

山岳トンネル工事における 防水シート自動施工技術 防水シート自動溶着システムの開発

前田建設工業株式会社 土木事業本部 土木技術部 トンネルチーム みずたに かずひこ 水谷 和彦

1. はじめに

山岳トンネル工事における防水シート施工は、複数の作業員による台車上の狭い空間内での移動や人力での上向き作業を伴う苦渋作業となることから、少子高齢化による労働者不足に対する労働環境改善や生産性向上を目的とした自動化技術の開発が期待されている。

そこで筆者らは、防水シート継目の溶着作業を自動化する、『防水シート自動溶着システム』¹⁾を開発した。本技術は当社が開発した背面平滑型トンネルライニング工法²⁾(FILM: Flat Insulated Lining Method, 以下、「FILM」という)との組合せ技術であり、本稿では、FILMにおける「防水シート展張の自動化技術」および、今回開発した「防水シート溶着の自動化技術」について紹介する。

2. FILM とは

FILMは、吹付けコンクリート表面の凹凸部とFILM用台車に展張設置した防水シートとの空隙にモルタルを裏込め充填することにより、覆工コンクリート背面を滑らかなトンネル形状に仕上げ、防水シートを全面接着する工法である。FILM

は従来工法による防水シートのよじれや波打ち形状が発生しない平滑構造であるため、コンクリートの充填を妨げず、かつ吹付けコンクリートに密着する防水構造、および確実なアイソレーション機能をもつ高耐久性トンネルを実現することができる。

(1) 従来工法とFILMの比較

図-1に従来工法とFILMの施工概念図を示す。従来工法では、支保工である吹付けコンクリートと鋼製支保工およびロックボルトの表面形状に合わせて防水シートを張り付けるため、凹凸が残された状態となる。また、防水シート張り付け作業は、コンクリート釘を用いて作業員の手作業により防水シートを張り付けるため、シートの余裕不足や余裕過多が生じやすく、防水シートの破損やコンクリートの充填不良が生じる恐れがあり、作業員の技量に左右される。

一方、FILMは支保工の凹凸や作業員の技量に依存することなく、覆工背面を円弧状に滑らかに仕上げることができる。写真-1は従来のシート防水工の仕上がり状況であるが、支保工の表面に点で固定されているため、防水シートが垂れ下がった状態となっている。写真-2はFILMによる防水工の仕上がり状態であるが、充填材による全面接着、不陸調整によって防水シートを滑らかな形状に仕上げるできている。FILMの特徴

