

# 斜面安定解析からみた1998年 那須・白河豪雨にともなう斜面崩壊

## Slope Failures Caused by Nasu-Shirakawa Heavy Rainfall, 1998

柴山卓史\*・松倉公憲\*\*

Takashi SHIBAYAMA and Yukinori MATSUKURA

### I はじめに

1998年8月末、福島県南部地域を中心に記録的な豪雨が降った。福島県西郷村真船では8月25日から30日までの総雨量が1200 mmを超え、時間降水量としては、26日18時に90 mmを記録したほか、30 mm/h以上の降雨が数時間にもわたり続いたため、26日17時から27日にかけての24時間の雨量は500 mmを超えた(梅村・森, 1999など)。この豪雨により、27日未明をピークとして1000箇所を超える膨大な数の斜面崩壊(山崩れ)が生じたと推定されている(井口, 1999)。また、この斜面崩壊により人的被害を含む多くの災害が生じた。このように、斜面崩壊は急速で大きな地形の変化をもたらすとともに、生態系に大きな影響を与えると考えられる。このような観点から、斜面崩壊の研究を進めることは非常に重要であると考えられる。

今回の崩壊については既にいくつかの調査・研究例がある(千木良, 1999など)が、斜面構成物質の力学的特性について言及したものはないようである。そこで本研究では、斜面構成物質の力学的性質に着目し、斜面の安定解析を行い、斜面の安定性について考察することを目的とし

た。

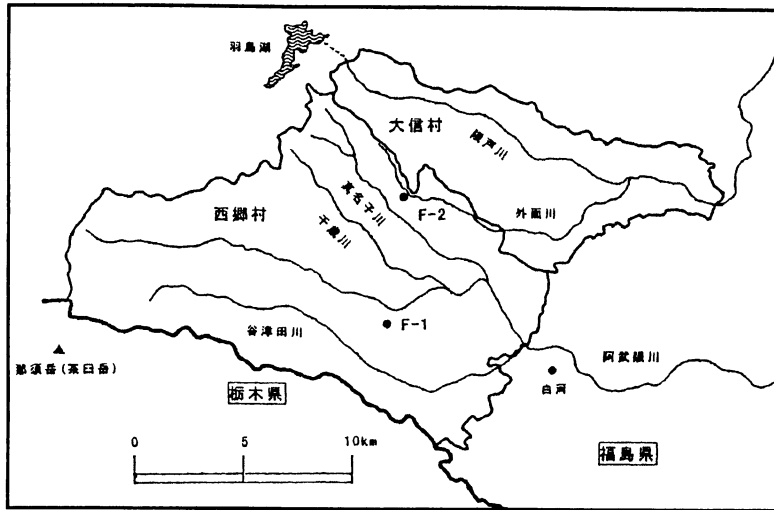
今回の崩壊については既にいくつかの調査・研究例がある(千木良, 1999など)が、斜面構成物質の力学的特性について言及したものはないようである。そこで本研究では、斜面構成物質の力学的性質に着目し、斜面の安定解析を行い、斜面の安定性について考察することを目的とした。

