

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05052

研究課題名（和文）被害地震後の道路ネットワークの経時的機能評価手法の構築と検証

研究課題名（英文）Construction and verification of the evaluating methodology for the transition of transfer function in road networks after damage earthquakes

研究代表者

酒井 久和（SAKAI, Hisakazu）

法政大学・デザイン工学部・教授

研究者番号：00360371

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：機械学習に基づく震災時の道路復旧期間予測法として、近年の7地震データを用いたサポートベクトル回帰に基づく復旧期間予測モデルの構築を行った。地震時の斜面崩壊評価として、共分散構造分析とロジスティック回帰分析を使用し、崩壊データの少ない地震に対してSMOTEを適用し、得られた斜面崩壊評価式に基づく孤立性評価法を提案した。道路ネットワークの経時的機能評価手法の和歌山県への適用の準備のために、避難所や集落同士の相互支援を考慮した分散型の物資輸送モデルのプロトタイプを構築した。また、香川県へのケーススタディに適用し、物資輸送の観点における道路ネットワークの経時的機能性の検証を試みた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人命にとっては震災後72時間が勝負と考えられているため、極めて短期間の緊急輸送道路の機能回復が求められる。しかし、東北地方太平洋沖地震において成功例とされている櫛の歯作戦でも沿岸部までの15ルート中11ルートしか3日以内に機能回復できておらず、また、南海トラフ巨大地震における高知県の想定では道路啓開に3日を越えるルートが多数あるのが現状である。本研究では、内陸部の道路ネットワークの機能性評価に影響する山地形の地震動増幅特性を把握し、地震時斜面崩壊確率の精度向上の手法の開発・改良を進めた。さらに、和歌山県、香川県で手法を適用し、道路ネットワークの経時機能性の検証を行った。

研究成果の概要（英文）：(i) As a method for predicting road restoration periods during earthquakes based on machine learning, a restoration period prediction model based on support vector regression was constructed using data from seven recent earthquakes. (ii) As an evaluation method for slope failure during earthquakes, using covariance structure analysis and logistic regression analysis, SMOTE was applied to earthquakes with little failure data. Furthermore, an isolation evaluation method was proposed based on the obtained slope failure evaluation formula. (iii) To prepare for the application of the method for evaluating the function of road networks over time to Wakayama Prefecture, a prototype decentralised goods transport model was developed, considering mutual support among evacuation centres and settlements. It was also applied to a case study in Kagawa Prefecture, where an attempt was made to verify the functionality of road networks over time in terms of goods transport.

研究分野：地震工学

キーワード：地震 道路ネットワーク 復旧性 斜面災害 緊急輸送道路 孤立集落 経時的機能性

1 . 研究開始当初の背景

南海トラフ巨大地震は今後 30 年以内の発生確率が 70 ~ 80% と評価される、近い将来必ず起こる大災害である。高知県、和歌山県などでは津波による甚大な被害が想定されているが、膨大な財政赤字と巨大津波のために無被害を目指す対策は現実的でなく、被災した人々を救援する道路の地震後の機能性確保が重要なテーマのひとつとなっている。特に人命にとっては発災後 72 時間が勝負と考えられているため、被災者である自治体職員、建設会社社員による極めて短期間の緊急輸送道路の機能回復が求められ、国や地方自治体では被害想定をもとに様々な対策が講じられている。しかしその一方で、東北地方太平洋沖地震において成功例とされている櫛の歯作戦でも沿岸部までの 15 ルート中 11 ルートしか 3 日以内に機能回復できておらず、また、南海トラフ巨大地震における高知県の想定では道路啓開に 3 日を越えるルートが多数あるのが現状である(図 1 参照)。また、我々が昨年実施した国土交通省近畿地方整備局に対する聞き取り調査によると、“震災対策便覧に示される事前対策以外にも、津波による被害想定に基づき、特に建設会社と道路啓開に対して災害協定を結び早期の道路ネットワークの機能性回復を目指している。しかしながら、豪雨による斜面災害等がしばしば発生する山間部に対しては地震時の被害想定すらも困難であり、事後の被災状況から判断した復旧作業に移らざるを得ないのが現状である”とのことであった。図 2 に和歌山県内の道路の予測震度分布を示すが、内陸部の道路被害も広域に亘り、大きな被害が想定される。沿岸部の被害が甚大であることは言を俟たないが、内陸部の孤立地域の解消だけでなく、ネットワークの多重性、代替性を確保するためにも、内陸部の緊急輸送道路の被害の最小化や早期復旧に向けての事前対策を講じておくことが極めて重要である。

