

2章 津波避難ビル等の設計例

2章. 津波避難ビル等の設計例

第2章に示す以下の設計例は、平成23年11月17日付け国住指第2570号により国土交通省住宅局長から通知された「津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等に係る追加的知見について」において示された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及び津波防災地域づくり法施行規則第31条第一号及び第二号の規定に基づく技術基準（平成23年国土交通省告示第1318号「津波浸水想定を設定する際に想定した津波に対して安全な構造方法等を定める件」）について、設計及び審査時の参考となる技術資料として作成したものである。なお本稿では、鉄筋コンクリート造の設計例として、6階建て共同住宅（設計用浸水深10m、水深係数 $a=2.0$ ）、8階建て共同住宅8階建て（設計用浸水深15m、水深係数 $a=2.0$ ）及び10階建て事務所（設計用浸水深10m、水深係数 $a=2.0$ 及び1.5）を示す。

建築基準法の規定に基づく技術基準については、適合していることを前提として、上記指針への適合を確認するための計算方法等を示したものであること、地方公共団体による条例等による独自の基準については考慮していないことに留意する必要がある。また、津波防災地域づくり法に基づく指定避難施設としての指定を受けるためには、同法の規定に基づく管理方法に関する要件に適合し、建築物等への衝突による津波の水位の上昇を考慮した基準水位以上の位置に避難上有効な場所を設ける等の必要があるが、これらについては別途検討が必要である。

また、水深係数や浮力等については、計画内容に応じ、適切に設定すればよいが、設計例においては、参考のため複数の計算例を提示したものがあ

これら設計例の作成にあたり、鉄筋コンクリート造共同住宅の設計例については、独立行政法人 都市再生機構及び社団法人 日本建築構造技術者協会の協力を得て作成されたものである。

＜2-1. 6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-3
1.1 建築概要（概要、平面図・立面図・断面図）	II-3
1.2 構造設計概要（方針、材料、規基準）	II-7
1.3 構造図（伏図・軸組図・断面表）	II-7
§ 2. 耐震設計概要	II-18
2.1 解析方針	II-18
2.2 解析結果（保有水平耐力、 $Q-\delta$ 曲線、ヒンジ図）	II-19
§ 3. 津波波圧、波力の算定	II-24
3.1 津波波圧の設定	II-24
3.2 津波波力の算定	II-25
§ 4. 浮力の算定	II-28
4.1 算定方針	II-28
4.2 浮力の計算	II-28
§ 5. 耐圧部材の設計	II-29
5.1 設計方針	II-29
5.2 耐力壁の設計	II-29
5.3 柱の設計	II-30
5.4 漂流物に対する検討	II-31
§ 6. 津波荷重時水平耐力の検討	II-33
6.1 検討方針	II-33
6.2 検討結果（水平耐力、 $Q-\delta$ 曲線、ヒンジ図）	II-34
§ 7. 基礎の設計	II-38
7.1 設計方針	II-38
7.2 転倒に対する検討	II-40
7.3 滑動に対する検討	II-42
7.4 基礎梁の設計	II-45
7.5 水流入を考慮した浮力の場合の検討	II-47

§ 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^{*1)}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 6 階、塔屋 1 階
- ・建物高さ 18.07m (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。

- ・実在建物は 8 階建てであるが、上 2 層を取り除いて 6 階建てとした。
- ・AX0 通りの左側に出部屋があるが、出部屋を取り除いた。
- ・AX0 通りと 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。
- ・杭径は 1300φ であるが、1900φ 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 10m 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 を採用する。

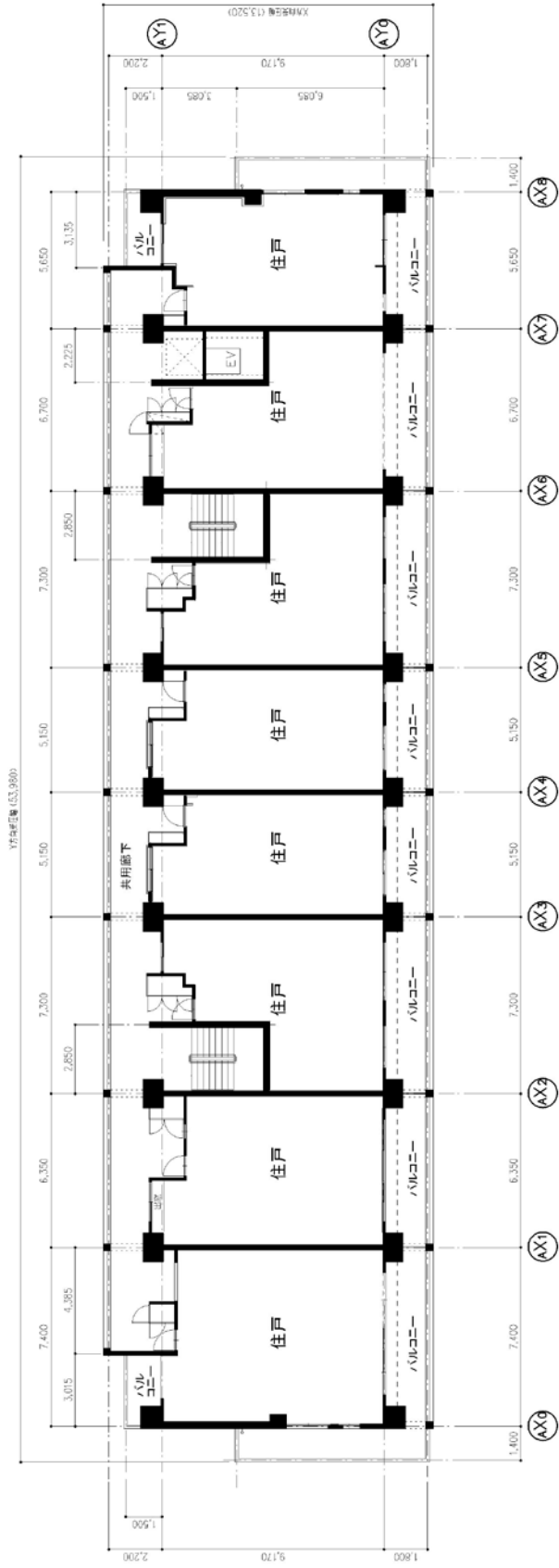


图 1.1 基準階平面図

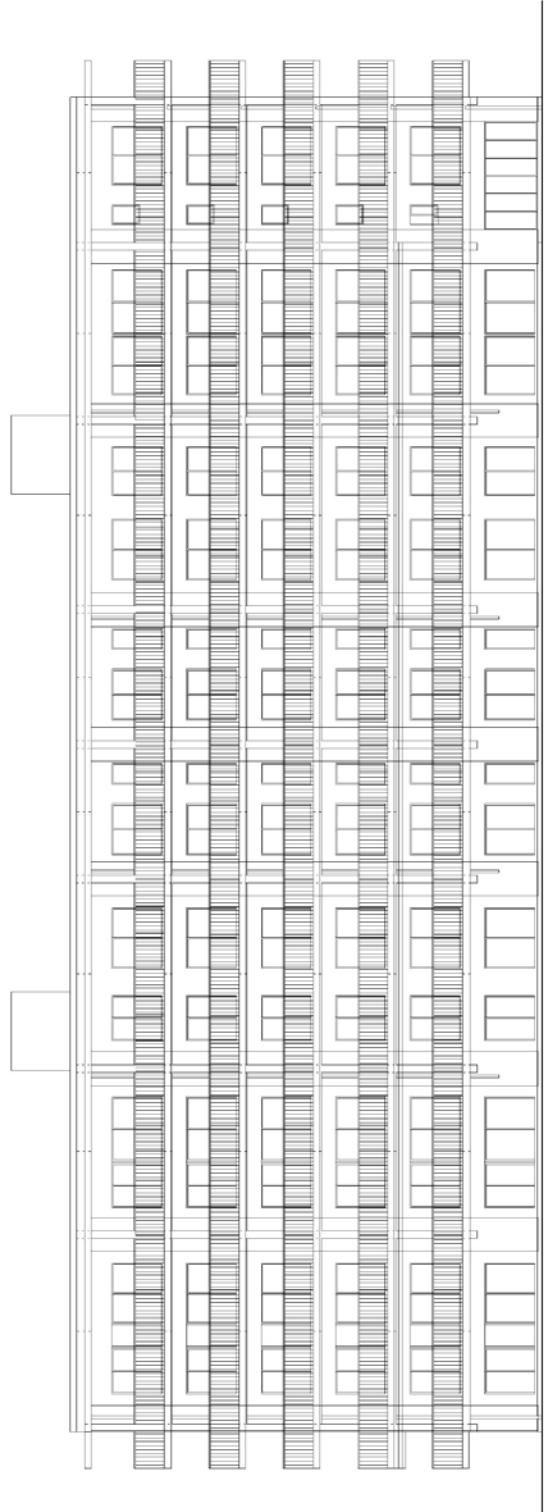


图 1.2 南側立面図

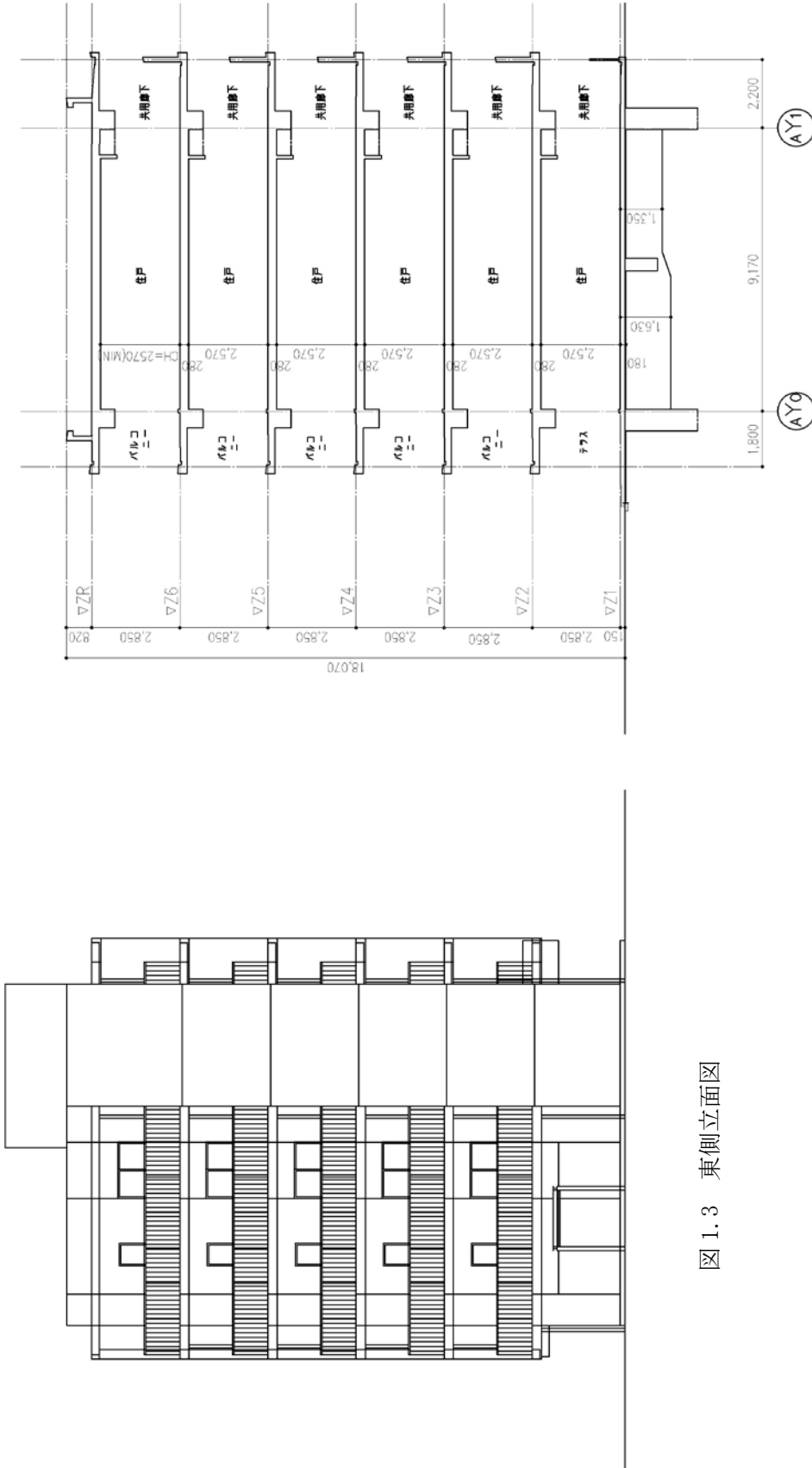


図 1.3 東側立面図

図 1.4 Y方向断面図

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。したがって、耐震設計概要としての一次設計は省略し、二次設計の計算結果について示す。

次に、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。

さらに、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。

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/mm²
- ・コンクリート 杭 Fc27 (鋼管：SKK490)
 基礎 Fc30
 1,2 階 Fc33
 3,4 階 Fc30
 5,6 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。

