

## 赤外線法・デジタル画像法による既設PC橋点検手法の検討

(株) 富士ピー・エス 正会員 ○ 西 弘  
 阪神高速道路公団 非会員 佐々木 一則  
 阪神高速道路公団 非会員 藤林 美早  
 ドーピー建設工業(株) 正会員 武部 行男

### 1. はじめに

構造物の維持管理において、健全度評価あるいは判定の基礎情報となる構造物の損傷・劣化度の把握は重要であり、近年、非破壊的な検査手法が注目され多くは詳細調査に活用されている。一方、今後、構造物の老朽化の進展とともに維持管理費が増大していくことが予想されることから、効率的かつ効果的な点検が望まれている。そのため、阪神高速道路公団（以下、阪神公団）では、コンクリート構造物の維持管理における点検業務の効率化や合理化に向けて検討を進めている。

阪神公団は約 1500 橋のPC橋を管理している。そのうち、ポストテンションT桁・I桁とプレテンションT桁・I桁（以下、T・I桁）の構造形式がPC橋全体の約64%を占めている。これらの主桁損傷の種類は、コンクリートのはく離・欠落、鉄筋露出が全体の約76%を示し、補修実績では約86%が表面保護工となっている（図-1）。表面保護工はコンクリート構造物の予防保全に効果的な対策ではあるものの、施した後のコンクリート表面の状態を目視では確認できなくなる短所を有している。一方、現在の点検結果の記録は、実施年度ごと単独に損傷位置、種類、グレードを記載しているため、過年度の点検記録から補修後の状態、変状の経年変化の確認などが困難になる場合がある。また、近年、コンクリート構造物の点検において、従来の打音・近接目視に変わり赤外線法、デジタル画像法などの非破壊検査技術を用いた点検手法の検討が各方面で進められている。しかし、その検出精度は気象・環境条件や構造物の状態、撮影条件等に大きく影響されるといった問題がある。そこで、本検討では特に表面保護工等の補修履歴のあるPC桁を対象に、撮影条件（距離・角度・時間帯等）をパラメータとして適用性の検討を行った。また、従来の点検手法との比較による作業効率や点検結果の品質・精度などを検証し、合理的な点検方法確立のための基礎資料を得ることを目的にフィールドテストを実施した。本報告はその結果を紹介するものである。

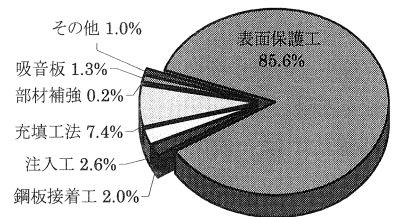


図-1 PC桁の補修履歴 (1990年以降空港線定期点検結果より)

### 2. 撮影システムの概要

デジタル画像法は、近年、デジタルカメラの高画素化や画像処理ソフトの進展から、撮影画像よりひび割れや遊離石灰を自動画像処理し、ある程度の床版劣化判断が可能であると報告されている<sup>2)</sup>。これらを参考に今回は市販のデジタルカメラと画像処理ソフトを使用した。一方、赤外線法は健全部と変状部との熱伝導の違いを利用して、赤外線の温度分布像からコンクリートの浮き、はく離などの内部欠陥を抽出するパッシブ撮影とした（写真-1）。なお、今回の撮影システムはデジタルカメラ（600万画素）とハンディタイプの赤外線カメラ（温度分解能0.1℃）を組合せて使用した。



写真-1 点検作業状況

3. フィールドテスト (実橋試点検)

3.1 点検橋梁の選定と目的

赤外線法は立地条件, 気象条件, 時間帯などが最適の場合, 一方, デジタル画像法では解像度などの撮影条件が適切な場合など, これらの方法が好条件下で使用する場合, 点検方法として

有効であるとの報告事例<sup>1), 2)</sup>は多い。しかし, 表面保護工が施された実構造物や床版支間が比較的に小さいことで桁の陰が影響するT・I桁橋における適用性や, それらを組合せた方法での作業効率, 点検結果の精度, 品質などを検証した事例は少ない。そのため, 表面保護工が施されたT・I桁の実構造物において撮影環境を重視し, 表-1に示す代表的な2橋についてフィールドテストを行った。S1橋では本点検方法の実橋における適用可能性を検証して有効であることが確認できた。その結果を踏まえS2橋では品質・精度, 作業効率などを検証した。本文では「S2橋」について報告する。

