

既設モルタル・コンクリート吹付をはつり取らずに 老朽化したのり面を再構築

老朽化した吹付のり面補修・補強工法「ニューレスプ工法」

近藤 保徳

日本では、高度成長期（1955年～73年）に道路整備が急ピッチに進められた。このころに整備された社会資本は、現在50～60年程度経過している。今後、これらの維持・更新の時代に遷移していく中、限られた予算を有効に活用しなければならない。のり面保護工として1970年代より多用されてきたモルタル・コンクリート吹付工（以下、吹付工）は、現在その老朽化が問題となっている。従来、老朽化した吹付工の対策として多く採用されてきた方法は、老朽化吹付工をはつり取り、新たに吹付工を行う更新であるが、はつり取り作業の危険性回避、廃棄物の低減及び工期の短縮などの観点から、はつり取らずに老朽化法面を再構築するニューレスプ工法（以下「本工法」という）が注目されている。

キーワード：老朽化、吹付のり面、繊維補強モルタル吹付工、ポンプ圧送エア併用吹付システム

1. はじめに

道路建設等の社会資本の整備に伴い発生した切土のり面の風化・浸食防止を目的として、吹付工が数多く採用されてきた。近年、吹付工により対策された吹付のり面において、吹付材自体の劣化や、背面の地山の風化による不安定化の進行が問題となるケースが増えている。また、本来、吹付工の適用が不適切であった箇所も多く存在しており、そのような所では、早期に変状が発生しているものも見られる。こうしたことから、老朽化した吹付のり面の健全性を適切に評価し、その健全性や吹付のり面のおかれている要求性能に応じた補修・補強対策を選定する必要性が高まっている¹⁾。

こうした状況を踏まえ老朽化した吹付のり面を効率的に補修・補強できる「本工法（NETIS：QS-110014-VE：活用促進技術）」を開発し、その後、当該工法と組み合わせることで斜面を補強する「吹付受圧板工法 FSC パネル」を開発した。

本稿では、吹付工の概要、吹付のり面の劣化機構、また、劣化機能に応じた効率的な対策工のパターンを紹介する。

2. 吹付工の概要

(1) 吹付工の特徴

吹付工は、モルタルやコンクリート（以下、吹付材）などで吹付被覆した構造物であり、のり面保護工の一

つとして用いられている。吹付工は、他のコンクリート構造物とは異なり、次のような特性を有している。

①圧縮空気により吹付材を高圧ホースまたはパイプによって所定の位置まで搬送し、のり面に直接吹き付けるため型枠が不要な工法である。②機械設備が簡易かつ小型の可搬式機械であることから作業性がよく、広い作業エリアを必要としない。

(2) 吹付工の目的

吹付工の目的は、のり面の侵食を防止するとともに、のり面を外気及び雨水などから遮断することにより風化を防止し、のり面を形成する地盤の強度低下を防ぐことにある。

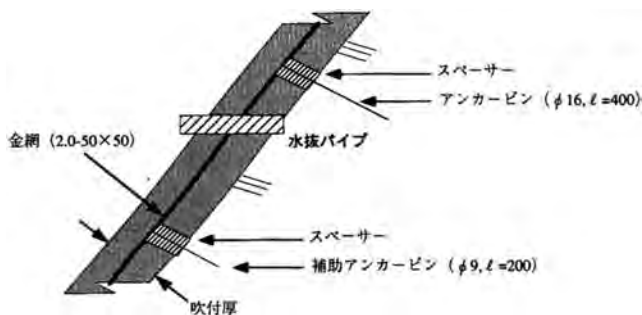
言い換えれば、吹付工は風化しやすい岩、風化が進行すると崩落の恐れのある岩などののり面、また、切土した直後は安定していても外気及び浸透水により不安定化しやすい地山を風化から保護することにより、その風化防止効果が非常に大きい工法である。

しかし、吹付工はその構造的な性格から、適用限界として以下の点が挙げられる。

- ①湧水がある岩盤のり面や岩盤の開口亀裂が多く、大きな崩落のあるところには適用できない。湧水が多いと吹付材と地盤との密着・一体化が阻害され、さらに凍結・融解を繰り返すことによって剥離現象が生じることがある。
- ②構造上、土圧が働くような不安定なり面には適用できない。

