

1. はじめに

流れによる砂移動量は底面剪断力と密接な関係をもつ。著者らはこの考え方を波・流れ共存場に拡張して、砂移動量の定式化を試みたが、現象を十分に説明するには至らなかった¹⁾。通常、移動床には河床波が形成されており、底面近傍には剥離渦が特徴付けられる波状曲面特有の流れの場が形成されている。この様な場における砂移動現象をシールド数のみで表現することは困難であり、波状曲面付近の流体運動、特に剥離渦の挙動を調べ、さらに砂粒子の運動機構を解明することにより、より精度良い砂移動量の定式化が可能になると考えられる。そこで今回、拡大砂運模型を用いて詳細な乱流計測および可視化を行った。

2. 実験方法

実験装置を図1に示す。実験に用いた流体は空気である。風洞下流端にピストンとセクションにより振動流と一方向流を発生させた。従って、定常流成分は図の左から右に向かう。実験に先立ち、移動床開水路を予備実験を行ない、その時の流れと幾何学的および力学的に相似な空気流を風洞内に発生させた。波状曲面上には、やはり相似条件を満足する砂粒子を貼り付けた。

流速測定には熱線流速計のX型センサーを用い、水平・鉛直の二方向成分を測定した。可視化にはスモークワイヤ法を用いた。砂運模型形状、流速測定測点位置およびスモークワイヤの設置測線を図2に示した。図中には併せて座標系の定義も示した。

非定常乱流場の流れ成分抽出法については議論の必要はない。本研究では5Hzのハイパス・フィルターを通過した成分を流れとした。サンプリング周波数は100Hzである。

3. 実験結果

測定された水平流速の二周期分を図3(a), (b)に示した。それぞれ測線は $x=16\text{ cm}$, $x=30\text{ cm}$ である。位相 $\phi/T=0$ は、図1のピストンが右に最大変位に達する瞬間に灯起している。図より読み取れることを列記すると、①風洞中心($Y=20.9\text{ cm}$)の波形は x によらず、ほぼ同様である。よって、波状曲面の効果は上方に伝わるが、実際の開水路流れに近い現象が再現されている。

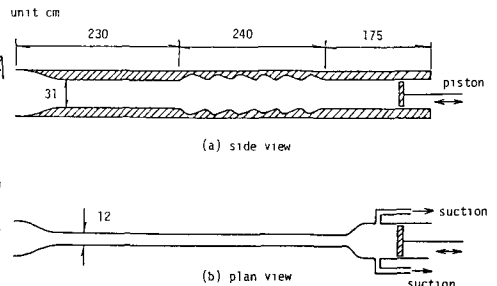


図1 実験装置

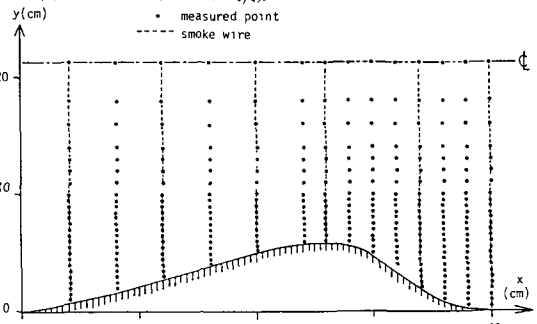


図2 座標系と測点

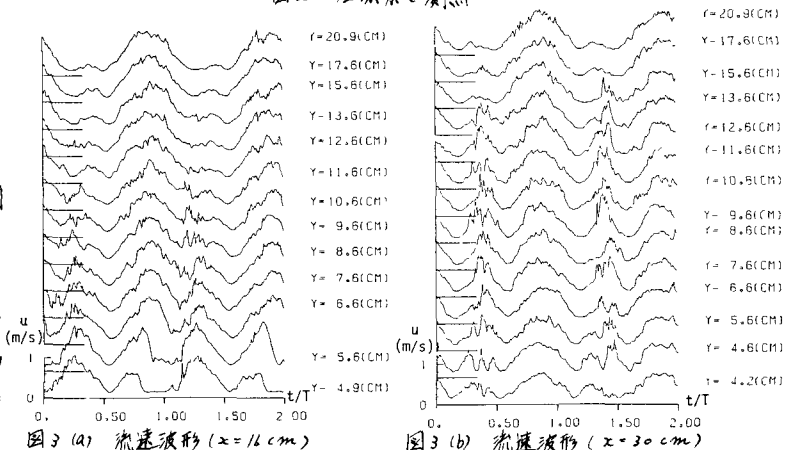


図3 (a) 流速波形 ($x=16\text{ cm}$)

図3 (b) 流速波形 ($x=30\text{ cm}$)

る、②風洞中心付近では正弦振動が上方にシフトアップしており、波・流れ共存時に特有の波動を示している。一方、砂連模型近くでは、順流時ピークと逆流ピークに差がない。特に $x=30\text{cm}$ の壁面近くでは、却て逆流ピークの方が大きい、③ $x=16\text{cm}$ での逆流時波形は順流時のそれと比べて立ち上がり早く、手強い乱れを伴っている。後述する様に、この現象は砂連急斜面側に形成された後流渦に起因している。

