

機関番号：13904
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20560442
 研究課題名（和文）
 衛星画像フュージョン解析を用いた地震による広域道路被害早期把握に関する研究
 研究課題名（英文）
 A study on quick detection for earthquake roads damage in wide area applying the satellite image fusion analysis
 研究代表者
 河邑 眞（KAWAMURA MAKOTO）
 豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：30115555

研究成果の概要（和文）：

広域に地震被害が起きた場合には、復旧支援のため道路被害箇所の把握を広域に、また早期に把握する必要がある。このような目的を達成するためには、衛星画像解析による広域での道路被害箇所の分析が有用である。この研究では、光学センサー衛星画像ならびに合成開口レーダデータを併用した画像解析手法について検討し、2004年中越地震における道路被害に対して解析手法を確立し、その解析精度を検討した。また、衛星画像解析結果から得られる結果をGISにとりこみ、緊急輸送道路の緊急復旧計画作成支援システムの開発を行った。大規模な道路被害箇所については、高精度で衛星画像解析による検出が可能となった。また、道路被害図を基に復旧支援を行うシステムについても有用性が確認された。

研究成果の概要（英文）

It is required to detect quickly the damages of roads induced by earthquake when the earthquake disaster extends in a wide area. For this purpose the satellite image analysis for the detection of the damaged roads in the wide area is effective. In this study satellite image analysis of the optical sensor data and synthetic aperture radar data for detection of earthquake disaster is developed and the proposed method is applied for the case of the 2004 Chuetsu earthquake in Japan. It is found that the severely damaged roads are detected by the proposed method with high accuracy. Based on the obtained digital map of the damaged roads, a useful supporting GIS system for decision of emergency retrofit of the roads has been developed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学 ・ 構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：衛星リモートセンシング

1. 研究開始当初の背景

筆者は丘陵地、山地における土砂崩壊についての広域分布図を、光学センサーを用いた衛星画像から分析する手法について顕著な研究業績をあげている。これらの研究では、主として地震などによる大規模な自然斜面の崩壊を対象として、災害状況を衛星画像解析から精度よく求めることを目標としてきた。近年、高分解能光学センサーによる観測、および能動型のリモートセンシング手法である合成開口レーダによる観測が多数行われるようになってきており、災害状況把握へのこれら観測結果の応用が期待されている。

上述したように、地震による道路被害が生じた場合の被害状況の早期把握は、地震被害後の復旧に於ける情報で必要不可欠で重要である。申請者は、上述の研究実績をもとに、自然斜面より規模の小さい道路のような公共構造物の被害分析手法の開発を行うことの重要性を痛感しており、本研究の計画を行った。

2. 研究の目的

2004年新潟中越地震のように広域な地震被害が発生し道路が寸断された場合には、道路被害状況を早期に把握し、正確な災害情報に基づいた応急復旧計画を迅速に策定することが必要となる。このような場合に一枚の画像から広域の災害情報の取得が可能である衛星リモートセンシング技術を応用し、人工衛星画像解析結果を用いて広域にわたる大規模な道路被害を早期に把握するシステムを開発することを研究の目的とする。

3. 研究の方法

研究内容としては、下記に示すように衛星画像を用いた地震による道路被害抽出システムの開発と道路被害対策GISの構築の二つの事項からなる。

(1) 衛星画像を用いた地震による道路被害分析システムの開発

道路の被害形態に応じて、高分解の光学センサー衛星画像の解析方法と、中分解能の合成開口レーダ画像(SAR画像)の解析方法の二つの解析について開発を行う。前者は、マルチスペクトルデータにより道路盛土のすべり破壊などによる崩壊を検出することを目的としたものであり、後者はSAR画像の後方散乱係数により道路面の陥没、凹凸などを分析する。

(2) 道路災害対策GISの構築

解析精度分析システムと緊急輸送道路復旧計画支援GISの開発を行う。前者は、解析手法の適用結果の精度検証を行うシステムであり、2004年中越地震における道路被害資料を収集し被害形態の分類を行うと

