

# 道路ネットワークの耐災害性評価における 危険箇所に関する研究

大澤 脩司<sup>1</sup>・高山 純一<sup>2</sup>・藤生 慎<sup>3</sup>・塩崎 由人<sup>4</sup>

<sup>1</sup>学生会員 金沢大学 大学院自然科学研究科 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: osawa-ed904@stu.kanazawa-u.ac.jp

<sup>2</sup>フェロー 金沢大学教授 理工研究域地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: takayama@se.kanazawa-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 金沢大学准教授 理工研究域地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: fujju@se.kanazawa-u.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 金沢大学特任助教 大学院自然科学研究科 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: yuto@se.kanazawa-u.ac.jp

東北地方太平洋沖地震や平成 28 年熊本地震, 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨や平成 30 年 7 月豪雨などの近年の大規模災害を受けて, 自然災害発生時に迅速な災害対応を実施し, 被害を軽減するためにはこうした対応が行われる拠点施設間が走行可能な経路で接続された状態を確保することが重要であることが改めて認識された. 国土交通省の「道路の防災機能の評価手法(案)」に代表されるように, このような災害時の道路の接続性確保を目的として, 道路ネットワークの耐災害性を評価するための手法については多くの提案が見られる. その一方で, これら評価手法を適用するための「どのような条件の道路が災害時に被害を受ける可能性がある危険な箇所であるか?」については十分な議論が行われていない. 本研究では過去の大規模災害時における道路被害の実績から, 道路ネットワークの耐災害性評価において危険箇所をどのように定義すべきか, その要件について検討する.

**Key Words:** *natural disaster, road-network, disaster responses, road damage, road-connectivity*

## 1. 研究の背景及び目的

我が国では毎年のように何らかの自然災害が発生している. 今年度に入ってから, 8 月末の九州北部豪雨や 9 月に入ってから発生した台風 15 号によって様々な被害が発生している. これら豪雨災害のように長期的な発生の予測が難しいものから, 首都直下地震や南海トラフ地震のように近い将来における発生が危惧されているものまで, 今後も大規模な災害が発生することは明らかであり, これらへ対する備えを強化していくことが我が国の防災分野における重要な課題である. 自然災害への備えと一言に表現しても, 構造物への災害対策の実施に代表されるようなハード面での備えから避難計画や発災後の対応計画などのソフト面での備えまで, その言葉が指す分野は非常に広範であり, さらにそれぞれの分野でも備えの内容は多岐に渡っている. 本研究はその中でも特に道路ネットワークに対する備えに着目するものである.

ひと度自然災害が発生すると, 避難や救急・救助活動, 人的・物的資源の輸送, 被害把握や復旧・復興活動など災害への対応のための様々な活動が行われることになる. これら災害対応を下支えする社会基盤施設が道路ネットワークであり, これが発災時に大きな損傷を受けた場合には災害対応が制限されたり阻害されたりする事態が発生する. 災害対応が確実かつ円滑に実行されることは, 自然災害による被害を軽減したり復旧・復興を円滑に進めていく上で重要不可欠である. 災害への備えの中には, 発災後の行動計画や避難計画のように, それが対象とする災害対応が実施されてはじめて効果を発揮するものも多くあり, これらの実現の成否を左右する道路ネットワークに対する備えの強化は, 自然災害への備えの中でも特に重要度の高い課題であると考えられる.

道路ネットワークの自然災害に対する備えを強化するためには, 自然災害に対してどの程度の性能を有しているかを評価し, その結果を踏まえて対策の実施箇所や対

策内容を検討する必要がある。道路ネットワークの自然災害に対する機能性を評価するための方法論についてはこれまでに多くの手法が提案されており、これら手法を政策的な意思決定者のポリシーに照らし合わせて適切に選択し、運用できれば効果的に備えを強化することも不可能ではない環境が整いつつあると言えよう。実際に、国土交通省では広域的な道路ネットワークを形成すると考えられる事業の新規事業採択時評価に用いることを目的とした道路の防災機能の評価手法(案)<sup>12)</sup>が活用されていることから確認できる。

