

南海トラフ地震を想定した橋梁・盛土構造物の 耐震・耐津波信頼性評価に関する基礎的研究

早稲田大学 学生会員 ○名波 健吾, 神長 悠樹, 磯辺 弘司, 竹本 梨香
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。一方、強震動や津波作用の予測には、依然として大きな不確定性が介在することは避けられず、そのような不確定性存在下において脆弱性評価を実施する必要がある。本研究では、三重県尾鷲市にある橋梁・盛土構造物を対象として、強震動と津波による損傷確率を比較し、対策優先度を判定する一連のフローを提示する。

2. 地震・津波ハザードを受ける橋梁・盛土構造物の信頼性評価フロー

特定のシナリオ地震から発生する強震動および津波により橋梁や盛土構造物が損傷する確率の算定フローを図-1に示す。橋梁を例とした損傷確率の算定式を図-1中に示している。

強震動による橋梁の損傷確率 $P_{f \text{ 地震}}$ は、地震の発生確率 $P(E)$ (本研究ではシナリオ地震の発生を想定しているため 1.0)、地震発生時に検討地点で地震動強度 Γ が特定の値 γ となる確率 $P(\Gamma=\gamma|E)$ 、および $\Gamma=\gamma$ の時に橋梁に生じる最大応答値 D_e が限界値 C_a を超える確率 $P(D_e > C_a | \Gamma=\gamma)$ を掛け合わせ、 γ に関して積分する。津波による橋梁の損傷確率 $P_{f \text{ 津波}}$ は、地震の発生確率 $P(E)$ 、地震発生時に検討地点で想定される津波波高 H が h となる確率 $P(H=h|E)$ 、波高が $H=h$ となるときに波力 D_e が特定の値 f_w となる確率 $P(D_e=f_w|H=h)$ 、および f_w のときに最大応答値が限界値を超える確率 $P(D_e > C_a | D_e=f_w)$ を掛け合わせ、 h と f_w に関して積分する。

断層のモデル化に伴う不確定性は極めて大きく、様々なパラメータが確率量となり得るが、本研究では、内閣府「南海トラフ巨大地震モデル検討会」¹⁾の平均応力降下量の統計量を用いてそれを表現することにした。強震動に関しては、野津ら²⁾の距離減衰式を用いることで対象構造物地点の最大加速度を推定し、その値を持

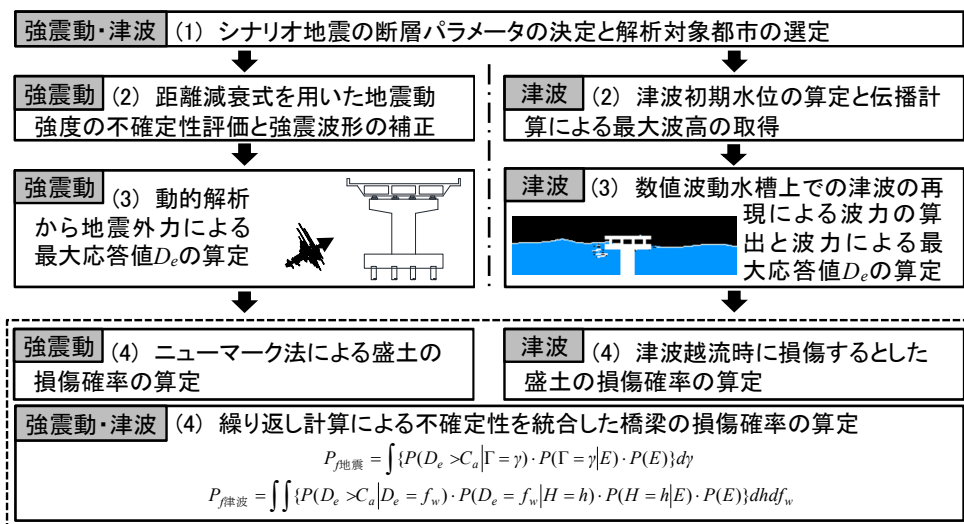


図-1 地震・津波ハザードを受ける土木構造物の信頼性評価フロー

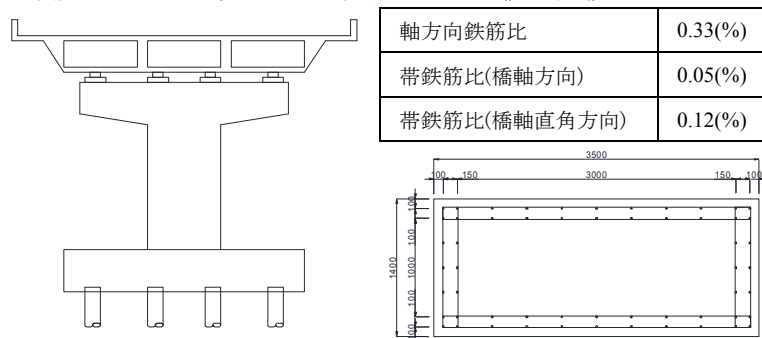


図-2 橋脚モデル

キーワード 南海トラフ地震, 津波, 橋梁構造物, 盛土, 損傷確率, 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