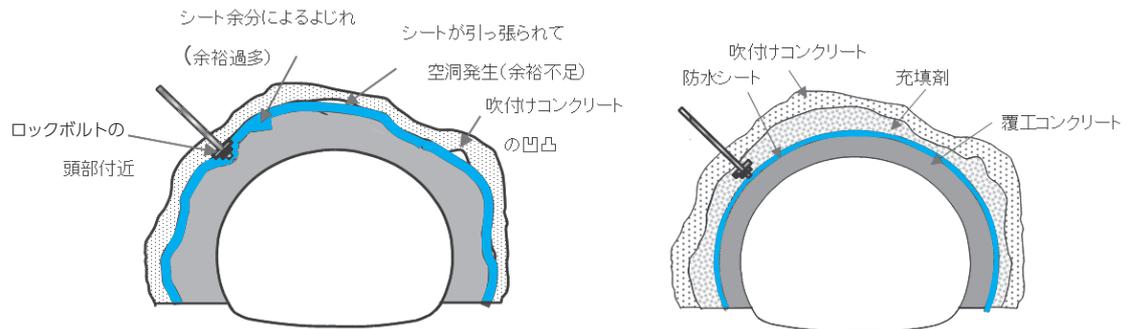


図-1 従来工法とFILMの概念図

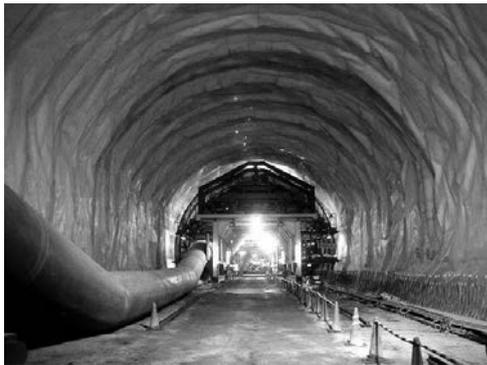


写真-1 従来工法



写真-2 FILM

表-1 FILMの特徴と効果

項目	効 果
吹付けコンクリート	・吹付けコンクリートの凹凸仕上り規定を緩和できる。
突起物処理	・ロックボルト頭部や座金などの突起物処理、鋼繊維補強吹付けコンクリートの下地処理が不要となる。
防水シート	・吹付けコンクリートやロックボルトの凹凸が原因となる防水シート破損が減少する。 ・防水シート面が平滑となり、鉄筋組立時の防水シート破損が減少する。 ・幅広防水シートを採用することにより、現場溶着箇所が1/3となり、品質向上、展張作業の軽減が図れる。 ・隣り合うシートの張り具合が均一になるため、溶着作業環境が大幅に向上し、確実性が向上する。
鉄筋組立	・防水シート面が平滑となり、鉄筋組み立て作業の軽減が図れる。
覆工コンクリート	・覆工の背面拘束や巻厚の大小に起因するひび割れ発生を低減できる。 ・覆工(防水シート)背面の凹凸・空洞がなくなり、応力集中や圧さなどの減少を抑制できる。

と効果を表-1に示す。

(2) FILMにおける自動化技術

これまで、FILMは高品質な防水工・覆工の構築技術として着目されてきたが、表-1の特徴と効果で示したように、以下の点で生産性向上や労働環境改善に寄与している。

① 幅広防水シートを採用することにより、現場溶着箇所が1/3となり(幅広防水シート延長L=6.0mの場合)、品質向上、展張作業の軽減が図れる。

② 隣り合うシートの張り具合が均一になるため、溶着作業環境が大幅に向上し、確実性が向上する。

①の効果については、従来の人力作業で行っていた展張作業(写真-3)をシート巻き上げ用ウインチや防水シート支持架台で構成された自動展張装置により、従来の人力作業では不可能だった幅広防水シートを採用することが可能になった(図-2、写真-4)。また、従来は人力で行っていたコンクリート釘によるシート張り付け作業も、裏込め充填材を充填することで人力に依存し



