

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 22 日現在

機関番号：82113

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26242035

研究課題名(和文)大地震後に防災拠点施設の機能を維持できる耐震性能向上技術の開発

研究課題名(英文) Development of seismic upgrade techniques for building with post-earthquake functional use

研究代表者

向井 智久 (Mukai, Tomohisa)

国立研究開発法人建築研究所・構造研究グループ・主任研究員

研究者番号：30318208

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は地震後の防災拠点施設となる既存RC造の庁舎および学校・体育館が、大地震後に機能を維持できる耐震性能向上技術の開発を目的に以下の検討を実施した。

(1) 部位の継続使用性のための損傷評価と補強工法の提案, (2) 架構による補強効果の評価と解析モデルの構築, (3) 補強された施設の大地震後の機能維持に資する耐震性能評価手法の適用

その結果、非耐力壁、鉄骨置き屋根体育館の支承部およびコンクリート杭基礎の損傷軽減と耐力向上に資する技術をそれぞれ開発し、それらの補強効果を確認し解析モデルに必要な知見を得た。それらを用いて地震後継続使用性を確保するための補強設計方法を提案し、その評価例を示した。

研究成果の概要(英文)：The objective of study is to develop the seismic upgrade technique for existing crucial RC buildings such as governmental office and gymnasium and following items is carried out;

(1) propose of damage evaluation method and seismic upgrade techniques to mitigate severe damage for vulnerable elements, (2) evaluation of seismic upgrade effect for frame level, (3) application of seismic upgrade method for building with post-earthquake functional use

As a result of these investigations, each technique to mitigate severe damage under severe earthquake for RC non-structural walls, joints between RC column and steel roof and concrete piles is developed and the effectiveness of each technique is confirmed. Moreover seismic upgrade method to guarantee the post-earthquake functional use of existing crucial building is proposed and some evaluation examples to verify the method are shown.

研究分野：建築防災

キーワード：大地震 継続使用 非耐力壁 置き屋根体育館 コンクリート杭 耐震補強 損傷評価

1. 研究開始当初の背景

2011年東北地方太平洋沖地震によって、構造計算時に明示的な検討が求められていない部位（「1）RC造非耐力壁」、「2）RC造柱とS造屋根との支承部」、「3）コンクリート系杭基礎」）が大破し、地震後の継続使用を妨げられた庁舎や避難施設（学校・体育館）が散見されたことから、今後これらの部位の被害を極力軽減することは、地震後も機能を維持させるべき防災拠点施設にとって急務の課題である。

2. 研究の目的

本研究は地震後の防災拠点施設となる既存RC造の庁舎および学校・体育館が、大地震後に機能を維持できる耐震性向上技術の開発を目的とする。計画した研究項目は、(1) 部位の継続使用性のための損傷評価と補強工法の提案、(2) 架構による補強効果の評価と解析モデルの構築、(3) 補強された施設の大地震後の機能維持に資する耐震性能評価手法の適用である。

3. 研究の方法

東日本大震災において被害が顕在化し、それによって建築物の地震後継続使用性を阻害する要因となったRC造非耐力壁、RC造柱とS造屋根との支承部、コンクリート系杭基礎を対象に、研究目的に示した3項目についての検討を行った。具体的には以下の通りである。

(1) 部位の継続使用性のための損傷評価と補強工法の提案として、補強される前の状態の部位を試験体として製作し、それらに加力を行って損傷評価の検討を行う。さらには無補強試験体に対して補強を行い、その補強効果として損傷低減に対する有効性を検討する。

(2) 架構による補強効果の評価と解析モデルの構築として、2層2スパンを有する壁付きRC造架構試験体を超高強度繊維補強コンクリートによって補強し、その効果を確認す

る。

(3) 補強された施設の大地震後の機能維持に資する耐震性能評価手法の適用として、

(1) や (2) での結果を勘案して、補強された施設の耐震性評価を行う。

4. 研究成果

本研究は地震後の防災拠点施設となる既存RC造の庁舎および学校・体育館が、大地震後に機能を維持できる耐震性向上技術の開発を目的に以下の検討を実施した。

その結果、非耐力壁、鉄骨置き屋根体育館の支承部のおよびコンクリート系杭基礎の損傷軽減と耐力向上に資する技術をそれぞれ開発し、それらの補強効果を確認し解析モデルに必要な知見を以下の通りである。

