

### 赤外線計測システムによる地下鉄トンネル内コンクリートの浮き・はく離検出

(株) パスコ	正会員	○日下 義政	東京地下鉄 (株)	正会員	小西 真治
(株) パスコ	正会員	黒須 秀明	東京地下鉄 (株)	正会員	川上 幸一
(株) パスコ	正会員	土屋 善靖	東京地下鉄 (株)	正会員	村上 哲哉

#### 1. はじめに

我が国の地下鉄トンネルの管理においては、コンクリートはく落を未然に防ぐために2年毎の通常全般検査と、20年を超えない期間毎の特別全般検査が実施されている。通常全般検査では目視検査を基本とし、特別全般検査は必要に応じ打音検査等を組み合わせることで精度を高めている<sup>1)</sup>。このような路線内への立ち入りを伴う全般検査は、終電から始発までの1:00~4:00と限られた時間に作業が実施されている。特に高所作業を伴う打音検査は、専用の仮設足場が必要となるため、より効率的な作業をすることが求められている。このため、非破壊・非接触で打音検査の効率的な補完作業が実施できる検査方法の開発が急務となっている。

このような中、地下鉄トンネルで赤外線サーモグラフィカメラ(以下赤外線カメラ)による熱計測を実施し、温度変化から浮き・はく離(以下変状部)を捉える検討を実施してきた<sup>2)</sup>。

本論文は、地下鉄トンネルの単線円形シールドトンネル部における鉄筋コンクリート中子式セグメント(以下中子型)区間100mに対して、トロ台車の上に赤外線熱計測システムを搭載し、移動計測を実施した結果、中子型区間における変状の検出について知見を得たので報告する。

#### 2. 赤外線熱計測概要

赤外線熱計測は平成26年8月、10月、平成27年1月の3時期に実施した。移動計測の作業効率を向上させるためにトロ台車に専用架台を設置し、2台の赤外線カメラを取付けて移動計測を実施した(図1)。計測範囲は、コンクリート片等のはく落により列車の安全運行に直接影響を及ぼす可能性が大きい軌道から高さ2m以上を対象とした。撮影アングルは撮影対

象を網羅し、かつ解析時の位置合わせを考慮して8分割で計測した(図2)。進行方向の計測間隔は1mで、対象区間を4回(2往復)の移動計測で作業を完了した。なお、今後の検証作業で必要となる打音検査データについては、別の日程で改めて作業を行い比較検討用のデータを取得している。

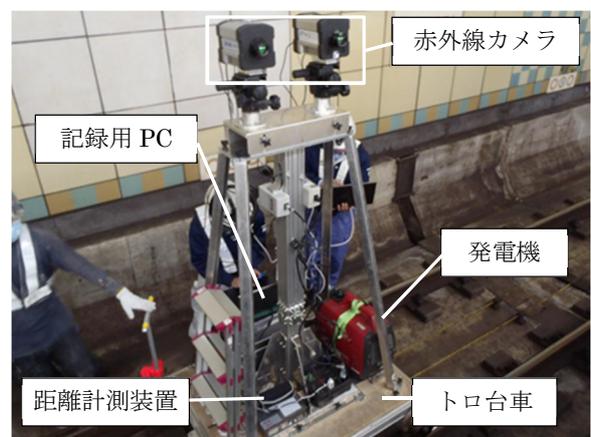


図1. 手押し式赤外線熱計測システムの外観

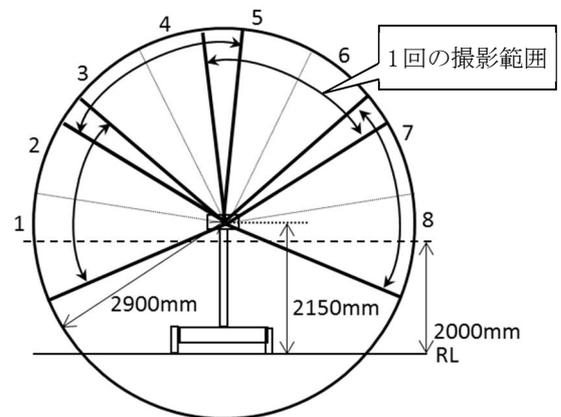


図2. 赤外線熱計測の範囲

#### 3. 計測データ解析と結果

赤外線熱画像の解析は、コンクリート部の温度が均一な場所を健全部とし、部分的に温度差がある場所を変状部として抽出した。変状部と健全部の温度差はトンネル内気温とコンクリート部の温度差に深く関係がある。このため、計測を実施した時間帯の

