

論文

[2168] FRP とポリマーモルタルを用いた PC 板による RC 梁の補強に関する研究

正会員 大木 浩靖 (奈良建設土木技術研究所)  
 正会員 佐藤 貢一 (奈良建設土木技術研究所)  
 正会員 小玉 克己 (武蔵工業大学土木工学科)

1. はじめに

著者らの昨年までの実験で、RC梁の下面に繊維強化プラスチック (FRP 格子) を配置しポリアクリル酸エステル系ポリマーモルタル (以降 PPモルタル) で一体化させる事で梁の鉄筋応力、たわみ量、ひびわれ幅が低減する事はすでに示してきた<sup>[1], [2], [3]</sup>。この補強体の部分をプレキャスト化して PPモルタルで RC梁の下面に取り付ける方法でも同様の効果が得られる事は昨年までの実験で確認されている<sup>[4]</sup>。本研究では、昨年までの実験をもとに施工性の向上及び補強効果のアップを目標に、補強筋 (FRP) を薄くする事と形状に変化をつけて付着力を増す事で PC板を更に薄くして補強効果の変化を主鉄筋応力、たわみ量、ひびわれ幅より確認する事を目的として行った。

2. PPモルタルと補強筋FRP材の性状 表-1 PPモルタル性状 (28日強度)

a) PPモルタル: 右表に PPモルタルの性状を示す。PPモルタルは白セメントと珪砂を主とするコンパウンドとエマルジョンを 5:1 で混合したもので特徴は曲げ、引張、付着強度が特に高くコンクリートとの相性が良い材料である。

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
185.0 kgf/cm <sup>2</sup>	73.0 kgf/cm <sup>2</sup>	26.3 kgf/cm <sup>2</sup>	75.0 kgf/cm <sup>2</sup>	1.19×10 <sup>5</sup> kgf/cm	ASTM C 666 300サイクル 変化なし
促進耐候性試験		塩水噴霧試験	中性化促進試験	耐アルカリ性	
3000時間 異常なし		3000時間 異常なし	中性化深度 コンクリートの 1/5	異常無し	

b) 補強筋FRP材: 表-2に示すように、繊維は高弾性炭素繊維 (以降 CFRP) を使用しエステル樹脂で格子状に加工したもので、繊維量は鉄筋D13を基準とし右表の値 (昨年の実験で使用したFRPと同等の引張強度となるように設定) とした。また、補強材の引張剛性値 (表中の数値は補強体1本当りの数値) は繊維断面積 A×弾性係数 E を示す値である。昨年の実験に使用した補強材料と大きく異なる点としては、単位長さ当たり (10cm) の繊維の量は変えず付着力を向上させた点にある。

表-2 補強材性状

補強材	弾性係数 (E) (kgf/cm <sup>2</sup> )	繊維断面積 (A) (mm <sup>2</sup> )	引張剛性 (AE) (kgf)	引張強度 (kgf)
D10 鉄筋	1.92×10 <sup>6</sup>	71.33	13.7 ×10 <sup>5</sup>	3567
CFRP (タイプA)	3.50×10 <sup>6</sup>	17.45	6.1 ×10 <sup>5</sup>	4712
CFRP (タイプB)	3.12×10 <sup>6</sup>	4.99	1.5 ×10 <sup>5</sup>	1347

- ①補強体の繊維量を変えず主鉄筋方向のピッチを短くして (25mm) 厚さを薄くした (10mm→5mm)  
 ②補強体製造過程で発生する表面の凹凸 (通常製品としては除去する) を引抜き抵抗に利用

### 3. 実験概要

今回の実験では、CFRP補強材を薄くし厚さ1cmのプレキャスト板を作製し昨年の実験で効果が確認された3cmプレキャスト板による補強実験の値<sup>[5]</sup>と比較して検討を行う。補強効果は補強後の静的、曲げ疲労試験から主鉄筋応力、たわみ量、ひびわれ幅の変化を比較する。

今回使用したRC梁及びCFRPとPPモルタルで作製したPC板の形状寸法は図-1に示す通りである。接着はPC板にPPモルタルを塗布し、ホールインアンカー(φ6mm)4本で定着する。(定着後7日間室内養生)

