

滑面を有する斜面の崩壊実験

寺島治男*・新藤静夫†・田中芳則††・井口 隆*

国立防災科学技術センター

A Failure Experiment of the Slope with Internal Smooth Plane

By

H. Terashima, S. Shindo, Y. Tanaka and T. Inokuchi

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

It is many times observed in the field that a part of the sliding plane of slope failure caused by rainfall is related to a separation plane such as a bedding plane, a joint plane and so on, or the weak layer such as a clay seam. Such planes and layers are considered as important latent factors for slope failure, which are generically named "Smooth Plane" in this report.

The purpose of the present experiment is to observe the failure behavior of the slope with internal smooth plane and check the function of smooth plane for slope failure. For this purpose, The following two types of experiment were made using the model slopes with internal smooth planes of various sizes.

1. Failure experiment of the dry sand slope.
2. Failure experiment of the sand slope by rainfall.

The results of these experiments about the function of the smooth plane are summarized as follows:

- a) The presence of a smooth plane advances not only the outbreaking of slope failure but also the earth pressure change and crack occurrence preceding the slope failure.
- b) The smooth plane provides the position of failure or crack occurrence on slope.
- c) The slide of soil stratum caused by the low friction of the smooth plane brings the additional load toward the lower slope, and induces the shearing of the bearing zone.
- d) A sliding plane develops, following the crack occurrence, from the upper slope downward, and lastly causes the destruction of the bearing zone resulting in the whole failure.
- e) The presence of a smooth plane changes the shape of watertable profile.

* 第3研究部降雨実験室, †筑波大学地球科学系, ††東洋大学工学部土木工学科

1. はじめに

1.1 滑面について

降雨によって発生した比較的浅い斜面崩壊の調査の際に、地形的には周囲と同一様の斜面の中であって、何故その位置に崩壊が発生したのかという疑問をいだくことがある。この疑問は、当該地点における表層や風化層の性質およびその分布形態が他の斜面と異なっていたり、地下水の流動経路となっていたことなどが発見され、解決されるケースが多い。しかしこれらの条件に加えて、斜面の内部的欠陥が当地点に崩壊が発生した主要な原因になったとみなせる場合もしばしばある。ここで内部的欠陥とは、次のようなものである。

- a. 層理面、片理面、構造的節理などの初生的分離面
- b. 風化、侵食による除荷に伴って生じた二次的分離面
- c. 粘土層などの挟み

内部的欠陥が斜面傾斜方向に平行もしくは平行に近い角度である程度連続し、しかもせん断抵抗が小さい場合は、まさにこの部分が斜面崩壊のきっかけを与え、崩壊の一部となり得る。本文ではこの面を滑面と呼んでいる。

崩壊地での滑面の確認は、滑面が層理面の一部であったり、粘土層である時は容易であるが、他の場合はやや困難である。崩壊が発生したあとの底部にしばしば認められる比較的平らな面は規模は様々であるにしても本文でいうところの滑面に相当するものが多くあると考えられる。既往の調査報告によれば、例えば、1970年7月に千葉県南部に生じた豪雨災害においては、泥岩地域の斜面崩壊が層理面や節理面に沿って発生したとされており、これらの面が滑面になったことがうかがわれる。さらに、1974年7月に三浦半島中央部、とりわけ横須賀地区に多発した斜面崩壊は芥川等(1975)の報告によれば、層理面や除荷、風化に伴って形成されたシートジョイントの存在によって特徴づけられる割合が多かったとされている。同様の事実は筆者の一人田中が確認しており、滑面についての認識を得るのに役立った。

1.2 実験の目的

上述の例のように滑面の存在が斜面の不安定化を増長し、崩壊の発生に大きな役割を果たしていることは、ほぼまちがいないと思われるが、これが具体的にどのような機能を果たしているかについては、現地斜面でこれを確かめることは難かしく、必ずしも明瞭ではない。そこで現地斜面の観察結果を参考とし、滑面を有する模型斜面を作成して実験を進め、これによって得られた事実から滑面の機能を探ることとした。崩壊にいたるまでの斜面の挙動は、崩壊の機構に関連して注目されるが、この挙動が滑面の存在とどのようにかかわっているかを明らかにすることは崩壊予知技術確立の上からも極めて重要なことといえる。

実験対象として想定した斜面は、基盤の上に表土、崩積土、風化層などが均一に、かつ等

しい厚さで分布し、基盤表面の一部に滑面が存在するものである。即ちこのような斜面では滑面に起因する表層崩壊あるいは風化層崩壊の発生が見込まれる。

今回の崩壊実験では表層あるいは、風化層に相当する材料として砂を、滑面としてステンレス板を使用した。そして崩壊実験はその目的に応じて、次の2系統のものについて行なった。

① 乾燥砂崩壊実験

② 降雨崩壊実験

乾燥砂による実験は、降雨崩壊実験のための予備実験的な意味あいと同時に、事象を単純化して、崩壊時の内部変位に対する滑面の影響のみを集中的に観察することを目的としたものである。一方後者の実験では大型の降雨装置によって実物の数分の1の斜面を崩壊させ、崩壊土層や浸透水の挙動に対する滑面の影響をより現実に近いかたちで把握しようとするものである。以下にこれらの崩壊実験の計画ならびに観察の結果を報告し、滑面の機能について若干の考察を加えることにする。

2. 乾燥砂崩壊実験

2.1 実験装置と方法

透明アクリル板製の傾斜可変土槽を使用した。土槽の寸法は、長さ1500mm、高さ500mm、幅100mmである。側面のアクリル板には25mm間隔に方眼目盛を画き、内部変位を観察するための基準線とした。

