

結晶片岩地域で発生する表層崩壊の発生機構の解明に向けて

四国地方整備局 四国山地砂防事務所 調査課 前川 美紀子

1. はじめに

近年、崩壊跡地でパイプ（【補足資料】参照）の存在や斜面からの湧水が確認されたという報告事例が多くみられ、パイプの存在が崩壊現象に大きく関与していることが指摘されている。特に、パイプに関する研究の進展に伴い、パイプ内で生じる地下侵食（土砂流出）やパイプ内閉塞が崩壊発生に影響を及ぼす因子であることが示されている。以上の事項を勘案すると、崩壊発生の予測を精度よく行なうためには、パイプの存在を考慮した土砂災害発生危険度評価システムの確立が望まれるところである。また、既往研究（【補足資料】図-7 参照）により提示されたパイプの存在と斜面崩壊との関係を勘案すると、パイプからの流出状況やパイプ内での地下侵食土砂量を追跡することで崩壊発生の予知・予測を行うことができるものと判断される。

本調査では、パイプの存在を指標とした土砂災害発生危険度評価システムを構築するための基礎情報を得ることを目的として、崩壊地源頭部に形成されたパイプからの流出状況並びにパイプ内で生じる地下侵食の実態 - 土砂流出特性 - を把握するとともに、流出土砂量の再現計算を実施した。そして、得られた知見を基に、パイプからの流出量と流出土砂量を指標として土砂災害発生の危険度評価を行なうことの可能性について検討を加えた。

2. 調査対象斜面

調査対象斜面は、徳島県三好郡西祖谷山村内に位置する「とびのす谷 C 支溪」である（図

-1）。とびのす谷では、1999 年 6 月 29 日に四国および中国地方を襲った梅雨前線によって（6 月 29 日の日雨量：476mm、善徳雨量観測所）A 支溪、B 支溪、C 支溪

の中腹で計 5ヶ所の斜面崩壊が発生した（図-1）。これらの崩壊土砂

の一部は、写真-1～2 に示すように、土石流として下流に流出し、谷の出口にあるホテル（鉄筋コンクリート 5 階建）や土産物店（木造一階建）を損壊した。

崩壊発生翌日（1999 年 6 月 30 日）の B・C 支溪崩壊地周辺の状況を写真-3 に示す。写真-3 に示すように、C

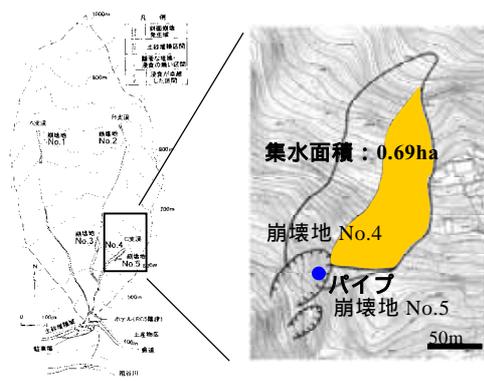


図-1 とびのす谷流域平面図・表層崩壊の発生状況および対象斜面（C 支溪崩壊地上流斜面）の地形状況



写真-1 とびのす谷下流部の土砂堆積状況（写真上部の左側が B 支溪の崩壊（No.3）、右側が C 支溪の崩壊（No.4））



写真-2 ホテルの被災状況

支溪右岸崩壊地
 (図-1中、崩壊地 No.4)では、崩壊発生翌日の現地調査時に崩壊地からの多量の湧水が確認された。さらに、右岸崩壊地(崩壊地 No.4)の周



写真-3 崩壊発生翌日のB・C支溪崩壊地周辺の状況
 (撮影日：1999年6月30日)



写真-4 C支溪で発生した右岸崩壊地源頭部の状況とパイプの出口状況
 (撮影日：1999年8月19日撮影)

辺部では、顕著な谷地形が認められないことに加え、集水面積が0.69haとわずかであるにもかかわらず(図-1)、崩壊発生24日後(1999年7月24日)にも多量の湧水が確認された。崩壊発生51日後である8月19日には、写真-4に示すように、崩壊地源頭部の5箇所パイプが確認され、全てのパイプから湧水が認められた(これらのパイプからの湧水は、崩壊発生後から現在(2003年9月)まで約4年間停止することなくみられている)。

