

# —東日本大震災の被害を踏まえた建築分野の取り組み—

## 津波避難ビル及びその他の技術基準について

建築研究部 基準認証システム研究室長  
深井敦夫



国土交通省

国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management

1. 建築分野の取り組みの概要
2. 津波避難ビル等の構造上の要件に関する技術基準
3. その他の技術基準の検討状況
  - (1) 天井落下対策
  - (2) エスカレーター一落下対策
  - (3) 液状化対策
  - (4) 長周期地震動への対応

# 1. 建築分野の取り組みの概要

# (1)東日本大震災における地震・被害概要

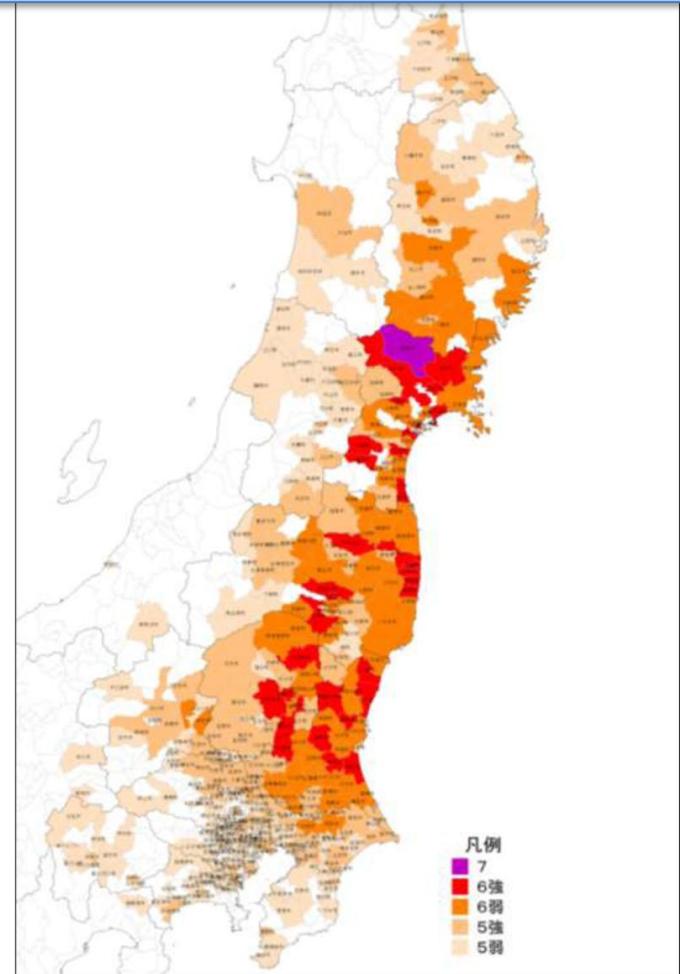
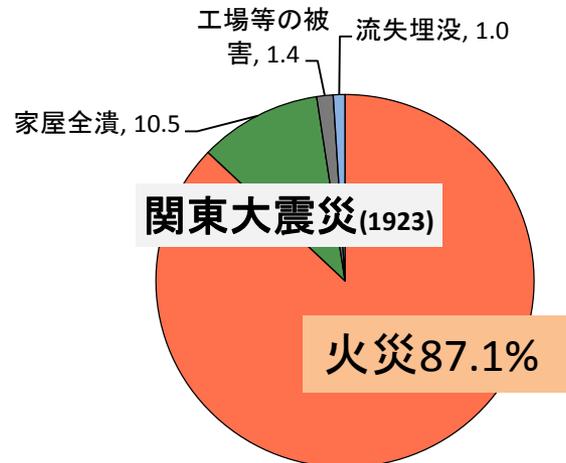
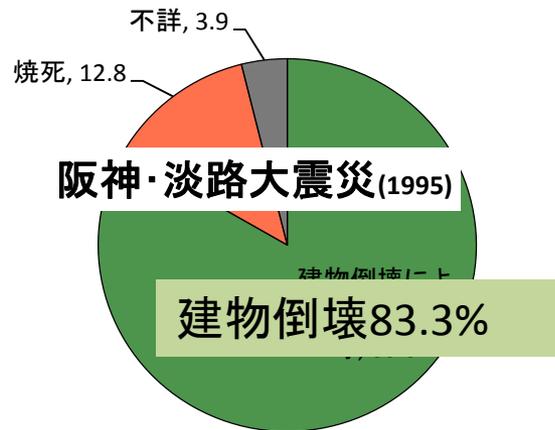
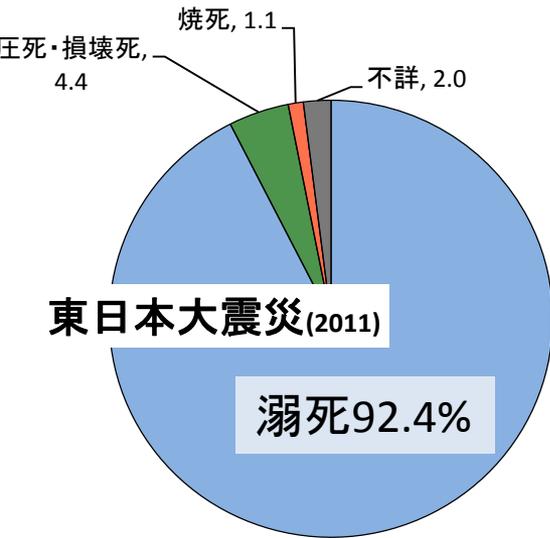
■地震概要 震源：三陸沖、深さ24km、モーメントマグニチュード：9.0

■被害概要(警察庁:3月11日付け)

○人的被害：死者15,854人、行方不明3,155人

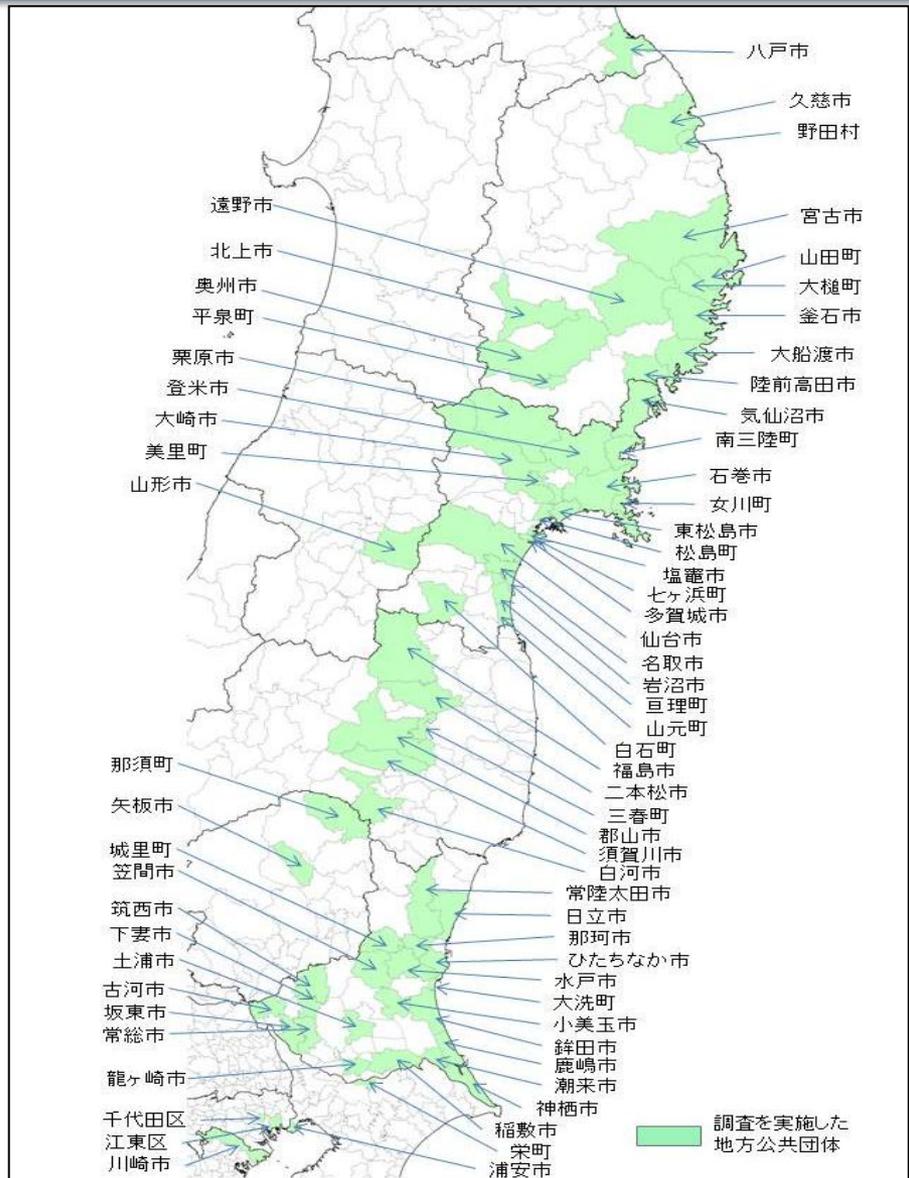
○建物被害：全壊129,107戸、半壊254,139戸

## 死因の比較



出典  
『『日本地震工学会論文集Vol.4.No.4September 2004』、  
関東地震(1923年9月1日)による被害要因別死者数の推定、  
諸井孝文・武村雅之』、「神戸市内における検死統計  
(兵庫県監察医、平成7年)」、警察庁資料より内閣府作成  
(平成23年4月11日現在の東日本大震災における死因(岩  
手県・宮城県・福島県))

