

アーマールコートの形成・破壊を伴う流砂機構

京都大学防災研究所 正員 芦田 和男

京都大学大学院 学生員 藤田 正治

京都大学大学院 学生員 向井 健

京都大学工学部 学生員 〇藤坂 賢治

1. はじめに 山地からの流出土砂量を算定するためには、アーマールコートの形成・破壊に伴う流砂機構を解明する必要があるが、一般に河床材料には多量の微細砂が含まれており、河床からの浮遊砂の流出機構を明確にすることが重要である。そこで本研究では、二粒径混合砂を用いた詳細な実験より、このような過程における浮遊砂の流出機構について検討するとともに、非平衡浮遊砂量式を提示してこの過程のシミュレーションを行った。

2. 実験的検討 実験水路は、長さ8m、幅30cm、勾配0.00813で、上下流端は固定床である。河床には、図-1に示すような粒度分布の粗砂Aと細砂Bを約7:4の割合で混合したC砂を、下流端から5.5mの範囲に一様に敷いた。実験では、単位幅流量を、図-2に示すように8=57.0, 122.3, 151.6 cm²/sの3段階に変化させ、河床位、水位下流端の全流砂量、浮遊砂量の測定を行った。なお、上流からの給砂は行なわない。この条件では、120分まではアーマールコートが形成され、それ以降ではそれが破壊される。浮遊砂は、上流端から0.5, 1.5, 3.5, 5.5mの地点で直径0.75cmのサイフォンを用いて採取し、ラウスの濃度分布則から各断面での浮遊砂量を算定した。

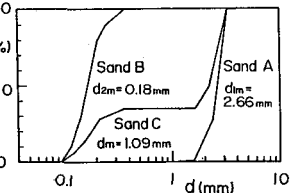


図-1 粒度分布

図-2は、 $X=5.5m$ の地点の浮遊砂量 q_s と粗砂の掃流砂量 q_{b1} の時間的变化を、図-3(a)(b)は q_s の縦断分布の時間的变化を示したものである。アーマールコート形成時では、浮遊砂として発生し得る細砂は限られるので、アーマールコートは上流から急速に進行し、浮遊砂量も同様に急減する。アーマールコート破壊時では、粗砂の間隙からだけではなく、部分的に破壊されたアーマールコートの下層からも浮遊砂が発生する。そのため、破壊後 q_s は急激に増加するが、勾配が緩くなり粗砂が動かなくなるにつれて、徐々に減少する。これは、 q_s と q_{b1} の流出時間がほぼ一致していることからわかる。図-4は、河床に埋め込まれた粒子(粒径14mm,比重1.05)がアーマールコート破壊後も残留している確率から浮上確率 P_f の鉛直分布を求めたものであり、 z_x が大きくなると粗砂粒径 d_m の2~2.5倍の深さからかなりの粒子が浮上していることがわかる。このようにアーマールコート破壊時では、表層より下の層からの浮上量の算定と破壊部分の面積割合が重要である。

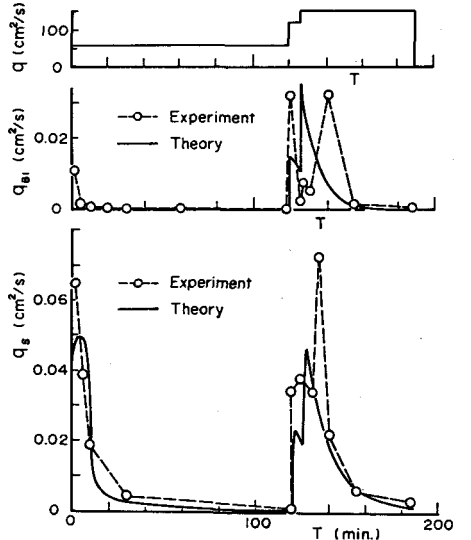


図-2 流量, T流端粗砂掃流砂量, 浮遊砂量

3. 非平衡浮遊砂量式と河床への沈降量 座標系は上流端を原点とし、流下方向にX軸 Kazuo ASHIDA, Masaharu FUJITA, Ken MUKAI, Kenji FUJISAKA

をとる。時刻 t に x 地点から浮上した粒子が時刻 T に X 地点まで搬送されるとすると、時刻 T , X 地点での浮遊砂量, 沈降量は

$$P_s(X, T) = \int_{x_{min}}^X P_u(x, t) f_s(x, t, T-t) dx \quad (1)$$

$$P_d(X, T) = \int_{x_{min}}^X P_u(x, t) \left(-\frac{df_s(x, t, T-t)}{dx} \right) dx \quad (2)$$

