

平成30年9月10日
日本原子力発電(株)

防潮扉2基礎壁部における部材の有効高さが変化する場合の曲げ軸力及びせん断力照査について

コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (2002年制定) に従い、以下のとおり照査を行った。

1. 曲げ軸力照査

壁部の曲げ軸力照査において、堤内側の軸方向鉄筋の有効断面積 A_s' を下式のとおりとする。

$$A_s' = A_s \sin \theta$$

ただし、 A_s : 軸方向鉄筋の断面積

θ : 設計断面と軸方向鉄筋のなす角

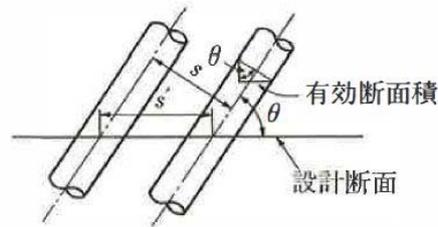


図1-1 鉄筋の有効断面積

なお、設計断面に沿う鉄筋の間隔 s' は下式のとおりとする。

$$s' = s \cdot \operatorname{cosec} \theta$$

ただし、 s : 鉄筋の直角方向の間隔

以上より、壁部の斜め構造を考慮した応力度照査に使用する鉄筋量および鉄筋間隔は以下のとおりである。

図1-2より、

$$\theta = \tan^{-1}(8500/2700)$$

$$= 72.38^\circ$$

$$\sin \theta = 0.953$$

$$A_s = 250.8 \text{ cm}^2 \text{ より、}$$

$$A_s' = 239.0 \text{ cm}^2$$

$$s = 150.0 \text{ mm}$$

$$\operatorname{cosec} \theta = 1/\sin \theta$$

$$s' = 157.4 \text{ mm}$$

図1-2 防潮扉A-A断面

地震時における照査結果を表 1-1 及び表 1-2 に示す。

表 1-1 壁部の曲げ軸力（圧縮）に対する照査結果（A-A断面）

検討 ケース	地震動		曲げ モーメン ト (kN・m)	軸力 (kN) 引張正	発生曲 げ応力 度 (N/mm ²)	短期許 容応力 度 (N/mm ²)	照査値	
①	S _s -D 1	H+, V+	-67226	-12067	3	21	0.15	
	S _s -D 1	H+, V-	-66651	-11608	3	21	0.15	
	S _s -D 1	H-, V+	-58489	-7236	3	21	0.15	
	S _s -D 1	H-, V-	-58970	-16509	3	21	0.15	
	S _s -1 1			-35592	-11229	2	21	0.10
	S _s -1 2			-43189	-10791	2	21	0.10
	S _s -1 3			-40721	-12216	2	21	0.10
	S _s -1 4			-37984	-12066	2	21	0.10
	S _s -2 1			-56295	-12785	3	21	0.15
	S _s -2 2			-51704	-6755	3	21	0.15
	S _s -3 1	H+, V+	-51058	-10672	3	21	0.15	
	S _s -3 1	H-, V+	-58064	-11632	3	21	0.15	
②	S _s -D 1	H+, V-	-64725	-11578	3	21	0.15	
③	S _s -D 1	H+, V-	-67977	-11490	3	21	0.15	
④	S _s -D 1	H+, V-	-66045	-11610	3	21	0.15	
⑤	S _s -D 1	H+, V-	-70440	-12268	3	21	0.15	
⑥	S _s -D 1	H+, V-	-69224	-12567	3	21	0.15	

- 注記 ①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース
 ②：地盤物性のはらつきを考慮（+1σ）した解析ケース
 ③：地盤物性のはらつきを考慮（-1σ）した解析ケース
 ④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース
 ⑤：原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース
 ⑥：地盤物性のはらつきを考慮（+1σ）して非液状化の条件を仮定した解析ケース

