

津波避難ビルの構造設計法



平成23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」において、東京大学生産技術研究所と(独)建築研究所の共同研究として実施

構造研究グループ: 福山 洋、奥田泰雄、加藤博人、
田尻清太郎、壁谷澤寿一
国際地震工学センター: 石原 直
東京大学 生産技術研究所: 中埜良昭

1

本日の内容

- 1) 津波による被害パターンの分類
- 2) 現地調査結果の分析
- 3) 津波避難ビルの構造設計法

2

鉄筋コンクリート造(RC造)建築物の被害

3

多くのRC造建築物は構造的にほぼ無被害で残存
… ただ、一部で大きな被害も見られた



陸前高田市

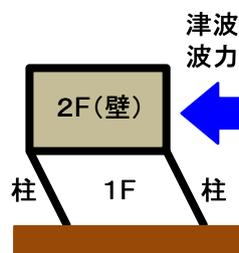
4

(1) 倒壊



5

(2) 1階の崩壊



6

(3) 転倒



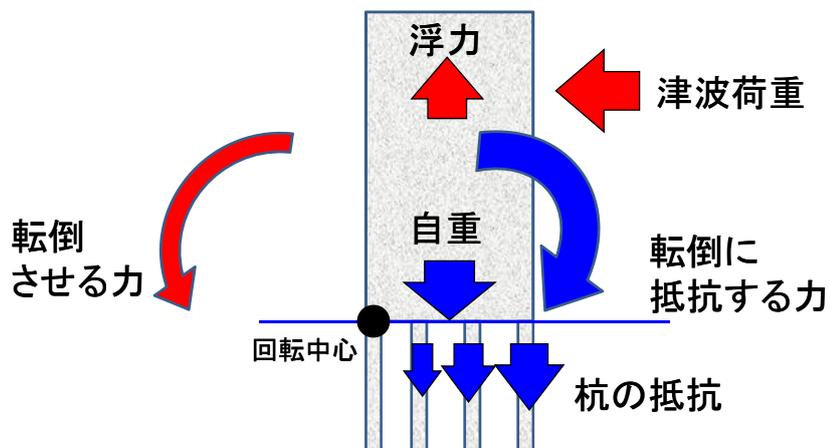
開口が小さい



この塀を乗り越えて転倒した
→ 大きな浮力が作用した

7

転倒のメカニズム



8

(3) 転倒



杭基礎の建築物でも転倒したのが見られた
→ 自重と杭による抵抗よりも、津波荷重により転倒させる力の方が大きかった

9

浮力に影響する空気溜まり



天井下に空気溜まりが存在 → 構造設計で考慮が必要

10

(4) 壁の破壊



構造耐力上主要な部分である耐力壁や柱は、第2波、第3波の津波や、余震に対して有効に抵抗するため破壊させてはならない



(5) 洗掘



洗掘は、建築物のコーナー部で顕著に見られる

(5) 洗堀、傾斜



洗堀により直接基礎の建築物が傾斜した例

13

(6) 滑動



滑動を防ぐには、杭基礎とすることが有効

14

(7) 漂流物の衝突



開口部からの大木の突入



構造耐力上主要な部分である耐力壁の破壊

15

鉄骨造(S造)建築物の被害

16

(1) 露出型柱脚の破壊



アンカーボルト、ベースプレート、もしくは
柱とベースプレートとの溶接部の破断

17

(2) 柱頭接合部の破壊



18

(3) 転倒



外装材がほとんど残存したため、大きな波力と浮力が作用したものと推測される

19

(4) 全面的な内外装材の破壊・流出 (5) 大きな残留変形



20

津波避難ビルの構造設計法 に関する検討

<津波避難ビルの位置付け>

- ・ 津波の際には高台避難が原則
- ・ 高台が近くに無い海岸地域では、**津波避難ビルが高台に代わって人命を守る**
- ・ 津波避難ビルには、避難と構造について十分な安全性が求められる

