

特性曲線法を用いた二次元波浪変形

愛媛大学工学部 正員 伊福 誠
愛媛大学大学院 学生員 弓山 泰

1. はじめに

従来、潜堤を築造した場合の波浪変形に関する研究は、そのほとんどが一次元を対象としたものであった。しかしながら、現地海岸においては、砂の流出防止を目的とした潜堤は、その海岸に來襲する波浪特性等を考慮して沿岸方向に複数基築造されるようである。こうした領域における波浪変形の問題は、一次元を対象とした実験あるいは解析では、必ずしも現象を十分に解明できるものではない。

伊藤・谷本(1973)は、caustic (焦線)が生ずるような球面浅瀬周辺における波浪変形を数値解析的に検討した。また、Vincent・Briggs(1989)は、不規則波を対象とし、橢円型浅瀬周辺の波浪変形を調べ、浅瀬周辺の波高変化にとって最も重要な要素は波の方向分散の効果であることを得ている。こうした研究のほとんどは、主として構造物周辺の波高分布に着目しており、海浜変形を予測する際に重要となる波による流れについては検討されていない。こうしたことから、本研究では、水面変動量や流れの時間的変化をも考慮した波浪変形に関する数値モデルの構築に努める。次に、微小振幅波およびStokes波を対象とし、構築した数値モデルを用いて海底構造物周辺の波浪変形について調べる。

2. 基礎方程式

静水面をx軸、x軸と直角方向にy軸をとると、連続の式は

$$\eta_t + (u\bar{h})_x + (v\bar{h})_y = 0 \quad (1)$$

と表せる。ここに、 η は水面変動量、 u および v は、それぞれ、xおよびy軸方向の水粒子速度、 $\bar{h}$ は水位($\bar{h}=h+\eta$; h : 静水深)である。なお、添字のx、yとtは場所と時間に関する微分を意味する。

また、非線形長波の運動方程式は

$$u_t + uu_x + vv_y + g\eta_x + gS_x = 0 \quad (2)$$

$v_t + uv_x + vv_y + g\eta_y + gS_y = 0$ と表せる。ここに、 g は重力の加速度、 S_x および S_y は、それぞれ、摩擦勾配であり、Manningの抵抗則が成立するものとすれば次式で与えられる。

$$S_x = n^2 u \sqrt{u^2 + v^2} / \bar{h}^{4/3} \quad (3)$$

$$S_y = n^2 v \sqrt{u^2 + v^2} / \bar{h}^{4/3}$$

ここに、 n はManningの粗度係数である。

なお、式(1)と式(2)を特性曲線表示し、時間微分を前進差分で近似してDaubert・Graffe(1967)の方法を準用して解析する。

3. 初期条件および境界条件

初期条件は次式とする。

$$\eta(x, y, 0) = 0 \quad (4)$$

$$u(x, y, 0) = 0, \quad v(x, y, 0) = 0$$

沖側の境界条件としては次式を採用する。

$$\bar{h} = h + \eta(0, y, t) \quad (\text{沖側}) \quad (5)$$

側方の境界条件は、開境界の場合には

$$\partial(v\bar{h})/\partial y = 0 \quad (6)$$

を用い、閉境界の場合には次式で与える。

$$v = 0 \quad (7)$$

なお、岸側の境界条件は、Kobayashiら(1989)が用いた移動境界条件を若干修正したものをを用いる。

4. 解析結果

(1) 丸山ら(1983)の実験を対象とした解析

一様水深上に球面浅瀬を設置した場合の実験諸元(図-1)に基づいて解析する。初期波は、波高0.049 m、周期1.78 sの微小振幅波である。空間きざみ Δx および Δy は0.1 m、時間きざみは0.02 sとする。また、Manningの粗度係数は $0.01 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ とする。

沖側の境界(造波装置)からの水平距離が10 m付近から汀線近傍に至る領域における計算開始後5周期目の波高の平面分布を図-2に示す。球面浅瀬の頂部より岸側において波高は最大となる。この位置は丸山らが実験で得た位置とほぼ同一である。球面浅瀬の沖側での波高分布は波の進行方向と直角方向にほぼ一様であるが、球面浅瀬の背後では舌状に突出した等波高線の領域が汀線に近づくにつれて広がっている。沖側の境界(造波装置)から14.8 mおよび15.8 mの位置における波の進行方向と直角方向の波高分布を図-3に示す。(a)および(b)は、それぞれ、球面浅瀬の頂部および球面浅瀬上で波高が最大となる位置のものである。(a)および(b)とも計算結果は実験結果より小さ目である。(a)は計算結果と実験結果とほぼ似た傾向をしているが球面浅瀬の頂部付近で両者の差が大きい。(b)は計算結果において最小波高が生ずる位置が実験結果のそれより水槽の壁面の方にずれており、球面浅瀬の頂部と水槽の壁面付近で計算結果と実験結果の差が大きい。実験結果と計算結果の差異の要因の一つとして壁面における境界条件が考えられる。図-3の結果は壁面の境界条件を式(7)で与えたものである。壁面の境界条件として式(7)の代わりに $\partial v / \partial y = 0$ とした境界条件で計算した結果は(b)の計算結果と比較して優位を占

