

平成 25 年度  
公益社団法人日本地すべり学会関東支部  
シンポジウム

斜面災害とモデル実験

概要集



期日：平成 25 年 5 月 10 日  
場所：東京大学武田先端知ホール



平成25年度 公益社団法人日本地すべり学会関東支部シンポジウム  
— 斜面災害とモデル実験 —

期日：平成25年5月10日（金）14時～17時（総会終了後）

場所：東京大学武田先端知ホール（東京大学工学部）  
東京都文京区弥生2-11-16 武田先端知ビル5F  
東京地下鉄南北線「東大前」駅下車 徒歩8分、千代田線「根津」駅下車 徒歩5分

会費：支部会員・一般 2,000円  
学生 1,000円（高校生以下無料）

次第：

1. 開会・支部長挨拶 14:00～14:10
2. 講演 14:10～15:00（50分、質疑応答を含む）  
「大型降雨実験施設における斜面崩壊実験」  
独立行政法人 防災科学技術研究所 主任研究員 酒井直樹 1
3. 休憩 15:00～15:10（10分）
4. 講演 15:10～16:00（50分、質疑応答を含む）  
「人工降雨による現地斜面崩壊実験—茨城県加波山における試み—」  
独立行政法人 森林総合研究所 企画部長 落合博貴 9
5. 講演 16:00～16:50（50分、質疑応答を含む）  
「アンカー緊張力計測に基づく地すべりの安定性評価手法に関するモデル実験」  
独立行政法人 土木研究所 研究員 阿部大志 13
6. 質疑応答 16:50～17:00（10分）
7. 閉会 17:00

## 講師略歴

### 酒井 直樹（さかい なおき）

#### 独立行政法人 防災科学技術研究所 予測・観測研究領域 水・土砂防災研究ユニット 主任研究員

2003年 長岡技術科学大学工学研究科 博士後期課程修了後、明治コンサルタント、土木研究所 火山・土石流チーム研究員、防災科学技術研究所研究員、主任研究員、カリフォルニア大バークレー校客員研究員、文部科学省研究開発局地震・防災研究課行政調査員、を経て、2009年より現職。博士（工学）

### 落合 博貴（おちあい ひろたか）

#### 独立行政法人 森林総合研究所 企画部長

S53.4 林野庁入庁

H12.4 森林総合研究所治山研究室長

H20.4 林野庁研究・保全課 首席研究企画官

H24.4より現職

### 阿部 大志（あべ たいし）

#### 独立行政法人 土木研究所 土砂管理研究グループ 地すべりチーム 研究員

1997.4～国際航業

2005.4～道路保全技術センター東北支部道路防災課長

2009.7～土木研究所 地すべりチーム研究員

工学博士、日本大学工学部

# 大型降雨実験施設における斜面崩壊実験

Mechanism of shallow landslide collapse due to heavy rainfall using Large scale rainfall simulator

酒井 直樹 (防災科学技術研究所)

Naoki SAKAI (Dep. of Storm, Flood and Landslide Research, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention,)

キーワード：斜面崩壊，降雨，地下水，変形

Keywords: slope failure, rainfall, groundwater, slope deformation

## 1. はじめに

梅雨期の長雨や台風等による集中豪雨により発生する崖崩れ，地すべり，土石流などに起因する土砂災害が多発し、尊い人命が毎年失われている。最近の事例を分析した結果では、高齢者のみならずや避難行動中に被災、特に土砂災害では家にて被災という事例が多いとの報告<sup>1)</sup>がある。また、災害事例ごとに特徴が異なるとの報告もある。このことは、地域の特性を反映したきめ細かな災害情報や切迫情報が必要であることを示している。

現在は、「危険箇所」の情報として各市町村で整備されている土砂災害ハザードマップや、「時間」の情報として、気象庁より発令される土砂災害警戒情報がある。それらによって住民に危険を呼びかけるようになっている。しかし、実際に崩れる斜面は少なく、切迫性をもった情報となっていない。そのため、住民自らが避難行動を起こすには、次の切迫性をもった情報が必要であり、その時にどんな行動をするかの日頃からの備えが必要である。

この報告では、ある特定斜面において、切迫性をもった「いつ」を予測するために、斜面を不安定化させる地下水に着目し、その斜面が安定な状態から不安定な状態へ遷移するメカニズムを明らかにするための大型模型実験を用いた実験的研究と、その解析的手法を紹介し、今後の大型実験研究のあり方の一例について考えていきたい。



写真1 危険な斜面？

## 2. 表層崩壊のメカニズム研究と模型実験

降雨時の表層崩壊とは、斜面上に存在する表層土層（厚さ 0.5~2m 程度）が、降雨時に下部に流下する現象である。表層崩壊は規模は大きくないものの複数箇所でおこることが多く、また突発的に起こることから予測が難しい現象である。そのため、防災研究としては、どこが危険かを示すハザードマップの研究と、いつ崩壊するかを示す研究に大きく分けられる。ここでは、「いつ」崩壊するかを焦点をおいた研究分野に関して話しを進める。

「いつ」の予測手法には、大きく分けて3種類ある。①降雨指標（実行降雨量等）、②土中の水分量（土壌雨量指数等）、③降雨浸透を考慮した土質力学的手法である。ここで①、②の手法に関しては、実用化され多くの実績（国交省、気象庁等）がある。一方で、ある特定の斜面において、その斜面がどんな降雨時に崩壊するかどうかの予測は難しい（たとえば

写真1). それはこれらの手法が、斜面での内部構造やその物性（せん断特性、浸透特性等）を考慮しない手法だからである。そのため、ある特定の斜面を危険度判定するためには、③の力学的手法を用いる必要がある。

この表層崩壊のメカニズムは、基盤上に存在する緩んだ表層土層において、降雨浸透による表層土層内の間隙水圧（地下水）の増加、含水比の増加による強度（見かけの粘着力）の低下、自重の増加等の複数の要因が複合して起きていると考えられている。これらの現象を定量的に捉えるには、不飽和斜面における降雨浸透、飽和度の変化に伴う斜面の変形、地下水位の上昇に伴う斜面の変形等の関係を総合的に把握する必要がある。筆者らは、崩壊メカニズムを考慮した崩壊予測手法の確立のためには、模型実験を行い各要因の影響を評価する必要がある。

また模型実験には、遠心模型実験<sup>例えは2)</sup>、小規模模型実験<sup>例えは3)</sup>、大規模模型実験<sup>例えは4)</sup>がある。それぞれ模型実験特有の相似則の問題<sup>5)</sup>があり、一長一短があるが、大規模な実験ができれば、相似則の問題をより小さくすることが可能となる。

### 3. 大型降雨実験施設での斜面崩壊実験とその成果

防災科学技術研究所が有する大型降雨実験施設は、降雨に起因する災害現象を実物大に近い模型を用いて実験研究を行うために建設された大型の共同利用施設である。外観を写真2に示す。世界最大級の散水能力と規模を持っており、最大約3,000m<sup>2</sup>(72m×44m)の範囲に15～200mm/hの降雨強度で人工的に降雨として散水出来る施設である。

この施設を利用して、豪雨によって発生する土砂災害や、流域の開発に伴う洪水災害、あるいは光通信やレーダの伝搬減衰評価実験などに関する基礎的・応用的研究が進められてきている。特に、地すべり・斜面災害に関する研究は精力的に行われてきており、大中小様々な模型斜面を用いた実験研究が行われてきている。



写真2 大型降雨実験施設全景

一方で、崩壊の危険度予測を行うためには現地観測を行い、その斜面の崩壊にいたる過程を記録することが必要だが、自然斜面においてそのようなデータを得るのはほとんど不可能である。そこで、模型実験を行う必要がある。ここでは、実物規模の大型模型実験を用いて、崩壊現象のメカニズムを明らかにする手法を用いて多くの成果を得てきた。

例えば、崩壊危険性の早期予測モデルの提案<sup>6)</sup>、降雨浸透による地下水流の発達と斜面崩壊メカニズムの解明<sup>7)8)</sup>、崩土の到達距離予測に関する研究<sup>9)</sup>行って等を行なってきた。最近のものでは、斜面モニタリングに関する実験的研究<sup>10)11)12)13)14)15)</sup>を多く行ってきている。紙面の関係で参考文献をあげるにとどめる。

最近の土砂災害研究では、大型模型実験と数値解析手法をセットで用いることで、より高度な評価技術を開発するための研究が進められてきている。以下では、その一部を紹介する。

### 4. 降雨時の斜面崩壊実験

ここでは、大型模型実験のうち、降雨浸透から地下水形成過程を明らかにするために行った実験を紹介する。4-1では、初期条件として、斜面が一様な飽和度（40%程度）の場合、4-2では、繰り返し降雨履歴を与えた場合。

#### 4-1 降雨時の大規模模型斜面崩壊実験<sup>16)</sup>

実験は、防災科学技術研究所にある大型降雨実験施設内に大規模斜面模型を作製し実験を行った（写真1）。模型の形状は、総斜面長は、23m（うち斜面部16m）、幅3m、深さ1.6m（土層深1.2m）、高さ

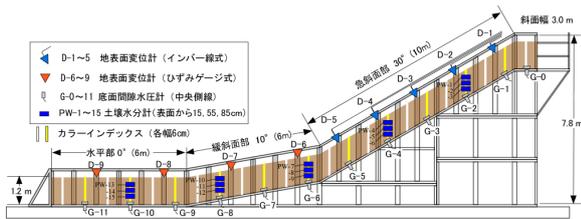


図1 大規模模型斜面概略図とセンサーの配置

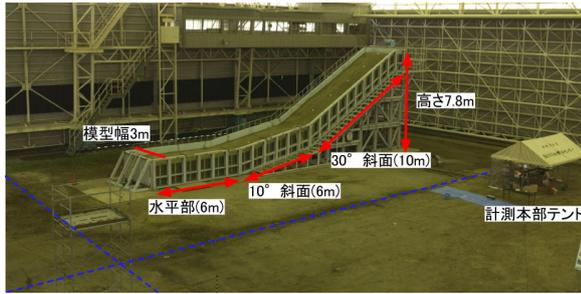


写真3 大規模模型斜面全景

7.8m の複合斜面型模型（図1）であり枠組みは鋼製である。水路末端はスリット型擁壁（浸透水は金網を通じて自然排水）で斜面土層を抑止している。水路末端以外は非排水条件である。斜面底面には粗度として、棧が水平方向に一定間隔で固定されている。また、片側壁は強化ガラスを用いて、土層内部の変形状況が外側から確認できるようになっている。

