

建築物に作用する津波のシミュレーション
その4 広域解析への応用と浸水域解析

正会員 阪田 升^{1*}
正会員 奥田 泰雄^{2**}

津波 シミュレーション
建築物 VOF 法
波圧分布 荷重

1. はじめに

筆者らは東日本大震災に先んじて建築物を対象として津波のシミュレーションを実施してきた^{1,2,3)}。一定の条件で衝撃段波波圧・最大重複波圧など典型的な津波荷重の特徴が定量的に再現できる事や¹⁾、開口部を持つ建築物について全体に作用する津波荷重は前面の開口面積比に応じて線形的に低減されるが、それには限界値があることなどを示した²⁾。また更に津波荷重分布を詳細に検討し、朝倉ら⁴⁾が水槽実験で確認したソリトン分裂時における静水圧分布の4倍の勾配をもつ圧力と、非分裂時におけるの波の最大圧力分布は浸水深の3倍の静水圧分布であることなどを確認した³⁾。

これらの蓄積した知見を踏まえ、本報では喫緊の課題である1km四方以上の津波の数値シミュレーションを実施し、東日本大震災時に得られた動画や建物調査との比較を行なった。

2. 解析手法と解析条件

本報は前報^{1,2,3)}とほぼ同じ条件でのVOF法による気液二相流れの解析であり、解析手法は以下のとおりである。ただし、前報^{1,2,3)}では海底は1/10の勾配を付けていたが、今回は国土数値情報や海底地形情報などを可能な限り用いて実在地形との一致をさせたデータを用いている。

解析領域：幅1km以上×1km以上×高さ100m以上
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：フルード数は解析対象場所に合わせて任意の設定だが、一般にはリアス式海岸部で0.65、平野海岸部で0.80とする。⁵⁾
境界条件：沖合側・内陸側 - 速度既定条件、海底・地表面 - Non Slip、側面・天空面 - Free Slip

3. 解析結果

3-1. 久慈港

解析領域は2km×2km×120mで波高15m、Fr数0.65と設定した（図1）。格子数は4782528メッシュである。シミュレーション結果を図2に示す。図2上には護岸の先端に津波が達した瞬間の結果を、図2下にはさらに時間が進んで護岸の根元に達した瞬間の結果を実映像とと共に示した。護岸の影響で、津波の進行方向が変わるがその様子や波の到達時間などは実映像と一致している。

