

—在来の吹付け機を用いた場合の諸性質および問題点—

鹿島建設技術研究所 正員 中原 康

〇正員 万木 正弘

正員 須藤 英明

I はじめに

鋼繊維補強コンクリート(以下SFRCと記す)については、内外で活発な研究開発が行われており、舗装コンクリートなどに応用され、良好な結果が得られているようである。吹付け工法への応用についても国外では行われているようであるが、その詳細については公表されたものは少なく、不明な点も多い。そこでSFRC吹付けの実態や問題点を把握するために、実際に吹付け機を用いて一連の施工実験を行った。

II 実験方法

実験はセメント砂比、鋼繊維混入率などを变化させた各配合を湿式吹付け機Sおよび乾式吹付け機Aを用いて合板パネル(60×70cm)に約10cm厚に吹付け、施工性を検討するとともに、吹付けたコンクリートから供試体を切り出し、力学的性質について試験を行った。また、吹付け施工したSFRCの品質を検討するための供試体作製方法についても検討した。実験の概要を表-1,2に示す。

III 実験結果および検討

(1) 吹付け性状；乾式吹付け機では鋼繊維混入率1%ol(容積パーセント)では吹付け可能であったが、2%olとなると、ドライミックス材料が吹付け機内の送り装置であるカートリッジ内に落下せず、圧送吹付けできなかった。湿式吹付け機では、鋼繊維混入率3%olでも圧送吹付け可能であり、圧送距離20~40mの範囲では特に支障となる点は見られなかった。

(2) 付着したコンクリート内の鋼繊維混入率；付着したコンクリートを洗い分析し、その中に含まれる鋼繊維混入率を測定した結果を表-3に示す。吹付けコンクリートにおいては練り混ぜ時の配合と実際に付着したコンクリートの配合とは異なるのが一般的であるが、SFRCにおいても同様の傾向が見られ、付着したコンクリート内の鋼繊維混入率は練り混ぜ時に比較して湿式で50%乾式ではわずか20%となっており、鋼繊維混入効果の点で極めて問題のあることが明らかとなった。この結果は今回用いた吹付け機固有の性質というより、ある程度湿式および乾式の吹付け機全般に共通したものと思われる。

(3) 混入した鋼繊維の分布、方向性；付着したコンクリート内の鋼繊維の方向性を調査した結果を図-1に示す。吹付けた方向と直交する平面内に分布する鋼繊維の

表-1 使用機材

使用機械	ミキサー	強制練り特殊ミキサ(湿式用) 傾胴式ミキサ(乾式用)
	吹付け機	乾式 A吹付け機(A社製) 湿式 S吹付け機(M製作所)
使用材料	セメント	早強ポルトランドセメント
	骨材	細骨材：富士川産川砂 粗骨材：6号砕石、G _{max} =15mm
	鋼繊維	0.25×0.5×25mm(住友金属工業製) 普通および試作異形*

* 普通鋼繊維両端部に凹凸を付けたもの

表-2 実験概要

試験要因 および 水準	配合 C:S:G	1:2:0, 1:3:0, 1:4:0, 1:3:1		
	鋼繊維種類	普通鋼繊維, 試作異形鋼繊維		
	鋼繊維混入率	0, 1, 2, 3(容積パーセント)		
試験項目	施工性	目視による		
	鋼繊維混入率	付着したコンクリートの洗い分析による		
	圧縮強度	供試体 10×10×10cm	材令 30~50日	
	曲げ強度	供試体 10×10×40cm		

表-3 付着したコンクリート内の鋼繊維混入率

吹付け 方法	セメント:骨 材:粗骨材 C:S:G	鋼繊維の 種類	鋼繊維の混入率(‰vol)		
			練り混ぜ時	付着時	$\frac{B}{A}$
湿式	1:3:0	普通 鋼繊維	1.0	0.6	60%
			2.0	1.0	50%
			3.0	1.6	53%
乾式			1.0	0.2	20%

単位面積あたりの本数は、上下方向 左右方向ではほぼ同数であったが、吹付け方向と平行な向きの本数は、これらの値の約 $\frac{1}{3}$ であった。このような方向性は吹付け施工時の衝撃や慣性によって鋼繊維の大部分が平面内に倒れてしまうことによると考えられるが、付着したコンクリートの補強の面からは、有利な方向を向く鋼繊維が多いこととなり、少ない鋼繊維混入率で優れた力学的性質を得ることも可能と考えられる。また吹付けたコンクリートの版厚方向には比較的均一な分布をなしており、パネルに接する部分の混入率が低下する傾向は見られなかった。

