

ブシネスク方程式による浅海域の波浪変形計算

九州大学工学部 学生員○深川 孝之 正会員 武若 聡, 入江 功

1. はじめに

浅海域の波浪変形や流れを予測することは、岸沖方向の漂砂の移動を考える際に非常に重要である。入江ら¹⁾は固定床砂れん上の砂の移動が、水面波形の上下の非対称歪み率 S_1 と前後の非対称歪み率 S_2 により支配されていることを示した。また橋本ら²⁾はこの成果をもとに、砂れん上の漂砂をモデル化し、砕波帯外の海浜変形計算を行った。今後、この計算手法を拡張して砕波帯内の地形変形を計算するためには、砕波帯内の平均流、波形の非対称性、流れと共存した場での砂れん上の砂移動特性、等について精度良く予測する必要がある。本研究では上述の計算手法を砕波帯内へ拡張することを念頭に置き、ブシネスク方程式を基礎式とした規則波の浅水・砕波変形の計算を行った。

2 基礎方程式

ブシネスク方程式を基礎式として規則波の浅水・砕波変形の計算を行った。ブシネスク方程式には、様々な形が提案されているが、本研究では Peregrine³⁾によって導かれた以下の方程式系を用いた。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{d} \right) + gd \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{h^2}{2} \frac{\partial^3 Q}{\partial t \partial x^2} - \frac{h^3}{6} \frac{\partial^3}{\partial t \partial x^2} \left(\frac{Q}{h} \right) \quad (2)$$

ここで、 Q は線流量、 η は水位、 h は水深、 $d (= h + \eta)$ は全水深、 g は重力加速度である。また、ブシネスク方程式そのものは砕波によるエネルギー減衰を考慮していないため、砕波帯内の数値計算に適用するためには、上記の運動方程式に砕波による補正項を導入する必要がある。本研究では、佐藤・鈴木⁴⁾が提案した以下の補正項を(2)式の右辺に加えて計算を行った。

$$M_D = \nu_c \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} = \frac{gd}{\sigma^2} f_D \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \quad (3)$$

ここで ν_c は渦動粘性係数、 σ は角周波数、 f_D は Diba-jnia・渡辺⁵⁾が非定常緩勾配方程式による波浪計算で提案した砕波減衰係数である。砕波点位置は、渡辺ら⁶⁾にならい、水表面における水粒子速度と微小振幅波

による波速の比を用いて決定した。水表面の水粒子速度 u_s は次式で計算した。

$$u_s = \bar{u} - \left(\frac{d^2}{2} - \frac{h^2}{6} \right) \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} \quad (4)$$

ここで $\bar{u} (= Q/d)$ は断面平均流速である。

計算は、*staggered scheme* を採用し、全ての項を中央差分を用いて離散化して陰的に解いた。

3 計算結果と考察

勾配 1/20 の一様勾配斜面上の波を計算した。沖側に水深 30cm の一様水深部を設けた。岸側にも一様水深部 ($h = 1.0\text{cm}$) を設けた。計算は沖側境界でクノイド波を入射させ、沖波波形勾配 H_0/L_0 を 0.005 ~ 0.061 の範囲で変化させた 16 ケースについて行った。ここでは、*Plunging* 型砕波が生じる条件の波 ($T = 2.0\text{sec}$, $H_0 = 3.2\text{cm}$, $H_0/L_0 = 0.0051$) を入射させた場合の解析結果を示す。

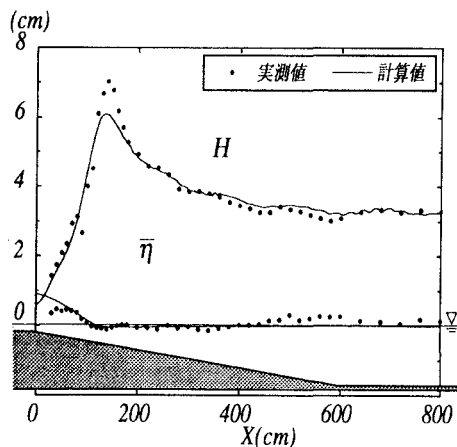


図 1: 波高と平均水位の分布

図 1 は、波高と平均水位の分布を、横軸に静水汀線からの距離 x をとって示したものである。波高分布については、砕波点付近で過小評価する傾向が認められるものの、砕波点位置は良く対応しており、かなり実測値に近い値が得られている。また、平均水位の計算結果においても、実測値との対応は良好である。図

