

重信川山地部における 河床形態に関する測量調査

FIELD OBSERVATION ON BED FORMS FOR MOUNTAINOUS REGION IN SHIGENOBU RIVER

門田章宏¹・鈴木幸一²・渡部誠司³・森一庸⁴
Akihiro KADOTA, Koichi SUZUKI, Seiji WATANABE and Kazunobu MORI

¹正会員 博(工) 愛媛大学助手 工学部環境建設工学科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3)

²正会員 工博 愛媛大学教授 工学部環境建設工学科

³正会員 工修 菱和設計コンサルタンツ

⁴学生会員 愛媛大学大学院 理工学研究科土木海洋工学専攻

River bed-forms in mountain region are characterized by steep slope, wide range of grain size distribution of bed materials and relatively small water depth to the bed roughness, which cause 'stair-like' or 'transverse rib' bed forms. Low water channel and the surroundings have many kinds of vegetation and grain-size variation such as large gravel and small sand in the mountain region. Therefore, the mountain region gives good environments for living things. And, one more characteristic of the mountain river is that temporal variation is extremely large. In the present study, the stair-like or the transverse limb bed in mountain rivers with steep slope bed and with wide range of grain size of bed materials, was surveyed at a test field section of the Shigenobu river from 1992 until 1998, and the characteristics of the bed forms and their change with time are discussed.

Key Words : Stair-like Bed, Transverse rib, Mountain River, Temporal Change of Bed Form

1. はじめに

山地河川のように急勾配で河床砂礫が広範な粒度分布をもつ河床では、河床構成礫と水深の比である相対水深が小さくなっているのが特徴である。このため低水時の流れは礫の配列や粒径によって複雑に変化し、生物に対しては多様な生息環境を提供している。また、流水抵抗特性や粒径別流砂量の特性が流況によって大きく異なってくる。このような山地河道では、一般的に横断リブやステップ・プールといった階段状河床^{1), 2), 3)}が観察され、大きな礫や石が流路横断方向に連なってステップを構成する。その上流・下流側では河床がプール状あるいは平坦になり、河床表面には顕著なアーマ・コートが形成されている。このような階段状河床形態は、出水時の礫・砂とともに移動するような大流量で形成されと考えられるが、出水時のリアルタイムの観測が困難なことから、混合砂礫河床特有の現象である砂礫の混合効果などのため、河床形態の形成機構と流出土砂量の予測については現時点では未解明の部分が多く残っている。

室内実験では、混合砂礫河床での流砂量の時間的変動が、流下方向に不連続に形成されたり破壊する礫の集中によって生じることが定性的には分かっている^{4), 5)}。また、上述した砂礫の運動により、河床は階段状河床のいわゆるステップとなることが分かっている。

実際の山地河道における河床形態の経年変化特性を調べることは、河道の流出特性や流砂特性を解明する手がかりとなる。本研究では、愛媛県松山市の一級河川である重信川上流山地河道に調査区間を設定し、1992年から継続して河道の湾曲部や岩の周辺に形成される淵の特徴や石礫の集中による階段状河床形態の調査を行っている。本報告は、その調査によってこれまで判ってきた山地河道における河床形態の変化の実態を示したものである。

2. 調査の概要

重信川の山地河道部において、低水時に歩いて調査できる程度の川幅で、しかも人工構造物が低水河道になくほとんどが自然に近い河道として、重信川河口から約

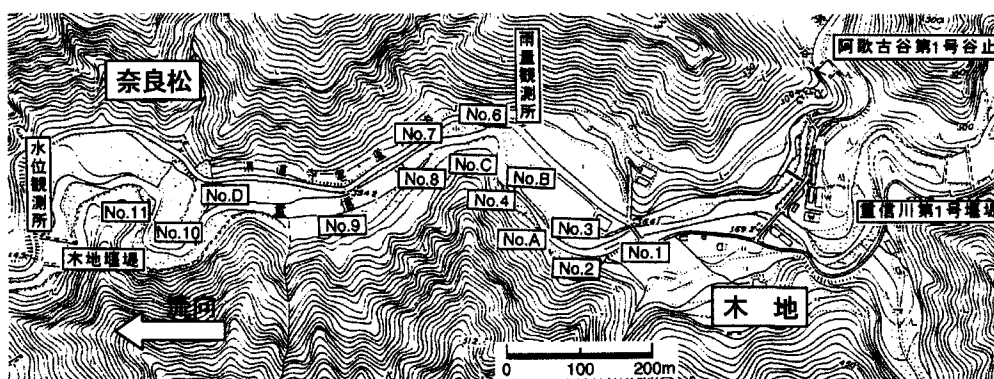


図-1 重信川上流部調査区間 (900m, 木地～奈良松)

