

新素材繊維シートによる鉄道高架橋の耐震補強

Hajime WAKUI
涌井 一

工博 フェロー (財)鉄道総合技術研究所 主幹技師

MS 正会員 (財)鉄道総合技術研究所 主任技師

松本信之
Nobuyuki MATSUMOTO

Seismic Strengthening of Railway Concrete Viaduct
with Fiber Plastic Sheets

効果的な新しい耐震補強工法

1995年1月に発生した兵庫県南部地震により鉄道構造物にはラーメン高架橋を中心とする多数のコンクリート構造物に甚大な被害を生じた。これらの復旧工事やその後の耐震補強工事の多くには、鋼板巻立て工法などの従来工法が用いられてきているが、さらに簡便で効果的な補強工法を望む声も多く、また、耐震補強に適した優れた材料が容易に利用できる環境も整ってきている。

このような中で、種々の新しい耐震補強工法が提案されているが、ここでは新素材による繊維シートを用いた耐震補強工法と鉄道高架橋に適用するための指針化について紹介する。

新素材繊維シートおよび補強工法の施工手順

軽量・高強度・高耐久という優れた性能を併せ持つ新素材である炭素、アラミド、ガラス、ビニロンなどの繊維補強材は、航空・宇宙、通信、スポーツ・レジャーなどの幅広い産業分野で利用されており、土木分野でも補強材やPC緊張材などとしてロッドや格子状のものがコンクリート構造物に用いられている。

このような新素材繊維を写真-1に示すように一方向^{*}に配列して薄いシート状に加工し、既設のコンクリート部材の形状に追従できるようにしたものを「繊維シート」と呼んでいる。耐震補強材としては炭素およびアラミド繊維シートが現在着目されている。それ

らの基本物性を、表-1に示す。これを現場施工によりコンクリートの表面に貼り、エポキシ系の含浸樹脂を塗布して複合材化させるのが新素材繊維シートによるコンクリート構造物の補強工法である。

この新素材繊維シートによる補強工法の一般的な施工手順は、図-1に示すように既設コンクリート部材の表面突起や段差を除去して滑らかにする下地処理工、含浸樹脂の接着性を高めるためにコンクリート表面に塗布するプライマー工および繊維シートを含浸樹脂と共に接着する繊維シート貼付け工から主になる。また、裂傷に対する表面保護、耐久性・美観向上、耐火性確保のために適切な仕上げ工や保護工などが必要により施される。

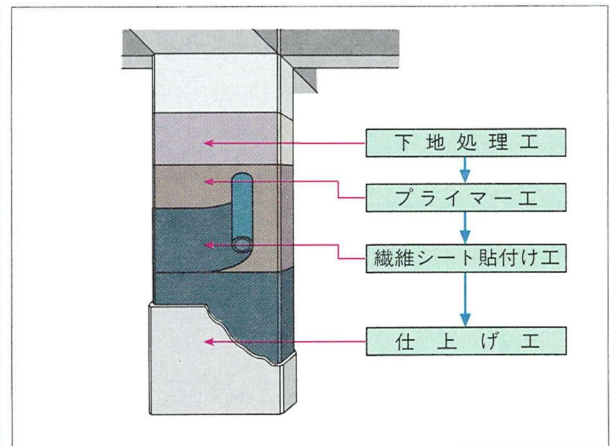
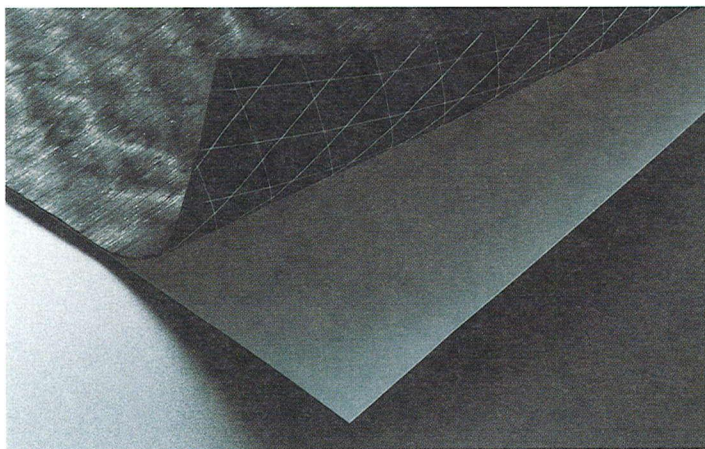


