

### VOF 法による構造物の津波荷重シミュレーション

環境シミュレーション 正会員 阪田 升  
 国土交通省国土技術政策総合研究所 奥田 泰雄  
 独立行政法人建築研究所 喜々津 仁密

#### 1. 目的

東日本大震災による大津波を契機に、高波高の大規模な遡上波が持つ衝撃力の大きさを定量的に評価検討する事が喫緊の課題として求められている。筆者らは建築物・構造物の耐力検討のため 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津波の解析に応用してきた<sup>1-4)</sup>。本報告ではその概要と応用例について示す。

#### 2. 解析手法

本報告では沿岸から陸上への遡上波をフル 3 次元で解き、浸水域と建築構造物に作用する津波力の評価した。シミュレーションに使用した技法は次の通りである。

基礎方程式：NS 方程式,連続の式,VOF 移流方程式<sup>5)</sup> 空間の離散化：不等間格子(最小格子間隔 0.5m)  
 時間の離散化：SMAC 法 移流項：Hybrid 中心差分 乱流モデル：直接シミュレーション (DNS)  
 自由表面補足：VOF 法と密度関数法を併用<sup>6)</sup> 初期条件：浸水深・Fr 数を仮定し流速を設定

#### 3. 避難ビルシミュレーション

定量的に津波荷重の評価が可能か検証するために、3 階建て避難ビル(軒高 11m)について海岸際にビルが立地している仮定での解析を行った。解析空間の大きさは 400m x 160m x 60m である。計算結果を Fig.1 及び 2 に示す。

Fig.1 では避難ビルに津波が当たった時点の自由表面の状態が表されている。Fig.2 は構造物表面の流速・圧力分布である。窓開口が無い場合には、建物前面で流れが減速し低層部で大きな波圧が発生する事が確認できる。窓開口有りでは窓無しに比べて全体的に流速も圧力も減少していた。

水平荷重の時間推移では (Fig.3) 衝撃段波波圧や最大重複波圧が既存の測定例のとおりに再現されているのが確認された。

Fig.4 には建築物の前面の開口面積比と最大津波力との関係を示した。点線は開口部がない場合(開口面積比 0%)を最大として線形的な低減を示すが、本技法での荷重のシミュレーション結果もほぼ同じ点線上にあることが分かる。

Fig.5 には、浸水深 2m, 波の速度 4.7m/sec (Fr 数 1.5) の場合の異なる高さで求めた建物前面水平荷重の時間推移について示した。衝撃段波波圧発生時(左上グラフ)には、建物低層部に集中的に高い荷重が働いている事が分かる。津波の建物衝突からやや時間の経過した最大重複波圧発生時(右上グラフ及び右下グラフ)には、建物前面には鉛直方向に線型の分布を持つ荷重が働くことが見てとれる。この傾向は建物の浸水深 3 倍に比例するライン(グ