30km付近の山之内流域(流域面積55.36km²)の中で、図-1に示す木地から奈良松にかけての900m区間を調査区間に設定した。調査区間の左岸側は山腹に接してほとんど未改修の護岸である。右岸側は全区間コンクリートブロック護岸で改修されているものの、法尻から水際にかけて土砂や石礫が堆積し、葦などの植生が繁茂していて、出水時以外はほとんど自然河道と見なされる状態にある。調査は1992年8、12月および1993年5月の低水時に主として瀬と淵(図中、No.1～No.11, No.A～No.D)の状況について行い、河床縦断形状、平面形状について測量を行うとともに、写真やスケッチによって大きな石礫の河床状態を記録した。また、1993年11月～12月および1996年12月の低水時には1992年の調査項目以外に一部区間について山地河道特有の河床形態の平板測量を行った。また1998年7月には、上記河床縦断測量、平板測量に加え、淵やリブおよびステップ・プール周辺での局所流速の測定も行った。

3. 調査区間の最近の出水および土砂流入状況

図-2に調査地点での日雨量および日流量を、1992年(平均的流量年)、1993年(流量が多かった年)、1995年および1996年の日流量について示している。なお、この日流量は建設省松山工事事務所が下流の山之内流量観測所で測定した流量を、流域面積で比例配分して便宜的に計算したものである。1992年と1993年の観測後では、1993年の梅雨時期に降雨が集中し、7月にピーク流量 Q_p が22.76m³/sという大きな出水が、また、1996年の12月に行った観測以前に大きな出水が4度発生している。特に1995年の7月には日雨量181mmの集中豪雨が発生していた。1994年の渇水年にはほとんど目立った降雨が見られなかったため、また1996年、1997年の日雨量の変化は夏期降雨集中型の典型的な変化であったためここでは示していない。

図-3は1991年および1998年における調査区間上流のダム堆砂状況を示したものである。この図に示すように、調査区間の上流側に設置されている図-1の砂防ダムのう

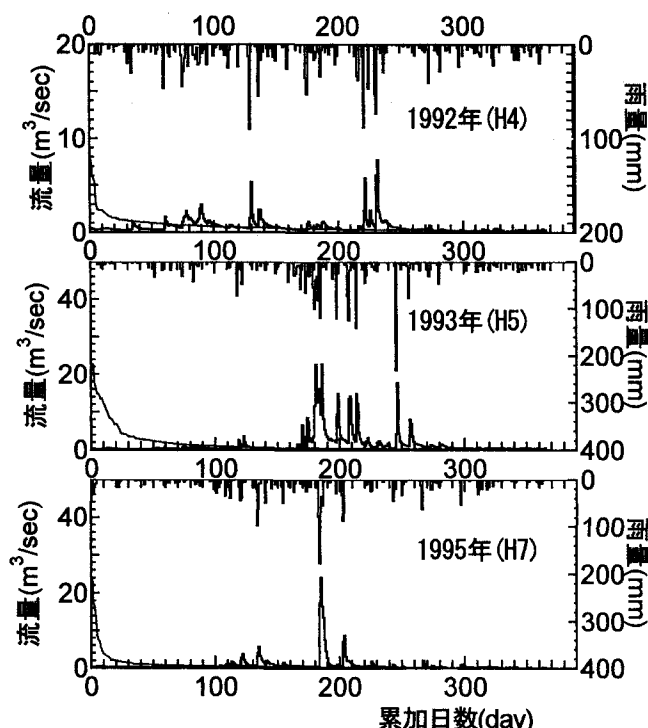
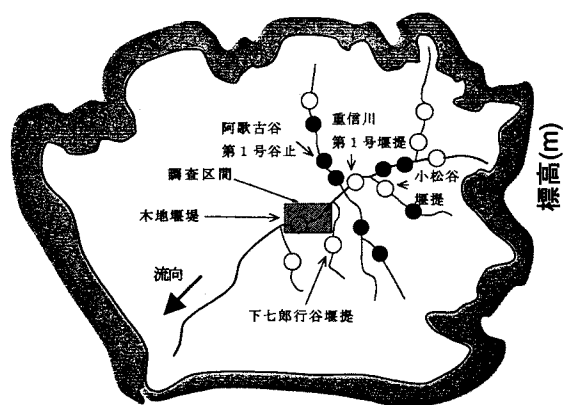


