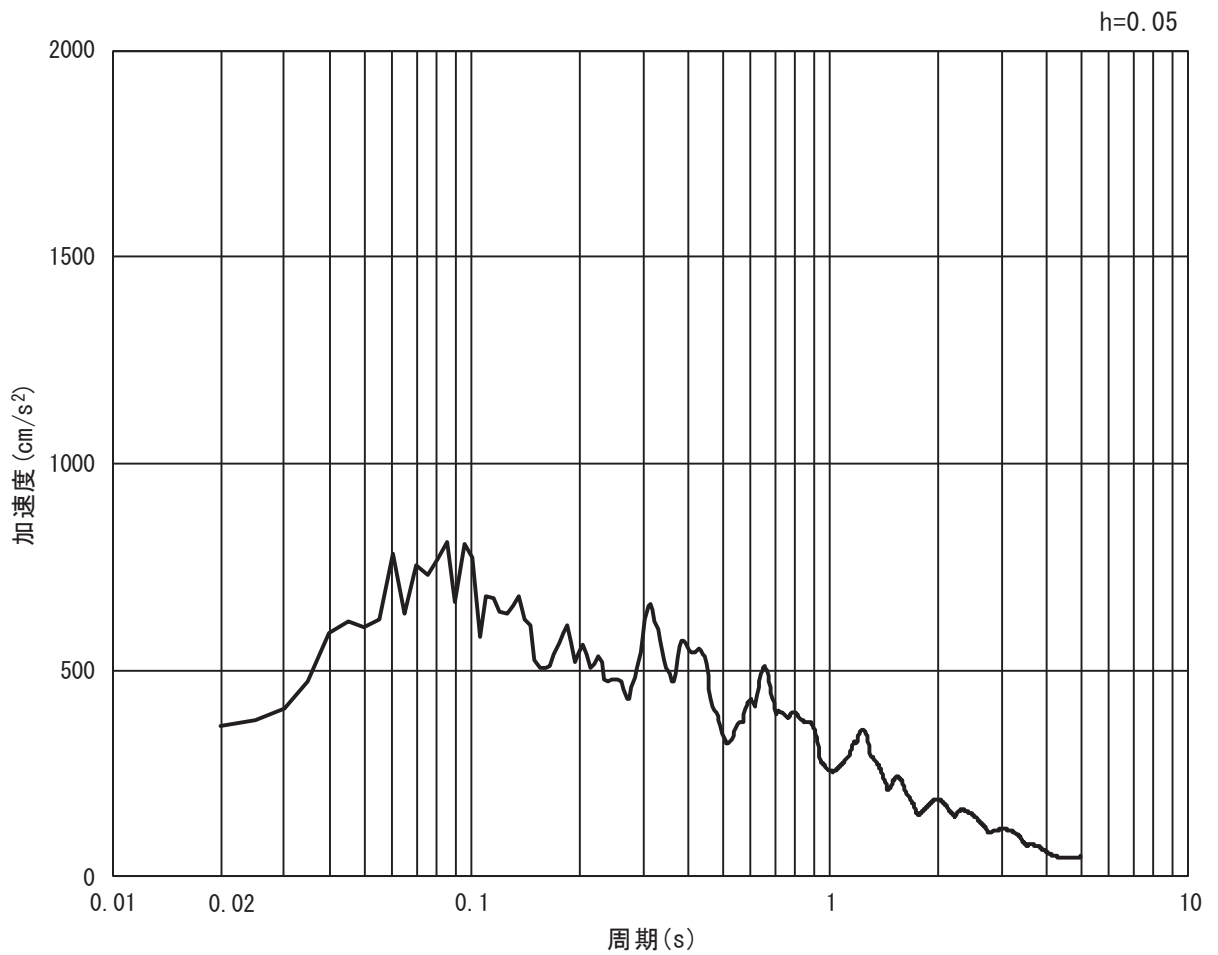


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-6(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - F 1)

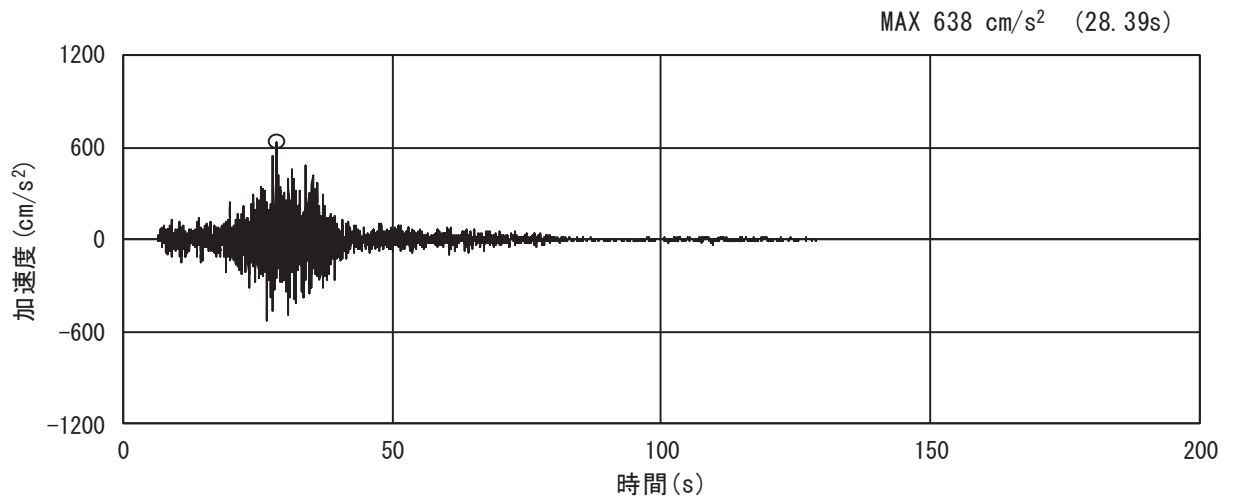


(a) 加速度時刻歴波形

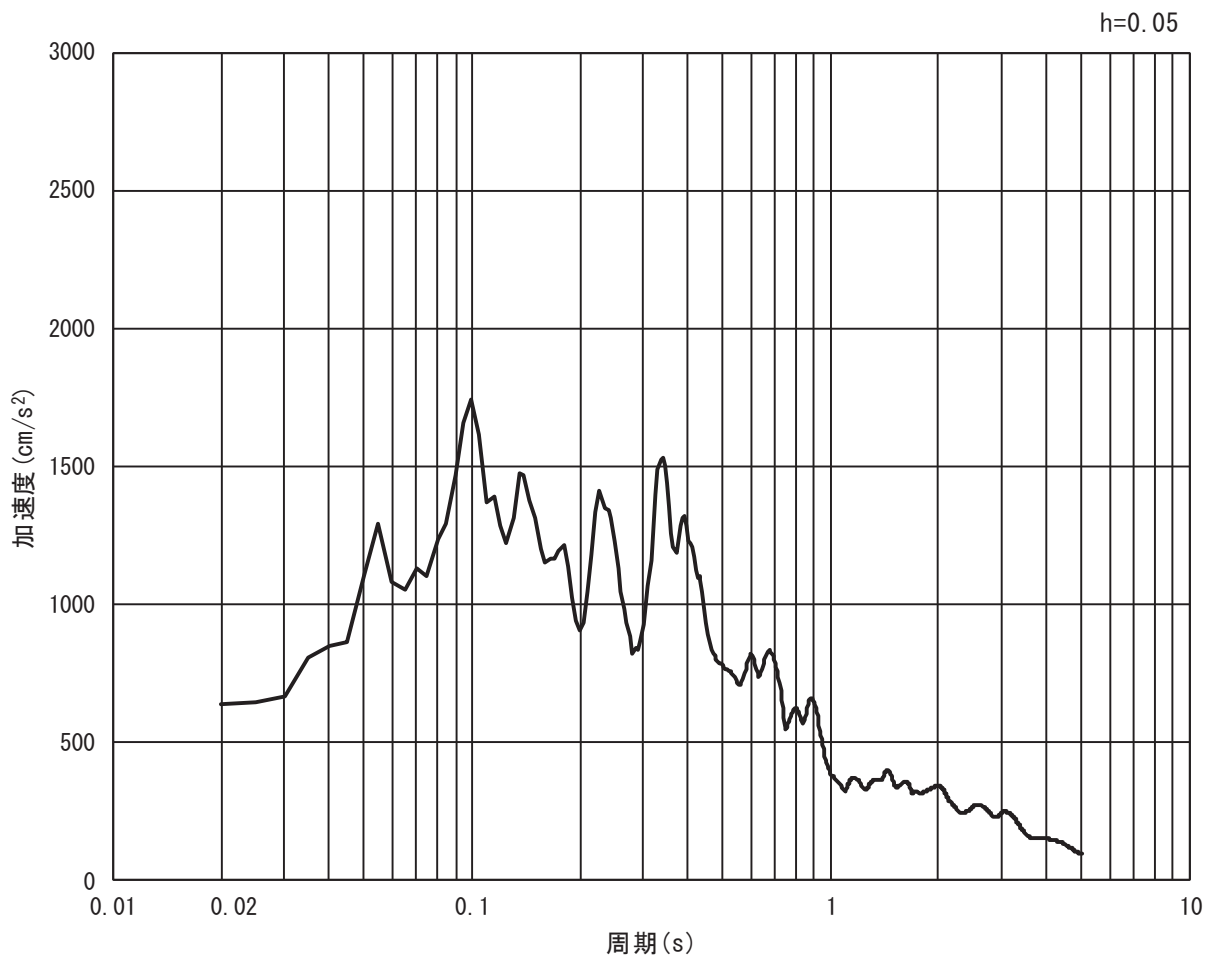


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-6(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : S s - F 1)

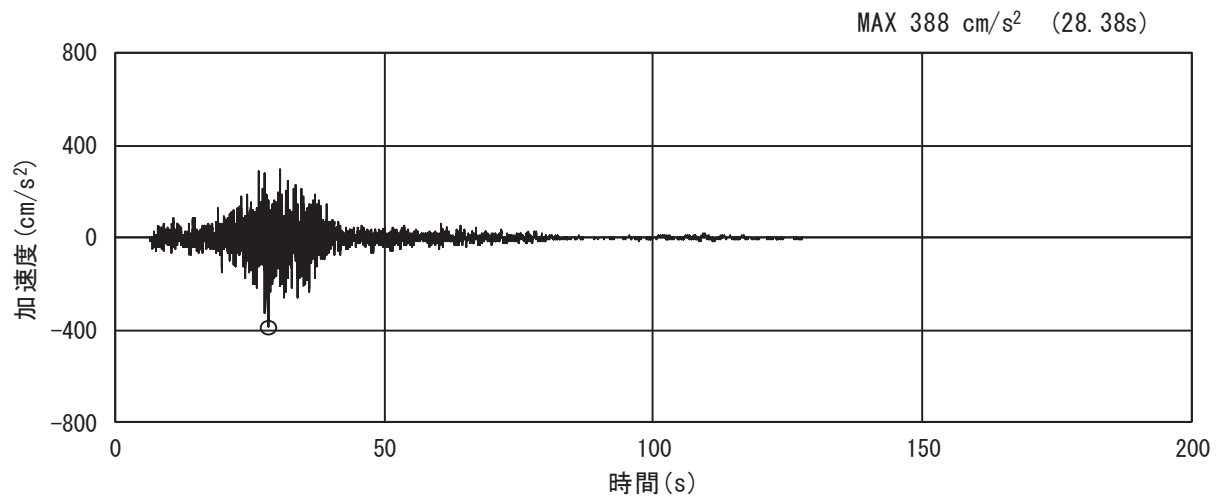


(a) 加速度時刻歴波形

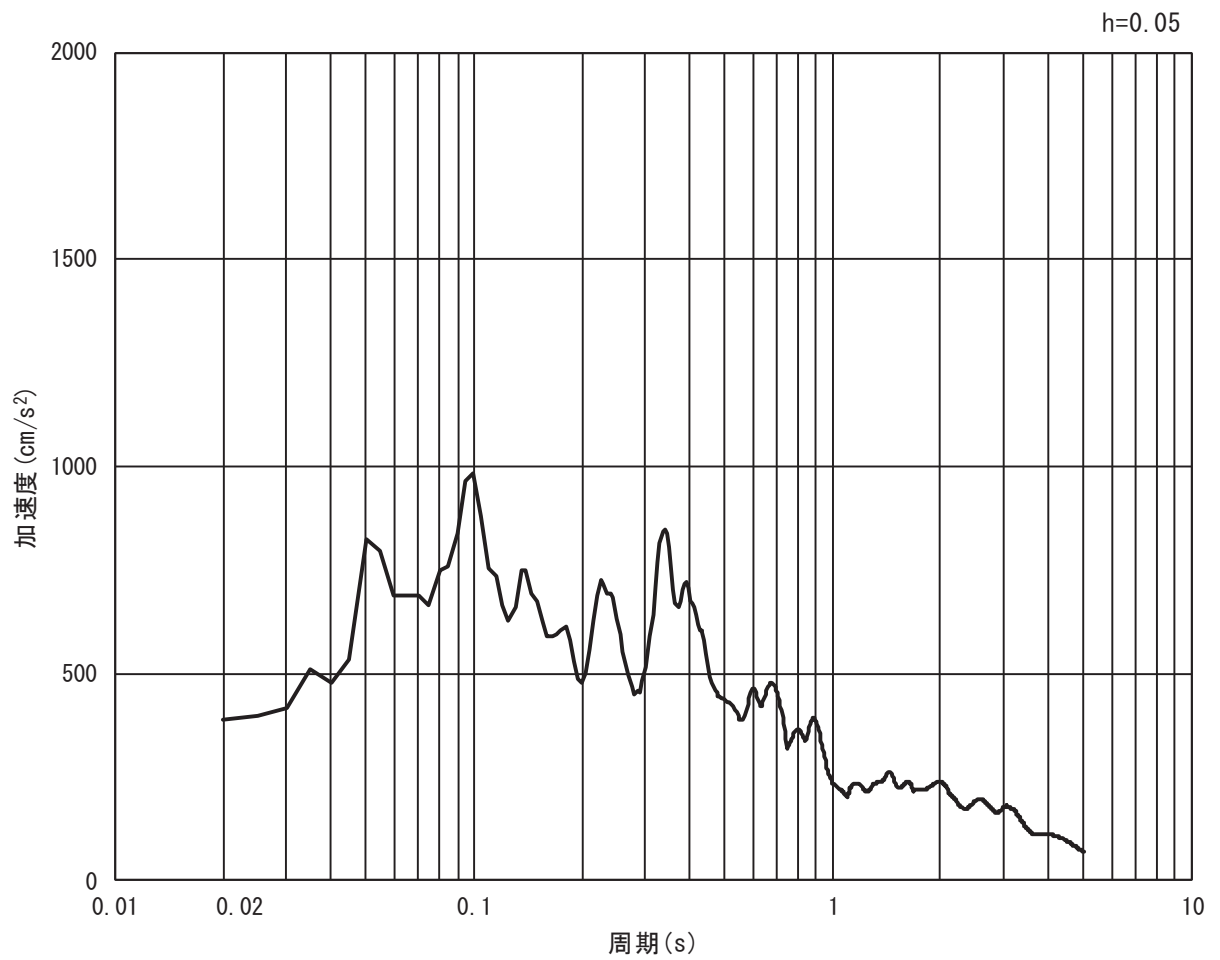


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-7(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - F 2)

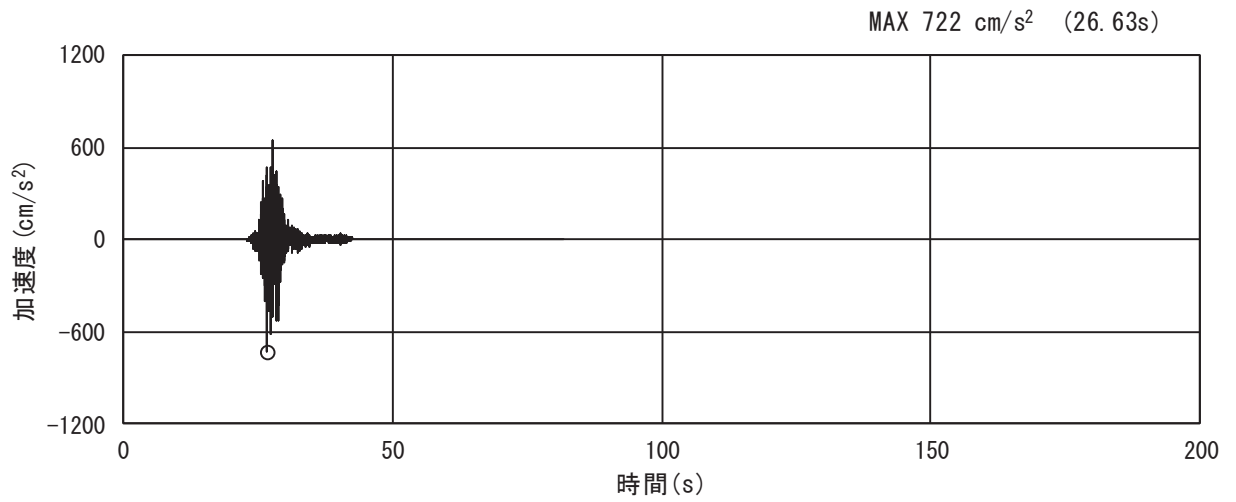


(a) 加速度時刻歴波形

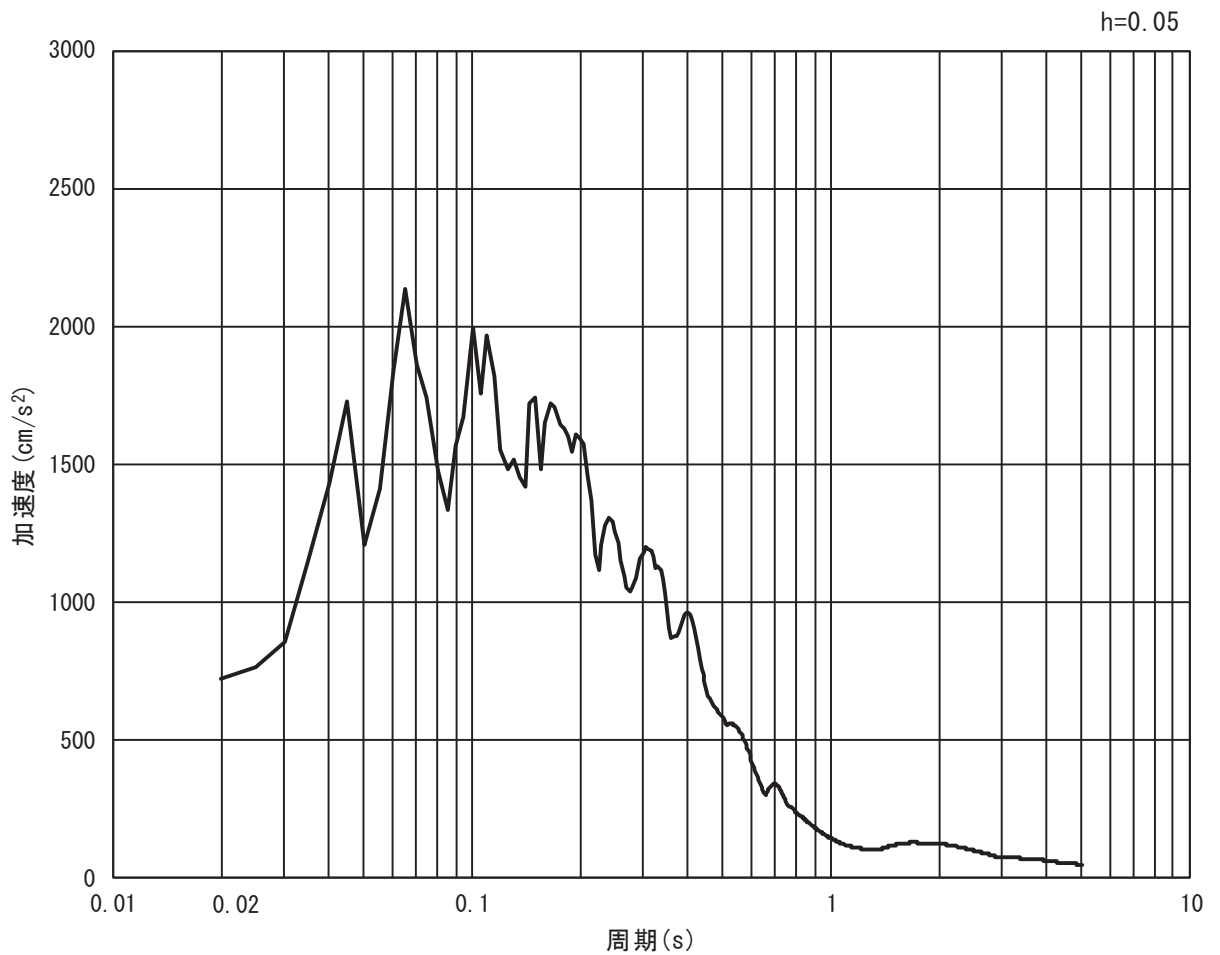


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-7(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - F 2)

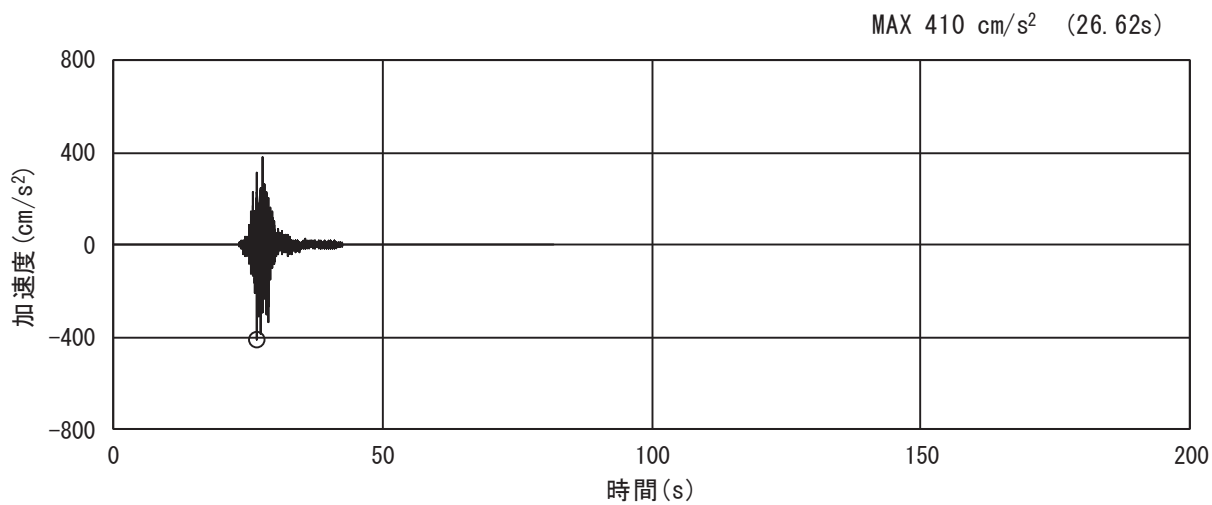


(a) 加速度時刻歴波形

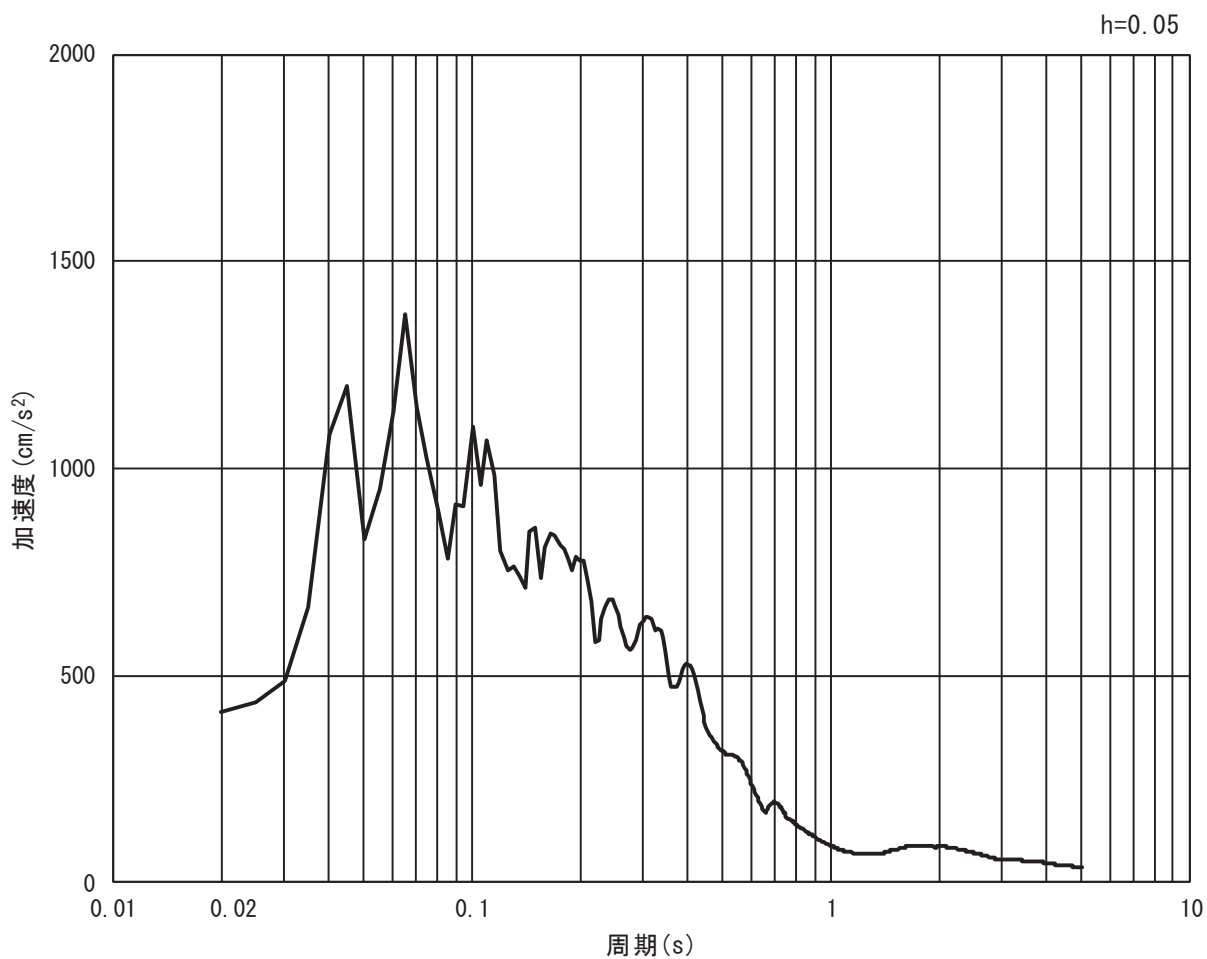


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-8(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - F 3)

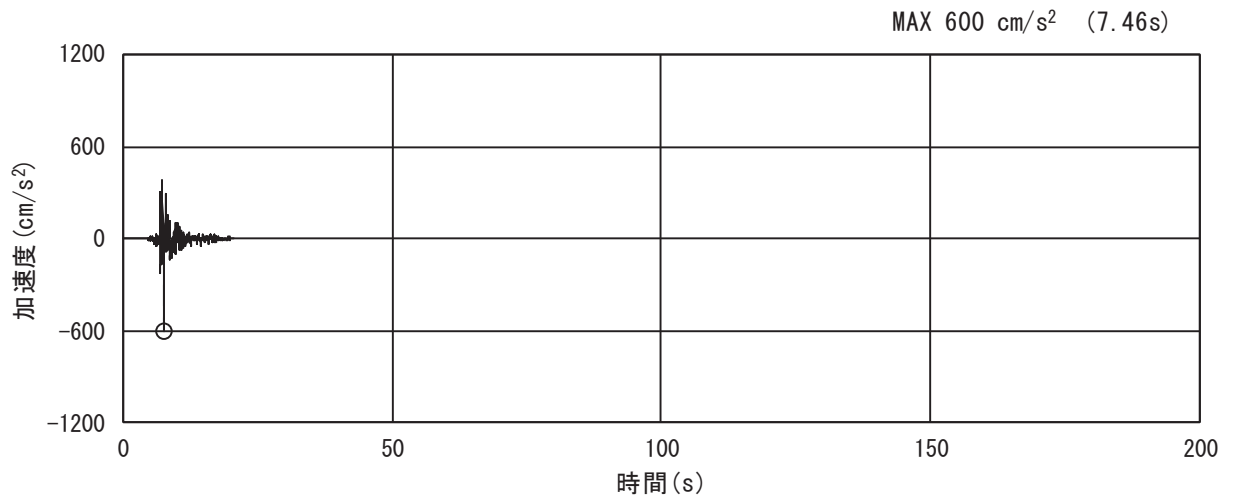


(a) 加速度時刻歴波形

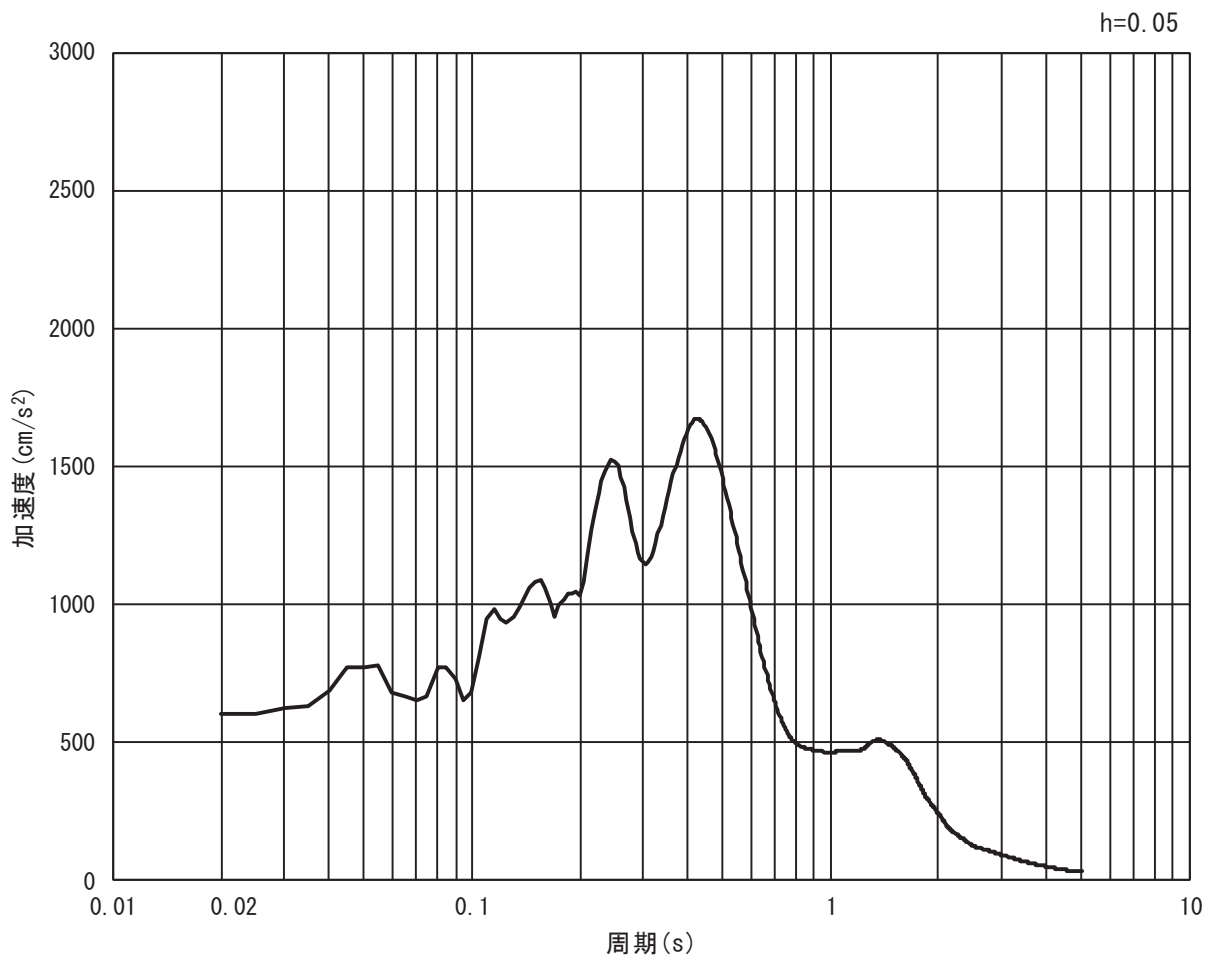


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-8(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : S s - F 3)

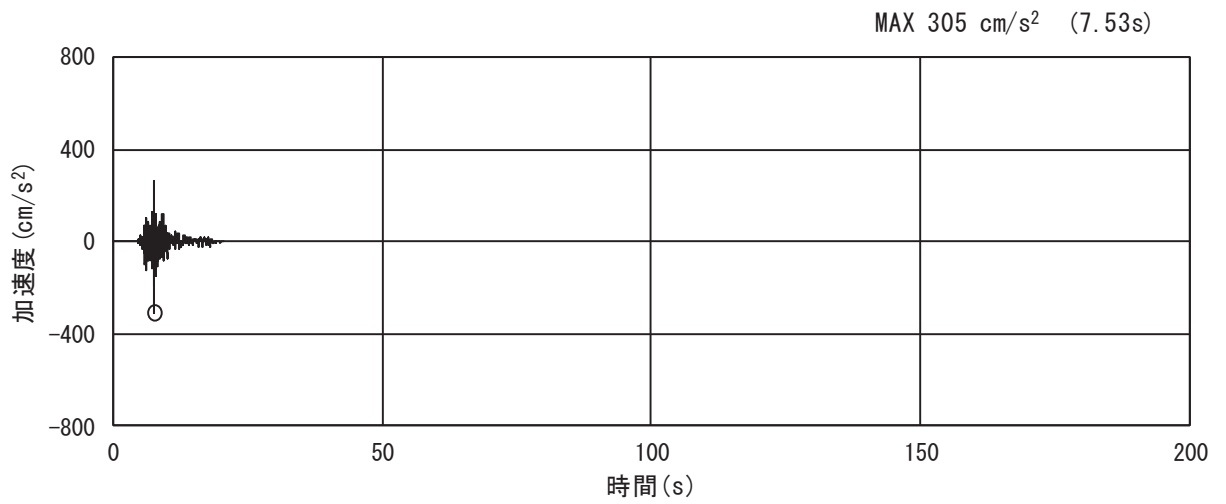


(a) 加速度時刻歴波形

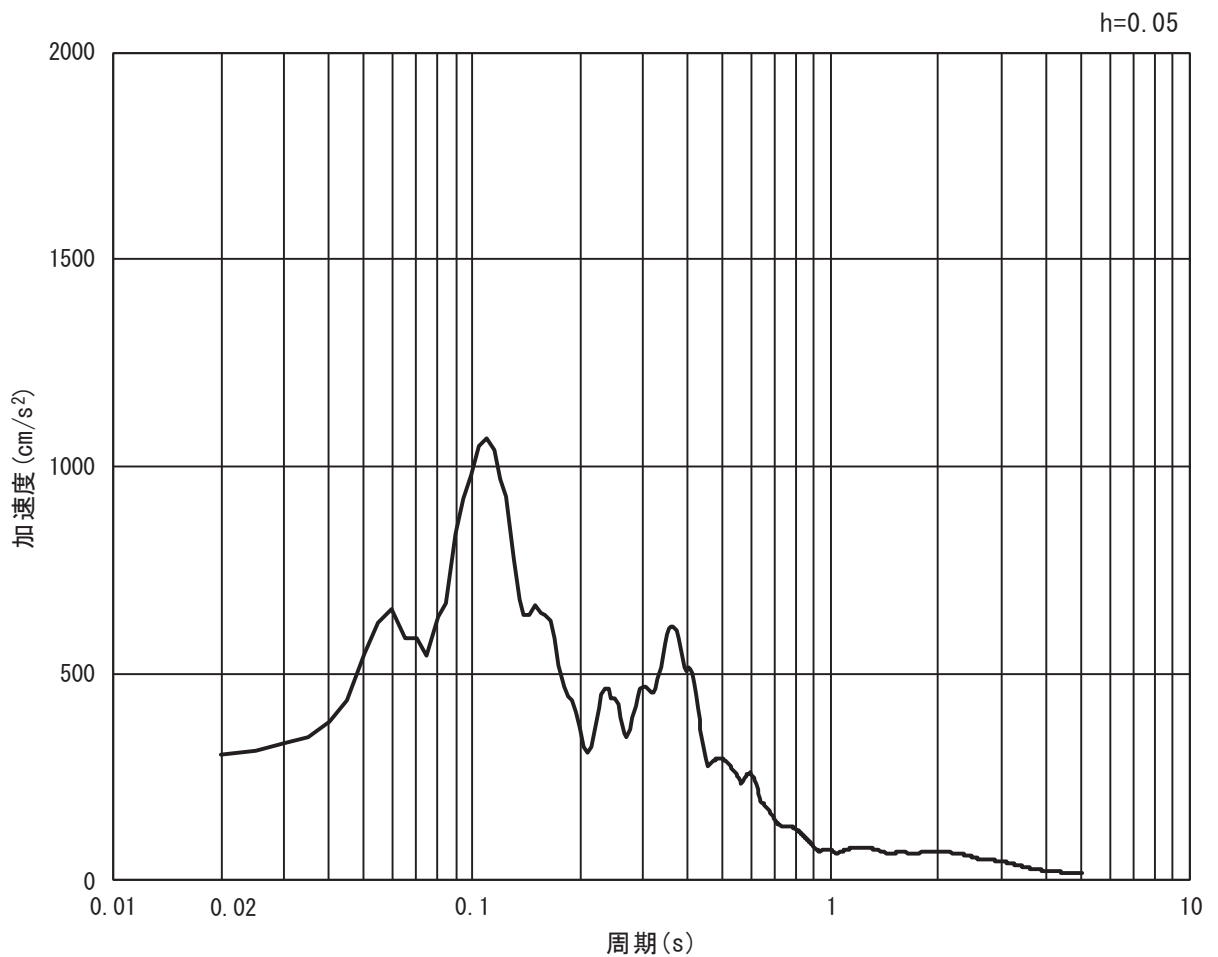


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-9(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - N 1)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-9(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - N 1)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

(1) 解析領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が構造物及び地盤の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分に広い領域とする。具体的には、図 3.5-1 に示すとおりモデル化幅は、斜面の法尻から法面の水平距離の 1 倍以上離隔を取り、モデル化高さは、斜面高さの 2 倍以上とする。

地盤の要素分割については、波動をなめらかに表現するために、対象とする波長の 5 分の 1 程度を考慮し、要素高さを 1m 程度以下まで細分割して設定する。

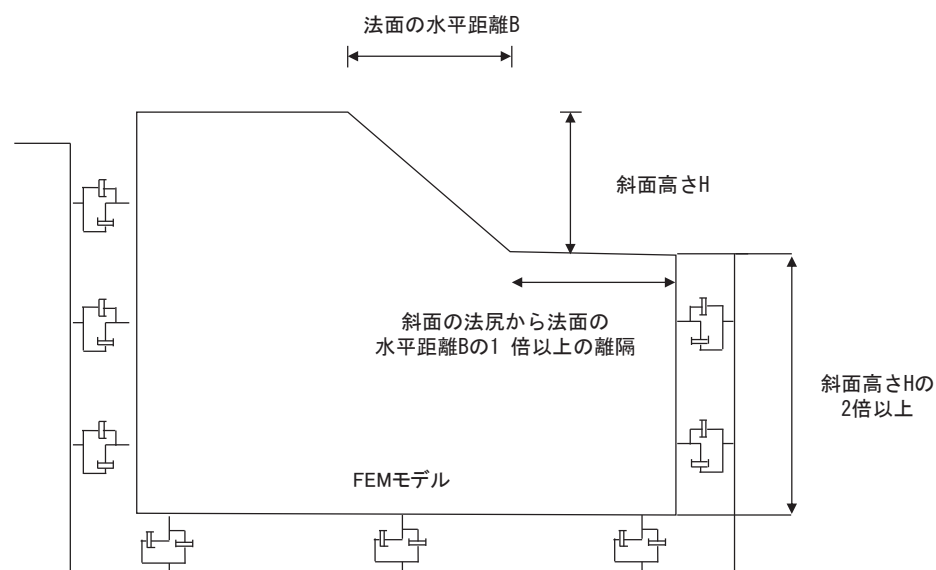


図 3.5-1 モデル化範囲の考え方

二次元有効応力解析モデルは、検討対象構造物とその周辺地盤をモデル化した不整形地盤に加え、この不整形地盤の左右に広がる地盤をモデル化した自由地盤で構成される。この自由地盤は、不整形地盤の左右端と同じ地層構成を有する一次元地盤モデルである。二次元有効応力解析における自由地盤の初期応力解析から不整形地盤の地震応答解析までのフローを図 3.5-2 に示す。

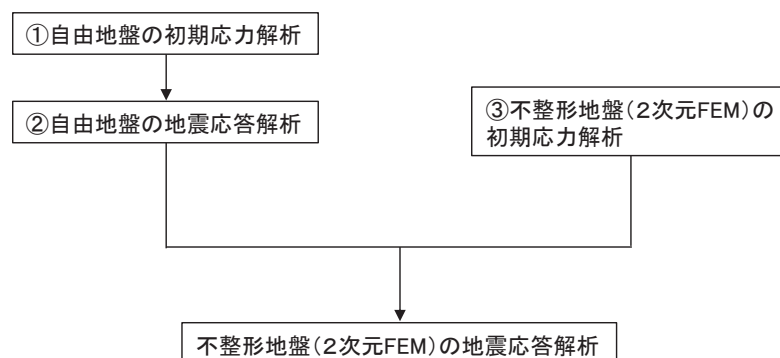


図 3.5-2 自由地盤の初期応力解析から不整形地盤の地震応答解析までのフロー

(2) 境界条件

a. 初期応力解析時

初期応力解析は、地盤や構造物の自重及び風荷重等の静的な荷重を載荷することによる常時の初期応力を算定するために行う。そこで、初期応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。境界条件の概念図を図 3.5-3 に示す。

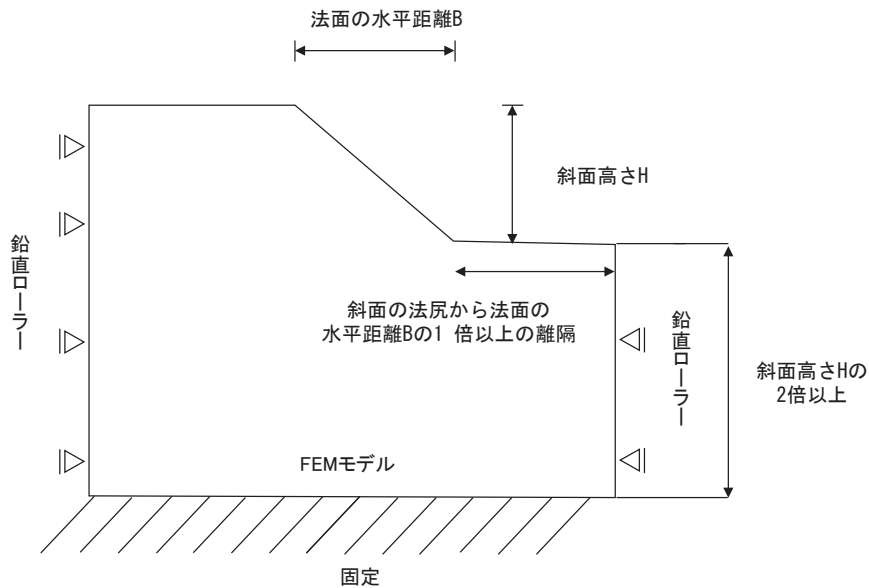


図 3.5-3 初期応力解析における境界条件の概念図

b. 地震時応答解析時

地震応答解析時の境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。底面の粘性境界については、地震動の下降波がモデル底面境界から半無限地盤へ通過していく状態を模擬するため、ダッシュポットを設定する。側方の粘性境界については、自由地盤の地盤振動と不成形地盤側方の地盤振動の差分が側方を通過していく状態を模擬するため、自由地盤の側方にダッシュポットを設定する。

防潮堤（盛土堤防）の地震応答解析モデルを図 3.5-4 に示す。

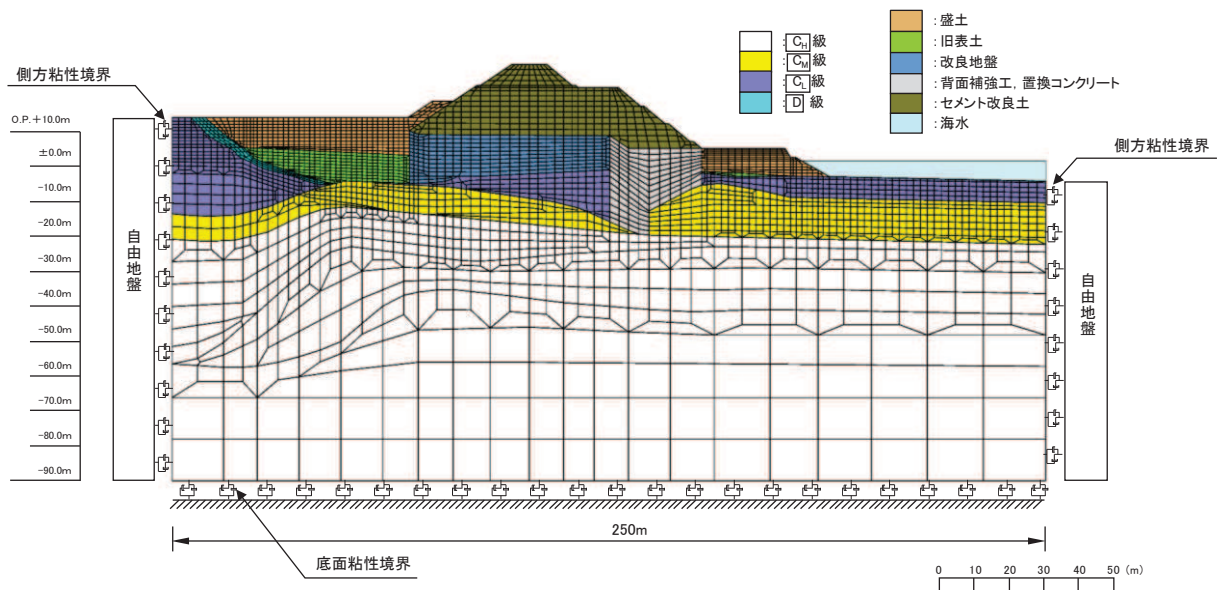


図 3.5-4 防潮堤（盛土堤防）の解析モデル（断面①）

(3) 構造物のモデル化

セメント改良土は非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素），置換コンクリートは線形平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

(4) 地盤のモデル化

D級岩盤を除く岩盤は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。D級岩盤，改良地盤，盛土・旧表土は地盤の非線形性を考慮するため，マルチスプリング要素でモデル化する。また，地下水位以深の盛土・旧表土は，液状化パラメータを設定することで，地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

また，防潮堤（盛土堤防）敷地側のセメント改良土については，受動側の抵抗が小さい方が保守的と考え，盛土でモデル化する。

なお，岩盤は砂岩でモデル化する。

(5) 海水のモデル化

海水は液体要素でモデル化する。

(6) ジョイント要素の設定

地盤と構造体の接合面の法線方向に対して地震時の引張荷重を与えると、地盤は構造体から剥離する特徴がある。また、地盤と構造体の接合面のせん断方向に対して地震時のせん断荷重を与え、せん断ひずみを増加させていくと、地盤及び構造体のせん断応力は上限値に達し、それ以上はせん断応力が増加しなくなる特徴がある。

時刻歴応答解析では、地震時における実挙動を正確に把握するために、地盤と構造体の接合面にジョイント要素を設定し、地震時の地盤と構造体の接合面における剥離及びすべりを考慮する。

ジョイント要素は、地盤と構造体の接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向については、常時の圧縮荷重以上の引張荷重が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。せん断方向については、各要素間の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が生じた場合、せん断剛性をゼロとし、すべりを考慮する。

せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。 c 、 ϕ は周辺地盤の c 、 ϕ とし、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき表 3.5-1 のとおりとする。また、要素間の粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は、接合面に設定するジョイント要素のせん断強度は隣り合う地盤又は構造物の各せん断強度のうち小さい値を採用することとし、表 3.5-2 のとおり設定する。

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

ここで、

- τ_f : せん断強度
- c : 粘着力
- ϕ : 内部摩擦角

表 3.5-1 周辺地盤との境界に用いる強度特性

地盤	粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
盛土* ¹	0.10	33.9
盛土* ²	0.00	30.0
旧表土	0.08	26.2
セメント改良土	0.65	44.3
改良地盤	1.39	22.1
D級	0.10	24.0
CL級	0.46	44.0

注記 *1 : 地下水位以浅

*2 : 地下水位以深

表 3.5-2 ジョイント要素の粘着力と内部摩擦角

条件	粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
改良地盤-盛土・旧表土	盛土・旧表土の c	盛土・旧表土の ϕ
改良地盤-岩盤	岩盤の c	岩盤の ϕ
置換コンクリート-岩盤	岩盤の c	岩盤の ϕ
置換コンクリート-盛土・旧表土	盛土・旧表土の c	盛土・旧表土の ϕ
改良地盤-セメント改良土	セメント改良土の c	セメント改良土の ϕ
改良地盤-置換コンクリート	改良地盤の c	改良地盤の ϕ

ジョイント要素のばね定数は、数値解析上、不安定な挙動を起こさない程度に十分な値とし、松本らの方法（松本ら：基礎構造物における地盤・構造物境界面の実用的な剛性評価法，応用力学論文集 Vol.12 pp.1061-1070，2009）に従い，表 3.5-3 のとおり設定する。ジョイント要素の力学特性を図 3.5-5 に，ジョイント要素の配置を図 3.5-6 に示す。

表 3.5-3 ジョイント要素のばね定数

地盤	せん断剛性 k_s (kN/m ³)	圧縮剛性 k_n (kN/m ³)
盛土・旧表土	1.0×10^6	1.0×10^6
岩盤・セメント改良土・改良地盤	1.0×10^7	1.0×10^7

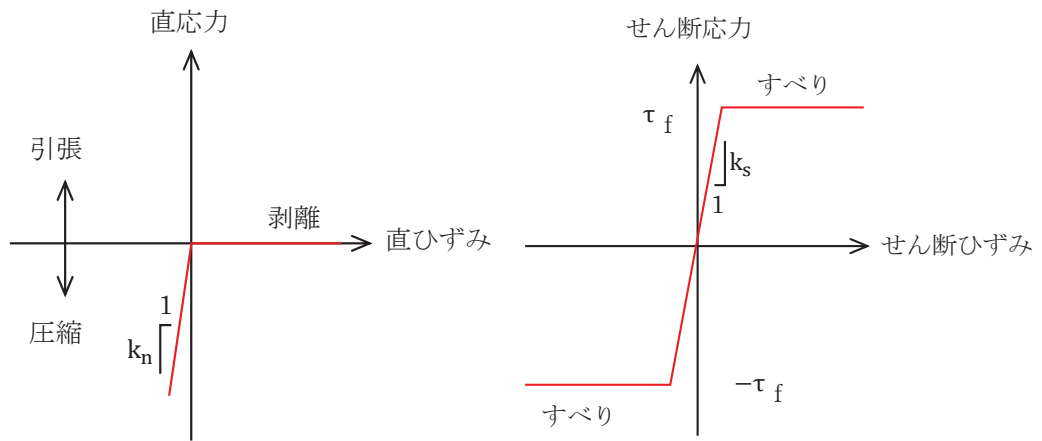


図 3.5-5 ジョイント要素の力学特性

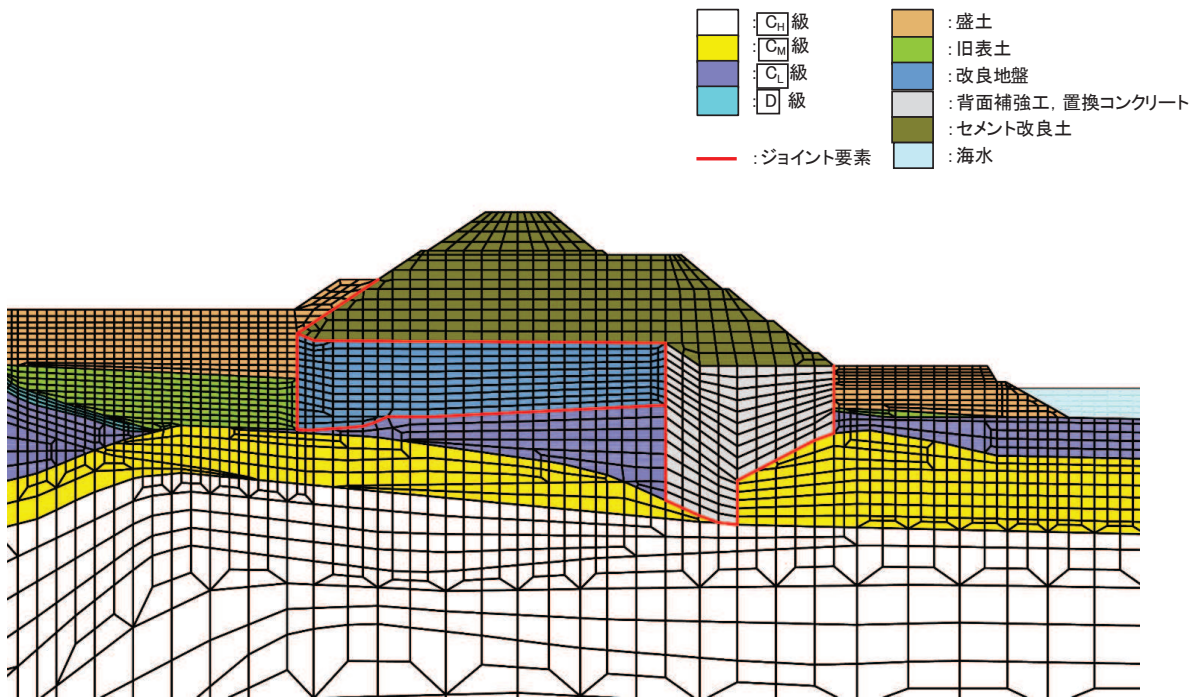


図 3.5-6 断面①におけるジョイント要素の配置図

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 3.5-4 に、材料の物性値を表 3.5-5 に示す。なお、セメント改良土及び改良地盤の物性値は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

表 3.5-4 使用材料

材料	諸元
コンクリート (置換コンクリート)	設計基準強度：30 N/mm ²

表 3.5-5 材料の物性値

材料	単位 体積重量 (kN/m ³)	せん断 強度 (N/mm ²)	内部 摩擦角 (°)	引張 強度 (N/mm ²)	残留 強度 (N/mm ²)	ヤング 係数 (N/mm ²)	ポア ソン比
コンクリート (置換コンクリート)	22.5* ¹	6.00* ²	-* ³	2.22* ¹	-* ³	2.80×10 ⁴ * ¹	0.2* ¹

注記 *1：コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002 年制定)

*2：コンクリート標準示方書 [ダムコンクリート編] (土木学会, 2013 年制定)

*3：内部摩擦角及び残留強度は保守的に考慮しない。

3.5.3 地盤の物性値

地盤の物性値は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。地盤の物性値を表 3.5-6～表 3.5-9 に示す。

なお、有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で、下限値として設定する。

表 3.5-6(1) 地盤の解析用物性値 (牧の浜部層)

岩種・岩級		物理特性	強度特性			変形特性				
		単位体積重量 γ (kN/m ³)	静的・動的特性			静的特性		動的特性		
			せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)	静弾性係数 E_s (N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 G_d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h
[B]級	砂岩	26.4	1.29	54.0	$1.12 \sigma^{0.74}$	4,100	0.21	表 3.5-6(2) 参照	0.03	
[C _H]級		26.2	1.29	54.0	$1.12 \sigma^{0.74}$	1,900	0.19		0.03	
[C _M]級		25.5	0.78	50.0	$1.09 \sigma^{0.72}$	1,200	0.24		0.03	
[C _L]級		23.1	0.46	44.0	$0.73 \sigma^{0.76}$	250	0.26		0.03	
[D]級		20.2	0.10	24.0	$0.41 \sigma^{0.49}$	78	0.38	$G_0 = 255.4 \sigma^{0.26}$ $G_d/G_0 =$ $1 / (1 + 119 \gamma^{0.63})$	$h =$ $0.085 \gamma /$ $(0.00026 + \gamma)$ $+ 0.028$	

表 3.5-6(2) 地盤の解析用物性値 (牧の浜部層)

岩種・岩級		速度層	動的変形特性	
			動せん断弾性係数 $G_d(N/mm^2)$	動ポアソン比 ν_d
B級 及び C _H 級	砂岩	第2速度層	1.2×10^3	0.45
		第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第4速度層	11.5×10^3	0.34
		第5速度層	16.8×10^3	0.33
		第1速度層	0.2×10^3	0.48
C _M 級	砂岩	第2速度層	1.2×10^3	0.45
		第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第4速度層	11.5×10^3	0.34
		第5速度層	16.8×10^3	0.33
		第1速度層	0.2×10^3	0.48
C _L 級	砂岩	第2速度層	1.2×10^3	0.45
		第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第1速度層	0.2×10^3	0.48
D級	砂岩	第1速度層	表 3.5-6(1) 参照	0.48
		第2速度層		0.45

表 3.5-7 地盤の解析用物性値（盛土他）

岩種・岩級	物理特性	強度特性				変形特性				
	単位体積重量 γ (kN/m ³)	静的・動的特性				静的特性		動的特性		
		せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	引張強度 σ_t (N/mm ²)	残留強度 τ (N/mm ²)	静弾性係数 E_s (N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 G_d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h
盛土	20.6	0.06	30.0	—	$0.06 + \sigma \tan 30.0^\circ$	$198 \sigma^{0.60}$	0.40	$G_0 = 382 \sigma^{0.71}$ $G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00036)^{*1}$	0.48	$h = 0.183 \gamma / (\gamma + 0.000261)$
旧表土	19.0	0.08	26.2	—	$0.08 + \sigma \tan 26.2^\circ$	$302 \sigma^{0.80}$	0.40	$G_0 = 211 \sigma^{0.42}$ $G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00087)$	0.46	$\gamma < 3 \times 10^{-4}$ $h = 0.125 + 0.0201 \log \gamma$ $3 \times 10^{-4} \leq \gamma < 2 \times 10^{-2}$ $h = 0.374 + 0.0911 \log \gamma$ $2 \times 10^{-2} \leq \gamma$ $h = 0.22$
断層 及びシーム ^{*2}	18.6	0.067	22.2	—	$0.067 + \sigma \tan 22.2^\circ$	圧縮方向 $124.5 \sigma^{0.90}$ せん断方向 $44.43 \sigma^{0.90}$	0.40	$G_0 = 192.3 \sigma^{0.74}$ $G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.0012)^{*1}$	0.46	$\gamma < 1 \times 10^{-4}$ $h = 0.024$ $1 \times 10^{-4} \leq \gamma < 1.6 \times 10^{-2}$ $h = 0.024 + 0.089 (\log \gamma + 4)$ $1.6 \times 10^{-2} \leq \gamma$ $h = 0.22$
セメント改良土	21.6	0.65	44.3	0.46	$0.21 + \sigma \tan 40.9^\circ$	690	0.26	$G_0 = 1670$ $G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00085)$	0.36	$\gamma < 3.8 \times 10^{-5}$ $h = 0.014$ $3.8 \times 10^{-5} \leq \gamma$ $h = 0.151 + 0.0311 \log \gamma$
改良地盤	20.6	1.39	22.1	0.65	$0.51 + \sigma \tan 34.6^\circ$	4,480	0.19	$G_0 = 1940$ $G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00136)$	0.35	$\gamma < 1.2 \times 10^{-4}$ $h = 0.031$ $1.2 \times 10^{-4} \leq \gamma < 5.2 \times 10^{-3}$ $h = 0.227 + 0.0501 \log \gamma$ $5.2 \times 10^{-3} \leq \gamma$ $h = 0.113$

*1：残存剛性率 (G_d/G_0) が小さい領域は次式で補間

$$G_0 = E_s / 2 (1 + \nu_s), \quad G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / \gamma_m), \quad \gamma_m = \tau_f / G_0$$

*2：断層及びシームの狭在物は、「粘土状」、「砂状」、「鱗片上」等の性状が確認されているが、そのうち最も強度の小さい粘土状物質にて試験を行い解析用物性値を設定している

表 3.5-8 地盤の解析用物性値（有効応力解析，液状化検討対象層）

		旧表土	盛土	
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.94 (1.88) *	2.10 (1.90) *	
	間隙率 n	0.437	0.363	
変形特性	動せん断 弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)	2.110×10^5	7.071×10^4	
	基準平均 有効拘束圧 σ_{ma} (kN/m ²)	1.0×10^3	1.0×10^3	
	ポアソン比 ν	0.40	0.40	
	減衰定数 の上限値 h_{ma} x	0.220	0.183	
強度特性	粘着力 c (N/mm ²)	0.08 (0.00) *	0.06 (0.10) *	
	内部摩擦角 ϕ (°)	26.2 (38.7) *	30.0 (33.9) *	
液状化特性	変相角 ϕ_p (°)	28.0	28.0	
	液状化パラメータ	S_1	0.005	0.005
		w_1	1.3	14.0
		p_1	1.2	1.0
		p_2	0.8	0.6
		c_1	2.75	2.8

注記 * : 括弧内の数値は，地下水位以浅の値を表す。

表 3.5-9 地盤の解析用物性値（有効応力解析，非液状化検討対象層）

		D 級岩盤	改良地盤	セメント改良土	
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	2.06 (1.95)*	2.10 (2.00)*	2.20	
	間隙率 n	0.349	0.00	0.00	
変形特性	動せん断 弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)	2.000×10^5	1.94×10^6 (1.84×10^6)	1.67×10^6	
	基準平均 有効拘束圧 σ'_{ma} (kN/m ²)	1.0×10^3	1.0×10^3	1.0×10^3	
	ポアソン比 ν	第1 速度層	0.48	0.35	0.36
		第2 速度層	0.44(狐崎部層) 0.45(牧の浜部層)		
減衰定数 の上限値 h_{max}		0.113	0.113	0.080	
強度特性	粘着力 c (N/mm ²)	0.10	1.39	0.65	
	内部摩擦角 ϕ (°)	24.0	22.1	44.3	

注記 * : 括弧内の数値は，地下水位以浅の値を表す。

3.5.4 地下水位

地下水位については，添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従って設定した設計用地下水位を図 3.1-3 及び表 3.5-10 に示す。

表 3.5-10 設計用地下水位

施設名称	評価対象断面	設計用地下水位
防潮堤（盛土堤防）	断面①	防潮堤（盛土堤防）より山側で地表面，海側で O.P. +1.43m（朔望平均満潮位）に設定する。

3.6 評価対象部位

評価対象部位は、防潮堤（盛土堤防）の構造的特徴や周辺状況の特徴を踏まえて設定する。

(1) 施設・地盤の健全性評価

施設・地盤の健全性に係る評価対象部位は、セメント改良土、置換コンクリート及び改良地盤とする。

(2) 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能に係る評価対象部位は、表 3.6-1 のとおりセメント改良土及び置換コンクリートを支持する基礎地盤とする。

表 3.6-1 各施設を支持する基礎地盤

評価断面	施設	基礎地盤
断面①	セメント改良土	改良地盤
	置換コンクリート	牧の浜部層*

* : C_M級岩盤以上の岩盤が対象

3.7 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.7.1 セメント改良土

セメント改良土の許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」に基づき、表 3.7-1 に示すすべり安全率とする。

表 3.7-1 セメント改良土の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

3.7.2 置換コンクリート

置換コンクリートの許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用し、表 3.7-2 に示すすべり安全率とする。

表 3.7-2 置換コンクリートの許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

3.7.3 改良地盤

改良地盤の許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用し、表 3.7-3 に示すすべり安全率とする。

表 3.7-3 改良地盤の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

3.7.4 基礎地盤

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、支持力試験により設定する。基礎地盤の許容限界を表 3.7-4 に示す。

表 3.7-4 基礎地盤の支持力に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力	牧の浜部層*	11.4*
	改良地盤	4.4

注記 * : C_M級岩盤以上の岩盤が対象

3.8 評価方法

防潮堤（盛土堤防）の耐震評価は、地震応答解析に基づき算定した発生応力が「3.7 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

3.8.1 セメント改良土

セメント改良土の評価は、セメント改良土を通るすべり線のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。

すべり安全率の算定フローを図 3.8-1 に示す。すべり安全率は、想定したすべり線上の応力状態をもとに、すべり線上のせん断抵抗力の和をせん断力の和で除した値として求める。想定すべり線は、セメント改良土の端部を基点として±5° 間隔で設定し、最も厳しいすべり線として、最小すべり安全率のすべり線を選定する。セメント改良土の想定すべり線を図 3.8-2 に示す。

また、セメント改良土の強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値－1σ強度）についても実施する。その際の解析ケースはケース①（基本ケース）とする。

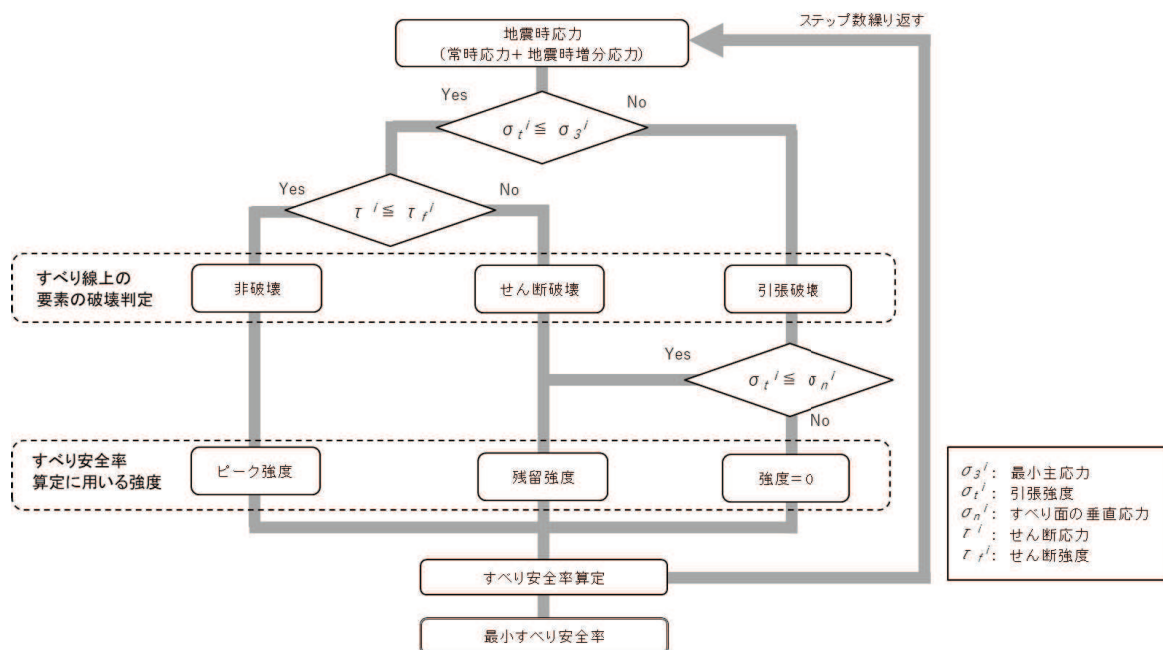


図 3.8-1 すべり安全率算定のフロー

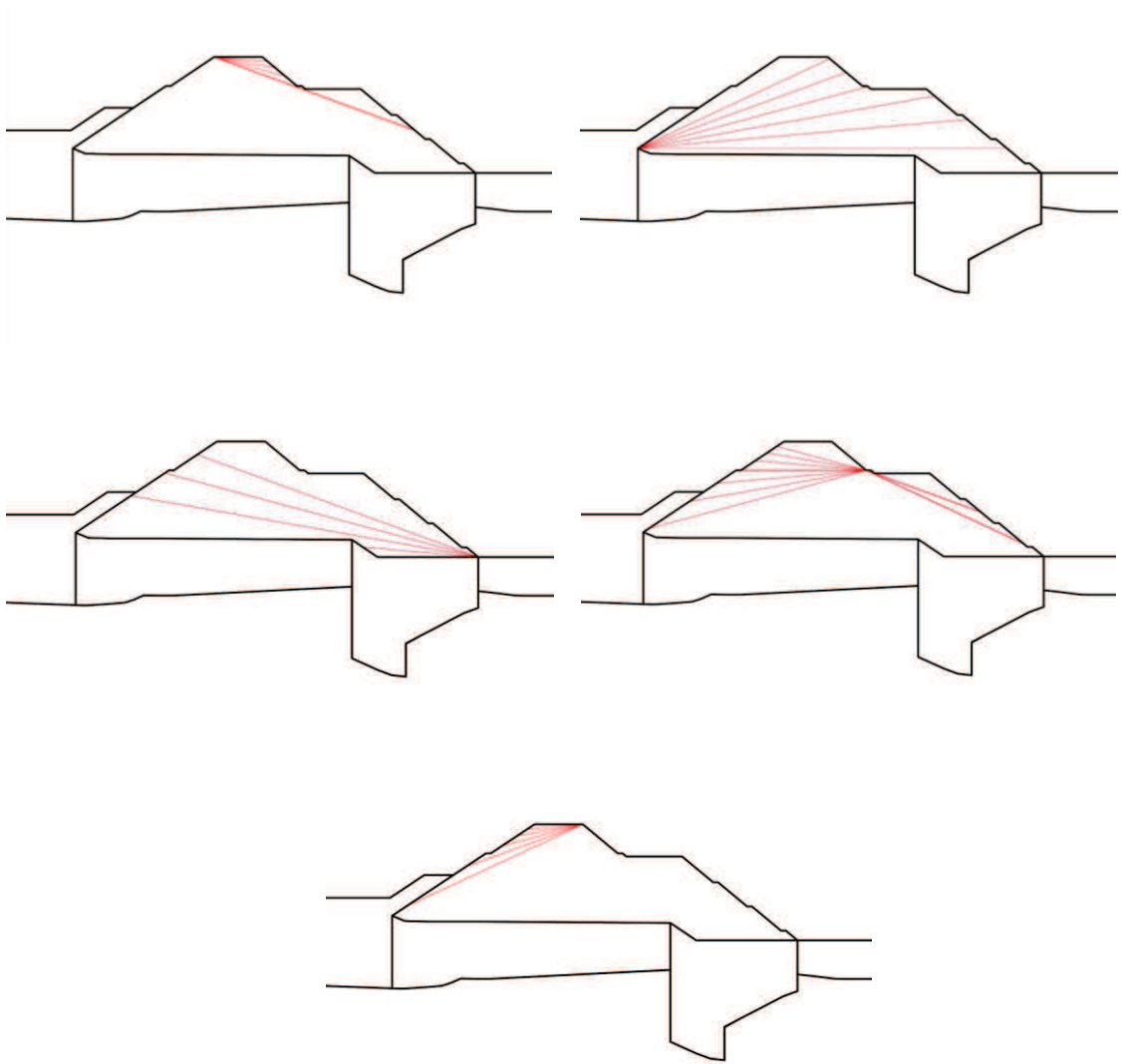


図 3.8-2 セメント改良土の想定すべり線

3.8.2 置換コンクリート

置換コンクリートの評価は、置換コンクリートを通るすべり線のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。

すべり安全率の算定フローを図 3.8-1 に示す。すべり安全率は、想定したすべり線上の応力状態をもとに、すべり線上のせん断抵抗力の和をせん断力の和で除した値として求める。想定すべり線は、置換コンクリートの端部を基点として $\pm 5^\circ$ 間隔で設定し、最も厳しいすべり線として、最小すべり安全率のすべり線を選定する。置換コンクリートの想定すべり線を図 3.8-3 に示す。

