

II-541 振動流における Sheet Flow に関する研究

東北大学大学院 学生員○李 立亜
東北大学工学部 正 員 沢本 正樹

1. はじめに:

Sheet flow 状の砂運動は沿岸域での漂砂問題を考える上でもっとも重要な砂移動形態の一つである。1960年代以来、盛んに研究されてきたが、いままでの発表された結果を見ると、未解明のところはまだたくさん残っていると言える。本研究は振動流で実験を行い、そのMechanism 解明を試みたものである。

2. 実験装置および実験条件:

U-tube 装置を用いて振動流における Sheet flow の底質運動の実験を行なった。可視化をやすくするために、約10% の粒子を着色した。実験条件は2組7 cases に分かれ、表-1 に示してある。

測定方法については、U-tube 中での底質が Sheet flow 発生を確認した上で、Video を使用し、1/500s のシャッタースPEED で毎秒30画面を撮影した。画像解析によって、流速、移動層厚さおよび乱れなどを求める。そのほか、砂の実験も行なわれたが、実験装置の制限で、運動mechanism を肉眼で観察するにとどめた。

3. 結果と考察:

a). Sheet Flow の発生限界: 砂と人工真珠の発生限界はかなり違うことが分かった。砂の場合は流速振幅 U の増大に従って、移動-砂連-砂堆-Sheet flow という Mechanism の相違がはっきり判別できた。それに対し、人工真珠の場合、 Ψ は約0.15に達すると、すぐに Sheet flow が発生し、前述のような階段的变化がみられなかった。図-1 は金子の区域図(2)で、その中の破線は本実験より延長した区分である。 $d/\delta_* = (\nu T/\pi)^{1/2}$ Stokes' Parameter; d 粒径)が大きくなると、移動限界と Sheet flow

限界がかなり接近しているの、実際には砂連あるいは砂堆を形成しにくくなることが分かった。

b). 固体粒子の速度分布およびその乱れ: 図-2 には1例として粒子の速度分布は示してある。Sheet flow の場合でも、一部分の粒子は上に上がって運動する。主流速方向の粒子速度 u_s は垂直方向の速度 v_s より Order 的に大きく、成層運動状態になることが分かった。上層(本実験で $Y/d > 1$ の範囲)では、濃度 C は低く、 u_s の垂直方向の変動はあまり激しくない。中間層(約 $-1 < Y/d < 1$)では、 C と u_s の垂直方向の変動は激しく、上から下へ C は急に増加し、逆に u_s は急に減少する。下層($Y/d < -1$)では、 C は濃く、 u_s は小さく、両方とも垂直方向での変動は非常に小さいと見られた。3層とも固体粒子速度の Phase Lag が存在するが、その Lag Degree にはかなり差がある。図から分かるように、下層で $\omega t \approx 135^\circ$ 前後で、中層で $\omega t \approx 155^\circ$ 前後で粒子の移動は完全に逆転するが、上層でその逆転角度は非常に小さい。

乱れ強度は図-3 に示す。図中、 $UU = (\sqrt{u'^2}/N)/U$; $VV = (\sqrt{v'^2}/N)/U$ である。八木ら(3)は砂を用いた実験で、加速位相の比較的早い段階から乱れが発生し、 $\omega t = 0.35\pi$ ですでに最大流速以後と同じ程度の乱れ強度が出現すると指摘した。本実験では、上層では八木らと同じ結果が得られたが、中間層では乱れ強度のピークは加速位相で現れ、その以後急に減少し、その level は、ほぼ最大流速の5%以下に留まっている。

表-1. 実験条件

Group	a (cm)	Case	T (sec)	Umax (cm/s)	Re (10^5)	U ($\sqrt{Sdg}$) (10^{-1})	Ψ (10^{-1})
I	35	1	3.70	57.7	1.962	3.51	1.658
		2	3.43	64.6	2.28	3.94	2.09
		3	3.13	72.2	2.60	4.40	2.60
II	42	4	4.47	57.8	2.38	3.52	1.643
		5	4.07	64.5	2.70	3.93	2.01
		6	3.78	70.6	3.00	4.30	2.40
		7	3.20	85.0	3.68	5.18	3.49

Re = $U_{max} \cdot a / \nu$ 振幅 Reynolds' 数;
 $\Psi = f_* \cdot U_{max}^2 / (Sdg)$ Shield' s 数; $< S = (\rho_s - \rho_w) / \rho_w$;
 $d = 0.5 \text{ cm}$ (粒径); f_* 摩擦係数 Jonsson 1966⁽¹⁾ >

