

V-125 ダイレクトスプレー法で製造した炭素繊維補強セメントの力学特性

(株)竹中工務店 正会員 大野 定俊 同 柿沢 忠弘
同 米澤 敏男 村上 信直

1. はじめに

炭素繊維は非常に高い強度を有し、耐久性などの特性に優れているため、コンクリートなどの補強材として優れた材料として注目されている。一般に短繊維として用いる場合、配向性や付着の問題から強度的な補強効果を得るには、理論的な限界繊維長の4~5倍の長さが必要であると言われている。しかし、炭素繊維の場合コストや施工性の問題もあり従来3~10mmの長さの汎用炭素繊維の利用を中心として研究開発が進められてきた。本研究ではさらに優れた特性を有する炭素繊維セメント複合体を得るために、製造方法としてダイレクトスプレー法を採用すると共に、低コストの高性能タイプのピッチ系炭素繊維を25mmの繊維長で用いた複合体を製造した。本報告ではこのようにして製造された炭素繊維セメント(以下DSCFCと略称)の基本的な特性について報告する。

2. 実験概要

実験計画: 本実験では表-1に示すように繊維量を変化させた試験体について曲げ試験と引張試験を行うと共に、モルタルの配合を変化させたDSCFC試験体について曲げ強度試験を行った。各試験を通じて繊維による補強効果と付着特性、複合体の微視的な構造等について検討した。

使用材料と試験体: 補強用繊維は表-2に示す液晶ピッチ系の連続炭素繊維を用いた。マトリックス用のモルタルは表-3に示す材料および配合のものを使用し、成形方法は従来のGRCのダイレクトスプレー法と同等とした。試験体は打設後24時間で脱型し材令28日まで湿空で養生を行った。供試体は試験材令の直前に所定の大きさに切断して用いた。曲げ試験用の供試体寸法は50x250x10mm(w・l・t)で、引張試験体の寸法550x500x5mm(w・l・t)とした。

試験方法: 曲げ試験はスパン200mmで ASTM C947-81に準拠した3等分点荷重法で行い、荷重と中央部の変位を測定した。なお、一部の試験体については中央集中荷重法による結果との比較を行った。一方、引張試験体は両端部の局部破壊を防ぐためにアルミ板を接着補強したものを用いた。また、引張試験時のひずみは試験体に取り付けた機械式ひずみ計により測定した。

3. 実験結果と考察

表-2に示されるように本実験に用いた炭素繊維束はフィラメント数が2000本と炭素繊維の中では少ない数のものを用いたが、ガラス繊維(繊維束中のフィラメント数約250本)と比較するとかなり数が多くなっている。写真-1は炭素繊維セメント複合体の断面とGRCの断面を比較したSEM写真であるが、この写真からも両者の繊維束中のフィラメント数の違いがわかる。しかし、

表-1 実験計画表

No.	実験項目	繊維体積率	マトリックスの配合(表-3参照)	試験材令	測定項目
1	曲げ	2%	No.1	28日	曲げ強度 引張強度
2	引張	3%			
3		5%			
4	曲げ	3%	No.1		断面観察
5			No.2		
6			No.3		

表-2 補強繊維の特性

繊維種類	繊維束一本中のフィラメント数	引張強度(MPa)	引張弾性率(GPa)	破断伸度(%)	比重
ピッチ系炭素繊維	2000	2377	214	1.10	1.96

表-3 マトリックスモルタルの配合 (重量比)

番号	セメント	水	骨材(木曽砂)	減水剤	Casson流動解析値 ^{d)}		フロー値 ^{c)} (mm)
					粘度(Pa-sec)	降伏値(Pa)	
1	1.0	0.30	0.75	0.013 ^{a)}	1.93	1.49	215
2	1.0	0.32		0.010 ^{b)}	1.71	0.76	232
3	1.0	0.35		0.008 ^{b)}	1.01	0.39	170

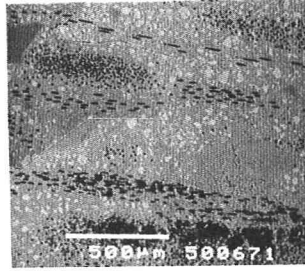
a)ポリカルボン酸系 b)ナフタリン系
c)φ50x55mmのコーンからの引抜き後の広がりを測定
d)回転円盤粘度計による測定値のCassonモデルによる回帰値

