

修復を想定した鉄筋コンクリート橋脚構造 に関する実験的検討

塩島亮彦¹・運上茂樹²・星隈順一³・長屋和宏⁴

¹正会員 土木研究所 耐震研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6)

²正会員 工博 土木研究所 耐震研究グループ 上席研究員 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6)

³正会員 工博 土木研究所 耐震研究グループ 主任研究員 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6)

⁴正会員 国土交通省総合政策局 国際建設課 指導係 (〒100-8918 東京都千代田区霞ヶ関2-1-3)

本論文では、軸方向鉄筋に大きな座屈が生じるような曲げ損傷にまで至った鉄筋コンクリート橋脚を対象として、損傷した部位の軸方向鉄筋ならびに帯鉄筋の取替えがしやすいようにするとともに、修復性能の一指標となる残留変位の復元に必要な荷重を小さくできるように予め配慮した構造の提案を行った。この橋脚構造について、模型供試体を用いた載荷実験ならびに残留変位除去実験により、その修復性を確認するとともに、損傷した部位のコンクリートと鉄筋を取替えた後に再度載荷実験を行い、修復前の載荷において得られた動的耐力と変形性能との比較検討を行った結果を報告するものである。

Key Words : seismic performance, reinforced concrete columns, repairability, loading tests

1. はじめに

土木構造物に対する耐震性能として、重要度によっては、修復が容易にでき、早期に機能を回復することが要求される場合もある。一般に、橋梁構造においては、橋脚基部に塑性ヒンジを誘導するが、この場合、橋脚の塑性変形性能に加えて修復性能を高めておくことも重要となってくると考えられる。

そこで、本研究では、構造的な見地から、修復性に優れた鉄筋コンクリート橋脚構造について考案を行った。そして、模型供試体を用いた正負交番載荷実験ならびに残留変位除去実験により、その橋脚構造の修復性を確認するとともに、修復後に再度正負交番載荷実験を行い、修復前後における橋脚の耐力及び変形性能について検討を行った。

2. 修復性能を向上させた鉄筋コンクリート橋脚構造

兵庫県南部地震後には、軸方向鉄筋が座屈してかぶりコンクリートが剥落するような損傷にまで至った鉄筋コンクリート橋脚に対して、損傷した部位のみの鉄筋を取替えることにより補修が行われた実績

がある¹⁾。この補修工法は、橋脚を撤去して再構築する場合と比較すれば、機能回復に要する時間とコストの観点からは断然有利な工法であるが、残留変形の復元に要する反力が過大になる場合があったり、鉄筋を取替える範囲の決定方法や、補修前後で橋脚の力学的特性の変化に対する評価が難しいという問題もある。そこで、これらの問題点を解決するために、本研究で考案した橋脚構造の特徴は以下の通りである。

まず、軸方向鉄筋を取替える範囲を予め明確にしておくために、橋脚基部の塑性ヒンジとなる区間で、軸方向鉄筋の直径をその上下の断面よりも細くし、鉄筋の塑性化がその範囲にしか生じないようにする。これにより、修復後においても、塑性化した鉄筋が残置されて再利用されることはなく、フーチング内の軸方向鉄筋も降伏しないため、大きく伸び出してこない。したがって、従前と同様の曲げ剛性や固有振動数を有する橋脚に補修できる。

一方、残留変位をもどす際に必要な復元力を小さくするために、ここでは、塑性ヒンジの部位にある軸方向鉄筋を切断することを想定する。ただし、仮設支保工の規模を最小限に抑える目的から、軸方向鉄筋を切断し、かつ内部コンクリートの一部にまで損傷が進展したような状況下においても、上部構造

