

# [63] 湿式吹付工法によるSFRCの法面施工実験

正会員 ○高塚 毅 (日本鋼管鉄鋼技術部)  
 正会員 坂井 正美 (日本鋼管技術研究所)  
 正会員 中村 信行 (日本鋼管技術研究所)  
 中村 純平 (横浜市道路局)

## 1. はじめに

道路法面などの急傾斜地の防護工としてSFRC吹付が注目を浴びてきている。これはひびわれに対する抵抗性が大きく、またたとえひびわれが生じても剥落しにくいというSFRCの特性を利用するものであり、その施工実績もいくつか報告されている<sup>1),2)</sup>。SFRC吹付には乾式と湿式の2種類の工法があるが、鋼繊維を混入したプレミックス材料の圧送が容易であるという理由で乾式工法を採用する例が多い。しかし、一般に法面吹付では配合の管理が容易であり、コンクリートの品質に信頼のおける湿式工法が主流となっている。SFRC吹付の場合でも湿式工法の方がより品質の高いコンクリートを施工できると考えられる。そこで法面防護工事において、もっとも広く普及している湿式吹付機を用いたSFRCの施工が可能かどうかを検討することにした。また、とくに吹付厚を従来の1/3程度に薄くしてひびわれに抵抗できるかを調べた。

## 2. 実験内容

### 2.1 吹付機の選定

吹付機は図1に示すものを使用した。この機械は湿式吹付機で、カタログに掲載されている性能諸元を表1に示した。また事前調査の結果、この機械でSFRCを吹付ける場合の問題として次の点が挙げられた。

- (1) 吹付機の吐出口の径が40mmと比較的小さいため、長い鋼繊維(30mm)を用いた場合、吹付が円滑にできない恐れがある。
- (2) コンクリートの搬送方式がプラグ流(材料が空気の流れに乗り搬送される)によるため、セメント骨材比が1/3以上の比較的粘度のあるコンクリートが施工しにくい。
- (3) ホース径はモルタルの場合40mm、コンクリートの場合50mmが使用されるのが普通であるが、40mmのホースではSFRCのホース内閉塞が心配される。

以上のような疑問点は実際に吹付を試みなければ解明できないことであり、そこでこの吹付機を使用した時

表1 吹付機の性能諸元

機 械 重 量	2700kg
原 動 機	ディーゼルエンジン
出力	25PS, 1800R/M
施 工 能 力	3~6m <sup>3</sup> /h
骨材最大粒径	20mm
骨材最適粒径	15mm以下
1バッチ投入容量	0.12~0.15m <sup>3</sup>
作業空気圧	5kg/cm <sup>2</sup>
空気消費量	10m <sup>3</sup> /min
材料ホース径	38~50mm
水平最大輸送距離	200m
垂直最大輸送距離 (セメント骨材比1:3)	40m
( # 1:4~5)	80m
( # 1:5以上)	100m

図1 吹付機

の最適吹付条件を明らかにすることが重要なこととなる。

## 2.2 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は木更津産砂（比重2.55、吸水率4.6%、粗粒率2.36）、粗骨材は6号碎石（比重2.62、吸水率1.1%、粗粒率6.37、骨材の大きさ13mm）を使用した。鋼繊維はせん断品のストレートタイプで普通用（〔5520〕と〔5530〕の2種類）と高強度用（〔5520〕1種類）の計3種類を使用した。鋼繊維の機械的性質を表2に示した。

表2 鋼繊維の機械的性質

鋼繊維種類	降伏強度 <sup>*1</sup> kgf/mm <sup>2</sup>	引張強度 kgf/mm <sup>2</sup>	伸び <sup>*2</sup> %	素材
普通用	38.5	41.3	4.4	SPCC <sup>*3</sup>
高強度用	71.8	73.3	1.0	同上アズロール材

\*1 0.2%耐力 \*2 標点距離10mm

\*3 JIS G 3141による

## 2.3 実験現場

法面断面と展開図を図2に示す。吹付現場は泥岩質の法面で、全吹付面積約260m<sup>2</sup>を5工区に分割した。①～④工区は配合選定実験を行ない、⑤工区は①～④のうち吹付性能が良いと認められた配合を吹付けた。

