

# 急勾配斜面の不飽和条件下での変形に関する検討

建設省土木研究所 ○海老原和重

笹原 克夫

綱木 亮介

## 1. はじめに

現在、さまざまな斜面崩壊発生予測手法が検討されているが、剛塑性的に斜面の崩壊のみを扱うものがほとんどで、崩壊前の斜面の変形の予測が不可能で、斜面の変形による崩壊発生予測手法や崩壊土塊の流動化などといった問題を取り扱うことができない。また地下水位上昇にともなう有効応力減少による崩壊発生機構は明らかにされているが、不飽和状態での斜面崩壊の発生機構は明きらかではない。そこで筆者らは急勾配模型斜面の不飽和状態における水分量上昇による土の変形に着目し、急勾配模型斜面の崩壊実験を実施した。

## 2. 実験装置及び実験方法

実験装置は図-1に示すように模型斜面、降雨装置及び計測器よりなり、模型斜面は鋼製の箱状で側壁は強化ガラスになっており側方より観察ができるものである。模型斜面は斜面勾配が0~45°の範囲で可変可能で、模型斜面の上部には0~120mm/hの降雨を再現可能な降雨装置を有している。実験斜面の形成は厚さ10cm毎にしきならし、人力締固めを行った。締固め後任意の点でサンプリングを行い単位体積重量を測定し、均一斜面であることを確認した。実験は降雨強度120mm/h、地表面の傾斜が40°の条件で行った。実験に使用した試料土は表-1に示す物性をもつ砂質土である。

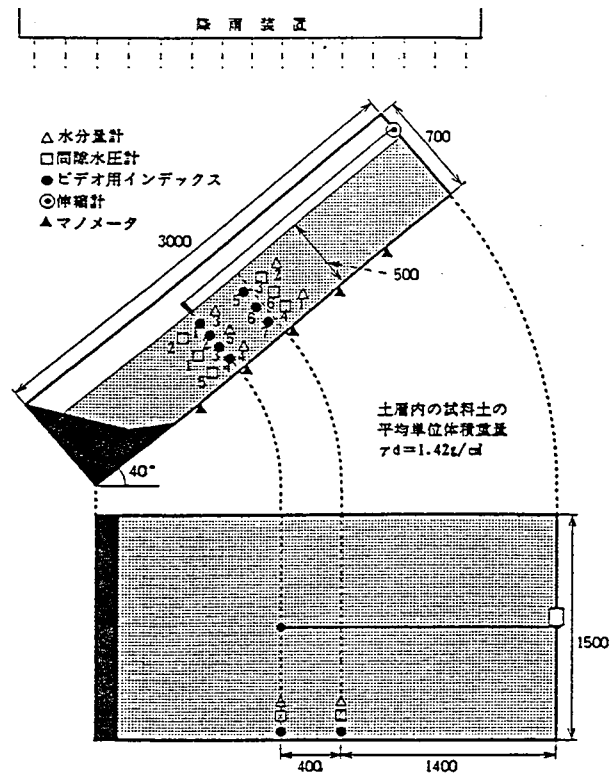


図-1 実験装置

## 3. 実験結果

### 3.1. 計測結果

計測された結果を図-2に示す。グラフ内の番号は図-1に示した各計測器の番号である。水分量計の示す値は体積含水率を示して

表-1 土質試験結果

土粒子の比重G	2.702	30%粒径(mm)	0.33
間隙比e	0.673	10%粒径(mm)	0.17
最大粒径(mm)	9.5	均等係数Uc	3.41
60%粒径(mm)	0.58	曲率係数Uc'	0.6

おり、図から土層内の体積含水率は表層から増えはじめ中層、低層へと移っている。また、どの層でも約20%のところまで一定になっている。そして地下水位が発生し始めた30~40分にかけて低層に設置してある水分量計がまた増えはじめ、約30%で一定になり崩壊まで一定であった。地表面変位は57分頃から変位がみられはじめ、61分に崩壊に至った。この間約4分と非常に短い時間で崩壊した。

