

# 「建築物の耐震レジリエンス性能指向型設計に資する評価手法の研究に関する研究開発」（令和4年度～令和6年度）評価書（事前）

令和3年12月13日（月）  
 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) 背景等

#### 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保し、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（図1参照）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（図2参照）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。

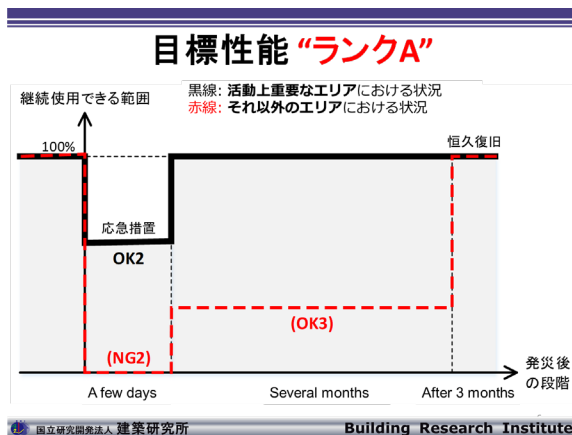


図1 継続使用性確保のための要求性能  
 (2017, 建築研究所)

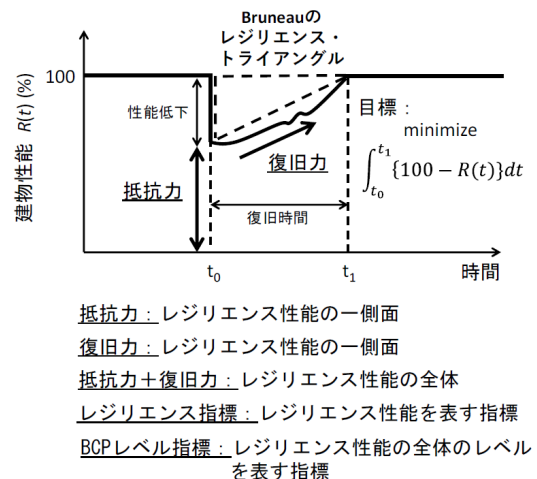


図2 建物のレジリエンス性能指標等の概念  
 (2020, 日本建築学会)

### 2) 前課題における成果との関係

関連する研究課題として平成28年度から6カ年実施してきた「既存建築物の地震後継続使用のための耐震性評価技術の開発」課題がある。以下に各検討項目における成果の概要を示す。

#### ① 熊本地震で被災した建築物における地震後継続使用性評価の分析：

新耐震設計ならびに耐震補強された既存建築物を対象として、地震発生前および後における時点の地震後の建築物の継続使用性評価手法の構築を目的として、特に2016年4月に発生した熊本地震で被災した建築物を対象とした検討を実施した。

熊本地震で被災した庁舎の継続使用性の状況やその判断に関するヒアリングを実施した結果、地震後における建築物の部分的な応急措置や使用禁止エリアなどを許容した形で継続使用性が確保されている事例が多く、かつ、非構造部材の損傷レベルは構造部材のそれより許容される程度が大きい。このことは前の重点研究課題で提案した、地震後の継続使用性を判定する性能レベルは、活動上重要なエリアとそれ以外のエリアに区分して、それぞれの許容損傷レベルに応じて決定することの妥当性を示すものであることを確認した。

さらには、熊本地震によって地震後の継続使用性を喪失した建築物の被害要因分析として、現行基準に適合しているRC造建築物で大破の要因となっているピロティ形式構造の柱および壁梁部材、純ラーメン架構における柱梁接合部に加えて、既製コンクリート杭については、地震後の継続使用性を確保するための耐震性能評価や補強が必要になることを明らかにした。

② 新耐震以降の既存RC造建築物を対象とした継続使用性確保のための補強設計手法に関する検討：

①の検討で耐震補強等による対策が必要となった新耐震以降に設計された既存RC造建築物を対象として、地震発生前時点の建築物の継続使用性評価手法並びに耐震補強方法を提案した。特に2016年4月に発生した熊本地震で大破判定となった新耐震以降に設計された既存RC造建築物を対象とした検討を実施し、当該建築物の大地震に対する継続使用評価手法・補修補強設計方法を纏めた（予定）。

