

## 航空写真の画像解析による高速道路被害把握に向けた基礎的検討

## Image Processing of Aerial Photographs to Detect the Damaged Sections of Expressways

丸山喜久<sup>1</sup>, 山崎文雄<sup>1</sup>, 用害比呂之<sup>2</sup>, 土屋良之<sup>2</sup>Yoshihisa MARUYAMA<sup>1</sup>, Fumio YAMAZAKI<sup>1</sup>, Hiroyuki YOGAI<sup>2</sup> and Yoshiyuki TSUCHIYA<sup>2</sup><sup>1</sup>千葉大学 工学部 都市環境システム学科, Department of Urban Environment Systems, Chiba University<sup>2</sup>中日本高速道路株式会社 中央研究所, Expressway Research Institute, Central Nippon Expressway Co., Ltd

**SUMMARY:** Many major and minor damages were found in the expressway networks just after the 2004 Niigata-ken Chuetsu earthquake. Remotely sensed imagery data from satellites and airborne platforms have become important tools to grasp damage distribution due to large earthquakes. The damage information at an early stage just after an earthquake is helpful for decision-making of traffic control and rapid response by expressway administrators. In this study, image processing is performed to detect the damaged sections of the expressways using aerial photographs. The result of image processing is compared with that of visual damage inspection to reveal the accuracy of damage detection.

## 1 はじめに

我が国の高速道路では、地震発生直後に早期段階での地震情報を集めて効果的な地震時通行規制を行うことを目的とし、管理事務所などに地震計を設置している。従来は、最大加速度 (PGA) を通行規制の指標値として用いてきたが、2001 年 10 月より計測震度 4.5 以上が記録された場合に通行止めの処置がとられている[1]。

2004 年 10 月 23 日 17 時 56 分に発生した新潟県中越地震 ( $M_{JMA} = 6.8$ ) では、地震発生直後の 17 時 58 分から新潟県全域、長野県、群馬県の一部など広範囲にわたり通行止めが実施された。順次点検が行われ安全が確認された区間では通行止めが解除されていったが、地震発生から約 1 日後の 10 月 24 日 16 時 30 分の時点では、北陸自動車道の柏崎インターチェンジ (IC) ~三条燕 IC の上下線、関越自動車道の長岡ジャンクション (JCT) ~湯沢 IC の上下線、湯沢 IC ~月夜野 IC の下り線で通行止めの処置が続いた。その後、地震によって発生した高速道路被害の応急復旧が行われた結果、11 月 5 日に関越自動車道の長岡 IC ~小出 IC 間の片側一車線での開通をもって全線で応急復旧が完了し、11 月 26 日の 16 時に同区間で片側二車線での走行が可能となった[2]。

航空機、ヘリコプター、人工衛星などにより被災地の上空から得られる画像・映像情報は、その広域性・情報量から大規模な災害時に被害状況を把握するうえで非常に有効である。新潟県中越地震に関しても、様々な機関がリモートセンシングによる広範囲の被害把握について検討を行っている。様々なセンサから得られる情報は、即時性や広域性、分解能において長所と短所を兼ね備えている。最も解像度の高い人工衛星である QuickBird は約 60 cm の分解能を有している[3]。また、航空機から得られる航空写真はそれよりも高い分解能をもっている。

そこで本研究では、国土地理院によって撮影された航空写真を用いて、画像解析によって高速道路被害を把握する

手法を検討した。画像解析によって被害把握が可能となればその即時性を有効に生かし、目視による被害判読よりも地震発生後早期に高速道路の被害分布が判断できると期待される。