## ■建築物の被害状況に関する現地調査の実施



- ・発災翌日から調査開始
- ・発災後1ヶ月間で、のべ65名（建研・国総研計）を調査派遣、約140名を調査派遣。



■「平成23年東北地方太平洋沖地震調査研究」((独)建築研究所と共同)  
 :「速報」を公表(H23.5)  
 :「(最終報告)」を公表(H24.3)  
 \* 以上はHPで公開

# (3) 建築物の被害概要

## 【地震動による被害等】

中間層崩壊、ピロティ構造の層崩壊、柱のせん断破壊等  
(旧基準建築物)



・非構造部材(天井)の脱落



・地盤の液状化による被害



・エスカレーターの脱落、長周期地震動の観測

【津波による被害】

倒壊・流失  
転倒  
洗掘、  
漂流物の衝突等



国総研に「建築構造基準委員会」を設置し、東日本大震災を踏まえた対策の検討を実施。

被災地現地調査団の派遣(委員5名+国総研、4/21-22)



- ・被害調査の分析
  - ・津波対策
  - ・長周期地震動対応
  - ・非構造部材(天井)落下対策
- ほかについて検討

## 建築構造基準委員会 委員名簿

◎委員長 ○委員長代理

委員		
金岡 宏幸	日本建築行政会議	適判部会部会長
金箱 温春	(社)日本建築構造技術者協会	会長
北村 春幸	東京理科大学理工学部建築学科	教授
◎久保 哲夫	東京大学大学院工学系研究科	教授
桑原 文夫	日本工業大学工学部建築学科	教授
田中 仁史	京都大学防災研究所	教授
田端 隆	(社)日本建築士事務所協会連合会	常任理事 業務・技術委員長
中島 正愛	京都大学防災研究所	教授
○平石 久廣	明治大学理工学部建築学科	教授
細澤 治	(社)日本建設業連合会設計委員会	構造専門部会
榊田 佳寛	宇都宮大学大学院工学研究科	教授
緑川 光正	北海道大学大学院工学研究院	教授
望月 国広	日本建築行政会議	構造部会部会長
安村 基	静岡大学農学部環境森林科学科	教授
協力委員		
飯場 正紀	(独)建築研究所構造研究グループ	長
大川 出	(独)建築研究所構造研究グループ	主席研究監
奥田 泰雄	(独)建築研究所構造研究グループ	上席研究員
福山 洋	(独)建築研究所構造研究グループ	上席研究員
事務局		
	国土技術政策総合研究所	建築研究部

## (5)技術基準等の検討状況（概要）

### 津波避難ビルの構造上の要件等の基準の整備

H23.11.17 指針公表・通知（国住指第2570号）

H24.12.26,27 津波防災地域づくり法省令・技術基準告示制定

H24.2.29～ 技術資料（「津波避難ビル等の構造上の要件の解説、約500頁）を整備し、各地で講習会を実施。

### 天井落下防止のための基準の整備

：脱落被害を踏まえ、耐震対策のための仕様、計算方法等の技術基準を検討中。

### エスカレーターの落下防止のための基準の整備

：商業施設において脱落被害、脱落防止のための技術基準を検討中。

### 地盤の液状化への対応

：戸建て住宅を中心に情報提供方策等を念頭に検討中。

：公共施設と宅地の一体的な対策について検討中。

### 長周期地震動への対応

：専門のWG（長周期地震動対策検討WG）を国総研建築構造基準委員会に設置（H23.6）、中央防災会議、地震調査研究推進本部の動き等を踏まえつつ検討中。

## 2. 津波避難ビルの構造上の要件 に関する技術基準

津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針  
 : 住宅局及び国総研によりとりまとめ。(H23.11.17住宅局通知)。  
 津波防災地域づくり法に基づく技術基準告示 (H23.12.27)

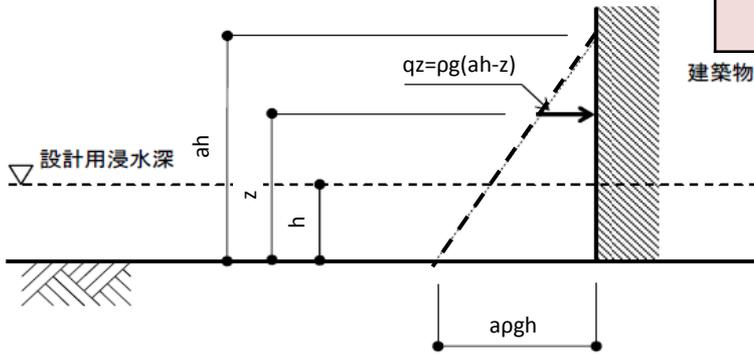
## 主な見直し

### ●津波荷重の設定の合理化

従来のガイドライン  
 (実験に基づき設定)  
 一律、浸水深の**3.0倍**  
 の静水圧



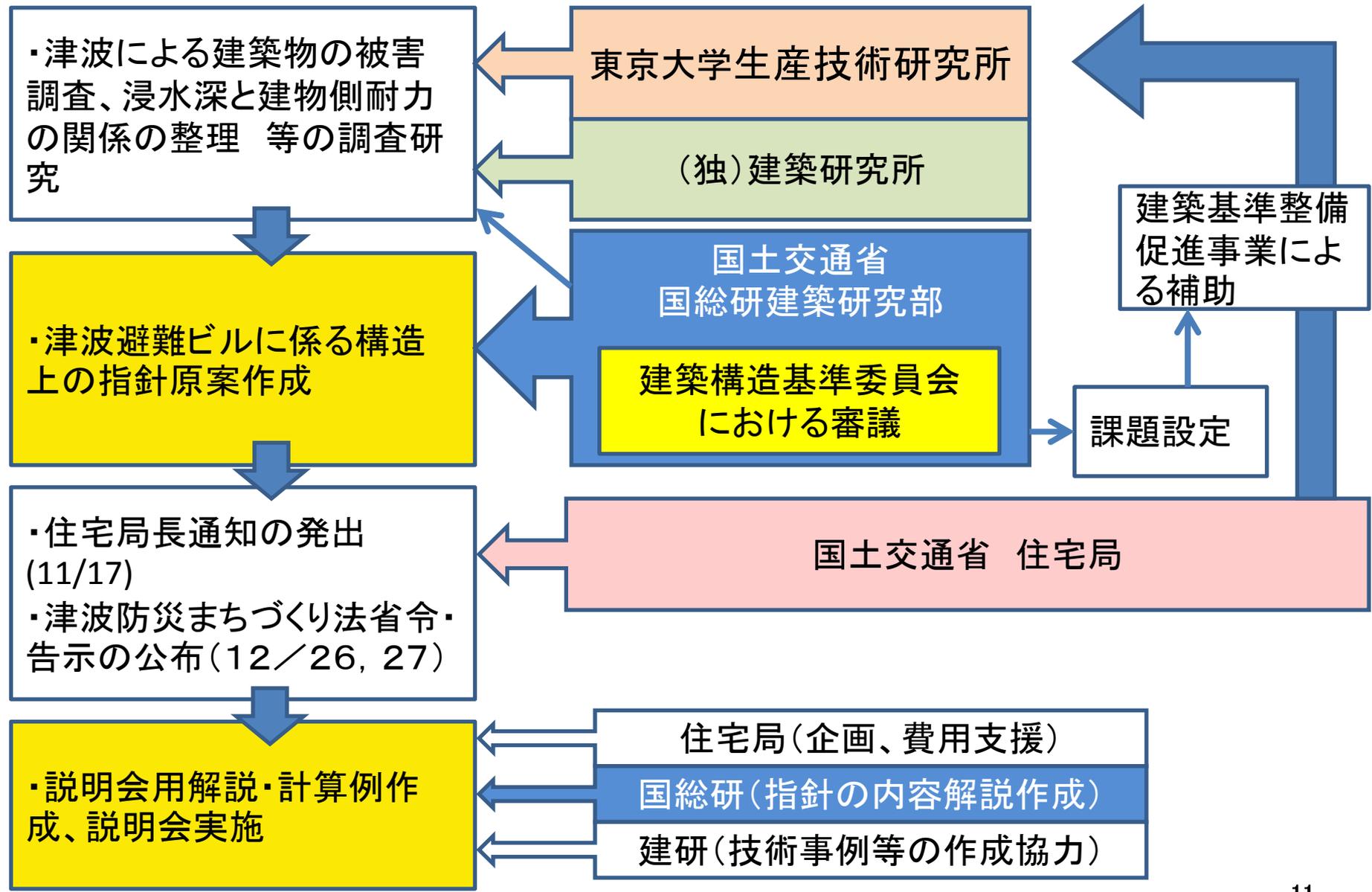
① 堤防や前面の建築物等による軽減効果が見込まれる場合	2.0倍
② ①のうち、海岸等からの距離が離れている場合 (500m以遠)	1.5倍
③ ①、②に該当しない場合	3.0倍



