

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-13-0001_改4
提出年月日	2021年10月13日

VI-2-10-2-3 防潮壁の耐震性についての計算書

2021年10月

東北電力株式会社

## 目 次

- VI-2-10-2-3-1 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼板）の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2-3-2 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2-3-3 杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2-3-4 防潮壁（第3号機海水熱交換器建屋）の耐震性についての計算書

VI-2-10-2-3-2 : 本日の説明範囲

VI-2-10-2-3-2 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）  
の耐震性についての計算書

## 目 次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	19
2.4	適用基準	23
3.	耐震評価	24
3.1	評価対象断面	24
3.2	解析方法	30
3.3	荷重及び荷重の組合せ	40
3.4	入力地震動	42
3.5	解析モデル及び諸元	71
3.6	評価対象部位	90
3.7	許容限界	91
3.8	評価方法	107
4.	耐震評価結果	146
4.1	鋼桁	146
4.2	RC 支柱	153
4.3	水平支承・鉛直支承	176
4.4	上揚力反力梁	179
4.5	フーチング	187
4.5	鋼管杭及び場所打ちコンクリート杭	227
4.9	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	263

(別紙 1) 鋼矢板の耐震性について

(別紙 2) ゴム支承の材料物性値のばらつきについて

   : 本日の説明範囲

(別紙2) ゴム支承の材料物性値のばらつきについて

目次

1. 概要 .....	1
2. ゴム支承の構造概要 .....	2
3. せん断変形特性試験 .....	6
3.1 せん断特性に係る各種確認試験 .....	6
3.2 試験結果 .....	7
4. せん断剛性のばらつきによる影響評価 .....	9
4.1. 解析条件 .....	9
4.2. 評価結果 .....	12

(参考) せん断特性の各種確認試験について

 : 本日の説明範囲

#### 4. せん断剛性のばらつきによる影響評価

##### 4.1. 解析条件

##### 4.1.1 評価対象断面

各鋼桁における**支承ゴム**の寸法、剛性を表4-1に示す。

ゴム支承の剛性ばらつきによる影響は、ゴム支承の寸法・剛性値に比例して大きくなるものと考えられることから、鋼桁1, 4より評価対象断面を選定する。

表4-1 各鋼桁の寸法、剛性

項目	鋼桁1, 4		鋼桁2, 3, 5, 6	
	鉛直支承	水平支承	鉛直支承	水平支承
ゴム体有効平面寸法	500mm×500mm	550mm×550mm	300mm×300mm	300mm×300mm
せん断剛性	11.667kN/mm	14.117kN/mm	4.200kN/mm	4.200kN/mm

また、ゴム支承の**せん断剛性**ばらつきの影響は、ゴム支承の本体、並びに躯体全体に及ぶものと考えられることから、それぞれの部位において照査値の厳しい断面を選定し評価する。

なお、鋼桁については、**桁軸方向加振時において支承のせん断剛性ばらつきの影響を確認する**。評価対象断面は鋼桁の照査において支配的となる応答震度に着目し選定する。

支承の照査値最大及び躯体の照査値最大(曲げ・軸力系の破壊,せん断系の破壊のうち最大)を表4-2に、鋼桁の桁軸方向(ゴム支承のせん断方向)の設計震度を表4-3に示す。

表4-2より、照査値は、ゴム支承については鋼桁1が大きく、躯体については鋼桁4が大きいことから、評価断面として、それぞれ鋼桁1, 鋼桁4を選定する。また、表4-3より、鋼桁本体に対しては、震度(桁軸方向)が大きいことから、鋼桁1を選定する。

表4-2 鋼桁1, 4のせん断照査、並びに躯体の照査値最大

鋼桁	ゴム支承の照査結果 せん断ひずみの照査		躯体の照査結果 曲げ・軸力系の破壊に対する照査 (杭の曲げ)	
	照査値	地震動	照査値	地震動
鋼桁1	<u>0.55</u>	S s - D 2 (-+)	0.88	S s - D 2 (++)
鋼桁4	0.35	S s - D 1 (-+)	<u>0.89</u>	S s - N 1 (++)

表 4-3 鋼桁 1, 4 の最大応答震度

鋼桁	鋼桁（桁軸方向）の最大応答震度	
	震度	地震動
鋼桁 1	3.1	S s - D 2 (-+)
鋼桁 4	1.4	S s - D 1 (-+)

