

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. 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



竜巻で被害を受けた庁舎
(参考:平成21年群馬県館林市竜巻)



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. 研究開発の目的

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。



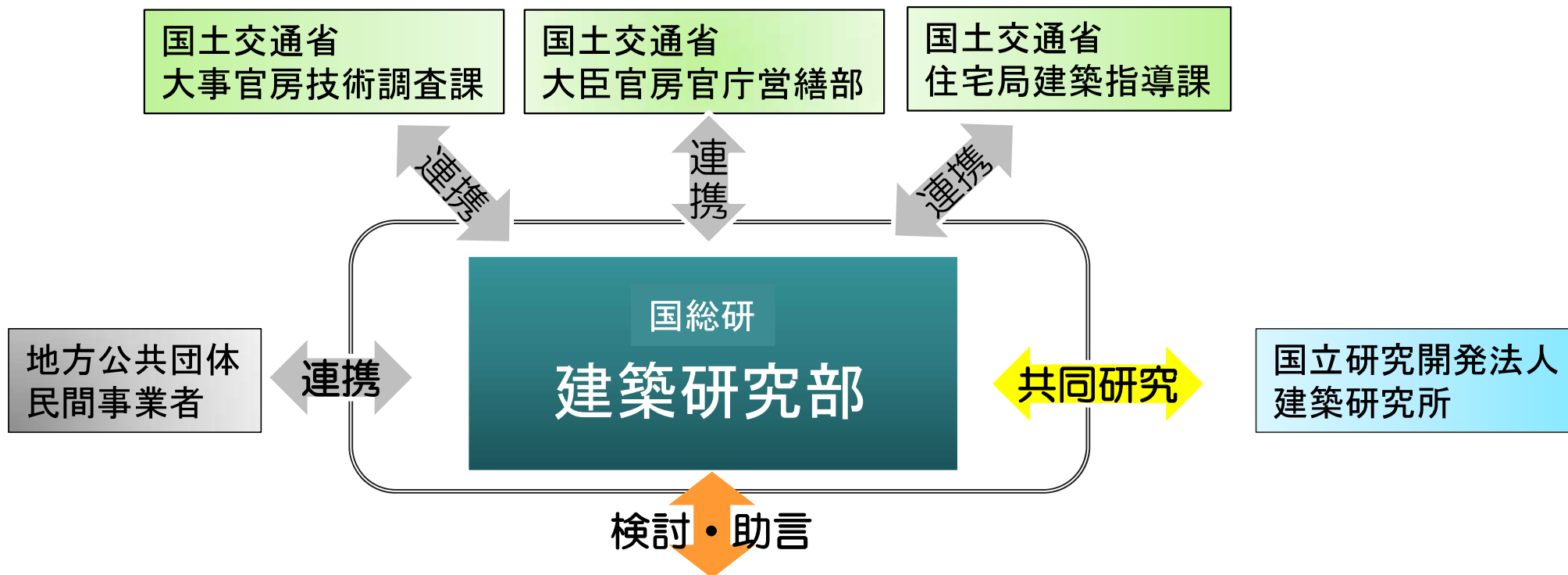
目的・目標

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. 研究開発の体制

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。



検討委員会 学識経験者(大学・民間)

