

# 風倒木発生流域における洪水流出と溪床変動<sup>\*1</sup>

清水 晃<sup>\*2</sup> ・ 宮縁育夫<sup>\*2</sup> ・ 清水 貴範<sup>\*2</sup> ・ 小川 泰浩<sup>\*2</sup>

## I. はじめに

1991年の台風19号は日本各地に多くの風倒木を発生させ、多大な森林被害を引き起こした。とりわけ、九州地域では台風が中央部を南西から北東にかけて縦断したため、長崎県から熊本県、大分県、福岡県にわたる広い範囲で激甚な被害が発生した。特に大分県北西部では台風進路の北東部側に当たり、大面積の森林区域が大量の風倒・折損等の被害を受けた。この際、土砂流出や洪水災害の危険性が指摘され、浅層土層の急斜面等では崩壊等の現象も見られたが、大規模な土砂災害の発生は比較的少なかった。その後、保全対象の周辺では早急に復旧がはかられ、また、スリットダム等の流木対策の施工も行なわれた。しかしながら、人家から遠く離れた山地溪流部では未着手区域も多く残り、特に土木的な対策は費用の問題等もあり、未施工の状況であった。

このような状況の中で、九州森林管理局(当時、熊本営林局)は大分県玖珠郡玖珠町深耶馬溪の山地溪流に簡易なスリットダムを施工し、溪流域における流木対策を行なった。このスリットダムは溪床に掘削した坑にコンクリート詰め鋼管(高さ130cm, 直径20cm)7本を流路断面方向に前後2列数本ずつ並べたものである。重機等は搬入が不可能な場所であり、施工はすべて人力で行なった。設置後、この簡易スリットダムは有効に機能し、上流域からの流木を確実に捕捉していた。1993年9月にこの地域に豪雨をもたらした台風13号が通過し、試験流域は多くの崩壊と土砂、流木の移動で溪床の状況は一変した。スリットダムは右岸側を侵食されたが、上流部からの大量の流木、土砂を捕捉していた。また、スリットダムの上流800m地点には長さ100m, 幅15m, 高さ約2.5m, 体積約3100m<sup>3</sup>の巨大な流木群が堆積していた(I)。そこで、森林総研九州支所防災研究室ではスリットダムを下流端とする流域を対象に溪床の変動や流域内に発生した大規模な流木ダムの解体、降雨時の流量の変化などを継

続して測定することとして対象流域の溪床変動を観測するとともに雨量計、水位計等の測器を順次設置した。宮縁ら(I)により流木、土砂の移動実態の解析が発表されているが、本報では、これまで得られた降雨・流量データを用いて1993年9月の台風13号による災害時の流況を再現し流木、土砂流出の実態を検討したので報告する。

## II. 対象流域と調査方法

本流域は、大分県玖珠郡玖珠町深耶馬溪麗谷にあり、耶馬溪火砕流堆積物からなる台地上の平坦面と急崖の開析面からなる。すなわち、図-1に示すように一部の頂部平坦面を除いて急峻な斜面と崖及び流路で形成されている。したがって、土層厚も平坦部を除いて全体に薄いものとなっている。詳細な地質については宮縁ら(I)にゆずる。流量測定は対象流域の中で溪床勾配が0.14度と緩く、幅も比較的広い箇所(約15m)を選定し、流路中央の滞水部に圧力式水位計を設置した。さらにこの箇所では精密な横断・縦断測量を行ない、流速の推定と潤辺の算出に使用した。流速の測定は水位別に浮子を用いて繰り返し行ない、マニング式を適用して粗度を決定した。水位計測箇所ではよどみ等の溪床変動があるため、この地点の粗度は水面勾配と実測流速から算出した。これに対して、本流域では大部分が一様な溶結凝灰岩の溪床であり側壁も加えて3面張水路の様相を呈しているため、流域の平均的な粗度は水位計測地点とは別に溪床での測定を基に算出した。得られた粗度は流域の各部分(溪床が一様な岩盤部)で適用可能として用いた。また、降水量は流域中央部右岸側の平坦な尾根に雨量計を設置し、自記計測した。得られた雨量データは大分県玖珠町のアメダスデータと非常に良く対応していた。

## III. 解析方法と結果

流出計算のモデルはタンクモデルを使用し、1996年から1998年の観測期間中に発生した流出データの中から最

<sup>\*1</sup> Shimizu, A., Miyabuchi, Y., Shimizu, T., and Ogawa, Y. : Storm runoff and change of stream bed in the watershed with windfall caused by powerful typhoon

