

砂れきの掃流に影響を及ぼす河床粒度構成の特性

京都大学工学部 正員 中川 博次
 京都大学工学部 正員 辻本 哲郎
 京都大学大学院 学生員 ○中野 晋
 京都大学大学院 学生員 加賀田 健司

1. まえがき 混合砂礫床の流砂問題に関しては、粒径による流送特性が異なり、必然的に非平衡状況が出現し、その結果、河床粒度構成の場所的・時間的変化が見られること、また混合砂礫床上の流れに対する粒度特性も充分明らかでないことなど、粒度構成と関連させて解明すべき点が多く残されている。そこで本報ではこうした問題に対して必須となる混合砂礫床面の物理的性質を、混合砂自体の粒度構成の性状と関連させて検討した結果について述べる。

2. 混合砂礫の粒度構成の基本的性質 混合砂礫床面の物理的性質、混合砂礫の流送、粗粒化の解析に当っては下表に示す分布が頻用され、まずこれらの

対象試料	基準	分布	μ.d.f.	中央粒径	平均粒径	測定法
基本試料	weight basis	基本重量分布	$p(d)$	d_{50}	d_m	一般の篩分け試験
表面露出試料	number basis	表面露出面数分布	$\hat{p}(d)$	$\hat{d}_{50}$	$\hat{d}_m$	写真判定法
	weight basis	表面露出重量分布	$\hat{p}(d)$	$\hat{d}_{50}$	$\hat{d}_m$	層積式採り篩分試験

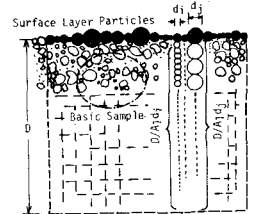


図-1 参考図

間の関係を把握することが必要である。図-1を参考に次のような変換式が導かれ、とくに基本重量分布(重量分布と体積分布は同値とみなせる)は各粒径の砂の表面での露出面積占有率を表わすことが明らかにされた。

$$\hat{p}(d) = \{p(d)/d^3\} / \int_a^b \{p(\eta)/\eta^3\} d\eta, \quad \hat{p}(d) = \hat{p}(d) \cdot d^3 / \int_a^b \hat{p}(\eta) \eta^3 d\eta \quad (1)$$
 ここで a, b はそれぞれ最小、最大粒径である。これを実測データで検討した例が図-2で、この程度の粒径では写真判定による $\hat{p}(d)$ は精度が良いが、 $\hat{p}(d)$ は一層掻き採りの困難さのため精度が悪くなっている。

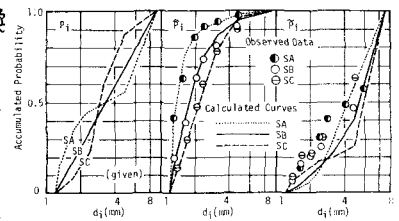


図-2 粒度分布の実測例

3. いくつかの粒度分布に対する基本特性の検討 混合砂の粒度分布性状によって平均粒径と中央粒径の関係など基本的な特性が変化することが推定され、ここでは典型的ないくつかの例に対して検討を行った。粒度分布は通常片対数紙上に累積確率表示され、その形を対象に典型例を調べた。すなわち分布の対称性、粗砂分または細砂分の分布のひろがり等に注目した。なお $\sigma_g \equiv \sqrt{d_{84}/d_{16}}$ とする。