一方で、多くの方法論が提案され、研究蓄積がなされつつあることとそれが実際の政策や対策の検討・立案の場面で活用できることは必ずしも一致するものではない。詳細は次章に譲るが、道路ネットワークの自然災害に対する機能性を評価するための方法論に関する研究の多くでは、方法論としての優位性を議論することに重きを置き、手法の適用に係る各種条件は便宜的に与えられる場合が多い。しかし、これら手法を実際に活用する際には用途に応じた適切な条件設定を行うことが不可欠であり、便宜的に条件を与えることはできない。すなわち、「手法を適用する上で各種分析条件をいかにして定めるか」という議論が十分行われておらず、手法を実際に活用するという点で課題が指摘できる。より具体的には、評価対象とする道路ネットワークにおいて「どこが」「どの程度自然災害に対して弱いのか(危険なのか)」をどう扱うという点での議論が不足していると言える。

以上のような問題意識のもと、本研究ではどのような要素を持つ道路が自然災害に対する危険箇所となり得るのか、過去の自然災害における道路の被害事例を調査・整理することで明らかにすることを目的とする。これにより、自然災害に対する(道路の)危険箇所の要件を定義できれば、「道路の災害に対する弱さ」を各種評価手法でいかに扱うかという議論に資すると期待される。

## 2. 既往研究の整理及び本研究の位置付け

本章では、本研究の目的に沿い、自然災害に対する道路ネットワークの機能性に関する評価手法、自治体等の被害想定における危険箇所の扱い、各種道路構造物の被害率関数という3つの視点から既往研究を整理し本研究の位置付けを示す。

### (1) 自然災害に対する道路ネットワークの機能性評価に関する研究の整理

この視点では特に各手法で道路の災害に対する危険箇所を評価の中でどのように扱っているかという点に着目する。

事象の発生確率に重きを置くのではなく、その事象が発生した場合の影響度合いを測ることを目的としたネットワーク脆弱性の考え方に基づく研究<sup>45)67)</sup>では、ある道路リンクが途切れた時にネットワーク全体に与える影響を評価している。ここでは対象とする道路ネットワークの各リンクを順に1本ずつ切断することで、そのリンクの切断による影響の大きさを測定している。すなわち、どのリンクが災害に対する危険箇所であるかは明示的には考慮されていない。

リンクの接続確率を扱うことで災害時を想定した道路ネットワークに関する評価も視野に含んだ連結信頼性の分野では、例えば若林<sup>8)</sup>や若林ら<sup>9)</sup>によって任意地点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を提案している。ここでは平時の交通需要や交通容量で各リンクの信頼度を定義しているが、ある災害に対する接続確率などで各リンクの信頼度を定義できれば、災害に対する危険箇所(災害に対する各リンクの弱さ)を明示的に考慮できると言えよう。このような特に災害時を想定した研究としては、安藤・喜多<sup>10)</sup>が災害規模を考慮した連結信頼性による道路施設の補修・補強のための整備計画手法を提案している。

上記以外の視点で災害に対する危険箇所を明示的に扱った研究として、家田ら<sup>3)</sup>、大澤ら<sup>11)</sup>、大澤ら<sup>12)</sup>の研究がある。家田ら<sup>3)</sup>では災害の規模や道路幅員を条件として、大澤ら<sup>11)</sup>ではモンテカルロシミュレーションによってそれぞれ災害時に通行不能となるリンクを設定し、任意地点間の平時からの所要時間の変動によって機能性を評価する方法を提案した。大澤ら<sup>12)</sup>は未耐震建物や劣化橋梁など、災害時に道路を通行不能にさせるような弱点箇所を定義し、任意地点間の経路における弱点箇所の総数によって機能性を評価する方法を提案した。

以上のように、道路ネットワークの機能性をどのような視点で評価するかによって、道路上の災害に対する危険箇所の扱い方は異なっている。いずれの手法もその枠組み事態は危険箇所を考慮することを許容しうるものであるが、便宜的に与えられた条件での試算結果が示されるのみで、いかに危険箇所を定義するかという議論はなく、手法を活用する分析者が個々の用途・事情に応じた設定を行うに十分な知見は示されていない。

### (2) 自治体等の被害想定における危険箇所の扱いに関する事例の整理

この視点では様々ある被害想定項目の中でも特に本研究の目的に近い道路被害に関する想定方法に着目する。

自然災害に対する被害想定は各自治体の防災計画とも密接な関係があり、各地域の自然災害に関する特徴が考慮されている。したがって、ハザードの想定は被害想定ごとに異なっており、全く同一のハザードに対する被害

