

報 告

[2144] 螺旋糸巻状FRPロッドの付着特性とコンクリート梁の曲げ性状

辻 誠一 (奥村組技術研究所)

正会員○白石文雄 (奥村組技術研究所)

浜田 元 (奥村組技術研究所)

1. まえがき

連続繊維補強コンクリートに関する研究が進み、繊維材料を樹脂で集束 (FRPロッド) したコンクリート補強用の新素材 (新補強材) の構造材料としての適用性も明らかになりつつある。しかし新補強材は繊維と樹脂の複合材料であるために、同一の繊維材料でも樹脂の種類により、また製造方法により、その物性は大きく異なっている。また、新素材は鉄筋と比較するとヤング係数が小さい、付着特性が鉄筋と異なる、耐久性の評価がなされていない、など、コンクリート補強材として用いるには検討すべき課題も多く残されており、研究の余地も多い。ここでは、繊維束をビニルエステル樹脂で集束し、コンクリートとの付着性をもたせるために螺旋状に糸を巻きつけたFRPロッド (本報告でいう新補強材はこの螺旋糸巻き状FRPロッドを指す) について、強度特性、付着特性、コンクリート梁の曲げ補強特性、熱劣化特性について実験を行ったので、その結果の概要について報告する。

表-1 繊維材料および新補強材の物性

2. 材料の物性

繊維材料およびこれまでに判明している新補強材の物性を、表-1に示す。繊維材料は、炭素繊維、アラミド繊維、ガラス繊維の3種であり、新補強材は繊維束をビニルエステル樹脂で収束し同じ種類の繊維 (径1.2mmの繊維束) を螺旋状に巻きつけ、樹脂で固めたものである。

項 目		炭素繊維	アラミド (ケラー) 繊維	ガラス (Eガラス) 繊維
繊維の 物性	引張強度 (kgf/mm ²)	350	300	350
	弾性係数 (kgf/mm ²)	23500	13400	7400
補強筋 の物性	繊維含有率 V_f (%)	47	43	57
	単位体積重量 (g/cm ³)	1.43	1.29	1.92
	引張強度 (kgf/mm ²)	110	135	90
	弾性係数 (kgf/mm ²)	11000	5900	4500

3. コンクリートとの付着特性

螺旋糸巻き新補強材は、図-1に示すように、最大付着強度は鉄筋とほぼ同等であるが初期すべりが鉄筋より大きい傾向にある。

また、試験後の観察では、鉄筋は抜け出しがコンクリートのせん断破壊により生じているのに対し、新補強材の場合は巻き糸が母材ロッドからはく離することにより生じている。

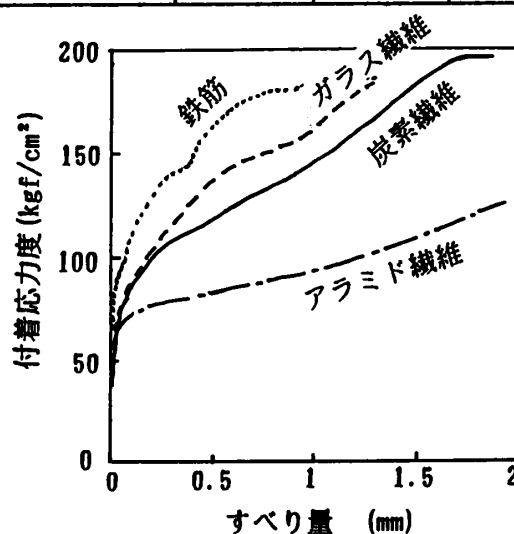


図-1 新補強材の付着試験結果

4. 新補強材によるコンクリート梁の曲げ補強実験
螺旋糸巻き型新補強材の曲げ補強効果を確認するために、単純梁の曲げ試験を行った。

4. 1 試験体の形状

梁試験体は、幅12cm、高さ23cmの長方形断面で長さは160cm（曲げスパン140cm）とした。コンクリート強度は約500kgf/cm²であり、曲げ補強筋は炭素繊維、ガラス繊維、アラミド繊維の新補強材および異形鉄筋を用いた。