表-1 点検橋梁の概要と主な目的

点検橋梁	構造形式(竣工年次)	点検部位	撮影日時	主な目的
S1橋(仮称)	ポストテンション単純T桁橋 (昭和42年竣工)	・主桁 ・床版・横桁 ・高欄	平成15年11月14日 7時~12時	・適用可能性の検証
S2橋(仮称)	プレテンション単純T桁橋 (昭和42年竣工)	・主桁 ・床版・横桁	平成16年12月14日 8時~18時	・品質・精度の検証 ・作業効率性の検証 ・表面保護工の適用性

3.2 検討内容

検証方法は遠望目視点検, 近接目視点検, 赤外線画像撮影, デジタル画像撮影を同橋梁にて各々行い, 変状抽出精度, 記録・保存性などを比較・検証した。また, 現地作業効率および室内作業効率を試算するために, 各点検方法の点検所要時間, 人数を記録した。あわせて, 赤外線法では一般的な環境・気象条件, 時間帯の適用可能範囲において, 表面保護工を受けた条件での有効性を検証した(表-2)。

表-2 検討内容と検証方法

目的	評価項目/種別	検証方法	
		[時間帯]	[点検回数]
従来点検との比較 〔遠望目視点検〕 〔近接目視点検〕	品質・精度	点検記録の重ね合わせ(一致箇所数)により判断	
	データ保存性	点検結果(展開図)記録方法により判断	
	現場適応性	点検場所の立地条件, 気象条件, 時間帯などから判断	
点検作業効率の検証	作業性(工程・工期)	現地撮影作業, 室内作業の所要時間・人数より試算	
	安全性		
	経済性		
表面保護工が施された条件下での適応性	撮影距離の検証 対象物までの距離(m)	[10時~14時の間] 8m~2m(2m毎)	[各1回(各30分程度)]
	撮影角度の検証 角度(°)	[10時~14時の間] 90°~30°(10°毎)	[各1回(各30分程度)]
	撮影部位の検証	[10時~14時の間] 主桁, 床版, 横桁	[各1回(各30分程度)]
	点検時間帯の検証	[9時~19時(1時間毎)]	[毎正時の撮影(各11回)]

3.3 橋梁概要と撮影方法

S2橋の橋梁概要を以下に, 現地状況を写真-2に示す。赤外線法, デジタル画像法は主桁下面(路下用地)から撮影し, 距離(対象物までの距離 8m~2m), 角度(90°~30°), 部位(主桁, 床版, 横桁), 時間帯(9時~19時)による項目にて変状認識状況を確認した。画像の重なり割合(ラップ率)はこれまでの実績より, 赤外線法では約20%, デジタル画像法では約50%確保するものとした。なお, デジタル画像の1カット撮影幅(画角)は, 0.2mm程度のひび割れ幅まで認識できるように2m×3m(1画素1mm×1mm)に設定した。

橋梁規模: 桁長 14.985m / 幅員 29.461m (平均)  
 点検面積: 16m×15m=約240m<sup>2</sup>  
 桁下高さ: 9.0m (地盤から主桁底面までの距離)



