

道路防災総点検データを用いた緊急輸送道路網の連結性解析*

Connectivity Analysis of Emergency Highway Network using the Inspection Data for prevention of disasters

南 正昭**

by Masaaki MINAMI

1. はじめに

現在、国土の防災性の向上を目的とし、道路改良や橋梁の補強等の道路整備計画ならびに整備事業が、各地で進行している

災害に対応力を有する道路網の整備計画の立案手法については、これまで道路網信頼性を中心とする当該研究分野において研究が蓄積されてきている。しかし、災害が道路網に及ぼす被害の事前評価は難解な課題であり、災害の発生を考慮した道路整備計画の評価あるいは立案は容易なことではない。

平成8年度より、道路網の災害からの安全性を確保するため、道路交通に支障を及ぼす各種災害要因についての発生の可能性を判断することを目的とし、道路防災総点検が全国規模で実施されてきた¹⁾。

本研究では、この道路防災総点検における各点検箇所の安定度調査結果より得られた評点をもとに、道路網のネットワークとしての連結性の評価を試みる。都市間を連結する道路網上における安定度の高低を調べる手順を示し、防災性を有する道路網の整備計画を立案する上での、評価技法として提案する。

本稿では、簡単なネットワークモデルにおいて適用性を検討するとともに、山口県の現状の緊急輸送道路網について算出した評価結果を提示する。

2. 道路防災総点検データを用いた道路網連結性の解析方法

1) 問題の明確化

特に道路災害の発生を前提としたときに、道路網が任意の2都市間について、連結性を確保できるか否かは、道路網計画における基本的で重要な評価項目である。

従来、道路網の連結性を評価するには、各々の道路リンクの途絶確率を所与とすることで対応することが一般的だったといえる。しかし、その途絶確率の推定には課題が残されてきている。

本研究では、防災総点検により得られた点検箇所の安定度調査における評点を用いた道路網の連結性の評価技法を示し、整備計画への適用について検討する。

2) 道路防災総点検データ¹⁾

道路防災総点検は、落石・崩壊、岩石崩壊、地滑り、土石流、盛土、擁壁、橋梁基礎の洗堀等の点検対象項目について、道路網上の点検箇所を抽出の上、各点検箇所の安定度調査を実施し、結果として当該箇所の災害発生の可能性に関する評点を求め、総合評価を行っている。

3) 連結性の解析方法

道路網を道路リンクおよび都市ノードを含むグラフ構造でモデル化する。各々の点検箇所について、対応する道路リンクを設定することで、各道路リンクの属性として評点を付与する。ここで評点を、 $FC(Iij)$ ($=0\sim1$) で与え、 $FC(Iij)$ は1に近いほど危険度が高いことを表すものとした。

2都市ノード(i, j)間の連結性評価値 $FC(i, j)$ を、以下のように定義する。

$$FC(i, j) = \min_k FCroute(i, j), k \quad (k=1, 2, \dots, kmax)$$
$$FCroute(i, j), k = \max_m FCI(i, j), k, m \quad (式1)$$

* Key words: 交通計画評価, 交通網計画, 道路計画, 防災計画

** 正員 博士(工学) 山口大学工学部(宇部市常盤台 2557
tel. (0836)22-9719 e-mail. minami@po.cc.yamaguchi-u.
ac.jp)

($m=1, 2, \dots, mmax$)

$route(i, j, k)$: 都市ノード ij 間 k 番目経路
 $l(i, j, k, m)$: 都市ノード ij 間 k 番目経路の
 m 番目構成リンク
 $FCl(i, j, k, m)$: 都市ノード ij 間 k 番目経路
の m 番目構成リンクのリンク FC 値
 $FCroute(i, j, k)$: 都市ノード ij 間 k 番目経路
の経路 FC 値
 $FC(i, j)$: 都市ノード ij 間の都市間 FC 値

ここで、評価対象経路として、都市ノード (i, j) 間の所要時間および最短経路に対する所要時間比に関する制約を満たす $route(i, j, k)$ を選定することとした。ただし所要時間制約をみたす全ての経路を列挙することは困難なため、以下の 4) に示す方法で対象経路を選定し、計算を実行している。

