

損傷した円形 RC 橋脚の SHCC による補修性能の検討

岐阜大学 学生会員 ○矢野 義知, 学生会員 山本 翔吾, 正会員 木下 幸治
 株式会社デーロス・ジャパン 正会員 林 承燦, トーヨーマテラン株式会社 正会員 新家 一秀

1. はじめに

RC 橋脚の耐震補強・補修に関して、これまでに多くの研究¹⁾²⁾が実施されている。例として、文献³⁾では、縮小試験体を使用し、補修後の損傷発生位置や最大荷重・変形能などより補修性能を明らかにしてきている。しかし、既往の研究の多くは、相似則を満足していない縮小試験体を使用するに留まっているため、実橋脚に適用した場合の補修性能が十分に把握できていないと言える。

本研究では、著者らが実施した RC 橋脚の寸法効果に関する研究⁴⁾を基に、実大円形 RC 橋脚の再現性が高い円形 RC 橋脚縮小試験体を用いた補修性能の評価を行った。ここでは、ひずみ硬化型セメント複合材料 (SHCC) による補修を対象とし、補修した円形 RC 橋脚縮小試験体の再載荷試験により、補修性能を明らかとした。

後の耐荷力、変形性能について検討された。その結果、補修後は補修前に比べ曲げ耐力が回復したが、損傷発生位置は補修した橋脚基部の上部に移動することが確認された。そこで、本研究では補修部を再度損傷させるために補修材の圧縮強度が小さくなるように設定した。補修に用いた SHCC の圧縮試験とダンベル型試験体による一軸引張試験は地震後の橋脚に対する早期補修を想定し、材齢 14 日で強度試験を行った。SHCC の圧縮強度の平均は 23.1 N/mm²、引張強度の平均は 4.5 N/mm²であった。橋脚のコンクリートの圧縮強度の平均は 43.6 N/mm²である。なお、D10 試験体は材齢 10 日時、D13 試験体は材齢 15 日時に載荷試験を実施したため、圧縮強度試験時と材齢が異なる。このため、経験的ではあるが 2 N/mm²程度は圧縮強度が小さいと思われる。はつり箇所の補修

2. 試験体の概要

図-1 に試験体の形状と寸法、ならびに損傷箇所を示す。既往の研究⁴⁾により損傷した円形 RC 橋脚に対して補修を実施し、再度繰返し載荷試験を実施した。主鉄筋に異形鉄筋 D10, D13 を用いた縮小試験体をそれぞれ D10 試験体, D13 試験体とする。図-2 に D10 試験体の損傷状況を示す。S 側では橋脚基部から高さ 150 mm、幅 300 mm の範囲 (図-2 (a)), N 側では橋脚基部から高さ 150 mm、幅 250 mm の範囲 (図-2 (b)) においてかぶりコンクリートが剥離している。損傷状況は S 側の主鉄筋が座屈によりはらみ出しており、橋脚基部から 1 段目の帯鉄筋が破断している。D10 試験体は D13 試験体と比較して損傷範囲が広く、主鉄筋の座屈がみられた。図-3 に損傷した試験体のコンクリートのはつり状況を示す。橋脚の基部から 300mm の範囲のかぶりコンクリートをチップングによりはつった。はつり深さは主鉄筋径を含めたかぶり深さを目標とし、D10 試験体の一番深い箇所では 35 mm、一番浅い箇所では 21 mm、D13 試験体の一番深い箇所では 52 mm であった。D10 試験体と D13 試験体の帯鉄筋が破断した箇所には橋脚製作時と同様の帯鉄筋を新たに巻きなおした。なお、座屈した主鉄筋は補修していない。SHCC の配合は水結合材比 40%、単位水量 335 kg/m³ で長さ 12 mm、直径 0.04 mm のポリビニルアルコール (PVA) 繊維を 2 vol% 混入させた。既往の研究³⁾では、橋脚のコンクリートよりも高強度な補修材を用いた RC 部材の補修前

