

橋梁床版ひび割れ調査へのウェーブレット変換画像解析技術の適用

大成建設株式会社 正会員 ○福田 慎治 正会員 神谷 誠 正会員 堀口 賢一 正会員 小山 哲

1. はじめに

羽田空港は国際線航空需要の増大に対応するため、PFI (Private Finance Initiative) 事業として国際線エプロンを中心とする空港基本施設等が整備され、また、2010年7月に施設の完成引渡しを行い、現在は25.5年間の維持管理期間に入っている。

本事業の対象施設の1つであるGSE (Ground Service Equipment) 橋梁は、空港連絡道路により分断された国際線南北エプロンを繋ぐ連絡路として空港運用上重要度の高い構造物である。GSE 橋梁の諸元を表-1に示す。

表-1 GSE 橋梁諸元

橋 種	道路橋
設計荷重	トレーイングトラクター W=500kN
構造形式	上部工 単径間3室PC箱桁橋(UFC橋) 下部工 中堀鋼管杭基礎
橋長・支間割	橋長 48.0m 支間割 単純支間 46.0m
幅員構成	有効幅員 15.0m 内訳 2車線(片側1車線)
主材料数量	上部工 コンクリート: 432.9m ³ 下部工 コンクリート: 723.9m ³ (内 UFC: 167.4m ³)
主な施工方法	上部工 プレキャストブロック工法 下部工 中堀圧入杭 オープン掘削・構築
施工時期	2007年 7月 ~ 2008年 11月

橋梁の維持管理においては、維持補修が供用に与える影響や作業性、経年的に変化する構造物の健全性を踏まえ、表-2に示すように構成部材に応じた管理上の着目点を設定している。

表-2 橋梁構成部材と管理上の着目点

橋梁構成部材	仕 様	耐用年数	着 目 点
主 桁	UFC ($\sigma_{ck}=180\text{N/mm}^2$)	100年	桁長・桁幅・たわみ等の経年観測
床 版	場所打ちPC ($\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$)	50年	床版ひび割れ(幅、間隔、発生パターン)
支 承	反力分散構造 Bタイプ	100年	荷重支持、変位追随性
橋 台	RC構造	50年	構造ひび割れ(支床部、伸縮装置部) 塩害
伸縮装置	鋼製700型ジョイント	30年	遊間・段差、主桁の挙動、支床の健全性
床版防水	シート防水	20年	床版ひび割れの漏水、錆付
舗 装	普通アスファルト舗装	表層10年、基層20年	勾配沈下、舗装面ひび割れ、ポットホール、段差
地 盤	RC構造	50年	構造ひび割れ(高欄取付部) 塩害
高 欄	700型	60年	可とう部の追随性、鋼製部の腐食・亀裂・破断
排水設備	管: FRP管・VP	管50年、管10年	土砂詰り、可とう部の追随性
落橋防止装置	PC連結構造	50年	防食機能の劣化、鋼製部の腐食・亀裂・破断
検査路	鋼製	50年	防食機能の劣化、鋼製部の腐食・亀裂・破断

本稿では橋梁を構成する複数の構成部材の中から、床版部コンクリートのひび割れ調査に適用した、ウェーブレット変換を用いた画像解析技術について述べる。

2. 橋梁床版の維持管理

床版コンクリート表面に発生するひび割れは、その発生パターンやひび割れ幅が鉄筋コンクリートの劣化機構と密接に関連しており、劣化原因の推定や構造物の健全性を評価する上で最も基本的な情報である。

床版ひび割れの損傷程度評価区分を表-3に示す。

表-3 床版ひび割れの損傷程度評価区分¹⁾

判定区分	A	B1	B2	B3	C
ひび割れパターン					
ひび割れ間隔と性状	ひび割れは主として1方向のみで、最小ひび割れ間隔が概ね1.0m以上	一方が主で直方向は従、かつ格子状でない	0.5m程度、格子状、直前のもの	0.5m~0.2m、格子状に発生	0.2m以下、格子状に発生
ひび割れ幅	0.05mm以下(ヘアークラック程度)	0.1mm以下が主で、一部0.1mm以上の存在あり	0.2mm以下が主であるが、一部に0.2mm以上も存在する	0.2mm以上が目立ち部分的な角落ちもみられる	0.2mm以上がかなり目立ち連続的な角落ちが生じている

