

39. 斜張橋ケーブル調査ロボットにおける 損傷箇所検出システムの開発

西松建設株式会社 技術研究所 ○ 原 久純
西松建設株式会社 技術研究所 田中 勉
西松建設株式会社 技術研究所 小栗 利夫

1. はじめに

斜張橋の斜材（保護管）の点検・調査は、斜張橋の維持管理において重要な項目の一つである。斜材を点検・調査する方法として、高所作業車や双眼鏡を利用した目視点検が一般的であるが、高所作業車を利用する場合は車両の通行規制を行わなければならないことや、移動の制限により目視で確認できない箇所が出てくるのが課題となっている。この問題点に対応するため、安全で効率良く精度の高い点検・調査ができる斜張橋ケーブル調査ロボット^{1),2)}を開発した。

しかし、斜張橋ケーブル調査ロボットで調査後の損傷箇所の特定などといった分析作業は、撮影した動画を再生しながら目視で損傷状況を確認するため、目視による解析作業の負担や効率化が課題であった。

そこで、目視による解析作業を大幅に軽減し、損傷と推測される箇所を検出可能な「損傷箇所検出システム」を開発した。本稿では、システムの概要について報告する。

2. 損傷箇所検出システムの概要

本システムは、斜張橋ケーブル調査ロボットで撮影した画像データから損傷と推測される箇所を検出することで、解析作業を迅速に行うためのシステムである。

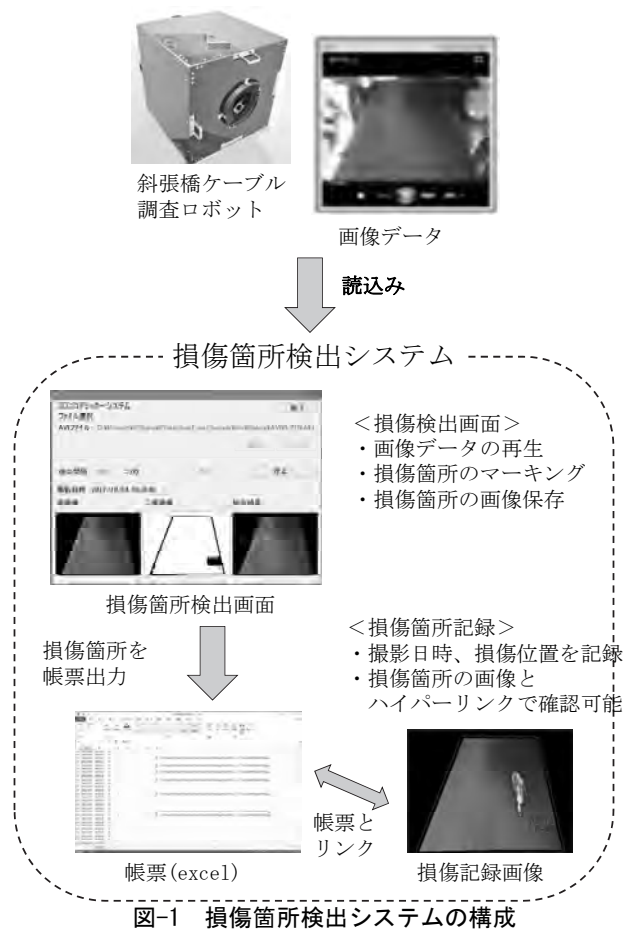
2.1 本システムの構成

本システムの構成は、以下の通りである。

- ① 損傷箇所検出
- ② 損傷記録管理

次に、本システムの特徴を述べる。

- ・調査時に撮影した動画から保護管の損傷状況を短時間で抽出・分析
- ・画像解析時、損傷箇所をマーキングするため画像から損傷箇所の判別が容易
- ・システム上で画像解析を行うため、目視での画



像解析作業を大幅に軽減

- ・複数のカメラ画像を同時に画像解析が可能
 - ・データベースに解析結果を蓄積し、帳票出力することで損傷記録の管理が容易
- 開発したシステム構成を図-1に示す。

2.2 本システムの開発目的

目視による損傷箇所の検出フローは、図-2の通りである。動画を再生し、目視により損傷箇所を判別・損傷箇所の大きさを画像処理ソフトから算

定後、excel などの表計算ソフトへ記録する。

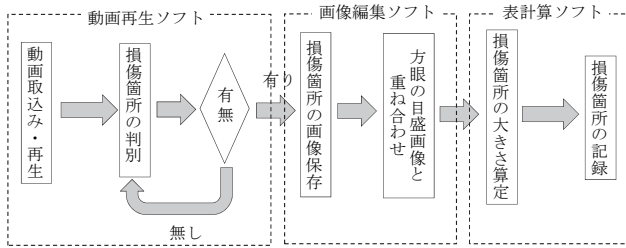


図-2 目視による損傷箇所 検出フロー

しかし、動画再生中は常に目視で損傷箇所の有無を判断する必要があるなどの課題が挙げられる。次に、本システムによる判別フローを図-3に示す。

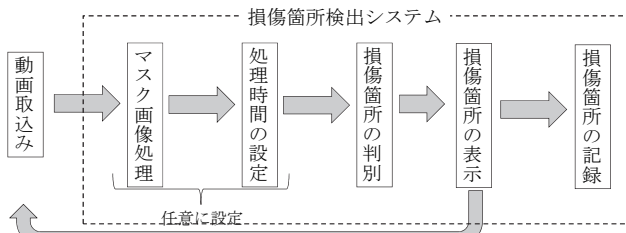


図-3 損傷箇所検出システムの処理フロー

本システムは、画像解析する範囲としてマスク画像を作成・処理時間を任意に設定し、損傷箇所の判別から記録までをシステム化とすることで、目視での画像解析作業を大幅に軽減し、分析及びデータ管理作業を簡易化した。

