

II-36

波動場に置かれた鉛直板周辺の流体運動に関する数値計算

大阪市立大学 正会員 小田一紀
 大阪市立大学 正会員 ○ 重松孝昌
 鉄建建設(株) 横山真也

1. はじめに

浅海域における波浪制御構造物として景観や水質環境、生態系の保全にも配慮した没水形式の構造物が多く用いられるようになってきている。このような構造物は、潜堤や人工リーフのような透水層内の流体粘性と天端上における砕波によって波浪エネルギーを逸散させるものと、人工海藻やフラップボードと呼ばれる揺動あるいは屈撓する多数の板材の端部から発生する渦によって波浪エネルギーを逸散させるものとに大別できる。本研究では、後者に属する構造物のエネルギー逸散機構、波浪変形機構を解明することを最終的な目的として、その最も簡素化したモデルである一様水深波浪場に設置された変形しない鉛直板の周りの流体運動を自由水面を含めて解析し、得られた計算結果に基づいて鉛直板周辺の流れの構造について検討した。

2. 計算手法および計算条件

本研究では、MAC法の計算手順に従って標準型 $k-\epsilon$ 乱流モデルを計算し、自由水面をも含めた鉛直板周辺の流体運動を解析した。自由水面の位置は、水面における力学的境界条件を厳密に満足させるとともに水面セルにおける流体の流入・流出量からその位置を求めた。なお、乱れエネルギー、エネルギー散逸率の水面における境界条件は辻本(1995)にならってそれらの鉛直勾配がゼロとなるように計算した。計算領域は、水深 $h=50\text{cm}$ 、水平方向に $5L$ (L :波長)とし、その中央の水底に高さ $d/h=0.2, 0.4, 0.6$ の鉛直板を設置した。計算領域の沖側端では周期 $T=1.79(\text{s})$ 、波形勾配 $H/L=0.03$ (H :波高)のStokesの第3近似解の水面位置、圧力および水粒子速度を与え、岸側端ではSommerfeldの放射条件を課した。計算メッシュは、 $\Delta x/L=1/50$ 、 $\Delta z/L=1/20$ 、タイムステップは $\Delta t/T=1/64$ として計算した。

3. 計算結果

図-1は、 $d/h=0.4$ の場合の流速ベクトルを示したものである。計算結果によれば、鉛直板の設置位置で水粒子速度の水平方向成分が岸向き(図の右側)に卓越する時に鉛直板の上端から剥離した流れはその岸側に渦流域を形成し、水面がゼロダウンする位相の時にその背後で最も明確な渦が確認された(図-1(a)参照)。一方、沖向き流速が卓越するときには鉛直板上端で流れは剥離するが、岸側で見られたような明確な渦は形成されない(図-1(b)参照)。このような渦形成の非対称性は、既に日野ら(1971)や池田ら(1985)の実験的研究によって指摘されている。今回行った計算条件の下ではメッシュサイズが比較的大きいので彼らが行っているような渦の移動形態のような詳細な検討はできないが、渦の非対称性については次のように説明することができる。鉛

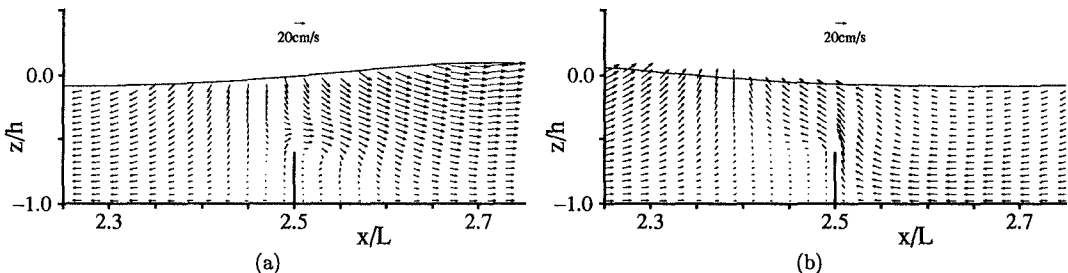


図-1 流速ベクトル

直板の直上を波の山が通過してからゼロダウンするまでの鉛直板の岸側領域では、鉛直板の上部を通過する水粒子はそれによって流向が歪められるために、岸方向の水平成分および水底方向の鉛直成分が波運動によるものよりも大きくなり、このような水粒子運動が鉛直板の岸側における時計回りの渦流の形成・発達を促進するように作用することになる。一方、鉛直板の直上を波の谷が通過してからゼロアップするまでの沖側領域においては、鉛直板によってその鉛直成分は水面方向に増加することになり、この鉛直成分が沖側に形成される反時計回りの渦の形成・発達を妨げるように作用することになる。したがって、このような渦形成の非対称性は鉛直板によって波運動がどの程度歪められるかによって特徴づけられることになり、鉛直板が水深に対して相対的に低い場合にはこの非対称性は弱く、鉛直板が相対的に高い場合には非対称性が強く現れることになる。

