

# ステッププール河道を考慮したダム流入土砂量の推定と検証

ESTIMATE ON SEDIMENT IN FLOW TO A DAM WITH CONSIDERATING STEP-POOL CHANNEL

北海道大学工学部土木工学科      ○正会員 中村健作 (Kensaku NAKAMURA)  
北海道大学工学部土木工学科      正会員 長谷川和義(Kazuyoshi HASEGAWA)

## 1 . 緒言

山地からの土砂流出は、山腹斜面の剥落や崩落という1次生産を通じて溪岸に堆積した土砂が、さまざまな規模の出水によって2次的に輸送されておこることが多い。土砂の1次生産と下流での堆砂とを結びつける解析法として因子相関法が挙げられる。浮遊砂や土砂礫などの堆積・地形変化と下流での堆砂とを結びつける解析法として流域土砂流出法が挙げられる。また、側岸侵食や河床波と下流での堆砂を結びつける解析法として土砂流出法が挙げられる。本研究では2次的に侵食・堆積がおこなわれる土砂流出法について解析を行なう。山地河川においてそれらの流下形態でステッププールの果たす役割は非常に大きい。澤田・芦田・高橋(1)らはプール内部の流砂機構を実験によって解明し、砂礫の流送過程モデルの解析を行なった。しかし、実河川へのモデルに適用する場合河道特性であるプールの容積・個数・分布状態などをどのように取り入れるかについて課題が残っている。さらに澤田(2)は現地観測・実験および理論解析によってステッププールでの流出土砂量の推定式を提示している。芦田・江頭・安東(3)らは河床形の発生・発達機構を実験的に解明した。しかし、河床材料の分布形と発生領域および形状との関係など河床形上の流れの問題がおこる。

一方、嵯峨らはこれまで直列二段型にしたモデルによって単独流域の流出解析を行なってきた。さらに集中定数系モデルを用いることによって比較的計算が容易にでき、降雨流域を下流の一点で流出させるモデルを開発した(4)。著者らは(5)空知管内徳富川において嵯峨らによるモデルを用いた。嵯峨らはパラメータ解析を行ない、北海道の河川に対してくまなく流出解析を行なった。そして、上流端から基準点まで数カ所の降雨流出推定を行った。著者らはそれに対応する平均礫プール波長を理論式を用いて流砂量の算定を行った。しかし、計算結果を検証するま

ではいいたらなかった。

本研究では徳富川流域内の新十津川ダムに流入するウェンベツ川において上流部のプール長を実際に計測した。そして連続礫段河床上の流れを等流的に扱い、1プールでの底面せん断力を神田ら(6)による護床工下流洗掘孔におけるせん断力式により算定し、既存の流砂量式を適用し、順次各プールにおける流砂量を計算した。本論では当ダムでの年間堆砂量が実測値として存在するので、これらと計算値を比較検討した。

## 2 . 対象流域と日降雨量

本論では北海道空知支庁管内徳富川流域内(流域面積239.2km<sup>2</sup>)に位置する新十津川ダムの本川であるウェンベツ川流域(流域面積16.0km<sup>2</sup>、平均勾配0.01456)を対象とする(図-2-1)。下流の同ダムは堤高29.2m、堤頂長95.26m、総貯水容量493万5千m<sup>3</sup>である。同河川上流部は図-2-2に見られるように直径50cmくらいの巨礫が存在し、またステッププールなどが発達している典型的な山地河川であることがわかる。また周囲が農地のため護岸が多く土壌は富栄養化している。川幅は5~7mの矩型断面である。新十津川ダムに堆積する土砂量が過去10数年分存在するので、今回は2001年のデータに注目し計算値との比較を行うこととする。図-2-3は徳富川近傍の滝川地点での2001年の年間の日降雨量である。

