

森林が土砂生産へ及ぼす影響とその定量的な評価について —奈良県吉野郡下北山村池郷川における検討事例—

国際航業株式会社 ○笠原拓造, 清水幹輝, 河合貴之, 青戸一峰, 小泉和也,
朴 哉炫, 三浦元気, 西川友章, 渡辺隆吉, 堀大一郎
奈良県県土マネジメント部砂防・災害対策課 宮口一成

1. はじめに

奈良県吉野郡下北山村にある池郷川流域(図1, 新宮川水系, 流域面積 $A=32\text{km}^2$)は, 2004年の台風第10号・11号において10万 m^3 もの土砂流出が発生して以来, 下流河道で河床上昇が生じ, 多額の費用を投じて定期的に除石を実施している。そこで奈良県は, 砂防や森林整備等の協働による総合的な土砂管理により土砂生産・流出を抑制する

図1 研究対象流域

ことで, 除石の軽減等を図る検討を行っている。本発表では, 朴ほか(2021)¹⁾や三浦ほか(2022)²⁾, 笠原ほか(2022)³⁾にて, これまでに実施した樹木が土砂生産へ及ぼす影響を定量的に評価した検討結果について報告する。なお, 本発表はポスターで発表する「森林が土砂生産へ及ぼす影響とその調査・観測手法について」と連携している。

2. 池郷川流域における森林の山腹崩壊防止機能

池郷川流域では, 1970年代の大規模な皆伐後, 荒廃が進行し, 崩壊土砂などが渓流内に蓄積, その後の2004台風10・11号, 2011紀伊半島大水害で大量の土砂が流出し, 河床上昇を引き起こした。この間の森林の変化(成長)と崩壊地の関係を空中写真判読成果から整理すると, 図2に示すように植栽から約15年が経過するまでは崩壊面積率が增大し, その後, 急速に低下することがわかった。

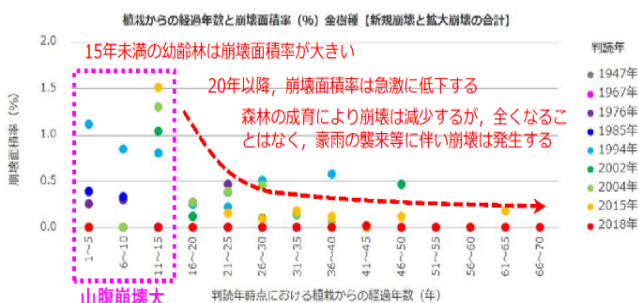


図2 地形判読年別の崩壊面積率

3. 森林の山腹崩壊防止機能の定量評価

崩壊防止機能の定量評価は, 樹木の成長に伴い崩壊が減少した事象に着目し, 無限長斜面安定解析に樹木の重さと根の緊縛力を考慮した。

3.1. 森林による山腹崩壊防止機能の評価方法

安定解析による崩壊判定は, 航空レーザ計測成果を用いて流域内を10m×10mのメッシュに区切り, 1メッシュごとに, 地下水位と斜面の安定性(=安全率)を評価した。安全率が1.0未満となった場合, 崩壊と判定する。森林の山腹崩壊防止機能を考慮した安定解析モデルを図3に示す

