

第 I 部門

橋脚の津波に対する安全性に関する基礎的検討

立命館大学大学院理工学研究科 学生員 ○太田 将成
立命館大学理工学部 正会員 川崎 佑磨
立命館大学理工学部 フェロー 伊津野 和行

1. はじめに

2011 年に発生した東日本大震災は、東北地方に甚大な被害を与え、多くの橋梁が津波によって流出した。橋梁が流出すると、貴重なインフラの損失だけではなく、交通網が寸断されることにより人命救助や物資の遅延に繋がる。従来は橋桁に作用する津波のみを対象とした研究が多く、橋脚まで考慮した研究はまだ少ない。そこで本研究では、橋脚の対津波設計を考えるため、橋脚を含めた橋梁モデルで水理実験および数値解析を行った。桁と橋脚に作用する圧力から橋脚基部に作用する断面力を計算し、耐震設計で考慮する断面力との比較から、津波波力に対する橋脚の安全性について検証した。

2. 水理実験概要

本実験では図 1 に示す実験装置を用いた。貯水槽と水路の間には上下に開閉可能なゲートを設け、ゲートから水路流れ方向 2500mm の位置に橋梁模型を設置した。津波の発生方法としては、ゲートを急開させることで、碎波段波の津波を発生させた。実験模型は図 2 のように 4 主桁の鈹桁橋を約 1/100 スケールで再現し、下部構造には壁式小判型の橋脚を再現した。津波波力は、図 3 のように桁模型の側面とロードセルを模型支持具で繋ぎ、計測した。また、液体と気体の 2 相流解析ができる OpenFOAM を用いて数値解析も行った。

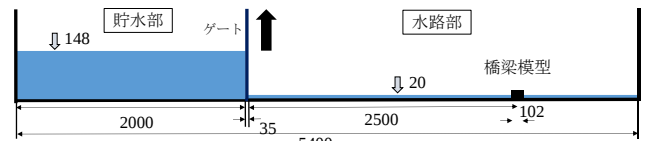


図 1 実験装置 (mm)

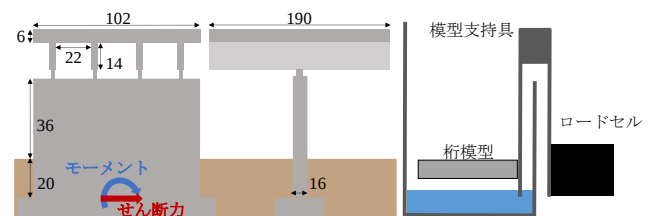


図 2 実験模型寸法 (mm)

図 3 計測方法

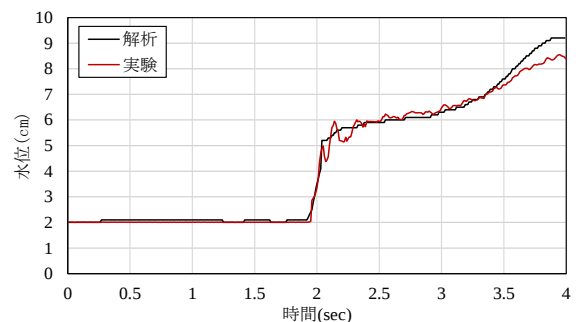


図 4 模型中心から 30cm 手前の水位

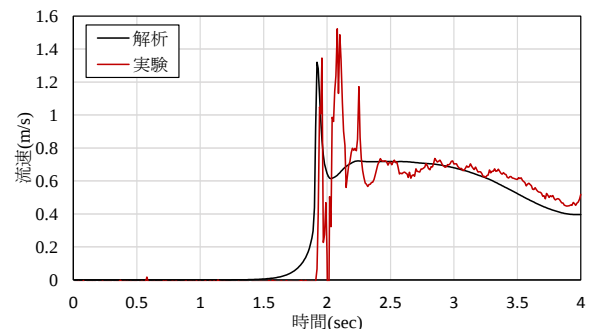


図 5 模型中心から 30cm 手前の流速

3. 再現した津波

東日本大震災で発生した津波の流速は5~8m/sと推定されており、実験値 0.5~0.8m/s の範囲を目標とした。図 4、図 5 に模型中心から手前 30cm の位置の波高、流速を示した。ゲート開放時を 0 秒とした。図 4、図 5 より、津波が計測点に到達すると、急激に水位と流速が上昇し、水位は桁がちょうど水没する約 6cm、流速は最大となった。その後、流速は 2.5 秒で約 0.7m/s となり徐々に低下した。3 秒以降には橋梁模型に反射した波の影響で再び水位が上昇した。実験結果と OpenFOAM による解析結果を比較すると、実験で得られた津波先端部の流速は空気を含むため波形が乱れ、流速の立ち上がり時間も検出器を初期水位より高く設置したため、実験結果と解析結果は異なった。一方、水位と津波到達時以降の流速の結果はよく一致している。

4. 水理実験結果と数値解析結果の比較

図6は抗力, 図7は揚力の実験結果を解析結果と比較して示したものである. また, 実験結果は津波衝突後から, 模型の振動の影響を受けた波形が計測されており, 波形を平滑化するために10Hzのローパスフィルター処理も行った. しかし, 処理後の津波波力で最大値を評価すると結果を過小評価してしまう可能性があるため, 持続波圧の考察にだけ用いた. 図6より, 抗力は津波が橋桁衝突直後に急激に増大し, 最大値に達することがわかった. その後, 抗力は徐々に低下した. 図7より, 揚力は津波が床版張出部に作用することで上向き最大値に達し, その直後, 津波衝突時に剥離した波が橋桁上部に再付着することで下向き最大値に達することがわかった.

