

[82] 少量の炭素繊維層で補強したモルタルの曲げ強度

正会員 ○古川 茂 (群馬工業高等専門学校)

大谷杉郎 (群馬大学工学部)

小島 昭 (群馬工業高等専門学校)

宮本正雄 (群馬工業高等専門学校)

1. まえがき

近年、軽量で耐腐蝕性にすぐれ、高い引張強度を持つ炭素繊維(CF)をセメント系複合材の補強材として使用し、引張強度、曲げ強度あるいは靱性を改善しようとする研究が行なわれ良好な成果が報告されている。これらの成果を利用して一部実用化もされている。しかし、従来の研究報告では、繊維混入率(V_f)は1%程度以上を対象にしたものが多いように見受けられる。

本研究は、モルタルの補強材として繊維混入率は1%以下を対象にした。そして、曲げに対する補強効果が高められるようCFを層状にして引張側だけに配置し、この場合のCFの補強効果について短期材令に関して予備的に検討を行ったものである。

2. 実験概要

2. 1 使用材料および実験条件

セメントはO社製普通ポルトランドセメント(普通セメント)とジェットセメント、骨材は豊浦産標準砂、CFの品質は高性能品(PAN系)と汎用品(ピッチ系)を用いた。CFの形状はCFの束(4,000本程度)を手で薄く広げシート状にした一方手揃えシート(CFシート)と短いCFをランダムマット状にしたCFペーパーを用いた。CFの特性は表1、実験条件を表2に示す。なお、繊維混入率が0%を標準供試体(標準)とした。

2. 2 供試体の作成方法

供試体の寸法は高さ20mm×幅40mm×長さ160mmとした。

供試体の作成方法は、型枠底面から5mm程度モルタルを敷き、指で突き固めを行った後2~3mmになるように余分なモルタルを取り除き、この上に下記の方法でCF層を形成したのち再びモルタルを入れ、指で突き固めを行い所定の寸法に仕上げた。

CF層の形成方法は、CFシートの場合は底部仕上げ面上にCFシートを入れ、指で突き固めを行ったのち少量のモルタルを補充し、これらの操作を所定の繊維混入率になるまでくり返した。CFペーパーの場合には、あらかじめペーストとCFペーパーを図1のように交互に入れ、この操作を所定の繊維混入率になるまでくり返したのち、平面振動機による締め固めを行ってブリズレ

表1 CFの特性

| CFの形状 | CFの品質 | PAN系 (HPCF)*1 | ピッチ系 (GPCF)*2 |
|--------|----------------------------|---------------------|---------------------|
| | 項目 | | |
| CFシート | 製 品 | A社製 | K社製 |
| | 引張強度(kgf/cm ²) | 30000 | 7800 |
| | 弾性係数(kgf/cm ²) | 2.3×10 ⁶ | 4.3×10 ⁵ |
| | 伸 び(%) | 1.3 | 2.1 |
| CFペーパー | 直 径(μ) | 7.5 | 14.5 |
| | 製 品 | N社製 | K社製 |
| CFペーパー | 厚 さ(mm) | 0.3 | 0.3 |
| | 目つけ(g/m ²) | 33 | 40 |

※1 高性能品 ※2 汎用品

表2 実験条件

| 骨材 | CFの形状 | CFの品質 | w/c(%) | セメントの種類 | V _f (%) |
|--------|--------|-----------|--------|-----------------|------------------------|
| 豊浦産標準砂 | CFシート | PAN系,ピッチ系 | 60 | 普通セメント,ジェットセメント | 0 0.1 0.3 |
| | | PAN系 | 50 | 普通セメント | 0.6 0.8 1.0 |
| | CFペーパー | PAN系,ピッチ系 | 50 | 普通セメント,ジェットセメント | 0 0.15 0.32 (2) (4) |
| | | PAN系,ピッチ系 | 40 | 普通セメント | 0.5 0.65 (6) (8) |

()内は枚数

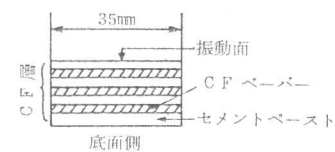


図1 CF層の形成方法

グ(予備含浸)シートを作り、これを底部仕上げ面に敷き込んだ。CF層の長さは140mm、幅はCFシートで40mm、CFペーパーで35mmとした。

2. 3 材令および曲げ試験

供試体は材令1日で脱型し、ジェットセメントの場合にはただちに曲げ試験を行い、普通セメントの場合には脱型後水中養生を行い7日で曲げ試験を行った。

曲げ試験はスパン100mmの中央点荷重で行い中央点のたわみをダイヤルゲージ式測定機によって測定し、荷重-たわみ曲線をX-Yレコーダに記録した。

3. 結果および考察

3. 1 CF層の形成状態

CFシートの場合には写真1のように、ビッチ系では充分解繊されていない束状の部分が見られるがPAN系にはほとんど見られない。また、CFペーパーの場合には写真2のようにジェットセメントの方が普通セメントよりCFペーパーの間のベストの部分の厚くなりがちである。これらは配向性に影響を与え、いずれも曲げ強度の低下につながると思われる。