次に鉛直板の近傍の乱れエネルギー k の分布を示す。図-2は鉛直板の影響が最も顕著に現れる位相にあたる、板の直上を波の谷が通過する位相における k の分布を示したものである。同図によれば、 d/h の増加とともに空間的に広く分布するようになり、沖側よりも岸側に広く分布するようになることがわかる。このような傾向は鉛直板の高さによらずどの位相においても確認された。また、いずれの場合においても鉛直板の上端部近傍で乱れエネルギーは最大値を示しており、その値は d/h が大きくなるほど大きくなるのがわかる。板を設置しない場合には $z/h > -0.5$ における乱れエネルギーが1以下であることを勘案すれば、比較的那の高さが低いと思われる $d/h = 0.2$ の場合でさえも鉛直板を設置することの影響は水面にまで及んでいることがわかる。このことは、水底に設置された構造物近傍の乱流構造を解明するためには自由水面まで考慮する必要があることを示唆しているものと考えられる。

日野ら(1971)によれば、単一鉛直板による波浪制御効果はきわめて小さい。図-3は本数値計算による水面の空間波形を示したもので、鉛直板の直上を波の谷が通過する位相の時の計算結果である。図によれば、鉛直板が高くなるとともに板からの反射波の影響を受けて

沖側の波高が増大し、岸側の波高が減衰していることがわかる。最も影響の大きい $d/h = 0.6$ の場合の反射率は0.2程度、透過率は0.9程度であった。また、 $d/h = 0.6$ と鉛直板が高くなると板直上付近では水面の隆起が見られるようになるが、このような現象は実験でも観察される。

4. 結論

本研究では、自由水面までを含めた鉛直板近傍の流体運動の数値計算を行い、その結果を基に鉛直板近傍の流れの構造について考察した。今後は、鉛直板が複数存在する場合の流れの構造や、流体力を受けて変形するような板の回りの流体運動について解析を行う予定である。

参考文献

- (1) 日野ほか(1971)：垂直板による波の反射率・透過率およびエネルギー損失，土木学会論文報告集，第190号，pp.75-80.
- (2) 池田ほか(1985)：波動場に置かれた垂直板付近の発生渦の特性とエネルギー逸散，土木学会論文集，第363号/II-4，pp.87-96.
- (3) 辻本(1995)：乱流モデルによる単純化された藻場上の流れと浮遊砂濃度特性について，海岸工学論文集，第42巻，pp.451-455.

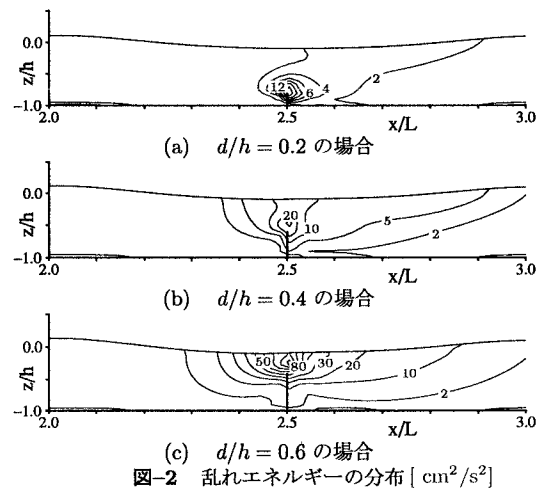


図-2 乱れエネルギーの分布 [cm^2/s^2]

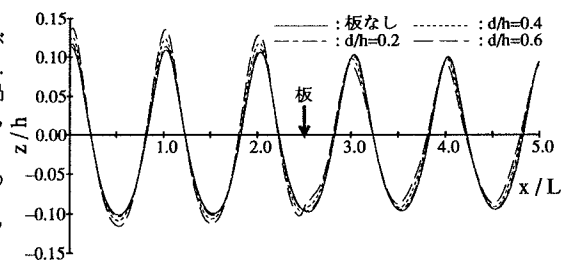


図-3 水面の空間分布