

# 大災害後の 安全拠点ビルの技術開発

---

研究代表者 : 建築研究部長 向井昭義  
研究期間 : 平成25年度～平成28年度

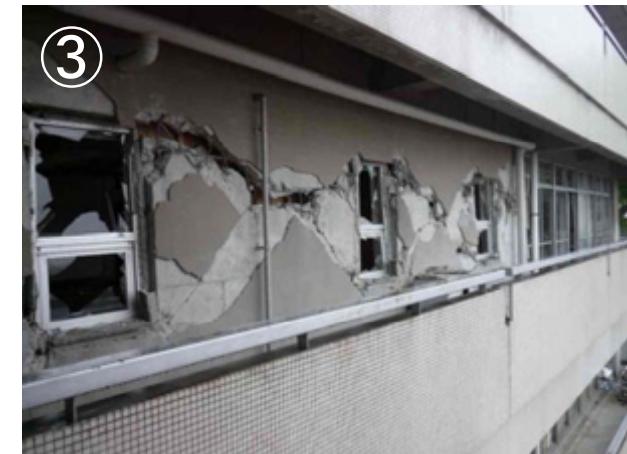


Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

# 背景・課題 東日本大震災

■ 2011年3月11日に発生した東日本大震災において、以下に示す建築物の被害形態が顕在化

- ① 津波による構造被害
- ② 非構造部材損傷による機能喪失
- ③ 防災拠点となるべき庁舎の被害



これにより…

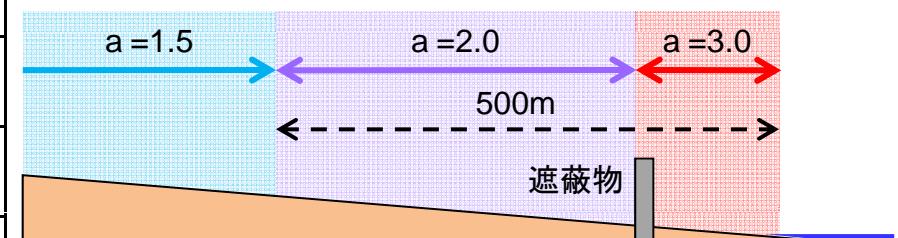
建築基準法では対象としてこなかった外力に対する性能評価  
手法や災害後の建築物機能を確保するための研究が必要

# 背景・課題 国土交通省

## ■ 「津波避難ビル等に係るガイドライン」

- ▶ 震災復旧への対応のため、被害調査をもとに設計用津波外力（一律浸水深の3.0倍( $a=3.0$ )の静水圧）について緊急の見直しを実施
- ▶ 大規模実験等が必要な高度な設計技術を用いた場合についての評価法は未着手  
(建築物形状や外装材の脱落性の評価、複数建築物による軽減効果等)

	a
① :②、③に該当しない場合	3.0
② :堤防や前面の建築物等による軽減効果が期待できる場合	2.0
②' :②のうち、海岸等からの距離が離れている場合	1.5
③ :特別な調査研究に基づく場合	1.5



