

山地河川勾配に与える河床の凹凸の効果 に関する実験的研究

Experimental study on the effect of riverbed
ruggedness on a mountain stream gradient

杉浦 友宣*・池田 宏**

Tomonobu SUGIURA, Hiroshi IKEDA

I はじめに

山間地を流れる河川は、一般に急勾配で、河床には岩盤や通常の出水では流下しないような巨礫が残留している場合が多い(写真1)。そして供給される砂礫の粒径は淘汰が悪く不均一であり、支流の流入により流量、流砂量、砂礫の粒径が時間的・空間的に大きく変動する、などの特徴を示している。

従来、山地河川に関して地形学の分野では、河床に岩盤が露出しているため平衡状態に達しておらず、現在は緩勾配化していく侵食過程にあるという認識がなされてきた。このため、山地河川の勾配に関する研究は、一部区間に存在する滝や早瀬の形態に関する研究(例えば三野(1958)など)があるものの、縦断的な河相の記載や成因に関する研究は行われていない。

佐藤(1991)は、阿武隈川の郡山盆地-福島盆地間の峡谷部では、数万年にわたる本流の下刻にもかかわらず、その区間の勾配がほぼ一定で急勾配のまま保持されていることを、本流や支流に沿う河岸段丘や支流の遷急点による調査から明らかにした。急勾配区間には、花崗岩の岩盤が露出し、岩塊が河床全面に存在し凹凸を成しているのに対して、上・下流盆地の沖積河川の河床は、粒径の揃った砂礫からなり凹凸は小さい。そして峡谷部の勾配は、郡山盆

地区間の約6.5倍、福島盆地区間の約5倍になっている。佐藤(1991)は、河床に残留している巨礫が水流に影響を与えて、流砂効率を悪くし、この減少を補うために峡谷部の勾配が急勾配になっていると考えた。すなわち、河床に岩盤が露出し巨礫が残留する山地河川は、河床の凹凸のゆえに急勾配で平衡状態に達しているとの新しい認識を提示した。

そこで本研究では、佐藤(1991)の認識のもとに、山地河川の勾配が河床の凹凸によって急勾配で安定しているのかを検証するとともに、凹凸の程度に変



写真1 露出した岩盤とその上に残留した巨礫が河床の凹凸をなす山地河川

撮影場所：大井川上流の支流，小河内下流部，上流を見て撮影
撮影日時：1992年11月22日

* 筑波大学自然学類(現 筑波大学・院・環境科学研究科) ** 筑波大学地球科学系

化を与えて勾配がどの程度急勾配になるのかを水路実験で明らかにし、凹凸と勾配の関係を定量化することを目的とした。

II 水路実験の方法および手順

1) 実験装置

実験には、幅20cm、深さ30cmの矩形断面を持つ長さ8mの透明アクリル製循環式水路を使用した(図1、写真2)。水路の下流端には、高さを調節できる堰を取り付けてある。貯水槽に水を溜め、ポンプで吸い上げて水を水上上流部へ循環させる。このポンプは、口径100mmのスラリポンプで、水と共に砂も循環させることができる。流量は電磁流量計によって測定し、バルブで調節した。また河床材料として、有効径(d_{10})0.4mm、均等係数(d_{60}/d_{10})1.3の分級の良い瀘過砂(中央粒径0.5mm)を水路床に敷き詰めた。なお便宜上、水路上の位置を水路下流端からの距離で表現した。

2) 河床の凹凸として用いた材料

3m~4m地点間の1m区間に、凹凸を与えた。

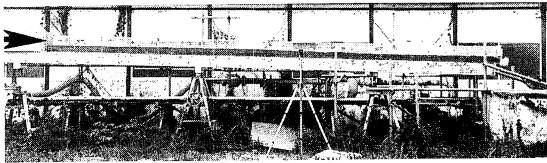


写真2 実験水路の全景

向かって左側が上流であり、水路内には砂が厚さ16cmで平坦に敷き詰められている。

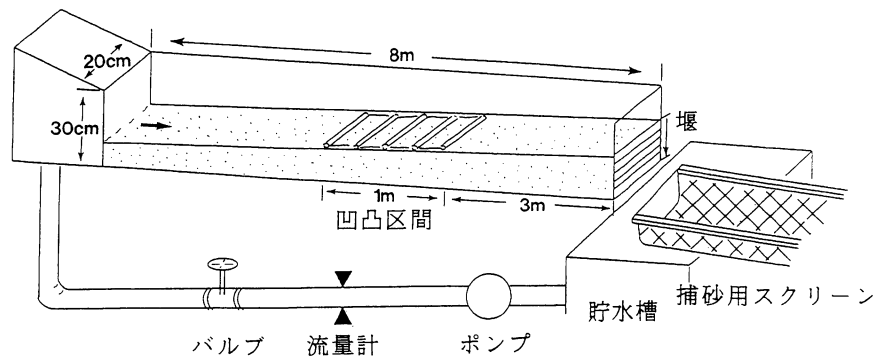


図1 実験装置

河床の凹凸を変化させて勾配に与える影響を検討するため、凹凸として、形状が単純で定量的に変化させやすいものが適する。そこでCASE 1, CASE 2では、砂礫を詰めて重くした直径2.2cm、長さ18cmの塩化ビニール製パイプの両端を細いチェーンで数本連結し、はしご状にしたものを用いた。各パイプはお互いに連結され、通水中流れ出さず常に一定の間隔を保ちながら、河床の凹凸となる。そして連結するパイプの本数を変えることで河床の凹凸を変化させた。

