



岐阜大学機関リポジトリ

Gifu University Institutional Repository

マサ土の浸水時及び非浸水時の力学特性と農地造成に伴って形成された斜面の安定問題

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2022-06-07 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 仲野, 良紀, 嶋崎, 藤雄, 清水, 英良 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12099/5627

マサ土の浸水時及び非浸水時の力学特性と
農地造成に伴って形成された斜面の安定問題

仲野良紀・嶋崎藤雄・清水英良

農業造構学研究室

(1984年7月31日受理)

The Effect of Water on the Shear Strength of Masa
(decomposed Granite Soil) with Special Reference
to the Stability of Slopes formed in Reclamation

Ryoki NAKANO, Fujio SHIMAZAKI, Hideyoshi SHIMIZU

Laboratory of Construction Engineering for Irrigation,

Drainage and Reclamation

(Received July 31, 1984)

SUMMARY

Masa, defined as residual sandy soil derived from weathered Granitic rocks (Granite, Granodiorite and Granite gneiss etc.), is widely distributed in Japan as shown in Fig. 1.

The state of Masa ranges from nearly completely weathered rock, or sandy soil, to lightly decomposed one.

Masa is not only generally tractable in earthworks owing to its low strength, but also relatively productive if adequately irrigated and manured, so hilly districts composed of Masa are in many cases suited for reclamation.

As Fig. 1 shows, the granitic rocks in the Kinki and Chugoku districts, or in the southwest parts of Japan (dotted area), especially those in Ryoike belt, have been deeply and intensively weathered into Masa. Farmers in these districts can readily expand their agricultural field.

In fact, numerous field reclamation projects at improved slope have so far been carried out by either the Central or Prefectural Governments.

However, Masa is often said to have a "weakness for water," because heavy rains have so far caused not a few slides of either embankments (formed by reclamation) or natural slopes of Masa.

Therefore, an experimental research work was performed to elucidate the real meaning of Masa's weakness in water mainly from the viewpoint of Soil Mechanics. The experiments were centered on clarifying the effect of water on the effective strength parameters c_d , ϕ_d of both disturbed and undisturbed Masa when it has natural water content and when it is very wet after being percolated with water. The results thus obtained were used in stability analysis of several slides which actually took place due to heavy rains, to check if the slides can be properly and quantitatively explained by the present knowledge of Soil Mechanics.

The slides referred to are shown in Fig. 2, 3 and 4 and plate 1.

The conclusions obtained from the experiments are summarized as follows :

- 1) In case of disturbed Masa, used for loosely embanked field, the apparent cohesion c_d in terms of effective stress decreases when percolated with water, whereas the apparent angle of shearing resistance ϕ_d does not change as shown in Figs. 5 and 6, and Table 1 in case of Kōnan C field in Sanuki district and in Figs. 7 and 8. and Table 1 in case of Kanda 40th field in Uwaba district.
- 2) In undisturbed Masa, sampled from the scarp at the graben of Shōrenji landslide (ref. Fig. 15), both c_d and ϕ_d do not change when percolated with water as shown in Figs. 9, 10, 11 and Table 1.
- 3) Stability analyses by standard slice method and Bishop's method were performed using the peak shear strength parameters, since no appreciable strain softening effects were observed in all the Masa referred to here, as shown in Figs. 5, 7, 9 and 10, with the result that the slides can be fairly well explained by Bishop's method just by assuming that the pore-water pressure was raised by the rise of groundwater level due to heavy rainfall as shown in Figs. 12-17.
- 4) In the Shōrenji landslide, it is very probable that the cutting executed during Oct. 1979-March 1980 (ref. Fig. 15) to stabilize the slope had aggravated the overall long-term stability of the slope since most of the cutting was done on the wrong side of the neutral point defined by Hutchinson⁹⁾ (ref. Fig. 18).

Res. Bull. Fac. Agr. Gifu Unive. (49) : 301-314, 1984.

要 約

「マサ土は水に弱い」と言われているが、その定量的裏付けは十分ではない。特に実際の斜面の安定問題との関連でこの点について論じた報告は極めて少ない^{1,2,3)}。そこで、マサ土地帯における農地造成に伴って形成された斜面の、豪雨時の崩壊例3例(その内2例は、盛立てた斜面、1例は切り取り斜面)について、現地から採取したマサ土の浸水時及び非浸水時の、圧密・排水せん断強度 c_d 、 ϕ_d を三軸圧縮試験、一面せん断試験等によって求め、その変化を調べた。その結果、乱したマサ土を現地の農地造成時の密度程度に締め固めたものでは、浸水によって、見掛けの粘着力 c_d は減少するが、せん断抵抗角 ϕ_d は変化しない事が分った。また、乱さないマサ土では、 c_d も ϕ_d も浸水によって変化はしない事が分った。またこれらのせん断強度を用いて斜面の安定解析を有効応力法によって行ったところ、地下水位の上昇による間隙水圧の上昇によって、斜面崩壊は十分に説明できる事が分った。また斜面の安定解析の結果求められた最小安全率を与える円弧は、ビショップ法 (Bishop method) による場合が実際に生じた円弧すべりに最も近い結果を与える事が分った。

結 言

「花崗岩類」が強風化して、いわゆる「マサ土」となっている丘陵地帯では地形を变形する事が容易であるため、開墾し易く、畑作農業の規模拡大の場として重要な位置を占めている。

しかしながら、改良山成開墾などで造成されたマサ土斜面や農道建設のために切土されたマサ土の自然斜面では、豪雨時にしばしば土砂崩壊や侵食被害が生じ、「マサ

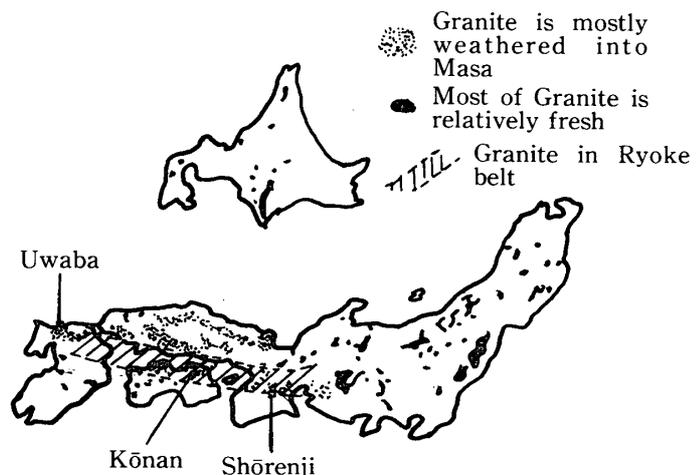


Fig. 1. Distribution of Granite in Japan (cited from the Dictionary of Geology) and the locations of slides referred to in this paper.

