

水の非定常運動化における砂の移動限界について

京都大学工学部 榎 木 亨
○京都大学大学院 天 野 哲 男

1 緒 言

底面が砂や礫などで構成されている場合、そこに働く剪断応力が一定の限界値 τ_c 以上になると砂礫が移動をはじめる。この限界剪断応力、すなわち限界掃流力に関しては、定常な流れの場合、すでに理論的及び実験的な研究が数多くの研究者によつて行われ、また幾多の公式が提案されている。しかしながら流れが加速度をもつ場合は、流れの抵抗法則、及び境界層の機構の複雑さ、さらに実験計器の不完全さのために、この流速の時間的な変化が砂の限界掃流力に影響を与えるものかどうかということすら明らかにされていない。

このような加速度をもつ流れにおける砂の移動、とくに波による砂の移動機構を論議する場合、こうした加速度の影響を考慮しなければならないことはいうまでもない。

そこで著者らは閉管路において流れが徐々に流速を変化する場合の実験を試み、一定区間の圧力差の変動及び流れの加速度を測定して、非定常運動をする流れにおける限界掃流力 U_{*c}^* を見出そうとつとめた。以下にその U_{*c}^* の最出方法および実験の測定結果を述べ、定常流の場合の限界掃流力の値と比較することとしよう。

2 実験装置

本研究室においては以前に定常流の限界掃流力の実験に当つて、側壁の影響、水深測定の誤差及び乱れの効果を考慮して一様断面の閉管路を用いたが、今回も同じように矩形一様断面の閉管路を用いて実験を行つた。

実験水路は $4.7\text{ cm} \times 5.0\text{ cm}$ の矩形断面をもつ長さ 6.55 m の合成樹脂製のものであつて、上流端に流量を変化せしめるためのスルースバルブを設けた。またこのスルースバルブは水位を一定に保つための水落しを有するタンクに接続されており、水路の下流端にはゲートを用いて水路内に自由表面があらわれないようにした。水路本体 6.55 m のうち下流端から 1 m の地点に約 20 cm の長さの凹みを作つて砂を敷きならべ、それ以外の水路部分の底面及び上面に対象とする砂粒を一樣にニス付けして粗度を与えた。

つぎに非定常運動の流れにおける U_{*c}^* は、定常流の場合のように流速分布から容易に求められないので、移動床（凹みの部分）を含む 1 m の区間の圧力降下を測定するため側壁に小孔をあけ、

その地点の圧力を差圧計に導いて、1 m区間の圧力差の変動を電氣的に自記せしめた。さらに他の差圧式流速計によつて一地点の流速を測定するとともに、下流端のゲートから流出する ナツプの形を 8mmカメラで撮影し、平均流速の変動を求めることとした。

測定に用いた砂の粒径 (d) は篩の平均値で 0.223, 0.40, 0.71, 1.01, 1.43, 2.03mm の 6 種類であり、流れにはほぼ等加速度変化をあたえることにした。

3 限界摩擦速度 U_{*c}^* の算定

さきに述べたように、非定常な流れの場合の U_{*c}^* を流速分布から測定することはむずかしい。そこでまず Δx 間の圧力差の変化と加速度を測定して、平均的な剪断応力を求め、平均限界摩擦速度 $\bar{U}_{*c}^*$ を算定することにした。これらの三つの量の間の関係は運動量方程式より次式のように導かれる。

$$-\frac{\partial P}{\partial x} - 2\tau_u \left(-\frac{1}{B} + \frac{1}{h} \right) = \rho \frac{dU}{dt} \quad (1)$$

ここに P は圧力、 B は水路巾、 h は水深、 U は平均流速、 ρ は水の質量を示し、 τ_u は上、底面及び側壁の剪断応力の平均値であり、 $\tau_u = \frac{\tau_s h + \tau_r B}{h + B}$ であらわされる。ただし、 τ_s は側壁の剪断応力、 τ_r は粗度を与えた上、底面の剪断応力である。この場合流れの方向に x 軸をとる。したがつて(1)式より平均限界摩擦速度 $\bar{U}_{*c}^*$ は(2)式であらわされる。

$$\bar{U}_{*c}^{*2} = \left(-B \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{dU}{dt} \right) \cdot \frac{B \cdot h}{2(B+h)} \quad (2)$$

ここに H は水頭をあらわす。

つぎに(2)式によつて求められる $\bar{U}_{*c}^*$ と砂粒の移動する地点の局所的な限界摩擦速度 U_{*c}^* との関係を明らかにする必要がある。しかしながら非定常な流れの場合のこの関係は厳密に求められないので、便宜上定常流の場合の $\bar{U}^*$ と U^* の関係がそのまま非定常な流れの場合の砂の移動限界時にも適用できるものとした。定常時の $\bar{U}^*$ と U^* との関係は図-1 に示すとおりであり、この図によれば粗度を与えるために用いた砂の粒径による相違はほとんどみとめられないようである。

4 実験結果

このようにして求められた U_c^* と $\frac{dU}{dt}$ の関係を示したのが図-2であり、無次元表示の限界掃流力 $U_c^* / \left\{ \left(\frac{\sigma}{\rho} \right) - 1 \right\} g d$ と $U_c^* d / \nu$ の関係をプロットしたのが図-3である。

