

# 指数曲線的な縦断形の河床における 砂礫の縦断的分級に関する大型水路実験

## Longitudinal Sediment Sorting Along a Concave Upward Stream Profile in a Large Flume

小玉芳敬\*・池田 宏\*・飯島英夫\*

Yoshinori KODAMA, Hiroshi IKEDA, and Hideo IJIMA

### I はじめに

河床砂礫の大きさが下流方向に小さくなることの要因として、従来2つの説が考えられている。一つは砂礫が流下する過程で破碎・摩耗されて小さくなる結果とする破碎・摩耗説、他の一つは流水による分級作用の結果とする選択運搬説である。水路実験においては時間的・空間的制約から砂礫の破碎・摩耗作用を実験条件に取り込むことが容易ではない。

そこで池田ほか(1986)の方法に従い、水路内に指数曲線的な縦断形の砂礫の堆積面を形成し、そこでの粒径の縦断的な分級を観察することは、水流による選択運搬作用で砂礫の縦断的な分級がどのように生じるかを理解する上で極めて重要である。

本研究では、我々が調査を続けている大井川上流の支川、東河内沢のような急勾配溪流を念頭において、流砂強度の強いしかも幅の広い流れにより、砂礫の縦断的な分級がどのように生じるかを一つの実験条件で予察的に調べた。

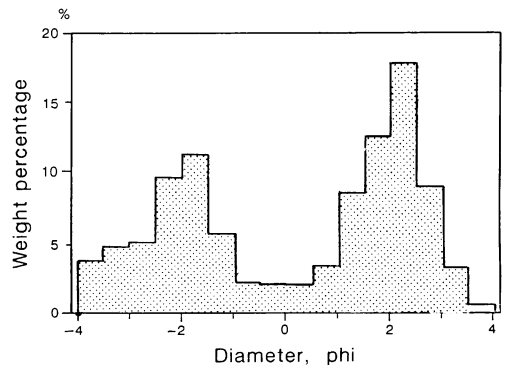
### II 実験方法

実験に使用した筑波大学水理実験センターの大型水路(幅4m、深さ2m、長さ160m)は鋼製で水路床勾配は1/100と固定である。大型水路の起点中央に幅1mの狭窄部を設け、給水量毎秒40リットル、供

給砂礫量毎秒10kgで砂礫を水路内に堆積させた。供給砂礫は3種類にふるい分けした砂礫、すなわち径5~10mm礫と径2.5~5mm礫および径2.5mm以下の砂を1.5:2.5:6の比率で混合させたものを用いた。第1図に示すように供給砂礫全体の粒度組成は細礫と細砂にピークを持つ双峰性を示す。

砂礫と水を数時間供給し続け、水路内に砂礫の堆積を生じさせて停水した。この状態を初期地形として、河床面の高さを横断測量で捉えた。つまり水路起点より5m地点と6m地点より2mおきに32m地点まで計15測線に沿って横断測量を行った。

また珪砂の極細粒砂を初期地形の表面に蒔いた。



第1図 供給砂礫の粒度組成

\*筑波大学水理実験センター

いわゆる同時断面を示すテフラに相当する。つまり引き続き実験で砂礫を堆積させて河床上昇を引き起こした後に、掘削した断面でこの初期地形面を確認できるようにした。特に2mおきの横断測線では、珪砂を多めに蒔き、流水で完全に流亡しないようにした。

続いて21分間、砂礫と水を同様の割合で供給し、その間に適時浮子法による表面流速の測定を実施した。測定区間は5~20m区間で5mおきに計測した。また流水の状態を天井走行電車に取り付けた8mmビデオカメラで平面映像として記録した。停水後、同一の横断測線に沿って河床高の横断測量を実施した。