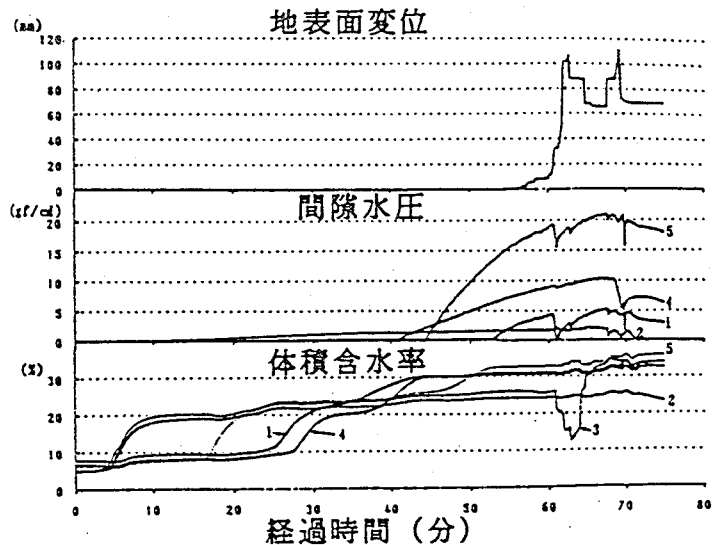


図-2 各計測器による測定結果

### 3. 2. 土中水分変化と土の移動量

図-3はL=1800mm付近の土中体積含水率等曲線とビデオ用インデックスの移動量を示した図である。ビデオ用インデックスの移動量は側方からビデオ撮影したもののから読み取ったものである。このビデオ用インデックスの移動量が土中の移動量と等しいと仮定する。インデックスは45~50分の間にインデックス1および2から変位し始めた。この図から上部の方、つまり地表面に近い方が変位が発生するのが早く、また変位量も大きいことがわかる。ただし今回の実験で地表面での変位の発生が遅くなった理由は不明である。