ひび割れ点検業務は近接目視を基本とするが、GSE 橋梁は空港内の車両通路及び空港連絡道路の上に架けられており、床版下面を近接目視で点検するためには大規模な道路規制や点検足場を必要とする。

そこで、空港の運用への支障を与えずに効率的な点検調査ができ、客観性のあるひび割れ調査手法としてウェーブレット変換画像解析技術を採用した。

3. ひび割れ画像解析の概要²⁾

画像の最小単位である画素(ピクセル、pixel)の輝度を閾値としてひび割れを判定する従来の画像処理手法に対し、本手法は画像処理におけるひび割れ検出の精度向上や効率化を図るため、画像データに周波数解析の一手法であるウェーブレット変換を用いて、コンクリート表面に発生しているひび割れを検出する手法として開発されたものである。

ウェーブレット変換とは、撮影画像の局所的な輝度情報を周波数と方向成分に分解してひび割れを検出する方法であり、ひび割れ画像解析技術は図-1に示すように5つの処理から構成される。

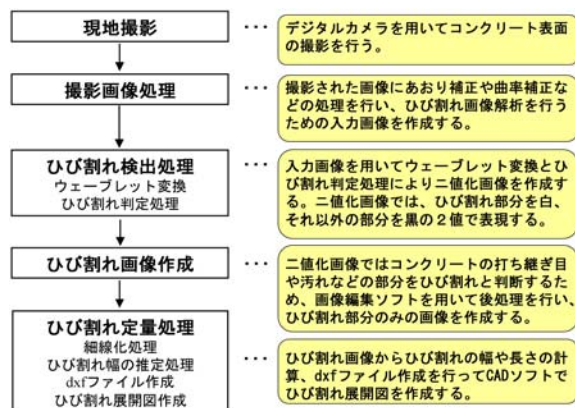


図-1 ひび割れ画像解析の処理フロー

キーワード: 橋梁、床版、維持管理、ひび割れ画像処理、ウェーブレット変換、PFI事業

連絡先: 〒144-0041 東京都大田区羽田空港2丁目6番3号 東京国際空港国際線地区エプロン等整備等事業

大成・鹿島・五洋・東亜・鹿島道路・大成ロテックJV TEL: 03-5708-7911

4. 橋梁床版コンクリートへの適用

4-1. 計画概要

画像撮影には、1,310 万画素のデジタル一眼レフカメラを使用した。検出するクラック幅は、前述の床版ひび割れの損傷程度評価区分に基づき、判定区分 B1 が評価できる 0.1 mm を最小値とした。画像の空間分解能は、図-2 に示す各撮影ゾーンから被写体までの距離に応じて 0.3~0.6 mm/pixel の範囲で計画した。画像に収める被写体寸法は、カメラの性能と撮影距離に対して所定の空間分解能が得られる寸法(主寸法: 1.0m×0.85m, 総撮影枚数: 264 枚)にて計画した。

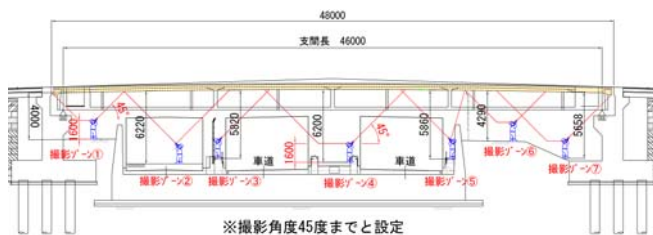


図-2 撮影地点から被写体距離計画図

4-2. 試験撮影

床版部下面へ本技術を適用する前に試験撮影を実施し、計画解像度に対するひび割れ評価の妥当性を検証した。被写体は、近接目視点検により 0.1~0.2 mm 程度のヘアクラックを確認している他の構造物とした。図-3 に試験撮影画像の解析処理状況を示す。

