

壁面形状に追従可能な長尺防水シート自動展張システム 試験施工報告

(株)大林組 正会員 久下 敦(現場所長)

(株)大林組 正会員 ○斎藤 有佐 正会員 古家 義信

(株)東宏 正会員 小林 雅彦 佐藤 猛彦

国際紙パルプ商事(株) 中川 正敏

1. はじめに

山岳トンネル工事では、トンネル完成後における周辺地下水の円滑な排水による覆工での過大な水圧作用や漏水の防止、覆工と地山の縁切り(背面拘束力の低減)効果によるひび割れ抑制などを目的として、覆工打設前の吹付けコンクリート面(以下、壁面)に防水シートを張り付ける設計となっている。

このような機能を満たすためには、「現場接合部での十分な止水性と強度の確保」ならびに「(覆工打設時の圧力で引張られて生じるシート破損および天端部での空隙発生を防ぐための)吹付けコンクリート面に追従した余裕のある展張^(※1)・固定^(※2)」が現場での品質管理上重要である。

一方、今後予測される人口減少や少子高齢化に伴って、山岳トンネル工事において上記に示すような品質確保の担い手となる熟練技能者が不足するということが大きな課題となっている。そのためにはより一層の生産性向上(省人化および作業の簡易化;ここには初心者でも熟練者並みに作業ができるという意味も含む)を実現する自動化技術の開発と普及が求められている。筆者らは現場での生産性向上と品質確保に着目して壁面形状に追従可能な長尺防水シート自動展張システム(以下本システム)を開発し、国道トンネルで試験施工を行ったので概要を報告する。

※1 展張:本文ではシートを広げながら押し付けることを示す用語として使用している。

※2 固定:本文では釘を打ってシートを吹付け面に設置することを示す用語として使用している。

2. 現行の施工方法

従来の防水シート張り付け作業では、作業台車最上段から壁面に沿わせて下に垂らしたロール状の防水シート(汎用品で幅約2.2m)を、1枚1枚人力で吹付けコンクリート面に釘打ち機で固定し、隣り合う防水シートを全周溶着していた。(写真-1)

溶着は、十分な止水性と均一な接合強度が求められる重要な作業であるが、例えばトンネル軸方向10m程度の施工では5回の溶着作業が必要になり、そのときの現場溶着長は概略 $20\text{m} \times 5 = 100\text{m}$ (2車線道路:周長約20mの場合)におよび、多くの労力が必要とされていた。

一方、防水シートを壁面の凹凸に対して余裕のない状態で固定すると、覆工コンクリート打設時に「突っ張った」状態になり、天端部で空隙が発生することや、防水シートの破損が懸念されることになる。そのため凹凸に追従できる適度な余裕を形成して固定する高度な熟練技能が必要である。また頭上に垂れ下がる重くて扱いづらい防水シートを段差のある足場上で吹付け面へ展張して固定する作業は、不安定な姿勢を強いられるうえに効率がよくない。

防水シート張り付け作業はトンネル現場では数少ない自動化・機械化されていない工種の一つであり、また吹付け面に追従してシートを張り付ける際には、凹凸の状況に応じたひとりひとりの作業員の的確な判断力が求められている。

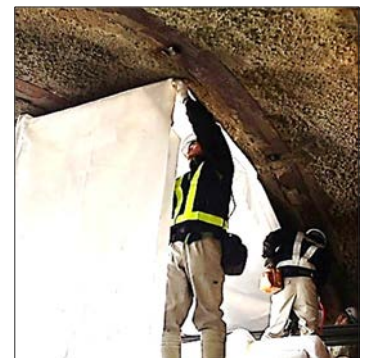


写真-1 現行作業状況

キーワード 山岳トンネル, 生産性向上, 自動化機械化, 長尺防水シート自動展張システム, 防水工

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (株)大林組 土木本部 生産技術本部 TEL03-5769-1319

3. 長尺シート自動展張システム概要

本システムは工場で溶着した長尺防水シート[EVAシート $t=0.8\text{mm}$ + 透水性緩衝材(不織布) $t=3\text{mm}$, $300\text{g}/\text{mm}^2$] による一般的な複合積層シート]をバルーンで持ち上げ、吹付け面に密着させながら展張し、固定するものである。概要は以下のとおりである。全体図を図-1に示す。