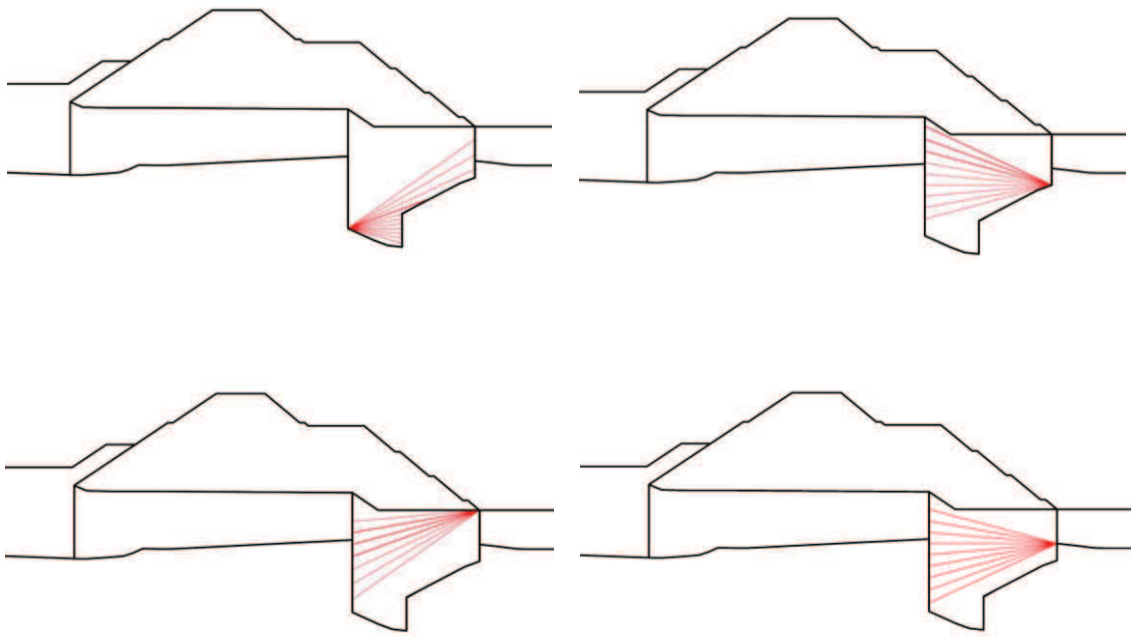


図 3.8-3 置換コンクリートの想定すべり線

3.8.3 改良地盤

改良地盤の評価は、改良地盤を通るすべり線のすべり安全率が1.2以上であることを確認する。

すべり安全率の算定フローを図3.8-1に示す。すべり安全率は、想定したすべり線上の応力状態をもとに、すべり線上のせん断抵抗力の和をせん断力の和で除した値として求める。想定すべり線は、改良地盤の端部を基点として $\pm 5^\circ$ 間隔で設定し、最も厳しいすべり線として、最小すべり安全率のすべり線を選定する。改良地盤の想定すべり線を図3.8-4に示す。

また、改良地盤の強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値 -1σ 強度）についても実施する。その際の解析ケースはケース①（基本ケース）とする。

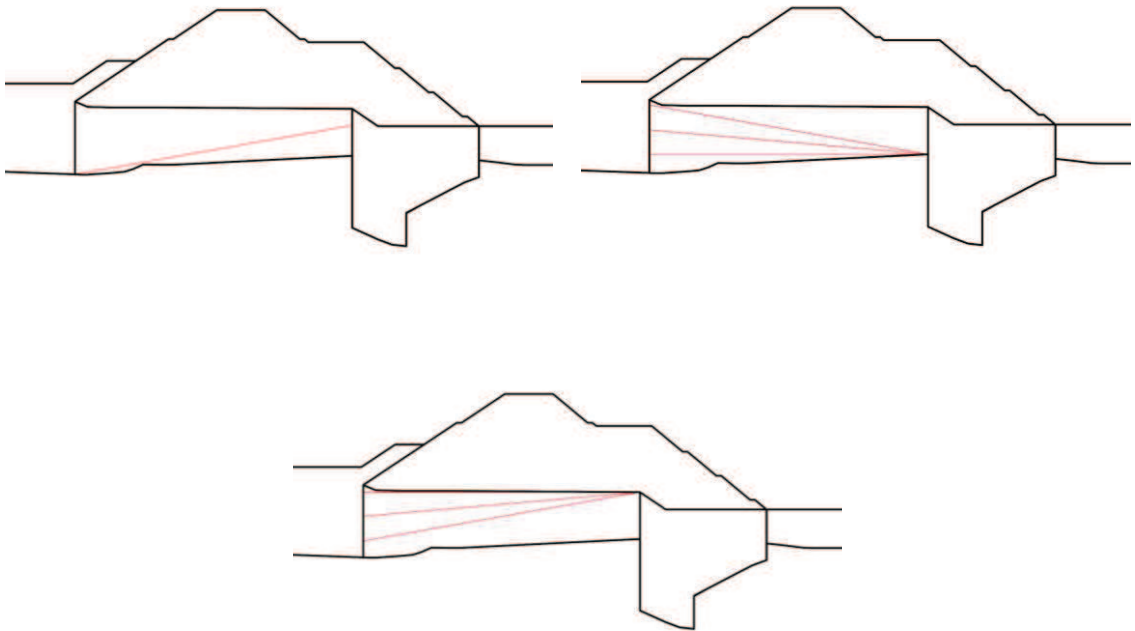


図 3.8-4 改良地盤の想定すべり線

3.8.4 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価においては、セメント改良土の基礎地盤である改良地盤及び置換コンクリートの基礎地盤である牧の浜部層（ C_M 級岩盤）に生じる接地圧が許容限界以下であることを確認する。

4. 耐震評価結果

4.1 地震応答解析結果

地震応答解析結果として「局所安全係数分布」, 「最大せん断ひずみ分布」及び「過剰間隙水圧比分布」を記載する。

耐震評価においては, 「補足 610-20 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」に基づき, 全ての基準地震動 S_s に対して実施するケース①において, すべり安全率及び基礎地盤の支持性能に対する照査の各評価項目について, 照査値が最も厳しい(許容限界に対する余裕が最も小さい)地震動を用い, 追加解析ケース②, ③を実施する。

4.1.1 解析ケースと照査値

(1) セメント改良土のすべり安全率照査

表 4.1-1 にセメント改良土のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-1 セメント改良土のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値

解析ケース 地震動		すべり安全率照査			
		①	① (平均値－ 1 σ 強度)	②	③
$S_s - D1$	++	4.2	4.1		
	-+	3.4	3.3		
	+-	4.3	4.1		
	--	3.5	3.4		
$S_s - D2$	++	3.5	3.3		
	-+	4.2	4.1		
	+-	3.5	3.4		
	--	3.8	3.7		
$S_s - D3$	++	4.7	4.5		
	-+	3.8	3.7		
	+-	4.7	4.5		
	--	3.8	3.7		
$S_s - F1$	++	5.3	5.1		
	-+	5.3	5.1		
$S_s - F2$	++	3.8	3.6		
	-+	4.0	3.8		
$S_s - F3$	++	5.1	5.0		
	-+	4.3	4.1		
$S_s - N1$	++	3.1	3.0	3.2	3.0
	-+	4.1	3.9		

(2) 置換コンクリートのすべり安全率照査

表 4.1-2 に置換コンクリートのすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-2 置換コンクリートのすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値

解析ケース 地震動		すべり安全率照査		
		①	②	③
S s - D 1	++	9.3		
	-+	7.8		
	+-	9.0		
	--	7.7		
S s - D 2	++	7.3		
	-+	9.2		
	+-	8.1		
	--	9.4		
S s - D 3	++	9.7		
	-+	8.6		
	+-	9.4		
	--	8.5		
S s - F 1	++	9.7		
	-+	10.8		
S s - F 2	++	9.3		
	-+	8.8		
S s - F 3	++	11.2		
	-+	8.4		
S s - N 1	++	6.4	6.3	6.6
	-+	9.7		

(3) 改良地盤のすべり安全率照査

表 4.1-3 に改良地盤のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-3 改良地盤のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値

地震動 解析ケース		すべり安全率照査			
		①	① (平均値－ 1σ強度)	②	③
S s - D 1	++	4.2	4.1		
	-+	4.5	4.4		
	+-	4.1	4.1		
	--	4.5	4.5		
S s - D 2	++	4.7	4.6		
	-+	4.4	4.4		
	+-	4.7	4.7		
	--	4.4	4.4		
S s - D 3	++	5.0	5.0		
	-+	5.6	5.6		
	+-	4.9	4.9		
	--	5.5	5.5		
S s - F 1	++	6.0	6.0		
	-+	6.2	6.2		
S s - F 2	++	4.7	4.7		
	-+	4.8	4.8		
S s - F 3	++	5.2	5.1		
	-+	5.8	5.8		
S s - N 1	++	3.5	3.4	3.5	3.5
	-+	3.7	3.7		

(4) 基礎地盤の支持性能に対する照査

表 4.1-4 に基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-4(1) 基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値（セメント改良土）

解析ケース 地震動		基礎地盤の支持性能に対する照査		
		①	②	③
S _s -D 1	++	0.16		
	-+	0.16		
	+ -	0.16		
	--	0.16		
S _s -D 2	++	0.16		
	-+	0.16		
	+ -	0.16		
	--	0.16		
S _s -D 3	++	0.14		
	-+	0.14		
	+ -	0.16		
	--	0.14		
S _s -F 1	++	0.14		
	-+	0.14		
S _s -F 2	++	0.14		
	-+	0.14		
S _s -F 3	++	0.14		
	-+	0.16		
S _s -N 1	++	0.21	0.19	0.21
	-+	0.24		

表 4.1-4(2) 基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値
(置換コンクリート)

解析ケース 地震動		基礎地盤の支持性能に対する照査		
		①	②	③
S _s -D 1	++	0.21		
	-+	0.23		
	+-	0.21		
	--	0.22		
S _s -D 2	++	0.25		
	-+	0.22		
	+-	0.22		
	--	0.22		
S _s -D 3	++	0.17		
	-+	0.21		
	+-	0.20		
	--	0.22		
S _s -F 1	++	0.19		
	-+	0.17		
S _s -F 2	++	0.18		
	-+	0.21		
S _s -F 3	++	0.17		
	-+	0.20		
S _s -N 1	++	0.20	0.20	0.21
	-+	0.19		

4.1.2 局所安全係数分布（セメント改良土）

セメント改良土のすべり安全率による照査において、各解析ケースのうち最小すべり安全率となる結果を表 4.1-5 に示す。また、該当する解析ケースの局所安全係数分布を図 4.1-1 に示す。

表 4.1-5 セメント改良土のすべり安全率評価結果（断面①）

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S _s -N1(++)	③	7.55	3.0

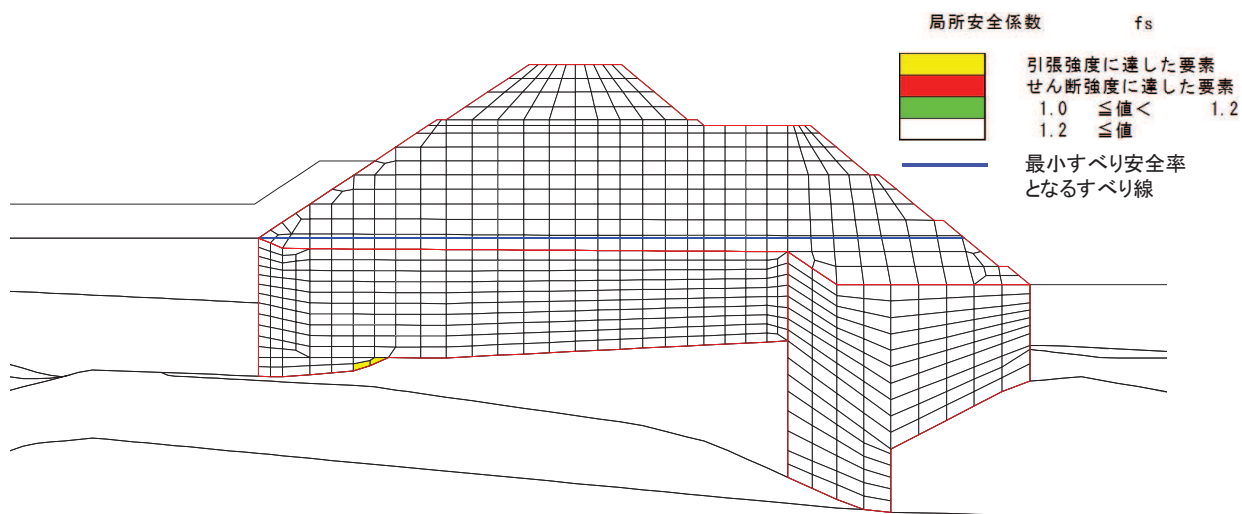


図 4.1-1 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
（断面①, S_s-N1(++) , t=7.55s)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース（平均値-1σ）

4.1.3 局所安全係数分布（置換コンクリート）

置換コンクリートのすべり安全率による評価結果を表 4.1-6 に、最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布を図 4.1-2 に示す。

表 4.1-6 置換コンクリートのすべり安全率評価結果（断面①）

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S _s -N1(++)	②	7.52	6.3

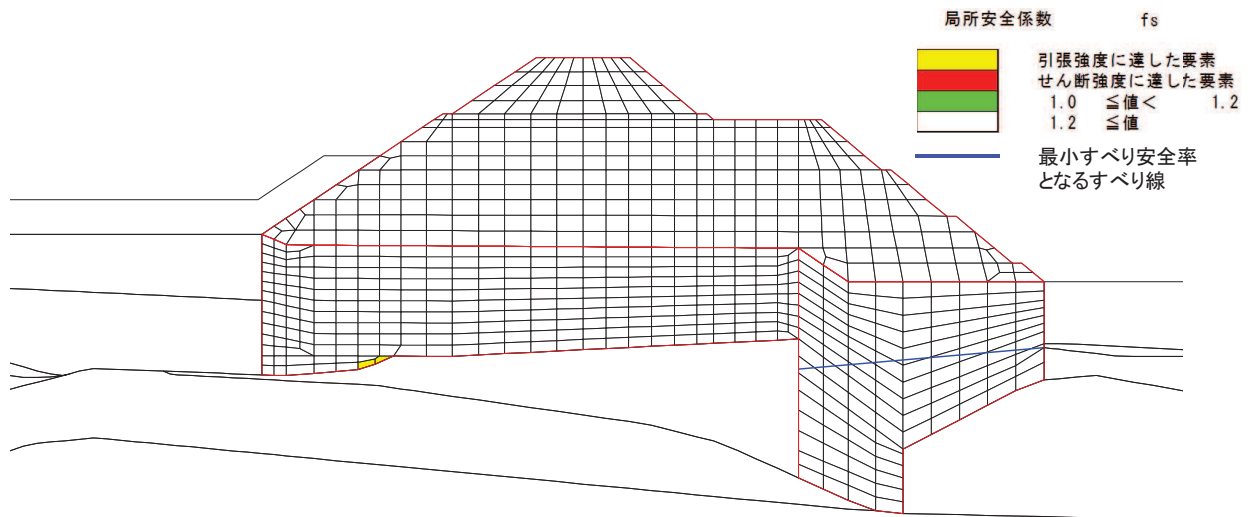


図 4.1-2 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面①, $S_s - N1(++)$, $t=7.52s$)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1 σ)

4.1.4 局所安全係数分布 (改良地盤)

改良地盤のすべり安全率による評価結果を表 4.1-7 に、平均強度において最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布を図 4.1-3 に示す。

表 4.1-7 改良地盤のすべり安全率評価結果 (断面①)

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
$S_s - N1(++)$	①	7.54	3.5

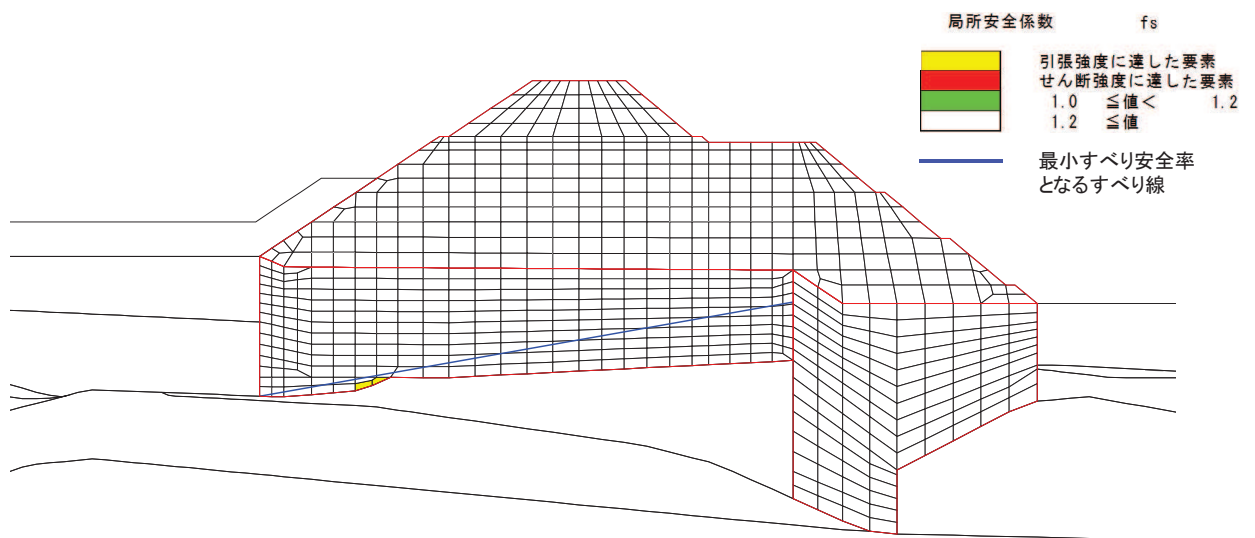


図 4.1-3 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面①, S s - N 1 (++) , t=7.54s)

解析ケース①：基本ケース

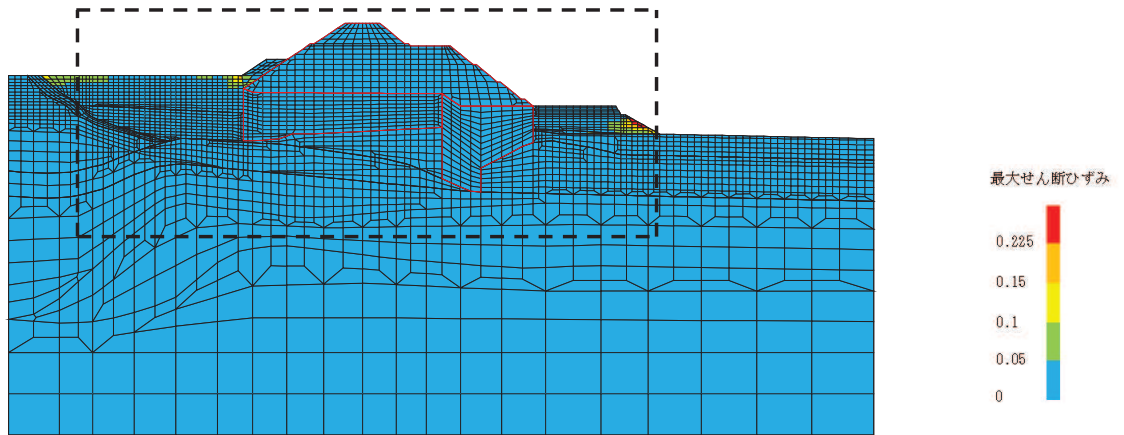
4.1.5 最大せん断ひずみ分布

各施設の照査で最大照査値及び最小すべり安全率を示す解析ケースについて、地盤に発生した最大せん断ひずみを確認する。最大照査値及び最小すべり安全率を示す解析ケースの一覧を表 4.1-8 に示す。

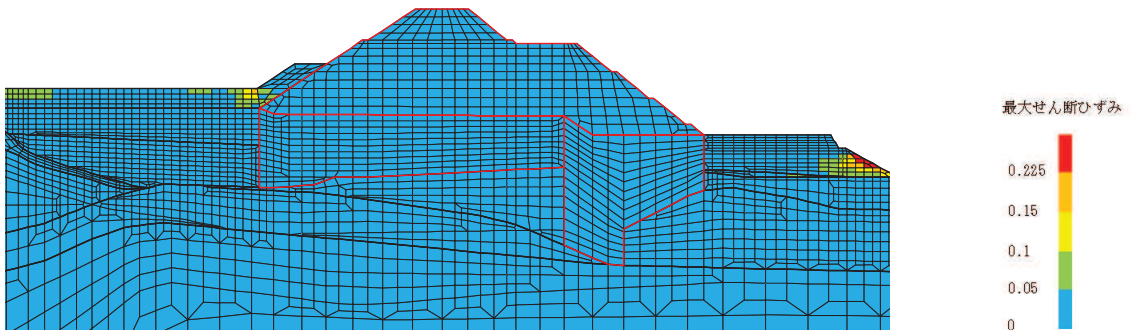
断面①における最大せん断ひずみ分布図を、それぞれ図 4.1-4、図 4.1-5 に示す。

表 4.1-8 最大照査値を示す解析ケースの一覧 (断面①)

断面	評価項目	
	セメント改良土	置換コンクリート
	すべり安全率	すべり安全率
断面①	解析ケース③ S s - N 1 (++)	解析ケース② S s - N 1 (++)

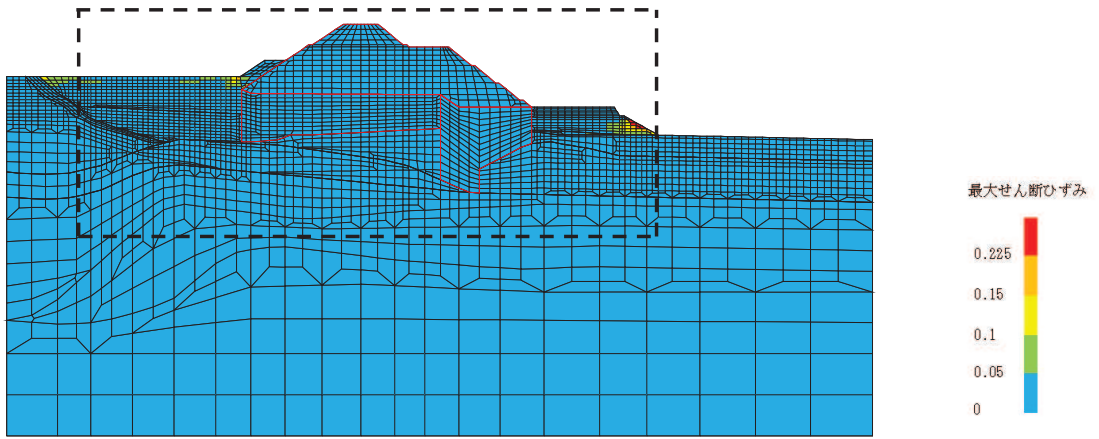


(a) 全体図

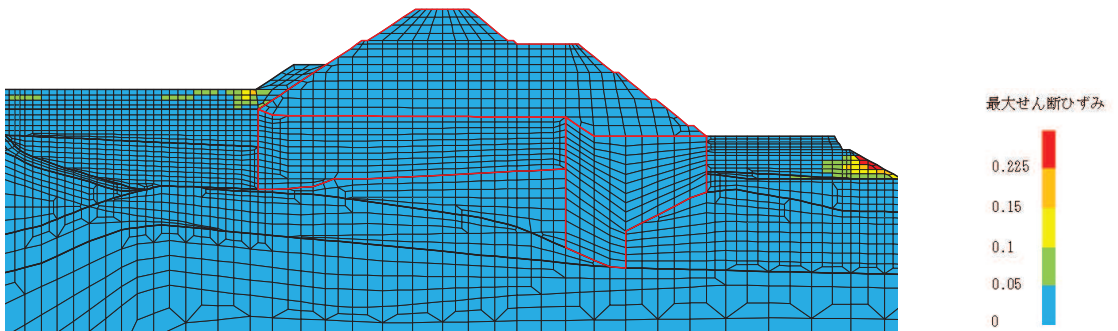


(b) 構造物周辺拡大図

図 4.1-4 断面①の最大せん断ひずみ分布
(解析ケース③, S s - N 1 (++))



(a) 全体図



(b) 構造物周辺拡大図

図 4.1-5 断面①の最大せん断ひずみ分布
(解析ケース②, $S_s - N1$ (++))

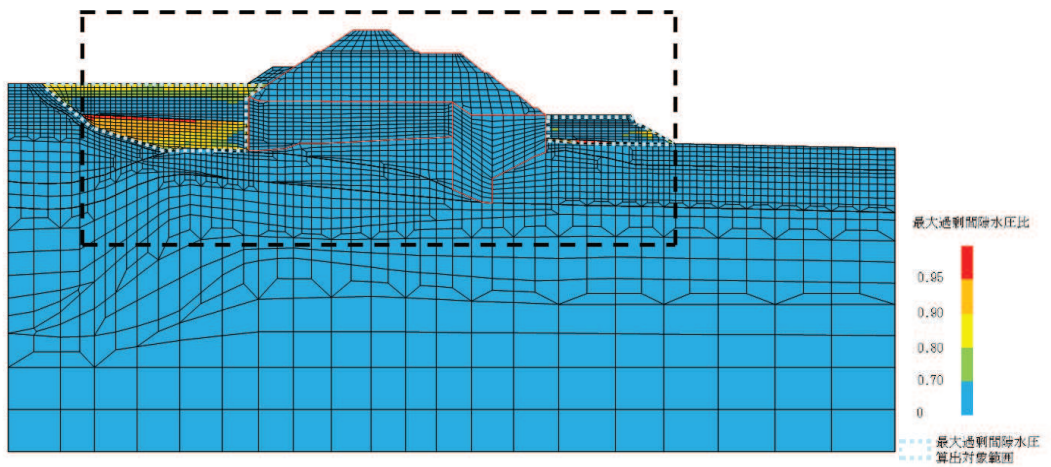
4.1.6 過剰間隙水圧比分布

地盤に発生した過剰間隙水圧比を確認するため、各施設の照査で最大照査値及び最小すべり安全率を示す解析ケースについて、地震応答解析の全時刻における過剰間隙水圧比の最大値分布を示す。最大照査値及び最小すべり安全率を示す解析ケースの一覧を表 4.1-9 に示す。

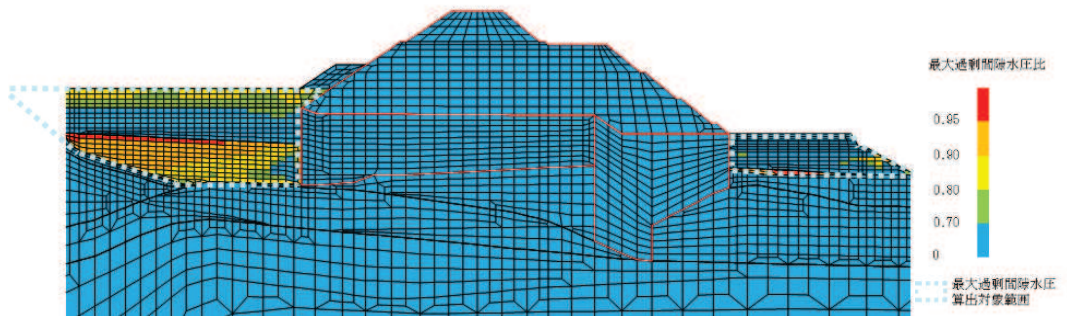
断面①における過剰間隙水圧比分布を、それぞれ図 4.1-6, 図 4.1-7 に示す。

表 4.1-9 最大照査値を示す解析ケースの一覧 (断面①)

断面	評価項目	
	セメント改良土	置換コンクリート
	すべり安全率	すべり安全率
断面①	解析ケース③ S s - N 1 (++)	解析ケース② S s - N 1 (++)

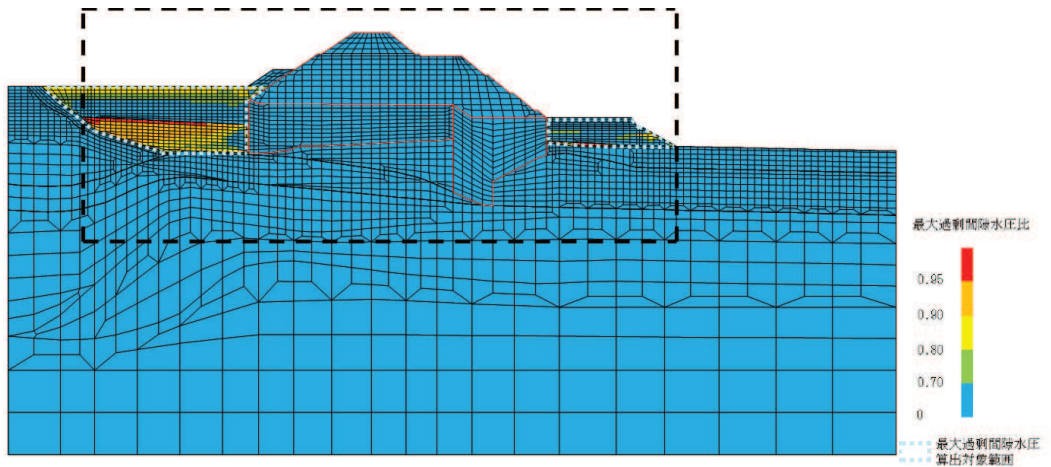


(a) 全体図

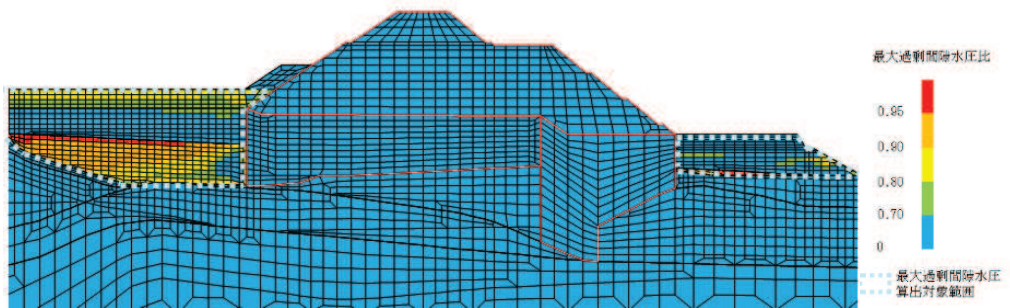


(b) 構造物周辺拡大図

図 4.1-6 断面①の過剰間隙水圧比最大値分布
(解析ケース③, $S_s - N1$ (++))



(a) 全体図



(b) 構造物周辺拡大図

図 4.1-7 断面①の過剰間隙水圧比最大値分布
(解析ケース②, $S_s - N1 (+ +)$)

4.2 セメント改良土

セメント改良土のすべり安全率による評価結果を表 4.2-1 に示す。これらの結果から、セメント改良土のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 4.2-1(1) セメント改良土のすべり安全率評価結果 (断面①)

解析ケース	地震動	発生時刻(s)	最小すべり安全率	
①	S _s -D1	(++)	45.53	4.2
		(-+)	25.22	3.4
		(+-)	45.54	4.3
		(--)	25.22	3.5
	S _s -D2	(++)	13.53	3.5
		(-+)	23.99	4.2
		(+-)	13.53	3.5
		(--)	13.88	3.8
	S _s -D3	(++)	21.04	4.7
		(-+)	15.56	3.8
		(+-)	21.04	4.7
		(--)	15.56	3.8
	S _s -F1	(++)	22.42	5.3
		(-+)	19.49	5.3
	S _s -F2	(++)	27.84	3.8
		(-+)	31.30	4.0
	S _s -F3	(++)	28.62	5.1
		(-+)	27.68	4.3
	S _s -N1	(++)	7.55	3.1
		(-+)	7.55	4.1
②	S _s -N1	(++)	7.55	3.2
③		(++)	7.55	3.0

表 4.2-1(2) セメント改良土のすべり安全率評価結果 (断面①, 平均値-1 σ 強度)

解析ケース	地震動		発生時刻(s)	最小すべり安全率
①	S _s -D1	(++)	45.53	4.1
		(-+)	25.22	3.3
		(+-)	45.54	4.1
		(--)	25.22	3.4
	S _s -D2	(++)	13.53	3.3
		(-+)	23.99	4.1
		(+-)	13.53	3.4
		(--)	13.88	3.7
	S _s -D3	(++)	29.69	4.5
		(-+)	15.56	3.7
		(+-)	21.04	4.5
		(--)	15.56	3.7
	S _s -F1	(++)	22.42	5.1
		(-+)	19.49	5.1
	S _s -F2	(++)	27.84	3.6
		(-+)	31.30	3.8
	S _s -F3	(++)	28.62	5.0
		(-+)	27.68	4.1
	S _s -N1	(++)	7.55	3.0
		(-+)	7.55	3.9

4.3 置換コンクリート

置換コンクリートのすべり安全率による評価結果を表 4.3-1 に示す。これらの結果から、置換コンクリートのすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 4.3-1 置換コンクリートのすべり安全率評価結果（断面①）

解析ケース	地震動	発生時刻(s)	最小すべり安全率	
①	S _s -D1	(++)	46.98	9.3
		(-+)	45.39	7.8
		(+-)	46.97	9.0
		(--)	45.41	7.7
	S _s -D2	(++)	25.24	7.3
		(-+)	13.41	9.2
		(+-)	25.23	8.1
		(--)	13.88	9.4
	S _s -D3	(++)	29.70	9.7
		(-+)	15.56	8.6
		(+-)	21.05	9.4
		(--)	15.56	8.5
	S _s -F1	(++)	22.41	9.7
		(-+)	19.48	10.8
	S _s -F2	(++)	27.83	9.3
		(-+)	31.29	8.8
	S _s -F3	(++)	26.70	11.2
		(-+)	26.83	8.4
	S _s -N1	(++)	7.52	6.4
		(-+)	7.36	9.7
②	S _s -N1	(++)	7.52	6.3
③		(++)	7.52	6.6

4.4 改良地盤

(1) 評価結果

改良地盤のすべり安全率による評価結果を表 4.4-1 に示す。これらの結果から、改良地盤のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 4.4-1(1) 改良地盤のすべり安全率評価結果 (断面①)

解析ケース	地震動	発生時刻(s)	最小すべり安全率	
①	S _s -D1	(++)	25.22	4.2
		(-+)	25.22	4.5
		(+-)	25.22	4.1
		(--)	45.41	4.5
	S _s -D2	(++)	13.89	4.7
		(-+)	25.24	4.4
		(+-)	13.55	4.7
		(--)	13.55	4.4
	S _s -D3	(++)	15.57	5.0
		(-+)	15.57	5.6
		(+-)	15.57	4.9
		(--)	21.05	5.5
	S _s -F1	(++)	19.49	6.0
		(-+)	22.41	6.2
	S _s -F2	(++)	31.30	4.7
		(-+)	27.85	4.8
	S _s -F3	(++)	26.83	5.2
		(-+)	28.62	5.8
	S _s -N1	(++)	7.54	3.5
		(-+)	7.53	3.7
②	S _s -N1	(++)	7.54	3.5
③		(++)	7.55	3.5

表 4.4-1(2) 改良地盤のすべり安全率評価結果（断面①， 平均値-1 σ 強度）

解析ケース	地震動		発生時刻(s)	最小すべり安全率
①	S _s -D1	(++)	25.22	4.1
		(-+)	25.22	4.4
		(+-)	25.22	4.1
		(--)	45.41	4.5
	S _s -D2	(++)	13.89	4.6
		(-+)	25.24	4.4
		(+-)	13.55	4.7
		(--)	13.55	4.4
	S _s -D3	(++)	15.57	5.0
		(-+)	15.57	5.6
		(+-)	15.57	4.9
		(--)	21.05	5.5
	S _s -F1	(++)	19.49	6.0
		(-+)	22.41	6.2
	S _s -F2	(++)	31.30	4.7
		(-+)	27.85	4.8
	S _s -F3	(++)	26.83	5.1
		(-+)	28.62	5.8
	S _s -N1	(++)	7.54	3.4
		(-+)	7.53	3.7

(2) 局所破壊が津波防護機能へ及ぼす影響について

図 4.1-3 に示す，各断面での改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布のうち，引張破壊が生じている断面（断面①）について，局所的な破壊が津波防護機能へ及ぼす影響を確認する。

a. 局所安全係数分布図と検討すべり線の重ね合わせ

断面①について，改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布に検討すべり線を重ね合わせた図を図 4.4-1 に示す。

これにより，検討すべり線は，引張破壊に達した要素を通過していないことから，引張破壊に達した要素を通過したすべり線を追加で検討する。

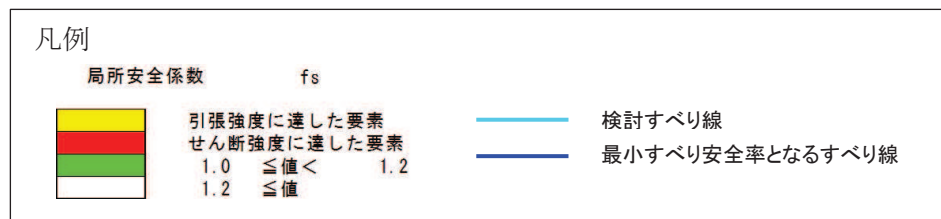
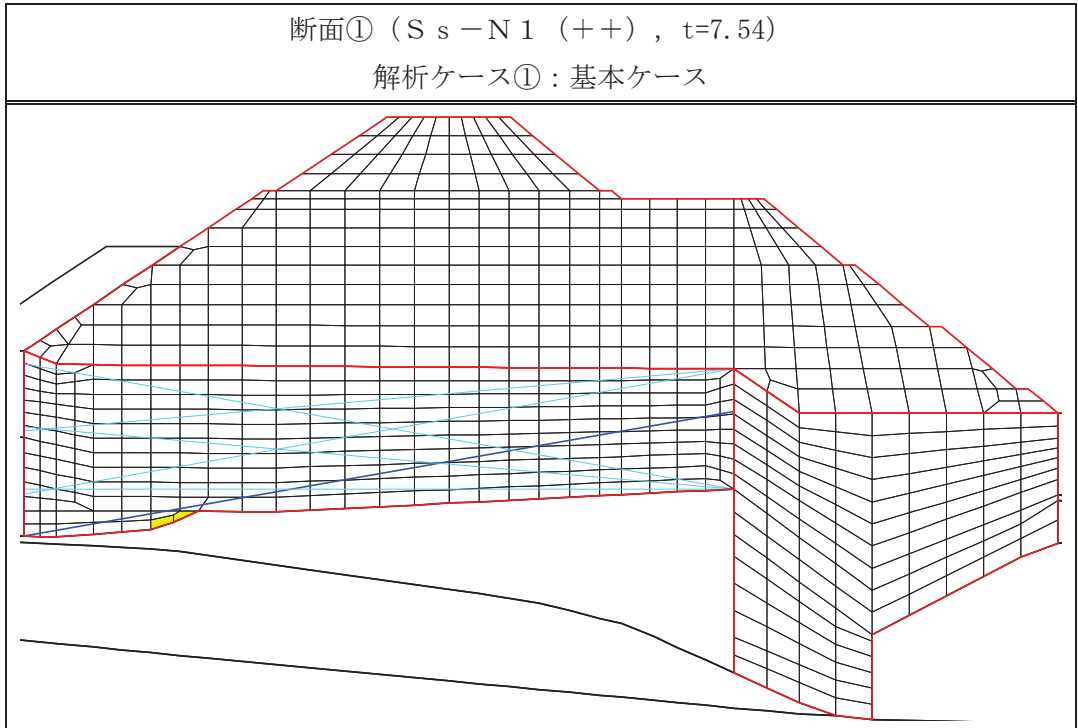


図 4. 4-1 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布と
検討すべり線の重ね合わせ (断面①)

b. 応力状態に着目した追加すべり検討

改良地盤に局所的な引張破壊が生じている断面①について、引張破壊している要素の応力状態に着目し、引張強度に達した要素を基点とした、クラック方向のすべり線を追加しすべり安全率照査を行う。図 4.4-2 に断面①について、改良地盤の最小すべり安全率時刻における主応力図及び追加すべり線を示す。

図 4.4-2 に示した追加すべり線における最小すべり安全率を表 4.4-2 に示す。この結果より、引張強度に達した要素を基点とした、クラック方向のすべり線を追加した場合において、改良地盤のすべり安全率は、当初のすべり線でのすべり安全率と比較し同等以上であり、健全であることを確認した。

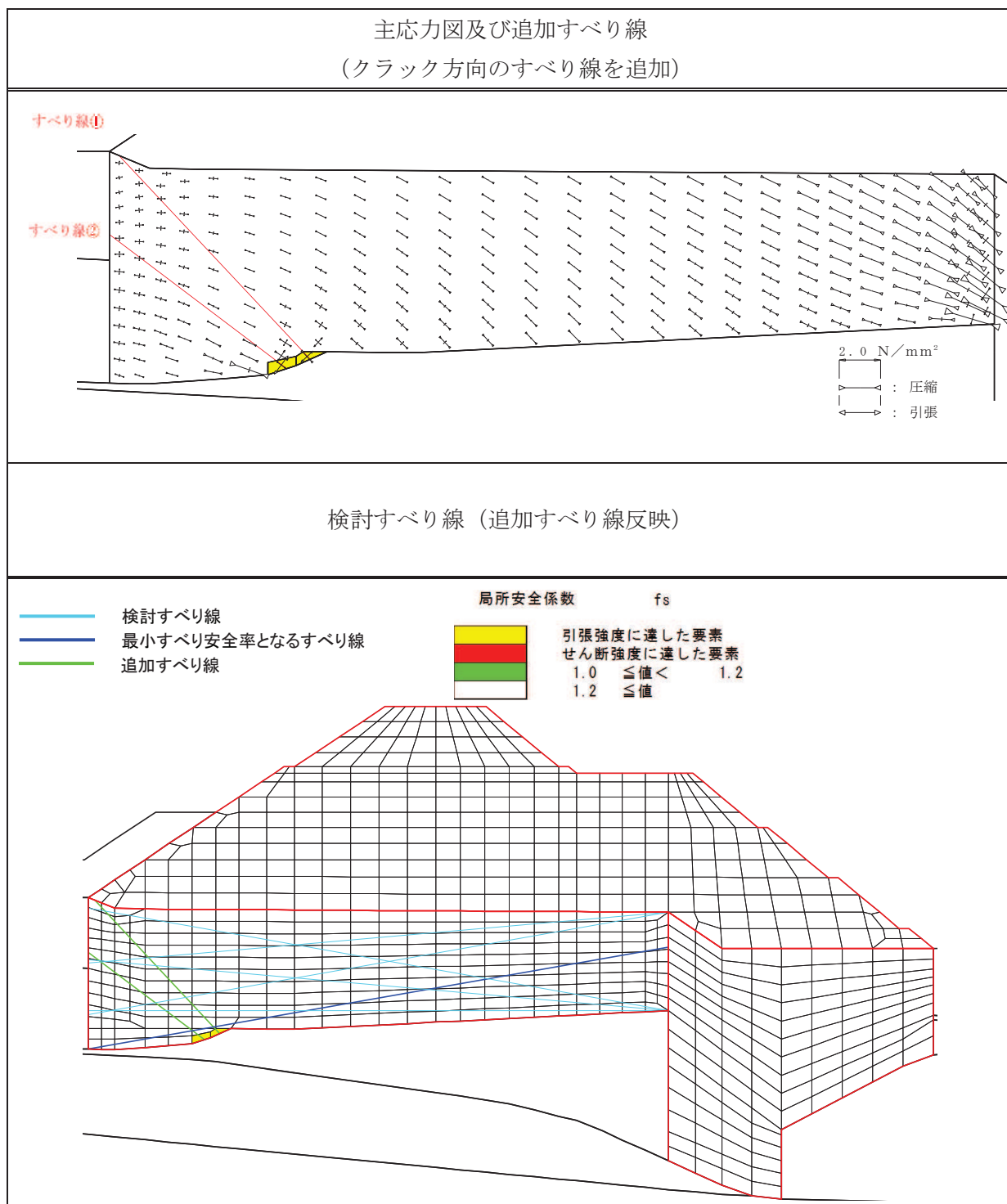


図 4.4-2 改良地盤の最小すべり安全率時刻における主応力図及び追加すべり線
(断面④, $S_s - N1$ (++) , $t=7.54s$)
解析ケース①: 基本ケース

表 4.4-2 追加すべり線における最小すべり安全率

断面	すべり線	最小すべり 安全率	(参考) 追加すべり線を 除く最小すべり安全率
断面①	すべり線①	9.3	3.5

c. まとめ

- a. 及びb. の検討により、改良地盤に局所的に発生している引張破壊が津波防護機能へ影響を及ぼさないことを確認した。

4.5 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価結果を表 4.5-1 に、セメント改良土及び置換コンクリートの最大接地圧分布図を図 4.5-1、図 4.5-2 に示す。

防潮堤（盛土堤防）の基礎地盤に生じる最大接地圧が極限支持力度以下であることを確認した。

また、断面①における岩盤の局所安全係数分布を図 4.5-3 に示す。岩盤の局所安全係数分布を示す解析ケース及び時刻は、D級岩盤及びCL級岩盤への支圧の観点に着目し、防潮堤（盛土堤防）が敷地側へ変形し、改良地盤の接地圧（改良地盤直下に存在する D級岩盤及び CL級岩盤への支圧）が最大となる解析ケース及び時刻とした。

図 4.5-3 に示すとおり、D級岩盤及び CL級岩盤の破壊は局所的であることから、岩盤の局所的な破壊は津波防護機能へ影響が無いことを確認した。

表 4.5-1(1) 基礎地盤の支持性能評価結果（断面①，セメント改良土）

解析 ケース	地震動		最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
①	S _s -D1	(++)	0.7	4.4	0.16
		(-+)	0.7	4.4	0.16
		(+-)	0.7	4.4	0.16
		(--)	0.7	4.4	0.16
	S _s -D2	(++)	0.7	4.4	0.16
		(-+)	0.7	4.4	0.16
		(+-)	0.7	4.4	0.16
		(--)	0.7	4.4	0.16
	S _s -D3	(++)	0.6	4.4	0.14
		(-+)	0.6	4.4	0.14
		(+-)	0.7	4.4	0.16
		(--)	0.6	4.4	0.14
	S _s -F1	(++)	0.6	4.4	0.14
		(-+)	0.6	4.4	0.14
	S _s -F2	(++)	0.6	4.4	0.14
		(-+)	0.6	4.4	0.14
	S _s -F3	(++)	0.6	4.4	0.14
		(-+)	0.7	4.4	0.16
	S _s -N1	(++)	0.9	4.4	0.21
		(-+)	0.6	4.4	0.14
②	S _s -N1	(++)	0.8	4.4	0.19
③		(++)	0.9	4.4	0.21

表 4.5-1(2) 基礎地盤の支持性能評価結果 (断面①, 置換コンクリート)

解析 ケース	地震動		最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
①	S _s -D1	(++)	2.3	11.4	0.21
		(-+)	2.6	11.4	0.23
		(+-)	2.3	11.4	0.21
		(--)	2.4	11.4	0.22
	S _s -D2	(++)	2.8	11.4	0.25
		(-+)	2.5	11.4	0.22
		(+-)	2.4	11.4	0.22
		(--)	2.4	11.4	0.22
	S _s -D3	(++)	1.9	11.4	0.17
		(-+)	2.3	11.4	0.21
		(+-)	2.2	11.4	0.20
		(--)	2.4	11.4	0.22
	S _s -F1	(++)	2.1	11.4	0.19
		(-+)	1.9	11.4	0.17
	S _s -F2	(++)	2.0	11.4	0.18
		(-+)	2.3	11.4	0.21
	S _s -F3	(++)	1.9	11.4	0.17
		(-+)	2.2	11.4	0.20
	S _s -N1	(++)	2.2	11.4	0.20
		(-+)	2.1	11.4	0.19
②	S _s -N1	(++)	2.2	11.4	0.20
③			2.3	11.4	0.21

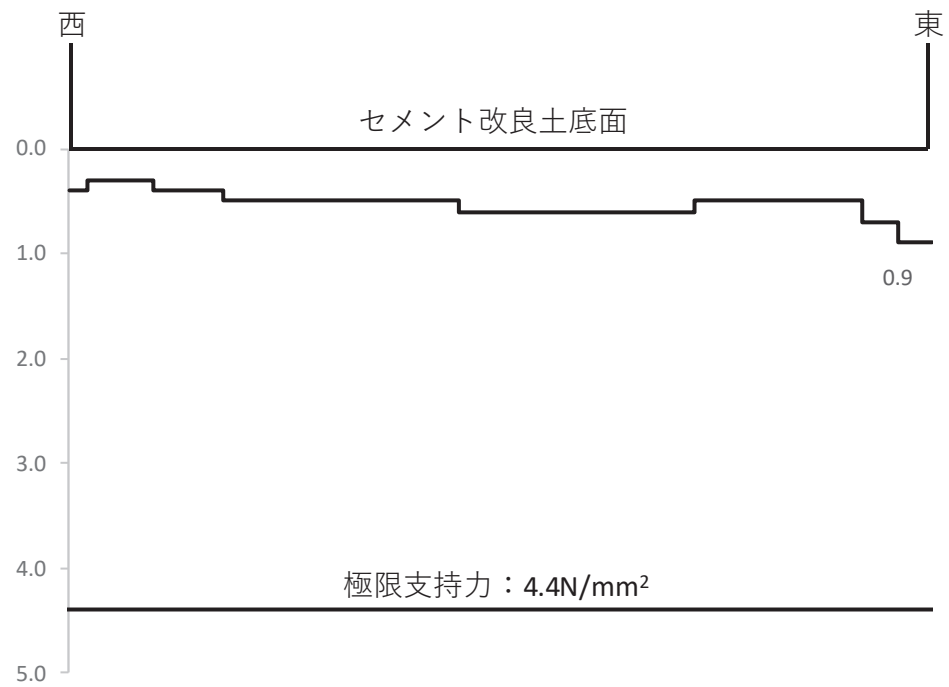


図 4.5-1 支持地盤の接地圧分布図（断面①，セメント改良土）
 (S s - N 1 (++))

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース（平均値 - 1 σ ）

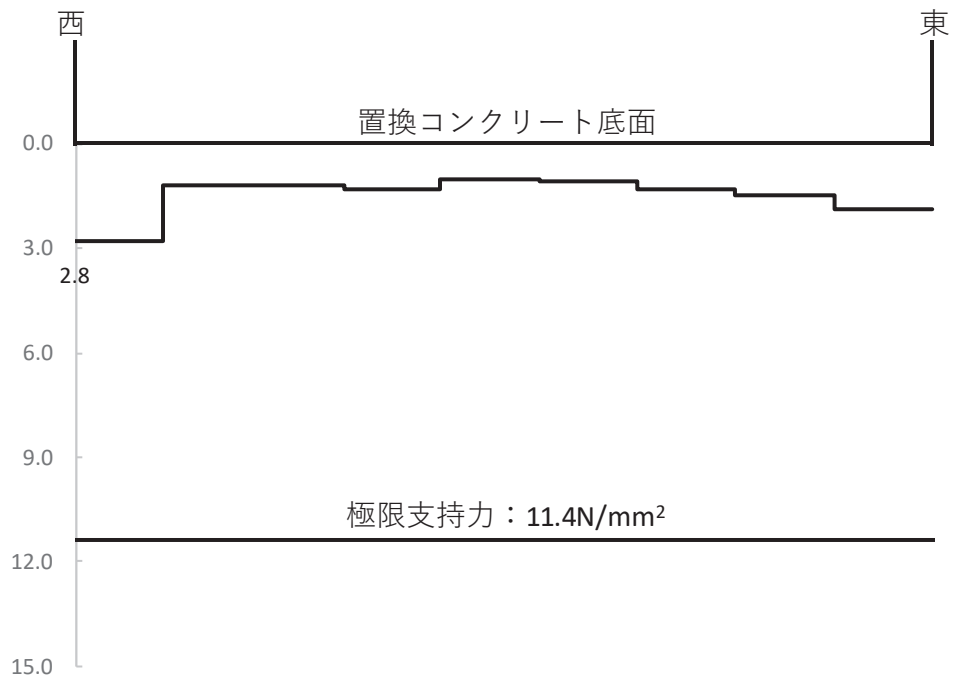


図 4.5-2 支持地盤の接地圧分布図（断面①，置換コンクリート）
 (S s - D 2 (++))

解析ケース①：基本ケース

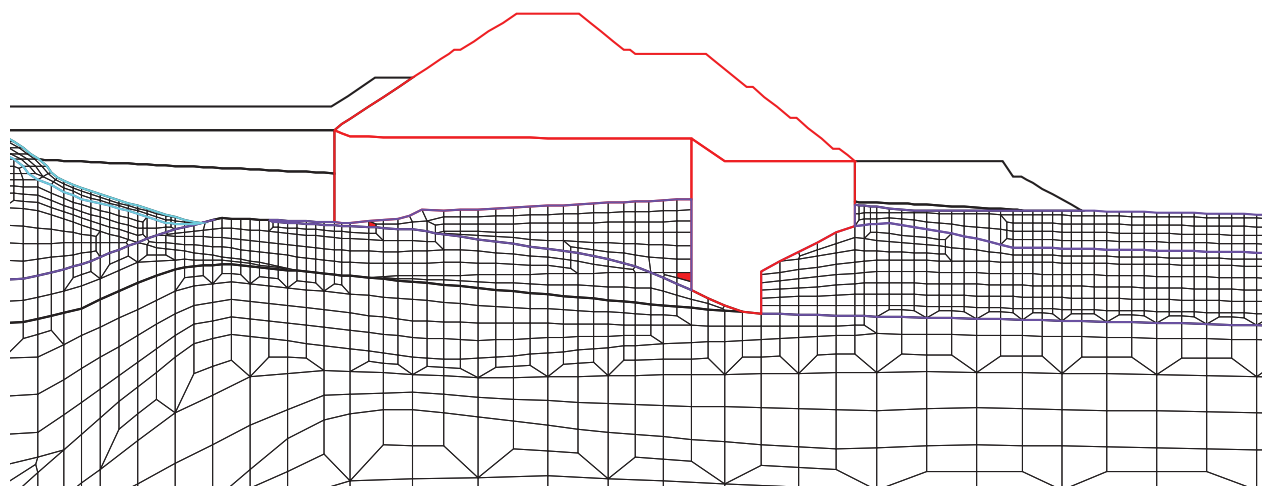


図 4.5-3 岩盤の局所安全係数分布
(断面①, $S_s - D_2 (+)$, $t=31.03s$)
解析ケース①: 基本ケース

5. 防潮堤（盛土堤防）の耐震性に関する影響検討

5.1 コンクリートの剛性の影響について

(1) 概要

防潮堤（盛土堤防）は、遡上波が敷地に流入することを防止するために設置するものであり、新設構造物である。

新設構造物については、「補足 610-20 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」に示すとおり、許容応力度法による設計を行うなど、裕度を確保した設計とすることから、材料物性のばらつきを考慮した構造解析は実施しないこととし、「3.2 解析方法」に示すとおり、背面補強工及び置換コンクリートの材料物性のばらつきは考慮せずに耐震評価を行っている。

一方で、設置変更許可申請時に方針を示したとおり、背面補強工及び置換コンクリートの材料物性のばらつきが、どの程度防潮堤（盛土堤防）の耐震性の影響を与えるか検討した。

(2) 評価方針

a. 評価方針

評価対象断面、評価部位及び入力地震動については、「4. 評価結果」から解析ケース①（基本ケース）の結果において、照査値が最も厳しい「断面①、セメント改良土、 $S_s-N1(++)$ 」とする。

断面①の地震応答解析モデルを図 5.1-1 に示す。

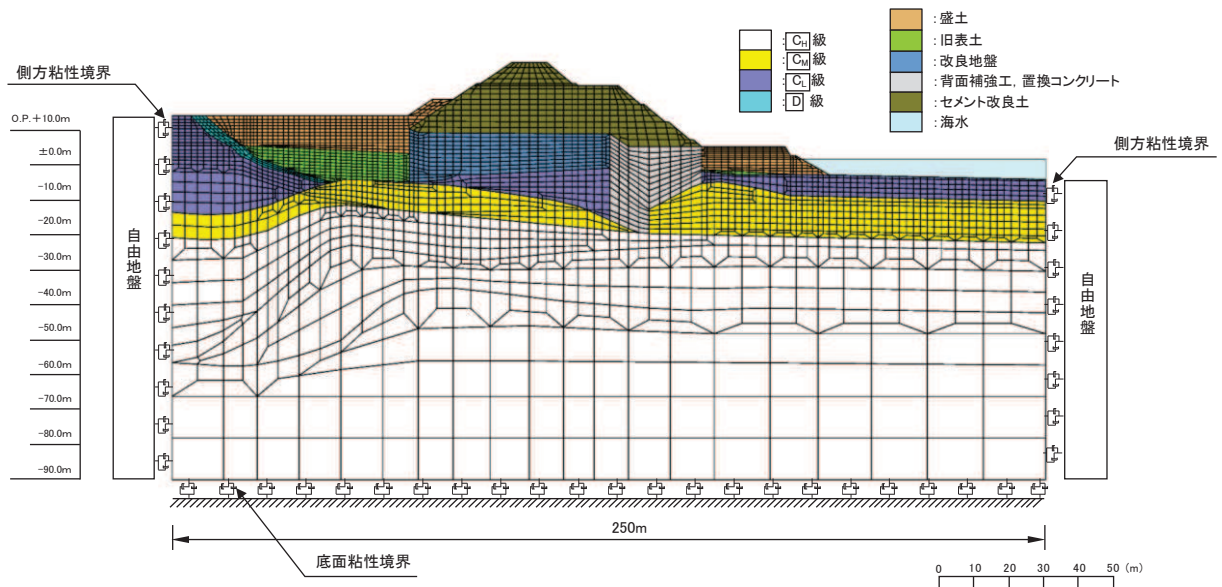


図 5.1-1 防潮堤（盛土堤防）の断面①の地震応答解析モデル

また、影響検討を行う解析ケースを表 5.1-1 に示す。表 5.1-1 に示す解析ケース①～③については、「4. 評価結果」にて評価を実施していることから、材料物性（コンクリート）に対して構造物の実強度に基づく圧縮強度を設定した解析ケース④を実施する。

表 5. 1-1 解析ケース（防潮堤（盛土堤防））

解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土, 盛土, D級岩盤 セメント改良土, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	C ₁ 級岩盤, C ₂ 級岩盤, C ₃ 級岩盤, B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース①* ¹ (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②* ¹	設計基準強度	平均値 + 1 σ	平均値
ケース③* ¹	設計基準強度	平均値 - 1 σ	平均値
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度* ²	平均値	平均値

注記*1: 「4. 評価結果」にて評価済み。

*2: 新設構造物のため推定した圧縮強度とする。

b. 新設構造物の圧縮強度の設定について

圧縮強度の設定に当たっては、「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5N 原子力発電所における鉄筋コンクリート工事（日本建築学会，2013）」（以下「JASS 5N」という。）による方法，及び「日本原子力学会標準 原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準（日本原子力学会，2015）」（以下「日本原子力学会標準」という。）による方法を比較し，保守的な配慮として圧縮強度が大きい方の値を採用する。

(a) JASS 5N による圧縮強度の設定方法

JASS 5N の方法により推定される調合強度は，算定式の違い（以下に示す「式(1)」及び「式(2)」）から2つの値が得られるが，圧縮強度の推定値は大きい方の値とする。

JASS 5N による圧縮強度の設定方法の詳細を以下に示す。

イ. コンクリートの調合強度の算定

コンクリートの調合強度は，コンクリートの調合管理強度と構造体コンクリートの強度管理用供試体の圧縮強度の標準偏差を用いて算定する。

調合強度は，次の式(1)及び式(2)を満足するように定める。

$$F \geq F_m + 1.73 \sigma \quad \text{式(1)}$$

$$F \geq 0.85 F_m + 3 \sigma \quad \text{式(2)}$$

ここに F : コンクリートの調合強度 (N/mm²)

F_m^{*1} : コンクリートの調合管理強度 (N/mm²)

σ^{*2} : 構造体コンクリートの強度管理用供試体の圧縮強度の標準偏差 (N/mm²)

注記 *1：以下の「ロ. コンクリートの調合管理強度の算定」に示す方法により求める。

*2： σ は以下に示す 2 つの方法により定めるが、設計上の配慮として圧縮強度が大きい方の値を採用する。

a. σ の値が工事の実績から類推できる場合はその値とする。表 5.1-2 に防潮堤（鋼管式鉛直壁）背面補強工の値を示す。

b. 工事の実績がなく、工事初期で σ の値が未知の場合は 3.5N/mm^2 もしくは $0.1(F_q + {}_mS_n)^{*3}$ の大きい方の値とする。

*3： F_q はコンクリートの品質基準強度（設計基準強度もしくは 24N/mm^2 のうち大きい方の値）、 ${}_mS_n$ は標準養生した供試体の材齢 m 日における圧縮強度と構造体コンクリートの材齢 n 日における圧縮強度との差によるコンクリート強度の補正值を示す。

表 5.1-2 工事实績より類推する標準偏差（ σ ）

構造物名称	防潮堤（鋼管式鉛直壁）背面補強工*
セメントの種類	フライアッシュ B 種
設計基準強度（ N/mm^2 ）	30
材齢（日）	91
標準偏差 σ （ N/mm^2 ）	2.15

注記 *：2015～2016 年の工事实績

ロ. コンクリートの調合管理強度の算定

コンクリートの調合管理強度は、コンクリートの品質基準強度（設計基準強度もしくは 24N/mm^2 のうち大きい方の値）とコンクリート強度の補正值から算定する。

$$F_m \geq F_q + {}_mS_n$$

ここに F_m ：コンクリートの調合管理強度（ N/mm^2 ）

F_q^{*1} ：コンクリートの品質基準強度（ N/mm^2 ）

${}_mS_n^{*2}$ ：標準養生した供試体の材齢 m 日における圧縮強度と、構造体コンクリートの材齢 n 日における圧縮強度との差によるコンクリート強度の補正值を示す（ N/mm^2 ）。ただし、 ${}_mS_n$ は 0 以上の値とする。

注記 *1：設計基準強度もしくは 24N/mm^2 のうち大きい方の値を採用する。

*2： ${}_mS_n$ は図 5.1-2 を参照して定めるが、圧縮強度が大きくなるよう 6 を採用する。

表 5.1 構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$ の標準値

セメントの種類	コンクリートの打込みから材齢 28 日までの予想平均養生温度 (°C)	
	$8 \leq \theta$	$0 \leq \theta < 8$
普通ポルトランドセメント	$8 \leq \theta$	$0 \leq \theta < 8$
フライアッシュセメント B 種	$9 \leq \theta$	$0 \leq \theta < 9$
中庸熱ポルトランドセメント	$11 \leq \theta$	$0 \leq \theta < 11$
中庸熱フライアッシュセメント	$11 \leq \theta$	$0 \leq \theta < 11$
低熱ポルトランドセメント	$14 \leq \theta$	$0 \leq \theta < 14$
構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$ (N/mm ²)	3	6

[注] 普通ポルトランドセメントおよびフライアッシュセメント B 種においては、暑中コンクリート工事の適用期間中は、補正值は 6N/mm² とする。

図 5.1-2 構造体強度補正值の $_{28}S_{91}$ の標準値 (JASS 5N に加筆)

コンクリートの調和管理強度及び調合強度の算定を踏まえ、式(1)及び式(2)から算定される調合強度のうち大きい方の値を JASS 5N により算定される圧縮強度とする。

(b) 日本原子力学会標準による圧縮強度の設定方法

日本原子力学会標準に示す「コンクリート実強度の標準的なデータベース」に基づき、圧縮強度を設定する。「コンクリート実強度の標準的なデータベース」には、原子力発電所施設を対象に実機の 13 週管理コンクリートの実強度について調査・検討した結果が図 5.1-3 のとおり整理されている。

図 5.1-3 に示すとおり、コンクリートの打設から 1 年後の実強度は、設計基準強度の 1.40 倍 (平均値) であることに基づき、設計基準強度の 1.40 倍を日本原子力学会標準により算定される圧縮強度として設定する。

表 BZ.2 コンクリート実強度の統計値

	統計値	
	平均値	変動係数
13週シリンダー強度/設計基準強度 (13週管理)	1.35	0.07
1年シリンダー強度/13週シリンダー強度	1.1	—
実強度(1年)/1年シリンダー強度	0.95	0.11
実強度(1年)/設計基準強度(13週管理)	1.40	0.13

図 5.1-3 コンクリート実強度の統計値 (日本原子力学会標準に加筆)

(c) 新設する構造物に設定する圧縮強度について

新設する構造物のコンクリートの圧縮強度は、JASS 5Nにより算定される圧縮強度と日本原子力学会標準により算定される圧縮強度のうち大きい方の値を採用する。置換コンクリートで設定する圧縮強度を表 5.1-3 に示す。

なお、同等の配合となる防潮堤（鋼管式鉛直壁）背面補強工は施工済であることから、「(a)イ. コンクリートの調合強度の算定（注記*2）」の「a.」及び「b.」に示す方法のうち大きい方の値を標準偏差 σ として定め、圧縮強度を推定した。

表 5.1-3 新設する構造物に設定する圧縮強度

	置換コンクリート
セメントの種類	フライアッシュ B 種
設計基準強度 (N/mm ²)	30
圧縮強度① (N/mm ²) *1	<u>42.2</u>
圧縮強度② (N/mm ²) *2	42.0
圧縮強度の採用値 (N/mm ²) *3	<u>42.2</u>

注記 *1：JASS 5Nにより推定される圧縮強度

*2：日本原子力学会標準により推定される圧縮強度

*3：下線：圧縮強度①と圧縮強度②を比較して大きい方の値

(3) 評価結果

材料物性（コンクリート）のばらつきによる評価結果を表 5.1-4～5.1.7 に示す。

本検討の結果、材料物性（コンクリート）のばらつきの影響はわずかであり、その影響が小さいことを確認した。

表 5.1-4 セメント改良土のすべり安全率評価結果（断面①）

解析ケース	地震動		発生時刻(s)	最小すべり安全率
①*	Ss-N1	(++)	7.55	3.1
②*	Ss-N1	(++)	7.55	3.2
③*	Ss-N1	(++)	7.55	3.0
④	Ss-N1	(++)	7.55	3.1

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

表 5.1-5 置換コンクリートのすべり安全率

解析ケース	地震動		発生時刻(s)	最小すべり安全率
	Ss-N1	(++)		
①*	Ss-N1	(++)	7.52	6.4
②*	Ss-N1	(++)	7.52	6.3
③*	Ss-N1	(++)	7.52	6.6
④	Ss-N1	(++)	7.52	6.4

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

表 5.1-6 改良地盤のすべり安全率

解析ケース	地震動		発生時刻(s)	最小すべり安全率
	Ss-N1	(++)		
①*	Ss-N1	(++)	7.54	3.5
②*	Ss-N1	(++)	7.54	3.5
③*	Ss-N1	(++)	7.55	3.5
④	Ss-N1	(++)	7.55	3.5

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

表 5.1-7(1) 基礎地盤の支持性能に対する最大照査値（セメント改良土）

解析 ケース	地震動		最大接地圧	極限支持力	照査値
	Ss-N1	(++)	R_a (N/mm ²)	R_{ua} (N/mm ²)	R_a/R_{ua}
①*	Ss-N1	(++)	0.9	4.4	0.21
②*	Ss-N1	(++)	0.8	4.4	0.19
③*	Ss-N1	(++)	0.9	4.4	0.21
④	Ss-N1	(++)	0.9	4.4	0.21

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

表 5.1-7(2) 基礎地盤の支持性能に対する最大照査値（置換コンクリート）

解析 ケース	地震動		最大接地圧	極限支持力	照査値
	Ss-N1	(++)	R_a (N/mm ²)	R_{ua} (N/mm ²)	R_a/R_{ua}
①*	Ss-N1	(++)	2.2	11.4	0.20
②*	Ss-N1	(++)	2.2	11.4	0.20
③*	Ss-N1	(++)	2.3	11.4	0.21
④	Ss-N1	(++)	2.2	11.4	0.20

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

5.2 液状化しない場合の不確かさの影響検討について

(1) 概要

防潮堤（盛土堤防）は、前背面の地表面が傾斜しており、液状化による側方流動の影響を受ける可能性があることも踏まえ、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮できる有効応力解析を用いて評価を行っている。

一方で、液状化しない場合に防潮堤（盛土堤防）の評価が厳しくなる場合も想定し、非液状化の条件を仮定した検討を実施することで、防潮堤（盛土堤防）に及ぼす影響の程度を確認する。

(2) 評価方針

評価対象断面及び入力地震動については、「4. 評価結果」のうち解析ケース①（基本ケース）の結果において、照査値が最も厳しい「断面①，S_s-N1（++）」とする。

断面①の地震応答解析モデルを図 5.2-1 に示す。

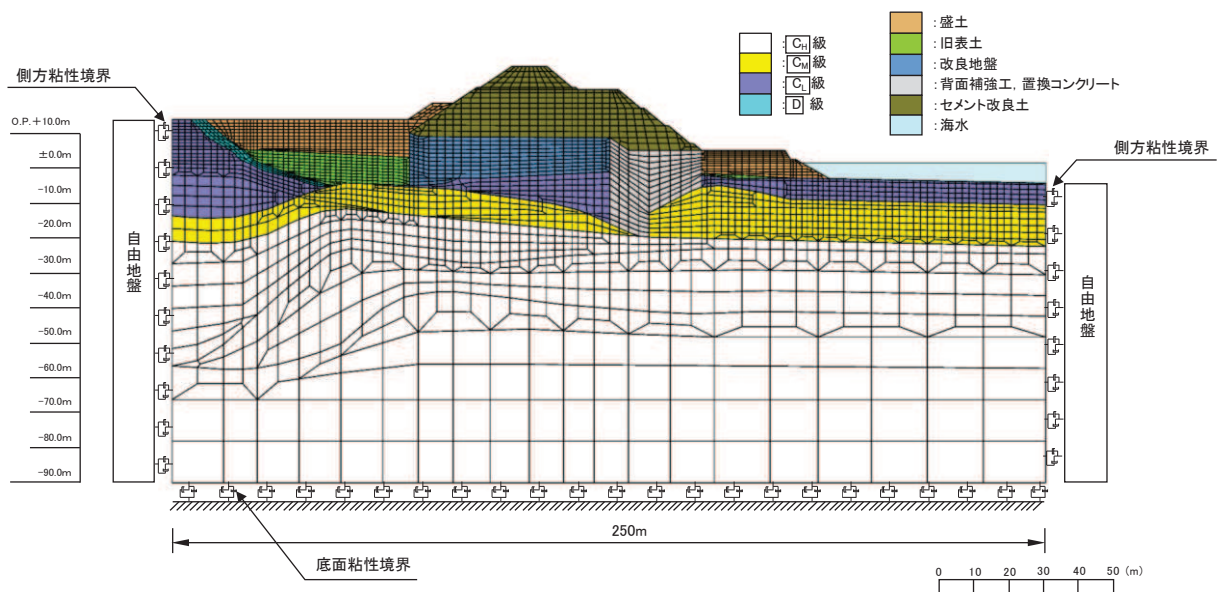


図 5.2-1 防潮堤（盛土堤防）の断面①の地震応答解析モデル

影響検討を行う解析ケースについては、表 5.5-1 に示す解析ケース①（基本ケース）に対して、液状化パラメータを非考慮とし、非液状化の条件を仮定した検討を実施する。

表 5.2-1 解析ケース

液状化強度特性	解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
			旧表土, 盛土, D級岩盤 セメント改良土, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	C ₁ 級岩盤, C ₂ 級岩盤 C ₃ 級岩盤, B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
液状化強度特性 下限値	ケース①* ¹ (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
	ケース②* ¹	設計基準強度	平均値 + 1 σ	平均値
	ケース③* ¹	設計基準強度	平均値 - 1 σ	平均値
液状化パラメータ非考慮	ケース①* ²	設計基準強度	平均値	平均値

注記* 1 : 「4. 評価結果」にて評価済

注記* 2 : 今回検討

(3) 評価結果

非液状化の条件を仮定した検討の評価結果を表 5.2-2～表 5.2-5 及び図 5.2-2～図 5.2-4 に示す。

本検討の結果、液状化の影響を考慮した検討の方が厳しい又はおおむね同等な結果となることから、液状化しない場合の影響が小さいことを確認した。

表 5.2-2 セメント改良土のすべり安全率

液状化強度特性	地震動		解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
下限値	S _s -N 1	(++)	①*	7.55	3.1
	S _s -N 1	(++)	②*	7.55	3.2
	S _s -N 1	(++)	③*	7.55	3.0
非考慮	S _s -N 1	(++)	①	7.52	3.3

