

ISSN 1346-7328
国総研資料 第 673 号
平成 24 年 3 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE

National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 673

March 2012

津波避難ビル等の構造上の要件の解説

Practical Guide on Requirement for Structural Design of Tsunami Evacuation Buildings

平成 24 年 3 月

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

津波避難ビル等の構造上の要件の解説

国土技術政策総合研究所
建築研究部

Practical Guide on Requirement for Structural Design of Tsunami Evacuation Buildings

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

概要

国土技術政策総合研究所で基準原案を作成した、津波避難ビル等の構造上の要件に係る技術基準（平成23年11月17日付け国土交通省住宅局通知及び津波防災地域づくり法に規定する避難施設に係る技術基準（平成23年国土交通省告示第1318号））に係る解説及び設計例である。

キーワード : 津波避難ビル、技術基準

Synopsis

This technical note illustrates comments and design examples related to technical standards on requirement for structural design of tsunami evacuation buildings (the technical standards on evacuation facilities stipulated by notice of the Housing Bureau of the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism dated November 17th in 2011 and tsunami prevention region development law (Notification 1318 of the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism in 2011)). The draft of the technical standards was made by the National Institute for Land and Infrastructure Management.

Key Words :

Tsunami Evacuation Buildings, Technical Standards

津波避難ビル等の構造上の要件の解説 目次

1章. 津波避難ビル等の構造上の要件の解説 p. I-1

1-1. 適用範囲	・・・ p. I-2
1-2. 用語	・・・ p. I-5
1-3. 構造計画	・・・ p. I-6
1-4. 津波荷重算定式	・・・ p. I-7
1-5. 荷重の組み合わせ	・・・ p. I-21
1-6. 受圧面の設計	・・・ p. I-23
1-7. 構造骨組みの設計	・・・ p. I-25
1-8. 転倒及び滑動の検討	・・・ p. I-27
1-9. その他の構造設計上の配慮	・・・ p. I-34

2章. 津波避難ビル等の設計例 p. II-1

2-1. 6階建て鉄筋コンクリート造共同住宅の設計例 (浸水深 10m、水深係数 2.0)	・・・ p. II-2
2-2. 8階建て鉄筋コンクリート造共同住宅の設計例 (浸水深 15m、水深係数 2.0)	・・・ p. II-50

参考資料編 p. 参-1

参考資料1. 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 (技術的助言)	・・・ p. 参-1
参考資料2. 津波防災地域づくりに関する法律 (抄)	・・・ p. 参-8
参考資料3. 津波防災地域づくりに関する法律施行令 (抄)	・・・ p. 参-14
参考資料4. 津波防災地域づくりに関する法律施行規則 (抄)	・・・ p. 参-15
参考資料5. 津波防災地域づくりに関する法律施行規則に基づく告示	・・・ p. 参-16

本書は、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「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」及び津波防災まちづくり法に基づく避難施設に関する技術基準の解説として編集したものである。これらの技術基準は、平成 23 年度国土交通省建築基準整備促進事業において、調査課題として「津波危険地域における建築基準等の整備に資する検討」を設定し、公募により選定された東京大学生産技術研究所が耐震改修支援センター（(財)日本建築防災協会）と連携し、独立行政法人建築研究所との共同研究により取り組んだ調査研究で得られた知見を踏まえて、国土交通省住宅局及び国土技術政策総合研究所がとりまとめたものである。技術基準原案については、国土技術政策総合研究所建築構造基準委員会（委員長：久保哲夫 東京大学教授）における審議を踏まえ、とりまとめたものである。

これらの技術基準について、実務者の参考となる情報を整理した資料を国土技術政策総合研究所において作成することとし、各基準の解説本文は具体の設計に必要な技術的な事例等も盛り込んだ上で、技術基準の趣旨を整理している。また、具体の建築物についての設計例を作成することとし、鉄筋コンクリート造の共同住宅についての計算例を作成し、この過程で得られた技術情報も解説に反映した。これらについては、独立行政法人建築研究所の協力を得て作成した。

なお、解説の作成にあたっては、上記建築基準整備促進事業における中間報告及び中間報告その 2 で公表されている知見を引用するとともに、技術基準原案の作成過程で検討してきた技術的な情報を改めて整理して編集させていただいた。また、設計例の作成にあたっては、原設計データの提供、計算例の作成において、協力いただいた関係団体に厚く御礼申し上げたい。

本書を参考に、今後も引き続き、津波避難ビルの整備が円滑に進むよう、また、国土技術政策総合研究所としても、さまざまな形で技術的な支援を行っていくこととしている。

国土技術政策総合研究所 建築研究部長 西山功

1章 津波避難ビル等の構造上の 要件の解説

1章. 津波避難ビル等の構造上の要件の解説

第1章では、津波避難ビル等（工作物を含む。以下同じ）の指定を検討する際の、建築物の選定基準（構造的要件）の基本的な考え方として、国土交通省住宅局及び国土技術政策総合研究所においてとりまとめた「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」（平成23年11月17日付国住指第2570号）における「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」（以下、「新ガイドライン」という）の内容について解説する。

また、これを基に、平成23年12月7日に制定された津波防災地域づくりに関する法律（平成23年法律第123号）（以下、「津波防災地域づくり法」という）において指定避難施設の構造上の技術基準（津波防災地域づくりに関する法律施行規則（平成23年国土交通省省令第99号）（以下、「津波防災地域づくり法施行規則」という）第31条第一号及び第二号の規定に基づき「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」（平成23年国土交通省告示第1318号）（以下、「津波防災地域づくり法告示」という））が定められており、この内容とその解説についても合わせて示した^{注1}。

本章に示す解説の内容は、国土交通省の平成23年度建築基準整備促進事業において設置された、津波避難ビル等の構造設計法等の検討委員会（委員長：中埜良昭東京大学生産技術研究所教授）において、東日本大震災における津波による建築物被害の調査を踏まえてとりまとめられた中間報告¹及び中間報告その2²の内容や、(財)日本建築センターの津波に対する建築物の構造設計法に係る自主研究^{3,4}及びこの構造設計法を参照している内閣府の「津波避難ビル等に係るガイドライン」⁵（以下、「旧ガイドライン」という）を参考に、必要な修正、加筆をしたものである。

なお、津波防災地域づくり法において、管理方法に関する基準に適合すること、また、避難スペースの設置にあたっては、同法の規定に従って建築物等への衝突による津波の水位の上昇が考慮された基準水位が定められ、これ以上の高さに避難上有効な場所を設けることとされているので、これらについて別途検討が必要である。

参考① 津波防災地域づくり法における指定避難施設の要件について

津波防災地域づくり法における指定避難施設の指定にあたっては、津波災害警戒区域内において、以下の要件に適合するものについて、市町村長が指定することができることとされている。

1. 構造上の要件（津波に対して安全な構造方法等とすること。）
2. 避難上の要件（避難上有効な場所の配置、かつ、当該場所までの経路の確保。）
3. 管理上の要件（津波発生時に住民等に開放されること等。）

また、上記1、2の要件を満たす施設について、市町村と当該施設の所有者等が管理協定を締結することにより、市町村自ら当該施設の避難用部分の管理を行うことも可能である。

なお、指定避難施設の指定にあたり、建築主事を置かない市町村の市町村長においては、あらかじめ、都道府県知事と協議しなければならないとされている。協議を受けた都道府県知事は、主として上記1の要件に適合しているかどうかを確認することとなる。

^{注1} 新ガイドラインと津波防災地域づくり法告示は、各施行時点における整理状況等により一部書きぶりに異なる点が見られるが、両者については基本的に同趣旨のものであると理解してよい。

1-1. 適用範囲

新ガイドライン

(1) 適用の確認

本設計法は、津波避難ビル等の構造設計に適用する。適用においては、地方公共団体によるハザードマップ等に示された想定浸水深により津波の設計用浸水深を設定する。

なお、今後、津波防災地域づくりにおいて、津波浸水想定（津波があった場合に想定される浸水の区域及び水深）が設定された場合には、これを基本に設計用浸水深を設定する。

(2) 新築への適用

新築に本設計法を適用する場合、本設計法に示されていない項目は、建築基準法（昭和25年法律第201号。以下「法」という。）その他の関係法令による。

(3) 既存建築物への適用

既存建築物への適用は、法上適法であるもののほか、法第3条の適用を受けている既存不適格建築物にあっては、建築物の耐震改修の促進に関する法律（平成7年法律第123号）第8条第3項第一号に基づく基準（平成18年国土交通省告示185号）又は昭和56年6月1日時点の法第20条の規定に適合するものを対象とする。

津波防災地域づくり法告示等

【津波防災地域づくり法（抄）】

（津波浸水想定）

第8条 都道府県知事は、基本指針に基づき、かつ、基礎調査の結果を踏まえ、津波浸水想定（津波があった場合に想定される浸水の区域及び水深をいう。以下同じ。）を設定するものとする。

（以下、略）

（指定避難施設の指定）

第56条 市町村長は、警戒区域において津波の発生時における円滑かつ迅速な避難の確保を図るため、警戒区域内に存する施設（当該市町村が管理する施設を除く。）であって次に掲げる基準に適合するものを指定避難施設として指定することができる。

- 一 当該施設が津波に対して安全な構造のものとして国土交通省令で定める技術的基準に適合するものであること。（以下、略）

【津波防災地域づくり法施行規則（抄）】

（指定避難施設の技術的基準）

第31条 建築物その他の工作物である指定避難施設に関する法第56条第1項第一号の国土交通省令で定める技術的基準は、次に掲げるものとする。

- 一 津波浸水想定を設定する際に想定した津波の作用に対して安全なものとして国土交通大臣が定める構造方法を用いるものであること。
- 二 地震に対する安全性に係る建築基準法（昭和25年法律第201号）並びにこれに基づく命令及び条例の規定又は地震に対する安全上これらに準ずるものとして国土交通大臣が定める基準に適合するものであること。

【津波防災地域づくり法告示（抄）】

第二 施行規則第 31 条第二号に規定する地震に対する安全上地震に対する安全性に係る建築基準法並びにこれに基づく命令及び条例の規定に準ずる基準は、建築物の耐震改修の促進に関する法律（平成 7 年法律第 123 号）第 4 条第 2 項第三号に掲げる建築物の耐震診断及び耐震改修の実施について技術上の指針となるべき事項に定めるところにより耐震診断を行った結果、地震に対して安全な構造であることが確かめられることとする。

I. 基準の趣旨

新ガイドラインに示す設計法（以下、「本設計法」という）は、津波避難ビル等の指定を検討する際の、建築物の選定基準（構造的要件）の基本的な考え方及び構造設計の手順をまとめたものである。

設計用浸水深の設定については、旧ガイドラインにおいては数値シミュレーション等をもとに設定することとされていたが、新ガイドラインにおいては、多くの自治体においてハザードマップの整備が進められてきたこと等を受け、設計用浸水深を、ハザードマップ等に示された想定浸水深に基づき設定すること、また、津波防災地域づくり法に基づいて津波避難施設が指定される場合については、同法第 8 条の規定に基づき都道府県知事により定められる津波浸水想定（津波があった場合に想定される浸水の区域及び水深）に定める水深とすることを明示した。

本設計法の流れを図 1.1.1 に示す。既存の建築物に適用する場合は、地震に対する耐震安全性を確保するために、現行の建築基準法（昭和 25 年法律第 201 号）（以下、「法」という）の規定に適合するもののほか、同法第 3 条の適用を受けている既存不適格建築物にあっては、建築物の耐震改修の促進に関する法律（平成 7 年法律第 123 号）第 8 条第 3 項第一号に基づく基準（地震に対する安全上耐震関係規定に準ずるものとして定める基準（平成 18 年国土交通省告示 185 号）。昭和 56 年 6 月 1 日時点の法第 20 条の規定に適合するもの（同法第 4 条第 2 項第三号に掲げる建築物の耐震診断及び耐震改修の実施について技術上の指針となるべき事項に定めるところにより耐震診断を行った結果、地震に対して安全な構造であるもの）を含む。）に適合するものであることを確認の上、新ガイドライン等に準拠した設計を行うこととなる。なお、本設計法に示されていない項目については、建築基準法や、その他の関係法令に従うこととする。

なお、本設計法では、前述のとおり工作物も対象となるが、以下の解説は基本的に建築物を想定して記述している。特殊な形状の工作物については、別途検討が必要と考えられるので留意されたい。

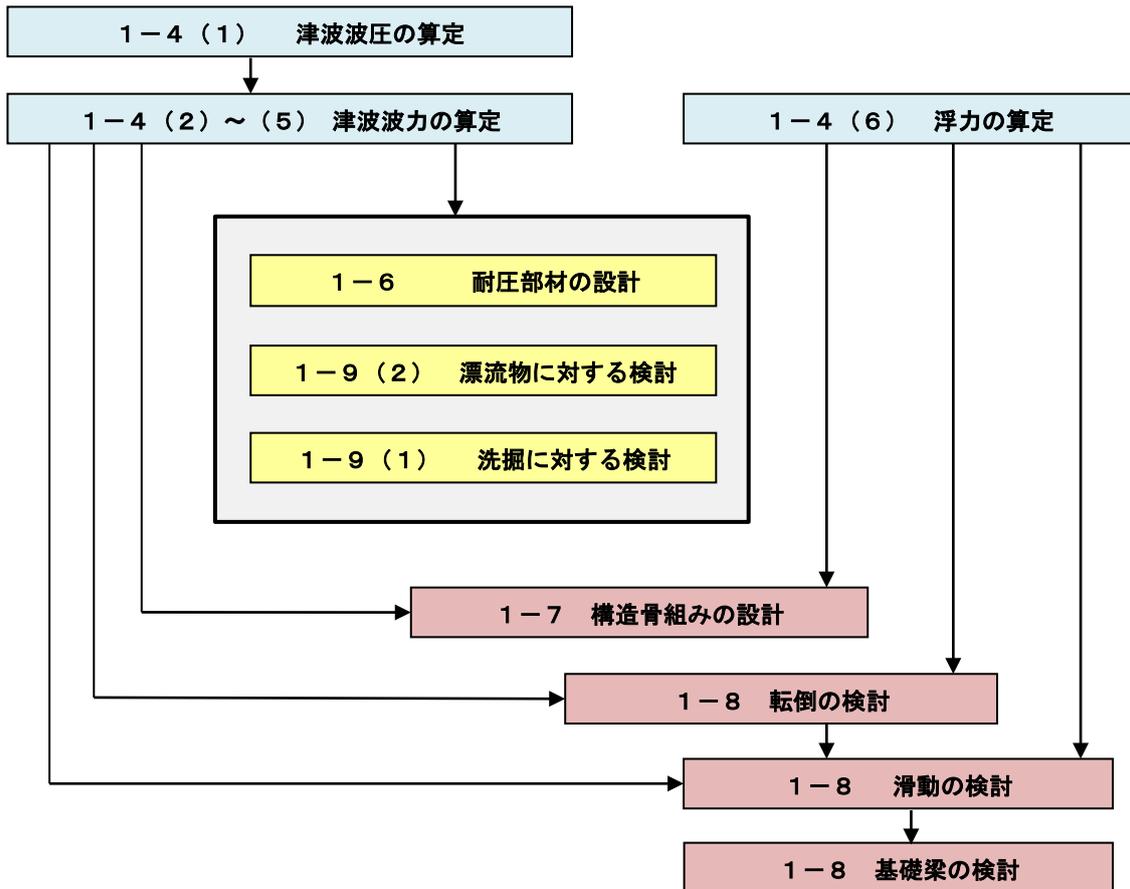


図 1.1.1 本設計法で想定する設計の流れ

1-2. 用語

新ガイドライン（津波防災地域づくり法告示等に規定なし）

本設計法で用いる用語は、以下のように定義する。

設計用浸水深	敷地に想定される津波の浸水深で建築物が接する地表面までの津波の深さ(m)
津波荷重	津波によって建築物に作用する圧力及び力であり、津波波圧、津波波力及び浮力の総称
津波波圧	津波により建築物の受圧面に作用する水平方向の圧力(kN/m ²)
津波波力	津波により建築物に作用する水平方向の力(kN)
浮力	津波により建築物に作用する鉛直方向上向きの力(kN)
受圧面	津波波圧を直接受ける面
耐圧部材	津波波圧を直接受け、破壊しないように設計する部材
非耐圧部材	津波波圧を直接受け、破壊することを容認する部材
構造骨組み	受圧面で受けた力を建築物全体から基礎に伝達する架構

I. 基準の趣旨

ここでは、本設計法の本文に使用する用語のうち一般的でないものや定義を明確にしておくべきものについてまとめている。

旧ガイドラインからの主な変更点は、設計用浸水深の定義を、津波の浸水深で建築物が接する地表面までの津波の深さとして明示したことである。

なお、津波波力に対する構造計算上、建築物の耐力算定に用いる受圧面の部材のうち、構造耐力上主要な部分は耐圧部材として設計する（津波波圧により破壊しないことを確かめる）必要がある。非耐圧部材のうち、津波波圧により破壊することが確認される部材による開口部は、津波波圧を受圧しないものとして波力を低減することが可能であるが、その他の非耐圧部材は、津波波圧に耐えることを確かめることは要しない（破壊することを容認する）ものの、この場合も波圧を受圧するものとして、津波波力を算定することが原則である。なお、「受圧面」「耐圧部材」「非耐圧部材」については「1-4.（3）開口部による低減」を参照されたい。

1-3. 構造計画

新ガイドライン（津波防災地域づくり法告示等に規定なし）

津波荷重に対する建築物の構造計画では、耐圧部材と非耐圧部材を明確に区分し配置する。

I. 基準の趣旨

津波荷重は、設計用浸水深が深くなるにつれて大きくなり、設計用浸水深によっては、風荷重や地震荷重と比較して大きな荷重となる場合がある。

耐力壁は地震時に面内方向に荷重を負担するが、津波時には面外方向にも荷重を負担する。津波荷重に対する建築物の構造設計では、荷重方向によって耐圧部材と非耐圧部材を明確に区分し、各階に生じる津波の水平荷重を明らかにしなければならない。また、特に壁等の受圧面積の大きい耐圧部材の配置を工夫することで、建築物の構造骨組み全体に生じる津波荷重を小さくすることができる。

津波荷重が小さくなる構造形式としてピロティ形式があるが、十分な耐震性能を確保するためには設計上十分な配慮が必要とされている。津波避難ビルには、十分な耐震性能が求められるため、耐震設計と耐津波設計の両面を考慮した構造計画が必要である。

1-4. 津波荷重算定式

(1) 津波波圧算定式

新ガイドライン

(1) 津波波圧算定式

構造設計用の進行方向の津波波圧は下式により算定する。

$$qz = \rho g(ah - z) \quad \text{—————(4.1)}$$

ここに、

qz : 構造設計用の進行方向の津波波圧 (kN/m²)

ρ : 水の単位体積質量 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

h : 設計用浸水深 (m)

z : 当該部分の地盤面からの高さ ($0 \leq z \leq ah$) (m)

a : 水深係数。3とする。ただし、次の表に掲げる要件に該当する場合は、それぞれ a の値の欄の数値とすることができる。(注: この係数は、建築物等の前面でのせき上げによる津波の水位の上昇の程度を表したものでない。)

	要 件	a の値
(一)	津波避難ビル等から津波が生じる方向に施設又は他の建築物がある場合 (津波を軽減する効果が見込まれる場合に限る)	2
(二)	(一)の場合で、津波避難ビル等の位置が海岸及び河川から 500m以上離れている場合	1.5

津波防災地域づくり法告示等

【津波防災地域づくり法告示 (抄)】

第1第一号ロ 津波による波圧は、津波浸水想定に定める水深に次の式に掲げる水深係数を乗じた高さ以下の部分に作用し、次の式により計算するものとしなければならない。

$$qz = \rho g(ah - z)$$

この式において、 qz 、 ρ 、 g 、 h 、 z 及び a は、それぞれ次の数値を表すものとする。

qz 津波による波圧 (単位1平方メートルにつきキロニュートン)

ρ 水の単位体積質量 (単位1立方メートルにつきトン)

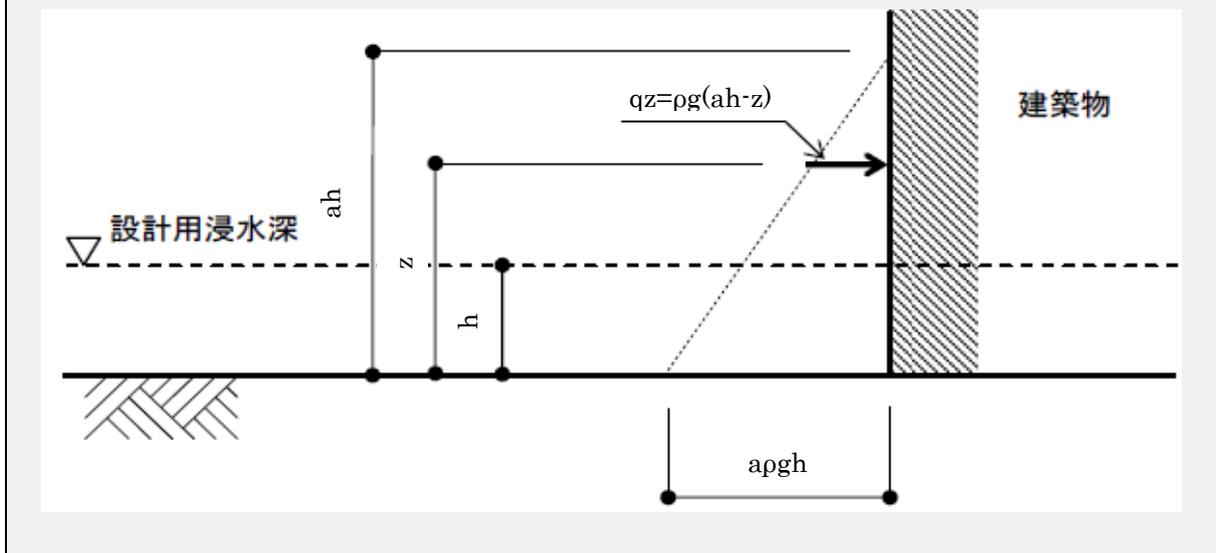
g 重力加速度 (単位メートル毎秒毎秒)

h 津波浸水想定に定める水深 (単位メートル)

z 建築物等の各部分の高さ (単位メートル)

a 水深係数 (3とする。ただし、他の施設等により津波による波圧の軽減が見込まれる場合にあつては、海岸及び河川から500メートル以上離れているものについては1.5と、これ以外のものについては2とする。)

新ガイドライン図4-1 新ガイドライン(4.1)式による津波波圧

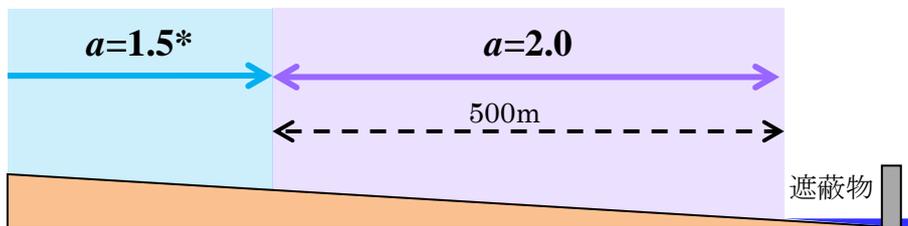


I. 基準の趣旨

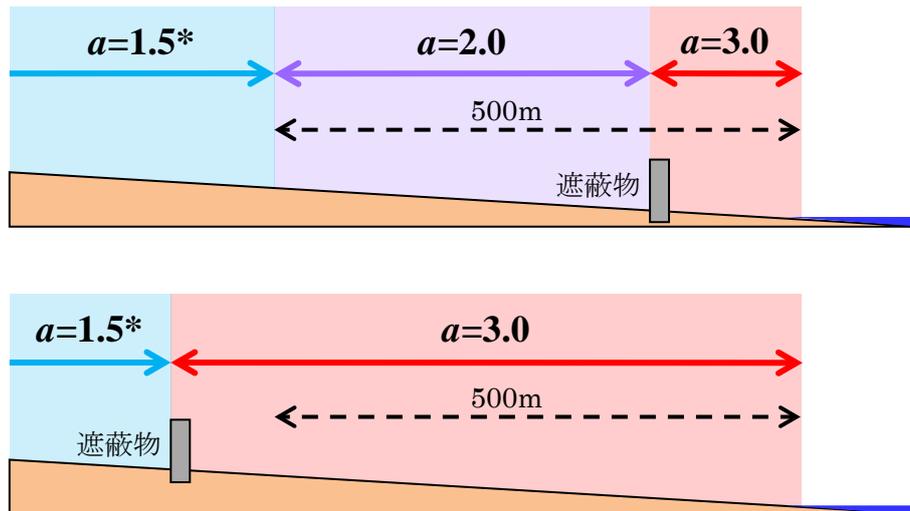
旧ガイドラインでは朝倉ら⁶の研究に基づき、設計用浸水深の3倍に相当する静水圧を津波波圧とする算定式が示されていたが、東日本大震災の津波被害地域における被害調査結果に基づいた旧ガイドラインの算定式の検証²を踏まえ、算定式の見直しを行った。

その結果、設計用浸水深の3倍に相当する静水圧を基本としながらも^{注2}、津波の勢いが軽減されることが見込まれる場合には、この倍率（新ガイドライン及び津波防災地域づくり法告示において、新たに水深係数 a と定義）を低減できることとしている。具体的には、津波避難ビル等から津波が来襲する方向に施設又は他の建築物等の遮蔽物がある場合（津波を軽減する効果が見込まれる場合に限る）について水深係数を3.0から2.0に、さらにそのうち、津波避難ビル等の位置が津波が来襲する方向で海岸及び河川から500m以上離れている場合について当該2.0を1.5まで低減できることとした。（図1.4.1参照）

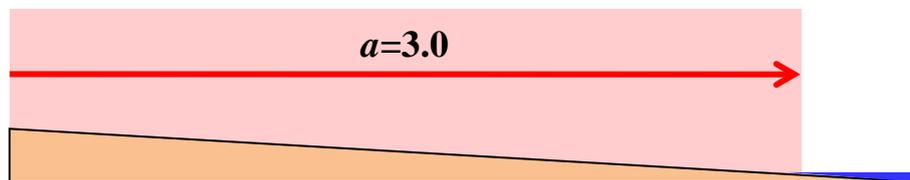
遮蔽物のある地域



注2 東日本大震災の津波被害においては設計用浸水深の3倍に匹敵する静水圧に相当する津波波圧は確認されなかったものの、実験やスマトラ島の津波被害においては確認されているため、津波の流速次第では生じる津波波圧として、設計用浸水深の3倍の静水圧を基本とした。従って、当該静水圧は、津波流速の影響も考慮して設定されたものである。



遮蔽物のない地域



* $a=1.5$ への低減は津波の流速増加がない地域を対象とする

図 1.4.1 水深係数 a の模式図

II. 技術解説・事例

文献 2 によると、東日本大震災における津波被害調査結果を受け、①海側に波力低減を期待しうる遮蔽物^{注3}が有る場合、②海岸や河川等からの距離が 500m 以遠の場合、水深係数が一定程度低減できることとしており、これを踏まえ、図 1.4.1 に示すような水深係数の設定ができるとしている。なお、500m 近傍においては当該建築物周辺の地形（流勢が増大するような下り勾配となっていないか）や建築物の配置（流れが集中する位置に立地していないか）等を勘案し安全側に設定することが望ましい。

なお、 a の数値は、東日本大地震における被害調査から得られた限られたデータに基づく検討であり、津波シミュレーションの精度、過去の実験・被害調査結果等の不確定要素や津波避難ビルの重要性等を考慮した設定としている。そのため、「1-4. (7) 特別な調査又は研究に基づく算出」に示す特別な調査・研究に基づき津波荷重を算出する場合にも、同様の配慮が必要である。

注3 文献 2 では、釜石市、大船渡市、女川町に設置された湾口防波堤と、陸前高田市、石巻市、仙台市、山元町などに見られる津波高さに対し十分な高さを有すると考えられる防波堤・防潮堤を想定しており、また、気仙沼湾の内部に來襲した津波は、蜂ヶ崎地区を通過し波力が低減されていると考えられるため、蜂ヶ崎地区も遮蔽物と想定している。

(2) 津波波力算定式

新ガイドライン

(2) 津波波力算定式

構造設計用の進行方向の津波波力は、4.1 式の津波波圧が同時に生じると仮定し、下式により算定する。

$$Q_z = \rho g \int_{z_1}^{z_2} (ah - z) B dz \quad \text{—————(4.2)}$$

ここに、

Q_z : 構造設計用の進行方向の津波波力 (kN)

B : 当該部分の受圧面の幅 (m)

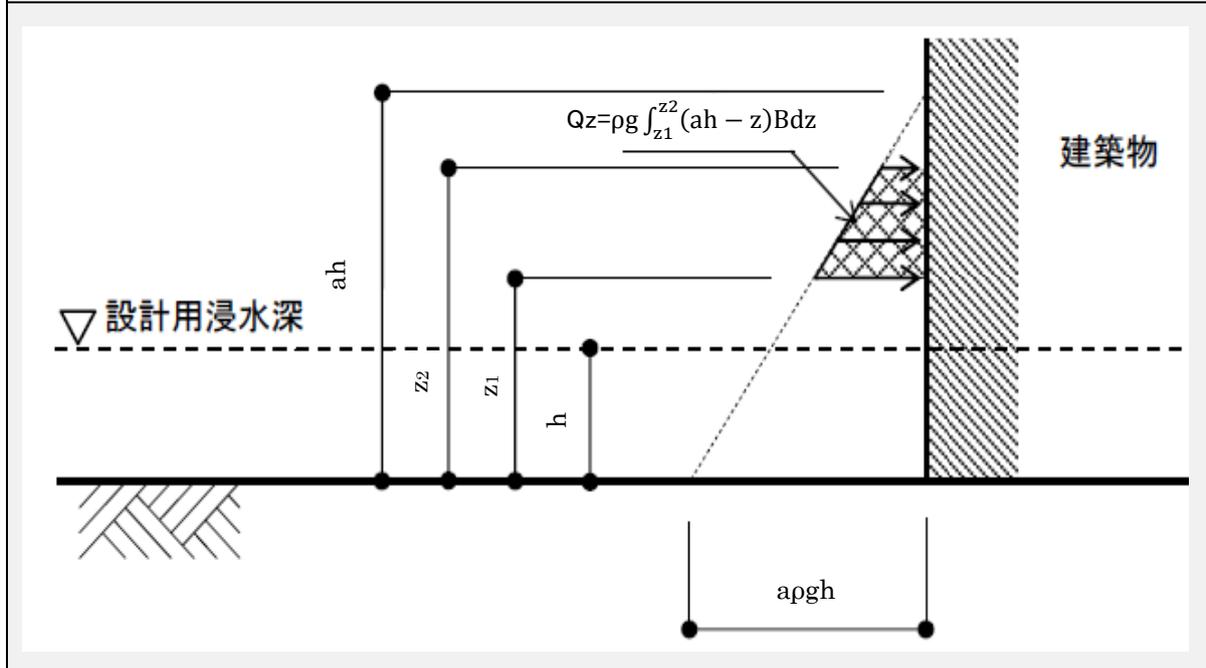
z_1 : 受圧面の最小高さ ($0 \leq z_1 \leq z_2$) (m)

z_2 : 受圧面の最高高さ ($z_1 \leq z_2 \leq ah$) (m)

津波防災地域づくり法告示等

※【津波防災地域づくり法告示】では、第1第一号ニの開口部を有する建築物等における津波波力低減方法に係る記載部分において、津波波力算定式に関する記述が見られるが、当該箇所については次項「1-4.(3) 開口部による低減」において掲載している。

新ガイドライン図4-3 新ガイドライン(4.2)式による津波波力



I. 基準の趣旨

「1-4.(1) 津波波圧算定式」に示した津波波圧は単位面積あたりの津波波力を表していることから、津波波圧を受圧面積について積分することで津波波力を算定することができる。新ガイドライン(4.2)式は受圧面の最小高さが z_1 、最高高さが z_2 である場合の津波波力の算定式を示している。

旧ガイドラインからの変更点は、高さに応じて受圧面の幅が異なる建築物を想定し、新ガイドライン(4.2)式について受圧面の幅 B を含めて積分を行うとしたことである。

II. 技術解説・事例

受圧面の幅 B は高さに応じて一定でない場合があるが、この場合、各高さに応じた受圧面の幅を用いて積分を行うことに注意する必要がある。例えば、図 1.4.2 のように、高さ z_1 から z_3 ($< z_2$) までの受圧面の幅が B_1 、高さ z_3 ($> z_1$) から z_2 までの受圧面の幅が B_2 である場合、当該受圧面に作用する津波波力 Q_z は以下のように計算できる。

$$Q_z = \rho g \int_{z_1}^{z_2} (ah - z)B \cdot dz = \rho g B_1 \int_{z_1}^{z_3} (ah - z) \cdot dz + \rho g B_2 \int_{z_3}^{z_2} (ah - z) \cdot dz$$

また、受圧面の幅 B が高さによらず一定の場合、以下のように計算できる。

$$Q_z = \frac{1}{2} \rho g B \{ (2ahz_2 - z_2^2) - (2ahz_1 - z_1^2) \}$$

本ガイドラインでは「1-7. 構造骨組みの設計」において各層に生じる津波の水平荷重と各層の水平耐力を比較することとなっている。ここで、 i 層に生じる津波の水平荷重 Q_i は、以下のように算定することができる。

$$Q_i = \rho g \int_{z_i}^{z_{\max}} (ah - z)B \cdot dz$$

ここで、 z_i は i 層の中央高さ、 z_{\max} は受圧面の最高高さ (ah と建築物の高さ H のうち小さい方) である。

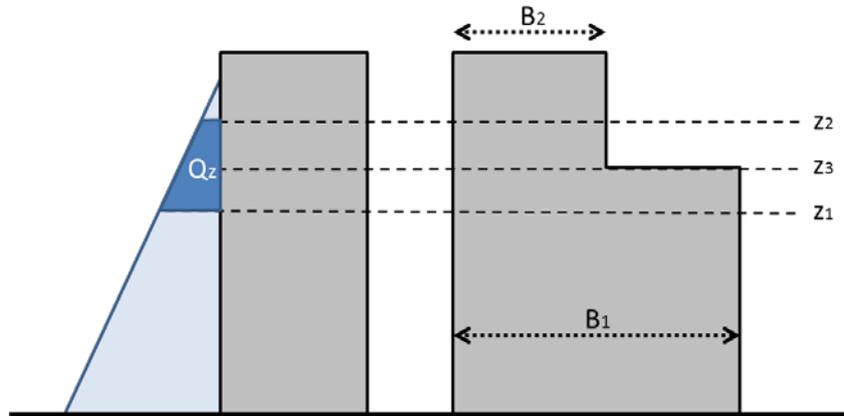


図 1.4.2 津波波力 Q_z

(3) 開口部による低減

新ガイドライン
<p>(3) 開口による低減</p> <p>開口部（津波波圧により破壊するよう設計した非耐圧部材によるものに限る。以下同じ。）における津波波力は、各高さ毎の受圧面の幅から各高さ毎の開口部の幅を除外して津波波力を算定すること、又は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て得た割合を津波波力に乗じることにより低減することができる。ただし、原則として、除外する前の津波波力の7割を下回らないこととする。</p>
津波防災地域づくり法告示等
<p>【津波防災地域づくり法告示（抄）】</p> <p>第1第一号ニ 開口部（常時開放されたもの又は津波による波圧により破壊され、当該破壊により建築物等の構造耐力上主要な部分に構造耐力上支障のある変形、破壊その他の損傷を生じないものに限り、開放部分を除く。以下この号において同じ。）を有する建築物等について、建築物等の各部分の高さにおける津波による波圧が作用する建築物等の部分の幅（以下この号において「津波作用幅」という。）にロの式により計算した津波による波圧を乗じた数値の総和（以下この号において「津波による波力」という。）を用いてイの表の津波による波圧によって生ずる力を計算する場合における当該津波による波力を計算するに当たっては、次の(1)又は(2)に定めるところによることができる。この場合において、これらにより計算した当該津波による波力を用いてイの表の津波による波圧によって生ずる力を計算するに当たっては、建築物等の実況を考慮することとする。</p> <p>(1) 津波作用幅から開口部の幅の総和を除いて計算すること。ただし、津波作用幅から開口部の幅の総和を除いて計算した津波による波力を、津波作用幅により計算した津波による波力で除して得た数値が0.7を下回るときは、当該数値が0.7となるように津波作用幅から除く開口部の幅の総和に当該数値に応じた割合を乗じて計算することとする。</p> <p>(2) 津波による波圧が作用する建築物等の部分の面積（以下この号において「津波作用面積」という。）から開口部の面積の総和を除いた面積を津波作用面積で除して得た数値を乗じて計算すること。ただし、当該数値が0.7を下回るときは、当該数値を0.7として計算することとする。</p>

I. 基準の趣旨

開口部による津波波力の低減効果に関して、東日本大震災における津波被害調査結果等を受け、除外する前の津波波力の7割を下回らないことを原則として、開口部における津波波力が算定除外とできる旨を明示することとした。

ここでいう「開口部」とは、構造骨組みの設計に用いる津波荷重算定に当たり、受圧面にあり、破壊することが確認できる非耐圧部材を想定している。具体的には、外壁にある窓、ドア、シャッター等のことである。開口部は外壁のみを対象とし、内壁を対象としないが、内部で大きな波圧を受けることのないよう、水流の通り道や出口となるような部分が内部や受圧面の反対側の外壁等にも存在することを想定している。なお、第1構面に開口部があっても、流入する水の逃げ



写真 1.4.1 3階建て鉄骨造の転倒

道がない構造であるような場合は、開口部として取り扱わないことが適当である。また、一例のみではあるが、ALC パネルによる外壁がほぼ残ったまま津波により転倒した被害が東日本大震災において発生していた（写真 1.4.1）ことを踏まえると、鉄骨造の外装材部分については、外装材の下地材（2 次部材）や外壁に直交して取り付く内壁の配置等を考慮して外壁の耐力を評価する等開口部とみなせるか否かについて慎重に検討する必要があると考えられる。

津波防災地域づくり法告示においては、さらに具体的に、開口部について「常時開放されたもの又は津波による波圧により破壊され、当該破壊により建築物等の構造耐力上主要な部分に構造耐力上支障のある変形、破壊その他の損傷を生じないものに限る」こと、「開放部分を除く」と明確化された（図 1.4.3 参照）。なお、ここでいう「開放部分」の定義については、「1-4.（4）開放部分の取り扱い」を参照されたい。

