

第 I 部門

津波作用時における橋梁周辺部の流況シミュレーションに関する研究

立命館大学 学生員 ○村上 晋平
立命館大学 正会員 BUI Hong Ha
立命館大学 正会員 中尾 尚史
立命館大学 正会員 伊津野 和行

1. はじめに

2004年に発生したインド洋大津波によりスマトラ島北部で多くの橋梁が上部構造の流出、土工部の洗掘、橋台の倒壊などの多大な被害を受けた。橋梁の被害の程度には津波の作用条件の他に橋梁支承構造の差異が関連する可能性が指摘されているが、津波対策としてせん断キーの設置やリフトアップ対策を施すには、定量的な津波の力学的な分析や橋梁に津波が作用した際の橋梁の挙動特性を検討する必要がある。

そこで本研究では、津波から橋梁が受ける抗力・揚力を求めるために、津波が橋桁に作用する様子と流体力を数値シミュレーションによって解析し、定量的な力学的分析結果を求めた。また、橋梁模型を用いた津波の作用実験を行い、橋桁に働く抗力値・揚力値を求めるとともに、シミュレーション結果の整合性について考察した。

2. 研究概要

2.1 SPH法を用いた数値シミュレーション

津波が作用した際の供試体周辺部の流れの様子をSPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)法を用いてシミュレーションを行った。SPH法は連続体を有限個の粒子として表現し、その粒子の運動によって連続体の挙動を計算する粒子法に属する。

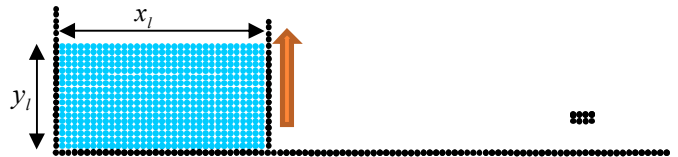


図1 SPH解析モデル

表1 SPH解析条件

解析条件	I	II	III
粒子間隔 h	2.5 mm		
解析時間間隔 dt	1.0×10^{-5} s		
初期水位 y_l	0.30 m		
橋桁モデル形状	箱形		
ε	0.010	0.005	0.003

2.2 橋梁模型を用いた津波の作用実験

橋桁断面を単純化してモデル化し、津波が橋桁に対して垂直の方向に作用した場合を想定した流体の衝突実験を行う。実験装置は一定量に貯水した水槽の水門を開くことで水を一気に流出させ段波を発生させることのできる仕組みになっている。供試体はアクリル板を加工したものを用いた。

この実験で流出した津波の波高、流速、橋桁モデルに働く抗力・揚力・流体モーメントを計測し、橋桁モデル周辺部の流れの様子をハイスピードカメラで撮影（1200コマ/s）した。

2.3 解析モデル

橋梁模型実験装置に基づいた図1のような解析モデルを作成した。水門を境界粒子でモデル化し、解析開始とともに境界粒子が上方に移動する。解析は表1の解析条件に従って行い、実験結果と比較・検討した。なお、 ε は式(1)で用いられた係数である。式(1)は粒子の挙動の安定性を高めるために粒子速度 v_i に新たな項を加えたもので、近傍粒子の速度の平滑化に寄与している¹⁾。ここで、 m_j 、 v_j は近傍粒子 j の質量、速度であり、 ρ_{ij} 、 W_{ij} はそれぞれ粒子 i 、 j 間の密度の平均値、カーネル関数の値を表す。

$$\hat{v}_i^\alpha = v_i^\alpha + \varepsilon \sum_{j=1}^N \frac{m_j}{\rho_{ij}} (v_j^\alpha - v_i^\alpha) W_{ij} \quad (1)$$

