

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 6 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360224

研究課題名(和文) PC 圧着関節骨組を用いた低強度 C 系構造物の外側耐震改修における接合部の設計法

研究課題名(英文) Design Method of Outside Seismic Retrofit with PC-Miled Press Joint Frame for Non-conforming RC Structure having Low Strength Concrete

研究代表者

坂田 弘安 (Sakata, Hiroyasu)

東京工業大学・理工学研究科・教授

研究者番号：80205749

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000 円

研究成果の概要(和文)：低強度コンクリート系構造物の外側耐震改修において、既存部と新設部の接合部は改修を担保する重要な部材である。本研究ではまず、接合方法をパラメータとした接合部の要素実験を行い、せん断耐力評価法を提案した。その後、1/2.5スケールのフレームを製作し実情に近い外側耐震改修でのアンカーボルトによる接合部を模擬した試験体に対して地震力を想定した静的載荷実験を行い、既存部に損傷が生じた場合も、提案式が成立つことを確認した。さらに、接合方法の一つであるPC鋼棒による圧着接合による場合での追加要素実験を行い、PC鋼棒が降伏するときのせん断耐力の評価法を提案した。

研究成果の概要(英文)：In the seismic retrofit using exterior frame, the connecting member between the low strength concrete structure and the newly added structure is important. The objective of this research is to propose evaluating method of the connecting member. The evaluating method is based on partly experiment focus on shear strength. In two fifths scale frame experiment, proposing method is good corresponding to result with occurring damage at the low strength concrete structure.

研究分野：建築構造学

キーワード：外側耐震補強 PC圧着関節工法 低強度コンクリート 1層2スパン試験体

1. 研究開始当初の背景

公共建築物や中低層集合住宅に広く採用されているコンクリート系構造物は、その建設時期によって使用されたコンクリートの強度が低い等の理由から、耐震性が乏しく耐震改修が必要な場合がある。この中には、コンクリート圧縮強度が極端に低い 10N/mm^2 以下の例も確認されている。これらの建物は生活基盤となっている場合が多く、使用を継続しながらの改修が必要となる。

外側耐震改修は居室空間での工事を最小限に抑えることができるため有効な方法である。しかし、コンクリート系構造物である既存部が受けた地震力は接合部でのみ新設部に伝達されるため、耐震性向上を確保する上で接合部の設計が重要となる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、外側耐震改修における接合部のせん断耐力評価法の提案とその検証である。また耐震改修を実施するにあたり、補強量を決定するために耐震改修の対象となるコンクリート系構造物が保有する水平耐力を適切に評価する必要がある。既往研究において様々な評価式が提案されているが、本研究では適用範囲外であるコンクリートの強度が極端に低い場合について検証する。研究対象は、(1) 既存部のコンクリート強度が 5N/mm^2 から 17.9N/mm^2 、(2) 接合には既存部と新設部の梁部材同士を連続する床板、及び両フレームの柱間に適宜直行梁を用いる、(3) 接合要素には接着系アンカーボルト、及び PC 鋼棒を用いる、(4) 新設補強部は PC 圧着関節工法を用いる、とした。

3. 研究の方法

図 1 に本研究が対象としている外側耐震改修の概略を示す。本研究は二つの段階を経て目的を達成する。

始めに、図 2 に示す外側耐震改修での接合部周辺を抽出した要素試験体によって、破壊が想定される接合部とコンクリート系構造物である既存部の接合面にせん断応力のみを作用させる実験を行い、接合部のせん断耐力評価式の構築を試みる。このとき、接合部以外が壊れないように設計されている。実験パラメータは、既存部のコンクリート圧縮強度と接合方法を設定した。

PC 鋼棒による接合方法に関しては、実験データが少なく、前述に要素実験に加えて追加実験を行う。実験パラメータは PC 鋼棒周辺のグラウト強度とシース管径である。

最後に図 3 に示すように、実際の外側耐震改修を模擬したコンクリート系構造物である既存部と新設補強部の 1/2.5 スケールの 1 層 2 スパンフレームを製作し、外側耐震改修と同様に接合した試験体と比較のために接合していない試験体を用意し、正負交番繰返し漸増水平載荷実験を行う。実験パラメータはコンクリート強度であり、外側耐震補強を

する際の最低コンクリート圧縮強度に近い 14N/mm^2 と極端に低強度の 5.0N/mm^2 を用意した。接合部は接着系アンカーボルトによる接合方法とした。前述の要素試験体とは異なり、接合部以外の周辺フレームにも損傷が生じる。この実験を通して接合部のせん断耐力評価式の妥当性を確認する。さらに、各フレームの下部に荷重を計測するロードセルを設置することで、既存部に入力した水平外力に対して接合部を介して新設部に伝達した応力を定量的に把握できるようにした。

