

「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」

(平成 28 年度～平成 30 年度) 評価書 (終了)

平成 31 年 3 月 13 日 (水)

建築研究所研究評価委員会

構造分科会長 林 静雄

1. 研究課題の概要

1) 背景及び目的・必要性

我が国の既存建築物においては、1981 年以前、すなわち旧耐震基準により建設された公共建築物（特に学校校舎）を中心として耐震診断・補強が広く実施されており、平成 27 年度までに住宅および特定建築物の耐震化率を 90%以上とすること目標に向かって様々な施策が実行されている。また、それらの設計体系は耐震安全性を確保する方法として広く社会に定着している。

2011 年に発生した東日本大震災による震動被害では、過去の震災被害事例同様、現行基準で設計された建築物や現行基準に照らして耐震補強された建築物の倒壊は確認されていない。しかしながら、設計時に考慮していない部位が大きく損傷し、地震後継続使用できない建築物が散見され、現行基準の要求レベルを確保するだけでは、地震後の建築物の継続使用性は必ずしも確保されないことも明らかとなった。そこで平成 25 年度より重点研究課題「庁舎・避難施設等の地震後の継続使用性評価手法の構築」として、地震後の継続使用が強く求められる庁舎および避難施設（RC 造置き屋根体育館）の建物用途を対象に、また部位は地震被害が顕著であった RC 造非耐力壁、RC 柱と鉄骨屋根接合部、RC 杭基礎を対象に絞って実施し、地震後の継続使用性を確保するための設計体系の基礎部分を確立するため、以下の検討を実施してきた。

1. 地震後継続使用性を確保するための要求性能の提案
2. 地震後継続使用性を判断する部位の損傷評価技術の開発
3. 地震後継続使用性を確保するための建築物の耐震設計と耐震性能評価手法の検討

以上より、新築の建築物に対する設計では、構造部材断面を要求性能に応じて設計できることから、その設計法の道筋や実現可能性はおおよそ示されたものの、既存建築物を対象とした際の継続使用性評価については以下の技術的な課題が残されている。

課題 1. 一般用途の建築物（住宅や事務所ビル等）にも適用できる耐震性評価体系の構築が必要

課題 2. 時刻歴応答解析を用いない損傷評価技術が必要

課題 3. 既存中高層建築物の地震後の損傷を低減できる耐震改修技術が必要

前述の重点研究課題において、被災した建築物の管理者へのヒアリング調査を分析した結果、地震後の建築物の継続使用性は図 1 の通り判断されているが、図より応急危険度判定で一見して危険となる場合を除き、その後の詳細調査において継続使用性の判定が行われている。このことは継続使用性を判定するまでに時間を要するため、その間、建築物は利用できない状態となる場合も存在する。一方、近年建築物の地震時の挙動をデジタル化して表示することで、地震後の初動対応を支援するツールが各所で開発されつつある。建築研究所においては全国約 60 箇所において強震観測を実施し、地震時の建築物の応答性状の解明に貢献してきているものの、当該応答性状から地震後の継続使用性を迅速に判定する手法の構築には至っていないことから、以下の技術的課題が存在している。