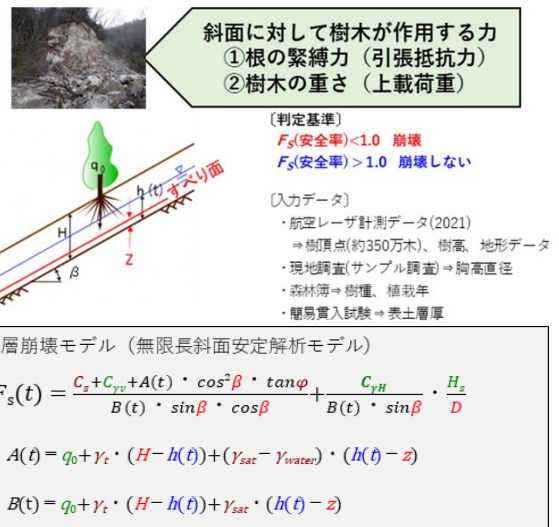


図3 森林の山腹崩壊防止機能を考慮した安定解析モデル

3.2. 各種パラメータの設定

■FS(t): 時刻tにおける各メッシュの安全率

■表土層のパラメータ

D: メッシュ幅は, 崩壊最小幅の10mとした。

H: 表土層厚は, 簡易貫入試験結果から作成した地表面傾斜(LPより)と表土層厚の関係式より設定した。

β : 地表の標高から表土層厚を減じて作成した。

Z: 表土層厚の基盤面に一致と想定した。

■地下水位のパラメータ

h(t): 地下水位は, 池郷川の降雨流出観測成果より感度分析により推定した透水係数等を用いて算定した。

■土の物性値

γ_t : 土の単位体積重量, γ_{sat} : 土の飽和単位体積重量, γ_{water} : 水の単位体積重量は, 一般値を用いた。

■土の強度定数

c_s : 土の粘着力は, 1990年, 2004年, 2011年の崩壊・非崩壊実績の感度分析により推定した。

ϕ : 土の内部摩擦角は, 一般値を用いた。

■樹木のパラメータ

Hs: 水平根系の侵入深さは, 現地の根張りした樹木の状況より表土層の厚さと同じと想定した。

q_0 : 樹木の上乗荷重は, 樹高と胸高直径より樹木1本毎に算定し, メッシュに集約(合計)した。(樹高と樹木位置は航空レーザ測量成果より推定した。胸高直径は, 針葉樹と広葉樹別にサンプル調査を行い樹高と胸高直径の関係式を作成し推定した)

$C_{\gamma H}$: 根系による水平方向の粘着力の増分(=引張抵抗力: 樹木間の距離と胸高直径より推定し, メッシュに集約(平均)した。樹木間の距離は航空レーザ計測測量成果から, 胸高直径は, 針葉樹と広葉樹別にサンプル調査を行い樹高と胸高直径の関係式を作成し推定した)

$C_{\gamma v}$: 根による鉛直方向の粘着力の増分(鉛直根はすべり面に達していないと想定した)

4. 森林管理による山腹崩壊防止効果

4.1. 奈良県における森林整備方針

奈良県における目指すべき森林施策は、荒廃したスギ・ヒノキ人工林において間伐を進めることで森林の公益的機能を回復させるとともに、集落や道路等の近傍では、恒続林等への誘導⁴⁾を図るものである。具体的な森林施策範囲の考え方は表1のとおりであり、池郷川流域に展開すると図4に示す範囲が森林施策の対象となる。

表1 奈良県における森林施策範囲⁴⁾

	林相	標高	傾斜	道路からの距離
恒続林※1	人工林	1,200m未満	40度未満	50m未満
適正人工林※2	〃	〃	〃	500m未満

※1: 恒続林は、地域の特性に応じた地域の特性に応じた種類の樹木が異なる樹齢及び高さの状態が存在し、適時かつ適切な方法による保育及び択伐による継続的な木材生産により環境が維持される森林。
 ※2: 適正人工林は、スギ等の人工造林を代表する種類の樹木が同程度の樹齢および高さの状態が存在し、適時かつ適切な方法による保育により環境が維持される森林であって、木材生産を主目的とするもの。

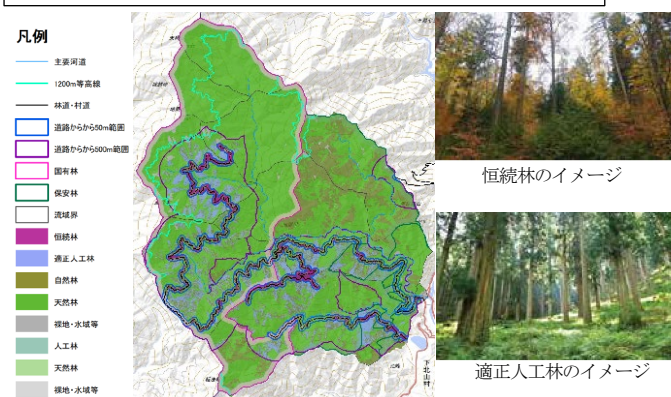


図4 恒続林・適性人工林の施策対象範囲

4.2. 森林管理による山腹崩壊防止効果の定量評価

1) 森林管理の評価方法

森林管理の違いにより、森林の山腹崩壊防止効果がどの程度異なるのか検討した。具体的には、以下に示す3ケースにおいて将来の森林の状態を推定し、年超過確率規模100年の24時間雨量が降った場合の崩壊土砂量を算定し比較することで評価した。なお、ここでの森林施策(=管理)範囲は、図5に示す範囲とした。