#### 4.1.2 評価ケース

ゴム支承の対象は鋼桁 1 とし、地震波は支承ゴム照査値最大ケース（せん断ひずみ照査値 0.55）となる S s - D 2 (-+) とする。RC 支柱、フーチング、杭への影響確認に関しては、鋼桁 1 と鋼桁 4 の基本ケースにて RC 支柱、フーチング、杭の照査値最大ケース（杭の曲げ照査値 0.89）となる鋼桁 4 につき実施する。地震動は、杭に最大照査値を発生させる S s - N 1 (++) とする。検討のケースについて表 4-4 に整理する。

表4-4 検討ケース一覧

検討対象断面	対象部位	評価項目	地震動	加振方向	ケース
鋼桁 1	支承ゴム	せん断ひずみ	S s - D 2 (-+)	桁軸	①基本 ②剛性ばらつき+75% ③剛性ばらつき-45%
	鋼桁	曲げ・せん断照査	-*		
鋼桁 4	RC支柱	曲げ・せん断照査	S s - N 1 (++)		
	フーチング	曲げ・せん断照査			
	杭	曲げ・せん断照査			

注記\*：鋼桁の照査（静的解析）においては、全地震動を包絡させた加速度を用いて照査している

#### 4.1.3 評価条件

試験結果より得られたせん断剛性の変化率を考慮して、地震時の応答へ与える影響の確認用のせん断剛性のばらつきを設定する。当該ゴム支承は、鋼桁下部や側部に設置し、被覆ゴムに囲われ直接的に性能確認ができないこと等を踏まえ、試験で得られたゴム支承のせん断剛性のばらつきを保守的にプラス側とマイナス側でそれぞれ重畳させることとして、各項目のばらつき設定を積算し、保守的に繰り上げた値として+75%から-45%をばらつきの設定として考慮する。

影響評価用のせん断剛性の設定結果を表 4-5 に、ばらつきを考慮したせん断剛性を表 4-6 に示す。なお、その他の解析手法や評価方法や許容限界については、本編の条件に準ずる。

表 4-5 せん断剛性のばらつき設定

項目	変化率	
	剛性変化（+側）	剛性変化（-側）
せん断ひずみ	+10.2%	-18.2%
繰返し数	—	-8.6%
温度	+37.5%	-6%
熟老化	+12%	—
初期ばらつき	+10%	-10%
積算値	+69.7%	-42.8%
影響確認用	+75%	-45%

表 4-6 ばらつき影響を考慮したせん断剛性

ケース	せん断剛性 (kN/mm)		
	水平支承	鉛直支承	基礎あたり*
① 基本	14.117	11.667	79.802
② 剛性ばらつき+75%	24.705	20.417	139.654
③ 剛性ばらつき-45%	7.764	6.417	43.890

注記\*：基礎 1 箇所あたりのせん断剛性は、水平支承 4 基、鉛直支承 2 基の合計



## 4.2. 評価結果

### 4.2.1 水平支承・鉛直支承

ゴム支承は、表 4-1 に示す支承寸法に対して、ゴム支承のせん断剛性をばらつかせた設計水平震度により発生するせん断ひずみ及び座屈応力度が許容値を満足していることを確認する。

ゴム支承のせん断剛性のばらつきを考慮した場合の設計震度を表 4-7 に、その深度に基づき算定したせん断ひずみを表 4-8 に示す。

支承剛性を基本値より+75%~-45%にばらつかせたケースにおいても、せん断ひずみは110%~191%の範囲内であり地震時の限界値である 250%以下となっていることを確認した。座屈応力度についても許容値以下となっていることを確認した。

表 4-7 せん断ひずみの照査に用いた設計震度

ケース	鋼桁軸方向水平震度 (支承せん断方向)
① 基本	3.1
② 剛性ばらつき+75%	4.4
③ 剛性ばらつき-45%	2.4

表 4-8 せん断ひずみの照査結果

項目		基本ケース	支承剛性ばらつきケース	
			+75%	-45%
鋼桁1	発生せん断ひずみ (%)	136	110	191
	許容値 (%)	250	250	250
	照査値	0.55	0.44	0.77