21

背景

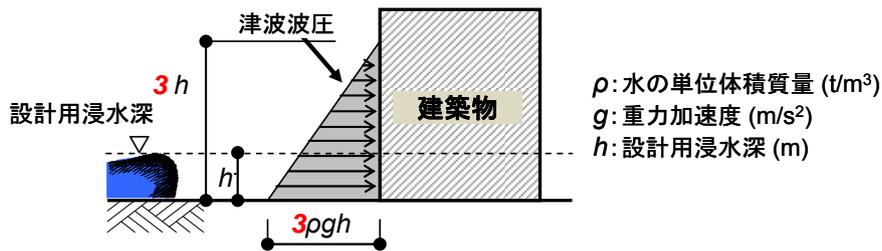
- 2003.5 東海地震対策大綱（中央防災会議）
2003.12 東南海・南海地震対策大綱（中央防災会議）
- 2004年度 津波避難ビルに関する調査検討
（（財）日本建築センター）
- 2004.12.26 スマトラ島沖地震津波（インド洋大津波）
- 2005.6 津波避難ビル等に係るガイドライン（内閣府）
（巻末資料② 構造的要件の基本的な考え方）

22

目的

内閣府「ガイドライン」に示された構造設計法（津波波圧＝設計用浸水深の3倍の高さの静水圧）を被害の実態に基づき検証

→ 必要な見直しを行う → 流勢に応じた場合分け



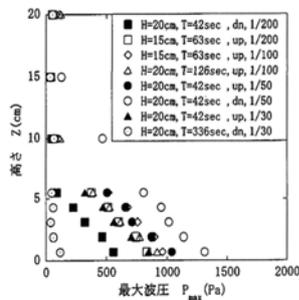
23

朝倉らの実験

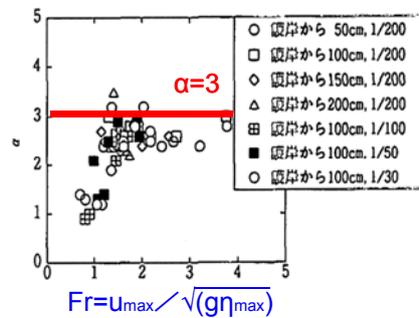
護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究、
海岸工学論文集第47巻、土木学会、2000年

水路を使った実験に基づき、遡上する津波によって
陸上構造物に作用する波力の評価手法を提案

実験因子: 斜面勾配、波高、周期、初期位相、護岸先端から構造物までの距離



非分裂波の最大波圧分布



α とFr(フルード数)の関係

24

現地調査結果の分析（検討対象構造物の例）



層崩壊した建築物
(陸前高田市, RC造平屋)



残存する建築物
(女川町, RC造4階)



崩壊したブロック塀
(亶理町, CB造)



残存するRC塀
(大船渡市, RC造)



崩壊した鉄道橋
(田野畑村, RC造)



崩壊した柱
(亶理町, CB造)



転倒した石碑
(亶理町, 石造)

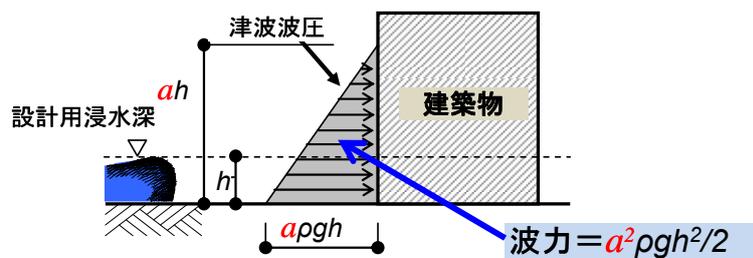


崩壊・転倒した防潮堤
(山田町, RC造)

