

雨水浸透による斜面崩壊

SLOPE FAILURE DUE TO SEEPAGE OF RAINWATER

八木 則 男*・矢田 部 龍一**・山 本 浩 司***

By Norio YAGI, Ryuichi YATABE and Kōji YAMAMOTO

のである。

1. はじめに

梅雨季における集中豪雨時を始めとして、降雨が原因と思われる斜面崩壊は、毎年 2000 件以上にものぼるといわれ、その被害も多大である。平時安定している斜面が雨水浸透によって崩壊する原因としては次のことが考えられる。すなわち、飽和度の上昇による自重の増加、飽和に伴うサクシヨンの消失による見掛けの粘着力の消滅、および間隙圧の増加による土の強度低下である。このうち、自重の増加は地盤の間隙率がわかれば簡単に求めることができ、吸水による土の強度低下は数多くの研究がなされつつある。雨水浸透による斜面崩壊が多発している砂質土地盤では、その強度低下に及ぼす影響が大きいのは間隙圧の増加と考えられるにもかかわらず斜面内に発生する間隙圧の分布に関する研究は不十分である。最近の研究では、アウセレエフの浸潤浸透理論を用いて発生間隙圧を求め、無限、有限斜面安定解析を行った西田ら¹⁾によるもの、2 相流浸透理論を用い豪雨時の任意時刻の土中水分状態を求め、斜面の破壊確率の計算を行った松尾ら²⁾によるものがある。しかし、この両者を始めとしてその研究の大部分は鉛直浸透だけを考慮したもので、斜面の傾斜方向への流れを考慮したのではない。

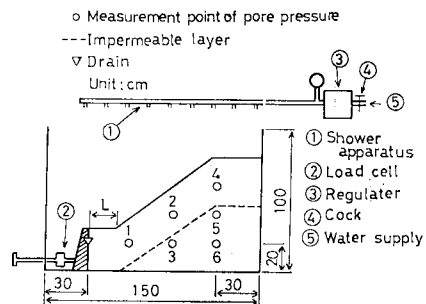
本研究では、雨水浸透による斜面内間隙圧の増加が斜面崩壊に及ぼす影響の究明を主とし、斜面崩壊の室内模型実験により雨水浸透時の間隙圧を測定、斜面崩壊の観察を通じて斜面崩壊機構を解明する。さらに有限要素法による雨水浸透解析を行い、解析結果と実験結果を比較検討し、この解析結果を用いて円弧すべり面による雨水浸透時の斜面安定解析法の基礎を確立し検討を加えるも

2. 室内雨水浸透実験による斜面内間隙圧と崩壊形態^{3)~5)}

(1) 実験装置、試料、実験条件

実験装置と模型斜面の概要を図一に示す。土槽の奥行は 50 cm で、底面と側面は不透水面になっている。そして斜面内に斜めに不透水層を設けることも可能である。また、土槽の前面は浸潤前線が観察できるようにアクリル板とし、後面の鉄板には間隙圧測定のための小孔を設け、その測定には容量 200 gf/cm²(19.6 kPa) または 500 gf/cm²(49 kPa) の水圧計を用いた。そして、受圧面と水圧計の間は脱気水で飽和させた短い硬質ビニールパイプで接続した。このほかに幅 200 cm、高さ 100 cm、奥行 15 cm の土槽を用い間隙圧の測点をより多くし、詳しい間隙圧分布を知るための実験も行った。人工降雨は農業用スプリンクラーを改良して使い、雨の状態は霧状である。

実験に使用した土は豊浦標準砂、まさ土、川砂の 3 種で、おのおのの最大粒径 D_{max} 、平均粒径 D_{50} 、均等係数 U_c 、土粒子比重 G_s 、透水係数 k は表一に示した。



