

# 災害拠点建築物の機能継続技術の開発

研究代表者：国土技術政策総合研究所  
建築研究部

研究期間：平成25年度～平成28年度

研究費総額：約503百万円(予定)

# 1. 背景

- 建築基準法は、大地震等に対する安全確保（倒壊等防止）を規定
- 2011年3月11日に発生した東日本大震災や近年の竜巻において、以下に示す建築物の被害形態が顕在化
  - ① 地震による防災拠点となるべき庁舎の被害
  - ② 地震による非構造部材損傷による機能喪失
  - ③ 津波による構造被害
  - ④ 竜巻による非構造部材の被害



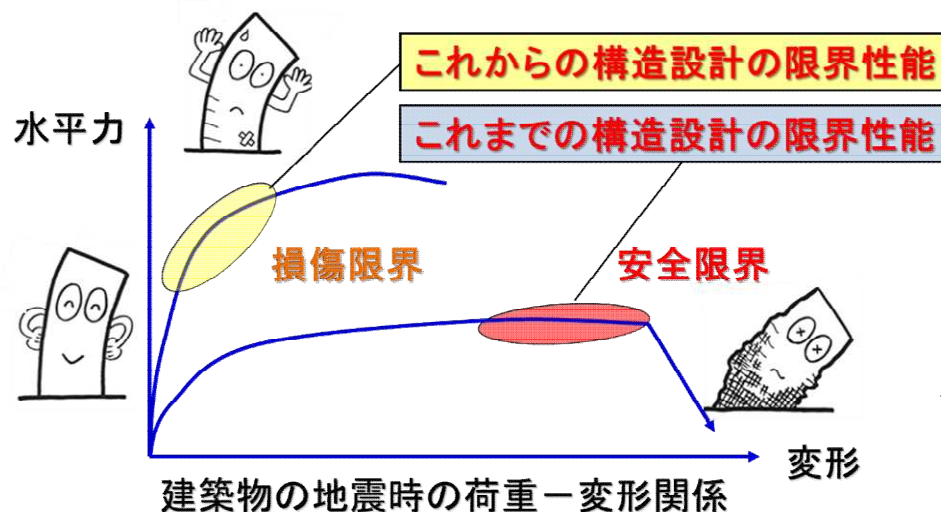
これにより...

居住や活動の場である建築物が（倒壊は防止されても）損傷を受けて機能が失われ、**生活や事業が継続困難に**

## 2. 目指すべき社会目標

### これからの構造設計に求められるもの

- ・ 建築物の災害後の**機能継続性能**を如何に**確保**するか
- ・ 災害により低下した**機能**を如何に迅速に**回復**させるか



建築物の機能継続性能の考え方の例

従来は想定していなかった規模や種類の荷重・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

## 4. 研究の全体構成

自然災害の荷重・外力(地震・津波・強風等)に対して、災害対策拠点となる建築物に求められる性能を考慮し、主に以下のような課題を抽出した。

- 地震については、**極稀地震**に対しても、骨組みの変形を抑えるため、袖壁等を利用した損傷制御設計法を検討するとともに、天井等の非構造部材が損傷しないための工法を検討する。
- 津波については、浸水深10m程度の**レベル2津波**に対しても、浸水部分の外壁等については脱落を許容しても骨組みが耐えられるよう、低抗力津波避難ビルの設計法を検討するとともに、津波に伴う漂流物からの防護対策についても検討する。
- 強風については、**極稀台風**や**F3竜巻**に伴う**飛来物**の衝撃に対しても、骨組みや外壁が損傷しないための設計法を検討する。
- これらの自然災害による**ライフラインの途絶**に対し、災害拠点建築物の機能継続上重要な設備の機能を維持するためのシステムについて検討する。

# 4. 研究の全体構成

## 1) 地震対策技術

- ① 高耐震吊り天井工法
- ② 壁を活用した損傷制御設計

## 2) 津波対策技術

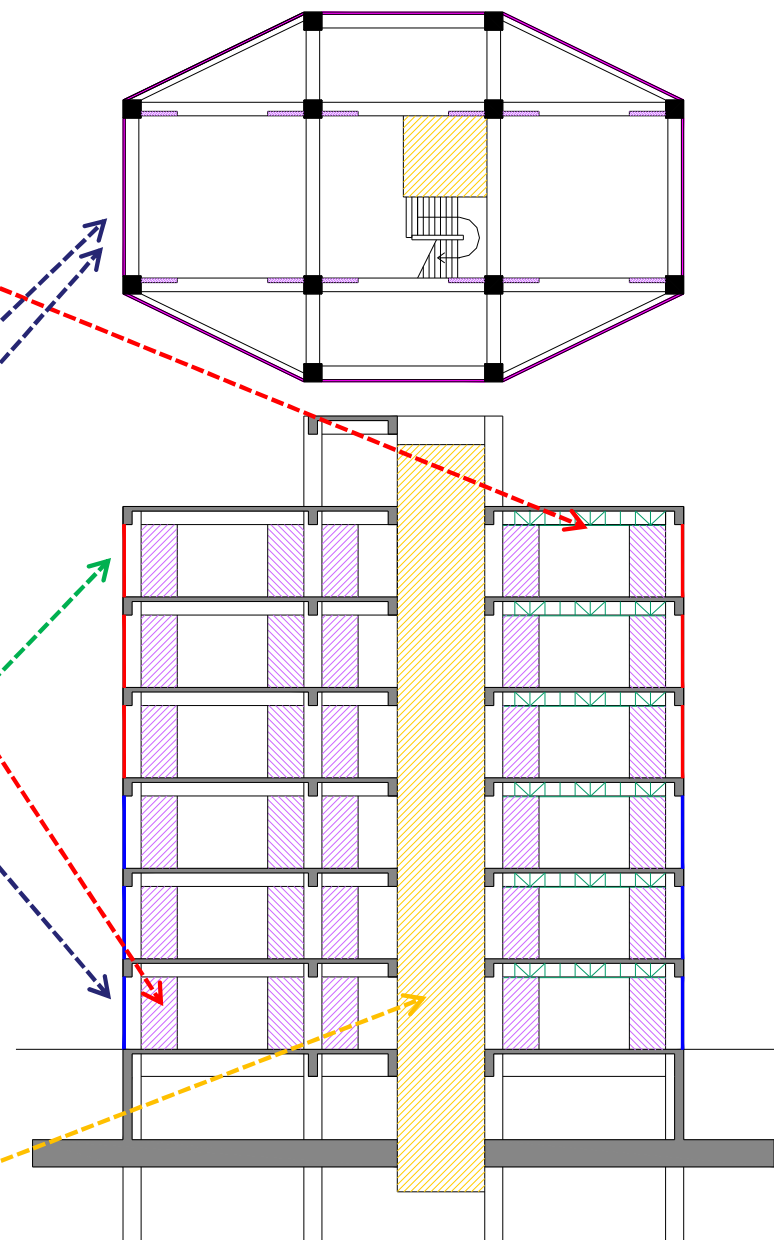
- ③ 外壁材脱落を考慮した耐津波設計
- ④ 低抗力津波避難ビル
- ⑤ 津波漂流物の防護対策