4) 計算手順

具体的な計算手順は以下のようなものである。後述のように、実道路網への適用においては GIS を用いた計算システムに、以下の計算手順を組み込んでいる。

- 道路網リンク所要時間データ、リンク FC 値、評価対象都市間の入力設定
- ネットワークデータの自動作成
- 都市間 (i, j) の設定
- (i, j) 間最短経路探索、経路の記憶。
- 最短経路の各構成道路リンクに関する 2 番目経路の中で、所要時間の制約を満足する経路の選定と記憶
- 式 1 による都市間 $FC(i, j)$ 値の算出

3. モデル計算例

図 1 および表 1 に、ネットワークモデルでの計算例を提示した。

本計算例によって、所与の道路網について、都市間 $FC(i, j)$ 値の算出するとともに、道路リンクに改良を加えることで安定度が向上したときに、2 都市間の連結性が改善される様子を、都市間 $FC(i, j)$ 値の低下を用いて表現できることを示す。

図 1 は、評価対象とする道路網を表している。

() 内に、現状 (改良前) における各道路リンクのリンク $FC(l_{ij})$ 値を記している。また図中の太線は、改良に伴いリンク $FC(l_{ij})$ 値が 0.0 に低下する道路リンクを表す。改良により連結性が向上する様子を示すことを目的として設定したものである。

全てのノードが都市ノードを表すものとし、その間の都市間 $FC(i, j)$ 値を算出し、都市間の連結性を評価する。表 1 は、この入力に対する都市間 $FC(i, j)$ 値の算出結果である。上段が現状 (改良前)、下段が改良後を表している。

	1 (0.3)	2 (0.5)	3 (0.7)	4
(0.2)	(0.4)	(0.6)		(0.8)
5 (0.3)	6 (0.5)	7 (0.7)		8
(0.2)	(0.4)	(0.6)		(0.8)
9 (0.3)	10 (0.5)	11 (0.7)		12
(0.2)	(0.4)	(0.6)		(0.8)
13 (0.3)	14 (0.5)	15 (0.7)		16

数字は、ノード番号
() 内数字は、リンク FC 値
— は、改良リンク
改良後、リンク FC 値は
0.0 に改善

図 1 計算例に用いたネットワークデータ

表 1 $FC(i, j)$ 算出結果

(上段は現状 (改良前)、下段は改良後)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	0.3	0.5	0.7	0.2	0.3	0.5	0.7	0.2	0.3	0.5	0.7	0.2	0.3	0.5	0.7
	0	0.3	0.5	0.6	0.2	0.3	0.5	0.5	0.2	0.3	0.5	0.5	0.2	0.3	0.5	0.5
2	0.3	0	0.5	0.7	0.3	0.3	0.5	0.7	0.3	0.3	0.5	0.7	0.3	0.3	0.5	0.7
3	0.5	0.3	0	0.5	0.6	0.3	0.3	0.5	0.5	0.3	0.3	0.5	0.5	0.3	0.3	0.5
4	0.7	0.5	0.7	0	0.7	0.5	0.5	0.5	0.7	0.5	0.5	0.5	0.7	0.5	0.5	0.7
	0.5	0.5	0	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6
5	0.2	0.3	0.5	0.7	0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
	0.6	0.6	0.6	0	0.5	0.5	0	0	0.5	0.5	0	0	0.5	0.5	0.6	0
6	0.2	0.3	0.5	0.7	0	0.3	0.5	0.7	0.2	0.3	0.5	0.7	0.2	0.3	0.5	0.7
	0.2	0.3	0.5	0.5	0	0.3	0.5	0.5	0.2	0.3	0.5	0.5	0.2	0.3	0.5	0.5
7	0.3	0.3	0.5	0.7	0.3	0	0.5	0.7	0.3	0.3	0.5	0.7	0.3	0.3	0.5	0.7
	0.3	0.3	0.5	0.5	0.3	0	0.5	0.5	0.3	0.3	0.5	0.5	0.3	0.3	0.5	0.5
8	0.5	0.5	0.5	0.7	0.5	0.5	0	0.7	0.5	0.5	0.5	0.7	0.5	0.5	0.5	0.7
	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0	0	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0
9	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
	0.5	0.5	0.6	0	0.5	0.5	0	0	0.5	0.5	0	0	0.5	0.5	0.6	0

