

報告 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

佐々木聡*1・渡邊一悟*2・小出 博*3・山本利生*4

要旨：本システムは、従来の目視によるコンクリート床版点検に対し、デジタルカメラで撮影した床版下面画像から、ひびわれ・遊離石灰等を抽出し、数量的に設定した床版劣化判定基準により床版の劣化状態を平準的に判定するシステムである。本システムの開発は、コンクリート床版点検のコストダウン、点検の精度と確実性の向上及び補修計画（設計）までの効率化を目的としている。

キーワード：コンクリート床版，ひびわれ，デジタルカメラ，画像処理，劣化判定

1. はじめに

高度経済成長時代に構築された橋梁は、近年車両の大型化に伴う活荷重の増加、供用後の老朽化や自然環境による損傷・劣化が目立つようになり、一部の構造物では部材の落下事故が発生している。現在我が国には、橋長 15m の橋梁が約 130,000 橋あり、北海道には小さな橋梁を含めると約 27,000 もの橋梁がある。北海道の国道橋梁も、高度経済成長期であった 1960～70 年代前半に最も多く架設されており、数字の上では橋梁も維持更新の時代に突入し始めた。このため、効率的で計画的な維持管理を行い、橋梁の寿命をなるべく長く延ばし維持補修費用の低減を行なうことのできる「仕組み」を早期に構築する必要がある。

このようなことから、損傷事例が多く報告され始めている鋼橋のコンクリート床版のひびわれ劣化判定に着目して、デジタルカメラと最新の画像処理技術を積極的に導入し、点検精度の高度化、点検足場費用の削減、現場作業時間の縮減、判定の定量化と精度の平準化、経年変化の検証性向上を目的とした「床版劣化判定システム」を開発したので報告する。

2. システム概要

維持管理の基本となるこれまでの橋梁点検は、床版の下面から調査する遠望目視点検が多く実施されてきたが、その損傷判定は点検員の熟練度や技術力など点検員個別の技量に対する依存が大きいため、基礎データとしての精度にバラツキが生じることがある。また、橋梁点検は「橋梁点検要領（案）」（建設省土木研究所 昭和 63 年 7 月）に沿って行われているが、得られるデータは損傷度を調査するためのものであるため、

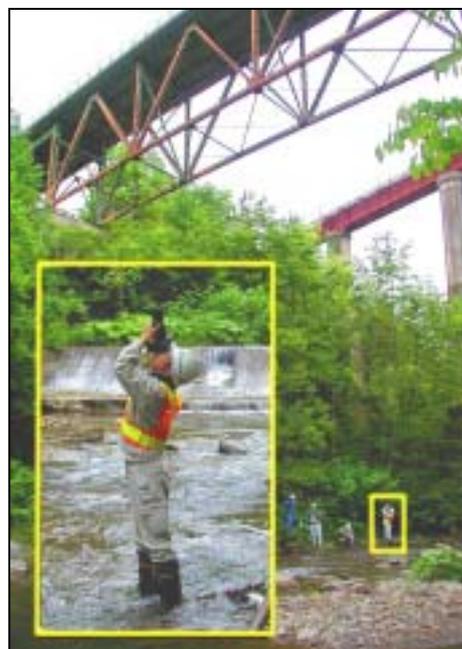


図 - 1 点検風景

*1 (株)ドーコン 防災保全部 (正会員)

*2 (独)北海道開発土木研究所 構造研究室 研究員(正会員)

*3 (株)ニコン技術工房 MB 部部長 (正会員)

*4 三菱重工工事(株) 維持補修技術センター 主管

ひびわれの長さや範囲などの数値データは取得できない。しかし、この橋梁点検による判定結果は維持管理にとって必要不可欠な基礎データであり、今後開発が本格化する橋梁維持管理システムの重要なデータベースになると考えられる。本開発システムは、デジタルカメラを利用して遠距離から床版下面の撮影を行い（写真-1）、撮影した画像データからひびわれを認識して、ひびわれ幅や延長、密度の計算結果から数値処理を行いコンクリート床版の劣化度を評価判定するシステムである。

