

長岡技術科学大学大学院 正会員 樺澤弘悦
長岡技術科学大学環境建設系 正会員 細山田得三
長岡技術科学大学大学院 正会員 鈴木嘉明

1. はじめに

日本の海岸では台風による高波、冬季の季節風による波浪によって、海岸侵食が大きな問題となっており、過去 70 年間に日本全国で約 12000ha の国土の消滅という問題が発生している。海岸侵食の原因は砕波や海浜流、地盤の液状化が考えられているが、これらの現象が複雑に関連しているために十分に解明されていない。このような場での現象を理解するためには、波、海浜流、地盤変化に関連させた数値シミュレーションを行う必要がある。

本研究は、一様勾配を持つ海岸に設置された構造物を対象として波動に伴って発生する海浜流と海底地形のシミュレーションを行ったものである。

2. 数値計算法の概要

2.1 数値計算全体の構成

数値計算の手順はまず波動場を計算し、この結果よりラジエーションストレスを求める。次いで、このラジエーションストレスによって駆動される海浜流を計算し、最後に海浜流によって生じる海底地形の変化の計算を行った。

2.2 波動場の計算

波動場の時間発展は、分散性を考慮したブシネスク方程式、式 (1)、(2)、(3) を用いた。この方法により非線形性、分散性を計算に取り入れることが可能となる。

$$\frac{\partial m}{\partial t} + \frac{\partial m^2}{\partial x} + \frac{\partial mn}{\partial y} + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = \left(B + \frac{1}{3} \right) h^2 \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial^2 m}{\partial t \partial x} + \frac{\partial^2 n}{\partial t \partial y} \right) + Bgh^3 \left(\frac{\partial^3 \eta}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 \eta}{\partial x \partial y^2} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{\partial mn}{\partial x} + \frac{\partial n^2}{\partial y} + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} = \left(B + \frac{1}{3} \right) h^2 \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial^2 m}{\partial t \partial x} + \frac{\partial^2 n}{\partial t \partial y} \right) + Bgh^3 \left(\frac{\partial^3 \eta}{\partial y^3} + \frac{\partial^3 \eta}{\partial y \partial x^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial m}{\partial x} + \frac{\partial n}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

ここで t 、 m 、 n 、 η 、 D 、 B 、 h 、はそれぞれ時間、

岸沖方向の線流量、沿岸方向の線流量、水面変動、静水深に水位変動を加えたもの、ブシネスク方程式の形によって変化する定数、静水深である。また x 、 y は水平面内の直交座標である。これらの式を離散化し、陽解法によって時間積分を行う。

2.3 海浜流の計算

海浜流の駆動力はラジエーションストレスであり、波動場の計算で求めた値を利用する。波のラジエーションストレスに起因する平均流は鉛直方向にも分布するが、鉛直方向に一律な流れと仮定して計算を行った。この計算結果より海浜流によるセットアップ(セットダウン)と流速のデータを得る。海浜流速の x 、 y 方向成分を U 、 V 、平均水位の上昇量を η とし、平均流に関する連続式(式(4))、運動方程式(式(5)、(6))を得る。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial U(h+\eta)}{\partial x} + \frac{\partial V(h+\eta)}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + F_x - M_x + R_x + g \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + F_y - M_y + R_y + g \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \quad (6)$$

ここで h 、 F_x 、 F_y 、 M_x 、 M_y 、 R_x 、 R_y は静水深、摩擦項、水平拡散項、ラジエーションストレス項である。

2.4 地形変化の計算

地形変化を計算する基礎式を式(7)に示す。ここで Z_b 、 ε_s 、 q_x 、 q_y はそれぞれ、底面変化高、正の定数、 x 、 y 各方向の海浜流による漂砂フラックスである。

$$\frac{\partial Z_b}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial x} \left(q_x - \varepsilon_s |q_x| \frac{\partial Z_b}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(q_y - \varepsilon_s |q_y| \frac{\partial Z_b}{\partial y} \right) \quad (7)$$

地形変化の計算では、前のステップで計算された海浜流、流量振幅のデータを用いる。地形変化は漂砂現象と密接な関係にあるため、漂砂による底質の移動量を求めることにより地形変化の計算を行う。