写真-3 従来の人力作業での防水シート展張作業（左：排水型，右：非排水型）

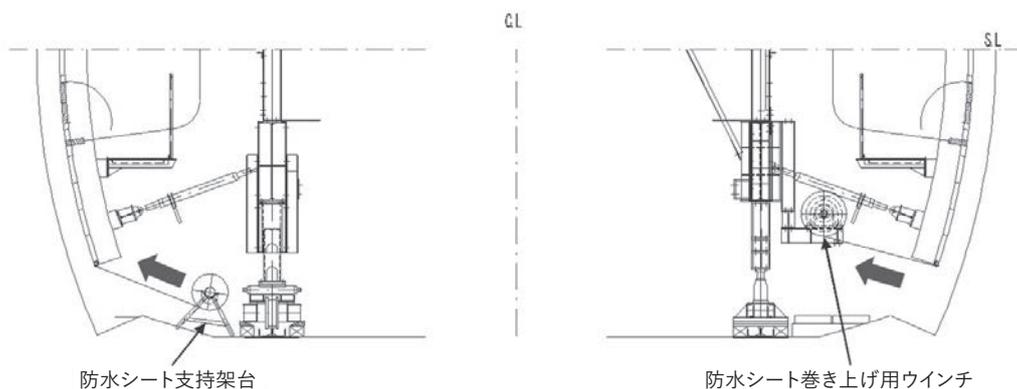


図-2 自動展張装置

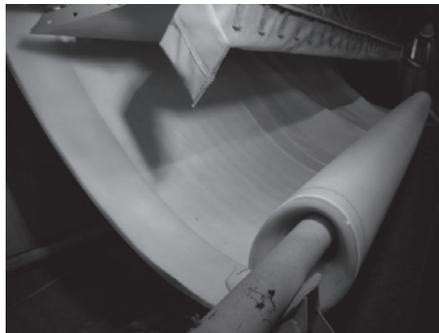


写真-4 自動展張装置による防水シート展張

ない作業が可能となった。

②の効果については、隣り合うシートの張り具合が均一になったことにより、溶着作業環境が大幅に向上し、今回開発した防水シート自動溶着システムの導入が可能になった。

3. 防水シート自動溶着システム

(1) 従来技術の課題

トンネル防水工における防水シート継目の従来

施工（図-3）では、専用作業台車上の上下に配置した作業者が、台車内で一つの溶着機を順次手渡ししながら移動して溶着するとともに、熟練工の技量により、トンネル形状に合わせて溶着機を操作する。そのため、受け渡し時の溶着のよじれや溶着ラインからの逸脱による溶着不良の発生が起こりやすい作業となり、施工不良により発生する漏水に起因した覆工コンクリートの劣化が懸念される。また溶着作業は、複数の作業による台車上の狭い空間内での移動を伴う苦渋作業となることから、建設産業の課題として深刻化している

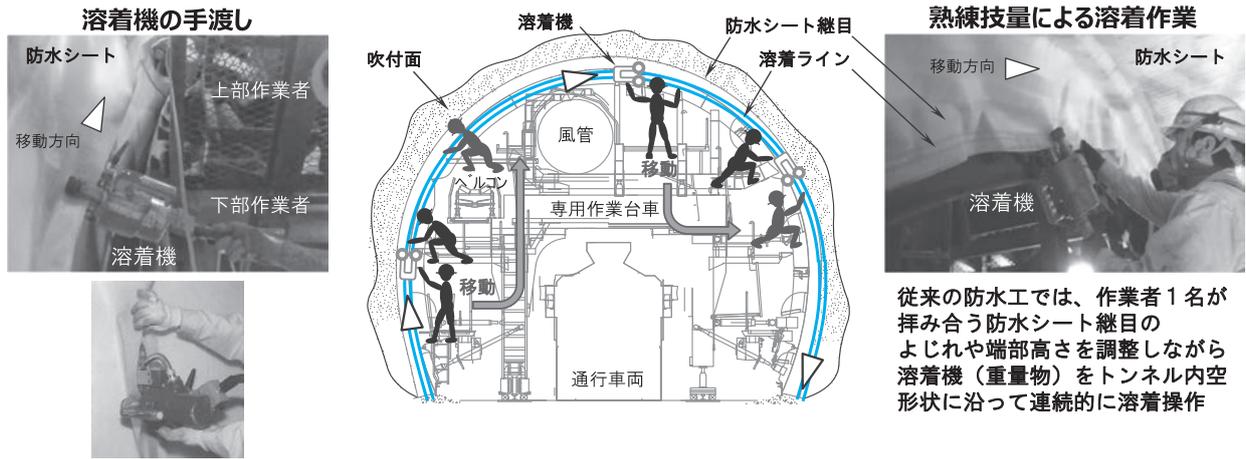


図-3 従来の防水シート継目溶着作業の流れ

少子高齢化による労働者不足に対応した省人化施工および生産性向上への対策が求められている。

(2) システムの技術概要

防水シート自動溶着システムの技術概要（図-4）および設備機器の写真（写真-5, 6）を示す。本技術は、FILM用台車に設置した①自走式溶着機、②走行用レール、③牽引用バランスの構成により、防水シート継目を自動溶着するシステムである。