また、波力低減の方法については、以下のように明確化されている。

（1）津波作用幅から開口部の幅の総和を除いて計算する

各層ごとに津波作用幅から開口部の幅の総和を除外して計算する。この場合、開口部の幅の総和を除外して計算した波力が、津波作用幅により計算した波力の 7 割を下回る場合は、当該割合が 7 割となるような開口部の幅の総和を調整する係数を求め、波力を計算する。なお、当該調整計算の結果得られた当該建築物全体に作用する波力は、津波作用幅を基に計算した当該建築物全体に作用する波力の 7 割と同値である（p.I-15「参考②」参照）。

（2）津波作用面積から開口部の面積の総和を除いた面積を津波作用面積で除して得た数値（以下、「開口率」という）を乗じて計算する

（低減率）＝ $1 - (\text{開口部面積の総和} / \text{津波作用面積})$ を波力に乗じる。この場合、当該低減率は 0.7 を下回らないものとする。

なお、低減率の下限値については、内壁等が存在する場合には、波力の低減効果が小さくなるとされていることから設定されている。したがって、内壁等が存在しない等の特殊な場合に、特別な調査又は研究によりさらに低減することは排除されない。

さらに、津波による波圧が作用する建築物等の受圧部分が著しく偏在し、当該津波による波圧の作用により建築物等にねじれが生じるおそれがあるなど、建築物等の実況を考慮する必要がある場合は、当該ねじれによる影響を踏まえて安全性を確認することが適当である。

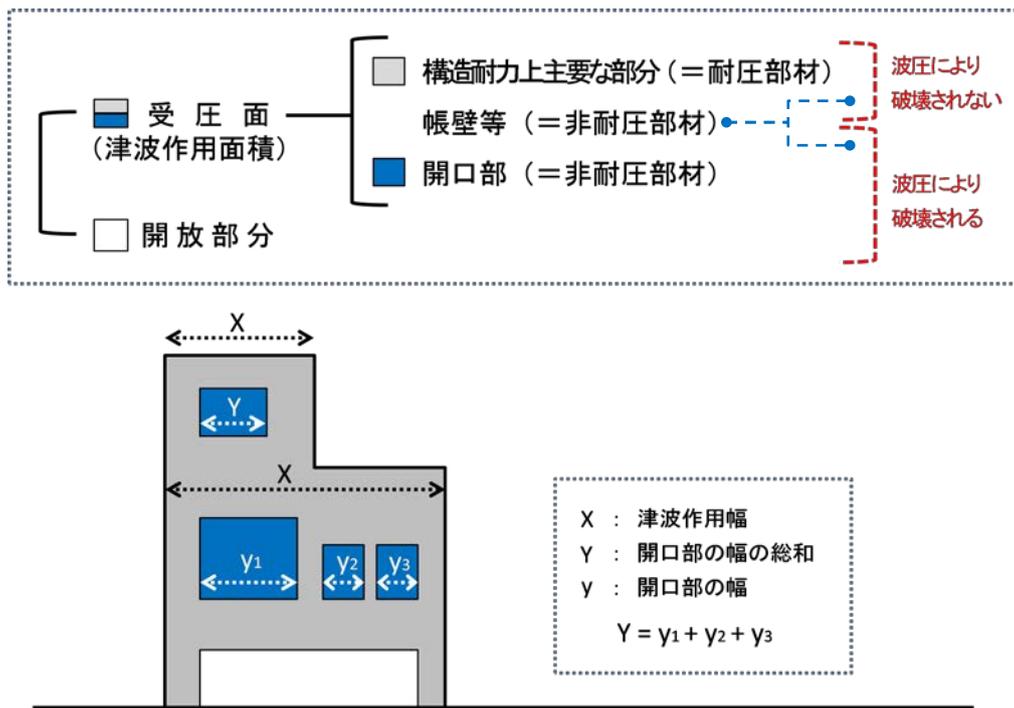


図 1.4.3 受圧面及び開放部分

II. 技術解説・事例

建築物に津波が作用した場合、受圧面（津波波圧を受ける外壁）にある窓ガラス等は早期に破壊するため、受圧面が全て耐圧部材である場合に比べて、構造骨組みに作用する波力は低減すると考えられる。すなわち、開口部によって津波波力は低減しうる。東日本大震災における津波の被害調査においても、受圧面にある窓ガラス等は概ね破壊していた。

なお、開口部による波力の低減については、数値シミュレーションにより検討された例⁷によれば、開口部の割合が大きくなるにつれて波力は低減することが分かるが、概ね3割以上になると内壁等が存在するために波力の低減は小さくなるとされている（図 1.4.4 参照）。すなわち開口部による波力低減には一定の限度があり、内壁を有する通常の建築計画を前提にすると、7割程度を下限とすることが現時点では望ましいと考えられたことがガイドライン等に反映されている。

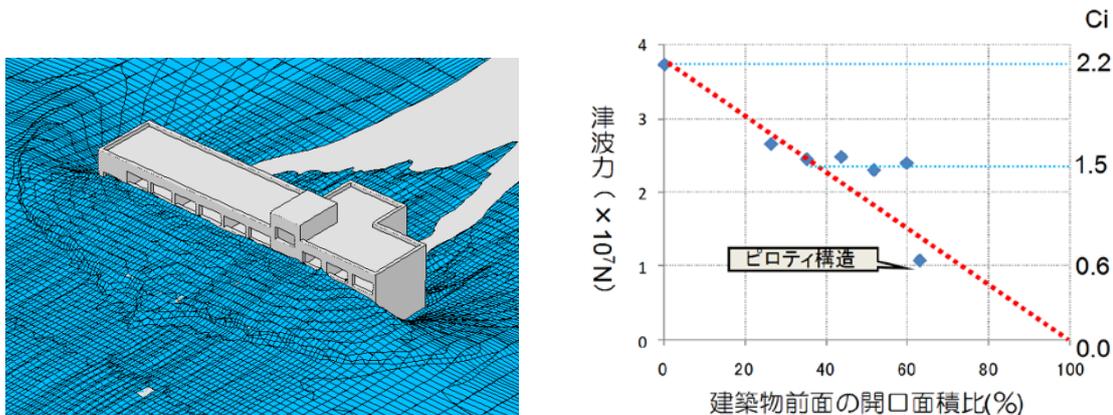


図 1.4.4 開口部による波力の低減に関するシミュレーション結果⁷

参考② 「(1) 津波作用幅から開口部の幅の総和を除いて計算する方法」の計算事例

「(1) 津波作用幅から開口部の幅の総和を除いて計算する方法」について、以下に示す。(図 1.4.5)

ここに、 Q_z : 開口部の幅の総和を除外して計算した波力 (γ による調整後)、 Q_z' : 開口部の幅の総和を除外して計算した波力 (γ による調整前)、 Q_z'' : 津波作用幅により計算した波力とする。

$$\begin{aligned} Q_z' &= \rho g \int_0^{z_{\max}} (ah - z) B \cdot dz \\ &= \rho g(B - W) \int_0^{z_1} (ah - z) \cdot dz + \rho g B \int_{z_1}^{z_2} (ah - z) \cdot dz + \rho g(B - w) \int_{z_2}^{z_3} (ah - z) \cdot dz + \rho g B \int_{z_3}^{z_{\max}} (ah - z) \cdot dz \\ &= \rho g(B - W)X_1 + \rho g B X_2 + \rho g(B - w)X_3 + \rho g B X_4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_z'' &= \rho g B \int_0^{z_{\max}} (ah - z) \cdot dz \\ &= \rho g B X_{\text{all}} \end{aligned}$$

$$\left(\int_0^{z_1} (ah - z) \cdot dz = X_1, \int_{z_1}^{z_2} (ah - z) \cdot dz = X_2, \int_{z_2}^{z_3} (ah - z) \cdot dz = X_3, \int_{z_3}^{z_{\max}} (ah - z) \cdot dz = X_4, \int_0^{z_{\max}} (ah - z) \cdot dz = X_{\text{all}} \right)$$

(i) $Q_z' / Q_z'' \geq 0.7$ の場合

$$Q_z = Q_z' = \rho g(B - W)X_1 + \rho g B X_2 + \rho g(B - w)X_3 + \rho g B X_4$$

(ii) $Q_z' / Q_z'' < 0.7$ の場合

$$Q_z = 0.7 Q_z'' = 0.7 \rho g B X_{\text{all}}$$

ここで、 γ : 開口部の幅の総和を除外して計算した波力 (調整後) (Q_z) を津波作用幅により計算した波力 (Q_z'') で除した値が 0.7 となるように、津波作用幅から除く開口部の幅の総和を調整する係数」とすると、

$$0.7 \rho g B X_{\text{all}} = \rho g(B - \gamma W)X_1 + \rho g B X_2 + \rho g(B - \gamma w)X_3 + \rho g B X_4$$

$$\begin{aligned} \therefore \gamma &= \frac{(X_1 + X_2 + X_3 + X_4 - 0.7 X_{\text{all}})B}{WX_1 + wX_3} \\ &= \frac{0.3 X_{\text{all}} B}{WX_1 + wX_3} \end{aligned}$$

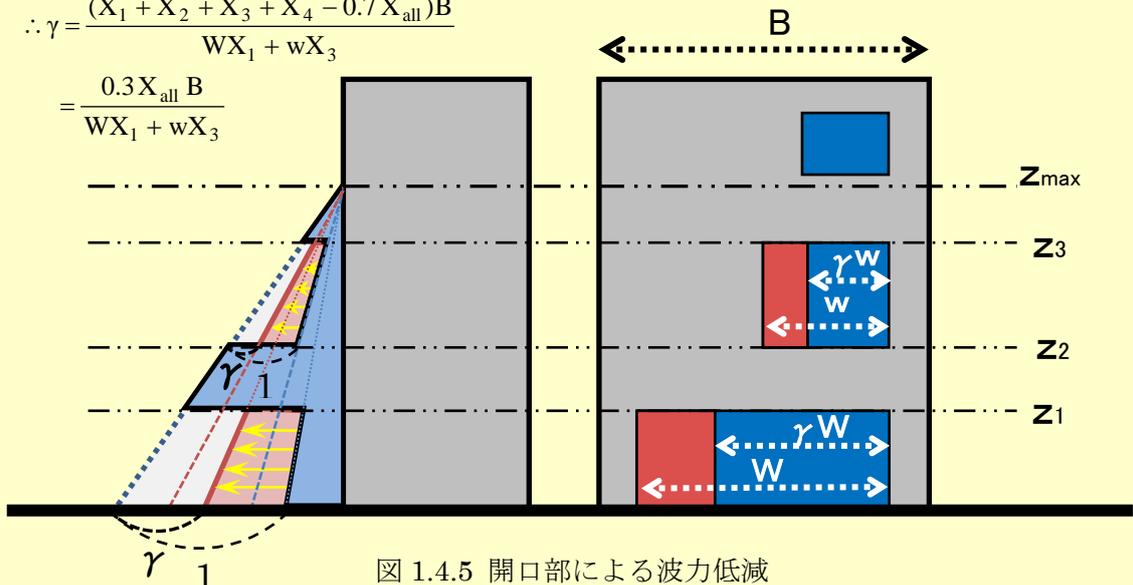


図 1.4.5 開口部による波力低減

(4) 開放部分の取り扱い

新ガイドライン
(4) ピロティの取り扱い ピロティを有する部分の津波波力は、ピロティ部分（柱・梁等の耐圧部材を除く。）に津波波圧が作用しないこととして、算定することができる。
津波防災地域づくり法告示等
【津波防災地域づくり法告示（抄）】 第1第一号ハ ピロティその他の高い開放性を有する構造（津波が通り抜けることにより建築物等の部分に津波が作用しない構造のものに限る。）の部分（以下この号において「開放部分」という。）を有する建築物等については、当該開放部分に津波による波圧は作用しないものとして算定することができる。

I. 基準の趣旨

ピロティの取扱いに関して、開口部と同様にピロティ部分の津波波力が算定除外とできる旨を明示することとした。なお、ピロティ部分については、開口部と異なり低減率の下限を設けないこととした。

また、津波防災地域づくり法告示においては、上記の低減率の下限を設けずに算定除外が出来る対象を、ピロティその他の高い開放性を有する構造のうち、津波が通り抜けることにより建築物等の部分に津波が作用しない構造の部分と明示し、当該部分を「開放部分」とした。

なお、ピロティの内部に壁があるような場合は、その壁が津波波圧を受圧するものとして算定する必要がある。

II. 技術解説・事例

ピロティの場合では通常の窓等の開口部とは異なり、波力を大きく低減することができるが、ピロティ部分の柱梁等に対する波圧を考慮することを前提とすれば開口部と同様に扱えると考えられる。その際、ピロティ部分については低減の限度を設ける必要はない。

(5) 水平荷重の方向

新ガイドライン（津波防災地域づくり法告示等に規定なし）

(5) 水平荷重の方向

津波の水平荷重は、すべての方向から生じることを想定する。

ただし、津波の進行方向が、シミュレーション等による浸水深の予測分布や海岸線の形状から想定できる場合は、この限りでない。また、実状に応じて引き波を考慮する。

※ 津波防災地域づくり法告示において、津波の方向性の直接の記述はないが、津波の進行方向が、シミュレーション等による浸水想定予測分布や海岸線の形状から想定できる場合を除き、実状に応じて引き波も考慮し、すべての方向から生じることとする。

I. 基準の趣旨

津波の水平荷重は、特に河口付近や港湾付近は地形が複雑であり、全ての方向から生じることを想定する。この場合、津波の進行方向（X 方向）及び直交方向（Y 方向）とも同じ大きさの荷重を想定することが原則である。また、引き波についても同じ荷重を見込むことが適当である。ただし、平坦な地形等で、数値シミュレーション結果等を適切に活用することにより、津波の進行方向を想定できる場合はこの限りでないが、そのような場合でも、数値シミュレーションの解析仮定、周辺構造物の配置等によって、津波の進行方向は想定と異なる場合も考えられるため、慎重な検討が必要である。

(6) 浮力算定式

新ガイドライン（津波防災地域づくり法告示等に規定なし）
<p>(6) 浮力算定式</p> <p>津波によって生じる浮力は、下式により算定する。</p> $Q_z = \rho g V \quad \text{—————(4.3)}$ <p>ここに</p> <p>Q_z : 浮力 (kN)</p> <p>V : 津波に浸かった建築物の体積 (m³)</p> <p>ただし、開口率を勘案して水位上昇に応じた開口部からの水の流入を考慮して算定することができる。</p>

I. 基準の趣旨

津波の水位上昇速度が大きい場合には、建築物内部への津波の流入が必ずしも期待できないため、水没した建築物体積（内部空間の容積を含む）に相当する浮力を考慮することとした。ただし、建築物に流入する水の体積（浸水体積）を算定できる場合については、その体積分を浮力から差し引くことができる。なお、この場合、構造躯体そのものの体積分の浮力についても考慮する必要がある。

また、水没した層の梁または垂れ壁と上階スラブに囲まれた空間は浸水しないと判断できるため、必ず浮力を考慮する。また、エレベータホールやコア壁等に囲まれ、開口部が十分に設けられていないなどの浸水しない区画についても浮力を考慮する。

なお、建築物内部への津波の流入が不明確な場合は、後述の「1-7. 構造骨組みの設計」の際には建築物内部に水が流入することとして算定した浮力を、「1-8. 転倒及び滑動の検討」の際には水没した建築物体積（内部空間の容積を含む）に相当する浮力を考慮することで、安全側の設計とすることが望ましい。

II. 技術解説・事例

(1) 建築物に作用する浮力の算定法

建築物に作用する浮力は、建築物に流入する水の体積（浸水体積）により大きく変化する。したがって、孤立波（1つの峰を持った波）が建築物に衝突する場合など、水位の上昇速度がきわめて速い場合は建築物内部の浸水が期待できず、水没した建築物体積（内部空間の容積を含む）に相当する浮力を考慮する必要がある。一方で津波の水位上昇速度（もしくはその上限値）が仮定できる場合には建物の浸水程度を 1m水位上昇あたりの時間と開口面積および位置から推定することができる。算定方法の詳細については建築基準整備促進事業「40. 津波危険地域における建築基準等の整備に資する検討」中間報告その2²の参考資料を参照されたい。

(2) 層に流入する水の上限

東日本大震災の津波被害建物の調査において、完全に水没した建築物の垂れ壁と上階スラブとの間に水痕が残っており、はり下または垂れ壁より高い部分に空気溜まりが出来たことが確認さ

れている。したがって、層内の水位がはり下または垂れ壁高さまで達した時点で、それ以上には当該層には水は流入できないものとする。また、エレベータホールやコア壁などで囲まれた部分についても水は流入しないものとするのが望ましい。

(3) 東日本大震災における転倒被害

前述した参考資料で提案されている方法では津波荷重作用面および側面の開口率、水位の上昇速度、建築物形状から各層に順次水が流入したと見なしうるかを判断する。東日本大震災で転倒した建築物 8 棟は津波荷重作用面および側面の開口率と建築物形状について調査されている。そこで、これらのデータを用いて、転倒した各建築物について各層に順次水が流入したと見なしうるための 1m 水位上昇当りの時間の上限値 $T(s)$ を逆算した。算定結果を図 1.4.6 に示す。

津波荷重作用面および側面の開口率が低い建築物では T が大きく、参考④で後述する宮城県女川町で観測された 30 秒間で 1 m ずつ水位が上昇するような場合には各層に順次水が流入したと判断できるが、水位の上昇が速い地域において同様に各層に順次水が流入したと断定することは困難である。したがって、これらの建築物では水没した建築物体積（内部空間の容積を含む）に比較的近い浮力が生じていたと考えられる。一方、転倒が確認された建築物は 8 棟であるが、これらの開口率 ζ はいずれも 0.3 以下に留まっている。したがって、安全側の設計的配慮として津波荷重作用面および側面の開口率は 0.3 以上設けることが望ましい。

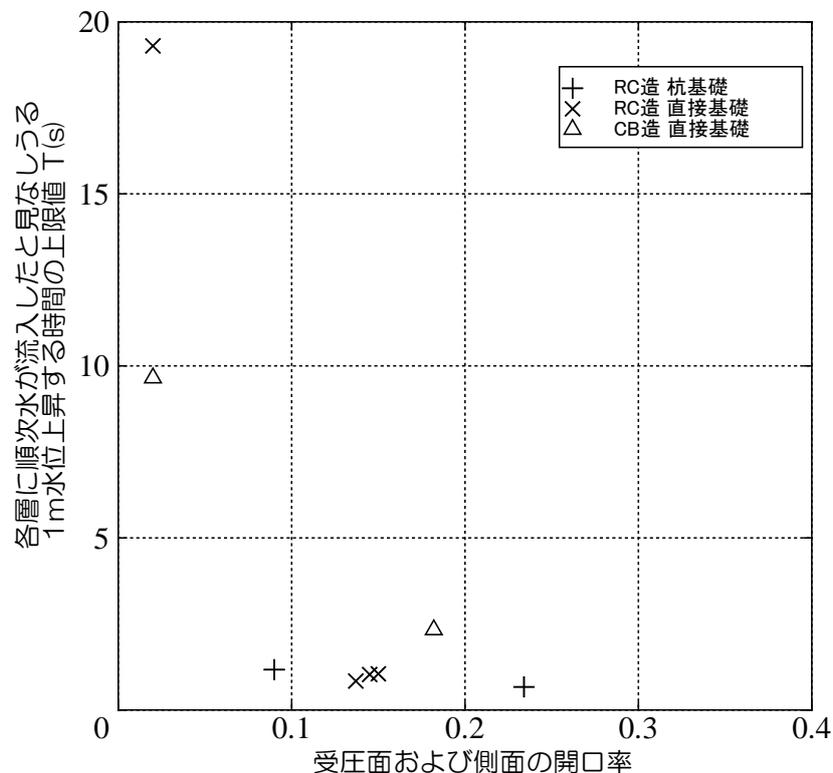


図 1.4.6 調査建築物の 1m 水位上昇当りの時間 T と開口率 ζ の関係

(7) 特別な調査又は研究に基づく算出

新ガイドライン
(7) 特別な調査又は研究に基づく算出 当該津波避難ビル等の所在地における津波荷重を特別な調査又は研究に基づき算出する場合は、当該数値による。
津波防災地域づくり法告示等
【津波防災地域づくり法告示（抄）】 第1 （前略）特別な調査又は研究の結果に基づき津波の作用に対して安全であることが確かめられた場合にあっては、これによらないことができる。 (以下、略)

I. 基準の趣旨

詳細な津波シミュレーション等により津波避難ビル等の所在地における津波荷重を特別な調査又は研究に基づき算出することができる場合、「1-4. (1)」～「1-4. (6)」で示した津波荷重によらず当該数値を津波荷重として用いることができる旨を明示することとした。

参考③ フルード数に応じた水深係数の低減

特別な調査又は研究に基づき津波荷重を算出する具体的な方法としては、中間報告その2²で示されている、フルード数(※1)が一定以下の場合にaを低減するといったことが想定される。

新ガイドライン(4.1)式では流勢を低減させる効果に応じてaの値を低減できることとしているが、中間報告その2²で示されているように、流勢を表す指標であるフルード数 F_r に応じて低減することが考えられる。 F_r に応じた抗力と新ガイドライン(4.1)式による水平荷重を比較すると、 $F_r < 1$ の場合、 $a=1.5$ とした新ガイドライン(4.1)式で抗力を安全側に評価できる。流速は周辺の構造物の配置や地形等の局所的な影響を受けるため、それを正確に評価する上で現段階では技術的な問題も残されているが、津波浸水シミュレーションに基づき適切にフルード数 F_r が設定され、かつ $F_r < 1$ の場合には、水深係数aを1.5とした新ガイドライン(4.1)式を津波波圧算定式とすることができるといえる。

※1 フルード数： $F_r = u/\sqrt{g\eta}$ ここに、u:流速(m/s)、g:重力加速度(m/s²)、 η :浸水深(m)である。フルード数は流速uと波速 $\sqrt{g\eta}$ の比で上式のように定義され、フルード数が大きいと流勢が強い流れと言える。津波防災地域づくりに係る技術検討報告書⁸では、基準水位の算定に当たって用いるフルード数は比エネルギー E_b (※2)が最大となる時点のものとしている。また、中間報告その2²では、フルード数は同一地点において時々刻々変化し、必ずしも最大浸水深と最大流速が同時に発生する訳ではないが、朝倉ら⁶と同様、 $F_r = u_{\max}/\sqrt{g\eta_{\max}}$ （ここに、 η_{\max} は最大浸水深、 u_{\max} は最大流速である。）で表されるものと考えている。

※2 比エネルギー： $E_b = h_b(1+F_r^2/2)$ ここに、 h_b :浸水深(m)である。比エネルギーは地盤面を基準とし、エネルギーを水頭で表したものであり、速度水頭（運動エネルギーに対応）と水深（位置エネルギーと圧力エネルギーとの和に対応）との和で上式のように定義される。

1-5. 荷重の組み合わせ

新ガイドライン

津波荷重に対する建築物の構造設計では、以下に示す荷重の組み合わせを考慮する。

$G+P+0.35S+T$ (多雪区域)

$G+P+T$ (多雪区域以外の区域) ——— (5.1)

ここに、

G: 固定荷重によって生じる力

P: 積載荷重によって生じる力

S: 積雪荷重によって生じる力

T: 津波荷重によって生じる力

多雪区域は、特別な検討等による場合を除いて、建築基準法施行令（昭和25年政令第338号）の規定に基づき特定行政庁が指定する区域とする。

津波防災地域づくり法告示等

【津波防災地域づくり法告示（抄）】

第1第一号イ 津波の作用時に、建築物等の構造耐力上主要な部分に生ずる力を次の表に掲げる式によって計算し、当該構造耐力上主要な部分に生ずる力が、それぞれ建築基準法施行令（昭和25年政令第338号）第3章第8節第4款の規定による材料強度によって計算した当該構造耐力上主要な部分の耐力を超えないことを確かめること。ただし、これと同等以上に安全性を確かめることができるときは、この限りでない。

荷重及び外力について想定する状態	一般の場合	建築基準法施行令第86条第2項ただし書の規定により特定行政庁（建築基準法第2条第35号に規定する特定行政庁をいう。）が指定する多雪区域における場合	備考
津波の作用時	$G+P+T$	$G+P+0.35S+T$ $G+P+T$	建築物等の転倒、滑動等を検討する場合においては、津波による浮力の影響その他の事情を勘案することとする。

この表において、G、P、S及びTは、それぞれ次の力（軸方向力、曲げモーメント、せん断力等をいう。）を表すものとする。

G 建築基準法施行令第84条に規定する固定荷重によって生じる力

P 建築基準法施行令第85条に規定する積載荷重によって生じる力

S 建築基準法施行令第86条に規定する積雪荷重によって生じる力

T ロに規定する津波による波圧によって生じる力

I. 基準の趣旨

本設計法では、津波荷重と地震力の組み合わせは考慮せず、固定荷重等と組み合わせて考慮することとしている。

II. 技術解説・事例

Gは建築基準法施行令（以下、「令」という）第84条に規定する固定荷重、Pは令第85条に規定する積載荷重、Sは令第86条に規定する積雪荷重、Tは「1-4. 津波荷重算定式」で示した津波荷重（津波波圧、津波波力、浮力）によって生ずる力を用いる。

荷重組み合わせの表中では、構造計算にあたって浮力を適切に考慮することとされているが、その他にも津波による部材等の流失によって、固定荷重・積載荷重が大きく低減し、建築物の転倒、柱の引き抜き等の検討に及ぼす影響が大きいと考えられる場合は、同様にその低減分を考慮する必要がある。

多雪区域では津波と同時に作用する積雪荷重について、令第82条の一般的な構造計算と同様に荷重の確率的な組み合わせ効果を考慮して令第86条に規定する積雪荷重の0.35倍の力を考慮することとなっているが、建築物の転倒、柱の引き抜き等の検討においては積雪荷重の存在が危険側となることを考慮して、積雪荷重Sを除くG+P+Tの組み合わせとして検討することとしている。

津波防災地域づくり法告示において、津波の作用時に構造耐力上主要な部分が破壊を生じないことを確かめるに当たっては、津波による浮力による影響等も適切に考慮する必要がある。これより、津波防災地域づくり法告示においても、新ガイドラインと同様、浮力の影響等を受ける建築物の各層の水平耐力の算定にあたっては浮力を考慮する必要がある。

1-6. 受圧面の設計

新ガイドライン

(1) 耐圧部材の設計

耐圧部材は、終局強度以内とし、確実に構造骨組みに力を伝達できるようにする。また、必要に応じて止水に配慮する。

(2) 非耐圧部材の設計

非耐圧部材は、構造骨組みに損傷を与えずに壊れることを容認する。

津波防災地域づくり法告示等

【津波防災地域づくり法告示（抄：再掲）】

第1第一号イ 津波の作用時に、建築物等の構造耐力上主要な部分に生ずる力を次の表に掲げる式によって計算し、当該構造耐力上主要な部分に生ずる力が、それぞれ建築基準法施行令（昭和25年政令第338号）第3章第8節第4款の規定による材料強度によって計算した当該構造耐力上主要な部分の耐力を超えないことを確かめること。ただし、これと同等以上に安全性を確かめることができるときは、この限りでない。（以下、略）

I. 基準の趣旨

以下、「耐圧部材」「非耐圧部材」「受圧面」等の定義については、「1-2. 用語」を参照されたい。

津波荷重は、設計用浸水深が深くなるにつれて大きくなる。例えば、設計用浸水深1mの場合、波圧が $3\rho gh$ とすると、最大の津波波圧は 29.4 kN/m^2 となり、風圧力作用時の10倍のオーダーになる。したがって、受圧面の部材全てを破壊しないようにすることは、技術的にも経済的にも困難である。そこで、本設計法では受圧面の部材を耐圧部材と非耐圧部材とに明確に区分し、耐圧部材についてのみ波圧により破壊しないことを確認することとしている。

なお、旧ガイドラインには、非耐圧部材について「浸水に対して建築物の機能を損なわないよう配慮する」旨明示されていたが、機能が維持されることは要求していないため、当該記述を削除した。

II. 技術解説・事例

建築物に津波荷重が作用した時、各部材には非常に大きな圧力が作用するため、設計者は耐圧部材、非耐圧部材を適切に設定しなければならない。ここで、耐圧部材として扱う必要のある部材は受圧面において水平耐力の算定に考慮している部材（柱、耐力壁など）であり、非耐圧部材とはそれ以外の部材となる（図 1.4.3）。耐圧部材を受圧面の部材に限定したのは、津波が直接作用しない構面では、前面や側面に位置する開口部などから流入した波力が作用するが、受圧面に比べて弱まっていることが想定されるためであり、そのような部材については、耐圧部材としての検討を行わなくてもよいこととした。

耐圧部材については波圧および浮力を考慮して破壊しないことを確認する必要がある。津波荷重により発生する部材応力が終局強度以内であることを確認する方法としては日本建築センター

の報告書等⁹を参照するとよい。例えば、この報告書では各部材（柱および壁）の終局耐力については基準解説書¹⁰によるほか、RC 壁面の面外終局曲げ耐力は梁曲げ終局耐力と同様に算定し、面外終局せん断耐力はコンクリートのせん断応力度が短期許容せん断応力度以内となるように設計することとしている。

同報告書ではこれらのほか、外装材に用いるガラスや軽量気泡コンクリート（ALC）パネルを用いる場合について、ガラスの許容耐力は平成 12 年 建設省告示第 1458 号に、ALC パネルの曲げ耐力は JIS A 5416「軽量気泡コンクリートパネル」に規定されている「パネルの曲げ試験」の載荷方法による曲げ強度試験の結果に基づき算出することとし、ALC パネルの曲げ強度試験の結果については、材料メーカーの設計資料より引用している。

1-7. 構造骨組みの設計

新ガイドライン

各方向、各階において、構造骨組みの水平耐力が、津波の水平荷重以上であることを下式により確認する。

$$Q_{ui} \geq Q_i \text{ ————— (7.1)}$$

Q_{ui} : i層の津波の水平荷重に対する水平耐力 (材料強度によって計算する各階の水平力に対する耐力等)

Q_i : i層に生じる津波の水平荷重

また、耐圧部材は、設計した荷重の組み合わせに対して終局強度以内とする。

津波防災地域づくり法告示等

【津波防災地域づくり法告示 (抄：再掲)】

第1第一号イ 津波の作用時に、建築物等の構造耐力上主要な部分に生ずる力を次の表に掲げる式によって計算し、当該構造耐力上主要な部分に生ずる力が、それぞれ建築基準法施行令 (昭和25年政令第338号) 第3章第8節第4款の規定による材料強度によって計算した当該構造耐力上主要な部分の耐力を超えないことを確かめること。ただし、これと同等以上に安全性を確かめることができるときは、この限りでない。(以下、略)

I. 基準の趣旨

各方向、各階について構造骨組みの水平耐力が津波波力を上回ることを確認する。

増分解析時の外力分布は新ガイドライン図4-1 (p. I-8) のような津波波圧分布とし、増分外力と波圧の最大高さを同じとしてよい。

津波防災地域づくり法告示における具体的な構造計算の方法としては、保有水平耐力の検証と同様に、津波による波力によって計算した各階に生ずる力が、当該建築物等の水平耐力を超えないことを確かめる方法等を用いて安全性を確かめることとする。この場合においても、外壁等の津波による波圧が直接作用する構造耐力上主要な部分が破壊を生じないことを確かめることが必要である。ただし、同等以上に安全性を確かめる構造計算の方法として、例えば、後述する鉄筋コンクリート造建築物におけるルート1およびルート2に示される終局耐力算定式によることもできる。

II. 技術解説・事例

具体の構造骨組みの終局耐力 (水平耐力) を算定する方法としては増分解析による方法が挙げられる。一般的に増分解析は構造計算プログラム等を用いて計算することが多い。実際の津波荷重は浸水深の増加に伴って徐々に大きくなると考えられるが、津波荷重が最大値に達するまでに波圧分布がどのように変化するかについてはほとんど知見が得られていない。そこで、増分解析における津波波圧の高さ方向の分布は三角形または台形分布とし、波圧の最大高さを設計用浸水深に水深係数 a を乗じた数値または建築物高さのいずれか小さい方 (越流する部分の波圧は考慮しない) により一定としてよいこととしている。図 1.7.1 に示すようなセットバックしている建築物については津波作用方向から奥まった構面についても津波荷重が直接作用するものとして扱

うこととする。ペントハウスについては建築物の通常階とは異なるため、津波荷重が作用する構面として扱わなくてもよいが、当該部分に作用する津波波力を別途計算し、最上階の水平耐力の計算にあたって加算するなど安全側に設計することが望ましい。

各部材のモデル化等については基準解説書¹⁾に従うこととする。ただし、各部材に作用する鉛直荷重に関して、水没している部分の躯体の重量については水中におけるコンクリート密度に基づいて算定し、さらに各層の空気溜りによる浮力を考慮しなければならない。増分解析において各階床位置に作用させる津波荷重は図 1.7.1 のとおり上階中央高さから下階中央高さまでの波圧を積分した値となる。この時、津波波圧は開口部を考慮して適切に低減することができる。また、地震と異なり津波荷重は長時間一方向から作用する状態となることを考慮すると、増分解析に基づき建築物の水平耐力を計算する際には建築物剛性がある程度確保されている時点の値を採用することが望ましい。なお、浸水深が小さい場合は1階階高の下半分に作用する波力も考慮するなど、波力の算定において慎重な検討が望まれる。

鉄筋コンクリート造建築物の耐震設計ルート1およびルート2においては、各階の必要耐力が式として示されており、これを当該階の骨組みの必要耐力の算定式として略算的に用いることができる。ただし、これらの式を用いる場合には、建築物はそれぞれの耐震設計としてのルートも満足することを確認する必要がある。なお、新耐震基準を満たし設計されている建築物であれば、必ずしも耐震設計と耐津波設計における計算方法が一致しなければならないということではない。(例えば耐震設計は許容応力度計算だが、耐津波設計は増分解析による等)

ルート1	$Q_u = \sum 2.5\alpha A_w + \sum 0.7\alpha A_c$	($\geq ZW A_i$ かつ 高さ 20m以下)
ルート2-1	$Q_u = \sum 2.5\alpha A_w + \sum 0.7\alpha A_c$	($\geq 0.75ZW A_i$ かつ 高さ 31m以下)
ルート2-2	$Q_u = \sum 1.35\alpha A_w + \sum 1.35\alpha A_c$	($\geq 0.75ZW A_i$ かつ 高さ 31m以下)

ここで、 A_c :当該階の柱の水平断面積及び耐力壁以外の壁の水平断面積、 A_w :当該階の耐力壁の水平断面積、 α :コンクリートの設計基準強度による割り増し係数、 Z :地震地域係数、 W :当該階が支える部分の固定荷重と積載荷重との和、 A_i :地震層せん断力の高さ方向の分布を表す係数とする

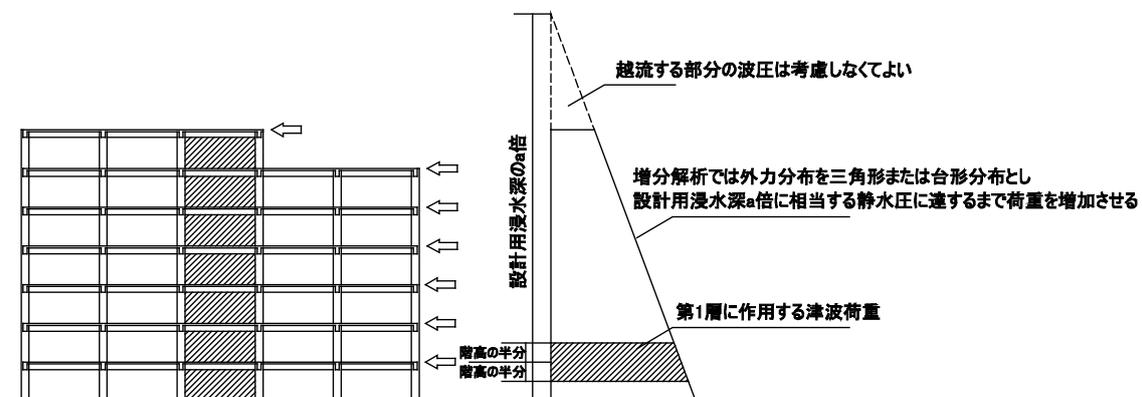


図 1.7.1 津波に対する水平耐力の計算方法

1-8. 転倒及び滑動の検討

新ガイドライン

建築物が、浮力及び自重を考慮して、津波荷重によって転倒又は滑動しないこと（杭基礎にあっては、杭の引き抜き耐力を超えないこと等）を確かめる。

津波防災地域づくり法告示等

【津波防災地域づくり法告示（抄）】

第1第二号イ（前略）津波の作用時に、津波による浮力の影響その他の事情を勘案し、建築物等が転倒し、又は滑動しないことが確かめられた構造方法を用いるものとする。ただし、地盤の改良その他の安全上必要な措置を講じた場合において、建築物等が転倒し、又は滑動しないことが確かめられたときは、この限りでない。

I. 基準の趣旨

建築物の転倒を防ぐため、津波荷重により発生する転倒モーメントが基礎重量を含んだ自重および杭の引き抜き耐力による抵抗モーメントを上回らないこと等を確認することが必要である。この場合、浮力を考慮する必要がある。

また、建築物の滑動を防ぐため、津波荷重により杭に作用する水平力が杭の終局せん断耐力（浮力及び転倒時の引抜きによる軸力の低減を考慮する）の総和を上回らないことを確認することが必要である。

津波防災地域づくり法告示においては、基礎ぐいを用いる構造の場合、構造耐力上主要な部分である基礎ぐい自体が破壊を生じないことを確かめるほか、転倒モーメントによる力が基礎ぐいの引き抜き耐力を超えないことなどを確かめることとする。ただし、地盤改良等を行うことにより建築物等が転倒し、又は滑動しないことが確かめられたときは、この限りではない。

II. 技術解説・事例

津波避難ビルでは避難者の安全性を確保するために建築物の転倒および滑動に対する検討を行わなくてはならない。

(1) 転倒に対する検討

津波が建築物に作用する時、転倒の検討で算定を行う必要があるモーメントを図 1.8.1 に示す。これらは①津波荷重による転倒モーメント、②自重による抵抗モーメント、③浮力による転倒モーメント、④杭の引き抜き耐力による抵抗モーメント（基礎ぐいを用いる場合）となる。転倒においては基礎固定時の支点反力が杭の引き抜き耐力を超えないことを確かめる。この場合、引き抜き方向の力として作用する浮力を考慮することとし、杭の引き抜き耐力は杭自重および杭周面摩擦力の和とする。ただし、杭周面摩擦力は、平成 13 年国土交通省告示 1113 号に示される短期許容支持力の 1.5 倍として算定してよいが、杭主筋の引張荷重などに基づく杭の引張方向の終局耐力がこれを下回る場合は、当該終局耐力の数値としなければならない。なお、直接基礎である場合は、支点の引抜き方向の抵抗力は 0 として扱う。