ともに、検証データとして用いる。後者については、数値地図などと合成し、画像解析から得られた被害箇所を表示するシステムを作成するとともに、被災箇所を示した地図に元好き緊急輸送道路の復旧計画を支援するGISの構築を図る。

4. 研究成果

この報告では、中越地震に関して行った研究成果を取り上げてその内容を示す。

(1) 新潟県中越地震の概要

2004年10月23日17時56分(JST)に新潟県小千谷市を震源とする、M6.8(震源の深さ:13km直下型地震)の地震が発生した。新潟県中越地震における震度分布をFig.1に示す。今回の地震では、鉄道・道路がいたるところで分断された。鉄道は、上越線等で斜面崩壊が発生し、道路では、北陸自動車道や関越自動車道等の高速道路、国道17号や国道8号等の多くの一般国道、多くの県道や生活道路も亀裂や陥没、斜面崩壊・地滑り等によって寸断された。

(2) 解析対象領域と使用データ

解析対象領域は、中越地震により地震被害を受けた小千谷市、長岡市、川口町、旧堀之内町(現魚沼市)、旧山古志村(現長岡市)を含む2263×3609ピクセル(東西約11km×南北約18km、面積約198km²)の領域を設定した。

(3) 画像解析による道路・鉄道被害域検出

本研究では、道路・鉄道における被害形態に注目し、①NDVIを用いた被害検出、②テクスチャ特徴を用いた被害検出の2つの手法を併用して、被害検出を行った。

①NDVIを用いた被害域検出

土砂災害による道路・鉄道被害を追跡するには、路面・路盤・道床そのものを見るのではなく、むしろその側面、斜面を捉える方が効率的であり、植生被覆変化域を抽出することで被害を捉えられる可能性が高い。そこで本研究では、2時期のNDVIを用いた手法により被害域検出を行った。

ここで、正規化植生指標NDVIは次式によるバンド間の比演算によって求められる。

$$NDVI = (NIR - VRed) / (NIR + VRed) \quad (1)$$

NIRは近赤外波長帯、VRedは可視域赤の波長帯であり、SPOT-5ではそれぞれband3, band2に対応する。

NDVIマスク画像を用いて、「地震後、山腹斜面崩壊や盛土斜面崩壊により植生被覆が失われた」と仮定し、マスク画像のマージを行った。そして、農地、平坦地等の時期変化による植生被覆変化の除去を行い、NDVIによる推定被害域ポリゴンを検出した。検出結果を図-1に示す。



図一1 NDVI による推定被害域ポリゴン (赤域)

②テクスチャ特徴を用いた被害域検出

NDVI を用いた被害検出では、植生被覆変化により被害を検出しているが、山腹斜面や盛土斜面に植生が無い箇所もあり、また、路面・路盤・道床そのものを捉えなければ検出できない被害もある。そこで、セグメント領域を用いた統計的テクスチャ特徴を差分処理により被害を検出する。

3 か所のトレーニングエリアで求められた被害検出パラメータを対象領域全体に適用し、被害形態別に検出を行った。また、農地の誤検出が見られたため、NDVI 手法と同様に平均傾斜角が 9° 以下にあたる領域の除去を行い、テクスチャ特徴による推定被害域ポリゴンを検出した。

(3) 被害域検出における精度検定

2 つの手法による推定被害域ポリゴンをマージし、道路 45 路線と、上越線を対象とした被害を、道路・鉄道ポリゴンデータを用いて抽出して、被害範囲を切り出した。図一2 に道路・鉄道被害域ポリゴンを示す。精度検証は、今回は以下の指標を用いて行った。

