

II-252

河床の粒度分布を考慮した溪流の礫列形状特性

水資源開発公団試験研究所 正員 竜澤 宏昌
同 上 正員 林 日出喜
北大大学院工学研究科 正員 長谷川和義

はじめに 山間部の溪流に多くみられる早瀬(Rapids)の河床形態は、図-1に示すように、比較的大きい礫が集積して形成されるステップ部と、この間のプール部とが交互に連なるところに特徴がある。この河床形態は、土砂水理学の分野において階段状河床形あるいは礫列(リブ)・礫段(ステップ)と称されており、その成因や形成メカニズム等についての研究が報告されている^{1)・2)・3)}。一方、この河床形態を落差工や魚道工などの構造に取り入れようとする試みが最近盛んに行われるようになってきている⁴⁾。しかし、こうした近自然的な工法に関する設計指針等の中に、上述の早瀬が持つ河床起伏の基本的な形状特性に関する説明が見当たらない。この点に関して、著者らは、これまでの土砂水理学上の成果を基に、自然溪流にある早瀬河床が本来有している起伏の波長と波高を推定する方法を提案した^{3)・5)}。本論では、これらの推定式について、3種類の異なる粒度分布を有する混合砂礫を用いて実施した移動床実験データとの比較から、その適合性を検証する。

1. 礫列・礫段の波高および波長の推定式 長谷川³⁾は、礫列・礫段の形成因を分級・反砂堆説に求め、ステップ部を構成している礫の無次元限界掃流力 $\tau_{*c}=0.05$ とする仮定のもとに、その波高および波長の推定式を導いている。また、この仮定に関して、竜澤・林・長谷川⁵⁾は、粒度分布を種々考慮した移動床実験の結果から、河床が $P=(d/d_{max})^n$; $n=1/2\sim 3/4$ で表されるTalbot型の粒度分布形の場合に礫列・礫段が形成され易いことを示し、ステップ構成礫がこの分布を成す場合にはその無次元限界掃流力が遮蔽効果を受けて変化するものと考えて、ステップ構成礫の無次元限界掃流力をEgiazaroffの式を用いて評価した。これらを表-2に示す。

2. 移動床実験 幅30cm、深さ40cm、長さ11mの矩形水路を用い、図-2に示す3種類の粒度分布を有する初期平坦河床に対して無給砂の条件での通水実験を行い、河床変動の状況を観測した。通水量は、各砂礫中の最大径($d_{max}=5\text{cm}$)程度の礫に限界掃流力を与える流量とし、Egiazaroffの式を用いて求めている。通水時間は、所定の通水量の状態では2分間、これを断続的に3回繰り返し、計6分間程度である。表-1に実験条件を示す。

3. 実験結果とその考察 図-3は、初期河床の勾配が1/20のケースについて各通水回毎に計測した縦断河床形である。横軸は水路縦断方向の位置を示し、縦軸は初期河床面高を基準とする1回から3回までの通水後河床高を示している。典型的な礫列河床が認められた部分については、ステップ部を構成している礫のうち概ねステップ部の平均高さを与える礫の最高点と、プール部の最深点とを交互に計測し、それ以外の部分については数十cm程度の間隔で計測した。図-3によると、初期粒度分布がTalbot型分布であるA砂礫およびB砂礫に礫列河床が認められていることがわかる。これは、他の勾配においても同様である。また、A砂礫の通水2回後の河床には、交互砂州の発達に伴い、水路幅の概ね10倍程度の波長を有する中規模河床波が認められた。図-4および図-5は、3回目通水後のA、B砂礫河床から得られた波高 Δ および波長 λ のデータを、 Δ/h_c 、 λ/h_c と勾配 I との関係で表し、推定式と実験値とを比較したものである。図中に示す実験値は、横軸方向を度数とする頻度分布を曲線近似して表している。図-4ならびに図-5によると、波高の推定値は、ステップ部構成礫の無次元限界掃流力について式(4)を用いるよりもむしろ式(3)とした方が実験値との適合性がよいことがわかる。一方、波長の推定値は、無次元限界掃流力の評価方法による差異は小さく、概ね実験値を捉えている。

まとめ 溪流に多くみられる早瀬の河床起伏の形状特性に関する推定式について、移動床実験で得られたデータを用いて検証した結果、実験値との適合性が認められた。また、特に、波高の推定に関して、ステップ部を構成する礫の無次元限界掃流力 $\tau_{*c}=0.05$ として求めた方が実験値との適合性がよいことがわかった。

キーワード：溪流河川 山地河川 早瀬 階段状河床形 礫列・礫段 移動床実験

連絡先：水資源開発公団試験研究所（埼玉県浦和市大字神田936番地・TEL 048-853-1785・FAX 048-855-8099）

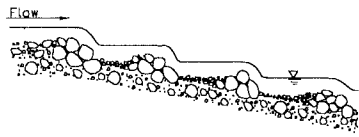


図-1 早瀬河床の概念図

表-1 実験条件

実験砂礫	A	B	C
粒度分布	Talbot型分布 ($n=1/2$)	Talbot型分布 ($n=1/4$)	片対数紙上 上凸分布
平均粒径 (cm)	1.7	1.0	0.67
最大径 (cm)	5.0	5.0	5.0
実験勾配	1/40 1/20 1/10	1/40 1/20 1/10	1/40 1/20 1/10
通水量 (l/s)	36 15 6	24 10 4	17 7 3

