

II - 69

不規則波動下における粗面乱流底面境界層の特性

東北大学大学院 学生員 ○鈴木 健
東北大学大学院 正 員 田中 仁
東北大学大学院 正 員 山路 弘人

1. はじめに

漂砂量の見積もりに必要な波動下の底面摩擦力に関する研究の多くは正弦波を対象としており、不規則波を扱ったものは少ない。また、扱ったものに関しても解析的、数値計算に基づく研究であった。実験的検証としてはサマドラ¹⁾の研究があり、正弦波動境界層とは異なる現象が観察されている。そこで本研究では、底面を滑面ではなく粗面にすることで、より実際に近い条件で実験を行い、底面境界層の特性を明らかにする。

2. 実験方法

本実験は、その内部の観察が水に比べて容易である事から空気を用いて行われている。装置の概略を図-1に示す。実験装置は不規則振動流発生装置と風洞部からなる。駆動部にはサーボモータを使用しており、任意の不規則信号を入力することができる。本研究では、表面波形として Bretschneider・光易型スペクトルを用い、線形波の伝達関数を用いて底面流速の時系列を求めた後、これを振動流発生装置に入力している。12波程度の不規則波からなる信号を繰り返し入力することにより、流速の位相平均値を求める。風洞は全長 5.0m、20cm×10cm の矩形断面を有し、その底面には直径 1.0cm のアルミナビーズを細密に敷き詰めて粗面とした。両側面と上面は滑面とした。風洞中央部において、レーザードップラー流速計を用いて測定する。データは 1/100s 間隔で AD 変換を行い、50 波の平均値から平均流速を求めた。鉛直方向に 20ヶ所で測定を行い、流速の鉛直分布を得る。

入力波は、以下の式(1)で示されるレイノルズ数で $Re_{1/3} = 4.61 \times 10^5$ 、有義波周期: $T_{1/3} = 3.0$ s であり完全粗面乱流が得られるように設定して実験を行った。

$$Re_{1/3} = \frac{U_{1/3} a_{m1/3}}{\nu}, \quad a_{m1/3} = \frac{U_{1/3} T_{1/3}}{2\pi} \quad (1)$$

ここで、 $U_{1/3}$ は有義波に基づく代表流速、 ν : 動粘性係数、 $a_{m1/3}$: 気体粒子の軌道振幅である。

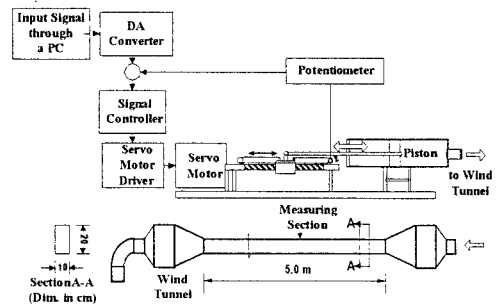


図-1. 実験装置

3. 結果と考察

3. 1. 底面せん断力の算定

主流流速波形と入力波形を図-2に示す。

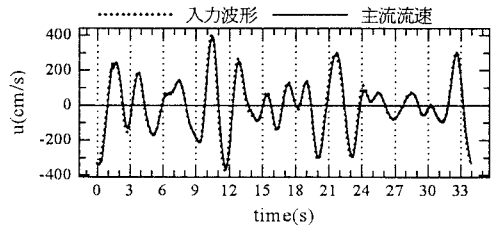


図-2. 主流流速波形

流速の鉛直分布から式(2)に示す対数分則を用いて底面せん断力を求めた。

$$u(z) = \frac{U_\tau}{\kappa} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right), \quad z = y + \Delta z \quad (2)$$

ここで、 u : 流速、 U_τ : 摩擦速度、 κ : カルマン定数 ($\kappa=0.4$)、 y : 粗度頂からの高さ、 Δz : 仮想底面高さ、 z_0 : 粗度長さを示している。また、仮想底面高さ、粗度長さは、この入力波と等しいレイノルズ数が得られる正弦波の実験から平均値を算出して用いた。この式を実験値に当てはめることにより、摩擦速度を求めた。実験値の流速鉛直分布とそれに当てはめた式(2)の対数分布を図-3に示す。

