

論文

[1185] 軸方向連続繊維モルタル板におけるガラス短繊維併用の引張性状に及ぼす影響

正会員 福沢 公夫 (茨城大学都市システム工学科)

正会員○野崎 秀洋 (")

田中 克志 (茨城大学大学院)

堀口 邦広 (秩父セメント中央研究所)

1. 目的

セメント系マトリックスは脆性的な材料であり、その引張性状を改善する方法として、連続繊維を軸方向補強材として用いる方法が、最近注目されている。筆者らは、炭素繊維やアラミド繊維のロービングに樹脂を塗付し、樹脂が硬化する前にモルタルと積層してつくる方法により、繊維とモルタルとの付着特性が向上し、引張強度も高まることを報告した[1]。しかしこの場合、補強される部分が軸方向に限定されるため、繊維に添って生じるひびわれや、層間剥離が生じ易く、その結果、連続繊維が本来の強度を十分に発揮できない状態にある。そこで、これらの欠点を防止し、引張強度、応力-ひずみ関係およびひびわれ分散性を改善する方法として、マトリックス中にランダムに短繊維を配置することが考えられる。連続繊維と短繊維を併用したモルタル板の物性についての報告は、極めて少なく、岡田、横谷らが、ガラス繊維のネットと短繊維を併用するときの、荷重-たわみ曲線の例を示しているにすぎない[2]。

本研究は、短繊維としてガラス繊維を用い、繊維長を変化させて、連続繊維と併用した場合のモルタル板の引張性状に及ぼす影響を実験的に検討した。

2. 実験方法

2. 1 要因と水準

要因と水準を表-1に示す。連続繊維として、①PAN系炭素繊維および②アラミド繊維のロービングを用いた。繊維の補強およびモルタル打設時期については、①繊維の処理を行わずにモルタルを打設する

場合(以下、無処理打設と略す)、②エポキシ樹脂を塗付し、樹脂が硬化する前にモルタルを打設する場合(以下、樹脂硬化前打設と略す)、③硬化後にモルタルを打設する場合(以下、樹脂硬化後打設と略す)の3方法を比較した。ガラス短繊維長は、①0mm(混入しない)、②3mm、③6mmと変

表-1 要因と水準

要因	水準	備考
連続繊維の種類	炭素繊維, アラミド繊維	
連続繊維の処理方法	無処理, 樹脂塗布, 樹脂塗布	処理方法
および打設時期	-, 硬化前, 硬化後	打設時期
マトリックスの種類	0mm/0%(短繊維なし), 3mm/2%, 6mm/2%	短繊維長/Vol.添加量

表-2 繊維の基本特性

繊維の種類	処理方法	単繊維径* (μm)	フィラメント数*	引張強さ (kgf/本)	引張強度 (kgf/mm ²)	のび (%)
炭素繊維	無処理	7	3000	10.3	89.2	0.8
	樹脂塗布硬化後			36.1	311.2	1.4
アラミド繊維	無処理	11.9	1000	28.3	254.5	2.3
	樹脂塗布硬化後			37.6	338.4	3.1
ガラス繊維	無処理	13.5	400	7.4	130.0	1.7

*: メーカーにおける試験値

表-3 モルタルの配合

S/C (%)	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				
		セメント	骨材	水	AE減水剤	AE剤
15.0	47.0	808	121	380	20.2	0.4

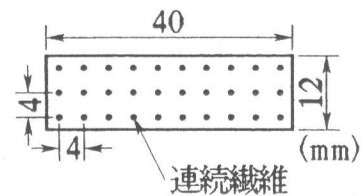


図-1 供試体断面

化させた。混入量は2 vol.%であり、供試体数は、各2体とした。

実験に使用した各繊維の処理方法を変えたときの基本特性を表-2に示す。無処理の場合、各フィラメントの応力が不均一なため強度が低くなる。また、樹脂を塗布することによって多くのフィラメントが一体化し、部分的な応力の集中が生じにくくなり、強度が大きく増加する。

