

南海トラフ巨大地震津波による被害が懸念される 道路橋梁の落橋確率の空間分布

Spatial Distribution of Wash-away Probability of Road Bridges Exposed by the Anticipated Nankai Trough Earthquake Tsunami

○庄司 学¹, 水越 湧太²
Gaku SHOJI¹ and Yuta MIZUKOSHI²

¹筑波大学 システム情報系

Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

²筑波大学大学院 システム情報工学研究科

Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

The spatial distribution of wash-away probability of road bridges exposed by the anticipated Nankai Trough earthquake tsunami were shown. First we revealed the inundation depth h at an exposed bridge in the nine prefectures of the Pacific coast with the effect of three faults along the Nankai Trough, which are those from Suruga Bay to Kii Peninsula, from Shikoku-Oki to Kyushu-Oki, and from Aichi Prefecture-Oki to Mie Prefecture-Oki and Muroto Peninsula-Oki. Second, we calculated the height of a bridge, h_i and the ratio of the inundation depth compared with the bridge height, η using the bathymetry data of Digital Elevation Model. Third, the values of h , h_i and η were applied to the damage function describing the wash-away probability of bridges spatially distributed in the Nankai Trough exposures.

Keywords : the anticipated Nankai Trough earthquake tsunami, bridge, wash-away probability, damage function

1. はじめに

南海トラフ巨大地震津波による道路インフラの甚大な被害が予測されており¹⁾, その被害推計技術を高精度することは極めて重要である。これは, 東北地方太平洋沖地震津波に際して, 太平洋沿岸に位置する道路インフラに甚大な津波被害が発生し²⁾, それにより救助・救援等の社会経済活動に大きな影響が及んだためである。

既往の研究では, 中村・庄司³⁾は, 道路インフラの重要な構成要素である橋梁を対象として, 東北地方太平洋沖地震津波を受けた橋梁位置の浸水高の時系列波形を明らかにし, その被害推計に必要となる津波作用の特徴を明らかにしている。また, Nakamura and Shoji⁴⁾は, 浸水深を指標とした道路橋梁に対する被害関数の構築を試みている。しかし, 南海トラフ巨大地震津波等の巨大地震津波を想定した場合の道路橋梁の落橋確率に関して空間分布の推計までには至っていない。

そこで, 本研究では, 南海トラフ巨大地震津波に暴露される道路橋梁群を抽出し, その橋桁高さを算出した上で, 上記の文献⁴⁾によって構築された被害関数を適用することで, 南海トラフ巨大地震津波による被害が懸念される地域に敷設された道路橋梁群の落橋確率の空間推計を試みる。

2. 分析対象データ

本研究では, 南海トラフ巨大地震津波に関する内閣府の報告書⁵⁾に示されたデータを使用する。津波による浸水域及び浸水深 h の推計手法の概要を示すと以下の通りである。津波の伝播・浸水については, 海底での摩擦及び移流を考慮した非線形長波理論に基づいて, 差分法により地震発生から6時間に対して数値シミュレーションさ

表1 地形データの作成・整備機関

| 対象範囲 | データ名 | 作成・整備 |
|----------|---------------------------|-----------|
| 海域 | 海図(港泊図) | 海上保安庁 |
| | [縮尺 1/3,000~1/15,000] | |
| | 海底地形デジタルデータ(等深線) | (財)日本水路協会 |
| | M7000シリーズ, M5000シリーズ | |
| | [縮尺 1/50,000相当] | |
| 湖沼 | JTOPO30(日本近海30sグリッド水深データ) | (財)日本水路協会 |
| | [約1km×1kmグリッド] | |
| 陸域全体 | 湖沼図(浜名湖, 逆浦, 涸沼) | 国土地理院 |
| | [縮尺 1/10,000] | |
| | 基盤地図情報(数値標高モデル: 5mレーザ) | |
| | 精密基盤標高データ | |
| | 河川LPデータおよび砂防LPデータ | 国土地理院 |
| | 海岸における3D電子地図 | |
| | 基盤地図情報(数値標高モデル: 5m写真) | |
| | 基盤地図情報(数値標高モデル: 10m) | |
| 河川・湖沼域のみ | 航空レーザ測量(LP)データ(直轄河川) | 国土交通省 |
| | 航空レーザ測量(LP)データ(海岸域) | |
| | 航空レーザ測量(LP)データ(直轄河川) | 国土交通省 |
| | 河川縦横断測量成果(直轄河川) | |
| 陸域全体 | 河川縦横断測量成果(県管理河川) | 各都道府県 |
| | 上記の湖沼図 | 国土地理院 |
| 陸域全体 | 都府県提供メッシュデータ | 各都道府県 |

