

波による水底斜面上の摩擦力に関する実験的研究

京都大学工学部 正員 岩垣雄一  
 京都大学大学院 学生員 ○裴 義光  
 臨海土木 (株) 平野義博

1. はじめに 海岸の変形は海岸砂礫の移動量が場所的に一様でないことに起因する現象である。その機構を解明するには、波と流れの場における水理量の場所的变化を知る必要がある。本研究は、砂の移動に最も関係があると思われる底面に作用する摩擦力を測定する装置を試作し一様水深の場合と斜面上の場合についてそれぞれ実験を行い、その結果について考察した一部を報告するものである。なお、検討するにあたり、一様水深の場合については既に得られている線型理論による結果にもとづいて考察し、斜面上の場合については境界層外縁の水粒子速度として Dean の流れ関数表示による波動理論から得られる関係を用いて層流境界層方程式のせつ動解を誘導し、底面摩擦力の関係式を導いて、その結果にもとづいて考察した。

2. 底面摩擦力の測定 (1) 底面摩擦力測定装置 この種の測定装置は従来より製作されており、著者らは既往の研究成果を参考にして Eagleson, 岩垣・土屋らによるものと同一タイプの装置を試作した。装置は shear plate に作用する力を shear plate 上面より鉛直上方に取り付けた支柱でモーメントに変換し、支柱に連結した U ゲージで測定するのであり、支柱は波力の影響を受けないように shield 管で囲まれている。また、shear plate 直下の空隙内の流体の運動を止めるために、shear plate 直下中央部に小さな溝を作つてその中に水銀を入れた。キャリブレーションは別の U ゲージを使って、一様水深および斜面的の場合について静的に行った。

(2) 実験方法 実験に用いた波の特性は一様水深の場合については表-1, 斜面上の場合については表-2 に示す

ようである。斜面的の勾配は  $1/10$  のみについて、水深は 5.0cm, 9.8cm, 14.9cm, 20.7cm である。

| T(sec) | hcm       | Hcm       | H <sub>0</sub> /L <sub>0</sub> |
|--------|-----------|-----------|--------------------------------|
| 0.83   | 20.7- 9.8 | 0.58-2.96 | 0.0056-0.0299                  |
| 0.91   |           | 0.30-2.70 | 0.0024-0.0227                  |
| 1.00   |           | 0.55-2.60 | 0.0036-0.0182                  |
| 1.11   |           | 0.43-2.51 | 0.0022-0.0141                  |
| 1.25   |           | 0.48-2.40 | 0.0018-0.0103                  |

表-1

| H <sub>0</sub> /L <sub>0</sub> | T(sec) |
|--------------------------------|--------|
| 0.0164                         | 0.83   |
| 0.0155                         | 0.91   |
| 0.0142                         | 1.00   |
| 0.0140                         | 1.11   |
| 0.0104                         | 1.25   |

表-2

(3) 実験結果 境界層外縁の主流速度が微小振幅波理論によって与えられる場合、既に得られているように実際に測定される単位面積当りの水平力の最大値  $F_{max}$  と、求めようとする摩擦力の最大値  $\tau_{max}$  との関係は

$$\tau_{max}/F_{max} = \left[ \frac{2}{1 + \{1 + (2d/\pi\lambda)\nu\}} \right]^{1/2} \quad (1)$$

として与えられる。ここに、 $d$  は shear plate の厚さ、 $\lambda$  は波の周波数、 $\nu$  は流体の動粘性係数である。この式(1)を用いて  $\tau_{max}$  を算定し、各周期をパラメーターとして  $\tau_{max}/\rho g H$  と  $h/L_0$  との関係を図-1 とともに示したのが図-1 である。多少のばらつきはあるが、ほぼ理論値を説明できるといえる。ただし、圧力勾配による補正を行った。一方、斜面上の摩擦力を評価する場合には微小振幅波理論によって導かれる結果では限界がある。

そこで、先に岩垣・酒井・山田によつて示されたDeanの流れ関数表示による波の理論を用いると、斜面上の碎波点付近の水平方向水粒子速度が表現できることに注目し、非線型波動方程式の解を境界層外縁水粒子速度として流れ関数表示による速度を与える場合についてセフ動パラメーターを使つて誘導し、さらに底面に作用する摩擦応力 $\tau_0$ 、および $\tau_0$ と圧力勾配による力の合成された単位面積当りの力 $F$ について次のような関係式を得た。

$$\tau_0 = -\sqrt{A_1/2} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \{a_n \cos n\pi t - b_n \sin n\pi t\} \quad (2)$$

$$F = \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \rho d C_M \{n(a_n \sin n\pi t + b_n \cos n\pi t)\} - \sqrt{A_1/2} \cdot \{a_n \cos n\pi t - b_n \sin n\pi t\} \right] \quad (3)$$

