

[62] 吹付け鋼繊維補強コンクリートの特性について

田代 恭一(神戸製鋼所利材部)

正会員 ○堀井 勝(神戸製鋼所利材部)

大西 三郎(神戸製鋼所利材部)

江上 煌(日本プライブリコ(株))

まえがき

数年来、鋼繊維補強コンクリート(以下SFRCとよぶ)は普通コンクリートに比べ、力学的特性が飛躍的に改善されることから各方面において活発に研究が行なわれてきた。SFRCの特性を活用した適用分野に吹付け工法によるトンネル一次ライニング、トンネルライニング補修、切り取り法面などが挙げられる。

本実験は鋼繊維(以下SFとよぶ)として、伸線ファイバーおよび切削ファイバーの2種類を使用して吹付け実験を行ない、SFRC吹付けにおける施工性および強度特性について調査した。その結果について報告する。

1. 実験概要

吹付け工法はコンクリート品質のコントロールが容易である湿式工法で行なった。吹付け機材の配置は図-1に示す配置とした。図に示すとおり骨材およびセメントは台秤にて計量後ベルトコンベヤを用いてミキサーに投入した。水、混和剤およびSFは計量後ミキサーに投入した。ミキサーで練混ぜられたSFRCは一旦、練皿に排出後吹付け機に投入した。

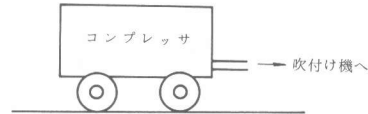
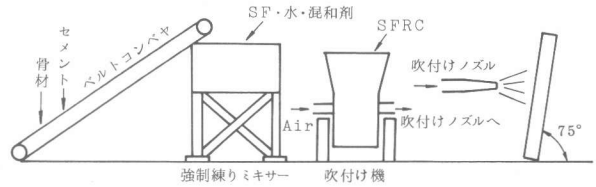


図-1 吹付け機材の配置図

2. 使用機材

1) 吹付け機

吹付け機は表-1に示すとおり、本体が小型で、移動性がある乾湿両用型のREEDGUN・LOHEE-III型5P(写真-1)を使用した。実験で使用した搬送ホースは内径が65mmで、吹付け機からノズル先端までのホース長さが水平にして40mである。

表-1 使用吹付け機

吹付け能力 (m ³ /h)	3~5	
搬送ホース内径 (mm)	65	
空気消費量 (m ³ /h)	10~15	
搬送距離 (m)	水	
	平	
	40	
原動機出力 (KW)	3.75	
機械諸元	重量 (kg)	300
	高さ (mm)	950
	幅 (mm)	800
	長さ (mm)	1100



写真-1 使用吹付け機の写真

2) コンプレッサ

コンプレッサは一般に使用されている150Pエンジンコンプレッサを使用した。

3) ミキサー

ミキサーは公称容量200ℓの強制練りミキサーを用いた。

3. 使用材料および配合

1) 材 料

セメント：普通ポルトランドセメント，比重=3.17

細骨材：酒匂川産川砂

FM = 3.28

比重 = 2.61

粗骨材：相模産 6号砕石

Gmax = 15 mm

FM = 6.21

比重 = 2.57

SF(1)：伸線ファイバー

0.45φ × 2.5 mm

アスペクト比 ≒ 5.6

SF(2)：切削ファイバー

0.61φ (換算径)

× 2.9 mm

アスペクト比 ≒ 4.8

混和剤：ポゾリス 灰 70

2) 使用配合

実験に使用した配合は表-2に示すとおりである。

4. SFRCの練混ぜ

SFはSF以外の材料をミキサーに投入した後ミキサー上部より投入した。投入方法はSFの種類により異なっている。伸線ファイバーは

ミキサー上部にふるいを設けて分散させながらミキサーに投入した。切削ファイバーは分散装置が不要であるため分散装置を使用せずにミキサーに直接投入した。普通コンクリート、SFRCとも1バッチの練混ぜ量は100~150ℓであり、1配合における吹付け量はすべて300ℓである。

