

流砂量に及ぼす粒子形状の影響

中央大学大学院
中央大学研究開発機構
中央大学研究開発機構

学生会員
正会員
フェロー

○田所 弾
福田 朝生
福岡 捷二

1. 序論

石礫河川の河床は、様々な大きさと形状の粒子から構成 されている。覆瓦構造は石礫河川特有の石礫の配置を示し、洪水時の河床安定には、粒度分布や河床粗度の影響だけでなく、石礫粒子の形状が大きく寄与している。数値シミュレーションにおいて粒子形状を組み込むことで、球とは異なる結果が得られることがわかっている^{例え ば 2)}が、例えば流砂量式を導く際には現象の単純化のため、粒子形状を球と仮定している。様々な形状を有する石礫河川の土砂移動問題を適切に理解するためには、形の効果をきちんと取り込んだ解析が行われなければならない。著者ら³⁾は数値移動床水路を用いて石礫粒子群と等価な粒度分布を持つ球粒子群を用いた数値実験を実施し、球群と石礫群の流砂量や運動機構に大きな違いが出ることを示している。しかしこの検討では球群と石礫群で実験条件は同じだが別々に実験を行っているため、単純に比較することができなかった。

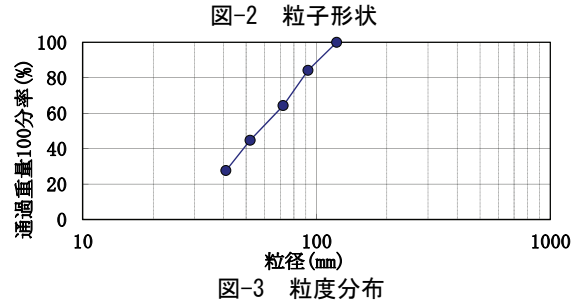
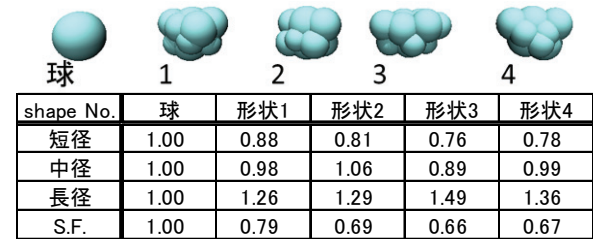
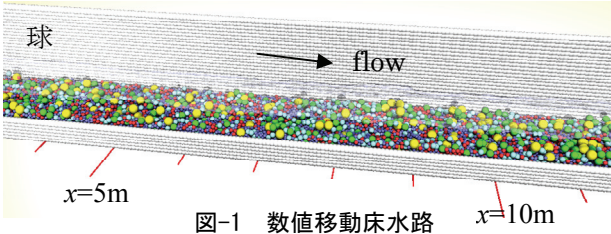
そこで本研究では異なる 4 種類の形状の石礫に等価な粒径を持つ球を混合させた数値実験を行い、これまで行われた球群と石礫群との形状毎の流砂量と比較をする。石礫群の中に球粒子が入ったことにより石礫群の運動にどのような影響を及ぼすのか等、多粒子群移動中の石礫形状の効果について検討する。

2. 数値移動床水路の概要

数値移動床水路（図-1 参照）での球群と等価な粒径の石礫群の混合実験での各粒径形状毎の流砂量を調べる。混合実験の粒子群は図-2 に示す 5 種類の粒子形状が図-3 に示す粒度分布（40 mm 青色、50 mm 赤色、70 mm 水色、90 mm 緑色、120 mm 黄色）となるように各形状を均等な数に設定した。石礫粒子の粒子径は同一体積の球の直径として定義している。上流端には 0.5 m³/s の一定流量を与えた。水路は全長 15m である。給砂は下流端を通過した粒子を同時刻に上流 $x = 1-2$ m の範囲にランダムに投下させる。本研究の数値解法は福田ら⁴⁾の解析法を用い、流れは Euler 的に、粒子は剛体として Lagrange 的に解析する。計算法の詳細は文献⁴⁾を参照されたい。

3. 形状と粒径毎の流砂量の比較

流砂量の計測は球及び石礫の実験では 100 秒間、混合実験では 37s 間とした。図-4 は水路 $x = 14$ m (下流端より 1m 上流) 断面を通過した各粒径形状毎の流砂量であり、表-1, 2 は全流砂量に占める各形状割合、図-5 は水路 $x = 14$ m を通過した単位時間当たりの個数を示したものである。球の数値実験での流砂量・流下粒子数は石礫 4 形状の結果と比較をするため、4 で割ったものを示している。どの実験においても大きい粒子ほど流砂量が大きくなる傾向が確認できる。球と石礫の別々に行った数値実験では、球の総流砂量は石礫の約 2 倍の値を示す (球の総流砂量は図-4-1 の球の 4 倍で示される)。しかし混合実験では球の流砂量の割合が減少し、石礫の流砂量の割合が増加していることがわかる。これは河床にある石礫粒子