津波避難ビルは避難スペースの安全性確保を主眼としており、建築物の機能維持は求めていない

# 被災した津波避難ビルの例

## ■ 岩手県南三陸町 県立志津川病院の事例

- ▶ 病院関係者・患者・近隣住民106人が屋上に避難  
建築物として継続使用が困難なことから2012年6月に解体

<被災後外観>



避難スペースとして機能するものの  
災害復旧拠点としての機能は喪失

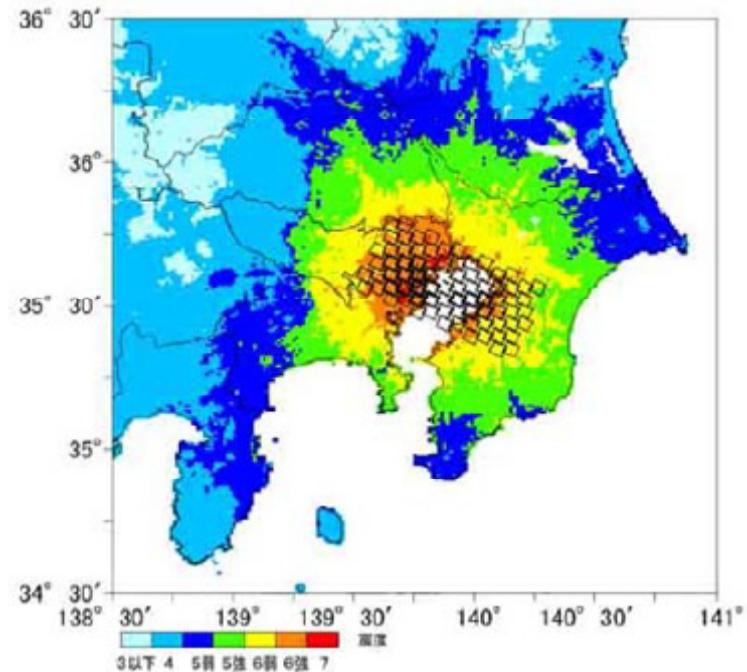
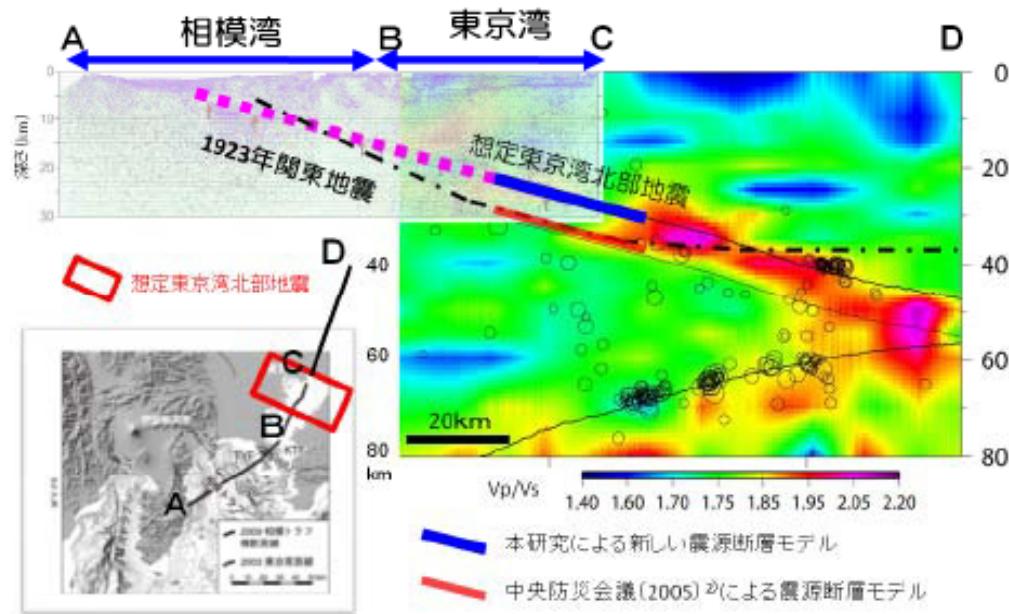
<被災後室内>



# 背景・課題 文部科学省

## ■ 「首都直下防災・減災特別プロジェクト」(平成19~23年)

- ▶ 「フィリピン海プレートの上部境界は東京湾北部の下であり、地表の揺れは従来の想定(M7.3、中央防災会議)よりも大きくなる」
- ⇒「1.1万人が死亡、112兆円におよぶ経済損失が発生する」



出典:文科省委託研究  
首都直下地震防災・減災特別プロジェクト<sup>5</sup>  
総括成果報告書

## 背景・課題 民間建設企業

### ■ 事業継続性に対する取り組み

#### ▶ 「震災時避難を想定した建築設計の提案」

- 新構造の津波避難ビル  
(損傷外周柱／コア壁／耐圧盤基礎)
- BCP(事業継続計画)建築ニーズの高まり  
(プール貯水／マンホールトイレ／自家発電等)

#### ▶ 「震災後機能維持を目的とした設計の提案」

- 地震感知制御制震装置  
(免震建築物を油圧加力装置により制御)

しかし…

(1)どのような外力を想定し、(2)どの程度機能維持に貢献しうるか  
ユーザー(施主)の判断が困難

国には継続使用性能の評価のための判断基準が望まれている

## ■ 「東日本大震災からの復興の基本方針」

### 5 復興施策

#### (4) 大震災の教訓を踏まえた国づくり

##### ⑤ 今後の災害への備え

- ▶ 「最大規模の外力に対するリスク評価、防災拠点(災害に強い施設)・情報伝達体制・警戒避難体制の整備、社会基盤の防災対策の強化とルートの多重化、必要な技術開発、災害に強い供給網の構築、企業の事業継続の取組みの促進等を行う」
- ▶ 「地震発生時の人的・経済的被害の軽減を図るため、住宅・建築物の耐震化・省エネ化を推進するとともに、耐震性向上に関する研究開発を推進する。あわせて災害時に道路網を有効活用し円滑な輸送に資するための情報化等のソフト施策を推進する」