## 3) 竜巻対策技術

- ⑥ 竜巻飛来物対策評価法

## 4) 災害後の維持管理技術

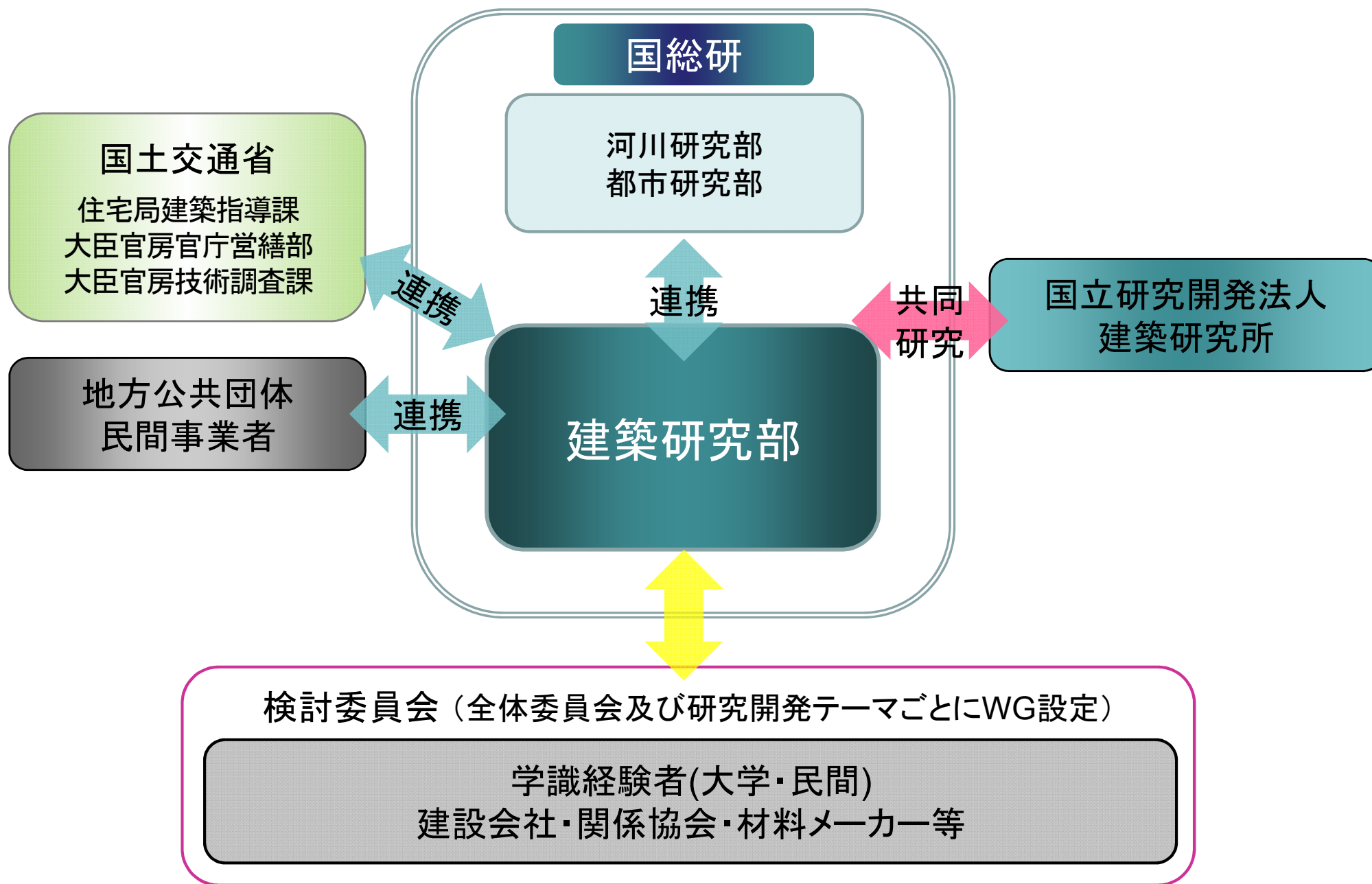
- ⑦ 災害拠点設備システム



<災害拠点建築物のイメージ>



# 5. 技術研究開発の体制



# 6. 技術研究開発の計画及び研究概要

【目的】地震・津波・竜巻の災害後も直後から避難指示・応急復旧等の防災拠点となる災害拠点建築物の設計に資する技術開発を行う。

→ 首都直下地震、南海トラフ地震等の被害軽減・迅速な復旧

災害拠点建築物の機能継続技術の開発検討委員会

災害後の建築物機能を確保するための技術開発

損傷制御設計法WG

非共振天井材WG

設備システムWG

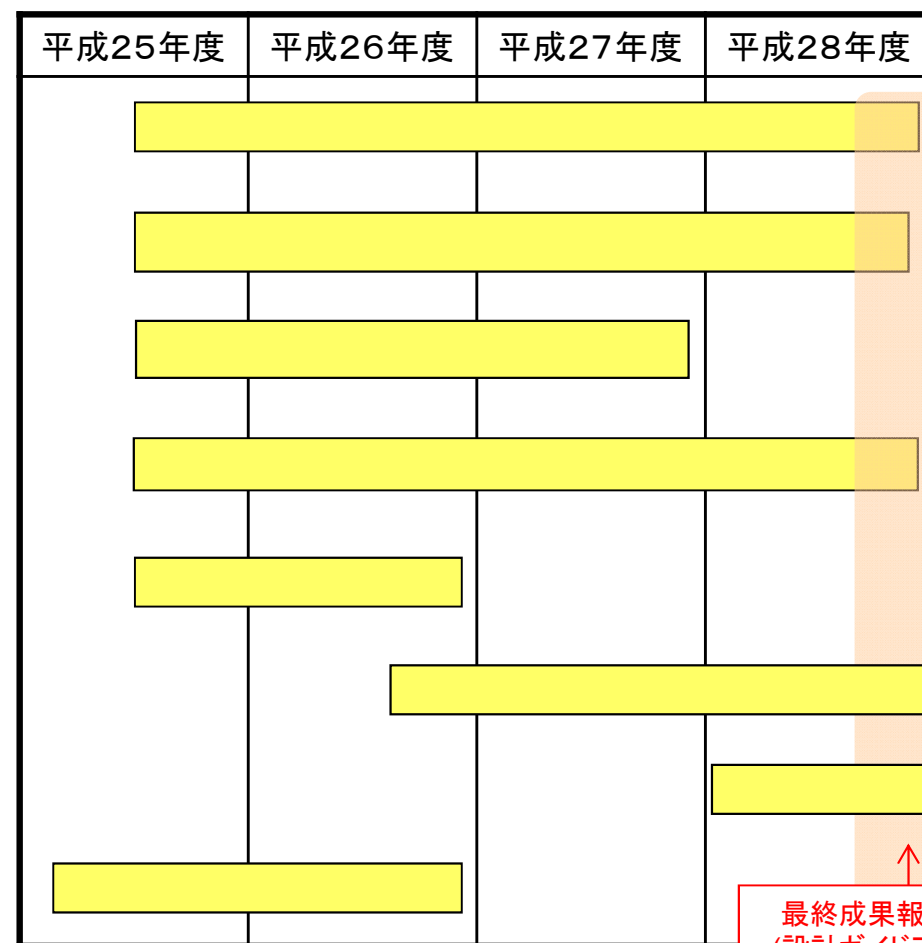
津波や竜巻外力を想定した技術開発

外壁材脱落を考慮した設計法WG

低抗力津波避難ビルWG

漂流物対策技術調査WG

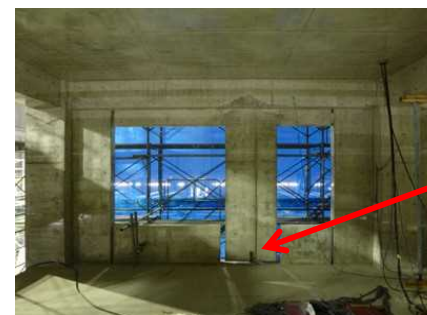
飛来物対策評価法WG



最終成果報告書  
(設計ガイドライン)  
のとりまとめ、公表