写真-2 試点検を行ったS2橋の現地状況

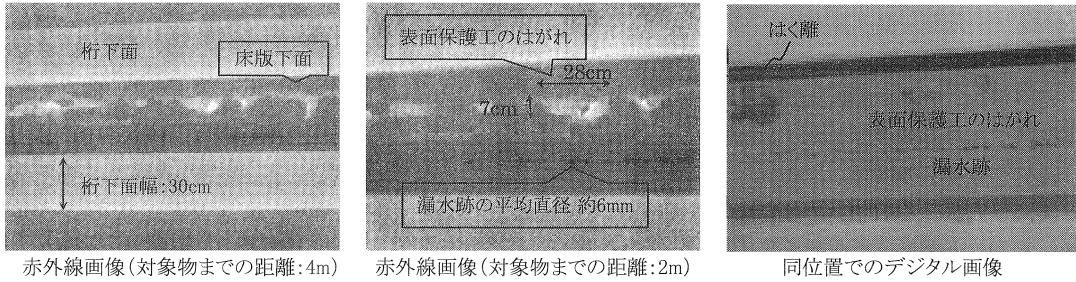


図-2 赤外線法による変状部の現出状況

3. 4 点検結果

(1) 赤外線法による変状部の現出状況

今回の点検では赤外線法による温度異常部の現出時間帯はAM9:00~PM15:00であり、パッシブ法では一般的な現出時間であった。現出状況は中桁(中央分離帯側)と外桁(路肩側)付近での変状部(温度異常部)の傾向がやや異なっていたが、表面保護工が施されているT・I桁橋においても、おおむね大きな変状は抽出することができた。図-2に現出状況写真を示す。この画像の中からサンプルとして表面保護工のはがれと漏水跡の寸法を計測した結果、対象物までの距離4m,2mで、それらの変状寸法が判読でき、ほぼスペック通りの解像度と一致していることが確認できた。

(2) デジタル画像撮影結果

デジタル画像の処理方法は現地で画像撮影後、室内作業(専用ソフト)にて個々の画像を幾何補正(収差,曲率,角度),画像接合,座標付加を行い,画像上で変状をトレースし,CAD上で損傷展開図を作成した。図-3に主桁下面から見上げた展開図を示す。抽出変状は亀裂,はく離,表面保護工のはがれ,浮き,漏水跡であった。作業効率は今回の点検面積約240m<sup>2</sup>,1カットの画角2m×3mとして,撮影カット数272枚,撮影時間30分,室内作業54m<sup>2</sup>/日であった。

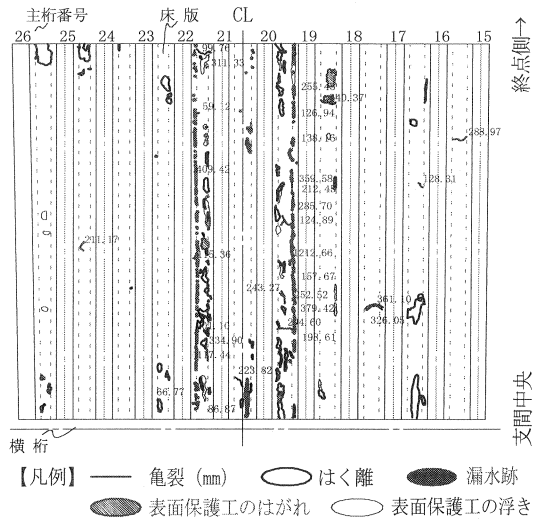


図-3 デジタル画像法による損傷展開図

3. 5 従来点検(遠望目視点検,近接目視点検)との比較

(1) 品質・精度の検証

赤外線法,デジタル画像法と従来点検の得られる品質・精度について比較した結果を表-3に示す。比較方法は,各点検方法による損傷展開図を作成し近接目視点検を基準として,それぞれの点検結果と重ね合わせ,抽出した変状位置,種類との一致割合を検出率として評価した。その結果,赤外線法 [イ/ニ] 56%,デジタル画像法 [ロ/ニ] 74%,遠望目視点検 [ハ/ニ] 17%を示しており,デジタル画像法では74%と極めて高い一致を示したが,一部には表面の汚れを変状と判断してしまった箇所も見受けられた。一方,赤外線法では比較的大きな変状が検

表-3 従来点検との比較(品質・精度)

項目/種別	赤外線法・デジタル画像併用点検				従来点検		
	(a)赤外線		(b)デジタル画像		(c)遠望目視点検	(d)近接目視点検	
	検出箇所数	一致箇所数 [(4)と比較] (イ)	検出箇所数	一致箇所数 [(4)と比較] (ロ)	検出箇所数 一致箇所数 [(4)と比較] (ハ)	検出箇所数 (ニ)	
箇所数(合計)	53	53	99	70	30	16	95
検出率[%]	---	イ/ニ 56%	---	ロ/ニ 74%	---	ハ/ニ 17%	---