# 技術開発の必要性 日本建築学会

## ■ 東日本大震災 第1次提言

### ▶ 「建築の原点に立ち返る -暮らしの場の再生と革新-」

(平成23年、本研究に特に深く関連する箇所を抜粋)

- 「日本建築学会の構造設計に関する従来の規準体系は不十分」
- 「巨大な地震・津波・竜巻・衝突・爆発等の自然・人為的極端現象に対して、設計上考慮すべき荷重・外力を発生頻度に応じて調節し、それを超える場合に何が起こるかを評価の対象としない今までの規準体系を再考する」
- 「設備機器も建物機能の維持という観点で課題を残した」
- 「構造・非構造部材・ライフライン設備を含めた総合的な耐震性能評価法と実効性の高い耐震性能向上技術の開発を目指すことが必要」

# 安全拠点ビルの要求性能

## ■ 安全拠点ビル

- ▶ 大災害後も機能が維持され、復旧・BCP拠点として機能する建物
- ▶ 構造躯体・内部空間・設備・避難について以下のようないくつかの課題がある
- ▶ 本研究開発はこれまで研究開発されていない分野について行い、既往の研究成果を活用する事項についても必要に応じ追加研究を行う

### ①構造躯体の安全性

津波に対する弾性設計を可能とするために波力を低減  
(建築物形状・外装材・街区・地下階の活用)

### ②建築物内部空間の健全性(使用安全性確認装置の開発)

天井材落下を防止し活動を維持 (非共振天井材の開発)  
高層ビルの上下動線を確保 (高性能エレベータの開発)  
内壁被害を防止し水平動線を確保 (高性能制振設計の開発)

