

「災害後の建築物の機能の維持・早期回復を目指した技術開発」

(平成21年度～平成22年度) 評価書 (事後)

平成23年7月11日 (月)

建築研究所研究評価委員会

委員長 深尾 精一

1. 研究課題の概要

(1) 背景及び目的・必要性

近年国内では地震・強風災害が頻発しているが、これらの災害の発生後に建築物がそれぞれの機能を維持するための十分な性能を有しているか否か問われる機会が増えている。商業・生産施設等をもつ事業者が重視する事業継続性の観点に立脚すれば、安全性に加えて業務（操業）停止期間を最小限にするための修復性が重要となる場合もある。例えば、1999年台湾集集地震や2004年新潟県中越地震において、精密機械工場の操業が長期間停止しその経営自体が危機的な状況に陥ったのに加え関連企業の生産活動にも支障をきたした例がこれにあたる。また、住宅所有者の観点に立てば、地震災害後における建築物機能の維持のためにどれほどの修復費用を要し、そのためにどの程度日常生活の継続性が損なわれるかという評価が重要となる場合もある。これは、1995年の阪神淡路大震災において、法律の要求通りの安全性は確保できたが各部材の損傷がひどく修復費用が莫大であるため、結局取り壊されて新たな建築物に建て直された例が該当するであろう。

さらに、近年の地震では構造体の被害が比較的小さい場合にも、非構造部材の損傷により建築物の機能が損なわれて使用できなくなることがある。特に天井が脱落すると物的・人的な被害が予想されると共に、建築物内部の継続使用に少なからぬ影響を及ぼすことが考えられる。

また、都市・建築物が地震等によって被災した場合、都市インフラ（電気、上水、下水、ガス等）はある程度の期間途絶することを想定する必要がある。また、建築物に設けられる各種建築設備については、建築物の主要構造部が健全であったとしても、末端部分の配管、機器類は非構造部材の挙動に大きな影響を受けることから、被災後直ちに利用可能と想定することは困難である。しかし、上記にも関わらず、特に大規模な建築物については、当該建築物において、在館者の一時的な退避や最低限の避難生活を担保することができない場合、大きな社会的混乱が予想され、特に、トイレ、生活水の確保は、最も重要な課題となる。

平成19年度防災白書では、地震災害後の建築物の機能が確保されていなければ、「建築物に構造的な被害が無くても、しばらくの間、生活や事業の場として支障をきたすことが起こりうる」との指摘がなされている。つまり、構造躯体に目立った損傷がなくても、非構造部材、設備等が被災することで建築物の機能が著しく損なわれることが十分予想され、地震災害後の建築物の機能の維持は検討すべき喫緊の課題である。

一方、建築物の強風被害では、一般に構造躯体の損傷よりも、屋根ふき材等の損傷や剥離による被害が多い。近年の甚大な強風災害では、建築物の構造躯体には損傷がなくても、鋼板製屋根ふき材が広範に脱落・飛散することの結果として防水性能を確保できなくなり、建築物の内部に雨水が浸入して、内部機能の喪失や物品等の被害が発生した事例がみられる。特に避難所として供される公共施設や内部空間の高機能化が図られた用途の建築物では、たとえ構造骨組自体が健全であっても、屋根ふき材の脱落や飛散だけで甚大な経済的損失等をもたらす可能性がある。強風災害後も建築物の機能を維持するには、まず屋根ふき材が所定の耐風性能を確保することが重要である。2007年の建築基準法改正に伴い、建築確認時に屋根ふき材等の構造計算書等の提出が義務付けられ、屋根ふき材等は所定の耐風性能を確保していると考えられているが、現時点では、屋根ふき材等に作用する風圧力や屋根ふき材等の維持管理の問題も含めて、屋根ふき材等の耐風性能を確保する上で残された課題も多いと考えられる。

以上の背景を踏まえれば、今後の構造設計においては、構造躯体の耐震・耐風安全性の評価だけでなく災害発生後の機能の維持や早期回復を指向した修復性能の評価も求められるケースが増えてくると考えられ

