

津波避難ビル等の構造設計法に関する技術基準

深井敦夫* 原口 統**

1. はじめに

東日本大震災では、建築分野においては、発災翌日から、国土技術政策総合研究所（以下「国総研」という。）及び独立行政法人建築研究所（以下「建築研究所」という。）が共同で建築物被害等に関する調査を実施した。

津波による建築物被害については、沿岸地域において広範にみられたところであり、現地調査により建築物等の被害調査を行い、これをもとに、津波避難ビル等^{*}の構造設計法に関する技術基準の見直しに取り組んだ。本稿では新たな技術基準について報告する。

なお、被害調査等の結果については、国土技術政策総合研究所資料・建築研究資料として両研究所のホームページ上で公開しているところである。



写真-1 津波による建築物被害

2. 被害分析と技術基準の検討経緯

2.1 被害分析と津波避難ビル等の構造上の要件に係る指針の作成

東日本大震災では、津波により多くの建築物が滅失・損壊したところであり、特に津波襲来時の一時避難先となる津波避難ビル等の建築物においては、津波に対する構造耐力上の安全性確保の

重要性が確認された。

このため、国土交通省住宅局及び国総研では、津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等について、早急な検討を進めることとした。具体的には、平成23年度「建築基準整備促進事業」（国土交通省住宅局所管補助事業）において、「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」として調査研究の検討課題を設定し、平成23年4月から事業主体の公募を開始した。その結果、本調査研究は、事業主体として選定された東京大学生産技術研究所（中埜良昭教授）が耐震改修支援センター（（財）日本建築防災協会）と連携し、建築研究所との共同研究により取り組むこととなった。



写真-2 建築構造基準委員会による現地調査（女川町）

また、国総研においては、平成23年4月に構造分野の技術基準原案について検討するための建築構造基準委員会を設置し、同年4月21日及び22日に同委員会による現地調査を実施する等（写真-2参照）、東日本大震災における建築物被害を踏まえた対策の検討を開始した。

東京大学生産技術研究所及び建築研究所による調査研究においては、平成23年7月に中間報告¹⁾が提示され、さらに平成23年10月に中間報告（その2）²⁾が提示された。この成果を踏まえ、国総研において技術基準原案の作成を行い、建築構造基準委員会の審議を経て、津波避難ビル等の構造設計法に関する技術基準案をとりまとめた。

Technical standards of structural design method for tsunami evacuation buildings

*土木用語解説：津波避難ビル等

この検討過程においては、地震動による被害分析と異なり、被害建築物毎に津波により生じていた外力を推定することが必要となったが、現地調査のみでは当該外力の推定に必要な情報が十分に確認できなかった面もあり、国総研内でも河川研究部と建築研究部等が連携し検討を行った。

これにより、従来のガイドライン（「津波避難ビル等に係るガイドライン」（平成17年内閣府。以下「内閣府ガイドライン」という。））が参照している構造設計法の津波荷重設定では、浸水深の一律3倍の静水圧が設定されていたところを、立地状況等を勘案して浸水深の2倍又は1.5倍の静水圧にまで緩和できるようになり、また、浮力による転倒に関する検討、洗掘への設計上の配慮、漂流物の衝突への設計上の配慮等についても明確化がなされた。この技術基準は、「津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等に係る追加的知見について（平成23年11月17日付国住指第2570号³⁾）」において、「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「指針」という。）」として、国土交通省住宅局長から各都道府県知事あてに通知された。

2.2 津波防災地域づくり法

津波により甚大な被害を受けた地域の復興、さらに将来起こりえる津波災害の防止・軽減のためには、ハード・ソフトの施策を組み合わせた「多重防御」による津波防災地域づくりを推進することが必要であることから、このための枠組みとして「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。）が、国会審議を経て、平成23年12月に公布された。

この津波防災地域づくり法に位置づけられた指定避難施設が前述の津波避難ビル等に相当するものであり、指定避難施設の指定にあたっては、以下の基準に適合するものを指定することとされている。

