

2016年熊本地震で被災した道路構造物の航空写真に基づく被害判別

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インフラ構造物の地震被害把握に関する研究は近年活発に行われているが¹⁾, 特に被災後に撮影された航空写真のみを用いて, 道路構造物を対象とした高精度な地震被害把握に関する研究は少ない. 本研究では2016年4月14日および16日に発生した熊本地震後に撮影された航空写真を用いて道路構造物の被害判別を試み, 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を対象とし, 国土地理院²⁾による航空写真計5枚を解析に使用した. 道路構造物の被害区分としては, 文献3)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, 建物瓦礫, 落石・土砂崩れの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. 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. 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. 対象とする5枚の航空写真の範囲内で, 被害地点の総数は53か所であり, 13か所の路面液状化, 路面亀裂, 路面崩壊, 5か所の路面段差, 2か所の路面陥没, 1か所の落石・土砂崩れ, 6か所の建物瓦礫が観察された.

3. 画像解析に用いるデータ構築: 図-2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. (5) 道路縁データ⁴⁾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, 道路部だけ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だけ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)で作成した道路部だけのメッシュと(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: 5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. 道路構造物の被害領域を精度よく抽出するために, 文献1)および文献5)の知見を参考にし, 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. MEN は l の平均値を表している. 航空写真 CKU-2016-27_C6-21.tif に対して解析結果の一例を示すと図-3のようになる. 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. 仮の閾値 c_i を定め, $1\sim N$ 番目の被害領域における道路画素(被害道路画素)ごとに仮の閾値とその特徴量 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. 5枚の航空写真に対して特徴量ごとに閾値を求めた結果を表-1に示す. 表-1に示す平均値並びに0.1の変動係数を仮定した上で, 閾値の平均値から正負の標準偏差の範囲をとり, 範囲内の道路画素を被害有と判別する. 以上, 5枚の航空写真に対して被害判別の結果を図-4に示す. 画像1について, 路面液状化は SKW 以外の特徴量で判別できているが, 路面亀裂は全ての特徴量で判別できていない. 路面崩壊は KRT と EPY で判別できている. 従って KRT と EPY は判別精度の良い指標であるが, EPY は偽陽性が多いため相対的に KRT が最適な指標と考える. 画像2について路面亀裂は VAR , KRT , EGY , EPY で判別できている. 路面崩壊, 落石・土砂崩れおよび建物瓦礫については SKW 以外の特徴量で判別可能であった. 一方で VAR , EPY については偽陽性が多いため KRT , EGY が相対的に最適な指標となる. 画像3について, 路面崩壊は VAR , KRT , EGY , EPY で判別できており, 路面亀裂は SKW 以外の特徴量で判別できている.

キーワード 熊本地震, 航空写真, 道路被害, 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

路面陥没は全ての特徴量で判別できておらず、被害領域が狭小で判別が難しいことが原因と考えられる。建物瓦礫はCNT, KRT, EGY, EPYで判別可能であった。EGY, EPYは偽陽性が多く、従って画像3についてはKRTが最適という結果を得た。画像4について路面亀裂はSKW以外の特徴量で、路面段差はVAR以外の特徴量で判別可能であった。路面陥没は全ての特徴量で判別できているが、CNT, SKW, EGYは他の特徴量に比べて判別できた領域が僅かである。よって画像4については、KRTとEPYで良い判別結果が得られたが、EPYは偽陽性が多いため、KRTが最適な特徴量である。画像5について路面液状化および路面崩壊はCNT, KRT, EGY, EPYで判別可能であった。路面亀裂はKRT, EGY, EPYで判別可能であり、路面段差ではCNTとSKWを除く4つの特徴量で判別できている。また建物瓦礫はVARとSKW以外の特徴量で判別可能であった。よって画像5についてはKRT, EGY, EPYが判別精度の高い特徴量であると考えられるが、EGYとEPYは偽陽性が多いため、相対的にKRTが最適な特徴量である。

6. 結論：熊本地震発生後に撮影された5枚の航空写真に対してテクスチャ解析に基づき道路構造物被害の特徴量を抽出した結果、尖度(KRT)並びにエネルギー(EGY)による被害判別が路面液状化や路面亀裂、路面崩壊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。

