

霧ヶ峰湿原の登山道侵食の実態と将来予測

信州大学農学部

○梶原あずさ・平松晋也・長嶺真理子

1. はじめに

近年、アウトドア人口の増加により、日本国内の豊かな自然は今までになかった規模の人為的インパクトにさらされるようになった。本研究対象地である霧ヶ峰においても、登山道の荒廃化は湿原の陸地化・乾燥化の原因の一つとも言われており深刻な問題となっている。

本研究では、登山道上で生じる表面侵食実態を定量的に把握することを目的として、現地散水実験と自然降雨時の表面流出水量と表面流出土砂量の観測を行った。さらに、これらの観測結果を用いて登山道上の侵食予測を行うことにより、登山道侵食対策施設の効果評価やその適正配置に向けての一助とした。

2. 研究対象地の概要

調査対象地域は、長野県八ヶ岳中信高原国定公園内に位置し、登山道侵食が顕著である八島ヶ原湿原流域と車山湿原流域である。八島ヶ原湿原流域内の現行の登山道で現地散水実験を実施し、登山道上での土砂侵食実態を把握するとともに、表面流出土砂量推定式を構築した。一方、車山湿原の登山道では、自然降雨時の土砂流出実態を把握した。この結果を基に、散水実験より得られた表面流出土砂量推定式による再現計算と妥当性の検討を行い、登山道から湿原内へと流入する表面流出土砂量の将来予測手法の確立を行った。

3. 散水実験による表面流出水量と表面流出土砂量の定量的把握

八島ヶ原湿原流域内に位置する現行登山道において散水実験を実施し、表面流出水量・表面流出土砂量・表面流水深の計測を行った。中尾ら(2005)による小規模なプロットスケールでの散水実験では、水深は発生せず、登山道上での水や土砂の流下過程を定量的に把握するまでには至らなかったため、本研究では、水深を発生させるために流下距離を延長(散水範囲を拡大)し、長さ 4m × 幅 50cm の散水部と長さ 1m × 幅 50cm の流下部で構成された試験プロット(図 - 1)を現行の登山道上に設定した。図 - 1 に示すように、散水装置は、給水用の 200L タンク、散水部及びそれらをつなぐホースにより構成される。散水強度は、15mm/hr、30mm/hr、45mm/hr、60mm/hr、75mm/hr、90mm/hr の計 6 パターンであり(総散水量は 1 実験につき約 180L)、表面流出水量と表面流出土砂量、表面流水深を計測した。

全降雨パターンにおいて、表面流出水量(流出率)は散水開始から 10~20 分後には定常状態に達し、流出率は 70.4~90.8%と高い値を示した。なお、本研究では、散水停止直前から 1 時間前までを定常状態と設定した。定常状態時の表面流出水量と散水強度との関係より、散水強度の増加とともに表面流出水量も増加する顕著な傾向が認められる。一方、流出率と散水強度との関係を眺めると、散水強度が 15~30mm/hr の範囲内では散水強度の増加とともに流出率に顕著な増加がみられるが、散水強度 30mm/hr を境に流出率は緩やかな増加傾向に転じた。表面流出土砂量の経時変化を図 - 2 に示す。散水強度が 15~45mm/hr の範囲内では、散水継続時間の如何にかかわらず概ね一定の土砂量が流出しているが、散水強度が 60mm/hr 以上になると散水開始直後に多量の土砂が流出する結果となった。これは、散水前に登山道表面に不安定に堆積していた土砂が雨滴の衝撃によって攪乱され、これらが一時的に流出したものと推察される。定常状態時の表面流出土砂量と散水強度との関係を示す図 - 3 より、降雨強度の増加とともに表面流出土砂量も増加することがわかる。また、散水強度が 15~45mm/hr の範囲内では表面流出土砂量は 0.13g~17.39g/m/hr と少量であったが、散水強度が 60mm/hr 以上になると 64.98~72.32g/m/hr と極端に増加する結果となった。表面流水深は全ての散水強度において散水開始直後から発生し、最上部測線である測線 1(0.88~5.21mm)~測線 10(0.11~4.60mm)の全測線で計測可能であった。散水強度の増加とともに水深も増加する傾向が顕著に認められた。