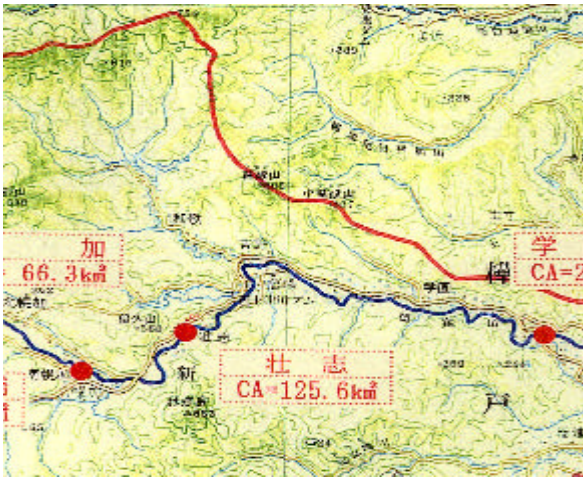


図 -2-1 ウェンベツ川流域図



図 -2-2 ウェンベツ川上流部流況

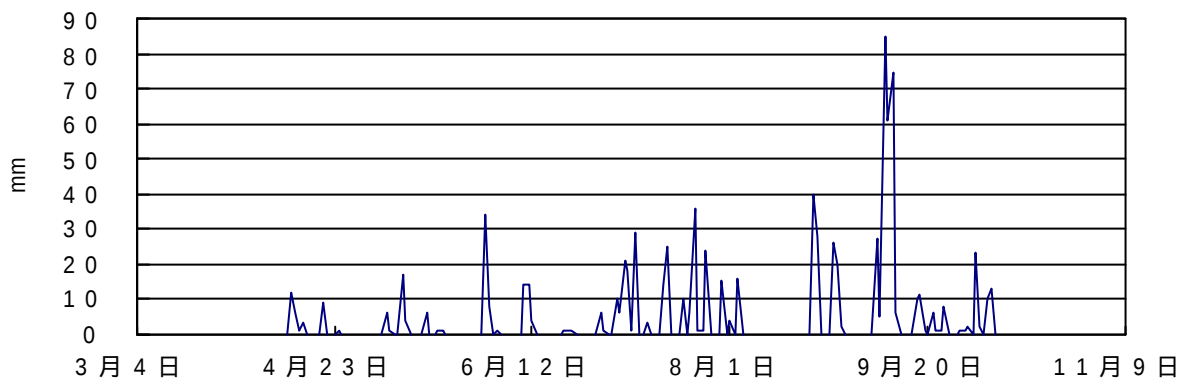


図 -2-3 滝川地点での年間日降雨量

### 3 . ステッププール河道の土砂流出

山地河川では、巨礫・大礫などで構成されるステップ部と小さな砂礫で構成されるプール部(淵)が交互に連なる独特の階段状形態が見られる。このステッププールが大きい場合、上流から輸送砂があると落水水脈下流側にリッジを形成して堆積する。これが次のステップに達した後に本格的な砂の流出が生じ順次下流側のプールを埋めていく。またプール深が小さい場合、低水流は礫間を抜ける水みち流れとなり、輸送砂は掃流状態で速やかに運ばれる。

山地河川におけるステップ間隔(波長)  $\lambda$  およびステップ高  $h_c$  は竜澤ら<sup>7)</sup>が導いた次式によってい

$$l = 3.36 \sqrt{6.48 \sqrt{I} - \frac{1}{3} I^{-\frac{1}{6}} h_c}$$

$$\Delta = 6.43 1 I^{\frac{5}{6}} h_c$$

$$h_c = \left( \frac{Q^2}{g B^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

ここに、 $B$  は川幅、 $h_c$  は流量から計算される限界水深である。

本論文では実際にウェンベツ川上流のステッププールを37個、約100mの測定可能な区間を計測しこれを用いることとした。図-3-1はその実測値を示したものである。

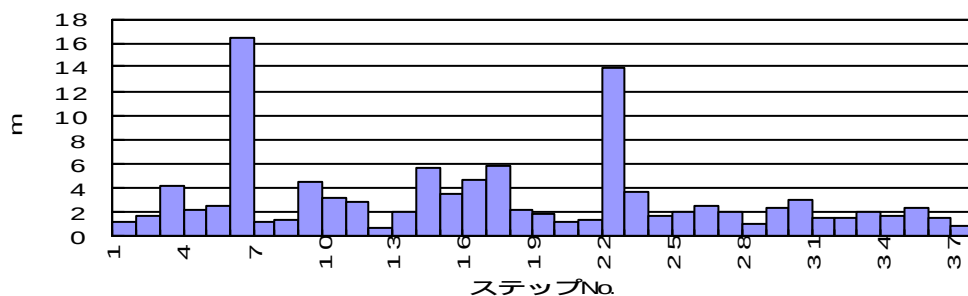


図 -3-1 ウェンベツ川上流部のステップ波長の実測値

新十津川ダムに流入する流砂量の計算を行う。ダムに流入するウェンベツ川上流地点はリブやステッププールが発達している典型的な山地河川の様相を呈している。本論文では神田らによる護床工下流部の洗掘に関する研究結果を用いることにする。神田らによれば最大洗掘深  $Z_m$  を有する洗掘穴における底面の平均せん断力は、流れ方向の運動方程式を適用することによって次式で表すことができる。

