

海底地形が津波に及ぼす影響

山村 椎奈 (指導教員: 河村哲也)

1 はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は日本周辺における観測史上最大の地震とされ、太平洋沿岸の10mを超える高さの津波により甚大な被害をもたらした。特に被害が大きかったのは、三陸沖の沿岸地域で、リアス式海岸の地形が影響を及ぼしたものだと考えられている。一方で、同じく三陸沿岸に位置する松島湾では被害が著しく小さかったことが報告されている。これは小さな島が多数存在しているという松島湾の海底地形の特色が津波に影響を与えたためではないかと考えられる。

そのため、本報では海底地形が津波の挙動にどのような影響を与えるのかを数値シミュレーションを用いて解析する。

2 モデル化・格子生成

2.1 計算領域

Fig.2.1のように密度の大小により2つの流体モデルを作り、密度の小さい上部を空気、密度の大きい下部を水として計算した。このとき、津波の表面は密度界面で表現される。

初期状態では、空気部分を0.0、水部分を1.0としている。また、Fig.2.1のように、水の一部分を隆起させることで、波を発生させる。

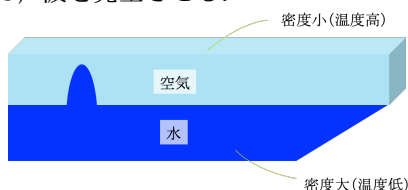


Fig. 2.1: 2流体モデルの断面図

2.2 モデル地形

格子数は沖方向、深さ方向、沿岸方向にそれぞれ300 × 105 × 50とし、5つのモデル地形を作成した。(Fig. 2.2.1~Fig. 2.2.5)

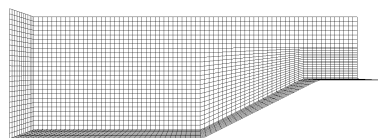


Fig. 2.2.1: 地形 A (斜面)

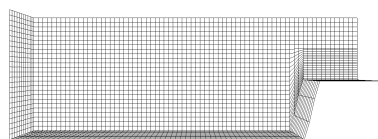


Fig. 2.2.2: 地形 B (勾配が急な斜面)

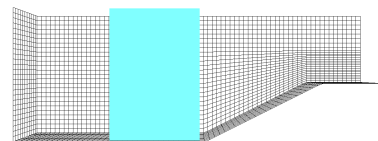


Fig. 2.2.3: 地形 C (斜面に 80 × 105 × 30 の島あり)

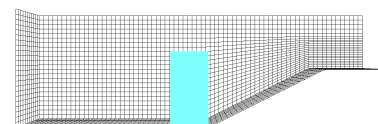


Fig. 2.2.4: 地形 D (斜面に 30 × 60 × 10 の島あり)

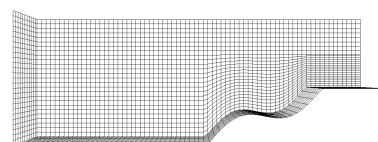


Fig. 2.2.4: 地形 E (曲面)

3 計算方法

3.1 基礎方程式

連続の式、運動方程式、および状態方程式から密度差は温度差の逆数と解釈して温度の移流拡散方程式を基礎方程式として使用する。

連続の式

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = 0$$

運動方程式

$$\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} = -\nabla P + \frac{1}{Re} \Delta \mathbf{V} + T \mathbf{K}$$

温度方程式

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) T = \frac{1}{Re \cdot Pr} \Delta T$$

P : 圧力, Re : レイノルズ数, Pr : プラントル数

T : 基準温度からの差

\mathbf{V} : 速度ベクトル, \mathbf{K} : 鉛直方向単位ベクトル

3.2 解法

上記の方程式を一般座標に変換し、フラクショナル・ステップ法を用いて解く。 $Re = 10000$ とした。

また、境界条件として左の面は自由端反射、右の面は固定端反射、底面は滑りなし、その他の面は滑り壁とした。

4 結果と考察

それぞれの地形において、沿岸方向の中央断面における波の形状を観察した。津波が右端に到達した時点（または最終ステップに達した時点）での波の高さとその時のステップ数は Fig. 4.1 から Fig. 4.5 のようになった。また、地形 A・地形 B において、第 1 波の反動によって生じた第 2 波が観測できた時点での波の大きさは Fig. 4.6 から Fig. 4.7 のようになった。

