

報 告

[1186] 各種短繊維補強材を用いた吹付けコンクリートの研究

正会員○田村富雄（三井建設 技術開発推進部）

酒入 修（三井建設 技術研究所）

蓮尾孝一（三井建設 技術研究所）

樋口正典（三井建設 技術研究所）

1. はじめに

新素材繊維のコンクリート補強材としての利用が各所で進み、繊維材料の種類、形状、使用方法も多岐に渡っている。ここではアラミド繊維、ビニロン繊維の短繊維集束材及び、比較のための鋼繊維を吹付けコンクリートの補強材に用いるための基礎的な実験を行なったので報告する。

2. 補強用短繊維の物性

今回の試験では、3種類（鋼繊維、ビニロン繊維及びアラミド繊維）の短繊維を使用した。それぞれの基礎的な物性を表-1に示す。

鋼繊維は市販されているもので、長さ25mm、0.5mmの正方断面を有するストレートタイプであり、かつその端部にフック加工が施されている。ビニロン繊維はユニチカ社製の高強度ビニロン-1800デニールの原糸を樹脂で集束したもので、長さ24mmで、0.77×0.38mmの断面を有している。ただし、樹脂量は全体の約10

(wt%)と低く、集束の程度も指で繊維をはぐせるほどである。アラミド繊維は、今回筆者らが開発したもので、原糸としてデュボン社製のKevlar-49-1420デニールのものを用いている。これをエポキシ樹脂で集束させ、かつモルタルとの付着力向上のため、表面に細かい砂を付着させたものである。長さ25mm、直径0.5mmの円形断面を有している。なお、集束力は強く、細い針状になっている。

それぞれの繊維の引張強度は鋼繊維で60kgf/mm²、ビニロン繊維で105kgf/mm²、アラミド繊維で227kgf/mm²である。また弾性係数は、それぞれ21,000kgf/mm²、2,600kgf/mm²、9,600kgf/mm²である。ただしビニロン繊維、アラミド繊維共に、1単位繊維（原糸+樹脂）の正確な断面積が把握できないため、それに含まれる原糸の断面積で計算した。

3. 短繊維補強モルタルの品質

上記短繊維のモルタル補強効果を識るために、通常の打ち込み方法により作成した短繊維補強モルタル試験体を用い、圧縮強度試験及び曲げ強度試験を行った。短繊維混入率は、その効果の差を得るために、鋼繊維及びビニロン繊維については、外割の容積率（以下V_fと記す）0.25、0.50、0.75、1.00%（実繊維分）を、アラミド繊維については、同じく0.50、1.00%（実繊維分）とした。なお、比較のために、ベースモルタルについても同様の試験を行なった。

表-1 短繊維の基礎物性

繊維の種類	鋼 繊 維 JIS G 3141 1種 (SPCC)	ビニロン繊維 ユニチカ MEWILON AA1800 ^d /750 ^f	アラミド繊維 Kevlar-49 1420d
加工処理	—	樹脂含浸集束 (繊維分約90wt%)	樹脂含浸集束 表面砂付処理 (繊維分約60wt%)
公称断面 [mm]	0.5×0.5	0.38×0.77	φ0.5
長 さ [mm]	25	24	25
比 重 [g/cm ³]	7.85	1.3	1.4
引張強度 [kgf/mm ²]	60	105	227
弾性係数 [kgf/mm ²]	21000	2600	9600

注1) 鋼繊維は日鐵建材工業㈱ STIEBER

注2) ビニロン繊維、アラミド繊維の比重は換算値

注3) ビニロン繊維、アラミド繊維の引張強度、弾性係数は実繊維断面で計算

ベースとなるモルタルの配合は、表-2に示すようであり、セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。モルタルの混練りは、強制練りミキサーを用いて行った。短繊維は、ベースモルタルを練り上げた後に分散投入し、その後2分間練り混ぜを行った。練り上がった短繊維補強モルタルは、所定のモールドに打ち込み、1日湿潤養生を行った後に脱型し、以後標準水中養生を行った。