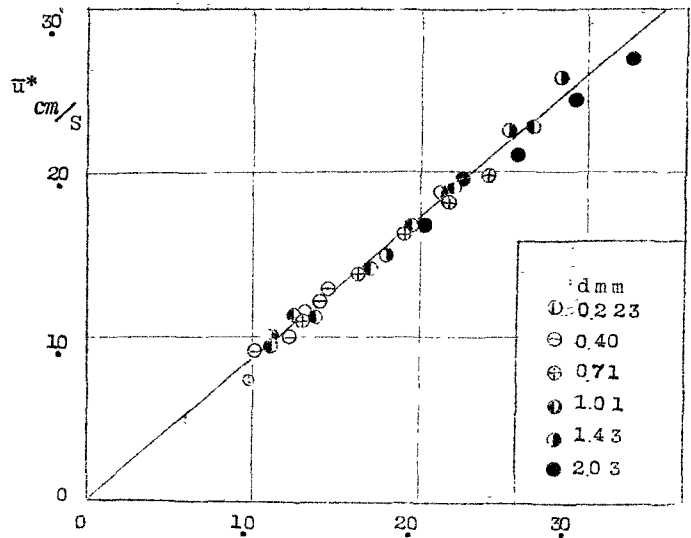


図-1 定常時における $\bar{U}^*$ と U^* の関係

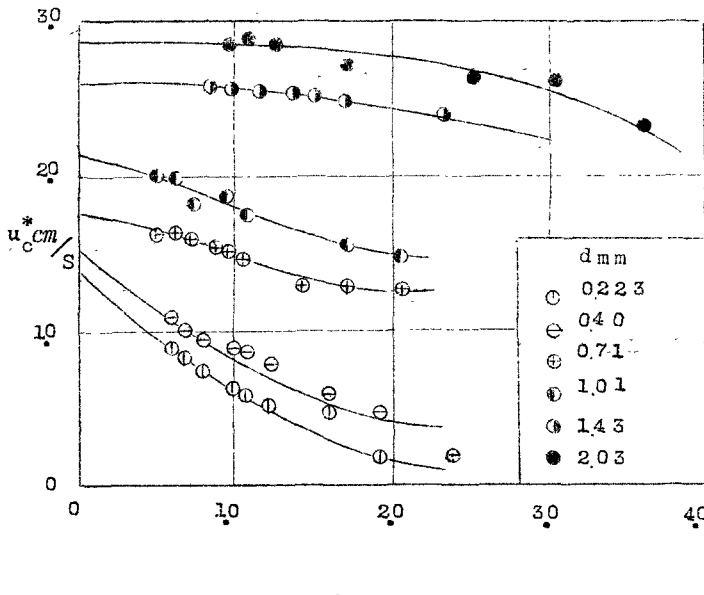


図-2 U_c^* と $\frac{dU}{dt}$ 及び d の関係

なお図-3には破線で定常時の実験結果をも示している。

これによれば $\frac{dU}{dt}$ の影響は粒径が小さくなればなるほど顕著にあらわれて、定常流の場合と比較して、加速度の増加にともない砂が動きやすくなっていくことがわかる。

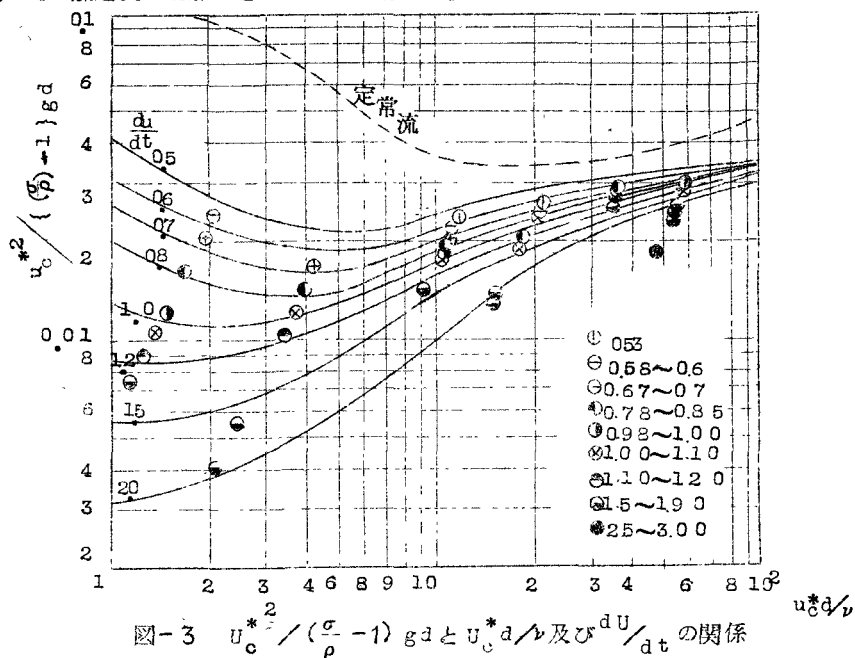


図-3 $u_c^{*2} / \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) g d$ と $u_c^* d / \nu$ 及び $\frac{dU}{dt}$ の関係

これに反して粒径の大きい砂は加速度の影響は少なくなっていくが、この詳細については講演時に述べることにしたい。以上実験的に砂の移動に関する加速度の影響を明らかにしたが、海岸漂砂の移動限界を求めるにあたっては、こうした加速度の影響を十分考慮する必要がある。最後に本研究に終始御指導援助していただいた石原教授、岩垣助教授に感謝するとともに、本研究が文部省科学研究費によつたことを付記する。