図-2 調査地点での日雨量・日流量の変化

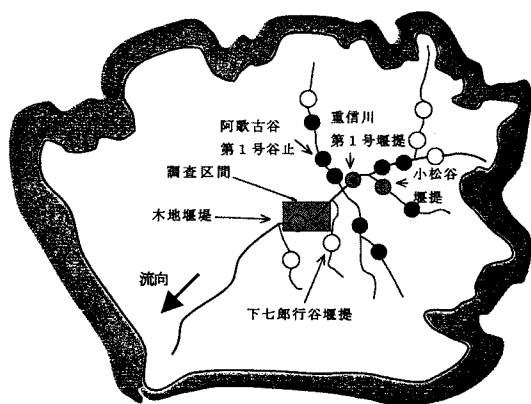
ち阿歌古谷第1号谷止は1991年当時よりほぼ満砂状態である。重信川第1号堰堤については、当時の堆砂面は水通し天端4.5mの上段水抜き穴付近となっていたが1998年で満砂状態となった。さらに上流側の小松谷堰堤および下七郎行谷堰堤もこの7年の間に満砂状態になっている。特に、下七郎行谷堰堤は1995年の時点ですでに満砂になっていた。この砂防ダムも調査区間の直上流にあるため、出水時に下流側の河床形態に大きく影響を及ぼすと推測され、生産された土砂はそのまま調査区間に流入することが伺える。

4. 調査区間の河床縦断形状と河床形態

図-4は調査区間の河道中央の河床縦断形状を示したものである。なお、図-1および図-4のNo.1～No.11は、1992年の調査で確認された淵、No.A～No.Dは1996年の調査で新たに確認された淵の位置を示している。



(a) 1991 年 (H3) の砂防ダム状態



(b) 1998 年 (H10) の砂防ダム状態

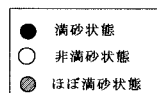


図-3 重信川上流部調査区間の砂防ダムの堆砂状況

1992年から96年にかけては、上流端から下流約300m区間は河床勾配が1/40程度と急であるが、下流400～900m区間は河床勾配が1/100程度で上流側のほぼ半分となっている。また、96年にはほぼ全域で河床がやや上昇傾向を示している。1996年から1998年の間に、特に400m～800m区間で河床が急に1m程度上昇している。これに伴って、この付近の河床勾配がさらに緩やかになり、調査区間ほぼ全域にわたり一様な勾配になりつつある。1996年までは大きな出水が幾度かあったにもかかわらず、比較的縦断形状が変化しなかったのに対して、ここ2年の間に急激に河床が上昇したのは、前述した調査区間上流側の砂防ダム(下七郎行谷堰堤、重信川第1号堰堤)が、1996年以降満砂状態あるいはほぼ満砂の状態になったことによると考えられる。

図-5に、一例として1996年および1998年の調査区間上流端から100～180m区間の河床形態の平面形状を模式的に示している。図に示している淵No.3は、1991年当時深さ60cm程であったものが、その淵および岩の周辺が砂で堆積し、1998年現在淵の深さは20～30cm程になっていた。この上流側は早瀬、下流側は平瀬となっている。また、ここ2年間(1996～98)の変化では、100～120m付近