25

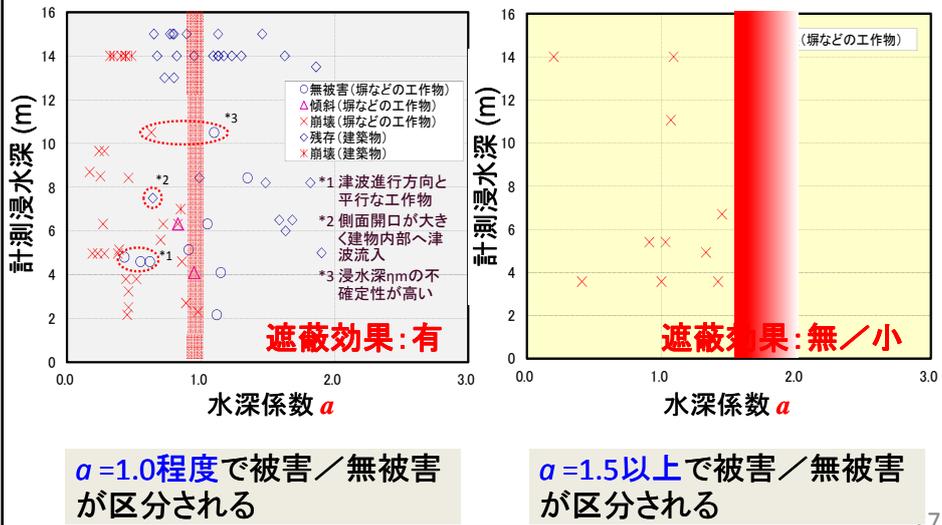
津波波圧算定式の検討方法

- 1) 「浸水深の3倍の静水圧」の3を a (水深係数) と置く
- 2) 現地調査で、構造物の水平耐力を算定
- 3) 水平耐力 = 波力となる a (水深係数) を逆算
(破壊したものはそれ以上の a 、未破壊のものはそれ以下の a)
- 4) 破壊 (×) と未破壊 (○) ではさみうち。境界で a を判断



26

水深係数 a と被害程度の関係（遮蔽効果の有無）



遮蔽物の影響



津波
来襲
方向



遮蔽物の影響、海岸からの距離の影響

● 遮蔽物有り $\xrightarrow{\times 1.5}$ 遮蔽物なし

遮蔽物あり	遮蔽物なし
$a = 2$	$a = 3$ (実験結果等を参照)

(流勢が弱まる) $\xleftarrow{\div 1.5}$

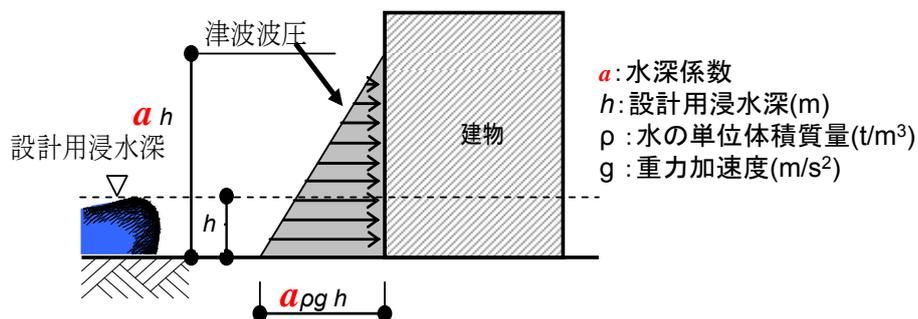
● 海岸から500m以上離れると、さらに流勢が弱まる

$\rightarrow a = 1.5$

29

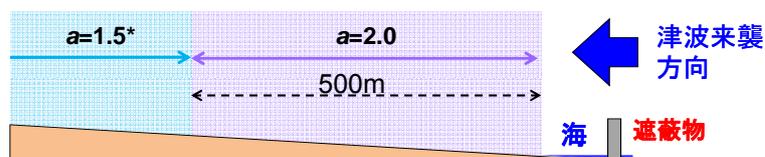
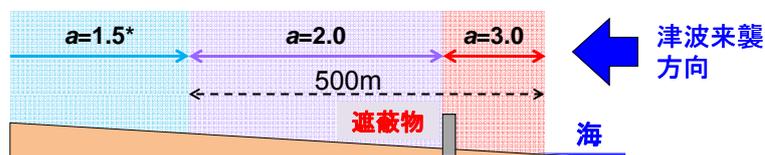
津波波圧の算定

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



	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

30



*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

31

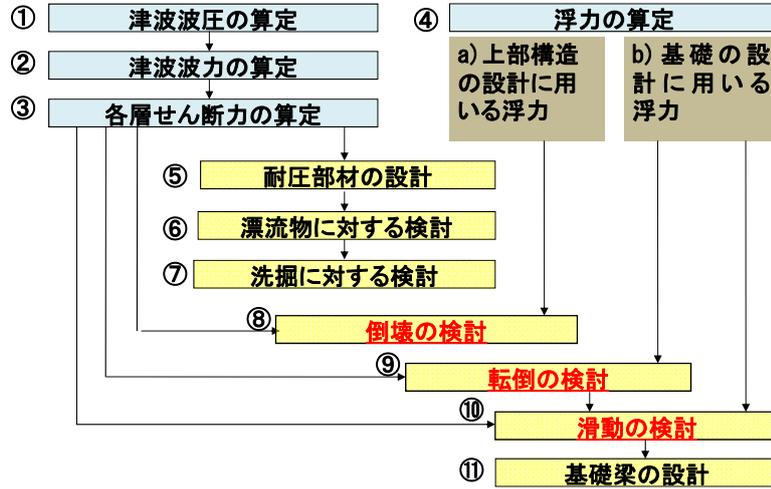
津波避難ビルの構造設計法 (設計目標)

