

九州大学応用力学研究所 正員 金子 新
九州大学応用力学研究所 正員 本地 弘之

1. はじめに

著者らは、すでに滑らかな水路床上に粗くに散布された砂粒群が振動流中で顕著な波状パターンを形成し¹⁾、この波状パターン(以後, particle wave と称する)が sand ripple の発生に重要な役割を果たし得ることを報告している²⁾。本報告では particle wave が、密に敷き詰められた砂粒の単層上に散布された砂粒群によっても形成されることを振動流水槽を用いて実験的に確かめるとともに、適当に各砂粒間の粒子間力を仮定した時、このような particle wave を擬似発生できることを簡単な数値シミュレーションによって確かめた。

2. 実験

実験水槽としては、ピストンの往復動で振動流を得る閉鎖型振動流水槽を使用した。テストセクションは、長さ 120 cm で 15 × 15 cm の断面を有している。ピストンの振幅および振動数(f)は、それぞれ 10 cm および 1.7 Hz を最大値として自由に調整することができ、砂粒子としては、比重 2.65 の平均粒径(D) 0.047 mm のガラスビーズを使用した。テストセクションの水路床は、あらかじめ接着剤を使用して密なガラスビーズの単層が形成されており、その表面はペイントで黒く塗布されている。写真中のスケールは、すべて最小目盛 1 cm である。

実験は、ピストンの振動数を大きく振幅を小さくした場合(実験-1)と、振動数を小さく振幅を大きくした場合(実験-2)との二種類が行われた。実験条件は、表-1 で与えられている。表-1 で d_0/D (d_0 は流体の振動幅)は、慣性項と非定常項の比を与えるものと考えられ³⁾、実験-2 において d_0/D が大きくなれば流れは擬似定常状態に近いものと考えられる。写真-1 および写真-2 は、それぞれ実験-1 および実験-2 において得られたものである。滑らかな水路床上で形成されたと同じ wave が写真-1 でも形成されており、このことは実際の河床表面でも particle wave が十分

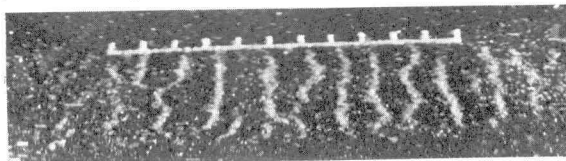


写真-1 25秒後(実験-1)

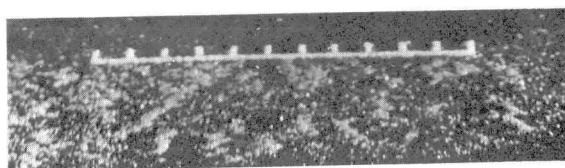


写真-2 25秒後(実験-2)

形成され得ることを示している。擬似定常状態に近い振動流中では、写真-1 に示されるように明瞭な particle wave は形成されず、cloud pattern と呼ぶような大きな粒子群が、点在して形成される。

3. particle wave のシミュレーション

Vasseur & Cox⁴⁾ は、静水中を近接して沈降する二粒子の挙動を解析し、二粒子間に働く相互作用力が $N-S$ 方程式において慣性項を考慮することは始めて説明されることを示した。仮によれば、二粒子は図-1 に示されるように流れ方向に引力、流れに直角方向に斥力を受けることがわかる。しかしながら、

	D [cm]	d_0 [cm]	$f = \omega/2\pi$ [Hz]	ν [cm ² /s]	u_{max} [cm/s]	$\delta = \sqrt{2\nu/\omega}$	$u_{max}D/\nu$	d_0/D
実験-1	0.047	2.34	1.70	0.0124	12.5	0.048	47.4	49.8
実験-2	0.047	11.80	0.48	0.0120	17.8	0.089	69.7	251.1