使用した砂は豊浦産の標準砂で、土槽に詰められた時の単位体積重量は 1.46 g/cm^3 であった。一面せん断試験によれば、この砂の内部摩擦角は 34.5° 、また砂もステンレス板との間の摩擦角は 12.6° であったから、ステンレス板は砂中において、充分に滑面の役割を果たすものと考えられた。実験は次のように実施した。

① 砂の充填と変位マークの設置

砂を板で軽くたたきながら詰め、25mm厚さごとに壁面沿いに変位観測用マークとして白色の粉末（ジッカロール）を敷いた。この際マークは25mmごとに断続させ、アクリル板表面の方眼目盛と一致させた。砂の充填深さは300mmである。

② 滑面の設置

砂を充填する過程で、ステンレス滑面を土槽中央の所定の深さに設置し、壁面に固定した（図1）。

設置深さは、25mm、50mm、75mm、100mm、125mmの5通りである。

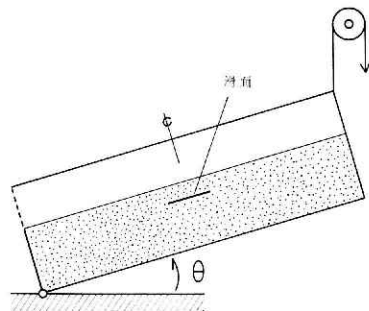


図1 乾燥砂崩壊実験装置
Fig. 1 Setup of apparatus for testing dry sand slope.

表 1 乾燥砂崩壊実験の崩壊状況
Table 1 Resultant failures in dry sand slope experiments.

No.	滑面条件		崩壊形態	発生傾斜		
	長さ	深さ		クラック	表面流動	層状崩壊
1	200	25	層状崩壊	33°	35°	(38°)
2	"	50	"	31	34.5	(38)
3	"	75	表面流動	32	36	—
4	"	100	"	35.5	36	—
5	"	125	"	34	35	—
6	300	25	層状崩壊	27	—	27
7	"	50	"	33	35	(37)
8	"	75	表面流動	32.5	33.5	—
9	"	125	"	—	37	—
10	400	25	層状崩壊	29	—	29
11	"	50	"	30	—	35
12	"	75	表面流動	32	35.5	—
13	"	100	"	36	36	—
14	"	125	"	33.5	38	—
15	500	25	層状崩壊	29	—	30
16	"	50	"	30.5	—	34.5
17	"	75	"	29.5	35	(36)
18	"	100	表面流動	30	37.5	—

注：() 内は、表面流動が先行したが、その影響が比較的小さかった層状崩壊発生傾斜

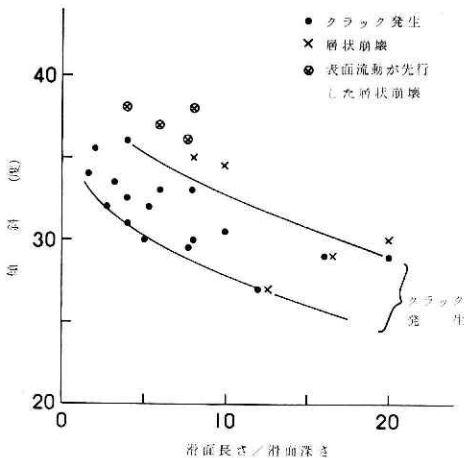


図 2 滑面規模と崩壊発生状況
Fig. 2 Relation between failure type and internal smooth plane size.

クの発生が認められた。このクラックの発生傾斜ならびに層状崩壊発生傾斜と滑面規模との間には図 2 のような対応関係がある。斜面が同一傾斜の場合における滑面規模の影響をみる

滑面の幅は土槽の幅と同じであるが、各設置深さにおいて、長さを各実験ごとに 200 mm, 300mm, 400mm, 500mm, の 4 通りに変えた。

③ 崩壊実験と観察

セットした土槽は、一方の下端を回転軸として他方を持ち上げ、表面傾斜を徐々に増加させてゆき、崩壊を発生せしめた。傾斜増加速度は 20° 以降において特に慎重にして、1°/min とした。斜面の内部変位状況および崩壊状況は 8 mm カメラによって記録した。

2.2 崩壊状況

各実験条件に対する崩壊状況を表 1 に示す。崩壊形態は表面流動と層状崩壊とに分けられる。表面流動は斜面傾斜が砂の安息角を越えたために生じたものである。表面流動発生傾斜は平均 36° であって、これはせん断試験で求めた砂の内部摩擦角よりやや大きい。

層状崩壊は滑面表面をすべり面とした崩壊である。表 1 に見るように滑面深さに対して滑面長さが大きい場合には明瞭な層状崩壊が発生し、内部欠陥としての滑面の役割を認めることができる。しかし他の場合には表面流動が先行したために、滑面に起因する崩壊の発生について十分な観察を得ることができなかった。

実験条件の範囲内では滑面を設置しなかったケースおよび一部のケースを除くと、上述のいずれの形態の崩壊にも先立って滑面上端から斜面表面に及ぶクラック

と、滑面長さが小さければクラックの発生のみにとどまって実質的な崩壊を生じないケースのあることがわかる。このケースでは滑面上の砂層の滑動によってクラックは生じたけれども、滑動上量が少ないので斜面下方の砂層によって支持されて崩壊に進展しなかったものと考えられる。このような状況は、滑面の存在に起因するものばかりとは限らないが、現地ではしばしば観察される状況と似ている。滑面の規模がかなり小さくとも斜面の安定に影響する点は注目すべきであろう。この点は、実験の手法として徐々に傾斜を増加させたことから、傾斜増加過程における砂層の変位累積による影響を考慮する必要がある。しかし斜面傾斜が急なほど案外に小さな滑面が崩壊のきっかけになり得るという事実は認めることができよう。

