

防災点検データを用いた道路網整備計画の一評価技法*

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

南 正昭**

by Masaaki MINAMI

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¹⁾。

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^{2) 3) 4)}。この方法では代替ルートが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⁵⁾。

以上の研究状況を踏まえ、本研究では道路網におけ

* 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2丁目16番1号 tel. (0836) 85-9307 e-mail. minami@po. cc. yamaguchi-u. ac. jp)

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

(1) 研究の構成

本研究の全体構成は、図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⁶⁾。

まず評価対象道路網のネットワークモデルを作成し、道路防災総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。

これらのデータの対象道路網上での分布状況をみた上で、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選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) データ

(a) 使用データの概要

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。

道路防災総点検¹⁾は、道路の防災・震災対策の基

礎資料を作成し、道路交通に支障を及ぼす各種の災害要因についての発生の可能性を判断するものとして、全国一斉に実施されてきた。近年はほぼ5年ごとに実施されてきており、平成8年度には阪神・淡路大震災等の発生により大幅な見直しののちに実施された。

平成8年度に実施された道路防災総点検において、災害点検の対象項目は、落石・崩壊、岩石崩壊、地滑り、雪崩、土石流、盛土、擁壁、橋梁基礎の洗掘、地吹雪、その他の10項目からなっている。本研究では対象地域である山口県において、点検箇所と比較的少なかった地滑り、雪崩、地吹雪、およびその他の点検項目を除いた6項目を分析の対象とした。

総点検は、これらの対象項目ごとに、該当する点検箇所を抽出するためにあらかじめ設定した判断基準に従い、現地調査より点検必要箇所を選定することから始まっている。たとえば本論文で分析に取り上げた岩石・崩壊点検項目の抽出基準は、1)高さ15m以上ののり面・自然斜面、または勾配45度以上の自然斜面、2)表面に浮石、転石が存在する箇所、3)崩壊性の土質、岩質、構造の箇所、4)既設対策工が老朽化している、または対策工の効果を点検する必要がある箇所、の4つの中で1つ以上に該当する箇所とされる。次に各点検箇所について基礎資料を収集の上、安定度調査が実施される。調査に基づき当該点検箇所の安定度評点を求めた上で、必要に応じて対策工の提案や防災カルテが作成される。

本論文で道路網の評価分析に用いた安定度調査に基づく評点ならびに概算対策工費は、以下のような方法で算出されたものである。各々の点検対象項目について、災害に関わる要因、既設対策工の効果、また最近の対策工実施以降の災害履歴等に関する評価項目を列挙した調査表に基づき、各点検箇所について各々の評価項目の評点を付し、それらを加算あるいは最大値をとるなどし総合化することで、当該点検箇所の安定度の評点を算出している。これらの点検項目の評点の上限は、点検項目ごとに異なり、岩石崩壊が126、擁壁が195、橋梁基礎洗掘150、それ以外が100となっている。評価項目の選定、各評価項目に付す評点、ならびに評点の総合化の方法を記した調査表は、点検対象項目ごとに技術的な検討のもとに決定されたものである。

本論文で分析対象とした点検対象項目について、以下のような観点から評点が算出されている。「落石・崩壊」では、地形・地質、勾配・高さ、現時点での変状、既設対策工の効果の程度に着目した要因からの評点と、最近の対策工実施以降の災害履歴に着目した評点の大きい方の点数を安定度評点としている。

