

L 型鋼に替わるトンネル覆工剥落防止工

New Method of Preventing Spalling and Peeling of Tunnel Arch Concrete
Using Photo-Curing Resin Sheet Instead of L Section Steel

渡辺佳彦¹・村田一郎²・石井 清³・西名伸博⁴・山本富生⁵

Yoshihiko Watanabe, Ichiro Murata, Kiyoshi Ishii, Nobuhiro Nishina, and Tomio Yamamoto

¹正会員 西日本旅客鉄道株式会社 施設部 (〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田2-4-24)

E-mail:yoshihiko-watanabe@westjr.co.jp

²正会員 西日本旅客鉄道株式会社 施設部 (〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田2-4-24)

E-mail:ichirou-murata@westjr.co.jp

³フェロー 清水建設株式会社 技術研究所 (〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17)

E-mail:kiyo.ishii@shimz.co.jp

⁴正会員 清水建設株式会社 神戸支店 (〒651-0086 兵庫県神戸市中央区磯上通4-1-13 神戸磯上ビル)

E-mail:nishina@shimz.co.jp

⁵昭和高分子株式会社 伊勢崎研究所 (〒372-0833 群馬県伊勢崎市富塚町1019-1)

E-mail:tomio.yamamoto@shp.co.jp

In the tunnels of Sanyo-Shinkansen, L section steel was attached temporarily near cold-joint part for preventing spalling and peeling of tunnel arch concrete. As permanent measures, application of the new construction method using the photo-curing type resin sheet was started from last year instead of L section steel. This paper describes the specification of the proposed construction method, the feature, performance, its applicability, etc. This sheet is the compounded type sheet which put the fiber net made from high-density polyethylene (HDPE) between the glass crossing and glass mat including photo-curing resin. It is soft at first, but becomes hard by applying visible ray for about 20 minutes after pasting. There are many features of this construction method as follows; rapid construction, construction quality, the quality of a sheet, conveyance nature of material and equipment.

Key Words: tunnel arch concrete, a method of preventing spalling and peeling of concrete, HDPE-fiber-net, visible-ray photo-curing resin, photo-curing sheet

1. はじめに

平成 11 年に山陽新幹線福岡トンネルおよび北九州トンネルで発生した覆工コンクリート剥落事故後に実施した「トンネル安全総点検」の際に、コールドジョイントなどの剥落防止を目的に予防的処置として取り付けた L 型鋼や平型鋼等の鋼材(ボルト類を含む)は、将来的には腐食が進行し、劣化等による機能低下や L 型鋼自体の落下の危険性が考えられる。そこで、これら L 型鋼等に替わる、恒久的なトンネル覆工剥落防止工を選定し、その適用性を検討した¹⁾²⁾。

2. 工法の検討および概要

(1) 検討項目

新幹線はもとより、鉄道トンネルの保守は短期間で

の施工が要求される。そこで、施工時の性能要求には、以下の項目が求められる。

(i) 1.5～2 時間程度で施工が可能であること

(ii) 施工後の列車通過時の風圧にも対応できること

これらの要求性能を満足するものとして写真-1 に示す「高密度ポリエチレン繊維一体型光硬化樹脂接着シート」(以下、「光硬化型シート」と呼ぶ)を使用することとした²⁾。このシートは、光硬化型樹脂を含浸させたガラスマットおよびガラスクロスの上に高密度ポリエチレン製の 2 軸ネットを差し挟んだものである。シートは、光線を当てる前は柔らかく、その状態でコンクリート覆工面に貼付け、その後、光線を当てて樹脂を硬化させる。



写真-1 高密度ポリエチレン繊維一体型光硬化樹脂接着シート



写真-2 光照射によるシートの光硬化

(2) 提案工法の特徴

このシートは、工場生産品であるので、品質が安定している上、プライマーはコンクリートへの浸透を考慮し自然硬化とするが、シート下塗り材およびシートは同時に20分程度の光照射を行う（写真-2参照）ことで樹脂が硬化することから、現場での施工時間が短縮できるなど、利点が多いのが特徴である。また、光硬化型樹脂は可視光線により硬化するので、作業員への日焼け等の影響も紫外線硬化樹脂と比べて大幅に低減される。さらに、ランプも小型化できる。

(3) 材料の規格・構成

材料に関する標準仕様を表-1に示す。

表-1 材料の規格・構成

プライマー	2液型エポキシ樹脂
不陸修正材 下塗り材	可視光硬化型ビニルエステル樹脂
光硬化型 シート	シートは次の3つの材料より構成される 補強材：高密度ポリエチレン2軸ネット 保持材：ガラスマットまたはガラスクロス 含浸樹脂：可視光硬化型ビニルエステル樹脂

