

令和元年9月20日 京都大学国際科学イノベーション棟シンポジウムホール  
日本地震工学会・大会 横断セッション  
津波荷重の評価技術と体系化

## 建築構造物に対する波圧評価

津波荷重評価の体系化の心得を取り纏める研究委員会

建築研究所 構造研究グループ

奥田 泰雄

1

### 目次

1. 内閣府 津波避難ビル等に係るガイドライン
2. 国土交通省 津波防災地域づくりに関する法律  
平成23年国土交通省告示第1318号
3. 日本建築学会 建築物荷重指針・同解説  
第10章 津波荷重
4. 建築研究所・国土技術政策総合研究所の取組み
5. 内閣府津波避難ビル等に係るガイドラインの廃止

2

# 1. 内閣府 津波避難ビル等に係るガイドライン (2005)

津波避難：高台に避難することが大原則

→早急に高台に避難できない地域では、津波避難ビル等の整備の必要性

1983年 日本海中部地震 秋田・青森・山形 10m超津波 死者100名

1993年 北海道南西沖地震 奥尻島ほか 10m近く津波 死者・不明198名

3

## 津波避難ビル等に係るガイドライン (2005 内閣府)

津波避難ビル等の構造的要件 (第2章第1節) 基本方針

(1) 耐震性

耐震診断によって耐震安全性が確認されていること、または、新耐震設計基準 (1981年 (昭和56年) 施行) 以降に建築されていることを基本とする。

(2) 津波に対する構造安全性

RC またはSRC 構造とし、想定浸水深に応じて、階数や、津波の進行方向の奥行を考慮する。

想定浸水深	構造	階数	津波の進行方向の奥行
1m以下	RCまたはSRC	2階建ても可	9m以上
1~2m	RCまたはSRC	3階建て以上	9m以上
2~3m	RCまたはSRC	4階建て以上	15m以上

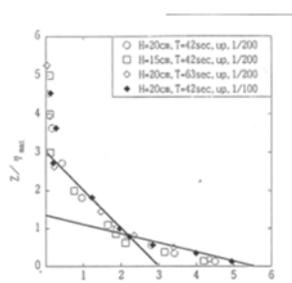
浸水深が3m を超え、より詳細に建物の安全性を確認する必要があると認められる場合は、「巻末資料2 構造的要件の基本的な考え方」に基づき、専門家に構造計算を依頼することが望ましい。

4

## 津波避難ビルの技術的検討調査（2005 BCJ）

平成16年度の日本建築センター（BCJ）による「津波避難ビルに関する調査検討」において、建築物に作用する津波荷重や建築物の耐力津波設計法について検討がなされた。建築物に作用する津波荷重は津波波圧 $q(z)$ の積分値とし、津波波圧 $q(z)$ は、朝倉らの実験式を参考に、設計用浸水深の3倍の高さの静水圧とした。

- 津波ハザードマップ等による津波の浸水深から、下式で津波荷重を求める。
- 建築物の開口部の影響は、開口部の面積に比例した低減係数 $\alpha$ で考慮した。
- 津波荷重に対し建築物が倒壊・崩壊しないことを確認する。  
→建築物の保有水平耐力 $\geq$ 津波荷重
- 建築物の転倒・滑動しないこと。受圧面の耐津波設計も必要。浮力の影響（床）も考慮する。



朝倉ら(2000)の実験結果

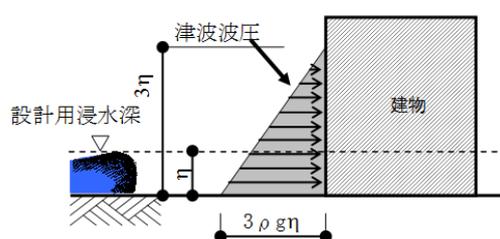


図4.6.3-1 (1)式による津波波圧

$$q(z) = \alpha \rho g (3\eta - z)$$

$q(z)$  : 高さ $z$ (m)の津波波圧(N/m<sup>2</sup>)  
 $\alpha$  : 開口部による低減係数  
 $\rho$  : 水の密度(kg/m<sup>3</sup>)  
 $g$  : 重力加速度  
 $\eta$  : 設計用浸水深(m)

