

山岳トンネル工事における防水シート溶着作業と品質管理自動化技術の開発

五洋建設株式会社 正会員 ○森瀬彬, 北村圭佑, 前田智之, 大森禎敏
九州大学大学院工学研究院 フォロー会員 島岡隆行, 正会員 中山裕文

1. はじめに

山岳トンネル工事における防水シートの溶着作業は, 狭小かつ高所な足場台車上で2~3人の作業員が溶着機を周方向に手渡ししながら行う苦渋作業である. 吹付けコンクリート仕上がり面の凹凸に合わせたるみを持たせて展張するため, 溶着ラインは3次的に波をうったような状態となり, 溶着には熟練した技術が必要となる(写真1). これらの問題に対して, 熟練工の技術を再現した溶着自動化技術の開発に取り組んだ. 合わせて「赤外線カメラを用いて測定したシート溶着部の表面温度を利用して溶着部の品質管理を行うシステム」(以降, 熱画像リモートセンシング検査装置)を搭載し, 品質管理の自動化についても取り組んだ¹⁾. この検査は, 環境・遮水管理センシング研究会, 熱赤外リモセン委員会, ナトムシート分科会での成果である.

本稿では, 溶着から品質管理までを自動で行う自動溶着システム(以降, 本システムとする)の概要と成果について報告する.

2. 開発技術の概要

本システムは, 足場台車から張り出したガイドレール上を走行部が溶着機の移動に合わせて自動走行しながら, あらかじめ展張された防水シート(EVA シート $t=0.8\text{ mm}$)を自動溶着するものである(写真2).

防水シート溶着部の品質を確保するために, 下記(1)~(4)の工夫をほどこした.

(1) 溶着箇所のよれやたわみへの対応

溶着機が複雑な溶着ラインに追従して溶着を行うには, 人間の腕で操作するように前後上下左右に溶着機を自在に動かす必要がある. そこで, 図1に示すように自動溶着機にシーソー, スライド, 回転の機構とバルンサーを構築した. さらにバルンサー(おもり)を取り付け, やじろべいのように溶着機とバルンサーが釣り合うことで, 溶着機をよれやたわみに追従できる機構とした.

(2) 溶着速度に合わせた走行部の速度自動調整

溶着を均一にするには, 溶着速度を一定にする必要がある. 本システムは, 溶着部と走行部は別のモーターで走行し, かつ溶着部と走行部では走行距離に差が生じる. シーソー部の首振り回転角度から溶着機と走行部の



写真1 3次的に波をうったような溶着ライン



写真2 自動溶着システム

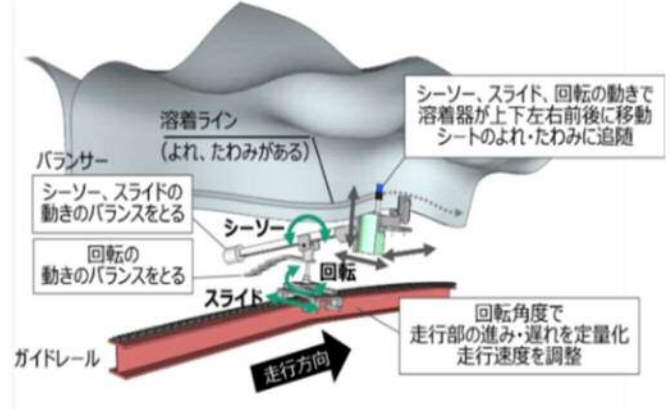


図1 自動溶着システム(詳細)

キーワード 山岳トンネル, 防水シート, 自動溶着システム, 品質管理, 熱画像, リモートセンシング

連絡先 〒112-8576 東京都文京区後楽 2-2-8 五洋建設株式会社 土木部門 土木本部 土木技術部 TEL 03-3817-7531

位置関係を検知し、走行部の速度を溶着速度に合わせ調整する仕組みとした（写真3）。

（3）溶着不良に起因するしわの解消

溶着部にしわが取り込まれると溶着ラインが曲がるなど均一な溶着にならず溶着不良となる。従来、熟練工は防水シートに張りをもたせることでしわを解消し溶着部に取り込まれることを防止する。この動きを再現するため、自動溶着システムにシート固定治具を取り付けた（写真2）。

（4）展張作業の補助

防水シートのよれやたわみの程度は、展張作業の精度に大きく影響されるため、隣り合うシートはできるだけ平行に同じたるみ量で展張する必要がある。防水シートの端部に等間隔でマーキングを施した（写真2）。

