

山地河川における土砂輸送 ～神通川水系足洗谷において～

京都大学大学院農学研究科 ○平澤良輔 水山高久

立命館大学理工学部 里深好文

京都大学防災研究所 堤大三

1. 研究背景と目的

山地で生産された土砂は、溪流を通じて下流へと輸送される過程で河床変動や堆砂が生じることにより、河床の上昇による洪水やダムの貯水容量の減少などの諸問題の誘引となる。しかし、既往研究において山地河川における土砂輸送形態は、集水面積 1 km^2 程度の比較的小規模な河川での観測及びモデル化が実施されているのみであり、いまだ規模の大きな山地河川には対応できていない。そこで本研究では、集水面積数 km^2 程度の中規模山地河川における土砂輸送の観測およびそれに基づくモデルの開発を行い、山地河川の土砂輸送形態をより詳細に解明することを目的とした。

2. 現地実験の概要

神通川水系高原川流域の足洗谷（集水面積 7.2 km^2 ）にて、2007 年 9 月 26 日～28 日および 11 月 4 日に流路の形状および起伏の測量を実施した。測量した長さはおよそ 1000 m であった。このうち上流側 50 m を実験対象領域とした。測量結果から、足洗谷ではステップとプールが交互に現れる階段状河床を形成していることが認められた。

続いて、11 月 30 日に測量範囲の上流端から土砂投入実験を実施した。土砂は天然の山砂を用い、約 10 分間でおよそ 20 m^3 を投入した。実験の前に顕著な降水は無く、足洗谷は平水状態だったので、投入したもの以外の土砂は流入しなかったものとする。そして、投入点から 15 m 、 25 m 、 45 m 下流地点で流砂の採取および河床高さの変位の観測を行った。投入した土砂の一部と採取した流砂から、土砂濃度および粒度分布の測定を行った。

3. 数値計算

末安による既往研究¹⁾では、山地河川における土砂輸送には浮遊砂の寄与が大きいとされている。そこで本研究では、山地河川における河床の大粒径粒子による遮蔽効果を考慮した芦田・藤田の浮上率の式に基づき、土砂濃度および河床変動の一次元計算を行うシミュレーションモデル（以下「一次元モデル」と呼ぶ）を作成した。初期条件に、測量で得られた河床形状を初期条件として計算を行った。

ここで、浮上率とは単位面積・単位時間あたりに河床から浮上する浮遊砂の質量を意味する。河床粒子は揚圧力 F_{LO} の作用の元に浮上し、浮遊砂となる。これに要する交換時間を t_c 、その確率密度関数を $f_{t_c}(t_c)$ 、単位面積あたりに存在する粒子個数を N_B とすると、浮上率 q_{su} は次式のように表される。

$$q_{su} = k_1 \frac{\pi}{6} \sigma d^3 N_B \int_0^\infty \frac{1}{t_c} f_{t_c}(t_c) dt_c$$

ここで k_1 : N_B 個の粒子の中の浮上可能な粒子の割合である。

この浮上率の式を一次元モデルに導入し、現地実験結果の解析を行った。その際、流入する土砂の粒径は 0.3 mm で一様と仮定し、毎秒 50 kg の土砂を 600 秒間上流端から供給するものとした。

また、この計算では河床表面に露出している流砂の面積が計算結果に影響する。本研究では、河床に球形で粒径の等しい礫が六方最密重点で一層存在しているものと仮定し、3 つの礫の頂点を結んだ正三角形を一つの河床の構成単位として考えた。 d_r : 遮蔽効果を及ぼす礫の粒径、 a : 河床表面の粒径 d_r の粗度の下部から粒子の位置まで

の距離、とすると、

$$\text{正三角形の面積} = \frac{\sqrt{3}}{4} d_r^2 \cdots \textcircled{1}$$

$$\text{河床に露出している砂の面積} = \frac{\sqrt{3}}{4} d_r^2 - \frac{\pi}{8} \left\{ 1 - \left(d_r - \frac{2a}{d_r} \right)^2 \right\} d_r^2 \cdots \textcircled{2}$$

