

リンク信頼度推定の困難性に関する一考察

藤田 衛¹・若林 拓史²

¹学生会員 名城大学大学院 都市情報学研究科 (〒461-0048 愛知県名古屋市中区矢田南4-102-9)
E-mail:173781501@ccmailg.meijo-u.ac.jp

²正会員 名城大学教授 都市情報学部 (〒461-0048 愛知県名古屋市中区矢田南4-102-9)
E-mail:wakabaya@meijo-u.ac.jp

我が国における自然災害の脅威は年々増大しており、唐突に発生する地震災害や繰り返される豪雨災害は、中山間部の斜面崩壊や道路の法面崩壊を引き起こすだけでなく、都市部の大規模浸水被害を招く。それが原因で孤立集落や大規模な交通障害が発生することがあるが、こうした事態を避けるためには日頃から自然災害に対する道路網の防災策をあらかじめ十分に検討する必要がある。万が一の災害発生時にも、円滑な交通が確保され、一刻を争う状況下で必要な人や物が移動できる道路網を構築するためには、道路網の連結信頼性の向上が鍵となる。そのためには、連結信頼性推定の基本情報となるリンク信頼度の推定が重要となる。リンク信頼度の推定は種々の災害ごとに特性が異なり、その推定の困難の度合いも異なる。本研究では、種々のハザードを前提としたリンク信頼度の推定の困難性を整理することで、信頼性研究の動向を把握し、今後の課題と方向性を明らかにする。

Key Words : *highway network reliability, national resilience, link reliability, flood disaster, slope failure*

1. はじめに

我が国の過去30年を振り返ると、阪神淡路大震災、東日本大震災をはじめとする巨大地震による激甚災害や、年々被害の規模が顕著になってきた大規模豪雨災害に見舞われ、国土の強靱性(国土強靱化¹⁾)がますます叫ばれるようになってきた。万が一、こうした災害下にあっても道路網の連結信頼性が確保されることで、迅速な人命救助を助けるだけでなく、孤立集落の発生を防止し国土の復旧・復興を迅速に行うことができる。しかし、国土のすべての道路リンクの信頼性を評価し向上させるには、予算・時間的な制約が極めて大きく、現実的な解決策とはいえない。つまり、道路網を効率的に強靱化するためには、対象とする道路網に対して、起こりうる災害を想定し、あらかじめリンク信頼度を推定することが必要である。

しかし、現時点でリンク信頼度の推定法は未だ確立しておらず、既存の連結信頼性研究では重要度評価やその指標のアルゴリズム開発に重きを置いたものになっており、リンク信頼度は与件として与えているため、現実的なリンク信頼度の与え方を課題としている。また、災害時におけるリンク信頼度推定はその災害が与える被害程度の不確実性が故に、より推定が困難なため議論や考察はほとんどなされていない。

以上を踏まえ、まずリンク信頼度推定に関する研究をレビューすることで、それぞれの信頼度推定法の位置付けを整理する。そして災害が道路へ与える被害状況に着目し、その被災シナリオを整理することで、自然災害がリンク信頼度に与える不確実性を明らかにし、その困難性を明らかにする。

2. リンク信頼度の推定に関する文献レビュー

前述の通りリンク信頼度の推定に関わる研究は決して多いとはいえないが、今日に至るまで様々な手法によってリンク信頼度を扱った研究がある。

(1) 高山²⁾による異常気象時における道路網の信頼性評価法

これは奥能登地域の集中豪雨を想定し、豪雨の発生確率から各路線の通行規制確率(通行止め確率)を計算し、道路網の信頼性評価を行っている。エリア内4箇所を過去10年の気象観測データ(6月~8月)を用いて通行止め確率を以下の式に表している。

$$\text{通行止め確率} = \frac{10 \text{ 年間における夏季の通行止め回数}}{10 \text{ (年間)}} \quad \dots(1)$$

近年多発する豪雨災害は河川や地盤といった地形的な依存が大きいと考えられるため、国内すべての地域で適用することは困難であるが、中山間地域の道路網に限定した場合などでは便宜的ではあるが十分用いることができる。

(2) 若林ら³⁶⁾によるOD交通量の伝達機構の分析とリンク信頼度推定法

若林らはリンクの信頼性は時間交通量の日変動に起因するものと仮定し、リンク信頼度はリンクへの需要交通量が当該リンクの交通容量を超えない確率と定義している。しかし、交通量の2価性の問題から、観測交通量が需要交通量に比較的近いと思われる道路網を対象としてのみ実証的分析が可能であり、交通量変動に関する詳細な実証的分析が必要とされている。