既存部のみのフレーム試験体では、コンクリート圧縮強度が極端に低い場合の水平耐力を把握、既往の評価式との対応を確認する。新設補強部のみでは、既往研究で提案した部材での復元力特性が、フレームに対しても有効性を確認する。

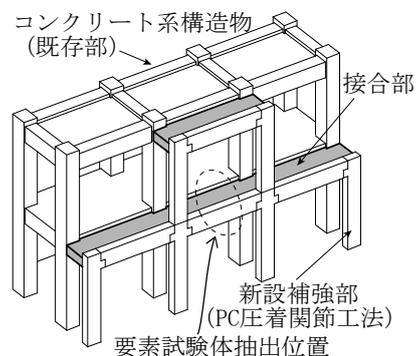


図 1 外側耐震改修の概略

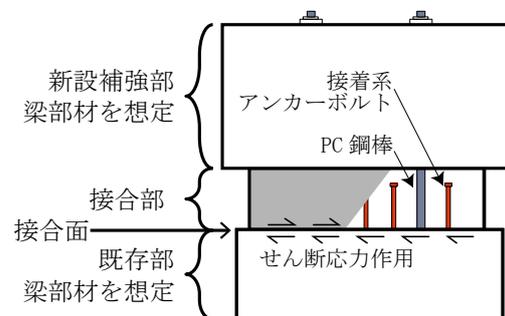


図 2 要素試験体形状 (接合方法の一例)

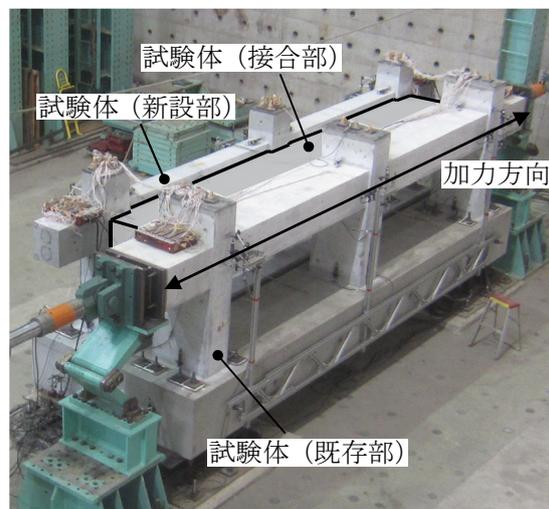
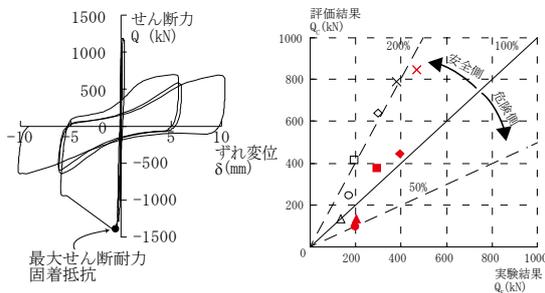


図 3 1 層 2 スパンフレーム実験試験体形状

4. 研究成果

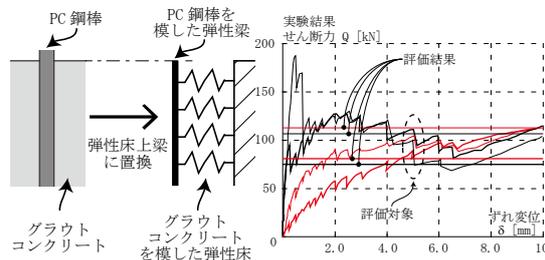
始めに実施した、接合部周辺を抽出した要素実験 (図 2) で得られたせん断力と接合部と既存部の接合面でのずれ変位の関係の一例を図 4 に示す。外側耐震改修における接合部のせん断耐力は、最大耐力を決定した固着抵抗は乾燥収縮等により耐力を十分に発揮できない場合が考えられるため、接着系アンカーボルト、及び PC 鋼棒によるダウエル抵抗、及び摩擦抵抗により評価する。ここで、PC 鋼棒のダウエル抵抗の終局せん断耐力評価式を、初期導入緊張力で使われていない応力度がせん断耐力に見込めると考え、フォンミーゼスの降伏条件を応用して提案した。図 4 に評価結果を示す。一部の試験体を除いて安全側に評価することができた。(雑誌論文④)



(a) せん断力とずれ変位の関係 (b) 実験値と評価値の関係

図 4 要素実験結果

PC 鋼棒の追加実験では、図 5 に示すように、PC 鋼棒を弾性梁、周辺グラウト、及びコンクリートを弾性床に置換し、弾性床上梁理論によって PC 鋼棒の曲げ降伏時耐力の評価する方法を提案した。図 5 に実験値と評価値の関係を示す。実験結果を妥当に評価することができた。(雑誌論文①, ②)