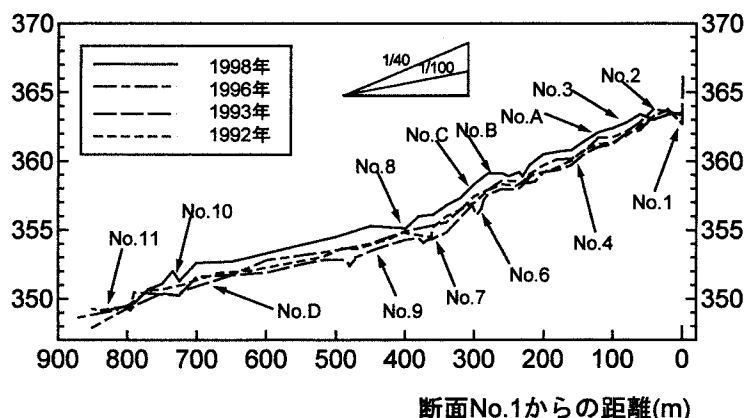


図-4 河床縦断形状

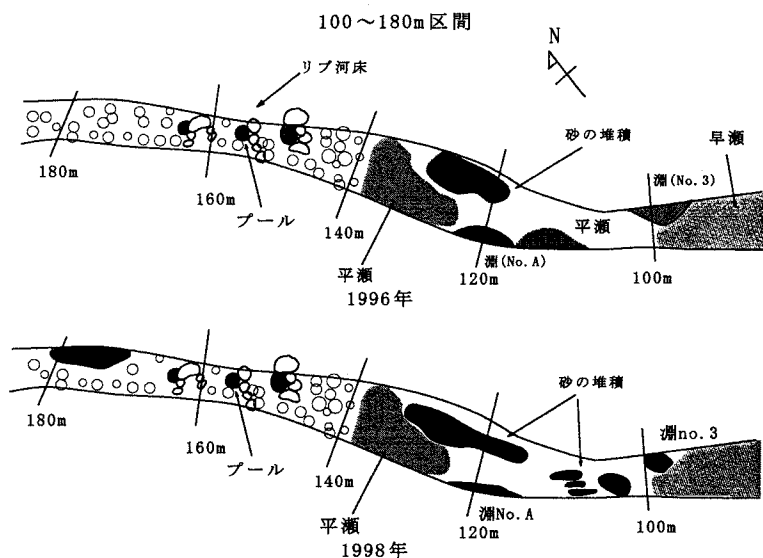


図-5 山地河道における河床形態の変化の一例

左岸側には新たに砂の堆積が見られ、また早瀬・淵・平瀬の河床形態が100～140m付近にみられた。120m付近におけるわん曲部の淵の内岸側には砂州が拡大しており、140mより下流にはリブ河床が形成されている。また、180m付近にも砂の堆積が見られる。このように全体的には、砂による堆積の傾向が顕著である。ごく最近の出水によって粒径の小さな土砂が流出、この区間に堆積し、上述した河床上昇をもたらしたのと考えられる。

図-6は、階段状河床形態について1996年12月および1998年7月に測定した60～100m区間を平面図および縦断形状について示している。1996年の平面図に示すように直径50～100cm程度の石礫が横断方向に連なっているステップ部分が6箇所認められる。また、60～80m区間ではステップの直下流部に深掘れのないリブ河床となっているが、下流側の80～100m区間ではステップの構成礫が比較的大きく、ステップの下流側にプール部が形成されいわゆるステップ・プール河床となっている。一方、1998年の平面図では、80～100m区間に存在していたプール部が、粒径の小さな土砂が堆積したために、深掘れの少ない小さな洗掘孔しか認められない。特にこの下流側の区間で、細砂の堆積傾向が顕著である。また、上

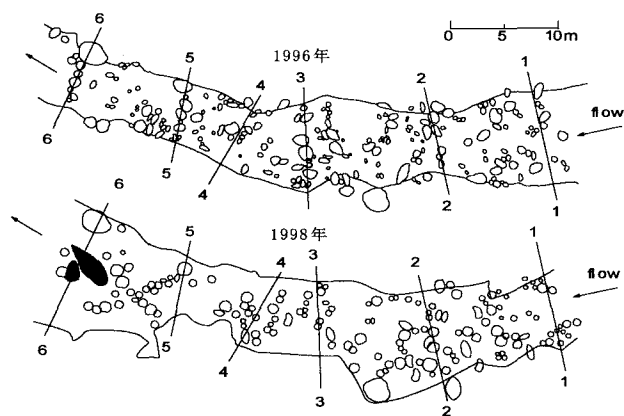


図-6 河床形態 (60m～100m区間)

