

山岳トンネル防水工への熱画像リモートセンシング検査システムの適用

前田建設工業株式会社 正会員 ○鈴木 麟太郎 小笠原 裕介 水谷 和彦
九州大学大学院工学研究院 フェロー会員 島岡 隆行 正会員 中山 裕文

1. はじめに

山岳トンネルにおける防水工では、吹付けコンクリート面に防水シートを設置し、シートの端部同士を熱溶着によって接合する（写真-1）。溶着部の品質確認方法としては加圧試験を行うのが一般的であるが、施工と同時に品質確認ができないこと、定量的な品質評価データを残せないことなどの課題があった。



写真-1 防水シート溶着状況

そこで筆者らは、溶着部表面温度をリアルタイムに可視化し、かつ定量的なデータを残すことのできる溶着部検査システムを開発した。

2. システムの構成、仕組み

本技術は、環境・遮水管理センシング技術研究会が、最終処分場の遮水シートの接合部検査技術として開発した、熱画像リモートセンシング検査システム¹⁾を基盤としている。

本技術に使用する主な機器とその構成を図-1に示す。サーモカメラが取得した温度データをもとに、PC内のソフトが以下の処理を行う。

- ① 溶着部の熱画像（映像）を生成し、ローカル Wi-Fi 上にリアルタイムにアップロードする。
これにより、離れた場所からでもスマートフォンなどを用いて溶着部表面温度状況を確認できる。
- ② 監視枠内の溶着部表面温度が閾値以下の場合、アラート音を発し、熱画像（静止画）を保存する。
本システムの監視枠は、溶着列数の増減やシートのよれに対応できるよう、最終処分場向けの従来のソフトよりも幅広に改良されている（図-2）。
- ③ 溶着条件、時刻、計測温度等のデータを 0.2 秒毎に記録し、CSV ファイルとして保存する。これにより、施工後の詳細なデータ確認が可能となる。
本技術により、定量評価および全数検査による品質

と信頼性の向上、溶着作業と品質確認の同時実施による工期短縮、コスト削減が期待できる²⁾。

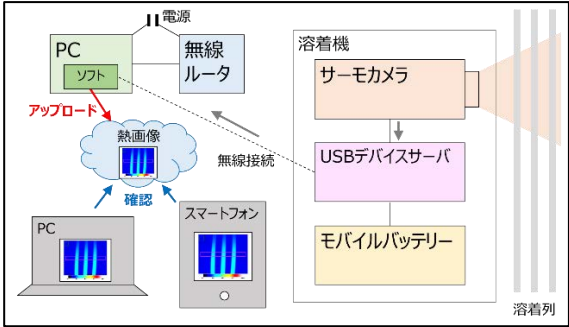


図-1 システムの機器構成

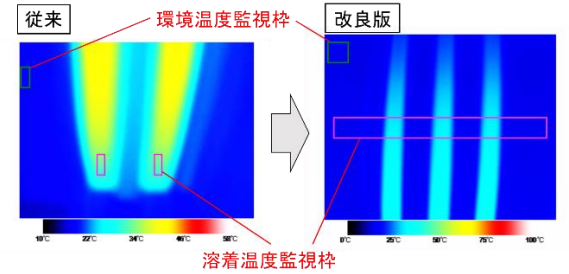


図-2 温度監視枠の改良

3. 閾値導出試験 概要

正常な溶着と不良溶着の境界温度となる閾値温度は、シート種類や環境温度、溶着速度によって変化する¹⁾。今回、システムを山岳トンネル防水工へ適用するため、閾値温度導出試験を行なった。

試験環境を坑内に近づけるため、ICI 総合センター内の人工気象室を試験場とした。本施設は、室内温度を 5～40℃、湿度を 20～80%の範囲で調整できる。

溶着試験時の条件のパラメータを表-1に示す。各条件下で防水シートを溶着し、熱画像リモートセンシング検査システムにより溶着部表面温度を記録した（写真-2）。その後、溶着部からシート試験片を採取し、引張強度試験を行った（写真-3）。

表-1 溶着試験時の条件

環境温度	5, 20, 35℃
環境湿度	90%（固定）
コテ温度	150, 175, 200, 225, 250, 275℃
接合速度	2, 4m/min
シート	EVA シグナルシート, ナチュラルシート(KFC 製)