また、実際の山地河川の状況に近いものとするためにCASE 3では、3種類の粒径の礫(6cm礫:長径8cm短径4.8cm, 4cm礫:長径6.4cm短径2.6cm, および3cm礫:長径4.2cm短径2.2cm)を用いた。

3) 実験方法および手順

ある一定の流量、流砂量を水路に与えると、水路内にはやがてこの条件に見合った動的平衡勾配が形成される。この河床の一部区間に、河床の巨礫を見立てた凹凸を与え、同じ流量、流砂量の条件で通水すると、やがて凹凸区間では凹凸に見合った動的平衡勾配が形成される。このとき、凹凸のある区間がない区間と比較して急勾配となれば、凹凸の効果によって勾配の差異が生じたと思わせる。すなわち、凹凸の条件のみに変化を与え、堰を低下させて形成される勾配を測定することにより、河床の凹凸が勾配に与える効果を評価した。

本実験では、まず初期条件として、下流端の堰高を18cmとし、一定の給水量で砂を循環させることに

より、水路内を循環する流量と流砂量とに見合った勾配、すなわち動的に安定した勾配を生じさせ、これを初期河床面とした。その後3 m~4 m区間の河床上に凹凸を置き同じ条件で通水し、水路下流端の堰を下げ、凹凸のない区間の勾配が常に一定となるように、適宜砂を捕砂・供給して、循環砂量を一定に保つように調節した。勾配が変化せず安定な状態になった後停水した。通水中に凹凸が砂面上に露出していた区間を凹凸区間とみなし、水路左岸の河床高を、凹凸区間では10cm間隔で、他の区間では50cm間隔で測定するとともに、傾斜計（SORA社製、DIGITAL LEVEL METER）によって凹凸区間の平均勾配を測定した。なお、本実験は定常状態（動的平衡状態）の河床勾配を議論するため、定常状態に至るまでの時間については考慮していない。

4) 実験条件

表1に、CASE 1, CASE 2, CASE 3の実験条件を示す。

(1) CASE 1

初期条件は、河床面が平坦床となるように給水量5.5l/s、水深5cm、循環砂量約3l/min、初期河床勾配0.017とした。また、凹凸として塩化ビニール製パイプを33本連結したもの（写真3）を用い、堰の低下量を0cm、6.5cm、13cmと変化させて、河床勾配が、河床の凹凸の存在により急勾配で安定するか否かを調べた。

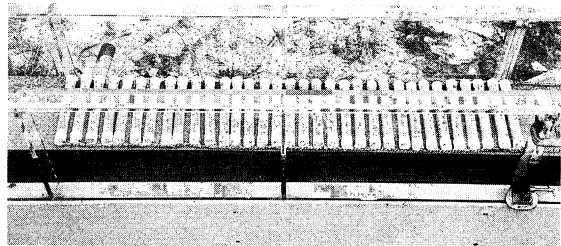


写真3 1 m区間にパイプ33本置き並べた凹凸区間の例（CASE 1）

斜め上方より、水路内を撮影したもの。

表1 実験条件一覧

	CASE 1	CASE 2	CASE 3
水路幅	20cm		
河床材料	有効径0.4mm均等係数1.3の濾過砂		
給水量	5.5l/sec		1.5l/sec
循環砂量	約3l/min		約0.5l/min
水深	5cm		1.5cm
初期河床勾配	0.017		0.011
初期堰高	18cm		
河床の凹凸 (1 m区間)	径2.2cmのパイプ 33本	径2.2cmのパイプ 16本 20本 24本 27本 33本 41本	径6cm礫 5個 30個 10個 40個 20個 50個 径4cm礫 10個 40個 15個 60個 20個 80個 径3cm礫 20個 120個 40個 160個 80個
堰低下量	0cm 6.5cm 13cm	6cm	

(2) CASE 2

初期条件は、CASE 1と同じ条件、給水量 5.5l/s 、循環砂量約 3l/min 、初期河床勾配 0.017 とした。河床の凹凸としてCASE 1と同じパイプを使用し、パイプの本数を16本、20本、24本、27本、33本、41本と変化させ、河床の凹凸の程度が勾配に及ぼす影響を調べた。なお堰の低下量は、いずれの本数の場合も 6cm とした。

(3) CASE 3

初期条件は、凹凸として用いた礫が流下しないよう、給水量 1.5l/s 、水深 1.5cm 、循環砂量約 0.5l/min 、初期河床勾配 0.011 とした。また、3種類の粒径の礫を用いて、置く個数を変化させて凹凸(写真4)とし、河床の凹凸の程度が勾配に及ぼす影響を調べた。なお堰の低下量は、いずれの個数の場合も 6cm とした。

III 実験結果

1) 勾配の決定要素

CASE 1の実験において、堰の低下に伴う河床縦断面形の変化を調べた。初期河床面上に凹凸を与えて堰高を変化させずに通水を始めると、凹凸区間下流部では、パイプによって水の流れが乱され、砂が巻き上がり洗掘が生じた。逆に凹凸区間より上流側

