

高知大学農学部 平松 晋也

国土交通省四国山地砂防工事（事） 岡本 敦 中山 正一 ○前川 美紀子

## 1. はじめに

近年、崩壊跡地でパイプ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。

本研究では、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、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. 研究対象斜面

研究対象斜面は、徳島県三好郡西祖谷山村内に位置する「とびのす谷C支渓」である。とびのす谷C支渓の崩壊地源頭部（1999年6月29日の豪雨により表層崩壊が発生した）では、崩壊発生後から現在（2003年3月）までパイプからの湧水が確認されている。

## 3. パイプからの湧水状況と土砂流出特性

パイプからの流出量と流出土砂量（地下侵食土砂量）の計測は、崩壊地源頭部に形成されたパイプ[3+3']を対象に1週間に1~2回を原則として実施した。2001年6月25日~2002年12月25日のパイプ[3+3']の流出量と日平均流出土砂量の経時変化を示す図-1より、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、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いる（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-2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-3）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-3中には、後述する地下侵食土砂量推定式によるパイプ[3+3']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

### 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、深さ15cmのアクリル製水路により構成されている（図-4）。水路上流端に地下水水面を形成し土層全面に給水することにより、

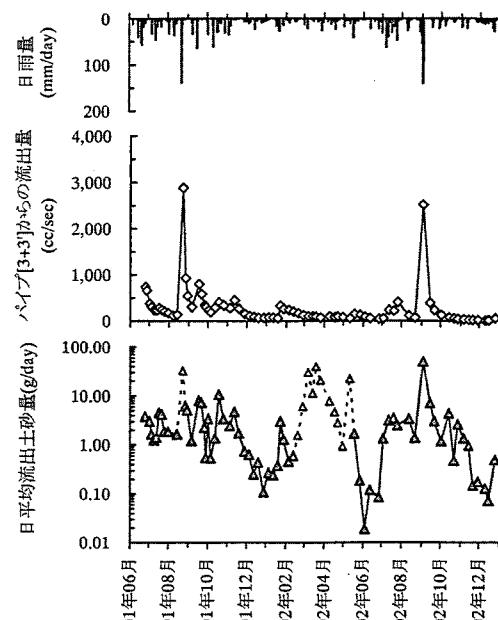


図-1 パイプ[3+3']からの流出量と  
日平均流出土砂量の経時変化

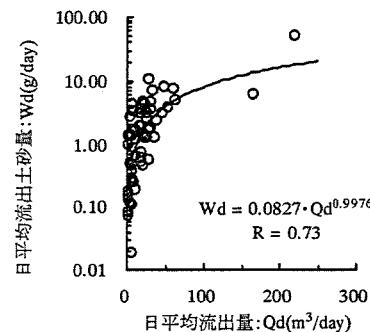


図-2 パイプ[3+3']からの流出量と  
流出土砂量との関係

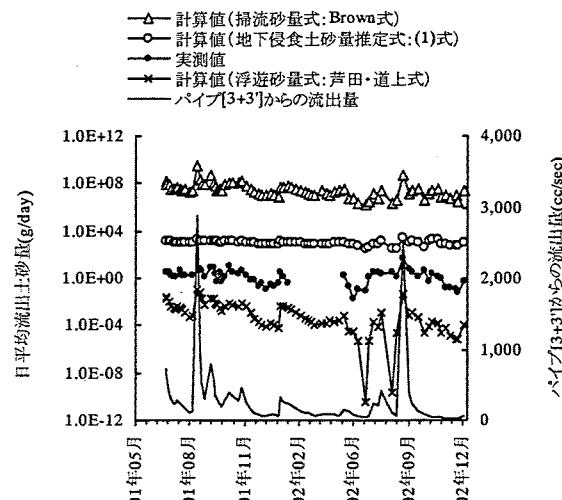


図-3 既往流砂量式によるパイプからの流出土砂量の再現

パイプ流を発生させた。実験ケースは、水路勾配を $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ 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4)。水路勾配: $15^\circ$ , 上流端のパイプ内水深:1.2cmとした場合(case-4)を例として、パイプからの流出土砂量と流出量の経時変化を示す図5より、流出土砂量は実験(給水)開始後の時間経過とともに減少し160~170分程度で定常状態を示すことがわかる。

この傾向は各ケースともに認められ、定常状態時の流出土砂量はパイプ内水深の増加とともに増大していることが確認された。

#### 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と無次元流砂量との関係を示す図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。

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

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 ( $m$ )、 $\tau_*$ : 無次元掃流力、 $\tau_{*c}$ : 無次元限界掃流力 (0.05) である。

#### 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[3+3']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3)。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