土は水に弱い」と言われている。例えば、昭和51年9月の台風17号（9月8日～13日の総降雨量511.5mm）により、香川県讃岐丘陵地の、改良山成開墾の盛土斜面が、また昭和57年7月の集中豪雨（7月23日には160mm/day, 55mm/hr, 7月10～26日の総降雨量は683mm）で佐賀県下の上場農業水利事業の改良山成開墾盛土斜面が崩壊している。また昭和57年7月31日～8月1日の台風10号に伴う集中豪雨(Fig. 14 参照)で三重県下の、青蓮寺開拓事業の農道建設による切り取り斜面の地山崩壊が生じている（これらの地区の位置は Fig. 1 に示す）。

この研究では上記の3地区からマサ土を採取し、水浸時及び非浸水時の力学定数の変化を調べて、「マサ土は水に弱い」と言われている事の意味を力学的に定量的に究明するとともに、実験結果に基づいて、実際に生じた「円弧すべりによる斜面崩壊」が土質力学的手法で説明し得るか否かを検討する。なお、マサ土は土壤侵食も受け易く、これも「マサ土は水に弱い」と言われる一因であるが、この研究では力学的せん断強度の問題のみについて論ずる。

材料及び方法

讃岐丘陵地の香南C地区（改良山成開墾前後の平面図を Fig. 2(a)(b)に示す）及び上場農業水利事業の神田40号団地（平面図を Fig. 3 に示す）については、現地において砂置換法によって盛土斜面の湿潤密度 ρ_w を求め、これと同じ値になるように実験室内で締め固めた自然含水比の土について、まず、「圧密・排水三軸圧縮試験(CD試験)」を行い、せん断強度定数 c_a , ϕ_a を求めた。次に同じように締め固めた土について、三軸室内で、水を十分浸透させた後、同じく、CD試験を行って、 c_a , ϕ_a を求めた。青蓮寺地区の切り取り自然斜面の崩壊 (Fig. 4, Plate 1 参照) については、地すべり跡に生じた急崖部から

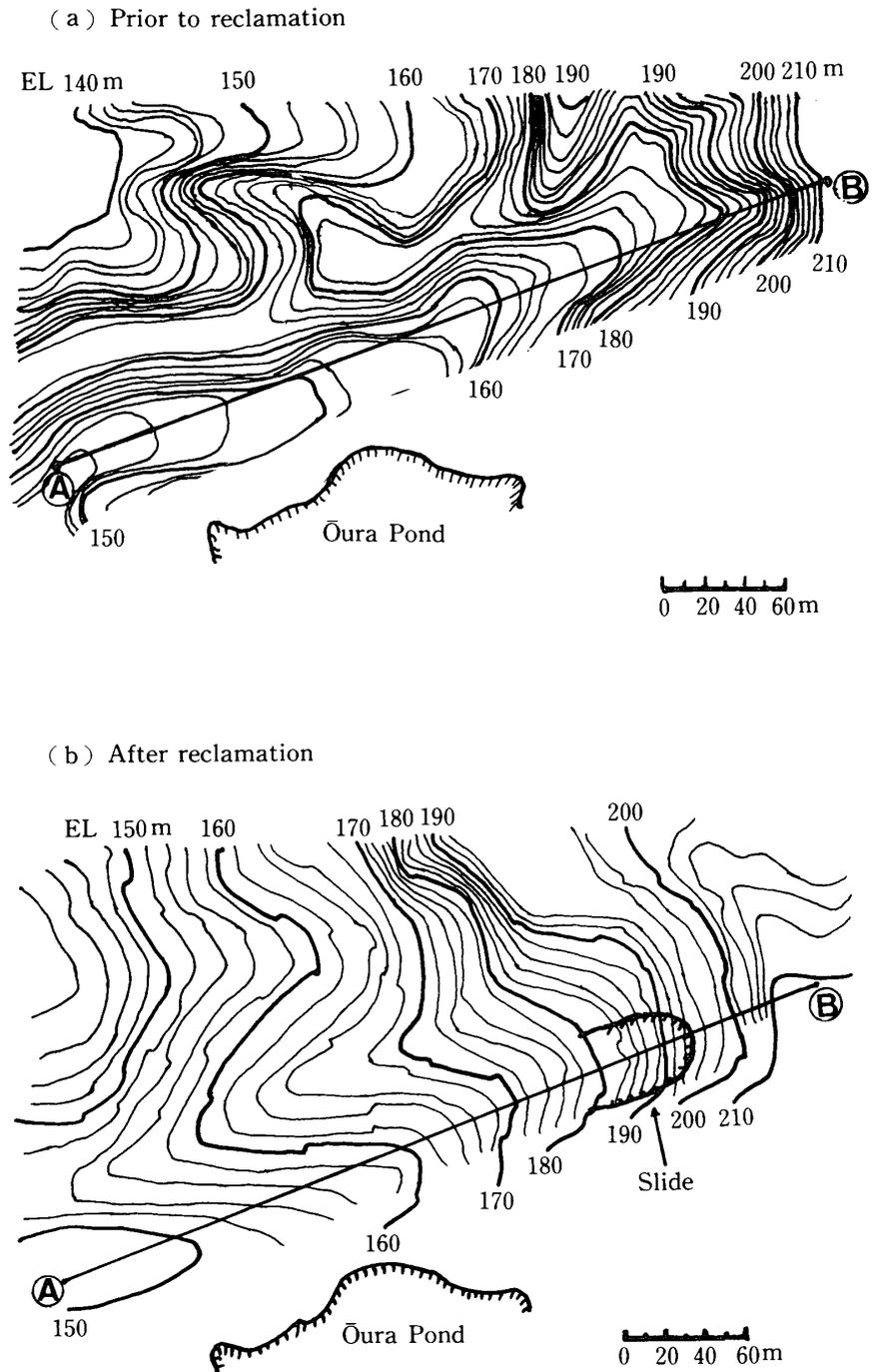


Fig. 2. Plan of Kōnan C field prior to and after reclamation at improved slope.

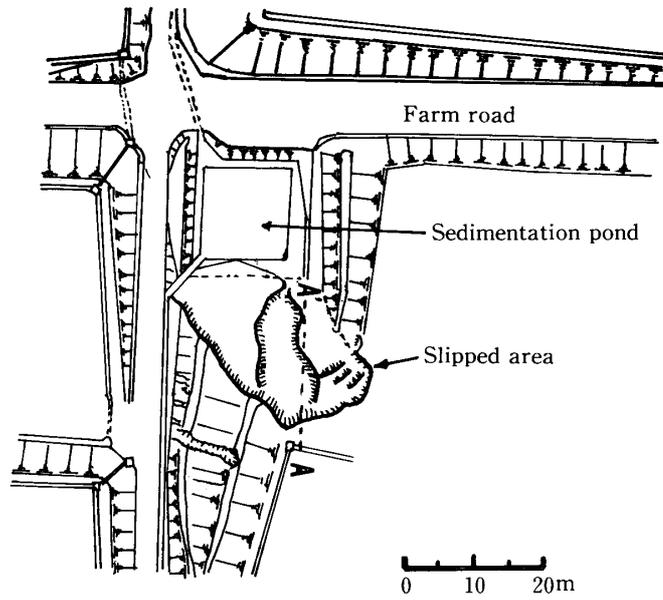


Fig. 3. Plan of slipped area at Kanda 40th field in Uwaba Reclamation Project.

