

論文

[1180] 短繊維 CFRC の物性におよぼす繊維径の影響

正会員 ○坂田康二 (三井鉱山九州研究所)
 金丸 茂 (三井鉱山九州研究所)
 正会員 末永龍夫 (鹿島技術研究所)
 正会員 谷口可一 (鹿島技術研究所)

1. はじめに

近年、炭素繊維補強コンクリート (CFRC) が、土木建築の分野で積極的に利用されるようになってきた。特に、建築分野での短繊維 CFRC カーテンウォールの実用化はその最も良い例であり、CFRC の利用範囲は急速に広がってきている。しかしながら、短繊維 CFRC は、一般のコンクリートと比較すれば粘性が大きいといった性質や、コテ仕上げ性などの施工性の面で、いくつかの改善すべき点もある。一方、労働者の不足、人件費の高騰からコンクリート打ち込み作業の省力化が望まれ、施工不良の抑制および施工コストの低減の面からも、CFRC の流動性の改善が必要である。

CFRC の流動性は、炭素繊維 (CF) の径、アスペクト比、混入率、表面物性等の CF の物性と単位水量、骨材粒度等のマトリックスの調合に影響を受けることが報告されている [1][2][3][4] が、CF の繊維径が CFRC の物性におよぼす影響を論じた報告は少なく、CF 径が 18 μm 以下の領域でしか調べられていない。

以上のような観点から、CFRC の施工性の改善を目的として、従来の CF より太径 (16 ~ 30 μm) の合成高分子系 GPCF を用いて、フレッシュ CFRC の性状と強度発現性について調べた。

2. 実験の概要

2.1 使用材料

表-1 に本報で使用した材料を示す。また、表-2 に実験に供した CF の物性を示す。CF は合成高分子系、汎用 (GP) グレードの CF で繊維径が 16 ~ 30 μm までの 11 種類を用いた。CF の物性は、繊維径が大きくなるにしたがって引張強度、弾性率が少し低下する傾向がみられるものの大きな差異はない。

表-1 使用材料一覧表

材 料	種 類
セメント	早強ポルトランドセメント 低収縮セメント
骨材	粉末珪石 (平均径:20μm) シラスバルーン (粒子径:10~150μm)
混和剤	増粘剤 (メチルセルロース) 消泡剤 流動化剤 凝結調整剤
CF	合成高分子系 GPCF (φ=16~30μm, Q=3mm)

表-2 CF物性

	繊維径 μm	繊維長 mm	アスペクト 比	引張 kg/mm ²	弾性率 T/mm ²
CF-1	16	3	188	88	4.1
CF-2	18	3	167	83	3.8
CF-3	20	3	150	80	3.7
CF-4	21	3	143	82	3.8
CF-5	22	3	136	78	3.6
CF-6	23	3	130	82	4.0
CF-7	24	3	125	84	4.3
CF-8	25	3	120	84	4.0
CF-9	26	3	115	85	3.5
CF-10	28	3	107	74	3.8
CF-11	30	3	100	76	3.6

注) 繊維径、繊維長は公称値
 引張強度、弾性率は JIS R 7601 による実測値

表-3 CFRCの調合

調合	水/セメント [%]	骨材/ セメント [-]	繊維 混入率 [Vol. %]	セメントの種類	骨材の種類 [Vol. %]
M	81.2	0.838	2.0	早強セメント	粉末珪石100%
R	73.7	0.427	2.25	早強セメント	粉末珪石50%/シラスパールン50%
B	47.0	0.132	2.0	低収縮セメント	シラスパールン100%

2.2 調合

表-3に本実験の調合を示す。

M、R調合は早強セメントの調合であるが、M調合は粉末珪石のみを使用しているのに対して、R調合では容積比で50%のシラスパールンを使用した。B調合は低収縮セメントを使用した調合である混和剤については、調合別にその適量を混合した。

2.3 練り混ぜおよび養生

練り混ぜには容量10ℓのオムニミキサーを使用した。供試体は40×40×160 mmの型枠で成型後、表-4に示す条件で養生を行った。

2.4 試験方法

表-5に試験項目と試験方法を一覧する。フロー値は、フレッシュCFRCの流動性の指標として、フローコーン引き上げ後の自然変形量をF0として表し、15回の打撃後のフロー値をF15とした。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュCFRCのフロー値