「岩石崩壊」は、岩盤の露出した高さ15m以上ののり面・斜面を対象とし、亀裂の状況、岩質、地形、地下水等の要因からの評点より、既設対策工の評点を差

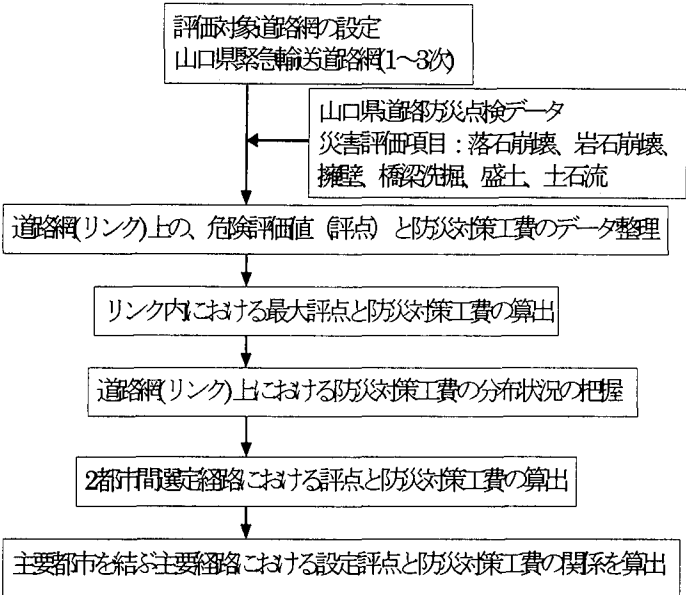


図1 研究の構成

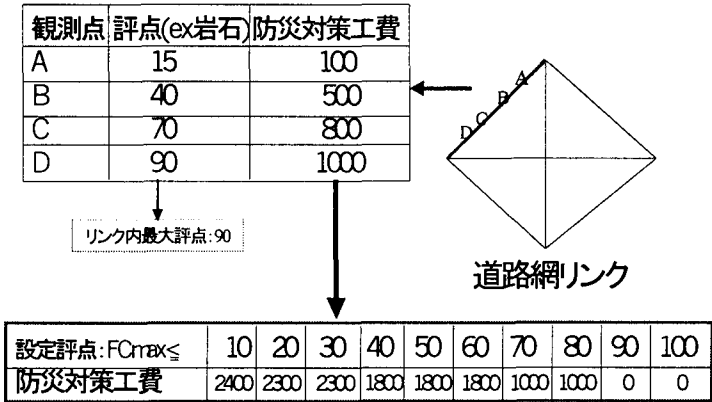


図2 評点および防災対策工費のデータ整理

し引いている。「擁壁」は、擁壁周辺の条件からの評点および擁壁本体の形式からの評点に、擁壁本体の変状履歴の評点を加えた合計としている。「盛土」は、各盛土区間ごとに、集水が誘因となり崩壊を生じる可能性を示す要因からの評点より、既設対策工のからの評点を差し引いたものと、災害履歴からの評点の大きい方を用いている。「土石流」は、渓流斜面の特性に関する要因の評点に、対策工からの評点および道路構造からの評点を合計した評点と、被災履歴からの評点を比較して大きい方としている。また「橋梁洗掘」は、橋台ならびに橋脚について、河床・護岸の安定性および変状に関する評点を付し、大きい方を採用している。

また概算対策工費は、上述の点検に基づき対策が必要と判断された点検箇所について、対策工として工種、規格、数量等を提案の上、算出している。したがって点検箇所の安定度評点の大きさと対策工費は、必ずしも比例関係をもつものではない。算定された対策工費を投ずることで当該点検箇所が改善され安定度が向上するものと考えられる。

このように総点検における安定度評価は、道路防災計画の立案を目的とし、全点検箇所を一律の評価基準で点数化したものであり、これを参考とし当該点検箇所の整備の必要性が判定されている。本研究は、地点データとして整理されたこれらの安定度評点ならびに対策工費を用いて、経路あるいは道路網としての整備計画を立案するための評価技法を開発しようとするものである。

(b) データベースの作成

防災総点検データは、図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。本研究では、これを研究目的に応じて以下のように加工し、データベースを作成している。

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。この値は本章3節に説明する $FClink$ 値に相当し、経路あるいは都市間の道路網評価指標の算出に用いる。

概算防災対策工費については、図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 $FCmax \leq 80$ 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。したがって、ここに算出された費用を投じることによりリンク内に、評点が $FCmax$ 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。

(3) 都市間経路の評点および経路概算防災対策工費の算出方法

本研究では、道路網上の経路に関する災害危険度を表現する指標として式(1)に示す FC 値、また経路として必要となる防災対策工費として経路概算防災対策工費を以下のような方法で算出することとした。計算手順は、図3のようである。

式(1)に示したように $FCroute$ 値は経路上に存在する評点の最大値を表し、 $FCij$ 値は都市ノード (i, j) 間の選定経路における $FCroute$ 値の最小値を表している。

最も災害危険度の高い点検箇所の存在に評価の視点を置いており、 $FCij$ が0のとき、都市間 (i, j) に少なくとも1経路は $FCroute$ が0である危険度の低い経路の存在が保障される。

