

Ⅱ-42 VOF法による津波発生シミュレーション

岩手大学 学生員 ○ 若松 明史
正会員 小笠原 敏記
正会員 堺 茂樹

1. はじめに

地震調査研究推進本部によると、「宮城県沖でマグニチュード7.5程度の地震が30年以内に発生する確率は99パーセント以上である」と発表されていることから、早急な津波対策が強く望まれている。現在、観測された地震波形から海底地盤の変動を予測し、それに基づき津波の初期波形を計算するのが一般的である。従って、初期波形の推定精度は津波高及び陸上への遡上高の予測精度を左右することから、ハード・ソフト両面の総合的津波対策を検討する上では、最も基本的な情報といえる。

そこで、本研究ではVOF法を用いて海底地盤の変動から水面変動を計算し、初期波形に対する海底地盤の隆起速度による影響を検討した。

2. 基礎方程式と数値計算手法

数値計算に用いた基礎方程式は、次式のような非圧縮性流体を対象とした連続式及びNS方程式である。

$$\frac{\partial(\gamma_i u_i)}{\partial x_i} = S_p \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial(\varepsilon u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\gamma_i u_i u_i)}{\partial x_i} + \frac{\partial(\gamma_j u_i u_j)}{\partial x_j} = -\varepsilon \frac{\partial P}{\partial x_i} - g_i + \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial^2 \gamma_i u_i}{\partial x_i^2} + \frac{\partial^2 \gamma_i u_i}{\partial x_j^2} \right) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 x_i は鉛直2次元の直交座標系 (x, y) 、 t は時間、 u_i 及び p はそれぞれ流速 (u, v) 及び圧力であり、また g_i は重力加速度 $(0, g)$ 、 Re はReynolds数である。空隙率 ε はセル内の流体と海底地盤の割合（ $\varepsilon=1$ のときは、セル内はすべて流体）、有効面透過率 γ_i は x_i 軸に垂直な断面を占める液相の面積率である。 S_p と後述の S_F は造波ソースの項で、海底地盤の隆起を表現している。

水面位置は、体積率を表す F の移流方程式によって決定する。

$$\varepsilon \frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial(\gamma_i u_i F)}{\partial x_i} = S_F \quad \dots\dots\dots (3)$$

これらの基礎方程式を鉛直2次元のstaggered格子上で差分化し、拡散項は2次の中央差分、移流項は1次の風上差分を用いた。また、本計算ではSMAC法より大幅な計算時間の短縮が可能なHSMAC法を用いている。

3. 海底の地形変化を表現する手法

図-1に示すように初期状態を一樣な水深の水域における静水状態とし格子間隔を $\Delta x=1,000\text{m}$ 、 $\Delta y=50\text{m}$ 、水深 $h=4,000\text{m}$ とする。海底地形の変動として、海底の $75\text{km} \leq x \leq 105\text{km}$ の部分が一定速度で一樣に隆起する場合を考える。最終的な地盤の変移量は3mとし、隆起速度を変えて計算をした。

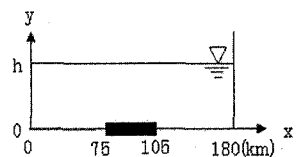


図-1 計算対象領域

4. 計算結果及び考察

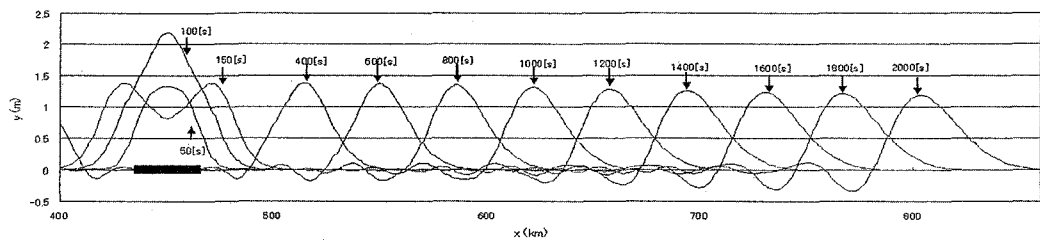


図-2 隆起速度 0.03m/s の津波発生過程

図-2 は海底地盤の隆起による海面の水位の上昇、隆起の停止による水位の減少、そして、左右二つに分裂して伝播する波形（図-2 では右側一方向だけ）を示している。また、左右二つに分裂した波は伝播に伴い波高が減少しており、これは伝播する波の後方に発生する波へのエネルギー輸送によるものと考えられる。このような特性は他の隆起速度の場合でも同様であった。