### II 研究対象地域

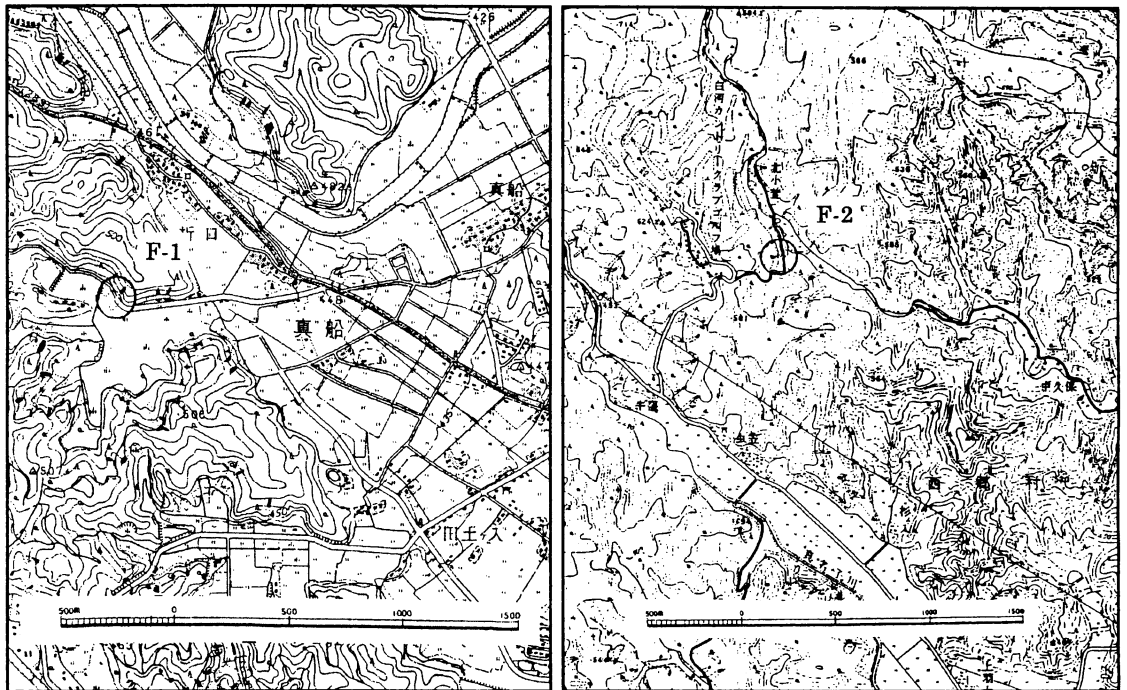
研究対象地域は、第1図に示すように福島県の南端に位置している。国土地理院発行の1:25,000の地形図では「白河」、「那須湯本」、「上小屋」の図幅に含まれている。この地域の地質は、「白河火砕流」と総称される複数の火砕流の堆積物(溶結凝灰岩など)の上を、スコリア、軽石、火山泥流などの火山性の堆積物が覆っている(千木良, 1999)。地形的な特徴としては、阿武隈川に合流するいくつかの河川が流れており、その間が台地となっている。台地の比高は羽鳥湖や那須岳に近い西側では100~200 mにも達するが、白河市に近い南東部ほど低く、20~30 mほどで

\*筑波大学第一学群自然学類(現・筑波大学大学院・環境科学研究科)