本報の実験の範囲では、CFRCの練り混ぜにおけるファイバーボールの生成、材料分離等の問題はなかった。

図-1, 2にフレッシュCFRCのフロー値におよぼす繊維径の影響を示す。図-1, 2より、フロー値は繊維径に非常に大きな影響を受けることがわかる。フロー値と繊維径の関係は、F0-繊維径がS字形、F15-繊維径は緩やかなS字形を呈している。この曲線の形状に特別な意味はないが、どの調合でも18~22μm間の傾きが最も大きく、22μm付近を境にして曲線の傾きが大きく変化していることが特徴的である。

表-6に18~22μm間と22μm以上の領域での繊維径1μm当たりのフロー値の増加率の違いを示す。18~22μm間のフロー値の増加率は、22μm以上でのその約3倍となっている。

表-4 CFRCの養生方法

調合	一次養生	二次養生
M	40°C-5hrの蒸気養生	180°C-4hrオートクレーブ
R	40°C-5hrの蒸気養生	180°C-4hrオートクレーブ
B	40°C-8hrの蒸気養生	20°C-湿度60%で28日

表-5 試験方法

項目	記号	試験方法
フロー値	F0	フローコーン引き上げ後、無打撃時のフロー値
	F15	JIS R 5201 15回打撃後のフロー値
空気量	-	JIS A 1116 重量法 (骨材の比重は気乾比重を用いた)
曲げ強度	-	供試体寸法:40×40×160mm(JIS R 5201) スパン:100mm クロスヘッドスピード:0.5mm/min, 中央集中載荷

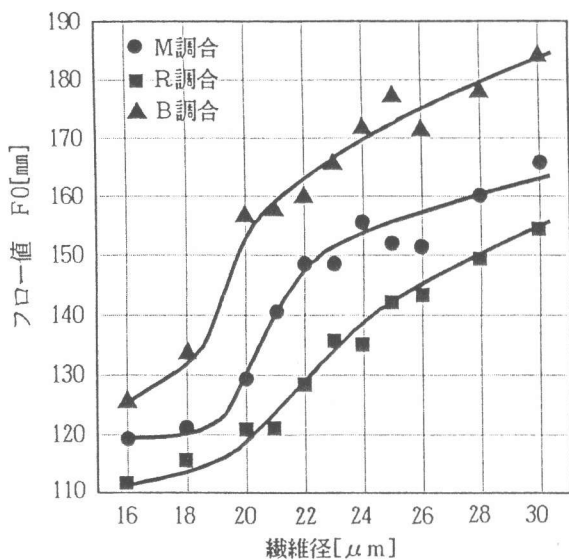


図-1 フレッシュCFRCのフロー値 (F0) とCFの繊維径の関係

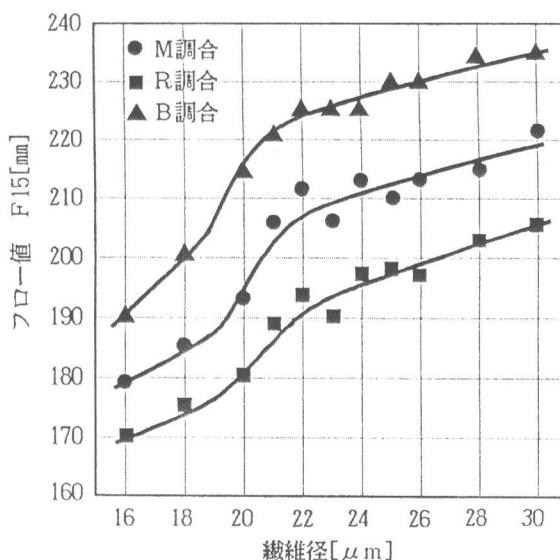


図-2 フレッシュCFRCのフロー値 (F15) とCFの繊維径の関係

また、F15よりもF0のフロー値の増加率が大きいことがわかった。

以上の結果より、CFRCの流動性はCFの太径化によって大幅に改善することができる事が判明した。具体的には、繊維径を18μm (GPCFの最大径) から22μmにすることにより、フロー値を約20mm改善することができる。

