

道路管理への画像検知技術の活用に関する一検討

A consideration of utilization of image detection technology to road management

(株)構研エンジニアリング	○正員	小林 一人 (Kazuhito Kobayashi)
(独)国立高等専門学校機構 釧路工業高等専門学校	非会員	林 裕樹 (Hiroki Hayashi)
北海道開発局 釧路開発建設部	正員	佐々木克典 (Katsunori Sasaki)
(株)構研エンジニアリング	正員	保木 和弘 (Kazuhiro Hoki)
(株)構研エンジニアリング	正員	牛渡 裕二 (Yuji Ushiwatari)
(株)構研エンジニアリング	フェロー	川瀬 良司 (Ryoji Kawase)
(独)国立高等専門学校機構 釧路工業高等専門学校	フェロー	岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

1. はじめに

近年、異常気象の発生により、全国各地で災害が多発している。北海道においても平成28年8月に記録的な豪雨が発生し、道路等の社会インフラに多大な被害をもたらした。このように、我が国の国土は地形地質条件が厳しく、災害が発生しやすい状況にあると共に、近年の急速な少子高齢化により、これまで以上に安全安心な社会インフラ整備が求められている。

さらに、土木技術者の高齢化や若者離れ等により、建設業界全体の人材不足が問題となっている一方で、高度成長期に建設した社会インフラが一斉に更新時期を迎えている。そのような中で、公共事業への投資財源は年々縮小されており、社会インフラ管理の効率化が強く求められている。

社会インフラ整備における管理水準の維持・向上、低コスト化、省人化等の課題を解決するツールとして、現在、AI、IoT、画像解析などの情報処理技術が注目されている。本論文では、このうち画像解析技術を用いた道路管理への活用方法について検討するものとする。

2. 道路被災時における対応

通常、道路インフラが災害等で被災した場合には、復旧のために対策工事が実施されるが、設計や施工に時

間を要する場合には、応急的な対策により交通の安全性を確保しつつ、対策工事を進める場合がある。このような場合には、道路交通の安全性に万全を期すため、監視員の配備や道路インフラをモニタリングすることも多い。これは、災害発生が懸念される際に迅速に通行規制を行うことで、道路利用者の安全を確保するためである。

しかしながら、このような場合においては、監視員の配置や計測機器の設置に通常多大なコストが発生すること、計測機器設置のため危険箇所への立入が必要になる場合があること等の課題が残る。また、計測機器を設置した場合においても、出力がデジタルデータの集合であることから、現地状況全体を把握するために遠隔モニタリングカメラを併用する事例も多い。

各種計測データや撮影画像を遠隔地で収集する場合において、現在は各々の観測システムが、スタンドアロン型になっているため、個別のシステムの活用事例はあるものの、両者を同時管理できる統合化されたシステムは少ない。

このような背景より、著者らは道路管理を行う上で各種計測データや撮影画像を統合的に管理できるシステムの構築が必要と考え、データをモバイル回線で回収し、Web上（PC、スマートフォン等）でリアルタイムにモニタリングできるRMS（Remote Monitoring System）を

表-1 撮影画像・計測機器の比較

	撮影画像		計測機器	
モニタリング対象範囲	○	広域的 (面的)	△	局所的 (点計測)
設置箇所	○	自由度が高い	△	限定的 高所・危険箇所への設置が難しい
経済性	○	比較的安価	△	比較的高価
電力	△	基本的に電源が必要	○	一部計測機器を除き、 無電源（電池）で稼働可能
定量性	△	目視での比較のため、 微小な変化を把握しにくい	○	定量的
即時性	△	撮影毎のチェックが必要なため、 リアルタイムでの変状把握が難しい	○	計測データが一定値に達した場合、 自動で関係者へ警報メールを送信 →迅速な対応が可能
夜間モニタリング	△	夜間の撮影が困難	○	夜間計測が可能
データ容量	△	大（画像）	○	小（テキスト）