めるものではなかった。

(2) 現地スケールの海浜を対象とした解析

図-4に示すような海浜を解析対象とする。潜堤の天端水深 h_s は1.5 m、天端のx軸方向の幅Bおよびy軸方向の幅Wは、それぞれ、20 mおよび100 m、二基の潜堤の天端間の開口幅lは48 mおよび72 mの二通りとする。初期波としては、波高1 m、周期8 sおよび10 sの微小振幅波およびStokes波を与える。空間きざみ Δx および Δy は2 m、時間きざみは0.2 sとする。また、摩擦勾配を評価する際のManningの粗度係数は $0.04 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ とする。

図-4に示す12の測点のうち、III-2における岸沖および沿岸方向流速の経時変化を示したのが図-5である。波の周期は10 s、潜堤の天端間の開口幅は72 mであり、実線および点線は、それぞれ、Stokes波および微小振幅波を対象とした場合である。潜堤の沿岸方向の法面における沿岸方向流速の波形は峯が平坦で谷が尖り、非対称の度合いがかなり大きい。沿岸方向流速の負方向の振幅は0.8 m/s程度であり、正方向の5倍程度である。また、最小流速は岸沖方向流速が最大となる位相で生じている。

二基の潜堤の天端間の開口幅が波高分布に及ぼす影響について検討したのが 図-6であり、図の左側半

分および右側半分は、それぞれ、微小振幅波およびStokes波である。周期は10 s、開口幅は72 mである。潜堤上および潜堤の沖側領域における波高分布は開口幅に関係しないようである。しかしながら、二基の潜堤間の開口部における波高分布は、開口幅が広い場合に高波高の領域が汀線近傍にまで広がっている。

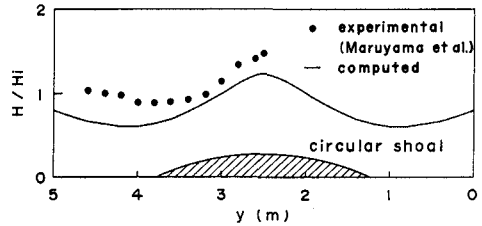


図-3(b) 波高の横断分布($X=15.8 \text{ m}$)

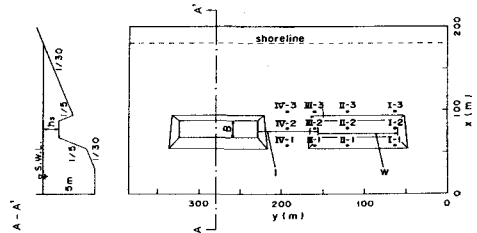


図-4 潜堤を築造した海浜形状

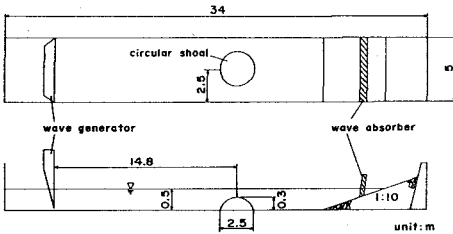


図-1 丸山らの実験装置

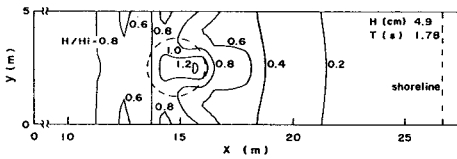


図-2 波高の平面分布

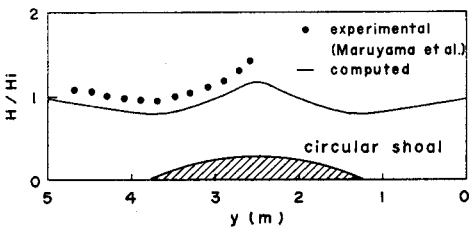


図-3(a) 波高の横断分布($X=14.8 \text{ m}$)

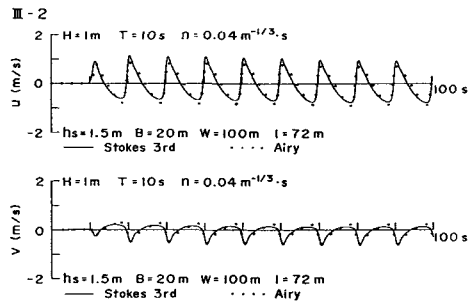


図-5 岸沖・沿岸方向流速の経時変化 (III-2)

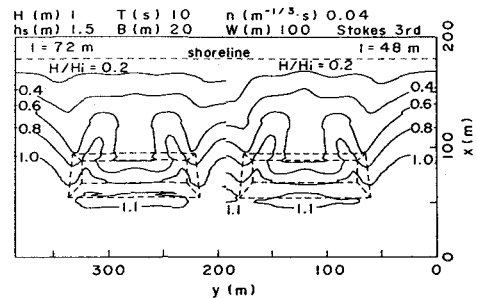


図-6 波高の平面分布 (開口幅による比較)