2 . 研究の目的

前述のように、ネットワークの多重性、代替性の確保が求められており、各自治体において地震時の被害想定に基づいて対策が練られている。ここで効率的な対策を施すためには、被災した道路ネットワークが、道路啓開により経時的に変化することを考慮する必要があり、また、機能性評価手法も十分な精度が求められる。そこで本研究では、地震発生後の道路ネットワークの機能性を精度よく経時的に評価する手法の開発を目指す。具体的には、橋梁、盛土、斜面などの道路構造物の地震時損傷確率に基づいて道路ネットワークの機能性評価を行うとともに、各構造物の被災程度と道路規制期間との関係を利用し、経日で復旧するネットワークの機能性を再評価する。

3 . 研究の方法

橋梁の損傷程度と交通規制期間のデータ収集・分析

橋梁の被害について損傷程度が大きい研究は多いが、被害が大きい場合には 72 時間以内での規制解除は困難である。本研究では緊急輸送道路の短期間の機能性回復に着目することから、既往の地震において支承の損傷や段差量の明記のある被害程度の小さい事例、その際の交通規制データを収集し、橋梁の損傷程度と交通規制期間の分析を行う。

地震時における斜面被害率の分析

広域な斜面災害を評価する場合には国土地理院による標高・地質データ等を用いた検討も行われているが、湧水や表層の風化など斜面崩壊要因の評価は困難である。一方、斜面カルテ・道路防災点検データは、斜面の崩壊危険箇所を対象に斜面の崩壊に影響する項目が記載されている。また、既に国土交通省や各自治体による管理が行われていることから、道路管理者の新たな調査が不要である。本研究では、国土地理院のデータに、斜面カルテ・道路防災点検データも加え、ロジスティック回帰分析、共分散構造分析、深層学習などの手法を採用し、既往地震災害に対する的中率の高い斜面崩壊確率の推定手法を提案する。

斜面災害・盛土被害に関する道路啓開作業調査

大地震時における土構造物・斜面の道路被害に対する個々の啓開作業については、自治体では把握できておらず、担当した建設会社への聞き取り調査が必要である。既に東北地方沿岸部の啓開作業については啓開作業に携わった建設会社への聞き取り調査を行ったが、山間部の啓開作業についてさらに調査を行い、構造物ごとの被害程度と啓開に要した時間を整理、分析する。

道路ネットワークの経時的機能性評価手法の開発

既往の研究で得られた地震強度と構造物の被害率、被害と道路規制期間との関係、OpenStreetMap データを用いて、道路ネットワークの地震後の経時的機能性評価手法を試作する。分析は OSMnx を使用して行う。

道路ネットワークの経時的機能性評価手法の検証

既往の収集済みデータに前年度の ~ の成果を加え、試作手法の を用いて 2004 年に 7 市町村 61 地区が孤立した新潟県中越地震を対象に、道路ネットワークの経時変化と比較し、手法の改良並びに検証を行う。

和歌山県道路防災点検データの収集

和歌山県の緊急輸送道路における道路防災点検データを近畿地方整備局，和歌山県の9つの振興局，国道事務所から収集する。

道路ネットワークの経時的機能性評価手法の和歌山県への適用

前年度の評価手法を用いて，南海トラフ巨大地震時における道路ネットワークの経時的な機能性評価を行う。それにより3日以内に機能性が確保できない可能性が高い緊急輸送道路に対して現地踏査を行い，道路施設の現状を把握する。