<sup>\*2</sup> 森林総合研究所九州支所 Kyushu Res. Ctr., For. and Forest Prod. Res. Inst., Kumamoto 860-0862

大の3降雨イベントについてデータを選定し、パラメータを同定した。タンクモデルの構造は3段直列タイプで決定した。パラメータは図-2のとおりである。各降雨イベントについて流出計算を行ない実際のデータと比較したものが図-3~5である。2番目に高いピーク流出を生じた1997年5月の降雨イベントでは洪水波形をうまく再現している。また、最大の総降水量であった1997年7月のデータは降雨のピークに対応して流出モデルがピーク流量をうまく表現していることがわかる(図-4)。さらにピーク流量が最大を記録した1997年9月の台風時における流出データでもピークの推定値はほぼ適合している(図-5)。したがって、このモデルを使用して大量の土砂・流木流出の発生した1993年9月の洪水流量を再現することにした。

使用した降水量データは、大分県玖珠町のアメダスデータ(1時間雨量)である。これは前述したとおり、1996年から測定した現地データとの相関から使用可能と考えられたものである。流出の再現結果は図-6のようになった。この中で、ピーク流量を記録した1993年9月4日20時の流出量は水高換算で36 mm/hとなり、流量測定箇所での水位は0.9 m程度となった。そこで、このピーク流量を用いて対象区間内で渓床幅の最も狭い箇所(幅5.49 m, 渓床勾配0.5度)における流出状況を検討した。この地点は流路が矩形断面を呈し、かつ粗度も3面がほぼ同じ溶結凝灰岩(布目と言われる)から構成されている。したがって、調査区域内では急勾配部分を除いて、最大流速、最大掃流力が発生した箇所と考えられる。まず、断面形状とピーク流量からピーク水位を算出した。これはピーク時の平均流速を Manning式で表現し、流路断面積を乗じたものを観測地点で算出したピーク流量と等値化し、数値解析して求めた。得られた水位は0.89 mであった。また、平均流速は観測地点の2.6倍程度となった。次に、ニクラーゼによる対数流速分布式(1式)の摩擦速度 $u^*$ を粗面水路における平均流速の対数式を用いて求めた(2)。

$$u_i = u_* \left[ 8.5 + 5.75 \log_{10} \frac{y}{k_s} \right] \quad (1)$$

ここで、 $u_i$ は代表流速(平均河床から距離 $y$ における流速)、 $k_s$ は相対粗度でここでは1とした。 $y$ は平均河床からの距離である。この流速式をEgiazaroffの混合砂礫の限界掃流力理論に適用して以下のように移動する礫の最大粒径を計算した。Egiazaroffの移動限界の条件式は2式のように表される(2)。

$$\frac{u_i^2}{(\sigma/\rho - 1)gd_i} = \frac{4}{3} \frac{\mu}{C_{Di}} \quad (2)$$

$\sigma/\rho = 2.65$ ,  $\mu = 1.0$ ,  $C_{Di} = 0.4$ ,  $g = 980 \text{ cm/s}^2$ として、(1)式の $y$ を $\alpha d_i$  ( $\alpha = 0.63$ )に置き換え、2つの式を数値解析すると、移動可能な最大の粒径 $d_i$ が得られる。

その結果、移動可能な礫径は7cm程度となり、流域内では部分的に掃流力がかなり高まっていたことが分かる。しかしながら、渓床に堆積していた土砂や植生がほとんど流失し、その後新たに大径の土砂礫が堆積した状況を考えると、水流による掃流力のみではこのような移動は困難であり、土石流の発生による集合運搬移動が主体であったと考えられた。これは渓床側壁の多くの崖で尾根から崩壊が生じて基岩が露出している状況からも裏付けられるものである。この大量の崩壊土砂・流木が土石流化して大量の水とともに下流へ流下したものと思われる。しかしながら、この時の降水量は通常の台風と比較すると多いものではあったが、その後の降雨観測記録からみると再現期間の極端に大きいものではなく、この土石流及び崩壊発生にはこの台風13号以外の要因が関与しているものと思われた。これはピーク流量が1993年洪水時の80%程度であった1996年以降最大の豪雨(1997年9月)後においても大きく渓床が変動することではなく、新たな崩壊も発生しなかった状況からも示唆された。1993年の崩壊発生地は急斜面上の溶結凝灰岩の基岩に直接植生が育成しているような斜面が多く、これらの場所は1991年の台風19号によって強く揺動されて土層が緩み、安定性が回復していなかったものと思われた。すなわち、1993年の崩壊には1991年の台風19号通過時に引き起こされた樹木揺動による土層の緩みが関与していたと推察された。実際に他の地域でも19号台風の後に崩壊が発生した場所は傾斜の急な土層の薄い斜面が多く、本流域と同様な条件を満たしていた。したがって、1993年における大規模な渓床変動は崩壊とそれに連動する土石流によって引き起こされたものであると推察され、大量に発生した浅層崩壊には以前の台風による影響があったものと考えられる。

