

## 微細土砂の供給を受ける礫床河道の平衡河床に関する数値解析

早稲田大学理工学術院 正会員 関根 正人

早稲田大学大学院 学生会員 ○西 俊彰

### 1. はじめに

河川上流域にダムを建設すると、水系全体の土砂のバランスが崩れることが知られているが、ダム直下の河川区間の河床に目を向けると、河床から砂成分が抜け出し石礫が露出した状態となっていることが多い。こうした状態を改善するためには、この河川区間に砂を供給してこれを石礫の間隙に堆積させればよいことになる。しかし、大量の砂の供給を受けた礫河川の河床がこの供給に対してどのような応答をするかに注目した研究<sup>1)2)</sup>は少なく、今後解明されるべき問題と言える。本研究は、今後に向けての第一歩として行われたものであり、礫床河道が微細土砂の供給を受けることによりどのような平衡河床の状態へと到るかという点についての数値解析を行っている。

### 2. 研究概要

本研究では、河床の基本骨格が粒径  $D_G = 12.2$  (mm) の礫で構成されるとした模擬礫床河道を想定し、ここに粒径  $0.17\text{mm}$  の微細な土砂を供給するものとして、これに対する礫河床の応答を調べた。ここでは、上記の礫による河床骨格の間隙を微細土砂が充填するように存在する「二粒径河床」を対象とし、初期河床における微細土砂の充填状況を変えて3通りの計算を行った。ここでは、微細土砂が礫頂部から下方に  $\Delta_S$  の高さまで礫の間隙を充填しているものとして、初期河床におけるこの値  $\Delta_{S0}$  をパラメータとし、 $\Delta_{S0}/D_G$  を Case 1 では 0, Case 2 では 0.5, Case 3 では 1 とした。そして、この違いにより最終的に到達する平衡河床の状態にどのような差異が現れるかを調べた。本解析では、上流端から流入する流量ならびに土砂量を時間によらず一定とし、単位幅流量を  $125 \text{ cm}^3/\text{s}/\text{cm}$ 、土砂濃度  $C_{in}$  を 0.00039 とした。なお、これらの条件は道上・藤田ら<sup>1)</sup>の実験を参考に定めたものであり、河床勾配は  $1/80$ 、水深は  $2.3\text{cm}$  である。

数値解析の概要は以下の通りである。ここでは、礫の粒径が相対的に十分大きいものとしてその移動がない条件を対象としており、河床の変動は、浮遊砂として輸送される微細土砂が礫骨格内あるいはその上部に堆積したり、あるいはそこから浸食されることによって生じるものとする。この変動解析には、著者<sup>3)</sup>による「礫・シルト充填河床モデル」を適用することにし、浮遊土砂の巻き上げ速度式としては、芦田・藤田の式<sup>4)</sup>を適用した。また、浮遊砂の輸送は一次元移流拡散方程式を解くことにより解析し、移流項にはCIP法を適用した。流れ場に関しては一次元定常流解析に留めた。

### 3. 解析結果と考察

解析の結果を図-1にまとめて示した。図中の6000秒後の結果が動的平衡状態に相当しているが、いずれの初期状態の場合であっても、それぞれの変動過程を経て同一の平衡状態に達していることがわかる。ここで設定した条件、すなわち摩擦速度の砂の沈降速度に対する比  $u^*/w_o$  と供給土砂濃度  $C_{in}$  の値に対しては、 $\Delta_S/D_G = 0.77$  がこの状態に相当する。また、別途行った解析によれば、同一の  $u^*/w_o$  に対して見れば  $C_{in}$  の値が大きいほど  $\Delta_S/D_G$  が小さくなることがわかっている。なお、これは、礫の間隙に生じる微細土砂の上面の位置が礫頂部に近い位置に現れることを意味する。

図-2には、最近藤田らにより行われた実験結果との比較結果を示した。ここで対象とするのは、半径  $48\text{mm}$  の半球を千鳥状に配置した水路床上で行われた実験であり、図中の○印がその結果を表す。この実験値に関しては、実測の濃度分布から読み取った  $C_a$  の値を用いて整理した。一方、図中の実線は、底面近傍の基準点濃度  $C_a$  と礫間隙からの砂の無次元巻き上げ速度  $E_S$  が等しいとして求めた関係を表しており、たとえば図-1のように求めた平衡状態における  $\Delta_S/D_G$  の値と一致する。半球を用いた水路床の場合には、球の場合と異なり  $\Delta_S/D_G = 0.5$  の場合に  $E_S$

キーワード：礫床河道、浮遊砂、平衡河床、礫・シルト充填河床モデル、数値解析

連絡先：〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1, TEL 03-5286-3401, FAX 03-5272-2915