③ 大地震後に継続使用を確保できる既製コンクリート杭等を用いた基礎構造システムの設計手法に関する検討：

①の検討で性能向上の必要性が明らかになった既製コンクリート杭を用いた検討として、大きな軸力が作用した際の既製コンクリート杭において中空断面での性能確保のためには杭とパイルキャップの接合面における降伏機構を確保することの有効性確認や中実断面における高靱性を確保するための仕様を検討し、その妥当性を構造実験によって検証した。またここで提案する基礎構造システムを対象とした設計方法について検討し、その有効性を確認した。

④ 被災建築物の迅速な損傷性状評価手法に関する検討：

地震時における建物や部位の応答を、直接計測したデータに基づき、被災建築物の迅速な損傷性状評価手法の検討を行い、その結果、地震後の建築物の継続使用性判定のための各種計測装置の必要性能とそれらの利用方法を纏めた。

1) 地震後における被災建築物外観の損傷状態の計測データに基づく評価手法の開発

地震時の部位の損傷を判定する個別ツールの開発として、3次元レーザースキャナおよび高解像度写真を用いた建物の損傷評価システムの構築に向け、以下の知見を得た。

- ・地上型レーザースキャナを用いて、部材試験体並びに実大架構試験体における建物全体の残留変形や浮き・剥落の損傷性状を計測し、それらの定量的評価に必要な手順を明らかにした。
- ・航空レーザースキャナを用いて、建築研究所建屋屋上に設置した模型の大きさを評価する基礎検討を行い、航空レーザによる点群データを用いた評価の可能性を確認した上で、熊本地震において大破判定された被災建築物を対象に、実被害の程度との相関を検証し、航空レーザースキャナを用いた大破判定の適用の条件を纏めた。
- ・高解像度写真を用いてひび割れ幅の評価手法を提示し、その妥当性を部材及び架構試験体で検証を行い、有効性を確認した。

2) 地震応答観測データに基づく損傷性状評価手法の開発

- ・建物全体の動的振動性状把握のために、衛星測位情報の有効性を検証するため、建築研究所屋上において可

動式振動台を設置し、そこで地震応答の再現を行い、測位による動的応答変位の算定精度および用いる機器（受信機および受信アンテナ）の性能について検討を行い、有効な組み合わせを明らかにした。

- ・被災判定に必要な加速度センサの必要仕様と試験方法を検討し、取り纏めた。
- ・既往の実大架構実験結果を用いて、現行の被災度区分判定基準を準用し検証した結果、実損傷と計算による被災度が整合しないことを確認し、それらを改善するための部材損傷度の評価方法と部材の損傷度の集計方法について実験結果と整合する方法を提示した。
- ・衛星からの高精度時刻を受ける加速度センサと衛星測位による変位の算定に基づき、被災判定する方法を提案し、それらを有する観測システムを建築研究所建屋に新たに設置し、観測できる仕組みを示した。
- ・長崎県端島において最も老朽化している 30 号棟を対象に、衛星測位による長期観測を実施し、それらの計測精度がミリオーダーで実施できることを確認するとともに、これから得られる長期における水平変位の挙動から、当該建築物の劣化に伴う傾斜進行の傾向を明らかにした。

## (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の目標とする

- 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

## 2. 研究評価委員会（分科会）の所見（担当分科会名：構造分科会）

### 1. 研究開発の「目的・必要性」は十分に説明されているか。

- ・「目的・必要性」は十分に説明されています。
- ・従来の RC 造建築物の継続使用性研究成果を色々な構造形式にも広め、RC 造においてはより深化させようとする研究と理解した。地震による社会活動の中断を許容しがたくなっている現状を鑑みて、継続使用性の重要性は増していると思われる。
- ・研究目的として設計手法構築は明確だが、評価手法構築については設計されたものの評価との説明であったが、資料を読むと被災を受けたものの評価とも読み取れる。明確にすべきかと思う。設計されたものの評価だとすると設計法構築との違いが不明確であるように思う。
- ・建築物とは、RC 造、S 造、木造の各構造種別・規模に対して、どこまで研究開発するのかを明確に記載していただく必要を感じました。レジリエンスを高めることは重要と考えますが、設計法や評価法を作るだけで、レジリエンスをどう高めていこうとしているのか、十分に読み取れませんでした。（所見 1）

### 2. 研究開発の「具体的計画」は適切に立案されているか。

- ・2つのサブテーマを掲げ、それぞれの「具体的計画」は適切に立案されています。
- ・対象が広いため、各分野、同じ密度での研究は難しいと思われた。調査については幅広く、実験などは対象を絞るなど、メリハリがさらに必要と思われた。（所見 2）また、実験など研究の詳細は理解が容易であるが、概念的な部分の研究計画が分かりやすくはないと思われた。
- ・RC 造、S 造、木造と多岐にわたる構造形式を対象としているが、構造実験等を通して確認、開発することができるものは限られていると思うので、達成目標を絞って具体的な計画を立案することが良いのではないか。（所

