道路ネットワークの津波災害時における 機能支障の定量的評価

伊藤 詩織1・庄司 学2

¹学生会員 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1) E-mail: s1720914@s.tsukuba.ac.jp

²正会員 筑波大学准教授 システム情報系 (同上) E-mail:gshoji@kz.tsukuba.ac.jp

2011年東北地方太平洋沖地震の際の被害データから導き出された,道路や橋梁の物理的な津波被害関数 をもとに、津波災害時における道路ネットワークの機能支障の評価方法を提案した.本手法では、津波災 害時の公共施設間の最短ルートをダイクストラ・アルゴリズムを用いて選出し、津波対策として優先的に 復旧すべき脆弱な平面道路や橋梁を特定するものである.本手法を、南海トラフ巨大地震津波の際に大き な被害を受けることが予想される徳島県徳島市の道路ネットワークに適用した結果、リンク信頼性の低い 平面道路や橋梁がルート信頼性に大きな影響を与えることや道路の機能支障の観点から孤立しやすい地域 を明確に特定し得ることなどが明らかとなった.

Key Words : the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, road networks, bridge, tsunami, reliability, the Nankai Trough earthquake

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震お よびそれに伴う津波によって、太平洋沿岸の道路に多数 の被害が生じた.1都13県の合計4.198箇所で道路の流 出や損傷,盛土崩壊等が発生し,橋梁においては1都5 県の116箇所で被害が確認された¹⁾.これらの中で,道 路の109箇所および橋梁の33箇所は津波の被害によるも のであった²⁾. また, 高速道路 15 路線, 直轄国道 69 区 間,都道府県等管理国道102区間,県道等540区間が通 行止めとなった 3. 各地で高速道路や直轄国道が寸断さ れたことにより, 道路ネットワークの機能が低下し, 救 命・救助活動や復旧活動に多大な影響が及んだ. 今後の 発生が予測されている南海トラフ巨大地震津波において も、太平洋沿岸の広い地域で甚大な被害が生じると考え られている. そのため、津波浸水による道路や橋梁の物 理的な被害に基づく道路ネットワークの機能低下につい て検討することは極めて重要である.

道路ネットワークの機能支障に対するシステム信頼性 評価という観点から,能島・山中 ⁴は地震被災時の道路 網について,ノード間の交通容量を性能評価規範と見な した信頼性解析手法を提案し,道路強化の重要度評価を 試みている.また,豊田・庄司 ⁹はインフラシステムの 復旧といった立場から道路ネットワークの震度曝露距離 や混雑度を指標とし、首都直下地震における道路交通支 障の定量的評価を行っている.ネットワークの形状特性 を表す指標に基づく研究として、羽深・丸山⁹は道路ネ ットワークの形状をスペースシンタックス理論によりグ ラフ化し、移動効率の面から防災拠点の配置を検討して いる.また、南海トラフ巨大地震で特に被害が大きいと 予測されている高知県に着目し、広域物資拠点の選定を 行っている.これらの既往研究においては、主に強震動 による道路の物理的被害に基づく道路ネットワークの機 能支障評価が試みられているが、津波災害時における道 路ネットワークの機能支障評価については必ずしも十分 な検討がなされているとは言えない.

津波作用による道路の物理的被害については、東北地 方太平洋沖地震津波による被害データに基づき、橋梁と 平面道路に対して被害関数が提案されている.具体的に は、板垣・丸山^つは、復興支援調査アーカイブで取りま とめられているデータをもとに地形別に平面道路の津波 被害関数を提案しており、Shoji and Nakamura⁸は、津波作 用の指標として浸水深や津波流速を適用し、水面上昇速 度がおよそ 2m/min 以下の水位漸増型の津波作用を想定 した場合の桁橋構造の落橋に対する被害関数を提案して いる.

以上より本研究では、津波作用による道路の物理的被 害を念頭において、道路ネットワークのシステム信頼性 の観点からその機能支障の定量的評価手法を提案する. 併せて、ケーススタディーとして本提案手法を徳島県徳 島市の道路ネットワークに適用し、南海トラフ巨大地震 津波によって引き起こされる道路ネットワークのリンク 信頼度の低下の観点から道路ネットワークの機能低下に 係わる一般的な考察を行うこととする.