# (1) 壁を活用した損傷制御設計法の開発

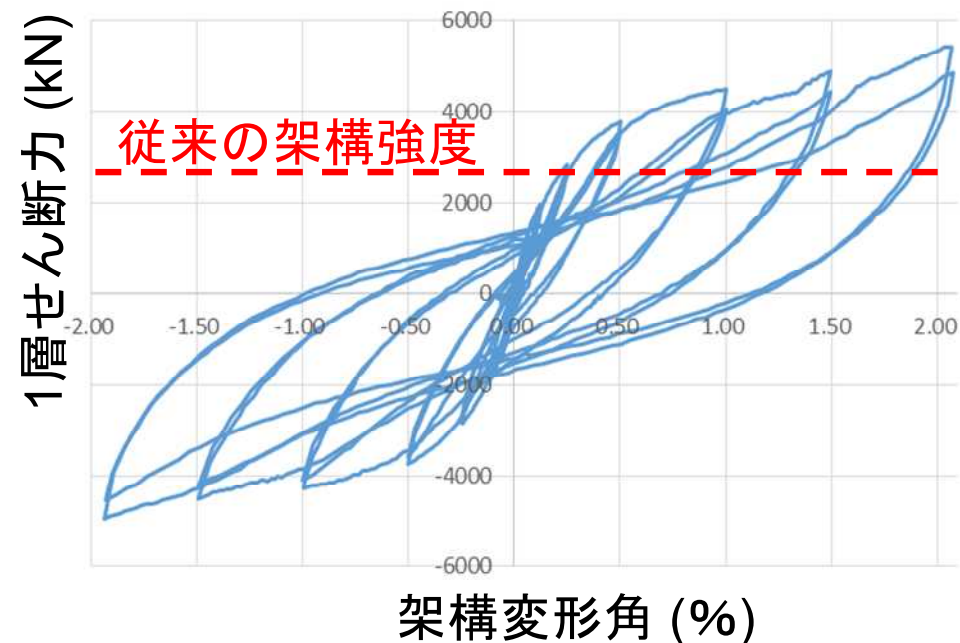
- 従来の構造設計では、そで壁などの性能評価は複雑で取り込まれてこなかった。そのため構造骨組みに悪影響を与えないようにスリットを入れて縁を切っていた。
  - 近年の国土交通省 建築基準整備促進事業により、壁つき部材のモデル化・評価方法について基準が整備された。(2015年度版構造関係技術基準解説書に反映)
  - 壁つき部材を含む鉄筋コンクリート造架構の靱性型設計法ひび割れ性状、非構造材を含めた継続使用性についてはほとんど検証されていない。
  - 地震後の建築物の使用安全性を簡易に確認できる手法が必要。
- ➔ **実大建築物**の載荷実験により壁つき架構の構造性能を検証する。簡易に使用安全性を記録できる装置を開発する。





# (1) 壁を活用した損傷制御設計法の開発

- 所で壁を活用したRC造5層建築物の実験を行った。提案方法により、大地震時の損傷・修復作業が軽減することを示した
- 建築物を大地震時の損傷を小破に留めるには、層間変形角0.50%時にせん断力係数が0.40以上を確認する必要がある
- 非構造部材は小破以降で使用不能となった。簡易な装置により、地震後の継続使用の可否は判断しうる。



