

II-341

波と流れによる砂漣上の定常流について

北見工業大学工学部

正会員 鰐目 淑範

北見工業大学工学部

正会員 佐藤 幸雄

北海道大学工学部

正会員 浜中 建一郎

I. まえがき

砂漣上の境界層内に剥離渦が存在するような準乱流境界層内の流れ構造を考えると、その流れ構造の中に振動流の他に非線形効果によって定常流が発生している場合には、この定常流は剥離渦によって攪乱された底質砂を輸送する重要な役割を果たすこととなる。このような定常流の発生については剥離を伴わない場合の解析解があり砂漣上で循環流が形成されることが示されている。¹⁾ 著者らは剥離渦が存在するような準乱流境界層内の流れ構造についてすでに数値解析を行っているが²⁾、本研究ではさらに進んで境界層外縁における境界条件として水平振動流の他に一様流を加えた場合、剥離渦を伴う流れ構造の中に発生する定常流の形成状況を数値解析により調べた。以下にその一例を示すこととする。

II. 計算方法

基本方程式としては Navier-Stokes の運動方程式より導かれた渦度方程式と流れ関数に対するポアソン方程式を使用した。各変量を砂漣の波数 $k' (=2\pi/L')$ (L' : 砂漣の波長) および $\sigma' (=2\pi/T')$ (T' : 振動流の周期) で無次元化した。有次元量には " " を付す。無次元化された渦度方程式と流れ関数に対するポアソン方程式は式(1)、(2)である。断面2次元流を考え、 ω, ψ をそれぞれ渦度および流れ関数とする。

$$\omega_t = J^{-1} \{ -\psi_\eta \omega_\xi + \psi_\xi \omega_\eta + \nu (\omega_{\xi\xi} + \omega_{\eta\eta}) \} \quad \text{----- (1)} \quad \psi_{\xi\xi} + \psi_{\eta\eta} = -J\omega \quad \text{----- (2)}$$

式(1)、(2)は砂漣の形状に適合させた等角写像を導入して x - y 平面を ξ - η 平面に変換した。

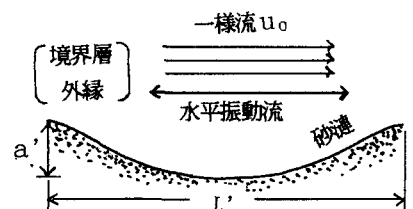
$x = \xi - a e^{-\eta} \sin \xi$, $y = \eta + a e^{-\eta} \cos \xi$, $a = a' k'$ (a' : 砂漣の高さ)。また、 J はヤコビアンで $J = 1 - 2a e^{-\eta} \cos \xi + 2a e^{-2\eta}$ である。境界条件としては底面で $\psi = \psi_\xi = \psi_\eta = 0$ 、境界層外側で $\psi_\xi = 0$, $\psi_\eta = A \sin t + u_0$, A, u_0 はそれぞれ無次元化された振動流の最大流速および一様流速である。以上の関係式を用いて有限差分法により渦度 ω および流れ関数の値 ψ を数値解析により求めた。空間メッシュの個数は ξ 方向に M 個、 η 方向に N 個とし、時間間隔は $\Delta t = 2\pi/NT$ (NT : 1 周期間の分割数) である。計算条件を表-1に示した。表中の cycles の値は渦を持った流れの構造が変化せずほぼ落ち着いた状態の周期目を示す。また、 Re および S はそれぞれレイノルズ数とストローハル数であり、 $Re = \sigma' A' L' / \nu' = 2\pi A / \nu$, $S = \sigma' A' T' / \nu' = A$ (ν : 動粘性係数) である。また、無次元砂漣高さ $a = 0.5$ で一定とした。

つぎに、定常流に関しては流れ関数 ψ を 1 周期間について時間平均して、定常流の流れ関数 $\bar{\psi}$ を求めた。また、 $\bar{\psi}$ は次のように一様流 $\bar{\psi}_0$ と循環流 $\bar{\psi}_e$ に分離される。 $\bar{\psi}_0(\xi) = \{ \bar{\psi}(\xi_0 + \xi) + \bar{\psi}(\xi_0 - \xi) \} / 2$, $\bar{\psi}_e(\xi) = \{ \bar{\psi}(\xi_0 + \xi) - \bar{\psi}(\xi_0 - \xi) \} / 2$ (ここで、 ξ_0 : 砂漣中央部座標値)

表-1 計算条件

RUN	u_0	M	N	NT	Cycles	a	A	ν	Re	S
2	0.0	64	32	3200	2	0.5	5.0	0.05	628	5
2'	0.6	64	32	3200	2	0.5	5.0	0.05	628	5
4	0.0	64	32	3200	4	0.5	10.0	0.05	1256	10
4'	0.6	64	32	3200	7	0.5	10.0	0.05	1256	10