注記* : 「4. 評価結果」の値を再掲。

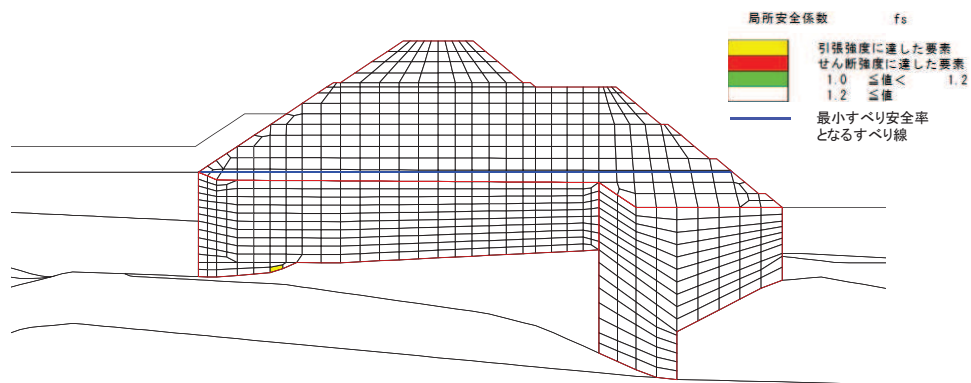


図 5.2-2 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面①, S s - N 1 (++) , t=7.52)

表 5.2-3 置換コンクリートのすべり安全率

液状化 強度特性	地震動		解析 ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安 全率
下限値	S s - N 1	(++)	①*	7.52	6.4
	S s - N 1	(++)	②*	7.52	6.3
	S s - N 1	(++)	③*	7.52	6.6
非考慮	S s - N 1	(++)	①	7.52	6.6

注記* : 「4. 評価結果」の値を再掲。

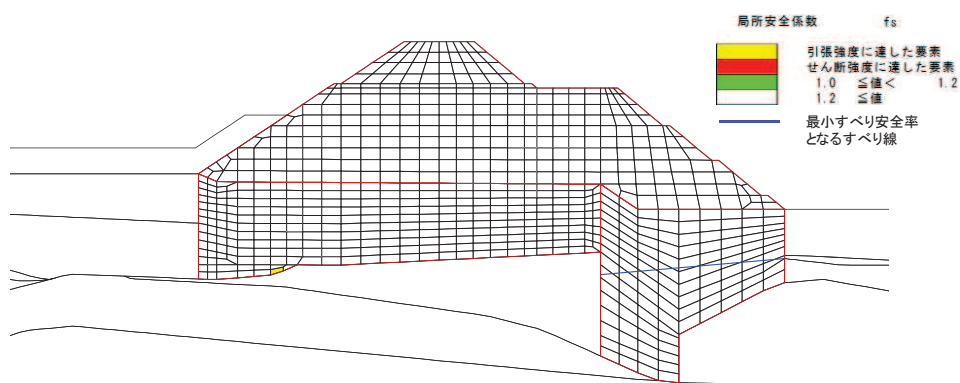


図 5.2-3 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面①, S s - N 1 (++) , t=7.52)

表 5.2-4 改良地盤のすべり安全率

液状化 強度特性	地震動		解析 ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安 全率
	S _s -N1	(++)			
下限値	S _s -N1	(++)	①*	7.54	3.5
	S _s -N1	(++)	②*	7.54	3.5
	S _s -N1	(++)	③*	7.55	3.5
非考慮	S _s -N1	(++)	①	7.54	3.7

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

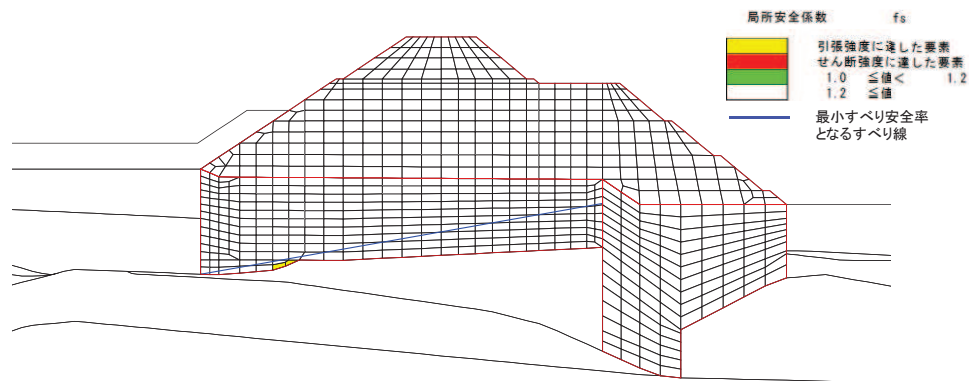


図 5.2-4 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面①, S_s-N1 (++) , t=7.54)

表 5.2-5(1) 基礎地盤の支持性能に対する最大照査値 (セメント改良土)

液状化 強度特性	地震動		解析 ケース	最大接地圧 R _a (N/mm ²)	極限支持力 R _{u a} (N/mm ²)	照査値 R _a /R _{u a}
	S _s -N1	(++)				
下限値	S _s -N1	(++)	①*	0.9	4.4	0.21
	S _s -N1	(++)	②*	0.8	4.4	0.19
	S _s -N1	(++)	③*	0.9	4.4	0.21
非考慮	S _s -N1	(++)	①	0.8	4.4	0.19

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

表 5.2-5(2) 基礎地盤の支持性能に対する最大照査値 (置換コンクリート)

液状化 強度特性	地震動		解析 ケース	最大接地圧 R _a (N/mm ²)	極限支持力 R _{u a} (N/mm ²)	照査値 R _a /R _{u a}
	S _s -N1	(++)				
下限値	S _s -N1	(++)	①*	2.2	11.4	0.20
	S _s -N1	(++)	②*	2.2	11.4	0.20
	S _s -N1	(++)	③*	2.3	11.4	0.21
非考慮	S _s -N1	(++)	①	2.2	11.4	0.20

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

- 6. 浸水防護施設に関する補足説明
- 6.1 防潮堤の設計に関する補足説明
- 6.1.4 防潮堤（盛土堤防）の強度計算書に関する補足説明

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	4
2.4 適用基準	12
3. 強度評価方法	14
3.1 記号の定義	14
3.2 評価対象断面及び部位	15
3.3 荷重及び荷重の組合せ	19
3.4 許容限界	24
3.5 評価方法	26
3.6 評価条件	52
4. 評価結果	53
4.1 津波時	53
4.2 重畳時	58
5. 防潮堤（盛土堤防）の強度評価に関する影響検討	73
5.1 基準地震動 S_s 後の剛性低下の影響について	73

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、防潮堤（盛土堤防）が地震後の繰返しの来襲を想定した津波荷重、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、施設・地盤の構造健全性を保持すること、十分な支持性能を有する地盤に設置していること及び有意な漏えいを生じさせないことを確認するものである。

なお、本資料においては各照査値が最も厳しいケースだけでなく、検討した全ケースの結果を示している。

また、防潮堤（盛土堤防）の強度評価においては、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約 1 m の地盤沈下が発生したことを考慮し、地盤沈下量を考慮した敷地高さや施設高さ等を記載する。

2. 基本方針

2.1 位置

防潮堤（盛土堤防）の範囲を図 2.1-1 に示す。

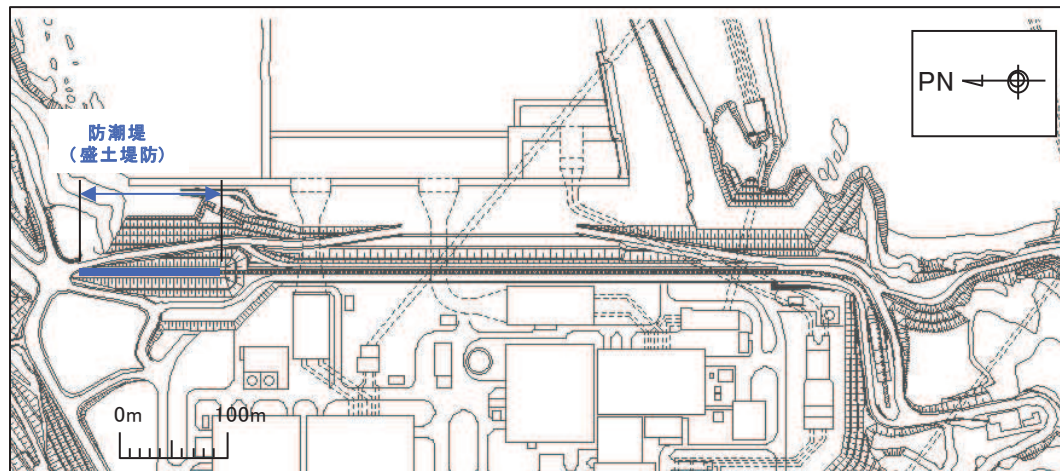


図 2.1-1 防潮堤（盛土堤防）の範囲

2.2 構造概要

防潮堤（鋼管式鉛直壁）は，入力津波による浸水高さ（防潮堤前面：O.P.+24.4m）に対して余裕を考慮した天端高さ（O.P.+29.0m）とする。

防潮堤（盛土堤防）は，改良地盤に設置されたセメント改良土による堤体と，基礎地盤のすべり安定性を確保する観点から設置する置換コンクリートで構成される。

防潮堤（盛土堤防）の構造図を図 2.2-1 に示す。

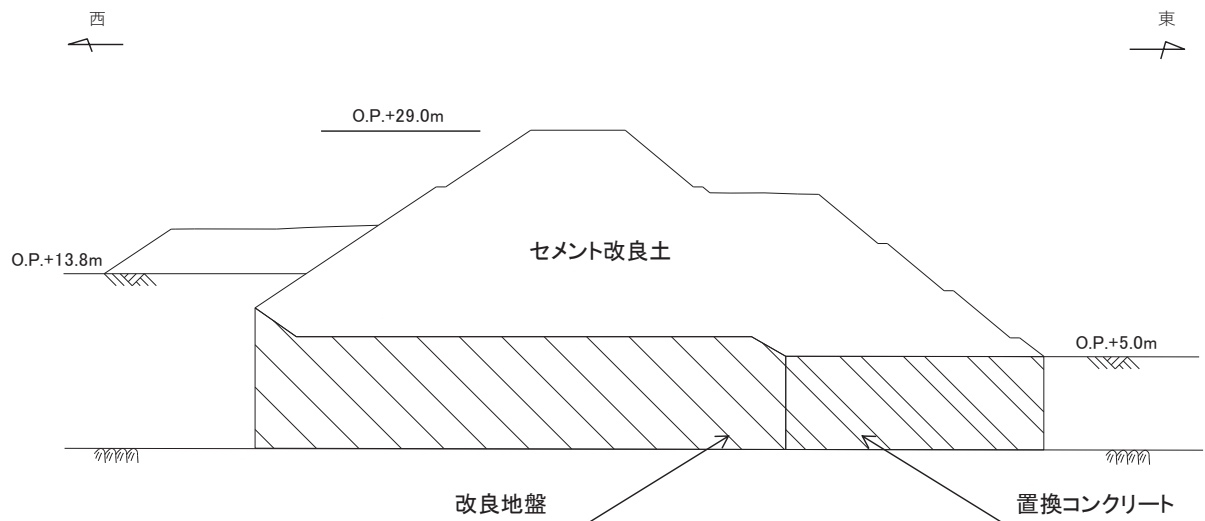


図 2.2-1 防潮堤（盛土堤防）の構造図

2.3 評価方針

2.3.1 各部位の性能目標

防潮堤（盛土堤防）は、Sクラス施設である津波防護施設に分類される。

新規制基準への適合性において、防潮堤直下の盛土・旧表土は沈下対策として地盤改良を行うことを踏まえ、盛土堤防における設置許可基準規則の各条文に対する検討要旨を表2.3-1に示す。

表 2.3-1 盛土堤防における検討要旨

規 則	検 討 要 旨
第3条 (設計基準対象施設の地盤)	<ul style="list-style-type: none"> 施設（セメント改良土及び置換コンクリート）を支持する地盤を対象とし、地盤内にすべり線を想定し、安定性を確認する。
第4条 (地震による損傷の防止)	<ul style="list-style-type: none"> 施設と地盤との動的相互作用や液状化検討対象層の地震時の挙動を考慮した上で、施設の耐震安全性を確認する。
第5条 (津波による損傷の防止)	<ul style="list-style-type: none"> 地震（本震及び余震）による影響を考慮した上で、機能を保持できることを確認する。 液状化検討対象層の地震時の挙動の考慮を含む。

盛土堤防における条文に対応する施設の範囲及び各部位の役割を図2.3-1、図2.3-2及び表2.3-2に示す。セメント改良土については、堤体として本体部分と海側の道路部分を一体的に構築しており、津波荷重も全体で受けることから、海側の道路部分も含めたセメント改良土全体を施設として評価する。

なお、セメント改良土の陸側の道路部分は、盛土堤防とは構造的に一体化していない。荷重に対する抵抗力等の具体的な役割は期待していないが、適切にモデル化して施設への影響を評価する。

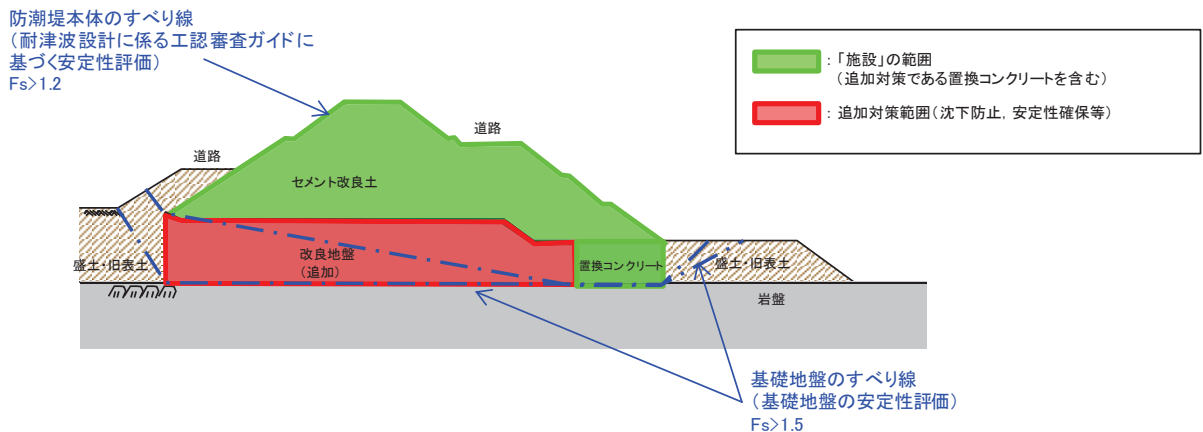


図 2.3-1 盛土堤防の「施設」の範囲

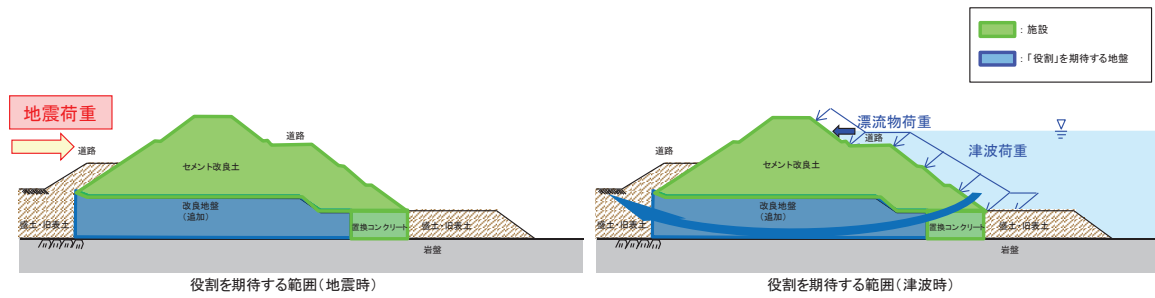


図 2.3-2 盛土堤防の役割を期待する範囲

表 2.3-2 盛土堤防の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割*	津波時の役割*
施設	セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 入力津波に対して十分な裕度を確保した堤体高さを維持する。 	<ul style="list-style-type: none"> 入力津波に対して十分な裕度を確保した堤体高さを維持する。 難透水性を有し、堤体により止水性を維持する。
	置換コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート強度を考慮して基礎地盤のすべり安定性を確保する。 	<ul style="list-style-type: none"> 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する(難透水性を保持する)。
地盤	改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土を鉛直支持する(下方の岩盤に荷重を伝達する)。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土を鉛直支持する(下方の岩盤に荷重を伝達する)。 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する(難透水性を保持する)。
	岩盤	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土及び置換コンクリートを鉛直支持する。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土及び置換コンクリートを鉛直支持する。

注記 *：津波+余震時は地震時及び津波時の両方の役割を参照する。

各部位の『施設』と『地盤』を区分するに当たり、セメント改良土、置換コンクリート及び改良地盤の具体的な役割を表 2.3-3 のとおり整理した。

要求機能を満たすために設計上必要な項目(表 2.3-3 中に「◎」と記載)を持つ部位として、セメント改良土は堤体本体としての高さ維持(第4・5条)、止水性維持(第5条)の役割を主体的に果たすこと、置換コンクリートは地震時にすべり安定性確保(第3条)の役割を主体的に果たすことから、『施設』と区分する。また、支持地盤としての役割(表 2.3-3 中「○」と記載)を有する改良地盤は『地盤』と区分する。

なお、施設の役割を維持するための条件として設計に反映する項目「○」と評価した具体的な考え方を以下に示す。

- 改良地盤の役割である鉛直支持については、セメント改良土を鉛直支持するために支持力を設計に反映することから「○」とした。
- 改良地盤の役割であるすべり安定性については、基礎地盤のすべり安定性を確保するために滑動抵抗力(強度特性)を設計に反映することから「○」とした。
- 置換コンクリート及び改良地盤の役割である健全性については、堤体であるセメント改良土の堤体高さ及び難透水性を維持するために、剛性(変形特性)を設計に反映することから「○」とした。
- 置換コンクリート及び改良地盤の役割である止水性については、地盤中からの回り込

みによる浸水を防止するために透水係数を設計に反映することから「○」とした。なお、透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを浸透流解析により確認する。

表 2.3-3 盛土堤防の各部位の具体的な役割

凡 例	
◎	要求機能を主体的に満たすために設計上必要な項目 (該当する部位を施設と区分とする)
○	施設の役割を維持するための条件として設計に反映する項目
—	設計上考慮しない項目

部位	具体的な役割				『施設』と『地盤』の区分の考え方		
	地震時	津波時	※1 鉛直支持	すべり安定性 健全性 (難透水性) 止水性			
セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 強度・剛性の高いセメント改良土を大断面で設置することで、入力津波に対して十分な裕度を確保した堤体本体としての高さを維持する。 	<ul style="list-style-type: none"> 強度・剛性の高いセメント改良土を大断面で設置することで、入力津波に対して十分な裕度を確保した堤体高さを維持する。 難透水性を有し、堤体本体としての止水性を保持することで、津波時の水みちを形成しない。 	—	◎	◎	堤体本体として、高さ・止水性維持の役割を主体的に果たすことから、『施設』と区分する。	
置換コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート強度を考慮して置換範囲を設計することで、基礎地盤のすべり安定性を確保する(第3条)。 	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土の周囲で難透水性を保持することで、地盤中からの回り込みによる浸水を防止する。 	—	◎	○	◎	地震時にすべり安定性確保の役割を主体的に果たすことから、『施設』と区分する。
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土の下方の盛土・旧表土を地盤改良(沈下防止)することで、防潮堤を鉛直支持するとともに基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土の下方の盛土・旧表土を地盤改良(沈下防止)することで、防潮堤を鉛直支持する。 セメント改良土の周囲で難透水性を保持することで、地盤中からの回り込みによる浸水を防止する。 	○	○	○	◎	施設の鉛直支持、すべり安定性への寄与及び健全性が主な役割であり、施設の支持地盤に要求される役割と同様であること、難透水性の保持の役割をもつことから、『地盤』と区分する。

※1:鉛直支持については岩盤が主体的に役割を果たす。

※2:施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、置換コンクリート、改良地盤及びセメント改良土の透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを確認する。

以上を踏まえ、盛土堤防における各部位の役割に対する性能目標を表 2.3-4 に示す。

表 2.3-4 盛土堤防の各部位の役割に対する性能目標

部位		性能目標			
		鉛直支持	すべり安定性	健全性	止水性 (難透水性)
施設	セメント改良土	—	—	セメント改良土の健全性を保持して、入力津波に対して十分な裕度を確保した堤体高さを維持するために、堤体内部にすべり破壊が生じないこと(内的安定を保持)。	セメント改良土を横断する水みちが形成されて有意な漏洩を生じないために、堤体内部にすべり破壊が生じないこと(内的安定を保持)。
	置換コンクリート	—	基礎地盤のすべり安定性を確保するため、コンクリートの強度を維持し、すべり抵抗を保持すること。	コンクリートの強度を維持すること及び堤体であるセメント改良土の堤体高さ及び難透水性を維持するため、置換コンクリートがすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。	地盤中からの回り込みによる浸水を防止(難透水性を保持)するため、置換コンクリートがすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。
地盤	改良地盤	セメント改良土を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	基礎地盤のすべり安定性を確保するため、置換コンクリートのすべり抵抗も考慮した上で、十分なすべり安定性を保持すること。	堤体であるセメント改良土の堤体高さ及び難透水性を維持するため、改良地盤にすべり破壊が生じないこと(内的安定を保持)。	地盤中からの回り込みによる浸水を防止(難透水性を保持)するため、改良地盤がすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。
	岩盤	セメント改良土及び置換コンクリートを鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。		—	—

2.3.2 評価方針

防潮堤（盛土堤防）の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2 許容限界」において設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて実施する。強度評価では、「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、「4. 評価結果」より、防潮堤（盛土堤防）の評価対象部位のすべり安全率が許容限界を満足することを確認する。

防潮堤（盛土堤防）の強度評価においては、その構造を踏まえ、津波及び余震荷重の作用方向や伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重作用時（以下「重畳時」という。）について行う。

防潮堤（盛土堤防）の耐津波設計における要求機能と設計評価方針を表 2.3-5 に、評価項目を表 2.3-6 に示す。

防潮堤（盛土堤防）の強度評価は、設計基準対象施設として表 2.3-6 の防潮堤（盛土堤防）の評価項目に示すとおり、施設・地盤の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

施設・地盤の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することにより、構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

施設・地盤の健全性評価については、施設・地盤ごとに定める照査項目（すべり安全率）が許容限界を満足することを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、基礎地盤に生じる接地圧が許容限界以下であることを確認する。

防潮堤（盛土堤防）の強度評価の検討フローを図 2.3-3 に示す。

なお、重畳時の評価における入力地震動は、解放基盤表面で定義される弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ を 1 次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。

表 2.3-5 防潮堤（盛土堤防）の耐津波設計における要求機能と設計評価方針

資料	その他発電用原子炉の付属設備（浸水防護施設）	資料VI-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設的设计方針				資料VI-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針				
	基本設計方針	要求機能	機能設計			構造強度設計				設計に用いる許容限界
			性能目標	機能設計方針	性能目標	構造強度設計（評価方針）	評価対象部位	機能損傷モード		
施設名								応力等の状態	限界状態	
防潮堤（盛土堤防）	<p>【1.4.1設計方針】津波防護施設については、「1.2 入力津波の設定」で設定している繰返しの襲来を想定した入力津波に対して、津波防護対象設備の要求される機能を損なうおそれがないよう以下の機能を満足する設計とする。</p> <p>【1.4.1(1)津波防護施設】津波防護施設は、津波の流入による浸水及び漏水を防止する設計とする。</p> <p>【1.4.1(1)津波防護施設】津波防護施設のうち防潮堤については、入力津波高さを上回る高さで設置し、止水性を保持する設計とする。</p> <p>【1.4.2 荷重の組合せ及び許容限界】津波防護施設的设计に当たっては、津波による荷重及び津波以外の荷重を適切に設定し、それらの組合せを考慮する。また、想定される荷重に対する部材の健全性及び構造安定性について適切な許容限界を設定する。</p>	津波防護施設は、繰返しの襲来を想定した入力津波に対し、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、津波防護対象設備が、要求される機能を損なうおそれがないよう、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。	防潮堤（盛土堤防）は、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水に対し、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、想定される津波高さに余裕を考慮した高さまでの施工により止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。	防潮堤（盛土堤防）は、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、漂流物の衝突、風及び積雪による荷重に対し、 ①入力津波による浸水高さ（防潮堤前面：0.P.+24.4m）に対して余裕を考慮した天端高さ0.P.+29.0mとし、防潮堤（鋼管式鉛直壁）と合わせて敷地を取り囲むように設置する設計とする。 ②防潮堤（盛土堤防）は、セメント改良土及び置換コンクリートで構成され、十分な支持性能を有する岩盤及び改良地盤に支持する設計とする。 ③防潮堤（盛土堤防）は、十分に透水係数の低いセメント改良土、置換コンクリート及び改良地盤による止水性（不透水性）を保持し、津波の波力による侵食や洗掘、地盤中からの回り込みによる浸水を防止する設計とする。	地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、漂流物の衝突、風及び積雪による荷重に対し、岩盤又は改良地盤に支持されるセメント改良土による盛土構造とし、すべり安定性を確保するために、改良地盤の海側に置換コンクリートを設置する。地震後、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とともに、十分に低い透水性の材料とすることにより、有意な漏えいを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。	<p>地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、盛土堤防を支持する岩盤及び改良地盤に作用する接地圧が極限支持力以下であることを確認する。</p> <p>地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、セメント改良土の健全性、堤体高さ及び止水性（不透水性）を保持する設計とするために、セメント改良土がすべり破壊しないこと（内的安定保持）を確認する。</p> <p>地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、置換コンクリートの健全性及び止水性（不透水性）を保持する設計とするために、置換コンクリートが、すべり破壊しないこと（内的安定保持）を確認する。</p> <p>地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、改良地盤の健全性及び止水性（不透水性）を保持する設計とするために、改良地盤が、すべり破壊しないこと（内的安定保持）を確認する。</p>	基礎地盤（岩盤、改良地盤）	支持力	支持機能を喪失する状態	【極限支持力とする。】
						<p>地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、セメント改良土の健全性、堤体高さ及び止水性（不透水性）を保持する設計とするために、セメント改良土がすべり破壊しないこと（内的安定保持）を確認する。</p>	セメント改良土	すべり安全率	健全性及び止水性を喪失する状態	【「耐津波設計に係る工認審査ガイド」に基づき、すべり安全率1.2以上とする。】
						<p>地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、置換コンクリートの健全性及び止水性（不透水性）を保持する設計とするために、置換コンクリートが、すべり破壊しないこと（内的安定保持）を確認する。</p>	置換コンクリート	すべり安全率	健全性及び止水性を喪失する状態	【「耐津波設計に係る工認審査ガイド」に基づき、すべり安全率1.2以上とする。】
						<p>地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、改良地盤の健全性及び止水性（不透水性）を保持する設計とするために、改良地盤が、すべり破壊しないこと（内的安定保持）を確認する。</p>	改良地盤	すべり安全率	健全性及び止水性を喪失する状態	【「耐津波設計に係る工認審査ガイド」に基づき、すべり安全率1.2以上とする。】

赤字：荷重条件 緑字：要求機能 青字：対応方針

表 2.3-6 防潮堤（盛土堤防）の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	施設・地盤の健全性	セメント改良土	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2 以上
		置換コンクリート	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2 以上
		改良地盤	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2 以上
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力(接地圧)が許容限界以下であることを確認	極限支持力*
止水性を損なわないこと	施設・地盤の健全性	セメント改良土	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2 以上
		置換コンクリート	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2 以上
		改良地盤	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2 以上
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力(接地圧)が許容限界以下であることを確認	極限支持力*

注記 * : 妥当な安全余裕を考慮する。

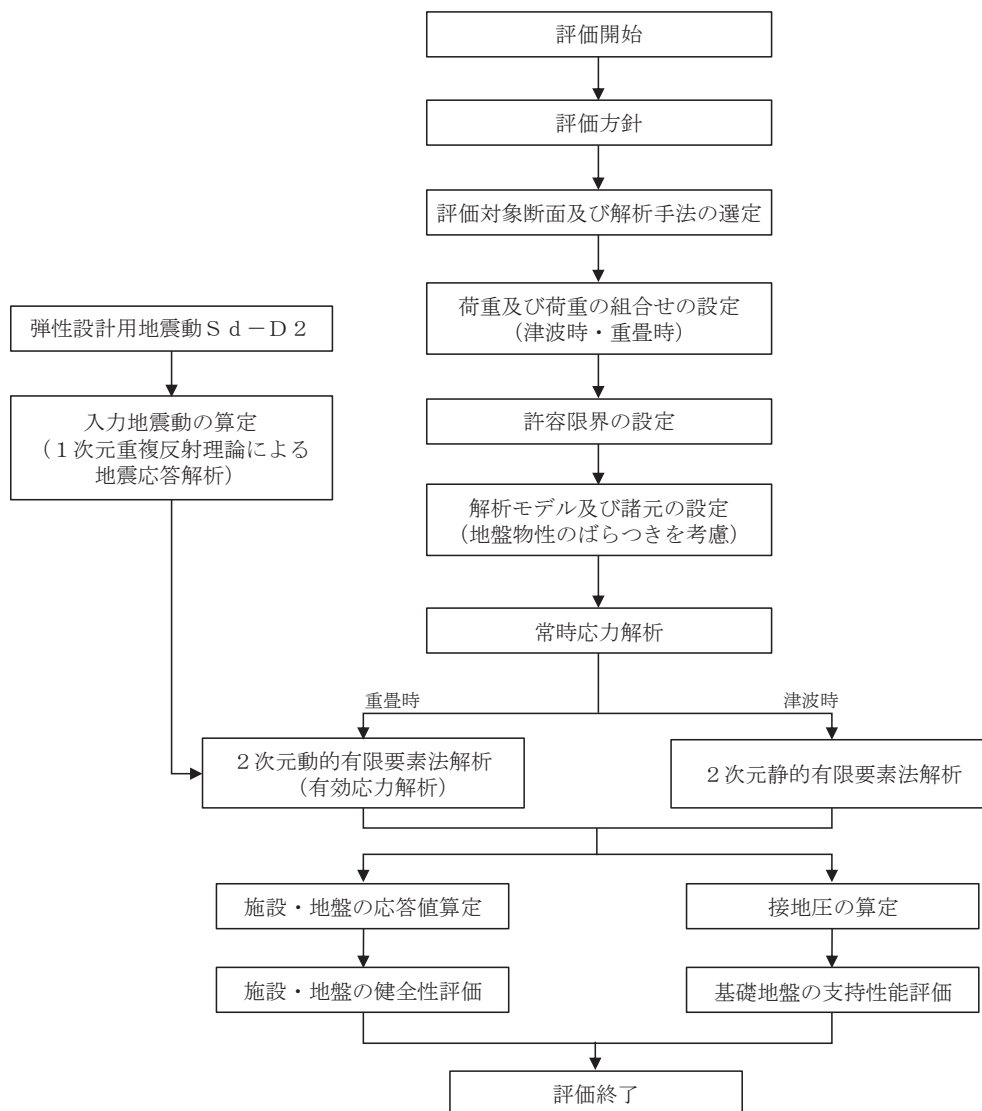


図 2.3-3 防潮堤（盛土堤防）の強度評価の検討フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- 土木学会 2002年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]
- 耐津波設計に係る工認審査ガイド (平成25年6月19日原管地発第1306196号) (以下「耐津波設計に係る工認審査ガイド」という。)
- 日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV下部構造編
- 土木学会 2013年 コンクリート標準示方書 ダムコンクリート編
- 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1-1987)
- 土木学会 2005年 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル
- Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition, FEMA P646, Federal Emergency Management Agency, 2012

表 2.4-1 適用する規格, 基準類

項目		適用する規格, 基準類	備考
使用材料及び材料定数		<ul style="list-style-type: none"> 土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] 	
荷重		<ul style="list-style-type: none"> Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition, FEMA P646, Federal Emergency Management Agency, 2012 	<ul style="list-style-type: none"> 衝突荷重の設定
荷重及び荷重の組合せ		<ul style="list-style-type: none"> 土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] 日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編 	<ul style="list-style-type: none"> 永久荷重+偶発荷重+従たる変動荷重の適切な組み合わせを検討
許容限界	置換コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> 土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] 土木学会 2013 年 コンクリート標準示方書 ダムコンクリート編 耐津波設計に係る工認審査ガイド 	<ul style="list-style-type: none"> すべり安全率が 1.2 以上であることを確認
	改良地盤及びセメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 耐津波設計に係る工認審査ガイド 	
地震応答解析		<ul style="list-style-type: none"> 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987) 	<ul style="list-style-type: none"> 有限要素法による 2 次元モデルを用いた時刻歴非線形解析

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を表 3.1-1 に示す。

表 3.1-1 強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
G	kN	固定荷重
P	kN/m ²	積載荷重
P _s	kN/m ²	積雪荷重
P _k	kN/m ²	風荷重
P _t	kN/m ²	遡上津波荷重
P _c	kN	衝突荷重
K _{Sd}	—	余震荷重
P _d	kN/m ²	動水圧
γ _w	kN/m ³	海水の単位体積重量
ρ	kg/m ³	海水の密度

3.2 評価対象断面及び部位

3.2.1 評価対象断面

防潮堤（盛土堤防）の評価対象断面は、設置変更許可段階における構造成立性評価断面として選定した断面を基本とした上で、「補足-140-1 津波への配慮に関する説明書の補足説明資料」の「5.10 津波防護施設の設計における評価対象断面の選定について」で記載したとおり、耐津波評価においては、構造的特徴、周辺地盤状況、地下水位及び入力津波が耐津波評価結果に及ぼす影響の観点から、耐津波評価上厳しいと考えられる断面を評価対象断面として選定する。

防潮堤（盛土堤防）の評価対象断面は、斜面形状であり傾斜方向への変形が支配的である横断方向を評価対象とする。防潮堤（盛土堤防）の総延長は約 120m であり、横断方向の断面では大きな構造的特徴はなく、防潮堤（盛土堤防）を I 区間として評価対象断面を選定する。

評価対象断面選定結果を表 3.2-1 に、評価対象断面位置を図 3.2-1 に、評価対象断面を図 3.2-2～図 3.2-3 に示す。

評価対象断面選定の詳細については、「5.10 津波防護施設の設計における評価対象断面の選定について 5.10.3 防潮堤（盛土堤防）」に示す。

表 3.2-1 評価対象断面選定結果

評価対象断面		①岩盤上面の深さ (セメント改良土の 厚さ)	②C ₄ 級岩盤上面 深さ	③盛土+旧表土 厚さ	④旧表土厚さ
I 区 間	断面①*	○：岩盤上面が最も 深い	○：C ₄ 級岩盤上面が 最も深い	○：盛土+旧表土が 最も厚い	○：旧表土が最も厚 い

注記 *：設置変更許可段階における基礎地盤の安定性評価及び構造成立性評価で示した断面

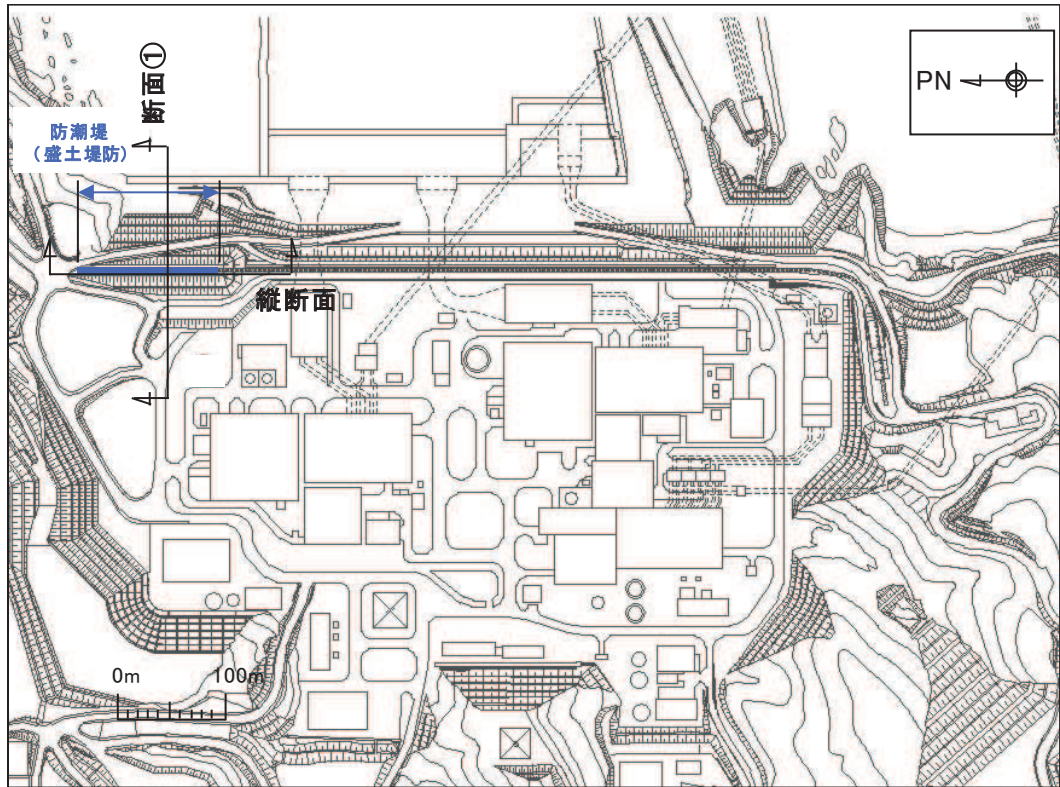


図 3.2-1 防潮堤（盛土堤防）の評価対象断面位置図

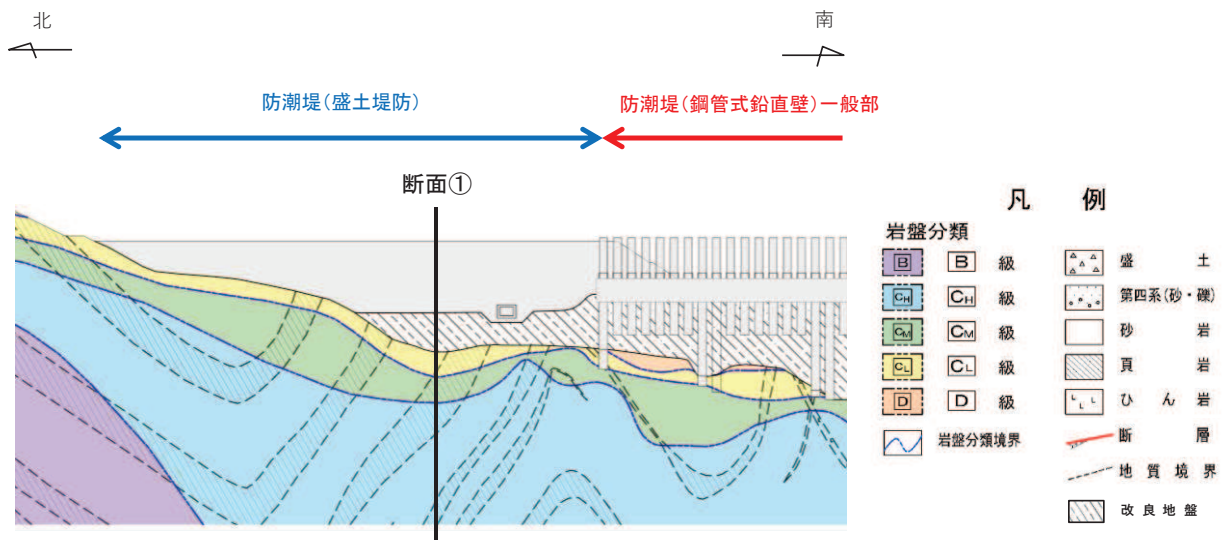


図 3.2-2 防潮堤（盛土堤防）の縦断図

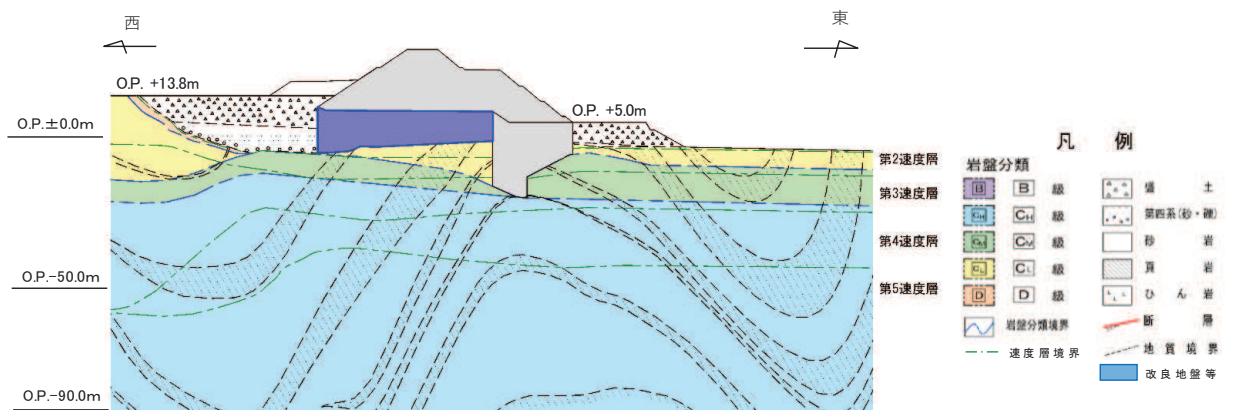


図 3.2-3 評価対象断面（断面①）

3.2.2 評価対象部位

評価対象部位は、防潮堤（盛土堤防）の構造的特徴や周辺状況の特徴を踏まえて設定する。

(1) 施設・地盤の健全性評価

施設・地盤の健全性に係る評価対象部位は、セメント改良土、置換コンクリート及び改良地盤とする。

(2) 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能に係る評価対象部位は、表 3.2-2 のとおりセメント改良土及び置換コンクリートを支持する基礎地盤とする。

表 3.2-2 各施設を支持する基礎地盤

評価断面	施設	基礎地盤
断面①	セメント改良土	改良地盤
	置換コンクリート	牧の浜部層*

* : C_M級岩盤以上の岩盤が対象

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

3.3.1 荷重

強度評価には、以下の荷重を用いる。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、積雪荷重を含めて地表面に 4.9kN/m² を考慮する。

(3) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第 86 条第 2 項により、積雪量 1cm ごとに 20N/m² の積雪荷重が作用することを考慮する。

(4) 風荷重 (P_k)

風荷重については、敷地側から海側に作用する場合は遡上津波荷重を打ち消す側に荷重が作用するため、海側から敷地側の方向で津波水位から防潮堤天端までに作用することを考慮する。

(5) 遡上津波荷重 (P_t)

遡上津波荷重については、風荷重を含めた荷重とするため、防潮堤前面における入力津波水位 0.P. +24.4m に余裕を考慮した津波水位 0.P. +25.0m を用いることとし、その標高と防潮堤前面の地盤標高の差分の 1/2 倍を設計用浸水深とし、朝倉式に基づき、その 3 倍を考慮して算定する。

遡上津波波圧を表 3.3-1 に示す。

表 3.3-1 遡上津波波圧

防潮堤 天端高 (O.P. (m))	入力津波水位に余 裕を考慮した標高 (O.P. (m))	防潮堤前面の 地盤高 (O.P. (m))	設計用 浸水深 (m)	防潮堤 天端波圧 (kN/m ²)	防潮堤前面の 地盤高での波圧 (kN/m ²)
29.0	25.0	3.0	12.25*	83.4	346.0

注記 * : 設計用浸水深は 11.0(m) であるが、保守的に防潮堤 (鋼管式鉛直壁) のうち一般部の設計

用浸水深 12.25(m) (防潮堤前面地盤高 : 0.P. +0.5m) を採用し, 遡上津波荷重を設定。

(6) 衝突荷重 (P_c)

衝突荷重については, 2.15 t の車両を対象に「FEMA (2012) *」式による漂流物荷重に余裕を考慮して設定する。

衝突荷重を表 3.3-2 に示す。

注記 * : FEMA (2012) : Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition, FEMA P-646, Federal Emergency Management Agency, 2012

表 3.3-2 衝突荷重

流速 (m/s)	衝突荷重 (kN)
13	2000

(7) 余震荷重 (K_{sd})

余震荷重として, 弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による地震力及び動水圧を考慮する。

3.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3.3-3～表 3.3-5 に示す。強度評価に用いる荷重の組合せは津波時及び重畳時に区分し、荷重の作用図を図 3.3-1 及び図 3.3-2 に示す。

表 3.3-3 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
津波時	$G + P + P_t + P_c$
重畳時	$G + P + P_t + K_{sd}$

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重 P_s を含めて 4.9kN/m^2)

P_t : 遡上津波荷重 (風荷重 P_k を含む)

P_c : 衝突荷重

K_{sd} : 余震荷重

表 3.3-4 荷重の組合せ（津波時）

種別		荷重		算出方法
永久 荷重	常時 考慮 荷重	躯体重量	○	設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管荷重	○	津波監視カメラの重量（2.97kN/m ² ）を考慮する。
		土被り荷重	—	土被りはないため考慮しない。
		積載荷重	○	積雪荷重及び機器・配管荷重を含めて 4.9kN/m ² を考慮する。
	静止土圧		○	常時応力解析により設定する。
	外水圧		—	外水圧は考慮しない。
	内水圧		—	内水はないため考慮しない。
	積雪荷重		○	積雪荷重（0.301kN/m ² ）を考慮する。
風荷重		○	海側から敷地側の方向で津波水位から防潮堤天端までに作用することを考慮する。	
偶発荷重		津波波圧	○	津波による波圧に風荷重を含めて考慮する。
		衝突荷重	○	2.15t の車両の漂流物衝突を考慮する。
		余震荷重	—	余震荷重は考慮しない。
		動水圧	—	動水圧は考慮しない。

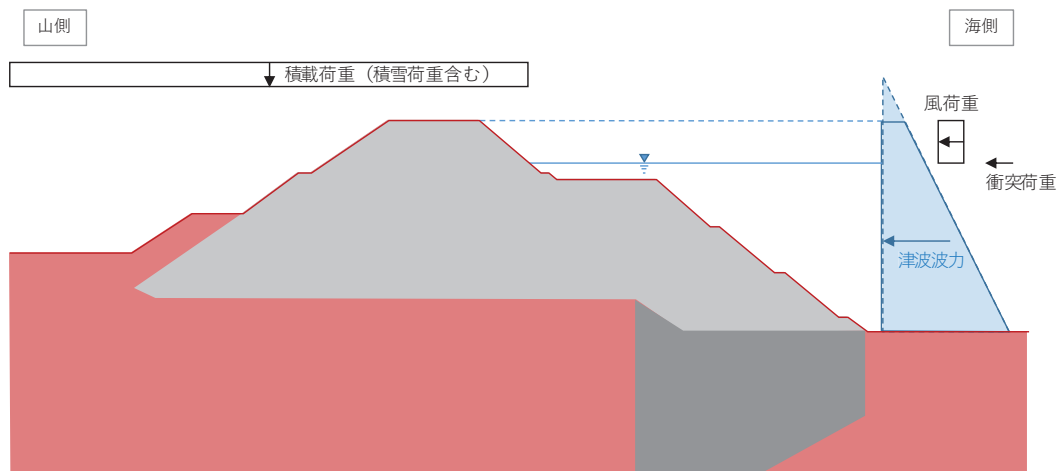


図 3.3-1 荷重作用図（津波時）

表 3.3-5 荷重の組合せ（重畳時）

種別		荷重		算出方法
永久 荷重	常時 考慮 荷重	躯体重量	○	設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管荷重	○	津波監視カメラの重量 (2.97kN/m ²) を考慮する。
		土被り荷重	—	土被りはないため考慮しない。
		積載荷重	○	積雪荷重及び機器・配管荷重を含めて 4.9kN/m ² を考慮する。
	静止土圧		○	常時応力解析により設定する。
	外水圧		—	外水圧は考慮しない。
	内水圧		—	内水はないため考慮しない。
	積雪荷重		○	積雪荷重 (0.301kN/m ²) を考慮する。
	風荷重		○	海側から敷地側の方向で津波水位から防潮堤天端までに作用することを考慮する。
偶発荷重		津波波圧	○	津波による波圧に風荷重を含めて考慮する。
		衝突荷重	—	漂流物の衝突は考慮しない。
		余震荷重	○	弾性設計用地震動 S d - D 2 による水平及び鉛直同時加振を考慮する。
		動水圧	○	動水圧を考慮する。

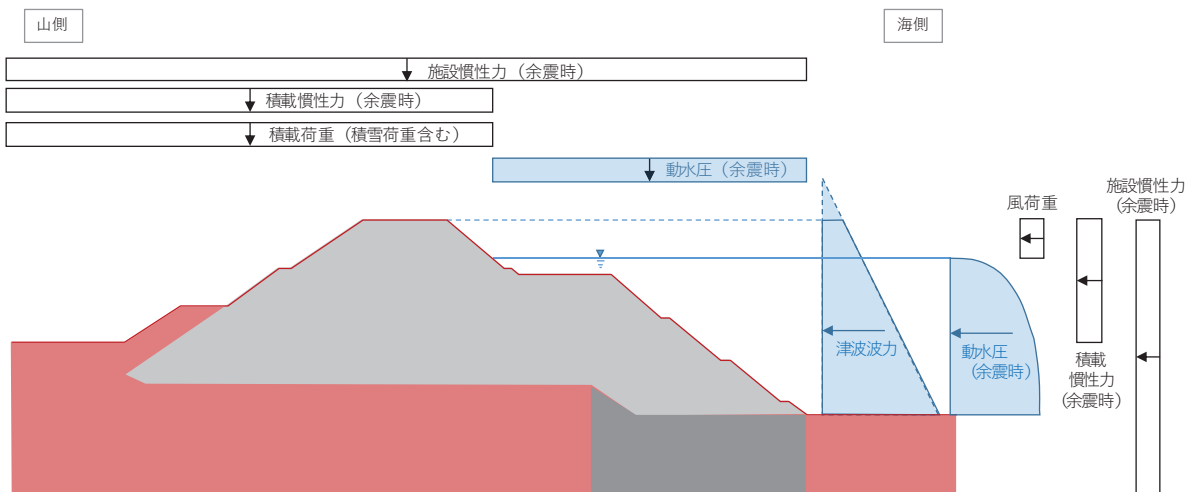


図 3.3-2 荷重作用図（重畳時）

3.4 許容限界

許容限界は、「3.2 評価対象断面及び部位」にて設定した評価対象部位の応力や変形の状態を考慮し、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

3.4.1 セメント改良土

セメント改良土の許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」に基づき、表 3.4-1 に示すすべり安全率とする。

表 3.4-1 セメント改良土の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

3.4.2 置換コンクリート

置換コンクリートの許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用し、表 3.4-2 に示すすべり安全率とする。

表 3.4-2 置換コンクリートの許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

3.4.3 改良地盤

改良地盤の許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用し、表 3.4-3 に示すすべり安全率とする。

表 3.4-3 改良地盤の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

3.4.4 基礎地盤

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、支持力試験により設定する。基礎地盤の許容限界を表 3.4-4 に示す。

表 3.4-4 基礎地盤の支持力に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力	牧の浜部層	11.4*
	改良地盤	4.4

注記 * : C_M級岩盤以上の岩盤が対象

3.5 評価方法

防潮堤（盛土堤防）の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に基づき設定する。

3.5.1 津波時

(1) 解析方法

津波時に発生する応答値は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づく荷重を作用させて2次元静的有限要素法解析により算定する。なお、衝突荷重は入力津波水位に余裕を考慮した水位（O.P.+25.0m）に作用させる。

解析コードは、2次元静的有限要素法解析に「FLIP Ver7.3.0_2」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

a. 施設

セメント改良土は非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）、置換コンクリートは線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

b. 材料物性及び地盤物性のばらつき

図 3.2-3 に示すとおり、防潮堤（盛土堤防）の周辺には、主として旧表土、盛土、**D**級岩盤及び改良地盤が分布しており、これらの地盤の剛性が津波時に防潮堤（盛土堤防）の挙動に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

また、施設として位置付けているセメント改良土についても、他の地盤と同様にばらつきの影響を考慮する。

c. 解析ケース

津波時においては、表 3.5-1 に示すケース①～③を実施する。

表 3.5-1 解析ケース（防潮堤（盛土堤防））

解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土, 盛土, D 級岩盤, セメント改良土*, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	C_L 級岩盤, C_M 級岩盤, C_H 級岩盤, B 級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値 + 1 σ	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 σ	平均値

注記 * : 防潮堤（盛土堤防）においては施設として定義

(2) 解析モデル及び諸元

a. 解析モデル

防潮堤（盛土堤防）の解析モデルを図 3.5-1 に示す。

(a) 解析領域

解析領域は、「3.5.2 重畳時」に示す。

(b) 境界条件

境界条件は、「3.5.2 重畳時」に示す。

(c) 構造物のモデル化

セメント改良土は非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）、置換コンクリートは線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

(d) 地盤のモデル化

D級岩盤を除く岩盤は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。D級岩盤、改良地盤及び盛土・旧表土は非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）でモデル化する。

また、基準地震動 S_s による防潮堤前背面の盛土（背面の盛土斜面含む）の地盤沈下を考慮したモデル化とする。

なお、岩盤は砂岩でモデル化する。

(e) 海水のモデル化

海水は液体要素でモデル化する。なお、遡上津波荷重は別途考慮する。

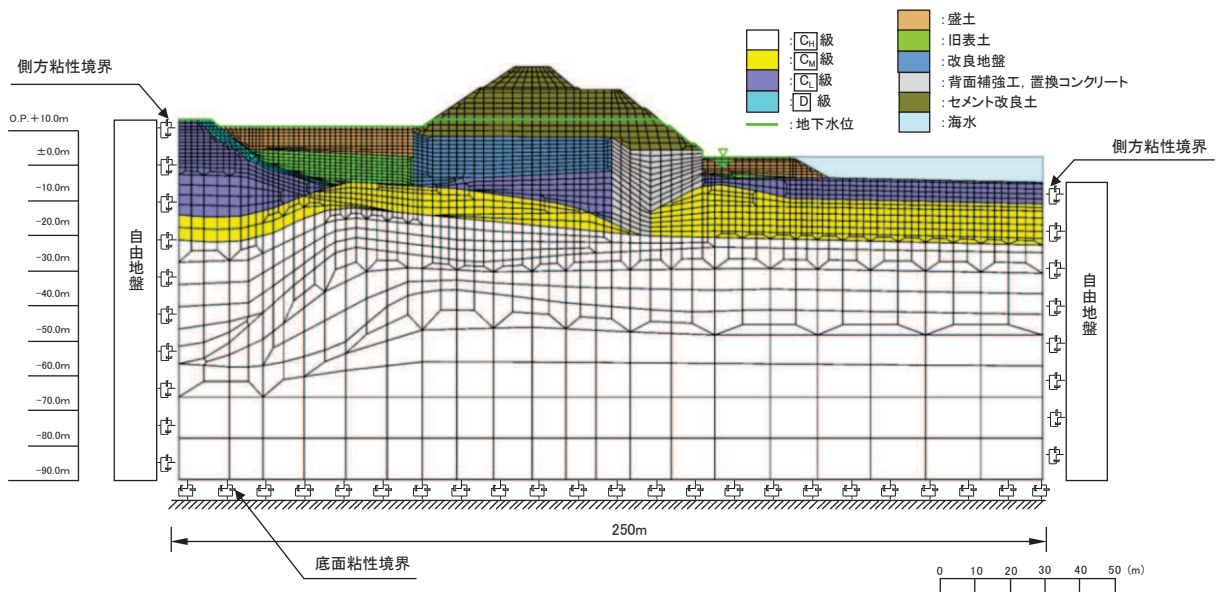


図 3.5-1 防潮堤（盛土堤防）の解析モデル（断面①）

b. 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 3.5-2 に、材料の物性値を表 3.5-3 に示す。なお、セメント改良土及び改良地盤の物性値は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

表 3.5-2 使用材料

材料	諸元
コンクリート (置換コンクリート)	設計基準強度：30 N/mm ²

表 3.5-3 材料の物性値

材料	単位 体積重量 (kN/m ³)	せん断 強度 (N/mm ²)	内部 摩擦角 (°)	引張 強度 (N/mm ²)	残留 強度 (N/mm ²)	ヤング 係数 (N/mm ²)	ポアソン 比
コンクリート (置換コンクリート)	22.5*1	6.00*2	-*3	2.22*1	-*3	2.80×10 ⁴ *1	0.2*1

注記 *1：コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年制定）

*2：コンクリート標準示方書〔ダムコンクリート編〕（土木学会，2013年制定）

*3：内部摩擦角及び残留強度は保守的に考慮しない。

c. 地盤の物性値

改良地盤を含む地盤の物性値は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。地盤の解析用物性値を表 3.5-4～表 3.5-7 に示す。

表 3.5-4(1) 地盤の解析用物性値 (牧の浜部層)

岩種・岩級		物理特性	強度特性			変形特性				
		単位体積重量 γ (kN/m ³)	静的・動的特性			静的特性		動的特性		
			せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)	静弾性係数 E_s (N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 G_d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h
[B]級	砂岩	26.4	1.29	54.0	$1.12 \sigma^{0.74}$	4,100	0.21	表 3.5-4(2) 参照	0.03	
[C _H]級		26.2	1.29	54.0	$1.12 \sigma^{0.74}$	1,900	0.19		0.03	
[C _M]級		25.5	0.78	50.0	$1.09 \sigma^{0.72}$	1,200	0.24		0.03	
[C _L]級		23.1	0.46	44.0	$0.73 \sigma^{0.76}$	250	0.26		0.03	
[D]級		20.2	0.10	24.0	$0.41 \sigma^{0.49}$	78	0.38	$G_0 = 255.4 \sigma^{0.26}$ $G_d / G_0 =$ $1 / (1 + 119 \gamma^{0.63})$	$h =$ $0.085 \gamma /$ $(0.00026 + \gamma)$ $+ 0.028$	

表 3.5-4(2) 地盤の解析用物性値 (牧の浜部層)

岩種・岩級		速度層	動的変形特性	
			動せん断弾性係数 $G_d(N/mm^2)$	動ポアソン比 ν_d
B級 及び C _H 級	砂岩	第2速度層	1.2×10^3	0.45
		第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第4速度層	11.5×10^3	0.34
		第5速度層	16.8×10^3	0.33
		第1速度層	0.2×10^3	0.48
C _M 級	砂岩	第2速度層	1.2×10^3	0.45
		第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第4速度層	11.5×10^3	0.34
		第5速度層	16.8×10^3	0.33
		第1速度層	0.2×10^3	0.48
C _L 級	砂岩	第2速度層	1.2×10^3	0.45
		第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第1速度層	0.2×10^3	0.48
D級	砂岩	第1速度層	表 3.5-4(1) 参照	0.48
		第2速度層		0.45

表 3.5-5 地盤の解析用物性値（盛土他）

岩種・岩級	物理特性	強度特性				変形特性				
	単位体積重量 γ (kN/m ³)	静的・動的特性				静的特性		動的特性		
		せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	引張強度 σ_t (N/mm ²)	残留強度 τ (N/mm ²)	静弾性係数 E_s (N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 G_d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h
盛土	20.6	0.06	30.0	—	$0.06 + \sigma \tan 30.0^\circ$	$198 \sigma^{0.60}$	0.40	$G_0 = 382 \sigma^{0.71}$ $G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00036)^{*1}$	0.48	$h = 0.183 \gamma / (\gamma + 0.000261)$
旧表土	19.0	0.08	26.2	—	$0.08 + \sigma \tan 26.2^\circ$	$302 \sigma^{0.80}$	0.40	$G_0 = 211 \sigma^{0.42}$ $G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00087)$	0.46	$\gamma < 3 \times 10^{-4}$ $h = 0.125 + 0.0201 \log \gamma$ $3 \times 10^{-4} \leq \gamma < 2 \times 10^{-2}$ $h = 0.374 + 0.0911 \log \gamma$ $2 \times 10^{-2} \leq \gamma$ $h = 0.22$
断層 及びシーム ^{*2}	18.6	0.067	22.2	—	$0.067 + \sigma \tan 22.2^\circ$	圧縮方向 $124.5 \sigma^{0.90}$ せん断方向 $44.43 \sigma^{0.90}$	0.40	$G_0 = 192.3 \sigma^{0.74}$ $G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.0012)^{*1}$	0.46	$\gamma < 1 \times 10^{-4}$ $h = 0.024$ $1 \times 10^{-4} \leq \gamma < 1.6 \times 10^{-2}$ $h = 0.024 + 0.089 (\log \gamma + 4)$ $1.6 \times 10^{-2} \leq \gamma$ $h = 0.22$
セメント改良土	21.6	0.65	44.3	0.46	$0.21 + \sigma \tan 40.9^\circ$	690	0.26	$G_0 = 1670$ $G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00085)$	0.36	$\gamma < 3.8 \times 10^{-5}$ $h = 0.014$ $3.8 \times 10^{-5} \leq \gamma$ $h = 0.151 + 0.0311 \log \gamma$
改良地盤	20.6	1.39	22.1	0.65	$0.51 + \sigma \tan 34.6^\circ$	4,480	0.19	$G_0 = 1940$ $G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00136)$	0.35	$\gamma < 1.2 \times 10^{-4}$ $h = 0.031$ $1.2 \times 10^{-4} \leq \gamma < 5.2 \times 10^{-3}$ $h = 0.227 + 0.0501 \log \gamma$ $5.2 \times 10^{-3} \leq \gamma$ $h = 0.113$

*1：残存剛性率 (G_d/G_0) が小さい領域は次式で補間

$$G_0 = E_s / 2 (1 + \nu_s), \quad G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / \gamma_m), \quad \gamma_m = \tau_f / G_0$$

*2：断層及びシームの狭在物は、「粘土状」、「砂状」、「鱗片上」等の性状が確認されているが、そのうち最も強度の小さい粘土状物質にて試験を行い解析用物性値を設定している

表 3.5-6 地盤の解析用物性値（液状化検討対象層）

		旧表土	盛土	
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.94 (1.88) *	2.10 (1.90) *	
	間隙率 n	0.437	0.363	
変形特性	動せん断 弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)	2.110×10^5	7.071×10^4	
	基準平均 有効拘束圧 σ_{ma} (kN/m ²)	1.0×10^3	1.0×10^3	
	ポアソン比 ν	0.40	0.40	
	減衰定数 の上限値 h_{mx}	0.220	0.183	
強度特性	粘着力 c (N/mm ²)	0.08 (0.00) *	0.06 (0.10) *	
	内部摩擦角 ϕ (°)	26.2 (38.7) *	30.0 (33.9) *	
液状化特性	変相角 ϕ_p (°)	28.0	28.0	
	液状化パラメータ	S_1	0.005	0.005
		w_1	1.3	14.0
		p_1	1.2	1.0
		p_2	0.8	0.6
		c_1	2.75	2.8

注記 * : 括弧内の数字は、地下水位以浅の値を表す。

表 3.5-7 地盤の解析用物性値（非液状化検討対象層）

		D 級岩盤	改良地盤	セメント改良土	
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	2.06 (1.95)*	2.10 (2.00)*	2.20	
	間隙率 n	0.349	0.00	0.00	
変形特性	動せん断 弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)	2.000×10^5	1.94×10^6 (1.84×10^6)	1.67×10^6	
	基準平均 有効拘束圧 σ'_{ma} (kN/m ²)	1.0×10^3	1.0×10^3	1.0×10^3	
	ポアソン比 ν	第1 速度層	0.48	0.35	0.36
		第2 速度層	0.44(狐崎部層) 0.45(牧の浜部層)		
減衰定数 の上限値 h_{max}		0.113	0.113	0.080	
強度特性	粘着力 c (N/mm ²)	0.10	1.39	0.65	
	内部摩擦角 ϕ (°)	24.0	22.1	44.3	

注記 * : 括弧内の数字は、地下水位以浅の値を表す。

d. 地下水位

地下水位については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従って設定した設計用地下水位を図 3.5-1 及び表 3.5-8 に示す。

表 3.5-8 設計用地下水位

施設名称	評価対象断面	設計用地下水位
防潮堤（盛土堤防）	断面①	地表面*に設定する。

注記 * : 基準地震動 S_s による地盤沈下を考慮

(3) 評価方法

防潮堤（盛土堤防）の強度評価は，津波時に発生する応力が「3.4 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

a. セメント改良土

セメント改良土の評価は，セメント改良土を通るすべり線のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。

すべり安全率の算定フローを図 3.5-2 に示す。すべり安全率は，想定したすべり線上の応力状態をもとに，すべり線上のせん断抵抗力の和をせん断力の和で除した値として求める。想定すべり線は，セメント改良土の端部を基点として±5° 間隔で設定し，最も厳しいすべり線として，最小すべり安全率のすべり線を選定する。セメント改良土の想定すべり線を図 3.5-3 に示す。

また，セメント改良土の強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値－1σ強度）についても実施する。その際の解析ケースはケース①（基本ケース）とする。

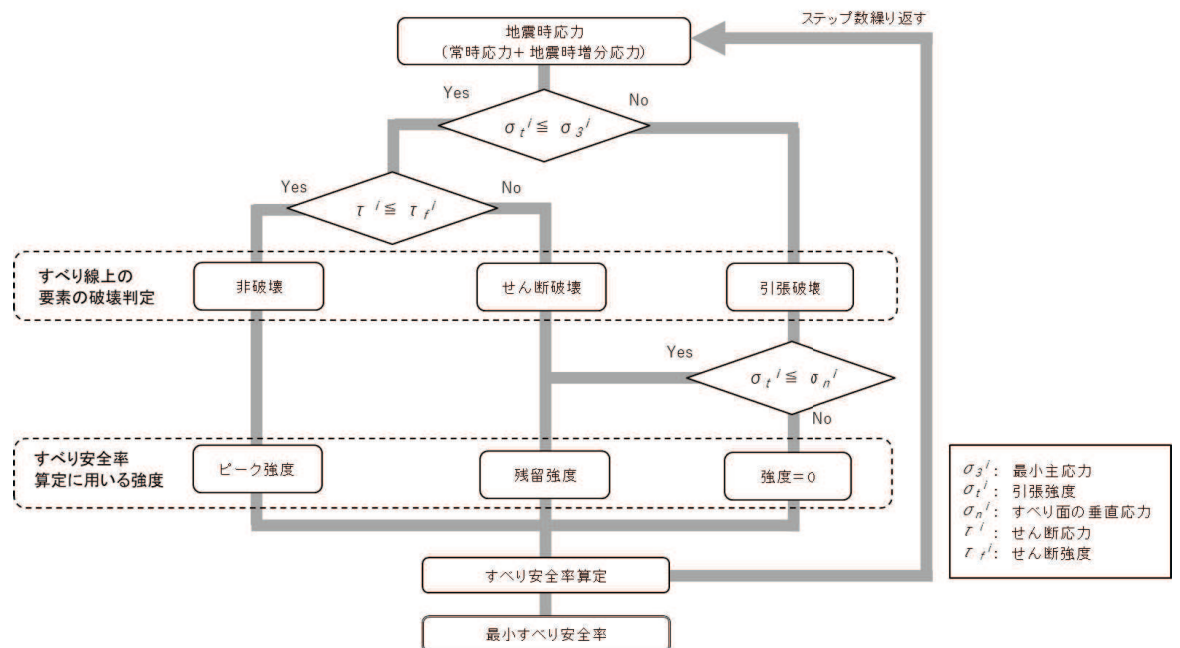


図 3.5-2 すべり安全率算定のフロー

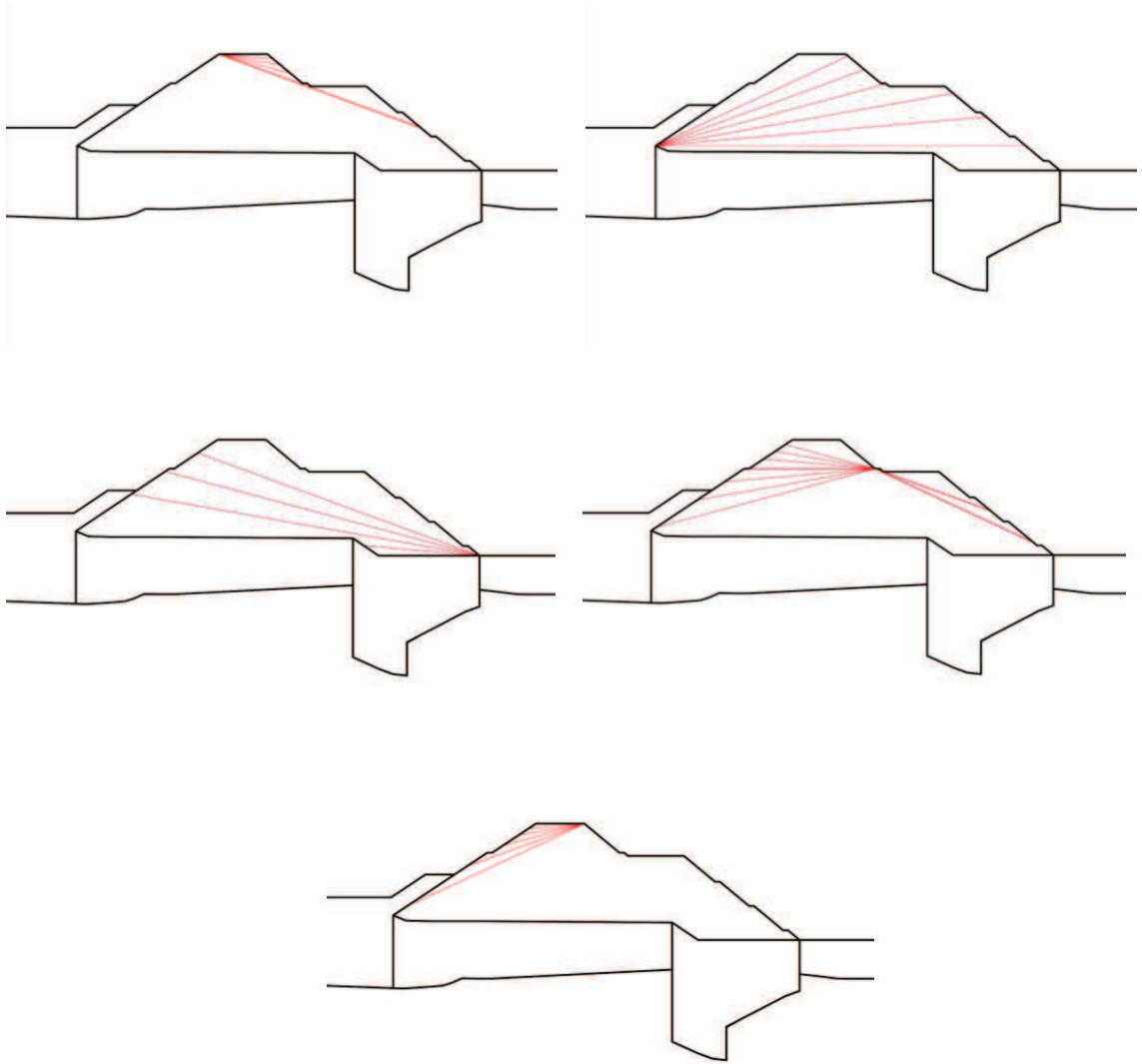


図 3.5-3 セメント改良土の想定すべり線

b. 置換コンクリート

置換コンクリートの評価は、置換コンクリートを通るすべり線のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。

すべり安全率の算定フローを図 3.5-2 に示す。すべり安全率は、想定したすべり線上の応力状態をもとに、すべり線上のせん断抵抗力の和をせん断力の和で除した値として求める。想定すべり線は、置換コンクリートの端部を基点として $\pm 5^\circ$ 間隔で設定し、最も厳しいすべり線として、最小すべり安全率のすべり線を選定する。置換コンクリートの想定すべり線を図 3.5-4 に示す。