研究開発テーマごとに6つのWG設定

【耐震関連】
①壁を活用した損傷制御設計
②非共振天井材

【耐津波関連】
③外装材脱落を考慮した耐津波設計
④低抗力型設計法

【竜巻関連】
⑤飛来物対策
評価法

【設備(維持管理)関連】
⑥建築設備の機能維持
技術

新たなクライテリア(構造性能)と対応する設計・試験法の検討

実現可能性に配慮した
要素技術の統合・整理

4. 研究成果

成果の概要

①壁を活用した損傷抑制設計法の開発

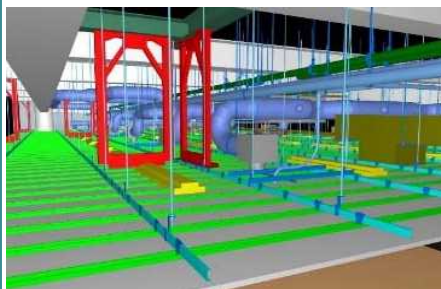
壁を活用した合理的な損傷抑制技術の開発



実大5層RC造建築物
載荷実験

②非共振天井材の開発

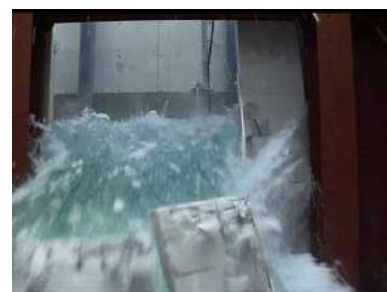
設備配管用の天井裏スペースを確保する非共振天井材の開発



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

⑦ガイドライン
作成

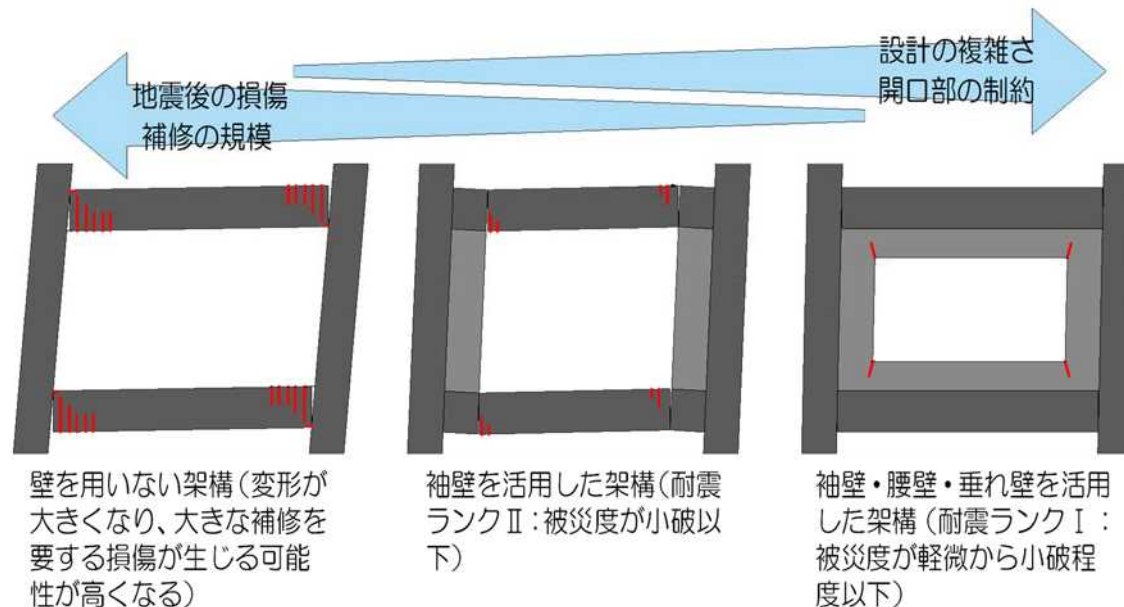
最終的に1棟の「災害拠点建築物」を実現するために、各技術開発課題の相互の連携を整理し、それ以外の部分との関係も踏まえて、計画、設計、管理に関する全体的な姿を示すことや既存資料の補完を目的とした資料

4. ① 壁を活用した損傷制御設計法の開発

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1/300rad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1/200rad以下とし、部材塑性率を2.0以下とする。

