

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

# 老朽化した吹付のり面を補修する

鉄道沿線の切土のり面にはのり面工として吹付工が施工されていることがあります。このような吹付工は施工から数十年が経過しているものも多く、近年、老朽化した吹付工の維持管理が問題となっています。とくに背面地山の風化をともなう場合には斜面自体が不安定化しており、変状が生じて最終的に斜面崩壊に発展する可能性があるため注意が必要です。ここでは、このような背面地山が風化している老朽化吹付工に対して、吹付工自体の補修だけでなく地山の補強も同時に行うことのできる新たな補修・補強工法について紹介します。



**高柳 剛**  
Tsuyoshi Takayanagi  
防災技術研究部  
地盤防災研究室  
副主任研究員  
【専門分野】斜面防災



**布川 修**  
Osamu Nunokawa  
防災技術研究部  
地盤防災研究室  
室長  
【専門分野】斜面防災

## はじめに

鉄道沿線の切土のり面には、表層を保護する目的でのり面工（※参照）が施工されていることがあります。このようなのり面工のうち、吹付工は比較的軽微な設備で施工することができるため、1955～1975年頃に多用され、以後多くの施工実績を積んできました。一方で、このような吹付工は施工から数十年以上が経過しており、近年、老朽化吹付工の維持管理が問題となってきています。

吹付工の老朽化の原因としては、おもに①経年にともなう吹付工自体の劣

化、②吹付工と背面地山の密着性の低下、③吹付工背面の地山の風化による不安定化の3点があげられます。このような老朽化の原因や程度に応じて、吹付工にはひび割れ、表面剥離、吹付工のスライド現象、吹付工背面における空洞形成、開口ヒビ割れ、はらみ出しなどの変状が生じることがあります（図1、図2）。このような吹付工の老朽化はのり面工の本来の性能を低下させるだけでなく、とくに吹付工背面の地山の風化をともなう場合には斜面自体の不安定化が進行しており、最終的に斜面崩壊に発展する可能性があるた

## ※ のり面工

盛土・切土のり面の表層の侵食防止、雨水の浸透防止、表層すべり防止を目的として施工される表面保護工。おもなのり面工の例として、格子枠工、張コンクリート工、吹付工、植生工などがあげられます。吹付工の材料にはモルタルやコンクリートが用いられます。