3. デジタル画像によるひびわれ認識原理

デジタルカメラは、CCD（Charge Coupled Device）が撮影素子となりカメラの光学系から投影された画像を電子的に記録するものである。デジタルカメラの基本性能は、CCD及び光学レンズの性能に依存するところが大きいので、画素数（ピクセル）が多ければ同じ面積を撮影したときの解像度が高くなる。

コンクリート表面のひびわれ調査にデジタルカメラを利用する場合、認知したいひびわれ幅と撮影画角（対象コンクリート表面の面積）の関係をあらかじめ認識しておくことが重要である。例えば、画素数が1960×3008画素で縦横2.5m以下の画像では、デジタル分解能は1.3mmであるが、デジタル画像を画像処理ソフトのエッジ強調処理などを行うことで、コンピューターモニター上では、0.2mm以下のひびわれを認

識できることが実験的にも検証されている。（図-2）解像度が高ければ高いほど、撮影する面積を大きくすることが可能で、撮影に要する時間が短縮される。また、使用するレンズを取り替えることにより、遠距離からの撮影も可能になる。

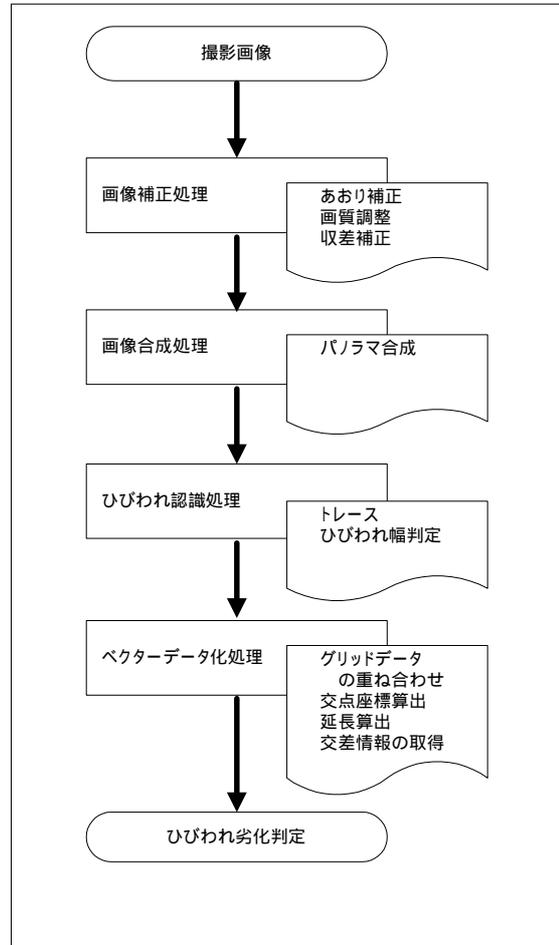


図 - 3 ひびわれ劣化判定までの流れ

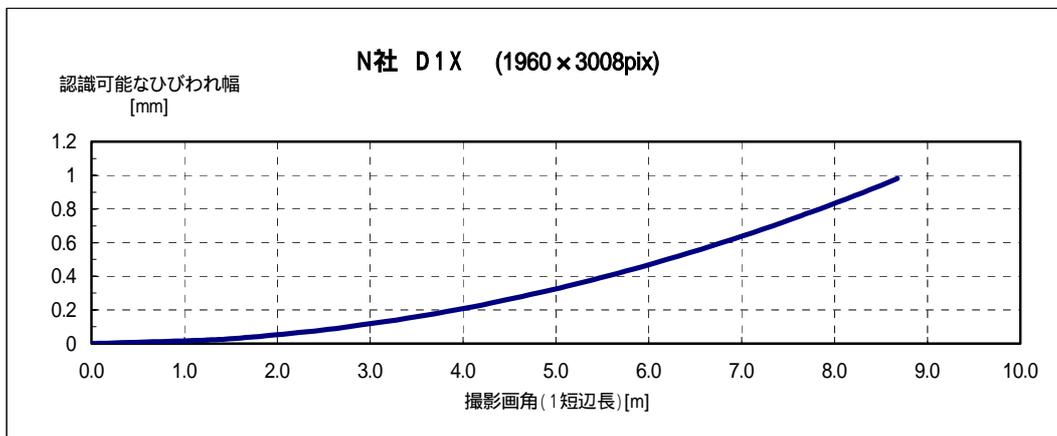


図 - 2 認識可能なひびわれ幅と撮影画角の関係グラフ

4. 画像処理と劣化判定までの流れ

デジタルカメラで対象構造物を撮影する場合、現場は足元が不安定であったり障害物があるなどして良好な撮影条件が得られることが少なく、対象物に正対して撮影できる条件は極めて限定される。このため、撮影した画像を有効に利用するには、通常の画像合成や色調整の他に損傷判定を可能にできる専門の画像処理機能が必要となる。

デジタルカメラで撮影された画像データを、画像の補正・加工してひびわれの認識処理（強

調など）を行なうとともに、ひびわれ図（ベクターデータ：複数の基準点とそれらを結ぶ線で記録・表現できる大きさや方向を持つデータ）を作成する。このようなベクターデータ化されたひびわれをもとに、ひびわれ幅を認識し延長などを算出するため、ひびわれ損傷に対する数量的な判定・評価が可能となる。撮影された画像からひびわれ劣化判定までの流れを図 - 3 に、また各処理段階での結果イメージを図 - 4 に示す。