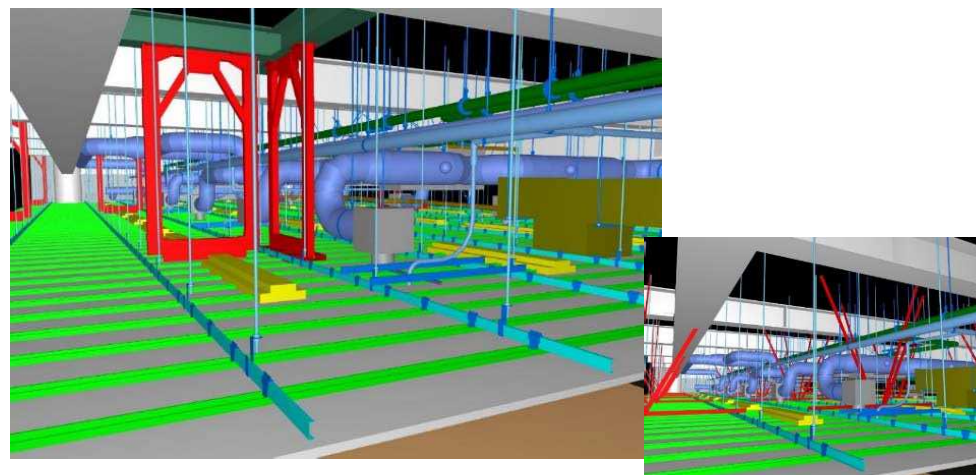
- **ポイント等**：このような設計法や仕様規定等を、技術資料として取りまとめ、大地震後に大規模な補修をすることなく継続使用可能な架構を提案した。

4. ②非共振天井材の開発

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）。

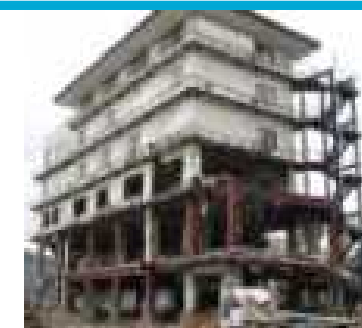
- ・ **ポイント等**：吊り天井に作用する水平力を、斜め部材を多く配置するのではなく（設備計画の自由度確保等に寄与）、剛性・強度の高い水平力抵抗部材で受けて構造躯体に伝達する工法（国総研式耐震吊り天井）を開発して設計法をとりまとめた。

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。

4. 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。*

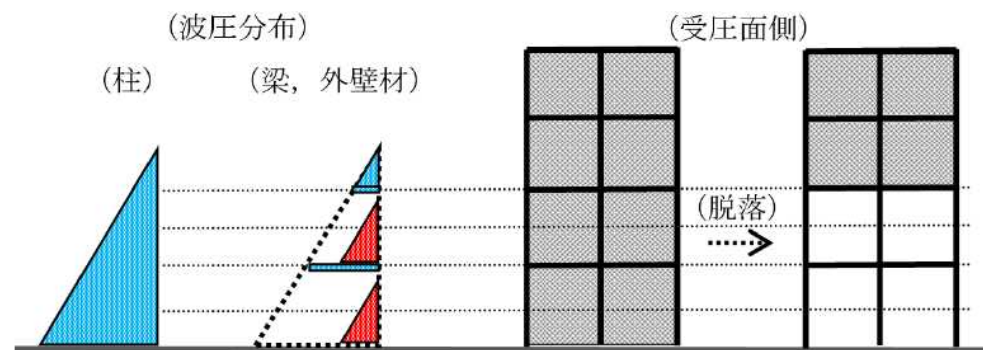
* 東日本大震災における津波による鉄骨造建築物の被害では、外壁材が破壊され流失したものの構造躯体は残存した例が多く見られた(例: 右写真)。これは、津波到達時に、外壁材が早期に流失したことにより、構造躯体に作用する力が減少したことが一因であると考えられる。



