

報告

[1141] 繊維強化熱可塑プラスチックで補強したコンクリート部材の曲げ特性

正会員 橋田敏之 (熊谷組技術研究所)
 正会員 池田 弘 (熊谷組技術研究所)
 正会員○本田 勉 (熊谷組技術研究所)
 正会員 林田則光 (熊谷組技術研究所)

1. まえがき

繊維強化プラスチック (FRP) の軽量・高強度でかつ耐久性に優れた特徴を活かし、鉄筋やPC鋼材に代わるコンクリート補強材として適用するための研究が活発に行われている^{1)~5)}。筆者らは熱可塑樹脂を用いた繊維強化プラスチック (FRTP) が、FRPの特徴に加えて、加熱することにより現場でも曲げ加工できること、またコンクリートとの付着性向上のための表面処理が容易なこと、さらには樹脂の選定によってより耐久性の優れた補強材が得られる可能性のあることに着目し、ロッド状のFRTPによる鉄筋代替材の開発を進めている。

本報告では、これまでに実施したFRTPの基本的特性の試験結果と、これを鉄筋代替材として用いたコンクリート供試体の曲げ載荷試験について述べる。

2. FRTPの構成

試験に供したFRTPは、熱可塑性樹脂としてPPS (ポリフェニレンサルファイド) を使用し、また強化繊維にはガラス繊維または炭素繊維を用いた。

FRTPは図1に示す断面構成となっており、繊維強化熱可塑樹脂によるコア部分を、コアと同一の樹脂によってコーティングし、さらにコーティング層の表面に砥粒を固着させたものである。

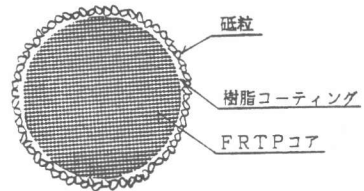


図1 FRTP断面 (模式図)

砥粒はFRTPの表面を粗面としてコンクリートとの付着を確保するための手段であって、付着応力がFRTPコアの全面に均等に伝達される点において巻き線などによる異形加工ロッドに比して優れているものと考えられる。

コーティング層は、FRTPコアを保護する耐久性被覆となると同時に、砥粒を固着するための接着層ともなっている。樹脂の熱可塑性を利用することにより砥粒は溶融したコーティング層内に埋め込むことができ、またコーティング層とコアとも溶融一体化するので、砥粒からコアへの付着応力の伝達を確実に行うことができるのが特徴である。

表1に使用材料の基本的特性を示す。

表1 使用材料の基本的物性

材料	特性	引張強度 (kgf/mm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)	伸び率 (%)
ガラス繊維		250	7.4×10 ⁵	3.5
炭素繊維		370	2.4×10 ⁶	1.5
PPS		6.7	3.9×10 ⁴	1.6

3. FRTPの基本的特性

3.1 引張強度

コアの外径が6.3mmのFRTPの引張強度を表2に示す。引張強度はガラス繊維強化のロッド(GFRTP)で鉄筋の約2倍、炭素繊維強化ロッド(CFRTP)で約3倍の強度を有している。

表2 FRTPの引張強度

種類	特性	Vf (%)	引張強度 (kgf/mm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)	伸び率 (%)
GFRTP		61	116	4.29×10 ⁵	2.7
CFRTP		55	188	1.27×10 ⁶	1.5

応力とひずみの関係は、図2に示すようにロッドの破断までほぼ弾性を保ち、また最終伸び率も小さくなっている。これらは鉄筋とは大きく異なるが、FRPとは共通した特徴である。また繊維の混入率(Vf:体積%)を変えることにより、ある程度引張強度の選択が可能である。

3.2 付着強度

コンクリート供試体に鉛直に埋込んだロッドを引き抜くことにより、付着強度を求めた。試験方法はJIS原案⁶⁾に準じたが、ロッドが6.3mmと細径であることを考慮し、供試体の一辺の長さは15cm、また付着長は10Dを基本とした。ただし異形鉄筋の径10mmについては6Dとした。