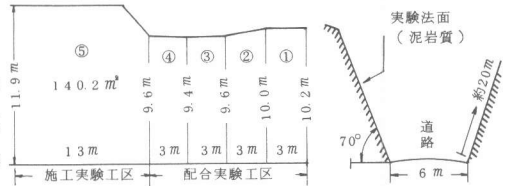


図2 法面断面と展開図

## 2.4 吹付厚さ

普通コンクリートを吹付ける場合、鉄筋や金網などで補強し、15cmの厚さにするのが通常である。しかし、今回のSFRC吹付ではできるだけ薄層での施工を試みることにし、5cmの厚さとした。またラス等の金網は一切使用せず、アンカーだけで泥岩に固定する方法を採用した。

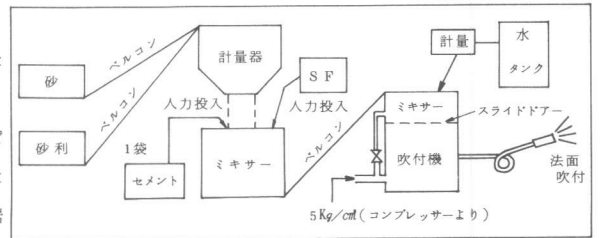


図3 吹付システム

## 2.5 配合

配合の因子はセメント骨材比、細骨材率、鋼繊維の種類（寸法、材質）である。水セメント比は45～65%まで変化させたが、これは吹付可能なコンシステンシーを確保するために、セメント骨材比に連動させ定めた。鋼繊維の混入率は外割りで1.5% vol.とし、表3に7種類の配合を示した。

## 2.6 吹付方法

吹付システムのフローチャートを図3に、実際の機械の配置を写真1に示した。ミキサー1バッチの混練量はセメント1袋分の配合量であり、今回の配合の場合0.077～0.117m<sup>3</sup>であった。このシステムは計量器で1バッチ分の砂・砂利を自動計量し、セメント1袋と1バッチ分の鋼繊維とともにミキサー

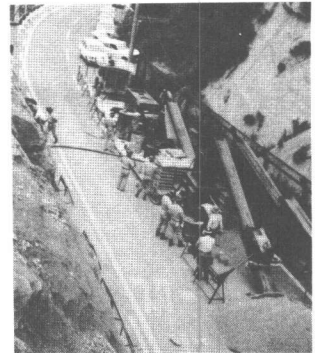


写真1 吹付機械の配置

表3 コンクリートの配合

配合NO.	セメント骨材比 C/(S+G)	細骨材率 %	水セメント比 %	鋼 繊 維			配 合 kg/m <sup>3</sup>				吹付工区
				種 類	強 度	混入量kg	セメント	水	砂	砂 利	
1	1/3	70	45	5520	普通	120	517	233	1077	474	—
2	1/4	70	53	5520	普通	120	416	221	1155	509	②
3	1/4	70	53	5520	高強度	120	416	221	1155	509	③
4	1/4	100	65	5520	普通	120	394	256	1577	0	④、⑤
5	1/5	80	65	5520	普通	120	343	223	1372	343	①
6	1/4	100	65	5530	普通	120	394	256	1577	0	—
7	1/4	100	58.5	無 混 入			40.5	23.7	1620	0	—

でまず空練りを行なう。その後、吹付機上部に内蔵されているミキサーで水（自動計量）を加え、混練を行なうものである。混練時間はそれぞれのミキサーで約1分間とした。鋼繊維の投入方法は整列梱包ダンボール（20kg入）より1バッチ分ごと計量し（9～14kg）、砂・砂利とともに分散機を使用せずに一気に投入した。当初この投入方法ではファイバーボールの発生が懸念されたが、全くその発生を見ず支障はなかった。

## 2.7 実験方法

表3の7配合についてミキサー2バッチ分の吹付性状を確認する実験を行なった。また法面と同じ角度に90×90cmのパネルを設置し、吹付けノズルから約1mの距離をとりコンクリートを吹付けて物性試験用供試体を作製した。そして配合NO. 2～5を配合選定実験として図2の①～④工区へ吹付け、その中でもっとも吹付性状が良かったNO. 4配合を⑤工区にも吹付けた。写真2に法面吹付時の状況を示す。なお実験内容の詳細は次のとおりである。