短繊維は、モルタルの練り混ぜ時に混合した(プレミック)。また、モルタルに使用したセメントは、GRCセメントであり、骨材は、軽量骨材のシラスバルーン(平均粒径、約52 μm)である。混和剤としてAE剤およびAE減水剤を用いて、打設時のフロー値は、PB法により約20 cmであり、引張試験時のモルタルの比重は約1.5である。そのモルタルの配合を表-3に示す。

2. 2 供試体および載荷方法

供試体は4×1.2×5.2 cmの平板であり、連続繊維は、図-1の供試体断面図に示すように、ローピングを鉛直、水平方向とも4 mm間隔で配置した。また、モルタルの打設方法は、繊維を配置した後、流し込みにより成形した。モルタル打設後40℃、8時間の蒸気養生を行なった後、27日間水中養生、その後約1日気中静置し引張試験を行なった。引張試験方法の概略を図-2に示す。供試体の設置は、モルタル板の両端から1.3 cm迄の部分石膏を介して鉄板で固定し、その鉄板をロットエンドを使用して上下から引張力を与えた。モルタル板の引張有効長さは2.6 cmである。荷重はロードセル、ひずみは、中央部にゲージレンジ30 mmのワイヤストレインゲージおよび、ゲージレンジ6.6 mmの光学式変位計を取付け測定し、ひびわれ発生まではワイヤストレインゲージの値を、それ以降は光学式変位計の値を用いた。また、供試体破壊後のひびわれ本数を目視により測定した。

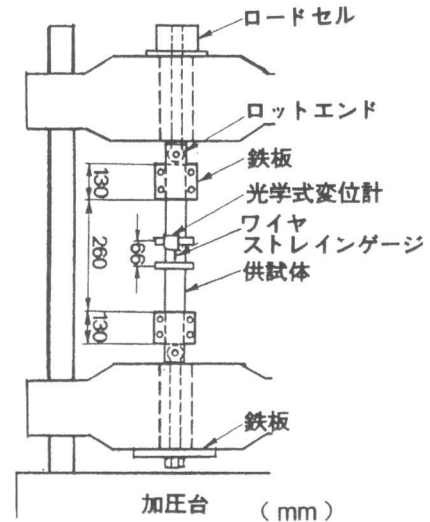


図-2 引張試験方法

3. 結果および考察

3. 1 供試体のひびわれ状態

写真-1、2に、試験後の供試体の状態を示す。写真-1は短繊維を用いない場合の、繊維の処理方法を比較している。写真-2は、樹脂硬化前打設における短繊維の影響を示している。

写真-1より、樹脂硬化前打設、およびアラミド繊維を用いた無処理打設の、ひびわれ分散性が良好であることがわかる。モルタルと連続繊維の付着が良いためと考えられる。しかし、樹脂硬化前打設には、軸方向に連続繊維に添ったひびわれも生じている。樹脂硬化後打設には、連続繊維が引き抜けて破壊に至ったものもあった。

