

九州大学工学部 正員 内田 一郎  
 九州大学大学院 〇学生員 平田登基男  
 九州大学土木工学科 長谷場良二  
 九州大学土木工学科 峰岡 完治

## I. はじめに

盛土斜面の模型実験を重ねるなかで、盛土上面の法肩近傍に載荷した際に生じるすべり破壊面がMeyerhof等の示しているようにはならない場合があることが観察された。Meyerhof等は法肩に遠い方の載荷板下端直下からすべり線が発生して斜面破壊が生じるとしており、それから支持力図表を提案しているが、むしろ法肩に近い方の載荷板端よりすべり破壊が生じ、そのほうが支持力に対して支配的ではないのか、少なくともある法勾配の範囲では正しいと思い、再度すべり破壊機構を考え直す必要があると考えた。破壊機構に最も影響を与えると考えられる法勾配、載荷位置を変化させて実験を行なった。ここにその結果の一部を報告するものである。

## II. 実験装置および用いた試料の性質

実験槽は長さ×幅×高さが235×104×100 (cm) のコンクリート槽である。壁の厚さは15 cm だ。一側面は15 mm の強化ガラスを有している。載荷装置は油圧ポンプにて発生した圧力を、図-1に示した載荷板を介して盛土供試体に伝えるものである。なお図-1に示した載荷板はガラス面、およびコンクリート壁面と土との摩擦による影響を除去するために筆者等が、工夫したものである。実験に用いた試料はマサ土で、その物理的性質および力学的性質は表-1に示す。

| 試料産地                   |                             | 含水率<br>% (液性指数) |
|------------------------|-----------------------------|-----------------|
| 比 重                    |                             | 2.69            |
| 粒 度<br>(%)             | レキ                          | 12.2            |
|                        | 石少                          | 64.6            |
|                        | シルト                         | 17.7            |
|                        | 粘土                          | 5.5             |
| コン<br>シ<br>テ<br>ン<br>シ | LL (%)                      | 39              |
|                        | PL (%)                      | 31              |
|                        | PI                          | 8               |
| 三角座標による分類              |                             | 砂質ロム            |
| 統一分類法による分類             |                             | SM              |
| 締<br>固<br>度<br>係<br>数  | 最適含水比 (%)                   | 16.0            |
|                        | 最大乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.74            |

## III. 試験方法

供試体形状は高さ $h=60$  cm, 幅 $b=101$  cm で全部同じであるが、法勾配 $\alpha$ を $90^\circ \sim 30^\circ$  まで $15^\circ$  ずつ変え、載荷位置 $d$ も法肩に接した $d=0$  cm から $d=10, 20$  cm まで変化させて実験を行なった。供試体の作成方法は前にも報告したので詳細は省くが、単位体積重量当りに要する締固めエネルギーが一定になるようにした。供試体形状寸法を表-2に示す。載荷方法は荷重制御法によった。一度に上げる荷重は予想される破壊荷重の $1/6 \sim 1/10$  の値とした。測定項目は地表面変位量、盛土底面における土圧などである。地表面変位量は $1/100$  mm まで読取り可能なダイヤルゲージで読み、盛土底面には、容量 $2 \text{ kg/cm}^2$  のひずみゲージ $917^\circ$  の土圧計をセットし、垂直土圧を各荷重段階ごとに測定した。またワイヤストレーンゲージを土中に埋設して、土中のヒズミを測定することを試みた。ガラス面からの土粒子の動きも詳しく観察した。

## IV. 結果および考察

実験結果の一部を表-3, 4, 図-5, 6に示す。表-3には供試体の上部, 中部, 下部より採取した試料の単位体積重量, 含水比を求めたものである。供試体の調整の程度がわかる。含水比は最適含水比 $\omega_{opt}=16\%$  よりわずかに少ない。乾燥密度 $\gamma_d$ は最大乾燥密度 $\gamma_{dmax}$ の85%である。 $(\gamma_d \approx 0.85 \cdot \gamma_{dmax})$

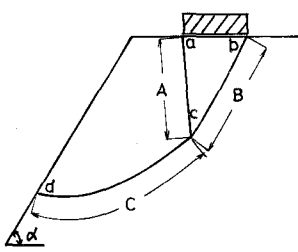


図-3 すべり線模式図

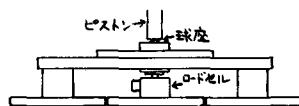


図-1 載荷装置の立面図

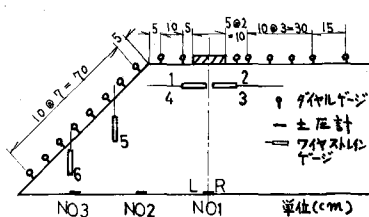


図-2 計器配置図(図-4の例)