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。

4. 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

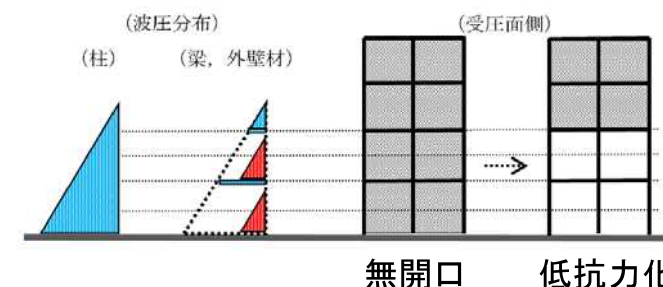


低抗力型建築物



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。

4. ⑤ 飛来物対策評価法の開発

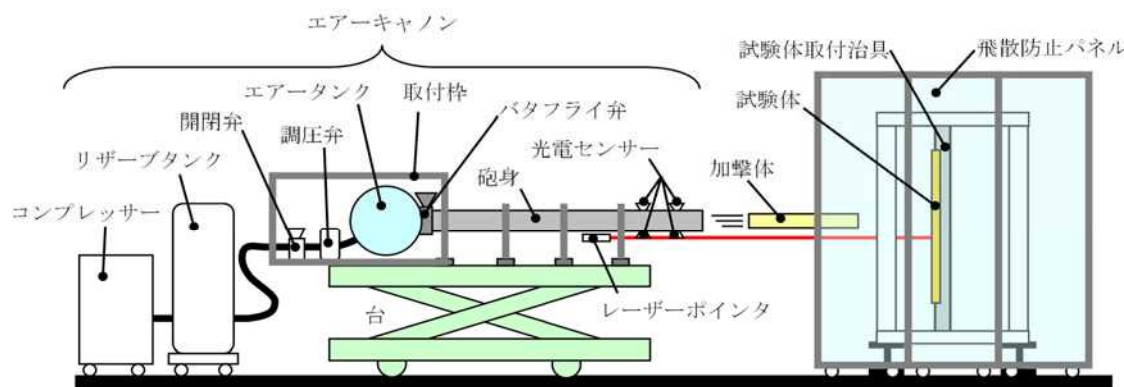
飛来物による衝撃を受ける外装材の耐衝撃性能の試験法・評価法を提案

・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



※災害拠点に想定する竜巻
→建築学会資料に基づき、
日本版改良藤田スケール
JEF3相当で実験
(風速67~80m/s程度)

・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の構築

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

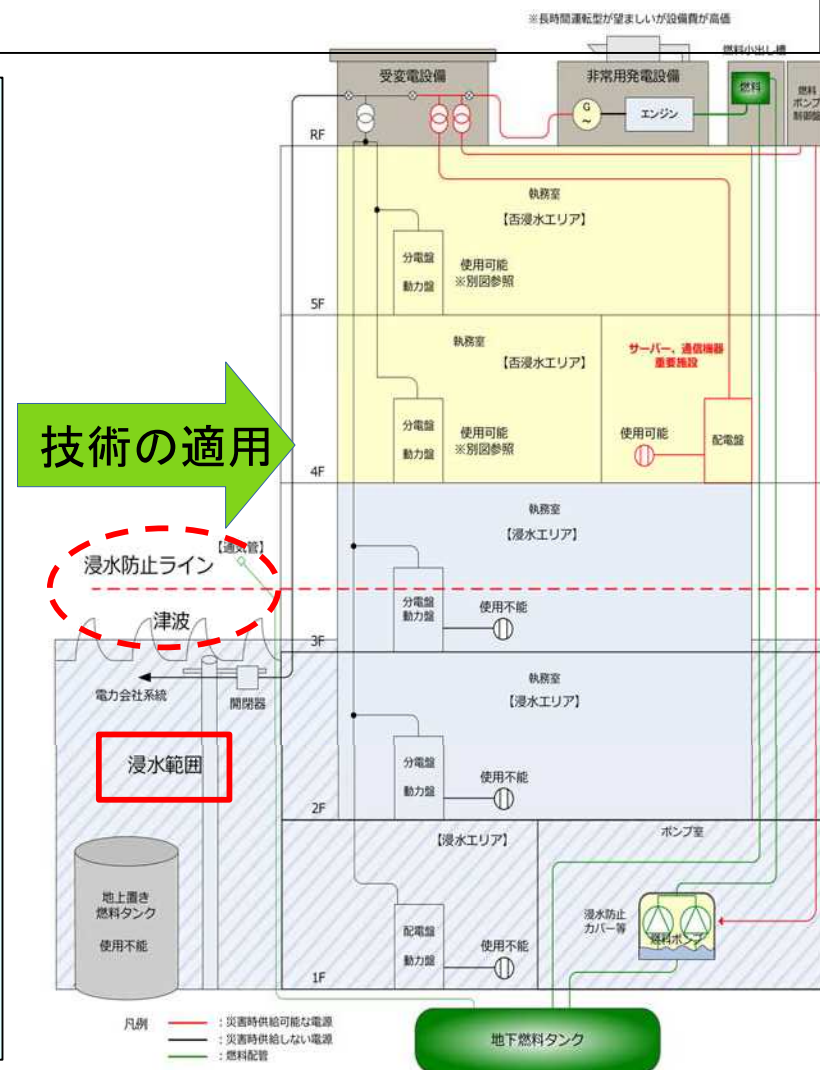
- ①地震による入力や変形が少ない部位に設ける等の計画・設計上の配慮
- ②弱点となる部分の補修性の向上
- ③変形追従対策(建物導入部・エキスパンション部)
- ④漏水対策(計画上の配慮、緊急遮断弁等)

