

# 自然災害による孤立集落発生防止のための リンク信頼度推定の試み

藤田 衛<sup>1</sup>・若林拓史<sup>2</sup>・長江貴弘<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 名城大学大学院 都市情報学研究科 (〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘4-3-3)

E-mail: 153781005@c alumni.meijo-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 名城大学教授 都市情報学部 (〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘4-3-3)

E-mail: wakabaya@meijo-u.ac.jp

<sup>3</sup>学生会員 名城大学大学院 都市情報学研究科 (〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘4-3-3)

E-mail: 133781501@c alumni.meijo-u.ac.jp

我が国は、災害などによって度々道路網が遮断され、これにより中山間地域からの外部アクセスが途絶し、孤立集落が発生しやすい。より信頼性の高いネットワークを構築することで、災害発生時の孤立集落の発生を防止できる。本研究では、斜面崩壊や耐震性の低い脆弱性を抱えている道路ネットワークを対象に、より強靱なネットワークを構築する方法を考察する。この目的のためには、リンク信頼度を推定する方法が必要であるが、現状では各リンクの信頼度を推定する方法は確立していないか、データの入手に大きな制約がある。このため、本研究では岐阜県飛騨地方での斜面崩壊データをもとに、リンク信頼度を推定する方法を提案する。実データから推定する方法を2, 3考察し、ノード間信頼度を計算した上、重要度評価を行って補強すべき道路区間を同定する。

**Key Words :** *highway network reliability, national resilience, slope failure, importance index, criticality importance*

## 1. はじめに

近年、我が国では、震災や豪雨災害、火山噴火などの被災を契機に「国土強靱化」<sup>1)</sup>が求められており、それは道路網についても同様である。道路網は、豪雨などが引き起こす土砂災害等で、山間部の一部が通行不能になる場合がしばしばあり、中山間地域に人々や物の往来ができなくなる「孤立集落」が発生する。孤立集落は地上からアクセスする手段が一切途絶するため、災害時の緊急車両の通行にも大きな支障をきたし、一分一秒を争う人命救助という視点で見ると、極めて重大な問題である。そういった事態を防ぐべく、事前に重要とされる道路区間を把握し、いかに効率的に強靱化するかが鍵であり、その対象となる経路の評価、および選択が必要である。

どの経路を強化するのが望ましいか評価・判断するための客観的な基準を与えるには重要度評価<sup>2)</sup>と呼ばれている指標がある。重要度評価に関しては若林・長江<sup>3)</sup>によって先行研究が進められているが、これは重要度評価やその指標の特性分析に重点をおいた研究であるため、リンク信頼度の値を与件として与えており、リンク信頼度の考え方を課題としている。また、将来的には実ネットワークに適用するため、リンク信頼度の推定方法を確

立する必要がある。

したがって、本論文ではリンク信頼度の推定に重点を置き、その推定法を提案する。また、それらを用いて岐阜県飛騨地方の落石確率から実在区間のリンク信頼度を算出し、重要度評価を用いてリンクの重要度を比較・分析する。

以下、本論文の構成を述べる。2.では既存のリンク信頼度推定を取り上げた研究をレビューし、それらの位置づけや問題点を略述する。3.ではリンク信頼度を推定する方法論を紹介し、岐阜県飛騨地方における落石確率を用いて、リンク信頼度の推定を試みる。4.では得られた結果をまとめる。5.では、結果を考察し、本研究で得られた問題点や改善点をまとめ、将来の展望を述べる。

## 2. リンク信頼度の推定：研究のレビュー

道路網の信頼性には、連結信頼性、旅行時間信頼性、容量信頼性などが提案されており、連結信頼性とその重要度評価については長江らによって検討されてきた。しかし、重要度評価の研究におけるリンク信頼度については、想定する災害や設定対象となる道路によって算出の

方法が変わると考えられるので、簡単のためリンク信頼度を与件として与えていた。そのため、実在するネットワークでの検証が進んでおらず、重要度評価をより実用性のあるものとするため、本研究では重要度評価の算出に十分用いることのできるリンク信頼度の推定方法を提案する。

