

II-223

掃流砂による河床構成材料の鉛直分級に関する一考察

早稲田大学理工学部 正会員 関根 正人
早稲田大学大学院 学生会員 東海林大嗣

1. はじめに

一般に、河床は混合粒径砂礫からなっており、その表面には掃流砂として移動する土砂との活発な交換が行われる層(交換層)がある。例えば、蛇行河川における土砂のふるい分けに代表されるような縦・横断方向への分級を考える際には、この交換層を介して流砂と河床との土砂の交換を考えることが多く、通常、礫床河川では90%粒径程度、砂床河川ではそこに形成される河床波の波高の半分程度の厚さをもつものとしてモデル化している。本研究では、特に礫床河川の場合を対象として、いかなる粒度分布を有する河床構成材料に対してもこのような考え方が合理的であるか否かを明らかにする第一歩として数値解析を行った。解析モデルは著者らが開発してきたSaltation モデルを基礎とするが、互いに接触する状態にある河床構成材料の移動を解析するためには、力学的に厳密な取り扱いをすることは不可能に近いことを考慮して、力学的な根拠に乏しいCundallら¹⁾による個別要素法を取敢て導入してみることにした。そして、このモデルによる解析を通じて、河床構成材料の鉛直分級過程について調べるとともに、交換層の厚さの捉え方について考えてみたい。なお、粒径毎の土砂の体積保存の関係から交換層および表層の粗粒化について論じた江頭²⁾の研究との相違は、土砂粒子の個々の運動の解析に基づいて現象を捉えようとする点にある。

2. 数値解析の概要

本計算では、河床構成粒子を円形要素とみなした二次元の解析を行う。河床表面上の流体の流速は対数分布に従うものとする。河床表面より上に存在する移動粒子に対しては粒子～流体モデル(Saltationモデル³⁾)による数値解析を行い、河床表面下の河床構成粒子の変位に関しては個別要素法⁴⁾を用いた取り扱いをするものとする。河床構成材料は三粒径からなるものとし、その比率は10mm:20mm:30mm=5:4:1となるようにし、乱数を用いて配置する。この初期状態の粒子配列については、対象となる領域に粒子同士が非接触の状態になるように格子状に配置した後、これらを重力場において自由落下させ、粒子の運動がほぼ静止した状態を各粒子の初期位置とした。底面は粒径が20mmの粒子5個からなる固定層とし、境界条件は計算の効率化を図るため周期境界条件とする。また、河床表面の位置はそのときの粒子の運動の状態によって逐一変化するものとする。

3. 河床構成材料の鉛直分級

図-1に、本計算の各時間における粒子の瞬間的配置を示した。ここで、黒色粒子は固定された底面構成粒子であり、灰色粒子は図-2で示されるような運動を追跡した粒子である。図-2は、河床を鉛直方向に三等分して、それぞれの層から各粒径毎に1個ずつの粒子に着目し、それらの粒子のy座標の時間変化をグラフにしたものである。これより、底面から約0.1mの位置より上にいる粒子は活発な運動をしているのがわかる。また、その中でも粒径が大きいものは上に向かって動き、小さい粒子は下に向かっていく傾向があることがわかる。しかし、底面から0.1mの位置から下に存在する粒子は大小関係なくあまり上下に運動していないことがわかる。次に図-3は、初期の河床構成粒子群を二等分して上層と下層に分け、それぞれの層に存在する粒子の平均粒径を求め、その時間変化をグラフにしたものである。図-3の場合には $y=0.10(\text{m})$ の位置で河床を分割した。これより、下層は細粒化し、上層は粗粒化しているのがわかる。また図-4は、各粒子の変位を示したグラフである。横軸は、計算開始時の粒子の位置と、それぞれの時間におけるその粒子の位置との間の距離を90%粒径 D_{90} で除したものを、また、縦軸は計算開始時のそれぞれの粒子のy座標を D_{90} で除して無次元化したものをそれぞれ示す。これをみると、時間とともに各粒子の変位が増しているのがわかるが、8秒後と10秒後のグラフを比べると2つの間には $y/D_{90} \leq 4$ の範囲において大きな変化が見られない。このことから、 $y/D_{90} \leq 4$ の範囲内にある粒子は、計算開始後にわずかに変位するものの、その後はほとんど静止状態にあることがわかる。一方、 $y/D_{90} \geq 4$ の範囲内においては粒子の変位が大きく、この層においては粒子の交換が活発に行われていると考えられる。この層が交換層に相当するものと考えられ、ここで設定した条件下ではその層の厚さは D_{90} の