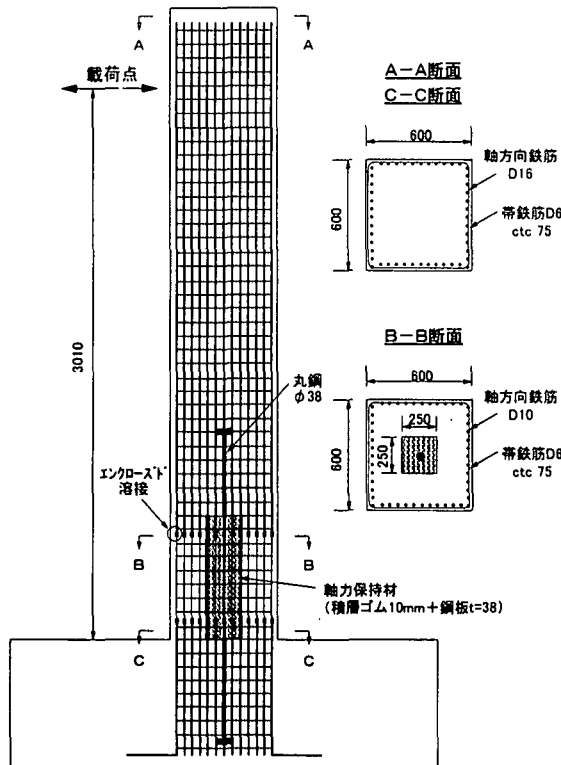


図-1 模型供試体の諸元

の死荷重反力を橋脚断面で確実に支持する必要があるため、本構造では、塑性ヒンジの中心位置に芯棒をコアに配した積層ゴムから構成される軸力保持材を配置する。ここで、芯棒は、残留変位をもどす際に、橋脚の高さ方向に対する軸線にずれが生じないようにするためのものである。

3. 実験の概要

(1) 模型供試体

図-1は、実験に用いた模型供試体の諸元を示したものである。軸方向鉄筋にはD16を48本用いているが、橋脚基部からの高さが100mmの断面から600mmの断面までの区間では、鉄筋径をD10としている。

軸力保持材は、全高が644mmで、10mmの積層ゴムと38mmの鋼板を交互に積み重ねた構造となっており、軸方向鉄筋の径を細くした領域の断面中心位置に設置した。また、芯棒としては直径38mmの丸鋼を用い、橋脚躯体の中心位置とフーチングの中心位置がずれないように、軸力保持材の上下に十分な定着長を確保した。

(2) 載荷の手順と損傷部の補修

a) 与損傷載荷

実験では、まず供試体に軸方向鉄筋の座屈やかぶ

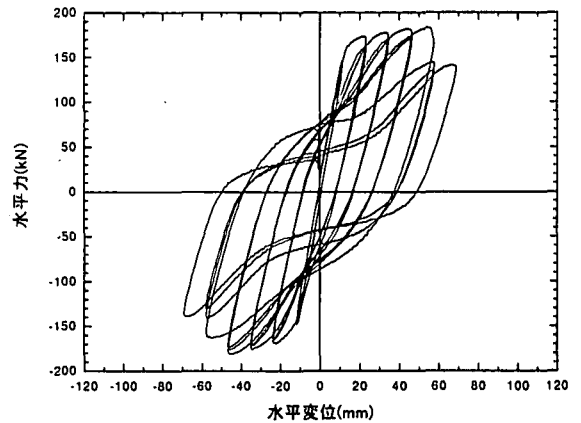


図-2 与損傷載荷時の水平力-水平変位履歴曲線

りコンクリートの剥離が生じる程度の損傷を与えるために、降伏変位 δ_y の整数倍毎に正負交番載荷を行った。ここで、各載荷ステップにおける載荷の繰返し回数は3回とした。この結果、 $5\delta_y$ の2サイクル目の載荷中に軸方向鉄筋の座屈に伴いかぶりコンクリートの剥離が生じた。本実験では、損傷の状況を観察しながら、 $6\delta_y$ の変形を1サイクルだけ与えた段階で載荷を終了した。計測された水平力-水平変位の履歴曲線を図-2に示す。

