63

粒子法を用いた橋梁に作用する津波の数値シミュレーション

13T0266W　菊地　俊紀
指導教員：丸山　喜久

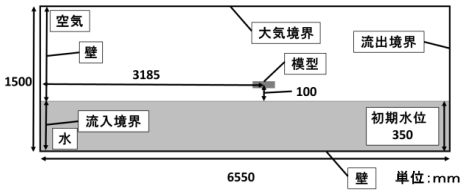
1. 研究背景と目的

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋地震に伴う津波によって太平洋沿岸部に甚大な被害が発生した．その中でも各地で発生した橋梁の流出被害によって交通システムの機能障害を引き起こし，地震後の緊急対応活動に大きな影響を与えた．これを受けて，2012 年に道路橋示方書 [1] が改定されたが，橋梁構造物の津波対策に関する具体的な設計方法は，まだ確立されていないのが現状である．これらの対策を検討するには，数値シミュレーションを用いた被害予測が有効な手段の一つである．

そこで本研究では津波により橋桁模型に作用する水平作用力および鉛直作用力に着目し，既存研究との比較を行った．具体的には，土木学会地震工学委員会・橋梁の対津波設計に関する研究小委員会により公開された水理実験 [2] および庄司ら [3] の水理実験を対象として，解析結果の精度を評価した．

2. 孤立波による橋桁への作用力の推定

3D-AutoCAD で実験水路(図-1)および橋桁模型を作成し，Particleworks の解析用モデルとした．解析領域における水路幅は 800 mm とした．初期水位は 350 mm で，初期粒子間隔は 12 mm，格子幅は 8 mm とした．孤立波は，流入境界から上限体積 0.24 m^3，流入速度 1.1 m/s で流入させることで再現した．



図−1　実験水路の概要

模型に作用する水平力および鉛直力の時刻歴波形を図−2 に示す．作用力の算定式は，圧力項，粘性項，表面張力項，および外力項から成り，作用力は橋梁モデルの近傍粒子の総和として算出される．

実験の最大水平力 19.9 N に対し，解析結果では 24.7 N となり，実験値の 124%となった．実験の負圧の最大値-3.67 N に対し解析では-2.04 N となり，実験値の 56%の値だった．実験の最大鉛直力 47.7 N に対し，解析の最大値は 48.2 N で，実験値を精度良く再現できた．実験の負圧の最大値- 47.5 N に対し，解析結果は -37.5 N で，実験値の 79%となった．

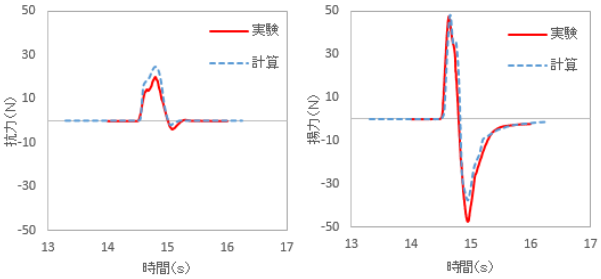
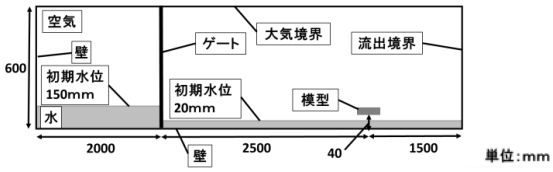


図-2　水平力および鉛直力の時刻歴波形

3. 直橋および斜橋に対する作用力の推定

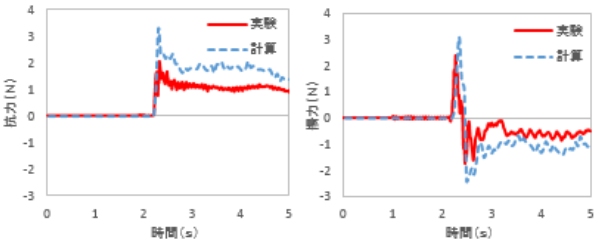
3D-AutoCAD で実験水路(図-3), 橋桁模型を作成し，Particleworks の解析用モデルとした．解析領域における水路幅は 196 mm である．初期水位は貯水部で 150 mm，模型側では 20 mm である．粒子径 5 mm，格子幅 5 mm とした．