(3) 吹付工の構造

吹付工は、一般的に図一1に示すような構造で設置されている。



図一1 吹付工の一般的構造【()内は標準材料規格】

吹付厚さは、施工目的とのり面の地質、勾配、気象条件などを考慮して決定される。一般に、厚さ10cm以下ではモルタル吹付、厚さ10cmを超える場合はコンクリート吹付とする場合が多い。また、吹付厚が10cmを超える場合で平滑なおり面には10～20m程度の間隔で縦伸縮目地を設けることが多い。

(4) 吹付のり面の問題点

吹付工は、風化防止対策として非常に有効な工法であるが、以下の問題がある。

①構造上の問題

吹付工は、全セメント硬化体の体積に比較し、表面積が非常に大きく、広くて薄い構造体といえる。また、施工のり面に凹凸が多い場合、一定の吹付厚さの管理ができず、厚薄緻密差を生じやすい。なおかつ、一般的な養生が困難であり、自然条件による温度変化に対応が難しいという構造的な特徴も有している。したがって、吹付工は、急速な乾燥や凍結に対して吹付面にひび割れや剥離などの現象が生じやすい。

②耐久性の問題

吹付工の耐久性は、配合、吹付作業の条件（施工時期や時間）によって大きく影響されるほか、施工時の気象条件にも大きく左右される。

③維持管理の問題

吹付工は、風化や侵食防止などの施工目的に対し非常に効果があるものの、一度覆われた地山は、長期にわたる風化の進行度合を外側から容易に知ることができない。したがって、日常の維持管理・点検項目としては、ひび割れの発生や剥離などの表面的に生じる変状に限定される。これらの点検作業は、現場に詳しい技術者の目視やのり面にはりついて行うハンマー打診などに頼る部分が多い。

3. 吹付のり面の劣化機構及び劣化現象（老朽化現象）

吹付のり面の劣化機構は、構造部位により大きく3パターンに整理できる¹⁾。

(1) 吹付材自体の劣化

吹付材自体の劣化は、施工時に生じた初期欠陥や施工後の乾燥収縮、また凍結融解などにより、吹付の性能が低下するものである。

(2) 吹付材と背面地山の密着性の低下

吹付材と背面地山の密着性の低下は、地山からの湧水や雨水など表面からの浸入水により、地山表層部で風化が生じたものである。また、吹付工により保護された切土のり面においても、背面地山は緩やかに風化すると報告がある²⁾。発生する現象としては、密着性の低下に伴う吹付材自体の滑動（スライド）、雨水や湧水により地山が浸食されることによる背面の空洞化などが挙げられる。

(3) 地山の風化によるのり面の不安定化

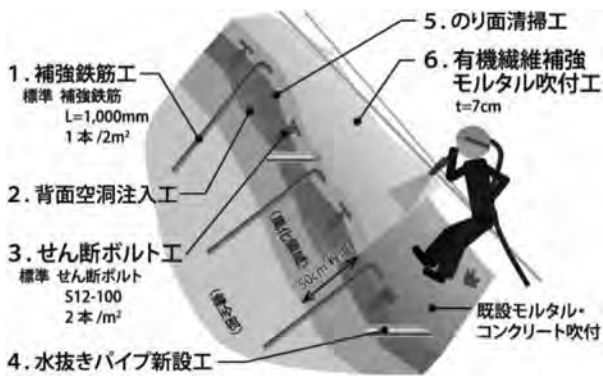
地山の風化による吹付のり面の不安定化は、雨水や湧水による影響を強く受け風化が著しく進行し、当初確保されていたのり面の安定勾配が確保できなくなるものである。また、亀裂が卓越した岩盤のり面では、亀裂に沿った風化の進行・緩みにより、不安定が進行する場合もある。発生する現象としては、土圧による開口ひび割れや、はらみ出し、崩壊などが挙げられる。

