

## トンネル湧水を検出するための近赤外分光カメラの開発と適用性検討

鹿島建設(株) 正会員 ○森 孝之 宮嶋保幸  
パイオニア(株) 柳澤琢磨 東家安伸 松葉陽平

### 1. はじめに

トンネルにおける湧水は多くの情報を有しており、施工中のトンネルでは地質構造や地山地下水の状態、また在来工法で施工された供用中のトンネルでは維持管理において欠かせない項目である。しかし、従来の技術では湧水状況を適切に記録する方法が無かった。そこで、筆者らは近赤外分光カメラに注目し、トンネル湧水を検出する方法の適用性について基礎的な検討を実施した。

### 2. 従来方法の課題

施工中のトンネルにおける湧水状況を従来技術で記録したものを図-1に示す。上段はトンネル切羽、下段はトンネル壁面における湧水である。そして左側の写真が通常のデジカメによる写真、右側がサーモカメラで撮影した画像である。

デジカメでは水と壁面の色調の違いにより、湧水を判別しているが、水は透明なため壁面と湧水のコントラストが不鮮明の場合には、湧水の判別は困難となる。一方、サーモカメラでは水と壁面の温度差により、湧水状況を判別しているが、季節変化により湧水と壁面の温度差が小さくなると、湧水の検出は不鮮明となる。このように、湧水を記録するのに、従来の方法として壁面の色調の違いに注目した方法(RGB デジカメ)、温度差に注目した方法(サーモカメラ)などは、それぞれ限界がある。

### 3. 分光カメラの原理

デジタルカメラでは3つの波長で画像を取得しているが、分光カメラは連続した波長範囲について波長ごとのイメージングが可能で、画素毎に分光スペクトルが得られるカメラである(図-2)。分光スペクトルは、材料毎に固有であり、材料特定など主に分析分野で用いられている。分光カメラは一般的な分光分析装置と異なり、カメラ技術と波長フィルターや回折格子などの分光素子を組み合わせることによって、撮影範囲内の分光スペクトルを一度に取得することが可能である。この分光カメラを利用し、詳細な波長毎の分光情報を取得することで、物質の特性や情報を2次元の画像として捉えることが可能である。

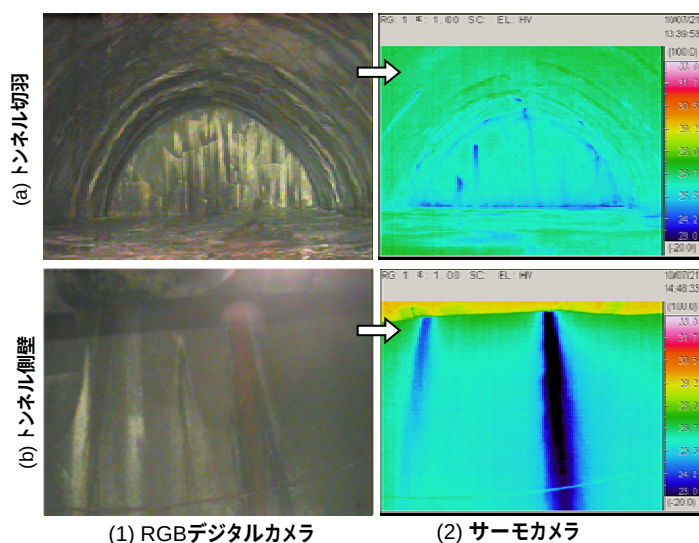


図-1 従来方法によるトンネル湧水撮影

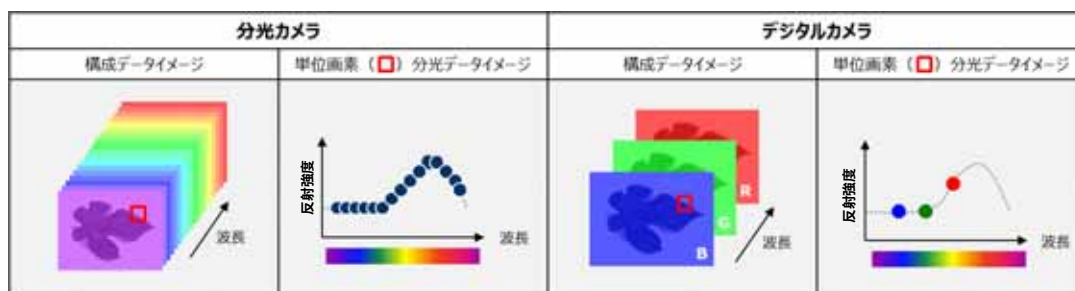


図-2 分光イメージング

キーワード トンネル, 湧水, 光, 波長, スペクトル, 分光カメラ

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) TEL 042-485-1111

#### 4. トンネルにおける実験

トンネル現場撮影実験に使用したカメラと撮影機器構成を図-3に示す。分光カメラにおけるフィルターは機械式とし、水の波長に注目して 1000~1650nm の範囲で 50nm ピッチの 14 枚のフィルターを使用した。得られたトンネル現場での撮影例を図-4に示す。写真から各カメラの特徴が分かる。すなわち、デジカメでは湧水は把握できていない。サーモカメラの結果は、夏場の壁面温度が高い時期であったため、壁面と湧水の温度差により湧水を検出している。そして、分光カメラでは湧水状況を詳細に表現できているものの、課題として湧水量の定量的な検出に至っていない。