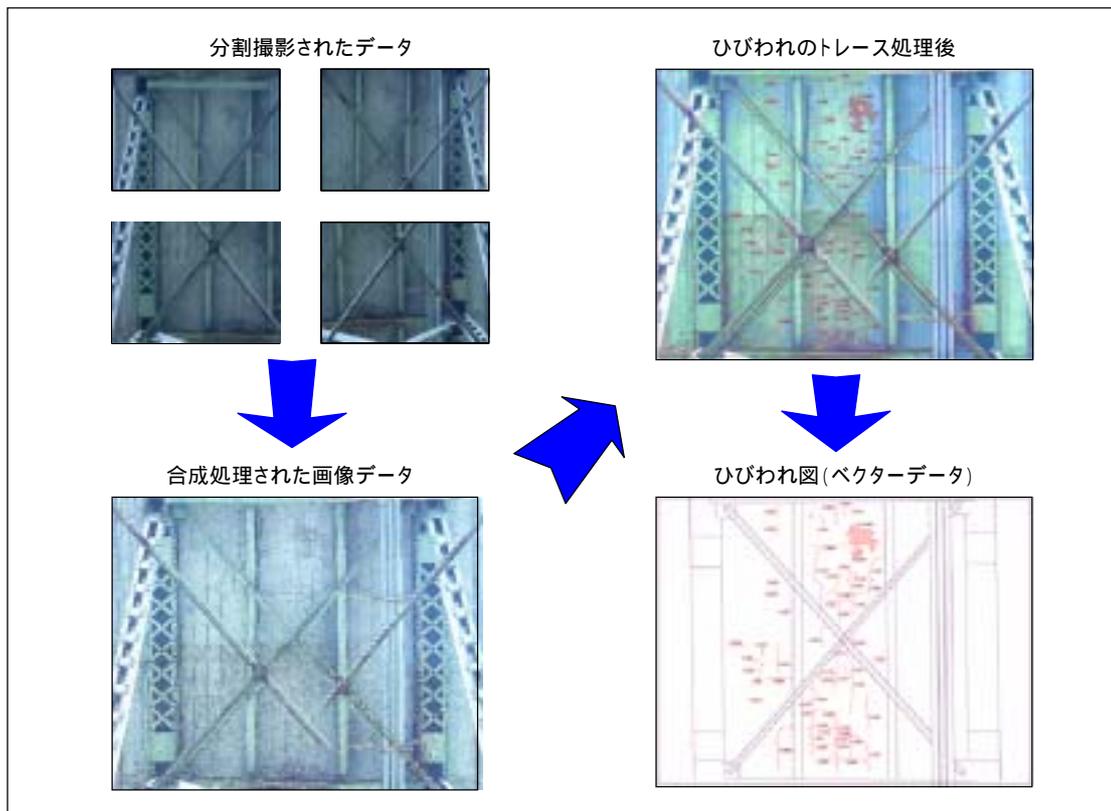


図 - 4 各処理のイメージ

5. 適用判定基準

現在日本国内の橋梁コンクリート床版ひびわれの劣化判定基準は、「橋梁点検要領(案)」（建設省土木研究所 昭和63年7月）を代表として様々な基準が公表されている。本手法では、デジタルカメラで撮影された画像を加工処理したり、グリッドパターンを利用するベクターデータ変換機能を持っているので、解像度や撮影画角を調整することにより近接目視と同程度の精度が得ることが出来る。このため、近接目視で

行なわれる詳細な床版調査への適応を考慮して、詳細調査基準のひとつである北海道開発局の「道路橋の鉄筋コンクリート床版に関する調査研究および補修・補強について」（北海道開発局開発土木研究所 月報 昭和51年4月）（表-1）を適用した。判定は、ひびわれ幅、間隔および密度を数的に評価することにより大きく4つの状態（始期、中期、末期、破壊）に区分されている。

表 - 1 適用判定基準概要表

劣化ランク	ひびわれの程度				
	交差情報	間隔 L(m)	密度 (m/m ²)	備考	
(0)	無	-	-	ひびわれなし	
初期状態	(1)	無	L LG	0.5	一方向ひびわれが散在する。
	(2)	無	LG > L 0.5	2.0 > > 0.5	一方向ひびわれが散在する。 遊離石灰、泥状物質が発生。