5

## 2. 国土交通省 津波防災地域づくりに関する法律 (2011)

1983年 日本海中部地震 秋田・青森・山形 10m超津波 死者100名  
 1993年 北海道南西沖地震 奥尻島ほか 10m近く津波 死者・不明198名  
 2011年 東北地方太平洋沖地震 死者15,894人、行方不明者 2,561人

6

# 津波防災地域づくりに関する法律（2011）

## L1レベル：

発生頻度は高く、津波高は低いものの大きな被害をもたらす津波  
住民財産の保護、地域経済の安定化、効率的な生産拠点の確保の観点から、**海岸保全施設等**を整備

## L2レベル：

発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害をもたらす津波  
住民等の生命を守ることを最優先とし、住民の避難を軸に、とりうる手段を尽くした**総合的な津波対策**を確立

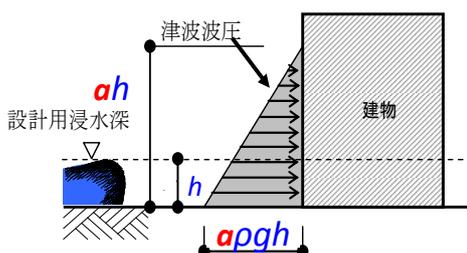
→防波堤・防潮堤による「**一線防御**」からハード・ソフト施策の総動員による「**多重防御**」への転換

津波避難ビル等の整備の位置付け

7

## 平成23年国土交通省告示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



$a$ : 水深係数  
 $h$ : 浸水深 (m)  
 $\rho$ : 水の密度 (t/m<sup>3</sup>)  
 $g$ : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

	障害物有		障害物無
海岸・河岸からの距離	$\geq 500\text{m}$	$< 500\text{m}$	距離に依らず
$a$	1.5	2	3

・建築物前面の開口率による津波荷重低減(7割まで)、ピロティ形式による津波荷重低減、洗掘、漂流物

例外: 特別な調査研究で安全性が確認された場合

・建築基準整備促進事業: 津波避難ビル等の構造基準の合理化(H24~26)  
 ・災害拠点建築物の機能維持技術の開発(H25~28)

8

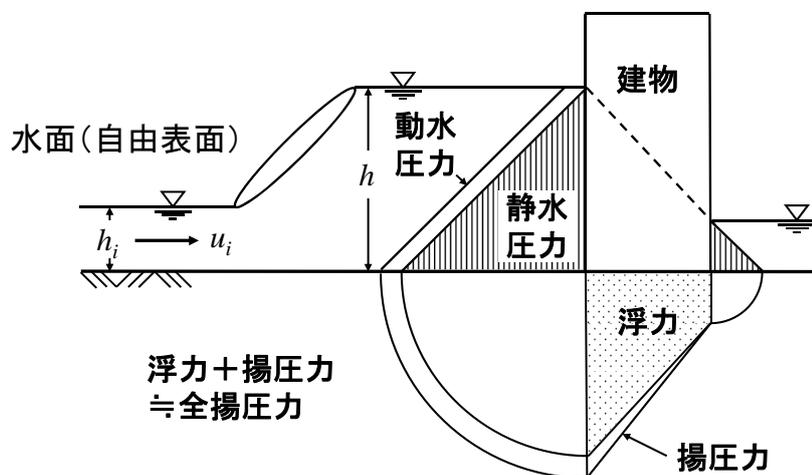
### 3. 日本建築学会建築物荷重指針・同解説 第10章 津波荷重（2015）

建築分野の研究者だけでなく、土木分野の研究者にも積極的に参加して、指針を取りまとめた

9

## 建築物に作用する津波波圧のイメージ

建築物等の構面に働く波圧は**静水圧**と**動水圧**からなる。**静水圧**は水面からの**深さ**に比例する圧力である。**動水圧**は**流速の2乗**に比例する圧力で衝撃砕波圧を含む。



