

終了時評価

災害拠点建築物の機能継続技術の開発

国土技術政策総合研究所

建築研究部

平成25～28年度

1. 研究開発の背景・課題

背景

○東日本大震災では、自治体庁舎において、倒壊・崩壊は免れたものの、地震動や津波により構造材や非構造材に著しい損傷等が生じ、建築物の使用が困難となるものが発生。これにより、本来期待されていた応急対策指示拠点としての機能を発揮することが不可能に。



地震により機能を喪失した庁舎



津波により機能を喪失した庁舎

課題

○庁舎建築物など災害後の機能継続が求められる建築物に関して、知見が不足している技術の開発や調査検討が必要。

2. 研究開発の必要性と目的・目標

必要性

今後30年以内の発生確率が70%程度と言われる南海トラフ巨大地震、首都直下地震や、近年頻発している竜巻等に備え、災害応急対策の拠点となる建築物が、災害時に建物機能を維持するための技術開発が求められている。



目的・目標

建築物が災害拠点としての機能を維持するために必要な要件を整理し、公的施設等の設計に資する災害拠点建築物の設計ガイドラインを策定する。
これにより、大規模災害時の迅速・適切な応急対策の展開を建築技術面から下支えし、早期避難や人命救助・被害の拡大防止、迅速な復旧に資する。

3. 研究の全体像

本プロジェクトでは、大規模災害時における災害拠点建築物の機能を合理的に維持するために必要な、地震対策、津波対策、及び竜巻対策に資する技術開発を行う。また、災害時のライフライン途絶等に対応した建築設備の対応性調査を実施する。

