赤外線法による表層内部欠陥抽出の適用に関する研究

中日本高速道路株式会社　　正会員　○桑原　伸夫

１．はじめに

現在、中日本高速道路㈱(以下「ＮＥＸＣＯ」という)の管理するコンクリート構造物は、高齢化が進行しており、一部の橋梁においては、中性化及び塩害の影響により、コンクリートのひび割れ発生や鋼材の腐食など構造物の劣化グレードが加速期以降に進行[1)]している状況が確認されている。さらに、近年ではコンクリート片のはく落も発生している。その状況下、お客様への社会的責任を道路管理者として果たすためには、予防保全を考えた点検の導入が重要課題となっている。

２．研究の目的と課題

２．１　現在の点検手法と課題

現在、高速道路の橋梁点検は、表－１に示す内容で実施されており、検査路から手の届く箇所のみ近接目視及び打音点検が行われ、それ以外は遠望目視判断しているのが実状である。また、建設時の施工不良に起因した損傷(浮き,空洞,ひび割れ及び鉄筋腐食)は、時間の経過に伴って進行するので、劣化が顕在化する前の早期に発見することが必要である。

表－１　点検内容(高速道路)

項目	高速
位置付け	保全点検要領(H18.4)[2)]
点検頻度	5年に1回
点検方法	近接目視･打音
点検内容	上部工、下部工、支承等について、部位毎のひび割れ、はく離(浮き)、鉄筋の露出･腐食など損傷別に分類。 ＡＡ、(Ａ1、Ａ2、Ａ3＝Ａ)、Ｂ、Ｃ、ＯＫ、Ｅの8(6)段階で評価を行う。
点検実施体制	･点検は関連会社が実施。 ･損傷評価については、監督員による判定会議を実施。

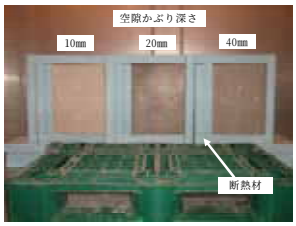
２．２　研究の目的および検証方法

赤外線サーモグラフィは、健全部と損傷部の温度差で欠陥部を抽出するものである。従って、外気温の日較差条件が測定精度に大きく影響する。現在、ＮＥＸＣＯでは、赤外線法の測定条件である外気温日較差７℃以上の条件により赤外線サーモグラフィを用いた点検が実用化に至っていない。そこで、本研究は今後の点検への上記条件を明らかにすることを目的に、模擬空隙試験体を用いて環境条件別に検証し、以下に示す検討を行った。

写真－１　恒温室

①　恒温室を用いた模擬空隙試験体の熱画像検証

写真－１に示す恒温室を利用して､H2～H19(18 年間)の昼 10 時～14 時にピークを迎える年度の温度平均を採用し、11 月(日較差 5.2℃)、８月(日較差 5.7℃)における１日の外気温変化を再現し、写真－２に示す空隙かぶり 10 ㎜、20 ㎜及び 40 ㎜の模擬空隙試験体(３体)を用いて、熱画像の健全部及び損傷部の温度差より損傷部の抽出状況を確認した。



写真－２　模擬空隙試験体

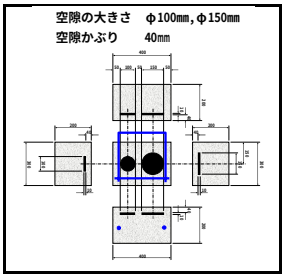
②　現地橋梁桁下による模擬空隙試験体の熱画像検証

ＮＥＸＣＯの管理する橋梁桁下の現地で､空隙かぶり 40 ㎜の模擬空隙試験体を用いて１日の熱画像の健全部及び損傷部の温度差より損傷部の抽出状況を確認した。

３．赤外線サーモグラフィによる検証

３．１　模擬空隙試験体の作成

赤外線サーモグラフィの検証は、外気温条件及び時間帯により空隙深さ別に熱画像温度差の抽出状況を確認するため、西日本高速道路㈱が作成した模擬空隙試験体を参考に、図－１に示す寸法(縦 200 ㎜、横 400 ㎜、高さ 300㎜)、空隙(φ100㎜、φ150㎜、各空隙厚 10㎜)、空隙かぶり 10 ㎜、20 ㎜及び 40 ㎜の模擬空隙試験体を作成した。また、恒温室の測定の際は、実物構造物の状況と近づけるため上下面、側面及び背面からの外熱の影響を受けないように､厚さ５㎝の硬質発泡スチロール(断熱材)を設置した。



図－１　模擬空隙試験体
(空隙かぶり 40 ㎜)

キーワード　予防保全,はく落,模擬空隙試験体,外気温日較差,恒温室
連絡先　　〒105-6011　東京都港区虎ノ門４－３－１　中日本高速道路（株）東京支社　ＴＥＬ03-5776-5311

3．2　恒温室を用いた模擬空隙試験体の熱画像検証

恒温室を利用した赤外線サーモグラフィによる検証結果より、熱画像における損傷部の抽出判定基準を表－2のとおり定義した。なお、0.5℃～1.0℃の範囲を健全部と損傷部の熱画像の違いにより損傷部を明確に抽出できるB判定基準としているが、これは、健全部と損傷部の赤外線画像の見え方の違いに加え、欠陥部を認識するための温度差は日射が当たらない面については、0.5℃程度が目安[3)]といわれていることによるものとした。

