

首都高速道路公社 正員 山口 修一
 東京工業大学工学部 正員 沢本 正樹
 東京工業大学工学部 正員 山下 俊彦

1. はじめに 砂漣上の振動流については、沢本・山下¹⁾、DuToit・Sleath²⁾、沢本³⁾が様々な条件のもとで測定を試みている。この流速場では、砂漣背後の渦の発生および渦から乱れへのエネルギー供給が特徴的である。しかし、その基本とも言うべき渦については、強さ、発生機構等の特性が十分にわかっていない。今回は、この渦についてさらに詳しく調べるために実砂漣の拡大相似模型を作製し、そこに再現された流れとレーザー流速計を用いて測定し、アンサンブル平均流速、乱れ強度、レイノルズ応力、乱れエネルギーの生成量を求めた。さらに、この渦を詳しく調べるために、流速計による点的な情報だけでなく可視化による面的な情報も用いた。

2. 実験装置及び方法 長さ200cm、高さ40cm、幅10cmの振動流風洞を用い、この中に、流動水槽内で実際に形成された砂漣のデータを基に、十分な精度で測定できるように、力学的相似を満たし、かつ幾何学的に約4倍に拡大した固定相似砂漣模型を入れて実験を行った。実験条件は、砂漣の波長20cm、波高4cm、砂漣の影響のない所の流速振幅48.6 cm/s、周期1.89sである。今回の測定は、沢本・山下のものと比較して次のような改善点がある。①ピストン駆動モーターのパワーを増して正確な振動流ができるようにした。②風洞断面を大きくすることにより、渦が崩壊して三次元的な乱れとなる様子も十分再現できるようにした。③今回用いたレーザー流速計は熱線流速計と比べて、流速の各成分を測定できること、流速の方向判別可能（これは振動流では重要）、非接触測定可能等の特徴を有するため熱線流速計で用いた前回の実験より高精度のデータが得られた。また、流速の各成分を測定することによりレイノルズ応力を求めることができた。可視化は、流れが止まっている状態で砂漣谷部にタバコの煙をため、次に流速がゼロの位相から振動流を起こし、その煙の動きを写真及びビデオに撮るといった方法で行った。

3. 実験結果 図-1、3、4は、主流速反転時を位相0とした場合の各位相の平均流速とベクトルで示したものである。図-2、5は図-1、4と同位相の乱れ強度を示したもので、矢印の長さが $\sqrt{u'^2 + v'^2}$ を、傾きが $\sqrt{u'^2}$ と $\sqrt{v'^2}$ の比を表わしている。これらの図より以下のことがわかる。①位相 $\pi/4$ では、すでに流線が閉じており破線で囲まれた領域に渦が形成されていることがわかる。②アンサンブル平均流速のベクトル図から渦がどのように発達して行くかが定量的に

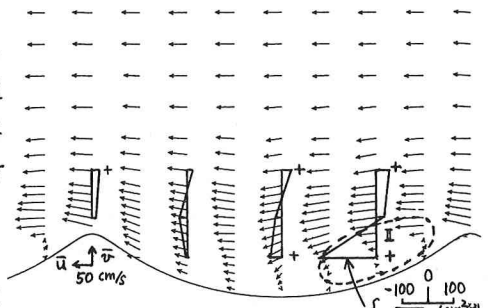


図-1 $8/9\pi$ の流速と $-u'v'$

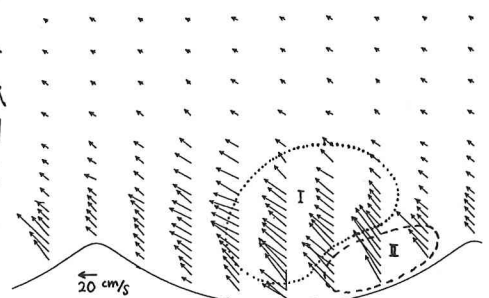


図-2 $8/9\pi$ の乱れ強度

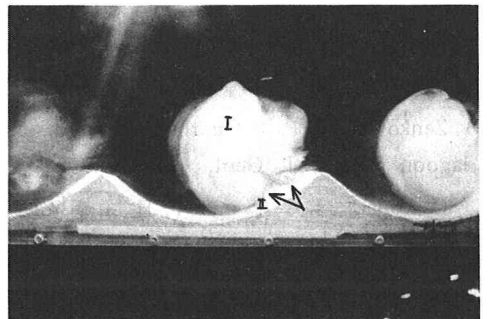


写真-1 $8/9\pi$ の流の可視化

的に把握できる。③渦域では乱れが大きくなっている。砂連背後に形成されつつある渦に注目すると、渦域では乱れはほぼ一定で、平均流速は直線的に変化している。

写真-1は、図-1, 2とはほぼ同位相における可視化による煙の写真である。煙の塊の上部は半周期前の流れで生じた渦工を示しており、流れの反転によってこの位置まで移動してきている。図-2では点線で囲った所が渦工の領域である。この領域では、現在生じつつある渦工の領域ほどではないがかなり乱れが強くなっている。次に、渦工に注目すると、写真-1の矢印で示した所に小さな渦が発生しているのがわかる。この小さな渦は図-1に見られる渦とは明らかに違うものである。この小さな渦の平均が図-1に見られる組織的な渦であり、その不規則性が乱れとして表われてくるので、この渦域で乱れが大きくなっていると思われる。写真-2は、位相 $13/9\pi$ のものである。この時点で放出された渦は砂連一渡長分移動しており、渦の輪郭が不明瞭になっていることから渦中の乱れがしだいに拡散していることがわかる。

