

# 自然災害時における道路の強靱性評価に関する研究

A Study on the Evaluation of Strength of Road against Natural Disasters

宇佐美 誠史\*  
(福井大学大学院工学研究科)

寺内 義典†  
(福井大学大学院工学研究科)

杉江 稔‡  
(玉野総合コンサルタント(株))

本多 義明§  
(福井大学工学部)

## 1. はじめに

日本は自然災害が発生しやすい気象的、地形的、地質的特徴を有しており、道路はこれらの自然環境の改変を伴って整備されることから、災害が発生すれば、道路交通に多大な被害をもたらす、それによる交通障害は、その地域の社会・経済活動にきわめて広範囲な被害を与え、地域住民の生活を混乱に陥れる。自然災害による道路の途絶を防止するために、維持・管理面から個別の道路の強靱性を高めるための対策を行わなければならないが、すべての道路について同様の整備をするのはコスト等の点で現実的ではない。そこで対策を行うにあたってどの路線が自然災害の影響を受けやすいか、また優先的に整備しなくてはならない路線はどれで、どのような対策を取る必要があるのかといったことを知る必要がある。

本論文は、道路の強靱性を計るための指標を選定し、道路の強靱性の評価法を提案し、強靱性の低い路線について今後の道路の整備方策のあり方を示すことを目的としている。なお、研究の対象としたのは、福井県内の主要幹線道路である。

道路の強靱性とは途絶の起きにくさであり、道路の強靱性を表わす指標として現在利用が可能なものとしては、「過去の通行止実績」「要対策斜面数」「異常気象時通行規制区間」「要対策重要構造物」「沿道建築物」「液状化」「冬期通行止区間」の7指標がある。本研究ではこれらの指標を道路構造指標と立地条件指標に分け、道路構造指標の各指標を規準化し、それらをすべて加えたものを道路構造指標値としている。また、道路構造指標値の分布形がカイ二乗検定から対数正規分布であることから1 $\sigma$ 限界値を利用し、立地条件指標とあわせて強靱性を評価する手法を示している。この手法を用い福井県内の幹線道路を対象とし、強靱性の評価をおこない、その結果、奥越地域の県境部、越前

(キーワード : 強靱性、道路網評価、自然災害)

\* Seiji Usami  
Graduate School of Engineering, Fukui University

† Yoshinori Terauchi  
Graduate School of Engineering, Fukui University

‡ Minoru Sugie  
Tamano Consultant Co.,Ltd.

§ Yoshiaki Honda  
Faculty of Engineering, Fukui University

海岸沿岸部、若狭湾沿岸部において強靱性の低い道路があることを明らかにした。さらに、強靱性の低い道路について途絶した場合の迂回路を調べ、その増加距離と増加比から代替性を評価し、強靱性と代替性から道路を特性別にグループ化し、それぞれについて整備方策の検討をおこなっている。

以上のことから、本論文では自然災害時における道路の強靱性の評価法を示し、その適応例として福井県内の強靱性の低い道路を明らかにしている。

## 2. 自然災害と道路の関係

本研究において自然災害とは、気象災害（風災害、降雨災害、雪害）と地変災害（地震災害、土砂災害）のことをいう。日本は他国に比較し自然条件が厳しく、道路の防災や災害対策を難しいものにしてている。そのため、さまざまな自然災害が繰り返し生じており、道路の被災も多い。表 2-1 は昭和 50 年度から平成元年度までの道路の被災状況を示したものであるが、毎年 2 万件前後の災害が発生している。