5. 吹付けパネルと供試体

図-2は吹付けパネル寸法と供試体採取位置を示す。吹付けパネルは120×82×20cmの組立式鋼製パネルを使用した。吹付け供試体は図-2に示すハッチング部より所定の寸法にカッターで切り出した。切り出し供試体は寸法が10×10×40cmで、本数は1配合につき材合12日が3本、材合28日が3本の合計6本である。切り出した供試体は吹付け方向をマーキングした後20±3℃の水中で所定材合まで養生した。

6. 測定および試験方法

試験項目と試料採取場所は表-3に示すとおりである。測定および試験方法は以下のようにした。

SF附着率：SF附着量はJIS・A・1132に定められた曲げ試験用型枠にSFRCを吹付け、型枠内のSFを水洗して磁石で採取した量から求めた。SF附着率はSF附着量/計画SF量とした。

吐出量：吹付け機の吐出量は1配合毎に所要吹付け時間をストップウォッチにて測定して求めた。

はね返り率：はね返り量は吹付けにより飛散した全材料をビニールシートで受けて1配合の全はね返り量を測定して求めた。はね返り率は、はね返り全量/使用配合重量とした。

曲げ強度試験：曲げ強度試験は打込みおよび吹付けの2種類の供試体

表-2 吹付けに使用した配合

記号	SF混入率 %	粗骨材寸法の法 mm	スランプ cm	空気量 %	水セメント比 %	細骨材率 %	単 位 量 kg/m ³					備考	
							水	セメント	細骨材	粗骨材	SF		ポゾリス 灰 70
A	0	15	8 ± 2.5	5 ± 1	50	66	177	354	1181	582	—	0.885	—
B	1.5	15				66	218	436	991	510	117.8	1.090	
C	1.0	15				66	208	416	1023	529	78.5	1.040	伸線
D	1.5	—				100	218	436	1501	—	117.8	1.090	
E	1.5	15				66	204	408	1030	530	117.8	1.020	
F	2.0	15				77	214	428	1159	346	157.0	1.070	

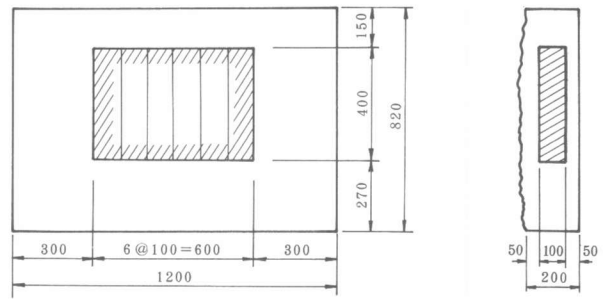


図-2 吹付けパネル寸法と供試体採取位置

表-3 試験項目と採取場所

試験項目	スランプ	空気量	SF附着率	吐出量	はね返り率	曲げ強度	圧縮強度
採取場所							
吹付け前	○	○	—	○	—	○	○
吹付け後	—	—	○		○	○	○

を用いて行なった。打込み供試体による曲げ強度供試体は寸法 $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ の供試体を用いて J I S ・ A ・ 1 1 0 6 に定められた試験方法で行なった。吹付け供試体による曲げ強度試験は吹付け方向と載荷方向が同一となるように載荷した。

圧縮強度試験：圧縮強度試験供試体は材令して 1 2 日の曲げ強度試験後その切片をカッターで $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ の立方体に切断したものを用いた。

7. 試験結果

1) 吹付け前のコンクリート性状について

スランブおよび空気量の試験結果は表-4 に示すとおりである。表によれば、スランブは目標範囲 $8 \pm 2.5 \text{ cm}$ に対して $6.5 \sim 10.0 \text{ cm}$ で、空気量は目標範囲 $5 \pm 1 \%$ に対して $4.3 \sim 5.3 \%$ で、いずれも目標範囲内である。コンクリート温度は 10 月上旬の屋外実験であり $22.0 \sim 29.0^\circ\text{C}$ で平均 25.0°C である。

