

くまえがき

限界掃流時における、河床の砂粒粒子が移動する時の状態を観察すると、個々の砂粒子が、瞬間に飛び出すもの、転倒して流下するもの、左右に振動した後下流側の粒子を乗り越えるもの、その場において回転した後飛び出すもの等々までである。このような砂粒子の初期移動中、砂粒子の振動現象に注目して、実験も行い考察した。

2. 砂粒子の運動

問題を簡略化して考えるため、砂粒子を同一半径 a からの球群と見なし、この平面運動を考える。図-1を参照して、最初固定球(I)から見て ϕ の位置に静止していた移動球(II)の運動は、移動・固定両球の中心線方向(OO')、及びこれと垂直方向、なうびに移動球重心まわり、について各々次のように表わされる。

$$2Ma \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 = F_r \cos(\theta + \phi) + (Mg - E) \sin(\theta + \phi) - R \quad (1)$$

$$2Ma \left(\frac{d^2\theta}{dt^2} \right) = F_r \sin(\theta + \phi) - (Mg - E) \cos(\theta + \phi) - T \quad (2)$$

$$\frac{1}{2} Ma \left(\frac{d^2\theta}{dt^2} \right) = T \quad (3)$$

上式より法線拉力 R 、接線拉力 T を求めると、

$$T = \frac{2}{7} [F_r \sin(\theta + \phi) - (Mg - E) \cos(\theta + \phi)] \quad (4)$$

$$R = \frac{17}{7} [F_r \cos(\theta + \phi) + (Mg - E) \sin(\theta + \phi)] - \frac{10}{7} [F_r \cos \phi + (Mg - E) \sin \phi] \quad (5)$$

となる。これから移動球が回転するのための条件は

$$F_r / (Mg - E) \geq \cos(\theta + \phi) / \sin(\theta + \phi)$$

となり、従来の限界掃流力の条件と一致する。固定球と移動球の間にすべりを生ずる条件は、摩擦角を ψ とすると、 $T \geq R \tan \psi$ から、簡単のため $\tan \psi \equiv 1$ とし、求めると、

$$F_r / (Mg - E) \geq (2 \cos(\theta + \phi) + 17 \sin(\theta + \phi) - 10 \sin \phi) / (25 \sin(\theta + \phi) - 17 \cos(\theta + \phi) + 10 \cos \phi)$$

となり、今 $\phi \equiv \frac{\pi}{4}$ の時、静止状態からのすべりの条件は

$$F_r / (Mg - E) \geq -\frac{9}{5}$$

となり、 $F_r < 0$ は意味をもたない。揚力が少なくとも球自重以上にならなければならない。

移動球の回転運動の式は、上の(3)、(4)式より、移動角 θ を小として、 $\phi \equiv \frac{\pi}{4}$ において、

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{5}{14} \frac{g}{a} \theta = \frac{5}{14} \frac{1}{a} F_r \quad (6)$$

で与えられる。こゝで E は問題を簡単に取扱うため、省略している。外力 F_r は、流れが乱流状態にあれば、 $F_r = f(\sin \omega t, \cos \omega t)$ で与えられ、強制力として回転運動に共鳴現象を生じさせる。このことを明確に調べるため、 F_r として強制振動を付加した実験を行い、乱流力のどの周波数成分が回転運動に寄与するが求めた。

3. 実験

強制振動力は、スピーカーに金属片を取付け、これを水路床付近において、振動させることにより与えた。水路床は限界掃流の直前の状態に準備しておき、一定の振動数で上記装置を用いて、水路床付近の流れに強制振動を与え、その出力を変化させ、河床粒子が回転移動する時の流速変動を直下流において測定する。