計測には、地表面変位計（D1～D9）、土壌水分計（PW1～PW15）、間隙水圧計（G0～11）を図1に示す位置に設置した。土壌水分計測より飽和度を算出し、間隙水圧計測より土層内の地下水分布を算出している。

試料には、市販の佐原砂を用いた。その粒度特性は、礫分 9%、砂分 84%、シルト分 7%、均等係数  $U_c=4.2$ 、 $D_{20}=0.185$  である。土槽模型は、初期含水比 8% の試料を用いて、人力により湿潤密度が  $1.45\text{g/cm}^3$  を目標に作製した。飽和透水係数は、 $2.71 \times 10^{-2}(\text{cm/sec})$  である。

初期状態（飽和度 40% で均質）から、 $100\text{mm/h}$  の降雨を与えた。降雨時の時系列変化の関係を、図2に示す。地下水位線の推移を図3に示す。ここで、崩壊直前推移を①とし、その10分前毎に②、③、④とする。降雨開始後、湿潤前線が基盤に達し、地下水位を形成し始めるまでに、約1時間半かかって

いる。その後開始2時間後④の水位に達するまでに、水平部、 $10^\circ$  斜面において地下水位が形成され、

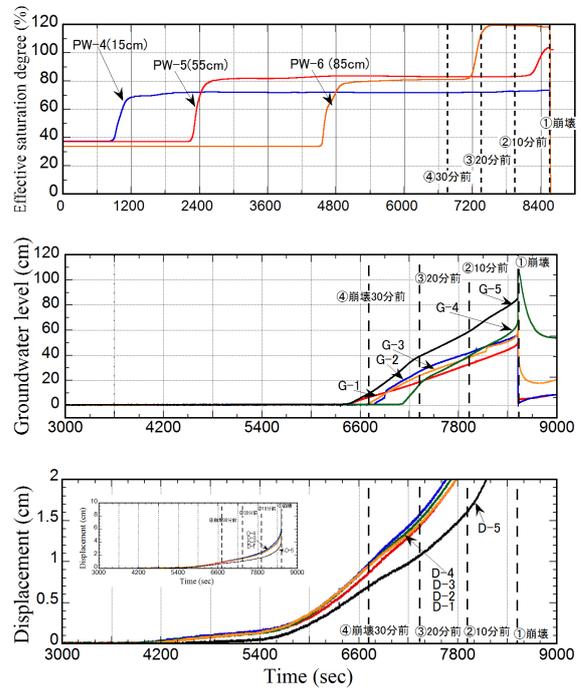


図2 降雨時の時系列変化（上：有効飽和度、中：地下水位、下：地表面変位）

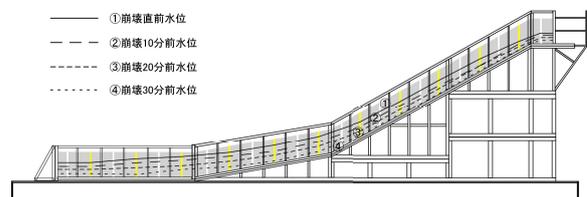


図3 地下水位線の推移（崩壊30分前から）

$30^\circ$  斜面には、まだ水位はない。その後、④→③まで上昇して、斜面上部まで水位が連続的に基盤に沿って形成され、その後③→②→①と基盤とほぼ平行に急激な上昇を続け、崩壊に至っている。また、地表面変位の時間変化（図-3）を追うと、湿潤線が基盤に到着したのとほぼ同時な約5000s前後から変位が発生し始める。その後、④から③に至るまで徐々に変位が増加している。水位が基盤に平行に急激に上昇をしている③→②→①間では、移動速度が急激に大きくなり、崩壊に至っている。

崩壊形態は、図4に示すように、 $30^\circ$  斜面全体において、地下水位線下において基盤に平行にすべり線が発生し土塊が一体となって崩壊している。

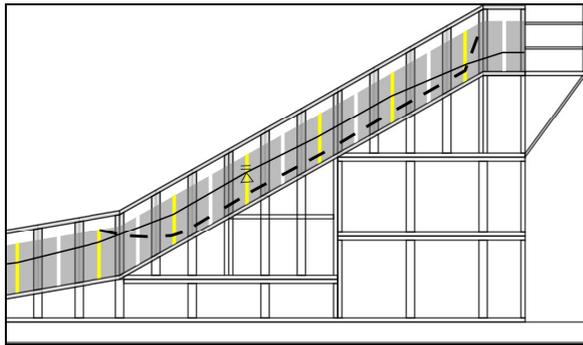


図4 上：崩壊直前の斜面変形の様子、下：崩壊直前の地下水位（実線）とすべり線（点線）



図5 崩壊後の土砂流下挙動の読み取り図 (t=0(図4)の時を始点に1sごとに)

図5に、崩壊後の土砂の流下挙動の読み取り図を示す。これは側面を移したビデオカメラから作成した。この図を用いて解析結果との対比を行う。

#### 4-2 降雨履歴を考慮した模型斜面崩壊実験<sup>17)</sup>

模型斜面に降雨履歴を与えるため、実験前1週間の間に①～④まで計4回の降雨を与えた(図6)。図6には、上から有効飽和度、地下水位、地表面変位が並んでいる。ここで、地下水位の経時変化(図6中)をみてみると、いずれの降雨に対応する水位変化の場合でも、斜面下部から中部において(G-5,4,3)、最大で20cm程度の水位が発生しているが、上部までは完全には形成されていない。また、30°斜面上の地下水は、およそ12時間程度で完全に消失し、飽和度は斜面鉛直下層にいくほど飽和度が高い(40～60%程度)。降雨履歴としては、30°斜面には水位がなく、水平部に水が貯留された状態である。

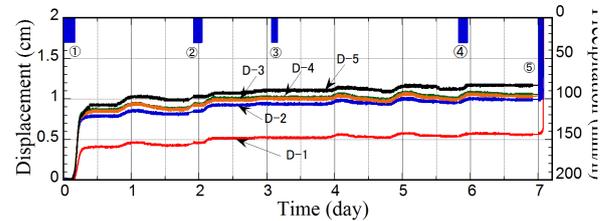
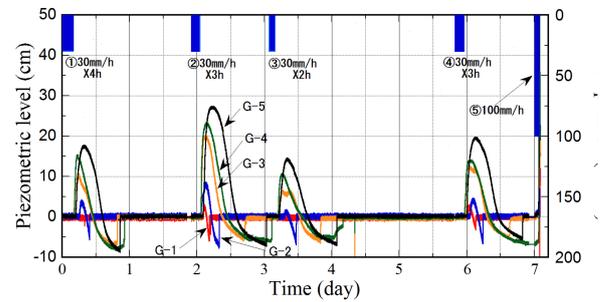
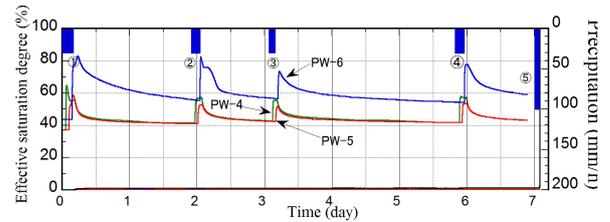


図6 降雨時の時系列変化(上：有効飽和度、中：地下水位、下：地表面変位)

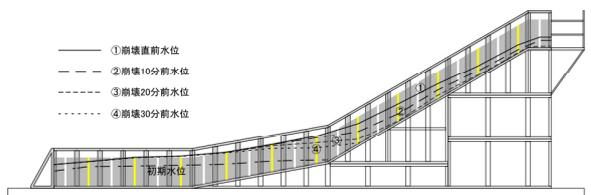


図7 地下水位線の推移(崩壊30分前から)

本実験として、降雨履歴期間後の水位を初期状態（図 7 初期水位、一点鎖線で表示）として、4-1 と同じ降雨条件(100mm/h)で行った。その時の地下水位挙動（図 7）を示す。ここで、崩壊直前推移を①とし、その 10 分前毎に②、③、④とする。降雨開始後、1 時間 10 分(4200s)ほどで、30° 斜面において水位が上昇し始めた後、④まで水位が上昇した。その 10 分後には斜面上部まで水位が発生(③)し、その後、③→②→①と一気に斜面上で水位が上昇し①の水位で崩壊に至った。このときの変位は③→②の過程で移動速度が大きくなりはじめ、②→①で急激に移動速度が上昇し崩壊に至った。崩壊時のすべり線は、4-1 とほぼ同様な傾向で発生している。

#### 4-3 まとめ

以上の 2 つ実験結果より、30° 斜面部において、基盤と平行に水位が上昇し始めると、地表面変位も移動速度を増しはじめ土塊として一体で運動し、その後も水位の上昇が続くと変位速度も急激に上昇し崩壊に至ることがわかった。これは、砂質層が降雨浸透により飽和度が上昇し強度が低下したことで、変形が加速することが考えられ、今後、土質力学的な検討が必要である。G5 点での破壊時の水位を比べると、4-1 では 80cm（図 3）、4-2 では 85cm（図 7）とほぼ同じ水深に達した時に崩壊に至っており、この条件での限界水深の可能性が考えられる。さらに崩壊時間は、降雨履歴に大きく左右される、つまり斜面の貯留状態（水位）に依存するため、崩壊の早期予測には、水位のモニタリングが有効である。

