

三重大学生物資源学部 ○近藤觀慈, 今田匡祐  
林 拙郎, 沼本晋也

## 1. はじめに

極限平衡法に基づく各種斜面安定解析法の主な相違点は移動土塊の内力の評価法にあるが、実験等から内力の発生状況を把握したという報告は見受けられない。本稿では、すべり面(以下、底面という)の垂直力の測定(林ら, 2001)と同時に、せん断力の測定が可能な装置を開発し、これまで把握が困難であった内力発生状況をモデル斜面を用いて確認したので報告する。

## 2. 底面の垂直力とせん断力による内力の決定法

移動土塊内に生ずる任意の点の内力は作用・反作用の関係にあるため、内力自信は、力学的なつり合いが確保されている。鉛直分割法に基づく斜面安定解析の精度向上のためには、各スライスの力学的つり合い計算に、内力の作用を考慮する必要があるが、移動土塊全体を一つの系と考えると、内力を無視しても、土塊自重や斜面に作用する外力の総和は、底面における垂直力とせん断力の総和と力のつり合いを確保している。図-1は上部に荷重をもつ斜面を示している。この図の右に示す連力図において、スライス重量 $\Sigma W_i$ と外力 $P$ の合力と、底面せん断抵抗力 $\Sigma S_i$ と底面垂直力 $\Sigma N_i$ の合力とは力のつり合いが確保されている。ここに、 $\Sigma$ は $i=1 \sim n$ の合力を示す。一方、各スライスにおいては、例えばSlice-3では、 $W_3$ と $Z_{32}$ の逆向きの力、 $S_3$ ,  $N_3$ ,  $Z_{43}$ で力のつり合いを保っている。Slice-1において、 $S_1$ ,  $N_1$ の測定が可能であれば、 $W_1$ は既知であるので、 $Z_{21}$ が算定可能である。次に、Slice-2において、算定した $Z_{21}$ と既知である $W_2$ 、そして $S_2$ ,  $N_2$ の測定値から、 $Z_{32}$ が算定可能である。このように底

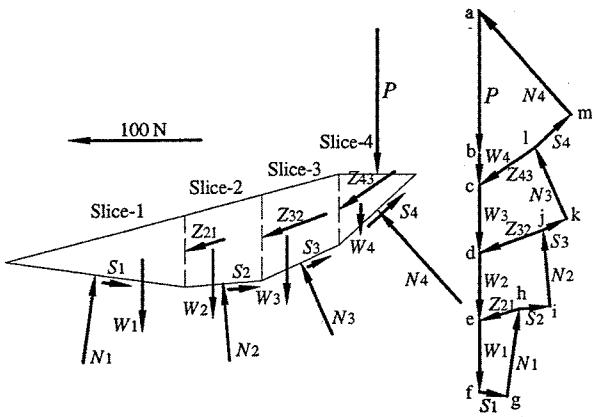


図-1 斜面に作用する力と連力図 (Model-1)

面の垂直力とせん断力の測定が可能になれば、実際に土塊内に発生している内力を順次求めることが可能となる。実験精度は、 $\Sigma W_i$ と $P$ の合力と、 $\Sigma S_i$ と $\Sigma N_i$ の合力との差によって確認できる。

## 3. 底面垂直力・せん断力の測定装置

底面垂直力・せん断力の測定装置は、図-2に示すように、斜面を4つのスライスに分割し、各スライス底面に垂直力測定センサー(以下、垂直力センサーという)を4つ、せん断力測定センサー(以下、せん断力センサーという)を1つ設置したものである。

センサーには、直径12mm、最大厚さ4mmの小型ロードセル(共和電業:LM-5KA)を用いる。移動土塊から伝達される底面に対する垂直力は、図-3に示すように、木製斜面基盤(以下、基盤という)の上面と各スライスの土塊を底面で支える厚さ12mmの木製底面プレート(以下、プレートという)との間に設置された

