

防災点検データを考慮した固有ベクトルによる道路ネットワークの脆弱性評価

金沢大学大学院 学生会員 ○中南 孝晶
金沢大学 正会員 中山 晶一朗・小林 俊一・山口 裕通
金沢大学大学院 学生会員 大澤 脩司

1. 研究の背景と目的

災害時において、迅速な避難や救援物資の輸送など、道路が果たす役割は極めて大きく、各防災拠点などを結んでおくことが望ましい。この連結性を高く維持するために、道路の途絶によって連結性を大きく低下させる脆弱性の高い部分を評価し、何らかの対策を施すことが重要である。この評価には様々な方法が考えられるが、本稿では、固有値解析による固有ベクトルを利用し、途絶によって連結性を大きく低下させる脆弱性の高い部分を評価する手法を用いる。この手法の大きな利点は、膨大なリンクやノード数を含むネットワークにおいても、一度の固有値計算で脆弱性の評価を行える点である。この手法はネットワークの構造上の弱点を評価できることが示されているが、本稿では、この手法に、斜面の道路防災点検データを考慮した被災リスクを取り込んだ評価を石川県の道路ネットワークについて試みる。

2. 固有値解析による脆弱性評価

まず、固有値解析による固有ベクトルを利用した脆弱性評価について簡単に説明する。固有値解析は、道路ネットワークをグラフ化し、ラプラシアン行列を作成するという作業から始まる。ラプラシアン行列 L は、道路ネットワークにおけるリンク・ノードの関係を記述した隣接行列 A と、各ノードに接続するリンクの数(次数)を示した次数行列 D から、 $D-A$ で示される。なお、隣接行列の成分 a_{ij} は、ネットワークのノード i とノード j がリンクで接続していると 1 に、非接続だと 0 となり、次数行列は対角成分が次数である。よって、ラプラシアン行列は各行と列の和が 0 になる。ここで、リンクの長さが長いほど途絶リスクが大きいことを考慮するために、隣接行列の成分をリンクの距離(km)の逆数とする。これに伴い、次数行列の成分も各ノードに接続しているリンクの距離の逆数の合計となる。この手法では、脆弱性の指標として、このラプラシアン行列の固有値解析から得られた各ノードに対する第二最小固有ベクトルの成分差に着目する。この差の大きさが、リンクの途絶によるネットワーク全体の連結性への低下につながる脆弱性の高さを示しており、県境などの迂回路が少ないボトルネックでは脆弱性が高く、ネットワークの端部など、途絶しても他が広範囲で連結している場合において相対的に脆弱性が低く示される特徴がある¹⁾。

表-1 石川県管理の防災点検データ

総合判定	内容	箇所数
A ⁺	崩壊、滑落の危険性高い、速やかに対策工を実施すべき	180
A	近い将来に崩壊、滑落の確率高い、対策工を実施すべき	988
B ⁺	近い将来に崩壊、滑落の確率やや高い、対策工望ましい	382
B	将来に渡って、崩壊、滑落の確率やや高い	93
C	将来に渡って、崩壊、滑落の確率低い	97

3. 防災点検データについて

防災点検データとは、道路防災総点検の安定度調査によって、対策が必要と判断されると評価された箇所、防災カルテを作成し対応すると評価された箇所に対して、着目すべき事項などを記載したものである。石川県には、国が管理する直轄国道のデータと県が管理する国道および県道のデータが存在する。管理者によって様式が異なり、後者には、点検箇所を項目ごとに点数付けしたものと、崩壊履歴や整備の有無などを合わせた五段階キーワード 道路ネットワーク, 脆弱性, 固有値解析, 防災点検データ