\*\*筑波大学地球科学系



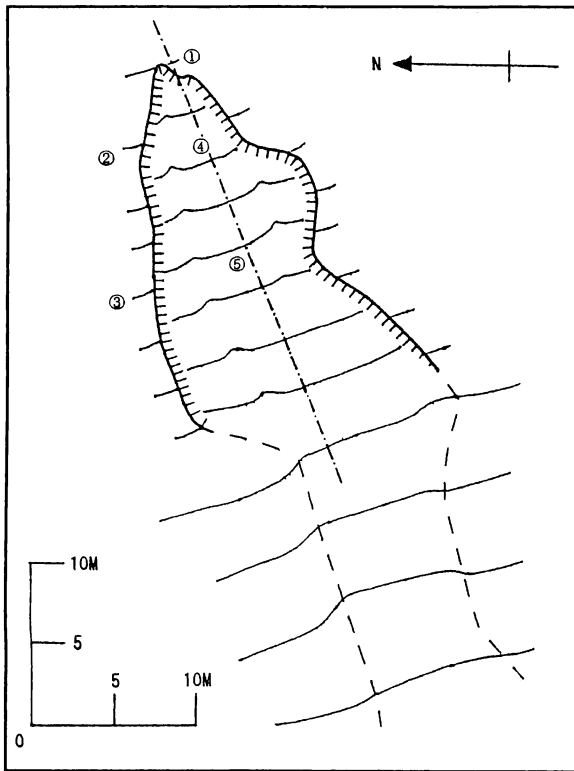
第1図 調査対象地域



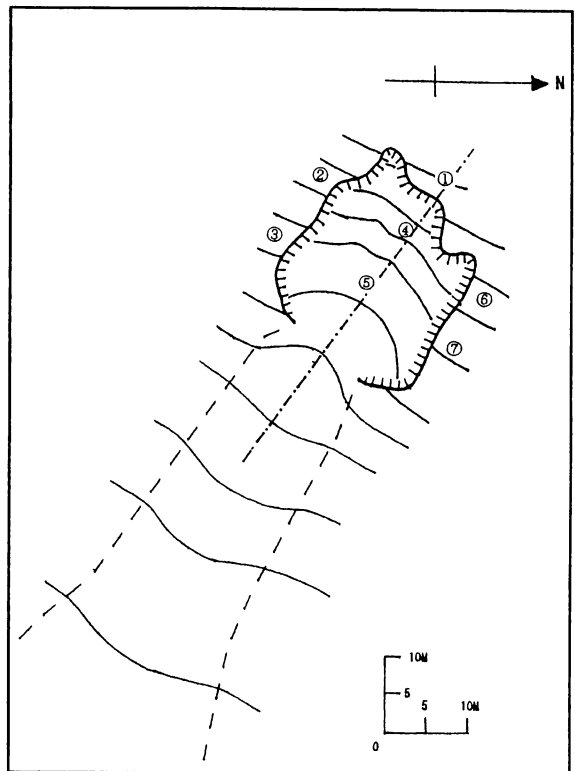
第2図 崩壊地分布図

あり、斜面勾配も $25\sim 30^\circ$ とそれほどきつくない。しかし、崩壊の多くは第2図(井口, 1999)に示すようにこの南東地域に集中している。

### Ⅲ 調査・分析方法と斜面構成物質の物理的、力学的特性



第3図 火山性堆積物中で崩壊した  
F-1斜面の平面形状  
(①～⑤は貫入試験を行った地点を示す)



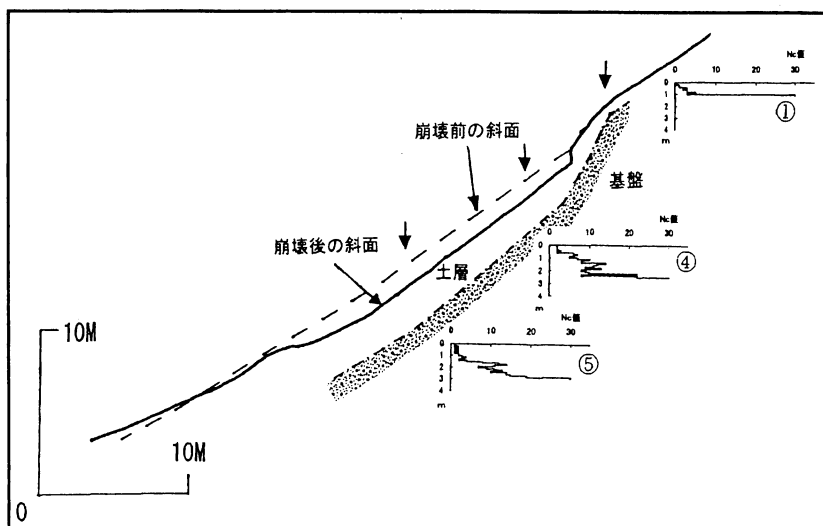
第4図 溶結凝灰岩表面で崩壊した  
F-2斜面の平面形状  
(①～⑦は貫入試験を行った地点を示す)

