

水面勾配が緩やかな孤立波による橋梁上部構造への作用津波力評価に関する数値解析

三菱重工業(株) 正会員 ○四條 利久磨

(株)高速道路総合技術研究所 正会員 青木 圭一 正会員 広瀬 泰之

三菱重工鉄構エンジニアリング(株) 正会員 鈴木 俊光 正会員 横山 薫

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う津波により、多数の橋梁が流出した。今後、南海トラフ地震など巨大地震による津波の来襲が危惧されるなか、津波発災時の道路ネットワーク網を保持するためにも、津波による橋梁構造物の被害を適切に評価し、起こり得る被害を最小限に抑える方法を検討する必要がある。著者らはこれまでに、汎用の流体解析コードとVOF法(Volume of Fluid Method)を用いた数値解析によって、周期の短い孤立波により箱桁断面に作用する津波波力の再現を行ってきた¹⁾。本研究では、様々な津波入射波形状に対する数値解析の適用性検証のため、水位が徐々に上昇する水面勾配が緩やかな津波を対象とした水路模型実験²⁾の再現計算を行い、断面周りの流れや作用波力を比較検討した。

2. 数値解析手法と解析条件

2.1 数値解析手法

津波の自由表面の決定にはVOF法を採用し、水と空気の2相流として流体をモデル化した。支配方程式は以下で示す連続式とNavier-Stokes方程式である。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial (\rho \mathbf{u})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u}) = -\nabla(p) + \mu \nabla \cdot (\nabla \mathbf{u}) + \rho \mathbf{g} \quad (2)$$

$$\rho = \phi \rho_1 + (1 - \phi) \rho_2 \quad (3)$$

ここで、 \mathbf{u} :流速ベクトル、 p :圧力、 μ :流体の粘性係数、 \mathbf{g} :重力加速度ベクトル、 ρ_1 :水の密度、 ρ_2 :空気の密度、 ϕ :水の充填率($0 \leq \phi \leq 1$)、 ρ :水と空気の混在を考慮した見かけの密度である。式(1)と式(2)の空間離散化には有限体積法を用い、流速と圧力の連成解法にはSIMPLE法を採用した。解析には汎用流体解析コードであるANSYS社のFLUENTを用いた。

2.2 解析条件

図1に解析領域の概要を示す。解析では水槽の一部を再現し、境界条件については、解析領域端面および底面を壁面境界条件(No-slip条件)、解析領域上面を出口圧力境界条件とした。また、解析領域左端の境界は移動壁条件として造波板を模擬し、実験で用いた造波板の動きを移動計算格子で直接模擬することにより津波を生成した。解析でははじめに、橋梁モデルの無い状態で通過波再現解析を行い、モデル設置位置における水位、流速波形について実験結果との比較を行い整合性を確認した。次に、実験と同様に造波板初期位置前から9mの位置に橋梁モデルを再現し、通過波再現解析で生成した波を橋梁モデルに作用させて断面周りの圧力を積分することで津波波力を算定した。

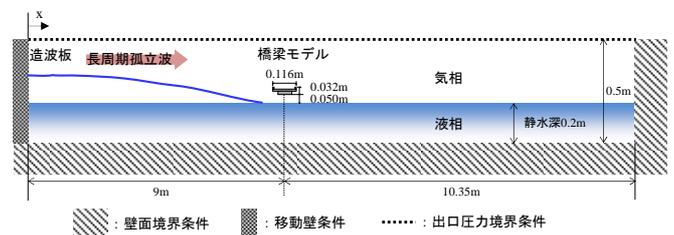


図1 解析領域の概要

3. 解析結果

3.1 通過波再現解析

橋梁モデル設置位置中心における水位と流速について実験と解析の比較を図2に示す。横軸の時間は造波板の稼働開始を0秒と定義した場合の時間を示す。なお、水位、流速は実験、解析とも橋梁モデルが無い状態での値で、流速は橋桁下フランジ下面高さ(静水深

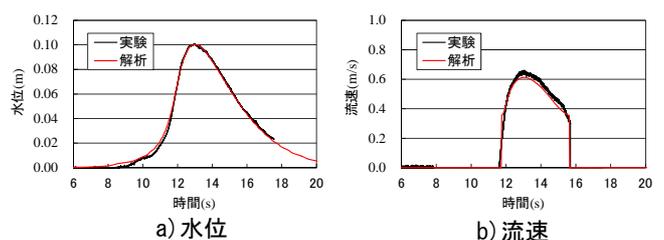


図2 橋梁モデル設置位置の通過波時系列

キーワード : 津波, 橋梁, 箱桁, 波力, 数値解析, VOF法

連絡先 : 〒851-0392 長崎県長崎市深堀町 5-717-1 三菱重工業(株) 長崎研究所 流体研究室 TEL:095-834-2820

面から50mm上方位置)における値である。

図2より、流速最大値は解析の方がやや小さいが、水位、流速波形は概ね一致しており、実験で生成した津波入射波を解析で再現できていると考えられる。

3.2 断面周りの流況

橋桁断面周りの流況について実験と解析の比較を図3に示す。画像下に示す時間は図2で示した横軸の時間と対応している。図より、解析で下記流況が捉えられており、実験結果を定性的に再現できていると言える。