表 1-2 壁部の曲げ軸力（引張）に対する照査結果（A-A断面）

検討 ケース	地震動		曲げ モーメン ト (kN・m)	軸力 (kN) 引張正	発生曲 げ応力 度 (N/mm ²)	短期許 容応力 度 (N/mm ²)	照査値	
①	S _s -D 1	H+, V+	-67226	-12067	58	435	0.14	
	S _s -D 1	H+, V-	-64180	-10385	60	435	0.14	
	S _s -D 1	H-, V+	-58531	-6859	66	435	0.16	
	S _s -D 1	H-, V-	-51787	-10563	40	435	0.10	
	S _s -1 1			-31806	-9134	16	435	0.04
	S _s -1 2			-42941	-10482	27	435	0.07
	S _s -1 3			-39260	-10535	22	435	0.06
	S _s -1 4			-33414	-9040	19	435	0.05
	S _s -2 1			-56295	-12785	39	435	0.09
	S _s -2 2			-51704	-6755	55	435	0.13
	S _s -3 1	H+, V+	-51058	-10672	39	435	0.09	
	S _s -3 1	H-, V+	-57862	-11462	46	435	0.11	
②	S _s -D 1	H+, V-	-64405	-10274	61	435	0.15	
③	S _s -D 1	H+, V-	-67977	-11490	62	435	0.15	
④	S _s -D 1	H+, V-	-66034	-11304	59	435	0.14	
⑤	S _s -D 1	H+, V-	-67926	-10555	65	435	0.15	
⑥	S _s -D 1	H+, V-	-65129	-10495	61	435	0.15	

- 注記 ①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース
 ②：地盤物性のはらつきを考慮（+1σ）した解析ケース
 ③：地盤物性のはらつきを考慮（-1σ）した解析ケース
 ④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース
 ⑤：原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース
 ⑥：地盤物性のはらつきを考慮（+1σ）して非液状化の条件を仮定した解析ケース

津波時における照査結果を表 1-3～表 1-6 に示す。

表 1-3 曲げ圧縮応力に対する照査結果（基準津波時）

	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ 圧縮応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	曲げ 圧縮応力 照査値
地盤バネ 1	-27726	11556	1.1	21	0.06
地盤バネ 2	-27726	11556	1.1	21	0.06

表 1-4 曲げ引張応力に対する照査結果（基準津波時）

	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ 引張応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	曲げ 引張応力 照査値
地盤バネ 1	-27726	11556	6.3	435	0.02
地盤バネ 2	-27726	11556	6.3	435	0.02

表 1-5 曲げ圧縮応力に対する照査結果（T.P. +24 m 津波時）

	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ 圧縮応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	曲げ 圧縮応力 照査値
地盤バネ 1	-165007	9570	6.1	28	0.22
地盤バネ 2	-165007	9570	6.1	28	0.22

表 1-6 曲げ引張応力に対する照査結果（T.P. +24 m 津波時）

	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ 引張応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	曲げ 引張応力 照査値
地盤バネ 1	-165007	9570	217.4	478.5	0.46
地盤バネ 2	-165007	9570	217.4	478.5	0.46

重畳時における照査結果を表 1-7～表 1-18 に示す。

表 1-7 曲げ圧縮応力に対する照査結果（地盤バネ 3：基準津波時）

	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ 圧縮応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	曲げ 圧縮応力 照査値
上向き	-49934	10978	2.0	21	0.10
下向き	-49934	12133	2.0	21	0.10

表 1-8 曲げ引張応力に対する照査結果（地盤バネ 3：基準津波時）

	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ 圧縮応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	曲げ 圧縮応力 照査値
上向き	-49934	10978	34.2	435	0.08
下向き	-49934	12133	30.5	435	0.08

表 1-9 曲げ圧縮応力に対する照査結果（地盤バネ 4：基準津波時）

	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ 圧縮応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	曲げ 圧縮応力 照査値
上向き	-49934	11209	2.0	21	0.10
下向き	-49934	11902	2.0	21	0.10