(4) 各材料の特性

各材料についての特性を示す。

(a) プライマーの特性

プライマーは表-2,3の特性を有している。標準塗布量を 0.25kg/m^2 として、下地の吸込み状況により重ね塗りを行う。

表-2 プライマーの液状特性

測定項目	単位	主剤	硬化剤	混合液
粘度	$\text{mPa}\cdot\text{s}$	800 ± 100	200 ± 50	400 ± 100
混合比	重量	7	3	—
	容量	2	1	—
可使時間	分	40~70分		

表-3 プライマー硬化物の機械特性

試験項目	試験方法	計測値
圧縮強度	JIS K 7208	20MPa
曲げ強度	JIS K 7203	12MPa
引張強度	JIS K 7113	12MPa
引張剪断強度	JIS K 6850	15MPa

*養生条件：7日/20℃ *引張剪断強度：鋼材相互

(b) 不陸修正・下塗り材の特性

不陸修正・下塗り材は表-4,5の特性を有している。標準塗布量は、不陸修正で 1.0kg/m^2 、シート下塗りで 0.3kg/m^2 。標準塗布量は、下地不陸の状態により塗布量は増減する。

表-4 不陸修正・下塗り材の液状特性

項目	試験方法	規格値
粘度	JIS K 6901 5.5.1	200-400 ($\text{dPa}\cdot\text{s}/25^\circ\text{C}$)
揺変度	JIS K 6901 5.6	3以上 (25℃)
光硬化性	メーカーによる 試験方法	10以内 (分/室温)

*光硬化性：250W メタルハライドランプ（三菱オスラム社製）、照度 10mW/cm^2 （測定波長380-450nm）

表-5 不陸修正・下塗り材の機械特性

試験項目	試験方法	計測値
曲げ強度	JIS K 7171	130Mpa
引張強度	JIS K 7113	65Mpa
伸び率		5.0%

*試験片：ガラス板製枠の中に厚さ3mmになるように樹脂を注型、光硬化。

(c) 光硬化型シートの特性

光硬化型シートは表-6,7の特性を有している。

表-6 光硬化型シート規格

項目	試験方法	規格値
厚さ	JIS K 7130 3.1A法	0.8-1.2mm
光硬化性	メーカーによる 試験方法	10分以内
硬化物バーコル 硬度	JIS K 7060	20以上
標準寸法	—	幅 460,(920)mm, 長さ 1000,1500mm

表-7 光硬化シートの引張り試験結果

項目	試験方法	計測値
引張り強度	JIS K 7054	85.3MPa
引張り弾性率		8.4GPa

(5) 押し抜き試験・付着強度試験

上記の材料を使用した剥落防止用繊維シート工法に係る繊維シートの初期性能を確認するため、所定の試験方法により、押し抜き試験と付着強度試験を実施した。結果として表-8が得られている。

表-8 押し抜き強度・付着強度

項目	算出値	剥離形態	規格値
単位剥離 強さ S_{p0}	乾燥 4.8N/mm	端部へ 剥離進展	—
	湿潤 3.6N/mm		
付着強度 (乾燥面)	4.5N/mm ²	母材破壊	1.5N/mm ²

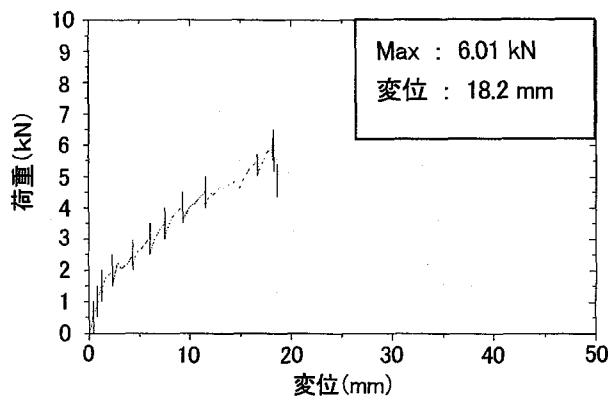


図-1 変位-荷重関係図(押し抜き試験, 乾燥)

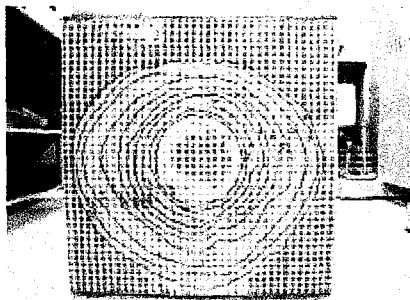


写真-3 載荷後の試験体(押し抜き試験, 乾燥)

