

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 9 月 5 日現在

機関番号：12501

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2015～2016

課題番号：15H06094

研究課題名(和文) コンクリート系骨組における制振ダンパー接合部の力学挙動解明および設計法構築

研究課題名(英文) Structural Behavior and Design Method of Damper Connections in Concrete Composite Frames

研究代表者

毎田 悠承 (MAIDA, Yusuke)

千葉大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：10756422

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではコンクリート系構造物にダンパーを取り付けるための突起付き鋳鉄製プレートを用いたコンクリート系部材との圧着接合部を提案し、その力学挙動を検討した。まず、提案した接合部の繰り返しせん断力載荷実験を行い、接合部のせん断抵抗機構を把握した。提案した接合部では摩擦抵抗と、既往の支圧耐力式を準用して評価した支圧抵抗の加算で耐力を評価できることを示した。次いで、実験を再現する有限要素解析を行い、コンクリートの最小主応力度分布を確認した。最後に提案した接合方法を用いて、実際のコンクリート系構造物にダンパーを適用する際の接合部設計法を示した。

研究成果の概要(英文)：In this study, the post-tensioned connection between ductile cast iron plate with shear-key and concrete to apply the damper to a composite structures was adopted. First, cyclic shear tests of the proposed connection were carried out. As a result of the tests, shear strength of proposed connection is provided. Next, shear strength evaluation of proposed connection was considered. The shear strength of the specimens with shear-key was presented as the sum of friction resistance and bearing resistance by using a formula in the past. Then, finite element analysis that reproduced the component tests was carried out. As a result of the analysis, the principal stress of concrete was confirmed. Finally, the design of the damper connection to a concrete composite structure by using the proposed connection method was shown.

研究分野：建築構造

キーワード：ダンパー 突起付き鋳鉄製プレート コンクリート 圧着接合 摩擦抵抗 支圧抵抗

1. 研究開始当初の背景

鉄筋コンクリート (以下, RC) 構造やプレストレストコンクリート (以下, PC) 構造などのコンクリート系構造物に制振ダンパー (以下, 単にダンパー) を適用すれば耐震性確保に有効である. これまでに考えられているコンクリート系構造物へのダンパー接合方法では, 骨組に応力を伝達するためにスタッドやあと施工アンカーのダボ作用による接合機構に期待している. ダボ作用による接合機構ではある程度の接合面のずれ変位を許容せねばならず, 想定した応力伝達を行うことができる程度のずれ変位に抑制するためには, 大量のスタッドやアンカーを用いる必要があり, 設計や施工が困難である. コンクリート系構造物にダンパーを取り付けるための接合方法は, 力学的に不明な部分が多く, 未だに決定的なディテールがないのが現状である.

2. 研究の目的

コンクリート系構造物へのダンパー接合方法として, 本研究では突起付き鋳鉄製ガセットプレート (以下, G.PL) を用いたコンクリート系骨組へのダンパー圧着接合部を提案する. 提案する接合部では突起付き鋳鉄製 G.PL とコンクリート系骨組を PC 鋼棒により圧着接合することにより, 摩擦抵抗に達するまでは接合面にずれをほとんど生じさせないことが可能になる. また, 接合面の鋳鉄製プレートには突起を設けることで, 摩擦抵抗に達した後に突起の支圧応力によって応力伝達を行い, 余裕度の高い接合部の設計が可能になる. 鋳鉄は低い温度での鋳造作業が可能であり, 複雑形状品を一体で大量製造することができる特長がある. しかしながら, 複雑形状の G.PL とコンクリート間のせん断抵抗に関する既往研究は少なく, 設計法も確立されていない.

本研究では突起付き鋳鉄製プレートを用いたコンクリート系骨組への新たなダンパー接合部を提案し, 構造実験と数値解析によって, 本接合方法の有効性を示すとともに突起付き鋳鉄製プレートの摩擦抵抗および支圧抵抗の評価方法を検討し, ダンパー接合部の力学挙動を解明するとともに, 設計法を構築することを目的とする.

3. 研究の方法

(1) 突起付き鋳鉄製プレートとコンクリートの圧着接合面のせん断力 (またはせん断力と引張力) 載荷実験 (図 1) を行い, 摩擦抵抗および支圧抵抗の評価, それらを組み合わせたせん断耐力評価式を検討する.

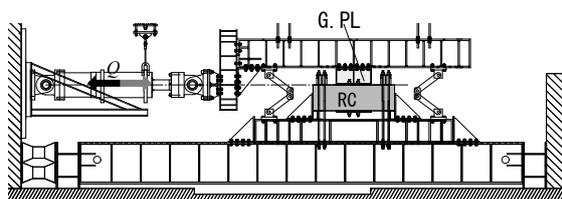


図 1 実験セットアップ

(2) 実験を再現する 3 次元非線形有限要素解析 (図 2) を行い, 耐力評価式の妥当性について検討する.