試験供試体はPPSのコーティング層に砥粒を固着した場合を基本として、砥粒をつけない場合(FRTPコア)、砥粒をコアにエポキシ樹脂で接着した場合、および異形鉄筋を用いた場合と比較した。ここで異形鉄筋はFRTPφ6.3mmと表面積がほぼ同じものとしてD6また引張強度がほぼ同等のものとしD10を選んだ。なお砥粒にはモランダム#36を使用した。

表3に試験ケースと試験結果を示す。

砥粒をつけない場合の付着応力

度は極めて小さく、砥粒をつけた効果は明瞭である。ただし砥粒の接着方法によって付着応力度には大きな差が見られる。エポキシ樹脂で接着したものの中では、硬質のエポキシを用いた方が軟質エポキシより優れた結果を得ている。しかし、硬質エポキシとPPS固着とを比較すると、PPS固着が大幅に優れている。これはコーティング層がコアと同じPPSであるために砥粒とコアが一体化している結果と考えられる。これに対してエポキシ接着したものは、コアとエポキシとの界面が弱点となると考えられ、引抜き試験でもFRTPコアがむき出しとなって抜け出てくる。

PPS固着はさらに異形鉄筋と比較した場合でも、最大付着応力度では同程度となっているが、0.002D付着応力度では明らかな優位性を持っている。これは図3にさらに明確に示されており、異形鉄筋は微小な拔出しとともに異形による付着効果が現れるのに対し、PPS固着では微量の拔出しに

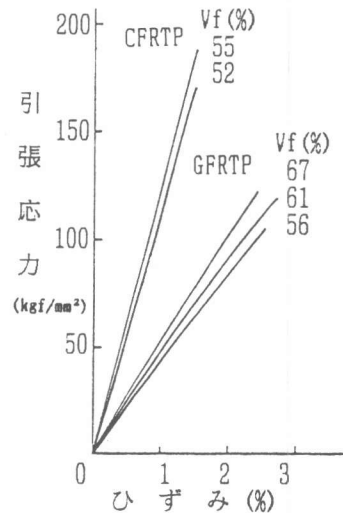


図2 応力とひずみの関係

表3 付着試験結果 (単位:kgf/cm²)

CASE	記号	表面処理方法 (砥粒の接着方法)	0.002D 付着応力度	最大 付着応力度
1	N	砥粒なし	26.5	28.7
2	ES	軟質エポキシで接着	28.7	48.1
3	EH	硬質エポキシで接着	35.6	82.0
4	PS	PPS被覆に固着	105.3	146.1
5	D6	異形鉄筋D6	59.1	100.7
6	D10	異形鉄筋D10	66.2	140.3

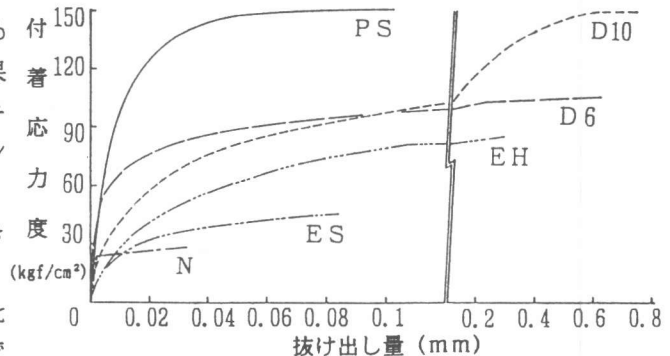


図3 付着応力度と拔出し量の関係

も抵抗しており、コンクリートとの一体性が強いことを示している。

なお使用したコンクリートの配合と試験時（材令28日）の強度を表4に示す。

表4 コンクリートの配合と特性

W/C (%)	Gmax (mm)	スランプ (cm)	Air (%)	単位量 (kg/m ³)				AE剤 (ℓ/m ³)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	割裂強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)
				W	C	S	G				
60	15	10±2	4±1	190	315	770	1125	1.9	296	27.3	2.53×10 ⁵