- ①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
- ②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津波の発生時において当該施設が住民などに開放されることその他当該施設の管理方法が一定の基準に適合するものであること

このうち①の技術的基準について、前述の指針の内容をもとに、同法施行規則第31条及び津波防災地域づくりに関する法律に基づく告示「津波浸水想定を設定する際に想定した津波に対し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「技術基準告示」という。）」として、基準化に至っている。

3 津波避難ビル等に関する技術基準の概要

3.1 構造設計法に関する技術基準のポイント

以上の指針、技術基準告示（以下「指針等」という。）について、ポイントを整理し以下に示す（概要は図-1参照）。

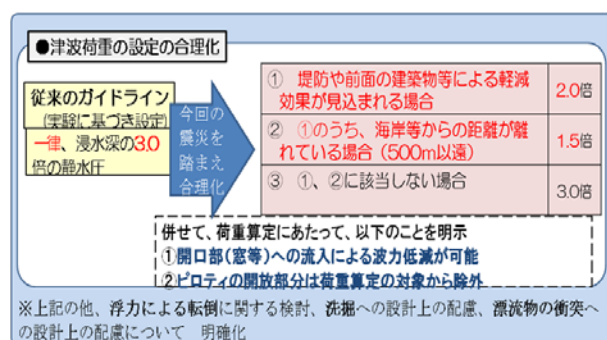


図-1 津波避難ビル等の構造上の要件に関する技術基準の概要

(1) 津波荷重算定式

①津波波圧算定式

内閣府ガイドラインにおいては、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、前述の東京大学生産技術研究所及び建築研究所による共同研究の成果を踏まえ、指針等において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、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（(i)式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た（図-2）。具体的には、津波避難ビル等から津波が来襲する方向に当該軽減効果が見込まれる施設又は他の建築物等の遮蔽物がある場合について水深係数を3.0から、2.0に、さらにそのう

ち、津波が来襲する方向において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について当該2.0を1.5まで低減できることとした。

