

森林伐採跡地における斜面崩壊モニタリングについて

東京大学大学院 ○村上 誠一, 執印 康裕, 加藤 誠章, 鈴木 雅一

1. はじめに

表層崩壊の発生機構を明らかにするため、これまで数値解析や人工の崩壊実験などが行われてきた。しかし現実の自然斜面を対象とし、自然条件下で崩壊発生に至るまでの土壌水分、地下水位変化、斜面変位等各プロセスの長期時系列変化を観測した例は極めて少ない。表層崩壊の発生には森林伐採による樹木根系の腐朽に伴う土質強度補強効果の減少が大きく影響すると考えられる。そこで東京大学千葉演習林内にある皆伐施業後の流域から崩壊の発生する可能性が高いと選定された自然斜面において、表層崩壊モニタリングシステムが適用されてきている<sup>1)</sup>。モニタリングでは崩壊発生に至るまでの降雨量及び降雨強度、雨水の浸透に伴う土壌水分状態変化、土層の移動状況等の把握が必要である。また、崩壊発生に至った時刻を正確に評価できるようにしておかなければならない。1970年の千葉演習林豪雨崩壊事例に関する研究で、崩壊発生率は伐採・植栽後5～15年の森林地において高いことが分かっており、植栽後5年目を迎える当試験地における表層崩壊モニタリングの重要性は高まっていると考えられる。本研究ではモニタリングの継続及び測器の補修、増設、得られた観測結果を用いて有限要素法による斜面安定解析を行った。

2. 観測概要

モニタリング対象斜面は東京大学千葉演習林袋山沢水文試験地B流域内に位置し、地質は新第三紀層清澄砂岩層群に分類される。当流域では1999年3月にスギ・ヒノキ人工林の皆伐が行われ、伐採の約1年後に再びスギ・ヒノキを植栽した。本斜面は水平長25.1m、比高23.0m、平均傾斜42.6°の北向き0次谷斜面である。各測器は図1のように設置され、降雨、浸透、崩壊過程をモニタリングしている。観測は1999年末より行われており、測器の破損、故障等による欠測はあるものの、現在システム動作は安定している。また昨年度から本斜面全体を見渡せる向かい側尾根部にカメラを設置し静止画像の取得を可能にしている。これは崩壊発生時にその前後の斜面の様子が分かるだけでなく、植生状況の経時的変化もみえる。今年度からは地盤の微小震動を角度秒単位でとらえることができる傾斜計も併設しており、崩壊時の震動をとらえられれば発生時刻を細かく求めることができる。

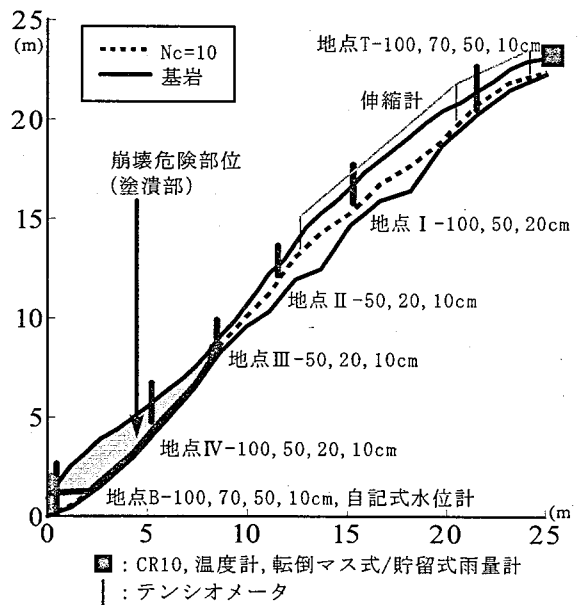


図1：観測対象斜面概要

3. 観測結果

3.1. 土壌水分状態変化について

2003年は7,8月の無降雨期間が短く、夏期の乾燥は比較的穏やかなものであった。また4～6月や10月以降の強乾燥のない時期においては以前の年と明確な差異はなく、本斜面で植栽後3年が経過し樹木は成長しているが蒸発散量増加に対応した乾燥傾向は現れていない。

斜面は上部、表層ほど乾燥しやすい。一方斜面下部では深部において降雨中に大きな正圧を示すことがあり、地下水位面の発生が確認された。

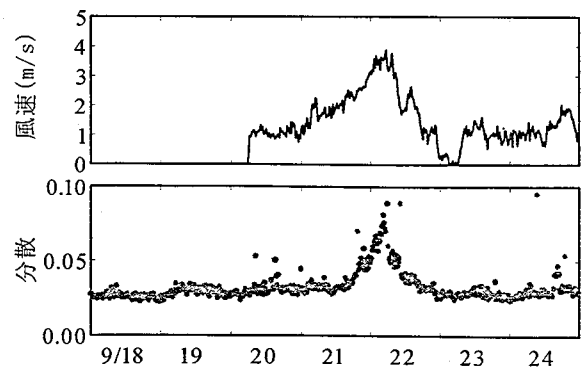


図2：風速と傾斜変動の20分毎分散の比較

### 3.2. 地盤震動について

地盤震動は地盤傾斜角の1秒毎の変動をモニタリングしている。傾斜計は地震による震動を明瞭にとらえていた。また台風などの強風時には樹木の揺れを介し地盤に軽微な震動が伝わると考えられるが、1秒単位の測定値から明確な風の影響は認められなかった。しかし風速が20分平均のものであることから傾斜角変化の20分毎の分散を計算してみると、図2に示すように風速によく対応した変化が確認された。これらのことから今後本斜面にて崩壊が起こった場合、傾斜計はその崩落による震動を十分にとらえることができ、また風倒木被害に関する研究にも有効であると思われる。

