

## 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

秋田大学 正会員 ○大和田 済熙 安達 毅

北海道大学 正会員 川村 洋平

鹿島建設(株) 正会員 熊谷 丈瑠 飛田 南斗 宮嶋 保幸

### 1. はじめに

山岳トンネルにおいて、切羽の湧水の有無は支保構造を選定するにあたり、重要な切羽観察項目の一つである。しかし、現在は目視観察により評価されており、定量的には評価されていない。また、目視観察を行うためには、切羽に接近する必要があるが、肌落ち災害のリスクがある。このことから、切羽から離れた位置より湧水箇所を検知する技術の開発は、山岳トンネル施工の品質と安全の確保に向け、解決すべき課題の一つである。これまでに水の吸光特性に着目し、湧水検知における分光カメラの適用性について検討された例<sup>1)</sup>(図-1)があるが、遠距離(数m)からの検知はまだ出来ていない。本稿では、分光カメラの波長を限定することで、5m以上離れた距離から水の検知が可能であることを実証試験によって確認できたので、その結果を報告する。

### 2. 水によるスペクトルの吸収特性の把握

水により吸収される光のスペクトルの特徴を把握するため、図-2に示す撮影実験を行った。白色テント内に水を入れたビーカーを設置し、約30cm離れた箇所から多波長分光カメラにより撮影した。光源にはハロゲンランプを使用し、対象物の真上方向から直射させ、撮影対象である水への輝度を3000lux程度の状態にした。このとき、ビーカーの水量によって水の厚さを変化させることで、水の吸収スペクトルに与える影響について評価した。この結果、図-3に示すように、水の厚さ0mmのスペクトルを基準としたとき、波長750nm、850nm付近では水の厚さが30mm以上、波長950nm付近では水の厚さが10mm以上ある場合にスペクトルの吸収が顕著であることが確認された。

### 3. 単波長分光カメラによる水の検知

多波長分光カメラを使った実験によって水のスペクトルの吸収特性を把握できたが、多波長分光カメラは撮影距離が1m以上になると、計測精度が著しく低下する。そこで、数m程度の距離からでも計測可能な単波長分光カメラを用いてスペクトルの吸収特性の評価を試みた。単波長分光カメラで使用する波長は、多波長分光カメラの実験から水の厚さによって特徴的な吸収特性を示す750nm、850nm、950nmとした。

