実用講座

非破壊検査

デジタル画像処理による コンクリート構造物調査*

小 出 博**

Digital Imaging Process for Inspection, Diagnosis Concrete Structure*

by KOIDE Hiroshi**

キーワード デジタル画像, コンクリート構造物, ひび割れ, デジタルカメラ

1. はじめに

阪神大震災や北海道でのトンネル崩落事故を契機に社会基盤の中心であるコンクリート構造物の維持管理業務の需要が高まってきている。従来よりコンクリート構造物とりわけトンネル、橋梁等の点検・調査は先ず目視から始まる。現場にて目視による調査から損傷図を作成し、コンクリート構造物の劣化度を判断していた。また一方ではデジタルカメラやパーソナルコンピュータの性能向上が著しく、かつ低価格にて利用できるようになり、目視に代わる画像処理技術の利用が提案されるようになった。本システムの開発目的はコンクリート構造物の劣化調査業務の効率化と調査結果の定量化とともに、調査者が手軽に利用できるシステムとしている。コンクリート構造物の劣化症状は「ひび割れ」、「ジャンカ」、「鉄筋露出」、「表面剥離」、「漏水・滞水」、「中性化」等があるが、本システムは「ひび割れ」調査への適用を主としている。

2. 画像調査システムの構成

画像調査システムは“高精細一眼レフデジタルスチルカメラ”、“パーソナルコンピュータ”、画像処理ソフトウェアで構成される。高精細一眼レフカメラの要求性能として画像解像度として500万画素以上、暗所での撮影を可能とするためISO感度800以上、近接・遠望撮影へ適応するための交換レンズが利用できる事が必要である。パーソナルコンピュータの要求性能はCPU(中央演算処理部)の速度として1GHz以上の速度、処理メモリーとして512MByte、HDD(外部記憶装置)として80Gbyte以上が必要である。

画像処理ソフトウェアに於いてはパーソナルコンピュー

タやデジタルカメラの普及と共に多くの製品が市場に出てきている。機能としてCADデータとデータ互換性があり、かつ画像からコンクリート面のひび割れが抽出しやすくする画質処理機能が必要である。

本システムでのソフトウェアはコンクリート構造物の調査業務に適合するものであり、従来目視方法にて実施している業務手順を踏襲する必要がある。図1に画像調査システムの構成例を記す。デジタル画像を利用したシステムは調査結果の定量性及び現場作業での作業工数短縮で効果を得ることができる。

3. 調査用デジタルカメラの機能

コンクリート構造物調査にデジタル画像を適用する場合、デジタルカメラの性能と調査目的を十分に考慮し利用しなければならない。デジタルカメラの主たる性能は画素数にて代表される。画素数が多い程撮影画像の分解能が高くなる。画素数の表記は〇〇万画素や〇×〇ピクセルと表現する。撮影にあたり対象物の大きさ4×4mを2000×2000ピクセルの撮像素子を持ったデジタルカメラで撮影した場合1ピクセルは2mmに相当する。また1

図1 画像調査(診断)システム

*原稿受付 平成16年7月7日

** (株)ニコシシステム Nikon System Corporation

図2 ひび割れのデジタルイメージ

図3 撮影対象画角と認識ひび割れ

ピクセル内には三原色（Red, Green, Blue）で各256階調分の濃度表現が含まれる。コンクリート表面色（白色から灰色）に対しひび割れの色調は黒色になり色濃度からひび割れがモニタ上にて認識可能となる。図2は2×2ピクセルでの色濃度差をイメージしたものである。4m画角で撮影した場合1ピクセルでの画像は2mm相当であるがコンクリート面とひび割れの色濃度差（輝度差）で1mm以下のひび割れがモニタ上で確認できることになる。デジタル画像は一般的にRGB各々で256階調の色濃度をモニタ上で表現しているためピクセル解像度以下の特徴（コンクリートひび割れ等）が認識できる。

図3は一般的なコンクリート構造物を撮影した場合の撮影画角と認識可能なひび割れの相関表になる。但しコンクリート覆工面が黒色に近ければひび割れとの色濃度差が少なくなるため図3で示す認識値より悪くなる。

コンクリート構造物に使用するデジタルカメラを選択する場合、次の点を留意する必要がある。①広角/望遠レンズが使える機材（近接・遠望での撮影にて所定の画角で撮影可能にする為）②ISO感度が高く補助光源としてストロボ機材と同調できる機材（トンネルや床版下面等暗所での撮影を可能にする為）③デジタルカメラ内で画像のシャープ等の画質調整をしていないもの（コンクリート上のひび割れが画質調整にて消滅することがありうる為）。主として一眼レフ式のデジタルカメラは本条件を満足している。

4. 画像処理ソフトウェアの機能

コンクリート構造物の劣化調査（ひび割れ調査）でデジタル画像を利用する場合の画像処理ソフトウェアの必要条件を以下に述べる。

図4 あおり補正の画像変換例

図5 画像合成機能の例

図6 画質調整メニュー画面

4.1 補正機能

斜めから対象物を撮影した画像を、正面から撮影した画像に正対変換する処理である「あおり補正」機能を有するもの（図4）。広角レンズを使用した時に起きる歪曲収差についても「収差補正」機能を有するもの。