課題 4. 被災建築物の地震後継続使用性を早期に判定する技術が必要

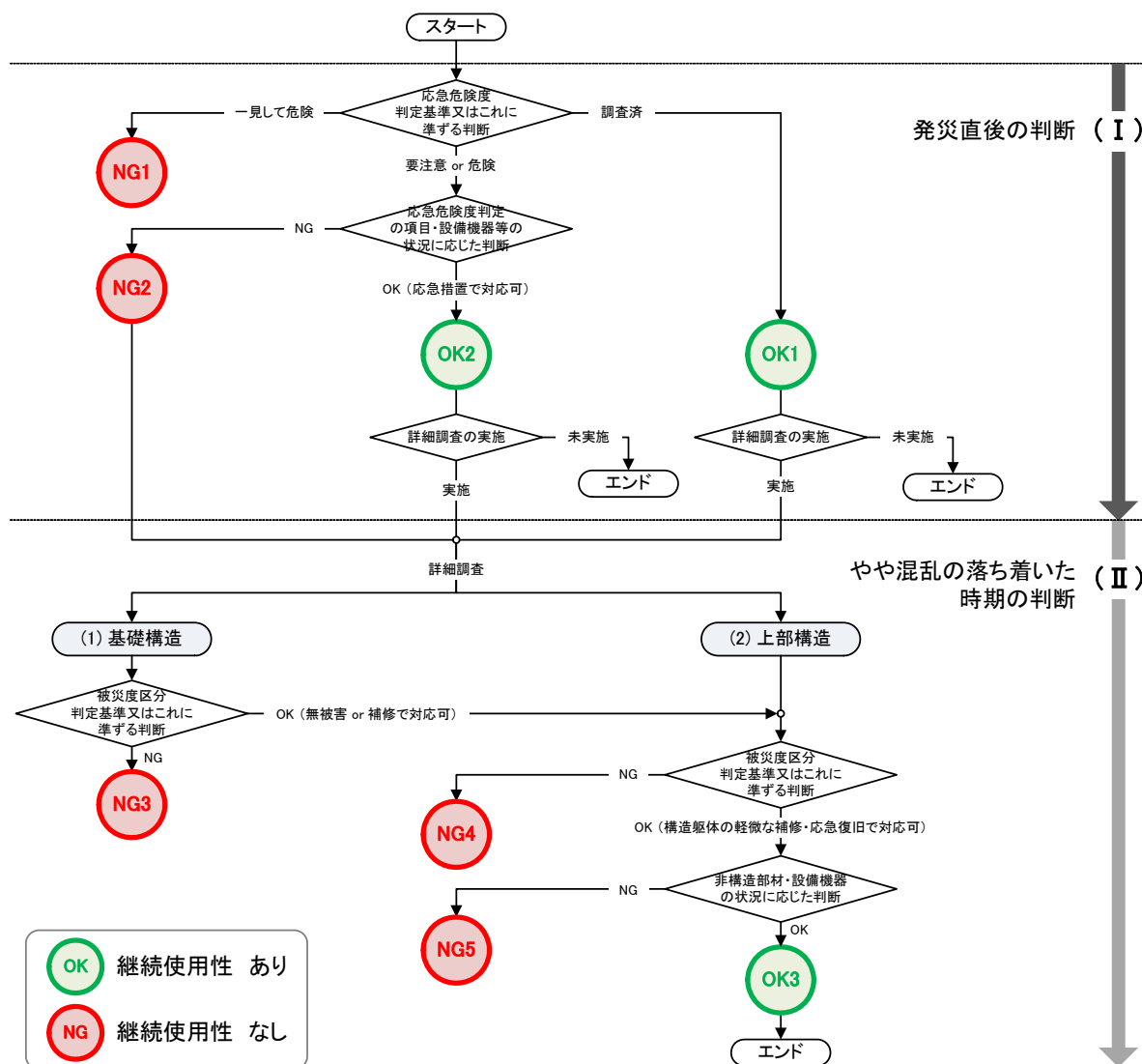


図1 建築物の地震後の継続使用性の分析フロー

そこで上記課題1-3について、本研究では、平成27年度までに実施してきた重点研究課題の成果を引き継ぎ、一般の既存建築物（地震後継続使用を必要とする共同住宅や事務所ビル等）を対象として、地震後の継続使用性を評価するために必要な技術開発を行い、時刻歴応答解析によらない損傷評価手法を提案し、かつ既存中高層建築物の継続使用性向上に資する耐震補強設計に役立つ技術を開発し、将来的に取り纏める評価指針に役立つことを目的とする。さらに上記課題4については、被災建築物の地震後継続使用性の判定に役立つツールの開発を行い、地震後の被災調査の合理化に資する判定手法の確立に資することを目的とする。なおここでは、周辺インフラが対象建築物の地震後継続使用性に与える影響は考慮しない。