実験結果を基に、既往流砂量式

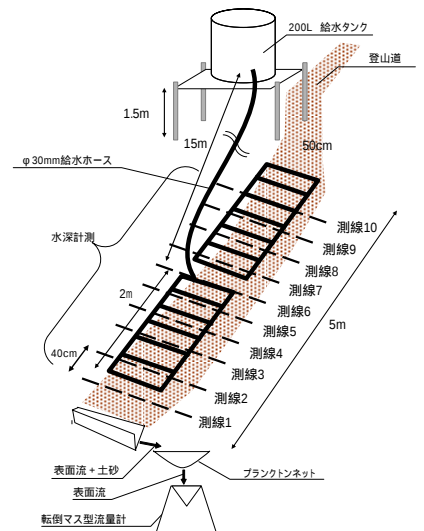


図 - 1 散水実験装置の概要

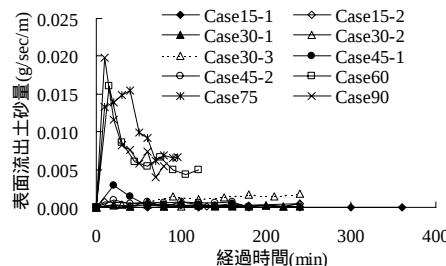


図 - 2 表面流出土砂量の経時変化

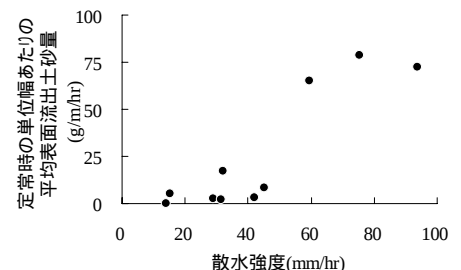


図 - 3 定常状態時の表面流出土砂量と散水強度との関係

(Brown 式, 芦田・高橋・水山式, 芦田・道上式(浮遊砂量式))を用いて登山道からの表面流出土砂量の再現計算を実施した(図 - 4)。掃流砂量式では, 5~9 オーダー程度過大評価し, 浮遊砂量式では, 2~3 オーダー程度過小評価する結果となった。そこで, 浮遊砂量式である芦田・道上式と Brown 式に基づいた表面流出土砂量推定式をそれぞれ構築した((1)~(2)式)。

$$C_B = 15 \cdot \left\{ \frac{g(\xi_0)}{\xi_0} - G(\xi_0) \right\} \quad q_s = \frac{C_B \cdot q}{\sigma} \dots\dots (1)$$

$$Q_b/U \cdot d = 2.3 \times 10^{-12} \cdot (\tau_* - \tau_{*c})^{9.61} \dots\dots (2)$$

ここに C_B : 底面濃度 (g/m^3), g : 重力加速度 ($=9.8m/sec^2$), σ : 砂礫の密度, q_s : 単位幅単位時間あたりの浮遊砂量 ($m^3/sec/m$), q : 単位幅単位時間あたりの清水流量 ($m^3/sec/m$), 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), τ_* : 無次元掃流力, τ_{*c} : 無次元限界掃流力である。

(1)~(2)式による表面流出土砂量の再現計算結果より(図 - 5), 実験時の表面流出土砂量の再現精度は(2)式の方が高くなる結果となった。しかしながら, 本研究の表面流出土砂は 95% が粒径 1mm 以下の土粒子で構成されており, 土砂の移動形態は浮遊であると考えられることから判断すると, 本来は(1)式の採用が望ましい。

4. 自然降雨による表面流出水量と表面流出土砂量の定量的把握

登山客の通行に配慮するため木道下の登山道に設置した三角堰による流量計測と, 表面流出土砂量の計測を行った(図 - 6)。降雨時, 登山道に発生した表面流出水量は, 木道下の登山道に埋設された三角堰に集水し, 三角堰横に取り付けられた静電容量式水位計によって 10 分ごとに自動計測(越流水深)した。表面流出土砂量は, 1 降雨イベントを基準として 0.075mm プランクトンネットを用いて手動計測した。降雨量は近傍の八島高原で計測された降雨量を用いた。

表面流出水量と表面流出土砂量は, 降雨量の増加とともに増加し, 表面流出水量の増加とともに表面流出土砂量も増加する傾向が確認された。散水実験で得られた表面流出土砂量推定式((1)~(2)式)による再現計算結果を図 - 7 に示す。散水実験から得られた(1)~(2)式は, 実測値を 2~4 オーダー程度過大評価する結果となった。散水実験と同様に, 観測結果を基に浮遊砂量式である芦田・道上式と Brown 式に基づいた表面流出土砂量推定式をそれぞれ求めた((3)~(4)式)。

$$C_B = 0.1 \cdot \left\{ \frac{g(\xi_0)}{\xi_0} - G(\xi_0) \right\} \quad q_s = \frac{C_B \cdot q}{\sigma} \dots\dots (3)$$

$$Q_b/U \cdot d = 7.3 \times 10^{-8} \cdot (\tau_* - \tau_{*c})^2 \dots\dots (4)$$