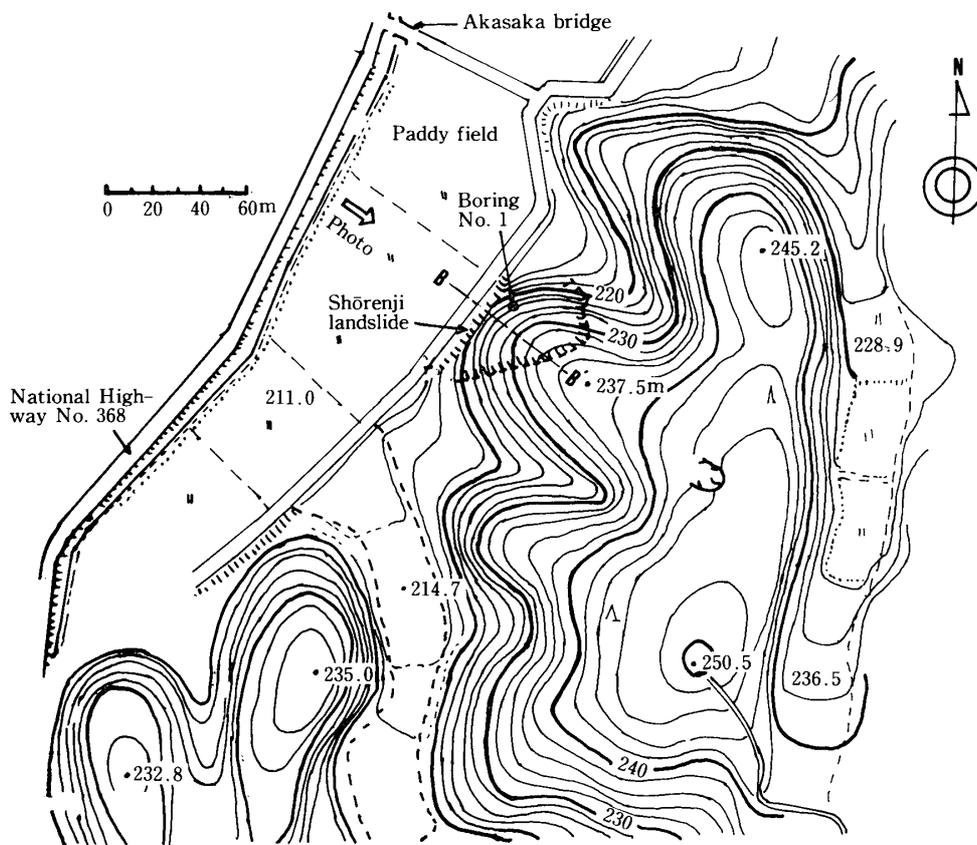


Fig. 4. Map of the area before the Shōrenji landslide had occurred (Photo taken in the arrow direction).



Plate 1. Shōrenji landslide photographed in the direction of arrow shown in Fig. 4

乱さないマサ土をスコップで切り出し試料を実験室に持ち帰って同様な実験を行った。なお、この乱さないマサ土については、一面せん断試験によるCD試験も行った。いずれの場合もせん断中、試料内に過剰間隙水圧が発生しないようせん断速度は極めて緩速とし、荷重、変位等はすべて自記記録させた。(三軸圧縮試験のときの軸変位速度は0.01~0.06mm/min、一面せん断試験のときの水平変位速度は0.01~0.1mm/minとした)。

結 果

試験によって得られた応力～ヒズミ関係及びモール円等は Fig. 5～11 に、またピークせん断強度をとったときの強度定数や試料の密度等はまとめて Table 1 に示した。一般に「マサ土は水に弱く、従って水を浸透させると、強度定数の粘着力やせん断抵抗角は減少する」といわれることが多い^{1,2)}が、上記表 1 中のデータを見れば分かるように、乱したマサ土(但し締め固め程度は緩い)は有効応力表示のせん断抵抗角 ϕ_0 には、ほとんど変化が認められない。但し、粘着力 c_0 は水を浸透させると減少している。これは、水の浸透によって、飽和状態に近くなってメニスカスによる負圧が消失したためと思われる(これは一般の締め固めの緩い砂についてもいえる事であり、マサ土特有のものとは考えられない)。また青蓮寺の乱さないマサ土については水を浸透させても c_0 も ϕ_0 も、ほとんど変化が認められない。これは乱さない試料は構造をもっているためと考えられる⁴⁾。(なお三軸室内で側圧をかけて圧密を終了させてから水を浸透させたが、その時の透水係数は、側圧 $\sigma_3 =$

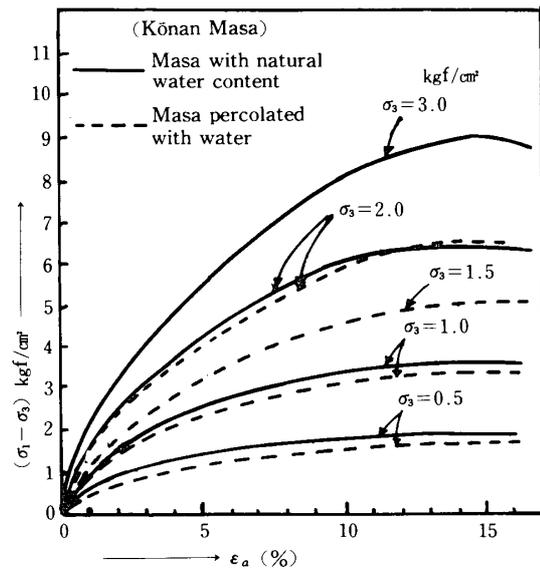


Fig. 5. Stress-strain curves of Kōnan Masa by CD (Consolidated Drained) triaxial compression test.

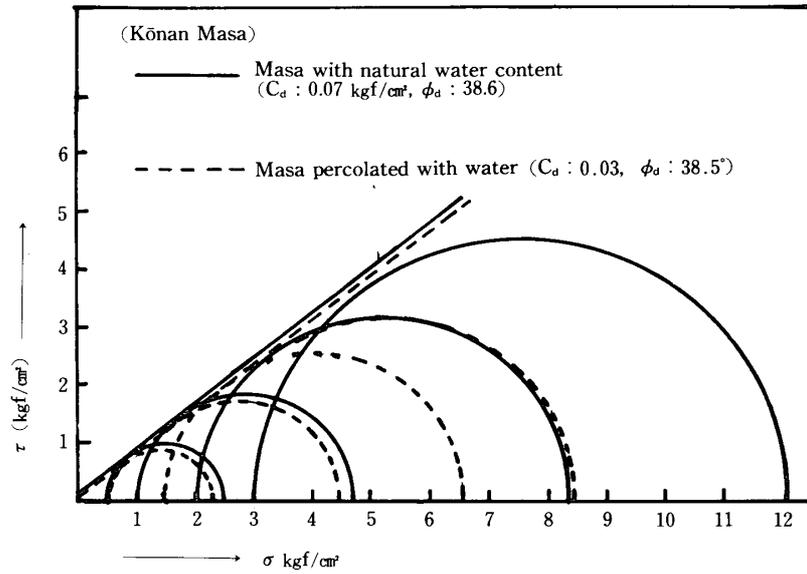


Fig. 6. Mohr's stress circles of Kōnan Masa by CD triaxial compression test (in terms of effective stress) .

