

「建築物の耐震レジリエンス性能指向型設計・評価手法に関する研究」

（令和4年度～令和6年度）評価書（終了時）

令和7年2月20日（木）

建築研究所研究評価委員会

構造分科会長 田才 晃

1. 研究課題の概要

（1）背景及び目的・必要性

人口減少・高齢化・未使用既存住宅（空き屋）が顕著化する昨今、地域の活力を維持しながら生活機能を確認し、高齢者が安心して暮らせるよう地域公共交通と連携したコンパクトに集約された都市形成の促進が近年強く求められている。そのような集約化された高機能な都市が巨大災害を受け、当該都市機能の一時的な停止が我が国の経済活動に与える影響は計り知れない。こういった将来求められている高機能な都市の地震後継続使用という観点において、例えば、再開発によって新たに建設される建築物や現在既に使用されている既存建築物が保有すべき耐震性能は明示されていない。そのような中、建築研究所においては、1995年の新構造総プロで示された方向性に基づき、2006年以降、「地震後の機能維持・早期回復」、「地震後の継続使用性確保」に資する耐震設計手法に関する検討を行い、個別の建築物の耐震性能評価法を提示している。また近年、日本建築学会特別調査委員会において耐震レジリエンス性能が議論され、建物性能の低下と復旧時間を指標とした検討が行われ、その結果が2020年に報告書として取りまとめられている。

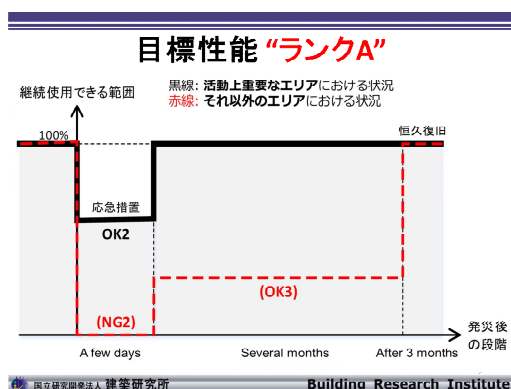


図 継続使用性確保のための要求性能
(2017、建築研究所)

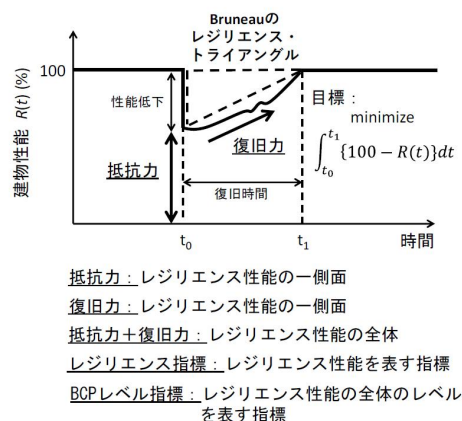


図 建物のレジリエンス性能指標等の概念
(2020、日本建築学会)

（2）研究開発の概要

本研究課題では、現行基準で許容される損傷軽減や迅速な被災判定により建築物のレジリエンス性を高めた建築物の推進を目的とし、耐震レジリエンス性能として耐震安全性能および復旧性能を考慮した建築物の設計手法構築に資する各種評価手法を大きく分けて以下の2つの項目を検討する。

1. 建築物の耐震レジリエンス性能の算定方法とその要求性能の提案
2. 建築物の耐震レジリエンス性能を確保する設計のための耐震性能評価技術の調査・開発

（3）達成すべき目標

以下のアウトプットを具体的な目標とする。

- ① 建築物の耐震レジリエンス性能の算定手法に関する技術資料
- ② 耐震レジリエンス性能を確保した建築物の設計・評価に関する技術資料

(4) 令和6年度の進捗・達成状況

研究テーマ1：建築物の耐震レジリエンス性能の算定方法とその要求性能の提案

鉄筋コンクリート造、鉄骨造、木造といったいずれの構造種別にも適用できる耐震レジリエンス性能を評価する際の共通の考え方として、耐震性能残存率 R_s 、修復時間率 R_t を用いた評価手法を提示した。

