

掃流砂の運動特性量の推定に関する実験的検討

京都大学工学部 正員 中川 博次
 京都大学工学部 正員 辻本 雅郎
 建設省 正員 ○宮本 博司

1. まえがき 従来、流砂機構に関して多くの考え方が発表されているが、それらの考え方に基づいて流砂量式は流砂の非平衡状態など実際現象に適用するには、いまだ不十分であり、個々の流砂特性量等を力学的により明確にするための検討が必要である。ここではEinsteinのモデルの特性量の一つである step length に注目し、その力学的説明を試み、さらに実験的検証によって、このモデルの問題点を明示する。

2. step length の計算方法 河床上を移動する砂粒は、水流に乱れがない場合は、河床面の凹凸によって運動が支配され、平均移動距離 $\bar{x}$ (以後 base step length と呼ぶ) で停止する。しかし水流の乱れは本来停止すべき砂粒を確率 p_0 で移動させ続けるため、平均 step length $\bar{L}$ は、結局、

$$\bar{L} = \bar{x} / (1 - p_0) \quad (1)$$

と与えられる。いま河床面が図-1に示されるような粒径間隔にその高さがある分布を持つ障害物が存在する平板によって表現できると考え、一方砂粒の移動距離と移動速度との関係および水中において球が非弾性衝突して障害物を乗り越えるための限界移動速度と障害物高さとの関係を用いると、距離 x_n を移動した後、河床面上の障害物を乗り越える確率 $1 - P_{stop}(x_n)$ を計算することが出来る。その結果を用いて $\bar{x}$ は次式で与えられる。

$$\bar{x} = \sum_{n=1}^{\infty} x_n P(x_n) \quad (2)$$

ここで $P(x_n)$ は砂粒が x_n まで移動してきてその地点で停止する確率であり、先に求められる $P_{stop}(x_n)$ と次式の関係がある。

$$P(x_n) = P_{stop}(x_n) \cdot \prod_{j=1}^{n-1} \{1 - P_{stop}(x_j)\} \quad (3)$$

以上の計算手法の流れ図は図-2に示される。なお計算に際しては、砂粒の運動形式は滑動とし、その摩擦係数を0.4とした。また河床面凹凸については固定床、移動床の両方について測定した結果、それぞれ平均値 $\bar{H}/d = 0.125$, 変動係数0.673; $\bar{H}/d = 0.355$, 変動係数1.02 ($\bar{H}$ は凹凸の山と谷の高さの差の平均値で添字F, Aはそれぞれ固定床, 移動床での値を示す)の対数正規分布で表わされることがわかり、上の計算に用いた。計算された平均 base step length $\bar{x}$ と無次元せん断応力 τ_* との関係を図3に示した。

次に p_0 の評価については、まず静水中で斜面を転動してきたガラスビーズ(径 d)がワイヤー(径 b)で停止する確率 p_d と移動速度 v との関係を図4に示した。図中 v_b は水中での非弾性

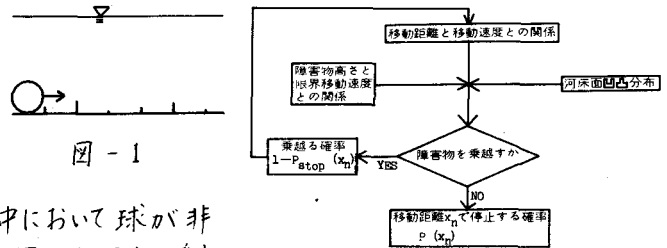


図 - 2

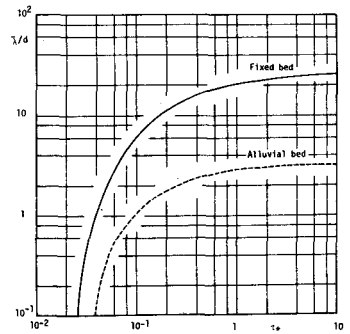


図 - 3

衝突の際、粒径 d の球の高さ h の障害物を乗り越すために必要な限界移動速度の理論値である。これより静水中では理論によって得られる挙動が実験結果と一致していることがわかる。一方、開水路流中で行った同様の実験結果が図5に示してある。この場合 τ_* が大きくなると移動限界速度より小さい移動速度でワイヤーを乗り越すことがわかる。静水中および開水路流中の実験結果を比較することにより P_0 を評価することができ、これによって得られる P_0 と τ_* との関係を図6に示した。

