

(Ⅱ - 47) 有限要素法による円錐形島における津波の遡上に関する数値解析

○中央大学 学生員 近藤 博一
(株)アイ.エヌ.エー 正員 高木 利光
中央大学 正員 川原 睦人

1 はじめに

津波は、海底火山の噴火や海岸の大規模な崩壊などによっても起こるが、ほとんどの場合、地震に伴う海底の地形変動により、海面に生じた凹凸が崩れそれが伝わることにより起こる。

1992年12月12日のインドネシア、フローレンス島沖のパビ島、1993年7月12日の奥尻島など近年大きな津波が島を襲った。これらの島では、津波が襲った島の正面ばかりでなく、島の背面でも被害が大きかった。

そこで本研究は、円錐形島の周りにおける津波の遡上を有限要素法により数値解析を行なったものである。また、本計算はUS Army Corps of Engineersで行なわれた実験^[1]と同様な条件で数値解析したものであり、実験値との比較、検討を行なった。

2 基礎方程式

基礎方程式として、以下の非線形浅水長波方程式を用いる。

<運動方程式>

$$\dot{u}_i + u_j u_{i,j} + g \zeta_{,i} - A_I (u_{i,j} + u_{j,i})_{,j} = 0 \quad (1)$$

<連続式>

$$\dot{\zeta} + q_{i,i} = 0 \quad (2)$$

ここに u_i は鉛直方向平均流速、 g は重力加速度、 ζ は水位変動量、 h は水深、 A_I は渦動粘性係数である。また、 q_i は単位幅当たりの流量を表す。

3 有限要素方程式

数値解析手法としては、三角形一次要素を用いた有限要素法を適用した。離散化された有限要素方程式は、以下のように書かれる。

$$M_{\alpha\beta} \dot{u}_{\beta i} + K_{\alpha\beta\gamma j} u_{\beta j} u_{\gamma i} + g H_{\alpha\beta i} \zeta_{\beta} + A_I (L_{\alpha\beta j} u_{\beta i} + N_{\alpha\beta j} u_{\beta j}) = \hat{\Omega}_{\alpha i} \quad (3)$$

$$M_{\alpha\beta} \dot{\zeta}_{\beta} + H_{\alpha\beta i} q_{\beta i} = 0 \quad (4)$$

ここに、

$$M_{\alpha\beta} = \int_{\Omega} (\Phi_{\alpha} \Phi_{\beta}) d\Omega, \quad \hat{\Omega}_{\alpha i} = \int_{\Gamma} (\Phi_{\alpha} \hat{i}_i) d\Gamma$$

$$K_{\alpha\beta\gamma i} = \int_{\Omega} (\Phi_{\alpha} \Phi_{\beta} \Phi_{\gamma i}) d\Omega, \quad H_{\alpha\beta i} = \int_{\Omega} (\Phi_{\alpha} \Phi_{\beta i}) d\Omega$$

$$L_{\alpha\beta j} = \int_{\Omega} (\Phi_{\alpha j} \Phi_{\beta j}) d\Omega, \quad N_{\alpha\beta j} = \int_{\Omega} (\Phi_{\alpha j} \Phi_{\beta i}) d\Omega$$

である。また、時間方向の離散化は3段階陽的解法^[2]を用いた。

4 解析例

解析領域を図1に示す。境界条件は、境界BC、CD、ADにおける法線方向の流速を0.0(m/sec)とした。

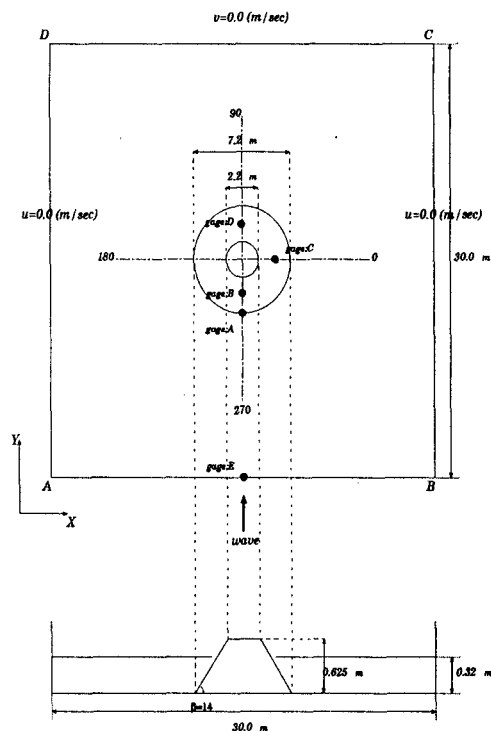


図1 解析モデル

また、孤立波を図1の境界ABから入射させた。孤立波の波高 ζ_0 は0.015、0.030、0.060 (m)の3ケースを用いた。以下、これらの3ケースをCase-A、B、Cとする。これらの条件は実験と同様である。