次に、隆起速度が異なる場合の初期波形の違いに着目する。図-3 に隆起速度が速い場合の水面の時間変化を示す。隆起速度が速いときは、海底地盤隆起部の水面上昇量が大きく、隆起部以外での水面変化は、隆起部周辺を除きほとんどないことがわかる。図-4 に速度が遅い場合の水面の時間変化を示す。速度が遅いときは水平方向に広がりながら、水面が上昇している。この二つの図より、地盤の変移量は同じであっても隆起速度によって水面波形が異なることがわかった。この隆起速度による違いを水面下の流速ベクトルから検討する。図-5 に両者の地盤変移量が 1.5m になったときの、水深 3000m から 4000m 内での流速ベクトルを示す。隆起速度が速いときの隆起部のベクトルは全て鉛直上向きで、隆起部先端付近になると小さくなる傾向がある。隆起速度が遅いときの流速は、隆起部中心では上向きであるが、隆起部先端付近では水平成分が卓越し隆起速度と同じ程度の流速を持つことがわかった。

次に、隆起速度と初期波形の最大水位に着目する。図-6 に地盤変移量が 3m となったときの水面波形を示す。隆起速度が遅いときは、水位が低く水面上昇する領域は広くなる。速いときは、水位が高く領域は狭くなる。図-7 は隆起速度と最大水位の関係を示す。隆起速度が 0.1m/s 付近から傾きが小さくなり、隆起速度が増しても最大水位は一定となる。これは図-6 より読み取ることができる。

5. 参考文献

柿沼太郎・秋山実(2005): 海底地形の変動に伴う津波発生過程の数値計算、海岸工学論文集, 第 52 巻, pp.236-240

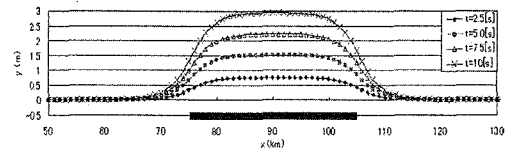


図-3 隆起速度 0.3m/s の経過水面

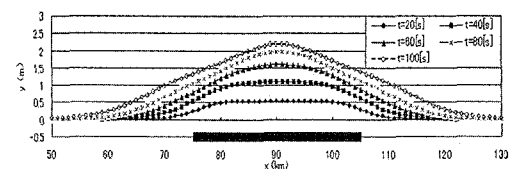


図-4 隆起速度 0.03m/s の経過水面

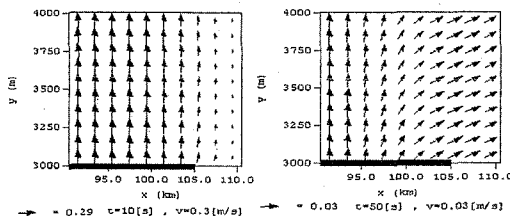


図-5 隆起速度の違いによる流速ベクトル

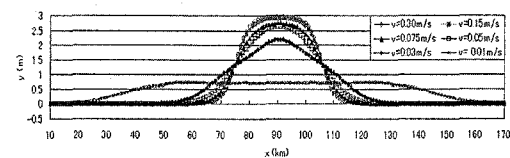


図-6 隆起停止時の水面波形

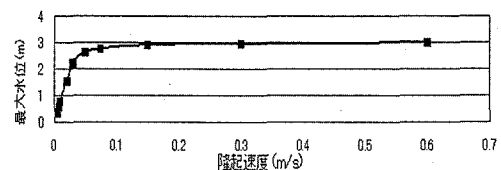


図-7 隆起速度と最大水位の関係