

＜2-2. 8階建て鉄筋コンクリート造共同住宅の設計例＞ の 目次

§ 1. 一般事項	II-51
1.1 建築概要（概要、平面図・立面図・断面図）	II-51
1.2 構造設計概要（方針、材料、規基準）	II-54
1.3 構造図（伏図・軸組図・断面表）	II-54
§ 2. 津波波圧、波力の算定	II-66
2.1 津波波圧の設定	II-66
2.2 津波波力の算定	II-67
§ 3. 浮力の算定	II-69
3.1 算定方針	II-69
3.2 浮力の計算	II-69
§ 4. 耐圧部材の設計	II-70
4.1 設計方針	II-70
4.2 耐力壁の設計	II-70
4.3 柱の設計	II-71
4.4 漂流物に対する検討	II-72
§ 5. 津波荷重時水平耐力の検討	II-74
5.1 検討方針	II-74
5.2 検討結果（水平耐力、 $Q-\delta$ 曲線、ヒンジ図）	II-75
§ 6. 基礎の設計	II-79
6.1 設計方針	II-79
6.2 転倒に対する検討	II-81
6.3 滑動に対する検討	II-83
6.4 基礎梁の設計	II-85
6.5 水流入を考慮した浮力の場合の検討	II-87
§ 7. 耐震設計概要	II-90
7.1 解析方針	II-90
7.2 必要保有水平耐力の算定	II-90
7.3 保有水平耐力の算定	II-99

## § 1. 一般事項

### 1.1 建築概要

#### (1) 概要

本設計例は、実在する建物をアレンジ<sup>\*1)</sup>したうえで、津波避難ビルとして成立するような補強をしたものである。建築概要は以下の通りとなっている。

- ・用途 集合住宅
- ・階数 地上 8 階、塔屋 1 階
- ・建物高さ 23.77m (パラペット天端までの高さを示す)
- ・標準階高 2.85m
- ・構造種別 鉄筋コンクリート造
- ・構造形式 桁行方向 純ラーメン構造 (スリット付き非構造壁)  
張間方向 耐力壁付きラーメン構造
- ・基礎形式 杭基礎 (場所打ち鋼管コンクリート杭)

\*1) アレンジした主な内容は以下の通りとなっている。

- ・ AX0 通りの左側に出部屋があるが、出部屋を取り除いた。
- ・ AY0 通りと AY1 通りの柱梁の断面を大きくした。
- ・ AX0 通り～AX8 通りの耐力壁を厚くした。
- ・ AX0 通りと AX8 通りの AY0～AY1 間の柱下に杭が無いが、杭を設けた。
- ・ AY0 通りの AX1～AX7 通りと AY1 通りの AX1～AX7 通りの杭を 2 本杭とした。
- ・ 杭径は 1300φであるが、2000φにした。

#### (2) 建築図

次ページ以降に、平面図、立面図、断面図を示す。

#### (3) 想定する津波

本設計例では、津波の設計用浸水深  $h$  を 15m と想定する。また、水深係数  $a$  は「津波が生じる方向に施設又は他の建築物がある場合」を想定して 2.0 とする。

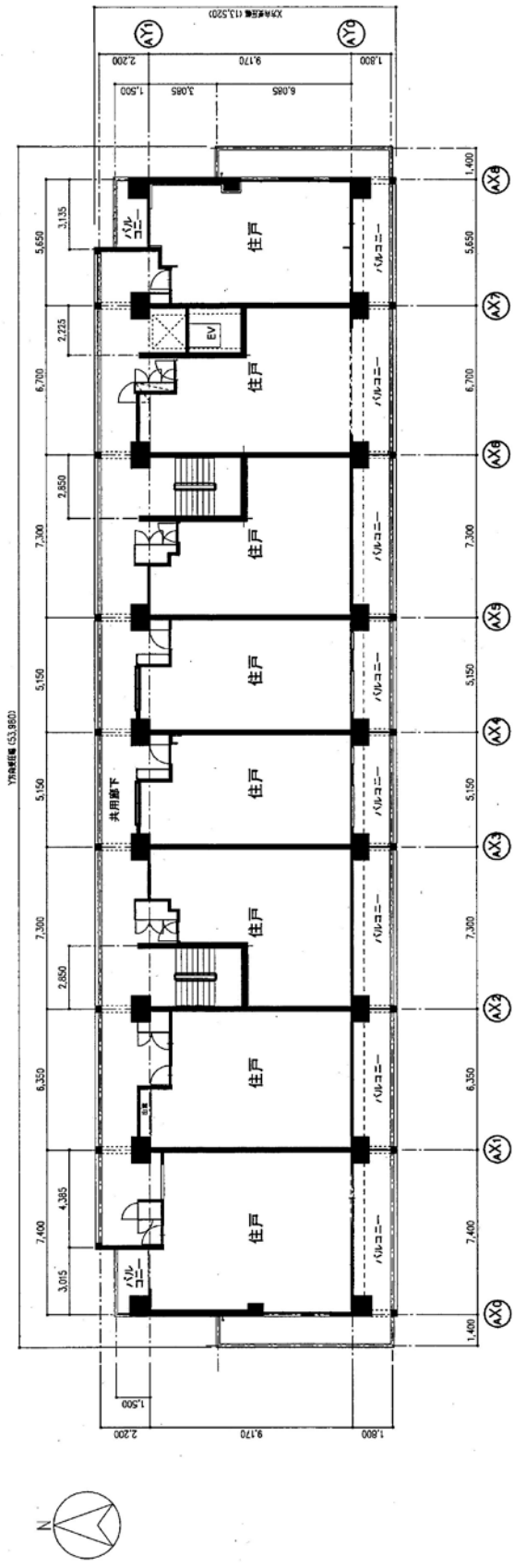


図 1.1 基準階平面図

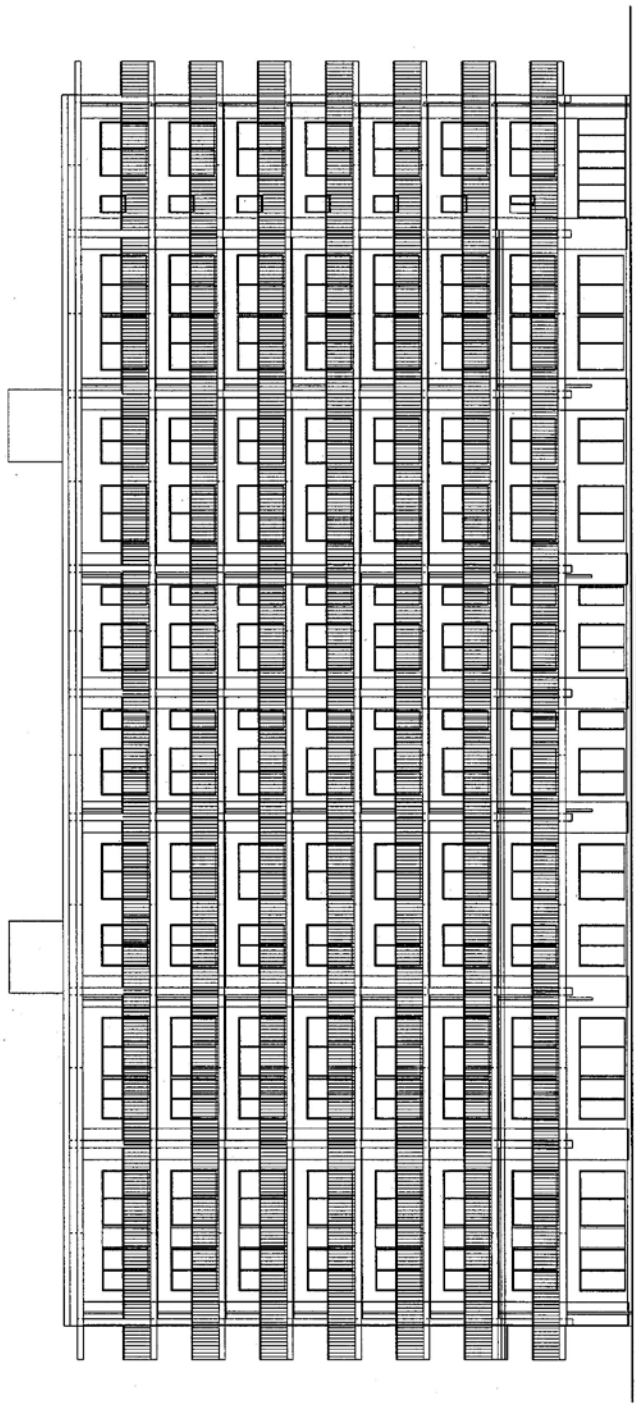


図 1.2 南側立面図

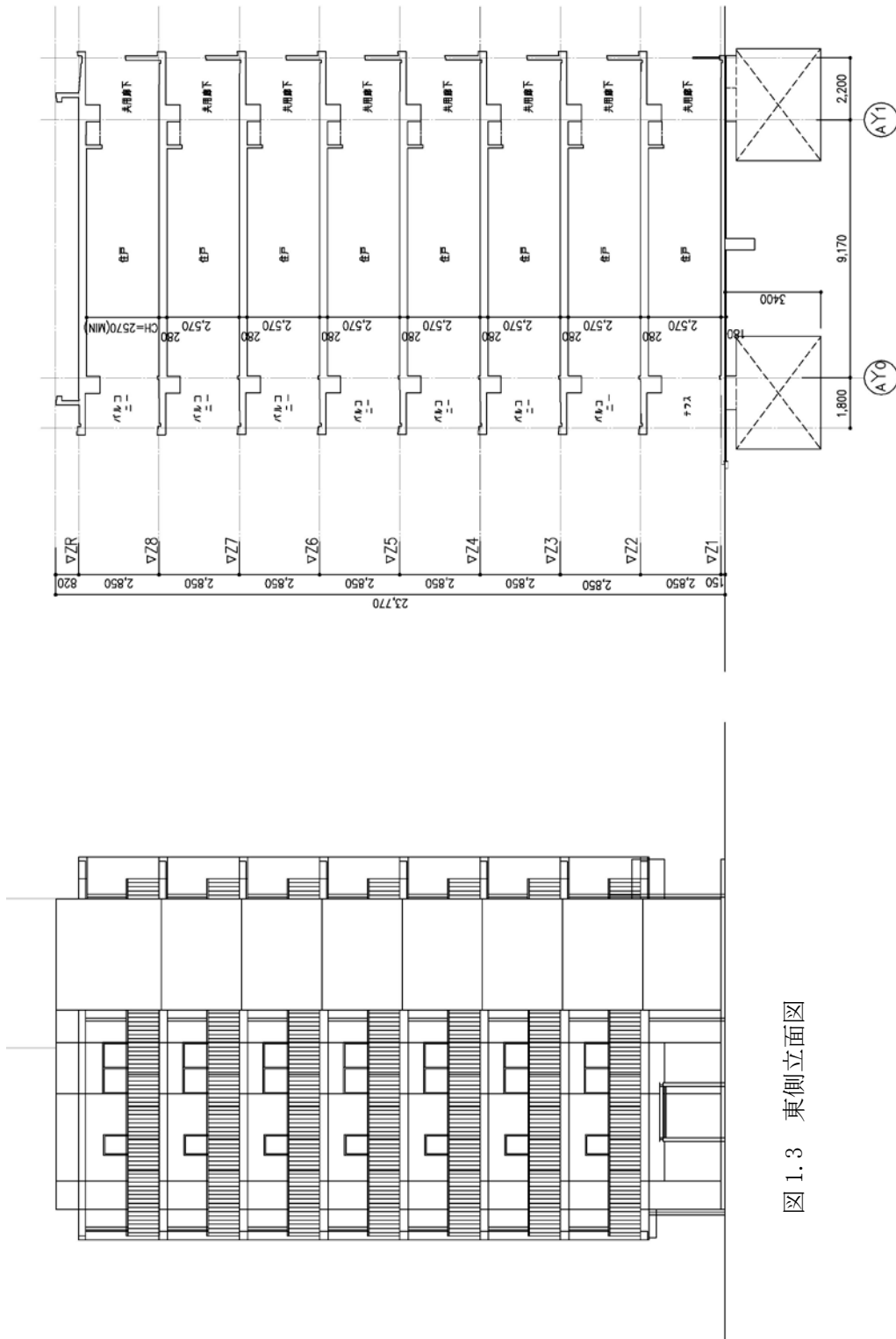


図 1.4 Y 方向断面図

図 1.3 東側立面図

## 1.2 構造設計概要

### (1) 設計方針

本設計例は、一次設計および二次設計(保有水平耐力計算)が実施されて実在する建物を、津波避難ビル用に補強した建物である。

先ず、津波波圧および波力を算定し、この波力に対して柱や耐力壁などの耐圧部材を設計するとともに、津波荷重時の水平耐力が津波荷重を上回ることを確認する。

次に、杭の終局強度設計を行い、基礎の転倒および滑動に対する安全性を確認する。

最後に、耐震設計としての二次設計を示し、耐震安全性を確認する。

なお、浮力については、参考のため複数の計算例を提示した。

### (2) 使用材料

- ・鉄筋 SD295A D10～D16  
SD345 D19～D25  
SD390 D29～D35  
高強度せん断補強筋 785N/mm<sup>2</sup>
- ・コンクリート 杭 Fc27 (鋼管：SKK490)  
基礎 Fc30  
1,2階 Fc33  
3,4階 Fc30  
5～8階 Fc27

### (3) 準拠規基準

- ・「東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針」(2011.11)
- ・「2007年版、建築物の構造関係技術基準解説書」
- ・「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」
- ・「建築基礎構造設計指針」
- ・「地震力に対する建築物の基礎の設計指針」

## 1.3 構造図

次ページ以降に、伏図、軸組図、断面表を示す。

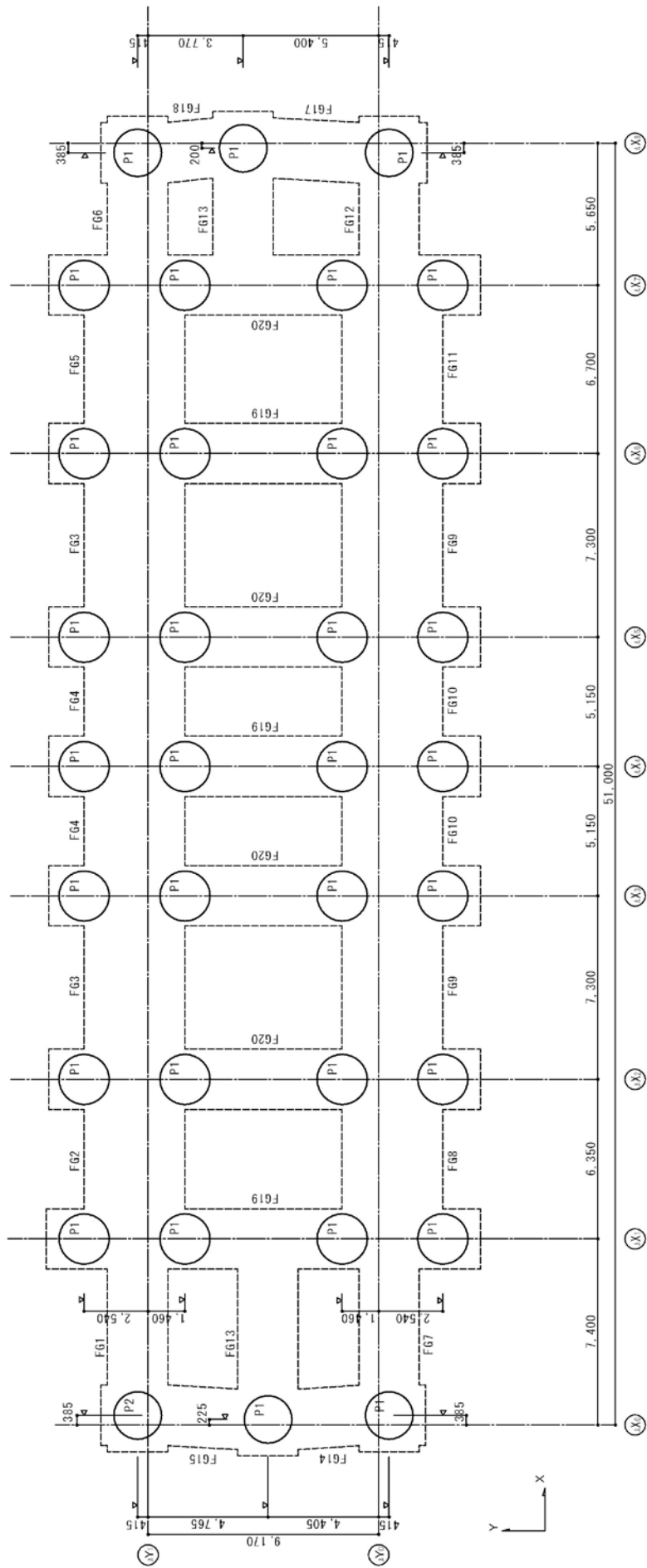


图 1.5 杭伏图

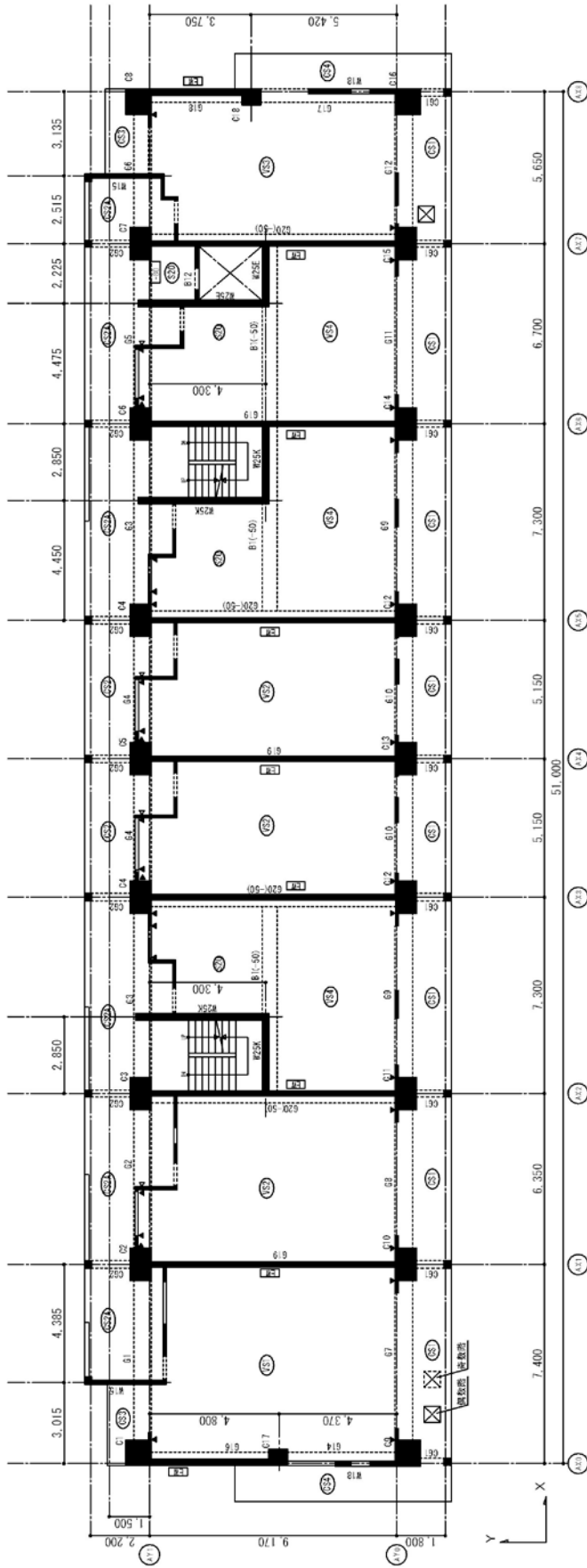


图 1.6 基础阶段图

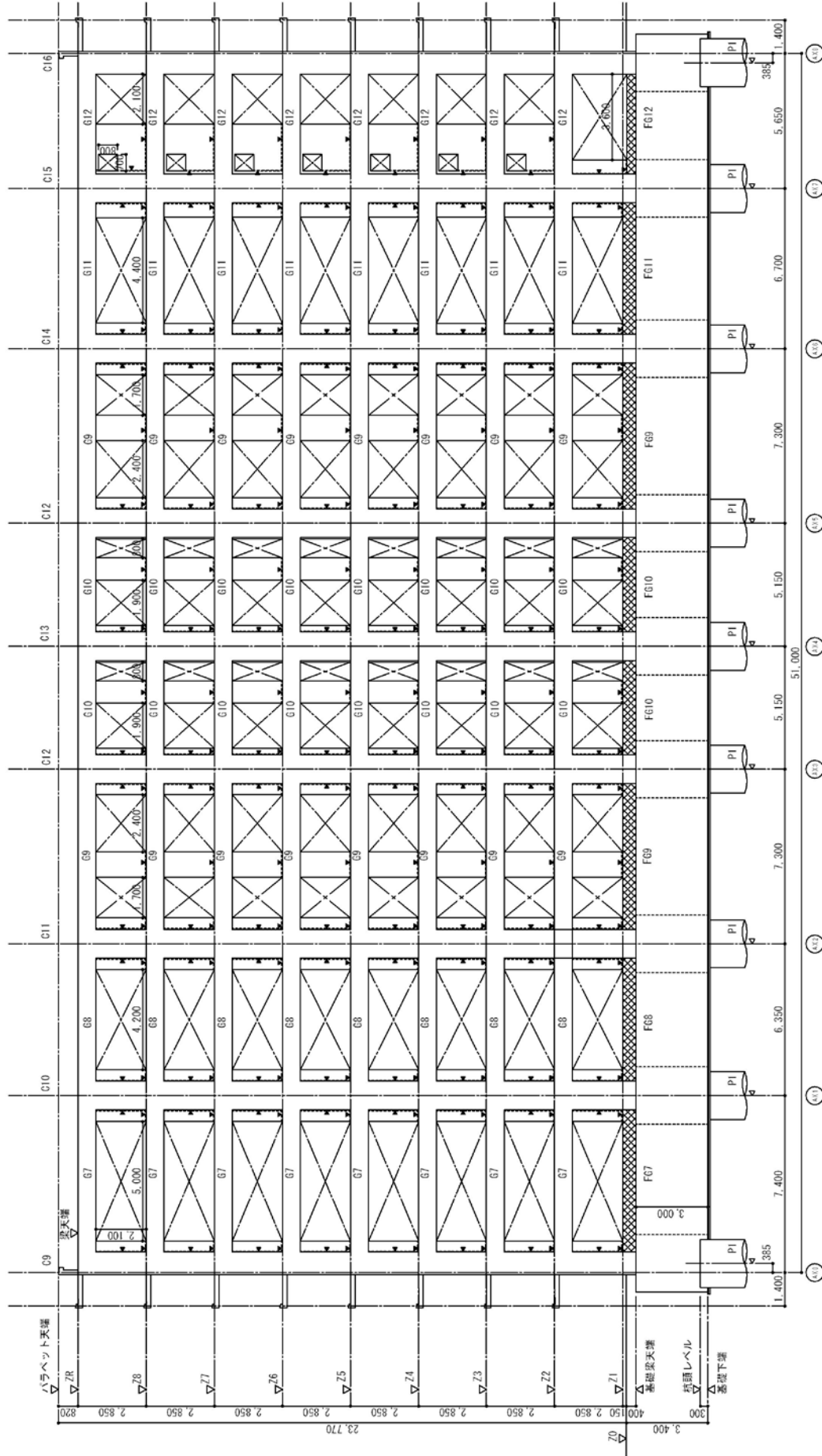




図 1.7 AY0 通軸組図

- 共通事項
1. 特記なき限りW12とする。
  2.  は増し打ちコンクリートを示す。
  3.  は構造スリット（鉛直、水平ともスリット幅25mm）を示す。