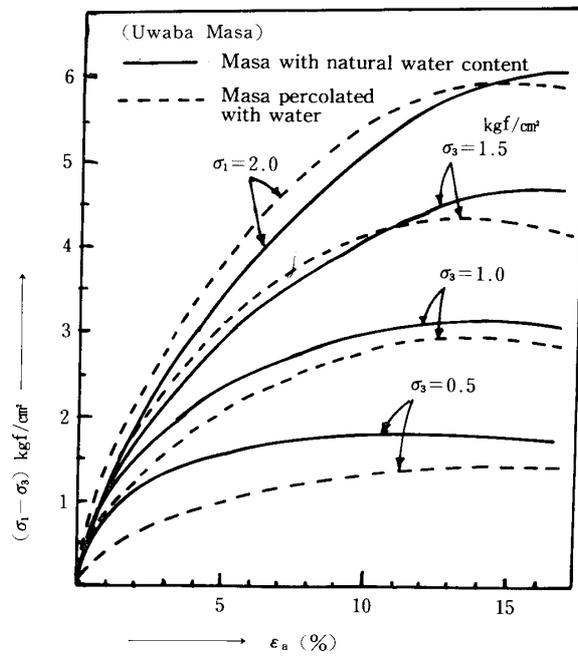


Fig. 7. Stress-strain curves of Uwaba Masa by CD triaxial compression test.

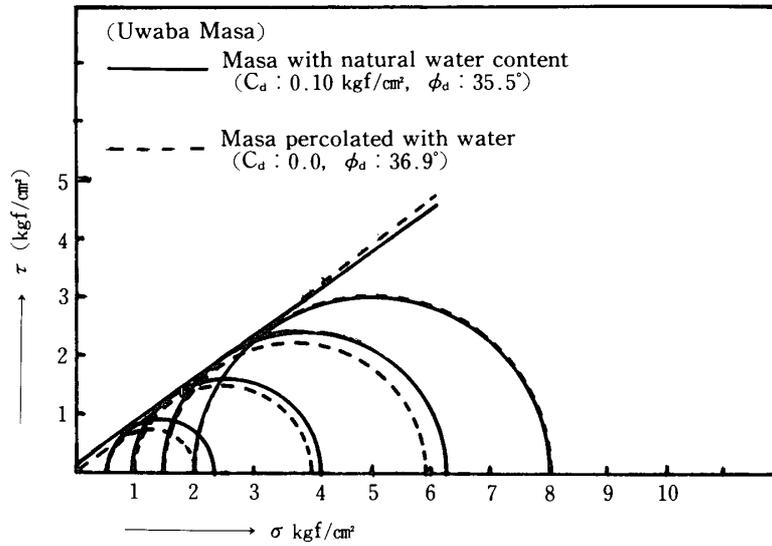


Fig. 8. Mohr's stress circles of Uwaba Masa by CD triaxial compression test (in terms of effective stress).

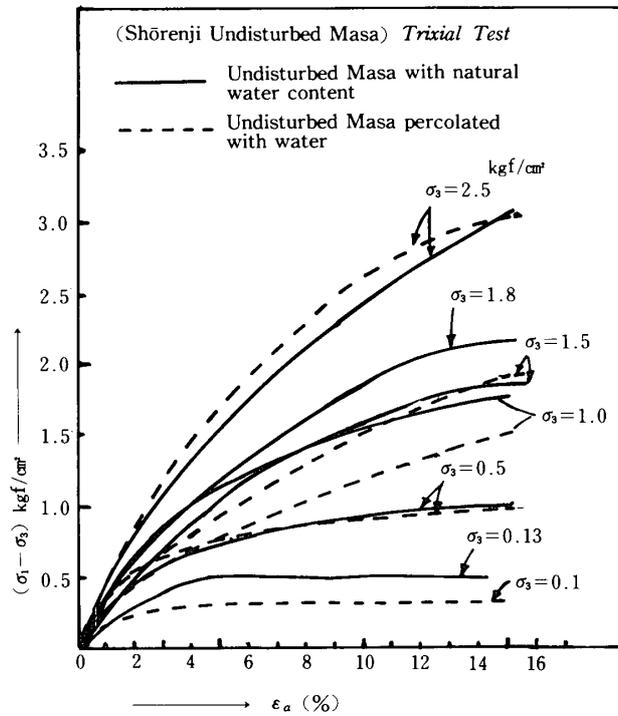


Fig. 9. Stress-strain curves of undisturbed Shōrenji Masa by CD triaxial compression test.

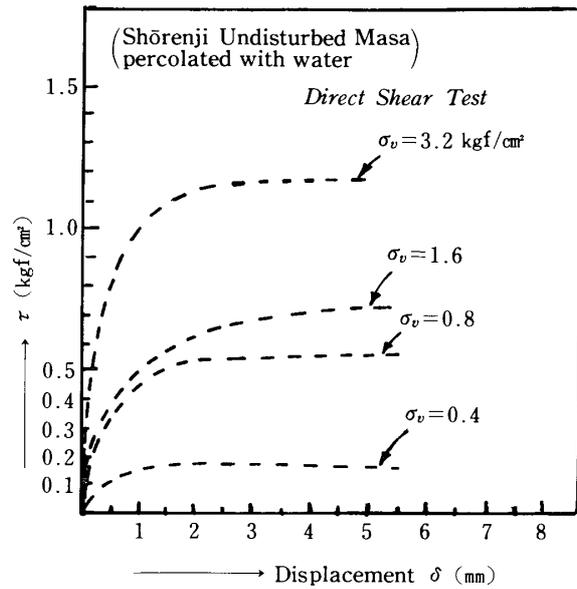


Fig. 10. Shear stress-displacement curves of Shōrenji undisturbed Masa by CD direct shear test.

