

森林の斜面安定効果と地球環境

Effect of Forests on Slope Stability and Global Environment

田中祐一朗*

By Yuichiro TANAKA

Various problems on the global environment become the center of public interest in the world. These problems are complicatedly connected with the increase of CO_2 , the destruction of ozonic layer, the decrease of forests and the expansion of desert lands etc. This paper deals with a method to evaluate quantitatively the effect of forests on the hillside land slide, as one of the abovementioned problems. A new coefficient C_p to express the effect of tree roots on slope stability is proposed in this paper.

Keywords; Global environment, Acid rain, Decrease of forests,
Tree roots, Land-slide

1. はしがき

地球環境問題は、 CO_2 の増加、オゾン層の破壊、森林の減少、砂漠化の進行等々の現象が相互に複雑に関連して、人類がかつて経験したことのない「問題群」として、先進国、発展途上国の別なく到来すると思われる人類共通の脅威である。しかも大切なことは、これらの問題は不可逆的な現象であって、事態の放置は許されないという認識はほぼ世界の共通のものとなりつつある。従って、地球環境の保全を実現しつつ、各国での今後の発展を目指すには、世界が一致協力して取り組むための、国際的組織造りが必要であるとして、I.P.C.C.を始めとして多くの取り組みがなされ始めている。

地球環境問題は、前述のように多くの問題が複雑に関連し合っているが、その柱の一つにバイオスフェアに多くの影響が出ると予想されている。その一つに森林資源の減少とその影響の問題が挙げられている。本研究はこうした問題の一つとして、森林の崩壊防止効果を、定量的に評価する方法について検討を行ったものである。

2. 世界における森林の減少

前述のように、地球環境問題とは各種の要因が互いに複雑に関与する問題である。我々水理学研究者とし

* 正会員 工博 岐阜大学教授 工学部土木工学科 (〒501-11 岐阜市柳戸1-1)

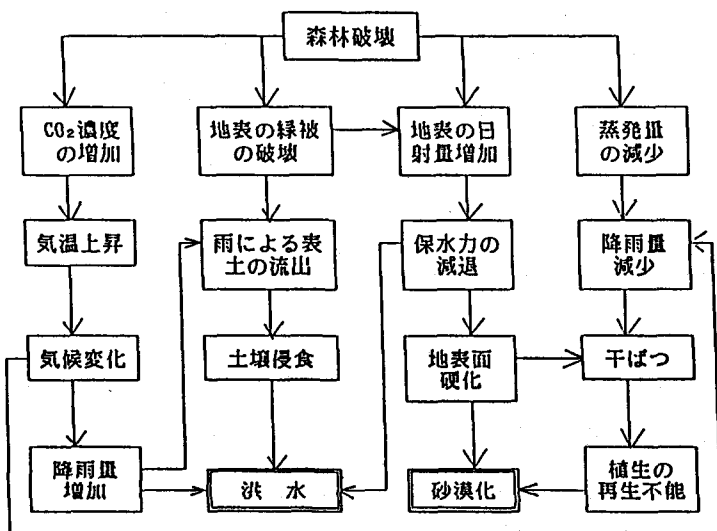


図-1 森林破壊の影響

て、これらの問題に如何なる寄与をなし得るかといった観点から、AGEHRが組織され、活動を開始している。以下の議論は森林の減少とその影響に、問題を限定することにする。森林の減少が地球環境に与える影響には、図-1に示すようなフレームワークが考えられる。その結果、洪水の頻発や、砂漠化の進行等、人類の生存に重大な影響を与えるようになる事態が想定される。世界における森林の減少には、次の二つの要因に分けられる。



図-2 熱帯雨林地帯

(a) 熱帯雨林の減少¹⁾

図-2に示すように、アマゾン、東南アジア、アフリカ中部の熱帯地方の森林が、最近急速に減少しつつある。これは森林の伐採、焼畑農業、家畜の過放牧等、全て人為的原因によるものである。紙の消費、建材の使用、割箸の使用習慣等、我が国の輸入材による熱帯林の破壊に関し、非難の声が高まりつつある。従って、輸入材に頼らない生活様式に切り替えていく必要があるが、遠い外国での出来事として、被害の実態を見る機会が少なく、国民の理解を得ることはなかなかむずかしい。

