

浸透が卓越する場に形成される堆積地形に関する研究

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 ○小笠原 基

1. はじめに

扇状地を流れる礫床河川の流路変動過程や、わんど、たまり等の微地形の形成過程には、河川流と周辺地形の地下にある浸透流との相互作用の影響が無視できない。そこで、上記のような地形が変化する過程を数値的に解析する場合には、この相互作用を考慮に入れる必要がある。しかし、移動床問題を取り扱う際にこの相互作用を陽な形で取り入れた数値解析が行われたことはほとんどなく、たとえば関根ら¹⁾のように実験的に検討されてきたに過ぎない。そこで、本研究では、今後に向けた研究の第一歩として、透水性の高い一次元地盤上に堆積地形が形成されていく過程に注目し、地表面下の浸透流と地表面上の流れ（すなわち河川流）との水のやりとりを考慮した数値解析を行った。

2. 数値解析の概要

(1) 解析モデル

流れ場に関しては、浅水方程式に依拠した表面流の一次元解析と、Richards の方程式に依拠した飽和・不飽和浸透流の鉛直二次元解析とを同時に行うことにした。地表面上では堆積した土砂の透水係数とその点の動水勾配によって算定される量の水が地表面下の帯水層内へ浸透する。一方、帯水層内の自由水面が地表面にまで到ると、逆に地表面へ復帰する水の流れが形作られることになる。数値解析手法に関しては、基礎式をスタガード格子の考え方に従って離散化した後にこれを解くことにし、表面流の運動方程式の移流項の取り扱いに関してはCIP法を適用することにした。抵抗係数に関しては、ここで想定する表面流の水深が小さいことを考慮してシートフローに関する成果²⁾を参考に与えることにした。飽和・不飽和浸透流の解析に関しては、不飽和土の水分特性曲線ならびに不飽和透水係数を谷³⁾に倣って与えた。また、堆積地形の形成によって帯水層厚さが時々刻々変化していくため、本研究では、時刻毎に帯水層厚さを計算し、これを格子点数(20点)で等分割することによって帯水層厚さ方向の格子間隔 Δz を更新しつつ計算を進めることにした。流下方向の格子間隔 Δx ならびに初期状態の Δz は1 cm、解析時間間隔は0.0005 秒とした。土砂移動に関しては、掃流砂のみを考慮すればよい条件を対象とすることにし、Meyer-Peter and Muller の掃流砂量式を適用した。地形変動に関しては、堆積地形のフロント部などで地形勾配が一時的に安息角を超えることがあるが、この場合には関根⁴⁾による斜面崩落モデルを用いてこれを処理した。

(2) 解析条件

関根ら¹⁾は、透水性の高い地盤上に形成される堆積地形の形成過程に関する実験的研究を行ったが、本研究では、この実験を念頭において計算条件を定めている。具体的には、全長2 m、厚さ0.2 m、勾配1/100の帯水層を想定し、その上部を透水性の高い模擬地盤とする。この上流側には全長2 m、勾配1/100の水路部が接続しており、上流から流量に見合った土砂が給砂される。上流側の水路構成材料ならびに上流端から給砂する砂はともに粒径0.48 mmの5号硅砂（透水係数0.1 cm/sとする）であり、上流端から通水する流量は時間によらず0.002 m³/s/mとした。帯水層内は直径5 mmのガラスビーズ（飽和透水係数5 cm/s、飽和体積含水率0.4、残留体積含水率0.001、水分特性曲線の変曲点における圧力水頭値-0.05 m、不飽和土の透水性の減少の程度を表す指数を3.0とする）で構成されており、その底部ならびに上下流端境界は不透水面とした。また、浸透流の初期水位に関しては、帯水層下流端における浸透流の水深が5 cmで静止・平衡の状態にあるものとした（図-1(a)参照）。

3. 数値解析結果

図-1(a)には、表面流の水位ならびに帯水層内の浸透流の水位の縦断方向変化を時間毎に示してある。また、図-1(b)には、初期地形高を基準として各時刻までの地形変動量の縦断方向変化を示してある。まず、通水開始から20秒後までの結果に注目する。図-1(a)の表面流に関して、そのフロントの移動に注目すると、不透水河床上では概ね一定の速度で移動していることがわかる。一方、フロントが帯水層河床上に到達してから少なくとも20秒後までは、そもそも下方への浸透が卓越する条件に設定されていることから、下流方向に流量を減少させ、やがて