研究開発課題名（建築物の耐震レジリエンス性能指向型設計に資する評価手法の研究）

見 3) また、過去の被災調査を通して具体的に補修、補強で使い続けている被害の程度と、解体される被害の程度を明確にして、補修、補強で使い続けられている建物の被害程度に抑える設計法を提案できれば有用ではないか。さらには、今までであれば解体されていたものが、本研究の成果で継続使用できるようになれば大きな成果と考える。(所見 4)

- ・ やや、何をどこまでやるのか、具体性に欠けるように思います。(所見 5)

### 3. 研究開発の「体制」は適切に計画されているか。

- ・ 大学等他機関との連携も含め「体制」は適切に計画されています。
- ・ 各分野から参画を得ており、適切だと思われる。実験は大学などと連携すると予想され、適切に遂行されると期待される。また、建研の一般課題においても連携すべきものが多いと思われ、適切に分担することを期待する。(所見 6)
- ・ 建築研究所内の体制については判断がつかない。「震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針」を作成した防災協会との連携が必要ではないか。(所見 7)
- ・ 十分な人員が確保され、他プロジェクト、他機関との連携も取れていると考えます。

### 4. 以下の観点から見て建築研究所に相応しい研究開発課題と認められるか。

- ・ ①、②、③を満たしており、建築研究所に相応しい開発研究課題と認められます。
- ・ 継続使用性という観点から建築研究所という公的機関があるルールを提案してもらうことはわが国の地震対策上、意義深い。この建研提唱のルールに民間の追随も期待され、結果的に地震後の社会活動の継続という社会的要請に応えることに繋がると考えられる。(所見 8)
- ・ 今後、BCP の観点やカーボンニュートラルなどの観点からも大地震後に使用し続けられる建物を増やしていく事は大変重要であり、昨今設計者が建築主に提案している性能設計をより実効あるものにするためにも建築研究所が行う研究課題に相応しいと考える。
- ・ 残念ながら、建築研究所でなくてもよい研究テーマ設定ではないかと感じました。レジリエンス向上を実質化する取り組みを加速していただきたいと思えます。(所見 9)

### 5. 「目標とする成果」及び「成果の活用方法」は適切に設定されているか。

- ・ 「目標とする成果」及び「成果の活用方法」は適切に設定されていると考えます。
- ・ 建築研究所の第一の仕事は公的なルール作りとするなら、概ね適切と思われる。ただし、真の社会実装へ向けにはさらにエンドユーザーに向けて分かりやすい成果を求められると思われる。(所見 10)
- ・ 現在成果として技術資料にとどまっているが、将来的には基準あるいは指針などの形にまとめるべきと考える。(所見 11) 法で定める最低基準ではないので、技術資料にとどまっていると実際にはなかなか活用されないのではないか。(所見 12) 建築研究所だけでは難しいとすると、防災協会など他の団体との協働など、その道筋についても方向性を示していただければ良いと思う。
- ・ 成果や活用方法については、資料提示にとどまっており、十分とは言えないと考えます。(所見 13)

### 6. 総合所見

- ・ 過去数年にわたって行われてきた、地震後の継続使用性に関わる研究では、被災した実建物の調査・分析、有効な補強方法の提案、基礎構造の性能確保に関わる実験、様々な計測技術を駆使した被災判定方法の開発等、多角的な観点から実施され、本指定課題はその豊富に蓄積された成果に立脚して、「耐震レジリエンス性能」をキーワードに、さらに発展的に計画されていると評価することができます。しかしながら、構造分科会でも指摘があったように、課題がカバーしようとする範囲が広すぎて、2つのサブテーマで実施しようとする内容が、

やや茫漠とした印象を受けます。長くはない3年間の実施期間で、総合的、体系的、具体的な成果にたどり着けるよう、またアウトプットの技術資料が単なる事例集とならないよう、課題を遂行されることを望みます。(所見 14)

