

大きい相対粗度をもつ流れの乱流構造に関する検討

京都大学工学部 正 員 中川博次
 京都大学大学院 学生員 岩田美幸

愛媛大学工学部 正 員 清水義彦
 京都大学大学院 学生員 佐藤寿延

1. 研究の目的 山地河川のように河床粗度が大きく、かつ水深の小さな流れ場においては、いわゆるNikuradseの粗面に代表される相対粗度の小さな流れ場の性質とは著しく異なることが指摘されている。例えば、平均流速分布が河床近傍でkarman定数を0.4とする対数型の流速分布からずれ、その勾配が一樣化することが水理実験より抽出されており¹⁾、乱流構造に関しても、従来から検討されてきた相対水深の大きな流れ場とはかなり性質を異にすることが推測される²⁾。この様な立場から、本研究では河床粗度の影響が流れの構造に及ぶ範囲に注目して、水理実験からそこでの乱流構造を明かにし、平均流速場を把握するための基礎的知見を得ようとするものである。

2. 実験方法 水路幅50cmの直線水路内にガラス玉(径=1.69cm)を最密状態で敷き並べ、等流状態を維持しながら、2成分hot-film流速計を用いて流速場を計測した。サンプリング周波数は200Hz、計測時間は45秒である。実験条件を表-1に示す。

3. 実験結果とその考察 粗度頂部を鉛直座標原点として、得られた平均流速分布を図-1に示すと従来からの指摘の通り、粗度近傍において流速勾配が一樣化する領域が存在する。また、同図から、その上方の平均流速分布は通常対数型流速分布を用いて表現可能であることが認められる。平均流速分布の勾配が異なることは、明かに両者の間で乱流構造が異なることを指摘する。そこで、図-2に乱れ強度を求めてみた。同図に相対水深の大きい場合の乱れ強度分布(式(1))³⁾を示すと、これに比べ実測値は粗度近傍において鉛直方向にかなり一樣化しており、この領域は速度勾配の一樣化領域にほぼ対応することがわかる。一方、粗度から離れるにつれて、乱れ強度分布は指数関数的に減少し、式(1)との適合は良い。以上から、粗度近傍においては、粗度自身の影響を受けた流れ場の存在が示唆され、この領域に焦点を絞り、その乱流構造を検討してみる。図-3に縦断方向変動流速の自己相関係数、図-4にそのスペクトル波形を示す。図-3から粗度近傍の相関係数は通常見られる指数関数的な減衰性の他に、周期的な変動成分の寄与が大きく、しかもこの周期波形は河床から離れるにつれて次第に消滅してくることがわかる。この周期成分の卓越周波数を求めると1.5-3.0(Hz)程度の低周波成分であり、Strouhal数で 10^{-1} 程度の値をもつ。すなわちkarman vortexに代表される様な周期的な粗度からの剝離渦がそこでの乱流構造に貢献しているものとの推測が支持される。ところで、栈粗度上の流れ場においては、従来より平均流速場の考察から粗度要素から放出された擾乱渦の混合領域が粗度近傍に存在するものとして考察されており⁴⁾、また流れの可視化より放出渦が見いだされている⁵⁾。そこで、ガラス玉の様な球状粗度でみられた上述の乱流特性が栈粗度上の流れにもみられるか、実験から検討してみた。栈粗度として、正方形断面(一辺が1cm)の真鍮棒を用い、これを4cm間隔で敷き並べた。流速場の測定方法は前述の通りである。また、この粗度配列によって足立⁴⁾によって定義された、いわゆる完全干渉流の流れ場が得られ、計測からも平均流速分布や乱れ強度分布が栈頂部と栈間の双方で変わらないことが確認されている。栈粗度においても図-5に示す様、乱れ強度分布は粗度近傍に向かうにつれて一樣化され、球状粗度の場合と同様な分布形となる。図-6、7に栈粗度近傍における変動流速の自己相関係数及びスペクトル波形を示すと、図-3、4と同様に、変動流速の中に低周波数の周期成分が存在することが見いだされ、可視化等による既往の結果と併せると、これが粗度要素からの放出渦の特性として抽出されるものと理解される。すなわち、相対粗度の大きな流れ場では、粗度近傍において粗度要素からの剝離・放出渦の強調された領域が生じ、これが、そこでの乱流構造の特性に大きな影響を与えているものとの考えが妥当であるといえる。図-8

