II-99　波状路床上の流れにおける乱れの特性について（4）

京都大学防災研究所　正員　今本博健
京都大学防災研究所　正員　○上野鉄男

1. はじめに

移動床流れにおける乱れの果たす役割を明らかにするために，著者らはこれまで dune 形状をモデル化した三角形や直角二等辺三角形の桟を用いて固定された波状路床上の流れにおける乱れの特性を実験的に検討してきた。[1),2),3)] それらの結果，三角形状の波状路床を用いた場合には乱れのスペクトルはエネルギーが全体的に大きくなることを除いては平坦路床の場合と顕著な差異は認められず，路床面近傍で乱れ速度を大きくするのは峰の後部に形成される死水域から間欠的に剝離する流れであり，この流れは特定の周期を持つものではないことが明らかにされている。また，桟を用いて路床の桟間隔 s と桟高さ k の比を変化させた場合の実験から，s/k＝40の場合には流水中の乱れは上流側で発生した乱れの影響をほとんど受けず，それぞれの桟の一区間で乱れは発生と減衰を繰り返しており，このとき発生する乱れの卓越周波数は 1〜数Hzの比較的高周波数のものであるが，一方，s/k＝10の場合には乱れは上流側で発生して運ばれてきた乱れの影響を強く受けて平均化され，平坦路床上の流れにおける乱れとほぼ同様のスペクトル構造を持つことがわかった。

本研究は，波状路床上の流れにおける乱れの発生機構および波長波高比に応じて乱れがどのように分布するかを調べるために，桟型路床上の流れにおける平均速度および乱れ速度の分布をホットフィルム流速計を用いて計測した結果を取り扱ったものである。

2. 実験装置および方法

実験に用いられた水路は長さ 13m，高さ 20cm，幅40cm の透明アクリライト樹脂製の直線水路で，路床勾配は 1/500 に設定されている。路床状態は高さ 6 mm の直角二等辺三角形の金属製の桟によって構成され，実験は表－1 に示す3ケースについて行った。計測点は水路の中心線上で高さ方向には z＝0.3，0.5，0.7，1.0 および 2.0 cm，流れ方向には実験ケース 1 および 3 は 0.5 cm 間隔，実験ケース 2 は 0.3 cm 間隔の格子点が選ばれた。流速計の検定は浮子による表面流速を計測することによって行なわれ，実験中の温度変化の影響は温度上昇に伴なう出力低下を適当な時間ごとに計測した結果によって補正した。流速計からの乱れ速度は計測点ごとに R.M.S. を数分間づつペン書きレコーダーに記録して読み取った。

表－1　水理条件

実験ケース	s/k	流量 Q (l/sec)	水深 H (cm)	水温 T (°C)	平均流速 U (cm/sec)	$R_e=\frac{UH}{\nu}$	$F_r=\frac{U}{\sqrt{gH}}$
1	20	1.09	2.56	25.0	10.64	3.03×10^3	0.212
2	5	1.09	2.67	24.0〜25.0	10.21	3.04×10^3	0.200
3	∞	1.09	2.38	22.0〜24.8	11.45	3.03×10^3	0.237

3. 実験結果および検討

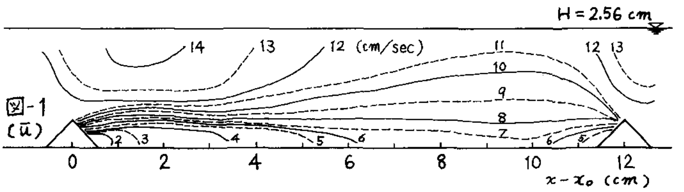
図－1，2 および 3 は s/k＝20（dune 形状を代表する波長波高比）の場合の平均速度（$\bar{u}$），乱れ速度（u'）および乱れの相対強さ（$u'/\bar{u}$）の分布を示したものである。平均速度は桟より 1〜2 cm 下流側の水面近傍で最大となり，桟の上下流の路床面近傍で極端に小さくなっており死水域が存在することを示している。なお，流速計のプローブの構造から死水域における速度の正負の判定はできない。乱れ速度が最大となるのは桟の下流約3 cm（桟高さ k の 5 倍）の z＝0.7 cm の付近であるが，この近傍では平均速度の等速度線が最も密になっており，流れの鉛直方向へのわずかな移動によっても大きなせん断力が生じる。路床面近傍においては平均速度が小さくなるので reatachment point 近傍でも乱れ速度はあまり大きくない。図－3 より乱れの相対強さの最大は桟の直下流部で生じるが，この近傍では平均速度が極端に小さくなっている。桟の下流約3 cm（k の 5 倍）の路

