

V-595

鋼及び炭素繊維の合成・混合効果を考慮したRC矩形橋脚耐震性向上実験

首都高速道路公団 正会員 桑野 忠生

首都高速道路公団 正会員 植木 博

首都高速道路公団 小林 幸雄

1. はじめに

RC 矩形断面橋脚における耐震性向上を図るための補強工法としては、鉄筋段落し部のせん断補強と橋脚のじん性向上の目的を同時に達成し得る鋼板巻き立て工法が、最も基本的な工法として多用されている。

その際、柱基部をH型鋼や円環鋼板等で補強し、拘束度を高める手法が併用されているが、現実の都市内高架橋橋脚周囲には地下埋設物等支障物が多く、基部拘束構造の施工に制約を受ける場合が多い。

従って、基部拘束構造を省略し、その代替工法として、一般的な材料である鋼材に加えて炭素繊維を用いて、橋脚耐震性向上に寄与する合成および混合効果を実験的に確認することにより、両者の材料特徴を生かし、短所を補完し合う新たな補強構造の検討・提案を行う。

2. 実験目的

(1) 鋼材・炭素繊維・RC 橋脚躯体からなる合成構造として補強した場合(供試体No.④、⑤)の補強効果確認。

橋脚基部を鋼板のみで巻き立て、別途に基部拘束を施工しない場合には、橋脚躯体のコンクリート表面が孕み出し、これに鋼板が追従変形するが、鋼板の発生応力度が降伏点を超える大変形形においては、急激な破断こそ起きないものの鋼板が孕んだままの残留ひずみが残し、柱基部の拘束効果は大幅に低減される。一方、炭素繊維は高価ではあるが高強度であり、破断時まで弾性体として挙動し、橋脚の断面孕み変形に追随するため残留変形がないものの、材料自体の剛性が低く急激な破断（脚崩壊）を起こす懸念が指摘されている。

上記の2つの補強材料を用い、かつそれぞれの特性を活かす合成構造として以下の方法が考えられる。第一は、RC 橋脚に直接炭素繊維を巻き付け、その上に補強鋼板を巻き立てる構造、第二は、先に RC 橋脚を補強鋼板で巻き立て、その上から炭素繊維を巻き付けた構造の2種類である。これらの合成構造について耐震性能の比較確認を行う。

(2) 鋼材・炭素繊維・RC 橋脚躯体からなる混合構造として補強した場合(供試体No.⑥)の補強効果確認。

地表面より下部には高い基部拘束効果が期待される炭素繊維補強のみを行い、柱上部(地上部)には経済性に優れた鋼板にて補強する、異種材料の組み合わせによる混合構造について耐震性能の確認を行う。

3. 実験概要および結果

上記2点を主目的に、他に耐震性比較対照のための基本供試体も含めて表1に示す合計6体の供試体を作成し、繰返し載荷実験の過程でデータ計測及び破壊性状の観測を行った。それぞれは高速道路高架橋における実際の単柱橋脚をほぼ1/6に縮小したモデル化を行っており、中でも代表的なNo.⑤及び⑥の構造一般図を図1に示す。供試体は、天端に上部工死荷重相当の圧縮応力度(10kg/cm²)を常時載荷したままで、計測降伏変位の整数倍変位

