

粗礫河床上の浮遊砂の運動特性と濃度分布形に関する研究

鳥取大学工学部 正員 道上 正規
鳥取大学工学部 正員 藤田 正治
岡山県庁 正員 〇北川 豊広
(株) きんでん 正員 加嶋 智博

1. はじめに 河床粗度と水深が同一スケールの場合、河床粗度が浮遊砂の流送に影響を及ぼすものと考えられる。本研究は、このような場の浮遊砂の濃度分布特性を実験的に検討する。ついで、流水中の浮遊粒子の運動特性をビデオ撮影によって考察し、その結果と浮遊砂の確率論的解析より、実験で得られた粗礫河床上の浮遊砂濃度分布特性を再現する。

2. 実験の概要 浮遊砂実験は、長さ15m、幅40cmの水路に平均粒径2.88cm、1.22cm、0.72cmの礫を河床に4層厚敷き、平均粒径0.17mm、比重2.65、沈降速度2.05cm/secの珪砂を水路上流端から給砂し、平衡浮遊砂濃度を測定した。実験条件を表1に表す。また、

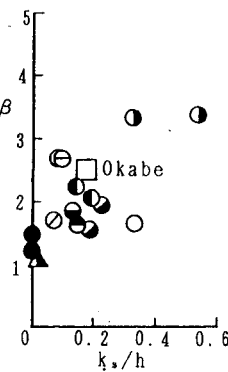
表1 実験表および β の表

同水路にて、平均粒径1.22 cmの粗礫を1層厚敷き、平均粒径1.42mm、比重1.05、沈降速度1.98cm/secのポリスチレン粒子を水路上流部から供給し、水路側面から 毎秒200コマで撮影可能な高速度ビデオカメラで粒子の挙動を撮影した。実験は水深2.56cm、摩擦速度5.27 cm/sec、勾配1/80の条件で行われた。

Run	礫 (cm)	水深 (cm)	勾配 i.	u. (cm/s)	流量 (l/s)	給砂量 (g/s)	粗度高さ k. (cm)	β	河床状態
1	2.82	2.05	1/84	4.60	4.41	40.15	0.190	2.67	河床波
2	2.82	5.90	1/82	7.36	16.50	37.15	1.122	1.58	粗面
3	1.22	2.49	1/78	5.27	4.41	12.57	0.840	1.69	粗面
4	1.22	2.05	1/75	4.72	4.41	37.15	0.214	2.69	河床波
5	1.22	2.20	1/235	2.87	2.17	0.02	0.725	3.77	粗面
6	1.22	4.77	1/144	5.12	9.32	11.67	0.933	2.06	粗面
7	1.22	5.58	1/82	7.30	16.50	40.73	0.836	1.64	粗面
8	0.72	2.11	1/79	4.85	4.41	12.61	0.282	1.88	粗面
9	0.72	1.91	1/79	4.66	4.41	40.40	0.135	1.71	小河床波
10	滑面	2.25	1/75	5.13	8.76	40.54	0.011	1.28	堆砂無

3. 濃度分布形 表1には

β (=砂の拡散係数/流体の渦動粘性係数) が示されているが、これは河床状態によって値の範囲が異なる。すなわち、河床が粗面状態では1.5~4、砂で覆われると1.8~3、滑面では1.3~1.5の範囲をとる。これより河床が粗面や砂で覆われると、礫や河床波の影響で



β は比較的大きくなること 図1 粗度高さと水深の比

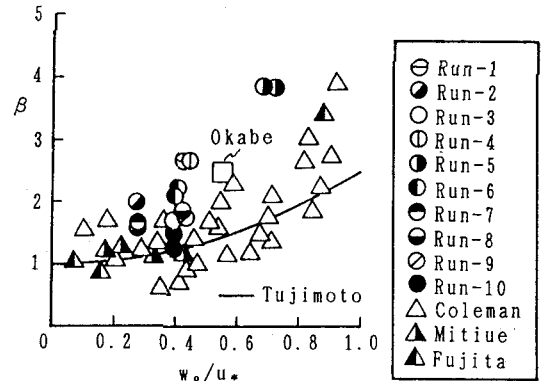


図2 沈降速度と摩擦速度の比

がわかる。次に、 β に影響を与える因子として、色々な水理量との関係を検討した結果、粗度高さと水深の比(図1)と細砂の沈降速度と摩擦速度の比(図2)の間に相関性がみられた。図1は相対粗度の増加とともに β が増加することを示している。また図2は従来のデータの傾向と同様に w_s/u_* の増加とともに β が増加するが、従来の値より若干大きくなっている。

4. 運動特性 粗礫河床上では、 β が従来の値より大きくなったが、これについて浮遊粒子をLagrange的解析から検討するために、まずその運動特性、すなわち離脱過程における鉛直方向の河床からの離脱速度 w_{p0} と最大浮上高さ Z 。(図3)について検討する。以下、図中の実線は計算値で、芦田・藤田の方法¹⁾を用いた。

(1) 離脱速度 図4に、縦軸に頻度と横軸に離脱速度 w_{p0} をとり、実験値を点線で表す。離脱速度の計算値と実験値を比較すると、頻度のピーク値が多少ずれているものの計算値は実験値の傾向をよく表しており、

