

波・流れ共存場での Two-Way Feedback を考慮した波浪変形・海浜流解析

熊本大学大学院 学生会員 土田将己 山口龍太 西敬浩 正会員 外村隆臣 山田文彦

1. はじめに

波・流れの共存場である沿岸環境を把握するうえで、それらの相互作用を考慮した波浪場・海浜流場を精度よく予測することは重要である。従来は、まず流れ（海浜流）を無視した場で波高分布を求め、その結果から Radiation 応力を算定し、海浜流の外力項に加える方法 (One-Way Feedback) が主流であった。そのため、波が海浜流に与える影響や海浜流が波に与える影響を繰り返し計算し、その相互作用を直接解析した例 (Two-Way Feedback) は比較的少ない。本研究は、間瀬ら¹⁾の流れの影響を考慮できる波浪変形予測モデル (WABED) と Svendsen ら²⁾の準3次元海浜流モデル (SHORECIRC) を用い、波・流れ共存場での Two-Way Feedback を考慮した波浪場・海浜流場の解析手法について検討する。

2. 波浪変形予測モデル (WABED)

流れの影響を考慮した波浪変形予測モデルは、波作用量 (Wave Action) の保存則を用いるとともに、波の回折効果と砕波減衰効果を組み込んでいる。モデルの詳細は間瀬ら¹⁾に詳しい。

3. 準3次元海浜流モデル (SHORECIRC)

SHORECIRC モデルでは、瞬時の流速変動 $u_\alpha(x, y, z, t)$ を(1)式のように4つの項に分離できると仮定し、その基礎式は(2), (3)式で示す水深方向に積分された連続の式と Reynolds 方程式である。

$$u_\alpha = u'_\alpha + u_{w\alpha} + V_\alpha = u'_\alpha + u_{w\alpha} + V_{m\alpha} + V_{d\alpha} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial t} + \frac{\partial Q_\alpha}{\partial x_\alpha} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q_\beta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_\beta} \left(\frac{Q_\alpha Q_\beta}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x_\alpha} \left[\int_{-h_0}^{\bar{\zeta}} V_{d\alpha} V_{d\beta} dz + \int_{\zeta_i}^{\bar{\zeta}} (u_{w\alpha} V_{d\beta} + u_{w\beta} V_{d\alpha}) dz \right] + gh \frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial x_\beta} - \frac{\tau_\beta^s}{\rho} + \frac{\tau_\beta^b}{\rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_\alpha} \left(S_{\alpha\beta} - \int_{-h_0}^{\bar{\zeta}} \tau_{\alpha\beta} dz \right) = 0 \quad (3)$$

ここで、 $h = h_0 + \bar{\zeta}$, $Q_\alpha = \int_{-h_0}^{\bar{\zeta}} u_\alpha dz$, $Q_{w\alpha} = \int_{\zeta_i}^{\bar{\zeta}} u_{w\alpha} dz$
 $Q_\alpha = Q_{w\alpha} + \int_{-h_0}^{\bar{\zeta}} V_\alpha dz$, $V_{m\alpha} = \frac{Q_\alpha - Q_{w\alpha}}{h}$, $\int_{-h_0}^{\bar{\zeta}} V_{d\alpha} dz = 0$
 $S_{\alpha\beta} \equiv \int_{-h_0}^{\bar{\zeta}} (p\delta_{\alpha\beta} + \rho u_{w\alpha} u_{w\beta}) dz - \delta_{\alpha\beta} \frac{1}{2} \rho gh^2 - \rho \frac{Q_{w\alpha} Q_{w\beta}}{h}$

u'_α は乱れ成分, $u_{w\alpha}$ は波浪成分, V_α は海浜流成分, $V_{m\alpha}$ は水深方向に一樣な海浜流成分, $V_{d\alpha}$ は水深方向に変化する海浜流成分, α, β はデカルト座標, h は全水深, h_0 は静水深, ζ は水表面の鉛直座標 (水位), ζ_i は波谷の鉛直座標, $\bar{\zeta}$ は平均水位, Q_α は全体積輸送フラッ