- ①現況：現時点(2018年)の森林
- ②想定1：管理を行わない森林(放置)の50年後
- ③想定2：管理を行う森林の50年後

2) 管理を行わない森林(放置)の想定方法

- (a) 広葉樹の成長：森林解析結果を用いて、水平根による粘着力増分・上載荷重の経年変化を想定
- (b) 針葉樹の成長：森林解析結果を用いて、樹高の経年変化を想定(密度の変化はなく樹木のみ成長)

3) 管理を行う森林の想定方法

- (a) 広葉樹の成長：2)と同様(広葉樹を行わない)
- (c) 針葉樹(人工林)の成長：林分密度管理図を用いて、樹高の経年変化に伴う密度・胸高直径の変化を想定(収量比数 $R_y=0.7$ と 0.8 を設定)

4) 森林管理の違いによる山腹崩壊防止効果の定量評価結果

各想定における崩壊地及び崩壊土砂の試算結果を図5および表2に示す。表2をみると森林管理を行った場合、豪雨に対する崩壊土砂量は現況と比較し

50年後には20%程度減少している。これは森林の変化が豪雨に対する山腹崩壊に影響を及ぼすこと、斜面安定解析に根の緊縛力や樹木の重さ等を反映させることで、ある程度定量的に評価できることを示唆するものである。

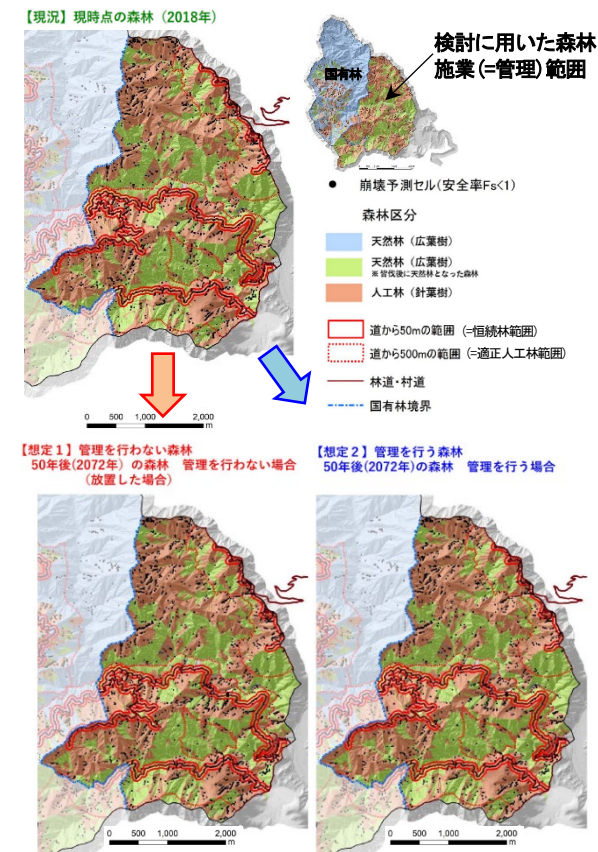


図5 各ケースの安定解析結果

表2 各ケースの崩壊土砂量

森林状態のケース	計算エリア	崩壊土砂量(m ³)	現況に対する増減率(②/①、③/①)	備考
①現況	恒続林	68,200	100%	—
	適正人工林	185,585	100%	
②管理しない50年後	恒続林	71,274	105%	崩壊土砂量が増加
	適正人工林	225,133	121%	
③管理を行う50年後	恒続林	55,382	81%	崩壊土砂量が20%程度減少
	適正人工林	147,603	80%	

5. 課題整理

樹木の根の緊縛力や重さ等を斜面安定解析に反映させ、森林の変化に伴う将来の崩壊土砂量の違いについて定量的な評価を試みた。しかし、今回の検討成果は多くの仮定にもとづくものであり、特に樹木の根の発達や成長の速さ等は地形や地質、気候等の条件により一律ではないことが推測される他、斜面安定解析に用いた地下水位についても令和3年度の観測実績(計画降雨に比べて小さい)より推定したパラメータで算定している。今後、モニタリングやモデル検証等の実績を積み、森林の変化と土砂動態に関する知見を蓄積してゆく必要があると考える。

参考文献

- 1) 朴ほか(2021)、池郷川流域における土砂動態の推定、令和3年度砂防学会研究発表会概要集
- 2) 三浦ほか(2022)、池郷川流域における土砂動態の推定(2)、令和4年度砂防学会研究発表会概要集
- 3) 笠原ほか(2022)、森林の表層崩壊防止機能の評価検討事例、令和4年度砂防学会研究発表会概要集
- 4) 奈良県 森林環境の維持向上及び県産材の利用促進に関する指針(令和3年度～令和7年度)