のかみ合わせ効果により、球粒子は動きにくくなり、反対に石礫粒子は球粒子が入ったことによりかみ合わせ効果が弱まり、動きやすくなったためと考えられる。これより5形状での比較を行う。粒子形状を評価する方法は幾つかあるが、本文では粒子の三軸（短径・中径・長径）による Shape Factor を用いる。

$$S.F.=\frac{c}{\sqrt{ab}} \quad (1) \quad \text{a:長径, b:中径, c:短径}$$

S.F.は式 (1) により評価され、粒子形状が 1 に近いほど球形に近い。これで 5 形状を評価すると図-2 のようになり、石礫の中では形状 1 が球形に一番近い値で、その他は似かよった S.F.の値である。球と石礫の別々に行った数値実験では S.F.の値が大きい形状ほど全流砂量に占める割合が大きくなる傾向が見られたが、混合実験でも同様の傾向をみてとれる。しかし混合実験での形状 2 の 40mm 粒子の流下個数や形状 4 の 90mm 粒子が特異な値をとっている。これは実験での流砂の計測時間が短いことが原因と考えられる。図-6, 7 は混合実験での粒径毎の流砂量と流下粒子数の時間変化を示したものである。これより流砂量・流下粒子数ともに時間的に大きく変化することがわかる。流砂量の時間変化には黄色で示す 120mm 粒子が支配的である。10-20s に水路中流部で 120mm 粒子が集団となって堆積し、それが上流から流送されてきた粒子の衝突と水流の影響で動きだすため、30s 付近において流砂量の増加がみられる。流砂量は水流中の粒子群の様々な現象が積分された結果であり、粒子自身の形状だけでなく周りにある粒子群の影響も受けるため、河床組成等と合わせて時間的な変化に対する流砂量の変化を把握する必要性が推測される。

4. 結論

球と石礫別々に行っていた数値実験に比べて両者の混合数値実験では球の流砂量の割合は減少し、石礫の流砂量の割合は増大する。各数値実験において S.F.の値が 1 に近い粒子ほど流れやすい傾向がある。粒子運動は粒子自身の形状だけでなく周りにある粒子群の影響も受けるため、粒子単体ではなく、粒子群として形状を評価することが必要である。今後は流砂量に影響を及ぼす河床組成、粒子の移動速度や step-length, 粒子に加わる力に着目して検討を進めていくことを考えている。

参考文献

1) Milan, David, J. J., Heritage, G.L., Large, Andres. R. G. and Brunson, C. F., Sedimentary Geology, No. 129, pp.85-100, 1999. 2) Matsushima, T., Katagiri, J., Uesugi, K., Tsuchiyama, A. and Nakano, T., J.Aerospace Engineering, Vol. 22, No. 1, pp. 15-23, 2009. 3) 田所 弾, 福田朝生, 福岡捷二, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.70, No.4, pp.I_961- I_966, 2014. 4) 福田朝生, 福岡捷二, 内田龍彦, 土木学会論文集 B1 (水工学) Vol.69, No.4, pp.I_1051- I_1056, 2013.

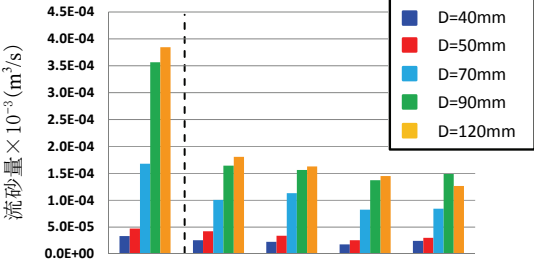


図-4-1 球・石礫それぞれでの流砂量

表-1 球・石礫それぞれでの流砂量の割合

shape.No.	球	形状1	形状2	形状3	形状4
流砂量	0.35	0.18	0.17	0.15	0.15

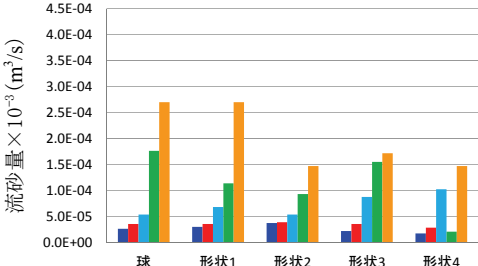


図-4-2 球・石礫混合状態での流砂量

表-2 球・石礫混合状態での流砂量の割合

shape.No.	球	形状1	形状2	形状3	形状4
流砂量	0.25	0.23	0.17	0.21	0.14

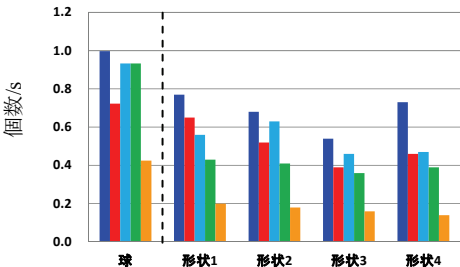


図-5-1 球・石礫それぞれでの流下粒子数

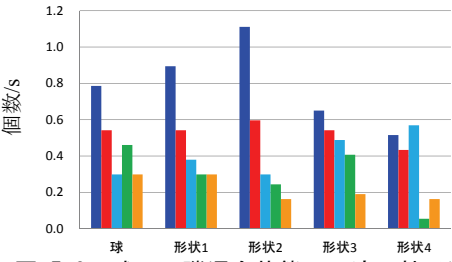


図-5-2 球・石礫混合状態での流下粒子数

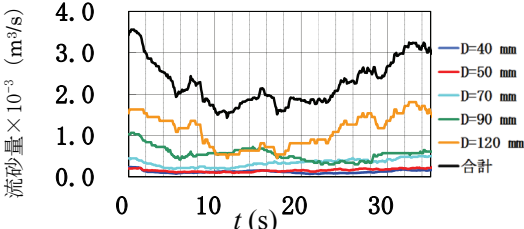


図-6 球・石礫混合実験での流砂量の時間変化

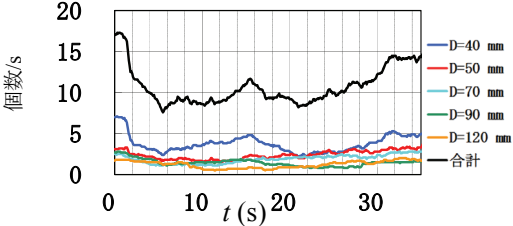


図-7 球・石礫混合実験での流下粒子数の時間変化