

## 6.5 津波避難ビルの構造設計法に関する検討

6.2、6.3、および、速報<sup>6.5-1</sup>) に示した東日本大震災の津波被害を踏まえ、津波避難ビルの構造設計法に関する検討を行った。ここでは、現地調査に基づき建築物や工作物の強度を算定し、それより作用した波圧の推定を行うとともに、遮蔽物や海岸からの距離が波圧に及ぼす影響を考慮した。その上で、波圧算定に及ぼす開口の影響、建築物の層の耐力や杭の耐力等に影響を及ぼす浮力の算定法、漂流物の扱い、洗掘の扱い等についてとりまとめた<sup>6.5-2</sup>)。以下に、その概要を示す。

### 6.5.1 背景

中央防災会議より、2003年5月に東海地震対策大綱、12月に東南海・南海地震対策大綱が出され、津波防災に資する津波避難ビルの必要性が認識されてきた。この状況を踏まえ、(財)日本建築センターでは、2004年度の自主研究として津波避難ビルの構造設計法に関する検討が行われた<sup>6.5-3</sup>)、<sup>6.5-4</sup>)。その検討の最中の2004年12月に、スマトラ島沖地震によるインド洋大津波の被害が発生した。このような状況の中、内閣府から2005年6月に「津波避難ビル等に係るガイドライン」<sup>6.5-5</sup>) (以下、「ガイドライン」という) が示され、その巻末資料②「構造的要件の基本的考え方」に、(財)日本建築センターにおける検討結果が引用された。(財)日本建築センターでは、さらに2005年度にも自主研究を継続し、2004年度の成果の一部見直しや試設計の実施等を行っている<sup>6.5-6</sup>)。

2011年度建築基準整備促進事業40番「津波危険地域における建築基準等の整備に資する検討」における東京大学生産技術研究所と建築研究所の共同研究では、6.2、6.3、および、速報<sup>6.5-1</sup>) に示した東日本大震災の津波被害を踏まえ、津波被害を受けた建築物等の計測浸水深と建築物の諸元および被害状況等に基づき、「ガイドライン」に示された津波避難ビルの構造設計法等について、その妥当性の検証および見直しの必要な項目の抽出やその内容に関する検討を行った<sup>6.5-2</sup>)。その結果、まとめられた津波避難ビルの構造設計法の概要と考え方を、以下に示す。

なお、この成果は、技術的助言(国住指第2570号、2011年11月17日)の別添「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」<sup>6.5-7</sup>) (以下、「暫定指針」という)や、告示(H23国交告第1318号、2011年12月27日)「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を定める件」等に反映されている。上記技術的助言の別添に示された「暫定指針」を、6.5付録Fに示す。

### 6.5.2 設計方針

「ガイドライン」の巻末資料②には、(財)日本建築センターの2004年度の自主研究の成果に基づき「構造的要件の基本的考え方」が示されている。その目次は、1.1 適用範囲、1.2 用語、1.3 構造計画、1.4 津波荷重算定式、1.5 荷重の組合せ、1.6 受圧面の設計、1.7 構造骨組の設計、1.8 転倒及び滑動の検討、であり、建築物が想定する津波荷重に対して倒壊、転倒および滑動しないことを検証する内容となっている。また、受圧面(津波波圧を直接受ける建築物の面)における耐圧部材が、水平力に対する抵抗能力や鉛直支持能力を失わないよう、波圧により破壊しないことを確認することが求められている。

表6.5-1 津波避難ビルの構造設計方針

- |             |  |
|-------------|--|
| 1) 倒壊しないこと： | 建築物の各層について津波荷重が水平耐力を上回らないことを確認する。  |
| 2) 転倒しないこと： | 津波荷重による転倒モーメントが、浮力を考慮した抵抗モーメントを上回らないことを確認する。                             |
| 3) 滑動しないこと： | 水平力が基礎の摩擦力または杭の水平耐力を上回らないことを確認する。なお、別途建築物の水平移動に対する抵抗が期待できる場合にはそれを考慮してよい。 |

今回の見直しでは、津波避難ビルの構造設計の方針として上記の考え方は変更せず踏襲する。すなわち、津波避難ビルの設計においては表6.5-1の3項目に関する検証を行う。また、受圧面の部材の扱いは、従来通り耐圧部材（津波波圧を直接受け、破壊しないように設計する部材）と非耐圧部材（津波波圧を直接受け、破壊することを許容する部材）に分類し、耐圧部材では津波波圧に対して破壊しないことを確認する。