①検出精度 (解析による被害域検出の精度)

$$AR (\%) = (Ad/Ao) \times 100 \quad (2)$$

Ad : 推定被害域ポリゴンと重なる検証ポリゴン数

Ao : 総検証ポリゴン数

②推定精度 (解析により検出された被害域信頼性)

$$PR (\%) = (Pd/Po) \times 100 \quad (3)$$

Pd : 検証ポリゴンと重なる推定被害域ポリゴン数

Po : 総推定被害域ポリゴン数



図一2 道路・鉄道推定被害域ポリゴン (赤域：道路、青域：鉄道)

全体的な精度は、道路・鉄道併せて検出精度が 65%程度である。推定精度は、鉄道部の検証データ数が少ないことを考慮すると 26%程度である。

道路部においては、旧山古志村に繋がる路線、山間部を通る道路で検出精度、推定精度が良かった。平地部・丘陵部の道路においては、検出精度、推定精度が、山間部の道路よりも精度が低く、また誤検出である箇所も多い。これらは、衛星撮影に起因する問題であり、同一地点の反射の強弱が異なったことにより、被害域と同等の DN 値変化を起こしたことが要因として考えられる。上越線では、被害域、検証データ数が道路と比較して少ないものの、道路部全体と大差のない結果となった。主な未検出箇所は、盛土沈下部と崩壊土砂の流動により寸断した箇所である。また、規模別の検出精度検定を行った結果、被害面積が 500m² 以上の被害域は 90%以上検出され

ている。地震災害直後の応急対応時では、緊急性が高く、様々な交通機能支障をきたす大規模被害検出が重要であると考えられる。この点において、2つの手法による検出結果は、大規模被害域が高精度で検出され、推定精度は低いものの、災害直後の情報がない場合には効率的な把握方法であると考えられる

(4) 緊急輸送ルート選定支援事例解析

本研究では、ArcView をベースシステムとして、画像解析によって得られた道路・鉄道推定被害域、道路、鉄道のデータのオーバーレイを行い、GIS を構築した。また、構築した GIS を用いて、コストラスタデータの影響率を変化させ組み合わせ、加重コスト距離による緊急輸送ルート選定における事例解析を行った(図-3)。解析結果から、影響率の組合せにより最短経路が変化することが確認された。支援物資輸送時にはすべてコストラスタを、孤立等の支援による緊急交通確保を考慮する場合は、被害面積、被害形態コストの2つのコストを用いることが想定される。

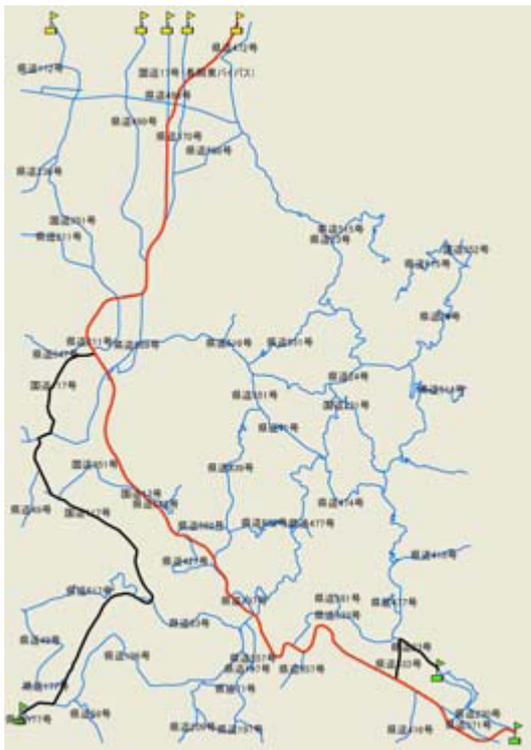


図-3 支援物資輸送を考慮した最短ルート(赤)(道路重要度コスト・被害面積コスト・被害形態コスト考慮)

