

### MPS 法による津波と浮遊物-構造物の連成解析

石垣 正会員 ○宮武宏樹

香川大学工学部 フェロー会員 野田 茂

#### 1. まえがき

2004年スマトラ島沖地震津波では、津波が瓦礫や車両などの浮遊物を巻き込みながら市街地を遡上し、陸上構造物に甚大な被害が生じた。津波による構造物被害を的確に予測するためには、津波自体の波力だけでなく、浮遊物を伴う氾濫流とその衝突力が構造体に及ぼす影響を正確に評価することが必要となる。そこで、本研究では粒子法の一つである MPS 法を用いて陸域での遡上津波による流れと浮遊物-構造物間の連成解析を行い、これらの動的挙動を定量的に分析することにより、MPS 法の有効性を明らかにする。

#### 2. MPS 法

浮遊物を伴う流れの解析には、高い解像度で自由表面を追跡でき、かつ流体と浮遊物-構造物間の動的相互作用を記述できるモデル化と手法が必要である。

MPS (Moving Particle Semi-implicit)法<sup>1)</sup>では、連続体をメッシュ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する。同法は非圧縮粘性解析に適した計算アルゴリズムであり、砕波などの非線形現象を再現可能な解析手法として注目を集めている。

従来手法である有限要素法や差分法と比較すると、1)完全ラグランジュ法であるので、2)メッシュ生成が不必要などの特徴がある。この利点より、自由液面の境界を特別なスキームなしに追跡できる。このため、MPS 法では、流体と構造体を統一した粒子モデルで表現でき、一つのソルバーで安定した流体-構造物連成解析が可能である。ただし、MPS 法の歴史は浅く、土木・防災分野においてはこれまで流体-構造物連成解析への適用例が多くない。

#### 3. 解析モデルと解析条件

本研究では、海岸部に立ち並ぶ建物群を対象に、地震津波を受けたときの遡上波に伴う浮遊物が構造物に及ぼす影響を定量的かつミクロに検討する。

図-1には粒子化処理を施した解析モデルを示す。図に示すように、海域に4体の海上浮遊物(小型船舶)、

陸域に5体の陸上浮遊物(木材)と3棟の建物群(二階建家屋)がある。海域は水深2mとする。海岸部には傾斜1/3の緩傾斜護岸を設ける。陸地と海面の高低差は0.5mである。津波発生のため、解析モデル沖側に入射波断面(波高2.0m)を仮定した流入境界を設定する。津波は、この流入境界において波速を流速として与えた流体粒子を流入させることによって造波する。

次の4ケースについて津波の遡上解析を実施する。

ケース1: 構造物と浮遊物のない更地の場合

ケース2: 構造物のみ配置した場合

ケース3: 構造物と浮遊物を配置した場合

ケース4: 構造物と浮遊物を配置するとともに海岸部に直立堤(高さ1.5m)が存在する場合

ここでは、上記4ケースに関する流体-構造物の連成挙動の比較分析により、構造物群や浮遊物の有無による流況変化、構造物への作用流体力の相違など、津波と浮遊物-構造物間の連成効果に伴う影響を詳細に検討する。

本モデルのような解析事例はこれまでなく、MPS 法の新たな適用可能性を探る上で貴重なデータが得られるものと考えられる。

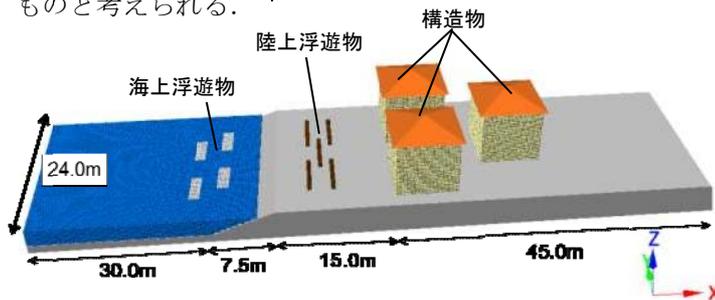


図-1 解析モデル

#### 4. 数値計算結果および考察

図-2にケース3における遡上津波の構造物への作用過程を示す。入射津波は、海上浮遊物を伴って陸上を遡上し、陸上浮遊物を押し流した後、一体となって構造物に作用する。構造物に作用した津波は、構造物前面で打ち上がり、反射による重複波が生じられ、海側に進行していく。このような重複波の発生は、構造物

キーワード MPS 法, 津波, 浮遊物, 連成挙動, 構造解析

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

を配置したケース 2~ケース 4 全てにおいて確認された。

図-3 はケース 3 における海上浮遊物 (f1~f4) の 2 次元移動履歴 (x-z 断面) である。同図より、海上浮遊物の大半が構造物手前で反転し、構造物と衝突していないことが理解できる。これは、海上浮遊物より先に構造物に到達した津波により生じた重複波が、浮遊物の衝突の際、構造物前面で緩衝材の役割を果たすことになったため、海上浮遊物と構造物の接触が避けられたものと考えられる。このような特徴的な漂流挙動は実現象においても確認されている。本連成解析では可視化に伴ってこのような特徴が見い出されており、ここに従来の研究に見られない新規性がある。