表 2-1 道路災害の発生状況

年度	災害発生回数		通行止回数		死者・不明者 20 名以上の豪雨災害
	全災害	土砂災害	全回数	うち豪雨	
昭和 50	32,193	30,293	9,666	6,328	
51	44,050	41,367	13,048	7,891	
52	22,654	20,738	6,027	2,806	
53	18,322	16,188	5,101	2,782	
54	29,530	28,312	8,567	5,582	
55	36,453	34,316	13,029	7,025	前線
56	27,146	25,337	8,714	5,425	前線台風 15
57	48,813	47,318	13,544	10,563	長崎豪雨台風 18
58	34,075	31,561	14,901	8,158	梅雨台風 10
59	13,128	11,009	5,947	2,227	台風 10 号
60	22,991	21,271	9,023	5,374	梅雨台風 6、地附山地すべり
61	19,926	17,717	6,797	4,221	梅雨台風 10
62	15,458	14,472	4,653	2,933	
63	20,397	19,590	5,723	4,210	梅雨
平成元	20,302	19,487	6,175	4,426	台風 11,12,13 前線

福井県においては、昭和 56 年に発生した 56 豪雪で一般国道 158 号が通行不能になり、和泉村が全村孤立した。また、平成元年には一般国道 305 号の玉川観音付近で落石事故が発生し、復旧に約 4 ヶ月も必要となり、付近の住民や道路利用者に多大な影響を与えただけでなく、観光客の減少により経済的被害も受けた。このような大規模な自然災害だけでなく、小規模な自然災害による道路の通行止も毎年発生しており、道路の強靱性を高め、道路の信頼性を保つことが望まれている。

## 3. 道路の強靱性評価

道路がその機能を果たし、その効用を保つためには、構造として、「交通のための機能的空間を確保し、施設を用意すること」また「その空間を交通や気象上の衝撃や障害から保護し、物理的に保つこと」の 2 点が必要である。本研究では自然災害から道路を「物理的に保つこと」、つまり道路の途絶のおきにくさを道路の強靱性と定義し、福井県を例として強靱性の低い道路を抽出するための評価法を提案する。評価のフローは図 3-1 に示したとおりである。

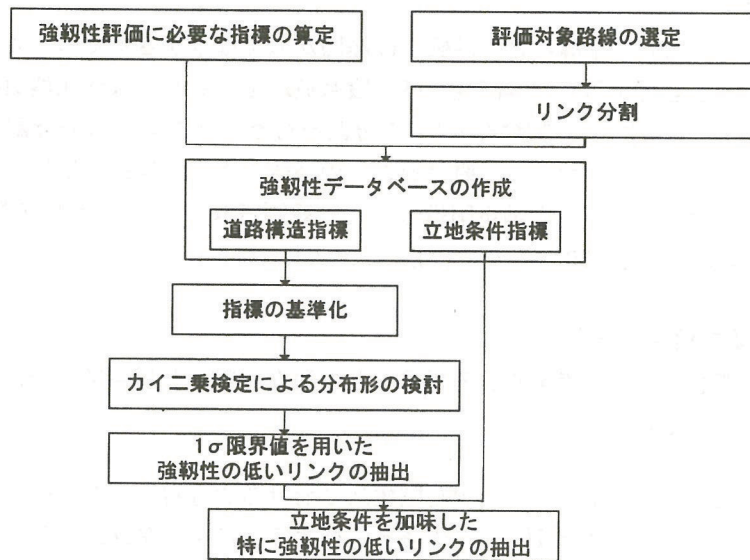


図 3-1 強靱性評価の流れ

### 1) 評価対象路線の設定

強靱性を評価する路線は、広域的かつ地域的な防災体制確保の観点から福井県内の各市町村と基幹的な幹線道路との連結、さらに防災上拠点となる空港、港湾、都市との連結に着目する必要がある。本研究では平成 8 年度に福井県が定めた緊急輸送道路ネットワークをもとに基幹道路、防災拠点都市、防災施設と県内各市町村、隣接県の市町村との連結を考慮し、高速自動車国道 1 路線、一般国道 13 路線、主要地方道 17 路線、一般県道 7 路線、広域農道 3 路線の計 41 路線を選定した。(図 3-2)