中期状態	(3)	有	LG > L 0.5	3.0 > 2.0	二方向ひびわれが発生。
	(4)	有	0.5 > L 0.3	5.0 > 3.0	ひびわれがつながり、亀甲状ひびわれへと近づく。
末期状態	(5)	有	RP L	5.0	ひびわれが亀甲状となり、間隔が狭くなる。
	(6)	有	RP L	5.0	ひびわれが亀甲状となり、小剥離が見られる。
破壊状態	(7)	有	RP L	5.0	ひびわれが亀甲状となり、剥離が発生。(脱落寸前)
	(8)	有	RP L	5.0	コンクリートが脱落した状態。

ひびわれ幅：0.1mm 以上
 LG：主桁間隔
 RP：鉄筋ピッチ

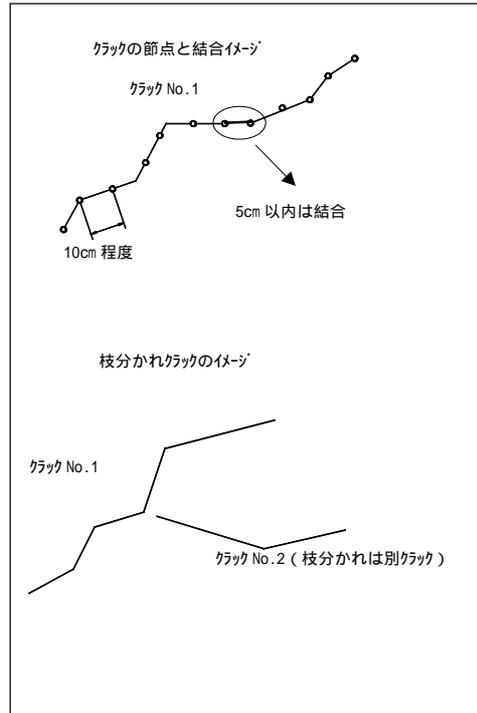


図 - 4 ひびわれモデル図 1

6. システム上でのひびわれの定義

画像処理で作成された床版のひびわれデジタルデータの性状を、判定基準に照合して自動的に劣化判定を行なうため、ひびわれは床版画像上にトレースした線分を「ひびわれ」と認識させる必要がある。このため、各ひびわれ線分は座標データとして定義した。ひびわれ幅は確定されたひびわれが認識できるリファレンス画像を基にし、長さを含めたベクター成分は対象領域に格子(5cm)を割り当て交点取得座標から算出した。