将来的には、ここで開発する評価手法に基づき、部位の修復性を含めた建築物の地震後の機能性を評価できるよう手法を拡張し、さらに地震後の機能性に影響を与える建築物周辺のインフラが有すべき必要な条件・性能について他分野と連携して検討するなどの展開が期待される。また平成27年度までに実施した重点課題で取り纏めた地震後継続使用性確保のための要求性能についての知見を活用する。

これらの研究課題によって地震後の継続使用性に資する耐震性能評価法が確立すれば、通常建設されている建築物以上の耐震性能を明確に示すことができ、品確法や長期優良住宅制度などの耐震性能表示手法の発展に資する研究課題であり、建築研究所で実施することが必要である。

2) 前課題における成果との関係

平成 25 年度より重点課題「庁舎・避難施設等の地震後の継続使用性評価手法の構築」を、地震後の継続使用が強く求められる RC 造庁舎および避難施設（RC 造置き屋根体育館）を対象用途として、また東日本大震災において損傷が顕在化した RC 非耐力壁、RC 柱と S 造屋根との接合部、RC 造杭基礎を対象部位として、地震後の継続使用性を確保するための設計体系の確立を最終目的として、以下の検討を実施した。その結果、継続使用性を確保するための設計手法の基礎部分を構築し、新築建築物を対象とした設計法として確立できる可能性を見いだした。

1. 地震後継続使用性を確保するための要求性能の提案
2. 地震後継続使用性を判断する損傷評価技術の開発
3. 地震後継続使用性を確保するための耐震設計と耐震性能評価手法の検討

(2) 研究開発の概要

課題では、一般的な既存建築物の地震後の継続使用性に関する耐震性評価手法を取り纏め、加えて既存中高層建築物の地震後継続使用性に直接寄与できる耐震改修工法を提示する。また地震被害後に計測された地震時応答や損傷データに基づき、被災建築物の継続使用性を判定するツールを提示する。

(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 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
- ② 既存建築物の地震後継続使用性評価指針の原案
- ③ 既存中高層建築物の地震後継続使用性を確保するための耐震改修技術集
- ④ 被災建築物の地震後継続使用性判定に資するツール集

(4) 30 年度の進捗・達成状況

(1) 地震後の継続使用性に資する建築物の耐震性評価手法の提案

2) 熊本地震による既存建築物の被害要因分析と地震後継続使用性評価

昨年度検討した結果を報告書として以下の通り取り纏めた。

① 中間層の柱梁接合部において損傷集中し大破した庁舎（建設年 1998 年）

昨年時点で検討を終了し、報告書として取り纏めた。

② ピロティ階の柱、梁、スリット付き壁が大きく損傷し大破した共同住宅（建設年 1992 年）

昨年時点で検討を終了し、報告書として取り纏めた。

③ ピロティ階の柱が大きく損傷し大破した共同住宅（建設年 1998 年）

立体モデルの動的解析を実施し、実被害との関係性を分析した。本検討において、2 層以上に配置された非耐力壁が 2 方スリットである場合に、被害との相関性が確認された。またこれらの被害を鑑み、当該ピロティ柱やそれに取り付く梁の設計方法について検討した。

④ 非構造壁が大きく損傷した共同住宅（建設年：1979 年、1981 年）

昨年度の検討に引き続き、補修時の情報を収集し、損傷と修復に関する情報を用いて、今回の被害を説明するために建物のモデル化や保有している減衰、入力地震動の大きさをパラメータに解析検討を行った結果、入力地震動の大きさとモデル化が結果に与える影響が大きいことを確認するとともに、地震後の継続使用性を阻害する損傷を特定し、それらを抑えるために目安となる層間変形角（約 1/200rad.）を確認した。また本被災建築