表 1-10 曲げ引張応力に対する照査結果（地盤バネ 4：基準津波時）

	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ 圧縮応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	曲げ 圧縮応力 照査値
上向き	-49934	11209	33.4	435	0.08
下向き	-49934	11902	31.2	435	0.08

表 1-11 曲げ圧縮応力に対する照査結果（地盤バネ 5：基準津波時）

	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ 圧縮応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	曲げ 圧縮応力 照査値
上向き	-48698	10862	1.9	21	0.10
下向き	-48698	12249	1.9	21	0.10

表 1-12 曲げ引張応力に対する照査結果 (地盤バネ 5 : 基準津波時)

	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ 圧縮応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	曲げ 圧縮応力 照査値
上向き	-48698	10862	32.8	435	0.08
下向き	-48698	12249	28.5	435	0.07

表 1-13 曲げ圧縮応力に対する照査結果 (地盤バネ 3 : T.P. +24 m 津波時)

	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ 圧縮応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	曲げ 圧縮応力 照査値
上向き	-199195	8993	7.3	28	0.27
下向き	-199195	10148	7.4	28	0.27

表 1-14 曲げ引張応力に対する照査結果 (地盤バネ 3 : T.P. +24 m 津波時)

	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ 圧縮応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	曲げ 圧縮応力 照査値
上向き	-199195	8993	273.8	478.5	0.58
下向き	-199195	10148	268.7	478.5	0.57

表 1-15 曲げ圧縮応力に対する照査結果 (地盤バネ 4 : T.P. +24 m 津波時)

	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ 圧縮応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	曲げ 圧縮応力 照査値
上向き	-199195	9224	7.4	28	0.27
下向き	-199195	9917	7.4	28	0.27

表 1-16 曲げ引張応力に対する照査結果 (地盤バネ 4 : T.P. +24 m 津波時)

	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ 圧縮応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	曲げ 圧縮応力 照査値
上向き	-199195	9224	272.8	478.5	0.58
下向き	-199195	9917	269.7	478.5	0.57

表 1-17 曲げ圧縮応力に対する照査結果 (地盤バネ 5 : T.P. +24 m 津波時)

	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ 圧縮応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	曲げ 圧縮応力 照査値
上向き	-197347	8877	7.3	28	0.27
下向き	-197347	10264	7.3	28	0.27

表 1-18 曲げ引張応力に対する照査結果 (地盤バネ 5 : T.P. +24 m 津波時)

	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ 圧縮応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	曲げ 圧縮応力 照査値
上向き	-197347	8877	271.4	478.5	0.57
下向き	-197347	10264	265.3	478.5	0.56

2. せん断力照査

壁部のせん断力照査において、部材の有効高さが変化する場合の式を適用し、照査に使用するせん断力 V_1 を下式のとおりとする。

$$V_1 = V - \frac{M}{d} (\tan \alpha)$$

ただし、 V : せん断力

M : 曲げモーメント

d : 断面の有効高さ

α : 部材端面が鉛直線となす角度

曲げモーメントの絶対値が増すにしたがって、部材の有効高さが増す場合には α は正、有効高さが減じる場合には負号をとる。すなわち、曲げモーメントの分布により図 2-1 の A または B の式により V_1 を算出する。