実際に使用するには多数の問題がある。しかし、情報が乏しく、災害対応に迫られる災害初期フェーズにおいて、画像解析と一連した流れで行え、加重コスト距離関数のような

GIS ツールの使用は、ある程度の被害を考慮した概略的な緊急輸送ルートの予測等に繋がり、災害初期時の意思決定支援ツールになると考えられる。課題としては、様々な項目のコストラスタ導入や細かなコスト評価を検討することや、広域的な解析をすることが、道路ネットワークを考慮した緊急輸送ルート選定には必須である。

(5) まとめ

本研究では、衛星画像解析による道路・鉄道被害域検出および GIS を用いた緊急輸送ルート選定事例解析の基礎的検討を行った。以下に結論を示す。

- ・画像解析により、道路・鉄道における被害検出を行い、緊急性の高く、交通機能に支障をきたす大規模な被害域については高精度で検出することが出来た。

- ・中越地震における画像解析による道路・鉄道被害域検出結果、道路・鉄道データ、また標高データから作成した傾斜度データを、ArcView をベースシステムとした GIS 上にオーバーレイし、道路・鉄道被害における GIS を構築した。

- ・上記 GIS 上に整備した、道路被害域検出結果、道路データを用いて、コストラスタ、加重コスト距離関数により、復旧支援を目的とした緊急輸送ルート選定事例解析を行った。

- ・画像解析と一連した流れで行える GIS ツールの使用は、概略的な緊急輸送ルートの予測等、災害初期時の有用な意思決定支援ツールになり得ることを認識した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

① Makoto Kawamura, Takafumi SHIMADA, Kazuhiko TSUJINO and Yuji TSUJIKO, Disaster damage detection and its recovery support system of road and railroad using satellite images, ISPRS Technical Commission VIII Symposium International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, 査読有, Volume XXXVIII, Part 8, pp. 314-319, 2010.

② 辻子裕二・河邑眞・辻野和彦, 衛星画像からの土砂災害検出における地表面含水比の影響について, 土木学会関西支部土砂災害に関するシンポジウム論文集, 査読有, pp. 7-12, 2010.

[学会発表] (計 6 件)

① 辻子裕二・河邑眞・辻野和彦, 2009 年スマトラ島沖地震による斜面崩壊の検出結果と現地調査による検証, 土木学会第 65 回年次学術講演会講演概要集, 査読無, III-033,

pp. 65-66, 2010年9月、札幌市

② 辻野和彦・河邑眞・辻子裕二, TerraSAR-X 画像を用いた斜面崩壊の検出法の検討, 第29回自然災害学会学術講演会講演概要集, 査読無, pp. 135-136, 2010年9月、神戸市.

③ 辻野和彦・河邑眞・辻子裕二, 2009年スマトラ島沖地震を誘因とする TerraSAR-X を用いた斜面崩壊の検出法, 土木学会第65回年次学術講演会講演概要集, 査読無, III-033, pp. 67-68, 2010年9月、札幌市.

④ 河邑眞, 辻野和彦, 辻子裕二, 田中活行, ALOS データを用いた四川大地震を誘因とする斜面崩壊および堰水域の把握, 査読無, 土木学会第64回年次学術講演会講演概要集, III-074, 2009年9月、福岡市.

⑤ 河邑眞, 辻野和彦, 辻子裕二, ALOS AVNIR-2 の単一画像を用いた能登半島地震による半島北西部の道路被害の早期把握, 土木学会第63回年次学術講演会講演概要集, 査読無, pp. 203-204, 2008年9月、草津市.

⑥ 岡島祐樹, 河邑眞, 辻野和彦, 二時期の ALOS AVNIR-2 データを用いた能登半島地震による能登半島有料道路被害の検出, 土木学会第63回年次学術講演会講演概要集, 査読無, pp. 203-204, 2008年9月、草津市.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河邑 眞 (KAWAMURA MAKOTO)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：30115555

(2) 研究分担者

辻野和彦 (TSUJINO KAZUHIKO)

福井工業高等専門学校・環境都市工学科・准教授

研究者番号：10321431

辻子裕二 (TSUJIKO YUJI)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：40259859