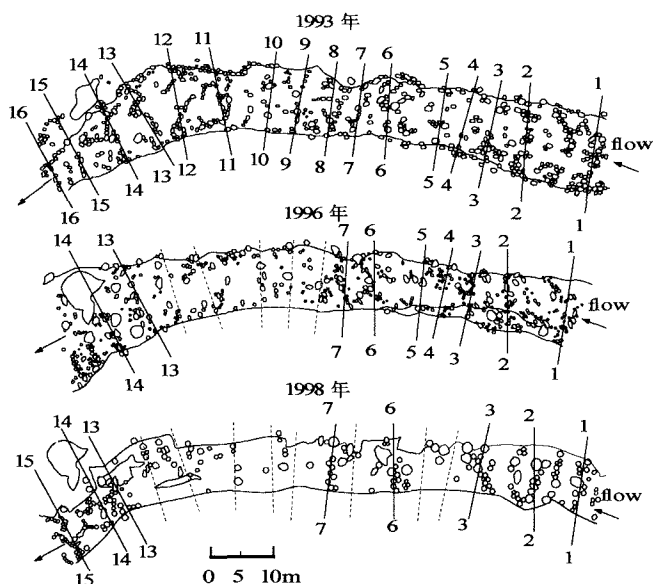


図-7 河床形態 (140m～210m区間)

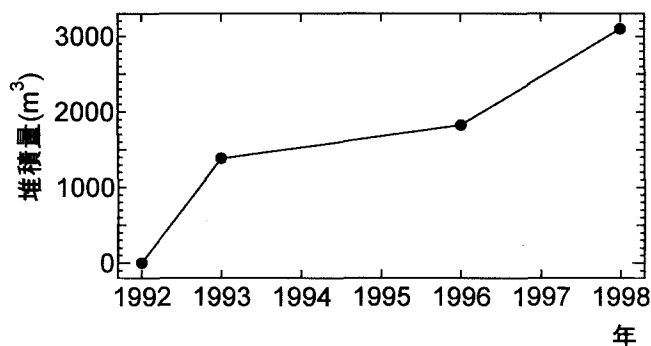
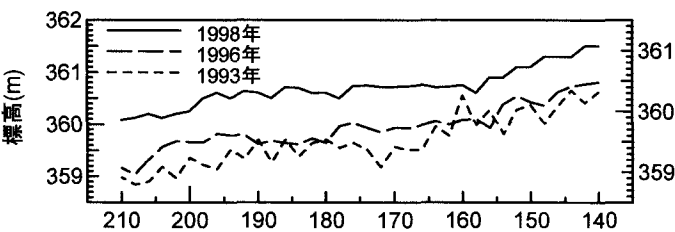
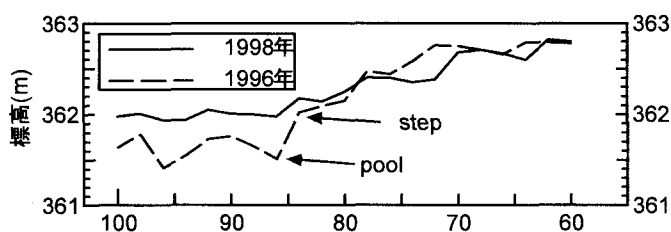


図-8 調査区間に流入した累積堆積量

流側においても存在していたリブ河床が、消滅しており、逆にこの付近で河床は急になり、全体的にはほぼ様な河床勾配を保っている。ただ、構成礫の平面分布についてはこの2年間で余り変化していない。図-7は、140～210m区間について、1993年、1996年および1998年に調査した河床状態を示している。1993年には、全体的にリブ河床の特徴がはっきりしていたが、1996年河床は平坦な河床に近くなっている。この場所でのリブ河床破壊流量は14～30m³/sの間であると推定されている⁹⁾。1993年調査直後に図-2に示したように、23m³/s程度の流量が発生しており、リブ河床が崩壊されたことも考えられるが、河床全体は上昇傾向にあり上流から流出した砂の供給のために河床が平坦化したと推定される。1998年では、1996年のものと比較して、下流側のみお筋が左岸側に変