図一 実験装置の概要図

* 正会員 工博 愛媛大学教授 工学部海洋工学科

** 正会員 工修 愛媛大学助手 工学部海洋工学科

*** 正会員 工修 大阪土質試験所

表一 試料の物性値

	D_{max}	D_{30}	U_c	G_s	$k(\text{cm/s})$
Toyoura sand	0.42	0.25	1.41	2.65	3.2×10^{-2}
Masado	2.50	0.70	5.90	2.68	5.0×10^{-3}
River sand	5.60	0.80	4.80	2.67	5.5×10^{-3}

実験は、図一1の土槽を使用し不透水層を設けないシリーズ I, 設けたシリーズ II, 幅 15 cm の土槽を使用したシリーズ III で行った。

模型斜面はそれぞれ 10 層前後に分けて土を入れ、各層均一に締め固めて作製した。降雨強度はすべての実験で 100 mm/h とし、間隙圧を連続的に自記させ、所定の時刻に浸潤前線の位置を知るための写真撮影を行った。降雨強度 100 mm/h は実際の降雨としては異常に強いが、実験の目的は雨水の浸透による斜面内間隙圧分布と斜面の崩壊形態を調べるためであるので、この値を用いた。

(2) 実験結果および考察

a) 斜面内発生間隙圧

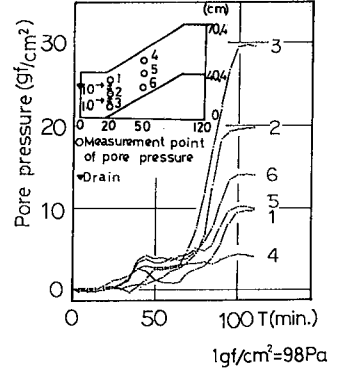
図一2(a),(b) にシリーズ I の (a) 標準砂乾燥地盤、(b) まさ土乾燥地盤の、図一3 にシリーズ II のまさ土乾燥地盤の降雨開始後の経過時間 T による発生間隙圧の変化を示す。図中白丸で示した測点すべてにおいて、進行浸潤面が不透水層に達して跳ね返り現象が生じたのち急激に間隙圧の上昇がみられる。さらに時間が経過すると間隙圧はほとんど変化しなくなり定常状態に至る。この状態での発生間隙圧で特徴的なことは、いずれの場合においても、斜面先近傍の下部において、異常に高い間隙圧が生じていることである。異常に高い間隙圧という意味は、もし地下水位が斜面の表面にあると考えたときの静水圧より大きな間隙圧が生じているということである。すなわち、斜面先近傍の下部においては鉛直方向の水の流れの成分が存在していることを意味している。こ

の静水圧以上の間隙圧を過剰間隙圧とよぶことにする。たとえば、ここに示したシリーズ I では、斜面先の測点 1 で両ケースとも約 7gf/cm² (0.69 kPa) の過剰間隙圧が発生している。また測点 2 ではほぼ静水圧相当の、測点 3 では静水圧の 7 割、測点 5 では 5

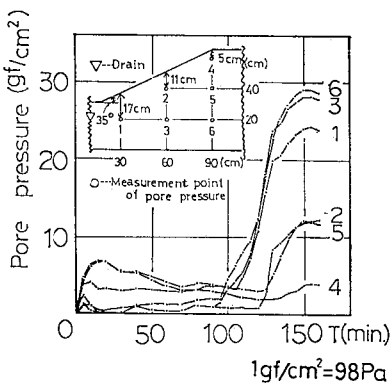
割、測点 6 では 6 割程度の間隙圧が発生している。斜面内に斜めに不透水層を有するシリーズ II でも、その傾向は同じである。この過剰間隙圧は有効上載圧を減少させることになり、斜面の安定性で問題となる。このことは従来より行われている鉛直浸透実験や解析では考えられないことであり、それは表層崩壊特に斜面先での崩壊の可能性をうかがわせる。