2. 提案手法の枠組み

本提案手法の枠組みを図-1に示す.

Stepl では、津波災害時の道路ネットワークの機能支 障評価を行なうべく地域を選出し、対象とする道路ネッ トワークをモデル化する.この際、ノードは道路の端点 および路線変更が可能な箇所とし、リンクはそれらのノ ード間の道路とする.

Step2 にて、浸水すると予測されている地域の道路お よび橋梁に被害関数を適用する.ここで、道路の津波に よる物理的被害はリンクで発生するものとして、本研究 ではリンク信頼性で評価を行なう.浸水域および浸水深 に関するデータは、例えば、内閣府が検討を行なってい る南海トラフ巨大地震の11タイプの津波断層モデル⁹か ら、Step1 で定めた対象地域に最も被害が生じ得るケー スを想定する.その際、津波高や浸水深のデータは Geographic Information System(GIS)上でメッシュ化して使用 するとともに、対象地域に敷設された道路ネットワーク の橋梁と平面道路をラインデータとして抽出し、両デー タと重ね合わせた上で、Step1 でモデル化された道路ネ ットワークの各リンクに対して被害関数を適用し、リン ク毎の通行可能確率をリンク信頼性として算出する.

Step3 では、被災後における道路の通行可能性を考慮 するために、解析する際のコストとなる変数を設定した 上で各リンクの距離に重み付けするなどして、対象地域 の道路ネットワークの津波災害時における利用形態に係 わる問題設定を行ない、解析ケースを設定する.

Step4 にて,解析ケースごとに経路の連結信頼性の確率算定を行なう. Step3 で設定したコストの重み付けに基づき,2点間の最短経路をDijkstra 法などを用いて算出する. 求められた最短経路に対して Step2 で算出した各リンクのリンク信頼性をコストとして代入し,積をとることで任意の2点間の連結信頼性を算出し,ルート信頼性として評価する.



図-1 提案手法のフローチャート

3. 提案手法の各論

(1) 道路ネットワークのモデル化

評価対象とする地域の道路ネットワークをノードとリ ンクからなるネットワークとしてモデル化する.一般国 道および都道府県道は国土数値情報¹⁰,市町村道は数値 地図 2500 (空間データ基盤)¹¹⁾および IPC 道路ネットワ ークデータ¹²などのデータを利活用してモデル化する. ノードは道路ネットワークを構成する各リンクの端点, および,道路の交点のうち交差点などの路線変更が可能 な箇所とする.なお,ノードでの右左折条件やリンクの 車線数は考慮しない.また,リンクは上記でモデル化さ れるノード間の道路とし,道路構成の最小単位として定 義する.

(2) 機能支障を評価する指標

津波による道路の物理的な被害には平面道路と橋梁の 損傷に大別され、津波堆積物や冠水、落橋や橋台被害な ど様々な被災モードとなり、特に落橋と道路の路面など の流出や損傷が顕著となる³.本研究では、これらを踏 まえ、モデル化された道路ネットワークの各リンクは独 立して損傷すると仮定し、リンク毎に橋梁と平面道路の 通行可能性を以下の通り評価する.なお、平面道路とは 道路全体のうち橋や高架を除いた道路であり、橋梁とは 主に河川などと交差する道路を指す.

i) 橋梁の機能支障を評価する指標

橋梁の被害関数の適用方法は図-2の通りである.橋桁 高さh_dは橋梁両端標高から河床標高を差し引いて算出す る.橋梁両端標高および河床標高は、国土地理院の標高 API¹³や基盤地図情報数値標高モデル¹⁴などのデータに 基づき抽出する.