(3) 栄徳ら⁷⁾によるモンテカルロシミュレーションを用いた最脆弱断面の選定法

栄徳らは連結信頼性を評価するため、モンテカルロシミュレーションを用いて最脆弱断面を選定する手法の提案を行っている。これは非連結状態となる遮断断面の出現回数を数え上げ、遮断断面のうちで出現回数が最大となる遮断断面を選定する手法である。ここで、この出現回数が最大となる遮断断面が最脆弱断面としている。この研究では、ケーススタディとして、盛岡市～釜石間の連結信頼性の評価を行っているが、リンク信頼度は簡便的に固定値として与えている。

(4) 塚口ら⁸⁾による道路幅員からみた通行可能確率の推定法

この研究では、京都市における地震災害時のリンク通行可能確率を道路幅員に加え、沿道建物の状況を考慮して通行可能確率を計算している。通行可能確率を、片側のみから沿道建物の崩壊を考慮する通行可能確率 (A) と両側からの沿道建物の崩壊を考慮する通行可能確率 (B) に部類し、それらの積で通行可能確率を与えている。

3. 通行不可能性をもたらす災害区分

自然災害を発生要因別に大きく分類すると、本来、その発生プロセスの違いから地質要因のものと気象要因の2つに分類できる。しかし、道路網の信頼性解析という

視点に立ってみると、最終的に円滑な道路交通を妨げる要因で分類するのが望ましい。地質要因の災害として代表的なものに地震、火山噴火があるが、ここで地震によって引き起こされた津波や、その揺れによって生じる土砂災害の道路網への影響に限定して考えると、気象要因の水害による外水氾濫や、豪雨による土砂災害と同様のものとしてみなすことができる。つまり、河川や海洋の潮位の急激な変化による、堤防の決壊・氾濫で引き起こされる外水氾濫や、地震外力や豪雨が誘引となる斜面崩壊・地すべり・土石流といった土砂災害は、根本的な発生プロセスの違いはあるものの、それらの最終的な現象はほぼ同様のものであり、ここでは災害時における道路網の信頼性解析に際し、最終的な現象のみに着目し分類することにする。

災害時に円滑な道路交通を妨げる原因となるものは、外水氾濫や内水氾濫による大規模な道路冠水、地震や豪雨による道路脇の斜面・法面崩壊、地震による建造物崩壊や地盤沈下などの通行障害となり、それらを整理したものが表-1である。つまり、水による通行不可能性と、構造物の物理的な障害による通行不可能性に二分できることがわかる。また、雪による雪害は、地域一帯への積雪を伴うもので、水害のような低地への流れ込みが想定されないため水害とは区別する。

表-1 道路への障害を基準とした災害区分案

障害区分	障害原因		発生要因
道路冠水に伴う通行障害	外水氾濫	津波	地震
		豪雨	異常気象
		高潮	台風
	内水氾濫	豪雨	異常気象
物理的な破壊に伴う通行障害	土砂災害 (斜面崩壊, 地すべり等)		地震
			異常気象
			火山噴火
	沿道建造物の崩壊 道路構造物の破損・崩壊		地震
	積雪		異常気象

ここでは、道路冠水に伴う通行障害から内水氾濫を想定した場合のリンク信頼度の与え方、異常気象がもたらす中山間部の斜面崩壊でのリンク信頼度の与え方を考察する。また、地震災害時における斜面崩壊や、構造物崩壊を想定した場合のリンク信頼度の推定困難性も併せて整理する。

(1) 道路冠水に伴う通行障害

近年急増するゲリラ豪雨とも言われる局地的な集中豪雨などにより、雨量が下水道の排水能力を超過したり、河川の水位が急激に上昇した場合、雨水を十分に排水できず、都市部を中心に大規模に浸水することが想定されるが、そうした災害に対する備えとして内水ハザードマップがある。これは地域固有の排水処理能力や地形的状況から、あらかじめ浸水の発生が想定される区域や浸水深、過去において実際に浸水が発生した区域の浸水に関する情報、避難場所、洪水予報などに関する情報を記載したもので、一般的に都市部に多い災害とされている。