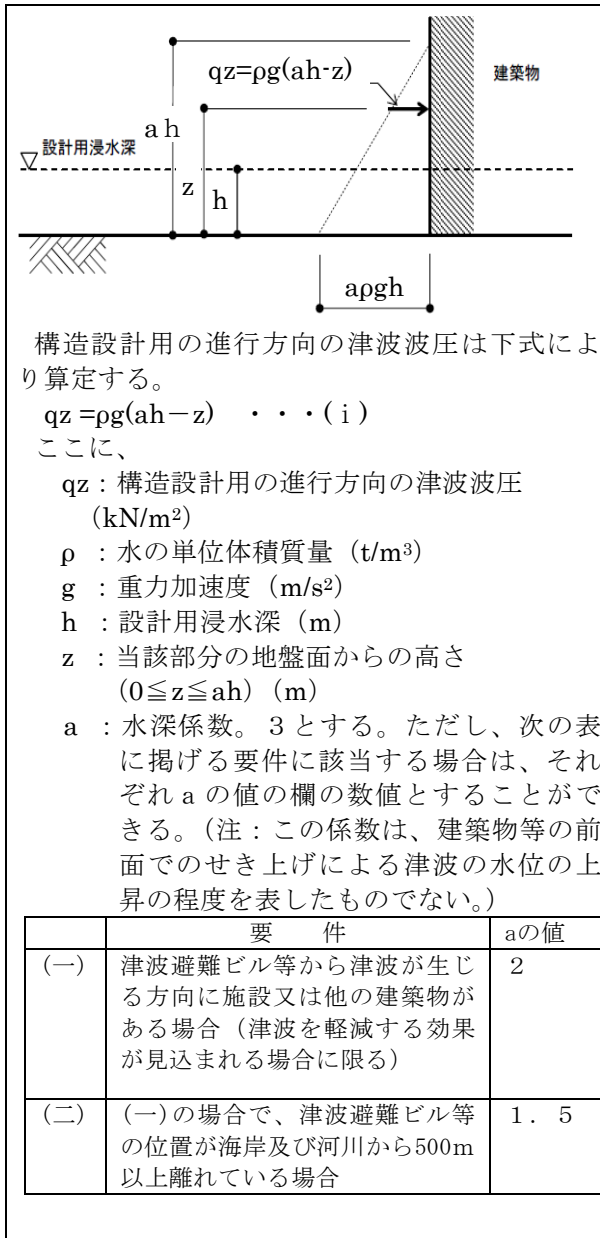


図-2 津波波圧算定式

②津波波力算定式

①の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。

(ii)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(図-3)。なお、高さに応じて受圧面の幅が異なる建築物を想定し、受圧面の幅 B を含めて積分を行うこととした。

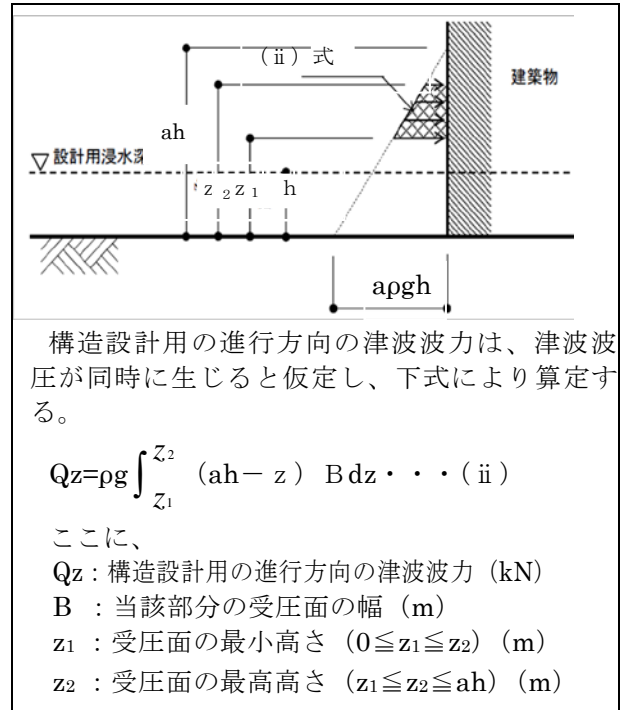


図-3 津波波力算定式

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。

(2)開口部による低減

指針等においては、開口部による津波波力の低減効果に関して、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。

また、波力低減の方法については、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、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を乗じて計算する方法の2つが示されている。①については、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し、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、波力を計算することとした。②については、(低減率) = 1 - (開口部面積の総和 / 津波作用面積) を波力に乗じ、当該低減率は0.7を下回らないこと

とした。

なお、上述の低減率等の下限値である0.7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。

(3)開放部分の取扱

指針等においては、ピロティ等の開放部分の取扱に関して、開口部と同様に開放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、開放部分については、開口部と異なり低減率の下限を設けないこととした。

(4)水平荷重の方向

特に河口付近や港湾付近は地形が複雑であり、津波の進行方向の想定が困難であることから、指針等においては、津波の水平荷重が全ての方向から生じるものとして想定することとしている。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。

(5)浮力の算定

東日本大震災では、建築物が転倒被害を受けた事例が確認されている。こうした建築物については、浮力が発生したことにより、当該浮力を考慮した津波荷重による転倒モーメントに対し、杭等による建物側の耐力が十分でなかったものと考えられる。

現地調査結果等を踏まえると、浮力については、浸水深以下の部分について最大で建物体積相当分の浮力が発生する可能性があるが、一方で、開口部から水が流入していた事例も多く観察された。こうした結果も踏まえ、指針等においては、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て整理し、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限り、その体積分を浮力から差し引くこと

ができることとした。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。

(6)特別な調査又は研究

指針等においては、今後の調査研究の発展等に対応するため、津波荷重について、「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」旨の規定を盛り込んでいる。

現時点では、前述の建築基準整備促進事業の報告書^{1),2)}に示されている、フルード数Fr（ $Fr = u / \sqrt{g\eta}$ ）ここに u:流速、g：重力加速度、 η ：浸水深。フルード数が大きいと流勢が強い。）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。