### ③設備機能の維持

必要な設備機能維持方策については過去に検討例がありこれらを活用

### ④避難安全性

外部からの津波避難については既往の避難ビル基準を活用

# 本研究開発の位置づけ

## 設計の理想

構造・非構造部材を含めた  
建築物の継続使用性能評価

理論的

建築物の損傷量と  
修復性能(コスト)評価

悉皆的

民間開発技術の  
個別性能試験の集約

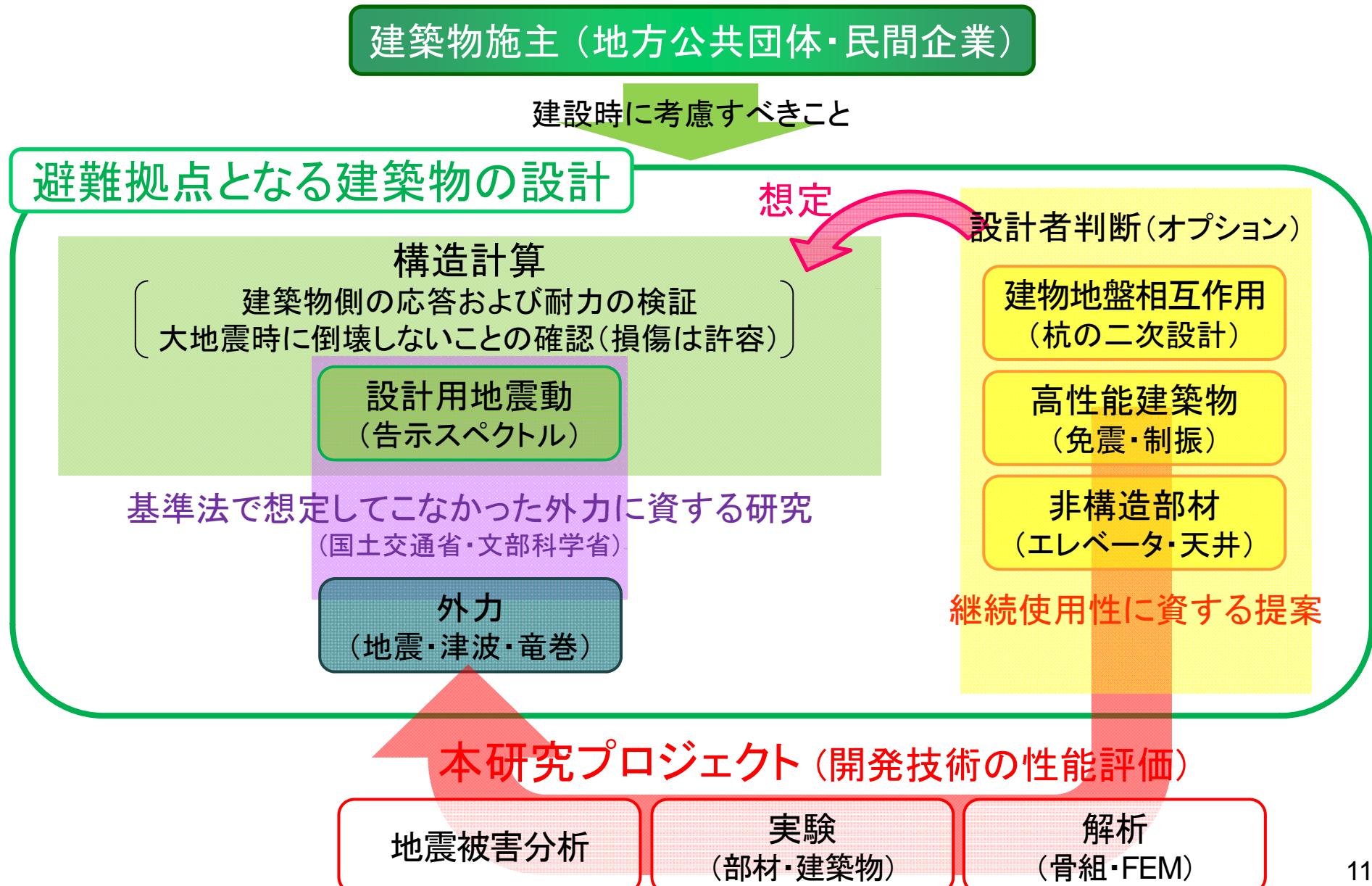
実用的

官学民分野横断的プロジェクト研究  
高度な設計ガイドラインによる  
建築計画単位での性能評価

## 設計の実態

- ・構造部材と非構造部材設計が完全に分業化
- ・非構造部材は伝達応力に対する個材の設計
- ・建築計画や応答等に対する設計配慮の欠如

# 本研究開発の位置づけ



## 研究概要および目的

- 地震動のみならず津波や竜巻を含めた災害発生後も、直後から避難指示・応急復旧等の指示拠点となり得るよう機能が維持できる安全拠点ビルの技術開発
  - 今後想定される東海・東南海地震や首都直下地震に対して、建築物が防災拠点としての機能を維持するために配慮すべき設計技術水準を提案
  - 技術開発項目は主に、
    - ▶ 津波や竜巻外力を想定した技術開発  
(**津波防災新技術、津波減災計画、竜巻防災評価法**)
    - ▶ 地震動外力を想定した技術開発  
(**高性能非構造部材、継続使用性の確保**)
- に分類