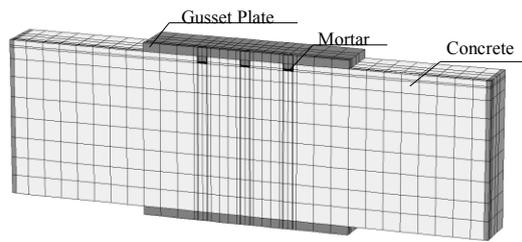


図 2 解析モデル

(3) 実験と解析から得られた知見をもとに, 実際にコンクリート系構造物にダンパーを適用するための設計法を提案する.

4. 研究成果

(1) 実験では, 鋳鉄製 G.PL における突起の形状・数量・高さ, 圧着力, グラウト材の種類, および引張力の有無などをパラメータとし, 試験体は計 20 体とした.

荷重-変形関係の例を図 3 に示す. 計 20 体分の, 突起付き鋳鉄製プレートとコンクリートの圧着接合面のせん断力-ずれ変位関係を得た.

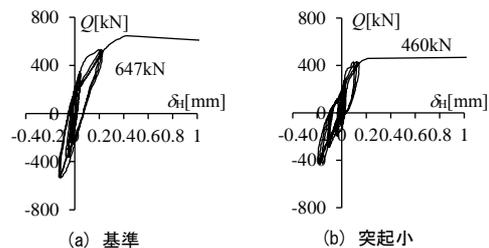


図 3 荷重-変形関係

これらの結果から鋳鉄-コンクリート間の摩擦抵抗, 突起部の支圧抵抗について検討した.

摩擦については, 実験から鋳鉄-コンクリート間の摩擦係数を算出した結果, $\mu_{fr}=0.71$ となった. よって, 摩擦抵抗分はこの μ_{fr} を用いて評価することとした. PC 鋼棒による圧着力から接合面に作用する引張力を差し引き, そこに摩擦係数を乗じることで評価する.

支圧については, 実験から, 突起の形状に応じて, 既往の支圧耐力評価式^{①, ②}を用いて評価できることを確認した. 一方, 導入圧着力が小さい場合, または引張力の作用により圧着力が小さくなる場合は, 拘束圧が小さいため, コンクリートの破壊が上方に向かい, 図 4 (c) のように支圧応力状態が変わるため, 既往の評価式は適用できないことを明らかにした.

以上のことから, 突起付き鋳鉄製プレートとコンクリートの圧着接合面のせん断耐力は, 前述した摩擦抵抗式と, 突起による支圧抵抗式の加算で評価することとした. この方

法による評価値は、大多数の試験体で耐力を概ね良好に評価できた。

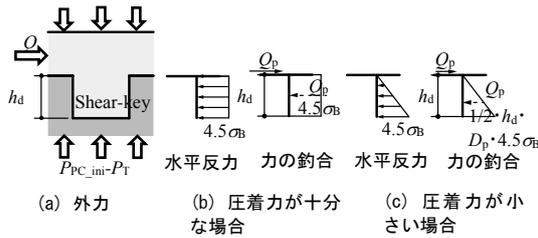


図4 支圧抵抗の概念図

(2) 実験を再現する3次元非線形有限要素解析(図2)を行い、前節で示した耐力評価式の妥当性について検討した。実験の対称性を考慮し試験体幅方向の半分をモデル化した。

解析により得られた荷重-相対ずれ関係を実験結果と比較して図5に示す。剛性・最大耐力を概ね良好に再現出来ていることが分かる。

突起付き鋳鉄製プレートとコンクリートの圧着接合面におけるせん断耐力評価式のうち、支圧抵抗評価式はコンクリート強度に依存している。本研究で提案した接合部を既存建物にあと施工する場合、突起部とコンクリートの間にはモルタルを充填する必要がある。突起部周囲のモルタルが支圧抵抗に及ぼす影響を確認し、支圧抵抗評価式の妥当性を確認する。作成した解析モデルのグラウト部モルタルをRC梁と同じコンクリートに変更してモデル化した。グラウト部モルタルをコンクリートに変更したモデルの荷重-相対ずれ関係を図6に示す。グラウト部をモルタルでモデル化した結果も併せて示している。グラウト部のモルタルをコンクリートに変更しても、モルタルの場合とほぼ同じ履歴特性を示し、せん断耐力、耐力時のずれもほぼ同じ結果となった。

