

波 流れ共存場における剪断力測定

東北大学大学院 学生員 田中 仁
東北大学工学部 正員 首藤伸夫

1 まえがき

著者は先に文献(1)で波 流れ共存場における剪断力を おおのの剪断力の重ね合わせにより ある程度 評価しうることを、底質移動限界に関する実験より導いた。今回は 剪断力計を用いて 実際と共存場の剪断力を測定し 文献(1)における重ね合わせの妥当性について検討し 更に 摩擦係数について、実験式を導いた。

2 実験装置 及び 実験方法

実験装置は 文献(1)と同様であるが 水路床は固定床とし、ペンキで砂粒子をはりつけた。水路中央に 剪断力計をとりつけ 出力はペン書きレクタグラフに描かせた。なお、用いた剪断力計の原理 及び 性能については 文献(2)を参照されたい。

3 実験結果

波動運動のモビでは shear plate にたうくカとして 剪断力の他に圧力勾配による力が存在する。そこで shear plate の上に更にプレートをかぶせて圧力勾配による力のみを測定し、プレートがない場合の力との差をも、真の剪断力とした。図1は 実測値と計算値を比較したものである。ただし 計算値は(1)式の様に波と流れを剪断力で重ね合わせて求めた。

$$\tau_{calc} = \tau_{cu} + \tau_{w} \quad (1)$$

$$\text{ここに} \quad \tau_{cu} = \frac{1}{2} \rho f_{cu} U_{cu}^2 \quad (2)$$

$$f_{cu} = \frac{2.9 m^2}{R^{1/3}}, \quad m = 0.0417 d^{1/6}$$

$$\tau_w = \frac{1}{2} \rho f_w U_w^2$$

$$\frac{1}{4\sqrt{f_w}} + \log \frac{1}{4\sqrt{f_w}} = -0.08 + \log \frac{q_{im}}{R} \quad (3)$$

$$U_w = \frac{\pi H \left(\frac{1}{T} + U_{cu} \right)}{\sinh \frac{2\pi R}{L}}$$

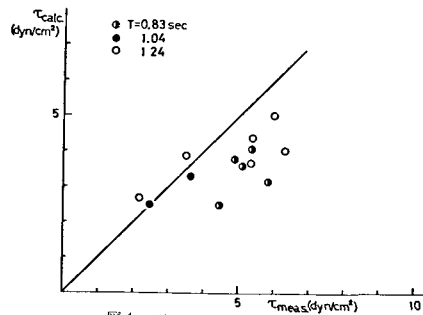


図1 実測値と計算値の比較

図1より (1)式を用いると、剪断力を実際より幾分、小さめに評価してしまうことがわかる。また、この他に摩擦速度 あるいは摩擦係数による重ね合わせにより計算値を求めることを試みた。即ち、

$$\tau = \rho U_*^2, \quad U_* = U_{*cu} + U_{*w} = \sqrt{\frac{\tau_{cu}}{\rho}} + \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \quad (4)$$

$$\tau = \frac{\rho f U^2}{2}, \quad f = \frac{f_{cu} U_{cu} + f_w U_w}{U_{cu} + U_w}, \quad U = U_{cu} + U_w \quad (5)$$

(4)式、(5)式を用いると、計算値が実測値をかなり上まわする。この事は (4)式 (5)式の形から明白である。結局、重ね合わせにより共存場での剪断力を求めるなら、(1)式

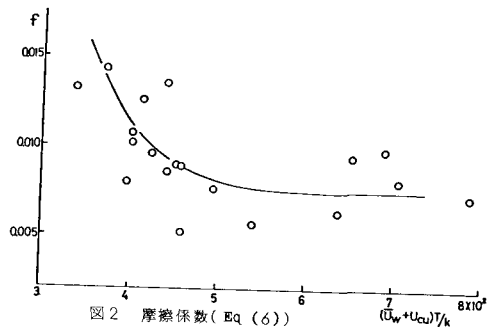


図2 摩擦係数 (Eq (6))