4.2 画像合成機能

2つ以上の画像を左右または上下に合成する機能を有するもの（図5）。合成方法について重複する画像の共通点を指定して合成する方法や、重複した画像を2値化（白と黒だけの画像）して共通パターンから自動的に合成する方法がある。

4.3 画質調整機能

画像イメージのエッジ強調を行い、ひび割れ線等の細かい線などを強調する機能を有すること。また撮影した画像の「明るさ調整」、「コントラスト調整」、「画像の強調化（シャープ）」等の機能でコンクリート面でのひび割れを認識しやすくする。（図6）

4.4 損傷トレースと計測機能

画像上でひび割れトレース作業を行うことにより、長さや面積の簡易計測が可能となる。デジタル画像は元来定量化された画像データであり、画像上に基準となる座標設定すれば、ひび割れの長さ、幅や遊離石灰部、漏水部等の面積を簡易計測でき、計測データはMicro Soft EXCEL等で集計でき、かつCADファイルとして出力できる。（図7）

色	No	長さ	面積	最大長	最大幅
赤	2		111		
	4		48		
	5		82		
	10		269		
合計		0	510	0	0
青	1	78			
	2	55			
	10	22			
	11	17			
	12	19			
	13	67			
	14	17			
	15	23			
	1	18			
合計		316	0	0	0
黄	3	59			
	4	53			
	6	59			
	7	23			
	9	54			
	16	23			
	17	36			
	18	20			
	19	15			
	20	37			
	6	27			
	8	104			
	10	10			
	2	94			
	3	30			
	4	70			
	6	58			
	7	37			
	8	21			
合計		830	0	0	0
全体合計		1146	510	0	0

図7 ひび割れトレースと集計結果

図8 レンズ焦点距離と撮影画角の関係

図9 橋梁床版撮影状況

5. デジタル画像調査の留意点

コンクリート構造物の劣化調査をデジタルカメラで実施する場合、以下の点に留意する必要がある。

- 5.1 調査するひび割れ幅に応じた撮影画角を設定し撮影計画をする。
- 5.2 撮影場所の明るさを考慮しスローシャッター時の手振れ防止用に三脚や補助光源（ストロボ）を準備する。
- 5.3 画像の記録形式は非圧縮形式にするか圧縮する場合でも画像圧縮解凍における画像ピクセルのビット落ち（画像ピクセルデータが抜ける現象）1/4程度までの圧縮比にする。
- 5.4 コンピュータの選択は画像ファイルが高容量になるためハードディスク（HD）容量や処理メモリー容量は充分多く確保する。500万画素のデジタル画像の容量は約10MBになる。
- 5.5 望遠・広角レンズはカメラ位置と撮影対象物までの距離、撮影対象物の撮影画角で相関があるので図8の様な相関を把握し撮影する。

図9は現場での撮影状況を示す。

図10 デジタル画像と赤外線画像の合成

6. デジタル画像と他の非破壊検査方法との応用

デジタルカメラの画像は既述したようにデジタル化したデータにつき、他の非破壊検査機器との応用が可能になる。実用化されているものとしては赤外線カメラデータと複合的に活用されている。

デジタル画像により表面の損傷状態を検出し、赤外線カメラによる表層部の損傷状態データと併せて構造物の調査が可能となる。図10の例は橋梁の壁高欄部でコンクリートの表面剥離状態を赤外線カメラで検出し表面でのひび割れの有無でコンクリートの剥落が予知可能となる。

図11 コンクリート床版のデジタル画像とひび割れ図

図12 コンクリート橋台部のひび割れ調査図

7. 画像調査システムの応用事例

画像調査システムを利用したコンクリート構造物の調査は市場に出て数年であるが橋梁のひび割れ調査、トンネル覆工面調査等で利用され、北海道開発土木研究所では橋梁床版の損傷判定基準を定量的な判定基準に置き換え、デジタル化した損傷データと照合し定量判定する手法が採用されつつある。また塗装の劣化判定にも近年利用されている。図11から図14はデジタル画像による調査事例である。

8. 画像調査技術の今後と課題

社会基盤構造物は今後高齢化していく中で構造物の健全度を効率的かつ客観的に評価できる手法が今後発展し普及してゆく事が予測できる。画像調査システムは一つの方法として社会基盤構造物の維持管理するための判断材料を提供できるものである。今後は構造物の健全度調

図13 トンネル内覆工面の展開画像ひび割れ図

図14 コンクリート床版のひび割れデータ（ひび割れに格子を割り当て定量判定する）

査をより効率的に診断できるものとして機材の性能向上と低価格化、更に画像処理ソフトウェアの高機能化、高速処理化が求められる。2001年よりコンクリート診断士が資格制度されたが、画像調査システムはコンクリート診断士にとって有効な診断ツールとして位置付けされるものである。

参考文献

- 1) コンクリート診断技術 '04 社団法人日本コンクリート工学会
- 2) デジタルスチル画像によるコンクリート床版ひび割れ認識の研究 小出他 土木学会第54回年次学術講演会
- 3) 床版劣化判定システムの開発 上北他 土木学会第58回年次学術講演会
- 4) コンクリート構造物のデジタル画像処理の効率化 外川他 土木学会第58回年次学術講演会
- 5) Development of RC Deck Slab Deterioration Judging System by Digital Image Kazunori Watanabe, Kenji Ikeda 18th US-Japan Bridge Engineering Workshop.