

奈良建設（株） 土木技術研究所 正会員 佐藤 貢一
 武蔵工業大学 正会員 小玉 克巳
 武蔵工業大学 正会員 吉川 弘道

1. はじめに

近年、RC構造物の早期劣化が問題となっており、経済的で耐久的な補修工法の開発が望まれている。これまで著者らは、RC梁の下面に補強鉄筋を配置し、塩害、中性化、凍結融解作用に強く耐候性に優れている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）で一体化させた補修法を提唱し、主鉄筋応力、ひびわれ幅、たわみ量を低減できること、施工中の交通振動などの影響を無視して補修できることなど、本補修法の有効性を示してきた〔1〕。さらに本研究では、補強鉄筋のかわりに、耐腐食性、耐薬品性に優れたFRP（Fiber Reinforced Plastics）を配置し、PPモルタルで一体化した補修梁の静的曲げ試験、疲労試験を行い、FRPとPPモルタルで補修した梁の疲労性状について検討した。

2. 実験の概要

①材料特性：FRPは、表-1に示す3種類の高弾性繊維を用いた。繊維量は、引張強度が4700kg/本となる断面量とし、ビニールエステル樹脂により10cm格の格子状に加工した。また、比較のために鉄筋D13も補強材として使用した。ここでFRP筋の特性値として引張剛性値（繊維断面積 A1×弾性係数E）を示す。

②供試体：RC梁は、図-1のように製作し28日間湿潤養生を行った。さらに、このRC梁に劣化を想定し、あらかじめ鉄筋(D10)の降伏応力の75%、0.3mm程度のひびわれが発生する荷重を載荷した。補修梁は、劣化させたRC梁の下面に補強筋GFRP、CFRP、AFRP及び比較のために鉄筋D13をそれぞれ2本配置し、PPモルタルで一体化し製作した。（補修後、室内一週養生）

③載荷方法：載荷方法は図-1に示すようにスパン長さ100cm 載荷点幅20cmの2点載荷とした。静的試験においては、破壊に至るまで荷重、変位、歪、ひびわれ幅を測定した。疲労試験においては、上限荷重をRC梁の鉄筋の降伏応力の75~90%とし、下限荷重を200kgとした。載荷速度は、5Hzで行い、各疲労段階で静的に上限荷重まで荷重を載荷し静的試験と同様の計測を行った。

3. 実験結果及び考察

①静的試験結果：無補修RC梁の破壊荷重が、3.8tであったのに対し補修後は、D13補修梁7.2t、GFRP補修梁7.2t、CFRP補修梁6.3t、AFRP補修梁6.1tであり、耐荷力が1.6倍以上を示し、十分補修効果があることが認められた。これは、各補強材で補修する事によ

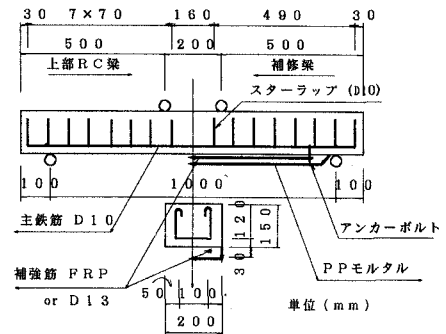


図-1 供試体形状図

表-1 材料性状

繊維の種類	最大応力 (kg/mm ²)	繊維断面積 A1 (mm ²)	総断面積 A2 (mm ²)	弾性係数 E (kg/cm ²)	引張弾性 A1E (kg)
補強材	GFRP ガラス繊維	143 (0.26)	82.38 (0.65)	0.74×10 ⁶ (0.39)	2.4×10 ⁶ (0.10)
	CFRP 高弾性炭	270 (0.14)	43.63 (0.34)	3.50×10 ⁶ (1.83)	6.1×10 ⁶ (0.25)
	AFRP アクリル繊維	312 (0.12)	37.75 (0.30)	0.71×10 ⁶ (0.37)	1.1×10 ⁶ (0.05)
主筋	D13 (SD 30)	39.56	126.7 (1)	1.91×10 ⁶ (1)	24.2×10 ⁶ (1)
	D10 (SD 30)	36.26	71.33 (0.56)	1.84×10 ⁶ (0.96)	13×10 ⁶ (0.49)

※ () 内は、D13を1とした場合の比率
FRP繊維含有率40%

表-2 PPモルタル

圧縮強度	曲げ強度	引張強度	付着強度	ヤング係数	凍結融解抵抗
240.0 kgf/cm ²	73.0 kgf/cm ²	26.3 kgf/cm ²	75.0 kgf/cm ²	1.19×10 ⁵ kgf/cm ²	ASTM C 666 300 サイクル 重量変化なし
促進耐腐食性試験		塩水噴霧試験		中性化促進試験	耐アルカリ性
3000時間 異常無し		3000時間 異常無し		中性化深度 コンクリートの 5分の1	異常無し

