

炭素繊維シートを橋脚鋼管柱周方向に貼付した耐震補強法に関する実験的研究

大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 松村政秀 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 北田俊行
 ショーボンド建設(株) 池田啓士 駒井鉄工(株) 岡田 崇 阪神高速道路公団 正会員 徳林宗孝

1. 目的 本研究では、図-1 に示すように、逆L型のRC橋脚の横梁ピン構造で支持する円形断面鋼製橋脚（板厚 $t=16$ mm，外径 $\phi=1,016$ mm）を対象として、鋼断面の座屈変形の発生を抑制するより簡便で効果的な方法として、一部のRC橋脚の耐震補強に用いられている炭素繊維補強工法を検討している。これまで、鋼構造物にエポキシ樹脂を含浸させた炭素繊維シート（以下 CFRP という）を貼付した場合の耐荷力性状に関する研究は少なく、CFRP による鋼製橋脚の耐震補強法とその妥当性について一部で報告¹⁾されているものの、その合理的・経済的な耐震補強法・設計法の確立までには至っていない。そこで、本研究では、4 体の実験供試体を用いた漸増繰返し水平変位載荷実験を実施し、円形断面鋼製橋脚に CFRP を貼付する耐震補強方法とその補強効果について検討している。



写真-1 対象橋脚

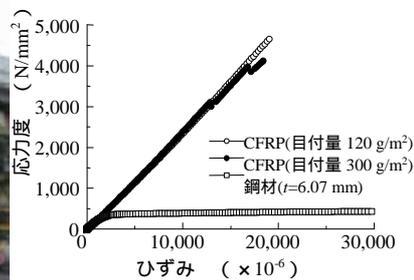


図-1 応力-ひずみ関係

表-1 CFRPおよび鋼材の機械的性質

	板厚 (mm)	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 E ($\times 10^5$ (N/mm ²))	ポアソン比 μ_s	伸び率 (%)
鋼板	6.07	376.1	450.6	2.07	0.283	36.3
CFRP	0.134	-	4,790.0	2.47	-	-

表-2 実験供試体の内訳

供試体名	炭素繊維シートの貼付層数		充填コンクリートの密閉方法	備考
	軸方向	周方向		
4-01 [*]	-	-	鋼製ダイヤフラム	鋼供試体 下端断面 (10cm) は周方向に8層
4-02 [*]	1	8		
4-03 [*]	1	3		
4-04 [*]	1	5		

*: $L/5 (=30\text{cm})$ までコンクリートを充填する

2. 対象橋脚の概略 対象とする橋脚は、 $1,016$ mmで板厚 16 mmの等断面円形鋼断面からなっている。対象橋脚には、中埋めコンクリートが高さ約 $3,500$ mmまで充填されている（その上板にダイヤフラム等が設置されておらず、充填コンクリートは密閉されていない）。対象橋脚とともに橋脚を構成するRC脚柱は、鋼板巻立て工法により既に補強済みであり、対象橋脚脚柱と比べ著しく大きな剛性を有している。

3. 補強方針 補強方法の選定にあたって、対象橋脚の設計条件と立地条件、とりわけ、柱部材の耐荷力と橋脚の最下端断面あるいはアンカー部の終局強度との大小が比較・検討された。対象橋脚の曲げモーメント図より判断すると、変型性能の改善だけでなく補強後の耐荷力の上昇をできるだけ抑制できる耐震補強工法の採用が必要となった。さらに、対象橋脚は、断面の外径が $1,016\text{mm}$ と小さく橋脚柱内部での作業が困難であり、また、建築限界の制限が厳しく橋脚外側にも補強のための十分なスペースの確保も困難と考えられる。そこで、脚柱外側のみからの施工が可能な炭素繊維シートを用いた耐震補強工法の適用性について検討された。CFRPは高い引張強度を有するため（図-1 および表-1 参照）、本研究では、円形断面鋼製橋脚の柱部材に対する炭素繊維シートの合理的な貼付方法を考慮して、部材軸方向へは炭素繊維シートを1層だけ貼付することと