鉄骨造では、昨年度提案した損傷度に応じて梁端の修復工数等を自動計算できるプログラムを改修し、建物全体でこれらの情報の集計ができるように拡張した。

2024年1月1日に発生した能登半島地震において、地震後の機能継続の阻害要因に関する庁舎や病院等の建築物の現地調査を実施した。

研究テーマ2：建築物の耐震レジリエンス性能を確保する設計のための耐震性能評価技術の調査・開発

情報が不足している部材の損傷DBと修復DBを整備するために、鉄筋コンクリート造では修復した梁試験体の載荷実験における損傷データ等の収集を、木造ではCLT構造を対象とした要素実験や部材実験を実施した。また、鉄筋コンクリート造（共同住宅の張間方向）、鉄骨造（事務所ビル）、木造（戸建住宅）において、想定建物を対象とした損傷量の予測や耐震性能残存率の提示、修復に必要となる時間、コストの試算に加え、一部については、修復時間を短縮するための具体的な方法も提示した。

また、加速度センサやレーザースキャナを用いた被災判定手法を用いて、耐震レジリエンス性能を評価する手順や方法を示すための検討として、被災判定結果を収集するサーバの実運用に向けた準備、3D点群による損傷評価手法の汎用ソフトウェアへの展開に向けた検証等を実施した。

2. 研究評価委員会（分科会）の所見

(1) 研究開発の成果が十分に得られているか。

- ・研究開発は、当初の年次計画に沿って実施され、十分な成果が得られていると判断する。
- ・本研究開発は考え方を示し、枠組みをつくり、事例を作成、設計、評価手法の優位性を示すことが極めて重要と考えている。そういう観点からは成果は十分に得られていると評価できる。
- ・建築物の耐震レジリエンス性能をテーマに、実地震や実験等により幅広く「算定方法とその要求性能」、「性能確保の耐震設計・評価技術の調査・開発」を提案・整理し、十分な成果をあげている。
- ・耐震レジリエンス性能を定量的に評価する指標を提案し、具体的な修復時間の試算例も示すと共に、評価に資する部材性能のデータ取得も進められており、研究開発成果は十分に得られていると判断されます。

(2) その他の評価（研究成果の発表状況、外部機関との連携等に関する評価）

- ・論文、学会発表、講演会、国際会議等で、多くの発表が精力的に行われた。最終年度での成果も同様に発信されることが求められる（所見①）。他機関との連携では、国総研、諸大学、UR都市機構、JSCA等民間組織、日本建築防災協会、産総研、JAXA、国際興業、東京都 他、建築研究所に相応しい幅広い組織的な取組みが推進された。
- ・論文や共同研究により他機関と連携が取れていて成果も出ている。ただし本項目の評価がより具体的にできるよう、単に成果を列記するだけではなく、共同研究の全体像の発表を進めてほしい。そのうえで、全体像のうち、それぞれの研究課題がどの部分に対応しているのか、それぞれの共同研究や執筆論文における役割を明記してほしい（所見②）。
- ・R4～6年度において、査読付き論文11報／発表論文33報、投稿中論文3報あり、十分な発表状況である。また、各テーマに応じて国総研、日本建築防災協会、産総研など外部機関との連携がとられている。
- ・成果の展開も見据えた外部機関との連携が図られています。

(3) 総合所見

- ・本指定課題は、建築物の耐震レジリエンス性能を確保するための設計手法の構築、および当該性能の評価手法の構築を目的とした。主要な構造種別を横断的に包含し、地震後の速やかな復旧性能を建物

の設計段階から考慮することを可能とする、安心・安全で持続可能な社会の実現に資する重要なテーマである。

最終年度において、地震後の耐震安全性を表す指標として耐震性能残存率、復旧性を表す指標として修復時間率を定義し、耐震レジリエンス性能をこれら二つの指標の和として表すことを提案した。耐震性能残存率は、鉄筋コンクリート造、鉄骨造、木造といったいずれの構造種別にも適用できる物理量である最大変形に基づいて評価可能である。修復時間率は、損傷がない状態を100として、被災による修復時間の修復限界時修復時間に対する比率を差し引いたもので、これも構造種別によらない。このように定まる耐震レジリエンス性能を、新築建物設計時に建物依頼者やエンドユーザーに理解可能な方法で提示できれば、将来の地震時に建物が被る時間損失や復旧にかかる費用を考慮し、所有者が建物に付与する性能を吟味することが可能となる。耐震レジリエンス性能がより良い建物の選択を可能にする方法となり得ることを示した成果は大きいといえる。