表-1 耐震補強に用いられる繊維シートの基本物性

	強度	ヤング係数	比重
炭素繊維	2 500～4 500MPa	2.35×10^5 MPa	1.8
アラミド繊維	2 000～3 000MPa	$0.8 \times 10^5 / 1.2 \times 10^5$ MPa	1.39/1.45

アラミド繊維は、化学組成の違いにより物性の異なるものが2種類ある。

写真-1 (左) 繊維シート(炭素繊維の例)
図-1 (右) 繊維シートによる補強手順例

*注) 二方向のものもある。

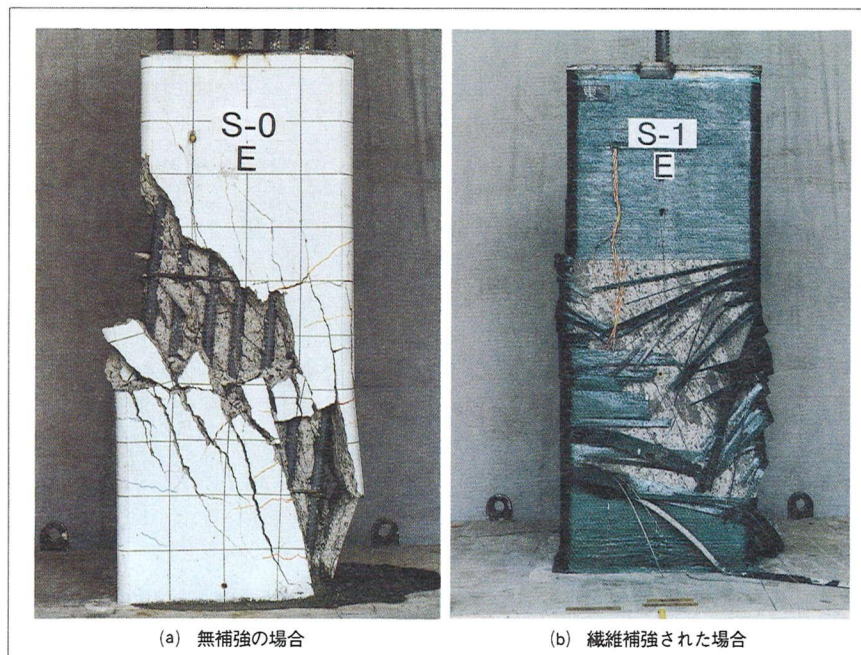


写真-2 繊維シート補強によるせん断試験結果(炭素繊維の場合)

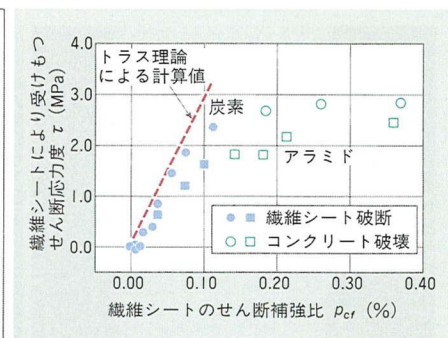


図-2 FEM解析による繊維シート補強によるせん断補強効果

繊維シートによる補強工法の特徴

繊維シートによる補強工法の特徴は、軽量(鋼材の比重の約1/5)であるため補強による重量増が小さいこと、高強度(鋼材降伏強度の約10倍)であるため補強前後の部材の形状変化が少ないこと、高耐久であるためほとんどの環境で腐食・劣化に対して十分安定であること、また、貼るだけという簡単な施工であるため熟練を必要とせず、重機なども不要であり、狭空間での作業が可能であること、などが挙げられる。また、補強の目的に応じて自在に補強量を増減することが可能であり、部材軸方向に繊維シートを貼付けて軸方向鉄筋と同様の補強効果を生じさせる「曲げ補強」および部材軸直角方向に繊維シートを貼付け帯鉄筋と同様の補強効果を生じさせる「せん断補強」を行うことができる。さらに、柱部材などに対しては、繊維シートを巻付けることにより拘束効果が生じ、じん性を向上させる「じん性補強」を行うことができる。貼付層数にもよるが附帯工事費の低減、工期短縮効果により従来工法と比較してコストダウンも可能である。