一方、経路概算防災対策工費は、選定した経路上で、安定度評点があらかじめ設定した $FCmax$ 以上で

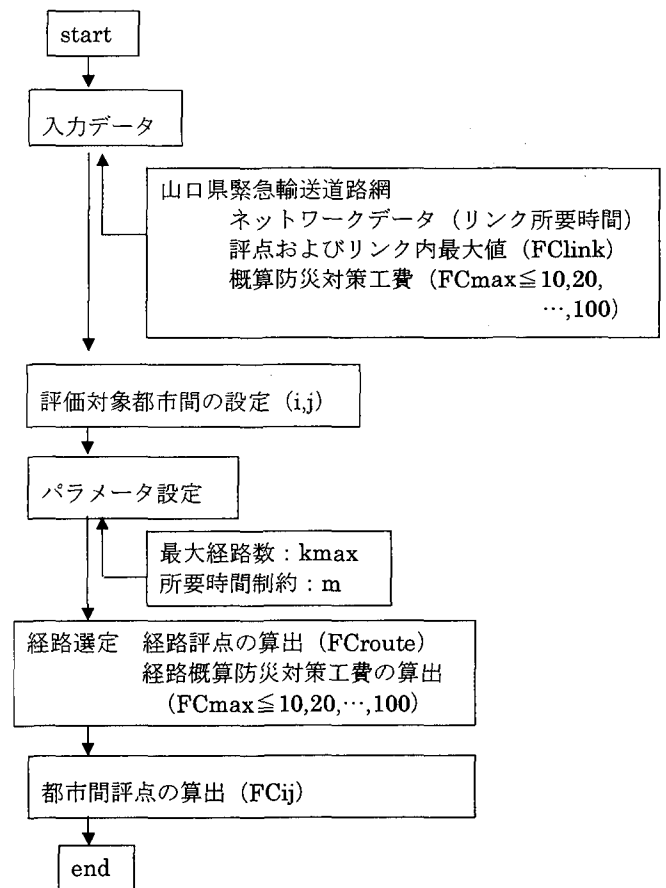


図3 経路および都市間での評点の計算手順

$$FClink \text{ 値} \quad FClink = \max_{a \in link} FCa \quad (1)$$

$$FCroute \text{ 値} \quad FCroute(i, j), k = \max_l FClink(i, j), k, l$$

$$FCij \text{ 値} \quad FC(i, j) = \min_k FCroute(i, j), k$$

$$(k = 1, 2, \dots, k_{max}) \quad (l = 1, 2, \dots, l_{max})$$

FCa : 災害点検箇所aにおける評点

$route(i, j), k$: 都市ノードij間k番目経路

$link(i, j), k, l$: 都市ノードij間k番目経路のl番目構成リンク

$FClink(i, j), k, l$: 都市ノードij間k番目経路のl番目構成リンクにおけるリンク 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