地形 A と B について、Fig.4.1 と Fig.4.2 を比較すると、波が右端に達した時の高さとその時のステップ数はほとんど一致していた。

一方で、Fig.4.6 と Fig.4.7 を比較すると、第 2 波の大きさが地形 A では第 1 波とほとんど同じ大きさであるのに対し、地形 B では極端に小さくなっていた。このことから、坂の勾配は波の動きに影響を与えていることが考えられる。

地形 C について、Fig.4.3 のように、最終ステップに達した時点での波の大きさが Fig.4.1 と比較して小さいことから、島があることで、波の大きさが抑えられていることがわかる。

一方で、地形 D について、Fig.4.1 と Fig.4.4 を比較すると、波が右端に達した時の高さとその時のステップ数はほとんど一致していた。このことから、波に影響を及ぼすためには一定以上の島の大きさが必要であることが考えられる。

地形 A と E について、Fig.4.1 と Fig.4.5 を比較すると、波が右端に達した時の高さとその時のステップ数はほとんど一致していた。一方、波の形状や動きは異なっていたことから、海底の形状も波に影響を及ぼすことが考えられる。

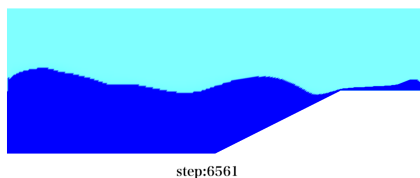


Fig.4.1: 地形 A (右端に到達した時)

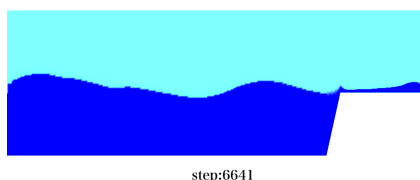


Fig.4.2: 地形 B (右端に到達した時)

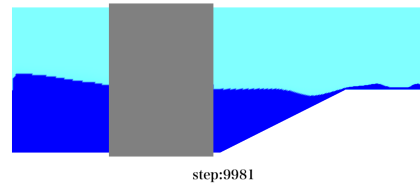


Fig.4.3: 地形 C (最終ステップに達した時)

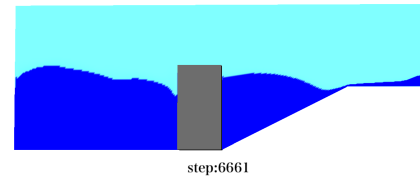


Fig.4.4: 地形 D (右端に到達した時)

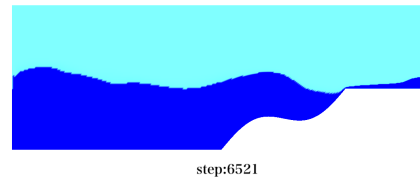


Fig.4.5: 地形 E (右端に到達した時)

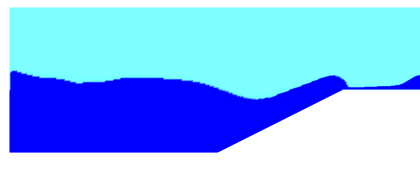


Fig.4.6: 地形 A (第 2 波が到達した時)



Fig.4.7: 地形 B (第 2 波が到達した時)

5 まとめと今後の課題

海底地形により、津波の到達スピードや高さ、第 2 波の大きさに変化が生じることは確認できた。

今後は、実在する沿岸の海底地形を再現することで、津波の被害を抑えるための具体的な措置を考察していきたい。

参考文献

- [1] 河村哲也. 数値シミュレーション入門. サイエンス社, 2006.