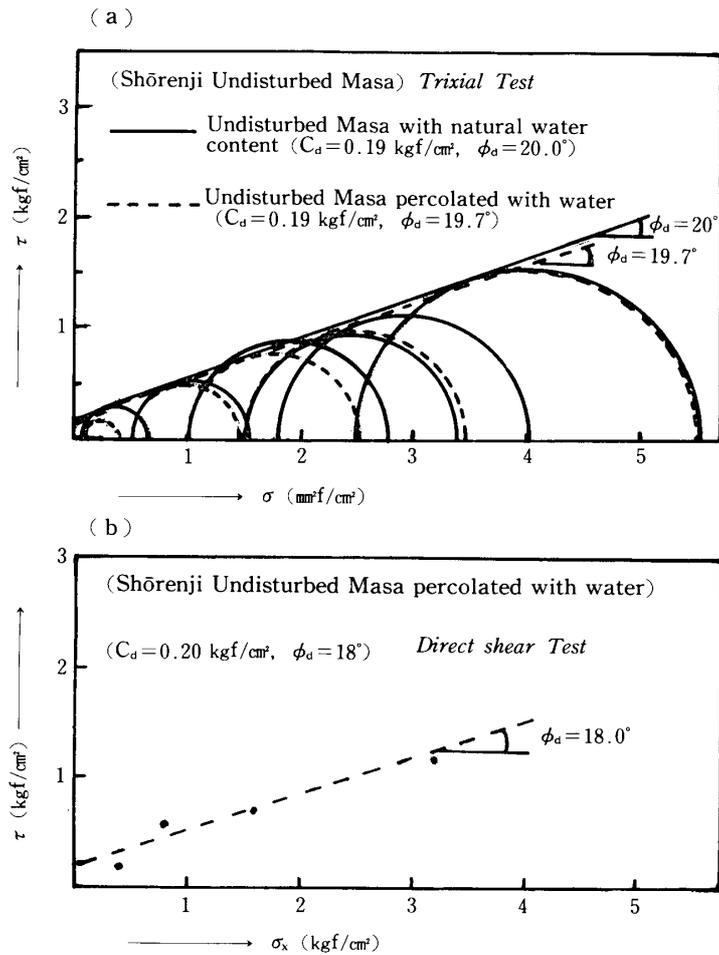


Fig. 11. Mohr's stress circles and failure envelopes of Shōrenji Undisturbed Masa by CD triaxial compression test (a) and Coulomb's failure line by CD direct shear test (b).

Table 1. Physical and mechanical properties of Masa

Condition	Site	w_n (%)	ρ_t (t/m ³)	ρ_d (t/m ³)	ρ_{sat} (t/m ³)	ρ' (t/m ³)	Gs	c_d (tf/m ²)	ϕ_d	Unified Soil Classification
Disturbed Masa	Kōnan C field, Sannuki District, Kagawa Pref.	8.50	1.65	1.52	1.95	0.95	2.67	0.7 (0.3)*	38.58° (38.52°)*	SM
	Kanda 40th field, Uwaba district, Saga Pref.	11.26	1.78	1.60	1.99	0.99	2.65	1.0 (0.0)*	35.49° (36.87°)*	SM
Undisturbed Masa	Shōrenji District, Mie Pref.	22.35	1.16	0.95	1.62	0.62	2.76	1.9 (1.9)*	20.0° (19.7°)*	SM

Note 1) w_n : Natural water content, ρ_t : wet density

ρ_d : dry density, ρ_{sat} : saturated density, ρ' : submerged density

Gs : real specific gravity

2) * shows the strength parameters of soil after percolated with water

0.5kgf/cm²のとき $k=1.6 \times 10^{-3}$ cm/sec, $\sigma_3=2.5$ kgf/cm²のとき, $k=2.9 \times 10^{-4}$ cm/secであった。また Fig. 5, 7, 9, 10等に示すように応力～ヒズミの曲線には、ヒズミ軟化はほとんど認められない。これは斜面崩壊時に進行性破壊はほとんど生じない事を意味しており、従ってピーク強度をとった時に得られるせん断強度 c_d , ϕ_d を用いて斜面の安定解析を行っても良い事を示唆している。

考 察

前述のせん断強度定数を用いて安定解析を行い、斜面の崩壊が地下水位の上昇に伴う間隙水圧の増加によって有効応力法で説明し得るか否かを検討する。斜面の安定解析については、「円弧すべり標準スライス法」が現在、一般に広く使用されているが、これは普通、真の安全率よりかなり小さな安全率を与える。

これに対し、「ビショップ法」⁵⁾は、より真の値に近い安全率を与えると言われている（両者の違いは、主としてすべり面に作用する法線方向の有効応力 $N' = N - U$ の評価法の違いによるが、その理論的検討はこの論文の本旨からはずれるので省略する）。

今回は、斜面の崩壊が合理的に説明し得るか否かの検討を行う事が主たる目的であるから、より正しい安全率を与えるビショップ法の結果を採用する事とした。

1. 香南C地区の斜面崩壊について

香南地区の各所で崩壊が生じ、盛土の薄い部分では、旧地盤にはほぼ平行に土砂が移動したすべり (sheet slide) も生じたようであるが、ここでは厚い盛土の行われたC地区で生じた円弧すべりについてのみ検討する。

讃岐丘陵香南C地区は、開墾前、Fig. 2(a)に示すような原地形が改良山成開墾によって Fig. 2(b)に示すような地形になっている。

昭和51年9月の台風17号によって斜面崩壊の生じたのはABの線で示す谷部をマサ土で埋めた盛土斜面である。測線ABに沿って、等高線図から描いた縦断面図上にビショップ法による安全率が最小となる円弧を描いたのが、Fig. 12である。この図は、円弧すべりの半径を各グリッドの点毎に種々に変化させ、その時の最小安全率をそのグリッドの点での最小安全率として電子計算機に記憶させた後、次々に円弧の中心をグリッドの点上を移動させ、同様の計算を行った後、全体の最小値（各点の最小安全率の中の最小値）を求めさせたものである。この図にはグリッドの各点での最小安全率の等高線も参考までに載せてある。この図に示してあるように、間隙水圧が、水柱高さに換算して、地表面からすべり面までの高さの1.1倍になれば、ビショップ法による最小安全率 $F_{smin}=0.935$ となり、確実に崩壊する状態となる。

自然含水比の不飽和マサ土の強度定数 $c_d=0.7$ tf/m², $\phi_d=38.6^\circ$ を用いた場合、ビショップ法による最小安全率 F_{smin} は上記の場合1.14となるが、地下水が地表面まで上昇した場合は、土の強度定数は飽和マサ土の強度定数になるものと思われるので、 $c_d=0.3$ tf/m², $\phi_d=38.5^\circ$ を用いて解析した結果が、より正しく実