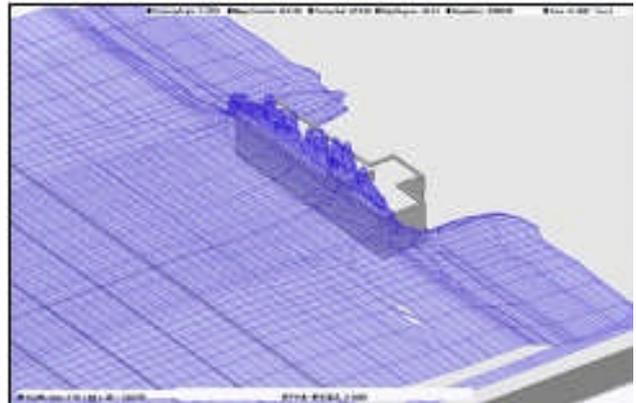


図 1 衝撃段波波圧発生時の海面形状

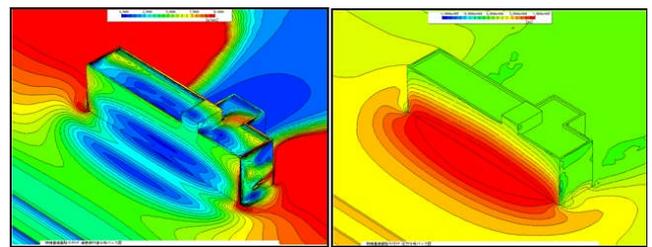


図 2 衝撃段波波圧発生時の表面流速・圧力分布

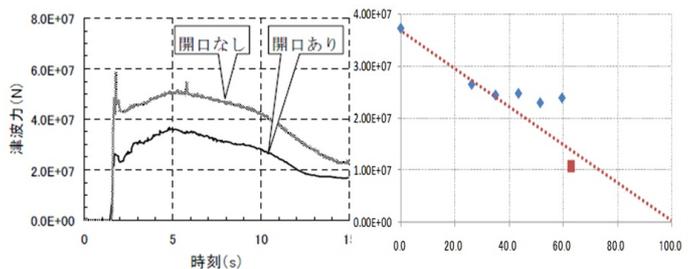


図 3 水平荷重の時間変化 図 4 開口率による荷重の変化

キーワード 津波, 流体数値解析, VOF 法, 荷重

連絡先 〒101-0004 東京都千代田岩本町 3-4-6 TEL 03-5823-3561

ラフ中、赤点線)に沿っており、これは得られた荷重が朝倉の式<sup>7)</sup>に一致する事を示している。

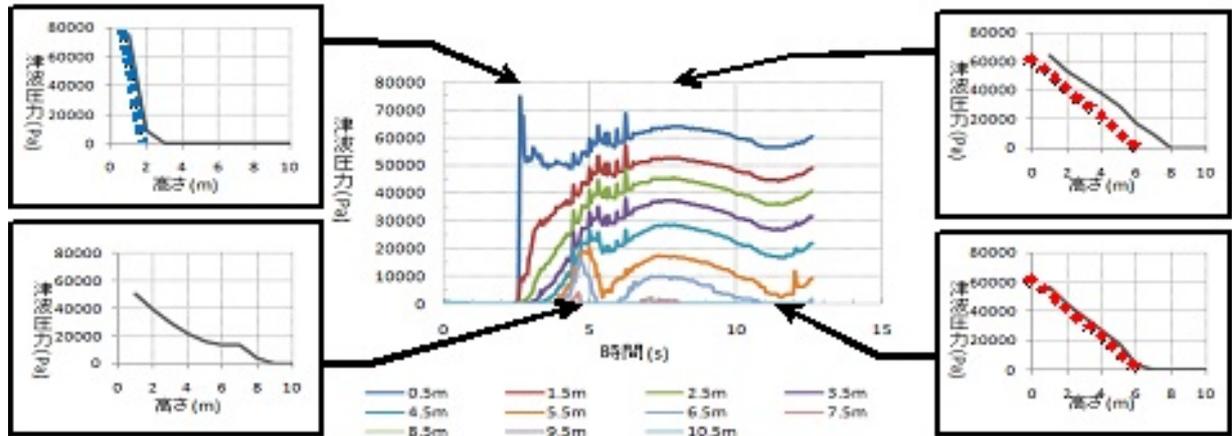


図5 高さ毎の建物前面津波荷重の時間推移

#### 4. 広域のシミュレーション (M 浄化センター)

解析領域は 1.6km×2.0km×160m で波高 15m, Fr 数 0.65 で、格子数は 9941360 メッシュである (図6右図)。本解析では、長い海岸線に対して津波が遡上しており、河川を遡る様子も観察される。また、浄化センター手前の斜面とその上の建物群に約 7 t/m<sup>2</sup>の荷重が掛かっている事が分かる (図6左図)。

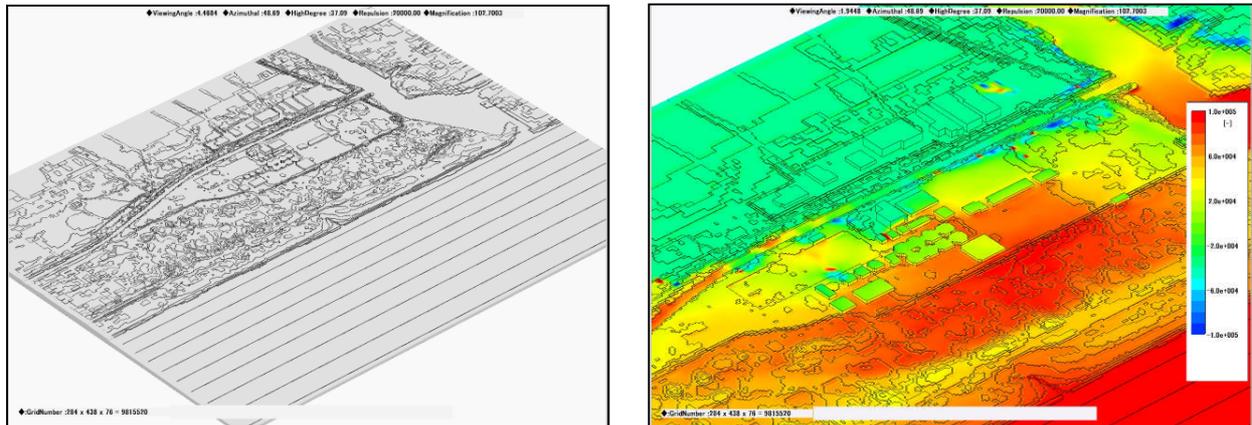


図6 広域シミュレーションの解析モデル (左) と津波到達時の表面波圧分布 (右)

#### 5. 遡上流の基礎的検討

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った。解析領域は 1km×3m×60m (水深 10m) で波高 10m, 1.50 と設定し、格子数は 731092 メッシュである。津波条件としては、Fr 数と波高で波の速度を決め一定速度を水塊に与えて段波の状態とした。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事が分かる (図7参照)。

#### 6. まとめ

VOF 法による構造物の津波荷重解析を行い、避難ビル等に対する荷重の評価や広域の浸水域予測などに有益であることが分かった。また、海上・陸上での遡上流の挙動解明が重要であり、今後も検討を進める。

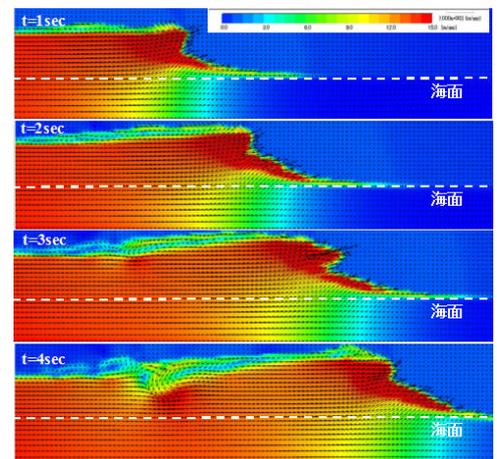


図7 海中を進行する津波 (Fr 数 1.5)

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 5) C.W.Hirt, B.D.Nichols and N.C.Romero, LA-5852, 1975 6) 高谷 材料とプロセス 22 巻 1 号, ROMBUNNO.T016, ISSN1882-8922 7) 朝倉良介ら 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp.911-915, 2000