制御による水平方向3サイクル動的交番載荷試験をモデル破壊時まで行った。測定結果及び荷重-変位関係の包絡線

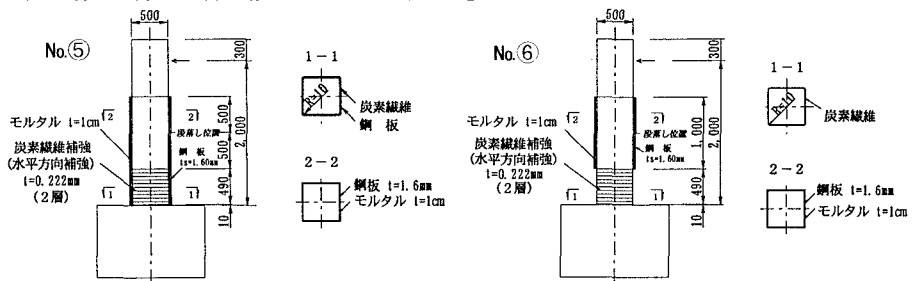


図1 代表的な供試体の一般図

を表1、図2に示す。これによると、今回の6体の供試体は全て主鉄筋の座屈により終局状態を迎えており、先に実施済みの基部円環鋼板補強供試体(参考)の実験時に観測された主鉄筋の破断は、いずれの供試体においても観測されなかった。これは、終局変位量 $7\delta y$ (実構造物設計上の許容塑性率上限値である $8\delta y$ が確保される円環鋼板の場合より低い)にも現れており、耐震性向上のための工法としてまだ補強効果改善の余地が残されていることを示している。なお、補強効果の向上を模索するため、別途の構造についても実験を継続実施している。

個々に考察すると、No.③は②に比べ降伏変位が約8%も大きくかつ変位量も $1\delta y$ の改善が見られるため、地震時のエネルギー吸収能力から見れば非常に優れた補強法であることを示している。No.④と⑤では鋼板と炭素繊維の補強順序を逆にしているが、鋼板を先に(内側に)RC橋脚表面上に巻いたNo.④の終局変位量が少なく、期待される変形性能まで達していない。これは炭素繊維の付加補強により両者を合成して用いても、炭素繊維は鋼板の変形に追従してしまうことから先に述べた鋼板の残留変形がもたらす基部拘束力低下の弱点が改善しきれていないことを示している。一方、RC橋脚表面に直接炭素繊維を巻き立てる方がRC橋脚表面の孕み変形に追従しつつもこれを抑制し、大変形時にも一定の拘束効果を維持して炭素繊維の材料特性を生かせることが確認された。また、No.⑤と⑥では、どちらも同じ終局変位量 $7\delta y$ を示し、特にNo.⑥では、鋼板と炭素繊維材の接続境界位置における亀裂等の発生は認められずに、躯体コンクリートの破壊は全て基部から1D(D:供試体長辺長)までの範囲に集中しており、混合構造の妥当性が確認された。しかし、図2に示される様に、No.⑥においてはNo.③(炭素繊維のみで補強)と同じく終局状態に近づくにつれて耐力が若干低下しながら終局を迎える傾向がある。これはRC橋脚矩形断面形状を保持し、コンクリートの圧縮破壊領域を最小にする目的に対しては、炭素繊維自体の持つ剛性が不十分であることの弱点によるものと思われる。従って、No.⑤の結果が示す様に、橋脚基部に炭素繊維のみでなくその上に鋼板を施工することにより、耐震性の改善を一層図る事が期待出来る。ただし、耐震性の向上に必要なじん性の改善が限定された範囲の場合で、No.⑥の混合構造でも十分であれば施工性を重視する選択も可能と考えられる。

4. 結論

(1) 鋼・炭素繊維・RC橋脚からなる合成及び混合構造として補強を行い、基部拘束構造を省略した耐震補強工法のモデル実験においては、かぶりコンクリート崩壊後の橋脚断面形状(矩形)保持が難しいために、橋脚主鉄筋が破断しないまま終局に至っている。このため、じん性を最大限度まで高めるという意味においては基部拘束構造を有する鋼板巻き立て工法に準じる補強法と位置付けられる。

(2) 一旦震災を受けた場合、終局状態における主鉄筋の破断が必ずしも復旧を容易にするものか否か議論が残されている。従って、各橋梁における必要な補強レベルを明確にし、様々な施工上の制約条件に配慮した上で、設計上のじん性の不足量に応じて合成・混合効果を評価した補強法を適切に選定すれば、実構造物に適用可能な耐震性向上の工法として有効であると考えられる。

