

炭素繊維巻立て補強した RC 橋脚の耐力比によるじん性率評価式の検討

九州工業大学大学院 学生会員 石松 宗一郎
九州工業大学工学部 正会員 幸左 賢二
九州工業大学工学部 正会員 山崎 竹博
榊建設技術研究所 正会員 鈴木 直人

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、既設 RC 橋脚の耐震性を向上させるための方策として、RC 巻立て、鋼板巻立て、炭素繊維巻立て等による補強が数多く行われている。なかでも炭素繊維での橋脚補強は用地確保が困難である場合などに有用であり、施工性にも優れている。本研究では、既往の炭素繊維巻立て補強橋脚の正負交番載荷試験データを収集し、せん断補強効果としての炭素繊維の効率に着目して、実験値と比較することにより、耐力比を用いた評価式である土木学会式の炭素繊維巻立て補強橋脚に対する適用性について検討を行った。

2. 検討手法

(1) 交番載荷試験

RC 橋脚に炭素繊維巻立て補強を行い実施された実験について、資料の収集および整理を行った。本研究で収集した矩形供試体、23 体の諸元を図-1 に示す。炭素繊維比は 0.2% 以下が多いが、帯鉄筋に換算するとほとんどが 1% を越えている。a/d についてはすべて 2.5 以上となっているが、軸方向圧縮応力度については一般的な道路橋(帯鉄筋比 0.1% 以上、せん断支間比 2.5 以上、軸方向圧縮応力度 2.0MPa 以下)よりも大きい供試体が多く、 $\sigma_n = 4.0\text{MPa}$ の供試体が数体含まれている。また、実験における破壊状況について、軸方向鉄筋の座屈が先行し、その後、炭素繊維シートがはらみだし、終局状態には軸方向鉄筋が破断したと報告されているものもあった。

今回、選定した供試体の実験結果からじん性率を整理するにあたり、基部リング補強等の特殊な実験、及び橋脚の破壊モードがせん断破壊先行($V_c + V_s + V_{cf} < V_{mu}$)となるものに関してはじん性率評価法の検討対象外とした。

(2) じん性率の算定手法

供試体のじん性率は、各研究機関により定義が異なるため、ここでは、各実験で得られた荷重-変位曲線をもとに、統一した基準によりじん性率を再評価した。降伏

点は材料定数を補正した上で降伏荷重 P_y を求め、荷重-変位曲線上で P_y に達した点を降伏変位 δ_y とした。最大荷重後に再び P_y まで低下した点を終局変位 δ_u とし、じん性率は $\mu = \delta_u / \delta_y$ により定義した。

また、縮尺率の小さい実験の場合、鉄筋抜け出しの影響が無視できない場合もあるが、抜け出しによる影響の分離が困難な実験もあり、ここでは δ_u 、 δ_y とも鉄筋の抜け出し量を含んだ形となっている。

3. じん性率評価式の検討

耐力比を用いた土木学会式は曲げ耐力とせん断耐力の比率により、じん性率を評価する方法で、基本的には曲げせん断破壊を対象とした評価法である。しかし既往の研究成果¹⁾によると、式(1)によれば曲げ破壊形

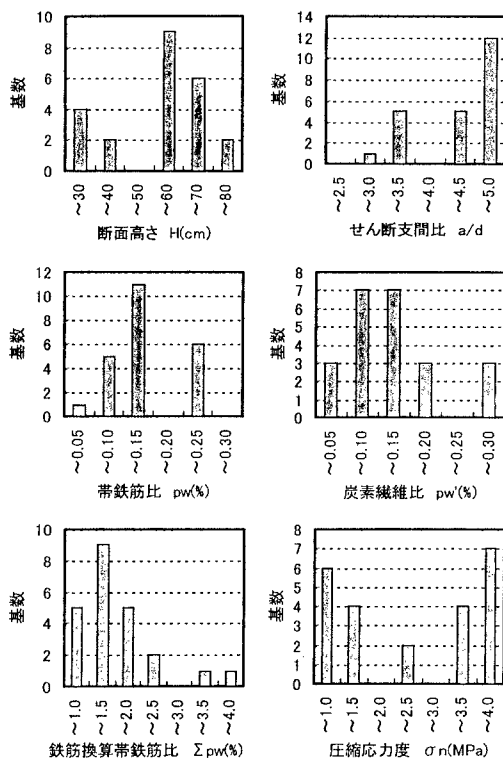


図-1 供試体諸元分布

式の高帯鉄筋比を有する橋脚に対しても一定の有用性が示されている。ここでは、炭素繊維巻立て補強橋脚に対する式(1)の適用性について検討を行う。

$$\mu = 1.63(0.3 \cdot V_c + V_s) / V_{mu} + 5.59 \quad (1)$$

ここで、 V_c :コンクリートのせん断耐力、

V_s :帯鉄筋のせん断耐力、 V_{mu} :曲げ耐力

炭素繊維を 100%有効としてせん断耐力を計算し実験値との関係を図-2 に示す。 μ (実験値)/ μ (計算値)の平均は 0.74 程度となり、全体的に大きめの計算値を与える結果となっている。じん性率と耐力比の関係は RC 橋脚と同じであると考え、炭素繊維巻立て補強橋脚は鋼板巻立て補強橋脚と同様に、せん断補強効果に関しての効率を低下させる必要がある²⁾。そこで、せん断耐力を $0.3 \cdot V_c + V_s + D \cdot V_{cf}$ として炭素繊維の効率 D を求めるものとした。図-3 に V_{cf}/V_{mu} と $\mu_{\text{実験値}} - [1.63(0.3 \cdot V_c + V_s) / V_{mu} + 5.59]$ の関係を示す。図-3 より炭素繊維の効率 D を求めると、 $D=0.4$ となった。よって、炭素繊維巻立て橋脚のじん性率評価式は式(2)となる。