### 5. 降雨時の斜面崩壊シミュレーション事例

#### 5-1 降雨浸透シミュレーション事例<sup>18) 19)</sup>

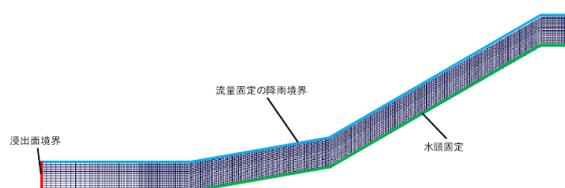


図 8 有限要素法における数値解析モデル

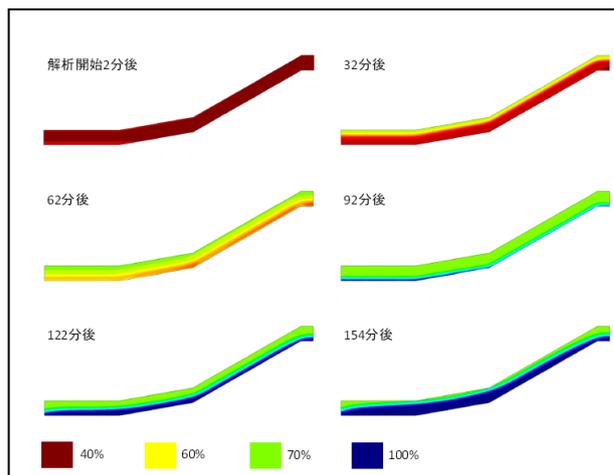


図 9 有限要素法による降雨浸透解析結果

4-1 で述べた、大型降雨実験の降雨浸透解析を有限要素法を用いて実施した。数値解析モデルを図 8 に示す。境界条件としては、モデル底部は固定水頭、地盤の初期飽和度は 40% とし、不飽和特性（すなわち、飽和度とサクシヨンの関係および飽和度と比透水係数の関係）は、保水性試験（マルチステップ式試験装置）によって計測されたものである。なお、降雨強度は時間雨量 100mm の定常降雨（降雨実験と同様）であり、地表面を流量固定の降雨境界とした。また、水路末端は浸出面境界である。

解析パラメータは次の通りです。飽和透水係数  $2.71 \times 10^{-2}(\text{cm/s})$ 、初期飽和度 40(%)、飽和体積含水率 0.459、比貯留係数  $1.0 \times 10^{-4} (1/\text{m})$ 、最小含水量 0.0160、降雨条件 100(mm/hour)（定常）。

有限要素法による降雨浸透の解析結果を図 9 に示す。実験と同様、初期では 40% 弱だった飽和度が、降雨浸透に伴って土層上部から順に飽和度が 70% 程度に上昇し、しばらく一定値を維持している。解析開始およそ 100 分後に浸潤面がモデル底部に到達し、水位（地下水面）が上昇し始め、土層下部から飽和度が 100% に達する。また地下水の上昇過程では、図 9 の 122 分後から 154 分後への変化と、図 3 の④から①の変化の比較すると、地下水位が急激に上昇している様子が精度良く浸透解析により再現できていることが分かる。

## 5-2 不連続変形法による斜面崩壊解析<sup>20)</sup>

### 5-2-1 不連続変形法

不連続変形法 (Discontinuous Deformation Analysis, DDA) は、岩盤斜面の挙動解析、落石シミュレーション、トンネル・岩盤空洞の挙動解析などに利用されている。これらより大変形の接触問題に強い解法であるといえる。手法の特徴として、ブロックを弾性体と仮定し、接触機構にペナルティ関数を導入し、エネルギーを2次形式で評価している。このため、自由度の変化がなくエネルギー保存則も保証されることになり、解の唯一性、収束性が保証される。

不連続変形法は、次式に示す Hamilton の原理による接触を含む運動方程式をひずみエネルギー最小化原理により釣り合い方程式を求めて定式化している。

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = F \quad (1)$$

ここに、M：質量マトリックス，C：減衰マトリックス，K：剛性マトリックス，F：外力ベクトル， $\ddot{u}$ ：ブロック重心加速度， $\dot{u}$ ：ブロック重心速度， $u$ ：ブロック重心の剛体変位，剛体回転，ひずみである。

また、(1) 式の減衰マトリックスCは、粘性係数と質量マトリックスMを用いて、(2) 式のように表される。

$$C = \eta M \quad (2)$$

ここで、粘性係数の物理的意味は、落石運動での減衰や空中での空気抵抗、斜面上の樹木や植生などの減衰などとして評価される。

不連続変形法の解析における未知数は、各ブロック (要素) の剛体変位、剛体回転、およびひずみ (ブロック内では定ひずみ) であり、定式化は有限要素法と同様の手順を踏む。また、微小時間で繰り返し計算を行うことで各ブロックの運動を解析している。ブロック間に接触が生じた場合、ブロック間にバネ (ペナルティ) が挿入され、貫入量が一定基準量以下になるまで繰り返し計算が行われる。定式化には、一貫としてエネルギー最小化原理が用いられており、広義の FEM の一種であると位置づけられる。解析に使用するブロック数に制限はないので、ブロック同士の衝突や落石群としての挙動の解析も可能である。

### 5-2-2 モデル化

解析断面作成に際しては、実験斜面を構成する鋼製土槽の土台を1つのブロックとして、斜面の地盤層を多角形ブロックの集合体から成る粒状体としてモデル化した。土層を構成するブロック (粒子) の形状は、概ね8角形となっている。粒子数は1822個、平均粒径は、11.8cm である。

ここで作成した地盤層は、均質な地盤としてモデル化されており、本来は、 $c$ 、 $\phi$  の強度定数は、せん断試験などで得られた値が入るのが望ましいが、粒子の大きさが実際の地盤と比較しかなり大きいいため、難しい。小さいモデルでも、平均11.8cm であり、別途計算を行い検討する必要がある。これは個別要素法でも同様である。また、このモデルでは密度管理が難しく、自重解析を行いその後の密度を知る必要がある。

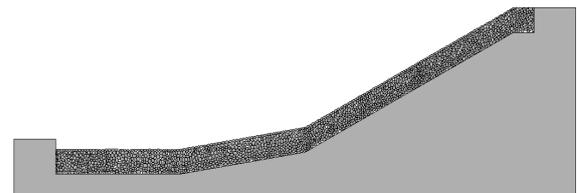


図10 解析モデル (平均粒径 11.8cm)  
地下水位は、5-1 の結果で設定

### 5-2-3 解析手順

解析に際しては、粒子間の接触を確立するための自重解析と、それに引き続く崩壊解析を一連の解析として実施した。自重解析においては、粒子間の境界の強度を大きく設定し、かつ、減衰が若干を大きく作用するように動的-静的減衰定数を設定することで斜面が崩壊することを抑止した。崩壊解析においては、自重解析時に設定した粒子間の境界の強度を表-3 に示した所定の値に切り替え、減衰を所定の値とすることで崩壊のトリガーとした。また切り替えと同時に、地下水位に関しては、5-1 の解析結果で設定し、水位以下の粒子間力は、粘着力を 1/10 にして行った。

自重解析時の繰り返し計算回数は、粒子間の接触が確保できるまでの回数として、試行解析で設定し

た。崩壊解析時の繰り返し計算回数は、崩壊解析時の累積時間が 10 秒程度となる回数を試行解析から設定した。繰り返し計算回数は、自重解析と崩壊解析を合わせて 30000 回となり、いずれのケースも同じ回数とした。

表 1 解析に用いたパラメーター一覧

区 分	パラメータ名	設定値
ブロックの材料物性	ヤング率	$7.5 \times 10^{10} \text{N/m}^2$
	ポアソン比	0.25
	密度	$2650 \text{kg/m}^3$
	粘性係数	0.1
粒子間の境界の強度	摩擦角(度)	45
	粘着力( $\text{N/m}^2$ )	$1 \times 10^4$
	引張り強度	$0 \text{N/m}^2$
ブロック間のバネ剛性	鉛直ペナルティ	$1.0 \times 10^7 \text{N/m}$
	せん断ペナルティ	$1.0 \times 10^7 \text{N/m}$
減衰定数	動的-静的減衰定数	0.999
解析時間	最大時間ステップ	0.0005s
	崩壊解析の繰り返し計算回数	28000 回
	自重解析の繰り返し計算回数	2000 回

#### 5-2-4 解析結果と実験結果の考察

図 11 の解析結果について考察する。

- 1) 2s 後の状態ですが、 $30^\circ$  斜面全体において緑色（より明るい色）に変わっており、斜面土塊として下部へ移動し始めたことを示す。矢印は移動土塊の下端を示す。
- 2) 4s 後では、土塊を示す色が明るくなってきており、移動量が増加していることを示す。また、矢印も下部へ進んでいる。
- 3) 6s 後、さらに進行する。
- 4) 8s 後では、赤くなった部分（明るい部分に囲まれた濃い色の部分）は移動土塊が固まりとして流下したことを示す。周りの薄い黄色部分（明るい色部分）はせん断部分を示し、緑色部分（外側の暗い部分）は、圧縮領域であることを示す。土層の動きを詳細にみるために、図 5 にあるようなインデックス（黄、白）を解析モデル粒子に設定（カラー）し、その挙動を追跡した（図 12）。 $30^\circ$  斜面部分のインデックスを追うと、下部の粒子を残して引きずるよう土層内でせん断しながら土塊として崩

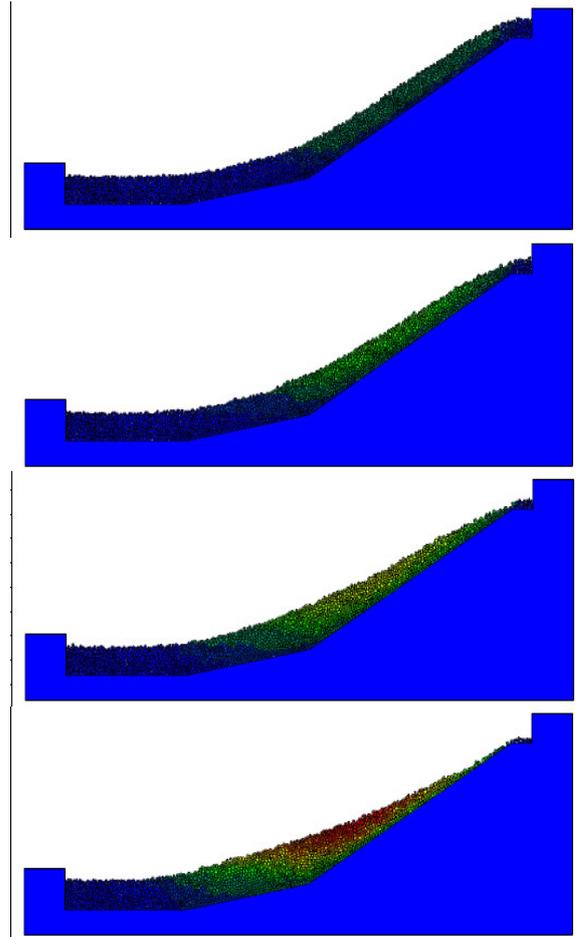


図 11 土砂流下過程シミュレーション(2s ごと)

