

II-37

長周期性波動下における乱流境界層の実験

東北大学工学部 学生員 ○川村 育男
 東北大学工学部 正会員 Ahmad Sana
 東北大学工学部 正会員 山路 弘人
 東北大学工学部 正会員 田中 仁

1.はじめに

波浪による底面せん断力を知ることは地形変動や土砂移動の算定のために必要である。現在、波浪の周期が長い時は流体運動が定常流に近いので、マンニングの粗度係数に代表される定常流の抵抗則を用い、また波動境界層においては、波動抵抗則を用いている。しかしそれら二つの抵抗則を使い分ける基準は確立しておらず、一方の抵抗則から他方へと移動する遷移的な状態での抵抗をどのように算定するかについても明確ではない。そこで本研究ではU字管振動装置を用いて実験を行い、遷移域近傍での諸水理量に着目して検討を行った。

2.実験装置及び方法

図-1に実験装置の概略を示す。2つの連動するピストンによりU字管の左右に交互に空気を入りさせ、内部の水に振動を発生させる。測定部の壁面には高さ5.4mmの三角粗度を12mm間隔で貼り付けた。ピストンのモーターの速度及び振幅を変えることにより振動流のRe数を変化させることが可能である。流速測定はU字管水平部のアクリル部(長さ2.5m、幅0.36m、高さ0.06m)の中央部において、粗度の頂部から管路中央までの18~26点についてレーザードップラー流速計を用いて行った。サンプリング間隔10msまたは20msで50波のデータを取り、アンサンブル平均して1周期内の速度分布を得た。

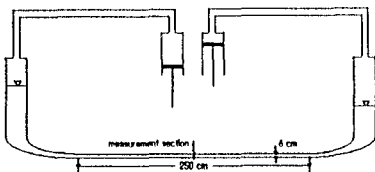


図-1 実験装置

実験は定常流を5ケース振動流を13ケース行った。なお、粗度の大きさから Δz (仮想底面高さ)、 z_0 (粗度長さ)を求める一般的な方法は確立されていない。そこで本研究では各ケース毎に壁面近傍の速度分布に対数則を当てはめこれらを求めた。その結果、 z_b/z_0 (z_b :壁面から管中心までの高さ)は15.6から21.3であり、平均値は18.7であった。

3.実験結果

3.1 流速分布

図-2(a)、(b)に典型的な速度分布を示す。これらは後に示す図-3中のRunQ04及びRunQ09に対応する。図-2(a)は周期が短い時の流速分布であり、overshootや位相のずれ、また管路中央付近で速度勾配がゼロになる領域が見られるなど、波動境界層に特徴的な現象が現れている。一方、図-2(b)には周期が長い時の流速分布が示されている。図-2(a)と異なり、境界層が管路中央まで発達し、位相差も小さく、準定常的な特徴が見られる。

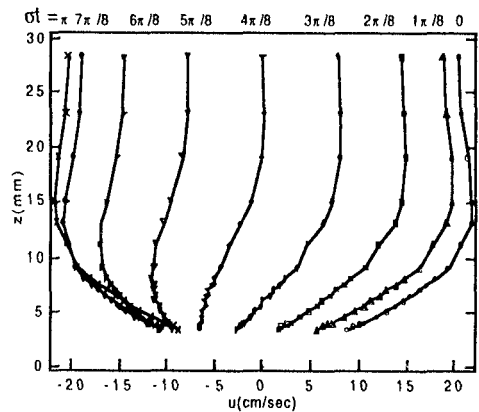


図-2(a) 流速分布 Run Q03

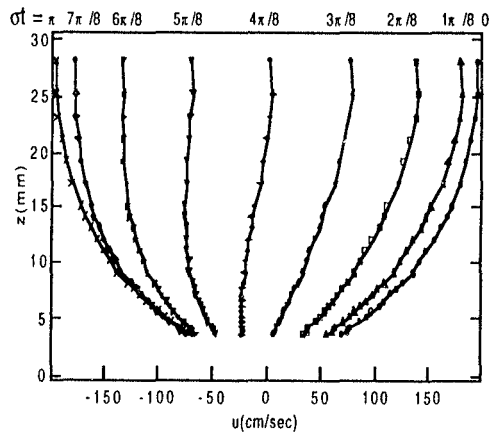


図-2(b) 流速分布 Run Q09

3.2 摩擦係数

図-3(a)に本研究による摩擦係数 f を示す。横軸において、 U_0 断面平均流速の振幅、 a_w 角振動数である。図にはJonsson¹⁾、Kamphuis²⁾及びTanaka³⁾の波動摩擦係数式並びにTanakaら⁴⁾による波動抵抗則から定常抵抗則への遷移摩擦係数の理論値も示した。周期が短い時、すなわち $U_0/\sigma z_0$ の値が小さい時の実験値は、Jonsson、Kamphuisの式に比較的近い値を示す。 $U_0/\sigma z_0$ の増加に伴い定常流の実験値(黒丸印)に漸近して行くことが判る。 $U_0/\sigma z_0=100$ 付近で田中の摩擦係数は他の二者と差が大きい。このため、実験に現れた遷移の様子はTanakaらの理論と異なっている。

