

II-8 石炭粉の流送特性について

建設省土木研究所 正員 山口高志

正員 松田芳夫

1. はじめに 河川下流部など勾配の小さい移動床模型実験においては河床材料として普通の砂を用いたのでは掃流力の不足の為河床変化を起させるのが困難であるので比重の小さい材料として石炭粉を使用することがしばしばあるが、石炭粉の流送特性は現在不明確な状態であるので模型実験の結果の解釈は定性的な範囲に留まらざるを得ない。本実験の意図するところは流砂現象としての石炭粉の特性を調べ、合理的な相似律の導出、模型実験結果の定量的解釈、より正しい水理模型の設計へ近づくことである。

2. 石炭粉の性質 我々の使用する石炭粉は採炭の際に生ずる微粉が洗炭水により分離されて沈澱池に堆積したものである。密度は炭素分の多い普通のものでは $\rho=1.5$ 前後であり砂の $\rho=2.65$ と比して水中比重において3倍程度軽い。粒子形状は砂とは異なり塊状のもの他にうろこ状の薄片が同程度ある。個々の粒子形状は非常に不規則なので静水中での沈降速度はふるい目粒径の等しい粒子でもバラツキは大きくかつ形状特性の効果が大きい。図-1に示すように砂粒と比して形状の影響が強くなることがわかる。

3. 実験概要 長さ30m中1mの内面モルタル仕上げの水路に石炭粉を厚さ約15cmに敷き、上流端にて所定の割合にて石炭粉を補給しながら一定流量を流す。実験は給砂量と排出砂量とがバランスし流れが平衡状態に達したと思われる時間(4~10時間)続ける。測定項目は水位、流速分布、浮遊砂濃度分布、流砂量(浮遊砂および掃流砂を含む)である。浮遊砂濃度は断面 20×3 の矩形パイプを流れに入れサイホンにより流水ごと浮遊砂を採取して測る。全流砂量は水路下流端にて合成樹脂製の網にて採集する。材料として用いた石炭粉は二種あり図-2に示すような粒度組成を有するものである。実験の諸元は表-1に示す通りである。

通水後の水路床形状は一種石炭粉についてはいずれの場合も波長30cm波高2~3cm前後の凹凸の激しい砂れんが水路床一面に生じるが二種石炭粉については細かい凹凸は出来ず波長1m前後、高さ5cmの砂堆のくり返し認められる。時間水位記録を見てても一種石炭粉については水位変動は認められないが、二種石炭粉については実験中に上流から水位の高い地帯が時々現われ0.5 m/min.程度の速度で下流へ進行するのがわかる。これは砂堆が上流から下流へ移動して行く事を意味するものと思われる。