3. 2 破壊および破壊面の状況

まず、破壊についてはCFシートの場合、ビッチ系ではセメントの種類および繊維混入率にかかわらず荷重点付近底部のひび割れが発達し、このひび割れ部で写真3(a)のように曲げ破壊している。PAN系では、 $V_f \leq 0.6$ 以下の場合にはセメントの種類にかかわらずビッチ系と同様に曲げ破壊している。しかし、それ以上になると写真4のように、ジェットセメントでは支点と荷重点を結ぶひび割れの発達により斜引張破壊となり、普通セメントでは荷重点付近のひび割れがCFシートに沿うように発達し付着破壊となっている。

CFペーパーの場合にはセメントの種類、CFの品質および繊維混入率にかかわらずいずれも荷重点付近底部のひび割れが発達し写真3(b)のように曲げ破壊している。

次に破壊面のCFについては、CFシートの場合、写真5のようにビッチ系ではセメントの種類にかかわらず、CFの束が多ければ大部分のCFが引き抜け、少なれば大部分のCFが切断している。PAN系ではセメントの種類および繊維混入率にかかわらず多くのCFが引き抜けて

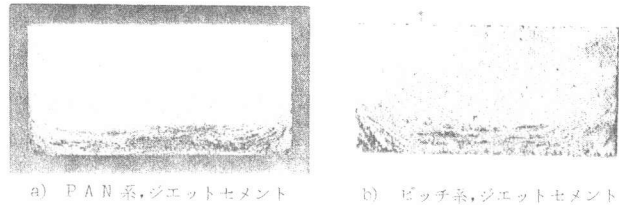


写真1 CFシートのCF層形成状態

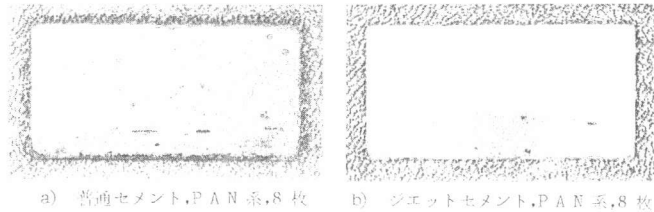


写真2 CFペーパーのCF層形成状態

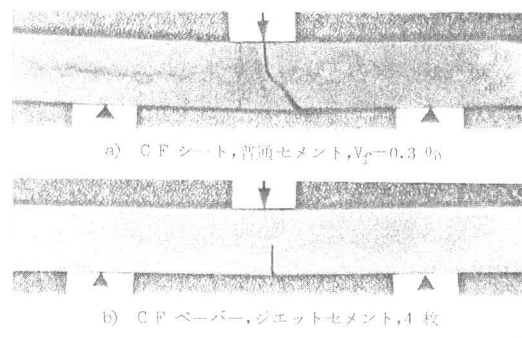


写真3 CFシートおよびCFペーパーの破壊状態

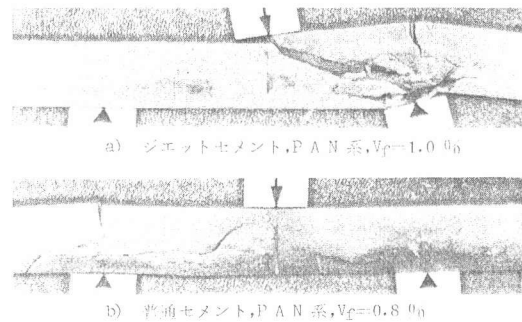


写真4 CFシートの破壊状態



写真5 CFシートの破断面

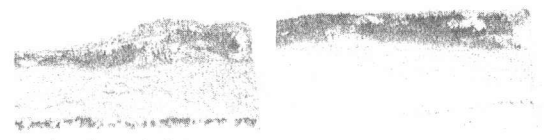


写真6 CFペーパーの破断面

いる。

CFペーパーの場合は、写真6のような状態となっており、引き抜けか否かは判断しにくい。これらの内、CFの引き抜けおよび曲げ破壊以外の破壊形態については、CFの特性を十分に発揮しておらず、曲げ強度の低下につながると思われる。

