

炭素繊維シートを用いたR C補強橋脚実験結果の設計法的考察

阪神高速道路公団 正会員 前川順道

阪神高速道路公団 正会員 袴田文雄

1. まえがき

R C橋脚の耐震補強に関しては、阪神高速道路公団などの都市内高速道路の耐震補強では路下の利用に関する制約条件から、鋼板巻き立て工法によることが多い。しかし、さらに施工条件が制約されたときには、鋼板巻き立て工法でも制約を受ける場合がある。一方、近年新材料として、炭素繊維シートを用いた耐震補強が日本道路公団をはじめとして各機関において応用開発がなされ、大きな期待を寄せられている。耐震補強に炭素繊維シートを用いることができれば、既往の補強方法にあたな選択の幅を与えることができる。そのためには、炭素繊維シートを用いた橋脚の耐震挙動、設計法が明らかにされなければならない。さらに、耐震補強の実験は費用を要するものであるから、できるだけ他の実験結果と相互交流を行って情報の有効利用を図る必要がある。阪神高速道路公団における実験の結果、炭素繊維シートの設計における扱いに見通しをつけたあと、既往の実験結果を用いて設計法に関する妥当性の検証を行うのが、本研究の目的である。

2. 炭素繊維シートのモデル化

高規格の炭素繊維シート(HP)としては、高強度炭素繊維シート(HS)と高弾性係数炭素繊維シート(HM)に分類される。このうち、耐震補強に用いられるのは、終局時における強度を必要とすることから、高強度炭素繊維シート(HS)である。耐震設計のモデル化のなかで、この炭素繊維シートが影響を及ぼすのは、せん断耐力補強とじん性率の算定においてである。それぞれは示方書のなかで手続きが述べられているから、ここでは炭素繊維シートをいかにモデル化するかを述べる。

炭素繊維シートは既設の帯鉄筋に降伏応力度比等価になるように考え[1]、(1)じん性率を算定するためのコンクリートの応力ひずみ曲線に用いる(体積)帯鉄筋比 ρ の算出に用いる等価帯鉄筋断面積 A_h 、(2)せん断耐力を算出に用いる等価帯鉄筋断面積 A_v それぞれについて、

$$A_h = n \times s \times t \times \frac{bf}{B} \times \frac{f_{cf}}{f_{yh}} \quad (1) \quad A_v = 2 \times n \times s \times t \times \frac{D}{d_w} \times \frac{f_{cf}}{f_{yh}} \quad (2)$$

とした。ここで、 n :炭素繊維シートの層数、 s :帯鉄筋間隔、 t :炭素繊維シートの層厚、 bf :コアの幅、 B :橋脚の幅、 f_{cf} :炭素繊維シートの強度、

f_{yh} :帯鉄筋の降伏強度、 D :橋脚の奥行き、 d_w :コアの奥行きなどである。

角型供試体における補強では基部を円形に補強する“ケーシング”補強を行う場合があり、同様の考え方でモデル化が可能である。

3. 実験結果との検証

このモデル化を実験にて検証することとする。阪神高速道路公団にて実施した11供試体を用いて終局変位、終局荷重を中心として実験と解析を比較してみる。いずれもR C単柱の繰り返し実験であるが、断面は円形、角型、ケーシング補強などがあり、無補強橋脚を除いて炭素繊維シートによる補強をおこなっている。なお、終局変

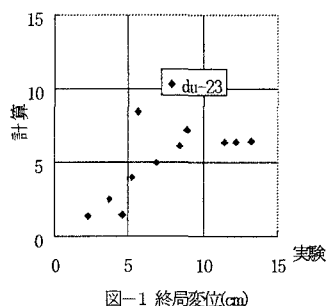


図-1 終局変位(cm)

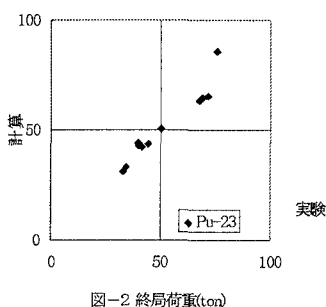


図-2 終局荷重(ton)

位とは荷重変位曲線の包絡線において、反力が最大反力の80%に低減したときの変位、終局荷重とは荷重の最大値をとった。炭素繊維シートの強度を、まず、 $35000 \times 2/3 = 23000 \text{ kg/cm}^2$ と仮定した。

