

炭素繊維ストランドシートによる 基部曲げ補強を施したRC橋脚の交番載荷実験

Cyclic Loading Tests of RC Bridge Column with CFRP Sheet for flexural strengthening

(独) 土木研究所寒地土木研究所	○正会員	澤松俊寿	(Toshikazu Sawamatsu)
(独) 土木研究所寒地土木研究所	正会員	三田村浩	(Hiroshi Mitamura)
新日鉄マテリアルズ (株)	正会員	秀熊佑哉	(Yuya Hidekuma)
(株) 高速道路総合技術研究所	正会員	塩畑英俊	(Hidetoshi Shiohata)

1. はじめに

既設RC橋脚の耐震補強に繊維素材が用いられることがある。繊維素材はRCや鋼板に比べ補修後の断面増加が極めて少なく、かつ軽量であるという利点を有している。本研究では、シート状に加工した炭素繊維ストランド（以下、「CFRPシート」という。）による橋脚基部の曲げ補強とアラミド繊維ロープ巻立てによるじん性補強を併用したRC橋脚供試体の正負交番載荷試験を実施し、その効果について検討した。

2. 実験方法

2.1 実験ケース

実験は Case1 の無補強供試体、Case2 のアラミド繊維ロープの巻立て補強を施した供試体（以下、「ロープ補強」）、Case3 の CFRP シートによる柱基部の曲げ補強およびアラミドロープ巻立て補強を施した供試体（以下、「ロープ補強+CFRP シート補強」）について実施した。なお、Case2 は Case3 との比較のために実施しているが、ロープ補強についてはこれまでに詳細な検討が実施されており、その効果やメカニズム等については既報^{例へば 1),2),3)}を参照されたい。

2.2 供試体形状および配筋

供試体の形状および配筋概略図を図-1に示す。供試体は断面形状が1:1の柱式で、設計計算上、無補強の場合に曲げ降伏後のせん断破壊となるように帯鉄筋の配置間隔を決定しており、柱軸方向鉄筋がSD345 D25を150mm間隔で、帯鉄筋がSD295 D10を200mm間隔で配置している。コンクリートは呼び強度21N/mm²、最大骨材寸法が25mmである。

無補強供試体の、材料試験結果を用いた設計計算上の耐力⁴⁾は、降伏耐力 V_{my} が227.4kN、終局耐力 V_{mu} が284.6kN、せん断耐力 V_{yd} が260.1kNである。なお、軸方向鉄筋の材料試験結果は、降伏応力が391.5N/mm²、降伏ひずみが2164N/mm²、ヤング係数が180.9kN/mm²である。

2.3 補強方法

Case2のロープ補強では、図-2に示すようにアラミド繊維ロープを柱全高に対して25mm間隔で螺旋状に巻付け、じん性の向上を図っている。なお、コンクリートへのロープの食込みを防ぐためにロープの巻付け前に供試体柱部の四隅に山形鋼を設置しており、ロープは人力により巻付けた。アラミド繊維ロープの諸元を表-1に示す。