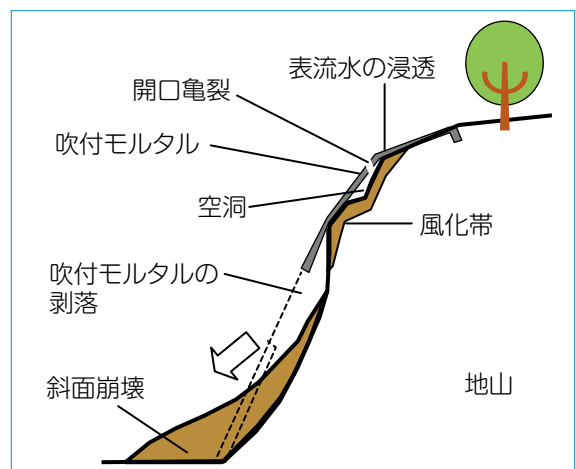


図1 吹付工の変状および不安定化のイメージ



図2 老朽化した吹付工の変状事例

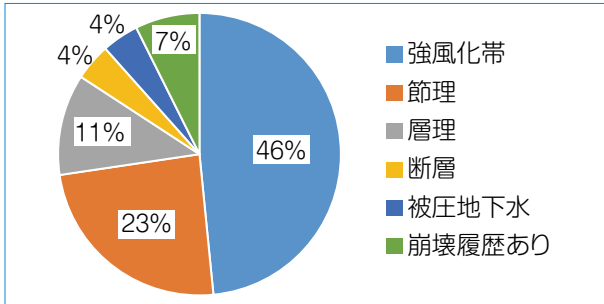


図3 吹付工の災害の素因<sup>1)</sup>

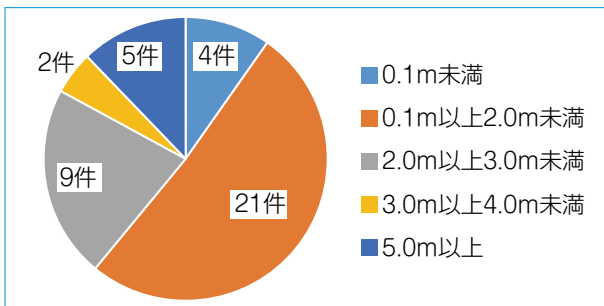


図4 吹付工の崩壊の予想深さ<sup>1)</sup>

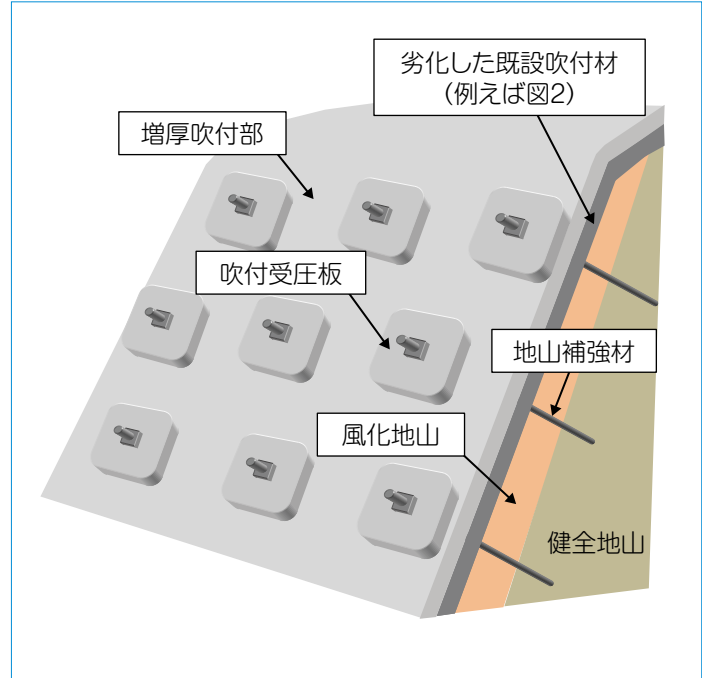


図5 吹付受圧板 (FSC パネル) 工法<sup>2)</sup>の概念図

め注意が必要です。

ここで、過去に報告された吹付工が施工されたのり面の災害の素因の割合を図3<sup>1)</sup>に示します。このように背面地山の風化帯の存在が災害の素因としておもに報告されており、また想定される崩壊深さについてはおおむね1～2mの規模が多数となっています(図4)。

背面の地山が風化している老朽化吹付工では、表層の斜面崩壊も懸念されるため、吹付工自体の補修だけではなく、地山の補強も視野に入れた対策工が必要となります。

そこで、背面地山が風化している老朽化吹付工に対して、吹付工自体の補修だけではなく地山の補強も同時に実

施できる新たな補修・補強工法として、吹付受圧板 (FSC パネル) 工法<sup>2)</sup>を開発しました。

### 吹付受圧板 (FSC パネル) 工法

老朽化吹付工に対する補修工法としては、これまで「既設吹付工をはつり取った後、背面の風化した地山を整形し、吹付工より性能が高い格子砕工などにより対策する方法」、または「既設吹付工の上面から格子砕工を被覆し、風化した背面地山を地山補強土工により補強する方法」などが現場条件に応じて適用されてきました。

しかし、既設吹付材をはつり取ったうえで格子砕工を再構築する方法は、

要求性能に対して過剰な対策となる場合があります。また鉄道の近接環境における既設吹付工のはつり取りは、おもに人力による作業となるため一定の作業時間を要し、また作業中の落下片から線路を防護するための設備が必要となり、さらにははつり取った古いコンクリート片の搬出が困難な施工条件では搬出に大きな手間を要することがありました。

このような課題を踏まえて、既設吹付材をはつり取ることのない、施工効率および経済性に優れた新しい老朽化吹付のり面の対策工法として、吹付受圧板工法を開発しました(図5)。

本工法は、繊維補強モルタル吹付で

表1 吹付受圧板の構成材料

モルタル	混入短繊維	鉄筋補強材
一軸圧縮強度 18N/mm <sup>2</sup> 以上	ポリプロ ピレン	異形溶接金網 直径 5~6mm 異形鉄筋 直径 13mm×4本

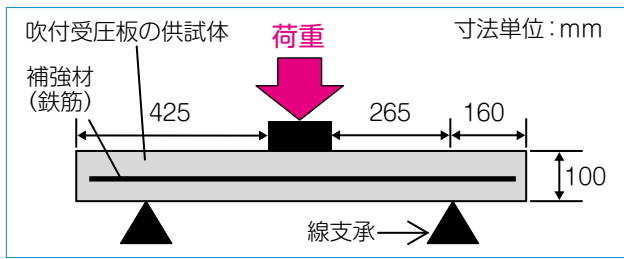


図6 吹付受圧板の強度確認実験の概要 (断面)