### III 実験結果および考察

#### 1) 単列砂礫堆の形成と流水パターンの変動

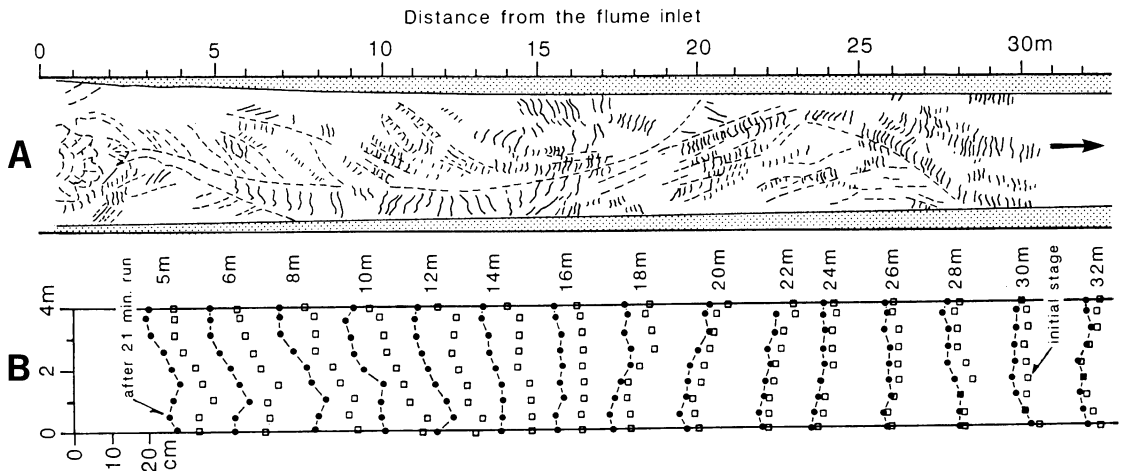
第2図Aは、通水中の流水の状況をビデオ映像をもとに平面図にしたものである。水路起点付近の中央には砂礫が堆積してマウンドを形成していた。それより下流では水路幅全面にわたり水が流れていた。但し20m左岸側と28m右岸側を先端にそれぞれ水深の浅い部分が形成されている。つまり、本実験の給

砂・給水条件では、水路内に単列の砂礫堆が形成されたことがわかる。

砂礫堆上には幾筋かの細長い流水の集中部分が観察された。この流れは砂礫堆の背面に形成された細長く伸びた礫州と関係している。ここでの表面流速は、60cm~100cm/secであり、10mmの礫も転動している様子が観察された。一方、水深が約10cmと深い主流部は、7~13mで右岸側につき、20~25mでは左岸側に移動している。ここでの表面流速は170cm/secに達した。また実験中には、しばしば砂礫堆上の水深が極端に浅くなり所々で離水し、逆に主流部の流れが一段と速くなる現象が観察された。

第2図Bに示した河床横断形からは21分後のものが初期地形にほぼ平行に堆積していることがわかる。つまり、池田ほか(1986)と同様に、河床上昇過程にあっても大局的な河床形の平面的な位置はほとんど変化がなかった。このことは、初期地形を形成する以前の数時間、砂礫と水を供給し続けた時にも確認された。

21分間の実験で上流側では8~9cmの堆積が生じ、下流側でも2~3cmの堆積が生じている。つま



第2図 通水中の平面スケッチ(A)と河床横断図(B)

平面スケッチ中の実線は流水表面にたつた波の峰を、破線は水深や流速の不連続線を表す。網をかけた部分は水路壁にあたる。上流ほど砂礫が厚く堆積しているために、見かけ上、水路壁の高さが低くなっている。

河床横断図は下流側から眺めた断面を一定間隔で並べてある。黒丸破線は21分後の河床横断形を、白抜き四角は初期地形の横断形をそれぞれ示す。

り急速な河床上昇傾向の河川を水路内に形成したことになる。

## 2) 指数曲線的な縦断形を示す砂礫堆積面

横断測量の結果から各断面での平均河床高を算出し、第3図に平均河床縦断形を示した。また5つ離れた断面における平均河床高のデータから、7～8m毎の平均河床勾配を求め、片対数紙にプロットした(第4図)。なお水路起点からの距離に関しては勾配算出区間の中点に対応させた。

21分後の河床勾配の縦断変化は片対数紙上で2～3本の直線に近似できる。つまり河床縦断形は数本の指数曲線の組み合わせであることが判る。初期地形の河床縦断形は指数曲線からやや外れて、特に12～24mにかけては緩勾配であった。しかし、大局的には上方に凹の河床縦断形である。

## 3) 河床上昇過程における砂礫の縦断的な分級

水路起点より2m毎に横断方向に15本のトレンチを掘り、初期地形の河床表面に蒔いた珪砂の極細砂層を断面で確認した。珪砂層は白色であり、黒みがかった河床砂の堆積物中で容易に識別できた。つまりこの白色極細砂層の上位に堆積した砂礫は21分間の実験中に上流から運搬されたきてもので、河床上昇を引き起こした堆積物である。

この堆積物について、粒度組成の縦断的な変化を調べた。つまり白色極細砂層より上位の堆積物を横断方向全体にわたり数cmの幅で採取し、それらを十分に混合させた後に4分割法を繰り返し、約600gの試料を作り、これを各横断平均の試料とした。この