併せて、荷重算定にあたって、以下のことを明示  
 ①開口部 (窓等) への流入による波力低減が可能  
 ②ピロティの開放部分は荷重算定の対象から除外

※上記の他、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について 明確化

# (2)津波避難ビル等の構造上の要件に関する技術基準 (②経緯)



- 1) **津波波圧**: 津波の勢いが低減される条件では津波波圧も低減できることとし、その条件を提示
- 2) **津波波力**: 開口の存在によって津波波力が低減できることを明示。
- 3) **浮力**: 浸水する建築物容積分の浮力を原則とするが、開口部からの水の流入(と床下の空気溜まり)を考慮して算定可能
- 4) **特別な調査または研究**: 明示的に規定  
→ 例)フルード数が1.0を十分に下回ることが確認される場合には、水深係数  $a = 1.5$  を採用できる
- 5) **洗掘**: 上部構造が傾斜しないこと
- 6) **漂流物の衝突**: 構造耐力上主要な部分の破壊を防止する。もしくは、構造物が局部崩壊しないことを確認

- 所在地
- 用途、津波避難ビル指定
- 構造種別
- 建築規模、構造躯体の寸法
- 建物位置、周辺の状況
- 最大浸水深
- 津波後の状況  
倒壊・流失・残存・・・  
構造躯体および非構造部材の被害
- 写真(外観4面＋内側)  
開口の状況、浸水の状況

建物番号	OG-11	調査日	2011年4月9日
名称			
所在地	女川町女川浜女川	建設年	不明
用途	商業施設・店舗	津波避難ビル	指定なし
構造種別	RC造 (耐力壁付ラーメン構造)		
建物規模	階数	2階 (地下 階)	高さ: 7.2 m
	平面寸法	11.3 m × 9.4 m	
建物位置	海岸からの距離	約100 m	標高 15 m (GPS)
	立地条件	女川街道沿い	
最大浸水深	14 m	周辺建物側面に痕跡	
津波後の状況	建物の状態	原位置に残存	1×2スパン、非構造部材のみ被害が見られた
	躯体の被害	被害なし	
	非構造部材の被害	被害あり	窓ガラス・天井材の脱落
備考			

- 女川沿岸部に立地し残存していたRC2階建て
- 津波の作用方向(梁間方向)に開口付き耐震壁を有し、桁行構面には大きな開口を有している
- 内部には梁せいでまで浸水の痕跡が見られる
- 柱断面は800×500mm、壁厚は180mmであった



写真1 建物外観(1)



写真2 建物外観(2)