## 2 航空写真がとらえた新潟県中越地震における高速道路被害

被災地の上空から観測された画像や映像を利用した被害把握は、発災直後の被害情報を得るのに有効な一つの方法である。

航空写真は、地図の作製に用いられるなどリモートセンシングにおいて最も古くから利用されてきた。また、風水害、土砂災害、火山災害などの大規模な災害が発生した場合、当日あるいは翌日から写真が撮影され被害状況把握のための調査・解析に利用されてきた。兵庫県南部地震では、建物倒壊、火災、道路・鉄道の破損、斜面崩壊・地すべり、地盤の液状化、海岸堤防の破損の航空写真からの判読がとりまとめられたり、建物被害の目視により判読された被害程度が実際の被害ランクとどの程度対応するか検討されたりしている[4]。最近では、高解像度衛星によるリモートセンシング画像も利用可能となっており、衛星画像を用いた建物被害の目視判読が行われたりもしている[5], [6]。

国土地理院では、新潟県中越地震発生の翌日の 2004 年 10 月 24 日に長岡、小千谷、十日町地区の空中写真を、10 月 28 日に見附市、栃尾市、守門岳地区の航空写真を撮影している。一部の航空写真には高速道路も撮影されている。Fig. 1 に、航空写真がとらえた高速道路被害の様子を示す。新潟県中越地震の際に発生した 3 ヶ所の盛土の大崩壊現場の様子も航空写真から容易に把握できる。

その他にも、図中の青丸で示した地点で大きな被害が確認されている。これらの地点に関して、Fig. 2 に現地写真と航空写真がとらえた高速道路被害の様子を比較する。213.9 kp 地点では、上下線で芋川橋ジョイント部の段差が

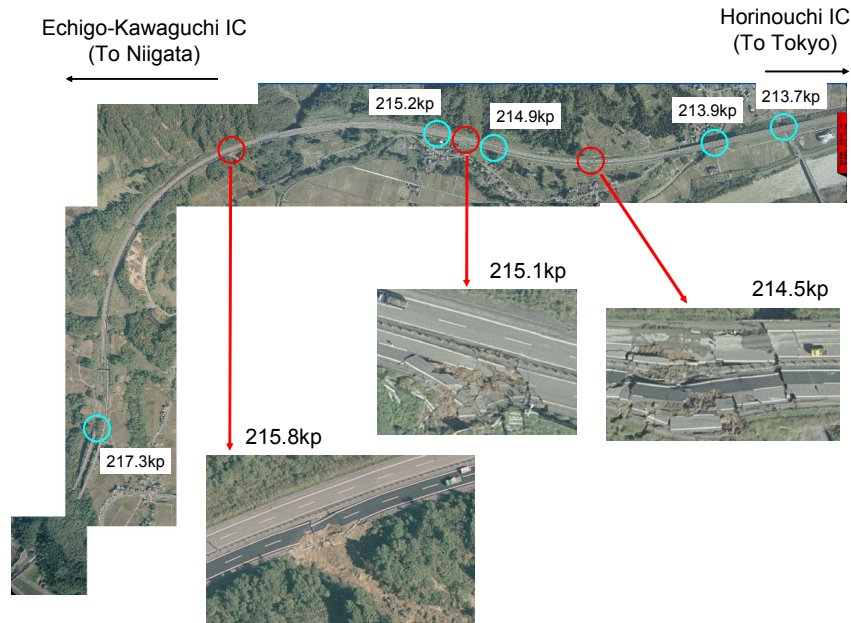


Fig. 1 Aerial photograph of Kanetsu expressway between Horinouchi IC to Echigo-Kawaguchi IC.