・破壊進行について 図-3にすべり破壊面の模式図を示す。図において、Aはすべり線acを、Bは同じくbcを、Cはcdを示す。表-4にはガラス面からの観察によ、求めたすべり線の発生順序を、A、B、Cに分けて、すべての実験結果について整理したものを示した。この表より、法勾配 $\alpha=90^\circ$ のものは、すべてC部分にまずすべり線が発生して、それがAのa端から延びてきたすべり線と連続してacd部分が崩落したことがわかる。これは瞬時に生じたので、A、Cの差はほとんどないと言える。いずれの場合にもBのすべり線は見られなかった。表-4を全体的にながめると、法勾配の大きい、換言すればCの長さの短い時は初めにC部分にすべり線が発生して、それがAと連続している。そして法勾配の緩やかなC部分の長い供試体はCのすべり線が完成する前にAが完成してしまっている。すべり線順序のオー番号がCからAに変わる点は $d=0\text{ cm}$ で $\alpha=60\sim 45^\circ$ 、 $d=10\text{ cm}$ で $\alpha=75\sim 60^\circ$ 、 $d=20\text{ cm}$ で $\alpha=75\sim 60^\circ$ である。Cの長さがさらに長くなるとBよりもCの発生が遅くなることが考えられる。今回の実験では $\alpha=30^\circ$ の場合のI-5、II-5、III-5が層すべりや底部破壊になり、必ずしも充分満足すべき実験ではなかったが、Bの方がCよりもすべり線の完成が遅いようである。またAよりも、Bの方がすべり線の発生が遅いのは次のように説明づけられる。今、図-4の(a)に示すように、同じ深さの所で法面に近い方の点をa、遠い方の点をa'とする。載荷板の中心からa、およびa'点までの水平距離は等しいとする。aおよびa'点で円筒状の供試体を取り、その応力状態を考えると、垂直方向の荷重強度 $\sigma_v$ は、土の重量によるもの( $\gamma h$ で示す)と載荷によるもの( $q$ で示す)との和として

| 供試体番号 | 載荷位置(cm) | 法勾配(度) | 上面長(cm) | 下面長(cm) | 斜身長(cm) |
|-------|----------|--------|---------|---------|---------|
| I-1   | 0        | 90     | 82      | 82      | 60      |
| I-2   | 0        | 75     | 82      | 98      | 62      |
| I-3   | 0        | 60     | 82      | 117     | 69      |
| I-4   | 0        | 45     | 82      | 142     | 85      |
| I-5   | 0        | 30     | 82      | 186     | 119     |
| II-1  | 10       | 90     | 92      | 92      | 60      |
| II-2  | 10       | 75     | 92      | 108     | 62      |
| II-3  | 10       | 60     | 92      | 127     | 69      |
| II-4  | 10       | 45     | 92      | 152     | 85      |
| II-5  | 10       | 30     | 92      | 196     | 119     |
| III-1 | 20       | 90     | 102     | 102     | 60      |
| III-2 | 20       | 75     | 102     | 118     | 62      |
| III-3 | 20       | 60     | 102     | 137     | 69      |
| III-4 | 20       | 45     | 102     | 162     | 85      |
| III-5 | 20       | 30     | 102     | 206     | 119     |

表-2 供試体形状寸法表

考えられる。 $\sigma_v = \gamma h + q$ 、ところが水平圧力は斜面に近いaの方が遠いa'よりも小さいと考えられる。

$\sigma_v < \sigma_v'$  (極端な例を考えると、aの場合は一軸圧縮試験の状態と言えし、a'は三軸試験の状態と言えり)

これより(b)図に示したような応力図が示される。図より明らかに

モール・クーロンの破壊線と接するのはaの内が早いこと、すなわち、すべり線Aの方がBよりも早いことを示している。そしてこれは、

載荷板の位置が法面に近く、法勾配が急なほど明確である。(例え

|       | A | B | C | 備考   |
|-------|---|---|---|------|
| I-1   | 2 | X | 1 | 崩落   |
| I-2   | 2 | 3 | 1 |      |
| I-3   | 2 | 3 | 1 |      |
| I-4   | 1 | 3 | 2 |      |
| I-5   | 1 | X | 2 | 層すべり |
| II-1  | 2 | X | 1 | 崩落   |
| II-2  | 2 | 3 | 1 |      |
| II-3  | 1 | 3 | 2 |      |
| II-4  | 1 | 3 | 2 |      |
| II-5  | 1 | X | 2 | 底部破壊 |
| III-1 | X | X | 1 | 崩落   |
| III-2 | 2 | 3 | 1 |      |
| III-3 | 1 | 3 | 2 |      |
| III-4 | 1 | 3 | 2 |      |
| III-5 | 1 | X | 2 | 底部破壊 |