終局変位、終局荷重について実験と計算を比較した結果を図-1、図-2に示す。この結果、一部耐力補強実験を除いて、終局荷重はよく実験を説明できることがわかる。なお、当然、炭素繊維強度は終局荷重に影響しない。次に、終局変位でも場合分けすることで説明が可能であることをみる。

炭素繊維シートの強度を炭素繊維シートの強度を2種類

($f_{cf} = 35000 \text{ kg/cm}^2$, $f_{cf} = 35000 \times 2/3 = 23000 \text{ kg/cm}^2$)を用いて計算し

それぞれの回帰直線を書き入れた結果を図-3に示す。実験を中断した供試体、炭素繊維が切断されず、大きなじん性率を発揮した供試体は回帰直線から除外した。

これから、降伏強度として炭素繊維に用いる強度を2/3として 23000 kg/cm^2 のときには、十分に安全側であることは言える。この結果、設計では降伏強度として炭素繊維に用いる強度を2/3として 23000 kg/cm^2 をとる場合の根拠を確認できた。ただ、 35000 kg/cm^2 としたときには実験と解析とはよく一致する。

4. 他の実験結果との総合的な検証

炭素繊維シートによる補強橋脚を含む実験結果とそれぞれの解析の結果について比較することで、異なる実験環境における解析の結果の一般性について確認するために検討を加えた。無補強供試体、壁式の鋼板補強供試体も含んでいる。炭素繊維は強度を2/3に低減して扱

っている。図-4、図-5、図-6には終局変位、荷重さらに帯鉄筋比と終局変位比について実験別にプロットして示した。図では、実験中止した供試体、一部曲げ補強供試体、せん断実験供試体などについては除外している。

図-5から、終局状態において荷重の説明は十分可能である。図-4から終局変位は荷重に比べばらつきは大きいが、炭素繊維シート強度に低減を考えたモデルにおいて安全側の説明が可能である。また、図-6から帯鉄筋比が2-3%程度以下において、終局変位について計算/実験をほぼ1以下におさえることができる。

5. 結論

炭素繊維シートを用いたRC単柱橋脚の補強供試体について実験結果を考察することで、設計に用いる炭素繊維シートの強度に関する検討を加えるとともに、内外の実験結果を利用して解析式の妥当性の検証を行ない、合理性の確認を行った。

6. 参考資料 1. 袴田文雄:壁式橋脚のRC耐震補強及びCFRPによるRC耐震補強の実験と解析、「コンクリート系構造物の耐震技術」に関するシンポジウム, JCI, 1997. 4 2. 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効果確認実験報告書、平成8年7月 3. 鉄道総合技術研究所:炭素繊維シートによる地下鉄RC柱の耐震補強効果確認実験報告書、平成8年11月 4. 高速道路技術センター:橋梁の耐震設計法に関する検討報告書、平成8年3月 5. 大阪大学松井研究室、加加工事:炭素繊維によるRC橋脚の補強実験(その2)見学会報告書、平成9年1月23日

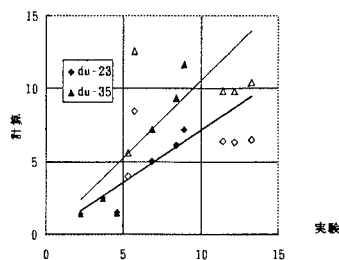


図-3 炭素繊維の強度の差による終局変位 (cm)

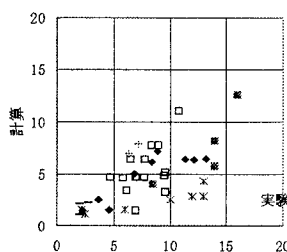


図-4 終局変位 (cm)

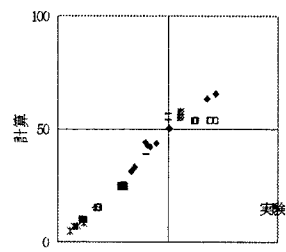


図-5 終局荷重 (ton)

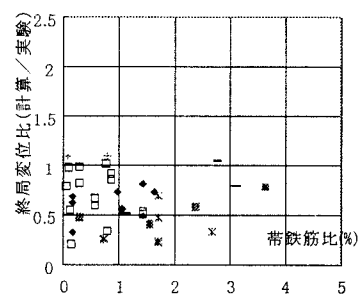


図-6 終局変位比