

清水建設(株)土木技術部 正員 ○森山 謙久

清水建設(株)研究所 ・ 中西正俊

高木 隼二

1. はじめに.

鋼繊維補強コンクリートは、その基礎的物性から応用開発まで広く研究が進められており、将来のコンクリートとして多方面に利用されることが期待されている。

本報告は、地下構造物において設計、施工上特に重要である覆工に吹付けコンクリートとして応用した場合の諸物性に関するものであり、特に膨脹性の地質の地下構造物への応用を考慮して超早強ポルトランドセメントを用いた鋼繊維補強吹付けコンクリートのせん断強度を中心に検討した。

なお、吹付けコンクリートは吹付け前と吹付けられたコンクリートの配合が同一でないのが通常であるため、試験は実際の工事を考えてパネルに吹付けしたコンクリートで行なった。

2. 実験の概要

2-1 実験計画 実験の要因、水準を表-1に、検討項目を表-2に示す。

2-2 実験方法

i) 使用材料 セメントは、普通ポルトランドセメント、超早強ポルトランドセメント(日本セメント製)を用いた。骨材は細骨材が川砂(5mm以下)比重=2.58、F.M=2.69、粗骨材は碎石(15mm以下)比重=2.70、F.M=6.20であった。

鋼繊維は、形状、寸法、製造メーカーの異なる次の3種類(せん断ファイバー)を用いた。

A繊維 0.3 × 0.5 × 20 mm S社製

B繊維 0.35 × 0.5 × 15 mm SN社製

C繊維 0.25 × 0.5 × 25 mm I社製

混和剤は、高性能減水剤または遅延型減水剤を用い、そのほかに急結剤を用いた。

ii) 練り混ぜ 試験練りを十分に行なったが、実際の練り混ぜにおいて予定のスランプが得られない場合には、ペーストまたは砂と碎石の混合物を加えてW/Cを所要の値に保った。なお、ハイスピードミキサー(容量0.15m³、32r.p.m)を用いて練り混ぜを行なった。

iii) 供試体の作製方法 供試体作製用パネル(60 × 80 × 10 cm)にコンクリートを吹付けた後、1日間は濡れムシロをかけて養生し、2日目にパネルから10 × 10 × 40 cmのビームを切り出し2日強度試験を行なった。

表-1 実験の要因と水準

要 因	水 準
スランプ (cm)	0~2, 8~10
水セメント比(%)	50 ± 3 ^(*)
細骨材率(%)	70, 100
繊維寸法(mm)	0.3 × 0.5 × 20 0.25 × 0.5 × 25 0.35 × 0.5 × 15
繊維混入率 (% vol.)	0, 1.0, 1.5, 2.0
吹付機械 (湿式)	S吹付機(M社製) C吹付機(K社製)

(*) 但し普通ポルトランドセメントについては約40%。

表-2 検討項目

硬化前	スランプ (JIS A1101) 空気量 (JIS A1128) 単位容積重量(JIS A1116)
硬化後	曲げ強度(JIS A1106) 圧縮強度(JIS A1114) せん断強度 長さ変化(JIS A1129)

28日強度試験用供試体については順次切り出しを行ない試験機まで水槽内で養生した。長さ変化試験体は我令7日まで水中養生し、その後、 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、 $60 \pm 5\% \text{RH}$ の恒温恒湿室で養生した。

IV) 試験方法 供試体はすべて吹付けパネルから切り出した $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ のビームを用いた。

せん断強度は2面せん断試験によった。その他の試験方法については表-2に示した。

3. 実験結果と検討

超早強ポルトランドセメントを用いた鋼繊維補強コンクリートは、普通ポルトランドセメントを用いたものに比較して練り混ぜが容易であり、同じセメント量の場合大量の鋼繊維を混入することが可能であった。これは超早強ポルトランドセメントの方が粉末度が入きいためと考えられる。

つぎに、2種類の湿式吹付け機を用いて吹付けたコンクリートのせん断強度試験結果を表-3、表-4に示す。

これらの表より以下の知見が得られた。
○2日せん断強度は養生方法のわずかな差がでたためバラツキがやや大きい。少なくともモルタルで 90 kg/cm^2 、コンクリートで 70 kg/cm^2 以上のせん断強度が期待できる。

○28日せん断強度では、鋼繊維の効果が見られており、超早強ポルトランドセメントを用いて鋼繊維混入率2% volで 211 kg/cm^2 を得た。また鋼繊維混入率による強度の増加率は超早強ポルトランドセメントを用いた方が普通ポルトランドセメントの場合より大きくなっている。
○鋼繊維の種類による差は強度上ではそれほど明らかではなかった。施工性の面からは短い方がよい。短い鋼繊維を用いて初期強度を得る方が有利であろう。
○吹付け機によってその最適配合が異なっているため強度上の差があるが、これはセメント量の差などによるものである。

4. おわりに

紙面の都合で圧縮強度、曲げ強度その他の試験結果を報告できなかったが、総合的には鋼繊維を用いた吹付けコンクリートに超早強ポルトランドセメントを用いることは物性上非常に有利である。さらに、吹付け前のコンクリートの品質管理を十分行なうことにより現在の湿式吹付け機でも十分施工可能である。

今後の問題点として、セメントの種類による急結剤の効果の差が考えられるため、この点につきさらに検討する予定である。

表-3 C吹付け機による鋼繊維補強モルタルのせん断強度試験結果

セメント種類	繊維種類	繊維混入率(%vol.)	せん断強度 (kg/cm^2)	
			材令 2 日	材令 28 日
超早強ポルトランドセメント	—	0	91.3 (100)	122.3 (100)
	A	1.0	93.6 (103)	163.8 (134)
		1.5	92.5 (101)	182.7 (149)
		2.0	113.7 (125)	211.1 (173)
	B	1.0	98.6 (108)	160.5 (132)
		1.5	104.8 (115)	162.6 (133)
		2.0	111.5 (122)	187.1 (153)
	C	1.0	114.3 (125)	141.8 (116)
普通ポルトランドセメント	—	0	46.6 (100)	124.6 (100)
	A	1.0	47.8 (103)	139.7 (112)

表-4 S吹付け機による鋼繊維補強コンクリートのせん断強度試験結果

セメント種類	繊維種類	繊維混入率(%vol.)	せん断強度 (kg/cm^2)	
			材令 2 日	材令 28 日
超早強ポルトランドセメント	—	0	73.2 (100)	115.9 (100)
	A	1.0	77.0 (105)	150.0 (129)
		1.5	99.9 (136)	157.8 (136)
		2.0	88.0 (120)	164.3 (127)
	B	1.0	85.9 (117)	143.7 (124)
		2.0	91.4 (125)	147.3 (127)
	C	1.0	80.5 (110)	140.0 (121)
普通ポルトランドセメント	—	0	—	97.3 (100)
	A	1.0	—	108.5 (112)