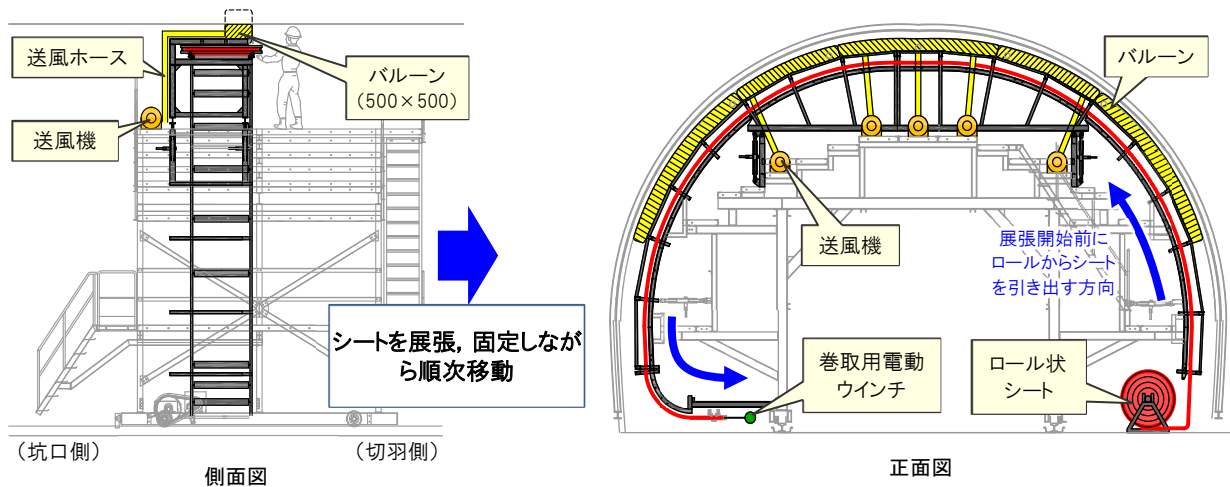


図-1 長尺防水シート自動展張システム

(1) 工場溶着した有効幅 10.4m (実幅 10.6m) の防水シートを蛇腹折りし、ロール巻きにして現場搬入する (図-2, 写真-2~4)。

※定尺幅 2.2m の防水シートを 5 枚接合して幅 10.6m (ラップ長を考慮した有効幅では 10.4m) としている。

※防水シートの有効幅 10.4m は一般的な覆工 1 打設長 10.5m と近似しているが合わせたわけではない。

※今回の試験施工での防水シート注文長は余裕長を含む 24.0m とした。ロール巻き当たり約 280kg となる。

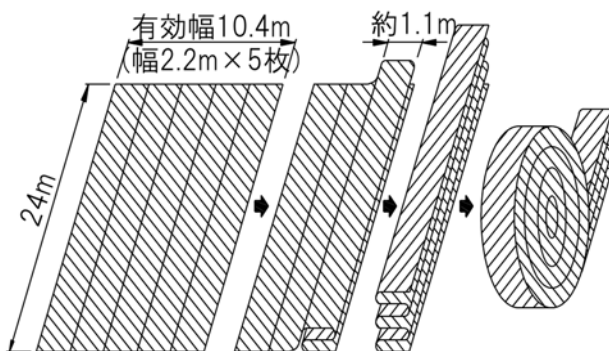


図-1 防水シート蛇腹折, ロール巻き図



写真-2 ロール巻き荷姿



写真-3 工場溶着作業状況



写真-4 工場溶着完了

- (2) ロール巻きの防水シートを展張台車下部から周方向にウインチで巻上げながら台車上受台に蛇腹折りの状態で巻き上げ、防水シートのセンターをトンネルセンター位置に合わせて停止する（図-3-①）。
- (3) 進行方向におけるシート張り開始位置で全周固定する（図-3-②）。
- (4) 送風機でバルーンを膨らませ、展張台車を移動させながら吹付け面に防水シートを持ち上げて密着させ、進行方向における適正な位置で移動（1 移動長は約 1m：固定間隔）を停止する。
- (5) このままでは防水シートは周方向で壁面に対して全く緩みのない配置となっている。そのため送風機を止めて防水シートの周方向の拘束力を一旦解放する。このあと新たに開発した引き込み装置（図-4、写真-5）で防水シートをたくし上げ、周方向のマーキング（所定の緩みになるように設定した位置）に合わせて壁面に固定することで壁面形状に追従できる緩みを計画的に形成させる。その後順次全周（図-3-③）定尺幅 2.2m 毎の端部および裏面中間釘固定用不織布（通称ヒレ）のある個所、すなわち約 1m 毎に固定（釘止め）する。以上を順次繰り返す。