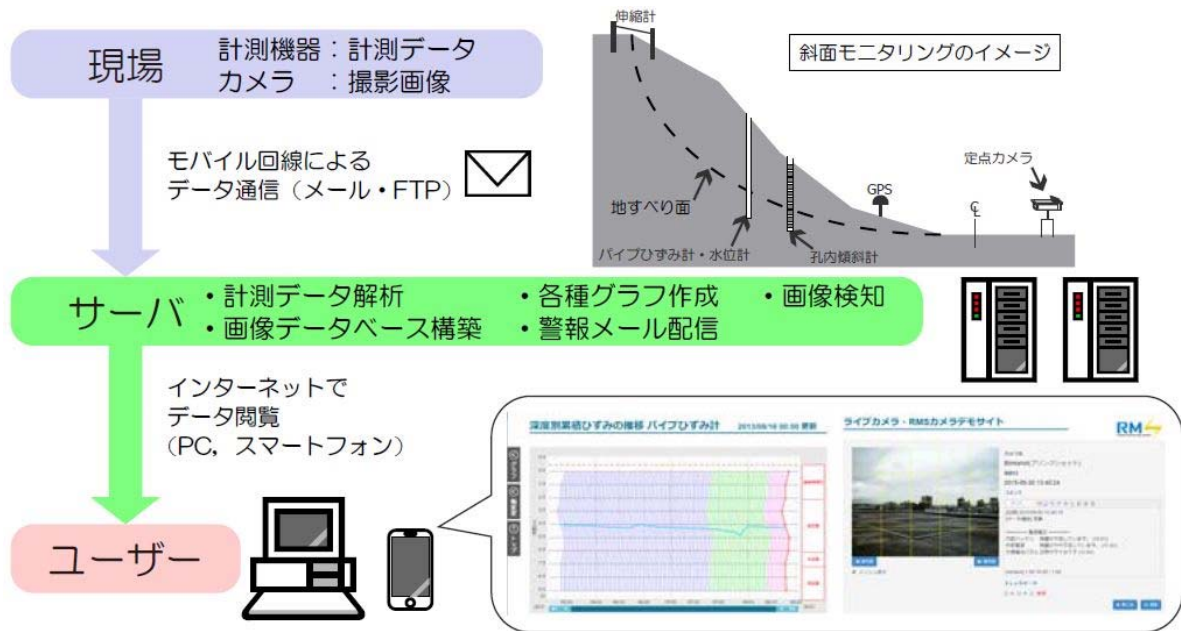


図-1 RMS の概要

平成12年に当社で開発し、現在まで約15年間運用している。RMSは、計測データがあらかじめ設定した閾値に達すると自動警報メールを関係者へ送信する機能も有している。RMSのシステム概要を図-1に示す。

3. 画像解析技術の道路管理への活用

一方で、近年ではさまざまな分野で画像解析が活用されている。グローバルIT企業各社では、画像からの文字認識（OCR）、顔（部位）認識をはじめとし、表情・感情、年齢、性別や有害コンテンツの認識等が可能なプログラムを開発・公開している。しかしながら、現在のところ道路防災分野における画像解析技術の運用実績は多くない。これは、他分野との連携が進んでいないことや、開発・運用コスト面の事情によるものと推察される。

表-1に、道路管理における撮影画像と計測機器の比較一覧を示す。撮影画像は、比較的安価に現地状況を広域的かつ視覚的に直接把握できることや設置箇所の自由度が高いといった利点を有している。一方で、夜間モニタリングが困難なこと、微小な変化を捉えにくく定量的な評価には適さないこと、一般的には人が画像を確認しなければ異常を発見できないといった即時性の課題もあり、これらの課題を解消していくことで、効率的かつ効果的なモニタリングが可能になるものと考えられる。

このような状況下で、道路防災上の機能を有する安価な画像検知システムの構築を目的とし、道路管理、画像解析、プログラム開発の各専門家による検討を行い、開発を行った。今回の開発では、撮影した静止画像から対象物の有無を検知できること、また対象物の移動量がmm単位からcm単位のオーダーで把握できることを目指した。

また、開発した画像検知システムを前述のRMSに実装することでユーザー側の利便性を向上させ、ベースプログラムを単純化してカスタマイズの自由度を高く保つ

ことで、運用時に発生した現場毎の課題に対応可能なシステムとすることも考慮した。

なお、道路管理の観点からは、動画からの画像検知も有効な手法と考えられるが、以下の理由から検討外とした。

- 1) 災害現場における動画撮影は、一般的に電源確保が必要となるため、災害時等に迅速な設置が困難な場合も多く、活用現場が限定されること（静止画の場合は、小型ソーラー電池程度による稼働が可能）
- 2) 動画に比較して静止画の出力は高解像度であるため、現場で求められる精度に対応しやすいこと
- 3) 一般的に動画のデータ量が大きいため、通信量が過大となるとともに、保存データ容量も大きくなること

以上より、本検討では静止画を対象とした。

4. 研究目的

本研究では、定点撮影画像を用いた道路管理によって省人化を図り、定量性・即時性を向上させることを目的に、現地で発生した異常を撮影画像から自動で検知するアルゴリズムを構築し、RMSに実装することで、道路管理への実用性に関する検討を行った。

