

建築物に作用する津波のシミュレーション  
 その5 津波遡上の基本現象と引き波シミュレーション

正会員 阪田 升 1\*  
 正会員 奥田 泰雄 2\*\*  
 正会員 喜々津 仁密 3\*\*\*

津波 シミュレーション 建築物 荷重 波圧分布 引き波

1. はじめに

筆者らは VOF 法をベースとしたフル 3 次元自由表面流シミュレーション技法を避難ビルなど建築構造物の波力評価や広域モデルでの浸水域予測に応用を行ってきた<sup>1-4)</sup>。本報告では津波が海中及び陸上を進行中の際の水平方向及び鉛直方向の速度プロファイルが重要との観点から、種々の状況での津波遡上(進行)シミュレーションを行いその時間変化と圧力分布との関連性について検討した。また、津波荷重を考える上で重要な引き波でのシミュレーションを行ったので報告する。

2. 解析手法と解析条件

本報は前報<sup>1-4)</sup>とほぼ同じ手法での VOF 法による気液二相流れの解析である。解析領域は 1km x 3m x 60m (水深 10m) で波高 10m, Fr 数は 0.80 及び 1.50 と設定した。格子数は 731092 メッシュである。

津波の入波条件としては、Fr 数と波高で波の速度が決まるので、海底から海面まで一定速度を水塊に与え、いわゆる段波の状態としている。水塊の前方は停止と仮定した。

基礎方程式: NS 方程式、連続の式、VOF 移流方程式  
 空間の離散化: 構造格子 (不等間隔格子: 最小格子間隔 0.5m)  
 時間の離散化: SMAC 法  
 移流項: ハイブリッド中心差分 乱流モデル: なし (DNS)  
 自由表面トラッキング: VOF 法+密度関数法  
 初期条件: 浸水深・Fr 数を仮定し流速を設定  
 境界条件: 沖合側・内陸側・海底・地表面 - Non Slip,  
 側面・天空面 - Free Slip

3. 解析結果

3-1. 津波が海中を進行する際のシミュレーション

図 1 上に Fr=0.80 の結果を示すが、速度を与えられた波は、前方の静止水塊に乗り上げ津波前面の界面より上の部位が速度を増すことが分かる。静止水塊も次第に速度を増すが、速度の速い波が静止水塊に乗り上げる構造は変わらず、速度の速い部位も海底にまで波及しながら波は進行する。図 1 下に Fr=1.5 の結果を示す。津波が静止水塊に乗り上げる現象がここでも見られるが、津波前面の後方では波の乗上げが激しいことに起因すると考えられる局所的な海面の落ち込みが顕著に見られる。