再現性が良好と言えるが、計算では表現できないような大きな離脱速度が測定された。

(2) 最大浮上高さ 図5は縦軸を相対高、横軸を各高さに達した粒子の確率密度 $f(z/h)$ 、実験値を○で表す。実験値は水深の10~20%で最大値を取り、水面付近と河床付近は小さい。計算では最大浮上高さに至るまでの乱れの作用時間が重要となるが、図6に示すような軌跡から最大浮上高さに至るには、平均すると従来の作用時間 t_e ¹⁾の平均値の2倍程度の時間を要した。そこで、作用時間は t_e の2倍とした。

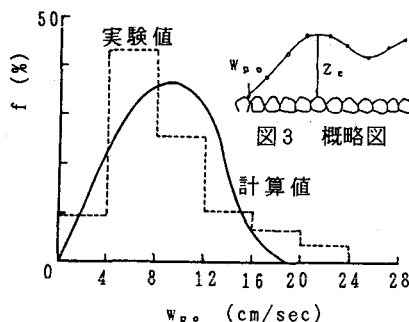


図4 離脱速度

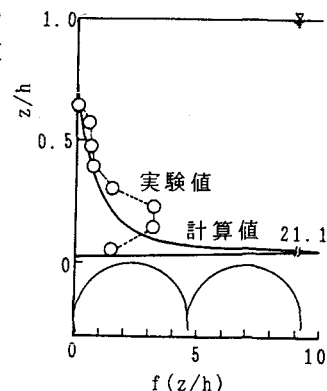


図5 最大浮上高さ

計算値と実験値を比較すると、水深中央はほぼ傾向を表しているが、河床付近は逆の傾向を示す。これは、計算では小さい初速度の粒子が河床付近に分布するが、実験ではそのような粒子が撮影されにくいためと考えられる。

5. 確率過程

確率的手法を用いて、実験で得られた濃度分布を再現する。縦軸に相対高さ、横軸に基準点濃度を水深の20%とした相対濃度とし、実験値を○で示す。図7(a)に任意断面を通過するポリスチレン粒子のカウンタ数から求めた濃度分布 および(b)に表1のRun5の実験値を示す。これに計算を適用する。図3に示すような粒子が河床から離脱後、時間ステップ δt の浮遊過程を経て河床に達するまでを考えるが、離脱過程の最大浮上高さを芦田・藤田の方法、それ以降をYalinの手法²⁾を用いた。鉛直方向の粒子の速度の標準偏差は本実験結果より摩擦速度の1.3倍とし、また乱れの作用時間の諸量(t_e および δt)をそれぞれ従来の値¹⁾を用いた結果を点線で表わす。両図とも計算値と実験値の開きが大きい。そこで、乱れの作用時間の諸量(t_e および δt)を従来のものの2倍とした時の計算結果を実線で表す。(a)は全体的に再現性に欠けるが、傾向は現れており、(b)は実験値をよく再現している。よって、実験値のRouse分布の β は3~4と大きい値をとるが、乱れの作用時間を従来の2倍とすると、確率手法で十分に実験値を再現することができた。

5. おわりに 最大浮上高さの河床付近の分布に差異があり、これは乱れの構造の影響が考えられる。それ故、河床付近の乱れの詳細な測定を要する。

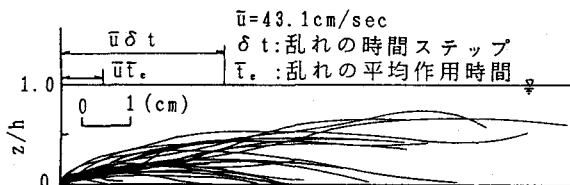


図6 ポリスチレン粒子の軌跡

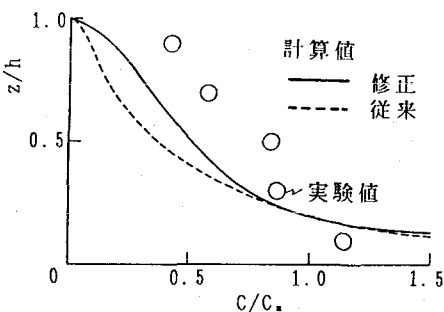


図7 濃度分布 (ポリスチレン粒子)

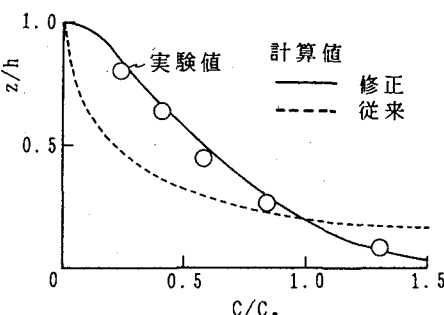


図7 濃度分布 (Run5)

参考文献 1) 芦田・藤田：平衡および非平衡浮遊砂量算定の確率モデル、土木学会論文集、第375号、pp.79~88、1986. 2) Yalin, M. S.: I. A. H. R., Int. symposium on river mechanics, 1973, A52-1-A52-12.