# 各開発課題の分類

## 1)津波・竜巻対策技術

### 津波防災新技術

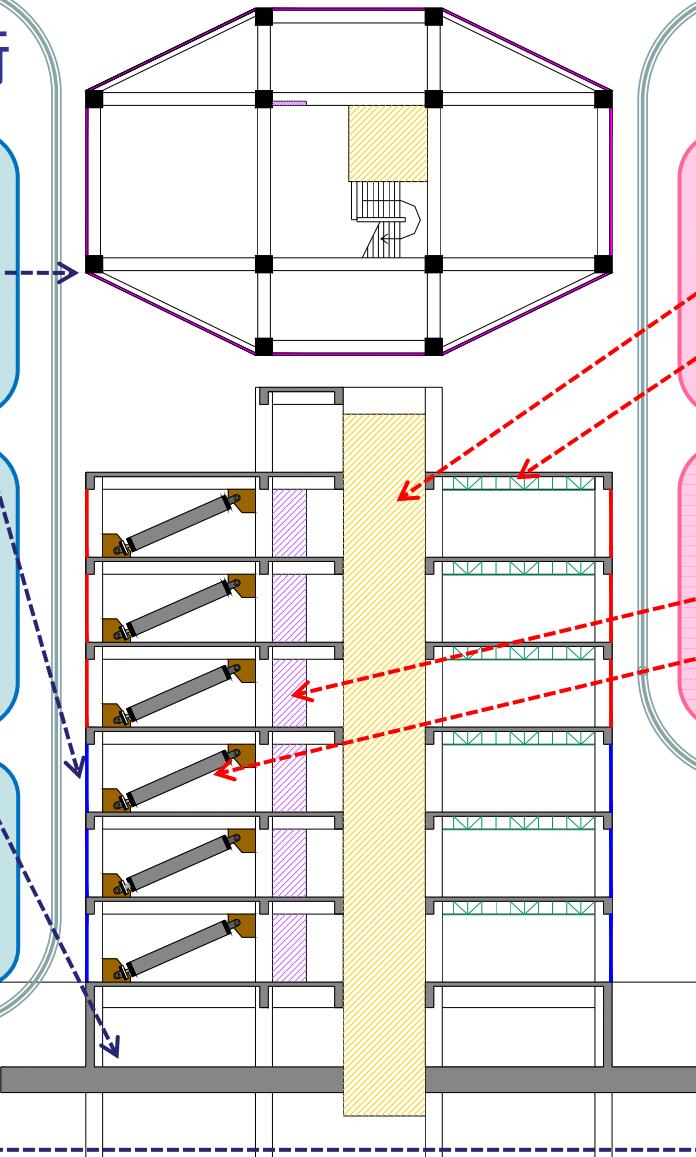
- ①低抗力津波避難ビル
- ②脱落保証型外装材

### 津波減災計画

- ③防災拠点防護街区
- ④津波地下避難階

### 竜巻防災評価法

- ⑤飛来物対策評価法



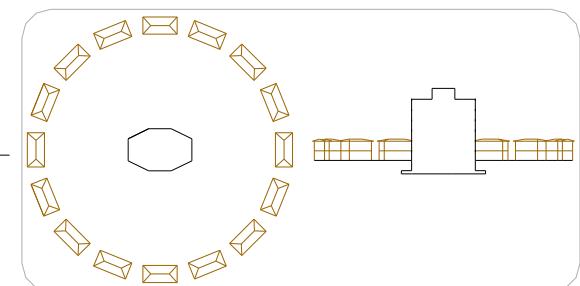
## 2)地震対策技術

### 高性能非構造部材

- ①高性能エレベータ
- ②非共振天井材

### 継続使用性の確保

- ③使用安全性確認装置
- ④高性能制振設計



<安全拠点ビルイメージ>

<街区イメージ>

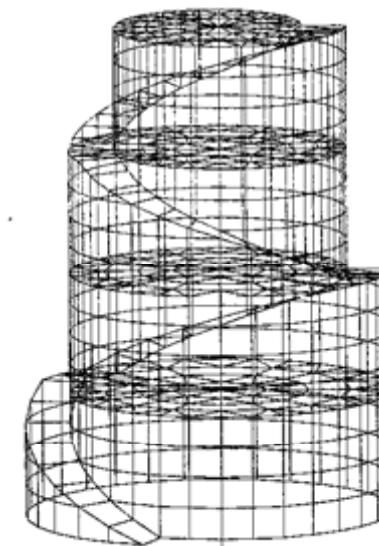
# 開発課題 1) - ①

## ■ 低抗力津波避難ビルの開発

- ▶ 流体中の建築物に作用する力(抗力)は建築物の形状により変化するが、津波避難ビル等に係るガイドラインではその影響は無視
- ▶ 楕円形や流線型等の平面形状を有する建築物に作用する津波荷重軽減効果を水理実験により検証
- ▶ 理論上の抗力係数ではなく、津波の衝撃波力を考慮した建築物に対する設計用津波荷重を提案

三次元形状	$C_d$	三次元形状	$C_d$
球体	0.47	(常流中の抗力係数を含む) 円柱体	1.17
半球体	0.38	平円柱体 (常流中の抗力係数を含む)	1.16
楕円体	0.59	長軸円柱体	1.60
立方体	0.80	角柱体	1.55
垂直プレート	1.17	二次元平図	1.98
半球盤	1.17	三角柱体 (常流中の抗力係数を含む)	2.00
立方体	1.05		2.05

出典:理工図書 水理学



螺旋形状の避難ビル設計

## 開発課題 1) - ②

### ■ 脱落保証型外装材の開発

- ▶ 鉄骨造建築物では、津波により大部分の外装材が脱落しているが流失・転倒した建築物の中には外装材が残存した例も確認
- ▶ 津波避難ビル等に係るガイドラインでは、鉄骨造建築物の外装材の脱落を保証できず、受圧面の波力は骨組に伝達
- ▶ 津波により全面的に脱落する外装材仕様および取り付け方法を開発し、鉄骨造建築物の設計用津波荷重を低減



津波による外装材の流失  
(岩手県陸前高田市)



外装材が流失せず転倒した事例  
(宮城県女川町)

## 開発課題 1) -③

### ■ 避難拠点防護街区の開発

- ▶ 建築物に作用する津波荷重は周辺建築物(遮蔽効果)の影響を大きく受けており、津波避難ビル等に係るガイドラインでも影響を考慮
- ▶ 避難拠点に作用する津波作用荷重を低減させるための街区形状を提案し、水理実験等によりその効果を検証
- ▶ 防護街区計画を実施／未実施の場合について(1)津波作用荷重、(2)避難安全性、(3)早期災害復旧等の観点から比較



周辺建築物の遮蔽効果により  
残存した建築物  
(国土地理院提供 宮城県名取市)



釜石市部分模型水理実験  
(航空港湾技術研究所)