写真-4を眺めると、礫間の細粒土砂は湧水(土層内部の浸透水)により洗い流され、パイプ出口付近には2~3cm程度の小礫がみられる。これらの礫の大部分は、片理の発達とともに剥離した偏平な礫であり、パイプは偏平な礫と礫の間に形成されている(崩壊の源頭部から3~4m下方;標高600m付近)。このようなパイプ出口周辺の状況を勘案すると、崩壊発生時には、表層土中に多数存在する礫と礫の間を通る流れが存在していたことが想定され、右岸部で発生した崩壊には、パイプ流が関与していたことが示唆される。

このような現象は結晶片岩地域で生じやすいものと考えられ、本調査ではC支溪右岸崩壊地の上流斜面をモデル斜面として抽出し、パイプからの流出量と流出土砂量(地下侵食土砂量)の定期計測(1週間に1~2回を原則)を実施した。以下に、2001年6月25日~2002年12月25日の観測結果をとりまとめたものを示す。

3. パイプからの湧水状況と土砂流出特性

パイプの流出量と日平均流出土砂量の経時変化を示す図-2より、パイプからの流出量は14.25~2,885.67cc/secと広範囲にわたって変化しているものの、日雨量が40~50mm以下では反応しないことがわかる。また、無降雨が継続する期間にもパイプからの流出は途絶えることなくみられることより、C支溪には降雨とは無関係に崩壊地源頭部へと供給される地下水流すなわち基底流出量が存在することが示唆される。

一方、日平均流出土砂量は0.02~49.78g/dayを示し、パイプ流量の増減に対応した挙動を示して

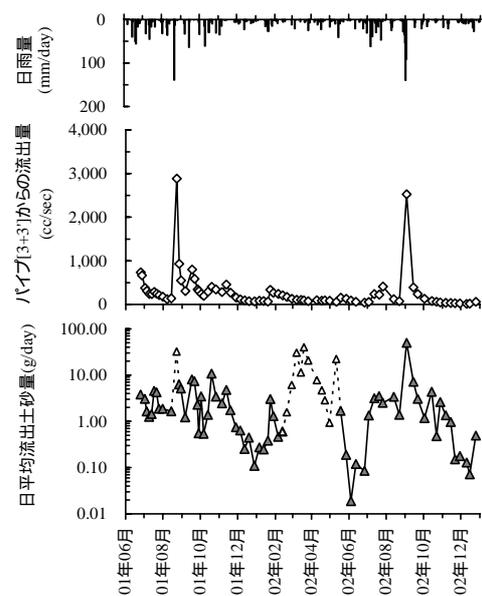


図-2 パイプからの流出量と流出土砂量の経時変化

いることがわかる（総流出土砂量：1,500.31g）。さらに、日平均流出量と日平均流出土砂量との関係を示す図-3より、パイプからの日平均流出土砂量は日平均流出量を用いて累乗近似可能となることが確認された。

既往流砂量式（浮遊砂量式：芦田・道上式、掃流砂量式：Brown式）によるパイプからの流出土砂量の再現計算結果（図-4）は、パイプからの流出量波形や流出土砂量（実測値）と類似した挙動を示すものの、浮遊砂量式（芦田・道上式）により得られた計算値は実測値より2～11オーダー小さく、逆に、掃流砂量式（Brown式）より得られた計算値は4～7オーダー大きく算定される結果となり、流出土砂量を忠実に再現するまでには至らなかった。図-4中には、後述する地下侵食土砂量推定式によるパイプからの流出土砂量の再現結果も併記した。