4. コンクリート部材の曲げ載荷試験

4.1 試験方法

試験要因としたパラメーターは、

- (1) 主筋の種類；GF RTP φ6.3mm、CF RTP φ6.3mm、異形鉄筋D6、D10の4水準
 - (2) 主筋の表面処理方法；砥粒なし、硬質エポキシ接着、PPS固着、異形鉄筋の4水準
 - (3) スターラップの種類；丸鋼φ6mm、GF RTP φ6.3mm、CF RTP φ6.3mmの3水準
- であり、計8ケースの供試体を作成した（表5）。コンクリートは表4と同じ配合を使用した。

供試体の寸法は長さ120cm、高さ15cm、幅10cmとし、補強筋は図4のように配置した。

曲げスパンは80cmであり、荷重は図4に示すように、スパン中央に2点載荷とした。

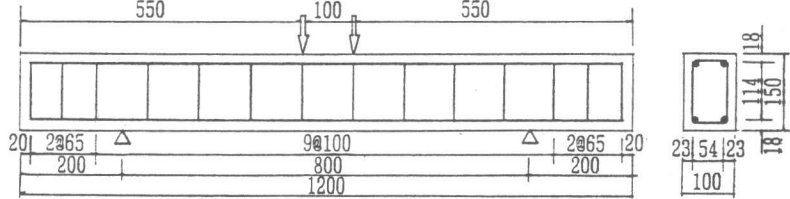


図4 供試体の寸法と配筋

4.2 試験結果

曲げひびわれモー

メントMcr、および終局モーメントMuの試験結果を理論値と比較して表5に示す。Mcrの理論値コンクリートの曲げ強度を $f_{bd}=0.9f'_{ck}{}^{2/3}=40\text{kgf/cm}^2$ として求めた。またMuは平面保持仮定に基づき、コンクリー

表5 曲げ載荷試験結果 (単位:kgcm)

ト上縁ひずみが0.35%となるつりあい状態を等価応力ブロックにより求めた。ただし補強筋とコンクリートとは完全付着としている。

補強筋ひずみはこれらの計算でも破断伸び以下となっており、試

記号	主筋	表面処理方法	スターラップ	Mcr	理論値比	Mu	理論値比
D6	D6	異形鉄筋	φ6	15230	0.91	41100	1.60
D10	D10	"	"	17500	0.92	72300	1.19
GN	GF RTP	砥粒なし	"	9100	0.59	45000	0.74
GE	"	硬質エポキシ	"	10150	0.66	68800	1.13
GP	"	PPS固着	"	13300	0.87	70400	1.15
GG	"	"	GF RTP	13480	0.88	65300	1.07
CP	CF RTP	"	φ6	14000	0.87	102400	1.00
CC	"	"	CF RTP	14530	0.90	96300	0.94

験結果においても破壊モードはいずれもコンクリート上縁側の圧壊によるものであった。

曲げひびわれモーメントは、異形鉄筋およびPPS固着の場合には理論値にほぼ対応するが、砥粒のない場合と硬質エポキシ接着の場合には付着強度の低さに対応して理論値より小さくなっていると考えられる。

終局モーメントにおいても理論値は、ロッドとの付着切れが確認された砥粒なしの場合を除けば、ほぼ試験値と一致している。また誤差も安全側となっており、FRTPに対しても上述の計算方法が適用できると言える。

図5では各供試体のひびわれの発生状況を比較した。

付着の強いPPS固着筋を使用した供試体ではひびわれがよく分散されていることがわかる。

図6には載荷重とスパン中央のたわみ量の関係を示した。(a)からPPS固着のひびわれ後のたわみは、エポキシ接着の場合とほぼ同等であり、強力な付着によってひびわれを細かく分散させ、たわみを抑制させるまでには到らなかった。しかし、付着の弱い砥粒なしの場合とは明確な差がある。

