

II—13 白水川における階段状河床形の調査研究

北海道大学工学部	正 員	森	明 巨
同 上	正 員	黒 木	幹 男
同 上	正 員	岸	力
同 上	学生員	戸 嶋	光 映
同 上	学生員	○谷	口 伸 也

はじめに

山地において斜面崩壊などで生産された土砂は、河川に流入し、様々な形態で下流域へ輸送される。この過程において、山地河川に形成される様々な階段状構造は、土砂輸送に非常に大きな影響を与えている。例えば、ステップ&プールは床止工の働きをして有効せん断力を減ずることにより、流砂量を減ずる様に働いている。この点から、下流域への土砂の供給量を予測するためにはこれらの階段状構造の形成機構の解明が必要である。Whittaker & Jaeggi (1) は、この階段状構造が反砂堆の発生と分級現象に起因することを示した。また、芦田・江頭・安東 (2) は、発生においては分級流砂による反砂堆の形成と最大粒径の礫の停止が重要であり、その発達に対しては分級による比較的大きな礫の移動が大きな役割を果すことを指摘している。これらの実験的研究によりステップ&プールの基本的性質が明らかになってきたが複雑な諸要因がからむ山地河川での実態調査はまだ充分ではない。そこで、本研究では豊平川支流薄別川の支流白水川に調査区間を設けて現地調査を行った。幸いに調査後のS 6 0. 9. 1に集中豪雨（以後 9. 1出水と呼ぶ）があり、河床が大きく変化した。そこで、本研究では 9. 1出水前後の河床形を比較検討し、階段状構造の性質について考察する。

1. 調査の概要

調査区間は400mで調査項目は、平面測量、縦断測量（河道最深部を2m間隔）、線格子法による粒度分布（1m間隔に上から見たときの長径と短径）、ステップの crest（以下、「ステップの crest」を単に「ステップ」と省略する）構成礫の粒径（上から見たときの長径、短径および鉛直方向の径）及び写真撮影（4m間隔に上流及び左右岸を撮影）である。ただし 9. 1出水後は縦断測量及び写真撮影のみである。図



写真—1

—1に調査区間の縦断形状及び平面形状を示した。平均縦断勾配は最小自乗法により求めると0.0436で、これを差し引いたものを示してある。図中の実線は 9. 1出水以前のものの、点線は 9. 1出水以後のものである。ステップの位置を図中に縦線で示した。9. 1出水前は実線、後は破線である。平面形状は、弯曲角約90°で蛇行する部分が2箇所含まれている。

図—2は河床材料及びステップ構成礫の粒度加積曲線である。いずれも対数正規分布でよく近似されている。図によれば河床材料の50%粒径は、長径=25cm、短径=18cmであり、ステップ構成礫は、長径=54cm、短径=40cm、鉛直方向の径=33cmである。