6.1 ひびわれの定義(図-4)

- (1) ひびわれは、幅 0.1mm 以上、長さ 10cm 以上の線状のものとする
- (2) 一つのひびわれは、端部が二つあるいは閉合しているものとする
- (3) 一つのひびわれの幅は、そのひびわれの最大値とする
- (4) ひびわれ長は、ひびわれの曲線長とする(構成接点間距離を累加した長さ)
- (5) 二つのひびわれの端部間距離が 5cm 以下の場合、結合して一つのひびわれとする

6.2 ひびわれの属性データ

- (1) ひびわれは、一つ毎ナンバリングを行う
- (2) ひびわれは、各ひびわれの構成節点座標・方向角と構成節点の所属グリッドを属性としてもつ
- (3) ひびわれに付属する損傷情報をもつ(遊離石灰や剥離・脱落を囲んだ面積で定義する)

6.3 交差するひびわれの定義(図-5)

ある領域内に二本以上のひびわれが存在し、それぞれのひびわれの有する方向角の最大開きが一定角以上異なる場合は「交差」とする。

6.4 平行したひびわれの定義(図-5)

ある領域内に二本以上のひびわれが存在し、それぞれのひびわれの有する方向角の最大開きが一定角未満でほぼ等しい場合は「平行」とする。

7. 判定結果の検証

ひびわれ劣化判定は、損傷のある橋梁コンクリート床版のデジタル画像からひびわれ図を作成し、そのひびわれデータから自動的にひびわれの交差や間隔を認識した上で、床版にあるひびわれ長とひびわれ密度を算出し、適用判定基準値と照合して劣化ランクの判定を行なう。例