図-3 近赤外分光カメラ

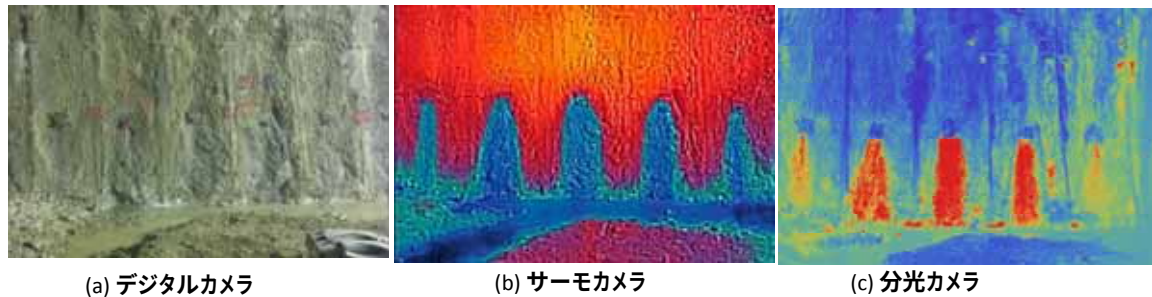


図-4 トンネル現場での湧水撮影

#### 5. 室内試験による定量化検証

湧水量の定量化、壁面の色彩、反射角の影響度などの基礎的事項を把握するため、室内模型実験を実施したので、その一部を報告する。波長可変型近赤外分光カメラを用いて、水の厚さを定量化するためにパネル面上を流れる湧水の厚さをスケールで測定し、そのときの分光スペクトルを図-5に示す。

同図の反射強度曲線において R1 はピーク値、R2 は水の厚さに差異がみられるゾーンであり、R1 と R2 の比(R1/R2)と水の厚さの関係式を求め、水の厚さの定量化を試みた。そして、図-6にパネル沿いに水道水を流して、流量ケース毎にパネル表面に流れ落ちる水を分光カメラで撮影し画像処理した結果を示す。同図から流量に応じて水の流れる様子が分るとともに、水の厚さの分布が検出できた。

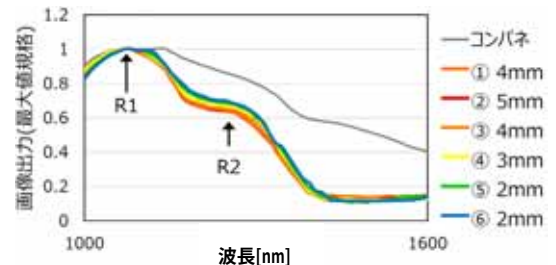


図-5 分光スペクトルによる水厚の定量化

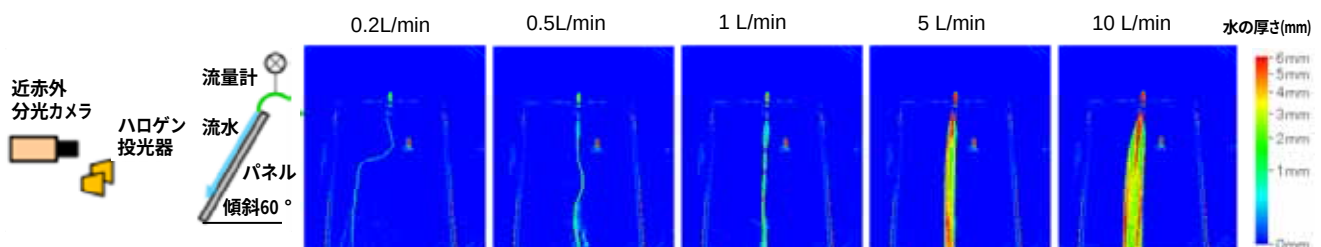


図-6 室内での湧水撮影実験(分光カメラ)

#### 6. おわりに

トンネル湧水の可視化を目的として、近赤外分光カメラを用いてトンネル現場と室内実験により基礎的な検討を実施した。この結果、水の波長に注目した近赤外分光カメラによる水の検出方法は従来技術に比べて優れており、湧水の定量化把握の実用化に向け基礎的な知見が得られた。