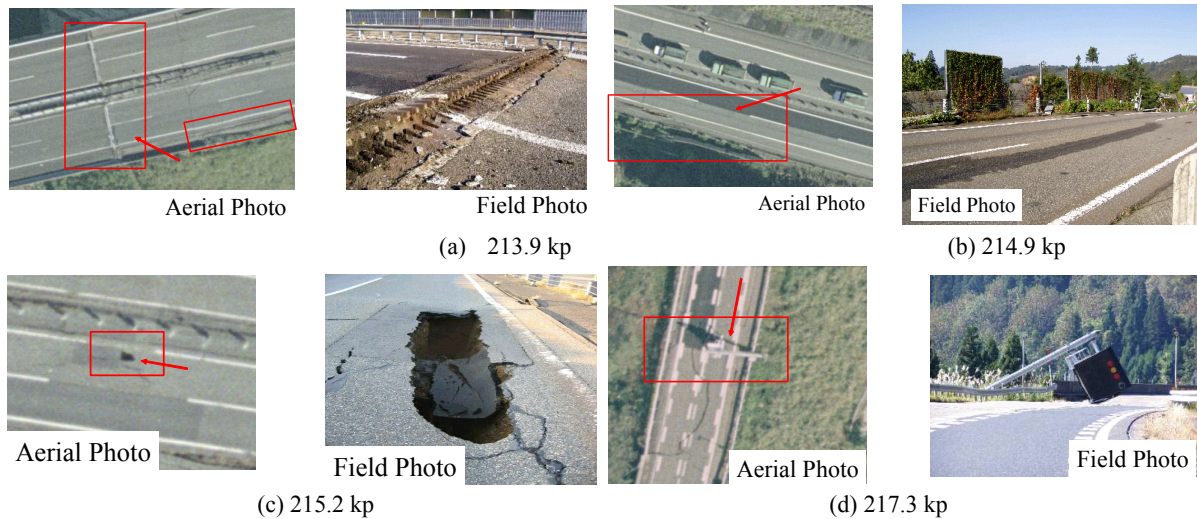


Fig. 2 Comparison of damages detected from the aerial photograph with those from field photographs.

報告されている。また、下り線では路肩で約 1 m の段差が発生しているが航空写真で判読可能である。214.9 kp 地点では、長さ 10 m にわたる路肩の陥没と遮音壁が落下したことが現地調査から分かっている。航空写真では、路肩の陥没については確認できる。また、路肩が陥没した影響で遮音壁がゆがんで見えている。215.2 kp 地点では、C-Box の目地開きのため、盛土が C-Box 内に流れ込み路面の陥没が生じた。航空写真からは本線上にある路面の陥没が確認される。217.3 kp では、高速道路の電光案内板が震動の影響で倒壊している。この倒壊した電光案内板を航空写真から判読可能である。

### 3 画像解析に基づく高速道路被害の自動把握

本章では、航空写真を用いた高速道路被害の自動把握手法について述べる。前章に示した航空写真を用いると、高

速道路被害箇所の目視判読を行うことが可能であることが分かる。しかし、目視判読には経験者が必要でかつ時間を要するため、画像取得の即時性を有効に使うことができない。そこで、画像解析を用いて高速道路の被害分布が把握できれば、航空写真から得られる情報を地震発生後早期の災害対応に役立てることができると考えられる。

Fig. 3 に、本研究の画像解析のフローを示す。ここでは、高速道路を中心とした空撮画像が地震発生直後に取得できたものと想定し、解析を進める。航空写真や高解像度衛星画像から道路領域を抽出する試み[7]もいくつか行われているが、本研究では道路領域はあらかじめ GIS データなどで明らかであるとした。

まず、対象とする航空写真を表色系 RGB から顕色系 HSI に変換する。一般に、デジタルカラー画像の表示や保存には RGB 表色系が用いられている。一方、人の感覚になじむといわれている顕色系では、色の種類を表す色相 (Hue)、

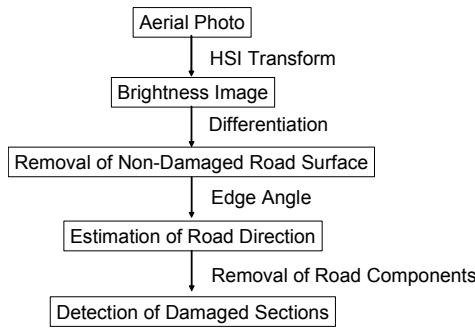


Fig. 3 Flowchart of image processing to detect the damaged sections of expressways.