リンク信頼度推定を扱った論文は多くないが、その事例の1つとして、高山<sup>4)</sup>による北陸地方の異常気象時における道路網の連結性を評価した連結性能評価法がある。これは災害時における道路網の連結性を対象として、全点間信頼度を近似計算する解法を提案し、奥能登道路網に適用しているものである。

岐阜県飛騨地方の道路網において重要度評価を用いて連結信頼性を改善するには以下のような手順が必要と考えられる。

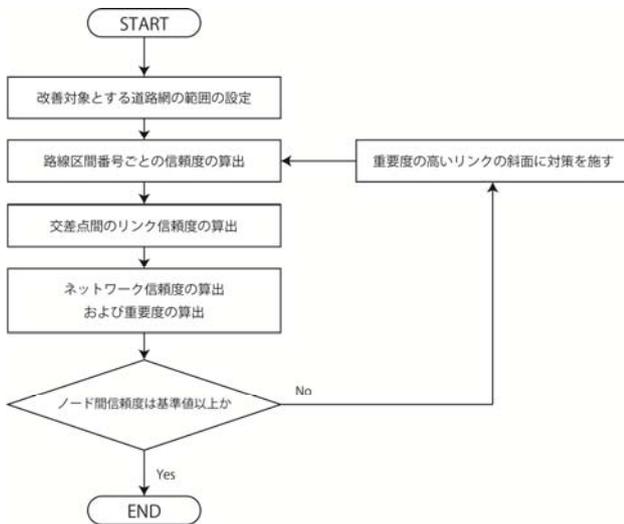


図-1 落石発生確率を基とする重要度評価のフロー

本研究では、通行可能確率を算出して順応できるよう、実際の斜面崩壊確立データを用いて、リンクの年間落石発生確率を算出し、それを通行止め確率として信頼度を推定する。

### 3. 岐阜県飛騨地方における信頼度推定の試み

#### (1) 落石危険性データについて

岐阜大学の山城<sup>5)</sup>らおよび岐阜県建土部によって作成された、岐阜県飛騨地方の一般国道、及び県道、主要地方道を含めた2992箇所の斜面崩壊データを基に推定を進める。また、それらの崩壊箇所を岐阜県飛騨地方にプロットしたネットワークマップも用いる。

#### (2) リンク信頼度推定の方法

本研究では、リンク信頼度推定法として3種類の方法を試みる。a) 斜面崩壊（落石発生）が独立で生じる場合、b) 斜面崩壊が従属的に生じる場合、c) a)に基づきリンク信頼度を簡略な方法で与える3種類である。興味の対象は、異なる方法でリンク信頼度を計算した場合、値にどの程度の差異が生じるかである。

#### a) 斜面崩壊が独立で生じる場合（方法1）

道路法面において、斜面崩壊が発生した箇所は直ちに通行止めになると仮定する。さらに、1つのリンク上でのそれぞれの斜面崩壊が直列システムでかつ、発生確率が独立であると仮定する。すると、図-2のように考えることが可能で、リンク信頼度は式(1)のように算出できる。リンクa上で1箇所でも落石が発生しない確率、すなわち通行可能確率をリンク信頼度 $r_a$ とする。

$$r_a = (1 - R^{a_1})(1 - R^{a_2}) \dots (1 - R^{a_n}) \quad (1)$$

このとき $R^{a_n}$ はリンクa上に存在するn番目の落石発生可能箇所の落石確率である。これは高木<sup>6)</sup>、本城<sup>9)</sup>による岐阜県飛騨圏域を対象とした道路斜面のリスクマネジメント論文にも記されている。



図-2 直列システムにおける独立故障

#### b) 斜面崩壊が従属的に生じる場合（方法2）

次に、大地震などによって複数の落石箇所が従属的に（同時に）崩壊する場合を考える。従属故障には、大きく分けて共通原因従属故障とカスケード型従属故障がある<sup>7)</sup>が、本ケースは前者に相当する。

直列システムの場合は、以下のように考える。

$$r_a |_{independence} = (1 - R^{a_1})(1 - R^{a_2}) \dots (1 - R^{a_m}) < 1 - \text{Max}\{R^{a_i}\} \approx r_a |_{dependence} \quad (2)$$

