

# 「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 (年度)

平成 29 年 2 月 24 日 (金)

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

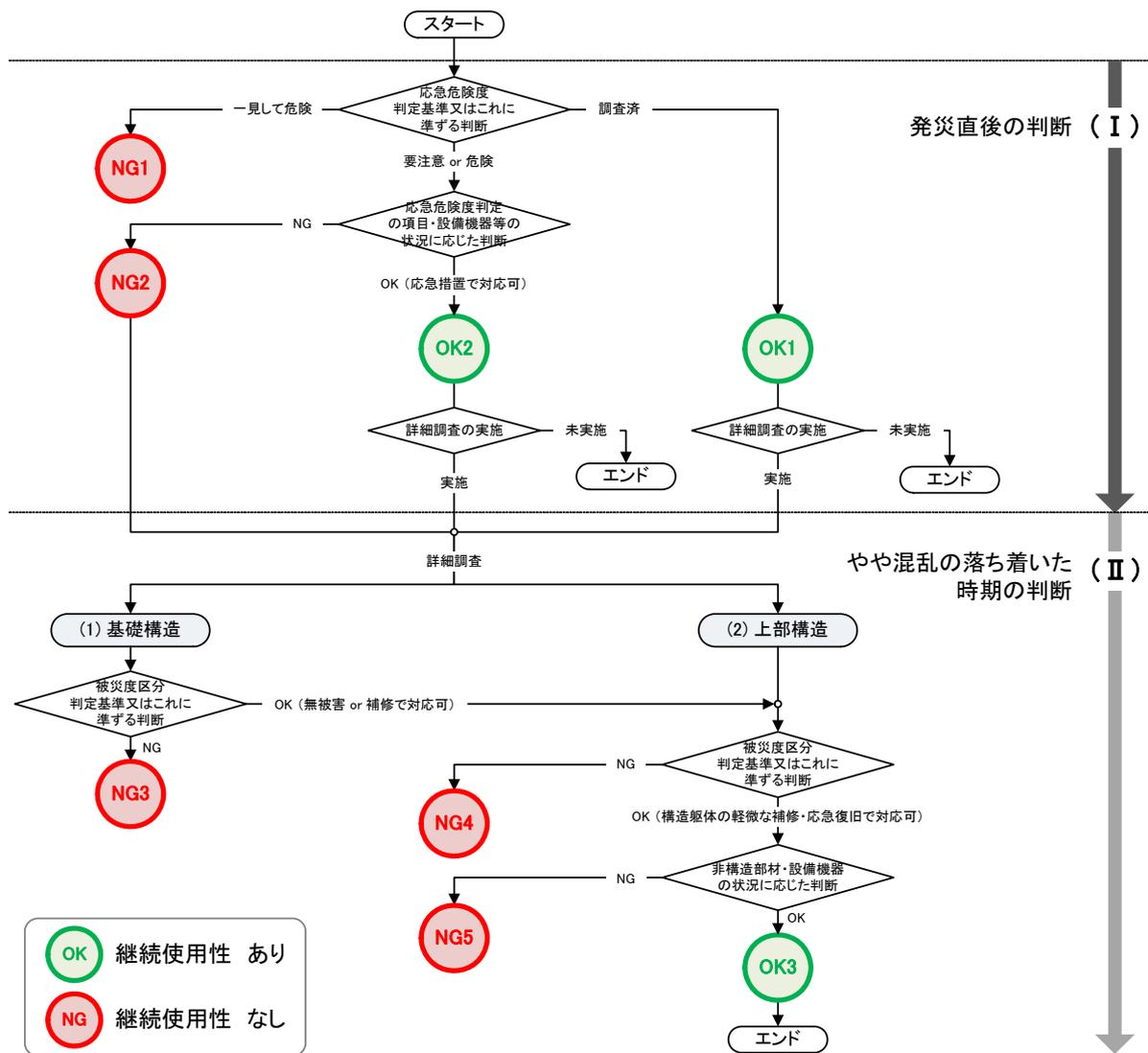


図1 建築物の地震後の継続使用性の分析フロー

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) 28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

#### 1) 熊本地震による既存建築物の地震後継続使用性に関するヒアリング調査

関係する行政機関へのヒアリング調査を国総研と共同で実施し、熊本地震後の庁舎の継続使用性の判断内容についての実態把握をした。調査の結果、東日本大震災の際に得られた傾向と同様の傾向があることが分かった。