### 6.5.3 津波避難ビルの構造設計の概要

図6.5-1に設計の流れを模式図で示す。津波避難ビルの構造設計は下記の流れで行う。なお、以下の①については「6.5.4 津波波圧の算定」で、②については「6.5.5 津波波力の算定」で、④については「6.5.6 浮力の算定」で、⑥については「6.5.7 漂流物への対処方法」で詳しく述べる。

#### ① 津波波圧の算定

津波波圧を、設計用浸水深に水深係数 $a$ を掛けた高さの静水圧として算定する。

#### ② 津波波力の算定

津波波力を、開口による波圧低減効果を考慮しつつ、津波波圧を高さ方向に積分して算定する。なお、建築物各階に作用する津波波力は各階の床位置に集中して働くものとし、下の階の中央高さから当該階の中央高さまでの波圧より算定する。

#### ③ 各層せん断力の算定

津波波力による各層のせん断力は、その階よりも上部に作用する全ての津波波力を足し合わせることで算定する。

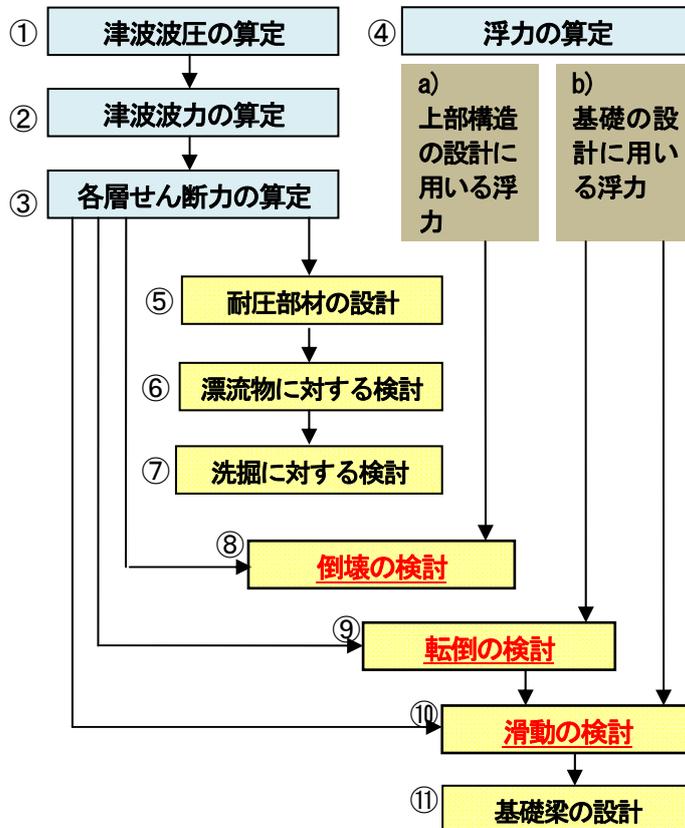


図 6.5-1 津波避難ビルの構造設計の流れ（模式図）

#### ④ 浮力の算定

以下の2種類の浮力を算定する。

##### a) 上部構造の設計に用いる浮力

倒壊の検討における上部構造の設計に用いる浮力は、一般に各階の開口から浸水深に応じて建築物内部に水が十分に流入した状態のものとし、構造体に働く浸水深以下の躯体体積分の浮力と、床下の空気溜まりによる浮力の和として求める。

##### b) 基礎の設計に用いる浮力

転倒や滑動の検討における基礎の設計に用いる浮力は、一般に建築物容積分の浮力が基礎底に作用するものとして求める。

#### ⑤ 耐圧部材の設計

耐圧部材である柱と耐力壁が、作用する波力によって破壊しないことを、波力による曲げモーメントおよびせん断力がそれぞれ当該部材の曲げ耐力、せん断耐力を超えないことにより確認する。

