

II - 223

河床砂礫の分級現象について

立命館大学理工学部 正員 江頭 進治

Minnesota University Gary Parker

立命館大学大学院・韓建設技術研究所 正員○田中 耕司

1.はじめに 河床材料の粒度分布の変化は、水流、河床形状、流砂と河床材料の相互作用の結果起こる。そのため、河床砂礫の横断分級を別にすれば、鉛直分級と縦断分級は単独に扱えない問題である。本研究の目的は、これらの分級現象を統一的な視点から説明することにある。そのため、まず、水路実験によって流砂量、流砂と河床材料の粒度分布の関係を調べ、トレーサを用いた実験によりそれらの交換過程を調べる。さらに、流砂と河床材料におけるトレーサの分布特性を説明できる数学モデルを構築する。

2.実験概要 実験は、長さ12m幅5mの可変勾配水路の下流部6mの区間を用いた。まず、初期河床勾配を0.02に設定し、移動床上流端より12l/s、Fig.1に示す河床材料と同じ粒度分布を有する砂礫6.02g/sを定常的に与えた。そして、動的平衡に達したときの状態を初期条件として、給砂材料と同じ粒度分布を持つ着色砂礫を同じ条件で給砂し、流砂と河床材料に含まれる着色砂礫の含有率の時間的な変化を測定した。

3.実験結果 下流端流砂量の時間的な変化をFig.2に示す。通水初期には、流砂量が給砂量よりかなり小さく、非平衡状態が続き、通水開始後6時間位経過してから流砂量は給砂量のまわりに変動する。なお、平衡状態が達成されたのは通水開始後12~13時間後であると推測される。この一連の流砂量の時間的な変化に対して、下流端流砂量と水路中央部での中央粒径および90%粒径の時間的な変化をFig.3に示す。通水初期の段階では、河床表層の細かい成分が選択輸送され、その後粒径は流砂量の増加に伴い大きくなり、次第に給砂材料のそれとの顕著な違いは認められなくなる。さらに、Fig.4は、水路中央部における表層の粒度分布の時間的な変化を示している。通水開始後3時間経過した時点で既に粗粒化しており、その後流砂量の増加に伴い粗粒化が進んでいる。

次に、着色砂礫が下流へ伝播する過程と流砂と河床材料の粒度分布の変化の関係を考察する。Fig.5は、下流端流砂量に含まれる着色砂礫の含有率を示している。着色砂礫の流出割合は、いずれの粒径も直線的に増加し、無着色砂礫のそれは直線的に減少していることがわかる。次に、Fig.6に水路中央部でのその含有率の時間的な変化を示す。細かな成分は僅かに増加しているに対し、粗い成分は顕著に増加している。また、着色砂礫全体では、時間の経過と共に増加している。これらの変化は、流砂が河床材料との交換現象を通して起こっていることを示すものである。すなわち、着色砂礫の流出は河床表面におけるその含有率に比例している。これら一連の実験を総合すれば、粗い粒子は、河床表層を形成しながら輸送され、細かい粒子は表面よりも深い領域に落ち込みながら輸送される。その結果、河床表層は粗粒化し、その下層では細粒化する。

4.分級現象のモデル化と数値計算 表層の粗粒化とその下層の細粒化を表現したモデルの一つに、芦田・江頭らの多層モデル¹⁾がある。ここでは、それを拡張し、着色砂礫の輸送過程や縦断分級を評価する。このモデルは、Fig.7に示す各層との粒子交換機構について下層から上層へ粒子が移動したとき上層からそれよりも細かな粒子が移動し、その移動量は粒径の射影面積比に依存し、逆比例するものと考え、粒度分布式を導いている。なお、このモデルについての詳細な説明は文献1)を参照されたい。

水路実験に適用するために、水流の運動式、流砂と水流の連続式ならびに式(1)および(2)に示す粒度分布式から着色砂礫の伝播過程、流砂と河床材料の粒度分布の変化の計算を行なった。なお、流砂量式は、中川・辻本の式²⁾を用いた。

$$\begin{aligned} <\text{第1層}> \quad \frac{\partial f_i^1}{\partial t} = \frac{F_i^1}{\Delta} \frac{\partial z}{\partial t} - \frac{1}{(1-\lambda)\Delta} \left\{ (E_{ib} f_i^1 - D_{ib} f_i^0) - (E_{im} f_i^2 - D_{im} f_i^1) \right\} \end{aligned} \quad (1)$$

$$<\text{第2層}> \quad \frac{\partial f_i^2}{\partial t} = \frac{F_i^2}{\Delta} \frac{\partial z}{\partial t} - \frac{1}{(1-\lambda)\Delta} (E_{im} f_i^2 - D_{im} f_i^1) \quad (2)$$

