

ウレタン吹付けによるはく落防止工法の既設鉄道トンネルへの適用に関する研究

北海道旅客鉄道株式会社 正会員 ○綱嶋和彦, 仁平達也
(株)IDF 池田和広
(株)ダイフレックス 国定達雄

1. はじめに

今日まで、鉄道トンネルの覆工に対して様々なはく落防止工法が提案されている¹⁾。アンカー止めを伴う工法は、鋼材腐食等によりアンカーが落下する可能性は否定できない。また、仕上がり厚さが必要な工法は、建築限界に余裕がない箇所では採用し難い。そこで、近年、進歩が著しい材料であるウレタンに着目し、アンカー止めを必要とせず、施工厚さ2mm程度となる、**図-1**に示す、吹付けウレタン工法の既設鉄道トンネルへの適用性に関する検討を行った。

2. 本工法の概要および検討項目

本工法は、**図-2**に示すように、列車運行上問題となるクラウン部付近のはく落やつらら（漏水）に対して、費用対効果を考慮して、トンネル全面ではなく変状箇所付近にスポット的に吹付ける工法である。本工法による効果は、はく落の防止のほか、クラウン部でのつらら（漏水）の発生をスプリングライン付近へ移動させ（導水効果）ることによる列車運行上の安全性向上と維持管理作業の効率化をも合わせ持つ。今回は、既設鉄道トンネルを対象に、以下に示す1)と2)の検討を行った。

1) 施工方法および施工時間の検討（3章：施工確認試験）

2) 吹付けウレタンの性能の検討（4章：性能確認試験）

3. 施工方法および施工時間の検討

3.1 施工手順

図-3に本工法の施工の手順を示す。既設の鉄道トンネル覆工には、SLのばい煙による煤やエフロレッセンス、バクテリアスライム、油脂などが付着しているため、電動サンダー等によりこれら除去する（**手順1**：表面清掃）。施工箇所が濡れている場合は、バーナー等で炙り、表面含水率が5%以下となるまで表面を乾燥させる（**手順2**：表面乾燥）。なお、ジャンカ箇所の場合は、手順2の後に急結セメント等で断面修復を行う。表面の清掃および乾燥後、スプレーガンでの吹付け時にウレタンがトンネル内に飛散しないよう対策を行う（**手順3**：飛散防止養生）。プライマーを塗布（**手順4**：プライマー塗布）した後、硬化養生を行う。養生（1時間程度）後（**手順5**：プライマー養生）、そしてウレタンを吹き付ける。（**手順6**：ウレタン吹付け）。ウレタンは30分程度で強度が発現する。

3.2 施工確認試験の概要および結果

図-4に示すように、単線非電化断面（2号型断面直線用）のクラウン部にて施工確認試験を行った。施工は、融凍期等のトンネル表面が湿潤しやすい時期を避け、比較的乾燥している時期（7月と11月）に実施した。施工箇所はトンネル背面から水が滲出していたため、作業2（表面乾燥）を施した。施工範囲は線路方向に約1m、線路直角方向に約6mの6m²を標準工法とした。これは、変状箇所が500×500mm程度で、線路方向の施工余裕長が左右それぞれ250mm程度、線路直角方向には、スプリ



a) 作業状況 b) 施工後
図-1 吹付けウレタン工法の概要



図-2 本工法の概要



図-3 施工手順



図-4 標準工法の施工範囲



図-5 機材一式

キーワード トンネル, 維持管理, 吹付けウレタン

連絡先 〒065-0012 北海道札幌市中央区北11条西15丁目1番地1 北海道旅客鉄道株式会社工務部工事課 Tel 011-700-5794

表-1 標準工法 (6m²) で想定した作業時間

手順	項目	準備	作業	片付け	所要時間	経過時間
—	足場組立	—	35	—	35	35
1	表面清掃	10	15	5	30	65
2	表面乾燥	2	6	2	10	75
3	プライマー塗布	2	5	3	10	85
4	飛散防止養生	5	5	5	15	100
5	プライマー養生と		60		60	160
6	ウレタン吹付け	—	10	10	10	180
—	足場解体	—	20	—	20	200

※資材運搬時間は含まない

ングラインまでの導水効果を期待して設定したものである。機材は持ち運びが可能なミキサー等で構成(図-5)され、総重量70kg程度である。施工箇所までは主に軌道保守作業で用いられる軽便トロに乗せて人力で運搬した。