写真3 建物1階の浸水痕



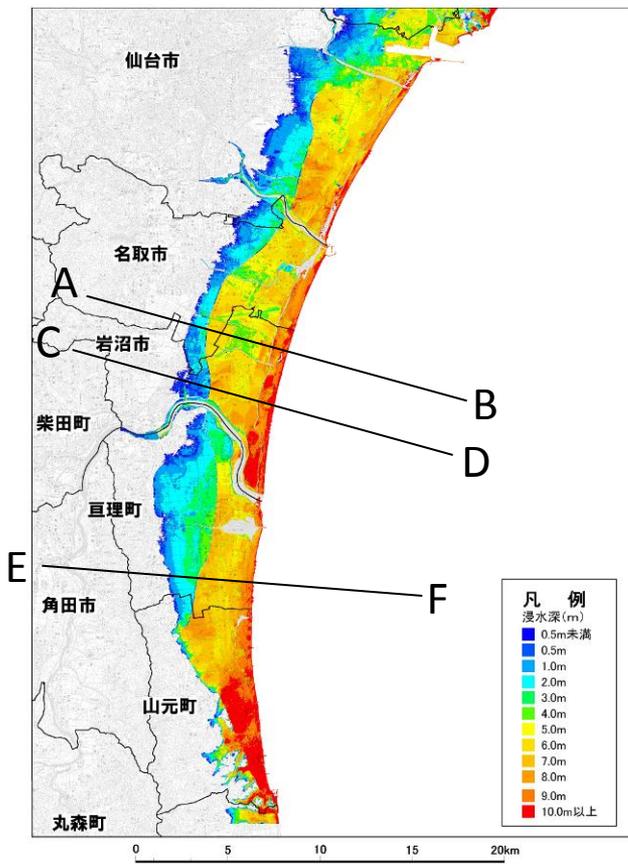
写真4 建物1階の浸水痕

→これらをデータベース化、浸水深と建物側耐力の関係を分析

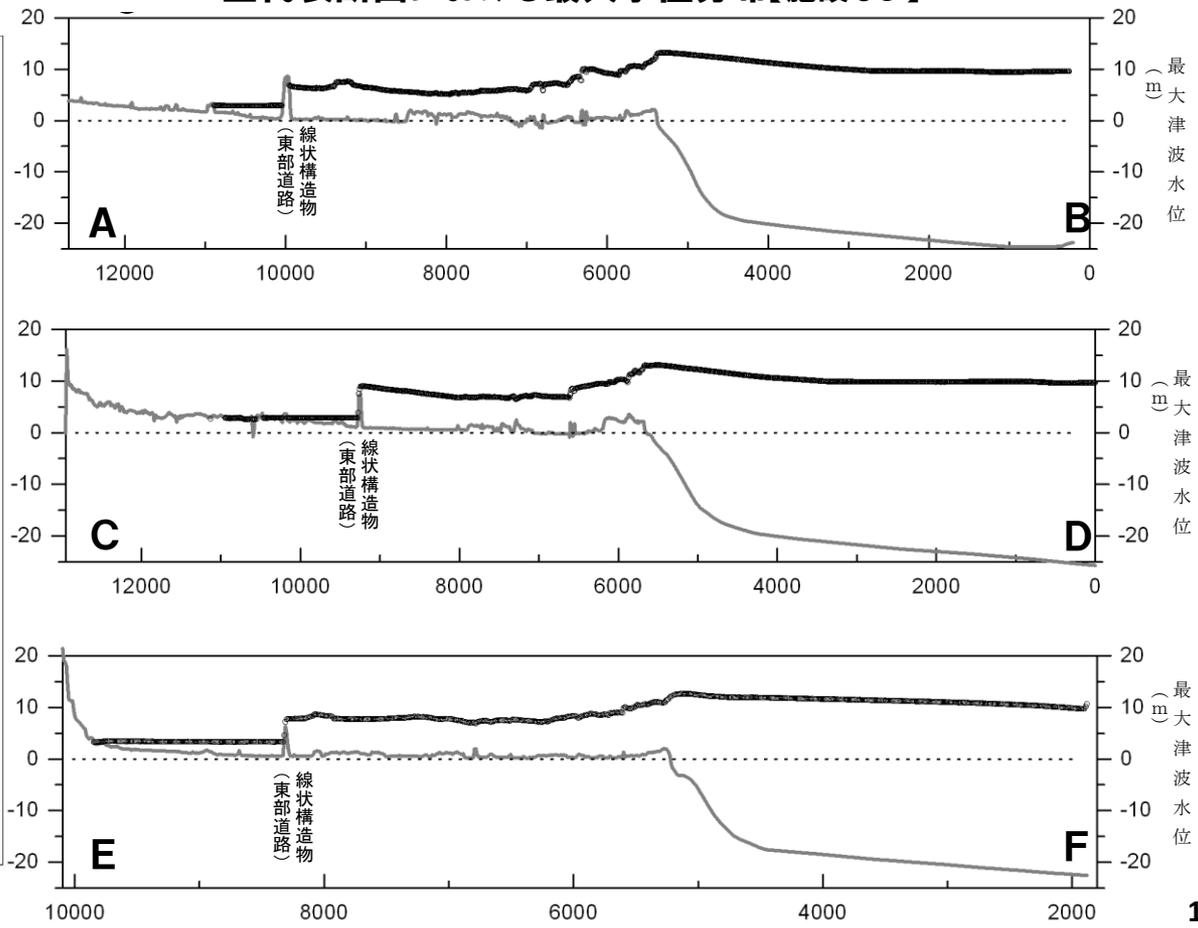
# 河川研究部と連携し、浸水シミュレーションを活用して調査データの妥当性を検証

## 計算結果の出力

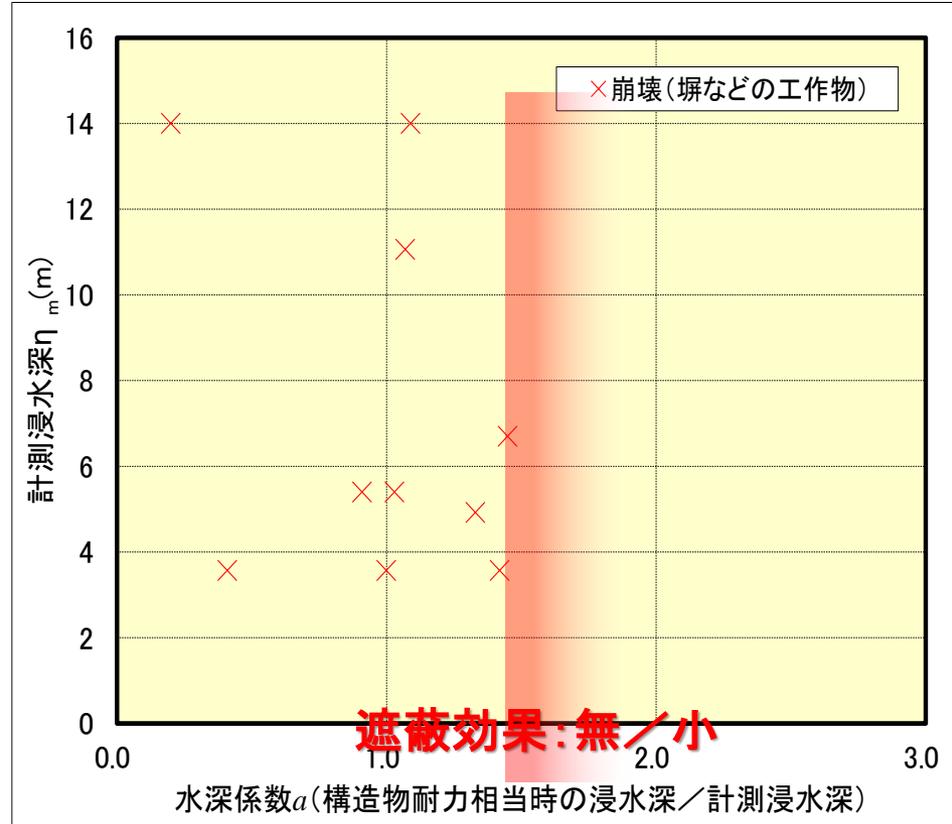
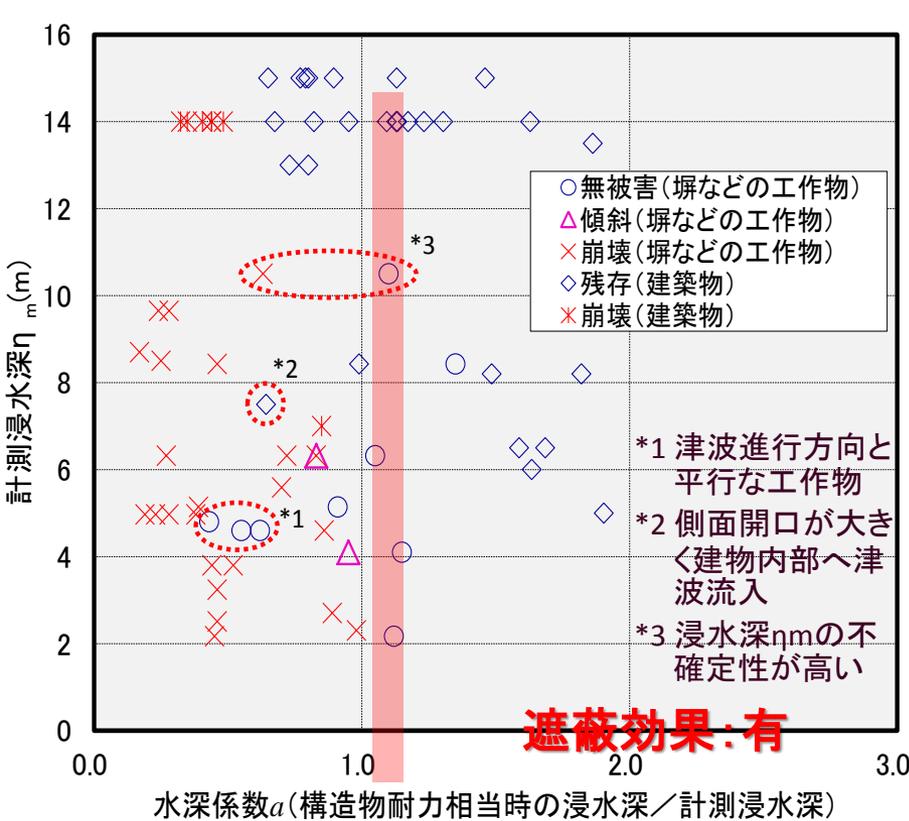
最大浸水深の平面分布



■代表断面における最大水位分布[施設なし]



○水深係数 $a$ と被害程度の関係 (遮蔽効果の有無)

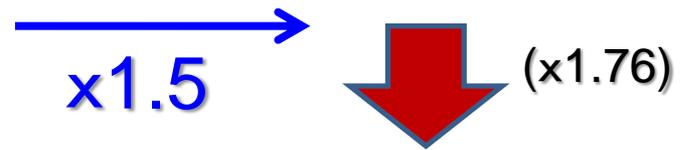


- ・「遮蔽効果有り」では  $a = 1.0$ 程度で被害／無被害が区分
- ・「遮蔽効果無し／小」では, 「遮蔽物有り」よりも被害・無被害を区分する  $a$  の値は大きくなる(1.5以上)

○設計用水深係数  $a$  の試案

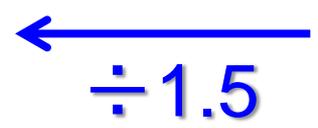
- 抗力による検討結果 (静水圧式による検討結果はこの平均的値)