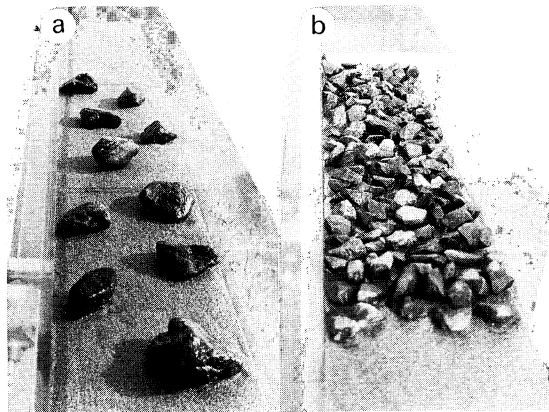


写真4 1 m区間に礫を置いた凹凸区間の例 (CASE 3)
水路の上流側から斜めに凹凸区間を撮影

a : 6 cm礫を10個置いた状態
b : 3 cm礫を160個置いた状態

では、パイプによりダムアップされパイプの太さ分の河床上昇が生じた。凹凸のない区間は初期河床面に対し平行に河床が変化し、凹凸区間は急勾配になった。勾配の変化が見られなくなった後(通水開始から45分後)に停水した。河床縦断面形を測定した結果が図5に示されている。このとき、上流側から 50cm 、下流側から 10cm 分のパイプは砂に埋まり、 $3.1\sim 3.5\text{m}$ 地点間の約 40cm の区間において河床上にパイプが露出し凹凸区間となった。この区間の勾配は 0.12 であり、凹凸のない区間の勾配(0.017)と比べ急勾配であることが分かる。

堰を 6.5cm 下げ再び通水すると(写真5)、堰低下によって水路下流端から河床低下が生じ、初期河床面に対して平行に河床低下した。また、凹凸区間では、下流端からの河床低下に伴い洗掘が起こり、埋もれていたパイプが順に河床上に露出して、 $3.15\sim 3.9\text{m}$ 地点間の約 75cm の区間が凹凸区間となり、勾配 0.12 の急勾配区間を形成して安定した。



写真5 1 m区間にパイプ33本並べたときの通水状況 (CASE 1)
水流は、左から右方向へ。

さらに堰を 6.5cm 下げ通水したところ、同様な現象が繰り返し生じた。つまり凹凸区間では、パイプが 1m の区間すべてにわたり河床上に露出し、 0.12 の勾配のまま平行に河床が低下した。また凹凸区間以外の区間では、初期河床面に平行に河床が低下した。

CASE 1の実験から、堰低下量によらず凹凸区間は急勾配を保持したまま平行に河床低下したことが(図2、写真6)が分かる。また、河床の凹凸が一定であれば、流量、流砂量、および砂礫の粒径が一定の条件下では、同一の勾配で安定することが示された。

