

限られた予算と重要度を考慮した、道路ネットワークの震災軽減のための補修法の開発*

Development of Repair Method of Road Network for Earthquake Disaster Reduction Considering Limited Budget and Importance *

北野仁郎**・大關洋平***・中西雄大****・北浦 勝*****・宮島昌克*****

By Jinro KITANO**・Youhei Ohzeki***・Takehiro NAKANISHI****

・Masaru KITAURA*****・Masakatsu MIYAJIMA*****

1. はじめに

2004年に起きた新潟県中越地震、2007年に起きた能登半島地震、2008年に起きた岩手・宮城内陸地震では震災の道路閉塞により、集落の孤立が発生した。このことは、山間地における道路の耐震補強の必要性を示している。よって、本研究では道路ネットワークにおける孤立集落の発生を防ぎ、限られた予算内での効率的な防災整備の助けとなる手法を提案する。そして、それが市町村全体としての道路閉塞の軽減に繋がることを目的とする。

2. 道路閉塞危険度評価式の構築

効率的な防災整備を行うためには精度の高い危険度評価を行う必要がある。本研究では危険度評価手法は太田らの手法¹⁾を参考にした。地震災害により道路閉塞を引き起こす被害様相を「道路閉塞要因 i 」と表記する。そして各道路閉塞要因 i により道路閉塞が発生する危険度を「道路閉塞危険度 y_i 」と表記する。また各道路閉塞を決定する道路環境条件を「道路環境特性 x_i 」と表記する。また道路環境特性を決定する要素を「要因群 ξ_{ij} 」と表記する。さらに各地点における地震動の強さを「地震動強さ S 」と表記する。これらの指標と四則演算のみを用いて、これらの指標の定式化を行う。そして道路閉塞危険度 y_i を用いて総合的な道路閉塞危険度 Y を表す(表-1、 \wedge は最大値)。評価は道路の300mごと(単位路線区間と呼ぶ)に実施する。

3. 道路ネットワークの耐震性評価

道路ネットワークから対象とする起点と終点を選択し、両点を結ぶ道路をタイセットと呼ぶ。タイセ

*キーワード：防災計画、ライフライン計画・設計

**正会員、金沢大学自然科学研究科博士後期課程

(金沢市角間町、TEL:076-234-4656、FAX:076-234-4656)

***修士(工)、中日本高速道路(株)

****金沢大学自然科学研究科博士前期課程

*****フェロー会員、工博、金沢大学

*****正会員、工博、金沢大学理工研究域

ットは一般にいくつかある。またタイセットはいくつかの路線から構成されている。

NT本のタイセットのうち、任意の p 本の生き残る確率をTaleb-Agha²⁾式(式-1)を用いて計算する。

$$P_s\left(\text{any } \frac{p}{NT}\right) = \sum_{i=1}^{NT} K_{pi} \cdot \sum_{j=1}^{NT} T_{ji} \quad (\text{式-1})$$

式中の T_{ji} には路線ごとの破壊確率が含まれている。 k_{pi} および T_{ji} の詳細は参考文献2)を参照されたい。

表-1 道路環境特性とその要因群及びそれぞれの特性の評価式

道路環境特性 x_i	要因群 ξ_{ij}	特性値の評価式	危険度評価式	
1 斜面特性 x_1	沿道斜面の勾配	ξ_{11}	$x_1 = (\xi_{11} \cdot \xi_{12} \cdot \xi_{13} \cdot \xi_{14} \cdot \xi_{15}) / \hat{x}_1$	$y_1 = (S \cdot x_1) / \hat{y}_1$
	沿道斜面の高さ	ξ_{12}		
	集水地形の有無	ξ_{13}		
	斜面保護の有無	ξ_{14}		
	地質	ξ_{15}		
2 地盤特性 x_2	地盤形成	ξ_{21}	$x_2 = (\xi_{21} \cdot \xi_{22} \cdot \xi_{23} \cdot \xi_{24} \cdot \xi_{25} \cdot \xi_{26}) / \hat{x}_2$	$y_2 = (S \cdot x_2) / \hat{y}_2$
	道路構造耐力	ξ_{22}		
	集水地形の有無	ξ_{23}		
	液状化の可能性	ξ_{24}		
	下水埋設管の有無	ξ_{25}		
	地質	ξ_{26}		
3 トンネル特性 x_3	地山の地滑り発生の可能性	ξ_{31}	$x_3 = (\xi_{31} \cdot \xi_{32} \cdot \xi_{33}) / \hat{x}_3$	$y_3 = (S \cdot x_3) / \hat{y}_3$
	トンネルの土被り厚	ξ_{32}		
	地質	ξ_{33}		
4 橋梁特性 x_4	橋梁本体破損の可能性	ξ_{41}	$x_4 = (\xi_{41} \text{ or } \xi_{42}) / \hat{x}_4$	$y_4 = (S \cdot x_4) / \hat{y}_4$
	橋台取付部破損発生の可能性	ξ_{42}		
総合的な道路閉塞危険度 Y				
$Y = \frac{\{(y_1 \text{ or } y_3) + (y_2 \text{ or } y_4)\}}{\hat{Y}}$				