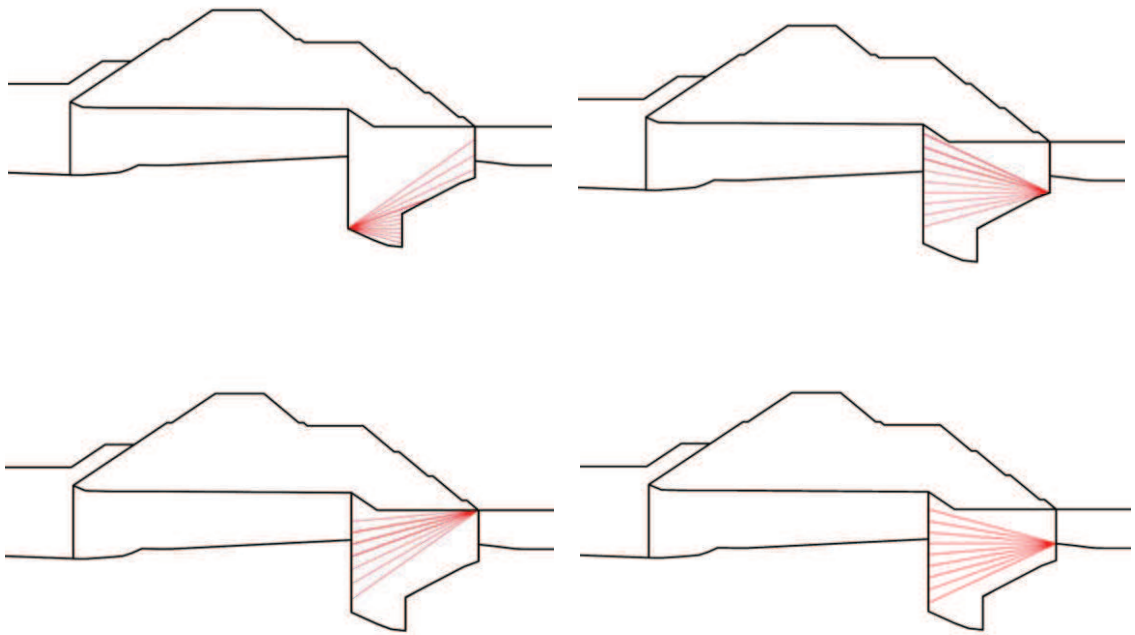


図 3.5-4 置換コンクリートの想定すべり線

c. 改良地盤

改良地盤の評価は、改良地盤を通るすべり線のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。

すべり安全率の算定フローを図 3.5-2 に示す。すべり安全率は、想定したすべり線上の応力状態をもとに、すべり線上のせん断抵抗力の和をせん断力の和で除した値として求める。想定すべり線は、改良地盤の端部を基点として $\pm 5^\circ$ 間隔で設定し、最も厳しいすべり線として、最小すべり安全率のすべり線を選定する。改良地盤の想定すべり線を図 3.5-5 に示す。

また、改良地盤の強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値 -1σ 強度）についても実施する。その際の解析ケースはケース①（基本ケース）とする。

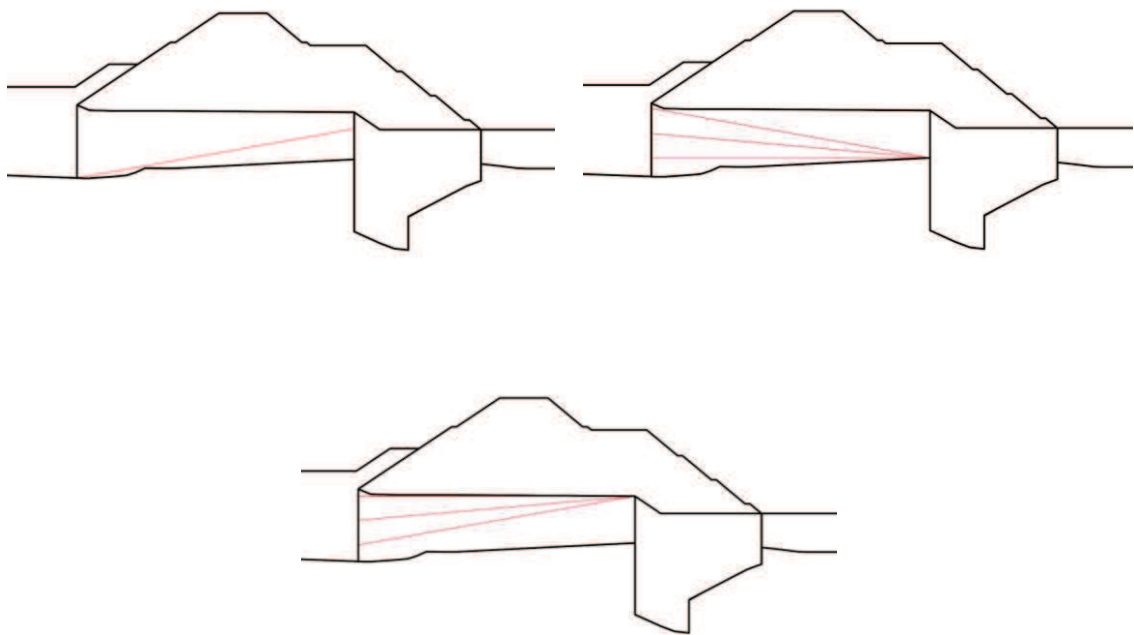


図 3.5-5 改良地盤の想定すべり線

d. 基礎地盤

津波時における基礎地盤の支持性能に係る評価は、基礎地盤に生じる接地圧が重畳時に包絡されると考えられることから実施しない。

3.5.2 重畳時

(1) 解析方法

重畳時に発生する応答値は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づく荷重を作用させて2次元動的有限要素法解析により算定する。

2次元動的有限要素法解析については、余震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮できる有効応力解析とする。

解析コードは、2次元動的有限要素法解析に「FLIP Ver7.3.0_2」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

a. 地震応答解析手法

防潮堤（盛土堤防）の地震応答解析は、地盤と構造物の動的相互作用を考慮できる連成系の地震応答解析を用いて、基準地震動に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。

地震応答解析手法の選定フローを図 3.5-6 に示す。

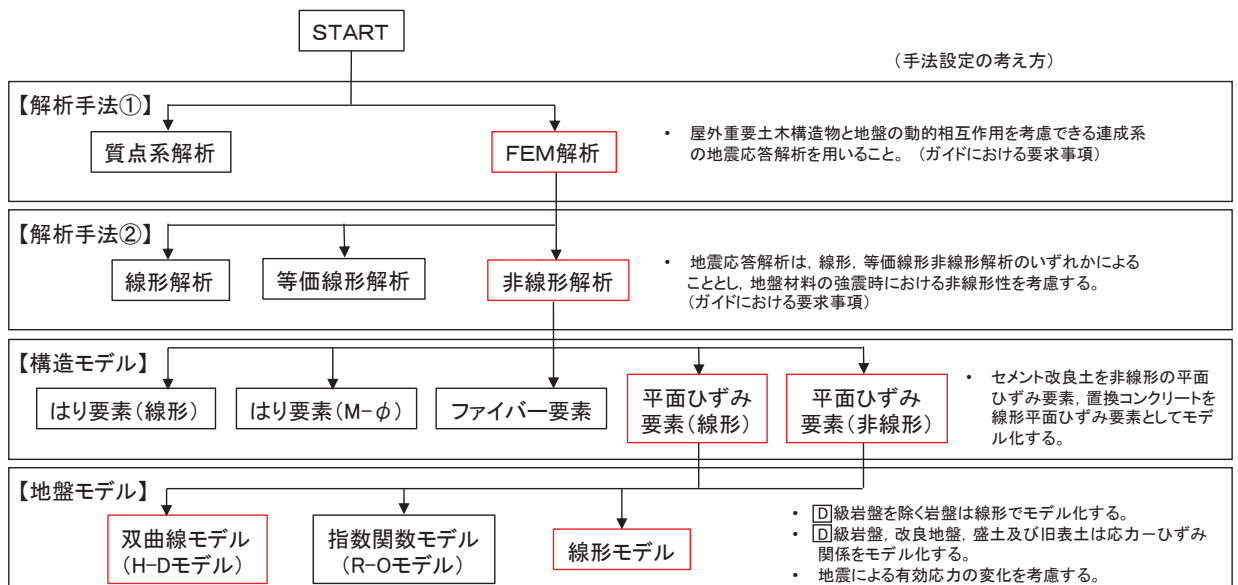


図 3.5-6 地震応答解析手法の選定フロー（盛土堤防）

b. 施設

セメント改良土は非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）、置換コンクリートは線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

c. 材料物性及び地盤物性のばらつき

図 3.2-3 に示すとおり、防潮堤（盛土堤防）の周辺には、主として旧表土、盛土、Ⅱ級岩盤、セメント改良土及び改良地盤といった、動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が重畳時に防潮堤（盛土堤防）への応答に

影響を与えると判断されることから、これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

解析ケースを表 3.5-9 に示す。

表 3.5-9 解析ケース（防潮堤（盛土堤防））

解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土, 盛土, D級岩盤, セメント改良土, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	C _L 級岩盤, C _M 級岩盤, C _H 級岩盤, B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値 + 1 σ	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 σ	平均値

d. 減衰定数

Rayleigh 減衰を考慮することとし、剛性比例型減衰 ($\alpha=0$, $\beta=0.002$) を考慮する。
 なお、係数 β の設定については、「FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」」を基に設定している。

d. 解析ケース

重畳時においては、弾性設計用地震動 S d - D 2 に対して、ケース①（基本ケース）を実施する。ケース①において、各照査値が最も厳しい地震動を用い、表 3.5-9 に示すケース②及び③を実施する。重畳時における解析ケースを表 3.5-10 に示す。

表 3.5-10 重畳時における解析ケース

解析ケース			ケース①	ケース②	ケース③
			基本ケース	地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース
地盤物性			平均値	平均値 + 1σ	平均値 - 1σ
地震動 (位相)	S d - D 2	++* ¹	○	弾性設計用地震動 S d - D 2 (1 波) 及び位相反転を考慮した地震動 (3 波) を加えた全 4 波により照査を行ったケース① (基本ケース) の結果から、すべり安全率が 2.4 以下となる* ² 又は基礎地盤の支持力照査において照査値が 0.5 以上となる全ての照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いてケース②～③を実施する。 照査値がいずれも 0.5 未満の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②～③を実施する。	
		-+* ¹	○		
		+-* ¹	○		
		--* ¹	○		

注記 *1 : 地震動の位相について (++) の左側は水平動, 右側は鉛直動を表し, 「-」は位相を反転させたケースを示す。

*2 : 許容限界であるすべり安全率 1.2 に対して 2 倍の裕度

(2) 入力地震動

入力地震動は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される弾性設計用地震動 S_d-D2 を1次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図 3.5-7 に入力地震動算定の概念図を、図 3.5-8 に1次元解析モデル図を、モデル図 3.5-9 に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE Ver. 1.6」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

①引戻し解析

引戻し地盤モデル（解放基盤モデル）を用いて、水平方向地震動及び鉛直方向地震動をそれぞれ引戻し地盤モデル下端位置まで引戻す。

②水平方向地震動の引上げ解析

引上げ地盤モデル（水平方向地震動用）を用いて、構造物－地盤連成系解析モデル底面位置まで水平方向地震動を引き上げる。

③鉛直方向地震動の引上げ解析

引上げ地盤モデル（鉛直方向地震動用）を用いて、構造物－地盤連成系解析モデル下端位置まで鉛直方向地震動を引き上げる。

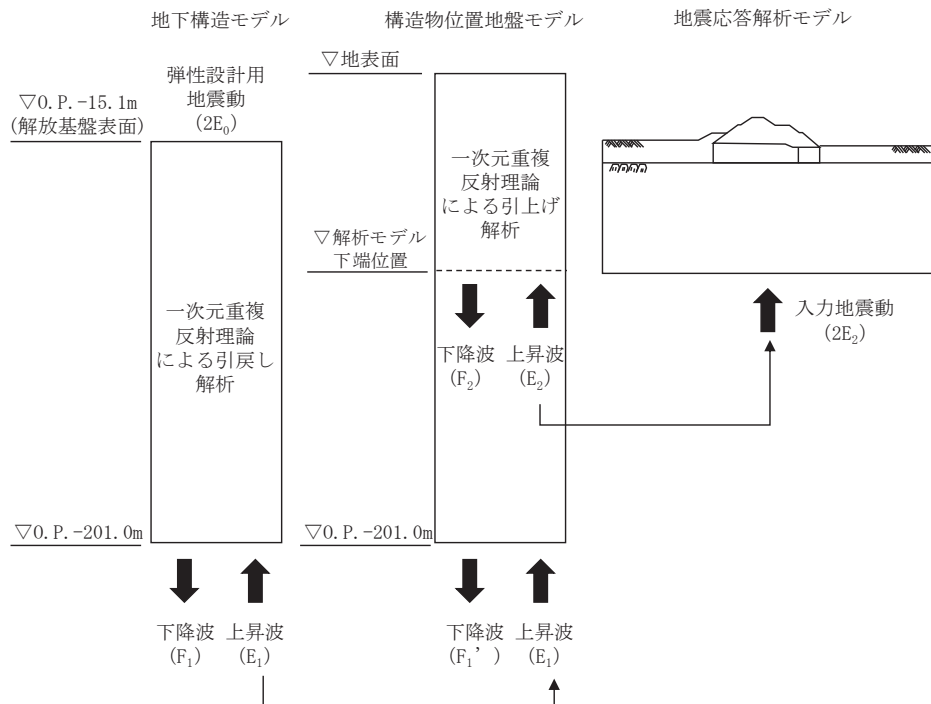


図 3.5-7 入力地震動算定の概念図

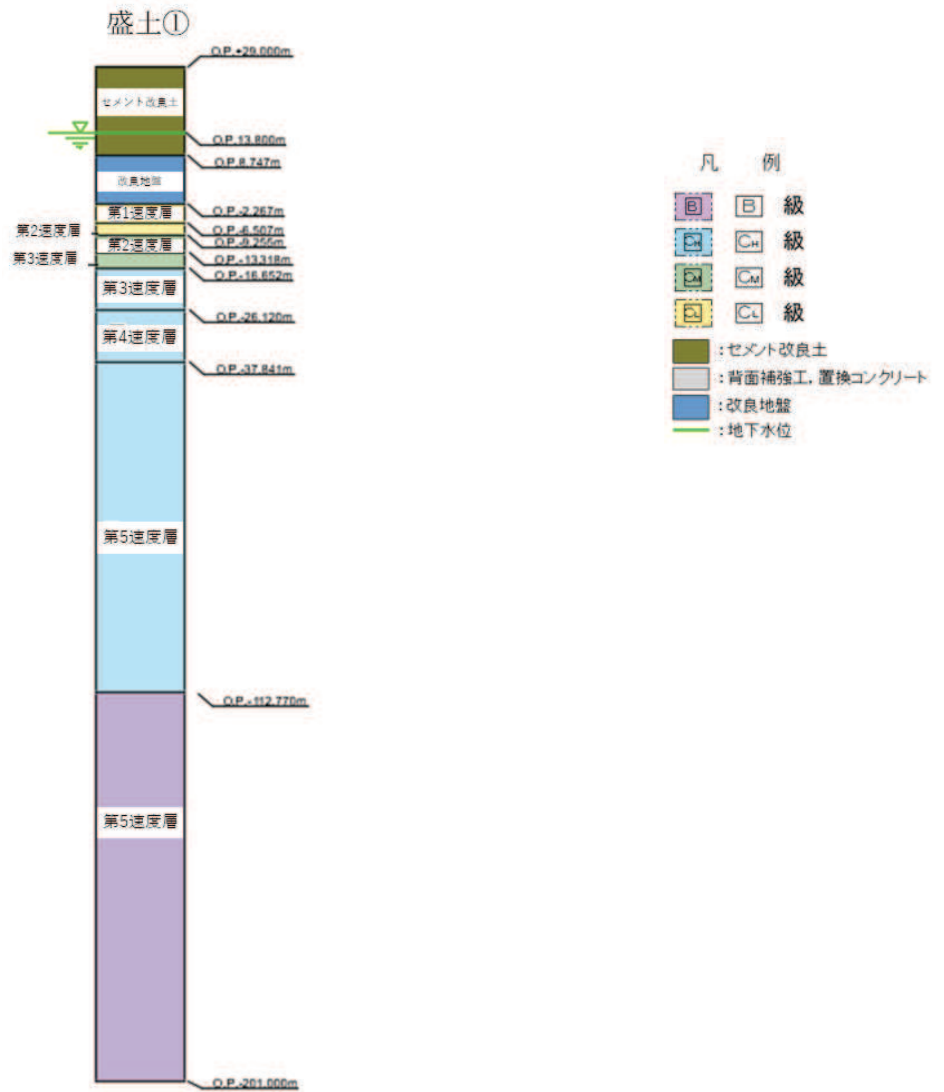
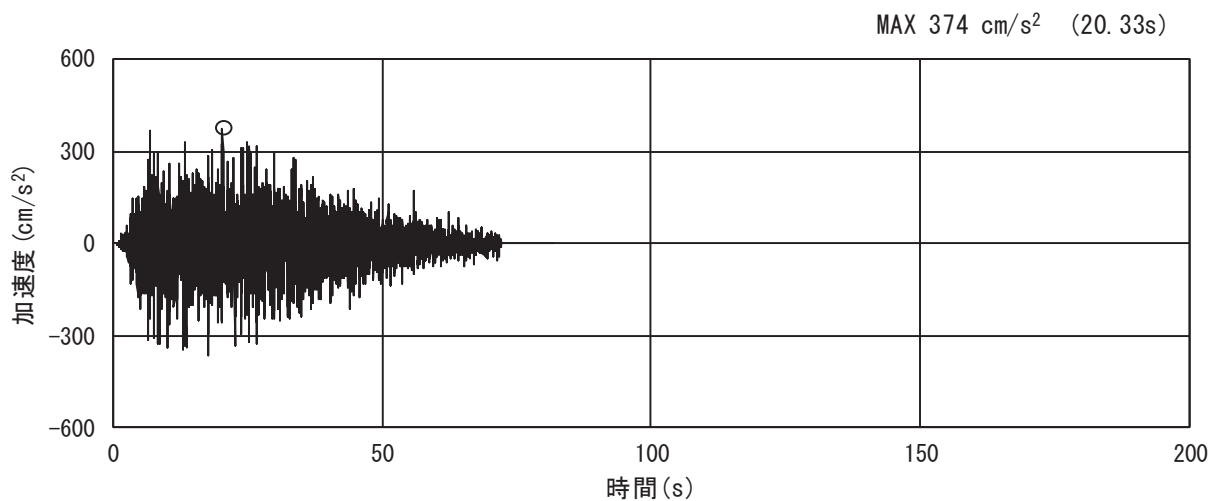
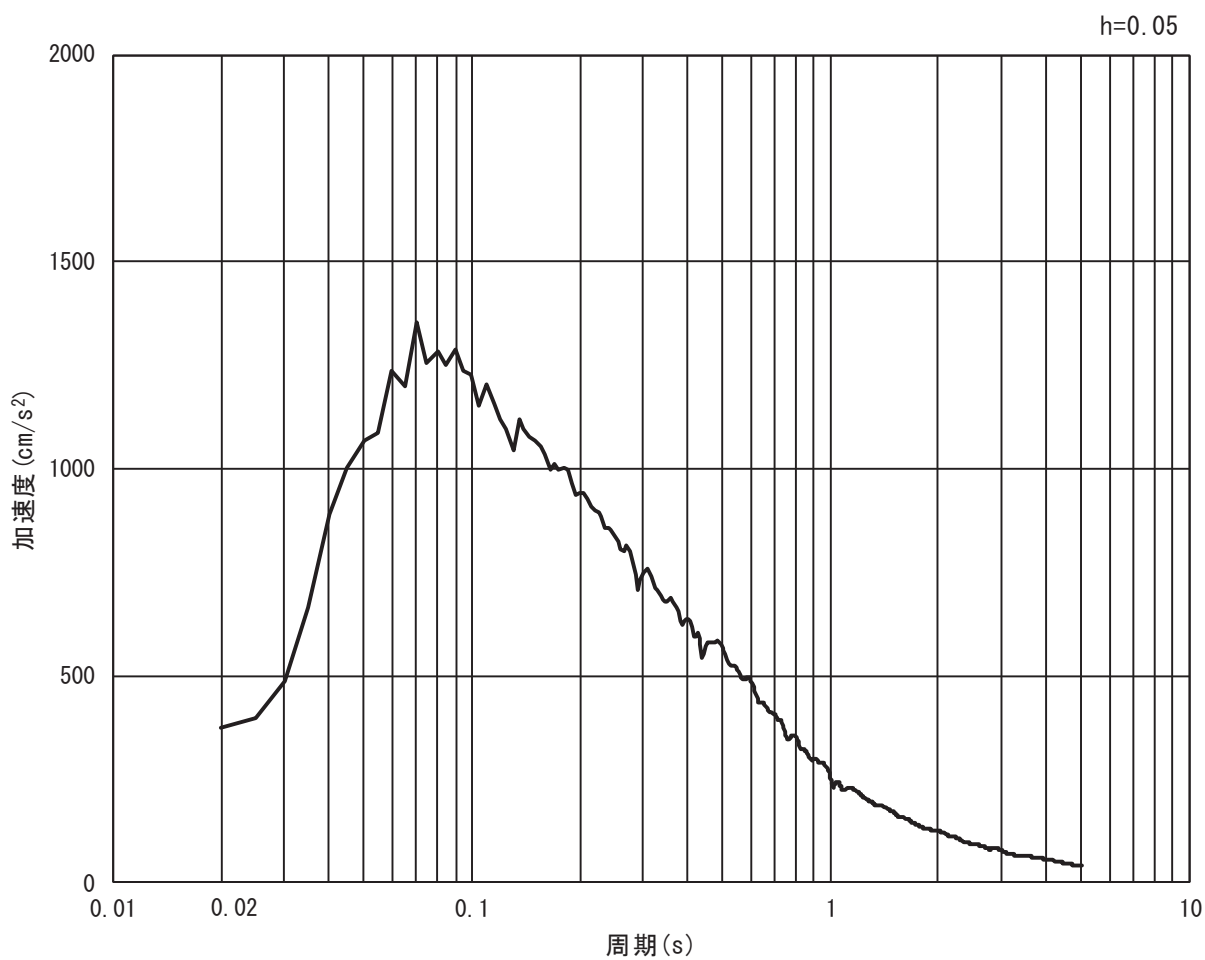


図 3.5-8 1次元解析モデル図

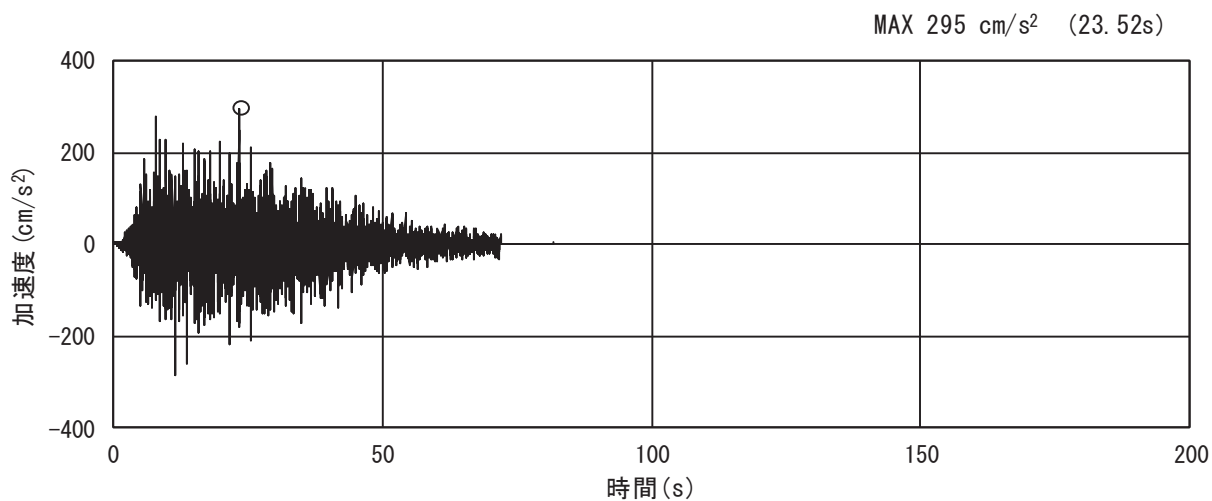


(a) 加速度時刻歴波形

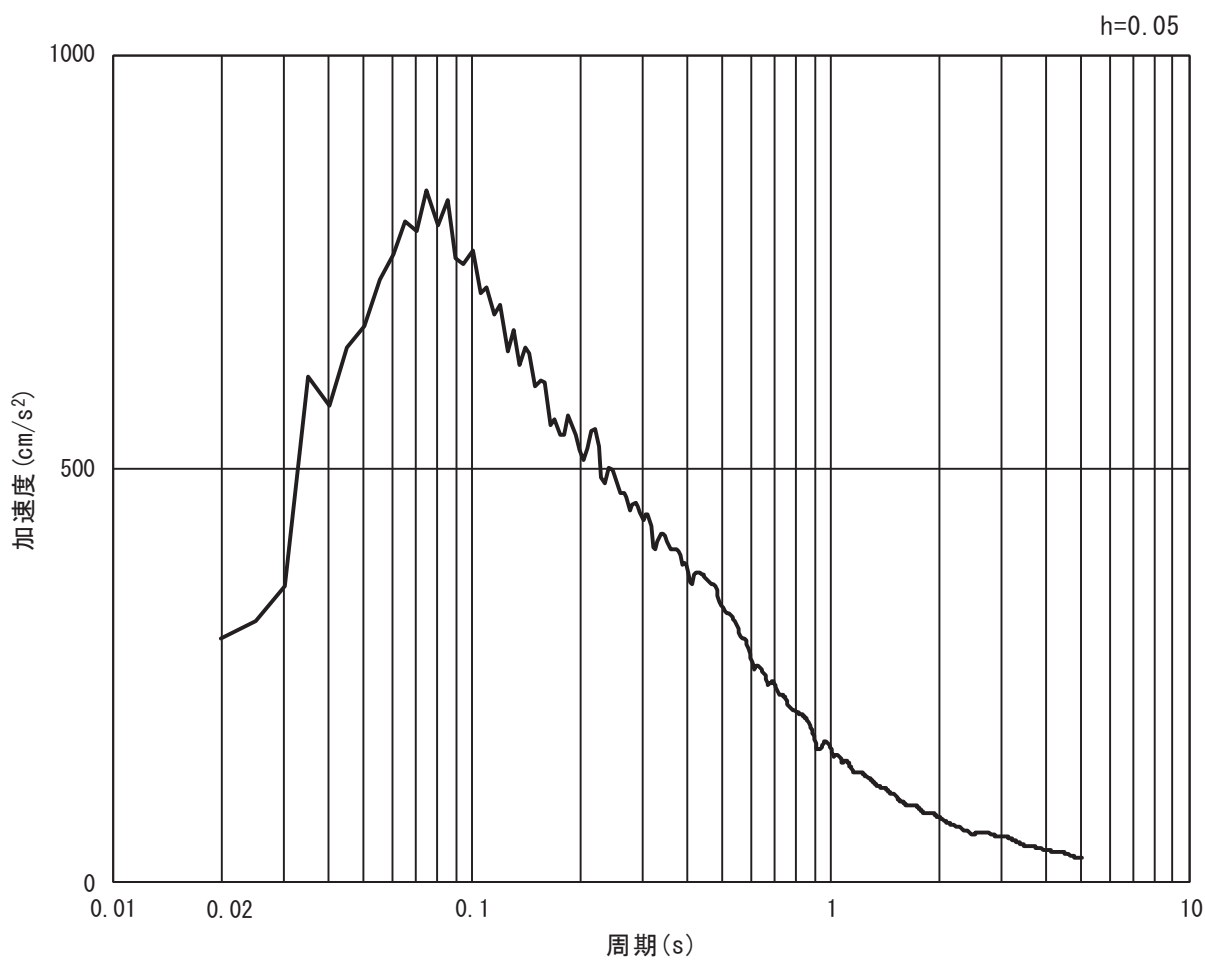


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.5-9(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: S d - D 2)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3.5-9(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S d - D 2)

(3) 解析モデル及び諸元

a. 解析モデル

(a) 解析領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が構造物及び地盤の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分に広い領域とする。図 3.5-10 に示すとおりモデル化幅は、斜面の法尻から法面の水平距離の 1 倍以上離隔を取り、モデル化高さは、斜面高さの 2 倍以上とする。

地盤の要素分割については、波動をなめらかに表現するために、対象とする波長の 5 分の 1 程度を考慮し、要素高さを 1m 程度以下まで細分割して設定する。

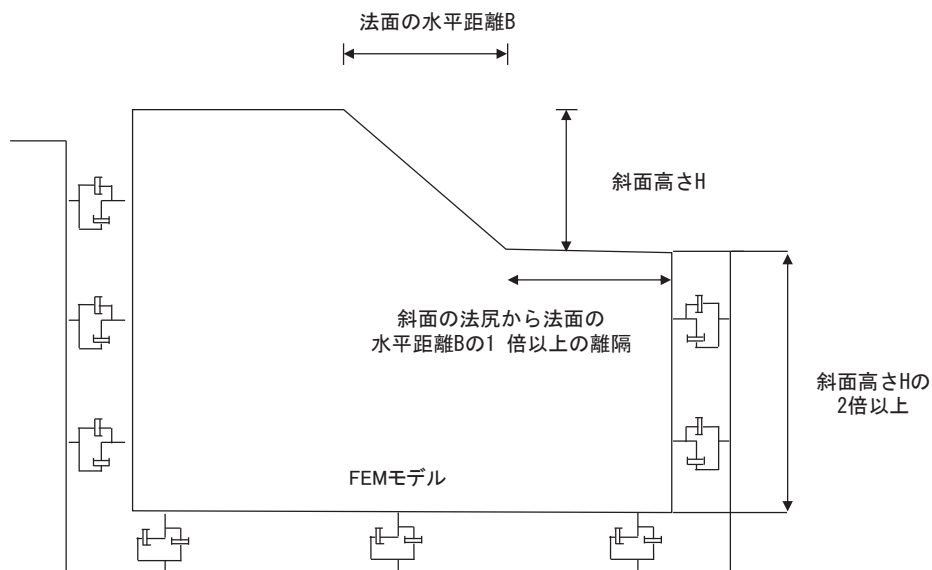


図 3.5-10 モデル化範囲の考え方

2次元有効応力解析モデルは、検討対象構造物とその周辺地盤をモデル化した不整形地盤に加え、この不整形地盤の左右に広がる地盤をモデル化した自由地盤で構成される。この自由地盤は、不整形地盤の左右端と同じ地層構成を有する1次元地盤モデルである。2次元有効応力解析における自由地盤の初期応力解析から不整形地盤の地震応答解析までのフローを図 3.5-11 に示す。

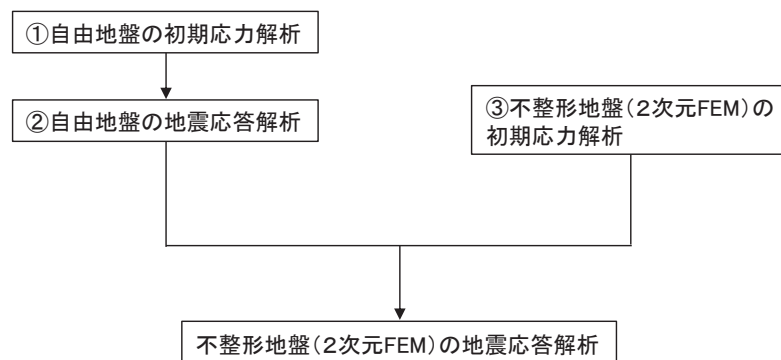


図 3.5-11 自由地盤の初期応力解析から不整形地盤の地震応答解析までのフロー

(b) 境界条件

a. 初期応力解析時

初期応力解析は、地盤や構造物の自重等の静的な荷重を載荷することによる常時の初期応力を算定するために行う。そこで、初期応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。境界条件の概念図を図 3.5-12 に示す。

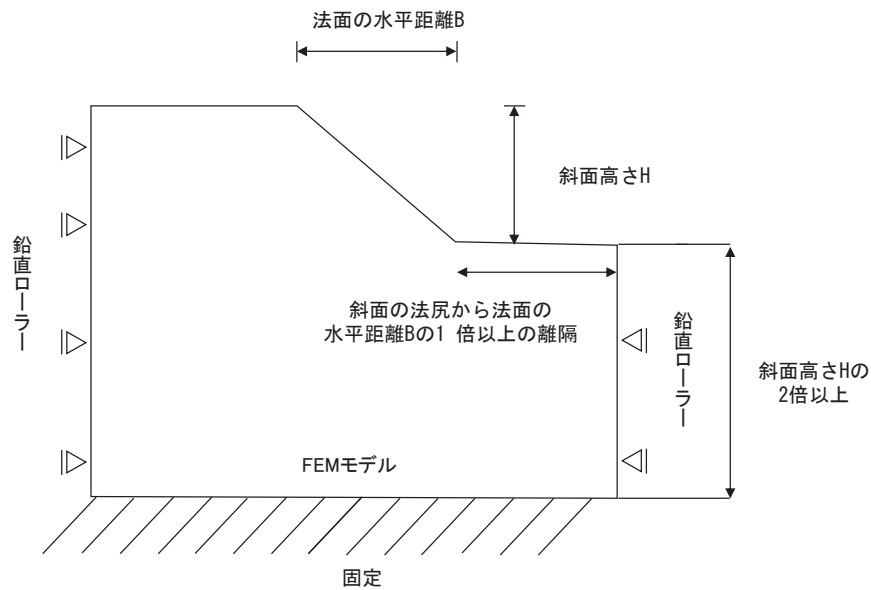


図 3.5-12 初期応力解析における境界条件の概念図

b. 地震時応答解析時

地震応答解析時の境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。底面の粘性境界については、地震動の下降波がモデル底面境界から半無限地盤へ通過していく状態を模擬するため、ダッシュポットを設定する。側方の粘性境界については、自由地盤の地盤振動と不整形地盤側方の地盤振動の差分が側方を通過していく状態を模擬するため、自由地盤の側方にダッシュポットを設定する。

防潮堤（盛土堤防）の解析モデルを図 3.5-13 に示す。

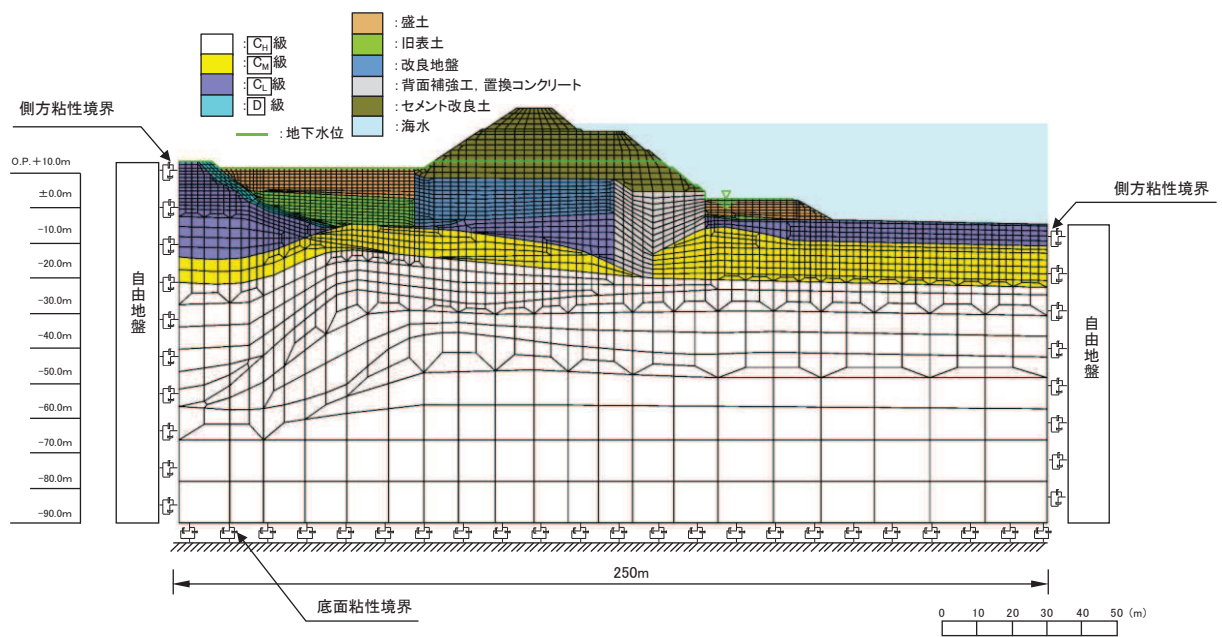


図 3.5-13 防潮堤（盛土堤防）の解析モデル（断面①）

(c) 構造物のモデル化

セメント改良土は非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）、置換コンクリートは線形平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

(d) 地盤のモデル化

D級岩盤を除く岩盤は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。
D級岩盤，改良地盤，盛土・旧表土は地盤の非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）でモデル化する。また，地下水位以深の盛土・旧表土は，液状化パラメータを設定することで，有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

また，基準地震動 S_s による防潮堤前背面の盛土（背面の盛土斜面含む）の地盤沈下を考慮したモデル化とする。

なお，岩盤は砂岩でモデル化する。

(e) 海水のモデル化

海水のモデル化は，「3.5.1 津波時」と同様である。

(f) ジョイント要素の設定

地盤と構造体の接合面の法線方向に対して地震時の引張荷重を与えると，地盤は構造体から剥離する特徴がある。また，地盤と構造体の接合面のせん断方向に対して地震時のせん断荷重を与え，せん断ひずみを増加させていくと，地盤及び

構造体のせん断応力は上限値に達し、それ以上はせん断応力が増加しなくなる特徴がある。

時刻歴応答解析では、地震時における実挙動を正確に把握するために、地盤と構造体の接合面にジョイント要素を設定し、地震時の地盤と構造体の接合面における剥離及びすべりを考慮する。

なお、表面を露出させて打継処理が可能である箇所については、ジョイント要素を設定しない。

ジョイント要素は、地盤と構造体の接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向については、常時の圧縮荷重以上の引張荷重が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。せん断方向については、各要素間の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が生じた場合、せん断剛性をゼロとし、すべりを考慮する。

せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。 c 、 ϕ は周辺地盤の c 、 ϕ とし、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき表 3.5-11 のとおりとする。また、要素間の粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は、接合面に設定するジョイント要素のせん断強度は隣り合う地盤又は構造物の各せん断強度のうち小さい値を採用することとし、表 3.5-12 のとおり設定する。

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

ここで、

- τ_f : せん断強度
- c : 粘着力
- ϕ : 内部摩擦角

表 3.5-11 周辺地盤との境界に用いる強度特性

地盤	粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
盛土*1	0.10	33.9
盛土*2	0.00	30.0
旧表土	0.08	26.2
セメント改良土	0.65	44.3
改良地盤	1.39	22.1
D級岩盤	0.10	24.0
C _L 級岩盤	0.46	44.0

注記 *1 : 地下水位以浅

*2 : 地下水位以深

表 3.5-12 ジョイント要素の粘着力と内部摩擦角

条件	粘着力 c (N/mm^2)	内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)
改良地盤-盛土・旧表土	盛土・旧表土の c	盛土・旧表土の ϕ
改良地盤-岩盤	岩盤の c	岩盤の ϕ
置換コンクリート-岩盤	岩盤の c	岩盤の ϕ
置換コンクリート-盛土・旧表土	盛土・旧表土の c	盛土・旧表土の ϕ
改良地盤-セメント改良土	セメント改良土の c	セメント改良土の ϕ
改良地盤-置換コンクリート	改良地盤の c	改良地盤の ϕ

ジョイント要素のばね定数は、数値解析上、不安定な挙動を起こさない程度に十分な値とし、松本らの方法（松本ら：基礎構造物における地盤・構造物境界面の実用的な剛性評価法，応用力学論文集 Vol.12 pp10612070，2009）に従い，表 3.5-13 のとおり設定する。

ジョイント要素の力学特性を図 3.5-14 に，ジョイント要素の配置を図 3.5-15 に示す。

表 3.5-13 ジョイント要素のバネ定数

地盤	せん断剛性 k_s (kN/m^3)	圧縮剛性 k_n (kN/m^3)
盛土・旧表土	1.0×10^6	1.0×10^6
岩盤・セメント改良土・改良地盤	1.0×10^7	1.0×10^7

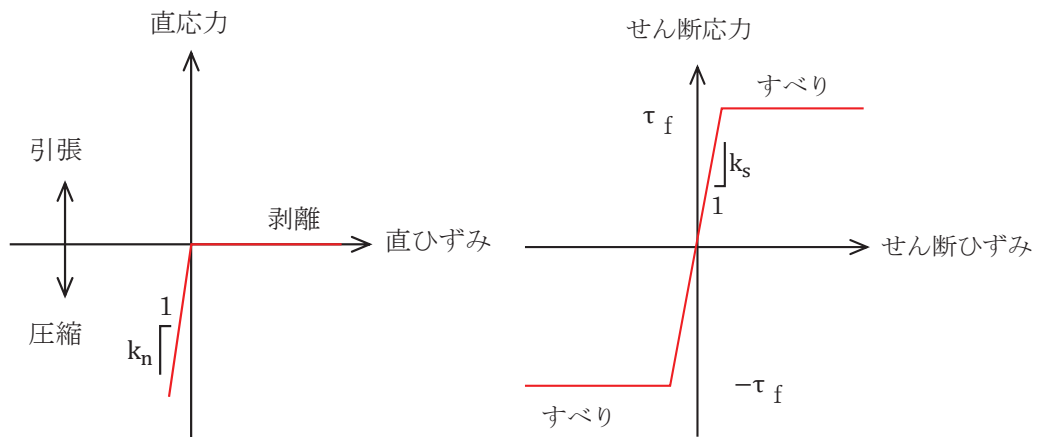


図 3.5-14 ジョイント要素の力学特性

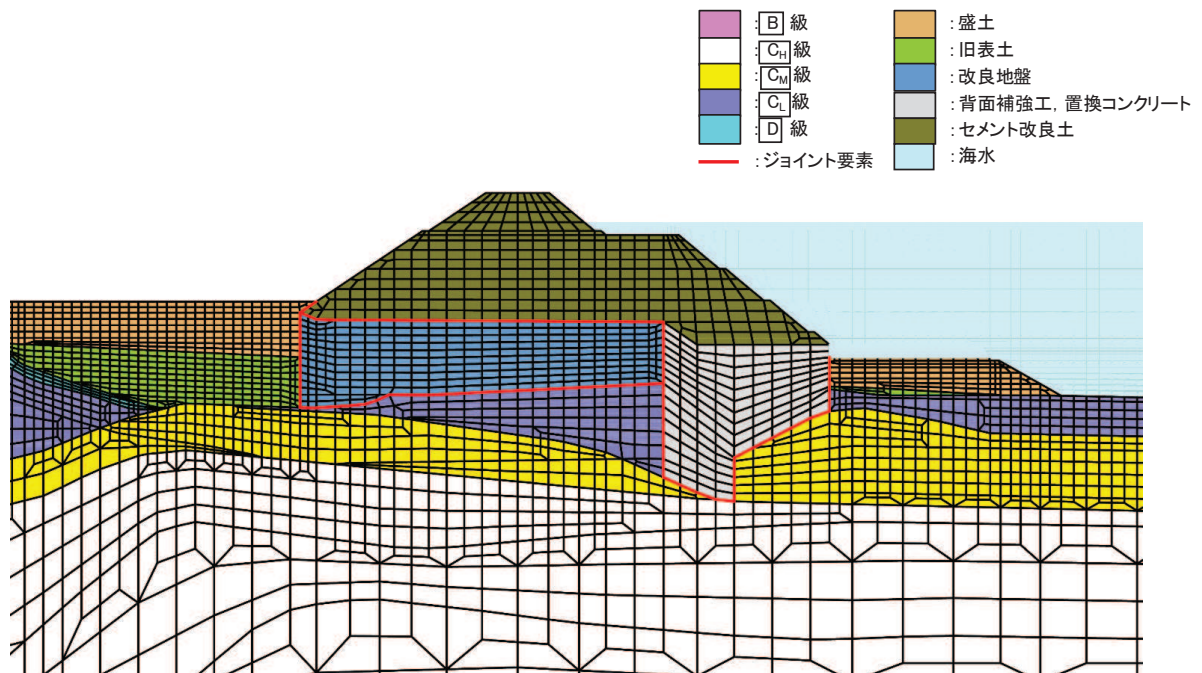


図 3.5-15 断面①におけるジョイント要素の配置図

b. 使用材料及び材料の物性値

使用材料及び材料の物性値は、「3.5.1 津波時」と同様である。

c. 地盤の物性値

地盤の物性値は、「3.5.1 津波時」と同様である。

d. 地下水位

地下水位は、「3.5.1 津波時」と同様であり、図 3.5-13 のとおりである。

(4) 評価方法

防潮堤（盛土堤防）の強度評価は、重疊時に発生する応力が「3.4 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

a. セメント改良土

セメント改良土の評価は、セメント改良土を通るすべり線のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。

また、すべり安全率に対しては強度特性のばらつきが影響することから、強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値 - 1σ 強度）についても実施する。その際の解析ケースはケース①（基本ケース）とする。

すべり安全率算定フロー及び想定すべり線は、「3.5.1 津波時」と同様である。

b. 置換コンクリート

置換コンクリートの評価は、置換コンクリートを通るすべり線のすべり安全率が1.2以上であることを確認する。

すべり安全率算定フロー及び想定すべり線は、「3.5.1 津波時」と同様である。

c. 改良地盤

改良地盤の評価は、改良地盤を通るすべり線のすべり安全率が1.2以上であることを確認する。

また、すべり安全率に対しては強度特性のばらつきが影響することから、強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値－1 σ 強度）についても実施する。その際の解析ケースはケース①（基本ケース）とする。

すべり安全率算定フロー及び想定すべり線は、「3.5.1 津波時」と同様である。

d. 基礎地盤

重畳時における基礎地盤の支持性能に係る評価は、弾性設計用地震動S_d-D₂を入力地震動とした地震応力解析から求められる基礎地盤の接地圧が許容限界以下であることを確認する。

なお、接地圧は、セメント改良土の基礎地盤である改良地盤及び置換コンクリートの基礎地盤である牧の浜部層（C_M級岩盤）を対象とする。

3.6 評価条件

強度評価に用いる評価条件を表 3.6-1～表 3.6-2 に示す。

3.6.1 津波時

表 3.6-1 強度評価に用いる条件（断面①）

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重（セメント改良土）	22174	kN
	固定荷重（置換コンクリート）	10831	kN
	固定荷重（改良地盤）	13676	kN
P	積載荷重	4.9	kN/m ²
P _t	遡上津波荷重（防潮堤前面の地盤高：0.P.+3.0m）*	346.0	kN/m ²
P _c	衝突荷重	2000	kN
γ _w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m ³
ρ	海水の密度	1030	kg/m ³

注記 *：防潮堤（盛土堤防）の設計用浸水深は 11.0（m）であるが、保守的に防潮堤（鋼管式鉛直壁）の設計用浸水深 12.25（m）（防潮堤前面の地盤高：0.P.+0.5m）を採用し、遡上津波荷重を設定。

3.6.1 重畳時

表 3.6-2 強度評価に用いる条件（断面①）

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重（セメント改良土）	22174	kN
	固定荷重（置換コンクリート）	10831	kN
	固定荷重（改良地盤）	13676	kN
P	積載荷重	4.9	kN/m ²
P _t	遡上津波荷重（防潮堤前面の地盤高：0.P.+3.0m）*	346.0	kN/m ²
P _c	衝突荷重	-	kN
γ _w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m ³
ρ	海水の密度	1030	kg/m ³

注記 *：防潮堤（盛土堤防）の設計用浸水深は 11.0（m）であるが、保守的に防潮堤（鋼管式鉛直壁）の設計用浸水深 12.25（m）（防潮堤前面の地盤高：0.P.+0.5m）を採用し、遡上津波荷重を設定。

4. 評価結果

4.1 津波時

4.1.1 解析結果

(1) 解析ケースと照査値

解析ケースはケース①～③を実施する。

a. セメント改良土のすべり安全率照査

表 4.1-1 にセメント改良土のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-1 セメント改良土のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面①）

解析ケース	すべり安全率照査			
	①	①（平均値 -1σ強度）	②	③
津波時	5.9	5.7	5.9	5.9

b. 置換コンクリートのすべり安全率照査

表 4.1-2 に置換コンクリートのすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-2 置換コンクリートのすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面①）

解析ケース	すべり安全率照査		
	①	②	③
津波時	36.2	35.7	38.1

c. 改良地盤のすべり安全率照査

表 4.1-3 に改良地盤のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-3 改良地盤のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面①）

解析ケース	すべり安全率照査			
	①	①（平均値 -1σ強度）	②	③
津波時	13.2	13.1	13.0	13.7

(2) 局所安全係数分布（セメント改良土）

セメント改良土のすべり安全率による照査において、各解析ケースのうち最小すべり安全率となる結果を表 4.1-4 に示す。また、該当する解析ケースの局所安全係数分布を図 4.1-1 に示す。

表 4.1-4 セメント改良土のすべり安全率評価結果（断面①）

解析ケース	最小すべり安全率
②	5.9

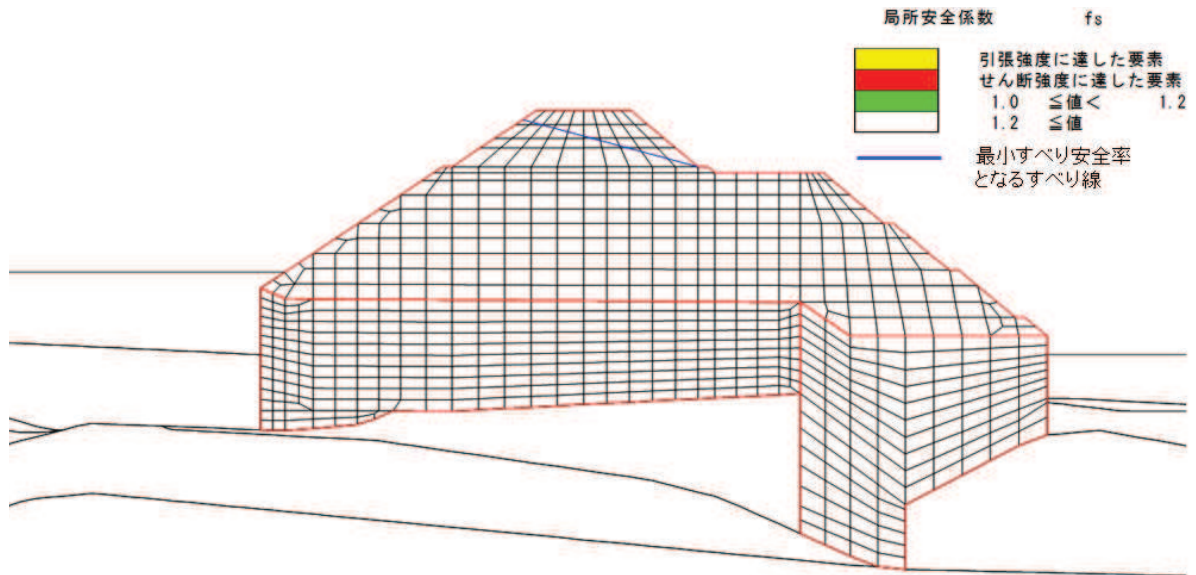


図 4.1-1 セメント改良土の局所安全係数分布（断面①）

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース（平均値+1 σ ）

(3) 局所安全係数分布（置換コンクリート）

置換コンクリートのすべり安全率による照査において、各解析ケースのうち最小すべり安全率となる結果を表 4.1-5 に示す。また、該当する解析ケースの局所安全係数分布を図 4.1-2 に示す。

表 4.1-5 置換コンクリートのすべり安全率評価結果（断面①）

解析ケース	最小すべり安全率
②	35.7

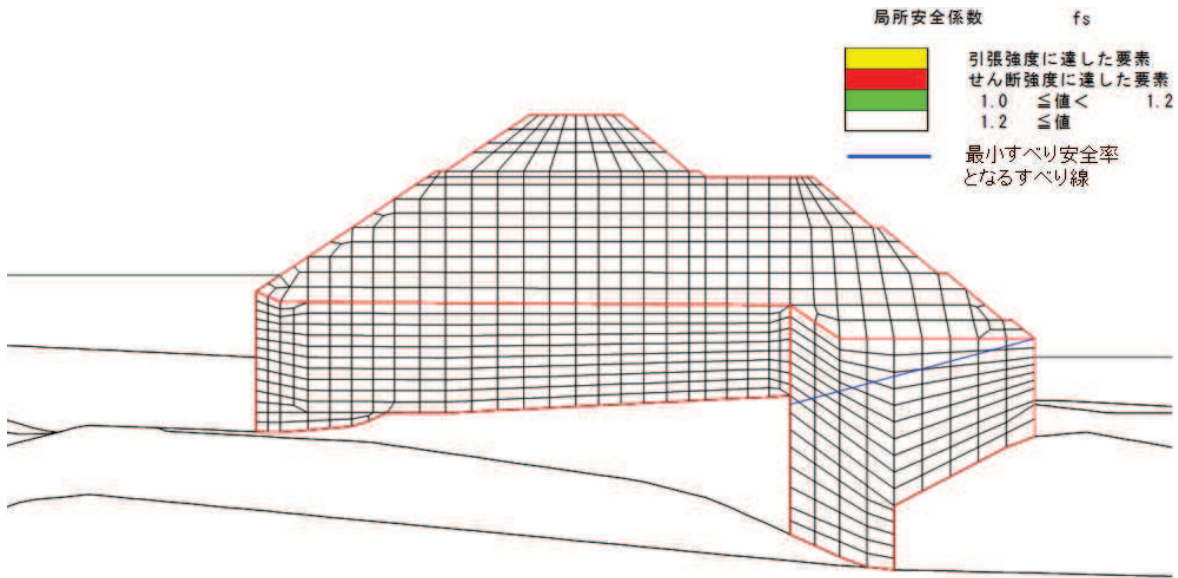


図 4.1-2 置換コンクリートの局所安全係数分布（断面①）
解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース（平均値+1σ）

(4) 局所安全係数分布（改良地盤）

改良地盤のすべり安全率による照査において、各解析ケースのうち最小すべり安全率となる結果を表 4.1-6 に示す。また、該当する解析ケースの局所安全係数分布を図 4.1-3 に示す。

表 4.1-6 改良地盤のすべり安全率評価結果（断面①）

解析ケース	最小すべり安全率
②	13.0

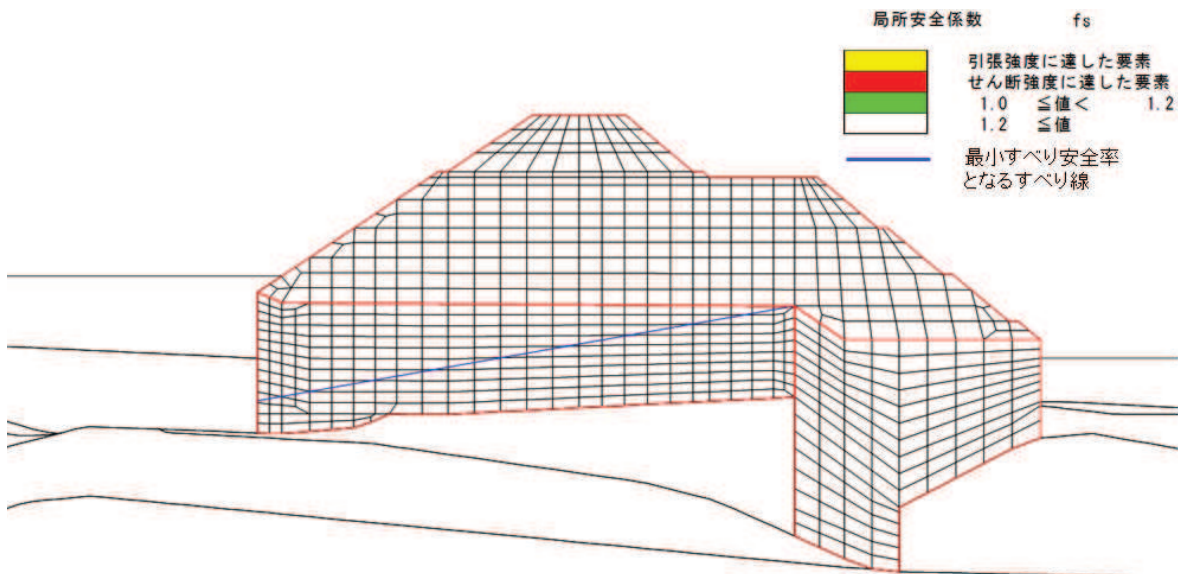


図 4.1-3 改良地盤の局所安全係数分布（断面①）
解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース（平均値+1σ）

4.1.2 セメント改良土の評価結果

セメント改良土のすべり安全率による評価結果を表 4.1-7 に示す。これらの結果から、セメント改良土のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 4.1-7 セメント改良土のすべり安全率評価結果

解析ケース	最小すべり安全率
①	5.9
②	5.9
③	5.9
① (平均値 - 1 σ 強度)	5.7

4.1.3 置換コンクリートの評価結果

置換コンクリートのすべり安全率による評価結果を表 4.1-8 に示す。これらの結果から、置換コンクリートのすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 4.1-8 置換コンクリートのすべり安全率評価結果

解析ケース	最小すべり安全率
①	36.2
②	35.7
③	38.1

4.1.4 改良地盤の評価結果

改良地盤のすべり安全率による評価結果を表 4.1-9 に示す。これらの結果から、改良地盤のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 4.1-9 改良地盤のすべり安全率評価結果

解析ケース	最小すべり安全率
①	13.2
②	13.0
③	13.7
① (平均値 - 1 σ 強度)	13.1

4.2 重畳時

4.2.1 地震応答解析結果

解析結果として「局所安全係数分布」,「最大せん断ひずみ分布」及び「最大過剰間隙水圧比分布」を記載する。

(1) 解析ケースと照査値

解析ケースはケース①～③を実施する。

a. セメント改良土のすべり安全率照査

表 4.2-1 にセメント改良土のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-1 セメント改良土のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値 (断面①)

解析ケース 地震動		すべり安全率照査			
		①	① (平均値-1σ強度)	②	③
S d - D 2	++	6.0	5.8		
	-+	6.1	5.9		
	+ -	6.1	5.9		
	--	5.7	5.5	5.7	5.6

b. 置換コンクリートのすべり安全率照査

表 4.2-2 に置換コンクリートのすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-2 置換コンクリートのすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値 (断面①)

解析ケース 地震動		すべり安全率照査		
		①	②	③
S d - D 2	++	12.8		
	-+	13.9		
	+ -	13.1		
	--	13.7	13.0	14.4

c. 改良地盤のすべり安全率照査

表 4.2-3 に改良地盤のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-3 改良地盤のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面①）

解析ケース 地震動		すべり安全率照査			
		①	① (平均値 - 1σ 強度)	②	③
S d - D 2	++	5.8	5.8		
	-+	5.3	5.2		
	+-	5.7	5.6		
	--	5.5	5.5	5.5	5.5

d. 基礎地盤の支持性能に対する照査

(a) セメント改良土

表 4.2-4 にセメント改良土の基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-4 基礎地盤の支持性能に対する実施ケースと照査値（断面①，セメント改良土）

解析ケース 地震動		基礎地盤の支持性能に対する照査		
		①	②	③
S d - D 2	++	0.19		
	-+	0.19		
	+-	0.19		
	--	0.19	0.16	0.19

(b) 置換コンクリート

表 4.2-5 に置換コンクリートの基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-5 基礎地盤の支持性能に対する実施ケースと照査値（断面①，置換コンクリート）

解析ケース 地震動		基礎地盤の支持性能に対する照査		
		①	②	③
S d - D 2	++	0.18		
	-+	0.19		
	+-	0.17		
	--	0.18	0.19	0.18

(2) 局所安全係数分布 (セメント改良土)

セメント改良土のすべり安全率による照査において、各解析ケースのうち最小すべり安全率となる結果を表 4.2-6 に示す。また、該当する解析ケースの局所安全係数分布を図 4.2-1 に示す。

表 4.2-6 セメント改良土のすべり安全率評価結果 (断面①)

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S d - D 2 (--)	③	13.53	5.6

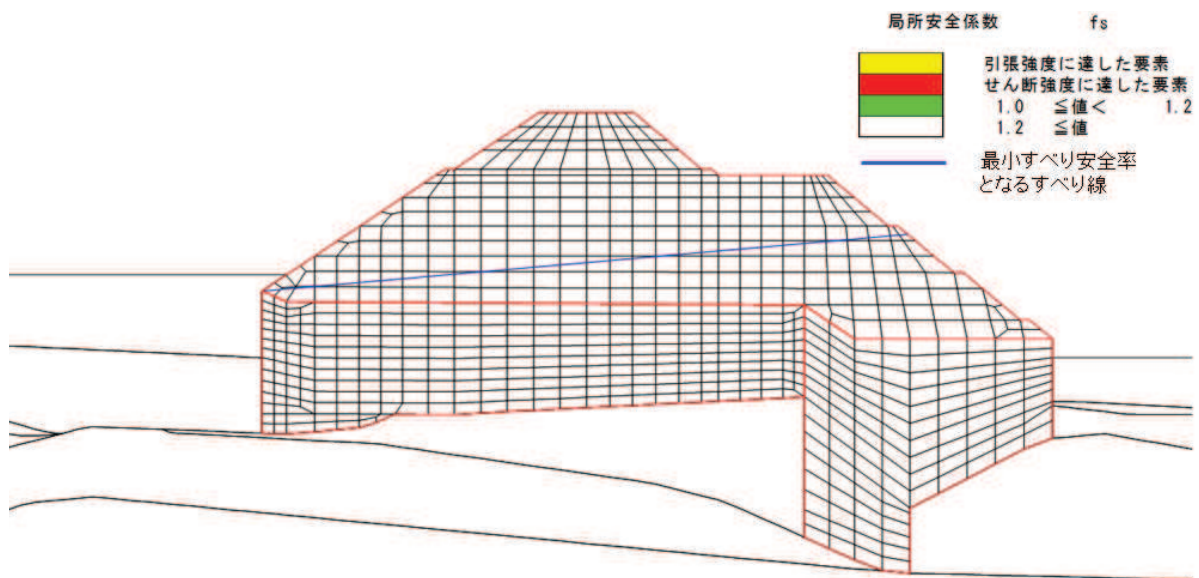


図 4.2-1 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布 (断面①, S d - D 2 (--), t=13.53s)

解析ケース③: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

(3) 局所安全係数分布 (置換コンクリート)

置換コンクリートのすべり安全率による照査において、各解析ケースのうち最小すべり安全率となる結果を表 4.2-7 に示す。また、該当する解析ケースの局所安全係数分布を図 4.2-2 に示す。

表 4.2-7 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面①)

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S d - D 2 (++)	①	25.23	12.8

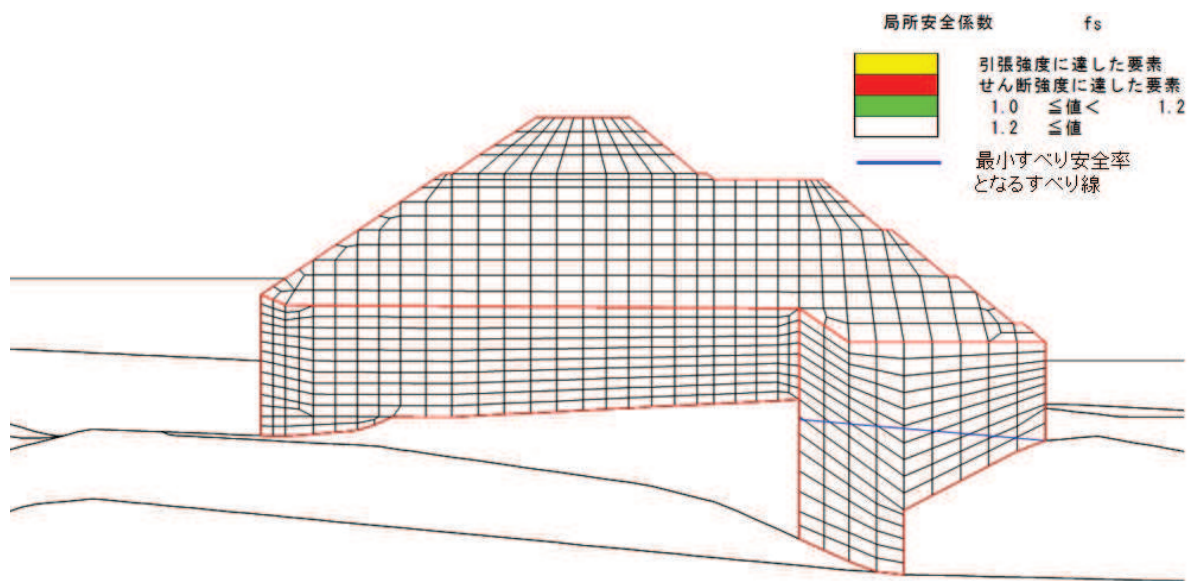


図 4.2-2 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面①, S d - D 2 (++) , t=25.23s)
解析ケース①: 基本ケース

(4) 局所安全係数分布 (改良地盤)

改良地盤のすべり安全率による照査において、各解析ケースのうち最小すべり安全率となる結果を表 4.2-8 に示す。また、該当する解析ケースの局所安全係数分布を図 4.2-3 に示す。

表 4.2-8 改良地盤のすべり安全率評価結果 (断面①)

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S d - D 2 (-+)	①	13.52	5.3

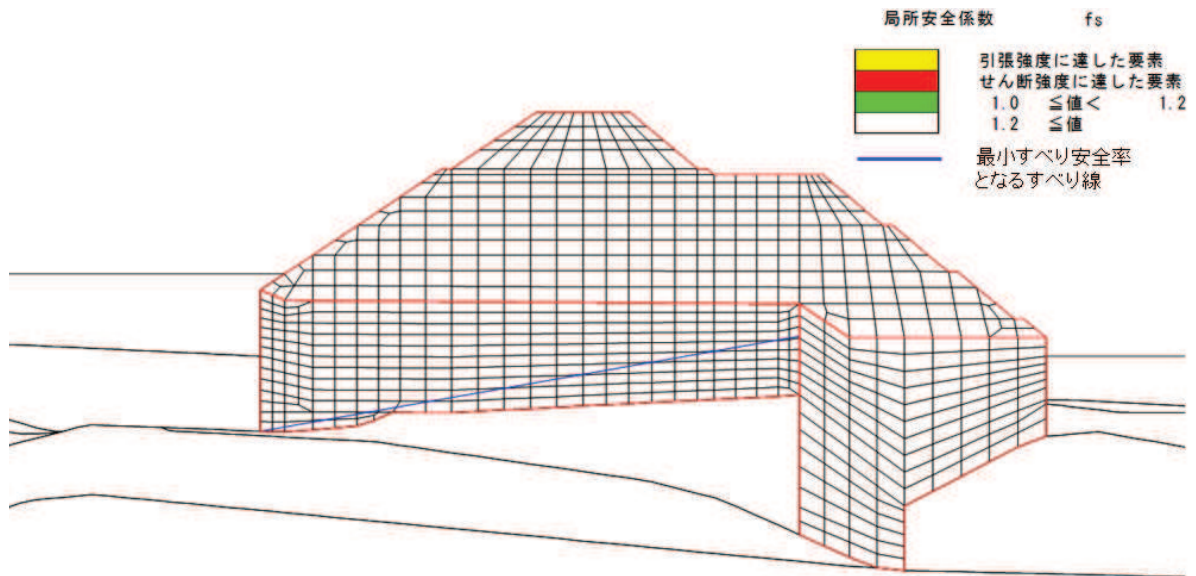


図 4.2-3 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面①, S d - D 2 (-+), t=13.52s)
解析ケース①: 基本ケース

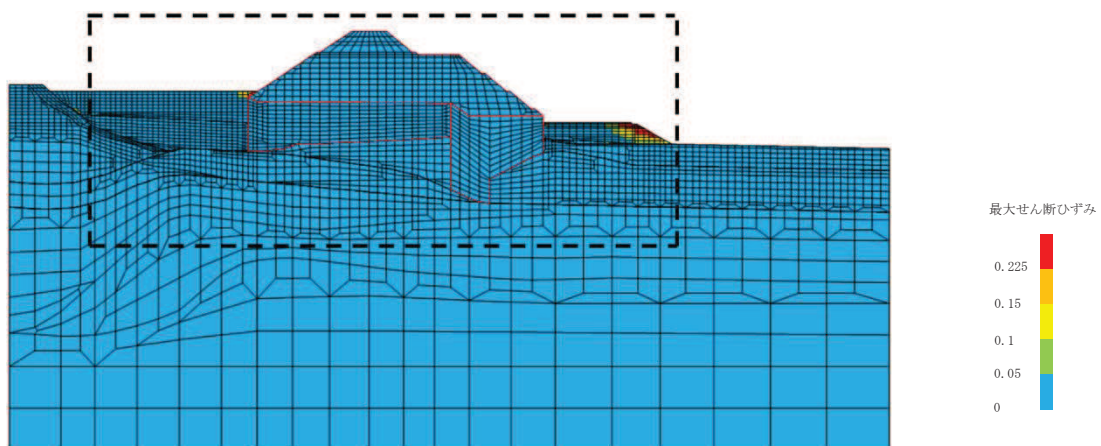
(5) 最大せん断ひずみ分布

各施設の照査で最大照査値及び最小すべり安全率を示す解析ケースについて、地盤に発生した最大せん断ひずみを確認する。

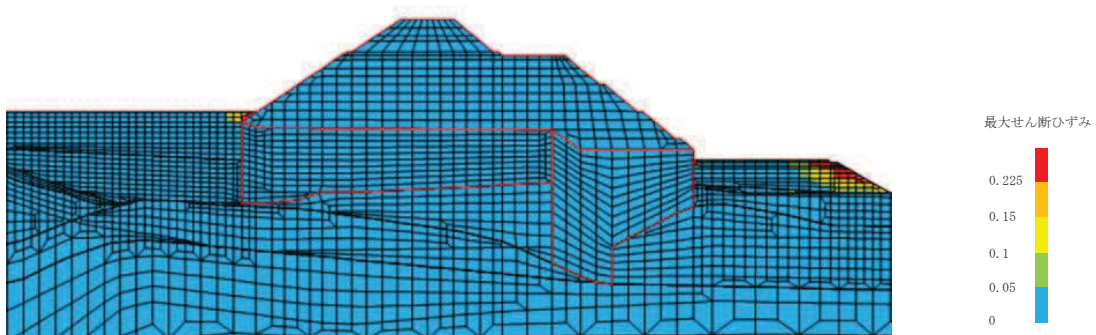
最大照査値及び最小すべり安全率を示す解析ケースの一覧を表 4.2-9 に、最大せん断ひずみ分布図を図 4.2-4、図 4.2-5 に示す。

表 4.2-9 最大照査値を示す解析ケースの一覧 (断面①)

断面	評価項目	
	セメント改良土	置換コンクリート
	すべり安全率	すべり安全率
断面①	解析ケース③ S d - D 2 (--)	解析ケース① S d - D 2 (++)

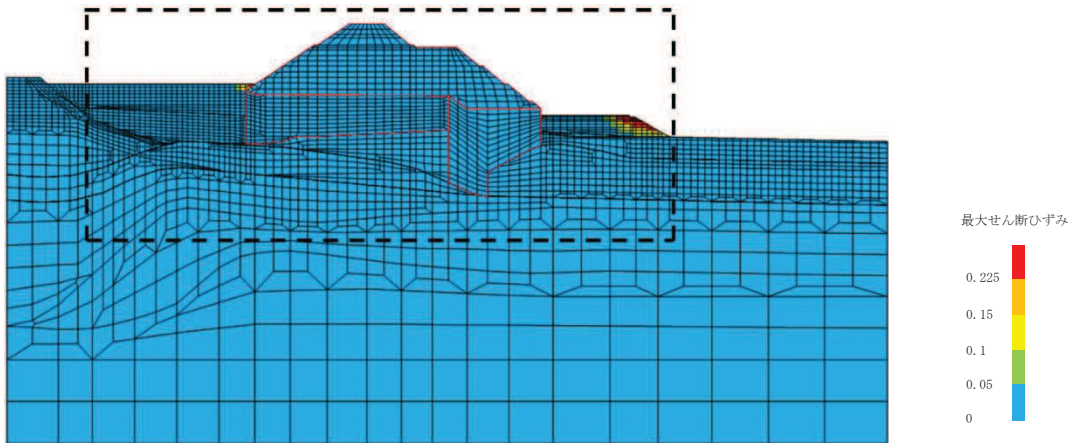


(a) 全体図

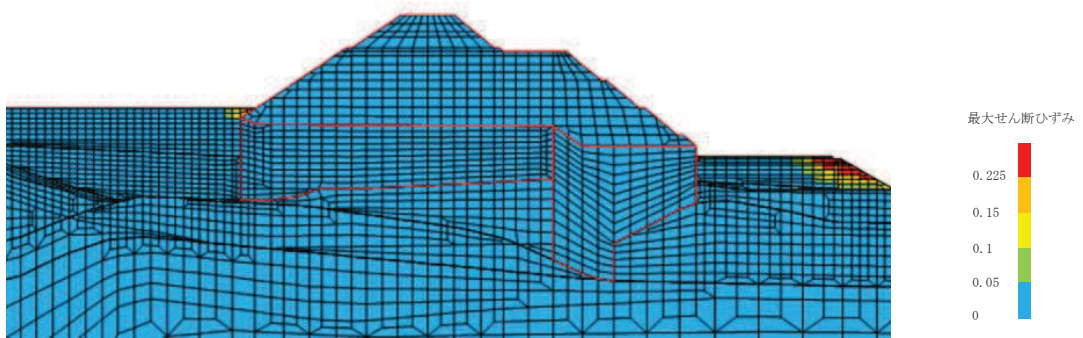


(b) 構造物周辺拡大図

図 4.2-4 断面①の最大せん断ひずみ分布
(解析ケース③, S d - D 2 (一一))



