

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：13301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K21988

研究課題名（和文）道路ネットワークのグラフ・ラプラシアン行列による連結強靱性評価と維持管理方略

研究課題名（英文）Connectivity evaluation and maintenance management of road networks with graph Laplacian

研究代表者

中山 晶一郎（NAKAYAMA, Shoichiro）

金沢大学・融合科学系・教授

研究者番号：90334755

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：道路ネットワークのつながりや連結性の強さによって到達性（災害時でも到達できるかどうか）は大きく異なり、つながりが強いと到達性が確保されるが、本研究では、道路ネットワークのつながりの強さ（連結強靱性）を定量化するために、グラフ理論に基づき、道路ネットワークをノード（拠点・交差点などに相当）とリンク（道路に相当）で構成し、このノードとリンクの関係性をラプラシアン行列として構成し、道路ネットワークのノードとリンクのつながりを分析する手法を開発し、石川・富山道路ネットワークなどへ適用した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、道路の維持管理が喫緊の課題となっており、各道路やその構造物の取捨選択や優先順位付けなどは避けられない。道路は橋梁・トンネル・盛土等の様々な要素（構造物）によって構成され、それらはネットワーク的につながっている。このように道路は多数の道路構造物がネットワーク的につながる巨大なシステムである。この巨大システムの中でクリティカルな要素（重要な道路構造物）を抽出できると、それらを優先・重点的に点検・維持管理することが可能となり、道路ネットワークの強靱化や選択と集中による効率的な維持管理に結びつく。本研究の成果はこのようにことに資するものである。

研究成果の概要（英文）：The reachability of a road network varies greatly depending on the strength of its connectivity, and strong connectivity ensures enough reachability. The relationship between nodes and links is expressed as a Laplacian matrix, and a method for analyzing the connectivity of the road network was developed and was applied to the Ishikawa-Toyama road network.

研究分野：未来社会デザイン

キーワード：脆弱・信頼性評価

1. 研究開始当初の背景

近年、道路の維持管理が喫緊の課題となっているが、全ての道路構造物を詳細に調査して状態把握・予測し、補強・再築することは厳しい財政状況下では困難で、その取舍選択や優先順位付けなどは避けられない。道路は橋梁・トンネル・盛土等の様々な要素(構造物)によって構成され、それらはネットワーク的につながっている。このように道路は多数の道路構造物がネットワーク的につながる巨大なシステムである。この巨大システムの中でクリティカルな要素(重要な道路構造物)を抽出できると、それらを優先・重点的に点検・維持管理することが可能となり、道路ネットワークの強靱化や選択と集中による効率的な維持管理に結びつく。

2. 研究の目的

道路の最も基本的な機能は目的地に到達できること(可達性)であり、災害その他の事象が発生しても可達性を確保することは極めて重要である。道路ネットワークのつながりの強さによって可達性は大きく異なり、つながりが強いと可達性が確保される。

道路ネットワークを構成する個々の道路構造物の脆弱性や劣化の推定は可能ではあるものの、その全てを高い精度で行うことは財政的に不可能である。したがって、本研究では、個々の構造物を詳細に評価して、脆弱な構造物から順に補強等を行うという個々の構造物評価アプローチはとらず、道路ネットワーク全体が機能する視点から、う回路が少なく途絶するとネットワーク全体に大きな影響を及ぼすのかどうかなどのネットワーク全体機能のクリティカル性を評価する。そのような道路ネットワークのつながりの強さ(強靱性)を定量化することや北陸など現実の道路ネットワークへの適用などが本研究の目的である。

3. 研究の方法

上述の通り、道路の最も基本的な機能は目的地に到達できること(可達性)であり、災害その他の事象が発生しても可達性を確保することは極めて重要で、道路ネットワークのつながりの強さによって可達性は大きく異なり、つながりが強いと可達性が確保される。本研究では、道路ネットワークのつながりの強さ(強靱性)を定量化するために、まず、グラフ理論に基づき、道路ネットワークをノード(拠点・交差点などに相当)とリンク(道路に相当)で構成する。そして、道路ネットワークのリンクの接続関係を記述したラプラシアン行列を作成し、その行列のスペクトル解析を行う。ラプラシアン行列の第二最小固有値は代数的連結度と呼ばれ、その固有ベクトルから連結性の悪い部分、つまり、う回路が少なく、損傷すると影響が大きなクリティカルなリンクを抽出する。また、同時に、ラプラシアン行列の行列式を用いて、(防災)拠点ノードを結ぶ非重複ツリーの数(拠点ノードが2点の場合は非重複経路数)を算定し、複数ノード間の効率的なう回路数の計算法も開発して評価も行う。さらに、開発した手法を現実の道路ネットワークへ適用し、手法の妥当性等を検討する。