ある全ての点検箇所について、概算防災対策工費を加算することにより算出している。

これにより、評点が $FCmax$ 以上となる危険度の高い点検箇所の存在しない経路を、用意できることを意味している。

なお本稿において、経路の選定は以下のような探索的な方法で行っている。まず2都市間の主要経路と

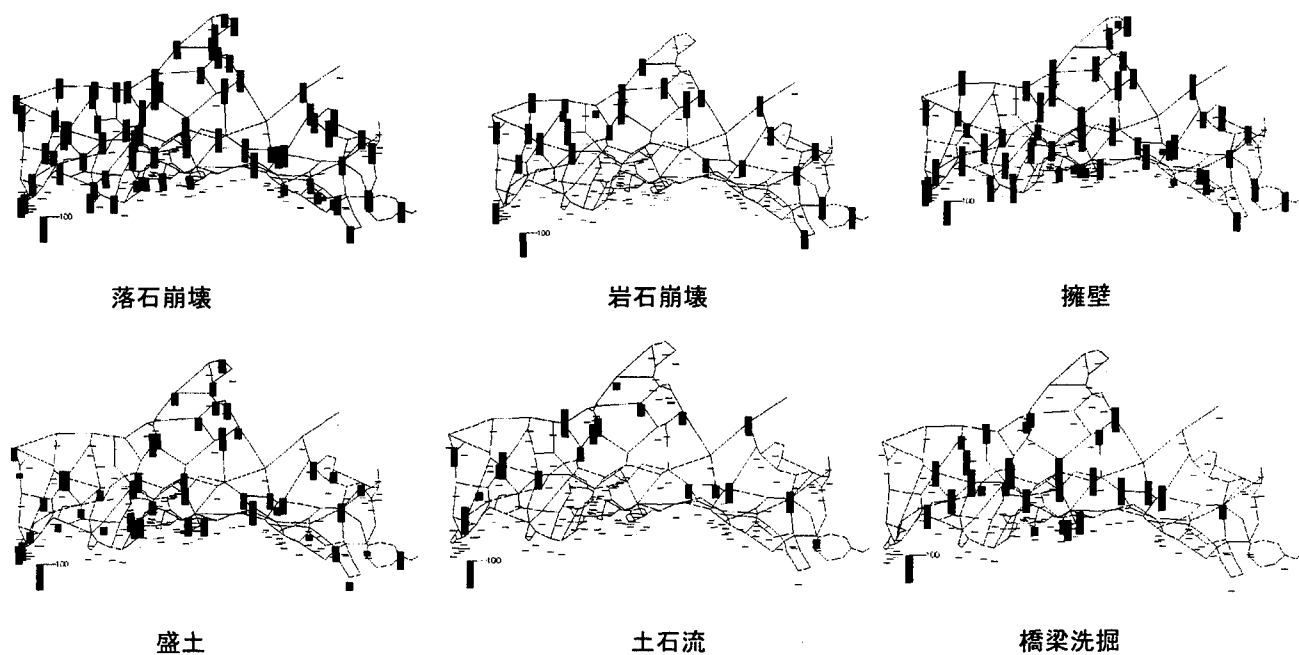


図4 山口県緊急輸送道路網におけるリンク内最大評点（FLink 値）の分布

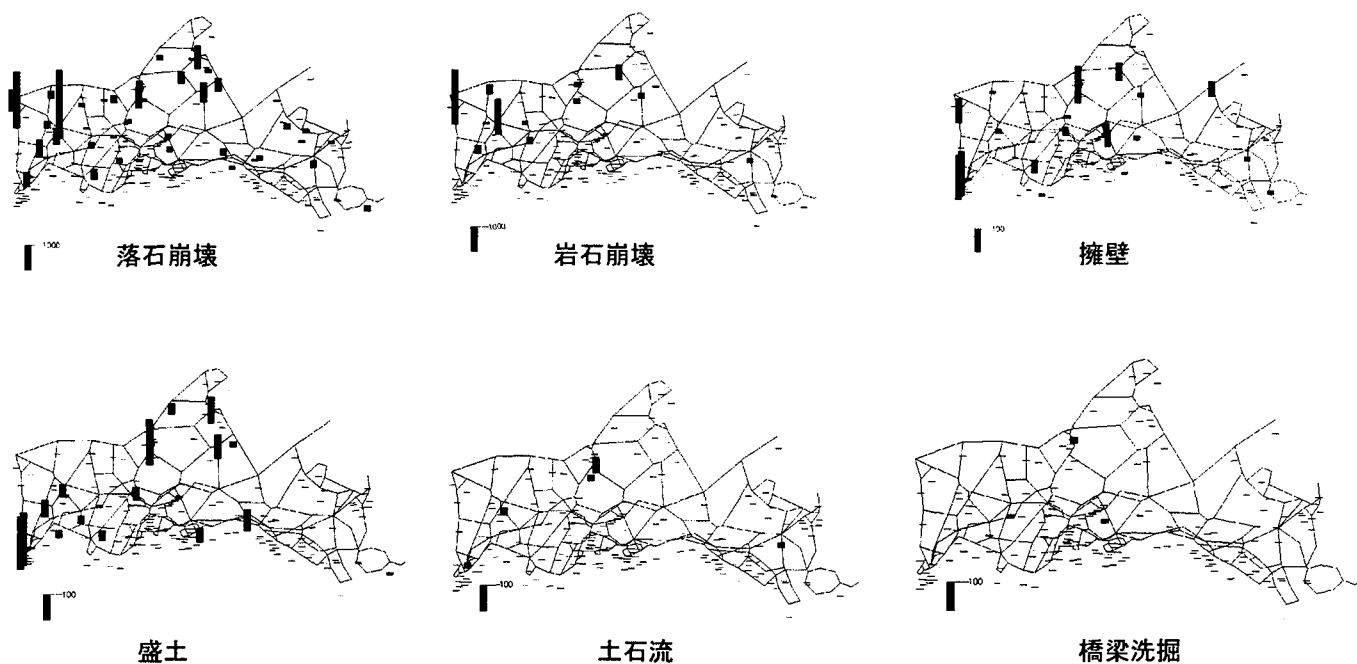


図5 リンク内最大評点を10以下（ $FC_{max} \leq 10$ ）にするのに要する概算防災対策工費の分布

して最短経路を求める。その最短経路の構成リンクの中で1つを切断し2番目経路を求め、最短経路と2番目経路の独立なリンクを全て切断し3番目経路を求める、という手順で最短経路の全構成リンクについて代替ルートを求めた²⁾。

