

赤外線サーモグラフィ法による橋梁コンクリート剥離領域の劣化進行に関する研究

西日本高速道路エンジニアリング四国(株) ○正会員 橋爪謙治, 正会員 橋本和明, 正会員 松田靖博
 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 フェロー会員 石田哲也
 京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 正会員 高谷哲

1. はじめに

四国地方の高速道路橋は、他地方と比べ若齢で重交通による疲労など橋梁健全度の著しい低下は確認されていない。四国地方の劣化は部分的に進行しており、張出部の水切り部や伸縮装置下の桁端部など水の介在がある部位に顕在化している。また、建設当初に確認された初期欠陥が部分的に進行する。このような変状は、従来の点検記録では劣化進行を定量的に把握することが難しい。

本研究は、赤外線サーモグラフィ法により得られた熱画像の定量情報を用いることで、四国特有の劣化進行度を推定するため、生存時間データ解析を実施し、劣化進行の特徴と要因について分析したものである。

2. 分析データの概説

2. 1. 赤外線法による調査結果

効率的かつ効果的な点検を実現する手法として、非破壊検査技術が期待されており、遠望非接触で広範囲の調査が可能なる赤外線法による調査が有効である。林らは、熱画像を対象とした画像フィルター処理技術を用いることで、診断結果を定量的に評価し、診断を支援するシステムを提案している¹⁾。本調査データは、図-1に示すように剥離領域の劣化過程を捉える時系列データとして有用と判断し、平成21年から平成25年まで実施した赤外線法による調査結果のうち、赤外線調査において検出した変状総数4,554件のデータを用いて分析を実施した。

2. 2. 分析データ

分析データの概要を表-1、本分析に用いる変数を表-2に示す。ここでは、構造条件は損傷の大きさや表面状態など変状箇所の特徴を示す項目、環境条件は降雨量や凍結防止剤散布量など劣化要因として知られている項目を設定し、データを集計した。なお、本分析では、かぶり厚の影響は考慮していない。

3. カプラン・マイヤー法を用いた生存曲線推定

生存時間データ解析は医学・薬学分野において被験者への臨床試験に多く用いられており、山崎らは東北地方における橋梁を対象に支配的な劣化要因の推定や維持管理上注

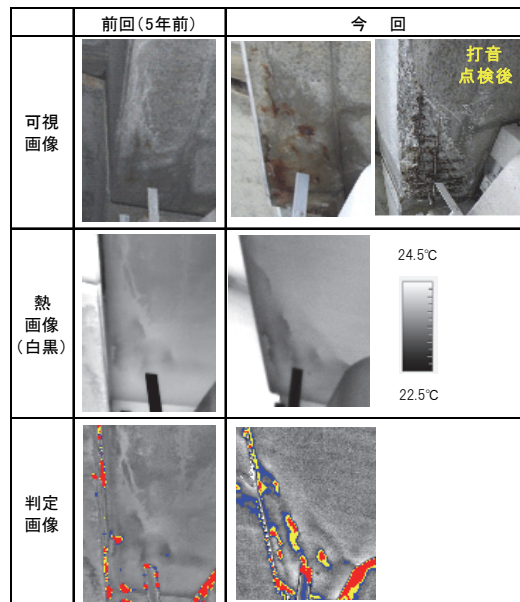


図-1 赤外線法による剥離領域の進行

表-1 分析データ

	調査データ概要
赤外線調査期間	2009年 — 2013年
橋梁種別	鋼橋、RC橋、PC橋、Box
部材種別	壁高欄、桁、床版、張出部、水切部
橋梁サンプル数	鋼橋 31橋、RC橋 72橋 PC橋 63橋、Box 4橋
所在地	四国4県 (徳島、香川、愛媛、高知)

表-2 分析に用いる各変数

	変数名	単位/コード	
目的変数	橋齢	年	
	打音点検時における剥離領域の判定	0 = 健全(下記以外の変状) 1 = 浮き・剥離	
数値型説明変数	構造条件	径間面積 損傷の大きさ	
	環境条件	年降水量	mm
		凍結防止剤散布量	t/km IC間ごとの年平均散布量 (2011年~2013年)
		春期降水量	mm/年 3月~5月の累積年平均降水量
		夏期降水量	mm/年 6月~8月の累積年平均降水量
		秋期降水量	mm/年 9月~11月の累積年平均降水量
		冬期降水量	mm/年 12月~翌2月の累積年平均降水量
説明変数 カテゴリ型	橋種	鋼橋 PC橋+Box RC橋	
	構造条件	桁	
		損傷部位	床版 張出部 壁高欄

キーワード：赤外線サーモグラフィ法, 生存時間データ解析, 予防保全

連絡先 〒760-0072 高松市花園町三丁目1番1号

TEL 087-834-1121 FAX 087-834-0150

視すべき知見の抽出について論じている²⁾。前述のとおり赤外線調査において検出した変状の損傷程度は、剥離領域の劣化進行を示すことから、本研究では、四国地方における橋梁の剥離領域について劣化進行の定量化を検証するため Kaplan・マイヤー法を適用した。なお、分析における目的変数は、赤外線調査にて検出した時点の変状箇所を 1 サンプルとし、被験対象の死亡は、「浮き・剥離」の変状が確認された時点とする。ここでは、打音点検結果のうち、「浮き・剥離」以外の変状を生存として定義した。