建築物に作用する津波波圧のイメージ（松富）

10

# 設計上想定する津波荷重

①津波波力（水平方向・鉛直方向）

②漂流物の衝突荷重

＊耐津波設計上考慮すべき事項

地震による建築物の損傷

地盤沈下や地盤の液状化

津波による地盤の洗掘

漂流物の堰き止めなど

11

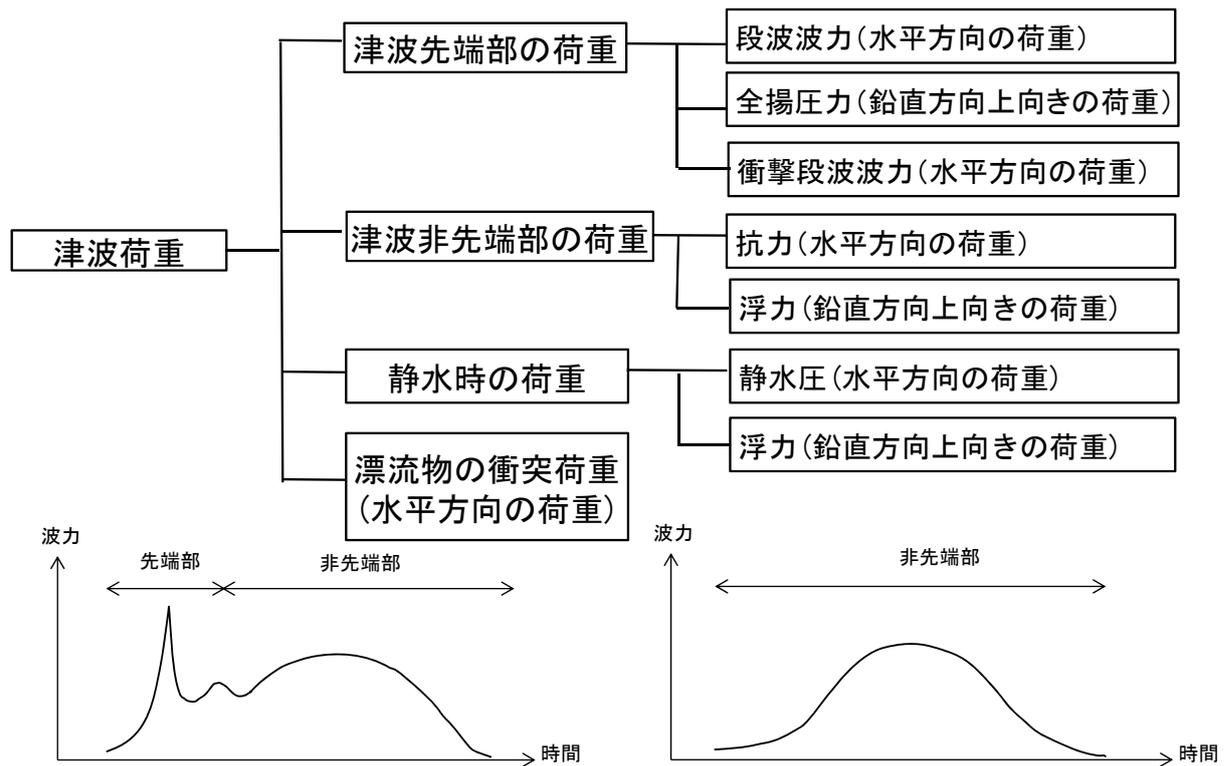
## 指針の適用範囲

### (1) 陸上の建築物や工作物

- 陸上の建築物や工作物を対象とし、水中や水上の工作物等は対象としない（越流は想定外）
- 構造種別（鉄筋コンクリート造・鉄骨造・木造）にはよらない
- 建築物は室内空間を有する3次元構造物  
→建築物内部を貫流する流れや建築物を回り込む流れの振る舞いを考慮する必要
- 津波荷重は、建築物全体だけでなく、建築物の部材や部分、例えば、壁（外壁・内壁）・開口部（窓・扉）・柱・梁・床・屋根・階段・基礎・地盤・・・などに作用する

12

# 津波荷重の算定方法（１）



13

## 4. 建築研究所・国土技術政策総合研究所の取組み (2011～)

14

## ①外壁材の脱落を考慮した耐津波設計法（波力低減）

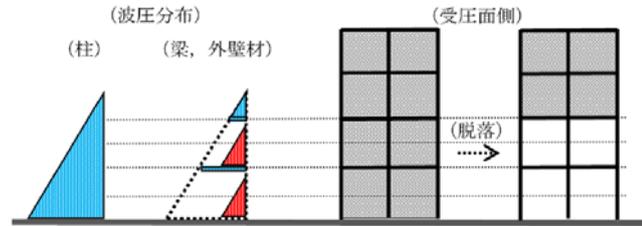
東日本大震災における津波による鉄骨造建築物の被害では、外壁材が破壊され流失したものの構造躯体は残存した例が多く見られた。これは、津波到達時に、外壁材が早期に流失し、躯体に作用する力が減少したことが一因であると考えられる。