3. 計算事例

(1) 道路網上における評点および対策工費の分布状況

第2章に前述した方法で、データベースとして作成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図4と図5に例示する。

図4は、各道路リンク内の最大評点（FLink 値）

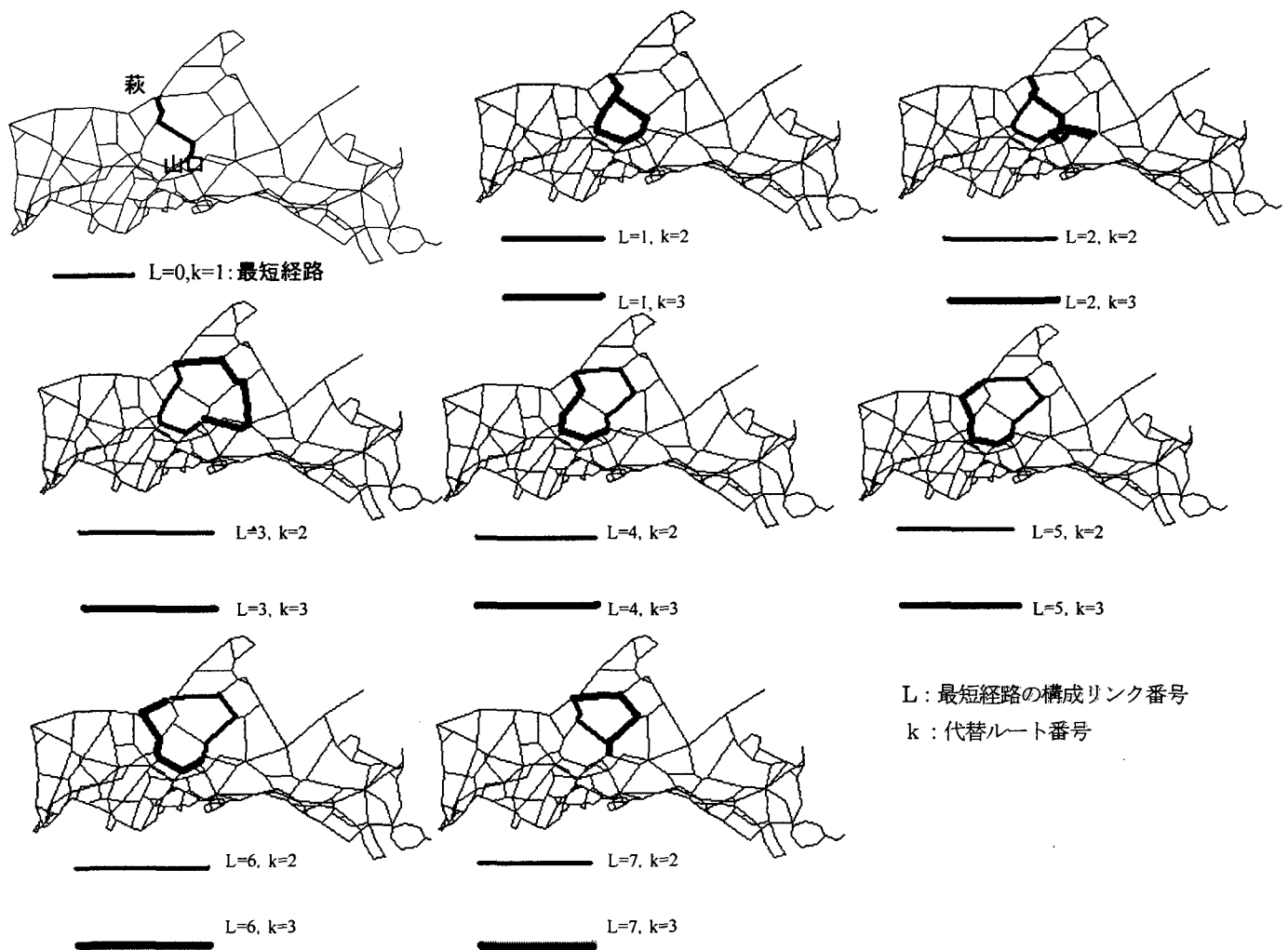


図6 山口－萩間における選定経路

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。図5は、 $FC_{max} \leq 10$ としたときの、リンク概算防災対策費を図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、図4と図5は同じ傾向をもつとはいえない。評点が高くても、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 FC_{link} 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。

