

高知大学農学部

平松 晋也 ○黒岩 知恵

国土交通省四国山地砂防工事(事)

岡本 敦

中山 正一

1. はじめに

近年、全国各地の林業地域において、森林施業の粗放化に伴う土砂生産の活発化が多数報告されるようになり、森林管理の重要性が広く認識されるとともに、持続可能な森林施業の方法が再度検討されるようになってきた。また、砂防計画において水源域から海域にわたる総合的な土砂管理が求められる昨今の事情を考えると、流域スケールで土砂収支を議論するにあたって、森林施業状態の変化が土砂生産現象に与える影響の定量化ならびに評価手法の確立が望まれるところである。

既往研究において、森林施業状態の変化を指標とした土砂生産予測モデルを提示し、現地流域へ適用したところ、概ね良好な再現結果が得られたものの、表層崩壊の影響を受ける土砂生産に対する再現性は若干劣る結果となった。また、河道内での土砂移動時系列を考慮することにより、その再現性が向上することが示唆された。そこで、本研究では、崩壊による土砂生産の影響を加味したうえで、河床変動計算を実施し、モデルの再現精度の向上を試みた。

2. 対象流域の概要

本研究で対象とした宮川ダム上流域は三重県中央部に位置し、流域面積は 125.6 km^2 、主流路延長は 26 km 、平均河床勾配は $1/18$ で、地質は秩父古生層の粘板岩・砂岩である。ダム堆砂状況の推移をとりまとめた図-1（下段）より、1958～1988年の年平均堆砂量は $41,000\text{ m}^3/\text{year}$ であったのに対し、1989年以降は $153,000\text{ m}^3/\text{year}$ と約4倍の値を示し、1989年以降堆砂量は急増したことがわかる。一方、1979、1990年の崩壊面積は $212,225, 196,103\text{ m}^2$ と極めて大きく、他年度の概ね3倍を示すことがわかる（図-1 中段）。同流域内の森林施業状態の推移を示す図-2より、1975年頃までは森林伐採が盛んに行われていたが、それ以降は減少傾向にあることがわかる。1965～1996年の総伐採面積は、 $2,938\text{ ha}$ （流域の約23%）である。また、1970年頃までは植栽が盛んに行われていたが、1970年以降は徐々に行われなくなり、近年無植栽地が増加している。

3. 森林施業状態を指標とした土砂生産予測

3.1 植栽の有・無を指標とした斜面安定性変動予測モデル

図-3は、既往研究で提示された「植栽の有・無による斜面安定性変動予測モデル」の概念を示したものであり、伐採による斜面の不安定化と植栽による斜面の安定化の双方を考慮することにより、土砂生産（表層崩壊）の危険度が評価されることになる。伐採後 t 年の不安定化率： $L_s(t)\%$ に伐採面積： $AL(\text{ha})$ を乗じた値を「伐採による不安定化面積： $AL_s(t)(\text{ha})$ 」、植栽後 t 年の安定化率： $F_s(t)$ に植栽面積： $AF(\text{ha})$ を乗じた値を「植栽による安定化面積： $AF_s(t)(\text{ha})$ 」、さらに、不安定化面積から安定化面積を差し引いた値を「土砂生産可能面積（崩壊可能面積）： $AP(t)(\text{ha})$ 」と定義し、この値の流域面積： $a(\text{ha})$ に対する比率：“土砂生産可能面積率（崩壊可能面積率）： $APr(t)\%$ ”を森林施業状態の変化に伴う土砂生産（崩壊）危険度の評価指標とした。モデル中の境界年数は、土砂生産形態や流域の気象条件・立地条件・樹種等により変化し、宮川ダム上流域内の土砂生産現象（ダム堆砂量）を目的変数とする場合は $T_{L(0)}=5, T_{L(100)}=20, T_{F(0)}=5$ 及び $T_{F(100)}=20$ 年、崩壊現象に対しては $T_{L(0)}=0, T_{L(100)}=6, T_{F(0)}=5$ 及び $T_{F(100)}=25$ 年とそれぞれ設定した。