#### ⑥ 漂流物に対する検討

漂流物の衝突により建築物が局部崩壊しないことを、外部に面する柱が漂流物により破壊した場合を想定し、その柱軸力が大梁等を介して伝達できることにより確認する。

#### ⑦ 洗掘に対する検討

洗掘に対して、上部構造が傾斜しないよう杭基礎とするか、周辺の地盤をコンクリートで固める等の洗掘防止策を検討する。

#### ⑧ 倒壊の検討

各階の津波荷重時の水平耐力を、②の津波波力を外力分布とし④a)の浮力を考慮した荷重増分解析により算定し、③で求めた各層せん断力を上回ることを確認する。

#### ⑨ 転倒の検討

基礎下の各支点反力(=杭の軸力)を、②の津波波力を外力分布とする荷重増分解析(浮力を考慮しない)の支点反力と、④b)の浮力を支配面積で按分した各支点到働く浮力の和として求め、これが引張杭については杭の極限引抜抵抗力(杭体の引張耐力と杭周面の摩擦力の小さい方とする)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。

#### ⑩ 滑動の検討

⑨の杭の軸力とN-M相関関係等による杭の水平耐力が、③の杭に作用する津波荷重以上となることを確認する。

#### ⑪ 基礎梁の設計

上部構造による応力に加え、杭による応力を累加した応力に対して、基礎梁を設計する。

### 6.5.4 津波波圧の算定

#### (1) 津波波圧に関する既往の考え方

「ガイドライン」では、図6.5-2に示す水深係数  $a$  を3とし、津波の波圧を設計用浸水深の3倍の静水圧が建築物の片側から掛かるものとして与えている。

これは、直立護岸を越流し陸上に遡上した津波により建築物に作用する津波波圧に関する朝倉ら<sup>6.5-8)</sup>の提案であり、波高、周期等の波特性、水路の斜面勾配、構造物の位置などを変化させた模型実験の結果、波圧分布は三角形分布であり、その高さは最大で浸水深のほぼ3倍であったことを踏まえたものである。すなわち、この静水圧による津波波圧算定式には、陰に流速の影響が含まれている。これ以外にも、いくつかの実験や提案式があるが、それらも上記の考え方によってほぼ安全側に包絡できるものと考えられている。また、この考え方は、中壘

6.5-9) により2004年のスマトラ島沖地震による津波被害を受けた建造物のデータを用いて検証され、概ね妥当であることが示されている。

## (2) 現地調査による検討方法

今回の検討においては、現地調査の結果から「ガイドライン」の波圧算定法における「3」が津波の勢いなどによって変化するものと考え、この「3」を「 $a$  (水深係数)」とおき、被害の実態に基づき  $a$  を検証することとした。検証においては、被害を受けた建造物 (比較的単純な工作物と建築物) の破壊形式等に応じてその耐力を推定し、静水圧分布を仮定した場合に建造物の耐力と等しくなる水深係数  $a$  を、その場所の計測浸水深を用いて逆算した。

なお、津波の専門家等へのヒアリングの結果、東日本大震災における津波の波圧は必ずしも考えられる最大のものではなく、この被害のみから津波波圧の最大値を修正することは適切ではないとの考えが示された。そこで、従来からの知見である「設計用浸水深の3倍の静水圧」を最大の波圧が作用する場合とし、そこから水深係数  $a$  を低減できる条件を調べることにした。

## (3) 津波波圧算定式

その結果得られた津波波圧算定式を(6.5-1)式に示し、水深係数  $a$  の模式図を図6.5-3に示す。また、以下の1)、2)に、水深係数に関する検討の詳細を示す。

$$qz = \rho g (ah - z) \quad \text{-----} \quad (6.5-1)$$

ここに、

$qz$  : 構造設計用の進行方向の津波波圧 (kN/m<sup>2</sup>)

$\rho$  : 水の単位体積質量 (t/m<sup>3</sup>)

$g$  : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$h$  : 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)

$a$  : 水深係数で表6.5-2による。

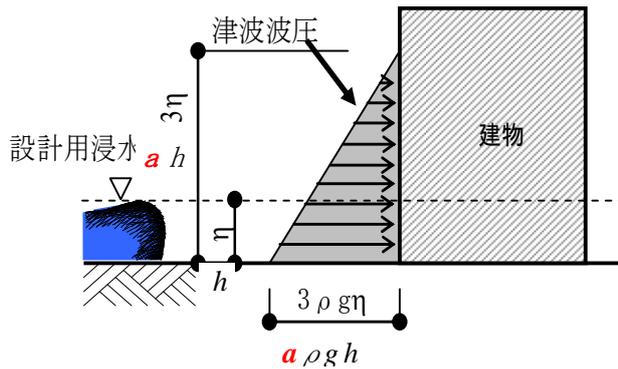
### 1) 水深係数の検討1 (遮蔽物の影響)

