

OpenStreetMap を利用した中山間地の地震時孤立可能性の定量化

小野 祐輔¹・本郷 峻介²

¹正会員 鳥取大学大学院准教授 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒680-8552 鳥取市湖山町南 4-101)

E-mail: ysk@cv.tottori-u.ac.jp

²非会員 鳥取大学学生 (研究当時) 工学部土木工学科 (〒680-8552 鳥取市湖山町 4-101)

E-mail: shunsuke_1112345678999@yahoo.co.jp

本研究では OpenStreetMap の道路ネットワークに関するデータと国土地理院基盤地図数値標高モデルによる標高データを利用し、中山間地の集落の地震時の孤立可能性を道路ネットワークの非連結確率として定量的に評価する手法を提示した。道路ネットワークを構成するノードとリンクの破壊確率は、酒井ら(2013)による斜面崩壊率の評価式を用いて求め、モンテカルロ法により指定した集落と防災拠点として想定した自治体庁舎との間の道路ネットワークの非連結確率を計算した。求められた非連結確率は過大な値となっていることが推察され、今後のさらなる検討の必要性が示唆された。さらに、中山間地の地震時孤立可能性の評価に対して OpenStreetMap を利用することの利点と問題点について整理した。

Key Words: OpenStreetMap, isolation, mountainous area, slope failure, road network

1. はじめに

中山間地で強い揺れを伴う地震が発生すると、土砂災害に伴う道路閉塞により、中山間地に点在する集落の孤立が発生する。内閣府は、平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震において多数の孤立集落が発生したことを受けて、平成 17 年度に「中山間地等の集落散在地域における孤立集落発生の可能性に関する状況調査」を実施した¹⁾。この調査において、孤立とは「道路交通及び海上交通による外部からのアクセス(四輪自動車で通行可能かどうかを目安)が途絶し、人の移動・物資の流通が困難もしくは不可能となる状態」と定義されている。また、孤立を生む要因として「地震、風水害に伴う土砂災害や液状化等による道路構造物の損傷」、「道路への土砂堆積・地震動に伴う液状化による道路構造物の損傷・津波による浸水」、「道路構造物の損傷」を挙げ、「集落へのすべてのアクセス道路の一部区間が、土砂災害警戒区域、土砂災害特別警戒区域、土砂災害危険箇所(土石流危険渓流、地すべり危険箇所、急傾斜地崩壊危険場所)又は山地災害危険地区に隣接している」か否かにより集落の孤立可能性を判定する。この判定基準は定性的なものであり、事前対策や事後対応計画を策定するためには、一歩進んで定量的な評価を導入することが望ましいであろう。

本研究では、地震時の中山間地の孤立可能性の定量的な議論に資することを目的として、斜面崩壊に伴う道路閉塞の発生確率に基づき、集落の孤立確率を求めた。入力データとしては、対象地域の道路ネットワークの GIS データと、対象地域で予測される地震動に対する斜面の崩壊確率が必要となる。道路ネットワークに関するデータは OpenStreetMap²⁾を利用した。斜面の崩壊確率は、対象地点の地震動の PGA と斜面勾配を用いる酒井らの評価式³⁾を用いた。PGA については、自治体等が公表している地震被害想定の情報を用いることが考えられるが、本研究の計算例においては仮定の値を用いた。斜面の勾配については、国土交通省国土地理院の基盤地図情報数値標高モデル⁴⁾を用いて計算した。

2. 利用したデータ

(1) OpenStreetMap

OpenStreetMap²⁾は、誰でも利用できるフリーでオープンな地理情報データを作成することを目的としたプロジェクトである。OpenStreetMap は単に地図を提供するウェブサイトではなく、データベース化された地理情報がオープンデータベースライセンス⁵⁾の下で提供されており、利用者はそれぞれの目的に応じて必要な地理情報を入手

することができる。また、一般的な商用の地理情報データ提供サービスとの違いは、Wikipediaのように誰もが地理情報を追加・修正等の編集ができる点にある。そのため、データの正確さが懸念されることがあるが、GISソフトウェア上で他の商用サービスのデータと重ねて表示して確認するなどすることでこの問題は回避できる。また、誤りを発見した際には修正を施すこともできる。

