各種繊維を用いた補強モルタル吹付厚さに関する基礎実験

日特建設㈱ ○池田 淳
㈱ニューテック 正会員 笹倉 博行
神鋼建材工業㈱ 三輪 充
萩原工業㈱ 大澤 孝史

1. はじめに

繊維補強モルタル・コンクリートは、曲げ強度、引張強度、せん断強度、曲げタフネス、韌性などがプレーンコンクリートより優れており、諸特性を生かして土木・建築の各分野に適用が図られている。土木分野においては吹付けコンクリート（トンネル・法面）・二次覆工・舗装工事に多く使用されている。最近、トンネルでは鋼繊維のほか有機繊維の分散性能や品質の向上が図られ施工が増えている。本実験は、鋼繊維（以下 **SF**）と有機繊維（以下 **VF**、**BC**）を用いたモルタルのフレッシュ性状および力学的特性を確認し、法面で使用できる繊維の種類の幅を広げることと、適正添加量を選定し吹付厚さを評価するものである。

2. 使用材料および配合

ベースモルタルの使用材料と鋼繊維、有機繊維の種類の組合せを表-1に示す。モルタルの配合は、単位セメント量を 480kg/m³、W/C=53%と固定し、繊維混入率は 1.0 vol%（VF18 のみ 0.75vol%）、フレッシュ性状でのスランプは SF を基準に 16±2.5cm とした。

表-1

材料			備考
セメント	普通ポルトランドセメント		
細骨材	混合砂		
高性能AE減水剤			
急硬剤			
補強繊維	SF80	φ0.8mm×30mm	鋼繊維
	SF75	φ0.75mm×30mm	鋼繊維
	VF30	φ0.66mm×30mm	有機繊維
	VF18	φ0.2mm×18mm	有機繊維
	BC	φ0.75mm×30mm	有機繊維
ひし形金網	ラス	#14 50×50	

3. モルタル練混ぜおよび供試体作成

モルタルの練混ぜは、強制 2 軸ミキサーを用い、補強繊維の投入には分散機を使用せず、圧縮強度試験供試体をφ10×20cm（円柱）、曲げ強度試験供試体を□10×10×40cm で作製した。分散性については、**SF**・**BC** および **VF30** は定量を一度に投入しても一様に分散（目視）するが、**VF18** は、定量を一度に投入するとファイバーボールができて、分散性に難があることが確認された。

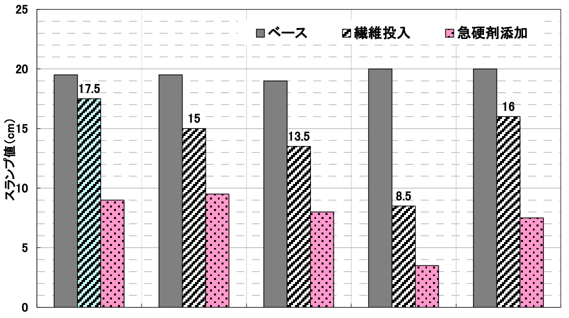

図-1フレッシュ性状

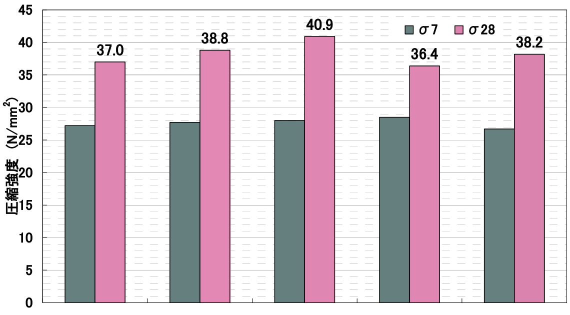

図-2 圧縮強度

4. 試験結果

（1） 補強繊維がスランプ値に及ぼす影響

同一配合で繊維の種類がスランプに及ぼす影響（フレッシュ性状）は、図-１に示すとおり、SF80、SF75 と BC がスランプロスが小さい。VF30 および VF18 はスランプロスが大きく特に、短くて細い **VF18** は添加すると圧送困難なスランプであり、圧送可能な程度のスランプにするには多くの水を添加する必要がある。したがって、**VF18** は圧送中の材料分離が懸念される。

（2） 圧縮強度

図-２に示すとおり、水セメント比と繊維混入率を固定しているため、繊維の有無や種類は、圧縮強度に影響していない。このことは、一般論を支持するものである。

（3） 曲げ強度、曲げ韌性係数

図-３に示すとおり、曲げ強度、曲げ韌性係数は、繊維を混入したモルタルの値が明らかに高く、また、図-4 に示すように、荷重－変形曲線よれば、**SF** の荷重が最も