る。また、災害後の建築物の機能の確保に大きな影響を及ぼす非構造部材や設備等の耐震・耐風性能の確保、インフラ途絶に対応した給排水設備技術の構築も重要な課題である。

(2) 研究開発の概要

本研究課題では、地震・強風災害後の建築物の機能の維持・早期回復を目的として、「建築構造に関する性能評価を行うシステム（以下、構造性能評価システムという）の開発」、「非構造部材に関する技術開発」及び「給排水設備等に関する技術開発」をテーマとして、研究を実施した。

(3) 達成すべき目標

サブテーマ（1）災害後の建築物の機能の維持・早期回復を目指した構造性能評価システムの開発

- ・「機能回復性」評価体系の構築、「機能回復性」評価指針および評価例の策定
- ・「機能回復性」評価のためのデータベースの構築
- ・「機能回復性に関する説明・表現ツール」（構造設計者の構造性能アカウントビリティ一遂行に寄与）、および、「機能回復性に関する説明読本」

サブテーマ（2）災害後の建築物の機能の維持・早期回復を目指した非構造部材に関する技術開発

- ・地震・強風被害後の建築物の機能喪失の程度を最小限に抑える非構造部材の構法・構造計算手法に関する提案

サブテーマ（3）災害後の建築物の機能の維持・早期回復を目指した給排水設備等に関する技術開発

- ・被災後の機能の維持のための給排水設備技術の提案

(4) 達成状況

サブテーマ（1）災害後の建築物の機能の維持・早期回復を目指した構造性能評価システムの開発

1) 「機能回復性」評価手法と「機能回復性」評価例（病院・事務所・共同住宅）：

時刻歴応答解析等による応答値に基づき、損傷評価データベースにより、損傷状態と損傷量を推定し、その損傷状態に基づき、修復性評価データベースにより修復費用・修復期間を評価するデータベースに基づく評価手法を提案した。3種類の用途の建築物に対して、本課題で提案した手法を適用し、応答の評価、損傷状態の評価、修復費用・修復期間の試評価を実施した。

2) 損傷評価・修復性評価・機能性評価のためのデータベースフォーマットとそのデータ：

各評価のデータベースフォーマットとその根拠となるワークシートのフォーマットを定め、そのフォーマットに応じたデータの収集を行い、今後のデータ整備の基盤を構築した。

3) 病院・事務所・共同住宅を対象とした耐震性能の表示啓発手段（冊子、Webコンテンツなど）：

前述の3つの異なる用途の建築物について、地震時の建築物の物理的被害が建築物の機能性に及ぼす影響を分かりやすく説明する方法を提案し、建築物のユーザが理解しやすい耐震性能の表示手段を示した。

4) 検討成果の公表：

1)～3)で検討して得られた成果について、本システムの利用者向け（主として構造設計者）に成果報告会（平成23年1月28日）を開催し、成果内容を広く紹介し、今後の課題や方向性について広く意見を収集した。

サブテーマ（2）災害後の建築物の機能の維持・早期回復を目指した非構造部材に関する技術開発

1) 天井の耐震対策の現場への適用に関する検討

体育館に多く用いられている在来工法による勾配天井を対象に振動台実験を実施し、大規模な天井面の脱落につながりうる損傷を確認した。在来工法天井下地材について実際の様々な現場での使用を想定して耐力試験を行い、下地材の破壊過程は類似するが製造者や仕様の違いにより耐力に差があることを把握した。天井落下防止対策として構造用ケーブルと落下防止ネットを用いる工法を検討し、天井板の落下防止に有効で