が成立し、 $R^{a_i}$ の値がどんな数値であっても（独立故障時の信頼性）<（従属故障時の信頼性）が成立する。並列システムの場合は、（独立故障時の信頼性）>（従属故障時の信頼性）となることと対照的である。

別の考え方として、故障箇所が2箇所のとき、 $r_a$ を一般的に表現すると、

$$r_a = (1 - R^{a_1})^{(1-\rho/2)}(1 - R^{a_2})^{(1-\rho/2)} \quad (3)$$

と表すことができる。ここに $\rho$ は、相関係数である。こ

のとき独立故障時は $\rho=0$ ，従属故障時は $\rho=1$ となり， $a_1$ と $a_2$ が独立の場合は，

$$(1-R^{a_1})^{(1-\rho/2)}(1-R^{a_2})^{(1-\rho/2)} = (1-R^{a_1})(1-R^{a_2}) \quad (4a)$$

となり，これは独立の式と一致する。

完全従属の場合は $\rho=1$ で，特に $R^{a_1} = R^{a_2} = R$ の場合には，

$$\begin{aligned} & (1-R^{a_1})^{(1-1/2)}(1-R^{a_2})^{(1-1/2)} \\ &= (1-R)^{(1-1/2)}(1-R)^{(1-1/2)} \\ &= (1-R) \end{aligned} \quad (4b)$$

となり，2ユニットの直列表現が1ユニットの直列表現となることで，従属性の表現ができる。したがって，直列システムの従属故障による信頼性は，故障率（信頼度）がどんな値であっても，独立による信頼度よりも大きくなる。そこで，本研究では従属故障を簡略的に表現する方法として，リンク内での最も大きい落石発生確率を，そのリンクの故障率，すなわち通行不可能率として与える方法を用いることとする。

**c) 斜面崩壊を簡略に与える場合（方法3）**

斜面崩壊により生じる人的損失（＝通行する車輛に落石が生じ，死亡，怪我，物損を被る被害額）が0であれば<sup>9)</sup>，その対象区間に関しては通行可能であると仮定し，当該区間の通行可能確率を1.0として与える方法である。

**(3) 岐阜県飛騨地方の実ネットワークへの適用例**

今回は，岐阜県飛騨地方を対象とした実ネットワークから，田の字型ネットワーク（図-3）に対応するよう，9箇所のノードとそれをつなぐ12本のリンクをサンプルネットワークとして選出する。

1. 岐阜県高山市および飛騨市を対象とする
2. おおよそ30km×30kmの範囲に限定する
3. 都市部である高山市街を含む
4. 飛騨地方と他の地方を結ぶ境界を含む
5. 2路線以上の主要路線を含む

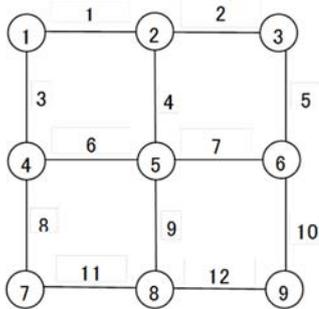


図-3 田の字型ネットワーク

以上の点から算出箇所を選出し（表-1）そのエリアと配置の位置関係を図-4および図-5に示す。今回，田の字型

ネットワークを構成する路線区間番号に対応した斜面崩壊データの無い箇所については，落石発生確率=0.0，すなわち通行確率=1.0とし，斜面崩壊によって生じた経済的損失や，通行止め日数は一切考慮しないものとする。図-5での猪谷～高山間のノード間信頼度を算出する。



図-4 算出対象エリア

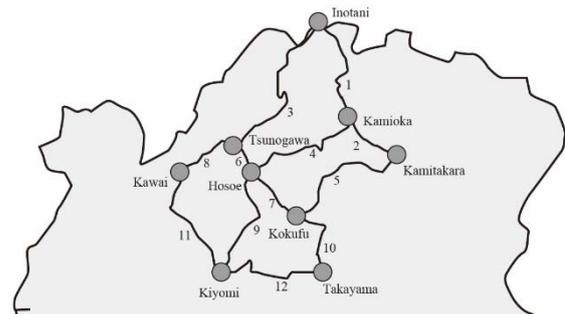


図-5 選出したノードおよびリンクの関係

表-1 選出したリンクとそれを構成する主な路線

リンク番号	路線種別	構成する主な路線名
1	国道	41号線
2	国道	471号線
3	国道	360号線
4	国道	41号線
5	一般県道	国府見座線
6	国道	471号線
7	国道	41号線
8	国道	360号線
9	一般県道	古川清見線
	一般県道	古川宇津江四十八滝国府線
	一般県道	神岡河合線
10	国道	41号線（旧）
11	一般県道	清見河合線
12	国道	158号線