更に、これらの技術開発や調査の結果を踏まえて、「災害拠点建築物の設計ガイドライン(案)」のとりまとめを行う。

「災害拠点建築物の設計ガイドライン(案)」のとりまとめ

○地震対策技術

- ①壁を活用した損傷制御設計法の開発
- ②非共振天井材の開発

○津波対策技術

- ③外壁材脱落を考慮した耐津波設計法の開発
- ④低抗力型設計法の開発

○竜巻対策技術

- ⑤飛来物対策評価法の開発

○災害後の維持管理技術

- ⑥建築設備の機能維持技術の検討

研究内容

研究内容

①壁を活用した損傷抑制設計法の開発

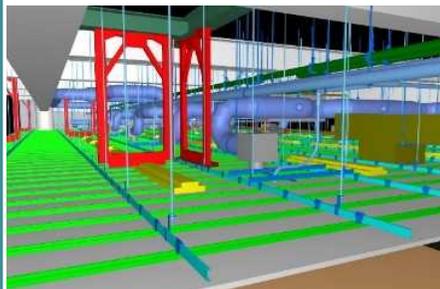
壁を活用した合理的な損傷抑制技術の開発



実大5層RC造建築物
載荷実験

②非共振天井材の開発

設備配管用の天井裏スペースを確保する非共振天井材の開発



水平力抵抗部材を設置した天井裏のイメージ

③外壁材脱落を考慮した耐津波設計法の開発

外壁材脱落を考慮した合理的な耐津波設計技術の開発



水理実験の状況

④低抗力型設計法の開発

低抗力型による合理的な耐津波設計技術の開発

⑥建築設備の機能維持技術の検討

災害拠点建築物として必要な設備の計画設計手法の検討

⑤飛来物対策評価法の開発

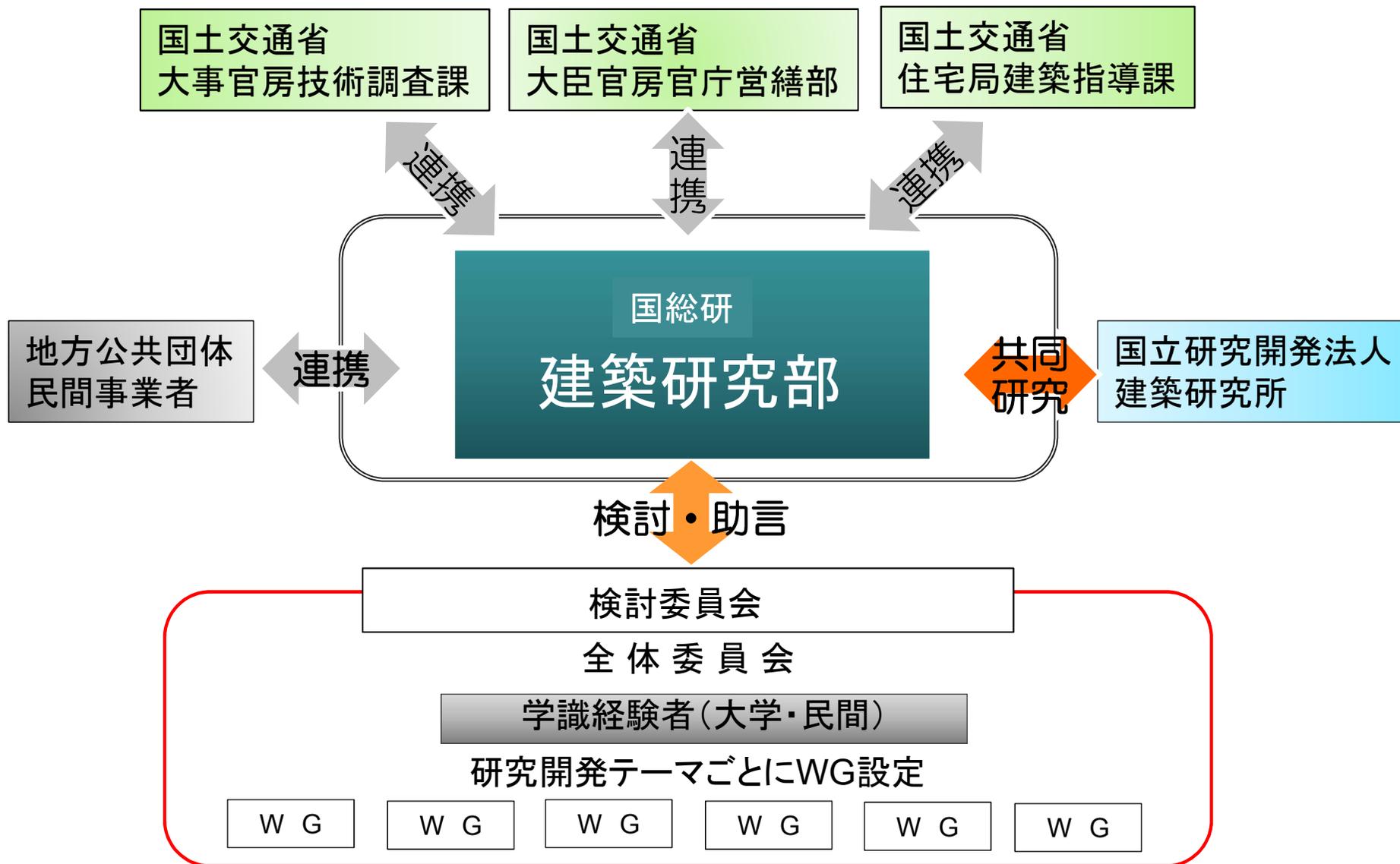
飛来物対策に資する耐衝撃性能の試験・評価法の開発



飛来物衝撃試験

4. 研究の実施体制

開発検討委員会(委員長:久保哲夫 東京大学名誉教授)における検討、助言等を得て、技術開発、取り纏め等を行う。



5. 研究のスケジュール

区分(目標、テーマ、分野等)		実施年度				総研究費
		H25	H26	H27	H28	
	研究内容 (研究費[百万円])	90	119	174	121	約500百万円
①	壁を活用した損傷制御設計法の開発					
②	非共振天井材の開発					
③	外壁材脱落を考慮した耐津波設計法の開発					
④	低抗力型設計法の開発					
⑤	飛来物対策評価法の開発					
⑥	建築設備の機能維持技術の検討					

効率性

「災害拠点建築物の設計ガイドライン(案)」のとりまとめ

最先端の知見を幅広く集め、産学官が一体となって効率的に検討するため、検討委員会及び研究開発テーマ毎にワーキングを設定し技術開発を進めた。また、既存の知見を最大限活用し、大規模実験に集中的に費用を充てることで、総合的な成果が得られるように配慮して進めた。