(b)の主筋の比較から、ひびわれ発生後の変形は主筋の剛性に大きく影響されており、GF、CF、鉄筋の順に変形は大きくなっている。しかしGF RTP $\phi 6.3\text{mm}$ の終局荷重はD10と同等であってD6よりは大きく、すなわちコンクリート部材としての耐荷力は補強筋の強度に対応することがわかる。

またスターラップにFRTPを用いた場合の変形、ひびわれ状況、終局強度ともに丸鋼を用いた場合とほぼ同等である。

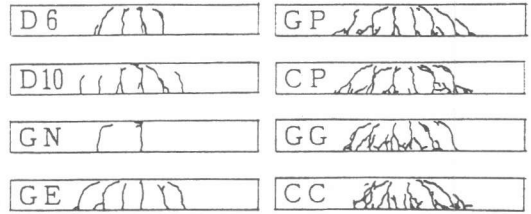


図5 ひびわれ状況の比較

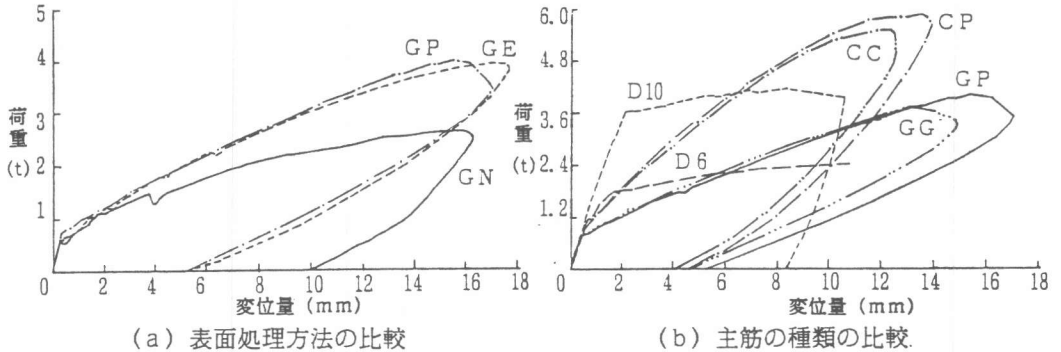


図6 載荷重とスパン中央たわみ量との関係

5. まとめ

FRTPを補強筋として用いたコンクリート部材の曲げ挙動は、本報告で用いた計算方法による推定値と比較的良好な対応を示しており、FRTPの補強筋としての適用が十分可能と判断される。ひびわれ発生後の変形が大きくなる点は、大きな繰返し荷重に対する安全性の面で問題が残されるが、耐久性の観点からは本来FRTPが耐久性に優れているので必ずしも問題にならないと期待される。また変形の制御が必要な場合にはプレストレスの導入なども考えられる。

今後はFRTPの基本的特性のうち、曲げ加工性、クリープ・疲労などの長期荷重に対する安定性、さらに耐アルカリなどの耐薬品性の検討、およびコンクリート部材としての繰返し荷重に対する安全性、またせん断補強筋として用いた場合のせん断特性などが残された課題であり、さらに研究を進める予定である。

【参考文献】

- 1) 寺田ら：FRPをせん断補強に用いたRCはりの破壊性状について、第10回 JCI年講
- 2) 辻ら：FRPで補強したはりの曲げおよびせん断性状、第10回 JCI年講
- 3) 岡本ら：アラミ繊維による組紐状棒材の基本的特性、第10回 JCI年講
- 4) 福島ら：炭素及びアラミ長繊維強化プラスチック異形筋補強コンクリートの力学的性状に関する実験研究、第10回 JCI
- 5) 関島ら：格子状 FRP緊張材を用いたプレレスト コンクリートの開発研究、第10回 JCI
- 6) JIS原案：引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着試験方法 (案) 1985