4. 本工法による対策工

(1) 工法概要

従来対策の課題を解決するために開発したのが本工法である（図一2）。本工法の概要は、既設吹付材をはつり取ることなく、①補強鉄筋工、②背面空洞注入工、③せん断ボルト工、④水抜きパイプ新設工、⑤のり面清掃工、⑥有機繊維補強モルタル吹付工の複数の要素技術を組み合わせて、老朽化したのり面を再生、または補強する技術である。以下に要素技術の概要を示す。

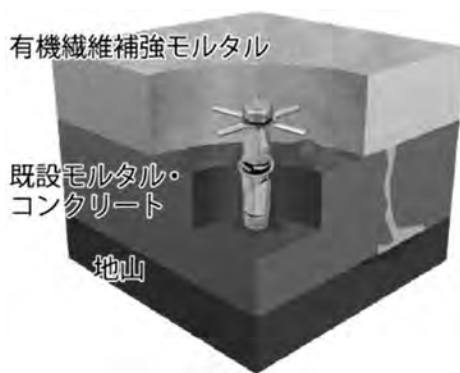
①補強鉄筋工は、吹付面の背面地山に対して、補強材を多数挿入し、背面地山の安定性の向上を図るものである。仕様は、異型鉄筋径D19、長さ0.6～1.0m（メッキL型加工）とし、地山への固定はセメントミルクを使用する。標準の打設本数



図一 2 本工法概要図

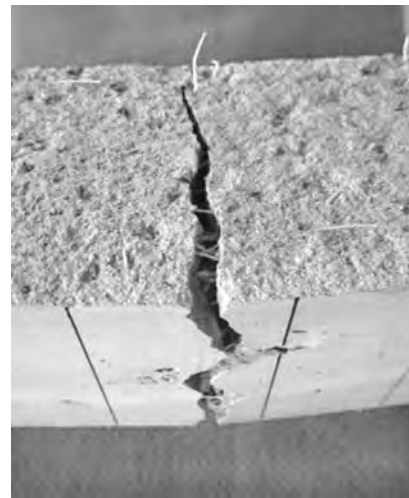
は、地山補強効果を見込み 2 m^2 に 1 本 としているが、背面地山の風化領域に応じて変更する。また、風化領域が 0.5 m 以上の場合は地山補強土工（ロックボルト工）へ変更することが可能である。

- ②背面空洞注入工は、吹付材と背面地山との間に生じた空洞にセメントミルクなどの充填材を注入し、吹付材と地山との一体化を図るものである。
- ③せん断ボルト工は、吹付面と新たに吹付ける繊維補強モルタルとを機械的勘合により一体化を図るものである。打設本数の標準仕様は 1 m^2 に 2 本としている。せん断ボルトの模式図を図一 3 に示す。



図一 3 せん断ボルトの模式図

- ④水抜きパイプ新設工は、背面地山の湧水を新設する繊維補強モルタルの表面へ適切に排水させるために、既設の水抜きパイプを更新するかたちで、新たに水抜きパイプを設置するものである。
- ⑤のり面清掃工は、既設吹付面と新たに吹付ける繊維補強モルタルとの付着を阻害するものを取り除くものである。
- ⑥繊維補強モルタル吹付工は、一般的な吹付材よりも引張強度や靱性が高く、既設吹付面に吹付け、のり面全体を再構築するものである。使用する繊維には、当該工法用に開発した有機繊維である



写真一 1 曲げ試験後の繊維補強モルタルの供試体片（例）

BC ファイバーを 1 vol% 混入する。吹付厚さの標準仕様は、 7 cm としている。これは繊維補強モルタルの物理的特性から、一般的な吹付工の吹付厚さを 3 割低減できることから設定したものである³⁾。BC ファイバーの仕様および曲げ試験後の繊維補強モルタルの供試体片（例）を写真一 1 に示す。繊維補強モルタルは、外力によりひび割れが発生した場合でも、繊維によりひび割れの拡大が抑制されていることがわかる。