表-4 すべり線発生順序

ばI-1、II-1とI-4、II-4

| 供試体番号 | 単位体積重量( $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )) |      |      |      | 含水比(%) |      |      |      | 間隙比  | 飽和度(%) | 破壊強度( $\sigma_b$ (kg/cm <sup>2</sup> )) |
|-------|----------------------------------------|------|------|------|--------|------|------|------|------|--------|-----------------------------------------|
|       | 上部                                     | 中部   | 下部   | 平均値  | 上部     | 中部   | 下部   | 平均値  |      |        |                                         |
| I-1   | 1.73                                   | 1.67 | 1.73 | 1.71 | 15.9   | 14.7 | 16.6 | 15.7 | 0.82 | 51.5   | 0.47                                    |
| I-2   | 1.70                                   | 1.71 | 1.72 | 1.71 | 15.4   | 15.0 | 15.3 | 15.2 | 0.81 | 50.1   | 0.62                                    |
| I-3   | 1.65                                   | 1.65 | 1.68 | 1.66 | 14.1   | 14.5 | 14.9 | 14.5 | 0.86 | 45.4   | 1.08                                    |
| I-4   | 1.67                                   | 1.68 | 1.67 | 1.67 | 14.8   | 14.5 | 14.7 | 14.6 | 0.85 | 46.2   | 1.89                                    |
| I-5   | 1.65                                   | 1.67 | 1.70 | 1.67 | 14.3   | 14.7 | 14.2 | 14.4 | 0.84 | 46.1   | 2.79                                    |
| II-1  | 1.66                                   | 1.67 | 1.69 | 1.67 | 15.6   | 15.6 | 15.3 | 15.5 | 0.86 | 47.9   | 0.57                                    |
| II-2  | 1.70                                   | 1.72 | 1.71 | 1.71 | 15.0   | 15.3 | 15.2 | 15.2 | 0.81 | 50.1   | 1.33                                    |
| II-3  | 1.68                                   | 1.70 | 1.70 | 1.69 | 14.2   | 14.5 | 14.4 | 14.4 | 0.82 | 47.2   | 1.68                                    |
| II-4  | 1.71                                   | 1.69 | 1.69 | 1.70 | 15.1   | 15.2 | 15.2 | 15.2 | 0.82 | 49.9   | 2.19                                    |
| II-5  | 1.69                                   | 1.68 | 1.69 | 1.69 | 14.3   | 14.3 | 15.0 | 14.5 | 0.77 | 50.7   | 3.70                                    |
| III-1 | 1.73                                   | 1.72 | 1.76 | 1.74 | 15.6   | 15.1 | 15.2 | 15.3 | 0.78 | 52.8   | 1.18                                    |
| III-2 | 1.72                                   | 1.68 | 1.70 | 1.70 | 14.6   | 14.8 | 14.9 | 14.8 | 0.82 | 48.6   | 1.68                                    |
| III-3 | 1.69                                   | 1.69 | 1.69 | 1.69 | 14.1   | 14.1 | 14.4 | 14.2 | 0.82 | 46.6   | 1.29                                    |
| III-4 | 1.70                                   | 1.71 | 1.72 | 1.71 | 14.7   | 14.8 | 14.9 | 14.8 | 0.81 | 49.2   | 3.10                                    |
| III-5 | 1.74                                   | 1.74 | 1.73 | 1.74 | 14.3   | 14.9 | 14.5 | 14.6 | 0.77 | 51.0   | 4.31                                    |
| 平均値   | 1.69                                   | 1.69 | 1.70 | 1.70 | 14.8   | 14.8 | 15.0 | 14.9 | 0.81 | 48.9   | —                                       |

