

報告

[1181] 織成の異なる炭素繊維メッシュ補強モルタルの引張強度について

正会員 林 隆介 (新日本製鐵第一技術研究所)

正会員○山田 寛次 (新日本製鐵第一技術研究所)

稲場 伸一 (鐘紡新素材研究所)

坪内 司郎 (鐘紡新素材研究所)

1. 緒言

最近、新素材繊維の建築材料への利用の研究開発が盛んに行われており、その中でも、炭素繊維（以下、CFと略す）を補強材とした炭素繊維強化モルタル系材料の研究報告が多い。1)~4) 上記繊維強化モルタルの補強形態は、短繊維と連続繊維に分けられ、さらに後者は、ロッドのような1次元、メッシュのような2次元、立体織物のような3次元の補強形態が考えられる。それぞれの補強形態により特徴があるが、2次元補強材は、プレハブ的で曲面補強が可能であった1, 3次元補強形態の中間の特徴をもち、研究対象としては興味深く、応用展開の可能性が大きいと考えられる。

一方、2次元補強材としては、使用するモルタル中の骨材粒径を考慮すると、組織は密なものではなく、骨材が通過できるように開口部を設けることが必要である。このため、開口部を設けた格子状の網状成形体（以下、CFメッシュと記述する）が考えられ、炭素繊維強化モルタルの研究³⁾も報告されている。しかし、織り組織の差異についての報告はない。本研究では、織り組織が相違する3種類のCFメッシュを作製し、引張に関する基礎的な物性を検討した。

2. CFメッシュの製造

本研究に用いたCF (PAN系) について、JIS R 7061「炭素繊維試験法」に準じて引張試験を行った結果を表1に示す。

表1 炭素繊維の引張特性

このCFを用い、図1(a), (b), (c)の3種類のCFメッシュを7.5mmピッチに織成後、エポキシ樹脂を含浸し、硬化させた。

図1に示した3種類のCFメッシュについて、

	引張強度 [kgf/mm ²]	引張弾性率 [tonf/mm ²]	破断歪 [%]
6k糸	372	22.4	1.5
12k糸	355	23.8	1.4

順にそれぞれの織り組織と特徴を説明する。

CFメッシュ(a) ; CFフィラメント数が12,000本（以下、12kと略す。6k糸も以下同様）のCF束を緯糸とし、6k糸の上糸および下糸によりはさみ込みながら織成したもので、経糸が直線性を失っており、緯糸が経糸にはさみ込まれることでトルクを受け屈曲（以下、クリンプと呼ぶ）している。

CFメッシュ(b) ; 12k糸のCFを緯糸とし、経糸の上糸に12k糸のCF、および、下糸にCFより剛性の小さい400デニール（以下、400dと記す）のアラミド繊維を用い、緯糸と経糸のCFをアラミド繊維により絡ませた織り組織である。この織り組織は、経糸のCFが緯糸に対して同一面側になり、CFの直線性が確保できることが特徴で、CFメッシュ(a)と大きく異なる。

CFメッシュ(c) ; (b)と同様のCFメッシュを織成、樹脂含浸後、緯糸方向に張力をかけながら硬化したCFメッシュで(b)よりもさらに緯糸のクリンプが低減したタイプである。