ここに、 $a_n = 2n\pi \cdot T/L \cdot H \cdot X_{2(n+1)}$ 、 $b_n = 2n\pi \cdot T/L \cdot H \cdot X_{2(n+1)+1}$ 、 $L$ :波長、 $T$ :周期、 $A_1 = \sum \pi U_{0n}^2 \cdot \sum U_{0n}^2 \cdot \sum U_{0n}^2$ 、 $\sum U_{0n}^2 \cdot \sum U_{0n}^2 = -\sum \{a_n \cos n(t-x) - b_n \sin n(t-x)\}$ 、 $C_M$ :仮想質量係数、 $X_n$ は水面変動を与えることにより求まる定数である。なお、この表示式は無次元化されている。これらの結果にもとづいて底面に作用する摩擦力の最大値 $\tau_{0max}$ およびplateに作用する力の最大値を求めて圧力勾配による力の補正値を算定し、実験値を評価した。図-2は一樣水深の場合と同様なパラメーターを用いて整理したもので、一樣水深の場合と比較すると $h/L_0$ が小さくなるほどすなわち水深が浅くなるほど $\tau_{0max}/\rho g H$ の値は大きくなる傾向が強い。つぎに、図-3は摩擦力の無次元量と沖波波高 $H_0/L_0$ の関係を示す図である。水深が5cmの場合を除いて波形勾配による $\tau_{0max}/\rho g H$ の変動はあまりないが、水深が浅くなると大きな値を示すことがわかる。

今回用いた理論解について2,3の問題点はあるが、ある程度斜面上の砂の運動に関するアプローチができるのではないかと考えられる。なお、この研究は文部省科学研究費による研究の一部であることを付記する。

参考文献

- 1) 岩垣・土屋・坂井：海講，1964
- 2) 岩垣・酒井：海講，1974

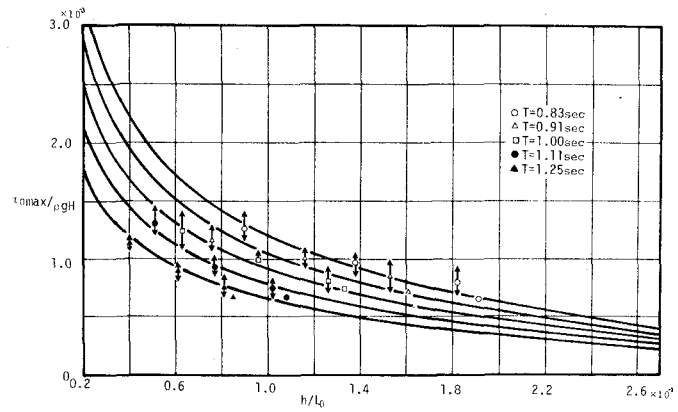


図-1

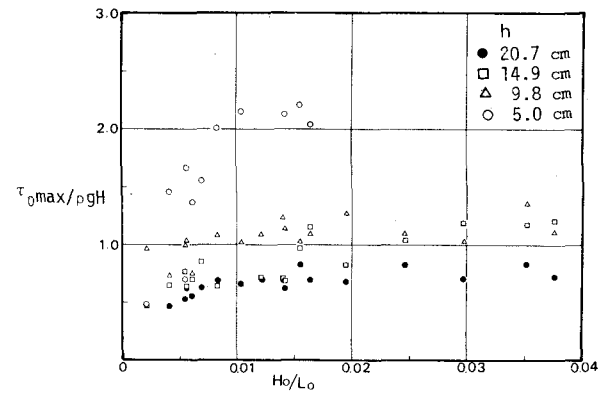


図-3

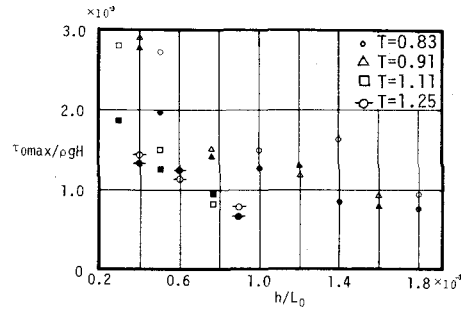


図-2