2.5 モデル地形および波の条件

図-1 は、数値計算に用いたモデル地形図である。計算条件を同一とし、以下の 3 ケースについて計算を行

った。

- 1) 構造物を設置しない場合
- 2) 不透過潜堤を設置した場合
- 3) 不透過離岸堤を設置した場合 である。

計算領域は沿岸方向 1200m、岸沖方向 480mであり、一辺が 4m の正方形の格子、 300×120 によって被覆した。水深は 0.8~10m である。入射波の条件としては周期 8 秒入射角 45° 、波高 2m(振幅 1m)の一方向規則波である。

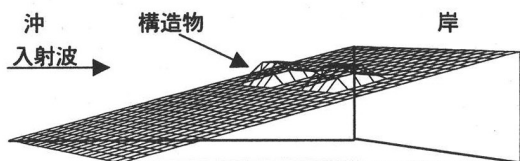


図-1 モデル地形

3. 結果

3.1 波動場の計算結果

図-2 に波動場が定常状態である 12 分後の水位の空間分布を示す。潜堤が設置してある場合には潜堤上部では波の乱れが見られる。離岸堤が設置してある場合には、離岸堤背面において波の回折が見られる。

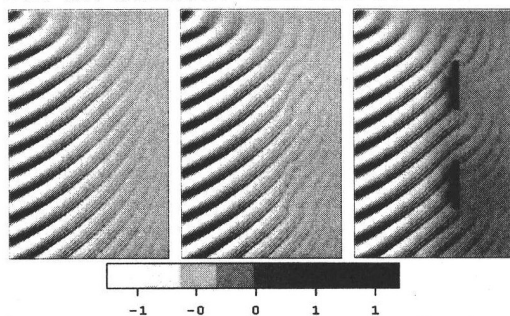


図-2 水位の空間分布

(左：構造物なし、中：潜堤、右：離岸堤)

3.2 海浜流の計算結果

図-3 に定常状態である 2 時間 30 分後の海浜流のベクトル図を示す。

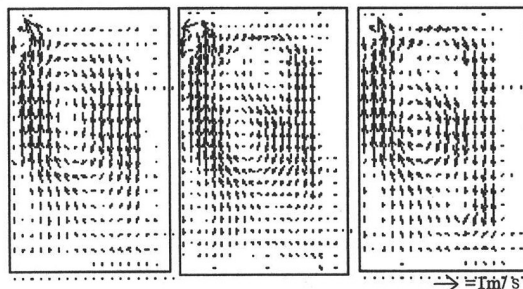


図-3 海浜流の流速ベクトル

(左：構造物なし、中：潜堤、右：離岸堤)

構造物がない場合は一様な流れが発生しているが、潜堤、離岸堤を設置した場合は構造物の間にも流れが発生している。潜堤を設置した場合と、離岸堤を設置した場合を比較すると、構造物付近で発生している流速が、離岸堤を設置した場合のほうが小さくなっている。

3.3 地形変化の計算

図-4 に定常な波動場での海浜流の計算結果にもとづいて計算した 2 時間 30 分後の地形変化の平面図を示す。潜堤を設置した場合、潜堤周辺では洗掘が見られる。これは潜堤の周辺で局所的な地形変化が見られることが報告されていることとよく一致する。離岸堤を設置した場合には、離岸堤後部ではあまり地形変化が発生しないが、離岸堤と離岸堤の間では、通過する波や海浜流によって変化が見られる。

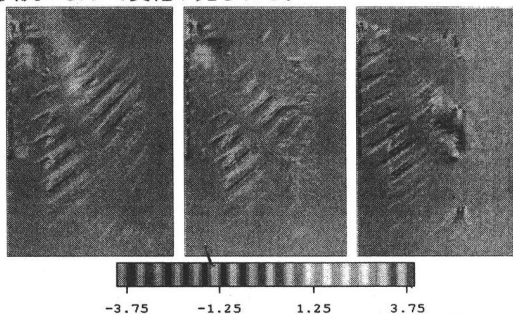


図-4 地形変化平面図および断面図

(左：構造物なし、中：潜堤、右：離岸堤、)

4. まとめ

本研究より以下の知見を得ることができた。

- 1) ブシネスク方程式を利用することによって波の非線形性、分散性を考慮した波動場の数値を計算できた。
- 2) 本文には示していないが、碎波項の空間分布より碎波帯を空間的に捉えることができた。また、それにもとづくラジエーションストレスの分布も計算できた。
- 3) 海浜流やそれに伴う地形変化を構造物の設置条件ごとに計算することができた。

参考文献

海岸波動[波、構造物、地盤の相互作用の解析法]、土木学会海岸工学委員会 研究現況レビュー小委員会 (1994)