出でていたが、温度変化が小さいと考えられる表面保護工の亀裂などは抽出できていなかった。従来点検と比べ赤外線法、デジタル画像法の品質・精度は遠望目視点検以上であり近接目視点検以下であることが確認できた。

（2）作業効率の検証

各点検方法の1日当たりの作業効率（m<sup>2</sup>/day）を算出し、今回の近接目視点検を基準（現地作業、室内作業をそれぞれ1.00）として各点検方法の作業効率と比較した。その比率結果を図-4に示す。赤外線法、デジタル画像法とも近接目視点検と比べ、全体の作業効率（現地+室内）は有利となった。しかし、赤外線法は点検時の気象条件、日照条件などに影響を及ぼすため、稼働率を考慮した場合、今回の結果は実務的な作業効率とは異なる。そのため、点検範囲が長距離、広範囲の際の作業効率を検証する必要があると考える。デジタル画像法では、近接目視点検2.00に対して4.63倍と有利となり、遠望目視点検の作業効率とおおむね同程度であった。

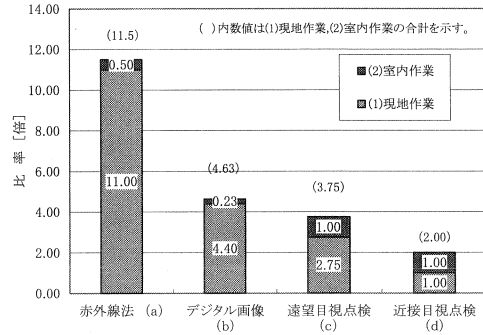


図-4 従来点検との比較（作業効率）

稼働率を考慮した場合、今回の結果は実務的な作業効率とは異なる。そのため、点検範囲が長距離、広範囲の際の作業効率を検証する必要があると考える。デジタル画像法では、近接目視点検2.00に対して4.63倍と有利となり、遠望目視点検の作業効率とおおむね同程度であった。

4. まとめ

- (1) 表面保護工が施されたT・I桁の実構造物においてフィールドテストを行った結果、赤外線法、デジタル画像法ともおおむね変状を抽出することができた。
- (2) 従来点検と比較した場合、変状認識性（品質・精度）ではやや近接目視点検に劣るものの、現地作業効率やデータ保存性など従来点検の短所を改善しており、点検方法の一つとして有効であると考えられる。
- (3) デジタル画像法は座標を付加した場合、変状位置・範囲情報の把握精度が高いことが確認できたことから、変状の経年変化や追跡記録など、将来の維持管理に大きな可能性を有する方法の一つと考えられる。
- (4) 現地作業の効率性・安全性等は遠望目視点検とほぼ同程度であり、見通し障害物が無い立地条件の場合、構造物の点検方法としての適用性は高いものといえる。

5. 今後の課題

- (1) 今回のフィールドテストの場合、気象条件が良好で単径間の点検であったことから、点検範囲が長距離、広範囲の場合の作業効率、点検費の再検証と点検不可日のロスを考慮する必要があると考える。
- (2) 今後、時系列的に変状を管理するためには基本図を整備する必要があり、維持管理業務支援システム（BMSなど）構築に照準をあわせた検討が必要であると考え（一度、基本図ができあがれば、以後の点検結果は重ね合わせる作業のみとなり、室内作業も減少する）。

6. おわりに

本検討は阪神公団「PC構造物の維持管理に関する調査研究委員会」の検討の一環で行われたものであり、同委員会各位には多大なご指導を頂いた。また、本検討業務を遂行するにあたり、国際航業（株）にはご協力を頂いた。ここに記して謹んで謝意を表します。

【参考文献】

1) 長田ほか：熱画像による鉄道高架橋コンクリートの剥離診断手法の開発，土木学会論文集 No. 760/V-63, 2004. 5, pp. 121-133  
 2) 佐々木ほか：デジタル画像によるコンクリート床版劣化判定システムの開発，コンクリート工学年次論文集 2003, pp. 1775-1780