

花崗岩山地溪流における河床形態に関する研究 —広島県黒瀬川源流の例—

西宗 直之*, 小野寺 真一*, 成岡 朋弘**

*: 広島大学総合科学部

** : 広島大学生物圏科学研究科

River Bed Form in a Granitic Mountainous Catchment: A Case of the Source Area in Kurose River, Hiroshima Prefecture

Naoyuki NISHIMUNE*, Shin-ichi ONODERA* and Tomohiro NARUOKA**

* : Faculty of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University

** : Graduate School of Biospheric Sciences, Hiroshima University

Abstract : In order to clarify spatial variations in a river bed form in a granitic mountainous catchment, we surveyed topographically a steep river on a source area of Kurose River in which the debris flow occurred in 1999. Firstly, we found that the spatial variation in erosion-deposition process on the steep river. Both of the lower stream and upper one held much sediments with large gravels ($\phi > 2\text{m}$). On the other hand, the middle stream exposed mainly the bedrock. Secondary, we confirmed spatial distribution of river falls. The height of river fall on the upper stream rose with the increase of river gradient. On the contrary, the frequency of falls was constant in spite of inclination.

Keywords : river bed form, debris flow, sediment discharge, fall, bedrock channel.

I はじめに

花崗岩からなる山地地域では植生が被覆した状況下においても斜面崩壊が多数生じ（武居ら、1982；芦田、1985；新藤ら、1987）、潜在崩壊土砂の発達により山地溪流では土石流発生の危険性が指摘されている（塚本、1998）。特に広島県では過去に何度も集中豪雨時に土石流災害が発生し（広島県、1972；平尾・大久保、1973）、1999年の6月と9月の集中豪雨時にも東広島市周辺において土石流災害が多数発生した（海堀、2000）。これらの土石流災害は森林生態系、地域住民に多大な影響を与え、侵食・運搬・堆積作用を伴った山地溪流の大幅な改変をもたらした。

一方、急勾配な河道として特徴づけられる山地溪流（鈴木、1997）の形状はきわめて不安定であるといえる。すなわち、通常、侵食作用が卓越するため（武居ら、1982；塚本、1998）、溪流の河床・河岸には岩盤が露出する（田中ら、1993；小野寺、1999）が、上流からの流量や流砂量及び砂礫の大きさとといった沖積河川の河道形状の支配要因（Graf、1988）に加えて、岩盤の組織や強度などの性質に強く影響されている（田中ら、1993）ために、きわめて多様で複雑である（平尾・大久

保、1973；中村、1995；藤田・池田、1996；谷口・小玉、1998)。

近年では流域単位で河川における水や物質の流れを統合して把握し、河川環境の成り立ちを理解し管理していくことが求められている (Dietrich and Dunne, 1993；高橋ら、1998)。そのため、河川源流域における河川地形の変動を明らかにすることはきわめて重要である。しかし、土石流が発生し、大量に土砂の侵食・運搬・堆積が行われる地域において河床形態が十分に記載されてきたとはいえず、その特性は明らかにされていない。そこで本論では1999年に広島県東広島市で土石流が発生した黒瀬川源流域において、河床縦断形及び横断形を詳細に測量し、山地溪流の河床形状と河川地形との関係、及び侵食・堆積との関係を明らかにすることを目的とした。

II 試験流域及び調査方法

試験流域は、広島県東広島市助実地区における土石流の発生した黒瀬川の一支流の源流河川である (図1)。試験流域は等高線に表れる程の明瞭な凹地形を形成していない。本地域の主要な尾根部及び谷底部の標高は400mから460m、及び210mから230mである。地質は広島型花崗岩からなり、植生はアカマツと広葉樹の混合二次林である。東広島市内においては1999年6月29日と9月15日の2回にわたって集中豪雨が発生したが、特に9月の集中豪雨時には累積で140mm以上、1時間雨量で70mm/h以上の降雨量があったことが確認されている (海堀、2000)。東広島市の1992年から1999年までの年平均気温は13.5℃、年平均降水量は1484mmであり、温暖少雨の瀬戸内気候の特徴を示す。

調査は標高280mの土石流末端部地点から標高400mの崩壊源頭部地点までの、斜距離約670m、水平距離約640mの区間で行った。河床縦断形については、流域の下流部より斜距離2mの間隔で斜面測量器を用いて測量を行い、同時に下流から河床の形態を記録した。河床横断形については下流から10mおきに1mの間隔で斜面測量器による測量を行った。また、本論では縦断形測量の各区間のデータを用いて連続する上流側の区間の勾配が増加した場合、さらに勾配が低下するまでを滝と定義し、その数と高さを算出した。