波の遡上域における移動境界手法としては、あらかじめ遡上予想域をメッシュ分割し、その中で水深の有無を判定しながら水際境界を決めて行く手法を用いた。この場合、水際線上の流速に対する境界条件の与えかたが問題になるが、これに対しては、梅津らの方法^[2]に従い水際線上の流速を無抵抗となる条件を与えている。

また、ここで用いたメッシュは節点数38,640、要素数76,800である。

5 解析結果

図2は、Case-Bについて図1に示す各 gage における点での水位変動量の時系列を示したものである。

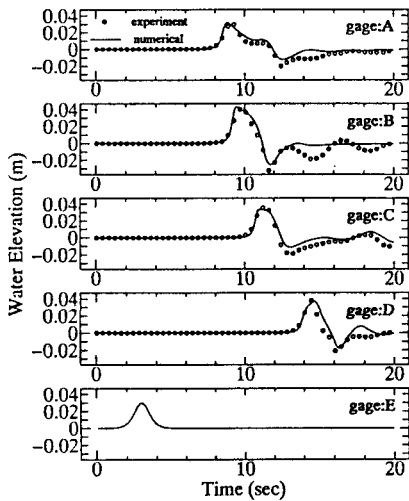


図2 水位変動の時系列 [Case-B]

図3は、Case-Bについて水槽の中央位置での断面図で、島の前面での最大、最小遡上時と島の背面での最大遡上時の水位変動の断面図を示したものである。

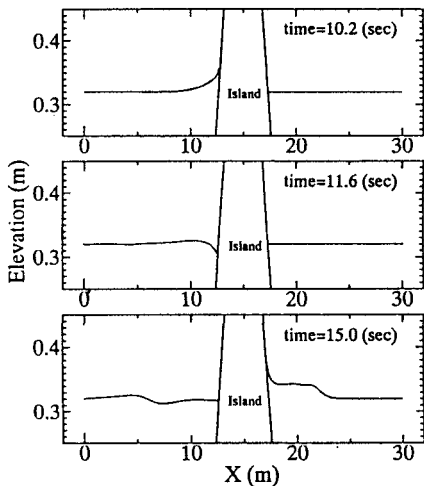


図3 最大遡上時の水位変動の断面図 [Case-B]

図4は、島の周囲に沿った最大遡上高を実験結果と比較してグラフにしたものである。また、表1には、島の前面と背面での遡上高と入射波高との比を示した。これより、島の前面では入射波高の3倍、背面でも2倍程度は、遡上していることが分かった。

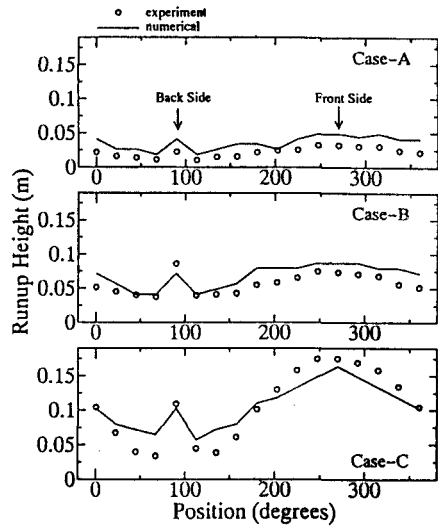


図4 最大遡上高

表1 島前面および背面における最大遡上高比

Case	入射波高 (m)	前面	背面
A	0.015	3.27	2.73
B	0.030	2.90	2.40
C	0.060	2.72	1.70

6 おわりに

図2の時系列に関しては、実験値と数値解析結果とは、良い一致が見られたと思われる。図4のCase-Bの背面や、Case-Cに関しては、実験値とは余りよい一致が見られない。これは、砕波が影響しているものと思われる。

また、本解析結果より、島の背面でも遡上高は、余り減衰しないことが分かった。このことから、バビ島や奥尻島における島の背面での被害が大きかったことも分かる。

今後は、バビ島や、奥尻島などの実際問題に適用するつもりである。

謝辞

本研究を行うにあたり前橋市立工業短期大学の梅津助教授よりプログラムの提供を含め適切な助言を頂いたことをここに付記し、感謝の意を表す。

参考文献

[1] Philip L.-F. and Yong-Sik Cho and Koji Fujima: "Numerical solutions of three-dimensional run-up on a circular island" International symposium : waves - physical and numerical modelling , University of British Columbia, 1994, Vancouver Canada.
[2] 梅津 剛, 高木 利光 「移動境界を考慮した有限要素法による波の遡上解析」 第8回数値流体力学シンポジウム講演会論文集, pp.527-530, 1994.