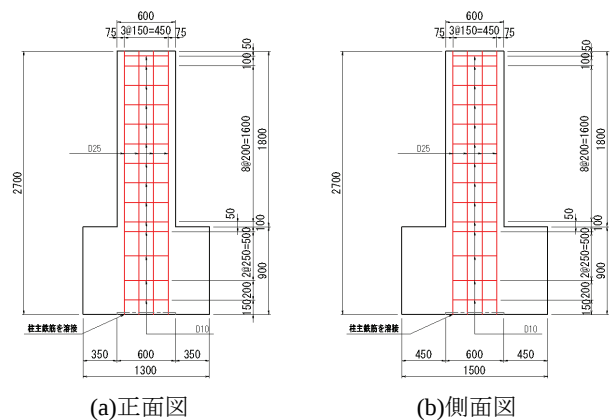


図-1 供試体形状および配筋概略図

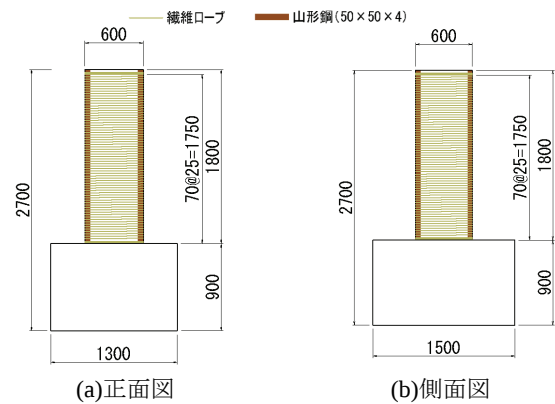
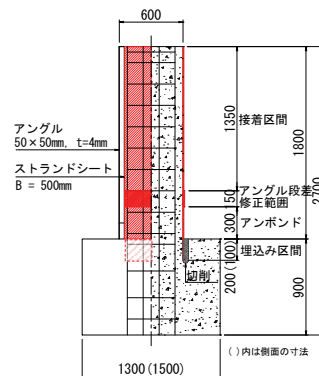


図-2 Case2 (ロープ補強) 補強概略図



(a)正面図, 断面図



(b)基部

図-3 Case3 (CFRP シート+ロープ補強) 補強概要図

表-1 アラミド繊維ロープの諸元

ヤング係数	45.7 kN/mm ²
引張強度	2,414 N/mm ²
断面積	11.5 mm ²

表-2 CFRP シートの諸元

ヤング係数	245 kN/mm ²
引張強度	4,300 N/mm ²
破断伸度	1.5 %
設計厚さ	0.333 mm

Case3のロープ補強+CFRPシート補強では、CFRPシートを柱表面に接着するとともに柱基部に定着させ引張力を負担させることによる橋脚曲げ耐力の向上、およびロープ補強によるじん性の向上を図った。図-3に示すように、柱部表面にエポキシ樹脂によりCFRPシート（図-4）を接着し、CFRPシートの下端部は、フーチングの柱周辺にウォータージェットで削溝した深さ200mm程度の溝に埋め込んでエポキシ樹脂を用いて定着した。なお、基部の塑性ヒンジにおける応力集中によるCFRPシートの損傷を軽減するために基部から300mmの区間はアンボンドとし、アンボンド区間の上端にエポキシ樹脂を厚く塗った。表-2にCFRPシートの諸元を示す。なお、Case2と同様にアラミド繊維ロープを25mm間隔で巻付けているが、アンボンド区間の上端については、アラミド繊維ロープを密な間隔で巻付けた上にエポキシ樹脂を含浸させることで、CFRPシートの剥離防止を図った。

2.5 荷重方法

供試体のフーチングを床に固定し、柱部天端にピン支承を設置した。上部工死荷重反力を考慮するために、上部工死荷重反力を想定した0.33N/mm²の鉛直応力に相当する荷重をピン支承を介して鉛直方向の油圧ジャッキにより荷重し、交番荷重の間一定に保持した。そして、フーチング天端から高さ2105mmの位置のピン支承の中心部に、水平方向のジャッキにより水平力を与えて正負交番荷重を行った。荷重サイクルは図-5に示すように、計算上の降伏耐力の50%の荷重を1サイクル荷重してコンクリートにひび割れを導入した後、橋脚基部の軸方向鉄筋のひずみが降伏ひずみに達する際の荷重点変位 δ_y を基準に定変位の繰返し荷重を行った。

2.6 計測方法

荷重点の変位および荷重荷重をそれぞれ変位計、ロードセルにより測定した。また、ひずみゲージにより柱基部の軸方向鉄筋のひずみ、CFRPシート表面のひずみを測定した。CFRPシートへのひずみゲージの貼付けについては、CFRPシート表面にエポキシ樹脂を薄く塗布して硬化させた上に、ひずみゲージを貼付けた。