(1) 部位の継続使用性のための損傷評価と補強工法の提案

1) 非耐力壁

a) RC造の実大方立て壁実験

構造実験を行い、ひび割れ幅・長さを用いた損傷評価モデルを構築するための詳細な損傷計測を実施した。評価モデルとしてひび割れ幅と長さを簡易的に評価するマクロモデルと材料の歪みレベルを考慮したFEM解析によるミクロモデルによる方法を提案した。さらには、RC造方立壁の損傷低減及び構造的改善を目的として、耐震補強及び配筋改善を施した実大試験体2体に対する載荷実験を実施した。いずれの試験体も変形性能が大幅に改善されるとともに、残留ひび割れ幅及び長さ、コンクリート剥落面積といった損傷量が、無補強の基準試験体に比べて大きく低減できた。

またこれらの実験結果を用いて損傷評価モデルを構築し、その妥当性を確認した。

2) 鉄骨置き屋根体育館の支承部

既往の実験的研究の結果に基づき、RC造架構と鉄骨屋根の接続部（支承部）の破壊モードと既往の設計評価式の対応について検討を行った。また、この対応関係の検証や実

際の破壊現象を再現するために、屋根支承部を含む部分架構試験体の動的破壊性状を把握するため、アンカーボルトがせん断降伏する破壊モードの試験体（標準試験体）2体の振動大実験を実施した。その結果、被害状況の再現、検証を行うとともに、被害を防止するための補強方法の有効性を確認した。

3) コンクリート系杭基礎

上部構造と下部構造からなる部分架構試験体を杭種およびパイルキャップ内の配筋の違いをパラメータにし、地震を受けた後の状況を構造実験によって再現し、それらの破壊モードや構造特性に関するデータを収集した。実験変数とした杭種はPHC,RC,SC杭であり、各部材(柱・基礎梁・パイルキャップ・杭)の破壊性状より建物における継続使用性に与える影響を検討した。当該部分架構試験体に対して構造実験を実施した後に、生じた損傷を補修・補強し、その後に再度構造実験を実施し、構造特性の回復度合いや発生した損傷状態に関するデータを収集した。最終破壊状況は、RC杭試験体が杭頭部の圧壊となり、補修補強を施し、SC杭試験体はパイルキャップのせん断破壊であるため、補修のみを実施した。その結果、RC杭試験体は補修前に比べ最大耐力が正載荷時で約13%増加し、負載荷時で約22%増加した。各部材の変形性能は補修前程度に改善している。一方、SC杭試験体を補修した場合には、耐力上昇は見込めず、最終的にパイルキャップのせん断破壊し、パイルキャップが破壊した場合に構造性能を十分に回復させる補修工法がないことが明らかとなった。

また、場所打ち杭の耐震性能および損傷後の補修・補強方法を明らかにするための構造実験を実施した。曲げ破壊型の杭体はせん断余裕度が小さい場合には曲げ降伏後にせん断破壊が生じ、耐力が低下すること、せん断破壊型の杭体はせん断破壊により著しく耐力が低下することが確認された。杭体の耐力

は、等価な矩形断面に柱の耐力評価式を適用することで、概ね評価できることを示した。また、損傷後の杭体に対して、モルタルにより補修することで、補修前の8割程度まで耐震性能を復旧することができること、あと施工アンカーを用いた鋼板巻き立て補強により剛性・耐力を大幅に向上できること示した。

(2) 架構による補強効果の評価と解析モデルの構築

1) 非耐力壁

a)RC造壁付き架構試験体

2層2スパンを有する壁付きRC造架構試験体を超高強度繊維補強コンクリートによって補強し、その効果を確認したところ、架構の崩壊形を望ましい状態に制御できること、また補強材によって損傷が集中する方立壁の損傷を軽減できることを示した。

b)RC造方立壁付き架構試験体

RC造の方立て壁を有する2層1スパンの部分架構実験結果を用いて、部材及び架構を線材置換したモデルとFEM解析によるモデル化を実施し、実験で得られた架構および部材の挙動の評価を行った。その結果、架構全体および方立壁の荷重変形関係はおおよそ評価できることを確認した。さらに熊本地震によって被災した非耐力壁を有する共同住宅を調査し、それらのモデル化に関する検討を実施した。その際、上記部分架構試験体で得られた知見に基づくモデル化することの妥当性を確認した。

(3) 補強された施設の大地震後の機能維持に資する耐震性能評価手法の適用

(1)(2)で得られた知見を基に、地震後継続使用性を確保するための補強設計方法を前述の3種類の部位を対象に提案し、その評価例を示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

1) 谷昌典, Eko Yuniarsyah, 向井智久, 河

野進：損傷低減及び構造性能改善を目指した RC 造方立壁部材の実大実験,日本コンクリート工学年次論文集, Vol37, No.2, pp.901-906, 2015.7

