

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760366

研究課題名(和文)炭素繊維補強材とポリマーセメントモルタルを用いたRC部材の補強部界面の付着特性

研究課題名(英文) Seismic Retrofit of Existing RC members with CFRP Grid by Polymer Cement Mortar for Shotcrete

研究代表者

山口 浩平 (YAMAGUCHI, KOHEI)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：60336013

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：鉄筋を橋脚に接触配置し、鉄筋かぶり分のみポリマーセメントモルタル(PCM)を吹付ける工法を開発した。その特徴は、PCM吹付けにより施工性の改善、PCMは中性化速度がコンクリートの1/5以下のため巻立厚をRC巻立工法の1/5程度に低減可、河積阻害率の制約を受けにくい、自重の増加の抑制などが挙げられる。一方、高耐久性材料であるCFグリッドは、高耐腐食性、高強度であるため、CFグリッドを鉄筋の代替筋として用いる場合、かぶり厚をさらに薄くまた補強筋量も少量でよく経済的となり得る。しかし、コンクリートやPCMとの付着特性は明らかにされていないため、補強部界面の付着特性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Seismic retrofit of existing RC pier using RC lining method is most general, but there are some problems that increase of the cross-section area (minimum 250mm) cause increment of dead load and impediment ratio of river. Then it was proposed seismic retrofit constructing method with CFRP grid by polymer cement mortar for shotcrete ;SRS method. Because this method can set CFRP grid contact on the surface of existing RC pier and adhesive strength of PCM is higher than nominal concrete and neutralization speed compared with nominal concrete is also about 1/5.

It was carried out bending test of 3 type RC piers which is designed by SRS method with scale factor 1/5 of existing RC pier. As a result, it was clarified horizontal load carrying capacity, ductility and energy absorbing capacity were higher than the design value based on Standard Specifications for Highway Bridges. Finally, it was clarified effectiveness of the bending capacity for seismic retrofit of existing RC pier by SRS method.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：維持管理 新素材 炭素繊維 耐震補強

1. 研究開始当初の背景

兵庫県南部地震では昭和 55 年以前の基準によって設計された RC 橋脚の多くは、脆性的な曲げせん断破壊を引き起こした。このため、国土交通省の策定した「緊急輸送道路の橋梁耐震補強 3 ヶ年プログラム」に基づき、橋梁の耐震補強が重点的に進められたが、地方自治体が管理する橋梁の中には未だに耐震補強がなされていないものがあるのも事実である。

既設 RC 橋脚の従来の耐震補強工法としては、RC 巻立て工法、鋼板巻立て工法、連続繊維シート巻立て工法などが一般的であるが、RC 巻立て工法は巻立て厚の増加に伴う河積阻害率の増大や自重の増加、鋼板巻立て工法は施工性や経済性、連続繊維シート巻立て工法は湿潤面への接着性や雨天時の施工などに問題がある。

研究代表者らは、先述した鉄筋を既設橋脚に接触配置し PCM を吹付ける工法を提案した。鉄筋とコンクリートや PCM の付着特性については既往研究で十分明らかになっており、補強設計は確立されている。しかし、今回提案する CF グリッドとコンクリートや PCM のそれぞれの付着特性、さらには、薄肉巻立ての場合の CF グリッドが接触配置された既設コンクリートと PCM の界面の付着挙動に関する研究は研究代表者が知る限りでは皆無である。

そこで本研究開発では、CF グリッドを用いた既設 RC 橋脚の耐震補強における補強部界面の付着特性を明らかにして、新工法となる高耐久性である耐震補強の設計法を提案することを目的とする。

2. 研究の目的

研究代表者らは、鉄筋を橋脚に接触配置し、鉄筋かぶり分のみポリマーセメントモルタル (PCM) を吹付ける工法を開発した。本工法の特徴は、PCM 吹付けにより安定した施工ができる、PCM は中性化速度がコンクリートの 1/5 以下のためにかぶり厚を薄くでき巻立て厚を RC 巻立て工法の 1/5 程度に低減できる (図-1)、河積阻害率の制約を受けにくい、自重の増加を抑えることできるなどが挙げられる。一方、近年、高耐久性材料である炭素繊維補強材 (CF グリッド (図-2)) が先進材料として土木分野でも注目されつつある。CF グリッドは、錆びないため高耐腐食性で、鉄筋に比べて 5 倍強の高強度である。