一方で、河川の水位上昇によって発生する河川氾濫、堤防の決壊、台風の高潮、地震による津波で生じる浸水は外水氾濫に部類され、その浸水発生を想定して作成されるものが洪水ハザードマップである。洪水ハザードマップは河川の持つ線形や地質特性に合わせて作成されたものであり、脆弱な地点からの河川の氾濫、もしくは堤防の決壊ないし、それに相当する被害があった際に、流れ込む水量から浸水深を想定したものである。これら2つのハザードマップは、浸水発生までのプロセスは完全に異なるが、水による道路の冠水といった点では完全に一致するものであり、それぞれにはある程度の互換を確認することができる。

一般に内水氾濫は外水氾濫に比べ、浸水深が浅く危険性が低いとされることから、これを用いた災害リスク評価に関する研究例はあまり多く見かけない。しかし、2017年7月12日夜から13日の未明にかけ、名古屋市を中心とし短時間で非常に激しい降水に見舞われ、名古屋市東区などでは局地的に1時間約70.0mmの非常に激しい雨を観測し、名古屋市内では4棟の床上浸水が発生し、市内では約40箇所道路が冠水し、午後9時頃中区の鶴舞交差点では、道路が約0.5m冠水、乗用車2台が走行不可能になった。同市東区矢田南のアンダーパスは完全に冠水し、タクシー1台が立ち往生し水没した。この時、被害のあった矢田二丁目交差点やナゴヤドーム前矢田駅、大曽根駅周辺の県道15号線と名古屋環状線の重複区間は昼夜問わず交通量が多く、市営バスの運行区間である上に、大曽根駅では4社の公共交通機関が乗り入れていることから、名古屋市内と名古屋市北部郊外を結ぶ重要な交通の拠点である。その区間に内水氾濫による被害が生じた場合、道路や公共交通機関に甚大な影響を及ぼしかねず、場合によってはその復旧に時間を要することから道路網の連結信頼性にクリティカルに作用すると考えられ、内水氾濫時のリンク信頼性解析は極めて重要な防災指標となりうる。

(2) 物理的な破壊に伴う通行障害

豪雨などが引き起こす土砂災害等で、山間部の道路網

の一部が通行不能になる場合がしばしばあり、これは中山間地域に人々や物の往来ができなくなる「孤立集落」が発生する原因となり得る。2016年4月14日に発生した熊本地震では、地震によって発生した土砂災害が九州6県で125件、このうち94件が熊本県で発生し、南阿蘇村では大規模な斜面崩壊や土石流、地滑りが多発し、立野地区では大規模な土砂崩れによって阿蘇大橋が崩落し、一時孤立状態になった。また、本震から約2か月後の6月20日から21日にかけて、熊本県内が激しい雨に見舞われ、同地区と熊本市を結ぶ国道57号で新たながけ崩れが3カ所で発生し、11世帯14人が再度孤立した。このように熊本地震では地震災害によって崩落、脆弱化した地表が後日の豪雨によってさらなる斜面崩壊を引き起こしており、中山間部ではこうした複数の要因が元になって斜面崩壊が連鎖的に発生する可能性が高い。

中山間地域において一般に土砂災害に部類されるものとして、地すべり、崩落（法面崩壊・斜面崩壊）、落石、土石流の4つの現象⁹⁾が挙げられる。その発生要因としては様々なシナリオが想定されるが、主に地震や火山性の振動によって生じる場合と、豪雨によって土壌が抵抗力を失い、流出や崩落が起きる場合で分けられる。つまり、こうした中山間部においては道路冠水による通行障害は発生しにくく、道路法面の崩壊や路面そのものの陥没・流出による物理的な破壊に伴う通行不可能性が最も高いといえる。

中山間地域はこのような災害リスクを伴うことから、岐阜県では専門家による各種点検対象項目（落石・崩壊、岩石崩壊、地すべり、雪崩等）の評価の結果、詳細な調査を行った道路斜面の点検結果を記述した安定度調査票や、「落石・崩壊に関する調査票」などがある。また、ある一定の期間内に発生し、道路面に到達した落石履歴データがあり、これには発生年・発生箇所（キロポスト）・落石高（m）・落石径（m）等が記述されている。

それに加えて、地震振動による橋梁の損傷、トンネル覆工の崩落、マンホールの浮上、道路構造物の崩壊等でも通行不可能性が高くなり、これらも考慮に入れる必要がある。

4. 災害発生を想定したリンク信頼度の推定法

(1) 水害を想定したリンク信頼度の推定¹⁰⁾¹¹⁾

ここでは、道路の冠水状況においてリンク信頼度の推定法を考察する。前章までに道路冠水によって生じる道路の通行不可能性に関するシナリオを整理した。

内水氾濫はその地域一帯における豪雨災害を想定したものであるため、その降水量に依存はするものの、外水氾濫と比較し、発生要因は一様でかつ広範囲に分布する

ため、内水ハザードマップに記される浸水深にある程度の確定性を把握することができる。そこで、対象地域の道路網においても同様に浸水したと仮定すると、便宜的ではあるものの、内水ハザードマップに記されている浸水深からリンク信頼度を推定することは可能である。