図-2 に部位を壁高欄、床版・桁、桁端の 3 分類した生存曲線、図-3 に橋種毎の部位別生存曲線を示す。本結果から 25 年を経過すると部位に関わらず劣化速度は速くなり、特に桁端部の生存率が低いことが窺える。更に橋種別にみると鋼橋の生存率が低く、これは支間長が長くフィンガージョイントの採用が多く、伸縮装置の劣化進行に伴う遊間の漏水の影響により、桁端部の劣化速度が促進されたものと推測する。なお、本分析のログランク検定結果は、各群全てにおいて、5% 未満となり母生存関数に違いがあると推察した。本分析は SPSS Statistics ソフトを使用している。

4. Cox 回帰分析を用いた橋梁劣化因子の推定

四国地方における橋梁劣化因子の推定を目的とし、縦断的研究法への適用が多い Cox 回帰分析を実施した。分析に用いる変数は表-2 のとおりとし、変数減少 (ステップワイズ Wald) 法の結果、表-3 に示す劣化要因を特定した。分析結果から部位では桁端部、橋種では RC 橋の劣化進行が速いことが確認された。また、季節別降水量の影響をみると、既往研究²⁾と類似しており、秋期降雨量がリスクを低減させる因子であることを除き、春期と冬期降雨量は悪影響を及ぼす因子、夏期降雨量はリスクを低減させる因子である点は同様の傾向を得た。よって、四国地方の橋梁を延命化させる予防保全措置として、変状が確認された桁端部や水切り部など水の供給に絶えず曝されている部位の早期補修と、漏水が確認された伸縮装置、排水管の止水対策の確実な実施が賢明であることが示唆された。

5. まとめ

本研究は、赤外線調査結果を用いた生存時間データ解析を行うことで、剥離領域への進行性に影響のある劣化因子の推定が可能となることを示した。今後も、本分析を継続することで、点検結果の更なる信頼性向上や、効果的かつ効率的な維持管理手法に繋がる見識を備えていく所存である。

参考文献

- 1) 林詳悟, 橋本和明, 明石行雄: 赤外線サーモグラフィ法によるコンクリート損傷の検出精度向上, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp. 1813-1818, 2013.7
- 2) 山崎崇央, 石田哲也: 生存時間解析を用いた東北地方における橋梁コンクリート部材の劣化定量分析, 土木学会論文集 F4, Vol.71, No.4, I-II-I_22, 2015

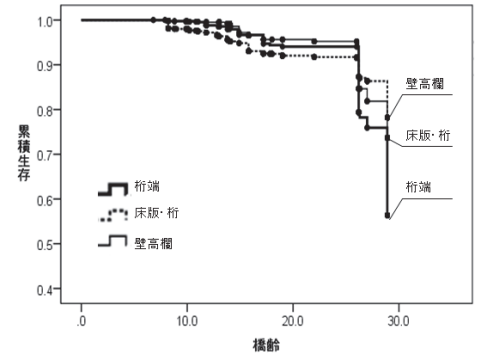


図-2 各部位の生存曲線

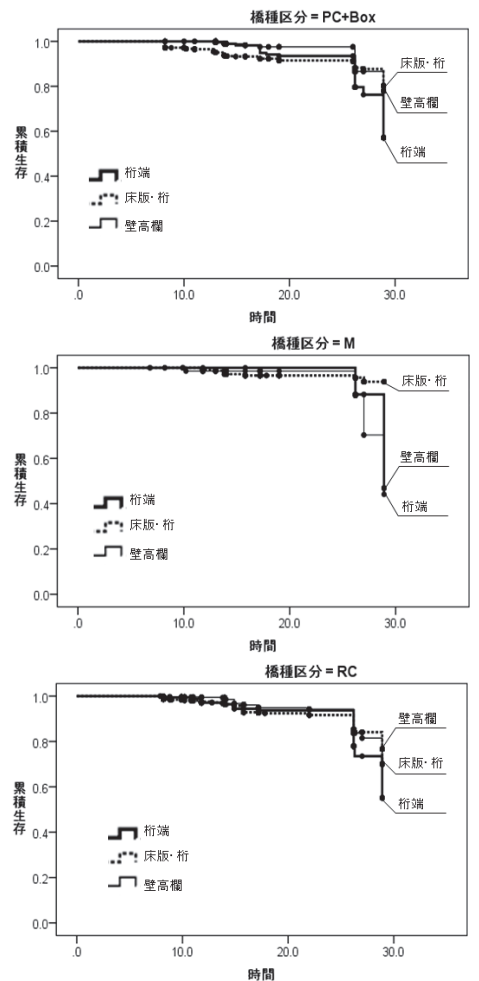


図-3 橋種毎の部位別の生存曲線

表-3 Cox 回帰分析結果

	回帰係数	ハザード比	95%信頼限界	
			下限	上限
季節				
春期降水量	0.01	1.01	1.007	1.013
夏期降水量	-0.026	0.974	0.97	0.978
冬期降水量	0.104	1.109	1.094	1.124
部位区分				
桁端部	0.399	1.49	1.106	2.008
床版・桁	0.177	1.193	0.936	1.521
橋種区分				
鋼橋	-1.042	0.353	0.222	0.56
PC橋+Box橋	-0.198	0.821	0.665	1.012