

点検データに基づく道路網防災計画の立案

南 正昭

山口大学工学部

要旨

本研究では、実際に入手可能な道路網災害の発生の可能性を表すデータとして、道路防災総点検による災害点検箇所調査結果から得られる評点ならびに概算防災対策工費を用い、防災性を有する道路網計画を立案する上での一つの評価技法を提案した。山口県の緊急輸送道路網を対象に、道路網における代替ルートが存在を考慮し、都市間を連結する各経路について道路災害の危険度評点ならびに概算対策工費を算出した。また道路防災対策に要する費用と効果の関係を算出する手順を示し計算事例を提示した。

キーワード：道路網計画, 点検データ, 道路防災

1. はじめに

近年、高度経済成長期を通じて急速に整備拡充された交通網が、その維持修繕努力にもかかわらず、通行の安全と安心を欠くという深刻な事態を招くおそれが出てきている。交通網の途絶被害は、施設利用者に直接的な人的被害を生じる危険性があるばかりではなく、正常に機能する交通網を前提とした社会・経済活動が営まれる今日において、副次的な被害損失は甚大である。

特に道路網については、豊浜トンネルの岩盤崩落事故や阪神淡路大震災での橋脚破壊等を通して、平成8年度より道路防災総点検が技術的な再検討を踏まえた上で全国規模で実施され、防災性の向上が図られてきている。

本研究では、実際に入手可能な道路網災害の発生の可能性を表すデータとして、この道路防災総点検における災害点検箇所の安定度調査結果より得られる評点を用いることを試みた。このデータをもとに、都市間を連結する道路網上について、災害の発生に対する危険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、一つの評価技法として提案しようとするものである。

著者は、途絶への対応力を有する道路網の整備計画評価ならびに立案手法について、ネットワーク構造のリダンダンシーの観点から、研究を続けてきた(南ら、

1996, 1996, 1997)。この方法では代替ルートの存在を明示的に考慮し、途絶への対応力をもつ道路網の評価とネットワーク構成を検討することができるが、各道路リンクが個別に有する防災性あるいは途絶の危険性については考慮されていない。また従来より、道路網の連結性評価は、各々の道路リンクの連結確率に基づき評価することが一般的だったといえる。しかし、その道路リンクの連結確率を実際にどのように推定するかについては、様々な工夫が続けられている(若林, 1998)。

以上の研究状況を踏まえ、本研究では道路網における代替ルートの存在を考慮し、道路防災総点検により全国規模で一律の基準で得られた各点検箇所における安定度調査の評点ならびに概算防災対策工費を用い、予算制約の下で、対策を実施し確保する経路を具体的に決定するための道路網計画の一評価技法を提案し、山口県の緊急輸送道路網を対象に計算事例を提示する。

2. 研究方法

2.1 研究の構成

本研究の全体構成は、Fig. 1 のようである。本研究では、山口県の1次から3次の緊急輸送道路網を評価対象としている。この道路網は、阪神淡路大震災の発生以降、中心都市や防災拠点等を核に各地域を連結し、災害発生

後に緊急輸送のために用いられる道路として山口県が指定したものである（山口県，1997）。

まず評価対象道路網のネットワークモデルを作成し、道路総防災点検で得られた評価対象道路網上にある各点検箇所に関する評点ならびに概算防災対策工費のデータを、各道路リンクごとに整理しデータベースを作成した。

ここで評点については、各道路リンク内の最大値を、また防災対策工費については、後述する方法で整理を行った。

これらのデータの対象道路網上での分布状況をみたと、2都市間の選定経路に関する評点ならびに概算防災対策工費を算出し、評点と防災対策工費の関係を設定した経路について明らかにした。

最後に複数の主要都市間について、評点と防災対策工費の関係を算出し考察を行っている。

以上のプロセスは、データ管理、解析、空間表示を通してGISを使用した計算システムを構築し実施している。

2.2 データ

道路網のネットワークとしての防災性を評価し整備計画を検討するにあたり、各道路リンクの防災性を表す評価値ならびにその整備費用が必要となる。本研究では、このためのデータとして、道路防災総点検により得られた各点検箇所の安定度評点ならびにその改善に要する概算防災対策工費を用いることとした。