目視観察での流動性の差は、フロー値の差以上に大きく感じられた。20μm以下のCFではCFRC特有の変形のしにくさが見られるが、22μm以上のCFでは、打設時の流動性が良く打設面が滑らかであった。今後の問題として、目視観察で性状の差がフロー値の変化として表れにくいことから、CFRCのワーカビリティを評価する場合には、フロー値だけでなくスランプなども評価基準の一つとして取り入れる必要がある。

3.2 フレッシュCFRCの空気量

図-3にフレッシュCFRCの空気量と繊維径の関係を示す。繊維径が大きくなると空気量が減少する傾向が認められる。それは、以下の理由によると考えられる。

1) 図-4に示すように繊維径が大きくなるとCFの嵩密度が増大し、練り混ぜ前に持ち込む空気量が少なくなる。

表-6 フロー値に対する繊維径の影響

	フロー値の増加率 [mm/μm]			
	18~22μm		22~30μm	
	F0	F15	F0	F15
M調合	7.8	6.0	2.6	1.4
R調合	7.0	5.5	1.9	1.5
B調合	4.2	4.5	3.1	1.9
平均	6.3	5.3	2.5	1.6

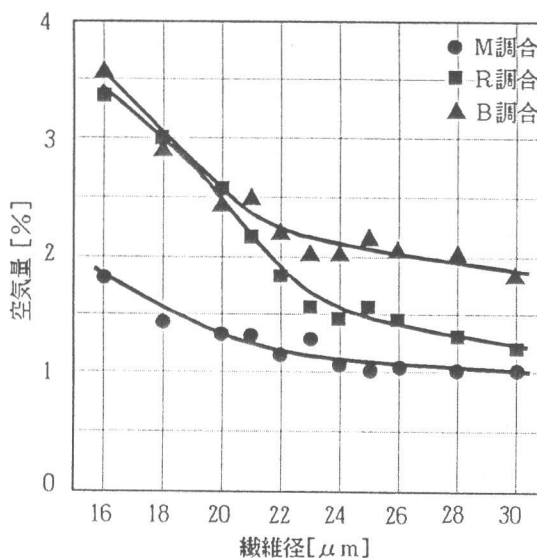
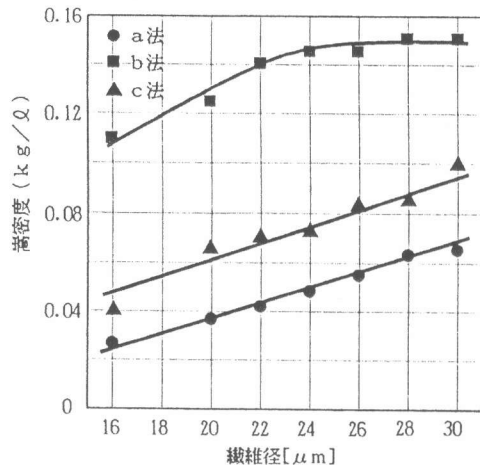


図-3 フレッシュCFRCの空気量と繊維径の関係



a法：自然落下無荷重での高密度
b法：300g/cm²の圧力下での高密度
c法：b法測定後荷重解除後の高密度

図-4 CFの高密度とCF径の関係

2) CFRCの単位容積当たりの繊維本数が少なくなる事により繊維間に保持される空気量が少なくなる(繊維間の空気が抜け易くなる)。

3) 流動性が上がる事によって混練時のエントラップドエアーが減少する。

また、空気量-繊維径の関係は二直線状であり、二直線の分岐点は22μmの近傍にある事が特記される。これは、フロー値-繊維径の関係が22μmで変化する事と関係するのではないかと思われるが、この点に関してはマトリックスの粒度分布や粘性特性等、種々の要因が影響していると考えられ、今回の実験の結果からは推し量る事ができないので今後の検討項目としたい。

3.3 CFRCの曲げ強度

図-5. 1~3に、CFRCの曲げ強度と繊維径の関係を示す。

M調合では、繊維径が20μm以下でほぼ一定の曲げ強度を示しているが、24μmで極大値となり、それより太径になると急激に低下している。R調合では、M調合のような明確な極大値は観察しにくい、21μmまではやや低下するものの、24μmで極大となり、それ以上で急激に強度低下する現象が認められた。また、M調合に比較して強度がやや低い。