あることを実験で確認した。得られた成果は大規模空間の天井脱落に関する技術的助言や関連する告示への反映が見込まれる。

2) 屋根ふき材の耐風性能確保に関する検討

屋根ふき材の耐風性能を確保することを目的として、実態を踏まえて、屋根ふき材等の構造計算の確認表、耐風圧等級などの建材の耐風性能の規格化、風圧力早見表等の提案を行った。また、建築基準法に示されていない寄棟屋根の構造骨組用・外装材用風力係数、屋上広告板、ベランダ手摺のピーク風力係数を、複数の研究機関による風洞実験結果に基づいて纏めた。寄棟屋根の風力係数等については平成 12 年建設省告示第 1454 号ならびに 1458 号に反映できる技術資料を提案した。

サブテーマ (3) 災害後の建築物の機能の維持・早期回復を目指した給排水設備等に関する技術開発

地震等の災害によってインフラが途絶した場合においても、在館者の一時的な退避や最低限の避難生活を担保することができる、給排水設備等に関する防災対策技術として、次の事項について取りまとめた。

1) 建築物単体を対象とした給排水設備等の防災技術

①生活用水の確保と搬送に関する対策技術

被災後 7 日間を想定し、避難生活に必要な飲料水を確保するとともに、建物内に設置された水槽等からの貯留水の流出防止（感震器付緊急遮断弁による貯留水の流出防止）、トイレ用洗浄水等を外部から高層階に搬送できる配管設備等の設置（建物外部から雑用水を揚水できる配管設備を設置し、ポンプ車やエンジンポンプ等の外部動力を利用して、高層階の居住者に供給する）によって、トイレ用洗浄水等の生活用水を供給できる設備を設ける。

②給排水設備の機能の維持と復旧の迅速化に関する対策技術

- ・給水設備の機能の維持・信頼性向上のため系統を複数化するとともに、被災時におけるトイレ機能復旧の迅速化のためトイレ洗浄水の給水系統と飲料水系統の給水系統の分離した設備を設ける。
- ・下水道インフラの機能停止に対応できるよう、涌水槽等を非常時の汚水排水槽として活用できる排水設備を設ける。
- ・主要な給排水設備、電気設備等に対する浸水防止対策を講ずる。
- ・液化化現象等により、給排水設備配管の破断が予想される都市インフラとの接続部分には、十分な伸縮吸収方法を採用するとともに、迅速な復旧をはかるため破断位置を予測できる設備計画とする。

③給排水設備用等の電源確保に関する対策

被災後 7 日間を想定し、法令上設置が要求される非常用電源とは別に、間欠運転する災害対策用電源を併設し、被災後の給排水設備用の電源（ポンプ等稼働時のみ）、住宅用保安電力（夜間のみ）を確保する。

2) 隣接する建築物等を対象とした給排水設備技術等の防災技術

隣接する建築物間で、建築物内部に貯留されている水、災害対策用電源等を相互に有効活用するため、被災後の利用シナリオをあらかじめ検討し、設備上の対策を講ずる。

3) 給排水設備等の運用における防災対策

- ・発災後の給排水設備の損壊状況を診断し、設備の使用可否判定をするためのマニュアルを整備し、所有者等と保守業者との維持管理契約等において設備の復旧・始動のための専門知識を有する技術者を確保するとともに、被災者が設備の使用可否を判定するための最低限のルールを併せて整備する。
- ・建築物内における発災後の生活排水の配分方法、災害時における水等の使用制限について所有者等とテナント等との契約、共同住宅における管理規約等で明確に規定する。
- ・非常用発電機と併設した防災用発電機の被災後の運転スケジュール等について、所有者等とテナント等との契約、共同住宅における管理規約等で明確に規定する。
- ・隣接する建築物等における水、防災用発電機等の利用シナリオを立案した場合、これを隣接する建築物の所有者間の契約等に位置づけ、実効性を確保する。

