

はじめに

カーボン繊維（以下 CF と記す）がわが国の市場に登場してからすでに 20 年以上が経過し、プラスチック材料との複合部材（CFRP）としてその優れた性能により航空機、レジャー・スポーツ用品等を中心に多方面に用いられてきている。一方、建設材料としては、コストが高いという理由から使用が遅れていたが、最近になって安価な CF が開発されるに及んで建設分野にも適用可能な状況となり、その他の新しい素材（アラミド繊維等）とともに今後の建設材料として注目されている。

CF の建設材料への適用に関し、建築構造物としてはすでに、CF の短繊維を 3 次元ランダムに混入したプレキャスト板として外装パネルやフリーアクセスフロア部材として実構造物に用いられ始めているが、土木構造物においてはその利用分野を模索しているのが現状である。しかしながら、近い将来においては、土木・建築それぞれの分野においてその優れた性能を有効に生かした新しい分野が開けるものと期待されている。本文では、この新しい材料である CF についてその特徴および土木分野での適用の方向性等について概説するものである。

1. カーボン繊維の種類とその特徴

CF はその原料により PAN 系（ポリアクリルニトリル）、ピッチ系およびレーヨン系に分かれ、高性能 CF に分かれ、前二者は高性能 CF ル、ピッチ系およびレーヨン系に分かれ、ピッチ系は、さらに石炭ピッチ系と石油ピッチ系に分かれている。また、CF の性能により分類すると高強度 CF、高弾性 CF（ハイグレード CF）とよばれ、主として PAN 系 CF がこの範囲に入り後者は、汎用 CF（ローグレード CF）とよばれ、主としてピッチ系がこの範囲に属している。これらの分類をまとめると表-1 のとおりである。PAN 系とピッチ系とを比較すると、PAN 系は性能的にはすぐれているが高コストであるのに対し、ピッチ系は原料が豊富であり、コストも安い（PAN 系の 1/5~1/10）

カーボン繊維

田 沢 雄 二 郎

資 料

のが特徴である。これまでの用途としては PAN 系は主として航空機、レジャー用品等に用いられ、ピッチ系はレジャー用品、その他建設材料にも用いられている。

CF の特徴としては、① 軽量である、② 引張強度が大きい、③ 耐薬品性が優れている、等が挙げられており、その一般的性質を示すと表-2 のとおりである。なお、表-2 には、すでに補強用繊維として実績のある鋼繊維やガラス繊維、新しい材料として注目されているアラミド繊維等の性質も合わせて示した。表-2 によると、CF の引

張強度は PAN 系で 200~300 kg/mm²、汎用ピッチ系で 80~110 kg/mm² であり、鋼材の引張強度に比較するとそれぞれ 5~7 倍、2~3 倍であり、弾性係数は PAN 系で 2.0~4.0×10⁴ kg/mm²、ピッチ系（低弾性）で 0.4~0.5×10⁴ kg/mm² である。また、ピッチ系の高弾性、高強度 CF の研究開発も最近進んでいる。

2. 炭素繊維補強コンクリートの性質

CF の混入によりコンクリートはその性質が大きく改善され、特に、引張強度、タフネス、伸び能力が大きくなる。図-1 は CF 混入モルタルの CF の混入率と引張強度および伸び能力を示す一例であり、図-2 は CF 混入率と曲げ強度および曲げタフネスの関係を示すものである¹⁾。いずれも CF の混入によってその性能が大き