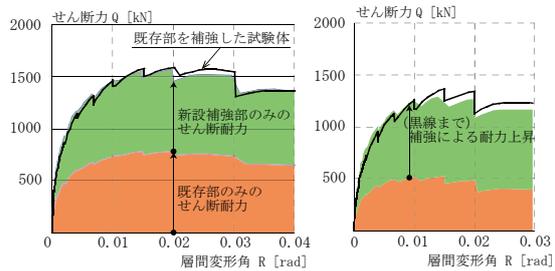
(a) 弾性床上梁への置換 (b) 実験値と評価値の関係

図 5 PC 鋼棒の追加実験結果

外側耐震改修を模擬した 1 層 2 スパンフレームでの実験 (図 3) について、接合部は、想定される入力せん断力に対して、耐震壁の力学的挙動を参考に剛性低下率を用いて接合部の断面を決定した。

図 6 に既存部に入力された水平力と既存部の層間変形角の関係、既存部と新設補強部

を接合した試験体と既存部だけの試験体で示す。同じ層間変形角で比較すると、新設補強部を接合することで耐力が上昇し、耐震性が向上したと言える。



(a) コンクリート 圧縮強度 14 N/mm² (b) コンクリート 圧縮強度 5.0 N/mm²

図 6 フレーム実験結果

試験体下部のロードセルを用いて接合部に入力されたせん断応力度を推定し、接合部のせん断変形角、ひび割れ状況、及び鉄筋との関係を把握し、既存部に入力された水平力が接合部を介して新設補強部に伝達されたことで耐力上昇が生じたことを確認した。また、既存部の損傷の推移は接合の有無にかかわらず同様であり、破壊モードを変化させなかった。

以上より、本研究での接合方法によって既存部と新設部の水平体力は単純累加することができることがわかった。一方で除荷時は PC 圧着間接工法である新設補強部が既存部に追従して変形することで、残留変形が減少したことも確認された。

接合部の損傷は、せん断ひび割れに加え、面外曲げの影響と思われる曲げひび割れが分散して生じたものの、要素実験で見られた接合面でのずれは生じなかった。

実験で得られた既存部フレームのせん断終局強度と耐震診断に用いられる評価式の対応は、コンクリート圧縮強度が 14 N/mm² の試験体では良好な対応が確認できた。一方で、5.0 N/mm² の試験体では評価式が実験値よりも大きくなり、危険側に評価する結果となった。これは、せん断力を受ける RC 部材において圧縮強度が極端に低いコンクリートでは、鉄筋での付着強度が小さく、せん断補強筋の効きが悪くなることが影響していると考えられる。そこで、評価式においてせん断補強筋の強度にコンクリート圧縮強度に応じた上限を設けることで、圧縮強度が極端に低いコンクリートに適用することを試みた。その結果、評価式が下方修正され、実験値と良好な対応を確認することができた。

PC 圧着関節工法は水平力に対する損傷が圧着関節部に集中するため、既往研究で提案した PC 鋼材の抜け出しを考慮した回転ばねを設定するモデルにより、部材の復元力特性を評価することができる。本実験に前述のモデルを適用した結果、中柱柱脚部、及び中柱梁関節部では良い対応を示した。一方で外柱

に対しては差異がみられた。これはフレームとして挙動することによる外柱での軸力変動の影響と考える。フレーム全体としては概ね評価することができた(図7)。

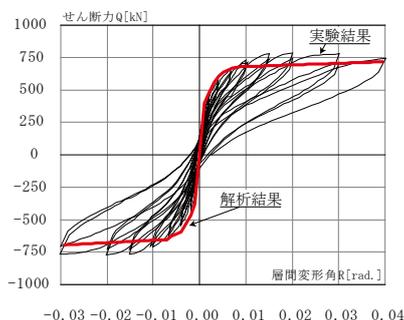


図7 新設補強部実験結果と解析結果

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)

[雑誌論文] (計 4件)

- ①白井佑樹, 澤木講治郎, 坂田弘安, 松崎育弘: コンクリート接合面における PC 鋼棒のダウエル抵抗に関する実験と解析検討, 査読有り, コンクリート工学年次論文集, 巻 37 巻, 2015 (採用決定)
- ②坂田弘安, 白井佑樹, 澤木講治郎, 黒沢亮太郎, 松崎育弘: PC 鋼棒により圧着接合された接合面のせん断降伏強度評価, 構造工学論文集, 査読有り, 巻 61B, 2015, pp. 41-47,
- ③坂田弘安, 陶山高資, 黒沢亮太郎, 和田章, 松崎育弘: 繰返し荷重を受ける PC 圧着関節工法を用いた床スラブ付き十字架構の解析, 日本建築学会構造系論文集, 査読有り, 第 79 巻, 2014, pp. 137-143, DOI : <http://doi.org/10.3130/aijs.79.137>
- ④白井佑樹, 黒沢亮太郎, 坂田弘安, 松崎育弘: RC 造の外側耐震補強における接合部のせん断耐力評価, コンクリート工学年次論文集, 査読有り, 第 35 巻, 2013, pp. 1063-1068

