

II-81

人工リーフ開口部の波浪場の数値計算

 八戸高専 正会員 ○南 将人
 東北大学大学院 正会員 真野 明

1. まえがき

海岸保全施設として人工リーフ群が多用されているものの、開口部周辺では局所的な地形変化が生じる事が知られている。その周辺の地形変化量を予測するためには、水位分布や底面流速場を知る必要がある。

本研究は、地形変化外力の基本となる開口部周辺の水位変化を予測するために、Wei らによって提案された「拡張型強非線形ブシネスクモデル」を用いて開口部周辺の水位変化を時系列で計算し、水理模型実験による水位変化との比較によってそのモデルの適合性について検証した。

2. 数値計算法

開口部周辺では水深変化による急激な波高増大や砕波を伴っており、Wei らによる拡張型強非線形ブシネスク方程式に渦動粘性逸散を用いた砕波によるエネルギー減衰を組み込んだ FUNWAVE を用いた。連続式と水平二次元の運動方程式を示す。

$$\eta_t + \nabla \cdot \{ (h + \eta) [\bar{u}_a + (Z_a + 0.5(h - \eta)) \nabla (\nabla \cdot (h \bar{u}_a)) + (0.5 Z_a^2 - 1/6(h^2 - h\eta + \eta^2)) \nabla (\nabla \cdot \bar{u}_a)] \} = 0$$

$$\begin{aligned} & \bar{u}_{a,t} + (\bar{u}_a \cdot \nabla) \bar{u}_a + g \nabla \eta + z_a \left\{ \frac{1}{2} Z_a \nabla (\nabla \cdot \bar{u}_{a1}) + \nabla (\nabla \cdot (h \bar{u}_{a1})) \right\} \\ & + \nabla \left\{ \frac{1}{2} (Z_a^2 - \eta^2) (\bar{u}_a \cdot \nabla) (\nabla \cdot \bar{u}_a) + \frac{1}{2} [\nabla \cdot (h \bar{u}_a) + \eta \nabla \cdot \bar{u}_a]^2 \right\} \\ & + \nabla \left\{ (Z_a - \eta) (\bar{u}_a \cdot \nabla) (\nabla \cdot (h \bar{u}_a)) - \eta \left[\frac{1}{2} \eta \nabla \cdot \bar{u}_{a1} + \nabla \cdot (h \bar{u}_{a1}) \right] \right\} = 0 \end{aligned}$$

ここで、 η : 水位、 h : 水深、 $\bar{u}_a$: 水深 Z_a での水平流速を示す。また、開口部沖側肩部を原点とし波進行方向を $x(+)$ 、直角方向を y とした（図-1 参照）。

また、数値計算を行う際、長時間の計算を行うため図-1 に示すように、両側には2波長分のエネルギー減衰帯を設け、両側の境界位置で無反射条件とした。しかし、右側境界を無反射条件とした場合には、境界からの流体が除々に流出して水位が下がるために、試行錯誤の結果、右側のエネルギー減衰帯の任意位置で水平流速ゼロ ($u=0$) とし、その位置を変化させる事で任意反射境界条件を設定した。

計算格子間隔は、 $\Delta x = \Delta y = 4\text{cm}$ （格子数 276×21 ）とし、入射波の入力位置(H1)での水位変化は実験によって測定された水位変化を与えた。なお、その際実験で得られた水位の時系列変化（200Hz サンプリング）を 1000Hz に線形補間し、FFT 法で周波数分解し、それぞれの周波数に対する造波ソースを求め、逆 FFT 法によって不規則波の造波ソースの時系列を作成して、入射波境界条件として入力した。

3. 水理実験

開口部の幅は、人工リーフ群を用いた場合に汀線前進効果が見込まれる目安となっているリーフ長さ(L_r)と開口幅(W)との比が $L_r/W=4$ となるように設定した。図-1 に模型形状と測定位置を示す。実験は、水路長 6.2m 幅 80cm のプランジャー型造波機付開水路内に斜面勾配 1:2 を有する不透過型的人工リーフを設置し、

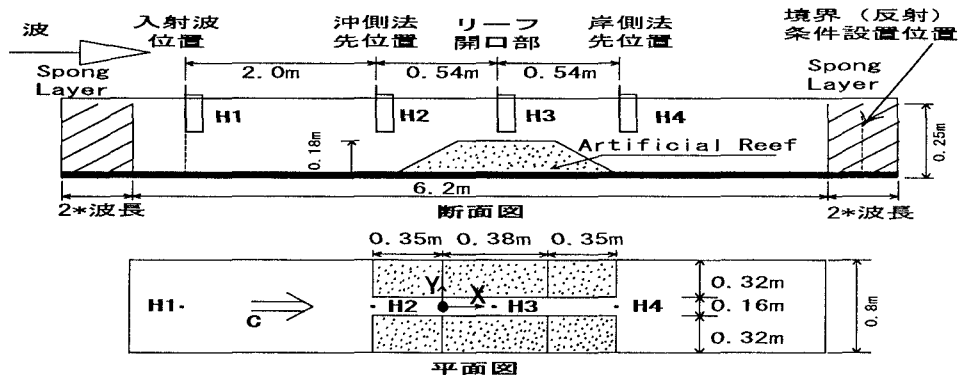


図-1 模型配置図と測定位置

容量式波高計を4台用いて、入射波(H₁)、リーフ沖側法先位置(H₂)、開口部中央位置(H₃)、リーフ岸側法先位置(H₄)の計4箇所の水位変化を測定した。測定データは、造波と同時にA/D変換してパソコンに記録した。