4. 2 載荷方法

載荷方法および測定項目を図-2に示す。

4. 3 実験結果

(1) 荷重～たわみ

荷重と梁中央のたわみの関係を図-3に示す。各試験体とも、荷重 1,200～1,400kgfでひびわれが発生し、その後は補強筋の剛性に依拠してほぼ直線的に増加している。

荷重～たわみ曲線を補強筋の種類で比較すると、新素材では繰返し載荷の除荷時の残留たわみが大きい傾向にある。これは、補強筋の弾性係数が小さいためにたわみが大きくなったためと考えられる。

また、荷重が大となるにしたがって実測たわみが計算値と比較して大となる傾向にある。

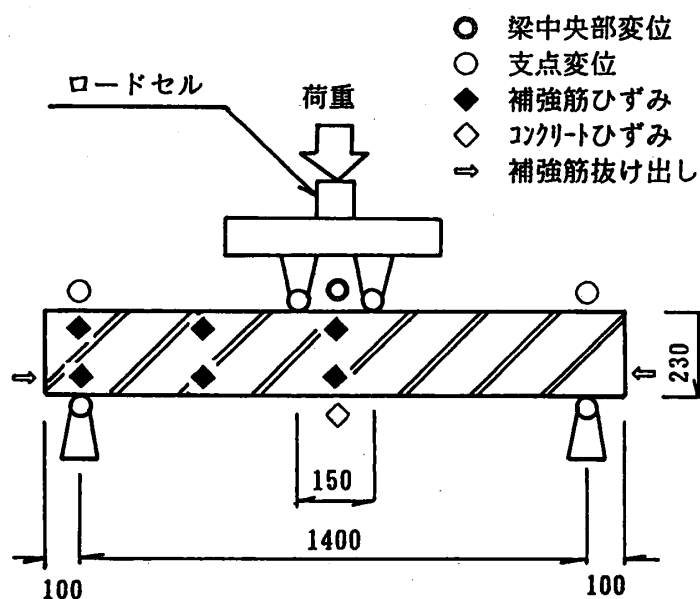


図-2 載荷項目および測定項目

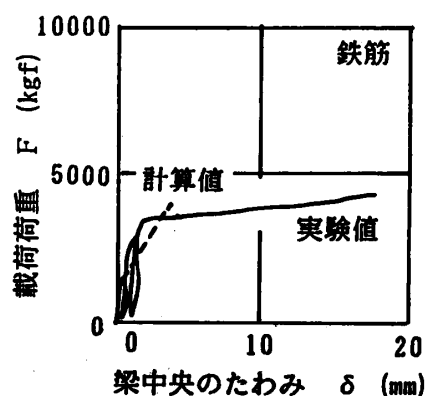
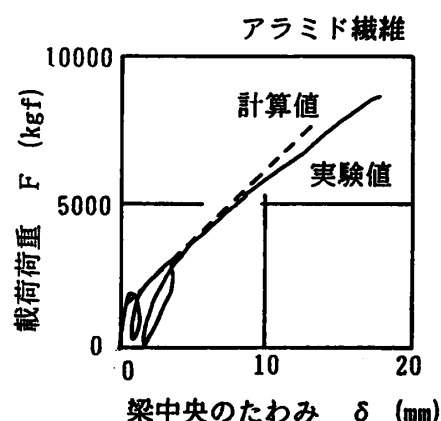
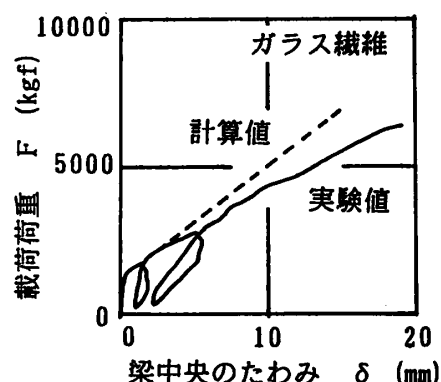
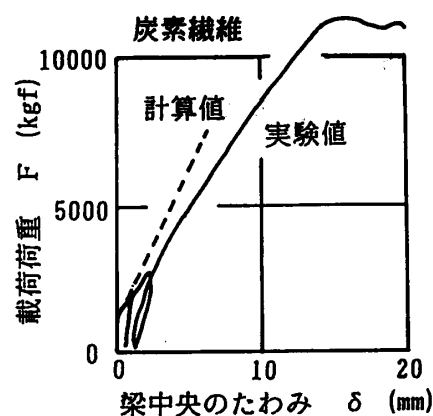