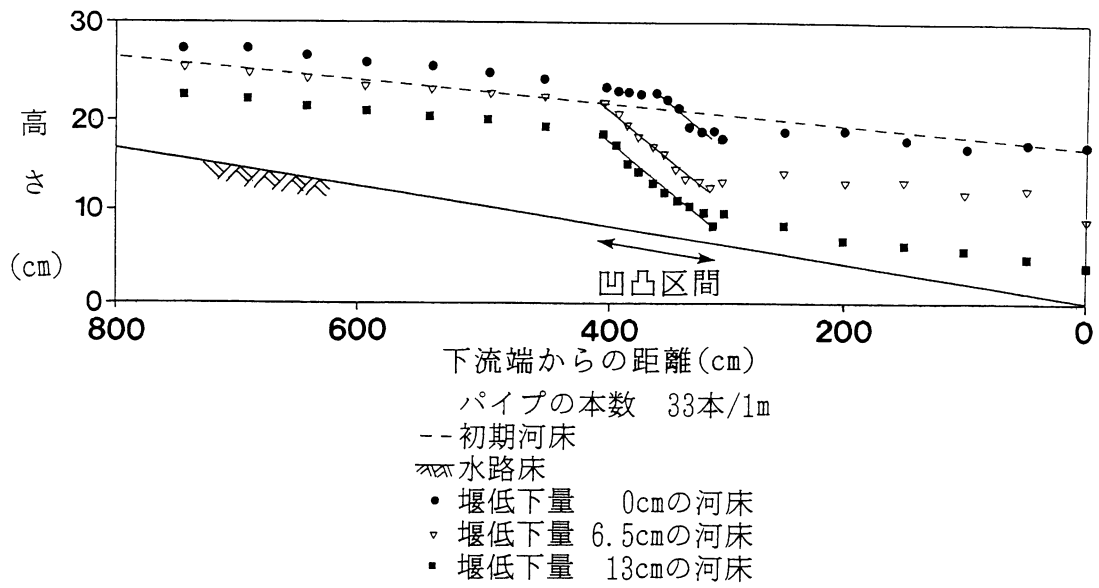


図2 堰低下量と河床縦断面の関係

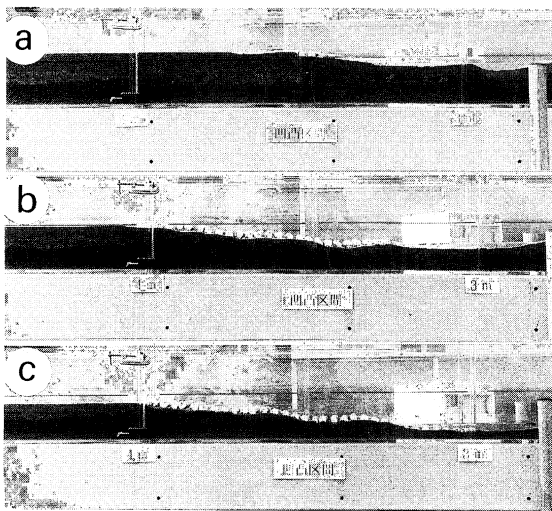


写真6 通水後の凹凸区間の河床 (CASE1)

a : 堰低下量 0 cmの凹凸区間の河床
 b : 堰低下量6.5cmの凹凸区間の河床
 c : 堰低下量13cmの凹凸区間の河床
 図2の凹凸区間のみを示す。水路内の横線が初期河床を示し、凹凸区間の勾配はこれより急勾配になっている。

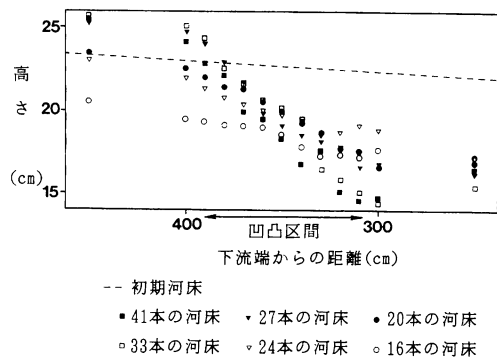


図3 パイプの本数と河床縦断面形の関係

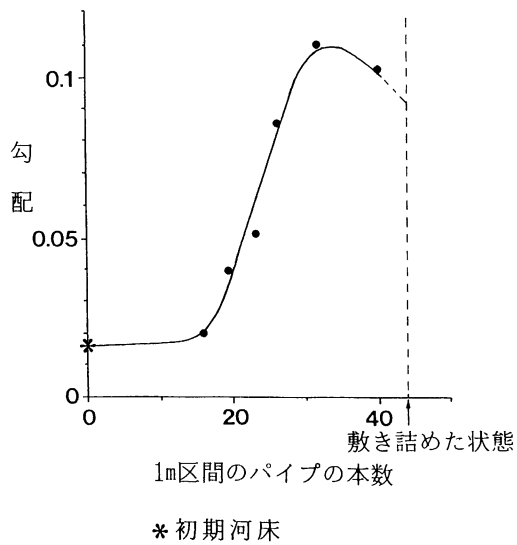


図4 パイプの本数と勾配の関係

2) 河床の凹凸の程度に対する勾配の変化

(1) パイプを用いた場合

CASE 2の実験において、パイプの本数の変化に対して形成された河床縦断面形を、図3に示した。また凹凸区間のうち、河床表面にパイプが露出し急勾配となっている区間の平均勾配を測定した結果を図4に示した。

パイプの本数を増し、20本より多くなると勾配は

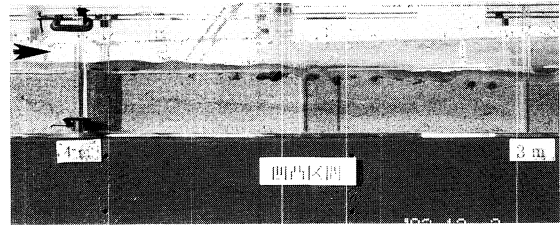


写真7 1m区間に3cm礫を160個並べたときの通水状況 (CASE 3)

水流は、左から右方向へ。

急増し、33本のときに最も急勾配になった。さらにパイプが44本に増えるとやや緩い勾配となった。図4から、河床の凹凸としてパイプの本数が増加するにつれ、安定する動的平衡勾配が急勾配になることが分かる。

(2) 礫を用いた場合

通水と共に礫のまわりに洗掘が生じて、礫はやや砂に埋まり方向を変え、流れに対してインプリケーションして安定し、その後は向きを変えず流れに対して抵抗となっていた (写真7)。3cm礫は、小さいためか時に流される礫もあったが、それらは近くの礫と2、3個寄り添うことにより Gravel Cluster を形成して止まり安定した。また6cm礫は、各礫が大きいので、通水中水面上に一部が現れている礫もあった。

