

II - 2

不規則波底面境界層の乱流遷移実験

東北大学工学部 学生員 ○鈴木 健

東北大学大学院 正 員 ムスタファ アタウス サマド

東北大学大学院 正 員 山路 弘人

東北大学大学院 正 員 田中 仁

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、Samad ら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、以前の研究ではなされていない高レイノルズ数を含む範囲での風洞実験を行い、レイノルズ数の乱流遷移限界値などの特性を明らかにする。

2. 実験方法

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。10 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、その内部は滑面である。風洞中央部の底面から高さ 10mm、50mm の 2 点において、レーザードップラー流速計を用いて測定する。データは 10ms 間隔で AD 変換を行い、50 波の平均値から乱れ強度、平均流速を求めた。

本研究では、層流と乱流の両方が含まれるようにレイノルズ数を設定し、表 1 に示す 5 ケースの実験を行った。表中で $T_{1/3}$ は有義波周期、 $U_{1/3}$ は有義波の諸元に基づく代表流速、 $Re_{1/3}$ は次式で示されるレイノルズ数である。

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

ここで、 ν ：動粘性係数である。実験は全て同じ入力信号を用い、入力信号に係数を乗じて各ケースの $U_{1/3}$ を得た。レイノルズ数が異なってもその波形は同じである。 $U_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ を入力することで任意の $Re_{1/3}$ を得る。

3. 結果と考察

図 1 には底面近傍流速の生データが示してある。図中 A の部分では、レイノルズ数の大きいケースほど大きく乱れが生じている。B 部においては 5 ケース全てで乱れがほとんど見られない。流速の大きな部分以外の乱れはピストンの微振動などにより生じるノイズであると考えられる。

図 2 には底面近傍流速と層流解が示してある。層流解は正弦振

表 1 実験条件

	$T_{1/3}(s)$	$U_{1/3}(cm/s)$	$Re_{1/3}$
Case 1	3.0	160.9	8.42×10^4
Case 2	3.0	272.9	2.42×10^5
Case 3	3.0	391.9	5.02×10^5
Case 4	3.0	463.7	7.02×10^5
Case 5	3.0	525.8	9.03×10^5

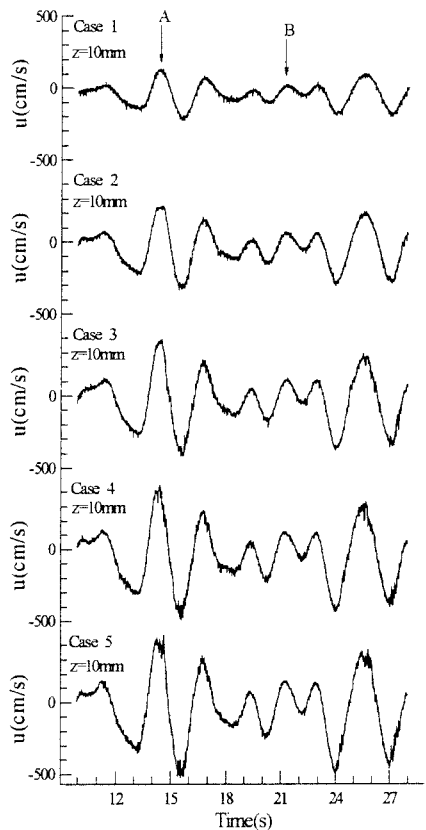


図 1 流速波形(z=10mm)

動流に対する解の重ねあわせにより得られ、境界層外縁流速を用いて求める。Case 1 では層流解との極めて良好な一致が見られ、その他のケースでも流速の小さな部分で良好な一致を示す。このことから一連の不規則波の中に層流と乱流状態が混在していることが分かる。

図 3 には乱れ強度の水平方向成分 $\sqrt{u'^2}$ を $U_{1/3}$ で無次元化した値が示してある。Case 2～Case 5 には、比較的大きな峰・谷の部分において値が大きくなるという一定の傾向が見られ、ここで乱流が生じていると考えられる。Case 1 では他のケースと同じような傾向は見られず、大きな値も示さないため Case 1 は完全に層流であるといえる。このことから、底面から 10mm の位置では、Case 1 と Case 2 の間に乱流遷移限界があることが分かる。