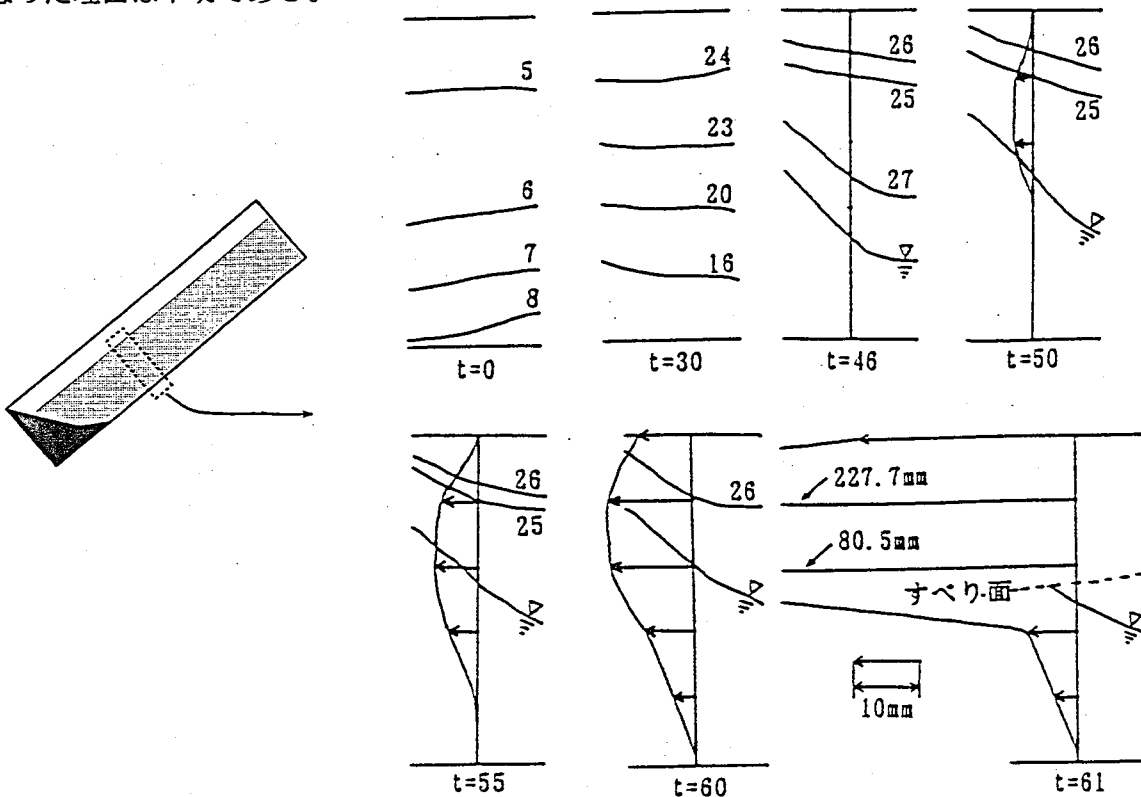


図-3 土中体積含水率等曲線及び土中変位量

図-4はビデオ用インデックス変位量とインデックス付近の飽和度、地下水位の関係を表した図である。ここでの飽和度は、計測結果の水分量が体積含水率を表しているのをこれを換算したものである。この図からは地表面から深いほどインデックスの変位が発生するときの飽和度が高いことがわかる。また表層付近のインデックス1及び2の変位発生時の地下水位が低く、深いインデックスほど変位発生時の地下水位が高い傾向にある。

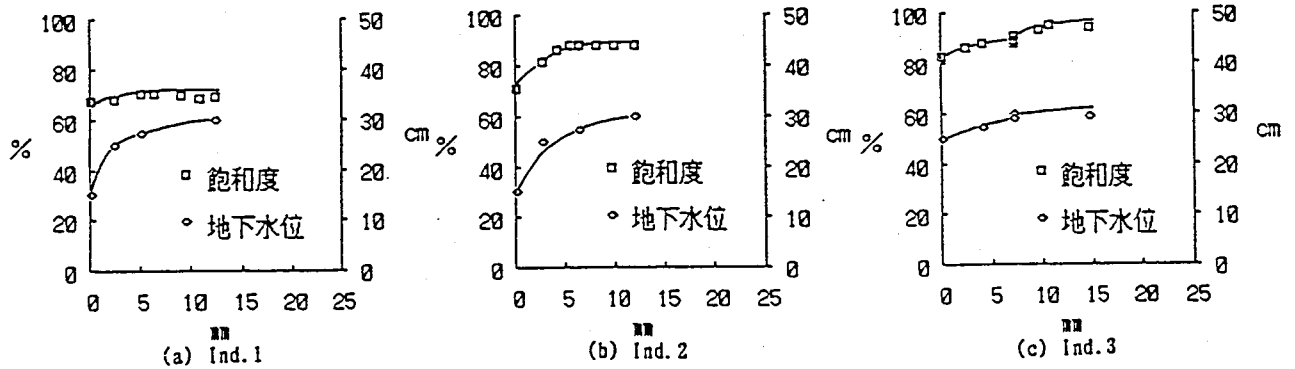


図-4 インデックス変位量と飽和度、地下水位の関係

#### 4. 考察

土の応力-ひずみ関係は

$$\gamma = f'(\sigma_{ij}, S, \dots) \times Z$$

( $\gamma$ :せん断ひずみ、 $\sigma_{ij}$ :応力テンソル、 $S$ :飽和度

$Z = \tau / \sigma_n$  で  $\tau$ :せん断応力、 $\sigma_n$ :垂直応力)

とモデル化できると考えられる<sup>1)</sup>。この式のアナロジーとして斜面崩壊発生前の土層の変形について考える。

まず、基本的に表面ほど早くひずみの発生がみられたことと表面ほどひずみが大きいことより、せん断変形は含水率増加による上載荷重の増加によるものではないことがわかる。何故なら上載荷重の増加量は深い所ほどその深さまでの積分値となり大きいので、深い所ほどひずみが大きくなるはずである。よってこの変形は水分量の上昇による土の変形特性の変化によるものと考えられる。本実験で発生した斜面崩壊においては、図-5のように考えると、 $Z = \tau / \sigma_n \cong \tan \theta$  ( $\theta$ :斜面勾配)が一定と近似できるので  $f'(S)$  の変化による  $S - \gamma$  関係 (例えば図-6のような関係) が重要となる。