次に, 実験値と解析値を比較すると津波衝突時に発生する最大抗力, 最大上向き鉛直力, 最大下向き鉛直力はよく一致している. 一方, 持続波圧の解析値は実験値を過大評価する結果となった. 流況を比較すると, 津波衝突時は実験結果を再現できているが, 持続波圧時に橋桁上面を流れる流量は解析の方が多い. 桁端における波の剥離に関する解析精度を上げる必要がある.

5. 耐震設計で考慮する断面力との比較

数値解析の結果から橋脚基部に作用する断面力を計算し, 橋脚の安全性について検証した. 図2の上部構造と壁式小判型橋脚を実橋寸法に換算したものを対象とした. 耐震設計に用いられる地震動はタイプⅡ標準加速度応答スペクトルを用いた. 図8, 図9で橋脚基部に作用するせん断力と曲げモーメントを比較した. 例として, 図8と図9を用いてⅡ種地盤に架橋されている橋脚の安全性を評価すると, せん断力の場合橋梁の固有周期が0.11~2.0秒の範囲, 曲げモーメントの場合0.3~1.3秒の範囲で津波による断面力が耐震設計で考慮する断面力を下回った. そのため, 0.3~1.3秒の固有周期をもつ橋梁の橋脚基部は地震力の方が本実験で考えた津波波力よりも大きくなる. 一方, それ以外の固有周期をもつ橋梁の橋脚基部においては対津波設計を行う必要があると考えられる.

6. まとめ

桁と橋脚に作用する圧力から橋脚基部に作用する断面力を計算し, 耐震設計で考慮する断面力との比較から, 津波波力に対する安全性について検証した. ただし, 本研究では実験で用いた碎波段波の津波に対してのみ検討したため, 別の形状や大きさの津波に対しても検討が必要である.

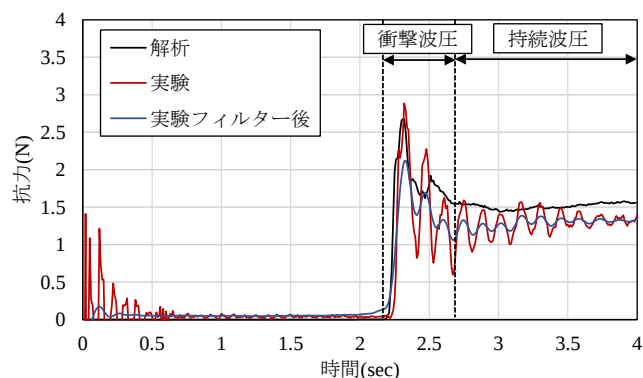


図6 抗力

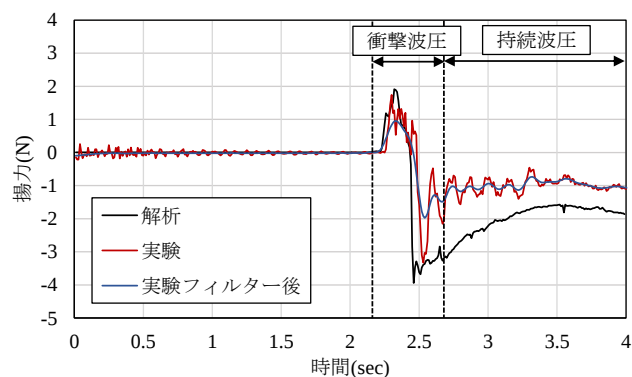


図7 揚力

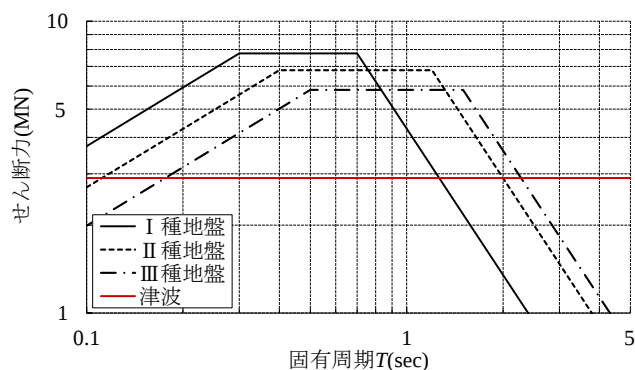


図8 橋脚基部の断面に作用するせん断力

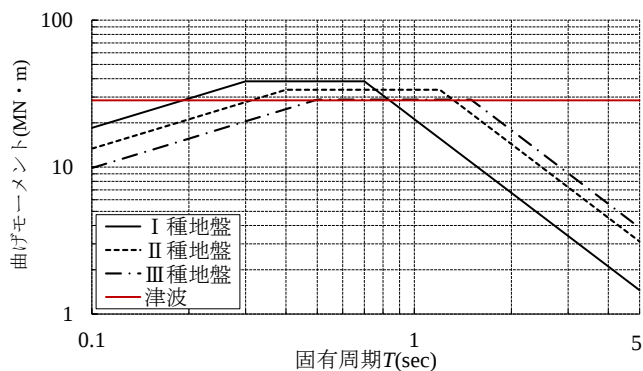


図9 橋脚基部の断面に作用する曲げモーメント