物の住民に対してアンケート調査を実施し、そこから得られた結果を基に住民の地震後のストレスと関連する損傷状態を関連付けた。

⑤ 耐震補強されたが杭が大きく損傷した庁舎（建設年：1980年）

当該庁舎の解体工事中に本庁舎の所有者および解体工事会社と調整を行い、現場における上部構造物と基礎構造の被災調査を実施した。その結果、元の庁舎の基礎構造である既製コンクリート杭頭部およびGLから数m以下の部分での損傷が確認された。さらに建物南側に耐震補強された架構の基礎構造を確認したところ、鋼管杭の局部座屈を確認した。以上のことから、既製コンクリート杭が2点ヒンジの状態となることで、鉛直方向に大きく沈下し、その際、補強された架構の鋼管杭が再配分された軸力を負担したものの、終局荷重を超えたため、当該補強部分も鉛直方向に沈下したものと考えられる。さらには、これらの地震時応答を把握するための解析検討を行ったところ、杭が損傷した後に上部構造物が全体として滑り挙動となったこと、地盤構成の違いで杭の負担応力が変化したことで杭の損傷状態に違いが現れ、東西方向の杭基礎の損傷状態の違い、さらには上部構造物の傾斜程度に違いが見られたものと考えられる。

⑥ 柱梁接合部の損傷により局部崩壊した庁舎（建設年：1965年）

昨年時点で検討を終了し、報告書として取り纏めた。

3) 既存建築物の地震後継続使用性評価手法の提案

国交省より、2018年5月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（新築向け）が示され、さらに既存建築物向けの機能継続ガイドラインについても策定が進められていることから、打ち合わせに参加し、同ガイドラインと整合を図った上で評価手法の素案を検討した。

(2) 地震後の継続使用性に資する部位の耐震性能評価手法および継続使用性向上耐震技術の開発

2) 中高層既存建築物に対する耐震性向上技術の開発

①RC壁に対する耐震改修技術開発（PCa 超高強度繊維補強コンクリートパネルによる補強）

地震時における損傷が顕在化している中高層RC造非構造壁を対象として、昨年度までに実施した接合面要素実験、袖壁付き柱の部材実験および架構実験結果に基づき、耐震補強設計を実施するために必要な補強された部材の剛性および強度評価方法を取り纏めた。さらには本補強を実施した場合の架構の挙動を評価するための解析的検討を行い、部材や架構のモデル化として必要となる技術資料を収集した。

以上の検討結果を踏まえて、PRISMで実施する計画を取り纏めた。

②コンクリート系杭に対する耐震性向上技術開発

地震時における損傷が顕在化している杭基礎構造を対象として、昨年度に実施した実験データの分析を行った。その結果以下の知見と課題を得た

- ・既製コンクリート杭体の曲げ特性：大きな軸力が作用する場合の終局強度の評価を行い、AIJRC基礎構造指針で示されている評価方法の妥当性を確認した。
- ・場所打ち鋼管コンクリート杭体の曲げ特性：大きな軸力が作用する場合の終局強度の評価を行い、AIJRC基礎構造指針で示されている評価方法の妥当性を確認した。一方で終局状態として鋼管の座屈に伴う破断が確認されたことから、靱性能向上が課題として挙げられる。
- ・既製コンクリート杭体のせん断特性：大きな軸力が作用する場合に、軸方向に対する割裂破壊が確認され、その実験時の最大強度が現行の指針式による計算値より低いことから、それらの破壊に対する評価の方法を提案した。
- ・パイルキャップの終局強度評価：パイルキャップ内の配筋性状を考慮した終局強度評価式を提案した。また実大部分架構実験から接合面降伏を伴う破壊性状を確認し、それらの靱性能向上のための検討課題を明らかにした。併せて架構としてのモデル化に必要な情報を纏めた。
- ・パイルキャップの圧縮靱性確保に必要な配筋方法：パイルキャップの1軸圧縮応力に対する靱性能について検

討したところ、補強筋量の増加、特に中子筋の拘束による効果が大きいことを確認した。

以上のことから、地震時に損傷が顕在化しているコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能の把握に関する基礎的な技術資料を収集できた。