(2) 道路ネットワーク

OpenStreetMapのウェブサイトからダウンロードしたデータは、指定した範囲に含まれる全ての情報が含まれたXML形式となっている。そのため、不要な情報を取り除き、かつ取り扱いの容易なShapefileに変換した方が便利である。そこで、本研究では、プログラミング言語Pythonのパッケージとして提供されているOSMnx⁹⁾を用いた。OSMnxを用いることで、指定した地域の道路データをOpenStreetMapからダウンロードし、グラフ化（ノードとリンクから構成されるネットワークに変換）した上でShapefileとして保存できる。

OpenStreetMapでは、道路についてhighwayキーが設定され、valueで道路種別が識別できるようにされている⁷⁾。本研究では車両の通行が可能なものを対象とし、OSMnxによりOpenStreetMapからダウンロードする際に指定するnetwork_typeをdriveとした。図-1にOpenStreetMapからダウンロードし、ノードとリンクから構成されるグラフに変換した道路ネットワークの一例を示す。

(3) 標高データ

国土交通省国土地理院の基盤地図情報サイト⁴⁾から、基盤地図情報数値標高モデルの10mメッシュのデータをダウンロードして利用した。このデータのフォーマットはXMLである。本研究では、GISソフトウェアで容易に取り扱えるように、株式会社エコリスによる「国土数値情報 土地利用細分メッシュ ラスタ変換ツール」⁸⁾を用いてGeoTIFF形式に変換して利用した。

3. 孤立可能性の評価方法

(1) 集落の孤立可能性の定量的な定義

本研究では、集落の孤立可能性を、ある想定地震において、その集落から必要な防災対策の拠点（例えば市町村役場）までの車両が通行可能な道路ネットワークの非連結確率と定義する。

(2) 道路ネットワークの非連結確率

ノードとリンクによってグラフ化された道路ネットワ

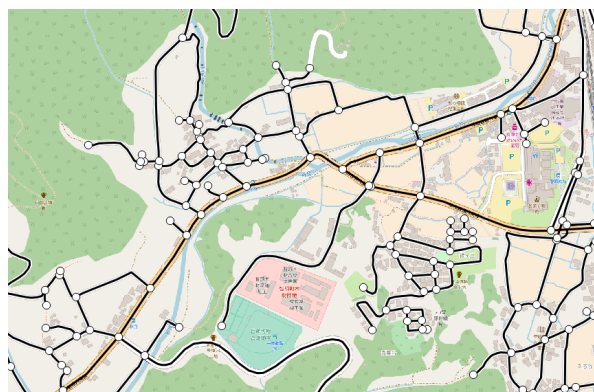


図-1 OpenStreetMap から OSMnx を用いて抽出した道路ネットワーク（リンクを黒実線、ノードを白抜き円で表示）

ークに対して、モンテカルロ法により2地点間の非連結確率を求める⁹⁾。具体的な計算手順は次の通りである。

1. ネットワークのShapefileを読み込む。
2. ネットワークの始点と終点となるノードを指定する。
3. モンテカルロ法の試行回数 N を設定する。
4. 連結したネットワークを数えるための変数 k をゼロとする。
5. すべてのノードとリンクについて $[0,1]$ の一樣乱数 r^i を発生させ、 $r^i \gg p_f^i$ であればそのノードまたはリンクをネットワークから削除する。ここで、 p_f^i はノードまたはリンク i の破壊確率である。
6. 2で作成したネットワークに対して、最短経路探索を行い、経路が存在した場合には $k \leftarrow k + 1$ とする。
7. 5と6を N 回繰り返す、与えられたネットワークの非連結確率 P_f を $P_f = 1 - k/N$ と求める。

この計算を行うプログラムはPythonにより実装した。最短経路探索は、Pythonで利用可能なパッケージNetworkX¹⁰⁾（バージョン1.11）の関数has_pathを用いた。なお、NetworkXでは有向グラフ、無向グラフのいずれも取り扱うことができるが、災害時の連結性に関する検討であることから、道路ネットワークを無向グラフとして取り扱った。

(3) ノードとリンクの破壊確率

モンテカルロ法によりネットワークの非連結確率を求めるにあたり、ノードとリンクの破壊確率を設定した。ノードの破壊確率は、そのノードが含まれる斜面崩壊確率メッシュの値を用いることで容易に設定できる。一方、リンクの破壊確率の設定は、そのリンクが通過する全てのメッシュの斜面崩壊確率を用いて行う。すなわち、あるリンク j が通過するメッシュを i ($i = 1, \dots, M$)、その斜面崩壊確率を p_f^i とすると、リンクの破壊確率 q_f^j は次式で求められる。

$$q_f^j = 1 - \prod_{i=1}^M (1 - p_f^i) \quad (2)$$

リンクが通過するメッシュの抽出は、ベクタデータとラスタデータを組み合わせた処理になるため工夫が必要である。本研究では、各リンク上にメッシュサイズと等しい間隔で等間隔に点を設け、その点の斜面崩壊確率を読み取ることで行った。ただし、リンクの形状によっては一つのメッシュに複数の点が生じることがあるので、そのメッシュに点があるかどうかを確認し、既にある場合には新たな点は設けない。さらに、ネットワークの非連結確率を計算する際の重複を避けるために、ノードの存在するメッシュにも点は設けない。これらのノード、リンクの破壊確率を求めるプログラムは Python によって実装した。