表-2 ベースモルタルの配合

W/C [%]	単位重量 [kg/m ³]			AE減水剤 cc
	C	W	S	
5.0	570	285	1377	114.0

表-3 ベースモルタルの性能 (材令28日)

圧縮強度 [kgf/cm ²]	曲げ強度 [kgf/cm ²]	曲げタフネス [kgf·cm]
49.2	29.9	21.3

圧縮強度試験はφ10×20cmの試験体を用い、JIS-A-1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠して行った。曲げ強度試験は10×10×40cmの試験体を用い、JIS-A-1106「コンクリートの曲げ強度試験方法」に準拠して行った。なお、曲げ試験においては、JCIのJCI-F4「曲げタフネス試験方法」によりタフネスの測定も行った。試験材令は、全て28日とした。

ベースモルタルでの試験結果を表-3に示す。また、短繊維補強モルタルでの圧縮試験、曲げ試験及び曲げタフネス測定の結果を、各々図-1、2、3に示す。なお、ここでは、各々ベースモルタルでの値に対する比率を用いた。

圧縮強度については、強度比0.96~1.07であり、短繊維の種類及び混入率による効果の差はほとんど得られなかった。

曲げ強度については、鋼繊維補強モルタル(以下SFRMと記す)及びビニロン繊維補強モルタル(以下VFRMと記す)がほぼ同等の性能を示し、 $V_f=1.0\%$ で強度比1.9~2.0であった。アラミド繊維補強モルタル(以下AFRMと記す)はそれを上回り、 $V_f=1.0\%$ で強度比2.6を示した。混入率の影響に