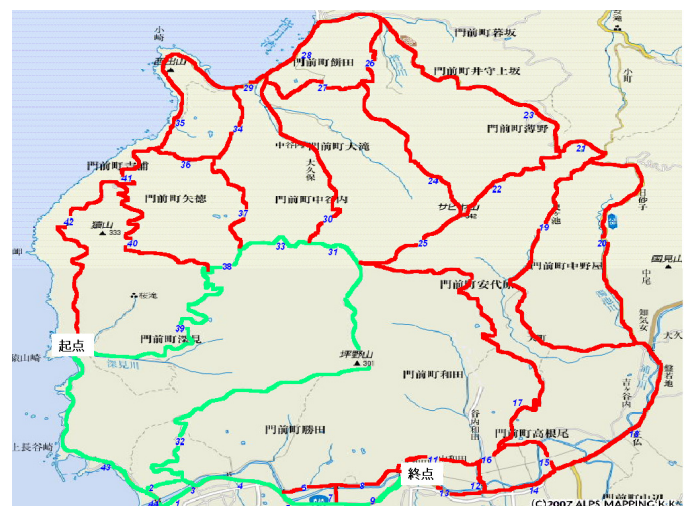


図-1 評価対象路線

同式を用いるに当たっては、路線ごとに必要な補強費を組み込んだ。すなわち、ある路線*i*の破壊確率を p_{f_i} 、破壊確率をゼロにするに要する補強費を R_i とし、実際について補強費を r_i とする。補強後の破壊確率 p'_{f_i} は(式-2)で与えられるとする。

$$p'_{f_i} = p_{f_i}(1 - r_i/R_i) \quad (\text{式-2})$$

4. 輪島市門前町深見地区への各種手法の適用と検証

図-1 の輪島市門前町深見地区を対象に道路閉塞危険度評価とネットワークの耐震性評価を行う。なお、緑で示した路線はネットワークの耐震性評価を行ったタイセット TS であり、生存確率 p_s の比較的大きい以下の4つを選んだ。 TS_1 などに含まれる路線の番号は以下の通りである。また表-2を基に、 TS_1 などの必要補強費 R_1 (万円)なども付記した。

TS_1 : 起点-43-2-3-4-5-9-終点 $p_s = 2.91\%$, $R_1 = 13, 159$

TS_2 : 起点-39-38-33-31-32-3-4-5-9-終点
 $p_s = 4.52\%$, $R_2 = 34, 877$

TS_3 : 起点-39-38-33-31-32-2-44-1-4-5-9-終点
 $p_s = 3.91\%$, $R_3 = 35, 869$

TS_4 : 起点-43-44-1-4-5-9-終点
 $p_s = 2.84\%$, $R_4 = 13, 491$

4-1 道路閉塞危険度評価

総合道路閉塞危険度を図-2に示す。同図は各道路の要因群を詳細に調査し、表-1を用いて斜面災害、地盤災害などの危険特性を計算した結果であるが、紙数の関係上、途中計算は省略する。

図-2 から、路線 No.17,19,20,43 の値が大きいことがわかる。No.43を除く路線が高い値を示した理由は、「盛土」と「集水地形」、「液状化の可能性が高い地形」、「斜面の勾配が急で斜面の高い箇所」のそれぞれが重なったためであることもわかった。また、No.43が高い理由はトンネル破壊による危険度が斜面崩壊による危険度よりも高い値を示したためであった。

