

足尾山地における土砂流出

岐阜大学工学部

○ 田中秀成

岐阜大学工学部 正会員

田中祐一朗

岐阜大学工学部 正会員

中谷 剛

岐阜大学工学部 正会員

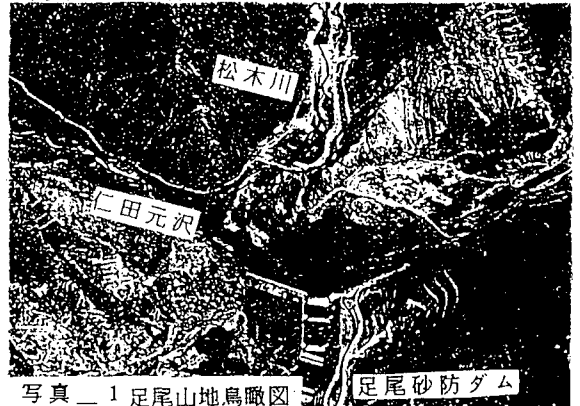
水上精栄

< 1 > はじめに

ドイツの黒い森における森林被害¹⁾など、化石燃料の使用の増加に伴う二酸化炭素の増大による深刻な環境汚染は、世界各地で顕在化しつつある。我が国でも古くは足尾銅山の開発による山地の荒廃が進行し、その流出土砂は渡良瀬川を流下し、下流部に氾濫した跡に渡良瀬川遊水池として日本一広大な遊水池が形成されている。酸性雨による流域環境の変化とその将来を考えると足尾の事例に学ぶことは重要である。

< 2 > 足尾山地の現状

銅の精錬のための燃料としての刈材と、コークスを使用するようになってからの煙害により、写真—



写真— 1 足尾山地鳥瞰図

1に見られるように31.2 km²もの面積の山地は樹木の一本もない岩山になってしまった。その後の林野庁の努力により、庚申山、久蔵沢などの一部には若干の植生の回復が見られる。筆者らは現地調査を行い、足尾銅山史、足尾山地の地形、植生、流出土砂量、降雨量などの文献をできる限り多く収集するとともに、足尾砂防ダムに堆積している土砂を採取して土質試験を行うことにより、多くのデータを得ることができた。

< 3 > 足尾ダムに堆積する土砂流出量の算定

現在、足尾の山林では、先の銅山開発の折りに衰退した緑を回復するために様々な緑化工事がなされており、緑化が成功している区域もある。しかし、今回松木溪谷を中心に行った現地調査では、確認された植物はごくわずかであるため、この区域の土砂の流出には植生の影響は微少であると思われる。このため、実状の土砂流出量の算定は、樹根の斜面安定効果を見捨てるものとする。足尾ダムに流れ込む主要な河川の流域の地形、流域面積を調べ、1時間ごとの年間降水量のデータを基に足尾ダムに流れ込む土砂の流出量を算定した。

樹木の生息していない裸地の斜面崩壊について全層崩壊の形態で考える。

降雨が継続し、基面状の地下水深が増大して行くに従い、やがて次式のようなクーロンの条件を満たす状態が発生する。

$$\tau \geq C + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

ここに、 τ ：基面に作用するせん断力、 C ：土の粘着力、 σ ：基面に作用する有効応力、 ϕ ：土の内部摩擦角である。

降雨により浸透水と基面に蓄えられた地下水との間に、質量保存則を適用することにより、クーロンの条件を満足するときの地下水面形が決定される。小沢²⁾は、この場合崩壊が円弧滑りなるものとして、その円弧の半径を変化させて検討を行った。その結果、半径を無限大とした場合が最も崩壊が発生しやすいと言う結論を得た。このことは、基面状の土は、クーロンの条件を満たす場合、全体が一度に崩壊することを意味している。そのときの崩壊発生条件式は次のように与えられる。

$$rR \geq \frac{2k \tan \theta}{L \cos \theta} \beta^2 \quad (2)$$

$$\beta = N \frac{C \sec \theta - D \gamma (\tan \theta - \tan \phi)}{(\gamma_t - \gamma) \tan \theta + (\gamma - \gamma') \tan \phi} \quad (3)$$