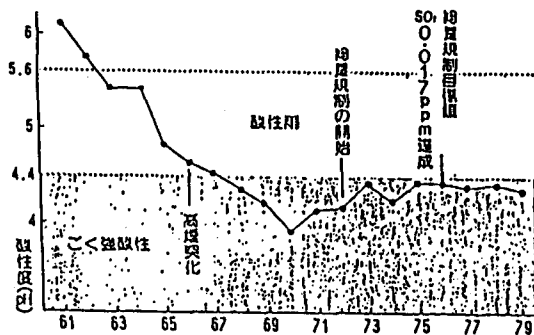


図-3 雨水のpH値の経年変化

(b) 酸性雨による森林被害²⁾

ドイツやスカンジナビア半島において、この種の森林被害が拡大しつつある。これは工場や自動車からの排気ガス中の SO_2 や NO 等が原因であることは良く知られている。我が国では、昭和30年代の四日市ゼンソク等、公害の頻発により、公害に関するいくつかの法規制が行われた。今日では公害先進国として、公害の克服に成功したかのごとく、社会的関心が薄れつつある。環境庁の長期観測によると³⁾、この種の森林被害の発生は、当面心配が無いとの結論である。図-3に四日市での雨水のpH度の経年変化を示す。急激な酸性化は1970年で止まってはいるが、その後も高い酸性度は改まっていない。また谷山の著書⁴⁾およびNHKの報道⁵⁾によると、コンクリート構造物にまですでに酸性雨の影響が現れており、環境庁の結論には疑問符を付けざるを得ない。こうした酸性雨による森林被害は、古くは足尾銅山問題として経験している。図-4に示すように、足尾の山地からの流出土砂は、遠く利根川の合流点にまで運ばれ、当時の谷中村は廃村となり、現在の渡良瀬遊水池となっている事例に我々はもっと学ぶ必要がある。このように、(a)(b)共に今後日本でも森林の減少は危惧される。森林の洪水調節効果や崩壊防止効果は、定性的には良く理解されているが、定量的にはまだ不十分である。そこで、この問題の検討を進めることにより、日本の山地が裸地化することの重大性を国民に示すことは、重要な事柄である。

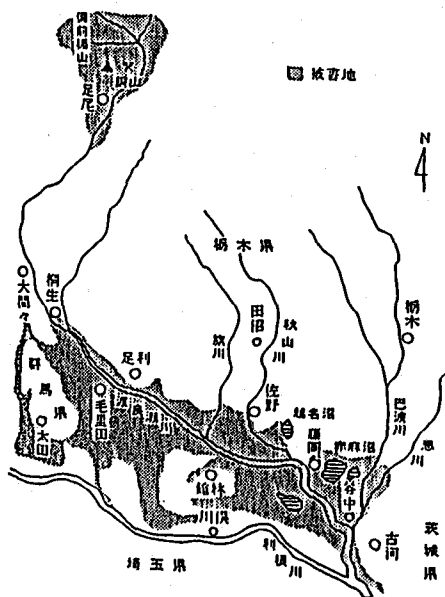


図-4 1902年渡良瀬川氾濫の略図

3. 根鉢の形状と大きさ

荻住⁶⁾は各種の樹根に関し詳細な研究を行っている。それによると、樹根は土壌の種類、樹種及び樹齢によってその発達が異なり、極端に言えば、樹木一本毎に異なっている。樹木が倒伏する場合、根系分布が疎なもの、根系だけが抜け上がるが、一般には根系と土とが密着した状態で抜け上がる。この鉢状の体積を根鉢という。荻住は各種の樹木の根鉢を直径3種、深さ3種の計9種に分類して、その平均的大きさを与えている。