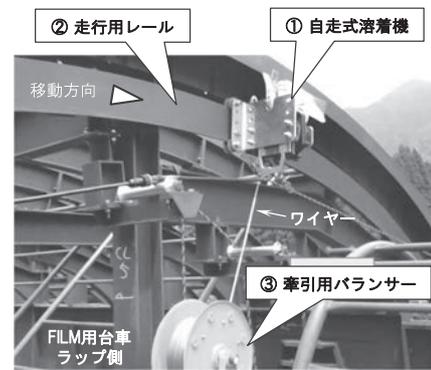


写真-5 システムを構成する設備機器

(3) 設備機器の機能概要

① 自走式溶着機は、溶着機本体に取り付けた四つの車輪で走行用レールを上下から挟み込み（図-5）、溶着機ローラ部の動力を利用して自走する構造となっている。隣り合う防水シート

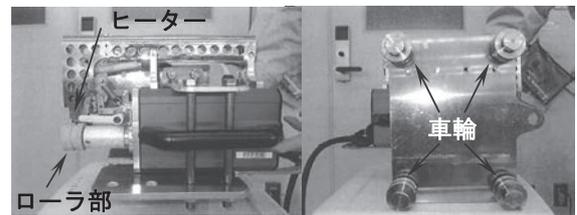


写真-6 溶着機全景

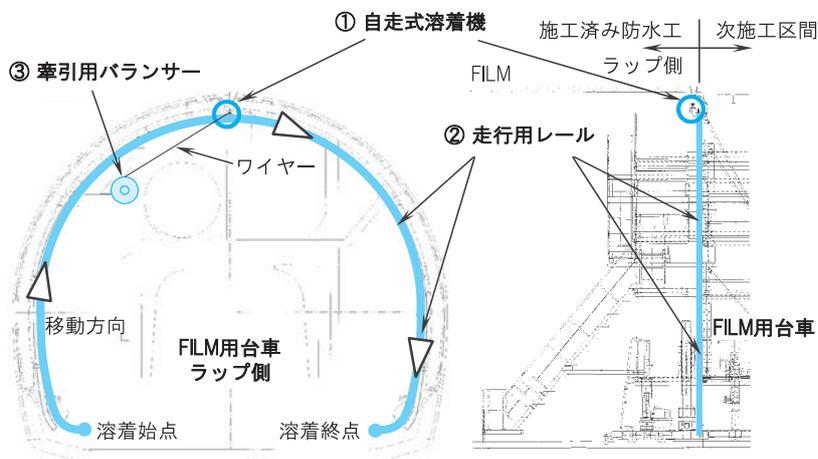


図-4 防水シート自動溶着システム技術概要図

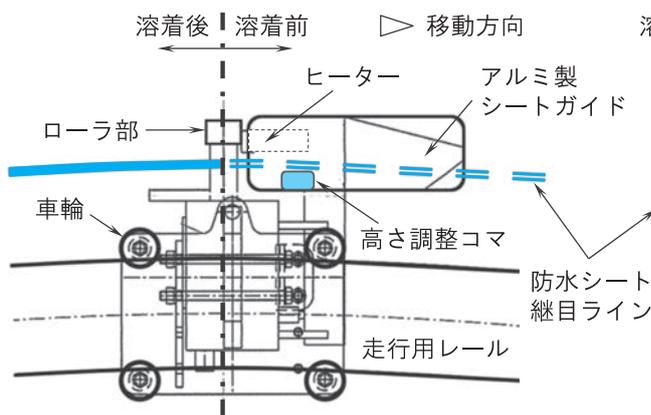


図-5 自走式溶着機の機能概要側面図

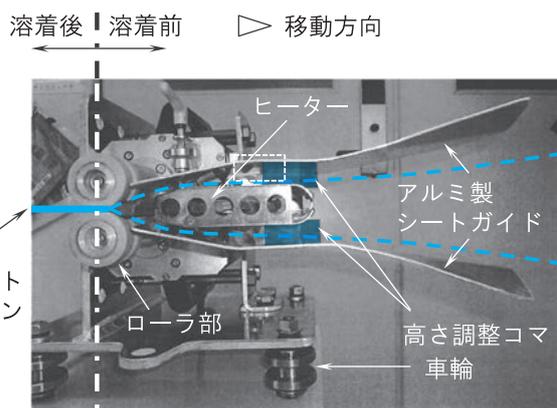


写真-7 自走式溶着機の上面全景写真

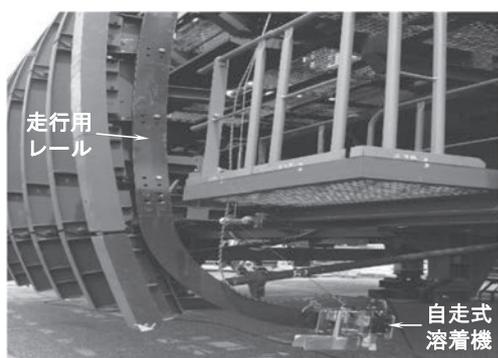


写真-8 走行用レール始点側全景

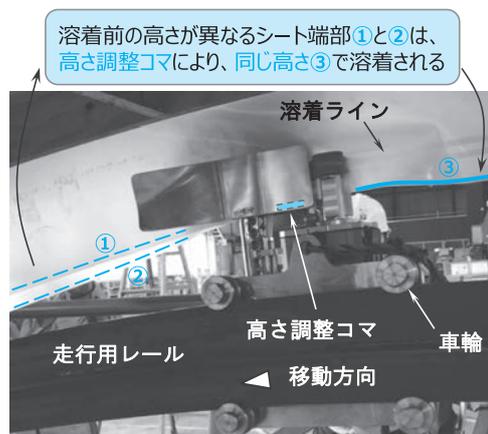


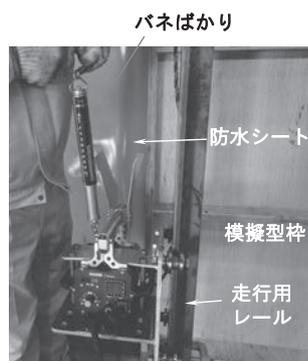
写真-9 自走溶着状況（工場試験）

は、アルミ製シートガイドにより溶着機ローラ部に向かって束ねられるとともに、高さ調整コマによりシート端部の高さを揃えながら溶着する（写真-7）。