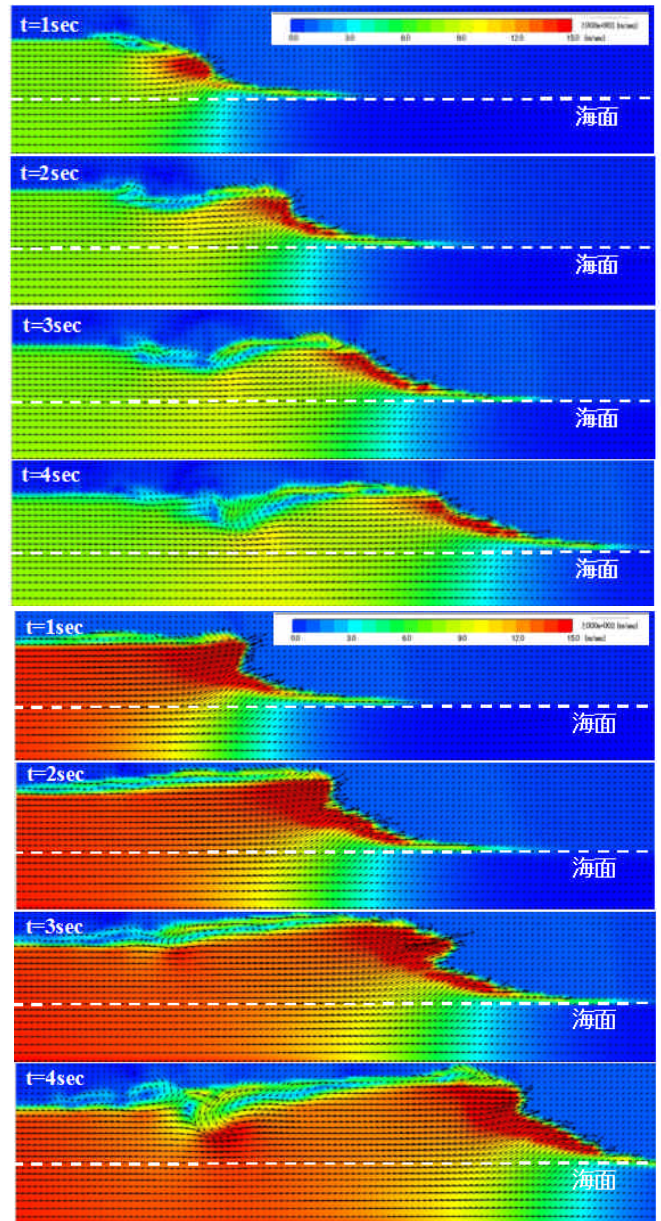


図 1. 海中を進行する津波速度分布(上:Fr=0.8,下:Fr=1.5)

3-2. 津波が陸上を遡上する際のシミュレーション  
 解析領域は 1km x 3m x 50m で同じく波高 10m, Fr 数は 0.80 及び 1.50 と設定した。格子数は 510765 メッシュである。  
 段波形状の波は、陸上では崩れて射流化しつつ前方に

流れる。Fr=0.8 ではスムーズに前方に流れるのに対し、Fr=1.5 では崩落した波が落下する際に大きく速度分布が乱れその後前方に滑りだす(図2)。進行する波の容積はFr=1.5 では非常に大きくまた界面形状が上に凸である。

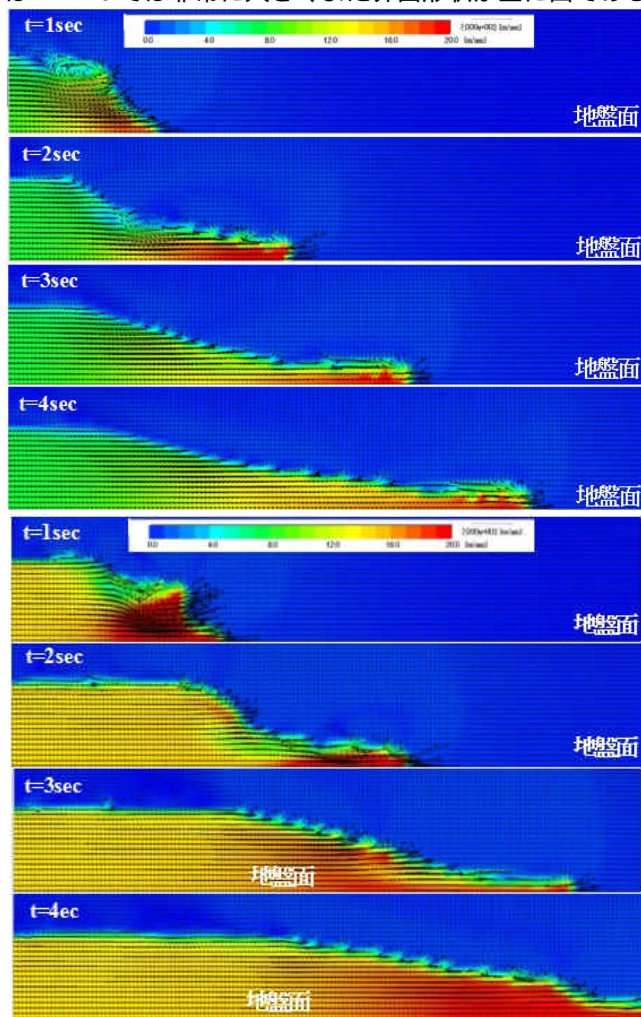


図2. 陸上を遡上する津波の速度分布(上:Fr=0.8,下:Fr=1.5)

### 3-3. 津波が海から陸に上がる際の挙動(図3)

先のシミュレーションの後半で高さ10mの岸壁を設け波が陸上に移行する現象を解析した。同じ高さの波にも関わらず陸上遡上後の水平速度で2倍近くの大きな差が生じた。これは岸壁に到達した波の運動エネルギー総量