### 4. 有限要素法による崩壊危険部位の特定

崩壊危険部位の特定には斜面全体の挙動を考えることのできる有限要素法 (FEM) を用いた。

まず ①対象斜面の土質強度特性が同様であるとする場合 と ②簡易貫入試験結果による  $N_c$  値 10 の部分を境界として土質強度を二つに分ける場合 について計算し、モデルの応答をみた。①の斜面全体の土層と②の  $N_c < 10$  の土層については、粘着力  $C$  及び内部摩擦角  $\phi$  に本試験地でこれまでに評価されている値 ( $C=46.43\text{gf/cm}^2$ ,  $\phi=30.5^\circ$ ) を用い、②の  $N_c \geq 10$  の土層については粘着力  $C_{10}$  を仮に  $92.86\text{gf/cm}^2 (=2.0C)$  として解析した。その結果、①では斜面上部から中部にわたってひずみ集中箇所が線状に3つ現れた。これは基岩傾斜の緩急によく対応した結果であった。また安全率は1.00となった。②では斜面下部において  $N_c=10$  の境界に沿ってひずみ集中箇所が現れたが、粘着力を強くしたため安全率は1.35と高い値となった。ここで①、②の計算では地下水位の影響は考慮していない。にもかかわらず斜面の安全率が1.00となることは現実の観測結果から見て考えにくく、 $N_c=10$  で土質強度を分けて解析を進めることにした。次に要素分割の粗密による差異を確認した。②の結果は全要素数2100、全節点数6717として計算を行ったものであるが、分割を約4倍に細かくした場合でも結果はほぼ変わらない。よって上記の要素分割を用いて  $C_{10}$  の影響を調べた。 $C_{10}$  を  $C$  に対する比で徐々に増加させて計算すると  $C_{10}$  が  $1.7C$  となる辺りから斜面上部と下部のひずみ集中は同程度となり、 $2.1C$  を越えると上部よりも下部にひずみが集中するようになった。この際安全率は  $2.1C$  になるまでは徐々に増え、 $1.40$  になっておりここで与えた土質強度条件では崩壊は生じないことになる。またヤング率  $E$  及びポアソン比  $\nu$  についてそれぞれ  $10000 \sim 20000\text{kPa}$ ,  $0.3 \sim 0.49$  の範囲で変化させたところ、 $\nu$  のよりわずかに安全率は変化するもののひずみ集中部が変わることはなかった。最後に実際の観測結果から推定される地下水位面を設定して解析した。 $C_{10}$  を  $2.0C$  として計算を行うと安全率は  $0.90$  と大幅に低下し、斜面下部にひずみ集中が生じてすべり面形状が現れた。地下水位面を仮に斜面全体に広げた場合も、安全率は低下したがひずみ集中部位は斜面下部にできた。以上のことをまとめると表1のようになる。

このことから本斜面の崩壊危険部位を定めているのは  $C_{10}$  と地下水位面であることが分かる。ここで  $N_c=10$  付近において土質が明確に変わること、観測結果より地下水位面は斜面下部にできやすいことを考えると危険部位は斜面下部(図1)に特定されたといえる。

表1：不確実なパラメータの変化に伴うひずみ集中部位の変動

パラメータ	安全率F	ひずみ集中部の位置
$C_{10}$	2.1C 以下では増減	1.7C~2.1C で上部から下部へ変化
$E, \nu$	ほぼ変化なし	変化なし
地下水位面	大幅に減少	下部にできる

### 5. まとめ

本研究ではカメラ及び新たに設置した傾斜計により、崩壊前後の斜面状況変化の把握や発生時刻のより高分解能での同定が可能であることを示した。また有限要素法を用いた安定解析の結果、本斜面においては下部にひずみ集中部が存在し、それは降雨時の地下水位発生によって安全率が1を下回ることもある崩壊発生の可能性をもつ崩壊危険部位であることが推定された。今後崩壊発生に備え、その発生機構解明のため斜面下部の観測点を増やす等、危険部位に対するモニタリングの強化が必要であると考えられる。

#### [参考文献]

- 1) 鈴木雅一, 執印康裕 (2003) : 森林皆伐跡地における表層崩壊モニタリングシステムの現地適用試験 : 平成15年度砂防地すべり技術研究報告会講演論文集 : p1-15