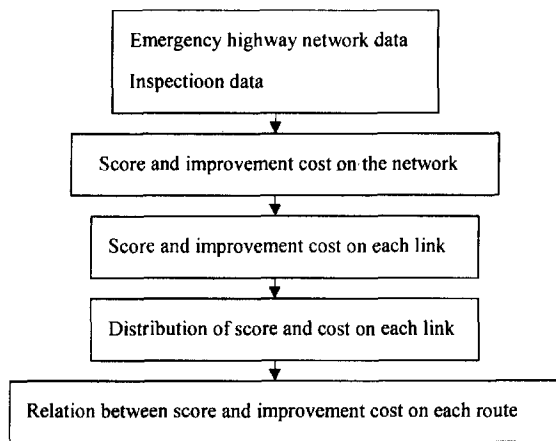
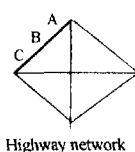


Fig. 1 Estimation process

point	Score	Improvement cost
A	15	100
B	40	500
C	70	800
D	90	1000



FCmax ≤	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Improvement cost	2400	2300	2300	1800	1800	1800	1000	1000	0	0

Fig. 2 Estimated score and improvement cost in inspection data

道路総防災点検は、落石・崩壊、岩石崩壊、地滑り、土石流、盛土、擁壁、橋梁基礎の洗堀からなる災害点検項目について、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の発生の可能性に関する評点を求めたものであり、平成8年より道路網の災害の発生からの安全を確保する目的で全国規模で実施されてきている。災害点検項目ならびに各々に関する安定度調査の方法については、財)道路保全技術センター(1996)に詳細が記されている。具体的には、以下の手順でデータを整理した。

防災総点検データは、Fig. 2 に示したように、道路上の各点検箇所に番号を付し、その点検箇所に関する評点や概算対策工費等のデータを整理している。

まず、対象道路網の各道路リンクについて、点検箇所のデータを各災害点検項目ごとに整理する。

次に安定度評点については、各災害点検項目ごとにリンク内の最大値を算出しておく。

概算防災対策工費については、Fig. 2 に示したように、リンク内の最大評点の値を、所与の値以下にするために必要な費用として整理した。ここで所与とする評点を、設定評点 FCmax とよび、10 点から 100 点まで 10 点間隔で設定した。たとえば FCmax を 80 としたとき、リンク内の最大評点を 80 以下にするには点検箇所Dを改善すればよく、それに要する費用は1000 となる。