写真-2より、短繊維を混入することにより、また、繊維長が3 mmより6 mmと長い方がひびわ

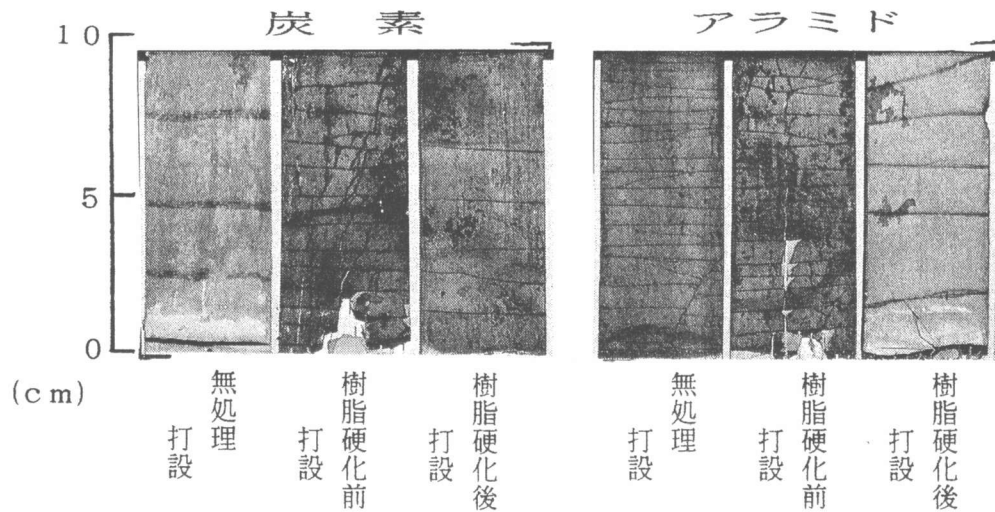


写真-1 供試体のひびわれ状態(処理方法の影響)

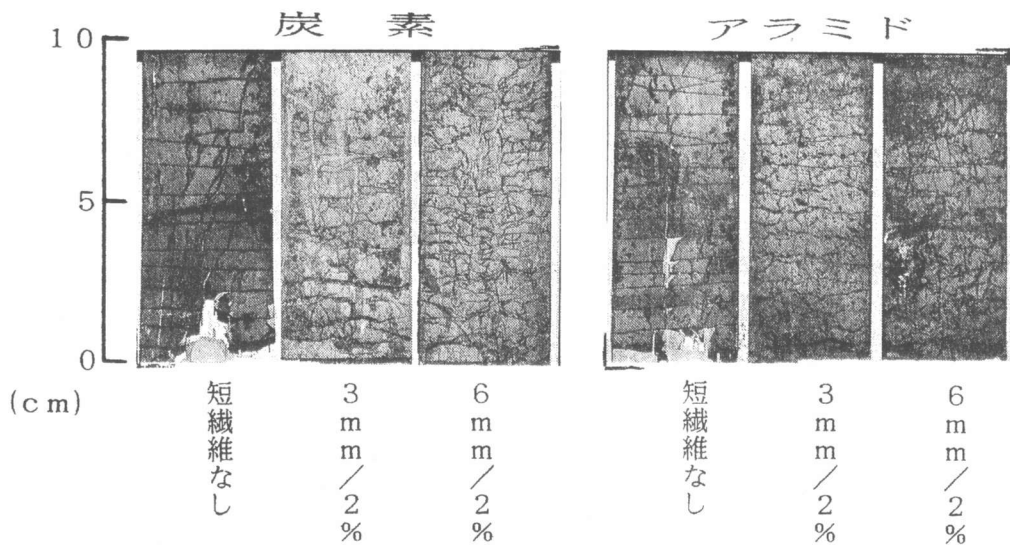


写真-2 供試体のひびわれ状態(短繊維の影響)

れ分散性が向上することが示されている。さらに短繊維を混入した供試体は、全面にひびわれが分散している。また、連続繊維に添ったひびわれは認められない。短繊維の混入により、ひびわれ幅の拡大が抑制される結果であろう。ひびわれを分散させる傾向は、樹脂硬化後打設についても効果があり、特にアラミド繊維を用いる場合に顕著である。

モルタルと連続繊維の付着状態あるいは混入した短繊維の有効性を判断するため、破壊後のひびわれ本数を目視により測定した。その結果として図-3に、連続繊維および処理方法を変化させるときのひびわれ本数を示す。これにより、短繊維を混入し、しかも繊維長が長いものほどひびわれ本数が増加し、ひびわれ分散性の向上に有効であることがわかる。また、両繊維とも樹脂硬化前打設あるいはアラミド繊維を用いた無処理打設のひびわれ本数が多く、モルタルとの付着状態が良いことがわかる。