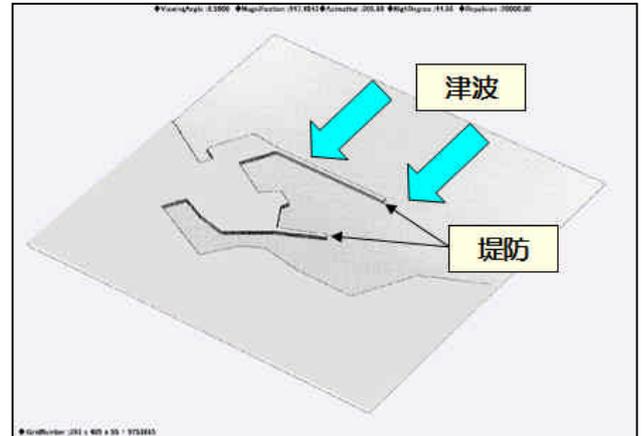


図1. 久慈港津波解析モデル

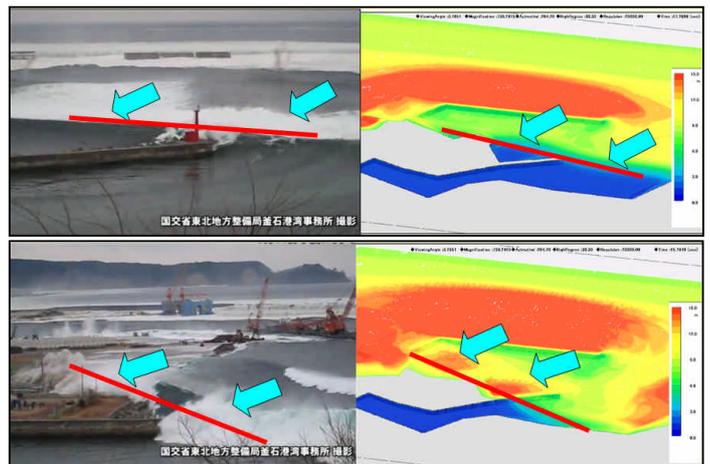


図2. 久慈港 津波解析結果

（左：実映像、右：シミュレーション[波高分布]）

上：護岸先端に津波が到達、下：護岸根元に津波が到達

3-2. 鮎川浜

解析領域は1.5km×1.7km×130mで波高5m、Fr数0.65と設定した（図3）。格子数は9171984メッシュである。解析モデルは国土数値情報と海底地形データから構築した。捕鯨港として有名な鮎川浜は、牡鹿半島の震源とは逆側に位置し、津波の波高（浸水高）は5mとさほど大きくはないが反射波が狭い湾に押し寄せたため海岸際の建物に大きな被害が出た。鮎川浜は2つの堤防で守られていたが、解析結果（図4）から堤防の手前で津波のピークカットが行われ港内では比較的波高が小さかったことが分かる。また2つの堤防で津波の港

内への侵入方向が大きく制限されたことも分かった。

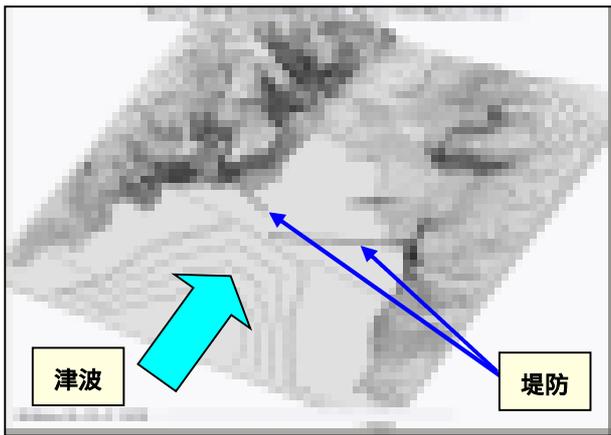


図3．鮎川浜 津波解析モデル

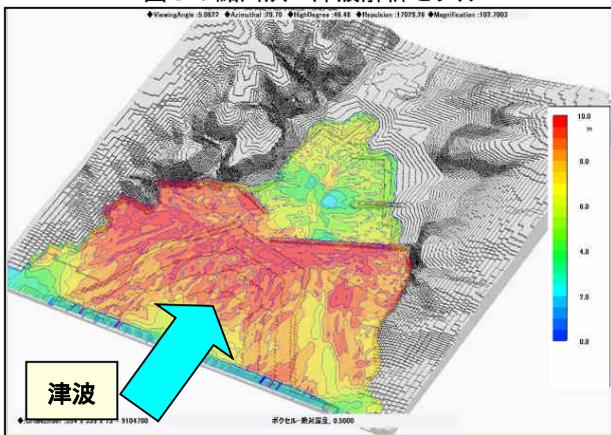


図4．鮎川浜 津波解析結果（波高と浸水域）

3 - 3 . 南蒲生浄化センター

解析領域は 1.6km×2.0km×160m で波高 15m , Fr 数 0.65 で (図 5) 格子数は 9941360 メッシュである。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できる (図 6) 。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/m² の荷重が掛かっている事が分かる (図 7) 。平均荷重分布・最大荷重分布は、建物毎に破壊状況調査との比較検討を行なっている。