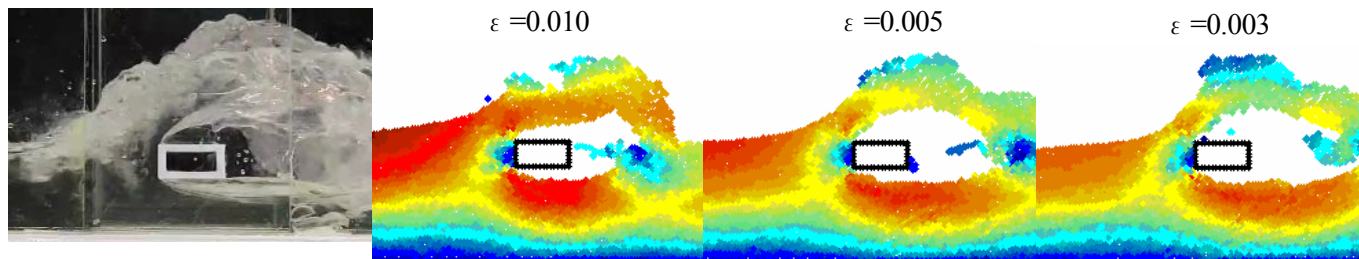


図2 越波後の流況の比較

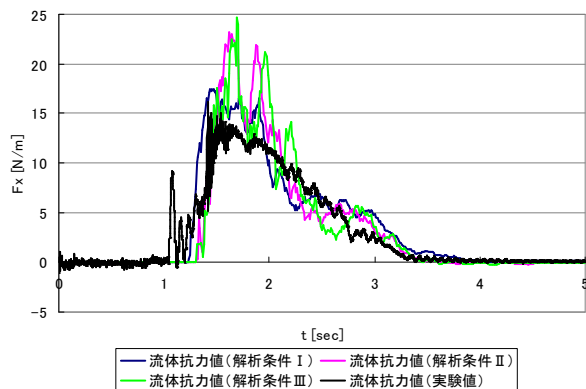


図3 流体抵抗力値（水平方向）

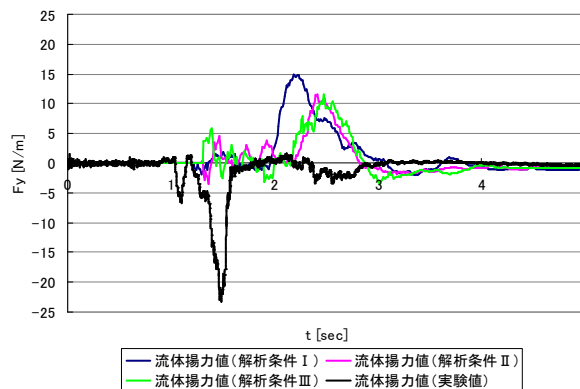


図4 流体揚力値（鉛直方向）

3. 実験・解析結果

図2は越波後の空気層について実験とSPH解析の流況を比較したものである。 $\epsilon=0.005$ の場合、空気層とその上部にある水粒子との境界が実験結果と同様に安定している。 ϵ の値が減少するとこの安定性が失われ、逆に増加させると越波の規模が小さくなる。本研究では $\epsilon=0.005$ のとき最も実験結果と整合性のある流況結果が得られた。

図3、図4は橋桁に津波が作用した際の流体抵抗力値と流体揚力値をSPH解析結果と実験結果で比較したものである。流体抵抗力値が作用する時間はSPH解析と実験値でほぼ同じ値が得られた。しかし流体抵抗力値の最大値は ϵ の値が減少するにつれて最大値が大きくなっている。これは ϵ の減少によって自由水面上の水粒子の速度が増加したためだと考えられる。本解析では $\epsilon=0.010$ のとき実験と最も整合性のとれた抵抗力値が得られた。

流体揚力に関しては、鉛直上向きの水粒子の圧力が強調された結果となった。実験では津波が作用した直後に鉛直下向きの力が発生し橋桁モデルが少し下方に変位した。これは、津波が橋桁モデルを越波した際に橋梁上部と下部に剥離現象による負圧が発生し、その負圧の影響が橋桁下部で上部よりも大きく発達したためだと考えられる。本研究のSPH解析では負圧の発生には対応ができていない。また橋桁の変位が発生しないことなどが精度に影響を与える可能性がある。そのため橋桁の揚力を十分な精度でシミュレーションできなかったと考えられる。

4. 結論

本研究は津波が橋桁に作用した際の流体力について実験と解析結果の比較を行い、以下の結論を得た。

- (1) 水粒子の挙動を正確に表現するには粒子速度の平滑化に関する定数 ϵ の検討が必要である。本研究では $0.005 < \epsilon < 0.010$ に適正な値が存在すると推定した。
- (2) 流体揚力に関しては、橋桁モデルの変位がないことや、剥離現象に伴う負圧の発生をシミュレーションできないことなどが原因で十分な精度を得られない可能性がある。

5. 参考文献

- 1) J.J.Monaghan: On the problem of penetration in particle methods, Journal of Computational of Physics, Vol.82, Issue 1, pp.1-15, 1989