繊維シートによる耐震補強効果

繊維シートによるRC部材の耐震補強効果に関する研究は、炭素繊維に関しては80年代後半から、アラミド繊維についても90年代初めから部材の交番載荷実験を主体として行われてきており、補強量に応じた耐力やじん性の向上についての基本データが蓄積されている¹⁾。また、次節に述べる指針化に際しては、実物大規模の試験を行いその性能を確認した。

(1) 曲げ補強効果

曲げ補強効果に関する研究では、単純梁の下縁に繊維シートを貼付けて単調載荷された実験などが行われている。繊維シートによる曲げ補強は、かぶりコンクリートを介して応力伝達を行うため、繊維シートの定着・付着性状によりその効果が左右され、また、繊維シートの種類によっても異なるが、基本的には繊維シートを引張補強材とみなし、その断面積と破断強度を用いて平面保持の仮定によるRC部材の曲げ耐力算定法を利用してその効果を推定することが可能である。

(2) せん断補強効果

せん断補強効果に関する研究では、単純梁や片持ち梁に繊維シートを巻付

けて単純あるいは交番載荷した実験や解析が行われている。

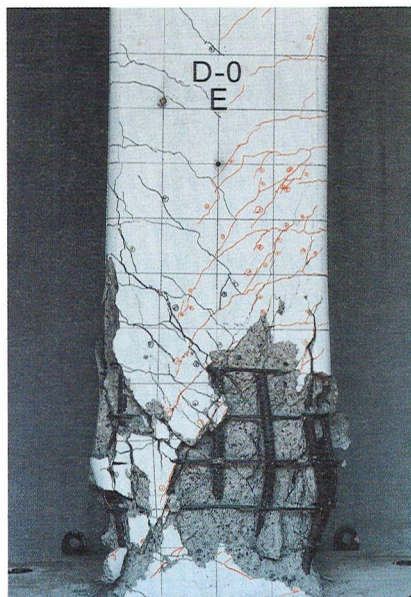
写真-2は炭素繊維シートによるせん断実験による破壊状況の一例を示したものである。いくつかの実験結果から補強量が比較的少ない場合には写真-2に示すように繊維シートの破断により部材のせん断耐力が定まるが、補強量が多くなると繊維シートの破断が生じず、圧縮ゾーンのコンクリートの破壊により部材のせん断耐力が定まることが得られている²⁾。

非線形有限要素法による解析に拠れば、繊維シートによる補強効果と補強量との関係は図-2に示すようになり、繊維シートの破断で部材のせん断耐力が定まる領域では補強量に応じてせん断力は高まるが、トラス理論で算定される補強効果より若干低い値であること、補強量が一定以上となるとコンクリートの破壊でせん断耐力が定まり補強効果の伸びがほとんどないことなどが得られている。