(4) 強度試験方法について ; $15 \times 15 \times 55 \text{ cm}$ の曲げ試験用型わくに吹付けて作製した供試体と パネルから切り出した供試体について、厚さ方向における鋼繊維の分布を調査した結果、曲げ試験用型わくを使用した場合には、パネルから切り出した場合と異なり、型わく底面からの距離に対してかなり不均一となっている。これは、曲げ試験用型わくの側面が鋼繊維のはね返りに影響をおよぼしたためと考えられるが、SFRC吹付けにおいてその品質を検討する供試体を作製するには、一般の曲げ試験用型わくを使用するのは適切でないと言えよう。

(5) 力学的性状 ; 強度試験結果の一例を表-4に示す。曲げ強度におよぼす鋼繊維の混入効果は、今回の実験ではあまり顕著ではなかった。これは付着したコンクリート内の鋼繊維の実質混入率が1%以下であったこと、およびマトリックス自体の強度が $70 \sim 80 \text{ kg/cm}^2$ と高かったことによるとと思われる。通常の吹付けコンクリートにおいては、曲げ強度は本実験で得られた値より小さいものと思われ、そのような場合における鋼繊維補強効果については今後検討する必要がある。

(6) 粗骨材の混入について ; SFRCの吹付けに粗骨材を混入した場合、はね返り率は従来の吹付けコンクリート同様多くなり、また強度的にはほとんど影響のないことが明らかとなった。長距離の圧送吹付けを考えた場合、SFRC吹付けでは粗骨材の混入によって施工性が大きく低下する可能性もあるため、SFRCの配合に関しては、今後粗骨材を用いない方向で検討を進めた方がよいものと思われる。

IV む す び

以上の実験の結果、SFRCを吹付け工法に適用した場合の実態およびいくつかの問題点を把握することができた。今後、実際の施工を行うにあたっては、次の諸項目について検討を進める必要がある。

- (i) 鋼繊維はね返りの少ない吹付け機の開発
- (ii) SFRC吹付けに適した鋼繊維長さの把握

鋼繊維のはね返りや長距離圧送吹付けの場合の施工性を改善する一方法として、長さの短い鋼繊維の使用が考えられる。その場合力学的性質の低下が問題となるため、各種長さの鋼繊維について施工性、物性の両面から十分検討する必要がある。

- (iii) 厚さ方向における鋼繊維の分布

鋼繊維はね返りの多い今回の実験では、SFRCの厚さ方向における鋼繊維の分布は比較的均一であったが、鋼繊維のはね返りが少ない場合については今後確認する必要がある。

- (iv) トンネル二次ライニングへの応用

SFRC吹付けの応用分野としてはトンネル工事への応用が有力と考えられるが、その場合急傾斜使用などの問題につき検討解決する必要がある。

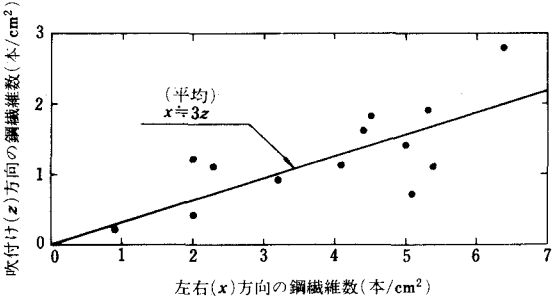


図-1 吹付け左右(x)方向と吹付け(z)方向の鋼繊維分布の関係

表-4 強度試験結果の例

吹付け方法	セメント:粗骨材:鋼繊維 C:S:G	鋼繊維の種類	鋼繊維の混入率 (%vol)	水セメント比 (%)	曲げ強度 (kg/cm²)	圧縮強度 (kg/cm²)	単位容積重量 (kg/m³)
湿式	1:3:0	普通鋼繊維	0	38.2	80.0	620	2340
			1	39.1	81.7	843	2380
			2	40.1	70.9	842	2400
			3	41.1	88.1	888	2410
			0	37.5	74.4	811	2330
乾式			1	46.8	85.6	680	2360