- 1) 倒壊しないこと
- 2) 転倒しないこと
- 3) 滑動しないこと

※ 外側にある壁や柱は、津波波圧に対して破壊しないことを確認

32

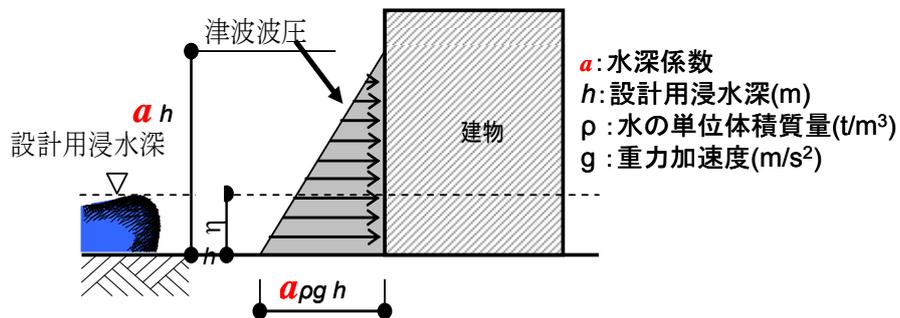
津波避難ビルの構造設計法 (設計の流れ)



33

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



	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	1.5	2	3

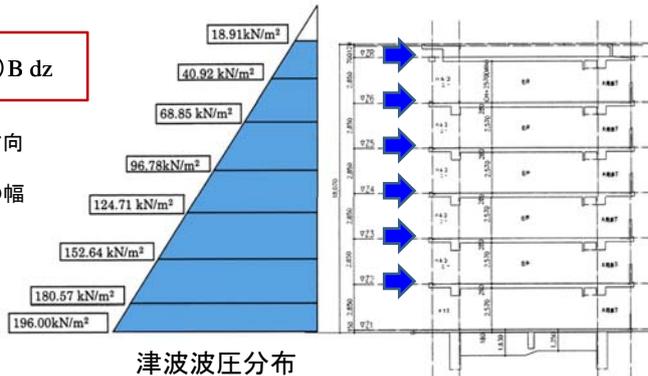
34

② 津波波力、③各層せん断力の算定

- ・ 津波波圧を高さ方向に積分して津波波力を算定
- ・ 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

$$QZ = \rho g \int_{z_1}^{z_2} (ah - z) B dz$$

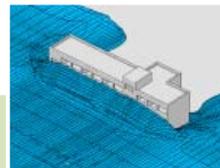
- QZ: 構造設計用の進行方向の津波波力 (kN)
 B: 当該部分の受圧面の幅 (m)
 z_1 : 受圧面の最小高さ ($0 \leq z_1 \leq z_2$) (m)
 z_2 : 受圧面の最高高さ ($z_1 \leq z_2 \leq ah$) (m)



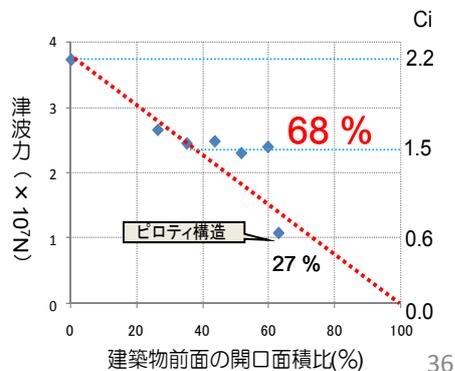
津波波圧分布

開口

開口による津波波力の低減を考慮できる
 (津波波圧は、開口を除く受圧面で受ける)と考える



低減された波力は、開口が無い場合の7割を下限とする



④ 浮力の算定

柱と杭の軸力が最小となる、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）

開口から建築物内部に水が十分に流入した状態

→ 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）

建築物の周囲が浸水しても、内部に水が流入していない状態

→ 建築物容積分の浮力が基礎底に作用するとして求める

37

⑤ 耐圧部材の設計

柱と耐力壁が波力によって破壊しないことを確認

曲げとせん断に対して、**波力による力 \leq 部材の終局強度**



38

⑥ 漂流物に対する検討

(流木、自動車、コンテナ、船舶、倒壊した建築物の一部など)