分散型の物資輸送モデルを構築する。このモデルを香川県へのケーススタディに適用し，物資輸送の観点における道路ネットワークの経時的機能性の検証する。

4. 研究成果

・2016年熊本地震の本震について，PGV予測式を用いてトレンド成分を算出し，観測値との残差をKriging法により空間的に補間してPGV分布を推定した。さらに，K-foldにより提案手法の妥当性を検証した。

・2021年福島県沖地震と2011年福島浜通り地震による斜面崩壊が発生した。これらの地域(相馬市，いわき市)における地形による地震動増幅を理解するための微動調査が可能な場所を現地踏査により特定した。

・2011年東北地方太平洋沖地震による被害が生じた福島県の中南部地域を対象地とし，ロジスティック回帰分析を用いて斜面の崩壊確率評価式を作成した。得られた評価式を新潟県中越地震，新潟県中越沖地震に適用し，横断形状，植生，地震動，地質時代，実効雨量を用いた斜面崩壊確率の信頼性評価式において，約6割的中率となった。また，他地震における検討でも約6割と同程度の的中率が得られた。

・2004年新潟県中越地震，2007年新潟県中越沖地震が発生した新潟県を対象地として，県が管理する斜面カルテに加え，地震動強度指標データ，降水量，地質図，土壌図，植生図といった空間情報データの収集を行い，地質学，統計学の両観点から斜面崩壊被害の特徴を掴んだ。共分散構造分析によって複数の説明変数が集約された潜在変数を用い，実際に発生した斜面崩壊に対して説明力の高いロジスティックモデルを作成した。

・道路橋に被害を与えた新潟県中越地震，能登半島地震，新潟県中越沖地震，岩手・宮城内陸地震，東北地方太平洋沖地震，熊本地震における橋梁被害状況および復旧状況を調査し，これらのデータを用いてロジスティック回帰分析を行った。さらに，ROC曲線に基づきモデル精度の検証を行った結果，モーメントマグニチュード，震源深さ，幅員，橋面被害の有無を説明変数とするロジットモデルの判別能力が高く，当該モデルによる地震発生後72時間以内に復旧する確率の予測式を提案した。

・機械学習に基づく震災時の道路復旧期間予測法として，近年の7地震(2004年新潟中越地震，2007年能登半島地震，新潟中越沖地震，2009年岩手・宮城内陸地震，駿河湾地震，2011年東北地方太平洋沖地震，2016年熊本地震)データを用いたサポートベクトル回帰に基づく復旧期間予測モデルの構築を行い，先行研究のモデルより許容誤差の満足度で約10%の精度向上，相対誤差約50%減少，予測値と実測値との誤差が3日以上となった外れ値の数を約8%減少させ精度を大きく向上させた。

・地震時の斜面崩壊評価として，共分散構造分析とロジスティック回帰分析を使用し，崩壊データの少ない地震に対してSMOTE(Synthetic Minority Over-sampling Technique)を適用した。得られた斜面崩壊評価式に基づく孤立性評価法を提案した。

・地震時における斜面被害率の分析において，機械学習で用いられる手法を援用し，崩壊斜面と非崩壊斜面のバランスを考慮した地震時斜面崩壊の統計モデルを再構築し，これまでに得られた共分散構造型の斜面崩壊モデルのロバスト性を確認した。

・道路ネットワークの経時的機能性評価手法の和歌山県への適用の準備のために，避難所や集落同士の相互支援を考慮した分散型の物資輸送モデルのプロトタイプを構築した。本モデルは，道路ネットワークの経時的機能が社会生活に与える影響を評価するための基礎モデルとなる。

・道路ネットワークのリスク評価式の適用性を評価するため，インドの2地域で予備調査を実施した。

・構築した分散型の物資輸送モデルを比較的数据整備の進んだ香川県へのケーススタディに適用し，物資輸送の観点における道路ネットワークの経時的機能性の検証を試みた。ライフライン途絶状況から推計した避難所別の避難者数等の推計値を用い，道路被害のシナリオを与えた状況下においてモデルを適用したところ，避難所の物資の充足度が変化していく様子を可視化することができた。