5. 研究概要

5.1 画像検知アルゴリズム

図-2に、本検討で使用した画像検知アルゴリズムの概念図を示す。

管理対象を含む道路附帯構造物近傍には人工物と自然物が存在する。従って、画像の中から管理対象の位置を高精度で検知するためには、管理対象物（ターゲット）が画像中のさまざまな物体とは明確に異なる特徴を持っていることが望ましい。本研究では円形状のターゲット



図-2 概念図



写真-1 実験に使用した撮影画像（例）

を用いることとし、かつ円内部を直交する四つの扇型の領域に分け、隣り合う領域を黄と黒の明確に異なる色調に着色することとした（図-3）。この種のターゲットは、幾何学的かつ配色的に明確な特徴を有しており、実験等でもマーカーとしてよく用いられるものである。

このようなターゲットを用いることによって、図-3における q_1 と q_2 のように円の中心に対して点対称の関係にある 2 点の色は常に同じであり、かつ線分 q_1q_2 と円の中心で直交する線分 r_1r_2 上にある対称点では常に異なる色になるという性質を利用することができる。これにより、画像中のある画素 p がターゲットの中心であるかどうかのスコアを以下に示す手順で求める。なお、色の認識は 1 画素単位で行うこととする。

まず p に対して、スコア V_p を求めるためにあらかじめ定めておいた周辺領域 R 内から画素 q_1 を選び、 p と q_1 に対して図-3 の位置関係にある画素 $q_2, q_3, r_1, r_2, r_3, r_4$ を求める。このとき、 q_3, r_3, r_4 はノイズなどへの耐性を高めるために用いる追加の評価点であり、 q_3 から p の距離は q_2 から p の距離の 2 倍とする。画素 x_1 と x_2 の HSL 色空間での輝度 L_{x1}, L_{x2} から類似度を 0 から 1 の範囲で求める関数 sim を自然対数の底 e を用いて

$$\text{sim}(x_1, x_2) = e^{-(L_{x1} - L_{x2})^2}$$

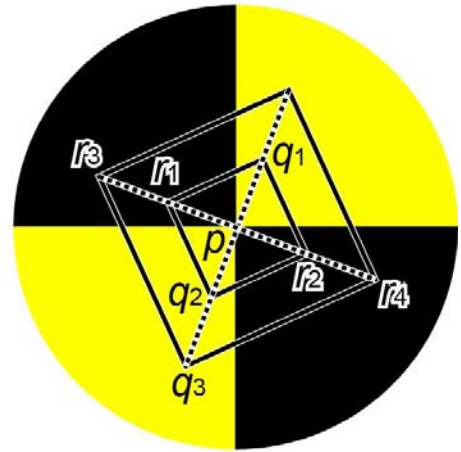


図-3 ターゲットと評価点

とし、 q_1 についての評価値 E_{q1} を

$$\begin{aligned} E_{q1} = & \{1 - \text{sim}(q_1, q_2)\} + \{1 - \text{sim}(q_1, q_3)\} \\ & + \{1 - \text{sim}(r_1, r_2)\} + \{1 - \text{sim}(r_1, r_4)\} \\ & + \{1 - \text{sim}(r_2, r_3)\} + \text{sim}(q_1, r_1) + \text{sim}(q_1, r_2) \\ & + \text{sim}(q_1, r_3) + \text{sim}(q_1, r_4) + \text{sim}(q_2, r_1) \\ & + \text{sim}(q_2, r_2) + \text{sim}(q_2, r_3) + \text{sim}(q_2, r_4) \end{aligned}$$

とする。 E_{q1} は、ターゲットが傾いていたとしても、理想的には p がターゲットの中心にあるときに最小値をとるので、 p についてスコア V_p を

$$V_p = \frac{1}{13|R|} \sum_{q_1 \in R} E_{q1}$$

とすることで、なるべく小さいスコア V_p をとる p をターゲットの中心位置として検知することができる。ここで、 $|R|$ は領域 R に含まれる画素の数を表す。

5.2 ターゲットの検知

1 枚の画像の中からターゲットを検知するためには、なるべく小さい V_p をとる p を探索する。しかし、屋外で撮影した画像は天候や時刻によって写り方が大きく変化し、それに応じて V_p も変化するため、 p が実際にターゲットの中心であるかどうかを V_p の値そのものから判断することが難しい。また、 V_p を求める際に画素の明るさではなく色の情報を用いることも考えられるものの、日光の当たり方による見た目の色の変化も大きいので、本検討では明るさを一定の領域内で正規化した上で、 V_p の値が小さい順に一定の個数の画素をターゲット候補として検知することとした。