	遮蔽物あり	遮蔽物なし
三陸地方	$a=0.92$	$a=1.27$ 以上
平野部	$a=1.13$	$a=1.70$ 以上

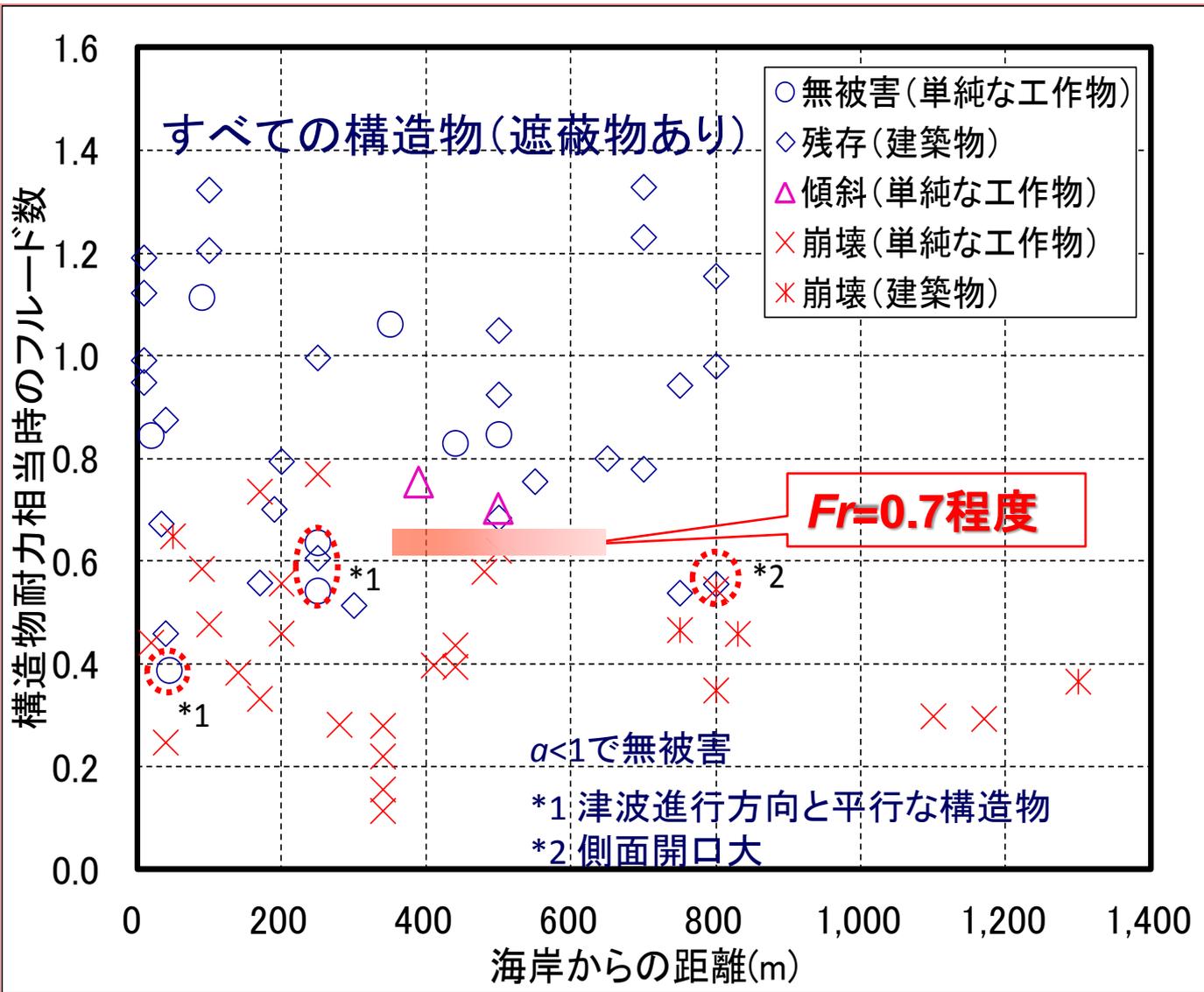


- 基本形⇒⇒⇒  
さらに $D \geq 500m$ で  
 $a=1$ 程度  
割増率1.5程度を  
考慮して $a=1.5$ を設定

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



○海岸からの距離とフルード数  $Fr$



内陸では一般に波力が衰えるとの報告

今回の調査では海岸からの距離  $D=500m$ 程度では  $Fr=0.7$ 程度

それ以遠は明確な境界は見出しにくいですが、特別な地形でなければ波力が復活することはないと考え、 $D > 500m$ で  $Fr=0.7$ 程度を下限とする

## ○津波波圧算定式

構造設計用の進行方向の津波波圧

$$qz = \rho g (ah - z)$$

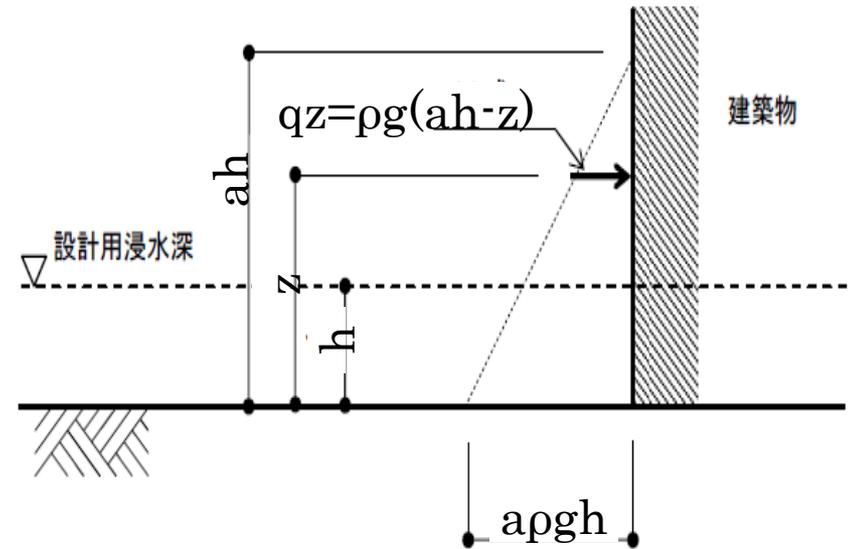
$\rho$  : 水の単位体積質量 ( $t/m^3$ )

$g$  : 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 ( $0 \leq z \leq ah$ ) (m)

$a$  : 水深係数。

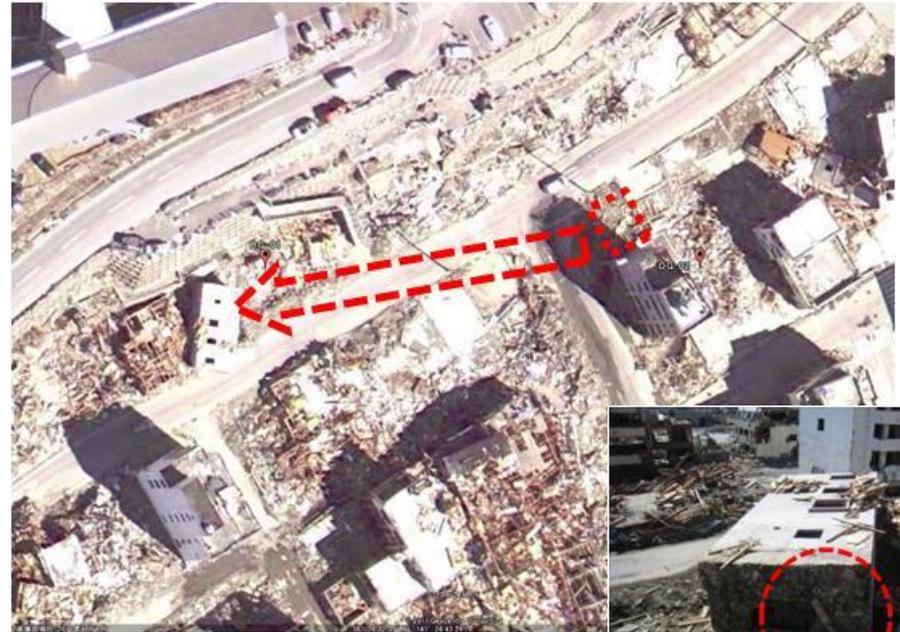


	遮蔽物あり		遮蔽物なし
海岸や河川等からの距離	500m以遠	500m未満	距離によらず
水深係数 $a$ の設定	<b>1.5</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

# (3) 転倒 国総研・建研による調査

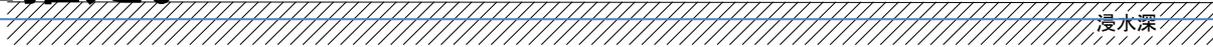
2階建ての冷蔵倉庫、直接基礎、**開口部が少ない**  
 転倒(横倒し)・移動(**隣接する高さ2mの壁を乗り越える**)

4階建て旅館  
 杭基礎(引きぬけた杭)  
 開口部が少ない  
 転倒(横倒し)・**約70mの移動**  
 (引きずられた痕跡がない)



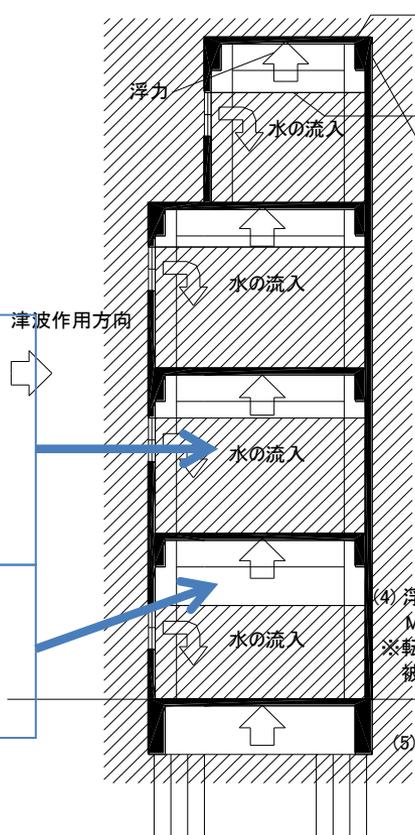
# (3)転倒 浮力に関する検討

- ①開口部から水が流入し、一部が空気だまりとなった場合の浮力
- ②開口部が少なく、建物容積全体相当の浮力が働いている場合があると推定。

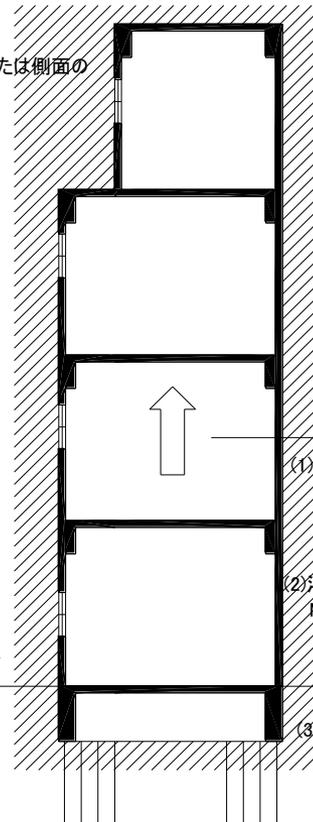


i) 開口からの水の流入を考慮する場合

ii) 開口からの水の流入を考慮しない場合



- (1) 躯体重量は単位体積重量から10(kN/m<sup>3</sup>)を差し引いて計算
- (2) 建築物の津波荷重が作用する受圧面または側面の開口上端-床下端の空気体積分の浮力
- (3) 各節点に浮力を与え鉛直荷重を計算
- (4) 浮力による引張力を考慮した上でM-N曲線から杭終局曲げせん断耐力を算定  
※転倒力最大時に層が水で充満していることが被害、実験または解析等により確かめられた場合
- (5) 杭引き抜き耐力は下記のうち小さい値とする
  - 1) 引き抜き方向許容支持力
  - 2) 杭鉄筋の引張破断強度



- (1) 水没する建築物体積(内部空間の容積を含む)分の浮力を与える
- (2) 浮力による引張力を考慮した上でM-N曲線から杭終局曲げせん断耐力を算定
- (3) 杭引き抜き耐力は下記のうち小さい値とする
  - 1) 引き抜き方向許容支持力
  - 2) 杭鉄筋の引張破断強度