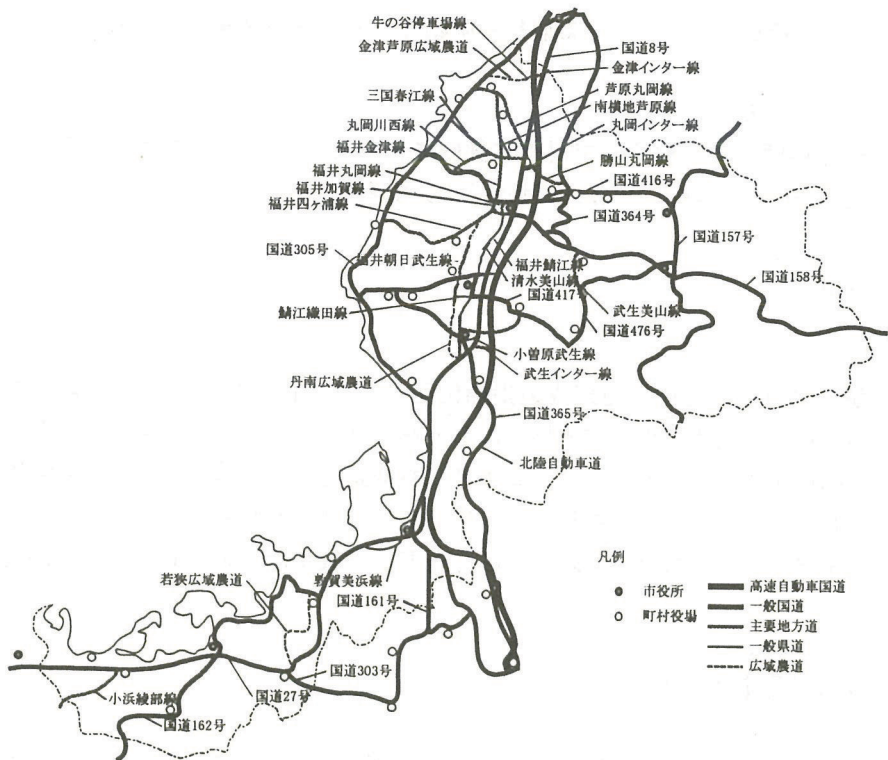


図 3-2 評価対象路線

## 2) 路線のリンク分割

強靱性の評価を行うために、路線ごとの評価では範囲が広くなりすぎるため、先に定めた路線を細かく分割して評価を行う必要がある。本研究では一般県道以上、もしくは広域農道の路線が交差する交点から交点までを 1 リンクとして路線のリンク分割を行う。ただし、この分割は迂回路を考慮するため、先が行き止まりとなっており、一般県道以上の路線、もしくは広域農道で迂回できない路線は除くこととする。その結果、高速自動車国道は 9、一般国道は 241、主要地方道は 93、一般県道は 23、広域農道は 13、合計で 379 リンクに分割された。

## 3) 強靱性評価に必要な指標の選定

道路の強靱性に影響を与えると考えられる指標として現在一般に利用可能な道路構造指標 4 指標、立地条件指標 3 指標を選定した。

### <道路構造指標>

- ・異常気象時通行規制区間 ..... 豪雨などの異常気象時における通行規制区間の箇所数
- ・過去の通行止実績 ..... H4~H7 年度の落石、崩土などによる全面通行止の回数
- ・要対策斜面数 ..... 落石崩壊、岩石崩壊などに対する要防災対策箇所数
- ・要対策重要構造物 ..... 橋梁およびトンネルの要震災対策箇所数

### <立地条件指標>

- ・沿道建築物 ..... 震災時に沿道建築物の倒壊による通行不能の危険性のある箇所数
- ・液状化 ..... 300gal での液状化の可能性のある箇所数
- ・冬期通行止区間 ..... 冬期において通行止の規制が行われる区間

これらの指標のうち沿道建築物に関しては実地調査を行い、その他の指標は関係資料<sup>1)</sup>から調べた。

## 4) 強靱性データベースの作成

先ほど述べた 7 つの指標をリンクごとに収集し強靱性データベースを作成する。

## 5) 強靱性の低いリンクの抽出

まず、各道路構造指標の各指標値を相対的に評価できるように基準化をおこなう。リンク  $n$  の指標値を  $x_n$  とすると、 $x_n$  を基準化した値  $X_n$  は以下の式で表わせられる。

$$X_n = \frac{x_n - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

$$(0 \leq X_n \leq 1)$$

基準化された値を合計したものを道路構造指標値とし、この値が高いものほど強靱性は低いと定義する。なお、ある特定の指標を重視する場合は重みを付けて表現することも可能である。