b) 残留変位の除去

載荷を終了した段階で、軸力は載荷したままで、水平加振機に作用している水平反力のみを除荷し、残留変位を生じさせた。その結果、約13mmの残留変位が生じた。そして、その状態で、フランジ面の軸方向鉄筋を、座屈の腹となっている位置付近で全て切断した。そして、その後、軸力を作用させた状態のまま、残留変位を0に戻すための載荷を行い、それに必要な復元力の計測を行った。

c) 損傷部位の補修

補修は、まず軸方向鉄筋の径を細くした区間のかぶりコンクリートをはつり、帯鉄筋を取り外した後、D10の軸方向鉄筋を切断して撤去した。この時、内部コンクリートもおおよそ30mm程度だけはつった。

次に新しいD10の鉄筋を、既存のD16の鉄筋とエンクローズド溶接により接合した。帯鉄筋は、両端に135度フックをつけてL型に加工した鉄筋を2本組み合わせることにより設置した。その後、型枠を取り付け、はつった部分に無収縮モルタルを打設して補修作業を終えた。

d) 補修した供試体に対する再載荷実験

補修した供試体を再度試験装置にセットアップし、与損傷載荷と同様に正負交番載荷実験を行った。ただし、再載荷実験では、水平力が大きく低下するまで載荷を続けた。

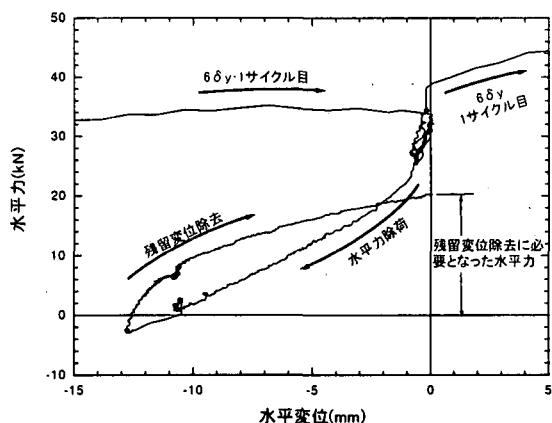


図-3 残留変位除去時の水平力－水平変位履歴曲線

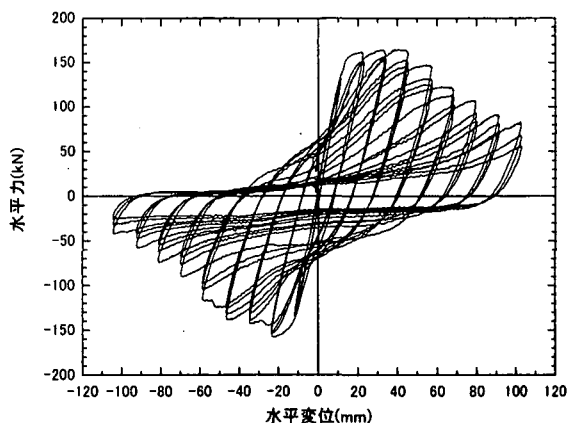
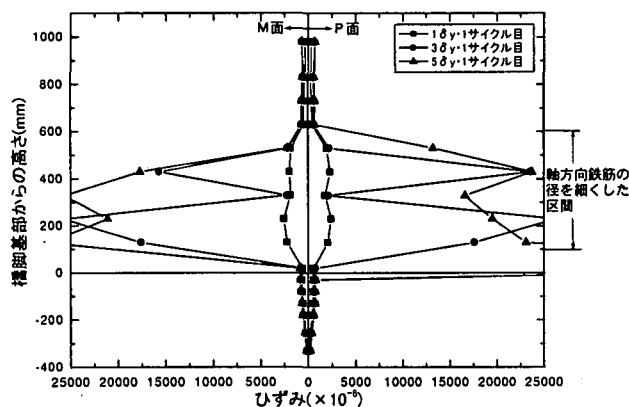
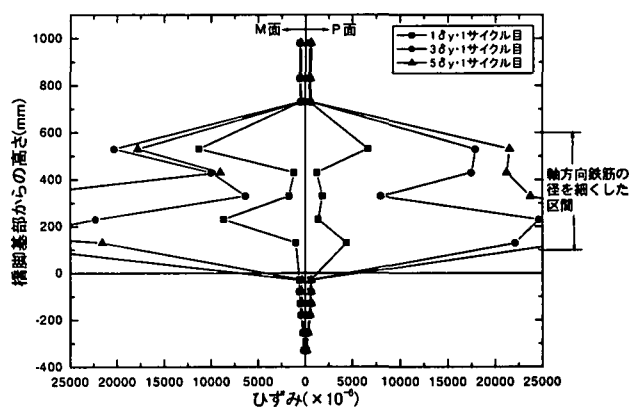