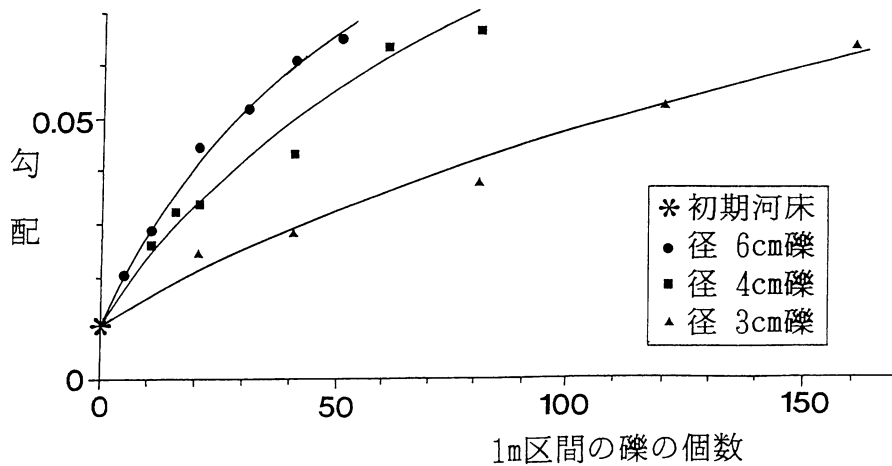


図5 礫の粒径・個数と勾配の関係

河床の凹凸としての礫の粒径や個数が、動的平衡勾配に及ぼす影響をCASE 3の実験で調べ、その結果を図5にまとめた。この図から以下の2点に分かる。河床の凹凸として礫の粒径および個数が増すにつれ安定する動的平衡勾配が急勾配になること、また粒径の大きい礫ほど個数の増加に対する勾配の増加率が大きいこと、である。

IV 河床の凹凸が動的平衡勾配に与える影響

1) 河床の凹凸が勾配に与える影響

CASE 1の実験で河床に凹凸が存在することにより急勾配で安定したが、これは次のように考えることができる。凹凸区間は他の区間と同様に流送されてくる砂を流下させなければならない。しかし、河床に凹凸が存在すると、水流に様々な渦や乱れが生じエネルギーを消耗する。そのため流砂効率が悪くなる。そこで凹凸区間ではこの効率の減少分を新たに補う必要が生じる。つまり勾配が急になることにより、凹凸によって減少した流砂効率を補い、砂を流下させているものと考えられる。

2) 河床の凹凸の程度と勾配

CASE 2の結果から凹凸の増加と勾配の関係について考えてみる。凹凸区間の勾配は、流砂効率を補うために急勾配になり、減少する流砂効率が大きいほど勾配は急になる必要がある。このため河床の凹凸が増加するとともに、勾配も急になったと考えられる。しかし、パイプの数が33本から41本にかけては、勾配が緩くなっている。これはパイプの間隔が狭くなり過ぎたため、パイプが水流に対して凹凸として作用しなくなったものと考えられる。

CASE 3の結果、凹凸として礫の粒径、個数の増加と勾配の関係について考えてみる。水流に影響を与え流砂効率を減少させる点で、礫の粒径が大きいほど、また個数が多いほどその効果は大きい。このため粒径と個数が増加するにつれて勾配が急になるものと考えられる。また大粒径の礫は、一個あたりの流水に対す抵抗が大きく流砂効率の減少が大きいため、個数の増加に伴う流砂効率の減少が大きくなる。そこで、小粒径の礫に比較し勾配は急勾配に、そして個数の増加に伴う勾配の増加の割合も大きくなるものと考えられる。

3) 河床の凹凸の効果の定量的表現

河床の凹凸が勾配に与える効果は、抵抗となる巨礫がどの程度存在しているかを定量化する必要がある。そこで、礫の存在密度 A_0 という指標を考えた。これは河床に対して礫がどの程度存在するかを示し、河床面積に占める礫の底面積の割合である。例えば A_0 の値が 0.1 のときは、巨礫が疎らに存在する状況であり、逆に A_0 の値が 1.0 のときには、巨礫が河床に一面に累々と存在する状況を示す。また礫の形状はほぼ相似形であるとみなせ、礫の底面積が礫のなす凹凸の大きさを示すと考える。

図6は、この指標を用いて、横軸に礫の存在密度、縦軸には勾配の増加率 (S/S_0)、すなわち凹凸のない初期河床に対する勾配の増加率を表した値をとり、CASE 3の結果を示した図である。図6では各粒径間の差がなく、各粒径とも礫の存在密度が増すにつれ、勾配も増している。

CASE 3の実験結果から礫の存在密度と勾配の増加率との関係は、

$$S = (1 + 6A_0^{0.7}) S_0$$

で表される。なお実験値とこの式による計算値の相関係数は、0.96である。この式では、 A_0 の指数部が1ではなく、0.7になっている。図6からも明らかのように、河床の礫の増加に対し、勾配が直線的

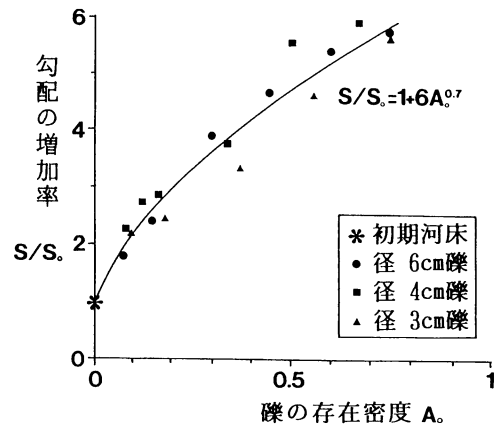


図6 礫の存在密度と勾配の増加率の関係

$$A_0 = \frac{\text{礫の全底面積}}{\text{河床の面積}}$$

に増加しないことを示している。これは、礫の個数が増すにつれ、各礫の間隔が狭くなり、上流側にある礫の影に入る礫の個数が次第に増えると予想される。このため各礫が水流に対して与える抵抗が減少すると考えられる。つまり河床の礫の個数が増しても、水流に与える抵抗の大きさは比例して増加せず、礫の個数が多くなれば、他の礫の影になるものが増し、河床の抵抗の増加率が少なくなることを示している。