(2) 経路評点 (FCroute) の計算結果

図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。

表1 山口－萩間経路評点 (FCroute, FCij) 算出結果
($m=3$, $k_{max}=3$, 災害点検項目=岩石崩壊)

選定経路 $k_{max}=3$		評点
L	k	FCroute
0	1	91
1	2	91
1	3	91
2	2	91
2	3	91
3	2	91
3	3	108
4	2	85
4	3	91
5	2	85
5	3	58
6	2	85
6	3	58
7	2	91
7	3	85
FCij =		58

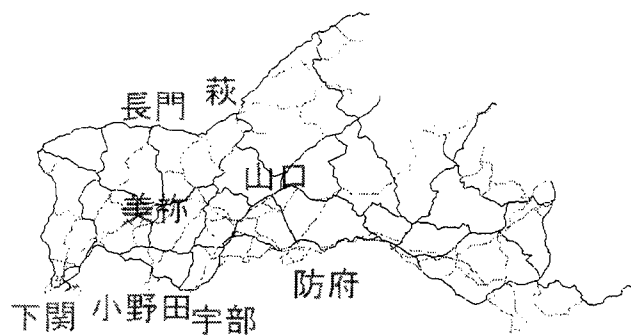


図7 評価対象都市間

ここでは、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す。

表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 FC_{route} を算出した結果を例示している。各選定経路について FC_{route} 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 FC_{route} の最小値として与えられる FC_{ij} を与える経路は、 $L=5, k=3$ 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。

表2 都市間における評点 (FC_{ij}) の計算結果

	岩石崩壊	落石崩壊	橋梁洗掘	盛土	擁壁	土石流
山口ー萩	58	64	40	50	100	45
山口ー防府	0	0	0	0	0	0
山口ー宇部	0	0	0	0	0	0
下関ー長門	54	84	0	0	0	0
宇部ー防府	0	0	0	0	0	0
小野田ー美祢	0	67	90	30	75	0
美祢ー長門	54	84	50	0	0	0

表3 山口ー萩間各選定経路の概算防災対策工費（岩石崩壊）

選定経路 $k_{max}=3$ 防災対策工費(設定評点: $FC_{max} \leq 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100$)

L	k	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	1	396.4	396.4	396.4	396.4	396.4	301.4	206.4	84.4	60	0
1	2	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
2	2	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
3	2	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
4	2	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
5	2	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
6	2	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
7	2	396.4	396.4	396.4	396.4	396.4	301.4	206.4	84.4	60	0

同様に、図7に示した山口ー萩、山口ー防府、山口ー宇部、下関ー長門、宇部ー防府、小野田ー美祢、美祢ー長門の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、橋梁洗掘、盛土、擁壁、土石流の場合について、 FC_{ij} を算出した結果を表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。

(3) 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、図5に $FC_{max} \leq 10$ 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 $FC_{max} \leq 10$ 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。図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表3にまとめた。

全体として設定評点 FC_{max} を小さくとるほど、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