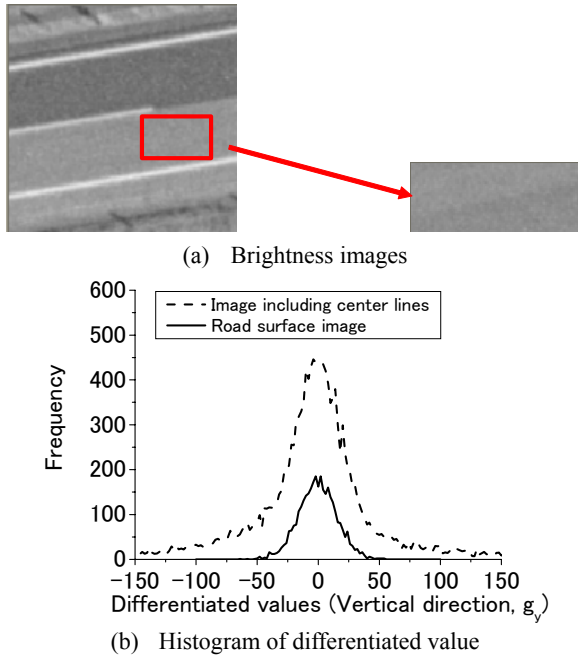


Fig. 4 Differentiated images and obtained histogram.

色の濃さを表す色相 (Saturation), 明るい暗いを表す明度 (Intensity) の 3 要素が扱われる。例えば、カラーテレビ映像では、明るい部分の R, G, B がいずれも大きく、これらは独立ではなく強い相関がある。しかし、HSI は互いに独立した色要素として規定されていることから、被害抽出にあたり RGB より適切な色情報であると考えられる [8]。そこで、本研究では HSI 変換によって得られた明度画像を用いて画像解析を行う。

画像処理において、輪郭 (エッジ) を抽出することは重要な基本操作の一つである。画像の中の物体と背景の境界が輪郭であるので、画像の濃度が急激に変化するところが輪郭であると言える。したがって、関数の変化分を取り出す微分演算が輪郭抽出に利用できる [8]。本研究では、画像の空間領域のフィルタリングを用いた。空間領域のフィルタリングとは、原画像の注目画素  $(x,y)$  の変換後の階調値  $g(x,y)$  を、注目画素の階調値  $f(x,y)$  と注目画素の近傍画素の階調値に対する数値演算によって求めることである。近傍画素の階調値に対する線形結合に基づく  $3 \times 3$  画素の線形フィルタは、式(1)のように書ける。

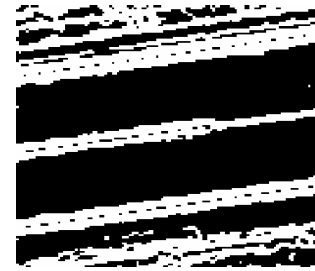


Fig. 5 Removal of road surface from the image.

$$g(x,y) = K \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 C_{ij} f(x+i,y+j) \quad (1)$$

本研究では、画像の微分演算に  $3 \times 3$  画素の Sobel フィルタを用いる。Fig. 4(a)に示す 2 つの明度画像に Sobel フィルタを施した。Fig. 4(a)は道路のラインを有する画像と路面のみを抜き出した画像である。これらの画像から算出される微分値 (垂直方向) のヒストグラムを Fig. 4(b)に示す。これによると、無被害の道路路面のみの画像から得られる微分値は垂直方向概ね  $-50 \sim 50$  の範囲である。一方、道路ラインなどを有する画像の微分値は  $-150 \sim 150$  の範囲である。無被害の高速道路路面は画像の濃度変化が小さいので、Sobel フィルタによって得られる微分値  $g(x,y)$  の絶対値は小さくなっている。そこで、Sobel フィルタによって得られる微分値が以下の条件を満たす場合、高速道路の無被害路面と判定することにした。

