

航空写真に基づく道路路面の地震被害モードの判別

筑波大学大学院 学生会員 ○近藤陸 筑波大学システム情報系 正会員 庄司学

- 1. はじめに:** 衛星画像などのリモートセンシングデータを用いた地震被害把握に関する研究は、特に建築物を対象として近年活発に行われている^{1),2),3)}。一方で道路構造物には路面液状化や路面亀裂、路面段差などの多様な被害モードがあり、リモートセンシングデータを活用した分析は非常に困難である。本研究では2016年熊本地震を対象に、より高画質な航空写真を用いて道路路面の様々な被害モードの判別を試み、その精度に対して考察を行った。
- 2. 分析対象とする航空写真と被害区分:** 熊本地震で特に顕著な被害が発生した益城町、嘉島町および甲佐町を対象とし、国土地理院⁴⁾による航空写真計18枚を解析に使用した。道路路面の被害モードとしては、文献5)の知見を参考に、路面陥没、路面液状化、路面亀裂、路面崩壊、路面段差、落石・土砂崩れ、建物瓦礫の7区分とした(図-1)。路面陥没は路面の一部だけが崩れ落ちている状態である。路面液状化は液状化により路面が沈下し、噴砂や噴水が発生している状態である。路面亀裂は道路面にひび割れが発生している状態である。路面崩壊は路面の損傷に加えて、道路の幅員の外部にまで路肩や法面が崩壊している状態である。路面段差は橋梁背面部の道路と橋桁などの間で段差が生じている状態である。落石・土砂崩れは、落石や土砂崩れが発生し、道路が閉塞された状態である。建物瓦礫は、道路に面している建造物が全壊し、道路の通行が妨げられる程度に瓦礫が散乱している状態である。対象とする18枚の航空写真の範囲内で、被害地点の総数は143か所であった。モード別には路面液状化が53か所と卓越しており、その他に30か所の路面亀裂、24か所の路面段差、16か所の路面崩壊、2か所の路面陥没、3か所の落石・土砂崩れ、10か所の建物瓦礫が観察された(図-2)。
- 3. 画像解析に用いるデータ構築:** 図-3には、航空写真から画像解析に使用するデータを構築するためのプロセスを示す。まず、(1)アフィン変換による幾何補正を行い、(2)ラバーシートによって航空写真と道路縁データのズレを修正する。次に、(3)航空写真をポリゴンに変換し、(4)航空写真の縦横の画素数と合致するようにポリゴンを分割しメッシュと定義する。なおポリゴンの大きさはおよそ20cm四方である。(5)道路縁データ⁶⁾を用いて航空写真のポリゴンを切り取り、道路部と非道路部に分割することで、道路部のみのポリゴンデータを得る。(4)で作成したメッシュと(5)で作成したポリゴンを重ね合わせ、(6)メッシュ化された道路部のみのポリゴンデータを得る。(7)前章で作成した被害データベースから被害領域のポリゴンを作成する。最後に(6)で作成した道路部のみのメッシュと(7)で作成した被害領域のポリゴンを重ね合わせ、(8)メッシュ化された被害領域のポリゴンデータを得る。
- 4. テクスチャ解析:** 18枚の航空写真はRGBのカラー画像であるため、モノクロ化を行った後に輝度値に着目したテクスチャ解析を行う。道路路面の被害領域を精度よく抽出するために、文献3)および文献7)の知見を参考にして、特徴量としてはコントラスト(CNT)、分散(VAR)、歪度(SKW)、尖度(KRT)、エネルギー(EGY)、エントロピー(EPY)の次式に示す6つの特徴量を選定した。

$$CNT = \sum_0^{255} l^2 \cdot P(l) \quad (1a); \quad VAR = \sum_0^{255} (l - MEN)^2 \cdot P(l) \quad (1b); \quad SKW = \frac{1}{VAR^2} \sum_0^{255} (l - MEN)^3 \cdot P(l) \quad (1c)$$

$$KRT = \frac{1}{VAR^3} \sum_0^{255} (l - MEN)^4 \cdot P(l) \quad (1d); \quad EGY = \sum_0^{255} P^2(l) \quad (1e); \quad EPY = - \sum_0^{255} P(l) \cdot \log_N P(l) \quad (1f)$$

特徴量の算出には輝度値の確率密度の近似値 $P(l)$ を用いる。ここで $P(l)$ は各画素における輝度値 ($l=0 \sim 255$) のヒストグラム $H(l)$ をウィンドウ内の総画素数 N で除したものである。一例として益城町の道路路面の被害を示した航空写真 CKU-2016-27_C6-21.tif に対する解析結果を図-4に示す。左図には道路部における各特徴量の空間分布を示し、右図には道路部の各特徴量のヒストグラムを示す。