- ・既存建物の継続使用性を検討するならば免震以外の構造形式での検討の必要性は高いと思われるが、今の時代、継続使用性を持つ建物を新築するならば、免震が第一選択になる。このような社会的理解は広がっていると思われる。それゆえ、それ以外の構造形式の継続使用性研究をする必然性について、構造技術者以外の皆さんに対する丁寧な説明があるとよい。(所見 15)
- ・その説明ができたとして、RC造など被災建物のうち、継続使用が困難な場合から教訓を得て指標として知見を集約するとともに、継続使用に向けた方法を検討することは理解できる。ただし、社会的な要請は被災建物であっても軽微な被害である場合は直ちに継続使用可能と判断し(青信号)、避難者数を減少させ、社会活動を再開することにあるのではないか？。(所見 16)ヘルスマonitoringと継続使用の性能指標・設計手法を関連させた即時判断技術を社会実装の1つのゴールとして研究を進めてほしい。
- ・今までに行った関連する研究課題の集大成としての位置づけになるように思う。非常に重要なテーマであり、目標達成のハードルも高いと考えられる。建築研究所だけで全てを包括する設計法を提案することが難しいと思うので、目標をある程度絞って始めるのが良いのではないのでしょうか。また、JSCAでも性能設計を提案し、普及に努めています。研究成果を取り入れていければと思いますし、どのようにすれば設計者が取り入れやすいかなども検討できればと思います。
- ・具体的な研究内容と実効性の高い成果が見える計画をつくっていただければと思いました。
- ・中破以上は修復性に近く、軽微・小破でも使用できないケースをいかに少なくするかの方が重要と思います。結果として、中破以上の被害に人的・物的資源を投入することができると思います。中破以上であれば、兵庫県南部地震の際の、第一日生ビルのような接合部破壊を防止することが重要と考えます。
- ・レジリエンスを阻害する要因は、軽微や小破などの小さ被害レベルではないかと思います。(所見 17)

参考：建築研究所としての対応

所見 1 への対応：

- ・サブテーマ 1 で耐震レジリエンス性能指標を算定する方法が各種構造に適用できるか、サブテーマ 2 で中破以上の被害が生じ継続使用性が阻害され、かつ新耐震以降に設計され建築物をプロトタイプ建築物として抽出した上で、上記損傷を防止し耐震レジリエンス性能向上させるために、当該部位に生じる応力の評価とそれに抵抗する構造性能を確保する方法について検討を行う計画である。次の“所見 2・3・10・11・12・13・14 への対応”にも共通するが実施できる内容の選定は初期段階で実施する所存。また本課題でレジリエンス性能を高める評価方法を提示し、現行基準で許容している損傷低減や迅速な被災判定技術を普及させることでレジリエンス性を高める所存。

所見 2・3・10・11・12・13・14 への対応：

- ・本研究課題は新たな指標に基づく耐震設計手法構築に資する評価技術の検討であり、現時点で全ての検討項目が明らかではないため、各種構造で実施できる内容を研究初期段階で定めて実行できるような計画を決定する所存。また本研究で得られる技術資料の活用内容を示せる技術基準解説書や震災建築物の被災度区分判定基準への反映を視野にいれ課題を進める所存。また本研究課題の成果としては、この3カ年ではまずは基本的な検討結果を技術者向けに取りまとめ、その後さらに当該成果を広く普及させる研究課題を実施することを計画する所存。

所見 4 への対応：

- ・研究テーマ 2 の中で取り組む際に検討する所存。

所見 5 への対応：

- ・研究テーマ1では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を、研究テーマ2では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・開発を行い、耐震レジリエンス性能の計算法を含む指標の提案とそれをを用いた設計法構築に必要な評価技術を検討する所存。5にも共通するが具体的に実施する項目は初年度時点で決定する所存。

所見6への対応：

- ・得られる成果を最大化できるよう連携方法を協議して課題を進める所存。

所見7への対応：

- ・ご指摘の通り連携する所存。

所見8・9への対応：

- ・これまでに実施してきた研究の取り組みより、本研究活動を実施する基礎的な成果があり、それらを発展させることで、現行基準を上回る性能を新たに付与する設計基盤を構築し普及することは、建築研究所が主体的に実施する内容と考えている。

所見15への対応：

- ・免震以外に設計者や建物ユーザ等へ選択肢を提供することは多様な建築物を創出することにつながるため、免震以外で継続使用性を高める方法を検討する所存。

所見16・17への対応：

- ・軽微の迅速な判定も必要性が高いため、地震後の被災判定システムに関する検討においてご指摘の点も踏まえて検討する所存。

### 3. 評価結果

- A 新規研究開発課題として、提案の内容に沿って実施すべきである。
- B 新規研究開発課題として、内容を一部修正のうえ実施すべきである。
- C 新規研究開発課題として、実施すべきでない。