となる。簡単のために河床礫間のみで浮上・堆積が生じるとすると、河床からの土砂の浮上量は、浮上率の式で求めた値に②/①を掛けた量となり、河床位の変化は、沈降量に①/②を掛けた値となる。

以上を踏まえ、スタッガードスキームを用いた一次元モデルを構築して土砂投入実験の解析を行い、解析結果と土砂投入実験の結果を比較検討した。

4. 結果と考察

土砂投入実験の際の 15m 地点での河床変動の観測値と一次元モデルの 13m 地点での計算結果を図 1 に、15m 地点・45m 地点での土砂濃度の観測値と一次元モデルの 13m 地点・44m 地点での計算結果を図 2 に示す。一次元モデルにより、土砂投入地点近傍での河床変動に関しては、実験結果が再現できた。また土砂濃度に関しても、下流に向かうにつれ土砂濃度の変動が小さくなることが再現できた。これらの結果から、浮遊砂の輸送は、長期間継続して起こる土砂流出や、土砂流入点近傍で短期間生じる河床変動に寄与することが推察された。

しかし、土砂投入実験では上昇した河床が再び元の状態に戻るまで 100 分ほど経過しているのに対し、一次元モデルでは 30 分程度しか要しておらず、河床が上昇した状態の継続が再現できていない。また、土砂濃度に関しても、土砂投入実験で観察された土砂濃度の時間毎の変動が一次元モデルでは再現されていない。これらの原因として、土砂を単一粒径として計算を行い掃流砂の挙動を考慮していないこと、河道横断面内の流速の不均一性を考慮せずに平均流速を用いて計算を行ったことが考えられる。山地河川における土砂輸送の更なる解明には、混合粒径モデルの開発、山地河川の流路横断方向の不均質性の考慮、水路実験による検証及び正確な観測手法の確立が必要だと考えられる。

参考文献

1. 末安正英：急勾配流路における浮遊砂に関する研究、京都大学修士論文，2006
2. 芦田和男・藤田正治・向井健：河床礫の浮上率と浮遊砂量，京都大学防災研究所年報，第 28 号，B-2，pp. 353-366，1985
3. 芦田和男・藤田正治：粗面上の粒子の浮遊機構と浮遊限界に関する研究，京都大学防災研究所年報，第 26 号，B-2，pp. 363-377，1983

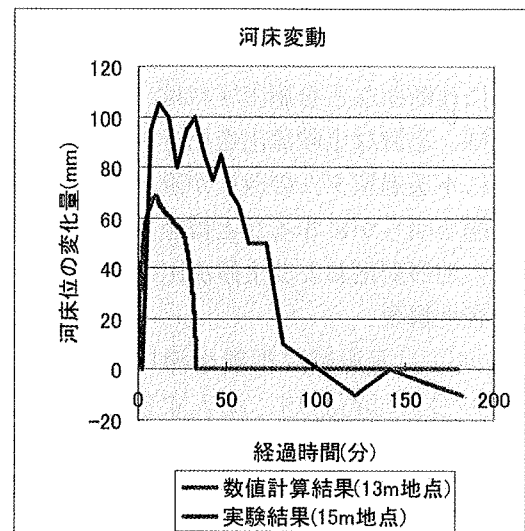


図 1 河床変動についての
実験結果と計算結果比較

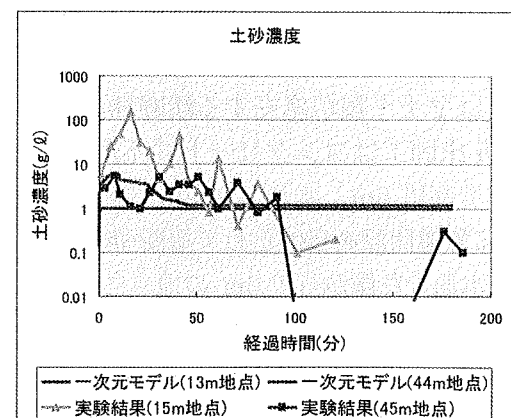


図 2 土砂濃度についての
実験結果と計算結果比較