図-3 荷重と梁中央のたわみ

新補強材を補強筋として用いた梁の荷重～たわみ曲線の特徴をあげると、鉄筋と比較して2～3倍の破壊耐力をもつこと、補強筋の降伏による曲げ降伏がないこと、補強筋の弾性係数が小さい（特にガラス繊維、アラミド繊維）ので変形が大きいことがあげられる。

（２）曲げ破壊耐力

破壊曲げモーメントの実験値（ M_{cr} ）と計算値（ M_{cro} ）の比較を表－２に示す。補強筋として鉄筋を用いた試験体は、 $M_{cr}/M_{cro} = 1.13$ であるのに対し、新補強材を用いた試験体は、 $M_{cr}/M_{cro} = 0.78 \sim 0.95$ であり、新補強材の場合には曲げ耐力は計算値よりもやや小さくなる傾向にあるが、既存の鉄筋コンクリート梁の評価方法が、新補強材を用いたコンクリート部材にも適用可能と考えられる。また、いずれのケースも端部の抜け出しはまったくなく、単純梁の場合には、端部の定着は曲げ加工などの処置なしでも補強筋の付着だけで十分に取れると考えられる。

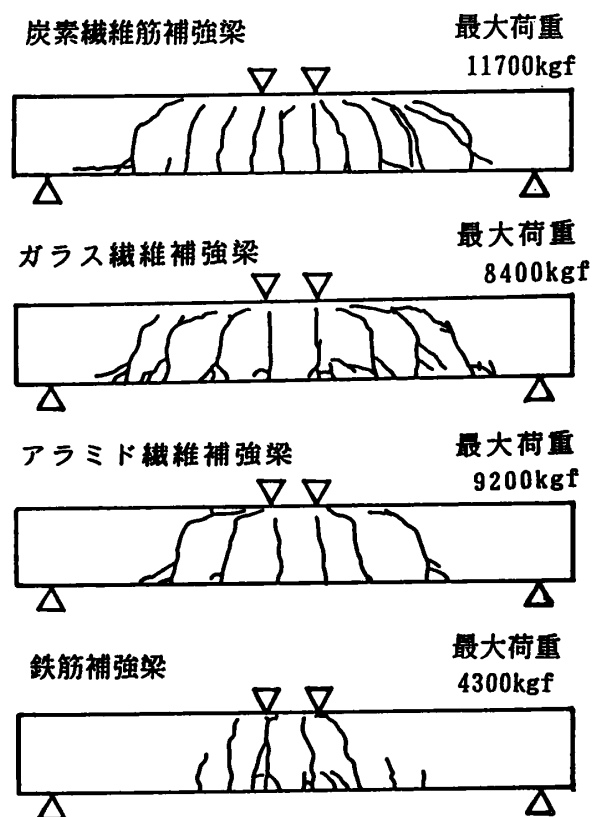
表－２ 破壊曲げモーメントの計算値と実験値

補強筋の種別	破壊曲げモーメント		M_{cr}/M_{cro}	破壊形式
	実験値（鉄筋との比） M_{cr} (kgf-cm)	計算値 M_{cro} (kgf-cm)		
炭素繊維	366000 (2.71)	386000	0.95	曲げ圧縮破壊
ガラス繊維	263000 (1.95)	299000	0.88	曲げ圧縮破壊
アラミド繊維	288000 (2.13)	368000	0.78	曲げ圧縮破壊
鉄筋	135000 (1.00)	119000	1.13	曲げ破壊

（３）ひび割れ形状

試験体のひび割れ状況を図－４に示す。補強筋として鉄筋を用いた試験体は、鉄筋の降伏による曲げ破壊をしており、新補強材を用いた試験体は、補強筋の引張強度が鉄筋の引張り強度の2.0～2.5倍あるために圧縮縁コンクリートが圧壊する曲げ圧縮破壊となった。