#### 4.2.2 鋼桁

ゴム支承のせん断剛性のばらつきを考慮した場合の設計震度を表 4-9 に、その震度に基づき構造解析した鋼桁の照査結果を表 4-10 に示す。また、鋼桁の最大照査値位置図を図 4-1 に示す。

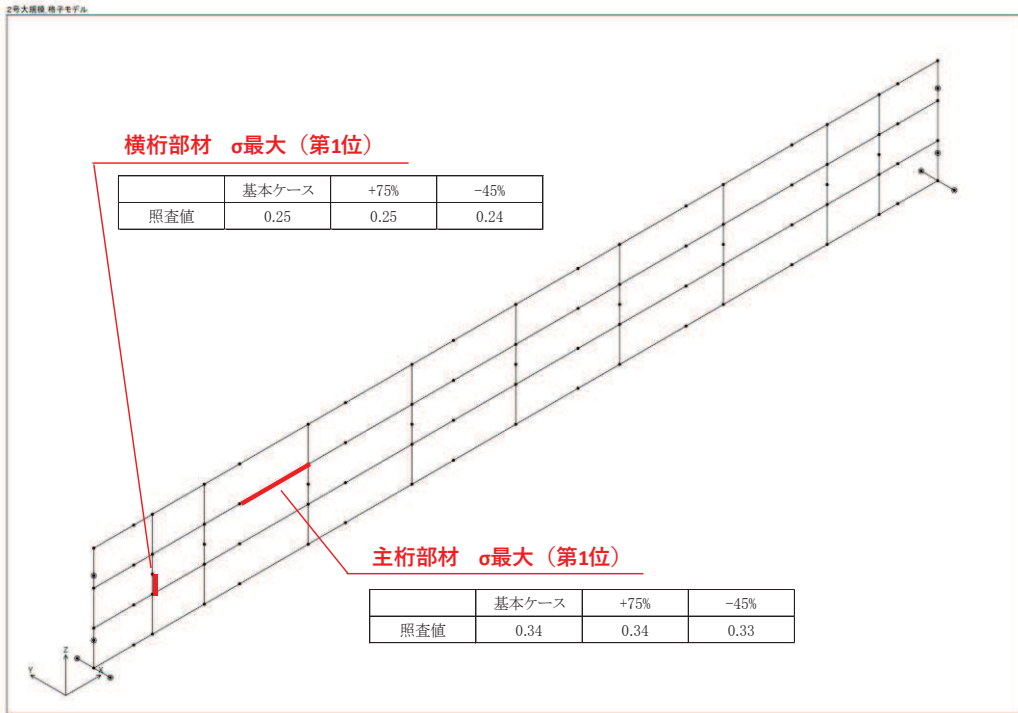
支承剛性を基本値より+75%~-45%にばらつかせたケースにおいても、照査値は許容値以下となっていることを確認した。

表 4-9 鋼桁の照査に用いた設計震度

ケース	鋼桁桁軸方向水平震度 (支承せん断方向)
①基本	3.1
②剛性ばらつき+75%	4.4
③剛性ばらつき-45%	2.4

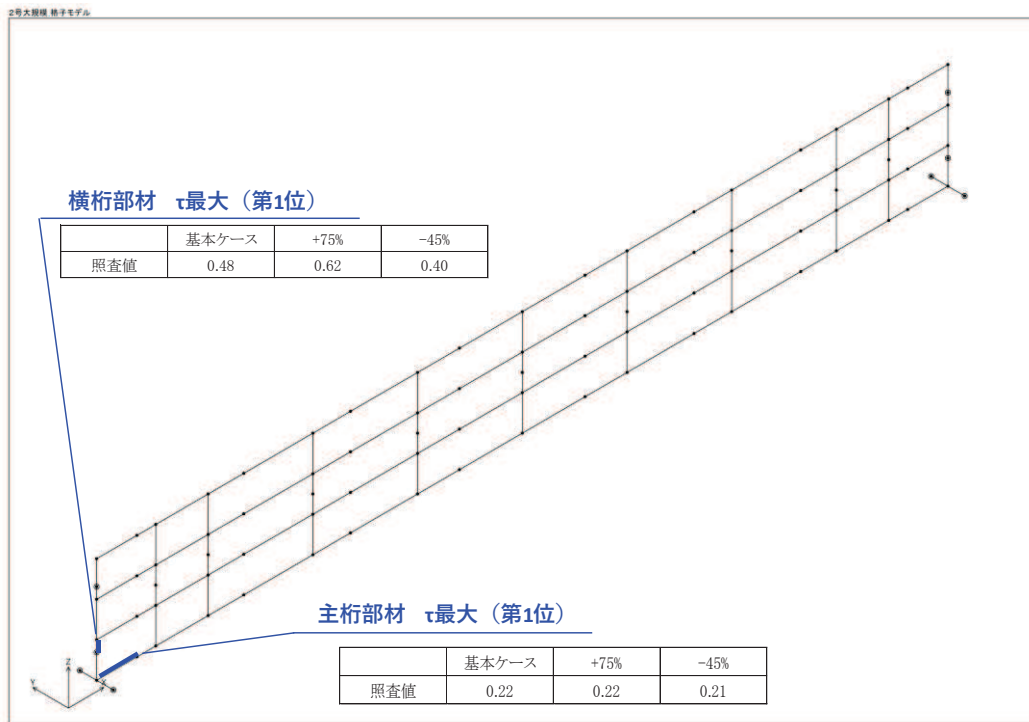
表 4-10 鋼桁の照査結果 (桁軸方向)