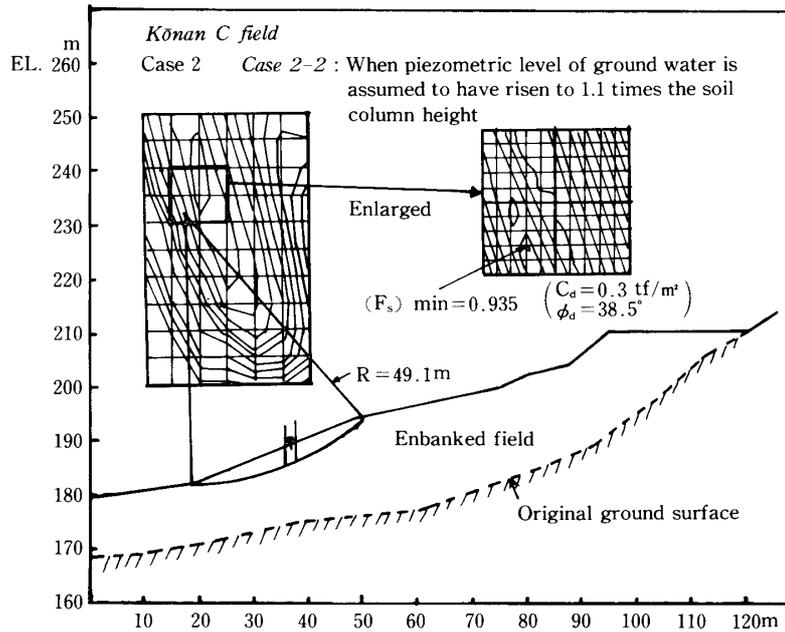


Fig. 12. Safety factor of the slope of Kōnan C field reclaimed at improved slope (calculated by Bishop's method). Section through \overline{AB} in Fig. 2.

際の状況を表わしているものと考えられる。

このC地区の崩壊時の目撃者の証言によれば、「崩壊は円弧状に生じ」かつ「崩壊直前に斜面法尻付近で水柱が突出した」とある事から、地下水位、間隙水圧が崩壊直前に相当高かった事は明らかであるが、目撃者の一人、香南開拓パイロット土地改良区事務局長亀田秀夫氏は「斜面崩壊時に崖側から水がどっと噴き出したが、地表面より数メートルにも上昇したような事実はなかった」と証言しており、あまり大きな被圧水はなく、水柱高に換算して、せいぜい地表面程度までの間隙水圧であったものと考えられる。地形・地質・土質構造からも地表上数メートルに及ぶような被圧地下水を考える事はなかり無理があるように思われる。

2. 上場地区神田40号団地の斜面崩壊について

神田40号団地の、盛土斜面崩壊部近傍の平面図は前掲の Fig. 3 に示す通りである。この崩壊斜面部の縦断面図は Fig. 13 に示す通りである。

地下水位を種々に変えた場合の斜面の安全率をビショップ法によって求めたが、その内地下水位が EL 137.5mの時の最小安全率を与える円弧と、その時の安全率 F_s を、自然含水比のマサ土(不飽和土)の場合について同図に示した。この円弧について飽和試料の強度定数 $c_d = 0.0$, $\phi_d = 36.9^\circ$ を用いた場合はこの図中に記入してあるように安全率 F_s は1よりはるかに小さくなり、この盛土斜面の法勾配 1 : 1.5 ($\alpha = 34^\circ$) では、斜面は到底、安定を保ち得ない事となる。粘着力 $c_d = 0$ の場合、無限延長斜面では地下水面が地表面迄ある場

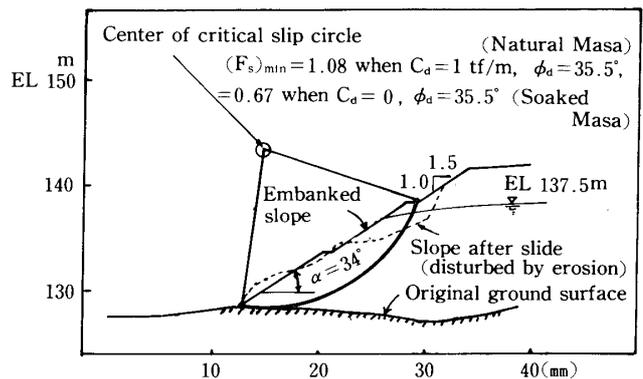


Fig. 13. Critical slip circle and minimum Safety Factor when shear strength parameters of Masa with natural water content are used. $(F_s)_{min}$ for Masa percolated with water is also shown for the same slip circle. (Section \overline{AA} in Fig. 3 of Kanda 40th field of Uwada reclamation Project).

合、斜面の安定角度 α_s は、土のせん断抵抗角 ϕ_d の $\frac{1}{2}$ （斜面傾斜角度 $\alpha = \phi_d$ の場合は安全率 $F_s = \frac{1}{2}$ ）となる事が理論的に証明されている⁹⁾事からして、この解析結果は妥当であり、当然の帰結である。

なお、実際の崩壊は Fig. 13 に示す最小安全率の円弧の状態に近かった。

3. 青蓮寺地区の切り取り自然斜面の崩壊について

これは、Fig. 4 に示すように、マサ土の地山の出鼻部が崩壊したものである。即ち、Fig. 15 に示すように①の矢印で示す急勾配の自然斜面を、農道建設のために②の矢印で示すように、昭和54年10月から55年3月にかけて1:1の勾配に切り取ったところ、昭和57年に至り、7月から8月にかけて、Fig. 15 に示すような集中豪雨に見舞われて崩壊し、③の矢印で示すような地形になったものである。（崩壊後の状況は Plate 1 参照）。崩壊部の上方に急崖が生じ法面下端部の水田が盛り上がったことから円弧状のすべり面によって崩壊した事は明らかである。この急崖部から採取した乱さないマサ土の $c_d = 1.9\text{tf/cm}^2$ 、 $\phi_d = 20^\circ$ を用いて種々の地下水位の場合についてビショップ法による安全率を求めたところ、Fig. 16, Fig. 17 に示すようになった。即ち地下水面が、これらの図中に示す①～②の程度にまで上昇すれば、すべりが生ずる事

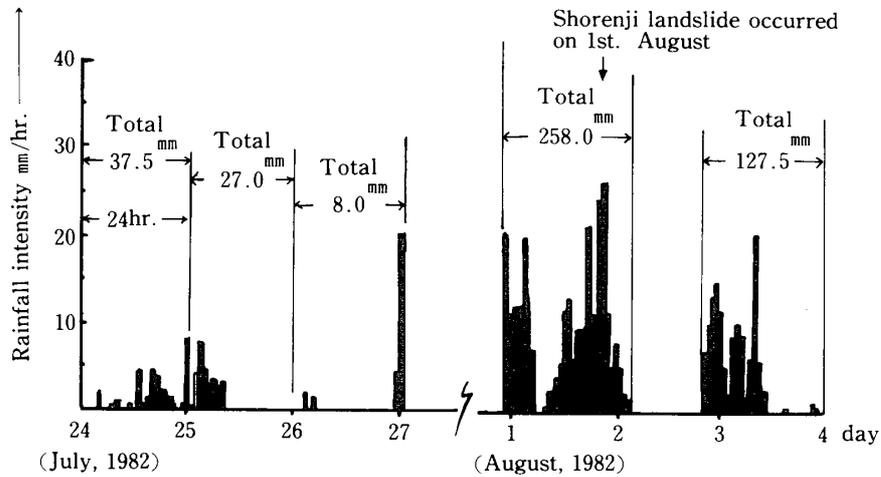


Fig. 14. Rainfall intensity measured at Shōrenji Reclamation station.