化しており、全体的により湾曲した流れが形成されている。また、リブ河床も1993年のものと比較して半分以上消滅し、小さな土砂の進入により、全体的に河床表面が平坦化しフラットになる傾向は顕著である。調査区間には上流から砂の流入がかなりあり河床は上昇傾向にあるが、このような山地河道では比較的容易にみお筋が変化し淵の形成や消滅が生じたり、階段状河床が変形することが分かった。

砂防ダムからの砂の年間流入量を求めるために、図-8にこの調査区間の累積堆積土砂量を河床縦断形状の変化と川幅測量から近似的に推定した結果を示している。この推定により1992年から1998年までにこの区間に堆積した土砂量は約3097m³となる。また年によって堆積土砂量が異なっており、最も多く堆積した年は1992年から1993

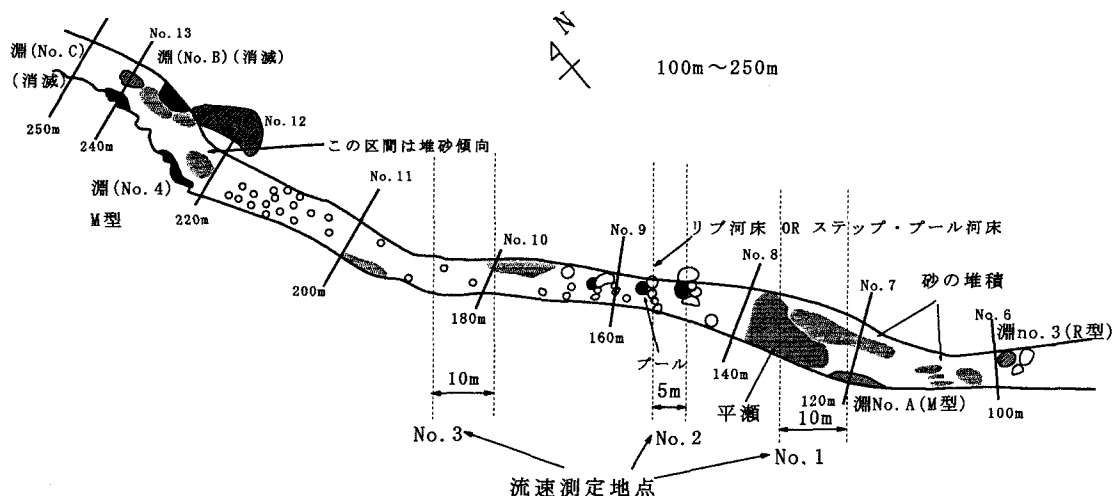


図-9 流速測定地点図

年の間で堆積土砂量は1381m³であった。ここで流速調査によりこの区間に流れる平水時の流量を求めると約1.9m³/sであった。1992年から1993年の間でこの平水時以上の流量であった合計日数は74日であり、平水時の流量以上の流量が発生した場合、上流からの土砂が供給されるものと仮定すると、この期間に多くの土砂がこの区間に流れ込んだものと思われる。しかし1994年から1996年には1.9m³/s以上の流量があった合計日数はわずか23日であり、そのためこの区間に流れ込んだ土砂は少なかったと思われる。また、1997年の流量データはここでは示していないが多くのまとまった雨が降っており、雨の降り方も1993年に似ていたため流量が1.9m³/s以上になる日は1993年並であったと考えられる。その結果このような堆積量が年間流量によって変化したと考えられる。

