

鉄道トンネルにおけるコンクリート剥落防止対策の適用性試験

清水建設株式会社
西日本旅客鉄道株式会社
清水建設株式会社
有限会社トルース

正会員 ○ 西名 伸博
正会員 藤井 大三
正会員 澤井 康
正会員 稻積 真志

1.はじめに

トンネルの維持管理においては、ジャンカやコールドジョイントなどの初期欠陥や、経年劣化による覆工表面コンクリートの剥落を防止することが必要である。筆者らは、鉄道トンネルにおける施工時の制約条件を考慮した上で、鉄道トンネル斜坑にて、光硬化型樹脂とその剥がれ防止を目的とした非金属性拡張アンカー（写真①以下アラミドネールと称す）の併用による、剥落防止工法の試験施工を実施した。本報では、試験結果から適用性について考察を行った。

2.試験概要

既設鉄道トンネルでは保守作業における制約や使用環境に対する諸条件をクリアしておくてはいけない。今回以下のような条件設定のもと実施した。
①シート貼付からアラミドネール打設までを 1.5 時間から 2 時間程度で施工可能である
②施工後の列車通過時の風圧に対応できる（付着強度 1.5N/mm² 以上もしくは母材破壊（施工後 2 時間程度））

3.検討工法と材料の規格・特性

検討した工法毎の使用材料の規格・特性を、表-1、表-2 に示す。

表-1 検討工法と使用材料

検討工法	目付量(g/m ²)	プライマー、含浸樹脂
(A)アラミド 繊維ネットの直貼り工法	90/90	光硬化型ビニルエステル系樹脂
(B)アラミド 繊維ネット 一体型シート貼り貼付け工法	90/90	
(C)高密度ポリエチレンネット 一体型シート貼り貼付け工法	70/70	

① 樹脂を含浸したガラス繊維製不織布の中に、繊維補強ネットを間に挟み込んだ複合シート。

表-2 樹脂とアラミドネールの主な特性

光硬化型ビニルエステル樹脂の特性
(i)光照射（メタルハライドランプ）により、短時間で強度が発現する ・波長(380-450nm)、照度 5mw/cm ² の光照射で約 20 分で硬化 (ii) 樹脂は、可視光硬化型である
アラミドネールの特性
(i)腐食しない (ii)初期付着強度の補完及び周辺部におけるシート、ネットの剥がれ防止 (iii)拡張型であるが樹脂により引張強度の向上が可能 (iv)ABS 樹脂でアラミドロッドを打ち付けることにより拡張する



写真① アラミドネール



写真② メタルハライドランプ

〔施工手順（一体型シート）〕



写真③ 不陸修正後、光照射



写真④ 一体型シート接着面フィルム剥し

4. 施工手順（写真③～⑧参照）

施工手順を表-3 に示す。

下地処理に 1 日、繊維シート貼付けからアラミド®ネイル打設に 1 日の計 2 日間での施工となる。

表-3 施工手順

工法 A	①下地処理 ②プライマー ③不陸修正④光照射 ⑤樹脂下塗り ⑥シート貼付け ⑦樹脂上塗り ⑧光照射 ⑨削孔 ⑩アンカー打設
工法 B, C	①下地処理 ②プライマー ③不陸修正④光照射⑤樹脂下塗り ⑥シート貼付け ⑦光照射 ⑧削孔 ⑨アンカー打設

※アンカー打設は 16 本/m²

5. 試験結果

(1) 施工性

施工性については、どの工法においても光照射により短時間（20 分程度）で樹脂が硬化し、アラミド®ネイル打設のための削孔が可能であった（樹脂の硬化速度が遅いと電動ドリルにて削孔する際シートを巻き込み不可能となる）。一体型シートの取扱いは、位置決めが容易にでき簡単に貼ることができた。しかし、脱泡に少々時間がかかり、かつ完全な脱泡はできなかった。

(2) アラミド®ネイル引張試験

アラミド®ネイル引抜試験は、覆工面にアラミド®ネイルを直接打設し、引抜くことにより行った。試験結果を表-4 に示す。ここで、サンプル数は各 4 本とし、ネイルと孔との充填材としてポキシ樹脂を使用した。

表-4 アラミド®ネイル引抜試験の結果

経過時間	2h	3h	4h
引抜き力	3.46kN	1.95kN	3.35kN

(3) 付着強度

付着強度試験の供試体は、コンクリート平板によりディスクサンダーによる下地処理、プライマー塗布、不陸修正パテ材塗布、樹脂下塗り、シート貼付け、樹脂上塗り、光照射による樹脂硬化の手順で製作した。建研式引張り試験機による試験結果を表-5 に示す。

表-5 付着強度試験の結果

経過時間		2h	3h	4h
工法	A	2.78N/mm ²	3.41N/mm ²	3.47N/mm ²
	B	2.21N/mm ²	3.28N/mm ²	4.07N/mm ²
	C	3.43N/mm ²	3.02N/mm ²	3.71N/mm ²

6. まとめ

今回の試験結果をまとめると、以下のことが言える。

- (1) 光硬化型樹脂を使用することにより、短時間で十分なシート付着を得ることが可能である。
- (2) 施工面積が 1m² から 2m² 程度であれば、いずれの工法によっても、2 時間程度の作業時間内での施工は充分可能と考える。
- (3) アラミド®ネイルは施工後数時間の列車風圧に対するシート剥がれ防止に有効である。また将来的には樹脂劣化による剥がれ防止にも有効になると考えられる。
- (4) 一体型シート貼付け工法（工法 B,C）については脱泡が速やかに行えるようにするために、樹脂の粘度を調整、あるいは、シートに脱泡用の穴をあける等の工夫が必要である。
- (5) 一体型シート貼付け工法（工法 B,C）では、表面の仕上がりが均一であるが、アラミド®の直貼り工法（工法 A）ではムラが生じる。一体型シート貼付け工法では、誰が施工しても同じ品質を確保できる。

今後は、詳細な設計仕様に対応するよう材料を調整し、他の試験を重ねて、現場への適用性の高いコンクリート剥落防止対策工法としたい。また、アラミド®ネイルについても、今回の試験結果をもとに、改良改善を進めていきたい。



写真⑤ シート貼付け後、光照射



写真⑥ 表面フィルム剥し



写真⑦ アラミド®ネイル削孔



写真⑧ アラミド®一体型シート完了