

熱赤外線映像法による覆工コンクリート健全度評価（その1）

- コンクリート模型実験に基づく検討 -

(株)ダイヤコンサルタント	正会員	杉浦	高広
(株)ダイヤコンサルタント	非会員	原	享
独立行政法人北海道開発土木研究所	正会員	渡邊	一悟
独立行政法人北海道開発土木研究所	正会員	池田	憲二

1. 緒言

近年、トンネル内覆工などコンクリート片剥落事故が相次いで発生し大きな社会問題となり、これ以降、点検・調査等に用いる新技術の開発が行われている。その中でも、熱赤外線映像法（サーモグラフィ）は、物体から放射される熱赤外線エネルギーを検出し、その表面温度を平面的に映像化することによって物体内部の状態や性質を調査する非破壊検査の一手法で、コンクリートの浮きや剥離などを検出する診断方法として注目されている。既に吹付のり面や建物外壁の診断には一部実用化され¹⁾、日射による温度上昇、夜間の冷却で、健全部分と欠陥部分（浮きや剥離、空洞のある部位）で表面温度に差異が生じ、これを検出するものである。

一方、トンネルや覆道、床版下面などでは、日射を受けることがなく温度変化に乏しいので、人為的に加熱する必要がある。コンクリート表面を一樣に加熱し自然冷却すると、健全部では熱が前後方向に伝達し表面温度が低下するが、剥離箇所では空気層の断熱効果により裏面への熱伝達が遮断され、健全部に比べ高温となり、この温度差を検知して剥離等の有無を判定できる。

以下、加熱時間やその方法、熱伝達時間と検出可能な剥離深さについて、模型実験による検証を行うものである。

2. 供試体

供試体は在来トンネルの覆工コンクリートの一部と考え、2,000×2,000×450mmの大きさとした。使用コンクリートは、通常のトンネル覆工に用いられる配合とし、28日以上の養生期間を置いている。

打設時に厚さ5mmの発泡スチロール板（400×400mm）を埋設し、剥離部位の代替とした。供試体の平面図を図-1に示す。供試体は2個作成し、図に示すように、それぞれ剥離部位を3箇所ずつ設け、各剥離深さを10、20、30mmと50、100、200mmとした。

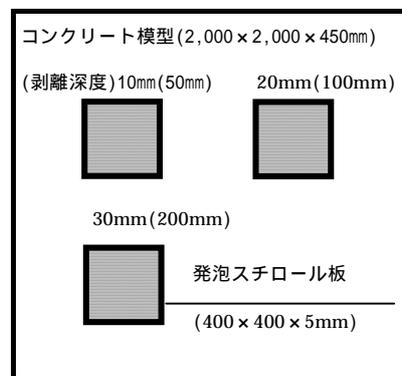


図 - 1 供試体

3. 加熱方法および計測方法

供試体表面の加熱は、4台の灯油式遠赤外線ヒータ（熱出力32,000kcal/h）を用いて行う。これらのヒータは、台車付きの設置台上に据え置き、供試体から2m離して、10分ないしは60分間加熱する。加熱終了後ヒータは設置台ごとスライド移動し、図-2に示すように、赤外線カメラ（測定温度範囲：-20～80℃、最小検知温度差：0.15℃）を供試体正面に据え付け、コンクリート表面温度計測を行った。赤外線画像データは、適当な時間間隔で記録した。



図 - 2 計測状況

keyword：トンネル点検；コンクリート探傷法；熱赤外線映像法；サーモグラフィ；非破壊試験；模型実験
連絡先：(株)ダイヤコンサルタント北海道支社 札幌市北10条西2丁目13-2 011-729-2701

4. 実験結果と考察

剥離モデル（加熱時間 10 分および 60 分）の実験結果をまとめて表 - 1 に示す。この表は、剥離深度ごとに健全部との温度差が経過時間によって変化するのをまとめたもので、現場でも判別可能と考えられる高温箇所（0.5 以上）には着色している。なお、剥離深度 50 - 200mm で経過時間の短い箇所に、健全部より低温となる箇所（温度差が - ）があるが、これは剥離箇所の設置後充填したコンクリートの熱容量が健全な箇所とやや異なるためだと考えられる。

10 分加熱の場合、剥離深度 10, 20, 30mm では、加熱終了後すぐに周辺の健全部より 4 以上高くなる。これは、剥離部が断熱効果を発揮し、背後へも熱が逃げる健全部に比べ、コンクリート表層のみが高温となったためだと考えられる。