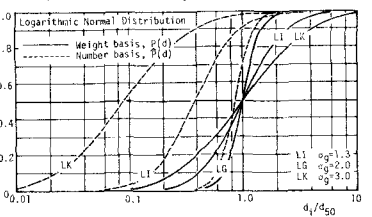


図-3 対数正規型分布

まず対数正規分布の場合(図-3参照),

$$p(\eta)d\eta = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \ln \sigma_g} \exp\left\{-\frac{(\ln \eta - \ln d_{50})^2}{2 \ln^2 \sigma_g}\right\} d(\ln \eta), \quad \ln\left(\frac{d_m}{d_{50}}\right) = \frac{1}{2} \ln^2 \sigma_g$$

$$\hat{p}(\eta)d\eta = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \ln \sigma_g} \exp\left\{-\frac{(\ln \eta - \ln d_{50})^2}{2 \ln^2 \sigma_g}\right\} d(\ln \eta), \quad \ln\left(\frac{\hat{d}_m}{d_{50}}\right) = -\frac{3}{2} \ln^2 \sigma_g$$

$$\ln\left(\frac{\hat{d}_{50}}{d_{50}}\right) = -2 \ln^2 \sigma_g$$

が得られ、また図-4に示すように、累積分布が片対数紙上で直線となるタイプ(OPQR型)の場合、

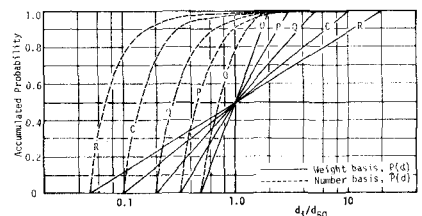


図-4 OPQR型分布

$$p(\eta) = (0.34/\ln \sigma_\eta)^{-1/2}, \quad \hat{p}(\eta) = \frac{2}{\sigma_\eta} / (\sigma_\eta^{2.94} - \sigma_\eta^{-2.94})$$

$$\frac{d_m}{d_{50}} = \frac{\sigma_\eta^{1.97} - \sigma_\eta^{-1.97}}{2.94 \ln \sigma_\eta}, \quad \frac{\hat{d}_m}{d_{50}} = \frac{2}{\sigma_\eta^{1.97} + \sigma_\eta^{-1.97}}, \quad \frac{\hat{d}_{50}}{d_{50}} = \sqrt{\frac{2}{\sigma_\eta^{2.94} + \sigma_\eta^{-2.94}}}$$

が得られる。なお分布の裾野の広がり（の違うものとして図-6に示すようなN, W砂、細砂分と粗砂分とで分布の広がり異なるものとして図-7に示すようなF, R砂についても検討し、結局次の結果を得た。すなわち粒数分布の広がり（大きいと d_m/d_{50} , $\hat{d}_m/d_{50}$ などの σ_η に対する変化は顕著となり、とくに粗砂分の広がり d_m/d_{50} に、細砂分のそれが $\hat{d}_m/d_{50}$ など数値規準特性に強く影響する。

4. 混合砂礫床面での粒径別存在高さ及びぬけ出し角の分布

混合砂礫の床面特性を表わす基本的なものは $\hat{p}(d)$ であるが、より具体的に粒径別限界掃流力をと掃流機構の検討を行うに当り、各粒径粒子の存在高さ及び相対位置指標としてのぬけ出し角と混合砂礫自体の性質との関連を明らかにしておくことが重要である。そこで対数正規型及びOPQR型の分布に従った混合砂礫について数値シミュレーションによる検討を行った。シミュレーションは前述の分布に従って表面露出砂を1列に並び、それらに載り可能な各粒径粒子の存在高さ $\{y_i\}$ 及びぬけ出し角 $\{\beta_i\}$ の標本約200個を得た。{ y_i } の原点は最初1列に並びに粒子中心を結ぶ直線である。シミュレーションによる