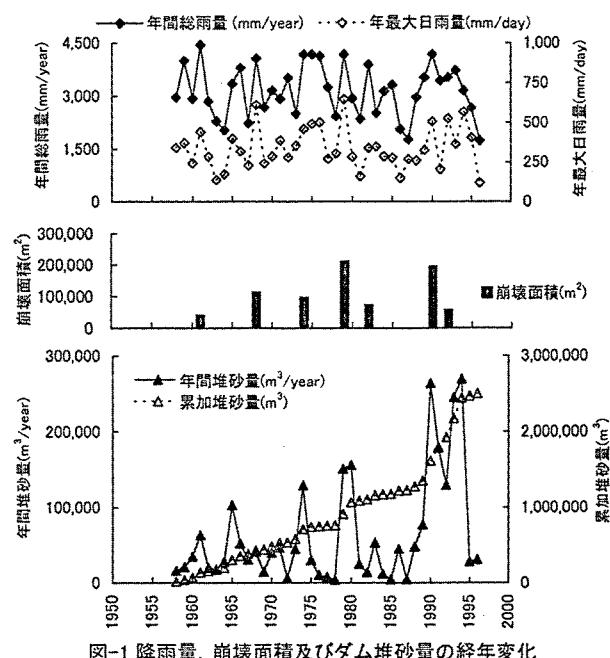


図-1 降雨量、崩壊面積及びダム堆砂量の経年変化

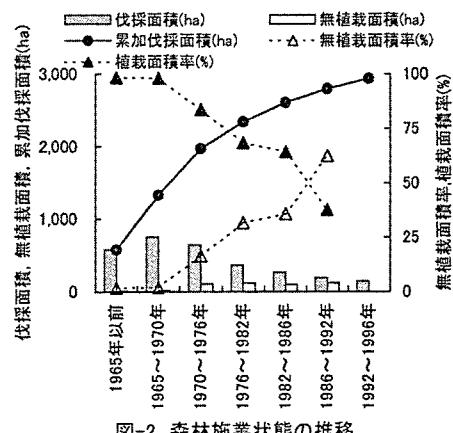


図-2 森林施業状態の推移

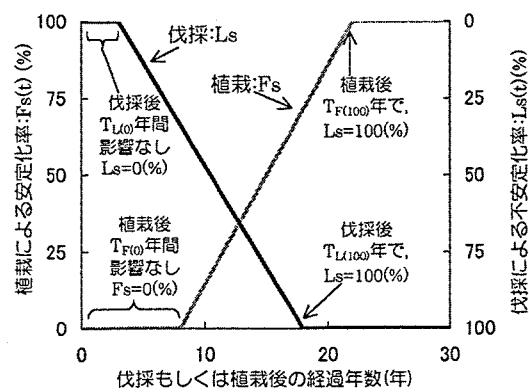


図-3 植栽の有・無による斜面安定性変動予測モデル

3.2 既往モデルの適用性

図4(下段)は、土砂生産可能面積率と降雨量とを指標とした「生産土砂量予測式((1), (2)式)」により得られた計算堆砂量と実績堆砂量の経年変化を示したものである。堆砂量の多かった1989～1996年ににおける堆砂量の急増や1990年をピークに堆砂量が減少する傾向は忠実に再現されているものの、崩壊の影響を強く受ける1965, 1974, 1979及び1980年の計算値は実積値の1/4～1/3倍と過少評価される結果となつた。一方、崩壊可能面積率と年最大日雨量とを指標とした「崩壊面積率予測式(3)式」を基に得られた計算崩壊面積(図4上段)は、「生産土砂量予測式」では再現することのできなかつた大規模土砂生産時である1965, 1974及び1979年の堆砂量の急激な増加を概ね良好に再現していることがわかる。ここで、両者の挙動に若干のずれが認められたのは、崩壊土砂がダム地点へと到達するまでに時間的な遅れを伴うためである。

【生産土砂量予測式: 1958～1985年】

$$Q_s = 4,722 \cdot e^{0.0031 \cdot R_d} + 26,328.9 \cdot APr(t) + 19,478.5 \quad \dots\dots\dots (1)$$

【崩壊面積率予測式】

$$s/a = 0.0085 \cdot (R_d - 325)^{0.293} \cdot e^{0.105 \cdot APr(t)} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 Q_s : 年間堆砂量($m^3/year$)、 R_d : 年最大日雨量(mm/day)、 R_y : 年間総雨量($m^3/year$)及び s/a : 崩壊面積率(%)である。

3.3 河道内での土砂移動を考慮したダム堆砂量の再現

崩壊による土砂生産の影響や河道内での土砂移動を考慮するため、崩壊面積率予測式と一次元河床変動計算とを用いて、ダム堆砂量の再現計算を行つた。計算対象期間は、1961年から1996年までの36年間である。河床変動計算では、流域内の4次谷以上の河川(8河川)を対象とし、ダム湛水域末端から河床勾配が5°以下の区間にに対して計算を実施した。流砂の形態としては掃流砂・浮遊砂を考え、掃流砂量は芦田・高橋・水山式、浮遊砂量は芦田・道上式により求めた。河床材料は一様砂礫とし、代表粒径は現地調査結果を基に設定した。斜面からの供給土砂量は、崩壊面積率予測式を用いて崩壊土砂量を算出し、崩壊発生年日に全量供給した。また、崩壊発生日には、河床材料の代表粒径として山腹土砂の平均粒径を用いた。