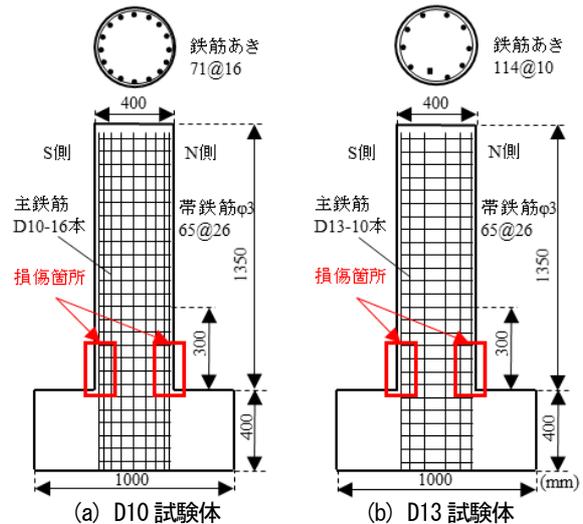
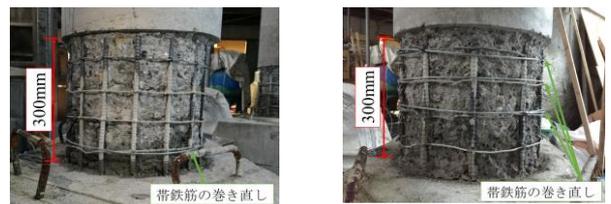


図-1 円形 RC 橋脚試験体



(a) N 側 (b) S 側

図-2 試験体の損傷状況



(a) D10 試験体 (b) D13 試験体

図-3 補修前の試験体

キーワード：SHCC, RC 橋脚, 補修, 繰返し載荷試験

連絡先：〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学工学部 社会基盤工学科 TEL : 058-293-2424



(a) 補修前 (b) 補修後

図-4 D10 試験体の損傷状況 (S 側)

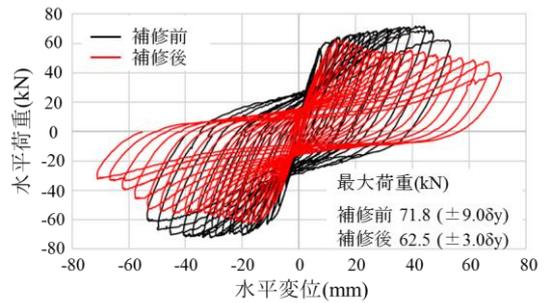


図-5 D10 試験体の P-δ 曲線

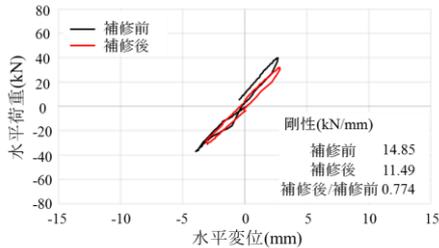


図-6 ±1.0δy 時の履歴曲線

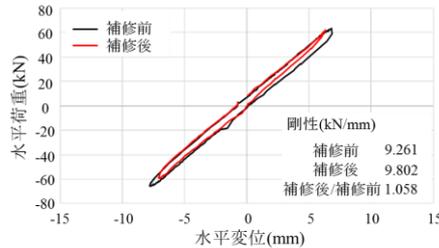


図-7 ±3.0δy 時の履歴曲線

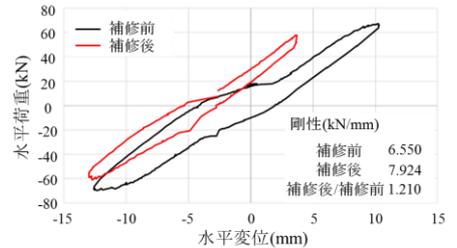


図-8 ±5.0δy 時の履歴曲線

は練り混ぜた材料をポンプにより圧送し3層に分けて吹付けを実施し表面はコテ塗仕上げを行った。 載荷システムと載荷方法は損傷状況と履歴特性を比較するため補修前⁴⁾と同様とした。 補修前の降伏変位 δ_y を基準に D10 試験体では $\pm 16.0 \delta_y$ 、D13 試験体では $\pm 18.0 \delta_y$ で最大荷重の 50%程度までの荷重低下を確認したため載荷を終了した。

