

動的平衡河床における表層砂の粒度変化

愛媛大学工学部 正 員 鈴木幸一
愛媛大学大学院 学正員 羽野敦之
愛媛大学大学院 学正員 瀨川利明

1.はじめに

流砂の動的平衡状態においても河床表層砂が粗粒化する現象が生じることが最近明らかになってきているが、本研究では掃流力あるいは流砂量の異なる場合に河床表層砂の粒度がどのように変化するかを実験的に検討するとともにその粒度変化機構について考察する。

2.実験の概要と実験結果

実験は幅 15cm 長さ 7m のアクリル製の矩形断面水路を用い、平均粒径 0.39cm、標準偏差 3.0 の混合砂を水路に 5cm 厚で敷き詰め、勾配、流量を種々に設定し、給砂は上流端にあるエレベータ式給砂装置を用い平衡状態になるまで通水した。つぎに河床を乱さないように下流端を堰上げて通水を止め排水した後、河床表層砂を最大粒径程度 (2cm) の厚さで 1m ピッチで 6 地点から採取した。実験条件と実験結果の一部を表-1 に示している。ここで、 I は水路勾配、 h は水深、 u は水の流速、 u^* は摩擦速度、 qs は単位幅当たりの流砂量、 dms は河床表層砂の平均粒径、 dmo は流砂の平均粒径である。掃流力が比較的小さい Run1~6 では河床表層砂の粗粒化が生じており、掃流力の比較的大きな Run8~10 では河床表層砂の細粒化が起こっている。図-1 に一例として Run2 および Run9 の河床表層砂の粒径加積曲線を給砂の粒径加積曲線とともに示している。図-2 は河床表層砂の平均粒径 dms を給砂(母床砂≒流出砂)の平均粒径 dmo で無次元化した $\xi_m (=dms/dmo)$ と無次元掃流力 $\psi_o (=hI/sdmo)$ の関係を示したものである。本実験データは $\bullet$ で示され、 $\circ$ 、 $\bigcirc$ は鈴木ら^{1), 2)}のデータである。いま、給砂の標準偏差 σ_o を混合度を表す指標と考えると、 $\sigma_o=1$ (均一砂) の場合は $\xi_m=1$ であり σ_o が 1 より大きくなるにつれて ξ_m は 1 からのずれが大きくなると考えられる。図中の $\circ$ 印と $\bullet$ 印が $\sigma_o=3$ のデータで $\bigcirc$ 印は $\sigma_o=2.7$ のデータである。 $\sigma_o=3$ としてこれらの回帰曲線を $\sigma_o=1$ で $\xi_m=1$ を考慮して求めると

表-1 実験条件と結果

Run No.	I	h (cm)	u (cm/s)	u^* (cm/s)	qs (cm ² /s)	dms (cm)	dmo (cm)
1	0.0114	6.18	80.91	8.309	0.516	0.424	0.411
2	0.0123	5.37	74.49	8.045	0.401	0.536	0.381
3	0.0129	5.70	70.18	8.489	0.261	0.545	0.365
4	0.0109	6.70	82.09	8.460	0.488	0.454	0.389
5	0.0117	5.18	70.85	7.707	0.393	0.472	0.370
6	0.0153	4.52	77.43	8.232	0.617	0.523	0.388
7	0.0197	4.68	74.79	9.505	1.758	0.386	0.366
8	0.0189	4.50	88.89	9.130	1.982	0.314	0.420
9	0.0183	5.33	103.19	9.777	3.029	0.274	0.387
10	0.0200	5.65	106.19	10.523	2.578	0.322	0.390