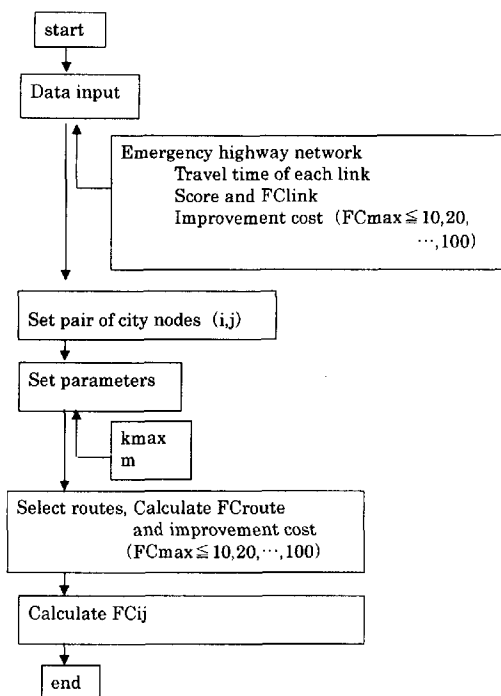


Fig. 3 Calculation process of routes and their scores

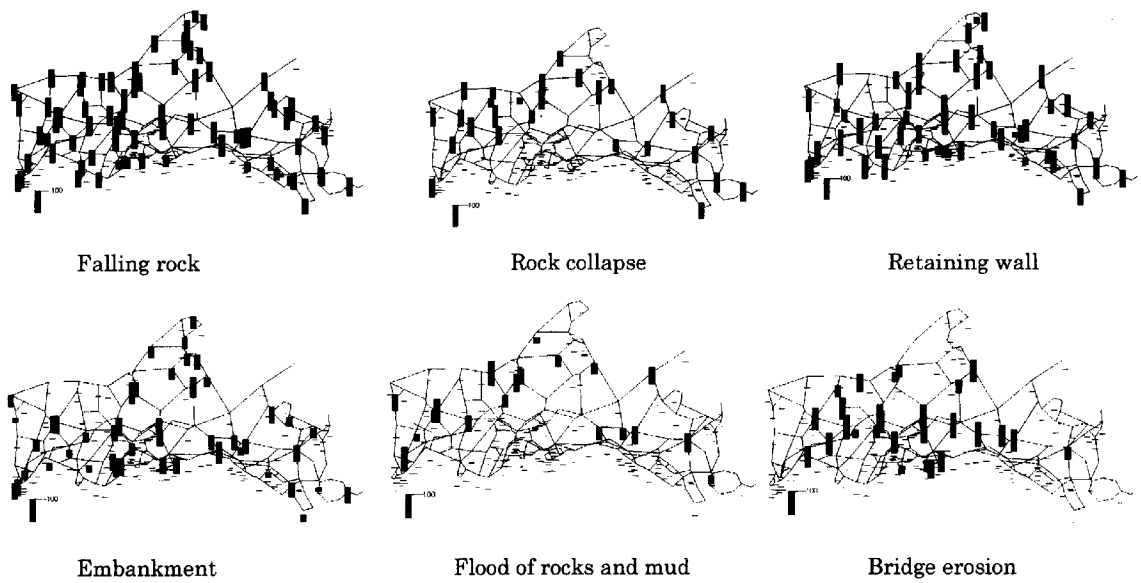


Fig. 4 FLink value on the emergency highway network

したがって、ここに算出された費用を投じるによりリンク内に、評点が FC_{max} より大きい点検箇所が存在しなくなることを表している。なお本稿では、概算防災対策工費の単位のオーダーは記していない。

2.3 都市間経路の評点および概算防災対策工費

本研究では、道路の災害危険度を表現する指標として式(1)に示す3つ、ならびに概算防災対策工費を用意した。

$$\begin{aligned}
 \text{FLink値} \quad FClink &= \max_{a \in link} FC_a & (1) \\
 \text{FCroute値} \quad FCroute(i, j)_k &= \max_{l} FClink(i, j)_{k,l} \\
 \text{FCij値} \quad FC(i, j) &= \min_k FCroute(i, j)_k \\
 & (k=1,2,\dots,k_{max}) \quad (l=1,2,\dots,l_{max}) \\
 FC_a &: \text{災害点検箇所}a\text{における評点} \\
 route(i, j)_k &: \text{都市ノード}ij\text{間}k\text{番目経路} \\
 link(i, j)_{k,l} &: \text{都市ノード}ij\text{間}k\text{番目経路} \\
 & \quad \text{の}l\text{番目構成リンク} \\
 FClink(i, j)_{k,l} &: \text{都市ノード}ij\text{間}k\text{番目経路の} \\
 & \quad l\text{番目構成リンクにおける} \\
 & \quad \text{リンク}FC\text{値} \\
 FCroute(i, j)_k &: \text{都市ノード}ij\text{間}k\text{番目経路の} \\
 & \quad \text{経路}FC\text{値} \\
 FC(i, j) &: \text{都市ノード}ij\text{間の都市間}FC\text{値}
 \end{aligned}$$