そのため、CF グリッドを鉄筋の代替筋として用いる場合、かぶり厚をさらに小さくでき、補強筋量も少量でよく経済的にも有利となり得る。しかしながら、補強設計上重要なコンクリートや PCM との付着特性について明らかにされていないのが現状である。そこで本研究課題では、CF グリッドを補強筋として用いた補強部界面の付着特性を明らかにして、新工法となる高耐久性である耐震補強の開発を行う。

3. 研究の方法

研究期間内に、CF グリッドを補強筋とした場合の適用性を検討して、設計法を提案する。

まず、先行して昨年度実施して得られた結果の鉄筋と PCM の付着特性をベースにして、九大で考案した試験システム (図-3) により、①かぶり厚、②CF グリッドの格子間隔をパラメータとして CF グリッドと PCM の付着特性、および CF グリッド同士の継手 (図-4) の挙動 (有効定着長) を明らかにする。その際、研究代表者が保有している高性能デジタ

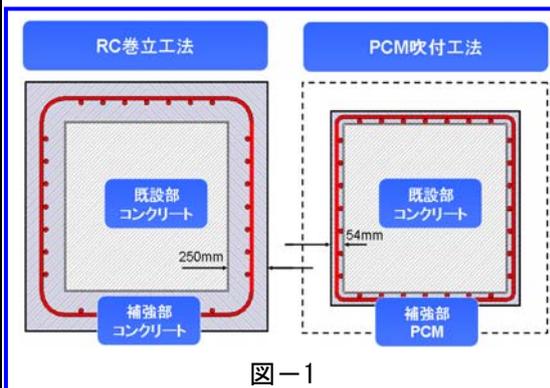


図-1



図-2

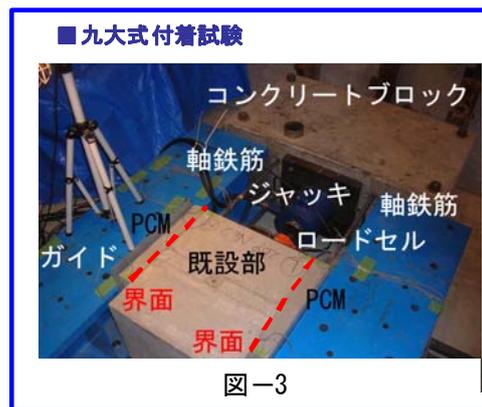


図-3

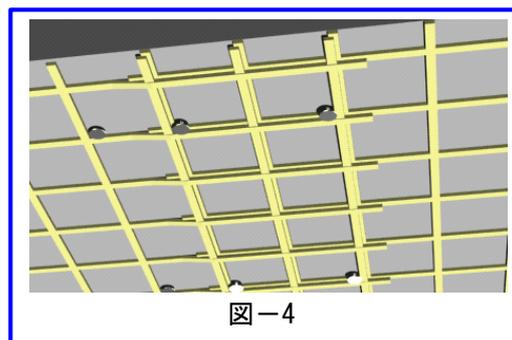


図-4

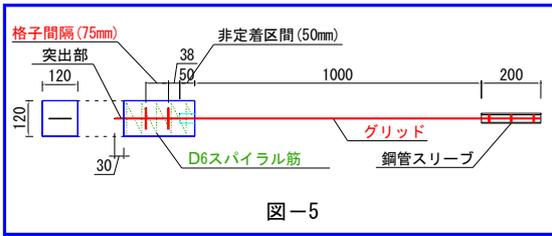


図-5

ルカメラを用いて、PCM 表面を非接触計測し画像解析することにより、PCM 表面のひずみ性状を明らかにして、界面の応力伝達機構を解明する。なお、本計測については九州工業大学の合田寛基先生と協力して実施する。現在、試験体の試設計は完了しており、ある種類の試験体の図を示す(図-5)。

次に、上述の結果から得られる有効定着長に基づき補強範囲を設計した柱試験体を製作し、正負交番載荷試験を行い耐震補強効果について検証して、本工法の補強設計法を提案する。

4. 研究成果

研究成果の詳細は、「5. 主な発表論文等」を参照されたいが、本報告書ではその一部を示す。ここでは、補強部界面の付着特性を考慮した RC はりのせん断耐力評価に関する研究の成果を概説する。