III 調査結果

図2に河床縦断形を、及び図3に勾配の変化を示す。測量を開始した溪流末端部を0mとしてプロットした。下流からおおよそ270m付近で傾斜に大きな変化がみられる。この地点より下流部では2m以上の径を有する礫を含む土砂が堆積している。これらは主に上流で生産されたものと思われる。また、これより上流側で一部みられた比較的新しい侵食跡や岩盤河床が露出した場所は、今回の土石流災害で侵食されて生じたと考えられる。一方、約480m地点付近から上流側では傾斜が急であるにもかかわらず、直径1mを超える巨石が多数存在していた。崩壊源頭部である最上流部の河床においては大きな礫はあまり見られず、主に土砂が存在していた。一方、河道には藤田・池田 (1996) が指摘しているステップとプールが随所にみられた。ステップとプールは洪水時に河岸や河床から供給された巨礫が洪水時に集積して下部の河床を侵食から守り、集積体の下流部では河床が洗掘されて淵が生じるといふ現象により形成される河床地形である。

図4は下流から上流にかけての各地点における河床横断形である。200m地点までは比較的平坦な河床となっているのに対して、それよりも上流では川幅が狭く、河岸に比べて深く掘り込まれている。また、最上流部付近にあたる600m地点では下流側と似た横断形の形状を示した。