・平成16年新潟県中越地震，平成19年新潟県中越沖地震，平成23年度東北地方太平洋沖地震，福島県浜通り地震における，斜面崩壊データ，地震動強度指標データ，降水量データ，地質図，土壌図，植生図などのオープンデータに加えて，先行研究では個々に利用していたデータを統合して使用し，統計学，地質学の両観点から斜面崩壊被害の特徴を把握した。これらの分析データをトレーニングデータとテストデータに分け，トレーニングデータに対して，共分散構造分析とロジスティック回帰分析を行い，崩壊確率評価式を導出した。最後に導出した評価式をテストデータに適用させ，その手法の妥当性を確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Katsuki Hozumi, Hisakazu Sakai, Yoshio Kajitani	4. 巻 なし
2. 論文標題 Risk Assessment of Landslide Disaster for Detecting Isolated Communities in Wakayama Prefecture After Nankai Trough Earthquake	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advances in Sustainable Construction and Resource Management, Springer	6. 最初と最後の頁 705, 716
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-981-16-0077-7_60	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 梶丹人・酒井久和・梶谷義雄	4. 巻 77
2. 論文標題 斜面カルテと崩壊来歴の共分散構造分析による斜面崩壊確率評価式の提案	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集	6. 最初と最後の頁 I_384-I_393
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 穂積克樹, 酒井久和, 梶谷義雄	4. 巻 79
2. 論文標題 防災カルテ・安定度調査表を用いた斜面崩壊による孤立性評価手法の提案と孤立地域の予測	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 土木学会論文集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 2件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Anirban Chakraborty
2. 発表標題 Data driven Geo-technical earthquake engineering for reliable decision making
3. 学会等名 Workshop on case studies of civil engineering projects in steel plants and mines (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 梶谷義雄
2. 発表標題 温暖化、土砂災害リスクと地域コミュニティ
3. 学会等名 香川地域継続検討協議会 設立9周年シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kajitani, Y.
2. 発表標題 Infrastructure disruptions and disaster economy in local and regional scales
3. 学会等名 Joint Japan-US Symposium on Assessment, , Management, and Governance for Infrastructure Resilience, Japan Society for Civil Engineering
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 穂積克樹
2. 発表標題 和歌山県における南海トラフ地震の斜面崩壊による孤立性評価
3. 学会等名 土木構造物の復旧性評価に関するシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柁丹人
2. 発表標題 斜面カルテによる共分散構造モデルを用いた斜面の地震時信頼性評価
3. 学会等名 土木構造物の復旧性評価に関するシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 合田俊輝
2. 発表標題 災害発生時における地域コミュニティの物資融通支援システムの開発
3. 学会等名 情報処理学会 第85回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 真井翔太郎
2. 発表標題 南海トラフ巨大地震における分散型物資輸送計画の提案
3. 学会等名 土木学会全国大会・第77回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 地震工学委員会・耐震基準小委員会・復旧性WG	4. 発行年 2021年
2. 出版社 土木学会	5. 総ページ数 198
3. 書名 地震工学委員会・耐震基準小委員会・復旧性WG活動報告書	

1. 著者名 地震工学委員会・耐震基準小委員会・断層変位WG	4. 発行年 2021年
2. 出版社 土木学会	5. 総ページ数 172
3. 書名 耐震基準小委員会断層変位WG研究成果報告書	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	梶谷 義雄 (KAJITANI YOSHIO) (80371441)	香川大学・創造工学部・教授 (16201)	
研究分担者	CHAKRABORTY ANIRBAN (CHAKRABORTY ANIRBAN) (30907803)	法政大学・デザイン工学部・助手 (32675)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
インド	The Indian Institute of Technology	Birla Institute of Technology Mesra	