河床構成材料 鉛直分級 交換層厚 個別要素法

〒169 東京都新宿区大久保3-4-1 TEL. 03-5286-3401 FAX 03-5272-2915

表-1 モデル定数

k_n	$8.99 \times 10^6 \text{ N/m}$
k_s	$2.24 \times 10^6 \text{ N/m}$
η_n	$1.09 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{sec./m}$
η_s	$8.47 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{sec./m}$
μ	0.577
τ^*	0.10
dt	$2.0 \times 10^{-6} \text{ sec.}$

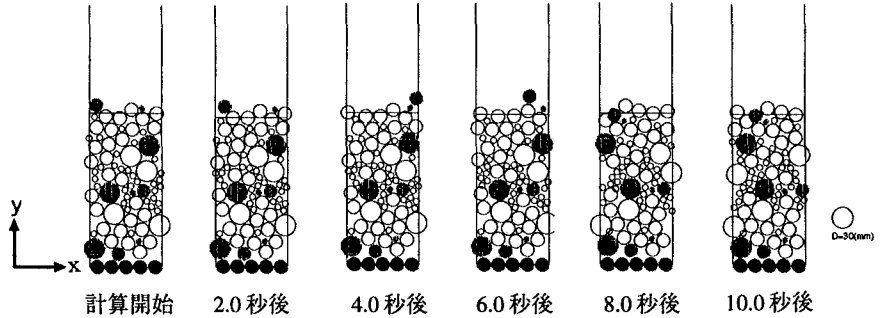


図-1 粒子の瞬間的挙動

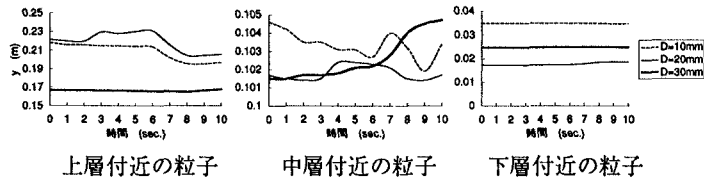


図-2 粒子の移動軌跡

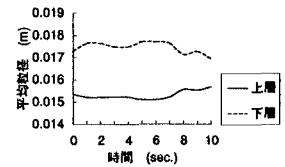


図-3 平均粒径の変化

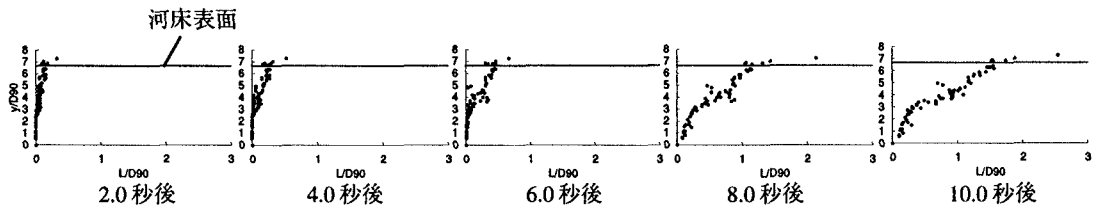


図-4 粒子の変位置

2～3倍になっていた。

4. おわりに

本研究では、河床構成材料の鉛直分級過程に関する数値シミュレーションを行い、分級の進行過程を調べるとともに、本解析による交換層厚の捉え方について考察した。その結果、ここで想定したような粒度分布をもつ土砂の上に、想定した程度の掃流力をもつ流れが生じている場合には、その交換層の厚さは90%粒径のほぼ2～3倍になるという結果が得られた。このことは、モデルの制約上今後考えていかなければならない問題が数多く残されているものの、粒度分布と掃流力によっては交換層の厚さが変化することもあるという当然とも言える可能性を示唆していると考え。今後は、さらに広範な条件の下での解析を行い、交換層厚に関する理解を深める努力を続けていく予定である。最後に本研究においては森田健治氏（(株)パシフィックコンサルタンツインターナショナル）の多大なる協力と激励を受けた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Cundall, P. A. and Strade, O.D.L.: Discrete numerical model for granular assemblies, Geotechnique 29, No. 1, pp. 47 - 65, 1979.
- 2) 芦田和男, 江頭進治, 西野隆之: 混合砂礫床の粒度分布変化と流砂の機構, 京都大学防災研究所年報, 第31号, pp. 423 - 441, 1988.
- 3) Sekine, M. and Kikkawa, H.: Mechanics of Saltating Grains, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 118, pp. 536 - 558, 1992.
- 4) 後藤仁志, 酒井哲郎: 河床構成粒子との相互作用を考慮した流砂の流動過程の数値解析, 水工学論文集, 第41巻, pp. 819 - 824, 1997.
- 5) 関根正人: 蛇行河川における土砂のふるい分けに関する研究, 土木学会論文集, No. 467 / II-23, pp. 29 - 38, 1993.