[学会発表] (計 11件)

- ①黒沢亮太郎, 大和久貴義, 白井佑樹, 坂田弘安, 松崎育弘, 小澤潤治, 佐藤良介: 既存 RC 架構にスラブを介して PC 架構を取り付けた外付け耐震補強に関する実験研究その 4 各柱部材のせん断力の推定, 日本建築学会大会学術講演, 2015, 東海大学 (神奈川県・平塚市) (発表確定)
- ②大和久貴義, 黒沢亮太郎, 白井佑樹, 坂田弘安, 松崎育弘, 小澤潤治, 佐藤良介: 既存 RC 架構にスラブを介して PC 架構を取り付けた外付け耐震補強に関する実験研究その 5 RC 架構および PC 架構における力学的挙動, 日本建築学会大会学術講演, 2015, 東海大学 (神奈川県・平塚市) (発表確定)

- ③白井佑樹, 澤木講治郎, 坂田弘安, 松崎育弘: コンクリート接合面における PC 鋼棒のダウエル抵抗に関する実験研究, 日本建築学会関東支部研究報告会, 2015. 03. 02, 日本大学 (東京都・千代田区)
- ④大和久貴義, 白井佑樹, 黒沢亮太郎, 坂田弘安, 松崎育弘, 小澤潤治, 佐藤良介: 既存 RC 架構にスラブを介して PC 架構を取り付けた外付け耐震補強に関する実験研究その 1 実験方法概要, 日本建築学会大会学術講演, 2014. 09. 13, 神戸大学 (兵庫県・神戸市)
- ⑤白井佑樹, 黒沢亮太郎, 大和久貴義, 坂田弘安, 松崎育弘, 小澤潤治, 佐藤良介: 既存 RC 架構にスラブを介して PC 架構を取り付けた外付け耐震補強に関する実験研究その 2 実験結果, 日本建築学会大会学術講演, 2014. 09. 13, 神戸大学 (兵庫県・神戸市)
- ⑥黒沢亮太郎, 大和久貴義, 白井佑樹, 坂田弘安, 松崎育弘, 小澤潤治, 佐藤良介: 既存 RC 架構にスラブを介して PC 架構を取り付けた外付け耐震補強に関する実験研究その 3 補強効果の確認, 日本建築学会大会学術講演, 2014. 09. 13, 神戸大学 (兵庫県・神戸市)
- ⑦小林駿介, 白井佑樹, 黒沢亮太郎, 坂田弘安, 松崎育弘: PC 鋼棒によるコンクリート圧着接合部せん断実験 その 1 実験概要, 日本建築学会大会学術講演, 2013. 09. 01, 北海道大学 (北海道・札幌市)
- ⑧白井佑樹, 黒沢亮太郎, 坂田弘安, 松崎育弘: PC 鋼棒によるコンクリート圧着接合部せん断実験 その 2 実験結果, 日本建築学会大会学術講演, 2013. 09. 01, 北海道大学 (北海道・札幌市)
- ⑨Yuki SHIRAI, Ryotaro KUROSAWA, Jiang Liang GAO, Masanori SUGIYAMA, Hiroyasu SAKATA, Yasuhiro MATSUZAKI : Shear Resistance of Concrete Connections Between Existing RC Frames and Newly-Added PCaPC Frames for Retrofit, 15th World Conference on Earthquake Engineering, 2012. 09. 27, Lisbon, Portugal
- ⑩黒沢亮太郎, 白井佑樹, 高江梁, 杉山雅徳, 坂田弘安, 松崎育弘: PCaPC 外付けフレーム耐震補強の接合面に関する実験的研究その 1 実験概要と結果, 日本建築学会大会学術講演, 2012. 09. 14, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市)
- ⑪白井佑樹, 黒沢亮太郎, 高江梁, 杉山雅徳, 坂田弘安, 松崎育弘: PCaPC 外付けフレーム耐震補強の接合面に関する実験的研究その 2 考察, 日本建築学会大会学術講演, 2012. 09. 14, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市)

[図書] (計 件)

〔産業財産権〕

○出願状況（計 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

○取得状況（計 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂田 弘安 (SAKATA HIROYASU)

東京工業大学・理工学研究科・教授

研究者番号：80205749

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：