

潮汐残渣環流の形態変化を支配する底面摩擦係数の評価

名古屋大学 工学部 ○ 学生員 富田 孝史 学生員 田野 弘明
正員 和田 清 正員 高木 不折

1. はじめに： 沿岸海域の潮流現象の中で、循環流などの定常流が長期的な物質輸送に重要となることが知られている。特に地形条件と潮流の弱非線形過程に従う潮汐残渣流は、内湾域で卓越する恒流形態のひとつである。潮汐残渣流は潮流の1周期時間平均値として移流項から生じる2次流であるが、汚濁予測としての物質輸送モデルを精度高く確立するためにはその実態を把握するとともに、1次流である潮流場の流動構造の把握が必要不可欠である。したがって、本研究は、底面摩擦による鉛直的な残渣流の生成機構を明らかにするために、単純な地形条件下での基礎的な水理実験を行い、数値シミュレーションにおけるパラメータとしての底面摩擦係数の特性について考察したので、その結果の一部を報告する。

2. 水理実験： 実験は、水供給式の潮汐発生システムをもつ両面アクリルの銅製水槽(全長 6.5m、横幅 0.9m、側壁長 0.6m)を用い、水平床で行った。対象とした実験条件は、表-1 に示した水深 h 、長周期波の周期 T および水位振幅 η を変化させた合計15種類である。流速の測定は水素気泡法を用い、撮影間隔は各流速に応じて読み取り精度を考慮して決定し、1周期を24~36位相に分割して各位相について測定した。また水位と流速の時間波形が対応するように、カメラによる撮影時刻をタイマーと連動して水位と共に記録した。なお水位計測はサーボ式水位計を使用した。計測点は、開口部($x=0$)から、0.1、1.0 (前報¹⁾ で述べた底面摩擦測定装置の設置位置)および 3.0 mの合計3地点である。

3. 結果および考察： 図-1 は、 $x=1.0m$ において水素気泡法により求められる浮力補正後の最大流速の鉛直分布を示した例である。なお、図中実線は、次式で表される底面境界層理論²⁾ に基づく基本振動流速成分 u_1 の最大値である。ただし、この理論式の適用限界は $h^* \approx 5$ 程度である。

$$u_1(x^*, z^*, t^*) = \text{Re} \left[\frac{A \eta_0 g}{\omega} (p_1 - ip_2) \{ e^{-(1-i)z^*} - 1 \} \frac{\sinh A(n_1 - ip_2) \ell (y^* - 1)}{\cosh A(p_1 - ip_2) \ell} e^{-it^*} \right] \quad (1)$$

$$A_1 = \sqrt{1 - 1/h^* + 1/2h^{*2}}, \quad A_2 = 1 + 1/h^* - 1/2h^{*2}, \quad A = \sqrt{A_1/A_2} \cdot \omega / \sqrt{gh}$$

$$p_1 = \sin(\theta/2), \quad p_2 = \cos(\theta/2), \quad \theta = \tan^{-1} \{ 1/(2h^* - 1) \}$$

ただし、 $i = \sqrt{-1}$ 、 $x^* = x/\ell$ 、 $z^* = \beta z$ 、 $\beta = 1/\delta = \sqrt{\omega/2\nu}$ 、 $h^* = \beta h$ 、 $t^* = \omega t$ 、 ℓ : 湾長、 ν : 動粘性係数、 $\omega (= 2\pi/T)$: 角周波数である。同図から、 $h^* = 11.3$ (図b) では、底面近傍以外では流速振幅はほぼ一様で、底面付近では振幅は著しく減少し、1周期間の鉛直分布形からも、位相も異なり境界層内での shear wave の様子を表しているものと思われる。一方、相対水深比が小さくなる $h^* = 5.6$ (図a) の場合、底面付近は理論値よりも大きくなり、したがって底面摩擦応力も増加する傾向にある。また、表層付近では中層よりも位相が速く現れている。この現象は、安田の水理実験³⁾、外洋に注ぐ水路内の長周期波の観測⁴⁾ 時に測定された程度で、ほとんど知られていない。ただし、安田³⁾ は、この境界層外における振動成分の上下層間での位相差は、大きい残渣流成分のシア-と基本振動成分の相互作用が高次の基本振動成分を形成した結果であると述べているが、本実験においてその影響は明らかではない。著者らは、式(1)の誘導過程において、水面における境界条件を $(\partial u / \partial z)_{z=h} = \alpha$ (定数)として、式(1)を修正するとともに、流速の鉛直分布に与える α の影響を検討した結果、修正式はほぼ実測値に近い流速分布を与えることがわかった。このように、 h^* の値によって流速の実験値と理論値の対応は異なるが、それらを tidal excursion を代表長とした水平 Reynolds 数： $Re_1 (= u_{1,max} T / \nu)$ 、 $u_{1,max}$: 境界層外の最大基本流速成分)の関係で表したのが図-2 である。同図より、 $h^* > 5$ の範囲では、 h^* が大きい場合(●印)には理論値と実験値はほぼ等しいが、 h^* が小さくなると(○印)、実験値は理論値よりも大きくなる。ただし、図中の $h^* < 5$ の値(○印)は、 $h^* = 5 \sim 7.5$ の値よりも一見実験値に近づくようにみえるが、実はこの範囲では、理論式の適用限界を越