2.3 内部変位

層状崩壊を生じたケースの内部変位について典型的な例を図3に示す。図3の例では、傾斜が 30° の時に滑面上端から斜面上方表面にかけての面を境として内部変位の不連続が生じ、表面にくぼみが発生した。この時点がクラックの発生に相当する。さらに傾斜が増すと滑面上の砂層はほぼ一体となって滑動し、滑面上端においては砂層の下方への落ち込みが著るしくなる。しかし滑面下端より下方の内部変位はまだ小さく、この部分が受動土圧状態にあることをうかがわせる。そして傾斜が 35° に及ぶに至って滑面下端部に明瞭なせん断面が生じ、層状崩壊が発生した。

滑面の位置が深く長さが小さい場合には、図4に示すように滑面上端部にせん断面の形成を認めた段階で表面流動が発生してしまった。この場合も、もし表面流動の発生を抑止する工夫を加えていたならば、上記の例と同じような崩壊を発生するに至ったものと思われる。

以上の例にみるように滑面を有する斜面の崩壊は上方から内部変位が進行して下方へと及んでいき、最終的には下方支持部での力学的釣合いが破れることによって発生するという経過をたどるようである。この経過は次に述べる降雨崩壊実験での斜面挙動を理解する上で参考になる。

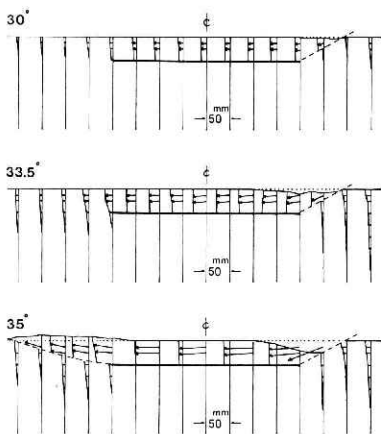


図3 層状崩壊発生過程の内部変位
(滑面長400 mm, 深さ50 mm)
Fig. 3 Profile of inner displacement.
(length of smooth plane 400mm,
depth 50mm)

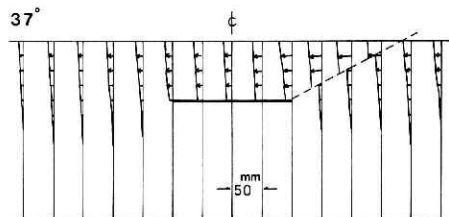


図4 滑面が小さい場合の内部変位
(滑面長200 mm, 深さ100 mm)
Fig. 4 Profile of inner displacement with
small smooth plane. (length of
smooth plane: 200 mm, depth: 100
mm)

3. 降雨崩壊実験

3.1 斜面条件

大型降雨実験施設内に設置されている高さ400cmのコンクリート斜面上にステンレス滑面を固定した後、30 cmの厚さで砂を盛り上げ、実験斜面とした(図5)。

滑面設置部分以外のコンクリート面には、滑面との摩擦性状との相違が顕著になるようにモルタルによって凹凸をつけた(写真1)。実験は傾斜角40°と30°の斜面について、表2に示すような滑面条件により実施した。なお砂を盛り上げる前における斜面の寸法は次の通りである。

40°斜面 長さ622 cm, 幅200 cm

30°斜面 長さ800 cm, 幅200 cm

3.2 斜面材料

使用した砂の粒度分布曲線を図6に示す。最大粒径は9.52 mm, 砂分96%, 比重2.78である。この砂の斜面への盛上げは、土羽打ちの要領で均等になるように締め固めた。締め固めの時の平均含水比は10.7%, 締め固め後の密度は乾燥密度にして1.45g/cm³であった。また乾燥砂をこの密度にパッキングした試料における内部摩擦角は40°, この状態で

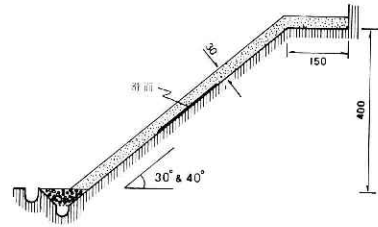


図5 降雨崩壊実験斜面(断面)
単位: cm

Fig. 5 Profile of experimental slope model.

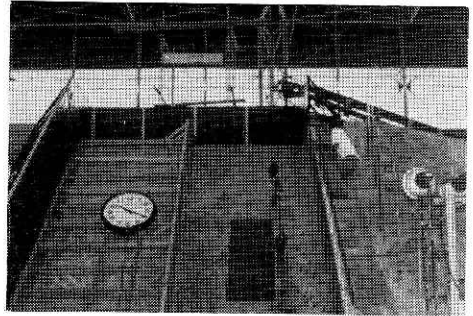


写真1 滑面を想定して設置したステンレス板。コンクリート面には摩擦抵抗を大きくするためモルタルを塗付した。写真はマンメーターの設置状況を示す。

Photo 1 A view of smooth plane and manometers on the experiments slope.

表2 降雨崩壊実験の斜面条件
Table 2 Smooth plane size of experiments.