ダム堆砂量の再現計算結果を図5に示す。計算堆砂量は、各河川からダム湛水域末端へと流入する土砂量を集計した値である。図5より、生産土砂量予測式では再現できなかつた崩壊に伴う堆砂量の突発的な増加傾向(1965, 1974, 1979及び1980年)や、1989年以降堆砂量が急増する傾向は概ね良好に再現されていることがわかる。しかしながら、堆砂量の少なかつた1988年以前では、計算値が実績値を上回る傾向が見受けられ、1974と1979年の計算値は実積値のそれぞれ1.6, 2.1倍程度の値を示している。一方、1979年と同等規模の土砂流出が確認された1980年の計算堆砂量は極めて小さい値を示している。このように計算値と実績値との間に差異が認められたのは、計算対象区間をダム湛水域末端より上流部と設定したことによるものであり、ダム湛水域内での河床変動計算を実施することにより、その再現精度は向上するであろう。一方、1989年以降は、計算値が実積値を若干下回る結果となった。1986年以降無植栽地が急増したことを勘案すると、当該期間には表面侵食による土砂生産が卓越していたことが予想され、表面侵食による影響を加味することにより、再現精度が向上することが示唆される。

4. まとめ

以上の結果、森林の施業状態を指標とした崩壊面積率予測式と河床変動計算を用いることにより、既往研究で提示した生産土砂量予測式では再現することのできなかつた崩壊の影響が卓越した場合の流域からの土砂生産状況(ダム堆砂量)の再現が可能となることが確認された。今後は、河床変動計算区間をダム湛水域内へと拡張するとともに、河床材料を混合砂礫として取り扱うことにより、モデルの再現精度の向上を図る必要がある。さらに、今回得られた結果を基に、表面侵食現象を対象として、森林施業状態を指標とした土砂生産予測モデルを提示し、表面侵食と表層崩壊の双方の影響を加味した土砂生産予測へと発展させる予定である。

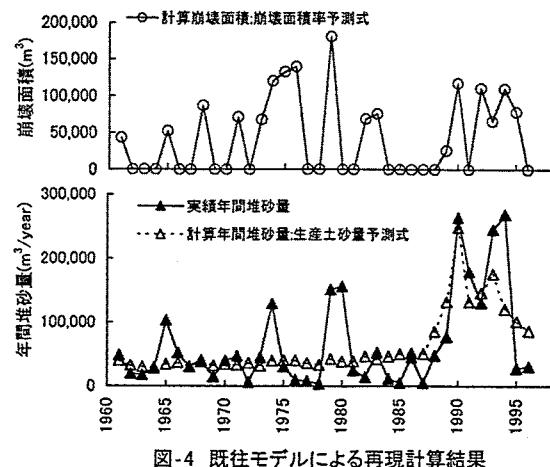


図-4 既往モデルによる再現計算結果

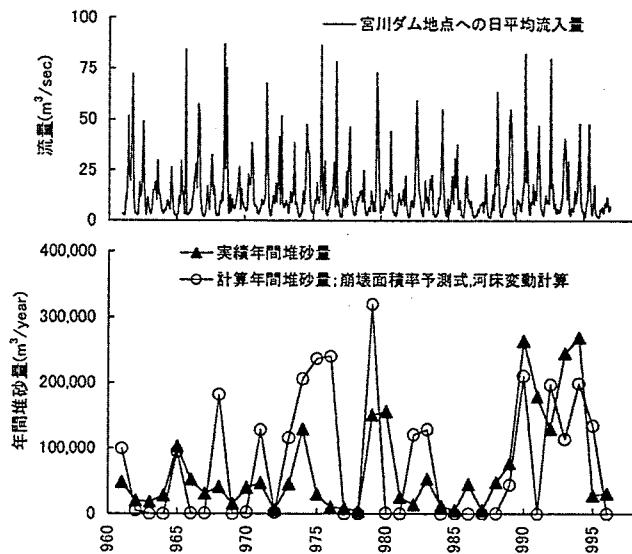


図-5 崩壊面積率予測式と河床変動計算を用いた堆砂量の再現計算結果