ここで、対象ネットワーク内の単一のリンクの浸水可能性をそのリンクの存在する標高や内水ハザードマップに記載された情報を基準にリンク信頼度の推定を試みる。道路冠水時に車両が走行不能になる主な原因として、マフラーなどの排気装置や、エンジンルーム内の吸気装置への水の流入によりエンジンが停止し走行不能になる場合や、その他電気系統の浸水による故障、車両の浮上といった原因が挙げられる。しかし、車種や走行中の対向車による波の影響など様々な要因が考えられ、それらを全て考慮することは困難であるため、浸水により車両が通行不能になる明確な浸水深データの確定値は存在しない。ここでは一般的な基準例として国土交通省が発表する「川の防災情報の浸水深と避難行動」において、浸水深に応じた車両の走行状態の基準をまとめたものを表-2に示す。

表-2 浸水レベルによる自動車走行状態

浸水深	自動車走行
0~10cm	走行に関し問題はない
10~30cm	ブレーキ性能が低下し安全な場所へ車を移動させる必要がある
30~50cm	エンジンが停止し車から退出を図らなければならない
50cm~	車が浮き、またパワーウィンドウ付きの車では車の中に閉じ込められてしまい、車とともに流され非常に危険な状態となる

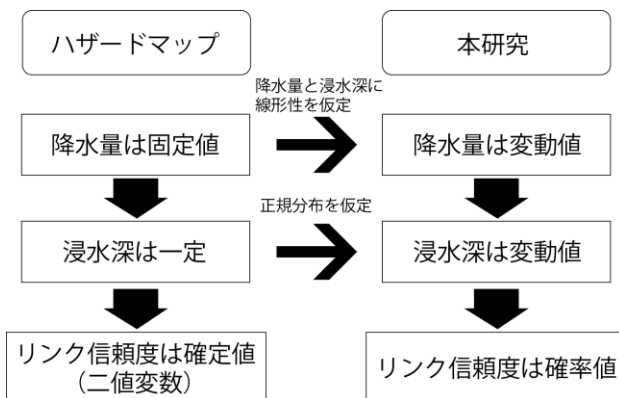


図-1 ハザードマップを用いた内水氾濫時におけるリンク信頼度推定のイメージフロー

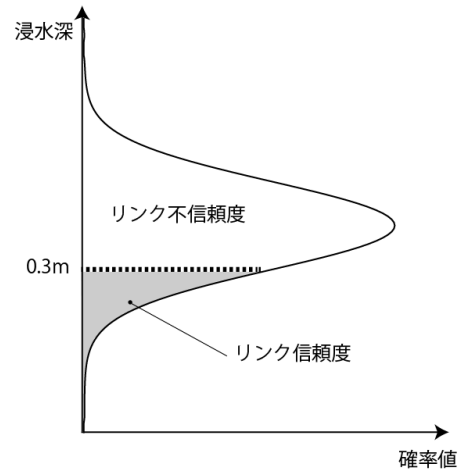


図-2 浸水深から与えるリンク信頼度の一考

前章で整理した通り、内水ハザードマップでは過去最大の観測雨量時の降水量、浸水深の範囲が固定値として記述されている。リンク信頼度の推定に際し、その当該リンクの浸水確率を求める必要がある。よって、ハザードマップで想定されている浸水深を正規分布させることでリンク信頼度を算出する。

高潮や津波、河川の増水に伴って発生する外水氾濫の生起確率は、主に堤防の強度や、その構造に依存する。つまり、堤防の決壊・氾濫を想定するには水理学、地盤力学、耐震工学といった多岐にわたる複雑な事象を想定せねばならないため、これらを確率的に表現することは現実的ではない。また、ここで外水氾濫が津波によって生じると仮定すると、その潮位変化は地震災害の持つ不確定性に帰属するため、(3)に述べる地震災害の場合のリンク信頼度推定の困難性につながる。