実験No.	傾斜	滑面(長さ×幅)
1	40°	180×60 cm
2	〃	120×60
3	〃	60×60
4	〃	なし
5	30°	210×60
6	〃	なし

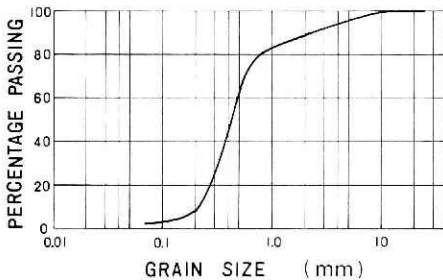


図6 粒度分布曲線
Fig. 6 Grainsize distribution.

の砂層とステンレス滑面との摩擦角は 19.8° と算定された。砂層と凹凸をつけたコンクリート面との間の摩擦角は不明であるが滑面と比較して十分な値を持つものと思われる。

3.3 降雨条件

全実験につき 50 mm/hr とし、崩壊発生とともに停止した。

3.4 観測

観測項目と使用機器はつぎの通りである。

流出量——ノッチ，サーボ式水位計，1台

間隙水圧——間隙水圧計，1台

土圧——土圧計 40° 斜面3台， 30° 斜面5台

地下水面——マンメーター， 40° 斜面11台

30° 斜面10台

砂層の移動——表面マーカー，16mmカメラ

斜面表面の膨縮——ポイントゲージ，1台

上記の流出量は斜面への浸透水を斜面下端のフィルターを経て実験斜面外に導き、測定するものである。間隙水圧計と土圧計のピックアップおよびマンメーターの先端はいずれもコンクリート面上、中心線より 40 cm 離れた位置に設置した。(図7)この他砂層の含水比、密度については実験中にサンプルを採取し、測定値を得た。

4. 降雨崩壊実験の結果

4.1 崩壊発生状況

崩壊にさいしては、いずれのケースもまず斜面を横断するクラックの発生が先行し、その後このクラックまたは二次的に生じたクラックが徐々に拡大した時点で滑面およびコンクリート面を底面とした層状崩壊に至るとというのが一般的であった。(写真2, 3)ただし実験No.4ではクラックの発生と崩壊発生とはほとんど同時点であった。

降雨開始時点から起算したクラック発生時間と崩壊発生時間を表3に示す。実験数の多い 40° 斜面について相互に比較すると、クラックおよび崩壊のいずれにおいても滑面が大きいほど短時間で発生する傾向がみられ、滑面の存在が崩壊の発生に大きくかかわっていることが確認できる。 30° 斜面の2ケースでは 40° 斜面よりも崩壊発生に長時間を要し、この間の降雨浸透によって上層の含水量が増大し、崩壊はやや流動的な性状を示した。写真4は崩壊直後の崩落砂層表面がかなり流動性に富むことを示したものである。この流動部分の含水比は平均 26.9% であったが、この値は 30° 斜面における崩壊直前の含水比にほぼ等しい。このこ

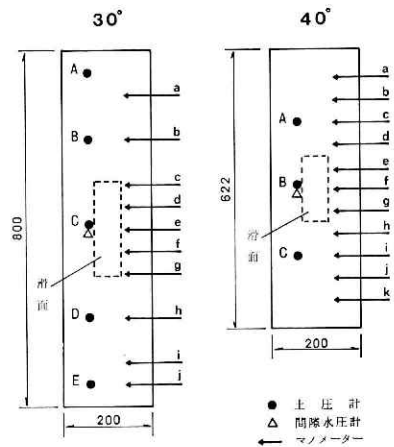


図7 降雨崩壊実験斜面(正面)
単位:cm

Fig. 7 Outline of experimental slope model.

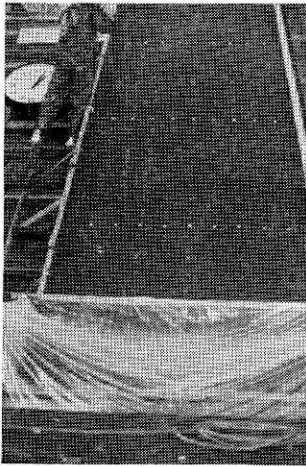


写真 2 40° 斜面. 降雨開始後 1 時間 3 分後, 中央右上より左にクラック発生.

Photo 2 A view of the 40° degree sand slope at time of crack occurrence.

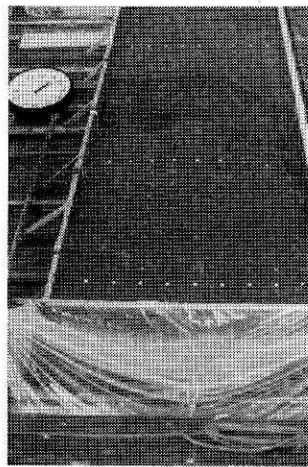


写真 3 写真 2 の続き. クラック発生後 5 分 55 秒で崩壊発生, およそ 1.5 秒後に終了したが, その後, 斜面下方への押出しが続いた. 写真は崩壊発生後 5 秒の状態, 中央部斜面底部に滑面がみえる.

Photo 3 A view of the 40° degree sand slope 1.5 seconds after the occurrence of failure.

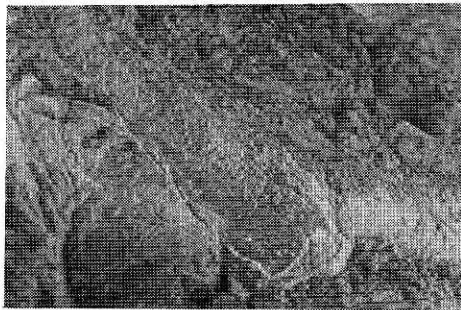


写真 4 崩土末端部より流動化した流砂.