次に、道路構造指標値の分布形を調べるためカイ二乗検定をおこなう。図 3-3 の道路構造指標値の分布形をみると、右側のすその長い非対称の分布形であることがわかる。このことから対数正規分布と仮定してカイ二乗検定をおこない、実際にこの分布形が対数正規分布であるかどうかを判定する。

その結果、

$$\chi_0^2 = \sum \left\{ \frac{(f_i - F_i)^2}{F_i} \right\} = 11.706 \quad \text{となる。}$$

自由度  $\phi = 6 - 3 = 3$ 、有意水準  $\alpha = 0.005$  の  $\chi^2$  値は、12.84 である。よって  $\chi^2 > \chi_0^2$  であるのでこの分布形は対数正規分布であるといえる。

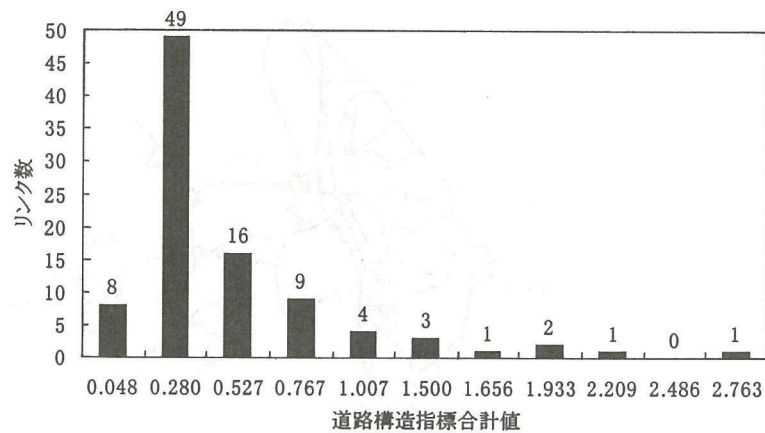


図 3-3 道路構造指標値のヒストグラム

強靱性が低いリンクは、 $1\sigma$  限界値以上のリンクとすると、平均  $\mu = -0.674$ 、標準偏差  $\sigma = 0.402$ 。従って  $1\sigma$  限界値は  $\mu + \sigma = -0.272$  であり、元の値に戻すと  $e^{-0.272} = 0.762$  となり、強靱性の低いリンクは道路構造指標値が  $x_i \geq 0.762$  であるリンクが該当する。該当するリンクは 12 リンク (表 3-1) あり、図 3-4 に示すように奥越地域、越前海岸付近、若狭湾沿岸部に集中していることがわかる。また、一般国道 157 号、158 号、364 号といった県境部分の道路が含まれており、これらの道路が途絶した場合に他県との往来が不可能となり、復旧活動や救援活動に支障が出ることが懸念される。

次に、道路構造指標の合計値に沿道建築物、液状化、冬期通行止区間の各立地条件指標を加味して、先ほど抽出された 12 リンクを「特に強靱性の低いリンク」と「強靱性の低いリンク」とに分ける。「特に強靱性の低いリンク」は、道路構造指標値が  $1\sigma$  以上 (0.762 以上) のリンクのうち、沿道建築物、液状化、冬期通行止区間の各立地条件指標がいずれか 1 つでも値が存在するリンクとし、残りを「強靱性の低いリンク」とする (図 3-5)

沿道建築物、液状化、冬期通行止区間の各立地条件指標を加味した結果、表 3-2、図 3-6 に示すように一般国道 157 号のリンク 04-15、04-16、同 162 号のリンク 07-08、07-09、同 305 号の 09-15、同 364 号の 10-08、主要地方道福井四ヶ浦線リンク 24-06、24-08 の計 8 リンクが「特に強靱性が低いリンク」となり、一般国道 158 号のリンク 05-01、05-02、05-03、同 305 号の 09-16 の計 4 リンクが「強靱性が低いリンク」と評価された。