(2) 滑動に対する検討

津波が建築物に作用する時、滑動の検討で算定を行う必要がある各力を図 1.8.2 に示す。この時、圧縮側および引張側の杭の終局せん断耐力の総和および終局曲げせん断耐力の総和が津波荷重を上回ることを確認する。杭に作用する軸力については津波波力、自重、浮力による応力状態を適切に考慮して定めなければならない。

転倒や滑動の検討における浮力は、後述する設計例に示す水没した建築物体積（内部空間の容積を含む）を考慮する方法が望ましいが、最大の転倒モーメントが作用する時に各層に水が流入していることが解析・実験等により確かめられた場合や、被害調査等の結果から流入を十分に考慮できると考えられる場合には、開口部からの水の流入を考慮して算定することができる。

(3) 基礎梁に対する検討

基礎梁には杭および上部構造から伝達される応力（モーメント・せん断力）が作用する。基礎梁心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値が梁部材の終局耐力を超えていないことを確認することが必要である。

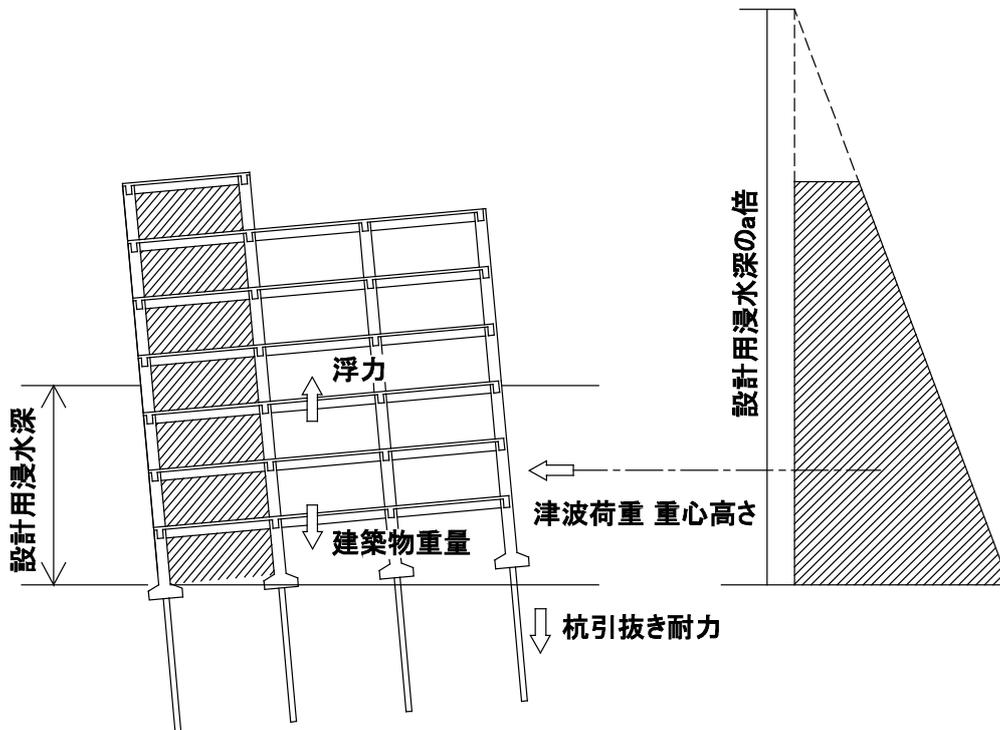


図 1.8.1 建築物の転倒に対する考え方

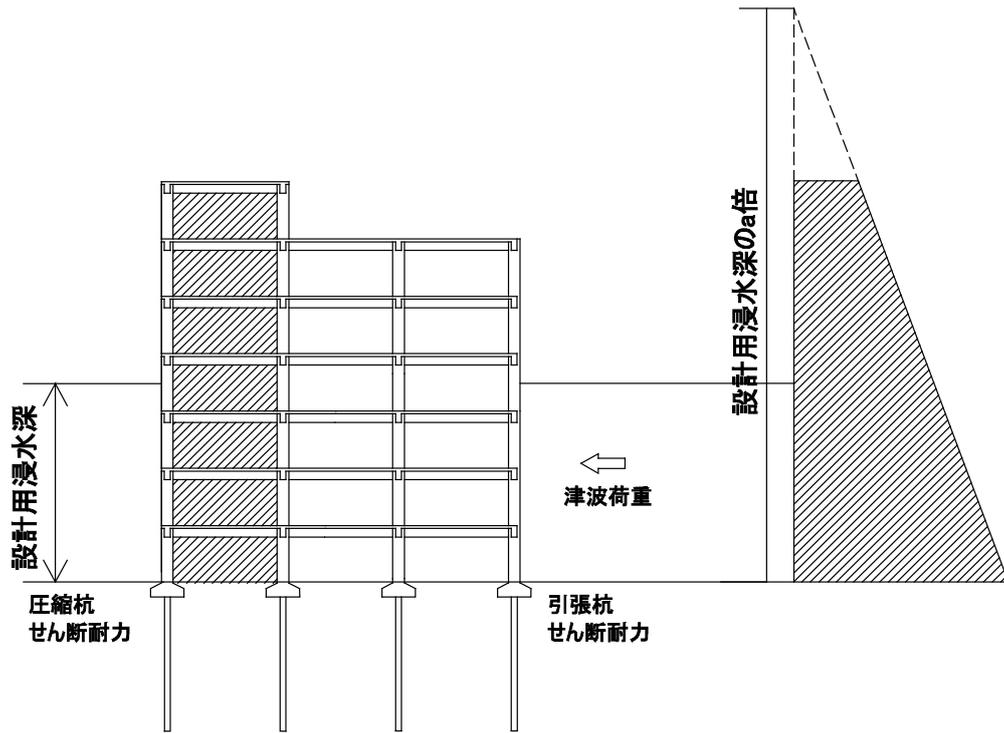


図 1.8.2 建築物の滑動に対する考え方

参考④ 宮城県女川町において転倒した鉄筋コンクリート造建築物に関する検討

転倒に関する検討として、具体的な方法の一例を以下に紹介する。

(なお、ここでは参考として、第2章に示す設計例よりも詳細な方法により検討を行っている。)

宮城県女川町において津波被害を受けて転倒した4階建て鉄筋コンクリート造建築物(写真1.8.1)について、転倒および滑動に関する検討を行った。本解析では受圧面および側面の開口部から流入する水量を計算し、建物内部の浸水状態から得られる浮力を算定している。

(1) 建築物の概要

1) 本建築物は津波により張り間方向に転倒した床平面4×6m、4階建て杭基礎建築物である。

建築物高さは12m、階高は3mであるが、最上階は張り間方向に1mセットバックしている。

2) 単位床面積当りの建築物重量 ω_1 は、詳細不明のため基礎も含め14 kN/m²とした。

なお、設計では仕上げ重量や積載荷重を考慮するが、本検討では無視している。

3) 受圧面の開口率 ζ_0 、受圧面および側面の開口率 ζ は実測より0.052、0.092であった。(図1.8.3)



写真 1.8.1 転倒した鉄筋コンクリート造建築物 (OG-01)

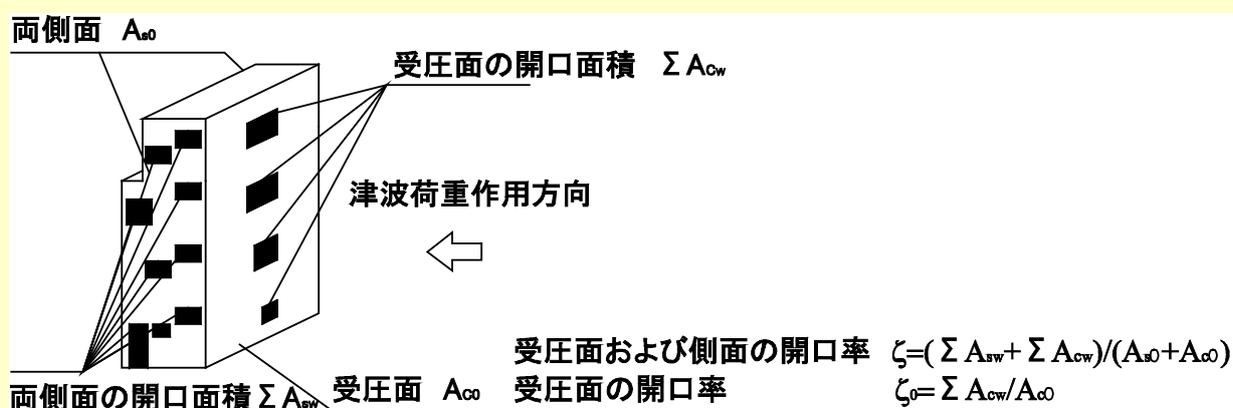


図 1.8.3 本建築物における開口率の算定方法

(2) 浮力の算定方法 (図 1.8.4 参照)

1) 浮力算定方法として i) 開口部からの水の流入を考慮する方法, ii) 水没した建築物体積 (内部空間の容積を含む) を考慮する方法を示す。

i) 開口部からの水の流入を考慮する方法

水中では構造躯体に働く浮力のため鉄筋コンクリート単位体積重量は 24 kN/m^3 から 14 kN/m^3 に低下する。本検討では仕上げ重量や積載荷重の影響を無視しており、この比率に応じて重量が低下すると考えると、単位床面積当りの建築物重量 ω_2 は本建築物では 8.17 kN/m^2 となる。各階の開口部上端から床スラブ下端までの高さには空気が溜るため、各層にはこれらに床面積を乗じた体積相当の浮力が生じる。なお、現地調査において確認された 1 階床スラブと基礎底部の内部空間 (基礎梁高さ 0.9 m) にも空気が溜まると仮定している。同様に EV やコア壁など十分な開口部が設けられていない空間にも空気が溜まると考える。上記の仮定から算定された重量および浮力に基づき各節点の鉛直荷重を算定し部材耐力を検討する。

なお、基礎滑動や杭耐力の算定においては ii) 水没した建築物体積 (内部空間の容積を含む) を考慮する方法で浮力を計算することが望ましいが、転倒力最大作用時に各層に水が流入していることが解析・実験等により確かめられた場合や、被害調査等の結果から流入を十分に考慮できると考えられる場合には、本手法により各節点の鉛直荷重を算定することができる。例えば東日

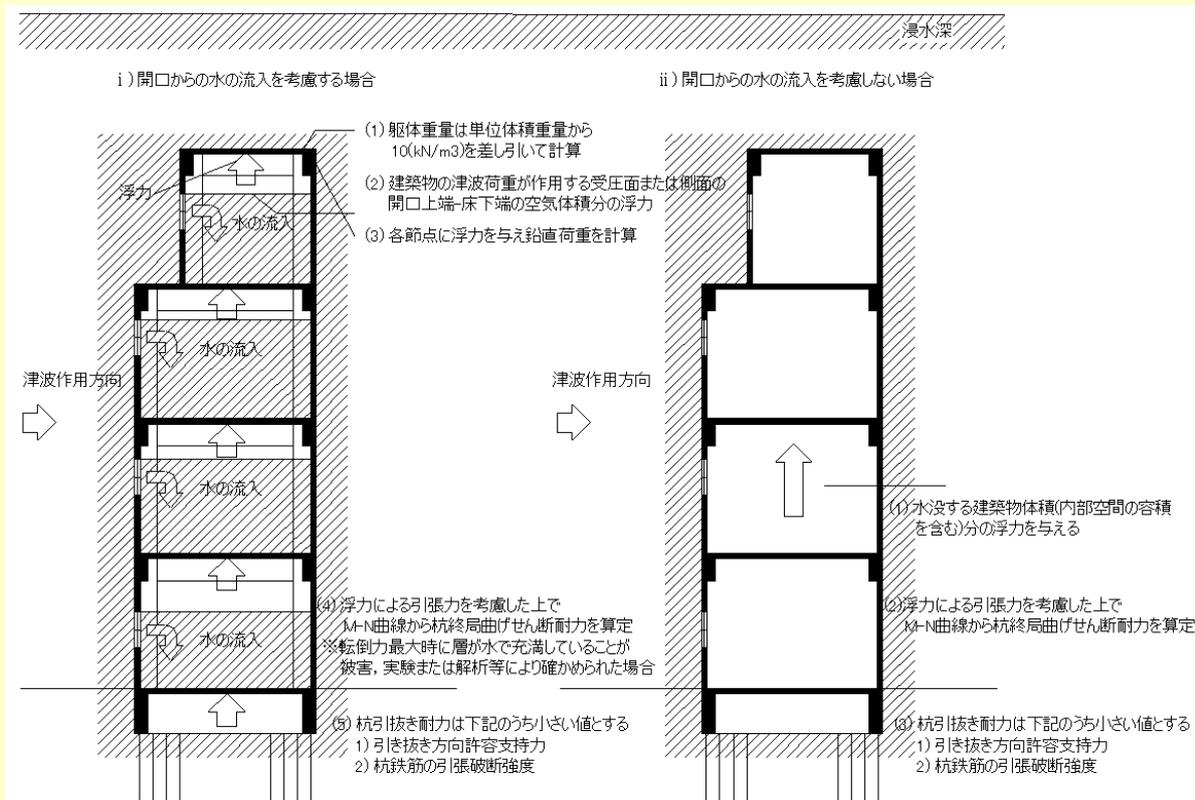


図 1.8.4 浮力および杭引き抜き抵抗力の考え方

本大震災における女川町の市街地での水位の変動については、現地住民の方が撮影したビデオ映像から東北大学 越村研究室が推定しており¹²、これによると、女川町では最も水位が上昇している時間帯では6分間で浸水深が12m上昇している(0.03 m/sの速さで上昇している)。建築基準整備促進事業「40. 津波危険地域における建築基準等の整備に資する検討」中間報告その2²の参考資料2.6節(9)式にもとづき、本建築物の形状、開口率から逆算すると、建築物各層に順次水が流入したと判断できる建築物周囲の水位上昇速度は1.25 m/s以下($T=0.8s/m$ 以上)となる。したがって、実際の建築物周囲の水位昇速度(0.03m/s)はこれより小さいため、本建築物では各層に順次水が流入したと見なしうる。

ii) 水没した建築物体積(内部空間の容積を含む)を考慮する方法

建築物の水没した体積(内部空間の容積を含む)相当の浮力を考慮する。本建築物では水没している部分の建築物体積(内部空間の容積を含む)が342 m³であるため、建築物全体としては3354 kNの浮力が生じる。

(3) 転倒に関する検討

本建築物は径300mm、杭鉄筋6φ7(PC鋼線A種)のPC杭を32本有している。杭の設計条件が不明であるため周辺建築物の杭長(10m)および標準貫入試験結果を参考に諸数値を設定して計算した結果、平成13年国土交通省告示1113号に基づく杭の引き抜き方向の極限支持力より杭鉄筋の破断強度に基づき計算した数値が下回ったことから、杭の引き抜き耐力としては後者の数値を採用し、杭1本あたりの引き抜き耐力を350 kNとした。さらに、転倒時に引張となる杭本数は12本、圧縮側の杭重心から引張側の杭重心間の距離は3.5mである。したがって、杭引き抜き耐力による抵抗モーメント M_p は(1.8.1)式より14700 kN mと算定される。また、表1.8.1より建築物重量は浮力とほぼ相殺しているため(表1.8.1における躯体重量(水中)および浮力i)、建築物重量による抵抗モーメント M_b は期待できない((1.8.2)式)。水深係数 $a=1.0$ とした時の津波荷重による転倒モーメント M_w (ここでは現象解明を目的とするため、設計上の安全率($a=1.5, 2.0$ ないし 3.0)を考慮していない)は(1.8.3)式より28108 kN mである。したがって、本建築物の抵抗モーメントは転倒

表 1.8.1 建築物の諸元

階	床面積 A_w	躯体重量 (空气中) $A_w \omega_1$	躯体重量 (水中) $A_w \omega_2$	階高 H_0	開口部上端 スラブ間高さ H_1	スラブ厚 t_w	浮力i) 水流入を考慮 $-\rho g A_w (H_1 - t_w)$	浮力ii) 建築物の容積 $-\rho g A_w H_0$
4F	18 m ²	216 kN	126 kN	3.0 m	1.0 m	0.15 m	-150 kN	-530 kN
3F	24 m ²	288 kN	168 kN	3.0 m	0.9 m	0.15 m	-177 kN	-706 kN
2F	24 m ²	288 kN	168 kN	3.0 m	0.8 m	0.15 m	-153 kN	-706 kN
1F	24 m ²	288 kN	168 kN	3.0 m	1.3 m	0.15 m	-271 kN	-706 kN
基礎	24 m ²	288 kN	168 kN	3.0 m	0.9 m	0.15 m	-177 kN	-706 kN
合計		1368 kN	931 kN				-928 kN	-3354 kN

※浸水深15m時、水密度 $\rho=1.0 \text{ ton/m}^3$ 、重力加速度 $g=9.8 \text{ m/s}^2$ とする

モーメントの約 52%程度であり、転倒に対して十分な耐力を保有していない。

(4) 滑動に関する検討

無軸力下におけるPC杭の終局曲げモーメントは既往の実験結果を参照し¹³、48.5 kN mである。杭長 10m、平均N値は 21、杭体を弾性支承梁と仮定した解析において杭頭モーメントがこの値に達する時のせん断力 Q_{mu} は 83 kNであり、これは無軸力下の同PC杭のせん断耐力 Q_{su} (157 kN)より小さい値となっている。変動軸力の影響を無視すると、杭水平耐力 Q_{pu} は (1.8.4) 式より 2656 kN (n=32本) と算定される。水深係数 $a=1.0$ とした時の津波水平荷重 Q_w (転倒に関する検討と同様設計上の安全率は考慮していない) は (1.8.5) 式より 6023 kNである。したがって、本建築物の杭水平抵抗力は津波水平荷重の 44%程度であり、滑動に対して十分な耐力を保有していない。

$$M_p = n_t \times P_t \times d_e \quad (1.8.1)$$

$$M_b = W_b \times (D/2) \quad (1.8.2)$$

$$M_w = \int_0^H ((1-\zeta_0) \times \rho g (h_w - x) \times B) dx \quad (1.8.3)$$

$$Q_{pu} = \sum_1^n \min(Q_{su}, Q_{mu}) \quad (1.8.4)$$

$$Q_w = \int_0^H ((1-\zeta_0) \times \rho g (h_w - x) \times B) dx \quad (1.8.5)$$

ここに、 W_b :建築物重量、 D :建築物奥行、 B :建物幅、 n_t :引張側の杭本数、 n :全杭本数、 P_t :杭の引き抜き耐力、 d_e :転倒回転中心から引張側の杭重心間距離、 H :建築物高さ、 ζ_0 :受圧面及び側面における開口率とする。

1-9. その他の構造設計上の配慮

(1) 洗掘

新ガイドライン
(1) 洗掘 洗掘に配慮し、杭基礎とするか又は直接基礎の場合は洗掘により傾斜しないようにする。
津波防災地域づくり法告示等
【津波防災地域づくり法告示（抄）】 第1第二号ロ 津波により洗掘のおそれがある場合にあっては、基礎ぐいを使用するものとする。ただし、地盤の改良その他の安全上必要な措置を講じた場合において、建築物等が転倒し、滑動し、又は著しく沈下しないことが確かめられたときは、この限りでない。

I. 基準の趣旨

津波による流勢によって建築物の基礎部分や周辺部に地盤洗掘が発生し、沈降、傾斜などの被害が発生する可能性がある。津波による直接的な建築物の転倒に対する検討方法は「1-8. 転倒及び滑動の検討」に示されているが、本項では地盤洗掘による被害発生を防止することを目的として、設計上配慮すべき事項について示している。

津波防災地域づくり法告示においては、津波により洗掘のおそれがある場合にあっては、基礎ぐいを使用するものとすることを規定している。ただし、地下室の設置や十分な深さの基礎根入を行うこと、建築物等より下部の地盤改良や周辺部の舗装等を行うことにより建築物等が転倒し、滑動し、又は著しく沈下しないことが確かめられたときは、この限りではない。

II. 技術解説・事例

建築物の基礎部や周辺部において津波による著しい地盤洗掘が発生し、沈降、傾斜などの建築物の被害原因となっている（写真 1.9.1）。一方、写真 1.9.2 に示すように比較的建築年代が新しい建築物（杭基礎が多い）では、洗掘が発生しても構造的被害を受けることなく残存したものが多数確認されている。地盤洗掘の状況を見ると、津波が作用した建築物隅角部から側面にかけて激しく洗掘されている事例が多い。また、引き波によって洗掘が生じた事例も見られた。

海岸護岸や河川橋脚、港湾建築物等については、洗掘の評価手法や対策工法も提案されている^{14,15,16}。しかしながら、建築物の周辺地盤を対象にして洗掘の程度等を評価する手法は確立されておらず、今回の被害状況についても定量的な評価を行うことは難しい。したがって、設計において洗掘の影響を予め評価することは現状では難しい状況にあるが、津波避難ビル周辺の地盤洗掘に対する対処法としては、次のような方法が有効であると考えられる。

(1) 杭基礎構造の採用

建築物の重量を杭が安全に支持し、沈降や傾斜を防止できることを確認する。津波避難ビルでは、ある程度の建築物高さや規模が求められることになるので、新築の場合は杭基礎構造を用いるのが現実的であろう。

(2) その他の方法

1) 直接基礎構造

地下階や十分な深さの基礎根入によって、洗掘による沈降、傾斜を防止できるようにする。

2) 周辺地盤の強化

津波による洗掘を防止できるように、建築物下部の地盤改良や周辺部を津波によって剥離しないような舗装を行う。また、建築物の周囲をシートパイルや地中連続壁で囲って地盤の流出を防ぐような対策も有効であろう。



(山田町)



(女川町)

写真 1.9.1 地盤洗掘による建築物の沈降、傾斜



(釜石市)



(陸前高田市)



(南三陸町)



(山元町)

写真 1.9.2 残存建築物周囲の洗掘状況

(2) 漂流物の衝突

新ガイドライン
(2) 漂流物の衝突 漂流物の衝突による損傷を考慮し、衝突により構造耐力上主要な部分が破壊を生じないこと又は柱若しくは耐力壁の一部が損傷しても、建築物全体が崩壊しないことを確かめる。
津波防災地域づくり法告示等
【津波防災地域づくり法告示（抄）】 第1第二号ハ 漂流物の衝突により想定される衝撃が作用した場合においても建築物等が容易に倒壊、崩壊等するおそれのないことが確かめられた構造方法を用いるものとする。

I. 基準の趣旨

漂流物の衝突に関して、新ガイドラインでは漂流物の衝突による建築物全体の崩壊が生じないよう、衝突により構造耐力上主要な部分が破壊を生じないこと又は柱若しくは耐力壁の一部が損傷しても、建築物全体が崩壊しないことを確かめる旨を明示することとした。

東日本大震災における津波では、漂流物の衝突により外壁に局部的損傷が生じたと推測される建築物が見られている。また、既往の研究を踏まえた検討からも、漂流物の衝突の条件によっては部材が破壊する可能性が示されている²。そこで、構造耐力上主要な部分の破壊は建築物全体の崩壊を招くおそれがあることを考慮し、漂流物の衝突により構造耐力上主要な部分が破壊を生じないこととした。また、衝突する漂流物によっては、柱や耐力壁のような鉛直部材の一部が破壊することを防止するのが困難である場合もあるため、柱や耐力壁の一部が破壊しても、それに伴い建築物全体が崩壊することがないことを確認すれば良いこととした。

そのほか、建築物に漂流物が直接衝突しないよう、建築物の周囲に防護設備・施設等を設けるといった計画も有効な方法として考えられる。

津波防災地域づくり法告示においては、漂流物の衝突により想定される衝撃が作用した場合においても建築物等が容易に倒壊、崩壊等するおそれのないことが確かめられた構造方法を用いるものとするを規定している。当該規定については、上記と同様、あらゆる漂流物に対し部材が損傷しないことを確かめることは困難であることから、漂流物の衝撃によって、一部の柱等が破壊しても、当該柱等が支持していた鉛直荷重を他の柱等で負担することにより、建築物等が容易に倒壊、崩壊等しないことを確かめることなどを想定している。

II. 設計法・技術解説・事例

衝突により構造耐力上主要な部分が破壊を生じないことを確かめるためには種々の方法が考えられ、例えば漂流物の衝突時に瞬間的に作用する最大の衝突力が被衝突物の耐力以下であることを確かめるといった方法が挙げられる。しかし、漂流物による建築物への衝突力の評価については研究途上であり、あらゆる漂流物について衝突力を精度よく計算するのは現状困難である。なお、文献²には漂流物による衝突力に関する既往の研究を取りまとめているので適宜参考とされたい。

また、漂流物の衝突により破壊を生じないことを確かめるためには、建築物に衝突する漂流物

の種類、量、大きさ、形状、重量、剛性、衝突時速度、衝突時の向き、衝突部位等を想定する必要がある、これは一般に困難であることが多い。一方、文献²等を踏まえて総合的に判断すると、漂流物の衝突によって部材が破壊しないとは言い難い。

以上を踏まえると、漂流物の衝突により破壊しない検討を行わない場合は、少なくとも漂流物により部材が破壊した場合を想定し、その場合にも建築物が容易に倒壊することがないことを確認する必要がある。例えば漂流物の衝突によりいずれかの外柱が破壊することを想定した場合に、建築物が容易に倒壊しないことを確認する方法としては、文献¹⁷の第二種構造要素の検討のように、当該柱が負担していた長期軸力を隣接する柱等の鉛直支持部材に伝達可能であることを確認し、かつ、当該鉛直支持部材が伝達後の軸力を負担可能であることを確認する方法等が考えられる。なお、本方法において、耐力壁が付帯する柱が破壊する場合には、付帯する耐力壁が軸力を負担するものとし、上述の検討を省略することも可能と考えられる。

参考

- ¹ 東京大学生産技術研究所：平成 23 年度 建築基準整備促進事業「40. 津波危険地域における建築基準等の整備に資する検討」、中間報告書、<http://www.mlit.go.jp/common/000172791.pdf>、2011.8
- ² 東京大学生産技術研究所：平成 23 年度 建築基準整備促進事業「40. 津波危険地域における建築基準等の整備に資する検討」、中間報告書(その 2)、<http://www.mlit.go.jp/common/000172792.pdf>、2011.10
- ³ 岡田恒男、菅野忠、石川忠志、扇丈朗、高井茂光、浜辺千佐子：津波に対する建築物の構造設計法について－その1：予備検討－、ビルディングレター、2004.10
- ⁴ 岡田恒男、菅野忠、石川忠志、扇丈朗、高井茂光、浜辺千佐子：津波に対する建築物の構造設計法について－その 2：設計法(案)－、ビルディングレター、2004.11
- ⁵ 津波避難ビル等に係るガイドライン検討会（内閣府）：津波避難ビル等に係るガイドライン（巻末資料②）、http://www.bousai.go.jp/oshirase/h17/tsunami_hinan.html、2005.6
- ⁶ 朝倉良介、ほか：護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究：海岸工学論文集、第 47 巻(2000)、pp.911-915
- ⁷ 奥田泰雄：建築物に作用する津波荷重のシミュレーション、国土技術研究会（ポスター）、2010
- ⁸ 津波防災地域づくりに係る技術検討会（国土交通省）：津波防災地域づくりに係る技術検討報告書、http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/tsunambousaitiiki/houkokusyo_120127.pdf、2012.1
- ⁹ (財)日本建築センター：平成 16 年度 津波避難ビルの技術的検討調査報告書、2005
- ¹⁰ 国土交通省 住宅局建築指導課 監修：2001 年度 建築物の構造関係技術基準解説書、2001.3
- ¹¹ 国土交通省 住宅局建築指導課 監修：2007 年度 建築物の構造関係技術基準解説書、2007.8
- ¹² 東北大学 越村研究室：東北地方を襲った津波の流況と建物被害(PDF)、東北大学による東日本大震災 3 ヶ月後報告会、2011
- ¹³ 松尾俊之、倉橋修雄、城攻、柴田拓二、大野和男：PC 杭の曲げ剪断抵抗性状について（軸力 $\sigma_0=0$ の場合）、北海道支部研究報告集、No.54、pp.60-63、日本建築学会、1981.3
- ¹⁴ 国土技術政策総合研究所：公共土木施設の地震・津波災害想定マニュアル（案）、国総研資料第 485 号、2008 年 7 月
- ¹⁵ 野口賢二、佐藤慎司、田中茂信：津波遡上による護岸越流および前面洗掘の大規模模型実験、海洋工学論文集、第 44 巻、pp.296-300、1997
- ¹⁶ 中村友昭、倉光泰樹、水谷法美：陸上遡上津波による矩形構造物周辺の洗掘と地盤応力の変動に関する研究、海洋工学論文集、第 53 巻、pp.521-525、2006
- ¹⁷ (財)日本建築防災協会：鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説、2001

