

[57] 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

正会員 小林 嗣 夫 （日特建設株式会社名古屋支店）

まえがき

SFRC吹付工法の施工上、最も重要なことは、鋼繊維のハネ返り率をいかに減少させるかにある。このことはSFRCの実験的研究から明らかなように鋼繊維含有率（1%vol～3%vol）の増減に比例して物性改善度が異なり、また経済上の観点からも他の材料（セメント、細粗骨材、混和剤）に比べて鋼繊維のコストが極めて高価なことからも当然のことといわなければならない。

吹付工法におけるハネ返りは、吹付作業の特異性もさることながら、吹付機械のそれぞれ異なった流動特性によって大きな差が生じる。

本報文は、このハネ返りに焦点をあて、§1で各吹付機械の流動様式とハネ返りについて考察し、§2では施工実績をもとに、SFRCの法面吹付工への応用について記述した。

§1 各吹付機械の流動様式とハネ返りについて

吹付機械の圧送方式は、(1)圧縮空気による材料の圧送と(2)のポンプによる材料の圧送とに大別できる。

この圧送方式によって材料の流動様式が定まり、同時に圧送される材料の物理的性質までも限定される。

例えば、圧縮空気による圧送方式には乾式工法と湿式工法があり、乾式工法の流れ様式は、混合比を概念とした希薄流、濃密流であり、圧送される材料はドライミックスであるし、湿式工法の流れ様式は瞬間プラグ流であり、圧送される材料は瞬間プラグ化されるに必要な物性、すなわちスランプ値1～2cmの超硬ねりなものとなる。またポンプによる圧送方式の流れ様式は連続した長大プラグ流であり、圧送材料はポンパビリティを考慮した流動性のすぐれた富配合材料が要求される。

このように、吹付機械の圧送方式と材料の流動様式、圧送材料の物性は密接な関連があり、極論すれば配合の決定は吹付機械の限定につながる。

一方、吹付工法のハネ返りは巨視的には、壁面衝突時の物理現象とみなされるが、圧送時の材料分離もまた大きな要因と考えられる。

圧送時における材料分離は、ホース内流動様式や圧送材料の物性と密接な関連があり、希薄流→濃密流→プラグ流→ポンプ流の順に分離の自由度が減少する。この流れ様式のちがいは壁面への衝突スピードや付着スピードにも関与するので、流れ様式のちがいによるハネ返り量の差は顕著なものとなる。とはいえ、現時点におけるSFRCの吹付は、現存する吹付機械の使用を余儀なくされる以上、施工性の重視は不可避免的であり、配合の決定すらも吹付機械の特性を考慮した使い分けが要求されるものと考ええる。

1-1 施工事例によるハネ返りと流れ様式の関係

圧送方式	流れ様式	吹付場所	ハネ返り率	配 合
ポンプ圧送 (湿式)	ポンプ流	天 端	7wt%	単位セメント量 スランプ値 480kg/m ³ 8～9cm
空気圧送 (湿式)	瞬間プラグ流	法 面	15wt%	単位セメント量 スランプ値 380kg/m ³ 0～2cm

※ 天端吹付は最もハネ返りの大きい吹付場所であるが、わずかに7wt%のハネ返りである。

※ 空気圧送の吹付機械の場合、湿式工法の優位性をもってしても法面吹付で15%のハネ返りが生ずる。

§ 2 S F R C の法面保護工への応用

従来施工されてきたプレーンコンクリート吹付による薄いシェルは、地山の形状や性質によっては、容易にクラックが発生し、短期間に破損され、コンクリート構造物としての美観さえも損ってきつつある。本来、吹付工法とは、地山の強度が被覆コンクリートのせん断強度と同程度か、より高いせん断強度を有する場合にのみ地山と被覆コンクリートが強固に一体化され、吹付厚さに関係なく存続さるべきものである。

しかしながら、切取法面の地山の性質は、脆弱化した岩盤であったり、地山の随所に粘土等の爽雜物が存在したりして、被覆コンクリートと完全な一体化をはかることが困難なものが多い。このような脆弱化した法面地山へのコンクリート吹付は最大利点である付着強度が期待できないので上載荷重増加にともなう迂りの助長、被覆コンクリート自体による曲げ破壊、界面の存在をゆるすための地山の脆弱化促進、陥没等終時変化が顕著なものとなる。