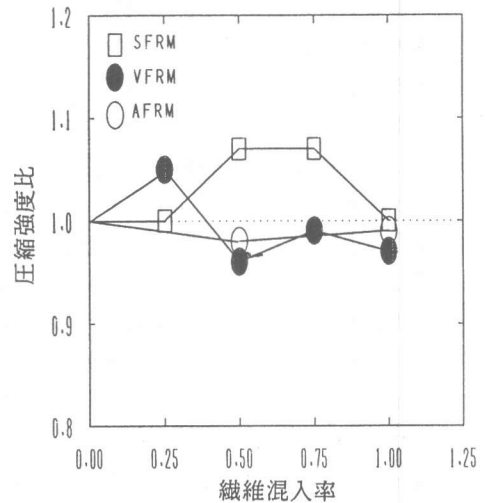


図-1 圧縮強度と繊維混入率の関係

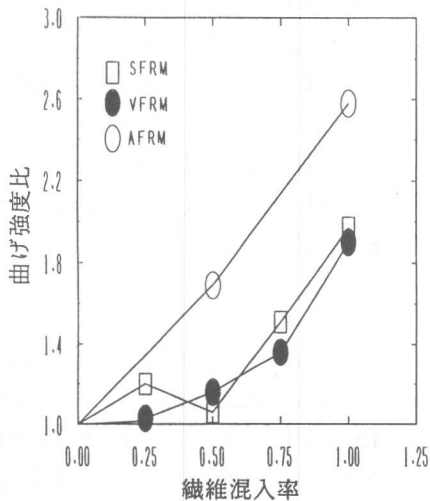


図-2 曲げ強度と繊維混入率の関係

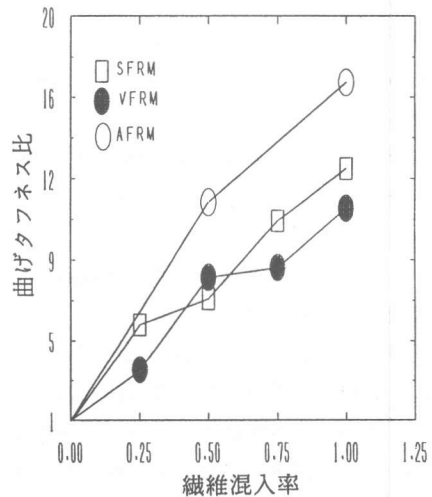


図-3 曲げタフネスと繊維混入率の関係

については、SFRM、VFRMともVf=0.5%以上では、混入率の増加に伴う強度増加がみられるが、それ以下の混入率においては強度比1.0~1.2と、ほとんど効果がみられなかった。しかし、AFRMでは、Vf=0.5%で強度比1.7を得た。そして、この結果は、主にモルタルに対する繊維の最大の付着応力に起因するものと思われる。すなわち、ビニロン繊維は、鋼繊維と同等の最大付着応力を有し、両繊維ともVf=0.5%以下までは、その最大付着応力の総和がモルタルのひび割れ発生応力に比し小さいために、曲げ強度に対する補強効果がほとんど得られないものと考えられる。それに対してアラミド繊維では、砂による表面処理によりその最大付着応力が向上したために、Vf=0.5%においても、鋼繊維、ビニロン繊維でのVf=1.0%にせまる補強効果が得られたものとする。

曲げタフネスについても曲げ強度同様、SFRMとVFRMはほぼ同等の性能を示したが、AFRMはそれを上回る性能を示した。Vf=1.0%でのタフネス比は、各々SFRMで12.9、VFRMで11.0、AFRMで16.9であるが、AFRMではVf=0.5%のタフネス比が11.3と、SFRM及びVFRMにおけるVf=1.0%での値に近い。混入率の影響については、曲げ強度とは異なり、各補強モルタルとも混入率の増加に伴いタフネスの増加がみられた。これは、曲げタフネスに対する繊維の補強効果が主に、モルタルに対する繊維の引き抜き抵抗によって決まるためと考える。

以上の結果から、短繊維のモルタル補強効果については、鋼繊維とビニロン繊維はほぼ同程度であり、アラミド繊維はそれらを上回る性能を有することがわかった。そして、曲げ強度及びタフネスに対する補強効果については、モルタルに対する短繊維の付着性能が影響すると考えられる。

4. 短繊維補強吹付けモルタルの品質

短繊維補強モルタルの吹付け材料としての性能を識るために、吹付け試験体による圧縮強度試験及び曲げ強度試験を行なった。短繊維混入率は、ビニロン繊維及びアラミド繊維については、Vf=0.5%（実繊維分）、鋼繊維については、同じく1.0%（実繊維分）とした。なお、比較のため、ベースモルタルについても吹付け試験体により同様の試験を行なった。

ベースモルタルの配合及び練り混ぜの方法は、前章「短繊維補強モルタルの性能」と同様であるが、吹付け時に急結剤（セメント重量に対して5~7%）の添加を行なった。吹付けは湿式とし、吹付け機及び当社開発の吹付けロボットを使用して行なった。試験体の採取方法としては、土木学会規準「吹付けコンクリートの強度試験用供試体の作り方（案）」に準拠し、まずはね返り材が流出する様に端板の一枚を外した木製の箱を70°位にたてかけて、上部より下部へ順次吹付けを行った。そして、一定期間養生したのちから試験体を切り出した。

圧縮強度試験、曲げ強度試験及び曲げタフネス測定については、前章「短繊維補強モルタルの性能」と同様に行なった。試験材令は28日とした。

ベースモルタル及び各繊維補強吹付けモルタルの性能を表-4に、曲げ荷重～たわみ曲線を図-4に示す。なお、ここでのたわみは加力点での値である。

圧縮強度については、各々ベースモルタルに対する強度比で1.2~1.4を示す。

曲げ強度については、同じく強度比で、鋼繊維補強吹付けモルタル（以下SFRSMと記す）Vf=1.0%が2.5、ビニロン繊維補強

表-4 繊維補強吹付けモルタルの性能

試験体種別	Base Mortar	S F R M	V F R M	K F R M
補強繊維種別	—	鋼繊維	ビニロン繊維	アラミド繊維
繊維混入率[vol%]	—	1.0	0.5	0.5
圧縮強度[kgf/cm ²]	242	322	328	301
曲げ強度[kgf/cm ²]	20.2	50.2	33.8	63.7
曲げタフネス[kgf·cm]	11.5	214	111	287
換算曲げ強度[kgf/cm ²]	1.72	32.1	16.7	43.1