具体的な計算手順は、Fig. 3 のようである。ここで評価対象経路の選定手順は、南ら(1996)に依っている。

3. 道路網上における評点および対策工費の分布状況

第2章に述べた計算プロセスを経て算出した各道路リンク内最大評点 (FLink 値) ならびに道路リンク概算防災対策工費について、緊急輸送道路網上での分布状況を Fig. 4 と Fig. 5 に例示する。

Fig. 4 は、各道路リンク内の最大評点 (FLink 値) を図示したものである。落石崩壊、岩石崩壊、擁壁、盛土、土石流、橋梁洗堀の各災害点検項目について示した。Fig. 5 は、 $FC_{max}=10$ としたときの、リンク概算防災対策費を Fig. 4 と同様の災害点検項目について図示したものである。落石崩壊と岩石崩壊については防災対策工費の高いリンクが存在するため、縮尺を小さくして表示している。

同一リンク内に存在する点検箇所数の相違あるいは評点と概算対策工費は必ずしも関係しないことから、Fig. 4 と Fig. 5 は同じ傾向をもつとはいえない。評点が高くて、防災対策工費の低い道路リンクが存在する。

これらの図から明らかなように FLink 値および概算防災対策工費は、道路ネットワーク上で固有の分布形態を有しており、予算制約、経路の重要性、あるいは代替性を考慮し、道路網の防災計画が立案される必要があることを示しているといえる。

4. 経路評点 (FCroute) の計算結果

Fig. 6 は、計算過程において選定された経路を示したものである。この経路選定にあたっては、2都市間の主要経路として最短経路を求め、その最短経路の構成リンクを切断することで2番目経路を、2番目経路と1番目経

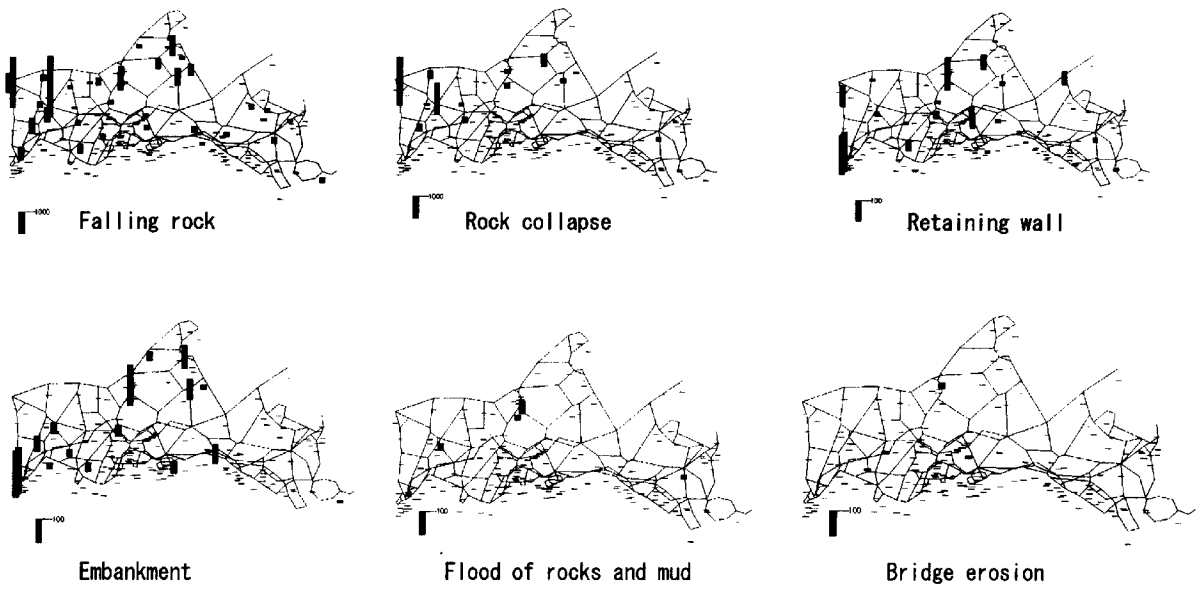


Fig. 5 Improvement cost on the highway network ($FC_{max} \leq 10$)