$$\mu = 1.63(0.3 \cdot V_c + V_s + 0.4 \cdot V_{cf}) / V_{mu} + 5.59 \quad (2)$$

ここで、 V_{cf} :炭素繊維が負担するせん断耐力

適用範囲：炭素繊維比(%) $0.05 \leq pw' \leq 0.30$,

軸方向応力度 $\sigma_n \leq 4.0 \text{MPa}$, せん断支間比 $a/d \geq 2.5$

式(2)による計算値と実験値の関係を図-4 に示す。軸圧縮応力度が大きいものに関しては、少し大きめの計算値となるが、 μ (実験値)/ μ (計算値)の平均は 1.0 であり変動係数は 12.7%となることから概ね一致した結果となった。安全率を考慮することにより炭素繊維巻立て補強橋脚に対しても適用可能であると考えられる。

4. 鋼板巻きとの補強効果の比較

既往の研究成果²⁾によると、鋼板巻立て補強橋脚における鋼板のせん断耐力の効率は $D'=0.8$ となっている。これに対して炭素繊維では $D=0.4$ とかなり効率が低下する結果となった。図-5 に阪神高速道路公団で行われた実験供試体³⁾での同位置における、炭素繊維と帯鉄筋のひずみ性状を示す。効率が低下した理由として、炭素繊維の場合、降伏強度が大きく(鋼材の 10 倍程度)、降伏ひずみも 10000 μ 程度となる。それに対し、実験では終局時の炭素繊維のひずみが 5000 μ 程度以下の場合が多く、図-5 に示すように 1000 μ 程度のものもある。鋼板の場合、2000 μ 程度で降伏強度相当の拘束力やせん断耐力が期待できるのに対し、炭素繊維の場合は降伏強度まで期待できないためであると考えられる。

5. まとめ

本研究の結果、耐力比を用いたじん性率評価式は、せん断耐力に関する炭素繊維の効率を 0.4 とすることにより炭素繊維巻立て補強橋脚に対しても適用可能であることが分かった。

(参考文献) 1) 幸左, 鈴木: 耐力比を用いた RC 橋脚のじん性率評価式の検討, 構造工学論文集, Vol. 44A, 1998. 3

2) 鈴木, 幸左他: 鋼板巻立て補強橋脚の変形性能に関する検討, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 21, No. 3, 1999

3) 阪神高速道路公団: RC 橋脚の CF 耐力補強に関する実験検討業務, 報告書, 1997. 3

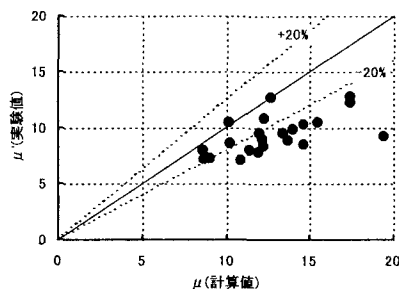


図-2 提案式による実験値と計算値の関係

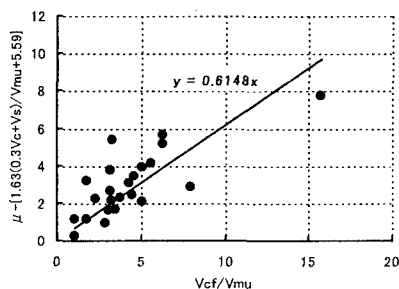


図-3 $\mu_{\text{実験値}} - [1.63(0.3V_c + V_s) / V_{mu} + 5.59]$ と V_{cf}/V_{mu} との関係

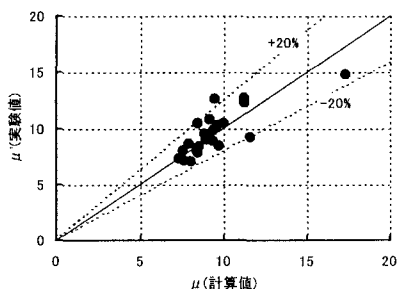


図-4 炭素繊維効率を考慮した実験値と計算値の関係

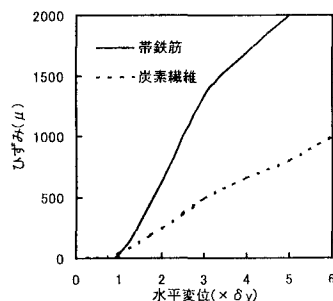


図-5 炭素繊維のひずみ性状