6. 事前評価・中間報告時の指摘事項と対応

	意見	対応
事前評価	<ul style="list-style-type: none">各防災・減災対策の費用対効果についても考慮されたい。また、現在行われている被災地の復旧だけではなく全国的な防災対策に資するように、成果が出た段階から順次公表していくなど、成果の普及について工夫しつつ進められたい。	<ul style="list-style-type: none">「壁を活用した鉄筋コンクリート造建築物の損傷制御設計法」、「拠点室における天井設計法」等、<u>既往技術を高度に活用することによって、費用対効果に優れた技術開発を行った。</u>災害拠点建築物の設計ガイドライン(案)を平成29年3月30日に <u>国総研HP上で公開した。技術の開発や調査の成果も技術資料として掲載した。</u>迅速に公開したため、<u>今年度、国土交通本省において進められている、「防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン」の検討に、本総プロの成果が、既に活用されている。</u>
中間報告	<ul style="list-style-type: none">災害拠点建築物の安全確保(倒壊防止)だけでなく、建物の機能性、使用性がどう担保されるか、ソフト面の観点も含めて整理するとよい。構造体自体の外力への耐荷性だけでなく、浸水等の立地条件や建物の付帯施設の耐水性、土石流や崖崩等の土砂災害、火砕流等の火山災害も対象として検討してはどうか。津波対策について、屋上に浮体構造を付設することで低層の建築物も避難ビルとする検討をしてはどうか。	<ul style="list-style-type: none">災害時の人の対応や使う人の教育等、ソフト面の対応についても整理した。浸水の条件について主に検討し、その他の土石流等は、津波の知見を参照できるようにした。なお、ここでは建物の対応に限定し、集中して検討した。本プロジェクトでは、津波避難ビルの開発を直接的な目的としていない。

7. 研究内容と研究成果

災害拠点建築物の設計ガイドライン(案)

技術開発や調査の結果を踏まえて、「災害拠点建築物の設計ガイドライン(案)」のとりまとめを行う。

ガイドラインの位置づけ

成果の集約である「災害拠点建築物の設計ガイドライン(案)」は、

- ①自治体の災害対策本部など災害応急対策の拠点となる建築物(災害拠点建築物)が大規模災害時においても機能を継続して発揮できるようにするため、設計に当たって配慮すべき事項をまとめたもの。
- ②自治体の防災担当や建築担当部局のほか、民間企業、設計者等による使用を想定。
- ③災害拠点建築物等の計画・設計に当たり、既存の関連基準(「官庁施設の総合耐震・対津波計画基準」など)を補完するものとして参照することができる。

7. 研究内容と研究成果

構成・内容

【平成29年3月30日記者発表】

■ ガイドライン(案) 本文・解説

本文

解説

- ・第1章 総則
- ・第2章 立地の選定、配置及び規模
- ・第3章 機能確保の目標
- ・第4章 維持・保全、運用・管理
- ・第5章 荷重及び外力
- ・第6章 構造躯体の設計
- ・第7章 非構造部材の設計
- ・第8章 建築設備の設計

■ 技術資料 研究内容(要点)

- ◆技術資料① 壁を活用した鉄筋コンクリート造建築物の損傷制御設計法
- ◆技術資料② 拠点室における天井設計法
- ◆技術資料③ 外壁材の脱落を考慮した耐津波設計法
- ◆技術資料④ 低抗力型建築物の耐津波設計法
- ◆技術資料⑤ 外装材の対飛来物衝撃設計法
- ◆技術資料⑥ 建築設備の機能維持技術

+

*基本的にはそれらの建築物の新築時を対象とした内容となっているが、既存建築物の改修等に当たっても本ガイドラインにおける考え方や技術は適用することができる。

*本文・解説の第2～4章、第8章等では、機能継続計画の検討の参考となる事項の整理も行っている。

十 ■ 災害拠点建築物の計画・設計例

●設計例1 **内陸型**、●設計例2 **沿岸型**

*本文・解説の理解を深め、設計時の参考となるよう示した基本設計事例。

*津波の検討を要しない内陸地域と、対津波設計を要する沿岸地域に立地する2棟の異なる地方公共団体の庁舎建築物を想定し、それらに本文・解説における基本的考え方や災害拠点総プロで開発・検討してきた各要素技術を適用した具体の事例を紹介。