(1) 補強部界面の付着特性についての既往研究

グリッドの同一平面上の定着に関する既往研究では、既設コンクリートにグリッドを接触配置し、PCM 吹付けで増厚一体化させた試験体の面内の2面引抜き試験が実施されている。その結果、格子筋間隔を考慮せず分担率のみで必要格点数を決める場合、グリッドの設計引張強度の1/3の荷重が生じるときの分担率は70~80%となり、必要格点数は2格点となり、また分担率が90%の時の必要格点数は3格点あれば十分であるとされている。以上より、分担率の総和が80%以上となる格点数を有効定着長とすると、設計引張荷重の1/3の荷重のときは3格点以上必要であることがわかっている。

(2) 補強部界面の付着特性を考慮した数値解析モデルの構築

解析は汎用 FEM パッケージ Diana を用いて、3次元非線形解析を行った。境界条件は支承位置を線支持、載荷点は載荷板を模した面載荷とし、支承はトラス要素、載荷板にはカーブシェル要素を用いた。荷重は、はり鉛直方向の変位増分とした。コンクリートは三角柱、四角柱ソリッド要素、鉄筋およびグリッドは埋込み鉄筋要素を用いた。補強部界面の付着特性をモデル化するために、コンクリートと PCM の界面にインターフェイス要素を用い、図-6 に示すすべり関係を定義した。

(3) 数値解析による補強部界面の付着特性の検討

ハンチまで補強していない P-1 は、補強部界面に剥離が生じたので、補強部界面の付着

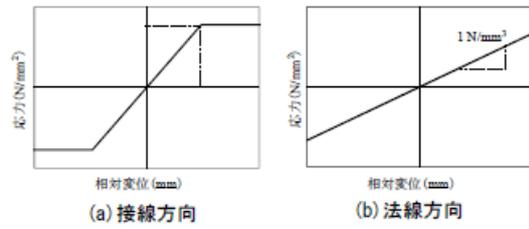


図-6 既設コンクリートと PCM の界面の構成則

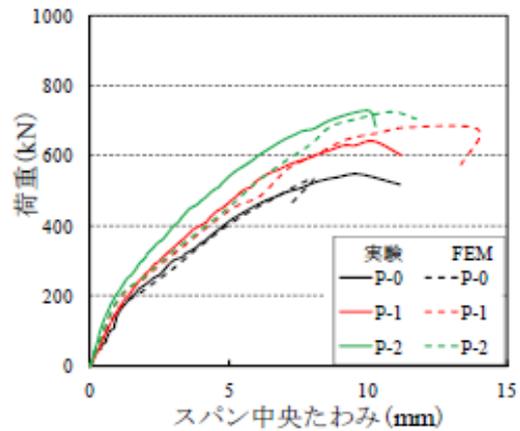


図-7 荷重-スパン中央たわみ関係

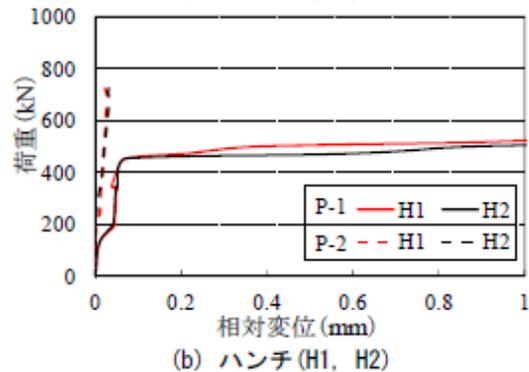
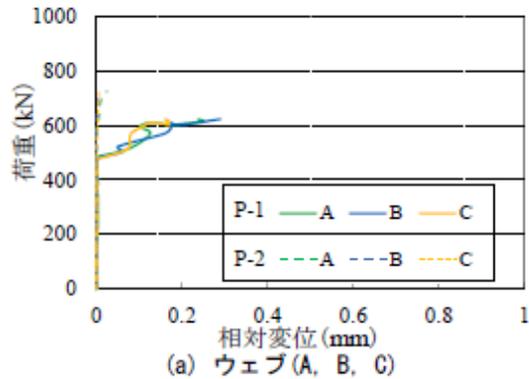