## 4. 計算結果

### (1) リンク信頼度の算出

前述の田の字型ネットワークを斜面崩壊データを用いて、方法1～方法3でリンク信頼度を算出しその結果を表2に示す。

全体としてリンク3およびリンク11以外の10本のリンクに関しては0.9前後の高水準なリンク信頼度を示していることがわかる。特に飛騨地方を構成する主要幹線道である国道41号線を中心に、信頼度1.0が導き出されている。これは市街地など落石発生確率のきわめて小さい地域に道路が敷設されていることや、山間部はロックシェッドによる対策が十分に働いている証拠で、これが後ほど算出するノード間信頼度の向上に大きく寄与していると考えられる。一方、リンク番号3は最もリンク信頼度の低い国道であり、さらにリンク番号11番は0.57～0.58と極端に低水準な信頼度を示している。これは当該区間を国道41号線や東海北陸自動車道などのより信頼性の高い路線が平行して存在するためだと考えられる。また、リンク8やリンク12は方法3と方法1との差が大きいリンクで、これらは山間部を通行する路線ではあるが、周囲に急峻な斜面が少なく、規模の大きな斜面崩壊が生じにくいことから説明できる。

表-2 方法1～方法3ごとの各リンク信頼度

Link no.	方法1	方法2	方法3
1	1.00000	1.00000	1.00000
2	0.89619	0.89619	0.89619
3	0.77657	0.77657	0.77657
4	1.00000	1.00000	1.00000
5	0.87923	0.88699	0.88699
6	0.93634	0.93634	1.00000
7	1.00000	1.00000	1.00000
8	0.95830	0.97118	1.00000
9	1.00000	1.00000	1.00000
10	1.00000	1.00000	1.00000
11	0.56738	0.58024	0.56738
12	0.92570	0.94079	0.98395

### (2) 連結信頼性の定義とノード間信頼度の算出

ノード間信頼度の算出には若林らが従来から提案している方法<sup>89)</sup>により猪谷～高山間のノード間信頼度を算出する。連結信頼性の定義と計算法は以下のとおりである。

連結信頼性を所与の期間中、道路網の任意のノード間において、あるサービスレベル以上での走行移動が保証される確率的指標と定義する。同様に、リンク信頼度をそのリンク上においてあるサービスレベル以上での走行移動が保証される確率と定義する。道路ネットワークの特定のノード間のミニマルパス（ネットワークにおいて、

任意のノード間が連結されるために、必要にして十分なリンクの集合)を $P_s$ とすると信頼度の厳密値 $R$ は、

$$R(\mathbf{r}) = E \left[ 1 - \prod_{s=1}^p \left( 1 - \prod_{a \in P_s} X_a \right) \right], \quad (5)$$

で与えられる。ここで $P_s$ は $s$ 番目のミニマルパスセット、 $p$ はパス総数を表している。この計算法を、ブール演算法<sup>89)</sup>とよんでいる。 $X_a$ は、

$$X_a = \begin{cases} 1, & \text{リンク } a \text{ での走行移動があるサービス} \\ & \text{レベル以上の場合,} \\ 0, & \text{そうでない場合,} \end{cases} \quad (6)$$

で与えられる二値確率変数である。リンク信頼度 $r_a$ は、

$$r_a = E[X_a], \quad (7)$$

で与えられる。 $a$ はリンク番号である。

### (3) 重要度指標の算出

確率重要度 $RI$  (Birnbaum's Reliability Importance)<sup>10,11)</sup>とは、以下に定義される測度であり、ノード間信頼度を該当リンク信頼度で偏微分したものである。

$$RI_a = \partial R(\mathbf{r}) / \partial r_a \quad (8)$$

改良型クリティカルティ重要度 $ICI$  (Improved Criticality Importance)<sup>10,11)</sup>は、以下のように定義される。

$$ICI_a = \lim_{\Delta q_a \rightarrow 0} \left\{ - \frac{\Delta R(\mathbf{r}) / R(\mathbf{r})}{\Delta q_a / q_a} \right\} \\ = - \frac{\partial R(\mathbf{r})}{\partial q_a} \times \frac{q_a}{R(\mathbf{r})} \quad (9)$$