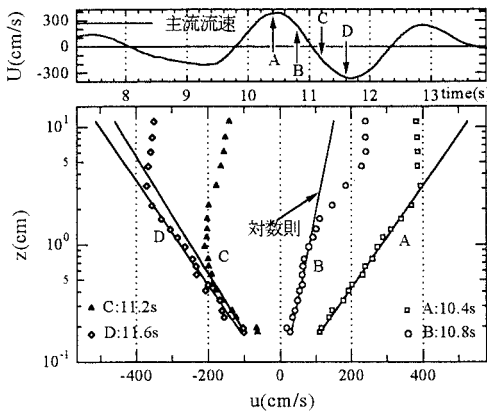


図-3. 流速鉛直分布と対数則

底面せん断力と主流流速の2乗値の相関関係を図-4に示す。ループを描くことから位相差の存在がうかがえる。

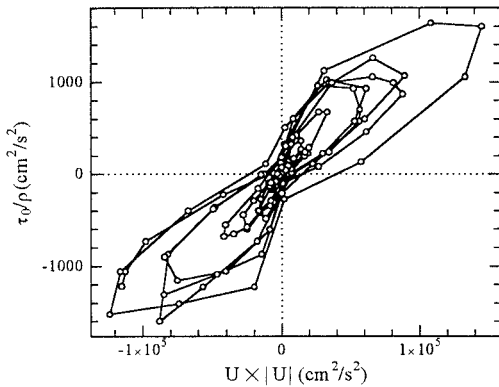


図-4. 底面せん断力と主流流速の相関関係

3. 2. 底面せん断力簡易計算と実験値との比較

次に示す二つの方法によって底面せん断力を算出し、実験値との比較を行う。不規則波の代表値から、摩擦関数をただ一つだけ求める方法を method 1. 峰位相、谷位相それぞれに対して摩擦関数を定義した方法を method 2 とした。

Swart²⁾により求められた式(3)を用いて摩擦係数 f_w を求める。

$$f_w = \exp \left\{ -5.977 + 5.213 \left(\frac{a_m}{k_s} \right)^{-0.194} \right\} \quad (3)$$

ここに $a_{m1/3}$ を用いることで不規則波を代表する摩擦係数が一つ求まる。

また、波の峰位相と谷位相を正弦振動の半分とみなし、波の峰位相、谷位相それぞれに対して水粒子の軌道振幅を次の式(4)のように定義すれば、

$$a_{mp} = \frac{U_p T_p}{\pi} \quad (4)$$

ここで、 U_p ：峰位相または谷位相の流速最大値、 T_p ：峰位相または谷位相の継続時間である。この値から式(3)を用いて各峰位相、谷位相に対して異なる摩擦関数が求められる。

この二つの方法で求められた摩擦係数を次式(5)に用いることで底面せん断力を算出した。

$$\frac{\tau_0(t)}{\rho} = \frac{f_w}{2} U(t) |U(t)| \quad (5)$$

$U(t)$ は主流流速である。結果を図-5に示す。

method 1 では流速の小さな部分において過小評価となる。これは摩擦係数が有義波に基づく流速の大きな波に対して定義されているからであり、個々に定義された method 2 では流速の小さな部分においても比較的良好な一致を示すようになる。

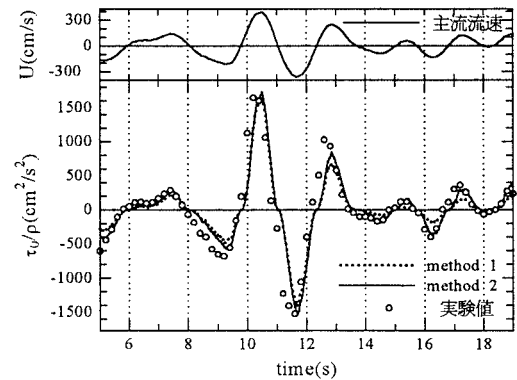


図-5. 底面せん断力の比較

4. おわりに

ここでは底面せん断力を算出する際に位相差を考慮に入れていない。適切に位相差を考慮することで、主流流速波形からより精度良く底面せん断力を求めることができると考えられる。

参考文献

- 1) ムスタファ アタウス サマド・田中 仁・山路 弘人(1999)：不規則波底面境界層の実験，海岸工学論文集，第46巻，pp.21-25.
- 2) Swart, D.W. (1974)：Offshore sediment transport and equilibrium beach profiles, Delft Hydraulic Laboratory, Publication No.131.