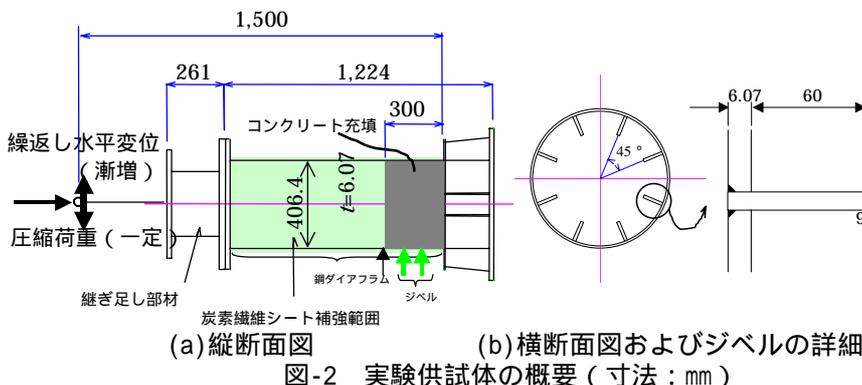


図-2 実験供試体の概要（寸法：mm）

表-3 対象橋脚と実験供試体との諸元

着目値	対象橋脚	実験供試体
基本径(mm)	100	40
板厚(mm)	1.6	0.640
柱長(cm)	1545.5	150
ヤング率(N/mm ²)	2060000	2060000
降伏点(N/mm ²)	2500	3835.2
断面二次モーメント(cm ⁴)	628479	16089
断面積(cm ²)	502.7	80.4
軸力比	0.310	0.202
軸力(kN)	3812.0	610.0kN
降伏曲げモーメント(KN・m)	2093	238
降伏水平荷重(kN)	135.40	158.00
全塑性水平荷重(kN)	225.70	350.30
水平剛度(kN/cm)	10.51	292.60
降伏水平変位(cm)	12.88	0.54
径厚比 R/t	31.75	31.75
細長比パラメータ	0.9601	0.2885
径厚比パラメータ	0.062	0.096

キーワード：炭素繊維シート，耐震補強，円形断面鋼製橋脚，繰返し載荷実験

連絡先： ☎558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 TEL06-6605-2735

し、引張力の作用する周方向の炭素繊維シートの貼付層数に着目して、一連の実験を実施する（表-2 参照）。

4. 漸増繰返し水平変位載荷実験の結果および考察 実験には、実橋脚の断面を 1/2.5 に縮小した STK400 鋼管（図-2 および表-3 参照）, および貼付する炭素繊維シートは目付量 120 g/m² を使用した（通常、目付量 300 g/m² を用いる）. そして、上部構造の死荷重に相当する鋼断面の全塑性軸方向圧縮力の 20% に相当する作用軸方向圧縮力 $N (=620\text{kN})$ を導入し、つぎに実験供試体頂部には、絶対最大値が $\pm n \cdot \gamma$ ($n=1, 2, \dots, \gamma$: 鋼断面下端が降伏するときの変位) となるように水平変位マイナス側から水平変位を繰返し漸増させて、耐荷力の低下が認められるまで載荷した。

図-3、図-4 および表-3 によると、鋼管の周方向に CFRP を 3~8 層貼付することにより、CFRP が曲げ剛性に及ぼす影響は小さく、補強後の強度上昇を 6~16% にとどめ、塑性率を 4~6 程度にまで改善できる。また、炭素繊維シートの貼付層数の違いによって、周方向 8 層の場合には RC 橋脚に見られる S 字形の履歴特性を示し基部断面に、3 層の場合には鋼断面特有の安定した紡錘形の履歴特性を呈し中埋めコンクリート充填部の直上の鋼断面に、それぞれ、塑性ヒンジが形成される。さらに、周方向 5 層の炭素繊維シートと併用してアンカー方式のジベルを設置すると、少ない繰返し回数では、ジベル位置から中埋めコンクリートの充填部直上の鋼断面にかけての広い範囲で塑性化し、鋼ダイアフラムを設置する場合に比べて、若干小さな曲げ剛性をとるものの紡錘形の履歴挙動を、最終的には S 字形の挙動を示し、実験供試体下端を塑性ヒンジとする変形モードへの移行が見られた。

5. まとめ CFRP を軸方向に 1 層・周方向に 5 層貼付すると、中埋めコンクリート直上の鋼断面に座屈は発生しない。そこで、CFRP を貼付する対象橋脚の補強方針を、以下のとおりに決定した。1) 補強範囲は、対象橋脚の曲げモーメント図に基づき決定し、図-5 の点 A の高さまで炭素繊維シートを層貼付する。2) 逆 L 型の RC 脚柱とで構成される門型橋脚をモデル化した動的応答解析を実施し、強地震に対する安全性の照査を行うとともに、CFRP の部材周方向の貼付層数を決定する。