東日本大震災の調査で見られた外壁材の脱落事例



水理実験の状況  
(水理実験でのALCパネル脱落の様子)



外壁材の脱落を考慮した耐津波設計法  
(波圧分布の設定例)

ALCパネル等を対象として、静的加力試験や実大規模の水理実験を実施し、**外壁材の脱落による津波波力低減効果を考慮した耐津波設計法\***をとりまとめた。

( \*外壁材の脱落判定法、外壁材の脱落を考慮した波圧、水平力および鉛直力の算定法)

⇒災害拠点建築物の設計ガイドライン（案）に反映

15

## ②低抗力型建築物の耐津波設計法（波力低減）

建物形状・開口・柱配置に配慮した津波による力を受けにくい低抗力型建築物を対象とし、津波波力を低減できる合理的な耐津波設計法を検討。（右例：低層階に大開口を設け、柱に円形断面を採用すること等により低抗力化を図っている。）



低抗力型建築物の水理模型実験モデルの例



低抗力型建築物



無開口型建築物

水理模型実験の状況  
(津波の先端部が模型に到達した直後の津波の作用状況)

低抗力型建築物を主対象とした水理模型実験を実施し、**水理模型実験による津波波力低減効果の検証に基づく耐津波設計法\***をとりまとめた。

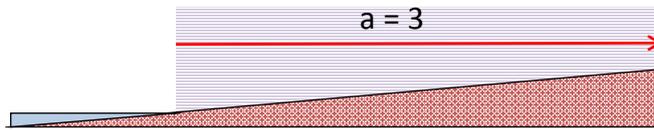
( \*水理模型実験に基づく水平力および鉛直力の算定法、水理模型実験の方法（津波条件、模型条件、実験水路の条件、通過波実験方法、津波波力実験方法等）)

⇒災害拠点建築物の設計ガイドライン（案）に反映

16

### ③勾配を有する陸地を遡上する津波波力低減（1）

勾配を有する陸地を遡上する津波の数値流体解析により、海岸線からの距離及び標高に応じた津波のフルード数及び水深係数の変化について調査し、津波波力の低減に資する水深係数のより合理的な設定法を検討。



水深係数 $a$ の設定（現状）  
（津波を軽減する効果が見込まれる防潮堤等の遮蔽物がない場合）

- 津波の非先端部を対象とした解析では、陸地への遡上に伴い水深係数が低下し、陸地勾配が大きいほど低下度合いが大きくなる傾向があることがわかった。

## 5. 内閣府ガイドラインの廃止

・津波避難ビル等に係るガイドラインが関係者の混乱を招いている場合があり、廃止により、耐力など必要な性能を満たす建築物を津波避難ビルとすべきことを明確化することが適当。

### ■ 現行のガイドラインにおける課題

RC造かSRC造が目安とされ、自治体によっては性能に関わらずS造が除外されている場合がある。  
(静岡市の指定事例(鉄骨造駐車場))



RC造の津波避難ビルでもL2レベルの津波が屋上まで到達した事例が発生。  
(南三陸町の事例(4階建て))



津波避難ビルガイドラインの廃止

### ■ 建築物の性能を把握の上で適切に指定すべきことが明確化



(※)既指定の津波避難ビルのうち性能が不十分な施設がある場合には、津波地域づくり法の制度下で各自治体が速やかに見直し。

### 【内閣府の対応の切り替えについて】

(H17年度当時)

・津波地域づくり法制定前であったため、津波避難ビル等に係るガイドライン検討会事務局として、ガイドラインをとりまとめ。

(H29年度以降)

・津波地域づくり法に基づく関係指針、ガイドライン等を基本として、避難施設として適切かどうかの判断に関わる部分のみ対応。

→自治体から簡易な津波避難ビル等の指定方法の要望

19

## まとめ

1. 内閣府 津波避難ビル等に係るガイドライン
2. 国土交通省 津波防災地域づくりに関する法律  
平成23年国土交通省告示第1318号
3. 日本建築学会 建築物荷重指針・同解説 第10章 津波荷重
4. 建築研究所・国土技術政策総合研究所の取組み
5. 内閣府津波避難ビル等に係るガイドラインの廃止

20