

拡散方程式を用いた表層崩壊地における土層形成速度の推定

防災科学技術研究所水・土砂防災研究部 ○若月 強
筑波大学生命環境科学研究科 松倉公憲

1. はじめに

豪雨により発生する表層崩壊には周期性が存在することが知られている。崩壊周期は土層の回復（形成）速度に依存するために、その速度を知ることが崩壊発生の時間予知の観点から重要となる。これまで、表層崩壊の崩壊周期は、数 10 年から数千年であり、岩質によってその値が大きく異なることが明らかになっている。

これらの調査では、崩壊発生年を特定するために、航空写真、樹木の年輪、テフラ、聞き取りや文献調査などの手法が活用されている。樹木の年輪は、数年から数千年の年代を同定できて有用であるが、人工林の多くは数 10 年に一度伐採され、二次林も数 10 年前までは繰り返し伐採されるなど手入れがおこなわれており、これらの地域では樹齢数百年以上の樹木を探すのは困難である。テフラも、数百年から数万年の年代を同定できるが、その分布域が限られている。一方、航空写真は、数 10 年以内の崩壊発生年しか特定できないが、日本では調査地がどこであっても写真を入手することができるというメリットもある。もし、崩壊後数 10 年間の時間における土層厚や土層構造の変化から、長時間での土層形成速度を評価することが可能であれば、航空写真を利用することによって、様々な地域の岩質の異なる斜面で崩壊周期が推定できる可能性がある。

本研究では、花崗岩斜面において、形成年代の異なる崩壊地で得られた土層の単位体積重量や簡易貫入試験値の深度分布が、風化を想定した拡

散方程式によって説明できるかについて検討し、さらに土層形成速度（回復時間）を推定した。

2. 風化モデル

拡散方程式による風化モデルは以下のように表される。

$$\frac{\partial \gamma_d}{\partial t} = \frac{D}{\cos^2 i} \frac{\partial^2 \gamma_d}{\partial z^2} \quad (1)$$

ここで、 D は拡散係数(cm^2/year)、 γ_d は土の乾燥単位体積重量(gf/cm^3)、 i は斜面勾配、 t は崩壊後年数(year)、 z は土層深（鉛直深）(cm)である。 D は風化速度を表わす係数であり、値が大きいほど風化速度が速い。初期条件は初回調査時の γ_d プロファイルを与え、境界条件としては十分に風化が進んだ地表面での γ_d 値と、風化があまり進んでいない深部での γ_d 値をそれぞれ与えた。

3. モデルの適用例

モデルを茨城県多賀山地の中粒角閃石黒雲母花崗岩(Ghb)と中粒黒雲母花崗岩(Gb)、愛知県豊田市の粗粒黒雲母花崗岩(Gi)、および鹿児島県紫尾山地の粗粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩(Gs)を母岩とする計 4 斜面の表層崩壊地における、崩壊後経過年数の異なる γ_d 値の深度プロファイルに適用した。具体的には、Ghb、Gb、Gi 斜面は崩壊 4～6 年後と崩壊 25～28 年後の計 2 時期、Gs 斜面は崩壊 56 年後、80 年、150 年後、200 年後の計 4 時期の