筆者は先にこの根鉢の形状を円錐台と仮定した研究⁷⁾を発表したが、ここではその仮定を図-5に示すように、回転楕円体の下半分に変更することにする。

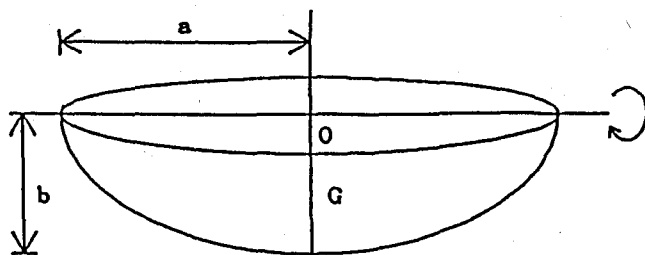


図-5 樹根のモデル

その体積 V 、表面積 S 、離心率 e 、重心の位置 G は各々次のように求まる。

$$V = \frac{2}{3} \pi a b^2 \quad (1)$$

$a > b$ のとき、

$$S = \pi \left(a^2 + \frac{b^2}{2e} \ln \left(\frac{1+e}{1-e} \right) \right) \quad (2)$$

$$e = \frac{1}{a} \sqrt{a^2 - b^2} \quad (3)$$

$$\overline{OG} = \frac{3}{8} b \quad (4)$$

4. 樹木の引き抜き抵抗

崩壊時には、樹木より上部の土が動くことにより、樹木を押し倒そうとする力が作用する。この力を直接測定することは困難であることから、樹木の根元付近にワイヤーを掛け、これをウィンチで引き倒すときの最大張力を測定する、引き抜き抵抗試験が多くの人達によって試みられている。図-6はその結果を示す。樹木の成長によって、引き抜き抵抗は指数関数的に増大しており、またカシ、ブナ等の広葉樹の方がスギ、ヒノキ、マツ等の針葉樹よりも大きいという樹種による差異も明瞭に認められる。根系は地表面付近の水平根と、基面に向かう垂直根に2大別される。いま、この水平根を支点に転倒モーメントが作用するものと考えて、引き抜き抵抗 P を先の(1)~(4)より求めると次のようになる。

$$P = \frac{\pi a b^3}{4h} \gamma \cdot \cos \theta + \frac{3}{8h} b S C \quad (5)$$

ここに、 h ：地表面からワイヤーの力点までの距離、
 γ ：土の単位体積重量、 θ ：斜面傾斜角度、 C ：土の粘着応力である。

5. 根系の崩壊防止効果

いま一辺が L 、他辺が L' なる長方形斜面上に n 本の樹木が存在する場合を考える。樹根の作用をも併せた、斜面全体での基面に作用するすべり力 τ は、その平均的な粘着応力を C' とすると、

