# 粒子法を用いた橋梁に作用する流体力の数値計算

千葉大学大学院融合理工学府 学生会員 〇菊地 俊紀,正会員 丸山 喜久

筑波大学システム情報系 正会員 庄司 学

#### 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,2012年に 道路橋示方書<sup>1)</sup>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.このためには,数値シミュレーショ ンを用いた被害メカニズムの評価は有効な手段の一つ 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、既往研究との比 較を行った.既往研究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<sup>2)</sup>および庄司ら<sup>3)</sup>の水理実験を対象とし、 実験結果と解析結果を比較し精度を評価した.本研究 の数値解析では、MPS 法理論に基づく流体解析ソフト Particleworks を用いた.

#### 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,解析用モデルとした<sup>2)</sup>.解析領域における水路幅 は 800 mm である.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<sup>3</sup>,流入速度 1.1 m/s で流入 させることで再現した. 計算時間刻みは 5.0×10<sup>4</sup>秒 とした.

実験<sup>2)</sup>および解析で得られた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.解析による 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,橋梁モデルの近傍粒子の総和と して算出される.  
 空気
 大気境界
 流出境界

 1500
 規型
 100

 水流入境界
 初期水位 350
 350

 6550
 壁 単位:mm

図-1 実験水路の概要

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.



# 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<sup>2)</sup>. 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 とし, 粒子径 5 mm, 格子 幅 5 mm とした. 計算時間刻みは 5.0×10<sup>-4</sup> 秒とした.



Key Words: 粒子法, 津波, 橋梁, 流体力

連絡先: 〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33 千葉大学大学院融合理工学府地球環境科学専攻 TEL043-290-3555

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.



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.



# 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<sup>3)</sup>.解析領域における水路幅は貯水部で1000mm.模型部で400mmとし,初期水位は貯水部で300mmである.粒子径7mm,格子幅4mm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.クーラン数は経験値の0.2とすると,流入した粒子が流入境界との影響により,急激に圧力が上昇してしまうため,1e<sup>20</sup>とすることで計算の発散を抑制した.計算時間刻みは 5.0×10<sup>-4</sup> 秒とした.8秒間のシミュレーションに要した解析に要した解析時間は約31時間であった.



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.



# 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.精度をさらに向上させるため 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

 日本道路協会:道路橋示方書・同解説,丸善,2012
 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.