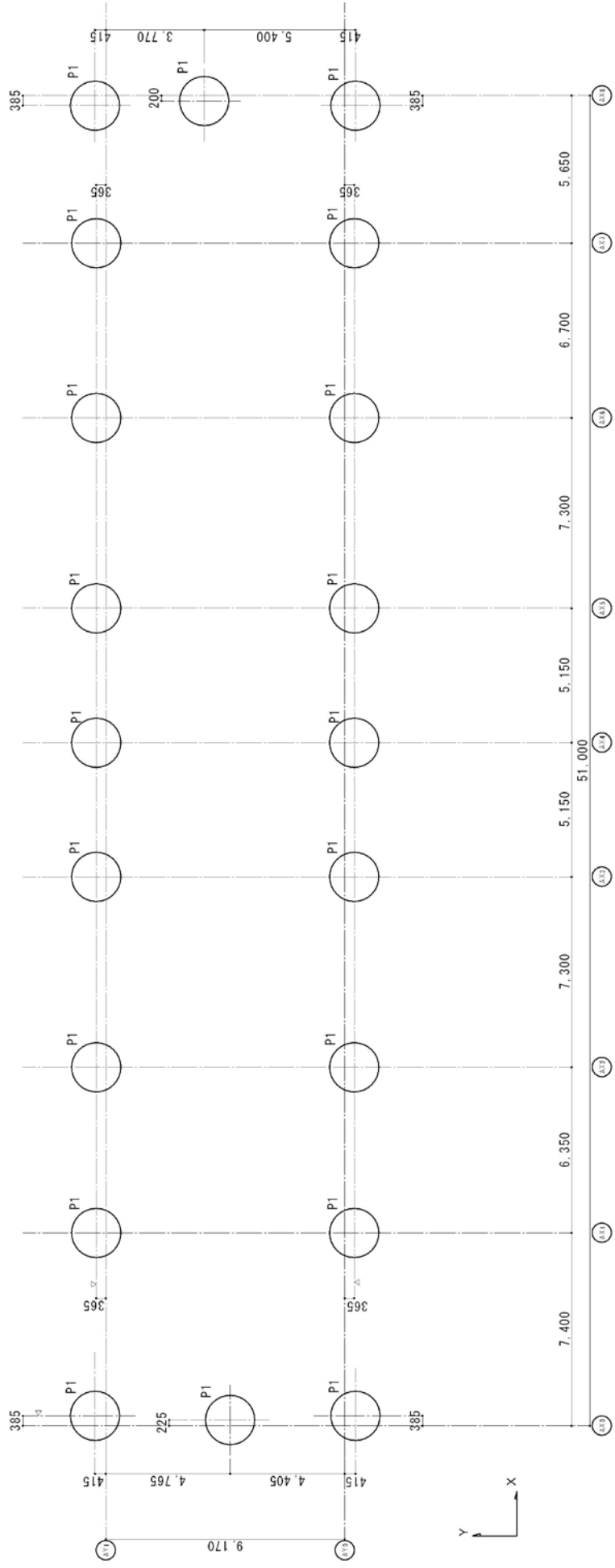


图 1.5 杭伏图

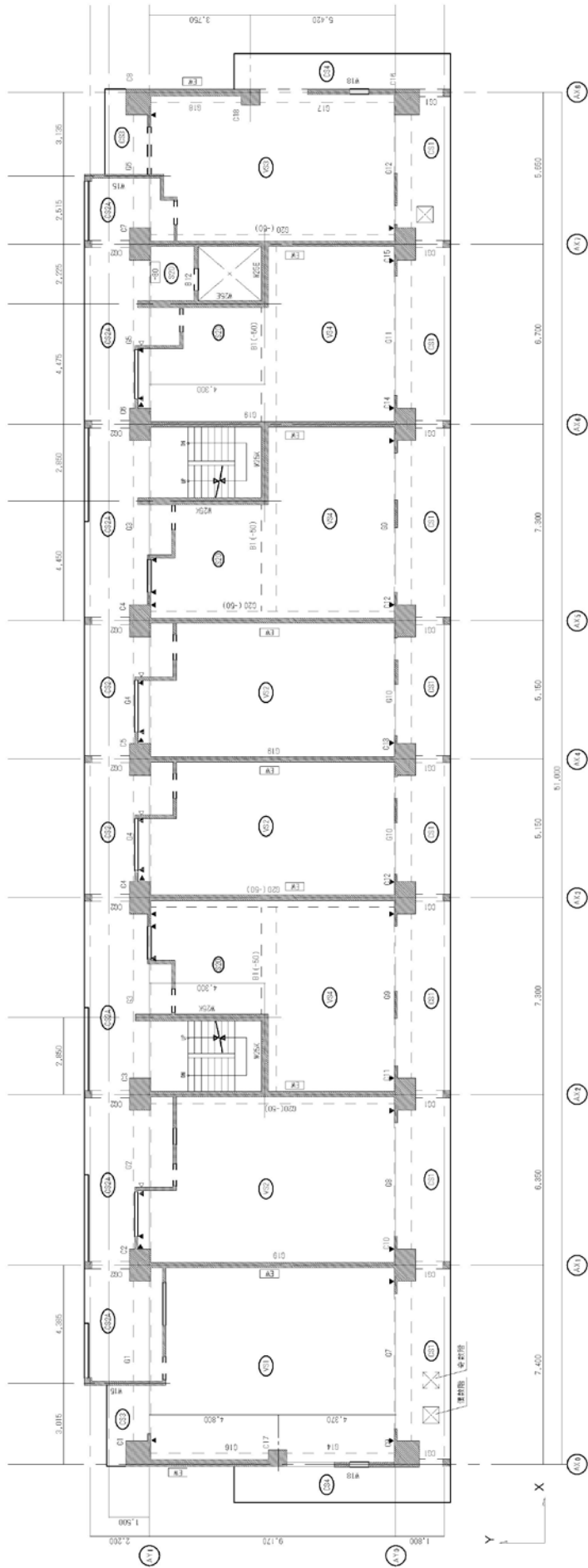


图 1.6 基准階伏図

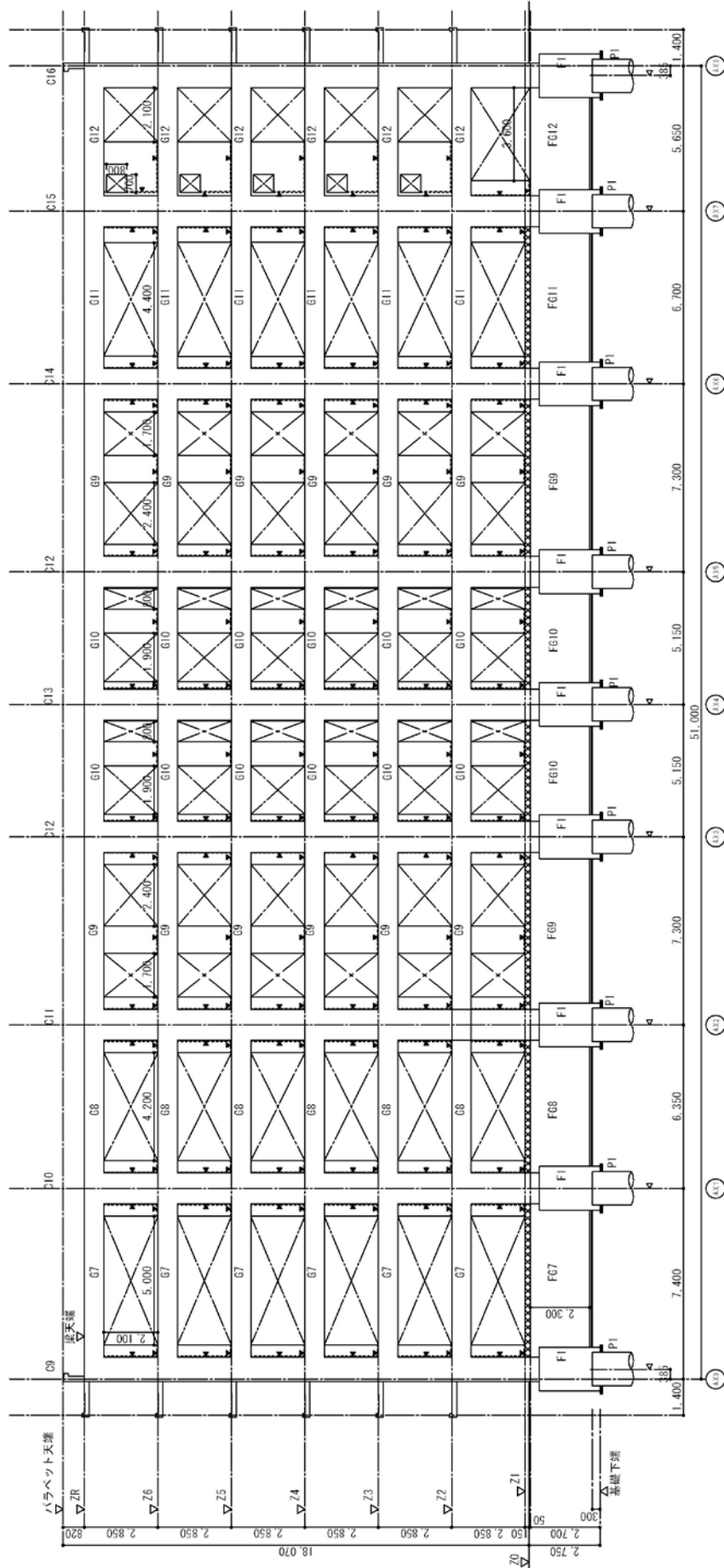




図 1.7 AY0 通軸組図

- 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。

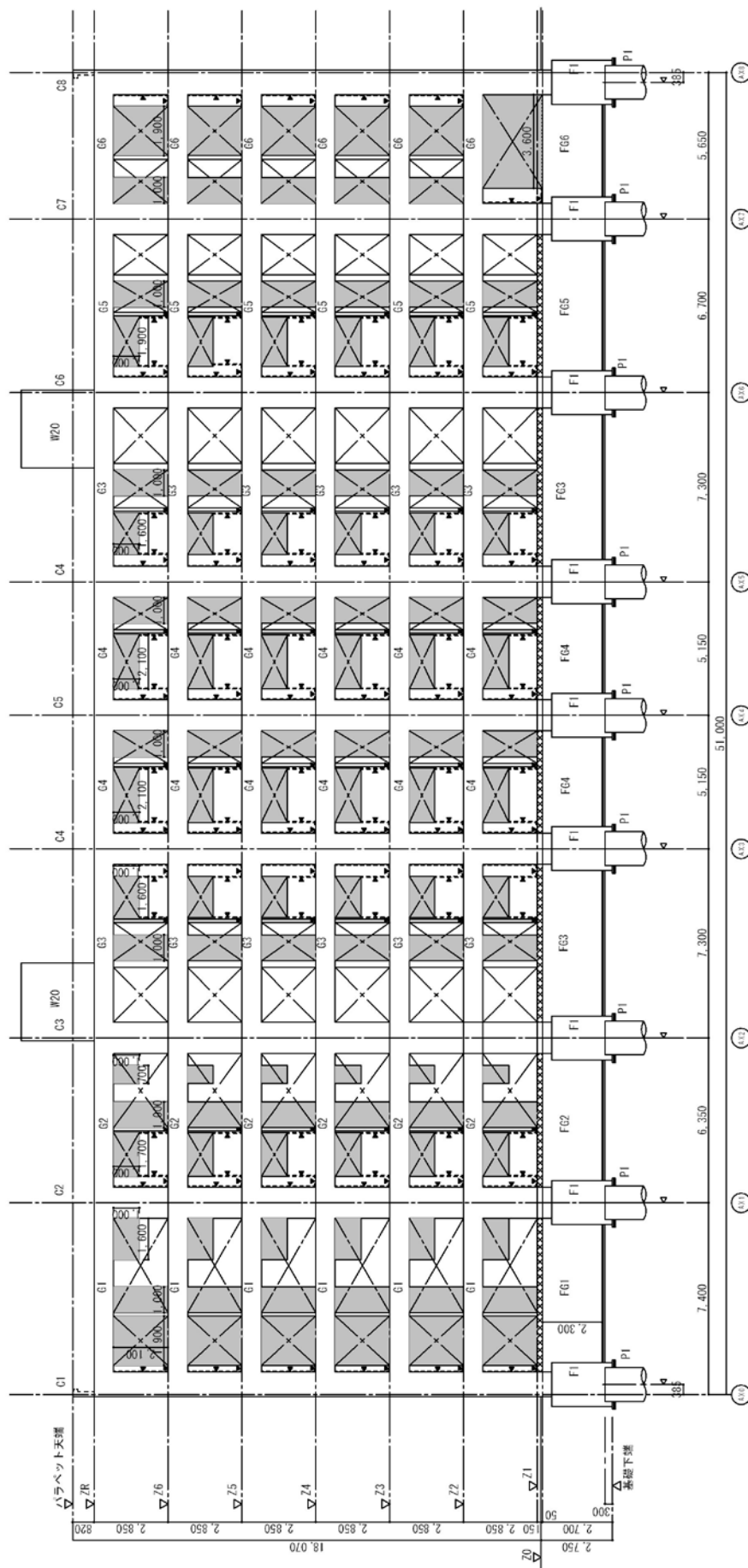


図 1.8 AY1 通軸組図

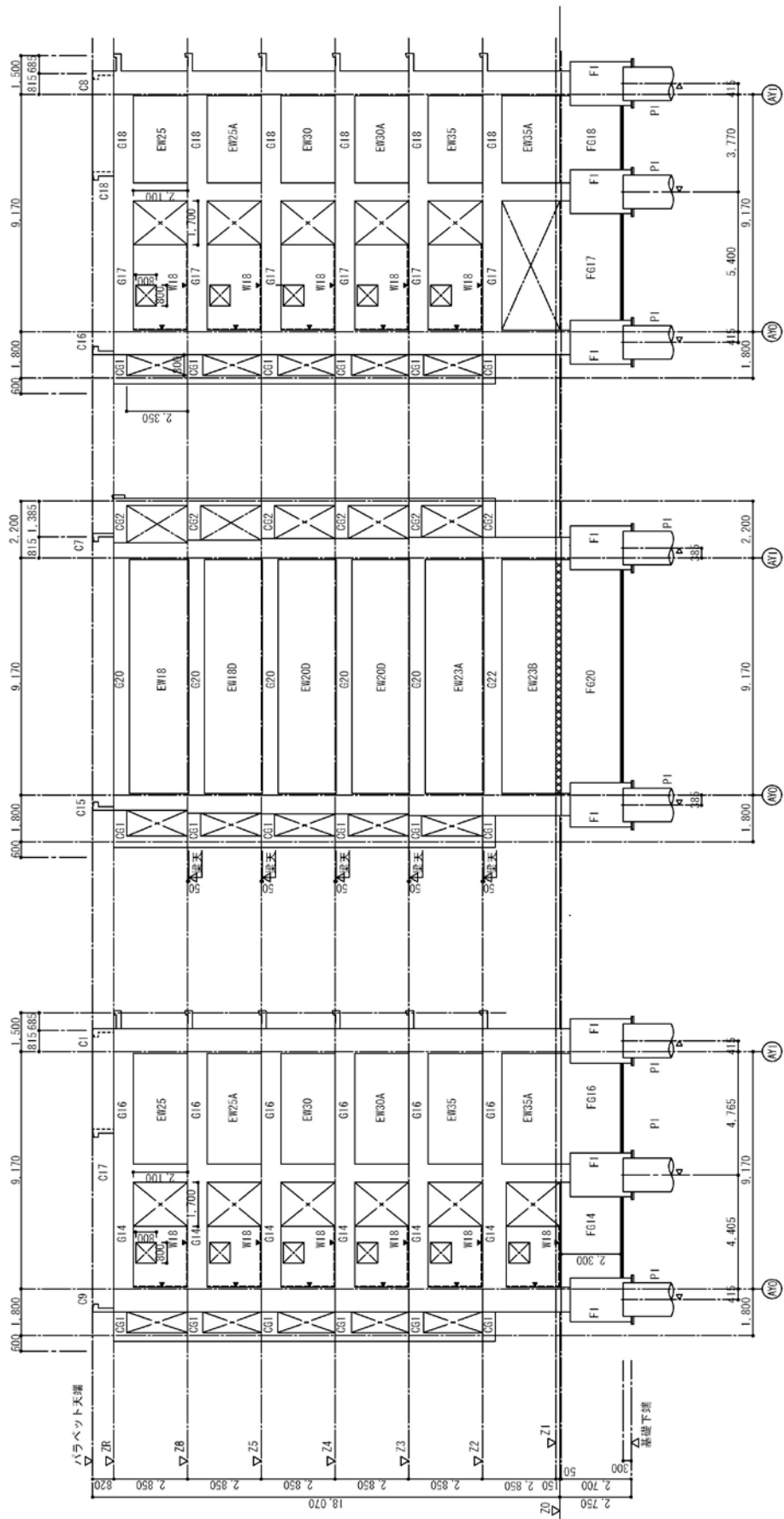
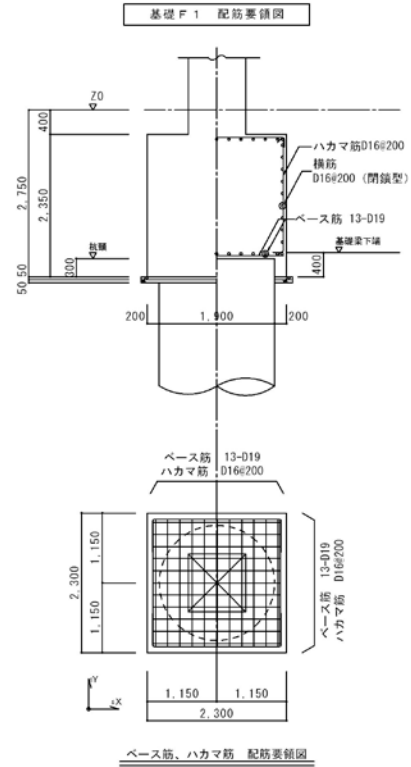
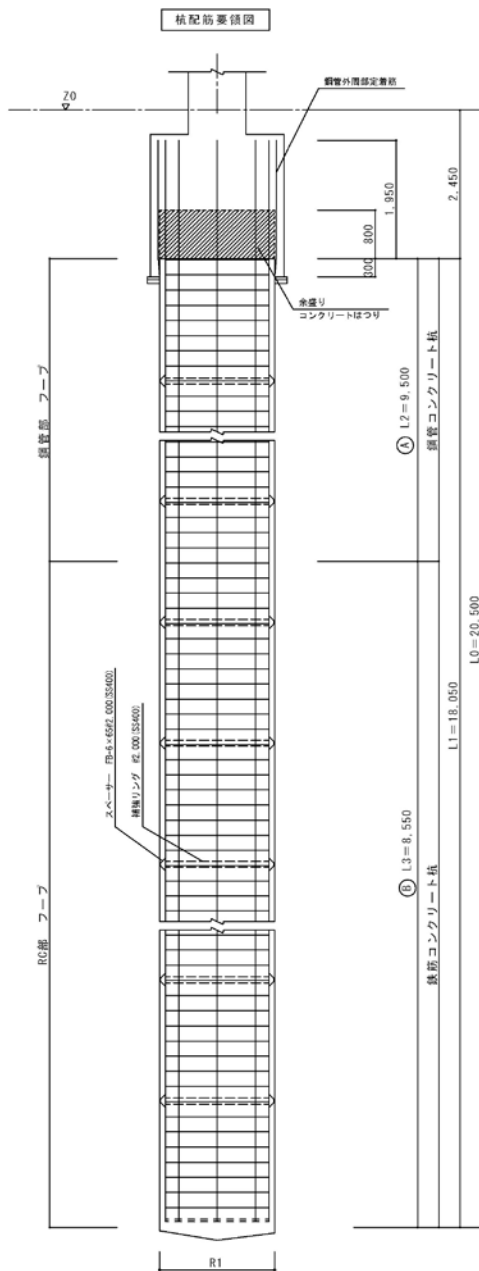
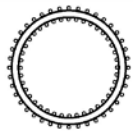
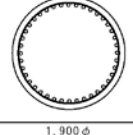