水深係数  $a$  を低減できる条件として、建築物よりも津波の来襲方向に津波の波力を低減できる遮蔽物がある場合を取り上げた。検討では、波力低減を期待しうる遮蔽物として、他の建築物のほか、湾口防波堤や津波高さに対し十分な高さ (津波高さの概ね1/2以上と仮定) を有する防波堤・防潮堤などを考慮した。検討の結果、津波の波力低減を期待しうる遮蔽物がある場合の水深係数  $a$  は無い場合に比べて、概ね1/1.5に低減されることが分かった。よって、津波波力低減を期待できる遮蔽物がある場合には、水深係数  $a$  を3/1.5すなわち「2」にできることとした。

なお、湾口防波堤や防潮堤には破壊されたものもあり、その効果を一般的なものとして定義しづらいことから、波力を低減できる遮蔽物としては、津波避難ビルから見て津波が生じる方向にある施設や建築物を取り上げることにする。

### 2) 水深係数の検討2 (海岸および河川からの距離の影響)

次に、水深係数  $a$  を低減できる条件として、海岸や河川からの距離を取り上げた。検討の結果、海岸や河川からの距離に応じて津波の勢い (フルード数  $Fr$ ) が低減され、海岸や河川から500m以上離れた場合には  $a = 1.0$  程



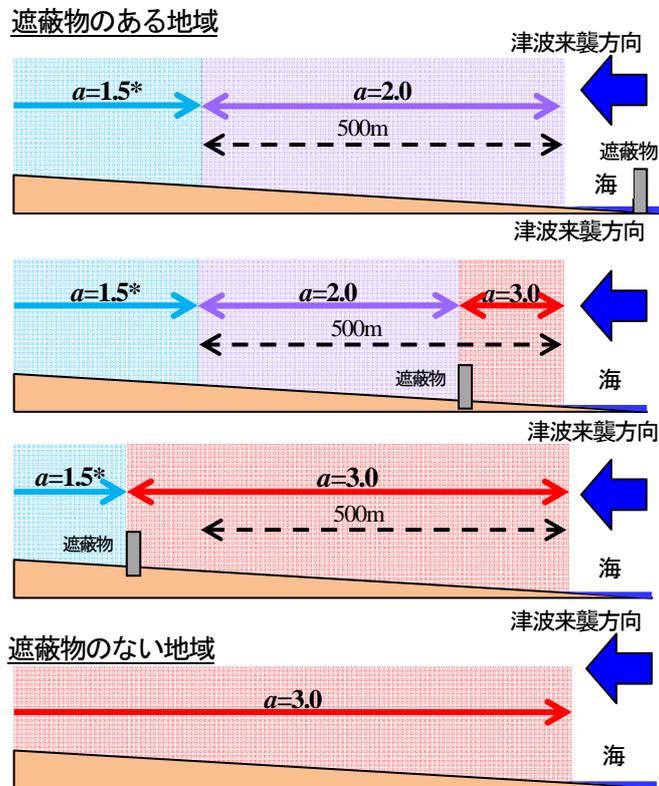
$a$  : 水深係数、 $h$  : 設計用浸水深(m)、 $\rho$  : 水の単位体積質量( $t/m^3$ )、 $g$  : 重力加速度( $m/s^2$ )

内閣府「津波避難ビル等に係るガイドライン」<sup>6.5-5</sup>では、上図の水深係数 $a$ を3とし、設計用浸水深の3倍の静水圧を与えているが、今回の検討では被害の実態に基づき $a$ を検証した。

図6.5-2 津波波圧の算定法

表6.5-2 水深係数 $a$ の設定

	遮蔽物あり		遮蔽物なし
海岸や河川等からの距離	500m 以遠	500m 未満	距離によらず
水深係数 $a$ の設定	1.5	2	3



\* $a=1.5$ への低減は津波の流速増加がない地域を対象とする

図 6.5-3 遮蔽物の有無、海岸等からの距離と水深係数 $a$ の関係

度と見なせることが分かった。なお、今回の検討では、現地調査で得られたデータが限られること、耐力算定が略算の結果であること、津波シミュレーションに基づく浸水深と計測浸水深にはばらつきが認められること等を勘案し、現地調査の結果に1.5倍程度の余裕度を見込むこととした。そのため、遮蔽物があり、かつ、海岸や河川から500m以上離れた場合の水深係数 $a$ は1.5とすることにした。

