

粒子法を用いた橋桁に作用する津波波力の算定

鳥取大学大学院	学生会員	○中村 雅志
鳥取大学大学院	正会員	小野 祐輔
筑波大学システム情報系	正会員	庄司 学

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震に伴い発生した津波によって、多数の橋梁が被害を受けた。橋梁が被災すると交通網が寸断される為、緊急避難路や救援物資の輸送に影響を及ぼす。その為、津波が発生しても、被災しないような設計を施す必要がある。しかし、対津波を考慮した橋梁の設計手法は未だ確立しておらず、解明が求められている。

そこで本稿では、津波波力の算定を行うための第一歩として、津波を模擬した水路実験の再現解析を行う。既往の水理実験の結果と再現解析の結果を比較することで、津波の再現性の評価を行う。

2. 手法

本稿の解析方法は、対象の流体及び構造物を粒子と呼ばれる単位に離散化し、その動的な挙動を Lagrange 的に追跡する解析方法である Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH 法)¹⁾を用いた。使用した解析コードは DualSPHysics v4.0²⁾である。DualSPHysics は、GNU General Public License(GPL)に従って配布されているソフトウェアであり、ソースコードが公開されている。DualSPHysics の最大の特徴は、GPU による並列計算が可能であり、安価な計算機資源においても 100 万粒子を超えるような大規模な解析を実施することができる。DualSPHysics は、流体の水位、流速、物体に作用する力を出力する機能を有しており、本検討でもそれらの機能を使用した。解析に用いた PC は、OS として Ubuntu Linux 14.04LTS が動作し、Intel Xeon 3.50GHz CPU (8 コア)、32GB のメインメモリ、NVIDIA 製 Tesla C2050 を搭載したものである。

3. 水理実験結果との比較

(1) 三次元的要素がない水理実験

伊津野ら³⁾は、橋桁に作用する津波波力に関する水路実験を行った。この実験を忠実に再現、解析を行っ

た。図-1 に解析モデルの全体を示す。本実験は、再現の対象となる実験において三次元的な効果は含まれていないと判断し、二次元解析を行った。波高の解析結果を図-2、鉛直方向の作用力の解析結果を図-3 に示す。水塊衝突直後の波高は粒子の大きさに関わらず似たような値を示すにも関わらず、作用力は大きく異なる値を示した。橋梁が川底からの高さが低い為、粒子が大きいと、橋梁の下に水粒子がスムーズに流れず、橋梁によって水がせき止められる現象が発生した。その為、粒子の大きさは十分に小さく設定しないと、作用力が大きく異なることが確認できた。また、水がせき止められたことにより、3 秒以降の波高も高くなった。



図-1 解析モデル図

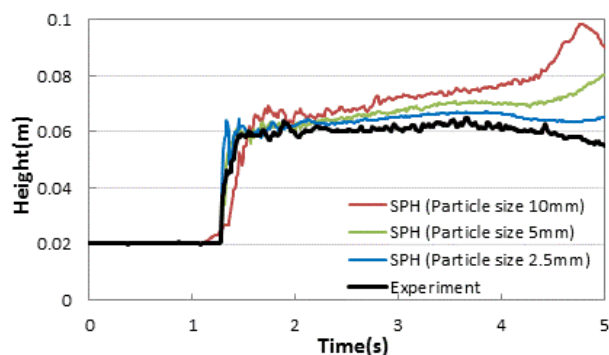


図-2 波高

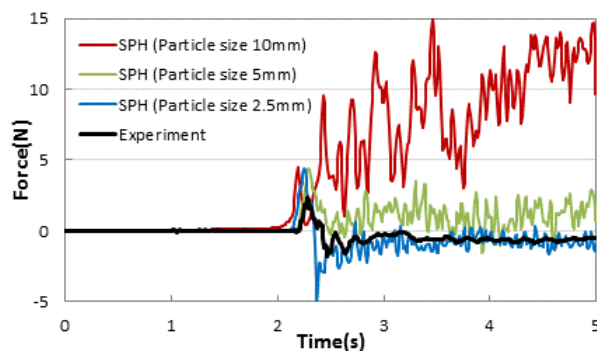


図-3 鉛直方向の作用力

キーワード 粒子法、津波波力、橋梁

連絡先 〒680-8552 鳥取市湖山町南 4 丁目 101 鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻土木工学講座
TEL 0857-31-5286