Photo 4 Sand flow after failure.

方では滑面が崩壊にあまり影響しなかったことを意味するものであろう.

30° 斜面では一次崩落崖が斜面下部に生じ, 以後は順次上部の土塊が崩落する形態をとった. No. 5 での滑面はかなり大きいにもかかわらず, 滑面の存在に起因するクラックは発生しなかった. 30° 斜面では地下水の挙動が崩壊の発生を左右したと考えられる.

表 3 崩壊発生時間
Table 3 occurrence time of failure.

実験 No.	クラック 発 生	崩壊発生
	min	min
1	66	74.5
2	62.5	69
3	80	87
4	—	88
5	98.5	105.5
6	110.5	113

とから崩壊直前の砂層は流動しやすい状態にあったことがわかる.

つぎにクラックおよび崩壊発生位置を図 8 に示す.

すべり面の先端は斜面最下端にあらわれたが, 崩壊の過程で斜面下部表面を二次的なすべり面が切ることがあった. 頭部崩落崖の位置

は, 40° 斜面においては一

例 (No. 3) を除いて, 斜面中央より上方にある. No. 1 の実験で最初に生じたクラックおよび No. 2 における崩落崖は, 滑面の位置との関係からみて, 滑面上の砂層のすべりに起因するものと考えられる. これらの崩落崖はほぼ鉛直な断面をもち, 引張り面として形成されたことは明らかである. 下部に崩壊が生じた No. 3 の場合は, 一部は盛土締め固めの時のむらによるものと考えられるが, また一

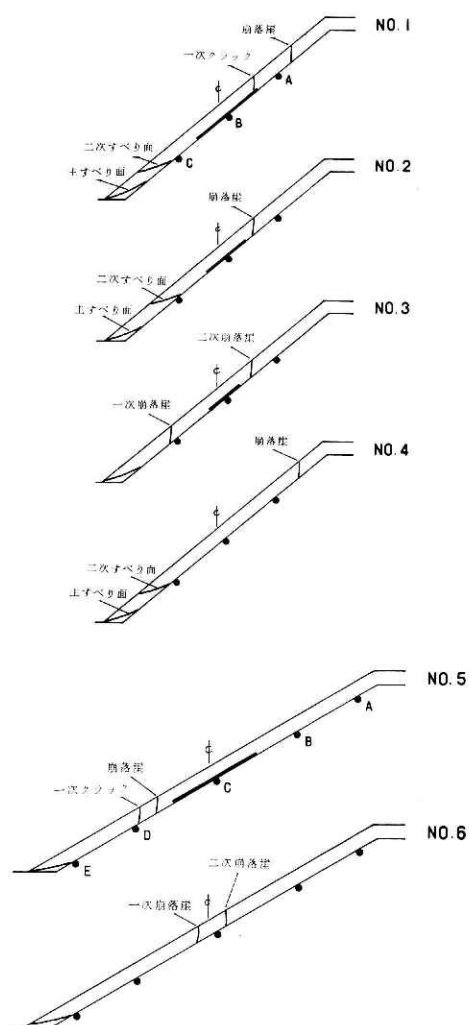


図 8 崩壊状況
Fig. 8 Profile of failures.

4.2 地下水

実験時の降雨はすべて斜面に浸透し、表面流が生じることはなかった。また斜面表面へのパイピングの発生も認められなかった。地下水面形成開始時間は、 40° 斜面では降雨開始70分後から、 30° 斜面では60分後からである。もちろん、測定位置によって多少のズレがある。地下水位は地下水面形成以後、直線的に上昇し、崩壊発生時に至ってもなお、図9に示したように上昇途中にあった。

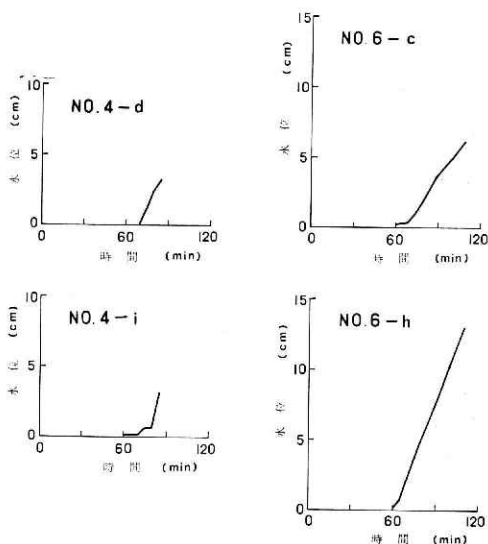


図 9 地下水位の時間的変化
Fig. 9 Variation of ground water level.

崩壊直前における地下水面形を図10に示す。 40° 斜面のNo. 1, No. 2では斜面全体に地下水面が形成されるには至らなかったが、時間的にみて崩壊の発生は砂層底面を浸透水が薄層状に流下を開始した直後とみてよいであろう。したがってこれらの崩壊は降雨浸透に伴う砂層の自重増加、あるいは砂の見かけ粘着力の消失によるものと考えられ、崩壊のきっかけにおいて滑面の平滑性と低摩擦角が主導的な役割を果たしたことはまちがいない。No. 3, No. 4では水位がやや上昇し、揚圧力および急な水面勾配による動水圧が崩壊発生を促したものといえよう。

次に 30° 斜面ではかなり水位が上昇し、斜面下方ほど顕著である。 30° 斜面の崩壊がNo. 5, No. 6のいずれも斜面下方で発生し、流動性を示したことは、このような水面形に基づくも