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

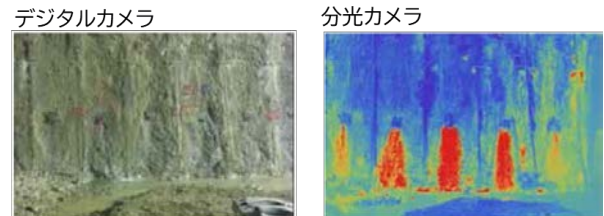


図-1 トンネル現場での湧水撮影<sup>1)</sup>

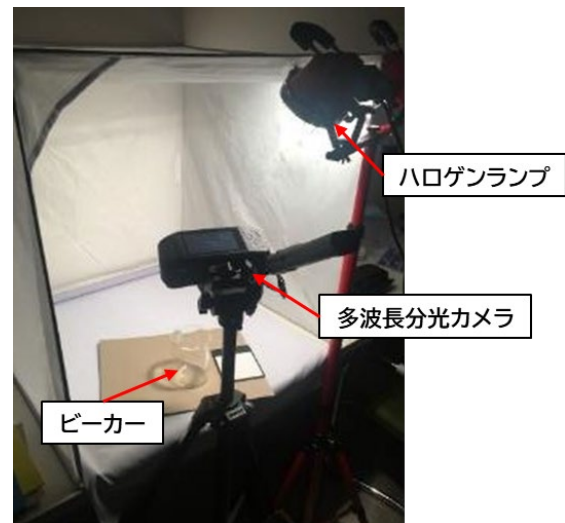


図-2 多波長分光カメラによる撮影の様子

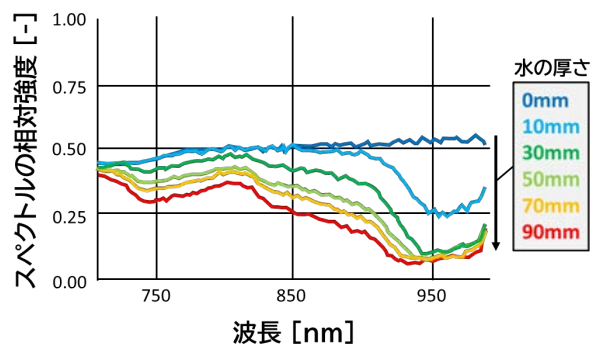


図-3 水の厚さ毎に計測したスペクトル

### 3.1 解析手法

撮影実験で明らかとなった水によるスペクトルの吸収が顕著な 750nm, 850nm, 950nm のスペクトルの相対強度から水の厚さを評価するため、Spectral Angle Mapper (以下, SAM) を用いた。SAM では複数の波長のそれぞれのスペクトル相対強度を1つのベクトルとして扱い、異なる条件下で得られたベクトルとなす角度から算出した余弦値を類似度として定義する (図-4)。具体的には、750nm, 850nm, 950nm の波長のスペクトル相対強度から、スペクトルの吸収がない場合のベクトルを単位ベクトルとして、水がある場合を合成ベクトルとして類似度を算出する。つまり、水がない場合は類似度が“1”となり、水がある場合は、その厚さに応じて類似度が低下することとなる。

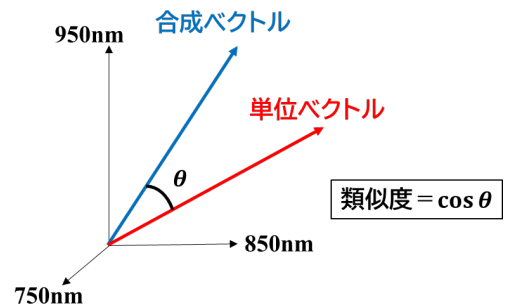


図-4 Spectral Angle Mapper

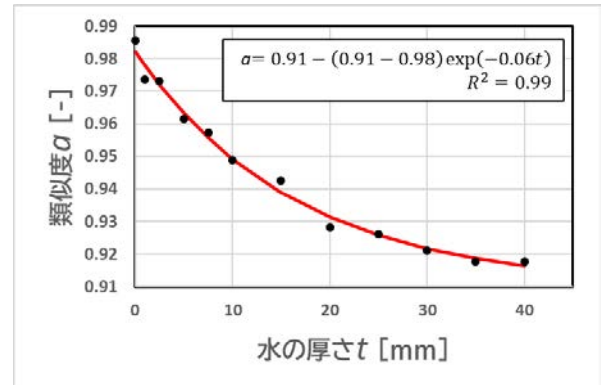


図-5 水の厚さと類似度の関係

### 3.2 水の厚さと類似度の関係

3 波長のみで水の検知が可能であるか確認するべく、多波長分光カメラの実験 (図-2) と同様の実験を単波長分光カメラで行った。この実験の結果から、水の厚みが増すほど類似度が小さくなることが確認できた (図-5)。このことから、3 波長のみ分光カメラでも SAM 手法を用いることで水を検知できることが分かった。

### 3.3 撮影距離と類似度の関係

撮影距離が類似度に与える影響について評価するべく、厚さ 65mm の水を対象に撮影距離を変化させ撮影を行った (図-6)。各撮影距離における類似度を表-1 に示す。表-1 より、撮影距離が伸びても類似度は大きく変化しないことが確認された。また、撮影距離 7m までの類似度の偏差は  $2.7 \times 10^{-3}$  であり、水の厚さ 0mm と 1mm の類似度の差  $1.2 \times 10^{-2}$  (図-5) よりも小さかったことから、撮影距離が 7m まで伸びても厚さ 1mm の精度で水を検知できる可能性が示唆された。

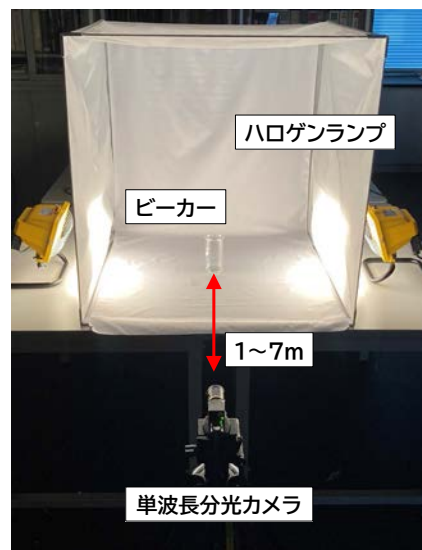


図-6 単波長分光カメラによる撮影の様子

## 4. おわりに

本研究では、水の吸光特性を活用した水の検知技術の有用性を検証した。分光カメラを用いた実験の結果から、7m の撮影距離でも水の厚さを 1mm 精度で評価できる可能性が示唆された。今後は、現場試験を含め様々なケースでのデータを蓄積し、トンネル現場での適用を目指す。

### 参考文献

- 1) 森孝之, 宮嶋保幸, 柳澤琢磨, 東家安伸, 松葉陽平: 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, 土木学会第 73 回年次講演会, VI-443, 2018.

表-1 各撮影距離に対する類似度

撮影距離 [m]	類似度 [-]
1	0.904
2	0.898
3	0.905
4	0.901
5	0.905
6	0.904
7	0.905