次に 図一2(a),(b) で間隙圧の経時変化を比較する。

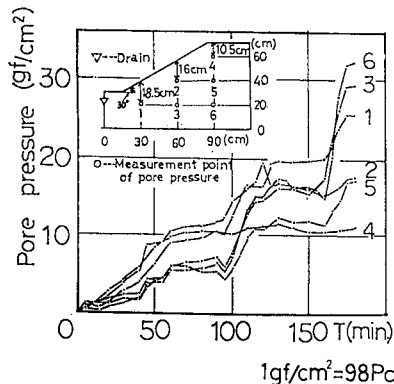
(a) の標準砂地盤では、浸潤前線が地下水面に到達して浸潤前線が跳ね返る降雨開始後 110~120 分までは、間隙圧の発生はあまりみられない。それに対し (b) のまさ土地盤では、降雨開始後 160 分経過して浸潤前線が跳ね返るまでに間隙圧のかなりな上昇がみられる。ここで、浸潤前線の跳ね返りとは、浸潤前線が既存の地下水面または不透水層に達した後、地下水面が順次上昇してゆく現象を意味している。また、跳ね返りまでの時間は標準砂地盤の方が短い。これらの結果はシリーズ II でも同様である。これらの現象は標準砂の透水係数がまさ土のそれに比べ 10 倍前後大きいと思われる。つまり透水係数が小さい土地盤では、浸潤前線の降下に伴って



図一3 発生間隙圧と経過時間 (T) の関係 (まさ土乾燥地盤)



(a) 標準砂乾燥地盤



(b) まさ土乾燥地盤

図一2 発生間隙圧と経過時間 (T) の関係

浸潤面と不透水面の間に空気閉塞が生じ、間隙圧が上昇すると思われる。しかし、初期に湿潤状態の場合、顕著な空気閉塞による間隙圧の増加はみられないが、これは間隙空気量が少ないからであろう。別に行った鉛直浸透実験でも、乾燥状態のときは浸潤前線の降下に伴って間隙圧の発生があるが、湿潤状態では浸潤前線が跳ね返るまでは間隙圧の急な増加はみられなかった。

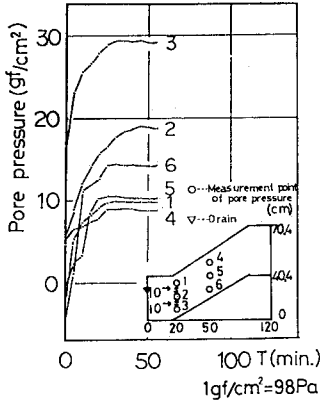


図-4 発生間隙圧と経過時間 (T) の関係 (まさ土湿潤地盤)

図-4に湿潤地盤の間隙圧の経時変化を示す。図-3の場合と比べるとかなり早い時間で間隙圧が定常状態に達している。そしてその値もほとんど等しい。これは一度以前に降雨によって斜面内の飽和度が高くなっていれば、続いての比較的小さな雨量でも崩壊が起こり得ることを示している。

シリーズⅢの実験結果について述べる。まず図-1の斜面先と土留壁の間の距離 L が発生間隙圧に及ぼす影響を調べた。 $L=10, 30, 50$ cm のいずれの場合も斜面先下部に過剰水圧が発生しているが、その大きさは L によってあまり変化はない。また間隙圧が定常に達した後、土留壁の高さ 10 cm と 20 cm のところから十分に排水を許した。その排水量は、推定の斜面内への雨水浸透量のほぼ同量からその 3/4 の量の範囲であったが、過剰間隙圧は多少減少するもののゼロにはならず、当然 L が大きい方が大きな過剰間隙圧が残留する。さらに過剰間隙圧に及ぼす斜面の高さと角度の影響を調べるための実験を行い表-2の結果を得た。ただし斜面角度が

表-2 斜面先下部での過剰間隙圧

Slope angle	25°			30°		
Slope height (cm)	40	60	80	45	65	85
Excess pore pressure (gf/cm ²)	3.6	3.5	3.0	4.8	4.1	5.0