なお、荷重点変位および荷重荷重はジャッキの押し側を正とし、CFRPシートのひずみは引張を正としている。

3. 実験結果

図-6に各ケースにおける荷重荷重-荷重点変位の関係を示す。全てのケースにおいて18yの荷重終了までに、柱全高にわたって曲げひび割れが発生し、それ以降は荷

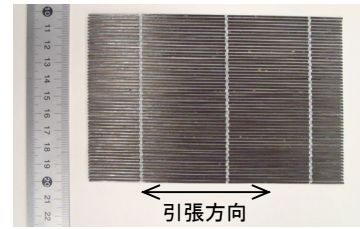


図-4 CFRP シート

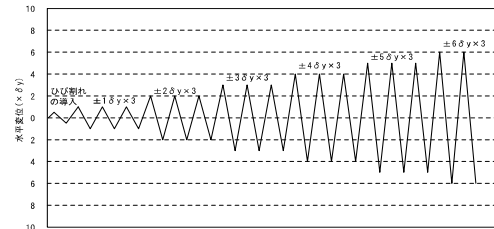


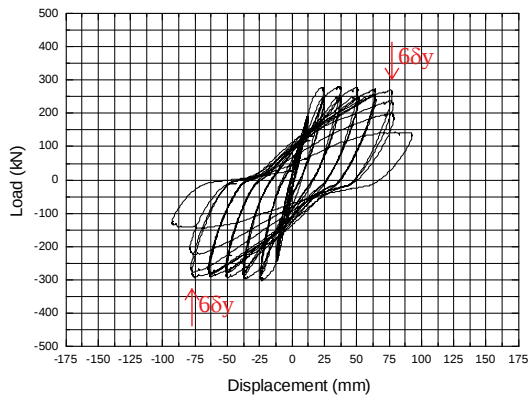
図-5 荷重サイクル

点の水平変位の増加とともに柱側面で斜め方向にひび割れが伸展した。Case1（無補強）においては、その後、柱基部周辺のかぶりコンクリートが剥落するとともに、図-6(a)に示すように6yで軸方向鉄筋が座屈して耐力が低下し、曲げ破壊型の破壊モードを示した。

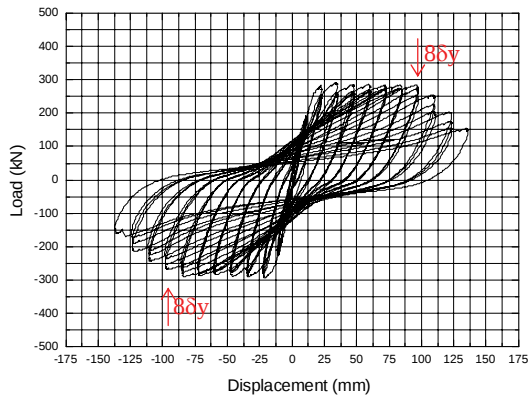
Case2（ロープ補強）においては、柱基部周辺のかぶりコンクリートのはらみだしが開始した後も、ロープの拘束によりコンクリートの剥落が抑制され、図-6(b)に示すように無補強に比べ徐々に耐力が低下した。

Case3（ロープ補強+CFRPシート補強）については、図-6(c)に示すようにCase1、Case2に比べて最大耐力が増加した。シート表面からの打音検査により28y（荷重点変位26.4mm）でアンボンド区間の上部からCFRPシートの剥離が開始し、38y（荷重点変位39.6mm）で完全に剥離したことを確認した。その後は、アラミド繊維ロープの効果によりCase2と同様な傾向を示した。また、88y以降は柱基部周辺のかぶりコンクリートのはらみだしにより押し出され、図-7に示すようにCFRPシートが破断した。図-8に橋脚基部から310mmでのCFRPシート表面のひずみと荷重点変位の関係を示す。なお、CFRPシートのアンボンド区間は基部から300mmの高さまでである。図より、荷重の比較的早い段階ではCFRPシートのひずみは荷重点変位に対して大きなひずみレベルまで線形的な挙動を示しているものの、38yの1サイクル目で急激にひずみが低下した後は、ひずみはほぼゼロでありCFRPシートは荷重荷重に対して抵抗していないことがわかる。なお、ひずみが急激に低下した時点は、打音検査によりシートの剥離を確認した時期と一致する。

