

奈良建設 土木技術研究所 正会員 佐藤 貢一  
 武蔵工業大学 土木工学科 正会員 小玉 克巳

1. はじめに

著者らは、これまでの研究で補強筋としてFRP(Fiber Reinforced Plastic)を、損傷を与えた鉄筋コンクリート梁(以下RC梁)の引張側に配置し、ポリアクリル酸エステル系ポリマーモルタル(以後PPモルタル)補強材で一体化する下面増厚補強工法を提唱してきた。本補強法で補強することにより、既存RC梁のひびわれ幅、梁中央のたわみ量、主鉄筋の応力が低減され、静的曲げおよび疲労環境下において耐久性が向上されること、さらにこれらの曲げ性状が計算によって十分把握できることを示してきた[1][2]。しかしこの種下面増厚補強梁の破壊性状が終局的に補強部の層間における剥離破壊であった。そこで損傷を与えたRC梁をFRPと各種性状の異なるモルタルを用い補強し、補強部分の層間剥離性状を検討した。

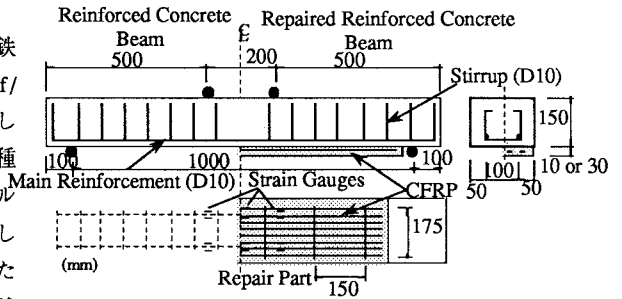
2. 実験概要

(1) 引張材及び各種モルタルの性状

本研究における引張材は補強筋としてCFRPとRC梁の主鉄筋として鉄筋D10を使用した(図-1)。使用したモルタルは、ポリアクリル酸エステル系ポリマーモルタル(以後PPモルタル)、曲げ強度、付着強度にとみ、弾性係数は比較的low、耐久性の高いものである。さらに吹き付け補修材として用いられているシリカフェーム混合モルタル(以後SFモルタル)、また圧縮強度、弾性係数の高いプラスチック繊維混合モルタル(以後PLモルタル)を使用した。

(2) 補強梁の曲げ試験

RC構造物の損傷を想定し、RC梁にあらかじめ主鉄筋D10の降伏強度の75%(主鉄筋応力2700kgf/cm<sup>2</sup>)、0.3mm程度のひびわれが発生する荷重を載荷した。その後RC梁の下面に格子状CFRPを配置し各種モルタルでRC梁と一体化させた(図-1)。PPモルタル補強に関しては補強厚さ1および3cmの2種類とし(PP1,PP2補強)、SF,PLモルタル補強は3cmとした(SF,PL補強)。補強後7日間室内養生後に静的曲げ試験を行った。荷重は、支点間隔100cm、間隔20cmの2点載荷とした。計測はロードセルにより載荷荷重、変位計により梁中央点のたわみ量を計測した。



FRP :弾性係数 $3.5 \times 10^4$  引張強度270000kgf/cm<sup>2</sup> 繊維総断面積0.4cm<sup>2</sup>(8本)  
 D10 :弾性係数 $1.92 \times 10^5$  引張強度3600kgf/cm<sup>2</sup> 総断面積1.4cm<sup>2</sup>(2本)

図-1 補強供試体形状図

3. 試験結果と考察

(1) 破壊荷重と破壊形態

無補強RC梁が約4.0tfで曲げ破壊したのに対して、PPモルタル補強1,2は6.0tf以上の強度を示した。しかしながらSF補強およびPL補強は4.3tf以下の破壊荷重であった。これは荷重初期段階より最大曲げモーメント区間に発生した剥離が荷重の増加とともに補強部分のほぼ全域に進展し、補強効果

表-1 実験結果

供試体	せん断 付着強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	モルタル 弾性係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	破壊荷重 (kgf)	剥離荷重		破壊形態
				実測値 (kgf)	計算値 (kgf)	
無補強			3908			曲げ破壊
PP1補強	5.921	$1.19 \times 10^5$	6500	6500	5000	曲げ破壊
PP2補強	5.921	$1.19 \times 10^5$	6500	4600	3800	曲げ破壊
PL補強	0.132	$3.00 \times 10^5$	4125	750	400	曲げ剥離破壊
SF補強	0.066	$2.90 \times 10^5$	3685	400	200	曲げ剥離破壊