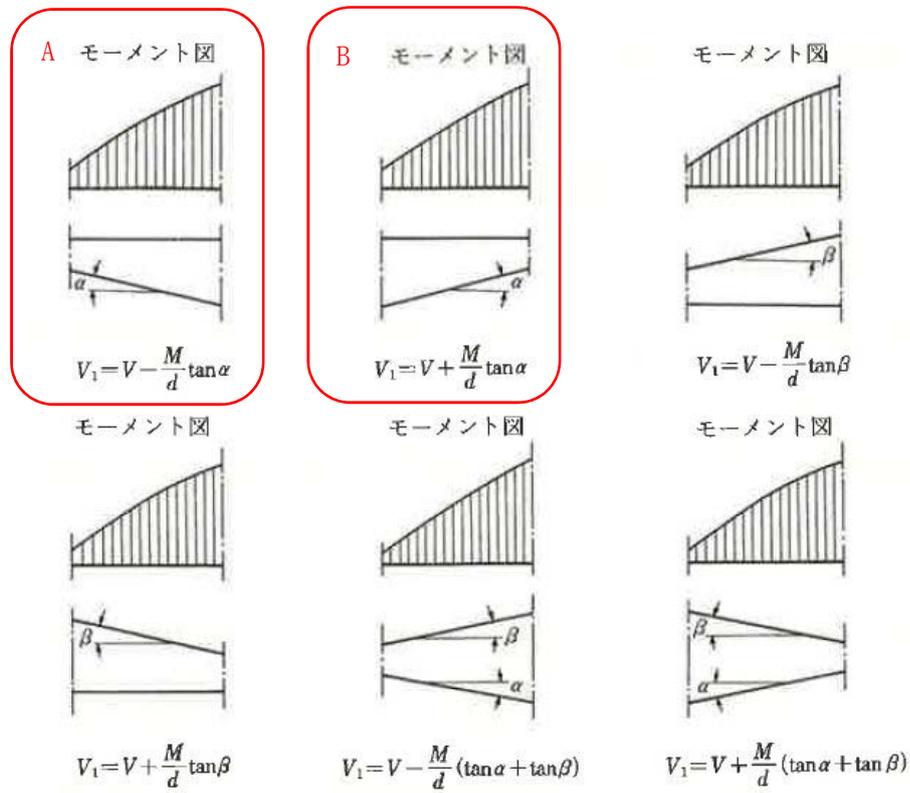


図 2-1 V_1 の算出

V1 算出例：地震時 検討ケース① S s - D 1 H+, V+ t=54.05 s

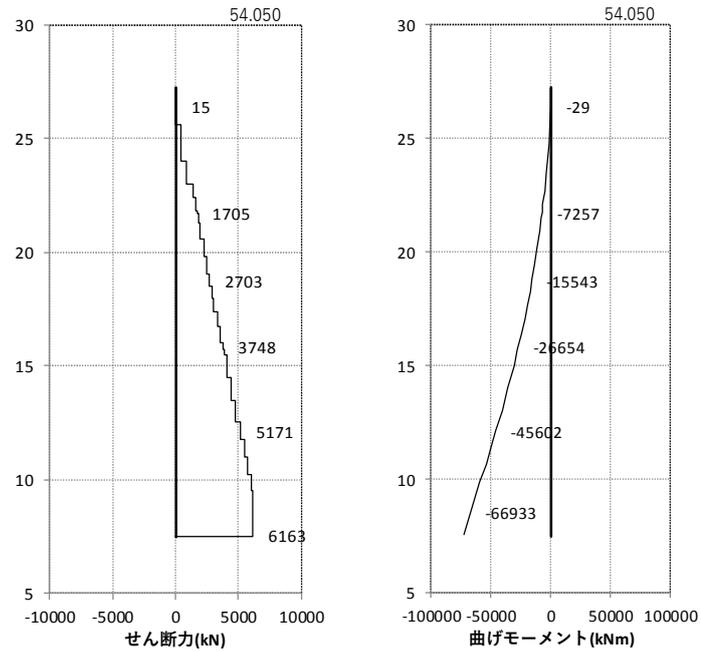


図 2-2 壁部の断面力分布

図 2-2 の曲げモーメント分布図より、曲げモーメントの絶対値が増すにしたがって有効高さが増すため、図 2-1 の A の式を適用する。

表 2-1 地震時 ケース① S s - D 1 H+, V+ 54.05sec の壁部せん断照査の条件

せん断力 V (kN)	曲げモーメント M (kN・m)	有効高さ d (m)	壁端面傾き tan α (図 2-3)
6163	66933	7.343	2700/8500=0.318