- a) 波がはじめに下フランジ前流側端部に接触する
- b) 波が下フランジ下面、前流側床版張出し下面および前流側ウェブ側面、高欄側面に作用する
- c) 波が床版上面に浸水し、後流側高欄に作用するとともに後流側ウェブ側面、高欄側面にも作用する
- d) 橋桁断面が完全に水没し、断面周りの流れはほぼ定常状態に達する

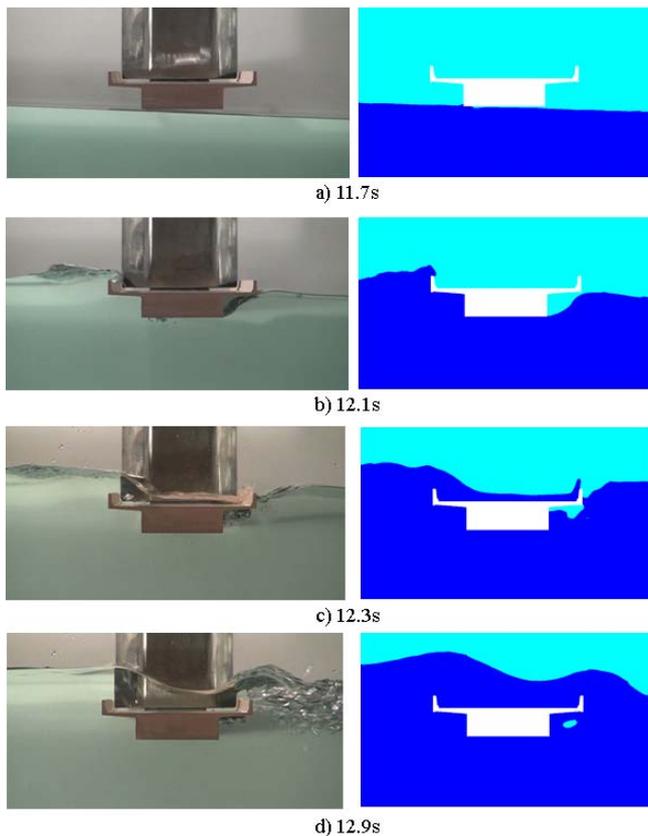


図3 実験と解析の橋桁断面周りの流況比較

3.3 波力波形

水平波力、鉛直波力波形について、実験と解析の比較を図4に示す。波力の向きは、水平波力は流れ方向を正、鉛直波力は上向きを正と定義している。

図より、11.7sから12.5s付近まで、すなわち波が衝突し

た直後から橋桁が水没し周囲の流れ場が定常状態に移行するまでの過渡状態については、波力が解析で良く再現されている。一方、12.5sから14s付近まで、すなわち橋桁が水没し断面周りの流れ場が定常状態になる場合は、水平波力において解析の値が実験より大きく評価されている。一例として12.9sにおける断面周りの流速ベクトルを図5に示すが、解析では断面背面で旋回流(渦)が発生しており、これにより断面背面圧が低下し、水平波力が增大していると推察される。一方、実験では13s付近での波力の増大が見られないことから、解析で見られる渦が散逸しているものと考えられる。以上より、更なる精度向上のためには、流れが定常状態で作用することで発達する渦とその散逸を適切に再現する必要があると考えられる。

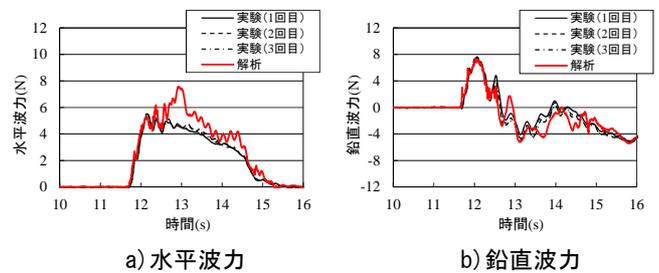


図4 実験と解析の波力波形の比較

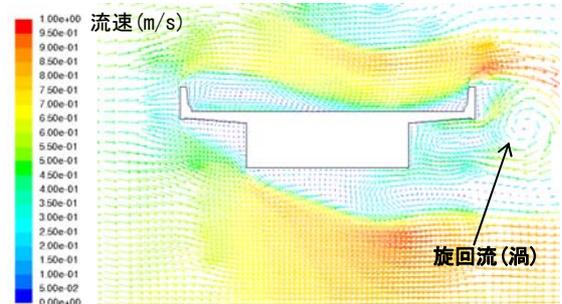


図5 断面周りの流速ベクトル (12.9s)

4. おわりに

本研究で用いた解析手法により、水面勾配が緩やかな孤立波について、定常状態における水平波力は過大評価となるものの橋桁に作用する津波の挙動や波力の概略値を把握できることが確認された。今後は更なる精度向上と様々な津波条件への適用を図る予定である。

謝辞: 本研究の実施にあたり、東北大学災害化学国際研究所 越村教授のご指導を賜った。ここに記して謝意を表します。

参考文献:

- 1) 林秀和, 青木圭一, 四條利久磨, 鈴木俊光, 越村俊一, “橋梁上部構造に作用する津波波力特性に関する基礎的検討”, 構造工学論文集Vol. 60 (2014年3月), pp.45-58.
- 2) 広瀬泰之, 青木圭一, 鈴木俊光, 四條利久磨, 横山薫, “津波入射波の形状が橋梁上部構造への作用津波力に及ぼす影響に関する水路模型実験”, 土木学会第69回年次学術講演会(2014), (掲載予定)