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。

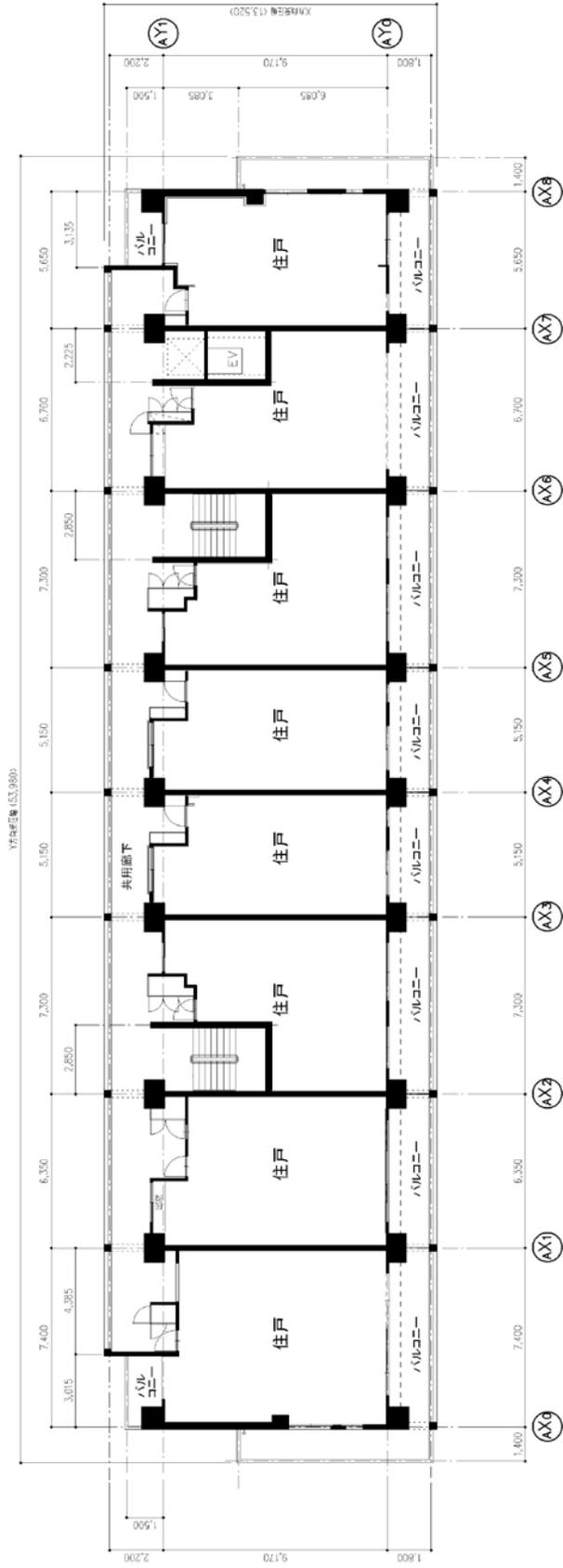


图 1.1 基準階平面図

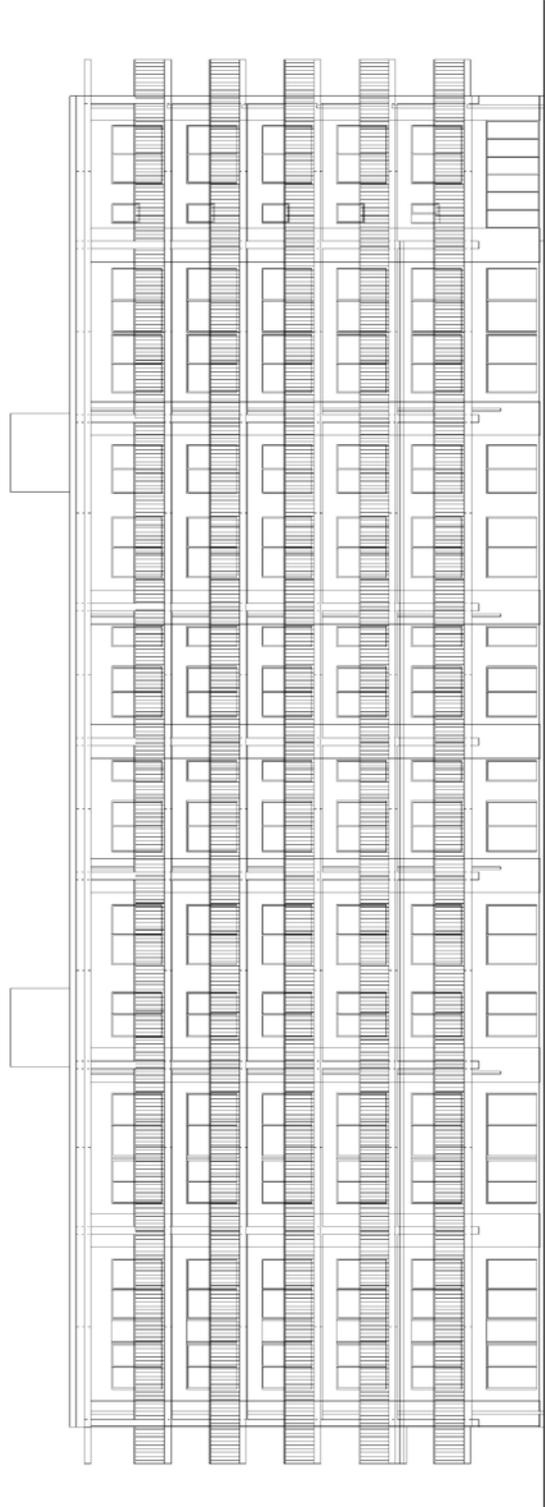


图 1.2 南侧立面图

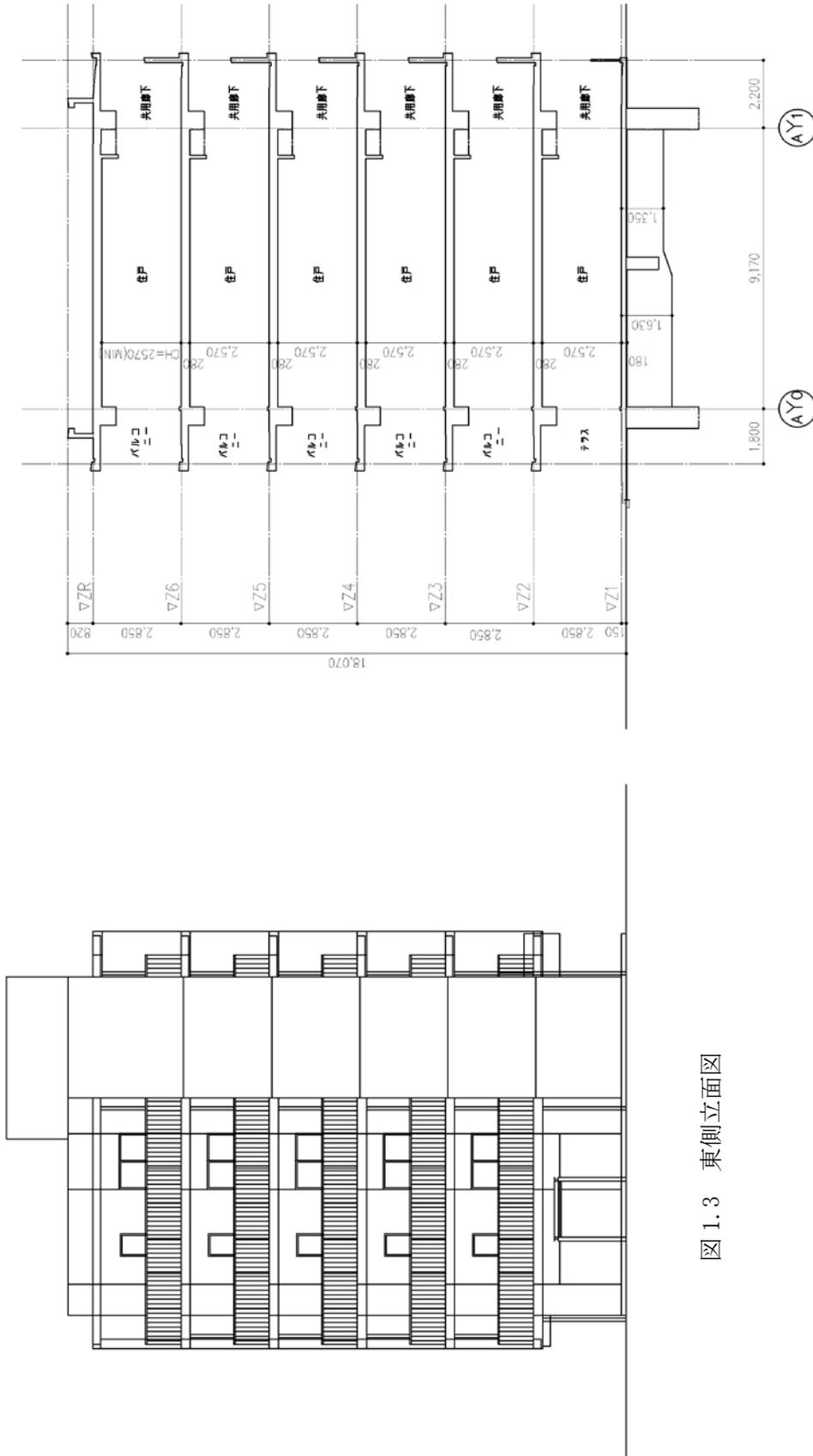


図 1.3 東側立面図

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。

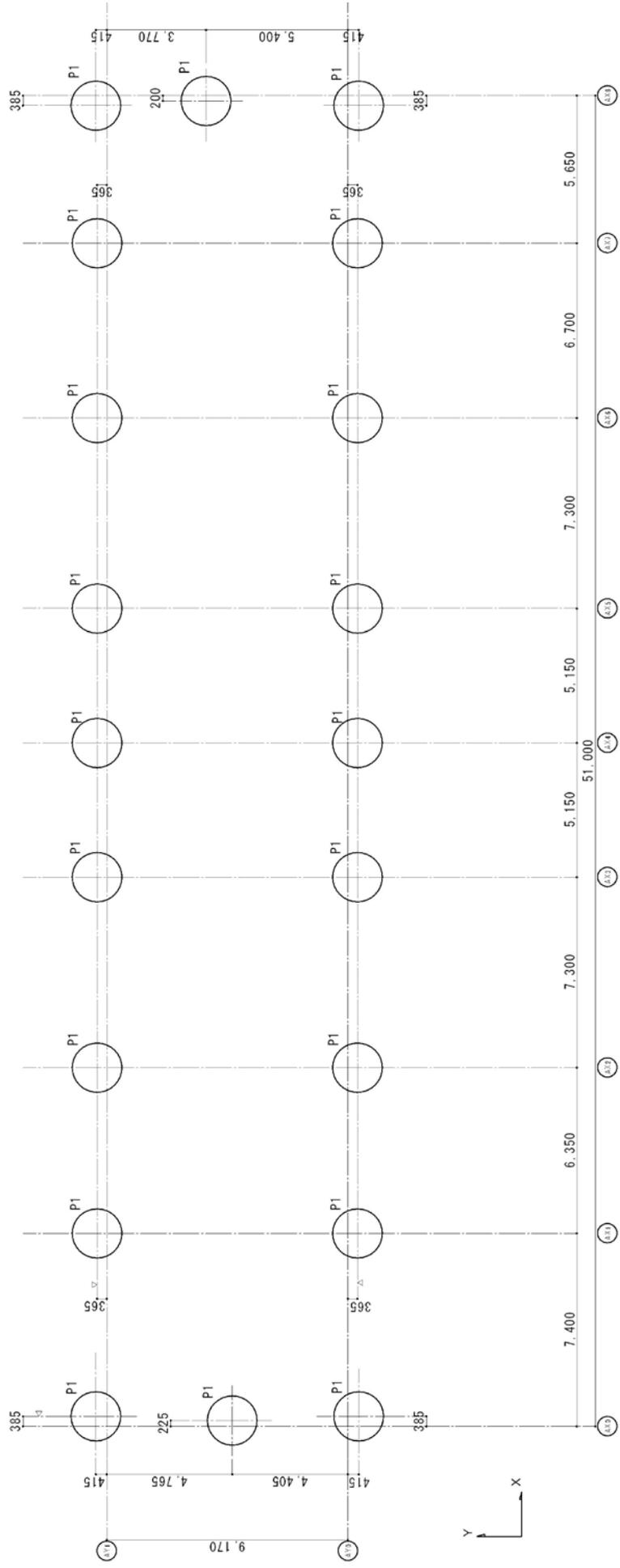


图 1.5 杭伏图

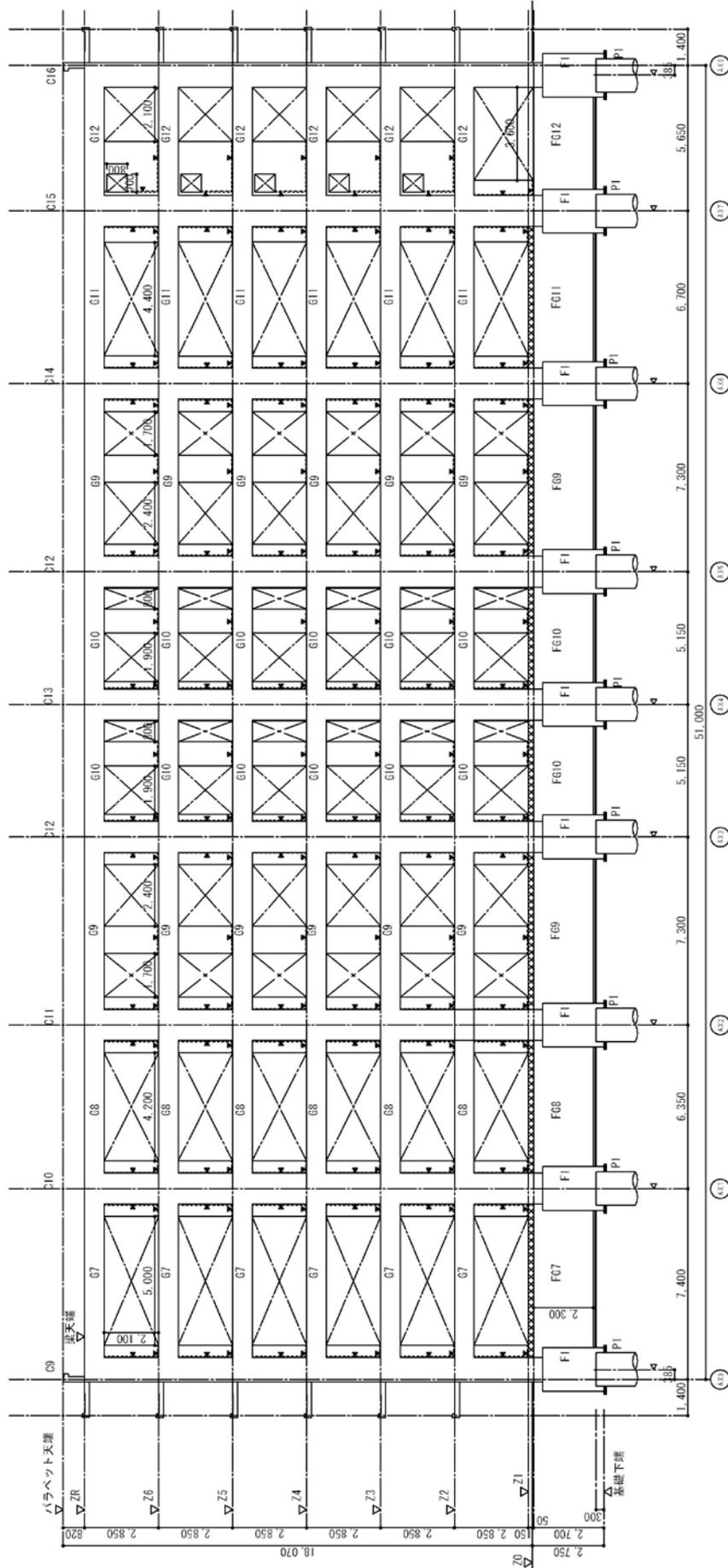


図 1.7 AY0 通軸組図

- 共通事項
1. 特記なき限りM12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。

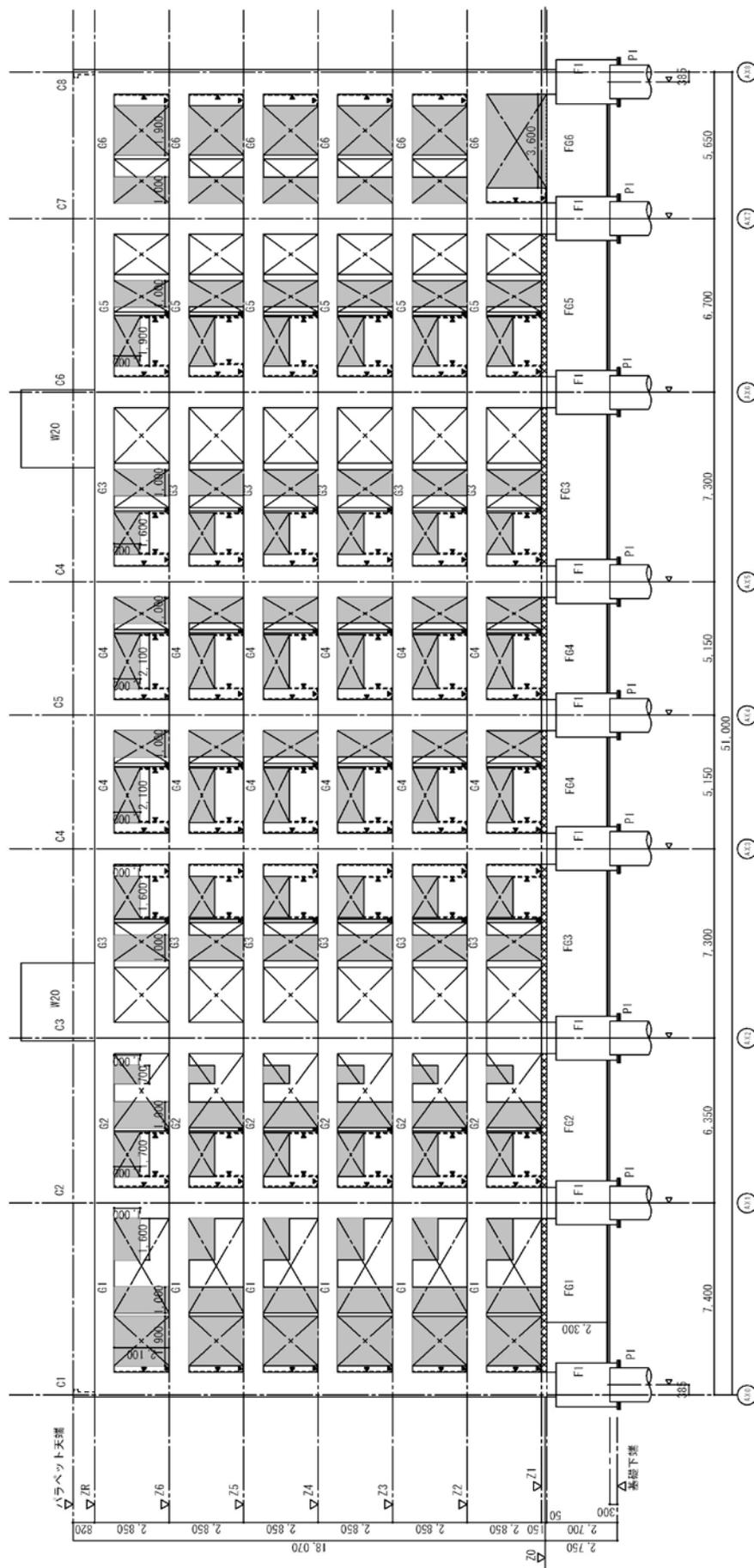


図 1.8 AY1 通軸組図

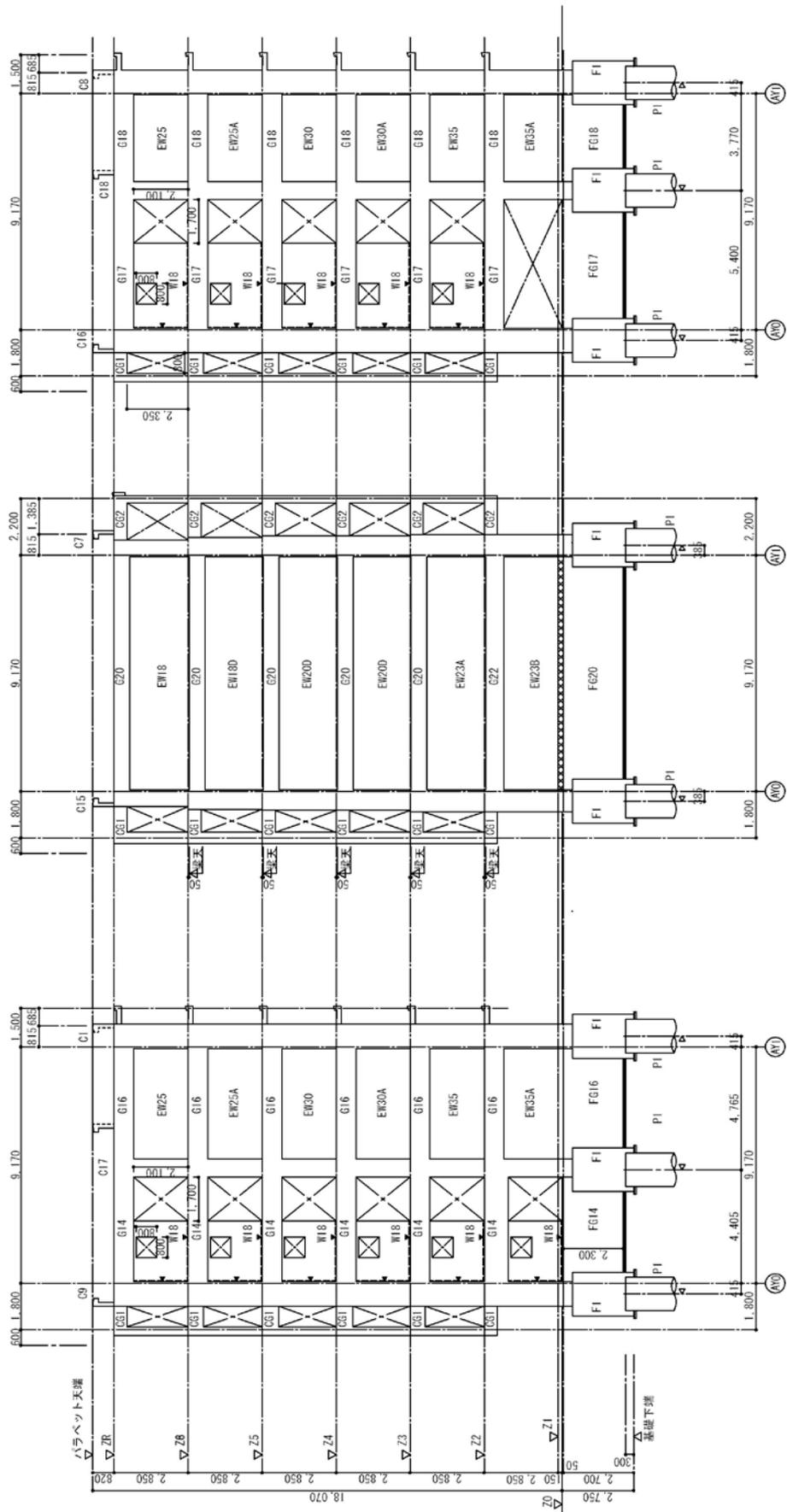
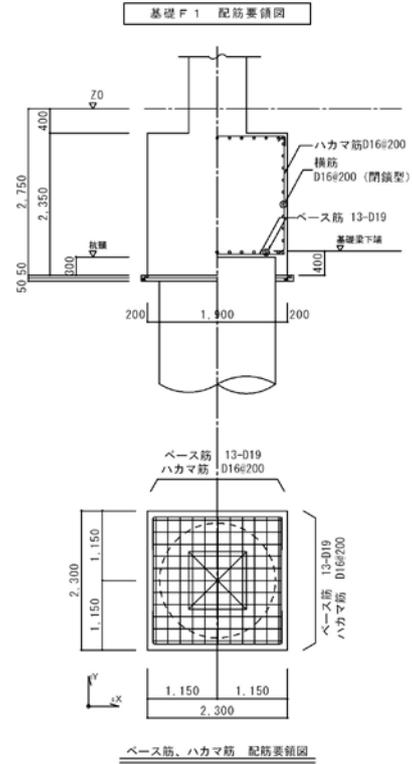
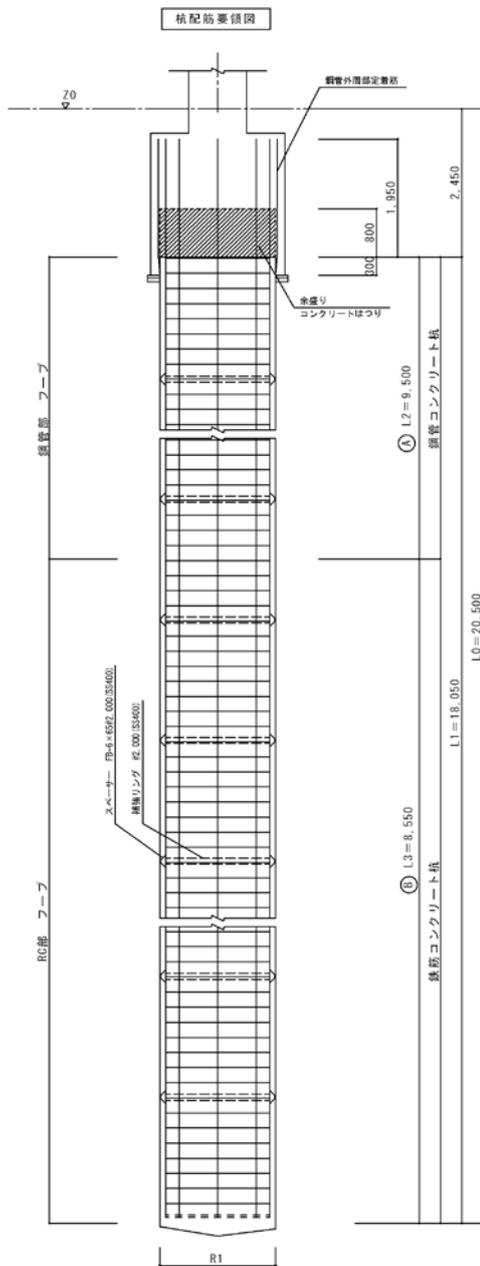


図 1.9 AX0 軸組図

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. 杭先端深さは杭伏図に示す。
 2. 鋼管: SKK490 内張りブチ鋼管
 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は柱ゲージ幅はn倍柱ゲージ幅の寸法による。

3. S13は高強度せん断補強筋 785N/mm²を示す。

4	符号	C 7	C 8	C 9	C 10	C 11	C 12
断面	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、補強材は、補強材による。
 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 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 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 x D		600 x 750							
	上端筋		7 - D 29		5 - D 29		7 - D 29		5 - D 29	
	下端筋		6 - D 29		5 - D 29		6 - D 29		5 - D 29	
	スターループ		□-S13 #100		□-S13 #150		□-S13 #150		□-S13 #150	
渡筋		2-D10		2-D10		2-D10		2-D10		
4	断面									
	B x D		600 x 750							
	上端筋		8 - D 29		6 - D 29		8 - D 29		6 - D 29	
	下端筋		7 - 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	
渡筋		2-D10		2-D10		2-D10		2-D10		
3	断面									
	B x D		650 x 750							
	上端筋		8 - D 29		6 - D 29		8 - D 29		6 - D 29	
	下端筋		7 - 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	
渡筋		2-D10		2-D10		2-D10		2-D10		
2	断面									
	B x D		650 x 750							
	上端筋		10 - D 29		7 - D 29		7 - D 29		9 - D 29	
	下端筋		7 - D 29		6 - D 29		6 - D 29		7 - D 29	
	スターループ		□-S13 #100		□-S13 #150		□-S13 #100		□-S13 #150	
渡筋		2-D10		2-D10		2-D10		2-D10		

図 1.15 大梁リスト抜粋 1

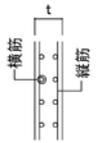
大梁リストの抜粋 2

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。

5	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									
	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-D10		2-D10			2-D10	2-D10	2-D10	2-D10
4	位 置	両端	中央	他端	中央	A10通筋	全断面	全断面	全断面	全断面
	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-D10		2-D10			2-D10	2-D10	2-D10	2-D10	
3	位 置	両端	中央	他端	中央	A10通筋	全断面	全断面	全断面	全断面
	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-D10		2-D10			2-D10	2-D10	2-D10	2-D10	
2	位 置	両端	中央	他端	中央	A10通筋	全断面	全断面	全断面	全断面
	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-D10		2-D10			2-D10	2-D10	2-D10	2-D10	

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

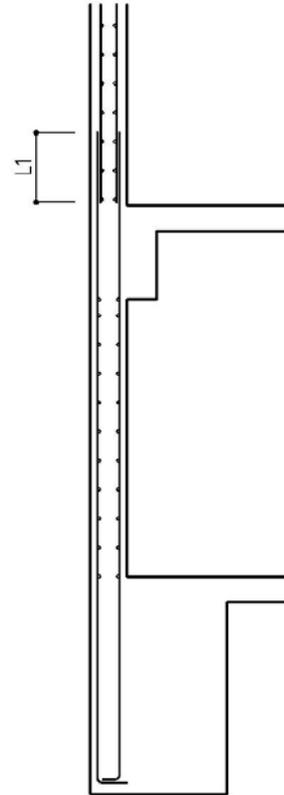


図 1.18 AX0,AX8 通り耐力壁配筋要領

§ 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)

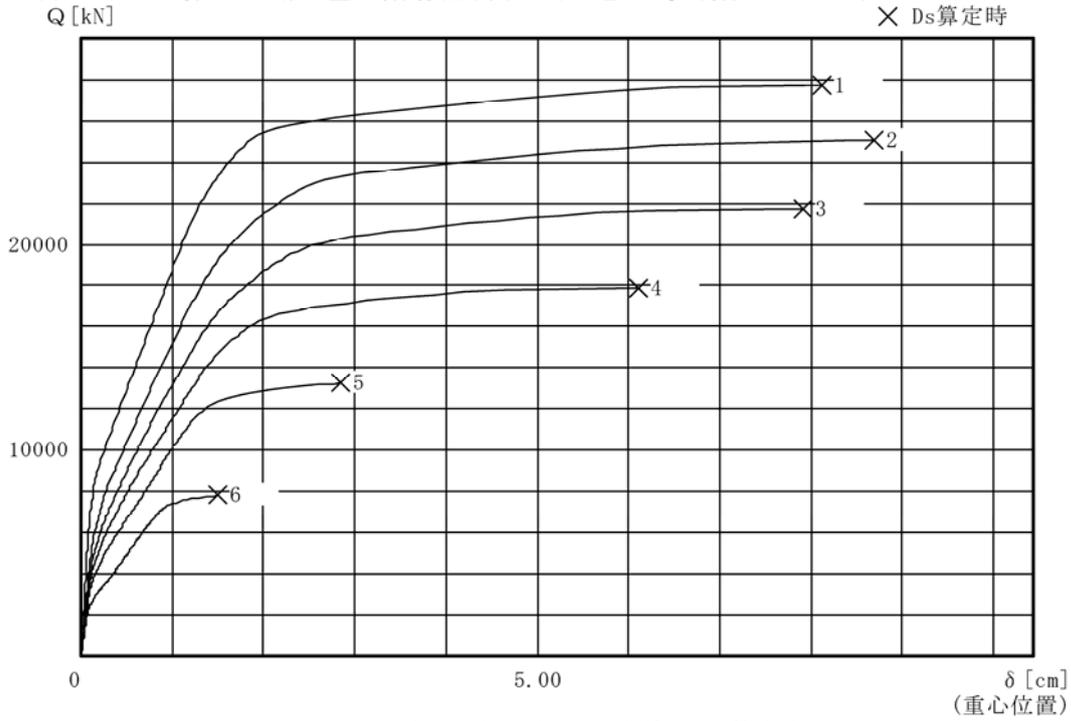


図 2.1 X方向正加力時Q- δ 曲線 Ds 算定時

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)

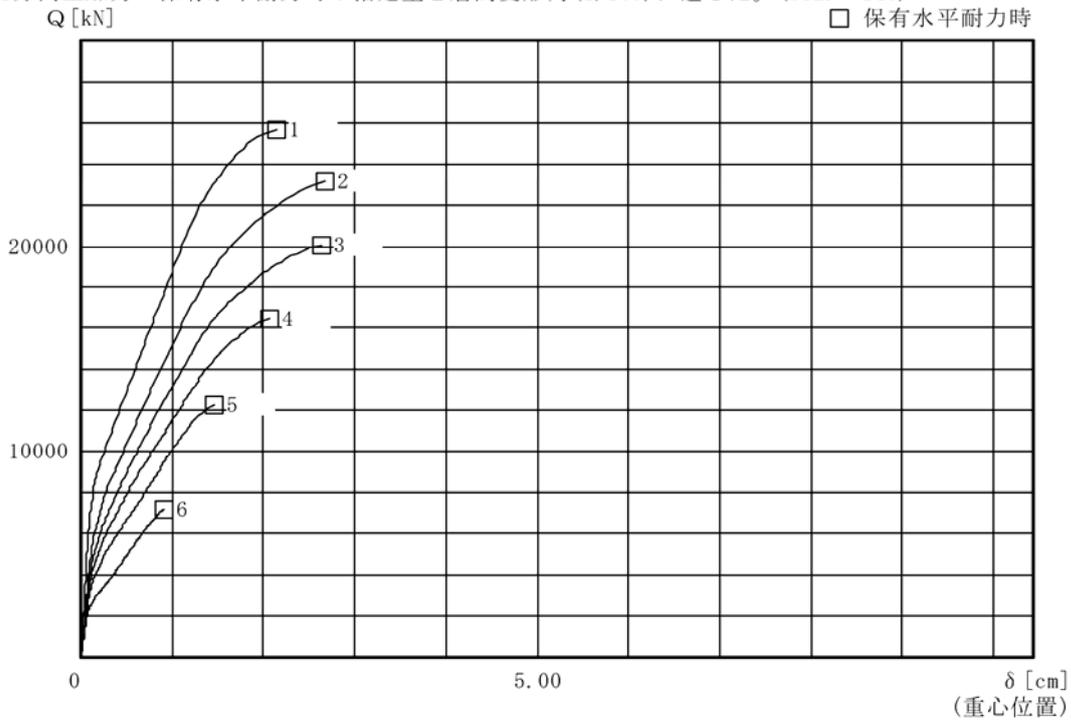


図 2.2 X方向正加力時Q- δ 曲線 保有水平耐力算定時

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]

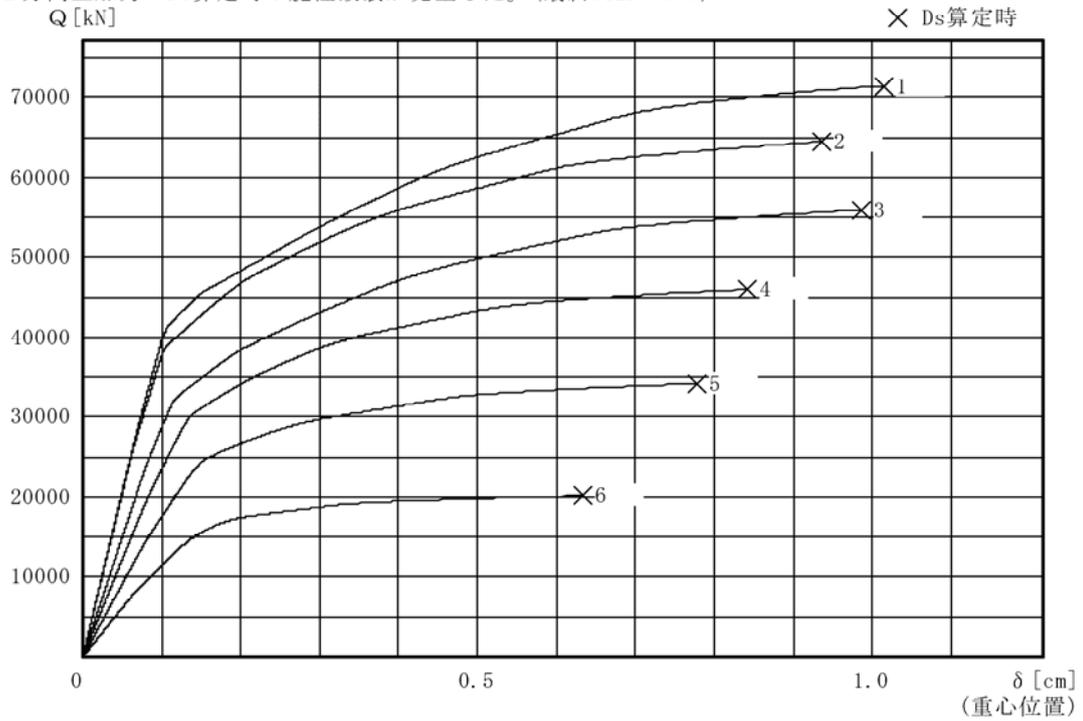


図 2.3 Y方向正加力時Q-δ曲線 Ds算定時

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]

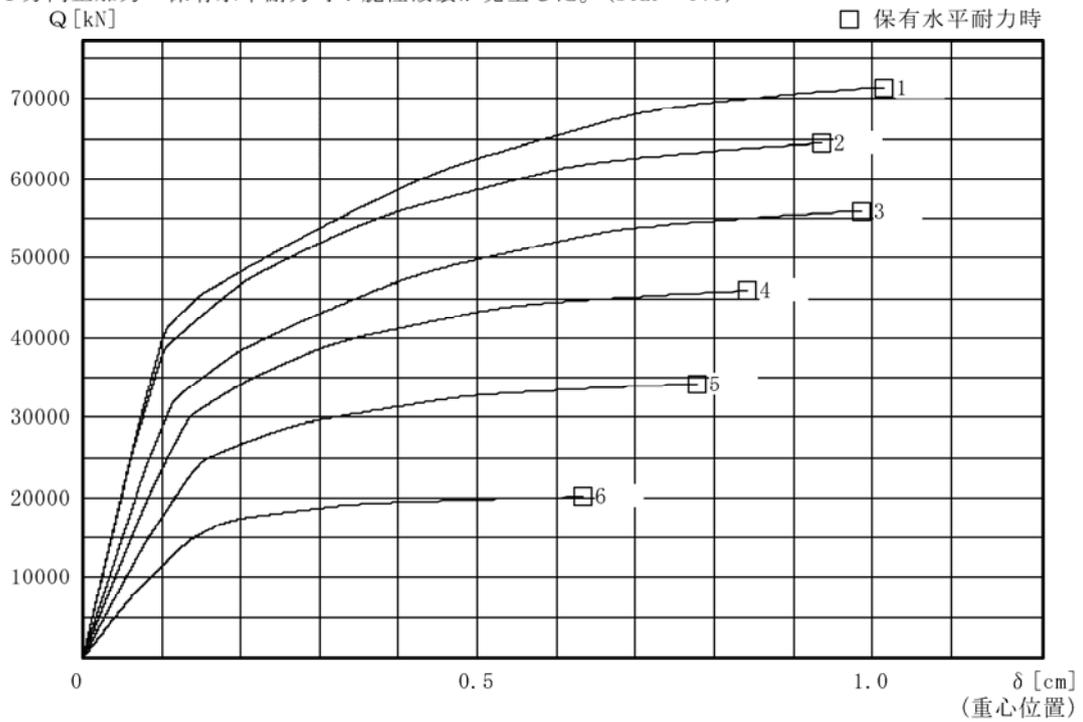


図 2.4 Y方向正加力時Q-δ曲線 保有水平耐力算定時

(3) 保有水平耐力時ヒンジ図

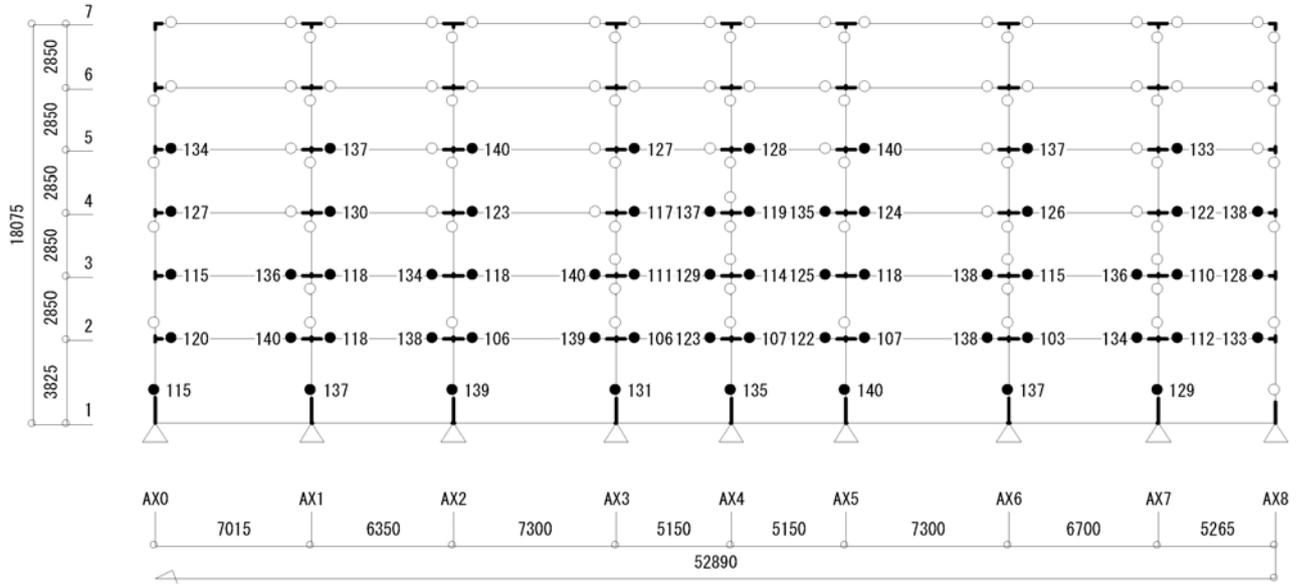


図 2.5 AY0 フレーム X方向正加力

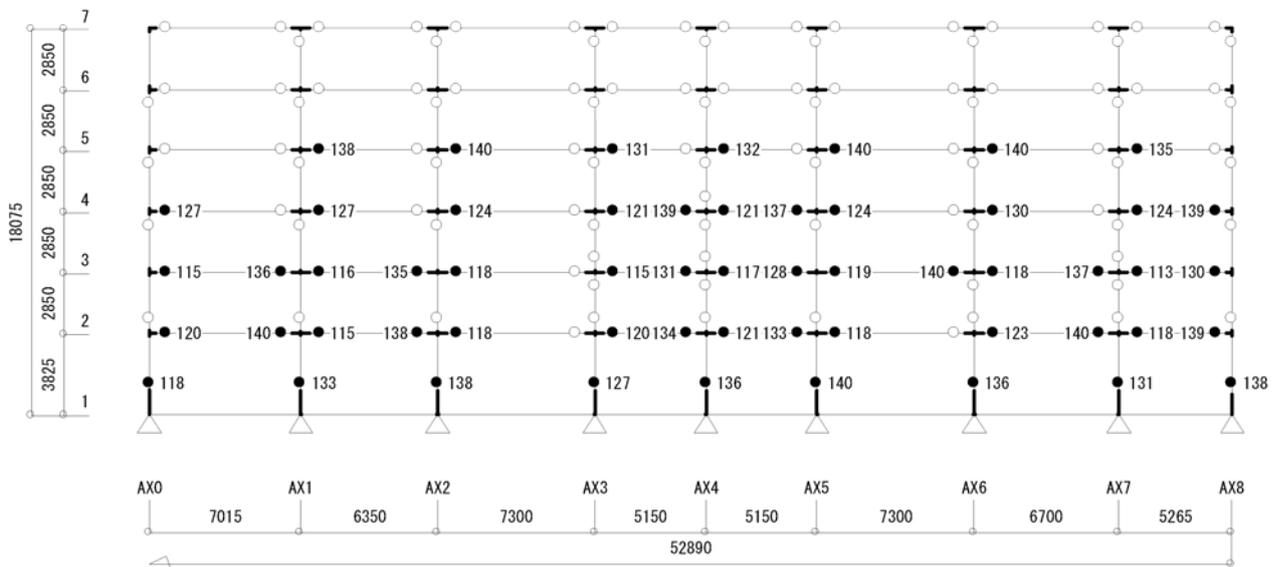


図 2.6 AY1 フレーム X方向正加力

○: 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。

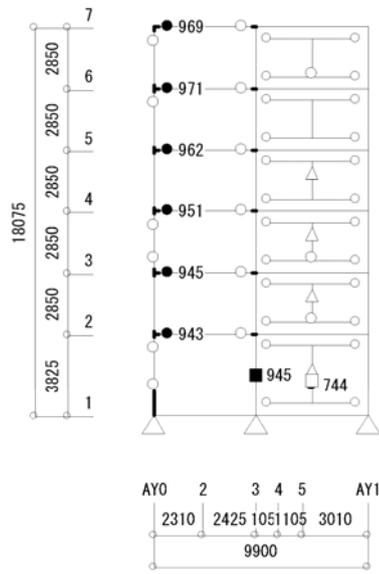


図 2.7 AX0 フレーム Y方向正加力

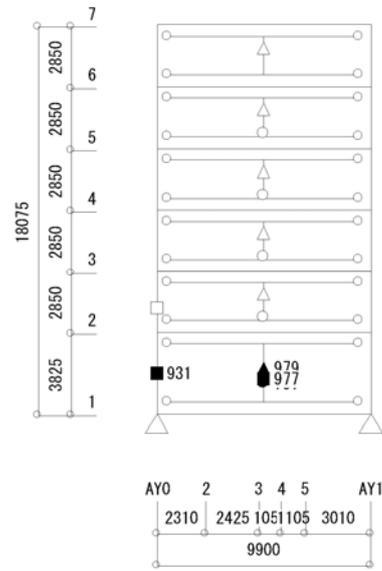


図 2.9 AX7 フレーム Y方向正加力

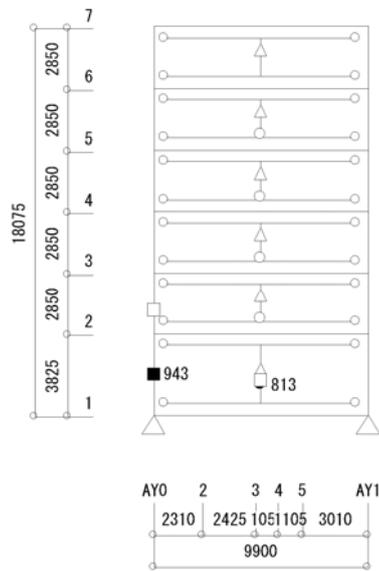


図 2.8 AX1 フレーム Y方向正加力

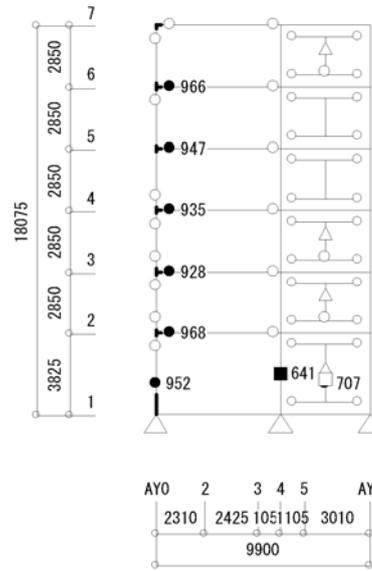


図 2.10 AX8 フレーム Y方向正加力

○: 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。

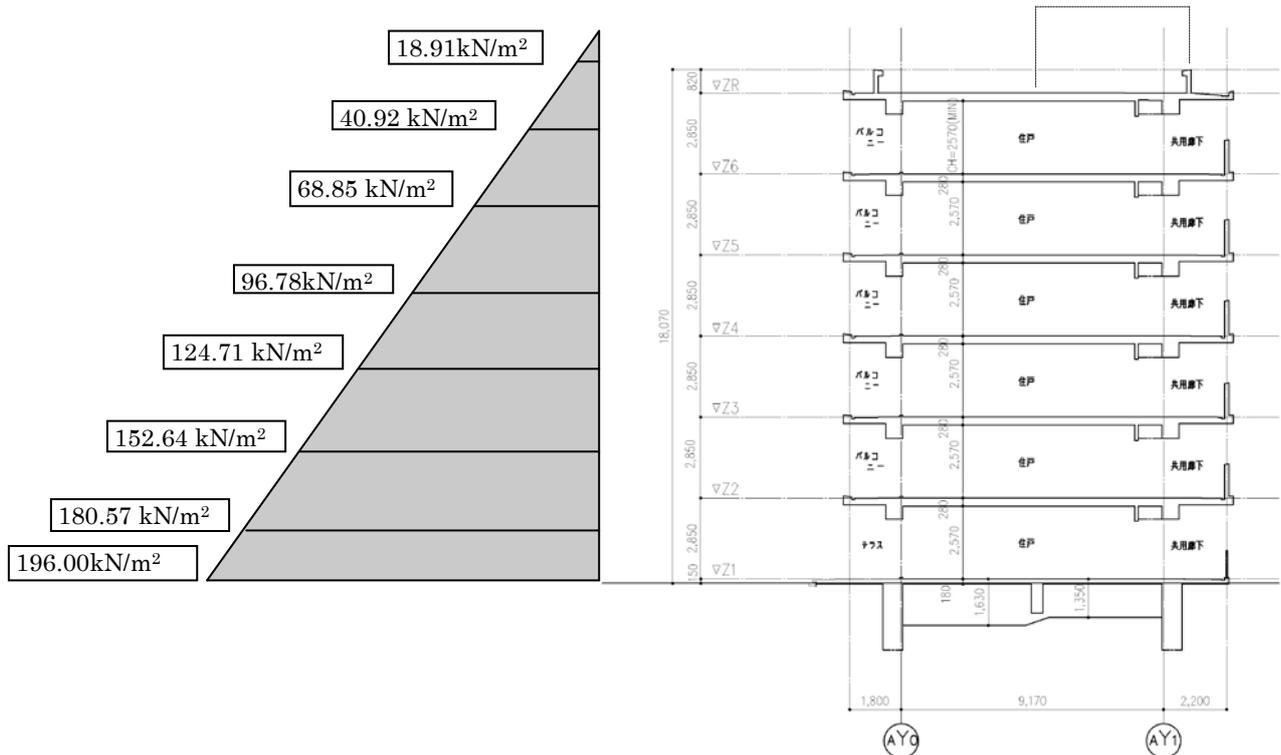


図 3.1 津波波圧

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

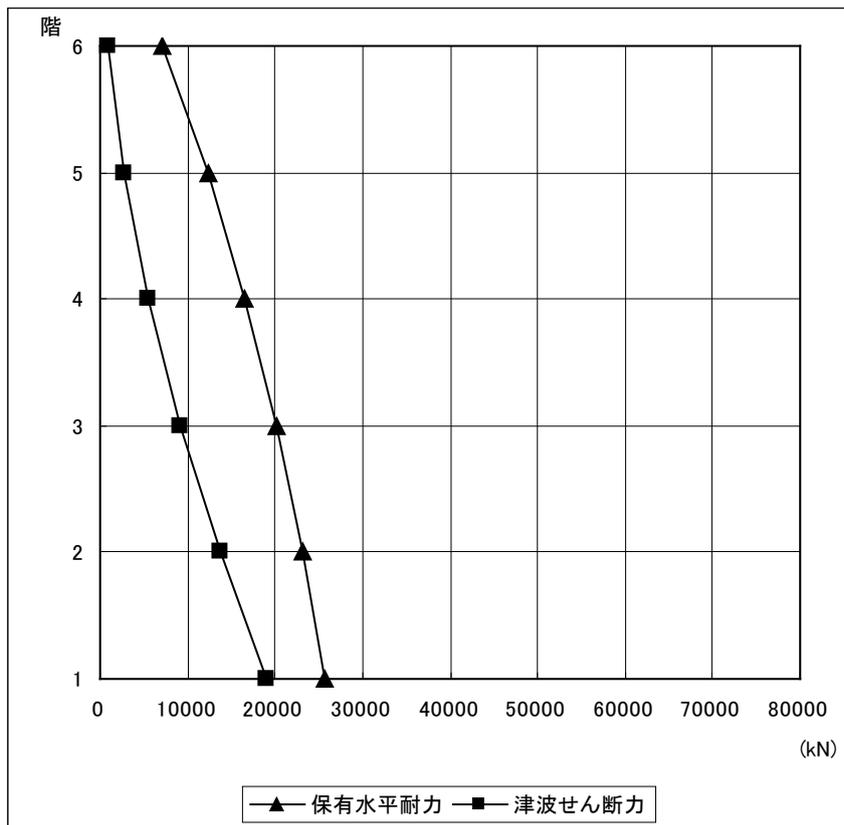


図 3.2 保有水平耐力と津波せん断力の比較 (X 方向)