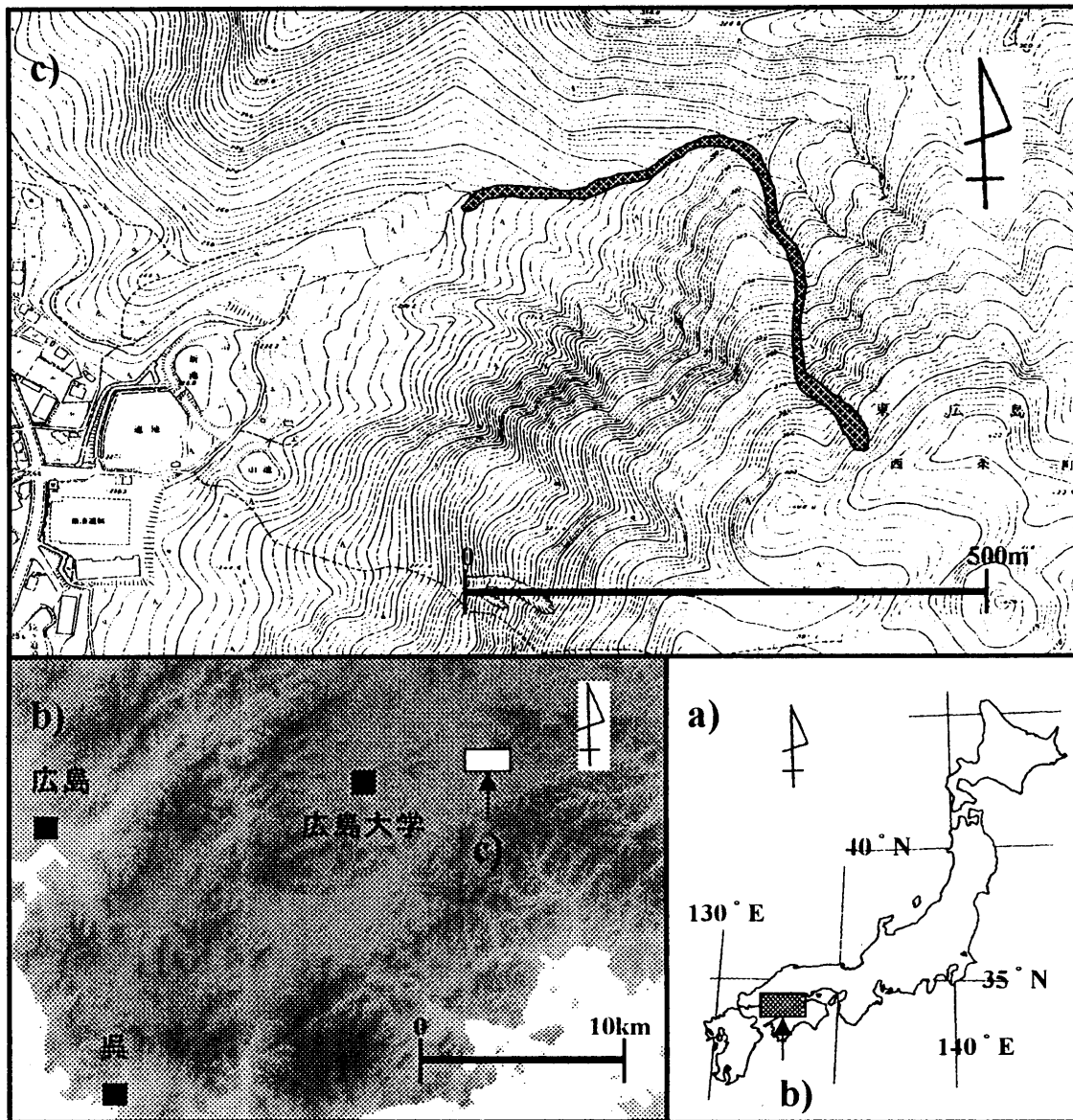


図1 試験流域概要

IV 考 察

IV-1 土石流発生時における侵食・堆積作用

土石流発生時における河川の流速に注目するため、マンニングの公式により各地点における流速を見積もった。マンニングの公式は次の関係によって表される。

$$V=R^{2/3}S^{1/2}/n \quad (1)$$

ここで、Vは流速、Rは径深（横断面の面積を水路の潤辺で除した値）、Sは水面勾配、nは粗度

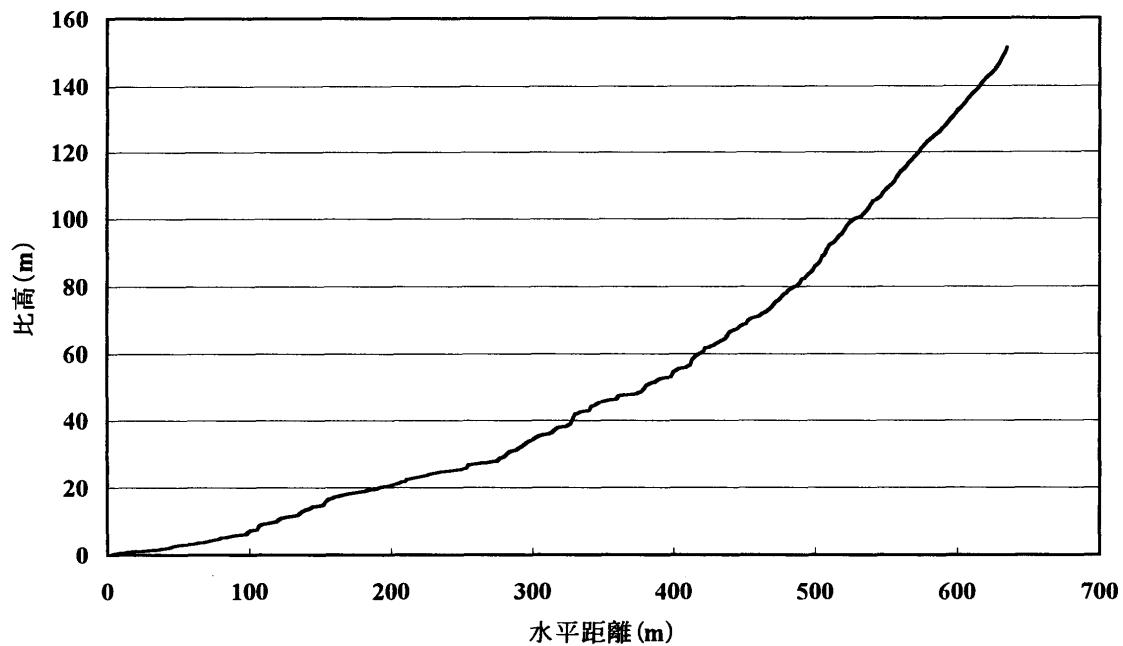