たとえばノード(2,8)間について、以下のようである。

選定経路 2-3-4-8, 2-6-7-8, 2-3-7-8

現状(改良前)

$FC_{route}(2,8), 1=0.8, FC_{route}(2,8), 2=0.7,$

$FC_{route}(2,8), 3=0.7$ 、したがって、 $FC(2,8)=0.7$

改良後

$FC_{route}(2,8), 1=0.7, FC_{route}(2,8), 2=0.5,$

$FC_{route}(2,8), 3=0.6$ 、したがって、 $FC(2,8)=0.5$

このように都市間 $FC(i,j)$ 値は、選定した各経路の最も評点の高い道路リンクに注目し、それが最も低い経路を見つけ出し評価している。

表から明らかのように、改良による $FC(i,j)$ の低下から、連結性の向上したノード間、ならびにその向上の大きさが明示される。

4. 適用事例

1) 問題設定

山口県における緊急輸送道路ネットワーク²⁾について、防災総点検データを用いた道路網の連結性の評価を行った結果を以下に示す。

本稿では、以下の条件下で、現状の道路網についての評価結果を提示する。

a) 使用データ：平成8年から実施の道路防災総点検データ(山口県所管道路)、道路所要時間(防長道路時刻表；山口県発行)

b) 対象道路網：山口県緊急輸送道路ネットワーク(第1次、第2次、第3次)(図2参照)

2) 解析システム

整備事業の進行状況の反映、あるいは整備計画案の比較検討等を目的に、GISを中心に据えた解析システムを構成している。システム構成は、以下のものである。

a) GIS：空間データ管理、表示・出力。

b) データベース：防災総点検データ(管理番号でのデータ管理、点検対象項目別のデータ管理、リンク番号によりGISとの連携)。

c) 計算プログラム：評価値の計算(ノード番号およびリンク番号により、GISおよびデータベースと連携)。



図2 山口県緊急輸送道路網(1~3次)

表2 主要都市間 $FC(i,j)$ 値：落石(×100)

	下関	長門	宇部	山口	防府	徳山	柳井	岩国	萩
下関	0	84	0	0	0	0	40	70	90
長門	84	0	90	90	90	90	90	90	0
宇部	0	90	0	0	0	0	40	52	86
山口	0	90	0	0	0	86	40	70	64
防府	0	90	0	0	0	0	40	0	86
徳山	0	90	0	86	0	0	0	0	92
柳井	40	90	40	40	40	0	0	0	92
岩国	70	90	52	70	0	0	0	0	92
萩	90	0	86	64	86	92	92	92	0

表3 主要都市間 $FC(i,j)$ 値：擁壁(×100)

	下関	長門	宇部	山口	防府	徳山	柳井	岩国	萩
下関	0	0	0	0	0	0	45	70	100
長門	0	0	0	0	0	0	45	70	0
宇部	0	0	0	0	0	0	45	50	100
山口	0	0	0	0	0	100	45	70	100
防府	0	0	0	0	0	0	15	0	100
徳山	0	0	0	100	0	0	0	0	100
柳井	45	45	45	45	15	0	0	0	100
岩国	70	70	50	70	0	0	0	0	100
萩	100	0	100	100	100	100	100	100	0

表4 主要都市間 $FC(i,j)$ 値：土石流(×100)

	下関	長門	宇部	山口	防府	徳山	柳井	岩国	萩
下関	0	0	0	0	0	0	0	0	0
長門	0	0	0	0	0	0	0	0	0
宇部	0	0	0	0	0	0	0	0	65
山口	0	0	0	0	0	0	0	0	45
防府	0	0	0	0	0	0	0	0	45
徳山	0	0	0	0	0	0	0	0	45
柳井	0	0	0	0	0	0	0	0	45
岩国	0	0	0	0	0	0	0	0	70
萩	0	0	65	45	45	45	45	70	0