以上の結果を基に、パイプからの流出量と流出土砂量を指標とした土砂災害発生危険度評価システムの基本概念をとりまとめたものを図7に示す。同システムは、流出量予測モデルとして『タンクモデル』を、流出土砂量予測モデルとして『地下侵食土砂量推定式: (1)式』をそれぞれ用いて、『[土砂堆積=パイプ内の閉塞]→流出土砂量の減少]⇒[通水能力の低下⇒パイプ流出量の減少]』を検知し、パイプの閉塞にともなう流出量と流出土砂量の挙動をとおして斜面の安定性を追跡しようとするものである。

このように、本システムでは、流出量と流出土砂量を指標として2段階評価することで、崩壊発生の危険度が評価されることになる。今後、同システムの実用化にあたっては、警報発令を決定付けるパイプからの流出量や流出土砂量に関する閾値を示す必要性や、避難勧告発令の空振りをなくすために流出量予測モデルや流出土砂量予測モデルの予測精度を向上させることが不可欠となる。

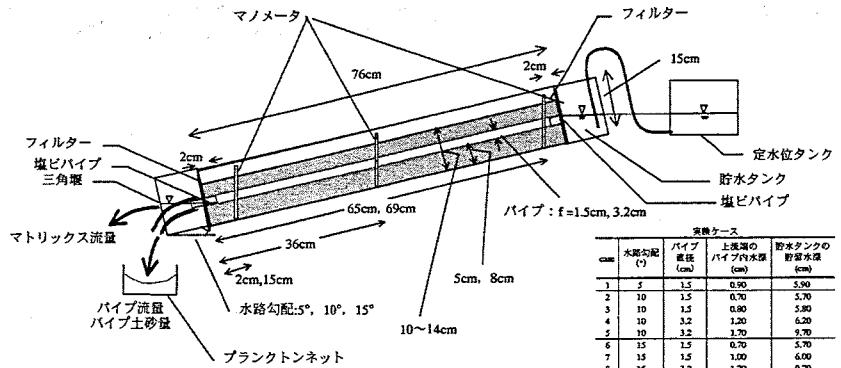


図4 実験装置の概要

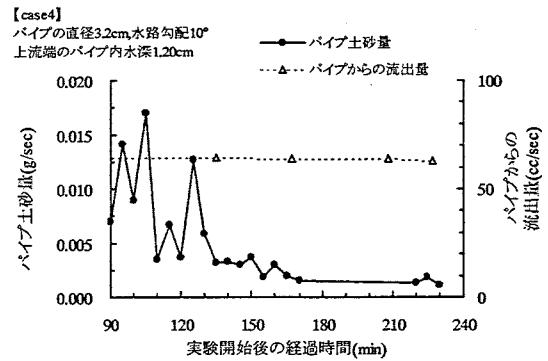


図5 パイプからの流出量および流出土砂量の経時変化

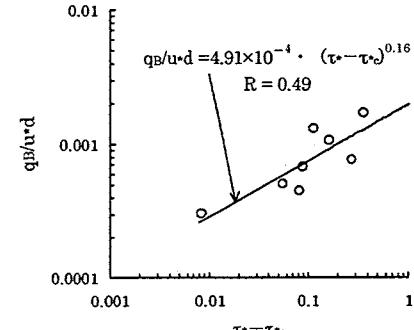


図6 地下侵食土砂量推定式の提示

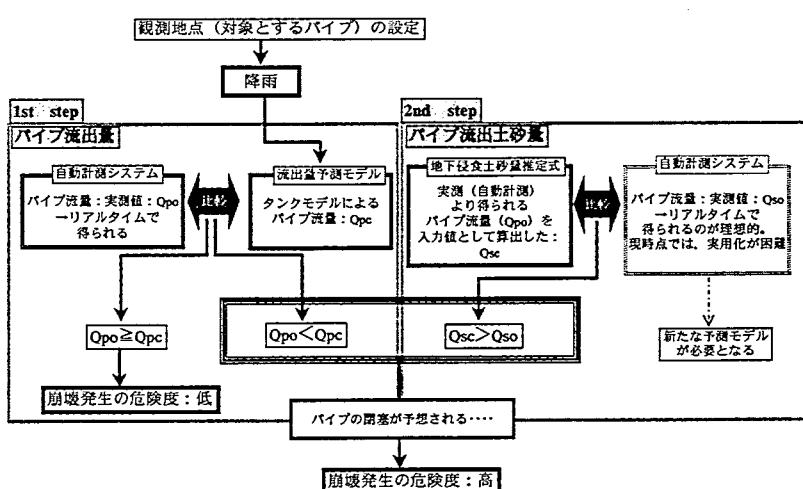


図7 パイプからの流出量および流出土砂量を指標とした土砂災害危険度評価システムの基本概念