キーワード 赤外線検査法, 赤外線サーモグラフィカメラ, シールドトンネル, 中子型セグメント, 浮き・はく離  
連絡先 〒153-0043 東京都目黒区東山2-8-10 株式会社パスコ 研究開発本部 TEL03-6412-3800

トンネル内気温とコンクリート部の温度差を考慮してデータ解析を実施している。今回の計測日は気温差にばらつきはあるものの、総じてトンネル内気温の方がコンクリートより低い傾向であった(表1)。このような熱の移動を考慮すると、変状部は低温となって現れてくることから、健全部に対して低温箇所を変状部として抽出した(図3)。

次に、抽出結果について述べる。打音検査データは、現地で確認した変状部を判定A(濁音が大きい)、B(濁音が中程度)、C(濁音が小さい)の3段階に分類している。このような打音検査結果を基準とし、赤外線熱計測結果と検出箇所数の比較を実施した(表2)。その結果、判定AとB合計の検出率は各時期共に90%以上となり適合率の高い結果であった。判定Cの検出率においては、10月が最も高い状況であったが概ね70%の的中率となっている。また、判定ABC合計の検出率は10月(80.1%)、1月(77.2%)、8月(71.1%)の順となっており、今回の結果からは秋から冬での計測が適しているといった結果となっていた。なお、今回の計測では判定Aは2箇所と数が少ないため、判定AとBについては、危険度が高い箇所として合算して評価した。

4. おわりに

今回、中子型区間に対して赤外線熱計測を行った結果、打音検査の判定でABと危険度の高いものについては、90%以上の高確率で的中することができた。また、トンネル内気温とコンクリートの温度差が大きいと的中率が上昇する傾向にあることを確認することができた。

今後は異なる構造・形状についてもデータを蓄積する事で適用範囲を明確にすると共に、トンネル内気温とコンクリートの温度差を面的に把握することで適切な作業時期について検討を進める予定である。

検討を進めるにあたり(株)メトロレールファシリティーズの皆様にご協力いただいた。ここに、感謝の意を表す。

参考文献

1) (財)鉄道総合技術研究所, 鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編 トンネル), 2007

2) 日下ら, 赤外線熱計測による地下鉄トンネル覆工コンクリートの浮き・はく離検出

土木学会第69回年次学術講演会概要集, 2014. 9

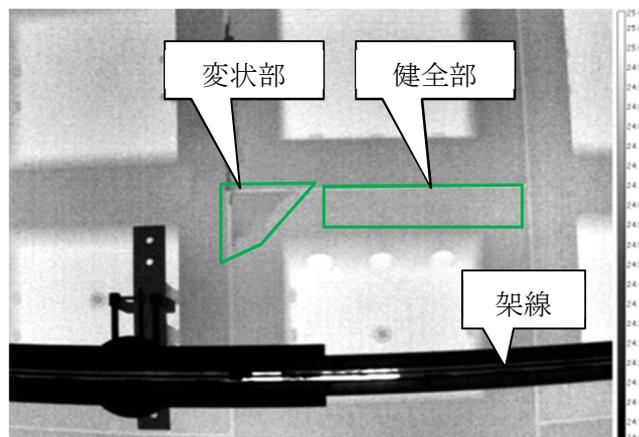


図3. 浮き部の赤外線熱画像例

表1. 赤外線熱計測における温度条件

撮影状況	検出温度差 (変状部-健全部)	温度差 (トンネル内 気温-壁面温度)
赤外線熱計測 平成26年8月	-0.05°C~ -0.07°C	最大-0.38°C 最小-0.28°C 平均-0.33°C
赤外線熱計測 平成26年10月	-0.06°C~ -0.39°C	最大-2.02°C 最小-1.74°C 平均-1.84°C
赤外線熱計測 平成27年1月	-0.05°C~ -0.30°C	最大-0.90°C 最小-0.50°C 平均-0.74°C

表2. 赤外線検出結果

項目		打音 判定 A	打音 判定 B	AB 合計	打音 判定 C	ABC 合計
打音 検査	箇所数	2	21	23	223	246
赤外 8月	検出数	2	19	21	154	175
	検出率	100%	90.5%	91.3%	69.1%	71.1%
赤外 10月	検出数	1	21	22	175	197
	検出率	50.0%	100%	95.7%	78.5%	80.1%
赤外 1月	検出数	2	21	23	167	190
	検出率	100%	100%	100%	74.9%	77.2%