参考文献 1) 松村政秀, 北田俊行, 林 秀侃, 谷 一成: 炭素繊維シートを用いた長方形断面鋼製橋脚柱の耐震補強法に関する基礎的実験, 第 4 回鋼構造物の非線形数値解析と耐震設計への応用に関する論文集, 土木学会, pp.19-24, 2002.1

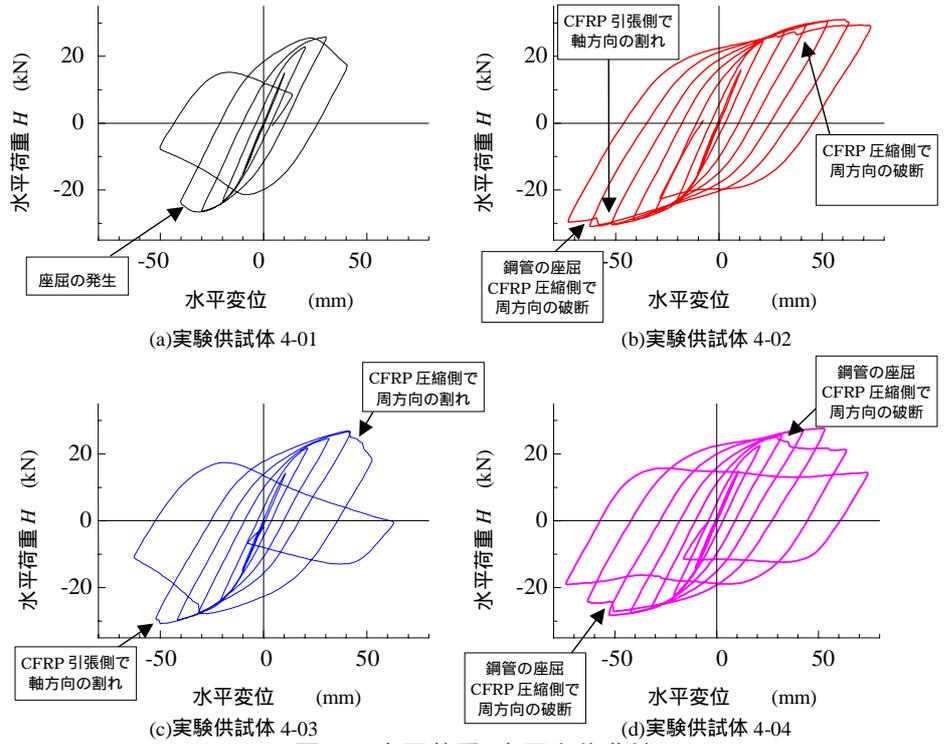


図-3 水平荷重-水平変位曲線

表-3 強度上昇率および塑性率

供試体名	強度上昇率 ($=H_u/H_{u4-01}$)	塑性率 ($=u_f/\gamma$)	損傷箇所
4-01	1.00	3.1	中埋め直上
4-02	1.16	6.4	基部
4-03	1.16	4.2	中埋め直上
4-04	1.06	5.4	基部

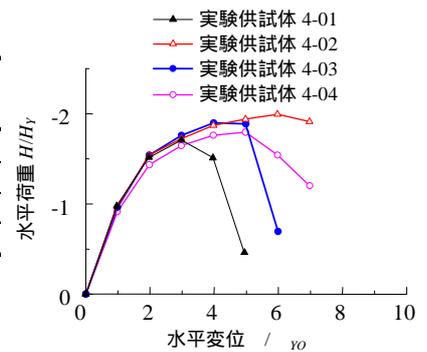


図-4 H- 曲線の包絡線

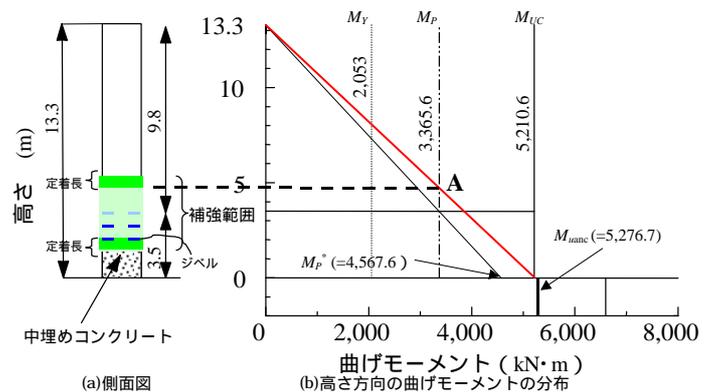


図-5 曲げモーメントの分布（対象橋脚）