代表的な3つの位相について、可視化写真、平均流速ベクトル、乱れ強度分布を示したのが図4(a), (b), (c)である。ただし、流速ベクトル図中で、逆流流速を適宜負側に折り返して図示している。また、最下段の△印は水平方向乱れ強度 $\sqrt{u'^2}$ 、○印は鉛直方向乱れ強度 $\sqrt{v'^2}$ を表わしている。

$t/T = -5/12$ において主流速度はほぼゼロとなり、その後、主軸正方向に加速を始める。従って、図4(a)は右向き流れに転じた直後の位相に対応する。砂連頂上流線の剥離は見られない。乱れ強度については、 $x=32\text{cm}$ の壁面近傍に幾分大きい値を有する領域が見られるものの、各測線ごとの差異は認められない。主流は $t/T = -1/12$ で最大値に達するが、その直前に砂連頂上流線が剥離する。剥離の発生と同時に砂連背後域の乱れ強度が増大する。主流の右向き流速が減速に転じた直後の測定結果が図4(b)である。後流域が広がり、それに呼応して高乱れ強度を有する領域が広がる。主流速度がゼロに近づく、砂連の急斜面近傍にある左向き流速を有する流塊が前方にジェットの様に変斜面側に放出される。図3(b)の壁面近傍流速波形に位相の進みが認められ、また逆流時に強い乱れを伴うのはこのためである。左向き流速が最大値に達した時の結果が図4(c)である。高乱れ強度を有する高速流塊域が左方に移動してゆく様子が捉えられている。

Inman & Bowen²⁾ の行った実験条件下では、波と流れが同方向に進む時、Net の砂移動方向は下流向きであり、定常流速が増加するほど、流砂量も減少する。ある条件では上流に向かう Net の流砂量も観測されている。波と流れを単純にベクトル的に合成せざるもって考えるなら、このような現象は説明できない。今回、風洞実験で明らかにした、後流渦の発動は、Inman et al. により観測された砂移動現象の理解の一助となる。循環(circulation)等々流の定量化を行なうことにより、流砂量則の定量化も可能になると考えられる。なお、開水路流れにおいては、流速場の非対称性を生ぜしめる要因として、一方向流が存在する他に波の非線形性に起因するものや相対的、今回、振動流装置で観測されたものと比べ、より複雑な現象となることを示している。

《謝辞》本研究を行なうにあたり、東北大学工学部山崎弘人教授には多大な財力を提供。本研究の一部は文部省科学研究費（代表者：東工大日野幹雄教授）により行われた。ここに記して、深甚なる謝意を表す。

《参考文献》1) 佐藤・田中・首藤：第38回年講，1983。 2) Inman・Bowen：Proc. 8th ICCCE，1963。

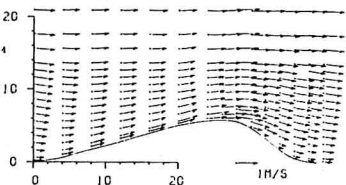
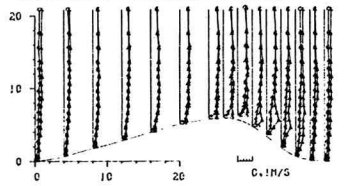
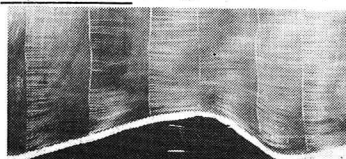


図4(a)速度ベクトルと乱れ($t/T = -3/12$)

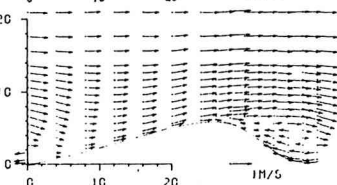
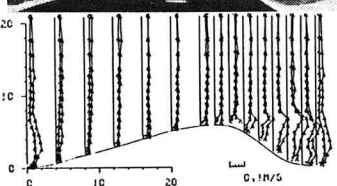
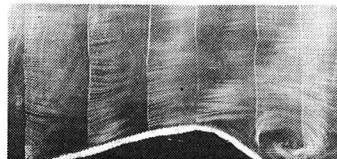


図4(b) ($t/T = 0/12$)

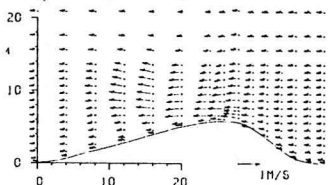
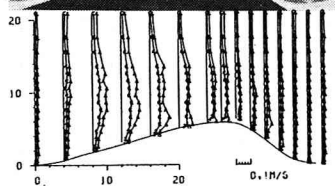
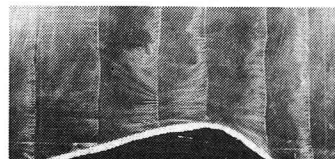


図4(c) ($t/T = 5/12$)