項目		基本ケース	支承剛性ばらつきケース	
			+75%	-45%
曲げ応力度	(N/mm <sup>2</sup> )	0.34	0.34	0.33
せん断応力度	(N/mm <sup>2</sup> )	0.48	0.62	0.40
合成応力度	—	0.21	0.34	0.15



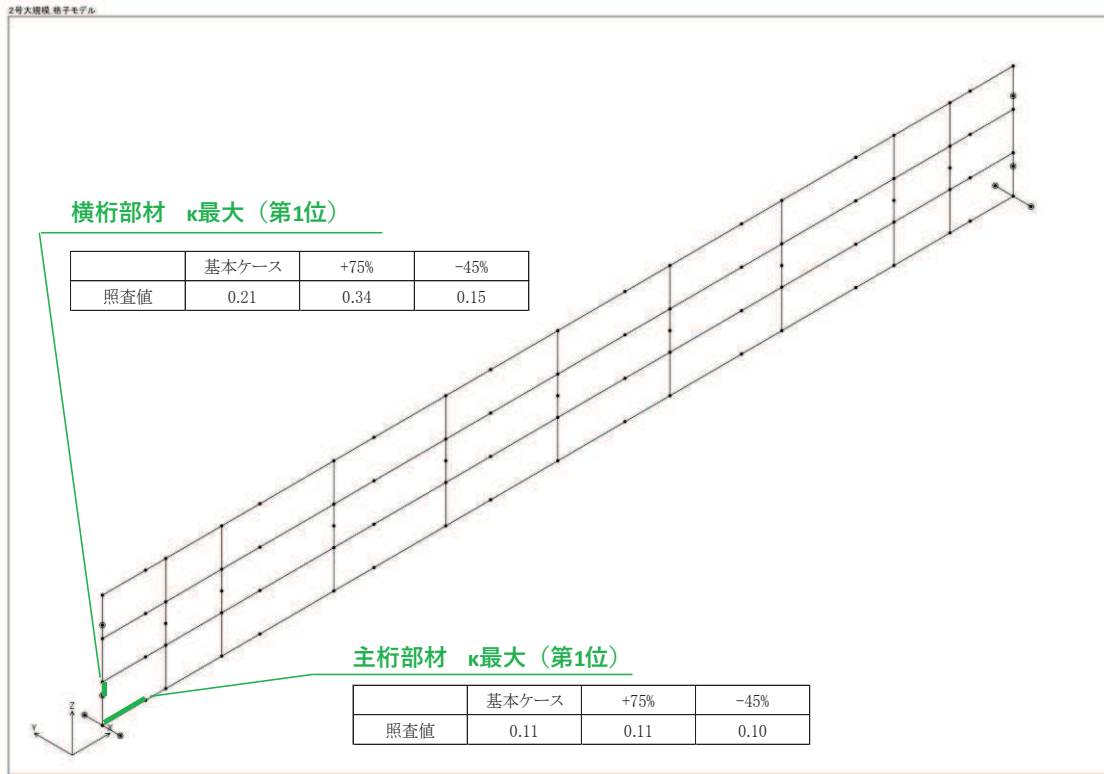
(曲げ応力度)