図 - 8 に示すように表面流出土砂量は 表面流出土砂量推定式((3)~(4)式)により良好な再現結果が得られ, (3)~(4)式を用いて表面流出土砂量の将来予測が可能であることが示唆された。表面流出土砂量の将来予測手法としては, 流出形態が浮遊であるという観点から芦田・道上型表面流出土砂量推定式((3)式)の採用が望ましいが, 取り扱いやすさの観点から補足的に Brown 型表面流出土砂量推定式((4)式)による推定も行うことが可能である。

5. 今後の課題

今後は, 自然降雨観測データを蓄積することにより精度の高い表面流出土砂量推定式の確立を目指したい。さらに, 表面流出土砂量推定式と河床変動計算モデルとのリンクによる『表面流出土砂予測モデル』を用いた登山道から湿原への流入土砂量の将来予測を行う必要がある。この『表面流出土砂予測モデル』は登山道侵食対策事業への支援ツールとなり, 登山道侵食対策施設の効果評価やその適正配置に向けての一助となろう。

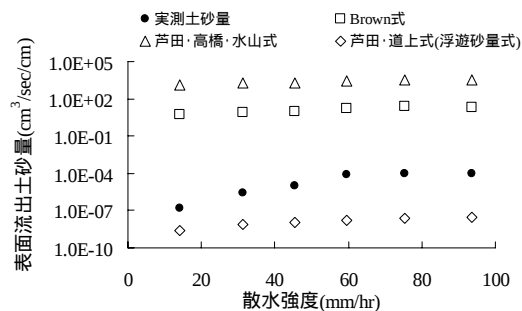


図 - 4 既往流砂量式による再現結果

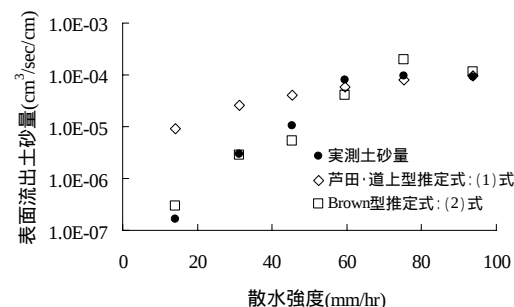


図 - 5 表面流出土砂量推定式による再現結果

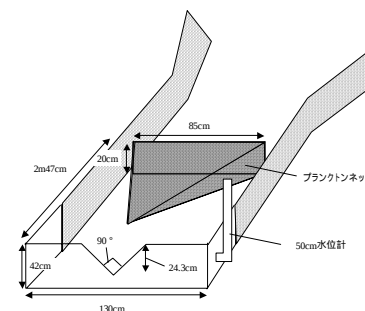


図 - 6 自然降雨観測装置

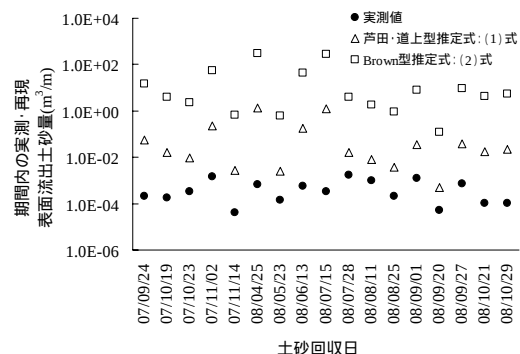


図 - 7 散水実験から得られた表面流出土砂量推定式による再現計算結果

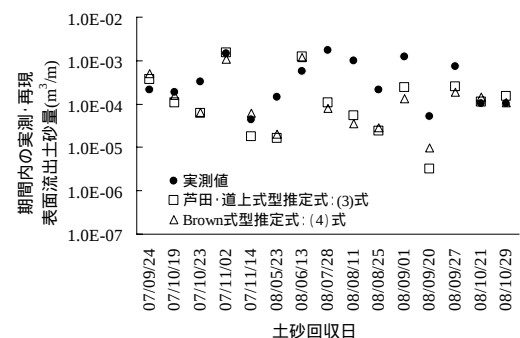


図 - 8 表面流出土砂量予測式による再現結果