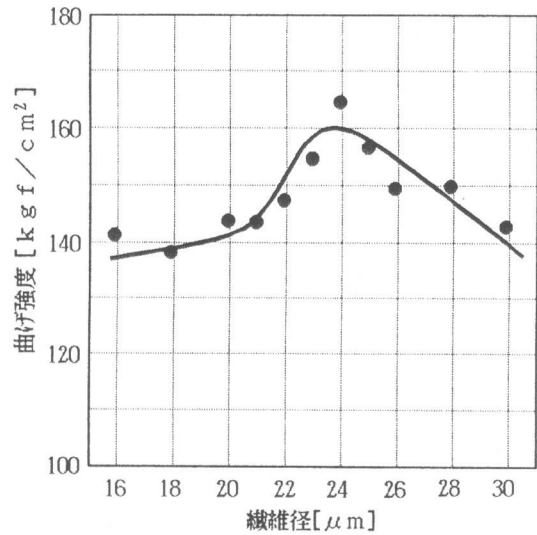


図-5. 1 CFRCの曲げ強度とCF径の関係 (M調合)

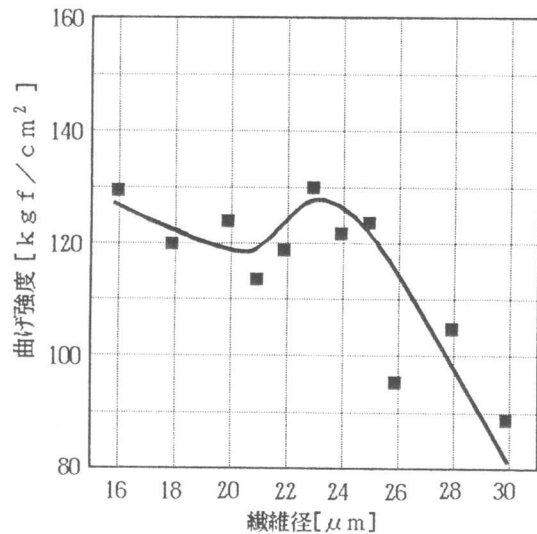


図-5. 2 CFRCの曲げ強度とCF径の関係 (R調合)

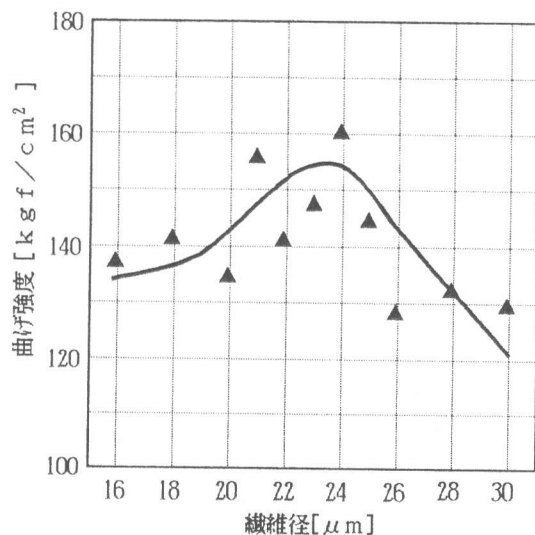


図-5. 3 CFRCの曲げ強度とCF径の関係 (B調合)

B調合では、24 μm付近で極大値を持つ曲線となり、M調合とほとんど同様な関係が認められる。

特定の繊維径で曲げ強度の極大値となる理由を考察すると、図-6のように考える事ができる。即ち、繊維径が大きくなるとマトリックスに対するCFの分散性が向上することによってCFRCがより均一となり、繊維有効係数が大きくなり、曲げ強度が向上する。ところが、繊維径が大きくなり過ぎると繊維本数が減少する事と、アスペクト比 (Q/d) の低下により繊維の引き抜けが起こって強度が低下する[5]。