想定の方法を比較することはできない。ただし、ここで対象とされるハザードは、一般に実際に発生した場合には大規模な災害となる可能性が高いと考えられることから、被害想定において最低限考慮すべき事項に差はないと仮定して比較する。なお、被害想定のお多くは地震災害を対象としているため、ここでは特に地震に関する被害想定に着目して整理する。

東京都の首都直下地震等による被害想定<sup>13)</sup>では、非細街路については橋梁の被害率のみが考慮されている。細街路については倒壊建物の倒れ込みが考慮されている。

中央防災会議の資料<sup>14)</sup>では、東日本大震災での実績を踏まえて揺れによる被害と津波による被害とを考慮している。いずれも震度別あるいは浸水深別の単位道路延長あたりの被害箇所数によって道路施設の被害箇所数を算出することとしている。

大分県の被害想定<sup>15)</sup>では橋梁被害や津波浸水に加えて盛土や切土・斜面についても単位延長あたりの被害率を用いて被害箇所数が算出されている。

ここで取り上げた事例は限定的であるが、上に見られるように道路被害の要因として考慮されている項目は自治体によってばらつきがある。さらに同種の項目が考慮されていても、その想定方法が異なっている場合もある。例えば、中央防災会議の方法では東日本大震災の実績に基づく単位距離あたりの被害箇所数が採用されているが、福岡県の被害想定<sup>16)</sup>では2002年に愛媛県が採用していたやや古い単位距離あたりの被害箇所数を採用されている。これらより、自然災害に対する道路上の危険箇所について共通の定義や基準が明確に存在しないことが伺える。

### (3) 各種道路構造物の被害率関数に関する研究の整理

道路ネットワークは橋梁や盛土、切土や斜面など様々な道路構造物の集合体である。したがって、自然災害に対する各道路構造物の被害確率の推定式が得られれば、その確率の大小でもって危険な箇所が判断でき、さらに本章 1 節で述べたような連結信頼性のような道路ネットワークの機能性評価手法との連携も期待できる。実際に過去の被害実績をもとに被害率関数の推定を試みた研究も各構造物を対象にして行われている<sup>17),18),19),20),21)</sup>。しかし、前節に述べたように被害想定では考慮する構造物およびその被害推定の方法がまちまちである現状を踏まえれば、被害関数は未だ確立されていないというのが実情であると言えよう。この背景には十分な精度を有する被害率関数を推定できるだけのデータを得ることが困難であることが要因の 1 つとして挙げられよう。確立された手段で構造物の被害確立を推定することが困難である一方で、道路ネットワークの自然災害に対する備えを強化するためには何らかの方法で構造物の危険性、すなわち道路ネットワーク上の危険箇所を定義することは不可欠

である。したがって、被害率関数とは異なる方向性で危険性を判断する手法が必要であると言えよう。

### (4) 本研究の位置付け

本章第 1 節では自然災害に対する道路の機能性を評価するための手法は、分析者の目的に応じた手法選択が出来るだけの研究蓄積があり、さらにこれら方法はその枠組においては災害に対する危険箇所を考慮できうるものであることを述べた。一方で、危険箇所を定量的に把握することは現状では困難であり、加えて共通の定義や基準も明確には存在していないことも指摘した。

以上を踏まえて、本研究では危険箇所を定量的に判断するための被害関数の構築とは異なる方向性で道路の危険箇所を定義することを目指すこととした。具体的には、災害時に道路が危険な状態となる、すなわち通行不能となるような事象（道路の被害形態）別に、被害が生じやすい道路が有する要素を明らかにすることを目指す。

## 3. 近年の自然災害における道路の被害形態

2 章 2 節では、自治体の被害想定で道路被害の想定で考慮されている項目にはばらつきがあることを指摘した。この背景には都市部の多い自治体と山間部の多い自治体とでは発生しやすい道路被害の種類は異なるというような各自治体の特性に依るところもある一方で、どのような形態の道路被害が発生しうるのが明確に整理されていないことも一因であると考えられる。そこで、本章では近年の自然災害における道路被害の発生状況を俯瞰的に整理することで、考慮すべき道路の被害形態を示す。なお、原因となるハザードが同じ災害であれば、小規模な被害まで含めると災害ごとの被害形態の差異は見られなくなると考えられるので、ここでは報告書等の記録で取り上げられるレベルの代表的な形態のみ着目する。