図 1.9 AX0 軸組図

図 1.10 AX1~AX7 軸組図

図 1.11 AX8 軸組図



杭リスト 1/50	
杭符号	P1
杭頭部 (A部)	
杭頭部径	1,900φ × 12 (L2=9,500)
アンカー筋	40-D35
鋼管内筋	40-D35
フープ	D13@300
杭部 (B部)	
軸径R1	1,900φ
主筋	40-D35
フープ	D13@300

- 注記) 記入なき限り下記による。
1. 杭先端部は杭伏図に示す。
 2. 鋼管: SKK490 内張り付鋼管
 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 S3390、フープ筋 S0295A

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は柱ゲージ・フープはn本柱ゲージ・フープ形状による。

3. S13は高強度せん断補強筋 785N/mm²を示す。

	符号	C 7	C 8	C 9	C 10	C 11	C 12
4	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 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
2	断面						
	Dx × Dy	1200 x 850	950 x 950	950 x 950	1200 x 850	1200 x 850	1200 x 850
	主筋	12 - D 29 + 6 - D 19	12 - D 29 + 6 - D 16	26 - 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
1	断面						
	Dx × Dy	1200 x 850	950 x 950	950 x 950	1200 x 850	1200 x 850	1200 x 850
	主筋	12 - D 29 + 6 - D 19	12 - D 29 + 6 - D 16	26 - D 29	14 - D 29 + 6 - D 19	14 - D 29 + 6 - D 19	14 - D 29 + 6 - 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.は、補筋は、補筋の補筋による。
 3. S13は高強度せん断補強筋 785N/mm²を示す。

	符号	C 13	C 14	C 15	C 16	C 17	C 18
4	断面						
	Dx × Dy	1200 x 800	1200 x 800	1200 x 800	950 x 950	600 x 700	600 x 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						
3	断面						
	Dx × Dy	1200 x 800	1200 x 800	1200 x 800	950 x 950	600 x 700	600 x 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						
2	断面						
	Dx × Dy	1200 x 850	1200 x 850	1200 x 850	950 x 950	600 x 700	600 x 700
	主筋	14 - D 29 + 6 - D 19	14 - D 29 + 6 - D 19	14 - D 29 + 6 - D 19	22 - D 29	8 - D 25 + 4 - D 16	10 - D 25 + 4 - D 16
	フープ						
1	断面						
	Dx × Dy	1200 x 850	1200 x 850	1200 x 850	950 x 950	600 x 700	950 x 700
	主筋	14 - D 29 + 6 - D 19	14 - D 29 + 6 - D 19	14 - D 29 + 6 - D 19	22 - D 29	8 - D 25 + 4 - D 16	10 - D 25 + 4 - D 16
	フープ						

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) 幅止め数は D10φ1,000 以下とする。 S13は高強度せん断補強筋 785N/mm² を示す。

符号	G 6		G 7		G 8		G 9		G 10			
	両端	中央	両端	中央	両端	中央	両端	中央	両端	中央		
5	断面											
	B × D		600 × 750		600 × 750		600 × 750		600 × 750		600 × 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	8 - D 29	8 - 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	6 - D 29	6 - D 29
	スターループ		□-S13 #100		□-S13 #150		□-S13 #150		□-S13 #150		□-S13 #100	
	渡筋		2-D10		2-D10		2-D10		2-D10		2-D10	
4	断面											
	B × D		600 × 750		600 × 750		600 × 750		600 × 750		600 × 750	
	上端筋		8 - D 29	6 - D 29	7 - D 29	5 - D 29	8 - D 29	6 - D 29	8 - D 29	6 - D 29	8 - D 29	8 - D 29
	下端筋		7 - D 29	6 - D 29	6 - D 29	5 - D 29	7 - D 29	6 - D 29	6 - D 29	6 - D 29	7 - D 29	6 - D 29
	スターループ		□-S13 #100		□-S13 #150		□-S13 #100		□-S13 #150		□-S13 #100	
	渡筋		2-D10		2-D10		2-D10		2-D10		2-D10	
3	断面											
	B × D		650 × 750		650 × 750		650 × 750		650 × 750		650 × 750	
	上端筋		8 - D 29	6 - D 29	7 - D 29	5 - D 29	8 - D 29	6 - D 29	9 - D 29	6 - D 29	8 - D 29	8 - D 29
	下端筋		7 - D 29	6 - D 29	6 - D 29	5 - D 29	7 - D 29	6 - D 29	7 - D 29	6 - D 29	8 - D 29	6 - D 29
	スターループ		□-S13 #100		□-S13 #150		□-S13 #100		□-S13 #150		□-S13 #100	
	渡筋		2-D10		2-D10		2-D10		2-D10		2-D10	
2	断面											
	B × D		650 × 750		650 × 750		650 × 750		650 × 750		650 × 750	
	上端筋		10 - D 29	7 - D 29	7 - D 29	5 - D 29	7 - D 29	5 - D 29	9 - D 29	7 - D 29	8 - D 29	8 - D 29
	下端筋		7 - D 29	9 - D 29	6 - D 29	5 - D 29	6 - D 29	5 - D 29	6 - D 29	7 - D 29	8 - D 29	6 - D 29
	スターループ		□-S13 #100		□-S13 #150		□-S13 #100		□-S13 #150		□-S13 #100	
	渡筋		2-D10		2-D10		2-D10		2-D10		2-D10	

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、埋止め筋は D10@1,000 以下とする。 S13は高強度せん断補強筋 785N/mm²を示す。

符号	G 12		G 13			G 14	G 15	G 16	G 17	
	両端	中央	他端	中央	A10通筋	全断面	全断面	全断面	全断面	
5	断面		断面			断面	断面	断面	断面	
	B × D		600 × 750			550 × 650	500 × 750	400 × 600	500 × 750	500 × 750
	上端筋	7 - D 29	5 - D 29	4 - D 25	4 - D 25	3 - D 25	6 - D 25	3 - D 22	4 - D 22	4 - D 25
	下端筋	6 - D 29	5 - D 29	5 - D 25	5 - D 25	3 - D 25	5 - D 25	3 - D 22	4 - D 22	4 - D 25
	スターラップ	□ - S13 #100		□ - D 13 #200			□ - S13 #150	□ - D 13 #200	□ - D 13 #200	□ - S13 #150
	腹筋	2-D 10		2-D 10			2-D 10	2-D 10	2-D 10	2-D 10
4	断面		断面			断面	断面	断面	断面	
	B × D		600 × 750			550 × 650	500 × 750	400 × 600	500 × 750	500 × 750
	上端筋	8 - D 29	6 - D 29	4 - D 25	4 - D 25	3 - D 25	6 - D 25	3 - D 22	4 - D 22	4 - D 25
	下端筋	7 - D 29	6 - D 29	5 - D 25	5 - D 25	3 - D 25	5 - D 25	3 - D 22	4 - D 22	4 - D 25
	スターラップ	□ - S13 #100		□ - D 13 #200			□ - S13 #150	□ - D 13 #200	□ - D 13 #200	□ - S13 #150
	腹筋	2-D 10		2-D 10			2-D 10	2-D 10	2-D 10	2-D 10
3	断面		断面			断面	断面	断面	断面	
	B × D		650 × 750			550 × 650	500 × 750	400 × 600	500 × 750	500 × 750
	上端筋	8 - D 29	6 - D 29	5 - D 25	5 - D 25	4 - D 25	6 - D 25	3 - D 22	4 - D 22	4 - D 25
	下端筋	7 - D 29	6 - D 29	6 - D 25	6 - D 25	4 - D 25	5 - D 25	3 - D 22	4 - D 22	4 - D 25
	スターラップ	□ - S13 #100		□ - D 13 #200			□ - S13 #150	□ - D 13 #200	□ - D 13 #200	□ - S13 #150
	腹筋	2-D 10		2-D 10			2-D 10	2-D 10	2-D 10	2-D 10
2	断面		断面			断面	断面	断面	断面	
	B × D		650 × 750			550 × 650	500 × 750	400 × 600	500 × 750	500 × 750
	上端筋	7 - D 29	6 - D 29	5 - D 25	5 - D 25	4 - D 25	6 - D 25	3 - D 22	4 - D 22	4 - D 29
	下端筋	6 - D 29	6 - D 29	6 - D 25	6 - D 25	4 - D 25	5 - D 25	3 - D 22	4 - D 22	4 - D 29
	スターラップ	□ - S13 #100		□ - D 13 #200			□ - S13 #150	□ - D 13 #200	□ - D 13 #200	□ - S13 #150
	腹筋	2-D 10		2-D 10			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			
6階	No.	EW25	EW18
	壁厚(t)	250	180
	縦筋	D13@150(D)	D10@150(D)
	横筋	D13@200(D)	D10@150(D)
備考			
5階	No.	EW25A	EW18
	壁厚(t)	250	180
	縦筋	D13@150(D)	D10@150(D)
	横筋	D13@150(D)	D10@150(D)
備考			
4階	No.	EW30	EW20
	壁厚(t)	300	200
	縦筋	D16@150(D)	D13@200(D)
	横筋	D13@200(D)	D13@200(D)
備考			
3階	No.	EW30A	EW20
	壁厚(t)	300	200
	縦筋	D16@150(D)	D13@200(D)
	横筋	D13@150(D)	D13@200(D)
備考			
2階	No.	EW35	EW23
	壁厚(t)	350	230
	縦筋	D19@150(D)	D13@150(D)
	横筋	D16@200(D)	D13@150(D)
備考			
1階	No.	EW35A	EW23
	壁厚(t)	350	230
	縦筋	D19@150(D)	D13@150(D)
	横筋	D16@150(D)	D13@150(D)
備考			

<特記事項>

1. 巾止筋は、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

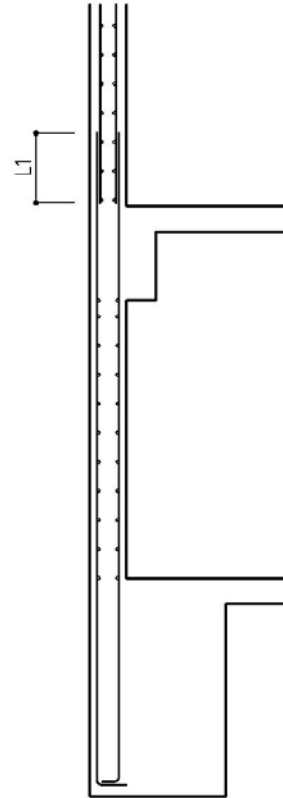


図 1.18 AX0,AX8 通り耐力壁配筋要領

§ 2. 耐震設計概要

2.1 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 分布を用い、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、 $C_0 = 1.0$ 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、支点の条件はピン支持とする。

2.2 解析結果

(1) 必要保有水平耐力と保有水平耐力

表 2.1 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
6	0.30	1.000	1.000	1.000	14961.2	4488.3	7219.4	1.60	OK
5	0.30	1.000	1.000	1.000	25415.2	7624.5	12263.9	1.60	OK
4	0.30	1.000	1.000	1.000	34156.4	10246.9	16481.9	1.60	OK
3	0.30	1.000	1.000	1.000	41589.5	12476.8	20068.7	1.60	OK
2	0.30	1.000	1.000	1.000	47911.5	14373.4	23119.4	1.60	OK
1	0.30	1.000	1.000	1.000	53125.4	15937.6	25635.3	1.60	OK

表 2.2 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
6	0.30	1.000	1.000	1.000	14961.2	4488.3	7261.5	1.61	OK
5	0.30	1.000	1.000	1.000	25415.2	7624.5	12335.4	1.61	OK
4	0.30	1.000	1.000	1.000	34156.4	10246.9	16578.0	1.61	OK
3	0.30	1.000	1.000	1.000	41589.5	12476.8	20185.7	1.61	OK
2	0.30	1.000	1.000	1.000	47911.5	14373.4	23254.1	1.61	OK
1	0.30	1.000	1.000	1.000	53125.4	15937.6	25784.7	1.61	OK

表 2.3 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：脆性破壊が発生した。

階	Ds	Fe	Fs	Fes	Qud[kN]	Qun[kN]	Qu[kN]	Qu/Qun	判定
6	0.55	1.000	1.000	1.000	14961.2	8228.6	20137.1	2.44	OK
5	0.55	1.000	1.000	1.000	25415.2	13978.4	34191.1	2.44	OK
4	0.55	1.000	1.000	1.000	34156.4	18786.0	45942.3	2.44	OK
3	0.55	1.000	1.000	1.000	41589.5	22874.2	55934.9	2.44	OK
2	0.55	1.000	1.000	1.000	47911.5	26351.3	64434.0	2.44	OK
1	0.55	1.000	1.000	1.000	53125.4	29219.0	71443.3	2.44	OK

表 2.4 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
6	0.55	1.000	1.000	1.000	14961.2	8228.6	19867.3	2.41	OK
5	0.55	1.000	1.000	1.000	25415.2	13978.4	33732.9	2.41	OK
4	0.55	1.000	1.000	1.000	34156.4	18786.0	45326.6	2.41	OK
3	0.55	1.000	1.000	1.000	41589.5	22874.2	55185.4	2.41	OK
2	0.55	1.000	1.000	1.000	47911.5	26351.3	63570.5	2.41	OK
1	0.55	1.000	1.000	1.000	53125.4	29219.0	70485.9	2.41	OK

※ Y方向保有水平耐力時の脆性破壊はAX7通りの1階の耐力壁となっている。

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1.60、Y方向で2.41と大きい。余裕度が大きくなっているのは、元々の8階建てを6階建てにアレンジしたためであり、さらにY方向では津波設計用に耐力壁を補強したためである。

(2) Q- δ 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=154)

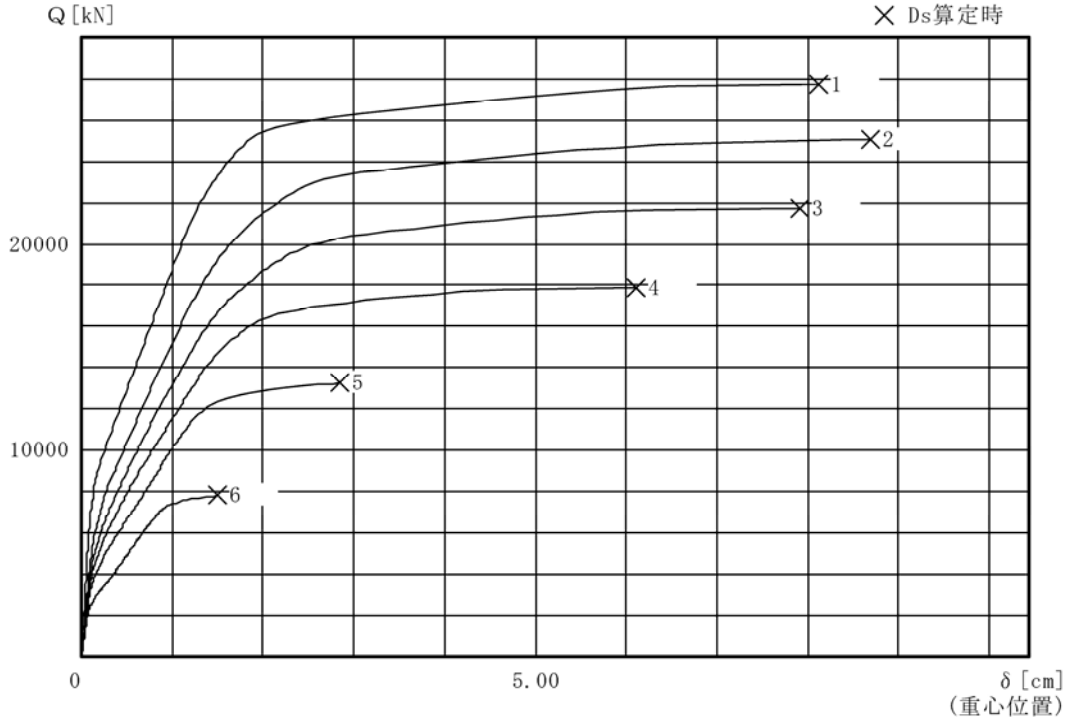


図 2.1 X方向正加力時Q- δ 曲線 Ds 算定時

X 方向正加力 保有水平耐力時：指定重心層間変形角(1/100)に達した。(STEP=140)