3. 熱画像リモートセンシングを利用した

防水シートの溶着温度による自動品質管理

本システムに熱画像リモートセンシング検査装置を搭載し品質管理を自動化した。自動品質管理の概念図を図2に示す。判定方法は、連続的に取得する熱画像データ（写真4）の温度監視枠で取得した溶着部の表面温度と溶着温度と引張試験の相関から算出した閾値との比較で行う¹⁾。表面温度が閾値を上回れば合格判定となり、下回った場合は溶着不良個所と判定し、アラームによって警告する。これにより、不良個所を早期に特定し対応できるようにした。

4. 開発の成果

本システムにより、防水シートの溶着作業を自動化することができた。溶着作業に要する人数を2~3人から監視者の1人のみとなり、従来に比べ67%減の省力化を達成することができた。また、作業員の技術に左右されない安定した品質を確保することが可能となった。

加えて、熱画像リモートセンシング検査装置を搭載することで、これまで加圧試験による抜き取り検査だった溶着部の品質管理を全数検査とするとともに、不良個所のリアルタイム検出や記録のデジタル保存など品質管理の高度化に資することができた。

5. 今後の課題と展望

今後の展望として、自動溶着システムを導入する現場数を増やしより汎用性の高いシステムへと改修を進める。さらに、自動化範囲の拡大や溶着速度向上に取り組み、山岳トンネルにおける防水工作の全体最適化を目指す。

6. 参考文献

- 1) 環境・遮水管理センシング技術研究会：遮水管理リモートセンシング検査技術者資格認定テキスト
pp. 21-36, 2023

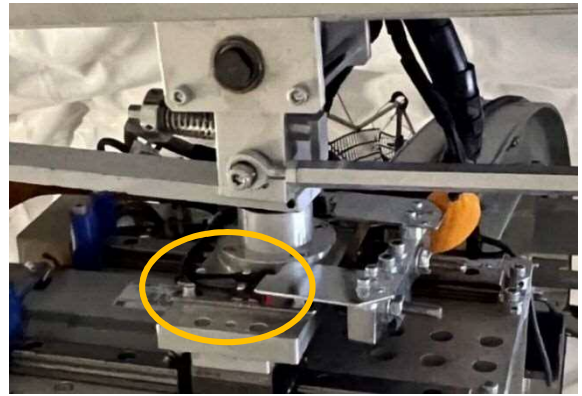


写真3 回転角度検知センサー

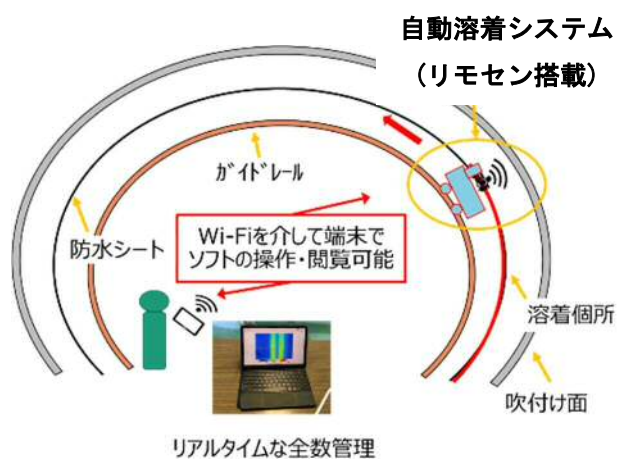


図2 自動品質管理の概念図

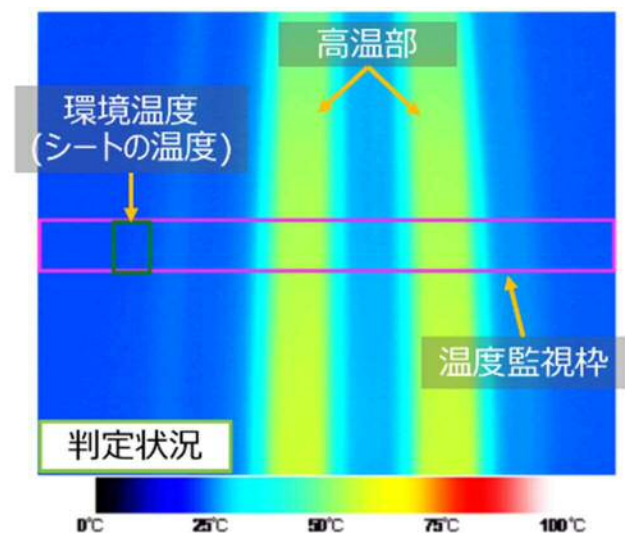


写真4 取得する熱画像データ