

Title	Fiedler ベクトルを用いた能登地区道路ネットワークの脆弱性分析 — ハザードマップおよび令和6年能登半島地震被災域との比較 —
Author(s)	小池, 和弘
Citation	
Issue Date	2026-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	https://hdl.handle.net/10119/20482
Rights	
Description	Supervisor:林 幸雄, 先端科学技術研究科, 修士(知識科学)

Fiedler ベクトルを用いた能登地区道路ネットワークの脆弱性分析 — ハザードマップおよび令和6年能登半島地震被災域との比較 —

小池 和弘 (林研)

[背景と目的, Background and purpose] 大規模自然災害の発生時には、道路寸断に起因する救助・医療・物資輸送の遅延が、災害関連死の増加や地域の孤立を引き起こす要因となる。とくに地理的条件により都市部からのアクセスが制約されやすい半島地域では、道路ネットワークの冗長性が低く、災害時の分断リスクが構造的に高いと考えられる。このため、災害発生前に道路ネットワーク構造に内在する弱点を定量的に把握し、事前の補強や防災計画立案に活用可能な評価手法の構築が求められている。

本研究では、平常時に形成された道路ネットワークの構造的特性が、災害時の道路寸断発生箇所と一定の対応関係を有するという仮説に基づき、その妥当性を検証することを目的とする。この目的のもと、複雑ネットワーク科学におけるグラフラプラシアン行列の第二最小固有値 (λ_2) および Fiedler ベクトル [1] を用いた構造的脆弱性評価手法 [2,3] を基盤とし、能登半島地域の道路ネットワークに適用する。さらに、ハザードマップおよび令和6年能登半島地震 (2024年) の実被災データとの空間的対応関係を、適合率 (precision) および再現率 (recall) に基づいて定量的に評価する。

[実験と結果, Experimental results] 提案手法を能登半島地域の道路ネットワークに適用し、緊急輸送道路および OpenStreetMap (OSM) 由来の道路データを対象として解析を行った。まず平常時の道路ネットワークに対して λ_2 を算出し、それに対応する Fiedler ベクトル成分差に基づいて道路区間単位の構造的脆弱度を評価した。

次に、土砂災害および津波浸水に関するハザードマップ、ならびに令和6年能登半島地震の実被害データと道路区間との空間的重なり判定を行い、平常時に算出した高い脆弱度を示す区間との対応関係を比較した (Figure 1)。その結果、山間部および沿岸部において、高い脆弱度を示す道路区間と実被災道路分布との間に、一定の空間的対応が確認された。

結果として、適合率および再現率による評価により、道路種別・災害種別・市町別に検出性能の差異が定量的に整理され、構造的脆弱性指標が災害影響分布の把握に対して一定の有効性を有することが示された。

[結論, Conclusions] 本研究により、道路ネットワークのトポロジ構造に基づく脆弱性評価が、災害時の道路寸断リスクを事前に把握するための有効な補助指標となり得ることが示された。 λ_2 と Fiedler ベクトルを組み合わせた評価枠組みは、道路ネットワーク、ハザードマップ、実災害域といった比較的入手容易な静的空間データのみを用いて適用可能である点に特徴があり、特定地域に依存しない汎用的な評価手法として、広域展開や他地域への適用可能性を有する (Figure 2)。

今後は、道路容量低下や部分通行規制を考慮した重み付きネットワークモデルへの拡張、ならびに交通流動や復旧過程を組み込んだ動的解析との統合により、より実務的な災害対応評価手法への発展が期待される。

[Reference] [1] Miroslav Fiedler. Algebraic connectivity of graphs. Czechoslovak Mathematical Journal, Vol. 23, No. 2, pp. 298 - 305, 1973. [2] 中南孝晶, 中山晶一朗, 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. 土木学会論文集 D3, Vol. 74, No. 5, 56, 2018. [3] 中山晶一朗, 小林俊一, 山口裕通. 道路ネットワークの連結性の定量化とその最適補強問題. 土木学会論文集 D3, Vol. 77, No. 3, 2021.

[Keywords] Road network vulnerability, Fiedler vector, Algebraic connectivity, Disaster resilience, Peninsula region

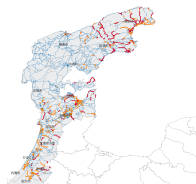


Figure 1: OSM 道路と土砂災害ハザードマップの重なりによる寸断判定結果

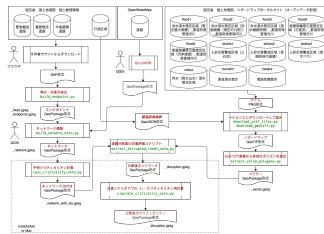


Figure 2: 全体フロー図