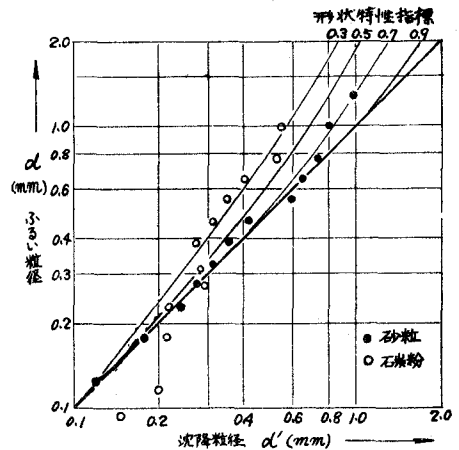


図-1 石炭粉および砂のふるい粒径と沈降粒径の関係

	d_{65}	d_{50}
※一種	0.285	0.250 (mm)
※二種	0.560	0.530

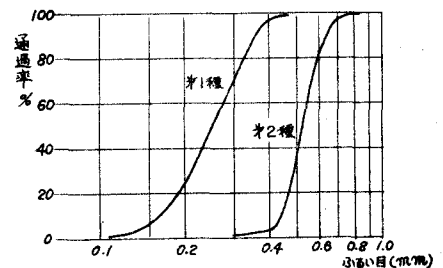


図-2 実験に用いた石炭粉の粒度分布

尺数の大きい実験では河床表面は滑らかであり浅い窪みが突出する程度である。

4. 流砂量の検討 流砂量についての検討の第一段階として既往の流砂量公式を使い本実験の水理条件を与えて計算を行い実験値と比較した。このとき石炭粉の沈降速度は形状特性の効果が大きいので実験値を用いた。混合粒径として Einstein 公式を適用すると浮遊および掃流の全流砂量は単一種石炭粉に対しては計算値は実験値の $1/10 \sim 1/1000$ 程度の非常に小さい値となる。これは細かい粒径の粒子に対して遮蔽係数 α が大きくなりすぎる事によるものである。単二種石炭粉に対しては計算値はやはり小さいがその実験値との割合は $1/10 \sim 1/1$ 程度であり、やや満足すべき値を与える。これは図-2 に見られるように二種石炭の粒度分布が狭い範囲でありほとんど均一粒径と見做せるのでその効果が現われなかった為と考えられる。

その影響を除くため一種については $\alpha = \alpha_m = 0.285$, 二種は同じく 0.560 の均一粒径のものとして計算を行うと混合粒径の場合の Einstein 式ほど程度はひどくないが実験値 q_{To} は計算値 q_{TE} より図-3 に見る通りかなり大きい。大略、計算値は実験値の $1/3 \sim 1/4$ 程度である。この場合 q_{To} の q_{TE} に対する比は無秩序ではなく図-4 に示すように粗度係数 n との間に相関が認められる。 n が大きくなると q_{To}/q_{TE} も大きくなり n が 0.01 程度の小さい値をとるときは $q_{To} \sim q_{TE}$ という結果を得る。

5. 浮遊砂について 一種石炭粉については浮遊砂の濃度分布は Z の値を適当に定めてやると $C/C_a = \left(\frac{R-Z}{x} \cdot \frac{a}{x-a} \right)^2$ という Rouse の式が成立するように見える。しかし一種の場合河床に砂れんの発達が悪く浮遊砂濃度は時間的にも場所的にも変化するものでこの事実が瞬間瞬間に成り立つとは考えられず、かなり長い時間に関して平均的に意味を持つのであろう。二種石炭粉においては粒径が粗いので一般に浮遊砂は少なくかつ不規則に河床からまき上るよう浮遊させるので測定された濃度分布はムラが多く一定の傾向は今のところ認められない。

6. 結び 石炭粉の流砂量は混合粒径の場合にも均一粒径と見なして Einstein 公式を使ってほぼ満足すべき結果を得るがそのまゝでは砂れんによる粗度の補正が不十分である。混合粒径としたまま Einstein 式を使っても無意味である。実験を重ねて n と q_{To}/q_{TE} の関係を確認しておけば石炭粉の流砂量は計算により求められる事になる。

NO	流量	混合粒径	流速	n	F_r
1	20	2	0.00138	0.042	0.18
2	20	2	0.00113	0.025	0.28
3	30	4	0.00028	28.6	0.35
4	20	4	0.00075	22.6	0.23
5	20	8	0.00163	25.6	0.28
6	30	16	0.00085	38.3	0.44
7	20	12	0.00176	23.7	0.33
8	30	12	0.00062	39.4	0.46
9	40	12	0.00104	29.4	0.27
10	50	8	0.00063	28.8	0.25
11	30	4	0.00111	27.0	0.27
12	20	12	0.00234	31.7	0.23
13	40	16	0.00155	33.9	0.24
14	40	4	0.00119	34.2	0.23
15	50	12	0.00123	37.3	0.23
16	25	16	0.00231	48.1	0.13

表-1 実験諸元

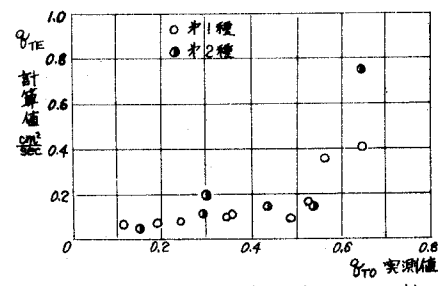


図-3 流砂量の計算値と実験値の比較

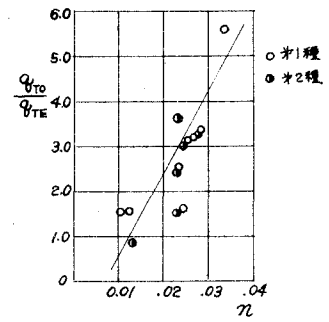


図-4 流砂量の計算値と n との関係