Boussinesq 方程式を用いた複合断面海浜における不規則波の変形計算

鹿児島大学大学院理工学研究科 学生員 〇ナン ミャット ソー 鹿児島大学工学部海洋土木工学科 正会員 浅野 敏之

1. まえがき

非線型 Boussinesq 方程式を用いた2次元海底地 形上での不規則波の浅水伝播、砕波変形の計算手法 はほぼ確立された段階にあるが,これを用いた現象 解明は必ずしも十分に進んでいない。現地海岸の多 くは沿岸砂州が存在し,そこでいったん砕波した波 のその後の変形は,波高・水深比が一定と仮定する 飽和砕波の考え方では説明できない。本研究は Kirby-Wei(1998)の提案した Boussinesq モデルを 用いて,複合断面海浜での砕波後の波の再生,浅水 変形,再砕波の特性が再現できるかを検討したもの である。ここでは,不規則波が入射する時の波の変 形の様子を、波別解析法に基ついて代表波高・代表 波周期の岸沖方向分布を調べ,その特性を検討する。

2. 数値解析の概要

2.1 基礎方程式

Kirby-Wei(1998)の提案した1次元の非線型 Boussinesq 波浪 モデル (FUNWAVE-1D)の基 本式は、以下の通りである。

$$\eta_t = E(\eta, u) + \gamma E_2(\eta, u) + f(x, t) \tag{1}$$

$$[U(u)]_{t} = F(\eta, u) + \gamma [F_{2}(\eta, u) + F^{t}(\eta, u_{t})] + F_{br} + F_{b} + F_{sp}$$
(2)

ここに、uは水平速度、hoは水深、 η は振幅であり、

 γ は非線形性に関する調節係数, F_{br} , F_{b} , F_{sp} は砕波、 海底摩擦、境界におけるスポンジレイヤーのエネル ギー吸収項であり, f(x,t)は造波のための波源関数 である。差分スキームとしては, 3 次精度の Adams-Bashforth 予 測 子 と 4 次 精 度 の Adams-Moulton修正子を用い時間ステップを前進 させた。

本研究では、計算対象領域を水平方向格子 $\Delta x = 0.75 \,\mathrm{m}$ に分割し、時間間隔を $\Delta t = 0.025 \,\mathrm{s}$ と して時刻 $t_T = 900s$ まで計算した。 $\Delta x, \Delta t$ の設定に は、波の非線形性・分散性を表現できるよう、波の 1 波長を十分な数の格子で表現することと、波形の 計算の安定性のためにCFL 条件 $\Delta t / \Delta x \ge C_0$ (C_0 は波速)に留意した。

広範囲の周波数と方向に対して波のエネルギーを 有効に減衰するスポンジレイヤーを境界に設置した。 造波に伴い,非線形の相互作用によって非常に短か い波長を持つ高調波が発生し,計算を発散させるの を避けるため、数値フィルタを適用した。

2.3 複合断面の計算条件

沿岸砂州を有する現地海岸をモデル化した複合断 面斜面 (図-1) に対して数値波動解析を実行した。 ここで斜面勾配は $S_I=S_3=1/50$ 、 $S_2=-1/50$ で,沖側境 界水深ho=10m,バー頂部の水深 $h_I=1m$,トラフ最 深部の水深 $h_2=3m$, 造波境界から斜面まで沖浜距 離xo=150mとした。入射波として周期T=8s,平均 沖波波高 $H_0=1.5m$ の包絡不規則波を,沖側境界か ら波源関数で造波して作用させた。



3. 結果および考察

3.1 複合断面における砕波変形

図―2 に示すように、沖波では Boussinesq 理論 どおりの定型進行波が再現されている。斜面上では, 波が浅水変形を受け,砕波し,減衰する様子がわか る。それとともに周期、波高、波長が変化する。沖 から水深が浅くなるにつれて砕波する波の数が増加 し、バー頂部の少し汀線よりの地点で砕波が顕著で ある。バー頂部に達する前に既に砕波していた波、 あるいはバー頂部付近で砕波した波が不定型な状態



図-2 異なる時間ステップで表示した水位変動ηの 空間波形

で進行していくうちに、その波の背面にもう一つ峰 が現れる。背面に現れた波も、水深が減少するにつ れて波高が増大し、砕波して汀線に達する。こうし た波は、そのまま汀線に達することもあるが、ほと んどの場合、乱れによるエネルギー減衰がおさまっ て波が再生し、その波が再び浅水変形、砕波、砕波 後の波高減衰というパターンで進行する様子が見ら れる。

3.2 浅海域における個々波の波高、周期の変化

Boussinesq方程式で計算された時間波形を用い て、沖から海岸に向かい複合断面上の12箇所で、 ゼロアップクロス法で個々波を取り出し、それらの 代表波H1/10、H1/3、Havgの特性を調べた。



図-3 浅海域における波の数の変化

図—3 は浅海域における波の数*N*と斜線先端地点 における波の数*N*oとの比を示したものである。これ より、バーを通過後、砕波の発生に伴って波の数が 増加しているのが分かる。これがソリトン分裂とい えるのか,単なる砕波後の波形の擾乱であるのかは 今後より詳細に見ていく必要がある。



図-4 バー型海浜における代表波高の変化

図—4 はバー型海浜における各地点での代表波高 の変化を示したものである。平均波高,有義波高, 1/10 最大波高の相対比は、例えば x=400m 地点で $H_{1/10}/H_{1/3} = 1.287, H_{1/3}/H_{ave} = 1.625$ であり,理 論値 $H_{1/10}/H_{1/3} = 1.27, H_{1/3}/H_{ave} = 1.60$ と近いこと が確かめられた。



図-5 浅海域における代表周期の変化

図-5 は浅海域における代表周期の変化の一例を 示したものである。これらの代表波の周期は、バー より沖側の斜面領域では値がほぼ一定であるが、バ 一頂部付近で少し大きくなり、その後トラフ付近ま で減少した後、遡上域で再び増加することがわかる。

4.あとがき

本研究は、複合断面海浜上の不規則波の浅水,砕 波変形を Boussinesq 方程式で計算し,その再現性 を調べたものである。あわせて波別解析法により浅 海域の代表波高、代表周期、波数などの変化を検討 した。今回の計算では,沖波の不規則波時系列を1 ケース解析したに止まったが,沖波の諸元が異なる 入射波時系列に対して,浅海域における波浪変形特 性を調べることが今後の課題と考えられる。

参考文献

Kirby, J.T. Wei, G et al.(1998): "FUNWAVE 1.0 Fully Nonlinear Boussinesq Wave Model", Research report, Univ. Delaware, No. CACR-98-06, 80p.