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



・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。

4. ⑦ガイドライン作成

災害拠点建築物の設計ガイドライン(案)

【2017年3月30日国総研HP上で公開】
【2018年1月に国総研資料として発刊】

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)」の作成・公表を行った。

国総研H. P.
 ↳「研究成果・データ」
 ↳「国総研資料等」
 ↳「国土技術政策総合研究所資料 一覧」
 から本ガイドライン(番号 1004)をクリック


<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1004.htm>

ガイドラインの位置づけ

- 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。**

Press Release

国土交通省
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism



平成29年3月30日
国土技術政策総合研究所

資料記者の場所
 1. 国土交通省
 2. 国土交通省建設専門職委員会
 3. 国土交通省交通運輸政策委員会
 4. 筑波研究学園都市記者会 平成29年3月30日同時配布

**災害拠点建築物の設計ガイドライン(案)を公開
 ～大規模災害時における災害拠点機能の継続に向けて～**

国総研は、平成29年3月に「災害拠点建築物の設計ガイドライン(案)」を策定・公開しました。本ガイドライン(案)は、自治体の災害対策本部が置かれるなど災害応急対策の拠点となる建築物が、被災時においてもその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です。

本ガイドライン(案)による設計の考え方や技術を活用した災害拠点建築物が整備されることにより、大規模災害時にも拠点機能が維持され、迅速・適切な応急対策の実施にも繋がります。

1. 経緯
 平成23年に発生した東日本大震災において、自治体関係者、建設による大きな被害を発生したり、倒壊・高床は免れなかったものの、地震の揺れによる天井落下等のまじい損害により建築物の使用が困難となるものが発生しました。

これを契機として国土交通省では、平成25～26年度に於いて総合技術開発プログラムとして「災害拠点建築物の機能継続技術の開発」を実施し、災害時に建物機能を維持するために必要な様々な技術開発や調査を行いました。その成果を踏まえて、災害拠点建築物を実現するために必要となる計画・設計・管理等に同じ配慮すべき重要事項を、設計ガイドライン(案)としてまとめました。

※総合技術開発プログラムの詳細は「総合技術開発プログラムの成果報告書」(国土交通省HP)をご覧ください。

2. 本ガイドライン(案)の概要
 「災害拠点建築物の設計ガイドライン(案)」は、地方自治体の防災・建築担当部局の他、民間企業、設計士が、災害拠点建築物などの計画・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出来ます。また、本ガイドライン(案)には総プロで開発した技術(「壁を流した鉄筋コンクリート造建築物の構造制震設計法」)についての参考資料も、これらの技術を採用した災害拠点建築物の計画・設計時に活用されています。(詳細は別紙参照)

3. 本ガイドライン(案)の公開
 本ガイドライン(案)は、国総研HP(<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1004.htm>)、国総研資料(「研究成果・データ」>「国総研資料等」>「国土技術政策総合研究所資料 一覧」)から本ガイドラインをクリックして公開しており、どなたでも閲覧いただけます。