表-1 実験条件

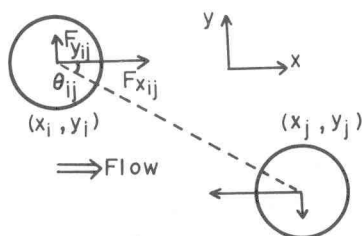


図-1

そこで考慮している流れは振動流であるため粒子がかなり離れた領域では粘性の影響はほとんどなく、流れはポテンシアル流に近いものと考えられる。ポテンシアル流中で二個の粒子に働く相互作用力は、図-1で示された方向と全く逆になることはよく知られている。

以上の考察をもとに粒子間の相互作用力を与え、particle waveの数値シミュレーションを実行する。

図-1に示すように x および y 座標をとり、 i 番目の粒子の座標を (x_i, y_i) とする。 i 番目の粒子の x および y 方向の流速をそれぞれ u_i および v_i とし、また j 番目の粒子が i 番目の粒子におよぼす x および y 方向の相互作用力(単位質量あたり)をそれぞれ F_{xij} および F_{yij} とする。このとき、 i 番目の粒子に対し次のような基礎式を与える。

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_i}{dt} &= u_i & \frac{dy_i}{dt} &= v_i \\ \frac{du_i}{dt} &= \sum_{j=1}^N F_{xij} \cos \theta_{ij} \frac{x_i - x_j}{|x_i - x_j|} \\ \frac{dv_i}{dt} &= \sum_{j=1}^N F_{yij} \sin \theta_{ij} \frac{y_i - y_j}{|y_i - y_j|} \end{aligned} \right\} (1)$$

ここで、 N は粒子の総数であり、また θ_{ij} は次式で与えられる。 $\theta_{ij} = \tan^{-1} \frac{|y_i - y_j|}{|x_i - x_j|}$ (2)

F_{xij} および F_{yij} は、次式のような簡単な表現で与えるものとする。

$$F_{xij} = A + B \cos \frac{\pi}{10} \frac{|x_i - x_j|}{D} \left(\frac{|x_i - x_j|}{D} \leq l_x \right), \quad F_{yij} = C + D \cos \frac{5\pi}{8} \frac{|y_i - y_j|}{D} \left(\frac{|y_i - y_j|}{D} \leq l_y \right) \quad (3)$$

ここで、 A, B, C, D, l_x および l_y は表-2のように与えられる。表-2において、実験-1に対応したCASE-1では粒子間距離がある程度以上大きくなると図-1と逆方向のポテンシアル力が作用するように、また実験-2に対応したCASE-2では図-1に示すような粘性力のみが作用するようになってくる。 $N=150$ とし、数値シミュレーションを行った結果が図-2から図-4で与えられている。図-2は初期条件としてランダムに与えられた粒子の配置を示し、図-3および図-4はそれぞれCASE-1およびCASE-2に対応するパターンを示す。仮定した相互作用力と水理量の結びつきなど厳密性には欠けるが、実験で得られた粒子群の特徴的なパターンはこのようなシミュレーションでよく再現でき、このことから仮定した相互作用力が定性的に妥当なものであることがわかる。

4. おわりに

実験およびデータ整理に直接御支援いただいた文部教官白石洋二氏に心から謝意を表します。

参考文献

- 1) 本地, 金子 (1978): 九州大学応用力学研究所所報, 第47号, 35-47.
- 2) KANEKO & HONJI: Initiation of ripple marks under oscillating water, *Sedimentology* 投稿中.
- 3) LANDAU & LIFSHITZ (1959): *Fluid Mechanics*, Pergamon Press, Oxford, 91-92.
- 4) VASSEUR & COX (1977): *J. Fluid Mech.* 80, pt.3, 561-591.



図-2 $t=0$

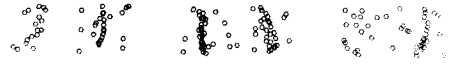


図-3 $t=6$ (CASE-1)



図-4 $t=6$ (CASE-2)

CASE	A	B	C	D	l_x	l_y
1	0.09	0.11	0.009	0.011	11.95	1.91
2	0.1	0.1	0.01	0.01	10.0	1.6

表-2