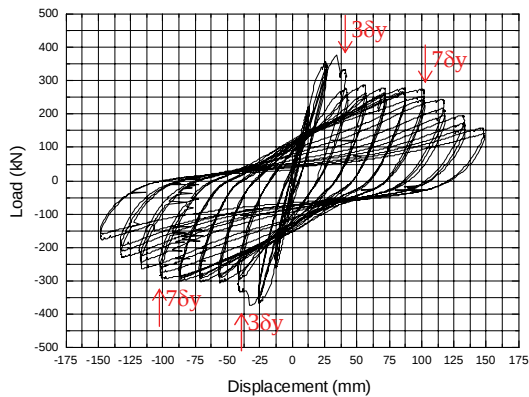
図-9に荷重荷重-荷重点変位関係の包絡線を示す。Case3（ロープ補強+CFRPシート補強）は、Case1（無補強）およびCase2（ロープ補強）と比較して最大耐力が正負平均で20%程度大きく、CFRPシートによる曲げ補強効果が現れている。38yでのCFRPシート剥離後は曲げ補強効果が消失し、Case2とほぼ同じ傾向の包絡線となった。



(a)無補強 (Case1)



(b)ロープ補強 (Case2)



(c) ロープ補強+CFRPシート補強 (Case3)

図-6 載荷荷重-載荷点変位関係



図-7 CFRP シートの破断

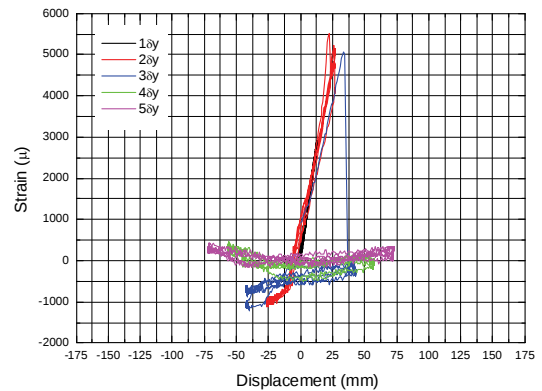


図-8 CFRP シートひずみ (基部からの高さ 310mm) - 載荷点変位関係

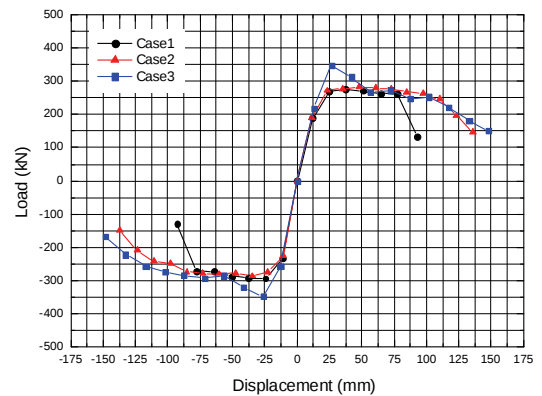


図-9 載荷荷重-載荷点変位関係の包絡線

4. まとめ

本研究では、CFRP シートによる橋脚基部の曲げ補強とアラミド繊維ロープ巻立てによるじん性補強を併用した RC 橋脚供試体の正負交番載荷試験を実施した。その結果、無補強供試体と比較して CFRP シートによる曲げ補強を施した供試体では、簡易な補強にもかかわらず最大耐力が約 20%増加した。載荷中に CFRP シートが剥離したものの、剥離後の載荷荷重-載荷点変位関係の包絡線はロープ補強と同様な傾向を示した。

今後は、最大耐力を大きな繰返し変位まで保持させることを目的に、アンボンド区間とボンド区間の境界部での CFRP シートの剥離抑制策等について検討する。

参考文献

- 1) 三田村浩, 本間淳史, 下村 匠, 丸山久一: アラミド

ロープを用いたRC 橋脚の鉄筋段落し部のじん性補強に関する検討,コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp.1267-1272,2008.

- 2) 松本章裕, Nguyen Hung Phong, 下村匠, 関島謙蔵: 既設コンクリート部材の補強における連続繊維ロープの適用, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.2, pp.1423-1428, 2006.
- 3) 塩畑, 三田村, 渡邊, 下村, 丸山: アラミドロープを用いた既設鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.56A, pp.440-453, 2010.3
- 4) 土木学会: 2007 年制定 コンクリート標準示方書【設計編】, pp.83-86, 2008.3