図-8 荷重-相対変位の関係

特性について数値解析により検討した。図-7 に相対変位検討位置を示す。補強試験体 P-1, P-2 に対して、コンクリート上縁から 140mm, 325mm, 375mm, 425mm, 510mm の位置をそれぞれ H1, A, B, C, H2 とする。それらの各位置において、補強部界面をはさんでコンクリート側に 5mm, PCM 側に 5mm の 10mm 離れた箇所

の補強部界面の接線（面内）方向の相対変位について検討した。

図-8 に荷重-相対変位関係を示す。同図 (a) より、ウェブ (A, B, C) では、ハンチまで補強していない P-1 は、荷重 500kN 程度で相対変位が急増して、その界面が剥離したことが再現されている。一方、ハンチまで補強した P-2 は荷重 600kN 程度まで相対変位はほとんど生じず、終局時のコンクリート、PCM の破壊により最終的には相対変位が若干生じた。同図 (b) より、ハンチ (H1, H2) における P-1 と P-2 の比較では、ハンチが PCM だけで増厚されてグリッドの配置されていない P-1 は、低荷重時から相対変位は線形的に増加傾向にあり、終局時には急増している。一方、ハンチにグリッドが配置されている P-2 は、終局時まで相対変位は急増していない。このことは、ハンチまでグリッドを配置することにより、補強部界面の付着特性が向上して十分な定着力が確保されていることが示唆された。

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)

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① Satoru Nakamura, Kohei Yamaguchi, Shinichi Hino, Koichi Sato : Seismic Retrofit of Existing RC Pier with reinforcing Steel Bar and CFRP Grid by Polymer Cement Mortar for Shotcrete, Proc. of the 9th German-Japanese Bridge Symposium, CD-ROM, 2012.9
- ② 宮野暢紘, 山口浩平, 谷口硯士, 日野伸一: PCM 吹付けによる CFRP グリッドを用いた RC はりのせん断補強効果, コンクリート工学年次論文集, Vol. 35, No. 2, pp. 1423-1428, 2013.7
- ③ K. YAMAGUCHI, S. HINO, K. TANIGUCHI, S. NAKAMURA : Seismic Retrofit of Existing RC members with CFRP Grid by Polymer Cement , The 6th Civil Engineering Conference in Asia Region, 190,, 2013.8
- ④ 原田樹菜, 宮野暢紘, 山口浩平, 郭瑞 : ハンチを有する RC はりを対象とした PCM 吹付けによる CFRP グリッドのせん断補強効果, コンクリート工学年次論文集, 印刷中, 2014.7
- ⑤ 山口浩平, 郭瑞, 日野伸一, 宮野暢紘 : PCM 吹き付け工法による CFRP グリッドを用いたハンチを有する RC はりのせん断補強および補強部界面の付着特性, コンクリート工学年次論文集, 印刷中, 2014.7
- ⑥ Rui GUO, Kohei YAMAGUCHI, Shinichi HINO, Nobuhiro MIYANO : SHEARING CAPACITY FOR RC BEAM WITH HAUNCH RETROFITTED BY CFRP GRID SPRAYING PCM SHOTCRETE, Proc.

of the 6th International Conference of Asian Concrete Federation, 印刷中, 2014.9

[学会発表] (計 4 件)

- ① 鶴丸純司, 山口浩平, 日野伸一, 宮野暢紘: PCM 吹付けによる CFRP グリッドを用いた RC はりのせん断補強効果, 平成 24 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, V-062, pp. 813-814, 2012.3
- ② 繁戸起文, 日野伸一, 山口浩平 : PCM 吹付け工法による無筋コンクリート部材の曲げ補強効果, 第 68 回年次学術講演会講演概要集, V-185, pp. 369-370, 2013.9
- ③ 宮野暢紘, 山口浩平, 谷口硯士, 日野伸一 : CFRP グリッドによるせん断補強 RC はりの耐荷性状に関する実験的検討, 第 68 回年次学術講演会講演概要集, V-174, pp. 347-348, 2013.9
- ④ 金丸亜紀, 郭瑞, 山口浩平, 日野伸一, 宮野暢紘, 原田樹菜 : FRP グリッドによる樋門函体隔壁のせん断補強, 平成 25 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, V-045, pp. 725-726, 2014.3

[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]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 浩平 (Kohei YAMAGUCHI)

九州大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号 : 60336013