補強供試体の静的曲げ及び曲げ疲労試験を行う前に、格子状FRPとコンクリートの付着性状を把握する目的で片引き試験を行った(図-3)。片引き試験では各点におけるFRPのひずみ、供試体底面のFRP端部のずれ量及び引抜き荷重を測定した。

- 静的曲げ試験：荷重は図-1に示す位置、支点間隔100cm、載荷点幅20cmで載荷した。実験に際して載荷荷重、鉄筋の歪、梁中央部のたわみ量、クラック発生後のひびわれ幅を測定した。
- 曲げ疲労試験：荷重位置及び計測は静的曲げ試験と同仕様で行った。載荷荷重は上限2.5t、3.7t(無補強梁破壊荷重の75%,95%)～下限0.2tの繰返し載荷とし、載荷速度を約5.0Hzとした。

### 4. 片引き試験による補強筋の付着力

D10鉄筋は付着応力 38 kgf/cm<sup>2</sup> 程度でコンクリートが破壊しており、かなり大きい値が測定された。昨年の実験で使用した格子状FRPの付着力は初期段階では鉄筋と同程度の応力値を示すものの、荷重増加に伴ってずれ量は鉄筋を大きく上回ってしまう。

今回の実験で使用する格子状FRPは、引抜き荷重が増大した領域での付着応力が増加する為に右図のような形状としコンクリートとの付着面積を増加し、表面に凹凸をつける事で摩擦力を大きく出来た。

前記の改良によって補強体の付着力は昨年使用のFRPと比較して約2.5倍、鉄筋D10と比較しても約2.0倍になっている事が表-3(表中の数値は0.05mm以上のズレを確認した時点の荷重を引抜き荷重として記録)及び図-4から分かる。