これらの成果は、高層建築物等への被災対策を必要としている地方公共団体が建築基準法第 40 条の規定

に基づき、条例によって、建築内の水の貯留・有効活用のための給排水設備に関する規制を付加する場合の技術的な参考資料として、活用される見込みである。

2. 研究評価委員会（分科会）の所見と建築研究所の対応（担当分科会名：構造分科会、環境分科会）

（1）所見

構造分科会（主務分科会）

- ①いずれのテーマも、今回の東日本大震災のことを考えても、非常に時宜を得た重要な研究テーマである。サブテーマ（1）「構造性能評価システム」は、構造設計における経済性の評価をしようとする新しいテーマであり、今後さらに具体的に研究開発を進めていただきたい。サブテーマ（2）「非構造部材」は、天井の落下をはじめ、人的、物的被害が大きいたくがますます明らかになったことに鑑み、理論・実験・被害調査の各方向から、設計法を具体的に示す方向の研究開発を進めるべきである。サブテーマ（3）「給排水設備等」も、今後さらに必要になるテーマであり、設備全体の耐震性を視野に入れた研究開発が望まれる。
- ②従来は構造関係の研究者があまり行ってこなかった研究テーマで、単に構造安全性を高めるのではなく、被災後の経済的な面を取り入れた点が特に高く評価される。今後、この成果をどのように反映させるかを考えると共に、個々の建築物のみではなく地域・社会としての評価もできるような研究へと発展することを期待する。
- ③特に、建築物の非構造部材や設備の様態は多岐にわたるので、研究の対象を広げて継続し、建築物の総合的な安全、安心の向上に寄与してもらいたい。

環境分科会（関係分科会）

- ①大震災を対象とした研究としては、妥当な成果が得られており、大変役に立つ情報が得られているように思われる。
- ②概ね所期の目的は達成されたものと判断される。基準、規格等への反映が期待される。
- ③生活用水確保と搬送に関する対策技術、機能回復と復旧迅速化の対策技術、電源確保に関する対策などをまとめ、また、隣接建物の防災技術、運用上の防災対策などをまとめ、地方公共団体の給排水設備の防災対策に関する条例作成の技術的な参考資料として活用が見込まれるなどの成果を上げている点は、評価できる。今後、技術開発を進め、より具体的な技術の構築を進めることが望まれる。

（2）対応内容

構造分科会（主務分科会）

所見①及び③に対する回答

構造性能評価システムについては、今後、新たな研究課題の提案などを検討し、その中で具体的に研究開発を継続していきたいと考えます。

天井については、建築研究所等で実施した実験・検討の成果を踏まえて天井の耐震計画のための計算方法・落下防止工法等を検討します。屋根については、屋根ふき材だけでなく外壁も含めた屋根ふき材等の耐風性能を確保する手法を提案したいと考えます。なお、天井や屋根ふき材等については建築基準整備促進事業の事業主体と共同で研究開発を継続します。

設備については、耐震性を基盤として、インフラ途絶時における対応性等も含めて今後の研究開発を検討したいと考えます。

所見②に対する回答

平成23年1月28日に、本研究課題サブテーマ1に関する研究成果報告会を実施し、構造設計者等の参加を得ました。この報告会での意見等も参考にして、今後の反映方針等を検討したい。本課題では、個々の建築物を対象にして、評価を行いました。本手法が地域・社会等に適用可能か、今後検討を考えます。

環境分科会（関係分科会）

所見①及び②に対する回答

本研究の成果は、建築基準法第 40 条の規定に基づく地方公共団体の上乗せ条例を定める際の技術資料として活用されることを想定しており、今後より活用が容易となるよう成果物を取りまとめ、公表したいと考えます。

所見③に対する回答

ご指摘を踏まえ、今後の研究開発を検討したいと思います。

3. 全体委員会における所見

地震・強風災害後の建築物の機能の維持・早期回復を目的とした研究であり、東日本大震災の被災状況に鑑みても非常に時宜を得た重要な研究課題である。3つのサブテーマそれぞれについて成果があがっており、本研究で目指した目標を達成できたという分科会の評価を支持し、全体委員会の評価としたい。

なお、本テーマについてはより高度な研究を引き続き実施してもらいたい。

4. 評価結果

- A 本研究で目指した目標を達成できた。
- B 本研究で目指した目標を概ね達成できた。
- C 本研究で目指した目標を達成できなかった。