V 山地河川勾配に及ぼす河床の凹凸の影響

1) 阿武隈川、郡山―福島間の峡谷部の勾配

阿武隈川には、急勾配 ($1/179$) の峡谷部が存在し、上流の郡山盆地区間 ($1/1159$) の約 6.5 倍、下流の福島盆地区間 ($1/909$) の約 5 倍になっている。従来、この峡谷部の勾配に対して、下刻が進みつつあり、緩勾配化していく侵食過程にあるという認識がなされてきた。しかし峡谷部の勾配は、河床の凹凸の存在により急勾配で動的平衡勾配に達している可能性が佐藤 (1991) によって指摘されている。

急勾配となっている峡谷部と上・下流部盆地区間を比較してみると、同一河川の連続した区間であるため、流量および流砂量はほぼ同じで、異なっているのは、河床の凹凸と考えられる。両区間の河床の凹凸に、本実験による礫の存在密度をあてはめてみると、峡谷部区間では岩塊や巨礫がほぼ河床一面に存在しているため 1 に近く、逆に盆地区間の河床は砂礫からなり凹凸のない状態、すなわち初期河床に近い状況とみなすことができる。図 6 から、礫の存在密度が増加し 1 に近くなるにつれて、安定な勾配は初期河床に対して約 6 倍に増加している。この増加の割合は、盆地区間の勾配に対する峡谷部の勾配の値とほぼ一致する。つまり流量および流砂量が同じで、河床の凹凸の効果のみによって、峡谷部の勾配が急勾配で安定しているものと考えられる。

2) 砂防ダムの元河床勾配と堆砂面勾配の関係

(1) 堆砂面勾配について

わが国では、多くの山地河川において土砂災害防止のために砂防ダムが設置されている。砂防ダムを設置すると、山地河川はその時点で本来の姿を失ない、砂防ダムを境として河床勾配が不連続になる。

下流側では、本来の山地河川が維持されて、巨礫や岩盤のなす凹凸が存在する河床を持つ急勾配河川であり、上流側では、流送されてくる土砂が堆積し河床上昇が生じて、緩やかな勾配の堆砂面が形成される (図 7, 写真 8)。

砂防ダムの設置により、上流から流送されてくる土砂は堆積し貯留される。満砂後は、上流側に堆砂面勾配が形成されるが、大出水によって土砂が大量に流出した場合、堆砂面上に一時的に土砂が急勾配に堆積することにより貯留が生じる。その後の中小出水によって徐々に貯留された土砂が流下し元の堆砂面勾配に戻るとされている (芦田, 1985)。このため砂防ダムの機能は、元河床勾配と堆砂面勾配とに依存し、堆砂面勾配を正確に予測することが必要とされる。

(2) 元河床勾配と堆砂面勾配の関係

砂防ダムの堆砂面勾配は経験的に元河床勾配の $1/2 \sim 3/4$ になるとされ、実際に砂防ダムもその基準で設置されている。しかし $1/2 \sim 3/4$ になる理由は、いまだに明らかにされていない。

石崎 (1971) は、以下のように説明している。堆砂面勾配は、砂防ダムによる土砂の捕捉率に対応し、元河床勾配の $1/2$ ということは、捕捉率でいえば 50% にあたる。実際の例によると、砂防ダム設置後捕捉率は、最初は急激に低下し、50% ぐらいになると低下の速度が緩くなっており、堆砂面勾配が元河床勾配の $1/2$ ぐらいに見える期間が非常に長い。このために堆砂面勾配は元河床勾配の $1/2$ になるといわれる、と述べている。すなわち、堆砂面勾配は、元河床勾配まで急勾配化する過程にある、としている。

しかし大井川の支流である東河内沢の砂防ダムを例にとると、建設後、長い時間を経過しているにもかかわらず、堆砂面の勾配は元河床と比べて緩い勾配となっている (真板, 1992)。これらの例から、堆砂面勾配は、今後急勾配化していく途中段階にあるのではなく、すでに平衡状態に達している可能性が指摘できる。

堆砂面勾配が変化せず平衡状態に達していると考えられる砂防ダムに関して、谷 (1952, 1955) の資

料をもとに流域の状況別に、元河床勾配と堆砂面勾配をプロットすると、図8のようになる。図8によると谷(1955)が指摘するように、元河床勾配と堆砂面勾配との関係は、主に砂が堆積するような風化花崗岩地帯に多くみられる禿緒地の溪流においては1/2に、階段状に砂防ダムが設置されているような谷頭侵食部などの急勾配溪流では3/4になっていることが分かる。