3. 試験結果

図-4にD10試験体の補修前後の損傷状況のS側のみを示す。補修後は補修前に比べて補修材に使用したSHCCの複数微細ひび割れ効果により、ひび割れ本数が非常に多くなっていることがわかる。またD10試験体の方がD13試験体より主鉄筋本数が多いことから主鉄筋に沿ったひび割れが多く確認できた。かぶりコンクリートの剥離については、補修前では主鉄筋の外側のかぶりコンクリートが大きく剥離するのに対して、補修後はひび割れに沿って剥離するとともに、3層に吹き付けた補修部が層ごとに剥離し、特に外側の1層目が大きく剥離する損傷形態であった。試験中において、D10試験体、D13試験体ともに、 $-13.0 \delta_y$ 時に金属音が確認でき主鉄筋が破断したと思われる。 $-13.0 \delta_y$ 以降、復元力の急激な低下が確認でき、繰返し載荷実験を複数回行った影響により、主鉄筋が低サイクル疲労破壊した可能性が考えられる。

図-5にD10試験体の補修前後のP- δ 曲線を示す。補修後の最大荷重は $\pm 3.5 \delta_y$ 付近で62.5kNとなり、補修前の最大荷重71.8kNの90%程度に回復したことが確認できた。補修後の最大荷重までの荷重増加は補修前の荷重増加に比べて大きいことが確認でき、最大荷重以降では補修後の耐力の低下が補修前に比べ早いことが確認できた。早期耐力低下が起きた要因として、補修前の載荷実験で受けた軸方向鉄筋の座屈損傷をそのままとしていること

で、軸方向鉄筋が曲がりやすかったことが考えられる。

図-6、図-7、図-8にD10試験体の $\pm 1.0 \delta_y$ 、 $\pm 3.0 \delta_y$ 、 $\pm 5.0 \delta_y$ を抜き出した補修前後の履歴曲線と剛性を示す。これらは伸び出しによる水平変位の補正を行った履歴曲線となっている。補修後の剛性は補修前と比較し $\pm 1.0 \delta_y$ で77%程度、 $\pm 3.0 \delta_y$ で106%程度、 $\pm 5.0 \delta_y$ で121%程度となり、 $\pm 3.0 \delta_y$ で最も近い値を示すことが確認できた。また、補修前後の履歴曲線の形状は $\pm 1.0 \delta_y$ から $\pm 3.0 \delta_y$ までは類似していることが確認できた。補修前後の剛性の変化に着目したとき、 $\pm 1.0 \delta_y$ から $\pm 5.0 \delta_y$ になった際に補修前は剛性が8.0kN/mm程度低下しており、補修後では3.6kN/mm程度低下している。補修前に比べ補修後の方が剛性の低下が抑制されていることが確認できる。補修前にはかぶりコンクリートにひび割れが発生し、引張力を分担しなかった引張側のかぶりが、補修に用いたSHCCのひずみ硬化により引張力を分担したため、補修後は剛性の低下が抑制されたと考えられる。

以上のように、補修前の最大荷重の90%程度まで耐力を回復することが可能であることが明らかとなった。また、吹付け施工を用いたSHCCによる補修により、補修後の剛性は $\pm 3.0 \delta_y$ までであれば補修前と同程度まで回復が可能であると言える。

参考文献：1)川島ら：現在の技術基準で設計したRC橋脚の耐震性に関する実大震動台実験及びその解析，土木学会論文集A, Vol.66, No.2, pp.324-343, 2010. 2)岩田ら：載荷実験によるRC円形橋脚の実大モデルと1/2縮小モデルの損傷度比較，土木学会第66回年次学術講演概要集，第I部門，pp.765-766, 2011. 3)稲熊ら：RC部材の変形性能に関する実験的研究，土木学会第71回年次学術講演会，2016. 4)山本ら：異なる軸方向鉄筋径により製作した円形RC橋脚縮小試験体の正負交番載荷実験，第19回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp.215-220, 2016.7.