

防大 正員 眞嶋恭雄 正員 池内正幸 正員 重村利幸

1. 序論 底砂は各種の原因によつて生じた海水の乱れが底質を浮動状態におき、沿岸流がこれを運搬する。この海水の乱れのうち、もっとも重要なものは波動による乱れであると考えられる。底質を構成する砂粒はこの乱れによつて、底部の流れが境界層流より小さい場合でも揺動している。この条件の下における底砂の揺動の発生回数について実験的に研究を行った結果を報告する。

底砂の揺動は波による底部摩擦力によつて砂粒子が回転モーメントを受けることによつて生ずる。モーメントの抵抗係数  $C_M$  はモーメントを  $M$ 、回転半径を  $r$ 、角速度を  $\omega$  とすれば

$$C_M = M / \frac{1}{2} \rho \omega^2 r^5 \quad (1)$$

で示される。 $M$  はうでの長さを  $\ell$ 、せん断力を  $\tau_0$ 、面積を  $F$  とすれば

$$M = \tau_0 F \ell \quad (2)$$

ここで  $\ell$  は粒径  $d$  に、 $F$  は  $d^2$  に、 $r$  は  $d$  にそれぞれ比例するから  $A$  を係数として

$$C_M = A \tau_0 / \rho \omega^2 r^2 \quad (3)$$

ポテンシャル流れの流速を  $U(x, t)$  とすれば線型の層流境界層内の流速分布は

$$u = U_b(x) e^{i\omega t} \quad (4)$$

で示される。微小振幅波理論より境界層外縁の流速を  $U_b(x, t) = (kCH/2 \sinh kh) \sin k(x - ct)$  とおけば境界層内の流速は\*

$$u = (kCH/2 \sinh kh) \{ \sin(kx - \omega t) - e^{-\beta y} \sin(kx - \omega t + \beta y) \} \quad (5)$$

ここで  $\beta = \sqrt{\sigma/\nu}$  である。したがつてせん断力  $\tau_0$  は

$$\tau_0 = \mu (\partial u / \partial y)_{y=0} = \mu \beta (kCH/2 \sinh kh) \{ \sin(kx - \omega t) - \cos(kx - \omega t) \} \quad (6)$$

角速度は接線の速度  $V$  とすれば  $r\omega^2 = V^2/r$  であるから、抵抗係数を  $\overline{C_M} = A \tau_0 / \rho \overline{\omega^2} r^2$  とおけば  $A_1$  を係数として

$$\overline{C_M} = A_1 V^2 / T^2 U_{b \max} \quad (7)$$

$U_{b \max}^2 T / \nu$  は一種の  $Re$  数であり、これは岩垣外の提唱する  $Re_T^*$  と同じものとなる。

境界層外縁の流速を有限振幅波理論によるものとすれば、境界層内の流速分布は同様にして

$$u = U_b(x) \{ \cos \omega t - e^{-\beta y} \cos(\omega t + \beta y) \} \quad (8)$$

となる。したがつて  $\tau_0 = \mu (\partial u / \partial y)_{y=0}$  は厳密には  $U_{b \max}$  に比例しないので、この場合 (7) 式は近似式となる。しかし境界層の限界  $Re$  数に用いられる  $Re = U_b \ell / \nu$  において  $\ell = U_{b \max} T / 2$  とおけば、 $\overline{C_M}$  は  $U_{b \max}^2 T / \nu$  の関数と考えられる。したがつて揺動の発生回数  $Re_T = U_{b \max}^2 T / \nu$  の関数として表わすことができる。

2 実験方法 実験には長さ 21.6 m、巾 0.6 m、高さ 0.8 m、3 HP の造浪機をもつ二次元水路を用いた。生成波を図-1 に示す。底砂は相模川産の砂を用い、粒径を 5 段階にフルイ分けてほぼ一様な粒径の底質とした。底部に観測区画を設け、波動によつてその区画中の少くとも 1/10 の砂が揺

