

II-325 底面摩擦による潮汐残渣流の生成機構に関する実験

名古屋大学工学部 正 員 ○和田 清
同 上 正 員 高木 不折
同 上 学生員 富田 孝史

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。特に海底などの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。この残渣流は内湾を形成する境界からの影響に強く支配されており、残渣流の生成・維持機構を解明するには、まず潮流の流動場を把握しなければならない。本論は流動場の構造と密接な関係にある底面摩擦応力を直接測定し、その特性について水理実験により若干の検討を加えたので、その結果の一部を報告するものである。

2. 水理実験 : 底面摩擦応力測定装置 (Shear Meter) については、すでに種々報告されているが著者らの Shear Meter は既往の研究成果¹⁾を参考にして、安定性・感度等の観点から工夫を加え試作されたものである。その原理は、Shear Plate に作用する力を鉛直支柱でモーメントに変換し、ひずみゲージで測定する方法である²⁾。

表-1 実験条件

h(cm)	1.86 ~ 14.84
T(s)	59.5 ~ 122.5
H(cm)	0.11 ~ 1.02

実験は、マイコン制御による水供給式の潮汐発生システムを持った両面アクリル鋼製水槽 (6.0 m x 0.9 m x 0.6 m) で行った。実験条件は、水平床を対象とし、表-1に示すように水深 h, 周期 T, 潮位差 H を種々変化させた 59 種類である。底面摩擦応力の計測点は湾口部から 1 m であり、サーボ式水位計、差温式および電磁流速計等によりそれぞれ水位と流速を計測している。

3. 実験結果とその考察 : 安田³⁾は、潮汐振動流 (u_T, w_T) が形成する底面境界層の非線形効果によって鉛直的な潮汐残渣流 u_s が生成されることを理論的に示している。 u_s の生成には、 $\partial(u_T \cdot \xi_T)/\partial x$ および $\partial(w_T \cdot \xi_T)/\partial z$, ($\xi_T = \partial w_T / \partial x - \partial u_T / \partial z$) が関与している。すなわち、前者は潮流のシアが縦方向に勾配を持つことに基因し、後者は水面の昇降 (w_T の存在) と潮流のシアの相互作用の結果である。潮汐振動流の鉛直構造の詳細はまだ十分に明らかにされていないが、まず、潮流の振幅の鉛直分布がふくらみ (hump) を持たない場合と持つ場合、つまり潮流シアが全水深にわたって位相差を持たない場合と持つ場合の潮汐残渣流の鉛直分布それぞれの表現³⁾を、水深が小さい範囲にも適用できるように修正した。その結果より Newton の粘性則 ($\tau_s = \mu \partial u_s / \partial z$) から求まる無次元底面摩擦応力の定常成分 $\hat{\tau}_s$ は、それぞれの場合に対して以下のように導かれる。

$$(\hat{\tau}_s)_0 = 2 - \frac{3}{h^{*2}}(3h^* - 4) - 0(e^{-h^*}) \quad (\text{no hump}) \quad (1)$$

$$(\hat{\tau}_s)_1 = \frac{1}{2} + \frac{3}{h^{*2}}\left(\frac{3}{4}h^* - \frac{13}{8}\right) - 0(e^{-h^*}) \quad (\text{with a hump}) \quad (2)$$

$$(\hat{\tau}_s)_0 = \omega L (\tau_s)_0 / \mu \beta U_m^2 (1 - x^*), \quad (\hat{\tau}_s)_1 = \omega L (\tau_s)_1 / \mu \beta U_m^2 (1 - x^*), \quad x^* = x/L, \quad h^* = \beta h$$

ここに、 U_m : 境界層外の最大流速, L : 湾長, $\omega (= 2\pi/T)$: 角周波数, T : 周期, μ : 粘性係数, $\beta (= 1/\nu) = \sqrt{2\nu/\omega}$: 境界層厚, ν : 動粘性係数。図-1 は、これら $\hat{\tau}_s$ と h^* の関係を示したものである。同図から $(\hat{\tau}_s)_0$ は h^* に比例して増加し、 $(\hat{\tau}_s)_0 = 2$ に漸近するが、 $(\hat{\tau}_s)_1$ は $h^* \sim 5$ で最大値となり、その後 $(\hat{\tau}_s)_1 = 0.5$ に収束する。このように振動流の流速分布の仮定の如何によって $\hat{\tau}_s$ の h^* への依存性は大きく異なることがわかる。

図-2 は実験結果より得られる $\tau_{s*} (= \tau_s / \rho g h)$ と h^* の関係を示したものである。同図から、 $h^* > 10$ では、 τ_{s*} はほぼ 0 であるのに対し、 $h^* < 10$ では τ_{s*} が顕著に生成されていることがわかる。このこ