(7)構造耐力の検証

指針等においては、以上により設定した津波荷重に対し、建築物の耐力を確かめることとしている。具体的には、

- ①耐圧部材については、津波波圧により破壊しないこと
- ②各方向、各階において、当該建築物の構造骨組みの水平耐力が津波波力を上回ること
- ③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
- ④洗掘、漂流物の衝突に配慮した設計とすること

を、それぞれ確かめることとして、整理した（図-4）。

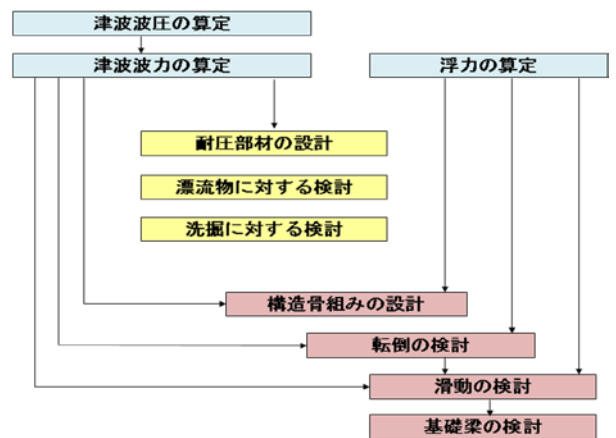


図-4 設計の流れ（概要）

(8)その他の設計上の配慮

洗掘に対しては、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こと

とした。

また、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こととした。

3.2 解説及び設計例の作成経緯

平成23年12月27日に上記の技術基準告示が公布・施行されたが、指針を含めこれらの内容について実務者の技術的支援の観点から、国総研において、指針等の解説資料及び設計例の作成作業に前後して着手した。

作成にあたっては、作成作業全般にわたり、建築研究所の協力を得た。また、設計例の作成にあたって、独立行政法人都市再生機構及び一般社団法人日本建築構造技術者協会の協力を得た。

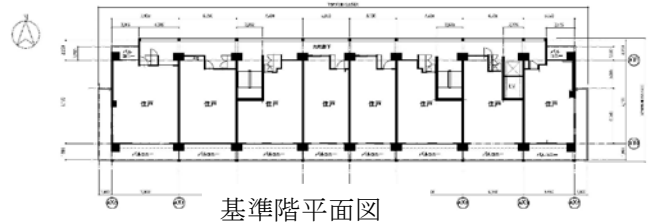
設計例については、実際の計算プロセスを提示することを主眼とし、既存の鉄筋コンクリート造の共同住宅をベースとして、複数浸水深に対応した事例を作成することとして、①設計用浸水深10m、水深係数 $a=2.0$ 対応の事例及び②設計用浸水深15m、水深係数 $a=2.0$ 対応の事例を作成した。また、この設計例作成作業を通じて明らかになった運用上留意すべき点については、解説資料に反映した。これらについては、国総研資料（第673号）⁴⁾としてまとめるとともに、さらに国土交通省補助事業によりこれらに設計例が追加掲載された資料が作成され、平成24年2月から同年3月にかけて、地方公共団体の担当者等に対する講習会が実施されたところである。

3.3 設計例の概要

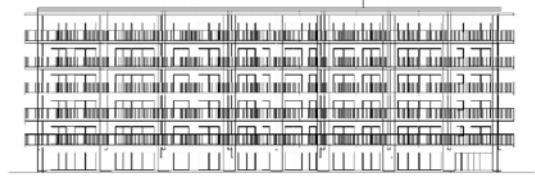
本項では、前項の設計例について、概要を示す。

(1) 鉄筋コンクリート造6階建て共同住宅

本設計例は、設計用浸水深10m、水深係数 $a=2.0$ に対応するものとして作成した。原設計は8階建ての共同住宅であるが、6階建てに修正して作成した（図-5）。この原設計に対し、耐力壁を厚くする（【例：1階】原設計230mm→避難ビル対応350mm）、杭の増設（原設計18本→避難ビル対応20本）、杭径の変更（原設計1300φ→避難ビル対応1900φ）等により、必要な耐力を確保している。