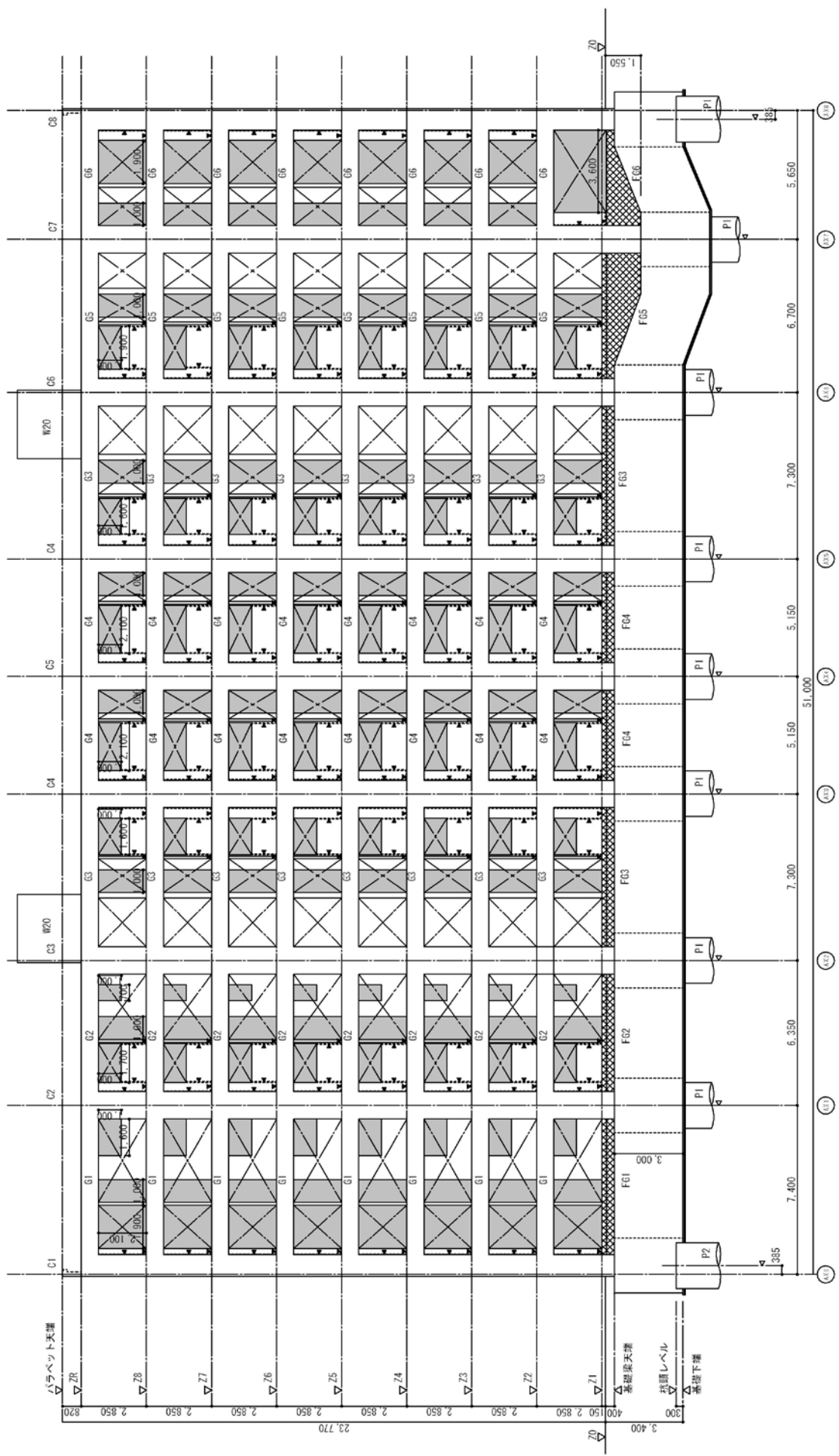


図 1.8 AY1 通軸組図

共通事項

- 1. は構面内に非構造壁がない部分を示す。
- 2. は波力計算時に開口とみなした部分を示す。

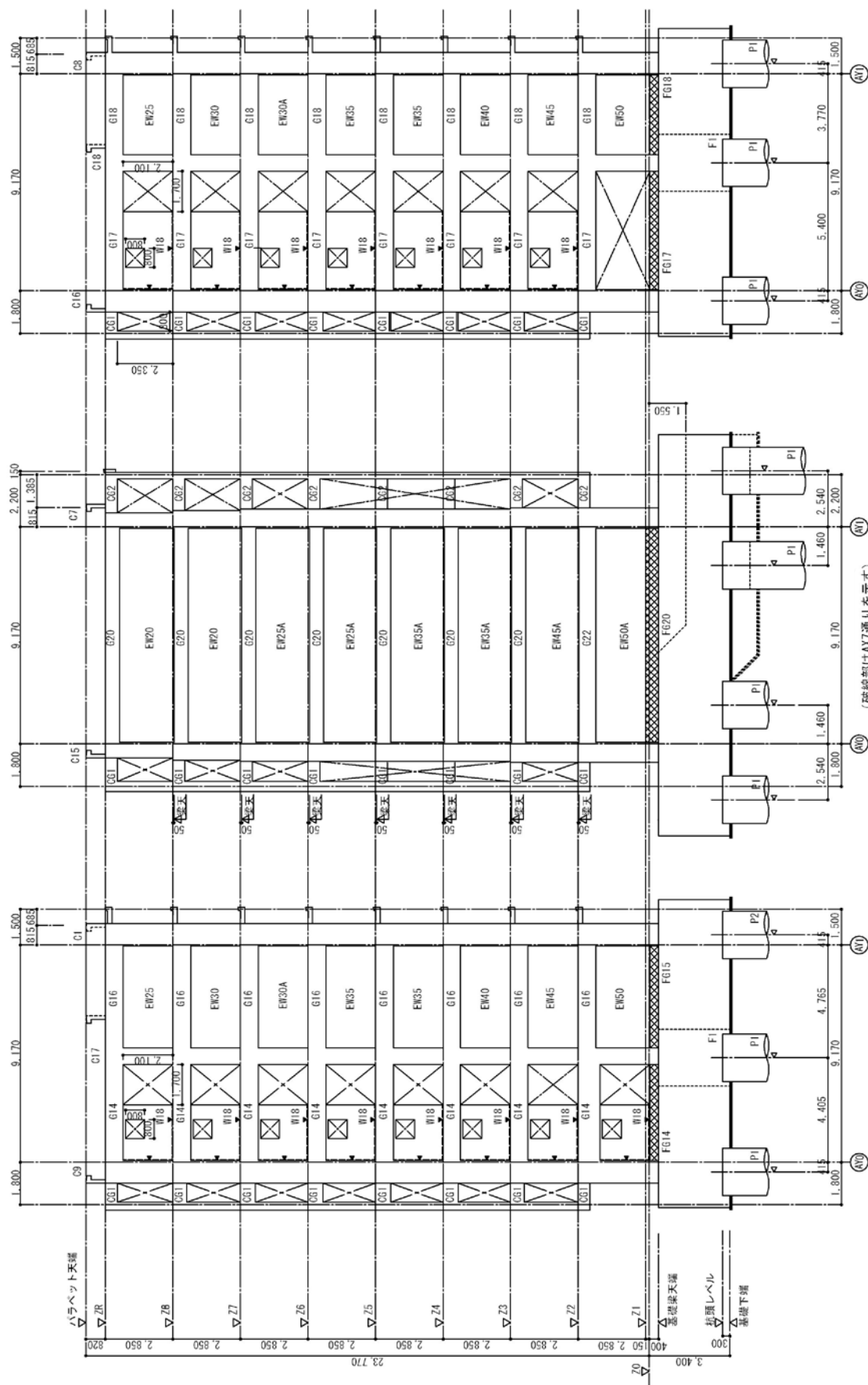
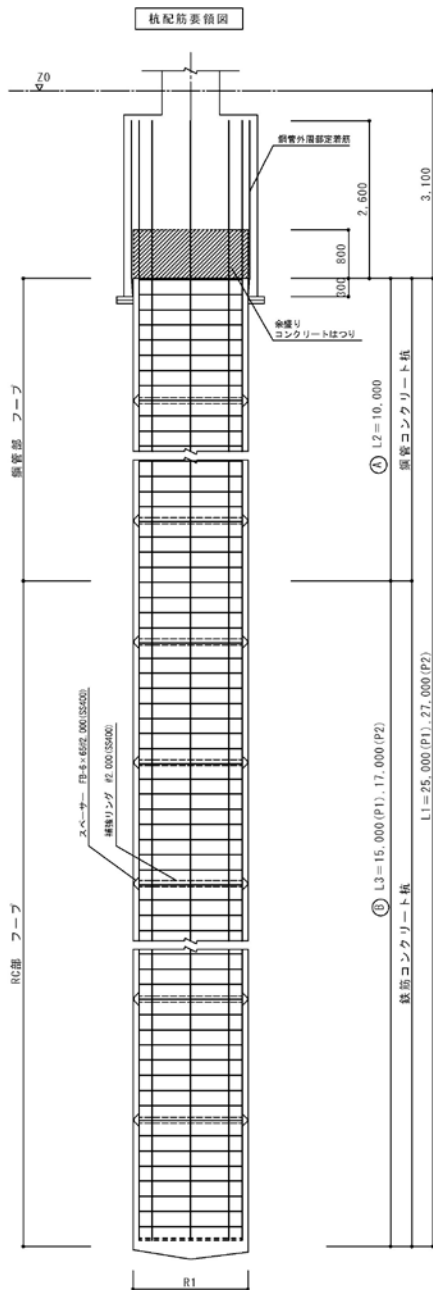


図 1.11 AX8 軸組図

図 1.10 AX1~AX7 軸組図

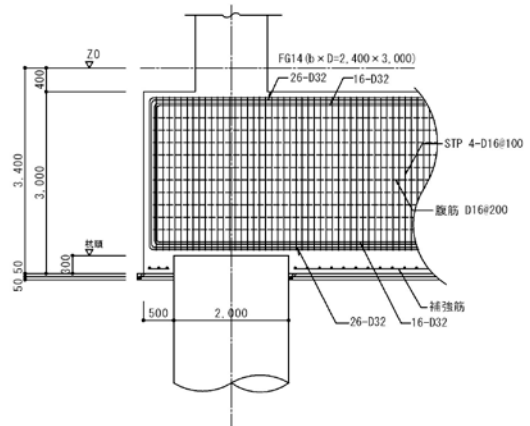
図 1.9 AX0 軸組図



杭リスト	
杭符号	P1, P2
杭頭部 (A部)	
杭頭部径	2,000 φ × 12 (L2=10,000)
アンカー筋	48-D35
鋼管内鉄筋	40-D35
フープ	D13@300
軸部 (B部)	
軸部径 R1	2,000 φ
主筋	40-D35
フープ	D13@300

- 注記) 記入なき限り下記による。  
 1. 杭先端深さは杭状態に示す。  
 2. 鋼管: SKK490 内面リブ付鋼管  
 3. コンクリート: 設計基準強度  $F_c=27\text{N/mm}^2$   
 4. 鉄筋: 主筋 S0390, フープ筋 S0295A

FG14 杭頭取合部配筋要領図



FG20 杭頭取合部配筋要領図

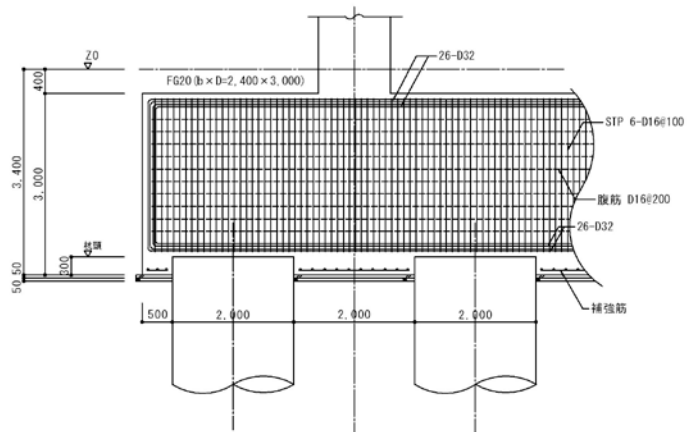


図 1.12 杭詳細図

柱リストの抜粋 1

特記なき限り)

1. ○は、寄せ筋を示す。  
2. n'は'補筋'はn'補筋'による。

3. S13は高強度せん断補強筋 785N/mm<sup>2</sup>を示す。

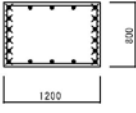
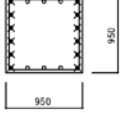
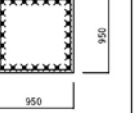
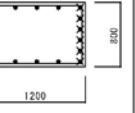
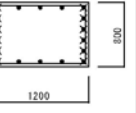
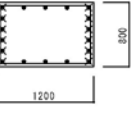
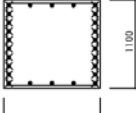
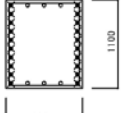
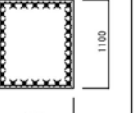
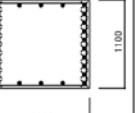
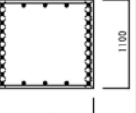
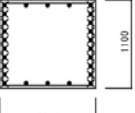
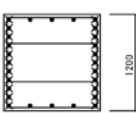
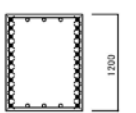
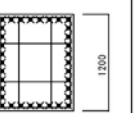
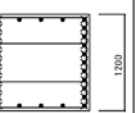
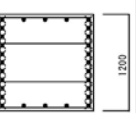
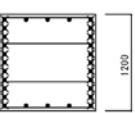
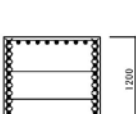
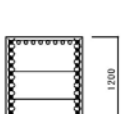
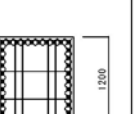
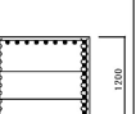
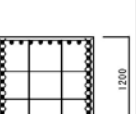
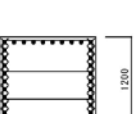
4	符号	C 7	C 8	C 9	C 10	C 11	C 12
	断面						
Dx × Dy	1200 x 800	950 x 950	950 x 950	1200 x 800	1200 x 800	1200 x 800	
主筋	12 - D 29 + 6 - D 19	12 - D 29 + 6 - D 16	24 - D 29	12 - D 29 + 6 - D 19	12 - D 29 + 6 - D 19	12 - D 29 + 6 - D 19	
フープ	□ - S13 #100	□ - S13 #100	□ - S13 #100	□ - S13 #100	□ - S13 #100	□ - S13 #100	
3	断面						
	Dx × Dy	1200 x 1100	950 x 1100	950 x 1100	1200 x 1100	1200 x 1100	1200 x 1100
主筋	20 - D 29 + 6 - D 19	20 - D 29 + 6 - D 16	30 - D 29	20 - D 29 + 6 - D 19	20 - D 29 + 6 - D 19	20 - D 29 + 6 - D 19	
フープ	□ - S13 #100	□ - S13 #100	□ - S13 #100	□ - S13 #100	□ - S13 #100	□ - S13 #100	
2	断面						
	Dx × Dy	1200 x 1200	950 x 1200	950 x 1200	1200 x 1200	1200 x 1200	1200 x 1200
主筋	22 - D 29 + 6 - D 19	22 - D 29 + 6 - D 16	34 - D 29	22 - D 29 + 6 - D 19	22 - D 29 + 6 - D 19	22 - D 29 + 6 - D 19	
フープ	■ - S13 #100	□ - S13 #100	■ - S13 #100	■ - S13 #100	■ - S13 #100	■ - S13 #100	
1	断面						
	Dx × Dy	1200 x 1200	950 x 1200	950 x 1200	1200 x 1200	1200 x 1200	1200 x 1200
主筋	24 - D 29 + 16 - D 19	24 - D 29 + 16 - D 16	40 - D 29	24 - D 29 + 16 - D 19	24 - D 29 + 16 - D 19	24 - D 29 + 16 - D 19	
フープ	■ - S13 #100	■ - S13 #100	■ - S13 #100	■ - S13 #100	■ - S13 #100	■ - S13 #100	

図 1.13 柱リスト抜粋1

柱リストの抜粋 2

特記なき限り)

1. へは、寄せ筋を示す。  
2. n 種ゾーンフは n 種ゾーンフリストによる。

3. S13は高強度せん断補強筋 785N/mm<sup>2</sup>を示す。

符号	C 13	C 14	C 15	C 16	C 17	C 18	
4							
	Dx × Dy	1200 × 800	1200 × 800	1200 × 800	950 × 950	600 × 700	600 × 700
	主筋	12 - D 29 + 6 - D 19	12 - D 29 + 6 - D 19	12 - D 29 + 6 - D 19	22 - D 29	8 - D 25 + 4 - D 16	8 - D 25 + 4 - D 16
	フープ	□ - S13 #100	□ - S13 #100	□ - S13 #100	□ - S13 #100	□ - D 13 #100	□ - D 13 #100
3							
	Dx × Dy	1200 × 1100	1200 × 1100	1200 × 1100	950 × 1100	600 × 700	600 × 700
	主筋	20 - D 29 + 10 - D 19	20 - D 29 + 10 - D 19	20 - D 29 + 10 - D 19	30 - D 29	8 - D 25 + 4 - D 16	8 - D 25 + 4 - D 16
	フープ	□ - S13 #100	□ - S13 #100	□ - S13 #100	□ - S13 #100	□ - D 13 #100	□ - D 13 #100
2							
	Dx × Dy	1200 × 1200	1200 × 1200	1200 × 1200	950 × 1200	600 × 700	600 × 700
	主筋	22 - D 29 + 10 - D 19	22 - D 29 + 10 - D 19	22 - D 29 + 10 - D 19	32 - D 29	8 - D 25 + 4 - D 16	10 - D 25 + 4 - D 16
	フープ	■ - S13 #100	■ - S13 #100	■ - S13 #100	■ - S13 #100	□ - D 13 #100	□ - D 13 #100
1							
	Dx × Dy	1200 × 1200	1200 × 1200	1200 × 1200	950 × 1200	600 × 700	950 × 700
	主筋	24 - D 29 + 16 - D 19	24 - D 29 + 16 - D 19	24 - D 29 + 16 - D 19	40 - D 29	24 - D 25	24 - D 25
	フープ	■ - S13 #100	■ - S13 #100	■ - S13 #100	■ - S13 #100	□ - D 13 #100	□ - D 13 #100

図 1.14 柱リスト抜粋 2

大梁リストの抜粋 1

特記なき限り）横止め筋は D10@1,000 以下とする。 S13は高強度せん断補強筋 785N/mm<sup>2</sup> を示す。

	符号	G 6		G 7		G 8		G 9	
		両端	中央	両端	中央	両端	中央	両端	中央
5	断面								
	B × D	600 x 750		600 x 750		600 x 750		600 x 750	
	上端筋	7 - D 29	5 - D 29	7 - D 29	5 - D 29	7 - D 29	5 - D 29	7 - D 29	5 - D 29
	下端筋	6 - D 29	5 - D 29	5 - D 29	5 - D 29	6 - D 29	5 - D 29	6 - D 29	5 - D 29
	スターラップ	□ - S13 #100		□ - S13 #150		□ - S13 #150		□ - S13 #150	
	腹筋	2-D 10		2-D 10		2-D 10		2-D 10	
4	位置	両端	中央	両端	中央	両端	中央	両端	中央
	断面								
	B × D	1000 x 750		1000 x 750		1000 x 750		1000 x 750	
	上端筋	15 - D 29	11 - D 29	15 - D 29	11 - D 29	15 - D 29	11 - D 29	15 - D 29	11 - D 29
	下端筋	14 - D 29	11 - D 29	14 - D 29	11 - D 29	14 - D 29	11 - D 29	14 - D 29	11 - D 29
	スターラップ	□ - S13 #100		□ - S13 #100		□ - S13 #100		□ - S13 #100	
腹筋	2-D 10		2-D 10		2-D 10		2-D 10		
3	位置	両端	中央	両端	中央	両端	中央	両端	中央
	断面								
	B × D	1000 x 750		1000 x 750		1000 x 750		1000 x 750	
	上端筋	16 - D 29	11 - D 29	16 - D 29	11 - D 29	16 - D 29	11 - D 29	16 - D 29	11 - D 29
	下端筋	15 - D 29	11 - D 29	15 - D 29	11 - D 29	15 - D 29	11 - D 29	15 - D 29	11 - D 29
	スターラップ	□ - S13 #100		□ - S13 #100		□ - S13 #100		□ - S13 #100	
腹筋	2-D 10		2-D 10		2-D 10		2-D 10		
2	位置	両端	中央	両端	中央	両端	中央	両端	中央
	断面								
	B × D	1000 x 750		1000 x 750		1000 x 750		1000 x 750	
	上端筋	17 - D 29	11 - D 29	17 - D 29	11 - D 29	17 - D 29	11 - D 29	17 - D 29	11 - D 29
	下端筋	16 - D 29	11 - D 29	16 - D 29	11 - D 29	16 - D 29	11 - D 29	16 - D 29	11 - D 29
	スターラップ	□ - S13 #100		□ - S13 #100		□ - S13 #100		□ - S13 #100	
腹筋	2-D 10		2-D 10		2-D 10		2-D 10		

