

津波による橋桁の流出判定手法の確立とその有効利用に関する検討

長岡技術科学大学大学院 主指導教官 下村 匠
コンクリート研究室 桐本 翔平

1. 背景

2011年3月に発生した東北太平洋沖地震津波により、岩手県から福島県を中心とした東北地方周辺で多くの橋梁の流出被害が発生した。我が国では、今後、南海トラフ地震による大規模な津波の発生が想定されていることから、既存の橋梁に対する流出判定及びその効率的な適用方法の考案が急務となっている。

南海トラフ地震のように、今後発生が想定されている津波に対しては、各地方自治体により津波ハザードマップが作成されている。この津波ハザードマップは日本全国に既に整備がされているため、これを利用して橋梁の流出判定を行うことができれば、日本全国にある橋梁を効率的に判定することが可能である。

そこで、本研究では日本全国に整備されているハザードマップを利用した橋梁の流出判定手法の確立を目的として、津波ハザードマップの構築及び橋桁の流出判定式の提案を行った。さらに、東北地方太平洋沖地震を再現した検討を行い、提案した流出判定手法の妥当性について検証を行った。

2. 流出判定の流れ

東北地方太平洋沖地震を対象とした、津波浸水想定解析を行い、岩手県陸前高田市及び宮城県気仙沼市のハザードマップの作成を行い、浸水深及び流速の抽出を行うこの2つのデータから流出判定を行うことが可能な流出判定式の確立を行った。

3. 津波ハザードマップの作成

今回対象とした東北地方太平洋沖地震は、津波ハザードマップが無い場合、実際に整備されているハザードマップと同様の作成手順によって津波ハザードマップの作成を行った。対象地域は図-1に示す岩手県陸前高田市及び宮城県気仙沼市とした。津波の伝播および遡上は、平面2次元非線形長波方程式で計算を行った。津波浸水想定解析の様子を図2に、解析結果より得られた津波ハザードマップを図3に示す。また、この津波ハザードマップから抽出した陸前高田市の最大浸水深のデータを図4に、最大流速のデータを図5に示す。

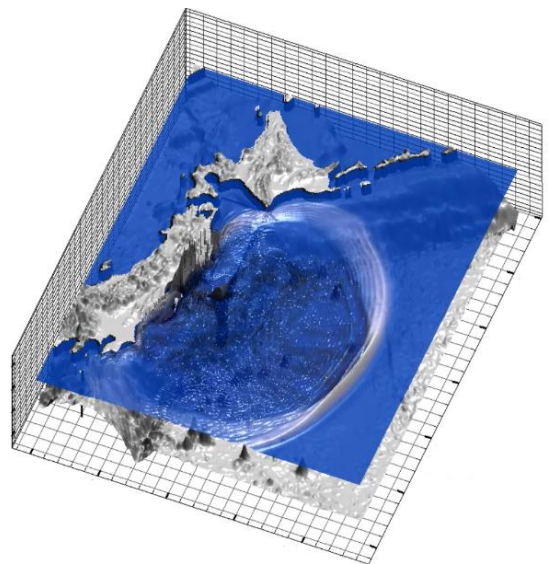


図-2 津波浸水想定解析(東北地方太平洋沖地震)



図-1 対象地域(岩手県 陸前高田市)

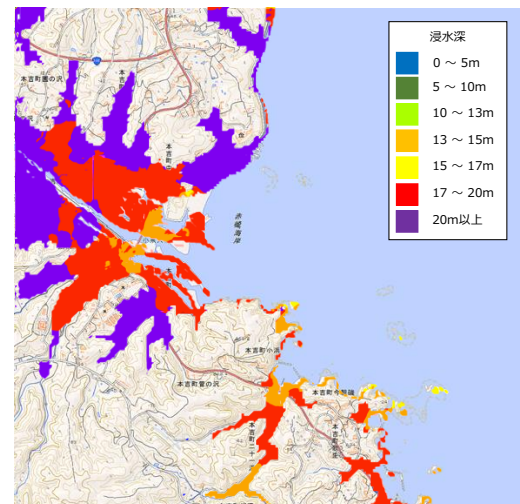


図-3 作成した津波ハザードマップ(気仙沼市)

4. 津波の流体力に基づいた橋桁の流出判定式の検討

津波ハザードマップにより得られる浸水深及び流速のデータを用いて流出判定を行うための流出判定式を検討した。津波が作用すると、橋梁には水平力及び鉛直力が発生する。水平力は幸左らによって算出方法が考案されている。鉛直力は多くの既往研究において下向きに作用する結果が得られているため現在は考慮されていない。しかし、上向きの鉛直力が作用するケースや、鉛直力により浮き上がったと思われる橋梁が多数確認されているため、今回は橋梁に作用する鉛直力を考慮することとした。鉛直力の検討には、図-6に示すような自由水面を考慮した気液二相流解析が可能なオープンソースのOpenFOAMをよる解析を行った。その結果から鉛直力のモデル化を行い、既往研究で報告されている鉛直力の傾向と一致することが確認された。