河床材料の粒度分布の時間的な変化をFig.4に合わせて示している。また、流砂中に占める着色砂礫の流出割合、水路中央で河床材料中のその含有率の計算結果を、Fig.5およびFig.6に合わせて示す。これらの結果から、実験値の精度上

の問題を考慮すれば、このモデルによって河床表層の粗粒化ならびに着色砂礫の分散過程は再現できている。

5.おわりに 本報は、砂礫の縦断分級・鉛直分級についての実験を行い、河床表層の粗粒化について考察した。そして、実験結果を説明するモデルを構築し、河床材料の粒度分布の変化と着色砂礫の分散過程について計算を行なった結果、ほぼ現象を再現できた。なお、本実験は、当時京都大学大学院西野隆之氏の御助力を賜った。ここに感謝の意を表す。

<参考文献>1) 芦田・江頭・西野：京都大学防災研究所年報第31号B-2、1988年 2) 中川・辻本：土木学会論文集224号、1975年

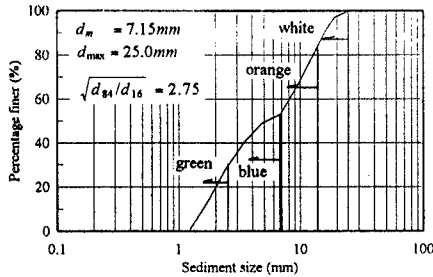


Fig. 1 使用材料の粒度分布

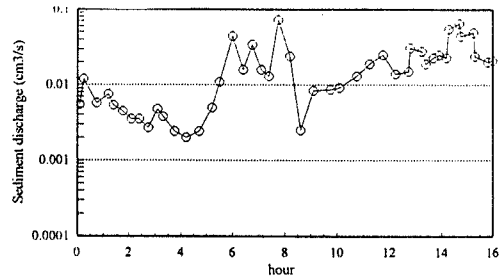


Fig. 2 下流端流砂量の時間的变化

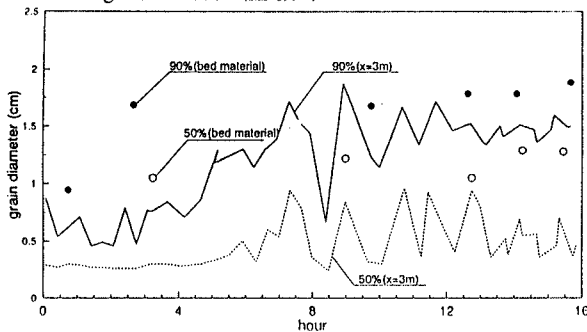


Fig. 3 流砂量の粒度变化

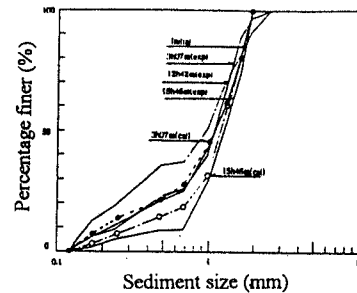


Fig. 4 河床材料の粒度分布の時間的变化

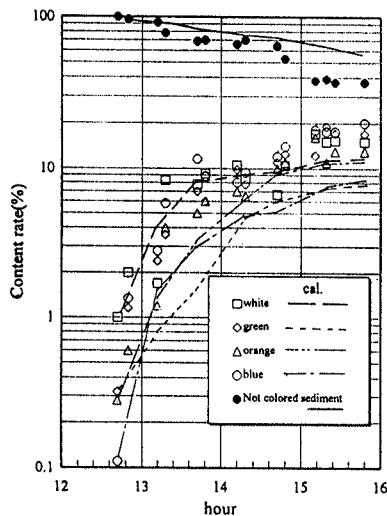


Fig. 5 トレーサの流出割合

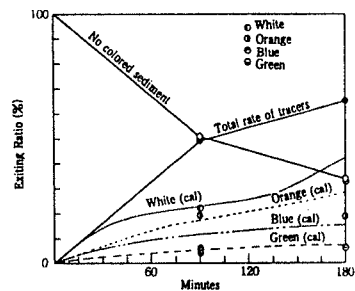
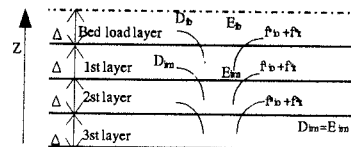


Fig. 6 トレーサの含有率



△：各層の厚さ $d_{max}/2$ 程度
 D_b ：河床 z の堆積速度 E_b ：河床 z の侵食速度
 D_m ：1層と2層の堆積速度 E_m ：1層と2層の侵食速度
 f_b ：無着色砂礫の濃度 f_i ：着色砂礫の濃度
 f_{ib} ：1st layerにおける無着色砂礫の濃度
 f_{io} ：2st layerにおける無着色砂礫の濃度
 f_{ib} ：2st layerにおける着色砂礫の濃度

Fig. 7 多層モデルの概念図