表 3-1  $1\sigma$  限界値(0.762)以上のリンク

道路種別	路線名	No.	区間長 (km)	規制区間	通行止	斜面	重要構造物要対策	道路構造指標値計
一般国道	305 号	09-15	13.0	1.000	1.000	0.571	0.083	2.655
一般国道	162 号	07-09	6.0	0.500	0.714	0.762	0.000	1.976
一般国道	158 号	05-03	20.5	0.250	0.571	0.667	0.417	1.905
一般国道	157 号	04-15	13.4	0.250	0.286	0.190	1.000	1.726
一般国道	162 号	07-08	13.0	0.250	0.286	1.000	0.000	1.536
一般国道	157 号	04-16	19.5	0.250	1.000	0.143	0.000	1.393
一般国道	158 号	05-02	12.0	0.250	0.143	0.048	0.917	1.357
一般国道	305 号	09-16	2.0	0.000	0.857	0.476	0.000	1.333
主要地方道	福井四ヶ浦線	24-08	6.5	0.750	0.000	0.190	0.000	0.940
一般国道	364 号	10-08	4.0	0.250	0.571	0.048	0.000	0.869
主要地方道	福井四ヶ浦線	24-06	5.0	0.250	0.143	0.476	0.000	0.869
一般国道	158 号	05-01	7.6	0.250	0.143	0.000	0.417	0.810