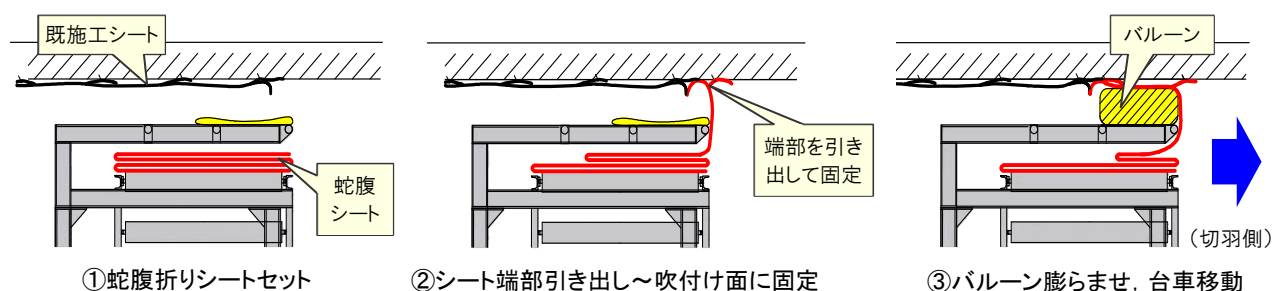


図-3 長尺防水シート展張・固定手順

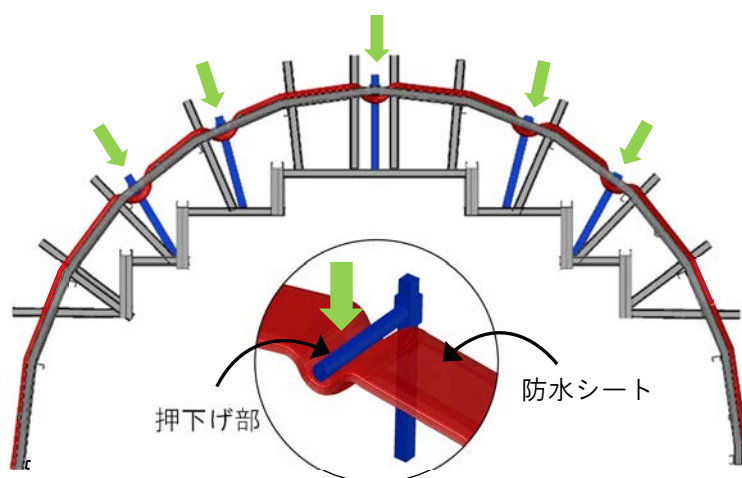


図-4 引き込み装置の全体図および拡大図



写真-5 引き込み装置作動状況

4. 本システムの特長

特長は以下の3点である。

(1) 長尺防水シートの採用による防水品質の確保と作業時間短縮

本システムは、工場加工した有効幅 10.4m の長尺防水シートを採用することで、現場での溶着作業が従来の 5 分の 1 で済むため、作業時間を短縮するとともに防水に関わる品質リスクを低減できる。

(2) 防水シート展張作業の自動化による省人化と作業時間短縮

防水シートの展張作業を自動化することにより作業人員の縮減と作業時間の短縮が図れる。

(3) 壁面の凹凸への防水シートの追従性が向上

作業台車上に仮置きした展張前の防水シートに引き込み装置で計画的に緩みを持たせるため、張り付け時には吹付けコンクリート面の凹凸に追従した適切な緩みを形成させることができ、施工品質を確保できる。また余裕量（緩み）を計画的に管理できるため防水シート材料のロス（注文長と施工長の差）を削減できる。