3. 2顕微鏡による断面の観察

モルタルと連続繊維の付着状態を目視で確認するため、引張試験後の供試体について、走査型

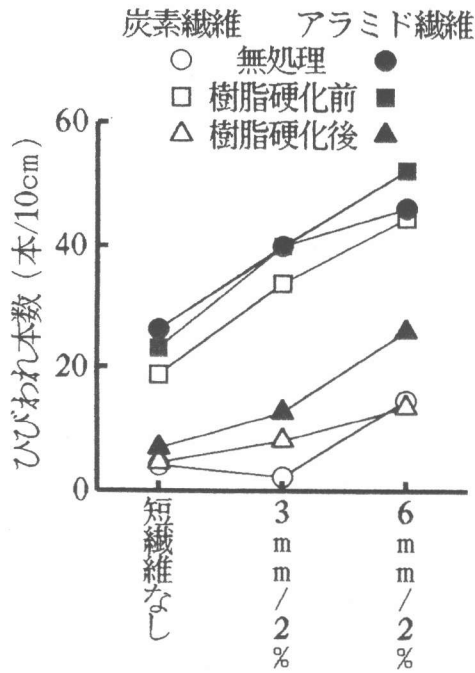
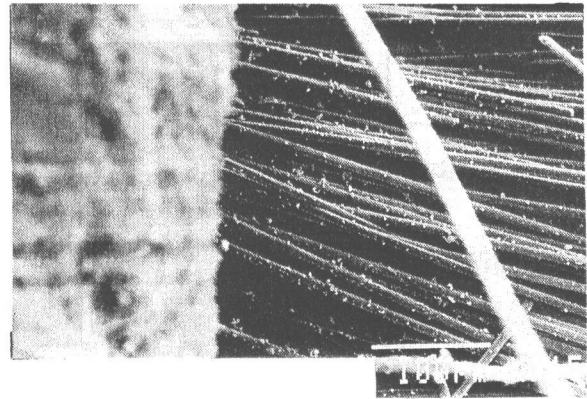


図-3 ひびわれ本数と短繊維の関係

電子顕微鏡による観察を行なった。炭素繊維を用いる場合について、無処理打設、樹脂硬化前打設および樹脂硬化後打設の繊維の状況を写真-3のa~cに示す。これらは、破断面を繊維の側面から撮影したものである。無処理打設の場合、フィラメントが1本ずつ確認でき、モルタルが繊維中に侵入していない。樹脂硬化後打設は、繊維を樹脂が完全に覆ってしまい表面が平滑であり、モルタルの付着がみられない。樹脂硬化前打設では、繊維が樹脂により収束されてかつ、モルタルが繊維表面に多く付着し、樹脂が硬化する時点においてモルタルを抱き込んで硬化していることがわかる。このように、硬化前打設は他の処理方法と比べモルタルとの付着状態が優れることが確認できた。

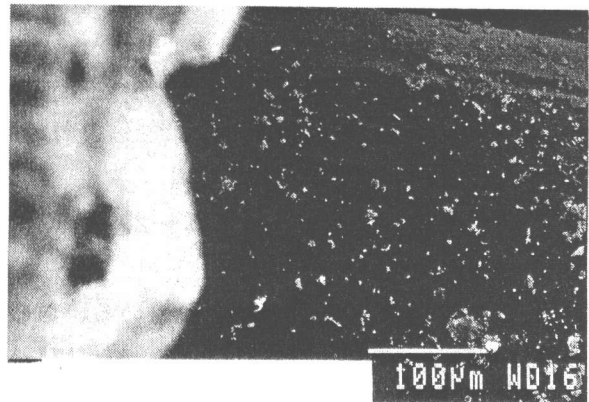
アラミド繊維を用いた無処理打設の破断面の状況を写真-4に示す。これより、アラミド繊維間にモルタルが入り込んでいることがわかる。アラミド繊維の場合、単繊維径が大きく、またフィラメントが直線的でないため、炭素繊維に比べフィラメント間に隙間が生じ、フィラメント間にモルタルが侵入し易かったものと考えられる。これが、アラミド繊維の無処理打設の場合、ひびわれが分散する原因と思われる。



a 炭素・無処理打設



b 炭素・樹脂硬化前打設



c 炭素・樹脂硬化後打設

写真-3 モルタルと連続繊維の付着状態
140倍

3. 3 応力-ひずみ関係

図-4は、短繊維を用いない場合の繊維の処理方法が応力-ひずみ関係に及ぼす影響を示している。これより、炭素、アラミド繊維とも応力-ひずみ関係は、処理方法に関係なく、小林らの研究で示されている、3つの領域を経過し破壊に至っていること[3]および樹脂硬化前打設は他の処理方法に比べ引張強度および終局ひずみ大きいことがわかる。これは3.1で述べたように、樹脂硬化前打設は、モルタルと



