

スリット付鉛直平板周辺の流況に対する数値モデルの適用性

大阪市立大学大学院工学研究科 学生会員 ○加島寛章
 五洋建設株式会社 正会員 折橋恒春
 大阪市立大学大学院工学研究科 フェロー 角野昇八
 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 森 信人

1. 研究背景と目的

近年、港内などの閉鎖性水域の水質改善を目的とした海水交換型防波堤の建設が増加し、海水交換機能について水理模型実験あるいは数値計算を用いた研究が行われている。例えば、防波堤の前面に潜堤を設けるもの¹⁾や遊水室内の波浪共振を利用するもの²⁾など複雑な形状をしたものが知られている。一方、鉛直平板に水平スリットを有するような比較的単純な構造を対象とした研究が行われ、スリット壁周辺に発生する渦により海水交換が促進されることが確認されている³⁾。しかしながら、数値計算と水理模型実験で算定した海水交換量には定量的な差が見られる。さらに水理模型実験では流速は定点計測であるためスリット周辺の流況を捉えることができず、海水交換のメカニズムについて十分解明されているとは言えない。

そこで本研究では、海水交換のメカニズムを解明するため、Navier-Stokes 方程式に基づいた数値計算と可視化実験を実施し、スリット壁近傍における流速や乱れの空間分布および噴流の特性を解明するとともに、両者の比較よりスリットケーソン周辺の流況に対する数値モデルの妥当性について検討する。

2. 可視化実験の概要

可視化実験は、長さ 20m、幅 0.2m の二次元造波水路内に図 1 に示すようなスリット付き鉛直平板を設置して行った。実験は一様水深 $h=20\text{cm}$ で行い、規則波の周期 T と波高 H を変化させて合計 4 ケース行った。流速の推定に

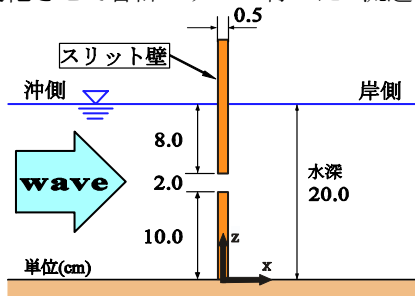


図 1：可視化実験と数値計算の概略

は画像相関法を用いた階層的 PIV 法を使用した⁴⁾。トレーサー粒子にはアルミニウム粒子 ($10\sim60\mu\text{m}$) を用い、レーザーシートを水槽下部から鉛直平板へ照射し、高速度カメラ ($1280\times1024\text{pixel}$, 最大 1000frame/s) を用いて鉛直二次元断面の撮影を行った。各ケース 1600~5000 枚撮影し、鉛直断面における位相平均流速と乱れの空間分布を求めた。

3. 数値計算の概要

数値計算には、2次元非圧縮性粘性流体の Navier-Stokes 方程式を基礎式とし、自由表面に VOF 法、乱流モデルに高 Re 型 $k-\varepsilon$ モデルを用いた数値波動水路⁵⁾を使用した。数値計算は、図 2 に示す二次元断面を対象とし、空間格子間隔は水平方向 $\Delta x=0.5\sim1\text{cm}$ としスリット周辺で密にし、鉛直方向 $\Delta z=0.2\sim0.5\text{cm}$ とし水面で密に設定した。両端の境界条件は放射境界条件、底面境界は free slip 条件とした。スリット壁の構造諸元、入射波条件、水深は実験と同じものとした。

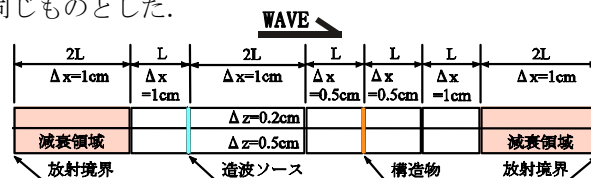


図 2：計算領域

4. 可視化実験及び計算結果

ここでは結果の一例として、図 3 (a), (b) に $T=0.80\text{s}$, $H=0.90\text{cm}$ の入射波条件における時刻 $t=T/4$ の実験及び計算結果の位相平均流速 $\mathbf{U}$ (ベクトル) と乱れエネルギー k (濃淡) の空間分布を示す。ここでは乱れエネルギー k を瞬時流速 (u, v) と位相平均流速 $(\bar{u}, \bar{v})$ より次式で定義する。

$$k = \frac{1}{2} \{ (u - \bar{u})^2 + (v - \bar{v})^2 \}$$

図の左側が沖側、縦軸と横軸はそれぞれ水深 h で無次元化した水底からの高さ z とスリット壁からの距離 x を示し、位相平均流速 $\mathbf{U}$ は波速 c で無次元化している。なお、図 3 (a) のスリット近くの白色の部分は欠損データであ

キーワード 海水交換, 構造物周辺の流れ, 画像計測

連絡先 〒558-8585 大阪府大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院工学研究科 TEL06-6605-2733

る。また、図4 (a), (b) に上述と同条件におけるスリット壁から $x/h = -0.1, -0.2, -0.4, -0.6, -0.8$ 沖側に離れた位置における位相平均流速の水平方向成分 $\bar{u}$ の鉛直分布を示す。図の横軸は、位相平均流速の水平方向成分 $\bar{u}$ を波速 c で無次元化している。スリット開口部の位置は $z/h = 0.5 \sim 0.6$ である。まず図3より、実験結果ではスリット噴流の主軸がスリット壁に付着しつつ上方へ流動しているのに対して、計算結果では噴流の主軸は壁面に付着することなく水平に流動している。また、乱れエネルギーは実験・計算結果ともにスリット噴流部で局所的に分布しているが、分布形状とピークの位置に大きな差が見られる。以上より流れのパターンだけでなく乱れエネルギーの分布も大きく異なっていることがわかる。