また、洪水時の流木の移動については、流量観測期間中の豪雨後の調査によると流木は水位の上昇に伴って比較的簡単に移動するが、流木自体が組あわさった大規模な流木ダムを形成することはなかった。この事実と前述の崩壊発生を考慮すると、流域の中央部に巨大な流木ダムが発生した原因は渓床の屈曲部に右岸からの崩壊土砂が堆積し、流送された流木がダムアップして形成されたと考えることができる。

以上の結果、1993年9月の本流域での大規模な渓床変動は台風19号による斜面土層の不安定化が素因となり、1993年の台風13号の豪雨が大量の崩壊を発生させて土石流化したことで引き起こされたものと推察された。

## 引用文献

- (1) 宮縁育夫他：砂防学会誌, 52(1), 21~27, 1999
- (2) 砂防学会：溪流の土砂移動現象, pp.316, 山海堂, 東京, 1991

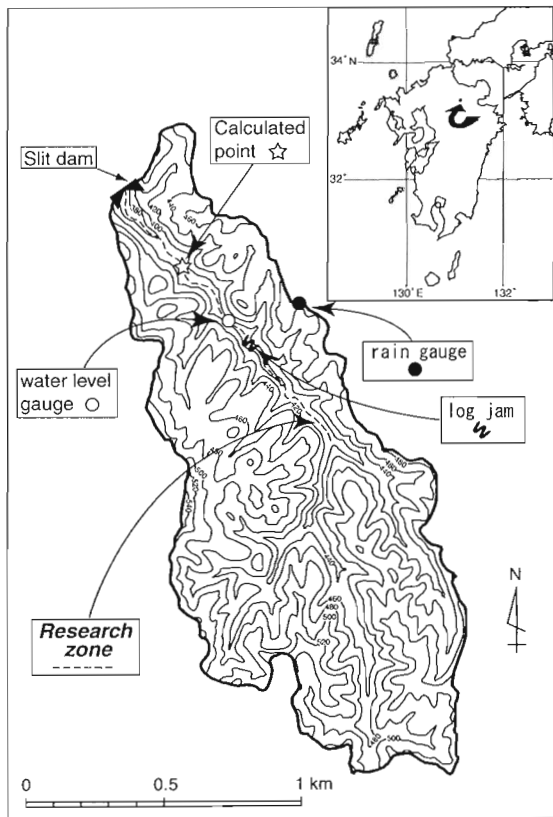


図-1 対象地の地形

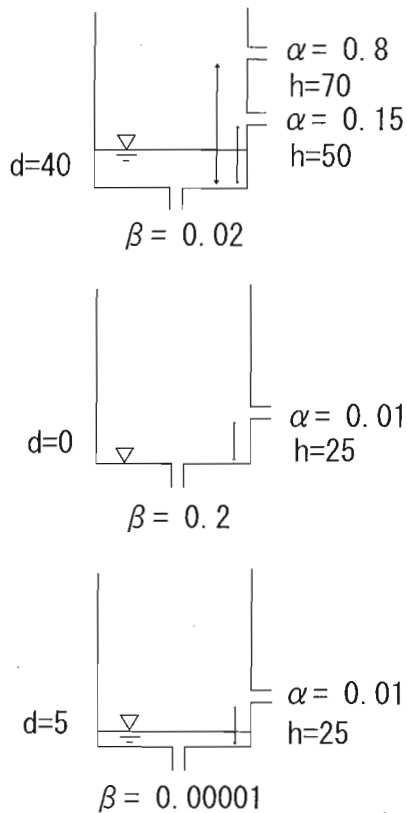


図-2 タンクモデルの構造

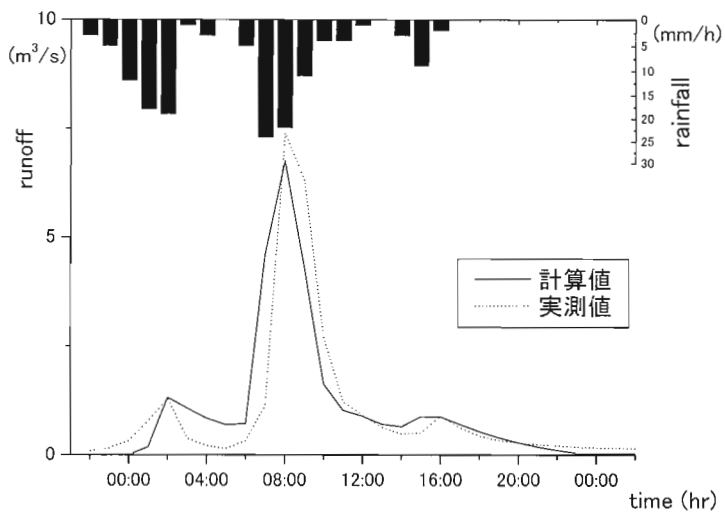


図-3 1997年5月13日の流出

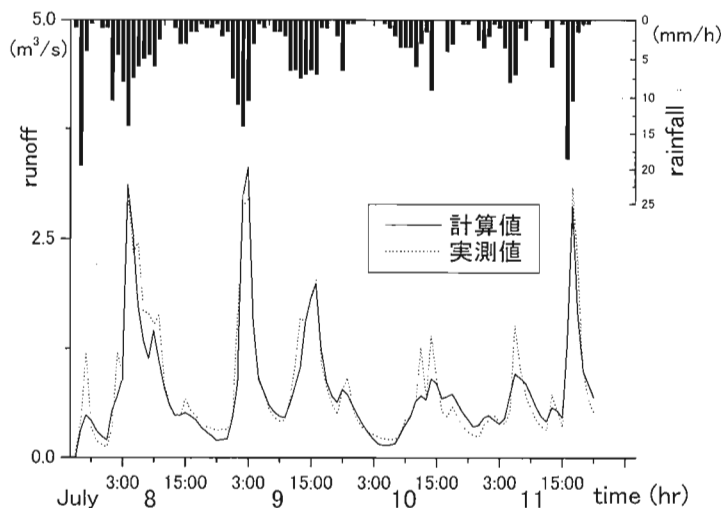


図-4 1997年7月8~11日の流出

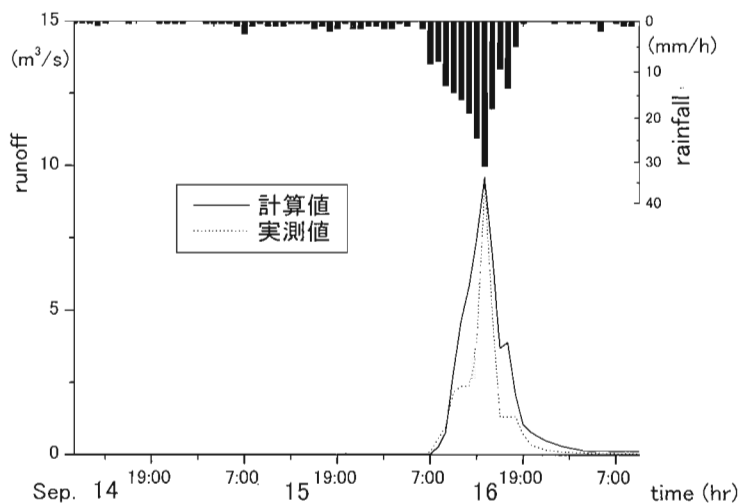


図-5 1997年9月14~17日の流出

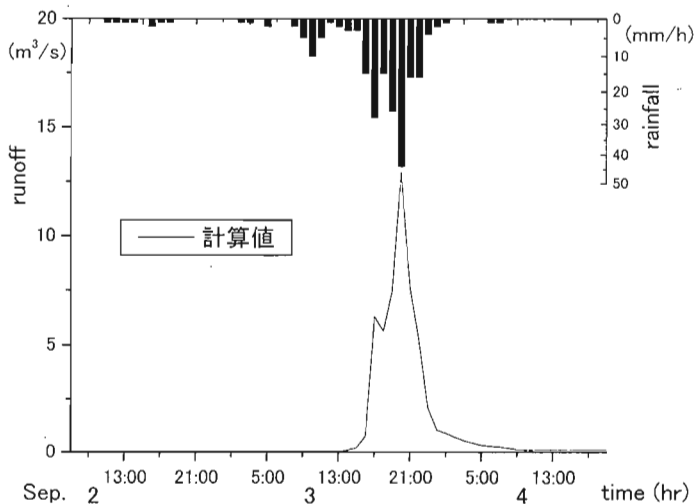


図-6 1993年9月3日の流出