1 gf/cm² = 98 Pa

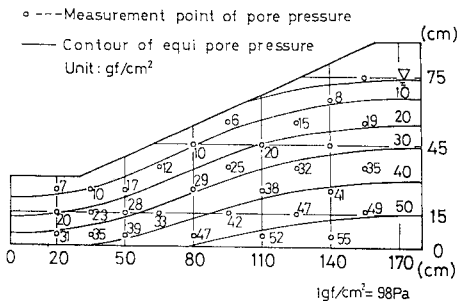


図-5 斜面内間隙圧分布 (川砂地盤)

また図-2(b)と図-3を比べると、斜面内に斜めに不透水層を有し透水層の薄いシリーズⅡの方が、跳ね返りまでの時間および定常に達するまでの時間は短い。これは、透水層が薄いほど少ない雨量で過剰間隙圧が発生することを意味している。

30° のときは間隙圧の上昇過程で斜面がわずかに崩壊したので、その正確な比較はできないが、表-2にみる限りでは、過剰間隙圧の大きさは高さにはあまり関係なく斜面角度の影響を受けるようである。

最後に図-5にシリーズⅢで得た斜面内の間隙圧分布の一例を示す。これは雨水が斜面内に十分に浸透し、定常状態に達したとき測定された最高の値である。同図から間隙圧の分布の傾向は、斜面の肩から斜面先に行くにつれて、地表面より同じ深さにおける間隙圧は大きくなっていることがわかる。そして斜面先の近くでは、前述したように過剰間隙圧が発生している。

(3) 斜面崩壊の形態

雨水浸透実験で斜面角 β が 25° 以上の斜面で崩壊したことがある。このことは実際の斜面で、斜面角度が 25° 以下であれば崩壊しないということを意味しているのではない。この崩壊の観察の結果、定性的に2つの斜面崩壊の形態があるように思われる。

一つは図-6に示したように、おもに標準砂地盤にみられた比較的斜面角度が小さい場合の崩壊である。浸潤前線が地下水面に到達して跳ね返り現象が起こり、間隙圧が定常状態に近づいた時点で、斜面先下部に発生した過剰間隙圧のため斜面先の小規模の崩壊が生じ、順次それが斜面上部の崩壊へと移行するものである。崩壊の移行時間を図-6に併記してある。また、まさ土地盤の場合、斜面角が 25° および 30° では斜面先でわずかの崩壊が生じただけで、斜面上部までの崩壊には至らなか

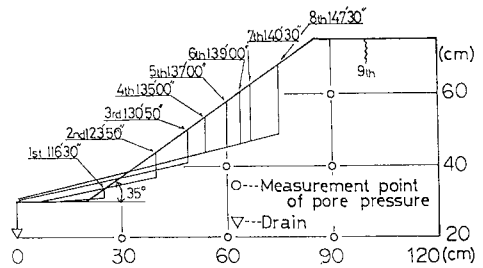


図-6 斜面崩壊の形態

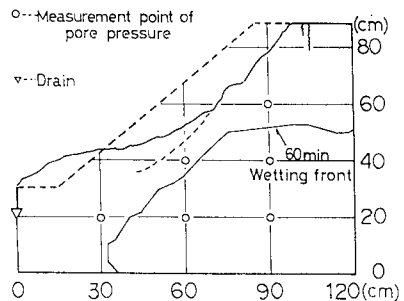


図-7 斜面崩壊の形態

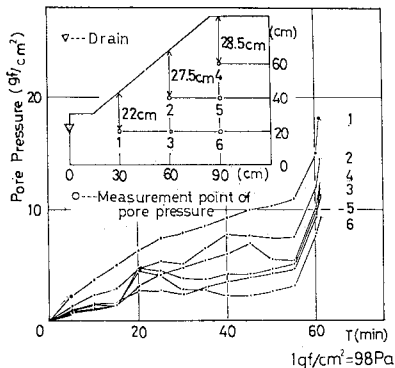


図-8 発生間隙圧と経過時間 (T) の関係

った。斜面角が 35° では斜面先の小崩壊に誘発されるように円弧状に大きなすべりを生じ、斜面上部まで崩壊した。以上述べた斜面崩壊は、斜面先下部での過剰間隙水圧が主要因となっている。

