

赤外線熱計測によるトンネルコンクリートの浮き・剥離の検出割合向上に関する検討

清水建設(株)	正会員	○久保 昌史	東京地下鉄(株)	正会員	川上 幸一
東京地下鉄(株)	正会員	瀬筒 新弥	東京地下鉄(株)	正会員	佐々木孝太
東京地下鉄(株)	正会員	小西 真治	(株)保全工学研究所	正会員	中山 聡子

1. はじめに

現在筆者らは、地下鉄営業線内において強制加熱不要の赤外線パッシブ法によるコンクリートの浮き・剥離調査手法の適用性を検討しており、平成27年度までの検証の結果、打音による浮きに対して赤外熱計測による浮きが一致した箇所割合は、全体で約70%程度であるが、損傷の程度が大きい(列車運行・施設物等に支障する可能性が高い)と100%となりその割合は向上することを確認した¹⁾。

一方、赤外線熱計測によって浮きと判定された温度異常部に対して、実際には浮きが無かった(以下、過検出)箇所も存在する。そこで、本報ではこの過検出数を低減させることで浮きの検出割合を向上させる手法について検討した。

2. 過検出の状況

平成27年11月に実施した延長1,040mの赤外線熱計測の範囲の内、500m区間で打音検査を行い、実際の浮きの有無について検討した。計測範囲を図-1に赤外線熱計測の状況を写真-1に示す。

浮きの有無について表-1に示す。赤外線熱計測によって浮きと判定された312箇所内、実際に浮きがあった(以下、検出)箇所は82箇所(26.3%)、過検出箇所は230箇所(73.7%)であった。

3. 検出率向上のための指標

過年度までの検討から、周辺大気温度とコンクリート表面の温度差(以下、環境温度)や、浮き部に生じる健全部に対する温度差(以下、浮き温度)、浮きの面積は、赤外線熱計測により浮きを検出する上で、重要な指標になる可能性があることが判っている。検出箇所と過検出箇所について、仮にこれらの間に何らかの関係性があれば、過検出数を減らすことにより検出の割合を向上させることができる。よって、環境温度と浮き温度、面積について相関関係の有無を検討した。環境温度に対する浮き温度、面積の関係について図-2、図-3に示す。

この結果、浮き温度は検出と過検出について大き

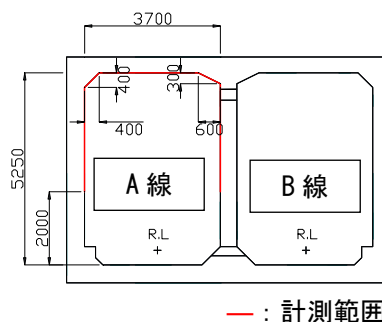


図-1 計測範囲



写真-1 計測状況

表-1 浮きの有無

項目		箇所数	割合
浮き	有(検出)	82	26.3%
	無(過検出)	230	73.7%
全体		312	100%

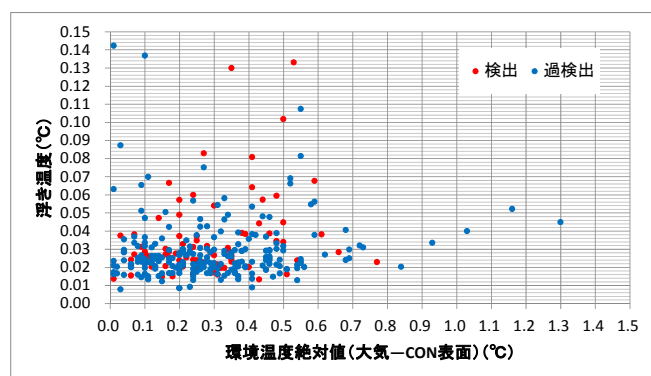


図-2 「環境温度」と「浮き温度」の関係

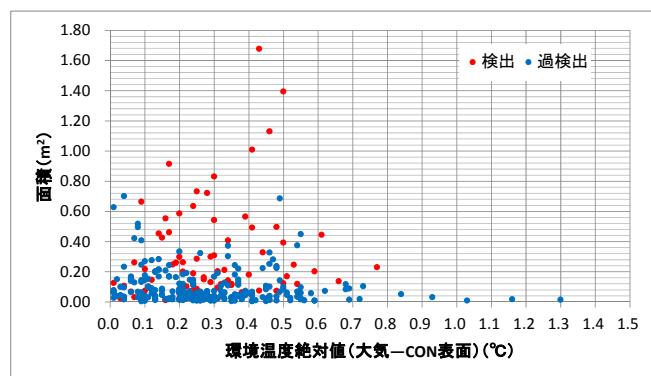


図-3 「環境温度」と「面積」の関係

な違いは見られなかった。また面積が大きいほど検出も多くなる傾向があるように見られたが、必ずしも明確な違いがあるとは言い難い結果となった。

そこで、複数指標による相関関係の有無を検討した。

キーワード：非破壊調査、トンネル、赤外線熱計測、パッシブ法、温度環境、浮き

連絡先：〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目16-1 Tel.03-3561-3915 Fax.03-3561-8673