本研究では井口(1999)の分類にしたがって、今回の災害でも特に多く発生したと考えられる2種類のタイプの崩壊について調査を行った。1つは火山性堆積物中の崩壊(Aタイプ)であり、もう1つは溶結凝灰岩表面での崩壊(Bタイプ)である。本研究では両者からそれぞれ1つずつその典型的な例を取り上げた。そして、それぞれF-1(Aタイプ)、F-2(Bタイプ)と名付けることにする。調査は現地における測量、サンプリングなどと、室内における分析に分けられる。

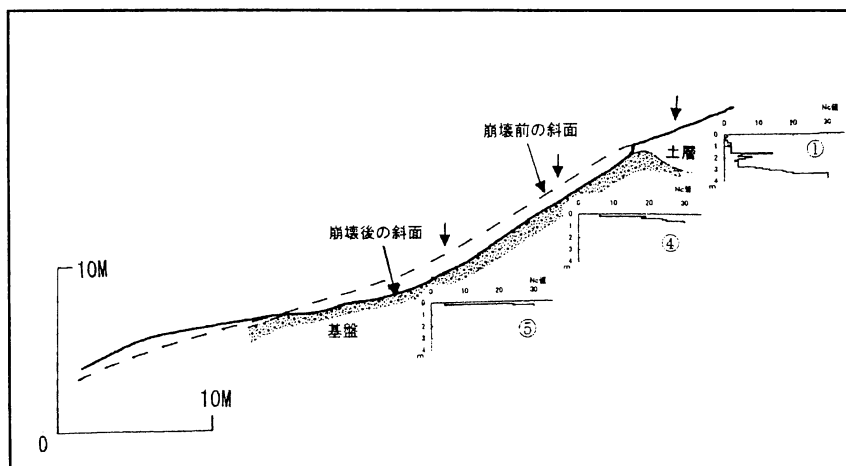
現地での地形測量はポケットコンパス(牛方商会製, MODEL S-27)を用いた。第3図, 第4図はそれぞれF-1, F-2の平面形状を示す。等高線の間隔は2 mである。また, 2 mスパンの斜面測量器(東京リサーチサービス製)を用いて縦断形状を測定した。第5図, 第6図でそれぞれF-1, F-2

の縦断形状を実線で示す。得られた縦断形状と、別に測定した横断形状を加味して、崩壊前の地形を推定した。その結果、両斜面における崩壊部の、直線に近似できる部分の斜面勾配とそこでの崩壊深はF-1で $33.9^\circ$ と100 cm, F-2では $30.7^\circ$ と90 cmと見積もられた。さらに、第5図および第6図には斜面調査用簡易斜面測量器(筑波丸東製, コーンの直径2.5 cm, 錘の重量5 kg)を用いて行った貫入試験の結果と、それから推測される溶結凝灰岩とその上に載る火山性堆積物との境界を一点鎖線で示した。F-1では火山堆積物が上部では1.5 m程度堆積しているが、下部ではその厚さが3 m近くにまで達していることが読みとれる。また、F-2では崩壊面に凝灰岩が露出している。

このほか、第3図, 第4図の地点④においてそれ



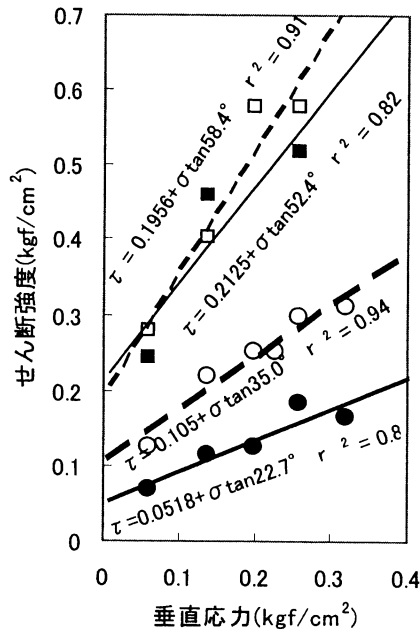
第5図 火山性堆積物中で崩壊したF-1斜面の縦断形状



第6図 溶結凝灰岩表面で崩壊したF-1斜面の縦断形状

ぞれ、ベーンせん断試験を行った。この試験は中心に穴のあいた内径35 mm、外径80 mmのリング状の基部に、高さ5 mm、長さ22.5 mmのベーンを45°ごとに合計8個取り付け付けたものを、水平に切り出した土の面に攪乱しないように押し込み、回転させて試行するものである。(Matsukura and Tanaka, 1983)。これらの結果を第7図に示した。F-1では自然含水比