- ② 走行用レールは、トンネル内空形状に加工した鋼板（W = 150 mm, t = 11 mm）でFILM用台車のラップ側に設置されている（写真-8）。溶着機は、走行用レールに沿って移動できることから、隣り合う防水シートの継目をトンネル内空形状に沿った適切な重なり具合で溶着

することができる（写真-9）。

- ③ 牽引用バランサーは、溶着機に連結するワイヤーで支持してテンションを調整するゼンマイ構造となっている。溶着機の上昇・水平・下降方向などの移動位置に応じてテンションが調整されることから、溶着機の走行速度を一定に保つとともに、走行用レールからの脱輪による落下を防止する（写真-10～12）。



(左) 写真-10 テンション確認（工場試験）
(中央) 写真-11 ワイヤー連結（現場）
(右) 写真-12 溶着作業（現場）

(4) 現場適用

現場適用状況を写真－13、14に示す。自走式溶着機は、トンネル掘進方向に対して、走行用レールの左側下端部にセットする。溶着機は、ヒーター温度を200℃に、走行速度を2.00 m/分に設定したのち、自動溶着を開始する。作業者は、隣り合う防水シート継目のよじれを微調整しながら、溶着機の自走状況の確認や溶着具合を1名で監視する。溶着終了後は、加圧検査試験(管理基準値：二重溶着部の検査溝に、0.15～0.20 N/mm²の圧縮空気を加圧後、2分間保持し、漏気がなく、圧力低下率が20%以内であることを)を実施する。自動溶着箇所は、防水シートのよじれや溶着ラインの逸脱がなく、トンネル内空形状に沿って施工されているとともに、加圧検査試験により、漏気がなく、確実に溶着されていることを確認した。