なお、当該建築物周辺の地形等に留意し、流れが集中するような建物配置や下り勾配等によって、流速が増加するような要素がないことを確かめる必要がある。

### 6.5.5 津波波力の算定

ここでは、6.5.4で算定した津波波圧から津波波力を算定する方法と、その際の開口部の取り扱いについて述べる。これらによって算定された津波波力から、建築物各層のせん断力、建築物の支点反力、および、建築物の基礎位置に作用する水平力を算定し、表6.5-1に示す方法により、それぞれ倒壊、転倒、滑動しないことを確認する。

また、受圧面の耐圧部材が破壊されないことを確認する際にも、以下の方法により耐圧部材に掛かる波力を算定する。

#### (1) 津波波力算定式

津波波力は、(6.5-1) 式の津波波圧が同時に生じると仮定し、(6.5-2) 式により算定する。

$$Q_z = \rho g \int_{z_1}^{z_2} (ah-z) B dz \quad (6.5-2)$$

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)

(6.5-1) 式で示した津波波圧は単位面積あたりの津波波力を表しており、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。(6.5-2) 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表す。なお、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が必要である。

#### (2) 開口部の扱い

建築物に津波が作用した場合、受圧面にある窓ガラス等は破壊するため、受圧面が全て耐圧部材である場合に比べて、構造骨組に作用する波力は低減する。すなわち、津波波力は、外壁にある窓、ドア、シャッター等の開口（受圧面にあり破壊することが確認できる非耐圧部材）によって低減することができる。

なお、今回の現地調査では、鉄骨造においてALCパネルによる外壁が残存し大きな津波波力を受けて転倒した事例（写真 6.3.1-5）が見られたことから、このような鉄骨造の外装材部分は津波波圧を受けるものとして扱うことを原則とする。なお、これらを早期に破壊するとして開口とみなすことは可能であるが、その場合には外装材が確実に破壊もしくは脱落することを慎重に確認する必要がある。

開口による津波波力低減の方法として、1) 各高さの受圧面の幅から開口部の幅を除外して津波波力を算定する方法と、2) 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（1-受圧面の開口率）を津波波力に乗じる方法の何れかを採用することができる。これら両者の方法を、開口の面積比が高さ方向に変化する場合について比較したところ、その差は最大でもほぼ1割程度に収まることが確認されており、両

者はほぼ同等の低減を与えると考えられる<sup>7)</sup>。

また、開口による波力の低減について、数値シミュレーションにより検討された例によると、開口の割合が大きくなるにつれて波力は低減するが、概ね3割以上になると内壁等が存在するため波力の低減には頭打ちが存在するとされている。この結果を踏まえ、波力は、開口が無い場合の7割程度を下限とすることが望ましいと考えられる<sup>6.5-2)</sup>。なお、できるだけ水流の通り道や出口を設けるように留意することが肝要である。

## 6.5.6 浮力の算定

### (1) 浮力の考え方

6.2.1 および6.3.1 で述べたように、開口が小さな建築物には大きな浮力が作用し、実際に浮き上がったと思われる事例も確認されている。一般的な鉄骨造およびRC造建築物の単位重量は、それぞれ0.8 tf/m<sup>2</sup>および1.3 tf/m<sup>2</sup>程度であることから、各階にそれぞれ80cm、130cm以上の空気の層が存在すると、自重がキャンセルされる。冷凍倉庫のように開口が極端に小さな建築物では、開口部から建築物内部へ水が流入しづらいため、浸水深の増加が早い場合には容易に浮き上がることとなる。なお、転倒が確認されたほとんどの建築物で、外壁の開口率が0.2を下回っていた、

一方、ある程度の開口を有する建築物でも、写真6に示したように、床スラブ下に垂れ壁長さ分の空気溜まりの存在が確認されている。さらに、建築物内部が浸水することにより、骨組等の密度は水の密度(≒1.0)分小さくなる。よって、内部に水が流入した場合でも、この程度の浮力は考慮する必要がある。また、建築物内部に空気の抜け道がない部分(コア等)がある場合には、その容積分の浮力も考慮することが望ましい。

建築物に浮力が働くと、転倒に対して重量による抵抗が小さくなる。また、滑動に対して基礎底の摩擦も小さくなる。さらにRC造の杭や柱では、軸力が減ることから曲げおよびせん断強度が低下する。このように、浮力の影響は極めて大きい。