$$\left( |g_x| < cr \right) \cap \left( |g_y| < cr \right) \quad (2)$$

ここで、 $g_x$ ,  $g_y$  は水平方向微分値, 垂直方向微分値である。 $cr$  は、判定に用いた閾値である。

式(2)を用いて路面の除去を行った場合、ある 1 画素だけが路面として判定されず、完全には除去しきれない場合があることが分かった。これには、本研究で用いている航空写真の解像度が  $10\text{cm}$  と高いことが影響し、ノイズが生じていると思われる。そこで、メディアンフィルタを用いて画像の平滑化を行った (式(3))。メディアンフィルタはエッジ部分を保存しながら画像を平滑化することができるという利点がある [8]。

$$g(x,y) = \text{median}\{f(x+m,y+n) | -1 \leq m,n \leq 1\} \quad (3)$$

Fig. 5 に、メディアンフィルタを 5 回施し画像を平滑化し、その後 Sobel フィルタから得られる微分値をもとに、式(2)を用いて路面を除去した結果を示す。ここで、 $cr$  は 25 としている。ノイズも少なく、ほぼ完全に路面が除去されていることが確認できる。

次に、路面除去を行った画像からエッジ方向を算出し、道路長手方向の角度を推定する。空撮画像を用いた建物地震被害の抽出にもエッジ方向は重要な指標の 1 つであるが、Prewitt オペレータ [8] から 8 方向に分離された角度が用いられている。道路の長手方向を正確に把握するには、8 方向のみの分解能をもつ Prewitt オペレータはあまり適していない。そこで、Sobel フィルタによる水平方向と垂直方向の微分値を用いて、式(4)からエッジ方向を算出した。

$$\theta = \arctan(g_x/g_y) \quad (4)$$



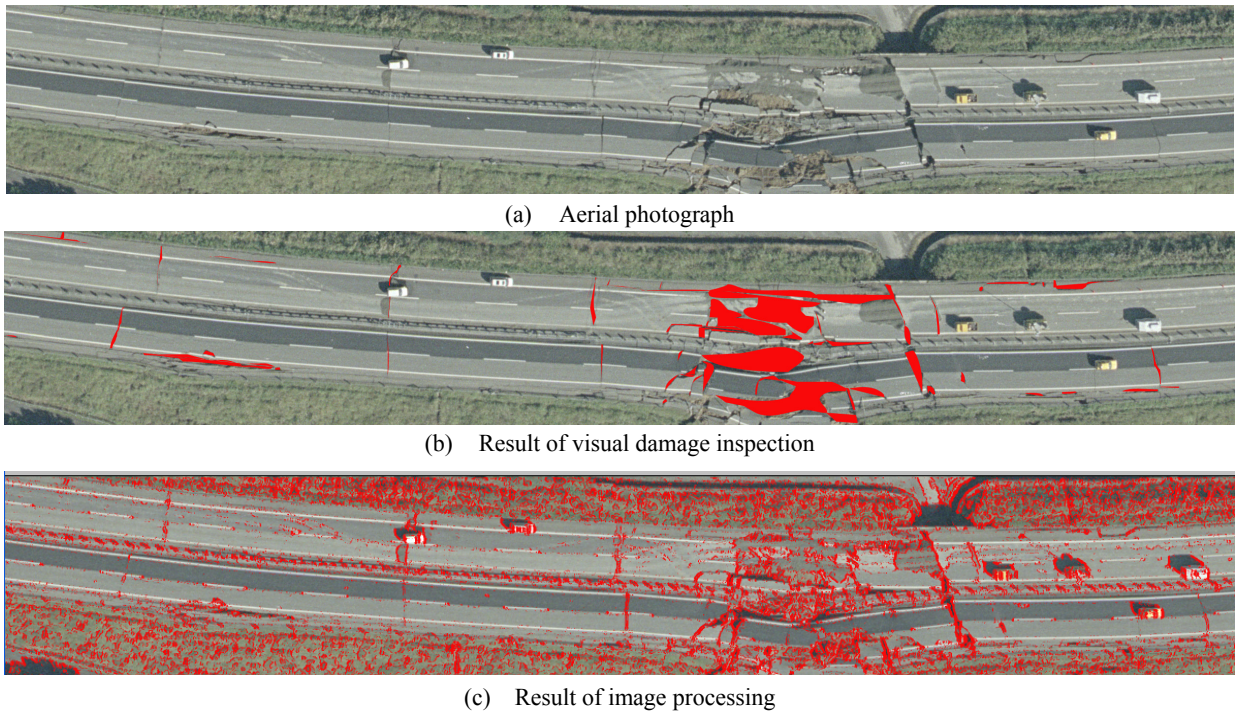


Fig. 6 Comparison between the result of image processing and that of visual damage inspection.