(4) 斜面の崩壊確率の算定

対象地域の斜面の地震時崩壊確率 p を下の酒井らの式³⁾を用いて 10m メッシュで求めた。

$$p = \frac{1}{1 + \exp\{-(-7.89 + 0.09\phi + 0.0019a)\}} \quad (1)$$

ここで、 ϕ は斜面勾配 (°)、 a は PGA である。

本研究では、斜面勾配を先に述べた基盤地図情報数値標高モデルを利用し、オープンソース GIS ソフトウェアである QGIS 上で地形解析プラグインにより求めた。その後、Python で作成したプログラムを用いて各メッシュの斜面崩壊確率を式(1)により求めた。

4. 計算例と考察

(1) 計算条件の設定

以下では山陰地方に実在するある町を対象とし、集落の孤立可能性として、ある集落と防災拠点となる役場との間の道路ネットワークの非連結確率を計算した事例を示す。先述したように道路ネットワークに関するデータは OpenStreetMap、標高データは基盤地図情報数値標高モデルを利用した。道路ネットワークは対象とする町内のみを用いた。図-2 に対象とした道路ネットワークと設定した集落 A、B から役場までの平時の最短経路を示す。

PGA については、対象とする自治体のハザードマップ等を利用することもできるが、仮定した値を用いてパラメトリックな分析を行った。PGA を仮定するにあたり、地盤増幅特性を考慮することが望ましいが、簡単のため、計算対象の全域に一定とした。仮定した PGA は 50, 100, 200, 400 gal である。

(2) 計算結果

斜面の崩壊確率を求めた結果の例として、PGA が 400

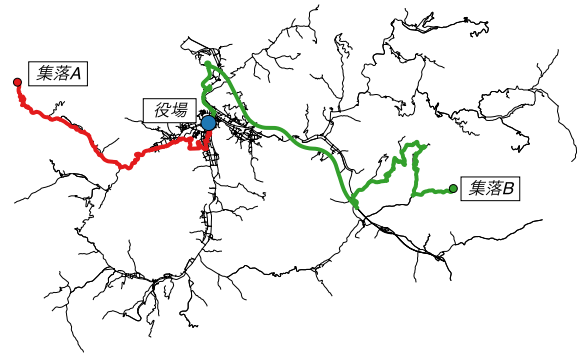


図-2 道路ネットワークと集落 A 及び B から役場までの平時の最短経路

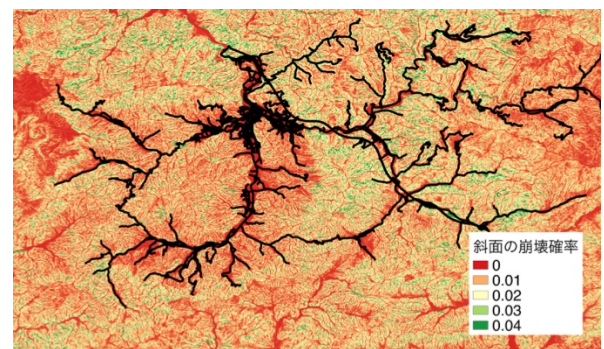


図-3 斜面の崩壊確率 (PGA を 400 gal とした例)

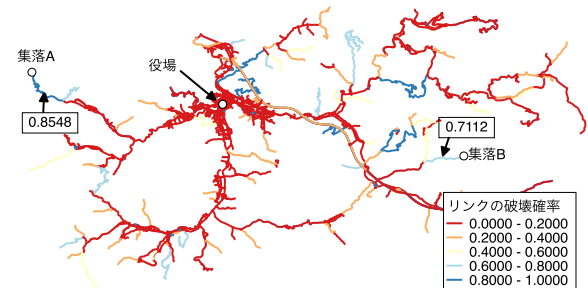


図-4 リンクの破壊確率 (PGA を 400 gal とした例)

gal に対するものを図-3 に示す。崩壊確率は最大でおよそ 0.04 となった。

次に、この結果を用いて道路ネットワークを構成するリンクの破壊確率を求めた結果が図-4である。集落 A に接続するリンクの破壊確率は 0.8548、集落 B に接続するリンクの破壊確率は 0.7112 であった。これらのリンクに対して代替となるリンクは存在しないため、同じ PGA を与えた場合には、集落 A および B から他の集落に移動する際の経路の非連結確率は常にこの値以上となる。一方、役場周辺は平坦な地形であるため、各リンクの破壊確率は小さな値となっている。