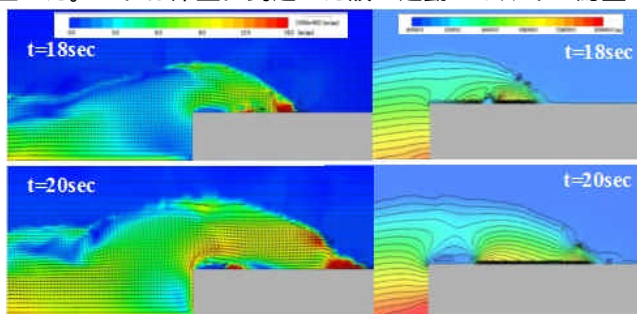


図3. 海中から陸上へ津波の遡上現象  
(上:Fr数0.8,下:Fr数1.5 左:速度,右:圧力)

に差があり、Fr=0.8では岸壁角部での剥離がないのに対しFr=1.5では岸壁角部で流れの大きな剥離が見られる。

### 4. 引き波のシミュレーション

津波シミュレーションは従来押し波ばかりで引き波は行われたことがなかった。ここでは海岸際の傾斜地盤に位置する構造物周辺に静水塊を置き、BrokenDamとしての自由表面問題を解いた。図4に引き波の落下挙動と建築物表面や地盤表面の圧力分布を示した。引き波現象についてはBrokenDamの条件で基本現象が定性的に把握できることが分かった。

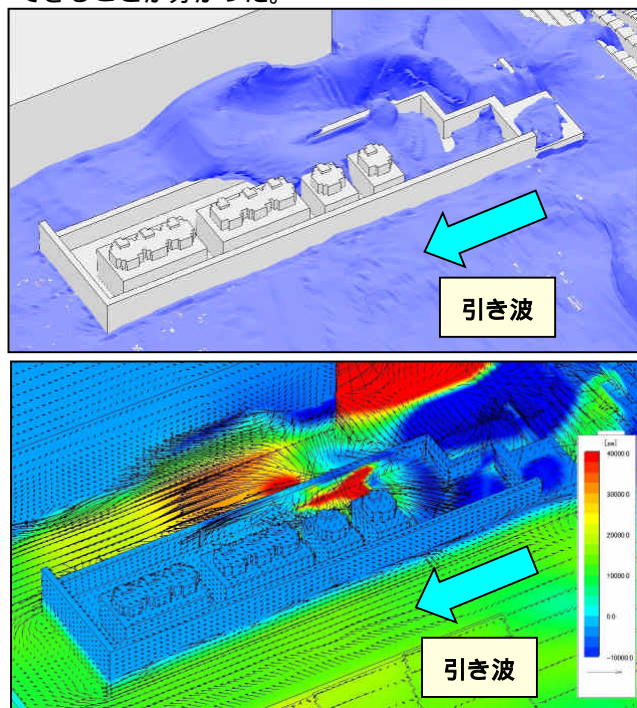


図4. 引き波シミュレーション結果 上:VOF分布 下:表面圧力

### 5. まとめ

構造物に接近する津波の水平・鉛直方向の速度プロファイルは、海中進行の場合と陸上の場合で大きく異なることが分かった。津波前面の抵抗の有無が前進挙動に影響を及ぼすから考えられる。津波が海から遡上する際の挙動はFr数で大きく異なり、遡上後の速度プロファイルと深い関連があることが示唆された。さらに引き波現象について基本現象が定性的に把握できることを示した。

### 参考文献

- 1) 奥田泰雄・阪田 升: 日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1, pp.195-196, 2007.8
- 2) 奥田泰雄・阪田 升: 開口部の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1, pp.77-78, 2008.9
- 3) 阪田 升・奥田泰雄: 波圧分布, 日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1, pp.131-132, 2009.9
- 4) 阪田 升・奥田泰雄: 広域解析への応用, 日本建築学会大会学術講演梗概集 構造 2pp.33-34, 2012.9

1\* 株式会社環境シミュレーション

2\*\* 国土交通省国土技術政策総合研究所

3\*\*\* 独立行政法人建築研究所

1\*Environment Simulation Inc.

2\*\* National Institute for Land and Infrastructure Management

3\*\*\*Building Research Institute