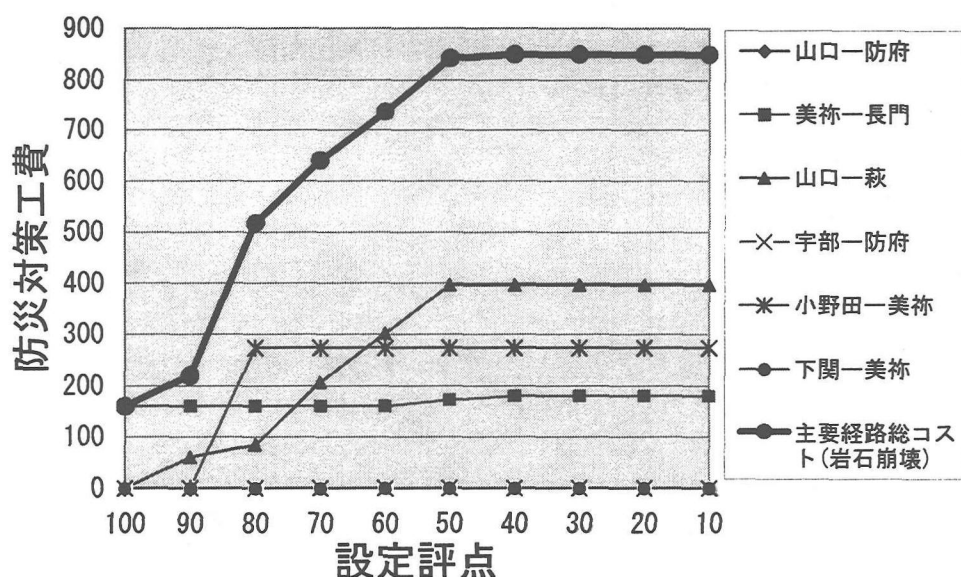


図8 都市間における設定評点 (FCmax) と概算防災対策工費の関係 (岩石崩壊)

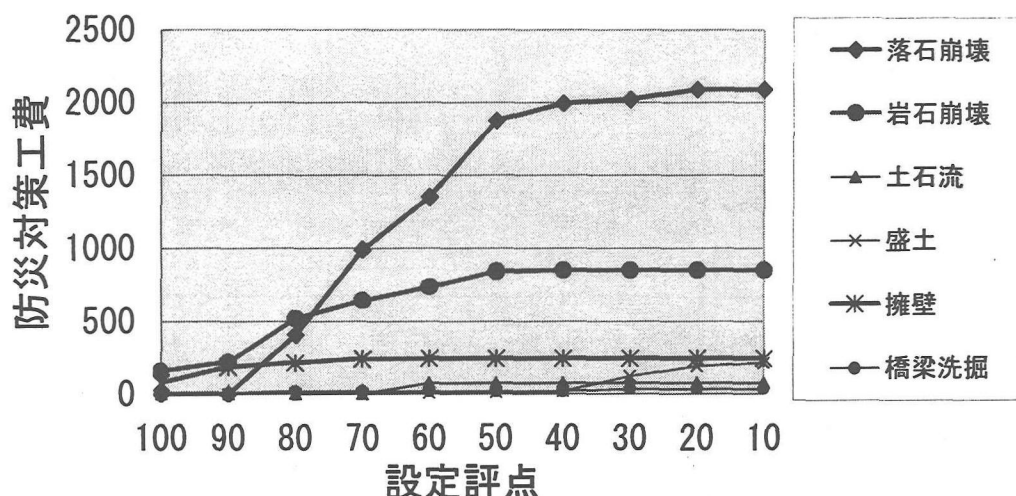


図9 設定評点 (FCmax) と都市間経路に要する概算防災対策工費の関係

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。

図8は、図7に示した山口一萩、山口一防府、下関一長門、宇部一防府、小野田一美祿、美祿一長門の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。

また図9は、落石・崩壊、岩石崩壊、土石流、盛

土、擁壁、橋梁洗掘の各災害点検項目について、図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。

4. 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。特に概算防災対策工費は、施工にあたってはより詳細な調査を要するものであり、全ての点検箇所について算出されてはいない。また対策の必要性は評点の大きさから直接決められるのではなく、路線の通行規制基準や迂回路の存在等が考慮された上で判断される。経路上の最大評点と対策工費の関係を示した本稿における計算結果は、この意味で精度を改善すべき課題を含んでいる。

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、防災道路網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。

また本論文では、2都市間を結ぶ主要経路として最短経路、ならびに4章に述べた手順で求めた代替ルートの評価対象経路として選定した。しかし、主要経路および代替ルートの選定の方法については、より厳密な選定ルールを設定する必要があるものと考えられる。

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。

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) 南 正昭、高野伸栄、佐藤馨一：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, 1996
- 3) 南 正昭、高野伸栄、佐藤馨一：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, 1996
- 4) 南 正昭、高野伸栄、加賀屋誠一、佐藤馨一：拠点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, 1997
- 5) たとえば若林拓史：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, 1998
- 6) 山口県：山口県緊急輸送道路ネットワーク計画図, 1997

防災点検データを用いた道路網整備計画の一評価技法

南 正昭

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、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でてきている。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、道路防災総点検による災害点検箇所の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の存在を考慮し、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適用事例を提示した。

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

by Masaaki MINAMI

In recent years, a highway network often suffered damages and stopped 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.