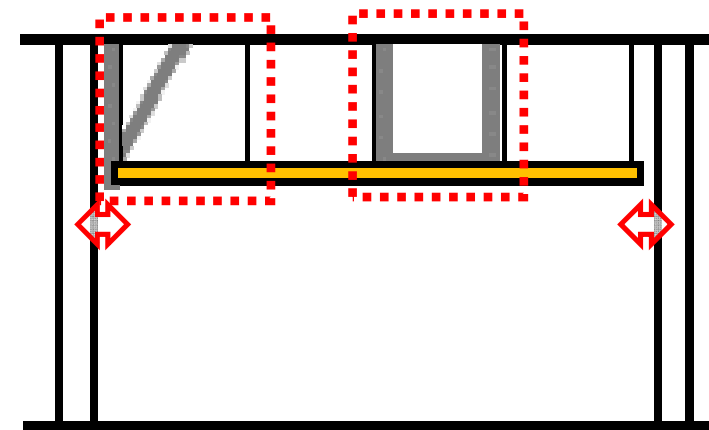
- 壁を切り離した架構の計算強度を大きく上回る (約1.5倍)
- 急激な変形・損傷の進行(強度の低下)は見られない



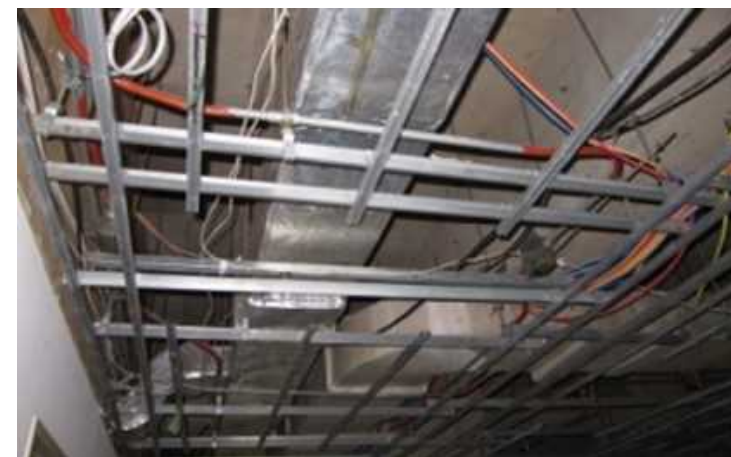
所で壁を活用した損傷制御設計法の提案  
 大地震後に大規模な補修をすることなく継続使用可能な架構の提案

## (2) 高耐震吊り天井の開発

- 地震時に天井に生じる慣性力を、天井裏の**水平力抵抗部材**で受けて構造体等に伝達。
- **中地震**から**大地震程度**に対して「天井面の形状及び非共振状態を維持できる」ことを目標とする。
- 天井周囲に生じる隙間は現告示**60mm以内**より小さくすることを想定。
- 天井裏の部材は減らし、天井裏の利用(配管など)の**自由度を高く**する。



