

南海トラフ地震を想定した三重県尾鷲市・高知県黒潮町にある 道路橋の耐震・耐津波信頼性評価

早稲田大学 学生会員 ○河合 祐美, 磯辺 弘司, 名波 健吾
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

首都直下地震や南海トラフ地震の切迫性が高まる中、今後、限られた予算の中で効率的に地震や津波に対する対策を講じる必要がある。その一つの作業は、対象とする地域やネットワークの中にある構造物の中で、どの位置にある構造物がどのハザードに対して最も脆弱であるのかを同定することである。著者らは、この背景のもと、南海トラフ地震の影響を受ける地域にある構造物の強震動と津波による損傷確率の算定フローを提案している。ただし、これまでは、津波による損傷確率の計算をする際に、強震動による損傷は生じていないものと仮定していた。当然のことながら、強震動により生じる損傷が津波作用時の構造物の破壊可能性を高めると思われる。そこで本研究では、強震動により生じる損傷の程度を考慮した確率計算を行うように、既往の提案フローを更新した。そして、三重県尾鷲市と高知県黒潮町にある道路橋を対象に信頼性の計算例を提示した。

2. 地震・津波ハザードを受ける橋梁構造物の信頼性評価フロー

特定のシナリオ地震の発生を仮定した場合に、強震動と津波による橋梁の損傷確率算定のためのフローを図-1に示す。強震動による橋梁の損傷確率の算定式は図中に示している。ここで、想定するシナリオ地震が発生する確率は、本研究においては1.0として計算している。

$P_{fs}(i)$ は、強震動によって損傷度が ds_i を超える確率である。 $f_{\Gamma}(\gamma)$ は地震動強度の確率密度関数であり、 $P(DS_i > ds_i | \Gamma = \gamma)$ は地震動強度 $\Gamma = \gamma$ の時に損傷度 DS_i が ds_i を超える確率である。津波による橋梁の損傷確率の算定式も図中に示されており、 $P_{ft}(i, j)$ は、強震動によって損傷度が ds_i となった橋梁が津波により ds_j を超える損傷度となる確率を表す。

$f_H(h)$ は H に関する確率密度関数で

あり、 $f_{F_w|H}(f_w|h)$ は津波波高 H が h となるときの F_w の確率密度関数である。また $P(DS_j > ds_j | F_w = f_w, DS_i = ds_i)$ は、 DS_i が ds_i であり、同時に津波波力 F_w が f_w となるときに、 DS_j が ds_j を超える確率である。このとき、強震動により発生した橋脚部の剛性低下・残留変位を津波水平波力を用いたプッシュオーバー解析による照査時に、また支承部の損傷を桁の浮上りに関する照査時に考慮することで、強震動による損傷を津波作用時の評価に引き継ぎ、強震動と津波を一連の外力として扱っている。なお、断層のモデル化には不確実性が存在するが、本研