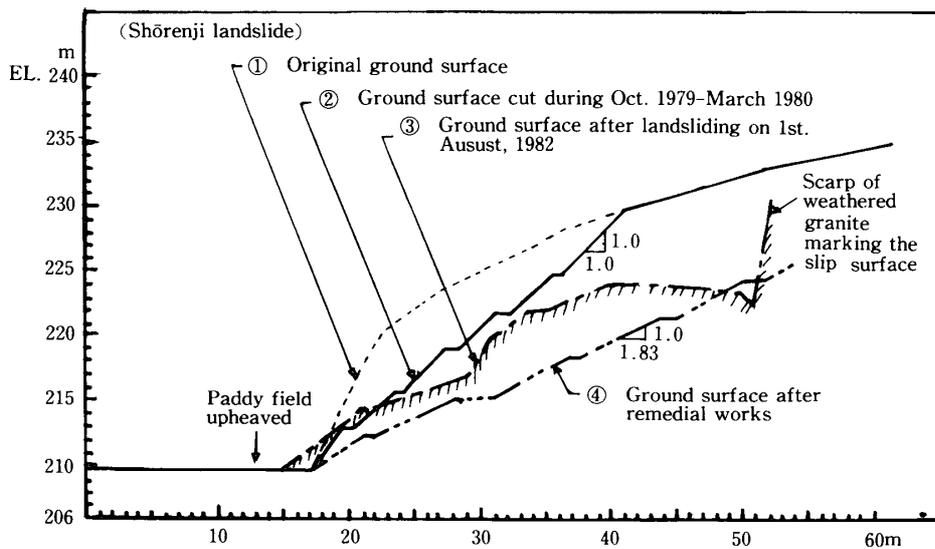


Fig. 15. Section through \overline{BB} of Shōrenji landslide (for \overline{BB} line, ref. Fig. 4) prior to and after landsliding.

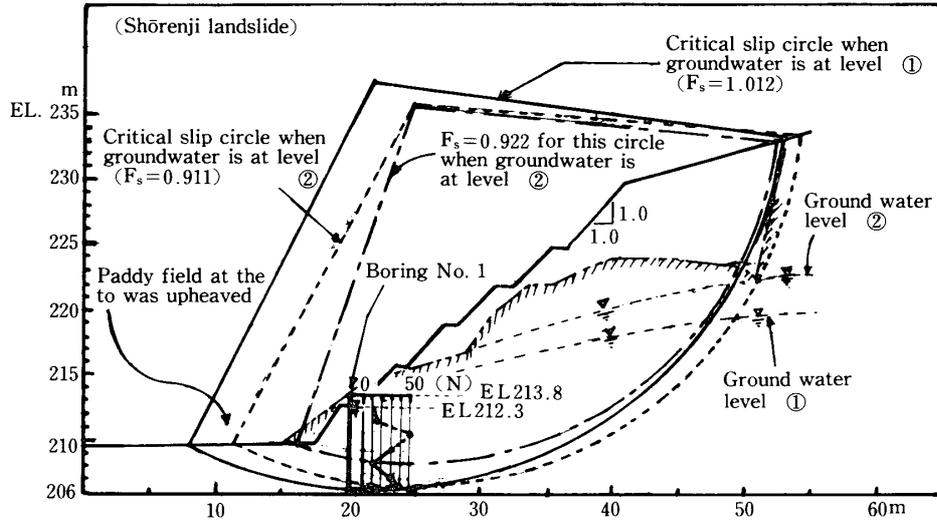


Fig. 16. Section through \overline{BB} of Shōrenji landslide and the results of standard penetration tests (given by N values) of Boring No. 1. Critical slip circles at different groundwater tables are also shown.

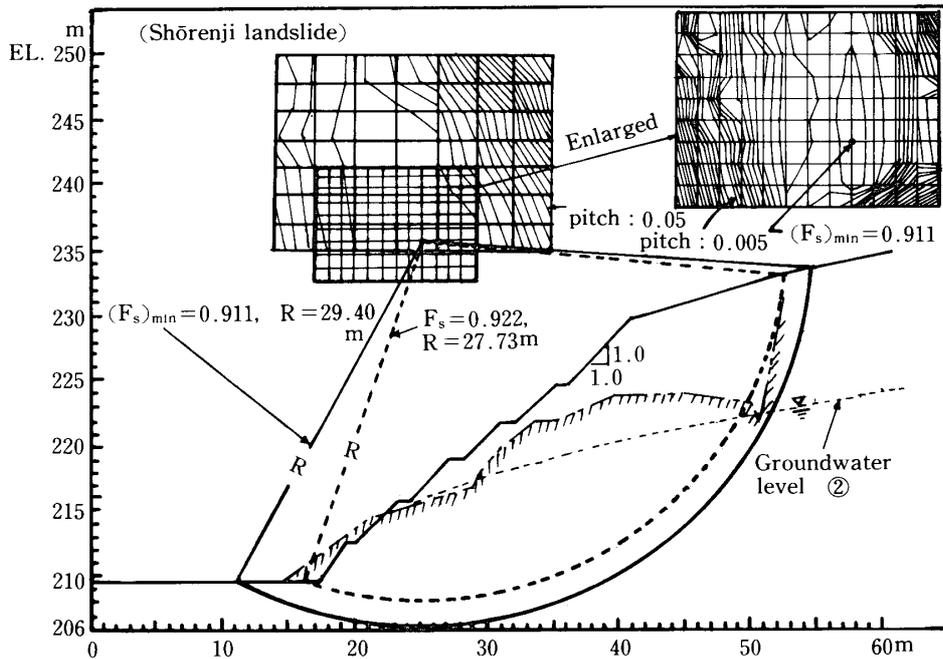


Fig. 17. Contour lines of Safety factors F_s of various circles and the slip circles with minimum and second to the minimum Safety factors when groundwater level is at ② shown in the Figure (by Bishop method).

