

津波漂流物の橋桁への作用モデルに基づく道路ネットワークの信頼性解析

筑波大学大学院 学生会員 Liu Xiaojiao 筑波大学システム情報系 正会員 庄司 学

1. はじめに：伊藤、庄司¹⁾の研究では、津波浸水による平面道路の被害及び橋桁の流出という観点から道路ネットワークの信頼性の評価手法を提案した上で、構築された評価手法を南海トラフ巨大地震津波にさらされる徳島市の道路ネットワークに適用している。本研究では、Liu、庄司²⁾により得られた津波漂流物の橋桁への閉塞率 γ_{cv} 及び橋面上の残留率 γ_l とフルード数 F_r との関係を表すモデルに基づき、津波漂流物による橋梁機能の被害という観点から、文献 1)で対象とした道路ネットワークのリンク信頼性を再評価し、徳島市の市役所及び県庁から 50 か所の避難所への道路ネットワークのルート信頼性について考察を行う。

2. 道路ネットワークの信頼性解析方法：本研究では、徳島市の市役所及び県庁を含む 5km 四方の範囲での国道、県道、市道をモデル化した(図 1)。その際、一般国道及び県道のデータは国土数値情報³⁾、市町村道のデータは数値地図 2500⁴⁾並びに IPC 道路ネットワークデータ⁵⁾などを用いた。対象とする道路の総延長距離は 411.9km、橋梁は 55 か所である。市役所及び県庁の 2 か所を始点とし、徳島市が指定する避難所⁶⁾の中で対象地域内に存在する 50 か所を終点とする最短ルートを分析する。浸水深データについては、文献 7)で示されている 11 ケースの断層モデルの中の、紀伊半島沖から四国沖に大すべり域と超大すべり域を想定した断層ケース 3 による地震津波に基づくものである(図 2)。まず、浸水域内の道路ネットワークに対して、1 リンク当たりの長さを $l[\text{km}]$ 、浸水深 $h[\text{m}]$ に該当するリンク長を $l_n[\text{km}]$ とし、各リンクの平均浸水深 $\bar{h} = \sum(l_n \cdot h)/l$ を求める。次に、浸水した後の平面道路機能を評価する際には、板垣、丸山⁸⁾の平面道路に対する津波被害関数を用いた上で、1km 当たりの被害箇所数を表す平面道路の被害率 v を式(1)により算定する。

$$v = C\Phi\left(\frac{\ln \bar{h} - \lambda}{\zeta}\right) \quad (1)$$

ここで、 C, λ, ζ は回帰定数であり、図 1 の対象地域においては低平地として定められたものである($C=1.87, \lambda=1.97, \zeta=0.81$)。これより、津波浸水による平面道路の被害率 $R(v)$ を求めた上で、平面道路のリンク信頼性 R_r を次式より算定する。

$$R(v) = \frac{(v!)^n}{n!} e^{-v!}, R_r = 1 - R(v) \quad (2)$$

ここで、 n は被害発生件数であり、 $n=0$ を代入して式(2)を適用する。浸水した後の橋梁機能を評価する際には、橋桁前面及び桁下空間に詰まった漂流物の全体積を V_{cv} 、漂流物の全体積を V_f とし、漂流物の橋桁への閉塞率を $\gamma_{cv} = V_{cv}/V_f$ と定義する。さらに、橋面上に残留した漂流物の体積を V_l とし、同じく V_f を用いて、漂流物の橋面上の残留率を $\gamma_l = V_l/V_f$ と定義する。以上より、次式の文献 2)により提案された γ_{cv} 及び γ_l とフルード数 F_r ($F_r = v/\sqrt{gh}$) の関係を表すモデルを適用する。

$$\gamma_{cv} = 0.479 F_r^{1.873}, \gamma_l = \frac{1}{99.386 \gamma_{cv} + 4.925} \quad (3)$$