- ・建築研究所でなければ取り組めない構造分野全体にわたる課題である。研究課題としては、これまで十分に検討がなされていなくまま基準化が済んでいるが実は基礎データが不足している基礎研究、最新ではないものの基準の整備に欠かせない研究、さらに将来を見据えた最先端の研究などあるが、それらの研究課題をうまく整理して実施している課題ともいえる。特に前者2つの課題は予算化が難しいところがあるが、是非とも先端の研究と関連を持たせつつ継続して実施いただきたい。(所見③)

また、最先端に重点を置いた研究は別途予算をとって実施しやすい課題でもあり、更なる発展のために今後の新たな提案の目を育てることに期待したい(所見④)。

- ・耐震レジリエンス性能を基本に構造種ごとに評価方法の提案がなされている。この耐震レジリエンス性能は事業者や設計者にとって重要なテーマである。修復期間についても様々な要因が関連する中で評価軸を分析する難しい要素が多々あるが、本研究では理想修復時間を用いた定量的な評価に割り切っている。
- ・耐震性と修復性を組合わせた具体的な耐震レジリエンスの評価指標を提案されたことは、大変重要な成果と評価します。

RC造、S造、木造などの構造種別や、事務所ビル、体育館、木造戸建て住宅から、非住宅のCLTパネル構造まで幅広く取組まれている。今後は、様々な構造形式や建物用途に対して体系的に展開していくことを期待します(所見⑤)。

耐震レジリエンス性能は、免震・制振技術も含めて、初期コスト、修復コスト含めて得失を評価できるようにすれば有用な情報が発信できると思います(所見⑥)。

地震後の早期復旧・機能維持の性能を修復時間で評価することは有用と思われますが、材料調達や工事の実施容易性等、サプライチェーン全体の評価も必要になると考えられます。

本研究は新設建物の耐震レジリエンスの評価法ですが、早期復旧を可能にする構造形式の選定にも繋がることを期待します(所見⑦)。更に、既存建物のリニューアルを対象とした耐震レジリエンス向上へも展開することを期待します(所見⑧)。

(参考) 建築研究所としての対応内容

- ・所見①、②への対応(成果の公表と発信)

ご意見を踏まえ、建築研究所の技術資料としての発表において意識してとりまとめを行いたいと考えています。なお、2/21に開催された建築研究所講演会では、鉄筋コンクリート造、鉄骨造、木造における成果の発表を行い(<https://www.kenken.go.jp/japanese/research/lecture/r06/index.html>)、Web上で概要が確認できる資料を公開しております。

- ・所見③、④への対応(研究の発展的継続)

修復時間や修復コストの算定には損傷量に関する実験データが不可欠ですが、過去に行われた実験では詳細な観測が行われていないものも多く、実験データの収集が必要な状況となっています。例えば、新技術の検証を行うことを目的とした実験において比較用に製作される標準試験体のデータを収集す

る等、他の研究課題とも連携して、必要なデータの収集を進めて参りたいと思います。

・ 所見⑤、⑧への対応（適用対象の拡大）

ご意見を踏まえ、本研究の後継となる指定課題や、今後の一般課題の設定にあたり配慮してゆきたいと考えています。

・ 所見⑥への対応（免震・制振対応）

制振技術については、本課題で想定する地震時の各階・各部材の変形をベースとする耐震性能の表示体系への移行の中で、一般のRC造、鉄骨造、木造などと同列に扱うことができるように検討を進めたいと考えています。免震技術についても同様の整理ができるかと思いますが、極稀地震時の上部構造の損傷がほぼ無被害となることが容易に想定でき、既に長期優良住宅制度や住宅性能表示制度の認定条件となっていることもありますので、耐震レジリエンス性能の観点での評価が必要となるかどうか判断する必要があると考えております。

・ 所見⑦への対応（今後の活用）

本研究課題で検討した耐震レジリエンス性能の指標である「耐震性能残存率」や「修復時間率」の算定に用いる損傷データベースについて、ご指摘の観点に活用できる形での拡充に努めたいと考えています。

3. 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。