

南海トラフ地震による三重県沿岸部に架かる橋梁構造物の 地震・津波リスク評価に関する基礎的研究

早稲田大学 学生会員 ○磯辺 弘司, 小川 耀
早稲田大学 正会員 秋山 充良
東北大学 正会員 越村 俊一

1. はじめに

2011年の東北地方太平洋沖地震による津波により、東北地方の太平洋沿岸部にある多くの道路および鉄道の橋梁構造が被害を受けた^{1),2)}。歴史的に、この地域は繰返し津波による被害が報告されているが、橋梁構造が津波により被害を受けたのは初めてのケースである。この教訓に基づき、今後の発生が予想される南海トラフ地震などへの対策を急ぐ必要がある。一方で、津波ハザード下にある橋梁構造は、同時に地震ハザード下にもあるため、最も脅威となるハザードを抽出し、それへの対策を講じる必要がある。本研究では、南海トラフ地震を想定し、この影響を受けるとされる三重県沿岸部にある橋梁構造が強震動、あるいは津波により損傷する確率を算定し、その大小から対象地域にある橋梁構造に被害を及ぼす主たるハザードを同定する。

2. シナリオ地震と信頼性評価フロー

南海トラフ地震による強震動、および津波による橋梁構造の損傷確率算定フローを図-1に示す。ここに示す損傷確率は、想定地震が発生したとの条件下で得られる、いわゆる条件付損傷確率であり、地震ハザードや津波ハザード曲線とフラジリティカーブのコンボリュージョンから得られる参考文献1)や2)の損傷確率とは異なる点に注意されたい。

図-1のフローの最後に示される損傷確率の算定式において、 $P(E)$ は想定するシナリオ地震が発生する確率であり、本研究においては1.0となる。 $P[\Gamma=\gamma | E]$ はシナリオ地震が発生した際に、検討対象地点において地震動強度 Γ が $\Gamma=\gamma$ となる確率、 $P[D_e > C_a | \Gamma=\gamma]$ は $\Gamma=\gamma$ のときに橋梁構造の応答値 D_e が耐荷力や変形能の限界値 C_a を超える確率である。 $P[H=h | E]$ はシナリオ地震が発生した際に検討地点における津波波高 H が $H=h$ となる確率、 $P[D_e=f_w | H=h]$ は検討対象地点において $H=h$ のときに津波作用力 D_e が $D_e=f_w$ となる確率である。 $P[D_e > C_a | D_e=f_w]$ は、 $D_e=f_w$ のときに D_e が C_a を超える確率である。

断層評価の不確定性を考慮するため、断層パラメータのうち、すべり量を確率変数として扱った。想定断層から解析対象地点での強震動を予測する際には、参考文献3)に示される距離減衰式により地動最大加速度を求め、それから定めた強震動により非線形時刻歴応答解析を実施することで $P[D_e > C_a | \Gamma=\gamma]$ (強震動による損傷確率)

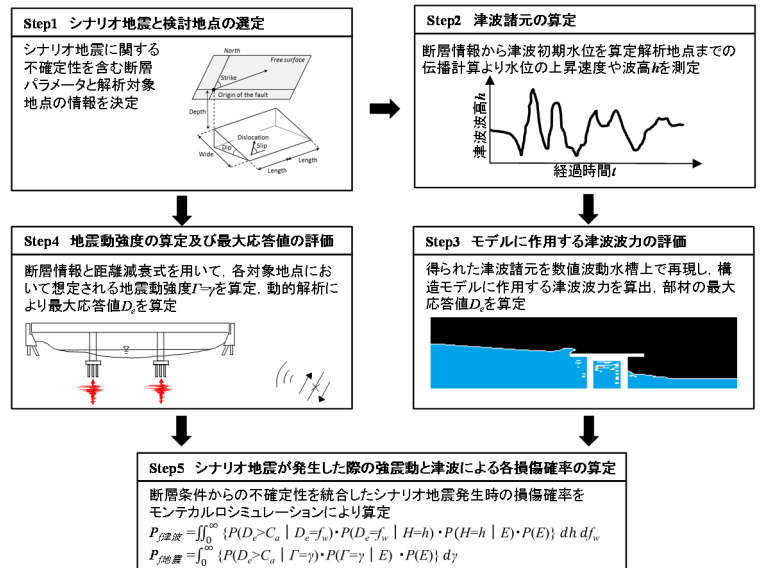


図-1 強震動・津波を受ける構造物の信頼性評価フロー

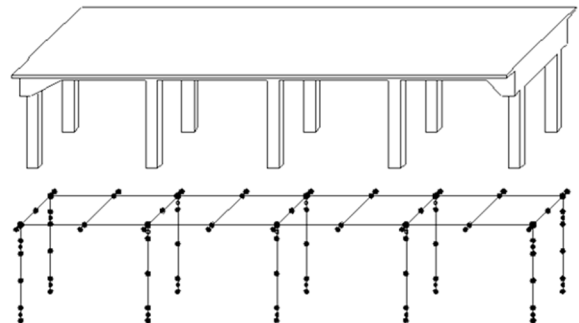


図-2 解析対象橋梁

Key Words : 津波, 南海トラフ地震, コンクリート構造物, 信頼性評価, フラジリティ解析

連絡先: 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 早稲田大学創造理工学部社会環境工学科 TEL:03(5286)2694

