

II-41

境界要素法による地殻変動に伴う津波発生に関する数値計算

岩手大学 学生員○児玉 烈

岩手大学 正 員 小笠原敏記 堺 茂樹

1. はじめに

地震大国であるわが国にとって、地震に起因する津波がいつ襲来してもおかしくない中で、日々の生活を送っている。また、記憶に新しいスマトラ沖地震津波では多くの人々が犠牲となり、「津波が恐ろしい」と言うことを再認識させた。このような津波による被害を軽減するため、防災施設（湾口防波堤・防潮堤・水門など）によるハード対策、避難計画・自主防災組織などのソフト対策が進められているが、津波の波高や沿岸での遡上高を正確に予測することが津波対策において最も基本的かつ重要な情報である。

そこで本研究では、境界要素法を用いた津波発生に関する数値計算を行い、異なる海底隆起速度が海面の変形にどのような作用を及ぼすかを明らかにする。さらに、本手法では節点間隔を任意に設定することができる利点から、波形変化に対する自由水面の節点間隔の影響についても検討する。

2. 数値計算手法および計算条件

鉛直二次元場の数値水槽において、本手法の基礎式である連続の式は、非圧縮・非粘性流体、渦なし運動と見なすことにより、以下の速度ポテンシャル ϕ に関するラプラス方程式で表される¹⁾。

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad \dots\dots (1)$$

さらに、グリーンの公式を適用すると、式(1)は次式の境界積分方程式で表すことができる。

$$\alpha(x_i)\phi(x_i) = \int_{s(x)} \left\{ \frac{\partial \phi(x)}{\partial n} G(x, x_i) - \phi(x) \frac{\partial G(x, x_i)}{\partial n} \right\} ds \quad \dots\dots (2)$$

ここで、 $x_i = (x_i, z_i)$ 、 $x = (x, z)$ は全境界 s 上の点、 α は境界面の形状で決まる重み係数、 n は境界外向きの法泉ベクトルを表す。式(2)に自由水面、底面、開境界面の運動学的条件を代入し、全境界を直線要素(節点)に分割して、空間的に離散化した方程式を各境界の力学的条件と連立して解くことにより、全境界上の速度ポテンシャル ϕ と自由水面の変位 η が求められる。さらに、時間の離散化にはNewmark- β 法を用いた。また、両端に用いた開境界面にはSommerfeld型放射条件を適用した²⁾。

計算領域は水深 $h = 4,000$ m、水平距離 $x = 180$ kmの鉛直二次元場とした。節点間隔を開境界および底面に対して $\Delta x = \Delta z = 1,000$ mの一定とし、自由水面に対して $\Delta x = 200 \sim 1,000$ mの間で変化させ、時間間隔 Δt を 0.5 sとした。本研究では、海底の $75 \text{ km} \leq x \leq 105 \text{ km}$ の 30 km の範囲に鉛直上向きの一定速度を与えることによって、地殻変動を海底面の隆起する速度であると見なした。その隆起速度 v_0 を 0.075 、 0.15 および 0.30 m/s の3種類とし、海底の隆起高が 3 m に到達するまで与え続けた。

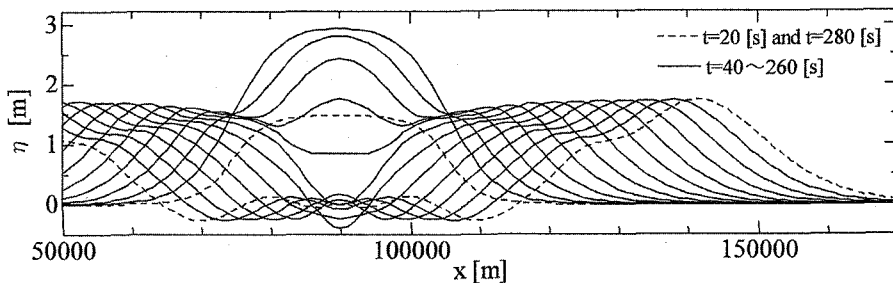


図-1 隆起速度 $v_0 = 0.075 \text{ m/s}$ の地殻変動に伴う津波の発達過程

図-1はその計算の一例であり、隆起速度 $v_0 = 0.075 \text{ m/s}$ における時刻 $t = 20 \text{ s}$ から $t = 280 \text{ s}$ までの津波の波形変化を20秒間隔で示したものである。水面が3m付近まで上昇した後、低下しながら左右に分裂して伝播して行く様子がわかる。このときの波速が約 200 m/s であることから、300秒程度の時間を伝播する距離としては妥当であり、有効な計算結果を示していると言える。

