

没水水平版近傍における定常流に関する研究

九州大学工学部 学生員○中村 聡 正会員 入江 功
正会員 吉田明德 正会員 村上啓介

1 目的

没水水平版の波浪制御機能や波力特性に関しては、理論的な研究や実験的な研究が古くから数多く行われており^{1) 2)}、水平板長に応じた波長の波を選択的に制御できることや水平版に作用する水平波力が非常に小さいこと、あるいは高次の波を強く励起して通過波の波長の相対的な短縮効果を持つこと等の特徴が知られている。このように、消波構造物としての機能に関しては既に数多くの研究成果が示されているが、水平版近傍の地形変化や流れの特性に関してはほとんど研究例はなく充分な知見が得られているとは言えない。構造物周辺の地形変化を予測するためには構造物近傍の流れの場を明らかにする必要があり、離岸堤や潜堤を対象に平面2次元場における海浜流を解析する手法も示されているが、没水水平版のような3次元的な構造物に対してそれらの解析法を直接適用することはできない。本研究では、没水水平版近傍における定常流と地形変化の特性を明らかにする手始めとして、底面境界層内の質量輸送の特性について数値計算と水槽実験により検討した結果と、移動床実験を行った結果について示す。

2 数値計算

図-1に示すように、一定水深 h の海域に設置された長さ D 、幅 B 、没水深 $qh(0 < qh < 1)$ の単一の没水水平版に対して波が入射する場合を考える。ここで、層流境界層内の流速を $u = u_1 + u_2$ と摂動展開して表すと底面における層内での支配方程式は、次式で表される。

1次について

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} = \frac{\partial U_I}{\partial t} + \nu \frac{\partial^2 u_1}{\partial z^2}$$

2次について

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_2}{\partial t} - \nu \frac{\partial^2 u_2}{\partial z^2} \\ = U_I \frac{\partial U_I}{\partial x} + V_I \frac{\partial U_I}{\partial y} - (u_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} + v_1 \frac{\partial u_1}{\partial y} + w_1 \frac{\partial u_1}{\partial z}) \end{aligned}$$

ただし、 U_I, V_I は、境界層外縁流速の x, y 成分を表し、それらの値は数値計算³⁾より求めた。また、ここでは x 方向についてのみ示したが y 方向についても同様に求められる。

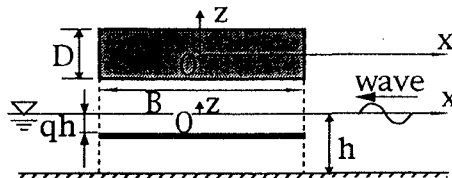


図-1 座標系

3 実験方法

実験は図-2に示す様な長さ240cm、幅170cmの小型平面水槽を用いて行った。固定床実験では、層流境界層内の流れの様子を調べるために、染料の粒を投入し、染料の移動状況を観察することにより流況を測定した。また、中央粒径1.2mm、比重1.1のトレーサーを沈め、トレーサーの移動をビデオカメラにおさめ、流れの方向、速さを測定した。次に移動床実験では、図-2の水槽中央に長さ100cm、幅100cmのピットを設けて、中央粒径0.08mm、比重2.6のガラスビーズを投入し水平版近傍での地形変化を調べた。実験条件は、 $qh = 0.4$ 、 $B/h = D/h = 2.0$ 、 $kh = 1.0, 1.5$ の2通りで行った。

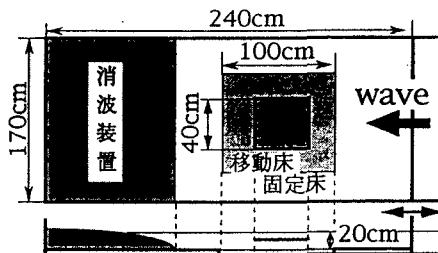


図-2 実験装置

4 計算および実験結果

図-3は $qh = 0.4$ 、 $H = 2.5\text{cm}$ 、 $B/h = D/h = 2.0$ 、 $kh = 1.0, 1.5$ について計算した層流境界層内での質量輸送速度のベクトル図である。この図から、 $kh = 1.0, 1.5$ とも水平版下および水平版周辺の領域では、全体的には岸向きの流れがあることがわかるが、その流速は水平版下の領域の方が小さな値になっている。これは、水平版下の領域では、波による水粒子の運動速度とその空間変動は水平版周辺の領域に比べて小さく、その結果、境界層内の流速も小さくなったためである。図-4, 5は、染料を用いた実験結果を示したものである。実験条件は計算の条件に合わせた。図に示