3. 3 たわみ

最大荷重時のたわみで見ると、セメントの種類、CFの形状およびCFの品質にかかわらず、図2のようにいずれも標準より大きく、繊維混入率の増加に伴って増加している。しかし標準以外の荷重-たわみ曲線については、細かく見ると図3に2例を示したように、同程度の最大荷重であっても形態が異なり、最大荷重のたわみ量が違う場合もある。このような差は、CFの配向状態およびCF層の厚さなどの微妙な変化が影響しているためと思われる。

3. 4 曲げ強度

曲げ強度は、便宜的にJIS R5201（セメントの強さ試験）の算出方法によって求めることとした。

まず、一方向のCFシートの場合の曲げ強度は図4(a)のように、CFの品質、水セメント比(W/C)およびセメントの種類にかかわらず標準より大きく、繊維混入率の増加に伴って直線的に増加している。標準の曲げ強度に対する強度増加率は図4(b)のように、セメントの種類およびW/CにかかわらずPAN系の方がビッチ系より

高く、 $V_f = 0.6\%$ と $V_f = 1.0\%$ で見ると、PAN系では270%と450%程度、ビッチ系では50%と100%程度となる。この強度増加率を比較するといずれもPAN系はビッチ系の約5倍程度となる。W/Cについては小さい方が曲げ強度はやや大きい。しかし、強度増加率はほぼ同程度となっている。

次に、疑似等方性材に相当するCFペーパーの場合、曲げ強度は図5(a)のように、CFの品質およびセメントの種類にかかわらず標準より大きく、繊維混入率の増加に伴ってほぼ直線的に増加している。しかし、 $V_f = 0.16\%$ （2枚）程度ではバラツキが大きく、平均的に見れば標準と同程度となっている。強度増加率は、セメ