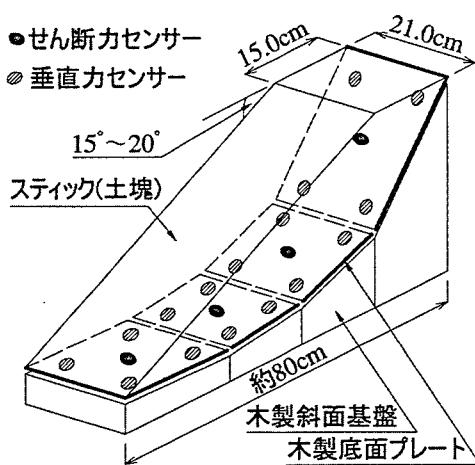


図-2 測定装置概略図

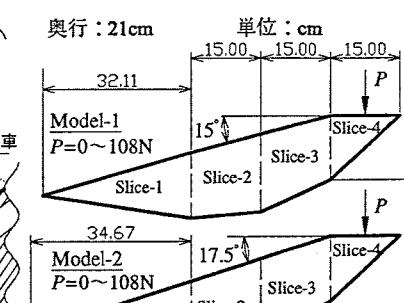
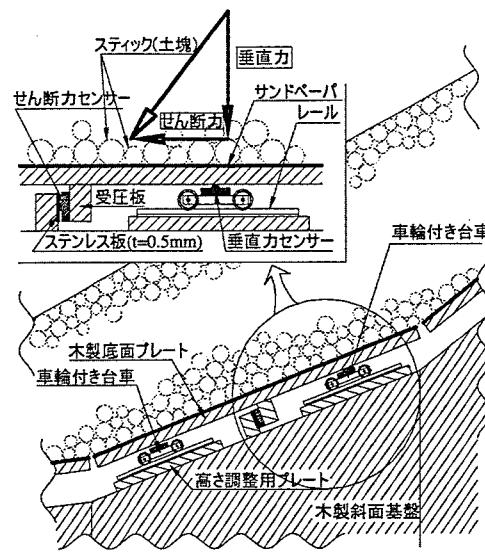


図-4 実験モデル

図-3 測定装置詳細図

垂直力センサーによって測定され、せん断力(プレートに平行方向の力)は、基盤の上面とプレート下面とに垂直に立てられた2つの受圧板の間に設置された1つのセンサーによって測定される。プレートに作用する力を垂直力とせん断力に分解するため、垂直力センサーは車輪付き台車の上に置かれ、台車の下にレールが敷設されている。せん断力センサーの受圧板の面(以下、受圧面という)には、受圧面に平行方向のせん断力を極力小さくするためのステンレス板( $t=0.5\text{mm}$ )が貼られている。

#### 4. 実験方法

##### 4.1 モデル斜面

実験に用いるモデルは、図-4に示すような傾斜角 $15^\circ$ ,  $17.5^\circ$ 、斜面長約80cm、幅21.0cmで、斜面上部に長さ15cmの載荷のための平坦部をもつ2つの斜面である。モデルの名称、スライス名は図に示されている。各モデルに対して、上部平坦部に段階的に載荷しながら、各段階で総計20個のセンサー(垂直力センサー16個、せん断力センサー4個)の測定を行う。

##### 4.2 土塊材料等

すべり土塊には、モデル斜面の性質を二次元粒状体として表現するため、円形断面をもつスティック状の材料を用いる。スティックは、ポリプロピレン製の直径4.5mmと6mm、長さ210mmの形状をもつ。この2種類のスティックを約3:2の本数割合で混合し、すべり面上に均質に積み上げて斜面に成形する。各スライスと土塊の接触面にはサンドペーパ(#400)が貼られている。スティック集合体の物性値は、単位体積重量がそれぞれ $11.2$ ,  $11.1\text{kN/m}^3$ (スティック積み上げ時に若干の変動が生ずる)、スティックとサンドペーパとの内部摩擦角 $28.1^\circ$ 、粘着力 $24.4\text{Pa}$ 、スティックとスティックとの内部摩擦角 $29.2^\circ$ 、粘着力 $82.6\text{Pa}$ である。