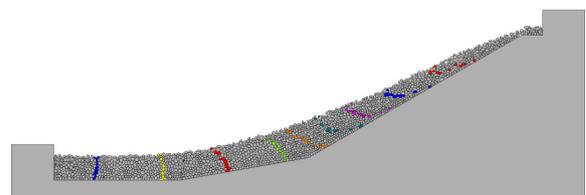


図 12 土砂流下過程シミュレーション(8s 後)  
(カラーインデックスあり)

壊しているのがわかる。また、 $10^\circ$  斜面では、土層上部が折れ曲がるように変形し乗り上げようとしているのがわかる。

後に、解析結果（図 11, 12）と実験結果（図 5）を比較する。

- ①  $30^\circ$  斜面上で斜面頭部から傾斜変換点までが移動土塊となっている（図 11）。
- ② 斜面土層底面付近の変位は比較的小さく、斜面土層中部から表面にかけての変位が大きい（図 12 のインデックス線）。

があげられる。

すなわち、実験結果では斜面頭部から端部まで大きく変位しているのに対して、解析結果では斜面頭部から中央にかけての変位が大きくなっている。また、実験結果においては、砂層の塊が移動しながら分解していくような形態で崩壊しているように見られるのに対して、解析結果では、粒子が個々にすべりあるいは転がりながら崩壊するような形態が推定され、移動距離が短くなっていると考えられる。

## 6. まとめ

降雨実験施設による成果の概要と、大型実験とシミュレーション研究の連携について報告した。多くの成果が出されているが実用化されている物は少ない。そのためには、ニーズに合わせて成果を出せるように、共同利用施設としての役割を見直す必要があると考えられる。

今後の降雨実験施設の果たすべき役割として、大型実験の精度の保証（実験技術の基準化）、データの共有化とともに、計測技術のIT化も必要であると考えられる。また、国の防災施策にあった実験テーマを設定し、複数機関が共同で実験の実施、解析、検証を行って成果の普及までを行っていくことも必要であろう。

## 文 献

- 1) 牛山素行・高柳夕芳 (2010), 2004~2009年の豪雨災害による死者・行方不明者の特徴, 自然災害科学, 29-3, 355-363.
- 2) Take, W., M. D. Bolton, P.C. P. Wong and F. J. Yeung(2004), Evaluation of landslide triggering mechanisms in model fill slopes, Landslide, 1, 173-184.
- 3) 笹原克夫・山口 純平・酒井直樹(2011), 降雨浸透に伴う砂質斜面の吸水・排水過程における圧縮・せん断変形, 地盤工学ジャーナル, 6, 129-140.
- 4) Moriwaki, H., T. Inokuchi, T. Hattanji, K. Sassa, H. Ochiai and G. Wang(2004), Failure processes in a full-scale landslide experiment using a rainfall simulator, Landslides, 1, 277-288
- 5) 森脇寛(1988), 模型実験による斜面崩壊研究の現状と諸問題, 地形, 9-4, 255-268.
- 6) Fukuzono, T.(1985), A new method for predicting the failure time of a slope, Proc. of the 4th international conference and field workshop on landslide, Japan landslide society, 145-150..
- 7) 森脇 寛・矢崎 忍・黄 文峰 (2006), 雨水浸透に伴う地下水流の発達・減水過程と斜面崩壊に及ぼす影響に関する考察, 地すべり, 日本地すべり学会, Vol.43, No.1, pp.9-19.
- 8) 森脇 寛 (2009), 降雨による砂質斜面の圧縮変動と斜面崩壊に関する理論的考察, 地すべり, 日本地すべり学会, Vol.46, No.3, pp.1-11.
- 9) 森脇 寛 (1987), 崩土の到達距離予測, 地すべり, 日本地すべり学会, Vol.7, No.7, pp.10-16.
- 10) 笹原克夫・酒井直樹 (2012), 不飽和砂質斜面の降雨浸透による吸水に伴うせん断変形, 地すべり, 49, 25-33.
- 11) 檀上 徹・酒匂 一成・深川 良一, 酒井 直樹, 岩佐 直人, Nghiem Minh Quang (2012), 変位量の観測結果に基づく降雨時表層すべり型崩壊過程の検証, 土木学会論文集 C (地圏工学), 68, 508-525.
- 12) 植竹政樹・酒井直樹・福囿輝旗 (2010) 内部歪計による斜面崩壊発生予測法に関する研究, 防災科学技術研究所研究報告, 77, 49-68.
- 13) 大樂章文・村上哲・小峯秀雄・酒井直樹・石澤友浩・齋藤修・千葉宣朗 (2011), 加速度センサ IC タグを用いた大型降雨模型実験における斜面の振動特性の調査, 第 46 回地盤工学会研究発表会, .
- 14) 高倉伸一・吉岡真弓・内田洋平・石澤友浩・酒井直樹 (2012), 比抵抗モニタリングによる盛土中の水分変化の推定, 物理探査, 65, 223-236.
- 15) 酒井直樹・石澤友浩 (2011), 大型盛土斜面長期モニタリングと自然降雨により発生した崩壊メカニズムの検討, 第 46 回地盤工学会研究発表会.
- 16) 酒井直樹・福囿輝旗 (2008), 降雨強度を変化させた大型斜面模型実験による浸透挙動が崩壊に及ぼす影響, 平成 20 年度砂防学会.
- 17) 酒井直樹・福囿輝旗 (2008), 降雨による大型斜面模型の崩壊実験とその浸透挙動と地表面変位の関係, 第 43 回地盤工学会研究発表会.
- 18) 入江 敬・小山 倫史・酒井直樹, 西山 哲, 安田 祐樹, 大西 有三 (2011), 不連続変形法による降雨に起因する斜面崩壊の予測解析, 岩盤力学シンポジウム, .
- 19) Tomofumi KOYAMA, K. Irie, Nagano, K., Nishiyama, S., Sakai, N. and Ohnishi, Y.,(2011), DDA simulation for slope failure/collapse experiment caused by torrential rainfall., Proc. of the 10th International Conference on Analysis of Discontinuous Deformation (ICADD10), 32-39.
- 20) 酒井直樹・三木茂 (2009), 不連続変形法を用いた崩壊及び土砂流下運動予測の基礎的検討, 応用力学論文集, Vol.12, 461-468.

# 人工降雨による現地斜面崩壊実験

## —茨城県加波山における試み—

A landslide experiment on natural slopes under the rainfall simulator at Mt. Kabasan, Ibaraki prefecture, Japan

落合博貴 (独立行政法人森林総合研究所)

Hiroataka OCHIAI (Forestry and Forest Products Research Institute)

キーワード：地すべり

Keywords: Landslide, Experiment, rainfall simulator, debris-flow

### 1. はじめに

2003年11月12日と14日、茨城県真壁郡大和村に位置する加波山(かばさん)中腹の自然斜面において、人工降雨による斜面崩壊実験が実施された(図-1)。本実験は、当学会が参画した文部科学省科学技術振興調整費のプロジェクト課題「地震豪雨時の高速長距離土砂流動現象の解明(APERIF)」中の1課題において、(独)森林総合研究所が中心となり京都大学防災研究所、(独)防災科学技術研究所、千葉大学、消防庁消防研究所、米国地質調査所等の研究者が参加して行われた。実験は一般に公開され、数多くの報道関係者、大学、民間の研究者等が見学した。本実験の目的は、人工降雨により斜面崩壊発生に至る斜面水文現象および斜面変動を観測し、崩壊発生と共に土砂が流動化する過程を把握して、斜面崩壊および流動化のメカニズムを実証的に明らかにすることであった。

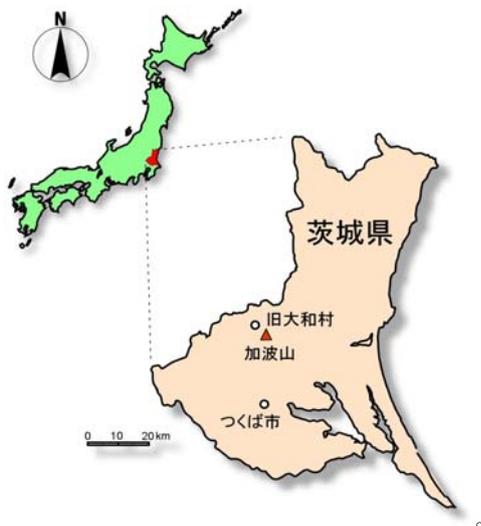


図-1 茨城県と加波山

本実験は、(独)防災科学技術研究所を中心に行ってきた大型の室内崩壊実験の結果を踏まえ、自然斜面における斜面崩壊実験を試みたものである。このように自然斜面に水を供給し、崩壊や地すべりを発生させた実験は、これまで数例<sup>1)2)3)</sup>が知られている。特に、1971年11月、川崎市の生田緑地公園の斜面で行われた公開実験では、斜面上方からの放水車による散水により発生した斜面崩壊が急激に流動化し、15名の犠牲者を生む事故<sup>4)5)</sup>となった。以来、自然斜面を利用した公開の崩壊実験は本実験まで行われていなかった。

### 2. 崩壊実験の概要

#### 2.1 実験斜面(図-2)

実験を実施したのは、国有林の伐採跡斜面に設定した平均勾配約33度、斜面長約30mの比較的平滑な斜面であり、細粒の稲田花崗岩を基盤とし、厚さ1~3mのマサ土が堆積している。斜面の上端は尾根部