漂流物によっては柱・壁部材の破壊を防止するのは困難



外部に面する柱等が漂流物により破壊しても、その軸力支持能力を喪失しない(大梁等を介して伝達できる)
→ 漂流物の衝突により建築物が局部崩壊しないことを確認

39

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

(もしくは、周辺の地盤を十分な舗装で固める等の洗掘防止策を検討する)



直接基礎



杭基礎

40

⑧ 倒壊の検討

各階の水平耐力 > 津波によるせん断力

各階の水平耐力を、津波波力を外力分布とし浮力を考慮した荷重増分解析により算定



41

⑨ 転倒の検討

引張杭 **杭の引張軸力 ≤ 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)

圧縮杭 **杭の圧縮軸力 ≤ 極限支持力**



42

⑩ 滑動の検討

杭の水平耐力 \geq 杭に作用する津波荷重



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

43

津波に対し構造耐力上安全な建築物の 設計法等に係る**技術的助言**

(国住指第2570号(平成23年11月17日))

「津波避難ビル等の構造上の要件に係る**暫定指針**」

津波防災地域づくりに関する**法律**

(平成23年12月27日施行)

津波災害警戒区域 … 知事が指定することができる
→ **指定避難施設** … 市町村長が指定することができる
国土交通省令で定める技術基準 に適合するものであること



告示 (平成23年度国交告第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**安全な構造方法を定める件**」

44

津波避難ビルに要求される条件 (RC造共同住宅の上部構造の場合)

浸水深ごとに建築物に要求される張間方向(長さ12mと仮定)の強度(C_B)

	浸水深と建築物の階数		
	5m (4F)	10m (5F)	15m (7F)
$a = 3.0$	$C_B = 0.97$	$C_B = 2.83$	$C_B = 4.56$
$a = 2.0$	$C_B = 0.38$	$C_B = 1.44$	$C_B = 2.42$
$a = 1.5$	$C_B = 0.3$	$C_B = 0.78$	$C_B = 1.36$

◎ : 従来の耐震設計による断面や配筋等に対応可能なレベル (杭・基礎は要検討)

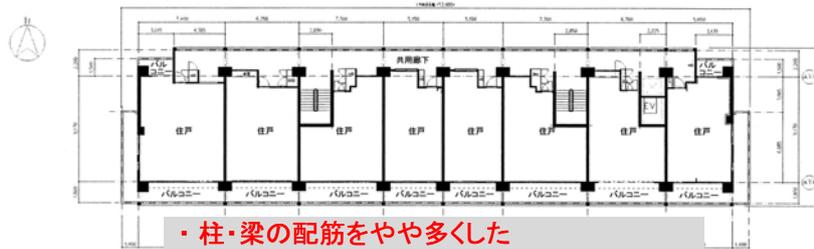
○ : 強度を高める工夫を要するがほぼ対応可能なレベル (杭・基礎は要検討)

△ : 強度を大きく高めるための特別な工夫を要するレベル (杭・基礎は要検討)

45

設計例

浸水深10m, $a = 2.0$



- ・ 柱・梁の配筋をやや多くした
- ・ 妻面の耐力壁を厚くした (230→350mm)
- ・ 杭径を大きくした (1300φ→1900φ)



46

津波避難ビルの設計



10mを超える浸水深では、設計で考える地震の力よりも、津波の力の方が大きくなることもある



従来の耐震設計よりも強い建築物

- ✓ 壁を厚く、柱・梁の配筋を多く
- ✓ 杭を太く、長く → 従来技術で対応可能

47

まとめ

- ・ 本設計法に基づく津波避難ビルの建設が促進され、**海岸地域の産業の活性化**をはじめとする**被災地の一日も早い復興**に資することを期待
- ・ 建研も、**技術的な面からの支援**を続ける予定

48