②建物容積相当の浮力が働いている場合

①開口部から水が流入  
一部が空気だまり

## 浮力および杭引き抜き抵抗力の考え方

#### ○浮力算定式

津波によって生じる浮力

$$Q_z = \rho g V$$

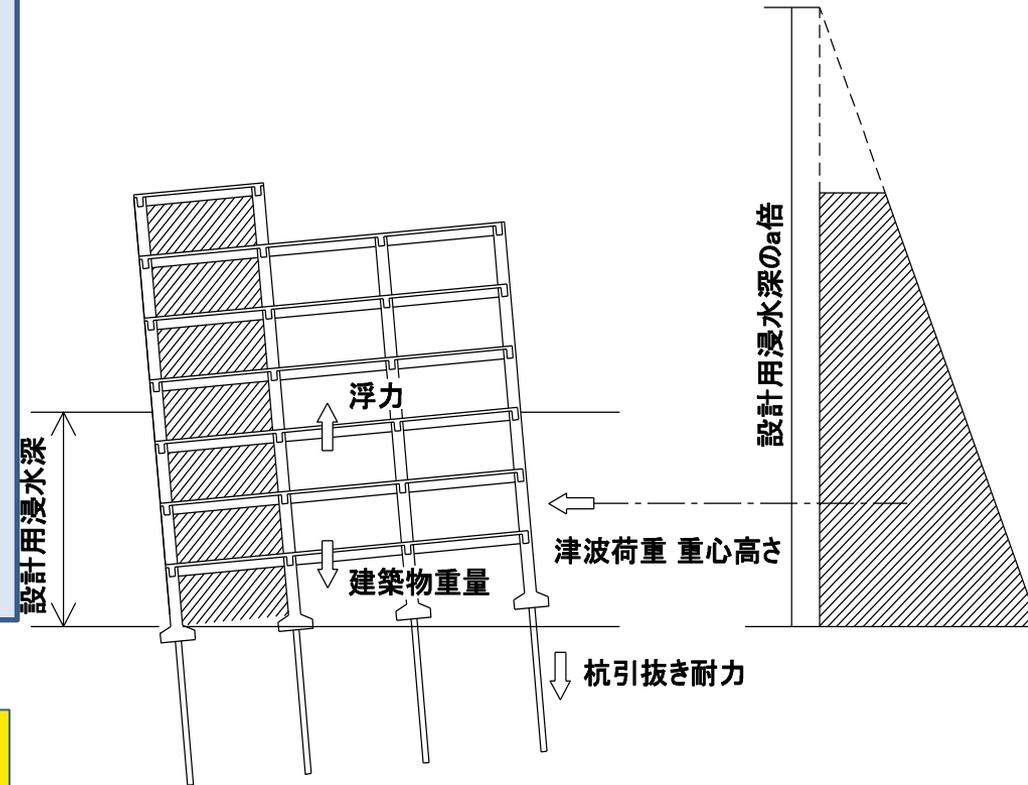
ここに

$Q_z$ : 浮力 (kN)

$V$ : 津波に浸かった建築物の体積 ( $m^3$ )

ただし、開口率を勘案して水位上昇に応じた開口部からの水の流入を考慮して算定することができる。

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を確かめる。



建築物の転倒に対する考え方

## (4) その他被害を踏まえた技術基準の作成

### (1) 洗掘

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。



被害例：直接基礎の建築物が洗掘により傾斜



### (2) 漂流物の衝突

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。



被害例：漂流物による一部損壊



主要な構造について、複数の設計例を関係機関の協力を得て作成、講習会<sup>注)</sup>を実施 (H24.2.29～)。具体の計算プロセスを提示。

## 1. 鉄筋コンクリート造

6階建て共同住宅(浸水深10m、水深係数2.0)

8階建て共同住宅(浸水深15m、水深係数2.0)

10階建て事務所(浸水深10m、水深係数2.0および1.5)

## 2. 鉄骨造

10階建て事務所(浸水深8m、水深係数2.0)

10階建て事務所(一部柱CFT造)(浸水深10m、水深係数2.0)

## 3. 木造

集成材を用いた3階建て事務所(浸水深4m、水深係数1.5)