(2) 工法の特長

従来工法と本工法の施工フローを対比し、本工法の特長を以下に示す。

- ①本工法は、吹付材のはつり取り作業、また風化地山の除去・整形作業を必要としないため、簡易な防護柵のみの仮設で施工可能である。そのため、作業自体の安全性が向上し、道路のり面においては、道路交通への影響も軽減でき、また急傾斜のり面のような狭隘地での施工も可能である。
- ②吹付材と地山の密着性の低下、地山の風化による吹付のり面の不安定化に対して、補強鉄筋工及び背面空洞注入工により、状態に応じた対策工を合理的に選定し補強することができる。
- ③吹付材自体の劣化に対しては、繊維補強モルタル吹付工により、低下した機能を回復させ、さらに高い性能へ向上させることができる。

(3) 対策パターンの検討

吹付のり面は、施工時の品質やのり面の置かれている環境によって、建設から同じ年数が経過しても、その健全性は様々である。対策工は、その健全性を適切に評価するとともに、のり面の置かれている重要性に

応じて、最も適した対策を施すことが必要である。

本工法では、吹付材の背面地山の風化の進行程度に応じて、対策を大きく4パターンに分け設定している。本工法の対策パターンの検討フローを図-4に示す。それぞれの対策パターンの概要は、下記の通りである。

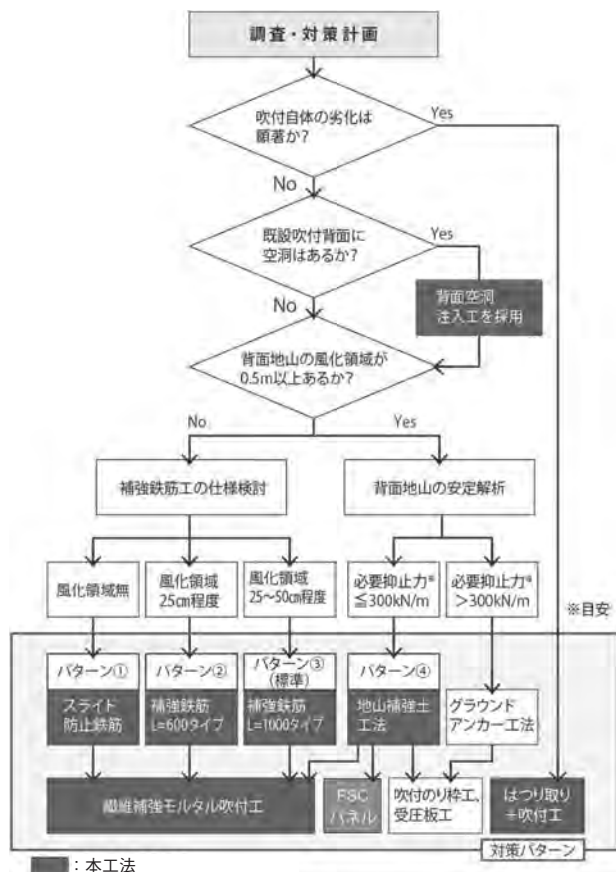


図-4 対策パターンの検討フロー

対策パターン①は、背面地山の風化領域はないが、吹付材が劣化している場合に適用するものである。

対策パターン②は、背面地山の風化領域が25 cm程度の場合に適用するものである。

対策パターン③は、本工法の標準パターンとしており、背面地山の風化領域が50 cm程度の場合に適用するものである。

対策パターン④は、背面地山の風化領域が50 cmを超える場合、背面地山の安定解析を行い補強鉄筋工の代替として地山補強土工を計画するものである。

(4) 吹付システム

本工法の繊維補強モルタル吹付工を除く要素技術は、作業者が吹付のり面で作業できるロープ足場等の安全施設が整えば施工は可能であり、適用範囲は非常に広い。その一方で、繊維補強モルタル吹付工は、機械施工の割合が高く、適用範囲は機械能力によって制限される。したがって、本工法を適用できるか否かの判断は、繊維補強モルタル吹付工が施工できるか否かの判断となるケースが高い。