表-3 単体重量及び含水比測定結果

など)それらは今回の実験でも確かめられた。

・破壊形状について 図-5 に中央断面の破壊形状図を示す。(a) は  $d=0$  cm の場合、(b)、(c) は  $d=10, 20$  cm の場合である。これらの図において、すべてすべり線は法肩に近い方から発生している。(a) の  $\alpha=75^\circ$ 、(c) の  $\alpha=45^\circ$  の場合のように、奥の方からもすべり線の発生したものもあった。また全体として法勾配が小さくなるにつれて、すべり線は載荷板下より、より法面側に近づく傾向にある。2.3の例外(底部破壊をした  $\alpha=30^\circ$  の II-5、III-5 など)を除けば、すべり線が法面と交わる点は、法勾配が小さくなるにつれて高くなっている。

#### ・埋設ストレインゲージの測定結果について

筆者等は中央断面のすべり線の発生状況をより詳細に知るために、ワイヤストレインゲージを接着剤でコーティングしてゲージの両端にフックを付けて土中に埋設した。これには埋設方法、測定値に対する不明確な点など問題は多いが測定結果の一例を示す。図-6によると、A、B領域のひずみがCに対して非常に大きかった。A、Bの差は不明である。この測定範囲は0.3%程度までのひずみであるが、三軸圧縮試験などでは応力のピーク値はひずみ量が10~15%になる場合もあり、この測定範囲を大きくするということが残された大きな問題の一つである。今後、塑性ヒズミゲージなどを用いて改良を進めて行きたい。以上述べてきたようにすべり線はA、B、Cで同時に起きるのではなく、法勾配、載荷位置などの影響を受け、すべり線の出来る順序が変化することがわかった。すなわち、Cの小さい( $\alpha$ が大きく、 $d$ が小さい)場合は、すべり線の発生順序はC→Aで崩壊し(崩落)、Cが少し大きくなるとA→Cで崩壊、さらにCが大きくなる( $\alpha=0$ の場合)とA→B→CでTerzaghi等の支持力論のすべり線と一致すると考えられるが、これは今後検討する必要がある。

#### V. 結び

今後、すべり線の発生順序を考慮した斜面の支持力(安定計算)を究明する予定である。

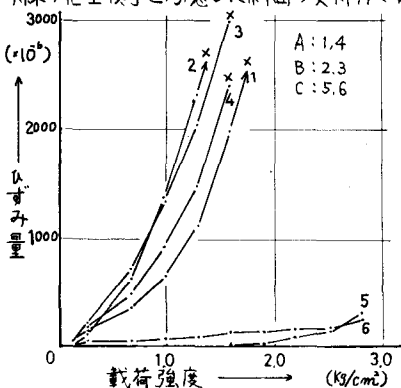


図-6 載荷強度-ひずみ量関係(III-4の例)

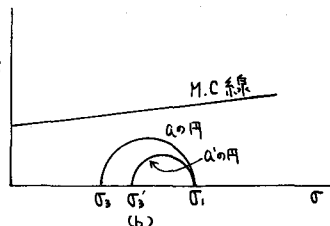
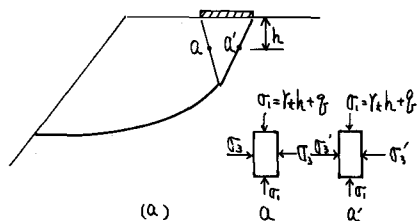


図-4 すべり線順序説明図

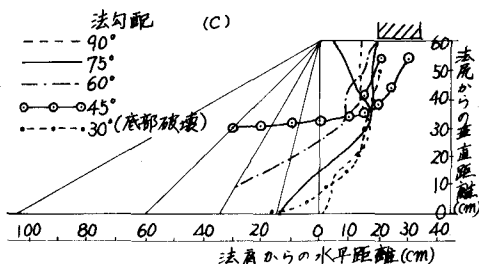
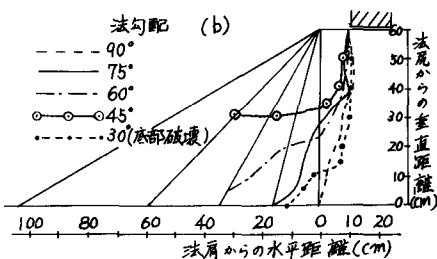
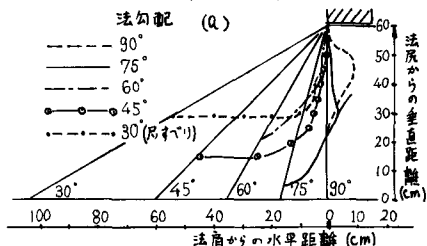


図-5 中央断面のすべり線形状図