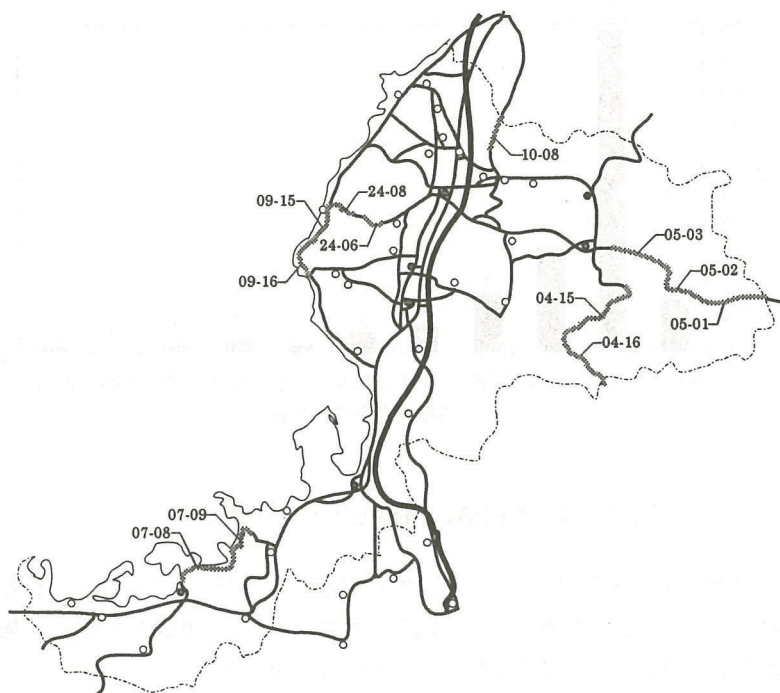


図 3-4 1σ 限界値 (0.762) 以上のリンク

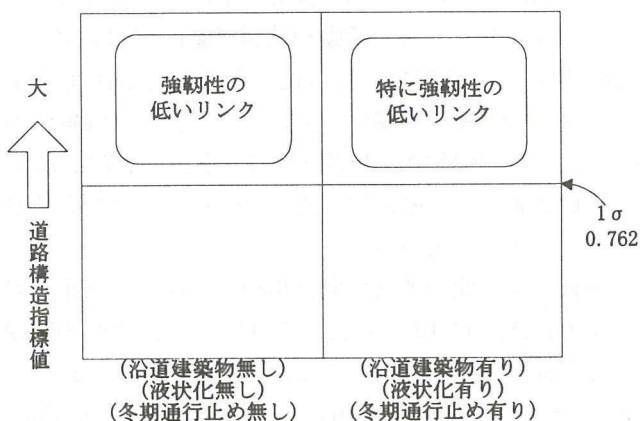


図 3-5 強靱性評価概念図

表 3-2 強靱性評価の結果

特に強靱性の低いリンク

道路種別	路線名	リンク	区間長 (km)	道路構指標値	沿道建築物	液状化	冬期通行止
一般国道	157号	04-15	13.4	1.726	1	1	1
		04-16	19.5	1.393	0	0	1
	162号	07-08	13.0	1.536	10	1	0
		07-09	6.0	1.976	9	0	0
	305号	09-15	13.0	2.655	27	0	0
		364号	10-08	4.0	0.869	0	0
主要地方道	福井四ヶ浦線	24-08	6.5	0.940	13	0	0
		24-06	5.0	0.869	1	0	0

□ は、特に強靱性が低いと判定された原因

強靱性の低いリンク

道路種別	路線名	リンク	区間長 (km)	道路構指標値	沿道建築物	液状化	冬期通行止
一般国道	158号	05-03	20.5	1.905	0	0	0
		05-02	12.0	1.357	0	0	0
		05-01	7.6	0.810	0	0	0
	305号	09-16	2.0	1.333	0	0	0

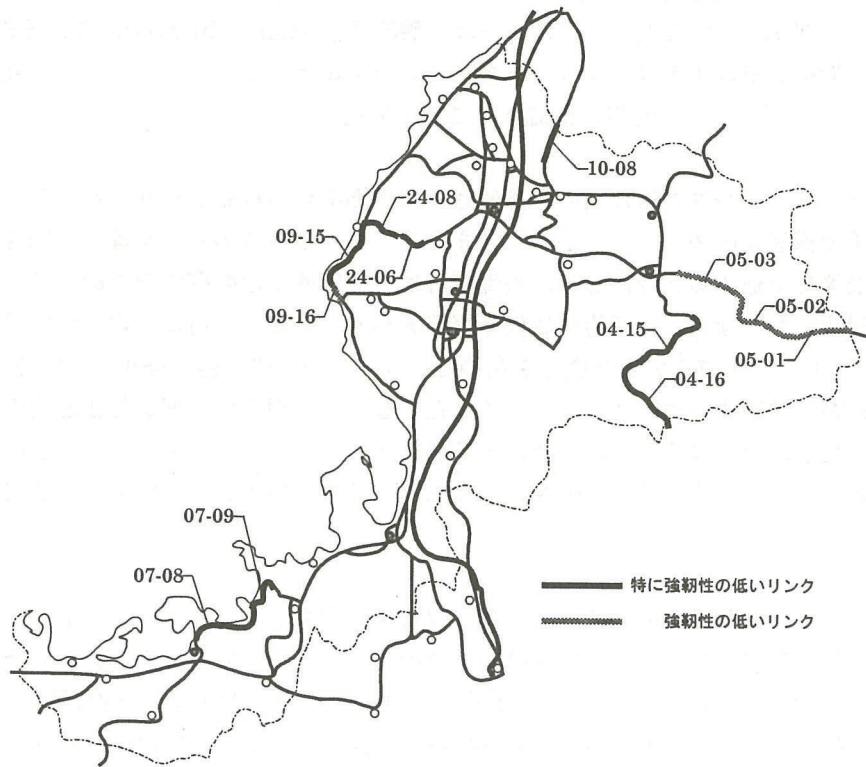


図 3-6 強靱性評価の結果

#### 4. 道路の整備方針の検討

リンクが途絶した場合に、通常時とほぼ変わらない距離で通行できる代替経路が存在するリンクと存在しないリンクでは整備の優先度が異なると考えられる。強靱性が低いと評価されたリンクについて、そのリンクが途絶した場合の代替性を調べ、強靱性評価とあわせ道路の整備方針を検討する。代替性は、代替経路を通った場合の各リンクの増加距離と増加比から調べる。各リンクについて代替性を調べた結果を図 4-1に示す。