つように検討会が作成した強震波形(100 波)を振幅調整し、動的解析に用いた。

津波に関しては、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い、対象構造物地点の最大波高を得た。そして、数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D⁴⁾を用いて橋梁に作用する水平波力を算定している。鉛直波力は別途、津波波高から既往の経験式により算定し、上部工が流出する確率を求めている。

一方、盛土は、強震動に対しては修正フェレニウス法の安全率⁵⁾が 1.0 を下回る場合に損傷するとした。津波による損傷確率は、幸左⁶⁾の研究に基づき、津波が盛土を一定高さ以上越流する場合に損傷するとした。

3. ケーススタディ

三重県尾鷲市にある橋梁と盛土を対象にケーススタディを行う。橋梁は、図-2 に示す昭和 41 年発行の書籍⁷⁾を基に試設計したものが同一河川上の地点 A(河口部)および地点 B(上流約 700m 地点)にあると仮定した。想定した地盤種別は I 種地盤であり、橋脚高さは 4m とした。盛土に関しては、海岸線から約 800m 離れた地点 C に高さ 3m、内部摩擦角 45° を用いた盛土があるとした。

対象橋梁の津波および強震動に対する fragility 曲線をそれぞれ図-3 および図-4 に示す。この fragility 曲線から求められる橋梁の損傷確率、および同様に計算した盛土の損傷確率の一覧を表-1 にまとめて示す。対象橋梁は、震度法で耐震設計されたものであり、また、今回用いた地震シナリオと選定地点では、強震動の影響が津波よりも卓越しており、結果として、橋梁の地震対策が最も優先的に取り組まれるべき事項となった。当然のことながら、これらの結果は、対象構造物や地点により異なるものであり、今後、他の太平洋沿岸部の地域を対象とした検討も必要である。

4. まとめ

本研究では、南海トラフの影響を受ける三重県尾鷲市にある橋梁と盛土構造物を対象として、それらが地震と津波により損傷する確率を提示した。マルチハザードを受ける構造物の信頼性解析は、対象地点の中で最も脆弱な構造物の同定を可能にするものである。なお、本来は、単に構造物の損傷可能性の大小だけでなく、構造物が損傷することで引き起こされるネットワークへの影響度まで考慮したリスクによる比較がなされるべきである。ネットワークを対象とした Risk-based あるいは Resilience-based な検討に引き続き取り組みたい。

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設定方法に関する貴重なご助言を賜りました。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) 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. 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) 財団法人鉄道総合技術研究所編:鉄道構造物等設計基準・同解説―土構造物, 丸善株式会社, pp.65-69, 2007. 6) 幸左賢二, 宮島昌克, 藤間功司, 庄司学, 小野祐輔, 重枝未玲, 廣岡明彦, 木村吉郎:津波による道路構造物の被害予測とその軽減策に関する研究, 道路政策の質の向上に資する技術研究開発成果報告レポート, No.19-2, pp.33-40, 2010.6. 7) 下部構造研究会:橋台, 橋脚の設計々算例及解説, 現代社, 1966.

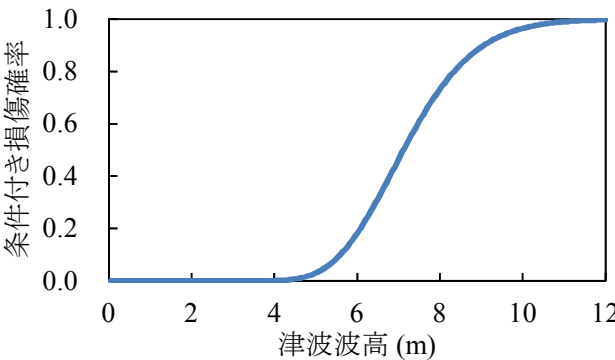


図-3 津波 fragility 曲線

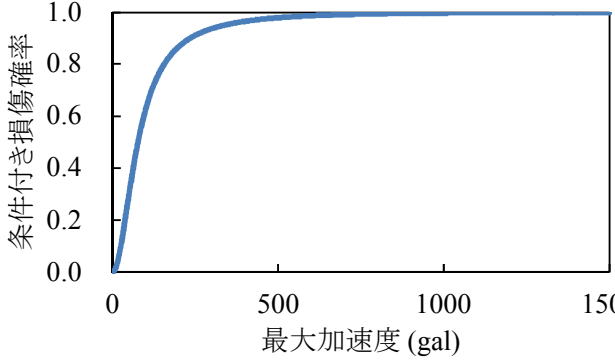


図-4 地震 fragility 曲線

表-1 損傷確率の算定結果

	強震動	津波
橋梁(地点 A)	0.912	0.217
橋梁(地点 B)	0.912	0.042
盛土(地点 C)	0.047	0.024