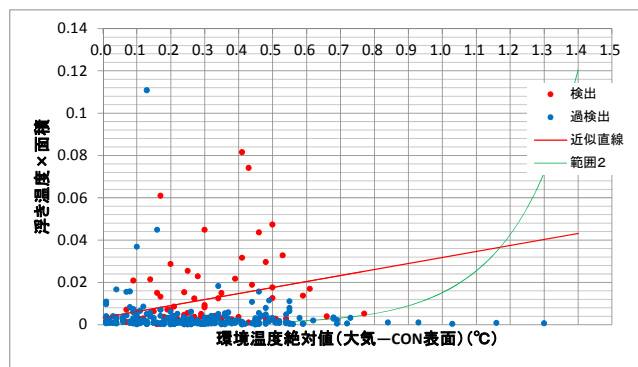


図-4 「環境温度」と「浮き温度×面積」の関係

浮き温度は、浮きの深さや面積、空隙による健全部との熱伝達率の違いで生じると考えられる。よって、浮き温度と面積には何らかの相関関係があると仮定し「浮き温度×面積」を指標として環境温度との関係を確認した。図-4、図-5 に環境温度と浮き温度×面積の関係を示す。ここで図-5 は対数表示としたものである。

この結果、過検出の値は、検出の値より小さい傾向が見られたため、閾値 ($y=10^a \times 10^{bx}$, ここに、 y : 浮き温度×面積、 x : 環境温度絶対値、 a および b : 各条件での定数) による過検出の低減が可能であると判断し範囲2の曲線 ($y=10^{-4.0694} \times 10^{2.25x}$) を設定した。

範囲2の曲線より小さい値を除去した結果、過検出数は230箇所から185箇所に低減し、検出の割合は26.3%から30.7%の4.4%向上した。(表-4)

4. 変状や部位毎の傾向

前項では環境温度と浮き温度×面積を指標に用いて閾値の範囲を設定することにより過検出を低減することができた。ここでは、過検出をより低減させるために損傷毎の個別範囲について検討する。

今回、浮きと判定された箇所は漏水跡やひび割れ、補修跡、豆板、遊離石灰等の変状が生じている。

それぞれの変状に対して個別に閾値の範囲を設定した。一例として、図-6 および表-3 に漏水跡の場合の結果 (閾値 $y=10^{-2.9} \times 10^{0.59x}$) を示す。

すべての変状について個別の閾値を設定した結果を表-4 に示す。この結果、全体で過検出数は230箇所から149箇所に低減し、検出の割合は、26.3%から35.5%の9.2%向上した。

5. まとめ

今回の検討結果を以下にまとめる。

- ・赤外線熱計測において浮きの検出割合を向上させるために過検出数を低減させることを検討した。
- ・そのための指標として「環境温度」と「浮き温度×

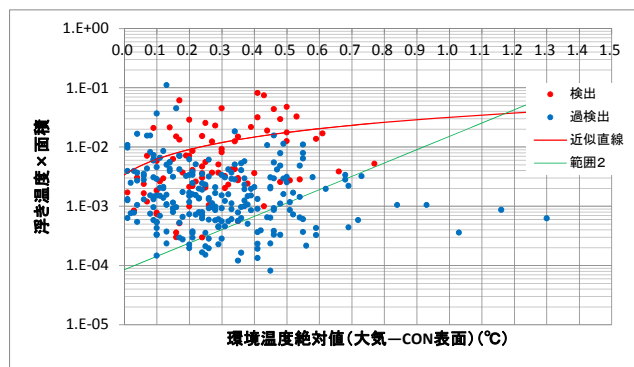


図-5 「環境温度」と「浮き温度×面積」の関係 (対数)

表-2 閾値による過検出の低減

	全体	検出		過検出	
	箇所数	箇所数	割合	箇所数	割合
全数	312	82	26.3%	230	73.7%
範囲2	267	82	30.7%	185	69.3%

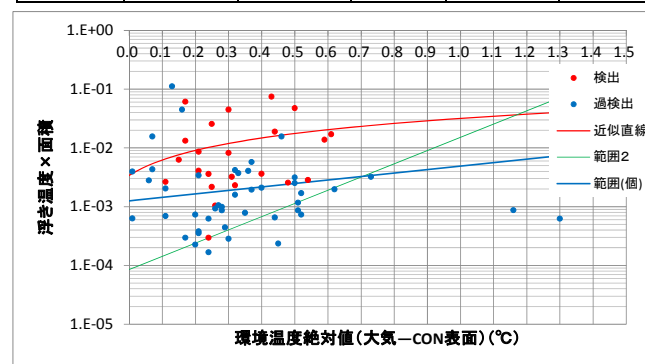


図-5 漏水跡の場合

表-3 閾値による過検出の低減 (漏水跡の場合)

	全体	検出		過検出	
	箇所数	箇所数	割合	箇所数	割合
全数	67	23	34.3%	44	65.7%
個別範囲	36	21	58.3%	15	41.7%

表-4 閾値による過検出の低減 (全体)

	全体	検出		過検出	
	箇所数	箇所数	割合	箇所数	割合
全数	312	82	26.3%	230	73.7%
範囲2	267	82	30.7%	185	69.3%
個別範囲	231	82	35.5%	149	64.5%

面積」を用いた結果、閾値による範囲を設定することで検出率を4.4%向上することができた。

- ・変状毎に閾値による範囲を設定することで、全体の検出率をさらに向上 (9.2%) することができた。

【参考文献】

- 1) 中山 他: 開削トンネルにおける赤外線熱計測によるコンクリートの浮き・剥離手法の検討, 土木学会, 第71回土木学会年次大会, VI-745, 2016-9