図-2 実験斜面の全景

に近く赤城山由来の鹿沼軽石を挟む関東ローム層が分布している。実験斜面は、鉄板を深さ約1mまで打ち込んで幅5mに仕切り、地表には設置作業のため失われた地表植生の代わりにムシロを張って地表流の発生・流速を抑えることで人工降雨の浸透を促進するよう配慮した。

## 2.2 人工降雨装置 (図-3)

人工降雨に用いる水は、実験斜面の直下を流れる溪流を丸太製の堰を設けて堰き止め、揚水ポンプによりあらかじめ斜面上部に設けた1m<sup>3</sup>の貯水タンク80個に溜めた。実験時には、貯水タンクの水をポンプによって一定圧力で斜面上に仮設した合計24本のノズルに送り散水させた。



図-3 人工降雨装置の散水ノズル

## 2.3 観測システム

観測用の伸縮計、間隙水圧計、孔内ひずみ計等の各種センサーは、実験前に斜面に設置および埋設され、各センサーからの信号はケーブルにより観測小屋まで導かれ、小屋内に設置された計測機器に接続された。

## 2.4 観測項目および担当機関

実験に際して行われた観測項目、担当機関を示した。

### 1) (独) 森林総合研究所

①間隙水圧：人工降雨による土壌水分の変化と崩壊発生および流動化に伴う急激な間隙水圧の変化を連続観測する (図-3)。

②3次元移動量：崩壊発生後の崩壊土砂の流下経路を記録するため、3成分の加速度と傾斜を自動計測する (図-4)。

③重水トレーサー、地下水サンプリング：崩壊に関与する降雨の成分を把握するため、トレーサーとして降雨に重水を混ぜ、地下水を吸引サンプリングしてその濃度を測定する。

### 2) (独) 防災科学技術研究所

④斜面変動画像 (ビデオ) 撮影：2台1組のビデオカメラで斜面を分割して撮影し、斜面崩壊時の変動を観測して画像解析によりその量を求める。

### 3) 京都大学防災研究所

⑤土層ひずみ：斜面土層に鉛直に挿入した棒の曲がり量を計測し、崩壊発生に先立つ斜面内の変動を計測する。

⑥地表移動量：実験斜面内の移動点と不動点を結んだワイヤーの伸縮を計測し、崩壊発生に伴う地表面の変動を計測する。

### 4) 千葉大学

⑦土壌水分分布：降雨に伴う斜面内の土壌水分の変化とその分布を計測する。

⑧流出水・土砂量：降雨に伴い斜面から流出する水および土砂の量を観測する。

### 5) (独) 消防研究所

⑨レーザー地形計測：レーザースキャナにより崩壊前後の地表面の地形を計測する。

### 6) 米国地質調査所 (U. S. Geological Survey) :

⑩地表移動量：実験斜面外の不動点から斜面内の移動点に張ったワイヤーの伸縮を計測する。



図-4 間隙水圧計

図-5 3次元移動計

## 3. 実験の経過

崩壊実験は、2003年11月12日12時から人工降雨を開始し、平均降雨強度78mm/hで4時間30分経過したところで日没を迎え終了した。斜面下部と中央部に飽

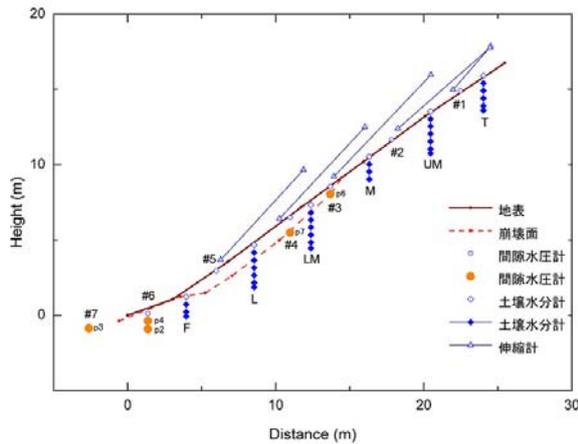


図-5 センサーの配置

和水面が確認されたものの斜面の変動は観測されず、崩壊は発生しなかった。そのため、2回目の実験は同年11月14日に実施した。11月14日は、平均降雨強度78mm/hで午前9時12分に降雨開始、15時頃には斜面の中下部が表層まで飽和、斜面中央部の伸縮計で変位が観測されはじめ、その後加速的に変位が大きくなり速度約5mm/min、累積変位50cmとなったところで16時3分斜面下端から約17mを滑落崖として崩壊が発生した。崩壊土層深は約1mで、崩壊土砂量は約40m<sup>3</sup>と見積もられた。崩壊した土塊は、直後に流動化して対岸に乗り上げて速度を落とし、地形に沿って方向を変えて、約30m流下したところで先端が停止した(図-6)。崩壊開始から停止までは約17秒であった。実験の結果、崩壊の流動化に伴う過剰間隙水圧の発生が観測された。



図-6 崩壊土砂の流下状況

#### 4. 実験結果の概要

本実験は、人工降雨による崩壊実験としては、川崎生田以来32年ぶりに実施された。この間、観測方

法、解析方法の進歩、人工斜面を用いた室内実験の成果等をふまえ、さらに事故の教訓をもとに実験を実施することができた。現在、本実験の成果<sup>6)7)</sup>をもとに、次の実験を計画中である(図-7~11)。

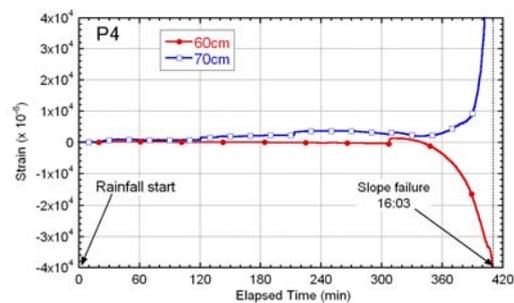
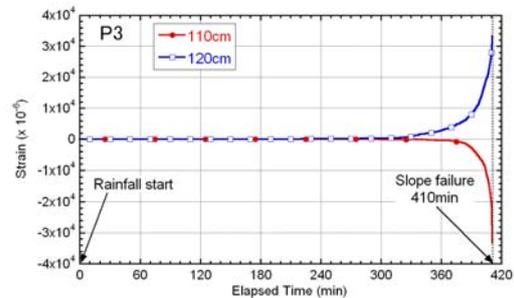