これを変形すると、

$$ICI_a = \frac{\partial R(\mathbf{r})}{\partial r_a} \times \frac{(1-r_a)}{R(\mathbf{r})} \\ = RI_a \times \frac{(1-r_a)}{R(\mathbf{r})} \quad (10)$$

### (4) $RI$ と $ICI$ の算出および比較

次に、方法1～3で算出したリンク信頼度を用いて、猪谷～高山間のノード間信頼度、確率重要度( $RI$ )ならびに改良型クリティカルティ重要度( $ICI$ )を算出したものを表3に示す。式(10)の右辺第2項がきわめて小さくなるため、 $RI$ と $ICI$ の値には大きな相違が生じている。

表-3 ノード間信頼度r(total)とRIおよびICI

方法 1

Link no.	RI	ICI
1	0.2460	0.0000024599
2	0.0000	0.0000002923
3	0.0000	0.0000026294
4	0.0522	0.0000005216
5	0.0000	0.0000003467
6	0.0000	0.0000002734
7	0.0158	0.0000001576
8	0.0000	0.0000000142
9	0.0000	0.0000000001
10	0.0743	0.0000007430
11	0.0000	0.0000002485
12	0.0000	0.0000009005

R(猪谷～高山間)=0.9999

方法 2

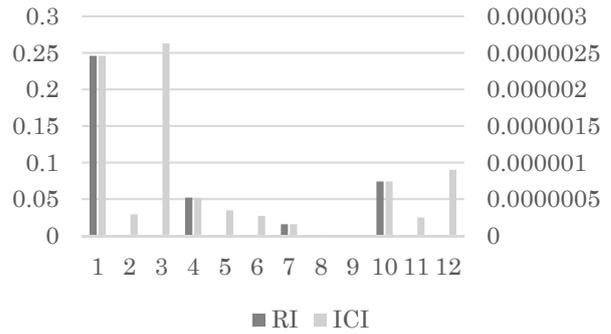
Link no.	RI	ICI
1	0.2450	0.0000024500
2	0.0000	0.0000002801
3	0.0000	0.0000026177
4	0.0502	0.0000005025
5	0.0000	0.0000003081
6	0.0000	0.0000002600
7	0.0121	0.0000001214
8	0.0000	0.0000000100
9	0.0000	0.0000000001
10	0.0592	0.0000005921
11	0.0000	0.0000002429
12	0.0000	0.0000007135

R(猪谷～高山間)=0.9999

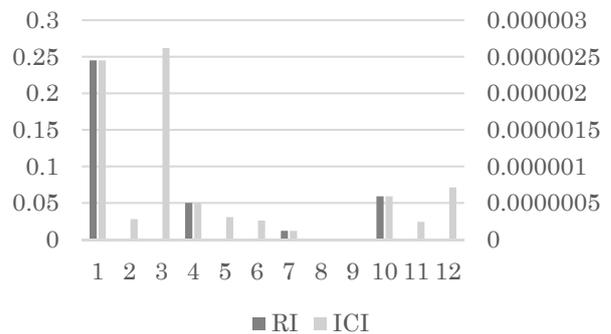
方法 3

Link no.	RI	ICI
1	0.2234	0.0000022343
2	0.0000	0.0000002205
3	0.0000	0.0000026925
4	0.0458	0.0000004582
5	0.0000	0.0000002425
6	0.0000	0.0000000000
7	0.0033	0.0000000329
8	0.0000	0.0000000000
9	0.0000	0.0000000001
10	0.0161	0.0000001605
11	0.0000	0.0000000001
12	0.0000	0.0000001934

