

可視近赤外線カメラを用いたトンネル切羽湧水の計測システムの開発

秋田大学 正会員 ○大和田済熙 非会員 安達毅 鳥屋剛毅

北海道大学 正会員 川村洋平 非会員 佐々木太一

鹿島建設(株) 正会員 熊谷丈瑠 小池胡楠

1. はじめに

山岳トンネルにおいて、切羽湧水の有無は支保パターンを選定する際の重要な切羽観察項目の一つである。しかし、現状は目視観察による評価が行われており、定量評価は行われていない。また湧水評価のためには切羽へ接近する必要があるが、肌落ち災害のリスクが懸念される。このことから、切羽から離れた位置より湧水状況を検知する技術が求められている。これまでに、水の電磁波吸収特性に着目し、可視近赤外線カメラの適用性について検討された例があるが、切羽から数 m 離れると水を検知することが困難であった。本研究では、可視近赤外線カメラを用いて、8m 離れた距離から切羽面を流れる水の検知の可能性を検証するため室内試験を実施したので、その結果について報告する。

2. 水の近赤外線吸収特性を利用した流水検知手法

光が水中を通るとき水分子の振動により近赤外線領域（波長 700nm~）で吸収がおきる。この領域のスペクトル分布を利用し、吸収が小さい短波長の光と吸収が大きい長波長の光の反射強度を比べることで水の厚みの推定が可能である¹⁾。具体的には、可視近赤外線カメラで撮影した画像から得られる複数波長の反射強度のベクトルを用い、水のない箇所を基準ベクトルとして、これと評価する湧水箇所の合成ベクトルとがなす角度の余弦値（ $\cos \theta$ ）を類似度として評価するものである（図-1）。この際、湧水箇所の水の厚さが厚いほど角度は大きくなり、余弦値である類似度は低くなる。本研究では、この類似度による切羽面の湧水の検知の可能性について検証するため、室内試験を実施した。

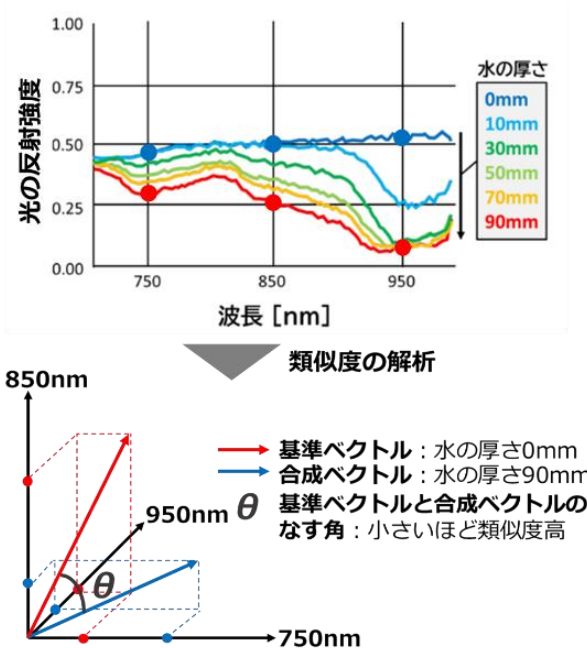


図-1 水の光吸収分布と類似度を利用した流水検知手法

3. 室内検証試験

3.1 室内試験手順

室内試験では、コンクリート壁を模した耐水デザインシートを張り付けたホワイトボードを疑似トンネル切羽とし、そこにホースから水を流す様子を可視近赤外線カメラで撮影した（図-2）。撮影に使用した3台のカメラには、それぞれ波長 750, 850, 950nm の光だけを通すフィルタを装着した。3台のカメラはPCでコントロールし、撮影のタイミングを同期させた。試験は、表-1に示すように照明と疑似トンネル切羽の距離（照明距離）、疑似トンネル切羽とカメラの距離（撮影距離）、流量の3項目をパラメータとし、流水が検出できる限界条件を調査した。

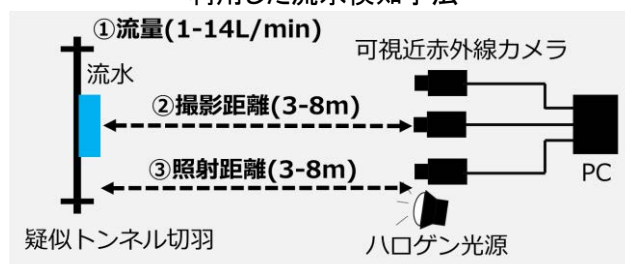


図-2 実験のセットアップ

キーワード トンネル、湧水、光、波長、分光カメラ

連絡先 〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1 秋田大学 TEL 018-889-3096