次いで、最小主応力度について検討した。グラウト部をモルタルでモデル化したもの、コンクリートに変更したもの、それぞれのモデルのせん断耐力時における突起部周辺のコンクリート、モルタルの最小主応力度を図7に示す。

2つのモデルで最小主応力度の分布状況に大きな差異は見られない。圧着力を導入していることにより、突起に接触するモルタル、またはコンクリートの最小主応力の方向は、載荷方向よりもやや下に向かって作用する傾向にある。いずれのモデルにおいても耐力に達した時の最小主応力度の最小値は、モルタルの圧縮強度に達していなかったことから、コンクリートの破壊により荷重低下したことが分かった。したがって、コンクリートよりも高強度のモルタルを使用した場合、支圧耐力はコンクリート強度で決定されるため、コンクリート強度に依存して決定される前章に示した支圧抵抗評価式は妥当であると言えることが分かった。

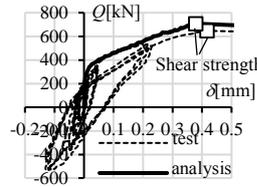


図5 荷重-変形関係(実験と解析の比較)

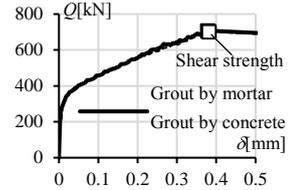
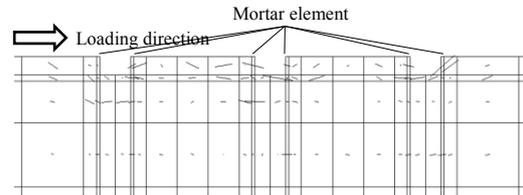


図6 荷重-変形関係(グラウト材の違い)



(a) Grout by mortar



(b) Grout by concrete

図7 主応力度分布(グラウト材の違い)

(3) 最後に、実際のコンクリート系構造物にダンパーを適用する際の地震後継続使用や、安全余裕度を考慮した設計法について検討した。

①ダンパーの接合部設計用耐力

本接合部における基本的な設計概念として、ダンパーを有効に機能させるためにレベル2(例えば0.5m/sec)地震動程度でダンパー自体に発生しうる最大荷重までを安全余裕度を考慮した摩擦抵抗として設計する。レベル2を超える地震動(例えば0.75m/sec)を受けたときに生じ得るダンパーやその取り付け部材の限界荷重に対して保有耐力接合などの付加耐力として、突起部のコンクリートの支圧によって接合面が破壊しない設計とすることとした。

②設計用摩擦係数、設計用支圧耐力式

②-1 設計用摩擦係数

前節にダンパー接合部設計時の摩擦抵抗による設計とすべき荷重を示した。この摩擦抵抗分を算定するときの摩擦係数としては、実験結果から鋳鉄とコンクリート間の摩擦係数は0.7程度であることが分かっているが、設計時には安全余裕度を考慮する必要がある。

鋳鉄(鋳放し)の表面粗さは150Sであり、鋼材(黒皮)の表面粗さと同等である。文献③の露出柱脚の降伏せん断耐力の計算におけるベースプレート下面とコンクリートの摩擦係数を参考に、鋳鉄(鋳放し)製プレートを使用する場合は、いずれのダンパー接合部においても設計用摩擦係数 $\mu_{fr,des}$ は0.4として設計することとする。

②-2 設計用支圧耐力式

必要な突起の寸法、数量は突起の形状に応じて、既往の支圧耐力評価式を用いて評価する。圧着力が小さい場合の支圧耐力式を提案したが、実際の設計時には PC 鋼棒により導入した圧着力から引張力を差し引いた圧着力が、必要最小圧着力よりも小さくならないように導入張力を決定すべきであることを示した。必要最小圧着力は実験パラメータの範囲から 212kN としているが、今後も検討を重ねていく。

<引用文献>

- ① 島崎和司, 戸澤正美, 宮崎裕一, 濱智貴: RC 根巻型構造のスタッドの耐力と剛性の検討 粘弾性壁型制震ダンパーの RC 根巻き型構造取り付け部の検討 その 2, 日本建築学会構造系論文集, 第 79 巻, 第 701 号, pp.1047-1054, 2014.7
- ② 菊田繁美, 三輪明広, 中原理輝, 向井幸一: 鋼管をコッターとして用いた耐震補強工法に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp.1183-1188, 2008.7
- ③ 日本建築学会: 鋼構造接合部設計指針, pp.292-295, 2013.7

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 1 件)

- ① 毎田悠承, 木下澄香, 坂田弘安, 島崎和司: 突起付き鉄製プレートと RC 部材の圧着接合部の繰り返しせん断力載荷実験, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol.37, No.2, 2015.7, pp.1039-1044