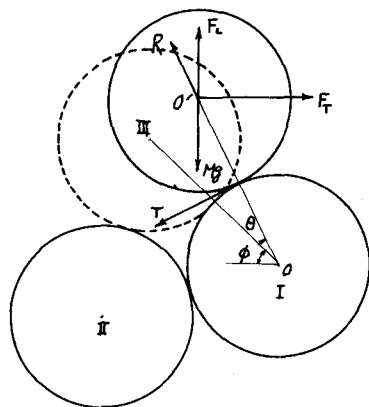


図-1 河床砂粒子モデル

この流速変動のスペクトルを求めれば、当然のことであるが、強制振動を与えた周波数でエネルギーは卓越している。このようにして、順次強制振動の周波数を変化して実験を行い、各実験ケースごとに得られるスペクトルから強制振動周波数のエネルギーを求め、合成したスペクトルを作ると図-2に示すようになる。これより、砂粒子の固有振動数の高調波などには、粒子を移動させる強制振動のエネルギーが低くなっており、共振現象を生じているものと考えられる。(6)式より粒子の固有振動数は、

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{d}}$$

として求められ、種々の河床材料について、実験を行った結果(図-2)、と比較すると表-1に示すようになる。かなりよく実験結果と一致する。

実験に用いたスピーカーは、通常市販されているものであり、低周波領域において周波数特性が悪く、30%以下では充分な出力を得られず、粒子の振動を確認出来ない例もあった。

また、この実験を行った際に気付いたことであるが、流れに強制振動を与えた場合、このスペクトルは、強制振動を与えない場合の流れ本来の乱流スペクトルと比較すると、強制振動周波数の所のエネルギーが異なるだけでなく、乱流スペクトル全体のエネルギーの分布にまで影響する。このことについて現在実験を継続している。

	粒 径 (mm)	比 重	実験より求めた 基本周波数(Hz)	実体振子の 固有振動数(Hz)
ガラスビーズ・1	1.2	2.492	13	12.2
ガラスビーズ・2	1.6	2.494	12	10.5
砂 礫・1	0.495 ~ 0.701	2.614	18	17.2
砂 礫・2	0.701 ~ 1.2	2.645	16	13.7
砂 礫・3	2.0 ~ 2.5	2.674	11	8.9

表 - 1

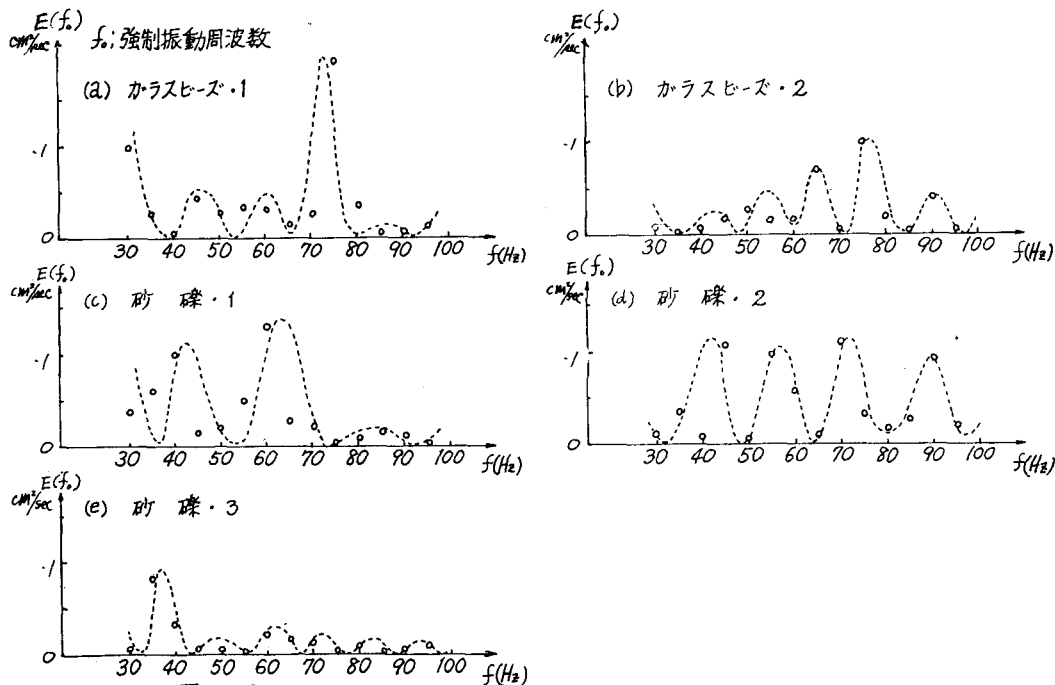


図 - 2