### (1) 平成 28 年熊本地震<sup>22)</sup>

平成 28 年熊本地震では、道路被害は主に地盤の被害、橋梁の被害、トンネルの被害によって発生している。

地盤の被害に分類される被害形態としては、（道路構造物の）コンクリート・ブロック擁壁、補助土壁、EPS 軽量盛土、盛土のり面、切土のり面の被害が挙げられる。

橋梁の被害に分類される被害形態としては、高架橋の耐震補強未対策部の被害、跨道橋の落橋、積層ゴム支承の破断や支承からの桁の逸脱、大規模な斜面崩壊による橋梁の消失、橋台背面の段差が挙げられる。

トンネルの被害に分類される被害形態としては、覆工コンクリートの崩落や盤膨れ、覆工脚部沈下、電気室・受変電設備の滑り落ちが挙げられる。



図-1 平成 28 年熊本地震における道路被害の一例<sup>25)</sup>



図-2 東北地方太平洋沖地震における道路被害の一例<sup>26)</sup>



図-3 平成 30 年 7 月豪雨における道路被害の一例<sup>27)</sup>

## (2) 東北地方太平洋沖地震<sup>28)</sup>

東北地方太平洋沖地震では、道路被害は地盤の被害、橋梁の被害、津波による被害によって発生している。

地盤の被害に分類される被害形態としては、土工・舗装での路面に及ぶクラックや段差、盛土、切土、自然斜面の被害が挙げられる。

橋梁の被害に分類される被害形態としては、支承の破断、鋼桁のズレ、伸縮装置の破損、ジョイント部の破損などが挙げられる。

津波による被害に分類される被害形態としては、浸水被害、津波堆積物の残留、橋台背面土の流出、桁の流出などが挙げられる。

## (3) 平成 30 年 7 月豪雨<sup>24)</sup>

平成 30 年 7 月豪雨では、洪水に伴う浸水地域内の道

路の冠水被害の他、主に土砂災害による道路被害が発生した。被害の形態としては、盛土・切土の崩壊、道路区域外からの流木・土砂等の流入などが挙げられる。

## 4. 被害形態ごとの被害要因の整理

本章では前章に示した近年の自然災害における道路被害について、その被害形態ごとの被害要因を整理する。

### (1) 平成 28 年熊本地震<sup>29)</sup>

まず、地盤の被害に分類される各被害形態の要因を整理しよう。被災箇所は必ずしも震度レベルとは一致せず、同じレベルの領域であっても被害の有無には差が見られた。このことから、被災の程度は震源断層による地殻変動の影響を大きく受けると言える。被害の詳細な要因は

個々の事例によって異なるが、地震断層や地盤振動が被害を誘発させたと考えられる。

次に、橋梁の被害に分類される各被害形態の要因を整理しよう。大きな要因は強震と地盤変状である。ただし、平成 28 年熊本地震では 2 度の大きな地震が作用しており、本来は前震による被害を踏まえた上で本震による被害を検討することが望ましいが、前震の調査が本格化する前に本震が発生したことから、前震直後の情報が極めて少なく、それが被災メカニズムの推定を困難にさせていることに留意が必要である。

最後にトンネル被害に分類される各被害形態の要因を整理しよう。損傷が集中した区間には断層が存在しており、断層両側の地盤変異が要因の 1 つであると推測される。また、被災箇所とその程度は地山の地質条件に大きく影響される可能性が指摘されている。

## (2) 東北地方太平洋沖地震<sup>23)</sup>

地盤の被害に分類される各被害形態のうち、盛土被害については盛土内の水位が高かったこと、水が集まりやすい条件で基礎地盤が液状化したこと、軟弱地盤上の盛土で盛土材事態が液状化したこと、不安定な傾斜地盤上に構築したことの 4 点が大きく要因として指摘されている。その他の主な要因としては、地震動に伴う地盤変動や地盤振動が考えられる。

橋梁被害に分類される形態の被害については、詳細には個別の要因が存在していると推測されるが、大きな要因は設計時に考慮していなかった地震動が作用したという点にあると言えよう。