図−3　実験水路の概要

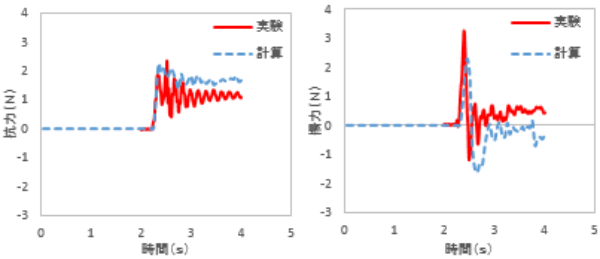
直橋模型に作用する水平力および鉛直力の時刻歴波形を図-4 に示す．実験の最大水平力 2.06 N に対し，解析では 3.25 N となり，実験値の 158%の値と

なった．実験の最大鉛直力 2.39 N に対し，解析では 3.09 N で，実験値の 129%となった．実験の負圧の最大値-1.76 N に対し-2.41 N で，実験値の 137%となった．



図−4　水平力および鉛直力の時刻歴波形(直橋)

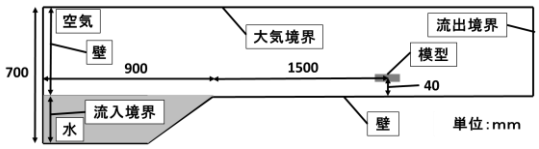
斜橋模型に作用する水平力および鉛直力の時刻歴波形を図-5 に示す．実験の最大水平力 2.34 N に対し，解析では 2.21 N となり、実験値の 94%の値となった．実験の最大鉛直力 3.24 N に対し，解析では 2.30 N で，実験値の 71%の値となった．実験の負圧の最大値-1.22 N に対し解析では-1.62 N で，実験値の 133%となった．



図−5　水平力および鉛直力の時刻歴波形(斜橋)

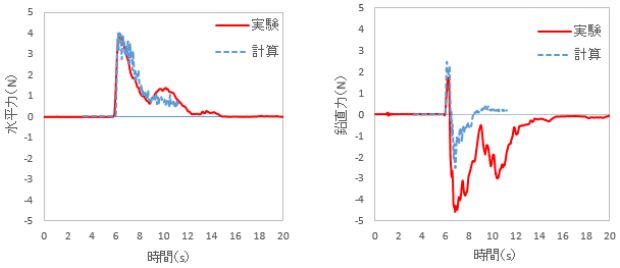
4. 張出しを有する模型に対する作用力の推定

3D-AutoCAD で解析用水路(図-6)および橋桁模型を作成し，Particleworks の解析用モデルとした．解析領域における水路幅は貯水部で水路幅 1000mm．模型部で水路幅 400mm である．初期水位は貯水部で 300 mm である．粒子径 7mm，格子幅 4 mm とした．流入条件は，最大 0.8m/s で時間経過と共に徐々に減少させた．



図−6　実験水路の概要

模型に作用する水平力および鉛直力の時刻歴波形を図-7 に示す．実験の最大水平力 3.83N に対し，解析結果では 4.00N となり，実験値の 104%となり，精度良く再現できた．実験の最大鉛直力 1.71N に対し，解析の最大値は 2.46N で，実験値の 144%となった．実験の負圧の最大値-4.56N に対し，解析結果は-2.52N で，実験値の 55.3%となった．実験での鉛直力の負圧は，6 秒付近から 9 秒付近まで作用しているが解析では，6 秒付近から 8 秒付近までとなっており，値も小さい結果となった．



図−7　水平力および鉛直力の時刻歴波形

5. まとめ

本研究では，MPS 法を用いて，既往の実験結果と本研究の解析結果を比較することによって，再現性の検討を行った．3 つの解析より，水平力の最大値は実験の 0.9～1.6 倍，鉛直力の最大値は 0.7～1.4 倍，負圧の最大は 0.6～1.4 倍となった．精度を向上させるためには，模型付近の流況を詳細に再現することが必要であるため，粒子径および格子幅を小さくすることが挙げられる．また，粒子の流入により波を再現した解析では，流入条件を見直すことが必要である．

参考文献

1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，丸善，2012
2) 土木学会地震工学委員会・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，2016.
3) 庄司学，鴫原良典，大伴行平：橋桁に作用する津波波力のモデル化，日本地震工学会論文集，第 16 巻，第 8 号，pp. 88-109, 2016.