5. 閾値の算定と被害判別: 各画像の被害領域における特徴量から最小二乗法に基づいて閾値を算出する。閾値の初期値 c_i を定め、1~ N 番目の被害道路画素ごとに c_i とその特徴量 c_i の差 d_i を求める。全ての被害道路画素における差の平方和 D が最小となる場合の特徴量を閾値と定義する。18枚の航空写真に対して特徴量ごとに閾値を求めた結果、精度が保証された閾値のみを採用し、これらの各特徴量における閾値の平均、標準偏差および変動係数を表-1に示す。表-1より KRT および EPY の変動係数が0.178および0.109と比較的小さいことから、これらの特徴量が被害判別に有効であると考えられる。求めた閾値の平均値を用いて被害判別を行い、有効な特徴量と範囲について考察する。その際には変動係数を0.05および0.1と仮定し、(1)正負に10%、(2)正に10%、(3)負に10%、(4)正負に5%の4つのケースにおいて範囲内の画素を被害有とすることで判別を行う。以上、18枚の航空写真に対して被害判別の結果を図-5に示す。各画像に対して良好であったケースを表-2に示す。18枚のうち16枚ではケース(2)および(4)において偽陽性が少なく良好な結果を得られた。一例として CKU-2016_C9-8.tif の被害判別結果を示す。被害モードごとにみると路面液状化は CNT 、 KRT および EPY 、路面亀裂や路面段差は KRT 、 EPY で定性的に精度よく判別できている。

キーワード 熊本地震, 航空写真, 道路路面, 地震被害モード, テクスチャ解析, 被害判別, GIS

連絡先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1 筑波大学大学院理工情報生命学術院システム情報工学研究群 TEL029-853-7368

6. 結論：熊本地震発生後に撮影された18枚の航空写真に対してテクスチャ解析に基づき道路路面の地震被害モードを6つ特徴量の観点から抽出した。その結果，尖度(KRT)並びにエントロピー(EPY)による被害判別が路面液状化や路面亀裂，路面段差の被害モードに対して定性的に最適であることが明らかとなった。