写真-4 モルタルと連続繊維の付着状態
(アラミド・無処理打設) 170倍

の付着が優れていることによって、繊維本来の強度に近い値を発揮できたものと考えられる。図-5は、樹脂硬化前打設の短繊維の混入の影響を示したものである。これにより、短繊維を混入したことによって、①引張強度や終局ひずみに明らかな差を認めることは難しいこと、②3mmの混入の場合は、明確に表れないが、6mm混入の場合は、ひびわれ発生以後、そのまま応力とひずみがほぼ直線的に増加しており、2つの領域を経過して破壊に至っていることがわかる。これは、6mmの短繊維がひびわれ幅の増大の抑制に効果があるための結果と考えられる。これらの傾向は、引張強度の低い炭素繊維の無処理打設を除いた全ての供試体について同様であった。

3. 4 引張強度

図-6に繊維の種類および繊維の処理方法における短繊維と引張強度との関係を示す。

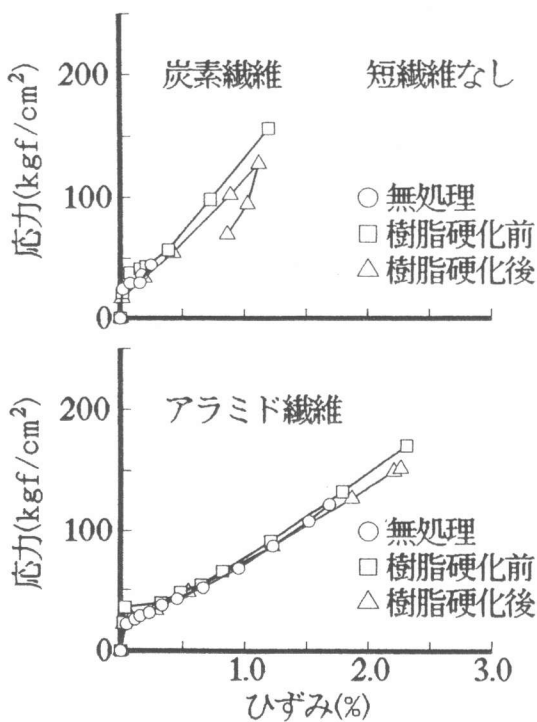


図-4 応力-ひずみ関係
(処理方法の影響)

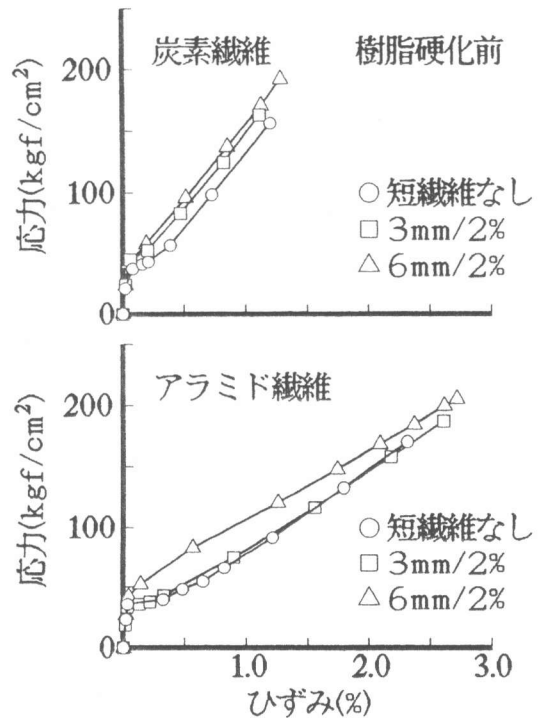


図-5 応力-ひずみ関係
(短繊維の影響)