(a) 全体図



(b) 構造物周辺拡大図

図 4.2-5 断面①の最大せん断ひずみ分布
(解析ケース①, S d - D 2 (++))

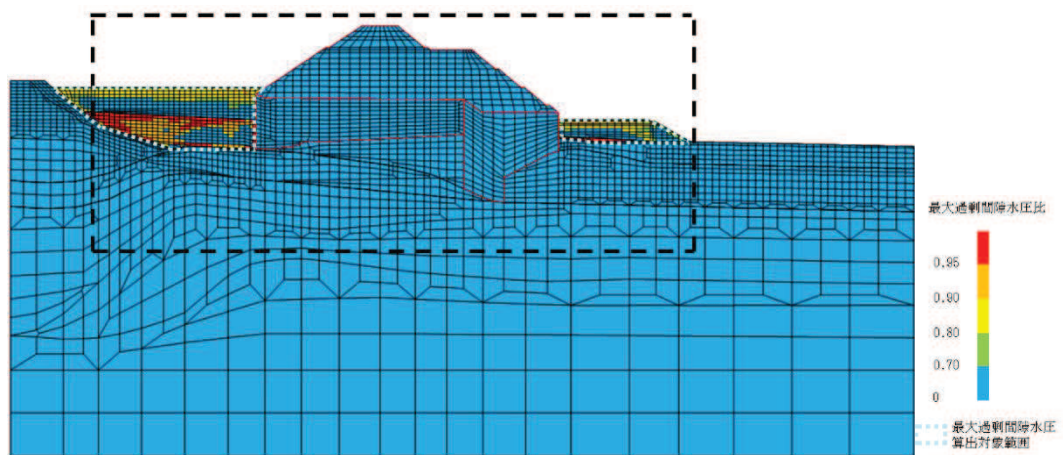
(6) 過剰間隙水圧比分布

地盤に発生した過剰間隙水圧比を確認するため、各施設の照査で最大照査値及び最小すべり安全率を示す解析ケースについて、地震応答解析の全時刻における過剰間隙水圧比の最大値分布を示す。

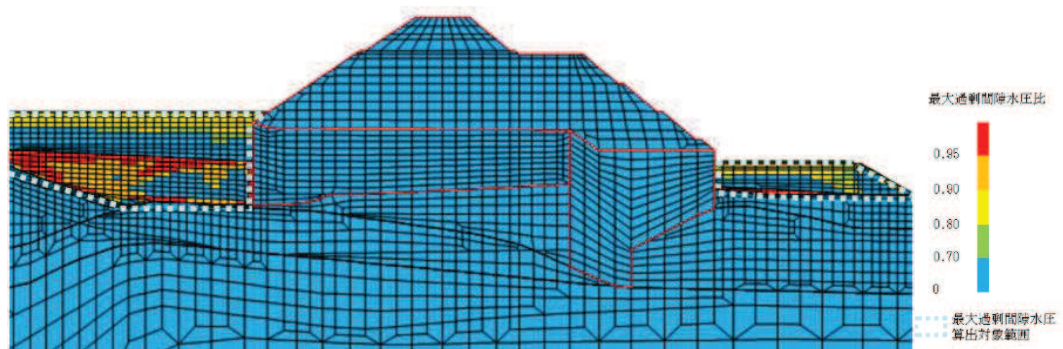
最大照査値及び最小すべり安全率を示す解析ケースの一覧を表4.2-10に、過剰間隙水圧比分布を図4.2-6、図4.2-7に示す。

表 4.2-10 最大照査値を示す解析ケースの一覧（断面①）

断面	評価項目	
	セメント改良土	置換コンクリート
	すべり安全率	すべり安全率
断面①	解析ケース③ S d - D 2 (--)	解析ケース① S d - D 2 (++)

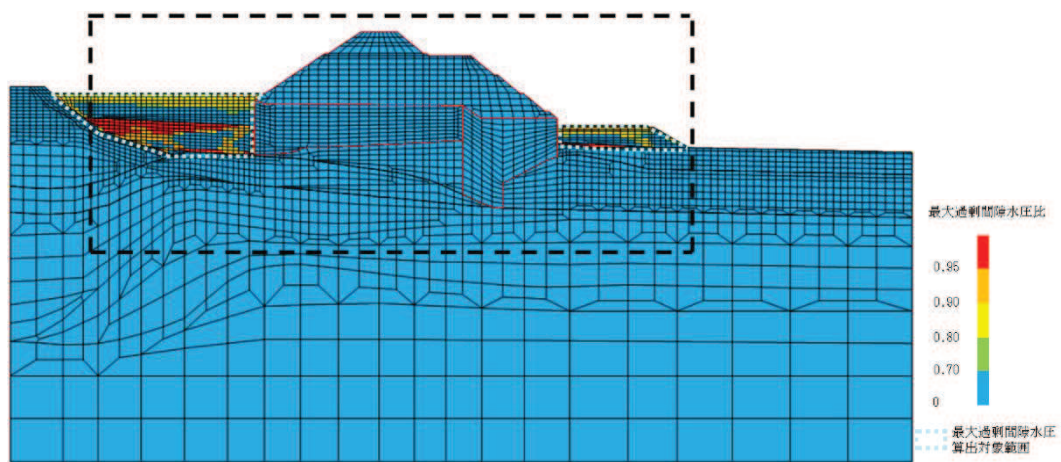


(a) 全体図

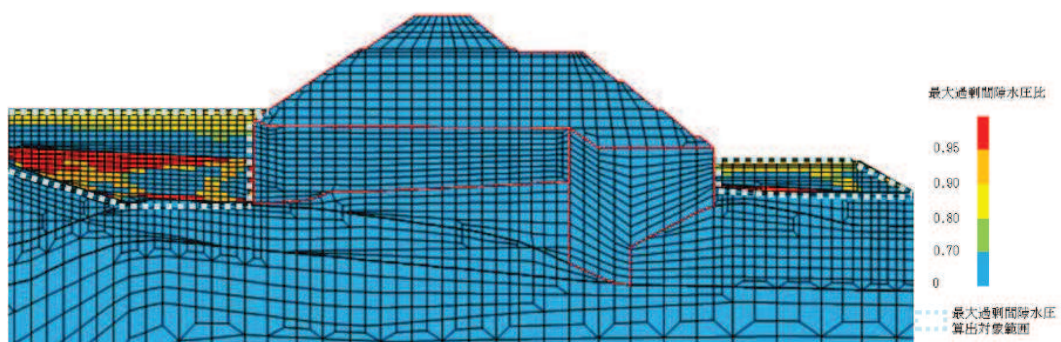


(b) 構造物周辺拡大図

図 4.2-6 断面①の過剰間隙水圧比分布
(解析ケース③, S d - D 2 (一一))



(a) 全体図



(b) 構造物周辺拡大図

図 4.2-7 断面①の過剰間隙水圧比分布
(解析ケース①, S d - D 2 (++))

4.2.2 セメント改良土の評価結果

セメント改良土のすべり安全率による評価結果を表 4.2-11 に、平均強度における最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布を図 4.2-1 に示す。これらの結果から、セメント改良土のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 4.2-11 セメント改良土のすべり安全率評価結果

解析ケース	地震動	発生時刻 (s)	最小すべり安 全率	
①	S d - D 2	(++)	13.63	6.0
		(-+)	13.53	6.1
		(+-)	13.63	6.1
		(--)	13.53	5.7
②		(--)	13.52	5.7
③		(--)	13.53	5.6
① (平均値 - 1 σ 強度)		(++)	13.63	5.8
		(-+)	13.53	5.9
	(+-)	13.63	5.9	
	(--)	13.53	5.5	

4.2.3 置換コンクリートの評価結果

置換コンクリートのすべり安全率による評価結果を表4.2-12に示す。これらの結果から、置換コンクリートのすべり安全率が1.2以上あることを確認した。

表 4.2-12 置換コンクリートのすべり安全率評価結果

解析ケース	地震動	発生時刻 (s)	最小すべり安 全率	
①	S d - D 2	(++)	25.23	12.8
		(-+)	25.22	13.9
		(+-)	25.23	13.1
		(--)	25.21	13.7
②		(--)	25.21	13.0
③		(--)	13.88	14.4

4.2.4 改良地盤の評価結果

改良地盤のすべり安全率による評価結果を表 4.2-13 に示す。これらの結果から、改良地盤のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 4.2-13 改良地盤のすべり安全率評価結果

解析ケース	地震動	発生時刻 (s)	最小すべり安全率	
①	S d - D 2	(++)	13.64	5.8
		(-+)	13.52	5.3
		(+-)	13.87	5.7
		(--)	13.53	5.5
②		(--)	13.52	5.5
③		(--)	25.24	5.5
① (平均値 - 1 σ 強度)		(++)	13.64	5.8
		(-+)	13.52	5.2
		(+-)	13.87	5.6
		(--)	13.53	5.5

4.2.5 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能評価結果を表4.2-14, 表4.2-15に示す。

また, 背面補強工及び置換コンクリートの最大接地圧分布図を図4.2-8, 図4.2-9に示す。

防潮堤(鋼管式鉛直壁)の基礎地盤に生じる最大接地圧が極限支持力度以下であることを確認した。

表 4.2-14 基礎地盤の支持性能照査結果(重畳時, セメント改良土)

解析 ケース	地震動		最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
①	S d - D 2	(++)	0.8	4.4	0.19
		(-+)	0.8	4.4	0.19
		(+-)	0.8	4.4	0.19
		(--)	0.8	4.4	0.19
②		(--)	0.7	4.4	0.16
③		(--)	0.8	4.4	0.19

表 4.2-15 基礎地盤の支持性能照査結果(重畳時, 置換コンクリート)

解析 ケース	地震動		最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
①	S d - D 2	(++)	2.0	11.4	0.18
		(-+)	2.1	11.4	0.19
		(+-)	1.9	11.4	0.17
		(--)	2.0	11.4	0.18
②		(--)	2.1	11.4	0.19
③		(--)	2.0	11.4	0.18

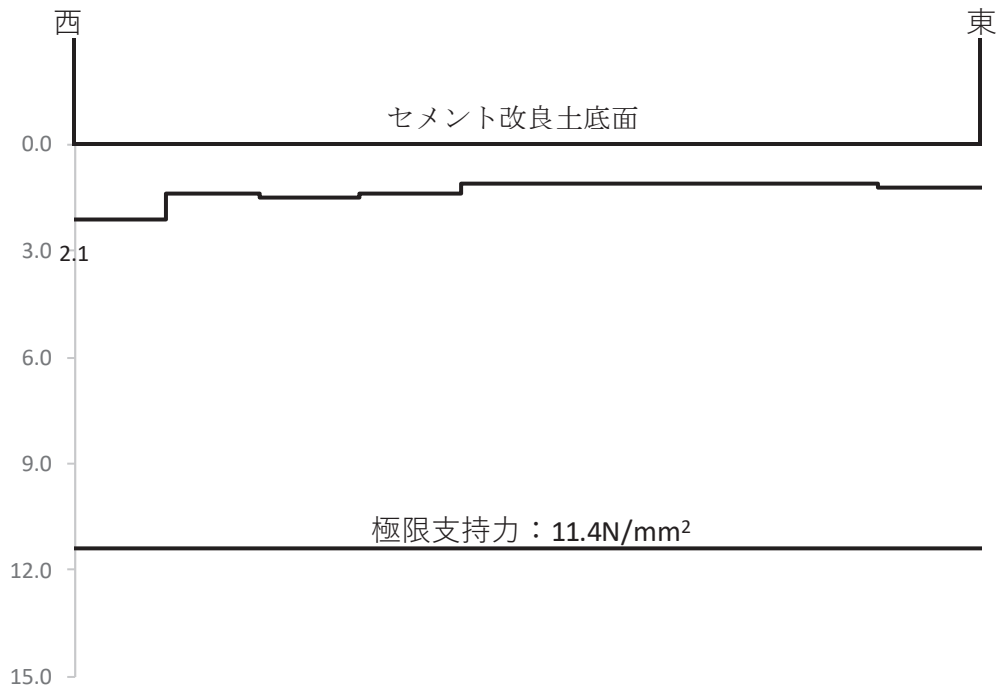


図 4.2-8 支持地盤の接地圧分布図（断面①，セメント改良土）
 (S d - D 2 (-+))
 解析ケース①：基本ケース

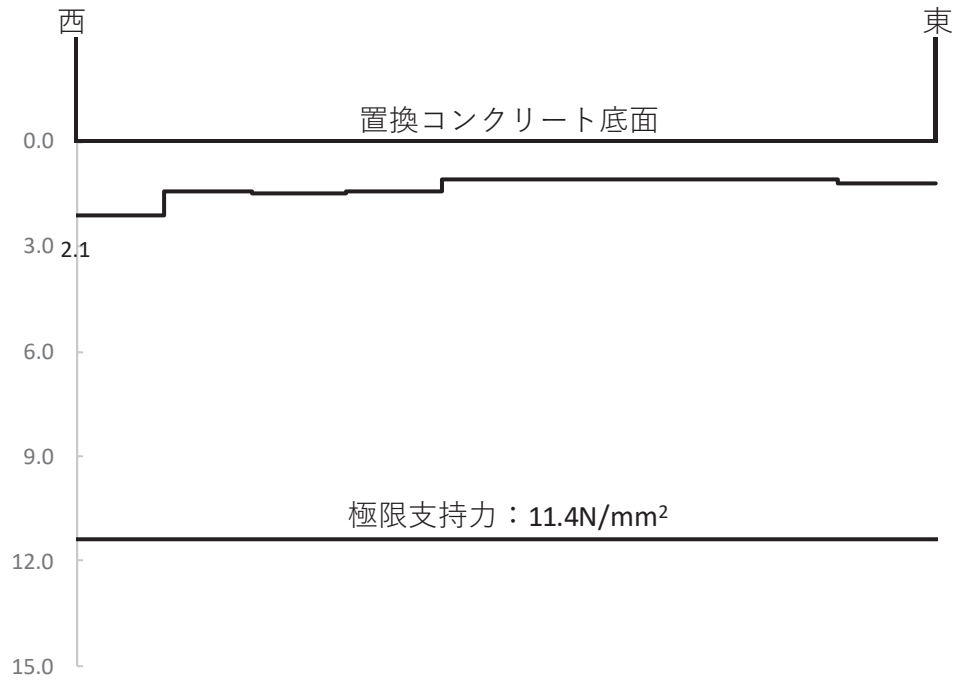


図 4.2-9 支持地盤の接地圧分布図（断面①，置換コンクリート）
 (S d - D 2 (-+))
 解析ケース①：基本ケース

5. 防潮堤（盛土堤防）の強度評価に関する影響検討

5.1 基準地震動 S_s 後の剛性低下の影響について

(1) 概要

防潮堤（盛土堤防）については、基準地震動 S_s を経験した後（以下「 S_s 後」という。）に、必ずしも基準津波が来襲するものではないが、設置変更許可申請時において確認していたことを踏まえ、念のため S_s 後に基準津波を考慮した場合の防潮堤（盛土堤防）の耐津波設計への影響を確認する。

(2) 評価方針

基準地震動 S_s によって地盤の剛性低下が生じた状態を考慮し、その上で津波時及び重畳時の評価を行う。

評価に用いる基準地震動 S_s については、地盤の剛性低下の観点から、地震継続時間が長い $S_s - D1$ を対象とする。

a. 津波時

津波時の評価対象断面及び評価部位については、「4.1 津波時」から解析ケース①（基本ケース）の結果において、照査値が最も厳しい「断面①，セメント改良土」とする。

断面①の地震応答解析モデルを図 5.1-1 に示す。

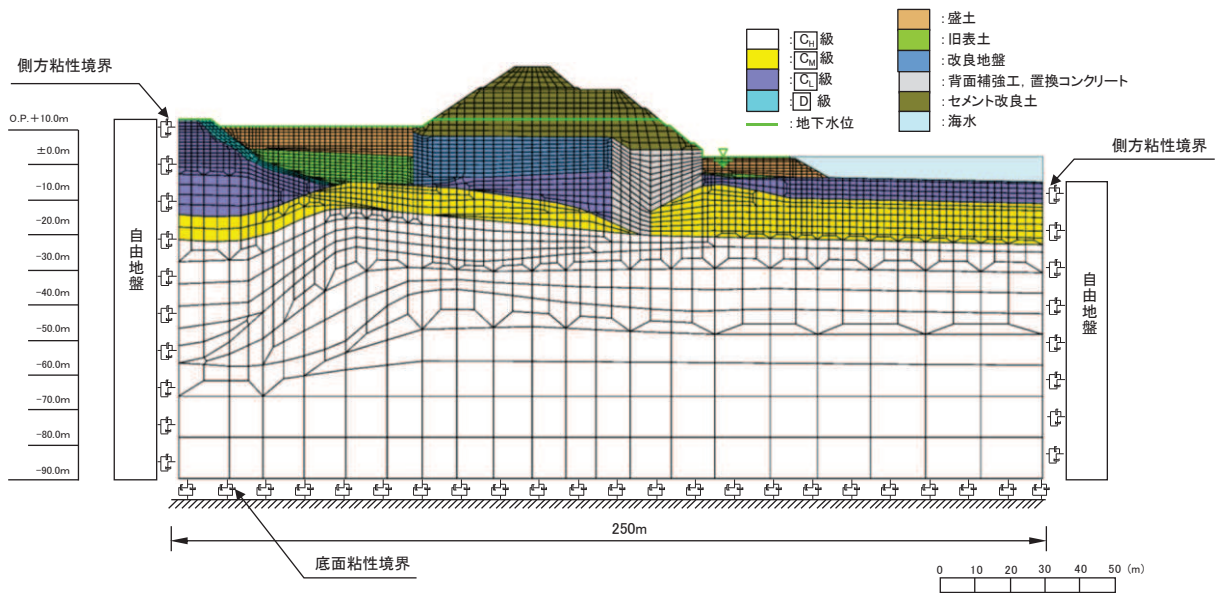


図 5.1-1 防潮堤（盛土堤防）の断面①の解析モデル

解析方法については、「3.5.1(1) 解析方法」と同様であるが、 S_s 後の津波時の評価として、基準地震動 S_s による解析後に遡上津波荷重及び衝突荷重を図 5.1-2 に示すように 100 分割 ($\Delta t=0.01(s)$) して漸増荷重させる。

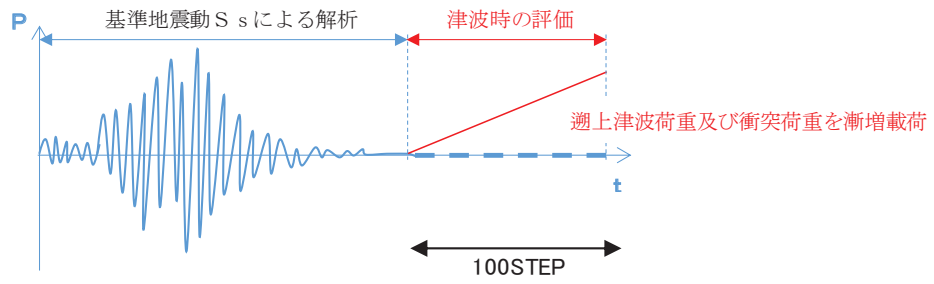


図 5.1-2 S s 後を考慮した津波時の遡上津波荷重及び衝突荷重の载荷方法のイメージ

また、影響検討を行う解析ケースについては、表 5.1-1 のとおり「3.5.2(1)b. 材料物性及び地盤物性のばらつき」の解析ケース①を実施する。

表 5.1-1 解析ケース（防潮堤（盛土堤防）Ss 後を考慮した津波時）

解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土, 盛土, D級岩盤 セメント改良土, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	C1級岩盤, C2級岩盤 C4級岩盤, B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値

b. 重畳時

重畳時の評価対象断面，評価部位及び入力地震動については，「4.2 重畳時」から解析ケース①（基本ケース）の結果において，照査値が最も厳しい「断面①，S_d-D₂（-）」とする。

断面①の地震応答解析モデルを図 5.1-3 に示す。

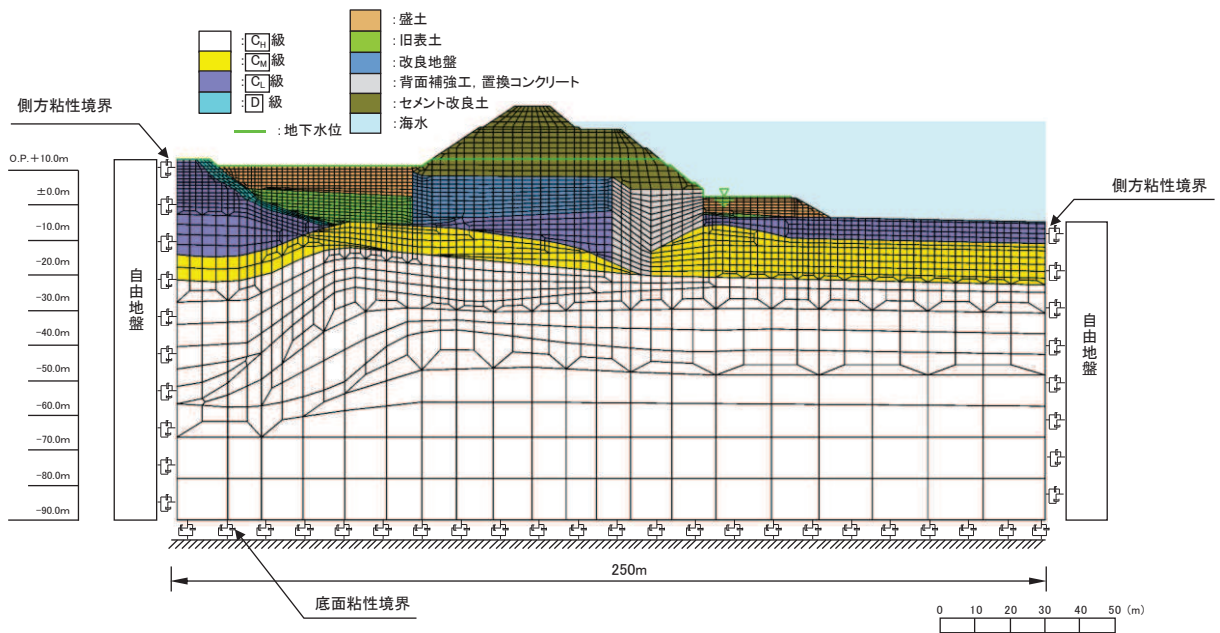
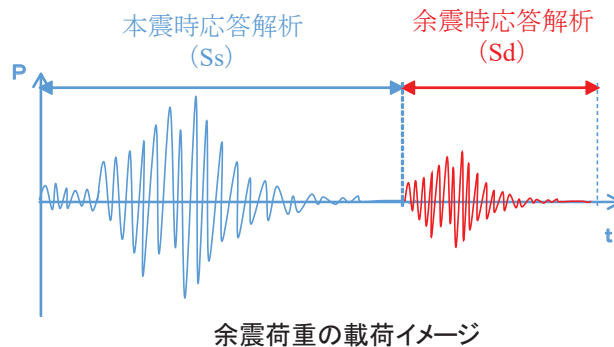


図 5.1-3 防潮堤（盛土堤防）の断面①の解析モデル

解析方法については，「3.5.2(1) 解析方法」と同様であるが，S_s後の重畳時の評価としては，仮想的な荷重載荷状況とはなるが，以下の流れで荷重を載荷させている。

まず，初期状態において遡上津波荷重を載荷させ，その状態を保持したまま図 5.1-4 のとおり基準地震動S_sによる地震荷重を載荷させ，その後弾性設計用地震動S_d-D₂による余震荷重載荷させることとした。



余震荷重の載荷イメージ

図 5.1-4 S_s後を考慮した重畳時の余震荷重及び遡上津波荷重の載荷方法のイメージ

また、影響検討を行う解析ケースについては、表 5.1-2 のとおり「3.5.2(1)b. 材料物性及び地盤物性のばらつき」の解析ケース①を実施する。

表 5.1-2 解析ケース（防潮堤（盛土堤防）Ss 後を考慮した重畳時）

解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土, 盛土, D級岩盤 セメント改良土, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	C ₁ 級岩盤, C ₂ 級岩盤 C ₃ 級岩盤, B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値

(3) 評価結果

a. 津波時

S s 後の津波時の評価結果を表 5. 1-3 に示す。

本検討の結果， S s 後の地盤剛性の低下による影響はほとんどなく， 照査結果に影響しないことを確認した。

表 5. 1-3 セメント改良土のすべり安全率評価結果（断面①）

解析ケース	最小すべり安全率
①*	5. 9
②*	5. 9
③*	5. 9
Ss 後	6. 1

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲

b. 重畳時

S s 後の重畳時の評価結果を表 5. 1-4 に示す。

本検討の結果， S s 後の地盤剛性の低下による影響はわずかであり， すべり安全率に十分な余裕があることを確認した。

表 5. 1-4 セメント改良土のすべり安全率評価結果（断面①）

解析ケース	地震動		発生時刻 (s)	最小すべり安 全率
①*	S d - D 2	(--)	13. 53	5. 7
②*		(--)	13. 52	5. 7
③*		(--)	13. 53	5. 6
S s 後	S d - D 2	(--)	13. 53	5. 4

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲

- 6. 浸水防護施設に関する補足説明
- 6.1 防潮堤の設計に関する補足説明
- 6.1.5 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の止水ジョイント部材について

目 次

1. 概要及び評価方針	1
1.1 概要	1
1.2 評価方針	7
2. 性能確認試験	14
2.1 ゴムジョイント	14
2.2 ウレタンシリコーン目地	25
3. 許容限界の設定	60
4. 耐久性	61
4.1 評価項目	61
4.2 ゴムジョイントの評価結果	63
4.3 ウレタンシリコーン目地の評価結果	69
5. 維持管理方針の検討	80
6. ウレタンシリコーン目地の施工方法について	81

（参考資料1）ウレタンシリコーン目地の下端部の詳細について

（参考資料2）ゴムジョイント下端部の詳細について

（参考資料3）設計水圧（0.3MPa）を超える水圧に対するウレタンシリコーン目地の性能確認試験（試験水圧：0.34MPa）について

（参考資料4）鋼製遮水壁の塗装について

（参考資料5）ウレタンシリコーン目地の施工管理について

（参考資料6）止水ジョイント部材に生じる回転影響について

1. 概要及び評価方針

1.1 概要

防潮堤（鋼管式鉛直壁）は、構造上の境界部及び構造物間に生じる相対変位に対して有意な漏えいを生じない変形に留まる止水ジョイント部材を設置することにより、有意な漏えいを生じない性能を保持する設計としている。

止水ジョイント部材は、構造上の境界部及び構造物間に生じる相対変位の大きさに応じて、ゴムジョイントとウレタンシリコーン目地を使い分ける。

これを踏まえ、各止水ジョイント部材を評価対象とし、止水ジョイント部材が地震時、津波時及び重畳時による変位に対し有意な漏えいを生じない変形に留まること、津波による波圧に対し止水ジョイント部材から有意な漏えいが生じないことを性能確認試験により確認する。また、長期的な耐候性に関しては、耐候性試験により確認する。

防潮堤の平面位置図を図 6.1.5-1 に示す。また、止水ジョイント部材の仕様、設置箇所、拡大図及び詳細図を、それぞれ表 6.1.5-1, 図 6.1.5-2, 図 6.1.5-3 及び図 6.1.5-4 に示す。

なお、ウレタンシリコーン目地の下端部については、図 6.1.5-3 に示すように背面補強工内まで施工することで止水性を確実なものとする。また、背面補強工がある区間のゴムジョイントの下端部については、図 6.1.5-3 に示すように背面補強工には構造目地部があることから、鋼製遮水壁下端部からセメント改良土の中までゴムジョイントを設置することで構造境界部の止水性を確実なものとし、寸法の小さな漂流物の影響がゴムジョイントに及ばないようにゴムジョイントの前面に保護部材を設置する。ウレタンシリコーン目地の下端部の詳細は参考資料 1，ゴムジョイントの下端部の詳細については参考資料 2 に示す。

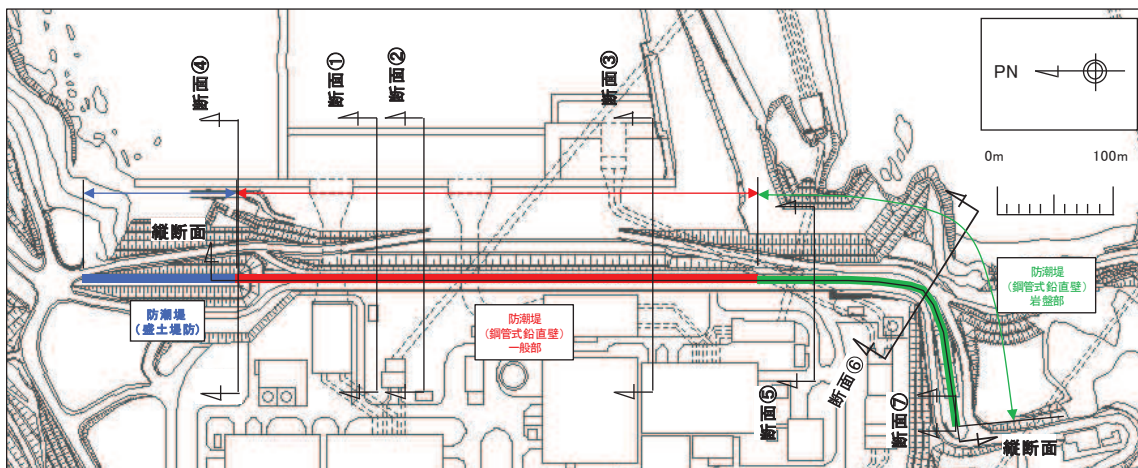


図 6.1.5-1 防潮堤平面位置図

表 6.1.5-1 止水ジョイント部材の仕様

止水ジョイント部材の種類	適用部位	主成分	設置箇所
ゴムジョイント	構造境界部*	クロロプレンゴム	図 6.1.5-2 のとおり
ウレタンシリコーン目地	構造同一部*	ウレタン シリコーン	図 6.1.5-2 のとおり

注記 * : 詳細は「6.1.6 防潮堤 (鋼管式鉛直壁) の止水ジョイント部材の相対変位量に関する補足説明」に示す。

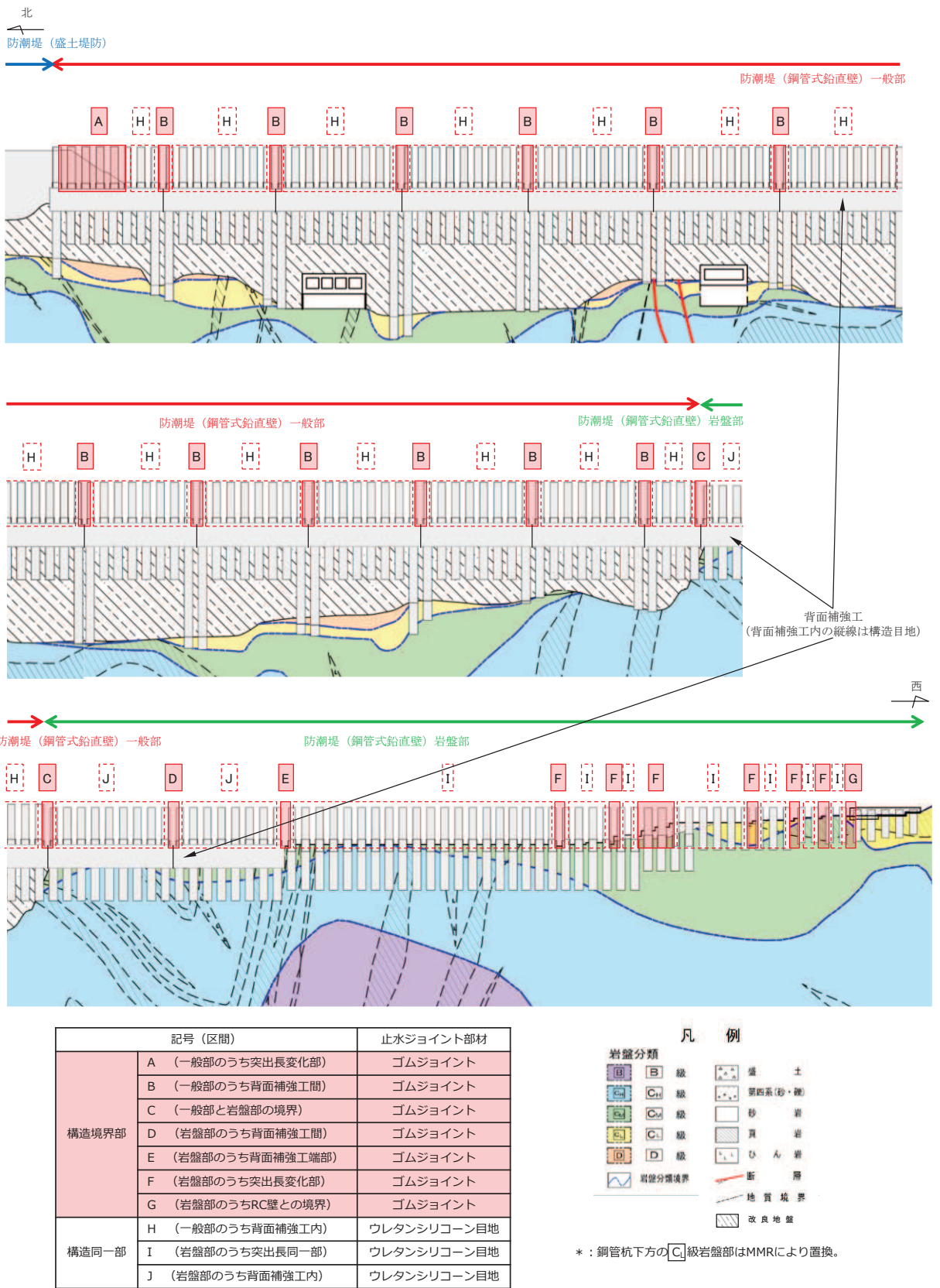
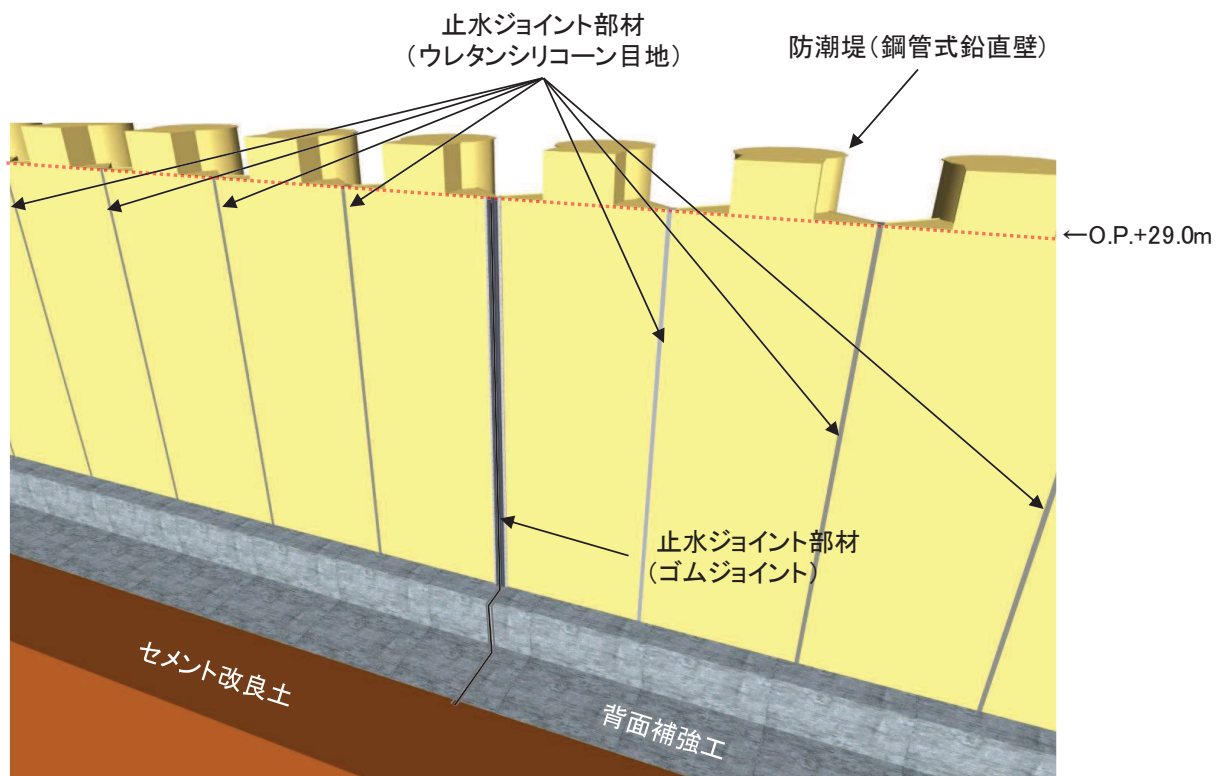
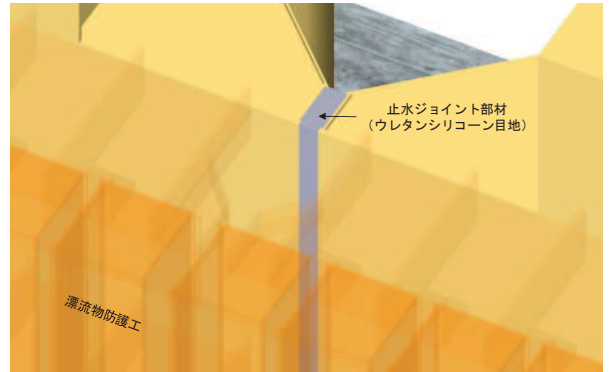
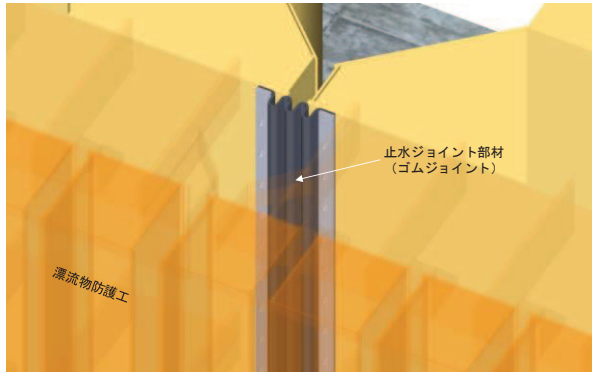


図 6.1.5-2 止水ジョイント部材の設置箇所
(防潮堤縦断面図)

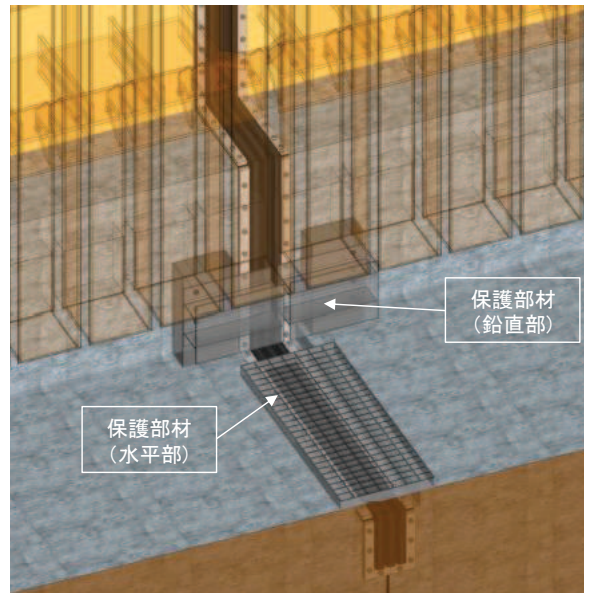
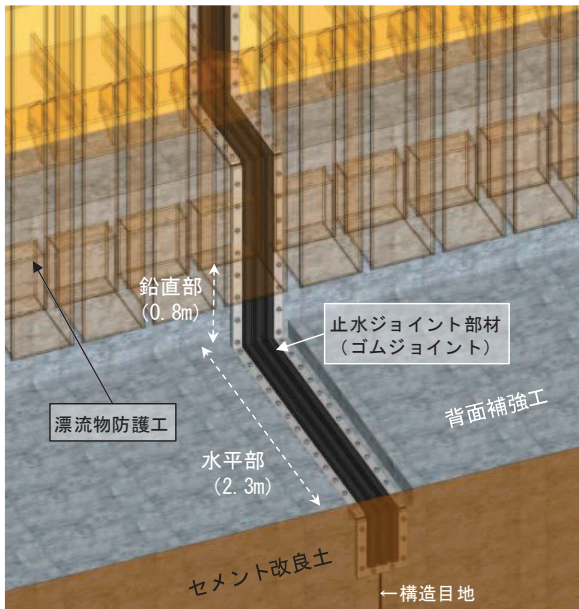
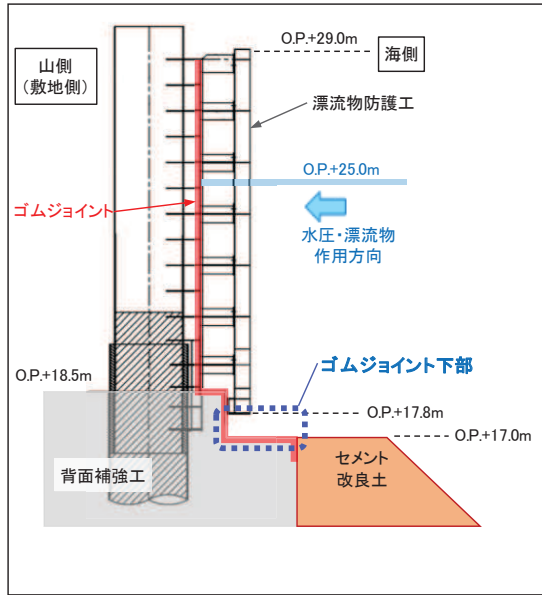


(全体)



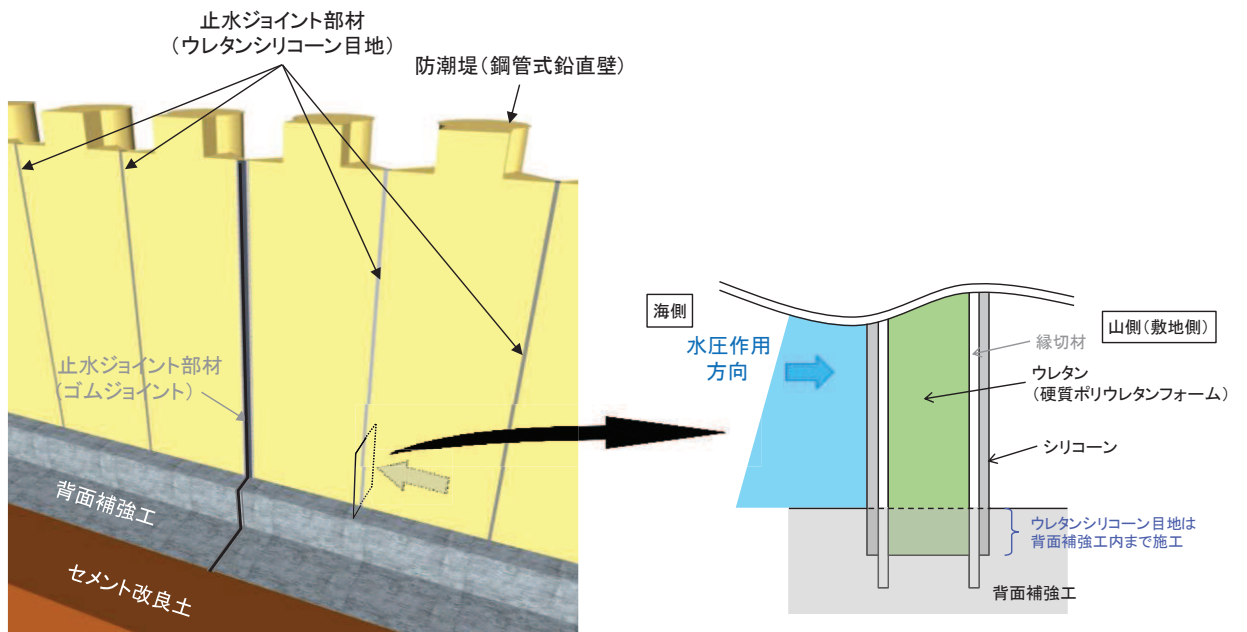
(ゴムジョイント部材の設置イメージ) (ウレタンシリコーン目地の設置イメージ)

図 6.1.5-3(1) 止水ジョイント部材設置イメージ図



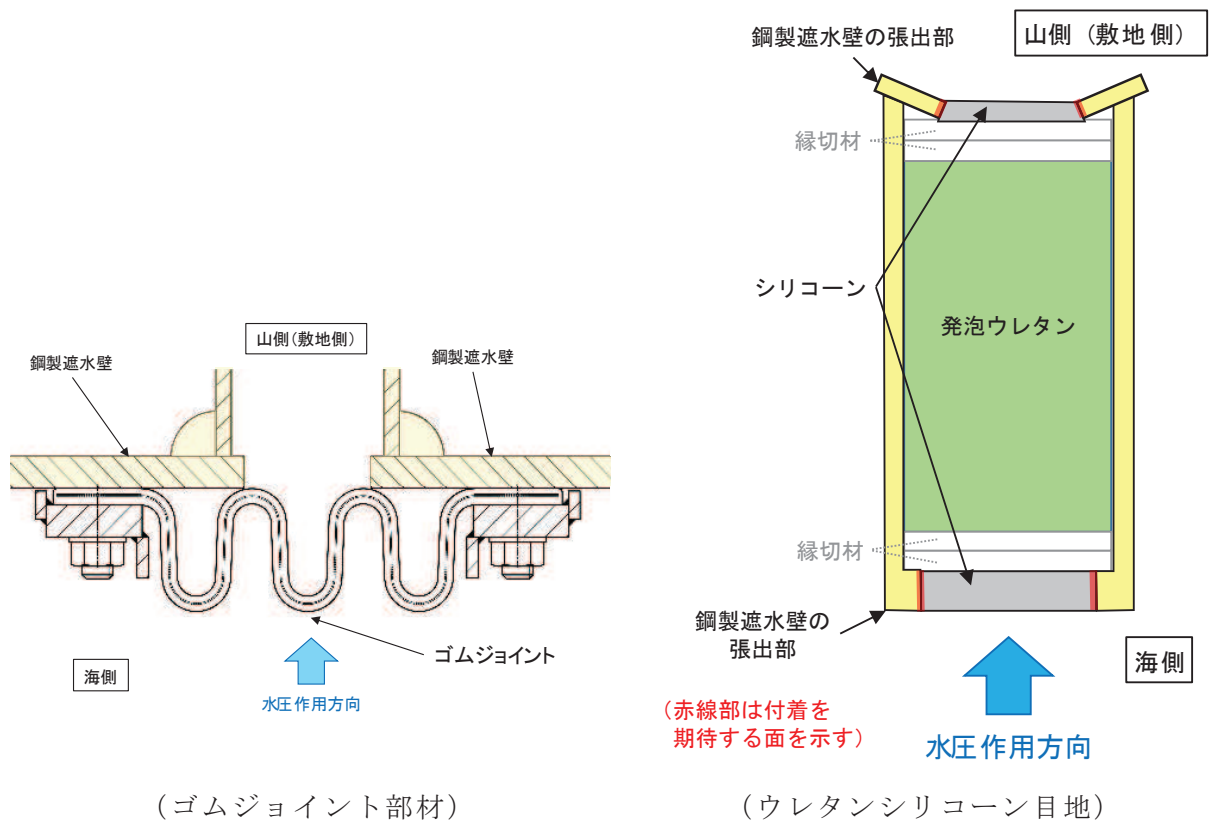
(ゴムジョイント部材の下部詳細)

図 6.1.5-3(2) 止水ジョイント部材設置イメージ図



(ウレタンシリコーン目地の下部詳細)

図 6.1.5-3(4) 止水ジョイント部材設置イメージ図



(ゴムジョイント部材)

(ウレタンシリコーン目地)

図 6.1.5-4 止水ジョイント部材詳細図

1.2 評価方針

止水ジョイント部材の評価方針として、地震時、津波時及び重畳時による変位に対し有意な漏えいを生じない変形に留まること、津波による波圧に対し止水ジョイント部材から有意な漏えいが生じないことを性能確認試験により確認する。また、長期的な経年劣化に対して、有意な性能低下が生じないことを耐候性試験により確認する。

止水ジョイント部材の評価フローを図 6.1.5-5 に、確認試験の一覧を表 6.1.5-2 に示す。

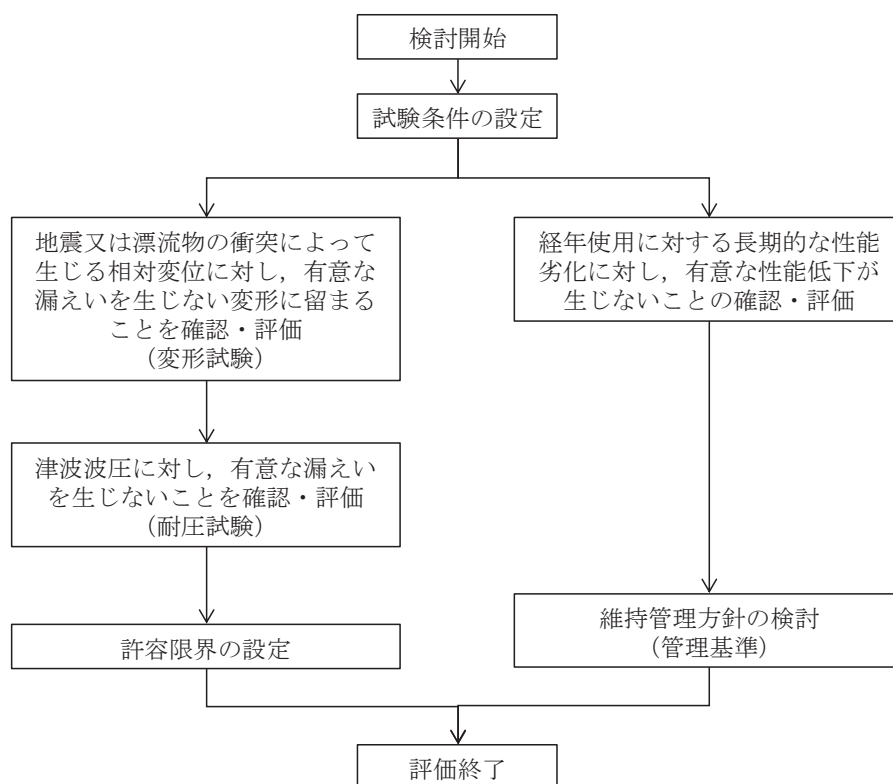


図 6.1.5-5 止水ジョイント部材の評価フロー

表 6.1.5-2 確認試験一覧

項目 確認	地震時	津波時	重畳時
有形に留まることの確認 有意な漏えいを生じない変	— (地震時は津波時の試験で代表)	変形試験* (津波波圧を負荷すると同時に地震時の変位量又は漂流物衝突による変位量を模擬)	変形試験* (津波波圧を負荷すると同時に余震時の変位量を模擬)
との確認 有意な漏えいを生じないこ	— (地震時は要求されな いため対象外)	耐圧試験	耐圧試験
ことの確認 有意な性能低下が生じない	耐候性試験		

注記 * : 繰返し荷重及び継続荷重を実施する。

(1) 試験変形量

止水ジョイント部材の変位方向については、図 6.1.5-6 に示すとおり、防潮堤軸方向（以下、「伸び方向」という）及び防潮堤軸直交方向（以下、「せん断方向」という）の2方向とする。

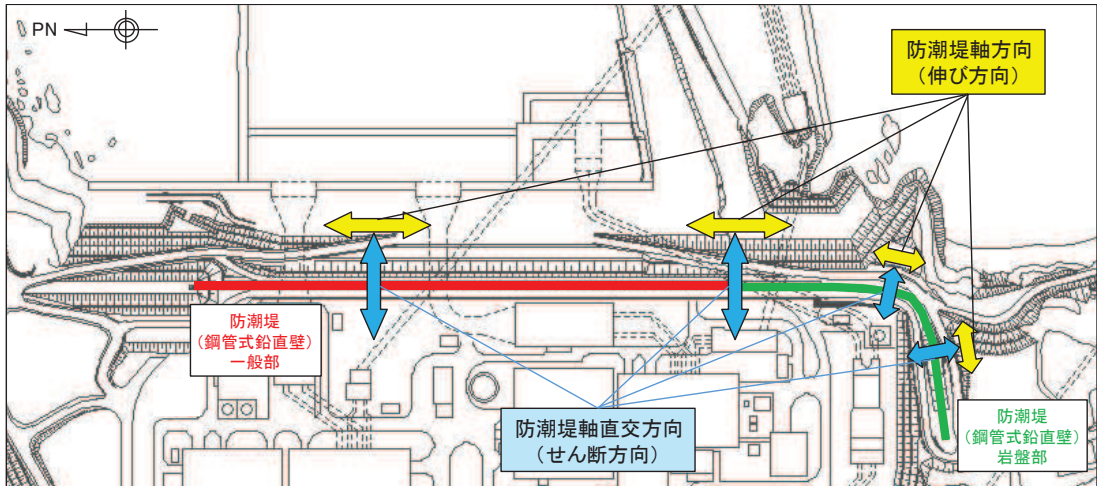


図 6.1.5-6 防潮堤軸直交方向及び防潮堤軸方向の定義

a. ゴムジョイント

ゴムジョイントの試験時変位量は図 6.1.5-7 に示す設計負荷範囲を超える値として、表 6.1.5-3 に示す試験条件で実施する。なお、耐圧試験は表 6.1.5-3 に示す変位量を与えた条件で実施する。

耐圧条件 : 0.40 MPa

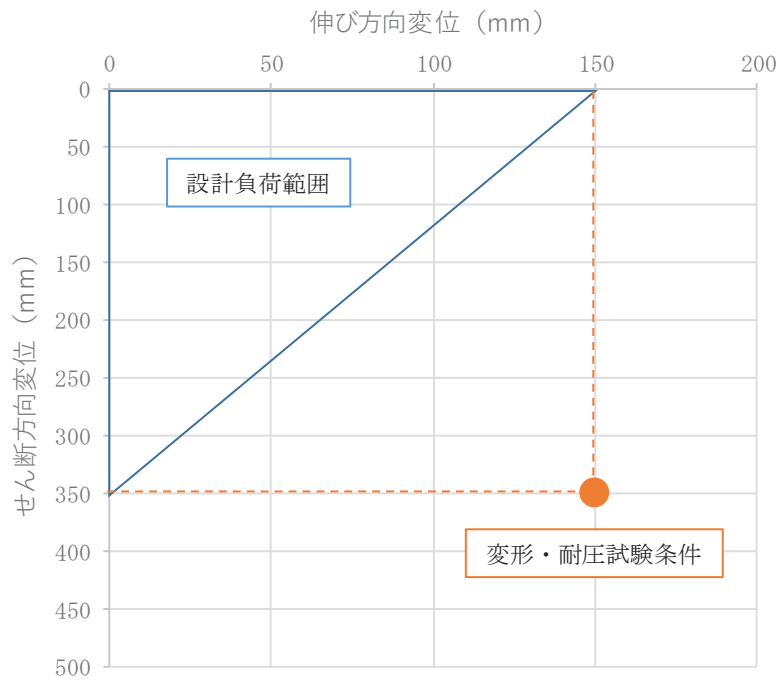


図 6.1.5-7 ゴムジョイントの設計負荷範囲

表 6.1.5-3 ゴムジョイントの試験時変位量

変位量
伸び 150mm, せん断 350mm

b. ウレタンシリコーン目地

ウレタンシリコーン目地の試験時変位量は図 6.1.5-8 に示す設計負荷範囲を超える値として、表 6.1.5-4 に示す試験条件で実施する。なお、耐圧試験は表 6.1.5-4 に示す変位量を与えた条件で実施する。

耐圧条件：0.30 MPa

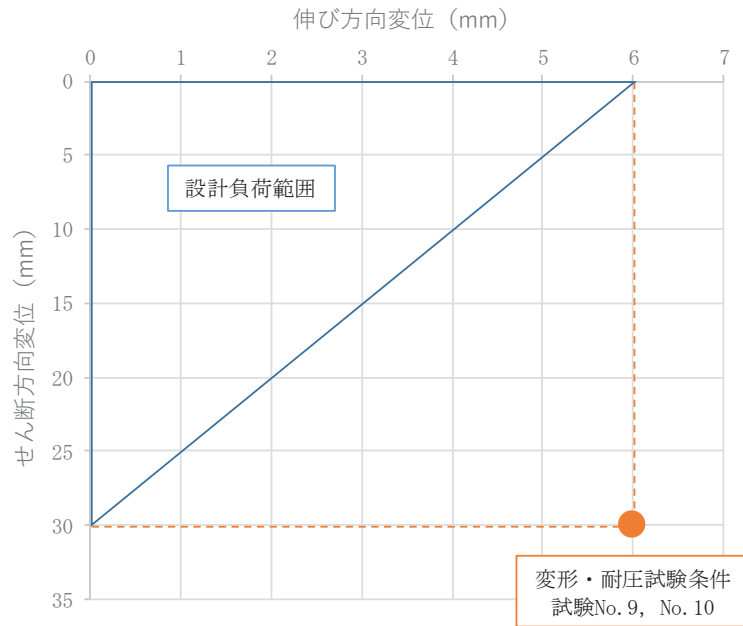


図 6.1.5-8 ウレタンシリコーン目地の設計負荷範囲

表 6.1.5-4 ウレタンシリコーン目地の試験時変位量

変位量
伸び 6mm, せん断 30mm

(2) 試験水圧

試験水圧は、津波時に止水ジョイント部材に作用する水圧として、遡上津波波圧及び余震による動水圧を算定の上、設定する。

遡上津波波圧については、防潮堤前面における最大津波水位標高（入力津波水位：O.P.+24.4m）に余裕を考慮した津波水位 O.P.+25.0m と防潮堤前面（海側）の地盤標高の差分の 1/2 倍を設計用浸水深とし、朝倉式に基づき、その 3 倍を考慮して算定する。遡上津波波圧を表 6.1.5-5 に示す。

また、余震による最大動水圧は、弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ を入力地震動とした地震応答解析より算出する。最大動水圧を表 6.1.5-6 に示す。

各評価断面における遡上津波波圧と最大動水圧の合計は表 6.1.5-7 のとおりであり、断面③における 280.6kN/m^2 (0.2806MPa) が最大である。そのため、保守的に 300kN/m^2 (0.30MPa) とする。ゴムジョイントについては、更に保守的に 400kN/m^2 (0.40MPa) とする。

なお、念のため、海水に浮遊砂が混入した状況を想定し、海水密度を 1.05g/cm^3 又は 1.1g/cm^3 と仮定した場合においても水圧は 300kN/m^2 以下であることを確認しているが、 299.67kN/m^2 であり、ウレタンシリコーン目地の試験水圧 300kN/m^2 に対して余裕が少ないことから、 340kN/m^2 (0.34MPa) とした場合の試験も実施した（参考資料 3）。

断面①～⑥の位置を図 6.1.5-1 及び図 6.1.5-2 に示す。

表 6.1.5-5 遡上津波波圧

断面	設計津波高 (O.P. (m))	防潮堤前面 の地盤高 (O.P. (m))	設計用 浸水深 (m)	防潮堤 天端波圧 (kN/m ²)	背面補強工 天端での波圧 (kN/m ²)
①～⑤	25.0	0.5	12.25	83.4	189.4
⑥	25.0	0.0	12.5	85.9	191.9

注記 *1 : 防潮堤天端高は O.P. +29.0m

*2 : 背面補強工天端高は O.P. +18.5m

表 6.1.5-6 最大動水圧

断面	防潮堤天端高 (O.P. (m))	入力津波高 (O.P. (m))	地震動 (位相)	最大動水圧 (kN/m ²)
①	29.0	25.0	S d - D 2 (- +)	69.0
②	29.0	25.0	S d - D 2 (- -)	70.9
③	29.0	25.0	S d - D 2 (- +)	91.2
⑤	29.0	25.0	S d - D 2 (- +)	41.5
⑥	29.0	25.0	S d - D 2 (+ +)	58.2

表 6.1.5-7 遡上津波波圧と最大動水圧の合計

断面	防潮堤前面の 地盤高での波圧 (kN/m ²)	最大動水圧 (kN/m ²)	波圧と動水圧の合 計 (kN/m ²)
①	189.4	69.0	258.4
②	189.4	70.9	260.3
③	189.4 (202.25) *	91.2 (97.42) *	<u>280.6</u> (299.67) *
⑤	189.4	41.5	230.9
⑥	191.9	58.2	250.1

注記* : 海水に浮遊砂が混入した状況を想定し、海水密度を 1.1g/cm³ と仮定した場合の水圧を示す。

2. 性能確認試験

止水ジョイント部材に対して，地震時，津波時及び重畳時の最大相対変位を想定して伸び・せん断変形させ，有意な漏えいを生じない変形に留まることを試験により確認する。また，止水ジョイント部材に対して，上記最大相対変位及び津波による波圧を想定した伸び・せん断変形及び水圧を作用させることにより，有意な漏えいを生じない性能を保持することを試験により確認する。

なお，参考資料6に示すとおり，止水ジョイント部材に生じる回転影響は無視できるレベルであることから，性能確認試験において回転の影響は考慮しないこととする。

2.1 ゴムジョイント

(1) 試験条件（試験変位量，水圧）

試験条件として表 6.1.5-8 に示す変位量，水圧を作用させる。図 6.1.5-9 に示すとおり止水ジョイント部材に津波荷重が作用する時間は約 1 分であるが，基準津波の半周期が約 10 分であることを踏まえ，加圧時間は 10 分以上を基本とし，試験では保守的に 1 時間とした。加圧時間中及び加圧時間経過後，ゴムジョイントに有意な損傷や漏えいが生じないことを確認する。

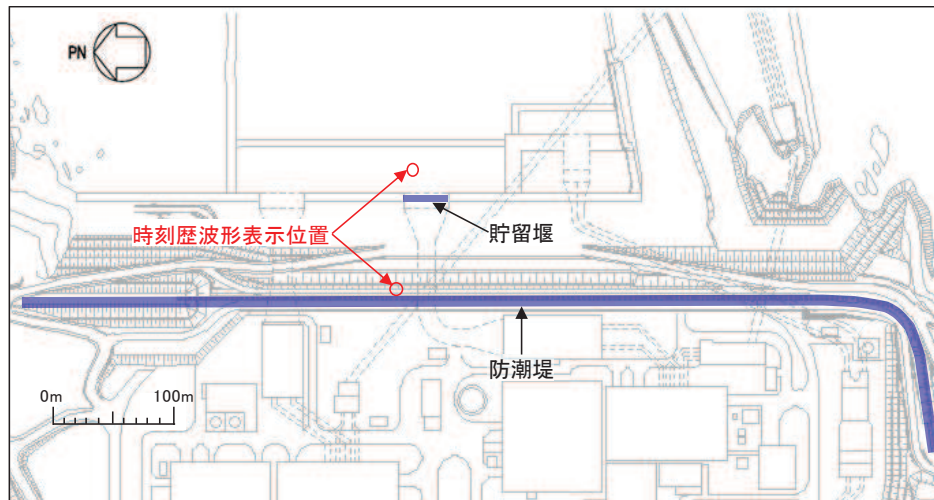
なお，地震時及び津波時にはねじり変位が生じるものの，その時の回転角度は最大でも約 0.35° と小さいため，試験変位については平行移動により設定する。

ゴムジョイントの性能確認試験フローを図 6.1.5-10 に，変形・耐圧試験のイメージを図 6.1.5-11 に，変形・耐圧試験の状況を図 6.1.5-12 に示す。

表 6.1.5-8 ゴムジョイントの試験条件

試験種別	変位量	水圧	必要耐圧 保持時間
変形試験	伸び 150mm せん断 350mm	—	—
耐圧試験	伸び 150mm せん断 350mm	0.40MPa	10 分以上*

注記 *：加圧時間は必要耐圧保持時間に対し，十分な余裕をもって 1 時間とした。



(時刻歴波形表示位置)

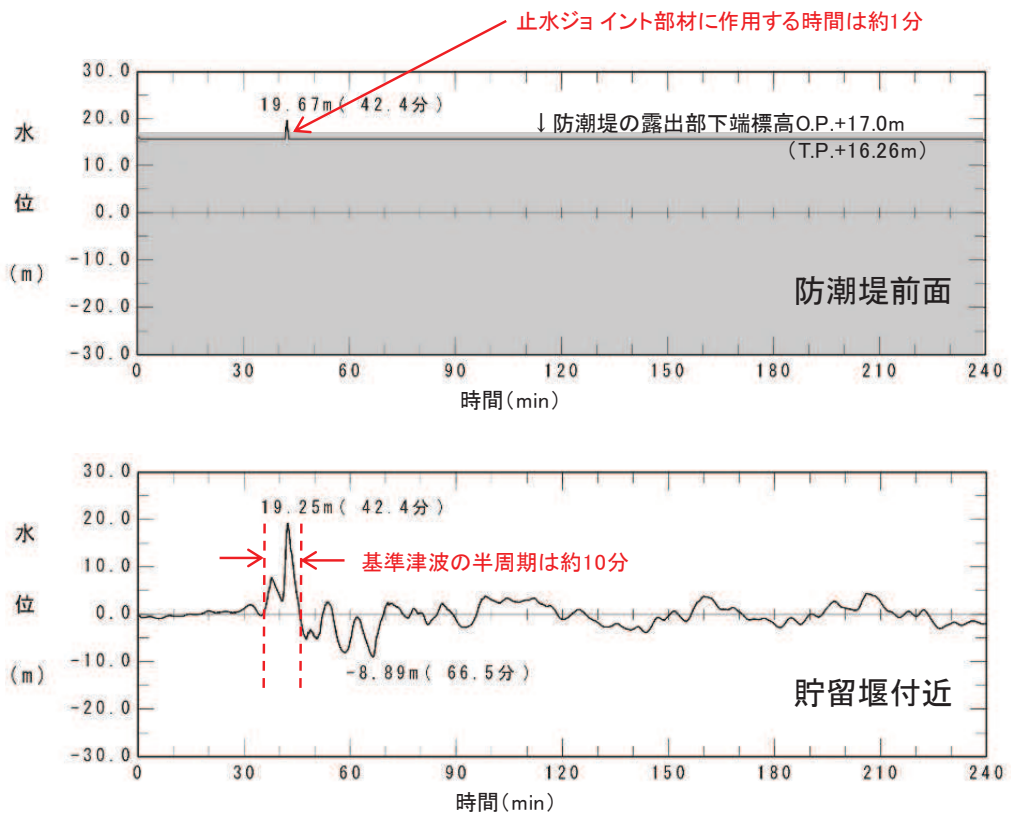


図 6.1.5-9 防潮堤前面及び貯留堰付近の水位時刻歴波形

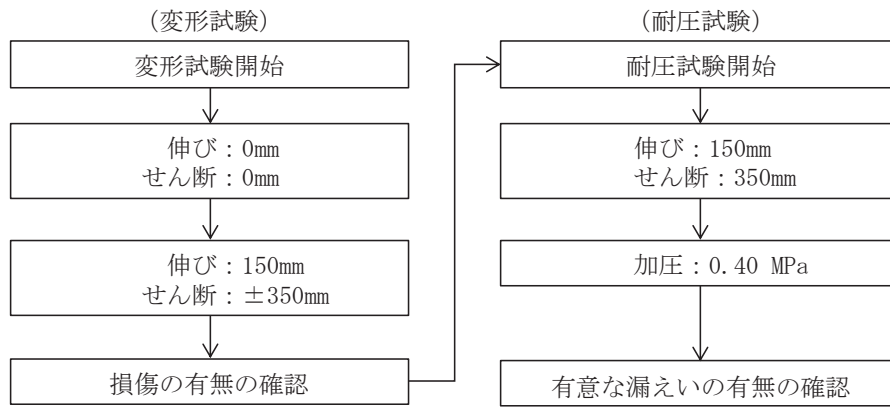


図 6.1.5-10 ゴムジョイントの性能確認試験フロー

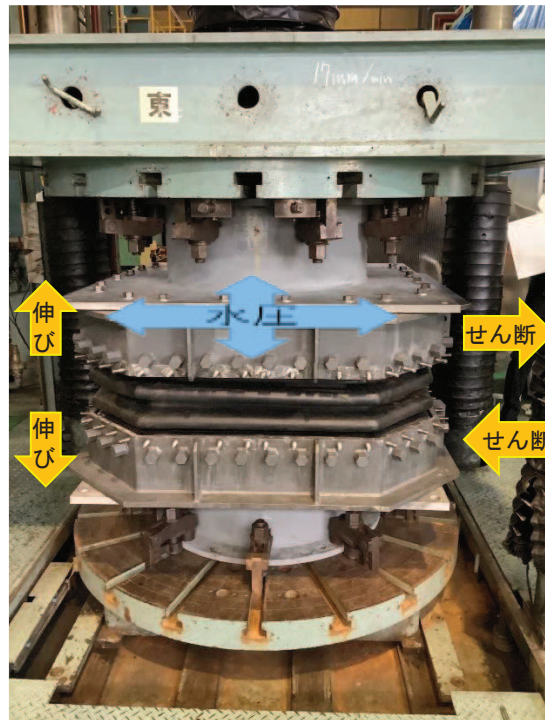


図 6.1.5-11 変形・耐圧試験のイメージ

(2) 試験状況写真

a. 設置状況確認 (伸び 0mm, せん断 0mm, 水圧 0MPa)

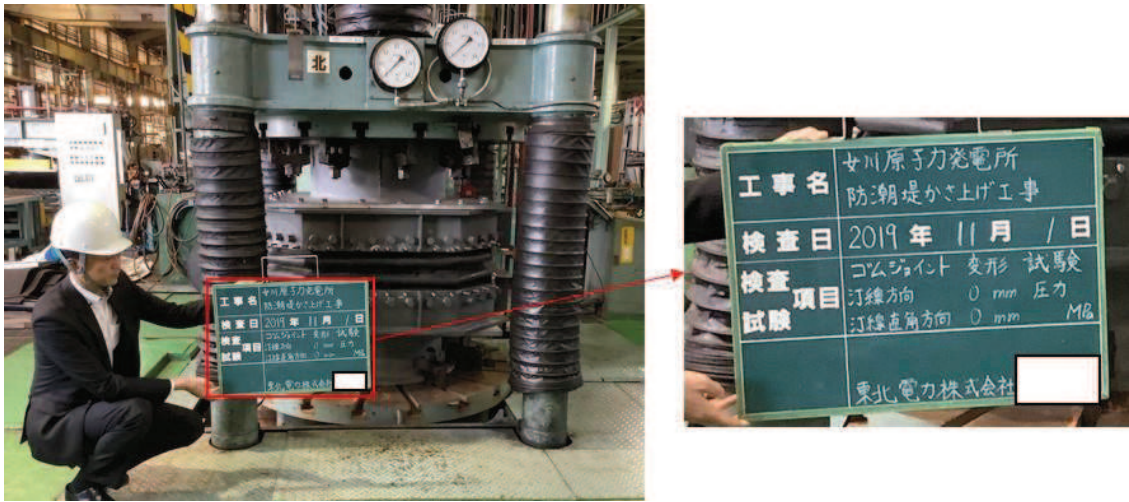


図 6.1.5-12(1) 全体状況



図 6.1.5-12(2) ゴムジョイント設置状況



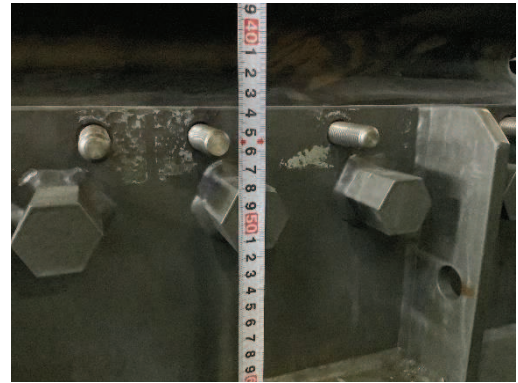
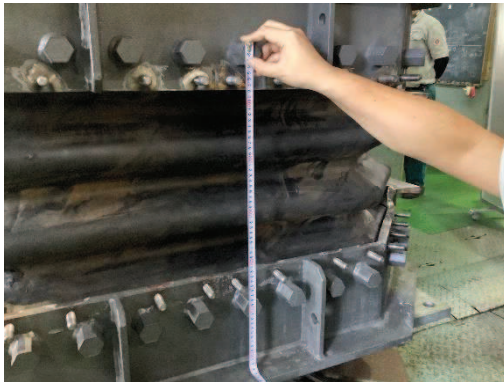
枠間距離計測状況