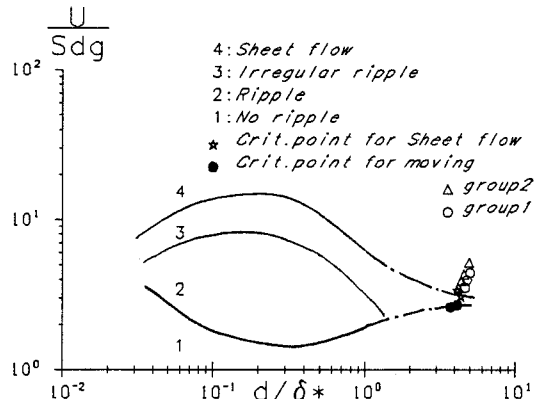


図-1. 金子の区域図

下層ではそのlevelは非常に小さくなっている。その理由として、各層で卓越する力が違うためと考えられる。特に中層においては、加速区域で流体は強制的な力として固体粒子にかけ、粒子間の衝突が激しくなり、乱れも発達するのに対し、減速の時には、流体の力は減衰力になり、固体粒子の慣性力が運動を支配する。そのため、粒子は一様に沈んでいき、衝突などによる影響が小さくなると考えられる。

c). 固体粒子速度と主流速との位相差： 図-4には固体粒子の位相別平均速度を示してある。上層のデータが欠けるために、十分に議論できないが、中間層では Phase Lagは上から下に行くに従い増加し、 45° ぐらいになると、下層でほとんど変化しない。

d). 移動層厚さ： 移動層厚さの位相分布を図-5に示してある。上限は位相とのPhase Lagはすこしあるが、下層では約 45° がある。静止時の底質表面から最大移動下限までの距離、即ち、最大移動層厚 δ とShields数 Ψ との関係について、本実験において、 δ はほぼShields'数のべき状に比例するように見えるが、2組のデータがかなりズレがある。ほぼ同じShields'数でも、周期の短い(Group1)のほうがはるかに移動層が厚い。それは振動周期が短い場合は、一旦動きだした粒子は低流速区域で、完全に沈んでなく、浮いたままで逆転し、非定常性が強い結果だと思われる。それにより、 $\delta_{\max}/d = A\Psi^m$ という一般的な表現⁽⁴⁾で表しきれないものと思われる。今後詳細に調べる必要がある。

4. まとめ：

- 非定常性の影響がかなり大きい。
- 乱れが加速区域に現われ、移動層の上下でその挙動が異なる。
- 全移動層はその運動mechanismによって3層に分けられ、上層では圧力勾配と流体力、中間層では圧力勾配と粒子間の衝突力、下層では圧力勾配とせん断力はそれぞれ卓越して作用していると判断できる。

5. 参考文献：

- Jonsson, (1966), Wave boundary layer and friction factors, Proc. 10th ICCE, PP.127-148
- 金子 新, A study of ripples generated under oscillatory flow, 九州大学学位論文 1981
- 八木 宏ら(1990), シートフロー状砂移動の力学特性に関する実験的研究, 海講論文集 PP.254-258
- 山下 俊彦ら(1988), シートフロー状漂砂の移動機構とNETの漂砂量, 海講論文集 PP.297-301

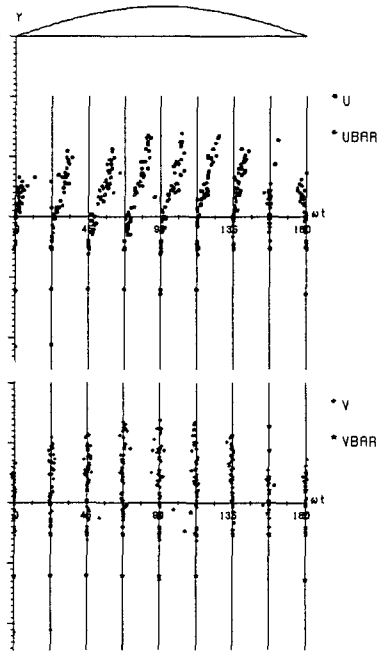


図-2. 固体粒子の位相別速度

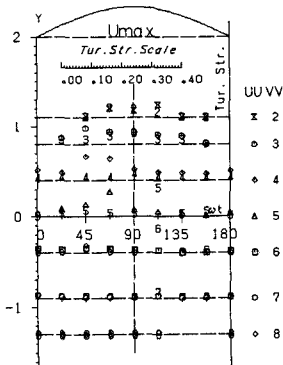


図-3. 乱れ強度

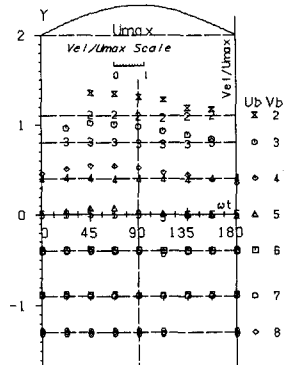


図-4. 位相別各層平均速度

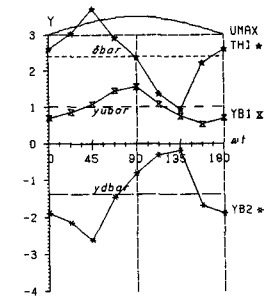


図-5. 位相別移動層厚さ