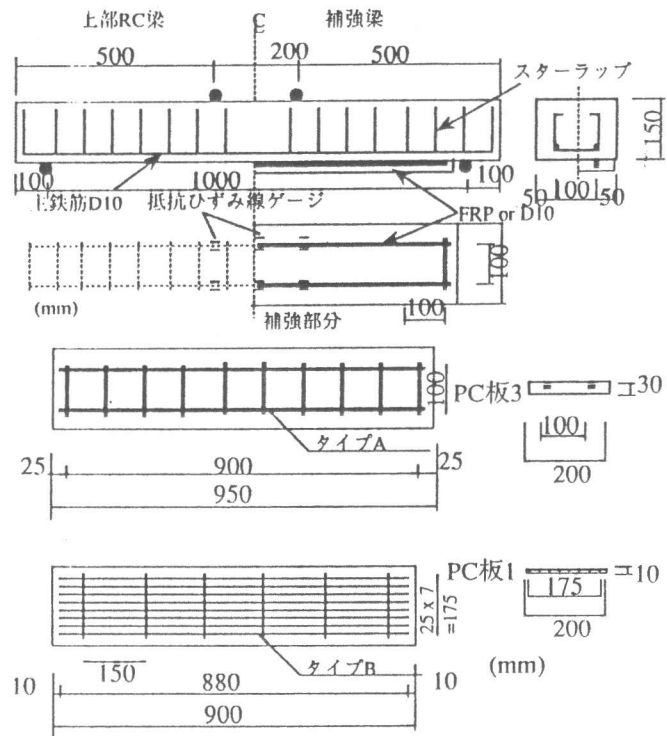


図-1 補強梁形状寸法

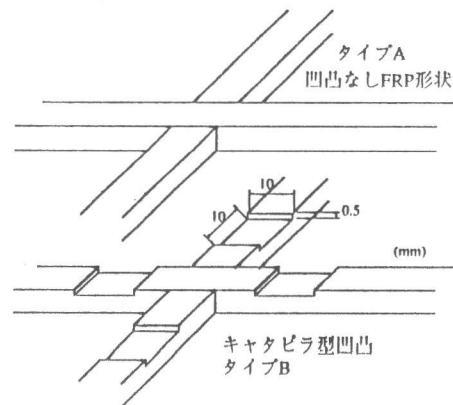


図-2 補強体断面比較

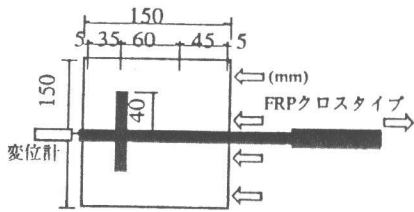


図-3 片引き試験状況

補強材	付着応力 $\text{kgf/cm}^2$
D10	28
FRP(A)	20
FRP(B)	51

表-3 降伏荷重比較

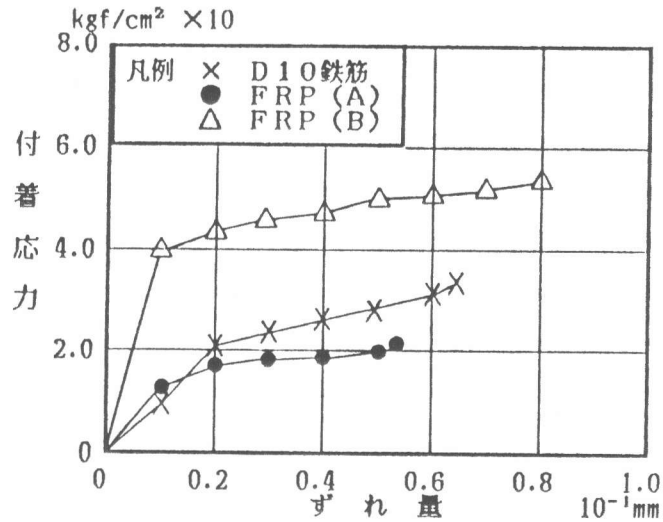


図-4 引抜試験結果

### 5. 静的試験結果と考察

静的曲げ試験の結果を表に示したものが表-4である。表-4より、最大破壊荷重で比較した場合D10鉄筋(塗厚30mm)が7998 kgfでPC3cmでは81%に相当する6500 kgfであった。PC1cmと比較した場合、今回の実験ではPPモルタル厚を1/3に薄くしたにも関わらず破壊荷重はPC3cmと同等の6450 kgfであった。この事から、PC板の厚さは静的曲げ強度を大きく左右する要因ではなく、補強筋の付着力に関わっていると考えられる。

#### 5-1. 荷重～主鉄筋応力

主鉄筋の応力に関しては、初期荷重(2000 kgf以下)においてはPC3cm及びPC1cmはほぼ同様な応力変化状態が確認できるが、荷重が2000 kgfを越えるとPC3cmとPC1cmでは応力にして500  $\text{kgf/cm}^2$ 程度の差が生じる。この事から、付着力の増加が主鉄筋応力低減に及ぼす

表-4 静的曲げ試験結果

補強方法	最大破壊荷重(kgf)	破壊形状
無補強	3999	曲げ
D10鉄筋	7998	曲げ剝離
PC 3cm	6500	曲げ剝離
PC 1cm	6450	曲げ剝離