剥離部の深度が 50mm になると、30 分経過してようやく 0.8 の温度差が生じ明瞭化する。これは、熱伝導にやや時間がかかるため、原理は上記と同様だと考えられる。100mm 以上は、10 分加熱では 120 分経っても健全部と変わらなかったが、60 分加熱した場合には、90 分経つと 1 程度の温度差が見られた。深度 200mm では、どちらの場合でも高温にはならなかった。

これらの傾向は、覆工コンクリートの厚み方向に熱伝導解析を行った結果とよく照合しており²⁾、この加熱式遅延計測による熱赤外線映像法を用いたコンクリート健全度評価法の実用性が確認されたと考えられる。打音検査で検出可能な深度が 20cm 未満であることから、ほぼ同程度の精度が得られる可能性が高いといえる。

表 - 1 剥離深度によるコンクリート表面温度分布の経時変化（加熱時間 10 分）

加熱時間 (分)	剥離深度 (mm)	10						60					
		10	20	30	50	100	200	10	20	30	50	100	200
経過時間 (分)	1	4.0	9.0	6.0	-2.1	-2.4	-2.8	13.1	9.0	6.0	0.2	-1.8	-2.2
	2	5.9	9.3	6.5	-1.9	-2.1	-2.4	13.3	9.3	6.5	0.6	-2.1	-1.8
	3	6.5	9.5	6.6	-1.5	-1.9	-2.1	13.3	9.5	6.6	0.7	-1.9	-1.6
	5	7.2	9.8	7.2	-1.3	-1.7	-1.8	13.2	9.8	7.2	1.3	-1.4	-1.5
	10	7.4	9.7	7.7	-0.6	-1.2	-1.3	12.0	9.7	7.7	1.8	-1.0	-1.1
	15	6.9	9.1	7.7	-0.1	-0.9	-1.0	10.5	9.1	7.7	2.4	-0.7	-0.9
	20	6.2	8.4	7.6	0.3	-0.7	-0.8	9.0	8.4	7.6	2.8	-0.5	-0.8
	30	4.5	6.9	6.8	0.8	-0.5	-0.6	6.5	6.9	6.8	3.3	-0.1	-0.6
	40	3.0	5.5	6.0	1.2	-0.3	-0.5	4.6	5.5	6.0	3.6	0.2	-0.5
	50	2.1	4.4	5.2	1.3	-0.2	-0.4	3.2	4.4	5.2	3.7	0.4	-0.4
	60	1.2	3.5	4.4	1.5	0.0	-0.3	2.1	3.5	4.4	3.5	0.6	-0.3
	70	0.7	2.5	3.6	1.5	0.1	-0.3	1.2	2.5	3.6	3.3	0.7	-0.3
	80	0.3	2.2	3.2	1.5	0.2	-0.2	0.9	2.2	3.2	3.1	0.9	-0.2
	90	-0.1	1.6	2.5	1.4	0.2	-0.3	0.3	1.6	2.5	2.8	0.9	-0.3
	120	0.0	0.5	1.5	1.3	0.3	-0.2	-0.2	0.5	1.5	2.2	1.1	-0.1
150	0.0	0.1	0.6				-0.4	0.1	0.6	1.5	1.0	0.0	

(注) 温度差の評価の凡例

	0.5 以上 1.0 未満 (判定可能)
	1.0 以上 2.0 未満 (判定容易)
	2.0 以上 3.0 未満 (判定容易)
	3.0 以上 (判定容易)

5. 結言

この加熱式遅延計測による熱赤外線映像法は、理論的にも室内検証実験でもその妥当性が確認されたといえよう。精度的にも、打音検査技術と遜色のない結果が得られると考えられる。点検作業に応用すれば、調査結果をデータベース化でき、見落としや経験の差異がないという利点もあり得る。今後、現場への適用についても検討を進め、コンクリート剥離等の検出の精度を向上する手法について研究を深めたい。

参考文献：

- 1) 建設省土木研究所：熱赤外線映像法による吹付のり面老朽化診断マニュアル, pp.13-16, 1996.
- 2) 池田, 畑山, 渡邊, 藤野戸, 杉浦, 原：土木学会北海道支部論文報告集第 58 号, - 25, pp.840-843, 2002.