本実験を実施するにあたり、土木学会より平成9年度吉田研究奨励賞の研究助成を受けましたこと並びに横浜国立大学工学部建設学科池田尚治教授に御指導頂きましたことに感謝いたします。

表1 載荷実験結果

No.	補強概要	主鉄筋	降伏変位	変位量
①	無補強	座屈	10.4mm	$5\delta y$
②	鋼板のみ($t=1.6\text{mm}$)	"	8.9mm	$6\delta y$
③	炭素繊維のみ(2層)	"	9.6mm	$7\delta y$
④	(内)鋼板($t=0.8\text{mm}$)/(外)炭素繊維(1層)(合成)	"	8.8mm	$6\delta y$
⑤	(内)炭素繊維(2層)/(外)鋼板($t=1.6\text{mm}$)(合成)	"	9.1mm	$7\delta y$
⑥	(下)炭素繊維(2層)/(上)鋼板($t=1.6\text{mm}$)(混合)	"	9.4mm	$7\delta y$
参考	鉄板($t=1.6\text{mm}$) + 円環鋼板基部補強	破断	8.5mm	$8\delta y$

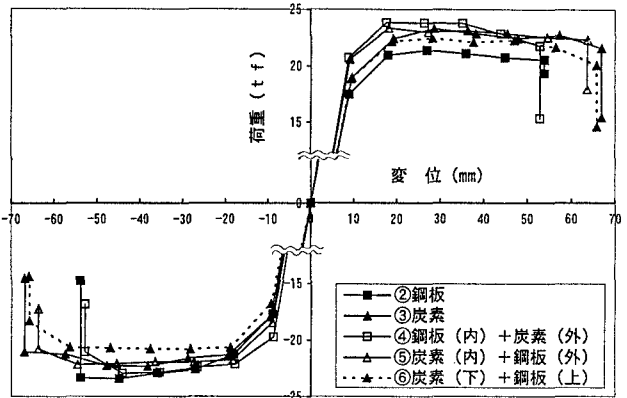


図2 荷重-変位関係の包絡線

図2 荷重-変位関係の包絡線
図2は、荷重-変位関係の包絡線を示すグラフである。縦軸は荷重（tf）で、横軸は変位（mm）である。グラフには、6体の供試体（②～⑥）と参考供試体の包絡線が描かれている。供試体②は鋼板のみで補強されたもので、降伏変位が8.9mm、変位量が $6\delta y$ である。供試体③は炭素繊維のみで補強されたもので、降伏変位が9.6mm、変位量が $7\delta y$ である。供試体④は（内）鋼板（ $t=0.8\text{mm}$ ）/（外）炭素繊維（1層）（合成）で補強されたもので、降伏変位が8.8mm、変位量が $6\delta y$ である。供試体⑤は（内）炭素繊維（2層）/（外）鋼板（ $t=1.6\text{mm}$ ）（合成）で補強されたもので、降伏変位が9.1mm、変位量が $7\delta y$ である。供試体⑥は（下）炭素繊維（2層）/（上）鋼板（ $t=1.6\text{mm}$ ）（混合）で補強されたもので、降伏変位が9.4mm、変位量が $7\delta y$ である。参考供試体は鉄板（ $t=1.6\text{mm}$ ）+円環鋼板基部補強で、破断変位が8.5mm、変位量が $8\delta y$ である。グラフから、補強効果は、炭素繊維の付加により、耐力が若干低下しながら終局を迎える傾向がある。これはRC橋脚矩形断面形状を保持し、コンクリートの圧縮破壊領域を最小にする目的に対しては、炭素繊維自体の持つ剛性が不十分であることの弱点によるものと思われる。従って、No.⑤の結果が示す様に、橋脚基部に炭素繊維のみでなくその上に鋼板を施工することにより、耐震性の改善を一層図る事が期待出来る。ただし、耐震性の向上に必要なじん性の改善が限定された範囲の場合で、No.⑥の混合構造でも十分であれば施工性を重視する選択も可能と考えられる。