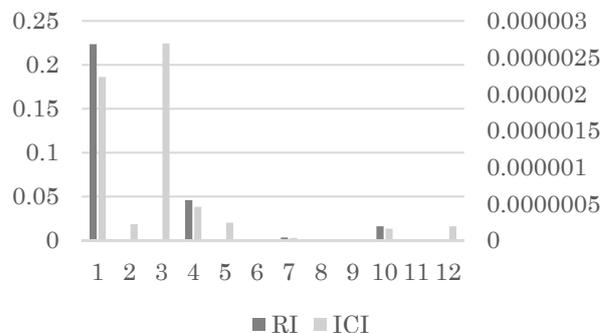
R(猪谷～高山間)=0.9999



方法1



方法2



方法3

図-5 RIとICIの比較

まず全体として、ノード間信頼度の値は、0.9999と高い値を示し、猪谷～高山間は極めて高い連結信頼性で構成されていることがわかる。これは国道41号線のリンク信頼度が一貫して1.0であることや、代替となる主要幹線道が比較的高水準なリンク信頼度を示していることから導き出されていると考える。

次に、RIとICIの比較を行う。RIは高い信頼性を示すリンクを優先的に補強を行う傾向の指標であり、ICIはネットワーク内で公平な改善をもたらす指標である。こ

こに、『公平』とは、並行する経路がどちらも改善対象となる状態のことをいう<sup>10)</sup>。まず、*RI*で求められた値に順位付けを行いまとめたものが表-3である。方法1~3を通してリンク番号1の値が最も大きく、方法3ではリンク10とリンク4の順位が入れ替わるものの、上位三位のリンクに大きな変動は見られない。

表-3 *RI*でのリンク順位

	方法1	方法2	方法3
1位	リンク1	リンク1	リンク1
2位	リンク10	リンク10	リンク4
3位	リンク4	リンク4	リンク10

続いて、*ICI*で求めた値を順位付けしたものが表-4である。*RI*では選出されないリンク3および、リンク12が選出され、特にリンク3に関しては一貫して最も大きい値を示した。また、*ICI*でもリンク1が上位になり、方法3では*RI*でも選出されたリンク4が選出される。*RI*で上位だったリンク10は上位3位には選出されないものの、比較的高い値を示していることは前の図-5から読み取れる。

表-4 *ICI*でのリンク順位

	方法1	方法2	方法3
1位	リンク3	リンク3	リンク3
2位	リンク1	リンク1	リンク1
3位	リンク12	リンク12	リンク4

## 5. 考察と今後の課題

### (1) 考察

リンク信頼度の推定にあたり、システムにおける独立故障と従属故障を簡便に与えた場合の数値の差を確認した。今回は3つの方法で斜面崩壊データを用いて岐阜県飛騨地方のリンク信頼度を算出して比較し、抽出した一部のネットワークでの連結信頼性評価と重要度評価を行った。リンク信頼度に関しては、今回は同一のリンク間で大きな差は生じなかった。そして、得られた結果は、信頼性の高いリンク信頼度もあれば比較的信頼性の低いリンク信頼度もあったことである。高水準なノード間信頼度が得られたが、通常の状態では、高水準なノード間信頼性は当然のこととして扱われる。岐阜県飛騨地方の主要道路は、異常時に通行止めになるリスクを抱えており、孤立集落発生防止のためにもより高信頼度、つまり強靱性の高い道路網を構築する必要があるといえる。このための方法論の構築が今後の課題であるといえる。

また、従属性を簡便に考慮した計算（落石が同時に発

生する場合を考えている）によってリンク信頼度を推定した。しかし、リンク信頼度を従属計算によって得て、ノード間信頼度はリンク信頼度の独立性を仮定した方法で計算するので、この方法は、論理的に矛盾を抱えている。したがって、計算上の整合性から考えて、落石確率を独立性の仮定のもとで与えた方が望ましいと考えられる。また、*RI*と*ICI*の比較では、それぞれ異なったリンクが重要と評価され、その現実的な意味合いや地域ネットワークの強靱化へ向けて、興味深い成果を得られたと考えられる。