なお、フルード数 F_r は、流速 $v=2\text{m/s}$ を想定し、対象とする道路ネットワークの各リンクの平均浸水深 $\bar{h}$ を用いて算定する。また、式(3)の適用範囲は $0.244 \leq F_r \leq 0.844$ であり、範囲外の場合には文献 1)で算定された橋梁のリンク信頼性をそのまま適用する。これより、漂流物の橋桁への作用による当該リンクの信頼性 R_b を次式により算定する。

$$R_b = 1 - \gamma_l \quad (4)$$

以上より、津波漂流物を考慮した平面道路及び橋梁のリンク信頼性を算定すると図 4 になる。これらを適用し、平面道路のみによるルート信頼性を P_r 、橋桁のみによるルート信頼性を P_b 及び平面道路、橋桁の両方を考慮した場合のルート信頼性を P として、それらを次式のように算定する。

$$P = P_b \cdot P_r, P_r = \Pi R_r, P_b = \Pi R_b \quad (5)$$

市役所と県庁から 50 か所の避難所への最短ルートは Dijkstra 法により算定する。その際、道路法で定められている一般国道、県道、地方主要道に 1、道路法で定められていない市町村道および農道や林道などの道路に 2 の重み付けを行って、道路種別の違いを最短ルートの求索に反映させた。

3. 試算結果に対する考察：図 5 には、県庁から指定する避難所までのルート信頼性 P を示す。また、平面道路、橋桁の両方を考慮した場合のルート信頼性 P 、平面道路のみによるルート信頼性 P_r 、橋桁のみによるルート信頼性 P_b と距離 L の関係、および通過する橋梁数との関係を図 6 に示す。図 5 より、文献 1)で示された傾向と同様に、沖洲地区や渭東地区の避難所へのルート信頼性が他の地区の避難所へのルート信頼性よりも低くなる。図 6 より、距

キーワード 津波漂流物、道路ネットワーク、橋桁被害、ルート信頼性

連絡先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学大学院システム情報工学研究科 TEL029-853-7368

