

東北大学工学部 学生員 田中 仁

同上 正員 首藤伸夫

同上 学生員 青田茂雄

1. まえがき

河口における堆砂・掃砂現象、波浪等による漂砂現象等は、波と流れの共存する場において発生する。従来、底質移動現象に関して、単なる流れ、あるいは波のみの場合については数多く研究されているが、流れと波の共存する場における底質移動に関する研究は少なく、幾つかの実験例があるのみである。本論文は、波と流れによる砂の移動限界についての実験結果を報告するものである。

2. 実験装置、及び、実験方法

水路は幅30cm、深さ30cm、長さ7mで、側壁はガラス張りになっており、側面から砂の挙動を観察することが出来る。水路の下流端に、フラップ式造波機を取り付け、水深4~18cm、流速0~35cm/secの流れに、周期0.83, 1.04, 1.24 sec、波高1~7cm程度の波を逆行させた。砂の諸元は、 $d_{50} = 0.64\text{mm}$ 、均等係数1.5、密度 2.59g/cm^3 であり、これを水路上流6mに厚さ4cmで敷いた。また、この種の実験においては、移動限界の客観的判定が極めて困難であり、従来、実験結果のばらつきの大きな原因となっている。一般に、水底にはたらく力がある値より小さい時、底質は静止しているが、この力が大きくなるにつれて砂は動き始める。Manoharは水底の表面に比較的突出した粒子がいくつか動き出す限界を初期移動(initial movement)と名付け、水底の第一層の砂がほとんど動き出す限界を全面移動(general movement)と呼んだ。著者は、より客観的に移動限界を判定するため、底質表面の単位面積に表われている砂礫のうち、単位時間に移動する砂粒の割合(これを p とする。)が、0.5%となった時点をもって移動限界とした。

3. 実験結果

いま、波が一様流を遡上する時、水底の水粒子速度の最大値 u を、一様流による流速 u_{cu} と波による流速 u_w との和として表わされるものとする。

$$u = u_{cu} + u_w = u_{cu} + \frac{\frac{\pi H}{L} \left(\frac{L}{T} + u_{cu} \right)}{\sinh \frac{2\pi h}{L}} \quad (1)$$

u_{cu} は給水量と通水断面から求め、 u_w は波の諸元を測定して計算した。移動限界点での u_{cu} 、及び、 u_w を求めた結果が図1である。なお図中1には記してない

が、実験では $p < 0.5\%$ 、 $p > 0.5\%$ となる時点についても調べており、それらに対応する点をプロットすると、 $p = 0.5\%$ の諸点をばさんで、上方に $p > 0.5\%$ 、下方に $p < 0.5\%$ の領域が認められた。 u_{cu} 軸上の点は Shields のパラメータを0.06として求めた点であり、また u_w 軸上の3点は、佐藤・田中⁽¹⁾の示した全面移動限界式から求めた値であり、後者は波の周期により異なる点となる。図1で、実測した砂の移動限界点が、前述の軸上の点に漸近していくことが認められ興味深い。この事より、

Shields, 佐藤・田中, 及び、著者らが定めた移動

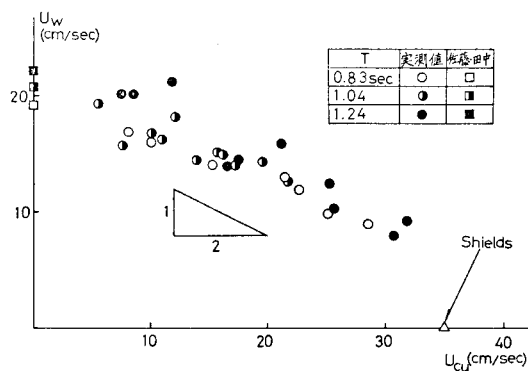


図1. 移動限界の流速

境界は、それぞれ、ほぼ同様な状態をさしているものと思われる。こゝで注意すべきことは、後に述べる様に、図1で勾配 $1/2$ の部分で表われる点である。

次に水底にはたらくせん断力の最大値を、流れによる τ_{cu} 、及び、波による τ_w に分けられるものとする。

$$\tau = \tau_{cu} + \tau_w \quad (2)$$

τ_{cu} は次式より求める。

$$\tau_{cu} = \frac{1}{2} \rho f u_{cu}^2, \quad f = \frac{2g n^2}{R^{4/3}} \quad (3)$$

