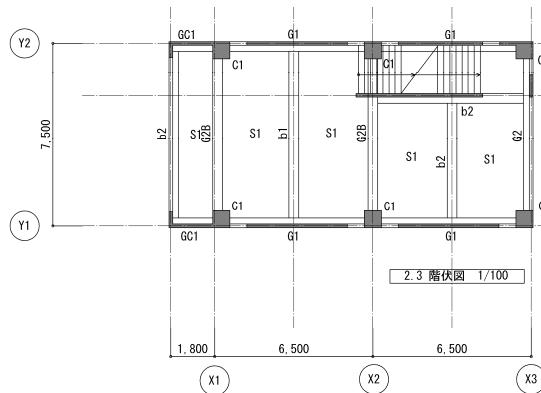


## 津波対応住宅の試設計と建物の津波被災状況\*

弘前大学 津村 浩三, SD&SD 事務所 工藤 仁

### 1. はじめに

津波が発生する可能性のある海岸沿岸住民の命を津波から守るための対策としては、防潮堤の設置、避難ビル<sup>①</sup>、注<sup>②</sup>などの避難施設の設置または指定などの方法が考えられている。ここでは、予想される浸水深が低い場合に自宅等で津波に対応することを想定して、住居や商店として使用している建物が滑動、浮き上がり、倒壊等の甚大な被害を被らないように設計することが可能かどうかについて、小規模RC建物の試設計により検討する。設計用浸水深は2mとする。また、東日本大震災において津波により被災したと思われる建物を取り上げ、試設計から示唆された事柄と実際の建物の被災状況を比較考察する。



### 2. 検討建物の概要

試設計建物の建設場所は1960年チリ津波により被害を受けた経験のある八戸市内の海岸部とした。用途は店舗併用住宅とした。これは店舗併用住宅が商店街における敷地の制約から、長方形の平面形となることが多く、さらに使用形態のうえからも建物全体の形状が想定し易いこと、また、

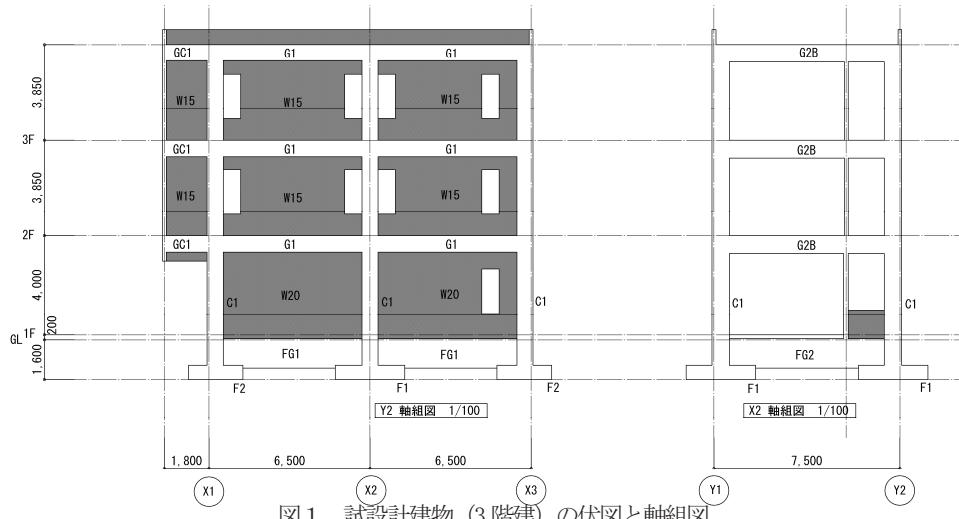


図1 試設計建物(3階建)の伏図と軸組図

\*Design studies on tsunami resistant houses and discussion on damaged buildings by a tsunami,

by Kozo Tsumura and Hitoshi Kudo

の面でも構造上の弱点となることから、注目点を絞りやすくなるためである。

構造は、鉄筋コンクリート構造、平面上長辺のX方向2スパン、短辺のY方向1スパンの平面計画(図1参照)で、階数は2階建と3階建の2種類を想定した。使用材料はコンクリート設計強度  $F_c = 24N/mm^2$ 、主鉄筋の種類はSD345とし、基礎は地耐力が十分確保できるものと仮定して、直接基礎と考えた。