試験解析の結果、幅 0.1~0.2 mm がクラック幅として得られ、目視点検結果との一致を確認した。

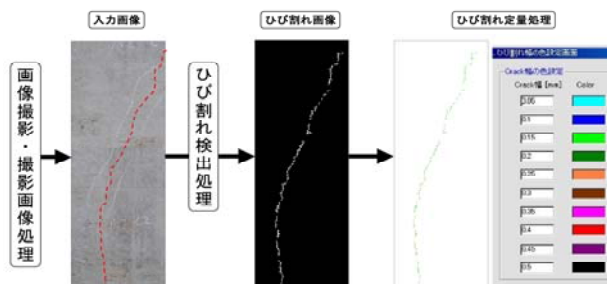


図-3 試験撮影画像の解析処理状況

4-3. 現地撮影

撮影準備として高所作業車等を使用し、床版下面に被写体寸法値を示す4点をマーキングした。各被写体には図-4 に示す通り、被写体No.と解析時のひび割れ数値化に使用するクラックスケールを貼付した。被写体撮影距離は車道を避けた場所を定点として算出した。

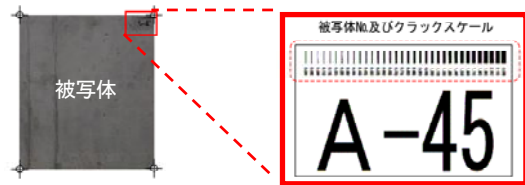


図-4 現地の被写体概要図

4-4. 撮影画像処理

撮影画像の内、橋長中央部に位置する被写体について撮影画像の処理状況を図-5 に示す。



図-5 橋長中央部の撮影画像処理

4-5. 解析結果

解析の結果、抽出されるひび割れはなかった。

被写体に貼付したクラックスケールの幅(0.1~0.5 mm)と解析による検出値を表-4 にて比較し、検証した。

検証の結果、解析値に±0.1 mm 程度の幅がみられるが、画像の空間分解能 0.3~0.6 mm/pixel の範囲において、幅 0.15 mm 以上のひび割れは検出することができた。また、計画値である幅 0.1 mm については空間分解能 0.4、0.6 mm/pixel において検出できていないため、0.3 mm/pixel 以下の空間分解能が必要であることを確認した。

表-4 クラックスケールと解析値の比較

クラックスケール (mm)	撮影画像の空間分解能 (mm/pixel)				解析値 (mm)	ひび割れ幅の色設定
	0.3	0.4	0.5	0.6		
0.50	検出	検出	検出	検出	0.40-0.60	0.60mm
0.45	検出	検出	検出	検出	0.40-0.50	0.50mm
0.40	検出	検出	検出	検出	0.30-0.50	0.40mm
0.35	検出	検出	検出	検出	0.30-0.40	0.30mm
0.30	検出	検出	検出	検出	0.20-0.40	0.20mm
0.25	検出	検出	検出	検出	0.20-0.30	0.10mm
0.20	検出	検出	検出	検出	0.20-0.30	
0.15	検出	検出	検出	検出	0.10-0.30	
0.10	検出	検出	検出	検出	0.10-0.20	

5. まとめ

- ① 今回の計画では、撮影画像の空間分解能 0.3~0.6 mm/pixel の範囲において幅 0.15 mm 以上のひび割れが検出可能であり、幅 0.1 mm の検出には 0.3 mm/pixel 以下の空間分解能が必要であることを確認した。
- ② 今後は作業効率と解析精度のバランスを図りながら、高解像化するデジタルカメラを有効に利用し、客観性のあるひび割れ調査を実施していく。

【参考文献】

- 1) 国土交通省, 橋梁定期点検要領(案) H16.3, pp.17-18
- 2) 丸屋剛, 堀口賢一, 小山哲, 澤健男, ウェーブレット変換を用いた床版コンクリートのひび割れ調査の実用化
コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.2, pp.691-696, 2007