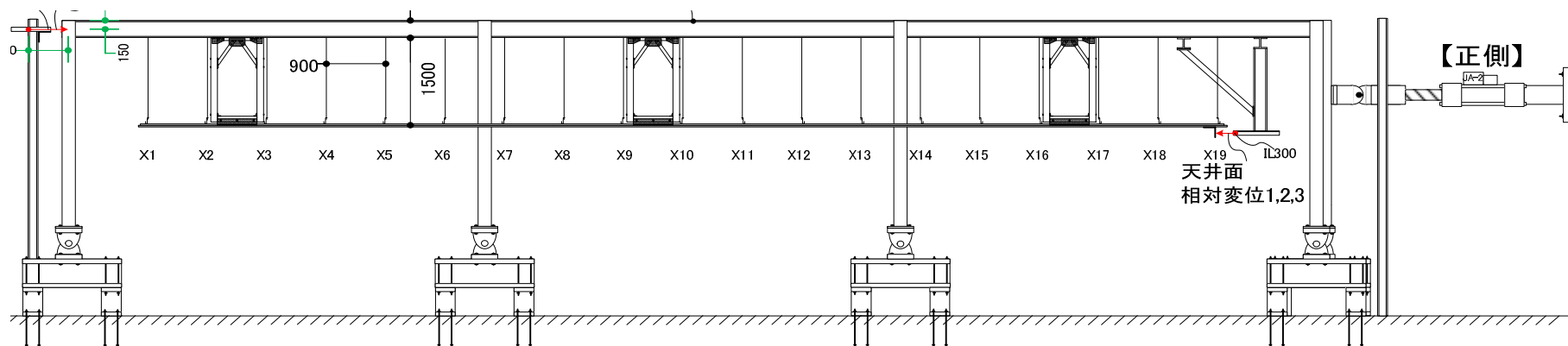
「高耐震吊り天井」のイメージ



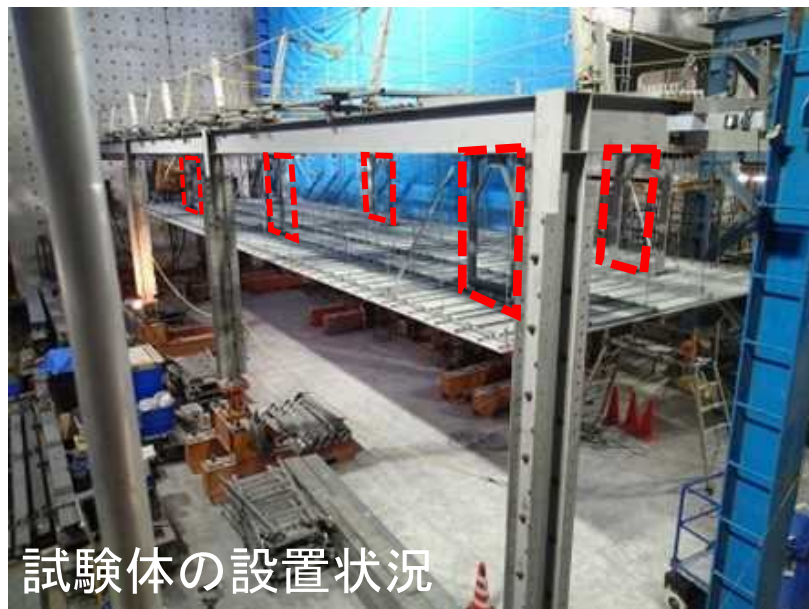
吊り天井の天井裏の例

## (2) 高耐震吊り天井の開発

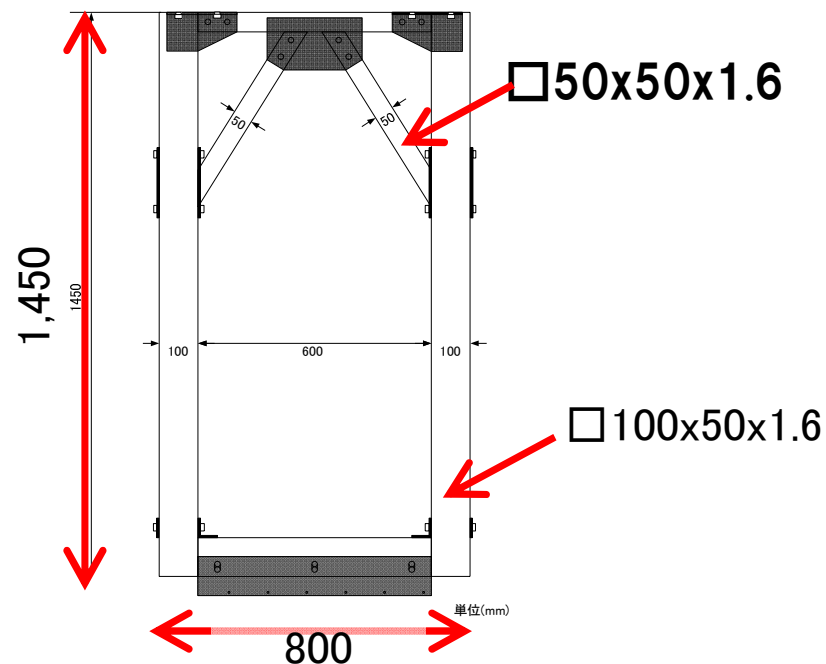
### 動的加振実験



試験体の概要(長さ1650mm、幅480mm、吊り長さ1500mm、重さ1.2t)



試験体の設置状況



水平力抵抗部材(約27kg/個) 立面図

他の部材は従来の吊り天井と同じ

## (2) 高耐震吊り天井の開発

- 災害拠点建築物に設ける吊り天井の耐震性向上を目指して、執務室を主な設置対象に想定した「高耐震吊り天井」の開発を行った。
- 「水平力抵抗部材」を吊り天井(80m<sup>2</sup>、1.2ton)に釣合良く6個配置(分散配置)した動的加振実験より、吊り元加速度2000gal・天井面加速度3000gal程度(告示では天井面最大設計加速度2200gal)まで天井が無損傷であり、変位は20mm程度以内(告示では隙間は60mm以内)に納められること、加振方向や天井面の設備の影響も小さいことを確認した。
- 今後は、静的・動的実験の結果を踏まえ、設計時に活用できるように、庁舎への適用について設計例を作成するとともに、災害拠点建築物における吊り天井の設計の手引きを検討する予定である。



### (3) 外壁材脱落を考慮した耐津波設計法の開発

- 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
- 現行の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ない
- **実大の外装材を用いた構造実験や水理実験を実施し、外壁材の脱落を考慮した耐津波設計法を開発する**



津波による外装材の流失  
(岩手県陸前高田市)

