

4 簡易貫入試験による土層分布からみた斜面発達

(財)大阪土質試験所 ○飯田智之
防災科学技術研究所 田中耕平

1. はじめに

山地斜面の土層深は、本来基盤の風化（残積土）や上部斜面からの堆積（運積土）による積算作用と侵食による除去作用の正味の積分値として決定されており、現在の斜面上の土層深の分布も過去数百年～数十万年の間の斜面発達過程の一環として地形学的にとらえる必要がある。現在の気候での侵食作用として最も顕著なものは表層崩壊と考えられるので土層深の分布は表層崩壊に関する有力な情報を含んでいることが期待できる。ここでは定常的な土層深分布に崩壊確率が反映されているという確率モデルによる解析を試みた。

2. 調査場所および調査方法

土層分布の調査地として島根県浜田市後野地区の丘陵を選んだ。図-1に示すように調査地の地形は傾斜がゆるやかな小起伏面とそれを取り囲む急斜面からなり、基盤地質は安山岩と流紋岩を主体としている。土層深の調査は、（株）筑波丸東社製の簡易貫入試験器を用いて実施した。調査はそれぞれ N_{10} 値が50（10回の貫入量が2cm）以上または貫入量の総計が3m以上となるまでおこなった。ここでは表層崩壊に直接関与すると推定される N_{10} が5を越える深さのD5を土層深と呼ぶことにする。貫入試験地点は図-1に示すとおりであるが合計328地点である。

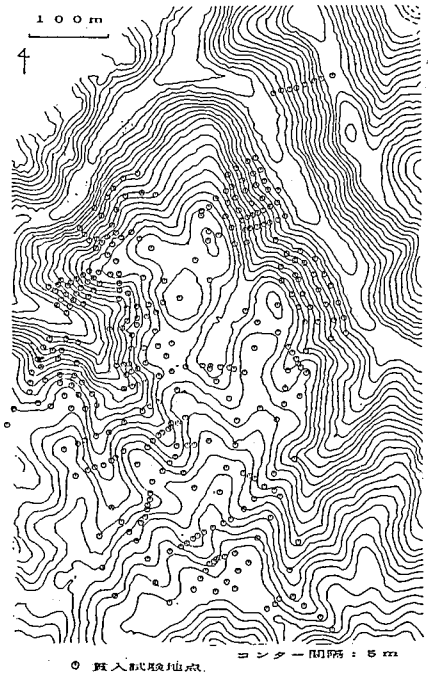


図-1 調査地の地形図

3. 崩壊確率モデル

土層深の頻度分布によって崩壊周期と崩壊確率を求めるために人口問題から類推した以下のようなモデルを考えてみる。図-2に示すような、年齢別の人口が定常的に一定の仮想の社会では、年齢 i の人が1年後に死亡する確率 $r(i)$ 、誕生した人が i 年後に死亡する確率 $p(i)$ は、年齢 i の人口 $q(i)$ をもちいてそれぞれ以下の式で表せる。

$$r(i) = (q(i) - q(i+1)) / q(i) \quad \dots \dots \textcircled{1}$$

$$p(i) = (q(i) - q(i+1)) / q(1) \quad \dots \dots \textcircled{2}$$

年齢別人口

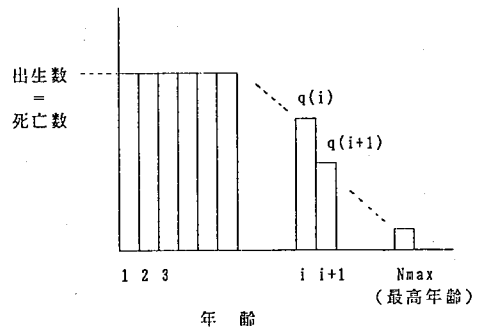


図-2 仮想社会の人口頻度分布

このような人口問題の考え方は、崩壊を頻発している急斜面にも適用できる。すなわち、土層深の深さ別頻度分布が定常的でしかも土層深（厚）の成長が時間の関数として一義的に定式化できることを仮定すれば、崩壊確率と土層深の頻度分布の間に同様の関係が成り立つ。なぜなら個々の斜面においては表層崩壊による土層の除去と風化などによる土層の回復というサイクルをくりかえしていると考えられるからである。この場合には $r(i)$ は毎年ごとの崩壊確率となり、崩壊の免疫性をあらわす指標となる。すなわち、 $r(i)$ の値が崩壊後の経過時間 i にたいして変化がなければこのような斜面はもともと免疫性がないことになるが、 i とともに増加すれば崩壊直後の免疫性が時間の経過とともに失われてゆくことを意味する。また崩壊個数そのものは $p(i)$ に比例することになる。