写真-2 防水シート溶着試験状況



写真-3 溶着部試験片の引張強度試験状況

4. 閾値導出試験 結果

得られた試験結果から、各条件での溶着部表面温度と剥離時の引張強度の関係をプロットした(図-3)。これをもとに、周囲の環境温度から閾値温度を導出する式を求めた(図-4)。

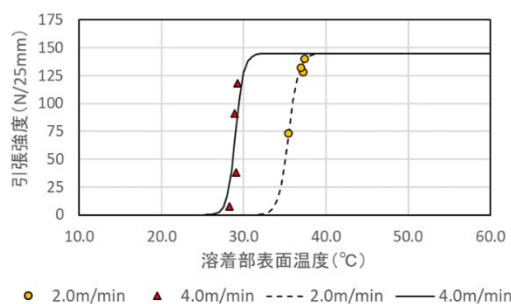


図-3 溶着部表面温度と剥離時の引張強度の関係 (環境温度 20°C, シグナルシートの場合)

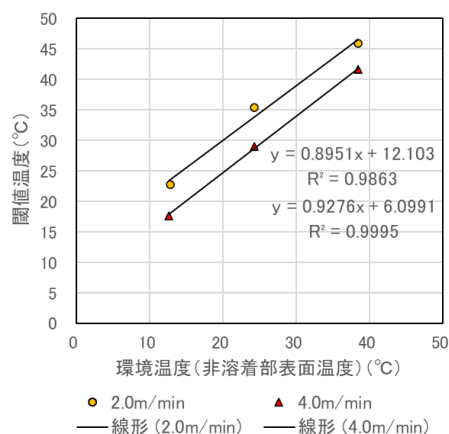


図-4 環境温度と閾値温度の関係 (シグナルシートの場合)

5. 現場実証

新たな閾値温度導出式を取り込んだ検査システムを用いて、現場にて溶着検査を行なった(図-5)。本実証試験は、当社が開発した自動溶着システム³⁾に熱画

像リモートセンシング検査システムを搭載する形で行なった。その結果を以下に列挙する。

- ① シート台車から離れた場所でも、溶着部の熱画像をスマートフォン等の端末でリアルタイムに確認できた(写真-4)。鋼製のシート台車や風管による通信への影響は見られなかった。
- ② 不良溶着時はアラート音を発するとともに、熱画像(静止画)が保存されることを確認した。
- ③ 溶着条件、時刻、計測温度等のデータが、0.2秒毎に記録、保存されることを確認した。

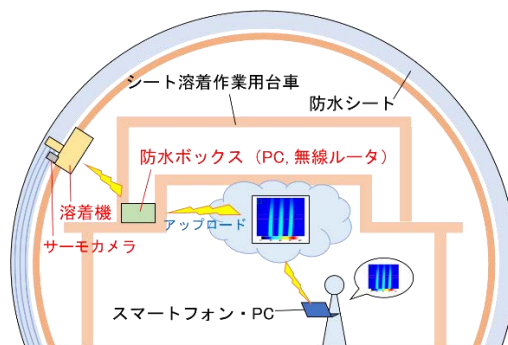


図-5 現場でのシステム稼働イメージ



写真-4 現場での熱画像確認状況

6. おわりに

今後は本技術のさらなる現場展開に向け、ソフト機能や機器構成の改良を重ね、施工性を高めていく。

本開発にあたり、各試験へ多大なるご協力をくださった、環境・遮水管理センシング技術研究会の熱赤外リモセン委員会ナトムシート分科会会員の皆様および岐阜工業㈱様に謝意を表します。

7. 参考文献

- 1) 中山裕文, 島岡隆行, 作左部公紀, 上田滋夫, 青山克巳, 坂口伸也, 吉田宏三郎: 最終処分場遮水シート接合における熱画像検査法の開発と実証試験, ジオシンセティックス論文集, Vol28, pp.127-134, 2013
- 2) 島岡隆行: 最終処分場へのリモートセンシング技術、デジタル技術の導入による維持管理について、廃棄物処理施設技術管理協会環境技術会誌, 第185号, pp.311-314, 2021
- 3) 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, 第75回土木学会年次学術講演会講演概要集, VI-21, 2020