■ 災害拠点建築物の計画・設計例

● 設計例 1 内陸型（内陸に位置する庁舎建築物）



「拠点部分については、災害時のアクセスを考慮してできるだけ下層階に配置する」（本文・解説第2章）

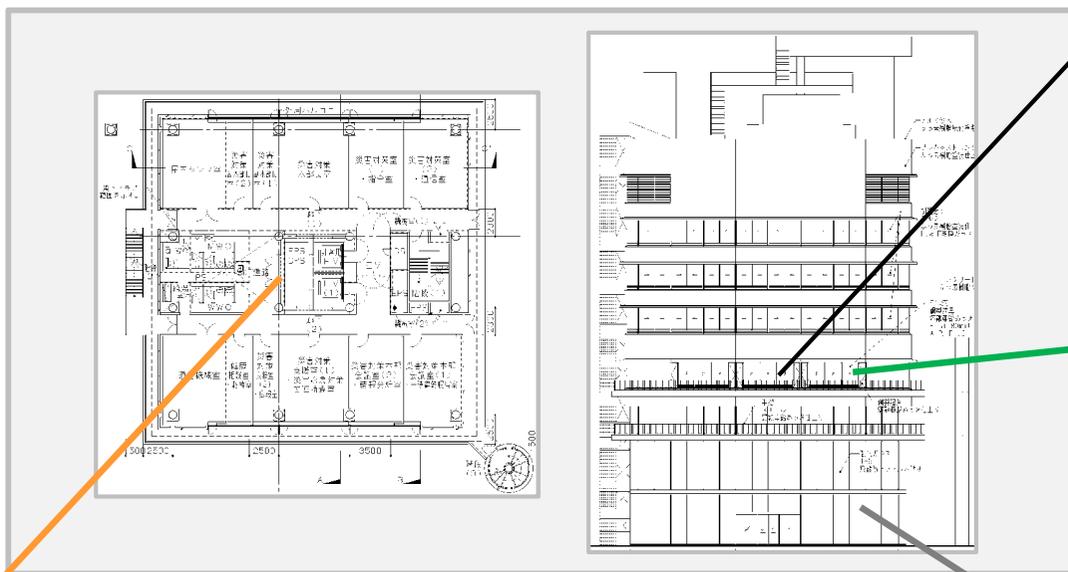
「災害応急対策の指示拠点としての機能継続に支障となる躯体の損傷を防止するため、～長辺方向の架構として、外周部では袖壁、腰壁、垂れ壁を有する架構を採用」（本文・解説第6章、[技術資料①](#)）

「拠点部分やその機能維持のために必要な動線を確保するための階段や昇降機、トイレ、給排水管、備蓄倉庫などの拠点部分で～竜巻による飛来物を想定し、対衝撃性能の確認されたRC壁等により防御を図る」（本文・解説第7章、[技術資料⑤](#)）

「拠点部分となるフロア等において国総研式吊り天井を採用して水平力抵抗部材をバランスよく配置～天井裏に斜め部材が多数配置されることがなくなり、天井内設備機器系統の設計の自由度を向上」（本文・解説第7章、[技術資料②](#)）

■ 災害拠点建築物の計画・設計例

● 設計例2 沿岸型（沿岸に位置する庁舎建築物）



「BF~3F 部分の中央コア部には水密性の確保された鉄板コアシャフトが設けられており、被災後、使用する必要がある拠点部分のための污水配管等をこの中に収め、防御する計画」（本文・解説第8章、[技術資料⑥](#)）

「想定浸水深5mの津波によるせき上げの影響も考慮し、浸水による影響を受けない最下階となる4階部分に、津波の襲来する方向も考慮して拠点部分を配置」（本文・解説第2章）

「拠点部分となる4階フロア等については、飛来物の衝撃から、~防御を図る設計」（本文解説第7章、[技術資料⑤](#)）

「1, 2階の外壁の大部分をガラスカーテンウォールとして津波の際には破壊、脱落させるとともに、中央コア部以外は最小限の円形断面柱として、津波波力の低減」（本文・解説第5章、[技術資料③](#)、[④](#)）