同図中には、繊維の引張強さより求めた計算値および、マトリックスの引張試験結果も示した。図-6よりどの場合においても、樹脂硬化前打設が最も強度が大きく、次いで樹脂硬化後打設、無処理打設の順となっている。繊維の種類については、すべてにおいてアラミド繊維が炭素繊維を上回る結果となった。また、実測値は計算値に比べ、どの場合でも小さい値となっているが、樹脂硬化前打設で計算値の80%前後の強度を示し、最大は、アラミド繊維、短繊維6mmの場合で87%であった。また、モルタルに短繊維を混入する影響は、炭素の無処理打設の場合を除き、ほぼどの場合においても短繊維長が長くなるに従い、若干ではあるが強度が増加する傾向にある。これは前項で述べたことが原因と考えられるが、特に6mmは、ひびわれ分散性に優れ、局部的な応力の集中が生じにくいこと等が原因と思われる。

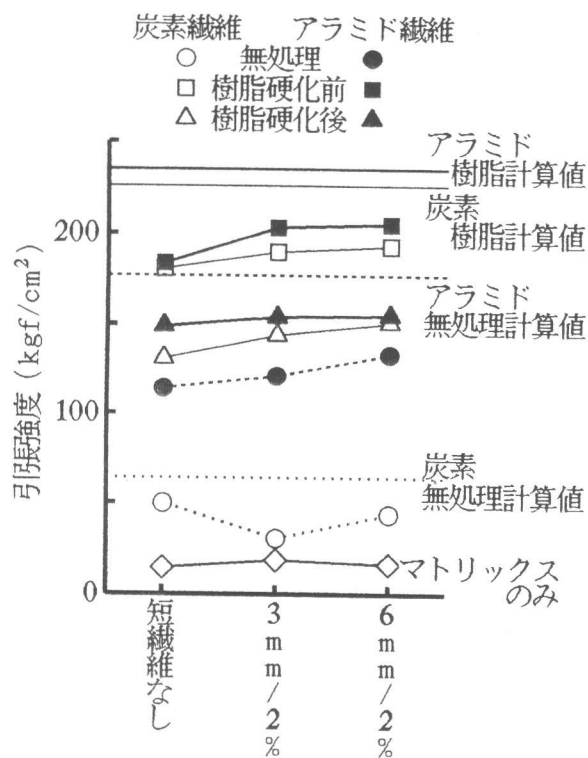


図-6 引張強度と短繊維の関係

4. 結論

- (1) 短繊維をモルタルに混入したことによって、①ひびわれ分散性を向上させる、②応力-ひずみ関係が、ひびわれ発生迄とひびわれ発生から破壊迄の2つの領域で表されるようになる、③引張強度を若干ではあるが増加させる、などの効果がある。
- (2) 連続繊維に樹脂を塗付し、樹脂の硬化前にモルタルを打設することにより、連続繊維とモルタルの付着が良好となり、ひびわれ分散性が向上し、引張強度が増加する。
- (3) アラミド繊維は、無処理であっても、繊維の間にモルタルが入り込むので、モルタルとの付着が改善され、ひびわれ分散性が向上する。

[謝辞]

材料は、東レ(株)およびショーボンド建設(株)より提供して頂いた。また、実験計画にあたっては、秩父セメント(株)の吉田八郎氏および内田郁夫氏に御助言を頂いた。付記して感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 福沢公夫, 沼尾達弥, 武地道男: 炭素繊維・アラミド繊維のロービングを配置したモルタル板の引張性状, セメント技術年報41, pp459~462, 昭和62年
- [2] 岡田賢一, 榎谷栄次, 油田憲二, 小椋克也: GFRC薄肉プレキャストRC柱のせん断挙動に関する研究, 日本建築学会大会講概集(東北), pp713~714, 1991.9
- [3] 小林一輔, 松崎薫: 繊維補強セメント複合板の引張特性, コンクリート工学年次講演会論文集, Vol.6, pp337~340, 1984