津波被害に分類される被害形態の要因は津波による瓦礫等の運搬、洗掘などいくつか分類することができるが、これらは津波浸水区域内に存在する構造物に対しては全ての要因について被害を生じる可能性が等しく存在していることから、津波による浸水区域内であったという要因にまとめることができよう。

## (3) 平成 30 年 7 月豪雨<sup>24)</sup>

豪雨による土砂災害は、土中の水分量が上昇すれば（地盤や地質による差異はあれど）どこでも発生しうるものである。ただし、特に水が集中しやすい地形・地質の場所では特に土砂災害の危険性は高いと言える。

## (4) 被害要因を踏まえた今後の展望

以上に整理した被害要因からは、不確定な要素が多く、対象とする地域における全ての道路で被害を生じる可能性があり、対策が困難であるような要因と、明確にその構造物が災害に対して弱点となるような要素を有しているような要因とが混在していると言える。後者についてはその中でも特に被害と関連の強い要素を抽出できれば、

本研究の目的である自然災害に対する道路の危険箇所の要件の定義に寄与するものと期待される。前者については、対象地域内では全ての道路に対して一律に被害の危険性がありさらに対策も困難であることから、危険箇所の要件に含めるべきでない要素と、全ての道路に対して被害の危険性があるものの、地質や地形、作用するハザードの規模によって被災可能性の大きさを分類できる要素の両者が存在していると考えられる。これらを分類するためには、今後同種の形態の被害を生じた構造物について、その諸元や周辺環境、ハザードの条件等を比較することが必要であろう。

## 5. まとめと今後の予定・課題

本研究では、今後発生するであろう大規模な自然災害に備えて、道路ネットワークに対する備えを強化することが重要であるという立場のもと、そのためには既存の自然災害に対する道路ネットワークの機能性の評価手法を実際の政策や対策の検討場面で活用するための研究蓄積が重要であることを指摘した。具体的には、これら手法を適用する上で不可欠な分析条件である道路ネットワークの自然災害に対する弱さ（危険箇所）の定義方法が必要であると述べた。本稿ではこのような定義方法に関する知見を得るため、過去の大規模な自然災害における道路被害の記録に着目し、被害形態の整理と各被害形態における被害の要因を簡単に整理した。

今後はこれら整理した被害形態・要因ごとに構造物個別の諸元や周辺状況、作用した自然災害外力の規模といった量的・質的データを収集・整理し、これらを統計的に解析することで、被害との関係性が認められる要素の抽出を目指す。また、抽出した要素を被害形態や被害要因、災害規模から、自然災害に対する道路ネットワークの機能性評価において考慮すべき災害に対する危険箇所の要件を示すことが今後の課題である。

**謝辞：**本研究は科学研究費補助金特別研究員奨励費（代表：大澤脩司，課題番号：19J12627）の一環として行った研究成果の一部である。ここに記して感謝したい。

## 参考文献

- 1) 国土交通省道路局都市局：道路の防災機能の評価手法（案），2016。
- 2) 国土交通省道路局都市局：道路ネットワークの防災機能の向上効果計測マニュアル（案），2016。
- 3) 家田仁，柳沼秀樹，堤啓：新たな「道路の防災機能評価手法」の開発とその適用事例，土木施工，Vol.57, No.5, p.17-20, 2016。