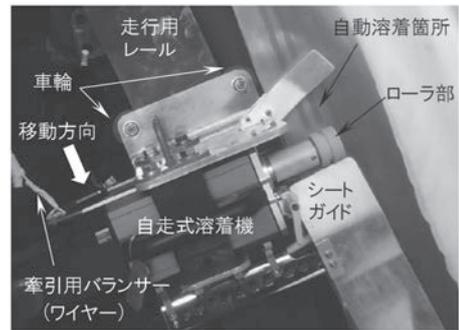
者不足への対応策として寄与できるとともに、生産性の向上も期待できる。今後は、技術検証によるシステムの改善ならびに他現場への展開を進めるとともに、筆者らが開発したセントル自動セットシステム³⁾と組み合わせることで、FILM技術を核としたトンネル防水工の自動化技術の開発を推進する計画である。

【参考文献】

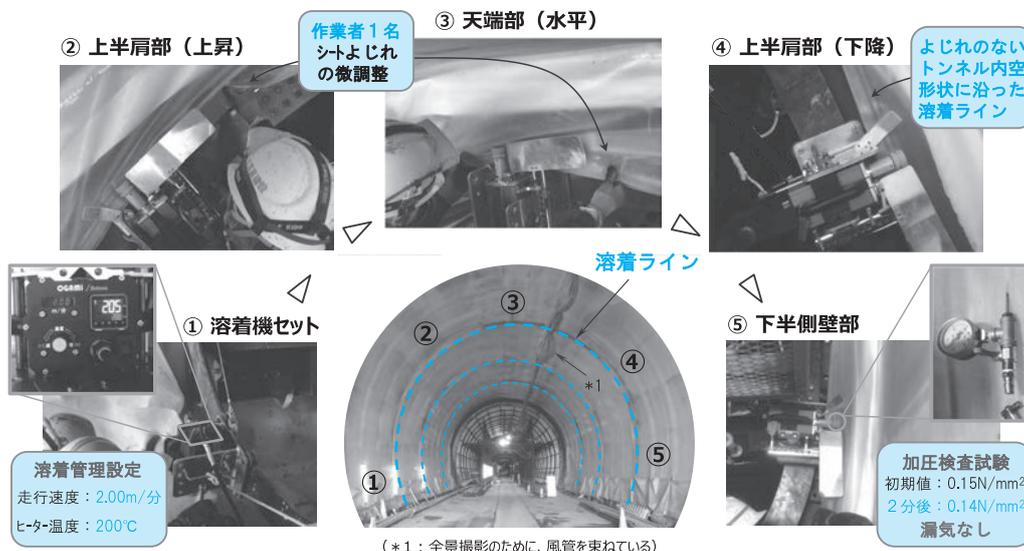
- 1) 三上尚悟・三橋秀世・山本昂輝・水谷和彦・齋藤幸成：「FILM用防水シート自動溶着システム」の開発と施工実績，土木学会第75回年次学術講演会，VI-21，2020
- 2) 小松敏彦・中村敏夫・赤坂雄司・黒木繁盛・山岳工法(NATM)によるトンネル構造物の高度な防水構造の提案，地下空間シンポジウム論文・報告集，2004，pp.215～220
- 3) 松澤郷至・水谷和彦：土砂・巨礫が盛られた坑口部の施工と硬岩地山掘削の機械化・省人化，トンネルと地下，2021年1月号，pp.7～18

4. おわりに

本技術を導入することにより、従来施工で発生しやすい溶着不良の発生リスクを大幅に軽減できるため、トンネル防水機能の品質向上が図れる。また、狭い空間で複数の作業者を必要とする苦渋作業から、自走する溶着機を1名で操作する軽微な作業に替えることが可能となるため、技能労働



写真－13 自動溶着状況 (近景)



写真－14 自動溶着状況 (全景)