### (2) 浮力の算定方法

このような浮力の算定にあたっては開口から水が流入する様子を正確に考慮することが望ましいが、その性状は未だ明らかにされていないことから、安全側の仮定として浮力は下記の方法で考慮することとする。

- 1) 倒壊の検討における上部構造の設計において、各層の水平耐力を算定する場合の浮力は、原則として各階の開口から浸水深に応じて建築物内部に水が十分に流入した状態のものとし、構造体に働く浸水深以下の躯体体積分の浮力と、床下の空気溜まりによる浮力の和として求める。
- 2) 転倒や滑動の検討における基礎の設計において、杭に作用する軸力や基礎の摩擦力を算定する場合の浮力は、一般に建築物容積分の浮力が基礎底に作用するものとして求める。

1) に関して、今般の津波で約15mの最大浸水深を計測した女川町では、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(約30秒で1m)上昇しているが、この程度であれば、ある程度の開口を有する建築物(例えば、開口率30%程度)では、浸水深に応じて建築物内部に容易に水が流入すると考えられる<sup>2)</sup>。柱の軸力は、水が内部に十分に流入した状態が最も小さくなるため、RC造の柱では曲げ強度が小さく算定され、層の水平耐力も小さめに算定されることから、安全側の検討となる。なお、各層の水平耐力を安全側に算定する状態が把握できる場合には、その状態の浮力を用いることができる。

2) について、今般の津波では仙台平野において、最大浸水深に近い深さの津波が一気に押し寄せた事例が確認されている。この場合、建築物の周囲に水が回り込んだ時でも建築物内部への水の流入は少なく、浮力が掛かりやすい状態であったと考えられる。また、開口があまり大きくない建築物では、建築物内部への水の流入が遅れるため、浸水深に応じて内部に水が十分に流入するとは限らない。よって、このような不確定要素を考慮した

構造計算上の安全側の配慮として、現時点では建築物容積分の浮力を考えることを原則とする。

### 6.5.7 漂流物への対処方法

津波の際の漂流物としては、流木、自動車、コンテナ、船舶、倒壊した建築物の一部など、さまざまなものが考えられる。これらが建築物に衝突した場合の衝突力を計算する方法はいくつか提案されているが、それらによる計算値は大きくばらついており、また何れも対象とする漂流物が限定されていることから、さまざまな場合に対応できるような統一的な評価方法は未だ確立されていない。また、これまでの提案式で試算してみると、流木やコンテナが衝突した場合には、RC造の柱でも破壊を免れない場合があると考えられる<sup>7)</sup>。

そこで、ここでは、三重県大紀町に津波避難施設として平成10年に建設された「にしきタワー」の設計方針を参考に、漂流物が衝突して建築物の構造耐力上主要な部分が一部損傷したとしても、その軸力支持能力を喪失しないことを確認することとした。耐震診断における第2種構造要素の検討と同様な検討である。一般には、衝突によって複数の柱が同時に破壊される状況は考慮しなくて良いが、船舶のような大型の漂流物が考えられる場合には、建築物の外周の柱が破壊しても建築物が倒壊しないことを確認する方法や、漂流物が建築物に衝突しないよう防護設備や施設を設けるといった計画面からの対策も考えられる。

### 6.5.8 津波避難ビルに要求される条件

東日本大震災で計測されたような大きな浸水深に対し、今回見直された津波避難ビルの構造設計法による設計では、建築物にどの程度の強度や大きさが要求されるかについて検討を行った。ここでは、耐震計算ルート3として設計されたRC造集合住宅を対象とし、張間方向は連層耐力壁構造で長さを12m、桁行き方向はフレーム構造で構造特性係数 $D_s$ を0.3と仮定した。そして、水深係数 $a$ を1.5、2.0、3.0の3種類、浸水深を5、10、15mの3種類とし、それらの組合せに対して、本設計法を満足するための張間方向のベースシヤー係数( $C_B$ )と、桁行き方向の長さを計算した。なお、建築物は各層の高さを3.5m、開口率を0.3とし、建築物の階数は(浸水深+4m)/3.5+1と仮定した。