を求めている。一方、津波に関しては、想定断層に与える各すべり量から初期水位を計算し、非線形長波理論に基づく平面2次元津波解析モデル^{例えば 4)}を使用し、解析対象地点における津波波高と水位の上昇速度の時刻歴を求めた。そして、その津波波高の時刻歴から CADMAS-SURF/3D⁵⁾を用いて対象とする橋梁構造の各部位や部材に作用する波力を求める。最終的には、多質点骨組でモデル化した橋梁構造に対して、得られた波力を漸増载荷するプッシュオーバー解析を行い、 $P[D_e > C_a | D_e = f_w]$ (津波による損傷確率) を算定する。

3. ケーススタディ

本研究では図-1 に示した評価フローの適用性を検討するため、ケーススタディとして三重県尾鷲市に位置する河川の河口部、および同じ河川の上流2地点(河口より470mと950m地点)の計3地点において図-2 に示す仮想のRC1層ラーメン高架橋を想定し、南海トラフ地震が発生した際の強震動と津波による損傷確率の比較を行う。使用する断層パラメータは中央防災会議モデルの値⁶⁾を参照した。

Monte Carlo 法により得られた検討対象地点(河口部、河口より上流470m、および950m地点)における津波波高の確率密度関数を図-3 に示す。また CADMAS-SURF/3D により津波を再現し、図-2 の橋梁モデルに作用させることで得られた津波フラジリティカーブ(縦軸は $P[D_e > C_a | H=h]$) を図-4 に示す。ここで、損傷確率を算定する際の C_a はRC柱のせん断耐力とした。つまり、本稿で示す損傷確率は、RC ラーメン高架橋が津波によりせん断破壊する確率である。強震動に関しても図-1 のフローに従うことで、強震動によりRC ラーメン高架橋がせん断破壊する確率を求めた。

このケーススタディでは、高架橋位置に関わらず、強震動によりRC ラーメン高架橋が損傷する可能性が高いことから、耐震補強が優先されるべき対策と同定されることになる。当然、これらの結果は、高架橋が準拠した設計基準、あるいは高架橋位置により異なるものである。

4. まとめ

本研究では、南海トラフ地震を想定し、それによる強震動および津波により高架橋が損傷する可能性を算定し、対象構造物にとって最も脅威となるハザードの抽出例を示した。なお、本研究では、ラーメン高架橋を対象としたため、上部工の流出は想定していないが、桁橋などでは上揚力による上部工の流出はこの種の検討における重要な破壊モードである。また、断層パラメータの設定にも改善すべき点は多い。今後、提案フローの高精度化に努めたい。

謝辞 本稿の作成にあたり、産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門の吉見雅行博士より断層パラメータの設定について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) Akiyama, M., Frangopol, D.M., Arai, M., and Koshimura, S.: Probabilistic Assessment of Structural Performance of Bridges under Tsunami Hazard, *Proceedings of 43rd Structures Congress*, March 29-31, Chicago, USA, 2012. 2) Akiyama, M., Frangopol, D.M., Arai, M. and Koshimura, S.: Reliability of bridges under tsunami hazards: Emphasis on the 2011 Tohoku-Oki Earthquake, *Earthquake Spectra*, 29(S1), S295-S314, 2013. 3) 野津厚, 上部達生, 佐藤幸博:工学的基盤における最大加速度の断層面からの距離減衰の検討, 第2回阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集, pp27-34, 1997. 4) Goto, C., Ogawa, Y., Shuto, N. and Imamura, F.: Numerical method of tsunami simulation with the leap-frog scheme, IUGG/IOC Time Project, 1997. 5) 一般財団法人沿岸開発技術研究センター: 数値波動水路の研究・開発, 2001. 6) 中央防災会議:第16回東南海・南海地震等に関する専門調査会, 2003.

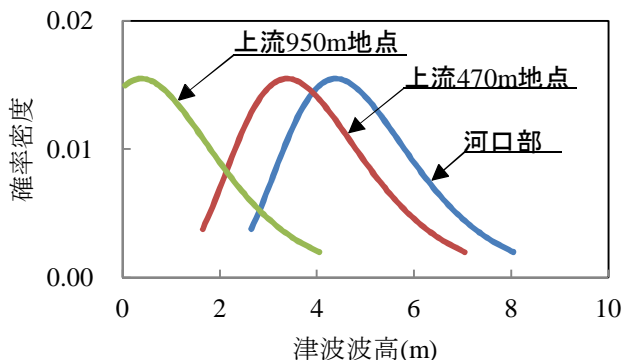


図-3 津波波高の確率分布

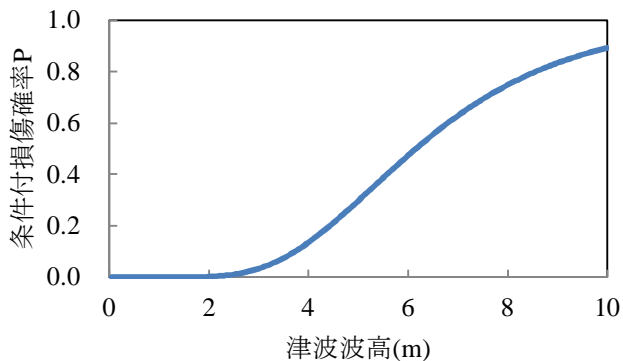


図-4 津波フラジリティ曲線

表-1 損傷確率の算定結果

	$P_{f\text{津波}}$	$P_{f\text{地震}}$
河口部	0.300	0.361
上流470m	0.181	0.361
上流950m	0.015	0.361