図-4 修復後載荷時の水平力－水平変位履歴曲線



(a)与損傷載荷時



(b)修復後載荷時

図-5 軸方向鉄筋のひずみ分布

4. 残留変位の除去とそれに必要な復元力

図-3は、残留変位を除去する際に計測された水平力－水平変位の関係である。図-2より、この橋脚に $6\delta_y$ の水平変位に相当する最大応答の後に残留変位が生じた場合に、その残留変位を戻すために少なくとも約35kN（最大水平耐力の約19%）の復元力が必要であることがわかる。しかしながら、図-3からわかるように、残留変位を0とするために要した水平力は約20kN（最大水平耐力の約11%）であった。これは、当然のことではあるが、フランジ面に配置された軸方向鉄筋を切断したことによる効果である。

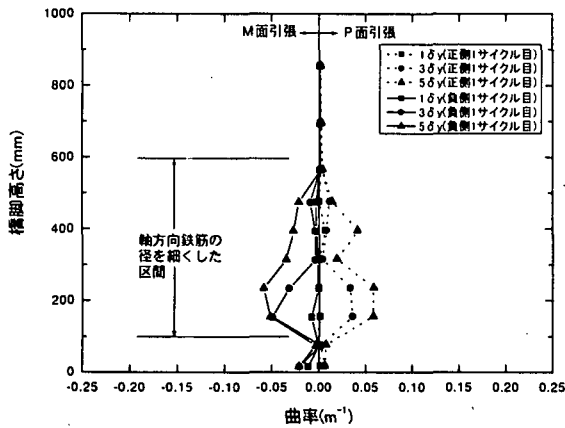
5. 補修後の橋脚の耐力と変形特性

(1) 水平力－水平変位の関係

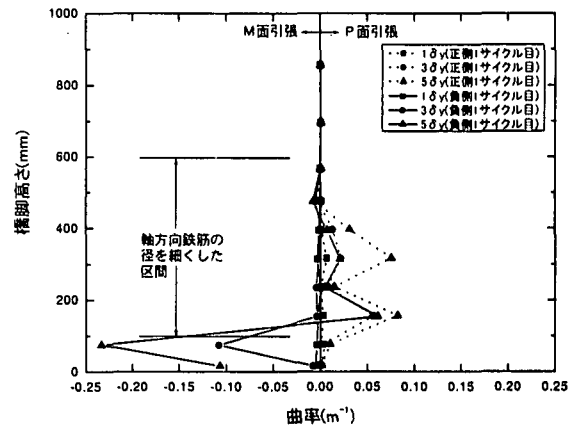
補修後の供試体にする正負交番載荷実験により得られた水平力－水平変位関係の履歴曲線を図-4に示す。これより、弾性域での挙動に着目して図-2の与損傷載荷の結果と比較すると、曲げ剛性はほぼ等し