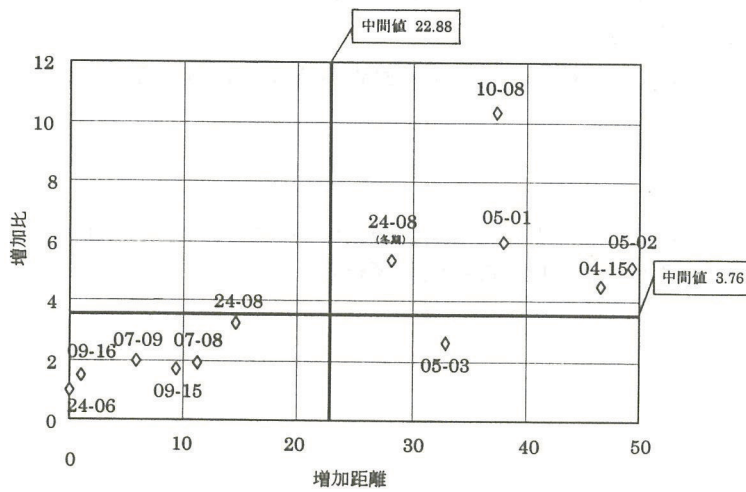


図 4-1 代替性評価結果

次に強靱性評価の各指標値と代替性評価の各指標値を要素としたクラスター分析を行い、リンクを特性別にグループ化した。なお、クラスターは階層的的手法(Hierarchical)であり、分析方法は Ward 法で、グループ間の距離は平方ユークリッドである。その結果、2 つのグループに分類することができた。以下に2つのグループの道路の整備方針について述べる

#### ○グループ1

このグループは、代替性が特に低いと評価され、冬期の代替経路が存在しないリンクである。また、要対策重要構造物の多いリンクが多く含まれている。これらのリンクは、強靱性・代替性共に低く整備を最優先に進める必要がある。整備方針は、短期的には強靱性を高めること、特に重要構造物の防災対策をおこない、長期的には代替経路を整備すること、特に冬期の代替経路を確保することである。また、市町村道および農道を含めたネットワークの機能を強化し、代替路を確保する。冬期の代替経路は冬期通行止区間があるため存在しないが、現在の冬期通行止区間の設定は、道路機能を考慮したものではなく、単に交通量の多さで決定されているもので、隣県とのつながり、特に災害時の救援体制に必要な道路の確保という点で、これらのリンクを整備する必要がある。

#### ○グループ2

このグループは、道路構造指標の中でも特に要対策斜面数が多く、立地条件指標では沿道建築物の値が大きいのが特徴である。代替性は高いと評価されたリンクであるので整備の優先度はグループ1よりも低い。落石、崩土等に対する点検の強化と、落石対策工や法面保護工など斜面の防災対策をおこなうとともに、車道部の拡幅や歩道の整備などにより道路幅員を確保し、沿道建築物倒壊による道路被害を防ぐ必要がある。

## 5. まとめ

本研究で得られた成果を以下に示す。

まず、道路の強靱性を表わす指標として7つの指標を用い、それらを道路構造指標と立地条件指標に分け、道路構造指標の各指標を基準化し道路構造指標値の分布形から1 $\sigma$ 限界値を利用し、立地条件指標とあわせて強靱性を評価する手法を示した。つぎに、福井県内の主要幹線道路を評価し「特に強靱性の低いリンク」8リンクと「強靱性の低いリンク」4リンクを示した。最後に、強靱性の低いリンクの代替性を調べ、強靱性の評価指標と代替性からクラスター分析によりリンクをグループ化し、それぞれについて道路の整備方針を示した。

なお、本研究を行うにあたり、福井県土木部道路保全課より資料の提供を受けた。ここに記して感謝の意を表す。

#### <参考文献>

- 1)「H2 防災点検」、「H3 震災点検」、「H6 地震災害防止緊急点検」、「道路台帳」、「災害に強い道路網整備検討調査業務」など建設省・福井県道路保全課資料