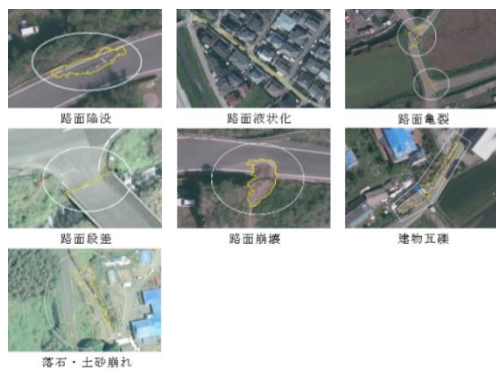


図-1 被害区分の定義

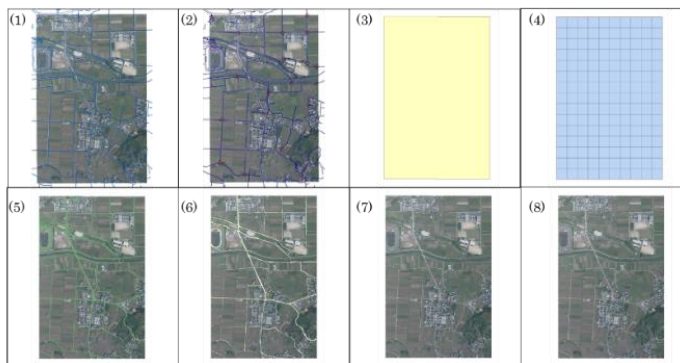


図-2 データ構築のプロセス

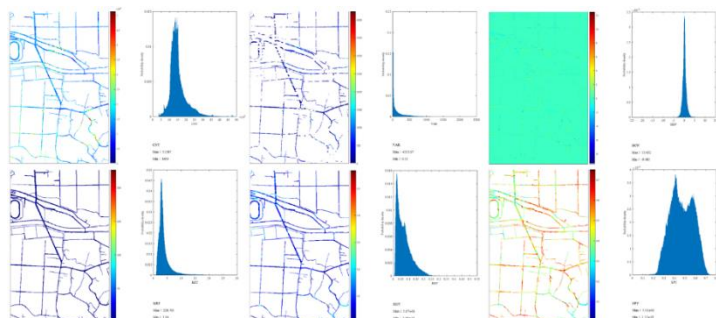


図-3 特徴量抽出結果の一例

表-1 特徴量ごとの閾値

| 画像番号 | CNT | VAR | SKW | KRT | EGY | EPY |
|---------------------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 画像1:CKU-2016-27_C9-6.tif | 14020 | 1350 | 0.420 | 4.90 | 0.028 | 0.630 |
| 画像2:CKU-2016-27_C5-37.tif | 6500 | 630 | 0.235 | 2.80 | 0.021 | 0.631 |
| 画像3:CKU-2016-27_C5-32.tif | 15500 | 270 | -0.065 | 3.20 | 0.030 | 0.577 |
| 画像4:CKU-2016-27_C7-9.tif | 12700 | 150 | 0.405 | 4.30 | 0.08 | 0.492 |
| 画像5:CKU-2016-27_C6-21.tif | 14100 | 140 | 0.045 | 4.00 | 0.0730 | 0.450 |
| 平均 | 12564 | 508 | 0.208 | 3.84 | 0.0464 | 0.556 |
| 標準偏差 | 3551.6398 | 510.90116 | 0.215395 | 0.8443933 | 0.0277903 | 0.0819665 |
| 変動係数 | 0.281092 | 1.005711 | 1.035528 | 0.2198941 | 0.5989286 | 0.1474217 |

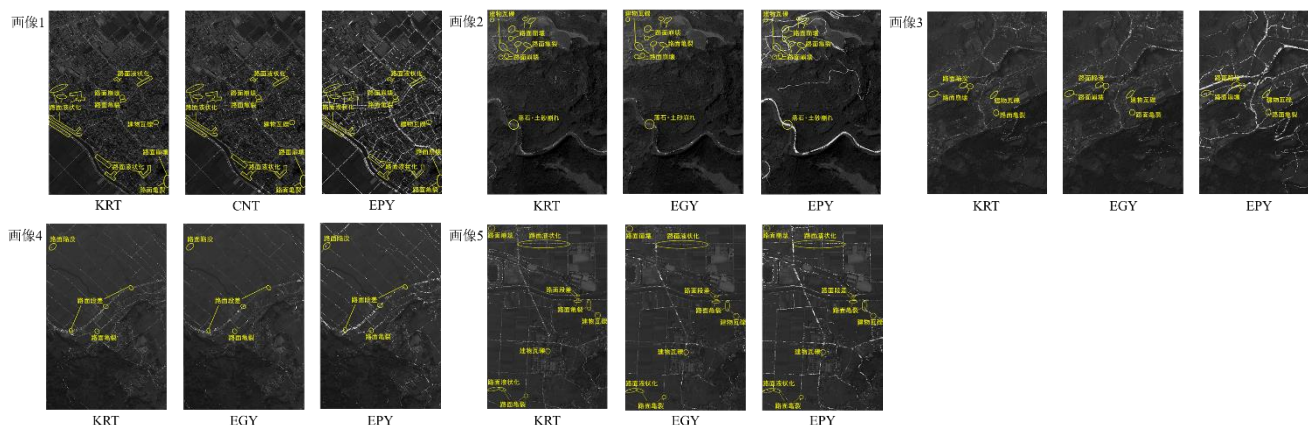


図-4 被害判別結果

謝辞：筑波大学工学システム学類インフラ情報研究室の西尾真由子先生並びに吉成健人氏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) 例えば, K.Yoshinari and G.Shoji, : Image Analysis for Road Structure Damage Due to the 2018 Hokkaido Iburi Tobu Earthquake, 17WCEE, 2020. 2) 国土交通省, 国土地理院: 地図・航空写真・地理調査, <https://www.gsi.go.jp/tizu-kutyu.html> 3) 近藤 陸, 庄司 学: 2016年熊本地震による道路構造物被害の画像データベースの構築, 第11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.125~127, 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) 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.