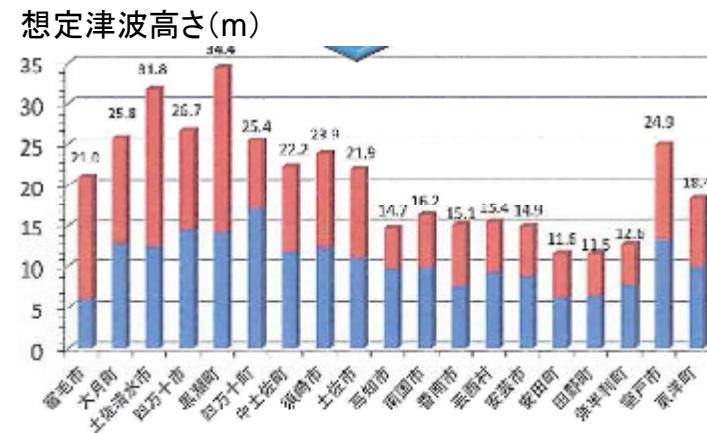
## 開発課題 1) -④

### ■ 津波地下避難階の開発

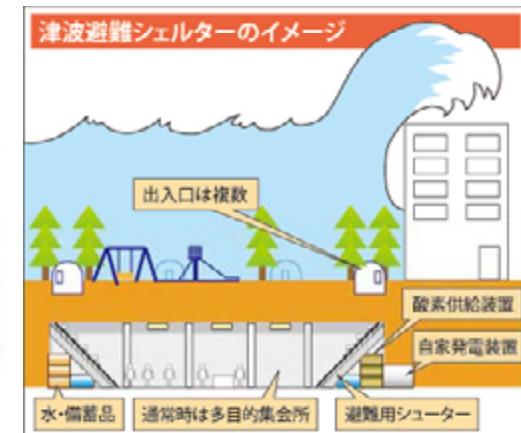
- ▶ 津波が建築物内部に浸水しうる場合は、屋上避難可能な建築物であっても瓦礫・漂流物等により継続使用性を確保することは困難
- ▶ 高知県では南海地震想定を見直し、一部地域において浸水深が30mを超えるため地下への避難方法の検討を実施
- ▶ 地下階を復旧拠点の観点から津波に対する完全防水階として、避難経路や救出方法の観点で避難階として設計する可能性を検討



津波により機能を喪失した庁舎  
(岩手県陸前高田市)



想定津波高さと避難シェルター(高知県)



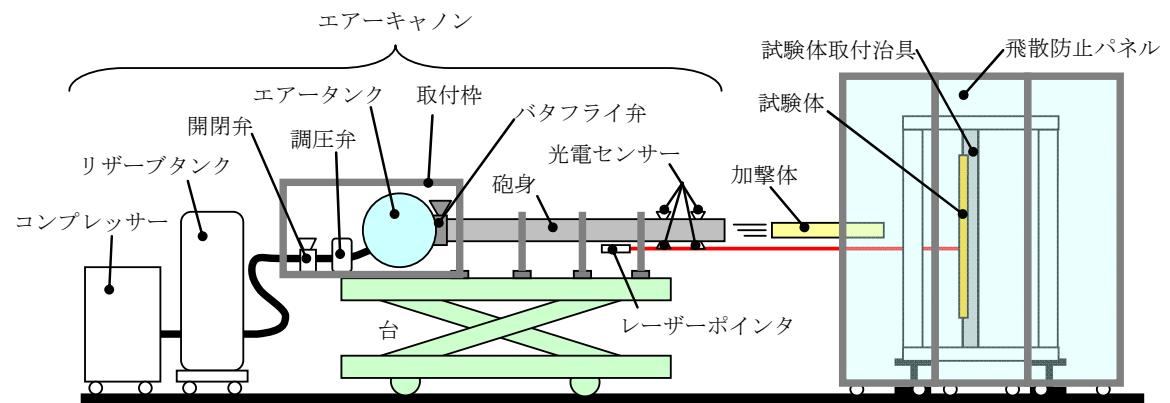
## 開発課題 1) -⑤

### ■ 飛来物対策評価方法の開発

- ▶ 2012年5月6日につくば市で発生した竜巻により、建築物非構造部材に脱落や破損などの被害を確認
- ▶ 飛散防止窓ガラス等の耐風外装材について外装材衝撃試験装置を用いた実験を行い、室内安全性の評価方法を開発



RC造建築物の非構造材被害  
(茨城県つくば市)