(6) 施工手順:

(a) 既設L型鋼等の撤去(図-2 参照)

覆工面が平坦になるようにL型鋼のボルトを切断する。

既設当て板(L型鋼)は、濁音中心に設置してある

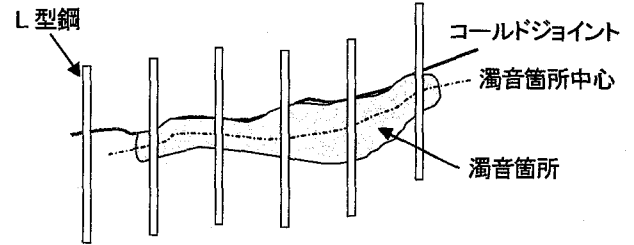


図-2 既設L型鋼配置概略図

(b) トンネル覆工の打音検査・施工範囲の特定

ハンマーで入念にコールドジョイント下部を打音し、濁音箇所をマーキングする。その後、図-3に示すように、打音検査でマーキングした濁音箇所の端部より200mm以上離れた位置を繊維シート貼付スタート位置とし、覆工の健全な部位を200mm以上確保出来るようにシート貼付位置を決定し、マーキングを行う。

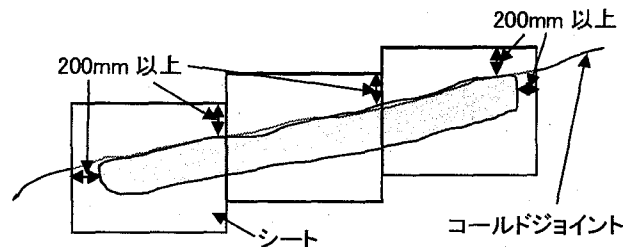


図-3 繊維シート貼付け位置のマーキング

(c) 下地処理

覆工表面の風化、レイタンス、その他汚れをディスクサンダーで除去し、表面に凹凸のないように滑らかに仕上げる。漏水や湧水等があるときは、電動ドリルにて溝掘りし、止水材にて止水を行うこととし、覆工表面に漏水や水のにじみ出しがないよう、乾燥に近い状態にしておく。

(d) プライマー塗布

覆工表面が乾燥したのを確認し、ローラー刷毛等で均一に塗布する。プライマー塗布後、必ず1日以上間隔を開けてから次工程である「(e)不陸修正」以降を施工する。

(e) 不陸修正

プライマー材の硬化養生後、コテ・ゴムへら等で不

陸修正材を塗布し、覆工表面の段差を平滑に仕上げる。

(f) 不陸修正材光硬化

メタルハライドランプを不陸修正材に照射することにより、不陸修正材を硬化させる。照射時間は20分を目安とする。照射中は、随時照度計を用いて照度を確認する。照度は $1\text{mW}/\text{cm}^2$ （測定波長：380-450nm）である。

(g) 接着樹脂の下塗り

不陸修正材の硬化養生後、コテ・ゴムへら等で接着樹脂（不陸修正材と同一のもの）を均一に塗布する。塗布量は $300\text{g}/\text{m}^2$ を標準とする。

(h) 繊維シート貼付け

シートに付いている、覆工面に貼り付ける側のフィルムをはがし、覆工面に貼り付ける。貼付の際、両端の位置をきれいに揃えて貼付け、金属やゴム製のへら等でシート表面を強めにしごき、接着樹脂を含浸させて気泡を除去し、シート端部のエッジ処理を接着樹脂にて行う。

シートは図-4のように、重ね代を設けずに貼り付けることを基本とする。また、シートは施工目地をまたいで貼り付けない。

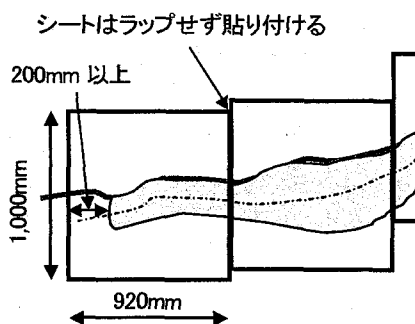


図-4 繊維シート貼付け

(i) シート光硬化

シートおよび含浸樹脂を光照射によって硬化させる。硬化方法は、「(f)不陸修正材光硬化」と同様である。硬化確認後、シート表面のフィルムをはがす。（硬化している場合、フィルムは簡単にはがれる。また、はがし忘れに注意する）