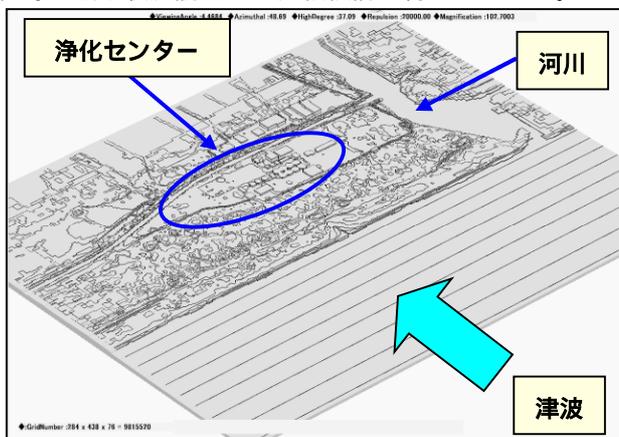


図5．南蒲生浄化センター 津波解析モデル

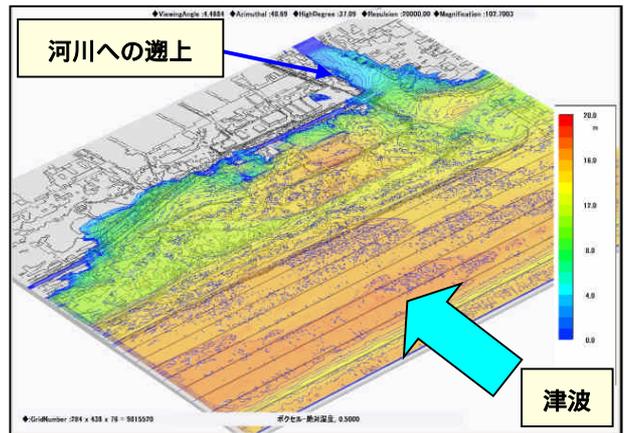


図6．南蒲生浄化センター 津波解析結果（波高と浸水域）

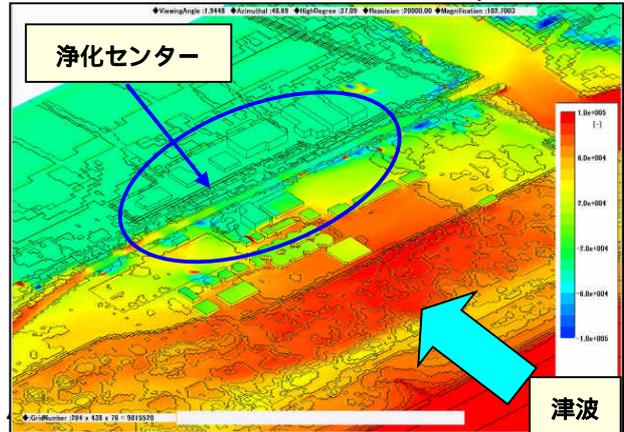


図7．南蒲生浄化センター 津波解析結果（荷重分布）

津波数値シミュレーションを 1km 四方以上の広域解析に適用し、入波条件によるが実際の映像や建物調査結果等と良好な一致を見ている。今後は、更に様々な条件でのシミュレーションを行って計算精度を確認するとともに、浮力の影響や波力による構造物の転倒・移動解析や浅水長波方程式とのハイブリッド解析にも応用を広める。

< 謝辞 >

南蒲生浄化センターの解析には、早稲田大学社会環境工学科濱田政則教授のご指導を得た。記して謝意を表す。

< 参考文献 >

- 1) 奥田泰雄・阪田 升：建築物に作用する津波のシミュレーション，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：建築物に作用する津波のシミュレーション その2 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：建築物に作用する津波のシミュレーション その3 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) 朝倉良介ら：海岸工学論文集,第 47 巻, pp.911-915, 2000
- 5) 中埜 日本地震工学会, 講演会「東日本大震災の津波被害の教訓」資料 59P, 2011 年 10 月

1* 株式会社環境シミュレーション

2** 国土技術政策総合研究所

*Environment Simulation Inc.

**National Institute for Land and Infrastructure Management