2) 施工性について

S F R C 吹付けおよび普通コンクリート吹付けは全ての配合において圧送上の問題がなく吹付けることができた。ファイバーボールはふいを用いて分散させた伸線ファイバー、直接投入した切削ファイバーともに発生しなかった。図-4 は S F 混入率と吐出量の関係を示す。この図によれば、吹付けコンクリートの吐出量は S F 混入率 1.5% で S F の種類による差がなく $4 \text{ m}^3/\text{h}$ 以上で、S F 混入率 2.0% で若干低下する傾向が見られた。図-5 は吐出量と S F 付着率の関係を示す。この図によれば、吹付けられた S F R C の S F 付着率は吹付け吐出量が低下すれば減少する傾向にある。吹付け吐出量が $4 \text{ m}^3/\text{h}$ 以上の場合、S F 付着率は 85% 以上である。表-4 の試験結果によれば、吹付けによる S F R C のはね返り率は普通コンクリートに比べ小である。これは普通コンクリートの単位セメント量が S F R C の単位セメント量より少ないためと思われるが、はね返り率については今後研究していく必要があると思われる。

3) 吹付けによる S F の配向について

吹付けられた S F R C 内の S F の配向は切片の X 線写真および切片断面内の S F 本数で調べた。切片は曲げ強度試験後の吹付け供試体を吹付け方向と垂直な平面および平行な平面でカッターにより切断した。切片寸法は $10 \times 10 \times 1 \text{ cm}$ である。写真-2 は 2 種類の

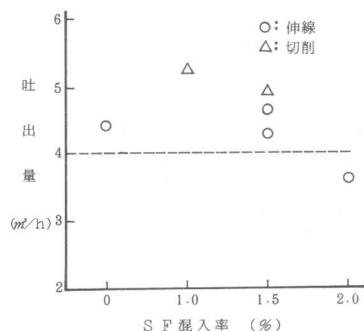


図-4 S F 混入率と吐出量の関係

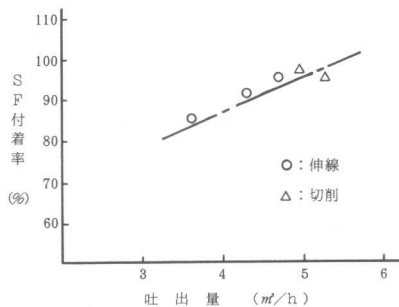


図-5 吐出量と S F 付着率の関係

表-4 試験結果

記号	SF 配合混入率 (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	吐出量 (kg/h)	はね返り率 (%)	S F 付着率 (%)	打込み供試体による試験			吹付け供試体による試験		
							曲げ強度		圧縮強度	曲げ強度		圧縮強度
							12日 (kg/cm^2)	28日 (kg/cm^2)	28日 (kg/cm^2)	12日 (kg/cm^2)	28日 (kg/cm^2)	28日 (kg/cm^2)
A	0	6.5	4.5	4.46	13.8	—	55.3	64.6	5.39	46.9	63.0	4.91
B	1.5	9.0	4.8	4.94	10.1	97	73.7	86.1	5.06	70.6	84.3	5.18
C	1.0	10.0	4.8	5.26	7.5	91	70.8	73.9	5.10	65.2	75.1	5.36
D	1.5	8.0	5.8	4.67	9.0	95	74.5	82.3	4.79	83.6	93.2	5.37
E	1.5	8.0	4.9	4.30	9.3	91	62.7	78.1	4.42	68.7	89.3	5.60
F	2.0	9.0	4.5	3.62	9.6	85	78.2	89.5	4.96	74.8	88.7	5.01

吹付け SFRC 切片による X 線写真を示す。写真によれば、SF 配向は吹付け方向と垂直な平面にはほぼ 2 次元ランダム分布をしていることがわかる。図-6 は吹付け（打設）方向に対して垂直な方向と吹付け（打設）方向の SF 本数の関係を示す。この図によれば、打設方向に対して垂直な方向の SF 本数は打設方向の約 2 倍、吹付け方向に対して垂直な方向の SF 本数は吹付け方向の約 3 倍である。以上のことから吹付けられた SFRC は荷重に対して効果的な配向となることがわかる。SF の種類により配向の差は認められなかった。

