

II-480

砂漣周辺の振動流境界層と

渦の挙動に関する実験的研究

○埼玉大学大学院 学生員 水谷 将

埼玉大学工学部 正 員 堀川 清司

埼玉大学工学部 正 員 中村 廣昭

1. 序 本研究では、1) crest部が曲線的な砂漣モデル(Type 1)と鋭角的な砂漣モデル(Type 2)の近傍の流れについて、レーザードップラー流速計を用いて、流速分布・乱れ強さの分布・レイノルズ応力の分布を求めて比較し、また、2) Type 1 について渦の発生及び発達条件を調べた。

2. 実験概要 実験に使用した振動流実験装置は、U字管であり、水路断面は内径300mm×300mm、水路長約1300mm、観測部長2100mm、ピストン部断面は半径200mmの円形断面である。水路観測部には表面が滑面の砂漣の拡大相似モデルを7波長設置した。この砂漣モデルの形状は表-1に示す通りである。測定には、ピストン側から5番目の砂漣モデルを用いた。1) の実験では、1つの測定点で1つの位相、1波についてサンプリングし、その時間間隔を0.02秒とし、その間に5個サンプルするように設定した。平均波数は30波とした。結局、1つの測定点、1つの位相について150個サンプルしたことになる。位相は、まず流速の正負をピストン側への流れを正、その反対側への流れを負とし、負方向への流れから正方向への転流時を位相0、正方向から負方向への転流時を位相 π としている。条件は、周期Tを9s、代表流速の振幅 $\hat{U}$ を13.9cm/s、ピストンの振幅Apを14.3cmとした。この場合、水粒子の振幅 $d_a/2$ は20.0cmとなる。2) の実験では表-2のうちの条件において渦が発生し、さらに発達するかを可視化によって調べ、その結果を渦と関係あると予想される4つの無次元数(表-3)に代入し、その相互の関係をグラフに示した。

3. 実験結果及び考察 1) 砂漣モデル上の流速分布 位相0~(5/8) π においては、Type 1 では水平方向の速度成分が変化する他は特別目立った動きはなかったのに対し、Type 2 においては、位相(2/8) π の時点で断面①、②、高さ30~50mm付近に明瞭な渦の存在が認められた。位相(5/8) π に至っては断面①~⑤、高さ5~50mmの規模にまで渦が発達している。Type 1 においても位相(6/8) π のあたりから断面①~③、高さ10~40mm付近で水平方向の速度成分が減少し始め、位相(7/8) π ではそれがさらに顕著になり、位相(8/8) π で渦が発生している(図-1)。しかし、渦は縦25mm、横75mmの大きさの楕円形であり、Type 2 で生じた縦90mm、横175mmの

表-1 砂漣形状

Type 1	$\xi = x + (Hr/2) \sin k\xi$ $y = (Hr/2) \cos k\xi \quad (k = 2\pi/Lr)$ Hr (砂漣の波高) = 4 cm Lr (砂漣の波長) = 30 cm
Type 2	$z = x + iy$ $kr(y - y_0) = \ln [\sec kr(x - x_0)]$ $; kr(x - x_0) \leq \pi/Pr$ $kr y_0 = \ln [\cos(\pi/Pr)]$ $; -kr x_0 = 2\pi/Pr \cdot (j - 1/2)$ $; j = 1, 2, \dots, Pr$ $Hr = 1/kr \cdot \ln [\sec(\pi/Pr)]$ $kr \cdot Pr \cdot Lr = 2\pi$ kr (砂漣の波数) = 7 Hr (砂漣の波高) = 5 cm Lr (砂漣の波長) = 30 cm

表-2 2) の実験条件

$d_a/Lr = 0.5, 0.6, 0.7, 1.0, 1.5, 2.0, 2.38$
$T(s) = 3, 4, 5, 6, 7.5, 9, 10.5, 12, 15, 18, 21$

表-3 無次元数

$Re = \hat{U}Hr/\nu$	: レイノルズ数
$\hat{U}/(gT)$	: (gT)
$Fr^2 = \hat{U}^2/(gHr)$	: フルード数の2乗
$S = Hr/(\hat{U}T)$	: ストローク数

表-4 参考文献の実験条件

Case	T (s)	d_a/Lr	$\hat{U}$ (cm/s)
1	3.7	1.0	9.6
2	3.8	2.0	18.2
3	5.1	4.0	28.2

$Lr=12\text{cm}, Hr=2\text{cm}$ の正弦断面の対称砂漣 (Case1~3において渦が発生している)

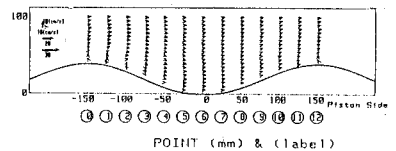
T=9s Phase (8/8) π

図-1 流速分布 (Type1)

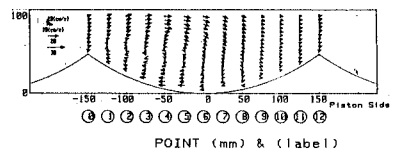
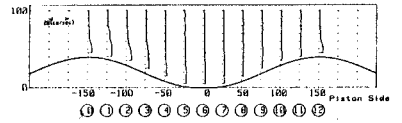
T=9s Phase (7/8) π