### (2) 今後の課題と展望

まず、今回は従属故障を簡略的に求める方法で、従属的落石確率を近似的に表現し、暫定的なリンク信頼度を算出したが、より数理的整合性を兼ね備えた推定法を確立する必要がある。また、ノード間信頼度の演算結果を評価する具体的な基準値を設定していないため、強靱性を評価することができず、今後そういった基準値を設定する必要がある。他にも、都市部から崩壊斜面までの距離による重み付けや、崩壊地点の地形的特性を考慮したもの、迂回損失、緊急医療損失、復旧費用など、経済的側面を含んだリンク信頼度を推定した上で、より広範囲のエリアに拡大し比較・検討する必要がある。

謝辞：本研究は、岐阜大学と岐阜県が共同で進めている「社会基盤施設アセット総合マネジメント」プロジェクトのデータを提供いただくことで成り立っています。斜面崩壊の落石確率データは、本城勇介岐阜大学名誉教授らのグループ<sup>6)</sup>による研究、高木朗義岐阜大学教授らのグループ<sup>7)</sup>による研究です。データをご提供いただいた岐阜大学および岐阜県建土部にはここに記して感謝申し上げます。また、倉内文孝岐阜大学教授には、落石確率データの説明やGISでの展開でご助言ならびにご教示を賜りました。ここに記して、心から感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 内閣官房国土強靱化推進室：『国土強靱化とは ～強くて、しなやかなニッポンへ～』、[http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo\\_kyoujinka/pdf/kokudo\\_pamphlet.pdf](http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/pdf/kokudo_pamphlet.pdf) [accessed on 2016/April/21].
- 2) Nicholson, A. Schmoeker, J. Bell, M.G.H. and Iida, Y (2003). Assessing Transport Reliability: Malevolence and User Knowledge In: Michael G. H. Bell and Yasunori Iida(Ed.) The Network Reliability of Transport, Proceedings of the 1st International Symposium on Transportation Network Reliability (INSTR), pp.1-22, Pergamon, 2003.
- 3) 長江貴弘・若林拓史：道路網の連結信頼性向上法と各種重要度指標による改善対象リンクの相違，土木計画学研究・講演集，No.50, CD-ROM(No.268), 2014.
- 4) 高山純一：異常気象時における道路網の連結性能評

- 価法, 土木計画学研究・講演集 12, pp.559-565, 1989.
- 5) 高木朗義・本城勇介・倉内文孝・浅野憲雄・原隆史・沢田和秀・森口周二・北浦康嗣・八嶋厚: 岐阜県飛騨圏域を対象とした道路斜面のリスクマネジメント～落石災害を対象として～, 土木学会論文集 F4(建設マネジメント), Vol.68, No.2, 109-122, 2012.
  - 6) 本城勇介・町田裕樹・森口周二・原隆史・沢田和秀・八嶋厚: 岐阜県飛騨圏域を対象とした道路斜面危険度評価, 土木学会論文集 C(地圏工学), Vol.67, No.3, 299-309, 2011.
  - 7) 松岡猛: 確率論的安全性評価における従属故障と外的事象の取り扱い, システム/制御/情報, Vol.36, No.3, pp. 158～170, 1992.
  - 8) 飯田恭敬・若林拓史: ブール代数を用いた道路網ノード間信頼度の上・下限値の効率的算出法, 土木学会論文集, No.395/IV-9, pp.75-84, 1988.
  - 9) Wakabayashi, H. and Iida, Y.. Upper and Lower Bounds of Terminal Reliability of Road Networks: an Efficient Method with Boolean Algebra. *Journal of Natural Disaster Science*, Vol.14, No.1, pp.29-44, 1992.
  - 10) 長江貴弘・若林拓史: 道路網の効率的な連結信頼性向上のための重要度指標の大規模ネットワークの適用性, 土木計画学研究・講演集, No.53, CD-ROM, 2016 (発表予定).
  - 11) Takahiro Nagae and Hiroshi Wakabayashi (2015). Differences in Network Reliability Improvement by Several Importance Indices. Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) ScienceDirect, *Transportation Research Procedia*, Volume 10, 2015, 155-165, Peer-review under responsibility of Delft University of Technology, ISSN 2352-1465, doi: 10.1016/j.trpro.2015.09.065.

## ESTIMATION OF LINK RELIABILITY FOR DEGRADABLE ROAD NETWORK UNDER NATURAL DISASTER ENVIRONMENT

Mamoru FUJITA, Hiroshi WAKABAYASHI and Takahiro NAGAE