図 1.15 大梁リスト抜粋 1

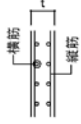

大梁リストの抜粋 2

特記なき限り) 幅止め筋は D10@1,000 以下とする。 S13は高強度せん断補強筋 785N/mm<sup>2</sup> を示す。

5	符号	G 10		G 12		G 14	G 17
	位置	両端	中央	両端	中央	全断面	全断面
5	断面						
	B × D	600 x 750		600 x 750		500 x 750	500 x 750
	上端筋	8 - D 29	8 - D 29	7 - D 29	5 - D 29	6 - D 25	4 - D 25
	下端筋	6 - D 29	6 - D 29	6 - D 29	5 - D 29	5 - D 25	4 - D 25
	スターループ	□ - S13 φ100		□ - S13 φ100		□ - S13 φ150	□ - S13 φ150
腹筋	2-D 10		2-D 10		2-D 10	2-D 10	
4	位置	両端	中央	両端	中央	全断面	全断面
	断面						
	B × D	1000 x 750		1000 x 750		500 x 750	500 x 750
	上端筋	15 - D 29	11 - D 29	15 - D 29	11 - D 29	6 - D 25	4 - D 25
	下端筋	14 - D 29	11 - D 29	14 - D 29	11 - D 29	5 - D 25	4 - D 25
スターループ	■ - S13 φ100		■ - S13 φ100		□ - S13 φ150	□ - S13 φ150	
腹筋	2-D 10		2-D 10		2-D 10	2-D 10	
3	位置	両端	中央	両端	中央	全断面	全断面
	断面						
	B × D	1000 x 750		1000 x 750		500 x 750	500 x 750
	上端筋	16 - D 29	11 - D 29	16 - D 29	11 - D 29	6 - D 25	4 - D 25
	下端筋	15 - D 29	11 - D 29	15 - D 29	11 - D 29	5 - D 25	4 - D 25
スターループ	■ - S13 φ100		■ - S13 φ100		□ - S13 φ150	□ - S13 φ150	
腹筋	2-D 10		2-D 10		2-D 10	2-D 10	
2	位置	両端	中央	両端	中央	全断面	全断面
	断面						
	B × D	1000 x 750		1000 x 750		500 x 750	500 x 750
	上端筋	17 - D 29	11 - D 29	17 - D 29	11 - D 29	6 - D 25	4 - D 29
	下端筋	16 - D 29	11 - D 29	16 - D 29	11 - D 29	5 - D 25	4 - D 29
スターループ	■ - S13 φ100		■ - S13 φ100		□ - S13 φ150	□ - S13 φ150	
腹筋	2-D 10		2-D 10		2-D 10	2-D 10	

図 1.16 大梁リスト抜粋 2

耐力壁リスト S=1:30

通り名	AX0, AX8				AX1~AX7			
縦断面要領図								
	壁符号	壁厚 (t)	配筋		壁符号	壁厚 (t)	配筋	
8階	EW25	250	縦筋 横筋	D13@100 (D) D13@100 (D)	EW20	200	縦筋 横筋	D13@200 (D) D13@200 (D)
7階	EW30	300	縦筋 横筋	D13@100 (D) D13@100 (D)	EW20	200	縦筋 横筋	D13@200 (D) D13@200 (D)
6階	EW30A	300	縦筋 横筋	D13D16@100 (D) D13@100 (D)	EW25A	250	縦筋 横筋	D13@100 (D) D13@100 (D)
5階	EW35	350	縦筋 横筋	D13D16@100 (D) D13@100 (D)	EW25A	250	縦筋 横筋	D13@100 (D) D13@100 (D)
4階	EW35	350	縦筋 横筋	D13D16@100 (D) D13@100 (D)	EW35A	350	縦筋 横筋	D13@100 (D) D13@100 (D)
3階	EW40	400	縦筋 横筋	D16@100 (D) D13@100 (D)	EW35A	350	縦筋 横筋	D13@100 (D) D13@100 (D)
2階	EW45	450	縦筋 横筋	D16@100 (D) D16@100 (D)	EW45A	450	縦筋 横筋	D16@100 (D) D16@100 (D)
1階	EW50	500	縦筋 横筋	D16D19@100 (D) D19@100 (D)	EW50A	500	縦筋 横筋	D19@100 (D) D19@100 (D)

- <特記事項>
1. 幅止筋は、D10@750以下とする。
  2. 「D」はダブル配筋を示す。

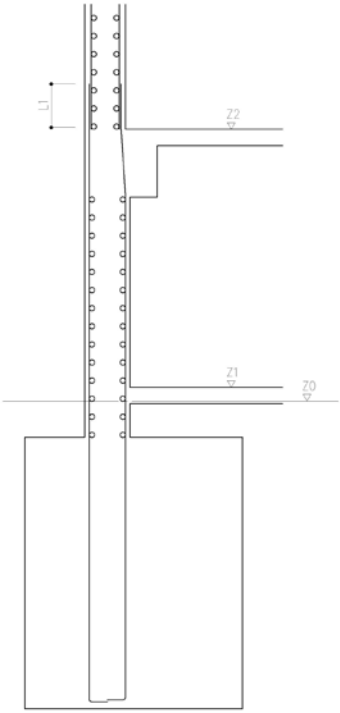


図 1.17 耐力壁リスト

図 1.18 AX0,AX8 通り耐力壁配筋要領



## § 2. 津波波圧、波力の算定

### 2.1 津波波圧の設定

津波波圧は、浸水深 15m、水深係数 2.0 として算定する。以下に、各階の階高中央位置での波圧を示す。

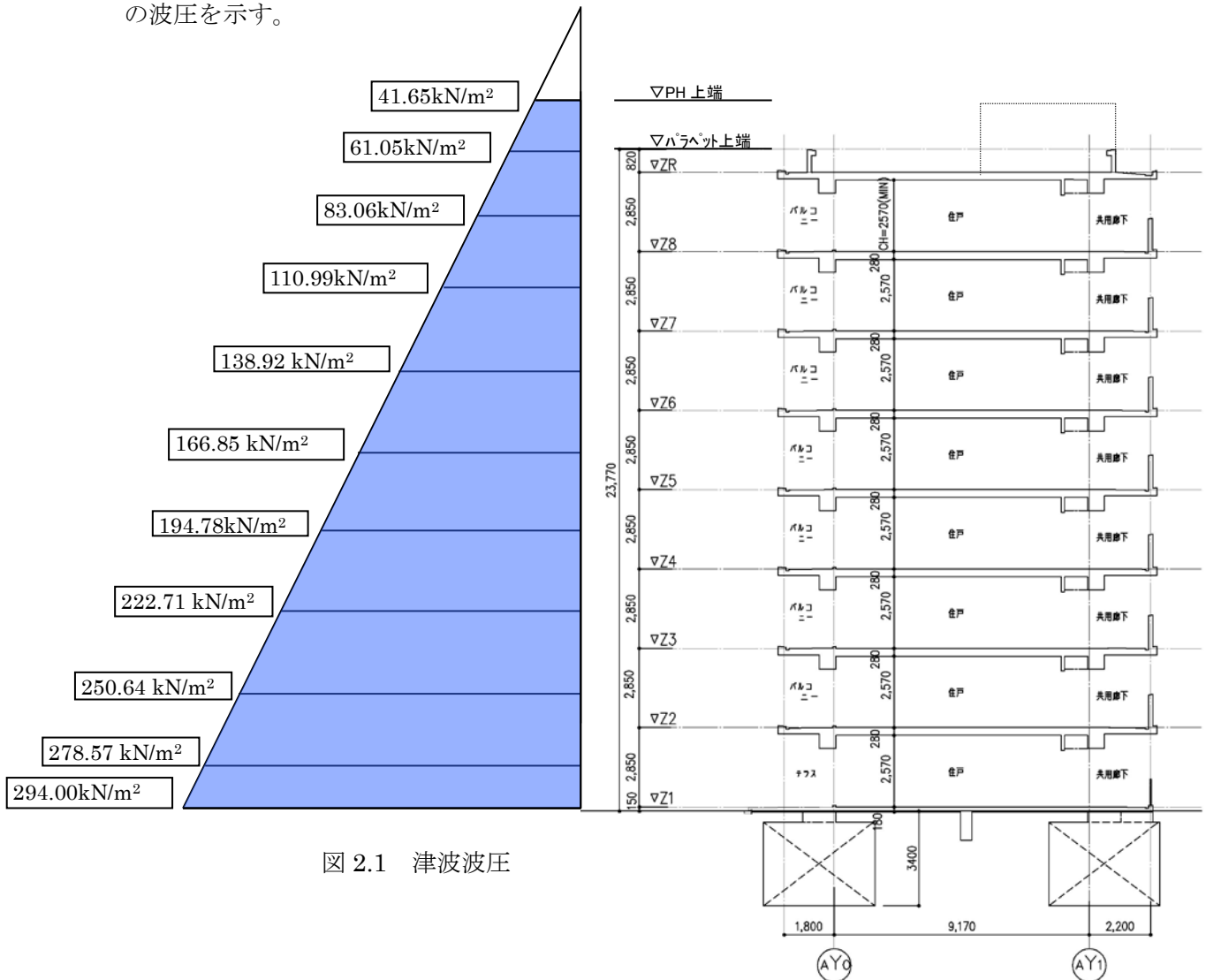


図 2.1 津波波圧

上記波圧の算定は、以下によっている。

- ・ PH 頂部  $(30.0 - 23.77 - 2.8 + 0.82) \times 9.8 = 4.25 \times 9.8 = 41.65 \text{ kN/m}^2$
- ・ パラペット頂部  $(30.0 - 23.77) \times 9.8 = 6.23 \times 9.8 = 61.05 \text{ kN/m}^2$
- ・ 8階中間  $(6.23 + 0.82 + 2.85 / 2) \times 9.8 = 8.475 \times 9.8 = 83.06 \text{ kN/m}^2$
- ・ 7階中間  $(8.475 + 2.85) \times 9.8 = 11.325 \times 9.8 = 110.99 \text{ kN/m}^2$
- ・ 6階中間  $(11.325 + 2.85) \times 9.8 = 14.175 \times 9.8 = 138.92 \text{ kN/m}^2$
- ・ 5階中間  $(14.175 + 2.85) \times 9.8 = 17.025 \times 9.8 = 166.85 \text{ kN/m}^2$
- ・ 4階中間  $(17.025 + 2.85) \times 9.8 = 19.875 \times 9.8 = 194.78 \text{ kN/m}^2$
- ・ 3階中間  $(19.875 + 2.85) \times 9.8 = 22.725 \times 9.8 = 222.71 \text{ kN/m}^2$
- ・ 2階中間  $(22.725 + 2.85) \times 9.8 = 25.575 \times 9.8 = 250.64 \text{ kN/m}^2$
- ・ 1階中間  $(25.575 + 2.85) \times 9.8 = 28.425 \times 9.8 = 278.57 \text{ kN/m}^2$
- ・ 地表部  $30.0 \times 9.8 = 294.00 \text{ kN/m}^2$

## 2.2 津波波力の算定

### (1) 算定方法

津波荷重時の水平耐力算定用の津波波力は、各階の床位置に集中して働くものとする。このときの各階床に働く波力は、上下階の階高の半分の波力とする。

また、頂部で建物より突出している波圧は波力として考慮しない。

### (2) 波力の計算

津波波力の計算は、受圧面の津波波圧と建物幅の積を、高さ方向に積分したものに、開口による低減係数を乗じたものとする。本設計例では、開口による低減係数を指針 1.4(3)の方法によることとし、受圧面の面積から開口部の面積を除外した面積を受圧面の面積で除した値とするが、この計算によって算出した低減係数が 0.7 未満となる場合は 0.7 とする。

なお、建物幅としては、片持スラブも含む寸法とした。また、塔屋の波力は別途計算して、各階の津波せん断力に加えている。

#### 1) 桁行方向 (X方向)

- ・西側妻面 (AX0 通り) の開口面積  $A_o = (0.8 \times 0.8 + 1.7 \times 2.1) \times 8 + (0.8 \times 2.35) \times 7 + 1.2 \times 2.35 = 49.7 \text{ m}^2$
- ・桁行方向見付け面積  $A = 23.77 \times 13.52 = 321.4 \text{ m}^2$
- ・開口低減係数  $\alpha = (321.4 - 49.7) / 321.4 = 0.85$
- ・東側妻面 (AX8 通り) の開口面積  $A_o = (0.8 \times 0.8 + 1.7 \times 2.1 + 0.8 \times 2.35) \times 7 + 1.2 \times 2.35 + 4.9 \times 2.1 = 55.7 \text{ m}^2$
- ・開口低減係数  $\alpha = (321.4 - 55.7) / 321.4 = 0.83$

桁行方向に於いて津波波力を受ける両妻面はどちらも開口低減係数が 0.7 以上であるため、上記の低減係数算定結果を用いる。ここでは、安全側の評価とするために上記低減係数の大きい方の値である 0.85 を採用し、X方向の正負加力の津波波力とする。

#### 2) 張間方向 (Y方向)

- ・バルコニー側 (AY0 通り) の開口面積  $A_o = (5.0 + 4.2 + 1.7 + 2.4 + 1.9 \times 2 + 0.8 \times 2 + 2.4 + 1.7 + 4.4) \times 2.1 \times 8 + 3.6 \times 2.1 + (0.7 \times 0.8 + 2.1 \times 2.1) \times 7 + 1.4 \times (23.77 - 0.2 \times 8) \times 2 = 561.4 \text{ m}^2$
- ・張間方向見付け面積  $A = 53.98 \times 23.77 = 1283.1 \text{ m}^2$
- ・開口低減係数  $\alpha = (1283.1 - 561.4) / 1283.1 = 0.56$
- ・廊下側 (AY1 通り) の開口面積は窓および扉のみとし、玄関の非構造壁や階段室の壁は構面外ではあるが、波圧を受けるものと考えた。  
 $A_o = (1.9 \times 2.1 \times 2 + 1.0 \times 2.1 \times 8 + 1.6 \times 1.0 \times 3 + 1.7 \times 1.0 + 0.7 \times 1.0 + 2.1 \times 1.0 \times 2 + 1.9 \times 1.0) \times 8 + (3.6 - 1.0 - 1.9) \times 2.1 + 1.4 \times (23.77 - 0.2 \times 8) \times 2 = 368.2 \text{ m}^2$
- ・開口低減係数  $\alpha = (1283.1 - 368.2) / 1283.1 = 0.72$

張間方向に於いて津波波力を受けるバルコニー側では開口低減係数が 0.56 であり 0.7 未満のため 0.7 となるが、廊下側では開口低減係数が 0.72 である。ここでは、安全側の評価とするために、上記低減係数の大きい方の値である 0.72 を用いる。

3) 津波波力による各階せん断力

以下に各方向、各階の津波波力によるせん断力一覧を示す。

表2.1 桁行方向加力時 津波せん断力

階	津波せん断力 $xQ_t$ (kN)			
	① 各階の単位建物幅当たりの波力 (kN/m) *1)	② 建物幅 (m)	③ 開口低減率	$xQ_t$ (kN) =①×②×③+PH
PH	$(41.65+61.05) \times (2.8-0.82)/2=101.7$	$5.3 \times 2$ *2)		1078
8	$(61.05+83.06) \times (2.85/2+0.82)/2=161.8$	13.52	0.85	1859
7	$(110.99+61.05) \times (2.85 \times 1.5+0.82)/2=438.3$	13.52	0.85	5037
6	$(138.92+61.05) \times (2.85 \times 2.5+0.82)/2=794.4$	13.52	0.85	9129
5	$(166.85+61.05) \times (2.85 \times 3.5+0.82)/2=1230.1$	13.52	0.85	14136
4	$(194.78+61.05) \times (2.85 \times 4.5+0.82)/2=1745.4$	13.52	0.85	20058
3	$(222.71+61.05) \times (2.85 \times 5.5+0.82)/2=2340.3$	13.52	0.85	26895
2	$(250.64+61.05) \times (2.85 \times 6.5+0.82)/2=3014.8$	13.52	0.85	34646
1	$(278.57+61.05) \times (2.85 \times 7.5+0.82)/2=3768.9$	13.52	0.85	43313

表2.2 張間方向加力時 津波せん断力

階	津波せん断力 $yQ_t$ (kN)			
	① 各階の単位建物幅当たりの波力 (kN/m) *1)	② 建物幅 (m)	③ 開口低減率	$yQ_t$ (kN) =①×②×③+PH
PH	$(41.65+61.05) \times (2.8-0.82)/2=101.7$	$3.0 \times 2$ *3)		610
8	$(61.05+83.06) \times (2.85/2+0.82)/2=161.8$	53.98	0.72	6287
7	$(110.99+61.05) \times (2.85 \times 1.5+0.82)/2=438.3$	53.98	0.72	17034
6	$(138.92+61.05) \times (2.85 \times 2.5+0.82)/2=794.4$	53.98	0.72	30874
5	$(166.85+61.05) \times (2.85 \times 3.5+0.82)/2=1230.1$	53.98	0.72	47808
4	$(194.78+61.05) \times (2.85 \times 4.5+0.82)/2=1745.4$	53.98	0.72	67836
3	$(222.71+61.05) \times (2.85 \times 5.5+0.82)/2=2340.3$	53.98	0.72	90958
2	$(250.64+61.05) \times (2.85 \times 6.5+0.82)/2=3014.8$	53.98	0.72	117173
1	$(278.57+61.05) \times (2.85 \times 7.5+0.82)/2=3768.9$	53.98	0.72	146482

\*1) 第1項は波圧を、第2項はバラベット上端までの高さを示している。

\*2) X方向のPHの受圧面の幅  $5.3\text{m} \times 2$  箇所

\*3) Y方向のPHの受圧面の幅  $3.0\text{m} \times 2$  箇所

### § 3 浮力の算定

#### 3.1 算定方針

##### (1) 上部構造の設計における浮力

浸水深より下の階ではガラス窓の破壊等により建物内に水が流入して構造体に浮力が働くため、浸水深以下の柱軸力については以下の浮力を考慮する。

- ・浸水深以下の構造体そのものに働く浮力で、躯体体積分の浮力を想定
- ・浸水深以下の床下の空気溜りによる浮力で、(梁せいースラブ厚さ)= $0.75-0.28=0.47\text{m}$ の浮力を想定

##### (2) 杭基礎の設計における浮力

本来は、杭も柱と同様の仮定で検討すべきであるが、杭の設計上、最も危険側になるのは建物内へ水が流入する前に建物の周辺が浸水する状況である。したがって、安全側の仮定として、浸水深以下の建物容積全体の浮力がかかる場合について計算を行った。

なお、6.5 節では、上部構造と同じ考え方の浮力が杭に働くものとしたときの検討も行っている。

#### 3.2 浮力の計算

##### (1) 上部構造の設計における浮力

本設計例では、躯体体積分の浮力を考慮するために、浸水深以下の鉄筋コンクリート重量を水中重量  $14\text{kN/m}^3$  として算定した。また、空気溜りによる浮力については、鉛直上向きの荷重を浸水階の柱梁節点に与えた。

##### (2) 杭基礎の設計における浮力

杭基礎設計時に用いる浮力について、上記(2)の方法で算定した結果を以下に示す。

表 3.1 杭基礎設計用の浮力(kN)

	AX0	AX1	AX2	AX3	AX4	AX5	AX6	AX7	AX8
AY1	-1539	-5468	-5395	-4925	-4028	-4925	-5527	-4998	-962
AY01	-2940								-2352
AY0	-1401	-5468	-5395	-4925	-4028	-4925	-5527	-4998	-1391

## § 4. 耐圧部材の設計

### 4.1 設計方針

外部に面している構造部材は、津波による波力を直接受ける。そこで、外部に配置されている構造耐力上主要な耐力壁と柱について、津波波力を受けたときの検討を行う。このとき、波圧としては、開口部を0とし、開口部以外は2.1節に示す波圧を受けるものとする。

また、漂流物の衝突により耐力壁や柱が損傷する恐れがある。従って、ここでは指針に沿って、外部に面している柱が破壊しても建物全体が崩壊しないこと、すなわち、それらの柱が鉛直支持能力を喪失しても大梁によって隣接する柱へ軸力を伝達できることを確認することとした。

なお、大梁についてはすべてスラブが取りついているので、検討対象外とする。また、スラブについては一部損傷する可能性があるが、建物の水平耐力に直接影響しないこと、および避難階の床は浸水することなく健全であることから、検討対象外とした。

### 4.2 耐力壁の設計

外部に面して配置されている耐力壁は、AX0通りとAX8通りに存在するが、ほぼ同じ形状なので、ここではAX0通りの耐力壁について計算を示す。

設計用応力は、鉛直方向の一方向板とし、その長さは階高として計算する。なお、耐力壁の面外に対する終局強度は、以下によった。

$$Mu=0.9at \cdot \sigma_y \cdot d$$

$$Qsu=fs \cdot b \cdot j$$

ここに、at：壁筋の引張断面積

$\sigma_y$ ：壁筋の降伏強度（=1.1×F）

d：壁厚の有効せい

fs：コンクリートの短期許容せん断応力度

b：壁の幅

j：(7/8)d

#### 1) AX0通りの1階

$$t=500、d=450、j=393$$

$$Fc33 \rightarrow fs=1.23N/mm^2$$

$$\text{上部波圧は2階スラブ上端で、} 27.0 \times 9.8=264.6kN/m^2$$

$$\text{下部波圧は1階スラブ上端で、} 29.85 \times 9.8=292.5kN/m^2$$

長さ 2.85m

$$M=264.6 \times 2.85^2/12 + (292.5 - 264.6) \times 2.85^2/20=190.4kN \cdot m/m$$

$$Q=264.6 \times 2.85/2 + (292.5 - 264.6) \times 2.85 \times 7/20=404.9kN/m$$

壁縦筋 D16D19@100による終局強度は、

$$\begin{aligned} Mu &= 0.9 \times 450 \times \{(199 \times 295 + 287 \times 345)/2\} \times 1.1 \times 1000/100 \times 10^{-6} \\ &= 351.3 kN \cdot m/m > M \rightarrow OK \end{aligned}$$

$$Qsu=1.23 \times 1,000 \times 393 \times 10^{-3}=483kN/m > Q \rightarrow OK$$

2) 同様に 2 階以上についても検討し、以下の断面となる。

- ・ 2 階、 $t=450$ 、縦筋 D16@100 ダブル
- ・ 3 階、 $t=400$ 、縦筋 D16@100 ダブル
- ・ 4 階、 $t=350$ 、縦筋 D13D16@100 ダブル
- ・ 5 階、 $t=350$ 、縦筋 D13D16@100 ダブル
- ・ 6 階、 $t=300$ 、縦筋 D13D16@100 ダブル
- ・ 7 階、 $t=300$ 、縦筋 D13@100 ダブル
- ・ 8 階、 $t=250$ 、縦筋 D13@100 ダブル

#### 4.3 柱の設計

波圧を直接受けて、断面設計の対象となる柱は以下の 8 本である。

- ・ X 方向津波時の、AX0 通りの C1、C9、C17 の 3 本
- ・ -X 方向津波時の、AX8 通りの C8、C16、C18 の 3 本
- ・ Y 方向津波時の、AY0 通りの C9、C16 の 2 本