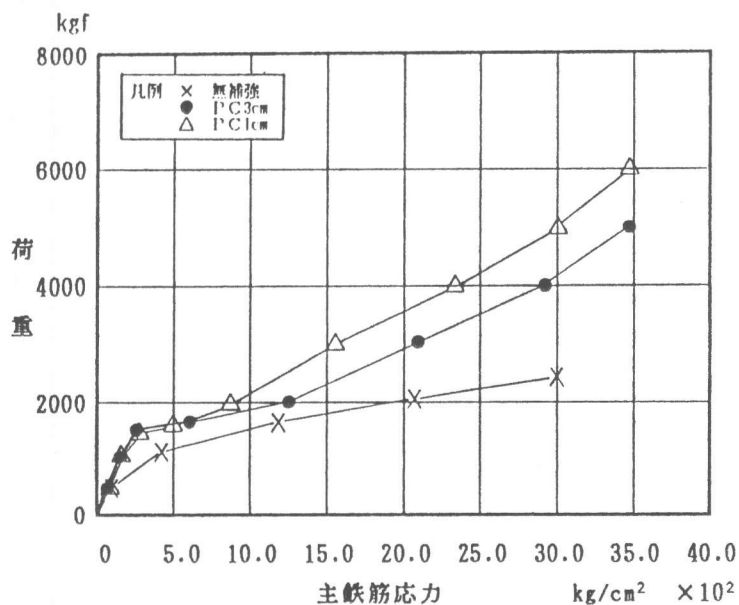


図-5 荷重～主鉄筋応力

影響は大きい事が分かる。

### 5-2. 荷重～たわみ量

図-6は荷重～たわみ量の関係を表したグラフである。たわみ量に関しても無補強供試体の最大荷重である3000 kgf 載荷時の値と比較してみると、補強供試体は無補強供試体に比べて1/2以下に低減された。また、PC 1cmとPC 3cmでは同等のたわみ量で補強効果は十分期待できる。

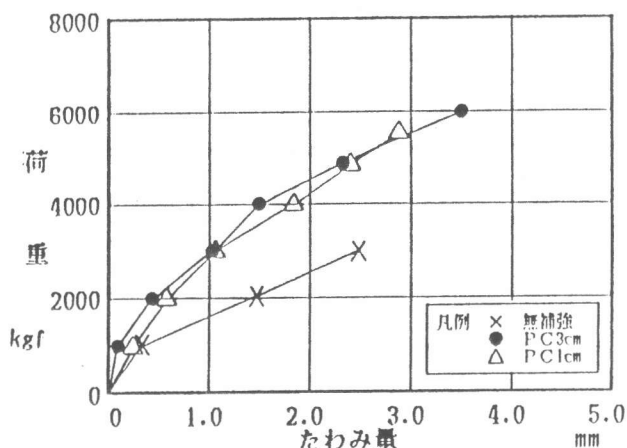


図-6 荷重～たわみ量

### 5-3. 荷重～最大ひびわれ幅

図-7の荷重～最大ひびわれ幅グラフでは、PC 1cmによって補強した梁は無補強の半分以下でPC 3cmのひびわれ幅より小さく抑えられている。PC どうしを比較してみても、PC 3cmでは荷重 2t を越えると付着力の低下からFRP にずれが生じひびわれ幅が急激に増加する。この結果がPC 1cmとPC 3cmの違いとなって現れている。

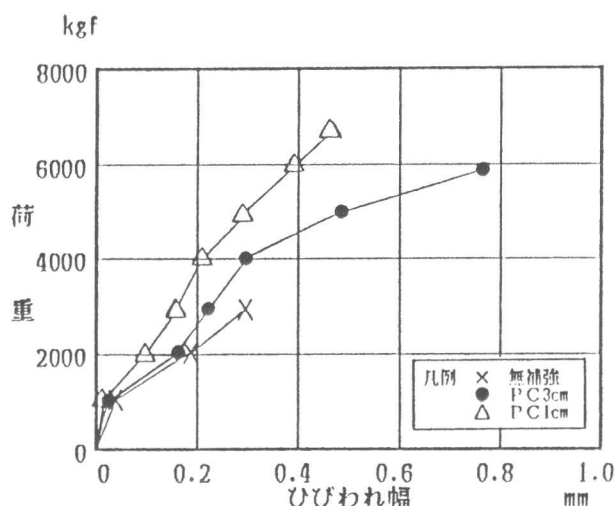


図-7 荷重～最大ひびわれ幅

## 6. 曲げ疲労試験結果と考察

曲げ疲労試験の結果を表したものが表-5である。本試験は上限荷重 2.5tf (無補強梁の主鉄筋降伏応力の75%) 及び 3.7 tf (無補強梁の破壊強度の95%) を繰り返し載荷した場合の破壊回数を表したものである。疲労試験の結果は静的試験結果と多少異なっており、必ずしも静的破壊強度が大きいもの(D10鉄筋)が疲労寿命が長いとは限らない。この事は、上限荷重 3.7tf 荷重の繰り返し回数を比較しても分かるように、静的曲げ試験で最大破壊荷重が低かったPC 1cmが最も長くD10鉄筋の6倍、PC 3cmの1.6倍の約 35万回であった。さらに、上限荷重 2.5tf の場合においては D10鉄筋、PC 3cm及びPC 1cmともに 200万回を上回っており、各補強とも通常の交通荷重程度では十分効果が期待できる。

