

電力用トンネルにおけるアクティブサーモグラフィによるコンクリートの浮き検知手法の開発

東京電力ホールディングス（株） 正会員 重岡 匠，○齊藤 仁
（株）東設土木コンサルタント 正会員 作中 隆之，中川 光貴，土井 孝一，藤原 孝明

1. はじめに

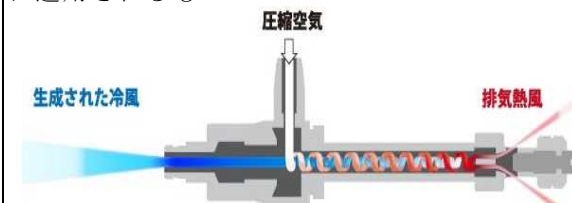
コンクリートの浮きを検知する打音検査に替わる効率的な検査方法としてサーモグラフィがある。強制的にコンクリート表面を温度変化させるアクティブサーモグラフィ(以下、アクティブ法という)は、気温変化や日射を利用してコンクリート表面に温度変化を与えるパッシブサーモグラフィ(以下、パッシブ法という)と比較すると、例えばトンネルなど、環境的に温度変化が少ない構造物においては有効な手段と考えられる。そこで、本研究では、電力用トンネルを対象に、アクティブ法による浮き検知を実現可能とするため、強制的な温度変化を与える最適な手段について検討した。

2. 強制的な温度変化を与える手段の選定

温度変化を与える手段は、ハロゲンヒーターなどで加熱することが考えられるが、対象とする電力用トンネルは、ケーブルの延焼事故の危険性があることから、強制的に冷却できるもののみを検討の対象とした。また、トンネル内の環境を考慮すると、可燃性ガスやトンネル内を酸欠状態にする可能性のある手段については検討の対象外とした。さらに、サーモグラフィの特徴から、コンクリート表面が湿潤状態になると、画像解析に悪影響を与える反射が多くなることから、冷却後に液体が表面に残る手段についても検討の対象外とした。

上記の条件のもと、トンネル内への材料や機材の持ち込みなどの施工性を勘案し、強制冷却を可能とする手段として、表-1 に示す 4 種類を選定した。なお、表-1 の CASE-D 冷却スプレーは可燃性ガスのため、検討の対象外であるが、冷却能力が高いため、参考として検討した。

表-1 強制冷却手段の選定

CASE	A	B	C	D
装置名称	エアークーラーAC-50	エアークーラーAC-100	スプレーノズル	冷却スプレー
使用材料	圧縮空気	圧縮空気	水+圧縮空気	専用ガス
冷却能力※1	周辺温度-50℃	周辺温度-77℃	周辺温度-5℃	-85℃
冷却の概要※2	・圧縮空気を専用の装置に送気することで、超低温の空気を発生するもの。 ・AC-50は坑内可搬の小型コンプレッサーに適用可能なもの。 ・AC-100は坑外に設置する大型コンプレッサーに適用されるもの。 		・水と圧縮空気を専用の装置から噴射することで霧を発生させ、その気化熱により冷却するもの。 	・専用ガスの気化熱により冷却するもの。 

※1 メーカー提示の最大値を示す。 ※2 各図の出版：各メーカーのHP

3. 強制冷却手段の適用性評価

図-1 は、かぶり 30mm および 50mm の位置に発砲スチロールを設置することで浮きを模擬したコンクリート供試体であり、この供試体に表-1 の各 CASE による冷却を行うことで、それぞれの適用性について評価した。

図-2 は、各 CASE による冷却後の健全部と浮き部の各温度および温度差の経時変化を示したもので、かぶり 30mm の浮き部の結果である。CASE-A,B,D では、冷却直後から、温度差が縮まりながら温度が低下する時間帯(以下、待機時間という)があり、一定時間経過すると温度が上昇し温度差が明確になりサーモグラフィによる検知が可能となる時間帯(以下、可測時間という)を得る結果となった。なお、今回の実験においては、キーワード 浮き、剥離、サーモ、アクティブ、打音、トンネル、冷却

度差が 0.3°C 以上であれば検知が可能な結果であった。一方, CASE-C では, 待機時間および可測時間を得られない結果であった。ここで, かぶり 50mm の浮き部についても同様な結果であった。以上のことから, CASE-A,B,D のいずれもアクティブ法における強制冷却の手段として適用性が高いと評価した。