図-7 崩壊による孔内ひずみ計の変化

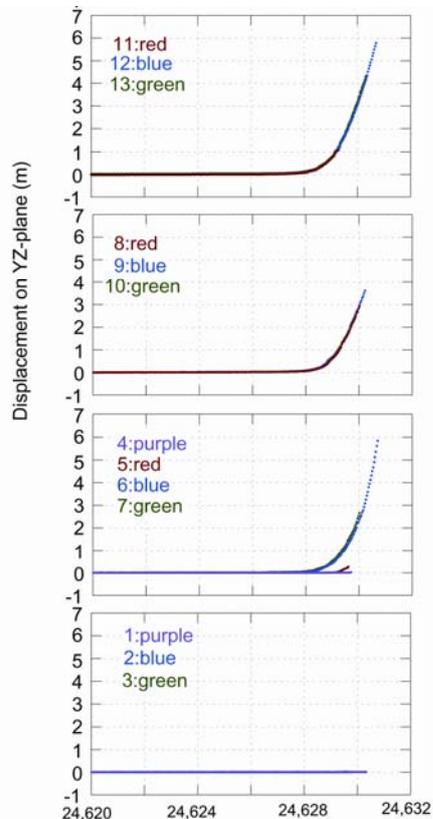


図-8 画像解析による地表各点の変位

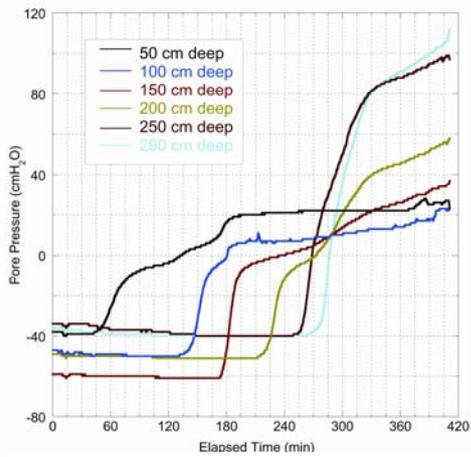


図-9 降雨に伴う深さ毎の土壌水分の変化

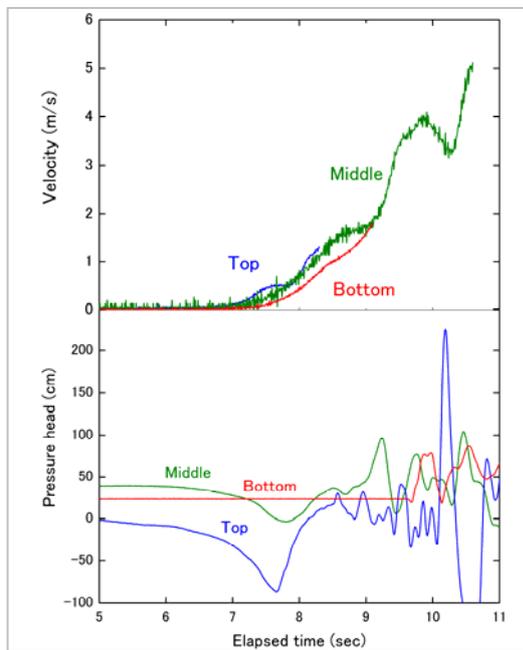


図-10 崩壊土塊の速度変化と間隙水圧変動

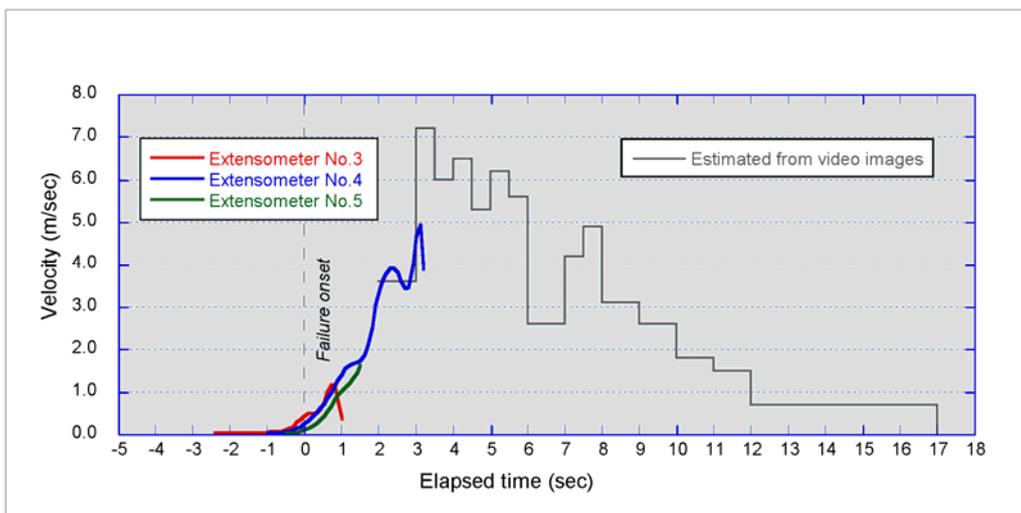


図-11 崩壊土塊先端の流下時の速度変化

参考文献

- 1) 八木則男、矢田部龍一、榎明潔(1985)：降雨時の斜面崩壊予知に関する室内及び現地実験、地すべり、22(2)、1-7.
- 2) 山口伊佐夫、西尾邦彦、川邊洋、芝野博文、飯田千徳(1989)：人工地すべりの発生と流動について—静岡県由比における野外実験から—、森林航測、158、3-9.
- 3) Harp, E.L., Wells II, W.G., and Sarmiento, J.G. (1990)：Pore pressure response during failure in soils, Geological Society of America Bulletin, 102、428-438.
- 4) 日本応用地質学会(1971)：応用地質ニュース：ローマ斜面崩壊実験事故発生までの経過概要、12(4)、213-215
- 5) 岡 寿麿(1972)：「人工地すべり」が起した波紋—大自然の力を見なおそう—、科学朝日、1972年1月号、152-153
- 6) (社)日本地すべり学会(2004)：ニュース：人工降雨による現地崩壊実験成功—茨城県大和村、加波山の自然斜面において—、地すべり、40(5)、88-89.
- 7) Ochiai, H., Y. Okada, G. Furuya, Y. Okura, T. Matsui, T. Sammori, T. Terajima, K. Sassa (2004). A fluidized landslide on a natural slope by artificial rainfall, Landslides、211-219

# アンカー緊張力計測に基づく地すべりの安定性評価手法に関するモデル実験

The model experiment for stability evaluation by the tension measurement of the anchor works

阿部大志\*・武士俊也\*\*・石井靖雄\*・中野亮\*\*\*・浜浦尚生\*\*\*\*

Taishi ABE・Toshiya TAKESHI・Yasuo ISHII・Ryo NAKANO・Hisaki HAMAURA

キーワード：アンカー工, 地すべり対策, 緊張力, 模型実験

Keywords: ground anchor works, landslide countermeasure, tension, model experiment,

## 1. はじめに

地すべりの安定性は変位量などの計測結果に基づき評価されることが多い。一方、グラウンドアンカー工（以下、アンカー）の施工されている斜面では、施工後にアンカー荷重が計測されている場合がある。地すべりが不安定化すると、アンカーに作用する荷重は次第に増加すると考えられる。したがって、地すべり対策として設置されたアンカー荷重計の計測結果と地すべりの変位量との関係を明確することができれば、アンカー荷重計の計測結果を基に地すべりの安定性を評価することも可能になると考えられる。

しかし、実際の地すべりの挙動は複雑であり、さらにアンカー荷重の変動要因も多岐にわたることも予想される。そのため、現地での計測によりアンカー荷重と地すべり変位の関係を明らかにするためには様々な調査と分析が必要になると考えられる。そこで、まずは小規模な盛土斜面に模擬のアンカーを設置し、地すべり挙動と見立てた鉛直および斜め方向の変位を与えたときの斜面の変形とアンカー荷重の関係を把握する基礎実験を行った。

## 2. 実験方法および装置

### 2.1 実験方法の概要

実験方法の概要は次のとおりである。①アンカーを配置した盛土を作成し、②盛土上に載荷装置を設置し、③油圧ジャッキにより盛土に変位を生じさせる。④載荷開始から載荷終了まで盛土法面を観察し、

載荷荷重、アンカー荷重および変位量の計測を行う。⑤除荷後に盛土を掘削してアンカーや盛土の変形を観察する。

実験で用いた盛土の寸法は、1段の法面高の10分の1スケールを目安として構築し、高さ70cm、のり勾配1割とした。

実際の現場では地すべりの発生により、地盤のはらみ出しや沈下が見られる。そのため、載荷は鉛直と斜めの2方向から行うこととした（図-1）。盛土へ与える変位は、剛性フレームである土槽コンクリート壁面またはH形鋼と盛土に設置された載荷板の間に配置された油圧ジャッキの伸びにより与えられる。アンカーは、実験時に測定しやすい盛土前面の中央部に配置し、設置角度は45°とした。

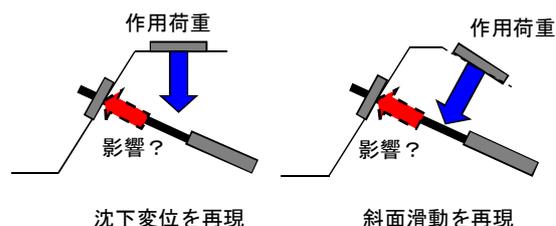


図-1 実験のイメージ

### 2.2 実験装置

#### (1) 載荷装置

図-2は、鉛直方向から油圧ジャッキによって盛土の天端に載荷する実験装置および盛土形状である。実験における載荷装置は、盛土の上方に設けたH形鋼に鋼材や石材による重量を増して反力を得るもので、H形鋼と盛土の間に油圧ジャッキと載荷板を設置して、油圧ジャッキを制御することにより盛土に強制的に変位を与える。

\*独立行政法人土木研究所 (Public Works Research Institute)  
\*\*国土交通省 (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism)  
\*\*\*日特建設株式会社 (Nittoc Construction co., ltd)  
\*\*\*\*ライト工業株式会社 (Raito Kogyo co., ltd)

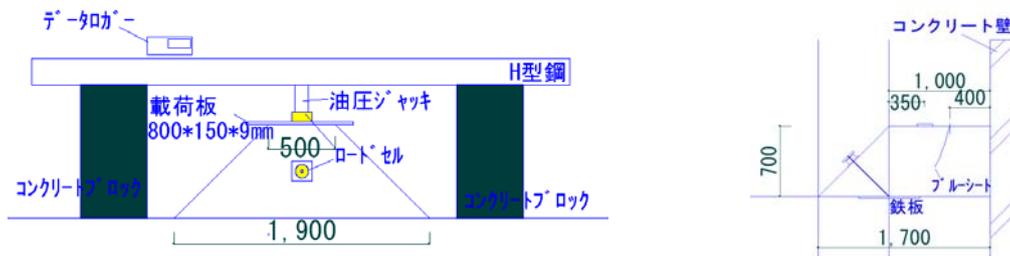


図-2 鉛直載荷実験装置

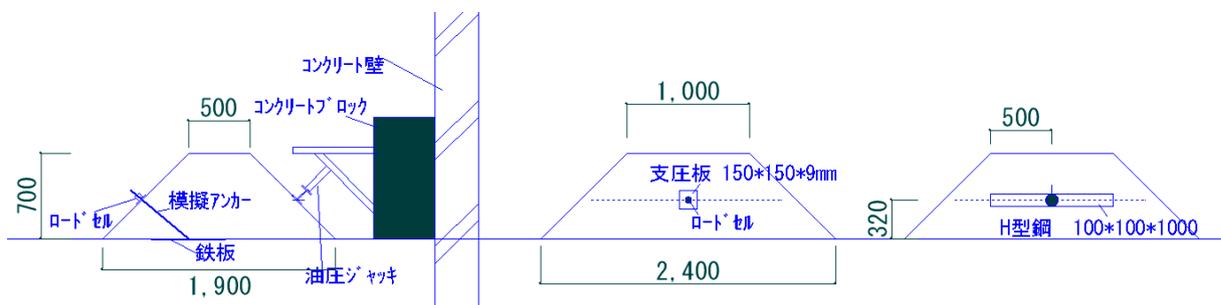


図-3 斜め載荷実験装置

この載荷装置を用いた実験を「鉛直載荷実験」と呼ぶ。一方、図-3は盛土とその背面に反力となるコンクリート壁の間に油圧ジャッキと載荷板を設置した載荷装置である。変位は、鉛直載荷実験と同様に油圧ジャッキを制御することにより与えられる。これを「斜め載荷実験」と呼ぶ。

## (2)変位およびアンカー荷重計測

実験で用いたアンカーは、盛土中央に受圧板として鉄板、アンカーテンドンを模したワイヤー、アンカー荷重計として中空型のロードセル、盛土底面にはアンカー定着部として敷鉄板にワイヤーを固定する配置とした。ワイヤーには直径 $\phi$ 2.5~2.6mm(針金番線12)の材料を用いた。計測は、①油圧ジャッキによる作用荷重、②アンカー荷重計、③法面変位である。①および②の計測はデータロガーによりリアルタイムで行い、③の計測は、実験の際に盛土表面に亀裂が生じることがあることから非接触で測距できるセオドライトを用いて計測した。