写真1に調査区間で見られたステップの一例を示した。

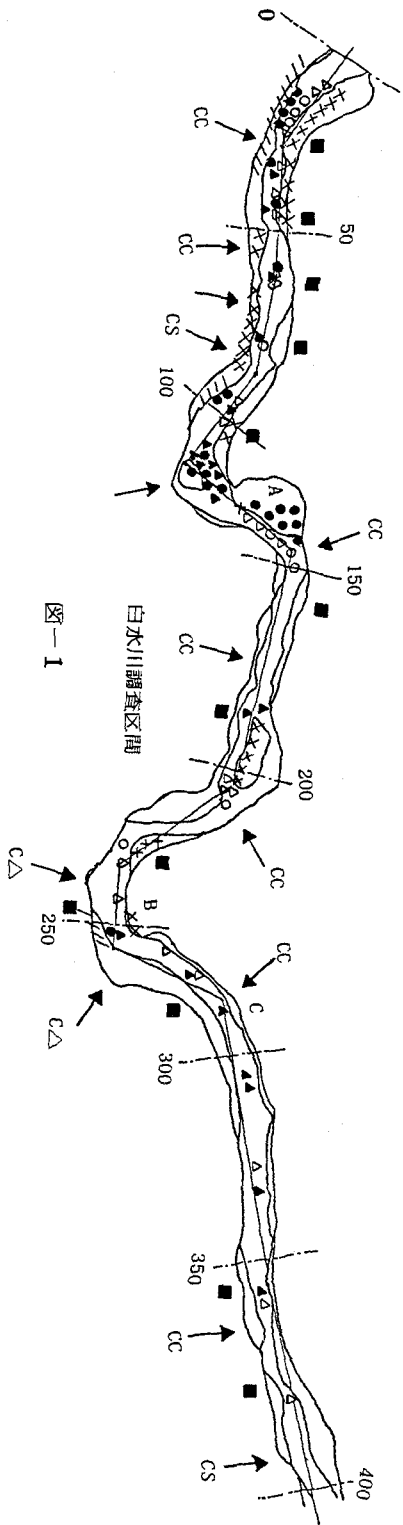
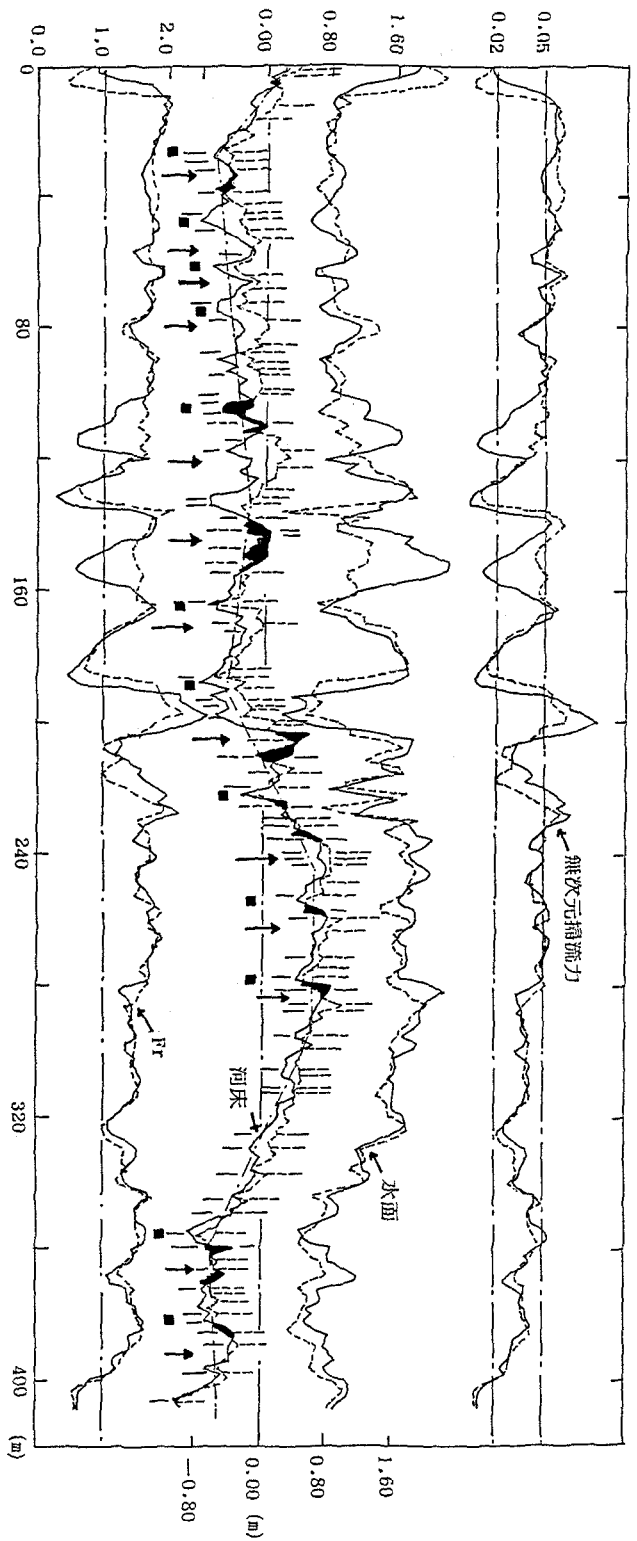


図-1

2. 階段状構造の分類

図-1に示された河床変動にはステップに比べて波長の長いものが認められる。それらは二つに分けられ、一つは図中に一点鎖線で示されたもので波長は200m程度である。この変動の頂部は図-1中に示したA地点及びB-C区間に対応し、比較的長い直線区間から強い蛇行区間に流入した部分となっている。写真2は出水前後のA地点の比較であるが、出水後に水衝部にかなりの量（堆積厚約2m）の堆積が認められる。