各モデルにおける平坦部最大荷重 $P$ と総土塊重量 $\Sigma W_i$ を表-1に示す。

土塊材料に使用した  
スティックの総重量  
は実験後に斜面から  
取り除いて、別途測  
定した値である。

表-1 載荷荷重条件(単位:N)

	平坦部最大荷重 $P$	総土塊重量 $\Sigma W_i$
Model-1	107.8	179.0
Model-2	107.8	180.0

#### 5. 実験結果

実験結果のうち、平坦部最大荷重 $P$ が作用するものを示す。

##### 5.1 実験精度と測定結果

実験の精度は、図-1に示す連力図において、載荷荷重の合力( $a-b-c-d-e-f$ ;  $[P + \Sigma W_i]$ )と実測した垂直力とせん断力の合力( $f-g-h-i-j-k-l-m-a$ ;  $[\Sigma S_i + \Sigma N_i]$ )との差を総載荷荷重 $[P + \Sigma W_i]$ で除して求める。また、精度

算定に用いるせん断力と垂直力は、別途実験で定めたセンサーとステンレスとのせん断摩擦力( $0.113 \cdot S + 0.55\text{N}$ )と車輪付き台車とレールの摩擦力( $0.011 \cdot N$ )を用いて補正されている。

表-2 実験精度

	精度
Model-1	2.9%
Model-2	1.6%

##### Model-1における垂直力とせん断力の発生状況を図-1に示している。

また、各Modelにおける測定結果(誤差調整後)を図-5に示す。

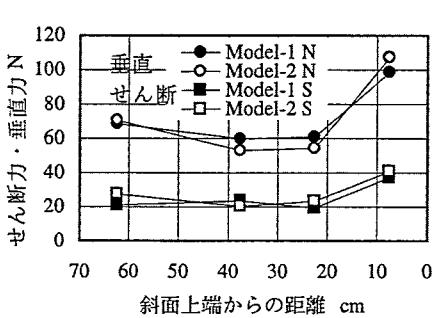


図-5 測定結果(せん断力・垂直力)

##### 5.2 内力の算定

2において示した内力の求め方により、各内力の大きさと作用角が求められる。総載荷荷重に対する垂直力とせん断力の合力との誤差は、垂直力とせん断力の水平方向と鉛直方向の総計に対して、比例配分されている。各Modelに生じた内力の大きさと作用角の状況を図-6に示す。斜面に外力のない場合、一般に内力は斜面の両端で小さな値を示し、中央部で大きな値を示すが、図に示すように、各モデルとも上部平坦部に作用荷重があるため、Slice-3とSlice-4の間(斜面上端からの距離15cm)の内力が、他の内力の作用角より急であり、値も比較的大きいことがわかる。斜面勾配の小さいModel-1における内力の作用角は変化が大きい。

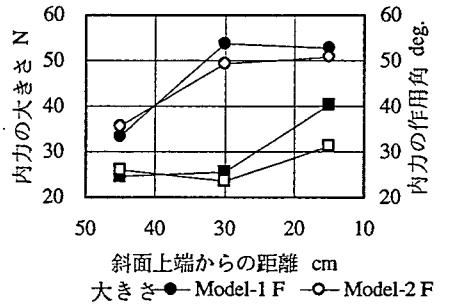


図-6 実測から求めた内力の状況

##### 6. おわりに

本実験装置により、斜面内の力学的なメカニズムを明確に把握することができた。本装置の考え方は、擁壁工、アンカーワークなどの他の斜面安定対策が設置された斜面における力学的メカニズム把握に利用できる。

##### 引用文献

林 挙郎, 近藤觀慈, 湯浅哲也, 川邊 洋(2001), 斜面のすべり面垂直力の測定と斜面安定解析法, 砂防学会誌(新砂防), Vol.54, No.1, p.66-71.