木造3階建て住宅(浸水深3m、水深係数1.5) \*

木造2階建て住宅(浸水深2m、水深係数1.5) \*

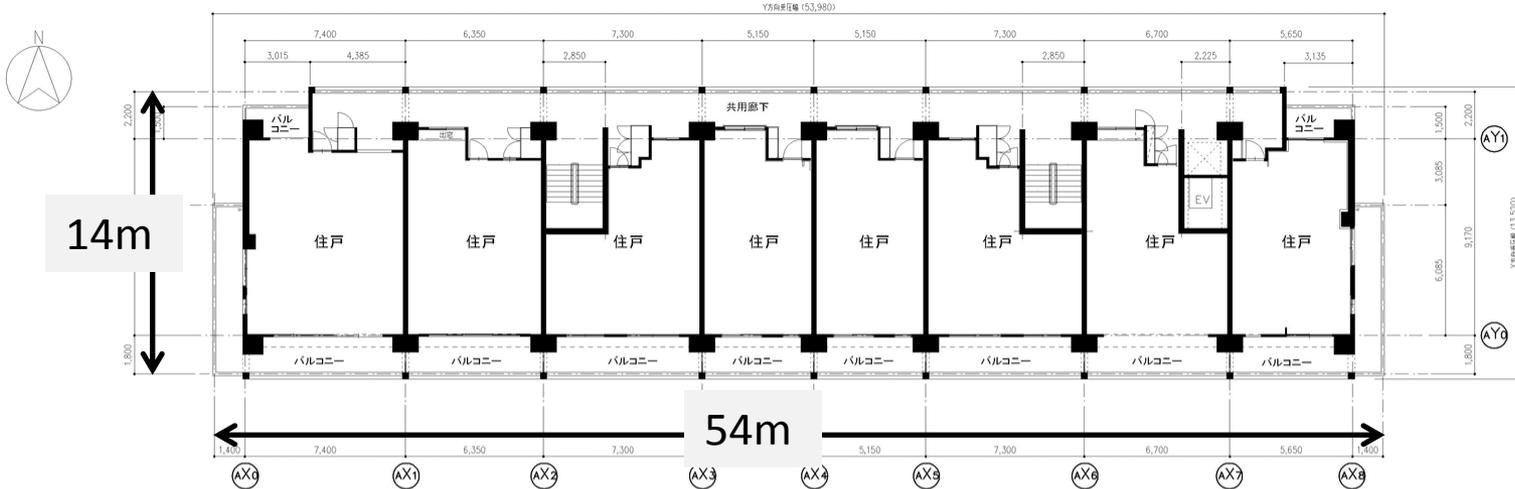
付録 混構造住宅における設計上の留意事項

注) \* は避難ビルではなく、参考例として掲載。

注)本省補助を受けた一般社団法人 建築性能基準推進協会主催により実施中

# (5)技術基準の普及 (②設計例：RC造共同住宅6階建て)

鉄筋コンクリート造の共同住宅(6階建て)について、設計用浸水深**10m**、水深係数**a=2.0**対応(静水压換算**20m**)の設計例を作成



基準階平面図

地上6階建て



立面図

# (5)技術基準の普及 (②設計例：RC造共同住宅6階建て)

## ○水平耐力確保

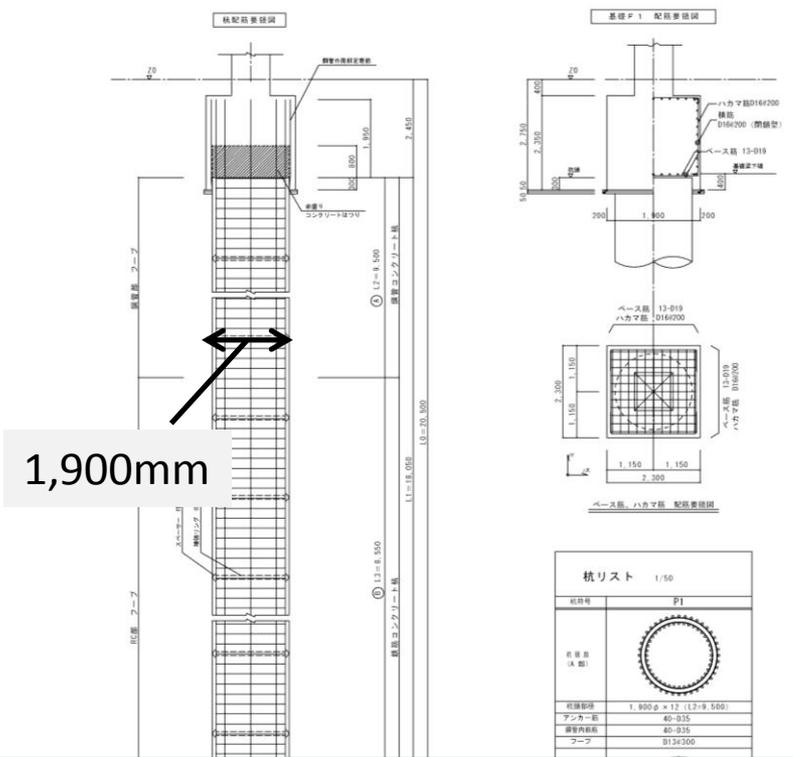
耐力壁：厚さ(1階)原設計230mm→(津波避難ビル)350mm が必要

## ○転倒耐力の確保

鋼管コンクリートくい：原設計φ1300mm→(津波避難ビル)φ1900mm が必要

耐力壁リスト S=1:30

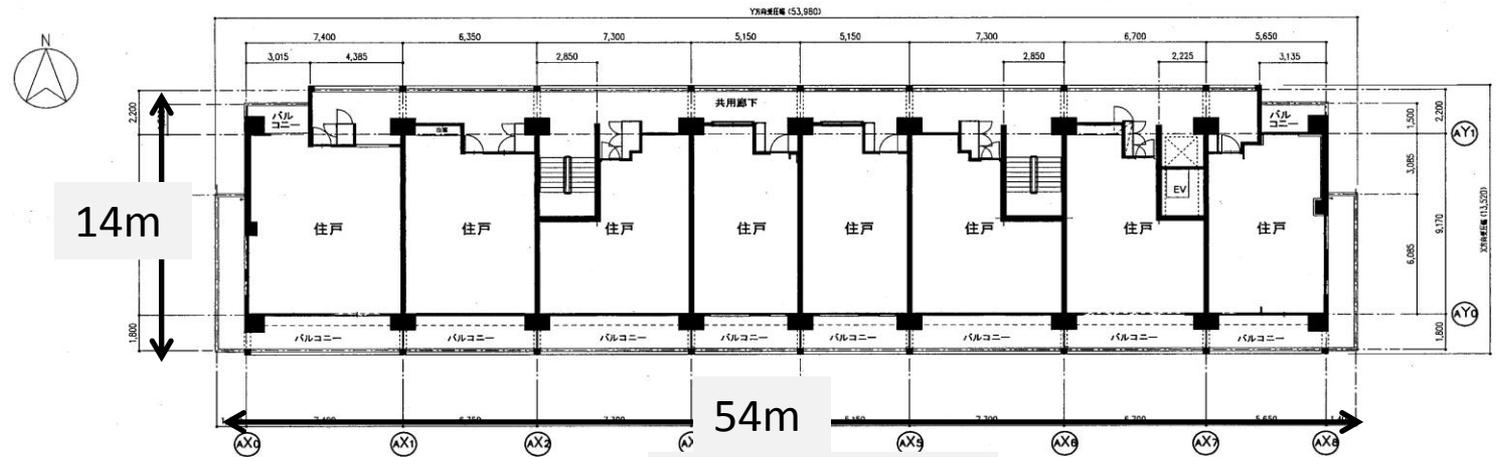
通り名	AX0, AX8	AX1～AX7
縦断面要領図		
6階	No. EW25 壁厚(t) 250 縦筋 D13@150(D) 横筋 D13@200(D) 備考	No. EW18 壁厚(t) 180 縦筋 D10@150(D) 横筋 D10@150(D) 備考
5階	No. EW25A 壁厚(t) 250 縦筋 D13@150(D) 横筋 D13@150(D) 備考	No. EW18 壁厚(t) 180 縦筋 D10@150(D) 横筋 D10@150(D) 備考
4階	No. EW30 壁厚(t) 300 縦筋 D16@150(D) 横筋 D13@200(D) 備考	No. EW20 壁厚(t) 200 縦筋 D13@200(D) 横筋 D13@200(D) 備考
3階	No. EW30A 壁厚(t) 300 縦筋 D16@150(D) 横筋 D13@150(D) 備考	No. EW20 壁厚(t) 200 縦筋 D13@200(D) 横筋 D13@200(D) 備考
2階	No. EW35 壁厚(t) 350 縦筋 D19@150(D) 横筋 D16@200(D) 備考	No. EW23 壁厚(t) 230 縦筋 D13@150(D) 横筋 D13@150(D) 備考
1階	No. EW35A 壁厚(t) 350 縦筋 D19@150(D) 横筋 D16@150(D) 備考	No. EW23 壁厚(t) 230 縦筋 D13@150(D) 横筋 D13@150(D) 備考



これらにより津波に対する耐力を確保、  
耐震設計上の必要保有水平耐力の1.6倍(X方向：はり間)  
2.4倍(Y方向：桁行き)

# (5)技術基準の普及 (③設計例：RC造共同住宅8階建て)

鉄筋コンクリート造の共同住宅(8階建て)について、設計用浸水深15m、水深係数 $a=2.0$ 対応(静水圧換算30m)の設計例作成



基準階平面図

地上8階建て



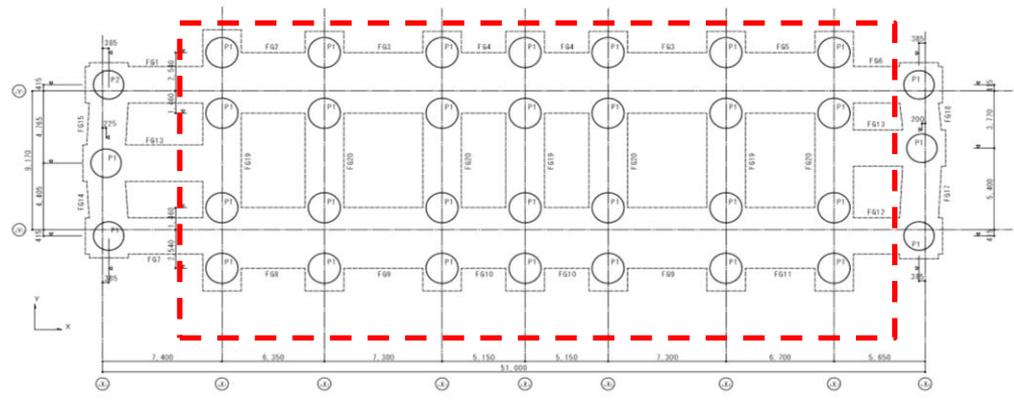
立面図

# (5)技術基準の普及 (③設計例：RC造共同住宅8階建て)

- 水平耐力確保  
耐力壁(1階)の壁厚:500mm
- 転倒耐力確保  
鋼管コンクリートかい:2本1組にして設置(原設計(\*6階建建替ビル)20本→34本)、φ2,000mm

耐力壁リスト S=1:30

通り名	AX0, AX8			AX1~AX7		
縦断面要領図						
	壁符号	壁厚(t)	配筋	壁符号	壁厚(t)	配筋
8階	EW25	250	縦筋 D13@100 (D) 横筋 D13@100 (D)	EW20	200	縦筋 D13@200 (D) 横筋 D13@200 (D)
7階	EW30	300	縦筋 D13@100 (D) 横筋 D13@100 (D)	EW20	200	縦筋 D13@200 (D) 横筋 D13@200 (D)
6階	EW30A	300	縦筋 D13D16@100 (D) 横筋 D13@100 (D)	EW25A	250	縦筋 D13@100 (D) 横筋 D13@100 (D)
5階	EW35	350	縦筋 D13D16@100 (D) 横筋 D13@100 (D)	EW25A	250	縦筋 D13@100 (D) 横筋 D13@100 (D)
4階	EW35	350	縦筋 D13D16@100 (D) 横筋 D13@100 (D)	EW35A	350	縦筋 D13@100 (D) 横筋 D13@100 (D)
3階	EW40	400	縦筋 D16@100 (D) 横筋 D13@100 (D)	EW35A	350	縦筋 D13@100 (D) 横筋 D13@100 (D)
2階	EW45	450	縦筋 D16@100 (D) 横筋 D16@100 (D)	EW45A	450	縦筋 D16@100 (D) 横筋 D16@100 (D)
1階	EW50	500	縦筋 D16D19@100 (D) 横筋 D19@100 (D)	EW50A	500	縦筋 D19@100 (D) 横筋 D19@100 (D)



かい伏図

これらにより津波に対する水平耐力を確保、  
耐震設計上の必要保有水平耐力の1.3倍(x方向:はり間)  
2.6倍(y方向:桁行き)

# 3. その他の技術基準の検討状況

- 天井落下の現地被害調査
  - 体育館等の大規模空間を主対象に実施
    - 旧耐震基準、新耐震基準ともに被害
    - 木製下地、軽量鉄骨下地、システム天井等様々な種類について確認
    - 天井自体の耐震性ととともに、構造体等からの天井への地震時の入力について検討が必要
- 被災調査を踏まえた対応
  - 建築基準整備促進事業「地震被害を踏まえた非構造部材の基準の整備に資する検討」



木製下地天井

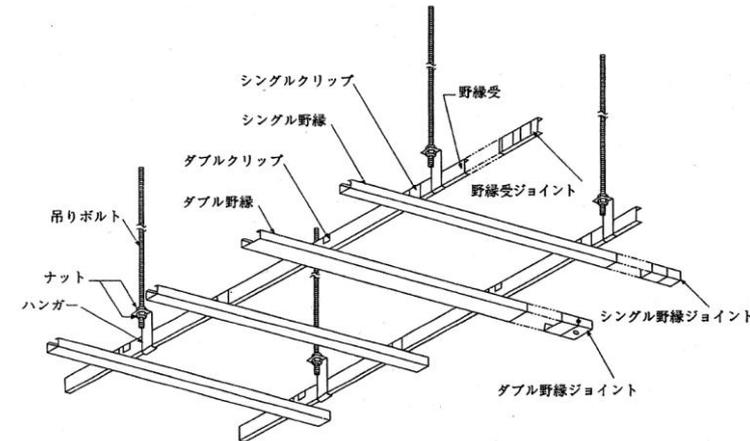


軽量鉄骨下地等



軽量鉄骨下地

- 建築基準整備促進事業「地震被害を踏まえた非構造部材の基準の整備に資する検討」
  - 天井落下被害11事例について現地調査
  - 特定行政庁、業界団体へのアンケート調査およびヒアリング調査
  - 耐震的な天井仕様について検討
  - 天井の吊り元の揺れの評価、吊り天井のモデル化・クライテリア等計算方法について検討



