

## MPS 法を用いた大波高時における沿岸部橋梁の連成解析

今治造船 ○正会員 柏原 義孝

香川大学工学部 フェロー会員 野田 茂

香川大学大学院 学生会員 稲井 太郎

## 1. まえがき

2004 年 9 月 8 日, 台風 18 号により, 北海道積丹半島西岸を通る国道 229 号の大森大橋 (延長 429m) では, 159m 区間で落橋する災害が発生した. この例に見られるように, 沿岸・海洋構造物の耐災性向上のためには, 流体とそれが構造物に及ぼす連成挙動を正確に再現できる波浪解析・構造解析が必要になる. そこで本研究では, 碎波を伴う非線形流体現象を解析するのに適した粒子法 (MPS 法) を用いて, 波浪と沿岸部橋梁を対象に大波高時における 3 次元的な流力動的挙動解析を行い, MPS 法の有効性を明らかにする.

## 2. MPS 法

粒子法は従来の差分法や有限要素法では困難であった複雑現象をシミュレートできる. 中でも, MPS (Moving Particle Semi-implicit) 法<sup>1)</sup>は連続体をメッシュ (計算格子) 分割するのではなく, 自由に動く粒子の集まりとして表現した計算アルゴリズムで, 画期的な流体・構造解析手法として注目を集めている.

MPS 法では, 粒子間相互作用モデルを使って流体の計算を行うため, 激しい水面の変化や飛沫の発生, 水塊の分裂や合体を精度よく安定的に解くことができ, これまで自由液面流れにおける碎波などの解析に威力を発揮してきた. 有限体積法や有限要素法と比較すると, 1) 完全ラグランジュ法であり, 2) 格子を用いないという特徴がある. この利点より, 移流項に起因する数値拡散が生じず, 自由液面の境界を特別なスキームなしに追跡できるため, 伝統的な従来手法では解析が困難だった非圧縮性流体の挙動をスムーズに解明できる. このことから, MPS 法では, 流体と構造を統一した粒子モデルを表現でき, 一つのソルバーで安定した流体-剛体連成解析を実現できるようになった. ただし, MPS 法の土木構造物への適用例は多くない.

## 3. 連成解析のための流体と構造物のモデル化

大森大橋では, 被害例を解明するために水理模型実験<sup>2)</sup>が実施されており, また橋脚・橋桁のクラックや被害状況のデータが豊富に揃っている. そこで, MPS法による流体・構造連成解析の有効性を検証するため, 大森大橋のモデル化と解析を試み, 水理模型実験結果と比較する.

大森大橋の被災状況を再現するため, 実物の図面を参考として構造物のモデル化を行った. 構造材料特性は, 上部構造物を一般構造用圧延鋼材 SS400, 下部構造物をコンクリートとして, 大森大橋の測定データならび道路橋示方書を参考に可能な限り現実に近づくように設定した.

波浪パラメータは, 当時の気象データおよび大森大橋応急復旧対策検討委員会による橋脚付近の推定波高を参考に, 微小振幅波理論式を基に決定した. 具体的には, 沖波波高を 5m, 波長を 64m, 周期を 12 秒, 水深を 3m とした. 非圧縮性流体のシミュレーションに当たり, 解析領域は波長の 2 倍の 130m とし, 構成壁面より反射した反射波と進行波がぶつかることで, 主桁滑落の主要原因である重複波を再現できるようにした.

## 4. 数値計算結果および考察

代表時点における水理模型実験の結果<sup>2)</sup>と MPS 法による解析結果の例を図-1 に示す.

水理実験により, 先行して入射した波浪が後壁により反射し, 入射波と橋の下で衝突して重複波となり, 主桁下面に水塊が直接作用している様子が理解できる. 図-1 (b) に示す通り, 反射波と進行波が干渉する地点では, MPS 法によって上に突き上げるような大きな重複波をシミュレートできている. 水理実験結果に極めて酷似した MPS 法による流体解析ではこのような碎波を伴う非線形現象を的確に再現できていることがわかる. 伝統的な解析法ではこのような波形・碎波の挙動を表現できない.

