地震により損傷したRC橋脚の迅速な応急復旧工法の開発に関する振動台加震実験

（独）土木研究所　正会員　○堺　淳一
（独）土木研究所　正会員　運上　茂樹

１．まえがき

2004 年の新潟県中越地震では，橋の被災発見後，被災診断，復旧工法の選定，復旧工事の実施に約 1 週間を要し，この間通行止めを余儀なくされるという事例が見られ，機能回復に要する時間の重要性が再認識された[1)]。このため，即効性のある復旧工法を用いて迅速かつ合理的に橋の機能回復を図るための応急復旧技術の開発が必要とされている。こうした背景から，本研究では柱基部で曲げ破壊した RC 橋脚を対象に，迅速な復旧工法を提案し，その効果を評価するために振動台加震実験を行った。

２．基部で曲げ破壊したＲＣ橋脚に対する迅速な応急復旧工法

ここでは，炭素繊維シート（CFS）巻き立てによる工法と横拘束材の機械式定着による工法を提案した。損傷した RC 部材に CFS を巻き立てる場合には，一般には下地処理剤の塗布後，モルタル等による断面修復，エポキシパテ等による不陸修正が施され，CFS が貼付される。それぞれの材料の硬化，乾燥に 16 時間程度を要すため，従来は 3～5 日を要すが，全工程を 1 日（実働 8 時間程度）で完了させるために，速硬・速乾性のメチルメタクリレート（MMA）樹脂系材料を用いることとした。MMA 樹脂は，速硬性・低温硬化性に優れており，約 60 分程度で硬化する特性がある[2)]。横拘束材の機械式定着による工法は，断面修復材には超速硬性無収縮モルタルを用い，これを荷締めバンドとして使われるポリエステル繊維バンドによって巻き立てる工法である。この場合の作業時間は 5 時間程度である。

３．実験模型

実験は，**図 1** に示すような基部で曲げ破壊した円形断面 RC 橋脚模型 3 体を対象として実施した。断面の直径は 0.6 m である。模型は，昭和 55 年より前の設計基準によって設計された橋脚を想定しており，帯鉄筋は重ね継ぎ手により定着されている。それぞれが異なる目的で実験された模型に対して修復効果の実験を行ったため，3 体の配筋は異なる。このため，曲げ耐力や最大応答変位は異なるが，加震後の柱基部の損傷は同程度であり，かぶりコンクリートの剥落，軸方向鉄筋の座屈，帯鉄筋のゆるみが生じている。

修復の様子を**図 2** に示す。MMA による CFS 巻立て工法の場合には，目付量が 200 g/m^2，引張強度が 3400 MPa のシートを 1 層巻きにする場合と 2 層巻きにする場合の効果を調べた。CFS 巻き立て工法による断面修復に用いた MMA 樹脂モルタルの弾性係数，圧縮強度は 1 層巻立て模型の場合にはそれぞれ 19.5 GPa，63.3 MPa，2 層巻立て模型の場合にはそれぞれ 8.6 GPa, 28.4 MPa であった。MMA 樹脂モルタルはワーカビリティが低く，充填性が施工に依存する場合があるためこうした違いが生じたと考えられる。繊維バンド巻立て工法の場合には，幅 45 mm，厚さ 1.2 mm，弾性係数，破断荷重がそれぞれ 4 GPa，18 kN の繊維バンドを用いた。破断ひずみは 20～30%程度である。断面修復に用いた超速硬性無収縮モルタルの弾性係数，圧縮強度はそれぞれ 25.1 GPa，56.1 MPa である。なお，いずれの修復の場合にも断面内のひび割れに対する樹脂注入は行っていない。

入力地震動としては，いずれも兵庫県南部地震の JR 鷹取駅記録[3)]を用いた。**図 1** のような損傷を生じさせた実験の加震振幅を本震レベルの地震動とし，この約 70%強度の余震と本震と同強度の余震が生じたことを想定した加震実験により，提案する復旧工法の効果を調べることとした。なお，CFS 巻立て工法の場合には 3 方向加震を，繊維バンド巻立て工法の場合には水平 1 方向+上下方向の 2 方向加震を行った。

４．実験模型の破壊性状と地震応答特性

最終損傷状況を**図 3** に示す。**図 4** は本震と同強度の加震の際の水平力～水平変位の履歴を示す。ここでは，損傷を生じさせた実験と修復後の実験の履歴を比較している。修復後の初期剛性は，損傷前の健全な状態に比

キーワード　鉄筋コンクリート橋脚，振動台加震実験，応急復旧，炭素繊維シート，機械式定着
連絡先　〒305-8516　つくば市南原 1-6　（独）土木研究所　構造物メンテナンス研究センター　TEL：029-879-6773