### 3. 設計方針と設計経緯

- (1) 試設計は2階建、3階建の建物各々について、津波の考慮無しと、考慮有りの場合に対して検討をした。
- (2) 津波に関する構造的要件の基本的な考え方は財団法人 日本建築センターが津波避難ビルとして指定するための要件を案としてとりまとめたもの(卷末資料②)<sup>注1)</sup>によった。
- (3) 構造設計フローは図2により行った。
- (4) 構造設計フローに示す建築基準法に準拠した設計<sup>2)</sup>において、設計ルートは、X方向ルート1、Y方向ルート3にて行った。
- (5) 積雪荷重は多雪区域以外に建設されるものとして考慮しなかった。
- (6) 設計用浸水深は2.0mとした。次の波圧算定式により図3の波圧算定式を用いて設計を行った。波圧算定式は次の(1)式<sup>注1)</sup>を用いた。

$$q_z = \rho g (3h - Z) \quad (1)$$

ここで記号は次による。

$q_z$  : 構造設計用の進行方向の津波波圧 ( $kN/m^2$ )

$\rho$  : 水の単位体積質量 ( $t/m^3$ )、1.0とした

$g$  : 重力加速度 ( $m/s^2$ )

$h$  : 設計用浸水深 (m)

$z$  : 当該部分の地盤面からの高さ ( $0 \leq z \leq 3h$ ) (m)

なお、開口部も波圧を受けるものとして、算定した。

(7) 浮力に対してokとする条件としては次の(2)式<sup>注1)</sup>を用いた。

$$\Sigma W \geq Q_z \quad (2)$$

滑動に対してokとする条件としては次の(3)式<sup>注1)</sup>を用いた。

$$\Sigma Q_k \leq \mu (\Sigma W - Q_z) \quad (3)$$

ここで、記号は次による。

$\Sigma W$  : 建物重量(基礎自重も含む) ( $kN$ )

$Q_z$  : 浮力 ( $kN$ )、 $Q_z = 9.8 * V$

$V$  : 浸水面から地盤面までの建物の体積( $m^3$ )

$\Sigma Q_k$  : 津波による波力 ( $kN$ )

$\mu$  : 摩擦係数、0.5とした

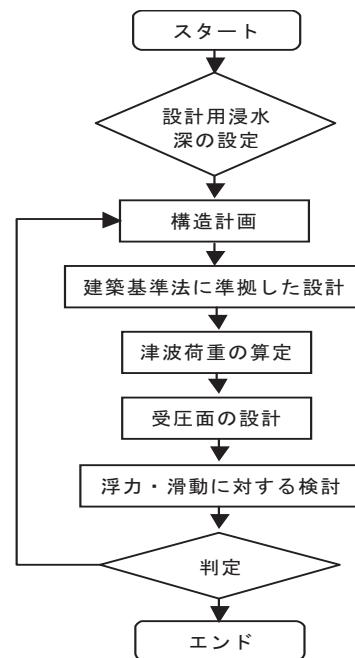


図2 構造設計フロー

### 4. 主な計算結果

- (1) 波力と地震力及び保有水平耐力の関係

各階に想定される許容応力度設計用の地震力および津波による波力などの外力と、設計により得られた保有水平耐力(Y方向の例)を比較して図3(2階建)と図4(3階建)に示す。参考までに構造特性係数  $D_s = 0.30$

~0.55 間を灰色で示した。図中の F は基礎下面を指す。X 方向については、構造上、津波に対して有利なので、省略する。

計算の結果、2階建では、RC 造で比較的重い（単位床面積あたりの自重が大きい）建物であるが、波力が許容応力度設計用地震力を上回った（図3の2階の実線で結ばれた小黒丸印と菱形を参照）。しかし、保有水平耐力は下回った。一方3階建の場合には、かろうじて許容応力度設計用地震力が波力を上回っている。

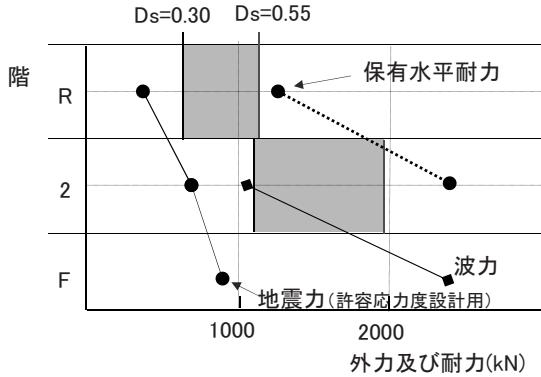


図3 各階に想定される各種外力と各種耐力  
(2階建、Y方向の場合)