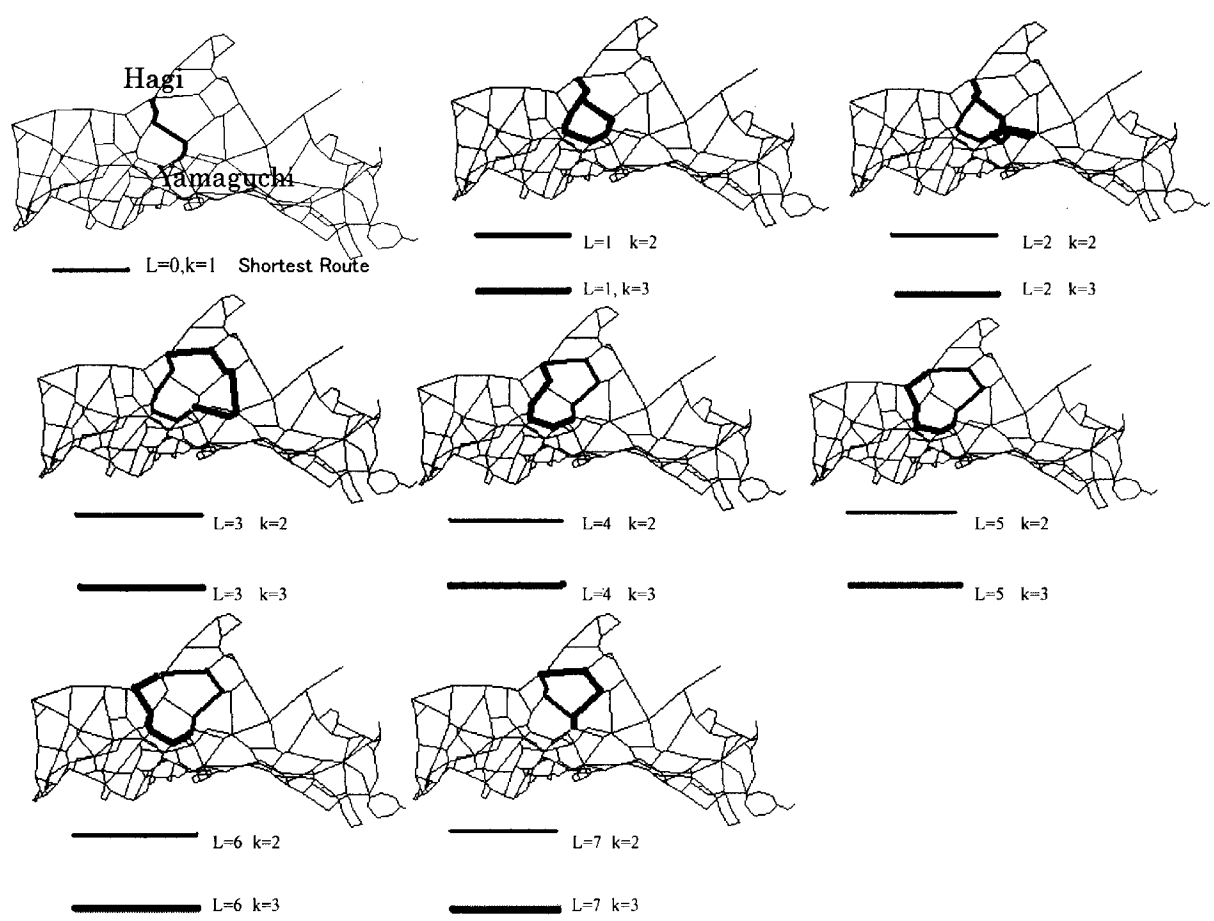


Fig. 6 Selected routes between Hagi and Yamaguchi

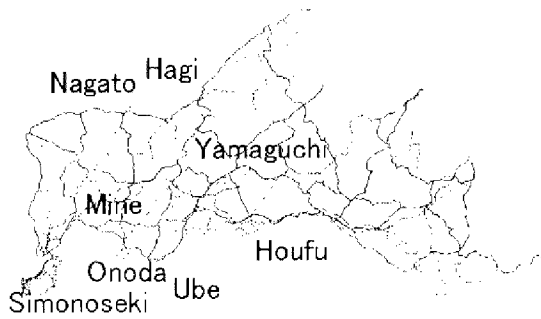


Fig. 7 Location of cities

路の独立な構成リンクを切断することで3番目経路を求めた。また所要時間制約として最短経路の3倍までの経路を選定している。図中でLは最短経路の構成リンク番号を、kは代替ルート番号を表している。

Table 1は、各選定経路について、災害点検項目が岩石崩壊の場合のFCrouteを算出した結果を例示している。各選定経路についてFCroute値から、各経路の最も評点が高い災害発生危険箇所の存在を知ることができる。またFCrouteの最小値として与えられるFCijを与える経路

Table 1 Calculation results of FCroute and FCij between Yamaguchi and Hagi (m=3, kmax=3, rock-collapse)

Route Number		Score
L	k	FCroute
0	3	91
		91
1	3	91
		91
2	3	91
		91
3	3	108
		85
4	3	91
		85
5	3	58
		85
6	3	58
		91
7	3	85
		85
FCij =		58

Table 2 Calculation results of FCij

	Rock collapse	Falling rock	Bridge erosion	Embankment	Retaining wall	Flood of rocks and mud
Yamaguchi-Hagi	58	64	40	50	100	45
Yamaguchi-Houfu	0	0	0	0	0	0
Yamaguchi-Ube	0	0	0	0	0	0
Shimonoseki-Nagato	54	84	0	0	0	0
Ube-Houfu	0	0	0	0	0	0
Onoda-Mine	0	67	90	30	75	0
