

# 急勾配混合砂礫水路における中規模河床波 と流砂量に関する実験的研究

北海道大学大学院 学生会員 目黒 嗣樹  
北海道大学大学院 正会員 長谷川和義  
竹中土木 正会員 藤田 豊彦  
水資源開発公団 正会員 竜澤 宏昌

## 1：はじめに

近年では、環境保全の問題などから、山地河川においても河床形態、流れ、土砂流出について明らかにすることが必要不可欠となっている。その河床形態のうち、「礫列」、「礫段」と呼ばれる2種類の小規模河床波については研究が進んでおり、その成因、性質が明らかにされてきた<sup>1)</sup>。しかし、中規模河床波を対象とした研究例は少なく、その成因や性質については明らかにされていない点が多い。本研究は、流量・勾配を種々に変えた急勾配混合砂礫床の実験を行い、発生した性質の異なる中規模河床波および流砂の流出特性について報告するものである。

## 2：実験方法

実験には、長さ11(m)、幅0.3(m)、の両面アクリル板製可変勾配式循環水路を用いた。使用砂礫は、タルボット型の粒度分布、 $P=(d/d_{\max})^n$  ( $P$ : 粒径 $d$ の砂礫の通過重量比率、 $d_{\max}$ : 最大粒径) に従い、最大粒径5.0(cm)、最小粒径0.1(cm)で、べき数が $n=1/4$ の粒度分布を有する混合砂礫である。アーミングが進み、安定化した河床表面は、同式で、べき数が $n=1/2$ の分布を有することが多い。今回の実験では、分級が十分起こりうるように砂の割合を多くしている。このような材料を20(cm)の厚さでフラットな状態に敷き詰めて、無給砂の条件で通水した。本研究では、山地河川の勾配を想定して1/10と1/15の2ケースの勾配を設定し、各勾配ごとに長谷川・藤田<sup>3)</sup>の線形不安定解析の結果において、河床不安定が十分現れるような流量を見出した。そこから流量を段階的に増加させた、各4ケースを設定することにした。実験条件の概略を表-1の左側に示す。

## 3：実験結果

### 1) 結果の概略

実験結果の概略を表-1の右側に示す。 $H_0$ は初期平均水深を表し、流砂量 $q_0$ は通水開始1分後に流路末端で計測したものである。中規模河床波の有無に関しては、○は砂礫堆が形成されたこと、△は縦横断交互分級波が形成されたことを示す。また、波長は、形態が縦横断方向にいれかわる半波長の平均をもって示し、波高は、砂礫堆ごとに左右岸端で最も高いところと低いところの差をとって平均したものを示す。

### 2) 中規模河床波について

表-1に○で示したものについては、BH-1の左右岸の河床高図を図-1に示す。この図より、左右岸の河床高が交互に入れかわることから砂礫堆の形成を確認できる。これは、従来から報告されている高い波高と中規模河床波の理論波長(0.8～1.0m)の3倍程度の長い波長<sup>2)3)</sup>を有するものであった。また、△で示したものについては、BH-12の左右岸の河床高図を図-2、写真を写真-1に示す。写真-1から大礫が左右岸交互に集まっている様子がわかる。さらに、図-2より、左右岸の高低差がほとんどなく、砂礫一層程度しか生じていないことがわかる。この特徴と波長が分級波の理論波長<sup>3)</sup>(1.3～1.5m)にほぼ一致していることから、分級作用によって生じる縦横断方向交互分級波であると考えられる。