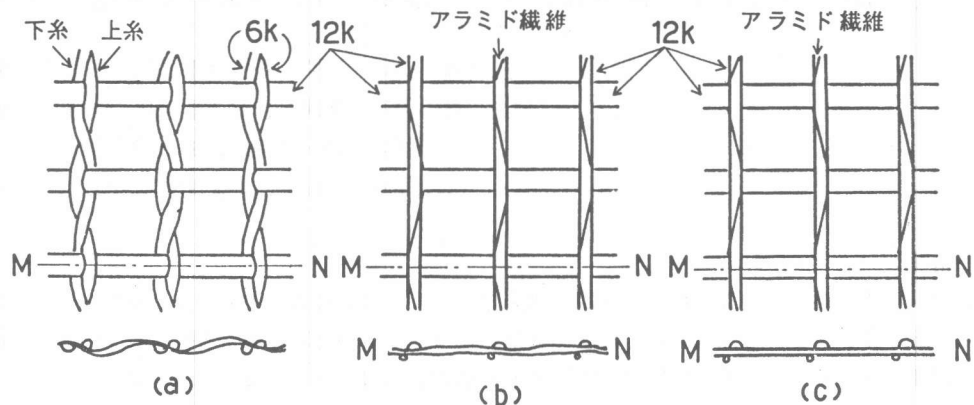


図1 CFメッシュ織り組織

3. CFメッシュの特性

3-1. CFメッシュの引張強度特性

図1に示した3種類のCFメッシュを、経、緯糸方向に採取し、JIS R 3420「ガラス繊維一般試験方法」に準じて引張試験を行った。ただし、引張速度20mm/minとした。なお、経糸のアラミド繊維は、細く低剛性であるためCFメッシュの引張物性に寄与するのはわずかと思われる。

図2にCFメッシュの引張応力～歪曲線を示す。これから、経糸方向に関しては、CFメッシュ(a)とCFメッシュ(b)を比べると織り組織を変えることにより、引張強度、弾性率が向上しているといえる。また、緯糸方向に関しては、織り組織の違い、および張力をかけた効果が顕著で、CFメッシュの(a)、(b)、(c)の順に、引張強度、弾性率が向上しているといえる。これは、樹脂で固定されたCFメッシュが引張応力を受けると、経糸および緯糸の屈曲部分に局所的な曲げによる付加応力が生じ、CF本来の引張破断強度到達以前に屈曲部分で破断したと考えられる。

さらに、CFメッシュ(c)は(a)、(b)と比べると等方性であることが観察される。

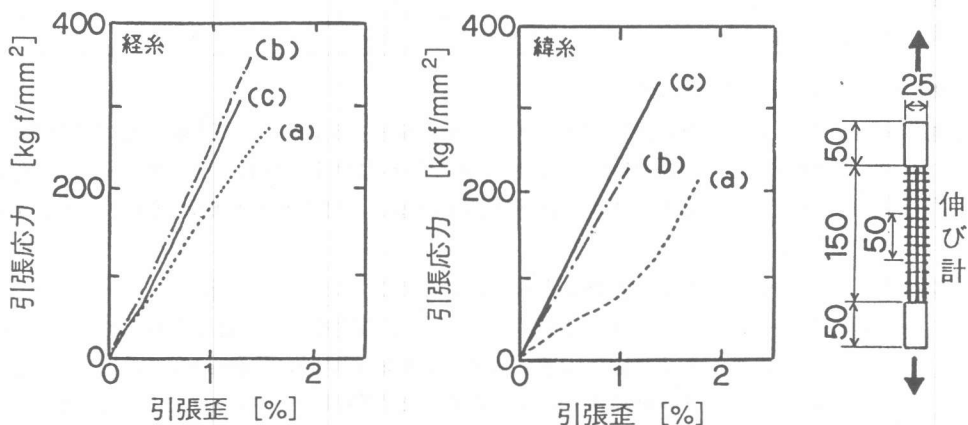


図2 CFメッシュの引張応力～歪曲線

3-2. CFメッシュの断面観察

緯糸のクリンプについて画像解析を行なった。図3 (a)に示すように、CFメッシュの緯糸断面（図中のハッチ部）とそれ以外（バックグラウンド：白）へと2値化することにより、CFメッシュの輪郭を明確化する。その後、図3 (b)に示すように、黒色部分を画像処理法の一つである細線化処理を施し緯糸の中立軸線(L)を引き、両隣の交点(P, Q)の中心点間を結ぶ線(R)との最大距離を測定した。