ひび割れの形状を見ると、新補強材で補強した梁は鉄筋コンクリート梁に比べて、ひび割れが広範囲に入っている。これは、新補強材を用いた梁では、鉄筋コンクリート梁に比べ、破壊曲げモーメントが大きいために、ひび割れモーメント以上のモーメントが生じる範囲が広がっているためと考えられる。また、新補強材で補強した梁は破壊荷重が大きいために、一部ではせん断ひび割れや付着割裂ひび割れも発生しているが、鉄筋コンクリート梁では曲げひび割れだけが発生している。



図－４ ひび割れ形状

5. 熱劣化特性

新補強材は、繊維を樹脂で固めており樹脂部分の熱劣化による影響を把握しておく必要がある。そこで、新補強材自身の熱劣化試験およびコンクリートとの付着の熱劣化試験を行った。また、参考のためにコンクリート強度の熱劣化試験も、あわせて行った。

5.1 新補強材強度の熱劣化特性

新補強材を図-5の熱サイクルパターン(3サイクル)で加熱したあとに常温で引張強度試験を行った。試験結果を表-3に示す。アラミド繊維筋では引張強度がやや低下する傾向が見られ 200℃加熱後では、加熱前の約75%となったが、炭素繊維筋、ガラス繊維筋では 200℃加熱後も、強度低下はまったくなかった。

また、加熱後のヤング係数(クリップゲージ測定)は各補強筋とも低下しているものはなく、逆にやや増加する傾向が見られた。

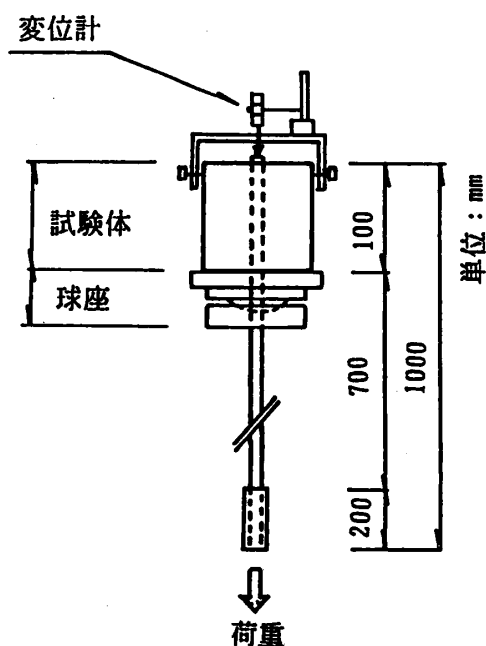


図-7 引抜き付着試験方法

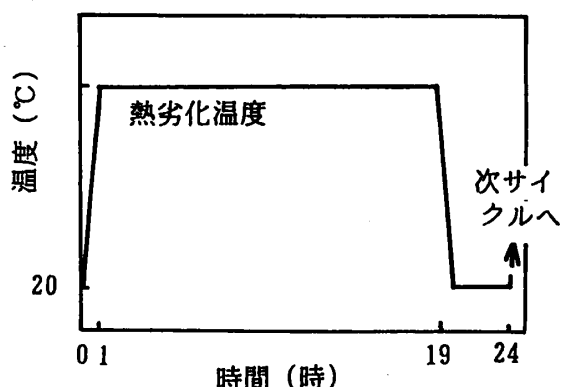


図-5 加熱サイクルパターン

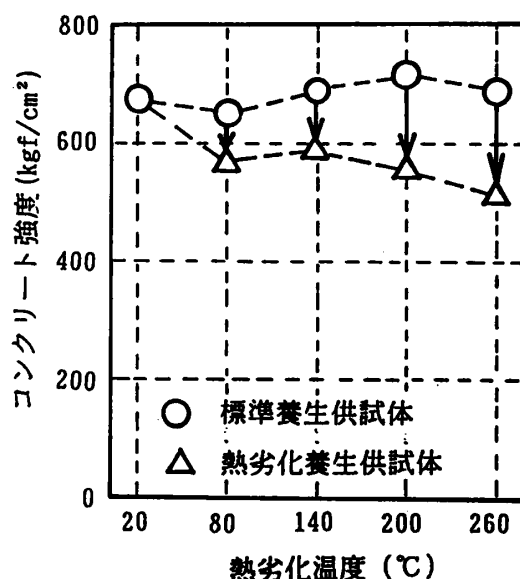


図-6 コンクリート強度の加熱劣化

表-3 補強筋の熱劣化強度試験結果

項 目	繊維の種別	常温 試験体	熱劣化試験体	
			140℃	200℃
引張強度 (kgf/mm²)	炭素繊維	110	109	116
	ガラス繊維	97	96	96
	アラミド繊維	131	119	98
弾性係数 (kgf/mm²)	炭素繊維	10900	11600	13200
	ガラス繊維	4500	4700	4900
	アラミド繊維	6200	6700	7200