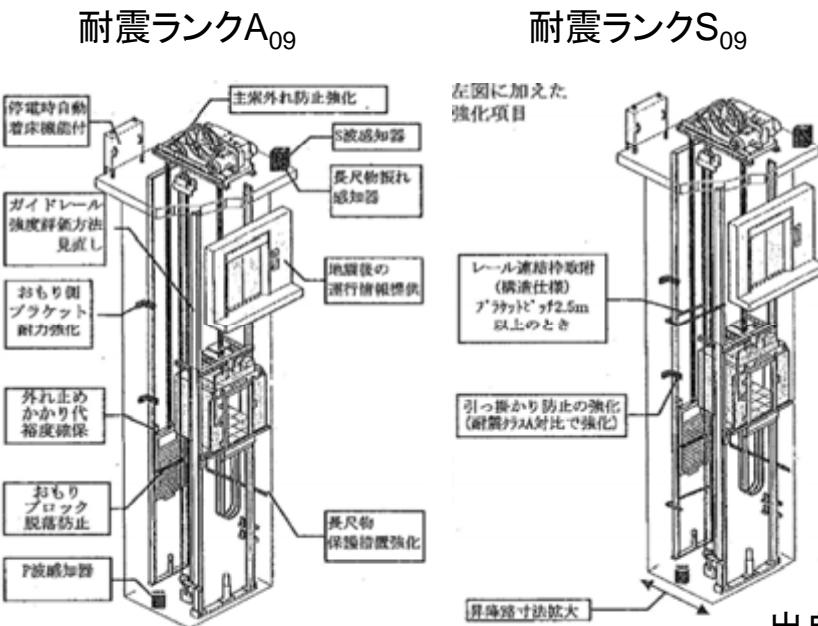


外装材衝撃試験装置

## 開発課題 2) - ①

### ■ 高性能エレベータの開発

- ▶ 従来の設計規準では、エレベータ取付部材(ガイドレール等)のみ  
昇降機耐震設計・施工指針(2009)により耐震ランク( $A_{09} \cdot S_{09}$ )が制定
- ▶ 建築物の損傷や応答特性等を総合的に勘案した設計体系を構築
- ▶ 周辺の非構造壁も含めて架構実験により検証し、従来型エレベータより(1)作動限界変形性能、(2)避難限界変形性能の向上を図る



出典:昇降機耐震設計・施工指針

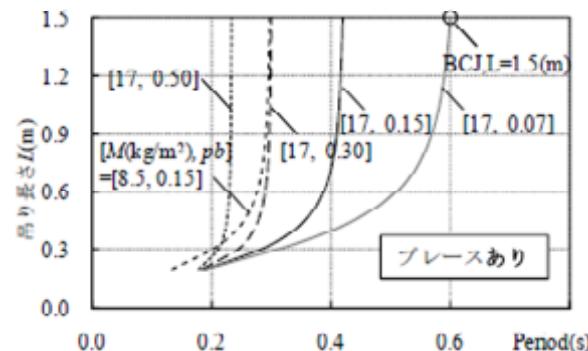
## 開発課題 2) - ②

### ■ 非共振天井材の開発

- ▶ 東日本大震災では、新耐震建築物においても大規模な天井脱落を伴い建築物機能を喪失した事例を確認
- ▶ 在来工法の剛性強化では、部分的な脱落まで制御することは困難
- ▶ 吊り天井について共振そのものを制御する手法について震動台実験で性能を検証した上で評価法を開発



新耐震建築物の天井被害事例  
(茨城県小美玉市(茨城空港))



天井材の固有周期

## 開発課題 2) -③

### ■ 使用安全性簡易確認装置の開発

- ▶ 震災時に専門家が使用安全性について判断するまで時間がかかるため、防災拠点ではユーザーにより判断されることが望ましい
- ▶ 免震建築物では、署書きにより免震層の層間残留変位を計測
- ▶ 耐震スリット(構造躯体と非構造壁の切り離し部分)を利用して最大変形を計測し、建築物の使用安全性を確認する装置を開発し、装置仕様や面外安定性状について検討



RC造建築物の非構造壁損傷  
(福島県郡山市)