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 載荷荷重および模擬アンカーの荷重と法面変形

#### (1) 鉛直載荷実験

写真-1は実験状況であり、A~Lの順で実験の過程を示したものである。まず、模擬アンカーの定着部を土層底面に固定し、その上に写真-1のAからCの作業を繰り返して、山砂を締め固め度85%になるように盛土した。写真-1のDおよびEは、盛土を整形し、盛土表面に突き出した模擬アンカーに中空型のロードセルと支圧板を設置した状況である。このときに盛土法面には変位測定の標点と盛土に棒状の色砂を挿入した。写真-1のFは実験に用いたワイヤーを示したものである。実験のための計測準備が整った後に載荷を開始し、載荷荷重とロードセルの荷重値と法面の変位を計測した。

写真-1のG~Iは、載荷開始から載荷終了後の法面の状況である。写真-1のJ~Lは、載荷終了後に荷重計を取り除き盛土を掘削して、盛土に挿入した色砂の状況を示している。



写真-1 鉛直載荷実験の状況

図-4 は、この実験経過時間内の載荷荷重とアンカー荷重および法面の変位のグラフである。また、図-4 の右側は盛土の変位を計測するための標点の位置を示したものである。なお、図-4 の法面の変位は変位の最も大きかった標点 9 の値である。図-4 中の丸番号は次に示される目視観察で確認された状況や載荷荷重の状況である。①初期張力 13kgf。②反力調整作業のため一時除荷。③1,300kgf 辺りから目視でひび割れが確認される（写真-1,H~J）。④荷重の保持が困難になる。⑤除荷後の残留張力は 24kgf 程度である。

なお、今回実験の載荷限界は装置の剛性フレームの規模から 2 t 以下であった。この実験の載荷過程における載荷の所要時間は約 4 時間であった。

図-4 の載荷開始から②付近までは、載荷荷重を増加させてもアンカー荷重計の値は増加することはなかった。この理由としては、盛土の変形もありアンカー付近や盛土法面まで変形が達していなかったことが考えられる。法面の変位については実験終了で約 20mm であり、②以降から④までの載荷のピークまではアンカーの荷重と比較的調和している。

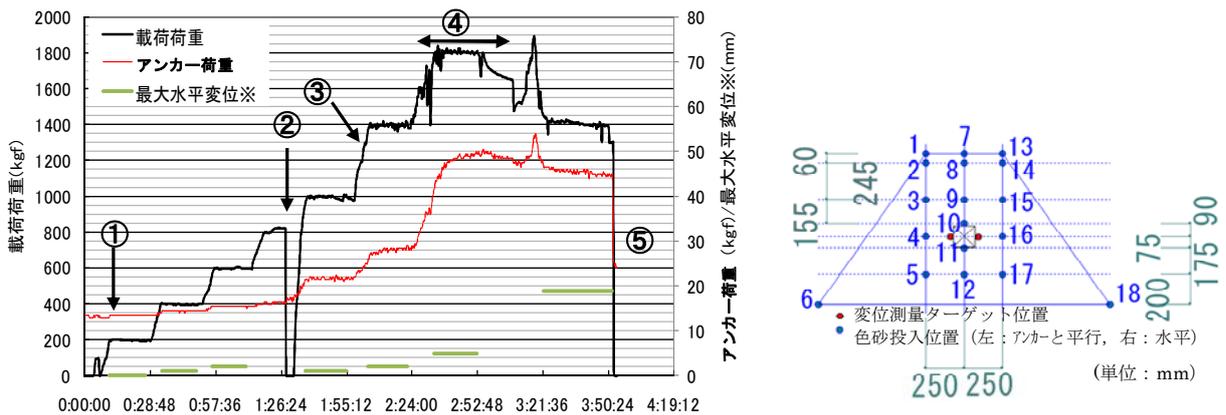


図-4 載荷荷重と模擬アンカー荷重および水平変位の関係

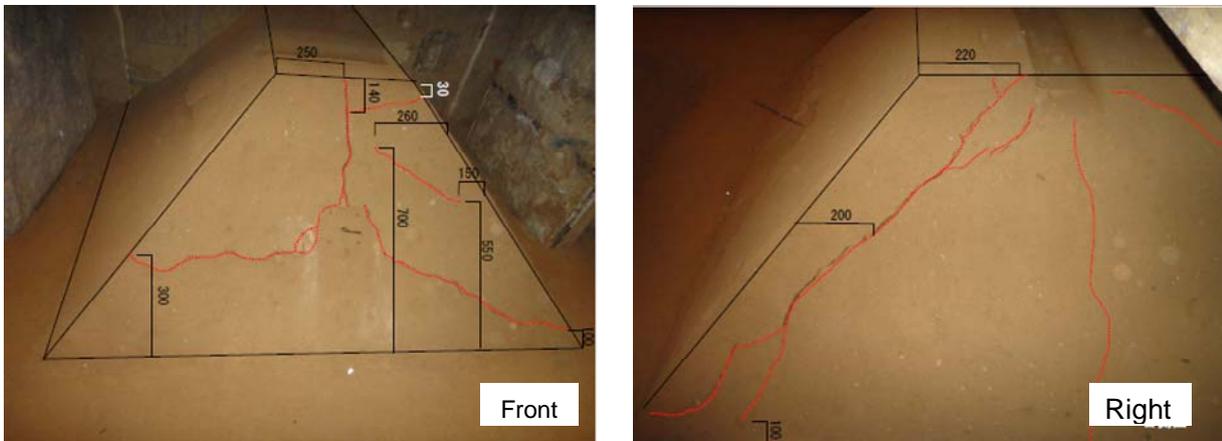


図-5 鉛直載荷実験での盛土表面の亀裂

しかし、その後は除荷を行ってもその変位は減少しなかった。本実験では、アンカーは盛土に対して単独に設置されているため、③以降の変形では、図-5に示すように盛土正面のアンカーの上方中央に亀裂の発生が認められ、その後に主に模擬アンカーよりも上部の法面が変位し、アンカーの高さ付近の盛土表面に亀裂が発生し拡大した。

盛土の変位は正面でなく側方にも生じたと考えられ、これらが除荷後のアンカー荷重や変形に影響すると考えられる。②から④で初期緊張力の2倍程度を超過したあたりから法面は顕著に変形し始め、アンカー荷重も増加する関係が見られた。

完全に除荷した後に事前に挿入していた色砂の変位を確認するため盛土を掘削し、斜め方向に挿入した色砂角度(写真-1,K)と水平方向に挿入した色砂

の角度(写真-1,L)を測定した。載荷前に斜め方向に挿入した色砂の方向はアンカーと平行であったが、盛土内の変位量はその深度によって値はわずかであるが、定着部に近い位置から地表に近づくにつれて低い値を示した。また、盛土の側面に向かって正面から20cm盛土側の位置に法面勾配とほぼ平行に亀裂が生じた。この亀裂は②の段階付近から生じていた。

## (2) 斜め載荷実験

写真-2は斜め載荷実験の状況である。実験における載荷荷重とアンカー荷重および法面の変位は図-6に示すとおりである。なお、法面の変位は変位の大きかった標点5(図-6右)を代表点としてグラフに示した。