4. パイプからの流出土砂量の再現

パイプからの流出量と流出土砂量を指標として崩壊発生の予知・予測を行うためには、これらを精度よく再現する（すなわち、予測モデルを用意する）必要がある。対象斜面に形成されたパイプからの流出量は、簡単な一段タンクモデルを用いることにより、再現可能であることが確認されている（平松ら、2002）。ここでは、前章（3. パイプからの湧水状況と土砂流出特性）で得られた結果を考慮し、パイプからの土砂流出実験を実施することにより、パイプ内で生じる土砂の移動現象や閉塞条件を加味した「地下侵食土砂量推定式」の提示を試みた。

4.1 パイプからの土砂流出実験

実験装置は、給水用の定水位タンクと長さ76cm、幅7.2cm、高さ15cmの亚克力製水路により構成されている（図-5）。水路上流端に地下水面を形成し土層全面に給水することにより、パイプ流を発生させた。実験ケースは、水路勾配を5°、10°、15°と3段階変化させ、各水路勾配においてパイプ上流端のパイプ内水深を種々変化させた場合の計8ケースである（図-5）。

4.2 地下侵食土砂量推定式の提示

土砂流出実験より得られた無次元掃流力[β]と無次元流砂量[q_B/u_*d]との関係を示

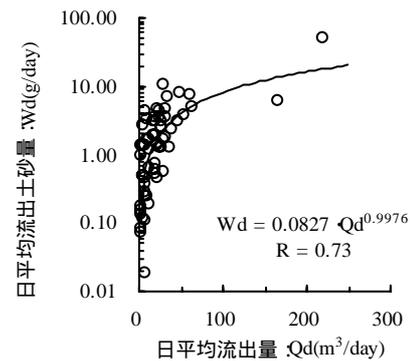


図-3 パイプからの流出量と

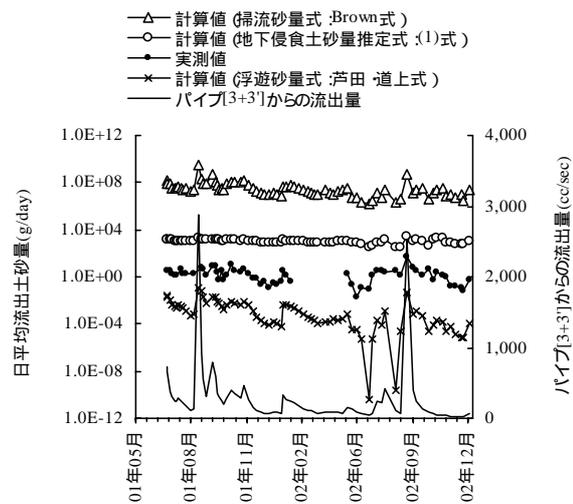


図-4 既往流砂量式によるパイプからの流出土砂量の再現

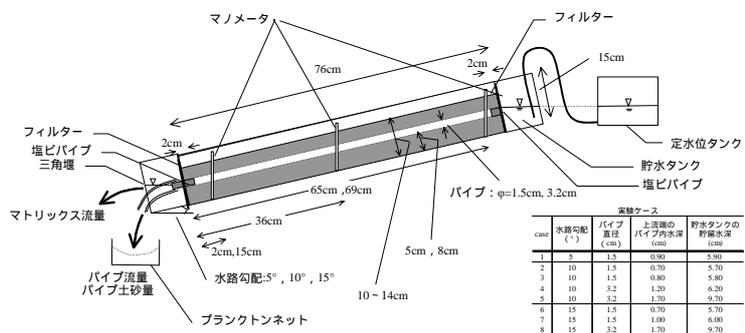


図-5 実験装置の概要

す図-6 より、無次元流砂量は (1) 式を用いて表されることがわかる。(1) 式は、流出量と流出土砂量とが累乗関係にあり式形が単純な Brown 式に基づいたものである。

$$\frac{q_B}{u_* d} = 4.91 \times 10^{-4} \cdot (\frac{u_*}{u_{*c}})^{0.16} \quad \dots\dots (1)$$

ここに、 q_B : 単位幅あたりの流出土砂量 ($m^3/sec/m$)
 u_* : 摩擦速度 (m/sec)、 d : 代表粒径 (m)、 $*$: 無次元掃流力、 u_{*c} : 無次元限界掃流力 (0.05) である。