ここに、 θ ：斜面傾斜角、 D ：風化土層の平均厚さ、 n ：土の空隙率、 k ：土の透水係数、 γ_t ：飽和土の単位堆積重量、 γ ：乾燥土の単位堆積重量、 γ' ：土の水中単位重量、 L ：斜面長、 r ：降雨強度、 R ：総降雨量である。

これをしについて書き直すと、

$$L \geq \frac{2k \tan \theta \sec \theta}{rR} \beta^2 \quad (4)$$

となり、降雨量と土の条件のみによって決まる(4)式の右辺以上の長さを持つ斜面において崩壊は発生することになる。田中³⁾は山地流域での斜面長は対数正規分布をなすという事実を用い、図__1に示すように、この分布の超過確率 $W(L)$ が崩壊発生確率 $P(L)$ を与えることになるとしている。この $P(L)$ を用いると、流域面積を A として1年間の時間ごとの降雨強度よりその時点での流出量を算定し、それを合計して崩壊土砂量 V をつぎのように求めた。

$$V = \int DAP(L)dt \quad (5)$$

なお、参考にした年間降雨は平成3年のものである。

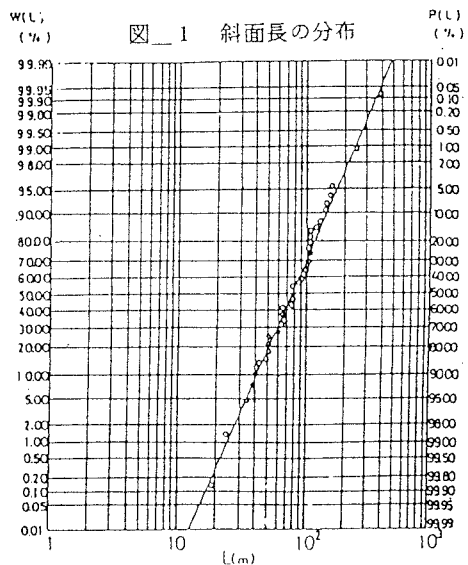
さらに、植林の斜面に与える影響を考察し、そこに生息する植物を仮定し樹木の樹根の状態から、植物係数 C_p を用いて土砂流出量を算定し資料の数値、先の土砂流出量と比較、検討する。

< 4 > 算定結果の検討

渡良瀬川流域水害実態調査⁴⁾によると、この流域では年平均約100万 m^3 の土砂が流出しているとあるが、今回の計算では下記に示すように流出土砂量は年間約120万 m^3 と算定された。また、過去のこの流域はまだ風化土層が厚く、斜面も裸地ではなかったと思われ、この状態での流出量は現在検討中である。

崩壊土砂量計算

透水係数 (cm/sec)	$k = 0.021472$
土の粘着力 (g/cm ²)	$C = 0$
土の空隙率	$n = 0.33584$
崩壊土層厚 (cm)	$D = 57.288$
土の乾燥単位堆積重量 (g/cm ³)	$\gamma = 1.1742$
土の飽和単位堆積重量 (g/cm ³)	$\gamma' = 1.7412$
土の水中単位堆積重量 (g/cm ³)	$\gamma'' = 0.7412$
斜面傾斜角 (度)	$\theta = 35.732$
せん断抵抗角 (度)	$\phi = 30.000$
流域面積 (km ²)	$A = 31.16$
崩壊土砂量 (m ³)	$V = 1226359.6$



図__1 斜面長の分布

- 参考文献 1) 谷山鉄郎 恐るべき酸性雨 (1989)
 2) 小沢昭二 斜面崩壊の発生機構に関する研究 岐阜大学卒業論文 (1988)
 3) 田中祐一郎 舞鶴工業高等専門学校紀要第19号 (1984)
 4) 総理府資源調査会 渡良瀬川流域水害実態調査 (1953)