

島の配置が津波伝播に及ぼす影響の数値シミュレーション

佐宗智子 (指導教員: 河村哲也)

1 はじめに

2011年の東北地方太平洋沖地震では津波が広い地域を襲い、凄惨な被害が出た。同じ宮城県沿岸地域でも、松島の被害は他の地域に比べて比較的軽微であり、島の多さが関係しているのではないかとされている。

そこで本研究では島と津波伝播の関係に着目し、島の形や配置によって津波の大きさが変化するかどうかを検証する。津波の影響が小さくなる島の条件や配置を発見し、将来的な津波対策に繋げることを目指す。

2 格子生成とモデル化

沖合から海岸に向かう方向 (X) 海底から上空へ向かう方向 (Y) 海岸沿いの方向 (Z) の直方体の3次元空間領域を考えた。格子の大きさの比率は $X : Y : Z = 1 : 0.5 : 1$ 、格子数は $200 \times 150 \times 100$ で、無次元計算を行う。水深は58(格子)、陸の高さは60(格子)とする。

計算領域の X 軸方向の長さを1とすると、Y 軸方向の長さは0.375、Z 軸方向の長さは0.5である。

陸と島の形状を配列 MASK(I,J,K) で表す。波が陸上に上がる動きを擬似的に観察するため、密度の違う二つの流体の境界を海面に見立てる。二流体の界面の不自然な拡散(ぼやけ)を防ぐため、一定のステップごとに密度を初期の二値に変換し、境界面(海面)の更新を行う。

3 計算方法

3.1 基礎方程式

非圧縮性 Navier-Stokes 方程式 (1)、連続の式 (2)、密度の移流拡散方程式 (3) を使用する。

数値解法にはフラクショナル・ステップ法を用いた。時間に対しては前進差分、流速に対しては三次精度上流差分を用いた。

二流体の密度差は1:2。レイノルズ数20000、最大ステップ数20000で計算を行った。

$$\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{1}{\text{Re}} \Delta \mathbf{V} - g \mathbf{j} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + (\nabla \cdot \mathbf{V}) \rho = A \Delta \rho \quad (3)$$

\mathbf{V} : 無次元速度ベクトル p : 無次元圧力
 t : 時間 ρ : 無次元密度
 Re : レイノルズ数 g : 無次元重力加速度
 \mathbf{j} : 鉛直方向単位ベクトル A : 拡散係数

3.2 波の表現

津波には「振幅に比べて波長が極端に長い」という長波の特徴があるため、横波として扱い、海の沖合から海岸に向かって押し出すような正弦関数的に変化する速度を加える。



図 1: 6000step 図 2: 12000step 図 3: 18000step

図1~3は典型的な時間における波の形状(図の青色の部分)を示す。

4 比較方法

波が陸に到達したときの最大高度を比較する。海岸線を z 方向に10分割し、それぞれ A~I 地点と名付け、次のようにとる(ただし $i=166$)。

$A=(i,y,10), B=(i,y,20), C=(i,y,30), D=(i,y,40),$
 $E=(i,y,50), F=(i,y,60), G=(i,y,70), H=(i,y,80), I=(i,y,90).$

計算領域の X 軸方向の長さを1とすると、X 軸方向の陸の端までの距離は0.5、海底から地上までの高さは0.375、観測点間の距離は0.05である。

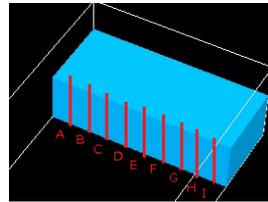


図 4: 観測地点 A~I

5 計算結果と考察

5.1 島の高さや厚みによる影響差

図5は島がない場合、図6は $4 \times 60 \times 33$ (格子) の大きさの島を $x=28$ 地点から配置した場合、図7は $4 \times 90 \times 33$ (格子) の大きさの島を $x=28$ 地点から配置した場合、図8は $22 \times 90 \times 33$ (格子) の大きさの島を $x=28$ 地点から配置した場合である。

図5では津波の到達高度が $y=111$ 、図6では $y=112, 113$ 、図7では $y=112$ 、図8では $y=112$ である。

この結果より、島の存在によって津波の到達高度が変化するが、島の大きさや形状によって島がある場合のほうが島がない場合よりも津波の到達高度が高くなる可能性があることがわかった。また、島の高さは到達高度に影響を与えうるが、島の厚みによって到達