キーワード： 繊維補強コンクリート、繊維補強モルタル、法面保護、鋼繊維、有機繊維、曲げ韌性

連絡先：〒104-0044 東京都中央区明石町 13－18 日特建設株式会社 TEL 03-3542-9298 FAX 03-3542-2081

高い値となっており、亀裂の抑制効果は鋼繊維が大きい。荷重-変形曲線の形状は繊維の種類によって異なる。載荷試験においてひび割れが目視確認できる供試体は、変形量で 0.2mm 付近の荷重が他の供試体に比べて明らかに低い、有機繊維は鋼繊維の値に比べると残留荷重は小さいが安定した靭性を有している。しかし、VF18 に関しては他の有機繊維に比べて残留荷重が低い。補強繊維は、降伏後も繊維が全引張応力を受け持ち、有機繊維は変形の進行とともに繊維が伸長する。SF はモルタルとの付着力や引抜き抵抗力による耐力がある。繊維補強モルタルは一般的にひび割れ本数、ひび割れ長さを低減する事ができるといわれている。比較すると、曲げ強度、曲げ靭性係数ともに SF が有機の 1.2～1.4 倍程度値になっている。

5. 考察

試験結果をもとに繊維補強モルタルでの吹付厚さを以下に試算し考察する。“鋼繊維補強コンクリート設計施工指針（案)”（土木学会）によれば、許容曲げ強度 σ_{ba} は以下の式により求めることとされている。

$$\sigma_{ba} \leqq \sigma_{bk}/4$$

$$\leqq \overline{\sigma_b}/2$$

ここに、 σ_{bk}：コンクリートの曲げ 強度

$\overline{\sigma_b}$：コンクリートの曲げ 靭性係数

※ σ_{ba} は大きい値を用いる。

ひし形金網入りモルタルおよびファイバー入りモルタルの許容曲げ強度は表-4 のとおりである。

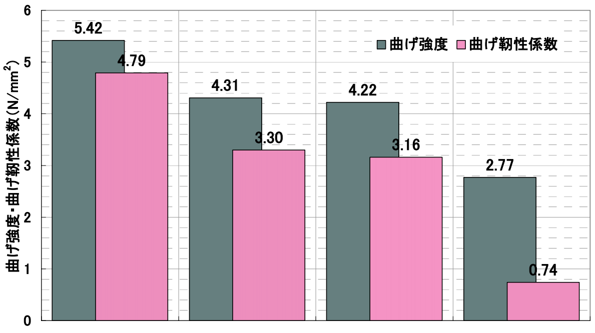

図-3 力学特性

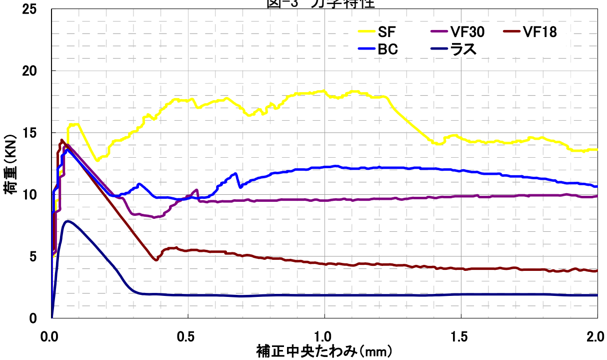

図-4荷重-変形曲線

表-4 吹付厚さ算出

	曲げ強度 σ_{bk} N/mm²	曲げ靭性係数 $\overline{\sigma}_b$	許容曲げ強度 σ_{ba} N/mm2		許容最大モーメント N・mm	吹付厚さ h mm
			$\sigma_{bk}/4$	$\overline{\sigma}_b/2$		
ラス	2.77	0.74	0.693	▨	115,500	100
SF	5.42	4.79	▨	2.395		54
VF30	4.31	3.3	▨	1.650		65
VF18	4.27	1.68	▨	0.840		91
BC	4.22	3.16	▨	1.580		66
		2.84	▨	1.422		*70*

ひし形金網入りモルタルを許容値とした場合、吹付厚さ h =10cm での許容最大モーメントは

$$M=\sigma Z=\sigma \times bh^2/6 \fallingdotseq 115{,}500\text{N・mm} \quad \cdots \quad \text{(1 式)（b を 10cm として算出)}$$

上記モーメントが作用した場合、それぞれのファイバーモルタルにて満足する吹付厚さを算出するために上式を変形すると以下の通りとなる。吹付厚さ h の算出結果を表-4 に示す。

$$h = \sqrt{6M\ /(b\sigma)} \quad \cdots \quad \text{(2 式)}$$

吹付厚さを 70%に低減するには曲げ靭性係数が 2.84N/mm² 以上あれば可能である。よって、使用可能なファイバーは SF・VF30・BC となり、吹付厚さ t ＝7cm が許容されることになる。

6. まとめ

本実験で得られた知見をまとめると以下のとおりとなる。

①. 分散性は SF・BC および VF30 は良好である。

②. スランプロスが少ない SF および BC は施工性を阻害することなく品質が確保される。

③. VF での施工は可能であるが、スランプロスが大きいため、使用に当たっては配合を検討し試験練による品質確認が必要となる。

④. 繊維補強モルタルはクラックの発生抑制・分散そして剥離・脱落の防止に寄与し、ラス網（ひし形金網）設置工を省略できる。

⑤. 繊維長は 30mm 程度が望ましい。

参考文献

1）鋼繊維補強コンクリート設計施工指針（案） 土木学会

2）鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアル （法面保護施工編） 社団法人 鋼材倶楽部 編