次に,文献9)による浸水深のデータなどから橋桁中心 位置の座標データに基づき浸水深hを抽出する.橋梁が 河川などに架かる場合においては,通常,橋桁の下面か



図-2 橋梁の機能支障の評価フロー

ら河床まで一定高さの空間を有しそこに浸襲した津波の 流れ場において橋桁に津波波力が水平および鉛直方向に 作用して落橋する¹⁵. 被害関数の適用に当たってこのよ うな力学的なメカニズムを反映させるために,浸水深hと河床標高から橋桁下面までの高さ h_d との関係を表す 指標を式(1)の通り浸水深比 η として定義し,文献8)など を参考として η を変数とした式(2)に基づき橋梁の落橋確 率 $R(\eta)$ を算定する.

$$\eta = \frac{h}{h_d} \tag{1}$$

$$R(\eta) = \Phi\left(\frac{\ln \eta - 2.69}{\ln \eta}\right) \tag{2}$$

$$\left(\frac{1}{1.48} \right)$$

以上より,対象とする道路ネットワークを構成する橋梁のリンク信頼性 R_bは式(3)のように表せて,これを対象となる全てのリンクについて算出する.

$$R_b(\eta) = 1 - R(\eta) \tag{3}$$

ii) 平面道路の機能支障を評価する指標

同様に,文献9)による浸水深のデータなどと平面道路 のラインデータを重ね合わせ,浸水域内のリンクを抽出 する.その際,1リンク当たりの長さを*l*[km],浸水深 *h*[m]に該当するリンク長を*l*,[km]とし,各リンクの平均 浸水深*h*[m]を次式のように算出する.

$$\overline{h} = \frac{\sum l_n \times h}{l} \tag{4}$$

表-1 平面道路被害率の算定式のパラメータ設定

地形区分	С	λ	ζ
Ι	1.26	2.17	0.21
Π	0.41	0.78	0.28
Ш	2.06	1.28	0.41
IV	1.87	1.79	0.81

次に, 文献7)で提案されている地形別の平面道路の津 波被害率 ν [件/km]を式(5)より求め, 平面道路の津波に よる被害確率 $R(\nu)$ を式(6)に示すポアソン分布でモデル 化する.

$$v = C\Phi\left(\frac{\ln \overline{h} - \lambda}{\varsigma}\right)$$
(5)
$$R(v) = \frac{(vl)^n}{n!} e^{-vl}$$
(6)

ここで, C, λ , ς は地形別(I:河岸段丘を有する地域, II:リアス式海岸, III:低平地を有するリアス式海岸, IV:低平地)に定められている回帰定数で,文献 7)では **表-1**のように推定されている.また, n は被害発生件数 であるが,ここではn=0を代入して平面道路の各リンク のリンク信頼性 R, ε 式(7)のように算出する.

$$R_r = 1 - R(\nu | n = 0) \tag{7}$$

(3) 解析ケースの設定

道路ネットワーク内の起点と終点の間の経路を選択するに当たり、最短経路を実距離とするケース(Casel) と道路種別を考慮し実距離に重み付けを行なうケース (Case2)を想定する.

Casel は、1リンク当たりの距離 *l*をコストとし、移動 距離が最小となる経路をそのまま選択する解析ケースで ある.

一方,高速自動車国道や一般国道,および,これらを つなぐ幹線道路は緊急交通路・輸送路に指定されている ため,津波災害の発災直後より応急復旧のルートとして 災害対応に利活用されることとなる.このように,津波 災害時において求められている機能は道路種別毎に異な ることから, Case2 では,発災後の応急復旧の基幹とな る道路毎に重み付けを行ない,1リンク当たりの距離 *l* を定義しなおして,移動距離が最小となる経路選択を行 なう.具体的には,1リンク当たりの距離 *l*を道路種別*s* で次式の通り,重み付けした道路種別距離 *l*としてコス トを定義する.

$$l_s = l \cdot s \tag{8}$$



図-3 Dijkstra 法のフロー

なお、後述するケーススタディーにおいては、*s*は道路 法で定められている道路のうち高速自動車国道、一般国 道、都道府県道、地方主要道に1、市町村道、および、 農道や林道などの道路法で定められていない道路に2の 重みをそれぞれ付与した.

(4) 最短経路選択のアルゴリズム

最短経路の探索アルゴリズムとしては、特定の1ノードから他の全ノードへの最短経路探索が可能な Dijkstra 法や Bellman-Ford 法があり、また、任意の2ノードペア の最短経路探索としては Warshall-Floyd 法などが有効であ る.本研究では、MATLABのプログラム Dijkstra's Minimum Cost Path Algorithm¹⁰を適用して最短経路の探索及び 距離の算出を行なう.