ボルト間距離 (初期値): 330 mm

図 6.1.5-12(3) ゴムジョイント設置状況 (枠間距離計測)

b. 変形試験状況確認（伸び 150mm，せん断 0mm，水圧 0MPa）



枠間距離計測状況（損傷無し）

ボルト間距離：480 mm
 （初期値 330mm + 伸び 150mm = 480mm）

図 6.1.5-12(4) ゴムジョイント変形試験状況（伸び：150mm）

c. 変形試験状況確認（伸び 150mm，せん断 350mm，水圧 0MPa）

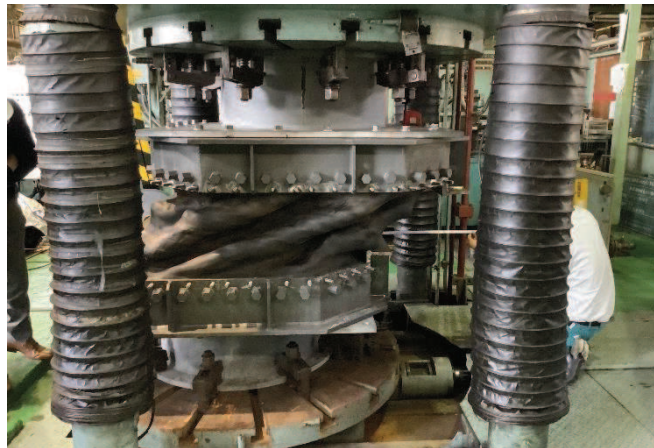


図 6.1.5-12(5) 変形試験全体状況（伸び 150mm，せん断 350mm，水圧 0MPa）



せん断方向距離計測状況

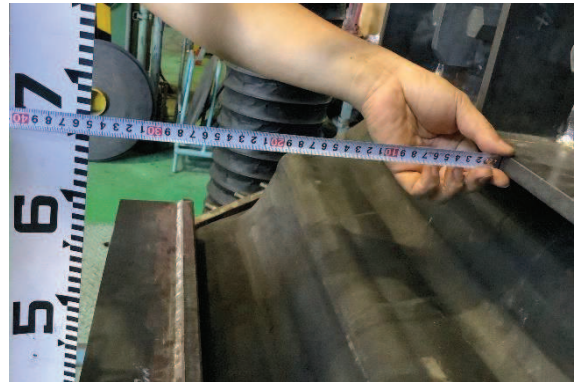


せん断方向変位：350 mm

図 6.1.5-12(6) ゴムジョイント変形試験状況（伸び：150mm，せん断：350mm）



せん断方向距離計測状況



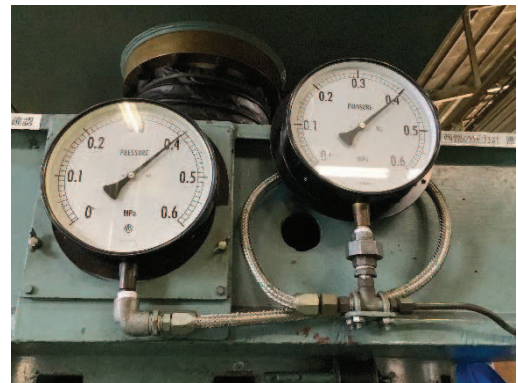
せん断方向変位：350 mm

図 6.1.5-12(7) ゴムジョイント変形試験状況 (伸び：150mm, せん断：350mm)

d. 耐圧試験状況確認 (伸び 150mm, せん断 350mm, 水圧 0.40MPa)



加圧状況 (漏えい無し)



0.40MPa 加圧

図 6.1.5-12(8) ゴムジョイント耐圧試験状況(伸び:150mm,せん断:350mm,水圧 0.40MPa)



0.40MPa, 1時間保持後 (漏えい無し)



0.40MPa, 1時間保持後

図 6.1.5-12(9) ゴムジョイント耐圧試験結果(伸び:150mm,せん断:350mm,水圧 0.40MPa)

(3) 試験結果

所定の変位（伸び 150mm，せん断 350mm）を与えた上で，津波による波圧を上回る水圧 0.40MPa を 10 分以上（加圧時間：1 時間）加圧した結果，表 6.1.5-9 に示すとおり損傷及び漏えいが無いことを確認した。

表 6.1.5-9 ゴムジョイントの試験結果

試験種別	変位量	水圧	耐圧 保持時間	損傷， 漏えい	判定
変形試験	伸び 150mm せん断 350mm			無し	OK
耐圧試験	伸び 150mm せん断 350mm	0.40MPa	10 分以上	無し	OK

(4) ゴムジョイント取付け部

ゴムジョイントの取付け部から有意な漏えいを生じさせないためには、以下に示す取付けボルトに発生する応力が許容応力以下であることを確認する必要がある。図 6.1.5-13 にゴムジョイントの断面を示す。

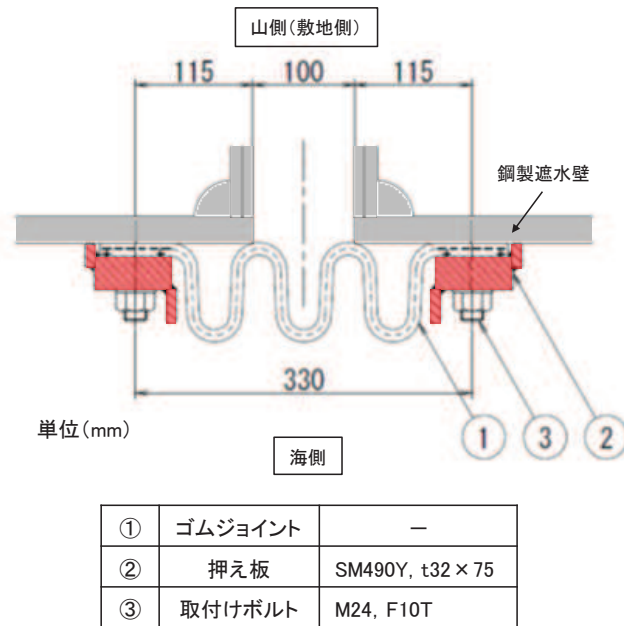


図 6.1.5-13 ゴムジョイントの断面

変位及び水圧が作用した際に、ゴムジョイントに張力が発生して、ゴムジョイント取付け部からゴムジョイントが引き抜かれる方向に力が働く。この力に対して、押え板又は鋼製遮水壁とゴムの摩擦力で抵抗するため、摩擦力を発生させるために必要な取付けボルトの軸力を算出し、ボルトに発生する応力が許容応力以下であることを確認する。

図 6.1.5-14 に示すとおり、ゴムジョイントに作用している変位は、上述の試験と同様の伸び方向 150mm、せん断方向 350mm とし、水圧は 0.4MPa とする。この条件でのゴムジョイントの耐圧半径は 270mm であり、ゴムジョイントに発生する引張応力 N_0 (N/mm) は構造力学公式集の式から算出される。

8.2 円筒シェル

(A) 一様内圧

$$N_x = \frac{pr}{2}, \quad N_\theta = pr, \quad \Delta r = \frac{r}{Et} (N_\theta - \nu N_x)$$

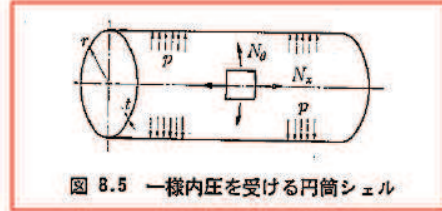


図 8.5 一様内圧を受ける円筒シェル

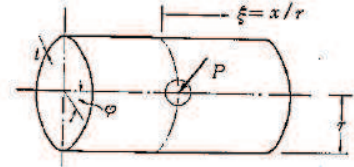


図 8.6 径方向集中荷重を受ける円筒シェル

構造力学公式集 (一部加筆)

$$N_0 = pr = 0.4 \times 270 = 108 \text{ (N/mm)}$$

N_0 : ゴムジョイントに生じる引張応力 (N/mm)

p : 作用水圧 (MPa=N/mm²)

r : 水圧を受ける半径 (mm)

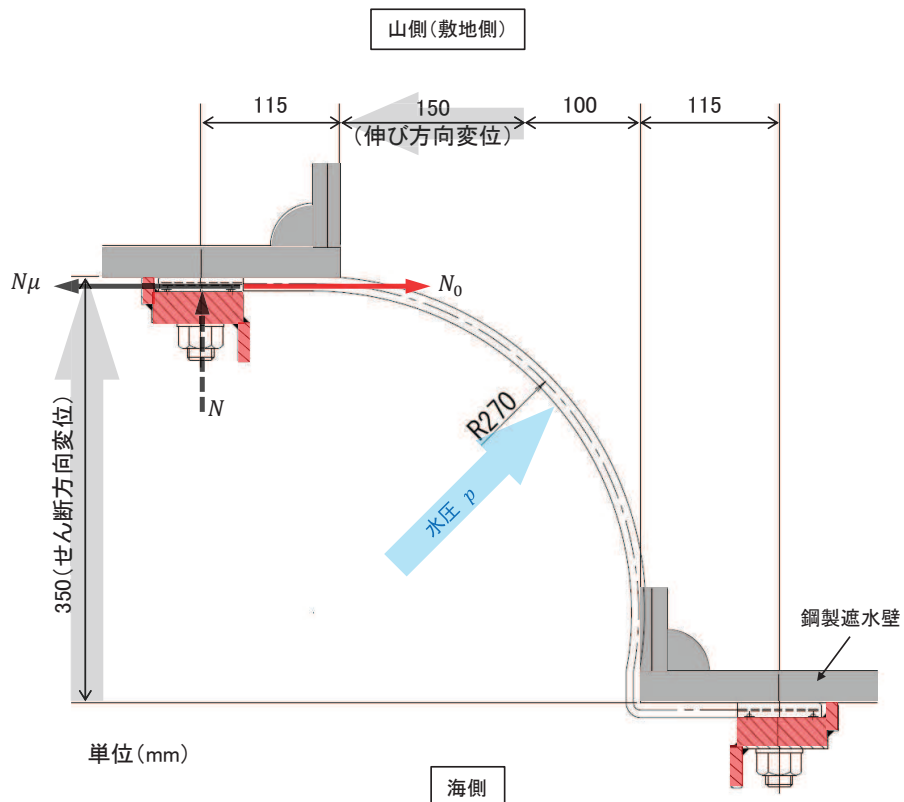


図 6.1.5-14 ゴムジョイントに生じる引張応力及び変位及び水圧作用時のゴムジョイントの断面図

ゴムジョイントが押え板と鋼製遮水壁から引き抜かれる力(引抜力: T (N))は、ゴムジョイントに発生する引張応力 N_0 (N/mm)と取付けボルトのピッチ L (mm)から算出される(図 6.1.5-14)。

$$T = N_0 L = 108 \times 200 = 21600 \text{ (N)}$$

N_0 : ゴムジョイントに生じる引張応力 (N/mm)

T : 引抜力 (N)

L : 取付けボルトのピッチ (mm)

この引抜力 T (N)から取付けボルトの必要軸力 N (N)は以下のとおり算出される(図 6.1.5-14)。

$$N = \frac{T}{\mu} \gamma = 21600 / 0.4 \times 1.8 = 97200 \text{ (N)}$$

N : 取付けボルトの必要軸力 (N)

μ : 摩擦係数 (=0.4, メーカー基準(試験値))

γ : 安全率 (=1.8, メーカー基準)

T : 引抜力 (N)

取付けボルトの発生応力(引張応力) σ_t 及び締付け面圧 P_0 は以下のとおり算出される。

$$\sigma_t = \frac{N}{A_S} = 97200 / 353 = 275.4 \text{ (N/mm}^2\text{)} < 465 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

σ_t : 取付けボルトの発生応力(引張応力) (N/mm²)

A_S : 取付けボルトの有効断面積 (353mm²) *

注記* : 道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編より

$$P_0 = \frac{N}{wL} = 97200 / (200 \times 75) = 6.48 \text{ (MPa)} > 0.4 \text{ (MPa)}$$

P_0 : 締付け面圧 (MPa=N/mm²)

w : 押え板の接触幅 (75mm)

以上から、取付けボルトの発生応力（引張応力） σ_t は 276 (N/mm²) であり、F10T の短期許容引張応力 σ_{ta} の 465 (N/mm²) 以下であること、締付け面圧 P_0 も設計水圧 0.4 (MPa) 以下であることから、ゴムジョイント取付け部からゴムジョイントが引き抜かれることはないことを確認した。

なお、取付けボルトの軸力は経時によって低下することを想定しているため、施工時の軸力（導入軸力 N' (N)）は取付けボルトの必要軸力 N (N) よりも大きくしておく必要がある。

導入軸力 N' (N) は以下のとおり算出されるため、この軸力を確保するため施工時においてトルク管理を行うこととする。

$$N' = \frac{N}{\alpha} = 97200/0.77 = 126234 \quad (\text{N})$$

α : 応力緩和係数 (=0.77, メーカーによる基準 (試験値))

2.2 ウレタンシリコーン目地

ウレタンシリコーン目地は図 6.1.5-15 に示すように、シリコーン及び硬質ポリウレタンフォームで構成され、シリコーンとウレタンの間にはウレタンを施工するための型枠としてポリエチレン製の縁切材を設置する。

ウレタンシリコーン目地は複数の部位で構成されていることを踏まえ、性能確認試験において確認する事項を明確にする必要がある。そのため、荷重伝達、止水機能を発揮するメカニズム、各部位の役割及び損傷モードを整理し、試験での確認事項を設定する方針とした。

まず、地震時、津波時及び重畳時の荷重の伝達及び止水機能を発揮するメカニズムについて整理を行った。荷重伝達の概要及び止水機能を発揮するメカニズムを図 6.1.5-16 に、荷重伝達の詳細を図 6.1.5-17 に示す。

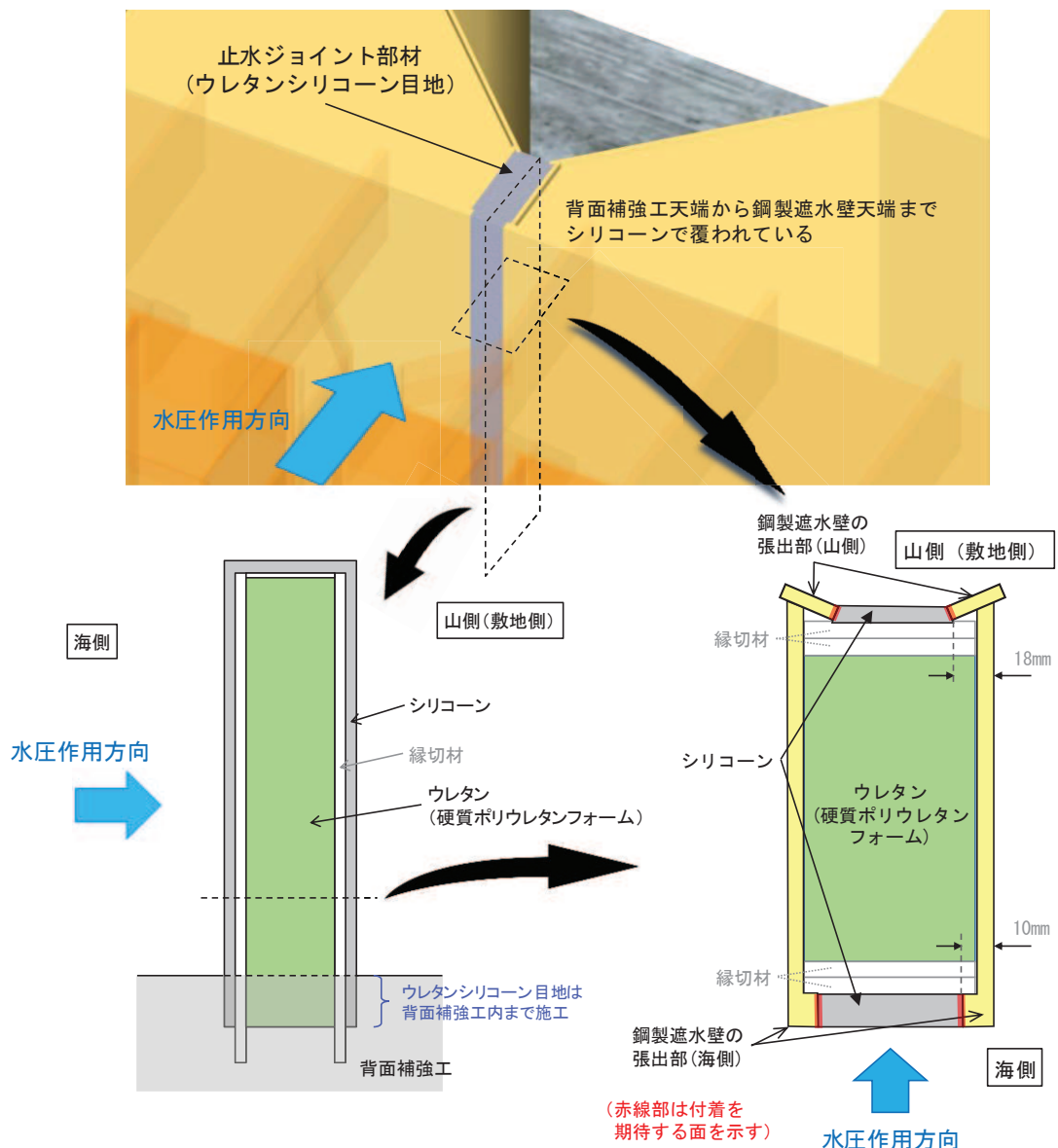


図 6.1.5-15 ウレタンシリコーン目地の詳細

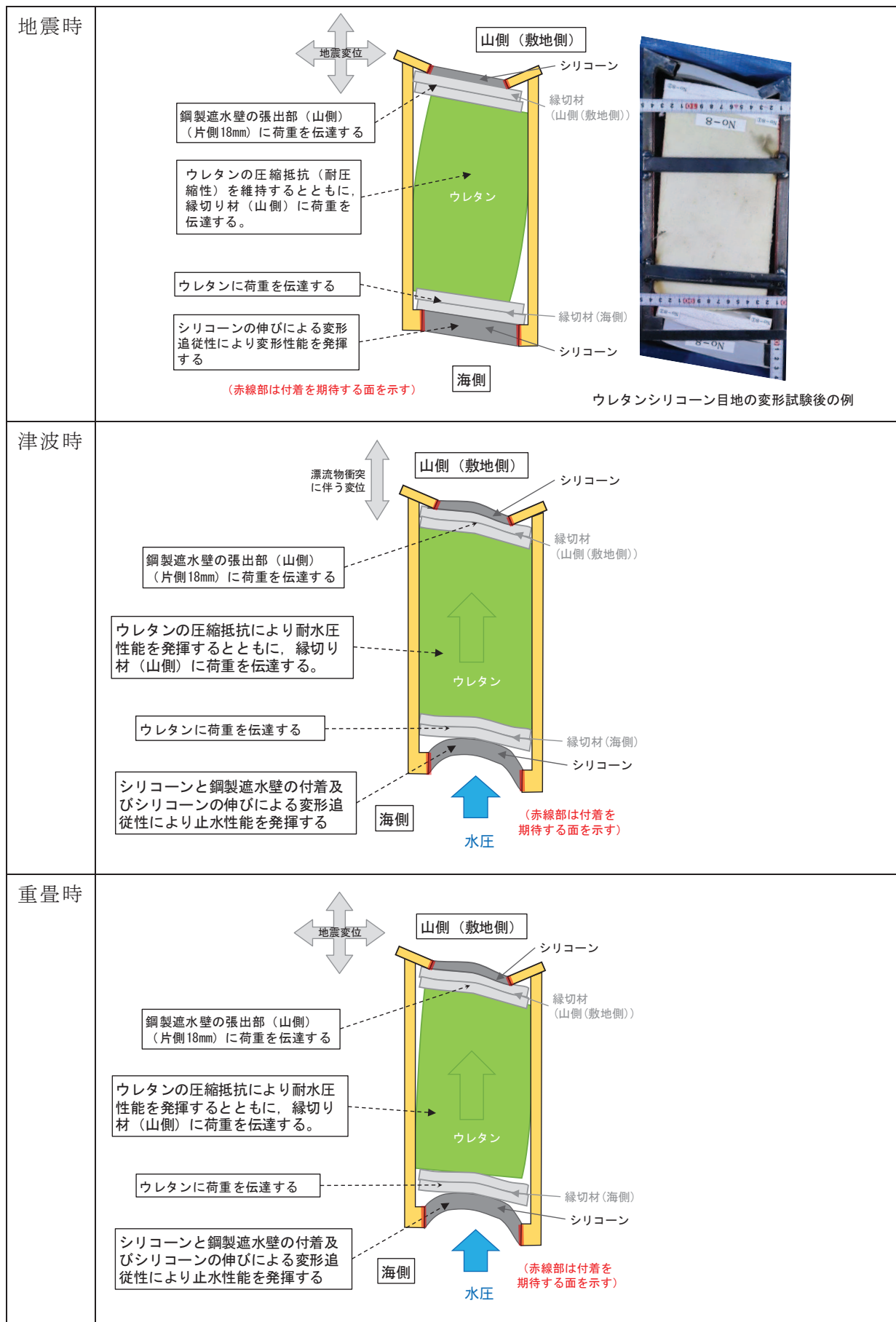


図 6. 1. 5-16 荷重伝達の概要及び止水性能発揮のメカニズム

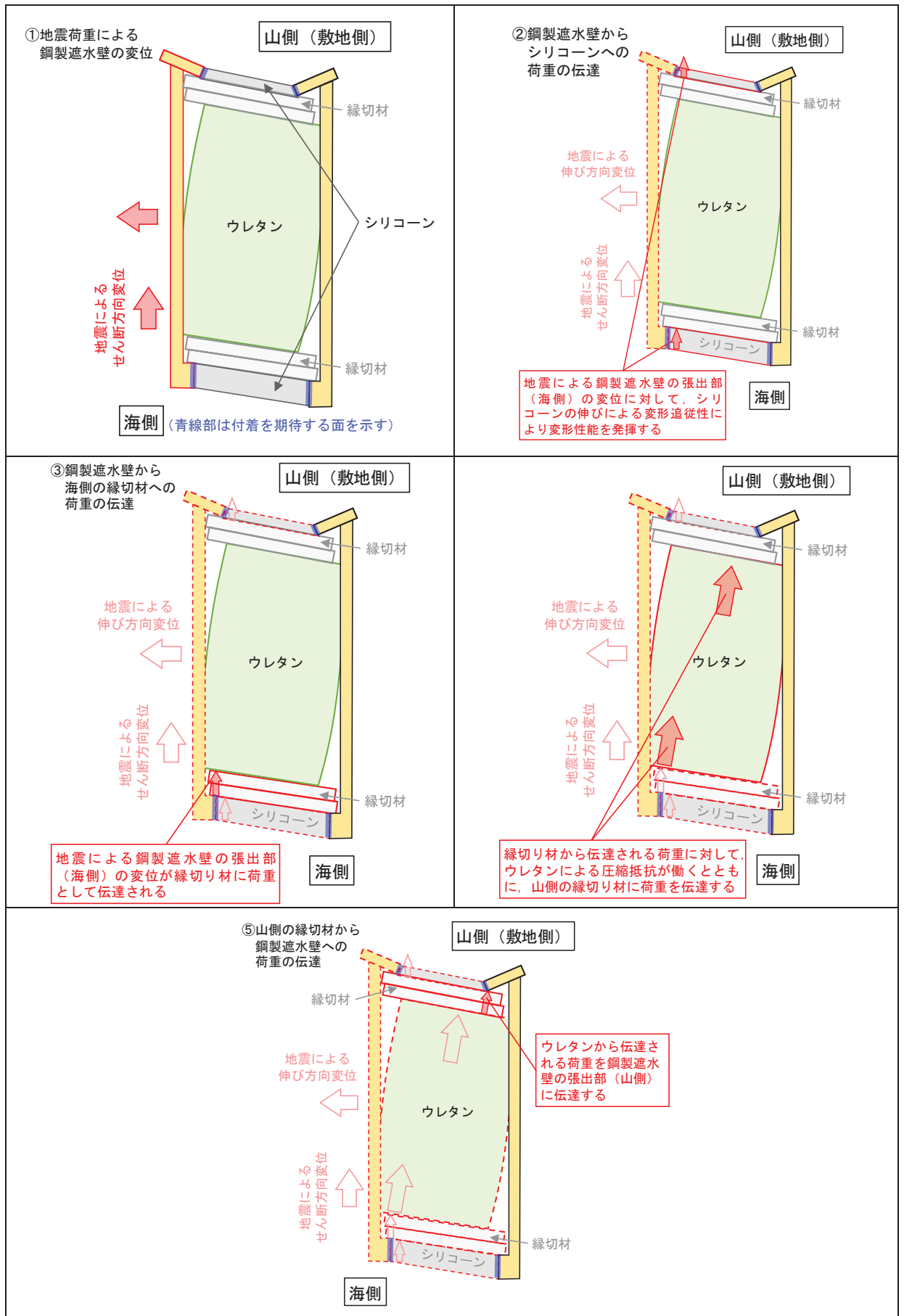


図 6.1.5-17(1) 地震時の荷重伝達

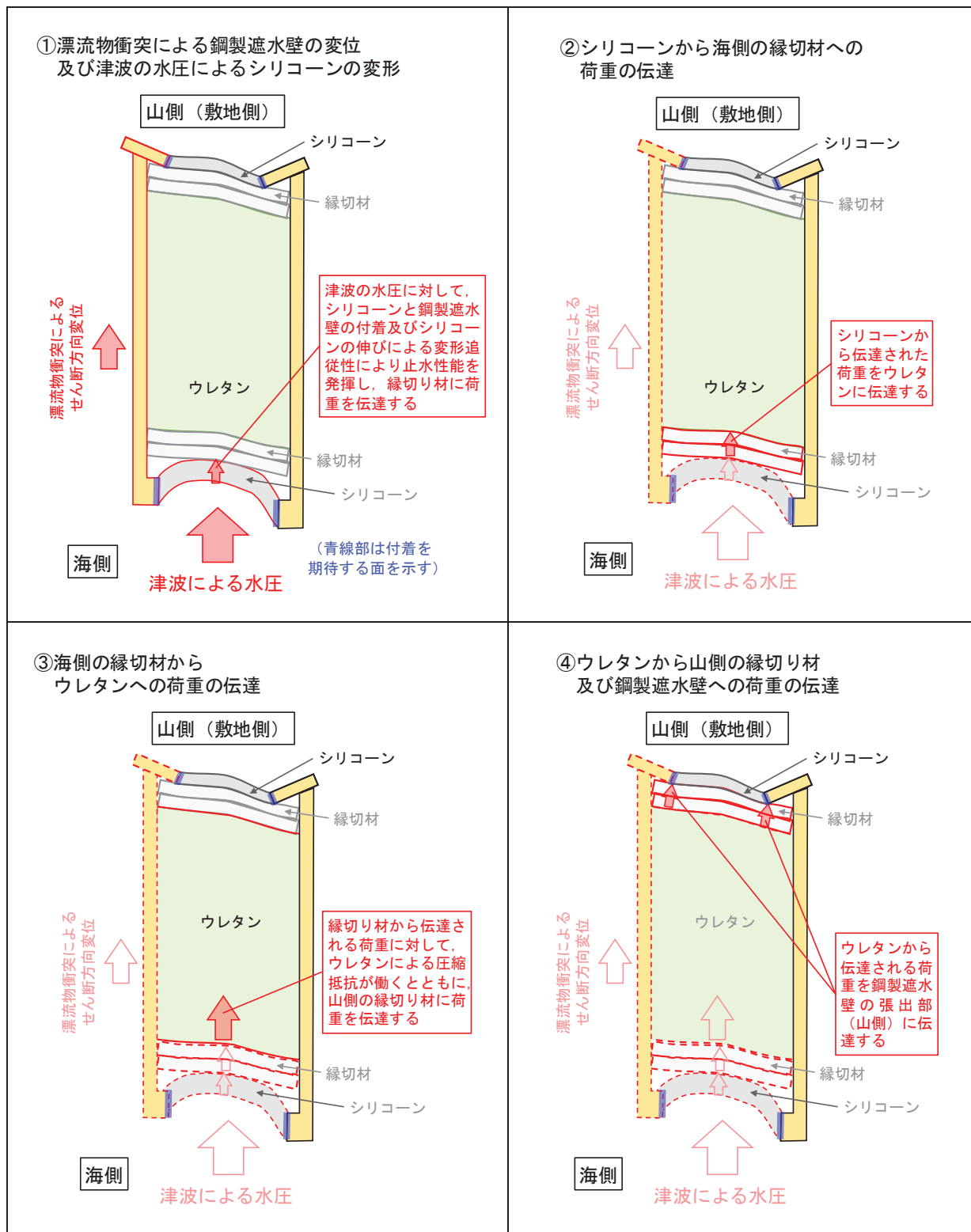


図 6. 1. 5-17(2) 津波時の荷重伝達

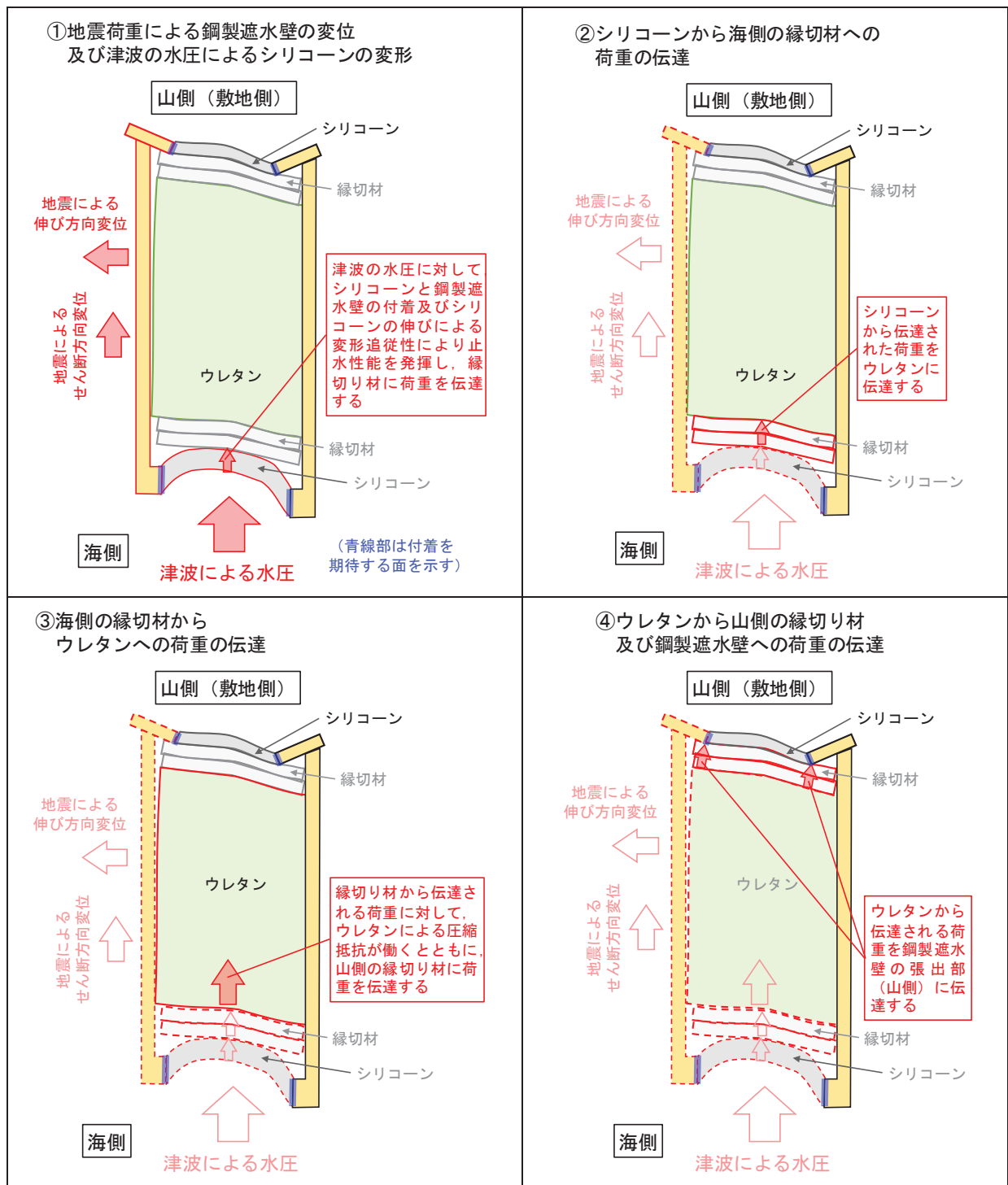


図 6.1.5-17(3) 重畳時の荷重伝達

上述の荷重伝達及び止水機能を発揮するメカニズムの整理結果を踏まえ、ウレタンシリコーン目地を構成する各部位の役割を表 6.1.5-10 のとおりとした。

表 6.1.5-10 ウレタンシリコーン目地の各部位の役割

構成部位	地震時	津波時	重畳時
シリコーン* (海側)	鋼製遮水壁の張出部（海側）に生じる地震変位に対して、シリコーンの変形性能を維持する。	津波の水圧及び鋼製遮水壁の張出部（海側）に生じる漂流物衝突に伴う変位に対して、シリコーンと鋼製遮水壁の付着及びシリコーンの伸びによる変形追従性により止水性能を発揮する。 止水機能に対して直接的な役割を担う。	津波の水圧及び鋼製遮水壁の張出部（海側）に生じる地震変位に対して、シリコーンと鋼製遮水壁の付着及びシリコーンの伸びによる変形追従性により止水性能を発揮する。 止水機能に対して直接的な役割を担う。
縁切材 (海側)	鋼製遮水壁の張出部（海側）に生じる地震変位をウレタンに伝達する。	シリコーンから伝達される津波の水圧及び鋼製遮水壁の張出部（海側）に生じる漂流物衝突に伴う変位をウレタンに伝達する。 止水機能に対して間接的な役割（荷重伝達）を担う。	シリコーンから伝達される津波の水圧及び鋼製遮水壁の張出部（海側）に生じる地震変位をウレタンに伝達する。 止水機能に対して間接的な役割（荷重伝達）を担う。
ウレタン	縁切材（海側）から伝達される荷重に対して、ウレタンの圧縮抵抗（耐圧縮性）を維持するとともに、縁切材（山側）に荷重を伝達する。	縁切材（海側）から伝達される荷重に対して、ウレタンの圧縮抵抗により耐水圧性能を発揮するとともに、縁切材（山側）に荷重を伝達する。 止水機能に対して間接的な役割（圧縮抵抗・荷重伝達）を担う。	縁切材（海側）から伝達される津波の荷重に対して、ウレタンの圧縮抵抗により耐水圧性能を発揮するとともに、縁切材（山側）に荷重を伝達する。 止水機能に対して間接的な役割（圧縮抵抗・荷重伝達）を担う。
縁切材 (山側(敷地側))	ウレタンから伝達される荷重を鋼製遮水壁の張出部（山側）に伝達する。	ウレタンから伝達される荷重を鋼製遮水壁の張出部（山側）に伝達する。 止水機能に対して間接的な役割（荷重伝達）を担う。	ウレタンから伝達される荷重を鋼製遮水壁の張出部（山側）に伝達する。 止水機能に対して間接的な役割（荷重伝達）を担う。
シリコーン* (山側(敷地側))	鋼製遮水壁の張出部（山側）に生じる地震変位に対して、シリコーンの変形性能を維持する。	鋼製遮水壁の張出部（山側）に生じる漂流物衝突に伴う変位に対して、シリコーンの変形性能を維持する。	鋼製遮水壁の張出部（山側）に生じる地震変位に対して、シリコーンの変形性能を維持する。

注記*：シリコーンはウレタン及び縁切材を覆っており、「4. 耐久性」に示すようにウレタン及び縁切材の主たる劣化要因である紫外線を遮断する役割も有している。

以上の検討，整理結果から，ウレタンシリコーン目地の要求機能・損傷モードを踏まえた変形・耐圧試験の確認事項を表 6.1.5-11 のとおり設定した。また，止水機能は，ウレタンシリコーン目地を構成する，シリコーン，ウレタン及び縁切材が，それぞれ直接的又は間接的に役割を担っているため，これらの構成される部位全体で止水機能（津波のバウンダリ）は発揮される。

表 6.1.5-11 ウレタンシリコーン目地の要求機能・損傷モードを踏まえた変形・耐圧試験の確認事項

要求機能	機能損傷モード	試験での着目点	試験での確認事項
変形 追従性	（作用する変位により）シリコーンが切れて変形追従性を喪失する。	シリコーンが切れていないか。	変形試験から，シリコーンが切れていないことを確認する。
止水性	（作用する変位又は水圧により）シリコーンが切れて止水性を喪失する。	シリコーンが切れていないか。 ウレタンに割れが生じていないか。	耐圧試験から，シリコーンが切れていないことを確認する。 変形試験及び耐圧試験から，ウレタンが割れていないことを確認する。
	（作用する変位又は水圧により）シリコーンが鋼製遮水壁から剥がれて止水性を喪失する。	シリコーンが鋼製遮水壁から剥がれていないか。	変形試験及び耐圧試験から，シリコーンが鋼製遮水壁から剥がれていないことを確認する。
	（作用する変位又は水圧により）鋼製遮水壁の張出し部からウレタン（縁切材）が外れて止水性を喪失する。	鋼製遮水壁の張出し部からウレタン（縁切材）が外れないか。	変形試験及び耐圧試験から，鋼製遮水壁の張出し部からウレタン（縁切材）が外れていないことを確認する。

(1) 試験条件（試験変位量，水圧）

変形試験及び耐圧試験に用いる試験体は，ウレタンシリコーン目地の一部（高さ190mm）を模擬したものとする。図6.1.5-18に試験体のイメージを示す。

試験中には表6.1.5-11に示す確認事項を確認する必要があることから，試験体の上部と下部はシリコーンで覆わずに露出した状態とする。一方，実際の施工ではウレタン及び縁切材は，背面補強工天端から鋼製遮水壁天端までの施工範囲において露出しておらずシリコーンに覆われている（図6.1.5-15）ため，実際とは異なる状態での試験となる。このような状況を踏まえ，試験体の上部及び下部から20mmずつ内側の150mmの範囲を試験の適用範囲とする。

また，シリコーンを施工する面にプライマーを塗布することで，塗装の有無による付着強度の差はないため，試験体の鋼製遮水壁には塗装を施していない。なお，念のため鋼製遮水壁に塗装されている場合のシリコーンとの付着影響について確認を行った。

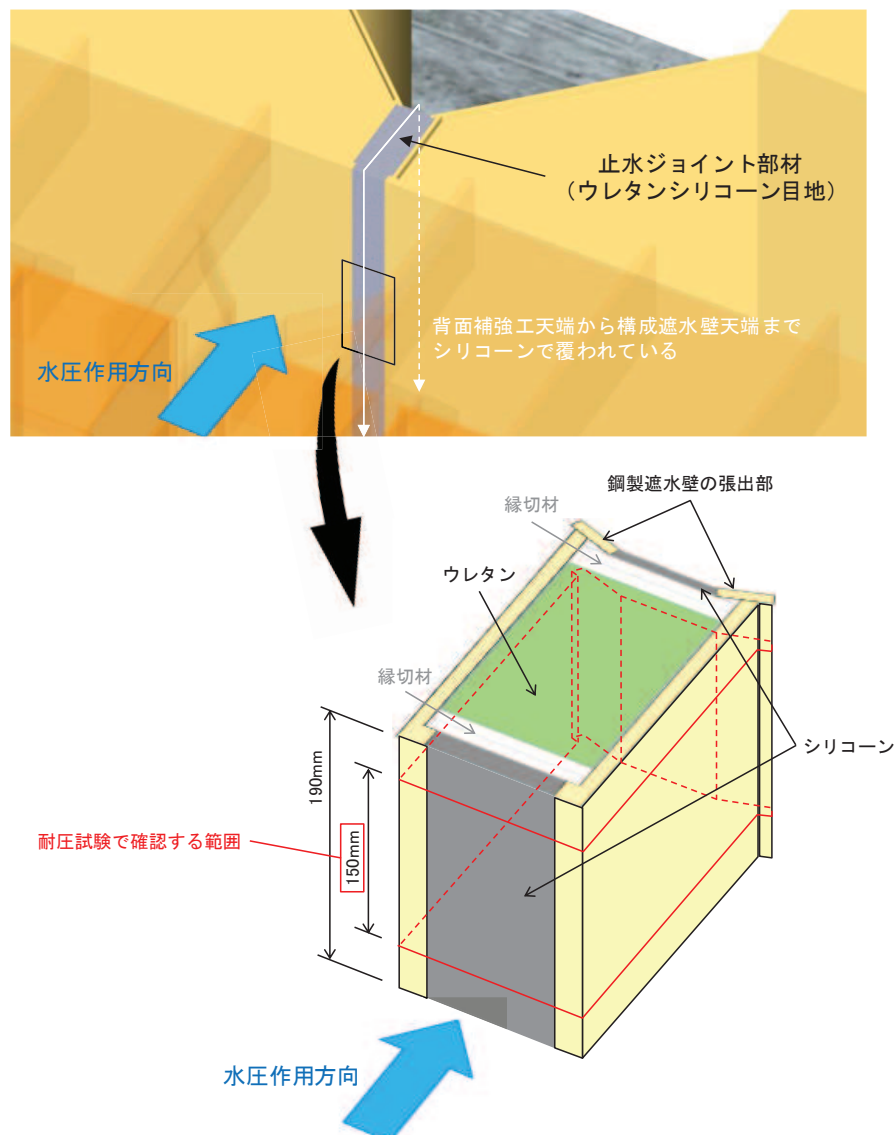


図6.1.5-18 ウレタンシリコーン目地の試験体イメージ

試験条件として表 6.1.5-12 に示す変位量，水圧を作用させる。図 6.1.5-9 に示すとおり止水ジョイント部材に津波荷重が作用する時間は約 1 分であるが，基準津波の半周期が約 10 分であることを踏まえ，加圧時間は 10 分以上を基本とし，試験では保守的に 30 分間とした。加圧時間中及び加圧時間経過後，表 6.1.5-11 に示す試験での確認事項を確認する。

試験に用いる試験体は 2 体（No.9 及び No.10）とし，耐圧試験時に変形試験で用いた変形を保持させて実施した。

なお，地震時及び津波時にはねじり変位が生じるものの，その時の回転角度は最大でも約 0.35° であるため，試験変位については平行移動により設定する。

ウレタンシリコーン目地の性能確認試験フローを図 6.1.5-19 に示す。また，変形試験及び耐圧試験のイメージを図 6.1.5-20 に示す。また，耐圧試験に用いる試験体の製作過程を図 6.1.5-21 に示す。

なお，これらの試験体とは別に，水圧を 0.34MPa（変位量は伸び 4mm，せん断 30mm）とした試験を 1 体の試験体で実施している。この試験の詳細については参考資料 3 に示す。

表 6.1.5-12 ウレタンシリコーン目地の試験条件

試験 No.	試験種別	変位量	水圧	必要耐圧 保持時間
No. 9	変形試験	伸び 6mm せん断 30mm		
	耐圧試験	伸び 6mm せん断 30mm	0.30MPa	10 分以上*
No. 10	変形試験	伸び 6mm せん断 30mm		
	耐圧試験	伸び 6mm せん断 30mm	0.30MPa	10 分以上*

注記 *：加圧時間は必要耐圧保持時間に対し，十分な余裕をもって 30 分間とした。

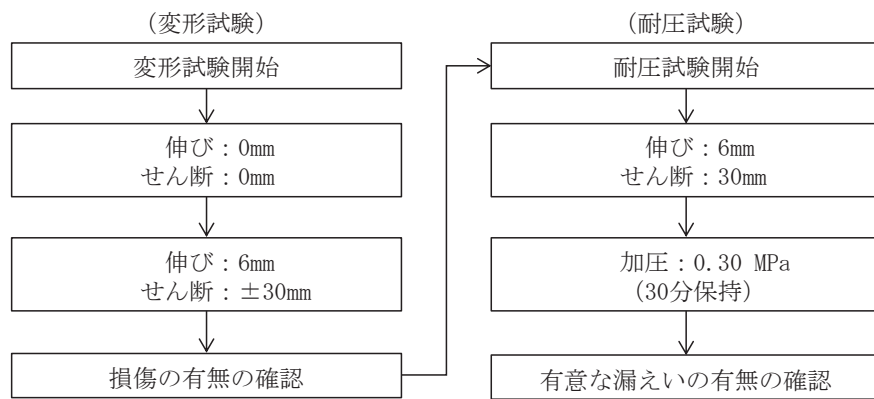
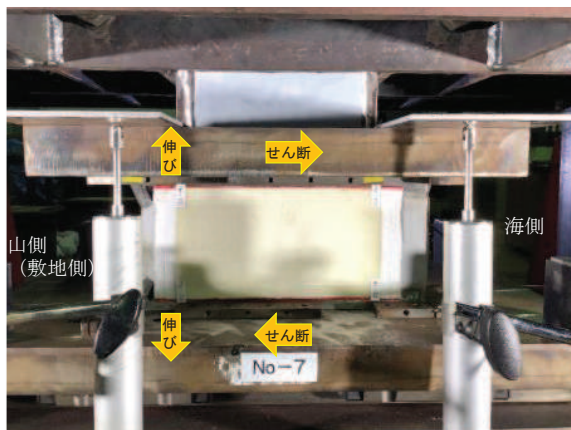


図 6.1.5-19 ウレタンシリコーン目地の性能確認試験フロー (No. 9, No. 10)



(変形試験)



(耐圧試験)

図 6.1.5-20 変形・耐圧試験のイメージ

	<p>【試験体の仮固定】</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 変形試験後に変形状態を保持したまま耐圧容器に仮固定する。 ✓ 試験体内部にモルタルが侵入しないよう試験体周囲にテープ及びシートで養生する。 ✓ 加圧によって試験体がモルタルから抜け出さないように、鋼板（鋼製遮水壁）にスタッドを溶接する。 ✓ なお、山側（敷地側）の一部を耐圧容器から露出させ、試験中に内部の状況を確認する。
	<p>【試験体の固定】</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 耐圧容器内にモルタルを充填させ、試験体を固定する。
	<p>【試験体の固定】 （耐圧容器を上から見た写真）</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 海側は注水して加圧を行うため海側のシリコンは露出させておく。

図 6.1.5-21(1) 耐圧試験体の製作過程

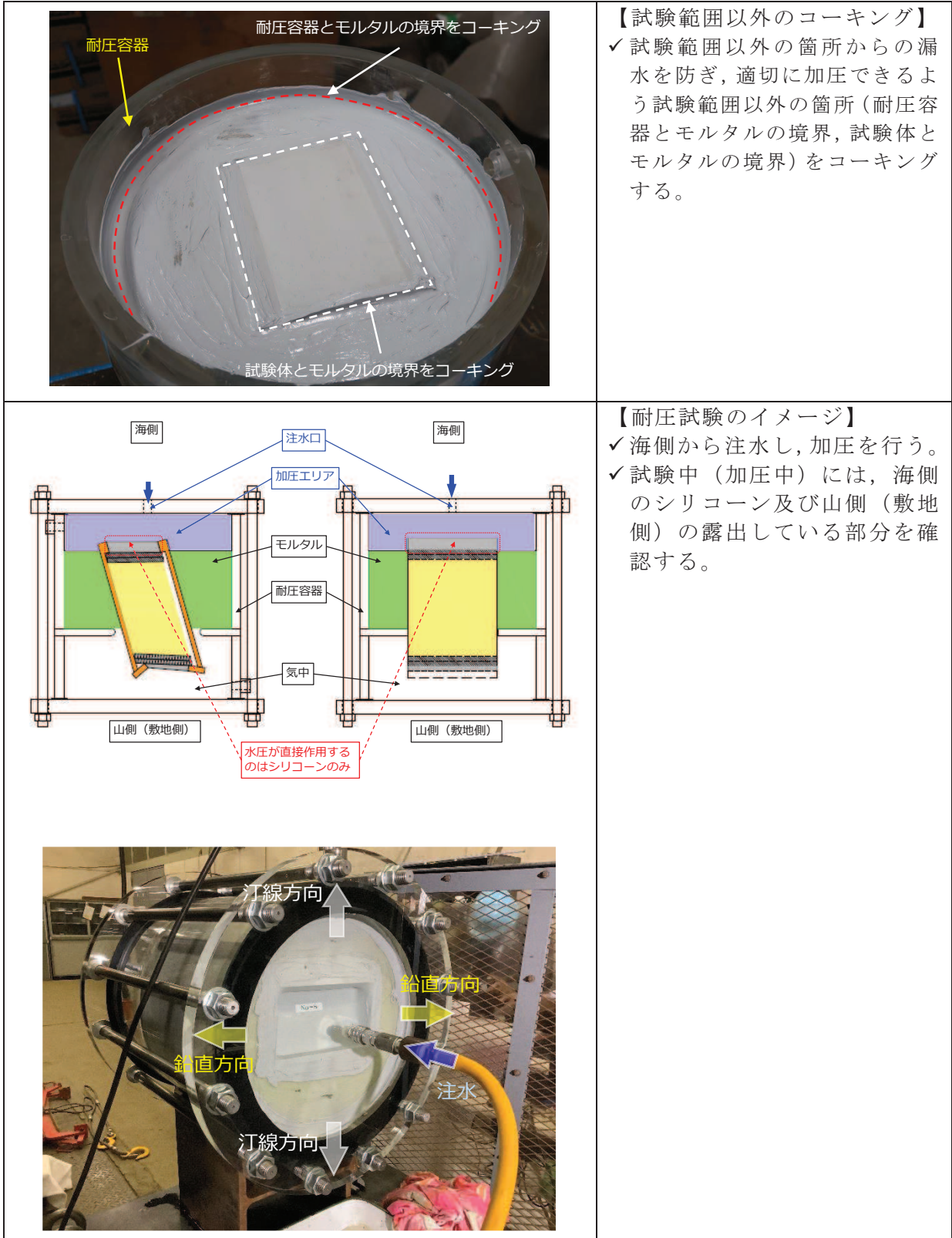


図 6. 1. 5-21 (2) 耐圧試験体の製作過程

(2) 試験状況写真

変形・耐圧試験の全体状況を図 6.1.5-22 に、変形・耐圧試験の状況を図 6.1.5-23 に示す。

a. 設置状況確認（伸び 0mm，せん断 0mm，水圧 0MPa）



図 6.1.5-22(1) 変形試験全体状況



図 6.1.5-22(2) 耐圧試験全体状況

b. 変形試験状況確認

変形試験の状況を図 6.1.5-23 に示す。

なお、変形試験の状況を示す断面において、わずかに鋼製遮水壁からシリコンが剥がれているところがあるが、この断面は「2.2 (1) 試験条件 (試験変位量, 水圧)」で示したように、表 6.1.5-11 の確認事項を確認するために、露出した状態としているものであり、試験の適用範囲 (写真の奥側) では剥けていないことを確認している。

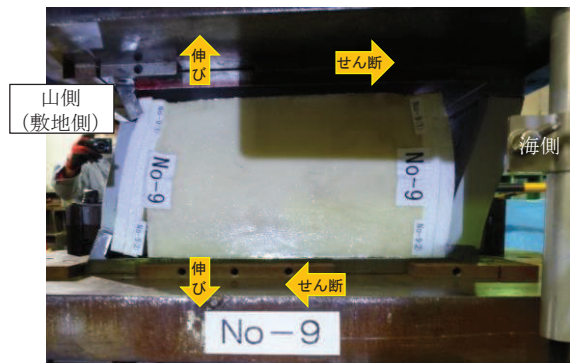
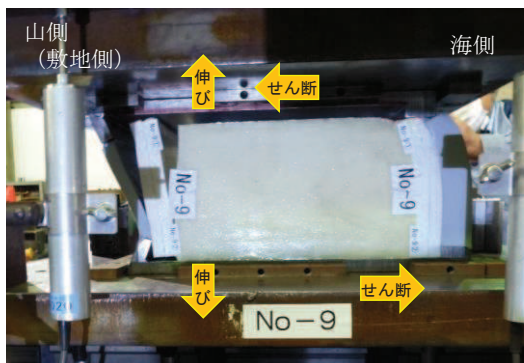


図 6.1.5-23(1) ウレタンシリコン目地変形試験状況
(試験体 No. 9, 伸び 6mm, せん断 30mm)

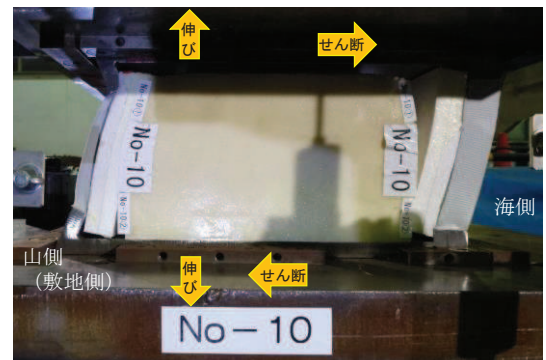
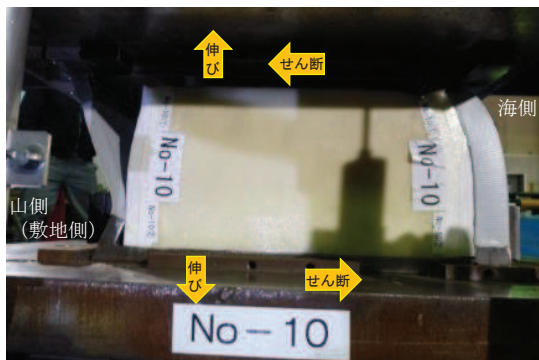
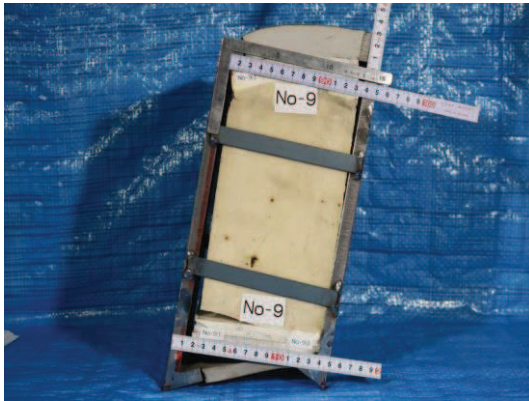
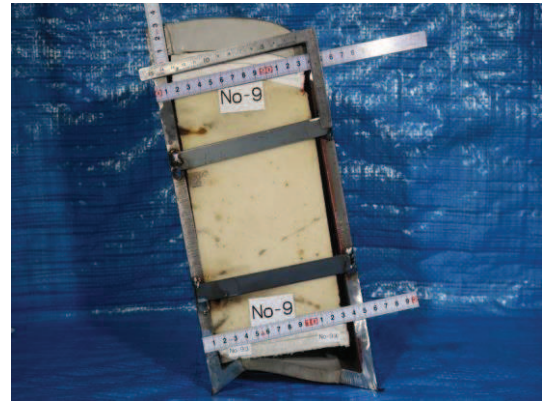


図 6.1.5-23(2) ウレタンシリコン目地変形試験状況
(試験体 No. 10, 伸び 6mm, せん断 30mm)



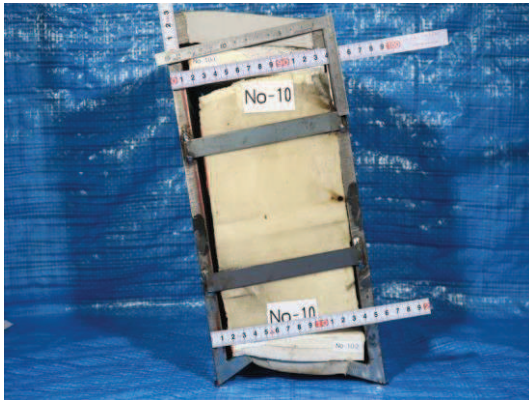
(写真上方が津波作用側)



(写真上方が津波作用側)

図 6.1.5-23(3) ウレタンシリコーン目地変形試験状況

(試験体 No. 9, 伸び 6mm, せん断 30mm) (耐圧試験を実施するため, 変形状態を保持)



(写真上方が津波作用側)



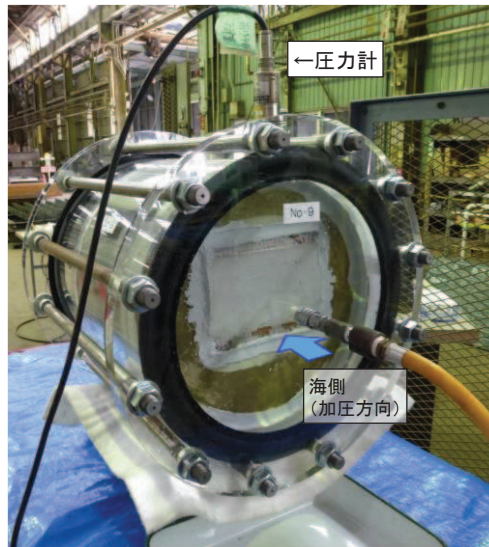
(写真上方が津波作用側)

図 6.1.5-23(4) ウレタンシリコーン目地変形試験状況

(試験体 No. 10, 伸び 6mm, せん断 30mm) (耐圧試験を実施するため, 変形状態を保持)

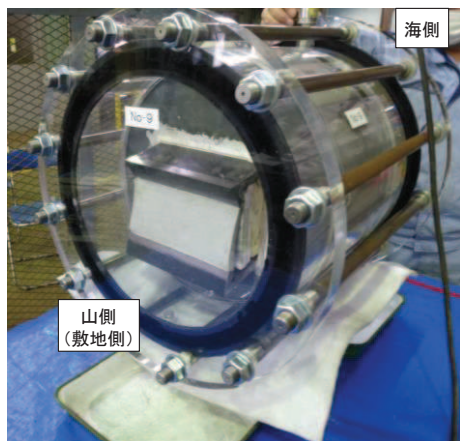
c. 耐圧試験状況確認

耐圧試験の状況を図 6.1.5-23 に示す。

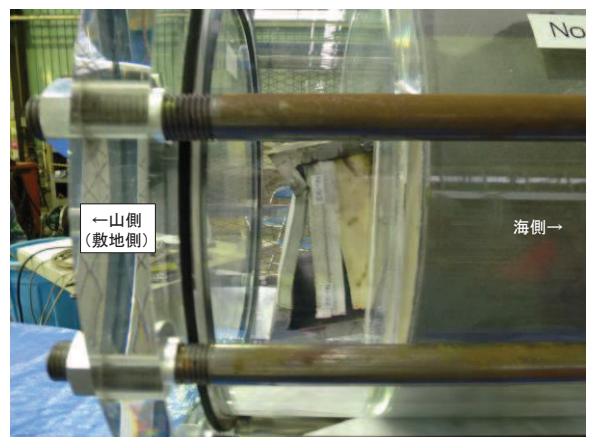


加圧前状況 (海側)

図 6.1.5-23(5) ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況 (試験体 No. 9)
(伸び: 6mm, せん断: 30mm, 加圧前状況)

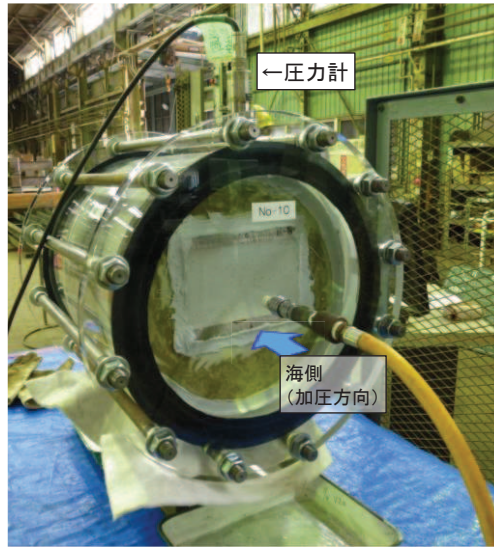


加圧前状況 (敷地側)



加圧前状況 (敷地側断面)

図 6.1.5-23(6) ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況 (試験体 No. 9)
(伸び: 6mm, せん断: 30mm, 加圧前状況)

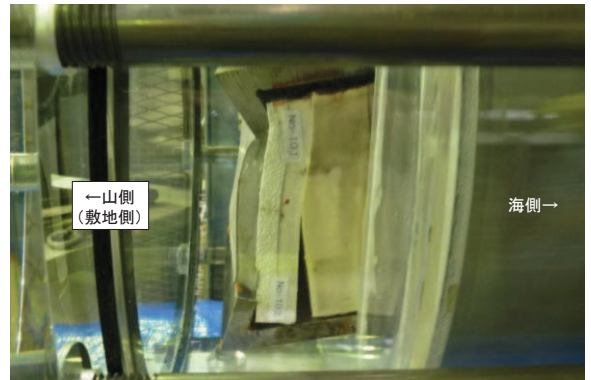


加圧前状況（海側）

図 6.1.5-23(7) ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況（試験体 No.10）
（伸び：6mm，せん断：30mm，加圧前状況）



加圧前状況（敷地側）



加圧前状況（敷地側断面）

図 6.1.5-23(8) ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況（試験体 No.10）
（伸び：6mm，せん断：30mm，加圧前状況）

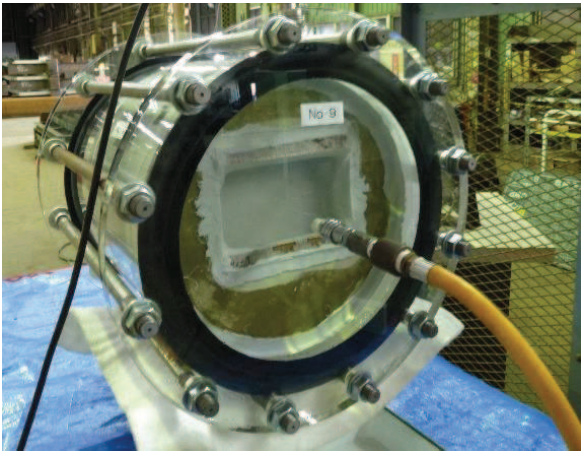
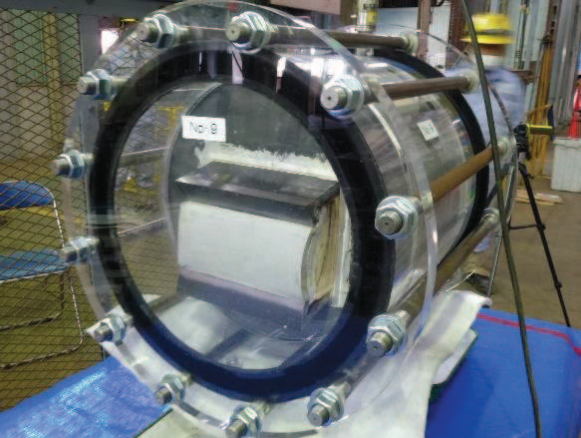
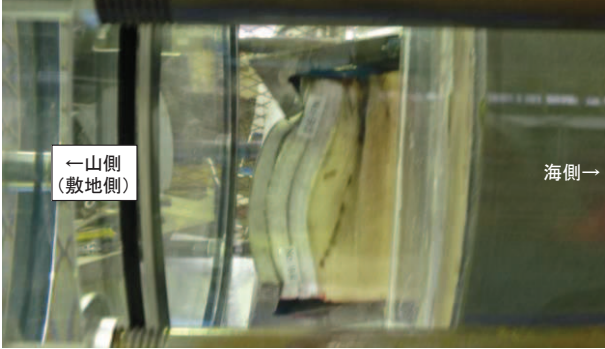
	<p>加圧状況（海側）</p> <p>✓ 10分経過，損傷無し</p>
	<p>加圧状況（山側（敷地側））</p> <p>✓ 10分経過，漏えい無し</p>
	<p>加圧状況（山側（敷地側）の断面）</p> <p>✓ 10分経過，漏えい無し</p>

図 6.1.5-23(9) ウレタンシリコン目地耐圧試験状況（試験体 No.9）
（10分経過，伸び：6mm，せん断：30mm，水圧 0.30MPa）

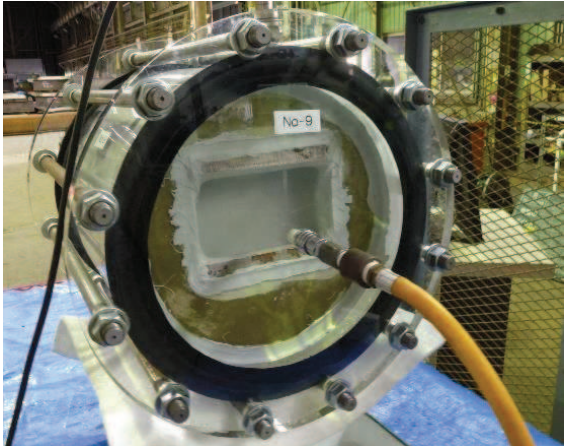
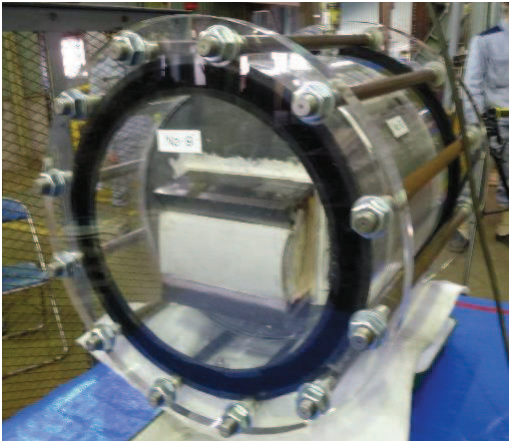
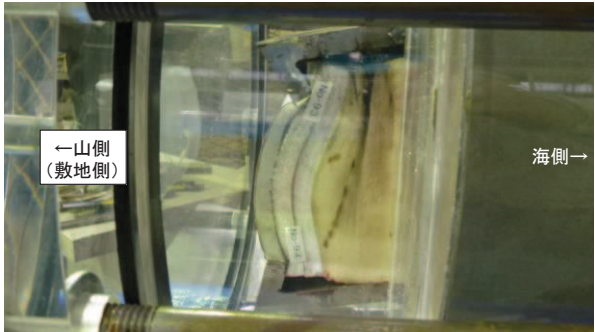
	<p>加圧状況（海側）</p> <p>✓ 20分経過，損傷無し</p>
	<p>加圧状況（山側（敷地側））</p> <p>✓ 20分経過，漏えい無し</p>
	<p>加圧状況（山側（敷地側）の断面）</p> <p>✓ 20分経過，漏えい無し</p>

図 6.1.5-23(10) ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況（試験体 No. 9）
（20分経過，伸び：6mm，せん断：30mm，水圧 0.30MPa）

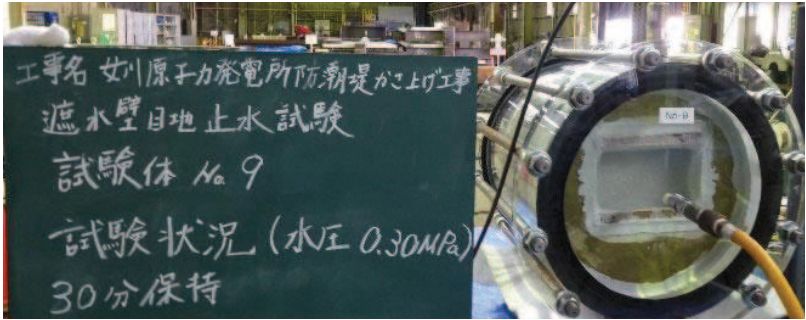
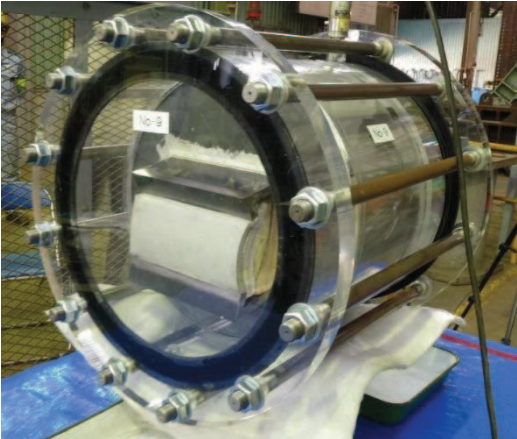
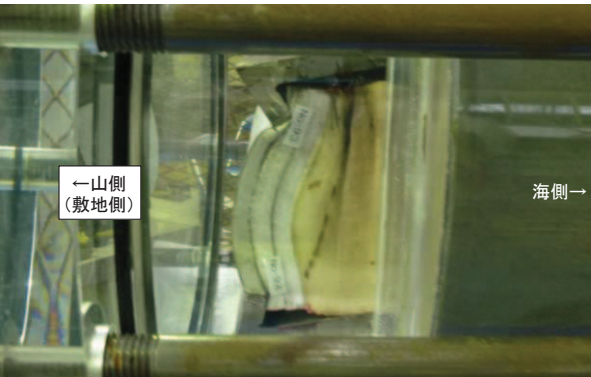
	<p>30 分間保持後（海側）</p> <p>✓ 損傷及び漏えい無し</p>
	<p>30 分間保持後（山側（敷地側））</p> <p>✓ 損傷及び漏えい無し</p>
	<p>30 分間保持後（山側（敷地側）の断面）</p> <p>✓ 損傷及び漏えい無し</p>

図 6.1.5-23(11) ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況（試験体 No.9）

（30 分経過，伸び：6mm，せん断：30mm，水圧 0.30MPa）


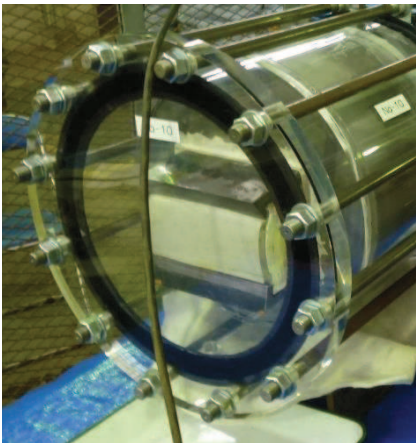
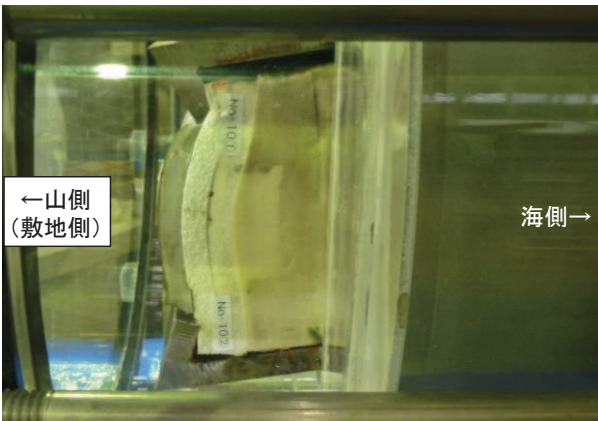
	<p>加圧状況（海側）</p> <p>✓ 10分経過，損傷無し</p>
	<p>加圧状況（山側（敷地側））</p> <p>✓ 10分経過，漏えい無し</p>
	<p>加圧状況（山側（敷地側）の断面）</p> <p>✓ 10分経過，漏えい無し</p>

図 6.1.5-23(12) ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況（試験体 No.10）
（10分経過，伸び：6mm，せん断：30mm，水圧 0.30MPa）