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レイノルズ数 Re_p と乱れ強度平均値を算出し、時間変化を図 4 に示した。 Re_p と乱れ強度平均値はそれぞれ以下の式(2)、(3)で示される。

$$Re_p = \frac{U_p^2}{\nu \omega_p}, \quad \omega_p = \frac{\pi}{T_p} \quad (2), \quad \sqrt{u'^2}_{avg} = \frac{1}{T_p} \int_0^{T_p} \sqrt{u'^2} dt \quad (3)$$

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。

Re_p と乱れが同時に最大になるわけではなく、 Re_p と比べると乱れの発現は遅れている。Sana ら²⁾によると正弦波動下での乱流遷移限界レイノルズ数は $Re = 1.38 \times 10^5$ であり、実験結果と合わせてみると Case 1 と Case 2 の間の値になっている。しかし、不規則波動下では、この値より小さい Re_p であっても、乱れを生じるものがある。また、これより大きな値でも乱れを生じないものも存在している。乱れを生じるものは直前の Re_p が大きく、乱れを生じないものは直前の Re_p が小さい。つまり、その時点での Re_p の大小だけでなく、それ以前の波の影響を受けて乱流へ遷移するものと考えられる。そのため不規則波動下では正弦波動下のように単一のレイノルズ数値で限界値を定めることはできない。

4. おわりに

本研究は底部が滑面の風洞実験であった。しかし実際の海底面は粗面である。今後は粗度のある底面での境界層特性を研究していくことが必要である。

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) Sana.A and Tanaka.H.(1996):The testing of low Reynolds number $k-\varepsilon$ models by DNS data for oscillatory boundary layer. *Flow Modeling and Turbulence Measurement IV*,pp.363-370.

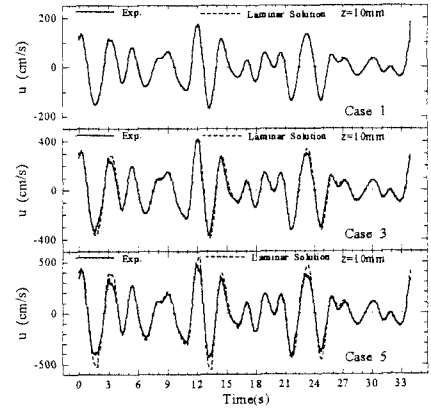


図 2 底面近傍流速と層流解

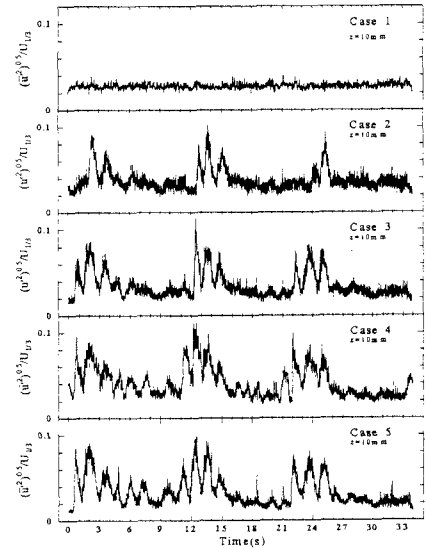


図 3 乱れ強度

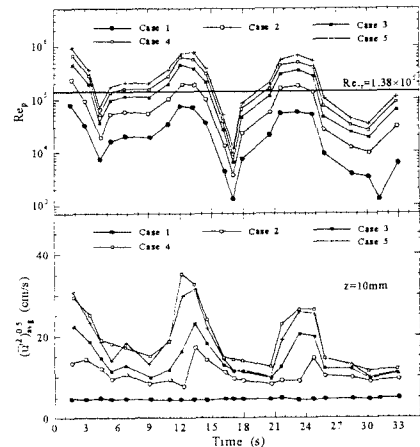


図 4 レイノルズ数・乱れ強度平均値