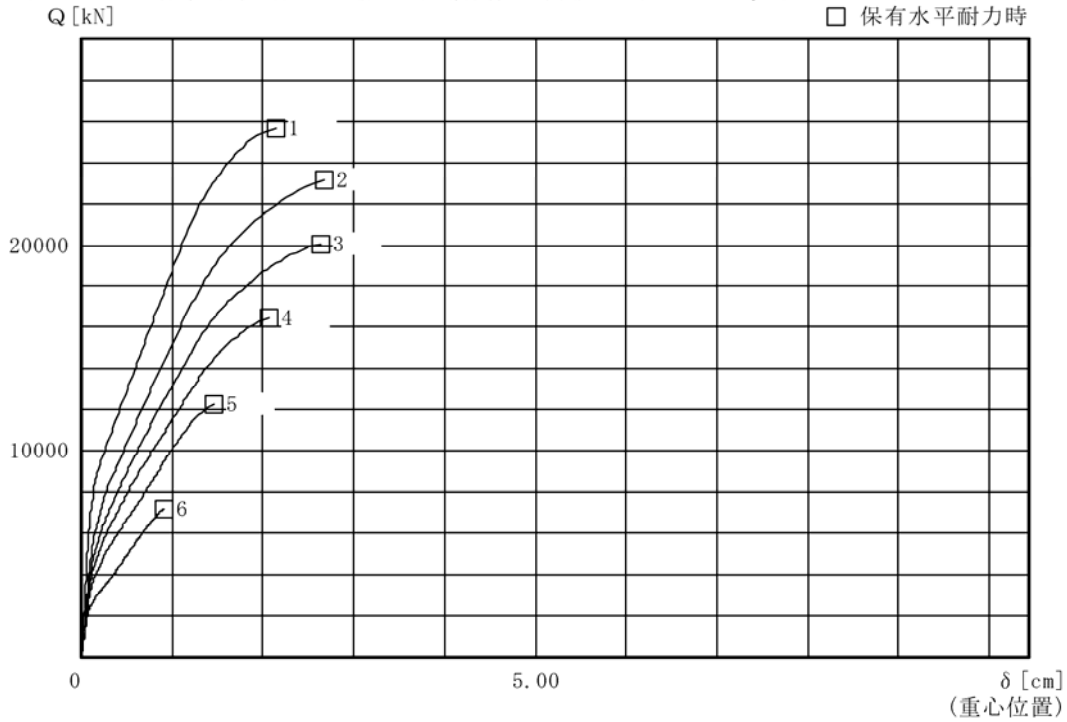


図 2.2 X方向正加力時Q- δ 曲線 保有水平耐力算定時

Y方向正加力 Ds算定時：脆性破壊が発生した。(最終STEP=979)
 Q [kN]

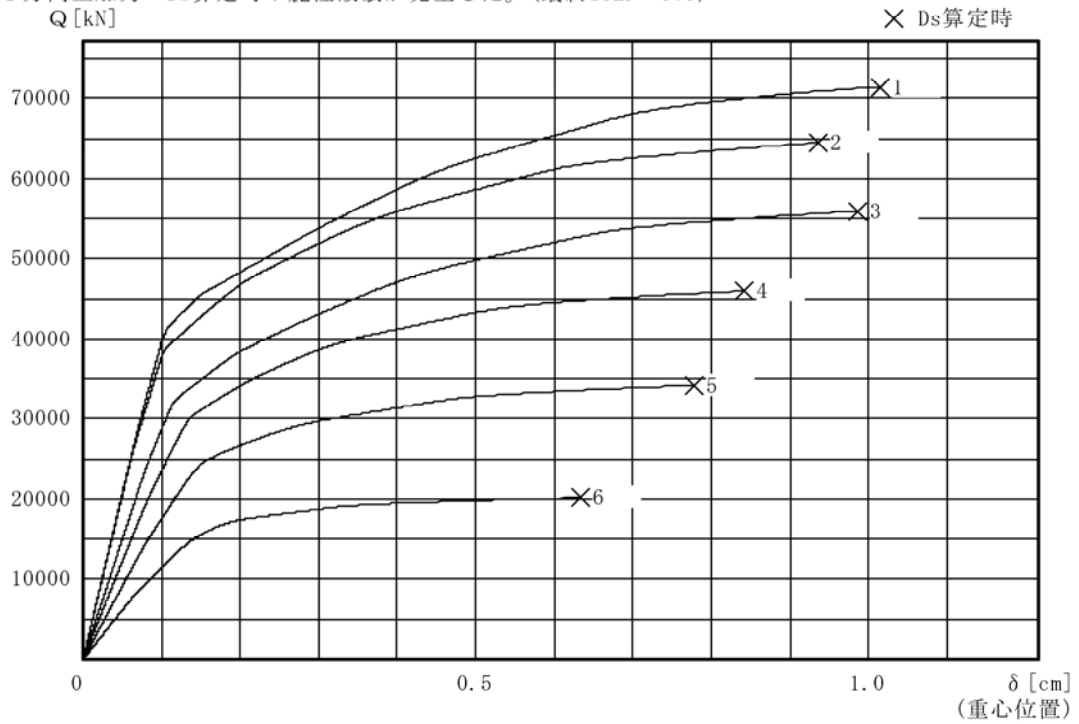


図 2.3 Y方向正加力時Q- δ 曲線 Ds 算定時

Y方向正加力 保有水平耐力時：脆性破壊が発生した。(STEP=979)
 Q [kN]

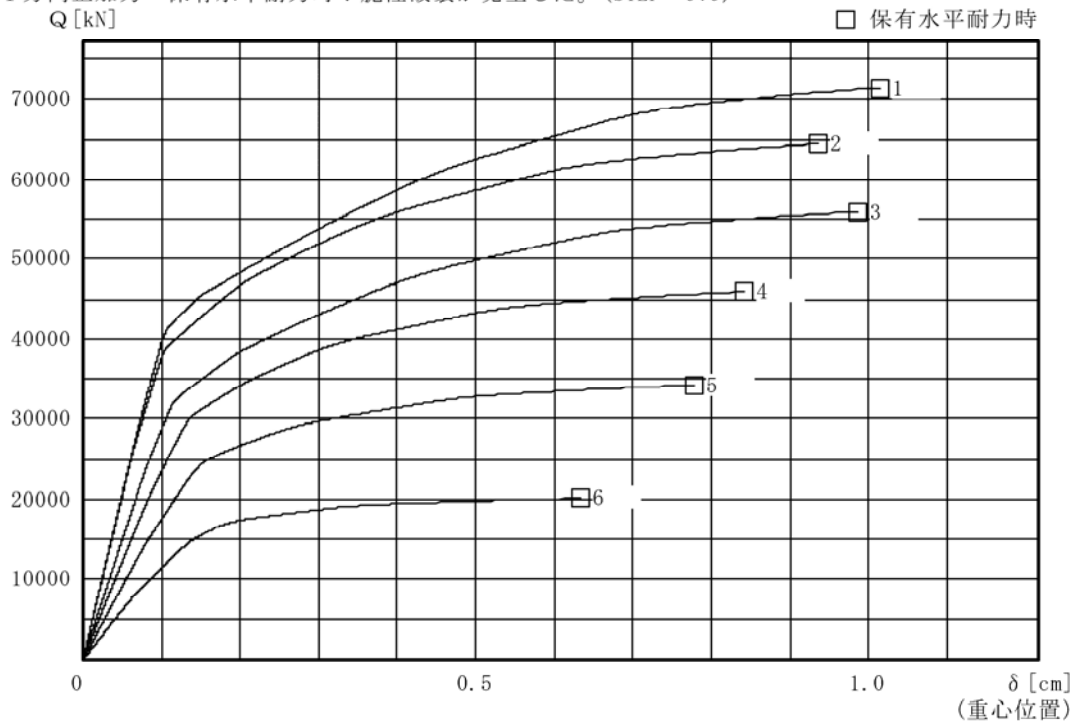


図 2.4 Y方向正加力時Q- δ 曲線 保有水平耐力算定時

(3) 保有水平耐力時ヒンジ図

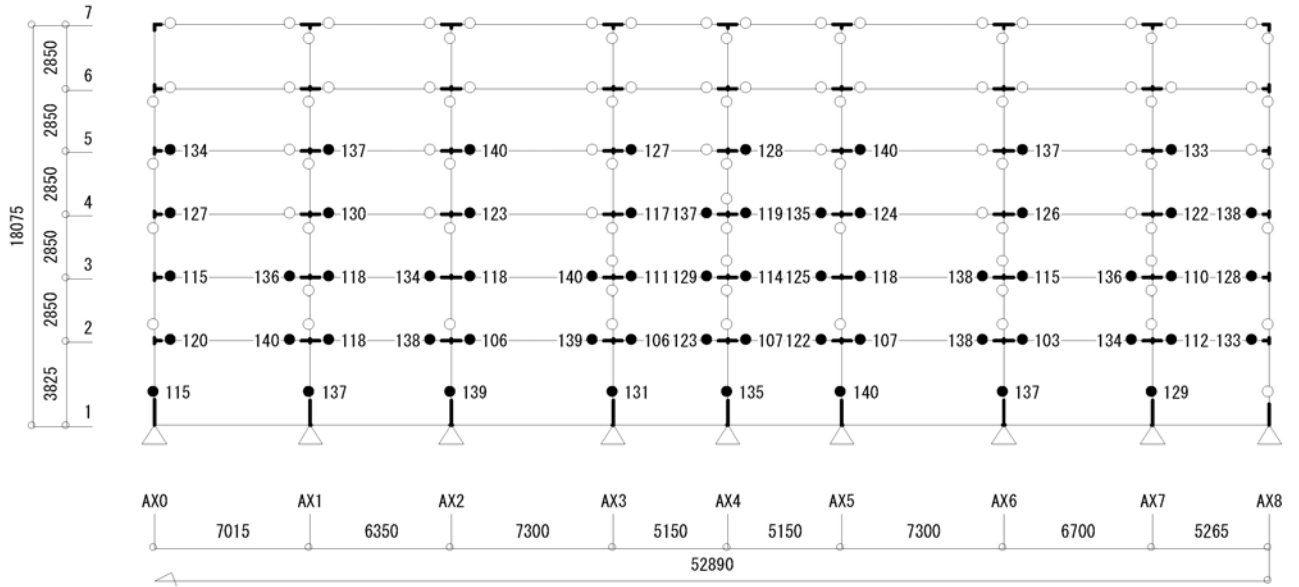


図 2.5 AY0 フレーム X方向正加力

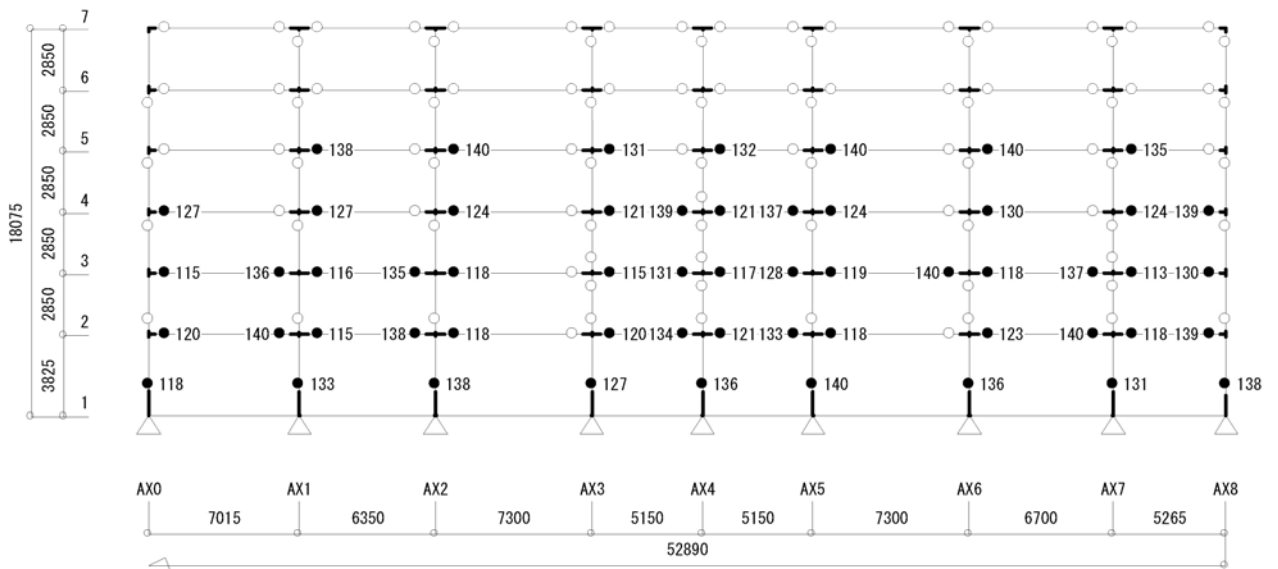


図 2.6 AY1 フレーム X方向正加力

- | | |
|------------|----------|
| ○: 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。