4．研究成果

道路ネットワークのつながりや連結性の強さによって可達性（災害時でも到達できるかどうか）は大きく異なり，つながりが強いと可達性が確保されるが，本研究では，道路ネットワークのつながりの強さ（連結強靱性）を定量化するために，グラフ理論に基づき，道路ネットワークをノード（拠点・交差点などに相当）とリンク（道路に相当）で構成した．このノードとリンクの関係性を隣接行列と呼ばれる行列で表現し，また，ノードにつながるリンク数を対角成分に持つ次数行列とあわせて，ラプラシアン行列を構成し，道路ネットワークのノードとリンクのつながりを表現した．このラプラシアン行列の第二最小固有値は代数的連結度で，その固有ベクトル（第二最小固有ベクトル）からつながりが悪い部分を抽出することが可能である．2019年度は，各ノードを等しく扱った上で，つながりが悪い部分はどのような部分なのかなどを理論的に検討して，つながりが悪いということの交通工学的な意味の解明などを行った．なお，2020年度においては，道路ネットワークのツリーの数を用いた道路ネットワークのつながりの評価方法についても検討やツリーの数による道路ネットワークのつながりの評価と上述の道路ネットワークのラプラシアン行列の第二最小固有値による方法との比較分析などを行った．2021年度は，前年度までに構築した理論やモデルの精緻化・改良などを行い，より洗練された手法へ発展させた．また，石川・富山県の北率道路ネットワークへ手法を適用し，その妥当性などの研究を行った．さらに，前年度までは，各ノードを等しく扱っていたが，人口密集地などはネットワーク上でそれらのノードの重要性などは他よりも高いと考えられ，そのようなことなどを考慮できるように理論やモデルの拡張などを行った．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 中山晶一朗, 小林俊一, 山口裕通	4. 巻 77
2. 論文標題 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	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3 (土木計画学)	6. 最初と最後の頁 245 ~ 259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejipm.77.3_245	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 光澤駿治, 中山晶一朗, 小林俊一, 山口裕通	4. 巻 76
2. 論文標題 行列木定理を用いた道路ネットワーク評価方法の検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3 (土木計画学)	6. 最初と最後の頁 I_889-I_897
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejipm.76.5_I_889	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6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 中山晶一朗, 小林俊一, 山口裕通
2. 発表標題 An Optimization Problem to Reinforce the Road Network Connectivity
3. 学会等名 第63回土木計画学研究発表会・講演集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥村颯太, 中山晶一朗, 山口裕通
2. 発表標題 無限関係モデルによる道路ネットワークの連結性分析
3. 学会等名 土木学会第77回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中山晶一朗, 小林俊一, 山口裕通
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第61回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北倉大地, 小林俊一, Hai Tran Thanh, 中山晶一朗, 山口裕通
2. 発表標題 単調なバスを仮定した2ノード間の総経路数の計算手法について
3. 学会等名 第62回 土木計画学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田嶋真樹, 中山晶一朗, 山口裕通, 小林俊一
2. 発表標題 グラフ理論を用いた道路ネットワークの災害時連結性評価
3. 学会等名 第60回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Pongwit Promsuwan, Shoichiro Nakayama, Hiromichi Yamaguchi, and Shun-ichi Kobayashi
2. 発表標題 Comparison between Algebraic Connectivity-Based and Global Efficiency-Based Vulnerability for Railway Topology Analysis: A Case Study of Kyushu, Japan
3. 学会等名 The 14th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔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	山口 裕通 (Yamaguchi Hiromichi) (10786031)	金沢大学・地球社会基盤学系・助教 (13301)	
研究分担者	高山 雄貴 (Takayama Yuki) (90612648)	金沢大学・地球社会基盤学系・准教授 (13301)	

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
---------	---------