れた結果である。その際には, 陸域で最小10mメッシュ, これより外洋側で30m, 90m, 270m, 810mのメッシュとそれぞれ設定され, 接続計算が行なわれている。計算に使用された陸域及び海域の地形データの作成・整備機関は表1の通りである。断層モデルは $M_w=9.1$ 相当の断層面で, 平均すべり量は約10mである。大すべり域及び超大すべり域のすべり量はそれぞれ約20m及び約40mと想定されている。海底地殻変動の食い違い量は弾性論



図1 橋桁高さ h_b の算出



図2 対象とする道路橋梁（和歌山県西牟婁郡白浜町）

に基づいて評価されている。

本研究では、断層破壊の支配的な領域が、1) 駿河湾～紀伊半島沖、2) 四国沖～九州沖、3) 愛知県沖～三重県沖及び室戸岬沖となる3ケースの波源から放射される津波による浸水を対象とする。地形データにおける河川部は、上流側において概ね「周辺の地盤標高が30m」、「河床幅が10m以下」になる領域がデータ化されているため、この領域の河川に架かる橋梁をIPC道路ネットワークデータ⁹⁾により抽出した。ここでは、特に、南海トラフ巨大地震津波に曝露される可能性が高い地域の中でも和歌山県西牟婁郡白浜町を取りあげ、それらの地域に流れる阿久川、富田川、高瀬川に架かる20橋梁に対して落橋確率の試算を行なった。

3. 橋梁の橋桁高さの算出及び橋梁位置における浸水深の算出方法

ここでは、国土地理院の5mDEMの地形データ⁷⁾、及び、先述の内閣府の報告書⁹⁾において計算に使用された10mDEMの地形データに基づき、図1に示される手順で橋梁の橋桁高さ h_b の算出を行なう。対象とする橋梁の位置を図2に示す。これらの中の代表的な橋梁における橋桁標高及び河床標高の抽出箇所を図3に示す。図1に示すフロー3において、河床標高のデータは橋桁の平面的



(a) 橋桁標高の抽出



(b) 河床標高の抽出

図3 橋桁高さ h_b の算出に必要な橋桁標高と河床標高の抽出

な重心位置の最近傍のデータを抽出した。同じく、橋梁位置における浸水深のデータについては、内閣府の報告書⁹⁾に示された浸水深のデータから、橋桁の平面的な重心位置の最近傍のデータを抽出した。なお、重心位置から半径7m以内に数値が存在しない場合は浸水深を0mとしている。

4. 分析方法

浸水深 h を橋梁の橋桁高さ h_b で除した数値を浸水深比 η とし、浸水深 h と浸水深比 η を指標として、文献4)の被害関数を適用した上で対象とする道路橋梁の落橋確率を算出する。なお、浸水深 h における落橋確率 $R(h)$ は、標準正規分布の累積確率 $\Phi(h)$ を用いて対数正規分布で式(1)のようにモデル化されている。

$$R(h) = \Phi\left(\frac{\ln h - \mu_Y}{\sigma_Y}\right) \quad (1)$$

ここで、 μ_Y と σ_Y は $\ln h$ の期待値と標準偏差である。文献4)において、これらの回帰定数は確率紙を用いて線形回帰直線により算出されている。本研究で適用する、浸水深 h 及び浸水深比 η を指標とした被害関数を図4に示す。