5. 礫層河床上の局所的流速および河床材料

上述のように山地河川においては様々な河床形態があり、場所的に河床勾配が異なったり川幅や水深に変化がある。淵やリブおよびステップ・プール周辺での局所流速の違いを知るため、図-9に示すように調査区間を設定し、浮子を使って流速を測定した。この区間の上流部は緩やかに蛇行しており、下流に向かって淵・平瀬と続いてステップ・プール河床に遷移している。この区間についての流速の測定結果について、図-10には局所流速と礫層河床についてのBathurstの式⁷⁾との比較を行っている。この結果、ステップ・プール河床を有しているNo.2地点ではよく一致しているが、No.1およびNo.3地点では、実測値に対して計算値が低いようである。これは、Bathurstの式が単位幅当たりに礫がどのくらい水面上に突出しているかを示すパラメータλを取り入れているため、比較的河道に礫の存在が少ない淵や平瀬では、流速が速くなると思われる。そこで、図-11に示す淵No.A付

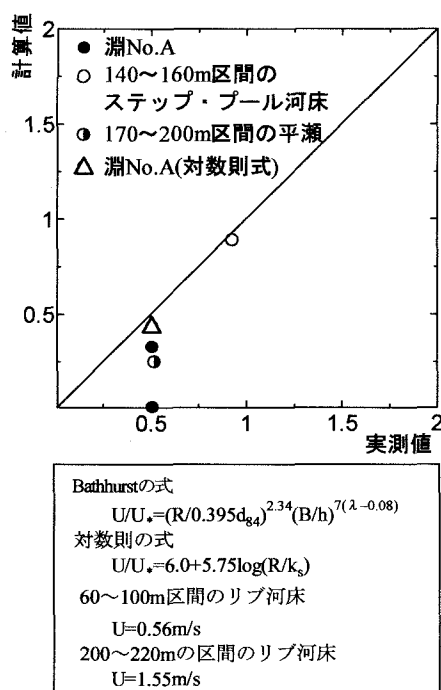


図-10 流速測定

近での流速測定に従来の対数則の式を用いたところ実測値に近づくことが分かった。つまり、複雑な河床形態を有する山地河道においても、局所的条件に合わせて流速を推定することが可能であることが分かる。一方、図-11は河床構成材料の採取地点(100~250m)を示したものであるが、図-12は各採取地点の粒径加積曲線を示したものである。最も粒径が小さい箇所は淵No.Aの洗堀部で、最大のものはリブ上である。それより右岸に向かって淵のかけあがり付近と砂州Bといった具合に河床が高くなるにつれて粒度が大きくなっているのが分かる。砂州については砂というよりも礫で構成されており、河床表層にはアーモア・コートが形成されていた。結果、水面が砂州よりも上部にあるときの比較的大きな流量の時でもこの調査区間では、砂のみが流送され、その砂が淵