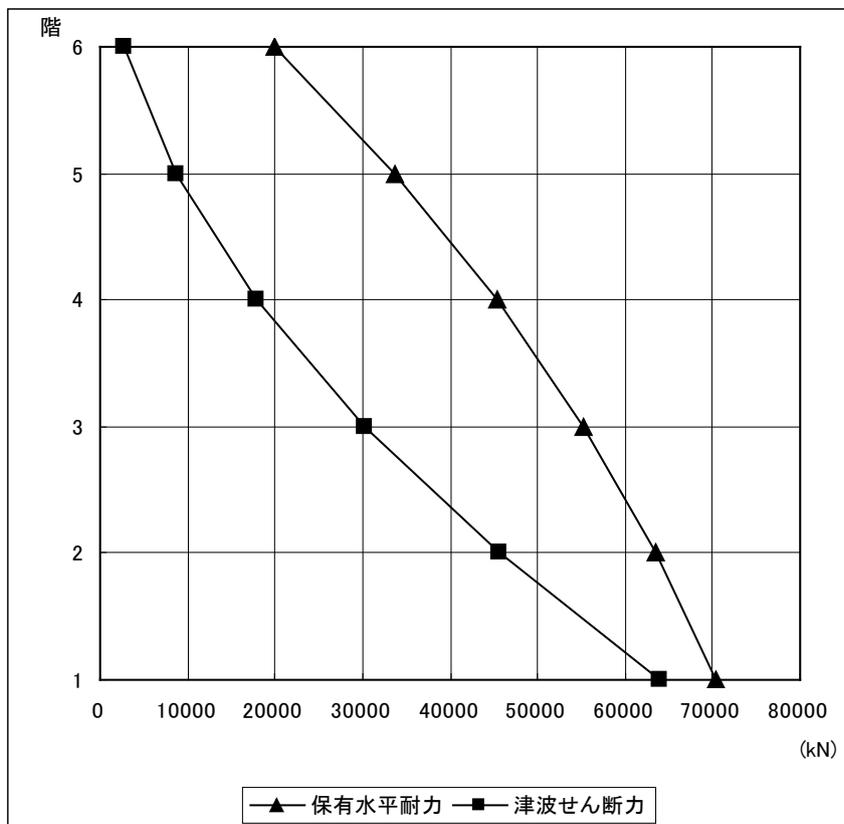


図 3.3 保有水平耐力と津波せん断力の比較 (Y 方向)

§ 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。

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

$$Q_{su}=f_s \cdot b \cdot j$$

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

f_s ：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

$$t=350、d=300、j=263$$

$$F_{c33} \rightarrow f_s=1.23\text{N/mm}^2$$

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

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

長さ 2.85m

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

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

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

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

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

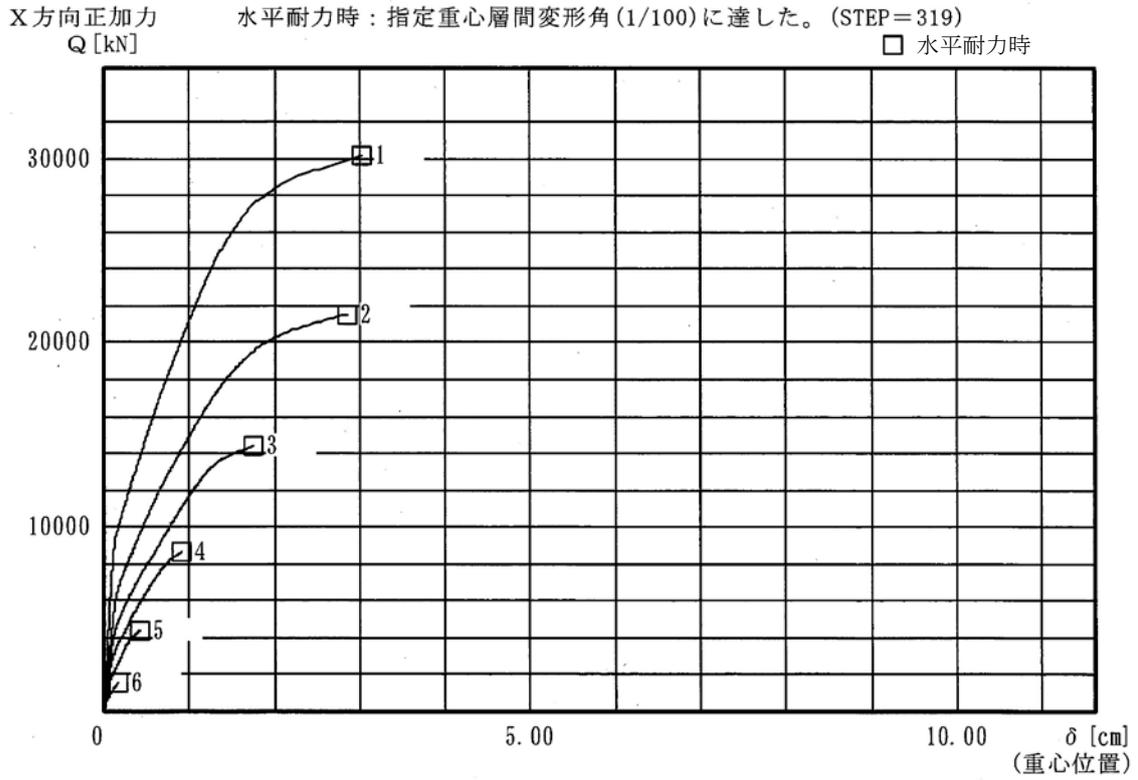


図 6.1 X方向正加力時Q- δ 曲線 水平耐力算定時

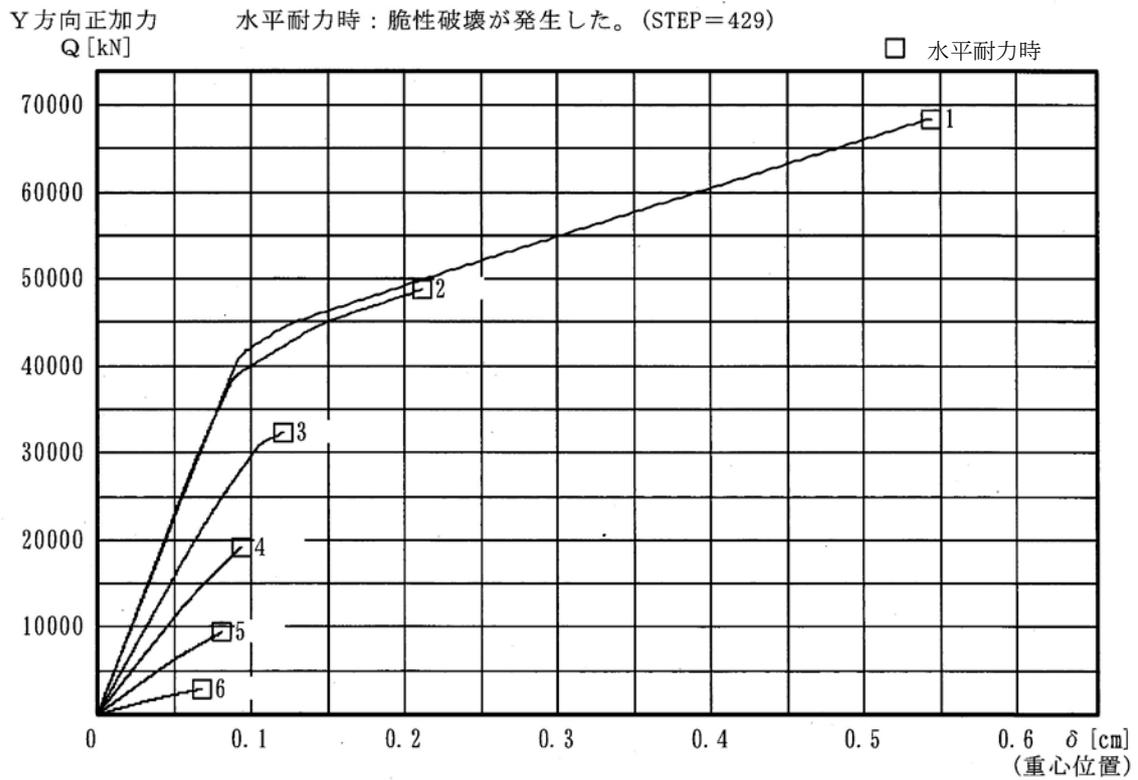


図 6.2 Y方向正加力時Q- δ 曲線 水平耐力算定時

(3) 水平耐力時ヒンジ図

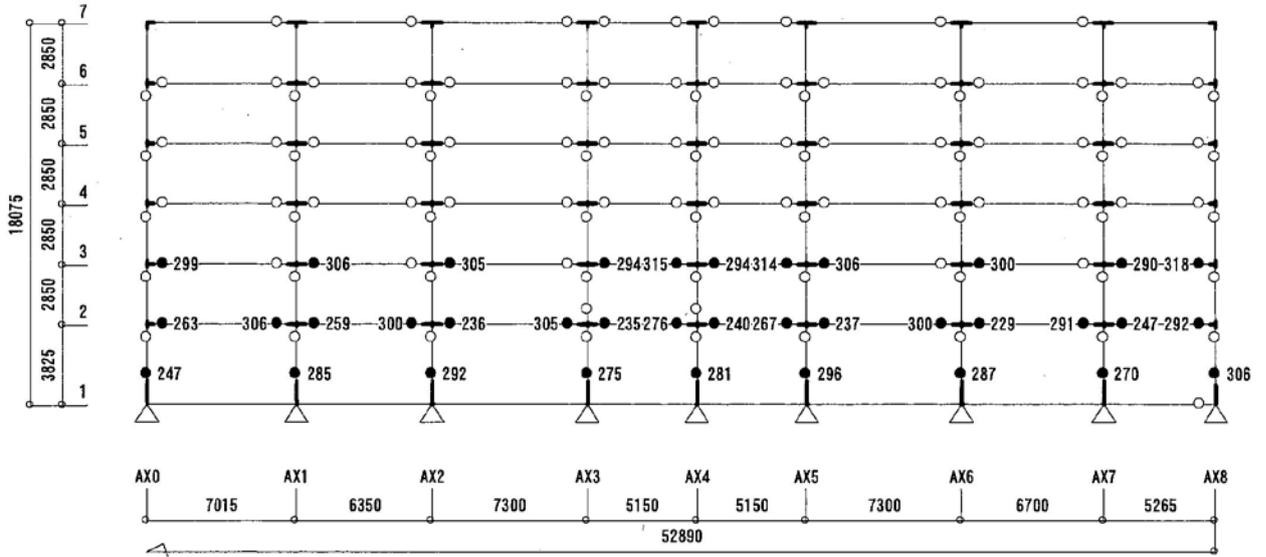


図 6.3 AY0 フレーム X方向正加力

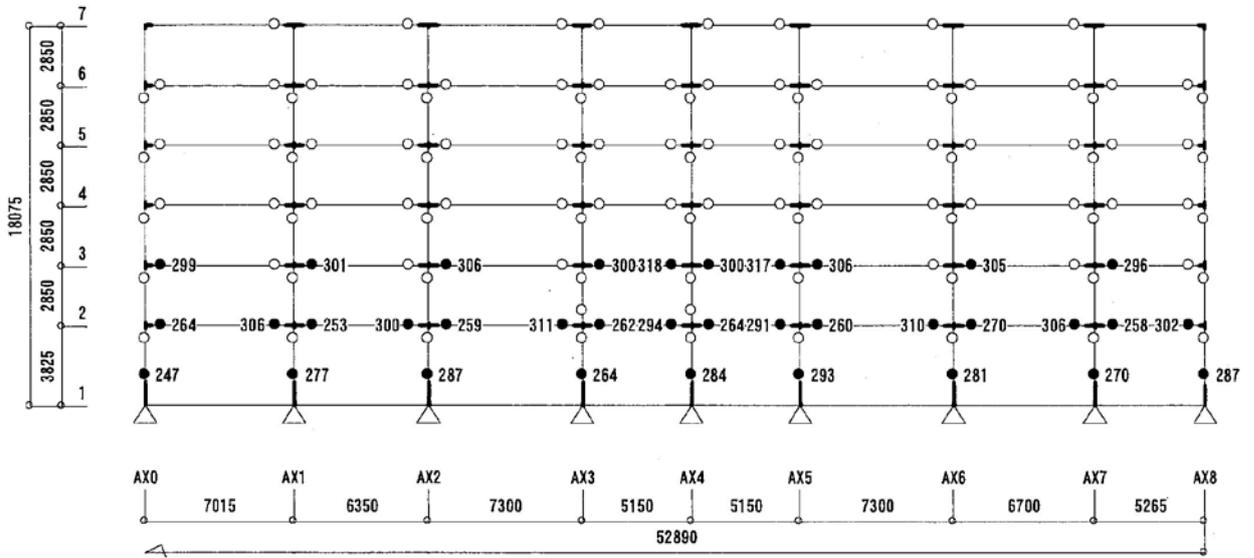


図 6.4 AY1 フレーム X方向正加力

○: 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。

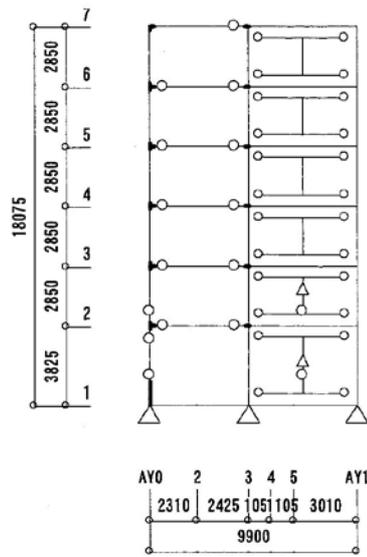


図 6.5 AX0 フレーム Y方向正加力

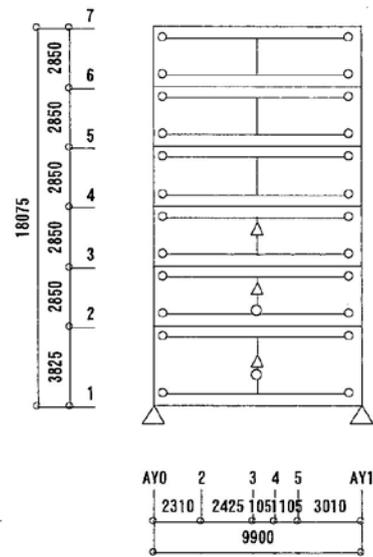


図 6.7 AX7 フレーム Y方向正加力

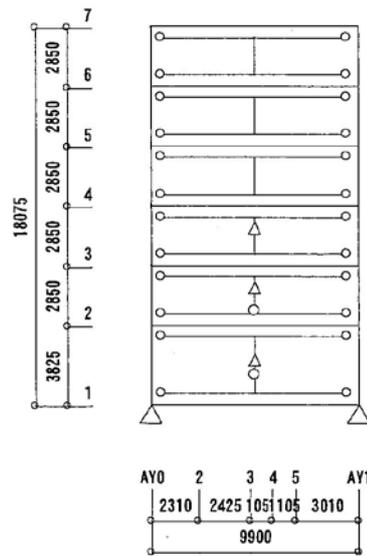


図 6.6 AX1 フレーム Y方向正加力

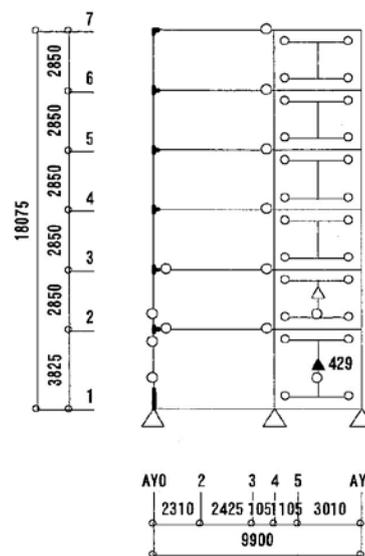


図 6.8 AX8 フレーム Y方向正加力

○: 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。

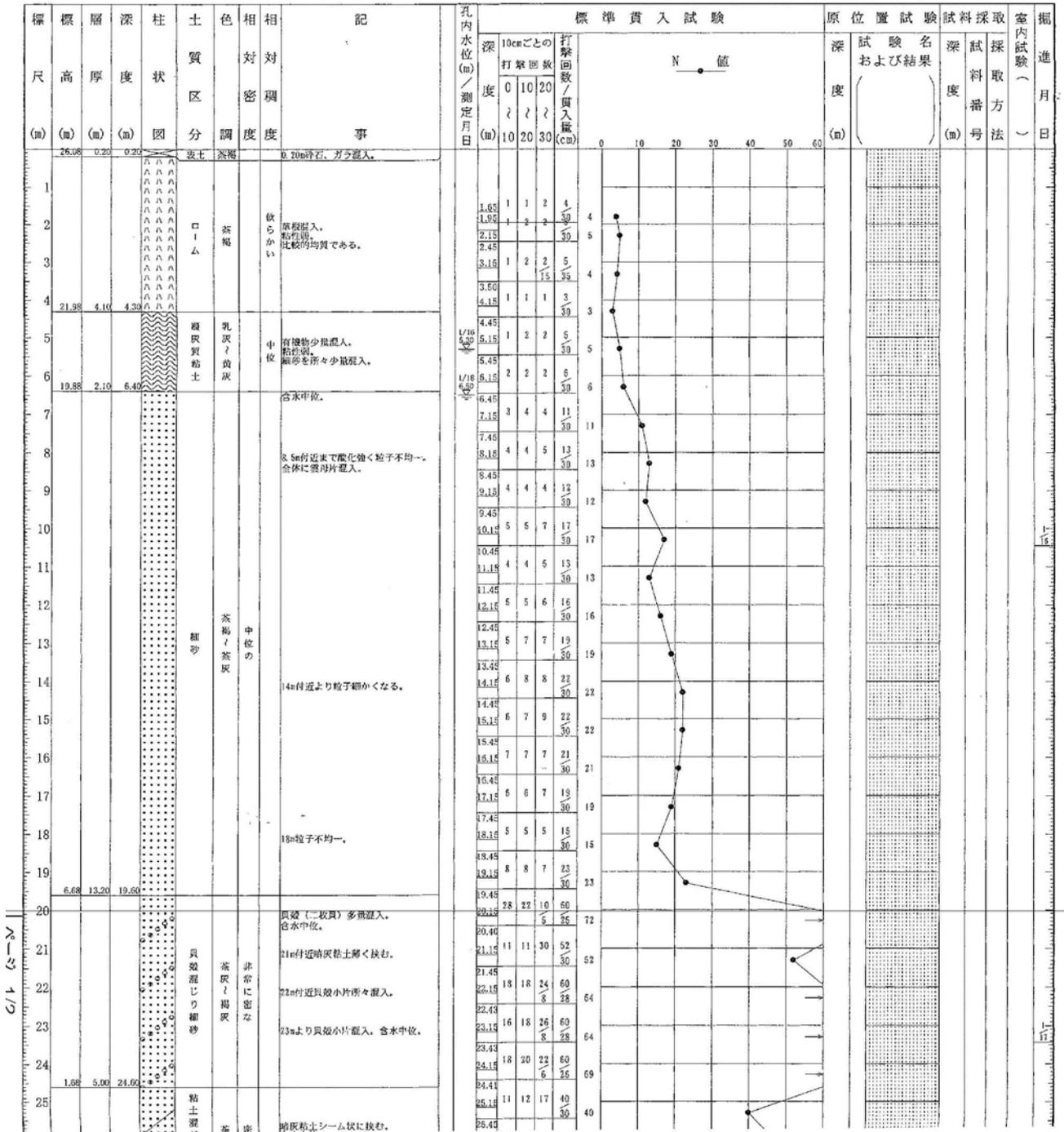


図 7.1 柱状図

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 (kN)		引張最大軸力 (kN)	引抜抵抗力 (kN)	
						余裕度			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。

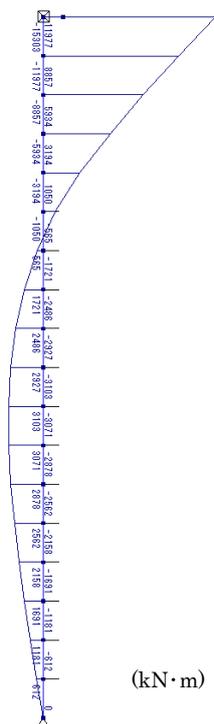


図 7.2 杭のモーメント図

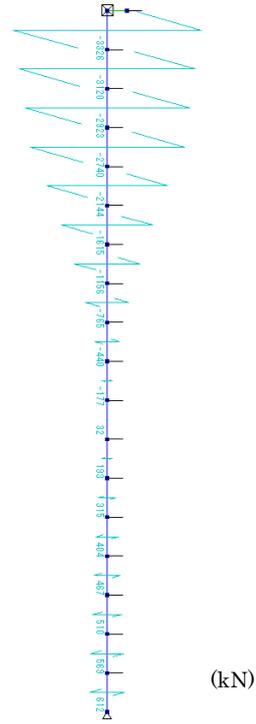


図 7.3 杭のせん断力図

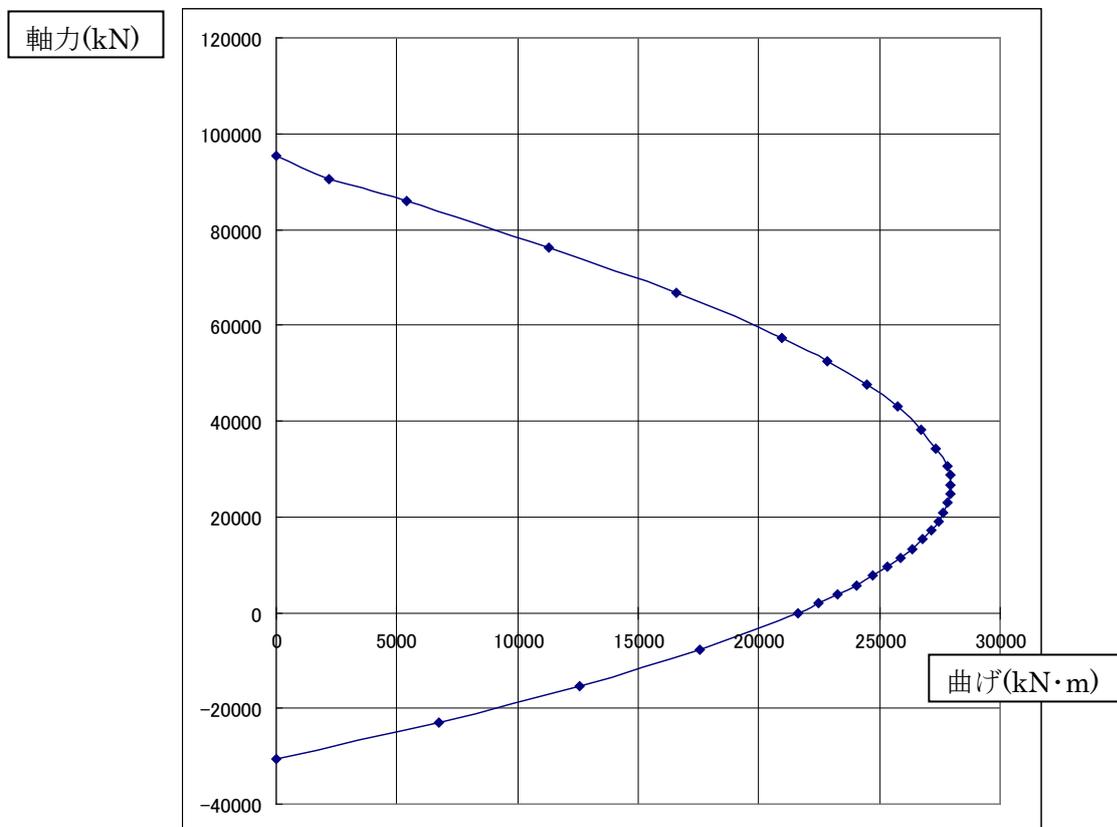


図 7.4 杭の N-Mu 曲線

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)

＜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 - δ 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^{*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 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。

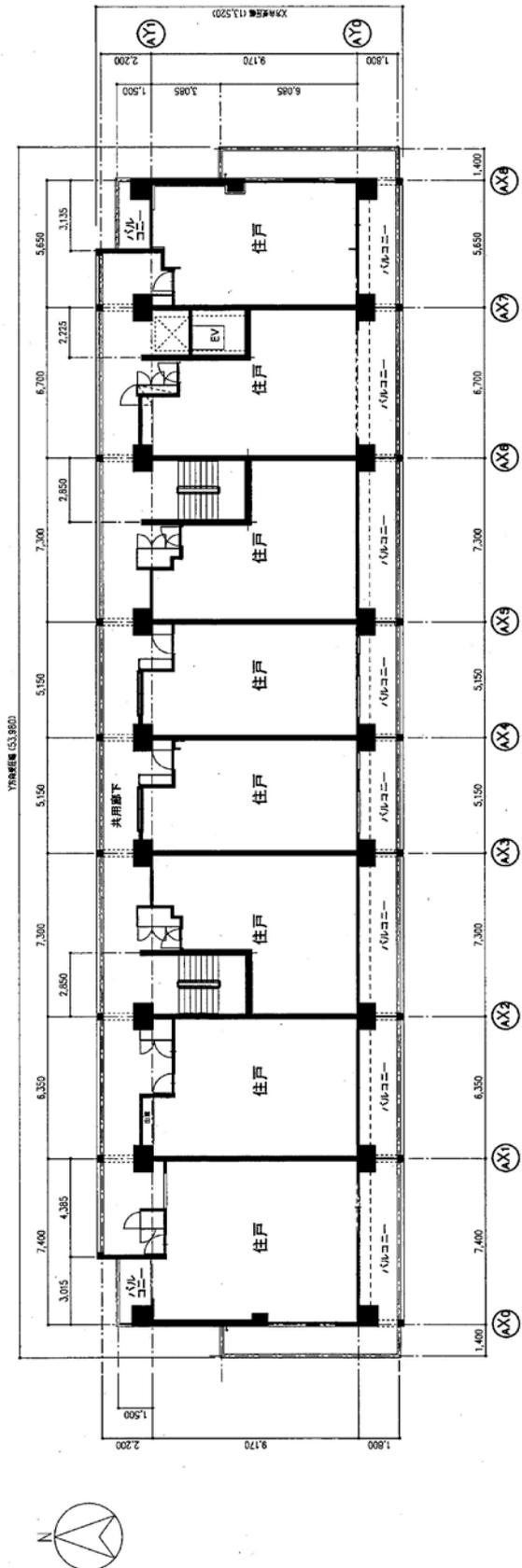


图 1.1 基准階平面図

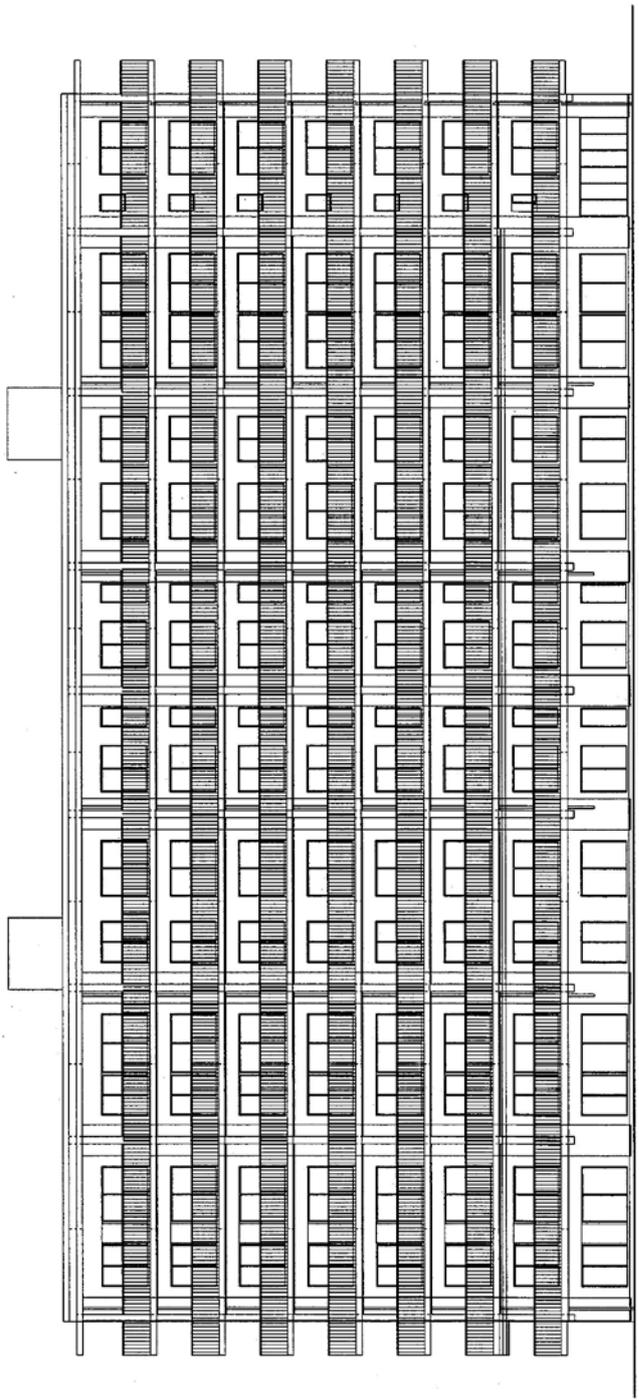


图 1.2 南侧立面图

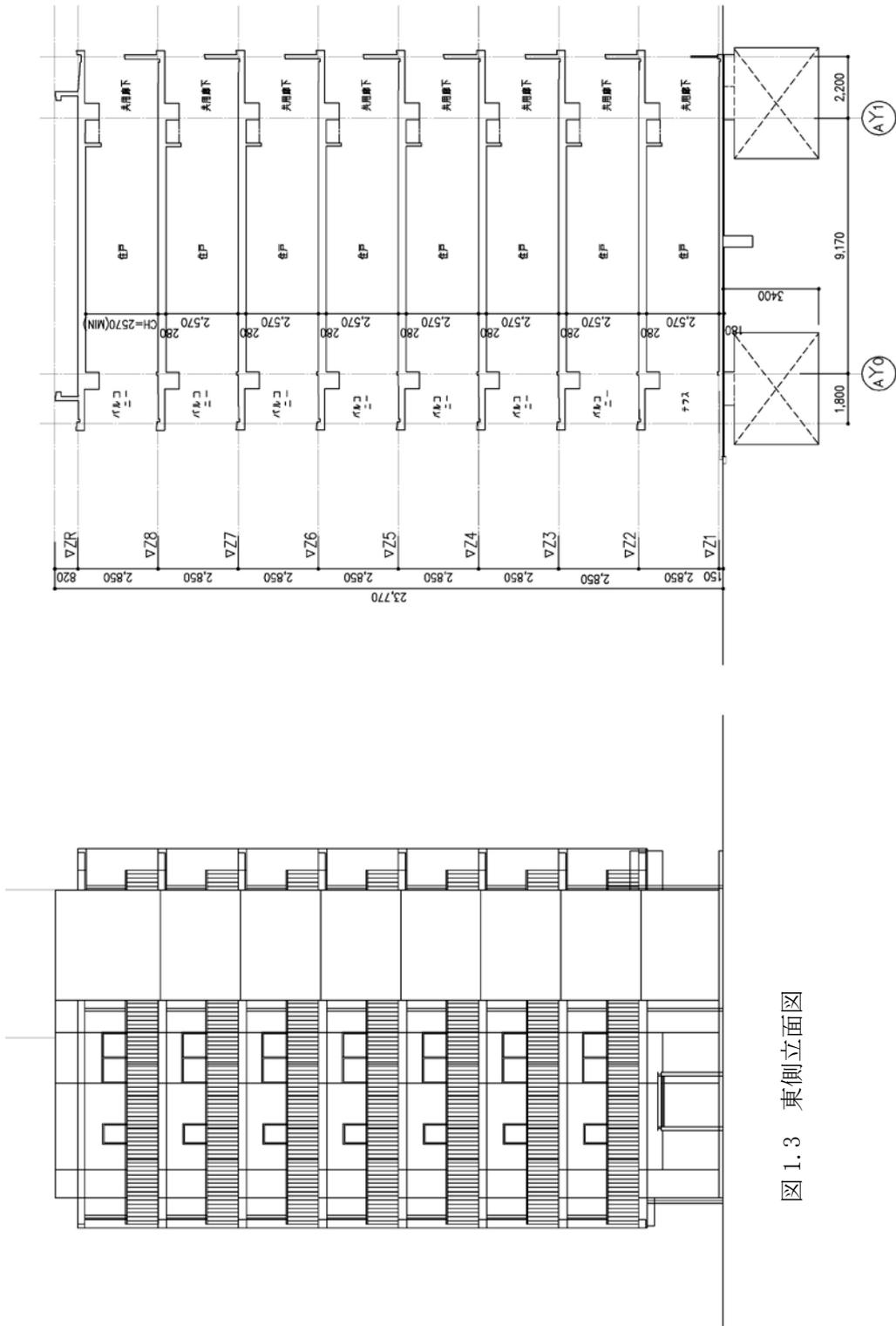


図 1.3 東側立面図

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。

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/mm²
- ・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。