2) 山本航輔, 秋田知芳, 和泉信之, 向井智久：2011 年東北地方太平洋沖地震により杭基礎が被災した 8 階建建築物の耐震性能評価,日本コンクリート工学年次論文集, Vol37, No.2, pp.973-978, 2015.7

3)岸田慎司, 伊藤宏亮, 向井智久, 柏尚稔, 平出務, 谷昌典, 金子治, 小林勝己, 飯場正紀, 土方勝一郎：既製杭・RC 杭を用いたト型部分架構に対する静的載荷実験 その 1 実験概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集,pp.215-216, 2015.9

4) 伊藤宏亮, 岸田慎司, 向井智久, 柏尚稔, 平出務, 谷昌典, 金子治, 小林勝己, 飯場正紀, 土方勝一郎：既製杭・RC 杭を用いたト型部分架構に対する静的載荷実験 その 2 実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集,pp.217-218, 2015.9

5) Eko YUNIARSAH, Rafik TALEB, Hidekazu WATANABE, Susumu KONO, Masanori TANI, Tomohisa MUKAI：Experimental Study on Residual Damage of Full-scale RC Non-structural Wall Specimens Part 3: Experimental Program for Improved Specimens, 日本建築学会大会学術講演梗概集,pp.129-130, 2015.9

6) Rafik TALEB, Eko YUNIARSAH, Hidekazu WATANABE, Susumu KONO, Masanori TANI, Tomohisa MUKAI：Experimental Study on Residual Damage of Full-scale RC Non-structural Wall Specimens Part 4: Experimental Results for Improved Specimens, 日本建築学会大会学術講演梗概集,pp.131-132, 2015.9

7) 山本航輔, 秋田知芳, 和泉信之, 向井智

久, 柏尚稔, 谷昌典：東北地方太平洋沖地震において杭基礎が大破した建物の被害要因分析 その 3 上部構造の荷重増分解析及び時刻歴応答解析に基づく被害の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 ,pp.219-220, 2015.9

8) 中郡良, 石田孝徳, 戸松一輝, 山田哲, 長谷川隆, 向井智久：鉄骨置き屋根定着部の振動台実験 その 1 実験概要, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2016.3

9) 中郡良, 石田孝徳, 戸松一輝, 山田哲, 長谷川隆, 向井智久：鉄骨置き屋根定着部の振動台実験 その 2 実験結果, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2016.3

10) 桑原亮, 岸田慎司, 向井智久, 伊藤宏亮：既製杭を用いたト型部分架構パイルキャップのせん断強度式の検討, 日本コンクリート工学年次論文集, Vol38, No.2, pp.331-336, 2016.7

11) 谷昌典, 松葉悠剛, 二谷透, 井戸裕勇樹, 西山峰広, 向井智久：連層配置された方立壁を有する RC 架構の力学性状に関する実験的研究 その 1：実験概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.283-284 2016.8

12) 二谷透, 谷昌典, 松葉悠剛, 井戸裕勇樹, 西山峰広, 向井智久：連層配置された方立壁を有する RC 架構の力学性状に関する実験的研究 その 2：架構全体の損傷状況および力学挙動, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.285-286 2016.8

13) 松葉悠剛, 谷昌典, 二谷透, 井戸裕勇樹, 西山峰広, 向井智久：連層配置された方立壁を有する RC 架構の力学性状に関する実験的研究 その 3：方立壁の損傷状況および力学挙動, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.287-288 2016.8

14) 古谷祐希, 向井智久, 坂下雅信, 濱田真, 石岡拓, 金川基, 成瀬忠, 谷昌典：壁付き RC 造架構を対象とした UFC パネルによる損傷軽減型耐震補強工法の開発 その 1 架

構実験の実験計画, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.583-584 2016.8

15) 松浦恒久, 向井智久, 坂下雅信, 前川利雄, 近藤祐輔, 内田崇彦, 堀伸輔, 谷昌典: 壁付き RC 造架構を対象とした UFC パネルによる損傷軽減型耐震補強工法の開発 その 2 架構実験の実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.585-586 2016.8

16) 近藤祐輔, 向井智久, 坂下雅信, 内田崇彦, 金川基, 成瀬忠, 谷昌典, 平子拓実: 壁付き RC 造架構を対象とした UFC パネルによる損傷軽減型耐震補強工法の開発 その 3 部材実験の実験計画, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.587-588 2016.8