の場合、粘着力  $c=0.1049 \text{ kgf/cm}^2$ 、内部摩擦角  $\phi=35.0^\circ$  であった。飽和状態では  $c=0.0517 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $\phi=22.7^\circ$  となった。F-2では自然含水比で  $c=0.1956 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $\phi=58.4^\circ$ 、飽和状態で  $c=0.2125 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $\phi=52.4^\circ$  であった。F-1、F-2とも自然含水比よりも飽和状態のせん断抵抗力のほうが小さい。



- 溶結凝灰岩・自然含水比(F-2)
- 溶結凝灰岩・飽和(F-2)
- 火山泥流堆積物・自然含水比(F-1)
- 火山泥流堆積物・飽和(F-1)

第7図 ベーンせん断試験結果から得た  
F-1, F-2斜面構成物質の破壊包絡線

#### IV 安定解析

得られた土の物理学的、力学的諸数値を用い、斜面の安定解析を試みた。調査対象の崩壊のどちらも斜面縦断形がほぼ直線に近似できる部分を持っており、かつ崩壊面はもとの斜面とほぼ平行であったと考えられるので、Skempton and DeLory(1957)の無限長斜面の安定解析を用いることにする。安全率 $F_s$ は次式で与えられる

$$F_s = \frac{c + (\gamma - m\gamma_w) \cdot Z \cdot \cos^2 \theta \cdot \tan \phi}{\gamma \cdot Z \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta} \quad (1)$$

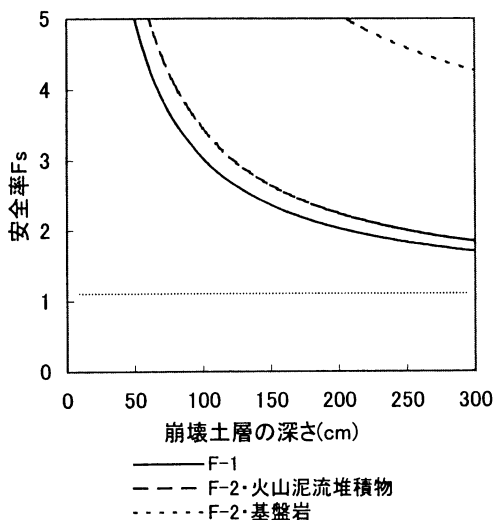
ここで、 $c$ : 粘着力,  $\gamma$ : 土の単位体積重量,  $\gamma_w$ : 水の単位体積重量 (=1.0 g/cm<sup>3</sup>),  $Z$ : 崩壊の鉛直方向の厚さ,  $\theta$ : 斜面勾配,  $\phi$ : 内部摩擦角である。また $m$ は地下水面の高さを表すパラメータであり、次式で定義される;

$$m = 1 - \frac{z_w}{z} \quad (2)$$

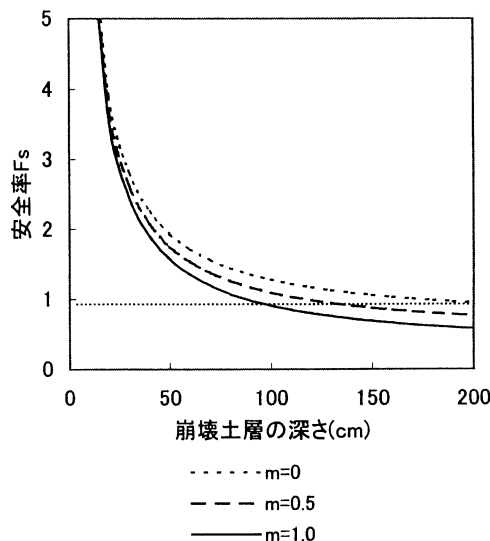
$m=1$ のとき地下水面は地表面と同じ高さにあることを示す。そして、 $m=0$ の場合に地下水面は崩壊面に一致する。解析に用いた各値を第1表にまとめた。単位体積重量はJIS A 1202に準じて求め