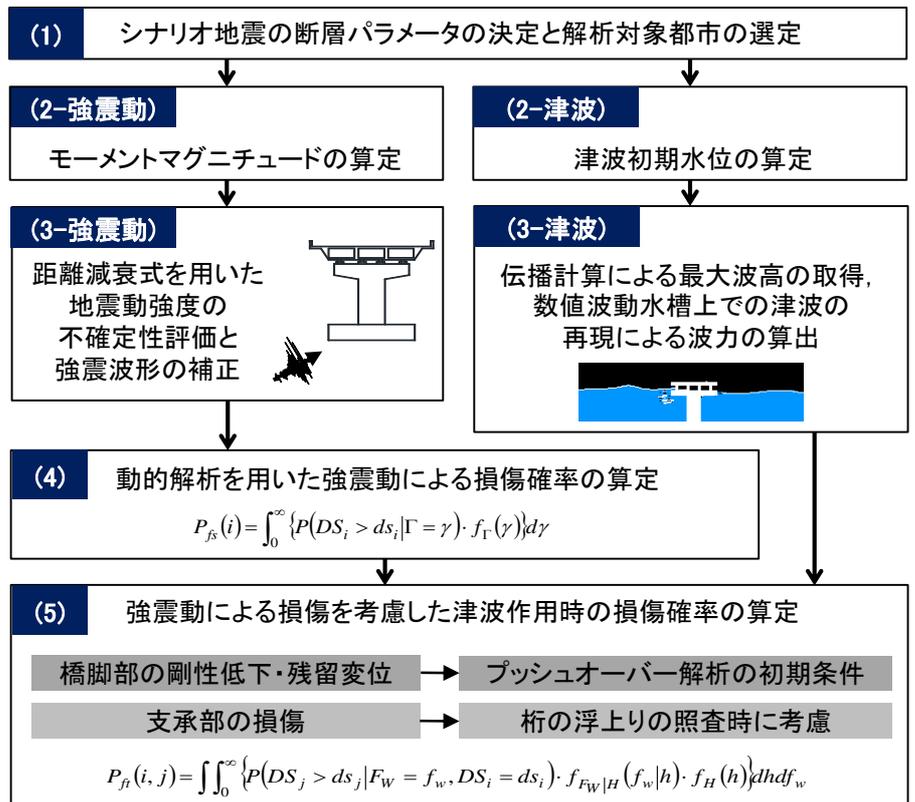


図-1 地震・津波ハザードを受ける土木構造物の信頼性評価フロー

キーワード 南海トラフ地震, 津波, 橋梁構造物, 損傷確率, フラジリティ解析

連絡先 〒169-0072 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

究では内閣府「南海トラフ地震モデル検討会」¹⁾の平均応力降下量およびすべり角にばらつきを与えることで評価した。また動的解析で使用する加速度波形は、司・翠川²⁾の距離減衰式から得た最大加速度となるように、検討会の想定する強震波形(100波)を振幅調整することで得た。一方、津波の評価に関しては断層パラメータから初期水位を計算し、非線形長波理論を用いた平面二次元津波解析モデル³⁾による津波伝播計算を行うことで、検討対象地点での最大波高を得る。次に数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D⁴⁾から橋梁に作用する水平波力を算定する。また、上揚力により上部工が流出するケースを考慮し、支承が破壊された場合も橋梁の損傷と見なす。これらを基に、橋梁の強震動および津波による損傷確率を算定する。

3. ケーススタディ

前章で提示したフローを用いて三重県尾鷲市と高知県黒潮町にある橋梁を対象にケーススタディを行う。解析対象都市のそれぞれ河口部を想定し、参考文献5)から現行耐震基準を満足する橋脚を試設計した。地盤種別はI種地盤であり、橋脚高さ8m、そして上部工は桁橋を想定した。強震動に関しては、モンテカルロシミュレーション(MCS)を用いた動的解析により、地震波を橋梁に繰り返し作用させることで図-2の地震 fragility 曲線を得た。また津波についても同様に断層の不確定性を考慮して津波波高の確率密度関数をMCSにより得る。次に、伝播計算で得られた周期特性を考慮してCADMAS-SURF/3Dの中で津波を造波し、得られた波圧を橋梁に作用させることで図-3の津波 fragility 曲線を得た。このとき、強震動による橋脚部分の剛性低下や残留変位、あるいは支承部の損傷を津波作用時の照査の際に考慮している。なお、津波上揚力に関しては、2011年東北地方太平洋沖地震での観測結果に基づき、上部工が浸水した場合に確率0.581で流出するとした。

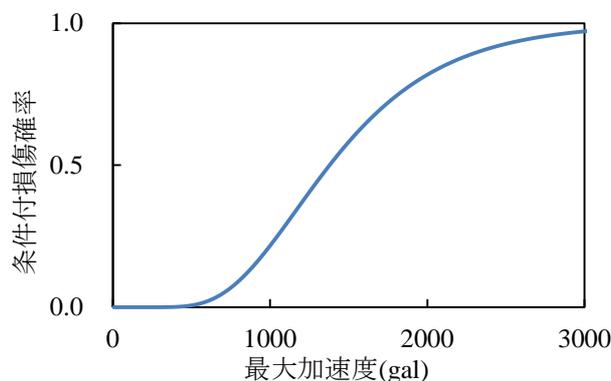


図-2 地震 fragility 曲線

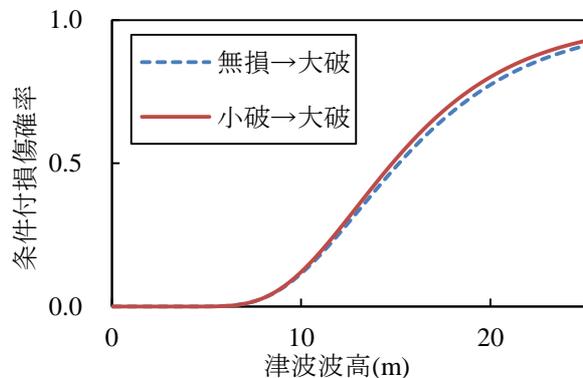


図-3 津波 fragility 曲線

損傷確率の算定結果を表-1に示す。強震動・津波ともに、高知県黒潮町にある橋梁の損傷確率が大きいという結果が得られた。

表-1 損傷確率の算定結果

	黒潮町	尾鷲市
強震動	0.427	0.198
強震動+津波	0.706	0.329

4. まとめ

本研究では、南海トラフ地震が発生した際に、強震動および津波により橋梁構造物が損傷する確率を算定し、地点ごとのハザードの大きさの比較例を提示した。その際、強震動により生じる損傷が津波による橋梁の破壊可能性を高める影響を考慮している。今後は、提案手法を強震動と津波の影響を受ける道路ネットワークに適用し、個別構造物の損傷がネットワークの機能低下に及ぼす影響を評価する。

謝辞 本研究を進める上で、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方法に関する貴重なご助言を賜りました。また、本研究の一部は、JSPS 科研費 JP16H02357 の助成を受けております。ここに記して謝意を表します。

参考文献 1) 内閣府:南海トラフの巨大地震モデル検討会, 2015. 2) 司宏俊, 翠川三郎:断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, No.523, pp63-70, 1999. 3) Goto, C., Ogawa, Y., Shuto, N. and Imamura, F.:Numerical method of tsunami simulation with the leap-frog scheme, IUGG/IOC Time Project, 1997. 4) 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. 5) 米田慶太ほか:試設計に基づく耐震技術基準の改訂に伴う RC 橋脚およびくい基礎の耐震性向上度に関する検討, 構造工学論文集, Vol.45A, pp.751-762, 1999.