- 天井構成部材の仕様
- 振れ止めブレースの量
- クリアランス
- 耐震計算の前提となるG (加速度) 等の検討

(今後)技術基準原案の作成

商業施設でエスカレーター落下  
3箇所・4台

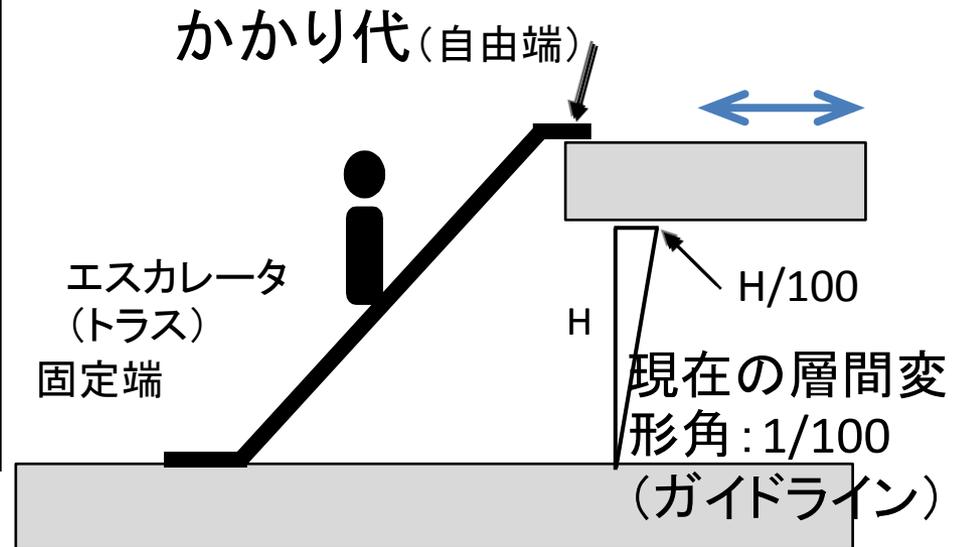


（建築基準整備促進事業）  
エスカレータの実態調査を実施  
対策を検討

- ・建物側変位量：層間変形角の分析
- ・層間変形角の必要量
- ・留め金具の設置  
ほか



（今後）技術基準案の作成



エスカレータの構造

## • 現地調査

- 利根川流域(茨城・千葉県境)、東京湾岸区域(千葉県浦安市)で実施
  - 過去の国内の地震では見られなかったような、広範囲な液状化被害
  - 道路や上下水のインフラも考慮した対策の検討が必要

## • 被災調査を踏まえた対応

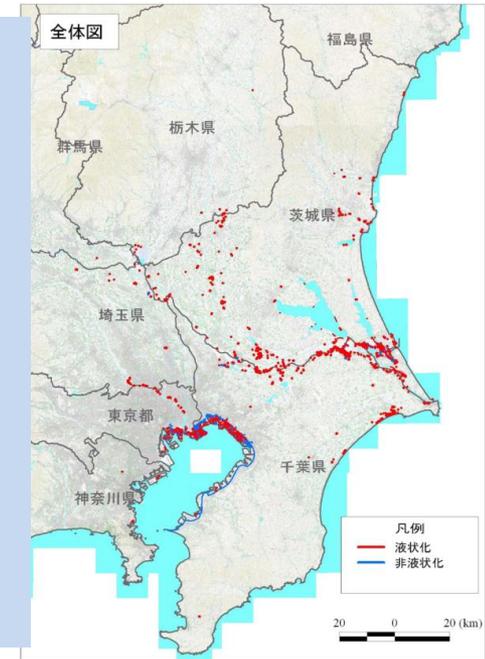
– 情報の表示に係る基準の整備に資する検討(建築研究部)

– 本省都市局と協力して「公共施設と宅地の一体的な液状化対策」の具体的方法の検討(都市研究部)



- 建築基準整備促進事業「住宅の液状化に関する情報の表示に係る基準の整備に資する検討」

- 判定手法等の比較、精度等を検討
- 表示すべき情報を分類し、表示するとした場合の問題点などを整理
- 国土交通省のほか、各種学会、地方公共団体の検討状況を整理

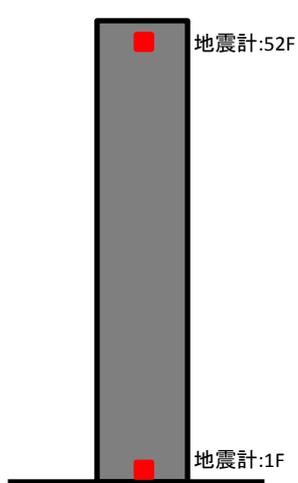


- 「公共施設と宅地の一体的な液状化対策」の検討

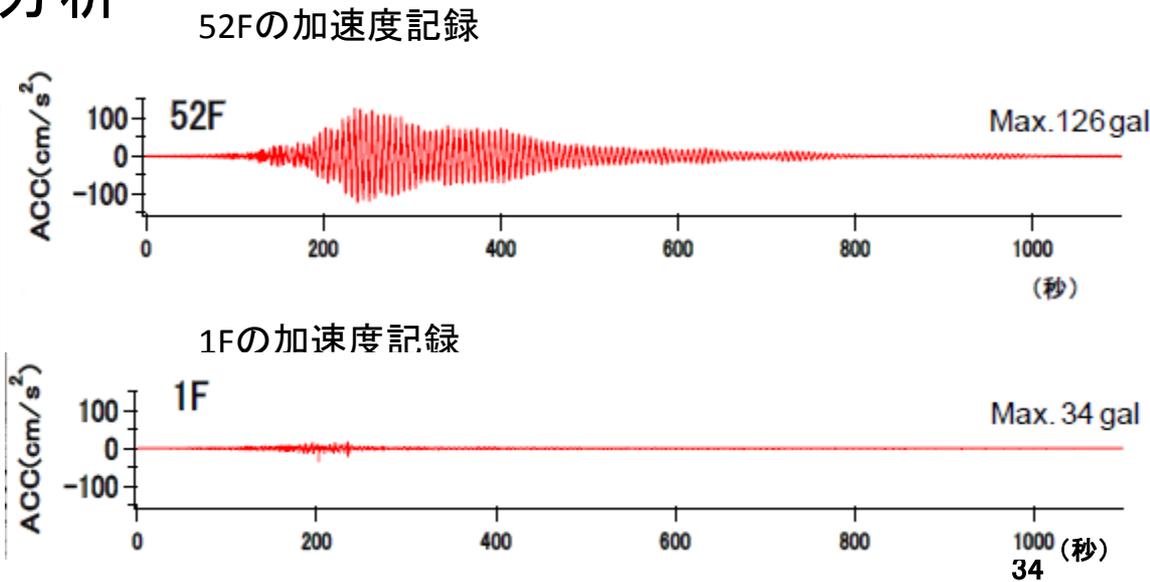
- 本省とともに、「液状化被災市街地の復旧・復興対策方針の検討ガイド」を作成中。「再液状化診断の手順」部分を被災自治体に提示(H24.3.7)
- 「道路と宅地の一体的な液状化対策」について、被災地の2地区をモデルケースに、対策法の効果を電算解析により確認中。
- 「柱状ドレーン工法」の効果確認のため、振動実験を実施中 33

# (4)長周期地震動への対応 (①観測記録の収集・分析)

- 超高層建築物の地震観測記録の収集と分析
  - 震源から約750km離れた大阪府の超高層
  - 今回の地震記録の分析を踏まえた検討が必要
- 被災調査を踏まえた対応
  - 建築基準整備促進事業「超高層建築物等への長周期地震動の影響に関する検討」
  - 長周期地震動対策検討WGを設置
  - 総プロにおいて、詳細分析



1Fの加速度記録に長周期成分が含まれていたために、52Fで地震動が大きく増幅された



## (4)長周期地震動への対応 (②検討状況)

- 建築基準整備促進事業「超高層建築物等への長周期地震動の影響に関する検討」
  - 対策試案(H22.12.21公表)による長周期地震動作成手法に対し、改良版を提案する予定
    - マグニチュードが大きくなる場合及び連動型地震への適用性
    - サイト係数等の精度向上の可能性
- 長周期地震動対策検討WGの検討
  - 上記の地震動作成手法(改良版)の技術的妥当性を検証
- 総プロ「地震動情報の高度化に対応した建築物の耐震性能評価技術の開発」(H22-25)
  - 上記調査研究も踏まえ、設計用入力地震動の設定について引き続き検討

ありがとうございました