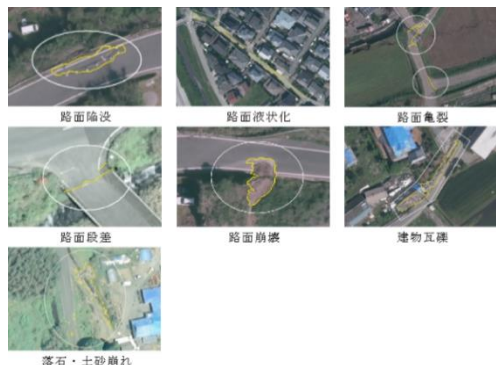


図-1 被害モードの定義

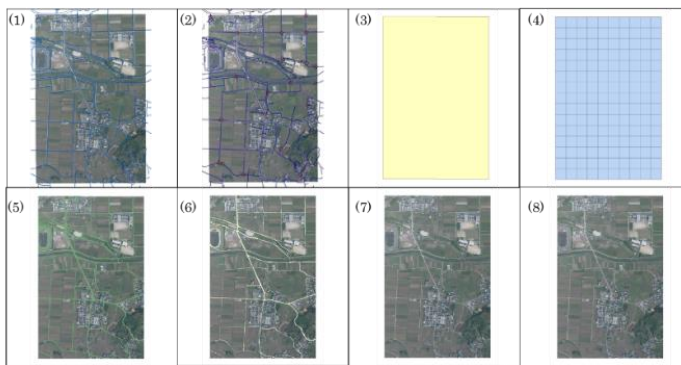


図-3 データ構築のプロセス

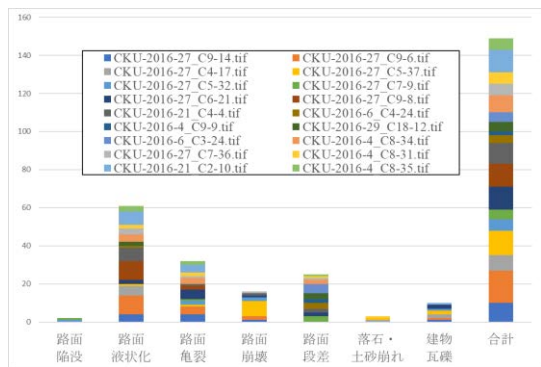


図-2 被害モードごとの被害地点数

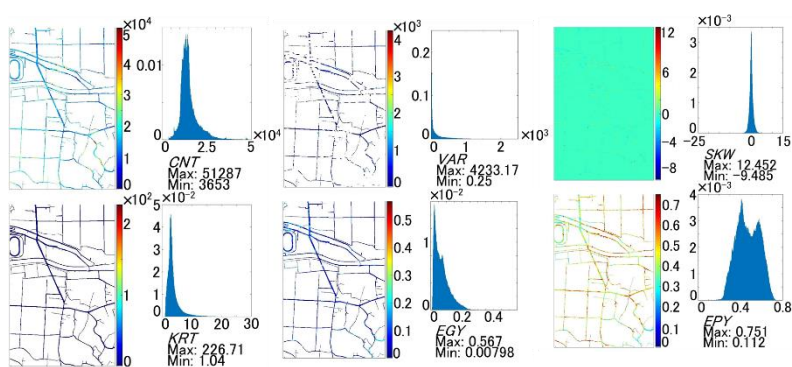


図-4 特徴量抽出結果の一例

表-1 特徴量ごとの閾値

	CNT	VAR	SKW	KRT	EGY	EPY
平均	12824.7	525.3	0.2903	3.859	0.0558	0.566
標準偏差	5098.9	349.7	0.3787	0.687	0.0629	0.0619
変動係数	0.3976	0.6658	1.304	0.1779	1.1283	0.1094

表-2 各画像の良好であったケース

画像名	良好なケース	画像名	良好なケース
CKU-2016-27_C9-6.tif	(4)	CKU-2016-4_C9-9.tif	(4)
CKU-2016-27_C5-37.tif	(2)	CKU-2016-29_C18-12.tif	(2)
CKU-2016-27_C5-32.tif	(2)	CKU-2016-6_C3-24.tif	(2)
CKU-2016-27_C7-9.tif	(2)	CKU-2016-4_C8-34.tif	(4)
CKU-2016-27_C9-14.tif	(4)	CKU-2016-27_C7-36.tif	(2)
CKU-2016-27_C4-17.tif	(4)	CKU-2016-4_C8-31.tif	(2)
CKU-2016-27_C9-8.tif	(4)	CKU-2016-21_C2-10.tif	(2)
CKU-2016-21_C4-4.tif	(2)	CKU-2016-4_C8-35.tif	(4)
CKU-2016-6_C4-24.tif	(3)		

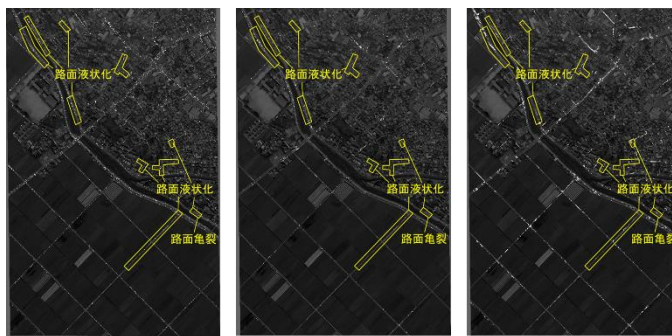


図-5 被害判別結果の一例

謝辞：筑波大学インフラ情報研究室 AIS Lab の西尾真由子先生をはじめメンバーには多くのご助言をいただきました。ここに関係各位の皆様へ心より厚く御礼申し上げます。

参考文献： 1) S. Naito, H. Tomozawa, Y. Mori, T. Nagata, N. Monma, H. Nakamura, H. Fujiwara, and G. Shoji: Building-damage Detection Method Based on Machine Learning Utilizing Aerial Photographs of the Kumamoto Earthquake, *Earthquake Spectra*, Vol.36, issue.3, pp.1166~1187, 2020. 2) E. M. Rathje, S. S. Secara, J. G. Martin, S. v. Ballegooy, and J. Russell: Liquefaction-Induced Horizontal Displacements from the Canterbury Earthquake Sequence in New Zealand Measured from Remote Sensing Techniques, *Earthquake Spectra*, Vol.33, issue.4, pp.1475~1494, 2017. 3) K. Yoshinari and G. Shoji: Image Analysis for Road Structure Damage Due to the 2018 Hokkaido Iburi Tobu Earthquake, 17WCEE, 2020. 4) 国土交通省, 国土地理院: 数値地図(国土基本情報), <https://www.gsi.go.jp/kibanjoho/kibanjoho40027.html> 5) 近藤陸, 庄司学: 航空写真を用いた道路構造物の地震被害判別精度の検証, 第12回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム講演集, pp.83~86, 2021. 6) 国土交通省, 国土地理院: 基盤地図情報ダウンロードサービス, <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php> 7) R.M. Haralick, K. Shanmugam, and I. Dinstein: Textual Features for Image Classification, *IEEE Trans, Systems, Man and Cybernetics*, Vol.SMC-3, No.6, pp.610~621, 1973.