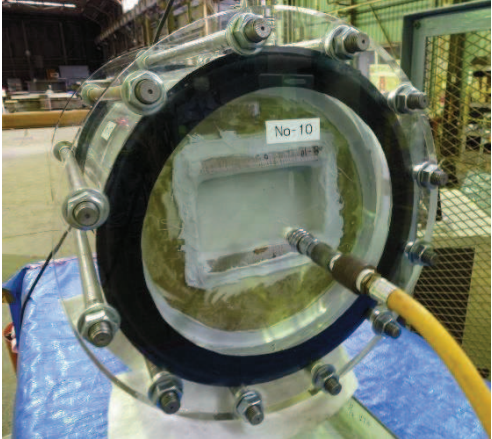
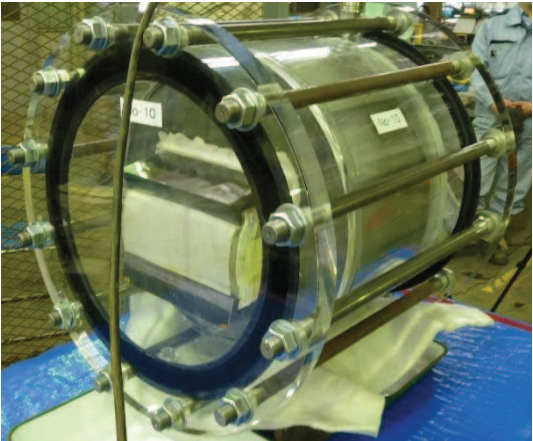
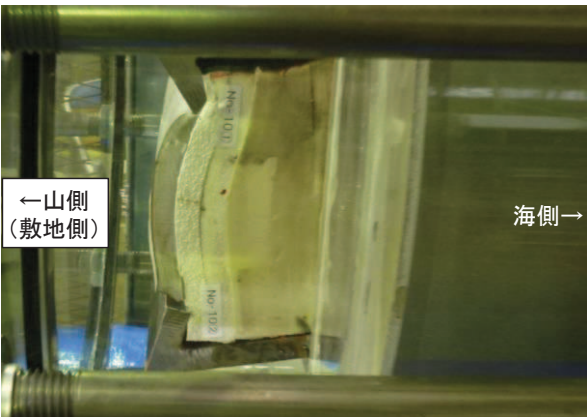
	<p>加圧状況（海側）</p> <p>✓ 20分経過，損傷無し</p>
	<p>加圧状況（山側（敷地側））</p> <p>✓ 20分経過，漏えい無し</p>
	<p>加圧状況（山側（敷地側）の断面）</p> <p>✓ 20分経過，漏えい無し</p>

図 6.1.5-23(13) ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況（試験体 No.10）
（20分経過，伸び：6mm，せん断：30mm，水圧 0.30MPa）

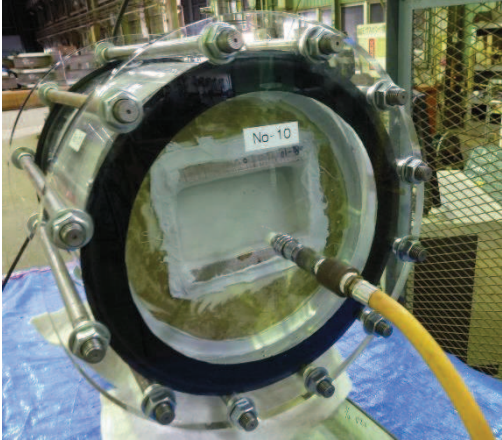

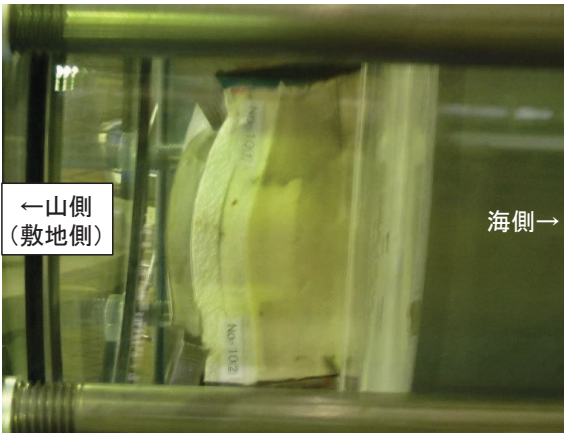
	<p>30 分間保持後（海側） ✓ 損傷及び漏えい無し</p>
	<p>30 分間保持後（山側（敷地側）） ✓ 損傷及び漏えい無し</p>
	<p>30 分間保持後（山側（敷地側）の断面） ✓ 損傷及び漏えい無し</p>

図 6.1.5-23(14) ウレタンシリコン目地耐圧試験状況（試験体 No.10）
（30 分経過，伸び：6mm，せん断：30mm，水圧 0.30MPa）

(3) 試験結果

試験体 No. 9 及び No. 10 について、所定の変位（伸び 6mm，せん断 30mm）を与えた上で、津波による波圧を上回る水圧 0.30MPa を 10 分以上（加圧時間：30 分間）加圧した結果、損傷及び漏えいが無いことを確認した。

試験結果を表 6.1.5-13 に示す。

また、これらの試験結果に対する考察を表 6.15-14 のとおり整理した。この考察から、ウレタンシリコーン目地に生じる変位量及び水圧は、変形試験及び耐圧試験で設定した変位量（伸び 6mm，せん断 30mm）及び水圧（0.30MPa）以下とする必要がある。

表 6.1.5-13 ウレタンシリコーン目地の試験結果

試験 No.	試験種別	変位量	水圧	耐圧 保持時間	損傷*， 漏えい	判定
No. 9	変形試験	伸び 6mm せん断 30mm			無し	OK
	耐圧試験	伸び 6mm せん断 30mm	0.30MPa	10 分以上	無し	OK
No. 10	変形試験	伸び 6mm せん断 30mm			無し	OK
	耐圧試験	伸び 6mm せん断 30mm	0.30MPa	10 分以上	無し	OK

注記*：表 6.1.5-11 に基づき、シリコーンが切れていないか，シリコーンが鋼製遮水壁から剥がれていないか，ウレタン（縁切材）が鋼製遮水壁の張出し部から外れていないか，ウレタンが割れていないかを確認する。

表 6.1.5-14 ウレタンシリコーン目地の試験結果に対する考察 (No.9 及び No.10)

要求機能	試験での確認結果	考察
変形追従性	変形試験から、シリコーンは切れていないことを確認した。	変形試験で設定した変位量（伸び 6mm，せん断 30mm）が，シリコーンの変形追従性の許容範囲内であったことから，シリコーンは切れなかったと判断される。
止水性	<p>耐圧試験から，シリコーンは切れていないことを確認した。</p> <p>変形試験及び耐圧試験から，ウレタンが割れていないことを確認した。</p>	<p>耐圧試験で設定した水圧（0.3MPa）が，シリコーンの変形追従性の許容範囲以内であったことから，シリコーンは切れなかったと判断される。</p> <p>また，変形試験で設定した変位量（伸び 6mm，せん断 30mm）及び耐圧試験で設定した水圧（0.3MPa）で生じる力が，ウレタンの圧縮抵抗力以下であったことからウレタンは割れなかったと判断される。</p>
	変形試験及び耐圧試験から，シリコーンが鋼製遮水壁から剥がれていないことを確認した。	変形試験で設定した変位量（伸び 6mm，せん断 30mm）及び耐圧試験で設定した水圧（0.3MPa）で生じる力が，シリコーンと鋼製遮水壁の付着力以下であったことから，シリコーンは鋼製遮水壁から剥がれなかったと判断される。
	変形試験及び耐圧試験から，鋼製遮水壁の張出し部からウレタン（縁切材）が外れていないことを確認した。	<p>変形試験で設定した変位量（伸び 6mm，せん断 30mm）は，ウレタン（縁切材）が鋼製遮水壁の張出し部から外れる変位量以下であったことから，ウレタン（縁切材）が鋼製遮水壁の張出し部から外れなかったと判断される。</p> <p>また，耐圧試験で設定した水圧（0.3MPa）はウレタンの圧縮抵抗力以下であったことからウレタン（縁切材）が鋼製遮水壁の張出し部から外れなかったと判断される。</p>

(4) 鋼製遮水壁とシリコン材の付着について

先に示したように、シリコン材を施工する面（鋼製遮水壁）にプライマーを塗布することで、塗装の有無等による付着強度の差はないと考えているが、図 6.1.5-15 のとおり、ウレタンシリコン目地で付着を期待している面としては、鋼製遮水壁とシリコン材の境界のみであることを踏まえ、念のため、シリコン材を施工する面（鋼製遮水壁）が塗装されている場合の影響について確認する。

実際の施工では、鋼製遮水壁は超厚膜塗装（ $2300\mu\text{m}$ ）とその表層にフッ素樹脂塗装（塗装仕様の詳細については参考資料 4 に示す。）が施されており、この塗装面にプライマーを塗布し、シリコン材を施工する。そのため、各境界となる面の付着力を図 6.1.5-24 のフローに従い確認する。

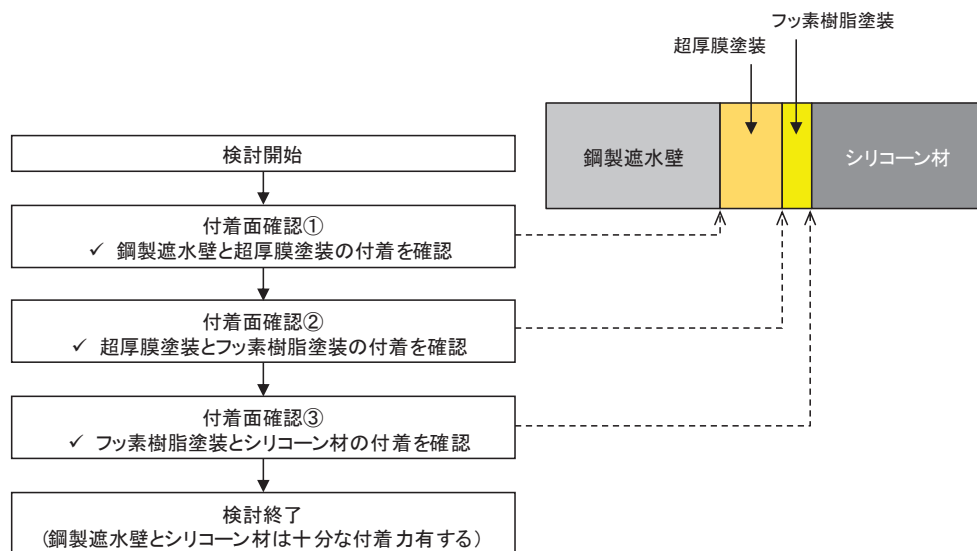


図 6.1.5-24 鋼製遮水壁とシリコン材の付着力確認フロー

a. 付着面確認①（鋼製遮水壁と超厚膜塗装の付着）

鋼製遮水壁と超厚膜塗装の付着に関して、上記超厚膜塗装と同様の仕様の曝露試験結果が「長期海洋暴露試験に基づく鋼管杭の防食工法の耐久性評価に関する研究（30年経過時の報告）、No.1324、港湾空港技術研究所資料、2016」にて報告されており、経過年数 29 年でも付着強度が $2.5\sim 4.5$ (MPa) 有することが示されている（参考資料 4）。このことから、鋼製遮水壁と塗装は、津波荷重から設定した試験水圧（ 0.3MPa ）よりもはるかに高い圧力に耐えられることを確認した。

b. 付着面確認②（超厚膜塗装とフッ素樹脂塗装の付着）

超厚膜塗装とフッ素樹脂塗装の付着に関して、図 6.1.5-25 に示すような 4 種類の塗装断面（超厚膜 1 層、超厚膜塗装 2 層、中塗り（フッ素樹脂塗装）、上塗り（フッ素樹脂塗装）を対象に、付着試験（アドヒージョンテスト）を行い、塗膜の付着力を確認した（最も弱い箇所で剥離させ、その時の強度を測定）。

その結果を表 6.1.5-15 に示す。すべての供試体でドーリー剥離箇所は「接着剤」との結果であることから、超厚膜塗装とフッ素樹脂塗装の境界等の塗膜層間では剥離せず、ドーリーと塗装の境界（接着剤）が最も付着力が低いことを確認した。また、その際の最低付着力（アドヒージョン）は 1.8 (MPa) であり、耐圧試験の水圧 0.3 (MPa) 以上であることを確認した。

このことから、超厚膜塗装とフッ素樹脂塗装の境界に耐圧試験の水圧 0.3 (MPa) 以上の引張力が発生したとしても、超厚膜塗装とフッ素樹脂塗装の境界で剥れることがないことを確認した。

試験方法は以下のとおりである。

【試験方法】

- ① 測定位置の塗膜表面をウエス等で清掃した後、サンドペーパーで軽く研磨して清浄な状態にする。
- ② 接着剤をドーリー（端子）に塗り、塗膜表面にドーリーを押しつけるように貼り付ける。
- ③ 接着剤が固化した後、ドーリー周辺に沿って、塗膜をカッターなどで素地に達するまで傷を入れる。
- ④ アドヒージョンテストでドーリーを引き剥がし、強度を測定する。

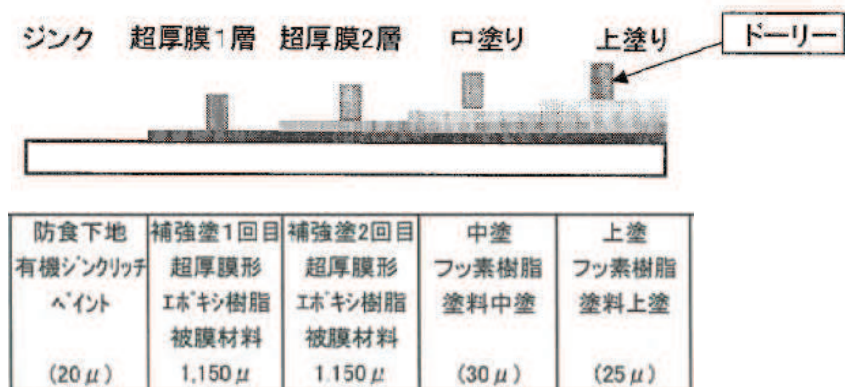


図 6.1.5-25 付着試験を実施した塗装断面

表 6.1.5-15 塗装付着試験（アドヒージョンテスト）

試験体NO.	アドヒージョンテスト部位			
3-4 ①	超厚膜1層	超厚膜2層	中塗り	上塗り
アドヒージョン	3.7 Mpa	4.8 Mpa	2.9 Mpa	2.7 Mpa
ドリーナー剥離箇所 (規格値1.5Mpa以上)	接着剤	接着剤	接着剤	接着剤
硬度	70	67	63	62
表面温度	18 °C	18 °C	18 °C	18 °C

試験体NO.	アドヒージョンテスト部位			
3-4 ②	超厚膜1層	超厚膜2層	中塗り	上塗り
アドヒージョン	1.7 Mpa	2.0 Mpa	— Mpa	2.2 Mpa
ドリーナー剥離箇所 (規格値1.5Mpa以上)	接着剤	接着剤	—	接着剤
硬度	70	68	65	64
表面温度	16.8 °C	16.8 °C	16.8 °C	16.8 °C

試験体NO.	アドヒージョンテスト部位			
3-4 ③	超厚膜1層	超厚膜2層	中塗り	上塗り
アドヒージョン	8.0 Mpa	3.0 Mpa	4.3 Mpa	4.5 Mpa
ドリーナー剥離箇所 (規格値1.5Mpa以上)	接着剤+塗膜	接着剤+塗膜	接着剤	接着剤
硬度	68	72	64	67
表面温度	16.8 °C	16.8 °C	16.8 °C	16.8 °C

試験体NO.	アドヒージョンテスト部位			
3-25 ①	超厚膜1層	超厚膜2層	中塗り	上塗り
アドヒージョン	3.0 Mpa	2.0 Mpa	— Mpa	2.6 Mpa
ドリーナー剥離箇所 (規格値1.5Mpa以上)	接着剤	接着剤	—	接着剤
硬度	69	65	61.5	61
表面温度	18 °C	18 °C	18 °C	18 °C

試験体NO.	アドヒージョンテスト部位			
3-25 ②	超厚膜1層	超厚膜2層	中塗り	上塗り
アドヒージョン	5.1 Mpa	2.5 Mpa	2.4 Mpa	1.8 Mpa
ドリーナー剥離箇所 (規格値1.5Mpa以上)	接着剤+塗膜	接着剤	接着剤	接着剤
硬度	66	64	56	58
表面温度	16.8 °C	16.8 °C	16.8 °C	16.8 °C

試験体NO.	アドヒージョンテスト部位			
3-25 ③	超厚膜1層	超厚膜2層	中塗り	上塗り
アドヒージョン	5.0 Mpa	4.0 Mpa	1.9 Mpa	2.8 Mpa
ドリーナー剥離箇所 (規格値1.5Mpa以上)	接着剤+塗膜	接着剤	接着剤	接着剤
硬度	73	63	60	64
表面温度	16.8 °C	16.8 °C	16.8 °C	16.8 °C

c. 付着面確認③（フッ素樹脂塗装とシリコーン材の付着）

フッ素樹脂塗装面とシリコーン材の付着について、メーカーにてフッ素樹脂塗装面にシリコーン材を施工した場合の接着性（付着性）の試験で実施されている。試験体を図 6.1.5-26 に示す。

表 6.1.5-16 に示す塗料に対して、引張接着性試験（H 型）（引張速度 50mm/min: 50% 引張応力（M50）、最大引張応力（Tmax）及び最大伸び率（Emax）を測定しているが、本試験ではシリコーン材が破壊するときの引張応力である最大引張応力（Tmax）を確認する）を実施している。また、「建築工事標準仕様書・同解説/JASS 8 防水工事」及び「改訂新版 建築用シーリング材－基礎と正しい使い方－」では、接着性の判断として破壊状態が凝集破壊（CF）又は薄層凝集破壊（TCF）となることが求められているため、破壊状態についても確認した。

なお、試験に用いられたプライマー（トスプライムニューF）は、「(1) 試験条件（試験変位量、水圧）」～「(3) 試験結果」で実施した試験で鋼材（無塗装の鋼製遮水壁を模擬）とシリコーン材の境界に塗布されたものと同じものである。

表 6.1.5-17 及び図 6.1.5-27 の試験結果から、塗装の色及び膜厚の違いによらず、いずれの条件下においてもフッ素樹脂塗装面とシリコーンの境界では剥れず、シリコーン材による破壊（すべての試験で凝集破壊（CF）であり、接着性は良好と判断）が引張応力 0.38（MPa）以上で生じる結果となった。

このことから、フッ素樹脂塗装面とシリコーン材の境界に耐圧試験の水圧 0.3（MPa）以上の 0.38（MPa）の引張力が発生したとしても、フッ素樹脂塗装面とシリコーン材の境界で剥れることがないことを確認した。

表 6.1.5-16 接着試験の塗装種類

塗料種類
フッ素樹脂塗料*20 μ m ホワイト色-1
フッ素樹脂塗料*20 μ m ホワイト色-2
フッ素樹脂塗料*40 μ m メタリック色-1
フッ素樹脂塗料*40 μ m メタリック色-2

注記*：鋼製遮水壁の超厚膜塗装の中塗，上塗にはフッ素樹脂塗料を用いているため，試験条件としては同じである。

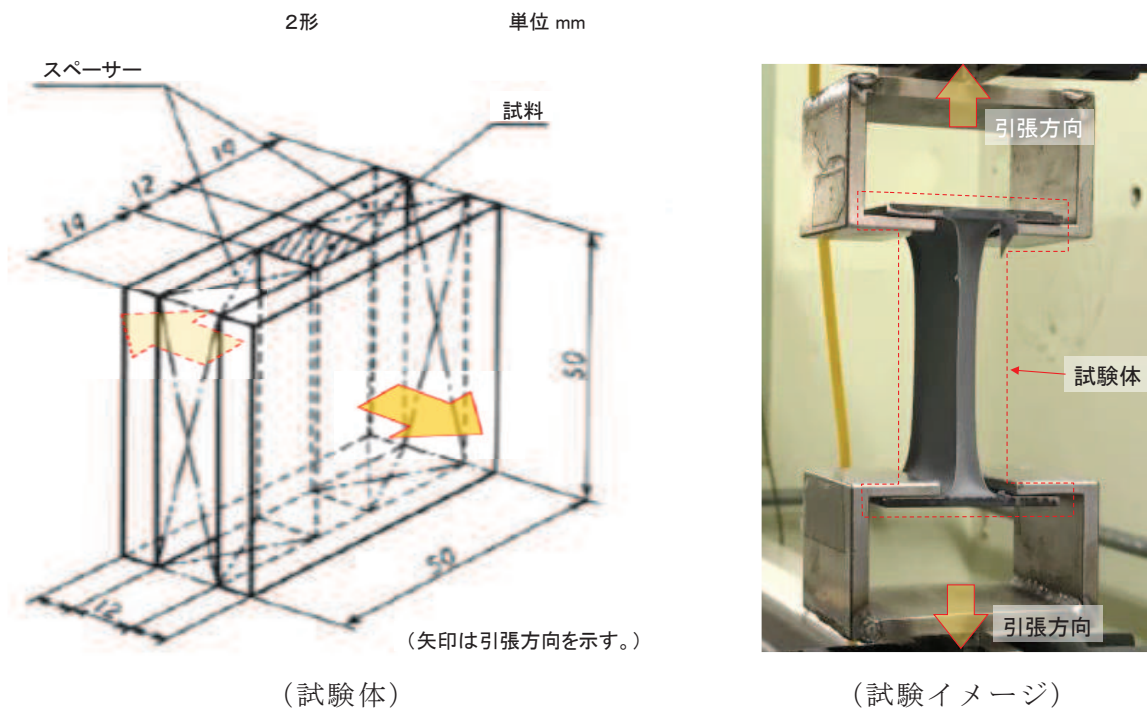


図 6.1.5-26 試験概要

(JIS A 1439「建築用シーリング材の試験方法」に準拠して作製・実施)

表 6.1.5-17 接着試験の塗装種類

シーリング材	プライマー	被着体	バフ掛け	養生条件	試験体	M50 MPa	Tmax MPa	E %	CF %	TCF %	AF %
トスシール361	トスプライム ニューF	20 μ ホワイト-1	無し	標準	1	0.18	0.50	1010	100	0	0
					2	0.17	0.50	980	100	0	0
					3	0.18	0.45	860	100	0	0
				平均	0.18	0.49	950				
				温水	1	0.17	0.58	1150	100	0	0
					2	0.17	0.64	1190	100	0	0
			3		0.17	0.55	1060	100	0	0	
			平均	0.17	0.59	1130					
			有り	標準	1	0.18	0.49	950	100	0	0
					2	0.17	0.40	780	100	0	0
					3	0.18	0.49	900	100	0	0
				平均	0.18	0.46	870				
		温水		1	0.18	0.50	970	100	0	0	
				2	0.17	0.48	1070	100	0	0	
			3	0.18	0.56	1080	100	0	0		
		平均	0.18	0.51	1040						
		20 μ ホワイト-2	無し	標準	1	0.18	0.54	1030	100	0	0
					2	0.17	0.46	940	100	0	0
					3	0.18	0.49	940	100	0	0
				平均	0.18	0.50	970				
				温水	1	0.16	0.45	1040	100	0	0
					2	0.16	0.49	1110	100	0	0
			3		0.16	0.57	1220	100	0	0	
			平均	0.16	0.50	1120					
			有り	標準	1	0.17	0.43	870	100	0	0
					2	0.19	0.56	1000	100	0	0
					3	0.18	0.44	900	100	0	0
				平均	0.18	0.48	920				
		温水		1	0.16	0.49	1090	100	0	0	
				2	0.17	0.50	1090	100	0	0	
			3	0.16	0.57	1210	100	0	0		
		平均	0.16	0.52	1130						
		40 μ メタリック-1	無し	標準	4	0.17	0.42	770	100	0	0
					5	0.19	0.49	890	100	0	0
					6	0.17	0.49	1010	100	0	0
				平均	0.18	0.46	890				
				温水	4	0.17	0.49	990	100	0	0
					5	0.18	0.41	850	100	0	0
			6		0.18	0.47	970	100	0	0	
			平均	0.18	0.45	940					
			有り	標準	4	0.19	0.41	730	100	0	0
					5	0.17	0.44	920	100	0	0
					6	0.19	0.54	1030	100	0	0
				平均	0.18	0.46	890				
		温水		4	0.17	0.47	960	100	0	0	
				5	0.18	0.46	900	100	0	0	
			6	0.18	0.47	960	100	0	0		
		平均	0.18	0.46	940						
40 μ メタリック-2	無し	標準	7	0.18	0.62	1080	100	0	0		
			8	0.17	0.45	1020	100	0	0		
			9	0.17	0.47	950	100	0	0		
		平均	0.17	0.51	1020						
		温水	7	0.16	0.38	900	100	0	0		
			8	0.18	0.47	1010	100	0	0		
	9		0.16	0.37	900	100	0	0			
	平均	0.17	0.41	940							
	有り	標準	7	0.17	0.46	960	100	0	0		
			8	0.18	0.45	880	100	0	0		
			9	0.18	0.51	950	100	0	0		
		平均	0.18	0.47	930						
温水		7	0.18	0.39	840	100	0	0			
		8	0.17	0.47	980	100	0	0			
	9	0.18	0.40	860	100	0	0				
平均	0.18	0.42	890								

表中の記号は以下のとおり

M50 : 50%引張応力 (シーリング材の伸び率が50%になったときの引張応力)

Tmax : 最大引張応力 (シーリング材が破壊したときの引張応力)

E_{max} : 最大伸び率 (シーリング材が破壊したときの伸び率)

CF : 凝集破壊 (シーリング材の破壊状態の1つでシーリング材自身の破壊)

TCF : 薄層凝集破壊 (シーリング材の破壊状態の1つで被着面にごく薄くシーリング材が残る破壊)

AF : 接着破壊 (シーリング材の破壊状態の1つで被着体とシーリング材の分離)

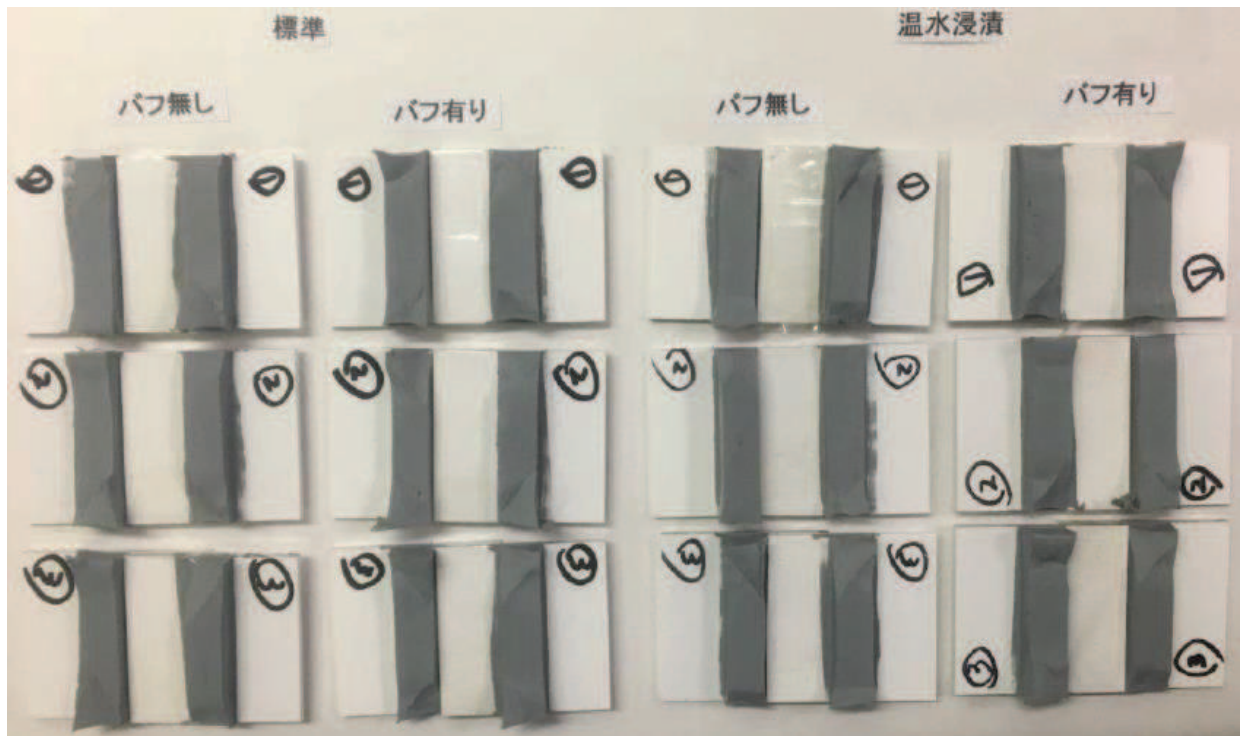


図 6.1.5-27(1) 接着性（付着性）試験結果（20 μ m ホワイト色-1）
 （いずれの試験結果もCFすなわち、シリコン材で切れているため、左右どちらにも灰色のシリコン材が残っていることが確認される）

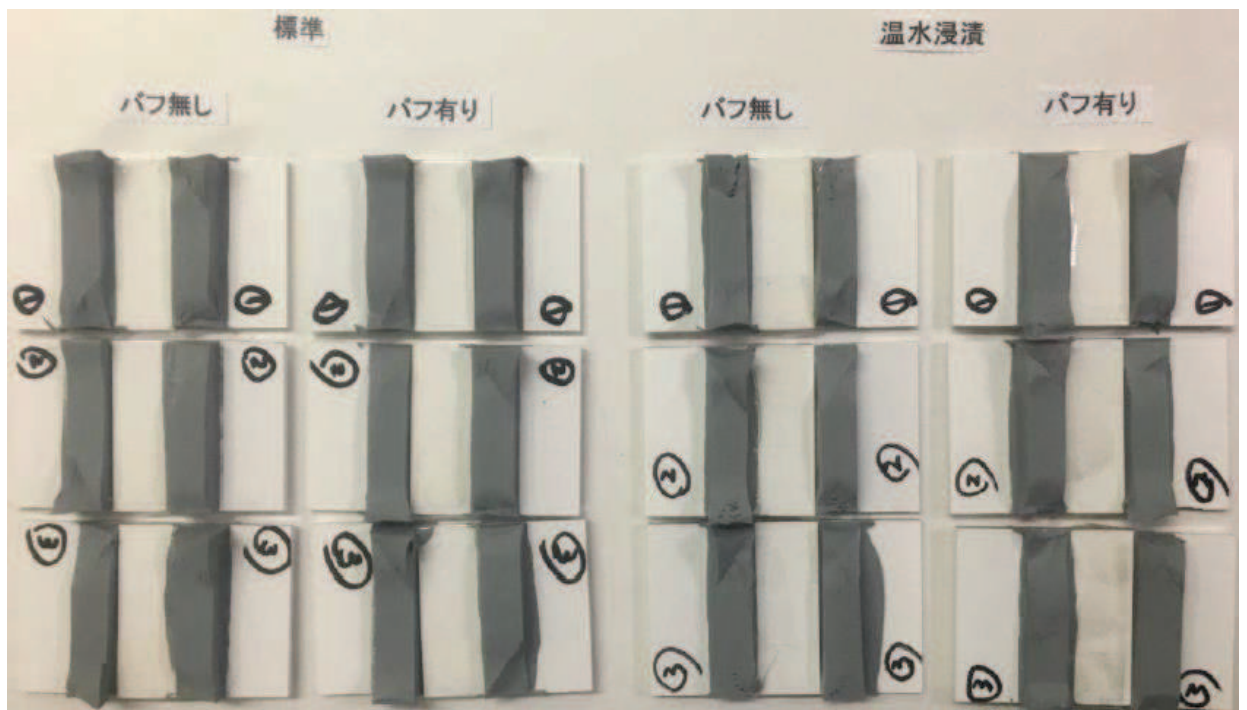


図 6.1.5-27(2) 接着性（付着性）試験結果（20 μ m ホワイト色-2）
 （いずれの試験結果もCFすなわち、シリコン材で切れているため、左右どちらにも灰色のシリコン材が残っていることが確認される）

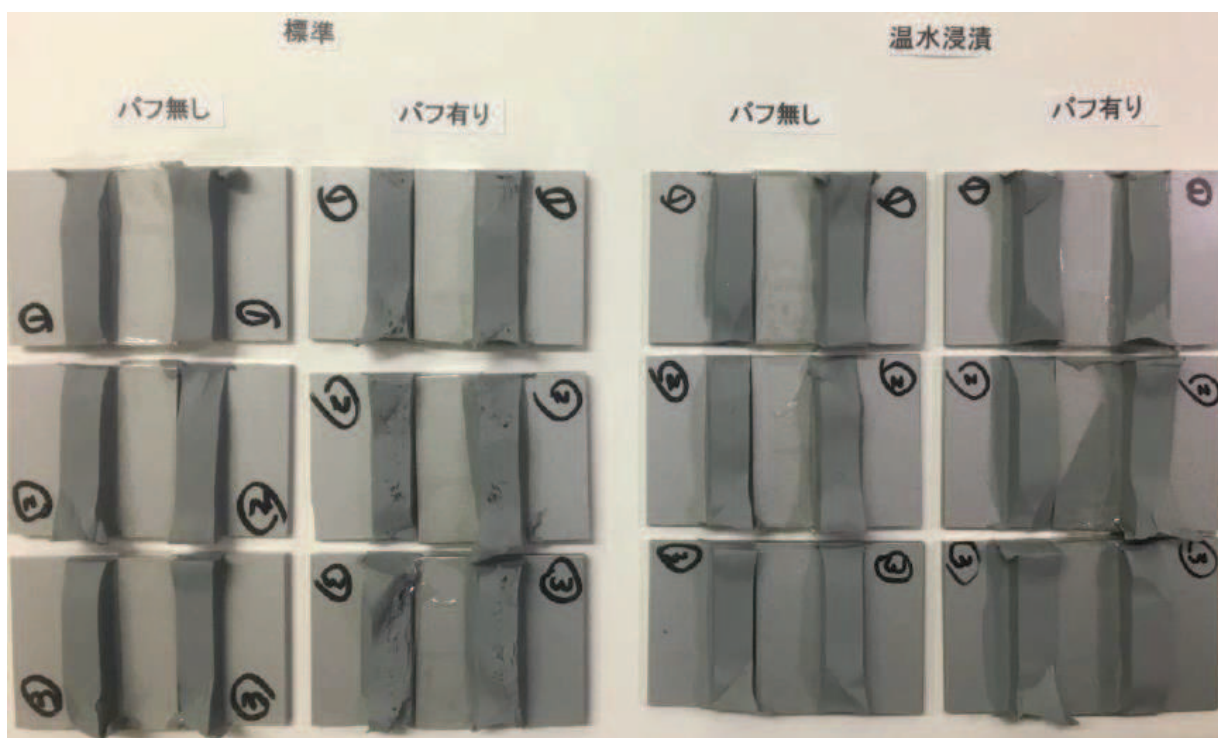


図 6.1.5-27(3) 接着性（付着性）試験結果（40 μ mメタリック色-1）
 （いずれの試験結果もCFすなわち、シリコン材で切れているため、左右どちらにも灰色のシリコン材が残っていることが確認される）

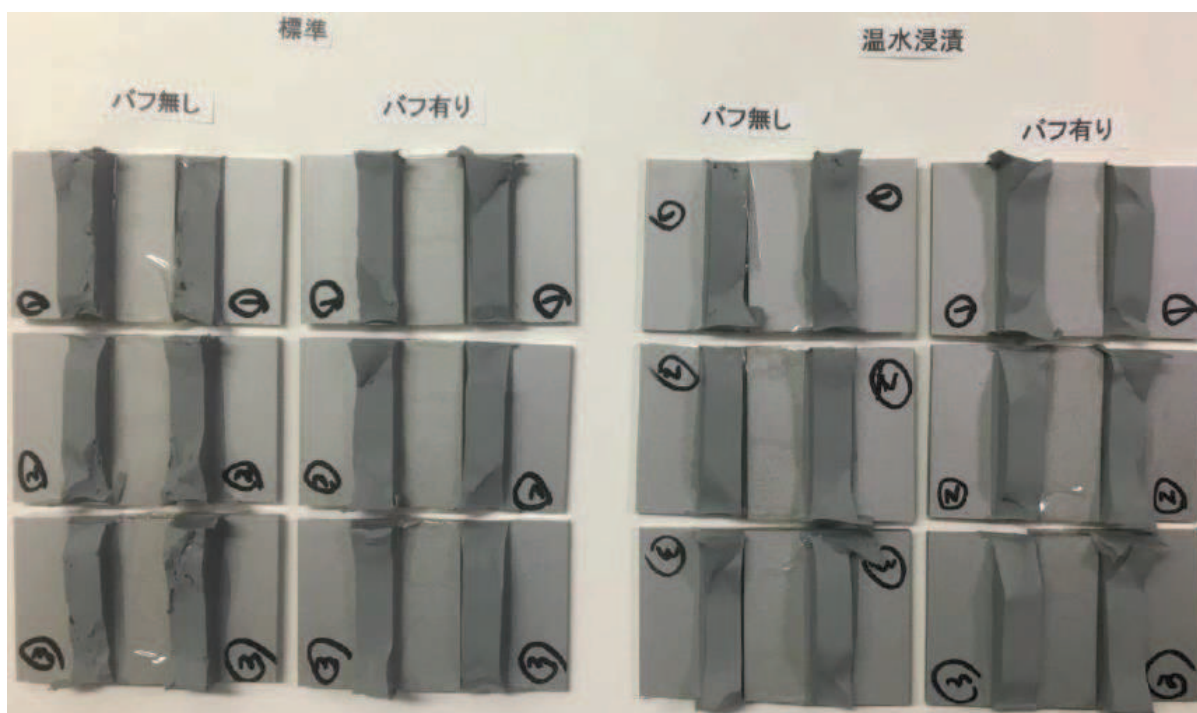


図 6.1.5-27(4) 接着性（付着性）試験結果（40 μ mメタリック色-1）
 （いずれの試験結果もCFすなわち、シリコン材で切れているため、左右どちらにも灰色のシリコン材が残っていることが確認される）

d. まとめ

鋼製遮水壁と超厚膜塗装の付着力は 2.5 (MPa) 以上、超厚膜塗装とフッ素樹脂塗装の付着力は 1.8 (MPa) 以上、フッ素樹脂塗装とシリコーン材の付着力は 0.38 (MPa) 以上であり、いずれも耐圧試験の水圧 0.3 (MPa) 以上である。また、フッ素樹脂塗装とシリコーン材の境界で剥れる前にシリコーン材が破壊することを確認した。

以上のことから、超厚膜塗装及びフッ素樹脂塗装が施された鋼製遮水壁にシリコーン材を施工し、シリコーン材に引張力が作用した場合、「鋼製遮水壁と超厚膜塗装」、「超厚膜塗装とフッ素樹脂塗装」、「フッ素樹脂塗装とシリコーン材」の境界で剥れる前にシリコーン材が破壊することを確認した。

(1)～(3)で実施した試験結果からも、耐圧試験ではシリコーン材は健全を維持し、鋼材（無塗装の鋼製遮水壁を模擬）とシリコーン材で剥れることもないことから、シリコーン材を施工する面にプライマーを塗布することで、シリコーン材を施工する境界は十分な付着性を有することを確認した。

なお、ウレタンシリコーン目地の下端部については、図 6.1.5-3 で示したように背面補強工内まで施工することとしている。背面補強工内でも止水性は鋼製遮水壁とシリコーン材に期待しているものの、一部シリコーン材とモルタルの付着性に期待している箇所があるため、シリコーン材とモルタルの付着性について別途付着性の試験を実施しており、十分な付着性能を有することを確認している（参考資料 1）。

3. 許容限界の設定

止水ジョイント部材の変位量の許容限界は、「2. 性能確認試験」を踏まえ、ゴムジョイントとウレタンシリコーン目地でそれぞれ定める。

表 6.1.5-18 に止水ジョイント部材の変位量の許容限界を示す。

表 6.1.5-18 止水ジョイント部材の許容限界（変位量）

評価項目	許容限界	備考
ゴムジョイント	伸び：150 mm せん断：350 mm	試験水圧：0.40MPa
ウレタンシリコーン目地	伸び：6 mm せん断：30 mm	試験水圧：0.30MPa

4. 耐久性

止水ジョイント部材の耐久性能について評価する。

4.1 評価項目

ゴムジョイントについては、ゴムの耐久性能に関する評価項目として、耐熱性（耐熱老化性）、耐寒性及び耐候性を評価項目とする。

一方、ウレタンシリコーン目地は、シリコーン、ウレタン及びウレタンの型枠としての縁切材で構成されており、ウレタン及び縁切材はシリコーンで覆われているため外部環境と接していないが、シリコーンは外部環境と接している、という特徴がある（図 6.1.5-15）。外部環境と接しているシリコーンについては、一般的に塩害を含む耐久性に優れた材料であり、劣化の恐れがある物質としては、濃硫酸（ H_2SO_4 ）やフッ化水素酸（HF）が挙げられるが、これらは自然界にはない。ただし、上記ゴムジョイントと同様にウレタンを含め、耐熱性（耐熱老化性）、耐寒性及び耐候性を評価項目とする。また、ウレタンについては、「2.2 ウレタンシリコーン目地」で整理したとおり、要求機能にシリコーンのような変形追従性はないため、低温環境下で硬化することの影響評価は不要である。

止水ジョイント部材の評価項目を表 6.1.5-19 に示す。なお、縁切材（ポリエチレン製）は止水機能に対して間接的な役割を担っているものの、汎用品であり、ウレタンを施工するための型枠としてウレタンシリコーン目地内に設置するものであること、上記のとおりシリコーンで覆われており、主たる劣化要因である紫外線の影響がないことを踏まえ、使用実績を確認することとする。

(1) 耐熱性（耐熱老化性）

熱によって老化（酸化・分解）が促進されることに抵抗する性質。

(2) 耐寒性

低温環境下にさらされ、硬化することによって弾性が失われることに抵抗する性質。なお、耐寒性については、温度が上がれば機能が回復するという点で、耐熱性（耐熱老化性）とは性質が異なる。

(3) 耐候性

屋外曝露状態で受ける、日光（紫外線）や雨雪等の作用に抵抗する性質。

表 6.1.5-19 止水ジョイント部材の評価項目（耐久性）

止水ジョイント部材		耐熱性（耐熱老化性）	耐寒性	耐候性
ゴムジョイント		○	○	○
ウレタン	シリコーン	○	○	○
シリコーン目地	ウレタン	○	—*1	—*2

注記*1：ウレタンは変形追従性の要求機能がないため，耐寒性の評価不要である。

*2：ウレタンはシリコーンで覆われているため耐候性の評価は不要である。

4.2 ゴムジョイントの評価結果

(1) 耐熱性（耐熱老化性）

ゴムジョイントの伸縮部材に用いている原材料のクロロプレンゴムについて、メーカーにて熱老化試験が実施されている。熱老化試験では、70℃、100℃、120℃の3種類の異なる加熱温度下において、加熱前に切断時伸び480%のゴムが、ゴム伸び残存率50%に相当する切断時伸び240%に至るまで、気中において加熱を与え続けた試験を実施している。ここで、ゴム伸び残存率は、経年劣化後の切断時伸びを初期の切断時伸びで除した値と定義される劣化指標で、ゴム伸び残存率50%となる時間をもとに予測寿命が算定される。図6.1.5-28に熱老化試験結果を示す。

熱老化試験結果をもとに、ゴム伸び残存率が50%、60%、70%、80%及び90%となる時間と温度の関係をグラフ化したものを図6.1.5-29に示す。図6.1.5-29により温度20℃、30℃及び40℃におけるゴム伸び残存率と時間の値を読み取り、作成した時間－ゴム伸び残存率の推定線を図6.1.5-30に示す。

なお、図6.1.5-30にはメーカーにて調査された実際に長時間使用されていたクロロプレンゴム製品のゴム伸び残存率をプロットしているが、ほぼ推定線上に散布しており調和的である。気中下にて約46年間屋外で使用されていたクロロプレンゴム製品のゴム伸び残存率は50%以上であることが確認されている。

女川地点における月平均気温は、図6.1.5-31に示すように通年で約2～23℃の範囲で変化し、年平均気温は約13℃である。ゴムジョイント使用環境の気温を20℃とすると、図6.1.5-30よりゴム伸び残存率50%を確保できる耐用年数は127年と推定される。

なお、女川地点における月平均気温が最高気温に達するのは、年間を通して主に8月であり、保守的にゴムジョイント使用環境の気温を30℃として評価しても、ゴム伸び残存率50%を確保できる耐用年数は38年と推定され、十分な耐熱性を有している。

長期にわたり供用されたクロロプレンゴムの耐久性について調査された事例は少ないが、宇佐美ら（1981*¹、1982*²）は約17年間使用された鉄道橋梁の支承に用いられたクロロプレンゴムは、列車通過に起因する大きな荷重を受けている点で、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼製遮水壁間に用いられるクロロプレンゴムよりも厳しい条件下で使用されたにもかかわらず、ゴム伸び残存率50%を確保できる耐用年数は85年以上と推定されており、クロロプレンゴムは十分な耐久性能を有していることを示している。

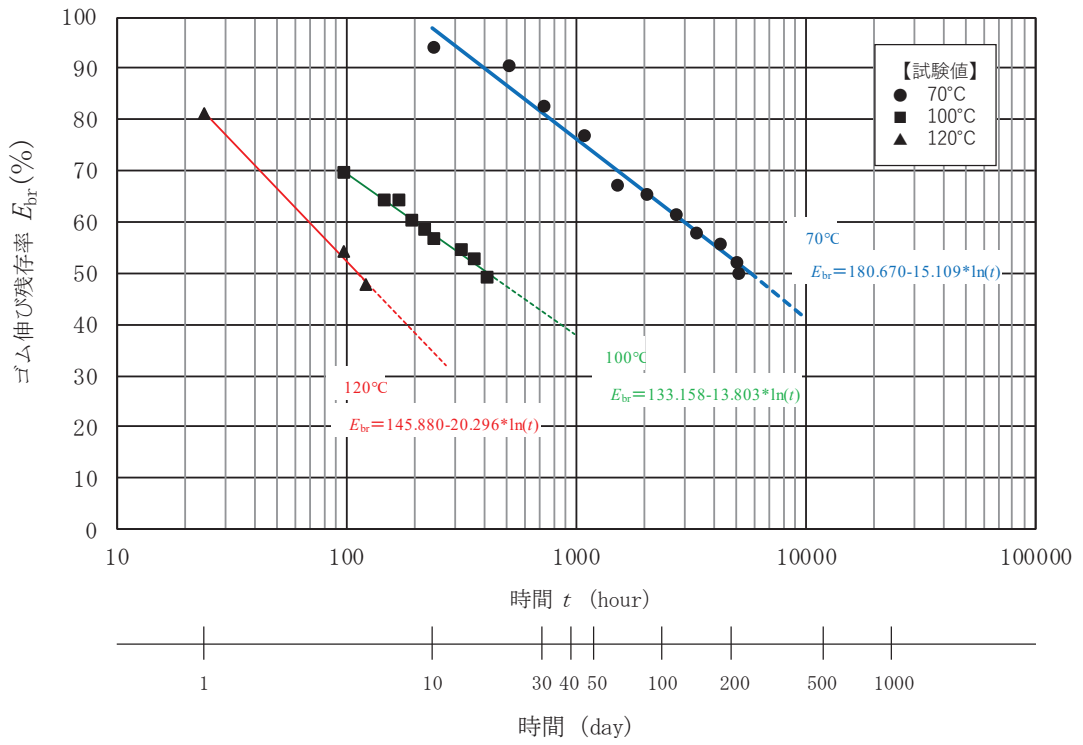


図 6.1.5-28 ゴム材料の熱老化試験結果

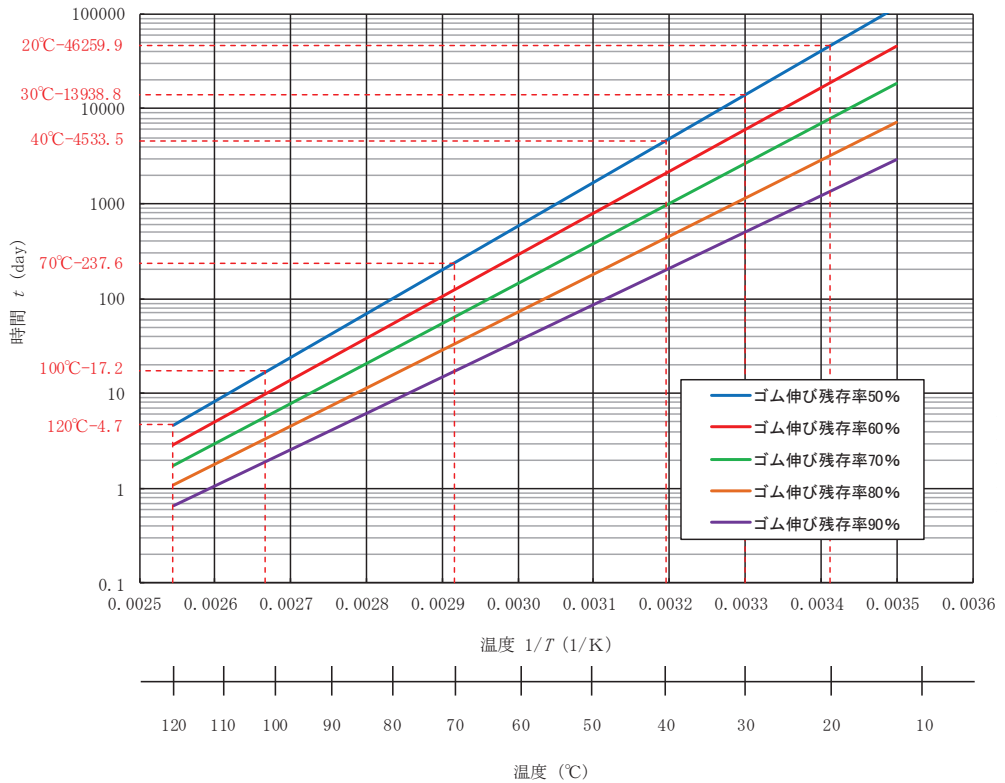


図 6.1.5-29 ゴム材料の残存率に応じた温度と日数の関係

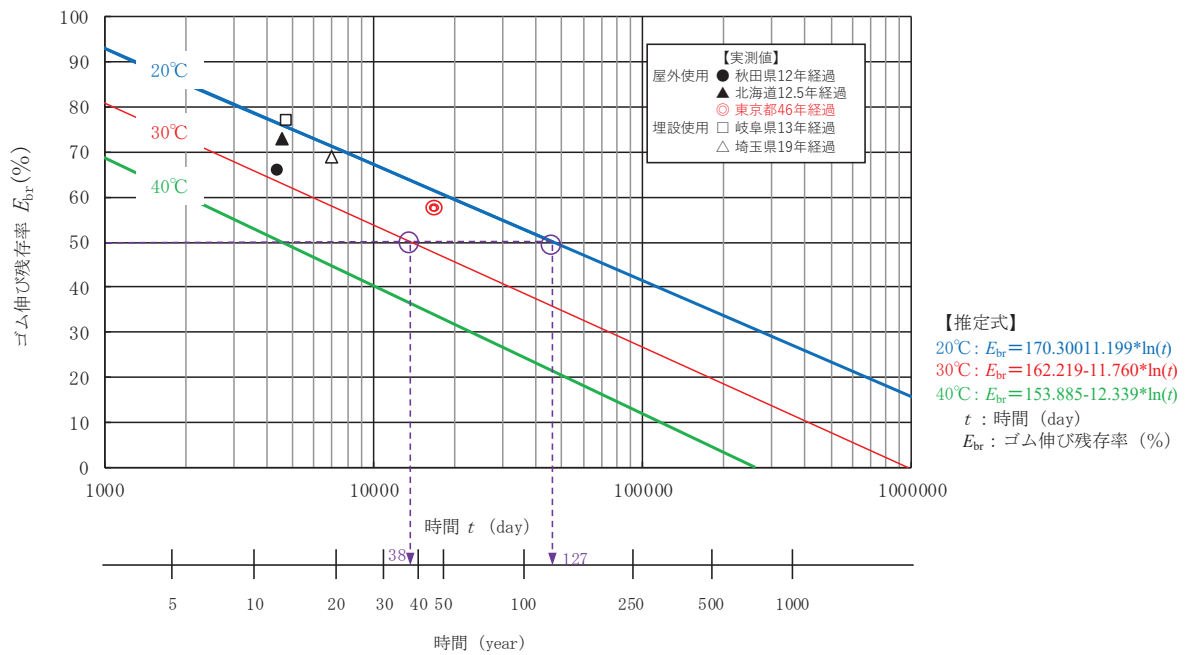


図 6.1.5-30 ゴムジョイントの耐候年数推定結果

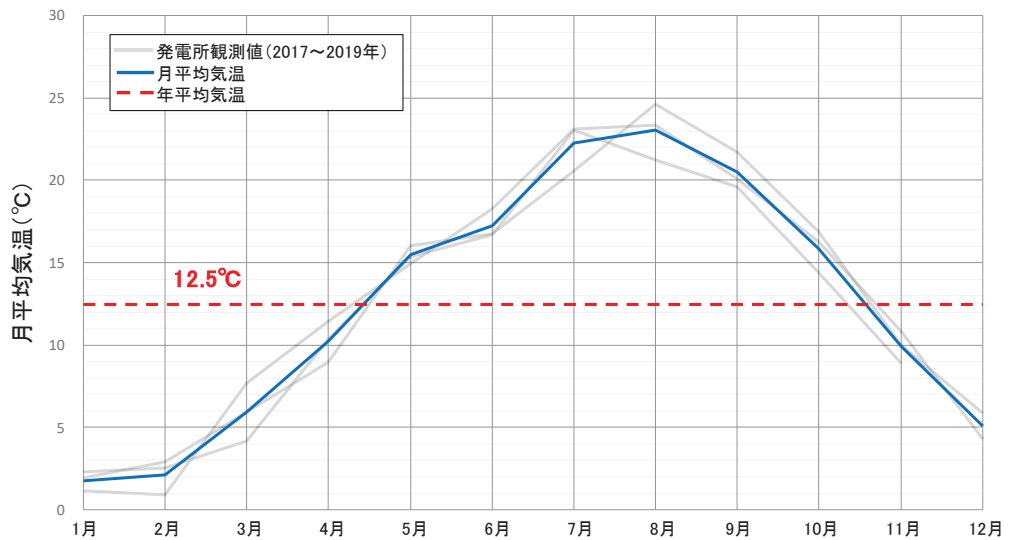


図 6.1.5-31 女川地点における月平均気温

(2) 耐寒性

図 6.1.5-32 に各種加硫ゴムの低温特性値を示す。一般的に、クロロプレンゴムのガラス転移温度（ゴムが温度の低下とともに硬くなり、最後には弾性を失ってもろくなるガラス転移現象が生じる温度で、ガラス転移温度以下ではゴムとしての特性を喪失する）は -40°C 程度とされている。

クロロプレンゴムを対象にメーカーにて実施された低温下における引張試験について、図 6.1.5-33 に各試験温度におけるクロロプレンゴムの切断時伸びの結果を示す。比較のため、同図には常温における結果も併記した。温度の低下に伴

ってクロロプレングムの切断時伸びも低下するが、その変化量はわずかである。また、低温下においても切断時伸びは製品規格値を上回っており、十分な耐寒性を有している。

女川地点における月平均気温は、年平均値は約 13℃で、最低でも約 2℃であることを踏まえると、女川地点の防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼製遮水壁間に設置されるクロロプレングムを原材料とするゴムジョイントの使用に関して影響はほとんどないと考えられる。

各種加硫ゴムの低温特性値

ゴムの種類	カーボンブラック量 phr	低温特性値 (単位℃)				
		T_g	T_b	T_{10}	T_{50}	T_{70}
BR	SRF 50	-70以下	-70以下	—	—	—
NR	"	-62	-59	-59	-53	-48
SBR	"	-51	-58	-47	-41	-38
IIR	"	-61	-46	-56	-46	-42
CR (W)	"	-41	—	-38	-25	-6
CR (WRT)	"	-40	-37	-37	-28	-19
NBR (ハイカー1041)	"	-15	-20	-14	-10	-7
NBR (ハイカー1042)	"	-27	-36	—	—	—
CIIR						
(Esso Butyl HT-1066)	FEF 30	-56	-45	-45	-32	-23
CO (ハイドリソ100)	FEF 30	-25	-19	-18	-12	-9
ECO (ハイドリソ200)	FEF 30	-46	-40	-36	-30	-29
CSM (ハイパロン40)	FEF 40	-27	-43	-6	+6	+7
ACM (チアクリル76)	FEF 45	—	-18	-18	-8	-2
FKM (G-501)	FT 25	—	-36	-14	+9	+15
T (チオコロールFA)	FEF 30	-49	—	-42	-30	-18
U (エラストサン455)	FEF 25	-32	-36	-22	-13	-7

T_g : ゲーマンねじり試験より
 T_b : ぜい化試験より
 T_{10}, T_{50}, T_{70} : T-R試験より

出典 丹野博実:日ゴム協誌, 46, 644 (1973)

図 6.1.5-32 ゴムの低温特性
 (非金属材料データブック (日本規格協会) *³, 一部加筆)

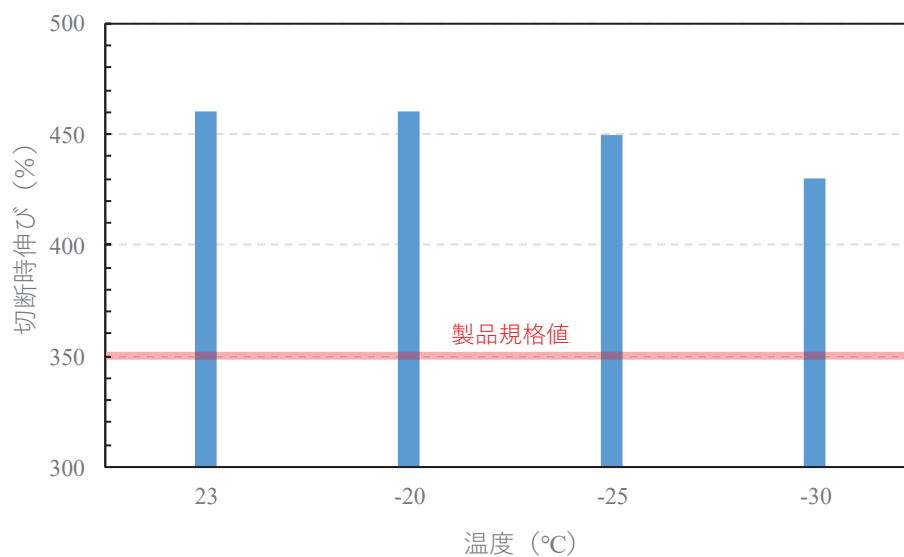


図 6.1.5-33 低温下におけるクロロプレングムの切断時伸び

(3) 耐候性

クロロプレンゴムを対象とした耐候性試験（ウェザーメーター試験）がメーカーにて実施されている。耐候性試験は、屋外に長期曝露された状況を想定し、主に日光（紫外線）や雨雪に対する耐性を評価するための試験である。試験体に対し、太陽光に近い人工光源の照射や断続した水の噴霧を与え、自然環境に起因する劣化促進を図っている。耐候性試験をもとに、熱老化試験と同様の整理を経て得られた時間－ゴム伸び残存率の推定線を図 6.1.5-34 に示す。比較のため、図 6.1.5-34 には、熱老化試験より得られた推定線も併記した。熱老化による影響と比較するとゴム伸び残存率の低下は緩やかであり、熱老化よりも影響は少なく十分な耐候性を有している。

なお、ゴムジョイントは防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼製遮水壁間に設置され、その海側には漂流物防護工が設置されるから、日光（紫外線）や雨雪等の影響を受けにくいと考えられ、劣化速度は耐候性試験結果よりも更に緩やかになると考えられる。

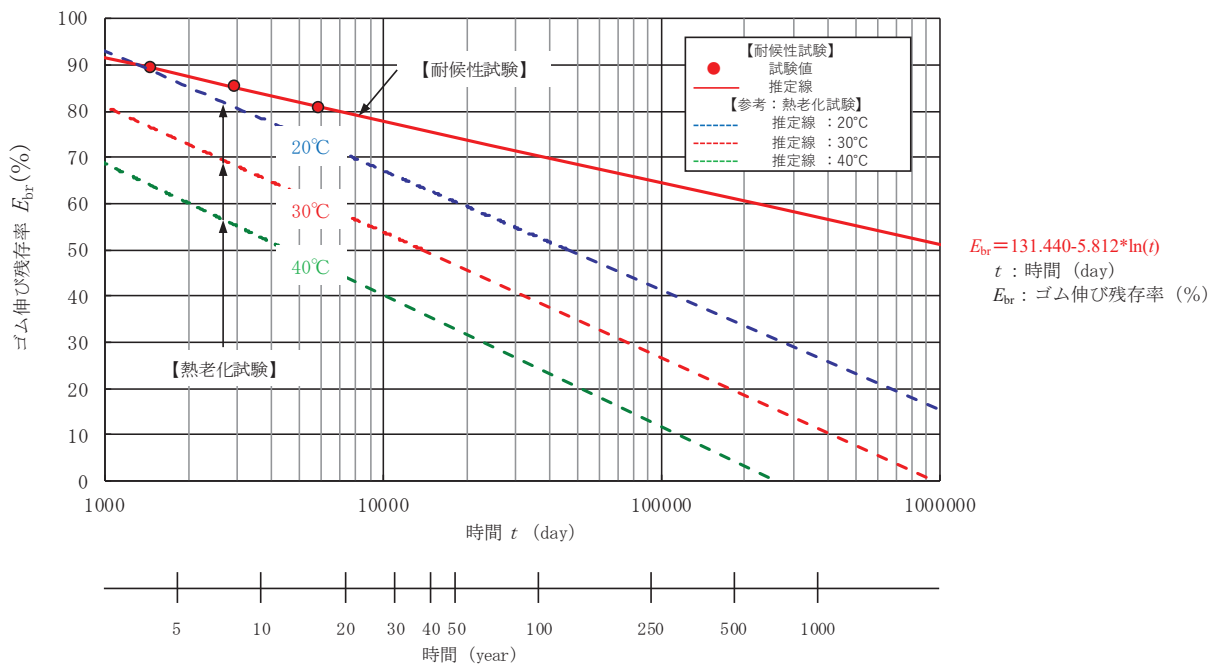


図 6.1.5-34 耐候性試験より推定される時間－ゴム伸び残存率の関係

(4) まとめ

ゴムジョイントの伸縮部材に用いている原材料のクロロプレンゴムに対する耐熱性（耐熱老化性）、耐寒性及び耐候性について検討した。その結果、クロロプレンゴムの耐久性に最も大きな影響を与える項目は耐熱性（耐熱老化性）であると考えられる。耐熱性（耐熱老化性）について、女川地点における平均気温が約 13℃

であることを踏まえると、ゴム伸び残存率 50%を確保できる耐用年数は 127 年と推定される。

なお、女川地点における平均気温が最高気温に達するのは、年間を通して主に 8 月であり、保守的に評価してもゴム伸び残存率 50%を確保できる耐用年数は 38 年と推定され、十分な耐熱性を有している。また、気中下において約 46 年間屋外で使用されていたクロロプレンゴム製品のゴム伸び残存率は 50%以上であることが確認されている。

以上により、女川地点の防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼製遮水壁間に設置されるクロロプレンゴムを原材料とするゴムジョイントは、耐熱性（耐熱老化性）、耐寒性及び耐候性に関する耐久性能を有していることを確認した。

注記 *1：宇佐美民雄，渡邊正夫，橘田敏之，米浜光郎，林邦明，長野悦子
（1981）：ゴム支承の経年変化と静的特性，日本ゴム協会誌，55
巻，3号，pp.174-184

*2：宇佐美民雄，渡邊正夫，橘田敏之，米浜光郎，林邦明，長野悦子
（1982）：ゴム支承の経年変化と活荷重の影響，日本ゴム協会誌，
55巻，12号，pp.777-783

*3：日本規格協会（1983） 非金属材料データブック pp.192-193

4.3 ウレタンシリコーン目地の評価結果

長期的な使用のための耐久性に関しては、ウレタンシリコーン目地を構成するシリコーン及びウレタンについてメーカーによる耐候性試験（熱老化試験，乾湿繰り返し試験）により確認する。

(1) 耐熱性（耐熱老化性）

a. シリコーン材（トスシール 361）

ウレタンシリコーン目地に用いている原材料のうちシリコーン材（トスシール 361）について、メーカーにて熱老化試験が実施されている。

表 6.1.5-20 に示す養生及び加熱劣化条件で熱劣化試験を行った後、引張接着性試験（H型）（引張速度 50mm/min:50%引張応力（M50），最大引張応力（Tmax）及び伸び（Emax）を測定）を実施している。試験結果を表 6.1.5-21 に示す。

表 6.1.5-21 の試験結果から、いずれの条件下においてもシリコーン材（トスシール 361）に異常は確認されなかった。また、100℃で 365 日加熱促進劣化しても異常がなかったことを踏まえ、女川地点における年平均気温が約 13℃であることを踏まえると、250 年以上物性の変化がなく使用できることになる。

なお、女川地点における月平均気温の最高は 8 月の約 23℃であることを踏まえ、保守的に 30℃としたとしても、120 年以上物性の変化がなく使用できることになり、十分な耐熱性を有している。

$$365 \text{ 日} \times 2^8 = 93440 \text{ 日} = 256 \text{ 年}$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{アレニウスの式に従い, } (100-20)/10=8 \\ 10^\circ\text{C 上昇することで 2 倍則となるため } 2^8 \end{array} \right]$$

表 6.1.5-20 養生及び加熱劣化条件

	養生	加熱劣化条件
① 標準養生（2成分形）	23℃50%RH×7日間	50℃7日間
② 加熱劣化	標準養生	100℃加熱 365日間
③ 加熱劣化	標準養生	120℃加熱 365日間
④ 加熱劣化	標準養生	150℃加熱 365日間
⑤ 加熱劣化	標準養生	175℃加熱 28日間
⑥ 加熱劣化	標準養生	200℃加熱 10日間

表 6.1.5-21 標準養生後と加熱促進劣化後の引張接着試験結果 (H型)

条件	M50	Tmax	Emax	破壊状況		
				CF	TCF	AF
	MPa	MPa	%	%	%	%
標準	0.14	0.58	1480	100	0	0
100°CX365日	0.14	0.56	1400	100	0	0
120°CX365日	0.13	0.62	1380	100	0	0
150°CX365日	0.09	0.53	1180	100	0	0
175°CX28日	0.07	0.54	1010	100	0	0
200°CX10日	0.06	0.50	910	100	0	0

表中の破壊状況:CF は凝集破壊、TCF は薄層破壊、AF 界面剥離を示す。

b. ウレタン材 (エアライトフォーム GK-K700)

ウレタンシリコン目地に用いている原材料のうちウレタン材 (エアライトフォーム GK-K700) について、メーカーにて熱老化試験が実施されている。

試験条件を 70°C, 95%RH, 600 日とした湿熱老化試験 (試験片寸法: 50×50×50mm) を実施し, 経過日数に応じて体積変化率, 重量変化率及び圧縮強度を確認した。試験結果を表 6.1.5-22 に示す。

表 6.1.5-22 の試験結果から, 600 日経過した時点においても体積変化率, 重量変化率及び圧縮強度に変化は生じていないことを確認した。また, 70°C で 600 日経過しても異常がなかったことを踏まえ, 女川地点における年平均気温が約 13°C であることを踏まえると, 50 年以上物性変化なく使用できることになる。

なお, 女川地点における月平均気温の最高は 8 月の約 23°C であることを踏まえ, 保守的に 30°C としたとしても, 26 年以上物性の変化がなく使用できることになり, 十分な耐熱性を有している。

$$600 \text{ 日} \times 2^5 = 19200 \text{ 日} \approx 52 \text{ 年}$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{アレニウスの式に従い, } (70-20)/10=5 \\ 10^\circ\text{C 上昇することで 2 倍則となるため } 2^5 \end{array} \right)$$

表 6.1.5-22 湿熱老化試験結果（体積変化率、重量変化率及び圧縮強度）

湿熱劣化日数（日）	体積変化率（%）	重量変化率（%）	圧縮強度（kgf/cm ² ）
0	0	0	2.86
40	+2.5	+1.2	3.13
80	+2.7	+2.3	3.13
160	+1.2	+1.8	3.01
240	+2.3	+2.6	3.30
360	+1.3	+1.1	3.18
480	-0.4	+1.9	3.20
600	+0.4	+1.0	3.26

(2) 耐寒性

ウレタンシリコーン目地に用いている原材料のうちシリコーン材（トスシール 361）について、メーカーにて温度変化を踏まえた引張試験が実施されている。試験方法は以下の手順で行っている。

- ① シリコーン材（トスシール 361）を厚さ 2mm のシート状に伸ばし、23℃ 50%RH 雰囲気下で 7 日、その後 50℃ 恒温槽で 7 日養生する。
- ② 硬化後専用打ち抜き型を使用して、JIS K 6251 の 2 号ダンベルに打ち抜く。
- ③ 規定の温度（200℃、175℃、150℃、125℃、100℃、20℃、-20℃、-40℃、-60℃、-80℃）に 7 日間放置したあと、直ちに以下の試験を行う。
- ④ 2 号ダンベルに打ち抜いたシリコーン材（トスシール 361）を 3 枚重ねて、Asker 硬度計 A 型で測定する。
- ⑤ その後、ショッパー引張り試験器を使用して引張特性を評価する。

試験結果を表 6.1.5-23 に示す。その結果、シリコーン材（トスシール 361）は -60℃～150℃の範囲で硬さ・引張強さ・伸びのいずれの特性もほとんど変化していないことが確認された。女川地点において、月平均気温が最低となるのは 1 月であり、約 2℃であるため、シリコーン材（トスシール 361）は十分な耐寒性を有している。

表 6.1.5-23 シリコーン材（トスシール 361）の温度による特性

表 トスシール 361 の温度による特性

条件	硬さ	引張強さ	伸び
		MPa	%
200℃	15	1.51	980
175℃	14	1.35	1080
150℃	13	1.18	1480
125℃	12	1.14	1550
100℃	12	1.12	1540
20℃	12	1.10	1580
-20℃	12	1.07	1530
-40℃	13	1.08	1500
-60℃	13	1.06	1460
-80℃	17	1.67	780

(3) 耐候性

ウレタンシリコーン目地に用いている原材料のうちシリコーン材を対象とした耐候性試験（ウェザーメーター試験）がメーカーにて実施されている。表 6.1.5-24 に示す養生及び促進曝露劣化条件でウェザーメーター試験（サンシャインカーボンアーク式）を行った後、引張接着性試験（H型）（引張速度 50mm/min：50%引張応力（M50）、最大引張応力（Tmax）及び伸び（Emax）を測定）を行った。試験結果を表 6.1.5-25 に示す。

一般に、サンシャインカーボンアーク式ウェザーメーター照射は 300 時間が 1 年に相当すると考えられており、10000 時間照射は 33 年に相当する。この条件下においても引張強さや伸び等の物性に变化がまったく認められず、凝集破壊の状態にも異常はなかったことから、シリコーン材は十分な耐候性を有している。

表 6.1.5-24 養生及び促進劣化条件

試験名	養生	促進曝露劣化条件
① 標準養生 (2成分形)	23℃50%RH×7日間	50℃7日間
②促進曝露劣化	標準養生	サンシャインウェザーメーター 1000時間
③促進曝露劣化	標準養生	サンシャインウェザーメーター 1500時間
④促進曝露劣化	標準養生	サンシャインウェザーメーター 3000時間
⑤促進曝露劣化	標準養生	サンシャインウェザーメーター 5000時間
⑥促進曝露劣化	標準養生	サンシャインウェザーメーター 8000時間
⑦促進曝露劣化	標準養生	サンシャインウェザーメーター 10000時間

表 6.1.5-25 標準養生後と促進曝露劣化後の引張接着試験結果 (H型)