5. 施工概要

実施時期：2020年2月17日（月）～2月26日（水）※機械システム組立解体および休工（土日）含む。

実施場所：「平成29年度河津下田道路河津トンネル逆川地区工事」

実施延長：L=91.5m（図-5）

施工防水シート枚数：9枚（箱抜きを含む区間は割付を考慮してシート幅8.3mとした）

施工断面：D I-bパターン（鋼アーチ支保工あり）（図-6）

作業員数：防水工2名（機械システム組立解体は別グループ）

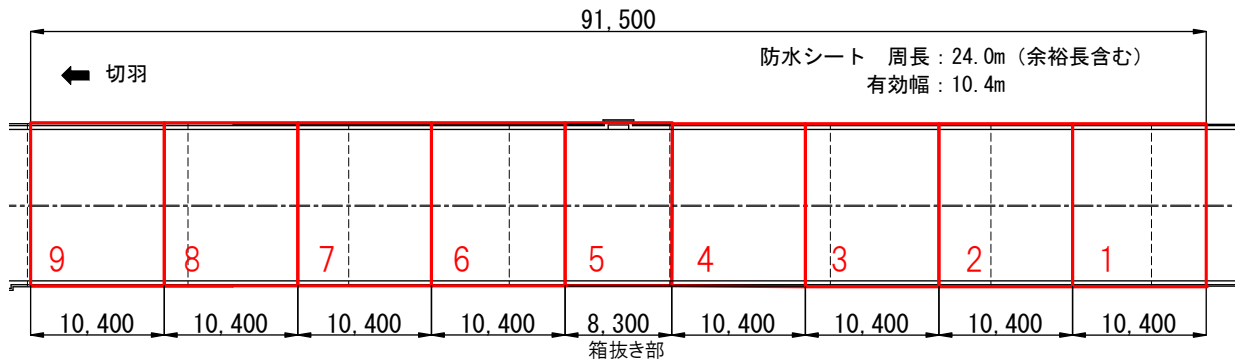


図-5 実施区間平面図（9スパン）

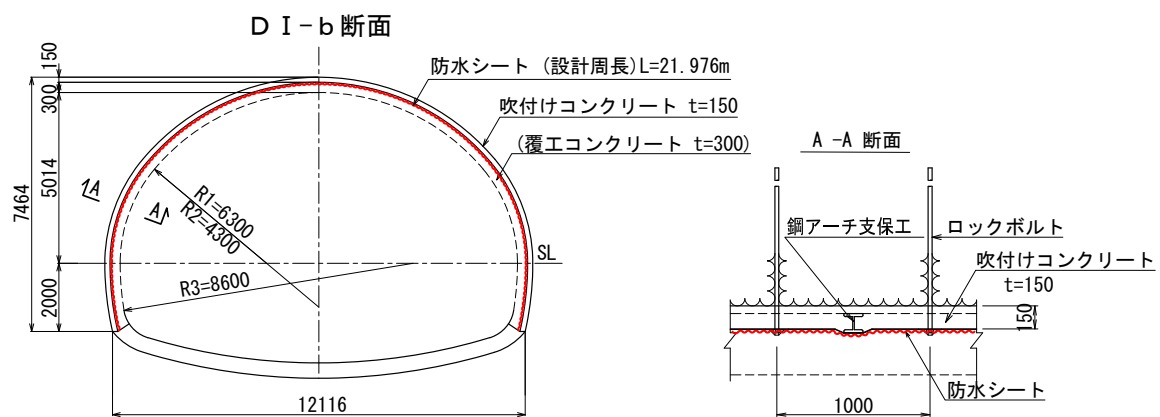


図-6 トンネル断面図および防水シート張り付け位置図



写真-6 展張装置搭載状況



写真-7 ロール巻きシート搬入状況



写真-8 シート巻き上げ状況

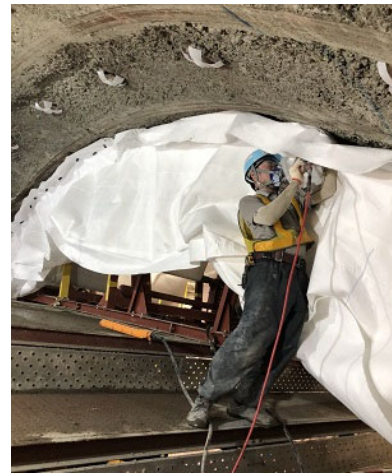


写真-9 張り付け作業状況

6. 試験施工結果と評価

防水シートの張り付け作業における生産性に関しては、作業員一人当たり施工速度（防水シート $\text{m}^2/\text{人日}$ ）で評価することとしている。今回の試験施工では作業の習熟が最も進んだ9枚目（最終スパン）の実績に着目したところ、標準的な施工能力のグループの平均速度（社内別現場での従来式施工方法による実績）に対して約80%増加していることがわかった。一方、施工速度が最も速いといわれるグループの最高速度（同上）よりも約10%増加していることもわかった。