同様に、図-3 で示した斜面の崩壊確率を用いて各ノ

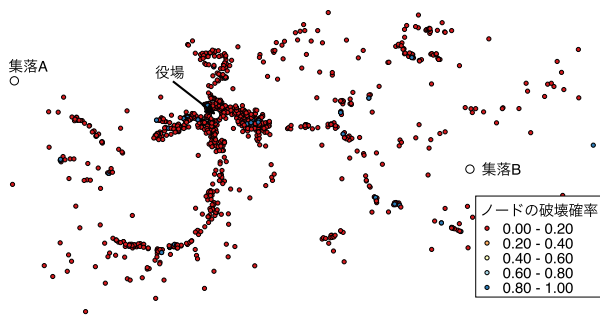


図-5 ノードの破壊確率 (PGA を 400 gal とした例)

ードの破壊確率を求めた結果を図-5 に示す。崩壊しやすい斜面のある場所に位置するものを除き、リンクに比べて小さな値となっている。

次に、試行回数を 3,000 回としたモンテカルロ法を用いて集落 A および B それぞれから役場までの道路ネットワークの非連結確率を求めた結果を表-1 に示す。集落 A、B ともに PGA が大きくなると非連結確率が大きくなるという結果が得られた。また、集落 A と B を比較すると、集落 B が孤立する可能性が高いことが分かる。

なお、モンテカルロ法の試行回数に対する非破壊確率の計算の収束状況は図-6 に示したとおりであり、3,000 回の試行回数は十分であったことが確認できる。

(3) 計算結果に対する考察

斜面の崩壊確率の評価に用いた酒井らの式³⁾では、斜面の防護工等の対策の効果が考慮されていない。さらに、本研究では道路ネットワークを構成するリンクとノードの破壊確率として、それらが含まれるメッシュにおける斜面の崩壊確率を用いており、斜面が崩壊すると判定されたメッシュにおいては常にリンクまたはノードが破壊したとみなされる。これらの理由により、本研究で求められた集落と役場との非連結確率は過大な評価となっている。さらに、対象とした道路ネットワークを対象とした自治体内に存在ものに限定したため、隣接する市町村を通過する経路が考慮されていない。この点においても非連結確率は過大に評価されていると考えられる。

また、酒井らの式³⁾は、1995 年兵庫県南部地震における六甲山地において生じた斜面の崩壊の実態データに対して統計的な処理を施して導出されたものである。その際に利用された PGA は 200 gal から 400 gal であり、この範囲を超えて適用することは適切でない。すなわち、本研究で示した計算例において、PGA を 50 gal と 100 gal としたケースに対しては適切な結果が得られていない可能性がある。

(4) OpenStreetMap の利用に関する考察

本研究における集落の地震時孤立可能性の分析のよう

表-1 集落と役場との非連結確率 (モンテカルロ法の試行回数を 3,000 回とした結果)

PGA (gal)	集落 A	集落 B
50	0.7270	0.9583
100	0.7470	0.9677
200	0.8050	0.9867
400	0.9193	0.9983

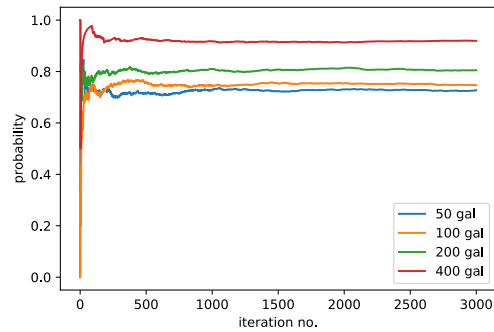


図-6 モンテカルロ法による非連結確率の計算の収束状況

な分析の地理情報データとして OpenStreetMap を用いる利点と問題点について考察する。まず利点として、無償で提供されており、かつデータの 2 次利用に対する自由度が高いことが挙げられる。OpenStreetMap の地理データは、Open Data Commons Open Database License (ODbL)⁵⁾の下で自由にコピー、配布、利用することができる。すなわち、OpenStreetMap の地理データに基づいて作成した各種地図を配布することに対する制約が少ない。