結果を図6.5-4に示す。これより、浸水深が5mの場合は $a=3.0$ でも張間方向の $C_B$ が0.97と、ルート1の計算で満足できる程度であった。次に、浸水深が10mの場合、 $a=1.5$ の張間方向もルート1の設計等で対応できるが、 $a=2.0$ だと張間方向の $C_B=1.44$ 、桁行き方向の長さ60mが必要となり、両方向とも、通常の耐震設計よりもかなり強度を上げる必要がある。さらに、 $a=3.0$ の張間方向では、 $C_B=2.83$ の強度が必要とされ、上部構造と共に杭や基

	浸水深と建築物の階数		
	5m (4F)	10m (5F)	15m (7F)
<b><math>a=3.0</math></b> 張間 (長さ 12m) 桁行 ( $C_B=0.3$ )	$C_B=0.97$ 長さ 40m	$C_B=2.83$ 長さ 36m ( $C_B=1.0$ )	$C_B=4.56$ 長さ 54m ( $C_B=1.0$ )
<b><math>a=2.0</math></b> 張間 (長さ 12m) 桁行 ( $C_B=0.3$ )	$C_B=0.38$ 長さ 15m	$C_B=1.44$ 長さ 60m	$C_B=2.42$ 長さ 54m ( $C_B=0.55$ )
<b><math>a=1.5</math></b> 張間 (長さ 12m) 桁行 ( $C_B=0.3$ )	$C_B=0.3$ 長さ 9m	$C_B=0.78$ 長さ 33m	$C_B=1.36$ 長さ 54m

(赤字の◎は、上部構造について、従来の耐震設計による断面や配筋等で対応可能なレベルを、○は強度を高める工夫を要するがほぼ対応可能なレベルを、△は上部構造・杭・基礎等の強度を大きく高めるための特別な工夫を要するレベルを表す)

図 6.5-4 浸水深ごとに建築物に要求される張間方向の強度 (ベースシヤー係数 $C_B$ ) と桁行き方向の長さ (RC造共同住宅の場合)

礎の強度を高めるために特別な工夫を要すると思われる。浸水深が 15m になると、 $a=1.5$  でも通常よりかなり大きな強度が要求され、 $a=2.0$  の場合は上部構造、杭、基礎等の強度を高めるための特別な工夫を要することが分かる。 $a=3.0$  の張間方向は、 $C_B=4.56$  と極めて大きな強度が要求される。

以上は主に倒壊に関する検討であるが、津波避難ビルの構造設計法では基礎や杭にも終局時に対応するいわゆる 2 次設計を要求していることから、転倒や滑動を考えると、杭には従来の許容応力度計算による設計に比べて、相当大きな水平耐力と引き抜き抵抗力が要求されることになる。

これらを総括したのが図 6.5-4 の◎、○、△であり、◎はほぼ従来の耐震設計で対応できるレベルを、○は通常よりもかなり強度を増すなどの工夫を要するレベルを、△は上部構造、杭、基礎等の強度を大きく高めるための特別な工夫を要するレベルを表している。

## 参考文献

- 6.5-1) 国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震調査研究（速報）（東日本大震災），2011.5，  
(<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/20110311/0311quickreport.html>)
- 6.5-2) 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1）2011.7，(<http://www.mlit.go.jp/common/000172791.pdf>)，  
（その2）2011.10，(<http://www.mlit.go.jp/common/000172792.pdf>)
- 6.5-3) 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－，2004.10，－その2：設計法(案)－，2004.11，ビルディングレター
- 6.5-4) (財)日本建築センター：平成16年度津波避難ビルに関する調査検討 報告書，2005.3
- 6.5-5) 内閣府：津波避難ビル等に係るガイドライン，2005.6，  
([http://www.bousai.go.jp/oshirase/h17/050610/tsunami\\_siryo2.pdf](http://www.bousai.go.jp/oshirase/h17/050610/tsunami_siryo2.pdf))
- 6.5-6) (財)日本建築センター：平成17年度津波避難ビルの技術的検討調査 報告書，2006.3
- 6.5-7) 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，  
[http://www.mlit.go.jp/report/press/house05\\_hh\\_000274.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000274.html)，2011.11.17
- 6.5-8) 朝倉良介，岩瀬浩二，池谷毅，高尾誠，金戸俊道，藤井直樹，大森政則：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，pp.911-915，2000
- 6.5-9) 中埜良昭：スマトラ島沖地震津波の被害調査結果に基づく津波避難施設の設計外力評価，日本建築学会技術報告集，第13巻 第25号，2007.6