4. 乱れエネルギーの収支について レイノルズ応力による主流から乱れへのエネルギー変換量は次式で表わされる。

$$-\rho \overline{u'v'} \left(\frac{\partial \overline{v}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{u}}{\partial y} \right) \quad (\rho: \text{流体の密度})$$

今回は、流速の水平、鉛直成分 u, v の他に鉛直成分 $\frac{1}{\sqrt{2}}(u+v)$ と $\frac{1}{\sqrt{2}}(-u+v)$ と測定することにより $-\overline{u'v'}$ を求めた。 $-\overline{u'v'}$ については11地点で測定を行い、その結果を図-1, 3, 4に実線で示した。図中に示した符号は $-\rho \overline{u'v'} \frac{\partial \overline{v}}{\partial x}$ の符号である。この際 $\frac{\partial \overline{u}}{\partial y}$ については、一般に $\left| \frac{\partial \overline{u}}{\partial y} \right| > \left| \frac{\partial \overline{v}}{\partial x} \right|$ でありかつx方向の測定間隔が狭く精度も思いのたけ無視した。これらの図より、① $-\rho \overline{u'v'} \frac{\partial \overline{v}}{\partial x}$ の符号は、図-3の砂連上を除いてほとんどの場合正であり、乱れエネルギーが主流から供給されていることがわかる。図-3の砂連頂上で負になっているのは縮流によって乱れの減衰が起きているためだと思われる。② $-\rho \overline{u'v'} \frac{\partial \overline{v}}{\partial y}$ の値が大きいのは、渦が形成されつつある領域で主流から乱れへのエネルギー供給が大きいことがわかる。

5. おわりに レーザ流速計を用いた高精度の測定により、砂連によって発生する渦のエネルギー収支まで含めた特性が明らかとなった。また、可視化により、渦とされていた領域は小さな渦のあつまりであることがわかり、不規則な現象を捉える際の可視化の有効性が示された。

<参考文献> 1) 沢本・山下: 砂連上の振動流境界層流れ, 第26回海岸工学講演会論文集, 1979.

2) DuToit・Sleath: Velocity measurements close to rippled beds in oscillatory flow, JFM, Vol 112, 1981.

3) 渡村・三村・渡辺: 砂連上の振動流境界層に関する実験的研究(2), 第29回海講演文集, 1982.

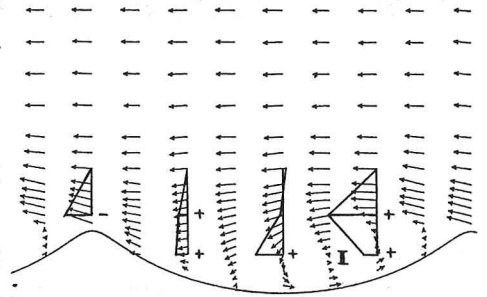


図-3 $13/9\pi$ の流速と $-\overline{u'v'}$

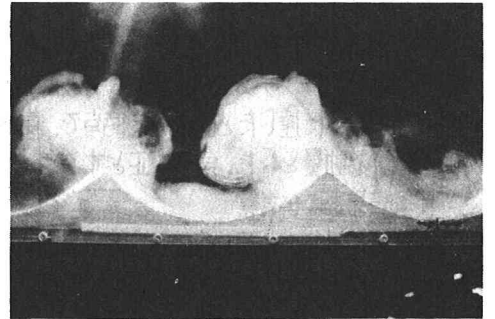


写真-2 $13/9\pi$ の流れの可視化

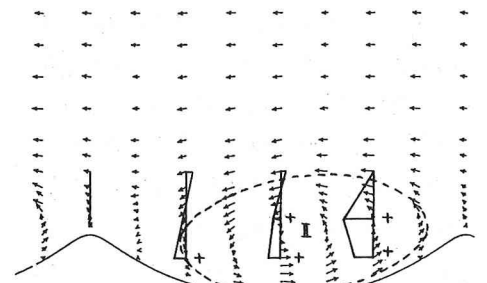


図-4 $13/9\pi$ の流速と $-\overline{u'v'}$

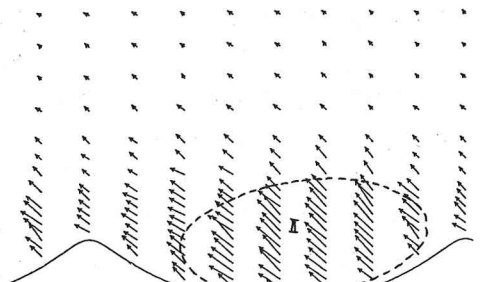


図-5 $13/9\pi$ の乱れ強度