※ 強度試験は28日強度とする。

り主鉄筋(D10)の作用応力が低減されたためであり、この関係を図-2に示す。また、図中における実線は、従来の弾性理論より求めた主鉄筋の作用応力であり、FRPで補修後もなお、弾性理論

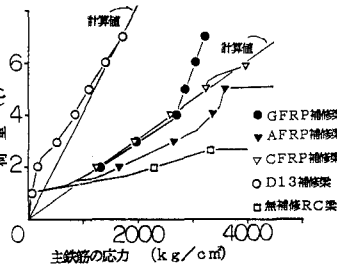


図-2 荷重と主鉄筋応力の関係

が有効であることが示された。さらに、補修梁のひびわれ幅、たわみ量は、無補修梁に比べ低減できることが示され、補修材の引張剛性とひびわれ幅、たわみ量に明瞭な相関関係が認められた[2]。この補修梁のたわみ量は、Bransonの式より求めた断面二次モーメントを用い算出したたわみ量の計算値と、大略合致した(図-3)。

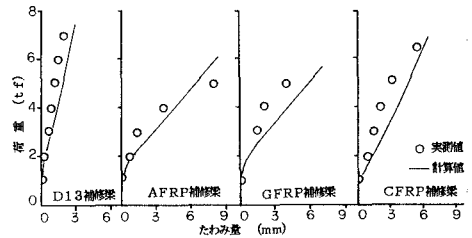


図-3 荷重とたわみ量の関係

②疲労試験結果：図-4における実線は、無補修RC梁の破壊回数点を結んだものである。すべての補修梁が、実線より上に位置し、繰返し荷重作用下においても、補修が有効であるといえる。上限荷重2.5t(無補修RC梁主鉄筋降伏荷重の75%)では、補修材の引張剛性の高いD13補修梁、CFRP補修梁は、150万回を越え、引張剛性と繰返し回数に相関関係があると考えられる。しかし、無補修RC梁の破壊点に近い上限荷重3.7tではこの関係は認められなかった。

図-5(a,b)に、上限荷重3.7tにおけるD13、CFRP補修梁の主鉄筋及び補修材に作用した応力を示す。繰返し回数15000回までは、中立軸より遠い補修材が応力を多く負担し補修が有効であると考えられる。しかし、D13補修梁は補修材の引張剛性が高く、梁の曲げ剛性が向上し破壊点近傍で、上部RC梁と

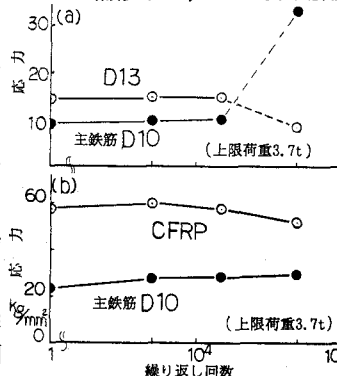


図-5 応力と回数

D13補修材を含むPPモルタル補修部分の付着低下を招いた。

その結果破壊近傍で力の釣合が崩れ主鉄筋の応力が増し(図-5a)破壊したと考えられる。しかし、図-5bのCFRP補修梁では、この応力逆転は見られない。

図-6(a,b)からも上記のことが推定できる。D13補修梁に発生したひびわれは、等曲げモーメント作用区間内のひびわれ③が、破壊近傍の繰返し回数50000回付近で著しく発達している。しかし、CFRP補修梁では、著しいひびわれ発達は見られず、繰返し応力に対する耐久性が向上したと考えられる。

4. まとめ

FRP材とPPモルタルを用いた補修法は、静的、繰返し応力作用下において十分有効であることが示され、海浜など腐食環境下におけるRC構造物の耐久性向上に効果的だと考えられる。補修効果は、FRP材の種類ではなく引張剛性値と大きく関係する。静的応力作用下において、主筋の応力を従来の弾性理論で、たわみ量をBransonの式を用いて推定できる。繰返し応力作用下において、主鉄筋の応力の75%程度の上限応力作用下では、補修材の引張剛性と繰返し回数に明瞭な相関関係が認められ、それより大きい上限応力作用下では、両者の相関関係が認められず、今後のデータの蓄積を行い関係の解明を行う必要がある。

参考文献

[1] 佐藤賢一 小玉克巳 他 特殊ポリマーモルタルを使用したRC梁の補修工法; 土木学会 第44回年次学術講演会 VI-71

[2] 佐藤賢一 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; 第12回コンクリート工学年次講演会論文集

図-6 ひびわれ幅と回数