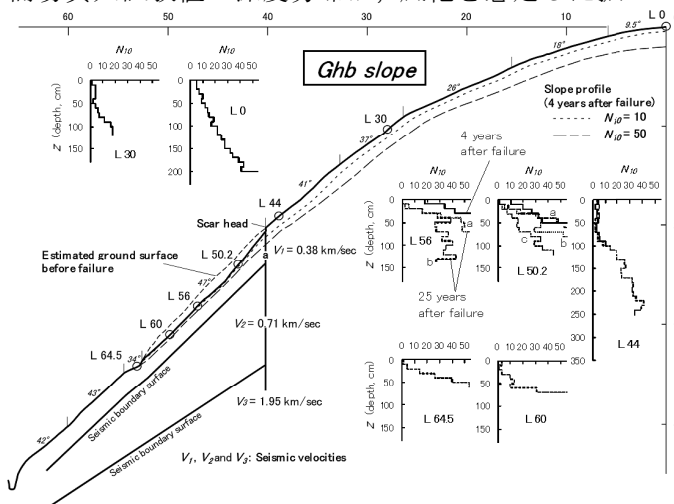


図-1 Ghb 斜面における弾性波探査結果および崩壊 4 年後と 25 年後の簡易貫入試験結果

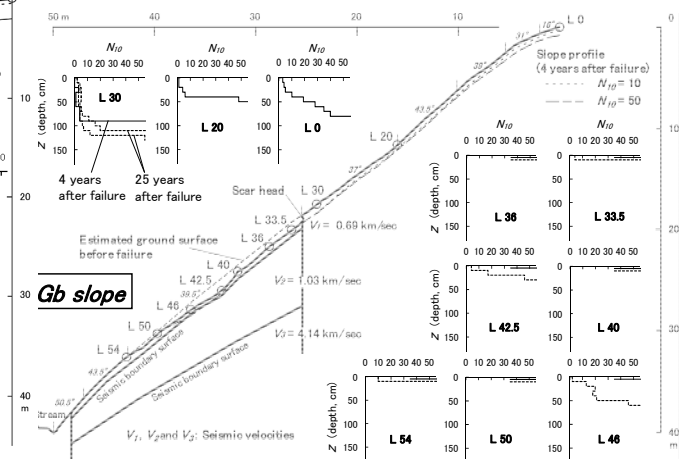


図-2 Gb 斜面における弾性波探査結果および崩壊 4 年後と 25 年後の簡易貫入試験結果

データに適用した。なお、Ghb, Gb, Gi 斜面の γ_d 値の深度プロファイルは、土研式簡易貫入試験値 (N_{10}) や弾性波速度から推定した (図-1, 2)。ここで、 N_{10} 値は以下のマサ土に関する以下の 2 つの経験式を用いて γ_d 値に変換した。

$$\gamma_d = 0.964 Nc^{0.161} \quad (2)$$

$$Nc = 0.46 N_{10} \quad (3)$$

ここで、 Nc は筑波丸東製簡易貫入試験機による計測値である。貫入試験のデータがない風化岩盤の γ_d 値は、弾性波探査の結果を、 γ_d 値と P 波速度との経験的関係に当てはめることにより推定した。Gs 斜面については、Shimokawa(1984)に記載されている γ_d 値のデータを用いた。

その結果、すべての斜面において実測値 (プロット) とモデルによる計算値 (破線) とは良い相関があった (図-3, 4)。

次に、崩壊数百年後と予想される滑落崖直上の土層の γ_d 値の深度プロファイルをモデルにより説明できるかどうかを確かめた。その結果、Ghb, Gs 斜面のみがモデルによる計算値とうまく一致した。

以上の結果から、Gb, Gi 斜面は崩壊数 10 年後、Ghb, Gs 斜面は崩壊数百年後までの土層形成を風化モデルにより説明できると考えられる。

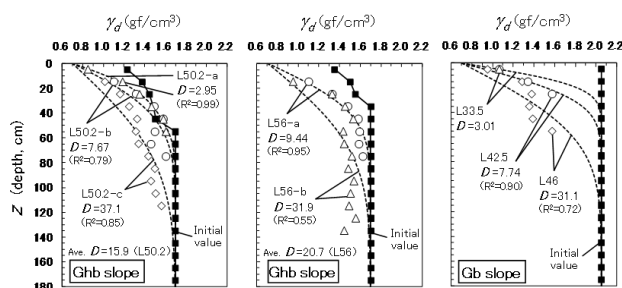


図-3 γ_d 値の実測値と計算値の比較 (Ghb, Gb)