本工法の繊維補強モルタル吹付工の施工システムは、施工性、経済性、汎用性の面から湿式吹付機を用いたものを標準としている。この施工システムの概要は、湿式吹付機で製造した繊維補強モルタルを圧縮空気によりφ50 mmのホースで搬送し吹付けるものである。なお、湿式吹付機を設置するプラントヤードは、現地でモルタルを製造する方法では、約100 m²以上を必要とし(写真-2)、現地でモルタルを製造しない方法でも50 m²以上を必要とする。現地でモルタル



写真-2 現地練吹付システムプラント設置例



写真-3 狭隘地での吹付システムプラント設置例

を製造しない場合の湿式吹付機の設置状況を写真—3に示す。湿式吹付機を用いた施工の適用範囲は、一般的に吹付材料の品質が確保できる範囲とされる、湿式吹付機から施工箇所までの距離（ホース延長）が100 m以内、高さが45 m以内とされている⁴⁾。こうしたことから、対策する吹付のり面から100 m以内にプラントを設置できるヤードが確保できないと、当該工法の適用が難しいこととなる。しかしながら、対策を検討する吹付のり面は、道路に面している場合や民家に隣接している場合が多く、交通規制の面からも、施工箇所から100 m以内にプラントヤードを確保することが難しい場合が多い。そのため、当該工法の適用範囲を拡大させるために、特殊な吹付施工システムを開発した。

開発した施工システムは、ポンプ圧送エア併用吹付システムである。本システムの概要は、流動性を高めた繊維補強モルタルをコンクリートポンプで吹付箇所の手前40 mまで圧送し、その地点で流動性を低下させる特殊な混和剤と圧縮空気を混合し、それ以降は繊維補強モルタルを圧縮空気によりφ50 mmのホースで搬送し吹付を行うものである。なお、コンクリートポンプ圧送時の繊維補強モルタルのスランプは、20 cm程度を標準としている。

本システムの適用範囲は、プラント設置箇所から吹付箇所までの距離が200 m、高さが60 mであり、湿式湿式吹付機を用いた場合の適用範囲を拡大することが可能となった⁵⁾。本システムを採用した施工状況の様子を写真—4に示す。



写真—4 ポンプ圧送エア併用吹付システムプラント設置例

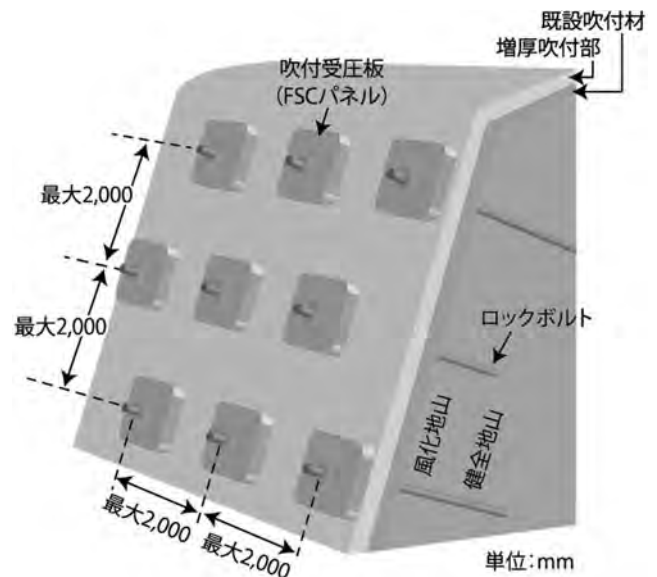
5. 吹付受圧板工法「FSC パネル」

(1) FSC パネルの概要

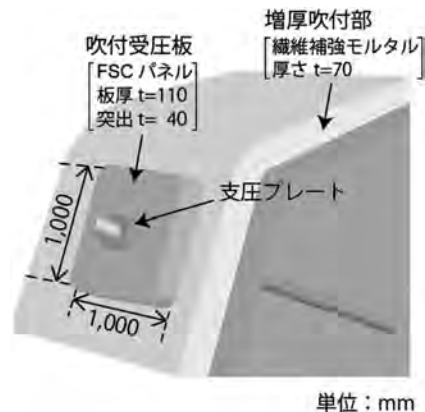
本工法における補強鉄筋工は、前述した通り地山の風化領域が0.5 m以上の場合は、地山補強土工を検討し採用する。なお、この際の必要抑止力は300 kN/m以下である。一方、本工法におけるロックボルトの打設間隔は、のり面工の剛性から1.5 mが最大となる⁶⁾。