表5 主要都市間FC(i, j)値：盛土(×100)

	下関	長門	宇部	山口	防府	徳山	柳井	岩国	萩
下関	0	0	0	0	0	0	0	60	0
長門	0	0	0	0	0	0	0	60	0
宇部	0	0	0	0	0	0	0	70	60
山口	0	0	0	0	0	60	0	60	50
防府	0	0	0	0	0	0	0	0	90
徳山	0	0	0	60	0	0	0	0	90
柳井	0	0	0	0	0	0	0	0	90
岩国	60	60	70	60	0	0	0	0	90
萩	0	0	60	50	90	90	90	90	0

表6 主要都市間FC(i, j)値：橋梁洗掘(×100)

	下関	長門	宇部	山口	防府	徳山	柳井	岩国	萩
下関	0	0	0	0	0	0	0	50	40
長門	0	0	0	50	70	70	70	70	0
宇部	0	0	0	0	0	0	0	0	0
山口	0	50	0	0	0	70	0	50	40
防府	0	70	0	0	0	0	0	0	70
徳山	0	70	0	70	0	0	0	0	100
柳井	0	70	0	0	0	0	0	0	100
岩国	50	70	0	50	0	0	0	0	100
萩	40	0	0	40	70	100	100	100	0

表7 主要都市間FC(i, j)値：岩石(×100)

	下関	長門	宇部	山口	防府	徳山	柳井	岩国	萩
下関	0	54	0	0	0	0	0	0	58
長門	54	0	54	54	54	54	54	75	0
宇部	0	54	0	0	0	0	0	0	58
山口	0	54	0	0	0	0	0	0	85
防府	0	54	0	0	0	0	0	0	91
徳山	0	54	0	0	0	0	0	0	91
柳井	0	54	0	0	0	0	0	0	91
岩国	0	75	0	0	0	0	0	0	91
萩	58	0	58	85	91	91	91	91	0

表8 主要都市間FC(i, j)値：対象項目内最大値

	下関	長門	宇部	山口	防府	徳山	柳井	岩国	萩
下関	0	90	0	0	0	0	45	75	100
長門	90	0	100	90	100	100	100	100	0
宇部	0	100	0	0	0	0	45	70	100
山口	0	90	0	0	0	100	45	75	100
防府	0	100	0	0	0	0	45	0	100
徳山	0	100	0	100	0	0	0	0	100
柳井	45	100	45	45	45	0	0	0	100
岩国	75	100	70	75	0	0	0	0	100
萩	100	0	100	100	100	100	100	100	0

3) 解析結果

図2に示した9つの都市間について、都市間FC(i, j)値の算出結果を、各点検対象項目別に表2から表8に示した。

データ上ならびに計算上の条件設定下で、都市間を連結する各々の経路について、最も安定度が低く評点の高い構成リンクを抽出し、その値が最も小さくなる安定度の高い経路に着目し評価値を算出したものである。

この結果から、どの都市間において、道路の安定度が低いか、すなわち改善の必要が高いかを、具体的に見て取ることができる。

また計算過程から、どの道路リンクが、都市間FC(i, j)値を決定付けているかを知ることができ、整備計画案の作成に有用であるものと考えられる。

5. おわりに

本稿では、防災総点検データを用いて、当該地域の災害への対応力を向上するための道路整備計画の立案を目的とした、道路網連結性解析の一手法を提示した。

防災総点検では、各点検箇所対策工費についても、概算を提示している。これを用いると道路整備計画代替案が所与のときに、改良に要する費用と連結性の改善状況について、代替案間の比較が可能になる。また改良に要する費用制約下での、改良道路リンクの最適決定についても、現在研究を継続中である。

参考文献

- 1) 財) 道路保全技術センター、建設省道路局監修：平成8年度道路防災総点検要領（豪雨・豪雪等），1996
- 2) 山口県：山口県緊急輸送道路ネットワーク計画図，1997
- 3) 劉ほか：ファジィネットワーク工学，日本理工出版会，1995