とは、 h^* の減少とともに tidal excursion を代表長とした水平 Reynolds 数 Re_f は大きくなること、また、 $h^* \sim 10$ を境に流れの場の特性が変化することを示している。すなわち、 $h^* > 10$ では流れの状態はほぼ層流域であるとみなせるが、 $h^* < 10$ 、特に $h^* \sim 5$ では（比較の基準として用いた Collins⁴⁾ の限界 Re_f に匹敵する程度になっており）層流から乱流への遷移領域に相当するものと思われる。このように h^* の減少とともに Re_f は変化するので、粘性係数を時空間的に変化しているものと考えれば、粘性係数を定数として導いた $\hat{\tau}_s$ の理論値は実際の底面摩擦応力を過小に評価しているものと思われる。

また、通常用いられている潮流の非線形項の大きさを表すパラメーター $\varepsilon = \eta a / h$ (ηa : 湾口潮汐振幅) は、この実験条件では $\varepsilon = 0.01 \sim 0.13$ の範囲にある。この値から判断する限り本実験スケールは理論解析においても収束するはずである。しかし $h^* < 10$ の値に対して実験値 τ_s^* と ε の関係の代表例を示した図-3によれば、 h^* の減少とともに τ_s^* と ε の勾配は急になっており、 ε が小さくても有意な τ_s^* を生成している。ここで、パラメーター $\eta a / h$ は鉛直方向の代表スケールを β^{-1} として導かれたものである。一方たとえば、代表スケールとして水深 h を用いると $\varepsilon = 2\beta^2 \cdot \eta a^2$ 、本実験では、 $0.03 \sim 1.93$ で、1より大きくなる場合もありうることになる。すなわち残渣成分は非線形効果によって2次のorder量のみでは表現できないほどの強い循環流を形成することが推察される。

一般に潮汐残渣流は、潮流の上げ潮時と下げ潮時との流れの非対称性によるものであり、本質的に非線形現象であると同時に非対称性を生みやすい地形によって助長される。したがって、たとえば潮流の進行方向と垂直に海底傾斜を持つ場合を考えると、浅水域では底面摩擦応力の定常成分が生成されやすく、それは水平循環流の生成過程に重要な役割を果たすものと考えられる。

4. おわりに : 以上、潮汐振動流による底面摩擦応力の定常成分の特性と残渣流の関係について述べたが、理論値との対応については未だ十分な検討がされておらず、実際には、水深の減少とともに流れは乱流状態に近づき、流れに影響を及ぼす鉛直粘性係数は大きく $2\beta^2 \cdot \eta a^2$ は1よりも小さいことも考えられ、その境界層内外での評価は重要な検討課題であり、今後流速分布の鉛直シアーの構造と共に明らかにする所存である。

(参考文献)

- 1) たとえば、岩垣ら：第11回海講，1964。
- 2) 和田ら：中部支部年講，1987。
- 3) H. Yasuda : J. Oceanogr. Soc. Japan, vol.37, 1981。
- 4) J.I. Collins : J. Geoph. Res., vol.68, 1963。

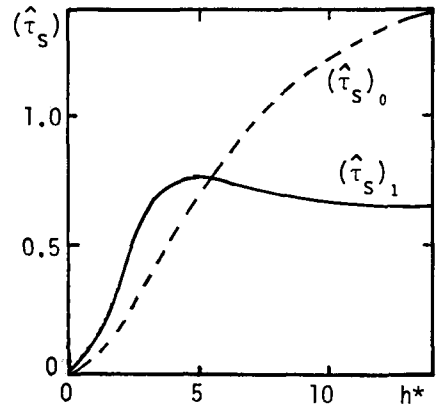


図-1 理論値 $\hat{\tau}_s$ と h^* の関係

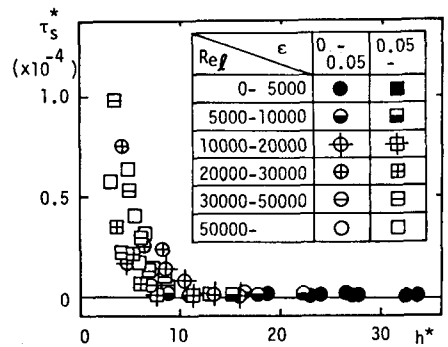


図-2 実験値 τ_s^* と h^* の関係

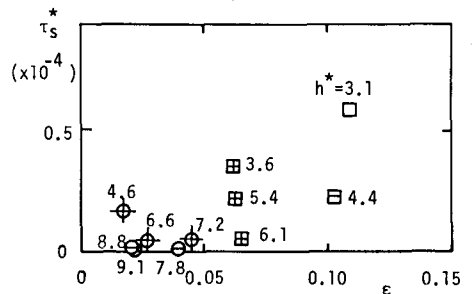


図-3 実験値 τ_s^* と ε の関係