これらのうち、断面が小さい C17 の計算を以下に示す。

##### 1) X 方向津波時の 1 階の C17

C17 に取り付く Y 方向の壁は耐力壁となっていて、X 方向津波時には波圧を受けるが、耐力壁は前述のように鉛直方向の一方向板として設計している。したがって、柱は耐力壁による反力を受けないものとし、柱幅だけに対する波力に対して検討する。また、柱に生じる応力は、その長さを階高として算定する。このときの柱の波圧および応力は、

$$\text{上部波圧は 2 階スラブ上端で、} 27.0 \times 9.8 = 264.6 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{下部波圧は 1 階スラブ上端で、} 29.85 \times 9.8 = 292.5 \text{ kN/m}^2$$

$$M = (264.6 \times 0.70) \times 2.85^2 / 12 + ((292.5 - 264.6) \times 0.70) \times 2.85^2 / 20 = 133.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Q = (264.6 \times 0.70) \times 2.85 / 2 + ((292.5 - 264.6) \times 0.70) \times 2.85 \times 7 / 20 = 283.4 \text{ kN}$$

一方、C17 の断面は、 $b \times D = 700 \times 600$ 、主筋 24-D25、帯筋  $\square$ D13@100 であり、浮力を受けて小さくなった軸力に対する C17 の終局強度は、 $M_u = 505.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 、 $Q_{su} = 546.0 \text{ kN}$  となっており、津波波力による応力に対して十分に余裕がある。

##### 2) その他の柱

2 階以上の C17 およびその他の柱についても同様の方法で検討し、安全性を確認した。このとき、柱際スリット付きの非構造壁が取り付く柱の個材検討には、非構造壁による波力の影響は考慮していない。

#### 4.4 漂流物に対する検討

外部に面する柱が漂流物により破壊した場合を想定し、その柱軸力が大梁を介して隣接する柱に伝達できるかどうかの検討を行う。本設計例の場合には以下の柱について検討を行い、下記以外の柱は加力方向に耐力壁が付いているので検討対象外とした。

- ・ X 方向津波時の AX0 通りの C1、C9、C17 の 3 本
- ・ -X 方向津波時の AX8 通りの C8、C16、C18 の 3 本
- ・ Y 方向津波時の AY0 通りの C9、C16 の 2 本

なお、本検討が必要な階は、浸水深 15m 以下に存在する 1～6 階である。また、本設計例では 7 階以上の梁による伝達力は期待せず、各階の梁で各階の長期荷重を伝達できるかどうかの検討を行った。

##### 1) C9 柱(AX0・AY0)

C9 柱は隅柱のため、梁による伝達力は隣接する中柱からの片持梁として算定する。本設計例の場合は、X 方向の G7 と Y 方向の G14 について片持梁としての伝達力を算定し、その合計が C9 にかかるその階の長期荷重を上回ることを確認する。

- ・ G7 の伝達力

2～7 階の梁の最小断面は、600×750、上端筋 7-D29、あばら筋□S13@150

長期応力  $M_L=146.0\text{kN}\cdot\text{m}$   $Q_L=103.0\text{kN}$

C9 芯から C10 フェイスまでの長さは 6.42m

G7 の終局強度は、 $M_u=1,355.5\text{kN}\cdot\text{m}$ 、 $Q_{su}=836.4\text{kN}$

$M_u$  と  $M_L$  から、 $Q_{mu}=(1,355.5-146.0)/6.42=188.4\text{kN}$

$Q_{mu}$  と  $(Q_{su}-Q_L)$  の小さいほうとして、 $Q_u=188.4\text{kN}$

- ・ G14 の伝達力

2～7 階の梁の最小断面は、500×750、上端筋 6-D25、あばら筋□S13@150

長期応力  $M_L=82.0\text{kN}\cdot\text{m}$   $Q_L=106.0\text{kN}$

C9 芯から C17 フェイスまでの長さは 4.44m

G14 の終局強度は、 $M_u=885.4\text{kN}\cdot\text{m}$ 、 $Q_{su}=816.2\text{kN}$

$M_u$  と  $M_L$  から、 $Q_{mu}=(885.4-82.0)/4.44=180.9\text{kN}$

$Q_{mu}$  と  $(Q_{su}-Q_L)$  の小さいほうとして、 $Q_u=180.9\text{kN}$

- ・ G7 と G14 の伝達力の合計  $Q_u=188.4+180.9=369.3\text{kN}$

一方、浮力を考慮しない C9 柱の各階の長期荷重は、330.9kN となっており、上記の  $Q_u$  以下となっている。

##### 2) X 方向津波時の C17 柱(AX0・AY01)

C17 柱には無開口の直交耐力壁が取り付いているため、C17 柱が破壊しても直交耐力壁が軸力を支持できるものと考えられる。

##### 3) その他の柱

C16 柱については C9 柱と同様の方法で検討し、長期荷重を大梁によって隣接する柱に

伝達できることを確認した。また、C1 柱、C8 柱、C18 柱については C17 柱と同じ考え方による。

以上から、漂流物の衝突に対して問題ないと判断した。



## § 5. 津波荷重時水平耐力の検討

### 5.1 検討方針

津波荷重時の水平耐力は荷重増分解析により算定し、このとき、外力分布は津波波力による分布形とする。

また、津波荷重は一方向に比較的長い時間作用するために塑性域では変形が進むことが考えられるので、水平耐力は建物剛性がある程度確保されている時点の値とする必要がある。本設計例では、いずれかの部材がせん断破壊した時点、或いはいずれかの層が桁行方向で 1/100、張間方向で 1/200 に達した時点とした。

なお、柱の終局強度算定は、§ 3 に述べた浮力を考慮した柱軸力によっている。また、基礎の支持条件は各柱位置でピン支持とする。

## 5.2 検討結果

### (1) 津波荷重と水平耐力

以下に、津波荷重による層せん断力と水平耐力の比較表を示す。

表5.1 桁行方向の津波せん断力と水平耐力 (X方向加力)

階	津波せん断力 tQ <sub>x</sub> (kN)	水平耐力 tQ <sub>ux</sub> (kN)	余裕度 tQ <sub>ux</sub> /tQ <sub>x</sub>
8	2937	3199	1.09
7	6114	6660	1.09
6	10207	11118	1.09
5	15214	16572	1.09
4	21136	23022	1.09
3	27973	30469	1.09
2	35724	38912	1.09
1	44390	48352	1.09

表5.2 張間方向の津波せん断力と水平耐力 (Y方向加力)

階	津波せん断力 tQ <sub>y</sub> (kN)	水平耐力 tQ <sub>uy</sub> (kN)	余裕度 tQ <sub>uy</sub> /tQ <sub>y</sub>
8	6897	7023	1.02
7	17644	17967	1.02
6	31484	32061	1.02
5	48418	49305	1.02
4	68446	69700	1.02
3	91568	93245	1.02
2	117783	119941	1.02
1	147092	149787	1.02

桁行方向、張間方向ともに水平耐力は津波荷重以上であり、余裕度は桁行方向で 1.09、張間方向で 1.02 である。

なお、桁行方向の水平耐力は層間変形角 1/100 で決定しているが、Q-δ 曲線からも分かるように建物剛性はかなり確保されている。また、張間方向の水平耐力は AX7 通りの 1 階の耐力壁のせん断破壊で決定しているが、Q-δ 曲線からも分かるように建物剛性はかなり確保されている。

(2) Q- $\delta$  曲線

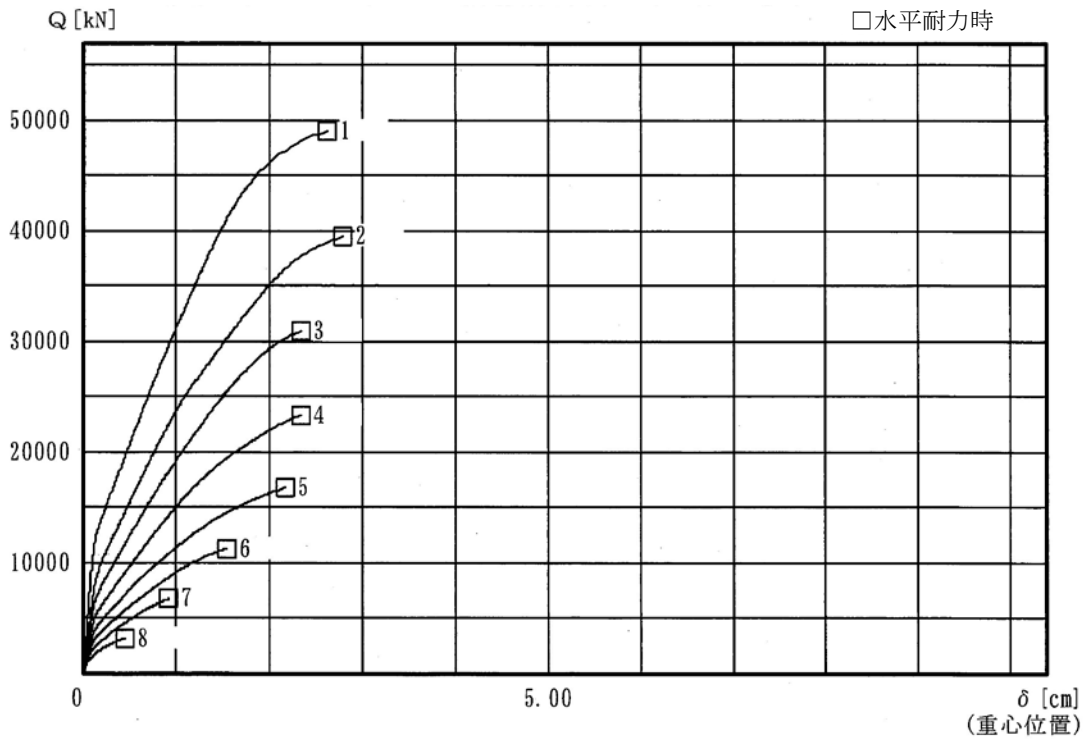


図 5.1 X 方向正加力時 Q- $\delta$  曲線 水平耐力算定時：指定重心層間変形角(1/100)に達した。(STEP=335)

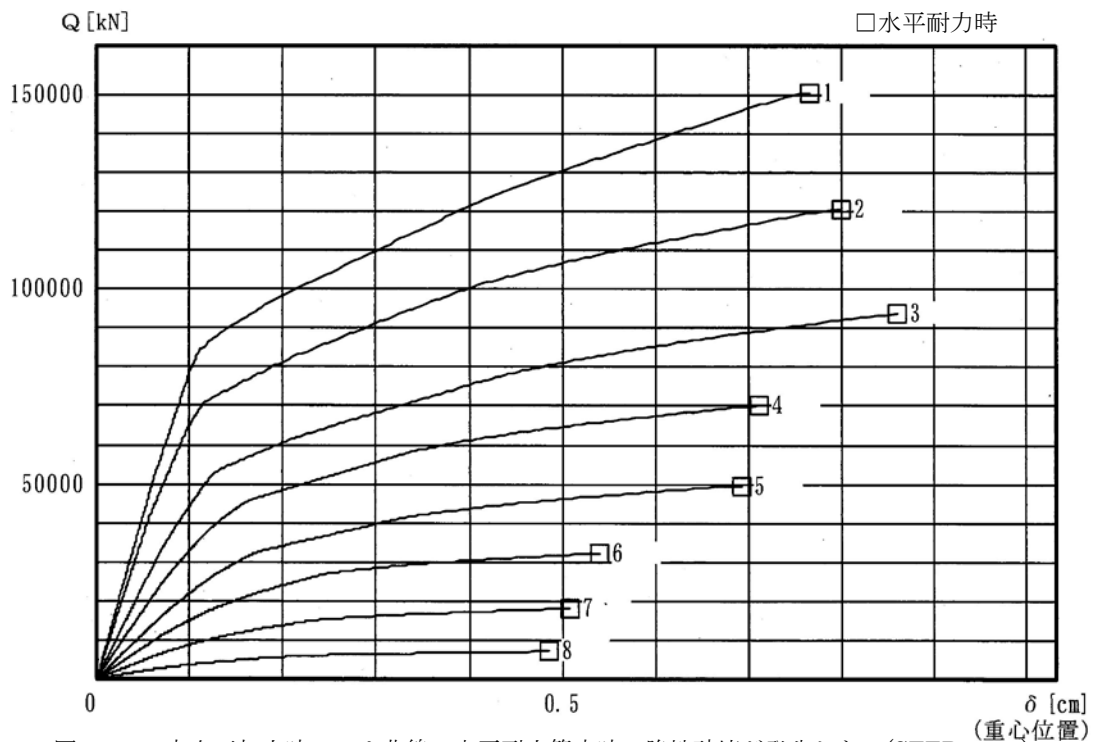


図 5.2 Y 方向正加力時 Q- $\delta$  曲線 水平耐力算定時：脆性破壊が発生した。(STEP=319)

(3) 水平耐力時ヒンジ図

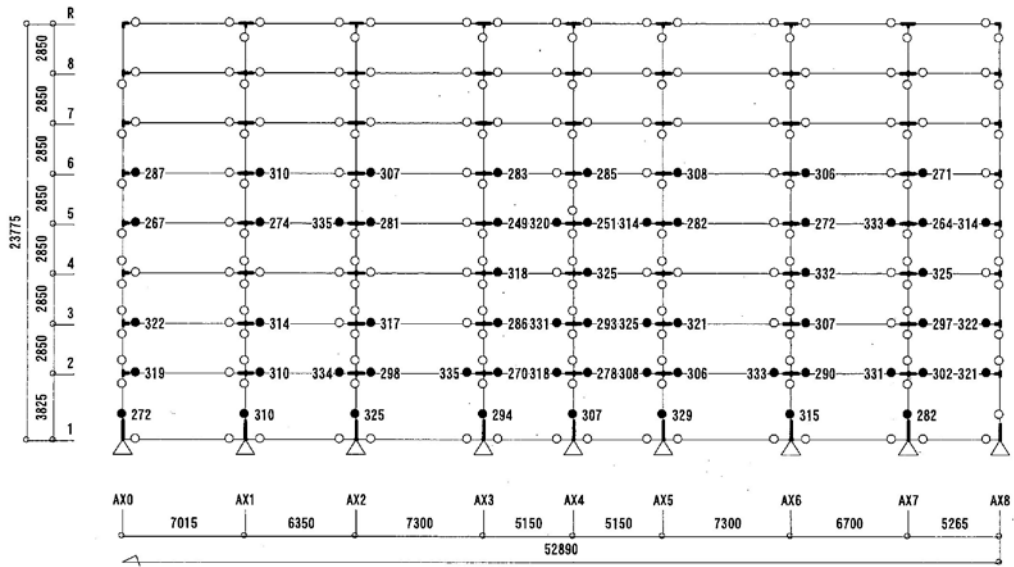


図 5.3 AY0 フレーム X方向正加力

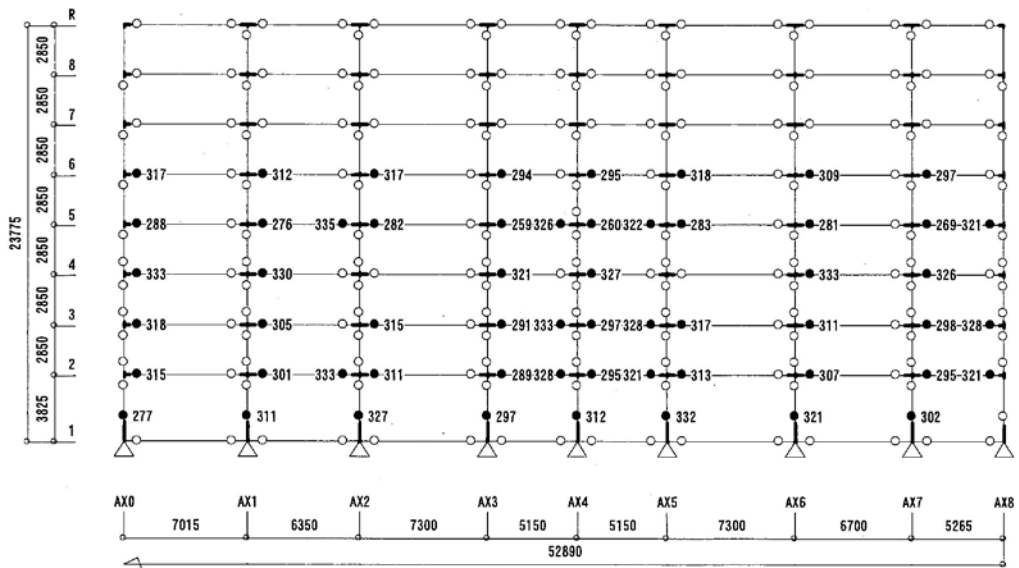


図 5.4 AY1 フレーム X方向正加力

○: 曲げひび割れ	●: 曲げ降伏
△: せん断ひび割れ	▲: せん断破壊
□: 軸ひび割れ	■: 軸降伏

数値は降伏時 STEP を示す。

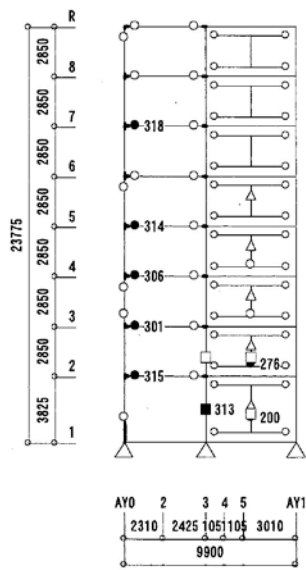


図 5.5 AX0 フレーム Y方向正加力

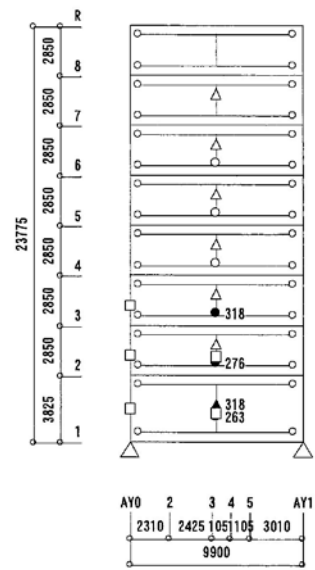


図 5.7 AX7 フレーム Y方向正加力

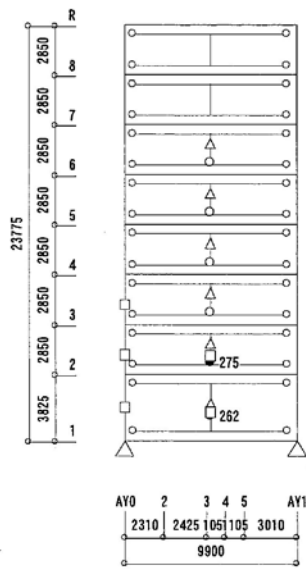


図 5.6 AX1 フレーム Y方向正加力

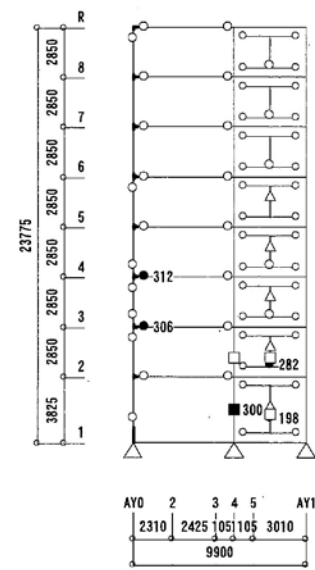


図 5.8 AX8 フレーム Y方向正加力

○: 曲げひび割れ	●: 曲げ降伏
△: せん断ひび割れ	▲: せん断破壊
□: 軸ひび割れ	■: 軸降伏

数値は降伏時 STEP を示す。

## § 6. 基礎の設計

### 6.1 設計方針

杭の終局強度設計を行い、津波荷重による基礎の転倒および滑動に対して安全であることを確認する。また、上部構造および杭から伝達される応力に対して基礎梁が安全であるように設計する。

なお、建物外周の地表面は舗装されていることから、表層地盤が洗掘されることはないと判断した。また、津波によって仕上や積載物が流失することが考えられるが、本設計例においてはその影響が小さいので、流失物による重量低減は考慮しないものとした。

#### (1) 転倒について

津波荷重及び浮力による転倒モーメントを、自重及び杭の引抜抵抗力による転倒限界耐力が上回るように引張杭を設計する。また、このときの圧縮側の杭反力が極限支持力を下回ることを確認する。具体的には、以下の手順によった。

- ① 津波荷重を外力とする荷重増分解析を行い、津波荷重時の支点反力を求める。このときの増分解析は、浮力を考慮しない解析とする。なお、本設計例では1柱2本杭としているが、各柱の位置に支点を設けた解析としている。
- ② 浸水深以下の建物容積分の全浮力を算定し、支配面積で按分した各支点に働く浮力を求める。
- ③ ①+②を各支点の反力とする。
- ④ ③の支点反力に対して、引張杭については杭の極限引抜抵抗力以下に、圧縮杭については杭の極限支持力以下になることを確認する。なお、極限引抜抵抗力は、杭体の引張耐力と杭周面摩擦力の小さいほうとする。

#### (2) 滑動について

杭の水平耐力が津波荷重以上となるように設計する。具体的には、以下の手順によった。

- ⑤ 杭の  $Q$  と  $M$  の関係を得るために、杭頭固定とした「杭-地盤バネ」モデルにより解析する。このとき、杭は弾性とし、1m ピッチに設けた地盤バネは変形量に対応した等価剛性とする。
- ⑥ 使用する杭の  $N-Mu$  曲線を作成する。
- ⑦ ⑥の図において、上記③の支点反力（杭の軸力）に対する  $Mu$  を求める。
- ⑧ ⑦で算定した  $Mu$  に対する  $Q$  を⑤の解析結果から求めると、この値が杭の  $Qmu$  となる。このとき、杭のせん断強度  $Qsu$  が  $Qmu$  を上回ることを確認する。
- ⑨ ⑧では靱性のある杭であることを確認するので、 $Qmu$  を全ての杭について集計したものを杭の水平耐力  $Qu$  とし、 $Qu$  が全津波荷重を上回ることを確認する。

#### (3) 基礎梁の設計

基礎梁は上部構造による応力と杭による応力を累加した応力に対して設計する。本設計例では、上部構造による応力は津波荷重による水平耐力時の応力とし、杭による応力は、津波荷重時の応力相当として、杭の水平耐力時応力を余裕度で除した値とした。これらによる応