表-1 実験条件と実験結果の概略

|       | 実験条件 |             |                       |      |                              |       |                                       |             | 実験結果                  |                                       |    |                            |      |               |
|-------|------|-------------|-----------------------|------|------------------------------|-------|---------------------------------------|-------------|-----------------------|---------------------------------------|----|----------------------------|------|---------------|
| 実験名   | 勾配   | 流量<br>(l/s) | H <sub>0</sub><br>(m) | Fr   | τ <sub>*</sub><br>dm    dmax |       | q <sub>0</sub><br>(m <sup>2</sup> /s) | 通水時間<br>(分) | H <sub>0</sub><br>(m) | q <sub>0</sub><br>(m <sup>2</sup> /s) | 有無 | 中規模河床波<br>波長(cm)    波高(cm) |      | 小規模河床波<br>の有無 |
| BH-1  | 1/10 | 4.0         | 0.027                 | 0.96 | 0.164                        | 0.033 | 0.00180                               | 8           | 0.025                 | 0.00099                               | ○  | 221.7                      | 9    | ○             |
| BH-2  | 1/10 | 6.0         | 0.032                 | 1.12 | 0.194                        | 0.039 | 0.00281                               | 9           | 0.026                 | 0.00145                               | ○  | 246.6                      | 7.6  | ×             |
| BH-3  | 1/10 | 7.7         | 0.036                 | 1.20 | 0.218                        | 0.044 | 0.00368                               | 3.5         | 0.038                 | 0.00189                               | △  | 131.7                      | -    | ×             |
| BH-4  | 1/10 | 10.2        | 0.041                 | 1.31 | 0.248                        | 0.050 | 0.00493                               | 3.3         | 0.046                 | 0.00346                               | △  | 161.7                      | -    | ×             |
| BH-9  | 1/15 | 6.0         | 0.035                 | 0.97 | 0.107                        | 0.021 | 0.00141                               | 20          | 0.032                 | 0.00083                               | ○  | 270.0                      | 5.68 | ○             |
| BH-10 | 1/15 | 7.3         | 0.039                 | 1.03 | 0.117                        | 0.023 | 0.00176                               | 16          | 0.034                 | 0.00110                               | ○  | 280.0                      | 5.27 | ×             |
| BH-11 | 1/15 | 9.0         | 0.042                 | 1.09 | 0.129                        | 0.026 | 0.00221                               | 5           | 0.039                 | 0.00154                               | △  | 160.0                      | -    | ×             |
| BH-12 | 1/15 | 10.6        | 0.046                 | 1.14 | 0.139                        | 0.028 | 0.00265                               | 5           | 0.038                 | 0.00186                               | △  | 165.0                      | -    | ×             |

キーワード： 山地河川，混合砂礫，中規模河床波，砂礫堆，分級作用

連絡先：札幌市北区北13条西8丁目 (Tel)011-706-6199 (Fax)011-706-7165

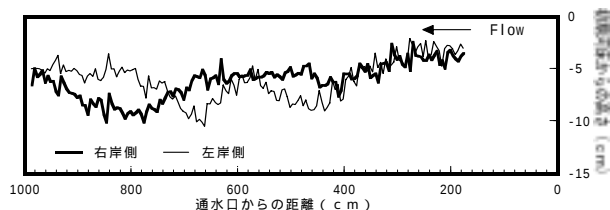


図-1 実験 BH-9 の左右岸の河床高図 (平均勾配差し引き)

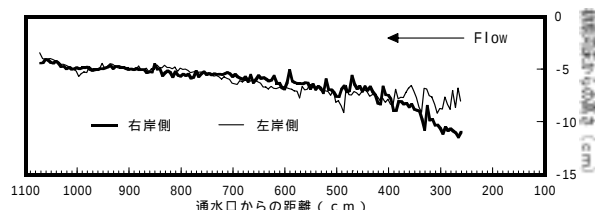


図-2 実験 BH-12 の左右岸の河床高図 (平均勾配差し引き)



写真-1 BH-12, 通水 5 分後の河床 (通水口から 700cm ~ 1000cm 付近)