クス, $Q_{w\alpha}$ は波による体積輸送フラックス, g は重力加速度, ρ は流体の密度, T は Reynolds 応力, S は Radiation 応力, p は圧力, δ はクロネッカーのデルタ, τ^s は水表面摩擦応力, τ^b は底面摩擦応力, 上付きバーは時間平均を示す。(3)式の左辺第3・4項は海浜流が水深方向に変化することに起因した流れ・流れの相関項と波・流れの相関項である。SHORECIRC モデルでは $\bar{\zeta}$, Q_α のみを(2), (3)式を連立して数値的に解くため、計算負荷は平面2次元モデルと同等である。このモデルの特徴は水深方向に一樣でない水平流速成分 ($V_{d\alpha}$) を解析的に算定することにある (この意味で準3次元)。要約すると、局所的に時間平均した水平方向の運動方程式に基づきスケーリングや摂動展開など工学的近似により、流れ・流れの相関項と波・流れの相関項を分散項と類似の形式で表現する。なお、係数中の多重積分項は底面からの距離に応じた多項式関数で近似する³⁾。これにより海浜流水平流速成分の鉛直分布を少ない計算負荷で算定することが可能となる。

4. 没水型球面浅瀬上での波浪変形予測

まず、波浪変形モデルの精度検証のために、流れの無い状態で没水型球面浅瀬地形での実験結果⁴⁾と比較する。実験に用いた地形は図-1に示す通りである。

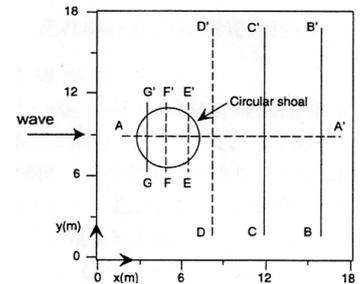


図-1 球面浅瀬実験水槽

検証は A-A' ライン上で波高分布を比較した。入射波の条件は波高 0.0233m, 周期 0.73s, 波向き 0° であり、多方向不規則波として周波数スペクトルに TMA スペクトル, 方向関数に wrap 型方向関数を分割数 30 で与える。格子間隔は 0.10m であり、砕波減衰モデルとして Thornton・Guza (TG) モデルを適用する。TG モデルは砕波判定が不要であるが、没水型球面浅瀬地形に適用した場合、計算領域全域で砕波減衰が生じ、実験値と比較して波高が過少評価となった。そこで、沖ら⁵⁾と同様に、砕波指標として波高水深比を導入した。波高水深比は Miche の砕波限界式に Battjes による海底勾配の影響を取り入れている。

図-2 は計算結果を示しており、高山モデルと比較して、浅瀬最頂部付近での減衰を表現することはできた。この計算では、球面浅瀬上での砕波による減衰効果を

抑えるために、砕波回数を7回に制限している。しかし、浅瀬通過後の波高はまだ過少評価の傾向が見られ、砕波減衰モデルに関しては今後も検討が必要である。

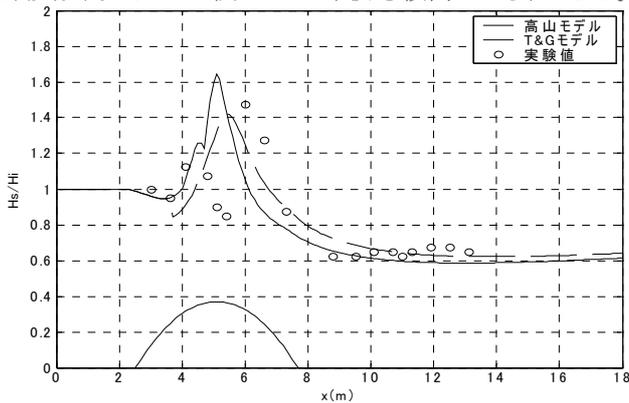


図-2 球面浅瀬地形の計算結果

5. 波・流れ共存場での波浪変形予測

波・流れ共存場での波浪変形予測の検証として、LSTF(Large-scale Sediment Transport Facility)の実験結果⁶⁾と比較する。LSTFは側方境界に設置したポンプを用いて定常的な海浜流場を再現できる実験水槽である。水槽の諸元は図-3に示す通りである。

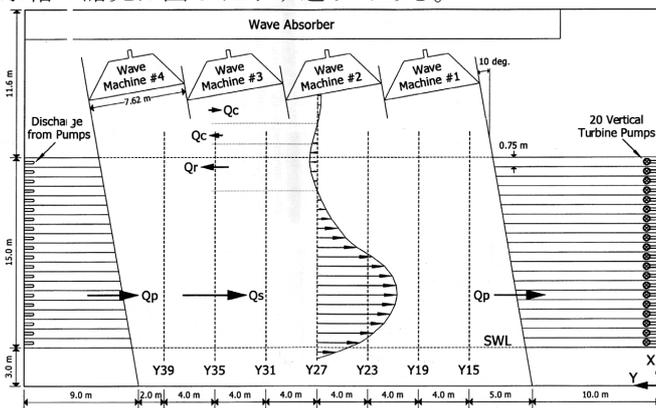


図-3 LSTF実験水槽の諸元

入射波の条件は波高 0.182m, 周期 2.5s, 角度 10° で、規則波での計算となる。計算は、まず海浜流の無い状態で波浪変形予測を行う。次に準3次元海浜流モデルを用い流速場を算定する。再度、波浪変形予測を得られた流速場を考慮して計算し、波・流れ共存場での波浪変形予測を行う。また、必要に応じて上述の計算を繰り返す(Two-Way Feedback)。