キーワード：堆積地形，透水性河床，浸透流，数値解析

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

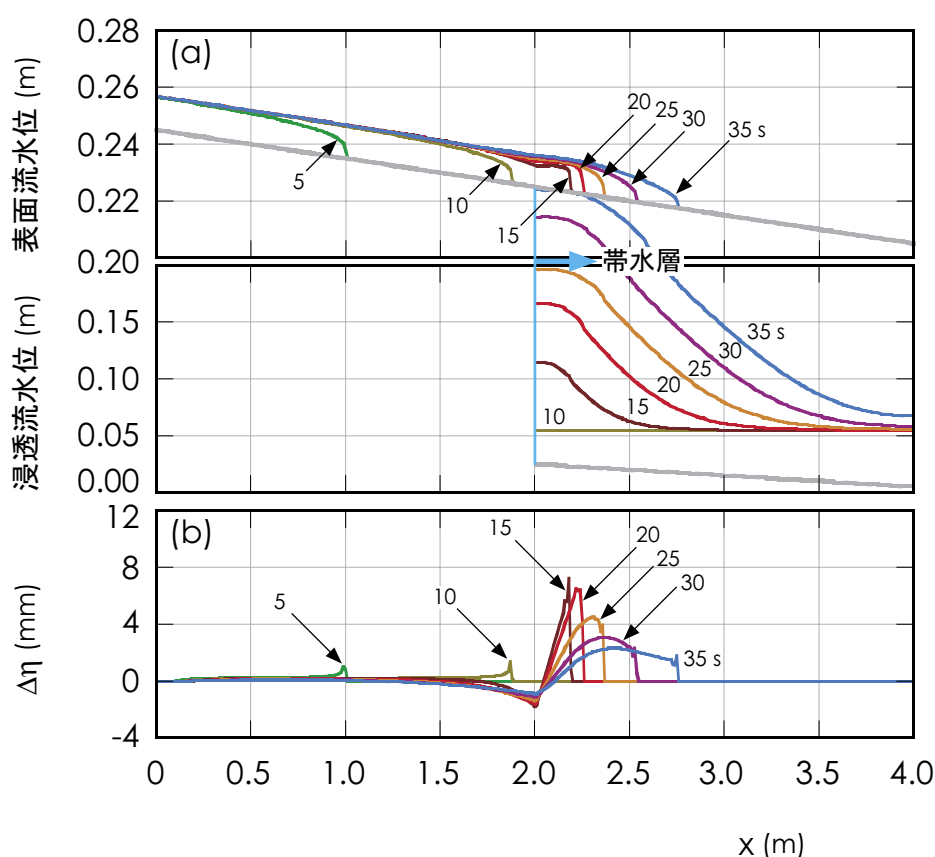


図-1 数値解析結果
(a) 表面流ならびに帯水層内浸透流の水位の時間変化, (b) 地形変動量の時間変化

はそのすべて失うことになるため、フロントが顕著な前進を見せることはない。次に、図-1(b)の地形変動量の時間変化について見ると、流れが帯水層上に到った直後から地表に堆積地形が形成されることがわかる。帯水層上で堆積地形が形成されるのは、浸透によって表面流の流量が下流側ほど少なくなり、掃流力も流下方向に低下するため、土砂の輸送能力も小さくなるためである。また、表面流のフロントの停止位置付近では、地形高の上昇量が特に大きくなるため、そのフロント部では下流に向かって安息角に等しい傾斜角を持つ斜面となる。なお、浸透に伴い表面流の流量が低下し、流れのフロントが停止した後も河床上の微地形が前進を続けるのは、地形のフロントが安息角を維持するように斜面崩落を引き起こすためであり、崩落土砂がフロントを乗り越えてその前面に堆積するためである。次に、20秒後以降の変化について説明する。図-1(a)の浸透流の水位の図より、帯水層内の水位が地表面付近に近づき、35秒後には地表面に達していることがわかる。表面流から帯水層内への浸透量は、帯水層内が飽和に近づくほど減少するため、それまでは流量のすべてを失うことにより停止していた表面流のフロントが、流量の回復に伴って再移動することが図-1(a)より見て取れる。

4. おわりに

本研究では、透水性の高い地盤上に形成される堆積地形の再現計算を行うため、まず基本となる解析方法の開発に努めるとともに、単純な条件下での数値解析を試みた。検討の結果、定性的ではあるものの、概ね妥当な解析結果が得られたと考えている。今後は、扇状地のような二次元平面上に形成される堆積地形に関する解析を可能とするため、解析手法をさらに発展させていく予定である。

参考文献

- 1) 関根正人・新井智明・窪田洋一：透水性地盤上に形成される堆積地形について，水工学論文集，第42巻，1087-1092，1998.
- 2) 澤井健二：粘着性流路床の変動機構に関する土砂水理学的研究，京都大学学位論文，1977.
- 3) 谷 誠：一次元鉛直不飽和浸透によって生じる水面上昇の特性，日本林学会誌，Vol. 64，409-418，1982.
- 4) 関根正人：斜面崩落モデルを用いた網状流路の形成過程シミュレーション，水工学論文集，第47巻，637-642，2003.