Mine-Nagato	54	84	50	0	0	0

Table 3 Improvement cost on the routes between Yamaguchi and Hagi (Rock-collapse)

Routes number		Improvement cost (FCmax<10,20,30,40,50,60,70,80,90,100)									
L	k	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	3	396.4	396.4	396.4	396.4	396.4	301.4	206.4	84.4	60	0
		396.4	396.4	396.4	396.4	396.4	301.4	206.4	84.4	60	0
1	3	189.2	189.2	189.2	189.2	189.2	94.2	74.2	72.2	60	0
		189.2	189.2	189.2	189.2	189.2	94.2	74.2	72.2	60	0
2	3	396.4	396.4	396.4	396.4	396.4	301.4	206.4	84.4	60	0
		189.2	189.2	189.2	189.2	189.2	94.2	74.2	72.2	60	0
3	3	985.9	985.9	972.4	972.4	968.4	571.4	406.4	378.3	133.2	90.5
		767.5	767.5	754	754	750	353	188	188	0	0
4	3	189.2	189.2	189.2	189.2	189.2	94.2	74.2	72.2	60	0
		767.5	767.5	754	754	750	353	188	188	0	0
5	3	14.5	14.5	14.5	0	0	0	0	0	0	0
		767.5	767.5	754	754	750	353	188	188	0	0
6	3	14.5	14.5	14.5	0	0	0	0	0	0	0
		396.4	396.4	396.4	396.4	396.4	301.4	206.4	84.4	60	0