一方、OpenStreetMap を利用する際に問題となる点としては、地域によってデータの量、質ともにバラツキがあることが挙げられる。国勢調査局のデータが提供された米国のように全土が一定の精度でカバーされた地域もあるが、発展途上国の中山間地では十分なデータが作成されていない地域もある。ただし、地理データの整備が十分でない地域を対象とした分析を行う場合には、Potlatch 2 や JOSM といった OpenStreetMap のための地図作成ツールを利用して必要なデータを追加できる。本稿執筆時点では、地理データの作成において Microsoft 社の Bing (<http://www.bing.org>) ので表示される航空写真を背景図としたトレースが許可されている。このようにデータの不足する地域に対して、自らデータを追加することができ、かつそのための環境が整備されている点は利点でもある。

5. まとめ

本研究では、OpenStreetMap からダウンロードした道路ネットワークに関するデータと国土地理院基盤地図数値

標高モデルによる標高データを利用し、中山間地の集落の地震時の孤立可能性を道路ネットワークの非連結確率として定量的に評価する手法を提示した。道路ネットワークを構成するノードとリンクの破壊確率は、酒井ら³⁾による斜面崩壊率の評価式を用いて求め、指定した集落と役場との間の道路ネットワークの非連結確率を計算した。求められた非連結確率は過大な値となっていることが推察され、今後のさらなる検討の必要性が示唆された。さらに、中山間地の地震時孤立可能性の評価に対してOpenStreetMapを利用することの利点と問題点について整理した。

謝辞：本研究では道路ネットワークのデータとしてOpenStreetMapを利用した。斜面の地震時崩壊確率の計算には、国土交通省国土地理院基盤地図情報数値標高モデルのデータを利用した。記して謝意の意を表す。

参考文献

- 1) 内閣府：中山間地等の集落散在地域における孤立集落発生の可能性に関する状況調査，2005.
- 2) OpenStreetMap, <https://www.openstreetmap.org> (2017年9月1日閲覧)
- 3) 酒井久和, 奥村誠, 塩飽拓司, 香川敬生, 長谷川浩一, 澤田純男, 多々納裕一：地震時における斜面の簡易信頼性評価法に関する基礎的研究, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.69, No.4, pp.I_142-I_147, 2013.
- 4) 国土交通省国土地理院：基盤地図情報サイト, <http://www.gsi.go.jp/kiban/index.html> (2017年9月1日閲覧)
- 5) Open Data Commons : Open Database License (ODbL), <https://opendatacommons.org/licenses/odbl/> (2017年9月1日閲覧) .
- 6) Boeing, G.:OSMnx:New Methods for Acquiring, Constructing, Analyzing, and Visualizing Complex Street Networks, *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol.65, pp.126-139, 2017. (DOI: 10.1016/j.compenvurb-sys.2017.05.004)
- 7) Japan Tagging, http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Japan_tagging (2017年9月2日閲覧) .
- 8) 株式会社エコリス：国土数値情報 土地利用細分メッシュラスター変換ツール, <http://www.ecoris.co.jp/contents/rastertool.html> (2017年9月1日閲覧)
- 9) 田村重四郎, 川上英二：モンテカルロ法による地中埋設管システムの耐震性の評価方法, 土木学会論文報告集, Vol.311, pp.37-48, 1981.
- 10) NetworkX, <https://networkx.github.io> (2017年9月1日閲覧)

QUANTIFICATION OF ISOLATION POSSIBILITY DURING EARTHQUAKE OF MOUNTAINOUS AREA USING OpenStreetMap

Yusuke ONO and Shunsuke HONGO

In this study, geographical data on the road network downloaded from OpenStreetMap and altitude data from the Geographical Survey Foundation Map were used to quantify the possibility of isolation of a village during earthquake in a mountainous area. The possibility of isolation was defined by the probability of disconnection of the road network between a hamlet and the local government office. The probability of failure of nodes and links constituting the road network was evaluated by using the probability of slope failure that was calculated with the equation by Sakai et al. (2013). The disconnected probability of the road network was calculated by the Monte Carlo Method. It was inferred that the disconnected probability obtained was excessive, suggesting the need for further investigation in the future. Furthermore, we summarized the advantages and disadvantages of using OpenStreetMap for evaluating isolation possibility of earthquake in mountainous area.