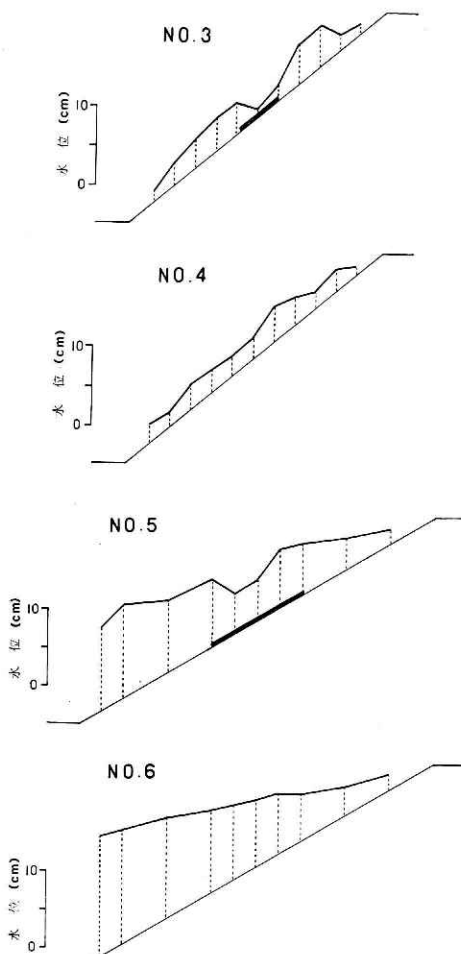


図10 崩壊直前の地下水面形
Fig.10 Profile of ground water level just before failure.

表 4 総流出量
Table 4 Amount of discharge.

実験No.	総雨量	総流出量	貯留量
1	836	47	789
2	773	59	714
3	976	105	871
4	989	86	903
5	1586	134	1452
6	1698	219	1479

のである。この場合の崩壊は砂層自体の性状の変化に伴って新たな安息角状態に移行する過程として発生したものといえよう。

滑面の影響は地下水面形にも現れている。そのひとつは No. 3, No. 5の例の如く、滑面位置において地下水面が低下する傾向が見られることである。斜面下方への地下水流動が活発になった段階で、滑面上での流動速度が滑面前後の部分よりも大きくなっていることを意味する。さらにこの派生的影響として、滑面下端において水面が上昇する傾向が滑面を有する斜面のいずれにも認められる。これらの現象は崩壊発生位置や発生形態に微妙な影響を与えたものと考えられる。

降雨開始から崩壊発生時点までの総流出量を表4に、さらに流出量の時間的変化を図11に示す。地下水面がほとんど形成されなかったNo. 1, No. 2のケースを含めていずれも地下水面が現れるかなり以前から流出が生じている。この早期流出は砂層の側面および下端部の境界条件による早期浸透の他、降雨浸透の不均一性に起因する部分的な脈状流動が生じていることを推定させる。

図11によれば、流出量は最初は加速的に増加するが、ある程度の時間を経過した後はその増加率は低減し、流出量は一定か、あるいは減少する傾向を示す。そしてこの傾向がはっきりと現れ、流出量がほぼ最大値を示す時点でクラックが発生し、崩壊に至っているケースが一般的である。この時の流出量は40°斜面では40~60cc/sec, 30°斜面では55~85cc/secであって、降雨浸透量の1/2~1/3である。すなわち、先の図9の地下水位変化でみるように土層中の水分状態はまだ定常的では

なく、さらに斜面内への地下水貯留が増加しつつある段階にあるから、流出量の一定化は地下水がおもに土層底面の面積的に限られた部分を流動していることを意味し、流出量の減少はクラックの発生による一時的な地下水貯留の増加を意味しているものと思われる。そしてこれらの現象がひき

続く崩壊の発生にかかわっているものと考えられる。ここでクラック発生による貯留量の増加は地下水流動の一時的な切断、滑動に伴う砂層の多少の弛緩、斜面下部におけるせん断ゾーンでのダイラタンシー効果などに基づくものであろう。

4.3 土 圧

測定した土圧は斜面表面に直交する方向の全土圧値に相当するが、地下水位を考慮して有効応力値として求めた結果を図12に示す。図によれば土圧の時間的変化は土圧平衡部、増加部、減少部の三つに分けることが出来る。平衡部は降雨浸透による土圧漸増および地下水面形成による漸減という砂層の自重変化を反映した部分である。一方、増加部と減少部は平衡部の傾向からはずれた顕著な土圧変化部分に相当する。ただし、No. 3 のケースでは測定記録の一部を欠いたことと崩壊が土圧設置ヶ所より下方で発生したことにより、顕著な土圧変化は認められなかった。

降雨開始から顕著な土圧変化が認められるまでの時間は、崩壊が滑面の存在に起因すると思われるケースほど短い。40°斜面で見ると No. 1 では50分、No. 2 が55分、No. 4 が60分であって、前2者が4-2で述べたごとく、滑面主導型の崩壊である。30°斜面のNo. 5、No. 6ではいずれも80~90分後であって、両者に差はなく、No. 5における滑面の存在の影響はみられない。土圧の測定が一方向のみのものであり、かつ斜面表面に設置したマーカーによる砂層の移動量観測が精度的に不満足な結果しか得られなかったため、土圧の異常変化が斜面のどのような挙動を反映しているかは明確には判断し難い。しかし、異常変化の位置的な関