- 4) Taylor, M. A. P., Sekhar, S. V. C. and D'Este, G. M.: Application of accessibility based method for vulnerability analysis of strategic road networks, *Network and Spatial Economics*, Vol. 6, pp. 267-291, 2006.
- 5) D'Este, G. M. and Taylor, M. A. P.: Modelling network vulnerability at the level of the national strategic transport network, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 4, No. 2, pp. 1-14, 2001.
- 6) D'Este, G. M. and Taylor, M. A. P.: Network vulnerability: an approach to reliability analysis at the level of national strategic transport networks, Bell, M. G. H & Iida, Y. eds., *The Network Reliability of Transport*, Pergamon, Oxford, U.K., pp. 23-44, 2003.
- 7) 原田剛志, 倉内文孝, 高木朗義: リダンダンシーを考慮したアクセシビリティに基づく道路ネットワークの接続脆弱性評価, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 70, No. 1, pp. 76-87, 2014.
- 8) 若林拓史: 阪神淡路大震災における道路網連結信頼性と確率重要度による重要区間の評価, 土木計画学研究・論文集, No. 13, pp. 391-400, 1996.
- 9) 若林拓史, 大野隆晴, 鈴木宏章: 道路ネットワークの重要度評価: 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.
- 10) 安藤正幸, 喜多敏春: 連結信頼性を用いた整備計画策定手法の研究, 行動工学論文集, Vol. 62A, pp. 114-127, 2016.
- 11) 大澤脩司, 藤生慎, 中山晶一郎, 高山純一: 地震に対する道路網脆弱区間評価手法の構築と緊急輸送道路網への適用, 土木学会論文集 A1, Vol. 73, No. 4, pp. 1467-1478, 2017.
- 12) 大澤脩司, 岡田真由子, 中山晶一郎, 山口裕通: 地震に対する道路の弱点箇所に基づく防災拠点間の接続性評価に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.74, No.4, pp.I\_591-I603, 2018.
- 13) 東京都, 東京都防災ホームページ, 首都直下地震等による東京の被害想定 (平成 24 年 4 月 18 日公表): <https://www.bousai.metro.tokyo.lg.jp/taisaku/torikumi/1000902/1000401.html> (2019.10.3 閲覧) .
- 14) 中央防災会議防災対策推進検討会議 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ: 南海トラフ巨大地震の被害想定項目及び手法の概要～ライフライン被害、交通施設被害、被害額など～, 2013. (2019.10.4 受付)
- 15) 大分県, 大分県地震被害想定調査について: <https://www.pref.oita.jp/soshiki/13550/jishinhighaisoutei.html> (2019.10.3 閲覧) .
- 16) 福岡県, 福岡県地震に関する防災アセスメント調査報告書: <http://www.pref.fukuoka.lg.jp/gyosei-shiryo/jishinasesu.html> (2019.10.3 閲覧) .
- 17) 公益社団法人土木学会 地震工学研究委員会: 東日本大震災による橋梁等の被害分析小委員会 最終報告書, 2015.
- 18) 中村晋: 2011 年東北地方太平洋沖地震により被災した国道橋梁のフラジリティ特性, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.71, No.4, p.I\_159-I\_166, 2015.
- 19) 村上陽平, 一井康二, 丸山善久, 秦吉弥, 福島康宏: 高速道路盛土の地震被災予測に関する一考察, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.68, No.4, pp.I\_1074-I\_1080, 2012.
- 20) 片岡正次郎, 長屋和宏, 松本幸司: 新潟県中越地震時の道路盛土被害の分析, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.71, No.4, pp.I\_568-I\_576, 2015.
- 21) 櫻井俊彰, 庄司学, 高橋和慎, 中村友治: 2011 年東北地方太平洋沖地震における斜面に関わる道路構造物の被害分析, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.68, No.4, pp.I\_1315-I\_1325, 2012.
- 22) 公益社団法人土木学会: 地震被害調査シリーズ No.1 2016 年熊本地震被害調査報告書, 丸善出版, 2017.
- 23) 東日本大震災合同調査報告書編集委員会: 東日本大震災合同調査報告 土木編 4 交通施設の被害と復旧, 丸善出版, 2018.
- 24) 国土交通省, 平成 30 年 7 月豪雨について: <http://www.mlit.go.jp/common/001248491.pdf> (2019.10.3 閲覧)
- 25) 国土交通省, 熊本地震による被災及び復旧状況: <https://www.mlit.go.jp/common/001135910.pdf> (2019.10.3 閲覧)
- 26) 国土交通省, 東日本大震災への対応と課題: <http://www.mlit.go.jp/common/000145333.pdf> (2019.10.3 閲覧)
- 27) 国土交通省, 平成 30 年 7 月豪雨について: <http://www.mlit.go.jp/common/001248491.pdf> (2019.10.4 閲覧)

## A STUDY ON DEFINITION OF NATURAL DISASTER DANGEROUS AREA FOR ASSESSMENT OF ROAD-NETWORK VULNERABILITY

Shuji OSAWA, Jyunichi TAKAYAMA, Makoto FUJIU and Yuto SHIOZAKI