図-2 流速分布 (Type2)

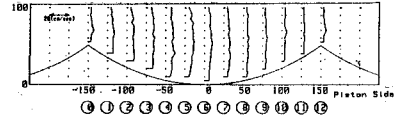
大きさの渦(図-2)に比べると遙かに小さい。これらのことから、砂漣モデルの形状が渦の発生、発達に大きく影響するといえる。砂漣モデル上の乱れ強さの分布(図-3) 乱れ強さは、各瞬間の流速と位相平均流速の差として定義した。この図をみると渦の存在する所で乱れ強さは大きくなり、ほとんどの測定点で、Type2の方が乱れ強さが大きくなっている。砂漣モデル上のレイノルズ応力分布(図-4) この図をみると乱れ強さの場合とほぼ同様のことがいえる。2) $Re-\hat{U}/(gT)$ (図-5) この図によるとかなりはっきり渦に関する傾向が表れている。今回のデータに注目すると渦の限界は $\log_{10}(Hr\sqrt{\hat{U}gT})/\nu=4.45$ で示され、この直線より上側では渦が発達し、下側では渦ができないと推測できる。しかし、この推測によると参考文献のデータが渦のできない範囲に存在することになる。 $Fr^2-\hat{U}/(gT)$ (図-6) $Re-\hat{U}/(gT)$ とよく似た傾向が表れている。渦の限界は $\log_{10}\hat{U}T/Hr=1.09$ で表わされる。この場合は参考文献のデータが渦のできる範囲に位置している。 $S-Re$ (図-7) 推測により渦の限界曲線を2本引き、渦のできない範囲を図のようにA, Bとした。可視化によって判断する限り、Aは渦ができる前に流れ方向が逆転するのが原因であり、Bは $Hr/Lr=0.133$ に対して周期が小さすぎる、すなわち速度が大きすぎるのが原因であると思われる。Bの曲線は $S \cdot Re=600$ と表示しう。図からはストローハル数が小さい程渦が発達していることが読み取れる。この場合も参考文献のデータは渦のできる範囲に存在している。

4. 結論 今回の実験より、1) 砂漣のcrest部の違いは、渦の発生、発達に大きく影響し、乱れ強さとレイノルズ応力は、渦の大きさに従って大きくなる、2) Type1においてはストローハル数がより小さく、レイノルズ数が 6×10^3 ぐらいの時に最も渦が発達する、ことがわかった。

〈参考文献〉 榊山勉・三村信男・渡辺晃：砂漣上の振動流境界層に関する研究，第28回海講演文集，PP.237～241，1981。

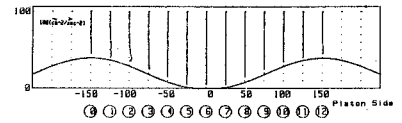


(Type1) T=9s Phase (8/8)π

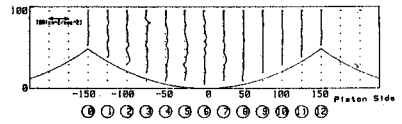


(Type2) T=9s Phase (7/8)π

図-3 乱れ強さの分布



(Type1) T=9s Phase (8/8)π



(Type2) T=9s Phase (7/8)π

図-4 レイノルズ応力分布

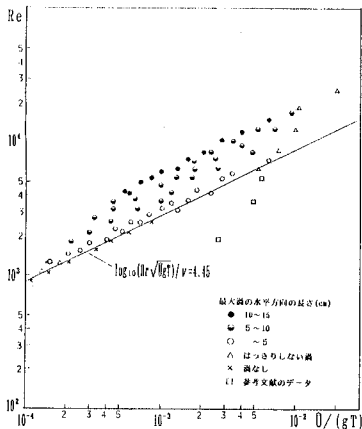


図-5 $Re-U/(gT)$

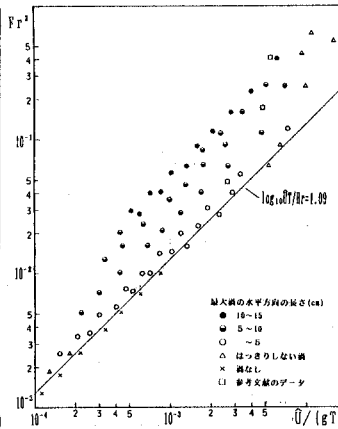


図-6 $Fr^2-U/(gT)$

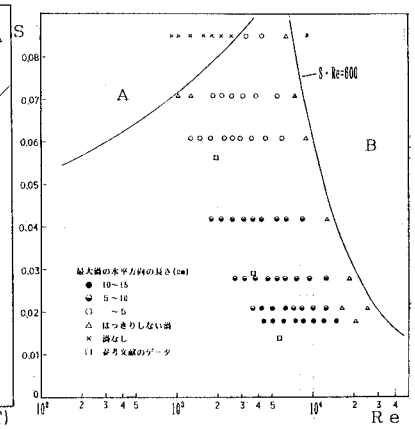


図-7 $S-Re$