5.2 コンクリート強度の熱劣化

コンクリートは、圧縮強度約 680kgf/cm^2 のものをを用いた、加熱劣化後の強度試験結果を図-6に示す。加熱後のコンクリート強度は、標準養生供試体強度の74~92%であり、加熱温度が高くなるほど強度低下が大きくなっている。

5.3 付着強度の熱劣化

引抜き付着試験の方法を図-7に示す。補強筋の付着長は、新補強材では10cm、鉄筋では5cmとした。熱サイクルのパターンは前述の図-5のとおりである。

すべり量 0.1mm のときの付着強度と熱劣化温度の関係を図-8に示す。

熱劣化温度 80°C までは付着強度の劣化は小さいが、さらに高温になるにしたがって付着強度が低下している。付着強度の劣化は、新補強材の種類により異なり、ガラス繊維筋が熱劣化が最も小さく、 200°C 以下では付着強度は低下していない。炭素繊維アラミド繊維では、 $140 \sim 200^\circ\text{C}$ で付着強度（すべり量 0.1mm ）が低下している。

最大付着強度と熱劣化温度の関係を図-9に示す。加熱後の新補強材の最大付着強

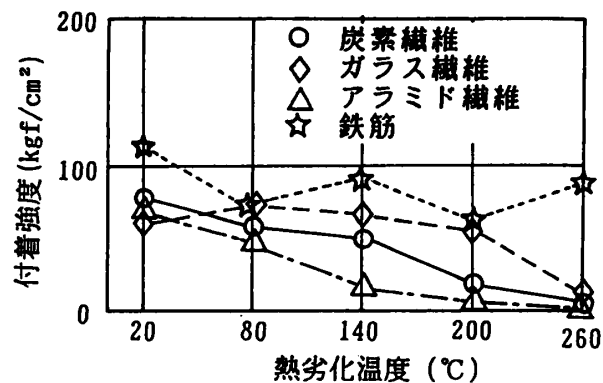


図-8 付着強度と劣化温度の関係（すべり量 0.1mm ）

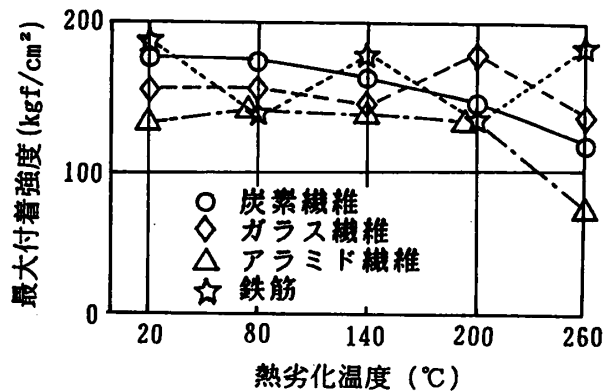


図-9 付着強度と劣化温度の関係（最大付着強度）

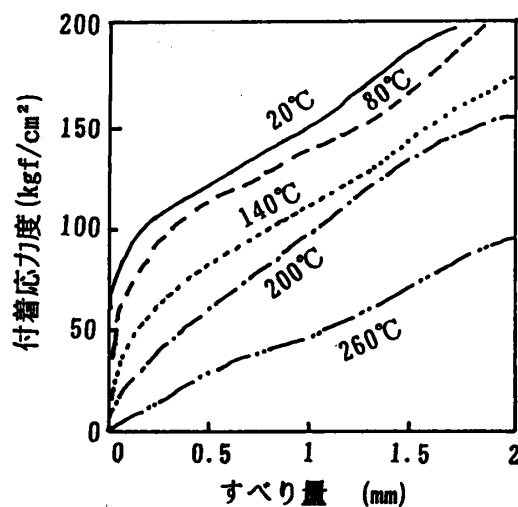


図-10(1) 引抜き付着応力～すべり量
（炭素繊維）

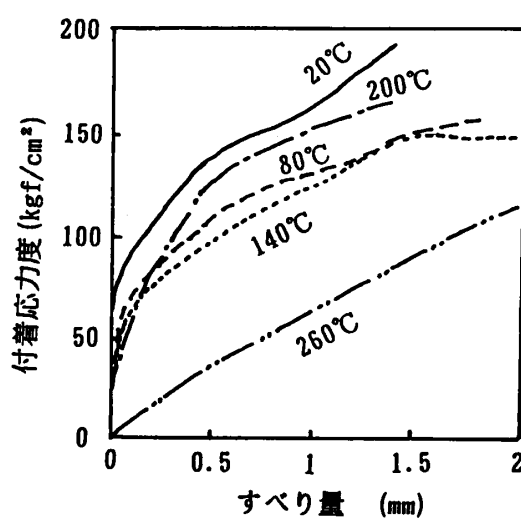


図-10(2) 引抜き付着応力～すべり量
（ガラス繊維）

度は加熱温度 200℃のまではほとんど低下していないが、260℃になると低下が認められる。

各加熱劣化試験体のすべり量～付着強度の関係をまとめて図-10(1)、図-10(2)に示す。炭素繊維では80℃までは劣化があまりないが、加熱温度が高くなると、初期すべり時の付着強度の低下が認められる。ガラス繊維では、200℃まで熱劣化が小さいことが判断できる。熱劣化に対しては、ガラス繊維、炭素繊維、アラミド繊維の順で耐久性があるといえる。

6. まとめ