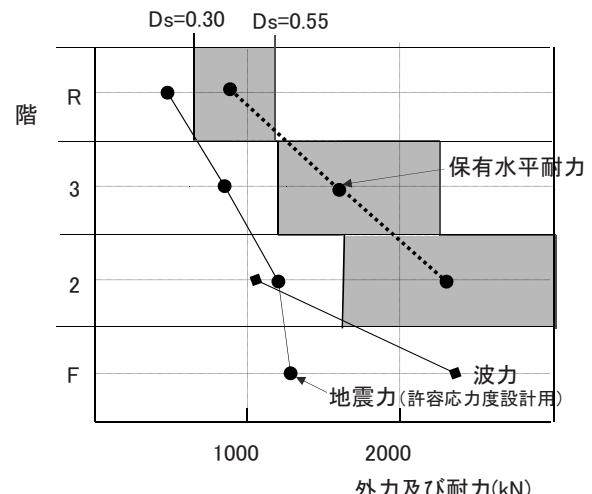


図4 各階に想定される各種外力と  
各種耐力 (3階建、Y方向の場合)

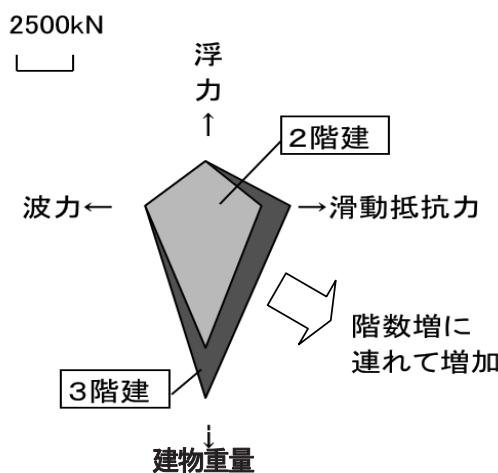


図5 階数の違いと波力、浮力、滑動抵抗力、建物重量

#### (2) 波力と浮力及び滑動抵抗力の関係

建物階数ごとの Y 方向の建物重量と浮力の関係及び波力と滑動抵抗力の関係を図5 に示す。

計算の結果、2階建の場合、浮力の検討は OK (図中の上下の関係から、浮力 < 建物重量、を参照のこと) であるが、滑動の検討では NG (図中の左右の関係を参照のこと、波力 > 滑動抵抗力) となった。これに対し、3 階建の場合はいずれも OK となった。

### (3) 波圧と波圧壁の関係

波圧壁(面外方向に波圧を受ける耐震壁)について土圧を受ける壁と同様の設計を行った結果を表1に示す。設計用浸水深がh=2.0の場合に加え、参考までに、h=4.0mの場合についても検討した。同表にあるように、波圧考慮無しの場合に比べて、波圧を受ける部分では、配筋の割り増しや、壁厚の割り増しが必要になることが分かる。

表1 波圧壁の設計結果

階	波圧考慮無し		浸水深 h=2.0m		浸水深 h=4.0m	
	壁の厚さ		壁の厚さ		壁の厚さ	
	タテ配筋	横配筋	タテ配筋	横配筋	タテ配筋	横配筋
3	W15		W15		W18	
	D10-250 T	D10-250 T	D10-250 T	D10-250 T	D13-125 W	D13-175 W
2	W15		W15		W20	
	D10-250 T	D10-250 T	D10-150 T	D10-200 T	D16-100 W	D16-150 W
1	W15		W20		W30	
	D10-250 T	D10-250 T	D13-100 W	D13-150 W	D16-100 W	D16-150 W

注) T:ちどり千鳥配筋、W:ダブル配筋、その前の数値は配筋ピッチ (mm<sup>2</sup>)、壁の厚さはcm単位

## 5. 計算結果と問題点

計算の結果、3階建物の場合は設計可能となったが、2階建の場合は滑動でNGとなり設計不可となった。波圧を受ける壁は、津波を考慮しない現行の設計のままでは不可となり、壁厚を増すなどの設計変更が必要になった。

問題点としては、店舗等にはふさわしくないと思われるほど、1階の耐震壁に非常に堅牢な造りが要求されてしまったことが挙げられる。実際にこれほどの堅牢な造りが必要であるか検討の余地があろう。また、開口部のサッシ、シャッター等の波圧及び浮力算定時の扱いを如何にするか、判断が難しかった。これらの扱い方次第で、計算結果が大きく異なってくる。

## 6. 設計の可能性に関する考察

今回の試設計結果をもとに、小規模な建物の設計上の特性について以下に考察してみる。

### (1) 階数に関して。

試設計では2層建物の津波による波力はDs換算で0.3程度、3層建物の波力はDs換算で0.2程度となった。このように、受圧幅が一定であれば、津波による波力のDs換算値は階数に反比例的となるので階数増は波力に対する設計に有利となる。

何階建て以上であれば設計可能かについては一概に言えないが、RC造で、受圧面に直交するスパンが1スパンしかない場合、設計用浸水深と建物高さの関係に関するおおざっぱな目安として、設計浸水深の3倍以下である軒高建物は設計が困難であるということが言えそうである。