免震層の署書き

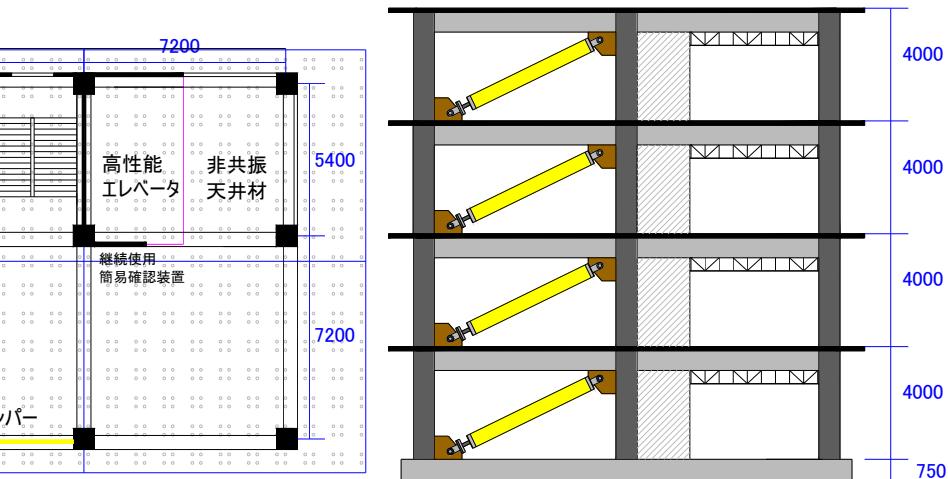
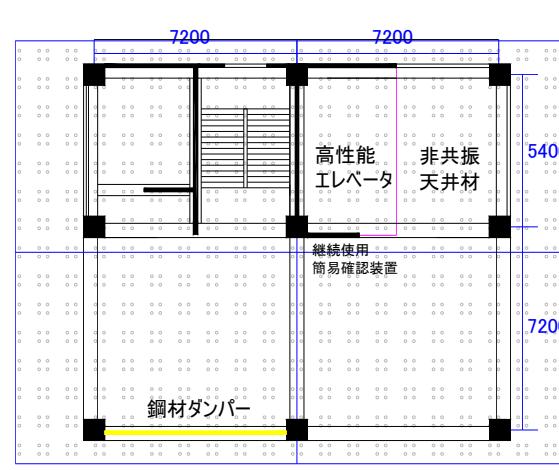
## 開発課題 2) - ④

### ■ 高性能制振設計法の開発

- ▶ 従来の制振設計法では、鉄筋コンクリート造建築物の設計者が設計用地震動に対して試行錯誤的に材料パラメータを設定
- ▶ 設計用地震動だけでなく、長周期地震動や短周期地震動に対しても安定した挙動を示す安全性の高い制振設計法を提案
- ▶ 大型震動台実験施設において建築物の震動台実験を実施し、保有性能を検証する（エレベータ、天井、使用安全性確認装置も含む）



制振補強したにも関わらず被災した建築物  
(宮城県仙台市)



非構造部材の損傷制御に関する震動台実験(案)

# 防災拠点設計ガイドライン(案)

**1.** 防災拠点に想定する設計用外力(地震動・津波・竜巻)  
(従来の設計ガイドライン類から広く引用)

**2.** 津波・竜巻後の継続使用  
に資する設計要求項目

- (1) 残留変位の防止  
建築平面計画  
外装材脱落性能評価
- (2) 活動場所の確保  
大型漂流物対策計画  
(完全防水階の設置)  
耐飛来物外装材性能評価

**3.** 地震後の継続使用  
に資する設計要求項目

- (1) 活動導線の確保  
高性能制振設計計画  
エレベータ性能評価
- (2) 活動場所の確保  
天井性能評価  
安全性確認装置の設置

**4.** 防災拠点に要求する設備配管設計  
(既往の研究成果(建築基準整備促進事業成果等)から引用)

# 研究開発のタイムスケジュール

研究開発項目	25年度	26年度	27年度	28年度
1)津波や竜巻外力を想定した技術開発				
①低抵抗力避難ビル			■	▲
②脱落保証型外装材	■	▲		
③避難拠点防護街区			■	▲
④津波地下避難階	■			
⑤飛来物対策評価法	■	▲		
2)地震動外力を想定した技術開発				
①高性能エレベータ	■	▲		
②非共振天井材	■	▲		
③使用安全性簡易確認装置	■		■	
④高性能制振設計法	■		■	▲
3)設計ガイドライン作成WG	■		■	

▲ : 実験

# 技術開発の成果と活用方針

- 防災拠点設計において建築基準法では対象としてこなかった外力と災害後の建築物機能を確保するため施主(地方公共団体や民間企業)が選択する設計技術の関係の明確化
- 技術開発された成果は以下に反映
  - ▶ 地方公共団体等の公的施設および民間を含む拠点施設の災害後の継続使用性を評価する防災拠点設計ガイドラインの策定
  - ▶ 耐津波対策技術においては、津波防災まちづくり法に基づく避難施設に関する技術基準に反映
  - ▶ 官庁施設の設計基準類(例えば“官庁耐震施設の総合耐震計画基準及び同解説”等)に反映を検討