図4-1(1) 鋼桁の最大照査値位置図



(せん断応力度)

図4-1(2) 鋼桁の最大照査値位置図



(合成応力)

図4-1(3) 鋼桁の最大照査値位置図

#### 4.2.3 RC支柱の照査結果

ゴム支承のせん断剛性のばらつきを考慮した場合におけるRC支柱（鋼桁4）の照査結果を表4-11、表4-12、表4-13に示す。

支承剛性を基本値より+75%~-45%にばらつかせたケースにおいても、照査値は許容限界以下となっていることを確認した。

表4-11 RC支柱の曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果（コンクリート）

部材	地震動	加振方向	解析ケース (支承剛性)	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 (N/mm <sup>2</sup> ) (a)	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> ) (b)	照査値 (a/b)
				曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
基礎1	S <sub>s</sub> -N1 (++)	桁軸	基本	My: -9973	4688	2.0	16.5	0.13
			+75%	My: -11054	4860	2.2	16.5	0.14
			-45%	My: -11540	4904	2.3	16.5	0.14
基礎2	S <sub>s</sub> -N1 (++)	桁軸	基本	My: 8283	5725	1.5	16.5	0.10
			+75%	My: 10216	6092	1.9	16.5	0.12
			-45%	My: -9803	5966	1.9	16.5	0.12

表4-12 RC支柱の曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果（鉄筋）

部材	地震動	加振方向	解析ケース (支承剛性)	配筋	発生断面力		引張応力 度 (N/mm <sup>2</sup> ) (a)	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> ) (b)	照査値 (a/b)
					曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
基礎1	S <sub>s</sub> -N1 (++)	桁軸	基本	D35@ 150	My: -9973	-1614	123	294	0.42
			+75%	D35@ 150	My: -11054	-1862	138	294	0.47
			-45%	D35@ 150	My: -11540	-1830	142	294	0.49
基礎2	S <sub>s</sub> -N1 (++)	桁軸	基本	D35@ 150	My: -8283	-981	98	294	0.34
			+75%	D35@ 150	My: -10216	-1171	121	294	0.42
			-45%	D35@ 150	My: -9803	-1161	116	294	0.40

表4-13 RC支柱のせん断破壊に対する照査結果

部材	地震動	加振方向	解析ケース (支承剛性)	せん断補強筋	発生断面力	照査用 せん断力 (kN) (a)	許容限界 (kN) (b)	照査 値 (a/b)
					せん断力 (kN)			
基礎 1	S s - N 1 (++)	桁軸	基本	D32@150	2667	2801	20354	0.14
		桁軸	+75%	D32@150	2661	2795	20321	0.14
		桁軸	-45%	D32@150	3040	3192	20368	0.16
基礎 2	S s - N 1 (++)	桁軸	基本	D32@150	3116	3272	20354	0.17
		桁軸	+75%	D32@150	3844	4037	20821	0.20
		桁軸	-45%	D32@150	3547	3725	20368	0.19

#### 4.2.4 フーチングの照査結果

ゴム支承のせん断剛性のばらつきを考慮した場合におけるフーチング（鋼桁4）の照査結果を表4-14、表4-15、表4-16に示す。

支承剛性を基本値より+75%~-45%にばらつかせたケースにおいても、照査値は許容限界以下となっていることを確認した。

表4-14 フーチングの曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果（コンクリート）

部材	地震動	加振方向	解析ケース (支承剛性)	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 (N/mm <sup>2</sup> ) (a)	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> ) (b)	照査値 (a/b)
				曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
基礎1	S s - N 1 (++)	桁軸	基本	My:3813 Mz:5849	150	1.5	24.0	0.07
			+75%	My:3804 Mz:6053	158	1.5	24.0	0.07
			-45%	My:4407 Mz:6129	157	1.6	24.0	0.07
基礎2	S s - N 1 (++)	桁軸	基本	My:14839 Mz:37099	1545	3.8	24.0	0.16
			+75%	My:16838 Mz:38363	1595	4.0	24.0	0.17
			-45%	My:16811 Mz:37562	1548	3.9	24.0	0.17