である。ここに、 $P_u(x, t)$: 時刻 t , x 地点での浮上率, $f_s(x, t, T-t)$: 時刻 T , x 地点で浮上した粒子が $(T-t)$ 時間浮遊し続ける確率, $x_{min} = \max(0, X - \bar{u}_s T)$, $\bar{u}_s$: 粒子の流下方向の平均速度で平均流速と等しいとする。 P_u ,

f_s は芦田らの研究より計算されるが、ここでは、 f_s は粒子の鉛直方向の速度を $W_p = W_f - W_o$ で表わした近似式で計算する。ここに、 W_f : 鉛直方向の乱れ速度, W_o : 沈降速度である。

4. アーマーコートの形成・破壊過程のシミュレーション

実験結果

を参考にして、河床粒子の混合層厚を粗砂の平均粒径 d_{im} を1つの層厚とする二層で与え、二層間での混合量はないものとして図-5に示すような粒子の交換モデルを考える。表層および第二層からの粒径階 i の粒子の浮上率は、粗砂が移動している部分の面積割合を S_o とすると、それぞれ $(1-S_o)P_{ui}$, $S_o P_{uzi}$ で求められ、全浮上率は $P_{ui} = (1-S_o)P_{ui} + S_o P_{uzi}$ で算定される。 S_o は、単位面積当たりの粗砂に対する移動している粗砂の個数の比に比例するとし、芦田・道上の掃流砂量式と粒子の移動速度の式を用いると、 $S_o = 3Q_s P_{ii} (Z_o - Z_{*ci})$ を得る。ここに、 Q_s : 比例定数, P_{ii} : 表層における粗砂の割合, Z_{*ci} : 粗砂の無次元限界掃流力である。ここで、擬似等流の仮定のもとに抵抗則に對数則、掃流砂量式に芦田・道上の式、粒径別限界掃流力にEgiazaroffの式、浮遊砂量式に(1)式を用い、また本粒子交換モデルから粒度分布や河床位の時間的変化を解析すれば、アーマーコートの形成・破壊過程における流砂量や河床変動が数値計算できる。計算条件は、相当粗度高を平均粒径の2倍、平均粒径に対する無次元掃流力を0.042、空隙率を0.4, $Q_s = 5$ とし、計算方法は差分法を用い、差分間隔は $\Delta X = 10 \text{ cm}$, $\Delta t = \Delta X / \bar{u}_s$ とした。本実験のシミュレーション結果として、下流端での q_s と q_d の計算値を図2, 3(a)(b)に示す。理論値は実験値の傾向をだいたい表わしており、以上の手法でアーマーコートの形成・破壊過程が解析できることが示唆される。

5. あとがき 本研究では、非平衡浮遊砂量の算定をもとに、アーマーコートの形成・破壊を伴う流砂機構について考察した。今後の課題として、河床砂が連続粒径の場合の本理論の適用、掃流力が大きいときの混合層厚や浮上率の鉛直分布などについての検討が必要である。

<参考文献> 1) 芦田ら; 河床砂礫の浮上率, 関西支部年講, 1985(投稿予定)

2) 芦田ら; 粒子の浮遊運動と河床付近の流れ, 京大防災研年報第27号B-2, 昭59

3) 芦田・道上; 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集第206号, 昭47

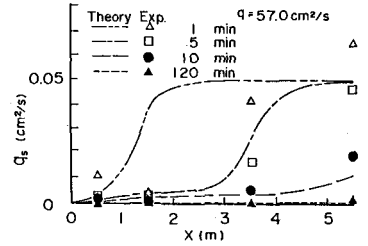


図-3(a) 浮遊砂の縦断分布

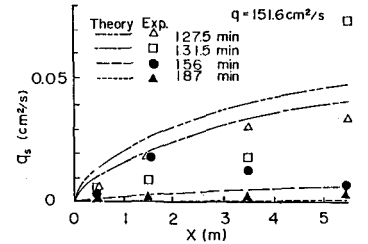


図-3(b) 浮遊砂の縦断分布

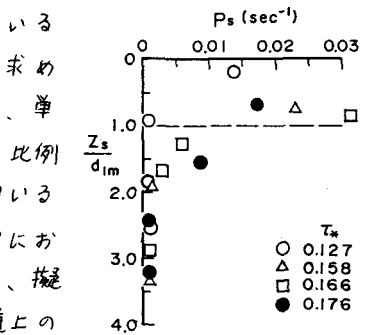


図-4 浮上率の鉛直分布

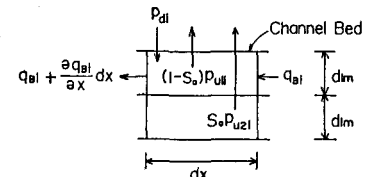


図-5 粒子の交換モデル