Dijkstra法の概要をフロー図として図-3に示す. 道路ネットワークを構成する任意の2つのノード間のどちらからでも通行できると考え、ノード間の連結性を無向グラフでモデル化している. 図-3においては、○をノード、線をリンク、線の付随して示した数字をリンク間の距離 *l*あるいは*k*としている. リンク間の距離*l*あるいは*k*を コストとして、図-3下に示すような隣接行列ならびにコスト行列を解析ケース毎に作成する. 起点ノード*i*と終 点ノード*j*間の全ての origin-destination (OD) パターンに対して、コストが最小となるように最短経路を探索する. なお、起点ノードとしては、津波災害時において復旧拠 点となる市役所などの公的施設が想定され,終点ノード としては,公的施設からの応急復旧の資材や人員を受け る避難所や病院などが想定され得る.

(5) ルート信頼性の評価方法

Dijkstra法により算出された各リンクに対応する橋梁の リンク信頼性 *R*_bを抽出し、それらの積で橋梁のルート 信頼性 *P*_bを次式のように定義する.

$$P_{h} = \Pi R_{h} \tag{9}$$

同様に,平面道路のリンク信頼性R,を抽出し,これらの積で平面道路のルート信頼性P,を次式のように定義する.

$$P_r = \Pi R_r \tag{10}$$

これより、橋梁と平面道路の両方を考慮したルート信頼性Pは以下のように表わすことができる.

$$P = P_h \cdot P_r \tag{11}$$

対象とする道路ネットワークの全ての OD パターンに 対して、ルート信頼性をマップにプロットし、問題設定 において取り上げた起点ノードや終点ノードの地理的な 分布などとの関連性を考察する.また、全 OD パターン の中で各リンクが選択される回数を求めることによって、 重要なリンクの特定を行なうことができる.

4. 徳島県徳島市を対象としたケーススタディー

(1) 解析対象とする道路ネットワーク

南海トラフ巨大地震津波では、主として太平洋沿岸域 において広範囲な浸水が予測されている.それらの地域 の中でも大小 138 の河川からなる徳島県徳島市は橋梁が 多くみられ、浸水によって交通が分断されやすい地理的 条件となっている.ここでは、徳島市の中心部を含むお よそ 5[km]四方の範囲の道路ネットワークを対象として、 津波災害を想定した場合のそれらの連結信頼性の評価を 行なう.

道路データは 3. (1) で示した数値地図 2500 (空間デー タ基盤)¹¹⁾を用い,国道・県道・市道のすべてを考慮す る.対象とする道路ネットワークは図4の通りであり, 道路の延長距離は 411.9[km],リンク数 m は 6,300,ノー ド数 V は 4,502,橋梁数は 55 である.災害対策本部が設 置され,復旧拠点として重要な機能を担うと考えられる 徳島市役所および徳島県庁を起点ノードとし,徳島市



図4 対象ネットワーク



図-5 想定される浸水深

図-6 リンク信頼性

が指定する避難所¹⁷の中で対象地域内に存在する 50 箇 所を終点ノードとするルート選択を対象とすることとした.

(2) 橋梁および平面道路のリンク信頼性

図-5には、対象地域の想定浸水深の分布と道路ネット ワークを示す.ここでは、文献 9)に示されている 11 ケ ースの津波断層モデルの中で、徳島県が最も被害を受け ると想定される、断層ケース 3 (紀伊半島沖〜四国沖に 大すべり域と超大すべり域を設定)の場合の浸水深デー タを使用した.図-1の Step2 を通じて橋梁と平面道路の 被害関数を適用し、リンク信頼性を算出した結果が図-6 である.平面道路の回帰定数としては地形区分 Ⅳ:低 平地を使用した.

(3) 各ケースの特徴

i) Casel の場合

Casel は 2 地点間の移動距離が最短となるようにルート信頼性の試算を行なった場合である. 図-7 には、市役所および県庁を起点ノードとした場合の各避難所へのルート信頼性 Pを示す.各ケースともに、対象地域の北部

の吉野川近傍と,東部の海岸線に近い地域ほど,Pの数 値は低くなり,Pが最も低い避難所は県庁を起点とした 場合の沖洲地区でP=0.57となった.