図-4 は各ケースにおける海側構造物前面での水位変化である。同図よりわかるように、津波と浮遊物一構造物間の連成挙動により、ケースごとの相違が見られる。津波が構造物に作用する際、津波の打ち上げにより構造物前面の水位は大きく上昇する。ケース 2 とケース 3 の比較から、浮遊物を伴うことにより津波の遡上速度が遅くなるとともに、構造物前面での打ち上げ水位が低くなる傾向が理解できる。これは、陸上浮遊物群が津波を堰き止めて移動し、一体となって構造物に作用したことにより、打ち上げの際に構造物前面

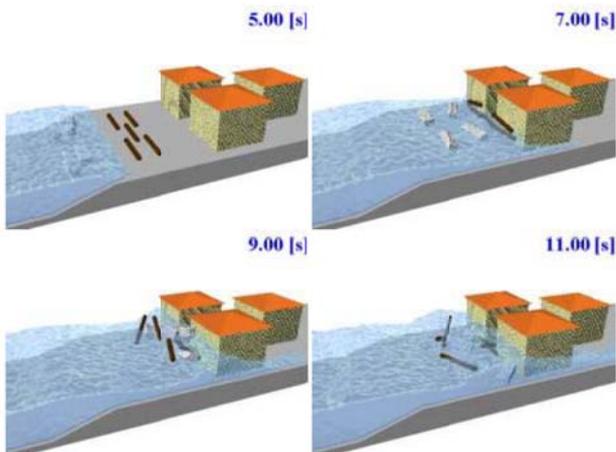


図-2 ケース 3 における津波の構造物への作用過程

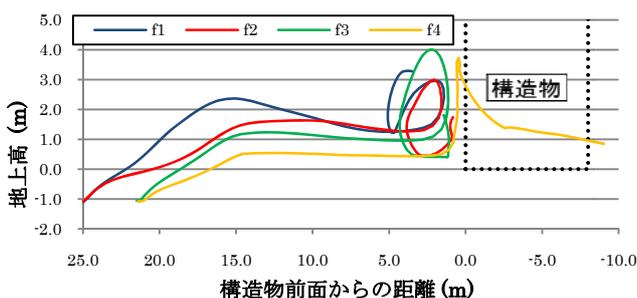


図-3 ケース 3 における海上浮遊物の 2 次元移動履歴

に生じる上方の流れを浮遊物が阻害したためである。

各ケースにおける構造物前面への作用波力の時刻歴変化を示すと、図-5 のようになる。ケース 2 とケース 3 の解析結果はマクロ的に同一傾向を呈すが、ケース 3 ではいくつかの時点で明瞭なピークが確認できる。このピーク発生時刻は浮遊物が構造物に衝突した時刻に相当する。これは浮遊物の衝突による危険性を裏付けるものである。津波の構造物への最大作用波力を求めたところ、浮遊物を伴った場合の浮遊物の衝突力は、浮遊物を伴わない場合の約 1.5 倍であった。

図-4, 図-5 からわかるように、海岸部に堤体が存在する場合、直立堤がない場合に比べ、陸上部での津波の水位、構造物への作用波力が全体的に低減するようになる。これより、津波防災においては堤体の効果が明らかで、この事実を再確認できる。

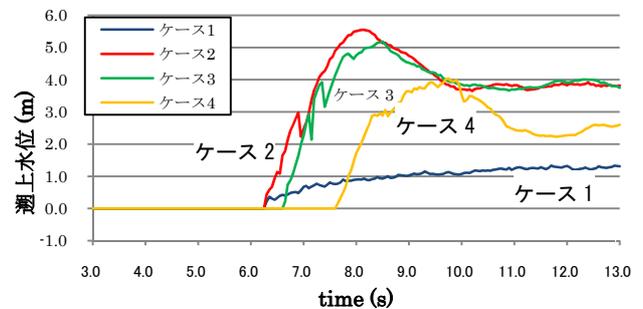


図-4 ケースが構造物前面での水位変化に及ぼす影響

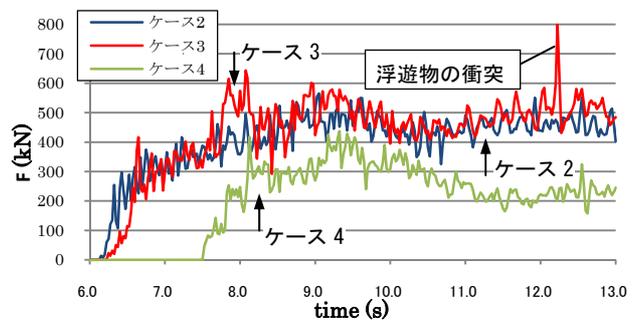


図-5 ケースが構造物前面への作用波力に及ぼす影響

### 5. あとがき

本研究では、MPS 法を用いて津波と浮遊物一構造物間の連成解析を行い、これらの動的挙動を定量的に分析した。その結果、地震津波に伴う構造物群・浮遊物の有無による流況変化や構造物への作用流体力などを正確に評価できることがわかった。これより、MPS 法の有効性が明らかになった。このような解析は土木分野であまり見られない。今後、粒子の高密度化を図るとともに、構造体を弾性体でモデル化することにより、より高精度な解析と広範囲への応用が期待される。

参考文献 1) 越塚誠一：粒子法，丸善，2005 年 2 月。