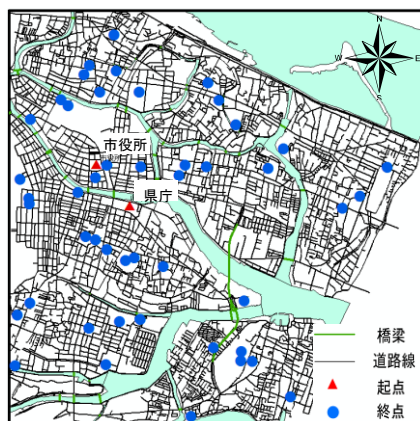


図1 対象ネットワーク

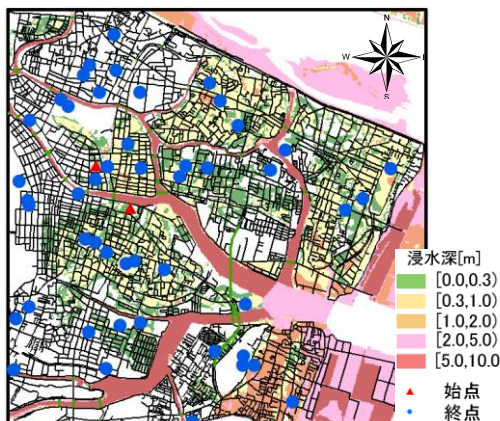


図2 浸水分布

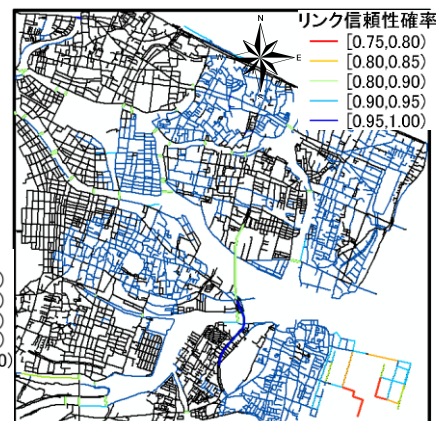


図4 リンク信頼性確率

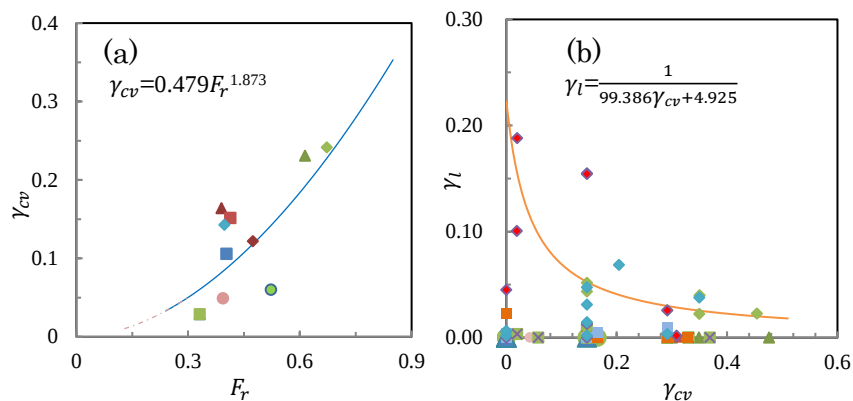
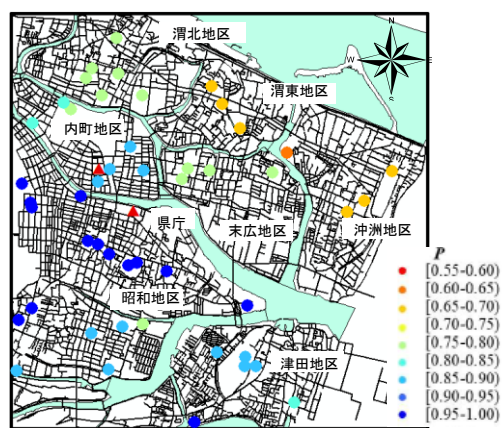
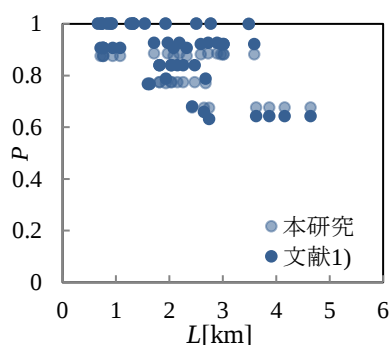
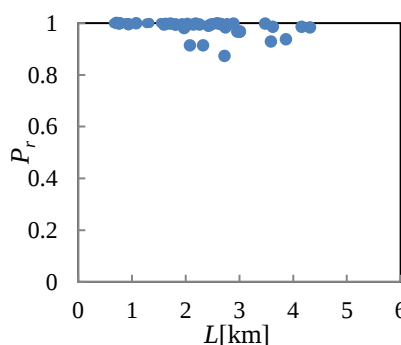
図3 閉塞率 γ_{cv} と残留率 γ_l のモデル化²⁾

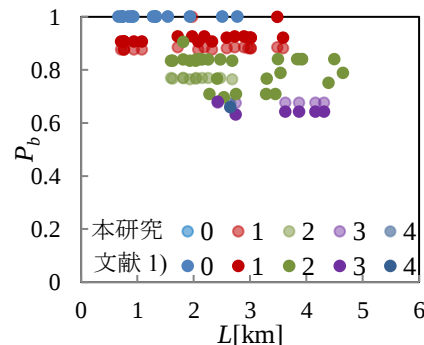
図5 ルート信頼性(始点: 県庁)



平面道路、橋桁の両方を考慮した場合のルート信頼性



平面道路のみによるルート信頼性



橋桁のみによるルート信頼性

図6 ルート信頼性と距離の関係(始点: 県庁)

離 L が長くなると、 P が0.65前後まで下がることが明らかである。 P が相対的に高い範囲である $P > 0.78$ の場合には、漂流物による橋桁の機能被害を考慮した場合の P は文献1)により算出された橋桁の流出を考慮した場合の P より低くなる。一方、 P が相対的に低い範囲である $0.65 < P \leq 0.78$ の場合には、逆に、津波浸水による橋桁の流出の影響が大きくなり、漂流物の橋桁への作用が弱まるため、 P は高くなる。 P_b に着目すると、通過回数が1回及び2回の場合には、漂流物による橋桁の機能被害という観点から算出した P_b がそれぞれ $P_b = 0.92$ 、 $P_b = 0.77$ 前後となり、津波浸水による橋桁の流出という観点から得られた P_b よりも低くなる。これは、津波浸水による橋桁の流出より漂流物の橋桁への影響が大きくなるためである。通過回数が3回及び4回の場合には、 P_b はさらに低下するものの、津波浸水による橋桁の流出の影響が大きくなり、漂流物の橋桁への影響が弱まるため、 P_b は相対的に高くなる。

謝辞: 千葉大学の丸山喜久先生には、道路ネットワークに関する基礎的データの提供を賜りました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献: 1) 伊藤詩織, 庄司学: 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, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 74, No. 4, pp.120-130, 2018. 2) Liu Xiaojiao, 庄司学: 橋桁に作用する津波漂流物の動態のモデル化に関する一考察, 第9回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム, pp.113-118, 2019. 3) 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>. 4) 国土地理院: 数値地図 2500 (空間データ基盤), 2006. 5) 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. 6) 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/anzen/shoubou_bousai/hinanjo_list/ichiran.html. 7) 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. 8) 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, pp.182-189, 2016.