$$\bar{t} = \frac{rgh_c h_0 \left\{ -z_m(1-b) - \frac{h_c}{2} \left( 3-b^2 - \frac{2}{b} \right) \right\}}{aS \left( \frac{z_m}{h_0} \right)^g - h_0 l}$$

$$b = \frac{h_0}{h_c}$$

ここで、 $Z_m$  はプールの最深深さである。

上式よりせん断力を算出し、芦田・道上の流砂量式を使い流砂量の計算を行った。ただし、上式において神田らは  $\alpha = 4$ 、 $\gamma = 2$  として計算を行っているが、著者ら<sup>8)</sup>は実験と解析により  $\alpha = 4$ 、 $\gamma = 1$  としたほうがより堆積、流送土砂の実態を把握した。

リブやステッププールは比較的大きな出水時に移動、形成されることが分かっている。そのため今回は 2001 年の降雨に注目し、同年の 7 月 22 日、8 月 22 日についての解析を行った。

#### 4. 二段タンクモデルによる流出推定

著者ら<sup>9)</sup>は徳富川幌加地点の流域流出解析として嵯峨らによる二段タンク型貯留関数モデルを用いた。以下にそのモデル式を示す(図-4-1)。この計算方法は未知パラメータを推定する方法である。計算の収束条件としてモデル定数の最適化を行ない、その未知パラメータの補正値が十分小さくなった時収束とする。

$$\begin{cases} \frac{dS_1}{dt} = r - q_1 - p_s \\ S_1 = k_1 q_1^{p_1} + k_2 \frac{d}{dt} \left( q_1^{p_2} \right) \\ p_s = a_1 q_1 \\ \frac{dS_2}{dt} = p_s - q_2 - z_2 \\ S_2 = k_4 q_2 + k_5 \frac{d}{dt} q_2 \\ z_2 = a_2 q_2 \end{cases}$$

$$q = q_1 + q_2$$

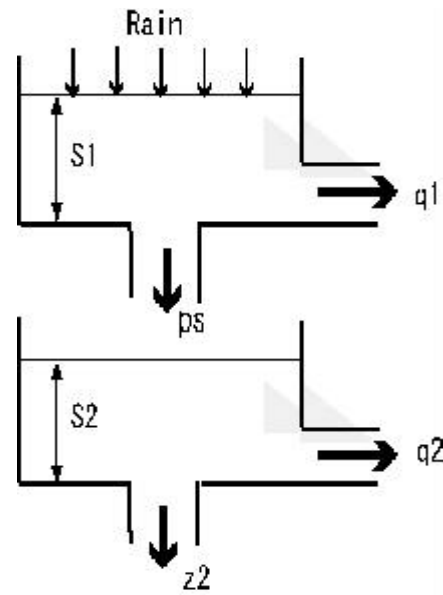


図-4-1

#### 5. 計算方法

一般的に大中規模出水時に大量の流砂が発生することがわかっている。本論文では比較的明瞭に中規模な降雨が起き、ダムの堆砂量が平均的な値をとる前出の2001年の2回の中規模出水時に注目し解析を行う。

本論では図-3-1のように実際に計測した空間的に37個の連続したステップを用いる。連続ステップ河床上の流れを等流的に扱い、1プールでの底面せん断力を神田らによる護床工下流洗掘孔におけるせん断力評価式により算定する。さらに芦田・道上式の平衡流砂量式を適用し、順次各プールにおける流砂量を計算してその出入りの差からプール深の変化を求め、次の時間ステップによる計算を進める。末端プールでの流砂量が流出流砂量となる。今回は河床が本川の最大粒径の50cm以上洗掘されず、また堆積はせいぜいでもフラットとすることにし計算を行った。

#### 6. 計算結果

ここでは算出した流砂量の検証を行なう。図-6-1、図-6-2は本川下流端での流量である。図-6-3、図-6-4は横軸がプール番号左側が上流、右にいくにしたがって下流方向である。縦軸には時間流砂量をとっている。両ケースとも上下に振動しながら上流は洗掘、下流は堆積傾向にある。流砂の連続性が保たれないのは、計算上ステッププールの波長が時間的に変化すること、上流端の境界条件にもよるものである。末端の流砂量は合計約500m<sup>3</sup>で、これに対し2001年の年間の実測値は2615m<sup>3</sup>である。また、37個の

プールの平均値の合計は619.6 m<sup>3</sup>である。ほぼ末端の流砂量の合計は実測値の5分の1である。全プールの平均値をとることでより実測値に近い値を算出できることがわかる。計算では算出出来ない残りの流砂は9月9～10日の出水時や春先の融雪期やさらに小規模の出水時におこると考えられる。また今回は粒径分布を神田らによる実験値を用いたが、これについても検討の余地が残っている。また、流砂量がステップ長に大きく影響を受けることがわかる。