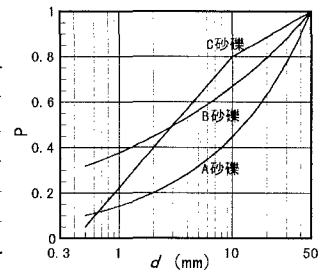


図-2 実験砂礫の粒度分布

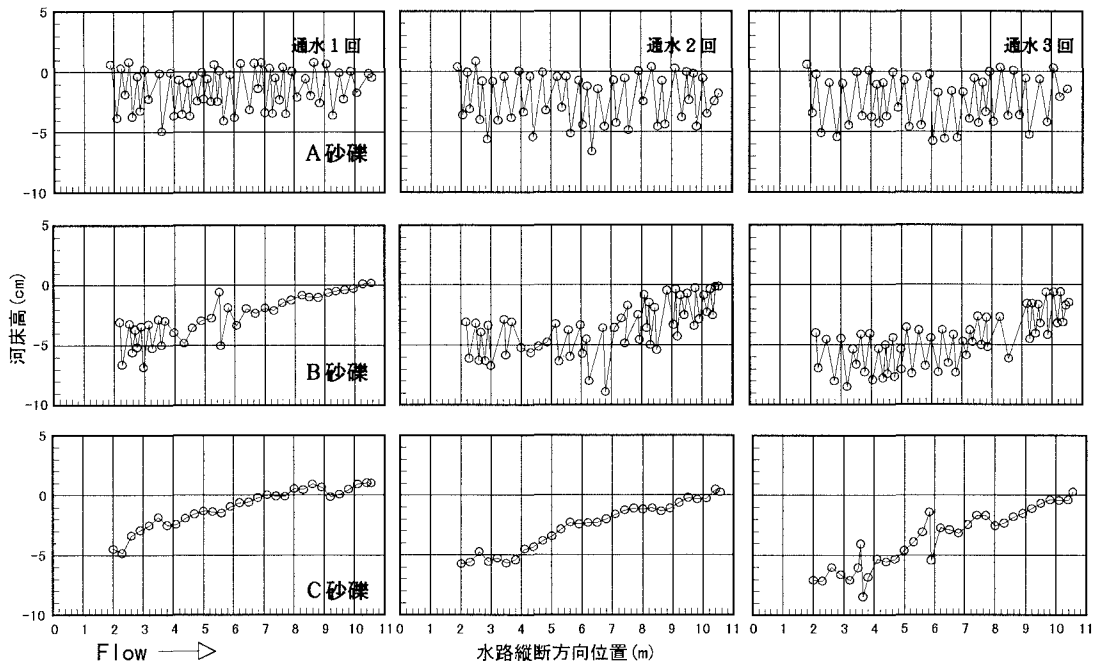


図-3 縦断河床形の計測結果（勾配1=1/20）

表-2 波高・波長推定式^{3), 5)}

$$\text{波高 } \Delta = 0.287(s \chi n \tau_{* \infty})^{-7/6} l^{5/6} hc \quad (1)$$

$$\text{波長 } \lambda = 1.804(s \chi n \tau_{* \infty})^{-1/8} \cdot \{42.25(s \chi n \tau_{* \infty})^{1/2} - 1/3\}^{1/2} hc \quad (2)$$

$$\chi n \tau_{* \infty} = 0.05 \quad (\chi n = 1) \quad (3)$$

$$\chi n \tau_{* \infty} = 0.05 \{ \log 19 / \log 19 (1 + 1/n) \}^2 \quad (4)$$

ここに、 $\tau_{* \infty}$:無次元境界層流れ力(=0.05)
 $s=(\sigma/\rho-1)=1.65$, $hc=(Q^2/gB^2)^{1/3}$
 Q :流量, B :流路幅, g :重力加速度, l :流路勾配
 n :Talbotの指数($n=3/4$)

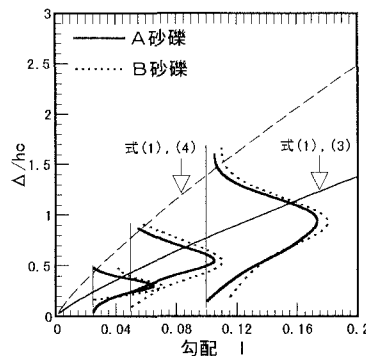


図-4 Δ/hc と勾配 l との関係

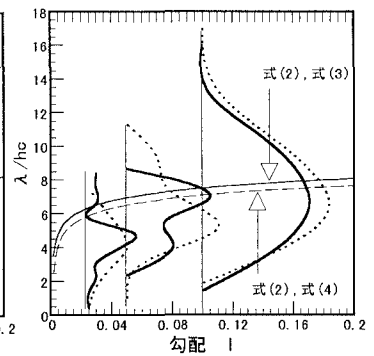


図-5 λ/hc と勾配 l との関係

参考文献

- 1) 芦田・江頭・安東：階段状河床形の発生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
- 2) 長谷川・上林：渓流における淵・瀬(ステップ・プール)の形成機構とその設計指針，水工学論文集第40巻，pp893-900，1996
- 3) 長谷川：渓流の淵・瀬の水理とその応用，第33回水工学に関する夏期研修会テキスト，ppA-9 1-20
- 4) 山海堂：多自然型魚道マニュアル，DVVK/原著，中村俊六/監修，(財)リバーフロント整備センター/翻訳・編集
- 5) 竜澤・林・長谷川：渓流河川における河床砂礫の混合特性と階段状河床形の形状特性，水工学論文集第42巻，pp1075-1080，1998