

(株) 間組 技術研究所 正員 中内 博司

喜多 達夫

○竹内 恒夫

1. まえがき

近年、モルタルやコンクリートに繊維を混入したコンクリート系複合材料の実用化の研究開発が意欲的に進められており、繊維のもつ諸特性を生かし、道路や空港の舗装、機械基礎およびトンネル覆工工法の吹付けなどに応用されている。

本報告は、繊維混入コンクリート系複合材料の強度特性を把握することを目的として一連の試験成果のうち繊維補強モルタルの強度特性について報告するものである。繊維としては、鋼、ガラス(耐アルカリ処理済)、有機糸および木質系の4種類を選定し、それぞれの混入率は実用的な範囲で変化させた。

2. 使用材料および繊維混入率

使用材料: 普通ポルトランドセメント, 比重3.17 細骨材: 霞

ヶ浦産川砂, 比重2.60, 粗粒率2.41

使用繊維の仕様を表-1に示す。各種繊維の混入率を表-2に示す。

表-1 使用繊維

繊維名	比重	形状寸法	長さ	断面形状
鋼	7.8	0.3×0.5×20	46 (4)	SN1
		0.3×0.3×30	89 (1)	SN2
		0.5×0.5×30	53 (1)	SN3
		0.25×0.55×25	60 (1)	SS4
		0.35×0.6×25	48 (1)	SY5
ガラス	2.7	ℓ=25~50"		GA6
ポリプロピレン	0.91	ℓ=5~6cm	1000	PM7
ビニルデン	1.7	ℓ=5~8"	50	BK8
		ℓ=6~10"	80	BK9
		ℓ=5~10"	120	BK10
		ℓ=5~7"	150	BK11
ゼラパック	0.96			BM12

注) 有機繊維: ポリプロピレン, ビニルデン, 木質繊維
ゼラパック

3. 試験方法

モルタルに各種繊維を混入した場合の繊維補強効果を思いだすため、基準となるモルタルは表-3に示す配合を選定した。この配合に各種繊維を混入した場合ワーカビリティは著しく悪くなり繊維の均等な分散が不可能となるばかりか、同一条件下での試験が困難となる。このため本試験では各種繊維の混入率を変えても、水セメント比およびフロー値が一定となるようなセメント砂比のもとで行った。練り混ぜは、90ℓの可傾筒式ミキサを使用し、砂、セメントおよび繊維をプレミックスしたのち水を投入する方法とした。繊維補強モルタルでは繊維の投入方法により練り混ぜ効果に差がでるが、本試験では鋼繊維はファイバーディスペンサーを使用し投入し、その他の繊維は手で徐々にほぐしながら投入する方法をとった。供試体の締固めは振動台(振動数3000rpm)を使用し、締固め時間は15秒とした。

表-2 繊維混入率

繊維名	繊維混入率					混入率の表示方法
	(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)	
鋼	1	2	4	—	—	容積百分率(%)
ガラス	0.5	1	1.5	2	2.5	(%)
ポリプロピレン	0.5	1	1.5	—	—	容積百分率(%)
ビニルデン	1	2	4	—	—	(%)
ゼラパック	1	1.5	2	—	—	容積百分率(%)

表-3 基本モルタル配合

水セメント比 W/C (%)	フロー値 (mm)	セメント砂比 C:S
51.4	130±10	1:3.1

試験は、フローおよび強度(圧縮および曲げ)の両者について実施した。供試体寸法は圧縮としてφ10×20cmを、曲げは100×40cmとし、養生は水中養生、試験材令は7日とした。なお曲げ強度試験時、繊維補強モルタルの変形特性を調べるため供試体中央点の変形をダイヤルゲージで測定した。表-4 練り上り性状の判定

4. 試験結果

1) 繊維の限界混入率

モルタル中に一定量以上の繊維を混入すると、練り混ぜ中に繊維がからめ合いボール状となり、均等に分布しなくなる。表-4に各種繊維補強モルタルの練り上り性状を示す。各種繊維の限界混入率は、鋼は一般に2%vol、ガラスは2%vol、ポリプロピレンは1.5%wt、ビニルデンは2%wt、ゼラパックは0.5%wtと考えられる。鋼繊維のうちアスペクト比89(SN2)では、混入率2%vol時一部ファイバーボール現象が認められた。

繊維名	項目	混入率					備考
		(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)	
鋼	混入率	1	2	4			アスペクト比
	判定	◎	○	□			46, 48, 53, 60
	混入率	1	2	4			アスペクト比=89
	判定	○	□	×			
	混入率	0.5	1	1.5	2	2.5	
ガラス	判定	◎	◎	◎	○	□	
	混入率	0.5	1	1.5	2		
ポリプロピレン	判定	○	○	□			デール数=1000
	混入率	1	2	4			
ビニルデン	判定	○	○	□			デール数=80
	混入率	1	2	4			
ゼラパック	判定	○	□	×			
	混入率	0.5	1	1.5			

注 ◎=良, ○=可, □=不良, ×=不可

(2) 繊維混入率と圧縮強度比 (図-1)