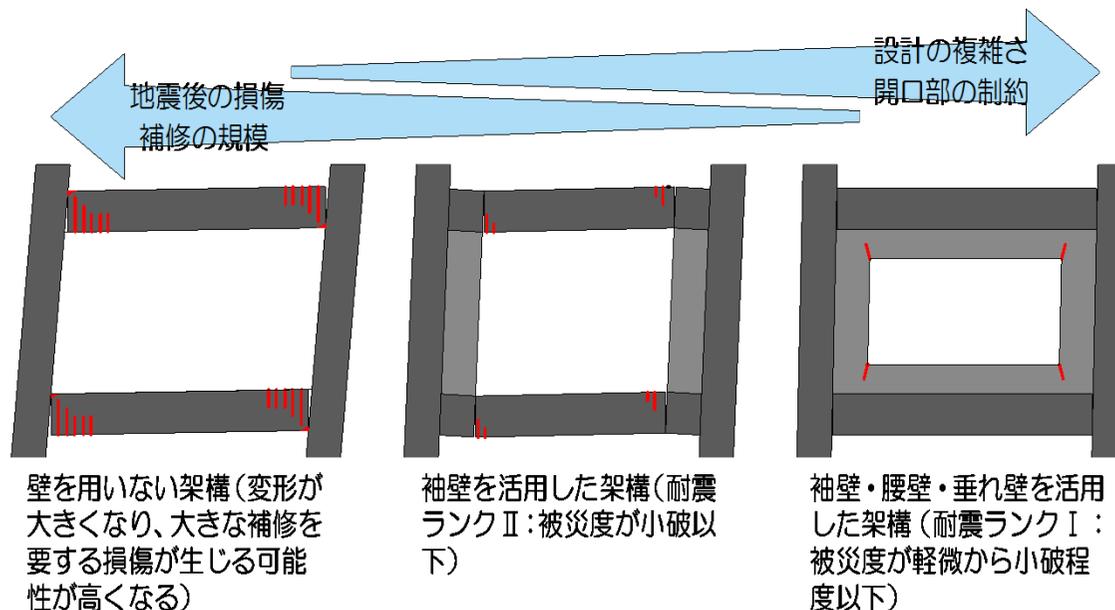
7. 主な成果 壁を活用した損傷制御設計法の開発

技術資料① 壁を活用した鉄筋コンクリート造建築物の損傷制御設計法

RC造建築物の袖壁、腰壁、垂れ壁を構造壁として積極的に活用し、大地震後の建築物の機能継続に必要な躯体の性能を安価で合理的に確保できる設計法を開発



壁を活用した実大5層RC造建築物の載荷実験



壁を活用した鉄筋コンクリート造建築物の損傷制御設計法のイメージ

本研究で提案し、実大実験で検証した設計クライテリア（設計基準値）の例

- **耐震ランクⅠ**：ベースシア係数が0.55に達するときの最大層間変形角を $1/300\text{rad}$ 以下とし、部材塑性率を1.0以下とする。
- **耐震ランクⅡ**：ベースシア係数が0.4に達するときの最大層間変形角を $1/200\text{rad}$ 以下とし、部材塑性率を2.0以下とする。

・ **ポイント等**：このような設計法や仕様規定等を、技術資料として取りまとめ、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を提案した。