#### 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

各種構造（RC 造、鉄骨造、木造、非構造、基礎構造、地震入力）について現地で被災調査等を実施した。各分野での実施内容は以下の通り：

- ①RC 造：約 80 棟の被災建物を調査し、1981 年以前と以降で設計された建物の被害を分類し、その特徴を纏めた。また次年度行う継続使用性評価を行うための建築物の図面等の詳細情報を入手するとともに、必要に応じてコア抜きなどの材料の採取を行った。以上の検討を実施するために、共同研究を締結し複数機関と連携して実施する体制を整えた。
- ②鉄骨造：益城町中心部の 96 棟の鉄骨造建築物の被害調査を行った。調査の結果、大破、倒壊した鉄骨造建築物は 16 棟であり、その割合は 17%であった。これらの大破、倒壊した建築物の被害の状況を精査し、3 つの特徴に分類した。また、被害が比較的大きいと考えられる体育館について被害調査を行った。その結果、以下の 4 つの被害形態（鉛直ブレースの被害、屋根面水平ブレースの被害、屋根トラスの被害、屋根支承部の被害）が観察され、それらの特徴をとりまとめた。

③木造：益城町の中心部においては、日本建築学会、国土技術政策研究所と共に悉皆調査を実施した。調査の結果、新耐震以前建築の28.2%、新耐震以降2000年改正以前建築の8.7%、2000年改正以降建築の2.2%の木造建物で倒壊が確認された。新耐震以降2000年改正以前の倒壊建物については、柱頭柱脚接合部等の仕様が2000年改正以降の基準に比べ不十分であったものが殆どであった。また2000年以降で倒壊した木造建物については、不十分な接合部仕様や建物敷地の地盤変状や建物重量が大きかった事等が、倒壊の要因の一つとして考えられる。

④基礎構造：益城町の中心部において、主として145棟の通り悉皆調査を行い、次の知見を得た。1) 大破・倒壊した建物では、地盤変状と基礎の損傷が共に見られる場合と、地盤変状は見られるが基礎の損傷は小さい場合がある。2) 基礎被害顕著の割合は建物大破以上や地盤変状ありの割合よりも小さく、建物大破以上の割合が小さくても地盤変状はある程度生じている。このことと、地盤変状が建物被害に影響を与えるメカニズムを考え合わせると、この地域の建物の大破・倒壊など甚大な被害の発生に地盤変状が与えた影響は小さいと推察される。

⑤地震入力：気象庁、防災科学技術研究所、自治体、研究者等から公開されている地震観測記録を収集し、過去地震および告示スペクトル等との比較を行った。震度7を観測した益城町中心部では、周期1秒程度の成分が卓越し、過去の被害地震（JR鷹取（1995）や川口町川口（2004））を上回る記録が観測されていることを確認した。また、益城町で得られた複数の観測記録より、数100mの観測点位置の違いにもかかわらず、周期1秒付近のスペクトルレベルが異なることが確認され、入力地震動の違いが当該地域の木造建物被害分布に影響を及ぼした可能性が示唆された。

### 3) 既存建築物の地震後継続使用性評価手法の提案

本評価手法を纏めるための目次及び本文を纏めた。これらの項目の解説を記載するための情報収集を研究テーマ2、3で実施する。

## (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

### 1) 建築物の応答評価技術および部材の耐震化向上技術に関するデータ収集と検討対象部位の抽出

①熊本地震において損傷したRC壁および設備機器等の被災状況についての情報収集を行い、前者についてはその損傷を低減させる補強方法として、2)で補強手法を検討し実施した。後者については収集結果を分類して纏め、継続使用性に関して分析する。

②鉄筋コンクリート造、鉄骨造、木造、基礎構造の上部構造の部位の応答と損傷性状の関係、損傷と修復工法の関係、中高層建築物向けの耐震補強技術に関する資料収集と分析

・RC造：非耐力壁については、これまでに実施されている部材実験等を用いて、部材角によって生じる損傷量の把握、当該損傷に必要な補修工法とその費用や時間の要素についての収集を行った。また、基整促S22において、実大試験体を用いたRC造の梁、柱の載荷実験を実施し、部材の耐震性能評価に必要な実験データを収集した。

・鉄骨造：鉄骨造庁舎では、梁端部の亀裂や破断などの損傷が建物の継続使用性に及ぼす影響が大きいと考えられるが、既往の研究を調査した結果、それらを定量的に評価する研究がほとんどないことから、鉄骨造の梁部材を対象にして、梁端部に繰り返し変形が生じる場合の、亀裂の発生、進展、破断等の現象を定量的に評価するための実験を行うこととした。

・木造：木造庁舎に関する地震後継続使用性確保のために必要な機能と対応するエリア・部位、および目標ランクに対応する損傷限界状態を検討し、木造庁舎の継続使用性評価に資する損傷評価を行う部位として構造躯体、外装材、内装材を選定した。このうち外装材・内装材に関しては、木造住宅を対象とした損傷度と変形角に関する既存資料を活用できると考えられるため、木造庁舎での使用が想定される耐震要素を実験対象とすることとした。

- ・基礎構造：実大規模の既製コンクリート杭の曲げせん断実験を行い、剛性や強度を評価するための基礎データを収集した。また場所打ち鋼管コンクリート杭については現在加力を実施してデータを収集しているところである。