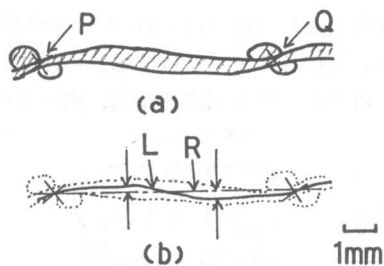


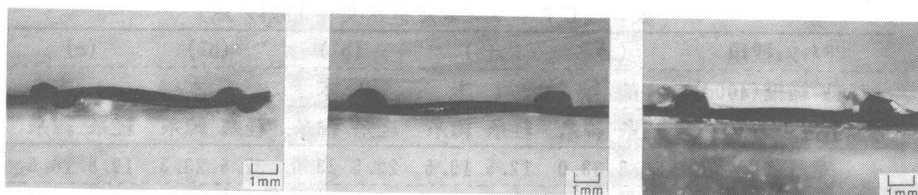
図3 緯糸クリンプ測定方法

3種類のCFメッシュの緯糸断面写真、細線化処理画像を図4に、その解析結果を表2に示す。

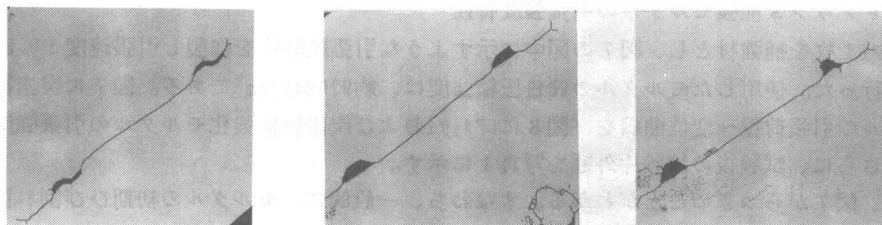
図2、表2から、緯糸方向の引張特性が下がる(c), (b), (a)の順に中立軸からの距離が大きくなり、クリンプと相関があるといえる。

表2 CFメッシュ緯糸クリンプ [mm]

CFメッシュ種類	(a)	(b)	(c)
中立軸からの距離	0.19	0.12	0.07



CFメッシュ緯糸縦断面写真



CFメッシュ緯糸細線化処理

(a)

(b)

(c)

図4 CFメッシュクリンプの画像解析

3-3. CFメッシュの定着強度特性

図5に示す試験片で、JCI-SF8「繊維の付着試験方法」に準じてCFメッシュの定着強度を測定した。このとき、引抜き方向の糸はワセリンを塗布しモルタルとの付着をなくした。

その結果を表4に示す。これから、クリンプの大きいCFメッシュ(a)は約20kgf/点以上の定着強度を有することがわかる。

また、引張特性が優れていたCFメッシュ(b)の経糸方向の定着強度は、約12kgf/点と小さくなった。これは、ひとつにCFメッシュ(a)に比べCFの直線性が良くなったためと考えられる。CFメッシュ(c)においては、緯糸方向に張力を加えたためアラミド繊維が経糸にくいこみ経糸方向の定着強度を向上させていることがわかった。

一方、CFメッシュ(b)について、定着強度を向上させる手段として、経糸の低剛性糸の本数および糸使いを変えたCFメッシュ(b'), (b'')についての検討も行った。その結果を表3(定着強度)、図6(経糸方向の、引抜き荷重～変位曲線)に示す。これから、経糸の低剛性糸の本数および糸使いを変えることにより、定着強度を制御、向上させることができるといえる。

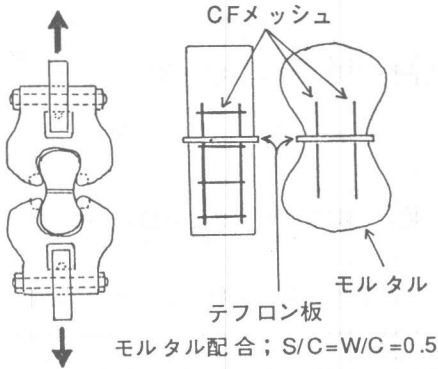


図5 CFメッシュ定着強度測定方法

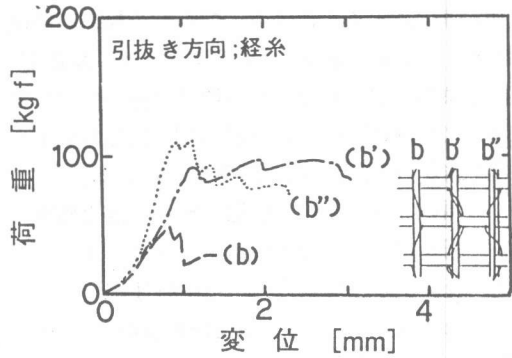


図6 低剛性糸を変えた時の引抜き挙動

表3 CFメッシュ定着強度 [kgf/点]