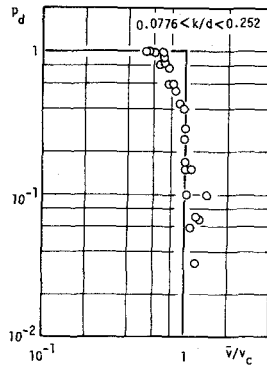


図 - 4

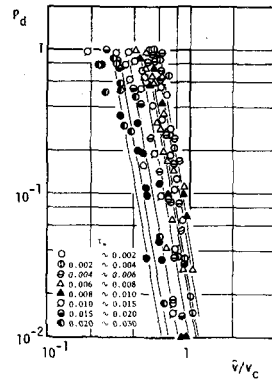


図 - 5

3. 結果の考察 以上求めた τ_* と P_0 より(1)式を用いて Γ が計算でき固定床での τ_* との関係を図7の実線で示した。図中には実験値が示してあり、求めた step lengthは固定床ではその実験値をよく説明することがわかる。一方移動床については掃流砂現象を16mm高速度撮影してフィルムを解析し、図8に単位時間単位面積当りの砂粒停止率 P_d を $\sqrt{(10\phi - 1)g/d}$ で無次元化した P_{d*} と単位幅当り流砂量 q_B を $\sqrt{(10\phi - 1)gd}$ で無次元化した q_{B*} との関係を示した。平衡状態では

$$q_{B*} = A_2/A_1 \cdot \Gamma/d \cdot P_{d*} \quad (4)$$

(A_2, A_1 はそれぞれ面積および体積に関する形状係数)

の関係が成立し、図より $\Gamma/d = 33.3$ となる。図には τ_* が異なる実験を一括して示してあることから、 Γ は τ_* にはほとんど依存せず一定であると見なせる。しかしこの結果は上で示した考え方に基いて計算では説明することができない。これは移動床では移動砂粒間の相互干渉や移動砂粒と河床砂粒との交換、さらにそれに伴う流れの変化など非常に複雑な様相を示すためであると考えられる。今後実際の移動床現象、とくに非平衡な状態に適用することの出来る流砂法則を見出すためには移動床での詳細な流砂の挙動の観察のほか、必要な量がいろいろな条件のもとで適確に計測できる実験方法の開発、実験条件の設定の工夫が必要であると考えられる。

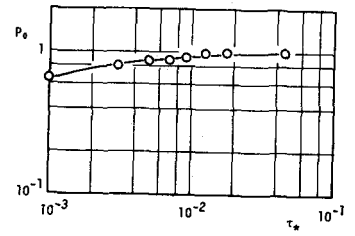


図 - 6

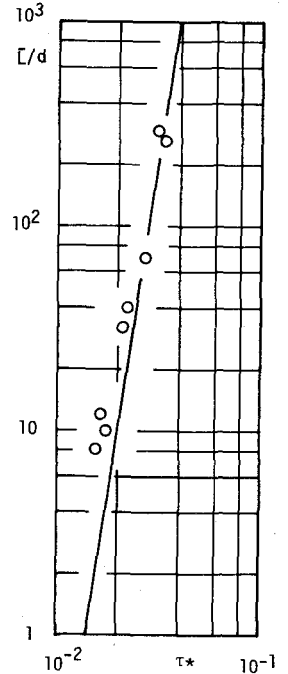


図 - 7

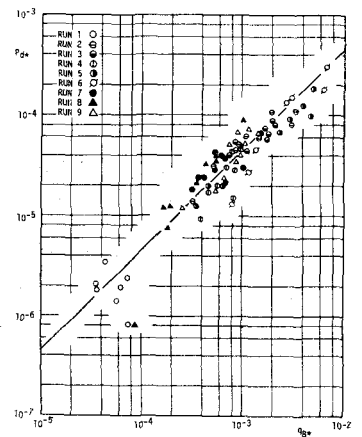


図 - 8