によるのが最も妥当であろう。

次に、新たに(6)式で摩擦係数を定義する。

$$f = \frac{2\tau}{\rho(u_{cu} + \bar{u}_w)^2} \quad (6)$$

ここで $\bar{u}_w$: 波による流速の振幅の断面平均 $(= LH(1/T + u_{cu}/L) / 2R)$

結果は、図2である。ただし、横軸のパラメータとしては、(3)式で $Q_{lm}/R = u_w T / 2R$ であることから、 $(u_{cu} + \bar{u}_w)T/R$ を用いた。図2中に実験式を描けば、文献(1)のデータを用いて移動限界の剪断力を求めることができる。実際に計算してみると、かなりばらつき、従って(6)式で摩擦係数を定義することは不適当であると思われる。榎木(3)は流れと波により合成された水粒子速度 $\vec{u}$ に対して、底部剪断力を $\tau = \rho f |\vec{u}|^2 / 2$ と定義した時、剪断力の作用方向の考察から $\vec{u} = \vec{u}_w + 0.5 \vec{u}_{cu}$ となることを指摘している。すなわち、新しい境界層の外縁流速に対しては、波動による水粒子速度に対して表れる1/2の寄与率しか示さない。これは、つまり、更に次式で共存場の摩擦係数を定義してみる。

$$f = \frac{2\tau}{\rho(0.5u_{cu} + u_w)^2} \quad (7)$$

結果は、図3であり、実験式として次式を得る。

$$f = 0.884 \{ (0.5u_{cu} + u_w)T/R \}^{-0.622} \quad (8)$$

あるいは、(3)式の形に合わせて

$$\frac{1}{644\sqrt{f}} + \log \frac{1}{4\sqrt{f}} = -1.26 + \log \frac{(0.5u_{cu} + u_w)T}{R} \quad (9)$$

(8)式を用いて、文献(1)における移動限界の剪断力を求めると、平均値 $\bar{\tau}_{cr} = 4.39 \text{ dyne/cm}^2$ 、標準偏差 $\sigma = 0.66 \text{ dyne/cm}^2$ となり、かなりばらつきが少なく、一定の剪断力に達した時に、底質が移動し始めることが示唆される。ちなみに(1)式を用いた時は $\bar{\tau}_{cr} = 4.55 \text{ dyne/cm}^2$ 、 $\sigma = 1.03 \text{ dyne/cm}^2$ であり、また(6)式で定義した摩擦係数を用いると $\bar{\tau}_{cr} = 3.49 \text{ dyne/cm}^2$ 、 $\sigma = 1.06 \text{ dyne/cm}^2$ となり、標準偏差が

(8)式を用いた時に比べ約2倍に達している。次に(8)式を用いて、移動限界における実測値を Shields の図表の上にプロットしたのが図4である。ただし、●は平均値を表わし、◐は実測値のばらつき範囲を表わしている。なお、実験では一種類の砂のみを用いているので、実測値は矢印上にのる。図より、波、流れ共存場においても Shields 図表により移動限界をある程度、評価できる様である。以上より、(8)式、あるいは(9)式により共存場の剪断力を求められる。しかし、 $(0.5u_{cu} + u_w)T/R$ が 500 以上、5 以下においては(8)式と(9)式で差が大きくなり、いずれの式が妥当かは不明である。今後、この領域における測定を重ねる予定である。謝辞：この研究は文部省科研費（代表者 東大、堀川清司教授）による。

《参考文献》

- 1) 田中、青藤、青田、第34回年講論文集(1999)
- 2) 勝井、花利、田村、第35回年講論文集(1997)
- 3) 榎木、出口、横野、第24回海講論文集(1998)

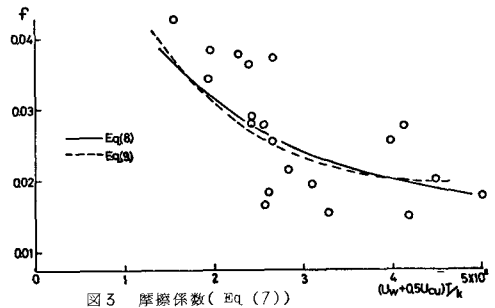


図3 摩擦係数 (Eq. (7))

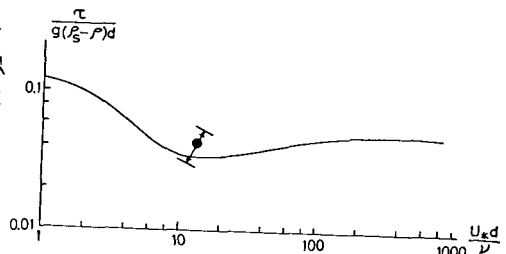


図4 Shieldsの移動限界曲線