こゝに R : 径深, また Manning の n は, Manning-Strickler の公式 $n = 0.047 d^{1/6}$ (d : m) より求めた。
一方、 τ_w は、波によって水底に生じる境界層の状態により別々式を用いる。²⁾

層流境界層:
$$\tau_w = \frac{\rho \sqrt{2} H}{2.5 \sinh \frac{2\pi z}{L}} \left\{ 2\pi \left(\frac{1}{T} + \frac{u_{cu}}{L} \right) \right\}^{3/2}$$

乱流境界層:
$$\tau_w = \frac{1}{2} \rho f_w u_w^2 \quad (4)$$

ただし
$$\frac{1}{4\sqrt{f_w}} + \log_{10} \frac{1}{4\sqrt{f_w}} = -0.08 + \log_{10} \frac{a_{1m}}{R} \quad (5)$$

こゝに a_{1m} : 水底水粒子の振幅 ($= H / 2 \sin \frac{2\pi z}{L}$)
 R : 底質粒度

波動境界層の分類について、Manohar³⁾ は、振動板による実験結果から表1の様で定めた。こゝに δ は境界層の厚さを規定する量で進行波の場合、 $\delta = \sqrt{2\nu T / \pi}$ で表わされる。本実験で発生せしめた波りのみの場合について、表1より判定すると、粗面層流から粗面乱流にわたる。しかし、流れの影響を考えると、ほとんどの場合、乱流境界層が形成されたものと予想される。図2、及び、図3は、それぞれ、(3)(4)式、及び、(5)式を用いて $\tau_w \sim \tau_{cu}$ を求めたものである。いずれもほぼ、 $\tau_w + \tau_{cu} = \text{const.}$ の位置に限界点で来ている。樫木ら⁴⁾は、流れと波により合成された水粒子速度 $\vec{u}$ に対して、底部せん断力を $\tau = \rho f |\vec{u}|^2$ と定義した時、せん断力の作用方向を考慮から、 $\vec{u} = \vec{u}_w + 0.5 \vec{u}_{cu}$ であり、流れがせん断力に貢献する割合は少ないことを指摘している。図1の、 $u_w + 0.5 u_{cu} = \text{const.}$ となる部分で、 f がほぼ一定であると考えれば樫木ら⁴⁾定義したとは一定値となり、図2、図3の傾向と一致していることがわかる。

<参考文献>

- 1) 佐藤・田中; 第9回海峯論文集(1962)
- 2) Jonsson, I.G.; 10th Coastal Eng. (1966)
- 3) Manohar, M.; B.E.B. Tech. Memo. No. 75 (1955)
- 4) 樫木・出口・梅野; 第2回海峯論文集(1978)

	層流境界層	乱流境界層
滑面領域 $\delta/d > 6.54$	$\frac{u_w \delta}{\nu} < 5.66$	$\frac{u_w \delta}{\nu} > 5.66$
遷移領域 $4.02 < \delta/d < 6.54$	$\frac{u_w d}{\nu} < 104$	$\frac{u_w d}{\nu} > 104$
粗面領域 $\delta/d < 4.02$	$\frac{u_w d^{0.2}}{\nu} < 1150$ (※ c.g.s. 単位)	$\frac{u_w d^{0.2}}{\nu} > 1150$

表1. 波動境界層の分類

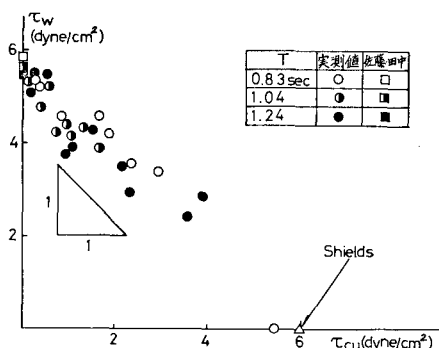


図2. 移動限界のせん断力(図1(4)式による。)

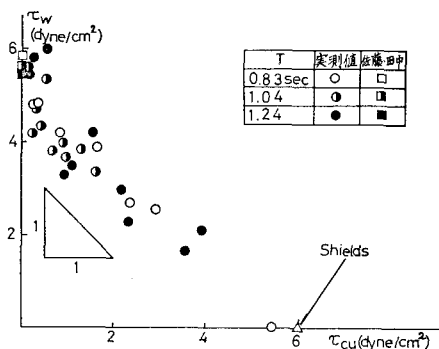


図3. 移動限界のせん断力(図1(5)式による。)