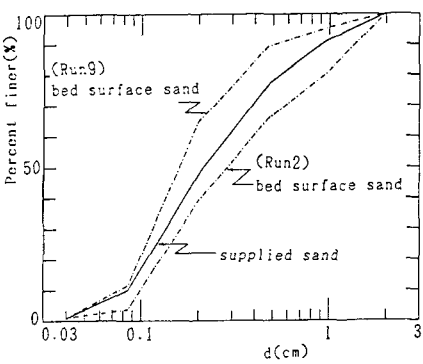


図-1 河床表層砂の粒度分布

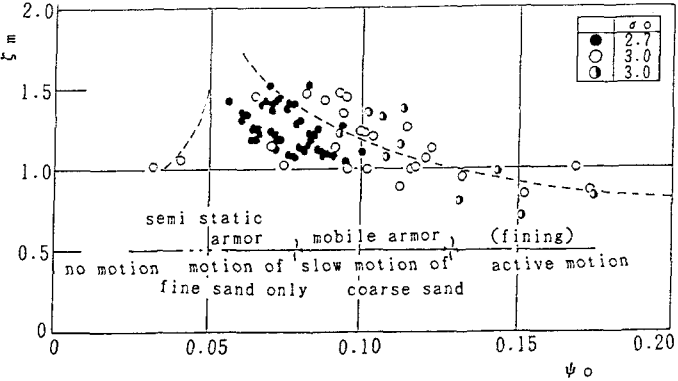


図-2 ψ_o と ξ_m の関係

$$\xi_m = 1 + 0.3(\sigma_0 - 1)(0.13/\psi_0 - 1) \quad (1)$$

が得られる。 ψ_0 が 0.15 程度と大きい場合粗砂も細砂も活発に移動しているが、このとき、河床表層砂は細粒化している。一方、 ψ_0 が 0.10 程度では粗砂の動きが緩慢であり、河床表層砂は粗粒化している。そして ψ_0 がそれよりもさらに小さくなると細砂のみが動いているような状態でも粗粒化している。

3. 河床表層砂の粒度変化機構に関する考察

実験時の観察に基づき河床表層砂の粒度変化機構を定性的に説明する。

(a) 平衡流砂静的粗粒化 ($\sim 0.05 < \psi_0 < \sim 0.08$)

掃流力が比較的小さく細砂のみが動いている流砂の平衡状態では、図-3(a) に示すように移動している細砂が停止あるいは揺動している粗砂の下部空間に潜り込む。そして、その潜り込んだ分だけ河床表層砂が粗粒化することになり、細砂の流砂量も減少する。図-2 の●で示すデータは主としてこのような粗粒化現象を示している。この場合の移動層厚 δ は移動している細砂の粒径程度である。

(b) 平衡流砂動的粗粒化 ($\sim 0.08 < \psi_0 < \sim 0.13$)

次に、図-3(b) に示すように粗砂も動いているがその移動がさほど活発でない掃流力状態では Parker³⁾ が pavement と呼んだ河床表層砂の粗粒化が生じる。この場合には細砂の方が粗砂よりも移動しやすいいわゆる選択輸送が行われている。粗細砂の選択輸送が生じていて全粒径の流砂が平衡であるためには、河床表層砂の粗砂の存在率が大きくなっているすなわち粗粒化している必要がある。また、この時の移動層厚 δ は最大砂粒径程度である。

(c) 平衡流砂動的細粒化 ($\sim 0.13 < \psi_0$)

掃流力がさらに大きくなり粗砂も細砂も活発に動いている状態では、粗砂が移動した後の空隙に細砂が入り込み、図-3(c) に示すように粗砂が細砂の上に突出し細砂の上を滑るように移動する。そのため突出した分だけ強い流体力を受け粗砂の方が細砂よりはるかに速く流送される。その結果、粗細砂各々の流砂量の平衡状態を保つため河床表層砂が細粒化する。このことは池田ら⁴⁾の大小2粒径混合砂を用いた実験でも確かめられており、粗砂の突出効果と減摩効果と名付けられている。この時の移動層厚 δ は最大砂粒径より大きくなっているとみなせる。

4. おわりに

掃流力の変化によって河床砂の存在の仕方が変化（突出度が変化）することがわかったが、この河床砂の突出度によって砂に作用する掃流力の違いに適応した粒径の流砂量に基づく河床表層砂粒度組成変化のモデル解析が必要である。

参考文献：

- 1) Suzuki, K. et al.: Proc. Int. Workshop on Fluvial Hydraulics of Mountain Regions, pp. C.47~58, 1989.
- 2) 道上正規・鈴木幸一：土木学会論文報告集, 第399号/I-10, pp. 95~104, 1988.
- 3) Parker, G.: Jour. of Hydraulic Research, Vol. 28, No. 4, pp. 417~436, 1990.
- 4) 池田宏：筑波大学水理実験センター報告, No. 8, pp. 1~15, 1984.

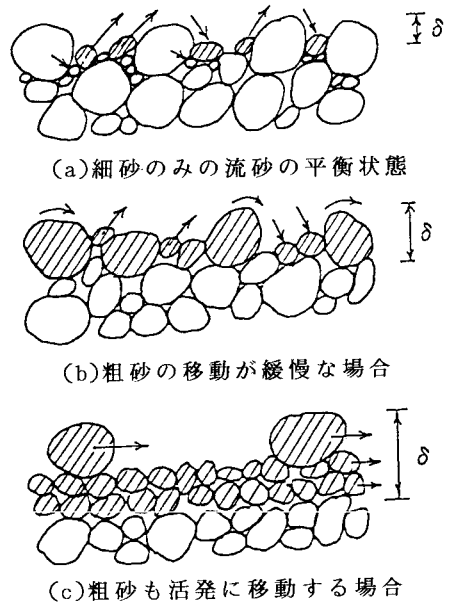


図-3 河床表層砂の状態
(移動砂を斜線で示す)
 δ : 移動層厚