3.2 室内試験結果

流量の評価は、3 波長から得られる反射強度から、水の流れていない箇所の基準ベクトルを求め、撮影した画像の各ピクセルで得られた合成ベクトルとの類似度から、図-3 の右図に示すようにコンターで可視化した。ここでは、流量が小さい場合に類似度が高くなり、流量が大きくなると類似度は低くなる。図-3 は、撮影・照明距離 8m、流量 5L/min での解析結果である。左の図は光の波長 750nm での疑似切羽の反射強度画像であり、通常の RGB 画像（3 波長）と異なり 1 波長のみのため、白黒画像として表示されている。白黒画像からも流水箇所を確認することができたが、背景と同化して明確に判別することが難しい。一方、右の類似度を示す解析結果画像では、周辺に比べて流水箇所が類似度の低下箇所として可視化されており、流水を判別することが可能である。1L/min の流量では、類似度においても可視化は難しかったが、5L/min 以上の流量の場合、すべての撮影距離および照明距離において、同様の傾向が確認でき、流水の判別が可能であった。

一方、図-4 に示すように、疑似トンネル切羽の表面の光の反射が強い場合、流水の可視化が難しいケースが確認された。これは、光の反射が強い箇所では類似度が著しく低下するため、流水箇所の類似度の低下がその他の領域と比較して不明瞭になるためだと考えられる。これを避けるため、撮影時の照明の角度や光量、照射範囲の調整といった撮影条件のコントロールが重要であると考ええる。

4. おわりに

本研究では水の近赤外線吸収特性を利用し、可視近赤外線カメラでトンネル切羽の湧水を検知するシステムの開発を進めた。今回、室内において模擬トンネル切羽を使った試験を実施し、切羽から 8m の距離から 5L/min の流水を可視化できることを確認した。しかしながら、撮影状況によっては疑似トンネル切羽面での強い光の反射により可視化が困難であるケースが存在した。今後、最適な照明条件、撮影方法について検討を行う。また、実際のトンネル切羽を対象として試験を実施し、現場適用を目指す予定である。

参考文献

1) 大和田ら:分光カメラを用いたトンネル切羽の湧水センシング技術の開発, 土木学会第 77 回年次講演会, VI-271, 2022.

表-1 室内試験と現場試験の実験条件

	室内試験
照明距離 [m]	3, 4, 5, 6, 7, 8
撮影距離 [m]	3, 4, 5, 6, 7, 8
流量 [L/min]	1, 5, 10, 14

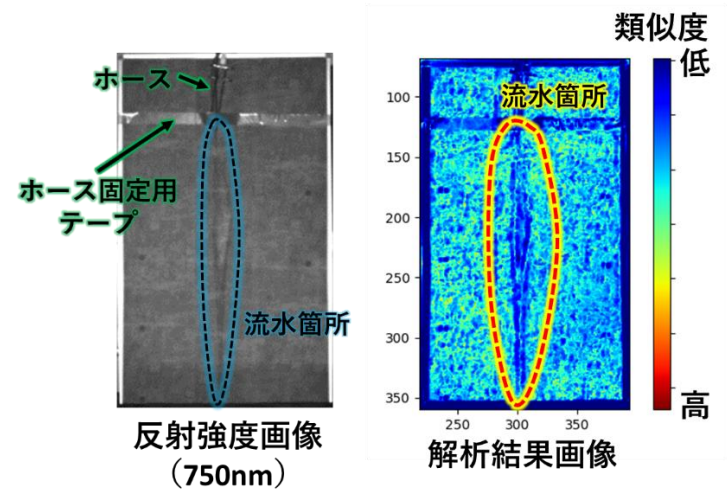


図-3 流水の可視化画像
(撮影距離 8m、流量 5L/min)

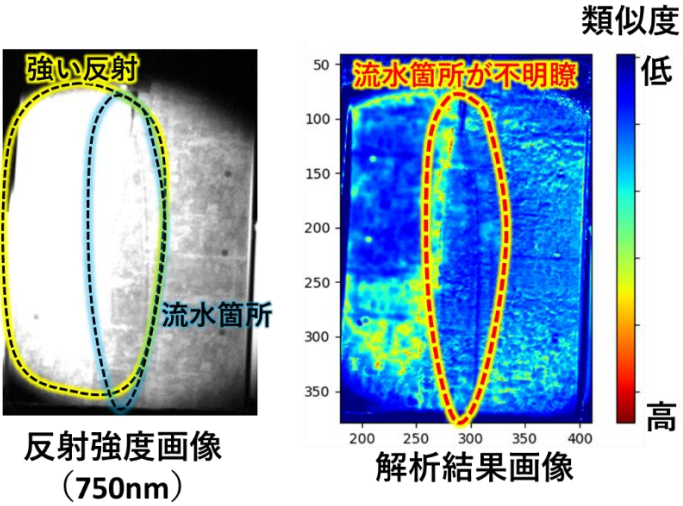


図-4 反射による可視化への悪影響
(撮影距離 6m、流量 14L/min)