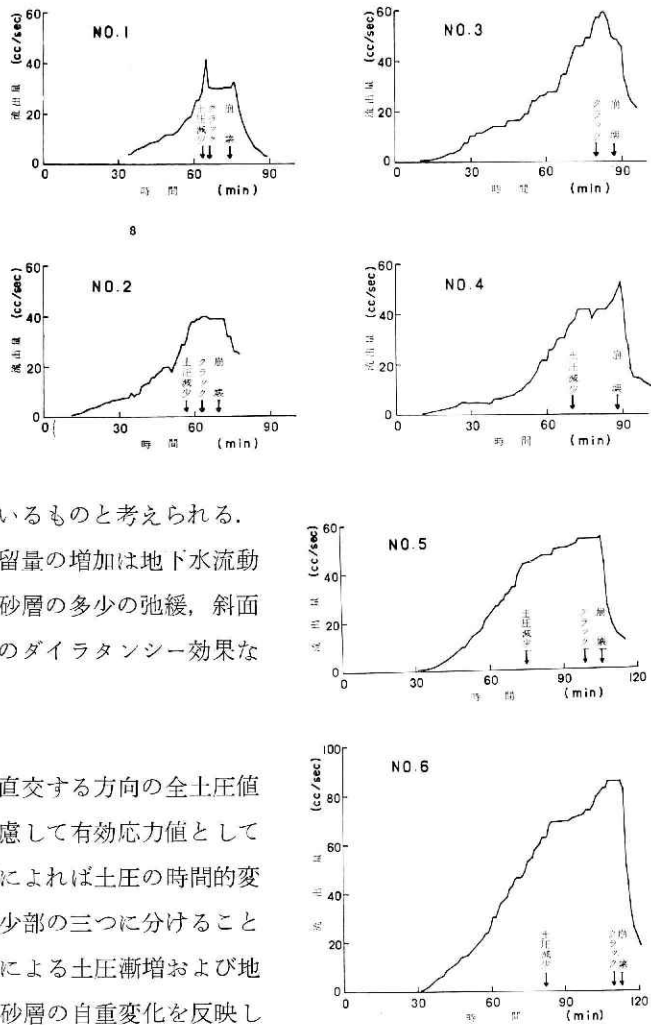


図11 流出量の時間的变化
Fig.11 Variation of discharge.

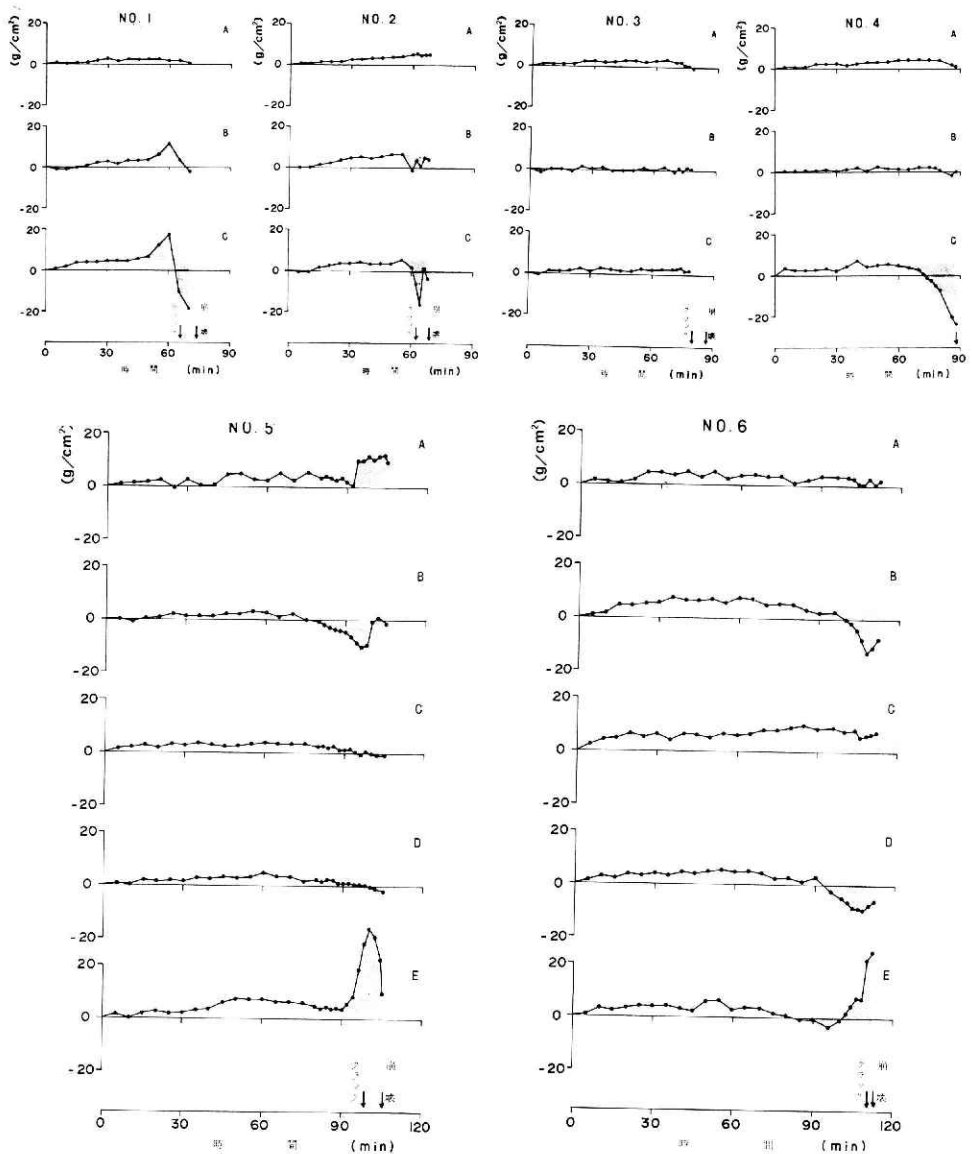


図12 土圧の時間的变化。(縦軸は土圧, 陰影部は顕著な土圧変化部分を示す.)
 Fig.12 Variation of earth pressure. (Shaded area shows an eminent variation.)