第1表 安全解析に用いた諸パラメータ値

	粘着力 c (kgf/cm <sup>2</sup> )	内部摩擦角 φ (°)	崩壊の深さ z (cm)	代表勾配 θ (°)	単位体積重量 γ (g/cm <sup>3</sup> )
F-1(自然含水比)	0.1049	35.0	100	33.9	1.14
F-1(飽和)	0.0517	22.7	100	33.9	1.71
F-2(基盤岩・ 自然含水比)	0.1956	58.4	100	30.7	0.94
F-2(基盤岩・飽和)	0.2125	52.4	90	30.7	1.58
F-2(泥流堆積物 ・自然含水比)	0.1049	35.0	90	30.7	0.94
F-2(泥流堆積物 ・飽和)	0.0517	22.7	90	30.7	1.58



第8図 自然含水比状態のF-1、F-2斜面の安全率と土層厚との関係



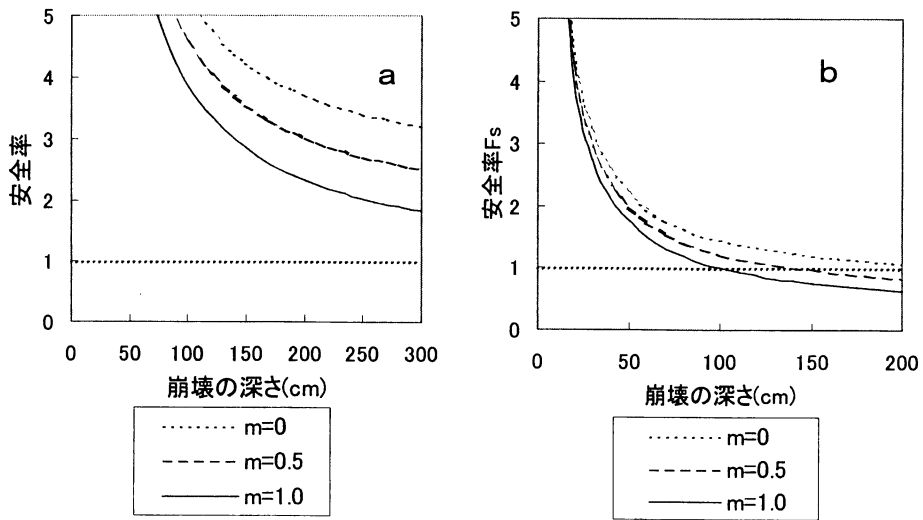
第9図 飽和状態でのF-1斜面での安全率と土層厚との関係

た土粒子の密度 $G_s$ と間隙比 $e$ 、水の単位体積重量 $\gamma_w$ を用いて、次の式(石原, 1988)で計算によって求めた

$$\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1 + e} \cdot \gamma_w \quad (3)$$

第8～10図は自然含水比状態および飽和含水比状態における崩壊深(土層の厚さ)と安全率との関係を示したものである。なお、F-2に関しては、

崩壊面が溶結凝灰岩とその上に載る火山泥流堆積物との境界であると考えられるので、両者のせん断抵抗力を用いて別々にして計算した。第8図からは自然含水比状態ではどちらの斜面においても $F_s$ は1より大きく、安定していることが読みとれる。しかし、第9図のように、F-1では飽和状態でさらに地下水位が土層厚100 cmの約8割のところまで上昇したという条件で $F_s$ が1を下回るの、このときに崩壊したと考えられる。第10図の左側は溶結凝灰岩のせん断強度を用い