図9は、風化花崗岩地域の溪流と急勾配溪流に砂防ダムが建設された状態を模式的に示したものである。風化花崗岩地域の溪流においては、元河床には所々に巨礫や岩盤による凹凸が存在している。これに対して堆砂面は、主たる流送物質が砂からなり河床の凹凸は非常に小さい。すなわち元河床と堆砂面を比較した場合、河床の凹凸の差が著しい。

一方急勾配溪流では、崩壊などによる土砂生産が盛んな岩塊生産地に近接しているため、元河床において多量に巨礫が存在し大きな凹凸をなして急勾配

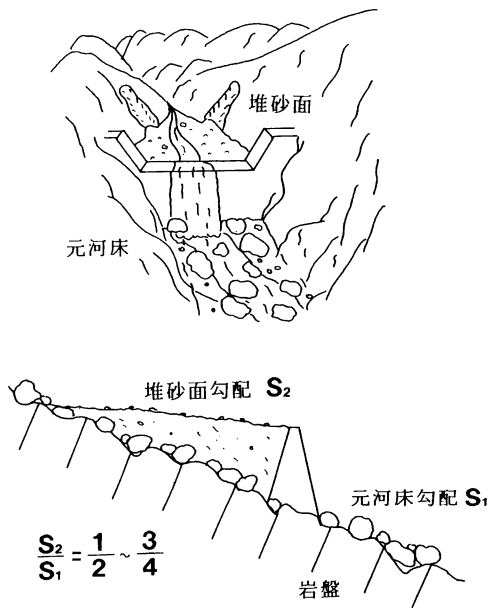


図7 砂防ダムが河床勾配と河床堆積物に及ぼす影響を示す模式図

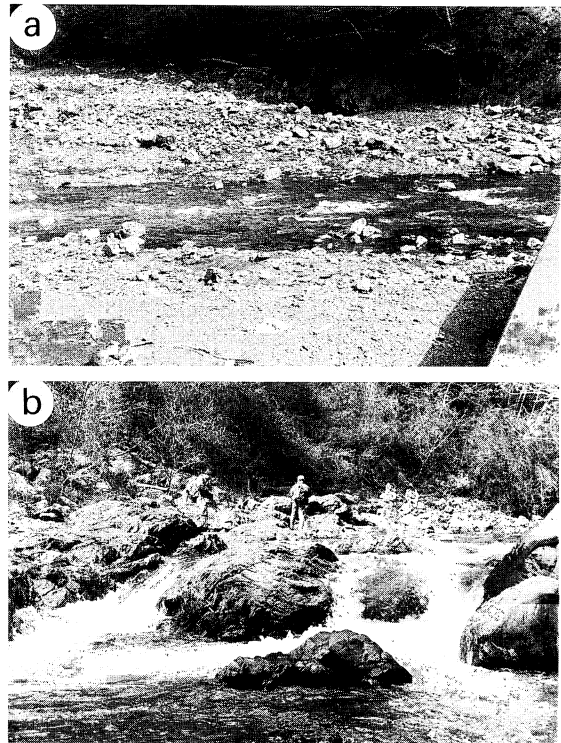


写真8 砂防ダムの上・下流で異なる河床の凹凸

a: 砂防ダム上流の凹凸の小さい河床
 b: 砂防ダム下流の凹凸の大きい河床
 撮影場所: 大井川上流部の支流, 東河内沢
 中流部
 撮影日時: 1992年5月2日

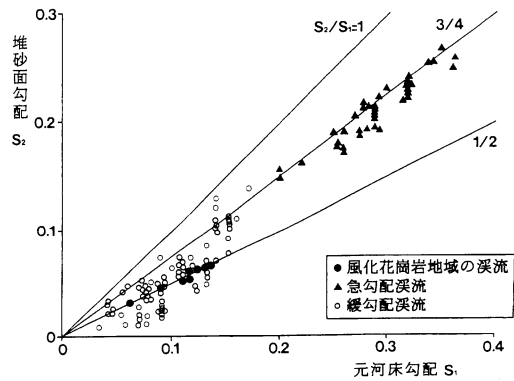


図8 砂防ダムの建設に伴う元河床勾配と堆砂面勾配の関係

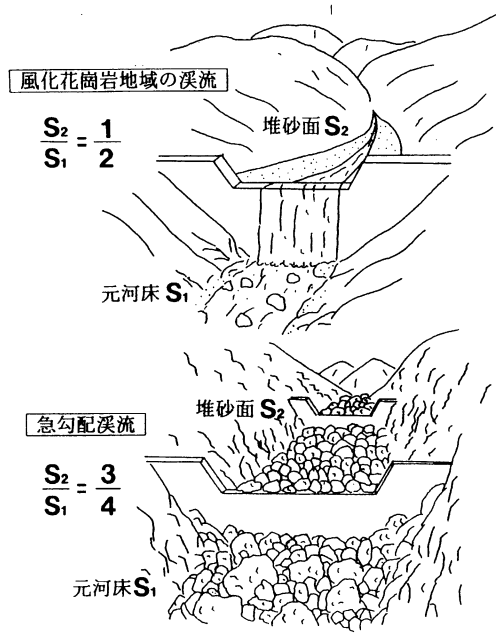


図9 流域の状況によって異なる元河床と堆砂面

になっているだけでなく、堆砂面においても粒径の大きな角礫が互いに噛み合いながら堆積し、水流に対して大きな抵抗となっている。このような溪流では河床の凹凸が大きく、堆砂面の凹凸は元河床の3/4程であり、あまり差がない。