$$\tau = L L' C' = L L' C + n P \quad (6)$$

となる。上式の両辺を面積 $L L'$ で割り、植物係数と

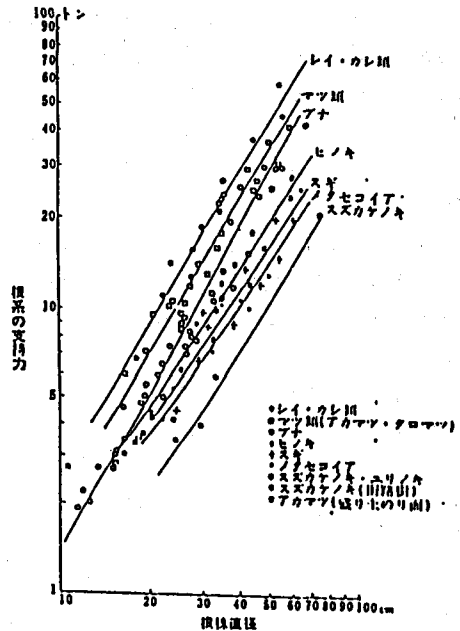


図-6 引き抜き抵抗試験

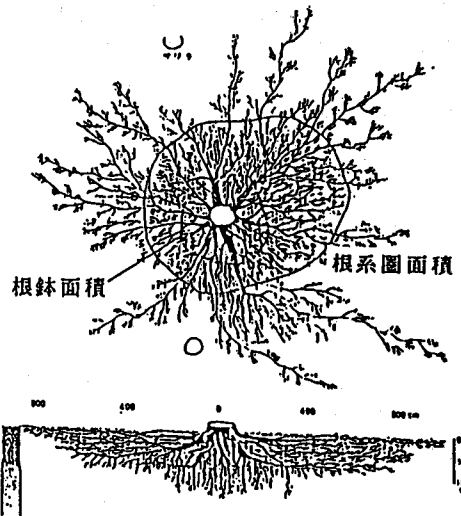


図-7 根系の影響図

名付けた新しい係数 C_p を

$$C_p = nP / LL' C \quad (7)$$

と定義すると、(6) 式は

$$C' = C (1 + C_p) \quad (8)$$

となる。 LL' / n は樹木一本当りの面積を表すものであり、根鉢の面積を基準に、根系園面積 $m\pi a^2$ と置くことにする。苧住によって、各種の樹根の詳細な図が例えば図-7 に示すように与えられている。これらの図を参照することによって、1 以上の値となる m の値を推定することができる。 P は(5) 式によって得られているから、

$$C_p = \frac{1}{4m a H} \left(\frac{\gamma_s b^2}{C} \cos \theta + \frac{3 b S}{2 \pi a} \right) \quad (9)$$

と、 C_p の値を計算することができる。図-8 はこの C_p の値を計算した結果の一例である。図中の D は樹齢による幹の根元直径の値であり、樹木の成長によって C_p の値が増大する様子が系統的によく示されている。土質常数値のうち土の粘着応力 C による C_p の変化が特に大きく影響を受けることも見ることができる。(8) 式は樹木の存在により、 $n = 0$ 、すなわち裸地の場合の C は、 $(1 + C_p)$ 倍だけ大きくなることを意味しており、新しく提案する係数 C_p は、樹木の影響を定量的にうまく説明できる係数であるといえる。

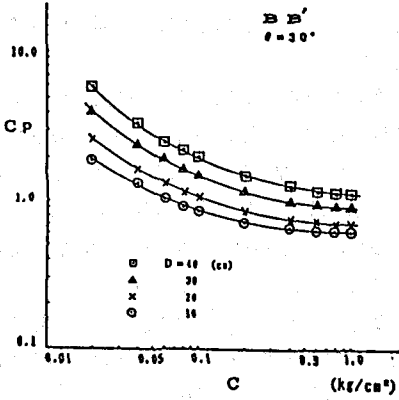


図-8 C_p の計算値

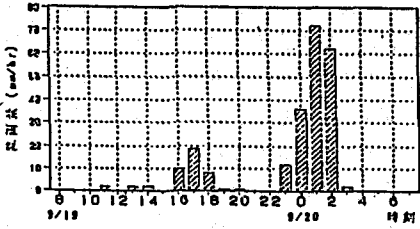


図-9 岩村町での降雨

6. 林地での崩壊発生条件

筆者は先に裸地の場合の降雨による崩壊発生限界条件を提示した⁹⁾。

$$r \cdot R \geq \frac{2k \tan \theta}{L \cos \theta} A^2 \quad (10)$$

ここに、

$$A = n' \frac{C \sec \theta - D \gamma (\tan \theta - \tan \phi)}{(\gamma_i - \gamma) \tan \theta + (\gamma - \gamma') \tan \phi} \quad (11)$$

(10) 式は斜面上の土のすべり安全率が 1 となる条件を降雨量によって示したものであり、ここに r : 降雨強度、 R : 総降雨量、 L : 斜面長、 n : 地下水に関する土の有効空隙率、 D : 基面上の土の平均厚土、 γ : 乾燥土の単位体積重量、 γ_i : 飽和土の単位体積重量、 γ' : 土の水中単位体積重量、 ϕ : 土の内部摩擦角、 k : 土の透水係数である。(11) 式の土の粘着応力 C の代わりに、林地の場合 (8) 式による C' を用いることにより、林地での崩壊発生条件式が得られる。また、