力から基礎梁芯位置での応力を算定し、さらに柱フェイス位置に換算したものを基礎梁設計用応力とする。

なお、本設計例では、大口径の杭が密に配置されていることや基礎梁の設計用応力が大きくなることから、パイルキャップを兼用した基礎梁として設計している。

#### (4) 地盤概要

柱状図を以下に示す。なお、本地盤は別途検討により液状化しないことが確認されている。

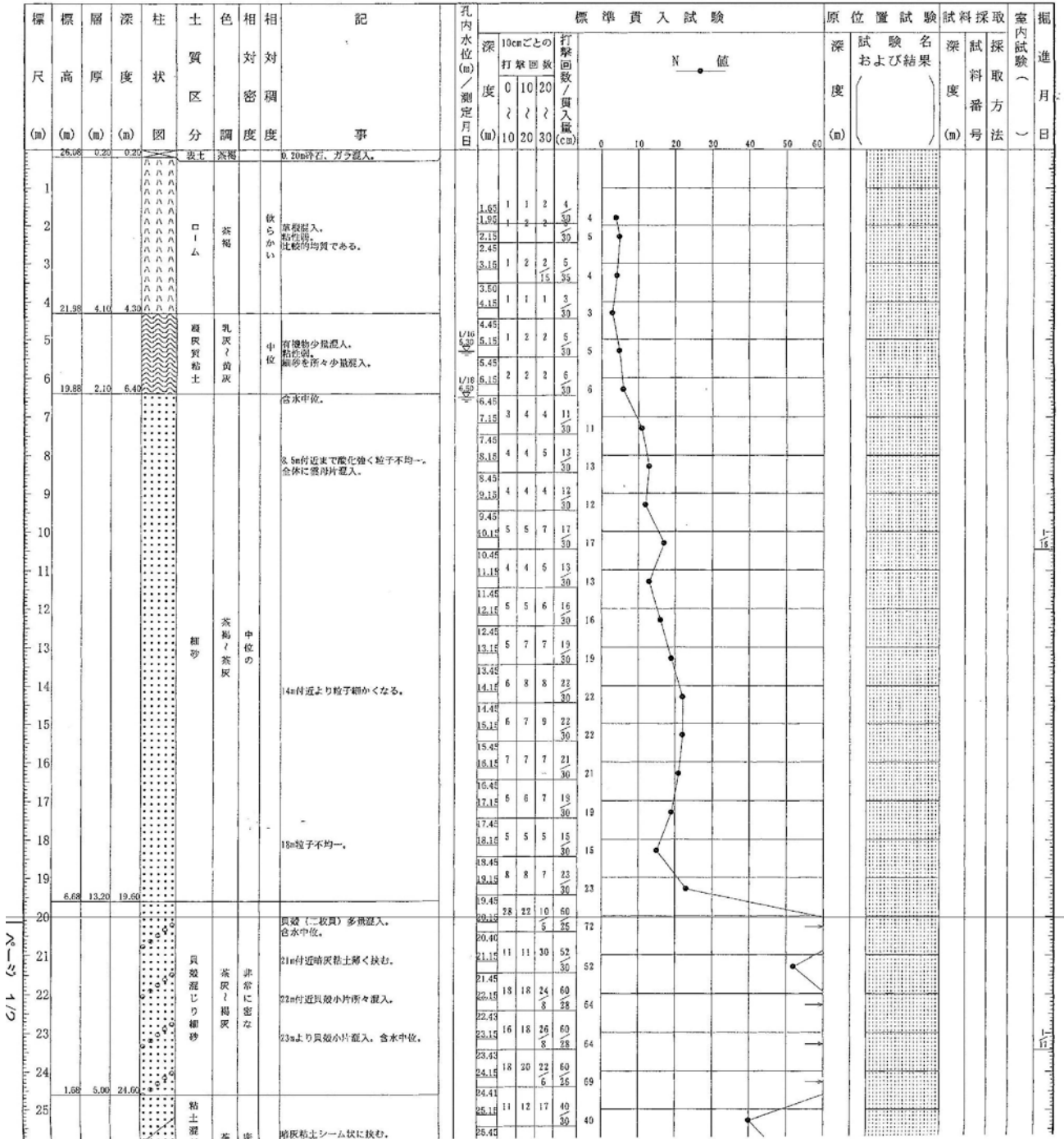


図 6.1 柱状図

## 6.2 転倒に対する検討

### (1) 杭軸力

杭の軸力は、浮力を考慮しない増分解析による津波荷重時の支点反力と、建物内部に水が浸入しない場合の浮力の和とする。浮力算定用の水深は浸水深である 15m とする。以下に杭軸力一覧を示す。

表 6.1 浮力と支点反力と杭軸力

杭No. *1)	位置		浮力 (kN)	津波荷重時支点反力 (kN)				杭軸力 (kN)			
				X正	X負	Y正	Y負	X正	X負	Y正	Y負
1	AY0	AX0	-1401	-1092	6900	-669	6211	-2493	5499	-2070	4810
②	AY0	AX1	-5468	4980	5918	-15814	26897	-244	225	-10641	10714
③	AY0	AX2	-5395	6448	4920	-16112	27682	526	-238	-10754	11143
④	AY0	AX3	-4925	2719	7937	-16391	27146	-1103	1506	-10658	11111
⑤	AY0	AX4	-4028	4308	4378	-16682	26046	140	175	-10355	11009
⑥	AY0	AX5	-4925	7952	2804	-16453	27220	1514	-1060	-10689	11148
⑦	AY0	AX6	-5527	5242	6409	-16267	28068	-142	441	-10897	11270
⑧	AY0	AX7	-4998	2949	6884	-16175	26390	-1025	943	-10587	10696
9	AY0	AX8	-1391	8918	-3283	-792	5824	7527	-4673	-2183	4434
10	AY1	AX0	-1539	-815	6415	16630	-10242	-2354	4876	15091	-11781
⑪	AY1	AX1	-5468	5363	6491	27870	-15875	-53	511	11201	-10672
⑫	AY1	AX2	-5395	6833	5396	27852	-15926	719	1	11229	-10661
⑬	AY1	AX3	-4925	3094	8299	27318	-16188	-915	1687	11197	-10556
⑭	AY1	AX4	-4028	4728	4694	26153	-16575	350	333	11062	-10301
⑮	AY1	AX5	-4925	8428	3121	27392	-16253	1752	-902	11234	-10589
⑯	AY1	AX6	-5527	5921	6608	28353	-16016	197	541	11413	-10772
⑰	AY1	AX7	-4998	3622	7347	27778	-16249	-688	1175	11390	-10623
18	AY1	AX8	-962	7062	-3008	14247	-9833	6100	-3969	13285	-10795
19	AY0-1	AX0	-2940	1650	4177	-8032	12972	-1290	1237	-10972	10032
20	AY0-1	AX8	-2352	4729	730	-7166	11742	2377	-1622	-9518	9390

\*1)杭 No.を○付きで示した箇所は 2 本杭を示し、杭軸力は杭 1 本当たりの軸力を示している。

### (2) 支持力、引抜抵抗力の検討

#### 1) 極限支持力の検討

杭の極限支持力は次のうち最小の値とする。

- ・地盤条件による終局鉛直支持力
- ・杭材の圧縮強度による終局鉛直支持力

#### i) 地盤条件による終局鉛直支持力

表 6.2 地盤による終局鉛直支持力

杭符号	軸径 (mm)	拡底径 (mm)	長さ (m)	先端支持力 (kN)	周面摩擦力 (kN)	杭自重 (kN)	終局鉛直 支持力(kN)
P1	2000	2000	25	22591	12706	1885	33412
P2	2000	2000	27	22591	13962	2036	34518



ii) 杭材の圧縮強度による終局鉛直支持力

表 6.3 杭材による終局鉛直支持力

杭符号	軸径 (mm)	断面積 (m <sup>2</sup> )	Fc (N/mm <sup>2</sup> )	終局鉛直 支持力(kN)
P1,P2	2000	3.14	27	56549

以上より極限支持力を下表とする。

表 6.4 杭の極限支持力

杭符号	終局鉛直支持力 (kN)		極限支持力 (kN)
	i	ii	
P1	33412	56549	33412
P2	34518	56549	34518

2) 引抜抵抗力

引抜抵抗力は、杭の周面摩擦と杭自重の和とする。このとき、杭自重は水中重量とする。

表 6.5 杭の引抜抵抗力

杭符号	軸径 (mm)	長さ (m)	周面摩擦力 (kN)	杭自重 (kN)	引抜抵抗力 (kN)
P1	2000	25	10165	1100	11264
P2	2000	27	11170	1188	12358

なお、RCに切り替わる位置での杭主筋による引張耐力は 16422kN となっており、引抜抵抗力は上記の値で決定される。

3) 杭軸力と極限支持力、引抜抵抗力の比較

表 6.6 杭軸力と極限支持力および引抜抵抗力

杭No.	位置		杭符号	圧縮最大軸力 (kN)	極限鉛直支持力		引張最大軸力 (kN)	引抜抵抗力	
					(kN)	余裕度		(kN)	余裕度
1	AY0	AX0	P1	5499	33412	6.08	-2493	-11264	4.52
②	AY0	AX1	P1	10714	33412	3.12	-10641	-11264	1.06
③	AY0	AX2	P1	11143	33412	3.00	-10754	-11264	1.05
④	AY0	AX3	P1	11111	33412	3.01	-10658	-11264	1.06
⑤	AY0	AX4	P1	11009	33412	3.03	-10355	-11264	1.09
⑥	AY0	AX5	P1	11148	33412	3.00	-10689	-11264	1.05
⑦	AY0	AX6	P1	11270	33412	2.96	-10897	-11264	1.03
⑧	AY0	AX7	P1	10696	33412	3.12	-10587	-11264	1.06
9	AY0	AX8	P1	7527	33412	4.44	-4673	-11264	2.41
10	AY1	AX0	P2	15091	34518	2.29	-11781	-12358	1.05
⑪	AY1	AX1	P1	11201	33412	2.98	-10672	-11264	1.06
⑫	AY1	AX2	P1	11229	33412	2.98	-10661	-11264	1.06
⑬	AY1	AX3	P1	11197	33412	2.98	-10556	-11264	1.07
⑭	AY1	AX4	P1	11062	33412	3.02	-10301	-11264	1.09
⑮	AY1	AX5	P1	11234	33412	2.97	-10589	-11264	1.06
⑯	AY1	AX6	P1	11413	33412	2.93	-10772	-11264	1.05
⑰	AY1	AX7	P1	11390	33412	2.93	-10623	-11264	1.06
18	AY1	AX8	P1	13285	33412	2.51	-10795	-11264	1.04
19	AY0-1	AX0	P1	10032	33412	3.33	-10972	-11264	1.03
20	AY0-1	AX8	P1	9390	33412	3.56	-9518	-11264	1.18

\*1)杭 No.を○付きで示した箇所は 2 本杭を示し、杭軸力は杭 1 本当たりの軸力を示している。

### 6.3 滑動に対する検討

以下に検討結果一覧を示す。

表6.7 X方向 正加力 Qmu

杭 No.	位置	軸力 (kN)	Mu (kN・m)	1本当たり Qmu(kN)	Σ Qmu (kN)
1	AY0 AX0	-2493	24232	4885	4885
②	AY0 AX1	-244	25476	5102	10204
③	AY0 AX2	526	25855	5168	10336
④	AY0 AX3	-1103	25001	5020	10041
⑤	AY0 AX4	140	25676	5137	10273
⑥	AY0 AX5	1514	26314	5249	10497
⑦	AY0 AX6	-142	25532	5112	10223
⑧	AY0 AX7	-1025	25045	5028	10055
9	AY0 AX8	7527	28770	5670	5670
10	AY1 AX0	-2354	24309	4899	4899
⑪	AY1 AX1	-53	25582	5120	10241
⑫	AY1 AX2	719	25945	5184	10367
⑬	AY1 AX3	-915	25105	5038	10076
⑭	AY1 AX4	350	25774	5154	10307
⑮	AY1 AX5	1752	26424	5268	10536
⑯	AY1 AX6	197	25703	5141	10282
⑰	AY1 AX7	-688	25231	5059	10119
18	AY1 AX8	6100	28245	5580	5580
19	AY0-1 AX0	-1290	24898	5003	5003
20	AY0-1 AX8	2377	26706	5316	5316
合計	(杭の水平耐力)				174909

表6.8 X方向 負加力 Qmu

杭 No.	位置	軸力 (kN)	Mu (kN・m)	1本当たり Qmu(kN)	Σ Qmu (kN)
1	AY0 AX0	5499	28008	5539	5539
②	AY0 AX1	225	25716	5143	10287
③	AY0 AX2	-238	25480	5103	10205
④	AY0 AX3	1506	26310	5248	10496
⑤	AY0 AX4	175	25692	5139	10279
⑥	AY0 AX5	-1060	25025	5024	10049
⑦	AY0 AX6	441	25816	5161	10322
⑧	AY0 AX7	943	26049	5202	10404
9	AY0 AX8	-4673	23026	4674	4674
10	AY1 AX0	4876	27762	5497	5497
⑪	AY1 AX1	511	25848	5167	10333
⑫	AY1 AX2	1	25611	5125	10251
⑬	AY1 AX3	1687	26394	5263	10526
⑭	AY1 AX4	333	25766	5152	10304
⑮	AY1 AX5	-902	25113	5039	10079
⑯	AY1 AX6	541	25862	5169	10338
⑰	AY1 AX7	1175	26156	5221	10442
18	AY1 AX8	-3969	23416	4742	4742
19	AY0-1 AX0	1237	26185	5226	5226
20	AY0-1 AX8	-1622	24714	4971	4971
合計	(杭の水平耐力)				174963

表6.9 Y方向 正加力 Qmu

杭 No.	位置	軸力 (kN)	Mu (kN・m)	1本当たり Qmu(kN)	Σ Qmu (kN)
1	AY0 AX0	-2070	24467	4927	4927
②	AY0 AX1	-10641	19443	4035	8069
③	AY0 AX2	-10754	19365	4021	8041
④	AY0 AX3	-10658	19431	4033	8065
⑤	AY0 AX4	-10355	19640	4071	8142
⑥	AY0 AX5	-10689	19410	4029	8057
⑦	AY0 AX6	-10897	19266	4002	8005
⑧	AY0 AX7	-10587	19480	4042	8083
9	AY0 AX8	-2183	24404	4916	4916
10	AY1 AX0	15091	31031	6056	6056
⑪	AY1 AX1	11201	29985	5877	11754
⑫	AY1 AX2	11229	29993	5879	11757
⑬	AY1 AX3	11197	29983	5877	11754
⑭	AY1 AX4	11062	29944	5870	11741
⑮	AY1 AX5	11234	29994	5879	11758
⑯	AY1 AX6	11413	30046	5888	11775
⑰	AY1 AX7	11390	30040	5887	11773
18	AY1 AX8	13285	30574	5978	5978
19	AY0-1 AX0	-10972	19215	3993	3993
20	AY0-1 AX8	-9518	20218	4175	4175
合計	(杭の水平耐力)				168819

表6.10 Y方向 負加力 Qmu

杭 No.	位置	軸力 (kN)	Mu (kN・m)	1本当たり Qmu(kN)	Σ Qmu (kN)
1	AY0 AX0	4810	27736	5493	5493
②	AY0 AX1	10714	29843	5853	11706
③	AY0 AX2	11143	29968	5874	11749
④	AY0 AX3	11111	29958	5873	11745
⑤	AY0 AX4	11009	29929	5868	11735
⑥	AY0 AX5	11148	29969	5875	11749
⑦	AY0 AX6	11270	30005	5881	11761
⑧	AY0 AX7	10696	29838	5852	11704
9	AY0 AX8	4434	27588	5467	5467
10	AY1 AX0	-11781	18656	3892	3892
⑪	AY1 AX1	-10672	19422	4031	8062
⑫	AY1 AX2	-10661	19429	4032	8065
⑬	AY1 AX3	-10556	19502	4045	8091
⑭	AY1 AX4	-10301	19677	4078	8155
⑮	AY1 AX5	-10589	19479	4041	8083
⑯	AY1 AX6	-10772	19353	4018	8036
⑰	AY1 AX7	-10623	19455	4037	8074
18	AY1 AX8	-10795	19337	4015	4015
19	AY0-1 AX0	10032	29623	5815	5815
20	AY0-1 AX8	9390	29412	5780	5780
合計	(杭の水平耐力)				169177

杭体のせん断強度の確認を以下に示す。

鋼管コンクリート部分の杭体1本当たりのせん断強度

$$Q_{su} = sA/2 \times 1.1 \times sfs + 3/4 \times cA \times cfs$$

$$= (37454 \times 1.1 \times 188 + 3/4 \times 3065092 \times 0.855) / 1000 = 9711 \text{ kN}$$

したがって、杭体のせん断強度  $Q_{su}$  は上表の各杭の  $Q_{mu}$  を十分に上回っている。

また、RCに切り替わる部分のせん断強度は2014kNであり、その位置のせん断力902kNを十分に上回っている。

以下に、各加力方向に於ける津波波力と杭の水平耐力の比較を示す。なお、ここに示す津波波力は建物水平耐力計算時の1階のせん断力に、1階下半分の波力\*1)を加えた値である。

表 6.11 津波波力と杭の水平耐力

方向	津波波力 (kN)	杭の水平耐力 (kN)	余裕度
X 正加力	49572	174909	3.53
X 負加力	49572	174963	3.53
Y 正加力	164616	168819	1.03
Y 負加力	164616	169177	1.03

\*1) 1階下半分の波力は、

$$X \text{ 方向} = (294.00 + 278.57) \times (2.85/2 + 0.15) / 2 \times 13.52 \times 0.85 = 5182 \text{ kN}$$

$$Y \text{ 方向} = (294.00 + 278.57) \times (2.85/2 + 0.15) / 2 \times 53.98 \times 0.72 = 17524 \text{ kN}$$

## 6.4 基礎梁の設計

基礎梁の設計については桁行方向 AY0 通りの AX2～AX3 間の FG9 と、張間方向では AX0 通りの AY0～AY01 間の FG14 について計算を示す。

### 1) FG9 の設計

2 本杭の杭頭モーメントを基礎梁に直接伝達できるように、基礎梁幅を 4,000mm とする。

$$b \times D = 4000 \times 3000, \quad d = 2650$$

主筋 18-D32 (SD390)

STP 6-D16@100

$F_c 30 \text{N/mm}^2$

#### ① 上部構造からの応力 (曲げモーメントは柱フェイス位置)

柱芯からフェイスまでの距離は  $\ell' = 1.2 / 2 = 0.6 \text{ m}$  とする。

$${}_b Q = 1023 \text{ kN}$$

$${}_b M = 3946 - 1023 \times 0.6 = 3332 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

#### ② 杭からの応力

・杭頭応力

AX2 通り

$$Q_{OL} = 10336 \text{ kN}$$

$$M_{OL} = 25855 \times 2 = 51710 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

AX3 通り

$$Q_{OR} = 10041 \text{ kN}$$

$$M_{OR} = 25001 \times 2 = 50002 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

・基礎梁芯位置の杭の応力

津波荷重時の杭の水平耐力の余裕度 3.53 で除した値として算出する。杭頭から基礎梁芯までの距離は  $2.65 / 2 + 0.1 = 1.425 \text{ m}$  とする。

AX2 通り

$$Q_L = 10336 / 3.53 = 2928 \text{ kN}$$

$$M_L = 51710 / 3.53 + 2928 \times 1.425 \\ = 18821 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

AX3 通り

$$Q_R = 10041 / 3.53 = 2844 \text{ kN}$$

$$M_R = 50002 / 3.53 + 2844 \times 1.425 \\ = 18218 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

・基礎梁に生じる応力 (曲げモーメントは柱フェイス位置)

杭頭の曲げモーメントは AX2 通り、AX3 通りともに取り合う左右の基礎梁で半分ずつ負担するものとして、基礎梁に生じる応力を算定する。基礎梁長は  $L = 7.3 \text{ m}$  とする。

$${}_p Q = (M_L + M_R) / 2 / L = (18821 + 18218) / 2 / 7.3 = 2537 \text{ kN}$$

$${}_p M = \max[M_L, M_R] / 2 - {}_p Q \cdot \ell' = 18821 / 2 - 2537 \times 0.6 = 7888 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

#### ③ 設計用応力

$$M = {}_b M + {}_p M = 3332 + 7888 = 11220 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$Q = {}_b Q + {}_p Q = 1023 + 2537 = 3560 \text{ kN}$$

#### ④ 断面算定

曲げ： 終局曲げ強度  $M_u = 0.9 \times 18 \times 794 \times 390 \times 1.1 \times 2650 / 10^6 = 14623 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$$M / M_u = 11220 / 14623 = 0.77 < 1.0$$

せん断： 終局せん断強度  $Q_{su}$

$$p_t = 18 \times 794 / (4000 \times 2650) \times 100 = 0.135 \%$$

$$p_w = 199 \times 6 / 100 / 4000 = 0.00298$$

$$M / (Q \cdot d) = 11220 / (3560 \times 2.65) = 1.19$$

$$Q_{su} = \{0.068 \times 0.135^{0.23} \times (30 + 18) / (1.19 + 0.12) + 0.85 \times (0.00298 \times 295)^{1/2}\} \\ \times 4000 \times 7 / 8 \times 2650 / 1000 = 21972 \text{ kN}$$

$$Q / Q_{su} = 3560 / 21972 = 0.16 < 1.0 \rightarrow \text{十分なせん断余裕度がある}$$

2) FG14 の設計

$$b \times D = 2400 \times 3000, \quad d = 2650$$

主筋 42-D32 (SD390)

STP 4-D16@100

$F_c 30 \text{ N/mm}^2$

- ① 上部構造からの応力 (曲げモーメントはフェイス位置)  
 柱芯からフェイスまでの距離は  $\ell' = 1.2 / 2 = 0.6 \text{ m}$  とする。  
 ${}_b Q = 940 \text{ kN}$   
 ${}_b M = 3666 - 940 \times 0.6 = 3102 \text{ kN} \cdot \text{m}$

② 杭からの応力

・杭頭応力

AY0 通り

$$Q_{OL} = 5493 \text{ kN}$$

$$M_{OL} = 27736 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

AY01 通り

$$Q_{OR} = 5815 \text{ kN}$$

$$M_{OR} = 29623 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

・基礎梁芯位置の杭の応力

津波荷重時の杭の水平耐力の余裕度 1.03 で除した値として算出する。杭頭から基礎梁芯までの距離は  $2.65 / 2 + 0.1 = 1.425 \text{ m}$  とする。

AY0 通り

$$Q_L = 5493 / 1.03 = 5333 \text{ kN}$$

$$M_L = 27736 / 1.03 + 5333 \times 1.425 \\ = 34528 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

AY01 通り

$$Q_R = 5815 / 1.03 = 5646 \text{ kN}$$

$$M_R = 29623 / 1.03 + 5646 \times 1.425 \\ = 36806 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

・基礎梁に生じる応力 (曲げモーメントは柱フェイス位置)

杭頭の曲げモーメントは AY0 通り側は片側のみ基礎梁が取り合うので当該基礎梁で 100% 負担し、他端は左右の基礎梁で半分ずつ負担するものとして基礎梁に生じる応力を算定する。基礎梁長は  $L = 4.785 \text{ m}$  とする。

$${}_p Q = (M_L + M_R / 2) / L = (34528 + 36806 / 2) / 4.785 = 11062 \text{ kN}$$

$${}_p M = \max[M_L, M_R / 2] - {}_p Q \cdot \ell' = 34528 - 11062 \times 0.6 = 27891 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ 設計用応力

$$M = {}_b M + {}_p M = 3102 + 27891 = 30993 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Q = {}_b Q + {}_p Q = 940 + 11062 = 12002 \text{ kN}$$