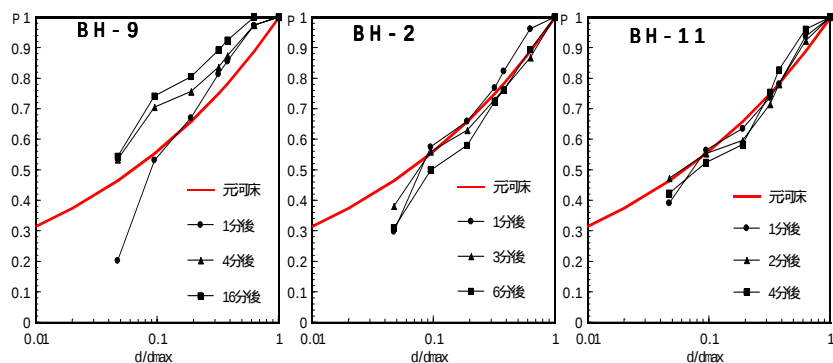


図-3 流砂の粒度分布の時間変化

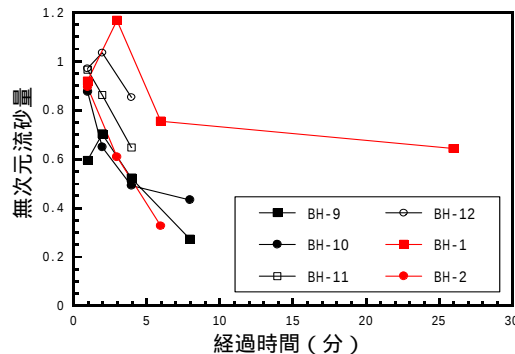


図-4 流砂量の時間変化

### 3) 流砂量について

図-3は、河床形態を以下の3つに分類し、その特徴的なものの時間経過ごとの流砂の粒度分布を表したものである。なお、●、▲、■の印は、それぞれのケースで通水後のそれぞれの総流砂量がほぼ等しくなった時間帯におけるものを選び、対応させて表したものである。は、砂礫堆が形成され、かつ小規模河床波も形成された(BH-9)である。図より、粒度が時間とともに細くなっていくのがわかる。これは、砂礫堆が形成され、その上に小規模河床波が重なって河床が安定化したためと考えられる。は、砂礫堆が形成されたが小規模河床波は形成されなかった(BH-2)、は、交互分級波がみられた(BH-11)である。、のどちらのケースも、元河床の粒度分布に近い砂礫が流れていたことがわかる。これは、みずみち部の河床が安定化することなく掃流状態にあったためと考えられる。また、砂礫堆の形成するのケースの方が、若干粗くなる方向に変動している傾向が見られた。これは、砂礫堆の形成過程において、土砂の堆積と流出が繰り返されたことに原因があると考えられる。

図-4は、砂礫堆が形成したBH-1,2,9,10と縦横断交互分級波が形成したBH-10,11の流砂量の経時変化を示したものである。なお、流砂量については、掃流力の違いの影響を考慮するために、各時間での流砂量 $q_b$ ( $m^2/s$ )を各時間での流砂の平均粒径 $d_m$ (m)と摩擦速度 $u_*$ (m/s)で除した無次元流砂量 $q_b/d_m u_*$ を用いることにした。この図より、今回の実験データの範囲では、小規模河床波が形成するなど、アーミングが進むまでは、どちらのケースも同じような傾向で流砂の減少が見られる。また、アーミングが進んでいくと、流砂量も減るが、粒度も細粒化するためこれによって無次元化した流砂量は一定値に近づく。

## 4 : まとめ

1) 急勾配混合砂礫水路においては、流量変化にともなって中規模河床形態が大きく変化し、それらは2つに大別できる。一方は、砂礫堆が形成するもので、他方は、縦横断方向に分級波が形成するものである。

2) 今回の実験における流砂データの範囲では、生じる中規模河床形態によって、粒度分布の経時変化には若干の違いが見られるが、無次元流砂量の経時変化には違いはほとんど見られなくほぼ単調に減少していくようである。また、流砂の流出特性には、小規模河床波の形成が強く影響しているということがわかった。

## 参考文献

- 1) 長谷川和義：渓流の淵・瀬の水理とその応用、1997年度(第33回)水工学に関する夏季研修会テキスト、pp.A-9-1 ~ A-9-20, 1997。
- 2) 長谷川和義・藤田豊彦・林日出喜・竜澤宏昌・森高信：山地河川に見られる中規模・小規模共存河床形態の実験的検証、水工学論文集、第43巻、pp.749-754, 1999。
- 3) 長谷川和義・藤田豊彦・目黒嗣樹・竜澤宏昌：河床不安定および分級不安定をともなう急勾配混合砂礫河床の形態、水工学論文集、第44巻、2000。