2.3 本システムの保有機能

本開発システムは、次の機能を有する。

- ・マスク画像処理機能
- ・損傷箇所検出機能
- ・帳票出力機能

各機能は、図-4 のように機能別でメニューを構築している。



図-4 損傷箇所検出システム 操作メニュー

(1) マスク画像処理機能

任意の範囲を画像処理する手順として、図-5 の処理範囲を指定するマスク画像作成がある。撮影カメラの設置位置により、撮影される斜材の範囲が異なるため、図-5 の赤枠のようにカメラの向きに応じた処理範囲を指定する。



図-5 マスク画像処理画面

(2) 損傷箇所検出機能

動画から解析に用いる静止画像の作成時間を設定し、各静止画の画像解析後に損傷箇所をマーキングする。解析時は、図-6 の損傷箇所検出画面に解析元の原画像、白黒表示の二値化画像、マーキングした抽出画像の3種類が表示される。図-7 のマーキングした画像は、JPEG などの画像ファイルとしてデータベースに保存される。



図-6 損傷箇所検出画面

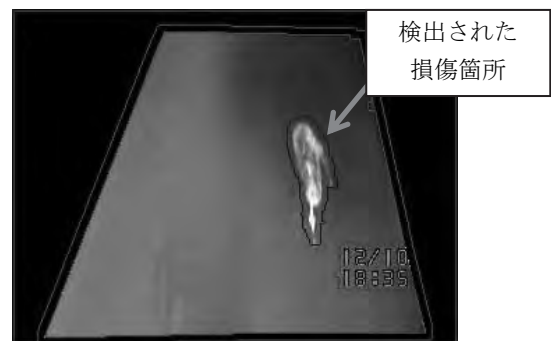


図-7 損傷箇所 検出画像例

(3) 帳票出力機能

損傷箇所を検出記録（動画撮影日、撮影時刻、損傷位置、マーキング画像のハイパーリンクなど）をデータベース上に格納する。また、格納したデータベースを図-8の excel ファイルとして帳票出力し、ハイパーリンク機能により損傷箇所の記録画像から斜材の損傷位置や損傷の程度を照合できる。

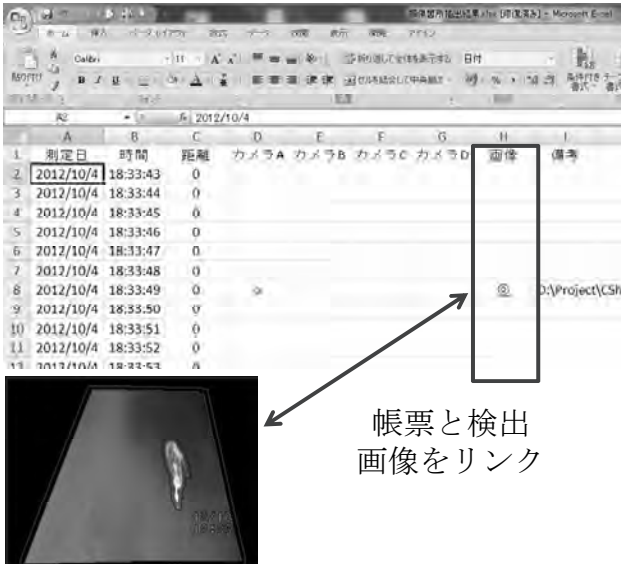


図-8 帳票出力例

2.4 本システムにおける画像解析手順

本システムによる解析フローを図-9に示す。解析手順として、動画像から静止画像を作成・静止画像を画像解析するため、静止画像の抽出時間を設ける。次に静止画像をグレースケール化し、白黒画像へ変換するため、閾値を設けて二値化処理する。二値化処理後、白色の損傷箇所の輪郭を抽出し、抽出した輪郭の面積を求め、閾値以上の面積と検出した損傷箇所をデータベースに記録する。

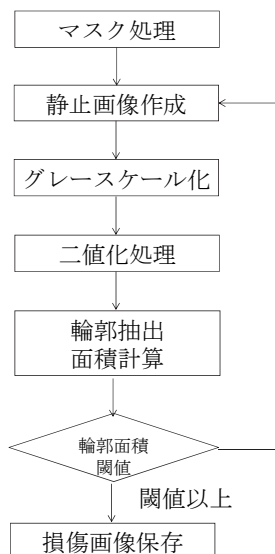


図-9 損傷箇所検出システムの解析フロー

二値化処理は、閾値により白黒画像へ変換するSauvolaの手法³⁾を用いる。閾値の算出方法は、下記の式(1)に示す。

$$T(x, y) = m(x, y) \times (1 + k \times (\frac{s(x, y)}{R} - 1)) \quad \dots(1)$$