表-5 疲労試験結果一覧表

補強方法	上限荷重(tf)	繰返し回数	破壊形状
無補強	2.5	21320	曲げ
D10 鉄筋	2.5	2000000	—
	3.7	51000	曲げ剝離
PC 3cm	2.5	2000000	—
	3.7	226090	曲げ剝離
PC 1cm	2.5	2000000	—
	3.7	345000	曲げ剝離

### 6-1. 主鉄筋応力～繰り返し回数

図-8より、上限荷重 2.5tf で比較した場合の主鉄筋の応力は無補強(3000kgf/cm<sup>2</sup>程度)に比べてPCで補強したものは1cm,3cm共に1/3程度に低減されている。3.7tf 載荷時でもPC補強はPPモルタルの厚さを1cmに薄くしても無補強の75%にまで応力を低減している。さらに、繰り返し回数が増加しても応力に大きな変化(急激な増加減少)はなく、長期間にわたって効果が持続する事が確認された。

### 6-2. たわみ量～繰り返し回数

図-9のグラフからたわみ量に関しては上限荷重 2.5tf で比較した場合無補強供試体のたわみ量(2mm)の1/2以下(1.0mm以下)に補強供試体は低減されている(PC1cm, PC3cm共ほぼ同等)。また、上限荷重 3.7tf でも荷重は無補強供試体の破壊荷重にまで増加しているにも関わらずたわみ量は 2mm 程度に抑えられている。また、PC1cm補強では繰り返し回数が増加してもたわみ量が增大する事がなく効果の持続が確認された。

### 6-3. ひびわれ幅～繰り返し回数

図-10における上限荷重 2.5tf で比較した場合、補強PPモルタル厚さに関わらず無補強供試体ひびわれ幅(0.4~0.5mm)の20%~25%に減少している。上限荷重 3.7tf ではPC1cmにおける効果はさらに顕著で、補強材形状の改良によって無補強供試体の40%以下、PC3cmと比較しても60%程度に抑制されている。今回の実験で最も補強効果が顕著に現れたのがPC1cmで補強した場合のひびわれ