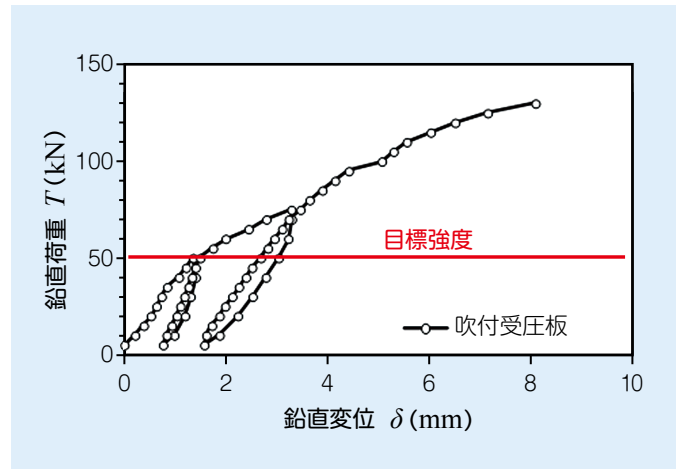


図7 吹付受圧板の強度確認実験の結果

既設吹付工の表面を被覆すると同時にRC構造の吹付受圧板 (FSCパネル) を構築し、この吹付受圧板と地山補強土工法 (参照) を組み合わせて斜面を補強する工法です。

このような処置を行うことで、第一に、亀裂などにより低下した表面保護効果を回復することができます。第二に、地山補強材 (ロックボルト) 周辺に強固な受圧板を構築することで、受圧板がない条件よりも地山補強土工法の斜面安定効果を向上させることができます。吹付受圧板工法は、受圧板の効果により1本あたりの地山補強土工の斜面安定効果を向上させることができるため、その分、地山補強土工の打設本数の低減を図ることができます。ただし本工法の適用条件として、崩壊が想定される地山の風化帯の厚さが2m以下の場合を基本としています。

### 吹付受圧板の強度

受圧板は地山補強材が斜面表層を固定する効果を確実に斜面に伝達するための重要な部材です。受圧板には一般

的に鋼製の既製品などが用いられますが、吹付受圧板は鉄筋などによる補強部材や繊維補強モルタルなどの材料 (表1) からなるRC構造の受圧板となります。この吹付受圧板が受圧板としての機能を発揮するためには、地山補強材から作用する力に対して十分な強度を有することが求められます。事前の検討により、想定崩壊深さが2mの規模の斜面に対して本工法を適用する場合には、吹付受圧板は最大で50kNの鉛直荷重に耐える必要があると試算されました。そこで吹付受圧板の強度確認を目的として、吹付受圧板の供試体を用いた鉛直載荷実験を実施しました (図6)。その結果、吹付受圧板は目標の50kNの鉛直荷重に耐える十分な強度を有していることがわかりました (図7)。

### 遠心模型実験による最大打設間隔の検討

吹付受圧板工法は一般的な吹付工を採用する工法と比較して斜面を安定させる効果が高いため、地山補強土工法の地山補強材の打設本数を低減することができます。ただし、補強材の打設

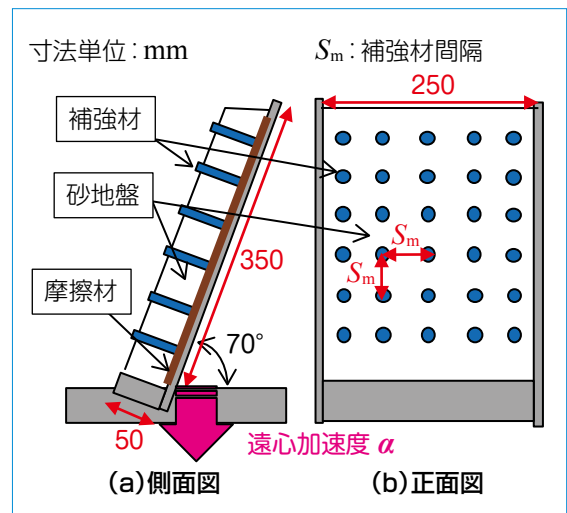


図8 遠心模型実験の概要

間隔を広げすぎると、設計上は十分な斜面安全率が得られていたとしても、補強材が斜面の表層を拘束する効果が弱くなり、補強材の間で部分的な崩壊が発生する懸念があります。その一方、補強材に受圧板を敷設する場合には、表層の拘束効果がより高まると考えられます。そこで、補強材の間で部分崩壊が発生する最大の間隔と受圧板の有無の関係を、遠心模型実験によって検証しました。

本実験においては、切土のり面の風化帯 (砂地盤) に地山補強土工が敷設された状況を模擬した模型地盤を用いています (図8)。遠心模型実験とは、模型地盤に重力方向の遠心加速度  $\alpha$  (G) を作用させることで、模型の  $\alpha$  倍の大