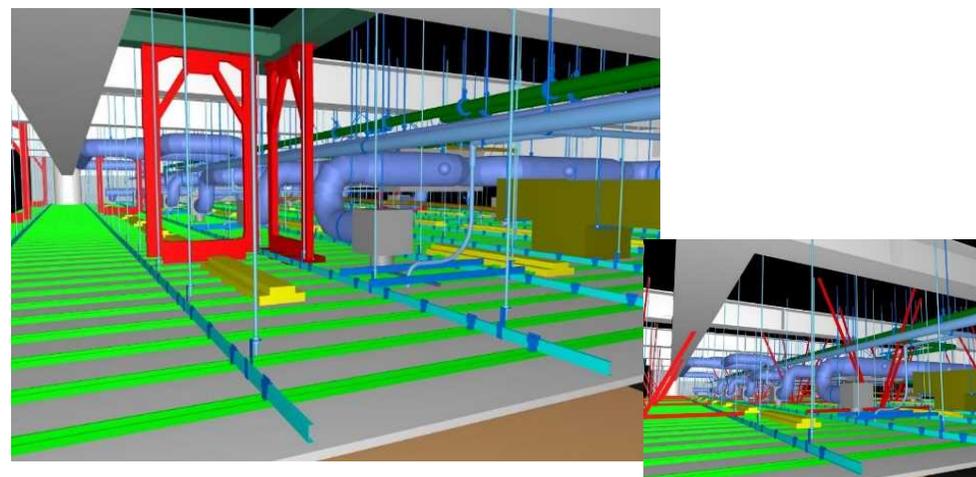
7. 主な成果 非共振天井材の開発

技術資料② 拠点室における天井設計法

天井裏の設備配管用スペースを確保しつつ、災害拠点建築物の拠点室における吊り天井の地震被害の低減を図る、地震時に構造躯体に生じる振動への共振を抑えた吊り天井を開発



振動実験の様子。耐震要素(水平力抵抗部材)を釣り合いよく配置した試験体は天井面の水平震度3.0相当まで無損傷。



開発した吊り天井を設置した際の天井裏空間の透視図(赤い部材が耐震要素の水平力抵抗部材。右下は従来の耐震要素を用いた場合の天井裏の様子)。

- ・ **ポイント等**：吊り天井に作用する水平力を、斜め部材を多く配置するのではなく (設備計画の自由度確保等に寄与)、剛性・強度の高い水平力抵抗部材で受けて構造躯体に伝達する工法 (国総研式耐震吊り天井)を開発して設計法をとりまとめた。

開発した吊り天井を拠点室に設ける際に適用する設計用震度を最大で、水平方向2.2、鉛直方向1.1とし、作用する地震力に対して必要となる水平力抵抗部材の釣り合いよい配置などについて規定した。

外壁材の脱落による津波荷重低減効果を考慮した耐津波設計法を開発。*

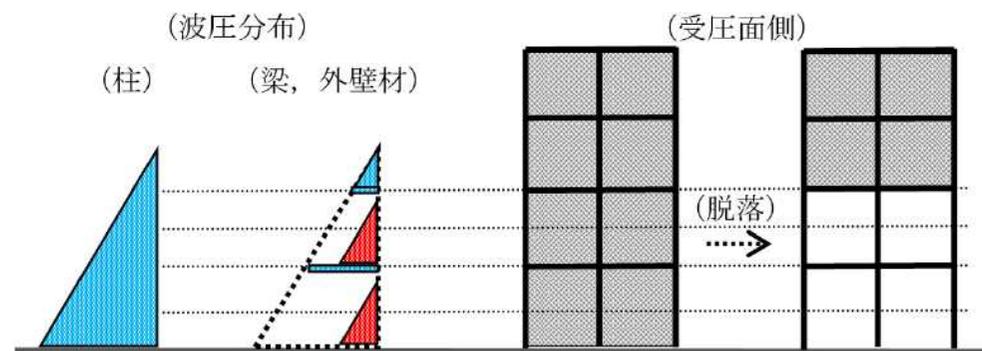
* 東日本大震災における津波による鉄骨造建築物の被害では、外壁材が破壊され流失したものの構造躯体は残存した例が多く見られた(例:右写真)。これは、津波到達時に、外壁材が早期に流失したことにより、構造躯体に作用する力が減少したことが一因であると考えられる。



東日本大震災の津波による外壁材の脱落事例



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のイメージ
(波圧分布の設定例)

鉄骨造建築物に取り付く代表的な外壁材であるALCパネル、鋼板製外壁を対象として、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荷重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津波の波圧, 水平力および鉛直力の算定法

ポイント等: 外壁材の脱落を考慮することで津波荷重を低減できる合理的な耐津波設計法を提案した。

7. 主な成果 低抗力型設計法の開発

技術資料④ 低抗力型建築物の耐津波設計法

低抗力型建築物*を対象とした水理模型実験による津波荷重低減効果の検証に基づく耐津波設計法を開発

*形状・開口・柱配置に配慮した津波による力を受けにくい建築物(例:右写真)(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、津波荷重を低減するための水理模型実験の方法の整理を行い、水理模型実験による津波荷重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津波の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、津波力実験方法等)