もうひとつの河床変動のピークの位置を図-1中に矢印で示した。図によれば流路が弯曲している地点に多く発生しており、平面形状との関連が予想される。この変動の波長は20~40mである。本研究では便宜上、この河床変動を中規模河床波と呼ぶことにする。

中規模河床波は60m及び120m地点のものを除いて、総てステップと関係している。すなわち、図-1中のC印地点の河床波のcrestはステップのcrestに一致している。CS印の地点では、ステップのcrestの上流にセキ上げられて中規模河床波のcrestが形成されている。これらに対して、60m地点では巨礫の下流に発達した中州であり、120m地点のものは分流点における中州である。また、図中に■印で示したのは中規模河床波の谷の位置であるがこの地点では100m地点のものを除いて、総てステップでありステップを構成している礫は大きく、1mをこえるものが多い。

3. 9.1 出水による河床変動

出水前後の写真の比較から、以下の様な礫の移動及び河床変動が判別され、これらの分布状況を図-1中に示した。

- ステップ構成礫の洗掘 (△)
- ステップ構成礫以外の礫の洗掘 (○)
- ステップのcrestに堆積 (▲)
- ステップ以外への堆積 (●)
- 側岸の洗掘 (xxx) 及び堆積 (///)

図によれば礫の移動の状況は流路形状により大きく異なる。すなわち直線部（155~180m、300~400m）では、礫の移動は流路中央のみである。一方、弯曲部では、内岸側は洗掘され、外岸側には堆

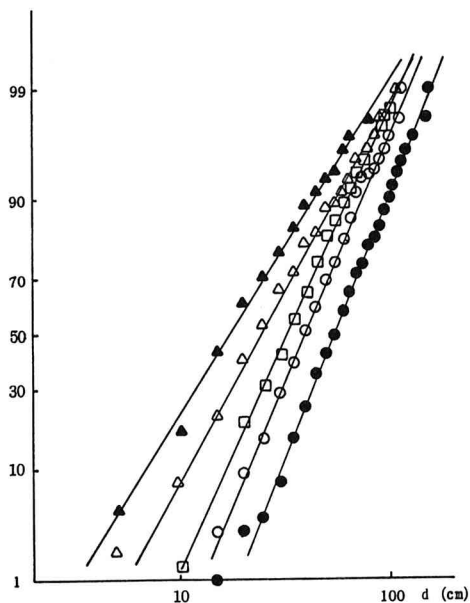
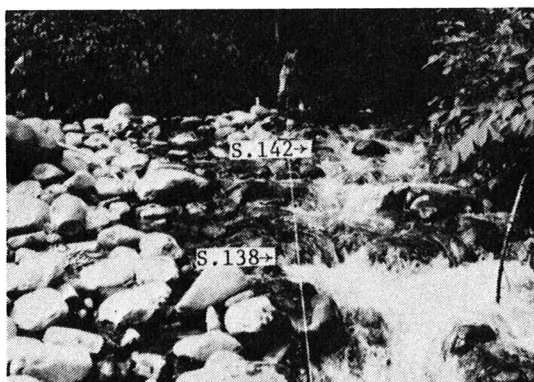


図-2



134m付近。上：出水前、下：出水後

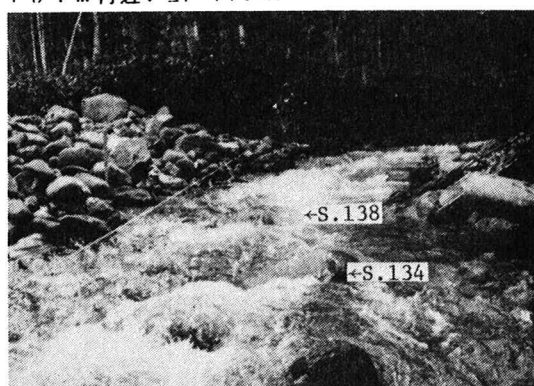


写真-2

積する傾向がある。これらの平面的な土砂移動と縦断変化とは以下の様に対応づけられる。C△印で示した地点では中規模河床波とステップのcrestが一致し、crestを形成する礫の一部が流失している。140～150m地点では川幅全体が洗掘され、それらが110～140m地点に堆積している。また、200～210m地点でも川幅全体が洗掘されている。105m地点では左岸側が洗掘されている。40～55m地点は39m地点のステップにセキ止められた形で、堆積している。