4-2 評価結果の検証

能登半島地震の被害に関して収集したデータを基に単位路線区間ごとに被害の有無をまとめる。その際危険度の範囲(0-1.0)を0.1ごとに区切って任意の閾値を設定し、評価結果が任意の閾値に対して大きい区間では被害が生じる、小さい区間では被害が生じないとした。「的中率」を(式-3)のように表す。同式において被害が生じると評価した区間のうち、実際に被害があった区間数を A とし、被害が生じないと評価した区

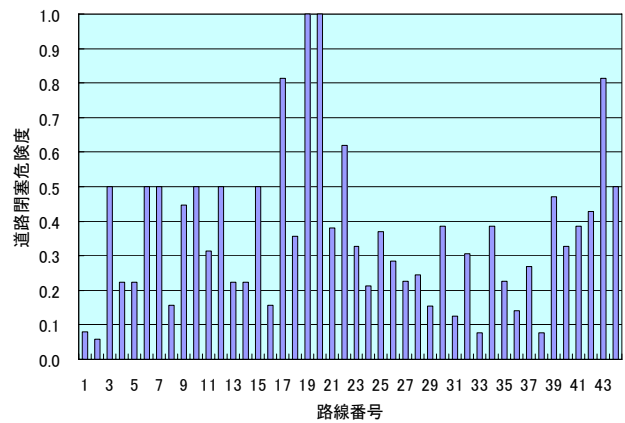


図-2 総合的な道路閉塞危険度

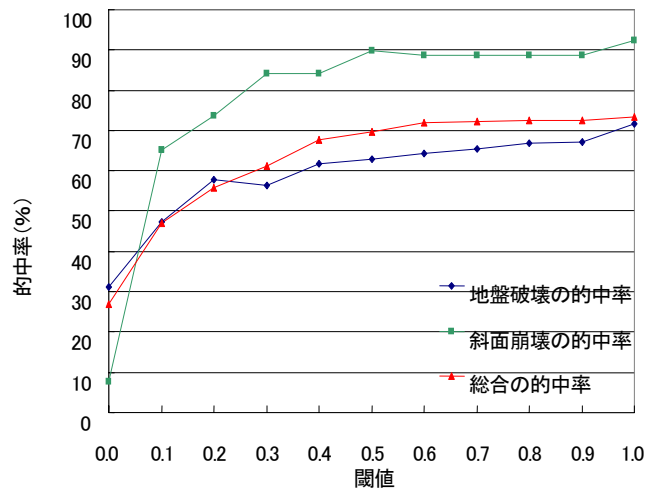


図-3 的中率

間のうち、実際に被害がなかった区間数を B とする。結果を図-3に示す。

$$\text{的中率} = \frac{A+B}{\text{全単位路線数}} \times 100 \quad (\text{式-3})$$

図-3からの中率においては閾値が高くなるにつれて全体の精度も高くなることがわかる。これは破壊箇所よりも非破壊箇所の数が多かったためであると考えられる。閾値にもよるが的中率が概ね60%を超えていることからある程度精度が良いと考えられる。

4-3 ネットワークの耐震性評価

ネットワークの耐震補強に当たっては、路線ごとに重要度 I を割り振る必要がある。重要度 I の決定には以下の2つの要因を考慮した。路線の中には複数のタイセットに含まれるものがある。各路線の重複数 h を最大の値 h_{\max} で除し、10倍した値を重要度要因 I_1 とする。また路線に含まれる消防署や病院、警察、避難所などの重要施設の数 q を最大の q_{\max} で除し、10倍した値を重要度要因 I_2 とする。重要度 I は両者の平均で与

える。重要度に応じた補強をするに当たって、重要度ごとに路線の破壊確率の減少割合を与える。例えば重要度0～1の路線は破壊確率を0～10%低下させ、重要度9～10のそれは破壊確率を90～100%低下させるように補強費を決める。

必要補強費はタイセット延長が長ければ長いほど、また道路閉塞の危険度が高ければ高いほどかかる。このことを考慮して算出した各路線の必要補強費を破壊確率、重要度とともに表-2に示す。