ポイント等: 低抗力型建築物に作用する津波荷重を低減できる合理的な耐津波設計法を提案した。

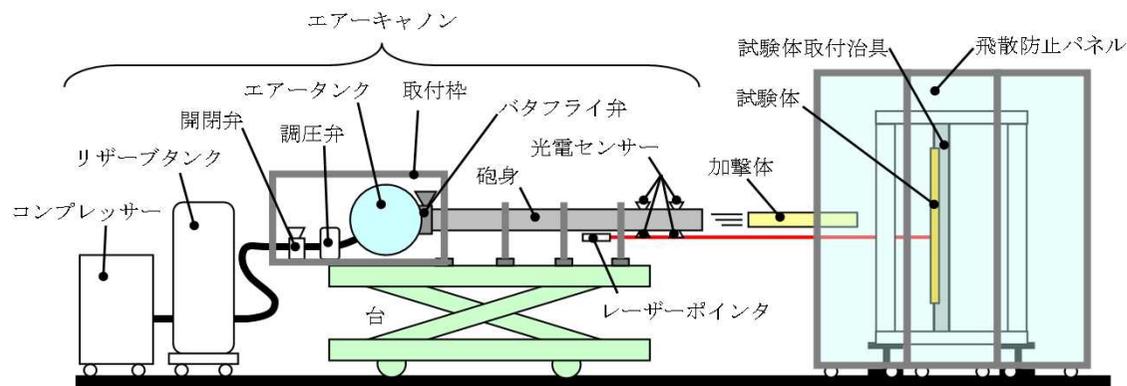
飛来物による衝撃を受ける外装材の耐衝撃性能の試験法・評価法を提案

・飛来物に対する建築物(災害拠点建築物も含めた)の要求性能の分類

・実飛来物と飛来物試験との関係の整理

試験で用いる飛来物およびその衝突速度の決定

飛来物衝撃試験の実施



・外装材の飛来物耐衝撃性能の試験法・評価法の提案(H26)

・災害拠点建築物のための飛来物に対する外装材設計ガイドラインと試設計(H28)

・ポイント等:これまで我が国では定められていなかった、飛来物による衝撃を受ける外装材の耐衝撃性能の試験法・評価法をとりまとめた。

大規模災害後のライフライン途絶時においても災害拠点建築物の機能を必要な水準に維持するための設備システムについて調査・とりまとめ

拠点建築物の機能継続を実現する設備システムの計画・設計技術

耐震性能の確保・向上技術

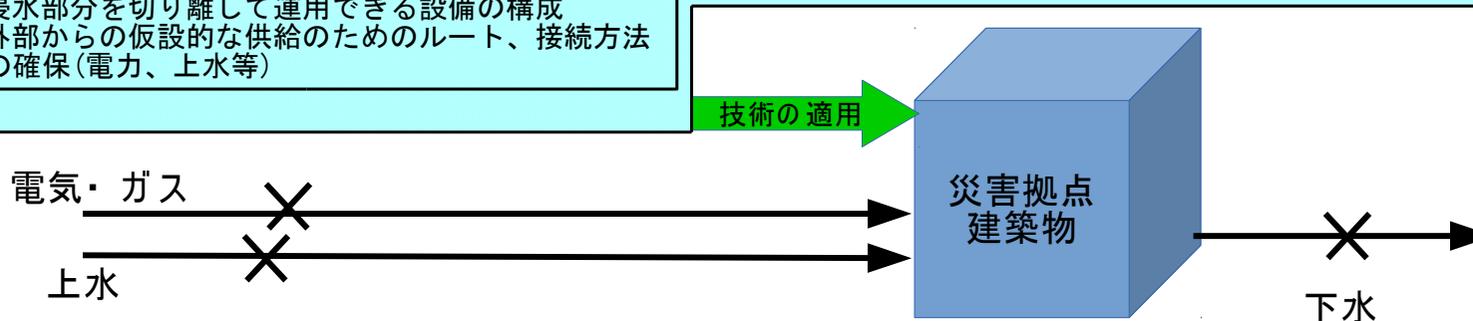
- ①地震による入力や変形が少ない部位に設ける等の計画・設計上の配慮
- ②弱点となる部分の補修性の向上
- ③変形追従対策（建物導入部・エキスパンション部）
- ④漏水対策（計画上の配慮、緊急遮断弁等）