に、四象限区分法によって求められた瞬間Reynolds応力へのejection事象とsweep事象の寄与率を示す。Nakagawa,Nezu⁶⁾によると、粗面では滑面に比し粗度近傍でsweep事象が増加するが、同図より相対粗度の大きい場合、この傾向はさらに助長するようである。今後はこれらの事象に及ぼすvortex-sheddingsの効果を検討してゆきたいと考えている。参考文献 1) 水山高久, 京都大学学位論文(1972). 2) 中川・辻本・清水, 水講(1989). 3) 瀬達, 土論, vol.261(1977). 4) 足立昭平, 土論, vol.104(1964). 5) Furuya, Miyata, Fujita, Jour. of Fluids Engrg., ASME(1976). 6) Nakagawa, Nezu, J.F.M., vol.30(1977).

表 - 1

CASE	I ₀	H (cm)	U _{mean} (cm/s)	Fr	Re	D/H
S-1	1/405	5.25	34.3	0.48	1.64×10 ⁴	0.32
S-2	1/400	2.04	13.5	0.30	2.32×10 ³	0.45

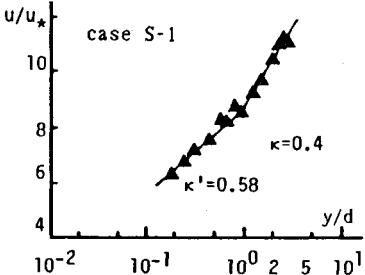


図 - 1 平均流速分布

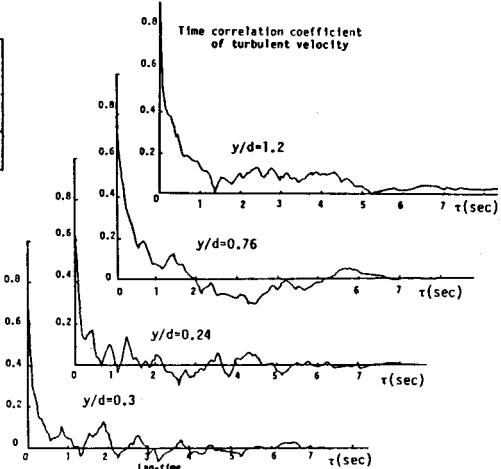


図 - 3 自己相関係数

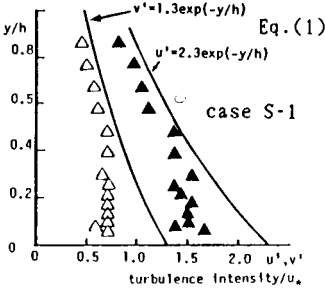


図 - 2 乱れ強度

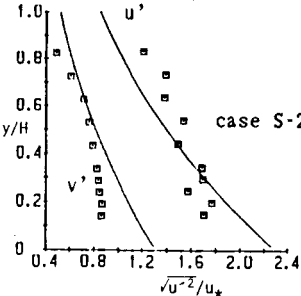


図 - 5 乱れ強度 (粗度)

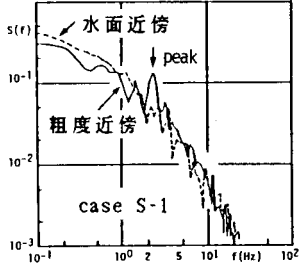


図 - 4 スペクトル波形

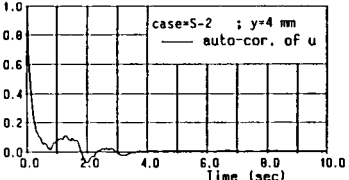


図 - 6 自己相関係数 (粗度)

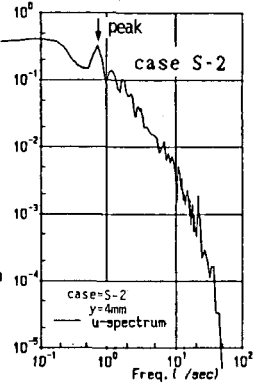


図 - 7 スペクトル波形 (粗度)

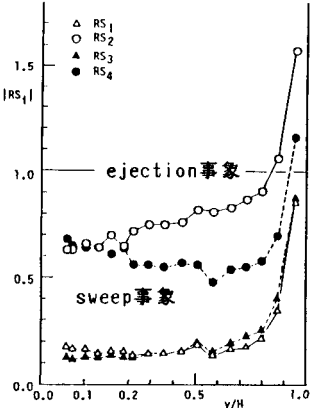


図 - 8 四象限区分による各事象の寄与率