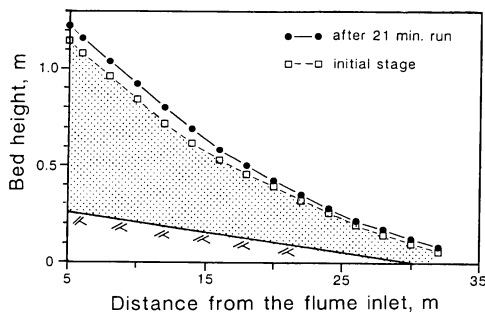
試料を1/2φ間隔の格子篩いを用いて粒度分析した。

第5～7図に粒度分析の結果をまとめた。第5図には、礫サイズと砂サイズに分けて河床構成粒径の重量百分率の縦断変化を示した。岩屑の粒径は1/2φ毎に分けてある。砂サイズでは極細砂(3.0～4.0φ)以外のどの粒径階級においても構成比率が下流方向に減少している。一方礫サイズでは-1.0～-1.5φを除き、構成比率が下流方向に増加しており、砂サイズと対照的である。極細砂(3.0～4.0φ)と-1.0～-1.5φの粒径階級の岩屑が、本実験では上下流に様に分布している。

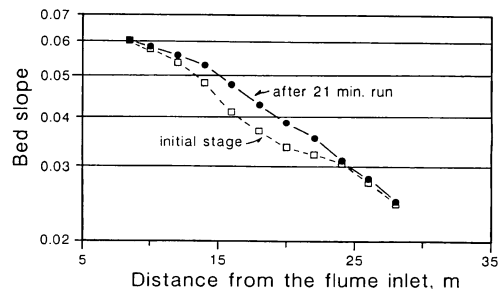
第6図では、河床堆積物の構成粒径を礫、粗砂、中・細砂、極細砂の4段階に分けて、その縦断変化を示すと共に、供給砂礫の粒度組成も併せ示した。上流側では、供給砂礫のうち主に砂粒子、特に粗砂が卓越して堆積して、河床上昇を生じているのに対し、下流側では上流区間を通過してきた礫粒子が卓越して堆積していることがわかる。

第7図には、河床堆積物の中央粒径の縦断変化を示した。10mまではほぼ様な中央粒径(0.5～0.8mm)を示しているが、10～20mにかけて急激に粗粒化して、20mより下流では中央粒径が2.0mm以上になっている。

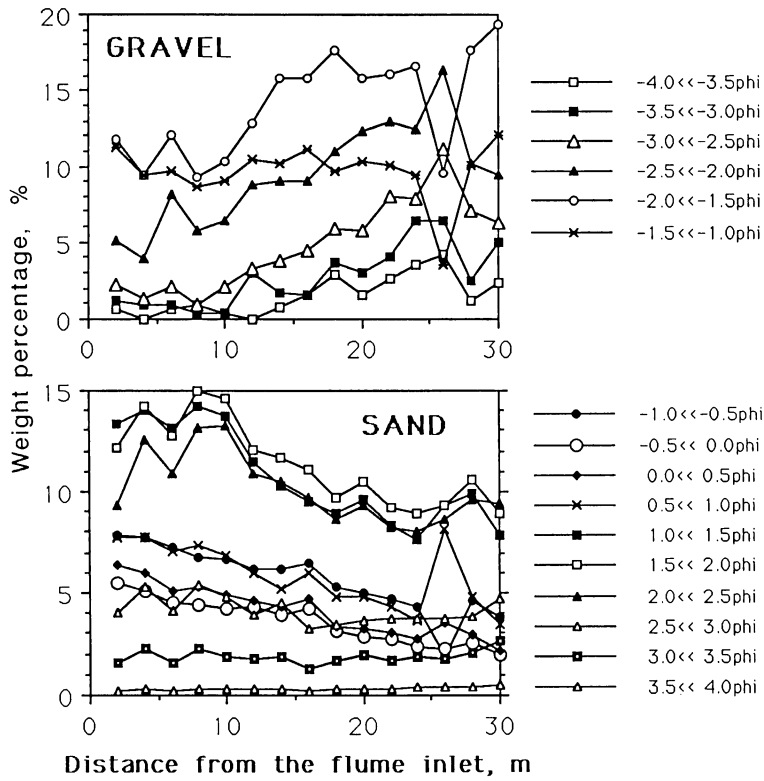
以上のような事実は、常識と全く逆の結果である。つまり、一般的に急な河床勾配を持つ上流ほど粗い礫が河床に卓越し、勾配の緩い下流ほど細かい岩屑が多くなると考えられている。しかし、本実験のような流砂強度の強い、しかも砂と礫が共に運搬され