表-1 炭素繊維の分類

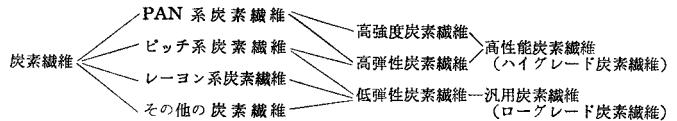
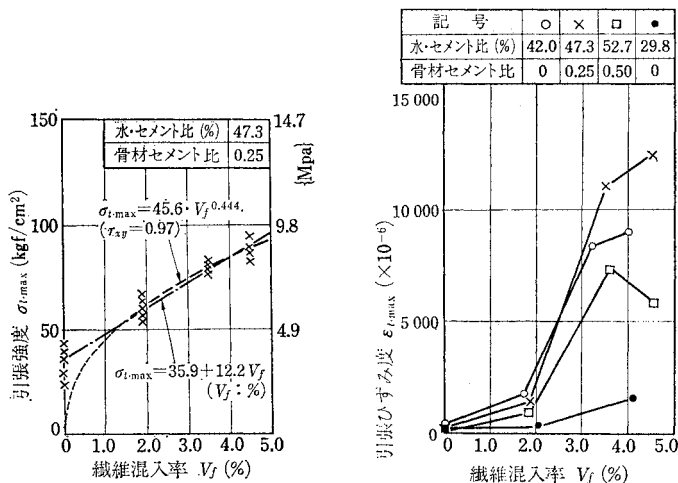
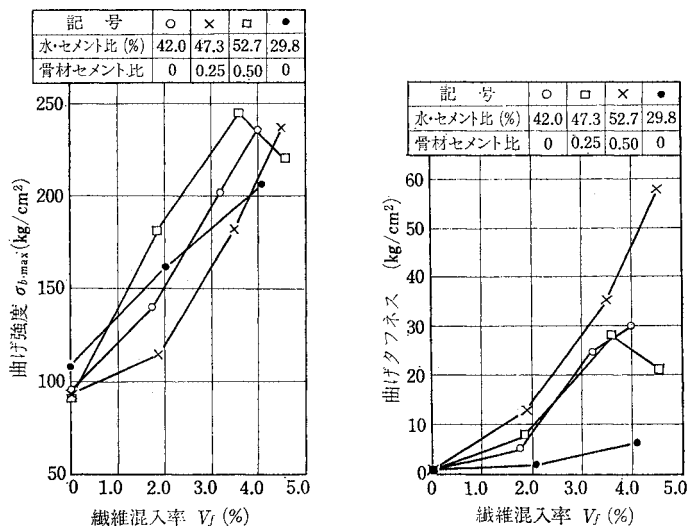


表-2 炭素繊維の性質

繊維の種類	引張強度 (kg/mm ²)	弾性係数 (kg/mm ² × 10 ⁴)	伸び (%)	比重	価格 (円/kg)	
炭素繊維	PAN系 (高弾性)	200~300	2.0~4.0	0.4~0.6	1.7~1.9	20 000~40 000
	PAN系 (高強度)	260~450	2.0~2.5	1.3~1.8	1.6~1.8	10 000~15 000
	ピッチ系 (低弾性)	80~110	0.4~0.5	2.0~2.5	1.6	2 000~3 000
	ピッチ系 (高弾性)	140~235	3.5~5.0	0.4~0.5	1.9~2.1	開発中
スチール繊維 (炭素鋼)	35~100	2.0~2.1	8 (破断) 0.7 (弾性限界)	7.8	170~200	
耐アルカリ性ガラス繊維	140~350	0.7~0.8	4.5~6.0	2.5	400	
アラミド繊維	280~310	0.6~1.3	2.3~4.4	1.4~1.5	6 000~10 000	



図一 繊維混入率と引張強度および引張ひずみ度の関係¹⁾



図二 繊維混入率と曲げ強度および曲げタフネスとの関係¹⁾

く改善されることを示している。また、CF を混入したモルタルは、種々の要因によってその補強効果には差があり、それらの要因としては、繊維の種類・形状・寸法・混入率、マトリックスの配合（セメント量、W/C）、使用細骨材の種類・性質、練りまぜ、締固めおよび養生方法等が挙げられている。たとえば、モルタルの練りまぜにはオムニミキサーなどの特殊ミキサーが使用されており、繊維混入率は練りまぜ性状等より 2~4% Vol. の範囲で用いられている。図-3 は各種骨材を用いた CFRC の曲げ強度を示したものであり、骨材の種類がモルタルの性状に大きく影響を与え、細骨材の粒径は 10~100 μm が適当であるという報告²⁾もある。したがって、CF を実際に適用するにあたっては、これらの多くの要因を考慮して配合および施工方法等を決める必要が

ある。なお、CF を混入したコンクリートは電気伝導性が高い、電波遮へ性がある等の電気的性質を有し、また、同一部材中の鋼材の腐食等の問題点も有している。

3. カーボン 繊維の土木分野 への 利用

CF を土木分野へ利用することに関しては、その適用構造物を模索中というのが現状であるが、各研究機関において、その利用方法について積極的に検討がなされている。CF を土木構造物に使用する方法としては次の方法が考えられる。

- コンクリート中に CF の短繊維を 3 次元ランダム配向となるように混入し、コンクリート部材として使用する。
 - CFRP として鉄筋や PC 鋼材等のコンクリート用補強材の代替え材として使用する。
 - ネット状等の方向性をもたせた補強材としてコンクリート中にサンドイッチ構造として使用する。
- これらのうち、a. については、すでに建築物での実績があり、土木分野でもプレキャストパネルとして、環境条件の厳しい場所等での埋め殺し型枠、補修・補強材等として用いることができる。
- b. については塩害等を受ける環境条件下で、鉄筋あるいは PC 鋼材の代替えとして使用することができるが、まだ多くの問題点も残されている。たとえば、