### (2) スパン数に対して。

受圧幅が一定の条件下で津波進行方向へのスパン増を考える。スパン数に比例して建物重量が増えると考えれば、津波による波力のDs換算値は、スパン数に反比例して小さくなる。よって、スパン増は波力に対する

設計に有利となる。

一方、津波進行方向に直交する方向へのスパン増の場合には、スパン増に伴って、建物重量も受圧面積も比例的に増加するので、スパン増による有利不利は無い。なお、この設計では建物の形状による津波波圧の変化を考慮していないことに留意しておく必要がある。

### (3) 構造種別に対して

今回の試設計建物はRC構造としても面積の割に重い(単位床面積当たりの重量が17.0kN/m<sup>2</sup>)ものであった。試設計の2階建物は滑動の検討でNGとなつたので、ここで、建物の地震力に関する単位床面積あたりの重量 $\rho_b$ と滑動の起りやすさについて検討してみる。滑動に関する条件式である(3)式を見ると、単位床面積あたりの重量 $\rho_b$ の変化が影響するのは建物重量のみで、 $\rho_b$ が減ると建物重量が減り、滑動し易くなることがわかる。従つて、比較的建物重量の軽い木造(単位床面積当たりの重量8.0kN/m<sup>2</sup>程度)及び鉄骨造(単位床面積当たりの重量10.0kN/m<sup>2</sup>程度)の場合はRC造に比べて圧倒的に不利となり、今回想定した2~3建てまでの住居などの用途に用いる場合、設計が困難となる。もちろん、杭を使うことにより、これらの構造種別の低層建物が津波による滑動に対応できるようとするという方法があり得るが、波圧壁の設計にあたり、今回試設計の1階における波圧は一般的な風圧の10倍強となっており、これは地下の土圧壁並である。従つて、木造及び鉄骨造の波圧に対処する外壁は一般的なものでは設計困難であると考えられる。

## 7. まとめ

設計用浸水深h=2.0mの条件下で、津波に対応する小規模建物の設計可能性について検討したところ、3階建のRC店舗併用住宅は設計可能となった。ただし、現行の建築基準法に準拠した設計に加え、壁厚を増すなどの波圧対策が必要となった。店舗併用住宅に比べて住宅専用の建物は一般に自由度が高くなるので、RC3階建住宅も設計可能と考えられる。想定される津波と地域特性にもよるが、「津波対応住宅」も、津波対策の選択肢として検討する余地のあることが判つた。

試設計が示唆する津波各種建物の津波に対する性能の特徴は東日本大震災の津波により被災した建物の状況と大局的に一致していた(レイアウトの関係上、建物の被災状況に関する考察は末尾に付録として配置した)。

### 謝辞

平成19・20年度北東北3大学連携研究プロジェクトの補助を受けた。北東北国立3大学分野別専門委員会防災分野WGの各委員から助言を受けた。ここに記して謝意を表する。

### 参考文献

- 1) 石川忠志:「津波避難ビル」の構造検討の概要、日本地震工学会誌、No.6、pp.33-34、2007.8
- 2) 建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会:2007年版建築物の構造関係技術基準解説書、全国官報販売共同組合、p.720、2007.8

### 注

- 注1)津波避難ビル等に係るガイドライン検討会、内閣府政策統括官:津波避難ビル等に係るガイドライン 卷末資料②構造的用件の基本的考え方、2005.6

### 付録 建物の津波被災状況と試設計の示唆

写真1から写真4に2011年東日本大震災において津波被害を被った建物の状況を示す。試設計において壁厚の割増が必要となったことからわかるように建築外装材は津波に対して脆弱である。これに対応して、写真1では外装が流失し、骨組だけとなった鉄骨構造が見られる。また、試設計から、建物の底面積に対して重量の割合が大きいほうが有利となることがわかるが、これは、写真2のように、比較的重量のあるコンクリート系建物が、おそらく周辺の木造建物が流失した中で残っていることと調和的である。このことは、写真3からも言える。写真3では、木造建物の上部が流され、基礎が残っており、その背後の鉄筋コンクリート造アパートが被害の目立たない状況で建っている。なお、写真4では木造の枠組壁式と見られる家屋が周辺の在来工法とみられる家屋が流失した中で残っているが、これは基礎と上部構造の接合状態の違いによる可能性があり、設計ではこの部分も考慮すべきであることがわかる。



写真1 外装材が流されて残った鉄骨建物  
(南三陸町)



写真2 流されなかつたコンクリート系建物  
(南三陸町)



写真3 津波で流された木造家屋跡の基礎および  
鉄筋コンクリートアパート (気仙沼)



写真4 津波で流されなかつた枠組壁式とみられる  
木造住宅、周辺の木造家屋は流失した模様  
(石巻市北上川そば)