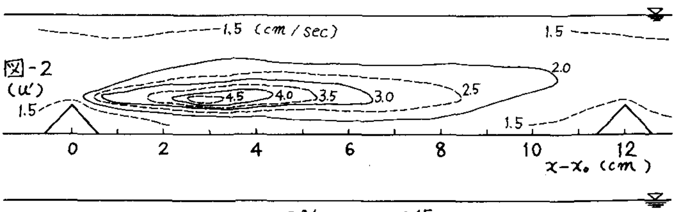
床面近傍では乱れの相対強さがかなり大きな値となる範囲が存在するが，この近傍がいわゆる reatachment point に相当するものと考えられる。一般に，乱れの相対強さは平坦路床上の流れにおいては路床面近傍においても0.1～0.2程度であるので，桟の設置に伴ない乱れの相対強さは路床からかなり離れたところまで大きくなることが知れる。

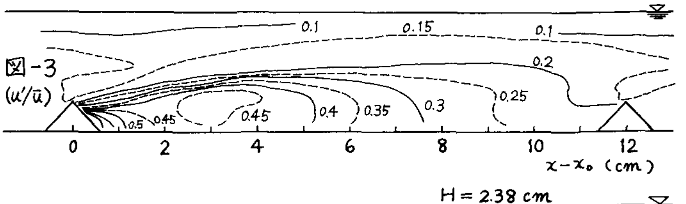
図-4および5は$S/k=5$および∞（孤立桟粗度）の場合の乱れ速度の分布を示したものである。$S/k=\infty$の場合には桟粗度の基本的効果を表わすものと考えられるが，乱れ速度が最大となる点は$S/k=20$の場合とほぼ一致している。桟の直上で流水断面積の減少によって平均速度が大きくなり，それに伴なって乱れ速度が小さくなること，さらに，路床面近傍では reatachment point 近傍でも乱れ速度があまり大きくならないということも$S/k=20$の場合と同様である。以上，$S/k=\infty$の場合は全体として$S/k=20$の場合と同様の傾向を示すが，乱れ速度の大きさそのものについては，その最大値は3.5～4.0 cm/secとなっており，$S/k=20$の場合の4.5～5.0 cm/secよりも小さく，全体的にも$S/k=20$の場合より小さな乱れ速度になっている。$S/k=5$の場合の乱れ速度が最大となるのは桟の下流1.5～2.5 cm，$z=1.0$ cmの付近であるが，他の場合のように顕著な最大値を示すものではない。路床面近傍は隣り合う桟の間の全体にわたって死水域が形成され，乱れ速度も小さくなっており，他の場合のように桟の直上でも乱れ速度が特に小さくなることはない。また，$z=2.0$ cmの水面に近いところでも乱れ速度が2.5 cm/secと大きな値をとっており，全体として乱れ速度の大きな範囲が水面側へ移っている。乱れ速度の最大値は3 cm/sec程度であり，$S/k=20$および$S/k=\infty$の場合より小さくなっている。

乱れ速度について3ケースを比較すると，同一の流量に対してもその最大値が最も大きくなるのは$S/k=20$の場合であり，$S/k=5$および∞の場合はこれよりも小さい。このことから，波長波高比が20前後の適当な値をとるときに最も大きな乱れ速度が発生することが予測され，このような特殊な波長波高比を有する場合に砂粒の移動はどのようになるか，さらには路床形状の安定性はどのようになるかを検討することは興味ある課題である。

以上の一連の研究は移動床流れにおける乱れの果たす役割を明らかにするという目的から見るならば，まだ第一歩を踏み出したばかりであり，今後，移動床流れにおける路床形態と乱れ特性との関係を明らかにするための直接的な研究へと発展させていくつもりである。







参考文献
1) 今本・上野，土木学会関西支部年講，II-14，1972.
2) 今本・上野，土木学会第27回年講，II-97，1972.
3) 今本・上野，土木学会関西支部年講，II-24，1973.