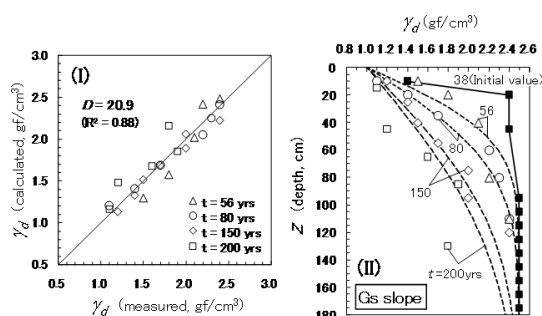


図-4 γ_d 値の実測値と計算値の比較 (Gs)

4. 土層形成速度 (回復時間) の推定

次に、崩壊後経過年数ごとの土層形成プロセスおよび土層構造を図-5 のように推定した。図では、 $N_{10} = 50$ を示す土層に働く土層形成作用の強さ (速さ) を矢印の大きさと模式的に表した。

Ghb, Gs 斜面では、 $N_{10} > 50$ を示す深部にかなり風化した透水性の高い岩盤が形成されているた

めに、飽和側方流はほとんど発生せず、地表面から拡散的に進行する風化作用のみが働き、 $N_{10} = 10$ の境界が $N_{10} = 0$ と 50 の境界の中間に位置する土層構造となる (図-5(II))。

一方、Gb, Gi 斜面では、地表面からの風化作用とともに $N_{10} > 50$ を示す深部にやや風化した透水性の低い岩盤があるために飽和側方流による土層形成作用も働き、 $N_{10} = 10$ の境界が $N_{10} = 50$ の境界に近づく土層構造となる (図-5(IV))。

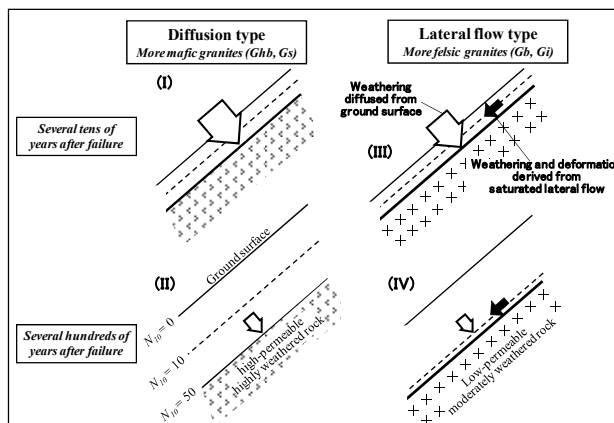


図-5 土層形成プロセス

4 斜面の D 値を使用して、モデルにより計算した崩壊後経過年数 t と崩壊面の土層深 z との関係 (すなわち、土層成長曲線) を図-6 に示した。Ghb 斜面では、崩壊面とされる $N_{10} = 10$ に相当する z 値を表示した。この図を使用すると、Ghb 斜面は、崩壊深である 80~100 cm まで土層が回復する時間はおおよそ 160~240 年と見積もることができる。一方、Gb, Gi 斜面では、 $N_{10} = 10$ に相当する土層の深さは、 $N_{10} = 50$ の深さまで低下すると考え、 $N_{10} = 50$ の土層成長曲線を使うと、崩壊深である 70~80 cm までの土層回復時間は 100~150 年と見積もることができる。以上のように、Gb, Gi 斜面の土層回復時間は、Ghb, Gs 斜面のその約半分程度であると考えられる。

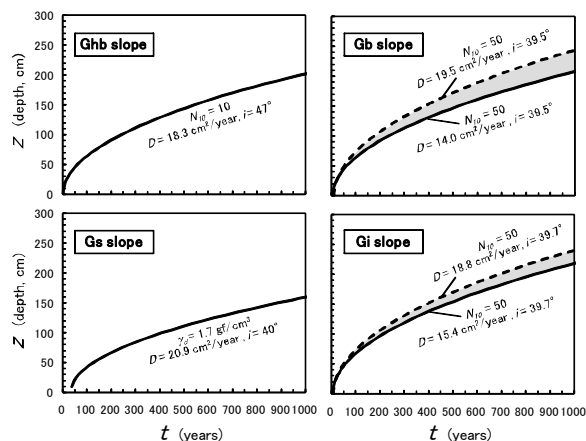


図-6 土層成長曲線