PC 用緊張材として用いる場合には、① 緊張材の端部 定着部の強度不足、② 材料のリラクゼーションが大きい、③ 長期間の材料の耐久性が不明確、④ 温度変化に対する材料の線膨張の相違によるプレストレス量の減少等が挙げられ、また、鉄筋の代替えとして用いる場合には、① コンクリートと補強材との付着力が小さい、② 補強材の継手方法等の問題が挙げられている。しかし、これらの問題点に関してすでに研究が行われており、コンクリート用補強材として十分使用可能であるという報告³⁾もみられている。

c. については積層板としての基礎物性が研究されている段階であるが、今後それらの状況が明らかにされれば、プレキャスト部材としての利用が期待できる。

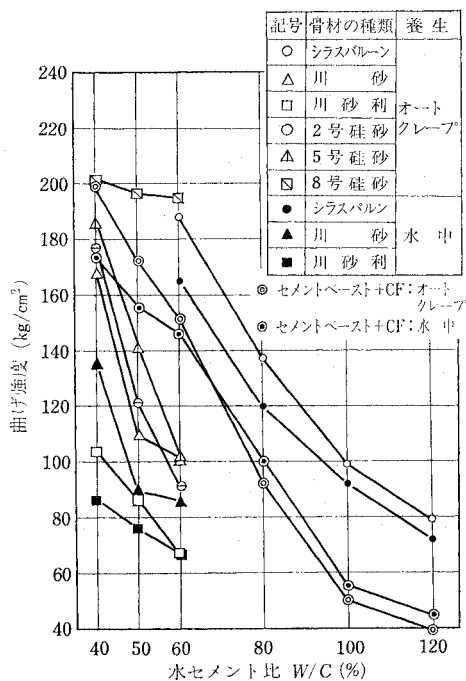


図-3 各種骨材を用いた CFRC の曲げ強度²⁾

おわりに

CF について、現在までの開発の現状、基礎物性、土木分野での適用性等についてその概要を述べたが、材料自体がまったく新しいものであり、その開発研究も緒についたばかりであり、適用分野も明確にはなっていないが、種々の優れた性質を有効に生かした新しい使い道が近い将来には必ずや開けるものと考えられる。特に、最近話題のコンクリート構造物の塩害等による劣化問題を解決するための有効な材料として CF は大きな役割を果たすものと期待されている。なお、今後の大きな課題の1つとしては、コストの低減が挙げられており、これに関しても今後の使用量の増加、製造プロセスの改良等によるコストダウンも可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 秋浜,ほか:炭素繊維を用いたセメント系複合体(CFRC)の力学的性質に関する実験的研究, コンクリート工学, Vol. 20, No. 8, 1982.
- 2) 白川・中川:炭素繊維補強セメントの曲げ強度に及ぼす諸因子, 第4回コンクリート工学年次講演会講演論文集, 1982.
- 3) 小林,ほか:繊維強化複合材料製プレストレストコンクリート用緊張材の開発研究, 第6回コンクリート工学年次講演会講演論文集, 1984.

筆者・Yujiro TAZAWA, 正会員 鹿島建設技術研究所
(〒182/調布市飛田給 2-19-1)

土木学会衛生
工学委員会編

衛生工学実験指導書

(プロセス編(改訂版)
現場調査編)

衛生工学実験の本質は、プロセス実験および現場調査とその解析にある。本書は各大学での講義・実験の実際を調査し、それを基に指導書、参考書的にまとめたものであり、大学、高専、工業高校、研究者等の教科書ないし手引書として役立つ必携の書である。

〈プロセス編〉 改訂版
昭和 61 年 6 月刊行

B 5 判 160 ページ データシート 26 枚
定価 2 800 円 会員特価 2 400 円(〒300 円)

昭和 52 年 11 月に出版した既刊版を全面的に見直し、項目の追加、改訂等を行い、特に廃棄物関連の実験の充実と水質分析の実務的側面を強く打ち出し、編集した改訂版である。

〈現場調査編〉 昭和 56 年 3 月刊行

B 5 判 166 ページ (データシート含む)
定価 2 600 円 会員特価 2 400 円(〒300 円)

自然水系における現象把握、ユニットプロセスの実施設における機能把握、各ユニットプロセスの集合体としてのシステムの理解が行えるように編集した。

申込先 〒160 東京都新宿区四谷 1 丁目無番地 土木学会 振替 東京 6-16828 電話 03-355-3441 (代)