対津波性能の確保技術

- ① システムの水損防止（設備を浸水深よりも高い位置に設置、設備を浸水に耐えられる構造の室、区画等に設置、浸水に耐えられる構造の設備の設置）
- ②浸水部分を切り離して運用できる設備の構成
- ③外部からの仮設的な供給のためのルート、接続方法の確保（電力、上水等）

ライフライン途絶への対応性能の確保

- ①システムの並列化、分散化、冗長化
- ②被災後の機能継続に必要な水・エネルギーの貯蔵、補給経路等の確保（備蓄、自立型エネルギー・水源）
- ③被災後の機能継続に必要な水・エネルギーの最小化・パッシブ技術、インフラフリー型設備等の導入・災害に対応した節水技術の導入等
- ④被災後の合理的なエネルギー配分を可能とする非常用・防災用電源の適正配分
- ⑤代替設備、仮設設備、補給への対応性



大規模災害による被災後における拠点建築物の機能継続を実現する設備システムの計画・設計技術の概要

・ポイント等：耐震性、耐津波性に加えて、冗長化、備蓄・補給、補修性向上、仮設設備・器具の導入等、ライフライン途絶に対応した様々な手法を整理した。

9. まとめ

研究開発の目標	研究成果	研究成果の活用方法	目標の達成度
設計ガイドラインのとりまとめ	「災害拠点建築物の設計ガイドライン(案)」	平成29年3月30日に国総研HP上で公開。今年度、国土交通本省において進められている、防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドラインの検討に、本総プロの成果が活用されている。	◎
個別要素技術の開発等	①壁を活用した鉄筋コンクリート造建築物の損傷制御設計法の開発	壁(袖壁、腰壁、垂れ壁)を構造壁として有効活用し、地震時の層間変形を一定以下に抑えて損傷を抑制する設計法(損傷制御設計法)をとりまとめ、ガイドライン(案)の記者発表等で公開した。	◎
	②非共振天井材の開発	地震時に天井に生じる水平力を、水平力抵抗部材で受けて構造躯体に伝達する工法(国総研式耐震吊り天井)を開発し、その設計法をとりまとめ、ガイドライン(案)の記者発表等で公開した。	◎
	③外壁材脱落を考慮した耐津波設計法の開発	外壁材の脱落による津波荷重低減効果を考慮した耐津波設計法をとりまとめ、ガイドライン(案)の記者発表等で公開した。	◎
	④低抗力型設計法の開発	低抗力型建築物を対象とした水理模型実験による津波荷重低減効果の検証に基づく耐津波設計法をとりまとめ、ガイドライン(案)の記者発表等で公開した。	◎
	⑤飛来物対策評価法の開発	飛来物による衝撃を受ける外装材の耐衝撃性能の試験法・評価法をとりまとめ、ガイドライン(案)の記者発表等で公開した。	◎
	⑥建築設備の機能維持技術の検討	耐震性、耐津波性に加えて、冗長化、備蓄・補給、補修性向上、仮設設備・器具の導入等、ライフライン途絶に対応した様々な手法を取りまとめ、ガイドライン(案)の記者発表等で公開した。	◎
計画・設計例のとりまとめ	設計・設計例1 内陸型 計画・設計例2 沿岸型	設計ガイドライン(案)の理解を深め、設計時の参考となるよう、災害拠点建築物の計画・設計例(通常の場合として内陸型、さらに特に津波対応を意識したものとして沿岸型)を作成し、ガイドライン(案)の記者発表等で公開した。	◎

有効性

官庁施設の総合耐震・対津波計画基準を補完し、地方公共団体の公的施設等の設計に活用し得る災害拠点建築物設計ガイドライン(案)を策定し公表した。
また、迅速に公開したため、今年度、国土交通本省において進められている「防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン」の検討に、本総プロの成果が、既に活用されている。