5. 落橋確率の空間分布の特徴

対象とする道路橋梁に対して落橋確率の試算結果を図5に示す。なお、第2章で述べたように3通りの断層モデルを想定した場合の落橋確率を算出しているが、これらの中の最大ケースである「四国沖～九州沖」のケースのみを図5には図示している。数%のオーダーの落橋確率を示すと、実現象としては道路橋梁を含めた周辺地域のインフラにおいて物理的に甚大な津波被害のレベルとな

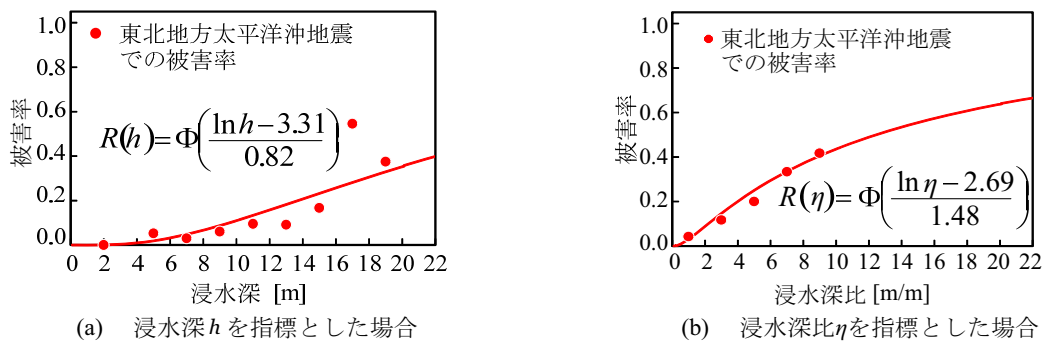


図4 文献4)によって構築された被害関数

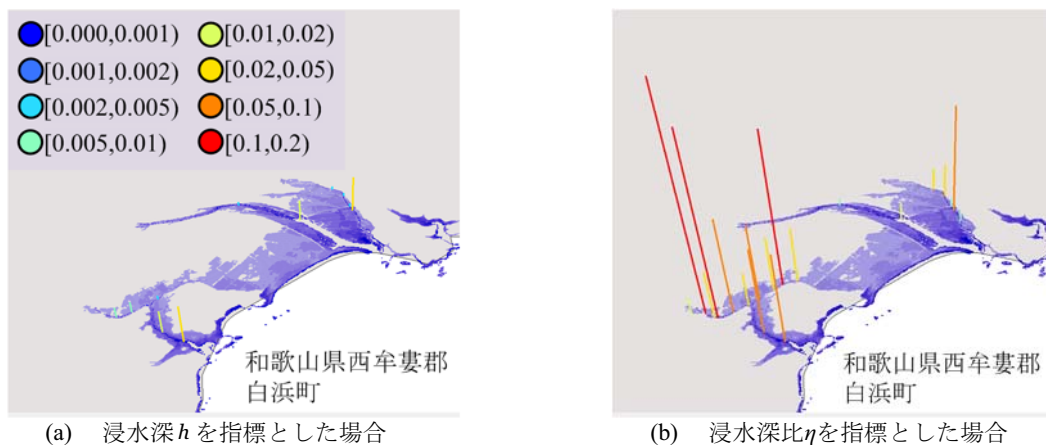


図5 橋梁位置における落橋確率の試算(断層モデル：四国沖～九州沖)