表4-15 フーチングの曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果（鉄筋）

部材	地震動	加振方向	解析ケース (支承剛性)	配筋	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 (N/mm <sup>2</sup> ) (a)	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> ) (b)	照査値 (a/b)
					曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
基礎 1	S s - N 1 (++)	桁軸	基本	D51@ 150	My:3813 Mz:5849	-3	42	435	0.10
		桁軸	+75%	D51@ 150	My:3804 Mz:6053	-3	43	435	0.10
		桁軸	-45%	D51@ 150	My:4407 Mz:6129	-3	45	435	0.11
基礎 2	S s - N 1 (++)	桁軸	基本	D51@ 150	My:14839 Mz:37099	-28	125	435	0.29
		桁軸	+75%	D51@ 150	My:16838 Mz:38363	-30	130	435	0.30
		桁軸	-45%	D51@ 150	My:16811 Mz:37562	-28	128	435	0.30



表4-16 フーチングのせん断破壊に対する照査結果

部材	地震動	加振方向	解析ケース (支承剛性)	せん断補強筋	発生断面力	照査用せん断力	許容限界 (kN) (b)	照査値 (a/b)
					せん断力 (kN)	(kN) (a)		
基礎 1	S <sub>s</sub> -N1 (++)	桁軸	基本	D19@300	3542	3720	36962	0.11
		桁軸	+75%	D19@300	3686	3871	36692	0.11
		桁軸	-45%	D19@300	3669	3853	36692	0.11
基礎 2	S <sub>s</sub> -N1 (++)	桁軸	基本	D19@300	11207	11768	71574	0.17
		桁軸	+75%	D19@300	11471	12045	71574	0.17
		桁軸	-45%	D19@300	11325	11892	71574	0.17

#### 4.2.5 鋼管杭の照査結果

ゴム支承のせん断剛性のばらつきを考慮した場合における鋼管杭（鋼管杭）の照査結果を表4-17、表4-18、表4-19に示す。

支承剛性を基本値より+75%~-45%にばらつかせたケースにおいても、照査値は許容限界以下となっていることを確認した。

表4-17 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果

部材	地震動	杭		加振方向	解析ケース (支承剛性)	発生断面力		降伏曲げモーメント (kN・m) (b)	照査値 (a/b)
		杭番号	評価位置			曲げモーメント (kN・m) (a)	軸力 (kN)		
基礎1	S s - N 1 (++)	杭3	杭体	桁軸	基本	10935	5312	14764	0.75
		杭3	杭体		+75%	10960	5099	14841	0.74
		杭3	杭体		-45%	10890	5478	14704	0.75
基礎2	S s - N 1 (++)	杭5	上杭	桁軸	基本	10517	7129	11900	0.89
		杭5	下杭			7588	4487	9147	0.83
		杭5	上杭	桁軸	+75%	10528	7290	11842	0.89
		杭5	下杭			7590	4423	9170	0.83
		杭5	上杭	桁軸	-45%	10837	7582	11735	0.93
		杭5	下杭			6809	7248	8132	0.84

表4-18 鋼管杭（杭頭）の曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果

部材	地震動	杭番号	加振方向	解析ケース (支承剛性)	発生断面力		照査値 (a/b)
					曲げモーメント (kN・m) (a)	降伏曲げモーメント (kN・m) (b)	
基礎1	S s - N 1 (++)	杭5	桁軸	基本	8234	14137	0.59
		杭5		+75%	8072	14137	0.58
		杭5		-45%	8202	14137	0.59
基礎2	S s - N 1 (++)	杭6	桁軸	基本	10540	14137	0.75
		杭2		+75%	10556	14137	0.75
		杭2		-45%	10874	14137	0.77

表4-19 鋼管杭のせん断破壊に対する照査結果

部材	地震動	杭		加振方向	解析ケース	発生断面力	せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> ) (a/b)	照査値 (a/b)
		杭番号	評価位置			せん断力 (kN)			
基礎1	S <sub>s</sub> -N1 (++)	杭5	杭体	桁軸	基本	6444	127	260	0.49
		杭1	杭体		+75%	6449	127	260	0.49
		杭5	杭体		-45%	6446	127	260	0.49
基礎2	S <sub>s</sub> -N1 (++)	杭6	上杭	桁軸	基本	1368	31	260	0.12
		杭14	下杭			5577	171	260	0.66
		杭2	上杭		+75%	1392	32	260	0.13
		杭14	下杭			5575	171	260	0.66
		杭2	上杭		-45%	1459	34	260	0.14
		杭14	下杭			5581	171	260	0.66