(2) 三次元的要素がある水理実験

庄司ら⁴⁾は、橋桁に作用する津波波力に関する水路実験を行った。本稿で行った解析では、実験の行われた水路を忠実にモデル化し、SPH 粒子に離散化した。解析は、まず初めに二次元解析を行い、その後三次元解析を行った。モデル図の一例として図-4 に Case73 の二次元解析モデルの全体図、図-5 に Case73 の三次元解析モデルを上から見た図を示す。実験では、橋梁の後ろに十分な水路長を用意したが、解析では、十分な水路長を用意する代わりにタンクを設置することで、橋梁を通過した波の反射波が生じないようにした。粒子の大きさは、全て 5mm に設定した。

図-6 に Case33 の波高の実験結果と解析結果を示す。本来、本稿で取り上げた実験は水路幅が変化している為、水路幅を一定として考える二次元モデルは実験を正しく再現しているとは言えず、波高は一致しない。しかし、解析を行った結果、三次元解析の結果よりも二次元解析の結果の方が実験値に近い結果をとった。これは、断面が狭まる地点で実験と三次元解析の挙動が異なつたと考える。

Case73 の鉛直方向の作用力を図-7 に示す。なお、橋に波が到達する時間が同じになるよう、解析値に補正を行った。なお、二次元解析では Hanning ウィンドウを用いて補正を行った。ウィンドウ幅は 0.02 秒で、重みは対象時間を 0.375、前後 0.01 秒のデータを 0.25、前後 0.02 秒のデータを 0.0625 とした。波高が大きく異なる三次元解析は、作用力も大きく異なつた。波高がほぼ一致した二次元解析は、衝突後最初の鉛直上向きの力は値、作用時間共にほぼ一致したものの、その直後に来る鉛直下向きの作用力を過大評価した。10 秒後以降で、実験の鉛直方向の作用力が 0 に近い値を計測しているのに対して、二次元解析では鉛直上向きの作用力が働いている。これは、橋梁の下に存在する水塊の高さが異なることによる影響だと考えることができる。

4. まとめと今後の課題

本稿で行った再現解析の結果より、粒子の大きさを十分に小さくしないと、橋桁に作用する力は大きく異なることがあることが確認された。一方で、水路の三次元要素の部分により、実験結果と解析結果が異なる値を示すという問題を確認した。この原因の解明は、今後の課題とする。



図-4 Case73 の二次元解析モデル図



図-5 Case73 の三次元解析モデル上図

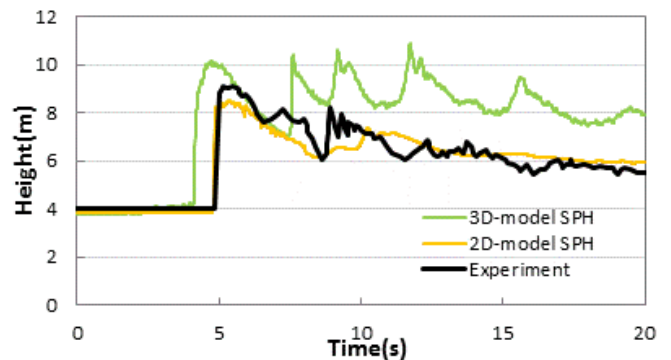


図-6 波高

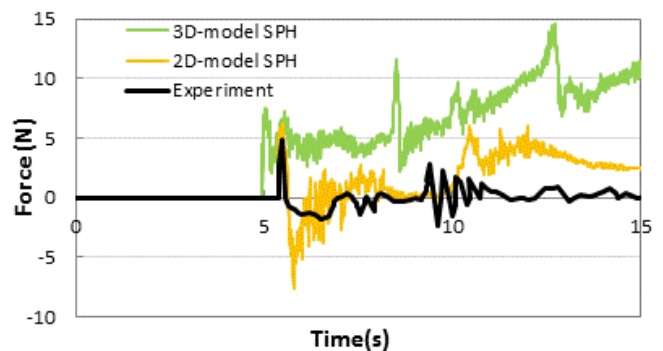


図-7 鉛直方向の作用力

参考文献

- 1) Monaghan JJ. : Smoothed particle hydrodynamics, Annual Review of Astronomy and Astrophysics, Vol.30, pp.543-574, 1992.
- 2) Crespo AJC, et al. : DualSPHysics: open-source parallel CFD solver on Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH), Computer Physics Communications, Vol.187, pp.204-216, 2005.
- 3) 橋梁の対津波設計に関する研究小委員会:対津波設計のベンチマークテストに関する論文集, 土木学会, 2016.
- 4) 庄司学, 清水裕文:橋桁に作用する津波波力の水平成分及び鉛直成分の評価, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.70, No.4, pp.I_616-I_627, 2014.