係, クラック発生状況などから, 次のように考えられる。

土圧増加部は No. 1, 5, 6 のケースにおいて見られる。増加部が測定された斜面上の位置は, No. 5 の斜面最上部を除けば, 滑面部および斜面下部に当る。これらの増加部は砂層の逐次的な滑動に対するその位置での支持を意味するのであろう。この支持はクラックが発生して砂層底面沿いにせん断面が形成されると消滅し, 土圧は低下する。他のケースでも土圧計の配置如何によっては, 同様の土圧増加を把え得たものと思われる。

次に土圧減少部は各ケースに認められるが、この原因として二つのことが考えられる。一つは実験上の原因によるもので、これは逐次的な滑動に伴って、コンクリート面上の凹凸のために砂層底部に部分的な空隙が生じて土圧減少をもたらしたと考えるものである。また一つは崩壊発生直前に滑動部下方での斜面表面へのせん断ゾーンの形成に対応して土圧の方向の配分が底面から側面、あるいは下端面により多くふり向けられるようになったためと考えられる。各ケースの減少部がいずれの原因に相当するかは明らかではないが、位置的にかなり偶発的に見える減少部は前者に、また斜面下方での減少部は後者による可能性が強い。

土圧の顕著な増加あるいは減少はクラック発生前から認められ、この段階ですでに逐次的な滑動が始まっているとみて良い。クラックが発生すると土圧の増減方向は逆になり、新たな土圧配分に移行する過程で崩壊が発生する。このような状況をみると、崩壊の実質的な発生はクラック発生時点と考えてよさそうである。

土圧変化が砂層の内部変位と結びついているという間接的な証拠を図11の流出量曲線に認めることができる。土圧増加と流出量の関係は事例が少なく、判然としないが、土圧の減少と流出量の時間的増加率が低減する現象とはよく対応しているように思われる。とりわけ、No. 4, No. 6のケースでは流出量曲線の変化が顕著である。土圧減少が上へのべたようなせん断ゾーンの逐次的な形成に関係しているものであれば、クラック形成が流出量に与えた影響と同様にこのせん断ゾーンなどへの地下水貯留が流出量曲線の変化をもたらしたと考えることが出来る。

5. む す び

滑面を有する斜面について、乾燥砂崩壊実験および降雨崩壊実験の2系統の模型実験を行なった結果、斜面崩壊に対する滑面の機能についておもに現象的な面で行くつかの知見を得ることができた。滑面の機能について、おもな点をまとめると次の通りである。

①滑面の存在は崩壊発生時間を早めるのみならず、崩壊発生に先立つ土圧変化、クラック発生時間をも早める。

②滑面は崩壊発生位置あるいはクラック発生位置を規定する。これらの発生位置は断面的にはおおむね滑面上端付近から斜面表面へと連続する。

③内部的には滑面の低摩擦による周辺土塊のすべりが斜面下方への荷重付加をもたらし、支持部でのせん断を促す。この結果、すべり面はクラックの発生に始まって、順次斜面上方から下方に及び最後に支持部の破壊に至って全面的に崩壊する。

④滑面上で地下水流動が活発化することにより、地下水面に変化を生ぜしめる。もちろん崩壊に対する滑面の影響は斜面が急斜面であるほど顕著であり、小さな滑面でも崩壊が発生しうる。まさに内部的欠陥といってもよい。これに対して緩傾斜斜面では滑面よりも地下水の作用の方が重要となってくる。

今回、降雨崩壊実験に用いた模型斜面は現実の崩壊の数分の1程度のスケールであったから、実験結果は現実の崩壊現象をかなり反映しているとみて良いであろう。急傾斜面に実際にしばしば見出されるクラックは、構成土層にもよるが内在する滑面に起因するケースがかなりあるものと思われる。このようなクラックの発生は、今回の実験時と同様に滑面がクラックに連続して存在すると考えて、滑面が存在すると考えられる範囲について対策を講じておくことは、この斜面の将来の保安上役立つであろう。さらに進んで、滑面の存在を何らかの手段で探査することができれば、斜面の崩壊に対する危険度の判定の上で有効な指針を与えることになる。これはかなり困難であろうが検討すべき問題といえる。

参 考 文 献

- 1) 福岡輝旗 (1978): 降雨による斜面崩壊と内部応力状態について, 国立防災科学技術センター研究報告, No. 20, p. 101-122.
- 2) 森脇寛 (1978): 斜面崩壊の発生過程について, 国立防災科学技術センター研究報告, No.19, p. 51-64.
- 3) 寺島治男・福岡輝旗・森脇寛 ((1977): 斜面崩壊機構に関する実験研究, 新砂防, 102, p. 18-24.
- 4) 千葉県土木部 (1975): 急傾斜地の調査について, 138p.
- 5) 吉中龍之進・風間秀彦 (1975): 第三紀層地帯における豪雨型斜面崩壊とシーティング節理の関係, 第12回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, p. 121-124.

(1980年6月4日 原稿受理)