土層深を土層の年齢に変換するためには土層の成長速度に関する仮定が必要なのでここでは以下の変換式をもちいる。

$$L(t) = Aw \cdot \text{LOG}(Bw \cdot t + 1) + Cw \quad \dots \textcircled{3}$$

ここで、 $L(t)$ ：崩壊後 t 年めの土層厚（土層深 D ，傾斜 β とすると $L(t) = D \cdot \cos \beta$ ）
 Aw , Bw , Cw ：定数

③式を下川（1983）によって求められた土層厚と崩壊後の経過時間の関係にあてはめると $Aw = 1.0$, $Bw = 0.004$, $Cw = 0.15$ となる。③式をもちいて（時間 t を土層厚 L の関数とする）土層厚を土層の年齢に変換すれば、年齢ごとの頻度分布をもとめることができる。

4. 調査結果

(1) 土層深分布

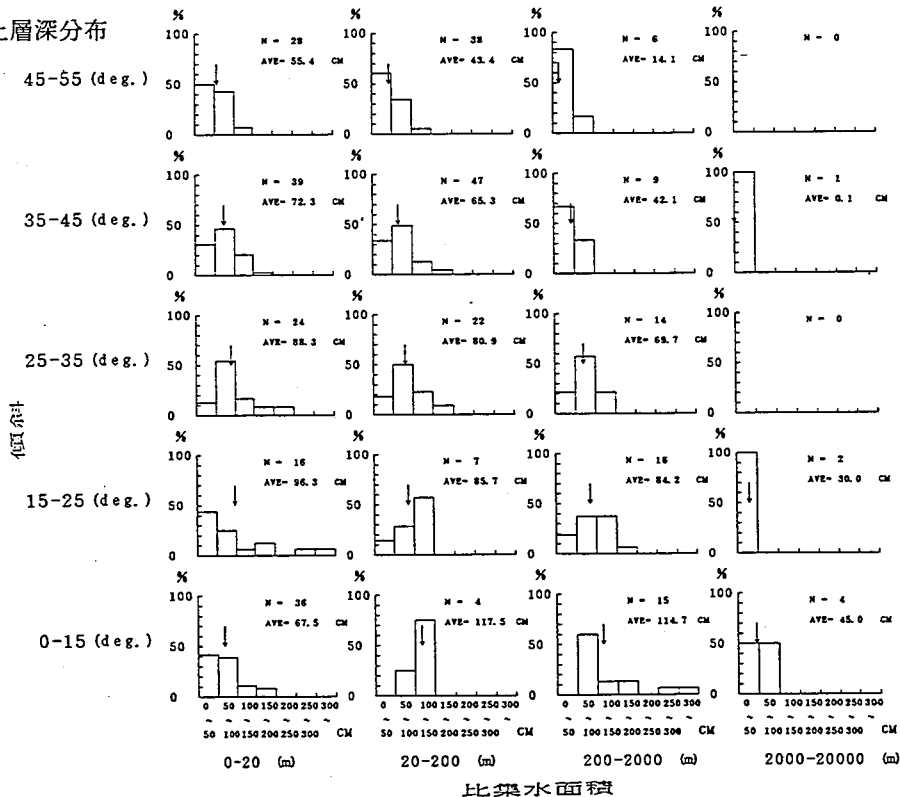


図-3 傾斜ランクおよび比集水面積ランク別土層深頻度分布

図-3に傾斜ランクおよび比集水面積（単位幅5mあたりの集水面積/5m）ランクごとに集計した土層深頻度分布図を示す。

従来より土層深と斜面傾斜の間に負の相関があることが知られているが土層深と比集水面積の間にも同様の負の相関があることがわかる。田中（1982）によれば土層深の頻度分布が対数正規分布により近似できることが報告されている。ここでも同様の解析を行ったが平均値と標準偏差がそれぞれ斜面傾斜と比集水面積の一次回帰式で近似できることがわかった。

(2) 崩壊確率

図-3の傾斜と比集水面積のランクのうちデータ数が多くしかも崩壊の卓越するランクについて前節で示したモデルをあてはめて崩壊確率 p , r をもとめた。ただし、1年ごとの頻度分布をもとめるにはデータ数が少なすぎるので頻度のランク幅を100年とする。したがって、 p , r はいずれも100年間の間に崩壊する確率となる。また、土層厚の成長速度は地質や気候条件などに影響を受けると考えられるがここではそれに関するデータがないので、下川の結果を利用した③式をそのままもちいた。