た矢印は流速ベクトルではなく、ある一定時間に移動した染料の流況である。水平版周辺では岸向きの質量輸送が生じ、水平版下においても水平版周辺に比べて弱い岸向きの質量輸送が生じている様子は、計算結果と実験結果で定性的に一致している。また、図には示していないが水平版下では流体中に浮遊した染料は、境界層内の質量輸送とは逆に沖向きに移動することが目視で確認できた。次に、移動床を用いて水平版近傍の地形変化に関する実験を行った結果を図-6に示す。実験に用いた入射波高は $H = 2.5, 3.5\text{cm}$ である。図-6に示すように水平版岸端で大規模な洗掘が生じ、それ以外には地形変化は見られなかった。図-7は、実験と同一条件で X 軸の正の方向から波が入射する場合に水平版岸端での流速が最大となる位相で流速ベクトルを X 軸に沿った断面内で示したものである。この図に示すように、水平版端では局所的に水粒子速度が大きくなり、そのため大規模な剥離渦が形成され図-6に示したような顕著な洗掘が生じたものと考えられる。

1/10 程度である。同じように砂れんのような粗度がある場合においても水平版周辺では境界層内の砂の移動は全体的に岸向きで水平版下ではその移動速度は小さいことが類推される。

2. 没水水平版岸端で大きな剥離渦が形成され、その影響により水平版岸側で激しい洗掘が起こる。水平版を設置する場合には、渦による洗掘を制御するために例えば洗掘域に捨て石を敷くなどの対策が必要である。

3. 水平版外の流体内部では境界層内と同じ岸向きの流れがあるが水平版下の流体内部では層内と逆の沖向き流れがあることを確認した。これは水平版側方を岸向きに通過した流れが水平版下方を沖に向かって流れるという循環流が起こっている可能性を示唆するものである。今後は流体内部の流速を測定し、流れのパターンをつかむ予定である。

参考文献

- 1) 井島ら (1970): 水平版による防波堤と護岸に関する理論的研究 (2), 第 17 回海講論文集, pp.97-106
- 2) 小島ら (1989): 没水水平版による波の分裂と波浪制御に関する研究, 第 36 回海講論文集, pp.529-533
- 3) 村上ら (1994): 3 次元没水構造物とストークス波の非線形干渉解析法, 第 41 回海講論文集, pp.741-745

5 結論および今後の課題

1. 計算および検証実験より没水水平版近傍では境界層内の定常流は定性的に岸向きに流れていることを確認した。ただし、水平版下ではその大きさは水平版外の領域の $1/5 \sim$

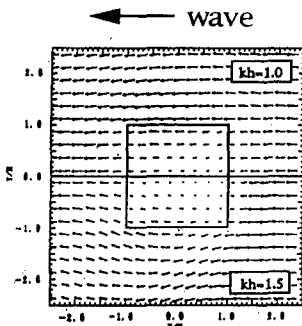


図-3 計算結果

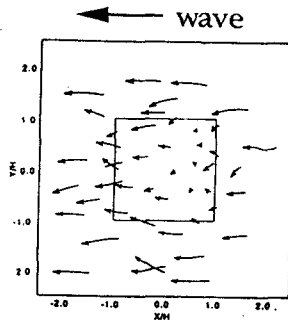


図-4 実験結果 ($kh = 1.0$)

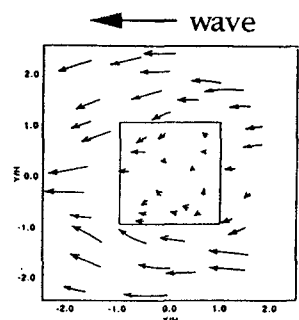


図-5 実験結果 ($kh = 1.5$)

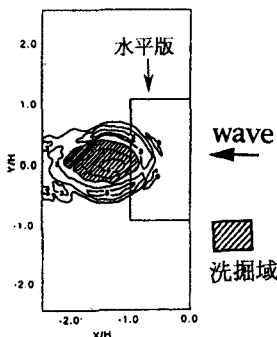


図-6 地形変化 ($kh = 1.0$)

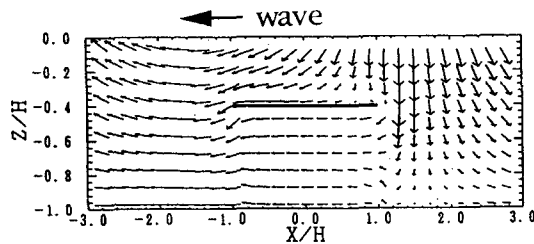


図-7 流速ベクトル ($kh = 1.0$)