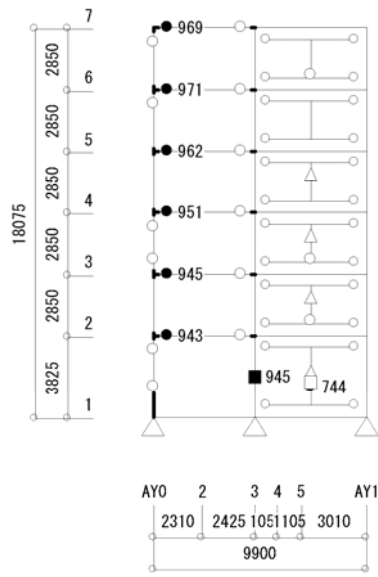


図 2.7 AX0 フレーム Y方向正加力

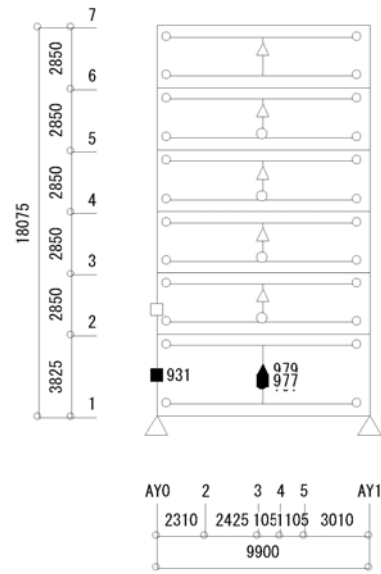


図 2.9 AX7 フレーム Y方向正加力

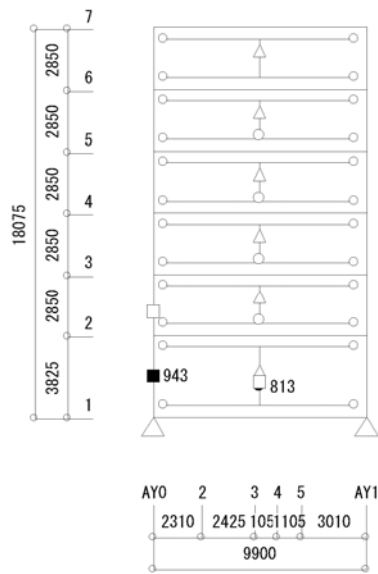


図 2.8 AX1 フレーム Y方向正加力

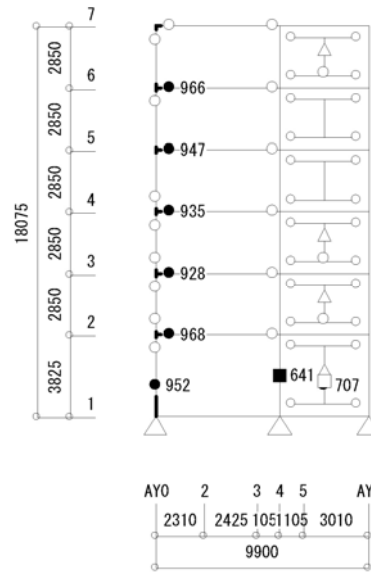


図 2.10 AX8 フレーム Y方向正加力

○: 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。

§ 3. 津波波圧、波力の算定

3.1 津波波圧の設定

津波波圧は、浸水深 10m, 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。

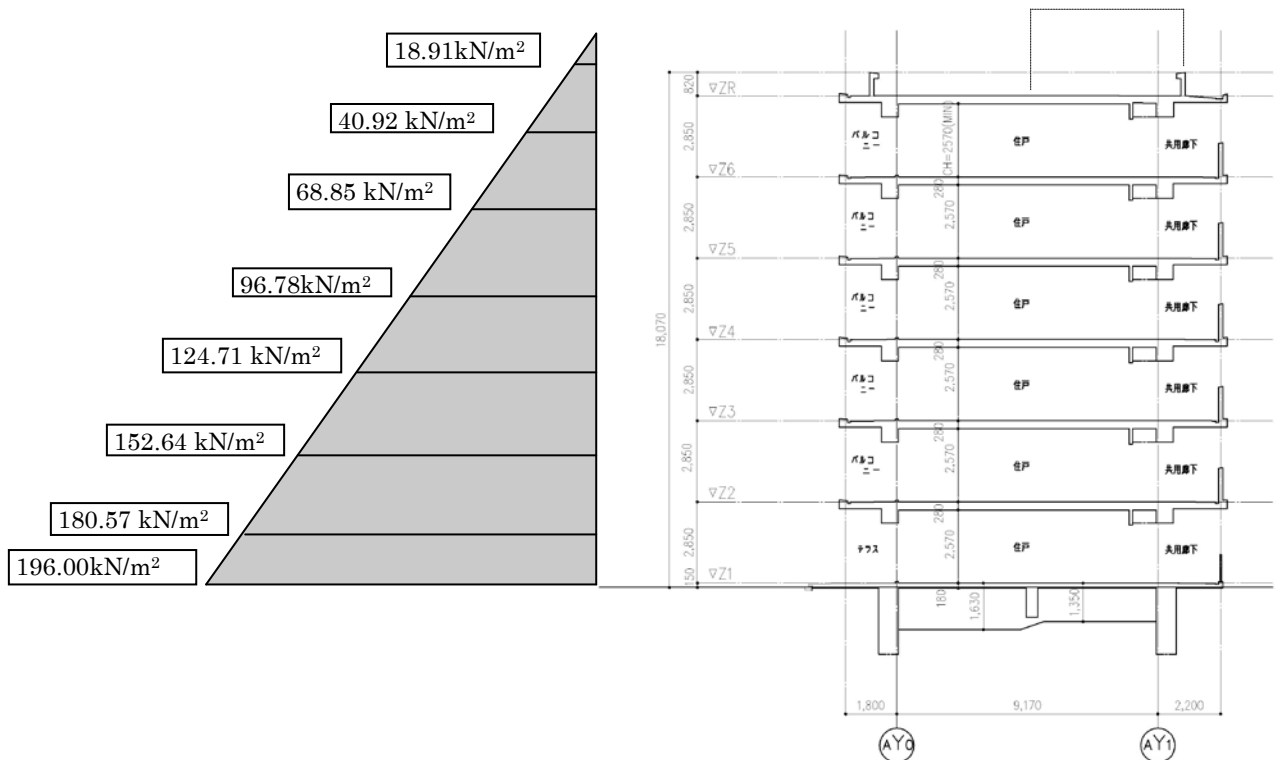


図 3.1 津波波圧

上記波圧の算定は、以下によっている。

- ・ R 階頂部 $(20.0 - 18.07) \times 9.8 = 1.93 \times 9.8 = 18.91 \text{ kN/m}^2$
- ・ 6 階中間 $(1.93 + 0.82 + 2.85 / 2) \times 9.8 = 4.175 \times 9.8 = 40.92 \text{ kN/m}^2$
- ・ 5 階中間 $(4.175 + 2.85) \times 9.8 = 7.025 \times 9.8 = 68.85 \text{ kN/m}^2$
- ・ 4 階中間 $(7.025 + 2.85) \times 9.8 = 9.875 \times 9.8 = 96.78 \text{ kN/m}^2$
- ・ 3 階中間 $(9.875 + 2.85) \times 9.8 = 12.725 \times 9.8 = 124.71 \text{ kN/m}^2$
- ・ 2 階中間 $(12.725 + 2.85) \times 9.8 = 15.575 \times 9.8 = 152.64 \text{ kN/m}^2$
- ・ 1 階中間 $(15.575 + 2.85) \times 9.8 = 18.425 \times 9.8 = 180.57 \text{ kN/m}^2$
- ・ 地表部 $20.0 \times 9.8 = 196.00 \text{ kN/m}^2$

3.2 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。

(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 $A_o = (0.8 \times 0.8 + 1.7 \times 2.1) \times 6 + (0.8 \times 2.35) \times 5 + 1.2 \times 2.35 = 37.5 \text{ m}^2$
- ・桁行方向見付け面積 $A = 18.07 \times 13.52 = 244.3 \text{ m}^2$
- ・開口低減係数 $\alpha = (244.3 - 37.5) / 244.3 = 0.85$
- ・東側妻面 (AX8 通り) の開口面積 $A_o = (0.8 \times 0.8 + 1.7 \times 2.1 + 0.8 \times 2.35) \times 5 + 1.2 \times 2.35 + 4.9 \times 2.1 = 43.6 \text{ m}^2$
- ・開口低減係数 $\alpha = (244.3 - 43.6) / 244.3 = 0.82$

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 $A_o = (5.0 + 4.2 + 1.7 + 2.4 + 1.9 \times 2 + 0.8 \times 2 + 2.4 + 1.7 + 4.4) \times 2.1 \times 6 + 3.6 \times 2.1 + (0.7 \times 0.8 + 2.1 \times 2.1) \times 5 + 1.4 \times (18.07 - 0.2 \times 6) \times 2 = 422.4 \text{ m}^2$
- ・張間方向見付け面積 $A = 53.98 \times 18.07 = 975.4 \text{ m}^2$
- ・開口低減係数 $\alpha = (975.4 - 422.4) / 975.4 = 0.57$
- ・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。
 $A_o = (1.9 \times 2.1 \times 2 + 1.0 \times 2.1 \times 8 + 1.6 \times 1.0 \times 3 + 1.7 \times 1.0 + 0.7 \times 1.0 + 2.1 \times 1.0 \times 2 + 1.9 \times 1.0) \times 6 + (3.6 - 1.0 - 1.9) \times 2.1 + 1.4 \times (18.07 - 0.2 \times 6) \times 2 = 277.2 \text{ m}^2$
- ・開口低減係数 $\alpha = (975.4 - 277.2) / 975.4 = 0.72$

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 0.57 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。また、参考として耐震設計時保有水平耐力との比較を示す。

表3.1 桁行方向加力時 津波せん断力

階	津波せん断力 xQt (kN)				xQt (kN) =①×②×③+PH
	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	①×②×③	
PH	$18.91 \times (20.0 - 18.07) / 2 = 18.2$	5.3×2 *2)			193
6	$(40.92 + 18.91) \times (2.85 / 2 + 0.82) / 2 = 67.2$	13.52	0.85	772	965
5	$(68.85 + 18.91) \times (2.85 \times 1.5 + 0.82) / 2 = 223.6$	13.52	0.85	2570	2763
4	$(96.78 + 18.91) \times (2.85 \times 2.5 + 0.82) / 2 = 459.6$	13.52	0.85	5282	5475
3	$(124.71 + 18.91) \times (2.85 \times 3.5 + 0.82) / 2 = 775.2$	13.52	0.85	8909	9102
2	$(152.64 + 18.91) \times (2.85 \times 4.5 + 0.82) / 2 = 1170.4$	13.52	0.85	13450	13643
1	$(180.57 + 18.91) \times (2.85 \times 5.5 + 0.82) / 2 = 1645.2$	13.52	0.85	18907	19100

表3.2 張間方向加力時 津波せん断力

階	津波せん断力 yQt (kN)				yQt (kN) =①×②×③+PH
	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	①×②×③	
PH	$18.91 \times (20.0 - 18.07) / 2 = 18.2$	3.0×2 *3)			109
6	$(40.92 + 18.91) \times (2.85 / 2 + 0.82) / 2 = 67.2$	53.98	0.72	2612	2721
5	$(68.85 + 18.91) \times (2.85 \times 1.5 + 0.82) / 2 = 223.6$	53.98	0.72	8690	8800
4	$(96.78 + 18.91) \times (2.85 \times 2.5 + 0.82) / 2 = 459.6$	53.98	0.72	17863	17972
3	$(124.71 + 18.91) \times (2.85 \times 3.5 + 0.82) / 2 = 775.2$	53.98	0.72	30129	30238
2	$(152.64 + 18.91) \times (2.85 \times 4.5 + 0.82) / 2 = 1170.4$	53.98	0.72	45488	45597
1	$(180.57 + 18.91) \times (2.85 \times 5.5 + 0.82) / 2 = 1645.2$	53.98	0.72	63942	64051

*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 5.3m×2箇所

*3) Y方向のPHの受圧面の幅 3.0m×2箇所

表3.3 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/yQun	xQu (kN)		
6	0.3	1.60	7219	965	7.48
5	0.3	1.60	12264	2763	4.44
4	0.3	1.60	16482	5475	3.01
3	0.3	1.60	20069	9102	2.20
2	0.3	1.60	23119	13643	1.69
1	0.3	1.60	25635	19100	1.34

表3.4 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)		
6	0.55	2.41	19859	2721	7.30
5	0.55	2.41	33718	8800	3.83
4	0.55	2.41	45307	17972	2.52
3	0.55	2.41	55162	30238	1.82
2	0.55	2.41	63543	45597	1.39
1	0.55	2.41	70456	64051	1.10

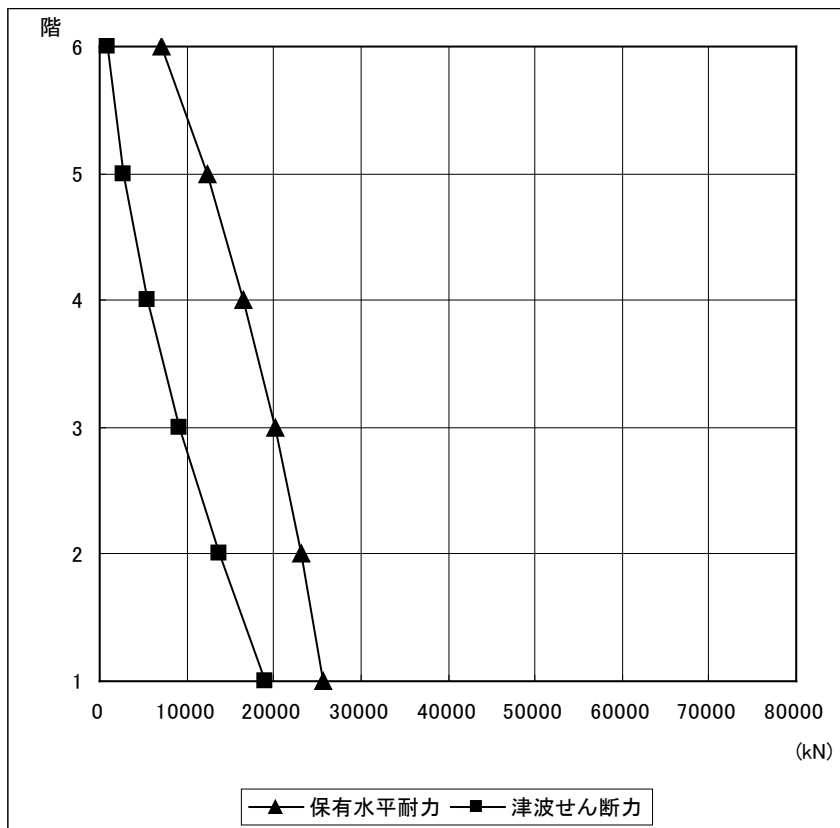


図 3.2 保有水平耐力と津波せん断力の比較 (X 方向)

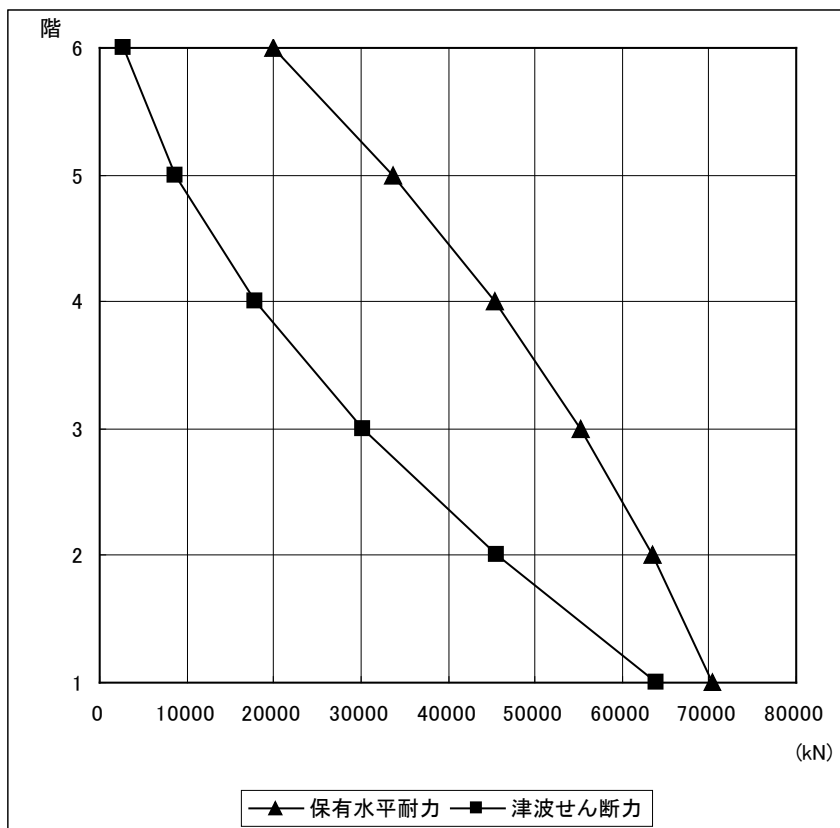


図 3.3 保有水平耐力と津波せん断力の比較 (Y 方向)

§ 4 浮力の算定

4.1 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、7.5 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た。

4.2 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 14kN/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 4.1 杭基礎設計用の浮力(kN)

	AX0	AX1	AX2	AX3	AX4	AX5	AX6	AX7	AX8
AY1	-1026	-3646	-3597	-3283	-2685	-3283	-3685	-3332	-641
AY01	-1960								-1568
AY0	-934	-3646	-3597	-3283	-2685	-3283	-3685	-3332	-927

§ 5. 耐圧部材の設計

5.1 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3.1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。