えていることを注意しておく。

従来、底面摩擦係数 f を決定する場合、流れ場が層流あるいは乱流状態であるかによって、一様流における Blasius または Manning の抵抗則で代用している。潮流現象は浅海では、憩流すなわち流速ゼロを中心に周期的に変化するから、 Re 数は時間的に変化している。また、 f は一般に Re 数の関数であるから、このような場合に底面摩擦係数も時間的に変化しているものと思われる。そこで、 f を定義する場合、i) 振動成分のみ ii) 振動成分と定常成分に対して表現する方法があるが、後者は2個の摩擦係数を推定しなければならない欠点があり、現在のところ定常成分の詳細も明らかでない。本研究では、前者について考え、実験による流速分布の1周期間の測定値から推定される境界層厚と、理論値のそれとはほぼ対応していることから、境界層外の実測流速値を位相を無視した理論の分布形に当てはめて最大底面せん断応力を推定して、 f を定義した。このようにして求めた f と周期の効果を考慮した水平 Re 数との関係を示したのが図-3である。同図から f は Re_1 の $-1/2$ 乗にはほぼ比例することがわかる。ここで、 h^* の小さな範囲では、実測の Re_1 が理論値よりも大きくなっていることに留意する必要がある。

4. おわりに： 以上、水素気泡法による水理実験から、流速の鉛直分布構造を測定し、その実験値と理論値との対応および実測流速分布から推定される底面摩擦係数 f と水平 Re 数の関係について述べた。ただし、流動場では振動成分の他に定常成分も含まれており、今後これらを含めた底面摩擦係数 f の推定を行い、数値シミュレーションを行う際のパラメータの評価を行う所存である。

(参考文献) 1) 高木不折他：中部支部年次講演会、pp166~167、1987。

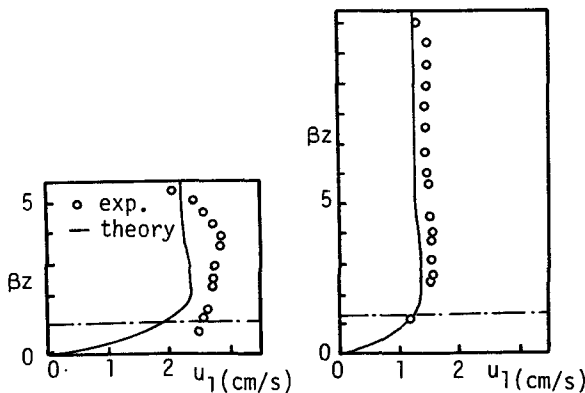
2) H.Yasuda：Journal of the Oceanographical Society of Japan, vol.40, pp124~134,1984。

3) 安田秀一：中国工業技術試験所報告、No.16, pp21~40、1982。

4) 松田義弘：東海大学海洋学部紀要、No.6, pp29~42、1972。

表-1 実験諸元

h (cm)	2, 3, 4, 5, 7.5, 10
T (s)	60.3 ~ 122.5
η_0 (cm)	0.09 ~ 0.49



(a) $n_0/h=0.13; Bh=5.6$ (b) $n_0/h=0.07; Bh=11.3$

図-1 最大流速の鉛直分布($x=1.0m$)

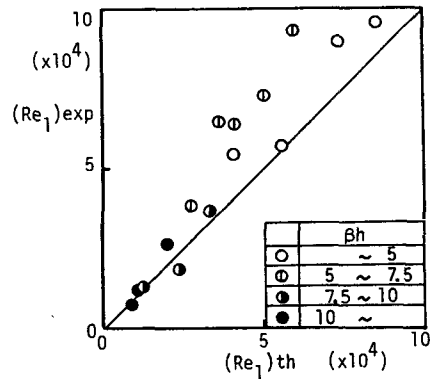


図-2 実験値と理論値を用いた水平 Re_1 数の関係

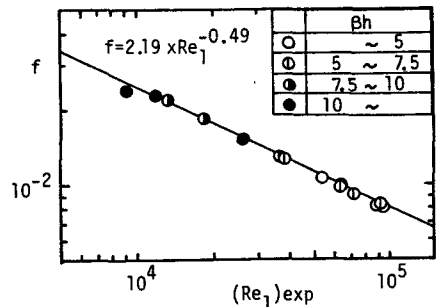


図-3 底面摩擦係数 f と水平 Re_1 数の関係