(j) 非金属製拡張アンカーの打設

シートのはがれ防止のため、アンカーとして非金属製拡張アンカー（写真-4参照）を打設する。また、シートを貼り付けた箇所については、必ず非金属製拡張アンカーを打設してから当日の作業を終了させるよう、施工工程に十分注意する。

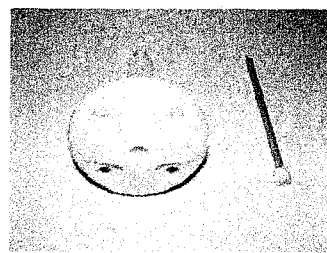


写真-4 非金属製拡張アンカー

① 打設位置

打設位置は、図-5のように、シート端部から繊維の縦横各々3本目の交点を標準とする。

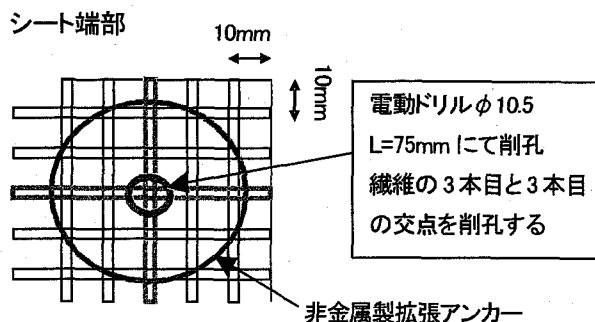


図-5 非金属製拡張アンカー打設位置

② 打設本数

打設本数は、図-6のようにシート長が4辺とも1m以下の場合は4隅に施工、1mを超える場合は、1mを超えない間隔で打設する。

非金属製拡張アンカーはシート4隅に設置する

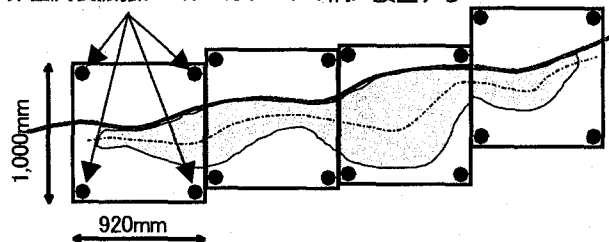


図-6 非金属製拡張アンカー設置位置および本数

③ 削孔

削孔深さに注意しながら、覆工面に直角となるように削孔する。削孔後は孔内の粉塵をきれいに除去する。

④ 注入材充填

削孔した孔内へノズルを用いて注入材を充填する。

⑤ 非金属製拡張アンカー挿入

削孔穴にしっかり固定するまでロッドを打ち込む。ロッドを打ち込む際は、ロッド自身がアラミド繊維で出来ているため、力を抜いて打ち込むこと。

最後に、定着部がシートに接着していることを確認する。

3. 施工時の検討課題とその改善方法

(1) 検討項目

施工時の性能要求には、(i)1.5～2 時間程度で施工が可能であることと、(ii)施工後の列車通過時の風圧にも対応できることの2点がある。そこで、最初に、①施工時間のタイムスタディを行い、施工手順(g)～(j)の作業が所定の時間内に終わることを確認するとともに、経過時間後の付着強度との関係を求めた。この結果を表-9に示す。付着強度は2時間経過後においても十分な強度を示しており、基本的な要求性能を満たしていることが確認された。

表-9 付着強度試験の結果(単位は N/mm²)

経過時間	2h	3h	4h
付着強度	3.43	3.02	3.71

さらに、実際の鉄道トンネルの施工に当たり、光硬化シートに対する要求性能として、以下の項目を検討した。

- (i)施工品質を確保するため、光硬化シートの下地への密着・脱泡が円滑に行えること
 - (ii)コールドジョイントなどのコンクリートの剥落が防止できること
 - (iii)経年劣化がみられないこと
- そこで(i)～(iii)についての検討を行い、実際の鉄道トンネルへの適用を検討した。

(2) 検討結果

(a) シートの密着・脱泡性

試験施工時における光硬化型シート貼付時に、シート裏側の脱泡がうまくできないという事象が発生した。気泡が残っていると、列車通過時の風圧により、気泡の部分からシートが剥がれ、列車運行に支障を与える恐れがあるため、気泡は極力残さないことが望ましい。今回、より容易に脱泡できるように