[学会発表] (計 1 1 件)

- ① Yusuke Maida, Kiyoka Kinoshita, Hiroyasu Sakata, Kazushi Shimazaki, Nobuyuki Izumi, Eiichiro Saeki: Shear Strength Evaluation of Post-Tensioned Connection between Concrete and Cast Iron Plate with Shear-key, The 7th International Conference of Asian Concrete Federation, 2016.11.1, Hanoi (Vietnam)
- ② 毎田悠承, 木下澄香, 坂田弘安, 島崎和司, 和泉信之, 佐伯英一郎: コンクリート系骨組に制振ダンパーを取り付けるための突起付き鉄製プレート圧着接合部におけるせん断耐力評価, 日本地震工学会第 12 回年次大会, 2016.9.26, 高知工科大学永国寺キャンパス (高知県高知市)
- ③ 齋藤迅, 大滝泰河, 木下澄香, 毎田悠承, 坂田弘安, 島崎和司, 和泉信之, 佐伯英一郎: 突起付き鉄製プレート圧着接合法によるコンクリート系骨組へのダンパー適用に関する研究 その 1 接合部

要素実験の概要, 2016 年度日本建築学会大会学術講演会, 2016.8.24, 福岡大学 (福岡県福岡市)

- ④ 大滝泰河, 木下澄香, 齋藤迅, 毎田悠承, 坂田弘安, 島崎和司, 和泉信之, 佐伯英一郎: 突起付き鉄製プレート圧着接合法によるコンクリート系骨組へのダンパー適用に関する研究 その 2 接合部要素実験の結果と有限要素解析, 2016 年度日本建築学会大会学術講演会, 2016.8.24, 福岡大学 (福岡県福岡市)
- ⑤ 木下澄香, 齋藤迅, 大滝泰河, 毎田悠承, 坂田弘安, 島崎和司, 和泉信之, 佐伯英一郎: 突起付き鉄製プレート圧着接合法によるコンクリート系骨組へのダンパー適用に関する研究 その 3 突起付き鉄製プレートとコンクリートの圧着接合面のせん断耐力評価, 2016 年度日本建築学会大会学術講演会, 2016.8.24, 福岡大学 (福岡県福岡市)
- ⑥ 木下澄香, 毎田悠承, 坂田弘安, 島崎和司, 佐伯英一郎: 突起付き鉄製プレートとコンクリートの圧着接合面におけるせん断耐力評価 その 1 実験概要, 2015 年度 (第 86 回) 関東支部研究発表会, 2016.3.1, 日本大学理工学部 (東京都千代田区)
- ⑦ 毎田悠承, 木下澄香, 坂田弘安, 島崎和司, 佐伯英一郎: 突起付き鉄製プレートとコンクリートの圧着接合面におけるせん断耐力評価 その 2 実験結果と有限要素解析および耐力評価式の検討, 2015 年度 (第 86 回) 関東支部研究発表会, 2016.3.1, 日本大学理工学部 (東京都千代田区)
- ⑧ Kiyoka Kinoshita, Yusuke Maida, Hiroyasu Sakata, Kazushi Shimazaki, Eiichiro Saeki, Yukio Kitada, Keiichiro Shibuta: Experiment on Shear of Post-Tensioned Connection between Concrete and Cast Iron Plate having Shear-Key, The Eighth International Structural Engineering and Construction Conference, 2015.11.24, Sydney (Australia)
- ⑨ 木下澄香, 毎田悠承, 坂田弘安, 島崎和司, 佐伯英一郎: 突起付き鉄製プレートと RC 部材の PC 鋼棒による圧着接合面の繰り返しせん断力載荷実験および有限要素解析, 日本地震工学会第 11 回年次大会, 2015.11.20, 東京大学生産技術研究所 (東京都)
- ⑩ 佐藤宏貴, 木下澄香, 毎田悠承, 坂田弘安, 島崎和司, 佐伯英一郎: 突起付き鉄製プレートとコンクリートの圧着接合面におけるせん断伝達に関する研究 その 1 実験概要, 2015 年度日本建築学会大会学術講演会, 2015.9.5, 東海大学 (神奈川県平塚市)
- ⑪ 木下澄香, 毎田悠承, 坂田弘安, 島崎和司, 佐藤宏貴, 佐伯英一郎: 突起付き鉄

鉄製プレートとコンクリートの圧着接
合面におけるせん断伝達に関する研究
その2 実験結果の考察, 2015年度日本
建築学会大会学術講演会, 2015.9.5, 東
海大学(神奈川県平塚市)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

毎田 悠承 (MAIDA, Yusuke)

千葉大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号: 10756422

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

なし