対策工の工費の観点からすると、ロックボルトの打設間隔を広げ本数を減らすことが工費を削減することに対して有効である。

この間隔を広げるためにはのり面工の剛性を高める必要があり、その方法としては繊維補強モルタル吹付を吹付法枠へ変更するか、繊維補強モルタル吹付後に独立受圧板を配置することなどが考えられる。この方法では、のり面工の剛性を高める工費が増加して、工費削減が難しい場合がある。そこで、開発したのが「吹付受圧板工法 FSC パネル」である。本工法と同様に老朽化した吹付のり面の吹付材をはつり取ることなく、繊維補強モルタル吹付により既設吹付材表面の被覆・増厚を図り、それと同時にRC構造の吹付受圧板（以下、FSC パネル）を複数構築してのり面工の剛性を高め、ロックボルト工と組み合わせてのり面を補強する工法である。吹付受圧板工法の全体概要を図—5、FSC パネルの概要を図—6に示す。



図—5 吹付受圧板工法の全体概要



図—6 FSC パネルの概要

(2) FSC パネルの特性

吹付受圧板工法の構成は、本工法の要素技術に加え FSC パネルから成る。FSC パネルの耐力（許容軸力）は、56.0 kN であり、これは風化領域 2.0 m 程度をロックボルトで抑止すると仮定した耐力である。その耐力を満足する部材仕様として、繊維補強モルタルの厚さ 110 mm と補強部材（主筋 D13 と補強金網 D5 @ 150）を組み合わせる。

参考までに、写真—5 に FSC パネルの耐力試験時の状況を示す。



写真—5 FSC パネル耐力試験状況

(3) FSC パネルの特徴

FSC パネルの特徴を下記に整理する。

- ①吹付で受圧板を構築するため、施工面に対して確実に密着でき、受圧板背面の不陸調整が不要である。
- ②FSC パネルの性能から、ロックボルト工の最大配置間隔を 2.0 m まで広げることが可能である。
- ③のり面工の低減係数は、0.7 ~ 1.0 を選定することが可能である。

6. おわりに

本稿では、老朽化した吹付のり面の補修・補強技術である本工法ニューレスプ工法を紹介した。なお、本工法は、従前に技術提供を行っていた ReSP 工法を、品質を低下させずに施工性や経済性の向上を図った新技術である。今後も、本工法の適用事例を分析・評価し、施術の改良・改善を行っていく所存である。また、今後、本工法における吹付受圧板工法の適用性を分析・評価しさらなる適用範囲を模索していく考えである。

なお、「吹付受圧板工法 FSC パネル」は、公益財団法人鉄道総合技術研究所と共同で開発したものである。

JCMA

《文 献》

- 1) のり面診断・補修補強研究会；吹付のり面診断・補修補強の手引き，2017。（配布物）
- 2) 松山裕幸ほか；吹付けコンクリートの安定性と劣化状況，土木学会論文集，Vol.62，No.3，pp.445-458，2006.
- 3) 池田淳ほか；各種繊維を用いた補強モルタル吹付厚さに関する基礎実験，第 65 回土木学会年次学術講演会，pp.1039-1040，2010.
- 4) 社団法人全国特定法面保護協会；のり枠工の設計・施工指針（改定版），p.65，2007.
- 5) 窪塚大輔ほか；のり面吹付工の概要と最近の技術，斜面防災技術，pp.23-24，2013.
- 6) 公益財団法人地盤工学会；地山補強土工法設計・施工マニュアル，p.82，2011.

【筆者紹介】

近藤 保徳（こんどう やすのり）
日特建設㈱
事業本部 技術営業部 法面技術チーム