表 2-1 より、

$$V1 = 6163 - (66933 / 7.343) \times 0.318$$

$$= 3264.4 \text{ kN}$$

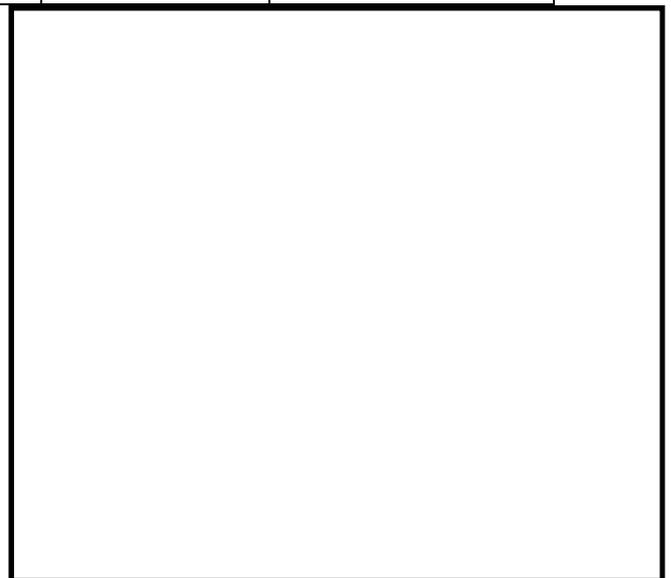


図 2-3 防潮扉 A-A 断面

地震時は、すべてのケースにおいて曲げモーメントの絶対値が増すにしたがって有効高さが増すため、図 2-1 の A の式を適用する。地震時における照査結果を表 2-1 に示す。

表 2-1 壁部のせん断に対する照査結果 (A-A断面)

検討 ケース	地震動		せん断力 (kN)		曲げ モーメント (kN・m)	許容 せん断 力 (kN)	曲げ モーメント 考慮後の せん断力に 対する 照査値
			曲げ モーメント 考慮前	曲げ モーメント 考慮後			
①	S _s -D 1	H+, V+	6163	3265	66933	22193	0.15
	S _s -D 1	H+, V-	6129	3243	66651	22193	0.15
	S _s -D 1	H-, V+	5707	3884	42108	22193	0.18
	S _s -D 1	H-, V-	5626	3833	41410	22193	0.18
	S _s -1 1		2814	1273	35592	22193	0.06
	S _s -1 2		3698	1839	42941	22193	0.09
	S _s -1 3		3391	1628	40721	22193	0.08
	S _s -1 4		3131	1486	37995	22193	0.07
	S _s -2 1		5071	2634	56295	22193	0.12
	S _s -2 2		4447	2208	51704	22193	0.10
	S _s -3 1	H+, V+	5003	3549	33595	22193	0.16
	S _s -3 1	H-, V+	5392	2888	57836	22193	0.13
②	S _s -D 1	H+, V-	5992	3203	64405	22193	0.15
③	S _s -D 1	H+, V-	6259	3322	67842	22193	0.15
④	S _s -D 1	H+, V-	6007	3172	65467	22193	0.15
⑤	S _s -D 1	H+, V-	6721	3671	70440	22193	0.17
⑥	S _s -D 1	H+, V-	6599	3602	69224	22193	0.17

- 注記 ①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース
 ②：地盤物性のはらつきを考慮 (+1σ) した解析ケース
 ③：地盤物性のはらつきを考慮 (-1σ) した解析ケース
 ④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース
 ⑤：原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース
 ⑥：地盤物性のはらつきを考慮 (+1σ) して非液状化の条件を仮定した解析ケース

津波時は、すべてのケースにおいて曲げモーメントの絶対値が増すにしたがって有効高さが増すため、図 2-1 の A の式を適用する。津波時における照査結果を表 2-2 及び表 2-3 に示す。