吹付けモルタル（以下 VFRSMと記す） Vf=0.5%が 1.7、アラミド繊維補強吹付けモルタル（以下 AFRSMと記す） Vf=0.5%が 3.2であった。また、曲げタフネスについては、同じくタフネス比で、SFRSM Vf=1.0%が18.6、VFRSM Vf=0.5%が 9.7、AFRSM Vf=0.5%が25.0であった。ここで、通常打設での結果では、SFRM、VFRMの Vf=1.0%とAFRMの Vf=0.5%がほぼ同等の性能を示したが、吹付けでの結果では、図-4 からわかるように、AFRM Vf=0.5%のほうが優っている。

そして、以上の結果から、吹付けでの結果は通常打設での結果に比べいずれも大きな値を示すことがわかる。しかし、これは繊維補強モルタルの性能が上がったのではなく、ベースモルタルでの性能低下が大きいためと思われる。そこで、通常打設での結果に対する吹付けでの結果の比率を調べてみた。その結果を表-5 に示す。これより、ベースモルタルについては、明らかに吹付けによる性能の低下が認められる。そして、SFRSM、VFRSMでは、性能の低下は小さく、AFRSMでは、圧縮強度を除けば、通常打設での結果を上回っている。ゆえに、短繊維を混入することは、吹付けモルタルの品質の低下をある程度軽減する効果があると考えられる。

5. まとめ

今回行った試験により、短繊維のモルタル補強効果については、ビニロン繊維と鋼繊維はほぼ同程度であり、アラミド繊維はそれらを上回る性能を有することがわかった。さらに、吹付けによる試験体と通常打設による試験体の試験結果を比較することにより、短繊維の混入が吹付けモルタルの係わる品質低下の軽減に寄与する可能性を得た。ここで、ビニロン繊維と鋼繊維を比較した場合、モルタル補強効果については同等であるが、耐久性の面からみると、ビニロン繊維の方が有利であるといえよう。特に、鋼繊維の発錆等を考慮に入れる場合には、鋼繊維のかわりにビニロン繊維の使用が考えられる。アラミド繊維については、モルタル補強効果は鋼繊維、ビニロン繊維を上回り、耐久性についても問題はない¹⁾が、砂による表面処理をほどこすために、現状としては経済性問題を残している。

なお、今回は短繊維補強モルタルにおける品質について、通常打設及び吹付けでの結果を報告するとどまった。短繊維のモルタル補強効果に対して最も影響があるのは、付着性能であると考えられるため、今後は短繊維、特にアラミド繊維、ビニロン繊維についてモルタルとの付着力を高めるような表面処理についての研究を行なっていきたいと考えている。

【参考文献】

- 岡本、松原、谷垣：アラミド繊維による組紐状棒材の研究 その1. 引張特性および耐久性について、日本建築学会大会学術講演梗概集 1987、PP.529～530

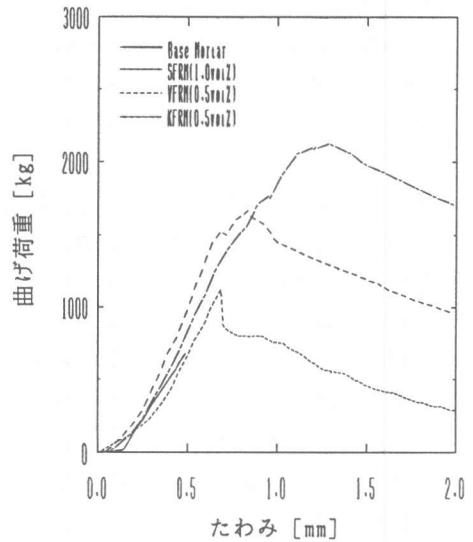


図-4 吹付けモルタルの曲げ荷重～たわみ曲線

表-5 通常打設での性能に対する吹付けでの性能の比率

試験体種別	吹付けでの性能値/通常打設での性能値		
	圧縮強度	曲げ強度	曲げタフネス
Base Mortar	0.5	0.7	0.5
SFRSM	0.7	0.9	0.8
VFRSM	0.7	1.0	0.7
AFRSM	0.6	1.3	1.2