(3) 被災建築物の継続使用性を判定する技術の開発

1) 強震観測に基づく既存建築物の耐震性能評価と継続使用性の関係分析

建築物の地震後の損傷評価を行うにあたり、建築研究所の本館（SRC 造耐震構造）をモデル化し、過去の強震観測結果と比較し、概ね地震時に損傷する階や部材の特定を行った。さらに JAXA の研究開発推進棟（免震構造）を多質点系でモデル化し、地震時の応答挙動の把握を行った。上記の検討に基づき、加速度計による強震観測と衛星情報を用いた連携方法について取り纏め、SIP で実施する計画を取り纏めた。

2) 地震時の部位の損傷を判定する個別ツールの開発

①地上型 3 次元レーザースキャナー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。

・袖壁付き柱試験体に対して浮きや剥落の損傷性状を計測し、それが点密度によって計測値が異なる程度を確認するとともに、通常目視により評価される結果との整合性を確認した。その結果、浮き剥落と言った局所的な損傷を評価するのに必要な点密度を明らかにした。

・熊本で杭基礎が被災し上部構造物が傾斜した建築物を対象に計測を実施した。現地調査では特定箇所の傾斜角を計測し、両者を比較したところ、レーザースキャナーの計測結果は実被害を精度よく評価できていることを示した。さらに建物の床上面を計測した結果を用いて床の鉛直方向の変位分布を示し、より詳細な損傷性状の把握が可能であることを示した。

・端島において最も老朽化している 30 号棟を対象に過去 2 年間の劣化性状の比較を行い、点群計測データの活用方法を示した。

以上の検討結果を踏まえて、PRISM で実施する計画を取り纏めた。

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) 多くの検討課題が含まれているので、テーマ全体としての成果がやや見えづらくなっているような気がします。それぞれの課題について検討成果は得られていると思いますので、次フェーズにうまく展開してください。
- 2) 要求性能、部材性能、構造物としての性能評価についてそれぞれについては幅広く研究が展開されている。やや、まとまりに欠ける点もあるが、今後の成果に期待している。
- 3) 学会発表（年次報告会）が多いが、査読付き学術論文についても、今後成果の普及のために出版されることを期待します。
- 4) 熊本地震による既存建築物の被害要因の分析および地震後継続使用評価の成果を実際設計に活かしていけるよう、構造設計者と一緒に検討していくことを期待したい。
- 5) 地上型 3 次元レーザーを利用する対象や利用の仕方を説明していただくと良いと思います。また、計測や分析に必要な人工についても記載していただくと良いと思います。

参考：建築研究所としての対応内容

- 1) 本研究課題は当初 3 カ年で、テーマ 2、3 を中心に検討する予定で立ち上げた課題であるが、初年度に熊本地震が発生したことにより研究計画を変更したため、ご指摘の通り、各テーマの関係性が見えづらくなったものと考えている。次期課題では、対象を鉄筋コンクリート造、かつ熊本地震で問題になった事例に絞り込み検討を実施する予定である。また各テーマ 1 と 2 は部位が異なるため相互の連携は考えてないが、両テーマとテーマ 3 は連携して全体としての成果が得られるよう検討して参りたい。

- 2) この3カ年の研究成果は要求性能, 部材性能, 架構性能をそれぞれ個別に検討したものであるため, 次期課題ではこれらを纏めた形で纏める所存である。
- 3) これまで以上に査読付き論文への積極的な投稿に努めて参りたい。
- 4) JSCA を始めとして設計者と連携した形で研究課題を進めて参りたい。
- 5) 地上型レーザースキャナーは建築構造分野では新しい技術であり, どの程度適用できそうなものであるかなど基礎的検討を実施したものである。次期課題ではご指摘の点も踏まえて検討して参りたい。

3. 評価結果

- A 研究開発課題として、目標の達成を見込むことができる。
- B 研究開発課題として、目標の達成を概ね見込むことができる。
- C 研究開発課題として、目標の達成を見込むことができない。