4) 強度について

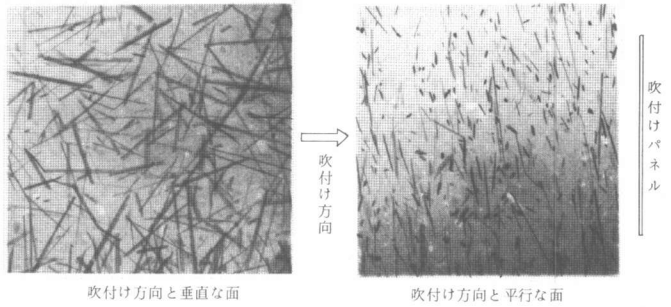
吹付けによる圧縮強度は SFRC で $500 \sim 560 \text{ kg/cm}^2$ 、普通コンクリートで約 500 kg/cm^2 であり大差がなかった。図-7 は材令 28 日の SF 混入率と普通コンクリートに対する曲げ強度比の関係を示す。この図によれば、吹付け SFRC の曲げ強度比は打込み SFRC の曲げ強度比に比べ同等かそれ以上である。これは吹付け SFRC の付着率（85～97%）が低下するにもかかわらず、吹付けられた SF が荷重に対して効果的に配向しているためである。SF の種類による吹付け曲げ強度比は SF 混入率 1.5% で大差が認められなかった。

8. まとめ

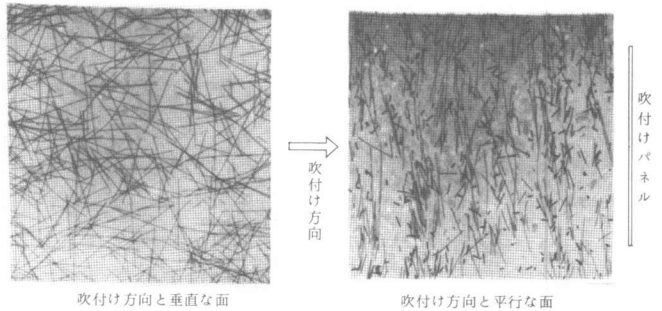
今回の実験では SF の種類により施工および吹付け強度で大差が認められなかった。吹付け SFRC 内の SF は吹付け方向に対して垂直な方向にはほぼ 2 次元ランダム分布するため荷重に対して効果的である。

参考文献

- 1) 中原他, SFRC に関する開発研究(その 2~4) 鹿島技研年報, 第 24~26 号, 1976~1978
- 2) 日本コンクリート工学会編, SFRC に関するシンポジウム 1977.11
- 3) 高木, 超早強セメントを用いた SFRC の基礎実験と実施工・セメント・コンクリート 389. JULY 1979



切削ファイバー使用切片の X 線写真



伸線ファイバー使用切片の X 線写真

写真-2 吹付け切片による X 線写真

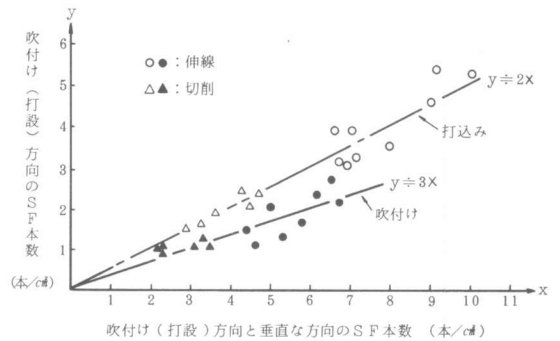


図-6 吹付け（打設）方向に対して垂直な方向と吹付け（打設）方向の SF 本数の関係

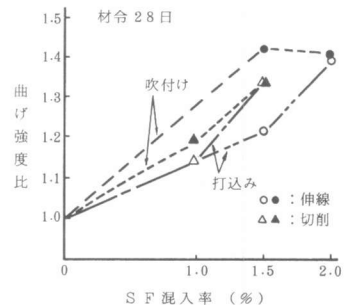


図-7 SF 混入率と曲げ強度比の関係