次に図4より、スリット壁に比較的近い位置 ($x/h = -0.1, -0.2$) においては、数値計算の流速の最大値が実験値より2倍以上大きく、 $x/h = -0.4$ まで噴流の影響が見られるのに対して、実験結果では $x/h = -0.4$ で $\bar{u}/c = 0$ となり噴流の影響が見られず、流速分布およびその最大値ともに計算結果と実験結果に大きな差異が見られる。しかし、スリット壁よりある程度離れると ($x/h = -0.6$ より沖側) 両者の流速分布は類似した形状に近づいていくことがわかる。スリット壁近傍における両者の違いは顕著であるが、この差の原因については不明である。

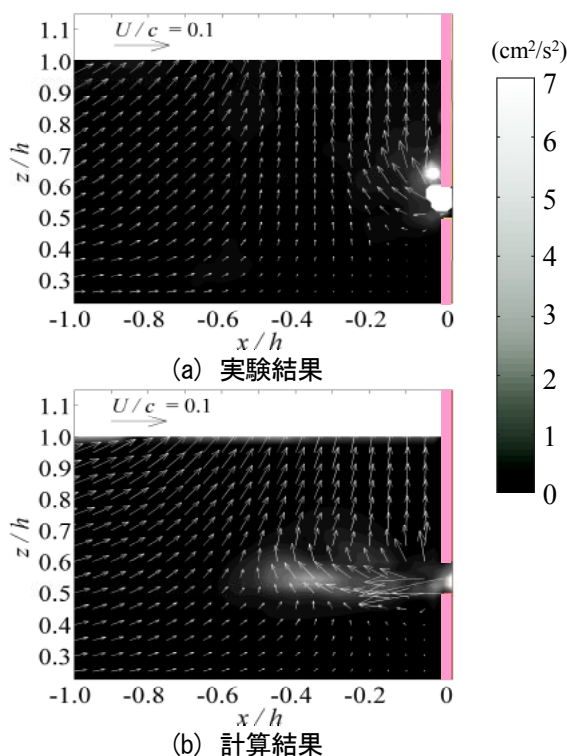


図3：位相平均流速 U と乱れエネルギー k の空間分布
(位相: $t/T = 0.25$; 入射波: $T = 0.80\text{s}$, $H = 0.90\text{cm}$)

5. 結論と今後の課題

スリットケーソン周辺の流況について実験及び計算結果の比較を行った。その結果、スリット壁から離れた位置では両者の流速分布は定性的に一致し、数値計算は妥当な結果を示した。しかし、スリット壁近傍では流れのパターンに大きな差異が見られた。この違いはスリット近傍の粗い空間解像度による精度の低下やスリット壁の粗度の影響、乱れの生成と逸散の差異等に起因していると考えられる。

今後、数値計算法の精度を高めるために空間解像度や境界条件の再検討および乱流モデルの改良等を行う。

参考文献：

- 1) 山本・中泉・間辺：潜堤付防波堤による海水交流工法の開発，第34回海岸工学講演会論文集，pp.675-679，1987
- 2) 中村・高木・中山・河野：ピストンモード波浪共振を利用する低反射・低透過構造の海水交換型防波堤の開発，海岸工学論文集，第49巻，pp.661-665，2002
- 3) 折橋・恩地・山野・角野：波動により平板スリット周辺に発生する一方向平均流とその誘起機構の解析，海岸工学論文集，第51巻，pp.676-680，2004
- 4) Mori, N. and K.A. Chang (2003) Introduction to **mpiv**, <http://sauron.urban.eng.osaka-cu.ac.jp/mori/software/mpiv/>.
- 5) (財) 沿岸開発技術研究センター：数値波動水路の研究・開発 (CADMAS-SURF)，沿岸開発技術ライブラリー，No.12，2001

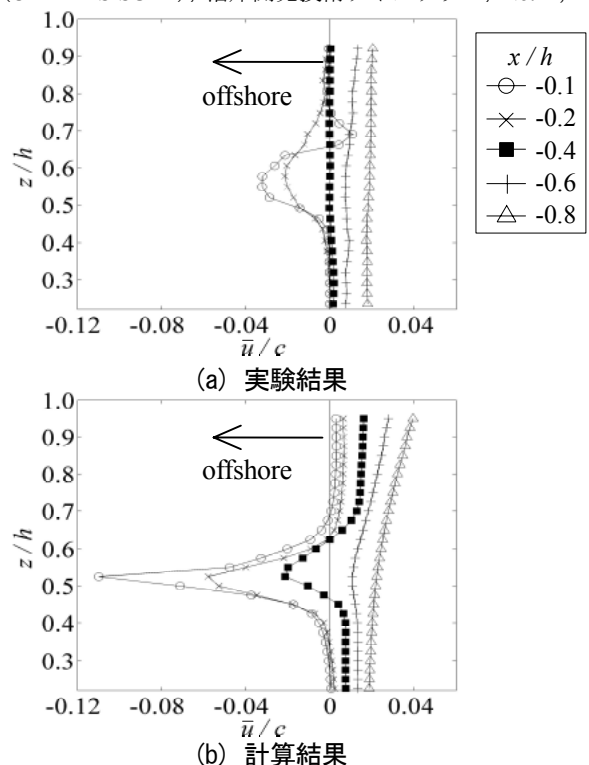


図4：位相平均流速 U の水平方向成分 $\bar{u}$ の鉛直分布
(位相: $t/T = 0.25$; 入射波: $T = 0.80\text{s}$, $H = 0.90\text{cm}$)