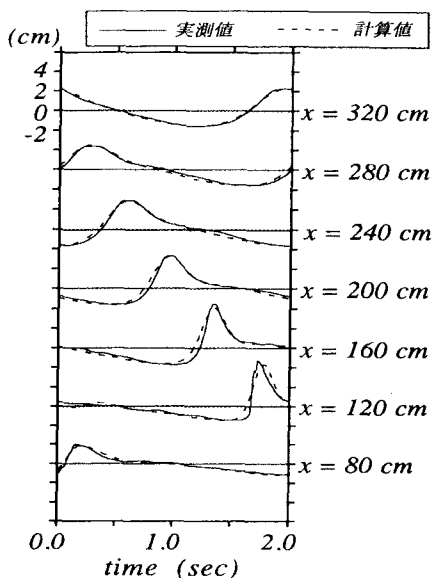


図 2: 水面波の時間波形

2 は、各測点で得られた水面波の時間波形の実測値と計算値とを比較したものである。図中、実線は実測値を、破線は計算結果を示している。波形変化については、砕波点近傍で多少再現精度が落ちるものの、ほぼ実験値と一致する。また、位相関係 (= 波の伝播の計算精度) についても十分に実測値に一致している。

漂砂の岸沖方向の移動を考える際には時間波形の非対称性が非常に重要な要素となる。波の非対称を表す諸元を

$$\text{上下の歪み率: } S_1 = (H_c - H_b) / H \quad (5)$$

$$\text{前後の歪み率: } S_2 = (T_r - T_f) / T \quad (6)$$

と定義し、図 3 に水面波形の S_1 の分布を、図 4 に S_2 の分布を、それぞれ静水汀線からの距離 x を横軸にとって示した。 S_1 については、岸側で過大評価する傾向があるものの、砕波帯内外で比較的良く一致している。 S_2 については、砕波帯内で計算値は実測値に比べ小さく、砕波後の波形の前傾化を十分に再現していない。これについては、さらに砕波モデルについて検討する必要がある。

5 おわりに

ブシネスク方程式に砕波に伴う減衰項を導入することにより、浅海域における波浪変形計算を行った。Plunging 型砕波のケースについては砕波帯内外の波高、平均水位、水面波形、波速ともに実測値とかなりの精度で一致した。しかしながら、沖波波形勾配の大

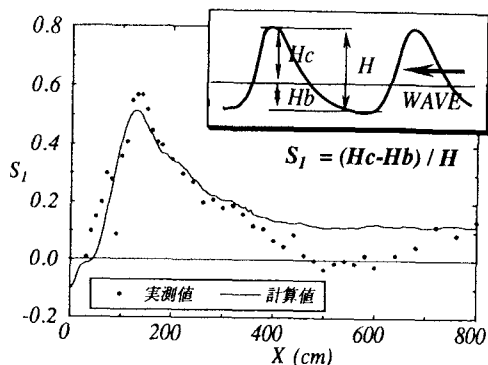


図 3: 上下の歪み率 S_1 の分布

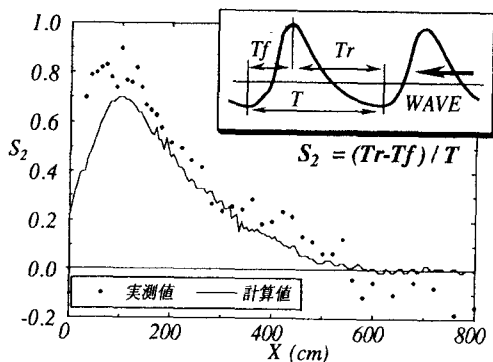


図 4: 前後の歪み率 S_2 の分布

きい Spilling 型砕波のケースについては、特に砕波点近傍で波高の増幅、波形の前傾化等の実験値との対応が悪く、かなり計算精度の落ちる結果となった。さらに汎用的な計算モデルとするために、今後の検討が必要である。

参考文献

- 1) 入江 功 他 (1993): 歪み砂れんマットによる沖浜帯の岸沖漂砂の制御: 海岸工学論文集.
- 2) 橋本 誠也 他 (1993): モンテカルロ法を用いた海浜変形の数値計算: 海岸工学論文集.
- 3) Peregrine, D.H (1967): Long waves on a beach: J. Fluid Mech., Vol. 27, part 4, pp. 815 - 827
- 4) 佐藤 慎二・鈴木 秀典 (1990): 砕波帯における底面流速変動波形の評価法: 海岸工学論文集.
- 5) Mohammad Dibajnia・渡辺 晃 (1987): 波浪場と海浜縦断地形変化の数値計算モデル: 海岸工学論文集.
- 6) 渡辺 晃 他 (1983): 重合した波浪場における砕波について: 海岸工学論文集.