いことがわかる。これは、塑性化した区間の軸方向鉄筋が適切に取替えられていることを示している。

一方、塑性域での挙動に関しては、以下の点に関して図-3に示す結果との間で若干の違いが見られる。まず、補修後の供試体では、降伏後の2次剛比が0に近く、与損傷載荷時よりも最大耐力が10%程度小さくなっている。これは、 $6\delta_y$ の変形に及ぶ与損傷載荷により、芯棒が部分的に降伏したり、端部の定着が若干緩んだ影響があるのではないかと推察される。また、損傷が一方のフランジ面で先行して進むとともに、軸方向鉄筋の座屈が与損傷載荷時よりも約 $1\delta_y$ の変位相当分だけ早く生じ、その結果、水平力が低下し始める時の水平変位も小さくなっている。これは、コンクリートの補修に無収縮モルタルを用いたことが原因のひとつではないかと考えられる。すなわち、今回の補修に用いた無収縮モルタルは、躯体本体に使用したコンクリートと比較すると、強度は大きいものの、弾性係数が約2割小さく、コンクリートと無収縮モルタルの境界部で変形が集中しやすいこと、また、内部コンクリートとの付着が小さいため、かぶりが軸方向鉄筋の座屈を抑える



(a)与損傷載荷時



(b)修復後載荷時

図-7 曲率の高さ方向分布

効果は、与損傷載荷時よりも小さかったものと考えられる。ただし、無収縮モルタルを用いたことの影響については、さらに検討を行う必要がある。

(2)軸方向鉄筋のひずみ分布

図-5は、軸方向鉄筋のひずみ分布を、与損傷載荷時と補修後で比較して示したものである。なお、補修後の供試体においては、補修における軸方向鉄筋の溶接接合により、正しく作動しなくなったひずみゲージの計測値はプロットしていない。これより、いずれの場合も、軸方向鉄筋のひずみの塑性化は径を細くした区間に限定して生じていることがわかる。これは、取替えるべき鉄筋の範囲を予め限定しておくという当初のねらい通りの挙動となっている。また、補修後も従前とほぼ等しい挙動であることが確認できる。

また、フーチング内部へのひずみの塑性化の進展も見られない。これは、軸方向鉄筋のフーチングからの伸び出し変位を小さくする影響をもたらしているが、補修前後において、フーチング内部の軸方向鉄筋の力学特性を同等に評価できることを示している。

(3)曲率分布

図-6は、修復前後で、曲率の高さ方向分布を比較して示したものである。これより、与損傷載荷時においては、鉄筋径を細くした区間においてのみ曲率が大きくなる分布となっており、損傷制御ができていたことを示している。一方、補修後においては、先述したように、一方のフランジ面で損傷が先行したために、曲率分布が正側と負側の載荷で対称となっていない。損傷が先行して進展したフランジ面では、曲率は基部から70mm前後の断面に集中して生じているが、そこは、ちょうどコンクリートと無収

縮モルタルの境界面となっており、その断面に大きなひびわれが生じたためである。

6. まとめ

本研究により得られた知見をまとめると以下の通りである。

- 1) 軸方向鉄筋の塑性化範囲を限定させるとともに、死荷重による軸力が作用する状況下でも、小さな復元力で残留変位が除去できるようにするために、軸力保持材を配置した橋脚構造を考案した。
- 2) 損傷部位の軸方向鉄筋を切断するという簡単な手法により、残留変位を除去するために必要な復元力を小さくすることができる。
- 3) 本橋脚構造に対する正負交番載荷実験の結果、軸方向鉄筋の径を細くすることにより、予め設定した区間にだけ断面の塑性化を誘導することがわかった。
- 4) 本実験では、補修後の供試体では、はつり落としたかぶりコンクリート部の補修に無収縮モルタルを用いたことと、軸力保持材に取り付けられた芯棒の部分的な塑性化や定着効果の低下により、損傷前の状態と比較すると、水平力-水平変位の履歴曲線に若干の変化が見られた。無収縮モルタルによる補修は、断面の小さい供試体という条件下では用いざるを得なかった方法であり、本実験における無収縮モルタルの影響や実施工で用いる通常のコンクリートを使用して補修した場合の効果については、今後さらに検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の震災復旧・耐震補強技術と事例