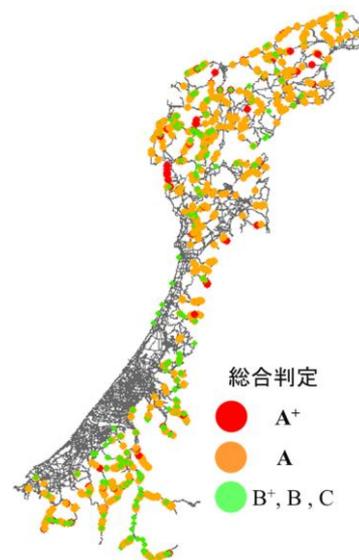


図-1 防災点検データの総合評価

連絡先 〒920-1192 石川県金沢市角間町 自然科学研究科棟 2C734

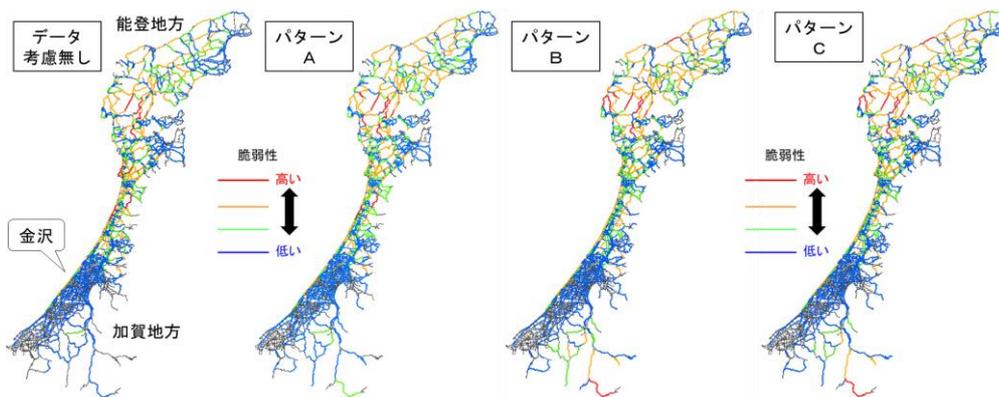


図-2 脆弱性評価の結果

表-2 距離の加算パターン

総合判定	A+	A
パターンA	+5km	+2km
パターンB	+5%	+2%
パターンC	×5	×2

の総合判定が記載されており、その内容は表-1に示す。防災点検データの総合判定の分布を図-1に示す。能登半島や他

県との県境などの山間部に多く存在していることが確認できる。本稿では、石川県の管理する防災点検データのみを対象とし、この総合判定をリンクの被災リスクとして反映させることとした。

4. 被災リスクを考慮した脆弱性評価

防災点検データの総合判定を被災リスクとして脆弱性評価を行うために、被災リスクの大きさをリンク距離の長さに置き換えたラプラシアン行列を作成する。つまり、総合判定で対策工を実施すべきとした箇所を多く含む道路は、その分だけリンク距離を実際よりも長く考えて解析するということである。今回は、対策工を実施すべきとされているA+とAの箇所を含むリンクについて、一箇所ごとに距離を加算する。総合判定が、脆弱性評価のうえでどの程度のリスクとするかについては明確な基準がないため、表-2に示すようにいくつかのパターンを考え、石川県の道路ネットワーク(12768リンク/8461ノード)について評価を行った。

脆弱性評価を図-2に示す。なお、細い黒線で示した道路は、脆弱性が3000位以下であったものであり、極めて脆弱性が低いと評価できる道路である。まず、防災点検データを考慮しなかった場合の評価を最も左に示している。道路網が密な金沢市や加賀地方は脆弱性の高いリンクは見当たらない。また、能登半島の先端部においては、道路網が疎であるが途絶してもネットワーク全体への影響が小さいと見込まれることから脆弱性が低く示されている。次に、パターンAからCを見ると、一番左の評価に比べ、脆弱性の高い部分に変化していることが確認できる。能登半島の付け根付近の海岸線を通る「のと里山海道」は、点検箇所が無いいため相対的に脆弱性が低下した。一方で、図-1に示すように、点検箇所が多い能登半島の道路と加賀地方の山間部の道路は相対的に脆弱性が上昇した。

5. まとめと今後の課題

石川県の道路ネットワークにおいて、斜面の防災点検データの総合判定を考慮した脆弱性評価を行った。総合評価から推定されるリスクを道路の距離に置き換えたラプラシアン行列を作成し、固有値解析を行うことで、点検箇所の総合判定の高い部分の脆弱性が高まったことが確認できた。

課題としては、防災点検データの総合評価をどの程度のリスクとして扱い、距離に換算していくかという基準を探る必要がある。また、点検箇所以外で斜面災害が起こる可能性もあり、道路周辺の斜面高さなどと過去の前例を照会し、点検箇所以外リスクとして考慮することも重要である。他にも橋梁や交通容量なども考慮できると考えられ、多種多様な情報を考慮した脆弱性評価を行えるようにこの手法を発展させていく。

謝辞

本研究の一部は国土交通省新道路技術会議において採択され、国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究により実施したものである。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 中南孝晶, 中山晶一郎, 小林俊一, 山口裕通: 固有値解析による固有ベクトルを利用した緊急輸送道路ネットワークの脆弱性評価, 第23回交通流と自己駆動粒子系シンポジウム論文集, p51-54