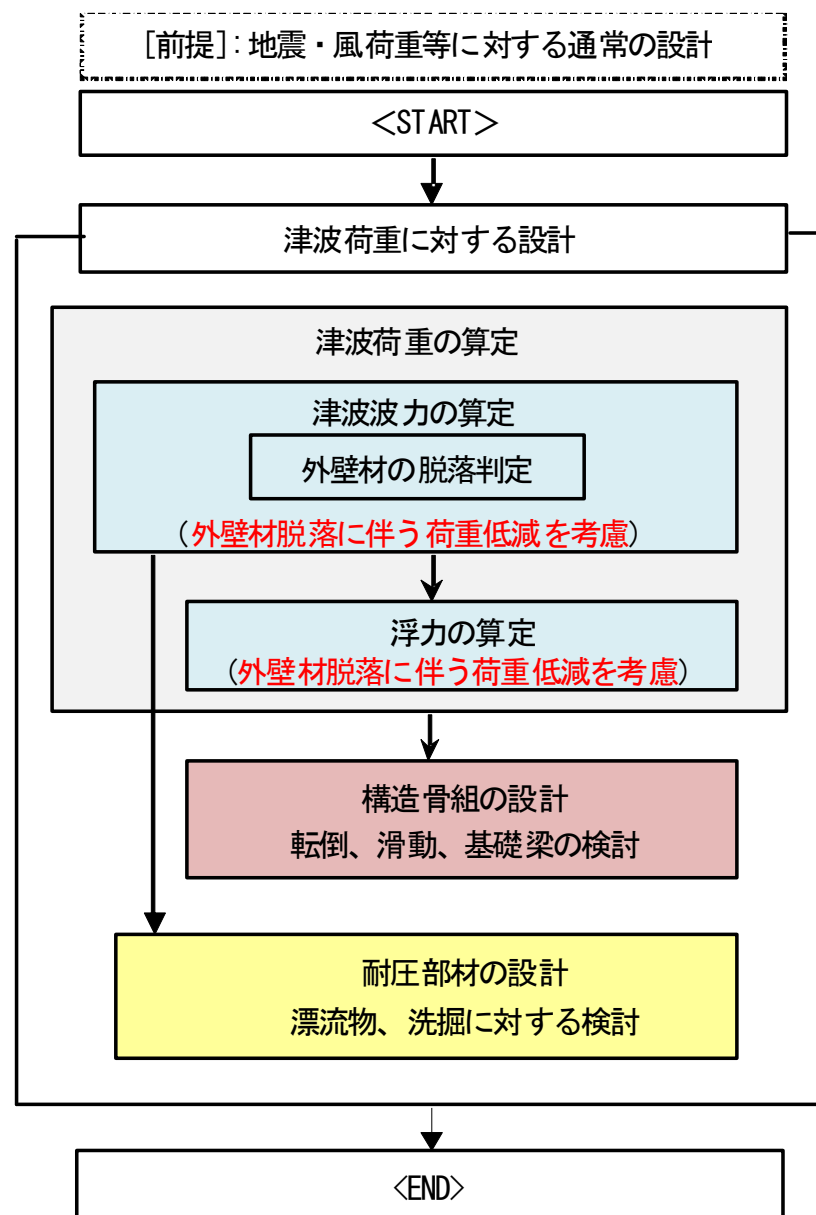


構造実験



水理実験

# (3) 外壁材脱落を考慮した耐津波設計法の開発



<全体の流れの骨格>  
 既往の津波避難ビル等の  
 構造上の要件の解説に準拠

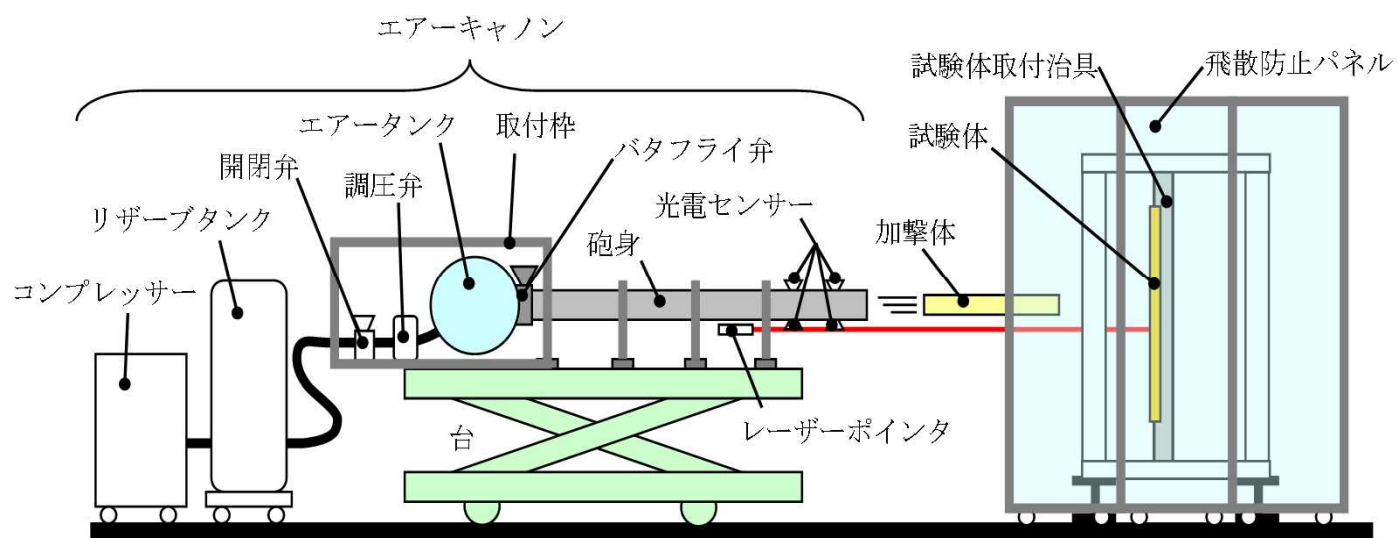
<津波波力・浮力の算定>  
 外壁材の脱落判定を行い、  
 外壁材脱落に伴う荷重低減を  
 考慮する点が従来と異なる。

外壁材の脱落を考慮した耐津波設計法の全体の流れ

## (4) 飛来物対策評価方法の開発

### ■ 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、外装材の飛来物耐衝撃性能の評価方法を開発



## (4) 飛来物対策評価方法の開発

### 外装材の飛来物耐衝撃性能の評価方法

- 海外の試験方法に倣い、衝撃試験の加撃体の仕様を決め、試験方法を纏めた。
- 竜巻試験では**衝撃試験**のみ、台風試験では**衝撃試験後 繰返し圧力载荷**を行なう。試験体数は2体ずつとする。圧力载荷では、稀に生じる暴風(再現期間50年)に相当する圧力等を繰返し载荷する。
- 災害拠点建築物の機能継続の観点から、**災害拠点機能を有する建築物の部分**に設置する外装材の飛来物耐衝撃性能の基準(加撃体⑤)を纏めた。
- ・竜巻試験: 衝撃試験を行い、外装材が損傷しても、室内側に飛来物を**貫通や突出させない**。また、外装材や内装材等の破片を室内に落下させない。  
 ・台風試験: 衝撃試験後 繰返し圧力载荷を行い、外装材に一定以上の**裂け目が生じさせない**。

加撃体	想定Fスケール	対応する既存指標		質量(kg)	速度(m/s)
①	F0未満	ASTM-B		0.95	15
②	F0	ASTM-C	ISO-B	2.0	12
③	F1	ASTM-D	ISO-C	4.1	15
④	F2	ASTM-E	ISO-D	4.1	24
⑤	F3	SESP	ISO-E	6.8	22
⑥	F4	FEMA361 ICC-500		6.8	35

Fはフジタスケール



災害拠点建築物の設計ガイドライン(H28)に反映



## (5) 災害拠点設備システムに関する調査研究

典型的な被災自治体に、被災時の状況から復旧に至るプロセスをヒアリングし、被災実態を把握するとともに、建築設備の被災状況、応急対処から復旧にかけて時系列整理することにより、建築設備に求められる機能を改めて整理する。

### 東北大震災被災地自治体

M市	(2014年02月03日(月) 14:30 ~ 15:50)
K市	(2014年02月04日(火) 9:15 ~ 11:30)
R市	(2014年02月04日(火) 14:00 ~ 15:30)
I市	(2014年02月05日(水) 10:00 ~ 11:30)
O市病院	(2014年02月05日(水) 14:00 ~ 16:00)

### 災害対策が進んでいると考えられる自治体

E区	(2014年01月21日(火) 10:20 ~ 11:45)
N市	(2014年01月23日(木) 13:20 ~ 14:50)
K区	(2014年02月13日(火) 13:15 ~ 14:30)

## (5) 災害拠点設備システムに関する調査研究

- ・災害時に有効と考えられる設備システムについて抽出した。
  - ・項目は被害軽減技術・エネルギー・照明・上下水等に分類
- ⇒ 災害拠点建築物の設計時における目標性能の提案