5.2 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

σ_y ：壁筋の降伏強度（ $=1.1 \times F$ ）

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

$$t=350、d=300、j=263$$

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

$$\text{上部波圧は2階スラブ上端で、} 17.0 \times 9.8=166.6kN/m^2$$

$$\text{下部波圧は1階スラブ上端で、} 19.85 \times 9.8=194.5kN/m^2$$

長さ 2.85m

$$M=166.6 \times 2.85^2/12 + (194.5 - 166.6) \times 2.85^2/20=124.1kN \cdot m/m$$

$$Q=166.6 \times 2.85/2 + (194.5 - 166.6) \times 2.85 \times 7/20=265.2kN/m$$

$$at=124.1 \times 10^6 / (0.9 \times 345 \times 1.1 \times 300)=1,211mm^2/m \rightarrow D19@150$$

$$Qsu=1.23 \times 1,000 \times 263 \times 10^{-3}=323.5kN/m \geq Q \rightarrow OK$$

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=350、縦筋 D19@150 ダブル
- ・ 3階、t=300、縦筋 D16@150 ダブル
- ・ 4階、t=300、縦筋 D16@150 ダブル
- ・ 5階、t=250、縦筋 D13@150 ダブル
- ・ 6階、t=250、縦筋 D13@150 ダブル

5.3 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通りである。

- ・ 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、

上部波圧は2階スラブ上端で、 $17.0 \times 9.8 = 166.6 \text{ kN/m}^2$

下部波圧は1階スラブ上端で、 $19.85 \times 9.8 = 194.5 \text{ kN/m}^2$

$M = (166.6 \times 0.70) \times 2.85^2 / 12 + ((194.5 - 166.6) \times 0.70) \times 2.85^2 / 20 = 86.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$Q = (166.6 \times 0.70) \times 2.85 / 2 + ((194.5 - 166.6) \times 0.70) \times 2.85 \times 7 / 20 = 185.7 \text{ kN}$

一方、C17の断面は、 $b \times D = 700 \times 600$ 、主筋 8-D25+4-D16、帯筋□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、 $M_u = 339.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 、 $Q_{su} = 502.0 \text{ kN}$ 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。

5.4 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 10m 以下に存在する 1~4 階である。また、本設計例では 5 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

2~5 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

2~5 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けられているため、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。

§ 6. 津波荷重時水平耐力の検討

6.1 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、§ 4 に述べた浮力を考慮した柱軸力によっている。

6.2 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6.1 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 _x (kN)	水平耐力 tQ _{ux} (kN)	余裕度 tQ _{ux} /tQ _x
6	965	1520	1.58
5	2763	4353	1.58
4	5475	8625	1.58
3	9102	14339	1.58
2	13643	21493	1.58
1	19100	30090	1.58

表6.2 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 _y (kN)	水平耐力 tQ _{uy} (kN)	余裕度 tQ _{uy} /tQ _y
6	2721	2886	1.06
5	8800	9333	1.06
4	17972	19061	1.06
3	30238	32070	1.06
2	45597	48359	1.06
1	64051	67931	1.06

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 1.58、張間方向で 1.06 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、 $Q-\delta$ 曲線からも分かるように建物剛性はある程度確保されている。また、張間方向の水平耐力は AX8 通りの 1 階の耐力壁のせん断破壊で決定しているが、 $Q-\delta$ 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- δ 曲線

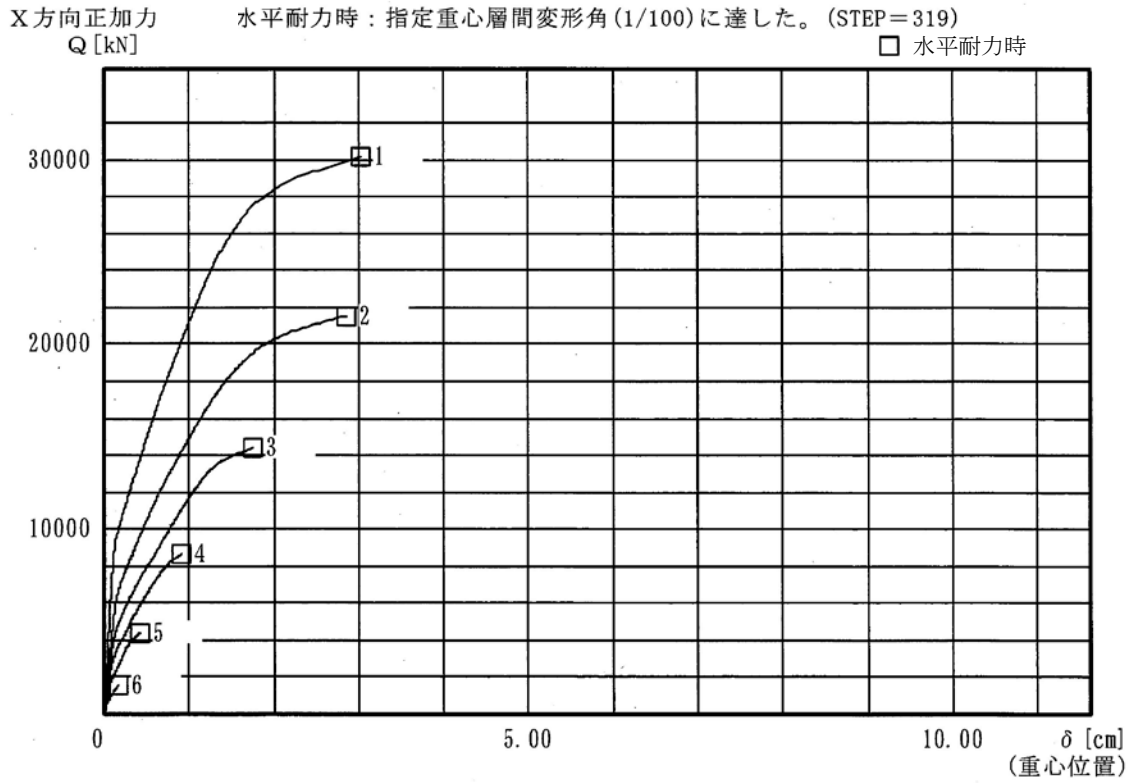


図 6.1 X方向正加力時Q- δ 曲線 水平耐力算定時

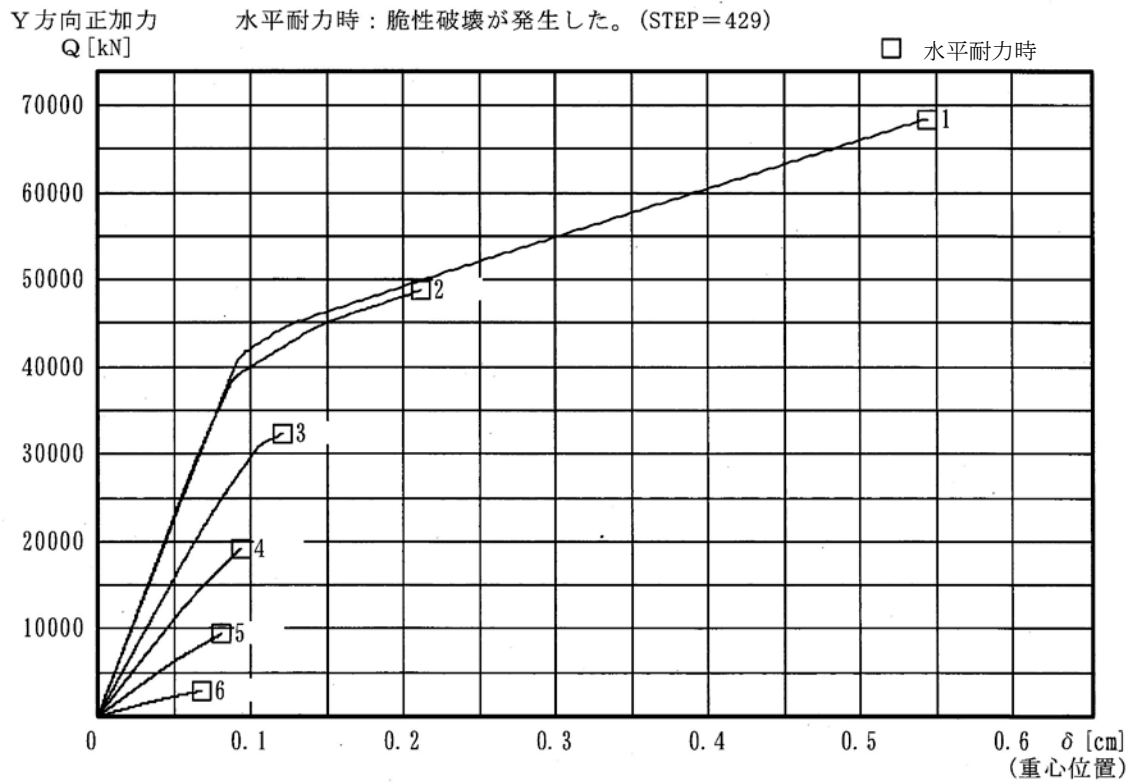


図 6.2 Y方向正加力時Q- δ 曲線 水平耐力算定時

(3) 水平耐力時ヒンジ図

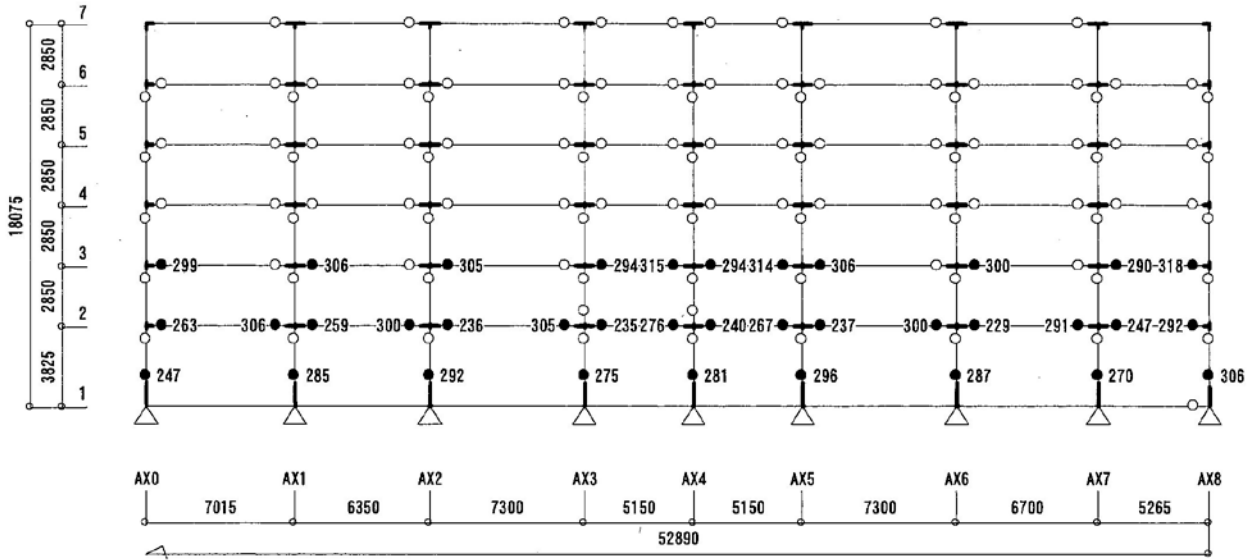


図 6.3 AY0 フレーム X方向正加力

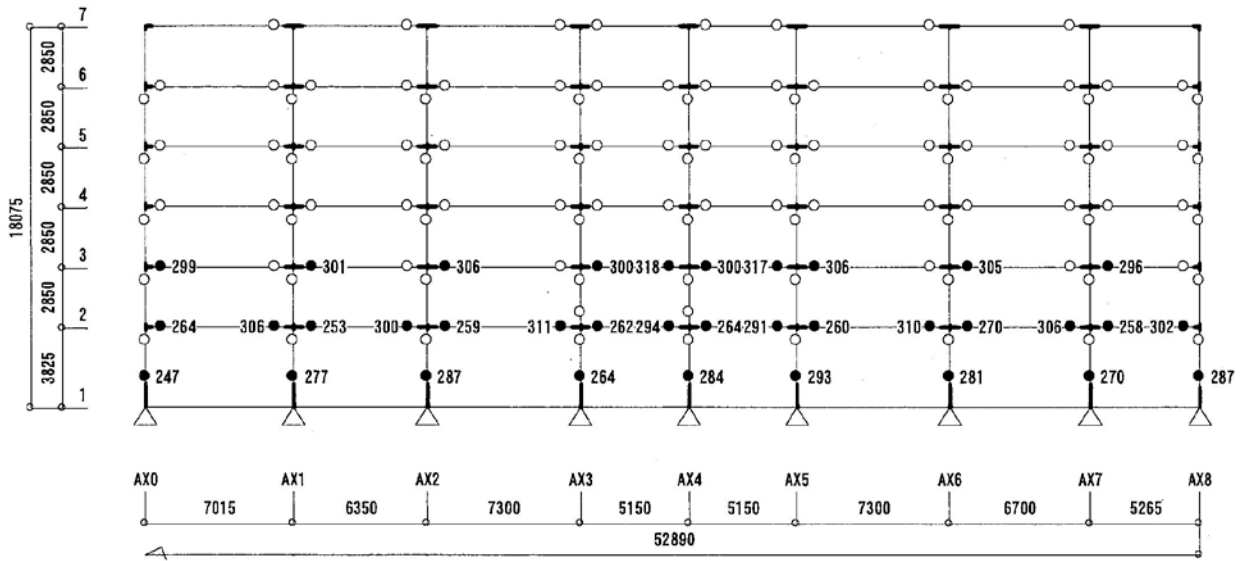


図 6.4 AY1 フレーム X方向正加力

○: 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。

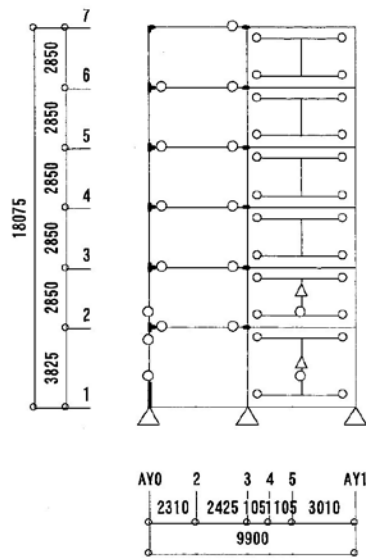


図 6.5 AX0 フレーム Y方向正加力

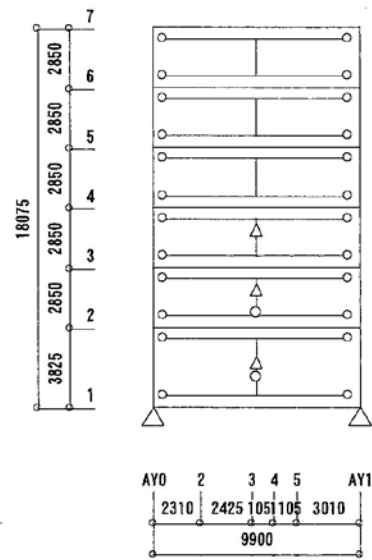


図 6.7 AX7 フレーム Y方向正加力

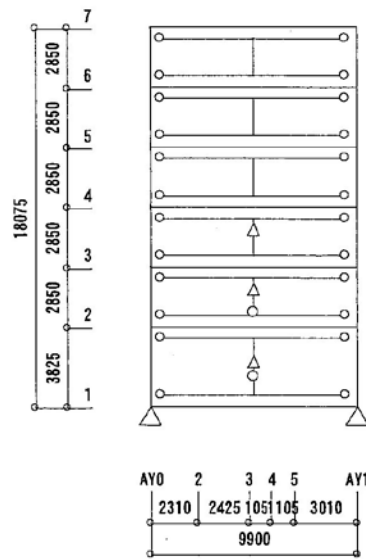


図 6.6 AX1 フレーム Y方向正加力

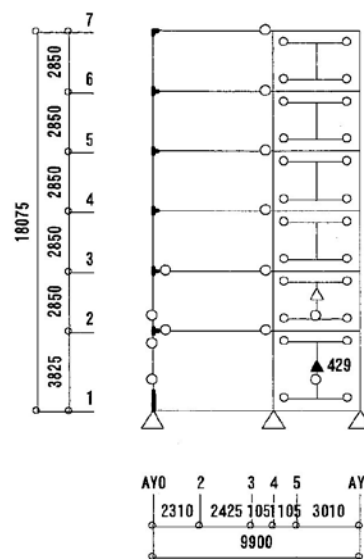


図 6.8 AX8 フレーム Y方向正加力

○: 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。

§ 7. 基礎の設計

7.1 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。
- 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 Q_{mu} となる。このとき、杭のせん断強度 Q_{su} が Q_{mu} 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、 Q_{mu} を全ての杭について集計したものを杭の水平耐力 Q_u とし、 Q_u 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。