が分る。なお、地すべり後ボーリングにより試料を採取するとともにN値を測定したところ、Fig. 16に示すようにN値が非常に低く、含水比が高くなっている部分があったが、最小安全率の円弧はほぼこの部分を通っている。これは地すべりによるせん断ゾーンの形成によりマサ土が乱され、ダイレタンスーにより吸水軟化したためと考えられる。また最小安全率を与える円弧は Fig. 16, 17 から分かるように、急崖部

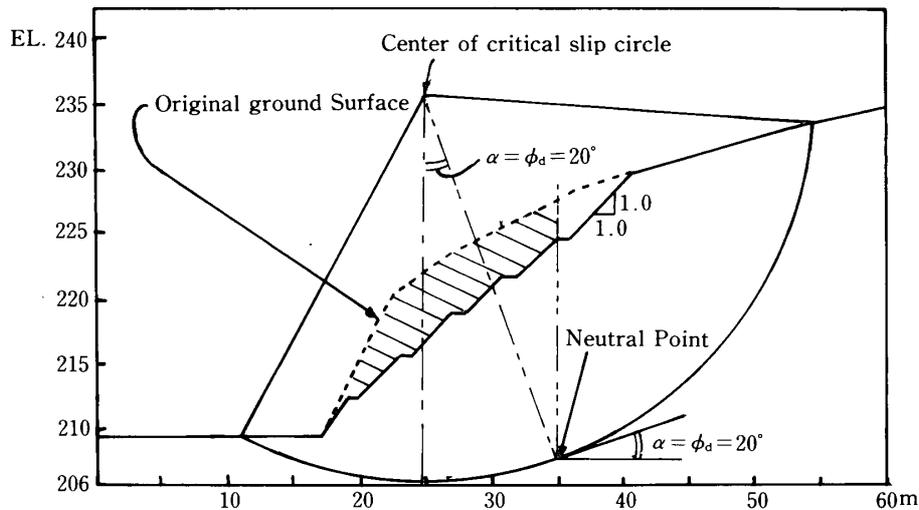


Fig. 18. The hatched zone shows the area on the wrong side of the vertical line drawn from the neutral point. This area occupies most of the cutting executed during Oct. 1979–March 1980 and may have aggravated to long-term stability of the Shōrenji landslide slope.

を通過して水田の盛り部で終わっており、実際の円弧と極めて近似している事は注目に値する（土質は全く異なるがオスローの Lodalen のすべりについて Sevaldson は同じような結論を得ている⁷⁾）。

結局、この場合も、豪雨による地下水位の上昇に伴う間隙水圧の増加によってすべりが生じた事が有効応力法によって十分に説明される結果となった。

なお、Fig. 15 に示すように1979年（昭和54年）10月から1980年（同55年）3月にかけて、地山の凸部を切り取って、1割勾配に整形しているが、これは Fig. 18 に示すように、Hutchinson の提唱する「中立点」⁹⁾で引いた鉛直線から斜面下方を切り取った事となり、却って斜面全体の長期安定には悪い結果となった可能性がある。

結果と対策

1. 締め固め度の低いマサ土の有効応力表示の強度定数 c_d は水浸する事により、減少するが、 ϕ_d はほとんど変化しない。
2. 乱さない構造を持ったマサ土の c_d , ϕ_d は水浸してもほとんど変化しない。
3. 讃岐丘陵香南地区（C地区）の改良山成開墾盛土斜面の円弧すべり崩壊については、「間隙水圧が水柱高さに換算して、すべり面と地表面の間の土柱の高さより、わずかに高くなった」として、十分説明でき、地表上数メートルに達するような被圧地下水を仮定する必要はない。
4. 上場農業水利事業神田40号改良山成開墾斜面の崩壊も地下水位がE L. 138m 付近まで上昇したものとすれば、説明できる。
5. 青蓮寺開拓事業のマサ土の自然斜面の崩壊も豪雨による地下水位の上昇に伴って間隙水圧が増大したものと有効応力法で十分説明できる。
6. ビショッブ法によって求めた最小安全率を与える円弧の位置は、実際に生じたすべり円弧とかなり近似しており、ビショッブ法は、ひずみ軟化を生じないマサ土斜面の安定解析に適している。
7. 対策工法としては、平凡ではあるが、
 - イ 地下水排除工を十分に行い、間隙水圧の上昇を極力抑制する。
 - ロ マサ土の自然斜面の切土を行う場合にはビショッブ法によって最小安全率を与える円弧を求め、過

剰間隙圧係数 $\bar{B} = 0$ として、その中立点 (Neutral point) の位置を求め、それより下方の斜面の切土は避けるべきである。

- ハ 改良山成開墾のための斜面造成時に、地形上の制約や農道建設のために、1割5分程度の斜面 (斜面傾斜角度 34°) を造成せざるを得ない場合には、この斜面部はでき得れば、粘土分を多く含むマサ土で、特に良く締め固めて、土の強度定数 c_a , ϕ_a を大きくするとともに、この斜面部の地下水位が上昇しないよう、その背面部での排水工を特に入念に施工する。

なお、マサ土斜面の勾配や締め固め度等の基準化を計るためには、締め固めの程度を種々に変化させた場合の c_a , ϕ_a の変化やその浸水による変化の程度などを明らかにする必要がある、今後さらに、これらの点についての研究を進める必要がある。

謝 辞

本研究の一部は昭和57年度科学研究費、一般研究(C)、課題番号341140135182 (研究代表者、仲野良紀)、昭和57年度特別研究「東海地域の農業近代化に対応する農業工学的研究」の補助金によって行われた。また昭和57年度中四国農政局委託研究「特殊地質斜面防災基礎調査」によって得られた試験データの一部も使用させて頂いた。讃岐丘陵香南地区、上場農水神田40号団地の山成り開墾斜面及び青蓮寺開拓の自然斜面等の崩壊原因の現地調査及び試料採取に際しては、それぞれ、中四国農政局資源課、上場農業水利事業所及び青蓮寺開拓建設事業所の方々に一方ならぬお世話になった。なお斜面安定解析の電子計算機プログラムは農林水産省農業土木試験場川本治氏の開発したプログラム⁸⁾の一部を修正して使用させて頂いた。なお、計算には名大の FACOM-M200, 岐大の FACOM-M360 等を使用させて頂いた。計算及び実験には岐大情報センター技官、辻喜久夫、松田章両氏及び当研究室卒業生諸氏に御協力頂いた。記して謝意を表したい。

文 献

- 1) 青柳省吾・横瀬広司：花コウ岩風化残積土のせん断強さと pF 水分特性について、農土論集(62)：34-40, 1976.
- 2) 青柳省吾・横瀬広司：浸透後における花コウ岩風化残積土の剪断強さと水分保持特性について、農土論集(106)：1-7, 1983.
- 3) 松尾新一郎、他：「第三章 マサ土」，“日本の特殊土”東京：土質工学会85-137. 1974.
- 4) 庄野久人・佐々木清・藤原茂範：乱さない風化花コウ岩試料の特性について、土と基礎, 23,(2), 19~24, 1975.
- 5) Lambe, W. T., Whitman R. V. : “Soil Mechanics” John Wiley & Sons, New York : 364-366, 1969.
- 6) 仲野良紀：軟岩をめぐる諸問題-泥岩の力学特性, 土と基礎, 28,(7), 1-10, 1980.
- 7) Sevaldson, R. A. : The Slide in Lodalen, October 6th, 1954, Geotechnique, 6, 1-16, 1956.
- 8) 川本治：スライス間力を考慮した極限平衡法の検討と地すべり安定解析への適用, 農土試技報 C22 : 53-86, 1981.
- 9) Hutchinson J. N. : Assessment of the Effectiveness of Corrective Measures in Relation to Geological Conditions and Types of Slope Movement, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 16, 131-155, 1977.