高度はほとんど変化しないことがわかった。

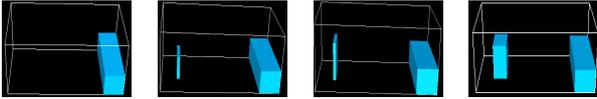


図 5: 島なし 図 6: 低い島 図 7: 島 図 8: 厚い島

5.2 島の相対位置による影響差

図 9 は $4 \times 90 \times 33$ (格子) の大きさの島 2 つを x 方向を揃えて配置した場合, 図 10 は同じ大きさの島を x 方向にずらして配置した場合, 図 11 は同じ大きさの島を x 方向に図 10 よりも更に遠ざけて配置した場合である。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
図 9	112	111	111	111	111	111	111	111	111
図 10	107	107	108	108	107	107	106	106	106
図 11	104	104	104	104	104	104	104	103	103

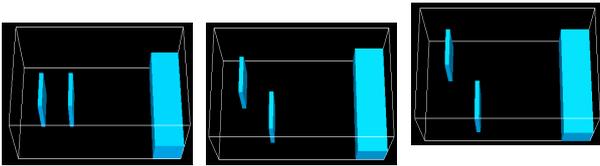


図 9: 揃える 図 10: ななめ 図 11: 更にずらす

この結果より, x 方向については 2 つの島を遠ざけて配置したほうが津波阻止の効果が高いことがわかった。

5.3 ずらした島の数による影響差

図 12 は図 11 と同じ島を配置した場合, 図 13 は同じ大きさの島を更にもう一つ配置した場合である。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
図 12	104	104	104	104	104	104	104	103	103
図 13	98	95	96	97	97	96	96	95	96

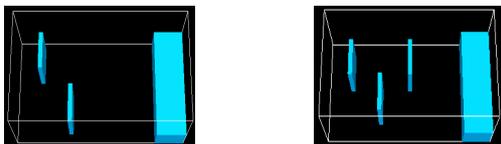


図 12: 島 2 つ 図 13: 島 3 つ

この結果より, 島を増やすことによって津波阻止の効果を増大させることができるとわかった。

5.4 島の位置による影響差

図 15 は図 12 と同じ島を配置した場合, 図 14 は 2 つの島を z 方向を揃えて沖寄りに配置した場合, 図 16 は

2 つの島を z 方向を揃えて陸寄りに配置した場合である。

この結果より z 方向をずらすより, z 方向に揃えて配置したほうが, また, 陸寄りに配置したほうが津波の到達高度が低くなることがわかった。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
図 14	104	103	103	103	102	102	101	101	101
図 15	104	104	104	104	104	104	104	103	103
図 16	101	100	100	99	98	98	97	97	97



図 14: 沖寄せ 図 15: ななめ 図 16: 陸寄せ

5.5 長さと間隔による影響差

図 17 は図 7 と同じ大きさの島を配置した場合, 図 18 は同じ大きさの島を 2 つ離して配置した場合, 図 19 は図 17 の 3 倍の大きさの島を配置した場合である。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
図 17	112	112	112	112	112	112	112	112	112
図 18	101	100	100	99	98	98	97	97	97
図 19	102	101	100	100	101	100	99	99	100

この結果より, 1 つの長い島より, 2 つの島を間を設けて配置したほうが, 津波の到達高度は低くなることがわかった。

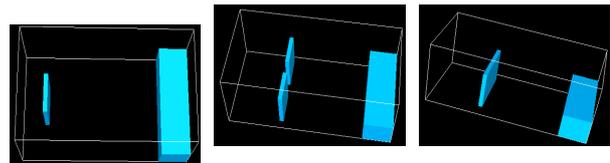


図 17: 1 つの島 図 18: 2 つの離れた島 図 19: 1 つの大きな島

6 まとめと考察

島の配置によっては津波を島によって低減できることがわかった。

松島周辺の被害が比較的軽微だったのは島の影響である可能性が高いこと, 少ない資源でも人工的な構造物で島の代わりを果たすことが可能であることが示唆された。

7 今後の課題

今後の課題としては, 計算条件を実際の環境に近づけること, より効果的な島の配置を発見することが挙げられる。