④ 断面算定

曲げ： 終局曲げ強度  $M_u = 0.9 \times 42 \times 794 \times 390 \times 1.1 \times 2650 / 10^6 = 34121 \text{ kN} \cdot \text{m}$   
 $M / M_u = 30993 / 34121 = 0.91 < 1.0$

せん断： せん断強度  $Q_{su}$

$$p_t = 42 \times 794 / (2400 \times 2650) \times 100 = 0.524 \quad \%$$

$$p_w = 199 \times 4 / 100 / 2400 = 0.0033$$

$$M / (Q \cdot d) = 30993 / (12002 \times 2.65) = 0.97 \rightarrow 1.00$$

$$Q_{su} = \{0.068 \times 0.524^{0.23} \times (30+18) / (1.00+0.12) + 0.85 \times (0.0033 \times 295)^{1/2}\} \\ \times 2400 \times 7 / 8 \times 2650 / 1000 = 18645 \text{ kN}$$

$$Q / Q_{su} = 12002 / 18645 = 0.64 < 1.0 \rightarrow \text{十分なせん断余裕度がある}$$

## 6.5 水流入を考慮した浮力の場合の検討

ここでは、建物に水が流入した場合の浮力を想定した杭の検討結果を示す。杭断面は、既  
に示した建物容積分の浮力が生じた場合と同一とし、杭の余裕度がどの程度変化するかを示  
すこととする。以下に、津波荷重時の杭軸力を示すが、これらの値は§5の浮力を考慮した  
荷重増分解析による各支点反力を採用している。

表 6.12 設計用杭軸力

杭No.	位置		杭軸力 (kN)			
			X正	X負	Y正	Y負
1	AY0	AX0	-1786	6282	-1869	5743
②	AY0	AX1	1576	1964	-8803	12593
③	AY0	AX2	2331	1523	-8948	12888
④	AY0	AX3	499	3077	-9009	12620
⑤	AY0	AX4	1365	1399	-9092	12240
⑥	AY0	AX5	3085	542	-9004	12635
⑦	AY0	AX6	1687	2275	-8920	12951
⑧	AY0	AX7	556	2571	-8776	12346
9	AY0	AX8	8342	-3887	-1852	5336
10	AY1	AX0	-1651	5654	15464	-11584
⑪	AY1	AX1	1714	2289	13037	-8807
⑫	AY1	AX2	2482	1759	12968	-8844
⑬	AY1	AX3	673	3257	12682	-8917
⑭	AY1	AX4	1543	1525	12276	-9047
⑮	AY1	AX5	3311	676	12702	-8926
⑯	AY1	AX6	2007	2339	13041	-8823
⑰	AY1	AX7	876	2733	12913	-8841
18	AY1	AX8	6585	-3538	13579	-10772
19	AY0-1	AX0	623	3137	-8348	11904
20	AY0-1	AX8	3949	-30	-7633	10716

以下に、杭軸力と極限支持力、引抜抵抗力の比較を示す。なお、余裕度の（ ）内数値は  
建物容積分の浮力を考慮した場合の結果を示す。

表 6.13 杭軸力と鉛直支持力および引抜抵抗力

杭 No.	位置		杭符号	圧縮最大 軸力(kN)	極限鉛直支持力		引張最大 軸力(kN)	引抜抵抗力	
					(kN)	余裕度		(kN)	余裕度
1	AY0	AX0	P1	6282	33412	5.32 ( 6.08 )	-1869	-11264	6.03 ( 4.52 )
②	AY0	AX1	P1	12593	33412	2.65 ( 3.12 )	-8803	-11264	1.28 ( 1.06 )
③	AY0	AX2	P1	12888	33412	2.59 ( 3.00 )	-8948	-11264	1.26 ( 1.05 )
④	AY0	AX3	P1	12620	33412	2.65 ( 3.01 )	-9009	-11264	1.25 ( 1.06 )
⑤	AY0	AX4	P1	12240	33412	2.73 ( 3.03 )	-9092	-11264	1.24 ( 1.09 )
⑥	AY0	AX5	P1	12635	33412	2.64 ( 3.00 )	-9004	-11264	1.25 ( 1.05 )
⑦	AY0	AX6	P1	12951	33412	2.58 ( 2.96 )	-8920	-11264	1.26 ( 1.03 )
⑧	AY0	AX7	P1	12346	33412	2.71 ( 3.12 )	-8776	-11264	1.28 ( 1.06 )
9	AY0	AX8	P1	8342	33412	4.01 ( 4.44 )	-3887	-11264	2.90 ( 2.41 )
10	AY1	AX0	P2	15464	34518	2.23 ( 2.39 )	-11584	-12358	1.07 ( 1.05 )
⑪	AY1	AX1	P1	13037	33412	2.56 ( 2.98 )	-8807	-11264	1.28 ( 1.06 )
⑫	AY1	AX2	P1	12968	33412	2.58 ( 2.98 )	-8844	-11264	1.27 ( 1.06 )
⑬	AY1	AX3	P1	12682	33412	2.63 ( 2.98 )	-8917	-11264	1.26 ( 1.07 )
⑭	AY1	AX4	P1	12276	33412	2.72 ( 3.02 )	-9047	-11264	1.25 ( 1.09 )
⑮	AY1	AX5	P1	12702	33412	2.63 ( 2.97 )	-8926	-11264	1.26 ( 1.06 )
⑯	AY1	AX6	P1	13041	33412	2.56 ( 2.93 )	-8823	-11264	1.28 ( 1.05 )
⑰	AY1	AX7	P1	12913	33412	2.59 ( 2.93 )	-8841	-11264	1.27 ( 1.06 )
18	AY1	AX8	P1	13579	33412	2.46 ( 2.51 )	-10772	-11264	1.05 ( 1.04 )
19	AY0-1	AX0	P1	11904	33412	2.81 ( 3.33 )	-8348	-11264	1.35 ( 1.03 )
20	AY0-1	AX8	P1	10716	33412	3.12 ( 3.56 )	-7633	-11264	1.48 ( 1.18 )

次に、各杭の Mu、Qmu を示す。

表6.14 X方向 正加力 Qmu

杭 No.	位置	軸力 (kN)	Mu (kN・m)	1本当たり Qmu(kN)	Σ Qmu (kN)
1	AY0 AX0	-1786	24623	4955	4955
②	AY0 AX1	1576	26343	5254	10508
③	AY0 AX2	2331	26687	5312	10625
④	AY0 AX3	499	25843	5166	10331
⑤	AY0 AX4	1365	26245	5237	10473
⑥	AY0 AX5	3085	27012	5368	10735
⑦	AY0 AX6	1687	26394	5263	10526
⑧	AY0 AX7	556	25869	5170	10340
9	AY0 AX8	8342	29064	5720	5720
10	AY1 AX0	-1651	24698	4969	4969
⑪	AY1 AX1	1714	26407	5265	10530
⑫	AY1 AX2	2482	26752	5323	10647
⑬	AY1 AX3	673	25924	5180	10360
⑭	AY1 AX4	1543	26327	5251	10502
⑮	AY1 AX5	3311	27110	5384	10769
⑯	AY1 AX6	2007	26543	5288	10576
⑰	AY1 AX7	876	26018	5196	10393
18	AY1 AX8	6585	28429	5611	5611
19	AY0-1 AX0	623	25900	5176	5176
20	AY0-1 AX8	3949	27386	5432	5432
合計 (杭の水平耐力)				179179	

表6.15 X方向 負加力 Qmu

杭 No.	位置	軸力 (kN)	Mu (kN・m)	1本当たり Qmu(kN)	Σ Qmu (kN)
1	AY0 AX0	6282	28317	5592	5592
②	AY0 AX1	1964	26523	5285	10570
③	AY0 AX2	1523	26318	5249	10499
④	AY0 AX3	3077	27009	5367	10734
⑤	AY0 AX4	1399	26260	5239	10479
⑥	AY0 AX5	542	25863	5169	10338
⑦	AY0 AX6	2275	26662	5308	10617
⑧	AY0 AX7	2571	26790	5330	10660
9	AY0 AX8	-3887	23461	4749	4749
10	AY1 AX0	5654	28069	5549	5549
⑪	AY1 AX1	2289	26668	5309	10619
⑫	AY1 AX2	1759	26428	5269	10538
⑬	AY1 AX3	3257	27087	5380	10761
⑭	AY1 AX4	1525	26319	5250	10499
⑮	AY1 AX5	676	25925	5180	10360
⑯	AY1 AX6	2339	26690	5313	10626
⑰	AY1 AX7	2733	26860	5342	10683
18	AY1 AX8	-3538	23654	4783	4783
19	AY0-1 AX0	3137	27035	5371	5371
20	AY0-1 AX8	-30	25595	5123	5123
合計 (杭の水平耐力)				179150	

表6.16 Y方向 正加力 Qmu

杭 No.	位置	軸力 (kN)	Mu (kN・m)	1本当たり Qmu(kN)	Σ Qmu (kN)
1	AY0 AX0	-1869	24577	4947	4947
②	AY0 AX1	-8803	20712	4262	8524
③	AY0 AX2	-8948	20611	4244	8489
④	AY0 AX3	-9009	20569	4237	8474
⑤	AY0 AX4	-9092	20512	4227	8453
⑥	AY0 AX5	-9004	20573	4237	8475
⑦	AY0 AX6	-8920	20631	4248	8496
⑧	AY0 AX7	-8776	20730	4265	8531
9	AY0 AX8	-1852	24587	4949	4949
10	AY1 AX0	15464	31113	6069	6069
⑪	AY1 AX1	13037	30510	5967	11934
⑫	AY1 AX2	12968	30492	5964	11928
⑬	AY1 AX3	12682	30416	5951	11902
⑭	AY1 AX4	12276	30298	5931	11862
⑮	AY1 AX5	12702	30422	5952	11904
⑯	AY1 AX6	13041	30511	5967	11934
⑰	AY1 AX7	12913	30478	5961	11923
18	AY1 AX8	13579	30649	5991	5991
19	AY0-1 AX0	-8348	20994	4312	4312
20	AY0-1 AX8	-7633	21389	4383	4383
合計 (杭の水平耐力)				173478	

表6.17 Y方向 負加力 Qmu

杭 No.	位置	軸力 (kN)	Mu (kN・m)	1本当たり Qmu(kN)	Σ Qmu (kN)
1	AY0 AX0	5743	28104	5555	5555
②	AY0 AX1	12593	30390	5946	11893
③	AY0 AX2	12888	30471	5960	11921
④	AY0 AX3	12620	30398	5948	11896
⑤	AY0 AX4	12240	30287	5929	11858
⑥	AY0 AX5	12635	30402	5949	11897
⑦	AY0 AX6	12951	30488	5963	11926
⑧	AY0 AX7	12346	30318	5934	11869
9	AY0 AX8	5336	27944	5528	5528
10	AY1 AX0	-11584	18792	3916	3916
⑪	AY1 AX1	-8807	20709	4262	8523
⑫	AY1 AX2	-8844	20683	4257	8514
⑬	AY1 AX3	-8917	20633	4248	8496
⑭	AY1 AX4	-9047	20543	4232	8464
⑮	AY1 AX5	-8926	20627	4247	8494
⑯	AY1 AX6	-8823	20698	4260	8519
⑰	AY1 AX7	-8841	20685	4258	8515
18	AY1 AX8	-10772	19352	4018	4018
19	AY0-1 AX0	11904	30189	5912	5912
20	AY0-1 AX8	10716	29843	5853	5853
合計 (杭の水平耐力)				173570	

杭体のせん断強度の確認を以下に示す。

鋼管コンクリート部分の杭体 1 本当たりのせん断強度

$$Q_{su} = sA/2 \times 1.1 \times sfs + 3/4 \times cA \times cfs$$

$$= (37454 \times 1.1 \times 188 + 3/4 \times 3065092 \times 0.855) / 1000 = 9711 \text{ kN}$$

したがって、杭体のせん断強度  $Q_{su}$  は上表の各杭の  $Q_{mu}$  を十分に上回っている。

また、RCに切り替わる部分のせん断強度は 2014kN であり、その位置のせん断力 905kN を十分に上回っている。

以下に、各加力方向に於ける津波波力と杭の水平耐力の比較を示す。なお、( ) 内数値は建物容積分の浮力を考慮した場合の結果を示す。

表 6.18 津波波力と杭の水平耐力

方向	津波波力 (kN)	杭の水平耐力 (kN)	余裕度
X 正加力	49572	179179 (174909)	3.61 (3.53)
X 負加力	49572	179150 (174963)	3.61 (3.53)
Y 正加力	164616	173478 (168819)	1.05 (1.03)
Y 負加力	164616	173570 (169177)	1.05 (1.03)



## § 7. 耐震設計概要

### 7.1 解析方針

荷重増分解析により必要保有水平耐力および保有水平耐力を算定する。地震力は建築基準法施行令第 88 条に基づく  $A_i$  分布を基本とし、各階の層せん断力は  $Q_i = C_i \times W_i$  により算出し、地域係数  $Z=1.0$ 、地盤種別は第 2 種地盤、 $C_o=1.0$  とする。

$D_s$  は、桁行方向(X 方向)ではいずれかの層が  $1/33$  の層間変形角に達した時点、張間方向(Y 方向)ではいずれかの層が  $1/50$  の層間変形角に達した時点で判定するが、せん断破壊が発生した場合は当該方向のすべての層の  $D_s$  を  $0.55$  とする。保有水平耐力はいずれかの部材がせん断破壊した時点、または、いずれかの層が、桁行方向では  $1/100$ 、張間方向では  $1/200$  の層間変形角に達した時点とする。

なお、基礎の支持条件は各柱位置でピン支持とする。

### 7.2 必要保有水平耐力の算定

#### (1) 算定方針

本設計例で想定する 2 種類の水平外力である地震荷重と津波荷重を比較すると、下階ほど津波荷重が地震荷重より大きくなっている。建物の構造設計は両方の外力に対して行っているため、地震荷重のみの場合よりも下階の部材断面や配筋が大きくなっている。そのため、 $A_i$  分布による荷重増分解析では、上階には崩壊形が形成されるが、下階には降伏ヒンジが発生しない。したがって、 $D_s$  算定時には、 $A_i$  分布による外力分布のほかに、全体の崩壊形を確認する目的で  $A_i$  分布とは異なる外力分布も採用している。具体的には、 $D_s$  の値を想定して必要保有水平耐力  $Q_{un}$  を算出し、 $Q_{un}$  と津波荷重を包絡する分布(以下、包絡分布という)とした。X 方向の  $D_s$  は  $0.3$ 、Y 方向の  $D_s$  は  $0.55$  を想定して上記の考え方にに基づき算出した外力分布を以下に示す。

表 7.1 X 方向外力分布

階	$Q_{ud}$ (kN)	$D_s$	必要保有水平耐力 $xQ_{un}$ (kN)	津波せん断力 $xQ_t$ (kN)	包絡分布
8	18183	0.3	5455	2937	5455
7	29576	0.3	8873	6114	8873
6	39528	0.3	11858	10207	11858
5	48389	0.3	14517	15214	15214
4	56341	0.3	16902	21136	21136
3	63711	0.3	19113	27973	27973
2	70146	0.3	21044	35724	35724
1	75511	0.3	22653	44390	44390

表 7.2 Y 方向外力分布

階	$Q_{ud}$ (kN)	$D_s$	必要保有水平耐力 $yQ_{un}$ (kN)	津波せん断力 $yQ_t$ (kN)	包絡分布
8	18183	0.55	10001	6897	10001
7	29576	0.55	16267	17644	17644
6	39528	0.55	21740	31484	31484
5	48389	0.55	26614	48418	48418
4	56341	0.55	30987	68446	68446
3	63711	0.55	35041	91568	91568
2	70146	0.55	38580	117783	117783
1	75511	0.55	41531	147092	147092

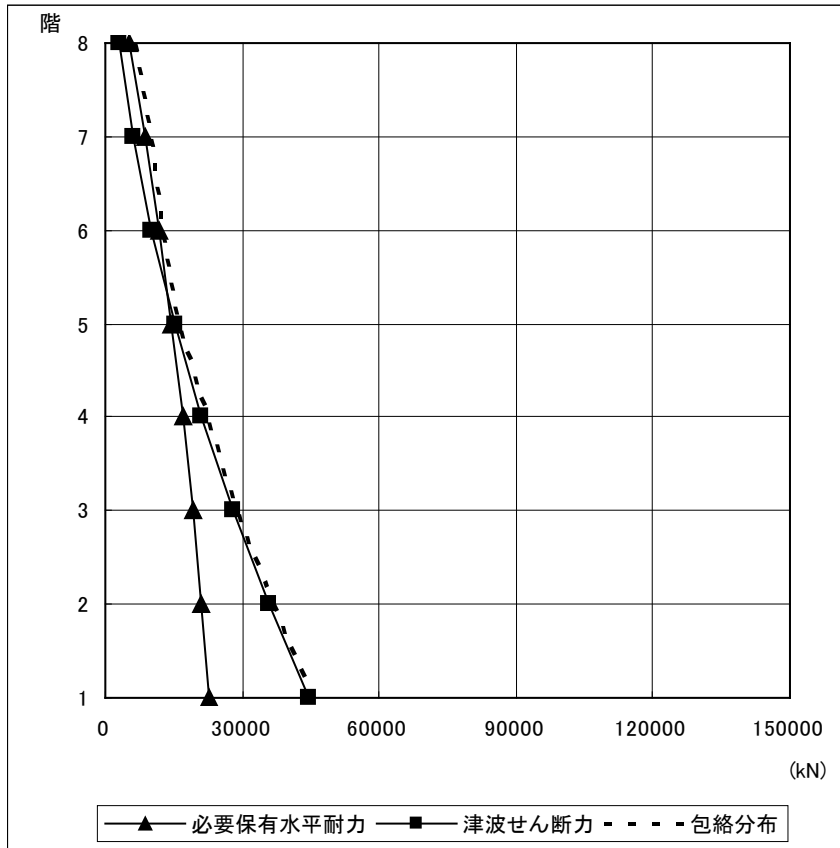


图 7.1 X 方向外力分布

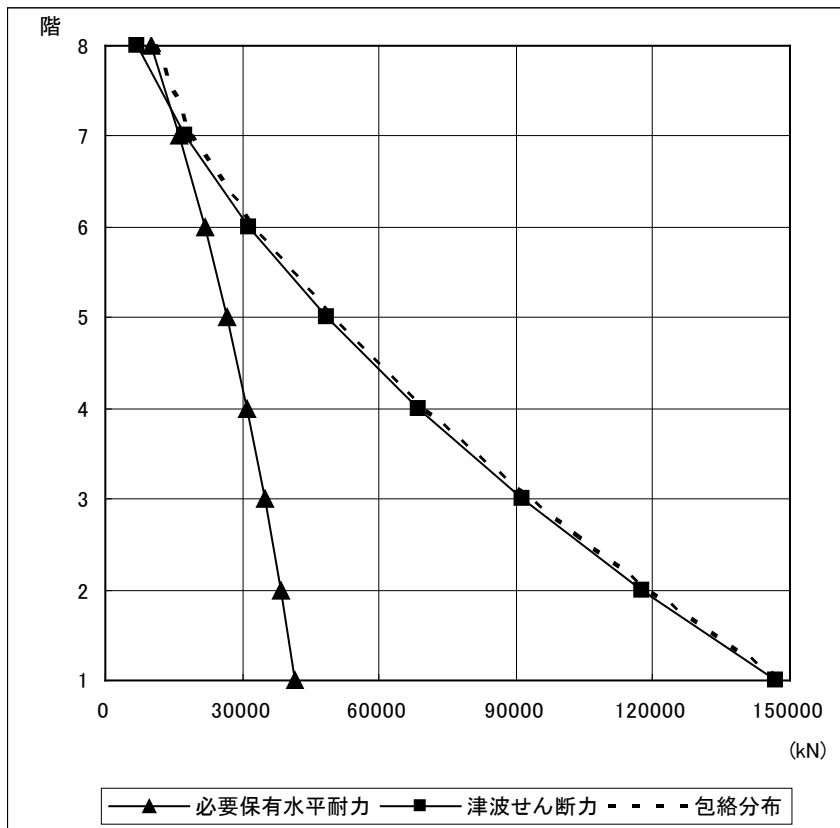


图 7.2 Y 方向外力分布

(2) Ai 分布時の解析結果 (Ds 算定用)

X 方向では 4 階以上に崩壊形が形成されているが、津波荷重に対して補強した 1~3 階には降伏ヒンジすら発生していない。また、Y 方向では 1 階と 2 階の耐力壁が曲げ降伏した後、5 階の耐力壁がせん断破壊している。

1) Q- $\delta$  曲線

X 方向正加力 Ds算定時：指定重心層間変形角 (1/33) に達した。(最終STEP=131)

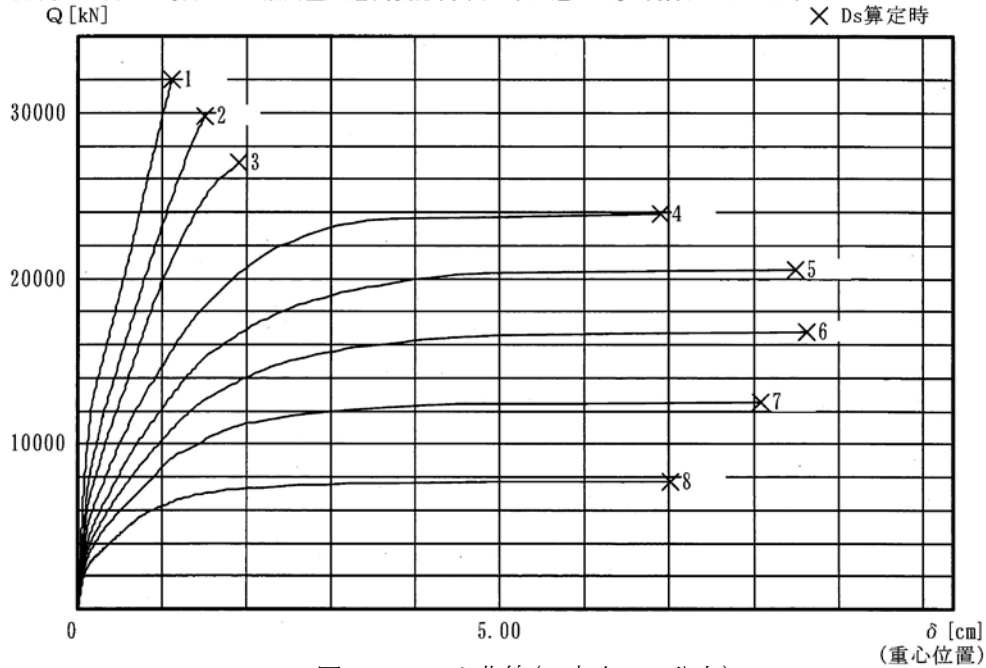


図 7.3 Q- $\delta$  曲線 (X 方向、Ai 分布)