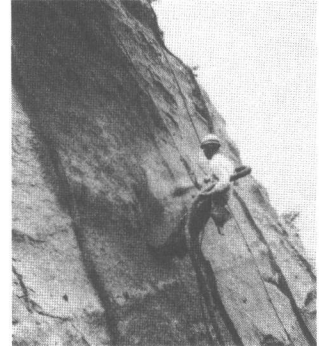


写真2 法面吹付状況

(1) 吹付性状 a 吐出状態、b 材料のはねかえり率、c 法面吹付状況  
d 繊維の付着性

(2) 物性試験 a 曲げ、せん断試験、b X線撮影による配向性の確認

## 3. 実験結果および検討

### 3.1 吹付性状

吹付性状の結果を表4に示した。次にその詳細を述べる。

(1) 吐出状態 配合NO. 1は息つき（断続的に脈動を伴って吐出される状態）が大きく骨材とモルタルが分離して吐出した。これはセメントモルタルの粘着性が大きいため、ホース内部にモルタルが付着してホースを閉塞状態にするためと考えられる。息つきの時のホースの反動も大きく、正常の吹付けが出来ないと判断した。

NO. 2、3は若干の息つきがあったものの吹付作業自体は十分行なえた。NO. 4～7は概ね良好な吹付性状を示した。その際NO. 1～5はホース径50mm、NO. 6、7はホース径42mmを使用した。NO. 6は繊維が30mmと長く、ホース径が細いにも関わらず、十分良好な吹付性状が得られた。今回の試験の結果、モルタルの粘着性が吹付性状に大きく影響をおよぼしていることが確かめられた。

(2) 材料のはねかえり率 NO. 2～5の4配合について吹付材料のはねかえり率の測定をしたが、これは吹付時に法面よりはねかえった材料を法尻部分に設置したシート上に集め、全材料使用量との比を求めたものである。結果は表4に示すとおり11～18%となった。NO. 2配合のはねかえり率が大きいのは今回の吹付実験の最初の吹付作業であったため、作業員の不慎れが影響したものである。

(3) 繊維の付着率 NO. 2～6の5配合につき、吹付けられた付着SFRCの洗い試験を行ない、繊維の付着率を調べた。表4に各3回行なった平均値を示したが全般に80%前後の付着率であった。NO. 2配合が73.1%ともっとも小さい値となったが、はねかえり率の場合と同様の理由のためと考えられる。今回使用した程度の繊維の長さや材質では付着率に影響をおよぼさ

表4 吹付状況の結果

ないと考えられる。

### 3.2 物性試験

パネルに吹付けられたコンクリートを硬化後ダイヤモンドカッターで10×10×40cmの角柱供試体に切断成形し、曲げおよび二面せん断試験を材令4週で行なった。試験はそれぞれ3個ずつ行ない、図4に各配合の曲げ強度の平均を示し、図5にせん断強度の平均を示した。また、図6は曲げ強度と変形の

配合NO.	全吐出重量 Kg/2バッチ	はねかえり重量 Kg/2バッチ	吹付材料はねかえり率 %	繊維付着率 %	ホース径 mm	ホース長 m	吐出状態
1	3.75	—	—	—	50	60	極度に悪い
2	4.66	8.2	1.8	77.1	50	60	やや不良
3	4.66	5.9	1.3	78.3	50	60	やや不良
4	4.76	5.3	1.1	79.3	50	60	良好
5	5.54	7.3	1.3	75.7	50	60	良好
6	4.76	—	—	82.3	42	60	良好
7	4.47	—	—	—	42	60	良好

関係を示した。

曲げ強度は繊維無混入のNO. 7に比べて1.1～1.4倍程度の強度上昇があり、それは水セメント比が小さいほど大きくなる傾向を示した。せん断強度はNO. 7に比べて1.5～2.0倍の強度上昇があり、曲げに比べて繊維混入の効果は大きかった。繊維の材質および寸法が曲げおよびせん断強度におよぼす影響は今回の試験ではあまり大きくなかった。

曲げ強度と変形の関係をみると、繊維無混入の供試体はほとんど変形能力がないが、それに比べて繊維を混入した供試体は変形能力が大きく破壊までのエネルギーが非常に大きいことがわかる。