図2 河床縦断形の変化

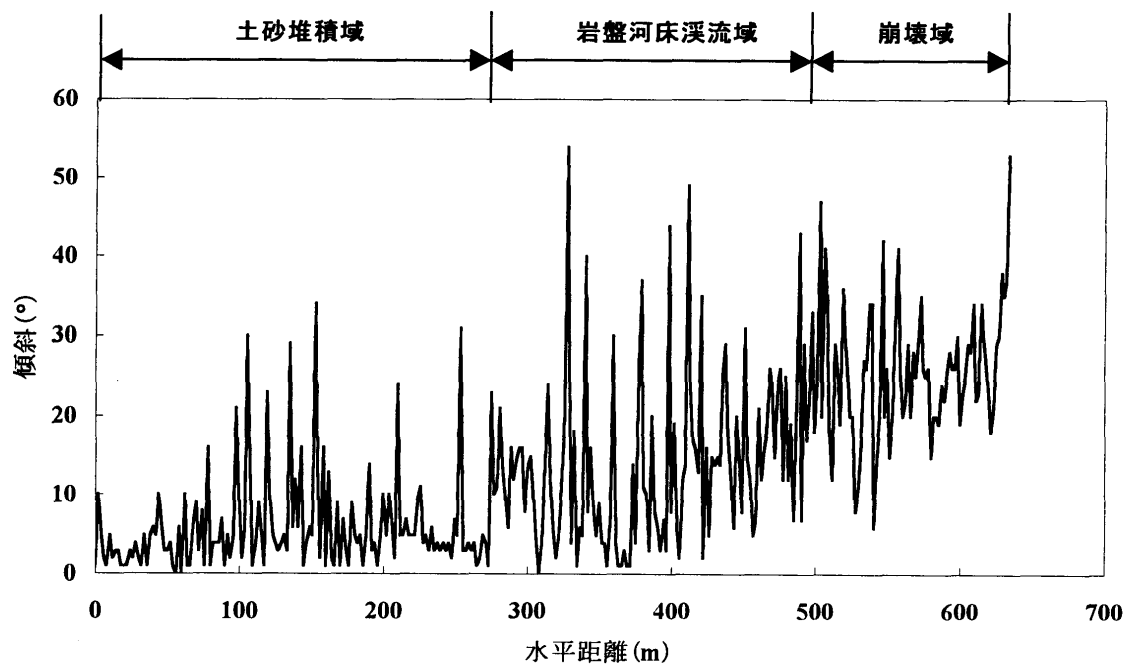


図3 河床勾配及び河床形態の変化

係数（河床の起伏状態などに関係した係数）である。径深に関しては、植生のない河岸を満水状態で流出したものと仮定し、計算した潤辺によって断面積を除して求めた。土石流発生時における水面勾配は、現在の河床勾配と同じ値であったものと仮定した。また、粗度係数は一般に砂や礫の河床で用いられる0.040を適用した。この式から計算した各地点における流速及び流量の分布を図5に示す。