それぞれのランクごとに100年ごとの土層の年齢の頻度分布をもとめて崩壊確率 p , r を計算したものを図-4に示す。

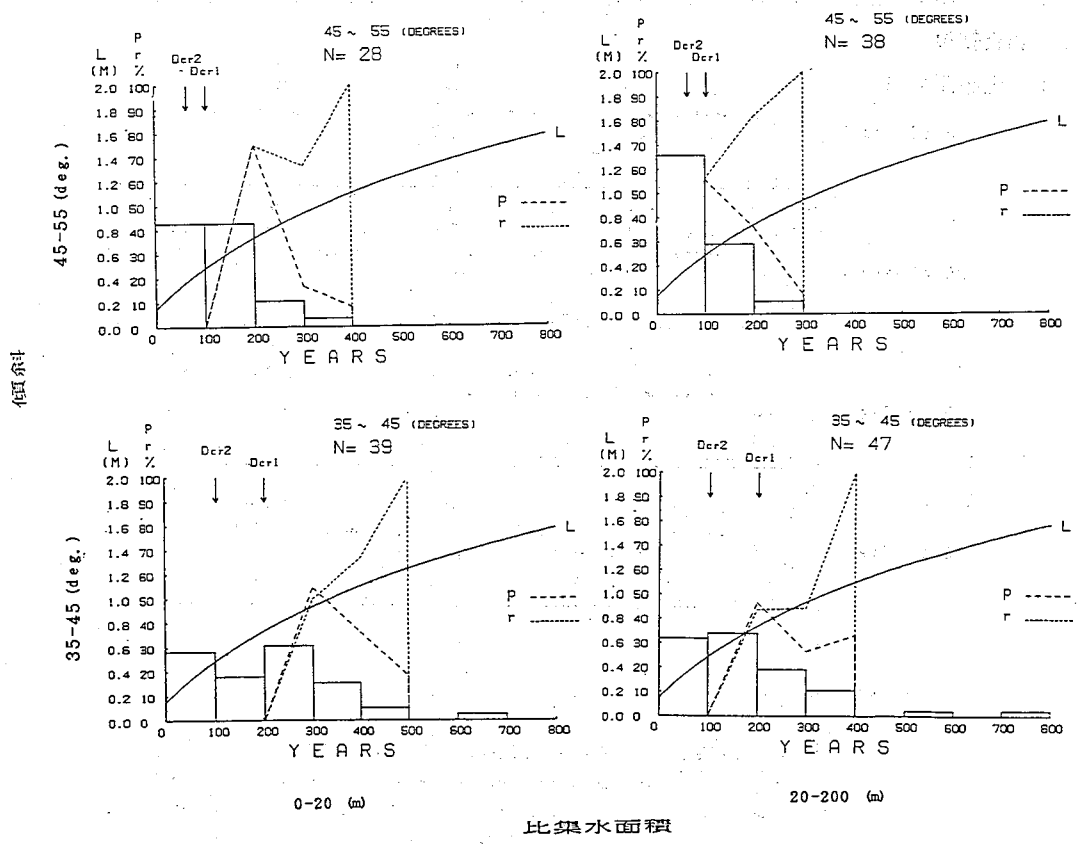


図-4 傾斜ランクおよび比集水面積ランク別崩壊確率の経時変化

ただし、今回用いたモデルでは土層の年齢の頻度は土層の年齢とともに単調減少すると仮定しているので、そうでない部分（土層の年齢の高いランクの頻度が低いランクの頻度よりも大きい）については p 、 r ともに 0 とした。図-4 には、斜面の法線方向に計った土層厚 L の経時変化も示してある。また、傾斜範囲の下限と上限の限界土層深（無限長斜面の安定解析からとまる基盤上水深 0 のときの限界土層深さ） D_{cr1} 、 D_{cr2} に対応する時間をそれぞれ矢印で示してある。

傾斜範囲 $45^\circ - 55^\circ$ ，比集水面積 $0 - 200\text{ m}$ の図で r と p の経時変化をみてみよう。 r は 200 年を過ぎると $70 \sim 80\%$ の高い値を示し急激に崩壊しやすくなっていることがわかる。 p のピークも 200 年めにあり崩壊後 200 年めころに再崩壊する確率が高いことを示す。400 年までにはすべて崩壊するのでそれ以上の年齢の土層をもつ斜面は存在しない。同じ傾斜範囲で比集水面積の範囲が大きい $20 \sim 2000\text{ m}$ の図をみれば 100 年をすぎたころから r が 60% の高い値を示し崩壊の周期がさらに短くなっていることがわかる。この場合には 300 年以内にはすべて崩壊する。

傾斜範囲 $35^\circ - 45^\circ$ ，比集水面積 $0 - 200\text{ m}$ の図をみると 300 年をすぎたころから r の上昇がはじまっているがそのころまでは免疫性が働き崩壊しにくい傾向がうかがえる。同じ傾斜範囲で比集水面積の範囲が大きい $20 \sim 2000\text{ m}$ の図をみれば r が 200 年をすぎたころから 4.5% の値を示し崩壊の周期がさらに短くなっていることがわかる。 $35^\circ - 45^\circ$ の傾斜範囲では土層年齢の比較的高い土層が存在しており土層深が大きくなりすぎると逆に崩壊しにくくなるという傾向があることがうかがえる。

参考文献

下川 悦郎（1983） 崩壊地の植生回復過程：林業技術，496，23-26

田中 芳則（1982） 斜面表層の厚さと分布形態について：応用地質，23-1，7-17