Y 方向正加力 Ds算定時：脆性破壊が発生した。(最終STEP=444)

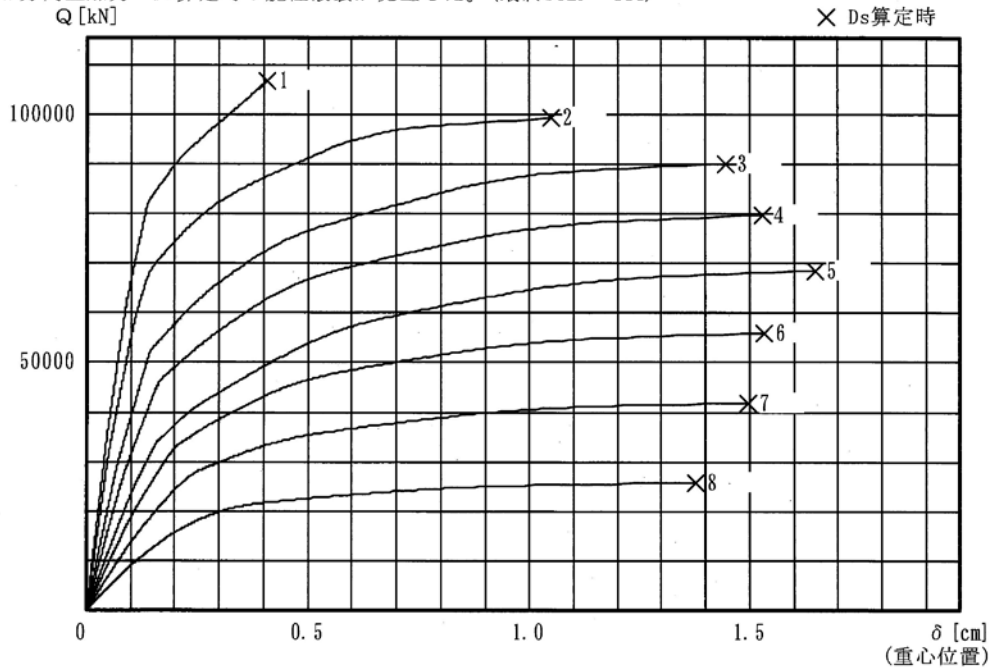


図 7.4 Q- $\delta$  曲線 (Y 方向、Ai 分布)

2) ヒンジ図

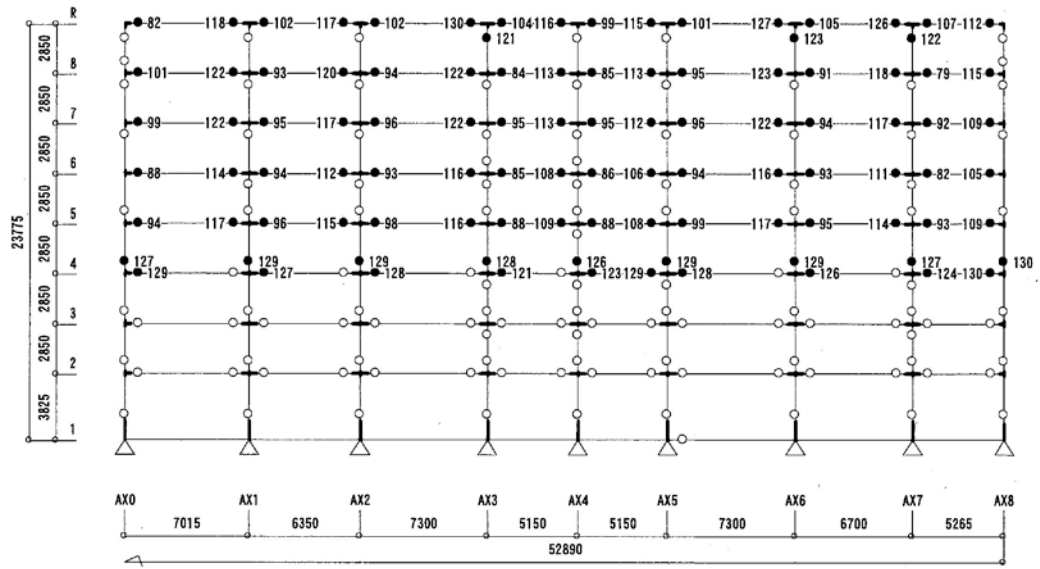


図 7.5 AY0 フレーム X方向正加力 Ai 分布

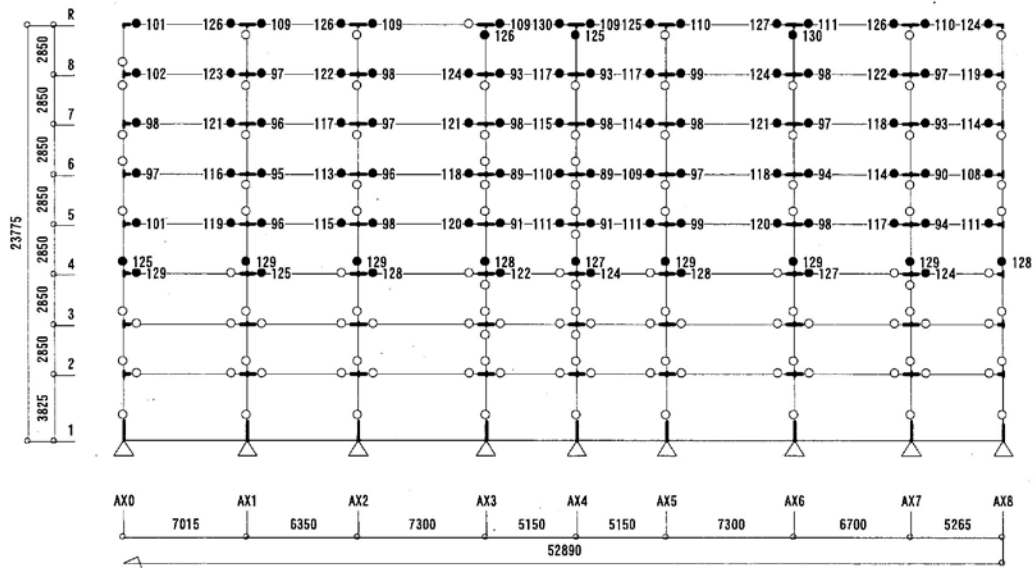


図 7.6 AY1 フレーム X方向正加力 Ai 分布

○: 曲げひび割れ ●: 曲げ降伏  
 △: せん断ひび割れ ▲: せん断破壊  
 □: 軸ひび割れ ■: 軸降伏  
 数値は降伏時 STEP を示す。

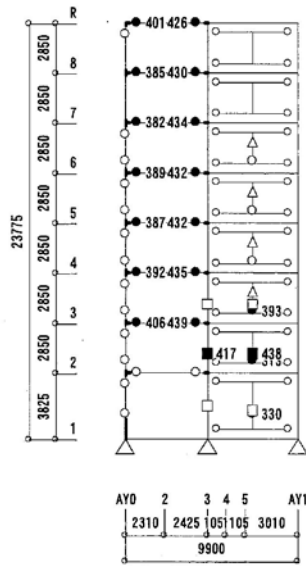


図 7.7 AX0 フレーム Y 方向正加力  $A_i$  分布

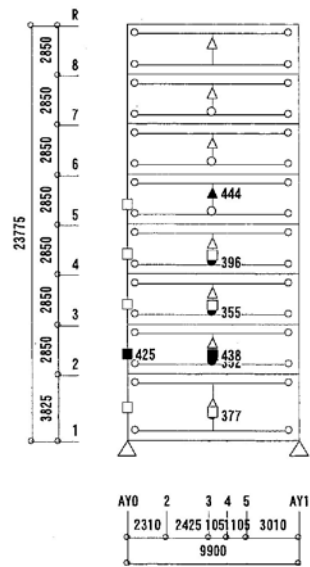


図 7.9 AX7 フレーム Y 方向正加力  $A_i$  分布

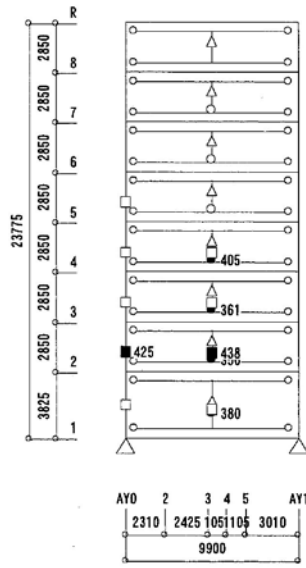


図 7.8 AX1 フレーム Y 方向正加力  $A_i$  分布

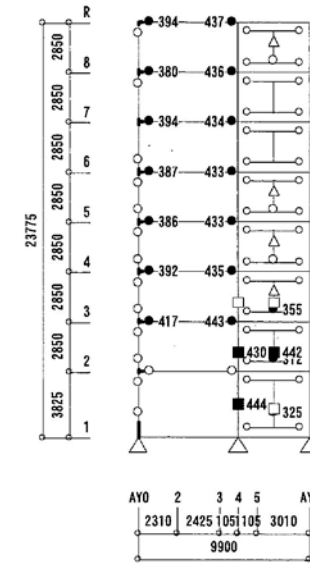


図 7.10 AX8 フレーム Y 方向正加力  $A_i$  分布

○: 曲げひび割れ	●: 曲げ降伏
△: せん断ひび割れ	▲: せん断破壊
□: 軸ひび割れ	■: 軸降伏

数値は降伏時 STEP を示す。

(3) 包絡分布時の解析結果 (Ds 算定用)

X方向では全体崩壊形が形成されている。また、Y方向では1階の耐力壁の一部が曲げ降伏した後、1階の別の耐力壁がせん断破壊している。

1) Q- $\delta$  曲線

X方向正加力 Ds算定時：指定重心層間変形角(1/33)に達した。(最終STEP=364)

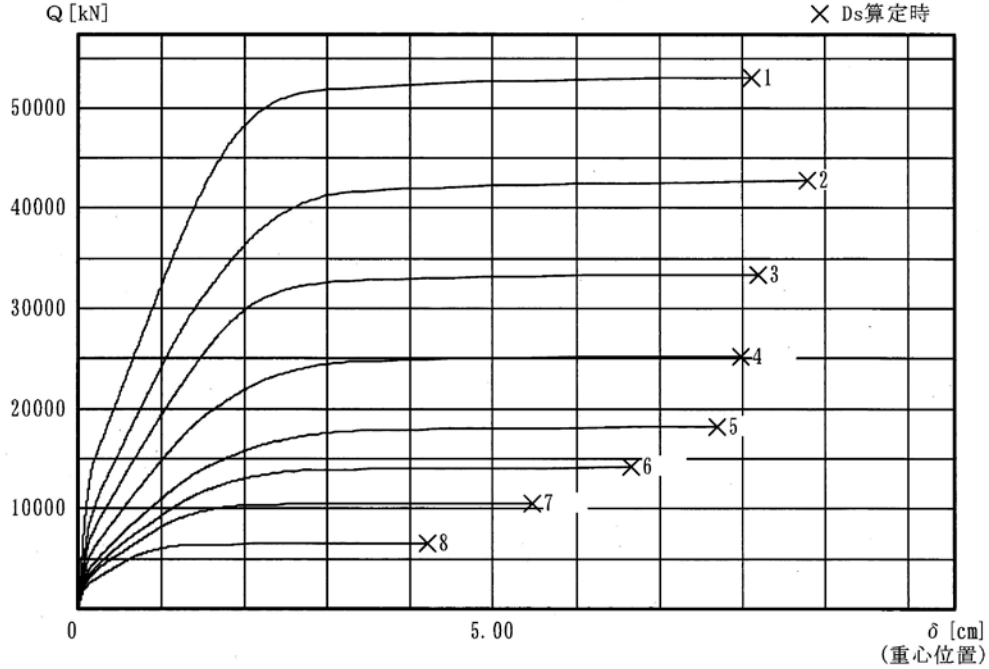


図 7.11 Q- $\delta$  曲線(X方向、包絡分布)

Y方向正加力 Ds算定時：脆性破壊が発生した。(最終STEP=320)

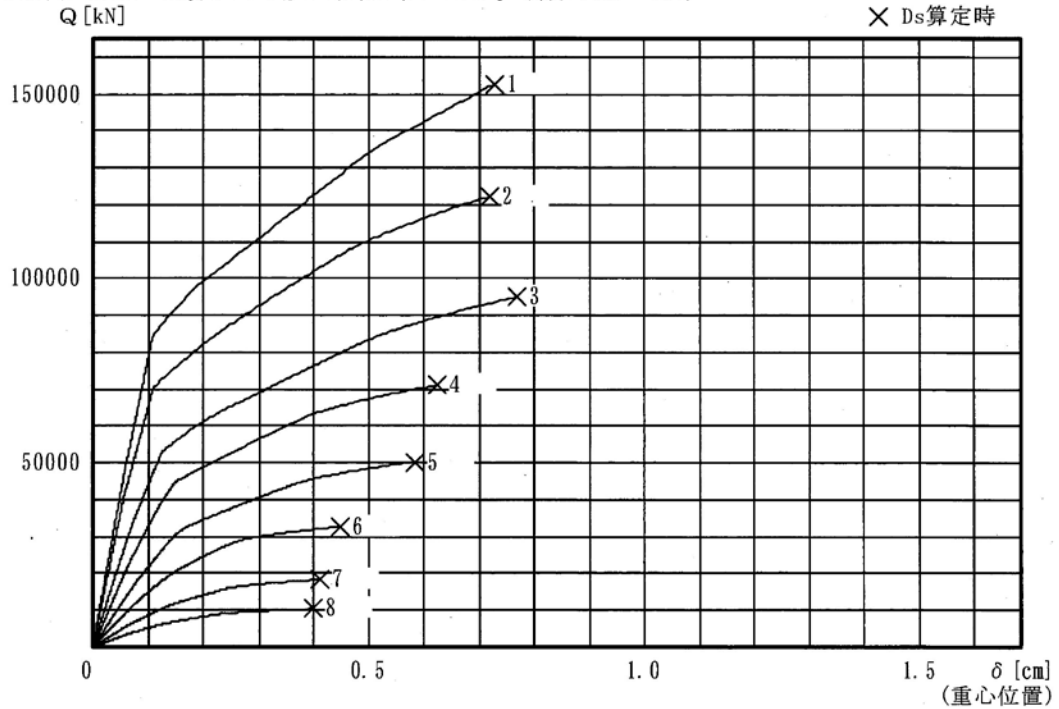


図 7.12 Q- $\delta$  曲線(Y方向、包絡分布)

2) ヒンジ図

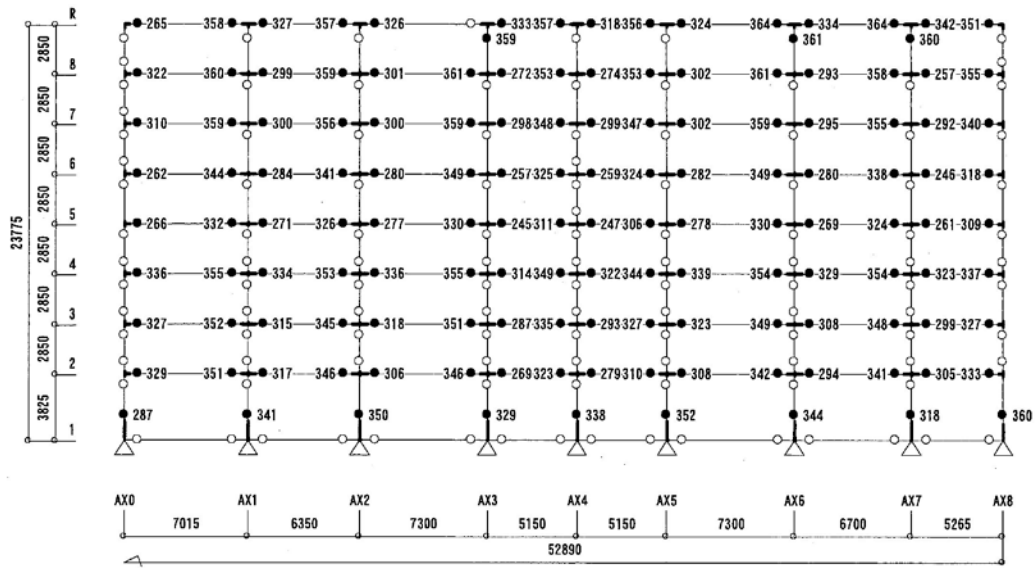


図 7.13 AY0 フレーム X方向正加力 包絡分布

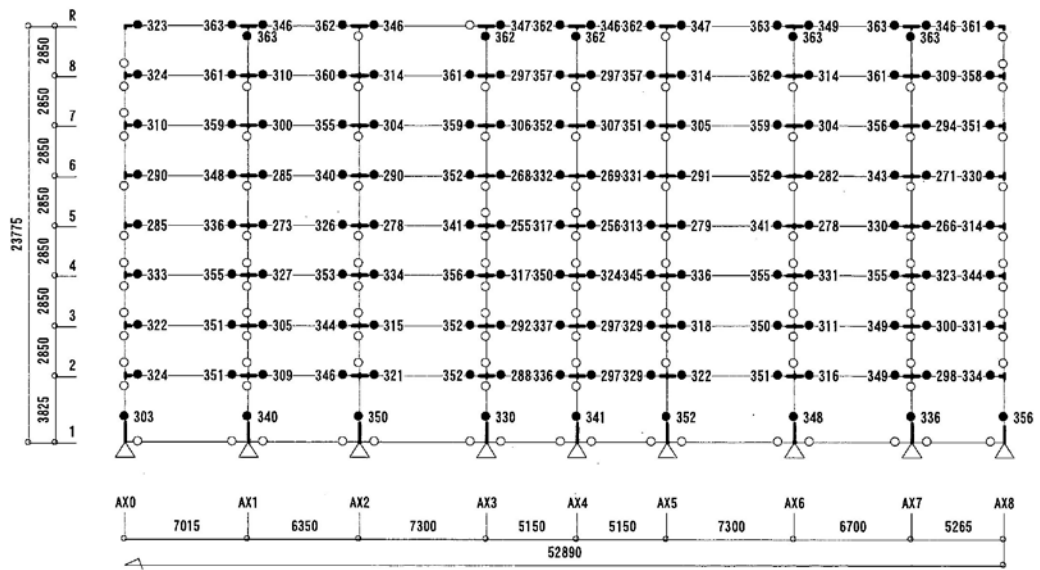


図 7.14 AY1 フレーム X方向正加力 包絡分布

○: 曲げひび割れ	●: 曲げ降伏
△: せん断ひび割れ	▲: せん断破壊
□: 軸ひび割れ	■: 軸降伏

数値は降伏時 STEP を示す。

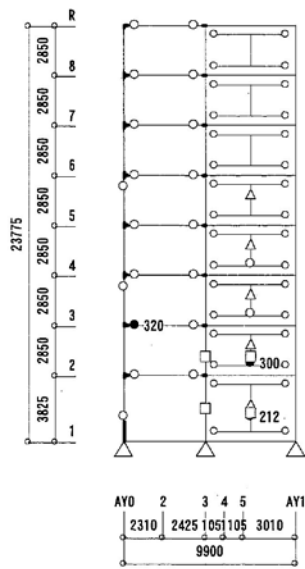


図 7.15 AX0 フレーム Y 方向正加力 包絡分布

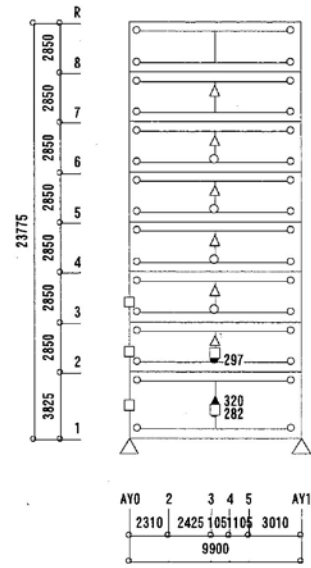


図 7.17 AX7 フレーム Y 方向正加力 包絡分布

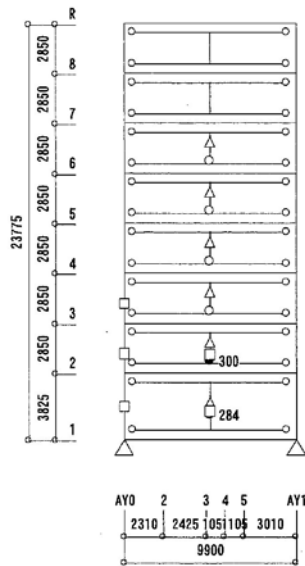


図 7.16 AX1 フレーム Y 方向正加力 包絡分布

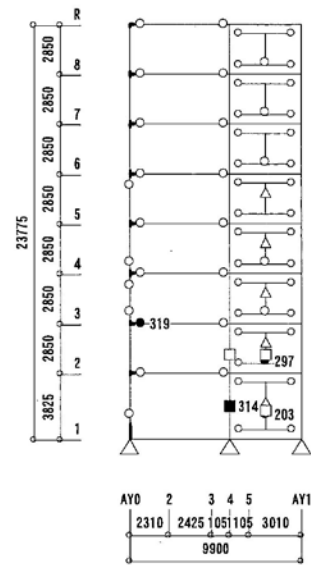


図 7.18 AX8 フレーム Y 方向正加力 包絡分布

○: 曲げひび割れ      ●: 曲げ降伏  
 △: せん断ひび割れ    ▲: せん断破壊  
 □: 軸ひび割れ        ■: 軸降伏  
 数値は降伏時 STEP を示す。



#### (4) $D_s$ の決定

以上のように、 $A_i$  分布の場合と包絡分布の場合とで崩壊形がかなり異なる。

X方向については、 $A_i$  分布では全体崩壊形が確認できなかったが、包絡分布では全体崩壊形が確認でき、いずれの場合もせん断破壊が発生せず、 $D_s=0.30$  となることを確認した。

Y方向については、 $A_i$  分布の場合も包絡分布の場合も一部の耐力壁が曲げ降伏した後、他の耐力壁にせん断破壊が発生するので、全階で  $D_s=0.55$  とした。

### 7.3 保有水平耐力の算定

#### (1) 必要保有水平耐力と保有水平耐力

外力分布は  $A_i$  分布とする。

表 7.3 必要保有水平耐力、保有水平耐力比較表  
(X方向正加力時)