### 災害時に有効と考えられる設備システムの例

	設計上の対応	維持管理/運用上の対応	適用対象	主な内容	技術的課題
電気設備	(1)電気系統の浸水・津波対策	回路等の切替	被災後の利用を想定する設備	・浸水しない高さに設備を設置 ・浸水部分を切り離せる回路構成	
	(2)通信系統の浸水・津波対策	回路等の切替	同上	・浸水しない高さに設備を設置 ・浸水部分を切り離せる回路構成	
	(3)建物導入部等の耐震対策	故障対応の容易化	・引き込み電線	・引き込み部分電柱の地中化	
	(4)自家発電設備の浸水・津波対策	被災後の運転方法	浸水後の利用を想定する設備	・オイルタンクへの浸水防止 ・オイルポンプ、制御盤の浸水対策	・浸水する高さに設けたオイルタンクへの浸水防止 ・浸水する高さに設けたポンプ等への浸水対策
被災による被害の低減等 給排水設備	(1)給水設備の浸水・津波対策	被災後の運用方法	被災後の利用を想定する設備	・水槽への浸水防止 ・給水ポンプ、制御盤等の浸水対策	・浸水する高さに設けた水槽への浸水防止 ・浸水する高さに設けたポンプ等への浸水対策
	(2)排水設備の浸水・津波対策	—	同上	・排水槽への浸水抑制	・浸水する高さに設けた排水槽への浸水防止
	(3)配管の建物導入部対策	—	・給水配管 ・排水配管	・継手による変位対応 ・工法による変位対応	・大きな変位に対する対応性
	(4)耐震対策	故障箇所の特定容易化	機器等との接続部	・フレキシブルジョイント	—
空調・換気設備	(1)機器類の浸水・津波対策		被災後の利用を想定する設備	・機器類の水損防止 ・ポンプ、制御盤の浸水対策	・浸水する高さに設けた機器類への対策 ・浸水する高さに設けたポンプ等への浸水対策
	(2)代替措置の検討	・電源不要な暖房器具等 ・パッシブデザイン建物の運用	・石油ストーブ等 ・パッシブデザイン	・反射ストーブ等による暖房 ・パッシブデザインによる温熱環境の確保	・暖房用燃料の備蓄/供給
	(3)耐震対策	故障対応の容易化	・天井との取り合い	・天井の耐震対策	総プロで開発中
エレベータ	(1)浸水・津波対策	被災後の運用方法	被災後の利用を想定する設備	・機器、スイッチの浸水防止	・浸水する高さに設けた機器類の浸水対策
	(2)耐震対策	被災後の運用方法	・共振対策等 ・地震管制運転 ・被災後の運用	・耐震安全性、安全に止める技術は開発済み	・被災直後から安全に運用する技術は未開発
	(3)予備電源の強化	被災後の運用方法	・持続時間延長		・必要な電源容量の縮小(蓄電池、キャパシタ等の活用)
		(4)被災後の運転手順	・荷物を運ぶ用途に限定等		・被災後の継続的な利用を可能とするシステムづくり(ソフト・ハード)

## 各課題間の整理

本総プロでは、様々な荷重・外力を対象として、7課題について検討している。そのため、各課題で開発する技術が相矛盾するかどうか確認した。とくに、津波脱落外壁材は他の課題の考え方とは異なり、脱落を許容する設計法であり、他の課題との整合性について検討した。

### (1) 津波脱落外壁材の構造性能

建築基準法施行令第39条では、外壁材は地震や風等の荷重・外力その他震動および衝撃に対して脱落しないことが求められているが、津波は津波防災地域づくりに関する法律（平成23年12月）に定められており、建築基準法施行令第39条の定める荷重・外力には当たらない。また、地震や風等に対して十分過ぎる耐力をもたせた外壁材は、津波荷重に対して脱落しないことも想定されるが、その場合には脱落しない外壁材として設計することになる。

### (2) 津波脱落外壁材と飛来物耐衝撃性能をもつ外装材の関係

外壁材が脱落すると当該階は浸水することになるので、災害拠点機能を有する居室には当たらない。一方、飛来物耐衝撃性能をもつ外装材で建築物全面を覆う必要はなく、災害拠点機能を有する居室のみを外装材で覆えばよいので、津波脱落外壁材と飛来物耐衝撃性能をもつ外装材が競合することはない。

### (3) 地震後津波による外壁材の脱落

東日本大震災のように、大津波が来襲する前に巨大地震により外壁材が損傷することが考えられるが、この損傷は津波による外壁材の脱落を妨げないとした。





## NHK (首都圏ネットワーク)

**日経アーキテクチャー**

国総研が導いた新設計法  
巨大地震でも継続使用できる中高層へ

RC造による耐震強化を図る異断面柱

2015/02/04

新たな設計手法を提示  
建築法を考えた耐震性が求められる計画中では、耐震や免震といった災害対策ありきになりがちだが、だが従来の耐震構造でも、振動制御設計を施せば巨大地震想定にも対応できる。国土交通省国土技術政策総合研究所は、建築研究所の東大構造物実験施設を用い、新たな技術開発の準備を進めている。

実験のために実大のRC造、5階建て試験棟を竣工。1月13日に耐力比力実験の準備を公開した(写真3)。高さ19m、幅6m、奥行12mの試験棟を巨大津波シミュレーションで押しついたり引いたり、地震時の応答振幅を再現するものだ。

写真3) 実大の試験棟で実施した耐力実験(茨城県つくば市)

**ビル、大地震後も継続使用**  
国総研と建築研 新構造を開発

「は柱の左右に壁がついたことが証明できた。屋上部分(「ぞで壁ぎ柱」と呼ぶ)が約28移動くような力を加えても、ビルを支える柱に構造を採用了高さ約19mの5階建てビルを、鉄筋コンクリートでつづけた。国総研によると、新構造は実験では東日本大震災級の揺れである、ビルの屋上後、国が決定する災害拠点部が約19移動く力を加え、建築物を対象にした設計手法、揺れた後もビルの損傷「ドライン」に反映されるのは小さく、継続使用できる。定だ。

国土交通省国土技術政策総合研究所と建築研究所は13日、地震に強い新構造を採用した鉄筋コンクリート製ビルの損傷実験を一般に公開した。東日本大震災級の大地震に襲われても建築物が倒壊せず、地震直後から使い続けることができることを実証できたという。