重複波発生時には主桁が海側から持ち上がり回転し,

キーワード : 粒子法, MPS 法, 波浪, 橋梁, 連成構造解析, 数値シミュレーション

連絡先 : 〒761-0396 香川県高松市林町 2217 - 20, Tel & Fax : 087-864-2153

## 土木学会第 62 回年次学術講演会（平成 19 年 9 月）

被災したものと推察されている。重複波発生前後における上部構造物の応力変化は特に海側部で顕著であった。これは重複波の突き上げによって発生したものである。本研究では構造物をミクロにモデル化していないが、主桁の落下事例と同様の応力分布の発生（図 2）が観測できた。

下部構造物との結合部においては、海側・中央の主桁において、特徴的な応力変化が見られた。これは重複波の突き上げによって上に引っ張られる力が加わり、崖側結合部を中心に上部構造物が反時計回りに回転する力が加わったものと考えられる。この結果は大森大橋の滑落時の挙動に関する既往の調査研究成果<sup>2)</sup>に則している。

以上より、流体と構造物の挙動は実態を再現できており、MPS 法の有効性が明らかになった。

## 5. あとがき

大波高時における沿岸部橋梁の連成解析を行った結果、シミュレーション波浪は現実の挙動をよく再現でき、また構造解析結果も破損時の応力・ひずみ関係に近く、MPS 法の有効性を明らかにできたと言える。さらに粒子の高密度化を図ることにより、よりミクロで高精度な解析結果に結びつけることが期待される。

## 6. 謝辞

解析に当たっては、粒子法コードユーザーグループにより提供されたコードを用いた。ここに、東京大

学・越塚誠一教授ならびに横浜国立大学・酒井譲教授に深甚なる謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 越塚誠一：粒子法，丸善，2005 年 2 月。
- 2) 本間大輔，窪内篤，山本泰司，木村克俊：波浪作用からみた大森大橋の被災原因の推定と復旧後の安全管理に関する実験的研究，北海道開発土木研究所月報，No. 26，pp. 16-24，2005 年 7 月。

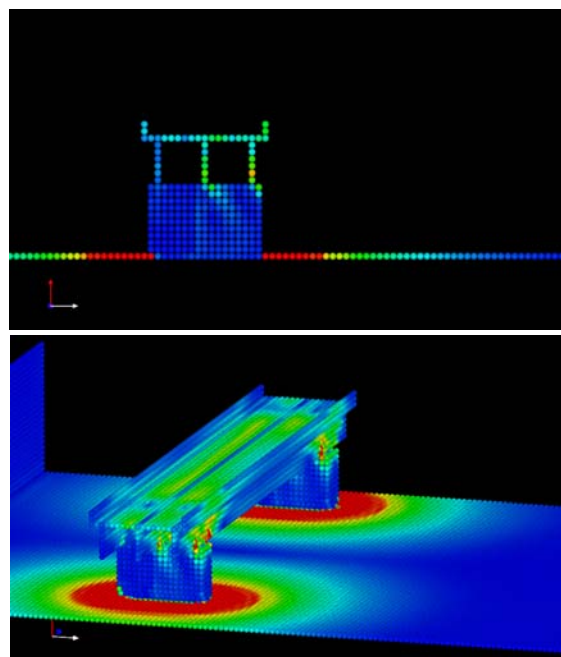
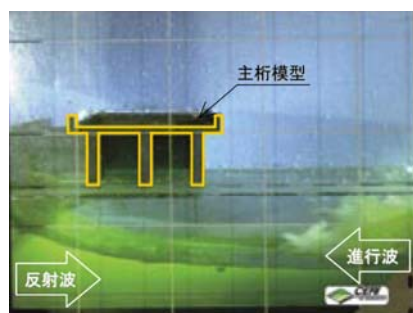
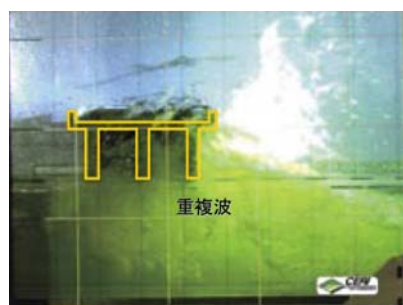
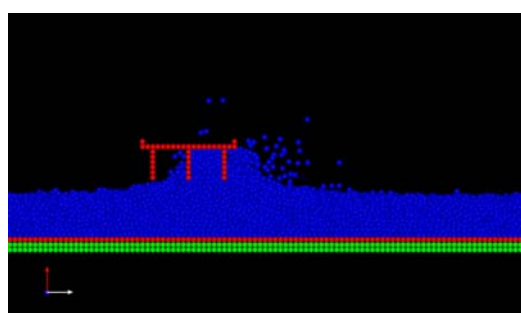
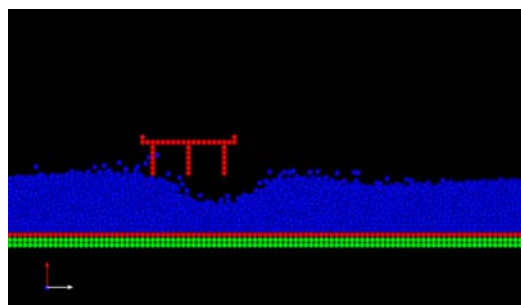


図2 重複波発生時における主桁の応力分布



(a) 水理実験結果<sup>2)</sup>



(b) 解析結果

図1 代表時点における水理実験結果と解析結果の比較