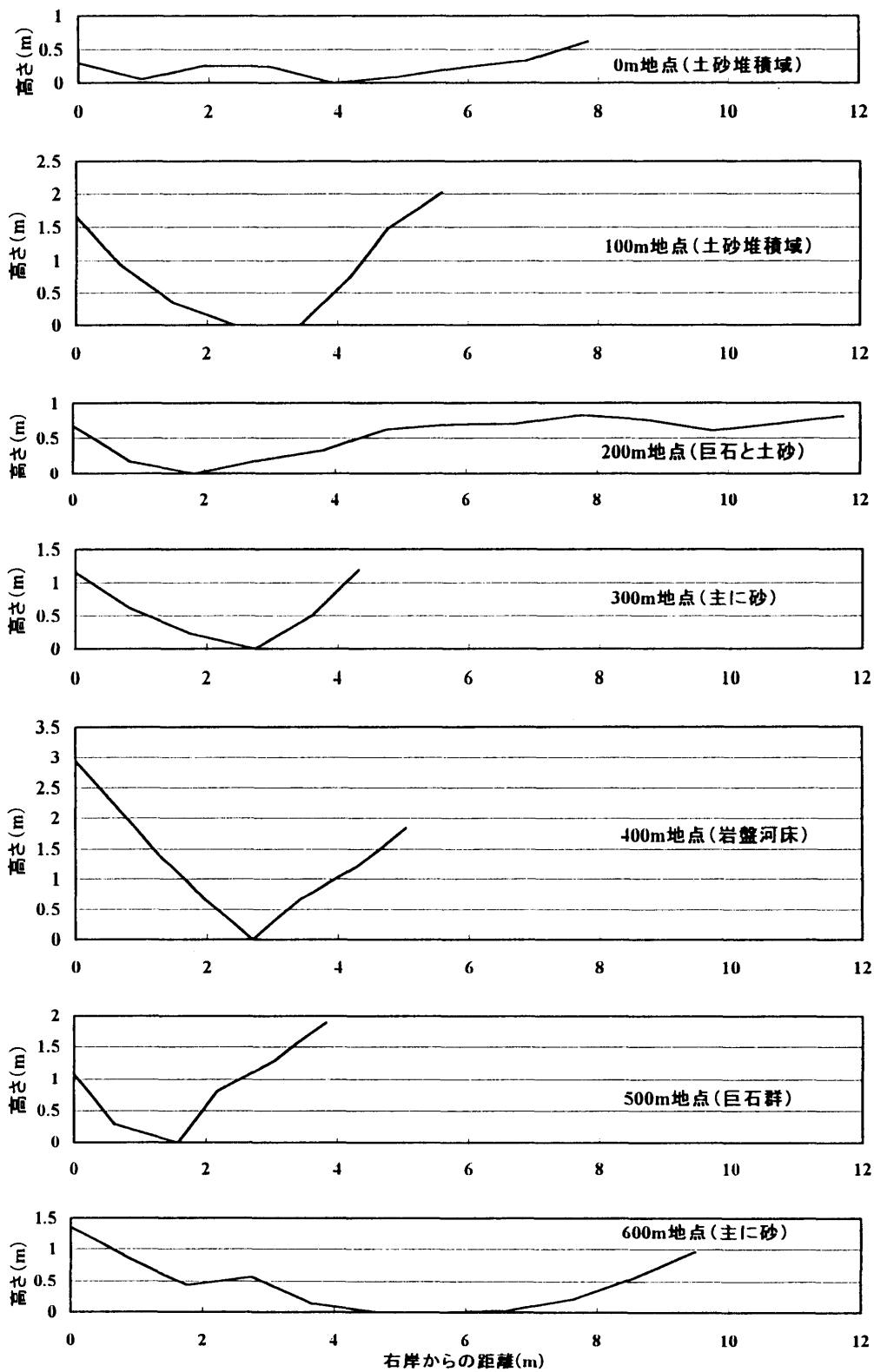


図4 河床横断面の変化

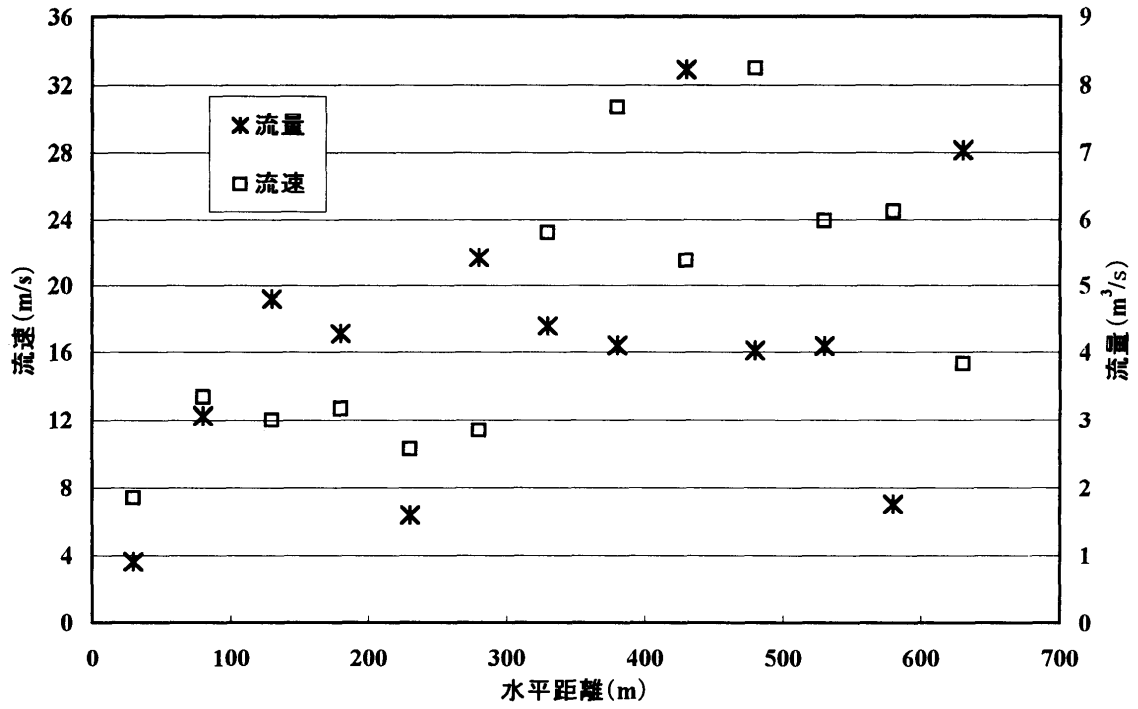


図5 マニングの公式から見積もった流速及び流量の変化

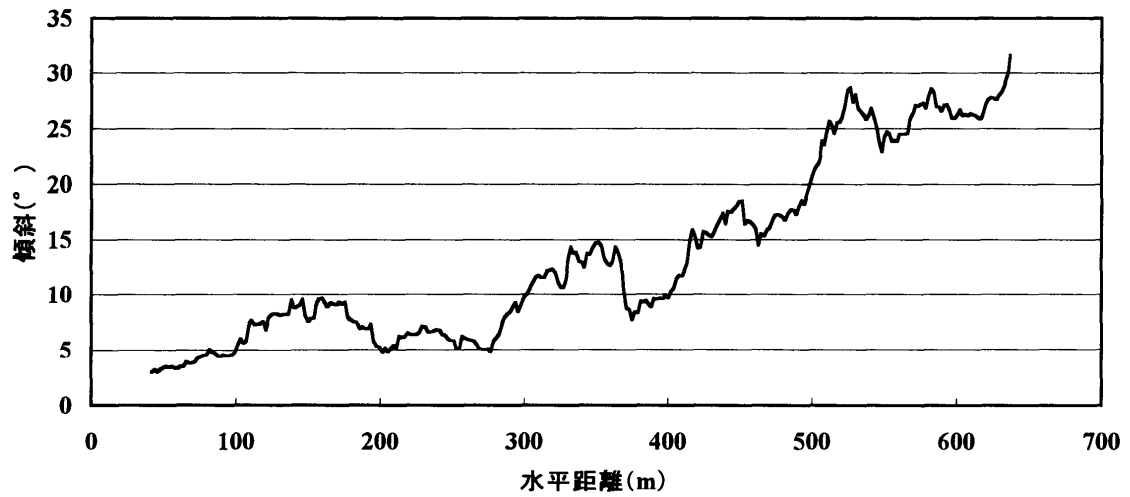


図6 平均河床勾配の変化 (40m平均)

おおむね下流にいくほど河床勾配は小さくなる(図3)ことから、河床勾配の低下にともなって流速は低下する傾向を示す。傾斜が大きく変化する下流から280mの地点では河道も大きく折れ曲がり(図1)、これより下流域で流速の低下が認められる。これは280mより下流側での堆積の傾向と一致する。一方、中流域では流量、流速ともに上昇する傾向がみられ、侵食作用が卓越していたと思われる岩盤河床の分布域と一致した。上流域においても流量、流速とも高い傾向を示したが、600m地点のように流量が下流域と同レベルまで低下するような不均一な変動がみられた。さらに、河床横断形が平坦な形状をなしている(図4)ことから、中流域と比較すると抵抗がより大きいことが予想され、実際には見積もられた値よりも小さかったと推察される。以上のことを考慮すると、上流域での堆積物の存在は部分的な流量の低下によるものと考えられる。

次に、河道の平均的な勾配について40m間隔で平均値を割り出した結果を図6に示す。この関係から、平均河床勾配に関しては以下の3つの特徴的な傾斜角を持つことが示唆された。

(1) 傾斜 10° 以下の緩勾配河床

土石流末端部から上流側280m地点までの区間である。この区間の流路はほぼ例外なく新しく生産されたと思われる土砂が堆積しており、堆積作用が卓越した区間であると考えられる。

(2) 傾斜 $10\sim 20^{\circ}$ の比較的急な河床