ることから、以降、試算で得られた落橋確率に対して0.01 (1%) 及び0.05 (5%) のオーダーを目安として考察を行なう。

断層モデルが「駿河湾～紀伊半島沖」のケースにおいて、浸水深 h を指標とした落橋確率が 0.01 以上となる橋梁は 1 橋梁のみであった。一方、浸水深比 η を指標とした落橋確率については 10 橋梁に及び、10 橋梁中、2 橋梁の落橋確率が 0.05 以上を示した。図 5 に示されている「四国沖～九州沖」のケースにおいては、浸水深 h を指標とした落橋確率が 0.01 以上となる橋梁は 4 橋梁で、浸水深比 η を指標とした落橋確率に対しては 16 橋梁となった。16 橋梁中、落橋確率が 0.05 以上となる橋梁は 7 橋梁、0.1 以上となる橋梁は 2 橋梁を示した。「愛知県沖～三重県沖及び室戸岬沖」のケースでは、浸水深 h を指標とした落橋確率が 0.01 以上を示した橋梁は 2 橋梁であったが、浸水深比 η を指標とした落橋確率が 0.01 以上となる橋梁は 13 橋梁で、これらの中の 5 橋梁が 0.05 以上を示した。

図 6 は「四国沖～九州沖」のケースにおいて橋梁の橋桁高さ h_d を考慮した上で、浸水深比 η と落橋確率の関係を示した結果である。図 6 より、浸水深比 η が 1.5 以上と高くなり、橋梁の橋桁高さ h_d が 3m 以下の低い橋梁に対して落橋確率が高くなることが明らかである。これは、津波波高が高く津波の波頭部が橋桁に入射し、橋梁に作用する津波波力が大きくなる場合だけでなく、橋桁高さ h_d が低くても水位が徐々に上昇する場合において落橋確率が大きくなる可能性を示唆している。一方で、津波波高が低いながらも、洗掘による橋台の被害⁸⁾を含み得るので浸水深比 η が 1.0 以下の落橋確率のモデル化に関しては再考の必要があろう。

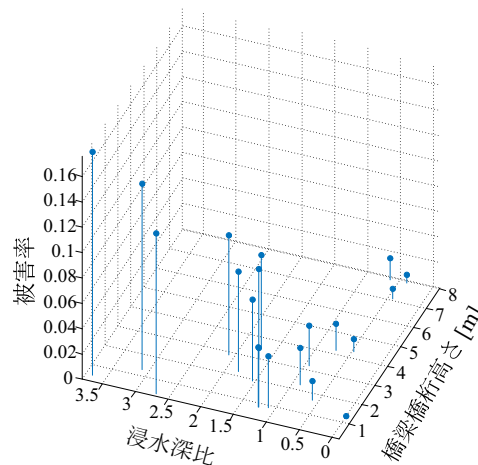


図 6 浸水深比 η 及び橋梁の橋桁高さ h_d と落橋確率の関係

6. 今後の課題

本研究では、津波の越流が橋桁高さ h_d に対して相対的に顕著でない地域を対象としたが、南海トラフ巨大地震津波による被害は太平洋沿岸の広域に影響を及ぼし、越流がより顕著となる場合も想定される。そのため、主に太平洋沿岸における橋梁位置の被害予測をより精度を高めて行うことは重要であり、今後、西日本全域に対して道路橋梁を対象とした津波被害推計を展開する予定である。

謝辞：本研究では道路ネットワークデータについて、千葉大学の丸山喜久先生に貴重なご助言を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部 HP
http://www.jishin.go.jp/main/yosokuchizu/kaiko/k_nankai.htm
- 2) 例えば, (社)土木学会 地震工学委員会 東日本大震災による橋梁等の被害分析小委員会: 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, 2015.8.
- 3) 中村友治, 庄司学: 橋梁構造物に入射する津波の時系列波形とその類型化, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.70, No.4, pp.I_210-I_218, 2014.
- 4) Nakamura, T. and Shoji, G. : Damage assessment of road bridges due to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake tsunami, Proceedings of the Second International Symposium on Earthquake Engineering, JAEE, Vol.2, pp.239-242, 2013.11.
- 5) 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-, 平成 24 年 8 月 29 日, 2012.8.
- 6) 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.
- 7) 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 土地利用細分メッシュ 都市地域土地利用細分メッシュ, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>.
- 8) 高橋和慎, 庄司学: 橋台周辺部の津波被害把握とその特徴, 第 17 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会, pp.147-153, 2014.