先に選んだタイセットに含まれる路線のうち、重要度の高いものから順番に予算をつける。

図-4はネットワークの生存確率と補強費との関係を表している。同図から補強費を増加させると全体の生存確率は15,540(万円)までは大きく上昇し、その後はなめらかに上昇することがわかった。これは、15,540(万円)までは相互関係の大きい路線の重要度が高いため補強され、破壊確率の減少割合が大きくなり、生存確率が飛躍的に上昇したと考えられる。その後は相互関係が小さく、全体の生存確率に及ぼす影響が小さい路線が補強されたため、全体の生存確率を大きく上昇させることができなかったと考えられる。

壊による危険度が高い値を示したこと、地震動強さ S が高くなったためであった。総合的に見ると、地震動強さ S による影響が見られたことと、地盤破壊による危険度、斜面崩壊による危険度のどちらかが低いと、相対的に低くなるという現象が見られた。

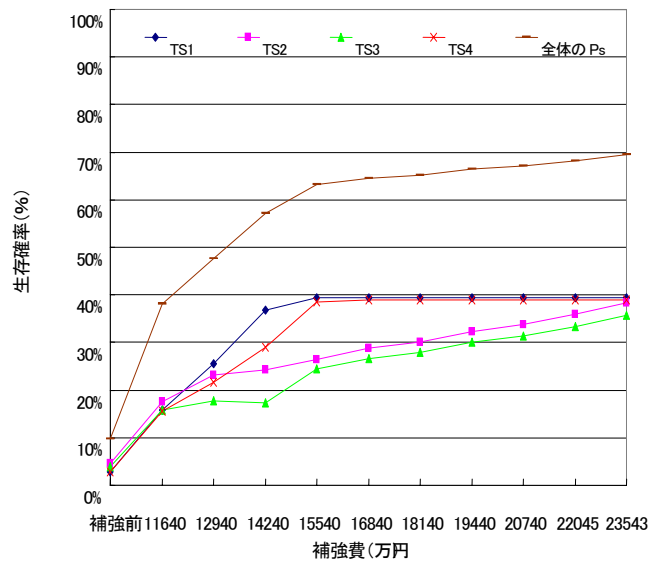


図-4 計算結果

5. 富山県氷見市早借地区における道路閉塞被害予測

4.の結果からある程度の被害予測が可能と考え、能登半島地震の際に被害を受けていない図-5の氷見市早借地区を対象に、想定地震による道路閉塞危険度評価とネットワークの耐震性評価を行った。緑で示した路線がネットワークの耐震性評価を行った路線である。

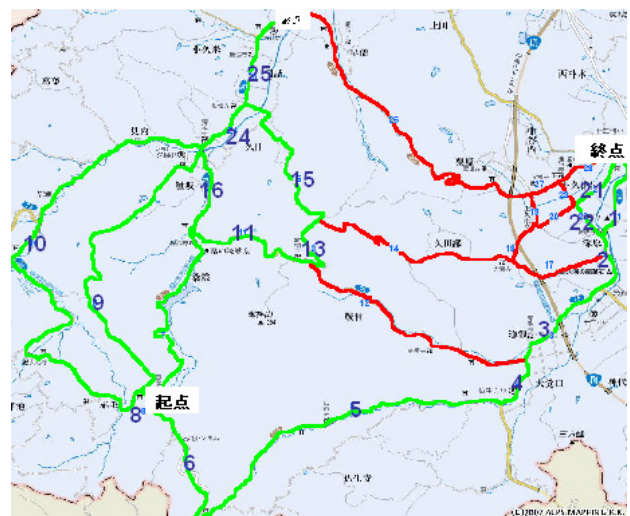


図-5 評価対象地域

5-1 道路閉塞危険度評価

図-6は総合的な道路閉塞危険度を表している。同図から路線No.26の値が大きいことがわかる。No.26が高い理由としては地盤破壊による危険度と斜面崩

表-2 各路線の破壊確率、必要補強費、重要度

路線No.	1	2	3	4	5	9	31
破壊確率pf %	8.1	5.96	31.41	22.38	22.38	44.77	12.62
補強費 R(万円)	449	330	1,305	2,170	1,860	2,170	839
重要度 I	5	5	5	10	8	10	5

路線No.	32	33	38	39	43	44
破壊確率pf %	30.7	7.8	7.8	47.18	81.41	31.41
補強費 R(万円)	8,394	1,188	594	16,357	5,324	1,518
重要度 I	5	5	5	5	5	5