280m地点から上流側500m地点までの区間はところどころで岩盤河床がみられたことが大きな特徴である。岩盤河床でない流路についてはやはり土砂の堆積が進行していたが、巨礫や流木が土砂をせき止めている箇所もみられたことから、将来大規模な降雨流出が発生してこれらが決壊するようなことがあれば、土砂は容易に下流部に流出するものと考えられる。また岩盤河床そのものが大きな滝をなしている部分もみられ、これらは大規模出水時の莫大なエネルギーにより滝の後退と侵食作用を進行させる可能性がある。

(3) 傾斜 20° を超える急勾配の河床

500m地点より源頭部までは岩盤河床は全く見られず、直径1m程の巨礫が数多くみられた。これらは河床勾配が若干変化する地点に不安定な形としてとどまっており、上流で生産された土砂をせき止めている。これらがなぜここにとどまり、いつどのような出水時に流下していくのかということに関しては今後の課題である。

IV-2 河床勾配と滝の形状

河岸や支谷から供給された巨礫は洪水時に移動して集積し、形成された集積体の間隔を掃流物質が充填することによって下部の岩盤は侵食から守られて残るが、集積体の下流側では岩盤が洗掘されて淵が生じ、ステップとプールが形成される(藤田・池田、1996)。図7に河床縦断形上において出現した滝の高さ、及び滝の頻度を示す。本流域では上流と下流で比較すると、滝の高さについては上流域ほど上昇するのに対し、滝の頻度に関しては大きな差は見られなかった。つまり、上流域での傾斜の上昇は滝の頻度によるものではなく、滝の高さの上昇にともなって勾配が上昇することによってもたらされていることが明らかになった。これは小山・池田(1998)が行った河床勾配と滝の形状に関する小型のモデル実験の結果と同様の傾向を示している。図8に土砂堆積域と岩盤河床域とで比較した40m区間平均の河床勾配と滝の高さの関係を示す。勾配に対する滝の高さは岩盤河床域において、より傾きが急になるという明瞭な関係を得た。この結果は、滝の形成に関していくつかの示唆を与える。河床に堆積物が存在する場合、流量の一部が堆積物中を伏流することになるため、岩盤河床と同じ流量の水が供給されても、その侵食能力は低下することになり、結果として大きな滝が形成できなくなるものと考えられる。また、滝の高さの成長にとっては、流速エネルギーは大きな要素のひ