4. 水位変化の比較

4.1 入射波の水位比較(H₁)

図-2に入射波の水位の比較結果を示す。実験水位変化(図中の細線)と計算結果(太線)を比較すると第1波(図中a)の最低水位時に差が生じているもの、ピーク水位時の比($\eta_{\max-\text{cal}}/\eta_{\max-\text{exp}}$)は、水位が正の場合で0.95、負で1.08とほぼ実験値と一致している。また、最高と最低水位の発生時期は一致しており実験値の水位変化を境界条件として入力できている。

4.2 開口部の水位比較(H₃)

図-3に開口部での水位の比較結果を示す。開口部を有している場合、目視観測によるとリーフ天端上での強制砕波に比べ開口部では水深が深いいため砕波の開始時期が遅れる。実験結果(図中の細線)を見ると、第3波以降の水面が上昇する際に腰掛部(図中b)が生じ、水位が正の場合には急激な水位変化を、負の場合には緩やかな変化となっている。これに対し計算結果(図中の太線)を見ると、前述の腰掛部の再現性は不十分であるものの、水位の正負における水位変化特性を再現できている。最高水位および最低水位の計算値と実験値との比はそれぞれ0.75と1.03となり、最高水位はやや実験値に比べて小さくなっているのに対し、水位が下がった時はピークを再現できている。本計算モデルで用いた砕波時の判定は、水面時間勾配 η_t が $C_{bk}\sqrt{g(h+\eta)}$ より大きい場合($C_{bk}:0.35$, h :水深、 η :水位)に砕波するとしている。試行錯誤の結果、前述の係数は $C_{bk}=0.15$ が最も適合性が良かった。砕波判定係数を修正する事で、開口部周辺の水位変化の再現が可能である事が分かる。

4.3 岸側法先位置の水位比較(H₄)

図-4にリーフ岸側法先位置での水位の比較結果を示す。開口部中央での水位変化に生じていた水位上昇時の腰掛部の再現(図中c)と、水位のピークの発生時期が実験値とほぼ同時であり水位変化の再現性は良くモデルの適用性が高い。また、実験値の最高水位と最低水位の実験値の比は、水位が正側で1.08倍、負側時で1.1倍であった。

以上の2箇所の実験値との比較より開口部を有する

人工リーフ群を通過する場合に、Weiらのモデルを用いた時の伝搬速度と振幅の再現性は高い事が分かった。

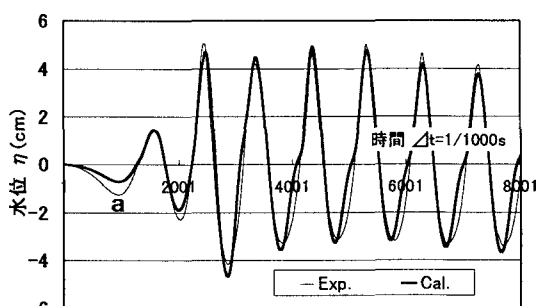


図-2 水位の比較 (入射波)

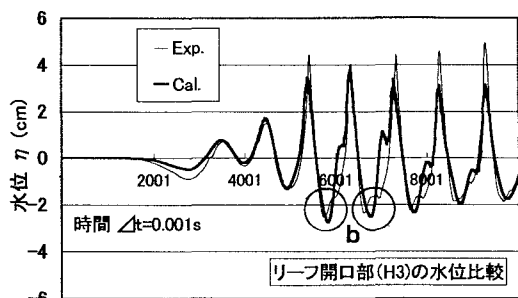


図-3 水位の比較 (リーフ開口部)

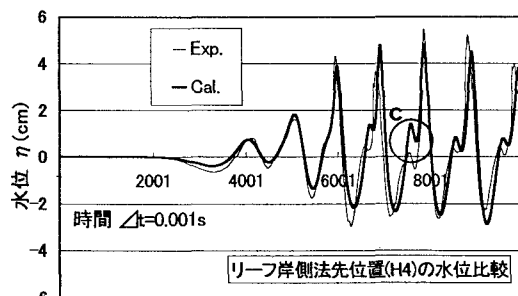


図-4 水位の比較 (リーフ岸側法先)

5. まとめ

開口部を有する人工リーフ周辺の水位変化を対象として、拡張型強非線形ブシネスクモデルを用いて数値計算し水理実験と比較した。開口部では、水位変動の高周波成分の再現性は不十分であるものの、ピークの発生時期、振幅について再現する事ができた。

参考文献: Wei, G. Kirby, J.T., S.T. & Subramanya, R., 1995, "A fully nonlinear Boussinesq model for surface waves. Part1. Highly nonlinear unsteady waves", J.F.M.