なお防水シート工ではシートの張り付け以外に、湧水の処理、アーチ下部での裏面排水工の設置、ロックボルトのヘッドキャップ取付、風管・照明器具の取り外し・復旧、台車レールの盛替え、ロール巻きシートの小運搬等間接作業が付帯することからこれらの扱い方や、箱抜きの有無、鋼アーチ支保工の有無（＝壁面凹凸の小大）、休憩時間の取り方および日当たり実働時間等様々な条件が伴うため、施工速度の検証では以上の整理が前提となるのはいうまでもないが、過去のデータでは細部まで確認できなかった。また従来なら現場で行うべき大半の溶着作業が工場で行われていること、従来の方法では行われなかった蛇腹折り作業が付け加わっていることには留意しておかなければならない。



写真-10 緩み形成状況

以上を踏まえながらも今回、従来方法と比べて一定のスピードアップがなされていることを確認できた。今後、次章に示す課題を解決することで施工速度はさらに増し、生産性と同時に経済性も向上すると考えられる。

品質面では、工場および現場での溶着後の加圧試験ではともに良好な結果となった。また最大のテーマであった適切な緩みは引き込み装置の寄与により適切に形成されていることが目視で確認できた（写真-10）。

7. 今後の課題と展望

(1) 作業員の動線改善

現場で従来から使われていたシート張り台車に搭載させたことから昇降設備の位置が当該システムに最適でないことはいたしかたないが、台車の進行に伴い1リングずつ仕上げていく施工方法であるため、上下の移動が従来の施工法と比べて多くなることは免れない。一方、それを考慮しても昇降回数をより円滑にかつ少な

くできる作業システムおよび台車の設計および作業方法の見直しが必要と考えられ、現在検討中である。

(2) 台車進行後のシート張力低減に向けた改善

1 進行の移動後にバルーンで壁面に押付けられている防水シートにはトンネル軸方向の強い張力が発生しており、その後の釘打ち作業に進むためには一旦人力で緩める作業が必要となっている。現在改善に向けて検討を進めているところである。

(3) バルーン設置範囲の改善

バルーンの断面周方向での設置範囲は円滑な自動展張における重要な要素であるため、現在最適位置を検討中である。

(4) ロール状シートの仮置きスペースの確保（小運搬作業の省略）

仮置き場所からの小運搬には重機が必要であるため、作業台車内部に一定数を仮置きできるスペースの確保を検討している。

(5) 箱抜き部（壁面における大きな凸形状）への対応

対応が難しいのが現状である。今後に向けての重要課題と認識して取り組みたい。

(6) 風管通過部に加えて連続ベルトコンベア通過部への設計対応

今回の試験施工では現存のシート張り台車（風管のみが上段作業床の下を通過する構造）にシステムを搭載したが、本システム搭載を前提に新たに設計するならば「風管＋連続ベルコン」の通過スペースへの対応は十分に可能と考えている。

(7) 緩み量の定量的設定

今回の施工では過去約1年半に渡る専用模擬トンネルでの試験実績から壁面周長（事前の断面計測による）に対して付加長+4%として緩み量を設定した。この値は経験的に適正と判断できる緩み量を根拠にしているが、今後は断面計測から把握した凹凸の特徴を踏まえた緩み量の設定を考えたい。さらに現状では壁面へのマーキングで管理している緩みの適用方法もさらに合理的な管理手法を検討している。

(8) 長尺防水シート製造プロセスの簡略化、自動化

現状では長尺防水シートの製造は専用工場において人力作業主体で行っているが、コスト縮減を目的とした簡略化、自動化が喫緊の課題と捉え検討中である。

8. おわりに

今後、山岳トンネル工事における事業者・施工者双方のニーズを十分に把握したうえで、本システムをさらに発展させ、積極的に展開することで生産性向上・省人化、施工品質の確保を図り、熟練技能労働者の不足や高齢化に対応したいと考えている。あわせて山岳トンネル工事全体の自動化の一端を担うことで、将来に亘り社会インフラの整備に貢献していきたいと願っている。

最後に本システムの現場での適用にご理解いただいた国土交通省中部地方整備局 沼津河川国道事務所ならびに下田建設監督官詰所の皆様方に深く感謝の意を表します。



写真-11 張り付け完了全景