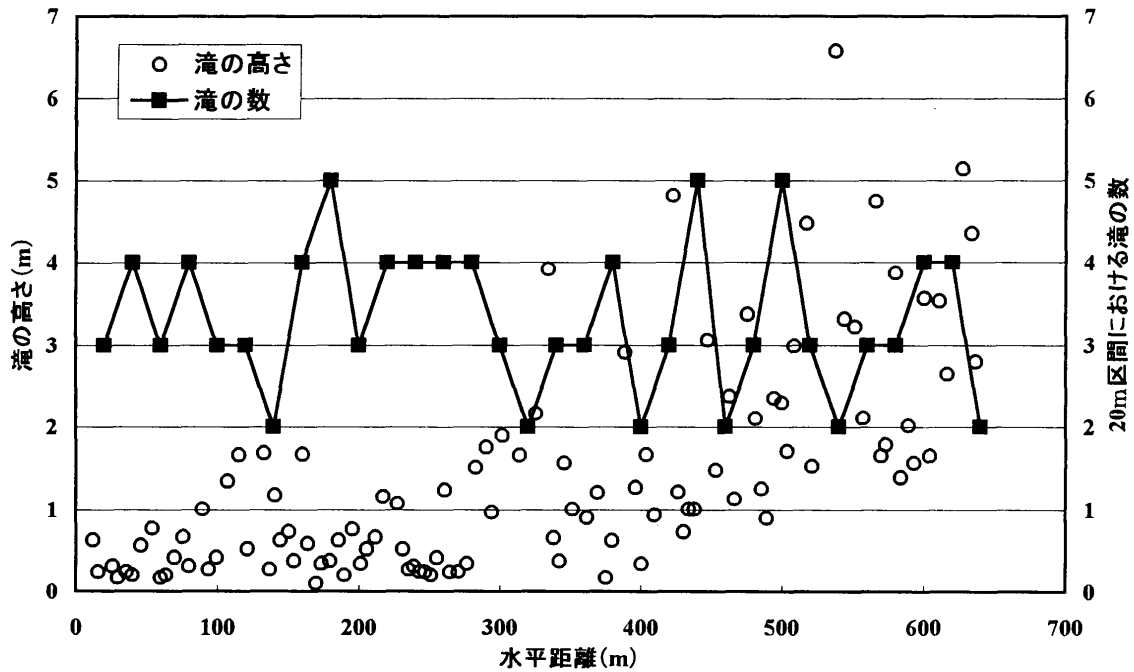


図7 水平距離と滝の高さ、及び滝の頻度の関係

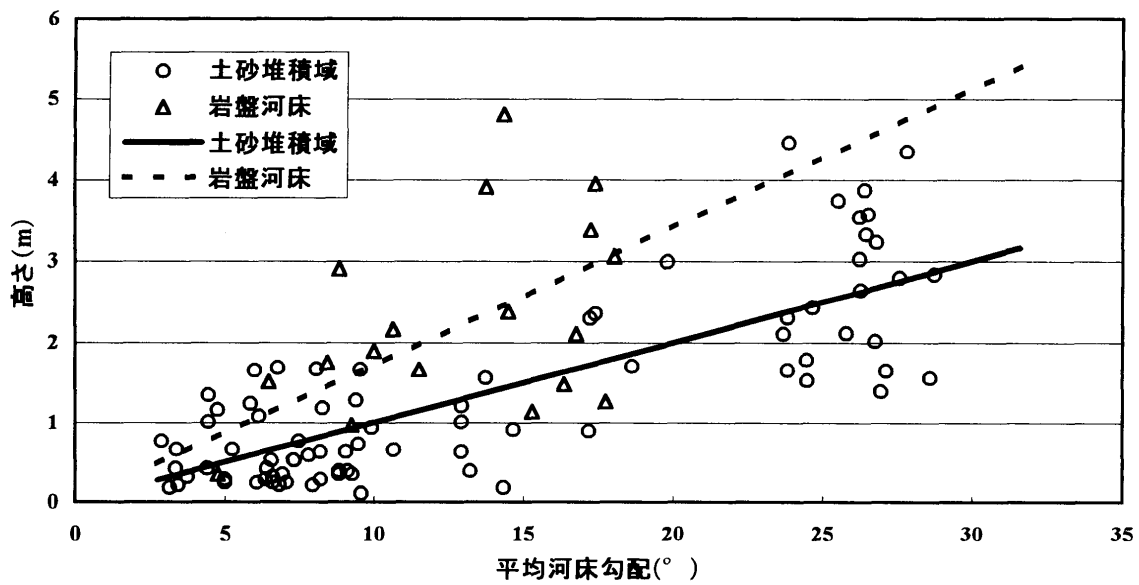


図8 土砂堆積域と岩盤河床域で比較した平均河床勾配と滝の高さの関係

とつではあるが、その一方で、堆積物河床は滝の高さが高くなるにつれ不安定になりやすくなるという可能性もある。すなわち、滝の形成過程においては、河床形態の違いが滝の高さの発達に大きく寄与しているものと推察される。