(2) 土砂災害を想定したリンク信頼度の推定¹²⁾

ここで、単一リンクの道路法面において斜面崩壊（以下、簡単のため土砂災害を斜面崩壊で統一する）が発生した箇所は直ちに通行止めになると仮定し、さらにそれぞれの斜面崩壊が直列でかつ、完全に独立事象であると仮定する。すると、図-3のように捉えることが可能で、リンク信頼度は式(2)のようになる。

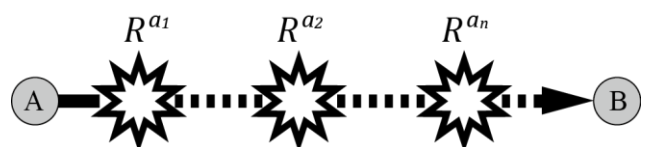


図-3 独立故障によるリンク信頼度

ここで、リンクa上で1箇所でも斜面崩壊が発生しない確率、すなわち通行可能確率をリンク信頼度 r_a とする。

$$r_a = (1 - R^{a_1})(1 - R^{a_2})(1 - R^{a_3}) \dots (1 - R^{a_n}) \quad \dots\dots(2)$$

このとき R^{a_n} は、リンクa上に存在するn番目の斜面崩壊確率として表すことができる。これは高木ら¹³⁾、本城ら¹⁴⁾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」にも記載されている。しかし、この方法はすべての斜面崩壊が独立で生じることが前提になっており、斜面崩壊が従属的に生じる大規模な地震災害等を想定しきれないことを課題としている。

(3) 地震災害を想定したリンク信頼度の推定

地震災害を考える上で考えうるべき3つの不確定性を整理する。

1. どこで地震が起きるか → 発生場所の不確定性
2. どう地震が伝播するか → 伝播方向の不確定性
3. 地質がどう揺れるか → 地盤状態の不確定性

一般に、地震の長期的な予測では、過去の地震活動に基づいて対象地域の地震活動の特徴（最大地震規模、発生間隔、最終発生年代など）を求める必要があり、G-R則が成り立つといわれている。しかし、単純なG-R則では、最大規模の地震は発生頻度が非常に低いため、その予測は大きな不確定性を伴うことになる。また、震源メカニズムや破壊伝播方向、伝播経路における媒質（速度、減衰構造）の不均質性、地盤の不整形性や入射角などによる地震動強さの違いも、あらかじめ想定することが困難である。こうした挙動の不確定性が災害時のリンク信頼度推定の大きな障害となっている。

以上のように地震災害を想定したリンク信頼度の与え方には困難性が伴うものであるが、ここで、大地震などによって中山間部の複数の斜面崩壊箇所が同時に（従属的に）崩壊した場合のリンク信頼度の与え方として、一例を示す。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が、本ケースは前者に相当する。

ここで直列システムの場合は、以下のように考える。

$$r_a |_{independence} = (1 - R^{a_1})(1 - R^{a_2})(1 - R^{a_3}) \dots (1 - R^{a_n}) < 1 - \text{Max}\{R^{a_i}\} \approx r_a |_{dependence} \quad \dots\dots(3)$$

が成立し、 R^{a_n} 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、

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

と表すことができる。ここに ρ 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、

$$(1 - R^{a_1})^{(1-\rho/2)}(1 - R^{a_2})^{(1-\rho/2)} = (1 - R^{a_1})(1 - R^{a_2}) \quad \dots(5)$$

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、

$$(1 - R^{a_1})^{(1-1/2)}(1 - R^{a_2})^{(1-1/2)} = (1 - R)^{(1-1/2)}(1 - R)^{(1-1/2)} = (1 - R) \quad \dots(6)$$

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、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斜面崩壊確率を、そのリンクの故障率、すなわち通行不可能確率として与える方法がある。すなわち、①あるリンク上での落石は同時に発生する、かつ、②その発生確率はその区間での最大確率である、という仮定である。

例えば、図4のように途中枝分かれの一切ない単一のリンクが3つの道路管理区間に分けられており、M区間は斜面崩壊箇所が存在せず、N区間に3箇所、O区間に2箇所（M、N、Oはそれぞれ管理ID）、計5箇所の斜面崩壊箇所が存在するリンクを考える。ここで、それぞれの斜面崩壊確率をの内、最も斜面崩壊確率の高いものをその区間の通行確率とし、それぞれ区間で通行確率が最も低いものを、AB間のリンク信頼度の代表値とする。これにより、途中に枝分かれのないリンクの信頼度を1つ

の値で与えることができ、これをネットワーク内のノードからノードまでの信頼度とすることができる。

この手法は、ネットワークの設定（リンク長、リンク接続）に依存するため、絶対的な値として与えられることはできないが、リンク信頼度が変化した場合の相対的な変化は把握できる。