CFメッシュ種類	(a)	(b)	(b')	(b'')	(c)
7ライト繊維(400d)	なし	1本	2本	2本	1本
引抜き方向	経糸 緯糸	経糸 緯糸	経糸 緯糸	経糸 緯糸	経糸 緯糸
定着強度	20.8 33.0	12.5 19.5	23.5 23.5	27.5 23.3	19.8 18.5
破壊形態	抜け	剪断	抜け	剪断	抜け

4. CFメッシュ補強モルタルの引張強度特性

CFメッシュ1枚を補強材とし、図7の図中に示すような引張試験片を作製し引張速度:0.5mm/minで試験を行った。使用したモルタルの28日圧縮強度は、約970kgf/cm²である。図7に炭素繊維強化モルタルの引張荷重～変位曲線を、図8にCFメッシュおよび炭素繊維強化モルタルの引張強度の相関図を、さらに、試験後の試験片外観を写真1に示す。

まず、図7からつぎのことがわかる。すなわち、一般的に、モルタルの初期ひび割れ後、いったん荷重が低下し、CFメッシュに荷重が分担されることにより引張荷重が増加する。しかし、CFメッシュ(a)はモルタルとの接着性が悪いため、CFメッシュとモルタル界面の破壊が進展し、モルタルの剝離が生じ、荷重増加が少なく、最終破壊に至っている。一方、直線性の優れたCFメッシュ(c)を補強材とした炭素繊維強化モルタルについては、モルタルの初期ひび割れ後モルタルの剝離なくなめらかに荷重が増加していることがわかる。

つぎに、写真1にCFメッシュの緯糸を引張方向にした炭素繊維強化モルタルの試験後の外観を示す。これから、緯糸のクリンプの程度が大きいCFメッシュを補強材とした炭素繊維強化モルタルほど、いかにいえば、CFメッシュ(a), (b), (c)の順にモルタルが剝離しやすいことがわかる。

さらに、図8のCFメッシュおよび炭素繊維強化モルタルの引張強度の相関図から、補強材であるCFメッシュの破断強度と炭素繊維強化モルタルの破壊荷重とはほぼ相関関係があり、CFメッシュ(c)は(a), (b)に比べ等方性であり、かつ、CFメッシュの引張強度を十分に発揮し炭素繊維強化モルタルが破壊していることがいえる。