本実験によって示されたように、河床の凹凸の効果により元河床勾配と堆砂面勾配の差が生じると考えられる。両溪流において、各元河床と堆砂面では同一地点であるため同じ流量、流砂量となっており、異なる条件は河床の凹凸のみと考えられる。風化花崗岩地域のような溪流では、元河床に比べ堆砂面の河床の凹凸が非常に小さく1/2程になるために、堆砂面勾配は元河床勾配の1/2にまで緩くなる。また急勾配溪流では、元河床と堆砂面との凹凸の差があまり無くその比が3/4程で、堆砂面も元河床と同じように急勾配になり、堆砂面勾配は元河床勾配の3/4になると考えることができる。

つまり元河床と堆砂面の凹凸の差が大きいと、元河床勾配と堆砂面勾配の差が大きくなると考えられる。また、本実験結果から堆砂面勾配は今後元河床

の勾配まで急勾配化していくものではなく、河床の凹凸の影響によって安定した勾配となっていると考えられる。

なお、風化花崗岩地域の溪流に、礫の存在密度の指標をあてはめてみると、堆砂面上はほとんど凹凸のない状態、すなわち礫の存在密度はほぼ0となる。また元河床勾配は堆砂面勾配の2倍となるので、図6から、勾配の増加率が2倍となる礫の存在密度の値を求めると0.1となり、元河床に巨礫などのなす凹凸が10%ほど存在することを示している。この値は、実際の山地河川での河床の状況と比較して、妥当なものといえる。

VI おわりに

本実験によって明らかにされたことは、次の2点である。

(1) 沖積河川の勾配は、流量、流砂量および砂礫の粒径に支配されていると考えられているが、山地河川の勾配は、それらに加えて、河床に残留している巨礫や露出している岩盤による河床の凹凸にも支配され、凹凸の効果によって急勾配で安定すること、すなわち山地河川勾配は次式のように表現される。

$$S = f(Q, Q_s, d, \text{河床の凹凸})$$

ここで、S：河川の勾配、Q：流量、 Q_s ：流砂量、d：砂礫の粒径、である。

(2) 河床の凹凸が大きいほど勾配も急勾配になり、凹凸と勾配との関係は、次式のように表現される。

$$S = (1 + 6A_0^{0.7}) S_0$$

ここで、S：河川の勾配、 A_0 ：礫の存在密度、 S_0 ：凹凸の影響がないときの勾配、である。

そして以上の実験結果から、河床の凹凸の効果によって阿武隈川の峡谷区間の勾配が、その上・下流の沖積河川と比較して、5~6倍になりうること、また砂防ダムの堆砂面勾配(S_2)が元河床勾配(S_1)より緩くなるのは、元河床の凹凸に比べ堆砂面上の凹凸が小さいためであり、堆砂面上の凹凸が元河床の凹凸と大きく異なるほど、 S_2/S_1 の値が大きくなること、が明らかにされた。

今後に残された課題として次の点があげられる。本研究は水路実験によるもので、本成果を野外での

調査によって検証していく必要がある。また実験条件に関しても、流量・流砂量を一定にして、凹凸の条件のみを変えているが、同じ凹凸の条件であっても、流量・流砂量が異なれば、勾配に与える影響も異なってくると予想される。さらに、今回の実験では、河床の凹凸が勾配に与える効果に関する原理的な実験であるため、河床材料として砂を用いたが、実際の山地河川の河床は岩盤であり、より実際に近い条件での実験が必要であろう。また、実際の山地河川において、河床の凹凸の程度は、岩盤の性質に支配されるため、岩質が勾配を支配していると考えられる。このため岩質の異なる山地河川での研究が必要である。

謝 辞

水理実験センターの小玉芳敬技官、上武大学商学部の伊勢屋ふじこ先生には、本研究を進めるにあたり適切な御助言を頂きました。また水路実験において、水理実験センターの飯島英夫技官には、実験装置の製作、使用法などに関していろいろとお世話になりました。以上をはじめ多くの方の御指導のもと

に本研究がなされたことを、ここに深く感謝すると共に、厚くお礼申し上げます。

文 献

- 芦田 和男 編 (1985) : 扇状地の土砂災害. 古今書院, 224p.
- 石崎 勝義 (1971) : 河床縦断形の変動. 新砂防, 78, 19-24.
- 佐藤 浩 (1991) : 阿武隈川, 郡山-福島間における急勾配区間の成因. 筑波大学第一学群自然科学類, 平成2年度卒業研究, 50p.
- 谷 勲 (1952) : 堰堤背後安定貯砂勾配に就て. 新砂防, 7, 25-29.
- 谷 勲 (1955) : 特殊な場合の堰堤貯砂勾配について. 新砂防, 18, 17-20.
- 真板 秀二 (1992) : 混合砂礫の流送特性と砂礫の破碎・磨耗を考慮した砂防ダム機能の評価. 平成2・3年度文部省科研一般C報告書, 98p.
- 三野 与吉 (1952) : 日光華厳滝について. 藤本教授還暦論文集, 334-363.