第10図 飽和状態でのF-2斜面の安全率と土層厚との関係

(a: 溶結凝灰岩, b: 火山泥流堆積物)

て解析した場合、右側が泥流堆積物のせん断強度を用いて解析した場合の崩壊深による安全率の変化をそれぞれ示している。このグラフからは溶結凝灰岩の値を用いると崩壊深がいくら深くても、また地下水位が上昇しても安全率 $F_s$ が2程度までしか下がらず、崩壊は発生しないと考えられるが、泥流堆積物の値を用いれば、飽和状態で地下水位が土層90 cmの約9割に達すると $F_s$ が1を下回ることがわかる。

## V 考察およびまとめ

以上の分析・解析から、今回の豪雨によると考えられる本調査地域における斜面崩壊のプロセスについて考察を試みる。

通常安定した斜面では、土層中の斜面に平行する任意の面において、その上に載る土塊に作用する斜面下方へ落ちようとする力が、その面に沿って発揮されるせん断抵抗力よりも小さいため、安定を保っていると考えられる。ところが斜面崩壊が発生する際には、何らかの原因によって、その滑り落ちる土塊に作用する滑動力と土のせん断抵抗力のつりあいが逆転し、崩壊

する。今回調査を行った2つの崩壊斜面のうち、F-1は土層中でせん断が起きているのに対し、F-2では基盤と堆積物の境界がせん断面となっていた。安定解析の結果を考慮すると、F-1およびF-2の斜面では通常の状態つまり自然含水比では安全率 $F_s$ が1よりもかなり大きく、斜面は安定していたと考えられる。ところが、豪雨が降り、土が水で飽和され、せん断抵抗力を低下させたうえ、土に浮力として作用する間隙水圧上昇によってこのつりあいが破られ、崩壊に至ったと考えられる。特に、F-2において斜面と平行に発揮されるせん断強度は、溶結凝灰岩表面のものではなく、その上に載るより弱い泥流堆積物の強度に依存すると考えられる。

従来、本調査地域のような溶結凝灰岩の地域では崩壊が起こりにくいとされていた(千木良, 1999)。また斜面の勾配が $30^\circ$ 程度というのは、他の災害の例と比較すると傾斜がやや緩く(井口, 1999)、危険性は少ないと考えられる。しかし、今回のような非常に激しい降雨など特別な条件がそろると、きわめて稀ではあるが、斜面崩壊が発生することが示された。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、科学技術庁防災科学研究所の井口 隆博士には貴重な資料を提供いただいた。現地調査およびサンプルの分析においては筑波大学大学院理工学研究科2年次(当時)の市川岳志氏をはじめ多くの方々の協力いただいた。ここに記して感謝の意を表す。

## 参考文献

- 井口 隆(1999)：福島県南部地域における斜面崩壊の分布と特徴。1998年南東北・北関東の集中豪雨災害に関する調査研究(平成10年度科研費成果報告書)文部省/東北大学, pp.148-162.
- 石原研而(1988)：土質力学：丸善株式会社, 297p.
- 梅村 順・森 芳信(1999)：1998年8月末豪雨に伴う福島県南部の斜面災害。平成10年度斜面災害・土砂災害の特徴と実態, 14-29.
- 千木良雅弘(1999)：西郷村で多発した斜面崩壊の地質的要因。平成10年度斜面災害・土砂災害の特徴と実態, 50-60.
- Matsukura, Y and Tanaka, Y.(1983)：Stability analysis for soil slips of two grass-slopes in southern Abukuma Mountains, Japan. *Trans. Japan. Geomorph. Union*, 4, 229-239.
- Skempton, A.W. and DeLory, F.A.(1957):Stability of natural slopes in London Clay. *Proc.4th Int. Conf. Mesh. Found. Engng., London*, 2, 378-381.