## 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

超高強度繊維コンクリートプレキャスト袖壁を用いた耐震補強工法を提案し、その有効性について昨年度実施した架構実験結果を用いて検証した。また施工の合理化を目指して袖壁を分割して利用する工法について展開し、そのための部材実験を実施した。今後はこれらの補強効果を評価するための検討を実施する予定である。

### ②RC 杭に対する耐震改修技術開発

既製コンクリート杭および現場打ち RC 杭を対象に、損傷した後に補修補強を実施し、その効果を分析した。その結果、パイルキャップ部分が大きく損傷した試験体については現状コンクリート材料に対して実施される補修工法では、元の耐震強度を確保することができないことを示した。一方、現場打ち RC 杭頭部の補修補強については、杭頭部コンクリートを補修する場合と、補修後に鋼板で補強し杭頭の曲げ補強筋としてあと施工アンカーを用いた場合を検討した。その結果、前者は十分な補強効果が確認された。後者はあと施工アンカーの定着長さによってその性能に差が生じ、補強時に必要となる定着長さを示した。

## (3) 被災建築物の継続使用性を判定する技術の開発

### 1) 地震時に生じる損傷を計測する個別ツールに関する情報収集と分析

①現状、被災した建物のモニタリングを目的として開発されている個別技術の収集とその分類を目的として以下の項目の検討を開始した。

- ・建物（部材）変形と損傷との関係性に関する調査（クライテリア）  
（既往の文献調査、委員で所有している実験データ等の紹介等）
- ・応答量計測装置（計測技術・システム）に関する調査  
（特許に関する調査、実用化されているシステムに用いられる装置の調査、技術コンテストの立案&実施）
- ・その他（システム全般）  
（データ処理に関する研究・技術の調査、建物管理者向けの需要調査）

②建築研究所で保有する強震観測システムと JAXA が保有する衛星を用いた建物の変形観測システムを相互に融合させた新たなシステム開発の可能性について検討を開始した。現在、共同観測を行うための対象として、建築研究所の本館および新館と JAXA が保有する免震建物を選定し、そのための機器設置の手続きを進めている。

③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、実建物や試験体についてデータ収集を行った。今後それらのデータの分析を実施する予定である。また②で検討する建物の計測も今後実施予定である。

### 2) 地震後継続使用性を判定するために必要となる応答データの特定

熊本地震を受ける RC 造建築物を対象として、動的解析を実施し、特に複数回の大きな地震応答特性を検討した。その結果、2つの入力地震動の大きさそのものと、建築物の履歴性能や減衰特性、さらには残留変形が建物の損傷に与える影響について分析を行っている。

## 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) 行政や自治体等とも良く連携をとってください。
- 2) 継続使用性向上のための耐震技術は、既存建築物の耐震改修技術との違いを明確にして開発されることを期待します。
- 3) 躯体だけでなく、いろいろな角度から継続使用を検討する必要があるかと思います。幅広い観点での

検討をお願いします。

- 4) 揺れの継続時間は十数秒と短いですが、活発な余震活動により何度も強い揺れが起きる内陸活断層地震（熊本地震）と、大きな揺れが何分にもわたって長時間続く海溝型地震（東北地方太平洋沖地震）の揺れの違いによる建物の損傷と耐震性低下の観点からの比較もあると良いと思います。
- 5) 熊本地震における庁舎のヒアリングについて、東北地方太平洋沖地震におけるヒアリングの結果との比較はないか。
- 6) 衛星観測システムを用いた検討も興味深いですが、対象が超高層建物に限られるのではないか。また、継続使用性が問題となる変形レベルであれば、このようなシステムを使用しなくても傾き等で評価できる可能性がある。

### 参考：建築研究所としての対応内容

- 1) 熊本地震で被災した建築物の継続使用性に関する評価において、熊本県をはじめ関係市町村にもご協力頂いて進めていく所存である。
- 2) これまでの耐震改修工法との違いとして耐震性向上に加え損傷低減を明確にした検討結果を纏める所存である。
- 3) 構造躯体のみでなく継続使用性を確保するために必要となる他の部位についても対象とした検討を実施する所存である。
- 4) 全課題で得られた知見を比較することで、ご指摘の点も視野に入れた検討を進めて参りたい。
- 5) 今回の熊本地震でのヒアリング内容は、東北地方太平洋沖地震で実施した内容に基づき実施しているため、今回の結果が纏まり次第、比較を実施する所存である。
- 6) 衛星を用いたシステムは地震直後の混乱中に多くのデータを包括的に収集して継続使用性を評価できる可能性を有している。また建築研究所では長きにわたり強震観測を推進してきており、今後の発展系として両システムの融合の可能性を検討する所存である。なお対象は中高層建物とする。

### 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。