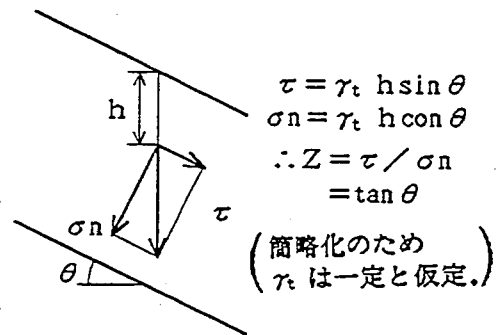


図-5 斜面内の応力図

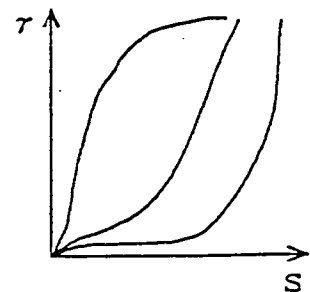


図-6 S -  $\gamma$  関係の概念図

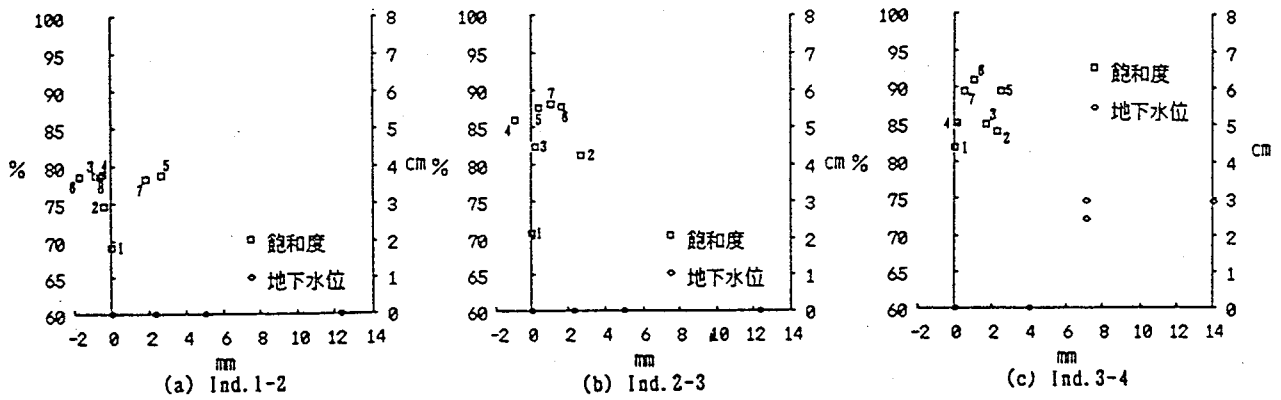


図-7 インデックス間変位量と飽和度、地下水位の関係

図-7はインデックス間のせん断変位量と飽和度、地下水位の関係を表したグラフである。ここでの地下水位はインデックス間に発生した地下水位である。またグラフ内の番号はその番号順に変位が進行していったことを示すものである。このグラフからInd. 1-2やInd. 3-4等の斜面内中層まではインデックス間に地下水位が到達していなくてもせん断変位が発生していることがわかる。ただし、斜面底層付近のInd. 3-4では地下水位の発生と共にせん断変位が発生した。次に、飽和度が大きくなるにつれてせん断変位も大きくなっている（例えば図-8のような関係）と言える。そして地表面から深いほどせん断変位発生時の飽和度が高いこともわかる。地表面から深いところというのは $\sigma_v$ が大きい。つまり $\sigma$  ( $=\sigma_v$ ) が大きいと変位が発生するときの飽和度が高い（例えば図-9のような関係）ということが言える。このことから $\sigma$ が大きいと、飽和度が小さいときではせん断変位の進行はわずかであり、飽和度が大きくなるとせん断変位の進行が急激になると言える。

今後、不飽和土の飽和度の変化に対する土の変形特性を明らかにするために、低応力条件下における不飽和砂質土の単純せん断試験等を行っていくつもりである。

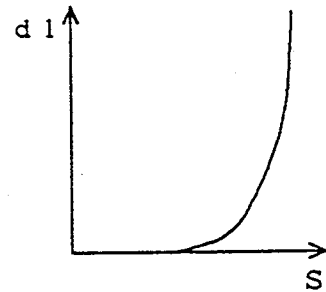


図-8 S-d関係の概念図

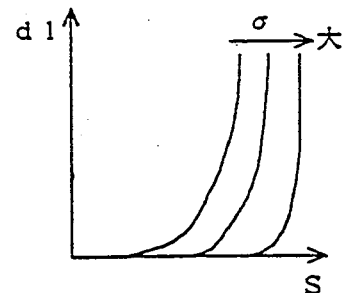


図-9  $\sigma$ →大のときの S-d関係の概念図

#### 参考文献

- 1) 村山朔郎：弾塑性状態下の応力-ひずみ関係，土の力学挙動の理論，pp159~222，1990