べて 40～50%程度低下している。CFS 巻立て工法の場合には，その巻き立て層数に関わらず本震の 70%強度の余震を想定した加震によってシートに軽微な破断が生じた。本震と同強度の加震では**図 3** に示したようにCFS が破断し，断面修復材が圧壊，剥落した。一方，繊維バンド巻立て工法の場合には 70%強度の余震により断面修復材にひび割れが生じ，繊維バンドのひずみが最大で 0.01 に達したが，バンドがわずかにはらみだした程度であった。本震と同強度の加震では断面修復材の損傷は大きくなったが，バンドの伸び性能が高く破断しなかったため，断面修復材は剥落しなかった。

図 4 によれば，曲げ耐力としては健全な状態と同程度の耐力が確保されている。応答変位としては，損傷を生じさせた実験よりも 30%程度大きくなるケースもあるが, 修復された橋脚はいずれも安定した地震応答を示しており，こうした応急復旧により被災前とほぼ同程度の耐震性能を確保できたと考えられる。

５．結論

曲げ破壊する RC 橋脚に対する迅速な応急復旧工法として，MMA による CFS 巻立て工法，繊維バンド巻立て工法を提案し，その効果を振動台加震実験により評価した。修復された橋脚はいずれも安定した地震応答を示しており，提案した応急復旧工法により被災前とほぼ同程度の耐震性能を確保できる。

参考文献

1) 国土交通省国土技術政策総合研究所，独立行政法人土木研究所，独立行政法人建築研究所：平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震被害に係わる現地調査概要, 2005. 2) 土木用 MMA 樹脂工法研究会:<http://www.mma.or.jp/> 3) Nakamura, Y.: Waveform and its analysis of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake, *JR Earthquake Information No. 23c*, RTRI, Japan, 1995.

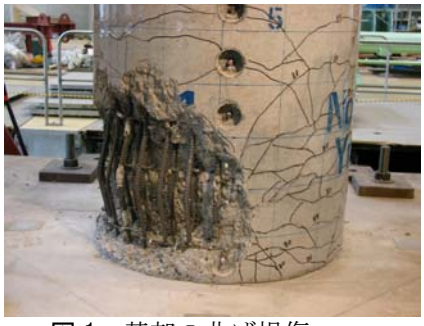


図 1　基部の曲げ損傷

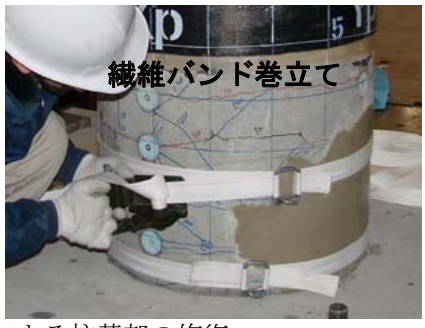
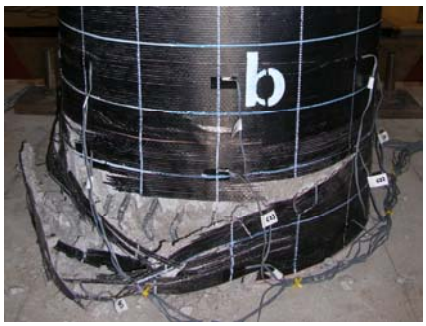


図 2　提案工法による柱基部の修復

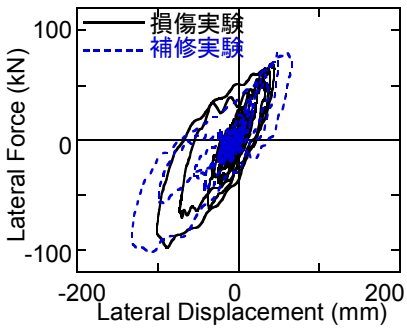


(a) CFS1 層巻きの場合

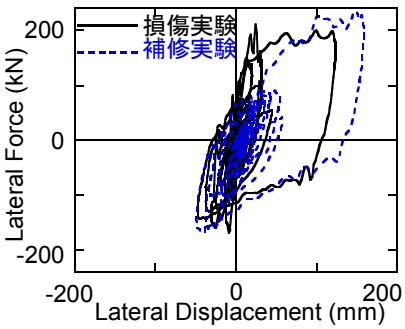
(b) CFS2 層巻きの場合

(c) 繊維バンド巻立ての場合

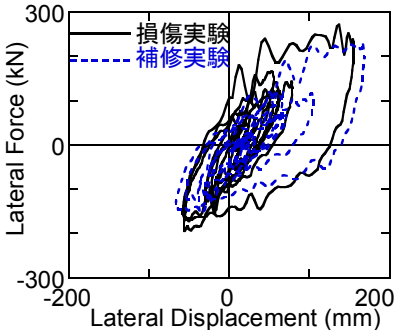
図 3　最終損傷状況



(a) CFS1 層巻きの場合



(b) CFS2 層巻きの場合



(c) 繊維バンド巻立ての場合

図 4　本震と同強度の余震が生じた場合の水平力～水平変位の履歴（橋軸方向）