4. 9. 1 出水による土砂の移動に関する水理学的考察

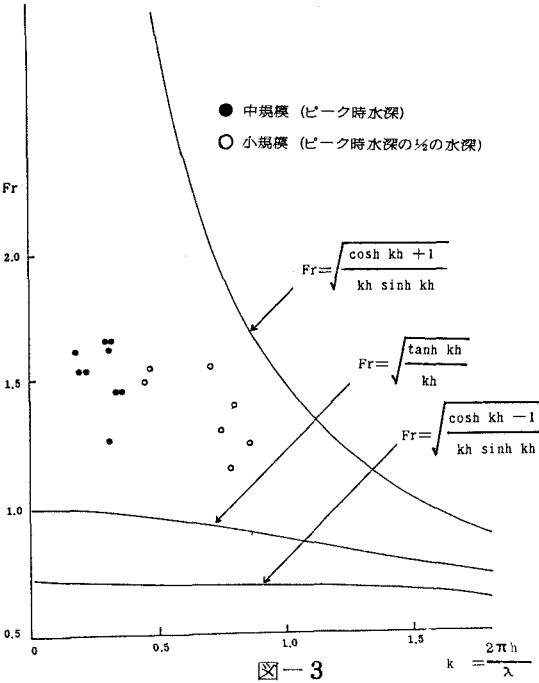
図-1から出水前後の河床変動を比較すると洗掘地点は限られているのがわかる。この事から流れは移動限界セン断力付近と予想される。この事を次の様にして調べた。表-1は、ステップを構成する礫で9.1出水前後の写真の比較から洗掘されたと判定された礫の径を示したものである。移動礫の代表径として、これらの礫の短径の平均値を採用することにして0.5mとする。また、相当粗度ksにこの代表径を用いることにする。芦田・江頭・安東(2)らによれば、ksは河床材料の平均粒径の約2.6倍であるが、これと同程度であり妥当なものと思われる。流量をピーク値の42m³/sec、河床勾配=0.0436、川幅=7mとしてマニング則により無次元河床セン断力 τ_{*c} を求めると約0.05であり、移動限界付近であることが確かめられた。図-1には興味ある河床変動が見られる。例えば、200m付近の中規模河床波ではcrestの前面が洗掘され、背面に堆積が生じている。そこで、流れの細部の状況を見るために不定流計算を行った。

図-1中にピーク時の τ_{*} 、水深h、フルード数Frの計算値を示した。9.1出水前は実線、後は点線である。図によれば、 $\tau_{*} > \tau_{*c}$ となる地点と洗掘地点はほぼ対応している。また、大部分でFr>1である。このことと前述のことから中規模河床変動の波長とFrの関係を見るために林(3)による河床波の領域区分図にプロットしたのが図-3である。この図から反砂堆の形成領域に含まれているのがわかる。

ところで、20～70m地点では $\tau_{*} > \tau_{*c}$ であるにもかかわらず堆積となっている。図-1平面図の同地点を見ると外岸側では堆積、内岸側で洗掘となる傾向が認められる。特に、写真3(e：洪水流により洗掘された礫、d：洪水後堆積した礫)は同区間中の28m地点の洪水前後の比較であるが、洪水後に右岸(内岸側)が大きく洗掘されているのが明瞭

表- 1

距離 (m)	粒径 (cm)	距離 (m)	粒径 (cm)
30	110x100	202	58x 60
32.4	63x 34	226	43x 38
	53x 50	232	43x 35
39	88x 50	236	59x 50
44	70x 53	239	44x 28
88	73x 51	242	150x 42
96	85x 56	282	46x 66
100	40x 33	308	35x 35
124	74x 54	326	50x 30
132	80x 40	336	35x 30
138	67x 54	358	43x 39
140	52x 31	366	55x 40
141	62x 67	367	42x 45
156	69x 45	382	56x 55
194	58x 50	385	37x 22