基準階平面図



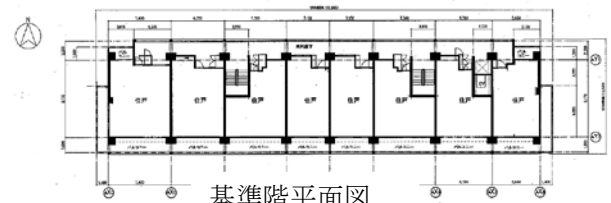
立面図

用途、階数	集合住宅、地上6階、塔屋1階
建物高さ	18.07m
標準階高	2.85m
構造形式	桁行方向 純ラーメン構造 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)

図-5 設計例(1)の概要

(2) 鉄筋コンクリート造8階建て共同住宅

本設計例は、設計用浸水深15m、水深係数 $a=2.0$ に対応するものとして作成した。原設計は上記(1)と同じである（図-6）。この設計例では、さらに耐力壁を厚くする（【例：1階】最大500mm）、杭の増設（原設計18本→避難ビル対応34本）、杭径の変更（原設計1300φ→避難ビル対応2000φ）等により、必要な耐力を確保している。



基準階平面図



立面図

用途、階数	集合住宅、地上8階、塔屋1階
建物高さ	23.77m
標準階高	2.85m
構造形式	桁行方向 純ラーメン構造 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)

図-6 設計例(2)の概要

3.4 設計例についての考察

浮力について、津波の態様の詳細が特定しがたい場合は安全側に設計すべきであることから、これらの津波避難ビルの設計例では①上部構造、②基礎（くい）のそれぞれについて安全側の検討となるよう、①では建築物に最大量の水が流入した場合の浮力を、②では建物体積相当分の浮力を設定し検討している。

また、原設計の張間方向長さ（この場合短辺方向）が比較的短い建築計画であるが、X方向、Y方向のそれぞれについて同じ大きさの津波による水平荷重を設定した。

以上のような理由により、上記のような補強設計が必要になったと考えられる。したがって、津波避難ビルを新築で計画する場合には、こうした点もあらかじめ考慮して、建築計画段階から検討することが望まれる。

4. まとめ

指針等においては、東日本大震災における建築物被害を踏まえ、早急な対策が求められたことから、現時点における可能な限りの知見を集約して提示したが、今後の調査研究によりさらに発展することが期待される。

これらの指針等により、被災地はもとより、全国において、必要な場所で津波避難ビル等の円滑な整備が進むことが望まれる。

謝 辞

執筆にあたり、東京大学生産技術研究所及び建築研究所による調査研究の最終報告書（平成24年3月）⁵⁾を参考にさせていただいた。また、現地調査にあたり、協力いただいた地方公共団体等担当官各位、設計例作成に協力いただいた関係機関各位に御礼申し上げます。

参考文献

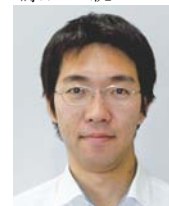
- 1) 東京大学生産技術研究所：平成23年度 建築基準整備促進事業「40. 津波危険地域における建築基準等の整備に資する検討」中間報告書、2011.7
- 2) 東京大学生産技術研究所：平成23年度 建築基準整備促進事業「40. 津波危険地域における建築基準等の整備に資する検討」中間報告書その2、2011.10
- 3) 国土交通省：津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等に係る追加的知見について、2011.11.17
- 4) 国土技術政策総合研究所：津波避難ビル等の構造上の要件の解説（国土技術政策総合研究所資料第673号）、2012.3、
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0673.htm>
- 5) 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」最終報告書、2012.3

深井敦夫*



国土交通省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
Atsuo FUKAI

原口 統**



国土交通省住宅局安心居住推進課係長（前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）
Osamu HARAGUCHI