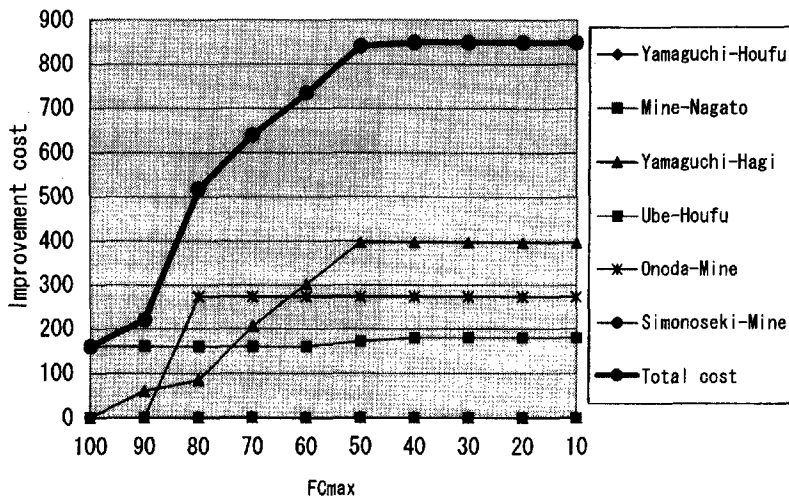


Fig. 8 Relation between FCmax and improvement cost (rock-collapse)

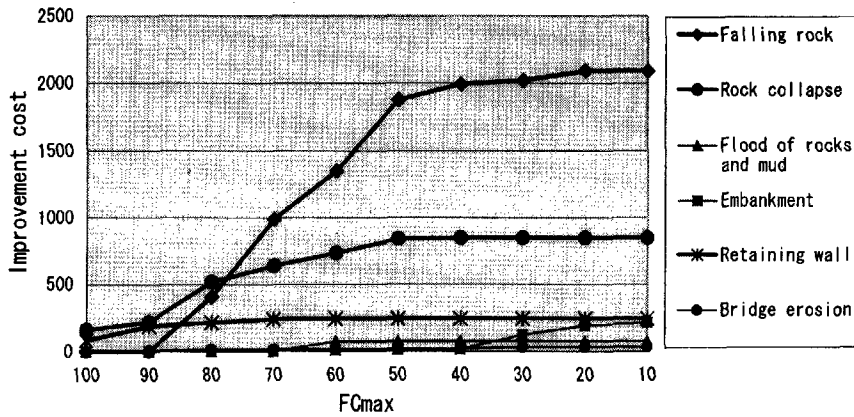


Fig. 9 Relation between FCmax and improvement cost

は、 $L=5, k=3$ もしくは $L=6, k=3$ であることが示される。当該災害点検項目について、選定された経路の中で最大評点の最も小さい経路を示し、道路防災対策を実施する上で1つの指標となるものと考えられる。

同様にして、Fig. 7 に示した山口-萩、山口-防府、山口-宇部、下関-長門、宇部-防府、小野田-美祢、美祢-長門の7つの都市間について、災害点検項目が岩石崩壊、落石崩壊、橋梁洗堀、盛土、擁壁、土石流の場合について、 FC_{ij} を算出した結果を Table 2 にまとめた。表中の FC_{ij} 値が0であるということは、都市間に該当する災害点検項目の評点が0で通過できる経路が少なくとも1経路は存在することを示している。また FC_{ij} 値が算出された都市間は、選定された経路について少なくとも評点が FC_{ij} の経路を通過する必要があることを示し、特に FC_{ij} 値が高いときに改善の必要性が示唆される。

5. 経路概算防災対策工費の計算結果

選定した各経路について、Fig. 5 に $FC_{max}=10$ の場合について例示したリンク概算防災対策工費を、すべての構成リンクについて加算することで、経路として $FC_{max}=10$ とするのに必要な概算防災対策工費を算出することができる。Fig. 6 で選定された全経路について、災害点検項目が岩石崩壊のときに、設定評点 FC_{max} を10から100とした場合の概算防災対策工費の計算結果を Table 3 にまとめた。

全体として設定評点 FC_{max} を小さくするほど、すなわち経路内の最大評点をより小さくするように防災対策を実施すると、経路に要する概算防災対策工費は高くなる傾向にある。予算制約ならびに防災対策の達成水準の設定により、災害危険箇所単独としてではなく、どの経路を確保するかを決定する一つの資料となり得るものと考えられる。