11 月（日較差 5.2℃）の外気温変化及び空隙かぶり 10 ㎜の試験体で上記の判定基準に基づき整理したものを表－3及び図－2に示す。今回の検証結果より日較差５℃程度においても約７時間程度、損傷部の抽出可能であることが確認された。また、空隙かぶり 20 ㎜の試験体においても約５時間程度、損傷部の抽出をすることができたが、空隙かぶり 40 ㎜においては、すべての時間帯で抽出判定することが難しいことが明らかとなった。これは、検知限界として、日斜が当たらない面については 30 ㎜を目安[4)]といわれており、当該試験体は空隙かぶり 40 ㎜で設定したので、かぶり深さが抽出に影響したと推察される。

3．3　現地橋梁下による模擬空隙試験体の熱画像検証

ＮＥＸＣＯの管理する橋梁の現場で、日の出から日の入間で、日射有の南側（日較差 11.2℃）条件で検証を実施したその結果を図－3に示す。

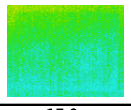
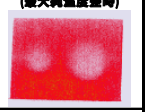
結果としては、日射有で、かつ外気温日較差が大きければ空隙かぶり 40 ㎜でも損傷部の抽出が長時間(約６時間)可能であることが確認された。

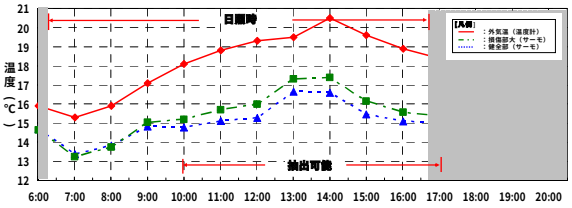
表－2　熱画像損傷抽出判定基準

判定区分		純温度差区分	画像抽出状況
熱画像温度差に対する判定	A	1℃以上	健全部と損傷部の熱画像の色の違いにより損傷部を明確に抽出できる。
	B	0.5℃～1℃	健全部と損傷部の熱画像の色の違いにより損傷部を明確に抽出できる。
	C1	0.4℃～0.5℃	B判定には劣るが、健全部と損傷部の熱画像の色の違いにより損傷部を抽出できる。
	C2	0.4℃以下	健全部と損傷部の熱画像の色の違いにより損傷部と断定することが難しい。

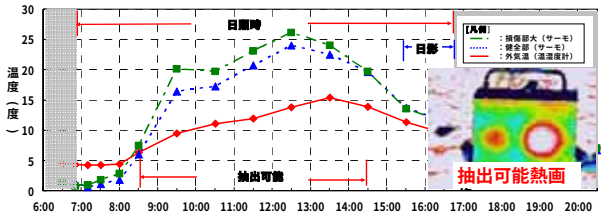
※純温度差の定義
開始時(日の出)の健全部と損傷部の温度差を基準値(ゼロ)とし、開始時(日の出)と各時間の健全部と損傷部の温度差を差し引いたもの。

表－3　熱画像検証(11 月・空隙かぶり 10 ㎜)

時間	6時		14時（最大純温度差時）	
赤外線サーモグラフィ画像(11月・空隙かぶり10㎜)				
①外気温	15.9		20.5	
②健全部温度	14.68		16.58	
③損傷部温度　左／右	14.69	14.63	17.32	17.39
③-②温度差　左／右	0.01	-0.05	0.74	0.81
(6時一各時間)純温度差　左／右	0.00	0.00	0.73	0.86
判定	C2		B	



図－2　１日の温度変化(11 月・空隙かぶり 10 ㎜)



図－3　１日の温度変化(日斜有・空隙かぶり 40 ㎜)

4　結論

本研究結果より、外気温日較差５℃程度においても空隙かぶり 20 ㎜までを対象とすれば測定可能であることが確認され、さらに日射有で外気温日較差が大きければ空隙かぶり 40 ㎜でも測定可能であることが検証された。また、H19 年横浜市気象データ(雨天時は除く)より、日較差条件を５℃以上(５℃以上：204 日、７℃以上：151 日)にすれば 1.4 倍程度、７℃以上の日較差条件の場合より測定可能日数が多くなり、日較差による調査環境条件の拘束が小さく、現地点検への赤外線法の適用が容易になるものと考えられる。

5　おわりに

コンクリート構造物の維持管理は、永久に続くものであり、今後の効率的な点検手法として早急に赤外線法による点検を実用化し、より一層の予防保全を目指していきたい。

参考文献

1）（社）土木学会　コンクリート標準示方書［維持管理編］,平成 19 年 12 月,P81-120

2）中日本高速道路（株）保全点検要領　平成 18 年４月,P22,P30

3）魚本健人監修　コンクリート構造物の検査・診断　－非破壊検査ガイドブック－,理工図書,平成 15 年８月, P157

4）(財)土木研究センター　赤外線サーモグラフィによる変状調査マニュアル,平成 17 年３月,P21