

II-342

波動場におけるせん断不安定性と境界層の発達について

琉球大学工学部 正員 仲座栄三

” 正員 津嘉山正光

” 学員 山路功祐

1. はじめに

「静水面上に風が吹くとき、なぜ風波の発生・発達が生じるのか？」この問題に対して、Kawai(1979)は、「空気と水との2層粘性せん断流の境界の不安定現象として、成長率最大の周波数の波が規則正しい規則波として発生する」とする説を提唱し、これを理論的・実験的に示した。また、つい最近、Conley and Inman (1992)らはSheet-flowによる漂砂現象に対して、底面流速の位相によって、Sheet-flow層で波の峰方向に二次元的な渦が発生し、さらにそれが三次元化し、流れの逆位相でSheet-flow内の砂が大きく巻き上げられることを現地観測によって見だしている。灘岡・八木(1988)らは、波動場の底面境界層を渦素子法による数値計算により検討し、波動による流速の移流効果が大きい時には、波形のzero-up点付近で層流境界層内の渦度の激しい巻き上がり現象が発生することを指摘している。また、日野・孟・奥村らは波状開水路の流れを数値計算的に検討し、三次元渦構造の発生を詳述している(1992)。これらの現象はその発生過程において類似点を有する。ところで、もっと単純な問題として、「なぜ波動場にはポテンシャルが存在するのか？」という問題がある。この問題に対して、大抵の海岸工学の教科書では触れていない。一般には、「渦度がゼロとすると・・・」として始まる。この問題に対して、日野(1993)の流体力学では明確に説明されている。本研究では、最終的な目標を波動場におけるせん断不安定によって生じる大規模渦構造の解明に置くが、ここでは問題を簡単にするためや、初歩的な現象理解と問題提起という性格を持たせるために、現象を二次元振動流として、せん断不安定によって生じる組織渦の発生を検討した。なお、流れ場は乱流場としている。

2. 数値計算結果及び考察

計算に用いる基礎式は、二次元のNavier-Stokesの運動方程式と圧力のPoisson方程式である。数値計算は、これらの基礎方程式を差分陰解法で行った。基礎式の時間微分項には前進差分を用い、空間微分項には中央差分を用いた。なお、非線形項には河村・桑原らの高精度風上差分を用いている。境界条件は、流れ方向に周期境界条件を用い、上面では固定壁、下面は水平移動壁とした。即ち、下面は水平方向に正弦関数的に時間変動させた。拡散項には勾配型拡散を用い、拡散係数としては簡略化の為Prandtlの壁面乱流のものを用いた。現象が三次元的であれば、勿論この手法はかなり問題がある。しかし、ここで問題としているように、大規模渦の発生直前や直後の局所的な時間帯では、現象は十分二次元的と見なせる場合も多い。

図-1(a)に静水状態から、底面を $u=\sin(\sigma t)$ で振動させ、 $t=0.003$ 秒後の流速ベクトルを示す。図(b)は、 $t=0.2$ 秒後の状態である。流れと垂直方向に軸を持つ渦が集中化しているのが見られる。図(c)は、流れが逆転した直後の $t=0.6$ 秒後の流速ベクトルである。図(d)は、さらに時間が経過し $t=0.8$ 秒後の状態を示している。図示のとおり、正流速時に集中化し、上方に巻き上げられた渦はすぐに逆流時に作られる逆方向の渦度の拡散によって正負打ち消し合い、壁から遠くまで壁面の影響が及ぶことはない。これは、まさしく日野の流体力学で述べていることであり、これが波動場が一般に渦無しと言える所以である。図-2は、計算領域内の断面平均流速分布の時間変動を示している。これは、流体力学の本などで見られるRayleighの問題とほぼ同じことを意味している。

3. おわりに

本研究では、流体力学的なせん断不安定によって作り出される大規模組織渦の発生と成長・消滅に主眼を置き、振動流境界層の渦構造を数値計算により検討した。実現象では、せん断不安定性によって作り出される特異な現象が多い。ここでは、こうした現象解明の一步として、一般にRayleigh問題として解析的に取り扱われる振動境界層に、特徴的な現象が発生する可能性を指摘した。今後は、さらに検討を加え、層流から乱流境界層への発達過程や始めに述べた現象解明を試みたい。

参考文献

- D. C. Conley and D.L. Inman(1992):Field Observations of the Fluid-Granular Boundary Layer Under Near-Breaking Waves, J.G.R.,Vol.97,No.C6, pp.9631-9643.
- S. Kawai(1979):Generarion of intial wavelets by instability of a coupld shear flow and their evolution to wind waves, J.F.M.,93,pp.660-703.
- 灘岡和夫・八木宏(1988):渦素子法による波動境界層の数値シミュレーション, 第35回海講, pp.16-20.
- 日野幹雄(1993):流体力学, 朝倉書店, p.469.
- 日野幹雄・孟岩・奥村卓也(1992):直接数値計算による任意波状境界を持つ2次元及び3次元波状局面上の流れの解析.

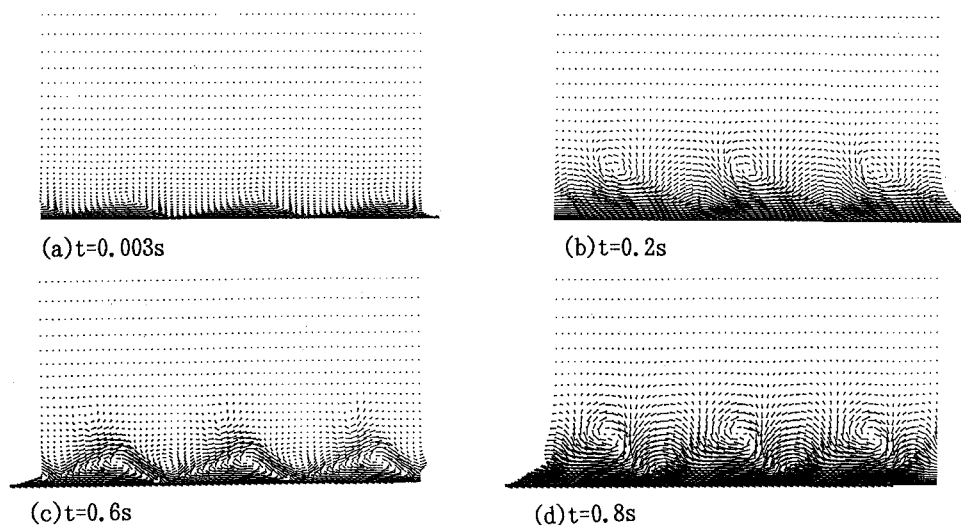


図-1 流速ベクトル
無次元高さ (h/H)

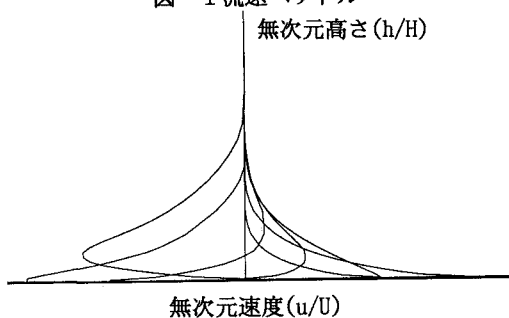


図-2 断面平均流速の時間的变化