図-8には、起点ノードから終点ノードまでの距離Lと ルート信頼性Pとの関係を示す.橋梁と平面道路の両方 を考慮したルート信頼性P(式(11))の場合と、式(9)よ り求められる橋梁のみのルート信頼性P_bを考慮して平 面道路のリンク信頼性は全て1.0とした場合、ならびに、 逆に式(10)より求められる平面道路のみのルート信頼性 P,を考慮して橋梁のリンク信頼性は全て1.0とした場合 の3ケースにわけて比較を行なった.

市役所および県庁を始点とした場合において,橋梁と 平面道路の両方を考慮したルート信頼性PはLの増加に 伴って最大6割前後まで低下していることがわかる.市 役所を始点とした図-8(a)の場合には,ルート信頼性Pは 0<L<1.0[km]において最大P=0.86まで低下している.さ らにL>2.0[km]を越えると,0.59<P<0.99となり, L=3.47[km]においてルート信頼性Pは最小値を示した. 同様に,県庁を始点とした図-8(b)の場合には, L=3.76[km]でP=0.57となり最小値を示した.

一方, 平面道路のみのルート信頼性Prを考慮した場合



には、距離Lに関わらずルート信頼性P,はほぼ一定となることがわかる.市役所を始点とした図-8(a)の場合には、 L>3.4[km]の範囲でLの増加に伴ったPrの低下が見られるものの、全体としてはPr=1.0あるいはPr=0.92の周辺に数値が分布している.また、県庁を始点とした図-8(b)の場合には大部分のルート信頼性がPr=1.0近傍の数値を示した.県庁の位置からおよそ3[km]の範囲では浸水深が相対的に低く、平面道路のリンク信頼性R,が図-6に示す ように R=1.0 近傍となるために、県庁から各避難所への ルート信頼性に対して平面道路のリンク信頼性 R-がほと んど影響しないことを意味している.

これらに対して橋梁のみのルート信頼性 P_b を考慮した場合には、通過する橋梁数の増加に伴い、 P_b が大きく低下することが明らかとなった。市役所を始点とした図-8(a)の場合には、通過する橋梁が 0(ゼロ) であると $P_b=1.0$ でルート信頼性は全く影響を受けず、1橋梁通過





以上より、2地点間のルート信頼性 Pは、距離 L が長 くなると当然低下し、特に、通過する橋梁数、すなわち、 橋梁の物理的な津波被害の数量に道路ネットワークの機 能性が強く影響を受けると言える.

ii) Case2 の場合

Case2 は、道路種別に関する重み付けを行ない、津波 災害時の応急復旧の基幹となる幹線道路を優先的に通過 するように想定した場合である.

図-9 には、Caselの図-7 と同様に市役所および県庁を 起点ノードとした場合の各避難所へのルート信頼性Pを 示す. Case2 の場合においても、対象地域の北部の吉野



図-12 道路ネットワークを構成する各リンクの通行回数

川近傍および東部の海岸線に近い地域ほどPは低い数値 を示し、沖洲地区ならびに渭東地区の全避難所でP<0.68 と低いルート信頼性を示した.また、図-10に示す、起 点ノードから終点ノードまでの距離Lとルート信頼性P との関係についても、図-8のCaselの場合と全く同様の 傾向を示し、距離Lが長くなると2地点間のルート信頼 性Pは低下し、道路ネットワークの機能性が通過する橋 梁数に強く依存することが明らかとなった.

iii) Case1 と Case2 の比較

図-11 は、Casel および Case2 の距離 L とルート信頼性 P を市役所および県庁を起点ノードとしたそれぞれの場 合に対して比較した結果である。市役所および県庁から 50箇所の避難所までの2地点間の各ルートを構成するリ ンクの距離 l をそのままコストとして評価し最短経路を 探索した Casel と比較して, 緊急交通路・輸送路クラス の幹線道路を優先して通行するようにリンクの距離*l*sに 重み付けしてコストを評価し最短経路を探索した Case2 の場合においては, 距離*L*が平均的に5.4%増加し, 市役 所を始点とした図-11(a)の場合には最大 34%, 県庁を始 点とした図-11(b)の場合には最大 40%距離*L*が増加するこ とが明らかとなった.