$T(x, y)$: 画素 (x, y) における閾値
 $m(x, y)$: 局所領域における画素の平均値
 $s(x, y)$: 局所領域における画素の標準偏差
 k, R : 閾値 $T(x, y)$ の係数（任意で設定）

また、輪郭面積は二値化後に抽出した白色の範囲を画素から面積として算出する。

3. 損傷箇所の画像解析結果

開発した本システムの損傷箇所の検出精度を検証するため、目視による画像解析結果と比較する。本システムの解析は、ある橋梁現場の斜材 40 本（斜材番号は L01～L40）を対象とし、予め撮影した動画像から検証する。本稿では、代表的な結果として斜材番号 L30 の検証結果を報告する。また、本システムでの解析条件として、静止画像の作成時間を下記の条件で設定する。

3.1 解析条件

解析条件として、静止画像作成時間を 250(ms)、に設定し、目視の画像解析結果と比較する。

3.2 画像解析結果

(1) 目視とシステムの検出比較

表-1 に目視及び本システムにより検出した損傷箇所を撮影したカメラ番号毎で示す。

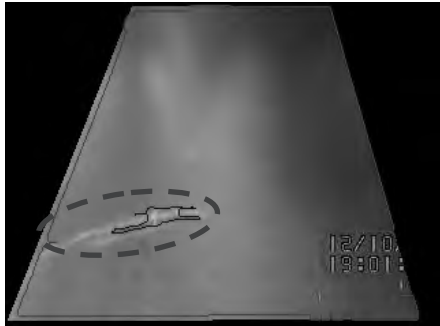
表-1 より、本システムで検出した損傷箇所は目視の検出数と比較して 10 倍以上検出されているため、誤検出が多いことがわかる。また、カメラ B よりシステムでは検出できない損傷箇所が確認された。

表-1 斜材ケーブルの損傷検出数

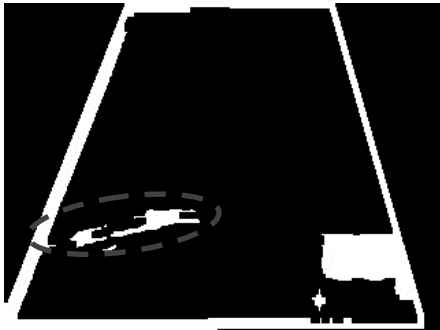
カメラNo	L30		
	目視	システム	目視同一
A	1	15	1
B	2	0	0
C	1	18	1
D	2	2	1

図-10(a), (b)に良好な検出結果としてカメラ A の損傷検出画像と二値化画像を比較した結果、図-11(a), (b)にカメラ D の原画像と二値化画像を比較した結果を示す。図-10 より、(a)の赤丸で示された損傷箇所として検出された画像は、(b)の二値化

画像では周辺との明暗差が確認された。しかし、図-11 より、(a)の原画像は全体的に影が多く、(b)の二値化画像では明暗差が小さいことが、不検出の原因と考えられる。今後は、画像の輝度を補正し、より明暗差を明確にする処理することで解析精度を向上させる必要がある。



(a) 損傷検出画像



(b) 二値化画像

図-10 検出画像結果(カメラA)



(a) 原画像



(b) 二値化画像

図-11 不検出画像結果(カメラD)

(2) 同一の条件による再現性

同一の斜材で検出数の再現性を確認するため、システムの解析 2 回分の結果を表-2 に示す。表-2 より、同一条件での解析結果はカメラ全体で 100% の再現性を確認した。

表-2 システム解析の再現性結果

カメラNo	L30		
	1回目	2回目	再現率
A	15	15	100.0
B	0	0	100.0
C	18	18	100.0
D	2	2	100.0

4. おわりに

斜張橋ケーブル調査ロボットに本システムを用いることで、解析作業を大幅に軽減することが可能となるが、本システムにおいて次のような課題がある。

例えば、損傷箇所が影により明暗差が少なくなり、不検出となる画像があるため、輝度を考慮した解析精度の向上を要する。

最後に、本システムの開発にあたり、御協力頂いた株式会社ハイパーエンジニアリングをはじめ、関係各位に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 原田耕司, 迫綾子, 盛重知也, 伊藤幸広, 志岐和久: 斜張橋の斜材点検ロボットの性能について(その1), 土木学会第68回年次学術講演会論文集, pp.127~128,2013
- 2) 迫綾子, 原田耕司, 盛重知也, 伊藤幸広, 志岐和久: 斜張橋の斜材点検ロボットの性能について(その2), 土木学会第68回年次学術講演会論文集, pp.129~130,2013
- 3) J.Sauvola,M.Pietikainen: Adaptive document image binarization, PATTERN RECOGNITION, vol.33, pp.225~236,2000