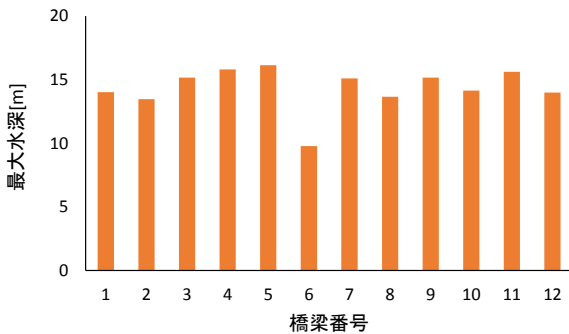


図-4 ハザードマップから抽出した最大浸水深

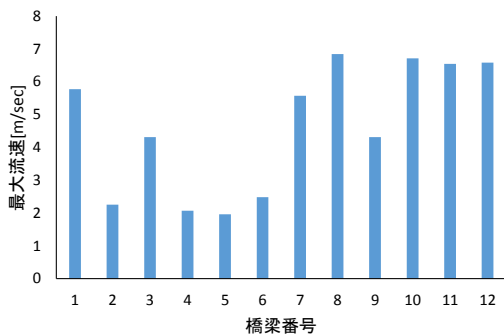


図-5 ハザードマップから抽出した最大流速

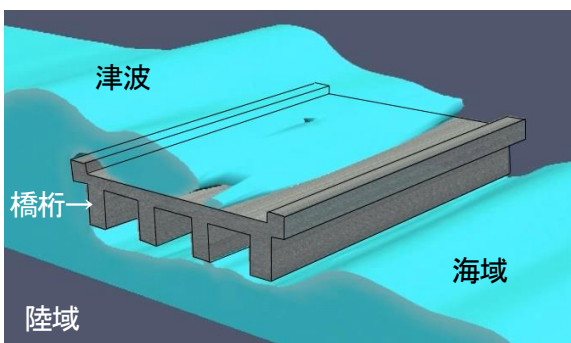


図-6 VOF 法による気液二相流解析の計算結果

5. 流出判定手法の確立

橋桁に作用する津波の条件を変化させた 56 ケースの計算を行い、その結果を整理することで、式(1)~(5)の判定式を得られた。このモデル式を導入することで、既往研究で報告されている水平力に加え、新たに鉛直力を考慮した橋梁の流出判定手法を確立した。式(5)に示す安全率 β が 1 より大きい橋梁は津波に対して安全であり、1 より小さい橋梁は津波に対して危険であり流出被害が発生する。

$$F_x = \frac{1}{2} \rho_w C_D v^2 A_F \quad (1)$$

$$F_z = \frac{1}{2} \rho_w C_L v^2 A_L + B \quad (2)$$

$$C_L = \begin{cases} 0.3 & (Fr \leq 0.5) \\ -5.288Fr + 2.934 & (Fr > 0.5) \end{cases} \quad (3)$$

$$Fr = v / \sqrt{gh} \quad (4)$$

$$\beta = \mu(W - F_z) / F_x \quad (5)$$

6. 流出判定結果の検証

実際の被害状況と比較した結果を図-7に示す。 β が 1 より小さい場合、橋梁が流出すると判定する。また、図中の○が判定結果と実際の被害が一致した橋梁、×が相違した橋梁を示している。急激な地形の変化や桁下空間に空気が溜まりやすい構造などの特殊な条件を除けば、橋梁の流出状況を概ね再現することができた。これから、津波ハザードマップによって、橋梁の流出判定が行えることが示された。

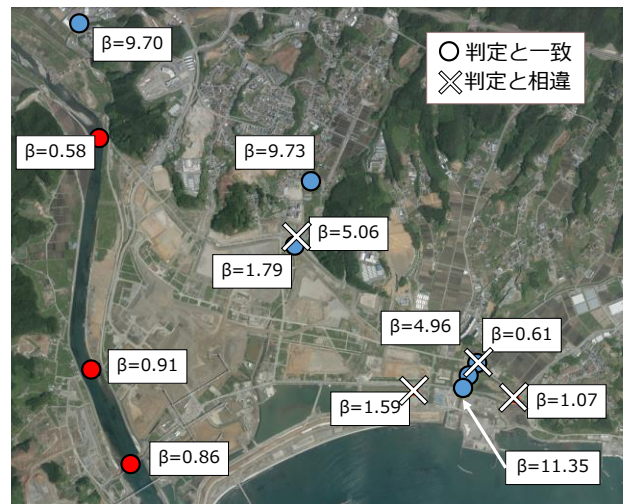


図-7 判定結果と被害状況との比較(陸前高田市)