2地点間の距離 L は全体的に長くなったにも関わらず, 市役所を始点とした図-11(a)の場合には計 29 の避難所ま でのルートにおいて,県庁を始点とした図-11(b)の場合 には計 24 の避難所までのルートにおいてルート信頼性 P が高まり,幹線道路への経路選択が好ましい結果を与 えた.一方で,市役所を始点とした図-11(a)の場合には, Casel よりも通過する橋梁数が増えた 3 ルートにおいて Case2 の場合よりもルート信頼性 P が大きく低下する結 果が得られた.同様に,県庁を始点とした図-11(b)の場 合においても通過する橋梁数が増えた 2 ルートおよび距 離 L が 17%長くなった 1 ルートに対して,ルート信頼性 P の大きな低下がみられた.

これらの結果は、幹線道路に接続するまでの平面道路 や橋梁の津波被害がルート信頼性に大きな影響を与え得 る場合があることを示している.図-12には、Casel およ び Case2 の場合における各リンクの通行回数を示す.図-12 によれば道路ネットワークを構成するリンクの中で 通行回数が大きなリンクを特定することができる.図-11より明らかとなるルート信頼性が減じる2地点間のル ートに対して、これらの結果を空間的に関連付けて評価 することにより、津波災害時における道路ネットワーク の弱部となるリンクを明らかにすることができる.

5. 結論

本研究では、津波災害時における橋梁と平面道路の物 理的被害という観点から、道路ネットワークの機能低下 に係わる定量的評価手法の提案を行なった.また、実際 に南海トラフ巨大地震の高い蓋然性が懸念され、津波被 害が甚大になると予想されている徳島県徳島市に位置す る道路ネットワークをケーススタディーとして、市役所 および県庁から 50 箇所の避難所までの 2 地点間のルー ト信頼性の特徴を明らかにした.得られた知見は以下の 通りである.

1) リンク信頼性の低い平面道路や橋梁が対象とする道路ネットワークのルート信頼性に大きな影響を与え、その数値がおよそ6割まで大きく低下する場合がある.

2)本提案手法によれば,道路ネットワークの津波災害時における機能支障の観点から孤立しやすい地域を特定することが可能である.

3) 2 地点間の距離の増加に伴い,道路ネットワークの ルート信頼性が急激に低下することがある.特に,通過 する橋梁数が増加する場合にはこのような顕著な傾向を 示す.

4) 緊急交通路・輸送路などの津波災害時においてキー となる幹線道路の経路選択はルート信頼性の観点からは 総じて好ましい結果を与えるが、これらの幹線道路まで の接続道路が津波作用に対して脆弱な場合においてはル ート信頼性が逆に低下する場合があるので留意が必要で ある。

5) 道路ネットワークを構成する各リンクの通行回数に 関する空間情報にルート信頼性の情報を照らし合わせる ことによって、対象とする道路ネットワークの中の弱部 となるリンクを特定することができ、津波対策の優先順 位付けなどのスクリーニングにおいて利活用することが できる.

今後の課題としては、津波堆積物による道路ネットワ ークの機能支障の評価手法を図-1の枠組みに組み込むこ とである.津波堆積物に関しては鳥澤ら¹⁸が通行止め確 率の定式化をはかっているものの、浸水深が低い場合に おける評価式の構築にはいたっていない.さらには、解 析ケースの問題設定において幹線道路の考慮だけでなく、 道路幅員などを考慮することでより実用的な評価手法と して拡張していく予定である.

謝辞:南海トラフ巨大地震津波モデル検討会より,南海 トラフ巨大地震における津波高および浸水域のデータを 頂きました.ここに関係各位に対して厚く御礼申し上げ ます.