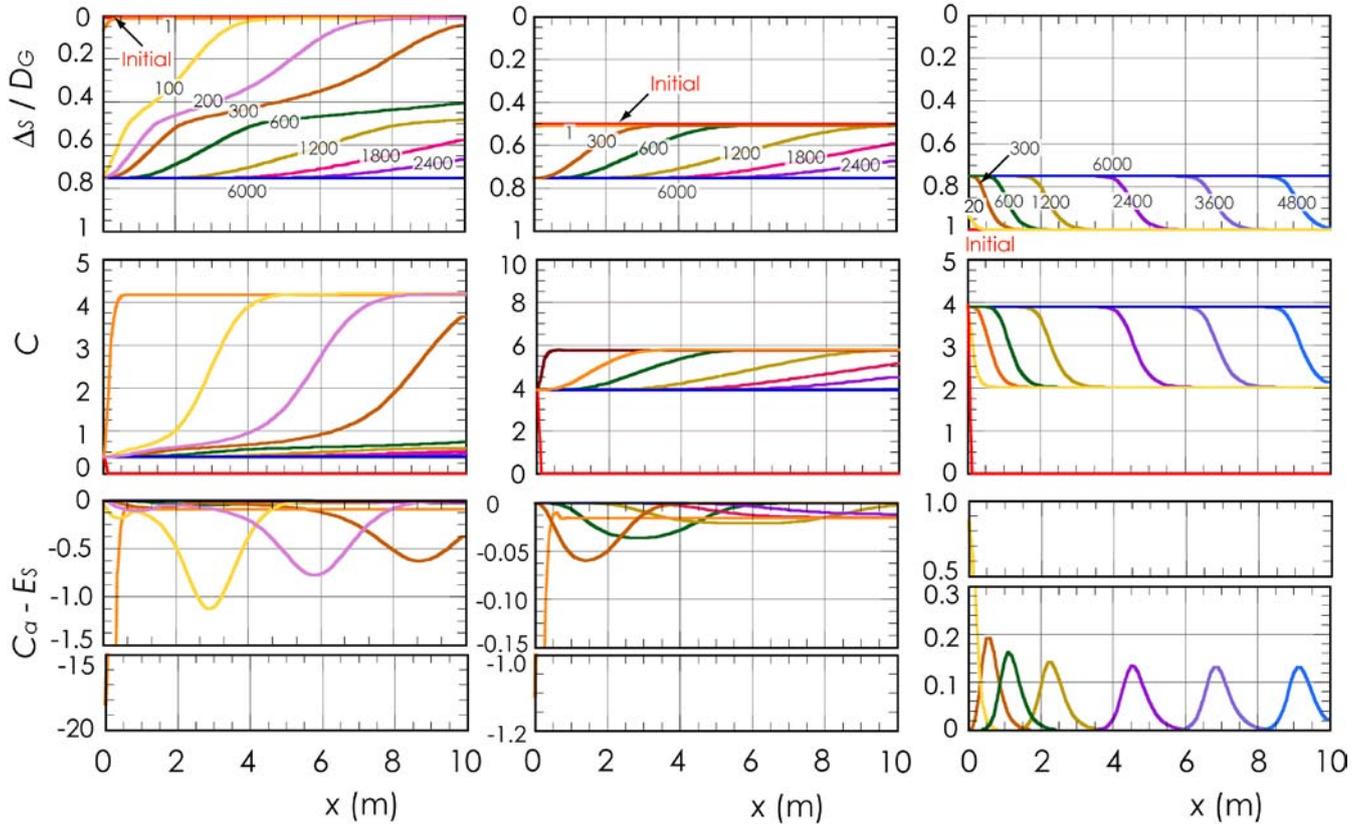


図-1 数値解析結果：左側の列が Case 1，中央の列が Case 2，右側の列が Case 3 に対応  
 C: 水深平均濃度,  $C_a$ : 基準点濃度,  $E_s$ : 無次元巻き上げ速度

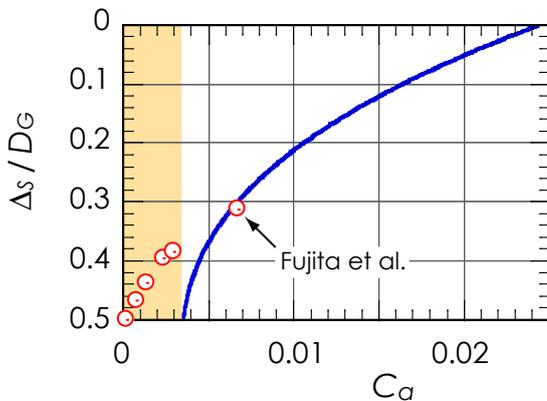


図-2 藤田・山原ら<sup>2)</sup>の実験との比較：  
 青の実線は本解析による平衡解を表す。黄色に着色した範囲においては厳密な意味での平衡状態は生じない。

= 0 となるため、ここでの条件に対して  $C_a < 0.035$  程度の場合に平衡状態が存在しない。また、実験時に得られた濃度分布を見ると、水深が半球の直径程度しかないので、従来から知られている濃度の鉛直分布となっており、ここでの比較に用いるにはあまりふさわしいデータとは言えないようである。このあたりを念頭において図-2を見ると、実験値と計算値との間には顕著な差はなく、概ね妥当な結果が得られることが示唆された。

4. おわりに

本研究では、微細土砂の供給を受けた礫河床の平衡状態を探ることを目的として数値解析を行った。解析手法の検証のため、既存の実験結果との比較を試みたが、実験条件の特殊性ゆえこれを検証するには到らなかった。この点も含めて今後さらなる検討を続けていく予定である。

参考文献：1) 道上・藤田ら：空隙の大きな河床への浮遊砂の沈み込み過程と非平衡浮遊砂，水工学論文集，第38巻，609-614，1994。  
 2) 藤田・山原ら：大礫表面における砂の堆積状況と浮遊砂量との関係についての実験的研究，水工学論文集，第52巻，547-552，2008。  
 3) 関根・矢島：礫・シルト充填河床モデルを用いた植生を伴う流路の変動解析，水工学論文集，第49巻，991-996，2004。  
 4) 芦田・藤田：平衡および非平衡浮遊砂量算定の確率モデル，土木学会論文集，第375号，106-116，1986。