17) 石岡拓, 向井智久, 坂下雅信, 松浦恒久, 前川利雄, 堀伸輔, 谷昌典, 山田崇人: 壁付き RC 造架構を対象とした UFC パネルによる損傷軽減型耐震補強工法の開発 その 4 部材実験結果と補強効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.589-590 2016.8

18) 向井智久, 衣笠秀行, 谷昌典, 坂下雅信, 河野進, 石岡拓: RC 造方立壁部材のひび割れ損傷評価モデル, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.185-186, 2016.8

19) 中郡良, 山田哲, 島田侑子, 戸松一輝, 長谷川隆, 向井智久, 松井良太, 松本由香: 鉄骨造置き屋根の RC 架構への定着部の載荷実験 その 13 鋼管によるコンクリート拘束の効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1185-1186, 2016.8

20) 五艘知明, 山田哲, 島田侑子, 戸松一輝, 長谷川隆, 向井智久, 竹内徹, 松本由香: 鉄骨造置き屋根の RC 架構への定着部の載荷実験 その 14 ベースモルタルを拘束する鋼管に作用する応力, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1187-1188, 2016.8

21) 戸松一輝, 山田哲, 島田侑子, 向井智久, 中郡良, 石田孝徳, 松井良太, 吉敷祥一: 鉄骨造置き屋根の RC 架構への定着部の載荷実験 その 15 コンクリートを拘束する鋼管に

作用する応力, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1189-1190, 2016.8

22) 平出務, 向井智久, 岸田慎司, 柏尚稔, 坂下雅信, 小林勝己, 金子治: 既製杭・RC 杭を用いたト形部分架構に対する静的載荷実験 その 3 補修を施した場合, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.387-388, 2016.8

23) 岸田慎司, 向井智久, 柏尚稔, 平出務, 小林勝己, 金子治, 伊藤宏亮, 坂下雅信: 既製杭・RC 杭を用いたト形部分架構に対する静的載荷実験 その 4 パイルキャップせん断強度推定式の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.389-390, 2016.8

24) 谷昌典, 松葉悠剛, 向井智久, 井戸碓勇樹, 二谷透, 西山峰広: 柱無し壁を有する RC 連層架構の力学挙動と損傷性状, 構造工学論文集, 日本建築学会, Vol.63B, p425-432, 2017

25) 喜々津仁密, 向井智久, 加藤博人, 平出務, 長谷川隆, 谷昌典, 柏尚稔, 飯場正紀: 建築物の地震後の継続使用に関する阻害要因の分析と要求性能の検討, 日本建築学会技術報告集第 23 巻第 53 号 pp.331-336, 2017.02

26) 成田修英, 金子治, 山本健史, 向井智久, 中井正一, 関口亨: 偏心のある中層建物における地震時応答と杭の地震被害の関係, 日本建築学会技術報告集第 23 巻第 53 号, pp.43-48, 2017.2

[雑誌論文] (計 6 件)

[学会発表] (計 20 件)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

建築研究所構造研究グループ・主任研究員
向井智久 (MUKAI, Tomohisa)

研究者番号: 30318208

(2) 研究分担者

東京工業大学応用セラミック研究所・准教授
山田哲 (YAMADA, Satoshi)

研究者番号：60230455

千葉大学大学院工学研究科・教授

中井正一 (NAKAI, Shoichi)

研究者番号：90292664

山口大学理工学研究科・講師

秋田知芳 (AKITA, Tomoyoshi)

研究者番号：60512374

東京理科大学理工学部・教授

衣笠秀行 (KINUGASA, Hideyuki)

研究者番号：00224999

京都大学大学院工学研究科・准教授

谷昌典 (TANI, Masanori)

研究者番号：50533973

(3)連携研究者

建築研究所構造研究グループ・構造グループ
長

福山洋 (FUKUYAMA, Hiroshi)

研究者番号：60344008

東京工業大学応用セラミック研究所・教授

河野進 (KONO, Susumu)

研究者番号：30283493

建築研究所構造研究グループ・主任研究員

長谷川隆 (HASEGAWA, Takashi)

研究者番号：70355999

横浜国立大学大学院都市イノベーション研
究員・准教授

松本由香 (MATSUMOTO, Yuka)

研究者番号：70313476

建築研究所・研究専門役

飯場政紀 (IIBA, Masanori)

研究者番号：40344006

建築研究所構造研究グループ・主任研究員

平出務 (HIRADE, Tsutomu)

研究者番号：40370704

芝浦工業大学工学部・教授

土方勝一郎 (HIJIKATA, Katsuichirou)

研究者番号：80707430

芝浦工業大学工学部・准教授

岸田慎司 (KISHIDA, Shinji)

研究者番号：10322348