(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。

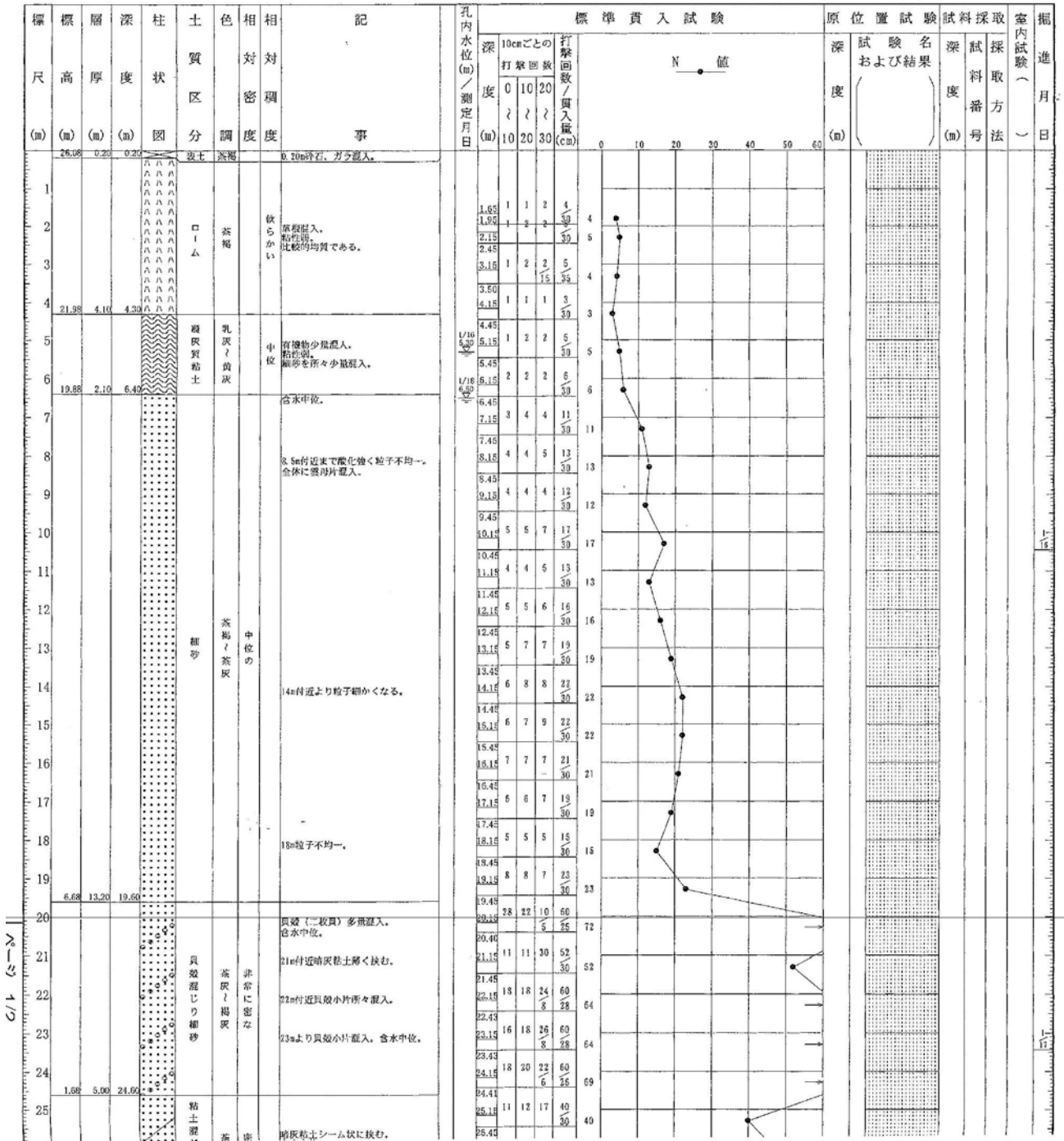


図 7.1 柱状図

7.2 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 10m とする。以下に杭軸力一覧を示す。

表 7.1 浮力と支点反力と杭軸力

杭No.	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	-934	882	3573	854	3690	-52	2639	-80	2756
2	AY0	AX1	-3646	3961	4189	-2728	10894	315	543	-6373	7248
3	AY0	AX2	-3597	4597	4274	-2497	11365	1001	678	-6093	7768
4	AY0	AX3	-3283	3156	4836	-2998	10992	-128	1553	-6281	7709
5	AY0	AX4	-2685	3166	3176	-3882	10254	481	490	-6567	7569
6	AY0	AX5	-3283	4843	3184	-3012	11054	1560	-100	-6295	7771
7	AY0	AX6	-3685	4503	4831	-2433	11765	818	1146	-6118	8080
8	AY0	AX7	-3332	3446	4565	-2885	11002	114	1233	-6217	7670
9	AY0	AX8	-927	3958	16	818	3226	3031	-912	-109	2299
10	AY1	AX0	-1026	952	3363	8252	-3946	-74	2337	7226	-4972
11	AY1	AX1	-3646	4270	4552	11300	-2450	624	906	7654	-6096
12	AY1	AX2	-3597	5301	4876	12001	-1854	1705	1279	8405	-5451
13	AY1	AX3	-3283	3702	5322	11469	-2508	419	2039	8186	-5791
14	AY1	AX4	-2685	3319	3308	10411	-3721	634	623	7726	-6407
15	AY1	AX5	-3283	5316	3687	11518	-2556	2033	404	8235	-5839
16	AY1	AX6	-3685	5386	5629	12564	-1622	1701	1944	8879	-5307
17	AY1	AX7	-3332	4138	5320	11857	-2365	806	1988	8525	-5697
18	AY1	AX8	-641	3018	-321	7425	-4607	2377	-962	6784	-5248
19	AY0-1	AX0	-1960	2119	2697	-2384	7110	159	737	-4344	5150
20	AY0-1	AX8	-1568	2585	1543	-3034	6896	1017	-25	-4602	5328

(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 7.2 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	1900	1900	18	20649	7892	1225	27316

ii) 杭材の圧縮強度による終局鉛直支持力

表 7.3 杭材による終局鉛直支持力

杭符号	軸径 (mm)	断面積 (m ²)	Fc (N/mm ²)	終局鉛直 支持力(kN)
P1	1900	2.84	27	51035

以上より極限支持力を下表とする。

表 7.4 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	27316	51035	27316

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 7.5 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	1900	18	6314	714	7028

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 7.6 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	2756	27316	9.91	-80	-7028	87.74
2	AY0	AX1	P1	7248	27316	3.77	-6373	-7028	1.10
3	AY0	AX2	P1	7768	27316	3.52	-6093	-7028	1.15
4	AY0	AX3	P1	7709	27316	3.54	-6281	-7028	1.12
5	AY0	AX4	P1	7569	27316	3.61	-6567	-7028	1.07
6	AY0	AX5	P1	7771	27316	3.52	-6295	-7028	1.12
7	AY0	AX6	P1	8080	27316	3.38	-6118	-7028	1.15
8	AY0	AX7	P1	7670	27316	3.56	-6217	-7028	1.13
9	AY0	AX8	P1	3031	27316	9.01	-912	-7028	7.71
10	AY1	AX0	P1	7226	27316	3.78	-4972	-7028	1.41
11	AY1	AX1	P1	7654	27316	3.57	-6096	-7028	1.15
12	AY1	AX2	P1	8405	27316	3.25	-5451	-7028	1.29
13	AY1	AX3	P1	8186	27316	3.34	-5791	-7028	1.21
14	AY1	AX4	P1	7726	27316	3.54	-6407	-7028	1.10
15	AY1	AX5	P1	8235	27316	3.32	-5839	-7028	1.20
16	AY1	AX6	P1	8879	27316	3.08	-5307	-7028	1.32
17	AY1	AX7	P1	8525	27316	3.20	-5697	-7028	1.23
18	AY1	AX8	P1	6784	27316	4.03	-5248	-7028	1.34
19	AY0-1	AX0	P1	5150	27316	5.30	-4344	-7028	1.62
20	AY0-1	AX8	P1	5328	27316	5.13	-4602	-7028	1.53

なお、杭には大きな引張力が生じることから、パイルキャップ等の配筋は以下のようにした。

- ・パイルキャップのせいを大きくして、杭頭主筋の定着長を長くする
- ・パイルキャップの拘束を高めるために、はかま筋および横筋を多くする
- ・耐力壁の縦筋を基礎梁下端まで伸ばす

7.3 滑動に対する検討

以下に検討結果一覧を示す。

表7.7 X方向 正加力 Qmu

杭No.	位置		軸力 (kN)	Mu (kN・m)	Qmu (kN)
1	AY0	AX0	-52	22437	4640
2	AY0	AX1	315	22603	4669
3	AY0	AX2	1001	22903	4723
4	AY0	AX3	-128	22398	4632
5	AY0	AX4	481	22675	4682
6	AY0	AX5	1560	23148	4767
7	AY0	AX6	818	22823	4709
8	AY0	AX7	114	22514	4653
9	AY0	AX8	3031	23761	4876
10	AY1	AX0	-74	22426	4637
11	AY1	AX1	624	22738	4694
12	AY1	AX2	1705	23212	4778
13	AY1	AX3	419	22648	4677
14	AY1	AX4	634	22742	4694
15	AY1	AX5	2033	23353	4803
16	AY1	AX6	1701	23211	4778
17	AY1	AX7	806	22818	4708
18	AY1	AX8	2377	23494	4828
19	0-1	AX0	159	22534	4657
20	0-1	AX8	1017	22911	4725
合計	(杭の水平耐力)				94331

表7.8 X方向 負加力 Qmu

杭No.	位置		軸力 (kN)	Mu (kN・m)	Qmu (kN)
1	AY0	AX0	2639	23601	4847
2	AY0	AX1	543	22703	4687
3	AY0	AX2	678	22762	4698
4	AY0	AX3	1553	23146	4766
5	AY0	AX4	490	22679	4683
6	AY0	AX5	-100	22412	4635
7	AY0	AX6	1146	22967	4735
8	AY0	AX7	1233	23005	4741
9	AY0	AX8	-912	21987	4558
10	AY1	AX0	2337	23478	4825
11	AY1	AX1	906	22862	4716
12	AY1	AX2	1279	23025	4745
13	AY1	AX3	2039	23356	4803
14	AY1	AX4	623	22737	4694
15	AY1	AX5	404	22641	4676
16	AY1	AX6	1944	23317	4797
17	AY1	AX7	1988	23335	4800
18	AY1	AX8	-962	21961	4554
19	0-1	AX0	737	22787	4702
20	0-1	AX8	-25	22451	4642
合計	(杭の水平耐力)				94304

表7.9 Y方向 正加力 Qmu

杭No.	位置		軸力 (kN)	Mu (kN・m)	Qmu (kN)
1	AY0	AX0	-80	22422	4637
2	AY0	AX1	-6373	19128	4039
3	AY0	AX2	-6093	19275	4066
4	AY0	AX3	-6281	19176	4048
5	AY0	AX4	-6567	19027	4021
6	AY0	AX5	-6295	19169	4047
7	AY0	AX6	-6118	19262	4064
8	AY0	AX7	-6217	19210	4054
9	AY0	AX8	-109	22407	4634
10	AY1	AX0	7226	25315	5150
11	AY1	AX1	7654	25462	5176
12	AY1	AX2	8405	25697	5217
13	AY1	AX3	8186	25629	5205
14	AY1	AX4	7726	25487	5180
15	AY1	AX5	8235	25645	5208
16	AY1	AX6	8879	25843	5243
17	AY1	AX7	8525	25734	5224
18	AY1	AX8	6784	25164	5123
18	0-1	AX0	-4344	20191	4234
18	0-1	AX8	-4602	20056	4209
合計	(杭の水平耐力)				92778

表7.10 Y方向 負加力 Qmu

杭No.	位置		軸力 (kN)	Mu (kN・m)	Qmu (kN)
1	AY0	AX0	2756	23649	4856
2	AY0	AX1	7248	25323	5151
3	AY0	AX2	7768	25501	5183
4	AY0	AX3	7709	25481	5179
5	AY0	AX4	7569	25433	5171
6	AY0	AX5	7771	25501	5183
7	AY0	AX6	8080	25597	5200
8	AY0	AX7	7670	25468	5177
9	AY0	AX8	2299	23462	4822
10	AY1	AX0	-4972	19862	4174
11	AY1	AX1	-6096	19273	4066
12	AY1	AX2	-5451	19611	4128
13	AY1	AX3	-5791	19433	4095
14	AY1	AX4	-6407	19111	4036
15	AY1	AX5	-5839	19408	4090
16	AY1	AX6	-5307	19686	4142
17	AY1	AX7	-5697	19482	4104
18	AY1	AX8	-5248	19717	4147
18	0-1	AX0	5150	24583	5021
18	0-1	AX8	5328	24649	5033
合計	(杭の水平耐力)				92958

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

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

$$= (35570 \times 1.1 \times 188 + 3/4 \times 2762710 \times 0.855) / 1000 = 9127 \text{ kN}$$

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1817kNであり、その位置のせん断力1054kN
 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 7.11 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	22507	94331	4.19
X 負加力	22507	94304	4.19
Y 正加力	75576	92778	1.23
Y 負加力	75576	92958	1.23

*1) 1階下半分の波力は、

$$X \text{ 方向} = (180.57 + 196.00) \times (2.85/2 + 0.15) / 2 \times 13.52 \times 0.85 = 3408 \text{ kN}$$

$$Y \text{ 方向} = (180.57 + 196.00) \times (2.85/2 + 0.15) / 2 \times 53.98 \times 0.72 = 11526 \text{ kN}$$