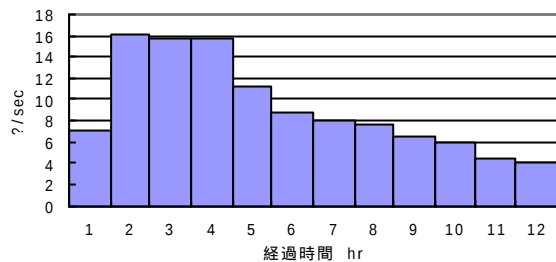


図-6-1 7月22日末端流量

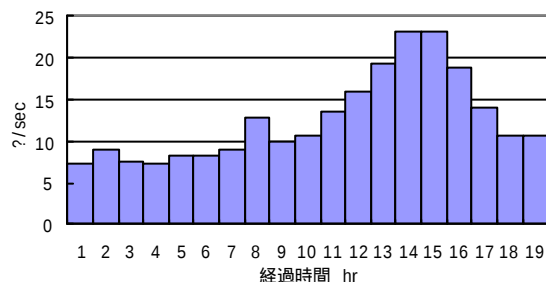


図-6-2 8月22日末端流量

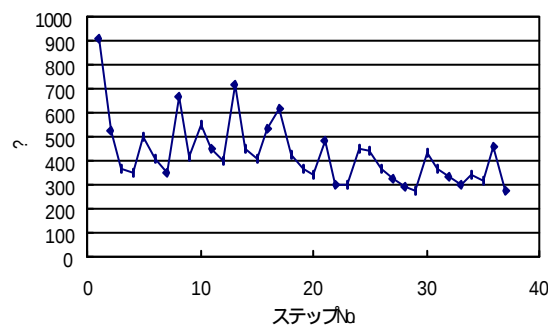


図-6-3 7月22日流砂量

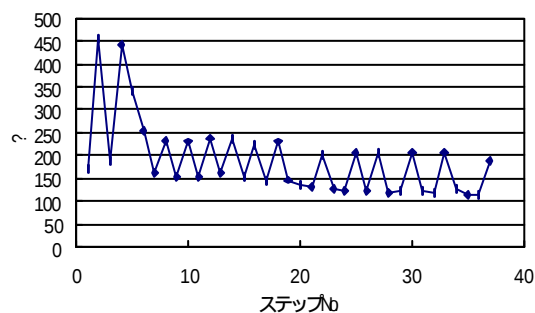


図-6-4 8月22日流砂量

## 7. 結言

ステッププールが連続的に発達した河床モデルのもとで、各プールの埋没と排出を評価することによりある程度土砂輸送の推定をおこなうことができた。これをもとにさらに流域を広げ山地河川での大規模な流砂の実態を解明することができる。

図-6-3、図-6-4から、流砂量の連続性は保たれなかったが、これらを平均化することによってより実測値に近い値を得られることがわかった。

今回は計算上神田らの護床工下流部の洗掘孔における実験の粒径分布を用いたが、観測を行なうことでより実測に近い計算をおこなうことが課題として残る。

解析結果より、年間の流砂量を知るためには他の出水時や融雪期などの流砂量の検討も考慮に入れる必要がある。

流出流砂量がステップ長に大きな影響を受けるためステップの長短の並びによってどのような影響を受けるか考慮に入れる必要がある。

## 8. 参考文献

- 1) 沢田・芦田・高橋：山地河道における掃流砂の流送過程、第25回水理講演会論文集、pp507-514、1981
- 2) 沢田豊明：山地流域の土砂流出に関する研究、京都大学学位論文、1985
- 3) 芦田・江頭・安東：階段状河床形の形成機構と形状特性に関する研究、第28回水理講演会論文集、pp743-749、1984
- 4) 嵯峨浩：北海道における流出予測モデルの構築と総合化
- 5) 中村・長谷川：二段タンクモデルを用いた幌加地点の流出解析、土木学会北海道支部論文集、第60号、2004
- 6) 神田・森本：護床工下流部における局所洗掘穴のせん断力と洗掘の軽減に関する研究、水工学論文集、第43巻、pp617-622、1999
- 7) 竜澤・林・長谷川：溪流の小規模河床形態に関する研究、土木学会論文集、No.656、2000
- 8) 中村・長谷川・田中・竜澤：人工および自然礫列上の土砂移動に関する実験的研究、水工学論文集45巻、2001