写真-1~4は、曲げ強度試験破断面（引張縁）の走査電子顕微鏡写真である。M調合で20 μm径のCFは引き抜け長さが短く、繊維が破断している（写真-1）のに対して、30 μm径のCFは引き抜け長さが1mm以上となっている繊維も観察される事（写真-2）から、ほとんどの繊維が破断に至っていないと考えられる。R調合では、20 μmのCFでも繊維の引き抜けが観察される（写真-3）。R調合の曲げ強度がM調合より低いのは、マトリックスとの付着強度が低いために繊維の引き抜けが起こっているためと考えられる。

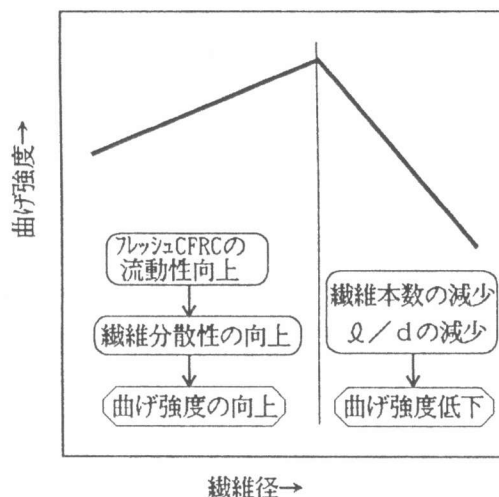


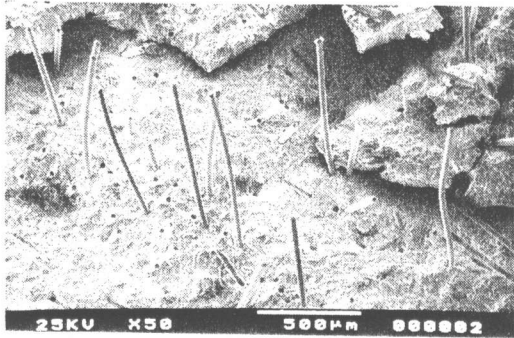
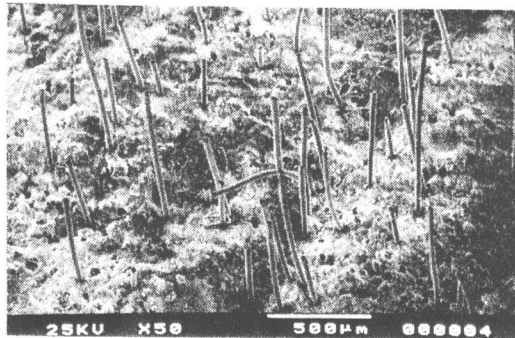


図-6 曲げ強度と繊維径の関係概念図

M 調 合	R 調 合
 <p>写真-1 繊維径：20 μm</p>	 <p>写真-3 繊維径：20 μm</p>
 <p>写真-2 繊維径：30 μm</p>	 <p>写真-4 繊維径：30 μm</p>

4. まとめ

繊維長さが一定で繊維径が16 μ mから30 μ mまでのCFを用いて、CFの繊維径がフレッシュCFRCの物性とCFRCの曲げ強度に与える影響を調べた結果、以下の点が明かとなった。

- 1) CFの繊維径が大きくなると、フレッシュCFRCのフロー値が大きくなる。特に、18 μ m～22 μ m間の変化が著しく、約20mm大きくなる。
- 2) フレッシュCFRCの空気量は、CF繊維径が大きくなるにしたがって減少する。
- 3) CFRCの曲げ強度は、特定の繊維径で極大値をとる。
- 4) 曲げ強度が極大値となる繊維径は、今回の調査では24 μ mであった。

参考文献

- [1]秋浜、末永、中川、鈴木：炭素繊維補強セメント複合材（CFRC）の力学的性質、第8回コンクリート工学年次講演会論文集、pp445～448、1986
- [2]秋浜、末永：CFRCの力学的性質、セメント・コンクリート Vol.449、1984
- [3]末永、依田他：高強度ピッチ系炭素繊維を用いたFRCの基礎物性、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp737～738、1989
- [4]福島、白山他：炭素繊維を中心とする短繊維補強コンクリートの力学的特性の評価に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp643～644、1991
- [5]D. J. Hannant原著、槇谷訳：繊維コンクリート、森北出版、pp22～45、1980