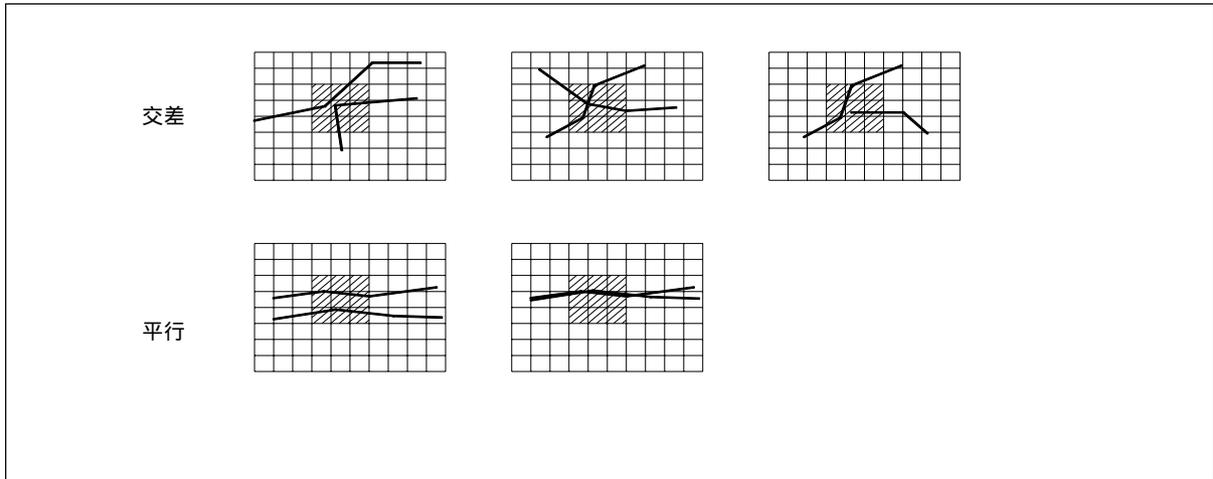


図 - 5 ひびわれモデル図2

として、図 - 6の床版ひびわれ画像より判定を行なった結果、図 - 7に示すように、劣化度は「中期状態(3)」と判定された。検証のため、



図 - 6 床版ひびわれ画像

システムで算出されたひびわれ総延長より、床版の単位面積当りのひびわれ密度を照査した。

ひびわれ総延長： $l = 29.55 \text{ m}$

床版面積 $A = 4.3 \times 2.8 = 12.04 \text{ m}^2$

ひびわれ密度： $\rho = l/A = 2.45 \text{ m/m}^2$

3.0 > 2.0 劣化ランク「中期状態(3)」結果、表 - 1の判定基準に合致することが確認された。

このことから、本システムはデジタルカメラで撮影された床版の画像から作成されたひびわれ図(ベクターデータ)により、ひびわれ劣化ランクの判定を行なうことが可能であることが確認された。

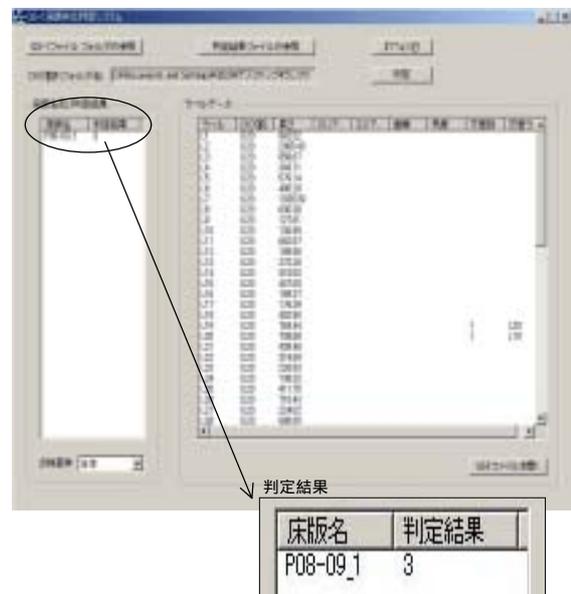


図 - 7 システムでの劣化判定結果

8. まとめ

今回開発された手法は、デジタルカメラと最新の画像処理技術を応用したシステムであるが、従来の橋梁コンクリート床版の目視点検に比べ

て以下のような優位性が考えられる。

- (1) 詳細レベルの点検に調査足場が不用となるため時間と費用の削減ができる
- (2) 座標を持った損傷情報を取得できるため点検精度の高度化が実現できる
- (3) 劣化判定の定量化と平準化により点検の信頼性が向上する
- (4) 画像の重ね合わせにより経年変化を容易に検証できる
- (5) 点検結果のデータベース化により橋梁維持管理システムへの応用ができる

また、本システムはデジタル画像を利用して、数量的かつ客観的な情報を可視化することができるため、解かりやすい維持管理（点検）情報の提供が可能となる。

今後は、より多くの事例検証を行い劣化判定の精度向上と信頼性を確立するとともに、北海道開発局が現在運用しているモニターカメラ式橋梁点検車（写真 - 2）へ画像処理システム導入の検討を図る。さらに、鉄筋の腐食といった別要素の損傷情報も取り込む総合的な床版劣化判定を行なうことが課題である。



写真 - 2 モニターカメラ式橋梁点検車

参考文献

- 1) 小出博他：デジタル画像によるコンクリート構造物のひび割れ認識アルゴリズムの開発、土木学会第 55 回年次学術講演会
- 2) 外川勝他：デジタル画像による撮影角度と認識可能なひび割れ幅の検証、土木学会第 55 回年次学術講演会

- 3) 佐々木康史他：デジタル画像による床版劣化判定システムの開発、土木学会第 56 回年次学術講演会
- 4) 道路橋の RC 床版に関する調査研究および補修・補強について、北海道開発局開発土木研究所 月報 昭和 51 年 4 月
- 5) 2001 年制定コンクリート標準示方書『維持管理編』制定資料 土木学会
- 6) Kazunori Watanabe, Kenji Ikeda, Satoshi Sasaki, Hiroshi Koide, Toshio Yamamoto; “Development of Bridge RC Deck Slab Deterioration Assessment System by The Digital Images”, 18th US-Japan Bridge Engineering Workshop, St. Louis, Missouri, Oct.2002