- ・ 光硬化型シート貼付前の下塗り材を柔軟性の良いものに変更した。
 - ・ 光硬化型シート 1枚あたりの寸法を当初は 1m×1m で計画していたが、施工性を考慮して1枚あたりの寸法を 1m×0.46m あるいは 1.5m×0.46m と、線路延長方向のシートの長さを当初の半分程度にすることに变更した。
- などの改良を行った結果、脱泡が容易に行えるように

なった。

(b) コールドジョイント対策への適合性

今回使用する光硬化型シートの単位剥離強さは、表-8に示されるように、施工している面が乾燥状態の場合で平均 4.8N/mm、湿潤状態で 3.6N/mm である。湿潤状態の場合、光硬化型シートの耐荷力 R は⁴⁾、1枚あたりのシートの寸法を 1.5m×0.46m とすると、 $R = \text{「単位剥離強さ」} \times \text{「光硬化型シートの接着長さ」}$
 $= 3.6\text{N/mm} \times 460\text{mm} \times 2 = 3,312\text{N}$ となる。

一方、想定されるコンクリート剥落寸法を、トンネル安全総点検における実績より、高さ 1.0m、深さ 0.1m、幅 0.46m (光硬化型シート寸法に合わせる) とすると、コンクリートの重量 P は

$$P = \text{「高さ」} \times \text{「深さ」} \times \text{「幅」} \times \text{「単位体積重量」}$$
$$= 1.0\text{m} \times 0.1\text{m} \times 0.46\text{m} \times 22.54 \times 10^3 \text{N/m}^3$$
$$= 1,037\text{N} \text{ となる。}$$

これより、安全率 $R/P = 3,312 \div 1,037 = 3.19$ となり、光硬化型シートはコールドジョイント部からのコンクリート片の剥落防止に対して十分な耐荷力を有していると考えられる。また、コールドジョイントのトンネル延長方向の長さが長い場合に、光硬化型シートの重ね合わせを行わない供試体で前述の押し抜き試験を行った結果、重ね合せを行った場合と同程度の単位剥離強さを得られたため、実際の施工では、施工性を考慮して、光硬化型シートの重ね合せは行わないこととした。

また、実施工においては、施工数時間後の列車風圧に対する光硬化型シートの剥がれ防止を目的として、光硬化型シートの4隅(1.5m×0.46mのシートは1.5m辺の中央を加える)に、エポキシ樹脂を先に充填した孔の中へ ABS 樹脂とアラミドロッドから成る非金属製の拡張アンカー^{1),2)}を打設することとした。

この非金属製拡張アンカーの引抜強度は、打設直後で約 900N、打設 3 時間後(施工後最初に列車が通過する時間を想定)で約 2,000N であり、列車風圧に対する光硬化型シートの剥がれ防止に十分効果があることが言える。

(c) 経年劣化の影響について

新幹線の斜坑において、光硬化型シートの試験施工 1 年経過後の付着強度を建研式引張試験により測定した結果、平均値が 2.93N/mm² と、旧日本道路公団基準である 1.5N/mm² を上回っており、かつ目視・触手においても以上は認められなかった。また、類似の光硬化型シートを他の排水処理施設等でのコンクリート防食工事で使用している箇所においても施工後約 4 年経過した時点での劣化は見られなかった。

4. まとめ

本報告は次のようにまとめられる。

- ① 可視光硬化型樹脂の採用やシート貼付け方の改善により密着・脱泡・樹脂硬化が確実にでき、短時間施工が可能となった。
- ② 新しいシート形式の採用により、耐荷力（押抜き強度）や付着強度の発現が早い（シート貼付け後、20分程度の光照射で完全に硬化）。
- ③ 光硬化型シートは工場生産品であり、現場における適用性や耐久性を有しており、施工後の信頼性に優れている。
- ④ 可視光硬化型樹脂の採用により、光照射装置の小型化も進み、資材の運搬が容易となる他、日焼けや目に対する影響の低減も可能となった。

また、検討の結果、光硬化型シートを鉄道トンネルのコールドジョイント部への覆工剥落防止工法に適用可能であると判断し、昨年度より実トンネルでの施工を開始した。

参考文献

- 1) 日経コンストラクション, 2006年8月25日号掲載記事, pp.44,45
- 2) 西名,藤井,澤井,稲積: 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,土木学会第59回年次学術講演会,V-56,2004.9
- 3) 渡辺,村田,山本: L型鋼に替わるトンネル覆工剥落防止工法の適用について,土木学会第61回年次学術講演会,V-32,2006.9
- 4) トンネル安全対策工法研究会編:FRPによるトンネル覆工剥落対策マニュアル,山海堂,2003.3