Fig. 8 は、Fig. 7 示した山口-萩、山口-防府、下関-長門、宇部-防府、小野田-美祢、美祢-長門の6つ

の都市間の最短経路について、災害点検項目が岩石崩壊の場合の設定評点と概算防災対策工費の関係を算出しグラフ化したものである。

設定評点がある値より小さく抑えるには、どれだけの防災対策工費が必要か、あるいは予算制約が与えられたときにどこまで設定評点を下げることができるかを、図より見て取ることができる。

また Fig. 9 は、落石崩壊、岩石崩壊、土石流、盛土、擁壁、橋梁洗堀の各災害点検項目について、Fig. 8 で示した全ての都市間の最短経路に関する防災対策工費を加算し、設定評点との関係を算出したものである。これら全ての経路の防災対策を実施するための、防災対策事業の達成水準ならびに事業費を具体的に検討できることを例示している。

6. おわりに

本研究では、道路網のネットワークとしての防災性の向上を目的とし、防災総点検データをもとに防災道路網計画を立案する上での、一つの評価技法を提案した。

道路防災総点検は、もとより本稿に示した道路網としての評価分析を前提として実施されたものではない。したがって、点検で得られた点検箇所安定度評点あるいは概算防災対策工費をそのまま分析に用いていることは、データの作成プロセスや精度の点で課題を含んでいる。

各災害点検箇所に関する地点データから、都市間を連結する経路さらには道路網全体について、災害の発生の可能性ならびにそれを防止するための対策工費を算出し、道路防災計画をネットワークとして立案することは、予算制約を伴い費用対効果が重視される現実的な防災対策事業の決定において重要な課題であるといえる。その意味で本研究は、道路網防災計画を立案する上でのより精緻なデータ整備の必要性を示唆するものといえる。

今後は、以上の知見をもとに、経路の重要度や代替ルートが存在を考慮し、防災対策費用を最小化、あるいは予算制約下で対策効果を最大化する防災対策路線の計画立案に取り組みたい。

謝辞

本稿の作成にあたっては、平成 11 年度文部省科学研究費補助金・基盤研究(C)-1「災害リスクマネジメント研究のための方法論に関する企画調査研究」（課題番号 11895014、代表・岡田憲夫京都大学防災研究所教授）ならびに京都大学防災研究所共同研究（特定共同研究）・11P-1「防災投資の費用便益分析法の課題と展望」（代表・多々納裕一京都大学防災研究所助教授）の補助を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 南 正昭・高野伸栄・佐藤馨一 (1996)：道路網における代替ルートの整備水準の一評価法に関する研究，土木学会論文集, No. 535/ IV-30, pp.67-77
- 南 正昭・高野伸栄・佐藤馨一 (1996)：リダンダントな道路網の構成方法に関する基礎的研究，土木計画学研究・論文集, No. 13, pp.733-742
- 南 正昭・高野伸栄・加賀屋誠一・佐藤馨一 (1997)：拠点的医療施設へのアクセスを2系統で保証する道路ネットワーク構造，土木計画学研究・論文集, No.14, pp.679-686
- 若林拓史 (1998)：震災に備えた道路施設計画，阪神淡路大震災の実態調査に基づいた震災時の道路交通マネジメントの研究，第5章 5.1, pp.243-259
- 山口県：山口県緊急輸送道路ネットワーク計画図, 1997
- 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

Estimation Method for Highway Network Planning using Inspection Data for prevention of disasters

Masaaki MINAMI

Department of Civil Engineering, Yamaguchi University

Synopsis

In recent years, a highway network often suffered damages and closed caused by natural disasters or superannuations of facilities. This paper presents an estimation method for a highway network planning using an inspection data for prevention of disasters.

The estimated scores of disasters and improvement costs on the routes connecting between pairs of city nodes are calculated. An estimation method of the improvement cost and its effect is proposed and calculation results on the emergency highway network in Yamaguchi prefecture are shown.

Keywords: Highway network planning, inspection data, prevention of disasters on highway network