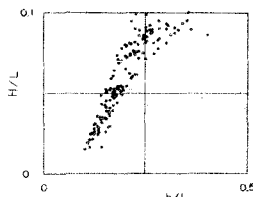


図-1

動した区画を記録した。揺動発生個数を表わす値として次式を用いた。

$$p = (\text{揺動発生区画} / \text{全区画面積}) (\text{粒径}^2 / \text{区画面積}) \quad (9)$$

$p$  は揺動を発生した砂粒の個数の全体の砂粒の個数に対する割合に等しく、 $p=1$  のとき底質の全粒子が揺動を発生したことになる。

3. 実験結果およびその考察  $p$  と  $Re_T$  との関係を図-2 に示す。流速の次元に微小振幅波理論による値をもつものを  $Re_{T1}$ 、有限振幅波理論によるものを  $Re_{T2}$  とした。 $p$  と  $Re_T$  との相関を検定すると  $F_{Re_{T1}} = 149$ ,  $F_{Re_{T2}} = 171$  であり、 $F_{(0.001)} = 11.3$  に比較してかなりの相関があることがわかり、更に  $Re_{T2}$  の方が  $Re_{T1}$  に比べてより相関にある。回帰線 (図中の実線) からの標準偏差 (図中の破線) から外れているものは  $Re_T$  の小さい部分に多い。標準偏差内外の資料について回帰係数の比を求めるとそれぞれ 2.5 および 2.3 であった。したがって  $p$  と  $Re_T$  との関係を表わすためには  $Re_T$  の一つの限界が必要となる。

揺動の余事象を表わすため  $q = 1 - p$  とおき、 $q$  と  $Re_T$  との関係を図-3 に示す。 $q$  と  $Re_T$  との相関は  $F_{Re_{T1}} = 8.8$ ,  $F_{Re_{T2}} = 10.3$  であり、 $F_{(0.01)} = 6.8$  に比較してより相関がある。回帰線と  $q=1$  との交点は底砂の揺動が発生する限界の  $Re_T$  を与えるものと考えられる。図で限界の  $Re_T$  はそれぞれ  $1.3 \times 10^4$  および  $1.5 \times 10^4$  であった。

この限界の  $Re_T$  以下の資料を除外して再び  $p-Re_T$  の関係を求めた回帰線が図-2 の鎖線である。この結果から  $p=1$  における  $Re_T$  を求めるとそれぞれ  $4.6 \times 10^4$  および  $5.7 \times 10^4$  であった。

以上から揺動の発生は  $Re_T$  によって3つの領域に分けることができる。 $Re_T$  がある限界以下の場合には  $p=0$  つまり揺動を発生しない。 $Re_T$  がある範囲内では揺動発生個数は  $Re_T$  に関係して  $Re_T$  の増加に伴って増加する。 $Re_T$  がある値以上になると全粒子が揺動を発生する。この実験の範囲で揺動発生の上下の限界の  $Re_T$  はそれぞれ約  $1 \times 10^4$  および  $5 \times 10^4$  であり、 $Re_T$  と  $Re = U\omega/11$  との関係からみて、層流境界層内に生じた現象であるといえる。

4. 結論 以上の結果 (1) 波による底砂の揺動は  $Re_T$  によって3つの領域に分けられる。(2) 揺動を発生しない限界の  $Re_T$  はこの実験の範囲では約  $1 \times 10^4$  であり、全粒子が揺動を発生する限界の  $Re_T$  は約  $5 \times 10^4$  であった。(3) この限界内においては揺動の発生個数は  $Re_T$  の関数として表わされる。(4) 境界層外縁の流速は有限振幅波理論による方が相関がよい。といえるだろう。以上  $p$  と  $Re_T$  との関係について実験結果を示したが、今後さらに検討をすすめたいと思っている。最後に本実験に助力した今井国次・鶴野輝両君に感謝する。

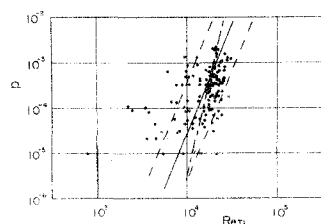


図-2 (a)

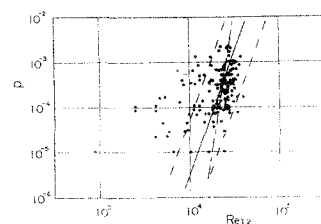


図-2 (b)

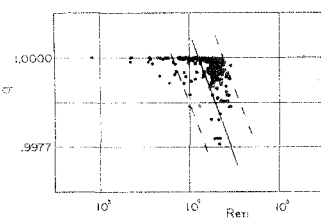


図-3 (a)

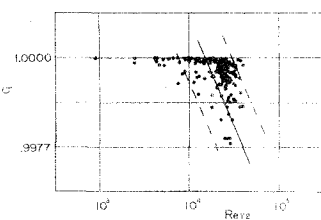


図-3 (b)