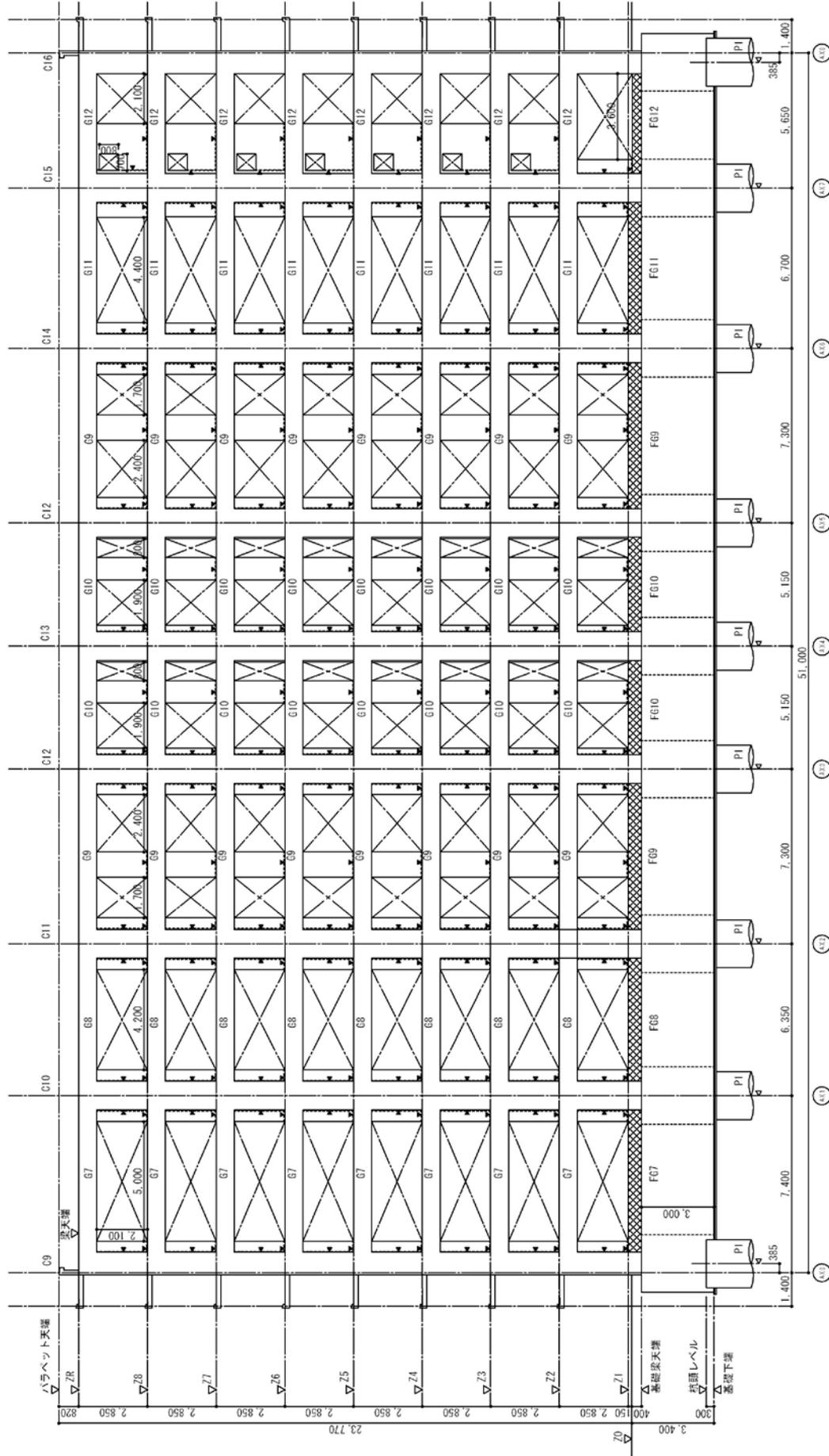


図 1.7 AY0 通軸組図

- 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。

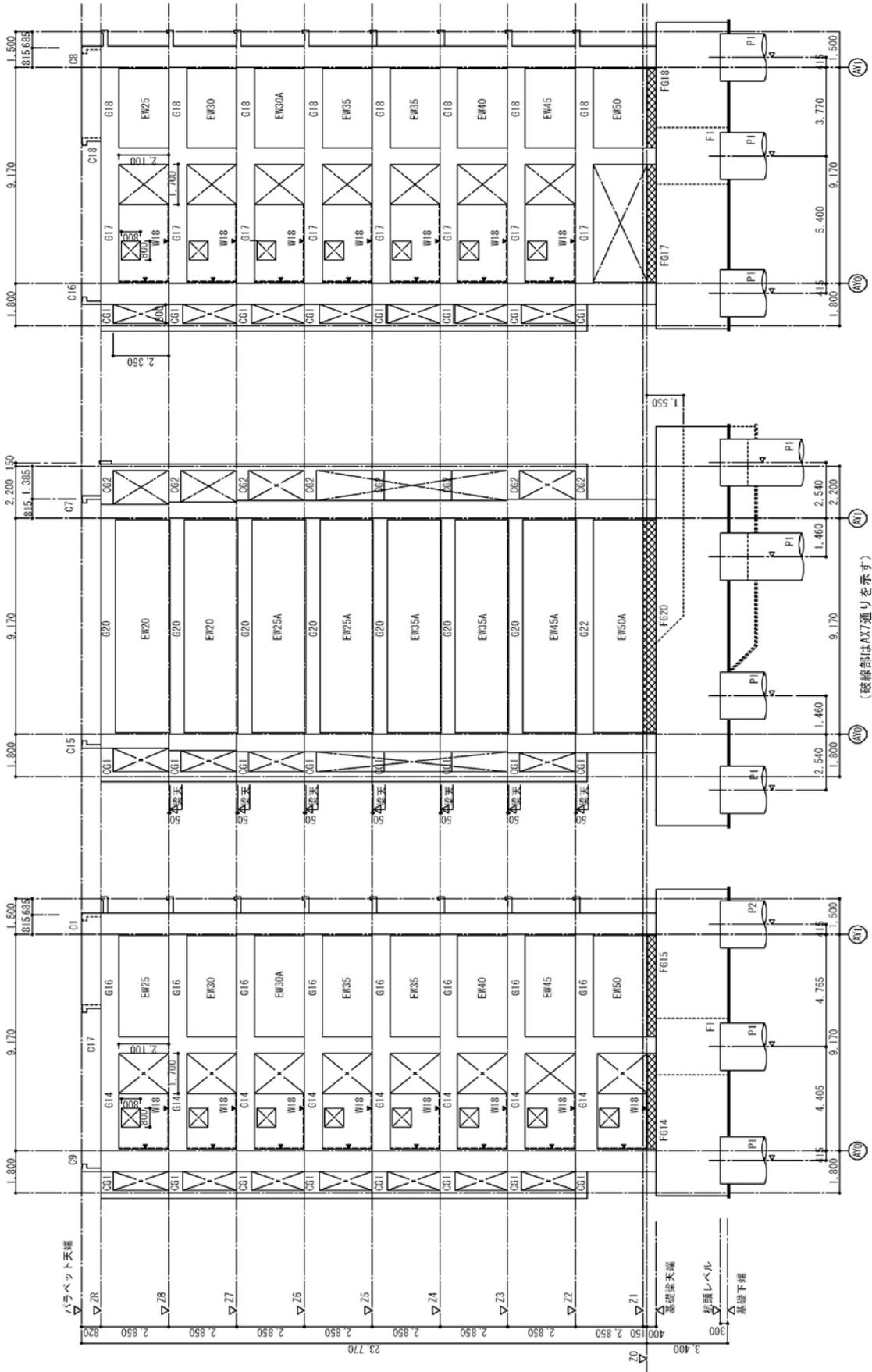
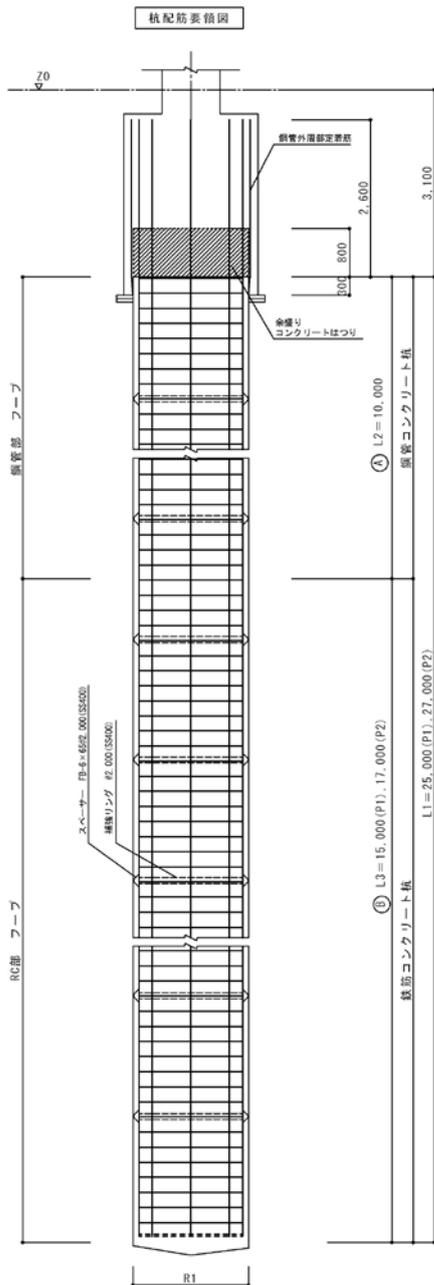


図 1.9 AX0 軸組図

図 1.10 AX1～AX7 軸組図
(破線部はAX7通りを示す)

図 1.11 AX8 軸組図

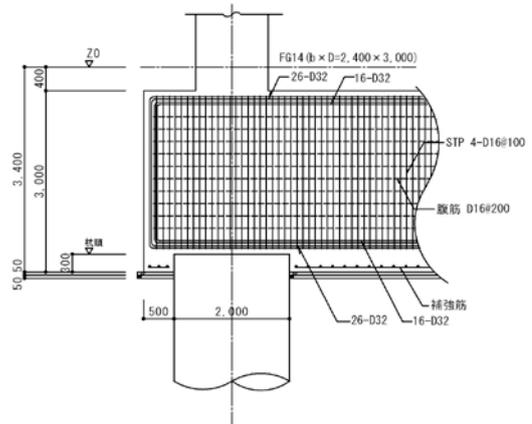


杭リスト

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

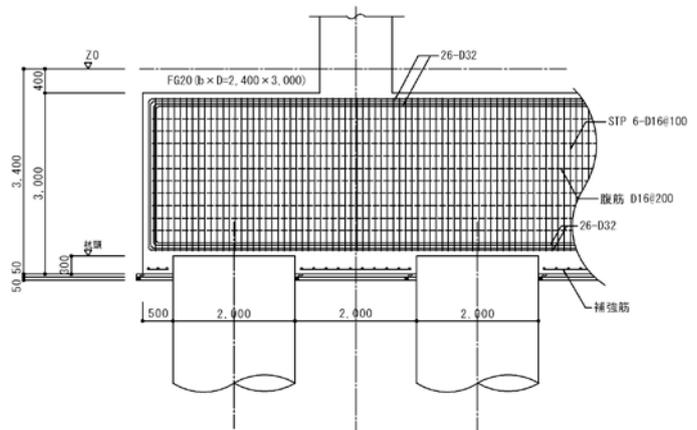


図 1.12 杭詳細図

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/mm²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	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
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	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
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	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
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/mm²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/mm² 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							
	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							
	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							
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							
	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							
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							
	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							
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

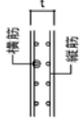
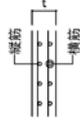
大梁リストの抜粋 2

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/mm² 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。

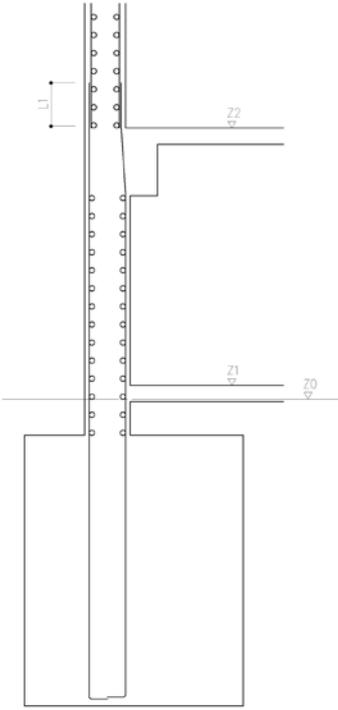


図 1.17 耐力壁リスト

図 1.18 AX0,AX8 通り耐力壁配筋要領

2.2 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 xQt (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	①×②×③ xQt (kN) =①×②×③+PH
PH	$(41.65+61.05) \times (2.8-0.82)/2=101.7$	5.3×2 *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 yQt (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	①×②×③ yQt (kN) =①×②×③+PH
PH	$(41.65+61.05) \times (2.8-0.82)/2=101.7$	3.0×2 *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 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 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

σ_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 _x (kN)	水平耐力 tQ _{ux} (kN)	余裕度 tQ _{ux} /tQ _x
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 _y (kN)	水平耐力 tQ _{uy} (kN)	余裕度 tQ _{uy} /tQ _y
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、 $Q-\delta$ 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。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、 $Q-\delta$ 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

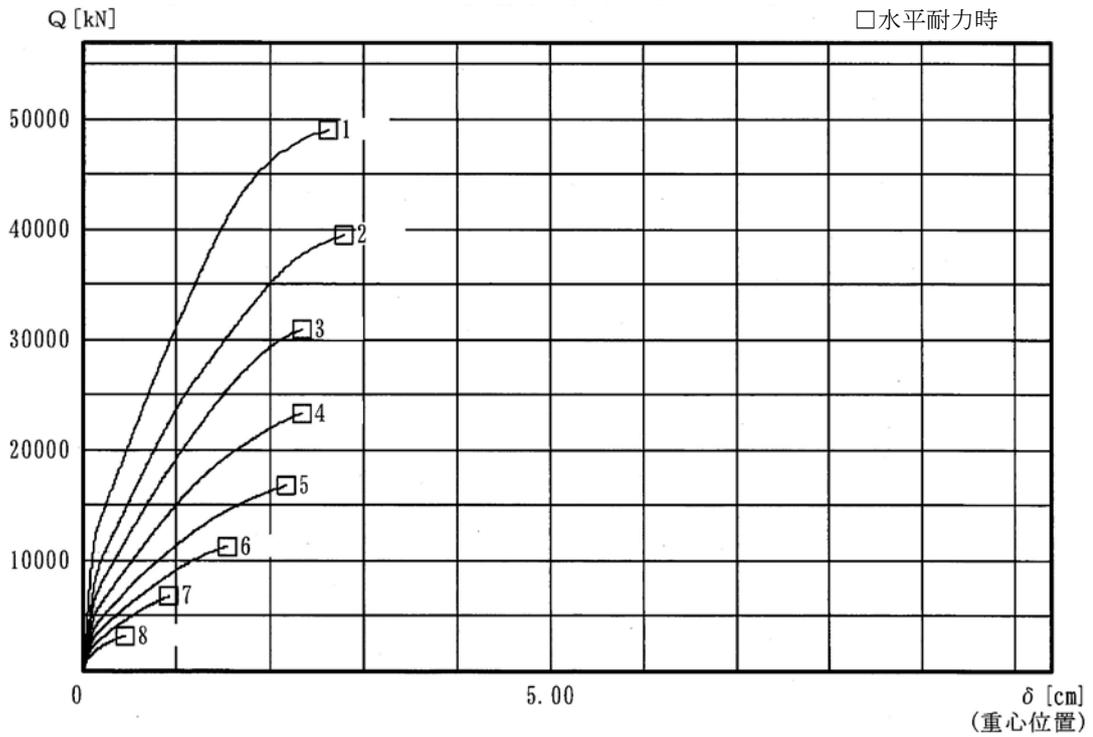


図 5.1 X方向正加力時Q- δ 曲線 水平耐力算定時：指定重心層間変形角(1/100)に達した。(STEP=335)

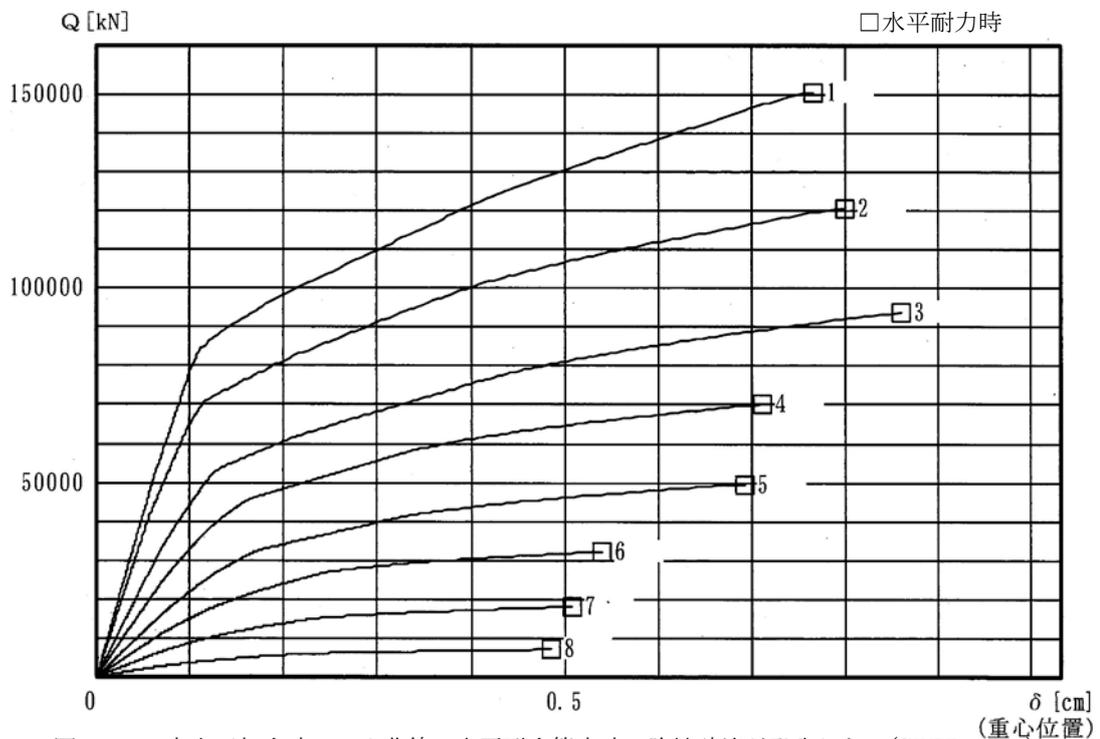


図 5.2 Y方向正加力時Q- δ 曲線 水平耐力算定時：脆性破壊が発生した。(STEP=319)

(3) 水平耐力時ヒンジ図

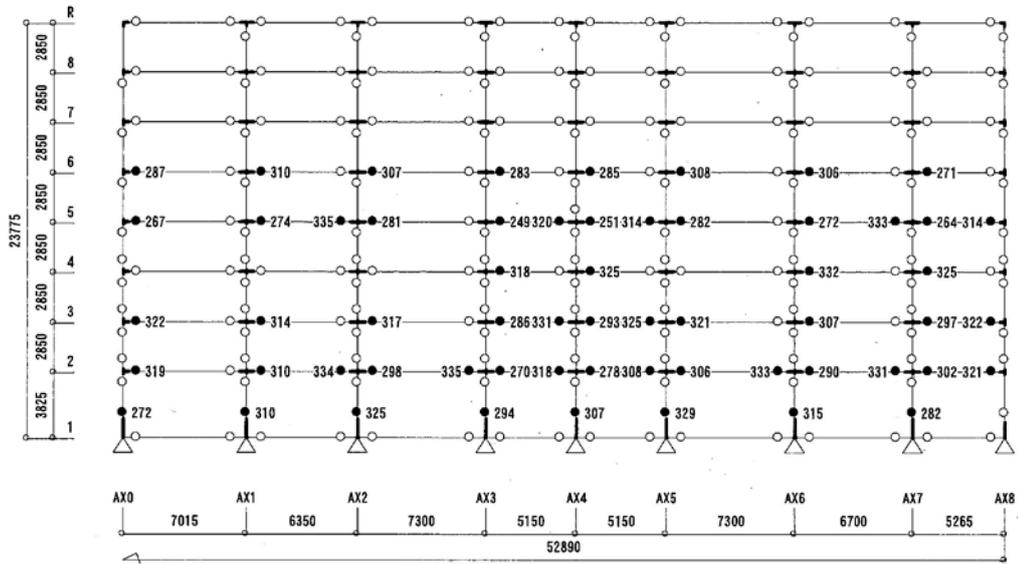


図 5.3 AY0 フレーム X方向正加力

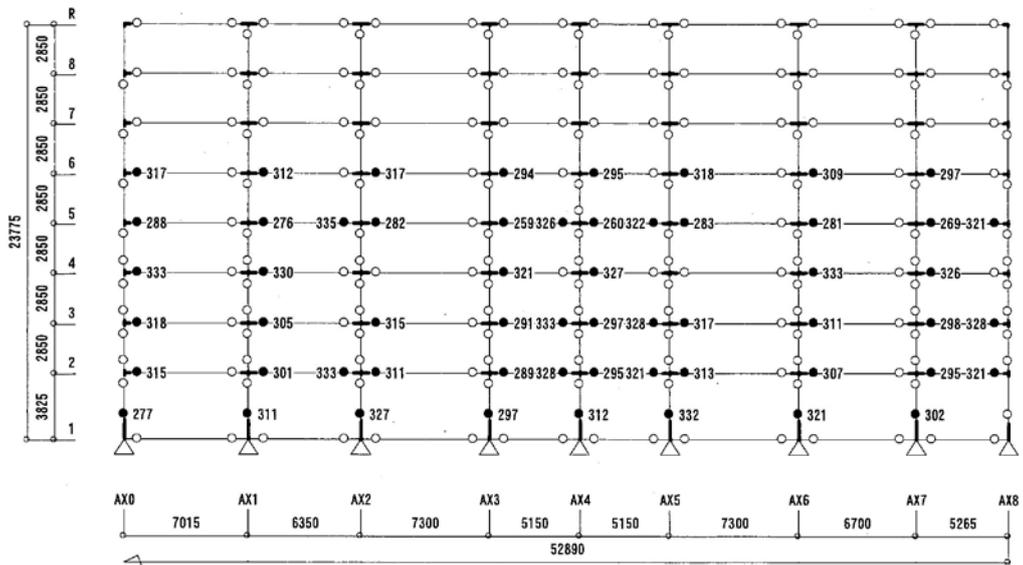


図 5.4 AY1 フレーム X方向正加力

○: 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。

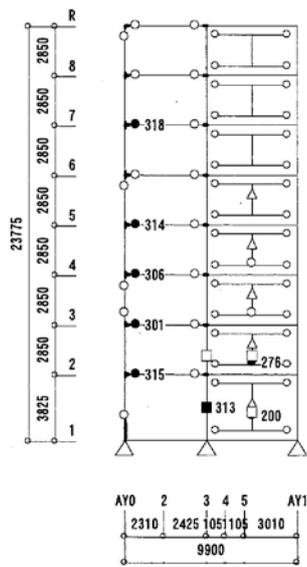


図 5.5 AX0 フレーム Y方向正加力

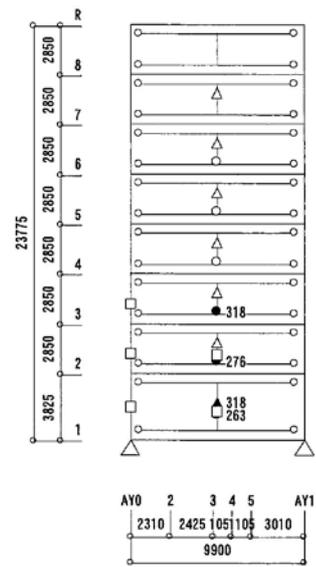


図 5.7 AX7 フレーム Y方向正加力

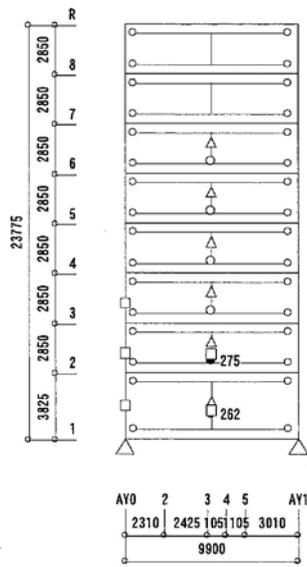


図 5.6 AX1 フレーム Y方向正加力

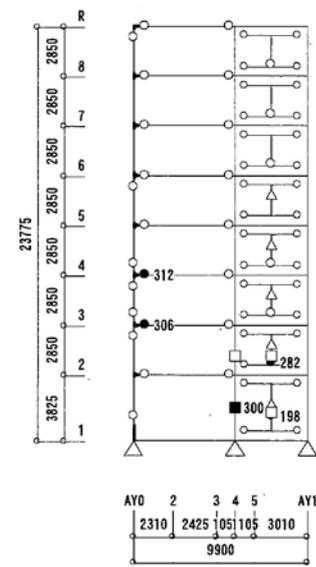


図 5.8 AX8 フレーム Y方向正加力

○: 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。

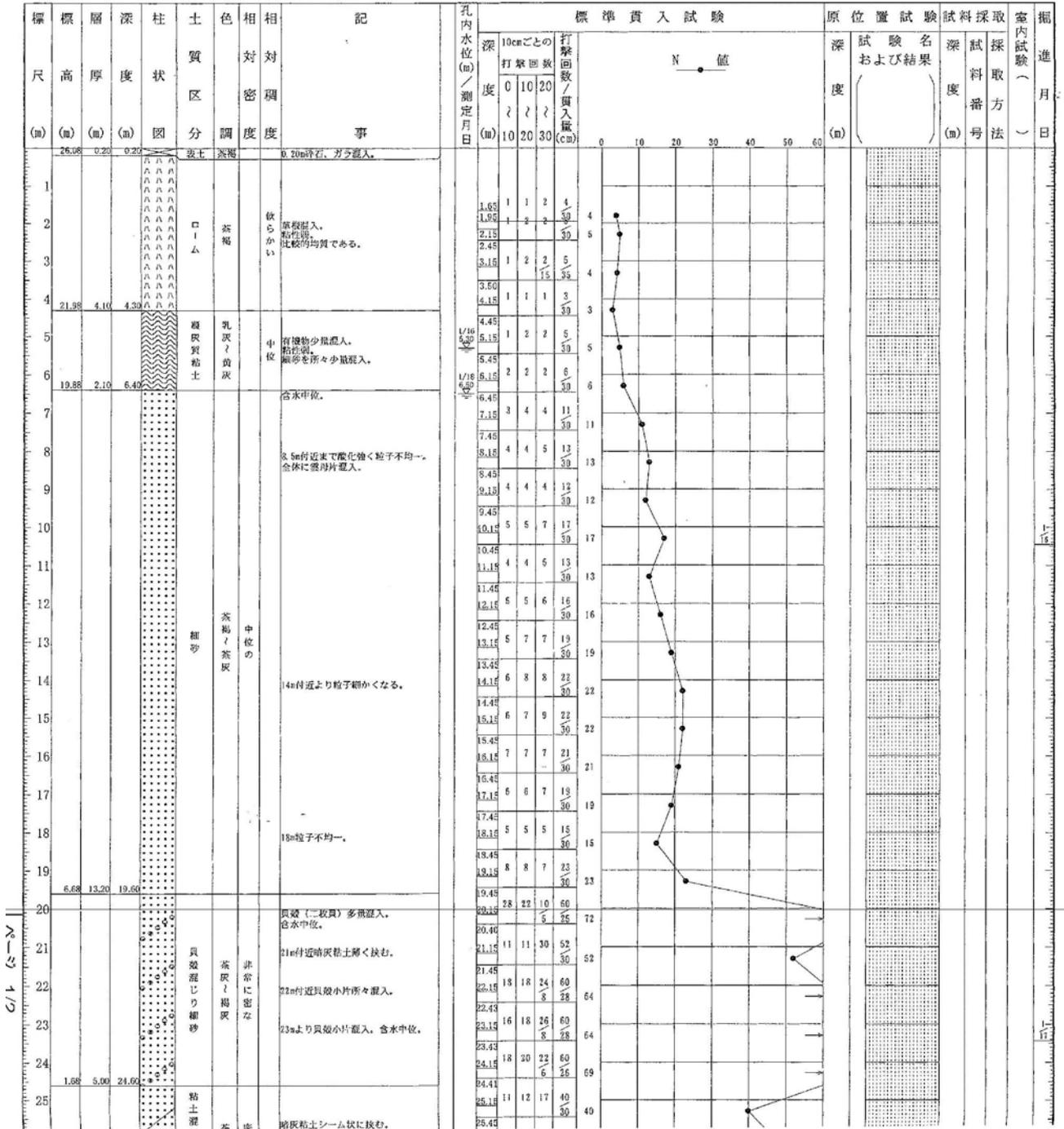


図 6.1 柱状図

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 ²)	Fc (N/mm ²)	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。

$b \times D = 4000 \times 3000$ 、 $d = 2650$

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

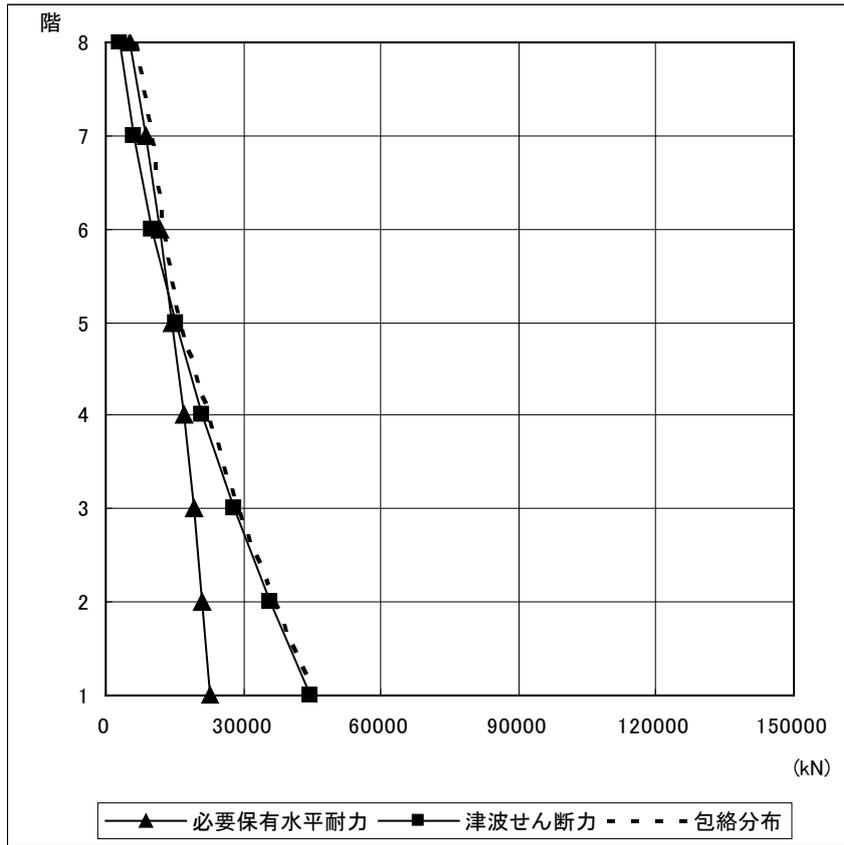


图 7.1 X 方向外力分布

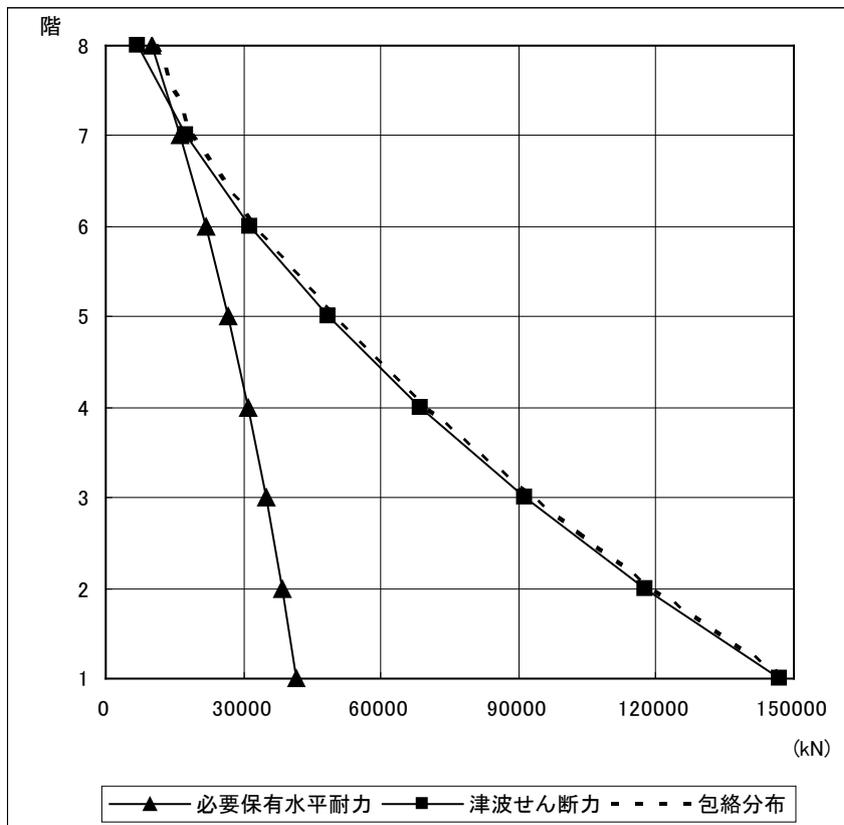


图 7.2 Y 方向外力分布

(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- 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=131)

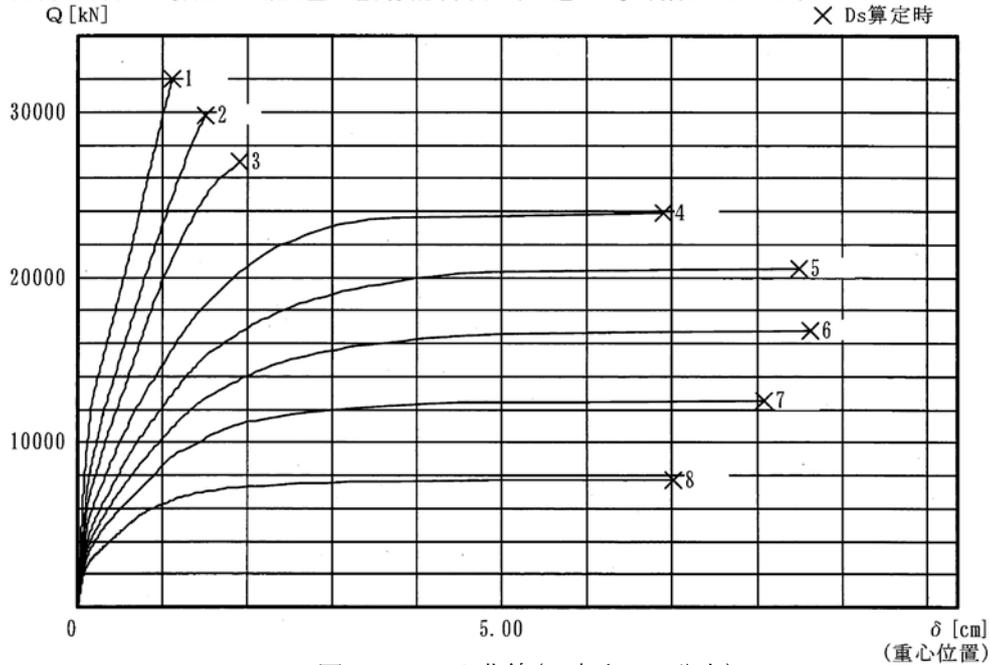


図 7.3 Q- δ 曲線 (X 方向、Ai 分布)

Y 方向正加力 Ds算定時：脆性破壊が発生した。(最終STEP=444)

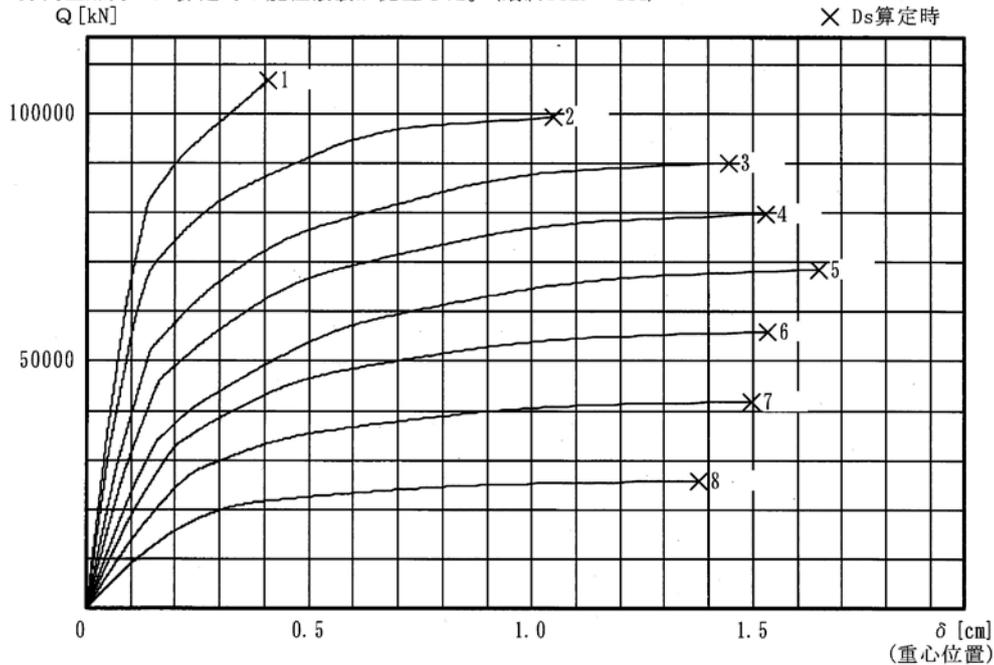


図 7.4 Q- δ 曲線 (Y 方向、Ai 分布)