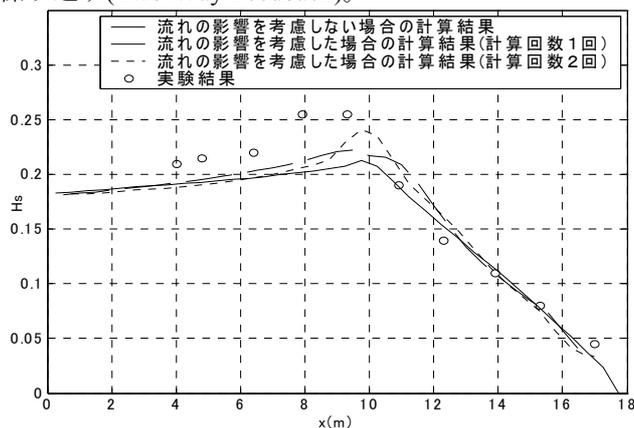


図-4 波高の岸沖分布の比較

まず、Y27ライン上の波高の計算結果を図-4に示す。海浜流の影響を考慮しない場合と比べて考慮した場合には砕波帯内での波高が増大しており、実験結果に近づいていることが分かる。また、計算を繰り返すことで、砕波帯内での波高がさらに増大しているが、砕波点付近ではまだ波高は過少評価である。この Two-Way Feedback の計算をさらに繰り返した結果、繰り返し回数が3回を越えると砕波帯外の波高が減少する傾向が見られた。つまり、現状の Two-Way Feedback では波高分布の収束傾向は見られず、今後の検討課題である。

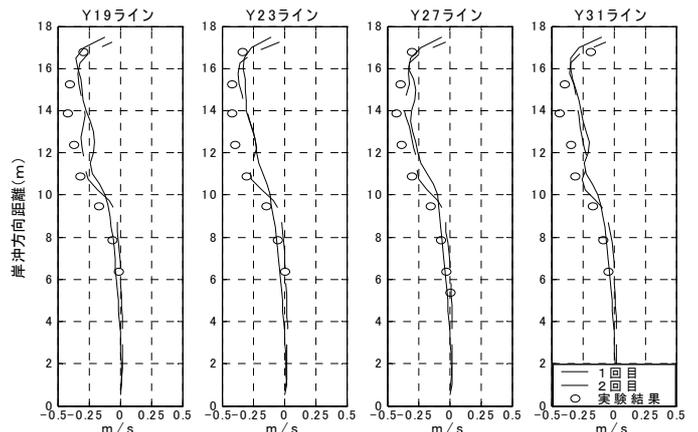


図-5 海浜流の岸沖分布の比較

次に、海浜流の岸沖分布の計算結果を図-5に示す。前述のように波高分布の再現性に問題が残るため、特に砕波点(岸沖距離10cm付近)以降の海浜流の再現性には過少評価の傾向が見られるものの、全体的には海浜流場を再現できている。さらに Two-Way Feedback を繰り返すことで計算精度が向上こともわかる。

6. まとめ

本研究では、流れの影響を考慮した波浪変形予測モデルと準3次元海浜流モデルを用い、Two-Way Feedback を考慮した波・流れ共存場での波浪変形・海浜流場の解析手法について検討した。

Large-scale Sediment Transport Facility の実験結果等と比較することで、Two-Way Feedback を繰り返す事で、砕波帯内での波高が上昇し、海浜流の再現性も向上することが確認された。

参考文献

- 1) 間瀬ら (2004), 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp7-10.
- 2) Putrevu, U. and I. A. Svendsen (1999), Eur. J. Mech. B/Fluid, pp. 83-101.
- 3) Haas, K.A. and I. A. Svendsen (2000), Rep. No. CACR-00-06, 250p.
- 4) Chawla A. et al. (1998), J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 124, pp. 189-198.
- 5) 沖和哉 間瀬肇(2004), 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp1-5.
- 6) Svendsen. I. A. et. al (2003), Coastal Engineering, 50, pp19-45.