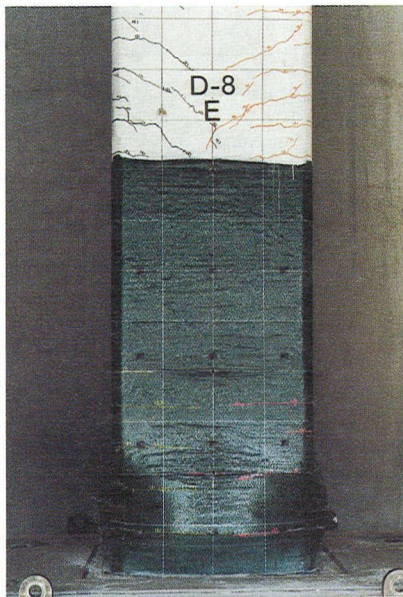
(3) じん性補強効果

じん性補強効果に関する研究では、繊維シートを片持ち梁に巻付けて交番載荷した実験が多く行われている。

図-3は炭素繊維シートによるじん性



(a) 無補強の場合



(b) 十分な補強を行った場合

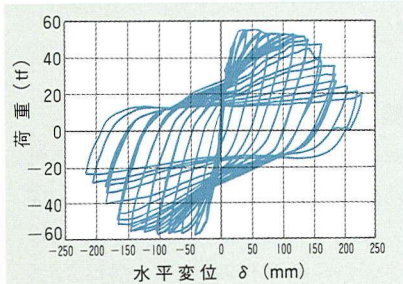
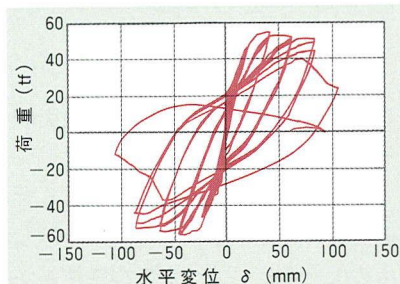


図-3 繊維シート補強によるじん性補強試験結果(炭素繊維の場合)

実験による破壊状況およびその荷重と変位の関係の一例を示したものである。十分な補強により大地震時の損傷を軽微に抑えられることと、エネルギー吸収量の大きな安定した履歴が得られることが分かる。

図-4にいくつかの実験結果による終局時の部材角と曲げせん断耐力比の関係を示す³⁾。ただし、ここでの繊維シートによるせん断耐力は補強量に比例すると仮定している。これより終局時の部材角が1/15程度までは補強量に応じてじん性が高まることが得られ、鋼板巻き立て補強工法に比較しても遜色のない補強効果が得られることが分かる。

繊維シートによる耐震補強工法の指針化

繊維シートによる補強工法を鉄道RC構造物の補強工法として用いる場合に

は、限界状態設計法による「鉄道構造物等設計標準・解説〔コンクリート構造物〕」で定められている安全性の照査法と同様な検計を設計で行う必要があり、実構造物の寸法諸元に適した補強耐力(曲げ・せん断)やじん性率の定式化および安全係数の設定が必要であった。また、兵庫県南部地震以降の鉄道RC構造物の耐震補強の基本的な考え方としては、脆性的な破壊であるせん断破壊を生じさせないようにすることと、想定地震に対して十分なじん性を有するように補強することとしており、これに対応した補強設計のルールを定める必要があった。

炭素およびアラミド繊維シートについては、繊維シートメーカーおよび施工会社からなる研究会からの委託により埼玉大学町田篤彦教授のご指導の下に委員会を組織して設計・施工指針^{4),5)}

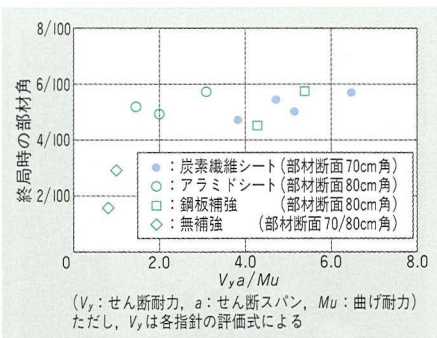


図-4 繊維シート補強によるじん性補強効果

の作成を行い、実務に適した方法によりせん断耐力およびじん性率の設定を行っている。

鉄道高架橋における耐震補強

兵庫県南部地震以降、鉄道のRC高架橋に対して耐震診断が行われ、緊急耐震補強の対象としてせん断破壊先行型と判定された高架橋柱(約4万5千柱)の耐震補強が新幹線で3年、在来線で5年以内を目途として95年度より各鉄道事業者により進められている。

繊維シートによる耐震補強工法も関係各位のご協力により指針という形で整備され、今後、適切な箇所に使用されることとなると考える。

参考文献

- 1—例えば、緒方ほか：炭素繊維による段落とし部を有する既存RC橋脚の耐震補強に関する研究、土木学会論文集、No.540/VI-31, pp.85-104, 1996. 6.
- 2—岡野ほか：炭素繊維シートによる鉄道高架橋柱のせん断性補強に関する実験、第2回阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、pp.329～332, 1997. 1.
- 3—森山ほか：炭素繊維シートによる鉄道高架橋柱のじん性補強に関する実験、第2回阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、pp.323～328, 1997. 1.
- 4—鉄道総合技術研究所：炭素繊維シートによる鉄道高架橋柱の耐震補強工法設計・施工指針、1996.7.
- 5—鉄道総合技術研究所：アラミド繊維シートによる鉄道高架橋柱の耐震補強工法設計・施工指針、1996.11.