参考文献:

- 東日本大震災について被害状況と警察措置,警察庁,2016 年12月9日, http://www.npa.go.jp/archive/keibi/biki/higaijokyo.pdf (2017年2月6日閲覧)
- 注司学,中村友治,高橋和慎,櫻井俊彰:2011 年東北地 方太平洋沖地震において津波作用を受けた道路構造物の 被害,土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.68, No.4 (地震工学論文集第 31-b巻), pp.I_1300-I_1306, 2012.
- 東日本大震災の記録-国土交通省の災害対応-,国土交通省,平成24年3月11日,
 http://www.mlit.go.jp/common/000208803.pdf(2017年2月6日閲覧)
- 4) 豊田安由美,庄司学:首都圏に位置する電力・都市ガス・通信システムの地震時応急復旧活動に関する広域応援と道路交通支障の関係,土木学会論文集 A1(構造・地震工学)[特]地震工学論文集, Vol.66, No.1, pp.317-327, 2010.
- 5) 能島暢呂、山中敏裕:道路ネットワークの地震時機能信

頼性解析に基づく施設改善の重要度評価,第10回日本地 震工学シンポジウム論文集, No.j-12, pp.3205-3210, 1998.11.

- 羽深裕希,丸山喜久:移動効率に着目した高知県における広域物資拠点の選定,土木学会論文集 Al(構造・地震工学), Vol.71, No.4(地震工学論文集第 34 巻), pp.I_257-I_267, 2015.
- 7) 板垣治,丸山喜久:東北地方太平洋沖地震津波による平 面道路被害の分析,土木学会論文集 A1(構造・地震工 学), Vol.72, No.4, ppI_82-I_89, 2016.
- Shoji, G. and Nakamura, T. :Damage assessment of road bridges subjected to the 2011 Tohoku Pacific earthquake tsunami, *Journal of Disaster Research*, Vol.12, No.1, pp.79-89, 2017.
- 南海トラフの巨大地震モデル検討会:南海トラフの巨大 地震モデル検討会(第二次報告,津波断層モデル編―津 波断層モデルと津波高・浸水域等について―, 2012.8. http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/
- 10) 国土交通省国土地理院:国土数値情報ダウンロードサー ビス 交通 道路,

http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html (2017年2月8日閲覧)

国土交通省国土地理院:数値地図 2500 (空間データ基盤), 2006.

- 12) 株式会社オークニー: IPC 道路ネットワークデータ(全国) 2009 年秋版, 2009.
- 国土交通省国土地理院:標高 API, http://maps.gsi.go.jp/development/api.html(2017年2月8日閲覧)
- 14) 国土交通省国土地理院:基盤地図情報数値標高モデル, http://www.gsi.go.jp/kiban/(2017年2月8日閲覧)
- 15) 庄司学,平木雄,江面嘉之,飯高稔,藤間功司,鴫原良典:橋桁に作用する津波波力の水平成分と鉛直成分の発生メカニズムに関する実験的考察,土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.68, No.4 (地震工学論文集第 31b巻), pp.I_1134-I_1144, 2012.
- 16) Kirk, J.: Dijkstra's Minimum Cost Path Algorithm, https://jp.mathwo rks.com/matlabcentral/fileexchange/20025-dijkstra-s-minimum-cost-pat h-algorithm (2016年11月30日閲覧)
- 17) 徳島市避難所一覧表(一般災害時及び地震災害時の避難 所),2016年8月3日,https://www.city.tokushima.tokushima.jp/an zen/shoubo_bousai/hinanjo_list/ichiran.html(2017年2月1日閲覧)
- 鳥澤一晃,吉田聡,佐土原聡:サプライチューンのBCPの ための道路網被害予測と事業継続への影響評価,日本地 震工学会論文集,第14巻,第2号, pp.84-103, 2014.

EVALUATION FRAMEWORK OF FUNCTIONAL DISRUPTION OF ROAD NETWORKS DURING A TSUNAMI DISASTER

Shiori ITOH and Gaku SHOJI

A method to evaluate the system reliability of road networks during a catastrophic tsunami disaster was newly proposed based on physical tsunami damage functions of roads and bridges, which were derived by assessment for damage data in the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake tsunami. In the framework, the features of shortest routes between targeted substantial public facilities in a tsunami disaster are identified by using Dijkstra Algorism. In addition, the features of routes between them preferentially passing through main roads are identified. Finally, vulnerable roads and bridges on which tsunami countermeasures should be taken and which should be restored preferentially are revealed. This proposed framework was applied to the case studies for road networks in Tokushima city, which is expected to be suffered greatly from the Nankai Trough earthquake tsunami, and the possibility of road disruption in a tsunami disaster was also investigated.