図-1. 流況模式図



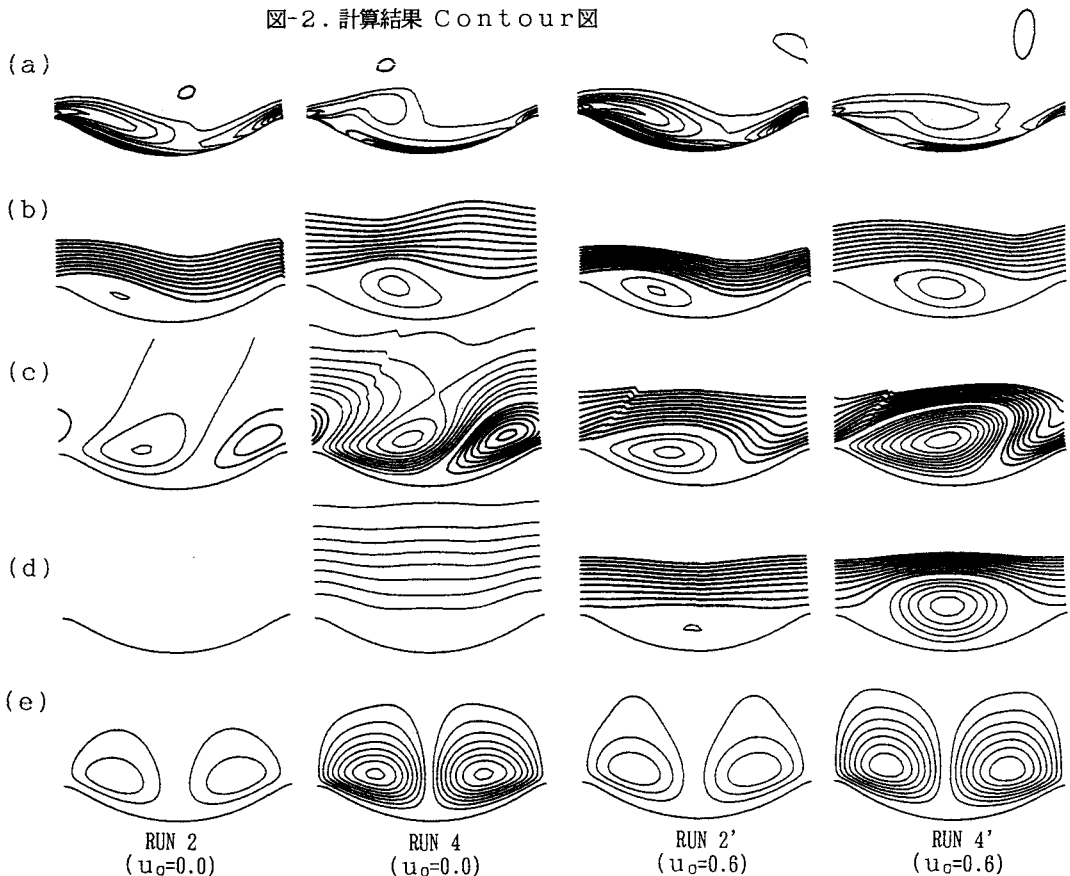
III. 計算結果(図-2)

各RUNについて(a),(b)は剥離渦が最も大きく成長する減速時位相 $2\pi \cdot 3/8$ の時の渦度 ω および流れ関数 ψ のcontour図であり、(c),(d),(e)はそれぞれ定常流 $\bar{\psi}$ 、一様流 $\bar{u}$ 、循環流 $\bar{\Gamma}$ のcontour図である。

RUN 2($u_0=0$)は Re, S ともに小さい場合であるが剥離渦が生じている。(c)において弱い定常流の存在が見られるが(d)の一様流のcontourは未だ現れていず、(e)で弱い循環流が見られる。RUN 4($u_0=0$)の場合は Re, S ともに大きく剥離渦が大きくなるにしたがって(c)では定常流が底面付近まで入り込む傾向が見られ弱い一様流と強い循環流が発生していることが分かる。この場合(a)において底面上に強い剥離渦があるため(e)の循環流が底面に接することはなくやや浮いた状態になる。このことは、図には表されていないが底面の極く近傍にもう1つの反対方向に流れる循環流が存在するものと考えられる。RUN 2,4の場合に $u_0=0.6$ を加えた場合がRUN 2',4'であるが、一様流が弱いときは底面に沿って平行に流れるが、一様流が強くなるに従って底面付近に循環流を生じる傾向にあり、流れが強いRUN 4'の(c),(d)にその傾向が強く現れている。(e)の循環流についてもRUN 2'よりRUN 4'に流れが強く現れているが、 $u_0=0$ の場合のRUN 2,4と比べるとRUN 2',4'ともに循環流の及ぶ範囲は上方に伸びていくことが見られる。

今後ははくりうずを伴う流れ構造の中の一様流および循環流の定常流に関して、さらに Re 数が大きい場合など種々の条件について体系的に調べる必要があると考える。

図-2. 計算結果 Contour図



参考文献; ¹⁾HARA, T. & MEI, C. C.; Oscillating flow over periodic ripples, J. Fluid Mech. Vol. 211 1990

²⁾ 浜中建一郎・佐藤幸雄; 砂漣上の振動流境界層, 海岸工学論文集 第39巻(1), pp. 1~5, 1992