

VI-PS 3 赤外線温度測定による覆工表面の欠陥部調査

佐藤工業株式会社 正会員 木村 定雄

佐藤工業株式会社 正会員 石橋 哲夫

佐藤工業株式会社 正会員 弘中 義昭

佐藤工業株式会社 正会員 岩藤 正彦

1. はじめに

トンネルの劣化調査は大別して、①覆工表面から認識できるひびわれ・剥離・剥落および湧水現象等の覆工体そのものの欠陥部を目視等により確認する調査、②覆工背面の空洞のような覆工に加わる偏圧の原因となる覆工回りの地山状況をコア抜き、レーダー等により把握する調査がある。トンネルを管理する上での定期検査は前述した①、②を行うことが基本となる。①に関する調査は目視検査が主体となる場合が多く、長大区間のトンネル劣化状況を把握するためには多くの労力・時間が必要となる。このため、目視検査に代って可視画像技術を有効に利用して、ひびわれ分布等、欠陥部のデータベースを構築し、覆工体の検査・評価を省力化するための技術開発が望まれる。しかしながら、実際のトンネルにおいては覆工表面の状態が、汚れ・凹凸・湧水等により、ひびわれ・剥離・剥落等の欠陥部が単純なCCDカメラを用いても検知できない場合、また誤って検知してしまう場合がある。

そこで、本報告はCCDカメラで検知が難しいとされる、汚れ・凹凸・湧水を有する覆工表面の欠陥部調査の一検査手法として赤外線温度測定を取り上げ、その基礎的実験およびそれを実トンネルへ適用した例について述べるものである。なお、本実験においては湧水の有無および各種機関の劣化評価基準を勘案して幅3mm以上のひびわれを検知することを目標としている。

2. 室内実験の概要

赤外線実験の方法は図1に示す通りである。実験に用いた供試体は図2に示すようなコンクリートブロック(300×300×200mm)の中央部に貫通した模擬ひびわれを設けたものである。

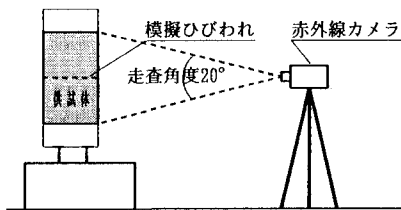


図1 赤外線温度測定方法

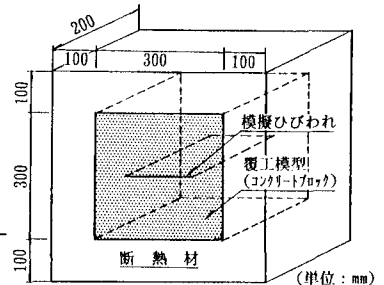


図2 室内実験用供試体

また、実験は表1に示すように供試体表面の状況、ひびわれ幅等を変化させて行っている。なお、赤外線温度測定によるひびわれ検知の性能を高める目的で

表2 赤外線温度測定条件

設定項目	設定値
走査線の移動速度	3.2 秒/画
放射熱：反射熱	1：0
供試体と赤外線カメラとの距離	1.25m
測定感度	0.1℃

供試体表面には液体窒素または温風を吹掛けたりする補助処理を施している。このため、供試体の周囲は断熱材で覆っている。なお、赤外線温度測定の諸条件を表2に示す。

表1 室内実験の要因および設定条件

要因	設定条件
供試体表面の凹凸	有り、無し
供試体表面の汚れ	有り、無し(ベタ付)
供試体表面の含水状態	乾燥状態、湿潤状態
ひびわれ幅(mm)	0.5, 1.0, 1.5, 3.0, 4.5
ひびわれ方向	水平、鉛直
湧水の有無	有り、無し
補助誘導処理方法	冷却(液体窒素)、加熱(スチームター)

3. 室内実験結果およびその考察

赤外線による覆工表面の温度測定結果を用いた画像処理においてはひびわれ位置とひびわれのない位置の温度差が最低0.5℃以上あればひびわれ検知が十分に可能である。供試体表面に液体窒素を2分間、均等に吹掛けた直後の、ひびわれ位置における深さ方向温度分布の一例を図3に示す。この結果はひびわれ幅が大きくなる程、冷却処理の効果が顕著となることを示している。また、数多くの実験結果から、幅が3mm以上のひびわれの場合、覆工表面を5℃低下させれば、ひびわれ位置とひび

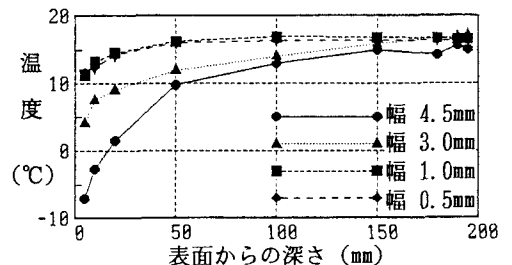


図2 冷却処理直後のひびわれ深さ方向温度分布

われのない位置の温度差が 0.5°C 以上となることを確認している。なお、スポットヒーターによる加熱処理の効果も冷却処理と同様に覆工表面を 5°C 上昇させることにより、幅 3mm 以上のひびわれ検知が可能であることを確認している。