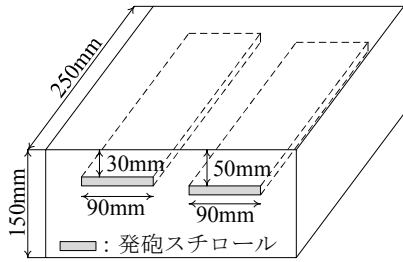


図-1 浮き供試体(W/C=58%)

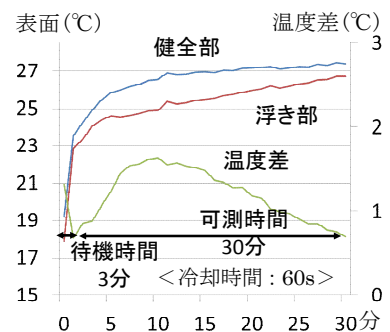
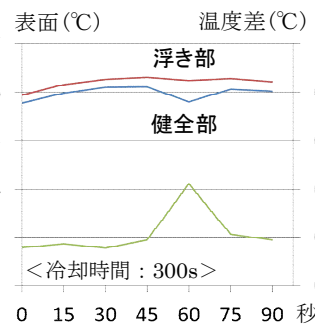
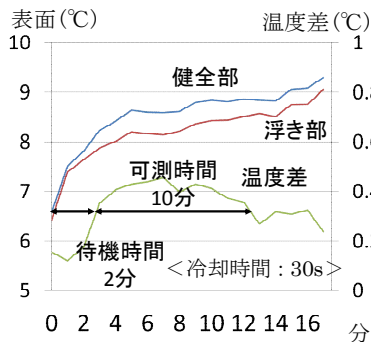
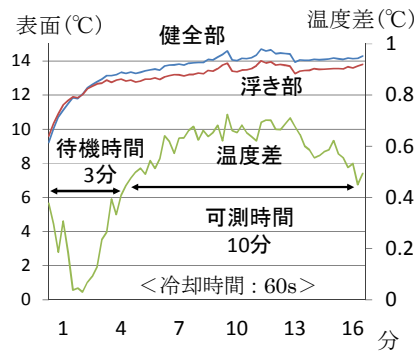


図-2 各 CASE の温度および温度差の経時変化(上段: CASE-A, 下段左から: CASE-B, CASE-C, CASE-D)

4. トンネル坑内での実証試験

すべての装置をトンネル坑内に持ち込みが可能である CASE-A を対象として, 実際の電力用のシールドトンネル坑内にて浮きの検知の可否を確認した。写真-1 は, トンネル壁面である RC セグメントの浮きであり, 表面にはひび割れ等がなく, 目視では判断できず, 打音検査により発見されたものである。この浮きに対し約 2 分間強制冷却を行った結果を図-4 に示す。図-4 は強制冷却から 1 分後のサーモグラフィ画像であり, 温度差として 0.4°C 程度あり, 明確に浮き部であることが判別できる結果となった。

各種機材のトンネル坑内への持ち込みや坑内での移動, あるいは冷却装置の取り扱いなどの施工性は, 問題のない良好な結果であった。しかしながら, 実用化するには強制冷却時間が長く, 現時点では人力による打音検査を上回る速度ではなく, 今後の課題として残った。

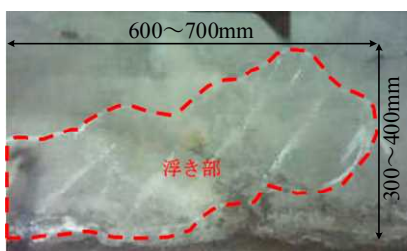


写真-1 セグメントの浮き部

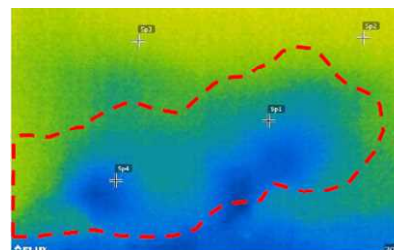


図-4 浮き部のサーモグラフィ画像

5. まとめ

コンクリートの浮きの検知にアクティブサーモグラフィを適用する試みにおいて, 強制冷却の手段として, 圧縮空気を用いたエアクーラーを適用することで, かぶり 50mm までの浮きを検知可能であることが評価できた。また, 冷却能力は周辺温度 -50°C 程度以上が必要であることがわかった。今後は, 冷却時間の短縮や冷却面積の拡大に向け研究を実施し, 実用化を図っていく予定である。

参考文献

1) 川上, 小西, 村上, 久保, 中山: 赤外線熱計測による地下鉄シールドトンネル内中子型セグメント表層コンクリートの浮き検出, 土木学会論文集 F1 (トンネル工学), Vol.71, No.3 (特集号), pp. I_112-I_121, 2015