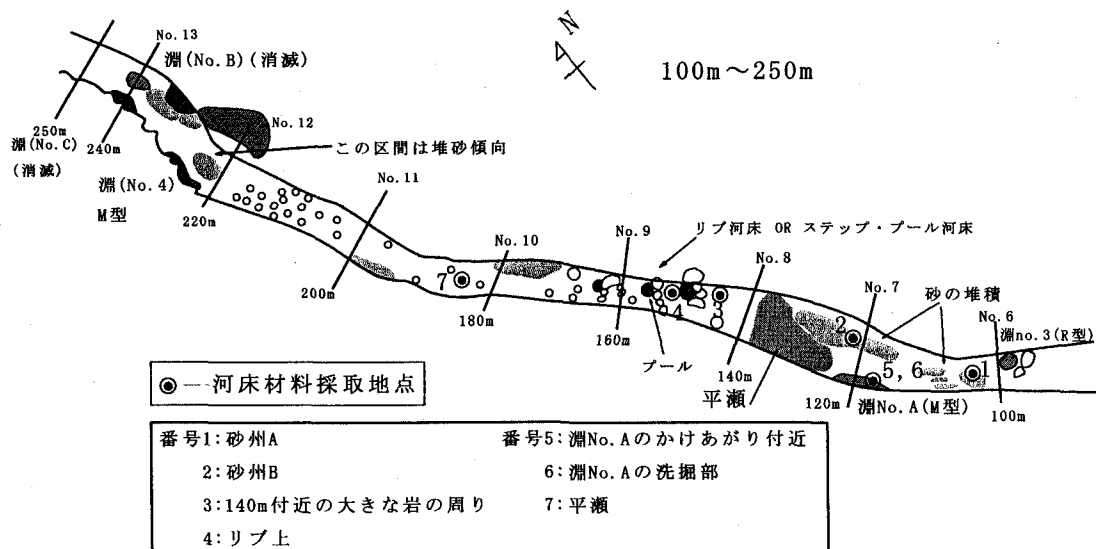


図-11 河床材料採取地点

に流入している現象が発生しているものと考えられる。

6. おわりに

本研究では、重信川上流山地河道部において河床形態の調査を行い、以下に示すような結果が得られた。

1) 調査区間においては、その上流側にある砂防ダムがここ数年で満砂状態となったため、僅かな出水によっても土砂が流出し、ほぼ全域にわたって河床が上昇していた。

2) 上流側では、河床表層の構成礫の分布はほとんど変化がないもの、下流側では細かな砂の進入により河床が平坦化していた。

3) 河床が上昇傾向にある場合には、比較的容易にみお筋が変化し河床形態が変化する。下流側の調査区間においてみお筋は左岸に変化し、より湾曲した流れが形成されていた。1991年に観測されたリブ河床は、1998年では観測区間の下流側においてその半分以上が消滅していた。

4) 実際の山地河道では、上流の砂防ダムからの流入土砂量によっては、容易に滞りが形成されたり、消滅することが明らかになった。

5) 複雑な河床形態を有する山地河道においても、局所的条件に合わせて流速を推定することが可能である。また、流路横断方向に河床材料をみると、河床が高いほど粒度が大きくなっている結果を得た。

謝辞：建設省松山工事事務所から重信川の流量観測データを頂くなど多大な協力を得た、記して謝意を表す。

参考文献

1) Whittaker, J. G. and Jaeggi, N. R. : Origin of Step-Pool Systems in Mountain Streams, Proc. ASCE, Vol. 108, No. HY6, pp.758-773,

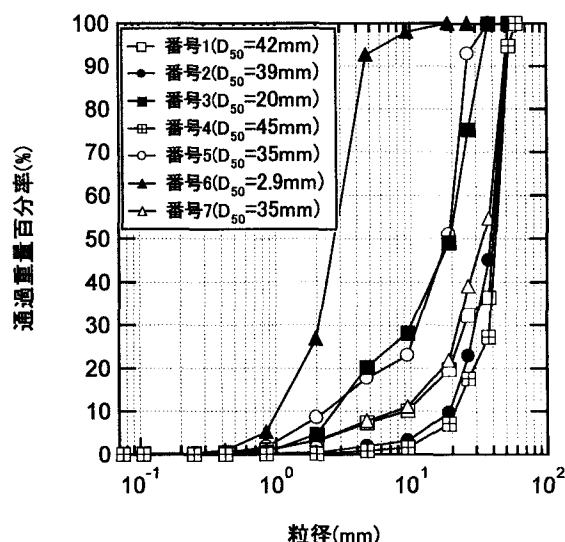


図-12 採取河床材料の粒径加積曲線

1982.

- 2) 芦田和男・江頭進治・西野隆之：階段状河床波上の流れと抵抗則，京大防災研究所年報，第 29 号 B-2, pp.391-403, 1986.
- 3) 長谷川和義：山地河川の形態と流れ，1988 年度水工学に関する夏期研修会講義集，Aコース，pp.8-1~8-22, 1988.
- 4) 池田宏・伊勢屋ふじこ：混合砂礫の流送に伴う絶断的分級，第 30 回水理講演会論文集，pp.217-222, 1986.
- 5) Kuhnle, R. A. and Southard, J. : Bed Load Transport Fluctuations in Gravel Bed Laboratory Channel, Water Resources Research, Vol. 24, No.2, pp.247-260, 1988.
- 6) 鈴木幸一・栗原崇・山本裕規：山地河道のリブ河床形態と流水抵抗に関する研究，水工学論文集，第39巻，pp.659-664, 1995.
- 7) Bathurst, J. C. : Flow resistance of large-scale roughness, Proc. ASCE, Vol. 104, No. HY12, 1978.

(1999. 9. 30受付)