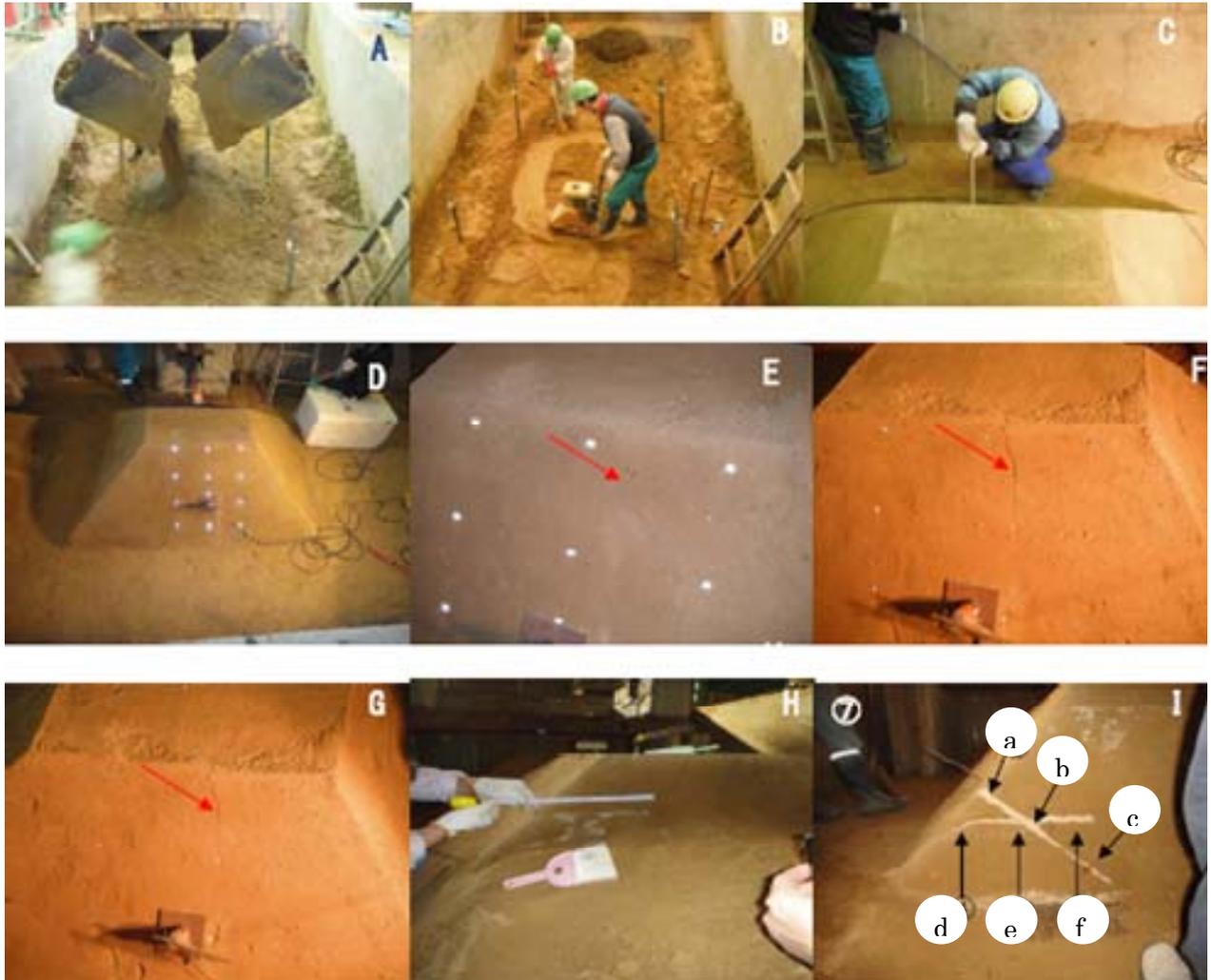


写真-2 斜め載荷実験の状況

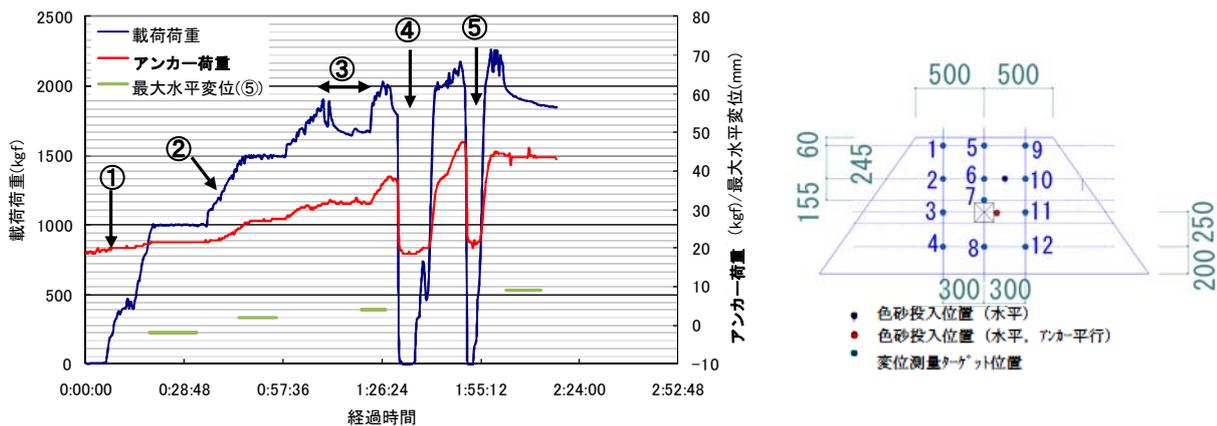


図-6 斜め載荷における載荷荷重とアンカー荷重と水平変位

グラフ中の①から⑤は実験状況および目視観察で確認された法面状況を整理したものである。これらは次のとおりである。

①初期張力 18kgf。②1150kgf 辺りから目視でひび割れが確認された (写真-2,E~G)。③剛性フレームで

あるH形鋼の浮きあがりにより、載荷荷重の保持が困難になった。④および⑤載荷荷重の反力追加作業のため一時除荷した。なお、この実験の所要時間は約3時間であった。

実験終了後の法面の変位は(1)に比べると小さく

10mm 程度である。ここで興味深いのは④および⑤の除荷過程において、アンカー荷重も除荷に関係して一旦初期状態になる点である。②付近から巨視的な亀裂が法面に確認され変位も増加しているが、(1)の実験と異なり、斜め方向から変位を与えられた場合には、盛土自体の圧縮が少ないことにより、アンカー荷重の増減が起こる可能性があると考えられる。②を除いては斜め方向からの载荷に対してはこのように载荷荷重と変位とアンカー荷重計の値の変化は比較的調和的であり、特にアンカー荷重計は载荷荷重に対して敏感に反応している。

#### 4. 結論

アンカー荷重の計測結果から地すべりの安定性を検討するため、模擬アンカーを配置した盛土を造成し、鉛直方向と斜め方向の载荷装置を構築し基礎実験を行った。本実験の結果から以下のことが明らかになった。

①载荷初期の段階では、荷重は増加しない。ただし、鉛直载荷および斜め载荷実験では、荷重と変位の関係は調和的である。

②斜め载荷実験の方が、与えた荷重に対して変位量は少ない。

現時点では、実験は基礎段階であり、アンカー荷重計と変位の関係から地すべりの安定を明らかにするところまでには至っていないが、今後の課題としては、次の2つがあげられる。①模擬アンカーが単独であったことと盛土幅が少なく、側方に変位が分散した可能性があるため盛土幅を延伸するか模擬アンカーを増やす検討が考えられる。②変位測定のインターバルを短くし、模擬アンカー荷重および载荷荷重と変位の関係を整理することで盛土法面の変位とアンカー荷重の関係をより明らかにすることができる可能性がある。

謝辞 土木研究所つくば中央研究所技術推進本部施工技術チームの土工実験棟の設備を用いてこれらの実験を行うことができました。ここに記して謝意を表します。

#### 文 献

- 1) (独)土木研究所・(社)日本アンカー協会(2008):グラウンドアンカー維持管理マニュアル.
- 2) Taishi ABE, Toshiya TAKESHI, Ryou NAKANO, Hisaki HAMAURA(2011):Report of Experiment of loading to ground anchor constructed slope model, The 4th Japan-Korea joint symposium for landslide disaster mitigation 2011,pp.130-135.
- 3) 中野亮・阿部大志・石田孝司・武士俊也・藤澤和範・柴崎宜之(2012): 平面的な荷重分布を考慮したアンカーの機能評価に関する検討, 第51回日本地すべり学会研究発表会講演集, (社)日本地すべり学会,Vol.51,pp.43-44.
- 4) 野田稔久・中野亮・別府正顕・濱浦尚生・武士俊也・阿部大志: グラウンドアンカーの荷重計による斜面診断技術(2012): A technology of slope stability evaluation with using of load cell, 2012 Korea-Japan Joint Symposium on Slope Stability, 韓国地盤防災研究団、土木研究所, pp.102-107.

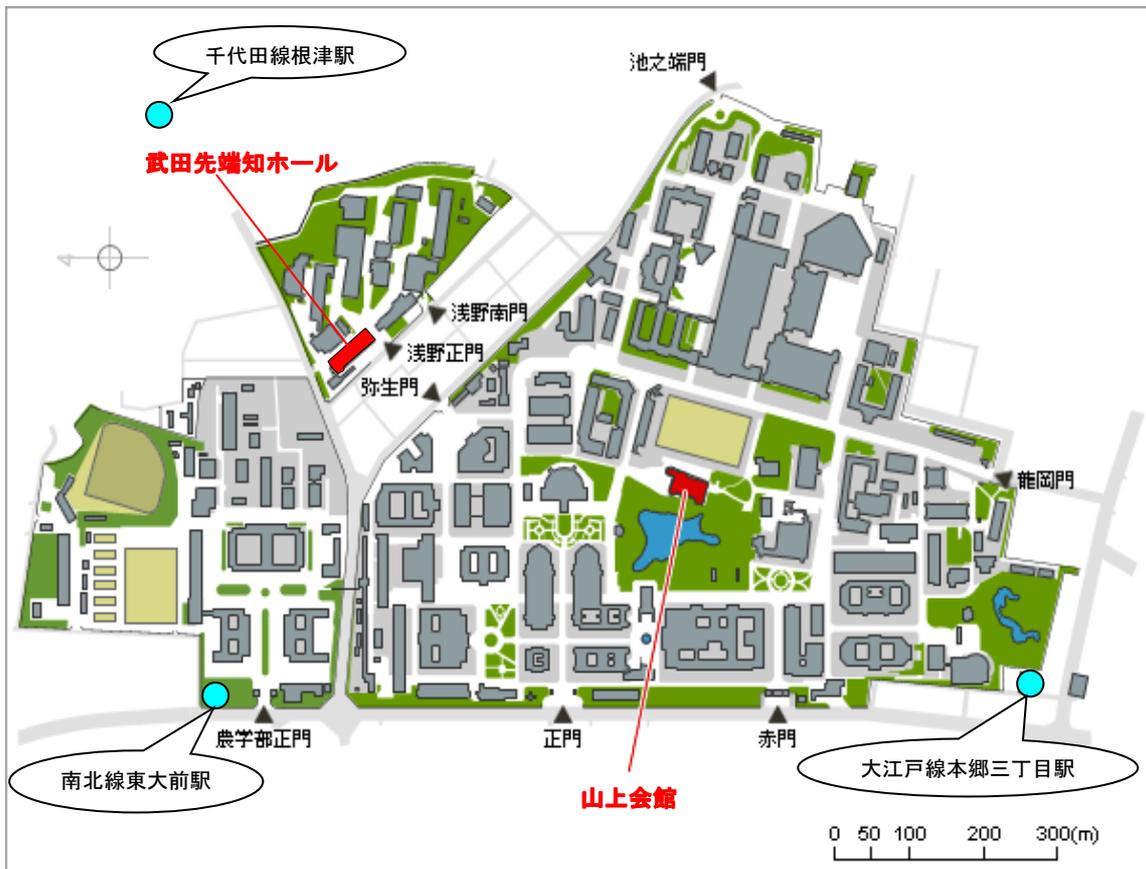


平成 25 年度 公益社団法人日本地すべり学会関東支部 総会・シンポジウム・意見交換会  
平成 25 年 5 月 10 日 東京大学（東京都文京区）

### スケジュール

13 時 00 分～14 時 00 分	総 会（武田先端知ホール）
14 時 00 分～17 時 00 分	シンポジウム（武田先端知ホール） *一般に公開
17 時 30 分～19 時 30 分	意見交換会（山上会館）

### 会場案内図



平成 25 年度 公益社団法人日本地すべり学会関東支部 シンポジウム  
- 斜面災害とモデル実験 -

平成 25 年 5 月 10 日発行

発行者：公益社団法人日本地すべり学会関東支部（支部長：落合博貴）

〒105 -0004 東京都港区新橋 5-26 -8 新橋加藤ビル

公益社団法人日本地すべり学会事務局内

TEL：03 - 3432 - 1878 FAX：03 - 5408 - 5250





Kanto branch

平成 25 年度 公益社団法人日本地すべり学会関東支部シンポジウム

－ 斜面災害とモデル実験 －

平成 25 年 5 月 10 日 公益社団法人日本地すべり学会関東支部発行