算出されたエッジ方向のヒストグラムの最頻値を道路長手方向角度と判断し、推定された道路方向角度の $\pm 15^\circ$ の範囲にある画素は道路構成画素（センターラインなど）であるとした。その範囲外のエッジ方向を示す画素は、道路方向以外の輪郭線であるので地震によって生じた被害（路面のクラック、陥没など）と判別することにした。

Fig. 6に、高速道路被害の自動判読に用いた航空写真とその目視による被害判読結果、およびFig. 3の解析フローで推定された高速道路被害を示す。本手法では、高速道路以外の植生部のようにエッジ方向がランダムな場合と本線上に停車している車両は、道路長手方向以外のエッジ方向を示す画素を有しているため、被害箇所と判定されてしまうが、高速道路外であることは容易に判断できるので実用上の問題は無いと思われる。本手法による解析結果では、路面上に発生した被害については、目視で判読された被害はすべて画像解析結果でも被害と判定されている。ややノイズが見られる箇所もあり、検討課題は残されているが、地震直後の早期対応を支援するための大まかな被害分布を把握するのに役立つことができると思われる。

#### 4 結論

本研究では、高速道路を撮影した航空写真を用いて、画像解析による新潟県中越地震で発生した高速道路被害の自動把握方法について検討を行った。

高速道路周辺の植生や本線上の車両、影が被害と誤抽出されることが見られたが、本線上に発生した目視によって判読される被害はすべて抽出することができた。目視判読では被害の確認に時間を要するため、本手法で画像解析処理を施した結果を用いれば、高速道路のどの部分を重点的に検査する必要があるかなどを早期に適切に判断することが可能となると思われる。

画像処理を用いてより精度の高い被害自動抽出を行う

には、今後オブジェクトベースの被害把握の検討や画像解像度が被害抽出に与える影響などを検討していく必要がある。

#### 参考文献

- [1] 後藤順治：地震時における道路通行規制基準の変更－安全性・信頼性の高い道路を目指して－, EXTEC No. 59, pp. 21-23, 2001.
- [2] 丸山喜久, 山崎文雄, 用害比呂之, 檜作正登, 岡本拓：新潟県中越地震における高速道路被害状況と航空写真を用いた被害早期把握に向けた基礎的検討, 土木学会地震工学論文集, Vol. 28, CD-ROM, 9p, 2005.
- [3] DigitalGlobe, Inc.: <http://www.digitalglobe.com/>
- [4] 三富創, 松岡昌志, 山崎文雄：最近の地震被害の空撮画像を用いた建物被害地域の自動抽出の試み, 土木学会論文集, No. 703/I-59, pp. 267-278, 2002.
- [5] 矢野嘉久, 山崎文雄, 松岡昌志：高解像度衛星によるイラン・バム地震の被害把握, 日本地震工学会大会－2004 梗概集, pp. 454-455, 2005.
- [6] 三浦弘之, Wijeyewickrema, A.C., 井上修作：高分解能衛星画像を用いた 2004 年スマトラ沖地震によるスリランカ東部での津波被害判読, 日本地震工学会・大会-2005, pp.260-261, 2005.
- [7] 熊谷潤, 中川雅史, 趙卉菁, 柴崎亮介：高解像度衛星画像からの道路抽出, 日本写真測量学会平成 14 年度年次学術講演会発表論文集, pp. 155-158, 2002.
- [8] 安居院猛, 長尾智晴：C 言語による画像処理入門, 昭晃堂, 2005.