4. 実トンネルへの適用例

実際のトンネル覆工面に生じているひびわれを CCD カメラを用いて撮影したものおよび覆工表面に補助処理として冷却処理を施し、赤外線覆工表面温度測定をした後、画像処理したものの数例を写真 1 に示す。ひびわれ No. 1 は周辺が健全で乾燥している覆工表面に生じている幅 1mm のひびわれ、No. 2 は鉛直打継目に乾燥したエフロレッセンスを伴った幅 3mm のひびわれ、No. 3 は湧水およびカビを含む幅 $3.5\sim 4\text{mm}$ のひびわれ例である。

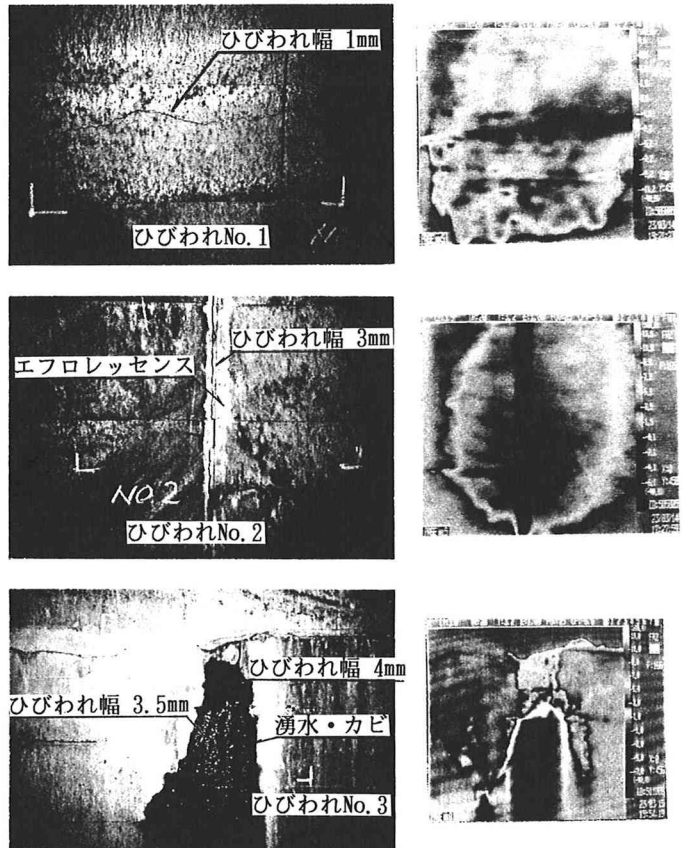
周辺が健全な覆工表面に生じているひびわれの場合、幅が 3mm 程度であれば CCD カメラまたはスチールカメラにより十分に検知可能である。エフロレッセンスが周辺に存在するようなひびわれの場合、エフロレッセンスや覆工表面の異物によって CCD カメラによるひびわれ検知が困難な場合でも赤外線温度測定により 3mm 以上のひびわれは検知可能である。湧水またはカビ等によってひびわれ位置およびその周辺が変色している場合、CCD カメラでは湧水している位置およびひびわれ位置が明確に検知できない。このような場合、赤外線温度測定によると湧水位置の正確な位置が検知可能である。しかしながら、湧水して覆工表面を流れる水の中にひびわれが存在する場合はその正確な位置は検知できない。

5. おわりに

室内実験および実トンネル適用実験を通して得られた赤外線温度測定によるひびわれおよび湧水検知性能の知見は次の通りである。

① 覆工表面に汚れ・凹凸等が存在しても、補助処理を施すことにより、各種機関における劣化評価基準を勘案した幅 3mm 以上のひびわれ検知は十分可能である。② 覆工表面からの湧水現象はひびわれ幅の大小にかかわらず検知可能である。③ 覆工表面がきれいな場合は CCD カメラおよび赤外線白黒画像の方がひびわれを検知する上で有効である。④ 覆工表面部温度・湧水温度等のトンネル内温度の条件により有効な補助処理方法は異なる。（覆工表面部が湧水温度より高い→加熱処理、覆工表面部が湧水温度より低い→冷却処理）

今後、迅速かつ省力的に覆工表面部に生じている欠陥部を適格に検知し、画像処理を行うためには、CCD カメラと赤外線カメラを同一の光学的視点から同調させるとともに、赤外線の走査線および CCD カメラの視点をトンネル縦断方向に移動し、距離計と同調させる等のシステムを構築することが重要となる。



（左側：スチール写真，右側：赤外線温度測定による画像処理結果）

写真1 実トンネルにおけるひびわれ調査例