表-4 強度試験結果

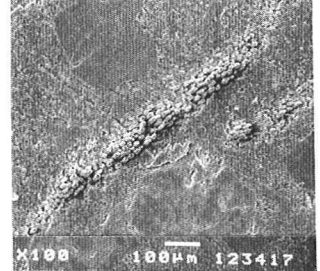
番号	繊維体積率	曲げ強度 [*] (MPa)	引張試験	
			引張強度 [*] (MPa)	ひびわれ [*] 本数/10cm
1	2%	27.7(32.2)	9.5	19
2	3%	31.4(37.1)	13.5	25
3	5%	38.5	13.3	16
4	3%	33.5	—	—
5		31.1		
6		30.3		

*6供試体の平均値 **カッコ内は中央集中荷重試験結果

断面を観察すると炭素繊維の場合局部的に繊維束中にマトリックスが入り込んでいない所が観察されたが、全体として見ると繊維束の間によくセメントマトリックスの水和生成物が入り込んでいるのが認められた。マトリックスの炭素繊維束への浸透は繊維束の集束状態とフレッシュモルタルの物理化学的な性質に依存している。



a)炭素繊維補強セメント（反射電子像）



b)GRC

写真-1 複合体断面のSEM写真

モルタルのw/cを変化させて施工

性と強度特性の両者を検討した試験によれば、DSCFCの場合にはGRCに比べてやや粘性が小さくフローの大きいものが適していると判断された（表-3参照）。また、従来のGRCと同等の施工性で複合体の製造が可能であり、十分な実用性があることが確認された。

表-3及び図-1に曲げ強度および引張強度試験の結果を示す。3等分点曲げ載荷試験(ASTM-C947)による強度は一般に中央集中載荷の値よりも低い強度を与える傾向にあるが、DSCFCの曲げ強度は繊維量2%でも28MPa以上の高い値を示している。図-1によれば繊維量の増加に伴ってDSCFCの曲げ強度は増加する傾向にある。図-2にDSCFCの曲げ試験の応力-変位曲線を、また図-3には引張試験により得られた応力-ひずみ曲線を示す。曲げ応力-変位曲線では炭素繊維の剛性が大きいので繊維量の割には比較的高いLOPが得られている。また、LOP以降の剛性は繊維量にほぼ比例しており、最終的な複合体の破壊は繊維の引き抜けにより起きた。

引張強度は繊維量3%と5%でほとんど差が認められない。この理由は繊維量が増加すると複合体製造時の脱泡作業等が困難になる傾向にあり、マトリックスが繊維束中に十分浸透しないためと考えられる。また引張強度にのみこうした傾向が認められたのは引張強度がこうした弱点部に対してより敏感なためと考えられる。引張応力-ひずみ曲線はGRCの結果と同様に繊維量の増加に伴って強度と終局ひずみの増加傾向が見られる。また、引張試験では複合体に多発ひびわれが発生しているが、繊維量5%の方が繊維量2%、3%の複合体よりも発生ひびわれ数が少なくなっている（表-4参照）。これは繊維量5%の方が繊維-マトリックス間の伝達応力が小さいことを示しており、上述したような繊維-マトリックス間の付着面積の低下を裏付けている。

〔謝辞〕

本研究は㈱ベトカと東海コンクリート工業㈱の共同研究として実施された。繊維及び試験体の製造等を始め多大な協力を得たのでここに記して謝意を表する。

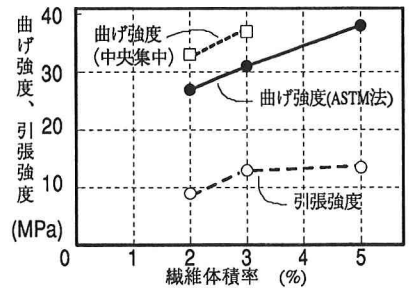


図-1 曲げ及び引張強度試験結果

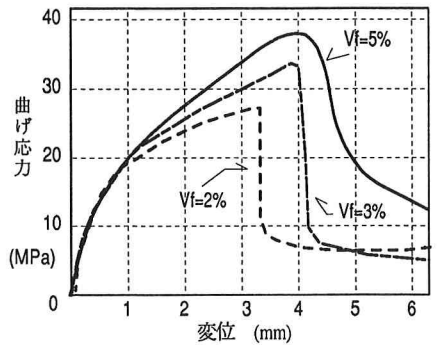


図-2 曲げ応力-変位曲線

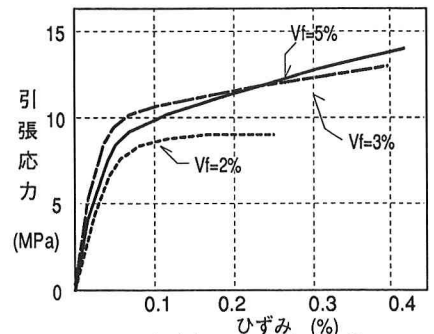


図-3 引張応力-ひずみ曲線