図-3(b)には、比較のためにYalin & Russel⁵⁾のデータを示した。(a)に比べばらつきが大きいものの、理論と同様な遷移を示している。

3.3 境界層厚さ

境界層厚さ d の変化を図-4に示す。図で a_w は水粒子の軌道振幅である。波動下でのデータとして、Jonsson¹⁾、Jensen et al.⁶⁾、Sleath⁷⁾の値もプロットした。 $U_0/\sigma z_0$ が小さい時、本実験の値はJensenらのデータを左に外挿した直線上に位置する。横軸の値が増加するにつれて実験値はこの直線からはずれ、定常流で成立する $\delta=z_h$ に移行して行く様子が認められる。同図から得られる遷移限界での $U_0/\sigma z_0$ 値は図-3(a)で定常流抵抗則への移行がほぼ完了する点でのそれに一致している。

4. おわりに

本実験では長周期性波動下における境界層の実験を行ったが、速度分布、摩擦係数、境界層厚さに関して波動的なものから準定常状態に遷移していく様子が確認された。今後、さらに多くの実験を重ねると共に、遷移限界を判定するための指標を定める予定である。

参考文献

- 1) Jonsson, I.G. and Carlsen, N.A.: Experimental and theoretical investigation in an oscillatory turbulent boundary layer, J. Hydr. Res., 14(1), 45-60, 1976.
- 2) Kamphuis, J.W.: Friction factor under oscillatory waves, J. W.P.C.O. Eng., 101(WW2), 135-144, 1975.
- 3) Tanaka, H.: An explicit expression of friction coefficient for wave-current coexistent motion, CEJ, 35(1), 83-91, 1992.
- 4) Tanaka, H. and Shuto, N.: Quasi-steady property of bottom friction in a wave boundary layer, Proc. Int. Symp.: Waves-Physical and Numerical Modelling, 1570-1579, 1994.
- 5) Yalin, M.S. and Russel, R.C.H.: Shear stresses due to long waves, J. Hydr. Res., 4(2), 55-98, 1966.

6) Jensen, B.L. et al.: Turbulent oscillatory boundary layer at high Reynolds numbers, J.F.M., 206, 265-297, 1989.

7) Sleath, J.F.L.: Turbulent oscillatory flow over rough beds, J.F.M., 182, 369-409, 1987.

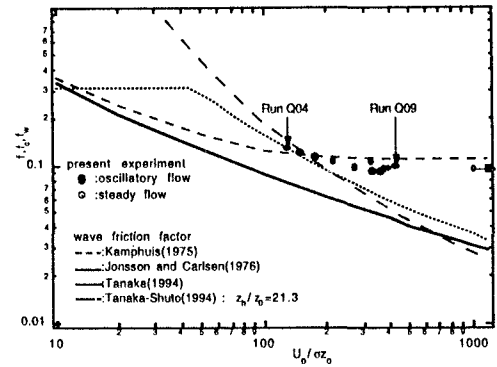


図-3(a) 摩擦係数

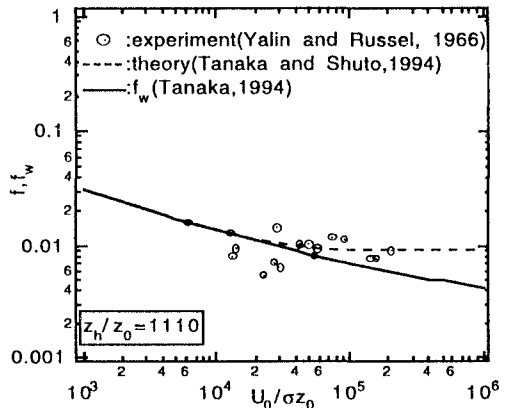


図-3(b) 摩擦係数

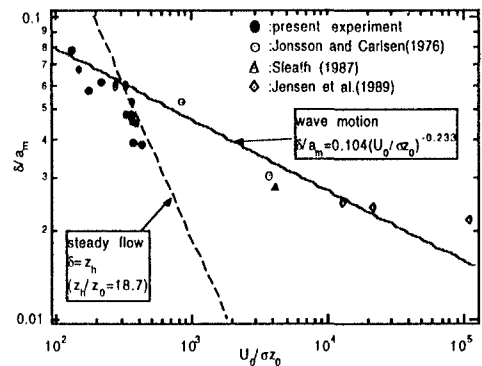


図-4 境界層厚さ