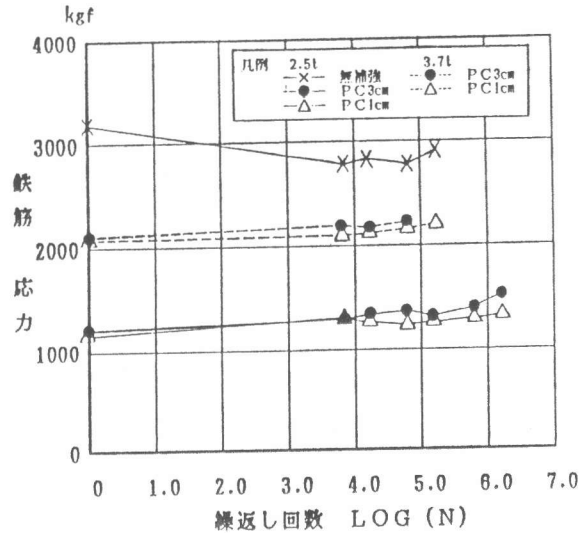


図-8 主鉄筋応力～繰り返し回数

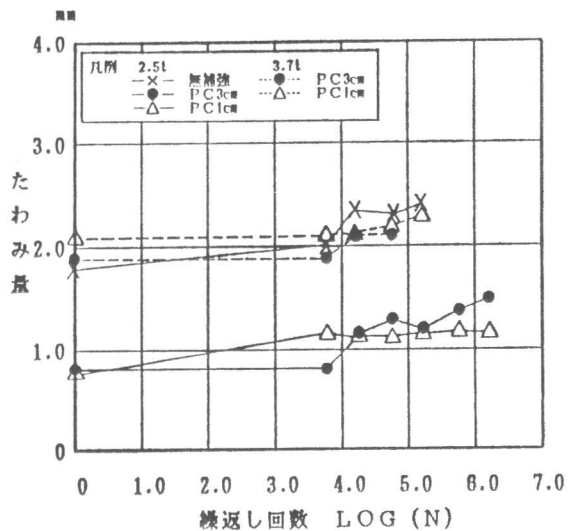


図-9 たわみ量～繰り返し回数

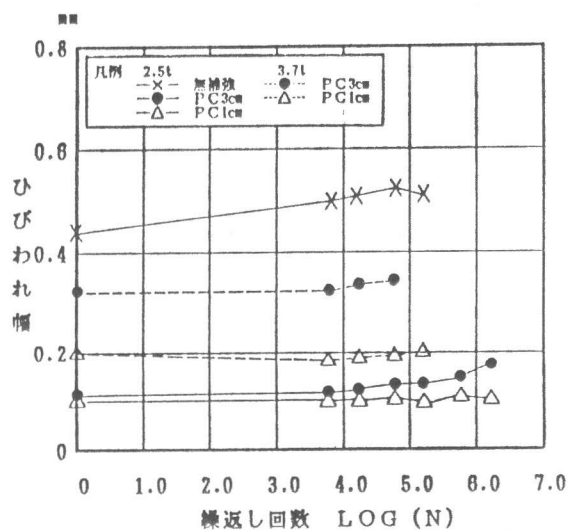


図-10 ひびわれ幅～繰り返し回数

れ幅に対してで、上限荷重が 3.7tf でも最大ひびわれ幅は 0.2mm 以下に抑える事が出来た。理由としては、無補強及びPC3cm補強においては特定のクラックだけに応力が集中しひびわれ幅が増大しているが、PC1cm補強は補強体全体に応力が分散したため、ひびわれも分散してひびわれ幅が小さくなったと考えられる。

#### 6-4. 繰り返し荷重が静的曲げ強度に与える影響

PC1cm及びPC3cmについては疲労試験（上限荷重 2.5tf で 200 万回繰り返し荷重）終了供試体について、静的曲げ試験を行った。結果は最大破壊荷重 6.3tf (PC1cm) , 5.9tf (PC3cm) で疲労をかけていない供試体の静的曲げ試験の結果 6.45tf (PC1cm) , 6.50tf (PC3cm) に関しては多少の低下はあるが) とほぼ同等の値が得られた。この事から今回のPC1cm及びPC3cmによる補強では、上限荷重 2.5tf (無補強梁主鉄筋降伏応力の 75% 程度) では疲労の影響をほとんど受けない事が確認された。

#### 7. まとめ

引抜き試験、静的曲げ試験及び曲げ疲労試験の結果から、CFRPを補強材としたプレキャストをRC梁の下面に接着する補強方法は、D10鉄筋を配置した場合の強度と静的曲げ強度で同等、曲げ疲労回数ではD10鉄筋の値を大きく上回っており今後の補強に役立つものとする。

また、今回の実験でPC板を 1cmに薄くする為にCFRPの形状を変えた事で以前のCFRPによる 3cm のPC板と同等もしくは高い補強効果が得られた。この結果から、補強効果に及ぼす影響はPPモルタルの厚さよりPPモルタルと補強材 (CFRP) との付着力のほうが重要である事と、PC板は下面に配して補強する場合は梁の挙動にある程度追随する薄いものの方が厚く剛性の高いものより疲労寿命が延びる事が分かった。

以上より、CFRPを補強材料としたプレキャスト板による劣化コンクリートの補強効果は十分確認されたものとする。

- [1] 佐藤貢一・大木浩靖・小玉克巳：特殊ポリマーモルタルを使用したRC梁の補強工法，土木学会第44年次学術講演概要集，1989.10
- [2] 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
- [3] 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梁の疲労性状，土木学会第45回年次学術講演概要集 V-229, PP.624, 1990.10
- [4] 大木浩靖・佐藤貢一・小玉克巳：FRPとポリマーモルタルによるPC板を用いた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.13, NO.2, PP.883~886, 1991.6
- [5] 佐藤貢一・小玉克巳：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