表 2-2 セン断力に対する照査結果（基準津波時）

	せん断力 (kN)		曲げモーメント (kN・m)	許容せん断力 (kN)	曲げ モーメント 考慮後の せん断力に 対する 照査値
	曲げ モーメント 考慮前	曲げ モーメント 考慮後			
地盤バネ 1	5731	4996	16981	22290	0.23
地盤バネ 2	5731	4996	16981	22290	0.23

表 2-3 セン断力に対する照査結果（T.P.+24 m 津波時）

	せん断力 (kN)		曲げモーメント (kN・m)	許容せん断力 (kN)	曲げ モーメント 考慮後の せん断力に 対する 照査値
	曲げ モーメント 考慮前	曲げ モーメント 考慮後			
地盤バネ 1	18871	13263	129624	22290	0.51
地盤バネ 2	18871	13263	129624	22290	0.51

重畳時は、すべてのケースにおいて曲げモーメントの絶対値が増すにしたがって有効高さが増すため、図 2-1 の A の式を適用する。重畳時における照査結果を表 2-4～表 2-9 に示す。

表 2-4 セン断力に対する照査結果（地盤バネ 3：基準津波時）

鉛直 慣性力	せん断力 (kN)		曲げモーメント (kN・m)	許容せん断力 (kN)	曲げ モーメント 考慮後の せん断力に 対する 照査値
	曲げ モーメント 考慮前	曲げ モーメント 考慮後			
上向き	8768	7319	33494	22290	0.33
下向き	8768	7319	33494	22290	0.33

表 2-5 セン断力に対する照査結果（地盤バネ 4：基準津波時）

鉛直 慣性力	せん断力 (kN)		曲げモーメント (kN・m)	許容せん断力 (kN)	曲げ モーメント 考慮後の せん断力に 対する 照査値
	曲げ モーメント 考慮前	曲げ モーメント 考慮後			
上向き	8768	7319	33494	22290	0.33
下向き	8768	7319	33494	22290	0.33

表 2-6 せん断力に対する照査結果（地盤バネ 5：基準津波時）

鉛直 慣性力	せん断力 (kN)		曲げモーメント (kN・m)	許容せん断力 (kN)	曲げ モーメント 考慮後の せん断力に 対する 照査値
	曲げ モーメント 考慮前	曲げ モーメント 考慮後			
上向き	8626	7219	32525	22290	0.33
下向き	8626	7219	32525	22290	0.33

表 2-7 せん断力に対する照査結果（地盤バネ 3：T.P.+24 m 津波時）

鉛直 慣性力	せん断力 (kN)		曲げモーメント (kN・m)	許容せん断力 (kN)	曲げ モーメント 考慮後の せん断力に 対する 照査値
	曲げ モーメント 考慮前	曲げ モーメント 考慮後			
上向き	23491	16780	155149	26512	0.64
下向き	23491	16780	155149	26512	0.64

表 2-8 せん断力に対する照査結果（地盤バネ 4：基準津波時）

鉛直 慣性力	せん断力 (kN)		曲げモーメント (kN・m)	許容せん断力 (kN)	曲げ モーメント 考慮後の せん断力に 対する 照査値
	曲げ モーメント 考慮前	曲げ モーメント 考慮後			
上向き	23491	16780	155149	26512	0.64
下向き	23491	16780	155149	26512	0.64

表 2-9 せん断力に対する照査結果（地盤バネ 5：基準津波時）

鉛直 慣性力	せん断力 (kN)		曲げモーメント (kN・m)	許容せん断力 (kN)	曲げ モーメント 考慮後の せん断力に 対する 照査値
	曲げ モーメント 考慮前	曲げ モーメント 考慮後			
上向き	23277	16628	153703	26512	0.63
下向き	23277	16628	153703	26512	0.63

以上