表2 遠心模型実験の実験結果

	補強材材料	受圧板	補強材本数	補強材間隔 $S_m$ (mm)	崩壊時 遠心加速度 $\alpha$ (G)	補強材間隔 $S_p$ (m) [実物相当]
Case1	無補強				5	
Case2	アクリル ( $\phi$ 2.0mm)	なし	30	50	34	1.7
Case3			20	62.5	25	1.5
Case4			15	83	22	1.8
Case5		あり	30	50	44	2.2
Case6			15	83	26	2.2
Case7	ピアノ線 ( $\phi$ 1.5mm)	なし	30	50	24	1.2
Case8		あり	20	62.5	48	3.0

きさの地盤と同じ状態を再現することが  
できる実験です。すなわち、模型に  
作用させる遠心加速度 $\alpha$  (G) を増加さ  
せると、模型の地山補強材の打設間隔  
 $S_m$ が $\alpha$ 倍に拡大することに相当するた  
め、表層の不安定性は低下して最終的  
には斜面崩壊に至ることになります。

本実験の実験ケースおよび実験結果  
を表2に、斜面崩壊の代表的な事例を  
図9に示します。模型地盤の補強材の  
間隔 $S_m$ と、斜面崩壊時の遠心加速度  
 $\alpha$  (G) の関係から、実物大の地盤で斜  
面崩壊が発生する補強材の打設間隔  
 $S_p$ を評価すると、①受圧板がないケー  
ス（たとえばCase7）では打設置間隔  
 $S_p$ が1.2~1.8mで崩壊が発生してい  
るものの、②受圧板があるケース（た  
とえばCase8）では打設置間隔 $S_p$ がお  
おむね2.0mを超えた場合に崩壊が発  
生する結果となりました。一般的に地  
山補強土工の最大打設間隔は1.5mを  
目安とされますが、今回の実験結果か  
ら、本工法のように地山補強土工と  
受圧板を組み合わせるケースには、お  
おむね2.0m程度まで最大打設間隔を  
上げられることがわかります。

### 鉄道における本工法の施工例

鉄道における本工法の施工例につい  
て紹介します（図10）。施工箇所は風  
化花崗岩の地質からなる切土のり面で、  
経年によるのり面工の劣化とともに、  
一部の範囲では背面地盤には一定の風  
化層が確認されました。このため、風  
化層が確認された範囲に対しては吹付  
受圧板工法が適用され、風化層が確認  
されない範囲に対しては、のり面工の  
補修工のみが適用されました。このよ  
うに、のり面工の補修・補強を計画す  
る際には、のり面工背面の状態に応じ  
て適切な工法を選択することが重要に  
なります。

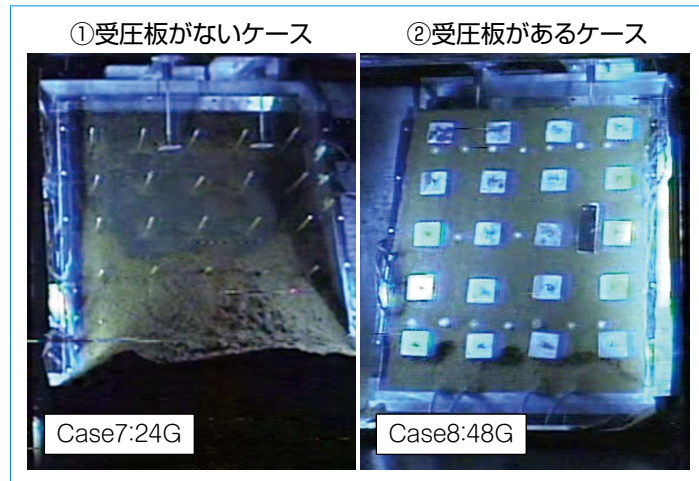


図9 遠心模型実験による斜面崩壊状況



図10 鉄道における吹付受圧板工法の施工例

### 最後に

ここでは老朽化した吹付工を対象と  
した、新しい補修・補強工法として、  
吹付受圧板 (FSCパネル) 工法を紹介  
しました。なお本工法については、一  
連の研究成果に基づいて設計・施工要  
領<sup>2)</sup>を作成しています。本工法が鉄道  
事業者の老朽化吹付工の維持管理に  
関する一助となることを期待します。

RRR

### 文献

- 1) 物理探査学会斜面等健全性検討研究委  
員会：老朽化吹付け法面の調査・対  
策の手引き、鹿島出版会、pp.9-10、  
2006
- 2) 鉄道総合技術研究所：老朽化吹付のり  
面の補強工 設計・施工要領—吹付け  
受圧板工法 PSCパネル—、鉄道総  
合技術研究所、2016
- 3) 地盤工学会：地山補強土工法設計・施  
工マニュアル、丸善出版、2011