写真3は吹付面とそれに直角な断面のX線写真を示すもので、繊維は吹付面に平行にならぶ傾向がみられ、繊維の曲がりもほとんど認められなかった。

#### 4. まとめ

- (1) 今回の吹付システムでは吹付機の前段にさらに空練り用のミキサーを使用した。その結果、鋼繊維1.5% vol.混入のSFRCの混練は十分に行なうことができた。
- (2) 長さ30mmの鋼繊維の使用はホース内閉塞の危険性などで疑問視されていたが、今回の実験では良好な吹付性状が得られ、内径42mmのホースの使用も問題なかった。
- (3) セメント骨材比1/3のコンクリート吹付は息つきが生じ、また材料の分離が激しく、今回の吹付機による施工は困難であった。
- (4) 今回使用した鋼繊維の長さ、材質の違いは吐出性状、繊維付着率などにとくに影響しなかった。また曲げ強度、せん断強度に与える影響も小さかった。吹付時に繊維の曲がることが心配されたが、X線写真で観察した限りにおいては曲がりには認められなかった。
- (5) 繊維混入率1.5%を一定として7配合について吹付実験を行ない、そのうち4配合について約30mの連続吹付を行なった。その結果、吹付性状、施工後の法面の平滑さなどから配合NO. 4のモルタル配合がもっとも良好であった。
- (6) 吹付施工後6ヶ月を経過したが、ひびわれの発生はなく良好な状態であり、今回の法面防護の目的である風化崩壊の防止の役目は十分果たすことができると思われる。

最後に本研究を実施するにあたり東京大学小林一輔教授、清水建設研究所中西正俊主任研究員および高木隼二研究員に御指導、御協力を頂きましたので末尾ながら謝意を表します。

- 参考文献 1)小林嗣夫；SFRC吹付工法のハネ返りに関する一考察並びに法面工への応用について、JCI 2nd Conf. 1980  
 2)土井 悦、中村純平；鋼繊維補強コンクリートのり面防護吹付工法、土木技術34巻3号

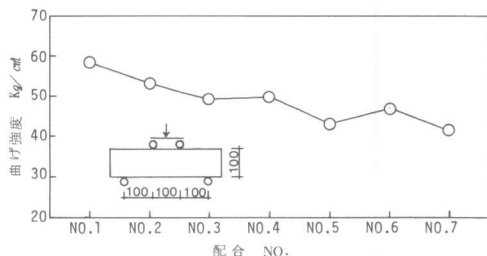


図4 曲げ試験結果

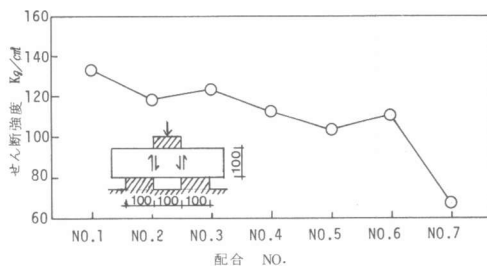


図5 せん断試験結果

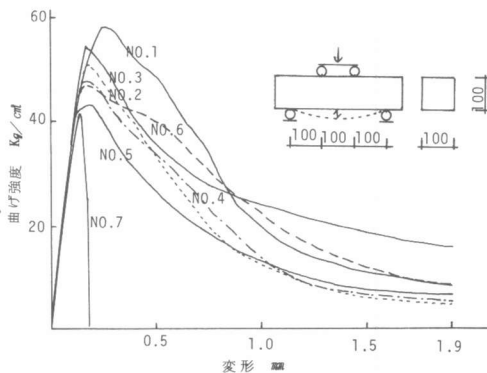
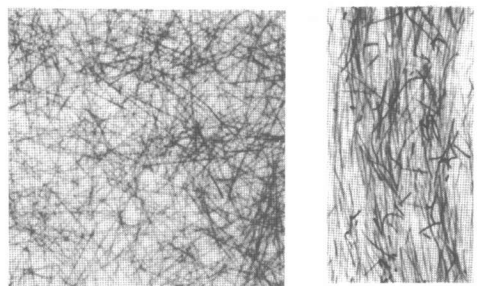


図6 曲げ強度と変形の関係



吹付面に平行な断面 吹付面に直角な断面

写真3 X線写真 (NO. 4 配合代表例)