せん断付着強度は両面せん断試験によるモルタル及びコンクリート間の値  
 PP1補強のみ補強厚さ1cm

れが発生し梁全体に応力の分散がなされ、剥離も終局的に補強部端部に狭い範囲で生じた。

(2) 梁のたわみ量に関する検討

SF,PL補強は荷重初期段階からの剥離進展が原因でたわみ量が無補強梁と同程度となった。一方PP補強に関しては無補強供試体に対してたわみ量が1/2以下に低減された(図-2)。また、補強部分のモルタルおよびFRPを考慮して梁の軸方向に100分割し、各断面の曲率を数値積分することによって求めた梁中央部のたわみ量計算値を図中に付記する。PP1,PP2補強が共に計算値と良く一致していることから補強後において付着が有効であるならば補強梁は十分弾性的な挙動を呈し補強効果が向上するものと考えられる。

(3) 補強部分の剥離に関する検討

補強部分のひずみおよび応力を補強梁の曲率を用いて表し、接着界面の平均作用せん断付着応力と補強梁曲率との関係を導くと式(3)(4)となる。

$$\rho = \frac{1}{R} = \frac{\epsilon_y}{y} \quad \dots (1)$$

$$\sigma_m = \epsilon_y \times E_m (1 + n_m \times P_m) \quad \dots (2)$$

$$\frac{d\sigma_m}{dx} = \frac{B}{A_m} \tau_x \quad \dots (3)$$

$$\bar{\tau}_m = \frac{y \rho E_m (1 + n_m \times P_m) A_m}{B \times \frac{L}{2}} \quad \dots (4)$$

- $\rho$  曲率
- $R$  曲率半径
- $y$  中立軸からの距離
- $\epsilon_y$  補強部分のひずみ
- $E_m$  モルタル弾性係数
- $n_m$  補強材FRPとコンクリートの弾性係数比
- $P_m$   $A_f/A_m$
- $B$  梁幅
- $\sigma_m$  補強部分モルタル作用応力
- $\bar{\tau}_m$  梁と補強部分の接着界面に作用する平均せん断付着応力

すなわち各種モルタルのせん断付着強度に接着界面に作用するせん断付着応力が達したときに補強部分の剥離が生じるものと考えられる(図-3)。せん断付着強度と梁の最大曲率の1/2を式(4)に代入して算定した、各種モルタルを用いた補強梁の補強部分の初剥離荷重を表-1に記す。各補強梁の初剥離荷重は図-2に矢印で示した。表中の実験値と計算値とがほぼ一致することから本計算手法によって剥離荷重を算定できるものと考えられる。

4. まとめ

曲げ部材の引張側を補強筋と弾性係数の高いモルタルを用いて補強する場合、同一曲率において補強部分と曲げ部材の接着界面の作用せん断付着応力が増加するため、付着強度の高い材料を使用しないと早期剥離に至り補強効果が発揮できない。さらに、補強部分の断面厚の増加によっても、補強部分と曲げ部材の接着界面の作用せん断付着応力は増加する。以上のことから、弾性係数の低いフレキシブルなモルタルを用い、補強部分の断面厚は薄い形状のものが良好であると言える。また、補強梁の曲率を用いて接着界面の作用せん断付着応力を算定することにより補強梁の剥離性状を把握できた。

参考文献

[1] 佐藤貢一・小玉克巳 他:FRPとポリマーモルタルを用いたRC梁の補修に関する研究,コンクリート工学年次論文報告集,Vol.12,No.1,PP.1269-1274,1990.6  
 [2] 佐藤貢一・小玉克巳 他:FRPとポリマーモルタルで補修したRC梁の曲げ性状に関する研究,コンクリート工学年次論文報告集,Vol.13,No.2,PP.877-882,1991.6

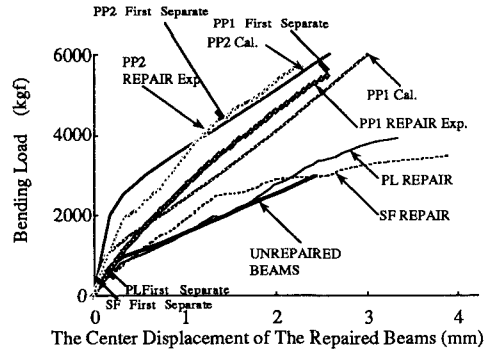


図-2 補強梁の荷重と梁中央部のたわみ量

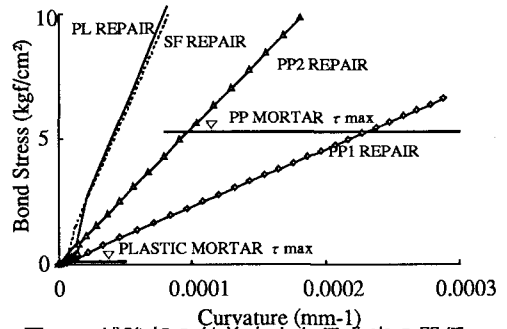


図-3 補強部の付着応力と梁曲率の関係