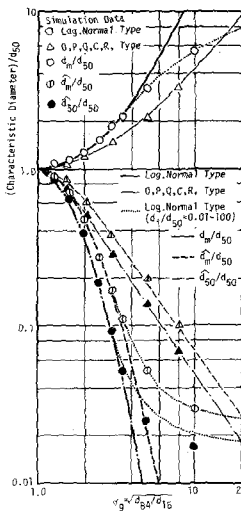


図-5 対数正規型・OPQR型混合砂礫の特性

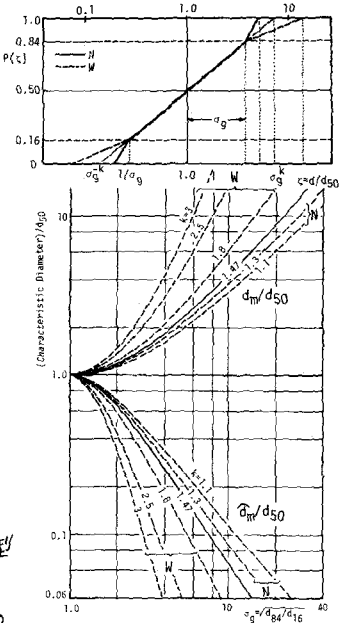


図-6 N, W砂の特性

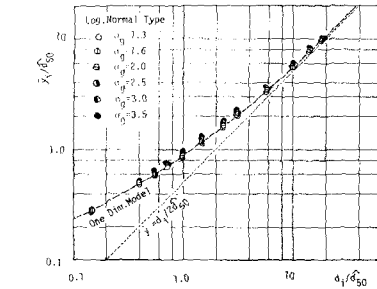


図-8 粒径別平均存在高さ

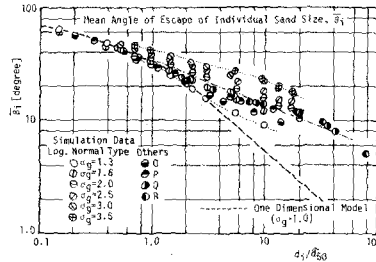


図-9 粒径別平均ぬけ出し角

結果の数値は図8-10に示される。粒径別平均存在高さ $\bar{y}_i$ は $p(d)$ にほとんど依存せず、 $\hat{d}_{50}$ から成る均一砂床に上載される混合砂礫に対する理論式（図の破線） $\bar{y}_{50}/\hat{d}_{50} = \sqrt{\{(d/\hat{d}_{50})^2 + 1\}^2 - 1}/2$ と良く合致している。一方粒径別平均ぬけ出し

角 $\bar{\beta}_i$ は粒径とともに減小し、その度合は σ_η が大きい程顕著である。また { y_i }, { β_i } のばらつきを変動係数を指標にとって調べると { β_i } の方のばらつきが大きいことがわかる。さらに { y_i }, { β_i } の相関係数を求めるとかなり小さく、これを独立に扱ってよいと推定される。

5. あとがき 本研究で得られた知見を混合砂礫床の抵抗則、流送機構等の解明に活かしていくことが重要で、これについても研究を進めている。

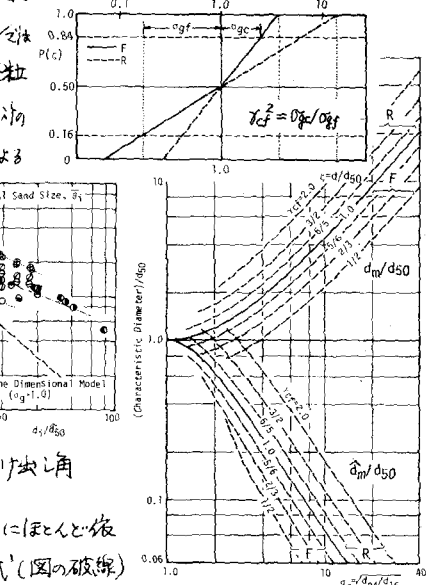


図-7 F, R砂の特性

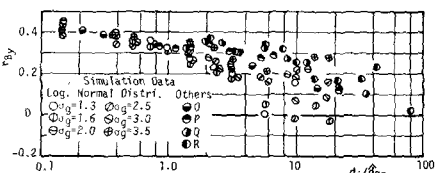


図-10 粒径別の { y_i }, { β_i } の相関係数, $r_{y\beta}$