Ds 算定時：指定重心層間変形角(1/33)に達した。  
保有水平耐力時：指定重心層間変形角(1/100)に達した。

階	Ds	Fe	Fs	Fes	Qud [kN]	Qun [kN]	Qu [kN]	Qu/Qun	判定
8	0.30	1.000	1.000	1.000	18183.4	5455.0	7020.9	1.28	OK
7	0.30	1.000	1.000	1.000	29575.6	8872.7	11419.6	1.28	OK
6	0.30	1.000	1.000	1.000	39527.6	11858.3	15262.3	1.28	OK
5	0.30	1.000	1.000	1.000	48389.0	14516.7	18683.8	1.28	OK
4	0.30	1.000	1.000	1.000	56340.9	16902.2	21754.1	1.28	OK
3	0.30	1.000	1.000	1.000	63710.8	19113.2	24599.8	1.28	OK
2	0.30	1.000	1.000	1.000	70146.0	21043.8	27084.5	1.28	OK
1	0.30	1.000	1.000	1.000	75510.6	22653.1	29155.9	1.28	OK

表 7.4 必要保有水平耐力、保有水平耐力比較表  
(X方向負加力時)

Ds 算定時：指定重心層間変形角(1/33)に達した。  
保有水平耐力時：指定重心層間変形角(1/100)に達した。

階	Ds	Fe	Fs	Fes	Qud [kN]	Qun [kN]	Qu [kN]	Qu/Qun	判定
8	0.30	1.000	1.000	1.000	18183.4	5455.0	7036.9	1.28	OK
7	0.30	1.000	1.000	1.000	29575.6	8872.7	11445.7	1.28	OK
6	0.30	1.000	1.000	1.000	39527.6	11858.3	15297.0	1.28	OK
5	0.30	1.000	1.000	1.000	48389.0	14516.7	18726.4	1.28	OK
4	0.30	1.000	1.000	1.000	56340.9	16902.2	21803.7	1.28	OK
3	0.30	1.000	1.000	1.000	63710.8	19113.2	24655.9	1.28	OK
2	0.30	1.000	1.000	1.000	70146.0	21043.8	27146.3	1.28	OK
1	0.30	1.000	1.000	1.000	75510.6	22653.1	29222.3	1.28	OK

表 7.5 必要保有水平耐力、保有水平耐力比較表  
(Y方向正加力時)

Ds 算定時：脆性破壊が発生した。  
保有水平耐力時：指定重心層間変形角(1/200)に達した。

階	Ds	Fe	Fs	Fes	Qud [kN]	Qun [kN]	Qu [kN]	Qu/Qun	判定
8	0.55 *1	1.000	1.000	1.000	18183.4	10000.8	25453.5	2.54	OK
7	0.55 *1	1.000	1.000	1.000	29575.6	16266.6	41399.3	2.54	OK
6	0.55 *1	1.000	1.000	1.000	39527.6	21740.2	55329.0	2.54	OK
5	0.55 *1	1.000	1.000	1.000	48389.0	26613.9	67732.3	2.54	OK
4	0.55 *1	1.000	1.000	1.000	56340.9	30987.4	78862.4	2.54	OK
3	0.55 *1	1.000	1.000	1.000	63710.8	35040.9	89178.2	2.54	OK
2	0.55 *1	1.000	1.000	1.000	70146.0	38580.3	98185.5	2.54	OK
1	0.55 *1	1.000	1.000	1.000	75510.6	41530.8	105694.3	2.54	OK

表 7.6 必要保有水平耐力、保有水平耐力比較表  
(Y方向負加力時)

Ds 算定時：脆性破壊が発生した。  
保有水平耐力時：指定重心層間変形角(1/200)に達した。

階	Ds	Fe	Fs	Fes	Qud [kN]	Qun [kN]	Qu [kN]	Qu/Qun	判定
8	0.55 *1	1.000	1.000	1.000	18183.4	10000.8	25645.6	2.56	OK
7	0.55 *1	1.000	1.000	1.000	29575.6	16266.6	41711.7	2.56	OK
6	0.55 *1	1.000	1.000	1.000	39527.6	21740.2	55746.6	2.56	OK
5	0.55 *1	1.000	1.000	1.000	48389.0	26613.9	68243.5	2.56	OK
4	0.55 *1	1.000	1.000	1.000	56340.9	30987.4	79457.7	2.56	OK
3	0.55 *1	1.000	1.000	1.000	63710.8	35040.9	89851.3	2.56	OK
2	0.55 *1	1.000	1.000	1.000	70146.0	38580.3	98926.6	2.56	OK
1	0.55 *1	1.000	1.000	1.000	75510.6	41530.8	106492.1	2.56	OK

※1) Y方向のDsは、耐力壁がせん断破壊するため、Ds=0.55を直接入力していることを示している。

X方向、Y方向ともに保有水平耐力は必要保有水平耐力以上であり、余裕度はX方向で1.28、Y方向で2.54である。余裕度が大きくなっているのは、津波設計用にX方向では柱、大梁断面を補強し、Y方向では耐力壁を補強したためである。

なお、X方向の保有水平耐力は5階の層間変形角が1/100に達した時点で決定し、4階以上に崩壊形が形成されている。また、Y方向の保有水平耐力は5階の層間変形角が1/200に達した時点で決定し、2階の耐力壁が曲げ降伏している。

(2) Q- $\delta$  曲線 (保有水平耐力算定用、Ai 分布)

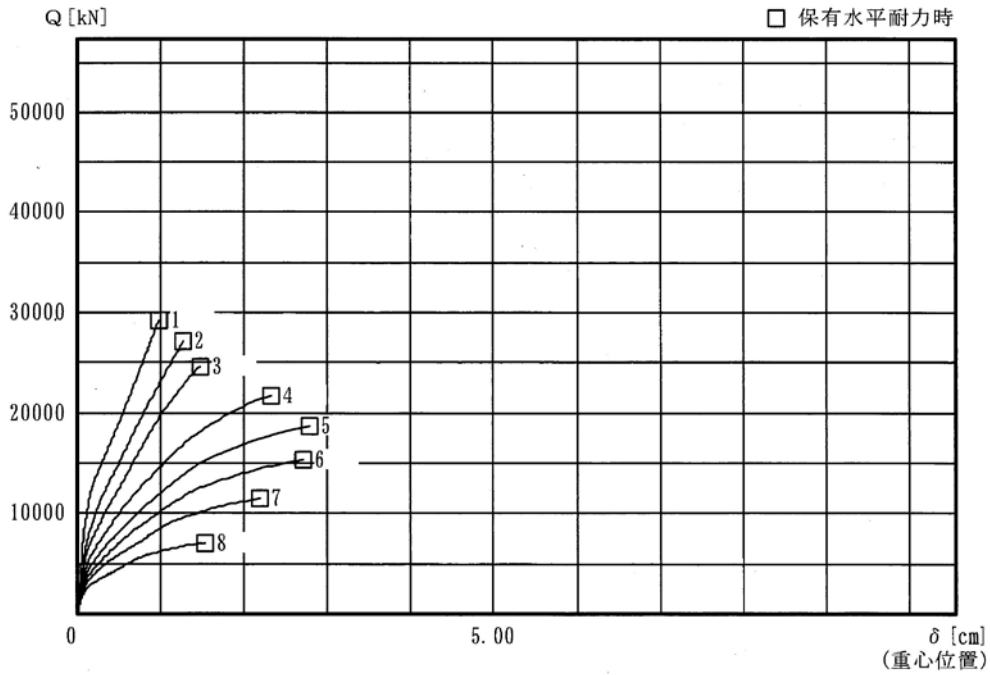


図 7.19 X方向正加力時Q- $\delta$  曲線 保有水平耐力算定時:指定重心層間変形角(1/100)に達した。(最終 STEP=118)

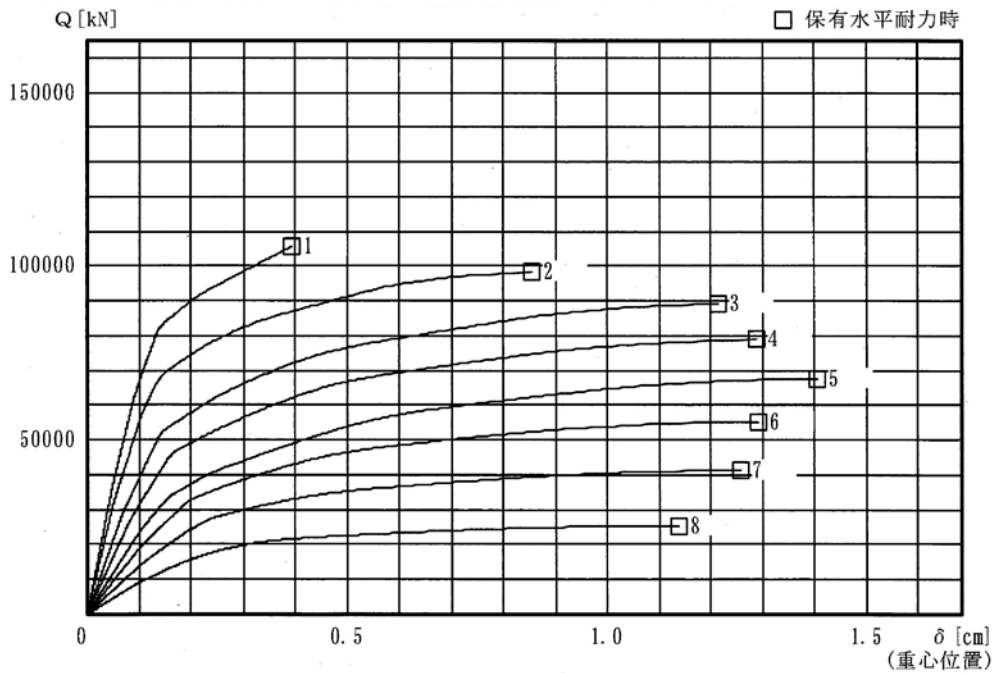


図 7.20 Y方向正加力時Q- $\delta$  曲線 保有水平耐力算定時:指定重心層間変形角(1/200)に達した。(最終 STEP=439)

(3) ヒンジ図(保有水平耐力算定用、Ai 分布)

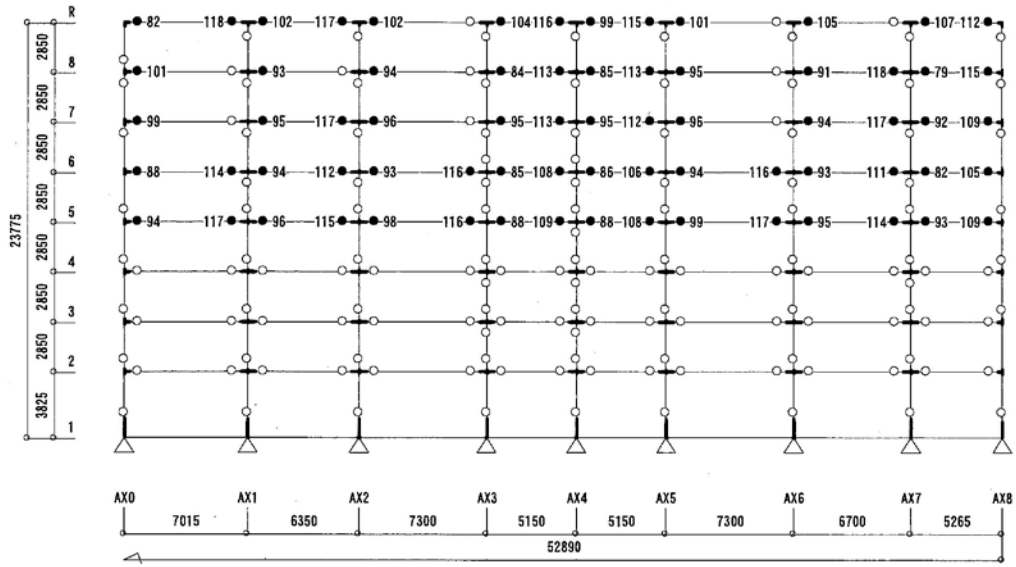


図 7.21 AY0 フレーム X方向正加力

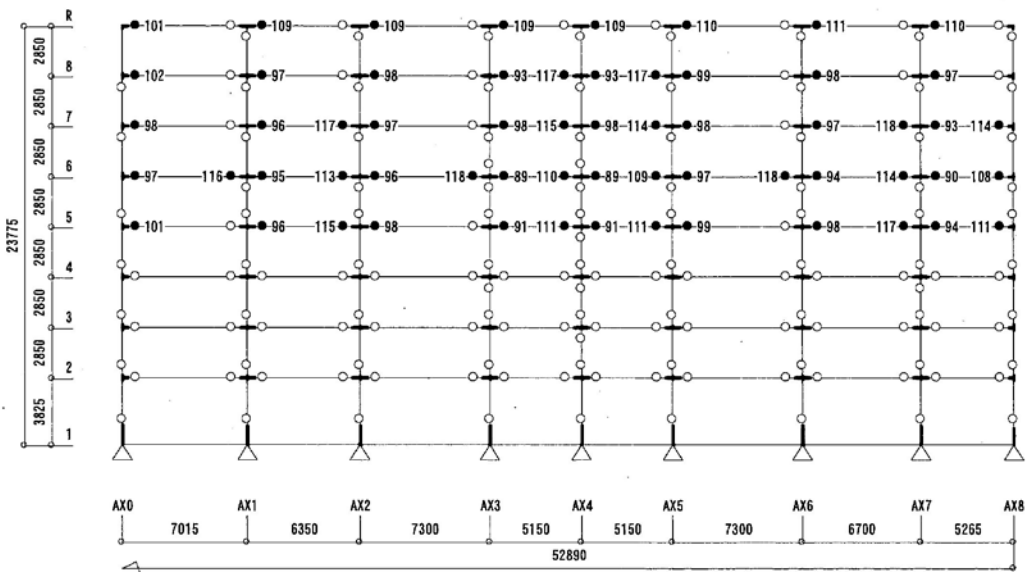


図 7.22 AY1 フレーム X方向正加力

○:曲げひび割れ ●:曲げ降伏  
 △:せん断ひび割れ ▲:せん断破壊  
 □:軸ひび割れ ■:軸降伏  
 数値は降伏時 STEP を示す。

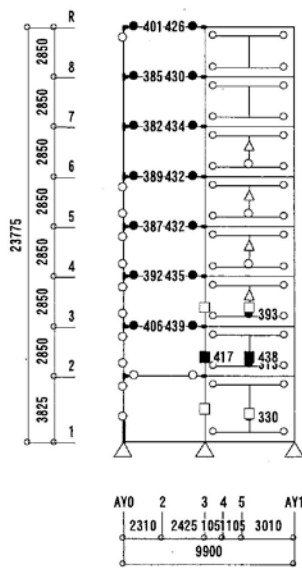


図 7.23 AX0 フレーム Y方向正加力

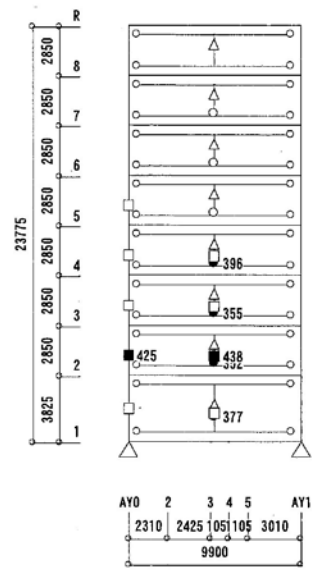


図 7.25 AX7 フレーム Y方向正加力

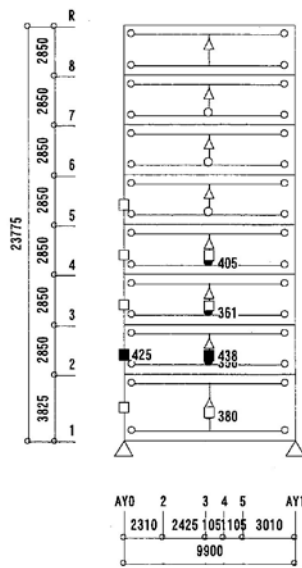


図 7.24 AX1 フレーム Y方向正加力

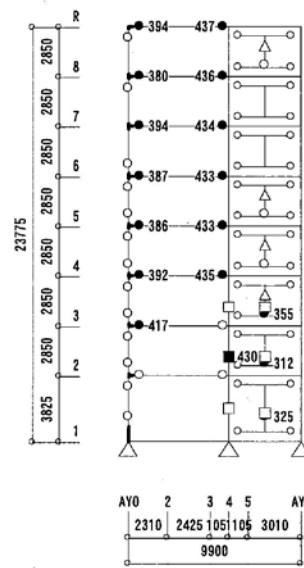


図 7.26 AX8 フレーム Y方向正加力

○	: 曲げひび割れ	●	: 曲げ降伏
△	: セン断ひび割れ	▲	: セン断破壊
□	: 軸ひび割れ	■	: 軸降伏

数値は降伏時 STEP を示す。

(4) 保有水平耐力と津波せん断力の比較（参考）

表7.7 桁行方向加力時 耐震設計時保有水平耐力との比較表(参考)

階	耐震設計時保有水平耐力			津波せん断力 xQt (kN)	比較 xQu/xQt
	Ds	xQu/xQun	xQu (kN)		
8	0.3	1.28	7021	2937	2.39
7	0.3	1.28	11420	6114	1.87
6	0.3	1.28	15262	10207	1.50
5	0.3	1.28	18684	15214	1.23
4	0.3	1.28	21754	21136	1.03
3	0.3	1.28	24600	27973	0.88
2	0.3	1.28	27085	35724	0.76
1	0.3	1.28	29156	44390	0.66

表7.8 張間方向加力時 耐震設計時保有水平耐力との比較表(参考)

階	耐震設計時保有水平耐力			津波せん断力 yQt (kN)	比較 yQu/yQt
	Ds	yQu/yQun	yQu (kN)		
8	0.55	2.54	25454	6897	3.69
7	0.55	2.54	41399	17644	2.35
6	0.55	2.54	55329	31484	1.76
5	0.55	2.54	67732	48418	1.40
4	0.55	2.54	78862	68446	1.15
3	0.55	2.54	89178	91568	0.97
2	0.55	2.54	98186	117783	0.83
1	0.55	2.54	105694	147092	0.72

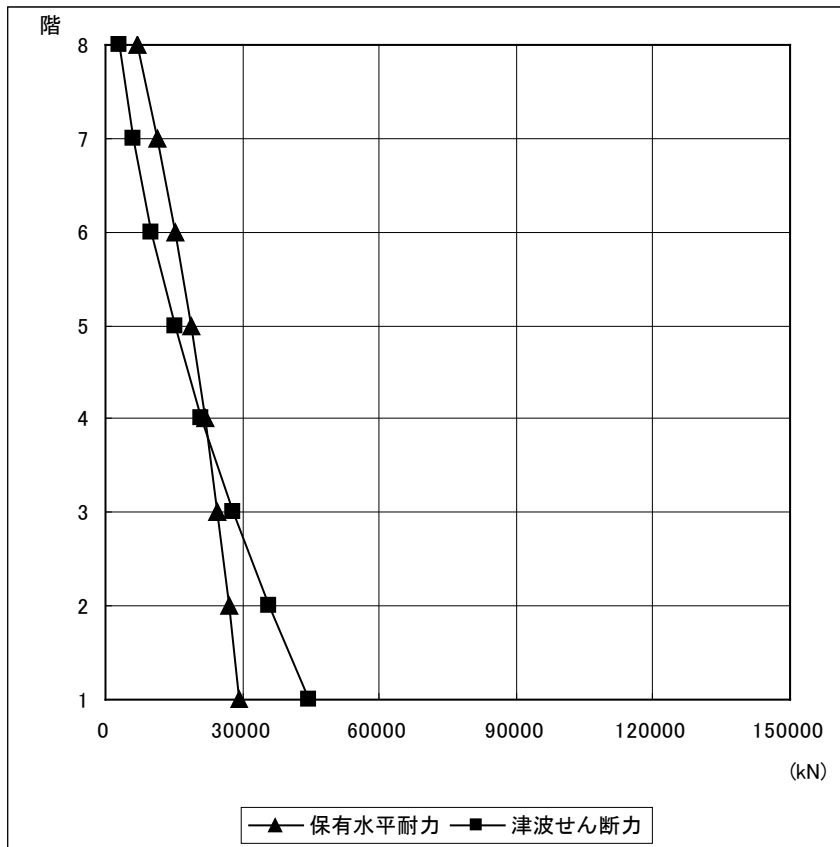


図 7.27 X 方向、保有水平耐力と津波せん断力の比較 (参考)

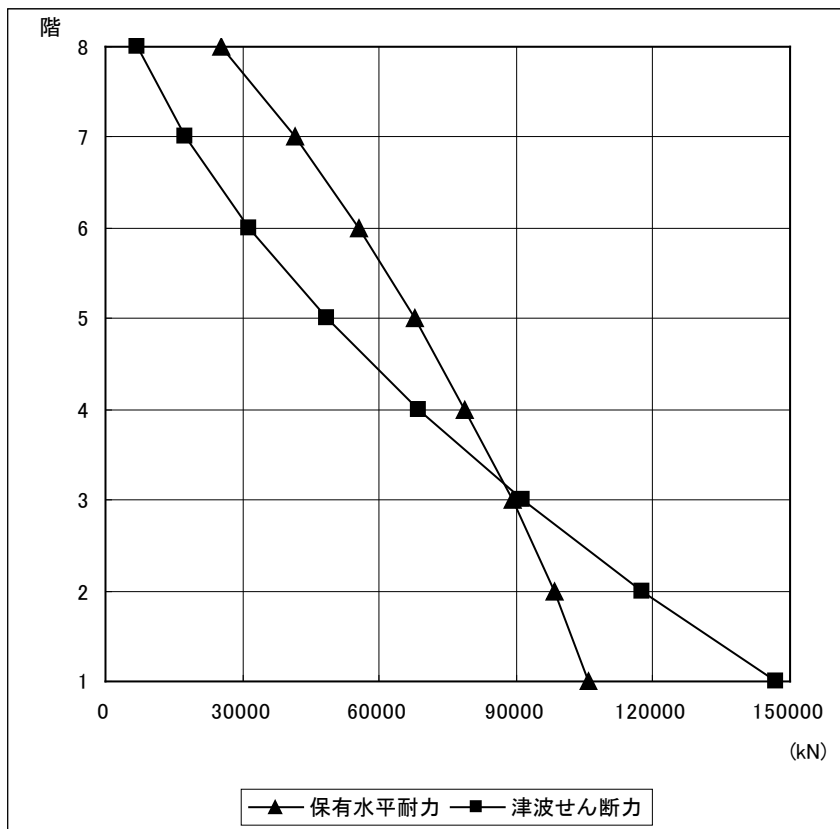


図 7.28 Y 方向、保有水平耐力と津波せん断力の比較 (参考)