鋼繊維補強モルタルの圧縮強度は常にプレーンモルタルよりも大きい値を示すが、限界混入量付近では強度のバラツキが大きくなる傾向を示す。これは繊維がマトリクス中に均等に分散できていないためと思われる。鋼繊維では一般的に繊維混入率が2%までは圧縮強度比は大まくなり、プレーンモルタルの約1.5~1.9倍を示す。一方、有機繊維のうち、ポリプロピレン繊維は繊維混入率が増加すると逆に強度が低下する傾向を示す。

(3) 繊維混入率と曲げ強度比 (図-2)

鋼、ガラス繊維は混入率が増加するとほぼ直線的に曲げ強度比は増加する。特にSS4の曲げ強度比は他の繊維と比較して大きく、まいるが、これは表面波形をもうけた異形ファイバーであるため、マトリクスと繊維の付着面積が大まいためであろうと思われる。混入率2%の範囲までは曲げ強度比は1.4~1.9倍である。また有機繊維は混入率が増加しても、強度の増加は認められず、逆に低下する傾向を示す。曲げ強度比は1.0~1.2倍程度である。

(4) デニール数と曲げ強度比

有機繊維のうち、ビニルデン繊維は図-3に示すように、混入率が一定の場合、デニール数が大まくなる程曲げ強度比は低下する傾向にある。これは同一混入量とすれば、デニール数が大まくなる程引抜き抵抗に対する繊維の本数が減少するためであろう。

(5) 荷重-変形特性およびタフネス

曲げ試験供試体の荷重-変形曲線の一例を図-4に、また繊維混入率とタフネスの関係を図-5に示す。鋼、ガラス繊維は混入率の増加に伴い、破壊後の靱性が著しく向上する。特に異形ファイバーはフラットファイバーに比べ破壊後の変形特性は特に優れている。

5. 結論

- ① 鋼繊維混入率がモルタル容積の2%で、水セメント比54%のモルタル強度は、プレーンモルタルに対し、圧縮で1.6~1.9倍、曲げで1.7~1.9倍である。
- ② 鋼繊維混入率がモルタル容積の2%までは、一般にモルタルの曲げ、圧縮強度およびタフネスは混入率に比例するが、繊維の形状が強度に及ぼす影響はこの範囲では見られない。
- ③ フラットファイバーと異形ファイバーを比較した場合、終局強度およびタフネスは異形の方が優れている。
- ④ ガラス繊維は鋼繊維と同じような強度特性を示し、繊維混入率がモルタル容積の2%で、モルタル強度はプレーンモルタルに対し圧縮で1.2倍、曲げで1.5倍である。
- ⑤ モルタルへの有機繊維の混入効果は強度上はあまり期待できない。

6. おわりに 以上の実験の結果、各種繊維の混入率が繊維補強モルタル強度に及ぼす影響を知ることができた。レガレ、現場への適用に当り、マは、コンクリートへの混入効果の解明、繊維の特性を活かした設計法の確立、対象構造物に適した繊維や配合の選定、より有利な繊維形状寸法など多くの課題が残されている。

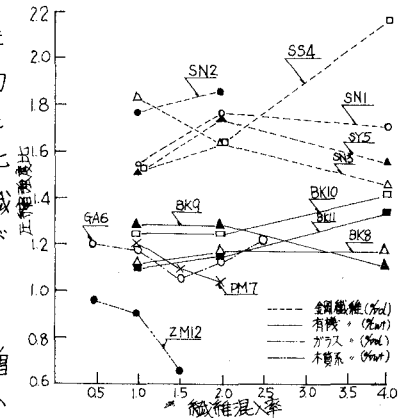


図-1 繊維混入率と圧縮強度比

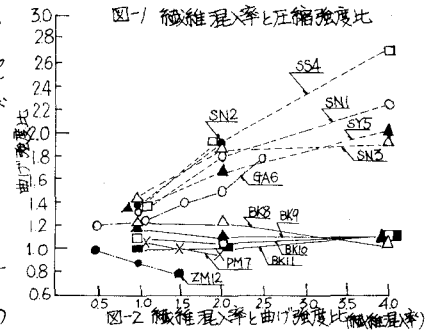


図-2 繊維混入率と曲げ強度比

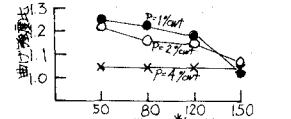
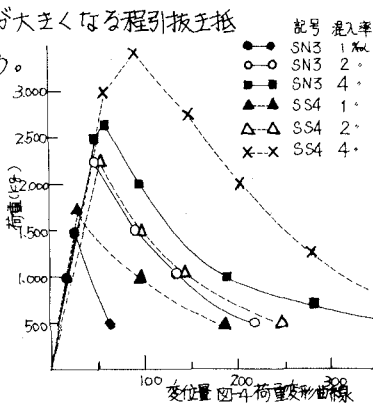


図-3 デニール数と曲げ強度比の関係

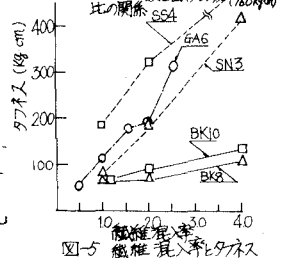


図-5 繊維混入率とタフネス