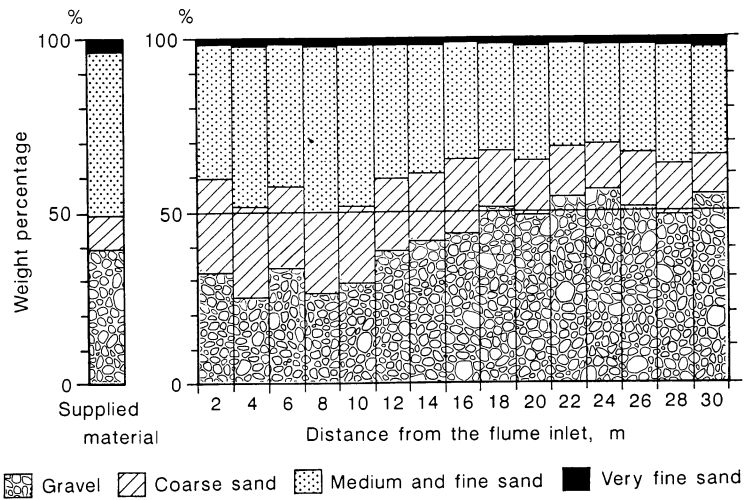
第3図 水路内に形成された河床縦断形



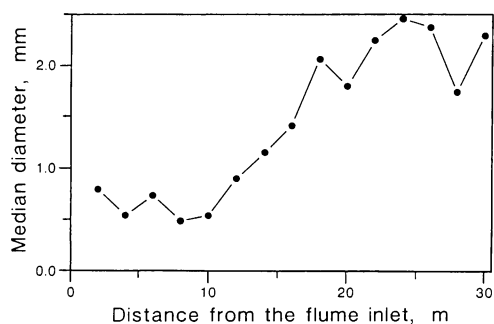
第4図 河床縦断勾配の時間変化



第5図 河床堆積物の粒度組成の縦断変化



第6図 河床堆積物の粒度組成の縦断変化と供給砂礫の粒度組成



第7図 河床堆積物の中央粒径の縦断変化

る流れにおいては、砂礫の混合比率次第では粗い礫がより運搬され易くなり(池田, 1984), その結果下流に選択的に粗い粒径が運ばれ、堆積することが明らかになった。

また各横断トレンチの断面には、層厚数 cm の層状の堆積構造が確認されたが、特に重鉱物の集積した黒色の縞模様は上流側ほど明瞭であった。これと対応して河床表面でも、重鉱物の集積帯は上流ほど広い面積で観察された。つまり最も運搬されにくい重鉱物が上流側に多く存在したものと解釈される。

さらに河床上昇過程においては、上流側で細粒物質が卓越して堆積することで、掃流砂礫の粒径の混合比率が下流方向に変化することも十分に考えられる。粒径の縦断的な分布が、なぜこのようになるかを説明するには、混合砂礫の流送特性のみならず、河床上昇過程で地層に残される粒径についての見解を深める必要がある。

#### IV おわりに

一定量の砂礫 (10kg/sec) と水 (40ℓ/sec) を大型水路の起点に供給し続け、指数曲線的な縦断形の砂礫の堆積面を形成した。水路内には単列の砂礫堆が形成され、河床上昇過程においてもその平面的な位置はほとんど変化しなかった。

ある時点で河床表面に河床砂(黒色系)とは異質の極細粒珪砂(白色系)を蒔き、同時間面をとらえるための鍵層とした。引き続き一定量で砂礫と水を供給し、河床を上昇させた。実験後、横断方向に15本のトレンチを掘り、それぞれ白色極細砂層を見つけ、その上位の砂礫を横断全体から採取して粒度分析を実施し、粒径の縦断的な変化を調べた。その結果、粗い礫が下流ほど卓越し、上流には粗砂や重鉱物が選択的に堆積していることが明らかになった。

この事実は常識とは全く逆である。つまり、緩勾配の上流側ほど粗い礫が卓越し、緩勾配の下流側で砂が堆積すると一般的に考えられるからである。しかし流砂強度の強い、しかも砂と礫が共に動くような流れにおいては、粒径の混合比率次第では、下流ほど粒径の粗いものが卓越する可能性があることを本実験は示している。

#### 謝 辞

実験は筑波大学環境科学研究科の米山哲郎君と、当時自然科学類4年の大河原弘美さんと佐藤浩君にご助力頂いた。特に米山哲郎君には、粒度分析も行って頂いた。製図には宮坂恵美子さんに協力を頂いた。

なお本研究は、筑波大学平成2年度学内プロジェクト研究費および平成2年度文部省科学研究費総合研究(A)(課題番号02, 302, 066, 種々のスケールにおける流れと流砂運動の同時計測による土砂輸送・河床変動機構の解明, 代表: 京都大学 芦田和男教授)の補助を受けて行われたものである。

#### 文 献

- 池田 宏(1984):二粒径混合砂礫の流送に関する水路実験. 筑波大学水理実験センター報告, 第8号, 1-15.
- 池田 宏・伊勢屋ふじこ・飯島英夫(1986):実験水路に形成される河川の縦断形. 筑波大学水理実験センター報告, 第10号, 115-123.