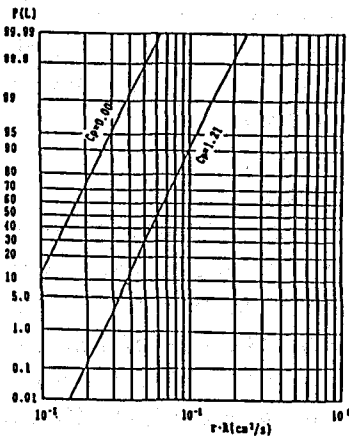


図-10 林地の崩壊発生確率

山地斜面の斜面長は対数正規分布をなすことから、この超過確率として、ある降雨に対する崩壊発生確率を得ることができる。

以上の考え方の妥当性を、1989年台風22号による岐阜県東濃地区に発生した災害例に適用してみることにする。図-9は岩村町でのハイエトグラフを示す。この降雨は秋雨前線を台風22号が刺激してもたらされたものであるが、東西約10km、南北約20kmの狭い地域に、図にみられるように、きわめて短時間に降った、典型的な集中豪雨である。この降雨により、226億円にのぼる災害が発生したが、そのほとんどは林地での崩壊によってもたらされた流木が被害を大きくした。被災地で採取した土の資料を土質試験した値と、苅住のスギの図より推定した m の値を用い、(9)式より計算した C_p の値は2.21である。この値を用いて、崩壊発生確率 $P(L)$ を計算した結果を図-10に示す。先の岩村町での降雨ピーク値 $r \cdot R = 14074 \text{ mm}^2/\text{hr}$ での崩壊発生確率は $P(L)=11\%$ となる。

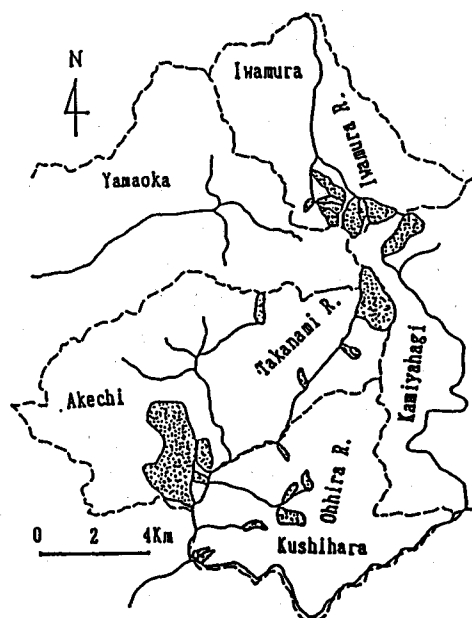


図-11 東濃地区での崩壊

一方、県当局の調査によると、図-11に示すように、 12.14 km^2 中の崩壊面積は 1.16 km^2 であり、崩壊面積率は 9.7% となり、計算値にほぼ近い。また、1969年の黒部川災害についても同様な適用を行った結果⁹⁾、広い松地帯と言う3000m級の山地にもかかわらず、崩壊土量の計算値と実測値は良好な一致を示しており、本研究の結果はほぼ妥当なものといえる。

7. むすび

以上、森林の崩壊防止効果について若干の検討を行った。その結果、その効果を表す新しい係数 C_p を提案することができた。従来その効果を定量的に評価する方法はほとんど提案されておらず、本研究の結果はこの方面の今後の検討に役立つことを期待したい。酸性雨による森林被害の程度を、谷山は6段階に分けられるとしているが、本研究の結果はそうした被害の程度の差までは明らかにしておらず、今後の検討課題として残されている。こうした方面の研究は比較的少なく、世界の森林の減少のスピードを考えると、さらに検討を急ぐ必要がある。

参考文献

- 1) 石 弘之、地球環境報告書、岩波書店、1990
- 2) Erich.J.PLATE、土木学会誌、別刷増刊、Vol.75、1990
- 3) 上田 一徳、かんきょう、Vol.14、No.6、Vol.15、No.1、1990
- 4) 谷山 鉄郎、恐るべき酸性雨、合同出版、1989
- 5) N.H.K. ツララは警鐘を鳴らす、NHKスペシャル、1990
- 6) 苅住 昇、樹木根系図説、誠文堂新光社、1979
- 7) 田中祐一朗、舞鶴高専紀要、第18号、1983
- 8) 田中祐一朗、水工学論文集、第34巻、1980
- 9) 田中祐一朗、岐阜大学工学部研究報告、第40号、1990