3. 水面波形と隆起速度の関係

図-2は各隆起速度 v_0 において隆起高が3mに到達したときの水面波形を比較したものである。水面波形の変位には差がほとんど見られない。また、 $v_0 = 0.075 \text{ m/s}$ では、他のケースに比べて波形勾配が緩やかになる傾向を示すが、 $v_0 = 0.15 \text{ m/s}$ および 0.30 m/s では、波形変化でも差が見られないことがわかる。そこで、最大変位 $\eta_{\max}$ の水面波形について各隆起速度 v_0 で比較したものを図-3に示す。 $v_0 = 0.075, 0.15$ および 0.30 m/s での最大変位 $\eta_{\max}$ となる時刻は、 $t = 41, 22$ および 16 秒である。 $v_0 = 0.15$ と 0.30 m/s の $\eta_{\max}$ の波形には、違いが無いものの、 $v_0 = 0.30 \text{ m/s}$ の場合では、隆起終了($t = 10 \text{ s}$)後も水位が上昇していることがわかる。すなわち、地震の規模が同程度であっても、地殻変動の上昇速度の違いによって、最大水位に到達するまでの時間に差が生じることから、津波が沿岸域に到達までの時間にもその時間差の影響を受けるのではないかと考えられる。

4. 自由水面の節点間隔の検討

図-4は節点間隔 Δx を200, 500および1,000mに変化させたときの最大変位 $\eta_{\max}$ の波形を比較したものである。波形はいずれも全く同様であることがわかる。つまり、波形に対してこの程度の節点間隔の差では影響を及ぼさないことが明らかである。最後に、計算時間の短縮のために、節点間隔をどこまで拡大できるのか、また、微小な水面変化を捕らえるためには、どこまでその間隔を小さくすればよいのかを検討する必要がある。

参考文献

- 1) 劉 曉東, 堀 茂樹: 任意波浪場における大型浮体の弾性応答に関する時間領域解析, 土木学会論文集, 656/II-52, pp.157-166, 2000.
- 2) 大山 巧, 灘岡和夫: 数値波動水槽における開境界処理のための数値消波フィルターの開発, 海岸工学論文集, 第37巻, pp.16-19, 1990.

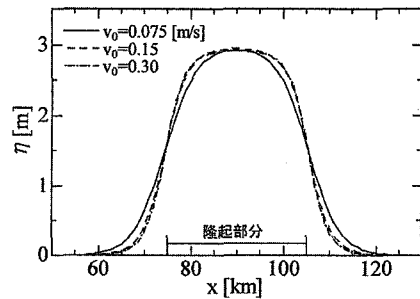


図-2 各隆起速度での隆起高が3mに達したときの水面波形の比較

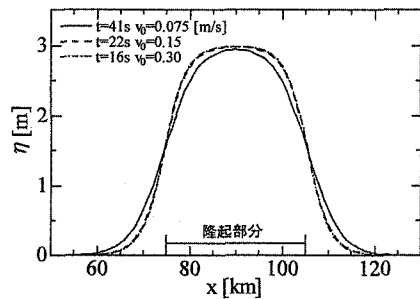


図-3 各隆起速度での最大変位の水面波形の比較

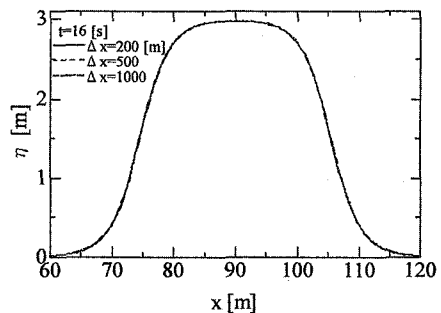


図-4 節点間隔($\Delta x = 200, 500, 1000 \text{ m}$)の違いによる水面波形の比較