参考として、「杭-地盤バネ」モデルによる杭頭変形 20mm 時のモーメント図とせん断力図、および杭の N-Mu 曲線図を以下に示す。

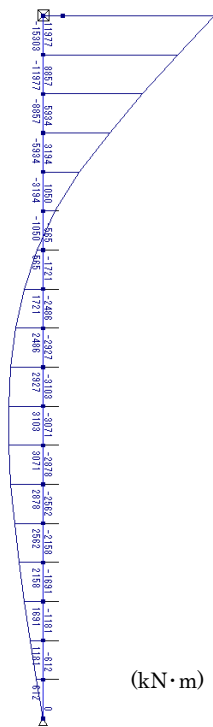


図 7.2 杭のモーメント図

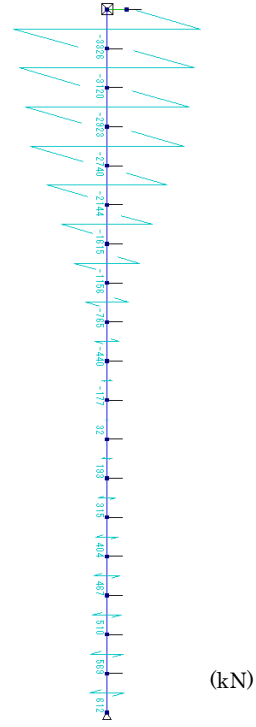


図 7.3 杭のせん断力図

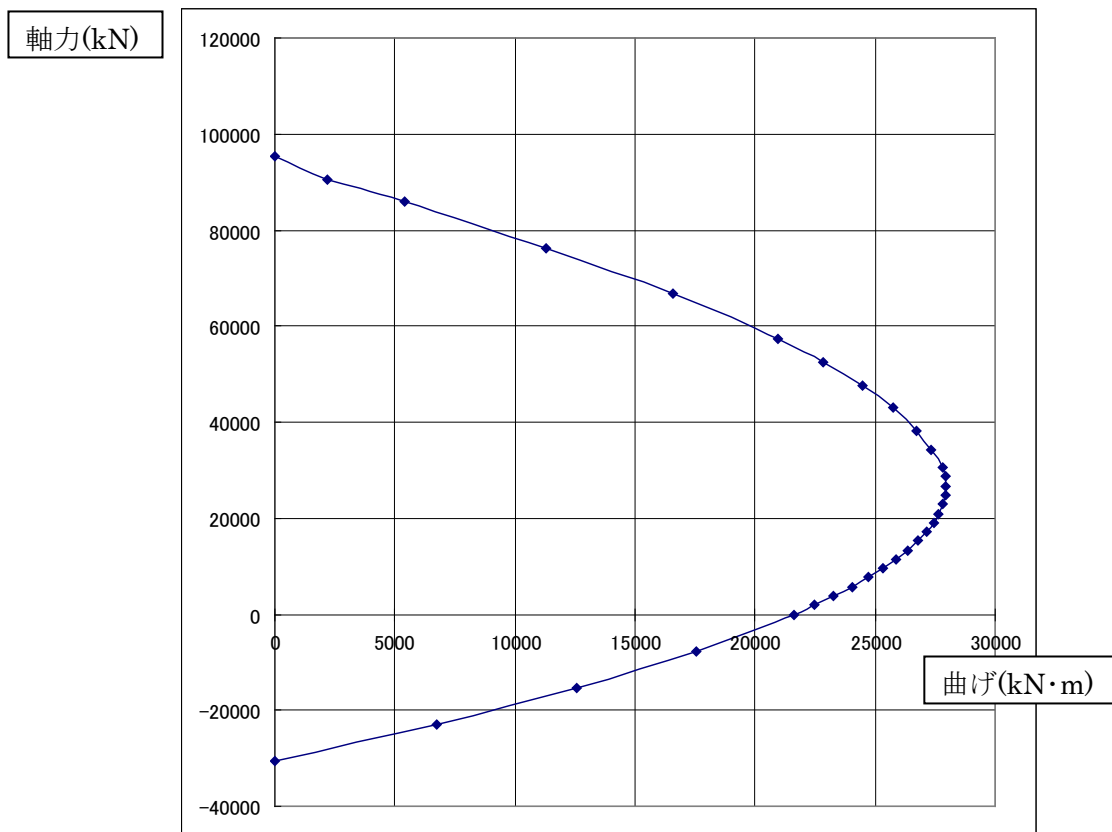


図 7.4 杭の N-Mu 曲線

7.4 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

$$b \times D = 700 \times 2300, \quad d = 2150$$

主筋 12-D32 (SD390)

STP □D13@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。

$${}_b Q = 684 \text{ kN}$$

$${}_b M = 2650 - 684 \times 0.6 = 2240 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

② 杭からの応力

・杭頭応力

AX2 通り

$$Q_{OL} = 4723 \text{ kN}$$

$$M_{OL} = 22903 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

AX3 通り

$$Q_{OR} = 4633 \text{ kN}$$

$$M_{OR} = 22398 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

・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 4.16 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 $2.3 / 2 + 0.1 = 1.25 \text{ m}$ とする。

AX2 通り

$$Q_L = 4723 / 4.16 = 1135 \text{ kN}$$

$$M_L = 22903 / 4.16 + 1135 \times 1.25 \\ = 6924 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

AX3 通り

$$Q_R = 4633 / 4.16 = 1114 \text{ kN}$$

$$M_R = 22398 / 4.16 + 1114 \times 1.25 \\ = 6777 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

・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。

$${}_p Q = (M_L + M_R) / 2 / L = (6924 + 6777) / 2 / 7.3 = 938 \text{ kN}$$

$${}_p M = \max[M_L, M_R] / 2 - {}_p Q \cdot \ell' = 6924 / 2 - 938 \times 0.6 = 2899 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ 設計用応力

$$M = {}_b M + {}_p M = 2240 + 2899 = 5139 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Q = {}_b Q + {}_p Q = 684 + 938 = 1622 \text{ kN}$$

④ 断面算定

曲げ： 終局曲げ強度 $M_u = 0.9 \times 12 \times 794 \times 390 \times 1.1 \times 2150 / 10^6 = 7909 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$M / M_u = 5139 / 7909 = 0.65 < 1.0$$

せん断： 終局せん断強度 Q_{su}

$$p_t = 12 \times 794 / (700 \times 2150) \times 100 = 0.633 \quad \%$$

$$p_w = 127 \times 2 / 100 / 700 = 0.0036$$

$$M / (Q \cdot d) = 5139 / (1622 \times 2.15) = 1.47$$

$$Q_{su} = \{0.068 \times 0.633^{0.23} \times (30 + 18) / (1.47 + 0.12) + 0.85 \times (0.0036 \times 295)^{1/2}\} \\ \times 700 \times 7 / 8 \times 2150 / 1000 = 3587 \text{ kN}$$

$$Q / Q_{su} = 1622 / 3587 = 0.45 < 1.0 \rightarrow \text{十分なせん断余裕度がある}$$

2) FG14 の設計

$$b \times D = 1500 \times 2300, \quad d = 2150$$

主筋 40-D32 (SD390)

STP 8-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 $\ell' = 0.95 / 2 = 0.475 \text{ m}$ とする。
 ${}_b Q = 513 \text{ kN}$
 ${}_b M = 2006 - 513 \times 0.475 = 1762 \text{ kN} \cdot \text{m}$

② 杭からの応力

・杭頭応力

AY0 通り

$$Q_{OL} = 4637 \text{ kN}$$

$$M_{OL} = 22421 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

AY01 通り

$$Q_{OR} = 4232 \text{ kN}$$

$$M_{OR} = 20183 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

・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 1.23 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 $2.3 / 2 + 0.1 = 1.25 \text{ m}$ とする。

AY0 通り

$$Q_L = 4637 / 1.23 = 3770 \text{ kN}$$

$$M_L = 22421 / 1.23 + 3770 \times 1.25$$

$$= 22941 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

AY01 通り

$$Q_R = 4232 / 1.23 = 3441 \text{ kN}$$

$$M_R = 20183 / 1.23 + 3441 \times 1.25$$

$$= 20710 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

・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。

$${}_p Q = (M_L + M_R / 2) / L = (22941 + 20710 / 2) / 4.785 = 6958 \text{ kN}$$

$${}_p M = \max[M_L, M_R / 2] - {}_p Q \cdot \ell' = 22941 - 6958 \times 0.475 = 19636 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ 設計用応力

$$M = {}_b M + {}_p M = 1762 + 19636 = 21398 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Q = {}_b Q + {}_p Q = 513 + 6958 = 7471 \text{ kN}$$

④ 断面算定

曲げ： 終局曲げ強度 $M_u = 0.9 \times 40 \times 794 \times 390 \times 1.1 \times 2150 / 10^6 = 26364 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$M / M_u = 21398 / 26364 = 0.81 < 1.0$$

せん断： せん断強度 Q_{su}

$$p_t = 40 \times 794 / (1500 \times 2150) \times 100 = 0.985 \quad \%$$

$$p_w = 199 \times 8 / 100 / 1500 = 0.0106$$

$$M / (Q \cdot d) = 21398 / (7471 \times 2.15) = 1.33$$

$$Q_{su} = \{0.068 \times 0.985^{0.23} \times (30 + 18) / (1.33 + 0.12) + 0.85 \times (0.0106 \times 295)^{1/2}\}$$

$$\times 1500 \times 7 / 8 \times 2150 / 1000 = 10572 \text{ kN}$$

$$Q / Q_{su} = 7471 / 10572 = 0.71 < 1.0 \rightarrow \text{十分なせん断余裕度がある}$$

7.5 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 § 6 に示す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 7.12 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	221	2904	227	2988
2	AY0	AX1	2784	2982	-3927	9752
3	AY0	AX2	3419	3101	-3661	10208
4	AY0	AX3	2030	3724	-4075	9848
5	AY0	AX4	2228	2239	-4768	9276
6	AY0	AX5	3731	2054	-4073	9880
7	AY0	AX6	3267	3602	-3580	10444
8	AY0	AX7	2336	3464	-3897	9787
9	AY0	AX8	3178	-742	87	2417
10	AY1	AX0	197	2603	7517	-4540
11	AY1	AX1	3308	3302	10076	-3754
12	AY1	AX2	4083	3669	10778	-3086
13	AY1	AX3	2537	4168	10267	-3645
14	AY1	AX4	2352	2341	9392	-4649
15	AY1	AX5	4158	2513	10290	-3668
16	AY1	AX6	4092	4324	11180	-2833
17	AY1	AX7	2915	4159	10566	-3446
18	AY1	AX8	2758	-615	7083	-4753
19	AY0-1	AX0	1695	2268	-2880	6568
20	AY0-1	AX8	2268	1225	-3320	6489

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 7.13 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	2988	27316	9.14 (9.91)	221	-7028	-
2	AY0	AX1	P1	9752	27316	2.80 (3.77)	-3927	-7028	1.79 (1.10)
3	AY0	AX2	P1	10208	27316	2.68 (3.52)	-3661	-7028	1.92 (1.15)
4	AY0	AX3	P1	9848	27316	2.77 (3.54)	-4075	-7028	1.72 (1.12)
5	AY0	AX4	P1	9276	27316	2.94 (3.61)	-4768	-7028	1.47 (1.07)
6	AY0	AX5	P1	9880	27316	2.76 (3.52)	-4073	-7028	1.73 (1.12)
7	AY0	AX6	P1	10444	27316	2.62 (3.38)	-3580	-7028	1.96 (1.15)
8	AY0	AX7	P1	9787	27316	2.79 (3.56)	-3897	-7028	1.80 (1.13)
9	AY0	AX8	P1	3178	27316	8.60 (9.01)	-742	-7028	9.47 (7.71)
10	AY1	AX0	P1	7517	27316	3.63 (3.78)	-4540	-7028	1.55 (1.41)
11	AY1	AX1	P1	10076	27316	2.71 (3.57)	-3754	-7028	1.87 (1.15)
12	AY1	AX2	P1	10778	27316	2.53 (3.25)	-3086	-7028	2.28 (1.29)
13	AY1	AX3	P1	10267	27316	2.66 (3.34)	-3645	-7028	1.93 (1.21)
14	AY1	AX4	P1	9392	27316	2.91 (3.54)	-4649	-7028	1.51 (1.10)
15	AY1	AX5	P1	10290	27316	2.65 (3.32)	-3668	-7028	1.92 (1.20)
16	AY1	AX6	P1	11180	27316	2.44 (3.08)	-2833	-7028	2.48 (1.32)
17	AY1	AX7	P1	10566	27316	2.59 (3.20)	-3446	-7028	2.04 (1.23)
18	AY1	AX8	P1	7083	27316	3.86 (4.03)	-4753	-7028	1.48 (1.34)
19	AY0-1	AX0	P1	6568	27316	4.16 (5.30)	-2880	-7028	2.44 (1.62)
20	AY0-1	AX8	P1	6489	27316	4.21 (5.13)	-3320	-7028	2.12 (1.53)

次に、各杭の Mu、Qmu を示す。

表7.14 X方向 正加力 Qmu

杭No.	位置		軸力 (kN)	Mu (kN・m)	Qmu (kN)
1	AY0	AX0	221	22561	4662
2	AY0	AX1	2784	23660	4858
3	AY0	AX2	3419	23920	4904
4	AY0	AX3	2030	23352	4803
5	AY0	AX4	2228	23433	4817
6	AY0	AX5	3731	24048	4927
7	AY0	AX6	3267	23858	4893
8	AY0	AX7	2336	23477	4825
9	AY0	AX8	3178	23821	4887
10	AY1	AX0	197	22551	4660
11	AY1	AX1	3308	23874	4896
12	AY1	AX2	4083	24184	4951
13	AY1	AX3	2537	23559	4840
14	AY1	AX4	2352	23484	4826
15	AY1	AX5	4158	24212	4956
16	AY1	AX6	4092	24187	4952
17	AY1	AX7	2915	23714	4867
18	AY1	AX8	2758	23649	4856
19	0-1	AX0	1695	23208	4777
20	0-1	AX8	2268	23449	4820
合計	(杭の水平耐力)				96976

表7.15 X方向 負加力 Qmu

杭No.	位置		軸力 (kN)	Mu (kN・m)	Qmu (kN)
1	AY0	AX0	2904	23709	4867
2	AY0	AX1	2982	23741	4872
3	AY0	AX2	3101	23790	4881
4	AY0	AX3	3724	24045	4926
5	AY0	AX4	2239	23437	4818
6	AY0	AX5	2054	23362	4805
7	AY0	AX6	3602	23995	4917
8	AY0	AX7	3464	23938	4907
9	AY0	AX8	-742	22076	4574
10	AY1	AX0	2603	23586	4845
11	AY1	AX1	3302	23872	4896
12	AY1	AX2	3669	24022	4922
13	AY1	AX3	4168	24216	4957
14	AY1	AX4	2341	23479	4825
15	AY1	AX5	2513	23550	4838
16	AY1	AX6	4324	24274	4967
17	AY1	AX7	4159	24212	4956
18	AY1	AX8	-615	22142	4586
19	0-1	AX0	2268	23449	4820
20	0-1	AX8	1225	23001	4741
合計	(杭の水平耐力)				96920

表7.16 Y方向 正加力 Qmu

杭No.	位置		軸力 (kN)	Mu (kN・m)	Qmu (kN)
1	AY0	AX0	227	22564	4662
2	AY0	AX1	-3927	20409	4273
3	AY0	AX2	-3661	20548	4299
4	AY0	AX3	-4075	20331	4259
5	AY0	AX4	-4768	19969	4193
6	AY0	AX5	-4073	20332	4259
7	AY0	AX6	-3580	20591	4306
8	AY0	AX7	-3897	20424	4276
9	AY0	AX8	87	22503	4651
10	AY1	AX0	7517	25415	5168
11	AY1	AX1	10076	26201	5306
12	AY1	AX2	10778	26397	5340
13	AY1	AX3	10267	26254	5315
14	AY1	AX4	9392	26001	5271
15	AY1	AX5	10290	26261	5316
16	AY1	AX6	11180	26509	5360
17	AY1	AX7	10566	26338	5330
18	AY1	AX8	7083	25266	5141
19	0-1	AX0	-2880	20957	4373
20	0-1	AX8	-3320	20727	4331
合計	(杭の水平耐力)				95431

表7.17 Y方向 負加力 Qmu

杭No.	位置		軸力 (kN)	Mu (kN・m)	Qmu (kN)
1	AY0	AX0	2988	23744	4873
2	AY0	AX1	9752	26110	5290
3	AY0	AX2	10208	26238	5312
4	AY0	AX3	9848	26137	5295
5	AY0	AX4	9276	25966	5264
6	AY0	AX5	9880	26146	5296
7	AY0	AX6	10444	26304	5324
8	AY0	AX7	9787	26120	5292
9	AY0	AX8	2417	23510	4831
10	AY1	AX0	-4540	20088	4215
11	AY1	AX1	-3754	20499	4290
12	AY1	AX2	-3086	20849	4353
13	AY1	AX3	-3645	20556	4300
14	AY1	AX4	-4649	20031	4205
15	AY1	AX5	-3668	20544	4298
16	AY1	AX6	-2833	20981	4377
17	AY1	AX7	-3446	20661	4319
18	AY1	AX8	-4753	19976	4195
19	0-1	AX0	6568	25090	5110
20	0-1	AX8	6489	25063	5106
合計	(杭の水平耐力)				95544

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

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

$$= (35570 \times 1.1 \times 188 + 3/4 \times 2762710 \times 0.855) / 1000 = 9127 \text{ kN}$$

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1817kNであり、その位置のせん断力1080kN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 7.18 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	22507	96976 (94331)	4.31 (4.19)
X 負加力	22507	96920 (94304)	4.31 (4.19)
Y 正加力	75576	95431 (92778)	1.26 (1.23)
Y 負加力	75576	95544 (92958)	1.26 (1.23)