東日本大震災の際は、倒壊を免れても、損傷がひどくて使えなくなったりビルがあった。首都圏直下地震などが起きて、ビルを災害拠点として使い続けられるよう、新構造の採用を呼びかける考えだ。

研究チームが考案したの

日経アーキテクチャー

日本経済新聞

壁を活用した損傷制御設計法の開発

**日刊工業新聞 Business Line**

建設・住宅

**国総研、鉄骨造の津波避難ビルの構造性能を最適化—設計法確立、低強度でも倒壊せず**

掲載日 2015年05月29日

Tweet 3 いいね! 0

国土技術政策総合研究所は、津波の発生時に一次的な避難場所となる鉄骨造の津波避難ビルについて、柱などの構造性能を大幅に高めずに必要最低限の強度で建設できる設計法をまとめた。津波の荷重で外壁材が脱落する場合でも、倒壊などを防げることを実験で確認したことから、外壁材部分にかかる荷重を考慮せずに構造性能を決める。国総研は災害拠点建築物を対象にした設計指針を2016年度中に策定する方針。同設計法を指針に反映させ、津波避難ビルの普及につなげる。

既存の津波避難ビルの設計指針に関しては、国土交通省が11年に策定。津波の荷重で倒壊や移動を起こさない建築物の設計法としてまとめた。

ただ、例えば6階建て奥行き12メートルの建築物で10メートルを超える大津波に耐えられるよう設計する場合、建築基準法の4倍程度の強度が必要。このため、大津波の発生が想定される地域では建設が現実的でなかった。

一方、東日本大震災の津波では外壁材は脱落したものの、建築物には負荷が小さくなるため、倒壊せずに済んだ鉄骨造建築物が多数あった。国総研は既存の指針が外壁材の脱落を考慮しておらず、建築物にかかる津波荷重を過大に評価していることに着目。外壁材部分にかかる荷重を考慮せず、津波避難ビルの構造性能を決められるようにした。

東日本大震災の津波では外壁材が流れても倒壊しない鉄骨造建築物が多数あった(国総研提供)

日刊工業新聞

外壁材脱落を考慮した耐津波設計法の開発



日本建築学会	構造系論文集 (2件)	損傷制御設計法	1件
日本建築学会	構造工学論文集 (1件)	損傷制御設計法	1件
日本建築学会	学術講演梗概集 (17件)	損傷制御設計法	8件
		津波外壁材脱落設計	2件
		飛来物対策評価法	5件
		高耐震吊り天井	2件
日本建築学会	年次大会PD資料	津波外壁材脱落設計	1件
日本コンクリート工学会	年次論文集(1件)	損傷制御設計法	1件
記者発表(2件)		損傷制御設計法	2件 (2014, 2015 実大実験)
公開実験(2件)		損傷制御設計法	2件 (2014, 2015実大実験)
マスコミ対応 (10件)		津波外壁材脱落設計	1件(日刊工業新聞社)
		損傷制御設計法	2014 7件 NHK総合, NHK水戸, 日本経済新聞, 毎日新聞、日経アーキテクチュア, 建設通信新聞, つくばサイエンスニュース
		損傷制御設計法	2015 2件 日刊工業新聞, 建設通信新聞 日本建材開発工業会定期講演会 1件
講演			月間セメントコンクリート 1件
雑誌			建設マネジメント技術 1件

## 7. 成果反映

- 防災拠点において、従来は想定していなかった外力を設定し、建築物所有者等が災害後の**建築物機能**を確保するために**必要な要求性能**を選択できる設計技術を明確化
  
- 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**災害拠点建築物の構造設計ガイドライン**の策定
  - 耐震対策技術においては、**長期優良住宅**の認定基準等への反映を検討
  - 耐津波対策技術においては、**津波防災地域づくり法**に基づく避難施設に関する技術基準に反映を検討
  - 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)への反映を検討

# 8. 今後の作業予定

## 1) 津波対策技術

### 低抗力津波避難ビル

津波荷重が低減する架構形状を提案するとともに水理実験により設計用津波荷重を定める標準的な方法を示す

### 津波漂流物の防護対策

漂流物の衝突による部材の損傷を防止する方法の有効性について水理実験により検証する

## 2) 地震対策技術

### 高耐震吊り天井工法

平成27年度に実施した振動実験結果を取りまとめ、高耐震吊り天井の設計法および試設計を作成する

### 壁を活用した損傷制御設計 使用安全性簡易確認装置

高密配筋・強度型設計に基づく損傷制御法を実大実験により検証し、損傷制御のための基準案を提案する

使用安全簡易確認装置の精度検証および試設計を作成する

## 3) 設備の災害後の維持管理技術

### 災害拠点設備システム

災害拠点建築物の設計において推奨すべき設備技術、有用な新技術、システムの運用手法について検討し、「災害拠点における設備システムの計画・設計・運用マニュアル」を作成する

## 9. 研究の進捗状況

### (1) 目標達成の見通し

全体的に概ね順調に進んでいる。

### (2) 報告時点までの成果

- ・飛来物対策評価法および外壁材脱落を考慮した耐津波設計法は完成しており、竜巻や津波外力に対する外壁材性能を新たに評価できるようになった。
- ・実大5層建築物の載荷実験により、壁を活用した損傷制御設計法が検証されるとともに地震後の継続使用性を担保するための損傷限界変形が明らかになった。
- ・高耐震吊り天井の振動実験により、高度な耐震性と災害拠点に求められる設備配管設計の両立を可能とする天井工法について検証された。
- ・関係自治体へ被災時の設備有用性に関するヒアリングを行い、災害拠点建築物の設計時における目標性能策定に向けた有用な基礎資料を得た。

### (3) 研究開発の実施方法・体制

研究開発課題に応じてワーキンググループを設定し、各分野の専門家による検討が行われた。検討結果は有識者委員会で持ち寄り、研究全般に関わる助言を受けながら効率良く実施した。

### (4) 研究計画について(H27～H28)

事前評価における「成果の普及について工夫すべき」との指摘を踏まえ、研究成果については学会発表・見学会・報道等を通じて社会への公表・普及を図りながら作業を進める予定。

### (5) 成果の反映

災害拠点建築物における評価技術を開発し、本省と連携して、津波防災地域づくり法や長期優良住宅等における技術基準に反映する。