に認められる。この傾向は河長の短い蛇行流路の一つの特徴とも考えられるので、この区間について蛇行流の浅水流理論による流れの解析を行ってみた。その結果、流速は内岸で大きくなると予想された。図-4中に、得られた無次元せん断力の変化を示したが、23m地点では内岸で $\tau_x > \tau_{xc}$ 、外岸で $\tau_x < \tau_{xc}$ となり測定結果に一致した。弯曲部での洗堀及び堆積の傾向は、100m、150m(写真2)、250mの弯曲部でも認められる。

5. 階段状構造の階層機構

以上の調査結果から階段状構造の階層機構について以下の点が明らかになった。

1) 三つのスケールの河床波があり、最も小さいものはステップ&プールと呼ばれるものであり、中間のものは本研究で中規模河床波と呼ぶもので反砂堆の様な挙動をする。最も波長の大きいものは、大規模河床波と呼べるもので流路の蛇行波長のスケールをもつ。

2) ステップ&プールと中規模河床波の関係を図-5に模式的に示した。中規模河床波の谷は粒径の大きい礫のステップで形成されている。一方、crestはステップのcrestと一致することが多い。一致しない場合にはステップのcrestの上流にセキ上げの形でcrestを形成する場合がみられた。

3) 中規模河床波と大規模河床波の関係は、前者のcrestが後者の蛇行河道内の曲がりの節を形成している。

おわりに

白水川でみられた階段状構造の階層機構が明らかとなり、中規模河床波及び大規模河床波の形成特性の解明の糸口がとらえられた。しかし、ステップ&プールについては不明な点が多い。9.1出水では、ステップの移動は前進したもの4個、後退したもの4個、消滅したもの7個であり新たに形成されたものが26個であった。ピーク流量時の半分の水深での、これらのステップの波数とFrの関係を図-3中にプロットしてみると反砂堆の傾



28 m 付近. 上: 出水前、下: 出水後

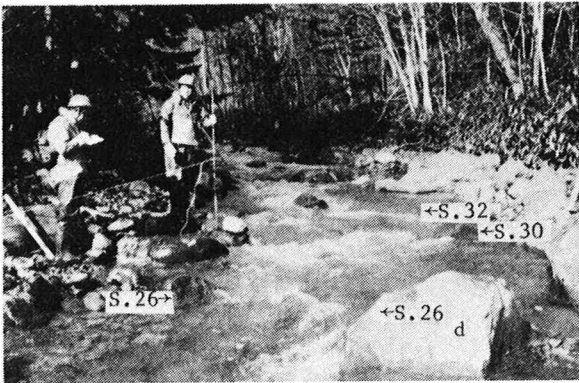


写真-3

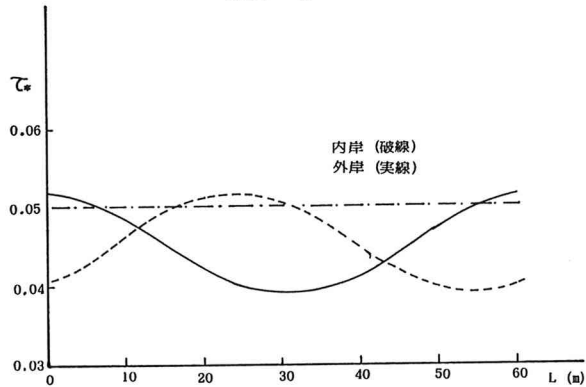


図-4

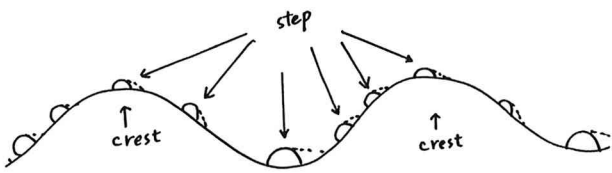


図-5

域に入った。この水深での無次元河床せん断力を求めてみると、平均粒径に対して0.05を越えている。しかし、crest形成礫はほとんど動かないものと予想される。このような状態でステップ&プールが形成されるかどうかは不明である。

謝辞 本研究の遂行にあたっては、文部省科学研究費特定研究「比較河川学」（代表岸力）の援助を受けた。

参考文献

- 1) J. F. Whittaker & M. N. R. Jaeggi : Origin of Step-Pool Systems in Mountain Streams, A S C E, Vol. 108, 1982
- 2) 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, 1984
- 3) Hayashi, T: Formation of Dunes and Antidunes in Open Channels, A S C E, Vol 96, 1970