5.3 検証方法

検証に使用した定点撮影画像を写真-1 に示す。検証は、撮影画像内にターゲットを設置し、設置したターゲットを常時検知可能かどうかを調査することで実施した。

なお、検証のフィールドとしては屋内における撮影も検討したが、実用化に向けては撮影環境が常に変化する屋外での検証が望ましいと判断した。

検証期間は無雪期における 75 日間である。現地における定点撮影は、撮影頻度を遠隔操作で設定することが

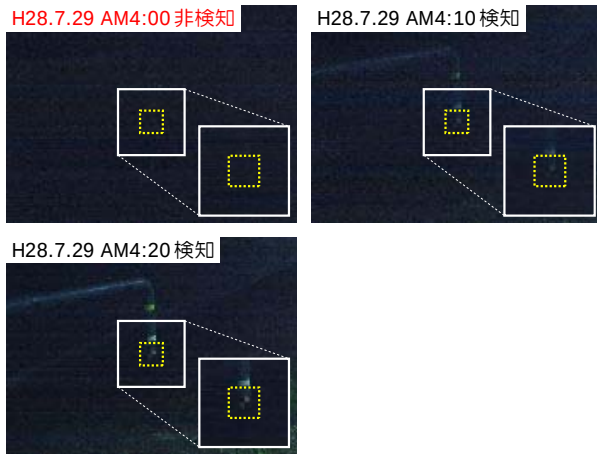


写真-2 明るさによる違い



写真-3 天候による違い

表-2 検知率

	画像数	検知率
検知画像合計	729	80.0%
非検知画像合計	182	20.0%

可能なカメラを用いており、状況に応じて撮影頻度を高く設定するなどしていたが、本検討では期間中に1時間間隔（毎正時）で撮影された画像（1600×1200画素）を用いている。また、後述するように期間中で日照が十分でない（目視で識別できない）時間帯においては、ターゲットの検知が出来ないことを確認しており、あらかじめ除外している。

カメラからターゲットまでの距離は約7mであり、ターゲットのサイズは直径15cmである。検知条件は、5.1において説明した画像検知アルゴリズムにおけるスコアに基づく検知順位を参考に、上位10箇所内に含まれた場合に検知しているものとして取り扱う。

本検証における確認事項は、ターゲットを検知可能かどうかの一点である。

6. 検証結果

6.1 検知率について

表-2に総撮影画像に対する検知率を示す。撮影期間中のターゲットの検知率は80%であった。非検知の場合にはRMSから撮影画像の添付された自動警報メールが送信されるため、実務上で不具合の生じない検知率であったと考えられる。

6.2 明るさや天候による違いの検証

次に、明るさや天候による違いがもたらす影響について検証を行った。写真-2に同日の日の出時刻前後における10分間隔で撮影された画像を示す。また、写真-3に時間帯が近く、かつ明るさの異なる撮影画像を並べて示す。

写真-2より、ターゲットが視認できる程度の明るさがある場合においては、画像検知できることが分かる。一方、写真-3に着目すると、撮影フィールドにおいて日照が強く差し込んでいる時間帯では、ターゲットを検知できていないことが分かる。また、降雨時や曇天時の方がターゲットを検知しやすい傾向にあることが分かっ

た。これは、日照が強く差し込むために画像の一部がいわゆる『白飛び』の状態となり、黄色よりも明度が高い部分が生じることでターゲット内における明るさの配置を誤認識したためと推察される。

6.3 検知精度

開発したアルゴリズムは、ターゲット中心のピクセルを検知することから、本検討における誤差範囲は1ピクセル（5mm程度）の範囲となる。地すべり等の斜面災害で活用する場合には、管理基準が数cm～数10cmであるため、実用上問題のない範囲であると考えられる。

構造物等の計測では数mm単位の精度を求められる場合も考えられる。しかしながら、条件の異なる現場では、画像解像度とカメラ～ターゲット間の離隔を調整し、現場毎に必要な閾値を設定することで、移動距離の測定等の活用方法に多様性が生まれるものと判断される。

7. まとめ

本研究の範囲内で得られた知見は、以下の通りである。

- 1) 開発した画像検知アルゴリズムによって、対象ターゲットを80%程度検知することができた。非検知の場合にはRMSから撮影画像の添付された自動警報メールが送信されるため、実務上で不具合の生じない検知率であったと考えられる。
- 2) 検知結果は、現地の明るさや天候に左右される場合があるが、撮影画像の明度やコントラストを事前に調整することで、解決できる可能性がある。
- 3) 画像解像度やカメラ～ターゲット間の離隔を調整することで、現場毎に必要な閾値を設定することが可能である。

以上より、本研究で開発した画像検知システムは、道路管理への活用が期待できるものと判断される。現在は、検知精度の更なる向上や夜間のモニタリングについて取り組んでいるところである。