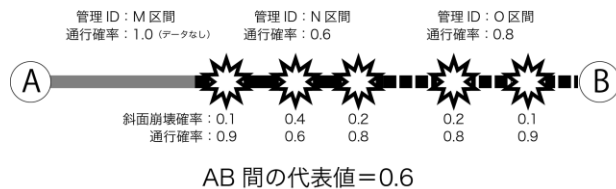


図4 従属表現による代表値付与の一例

5. まとめ

本稿では、連結信頼性推定の基本情報となるリンク信頼度の推定に関し、種々の災害がもたらす道路網への影響や、その特性を基に部類分けし、それぞれの被災シナリオを想定することで、リンク信頼度推定の手がかりを考察した。豪雨による内水氾濫では、既存のハザードマップに記載された浸水深からリンク信頼度の与え方を今後さらに発展させていくことで、近年急増する都市部の大規模浸水を想定した防災指標になりうる。今回、浸水深を正規分布させることでリンク信頼度を推定したが、標準偏差や分散の度合いが不確定であり、そういったパラメータの与え方一つで状況が変化する可能性を含んでおり、この設定に関しては今後の課題である。中山間部においては地震や豪雨によって、斜面崩壊リスクがどのようにリンク信頼度へ影響するのか、斜面崩壊が独立的に生じる場合と従属的に生じる場合で、場合分けし考察を行った。独立故障を想定した方法はシンプルではあるものの、リンク信頼度としては最も確立した手法である。しかし、それぞれの斜面崩壊確率の推定には、ある一定期間の時間を要し、また中山間部ではこうした法面が多数存在することから、場合によっては手間と時間を多く必要とするものである。また、地震災害を想定した場合は従属的な原因によるリンク故障へ帰属するため、その推定には地震災害の不確定性が大きな障害となる。それに加えて、地震災害では橋梁の損傷や路盤の破壊なども、信頼性に直接的に作用する要素であるため、地震災害のリンク信頼度の合理的な推定には無数の因子を含んだ難題である。こうした状況から、経験値を用いる合理的な方法、現場の専門家の判断を組み合わせる合理的な方法など

が必要であると考えられる。また、自然災害の不確定性をファジイを用いて表現することでより合理的な推定法の開発が期待できる。

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、しなやかなニッポンへ～』，https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/pdf/kokudo_pamphlet.pdf [2018/07/31 accessed].
- 2) 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.
- 3) 若林拓史・飯田恭敬・井上陽一：シミュレーションによる道路網の交通量変動分析とリンク信頼度推定法，土木学会論文集, No.458/IV-18, pp.35-44, 1993.
- 4) 中川真治・若林拓史・飯田恭敬：OD交通量変動の伝達機構の分析とリンク信頼度推定法，土木計画学研究・論文集, No.12, pp.405-412, 1995.
- 5) 若林拓史・大野隆晴・鈴木宏章：道路の重要度評価：確率重要度とクリティカリティ重要度による信頼性向上効果，土木計画学研究・論文集, Vol.22, No.4, pp.751-759, 2005.
- 6) Wakabayashi, H. (2004). Network Reliability Improvement: Probability Importance and Criticality Importance. Conference Proceedings, Conference Proceedings of the 2nd International Symposium on Transportation Network Reliability, pp.204-209, 2004.
- 7) 栄徳洋平・横井裕治・石倉麻志・飯田恭敬：脆弱断面を判断する道路防災機能評価手法，土木計画学研究・講演集, No.51, CD-ROM, 2015.
- 8) 塚口博司・小川圭一・田中耕太・本郷伸和：歴史都市における道路機能障害の推定，歴史都市防災論文集, Vol.3, 2009.
- 9) 日本道路協会：道路土工・切土工・斜面安定工指針，平成 21 年度版，2009.
- 10) 河村航太：名古屋市東区及び周辺地区での内水ハザードマップを利用したリンク信頼度の推定，平成 29 年度名城大学都市情報学部卒業論文.
- 11) 大嶋康平：南海トラフ地震発生に伴う津波被害による道路の信頼性について，平成 29 年度名城大学都市情報学部卒業論文.
- 12) 藤田 衛・若林拓史・長江貴弘：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法～岐阜県飛騨地方を対象として～，土木計画学研究発表会・論文集, No.54, CD-ROM(No.69), 2016.
- 13) 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.
- 14) 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.

(2018.7.31 受付)