IV まとめ

本研究では、急勾配な山地溪流において詳細な測量及び河床形状の観察を行い、以下のようなことを確認した。

- 1) 流域の河床形態に関しては、下流部では 10° 以下の緩勾配区間が、上流部では 20° 以上の急勾配区間が分布したが、ともに巨礫をともなう堆積物が存在した。一方で、中流域における勾配はその中間の比較的急勾配な区間であり、一部岩盤が露出し、侵食作用が卓越することを示唆した。
- 2) 山地溪流において、多数の滝が存在することを確認し、傾斜が急になっても滝の頻度にあまり変化はみられないのに対し、個々の滝の高さが高くなるという傾向が明らかになった。

謝 辞

本研究を行うにあたり、対象とした試験流域に関する情報をご教示下さった海堀正博広島大学総合科学部助教授に深く感謝いたします。

引用文献

- 芦田和男 (1985) 『扇状地の土砂災害 発生機構と防止軽減』: 古今書院、224pp.
- Dietrich, W. E. and Dunne, T. (1993) *The Channel Head: Channel Network Hydrology*. Beven, K. and Kirkby, M. J. eds., John Wiley and sons, 175-219.
- 藤田直二郎・池田 宏 (1996) 岩盤河床における巨礫の集積によるステップ・プールの形成に関する実験的研究: 筑波大学水理実験センター報告、21、25-40.
- Graf, W. L. (1988) *Fluvial Processes in Dryland Rivers*: Springer-Verlag, 346pp.
- 平尾公一・大久保 駿 (1973) 昭和42年7月豪雨災害について—呉市浜田川の土砂流出—: 土石流に関する研究—建設省技術研究発表会指定課題(昭和45年度~47年度)とりまとめ報告—、土木研究所資料845号、80-87.
- 広島県 (1972) 昭和47年7月豪雨災害誌報告書、339pp.
- 海堀正博 (2000) 1999年6月と9月の豪雨による崩壊と土石流の発生場と氾濫堆積場の特徴: 1999年6月西日本の梅雨前線豪雨による災害に関する調査研究、61-82.
- 小山 力・池田 宏 (1998) 岩盤河床形状に及ぼす河床勾配の影響に関する実験的研究: 筑波大学水理実験センター報告、23、25-34.
- 中村太士 (1995) 河畔域における森林と河川の相互作用: 日本生態学会誌、45、295-300.
- 小野寺真一 (1999) 多摩川最上流域における水質形成に及ぼす立地環境の影響の解明—環境変化に対する水源水質の予測モデル構築に向けて—: (財)とうきゅう環境浄化財団研究助成No.204、136pp.
- 新藤静夫・町田 洋・古谷尊彦・中村三郎・奥西一夫・太田猛彦・沖村 孝・北岡豪一 (1987) 崩災の規模、様式、発生頻度とそれに関わる山体地下水の動態: 昭和61年度文部省科学研究費 自然災害特別研究(1) 報告書、262pp.
- 鈴木隆介 (1997) 『建設技術者のための地形図読図入門 第1巻 読図の基礎』: 古今書院、200pp.
- 高橋 裕・河田恵昭・宝 馨・大久保賢治・中辻啓二・水山高久・船水尚行・大垣眞一郎・浅野 孝・磯部雅彦 (1998) 『岩波講座地球環境学7 水循環と流域環境』: 岩波書店、305pp.

- 武居有恒・小橋澄治・中山政一・今村遼平・池谷 浩・平野昌繁・古谷尊彦・奥西一夫 (1982) 『地すべり・崩壊・土石流 予測と対策』: 鹿島出版会、334pp.
- 田中幸哉・恩田裕一・安形 康 (1993) 河床縦断形に対する岩石物性の影響—花崗岩溪流と古生層溪流について: 地理学評論、66A、203-216.
- 谷口 聡・小玉芳敬 (1998) 大山・三ノ沢における1997年台風9号による土砂移動: 鳥取地学会1998年度研究発表会要旨集、9-10.
- 塚本良則 (1998) 『森林・水・土の保全—湿润変動帯の水文地形学—』: 朝倉書店、138pp.