表-1に、施工確認試験結果を示す。総施工時間は200分程度、足場の組立、解体を除くと145分程度必要となることを確認した。また、足場の組立、解体に係る所要時間と作業5(プライマー養生)の所要時間の結果から、列車通過等に伴う作業の中断も可能であることを確認した。また、同一施工条件で別途試験を行い、標準工法の半分の施工面積(3m²)では187分、倍の施工面積(12m²)では235分の総施工時間となることを確認した。

4. 性能確認試験の概要および結果

4.1 付着強度

先述のように、コンクリート表面の付着物を除去しないと、付着力不足が生じ、ウレタンの剥がれ、ダレ等が発生する可能性がある。そこで、2~3分/m²程度の表面清掃(サンダー掛け)を行い、付着物の除去を確認した後に吹付けた箇所の付着強度試験を行った。試験は施工直後と8ヶ月に行った。

図-6に示すように、付着強度は、施工直後平均で1.82kN/mm²、施工後8ヶ月後平均で1.95kN/mm²となり、経時的な低下も見られず、一般的な表面被覆工法における付着強度と同等以上であることを得た。なお、施工後8ヶ月後の付着強度試験では、すべての試験体がアタッチメントとの界面で破断(図-7の(Case ⑤))したことから、実際の付着強度は、これらの値以上であることがわかる。

4.2 導水効果

図-8に示すように、施工後の定期的な目視調査により、スプリングライン付近の端部からの漏水を確認した。施工当時は、クラウン部から漏水していた箇所であり、水がトンネル覆工内部を伝っていることが推測される。図-8 a)は7月、図-8 b)はつららの発生が懸念される1月に確認されたものであり、季節に関わらず導水効果が確認された。

5. まとめ

- トンネルクラウン部6m²を施工するのに必要な総施工時間は200分程度であることを確認した。
- 付着強度は、表面被覆工法における強度と同等以上であり、施工後8ヶ月後も強度の低下は見られなかった。
- 季節に関わらず、漏水をクラウン部からスプリングライン付近へ移動させる、導水効果があることを確認した。

参考文献

1) (財) 鉄道総合技術研究所編：トンネル補修・補強マニュアル，2007.1

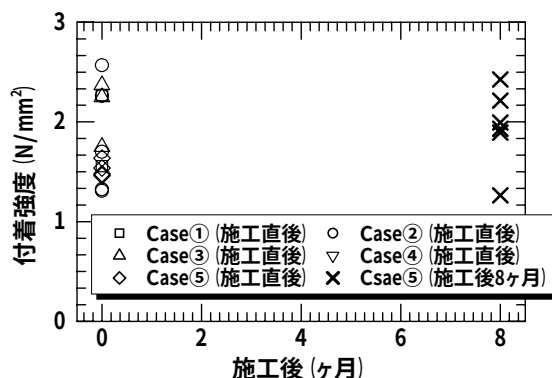
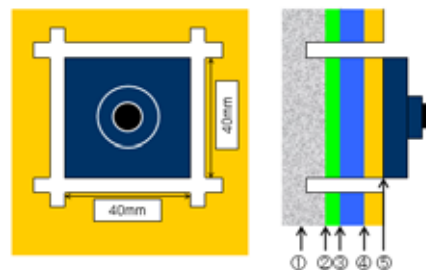


図-6 付着強度試験結果



Case①:コンクリートの破断
Case②:コンクリートとプライマー界面での破断
Case③:プライマーとウレタン1層目との破断
Case④:ウレタン1層目とウレタン2層目との破断
Case⑤:ウレタン2層目とアタッチメントの界面での破断

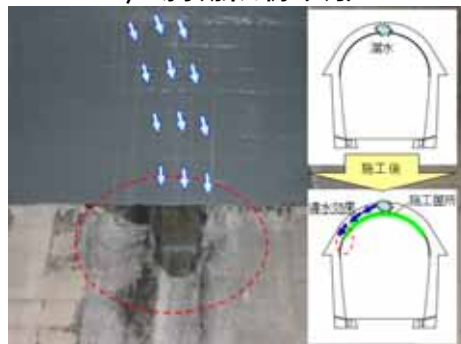
図-7 付着強度試験破断箇所



a) 導水効果の例 (7月)



b) 導水効果の例 (1月)



c) 導水効果の例 (b) の拡大図

図-8 導水効果の例