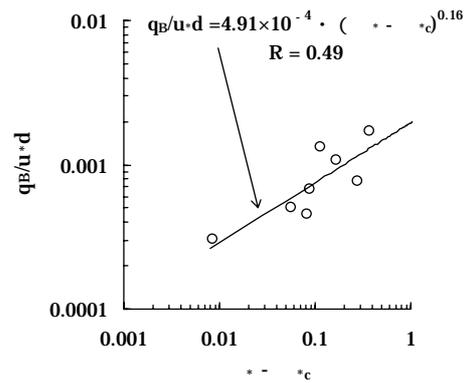


図-6 地下侵食土砂量推定式の提示

4.3 現地流域への適用

(1)式をC支渓崩壊地源頭部に形成されたパイプに適用し流出土砂量の再現計算を試みたところ、同式による計算値は実測値より1~4オーダー程度大きく算出されたものの、既往流砂量式による計算結果と比較して再現精度が3~4オーダー向上したことがわかる(図-4)。以上の結果、同式の予測精度を向上させる必要があるものの、同式を用いてパイプからの流出土砂量を予測し得る可能性が示唆された。

5. おわりに

本調査の結果、C支渓に形成されたパイプからの流出量は日雨量40~50mm/day以下の降雨に対しては反応しないこと、基底流出(降雨以外の供給水源)が存在することが推測された。また、パイプからは流出量逡減期にも土砂流出がみられ、パイプ内では常に地下侵食が生じていることが明らかとなった。特に、とびのす谷では、「礫間を流れる速い地下水流」の存在が地下侵食を促進し、崩壊発生に大きく関与したことが推測される。このような現象は、さらに他流域での検討が必要となるものの、剥離しやすいといった地質学的特性を有する結晶片岩地域では同様にみられると考えられる。

以上の事項と、本調査において、地下侵食土砂量推定式を用いてパイプ内で生じる地下侵食を定量的に評価(予測)できる可能性が示されたことを考えあわせると、同式の再現精度を向上させることによりパイプからの流出量と流出土砂量を指標として崩壊の危険度予測を行う可能性が示された。

今後は、パイプからの流出量および流出土砂量の計測を継続するとともに、パイプからの流出量と流出土砂量の予測手法を確立し、これらを指標とした土砂災害発生危険評価システムの構築を目指し土砂災害による被害の軽減に努めたい。

【補足資料】「パイプ」の説明 ~パイプに関する既往研究成果の整理~

定義: 山地源流域(土層中)に存在する大孔隙や連続した空洞、あるいは周囲の土層と比較して高透水性の部分を用いる。降雨流出・流出機構: 山地源流域で土層内に供給された雨水は、パイプを通して斜面外に流出している。特に、豪雨時には、パイプ流速が地表流に匹敵し、パイプからの流出量が斜面からの流出量の大部分(90%以上)を占める。パイプの存在と斜面安定・崩壊発生: パイプの排水能力を超えない場合には、パイプは良好な排水システムと機能し斜面安定に寄与する反面、パイプ内部で進行する地下侵食やパイプ内閉塞が崩壊発生を引き起こす場合もある。(図-7参照; 内田ら、1996)

【引用文献】平松晋也・前川美紀子・小山西信智(2002): 結晶片岩地域で発生した崩壊地の源頭部に形成されたパイプの変遷とパイプ流の降雨応答特性、地形 Vol.23, No.4, p.585-609 / 内田太郎・小杉賢一郎・大手伸人・水山高久(1996): パイプ流が斜面安定に与える影響、水文・水資源学会誌 Vol.9, No.4, p.330-339

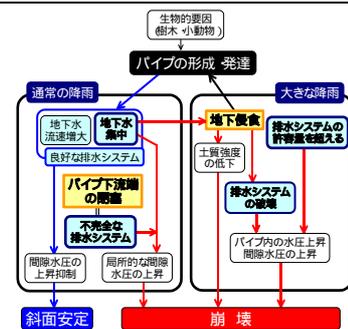


図-7 パイプ形成と斜面崩壊との関係のダイアグラム(内田ら、1996)