2) ヒンジ図

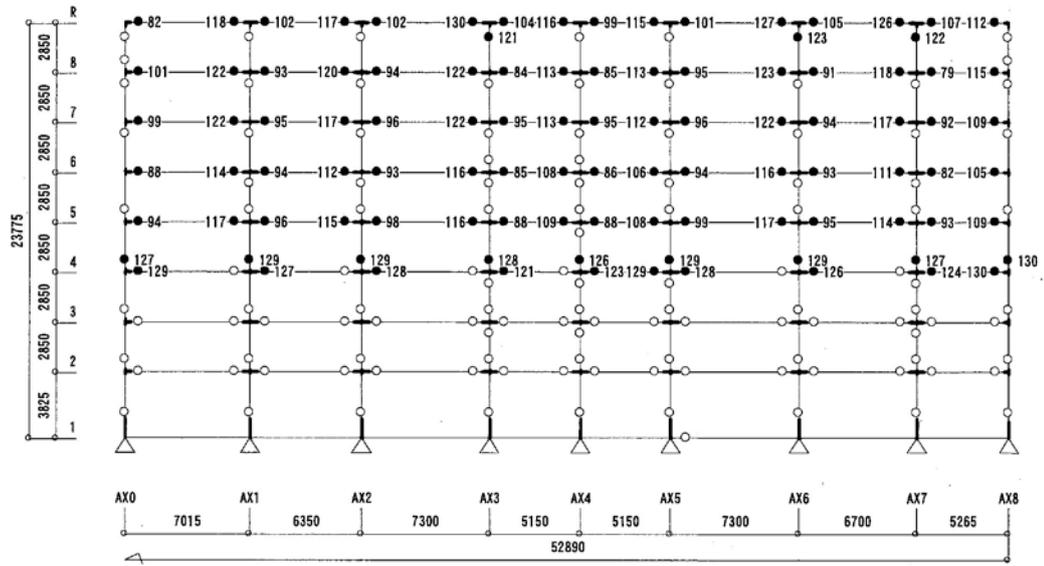


図 7.5 AY0 フレーム X方向正加力 A_i 分布

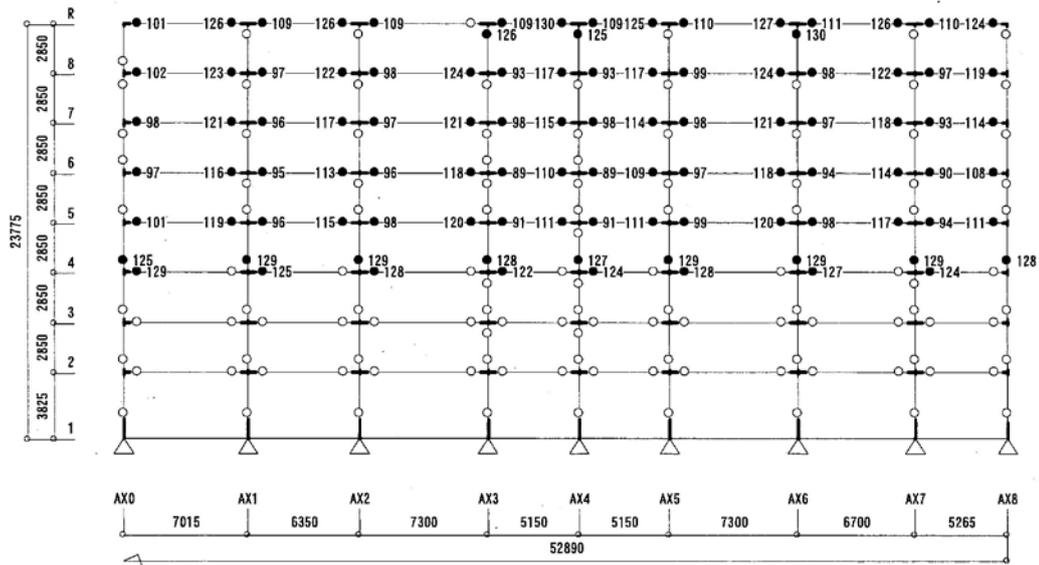


図 7.6 AY1 フレーム X方向正加力 A_i 分布

○: 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。

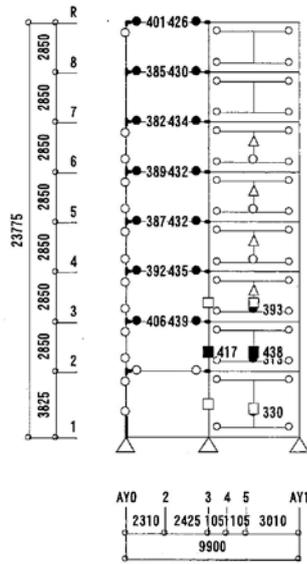


図 7.7 AX0 フレーム Y 方向正加力 A_i 分布

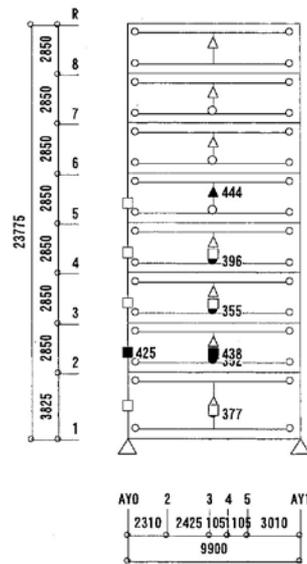


図 7.9 AX7 フレーム Y 方向正加力 A_i 分布

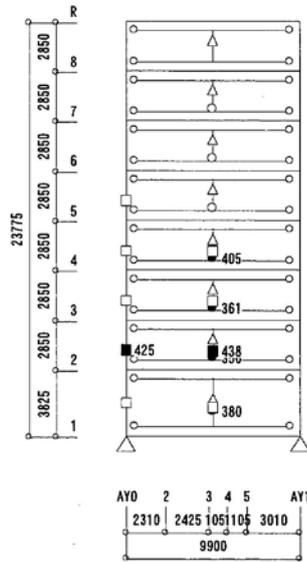


図 7.8 AX1 フレーム Y 方向正加力 A_i 分布

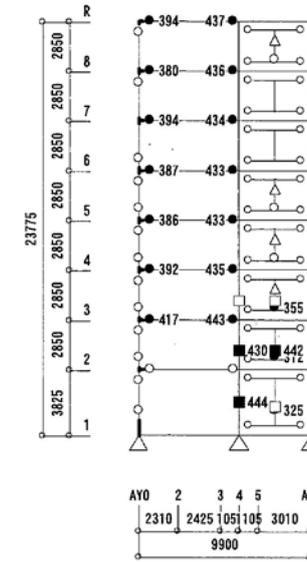


図 7.10 AX8 フレーム Y 方向正加力 A_i 分布

○: 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- 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=364)

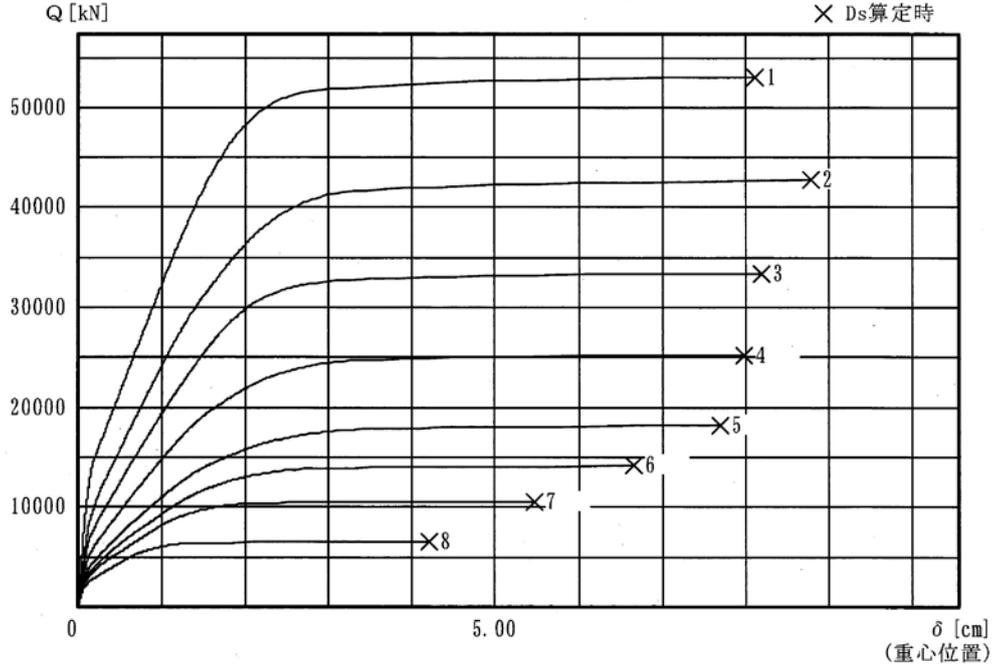


図 7.11 Q- δ 曲線(X方向、包絡分布)

Y方向正加力 Ds算定時：脆性破壊が発生した。(最終STEP=320)

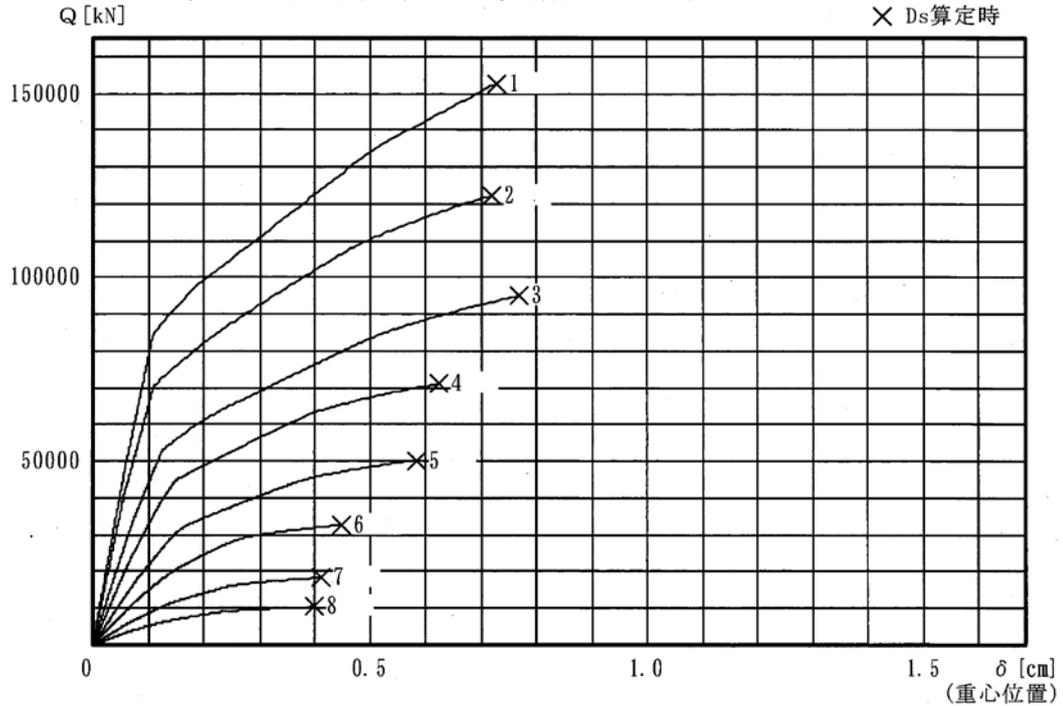


図 7.12 Q- δ 曲線(Y方向、包絡分布)

2) ヒンジ図

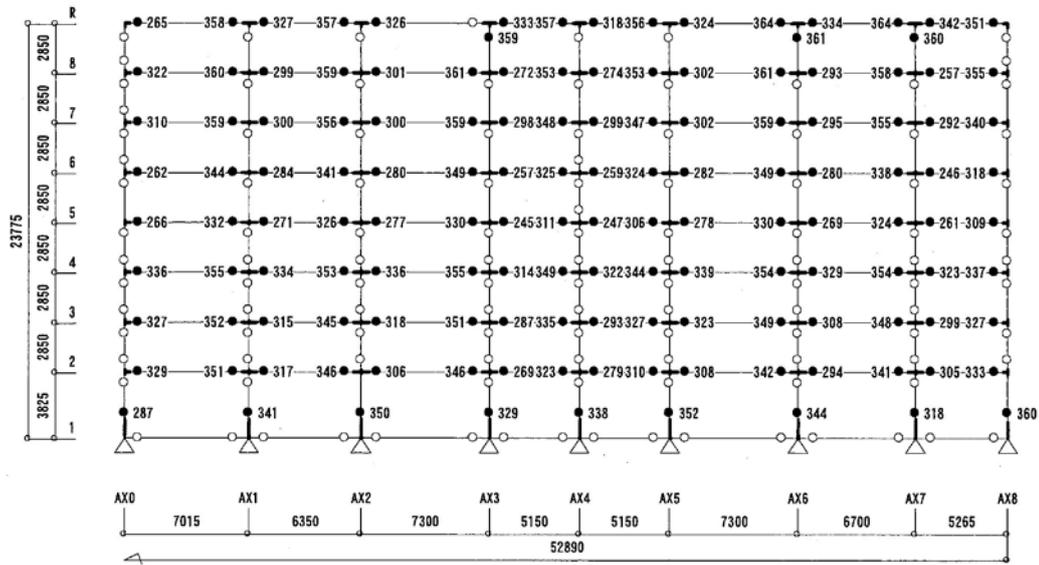


図 7.13 AY0 フレーム X 方向正加力 包絡分布

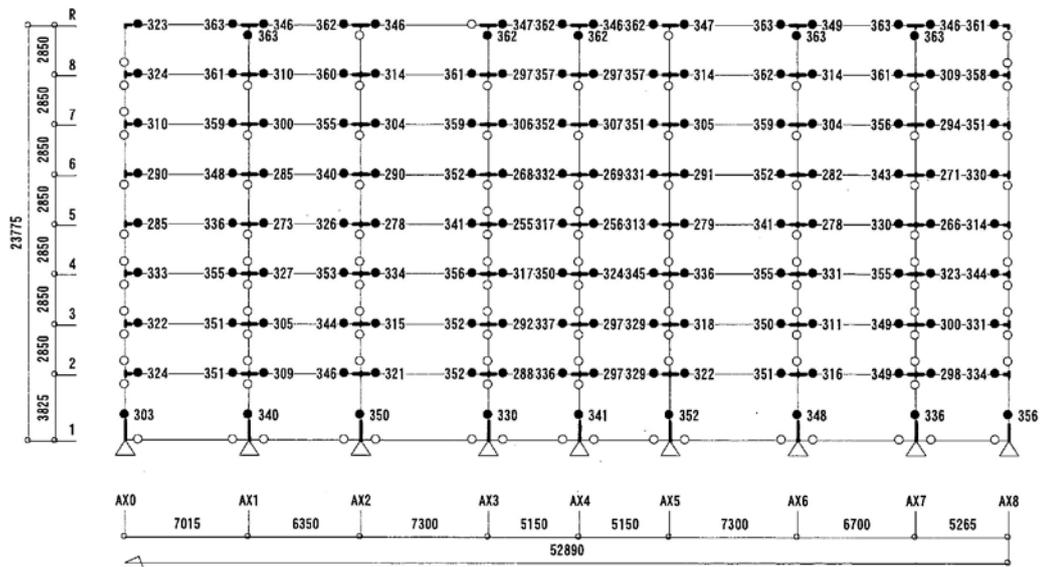


図 7.14 AY1 フレーム X 方向正加力 包絡分布

○: 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。

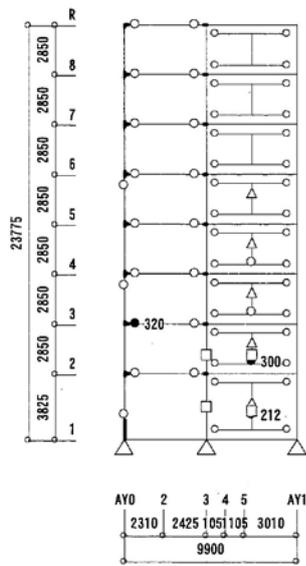


図 7.15 AX0 フレーム Y 方向正加力 包絡分布

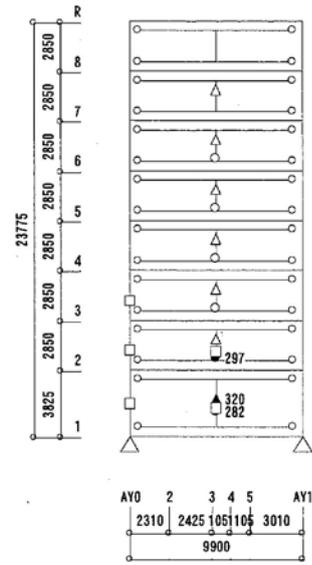


図 7.17 AX7 フレーム Y 方向正加力 包絡分布

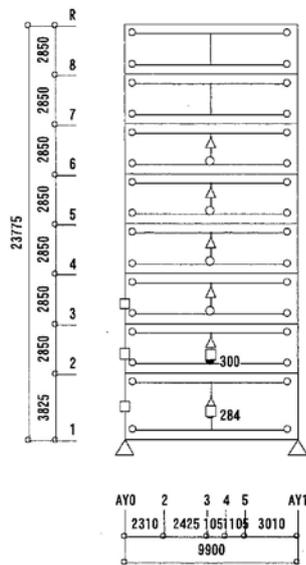


図 7.16 AX1 フレーム Y 方向正加力 包絡分布

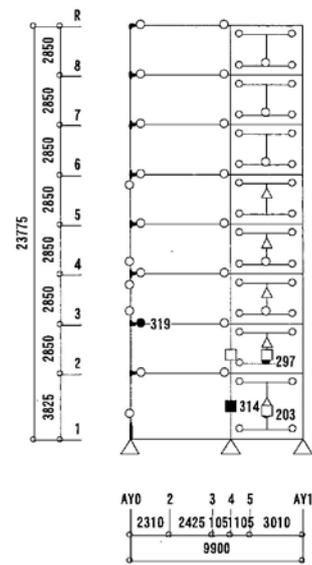


図 7.18 AX8 フレーム Y 方向正加力 包絡分布

○: 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- δ 曲線 (保有水平耐力算定用、Ai 分布)

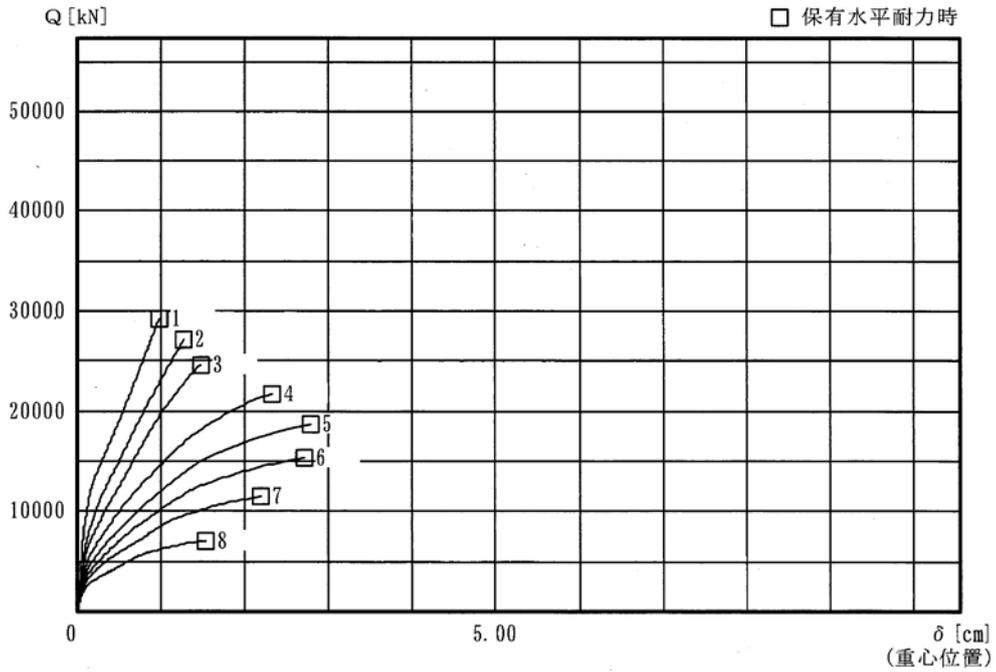


図 7.19 X方向正加力時Q- δ 曲線 保有水平耐力算定時:指定重心層間変形角(1/100)に達した。(最終 STEP=118)

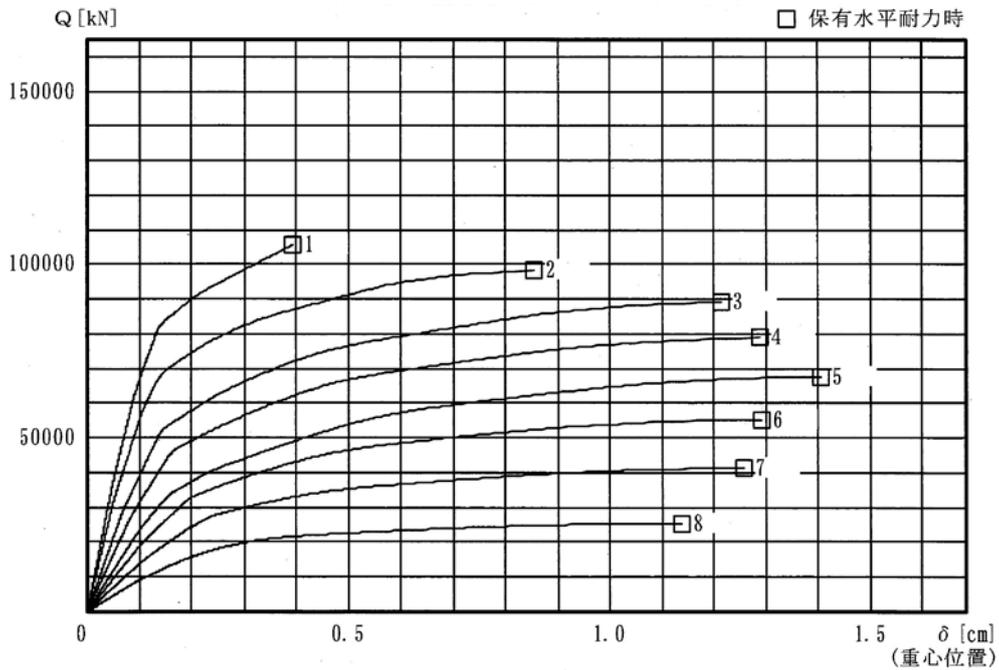


図 7.20 Y方向正加力時Q- δ 曲線 保有水平耐力算定時:指定重心層間変形角(1/200)に達した。(最終 STEP=439)

(3) ヒンジ図(保有水平耐力算定用、Ai 分布)

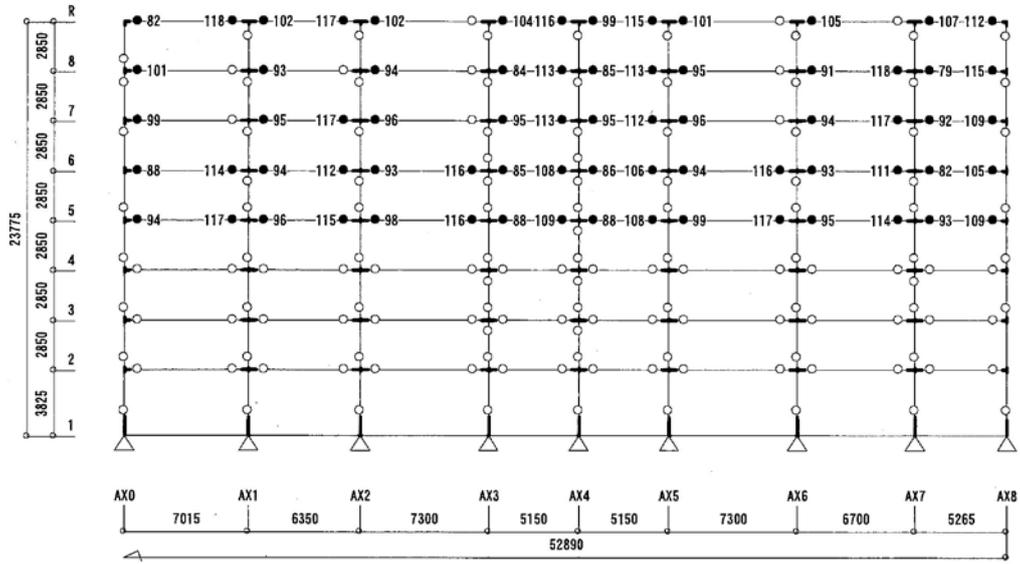


図 7.21 AY0 フレーム X方向正加力

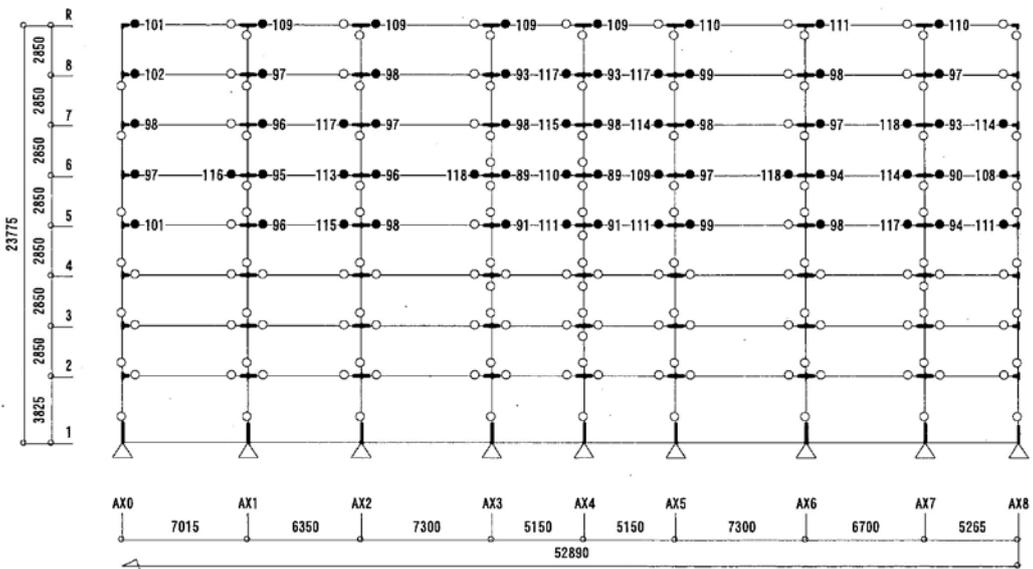


図 7.22 AY1 フレーム X方向正加力

○: 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。

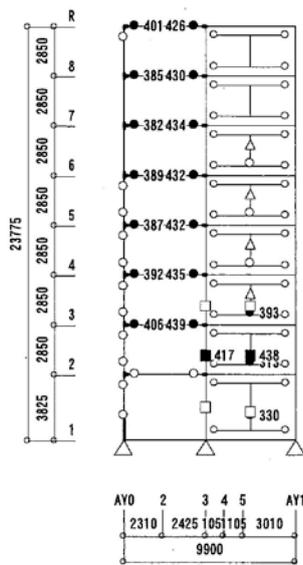


図 7.23 AX0 フレーム Y方向正加力

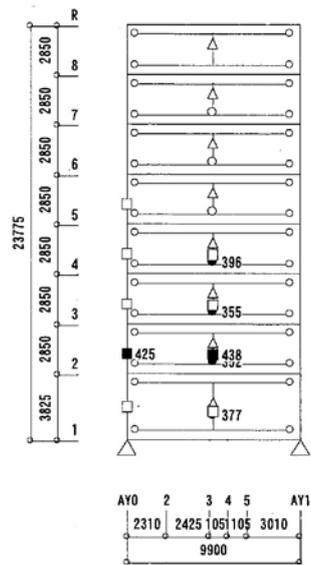


図 7.25 AX7 フレーム Y方向正加力

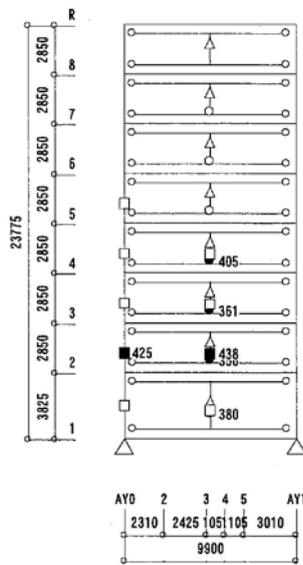


図 7.24 AX1 フレーム Y方向正加力

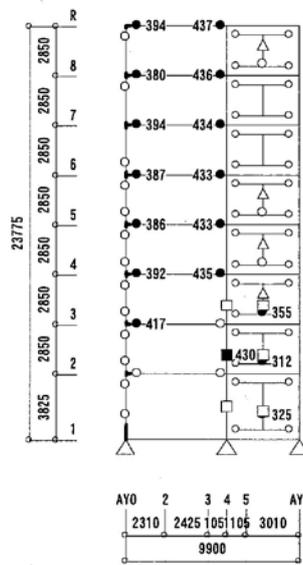


図 7.26 AX8 フレーム Y方向正加力

○	: 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

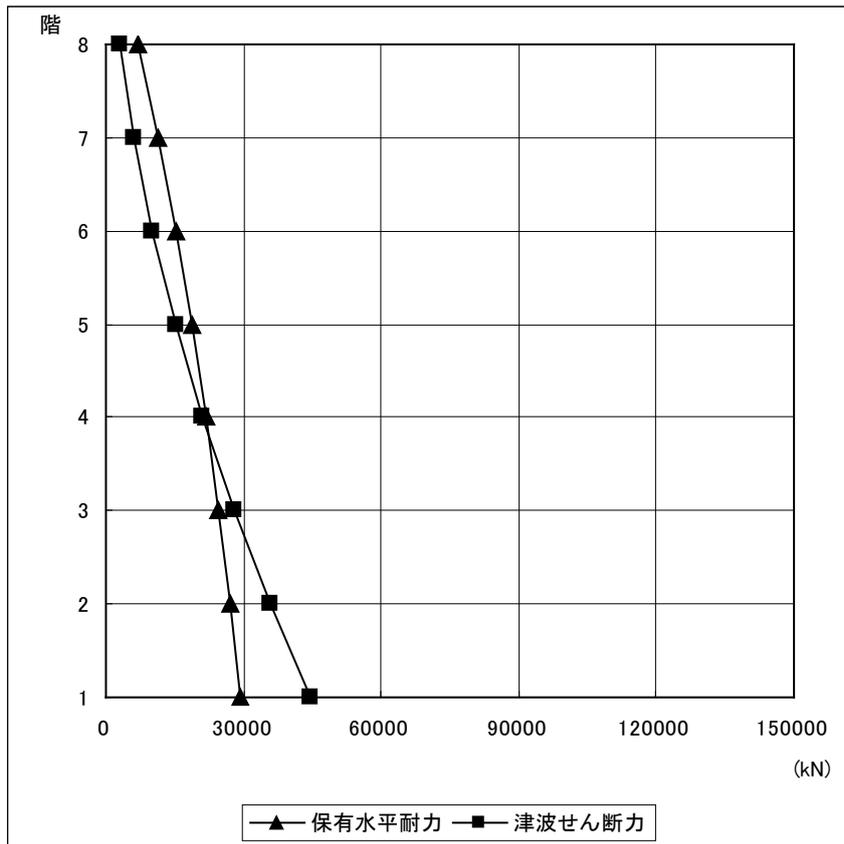


図 7.27 X 方向、保有水平耐力と津波せん断力の比較 (参考)

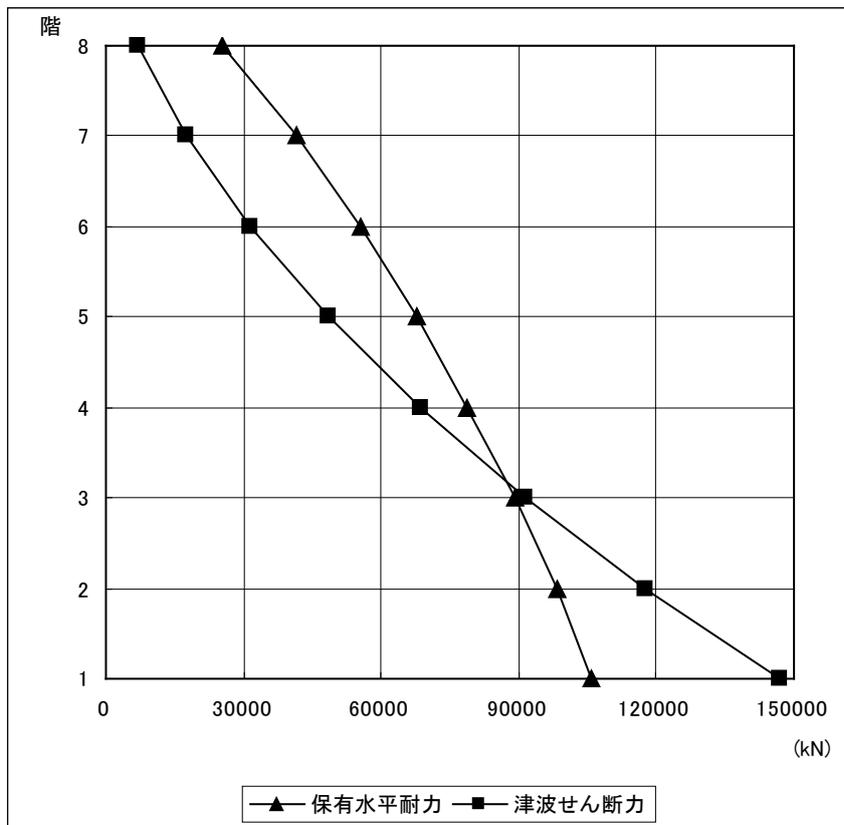


図 7.28 Y 方向、保有水平耐力と津波せん断力の比較 (参考)

参考資料編

平成23年11月17日
国住指第2570号

各都道府県知事 殿

国土交通省住宅局長

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
(技術的助言)

本年3月に発生した東日本大震災においては、津波により多くの建築物が滅失・損壊し、多くの尊い命が犠牲になったところであり、津波に対する建築物の構造耐力上の安全性確保の重要性があらためて認識された。

これを受け、国土交通省住宅局及び国土技術政策総合研究所では、津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等に係る検討を進めてきたところであり、今般、検討結果の中間とりまとめを行ったことから、津波防災地域づくりに関する法律案が閣議決定され国会に提出されているところであるが、早急に津波対策を講ずることの重要性に鑑み、これを踏まえた現時点での技術的知見を下記のとおり通知する。

本技術的助言は、「風水害による建築物の災害の防止について」(昭和34年発住第42号。以下「34年通知」という。)及び「津波避難ビル等に係るガイドライン」(平成17年6月内閣府政策統括官(防災担当)。以下「ガイドライン」という。)を基本として、同震災における被害の実態調査結果等を踏まえた追加的知見の提供を行うものであり、各都道府県におかれては、津波避難体制の整備、建築基準法(昭和25年法律第201号)第39条に基づく災害危険区域の指定等に当たり、参考とされたい。

なお、各都道府県におかれては、貴管下市町村に対してこの旨周知いただくようお願いする。

記

1 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

津波避難ビル等の津波に対する構造耐力上の安全性を確認する方法が示されているガイドラインの巻末資料②「構造的要件の基本的な考え方」をもとに、津波荷重を算定する際の考え方等について、東日本大震災における津波による建築物の被害調査を踏まえ、別添のとおり「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」をとりまとめた。

地方公共団体が策定するハザードマップ等で津波の想定浸水深さが設定されている区域に津波避難ビル等を整備する場合、ガイドライン及び上記指針を参考に当該津波に対する構造耐力上の安全性を確認されたい。

2 津波避難ビル等の避難スペースに係る追加的知見について

ガイドラインにおいて、避難スペースは、対象地区で想定される津波の最大浸水深を考慮して、安全性が確保される高さに設定することとされている。

東日本大震災において実際に利用された津波避難ビル等に係る調査によれば、浸水被害を受けた階が確認できた建築物のうち約半数においては、浸水深さに相当する階の上階が被害を受けているものの、2階上の階が被害を受けた例はなかったことから、避難スペースの配置を検討する際には想定浸水深さ、個々の階の高さ等を踏まえ個別に検討する必要があるが、想定浸水深さに相当する階に2を加えた階に設ければ安全側であると考えられる。

なお、今後、津波浸水想定(津波があった場合に想定される浸水の区域及び水深)を基に建築物等

の前面でのせき上げによる津波の水位の上昇を考慮した水位が定められた場合には、当該水位に基づき避難スペースの配置を検討するものとする。

3 災害危険区域に係る建築制限の考え方について

34年通知においては災害危険区域の指定に際し参考とすべき事項が示されており、当該通知の中で津波等が直接建築物を流失・倒壊等させるおそれのある区域においては学校、庁舎、公会堂等多人数を収容する公共建築物及び住居について堅ろうな建築物とした上で避難上必要な部分の床面を予想浸水面以上とし、特に危険な区域については居住の用に供する建築物の建築を禁止する等の考え方が示されている。

東日本大震災における被害等を踏まえ、今後津波の危険性の高い区域において災害危険区域を指定し、建築制限を行う際には、以下の点を参考とされたい。

- (1) 区域の指定範囲に関する34年通知中の「津波等によって直接建築物を流失させ、倒壊させ又は建築物に著しい損傷を与える」場合には、現行基準に適合する一般的な建築物について1又はこれと同等の方法により津波荷重によって倒壊、崩壊等しないことが確かめられない場合などが該当すること。
- (2) 津波避難ビルでありながら犠牲者が発生したのが病院であったこと等を踏まえ、34年通知で制限対象になり得るとされてきた「多人数を収容する公共建築物」に加え、医療施設、社会福祉施設等自力避難が困難な者が主として利用する建築物についても制限対象として検討する必要があること。
- (3) 34年通知中の「鉄筋コンクリート造等の堅ろうな建築物」には、1又はこれと同等の方法により津波に対する構造耐力上の安全性が確認されたものが該当すること。
- (4) 34年通知中の「特に危険な区域」には例えば危険物の貯蔵等に供する施設が沿岸部に立地するなど津波の浸水区域における市街地火災の危険が著しい区域が該当すると考えられるが、それ以外の地域においては津波に対する構造耐力上の安全性が確保され、避難上必要な部分の床面が安全な高さにあるもの等については建築を認めるなど、きめ細かな取組みを可能な限り実施すること。

なお、津波防災地域づくりに関する法律案では、一定の区域で土地利用制限を行うことができるが、居住の用に供する建築物の建築の禁止までは規定されていないことを申し添える。

【別添】

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

ガイドライン巻末資料②「構造的要件の基本的な考え方」をもとに、東日本大震災における津波による建築物被害の調査を踏まえ、津波避難ビル等の構造上の要件について、以下の通り暫定指針をとりまとめた。(下線部がガイドラインからの変更箇所)

なお、本指針は、建築基準整備促進事業による東京大学生産技術研究所及び独立行政法人建築研究所による調査研究を踏まえ、国土交通省住宅局及び国土技術政策総合研究所においてとりまとめたものである。

1.1 適用範囲

(1) 適用の確認

本設計法は、津波避難ビル等の構造設計に適用する。適用においては、地方公共団体によるハザードマップ等に示された想定浸水深により津波の設計用浸水深を設定する。

なお、今後、津波防災地域づくりにおいて、津波浸水想定(津波があった場合に想定される浸水の区域及び水深)が設定された場合には、これを基本に設計用浸水深を設定する。

(2) 新築への適用

新築に本設計法を適用する場合、本設計法に示されていない項目は、建築基準法(昭和25年法律第201号。以下「法」という。)その他の関係法令による。

(3) 既存建築物への適用

既存建築物への適用は、法上適法であるもののほか、法第3条の適用を受けている既存不適格建築物にあっては、建築物の耐震改修の促進に関する法律(平成7年法律第123号)第8条第3項第1号に基づく基準(平成18年国土交通省告示185号)又は昭和56年6月1日時点の法第20条の規定に適合するものを対象とする。

1.2 用語

本設計法で用いる用語は、以下のように定義する。

設計用浸水深 : 敷地に想定される津波の浸水深で建築物が接する地表面までの津波の深さ(m)

津波荷重 : 津波によって建築物に作用する圧力及び力であり、津波波圧、津波波力及び浮力の総称

津波波圧 : 津波により建築物の受圧面に作用する水平方向の圧力(kN/m²)

津波波力 : 津波により建築物に作用する水平方向の力(kN)

浮力 : 津波により建築物に作用する鉛直方向上向きの力(kN)