のように、プレーンモルタルやコンクリートによる吹付の適合しうる地山は強固な岩盤でなければならず、したがって極めて狭い範囲の工法とならざるをえない。

広範囲な法面地山を対象とした吹付には、被覆材料の新たな検討が必要と考えられ、この意味で S F R C の出現は法面吹付工において、S F R C のもつ特長をあますところなく発揮できる可能性を有するものとする。

以上の観点から、S F R C を被覆材料とした法面吹付を実施し、一応の成果を得たので以下、事例にもとずいて記述した。

2-1 施工事例

2-1-1 施工事例 (a)

- | | | |
|-----------------|-------|---------------------------------------|
| (1) 施工目的 | ..... | 既設モルタル吹付法面の補修 |
| (2) 施工数量 | ..... | 約 $4,000 m^3$ S F R C 吹付厚さ $5 cm$ |
| (3) 施工機械 | ..... | スピロクリート (湿式機械) |
| (4) 圧送距離 | ..... | 最少 $80 m$ 最大 $120 m$ |
| (5) S F R C の配合 | ..... | 単位セメント量 $380 kg/m^3$ |
| | | 細骨材率 70% |
| | | 水・セメント比 52% |
| | | 最大骨材粒径 $10 m/m$ |
| | | 鋼繊維の形状 $0.5 \times 0.5 \times 30 m/m$ |
| | | 鋼繊維の混入率 1.5% |
| | | スランブ (平均) $1.5 cm$ |
| (6) 曲げ強度 (4 週) | ..... | 平均曲げ強度 $47 kg/cm^2$ |

この補修工事は、当初、旧モルタルを研り、金網を布設して新たに $7 cm$ の吹付を行なう計画であったが、法面の形状は垂直面に近く、法面の高さも $30 m$ におよぶため、複雑な工程は危険がともなうし、経済的にも不利であるとしてシンプルな工程である S F R C の吹付に変更されたものである。

S F R C による吹付補修の工程は、著しく破損された旧コンクリートの部分的研りとどめ、金網を布設することなしに直接全面吹付を行なうシンプルな工程で実施した。

2-1-2 施工事例 (b)

- | | | |
|-----------------|-------|------------------------------------|
| (1) 施工目的 | ..... | 既設モルタル吹付面の補修 |
| (2) 施工数量 | ..... | 約 $1,500 m^3$ 、S F R C 吹付厚さ $7 cm$ |
| (3) 施工機械 | ..... | スピロクリート (湿式機械) |
| (4) 圧送距離 | ..... | 最少 $60 m$ 、最大 $100 m$ |
| (5) S F R C の配合 | ..... | 鋼繊維の形状 $\phi 0.45 \times 30 m/m$ |

$$\phi 0.45 \times 25m/m$$

鋼繊維の混入率 1.5 %vol

(マトリックスの配合は事例(a)と同じ)

(6) 曲げ強度(4週).....平均曲げ強度 57kg/cm

この補修工事事も事例(a)と同様に旧コンクリートを部分的に研りにとどめ、金網を布設せず、吹付厚さ7cmで全面被覆した。

事例(a)との違いは、鋼繊維の形状寸法を2種類($\ell = 30m/m$ 、 $25m/m$)とし、曲げ強度から比較することを試みた。

鋼繊維の長さや曲げ強度の関係は平均値においていずれも大差なく、むしろ、曲げ強度のバラツキは、長い鋼繊維($30m/m$)のほうが大きい。

2-1-3 施工事例(c)

- (1) 施工目的.....表層崩壊性地山の法面保護
- (2) 施工数量.....約800m²、S F R C吹付厚さ7cm
- (3) 施工機械.....スピロクリート(湿式機械)
- (4) 圧送距離.....最少100m、最大160m
- (5) S F R Cの配合.....マトリックスの配合は事例(a)(b)と同じ

鋼繊維の形状寸法 0.5 × 0.5 × 20m/m

鋼繊維の混入率 1.0 %vol

この工事は、表層崩壊性地山に対する吹付であり、従来のプレーンモルタル吹付工法では早期にクラックが発生し、地山の変形にともなう被覆モルタルの陥没等が考えられ、吹付工法の該当しない地山である。

鋼繊維の長さを20m/m、混入率を1%volとしたのは、法面の高さ、圧送距離ともにS F R C吹付の限界を越えているために施工性を重視して決定したものである。この事例における曲げ強度は4週平均43kg/cmであった。