PAN系,普通セメント,w/c=50%

CFペーパー,普通セメント
PAN系,4枚

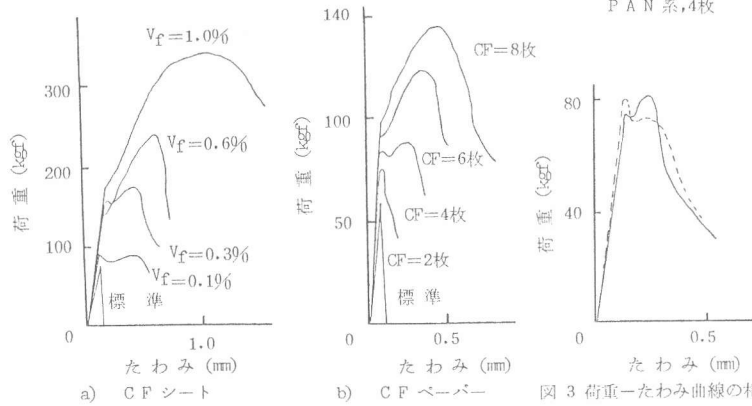


図2 荷重-たわみ曲線

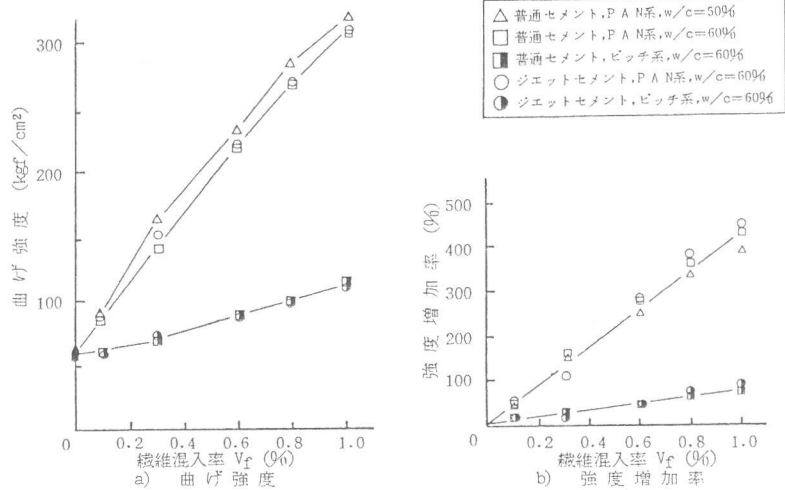


図4 CFシートの曲げ強度と強度増加率

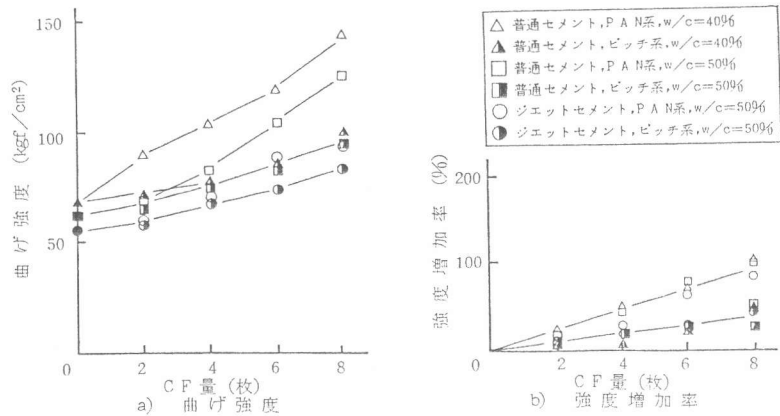


図5 CFペーパーの曲げ強度と強度増加率

ントの種類およびW/CにかかわらずPAN系の方がビッチ系より大きく、 $V_f = 0.65\%$ （8枚）で見ればPAN系が100%、ビッチ系が50%程度となる。W/Cについては小さい方が曲げ強度はやや大きい。しかし、強度増加率はほぼ同程度となっている。

以上の結果から補強効果について検討すれば以下のようである。

CFの品質の影響について、CF強度比（ビッチ系CFの引張強度/PAN系CFの引張強度）と強度増加率比（ビッチ系の曲げ強度増加率/PAN系の曲げ強度増加率）の比較によって検討した。本実験の場合のCF強度比は0.26程度であり、強度増加率比は、CFシートの場合セメントの種類にかかわらず $W/C = 60\%$ 、 $V_f = 0.6\%$ で0.18程度、 $V_f = 1.0\%$ で0.22程度である。また、CFペーパーの場合セメントの種類にかかわらず $W/C = 50\%$ 、 $V_f = 0.65\%$ （8枚）で0.5程度となる。このことから、CFシートでは、PAN系CFの強度増加率比の方がビッチ系CFを用いた時の強度増加率比より大きく、CFペーパーでは逆にビッチ系CFの方が強度増加率は大きいことになる。前者の理由はCFの配向性の差の問題であり、後者の理由はCFペーパーのサイジング剤（表面処理剤）と繊維分布の均一性に主たる理由があるものと推測される。

一般に、一方向性のシートを利用して補強した場合の最強方向の特性値にくらべ、疑似等方向性のシートを利用して補強した場合に得られる特性値は $1/3$ 、あるいはそれ以下になることが知られている。本研究の場合、繊維混入率がほぼ同じCFシートの $V_f = 0.6\%$ とCFペーパーの $V_f = 0.65\%$ を比較すれば、PAN系の場合普通セメントの $W/C = 50\%$ で0.37程度であり、ビッチ系の場合も $W/C = 50\%$ （CFペーパー）と $W/C = 60\%$ （CFシート）で比較すると1.0程度となる。いずれの場合も一般に考えられている0.3程度よりも大きい。特に、一方向性シートで配向の乱れのあったビッチ系で著しい。このことは、本研究の供試体作成技術の段階では、一方向性シートを十分な配向性をもって配列させることが難しく、CFペーパーの方が比較的計画通りに配列しやすいことを示している。ここでも、供試体作成技術が補強効果に大きく影響することがわかる。

水セメント比に関しては、CFを入れても入れなくても一般的なことと差異はない。しかし、供試体作成からすれば普通セメントは小さく、ジェットセメントは小さくない方が作成し易い。

セメントの種類については、先の図4および図5のように、CFの品質および形状にかかわらず、セメントの種類が変わっても強度増加傾向の違いはほとんど見られない。このことは、セメントペーストの入りにくいCFペーパーの中にも本実験の供試体作成方法を用いることによって充分含浸させられるようになったからである。なお、供試体作成からすればジェットセメントより普通セメントの方が作成し易い。

4. まとめ

以上のことから、本実験の結果を要約すれば以下のとおりである。

1. 繊維混入率を一定とすれば、W/Cおよびセメントの種類は曲げ強度にあまり影響しない。
2. CFの品質は曲げ強度に影響する。
3. 繊維混入率は曲げ強度に影響し、繊維混入率が1%程度では、繊維を混入しないものに対し、PAN系の場合CFシートで約5.5倍、CFペーパーで約2倍、ビッチ系の場合はCFシートで約1.5倍、CFペーパーで約2倍である。
4. 本実験での問題点としては、CFシートにおいて計画通りの配列の維持に工夫がいることである。

【参考文献】

- 1) 秋浜、永永、坂野：炭素繊維を用いたセメント系複合体(CFRP)の力学的性質に関する実験的研究、コンクリート工学、Vol120, No.8, 1982
- 2) 古川、大谷、小島：炭素繊維ペーパーを混入したセメント系複合材の強度について、炭素材料学会第10回年会要旨集、1983
- 3) 小島、大谷、古川：アルミナセメント-炭素繊維複合材料、第一回複合材料連合研究発表講演論文集、1983
- 4) 小島、大谷、古川、新井：炭素繊維ペーパー積層による炭素繊維/セメント複合材の製造、炭素材料学会第10回年会要旨集、1983