受圧面 : 津波波圧を直接受ける面

耐圧部材 : 津波波圧を直接受け、破壊しないように設計する部材

非耐圧部材 : 津波波圧を直接受け、破壊することを容認する部材

構造骨組 : 受圧面で受けた力を建築物全体から基礎に伝達する架構

1.3 構造計画

津波荷重に対する建築物の構造計画では、耐圧部材と非耐圧部材を明確に区分し配置する。

1.4 津波荷重算定式

(1) 津波波圧算定式

構造設計用の進行方向の津波波圧は下式により算定する。

$$qz = \rho g(ah - z) \text{ ————— (4.1)}$$

ここに、

qz : 構造設計用の進行方向の津波波圧 (kN/m²)

ρ : 水の単位体積質量 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

h : 設計用浸水深 (m)

z : 当該部分の地盤面からの高さ ($0 \leq z \leq ah$) (m)

a : 水深係数。3とする。ただし、次の表に掲げる要件に該当する場合は、それぞれ a の値の欄の数値とすることができる。(注: この係数は、建築物等の前面でのせき上げによる津波の水位の上昇の程度を表したものでない。)

	要 件	aの値
(一)	津波避難ビル等から津波が生じる方向に施設又は他の建築物がある場合 (津波を軽減する効果が見込まれる場合に限る)	2
(二)	(一)の場合で、津波避難ビル等の位置が海岸及び河川から 500m 以上離れている場合	1.5

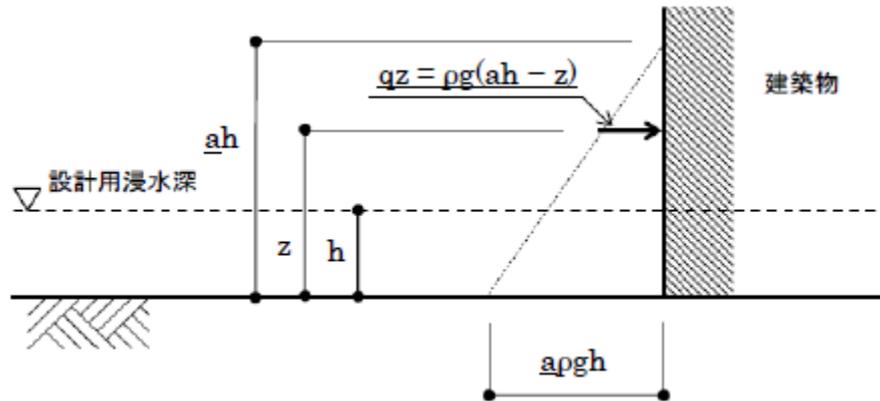


図 4 - 1 4.1 式による津波波圧

(2) 津波波力算定式

構造設計用の進行方向の津波波力は、4.1 式の津波波圧が同時に生じると仮定し、下式により算定する。

$$Qz = \rho g \int_{z_2}^{z_1} (ah - z) B dz \text{ ————— (4.2)}$$

ここに、

Qz : 構造設計用の進行方向の津波波力 (kN)

B : 当該部分の受圧面の幅 (m)

z_1 : 受圧面の最小高さ ($0 \leq z_1 \leq z_2$) (m)

z_2 : 受圧面の最高高さ ($z_1 \leq z_2 \leq ah$) (m)

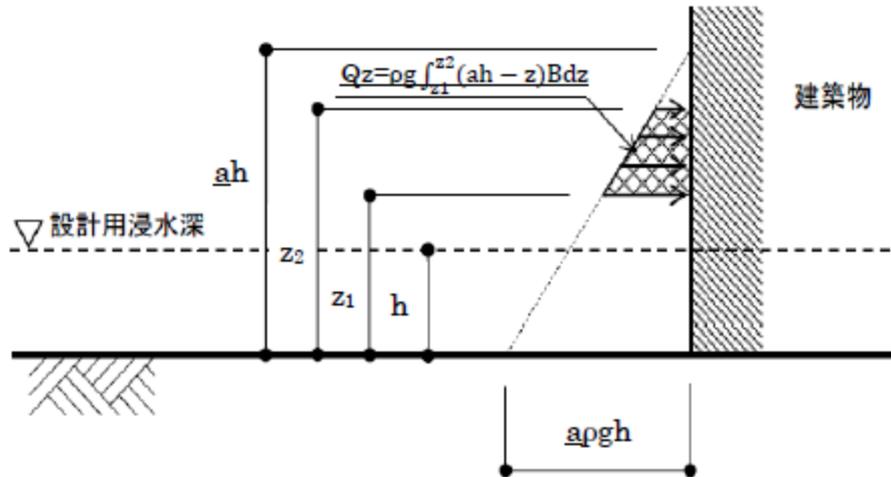


図4-2 4.2式による津波波力

(3) 開口による低減

開口部（津波波圧により破壊するよう設計した非耐圧部材によるものに限る。以下同じ。）における津波波力は、各高さ毎の受圧面の幅から各高さ毎の開口部の幅を除外して津波波力を算定すること、又は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て得た割合を津波波力に乗じることにより低減することができる。ただし、原則として、除外する前の津波波力の7割を下回らないこととする。

(4) ピロティの取り扱い

ピロティを有する部分の津波波力は、ピロティ部分（柱・梁等の耐圧部材を除く。）に津波波圧が作用しないこととして、算定することができる。

(5) 水平荷重の方向

津波の水平荷重は、すべての方向から生じることを想定する。

ただし、津波の進行方向が、シミュレーション等による浸水深の予測分布や海岸線の形状から想定できる場合は、この限りでない。また、実状に応じて引き波を考慮する。

(6) 浮力算定式

津波によって生じる浮力は、下式により算定する。

$$Qz = \rho g V \quad \text{————— (4.3)}$$

ここに

Qz : 浮力 (kN)

V : 津波に浸かった建築物の体積 (m³)

ただし、開口率を勘案して水位上昇に応じた開口部からの水の流入を考慮して算定することができる。

(7) 特別な調査又は研究に基づく算出

当該津波避難ビル等の所在地における津波荷重を特別な調査又は研究に基づき算出する場合は、当該数値による。

1.5 荷重の組み合わせ

津波荷重に対する建築物の構造設計では、以下に示す荷重の組み合わせを考慮する。

$$G + P + 0.35S + T \quad \text{(多雪地域)}$$

$$G + P + T \quad \text{(多雪地域以外の地域) ————— (5.1)}$$

ここに、

- G:固定荷重によって生じる力
- P:積載荷重によって生じる力
- S:積雪荷重によって生じる力
- T:津波荷重によって生じる力

多雪区域は、特別な検討等による場合を除いて、建築基準法施行令(昭和25年政令第338号)の規定に基づき特定行政庁が指定する区域とする。

1.6 受圧面の設計

(1) 耐圧部材の設計

耐圧部材は、終局強度以内とし、確実に構造骨組に力を伝達できるようにする。また、必要に応じて止水に配慮する。

(2) 非耐圧部材の設計

非耐圧部材は、構造骨組みに損傷を与えることなく壊れることを容認する。

1.7 構造骨組の設計

各方向、各階において、構造骨組みの水平耐力が、津波の水平荷重以上であることを下式により確認する。

$$Q_{ui} \geq Q_i \quad \text{————— (7.1)}$$

Q_{ui} : i 層の津波の水平荷重に対する水平耐力 (材料強度によって計算する各階の水平力に対する耐力等)

Q_i : i 層に生じる津波の水平荷重

また、耐圧部材は、設計した荷重の組み合わせに対して終局強度以内とする。

1.8 転倒及び滑動の検討

建築物が、浮力及び自重を考慮して、津波荷重によって転倒又は滑動しないこと (杭基礎にあっては、杭の引き抜き耐力を超えないこと等) を確かめる。

1.9 その他の構造設計上の配慮

(1) 洗掘

洗掘に配慮し、杭基礎とするか又は直接基礎の場合は洗掘により傾斜しないようにする。

(2) 漂流物の衝突

漂流物の衝突による損傷を考慮し、衝突により構造耐力上主要な部分が破壊を生じないこと又は柱若しくは耐力壁の一部が損傷しても、建築物全体が崩壊しないことを確かめる。

昭和 34 年発住第 42 号

風水害による建築物の災害の防止について

昭和 34 年 10 月 27 日

建設事務次官から各都道府県知事宛

本年は相次ぐ風水害により、各地に多数の建築物の被害があり、特に台風 15 号により、愛知、三重、岐阜の 3 県下においては建築物の被害が激甚であつて、単に風害のみならず、堤防の決壊等による浸水により、その被害をさらに大きなものとしている。

については被災地の復興にあつては勿論のこと、災害発生のおそれのある区域についても次の事項につき一層の関心を払い、建築物の被害を最小限度に止めるよう努められたく、命により通達する。

- 1 建築基準法の励行をはかること。
- 2 建築の防災指導を強化するとともに、鉄筋コンクリート造等の高層堅牢建築物を勧奨指導すること。
- 3 建築基準法第 39 条に基く災害危険区域の指定、特に低地における災害危険区域の指定を積極的に行い、区域内の建築物の構造を強化し、避難の施設を整備させること。

なお、区域の指定及び区域内の建築物の制限等については、河川管理者、海岸管理者等の関係機関とも十分協議し、過去の浸水事例等諸般の事情を勘案の上、下記事項を参考として措置されたい。

記

- 1 区域の指定範囲については、おおむね次の区域を考慮するものとする。
 - (1) 高潮、豪雨等によつて出水したときの水位が 1 階の床上をこし、人命に著しい危険をおよぼすおそれのある区域。
 - (2) 津波、波浪、洪水、地すべり、がけ崩れ等によつて、水や土砂が直接建築物を流失させ、倒壊させ又は建築物に著しい損傷を与えるおそれのある区域。
- 2 建築物の制限内容については、出水時の避難及び建築物の保全に重点をおき、おおむね次のようなものとし、なお、地方の特殊事情、周囲の状況等を考慮して定めるものとする。
 - (1) 1 の (1) の区域
 - イ 学校、庁舎、公会堂等多人数を収容する公共建築物については、次の各号によるものとする。
 - (イ) 予想浸水面まで地揚げをするか、又は床面（少くとも避難上必要な部分の床面）を予想浸水面以上の高さとする。
 - (ロ) 原則として主要構造部を耐火構造とすること。
 - ロ 住居の用に供する建築物については、次の各号によるものとする。
 - (イ) 予想浸水面まで地揚げをするか、又は床面（少くとも避難上必要な部分の床面）を予想浸水面以上の高さとする。
 - (ロ) 予想浸水面下の構造は、次の各号の 1 に該当するものとする。
 - a 主要な柱、又は耐力壁を鉄筋コンクリート、補強コンクリートブロック、鉄骨等の耐水性の構造としたもの
 - b 基礎を布基礎とし、かつ、軸組を特に丈夫にした木造としたもの
 - ハ その他の建築物については、建築物の利用状況に応じイ又はロに準ずる制限をするものとする
 - ニ 附近に有効な避難施設があるもの又は用途上、構造上やむを得ないもので避難上支障のないものについては制限を緩和するものとする。
 - (2) 1 の (2) の区域
 - イ 1 の (1) の区域における制限をする外、有効な防護堤等の施設がある場合を除き、鉄筋コンクリート造等の堅ろうな建築物とするものとする。
 - ロ 特に危険な区域については居住の用に供する建築物の建築を禁止するものとする。

津波防災地域づくりに関する法律（抄）（平成23年12月14日 法律第123号）

第一章 総則

（目的）

第一条 この法律は、津波による災害を防止し、又は軽減する効果が高く、将来にわたって安心して暮らすことのできる安全な地域の整備、利用及び保全（以下「津波防災地域づくり」という。）を総合的に推進することにより、津波による災害から国民の生命、身体及び財産の保護を図るため、国土交通大臣による基本指針の策定、市町村による推進計画の作成、推進計画区域における特別の措置及び一団地の津波防災拠点市街地形成施設に関する都市計画に関する事項について定めるとともに、津波防護施設の管理、津波災害警戒区域における警戒避難体制の整備並びに津波災害特別警戒区域における一定の開発行為及び建築物の建築等の制限に関する措置等について定め、もって公共の福祉の確保及び地域社会の健全な発展に寄与することを目的とする。

第三章 津波浸水想定の設定等

（津波浸水想定）

第八条 都道府県知事は、基本指針に基づき、かつ、基礎調査の結果を踏まえ、津波浸水想定（津波があった場合に想定される浸水の区域及び水深をいう。以下同じ。）を設定するものとする。

2～6 [略]

第五章 推進計画区域における特別の措置

第二節 津波からの避難に資する建築物の容積率の特例

第十五条 推進計画区域（第五十三条第一項の津波災害警戒区域である区域に限る。）内の第五十六条第一項第一号及び第二号に掲げる基準に適合する建築物については、防災上有効な備蓄倉庫その他これに類する部分で、建築基準法（昭和二十五年法律第二百一号）第二条第三十五号に規定する特定行政庁が交通上、安全上、防火上及び衛生上支障がないと認めるものの床面積は、同法第五十二条第一項、第二項、第七項、第十二項及び第十四項、第五十七条の二第三項第二号、第五十七条の三第二項、第五十九条第一項及び第三項、第五十九条の二第一項、第六十条第一項、第六十条の二第一項及び第四項、第六十八条の三第一項、第六十八条の四、第六十八条の五（第二号イを除く。）、第六十八条の五の二（第二号イを除く。）、第六十八条の五の三第一項（第一号ロを除く。）、第六十八条の五の四（第一号ロを除く。）、第六十八条の五の五第一項第一号ロ、第六十八条の八、第六十八条の九第一項、第八十六条第三項及び第四項、第八十六条の二第二項及び第三項、第八十六条の五第三項並びに第八十六条の六第一項に規定する建築物の容積率（同法第五十九条第一項、第六十条の二第一項及び第六十八条の九第一項に規定するものについては、これらの規定に規定する建築物の容積率の最高限度に係る場合に限る。）の算定の基礎となる延べ面積に算入しない。

第八章 津波災害警戒区域

（津波災害警戒区域）

第五十三条 都道府県知事は、基本指針に基づき、かつ、津波浸水想定を踏まえ、津波が発生した場合には住民その他の者（以下「住民等」という。）の生命又は身体に危害が生ずるおそれがあると認められる土地の区域で、当該区域における津波による人的災害を防止するために警戒避難体制を特に整備すべき土地の区域を、津波災害警戒区域（以下「警戒区域」という。）として指定することができる。

2 前項の規定による指定は、当該指定の区域及び基準水位（津波浸水想定に定める水深に係る水位に建築物等への衝突による津波の水位の上昇を考慮して必要と認められる値を加えて定める水位であ

って、津波の発生時における避難並びに第七十三条第一項に規定する特定開発行為及び第八十二条に規定する特定建築行為の制限の基準となるべきものをいう。以下同じ。)を明らかにしてするものとする。

- 3 都道府県知事は、第一項の規定による指定をしようとするときは、あらかじめ、関係市町村長の意見を聴かなければならない。
- 4 都道府県知事は、第一項の規定による指定をするときは、国土交通省令で定めるところにより、その旨並びに当該指定の区域及び基準水位を公示しなければならない。
- 5 都道府県知事は、前項の規定による公示をしたときは、速やかに、国土交通省令で定めるところにより、関係市町村長に、同項の規定により公示された事項を記載した図書を送付しなければならない。
- 6 第二項から前項までの規定は、第一項の規定による指定の変更又は解除について準用する。

(指定避難施設の指定)

第五十六条 市町村長は、警戒区域において津波の発生時における円滑かつ迅速な避難の確保を図るため、警戒区域内に存する施設（当該市町村が管理する施設を除く。）であって次に掲げる基準に適合するものを指定避難施設として指定することができる。

- 一 当該施設が津波に対して安全な構造のものとして国土交通省令で定める技術的基準に適合するものであること。
 - 二 基準水位以上の高さに避難上有効な屋上その他の場所が配置され、かつ、当該場所までの避難上有効な階段その他の経路があること。
 - 三 津波の発生時において当該施設が住民等に開放されることその他当該施設の管理方法が内閣府令・国土交通省令で定める基準に適合するものであること。
- 2 市町村長は、前項の規定により指定避難施設を指定しようとするときは、当該施設の管理者の同意を得なければならない。
 - 3 建築主事を置かない市町村の市町村長は、建築物又は建築基準法第八十八条第一項の政令で指定する工作物について第一項の規定による指定をしようとするときは、あらかじめ、都道府県知事に協議しなければならない。
 - 4 市町村長は、第一項の規定による指定をしたときは、その旨を公示しなければならない。

(管理協定の締結等)

第六十条 市町村は、警戒区域において津波の発生時における円滑かつ迅速な避難の確保を図るため、警戒区域内に存する施設（当該市町村が管理する施設を除く。）であって第五十六条第一項第一号及び第二号に掲げる基準に適合するものについて、その避難用部分（津波の発生時における避難の用に供する部分をいう。以下同じ。）を自ら管理する必要があると認めるときは、施設所有者等（当該施設の所有者、その敷地である土地の所有者又は当該土地の使用及び収益を目的とする権利（臨時設備その他一時使用のため設定されたことが明らかなものを除く。次条第一項において同じ。）を有する者をいう。以下同じ。）との間において、管理協定を締結して当該施設の避難用部分の管理を行うことができる。

- 2 前項の規定による管理協定については、施設所有者等の全員の合意がなければならない。

第六十一条 市町村は、警戒区域において津波の発生時における円滑かつ迅速な避難の確保を図るため、警戒区域内において建設が予定されている施設又は建設中の施設であって、第五十六条第一項第一号及び第二号に掲げる基準に適合する見込みのもの（当該市町村が管理することとなる施設を除く。）について、その避難用部分を自ら管理する必要があると認めるときは、施設所有者等となろうとする者（当該施設の敷地である土地の所有者又は当該土地の使用及び収益を目的とする権利を有する者を含む。次項及び第六十八条において「予定施設所有者等」という。）との間において、管理協定を締

結して建設後の当該施設の避難用部分の管理を行うことができる。

2 前項の規定による管理協定については、予定施設所有者等の全員の合意がなければならない。

第六十四条 建築主事を置かない市町村は、建築物又は建築基準法第八十八条第一項の政令で指定する工作物について管理協定を締結しようとするときは、あらかじめ、都道府県知事に協議しなければならない。

第九章 津波災害特別警戒区域

(津波災害特別警戒区域)

第七十二条 都道府県知事は、基本指針に基づき、かつ、津波浸水想定を踏まえ、警戒区域のうち、津波が発生した場合には建築物が損壊し、又は浸水し、住民等の生命又は身体に著しい危害が生ずるおそれがあると認められる土地の区域で、一定の開発行為（都市計画法第四条第十二項に規定する開発行為をいう。次条第一項及び第八十条において同じ。）及び一定の建築物（居室（建築基準法第二条第四号に規定する居室をいう。以下同じ。）を有するものに限る。以下同じ。）の建築（同条第十三号に規定する建築をいう。以下同じ。）又は用途の変更の制限をすべき土地の区域を、津波災害特別警戒区域（以下「特別警戒区域」という。）として指定することができる。

2 前項の規定による指定は、当該指定の区域を明らかにしてするものとする。

3 都道府県知事は、第一項の規定による指定をしようとするときは、あらかじめ、国土交通省令で定めるところにより、その旨を公告し、当該指定の案を、当該指定をしようとする理由を記載した書面を添えて、当該公告から二週間公衆の縦覧に供しなければならない。

4 前項の規定による公告があったときは、住民及び利害関係人は、同項の縦覧期間満了の日までに、縦覧に供された指定の案について、都道府県知事に意見書を提出することができる。

5 都道府県知事は、第一項の規定による指定をしようとするときは、あらかじめ、前項の規定により提出された意見書の写しを添えて、関係市町村長の意見を聴かななければならない。

6 都道府県知事は、第一項の規定による指定をするときは、国土交通省令で定めるところにより、その旨及び当該指定の区域を公示しなければならない。

7 都道府県知事は、前項の規定による公示をしたときは、速やかに、国土交通省令で定めるところにより、関係市町村長に、同項の規定により公示された事項を記載した図書を送付しなければならない。

8 第一項の規定による指定は、第六項の規定による公示によってその効力を生ずる。

9 関係市町村長は、第七項の図書を当該市町村の事務所において、公衆の縦覧に供しなければならない。

10 都道府県知事は、海岸保全施設又は津波防護施設の整備の実施その他の事由により、特別警戒区域の全部又は一部について第一項の規定による指定の事由がなくなつたと認めるときは、当該特別警戒区域の全部又は一部について当該指定を解除するものとする。

11 第二項から第九項までの規定は、第一項の規定による指定の変更又は前項の規定による当該指定の解除について準用する。

(特定開発行為の制限)

第七十三条 特別警戒区域内において、政令で定める土地の形質の変更を伴う開発行為で当該開発行為をする土地の区域内において建築が予定されている建築物（以下「予定建築物」という。）の用途が制限用途であるもの（以下「特定開発行為」という。）をしようとする者は、あらかじめ、都道府県知事（地方自治法（昭和二十二年法律第六十七号）第二百五十二条の十九第一項に規定する指定都市（第三項及び第九十四条において「指定都市」という。）、同法第二百五十二条の二十二第一項に規定する中核市（第三項において「中核市」という。）又は同法第二百五十二条の二十六の三第一項に規

定する特例市（第三項において「特例市」という。）の区域内にあっては、それぞれの長。以下「都道府県知事等」という。）の許可を受けなければならない。

- 2 前項の制限用途とは、予定建築物の用途で、次に掲げる用途以外の用途でないものをいう。
 - 一 高齢者、障害者、乳幼児その他の特に防災上の配慮を要する者が利用する社会福祉施設、学校及び医療施設（政令で定めるものに限る。）
 - 二 前号に掲げるもののほか、津波の発生時における利用者の円滑かつ迅速な避難を確保することができないおそれが大きいものとして特別警戒区域内の区域であって市町村の条例で定めるものごとに市町村の条例で定める用途
- 3 市町村（指定都市、中核市及び特例市を除く。）は、前項第二号の条例を定めようとするときは、あらかじめ、都道府県知事と協議し、その同意を得なければならない。
- 4 第一項の規定は、次に掲げる行為については、適用しない。
 - 一 特定開発行為をする土地の区域（以下「開発区域」という。）が特別警戒区域の内外にわたる場合における、特別警戒区域外においてのみ第一項の制限用途の建築物の建築がされる予定の特定開発行為
 - 二 開発区域が第二項第二号の条例で定める区域の内外にわたる場合における、当該区域外においてのみ第一項の制限用途（同号の条例で定める用途に限る。）の建築物の建築がされる予定の特定開発行為
 - 三 非常災害のために必要な応急措置として行う行為その他の政令で定める行為

（特定建築行為の制限）

第八十二条 特別警戒区域内において、第七十三条第二項各号に掲げる用途の建築物の建築（既存の建築物の用途を変更して同項各号に掲げる用途の建築物とすることを含む。以下「特定建築行為」という。）をしようとする者は、あらかじめ、都道府県知事等の許可を受けなければならない。ただし、次に掲げる行為については、この限りでない。

- 一 第七十九条第三項又は都市計画法第三十六条第三項後段の規定により公告されたその地盤面の高さが基準水位以上である土地の区域において行う特定建築行為
- 二 非常災害のために必要な応急措置として行う行為その他の政令で定める行為

（申請の手続）

第八十三条 第七十三条第二項第一号に掲げる用途の建築物について前条の許可を受けようとする者は、国土交通省令で定めるところにより、次に掲げる事項を記載した申請書を提出しなければならない。

- 一 特定建築行為に係る建築物の敷地の位置及び区域
 - 二 特定建築行為に係る建築物の構造方法
 - 三 次条第一項第二号の政令で定める居室の床面の高さ
 - 四 その他国土交通省令で定める事項
- 2 前項の申請書には、国土交通省令で定める図書を添付しなければならない。
 - 3 第七十三条第二項第二号の条例で定める用途の建築物について前条の許可を受けようとする者は、市町村の条例で定めるところにより、次に掲げる事項を記載した申請書を提出しなければならない。
 - 一 特定建築行為に係る建築物の敷地の位置及び区域
 - 二 特定建築行為に係る建築物の構造方法
 - 三 その他市町村の条例で定める事項
 - 4 前項の申請書には、国土交通省令で定める図書及び市町村の条例で定める図書を添付しなければならない。
 - 5 第七十三条第三項の規定は、前二項の条例を定める場合について準用する。

(許可の基準)

第八十四条 都道府県知事等は、第七十三条第二項第一号に掲げる用途の建築物について第八十二条の許可の申請があったときは、当該建築物が次に掲げる基準に適合するものであり、かつ、その申請の手続がこの法律又はこの法律に基づく命令の規定に違反していないと認めるときは、その許可をしなければならない。

- 一 津波に対して安全な構造のものとして国土交通省令で定める技術的基準に適合するものであること。
 - 二 第七十三条第二項第一号の政令で定める用途ごとに政令で定める居室の床面の高さ（当該居室の構造その他の事由を勘案して都道府県知事等が津波に対して安全であると認める場合にあっては、当該居室の床面の高さに都道府県知事等が当該居室について指定する高さを加えた高さ）が基準水位以上であること。
- 2 都道府県知事等は、第七十三条第二項第二号の条例で定める用途の建築物について第八十二条の許可の申請があったときは、当該建築物が次に掲げる基準に適合するものであり、かつ、その申請の手続がこの法律若しくはこの法律に基づく命令の規定又は前条第三項若しくは第四項の条例の規定に違反していないと認めるときは、その許可をしなければならない。
- 一 前項第一号の国土交通省令で定める技術的基準に適合するものであること。
 - 二 次のいずれかに該当するものであることとする基準を参酌して市町村の条例で定める基準に適合するものであること。
 - イ 居室（共同住宅その他の各戸ごとに利用される建築物にあっては、各戸ごとの居室）の床面の全部又は一部の高さが基準水位以上であること。
 - ロ 基準水位以上の高さに避難上有効な屋上その他の場所が配置され、かつ、当該場所までの避難上有効な階段その他の経路があること。
- 3 第七十三条第三項の規定は、前項第二号の条例を定める場合について準用する。
- 4 建築主事を置かない市の市長は、第八十二条の許可をしようとするときは、都道府県知事に協議しなければならない。

(許可の特例)

第八十五条 国又は地方公共団体が行う特定建築行為については、国又は地方公共団体と都道府県知事等との協議が成立することをもって第八十二条の許可を受けたものとみなす。

(許可証の交付又は不許可の通知)

- 第八十六条** 都道府県知事等は、第八十二条の許可の申請があったときは、遅滞なく、許可又は不許可の処分をしなければならない。
- 2 都道府県知事等は、当該申請をした者に、前項の許可の処分をしたときは許可証を交付し、同項の不許可の処分をしたときは文書をもって通知しなければならない。
 - 3 前項の許可証の交付を受けた後でなければ、特定建築行為に関する工事（根切り工事その他の政令で定める工事を除く。）は、することができない。
 - 4 第二項の許可証の様式は、国土交通省令で定める。

(変更の許可等)

第八十七条 第八十二条の許可（この項の規定による許可を含む。）を受けた者は、次に掲げる場合においては、都道府県知事等の許可を受けなければならない。ただし、変更後の建築物が第七十三条第二項各号に掲げる用途の建築物以外のものとなるとき、又は国土交通省令で定める軽微な変更をしようとするときは、この限りでない。

- 一 第七十三条第二項第一号に掲げる用途の建築物について第八十三条第一項各号に掲げる事項の変更をしようとする場合
- 二 第七十三条第二項第二号の条例で定める用途の建築物について第八十三条第三項各号に掲げる

事項の変更をしようとする場合

- 2 前項の許可を受けようとする者は、国土交通省令で定める事項（同項第二号に掲げる場合にあつては、市町村の条例で定める事項）を記載した申請書を都道府県知事等に提出しなければならない。
- 3 第七十三条第三項の規定は、前項の条例を定める場合について準用する。
- 4 第八十二条の許可を受けた者は、第一項ただし書に該当する変更をしたときは、遅滞なく、その旨を都道府県知事等に届け出なければならない。
- 5 前三条の規定は、第一項の許可について準用する。

津波防災地域づくりに関する法律施行令（抄）

（平成 23 年 12 月 26 日政令第 426 号）

（津波防護施設）

第一条 津波防災地域づくりに関する法律（以下「法」という。）第二条第十項の政令で定める施設は、盛土構造物（津波による浸水を防止する機能を有するものに限る。第十五条において同じ。）、護岸、胸壁及び閘門をいう。

（公共施設）

第二条 法第二条第十二項の政令で定める公共の用に供する施設は、広場、緑地、水道、河川及び水路並びに防水、防砂又は防潮の施設とする。

（津波防護施設区域における制限行為）

第六条 法第二十三条第一項第三号の政令で定める行為は、津波防護施設を損壊するおそれがあると認めて津波防護施設管理者が指定する行為とする。

2 前条第二項の規定は、前項の規定による指定について準用する。

（指定避難施設の重要な変更）

第十八条 法第五十八条の政令で定める重要な変更は、次に掲げるものとする。

- 一 改築又は増築による指定避難施設の構造耐力上主要な部分（建築基準法施行令（昭和二十五年政令第 338 号）第一条第三号に規定する構造耐力上主要な部分をいう。）の変更
- 二 指定避難施設の避難上有効な屋上その他の場所として市町村長が指定するものの総面積の十分の一以上の面積の増減を伴う変更
- 三 前号に規定する場所までの避難上有効な階段その他の経路として市町村長が指定するものの廃止

（避難促進施設）

第十九条 法第七十一条第一項第二号の政令で定める施設は、次に掲げるものとする。

- 一 老人福祉施設（老人介護支援センターを除く。）、有料老人ホーム、認知症対応型老人共同生活援助事業の用に供する施設、身体障害者社会参加支援施設、障害者支援施設、地域活動支援センター、福祉ホーム、障害者福祉サービス事業（生活介護、児童デイサービス、短期入所、共同生活介護、自立訓練、就労移行支援、就労継続支援又は共同生活援助を行う事業に限る。）の用に供する施設、保護施設（医療保護施設及び宿所提供施設を除く。）、児童福祉施設（母子生活支援施設及び児童遊園を除く。）、児童自立生活援助事業の用に供する施設、放課後児童健全育成事業の用に供する施設、子育て短期支援事業の用に供する施設、一時預かり事業の用に供する施設、児童相談所、母子健康センターその他これらに類する施設
- 二 幼稚園、小学校、中学校、高等学校、中等教育学校、特別支援学校、高等専門学校及び専修学校（高等課程を置くものに限る。）
- 三 病院、診療所及び助産所

津波防災地域づくりに関する法律施行規則（抄）（平成 23 年 12 月 26 日 国土交通省令第 99 号）

（指定避難施設の技術的基準）

第三十一条 建築物その他の工作物である指定避難施設に関する法第五十六条第一項第一号の国土交通省令で定める技術的基準は、次に掲げるものとする。

- 一 津波浸水想定を設定する際に想定した津波の作用に対して安全なものとして国土交通大臣が定める構造方法を用いるものであること。
- 二 地震に対する安全性に係る建築基準法（昭和二十五年法律第二百一号）並びにこれに基づく命令及び条例の規定又は地震に対する安全上これらに準ずるものとして国土交通大臣が定める基準に適合するものであること。

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

(平成 23 年 12 月 27 日 国土交通省告示 1318 号)

第一 津波防災地域づくりに関する法律施行規則（以下「施行規則」という。）第 31 条第 1 号に規定する津波浸水想定（津波防災地域づくりに関する法律（平成 23 年法律第 123 号）第 8 条第 1 項に規定する津波浸水想定をいう。以下同じ。）を設定する際に想定した津波（以下単に「津波」という。）の作用に対して安全な構造方法は、次の第 1 号及び第 2 号に該当するものとしなければならない。ただし、特別な調査又は研究の結果に基づき津波の作用に対して安全であることが確かめられた場合にあっては、これによらないことができる。

一 次のイからニまでに定めるところにより建築物その他の工作物（以下「建築物等」という。）の構造耐力上主要な部分（基礎、基礎ぐい、壁、柱、小屋組、土台、斜材（筋かい、方づえ、火打材その他これらに類するものをいう。）、床版、屋根版又は横架材（はり、けたその他これらに類するものをいう。）、建築物等の自重若しくは積載荷重、積雪荷重、風圧、土圧若しくは水圧又は地震その他の震動若しくは衝撃を支えるものをいう。以下同じ。）が津波の作用に対して安全であることが確かめられた構造方法

イ 津波の作用時に、建築物等の構造耐力上主要な部分に生ずる力を次の表に掲げる式によって計算し、当該構造耐力上主要な部分に生ずる力が、それぞれ建築基準法施行令（昭和 25 年政令第 338 号）第 3 章第 8 節第 4 款の規定による材料強度によって計算した当該構造耐力上主要な部分の耐力を超えないことを確かめること。ただし、これと同等以上に安全性を確かめることができるときは、この限りでない。

荷重及び外力について想定する状態	一般の場合	建築基準法施行令第 86 条第 2 項ただし書の規定により特定行政庁（建築基準法第 2 条第 35 号に規定する特定行政庁をいう。）が指定する多雪区域における場合	備考
津波の作用時	G + P + T	G + P + 0.35 S + T	建築物等の転倒、滑動等を検討する場合には、津波による浮力の影響その他の事情を勘案することとする。
		G + P + T	
<p>この表において、G、P、S 及び T は、それぞれ次の力（軸方向力、曲げモーメント、せん断力等をいう。）を表すものとする。</p> <p>G 建築基準法施行令第 84 条に規定する固定荷重によって生ずる力 P 建築基準法施行令第 85 条に規定する積載荷重によって生ずる力 S 建築基準法施行令第 86 条に規定する積雪荷重によって生ずる力 T ロに規定する津波による波圧によって生ずる力</p>			

ロ 津波による波圧は、津波浸水想定に定める水深に次の式に掲げる水深係数を乗じた高さ以下の部分に作用し、次の式により計算するものとしなければならない。

$$qz = \rho g (ah - z)$$

この式において、qz、 ρ 、g、h、z 及び a は、それぞれ次の数値を表すものとする。

qz 津波による波圧（単位 1 平方メートルにつきキロニュートン）

ρ 水の単位体積質量（単位 1 立方メートルにつきトン）

g 重力加速度（単位 メートル毎秒毎秒）

- h 津波浸水想定に定める水深（単位メートル）
 - z 建築物等の各部分の高さ（単位メートル）
 - a 水深係数（3とする。ただし、他の施設等により津波による波圧の軽減が見込まれる場合であつては、海岸及び河川から500メートル以上離れているものについては1.5と、これ以外のものについては2とする。）
- ハ ピロティその他の高い開放性を有する構造（津波が通り抜けることにより建築物等の部分に津波が作用しない構造のものに限る。）の部分（以下この号において「開放部分」という。）を有する建築物等については、当該開放部分に津波による波圧は作用しないものとしてすることができる。
- ニ 開口部（常時開放されたもの又は津波による波圧により破壊され、当該破壊により建築物等の構造耐力上主要な部分に構造耐力上支障のある変形、破壊その他の損傷を生じないもの）に限り、開放部分を除く。以下この号において同じ。）を有する建築物等について、建築物等の各部分の高さにおける津波による波圧が作用する建築物等の部分の幅（以下この号において「津波作用幅」という。）にロの式により計算した津波による波圧を乗じた数値の総和（以下この号において「津波による波力」という。）を用いてイの表の津波による波圧によって生ずる力を計算する場合における当該津波による波力を計算するに当たっては、次の(1)又は(2)に定めるところによることのできる。この場合において、これらにより計算した当該津波による波力を用いてイの表の津波による波圧によって生ずる力を計算するに当たっては、建築物等の実況を考慮することとする。
- (1) 津波作用幅から開口部の幅の総和を除いて計算すること。ただし、津波作用幅から開口部の幅の総和を除いて計算した津波による波力を、津波作用幅により計算した津波による波力で除して得た数値が0.7を下回るときは、当該数値が0.7となるように津波作用幅から除く開口部の幅の総和に当該数値に応じた割合を乗じて計算することとする。
 - (2) 津波による波圧が作用する建築物等の部分の面積（以下この号において「津波作用面積」という。）から開口部の面積の総和を除いた面積を津波作用面積で除して得た数値を乗じて計算すること。ただし、当該数値が0.7を下回るときは、当該数値を0.7として計算することとする。
- 二 次のイからハまでに該当する構造方法
- イ 前号に定めるところによるほか、津波の作用時に、津波による浮力の影響その他の事情を勘案し、建築物等が転倒し、又は滑動しないことが確かめられた構造方法を用いるものとしてすること。ただし、地盤の改良その他の安全上必要な措置を講じた場合において、建築物等が転倒し、又は滑動しないことが確かめられたときは、この限りでない。
 - ロ 津波により洗掘のおそれがある場合にあつては、基礎ぐいを使用するものとしてすること。ただし、地盤の改良その他の安全上必要な措置を講じた場合において、建築物等が転倒し、滑動し、又は著しく沈下しないことが確かめられたときは、この限りでない。
 - ハ 漂流物の衝突により想定される衝撃が作用した場合においても建築物等が容易に倒壊、崩壊等するおそれのないことが確かめられた構造方法を用いるものとしてすること。

第二 施行規則第31条第2号に規定する地震に対する安全上地震に対する安全性に係る建築基準法並びにこれに基づく命令及び条例の規定に準ずる基準は、建築物の耐震改修の促進に関する法律（平成7年法律第123号）第4条第2項第3号に掲げる建築物の耐震診断及び耐震改修の実施について技術上の指針となるべき事項に定めるところにより耐震診断を行った結果、地震に対して安全な構造であることが確かめられることとする。

津波避難ビル 指針資料作成 STG

- ◎向井 昭義 国土技術政策総合研究所 建築研究部 建築新技術研究官
- 深井 敦夫 国土技術政策総合研究所 建築研究部 基準認証システム研究室長
- 井上 波彦 国土技術政策総合研究所 建築研究部 基準認証システム研究室主任研究官
- 岩田 善裕 国土技術政策総合研究所 建築研究部 基準認証システム研究室主任研究官
- 原口 統 国土技術政策総合研究所 建築研究部 基準認証システム研究室研究官
- 槌本 敬大 国土技術政策総合研究所 総合技術政策研究センター 評価システム研究室長
- 福山 洋 独立行政法人建築研究所 構造研究グループ 上席研究員
- 奥田 泰雄 独立行政法人建築研究所 構造研究グループ 上席研究員
- 加藤 博人 独立行政法人建築研究所 構造研究グループ 主任研究員
- 田尻清太郎 独立行政法人建築研究所 構造研究グループ 主任研究員
- 壁谷澤寿一 独立行政法人建築研究所 構造研究グループ 研究員
- 中川 貴文 独立行政法人建築研究所 材料研究グループ 主任研究員
- 石原 直 独立行政法人建築研究所 国際地震工学センター 主任研究員

◎主査、○副主査

本STGは、国土技術政策総合研究所 建築構造基準委員会 基準原案作成TGに設置されたものである。

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

№. 673 March 2012

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675