(問い合わせ先)
 国土技術政策総合研究所 建築研究部
 建築災害対策研究官 石原 晃彦、
 基準認証システム研究室 主任研究官 喜々津 仁徳、研究官 平山 鉄也、
 評価システム研究室 主任研究官 船山 善夫
 TEL: 029-864-4437 (石原)、029-864-4295 (喜々津)、
 029-864-4471 (平山)、029-864-4469 (船山)
 FAX: 029-864-6774
 E-mail: ishihara-a28@nilim.go.jp (石原)、kikitsu-h92ta@nilim.go.jp (喜々津)、hirayama-t92tb@nilim.go.jp (平山)、wakiyama-y92ta@nilim.go.jp (船山)

4. ⑦ガイドライン（案） 構成・内容

■ ガイドライン(案) 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

本文

解説

技術資料

*建築物の新築時の対応が基本、ただし、既存建築物の改修等に当たっても考え方や技術は適用できる。

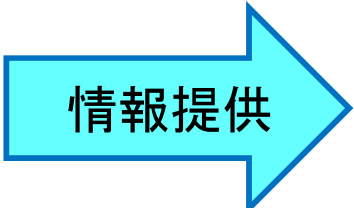
*本文・解説の第2～4章、第8章等では、機能継続計画の検討の参考となる事項の整理も行っている。

+ ■ 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。


 情報提供

- ◆ 庁舎等の建替え等検討中の自治体に直接周知
(茨城県結城市／岩手県釜石市・陸前高田市／熊本県宇土市・大津町)
- ◆ 国総研資料を関係各所に配布(委員会、WG、本省関係、都道府県等)

5. 研究開発成果の波及効果や副次的効果等

1) 国の施策における活用

1. 国土交通本省の主導、関係省庁の参画により策定された「防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン」に活用
 - 新築編(2018年4月)、既存編(2019年3月)
2. 国土交通省・経済産業省の連携によって策定された「電気設備の浸水対策ガイドライン」(2020年6月)において、設備の浸水対策、電源を含めた機能維持対策に関連する部分を活用【成果⑥関連】
3. 改訂作業中の官庁営繕基準類(官庁施設の総合耐震・対津波計画基準、建築構造設計基準・同資料)において活用される見込み



2) 自治体等における活用

1. 自治体庁舎の設計に「災害拠点建築物の設計ガイドライン(案)」を採用
 - 熊本県益城町(2022年度完成予定)
 - 鹿児島県始良市(2023年度完成予定)
2. 自治体庁舎の設計等に「防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン」を採用 (※2020年4月時点、ウェブ調査)
 - 奈良県桜井市／静岡県静岡市／岡山県倉敷市・総社市・玉野市／
千葉県八千代市／神奈川県厚木市／岐阜県本巣市／
大阪府貝塚市／島根県松江市／福岡県福岡市・糸島市／
香川県多度津町／和歌山県有田川町(地域防災計画)



5. 研究開発成果の波及効果や副次的効果等

3) 民間等における活用

1. 文部科学省「首都圏を中心としたレジリエンス総合力向上プロジェクト」における災害時機能継続性の検証実験の実施（Eディフェンス、2019年12月）【成果①関連】
 - 大地震後の機能継続を想定した3階建てRC造試験体の耐震設計において採用
2. （一財）日本建築センターによる「事業継続・防災拠点等となる建築物に係る機能継続に関する技術評定業務」の実施（2018年11月）
 - 技術評価の検討項目に成果を活用
3. （一財）ベターリビングによる優良住宅部品認定基準において「安全合わせガラス」を新たに位置付け（2020年8月）【成果⑤関連】
 - 飛来物に対する安全性評価の項目に成果を活用（2020年度3件認定）
4. 試験規格としてJIS R3109-2018（建築用ガラスの暴風時における飛来物衝突試験法）が制定【成果⑤関連】
 - ISO16932（ガラスの衝撃破壊性評価方法）の国内対応規格としてのとりまとめに際し、総プロの関係者が各所と連携して実施した検討を活用