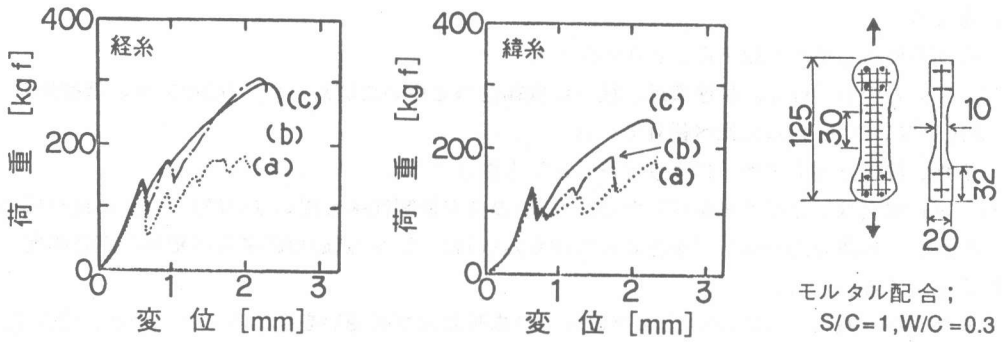


図7 炭素繊維強化モルタル引張試験荷重～変位曲線

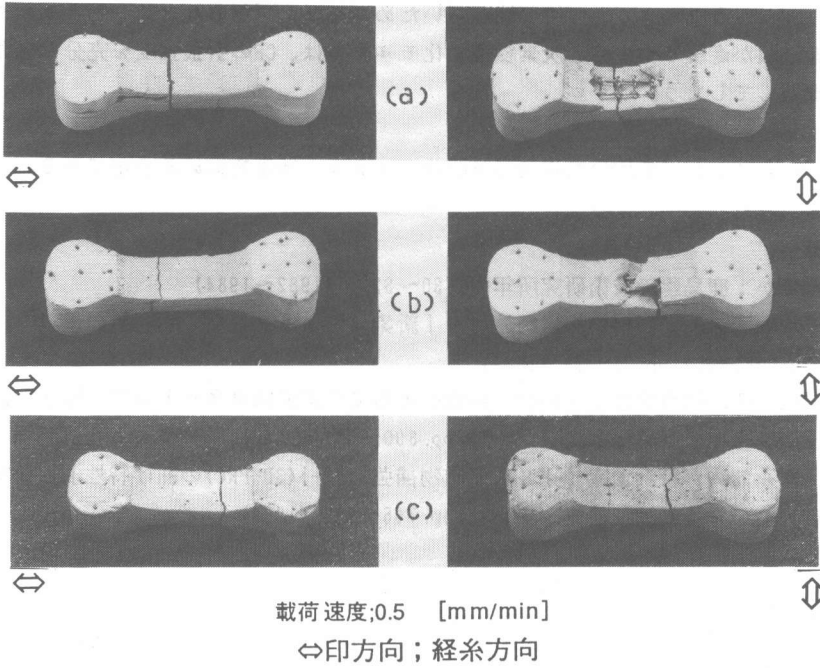


写真1 炭素繊維強化モルタル引張試験破壊状況

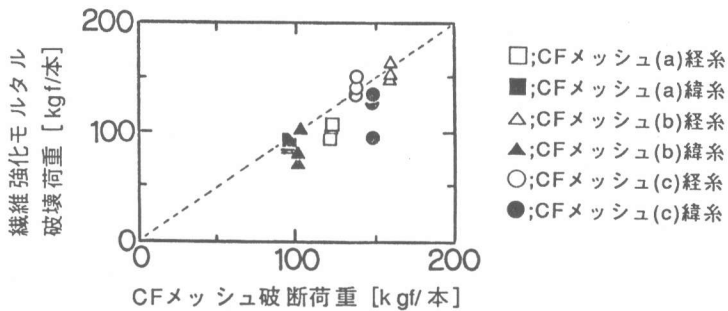


図8 CFメッシュ破断荷重に対する炭素繊維強化モルタル破壊荷重の関係

5. まとめ

今回の検討結果から以下のことがわかった。

- 1) CFメッシュの引張強度、弾性率は、経糸に低剛性糸を用いたCFメッシュ(b), (c)の方が、低剛性糸を用いないCFメッシュ(a)に比べ優れている。

また、緯糸方向引張加工によりCFメッシュは等方性となる。

- 2) 定着強度は、低剛性糸を用いたCFメッシュ(b)の方が低剛性糸を用いないCFメッシュ(a)に比べ低い。しかし、緯糸方向引張加工を施したCFメッシュ(c)は、CFメッシュ(a)の経糸方向相当の定着強度は確保できる。

また、CFメッシュ(b'), (b'')のように低剛性糸の本数および糸使いを変えることにより、定着強度を制御、向上させることができる。

- 3) CFメッシュ(c)と同強化モルタルの引張強度はほぼ一致する。

しかし、CFメッシュとモルタルとの接着性が悪いため、クリンプがあるとCFメッシュとモルタル界面との界面破壊が進展しやすく、炭素繊維強化モルタルは、CFの引張強度を十分に発揮しないうちに破壊してしまう。

今後、これらのメッシュを用いた炭素繊維強化モルタルの評価を進める予定である。

6. 参考文献

- 1) 秋浜, 末永ほか: 鹿島建設技術研究所年報, 30~32号 (1982~1984)
- 2) 山下武秋, 木内武夫, 犬飼晴雄, 岩崎達彦: 「新素材によるPC橋 新宮橋の建設」, プレストレストコンクリート, Vol. 31, No. 2, pp. 71~78 (1989)
- 3) 南英明, 太田俊昭, 牧角龍憲: 「コンクリート補強材としての炭素繊維ネットの付着性状」, 土木学会西部支部研究 発表会講演概要集, V-19, pp. 600~601 (1989)
- 4) 中川裕章, 末永龍夫, 秋浜繁幸: 「3次元織物補強コンクリート(3D-FRC)の曲げ特性」, 日本建築学会1989年度大会 学術講演梗概集, A-1383, pp. 765~766 (1989)