条件	M50	Tmax	E _{max}	破壊状況		
	MPa	MPa	%	CF	TCF	AF
				%	%	%
標準	0.15	0.56	1440	100	0	0
サンシャインウェザーメーター1000時間	0.15	0.58	1480	100	0	0
サンシャインウェザーメーター1500時間	0.15	0.55	1460	100	0	0
サンシャインウェザーメーター3000時間	0.15	0.58	1520	100	0	0
サンシャインウェザーメーター5000時間	0.15	0.56	1490	100	0	0
サンシャインウェザーメーター8000時間	0.15	0.54	1510	100	0	0
サンシャインウェザーメーター10000時間	0.15	0.56	1470	100	0	0

表中の破壊状況:CFは凝集破壊、TCFは薄層破壊、AF界面剥離を示す。

また、シリコーン材(トスシール361)の屋外曝露30年経過品の特性について、以下のとおりメーカーによる試験が行われており、その結果、30年経過した製品と新品では、硬さ、引張強さ及び伸び率に変化がなく、30年経過した製品の外観に顕著な異常はないことを確認している。

試験の実施状況写真を図6.1.5-35に、試験結果を表6.1.5-26に示す。

【試験方法】

- ① 屋外暴露試験場に仕掛けてあるシリコーン材（トスシール 361）をカッターナイフで慎重に切り取り，外観を目視で確認し，指触でべたつきや硬化に異常がないかを確認する。
- ② 切り取ったシリコーン材（トスシール 361）を 2mm の厚さにスライスしやすくするために，Asker 硬度計 A 型での硬度約 50 の 2 成分アルコール型シーラントを，攪拌混合後トスシール 361 の周りにセットし，23℃50%RH 雰囲気下で 3 日養生する。
- ③ 2 成分アルコール型シーラントが硬化後，カッターナイフを使い，厚さ 2mm になるように，トスシール 361 とアルコール型シーラントをスライスする。
- ④ 専用打ち抜き型を使用して，JIS K 6251 の 2 号ダンベルに打ち抜く。
- ⑤ 2 号ダンベルに打ち抜いたトスシール 361 を 3 枚重ねて，Asker 硬度計 A 型で測定する。
- ⑥ その後，ショッパー引張試験器を使用して引張特性を評価する。

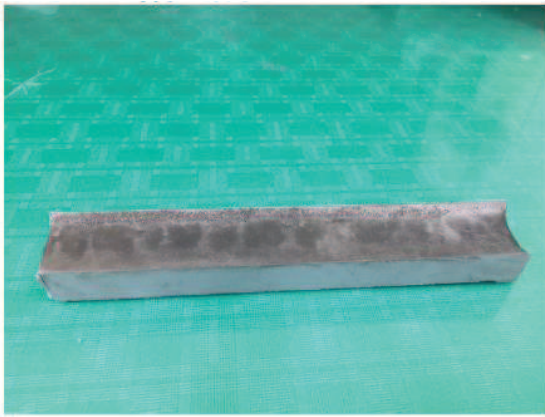


曝露状況

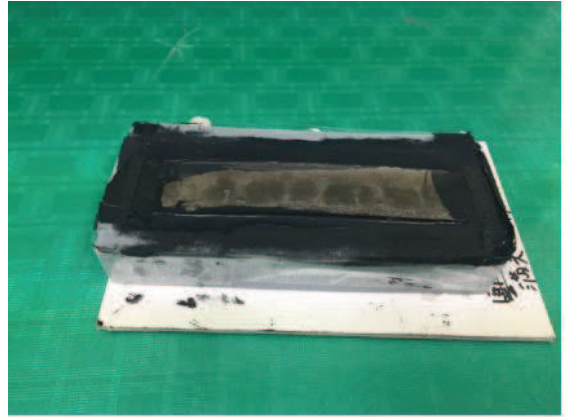


シリコーン材の切り取り状況

図 6.1.5-35(1) シリコーン材の耐候性試験



切り取ったシリコーン材

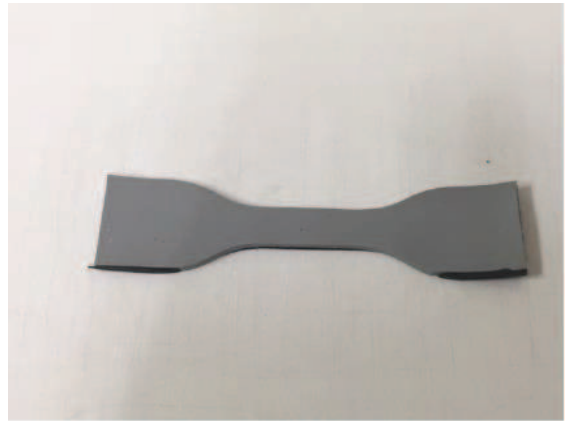


シリコーン材を2成分アルコール型シーラントでサポート

図 6.1.5-35(2) シリコーン材の耐候性試験



シリコーン材を2mmの厚さにスライス



シリコーン材をを2号ダンベルに打ち抜く

図 6.1.5-35(3) シリコーン材の耐候性試験



図 6.1.5-35(4) シリコーン材の耐候性試験 (引張試験)

表 6.1.5-26 30年経過のシリコーン材（トスシール 361）の
特性と初期値（新品）平均の比較

	30年経過トスシール361	トスシール361(2015年平均)
外観	顕著な異常無し	異常無し
硬さ	12	12.4
引張り強さTs(N/mm ²)	1.14	1.01
伸び(%)	1600	1470

「清水ら 2018*¹」及び「鳥居ら 2018*²」によれば、旭川、銚子及び宮古島において屋外曝露試験を行い、15年経過した製品に劣化は確認されないことが報告されている。

なお、ウレタン材及び縁切材については、シリコーン材で覆われているため、屋外曝露状態で受ける、日光（紫外線）や雨雪等の作用は及ばない箇所に位置している。

注記 * 1：清水祐介・松村宇・鳥居智之・竹本喜昭・伊藤彰彦：防水材料の耐候性試験 その1 1 静的屋外暴露 15年後の表面劣化状態と物性評価，日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）2018年9月．

* 2：鳥居智之・清水祐介・伊藤彰彦・竹本喜昭：防水材料の耐候性試験 その1 2 建築用シーリング材の表面のひび割れの程度を尺度とした動的屋外暴露と動的人工光暴露の相関性検討，日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）2018年9月．

(4) 縁切材（ポリエチレン製）の使用実績

ウレタンシリコーン目地に用いている縁切材の原材料はポリエチレンであり、長期間にわたって使用された実績が多数ある。また、同種材料の発泡スチロールでは盛土材料として用いられた事例もある。

1987年10月から1995年2月までの約7年5ヶ月の間、茨城県つくば市（当時）建設省土木研究所で発泡スチロール盛土を実物大規模（盛土構造は高さ3mでダンプトラックの走行が可能な規模）で行い、道路構造体としての挙動並びに自立体としての側方応力の発生状況が報告されている（メーカーカタログ及び「発泡スチロール土工法開発機構（EDO）平成7年度第一回合同部会資料（平成7年11月20日）」）。なお、この試験では盛土材料として埋設されるため、ウレタンシリコーン目地に使用する場合と同様に紫外線が当たらない状況は同じであるが、常時荷重が作用しているため、ウレタンシリコーン目地よりも過酷な条件となっている。

盛土材料の試験結果（表 6.1.5-27）から、いずれの試験体でも7年5ヶ月経過

後の形状寸法、密度及び圧縮強度は規格値（表 6.1.5-28）を満足していることが確認されている。また、地下水位以下のもの、直接土面に接しているものについては、若干の着色変化や汚れが見られたものの、品質の点から新品同様との判断がなされている。

表 6.1.5-27 試験結果（メーカーカタログ引用）

	密度 kg/m ³	5%圧縮強度 kgf/cm ²		密度 kg/m ³	5%圧縮強度 kgf/cm ²
サンプル No.1	19.7	1.32	サンプル No.4	19.6	1.30
サンプル No.2	20.0	1.36	サンプル No.5	21.1	1.42
サンプル No.3	21.3	1.41	サンプル No.6	20.5	1.34
平均					
			20.4	1.36	

表 6.1.5-28 品質規格（メーカーカタログ引用）

項目	D-20（型内法）	測定法
密度 kg/m ³	19-23	JIS A 9511
質量 kg/本	(12. ³ -15. ⁶)	台秤
寸法 mm	縦 1820±10	巻尺
	横 910±6	
	厚さ 400±5	
圧縮強度 kgf/cm ²	0.8以上	JIS A 9511

また、「黒木 2001*」によれば、南極の昭和基地で同種材料を芯材にした断熱パネルの 40 年経過後熱伝導率を測定しており、まったく劣化しておらず、性能が維持されていることを報告している（図 6.1.5-36）。

注記 *：黒木勝一：断面材の種類と素材特性，建築技術 2001 年 2 月号。

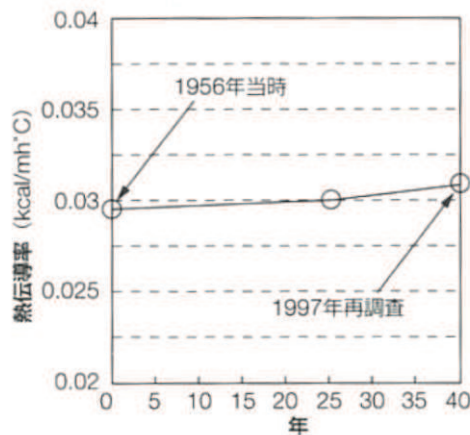


図 6.1.5-36 南極昭和基地の断熱材の熱伝導率変化（40 年経過）
（「黒木 2001」引用）

縁切材（ポリエチレン製）と同種材料による２事例については、紫外線の影響がほとんどない状態で長期にわたり十分な耐久性を有していることが確認されている。この使用環境下に対して、ウレタンシリコーン目地で用いる縁切材は完全にシリコーンに覆われており、主たる劣化要因である紫外線の影響が全くない状況となることから、ウレタンシリコーン目地の使用環境下において、縁切材（ポリエチレン製）は十分な耐久性を有している。

(5) まとめ

ウレタンシリコーン目地に用いている原材料のシリコーン材、ウレタン材及び縁切材（ポリエチレン製）に対する耐熱性（耐熱老化性）、耐寒性、耐候性及び使用実績について検討した。その結果、ウレタンシリコーン目地の耐久性としては、シリコーン材及びウレタン材の耐熱性（耐熱老化性）が最も大きな影響を与える項目であると考えられる。ただし、この耐熱性（耐熱老化性）について、女川地点における平均気温が 20℃であることを踏まえると、シリコーン材は 250 年以上物性に変化はなく、ウレタン材は 50 年以上物性に変化はないと推定される。

以上により、女川地点の防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼製遮水壁間に設置されるシリコーン材、ウレタン材及び縁切材（ポリエチレン製）を原材料とするウレタンシリコーン目地は、耐熱性（耐熱老化性）、耐寒性及び耐候性に関する耐久性能を有していることを確認した。

5. 維持管理方針の検討

止水ジョイント部材（ゴムジョイント：クロロプレン，ウレタンシリコーン目地：シリコーン材，ウレタン材及び縁切材）の維持管理は，部材の劣化，変状の発生・進行を把握し，許容限界を満足することを確認することを目的に，定期的な目視点検及び暴露試験を行う。

点検時期や点検方法について表 6.1.5-29 に示す。なお，詳細は別途定める保全計画に基づくものとして保安規定及び個別文書に示す。

表 6.1.5-29 点検時期および点検方法

時期	分類		時期，頻度	方法
維持管理開始時	初回点検		竣工直後	定期点検に準じる
供用中	点検	巡視点検	1回/月 ^{*1}	双眼鏡等を用いた目視点検
		定期点検	1回/年 ^{*1}	足場等を用いた目視点検
	暴露試験		1回/月 ^{*2}	暴露試験体の目視点検
			1回/年 ^{*1} (竣工後15年以降)	暴露試験体を用いた引張試験

注記*1：ゴムジョイント及びシリコーン材を対象とする。

*2：ウレタン材及び縁切材を対象とする。

（点検）

- ・ ゴムジョイント及びシリコーン材を対象に巡視点検（1回/月），並びに定期点検（1回/年）による外観目視点検を行う。
- ・ 巡視点検では可視範囲で，定期点検では足場等を用いて全範囲を点検し，劣化及びひび割れ等の不具合の有無を確認するとともに，必要に応じ試験等を行う。

（暴露試験）

- ・ ウレタン材及び縁切材を対象に，目視点検（1回/月）を行う。
- ・ ゴムジョイント及びシリコーン材を対象に暴露試験体の伸び量等を測定（引張試験）し，設置当初からの変化率から性能劣化の程度を評価する。
- ・ 試験頻度は，設計値，劣化予測結果及び供用期間並びに暴露環境等を考慮して施工後15年以降1回/年行う。

（補修，取替え）

- ・ 点検により損傷等が確認された場合は，速やかに補修・取替えを行う。

6. ウレタンシリコーン目地の施工方法について

ウレタンシリコーン目地の施工フローを図 6.1.5-37 に、施工状況を図 6.1.5-38 に示す。なお、図 6.1.5-15 で示したように、ウレタンと縁切材は海側、山側（敷地側）及び天端がシリコーンで覆われており、シリコーンの下端部は背面補強工内に約 5cm の深さまで施工している。

「2. 性能確認試験」で行った性能確認試験では図 6.1.5-37 の施工フローに従って試験体を製作していることから、試験で確認された性能は、実機でも発揮できるものと考ええる。

なお、ウレタンシリコーン目地の施工管理の詳細については、参考資料 5 に示す。

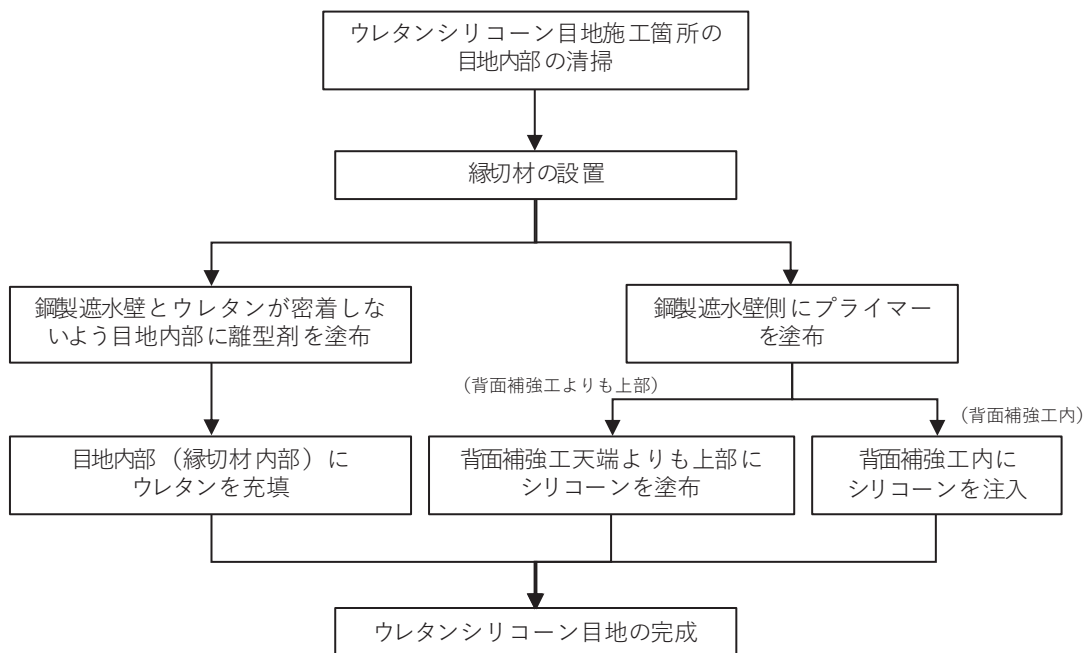


図 6.1.5-37 ウレタンシリコーン目地の施工フロー




		
<p>目地内部にウレタンを充填</p>	<p>海側の背面補強工天端よりも 上部にシリコン塗布 (細部への塗布)</p>	<p>海側の背面補強工天端よりも 上部にシリコン塗布</p>

図 6.1.5-38(1) ウレタンシリコン目地の施工状況

		
<p>背面補強工内の深さ約 5cm まで シリコンを注入(山側(敷地側))</p>	<p>シリコン注入後 (山側(敷地側))</p>	<p>シリコン注入後 (海側)</p>

図 6.1.5-38(2) ウレタンシリコン目地の施工状況

(参考資料1) ウレタンシリコーン目地の下端部の詳細について

ウレタンシリコーン目地の下端部については、止水性を確実なものとするため、図1に示すように背面補強工内まで施工することとしている。

ウレタンシリコーン目地の下端部の施工手順としては、背面補強工内に縁切材を仮固定し、背面補強工天端から5cm程度低い位置までモルタルで充填する。その後、通常のウレタンシリコーン目地と同様に、縁切材で挟まれた箇所にウレタン、縁切材よりも海側と山側（敷地側）にシリコーン材を充填する。そのため、ウレタンシリコーン目地の下端部の止水性は、図1の赤線で示すシリコーン材と背面補強工の境界に要求されることになる。

本資料では、シリコーン材と背面補強工を模擬したモルタルの付着について確認する。

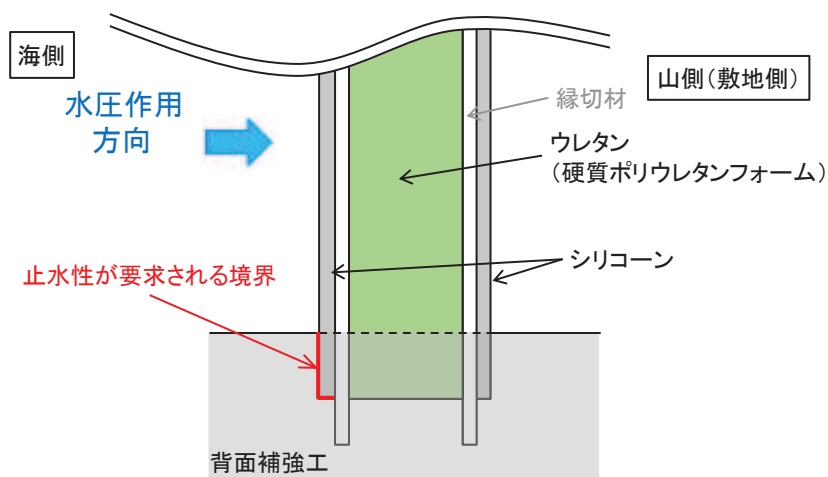


図1 ウレタンシリコーン目地の下部詳細

1. 試験方法

シリコン材とモルタルの付着について、メーカーにて接着性（付着性）の試験で実施されている。

図2に示す試験体を6体用意し、うち3体はモルタルにプライマーを塗布し、残りの3体はモルタルにプライマーを塗布しない条件とし、すべての試験体に対して引張接着性試験（H型）（引張速度 50mm/min：50%引張応力（M50）、最大引張応力（Tmax）及び最大伸び率（Emax）を測定しているが、本試験ではシリコン材が破壊するときの引張応力である最大引張応力（Tmax）を確認する）を実施している。また、「建築工事標準仕様書・同解説/JASS 8 防水工事」及び「改訂新版 建築用シーリング材－基礎と正しい使い方」では、接着性の判断として破壊状態が凝集破壊（CF）又は薄層凝集破壊（TCF）となることが求められているため、破壊状態についても確認している。

なお、実施工ではモルタルにはプライマーは塗布せずにシリコンを充填することとしている。

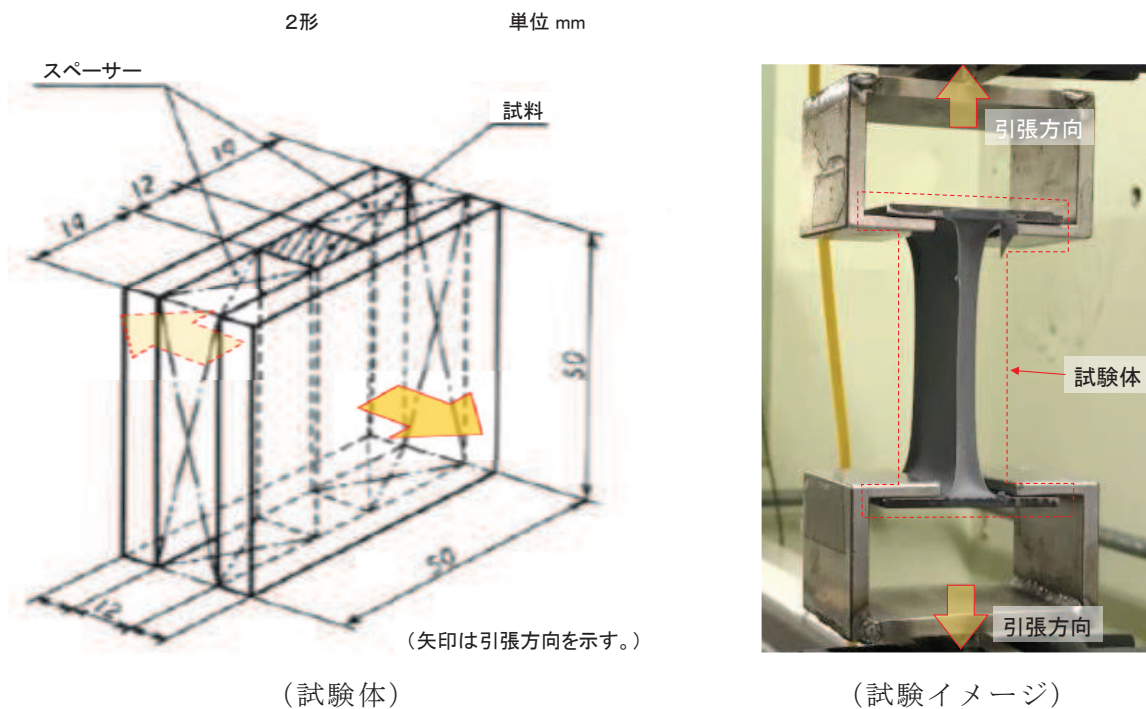


図2 試験概要

（JIS A 1439「建築用シーリング材の試験方法」に準拠して作製・実施）

2. 試験結果

試験結果を表 1 及び写真 1 に示す。

シリコン材が破壊した際の引張応力（最大引張応力：Tmax）は 0.47 (MPa) 以上との試験結果となったため、シリコン材とモルタルは耐圧試験の水圧 0.3 (MPa) よりも大きな力が作用しないと破壊しないことを確認した。また、破壊状況についても凝集破壊 (CF) 又は薄層凝集破壊 (TCF) となっていることから接着性は良好であると判断した。なお、シリコン材とモルタルの付着性能にプライマーがほとんど影響していないことも確認した。

以上のことから、シリコン材とモルタルの境界に耐圧試験の水圧 0.3 (MPa) 以上の引張力が発生したとしても、シリコン材とモルタルの境界で剥れることはなく、付着性能が維持されることを確認した。

表 1 接着試験の塗装種類

シーラント	プライマー	条件	M50	Tmax	Emax	破壊状況		
			MPa	MPa		%	CF	TCF
					%	%	%	%
トスシール361	プライマー無し	標準	0.15	0.49	1100	100	0	0
			0.13	0.47	1250	100	0	0
			0.15	0.65	1240	0	100	0
		平均	0.15	0.54	1200			
	トスプライムニューF	標準	0.12	0.49	1310	100	0	0
			0.12	0.56	1370	100	0	0
			0.12	0.48	1320	100	0	0
		平均	0.12	0.51	1330			

表中の記号は以下のとおり

M50 : 50%引張応力 (シーリング材の伸び率が 50%になったときの引張応力)

Tmax : 最大引張応力 (シーリング材が破壊したときの引張応力)

Emax : 最大伸び率 (シーリング材が破壊したときの伸び率)

CF : 凝集破壊 (シーリング材の破壊状態の 1 つでシーリング材自身の破壊)

TCF : 薄層凝集破壊 (シーリング材の破壊状態の 1 つで被着面にごく薄くシーリング材が残る破壊)

AF : 接着破壊 (シーリング材の破壊状態の 1 つで被着体とシーリング材の分離)



写真1 接着性（付着性）試験結果

（プライマー無しの試験結果で TCF（薄層凝集破壊）が生じているが，表1に示すとおり，0.65MPa という非常に高い引張応力で生じた結果であり，十分な引張応力を有している）

(参考資料 2) ゴムジョイント下端部の詳細について

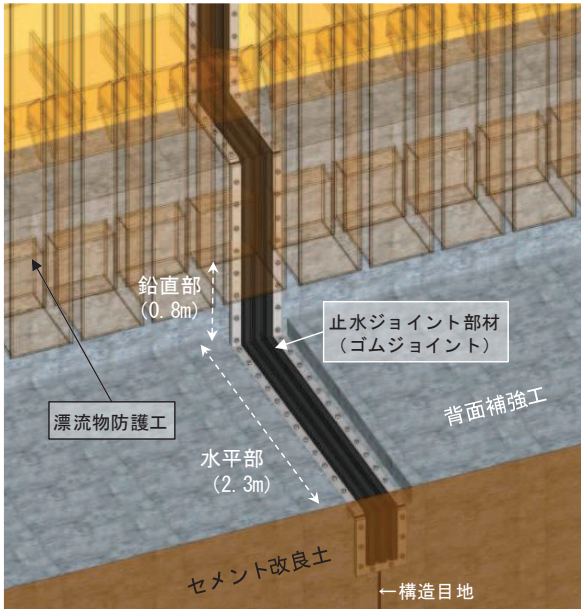
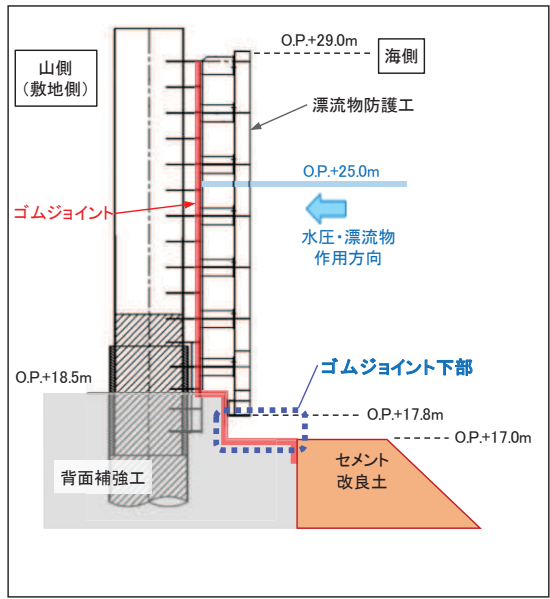
図 6.1.5-2 に示すように、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の背面補強工には構造目地部があることから、背面補強工がある区間については、鋼製遮水壁下端部からセメント改良土の中までゴムジョイントを設置することとしている。

ゴムジョイントの下端部の詳細を図 1 に示す。

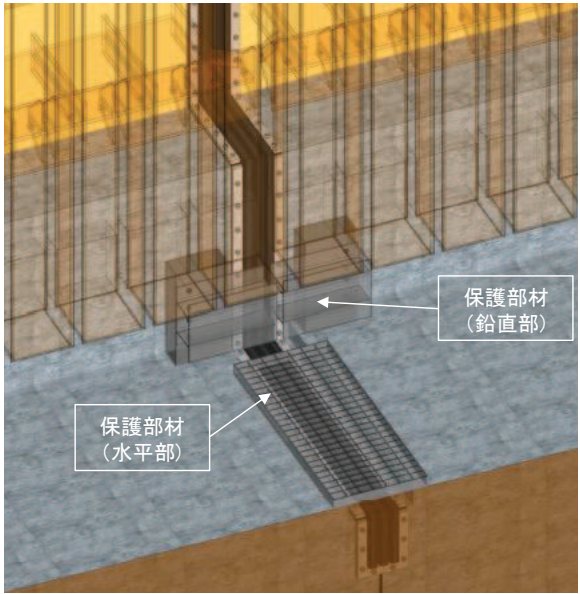
海側の背面補強工天端 (O.P. +17.0m) から漂流物防護工下端 (O.P. +17.8m) は 80cm の高さがあるが、衝突対象である車両が衝突するために必要な浸水深は 0.914m (3 フィート) 以上であること (ASCE (2016) 参照)、衝突対象である FRP 製船舶 (総トン数 5t) 及び FRP 製船舶 (総トン数 19t) の喫水は 1m 以上あることから、この 80cm の間には漂流物は衝突しない。

ただし、寸法の小さい漂流物による影響を防止するため、O.P. +17.8m～O.P. +17.0m の鉛直部及び O.P. +17.0m の水平部のゴムジョイントにはゴムジョイントを構成する部材として鋼製の保護部材を取り付けることとする。

本資料では、ゴムジョイント下端部の水平部及び鉛直部の鋼製保護部材の地震時、津波時及び重畳時の健全性を確認する。



(保護部材設置前の状態)



(保護部材の設置イメージ)

図1 ゴムジョイントの下端部の詳細

1. 水平部

ゴムジョイント下端部の水平部は、図2に示すように、上方からの寸法の小さい漂流物に対してゴムジョイントを保護する目的でゴムジョイントを覆うようにグレーチングを保護部材（以下「保護部材（水平部）」という。）として設置する。

ゴムジョイントが設置される構造境界部には、せん断方向及び伸び方向の変位が生じることから、保護部材（水平部）は、これらの変位（地震時の最大でせん断方向 209.5mm, 伸び方向 22.2mm）による影響が生じないように、片側のみ背面補強工にボルトで固定し、逆側は背面補強工に固定しないこととする（図2参照）。

このような構造特徴を踏まえ、地震時には保護部材（水平部）を固定するボルトの引抜き及びせん断の照査を行うこととする。また、津波時には、保護部材（水平部）が隙間の多い構造であることから津波による水圧（上から下に作用する力）はほとんど作用せず、設置箇所が水平部であるため漂流物の衝突も生じないが、津波第一波襲来後の引き波時に漂流物が保護部材（水平部）上に残置される可能性は否定できないため、津波第一波で到達する可能性のある漂流物のうち最も重量のあるFRP製船舶（排水トン数15t）の自重による評価を行うこととする。なお、重畳時については、地震時の慣性力の方が大きくなるのが自明であるため、地震時の評価に包絡される。

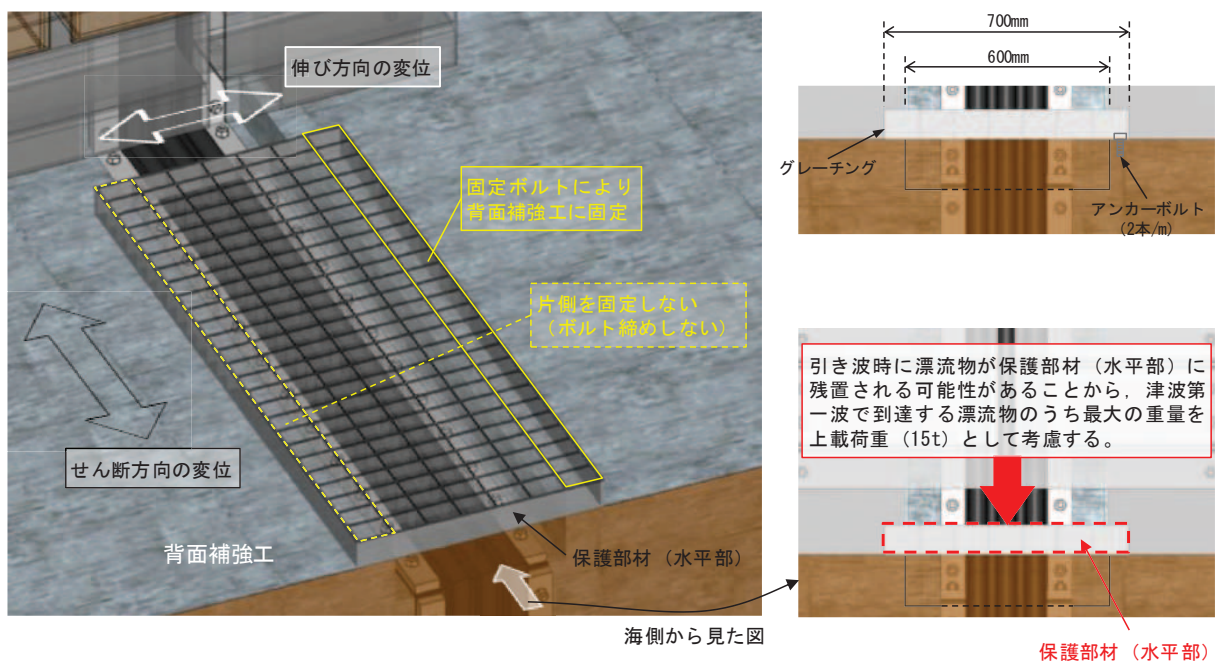


図2 ゴムジョイントの下端部（水平部）の詳細

1.1 地震時（水平部）

地震時には基準地震動 S_s による地震力を考慮し、保護部材（水平部）のグレーチング固定ボルトに生じる引張力及びせん断力よりそれぞれ算定される応力が許容限界以下であることを確認する。表 1 に保護部材（水平部）の固定ボルトの許容限界を示す。

表 1 保護部材（水平部）のグレーチング固定ボルトの許容限界

鋼材	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	グレーチング固定ボルト	許容引張応力度	140
許容せん断応力度		90	135

注記 *：短期許容応力度は、道路橋示方書により許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

以下に、保護部材（水平部）のグレーチング固定ボルトの応力の算出方法を示す。

引張力の照査

$$N = (K V - 1) \times W / n$$

$$\sigma = N / A$$

せん断力の照査

$$S = K H \times W / n$$

$$\tau = S / A$$

ここで、記号の説明を表 2 に示す。

表 2(1) 記号の説明

記号	定義	単位
N	引張力	N
S	せん断力	N/本
τ	せん断応力	N/mm ²
σ	引張応力	N/mm ²
W	グレーチング重量	kN/m
n	ボルト本数	本

表 2(2) 記号の説明

A	ボルト有効断面積	mm ²
K H	設計水平震度	-
K V	設計鉛直震度	-

以下に、保護部材（水平部）のグレーチング固定ボルトの応力の算出過程を示す。

引張力の照査

$$N = (K V - 1) \times W / n = (2 - 1) \times 2000 / 2 = 1000$$

$$\sigma = N / A = 1000 / 157 = 6.369 = 7$$

せん断力の照査

$$S = K H \times W / n = 2000 \times 2 / 2 = 2000$$

$$\tau = S / A = 2000 / 157 = 12.739 = 13$$

ここで、計算諸元を表 3 に示す。

表 3 グレーチング固定ボルトの評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
W	グレーチング重量	2000	N/m
n	ボルト本数	2	本
A	ボルト有効断面積	157	mm ²
K H	設計水平震度	2	-
K V	設計鉛直震度	2	-

地震時において、鋼管杭に発生する最大加速度から算出される最大震度は「6.1.1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性についての計算書に関する補足説明」の「4.3 鋼製遮水壁及び漂流物防護工」に示しており、図 3 のとおりである。図 3 の下端は O.P. +18.5m であり、背面補強工の天端と同じ標高であるため、この標高の最大震度に対して余裕を考慮して、設計水平震度を 2、設計鉛直震度を 2 とした。

保護部材（水平部）の固定ボルトの照査結果を表 2 に示す。この結果から、保護部材（水平部）の固定ボルトの発生応力が許容限界以下であることを確認した。

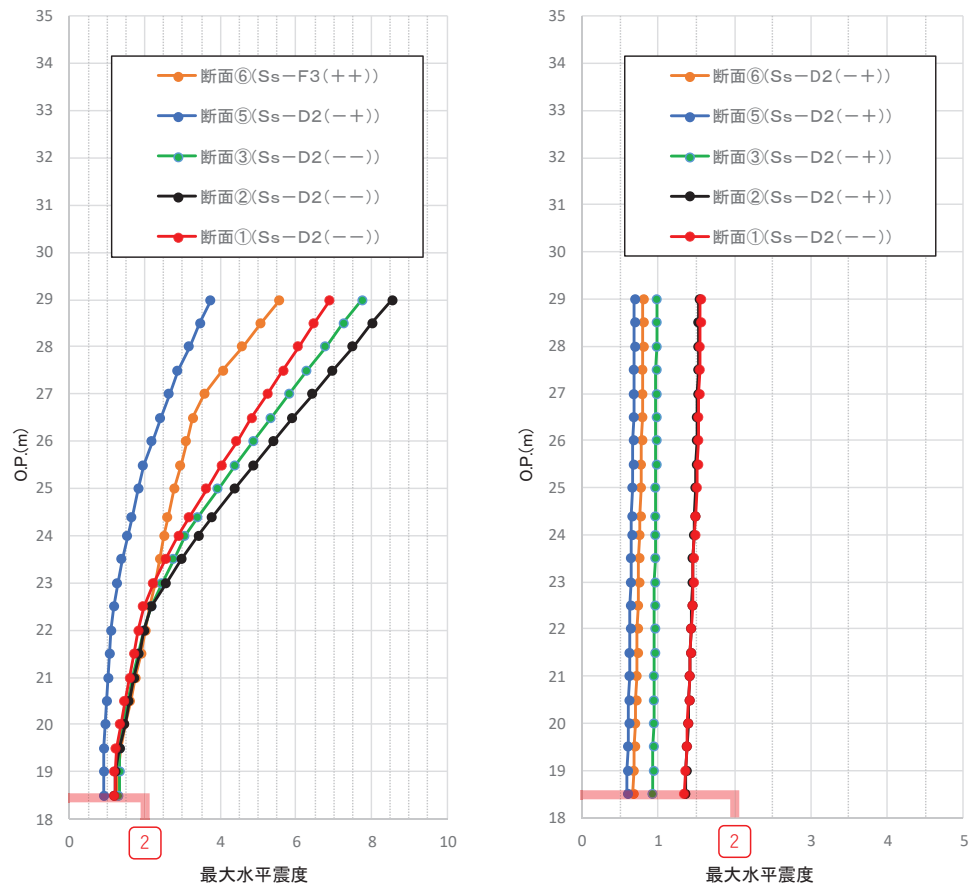


図3 最大震度分布

また、保護部材（水平部）のグレーチング固定ボルトの応力評価結果を表4に示す。

表4 保護部材（水平部）のグレーチング固定ボルトの評価結果

鋼材	評価応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度 (N/mm ²)	照査値
	グレーチング 固定ボルト	引張応力度	7	
せん断応力度		13	135	0.10

1.2 津波時（水平部）

FRP 製船舶（排水トン数 15t）の自重による評価を行うこととする。ただし、水平部に用いるグレーチングはメーカーによる試験で 15t 以上の上載荷重に耐えられることが確認された仕様のものを採用する。

なお、メーカーによるグレーチングの応力計算では、25 t の車両をグレーチングの中央部に載荷することによる生じる応力を 15.03kN/cm^2 と算出し、許容応力 18kN/cm^2 よりも小さいことを確認している。

2. 鉛直部

保護部材（鉛直部）は、図4に示すようにゴムジョイントを覆うように鋼製の角型鋼管と梁部材（H鋼を上下に溶接）を固定ボルトにより背面補強工に固定する構造とする。保護部材（鉛直部）についても、ゴムジョイントが設置される構造境界部でせん断方向及び伸び方向の変位による影響が生じないように、両側の背面補強工から梁部材を片持ちばりの構造とする（図4参照）。

このような構造特徴を踏まえ、地震時、津波時及び重畳時の照査を行うこととする。

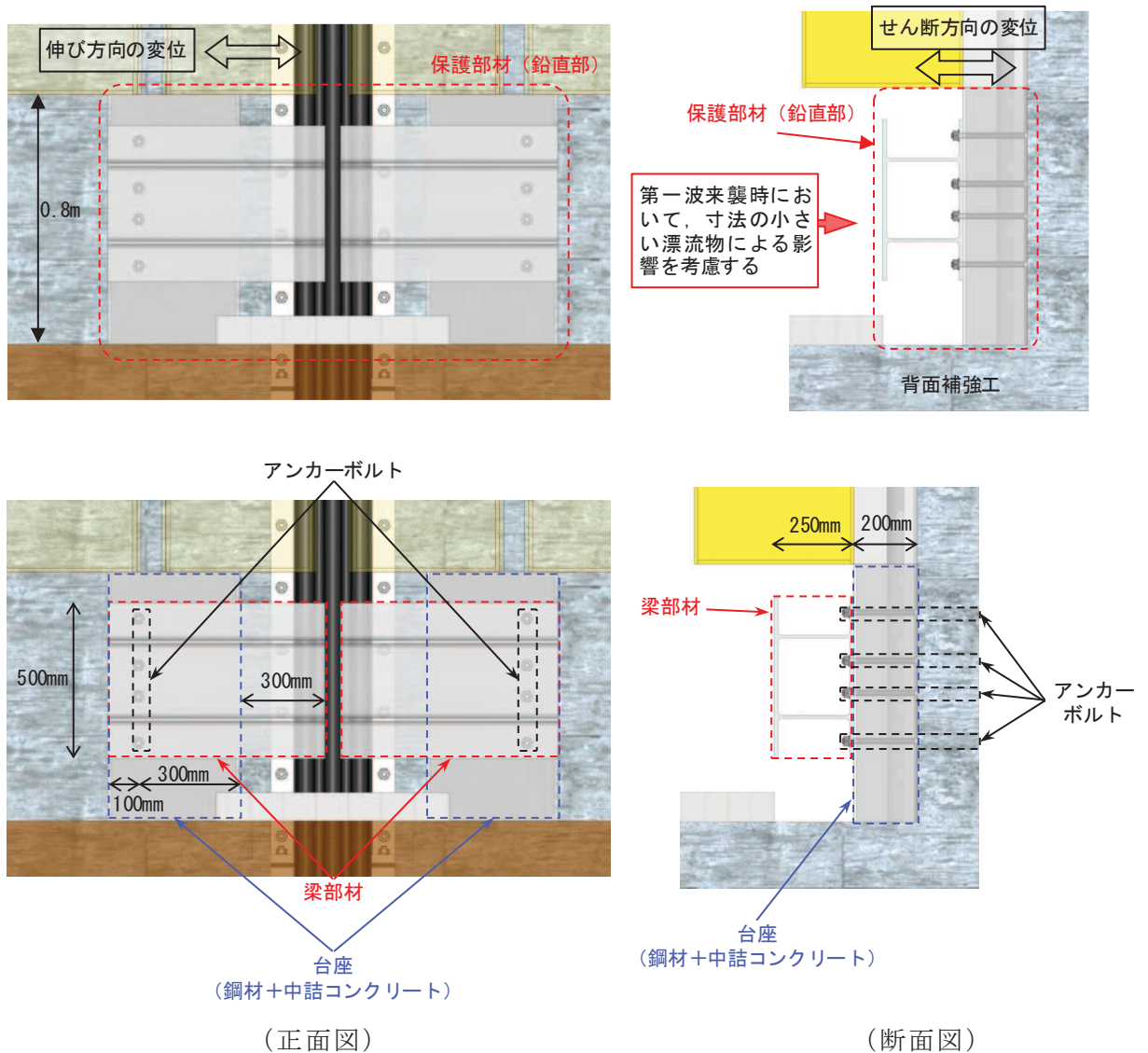


図4 保護部材（鉛直部）の正面及び断面図

2.1 地震時（鉛直部）

地震時には基準地震動 S_s による地震力を考慮し、梁部材に生じる曲げモーメント及びせん断力、アンカーボルトに生じる引張力及びせん断力よりそれぞれ算定される応力が許容限界以下であることを確認する。表 5 に保護部材（鉛直部）の固定ボルトの許容限界、表 6 に保護部材（鉛直部）のアンカーボルトの許容限界を示す。

表 5 保護部材（鉛直部）の梁部材の許容限界

鋼材	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	SS400	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	140
許容せん断応力度 τ_{sa}		80	120

注記 *：短期許容応力度は、道路橋示方書により許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

表 6 保護部材（鉛直部）のアンカーボルトの許容限界

鋼材	短期許容応力度*	
	引張* (kN)	せん断* (kN)
SNR490B	96.3	80.3

注記 *：アンカーボルトに対する許容引張力，許容せん断力の許容値は，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会 平成 26 年）」に基づき算出する。

（アンカーボルト）

アンカーボルトの許容荷重は「各種合成構造設計指針・同解説」における頭付きアンカーボルトの短期荷重時として算定する。

引張に対する許容限界は以下により計算を行う。

$$P_{a3} = \phi_3 \times \tau_a \times \pi \times d_a \times l_{ce}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 7 に示す。

表 7 アンカーボルトの許容引張力の計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_{a3}	アンカーボルト 1 本当りの許容引張力	—	N
ϕ_3	低減係数(短期荷重時)	2/3	—
τ_a	付着強度	3.3172	N/mm ²
d_a	アンカーボルトの呼び径	24	Mm
l_{ce}	最低限のアンカーボルトの埋め込み長	578	mm

よって、

$$P_{a3} = \phi_3 \times \tau_a \times \pi \times d_a \times l_{ce} = (2/3) \times 3.3172 \times \pi \times 24 \times 528 \\ = 96327.2\text{N} = 96.3 \times 10^3\text{N}$$

せん断に対する許容限界は以下により計算を行う。

$$Q_{a1} = \phi_1 \times \sigma_{qa} \times s_{ca}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 8 に示す。

表 8 アンカーボルトの許容せん断力の計算諸元

記号	定義	数値	単位
Q_{a1}	アンカーボルト 1 本当りの許容せん断力	—	N
ϕ_1	低減係数(短期荷重時)	1	—
s_{qa}	アンカーボルトの許容せん断応力度	227.5	N/mm ²
s_{ca}	ねじの有効断面積	353	mm ²

よって、

$$Q_{a1} = \phi_1 \times s_{qa} \times s_{ca} = 1 \times 227.5 \times 353 = 80307.5\text{N} = 80.3 \times 10^3\text{N}$$

(1) 梁部材

保護部材（鉛直部）の梁部材の評価に用いる設計水平震度及び設計鉛直震度は、保護部材（水平部）の固定ボルトの評価と同様に、設計水平震度を 2，設計鉛直震度を 2 として評価を行った。

保護部材（鉛直部）の梁部材の照査結果を表 13 に示す。この結果から、保護部材（鉛直部）の梁部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

以下に、保護部材（鉛直部）の照査方法を示す。

a. 水平方向

$$M = L^2/2 \cdot p$$

$$S = L \cdot p$$

曲げ応力度の照査

$$\sigma_b = M / Z$$

せん断応力度の照査

$$\tau_c = S / A$$

ここで、各記号の説明を表 9 に示す。

表 9 記号の説明

記号	定義	単位
M	曲げモーメント	kN・m
S	せん断力	N/mm ²
σ_b	曲げ応力度	N/mm ²
τ_c	せん断応力度	N/mm ²
L	張出長	mm ²
p	慣性力	kN/m
Z	梁部材の断面係数	mm ³
A	せん断抵抗断面積	mm ²

b. 鉛直方向

$$M = L^2/2 \cdot (p + w)$$

$$S = L \cdot (p + w)$$

曲げ応力度の照査

$$\sigma_b = M / Z$$

せん断応力度の照査

$$\tau_c = S / A$$

ここで、各記号の説明を表 10 に示す。

表 10 記号の説明

記号	定義	単位
M	曲げモーメント	kN・m
S	せん断力	N/mm ²
σ_b	曲げ応力度	N/mm ²
τ_c	せん断応力度	N/mm ²
L	張出長	mm ²
p	慣性力	kN/m
w	梁部材の重量	kN/m
Z	梁部材の断面係数	mm ³
A	せん断抵抗断面積	mm ²

以下に、梁部材の応力の算出過程を示す。

a. 水平方向

$$M = L^2 / 2 \cdot p = 0.600^2 / 2 \times 4.0 = 0.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$S = L \cdot p = 0.600 \times 4.0 = 2.4 \text{ kN}$$

曲げ応力度の照査

$$\sigma_b = M / Z = 0.8 \times 10^6 / 1,448,998 = 1 \text{ N/mm}^2$$

せん断応力度の照査

$$\tau_c = S / A = 2.4 \times 10^3 / 3,136 = 1 \text{ N/mm}^2$$

ここで、計算諸元を表 11 に示す。

表 11 梁部材の照査に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
L	張出長	600	mm ²
p	慣性力	4.0	kN/m
Z	梁部材の断面係数	1448998	mm ³
A	せん断抵抗断面積	3136	mm ²

b. 鉛直方向

$$M = L^2/2 \cdot (p + w) = 0.600^2/2 \times (4.0 + 2.0) = 1.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$S = L \cdot (p + w) = 0.600 \times (4.0 + 2.0) = 3.6 \text{ kN}$$

曲げ応力度の照査

$$\sigma_b = M / Z = 1.1 \times 10^6 / 1,888,855 = 1 \text{ N/mm}^2$$

せん断応力度の照査

$$\tau_c = S / A = 3.6 \times 10^3 / 11,952 = 1 \text{ N/mm}^2$$

ここで，計算諸元を表 12 に示す。

表 12 梁部材の照査に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
L	張出長	600	mm ²
p	慣性力	4.0	kN/m
w	梁部材の重量	2	kN/m
Z	梁部材の断面係数	1888855	mm ³
A	せん断抵抗断面積	11952	mm ²

保護部材（鉛直部）の梁部材の応力評価結果を表 13 に示す。

表 13 保護部材（鉛直部）の梁部材の評価結果

鋼材	応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度 (N/mm ²)	照査値
SS400	曲げ圧縮応力度 (水平方向)	1	210	0.01
	せん断応力度 (水平方向)	1	120	0.01
	曲げ圧縮応力度 (鉛直方向)	1	210	0.01
	せん断応力度 (鉛直方向)	1	120	0.01

(2) アンカーボルト

保護部材（鉛直部）のアンカーボルトの評価に用いる設計水平震度及び設計鉛直震度は、保護部材（水平部）の固定ボルトの評価と同様に、設計水平震度を 2、設計鉛直震度を 2 として評価を行った。

保護部材（鉛直部）のアンカーボルトの照査結果を表 16 に示す。この結果から、保護部材（鉛直部）のアンカーボルトの発生応力が許容限界以下であることを確認した。

以下に、保護部材（鉛直部）の照査方法を示す。

a. 水平方向

$$N / n$$

b. 鉛直方向

$$(S+W) / n$$

ここで、記号の説明を表 14 に示す。

表 14 記号の説明

記号	定義	単位
N	水平慣性力	kN
S	鉛直慣性力	kN
W	自重	kN
N a	短期許容引張力	kN
S a	許容せん断力	kN
n	アンカーボルト本数	本

以下に，応力の算出過程を示す。

a. 水平方向

$$N / n = 8.8 / 4 = 2.2$$

b. 鉛直方向

$$(S + W) / n = 13.2 / 4 = 3.3$$

ここで，計算諸元を表 15 に示す。

表 15 アンカーボルトの照査に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
N	水平慣性力	8.8	kN
S	鉛直慣性力	8.8	kN
W	自重	4.4	kN
n	アンカーボルト本数	2	本

保護部材（鉛直部）のアンカーボルトの応力評価結果を表 16 に示す。

表 16 保護部材（鉛直部）のアンカーボルトの評価結果

鋼材	応力度		照査値
SNR490B	引張力	2.2	0.03
	せん断力	3.3	0.05

2.2 津波時（鉛直部）

保護部材（鉛直部）は、図4のとおり高さ0.8mの範囲に設置すること、保護部材（鉛直部）の内側（ゴムジョイントがある側）には下方から容易に津波が侵入できる構造となっていることから、保護部材（鉛直部）に遡上津波荷重は作用しない。

また、前述のとおり、漂流物による衝突は生じないものの、寸法の小さい漂流物が保護部材（鉛直部）に影響を及ぼす可能性は否定できないため、寸法の小さい漂流物による荷重を考慮することとする。なお、寸法の小さい漂流物による荷重については、衝突速度13m/sとし、「4.3 漂流物による衝突荷重について」の「(参考1) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）について」で示した、東北地方太平洋沖地震直後の敷地内での調査で確認された直径5cmの木片を想定する。木片の長さは1m前後のものが大半であるが、保守的に長さ2mとした場合、荷重としては約100(kN)となるが、津波の不確実性を踏まえ、安全側の評価となるような2倍の荷重として200(kN)を考慮する(表17)。

表17 寸法の小さい漂流物による衝突荷重の算定

種類	質量(kg)	適用式	衝突速度 (m/s)	衝突荷重 (kN)	評価用衝突荷重 (kN)
木片	4*	FEMA(2012)	13	75	200
		松富(1999)	13	99	
		有川(2010)	13	74	

注記*：直径5cm、長さ200cmの木片に、浮遊する限界の単位体積重量 $1\text{g}/\text{cm}^3$ を用いた場合、約3.93kgであるため、4kgと設定した。

以下に、保護部材（鉛直部）の照査方法を示す。

(1) 梁部材

$$M = L^2 / 2 \cdot w + P \cdot L$$

$$S = L \cdot p + P$$

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau_c = S / A$$

ここで、各記号の説明を表 18 に示す。

表 18 記号の説明

記号	定義	単位
M	曲げモーメント	kN・m
S	せん断応力度	N/mm ²
σ_b	曲げ応力度	N/mm ²
τ_c	せん断応力度	N/mm ²
L	張出長	mm ²
w	梁部材の重量	kN/m
p	慣性力	kN/m
Z	梁部材の断面係数	mm ³
A	せん断抵抗断面積	mm ²

以下に、梁部材の応力の算出過程を示す。

$$M = L^2 / 2 \cdot w + P \cdot L = 0.300^2 / 2 \times 103.6 + 200 \times 0.300 \\ = 4.7 + 60.0 = 64.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$S = L \cdot p + P = 31.1 + 200 = 231.1 \text{ kN}$$

$$\sigma_b = M / Z = 64.7 \times 10^6 / 1,448,998 = 45 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_c = S / A = 231.1 \times 10^3 / 3,136 = 74 \text{ N/mm}^2$$

ここで、計算諸元を表 19 に示す。

表 19 保護部材（鉛直部）の照査に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
L	張出長	600	mm ²
w	梁部材の重量	2	kN/m
p	慣性力	4.0	kN/m
σ_b	曲げ応力度	—	N/mm ²
Z	梁部材の断面係数	1448998	mm ³
A	せん断抵抗断面積	3136	mm ²

保護部材（鉛直部）の梁部材の応力評価結果を表 20 に示す。

表 20 保護部材（鉛直部）の梁部材の評価結果

鋼材	応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度 (N/mm ²)	照査値
	SS400	曲げ圧縮応力度		
せん断応力度		74	120	0.62

(2) アンカーボルト

鋼構造設計規準に基づき，以下により計算を行う。

$$Z = \frac{N \left(e - \frac{D}{2} + \frac{x_n}{3} \right)}{D - d_t - \frac{x_n}{3}} / n$$

ここで，各記号の説明を表 21 に示す。

表 21 記号の説明

記号	定義	単位
Z	アンカーボルトの引張力	kN/本
N	漂流物荷重	kN
e	偏心量	mm
D	台座の長さ（曲げ方向）	mm
x _n	接地幅	mm
d _t	台座端部～アンカーの距離	mm
n	アンカーボルトの本数	本

以下に，アンカーボルトの応力の算出過程を示す。

$$Z = \frac{N \left(e - \frac{D}{2} + \frac{x_n}{3} \right)}{D - d_t - \frac{x_n}{3}} / 4 = \frac{200 \left(500 - \frac{400}{2} + \frac{148.5}{3} \right)}{400 - 100 - \frac{148.5}{3}} / 4 = 69.8$$

ここで，計算諸元を表 22 に示す。

表 22 保護部材（鉛直部）の照査に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
N	漂流物荷重	200	kN
e	偏心量	500	mm
D	台座の長さ（曲げ方向）	400	mm
x_n	接地幅	148.5	mm
d_t	台座端部～アンカーの距離	100	mm
n	アンカーボルトの本数	4	本

保護部材（鉛直部）のアンカーボルトの評価結果を表 23 に示す。

表 23 保護部材（鉛直部）のアンカーボルトの評価結果

鋼材	引張力 (kN/本)		許容引張力 (kN/本)	照査値
	引張力			
SNR490B	引張力	69.8	96.3	0.73

2.3 重畳時（鉛直部）

重畳時においては、津波時と同様に遡上津波荷重は作用しない。また、弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による地震力は、明らかに基準地震動 S_s よりも小さいことから重畳時の評価は地震時に包絡される。

3. 非常に小さな漂流物がゴムジョイントに及ぼす影響について

3.1 概要

ゴムジョイントの前面に設置する保護部材により、寸法の小さな漂流物を含めゴムジョイントには漂流物は衝突しない構造となっているが、保護部材の隙間(5cm)を通過するような非常に小さな漂流物がゴムジョイントに及ぼす影響について検討する。

防潮堤よりも海側の敷地の表層は地盤改良されているか、アスファルト舗装となっているため、アスファルト舗装の一般的な骨材(粒径:1.3~2.0cm)ががれきとして津波により流され、保護部材の隙間(5cm)を通過することを想定する(「4.3 漂流物による衝突荷重について」参照)。

なお、最大粒径2cmの骨材(以下、「小石」という)による衝突荷重は、「4.3 漂流物による衝突荷重について」から、1(kN)であるため、この荷重に対するゴムジョイントの影響を検討する。

3.2 検討結果

「2.1(4) ゴムジョイント取付け部」において、津波によりゴムジョイントに水圧が作用した場合のゴムジョイント取付け部の評価を行っている。そのため、小石による荷重が作用した場合のゴムジョイント取付け部の評価を以下に示す。

「2.1(4) ゴムジョイント取付け部」に示したとおり、水圧0.4(MPa)が作用した場合において、ゴムジョイント取付け部からゴムジョイントが引き抜かれることはないことを確認している。

そのため、本検討では、実際に作用する水圧0.3(MPa)から算出される引抜力(ゴムジョイントが押え板と鋼製遮水壁から引き抜かれる力: T)に、小石の衝突荷重1(kN)がそのまま引抜力として作用することを考え、水圧0.4(MPa)を作用させた場合の引抜力との比較により評価を行った。

その結果、引抜力 T は17.2(kN)となり、水圧0.4(MPa)を作用させた場合の引抜力21.6(kN)よりも小さいことを確認した。そのため、ゴムジョイントに小石が衝突した場合においても、ゴムジョイント取付け部からゴムジョイントが引き抜かれることはない。

$$N_0 = pr = 0.3 \times 270 = 81 \text{ (N/mm)}$$

N_0 : ゴムジョイントに生じる引張応力 (N/mm)

p : 作用水圧 (MPa=N/mm²)

r : 水圧を受ける半径 (mm)

$$T = N_0L + P = 81 \times 200 + 1000 = 17200 \text{ (N)}$$

N_0 : ゴムジョイントに生じる引張応力 (N/mm)

T : 引抜力 (N)

L : 取付けボルトのピッチ (mm)

(参考資料 3) 設計水圧 (0.3MPa) を超える水圧に対するウレタンシリコーン目地の性能確認試験 (試験水圧 : 0.34MPa) について

ウレタンシリコーン目地の変形試験及び耐圧試験は、先述で示した No.9 及び No.10 の他に No.11 の試験体でも行っていることから、その試験結果について示すものである。

1. 試験条件 (試験変位量, 水圧)

試験条件として表 1 に示す変位量, 水圧を作用させる。加圧時間は津波の作用時間を考慮して 10 分以上を基本とし, 本試験では更に保守的に 30 分間とした。加圧時間中及び加圧時間経過後, 表 6.1.5-11 に示す試験での確認事項を確認する。

ウレタンシリコーン目地に作用する水圧は, 「1.2 (2) 試験水圧」で示したとおり, 最大で 280.6kN/m^2 (0.2806MPa) であるが, 海水に浮遊砂が混入した状況を念のため想定し, 海水密度を 1.1g/cm^3 と仮定した場合, 299.67kN/m^2 であり, ウレタンシリコーン目地の試験水圧 300kN/m^2 に対して余裕が少ないことから, 1 割以上の余裕を確保するため 0.34MPa (340kN/m^2) とした。

また, 上記水圧は背面補強工の天端 (ウレタンシリコーン目地の設置範囲の下端部) で生じるが, この位置での変位はほとんど生じないため, 伸び方向の変位については「6.1.6 防潮堤 (鋼管式鉛直壁) の止水ジョイント部材の相対変位量に関する補足説明」で評価した伸び方向の最大変位 (重畳時の H 区間 : 3.2mm) を踏まえて 4mm とした。ただし, せん断方向の変位量は No.9 及び No.10 と同様に 30mm とした。

ウレタンシリコーン目地の性能確認試験フローを図 1 に, 変形・耐圧試験の状況を図 2~8 に示す。

表 1 ウレタンシリコーン目地の試験条件

試験 No.	試験種別	変位量	水圧	必要耐圧 保持時間
No. 11	変形試験	伸び 4mm せん断 30mm	/	/
	耐圧試験	伸び 4mm せん断 30mm	0.34MPa	10 分以上*

注記 * : 加圧時間は必要耐圧保持時間に対し, 十分な余裕をもって 30 分間とした。

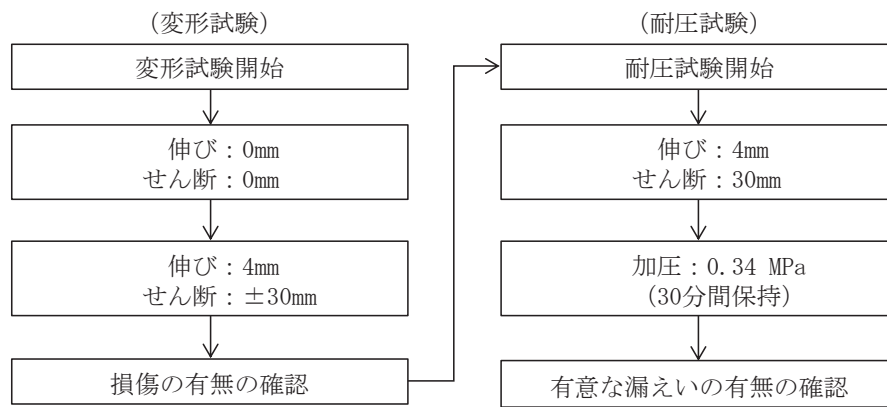


図1 ウレタンシリコーン目地の性能確認試験フロー

2. 試験状況写真

(1) 変形試験状況確認 (伸び 4mm, せん断 30mm)

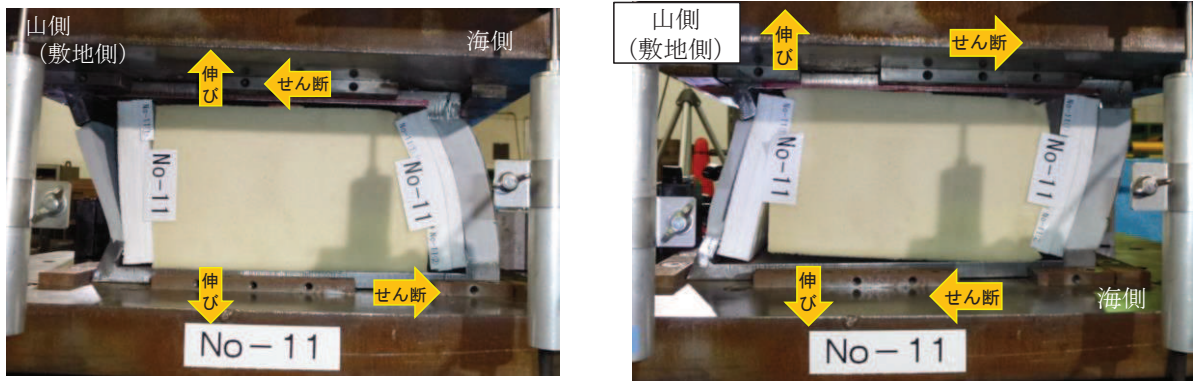
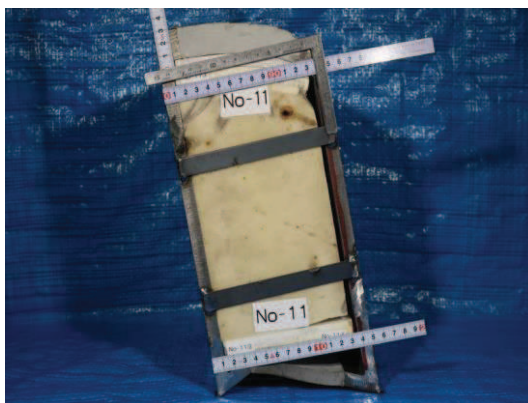
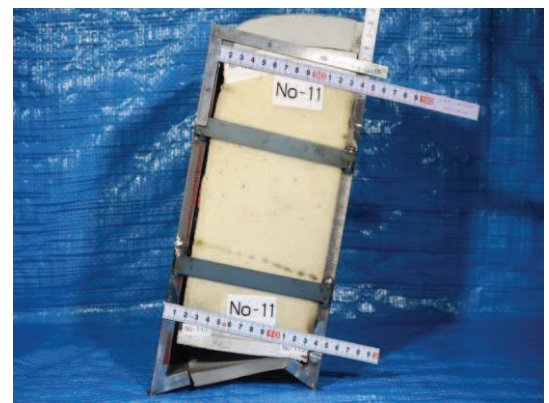


図2 ウレタンシリコーン目地変形試験状況
(試験体 No. 11, 伸び 4mm, せん断 30mm)



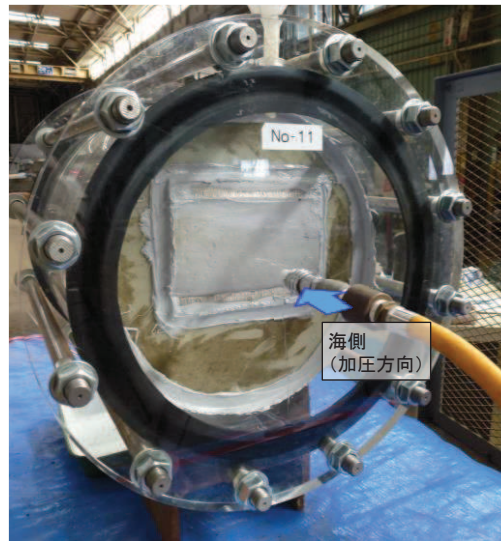
(写真上方が津波作用側)



(写真上方が津波作用側)

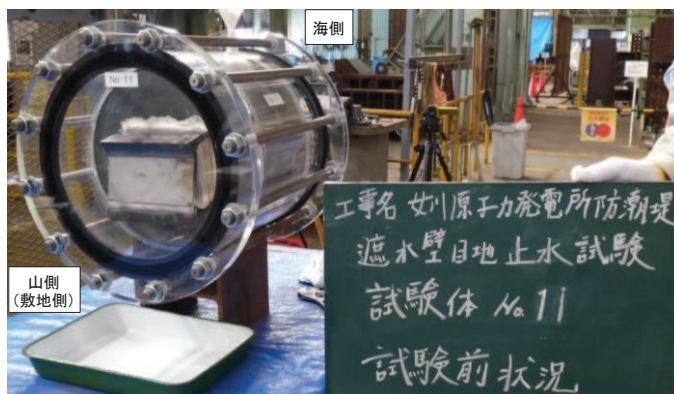
図3 ウレタンシリコーン目地変形試験状況
(試験体 No. 11, 伸び 4mm, せん断 30mm)
(耐圧試験を実施するため, 変形状態を保持)

(2) 耐圧試験状況確認 (伸び 4mm, せん断 30mm, 水圧 0.34MPa)

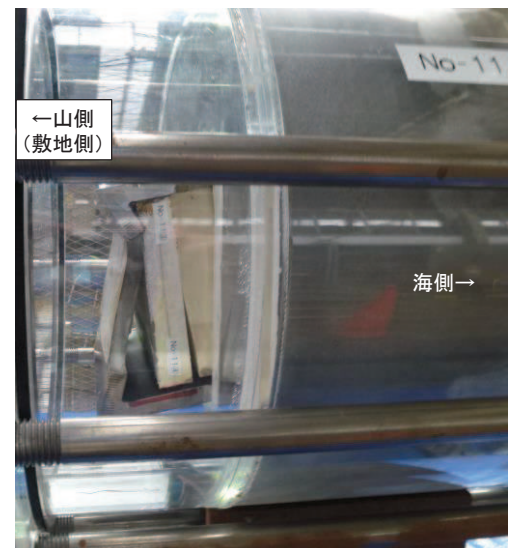


加圧前状況 (海側)

図4 ウレタンシリコン目地耐圧試験状況 (試験体 No. 11)
(伸び: 4mm, せん断: 30mm, 加圧前状況)



加圧前状況 (敷地側)



加圧前状況 (敷地側断面)

図5 ウレタンシリコン目地耐圧試験状況 (試験体 No. 11)
(伸び: 4mm, せん断: 30mm, 加圧前状況)




	<p>加圧状況（海側）</p> <p>✓ 10分経過，損傷無し</p>
	<p>加圧状況（山側（敷地側））</p> <p>✓ 10分経過，漏えい無し</p>
	<p>加圧状況（山側（敷地側）の断面）</p> <p>✓ 10分経過，漏えい無し</p>

図6 ウレタンシリコン目地耐圧試験状況（試験体 No. 11）
（10分経過，伸び：4mm，せん断：30mm，水圧 0.34MPa）

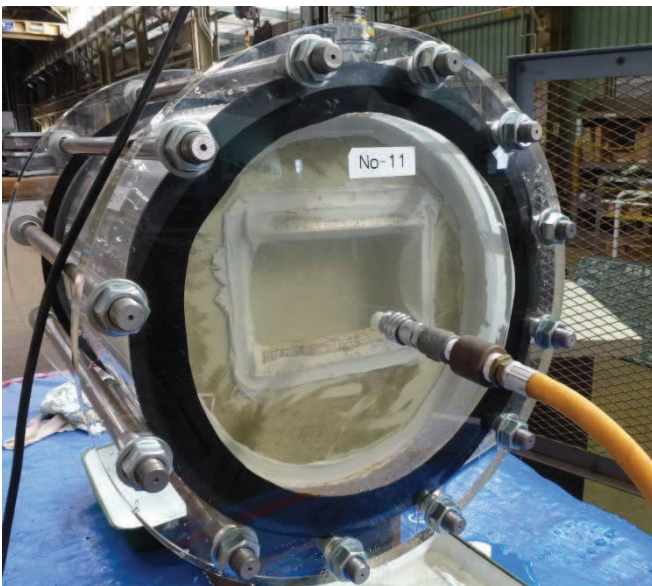
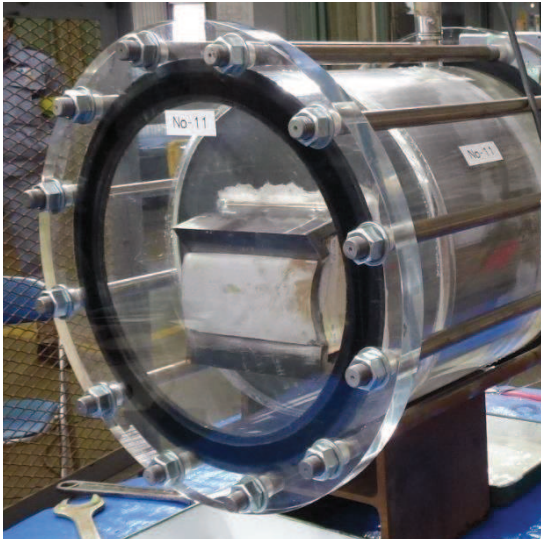
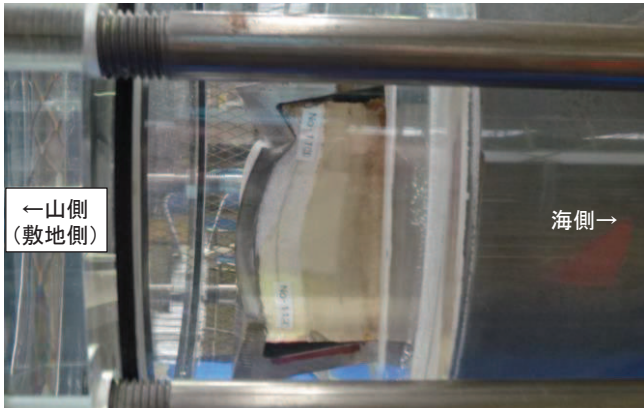
	<p>加圧状況（海側）</p> <p>✓ 20分経過，損傷無し</p>
	<p>加圧状況（山側（敷地側））</p> <p>✓ 20分経過，漏えい無し</p>
	<p>加圧状況（山側（敷地側）の断面）</p> <p>✓ 20分経過，漏えい無し</p>

図7 ウレタンシリコン目地耐圧試験状況（試験体 No. 11）
（20分経過，伸び：4mm，せん断：30mm，水圧0.34MPa）