2-2 法面吹付施工上の問題点

法面吹付では、トンネル吹付と異なり、ノズルから吐出された材料の大半が付着するので鋼繊維含有率の減少はほとんど問題にならない優位性がある反面、トンネル吹付では、当然ハネ返ると考えられるポーラスなマトリックスを吹付する危険性が生ずる。

したがって、法面吹付では圧送段階における材料分離の生じない流動様式、材料配合が要求されるが、現時点での法面吹付では法面の立地条件から1~2種類の吹付機械に限定せざるをえない。特に鋼繊維の混入によって増加するせん断抵抗や摩擦抵抗から圧送が極めて困難な物性を呈するS F R Cの場合、法面の諸条件をも加味するとスピロクリート湿式機械を使わざるをえないと考えられる。

2-2-1 スピロクリート湿式吹付機械

施工事例によるスピロクリートのS F R C吹付の長所は次のとおりである。

- (1) 鋼繊維の混入率1.5%volで何ら支障のない圧送ができる。
- (2) 湿式吹付機械であるため、法面吹付特有の含水比の高い細骨材でも支障はない。
- (3) 法面高さ30m、圧送距離100m迄の場合、鋼繊維混入率1.5%vol、鋼繊維の形状寸法30m/mの使用が可能である。

また、短所については、次の事が指摘できる。

- (1) 圧縮空気による圧送方式の機械であるため流れ様式は瞬間プラグ流であり、いきおい材料のスランブも0~2cmの超硬ねりとなって、圧送時における分離も大きい。

(2) 圧縮空気による圧送方式の湿式吹付では、単位セメント量の増加は、粘性増大につながり圧送困難となるので $420\text{kg}/\text{m}^3$ 以下の配合となる。

2-2-2 チャレンジクック湿式吹付機械

チャレンジクックによる施工事例は橋梁の下部床板コンクリート補修2件とトンネル覆工1件のみであり、未だ法面吹付に使用されていない。

この吹付機械はポンプ圧送方式であるので圧送時の分離も小さく付着スピードも大きいからハネ返りは極めて少なく、天端吹付の場合にもハネ返り率は10%未満の実績がある。

配合はポンパビリティを考慮しなければならないのでスランプ8~10cmの流動性の良い配合となる。

法面吹付では、法面の立地条件からスランプ8~10cmの材料を吹付ける場合、急結剤の使用を余儀なくされるばかりか、圧送距離も比較的大きく急斜面での作業でもあることから未だ使用されていない。しかしながら、SFRCのトンネルや橋梁の吹付では、ハネ返りも少なく、物性改善度も極めて高く、良好なSFRCを造成するに最も信頼のおける吹付機械と判断される。

したがって、今後、法面吹付へもぜひ使用してみたい機械である。

以上のように、SFRCの法面工への応用は、最近始めたばかりであり、果たして初期の目的どおり、地山の性質に依存されない被覆工法として、より広範囲な地山を対象にできうかどうか疑問なしとはしない。

しかしながら、プレーンモルタルやコンクリートを被覆材料とした現吹付工法では適応できない地山が多く、極めて短期間の仮設的覆工としての意味合いが強いので、今後の検討を待たねばならない分野でもある。

おわりに

吹付機械には、それぞれ固有の圧送方式、流れ様式があり、流れ様式と圧送材料の物理性状とは密接に関連して、ハネ返りの量を左右する。

このことは、SFRC吹付の配合を決定すれば使用する吹付機械をも決めることになり、逆に吹付機械の選定は、SFRCの配合すら限定してしまう。

したがって、SFRC吹付工法におけるハネ返りの問題を論ずる場合、特に圧送方式や流れ様式にふれざるをえないものと考えられる。

ハネ返りに関する基本的要因（吹付角度、セメントの量、水・セメント比、細骨材率etc）については、通常のモルタル・コンクリート吹付のそれと本質的に変わらないようである。

現時点におけるSFRCは高価な材料に加えて、施工性に関する多くの問題があるが新しい複合材料の出現は各方面から注目され、適用分野も日増しに増加の傾向にある。今回は新たに法面工への応用について経験上、知り得た皮相的で断片的な事項の報告にとどまらざるをえなかったが、今後はさらにSFRC吹付け施工上の諸問題について検討を重ね、その結果を後日報告したい。