螺旋糸巻状FRPロッドについて、コンクリート梁の曲げ試験、付着強度の熱劣化試験を行った。得られた結果をまとめると、次のとおりである。

〔コンクリート梁の曲げ試験〕

- ① 新補強材で補強した梁の破壊荷重は、同一補強筋比の鉄筋コンクリート梁と比べて 2.2～3.1倍であり、補強筋の強度比（2.0～2.5）に依っていると見える。
- ② 鉄筋で補強した梁は、鉄筋が降伏して曲げ破壊したが、新補強材で補強した梁は、補強筋の強度が大きいので、曲げ圧縮破壊をした。
- ③ 新補強材で補強した梁のたわみは、従来のたわみ式でほぼ近似できる。
- ④ 新補強材で補強した梁の曲げ耐力は計算値の80～90%程度とほぼ近似していた。

〔新補強材の熱劣化特性〕

- ⑤ 新補強材強度の熱劣化試験（200℃、3サイクル）の結果、アラミド繊維筋では加熱前の75%に低下したが、炭素繊維筋およびガラス繊維筋は200℃の加熱（3サイクル）後でも強度低下はまったくなかった。
- ⑥ 新補強材の付着強度の熱劣化試験では、加熱温度が高くなると初期すべり時の付着強度が低下する傾向があるが、80℃までは劣化はあまりない。
- ⑦ 3種の新補強材の中では、ガラス繊維、炭素繊維、アラミド繊維の順で付着強度の熱劣化に対する耐久性が大きい。

7. あとがき

螺旋糸巻きにより異形加工したコンクリート補強用繊維新素材（新補強材）の鉄筋代替材としての性能評価のために、コンクリート梁の曲げ試験、熱劣化試験を行った。新補強材は、今後検討すべき問題はあるものの、曲げ耐力が鉄筋の2～3倍あるように、コンクリートの補強用材料として適用可能であることが確認できた。今後は、剪断補強筋としての性能や、付着クリープ特性などの性能評価が必要と考えている。

〔謝辞〕熱劣化試験法については、建設省建築研究所無機材料研究室の棚野博之氏に、ご指導戴きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 福島敏夫、榎野紀元、柳啓：炭素及びアラミド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、コンクリート工学年次論文報告集 Vol.10、No.2、pp.683-688、1988.6.
- 2) 丸山武彦、伊東幸雄、西山啓伸：異形加工したFRPロッドの付着特性、コンクリート工学年次論文報告集 Vol.11、No.1、pp.777-782、1989.6.