もう一つの崩壊形態は、図-7 に示したまさ土地盤の場合にみられた。この斜面の斜面角は 40° である。同図には崩壊前の斜面形状と崩壊後の斜面形状、それと崩壊直前の浸潤前線の位置を示している。これから浸潤前線が不透水層に達していないところが多いにもかかわらず、斜面全体にわたる大きな崩壊が一時に生じたことがわかる。この崩壊形態は、斜面先での過剰間隙水圧により、斜面先から逐次崩壊していく斜面角が 25°~35° の斜面でみられたような崩壊形態とは異なる。図-8 に時間と発生間隙圧の関係を示す。間隙圧は空気閉塞の影響を受けて降雨開始後徐々に上昇しているが、崩壊の 5~6 分前から急上昇している。降雨開始後 62 分経過した崩壊時には、間隙圧は定常値に達していない。これから崩壊の原因は次のように考えられる。斜面角が 40° と大きいので雨水浸透前にすでに安全率は小さい。それで、雨水の浸透による自重の増加と空気閉塞に伴う間隙圧の上昇により斜面全体にわたる崩壊が発生したと思われる。

(4) 浸潤前線

図-9 に経過時間と浸潤前線の関係の一例を示す。浸

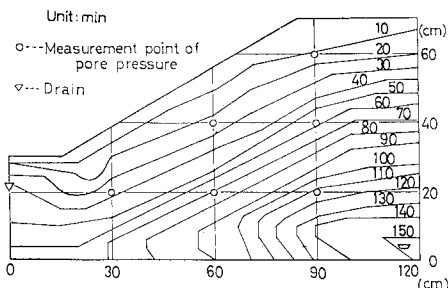


図-9 浸潤前線と経過時間の関係

潤前線は 10 分間隔の写真撮影により後で判読したものである。同図からみると浸潤前線は、斜面に対してほぼ平行に降下している。また他のケースも含めてその多くは、斜面先で時間とともに進行を早めている傾向がみられる。

3. 斜面内雨水浸透解析⁶⁾

(1) 基礎方程式および解析方法

飽和-不飽和領域の浸透を支配する基礎方程式は、連続の式と Darcy の法則を不飽和領域へ拡張することにより次の非線形方程式で表わされる⁷⁾。

$$\text{div}K(\theta)\vec{\nabla}(\varphi+z) = (C(\theta) + \alpha S_s) \frac{\partial \varphi}{\partial t} \dots\dots (1)$$

ここに、 $K(\theta)$ は透水係数、 φ は圧力水頭、 α は不飽和領域で 0、飽和領域で 1 である。 S_s は比貯留係数、 z は鉛直座標、 t は時間、 θ は体積含水率である。また $C(\theta)$ は比水分容量 ($=\partial\theta/\partial\varphi$) で不飽和土の浸透特性曲線 ($\varphi \sim \theta$ 曲線) の勾配から求められる。

式 (1) の有限要素法による定式化は、重みつき残差法で行い、重み関数としては Galerkin 法を用いた。そしてその手順は赤井⁷⁾ が示したものに従った。時間項の取扱いは後退差分法により行った。その誘導および解析手順は割愛する。また、初期条件、境界条件は次のようである。

- ① 初期条件 $h(x_i, 0) = H_0(x_i)$ ($h = \varphi + z$)
- ② 境界条件 ○水頭が既知の境界：

$$h(x_i, t) = H_b(x_i, t)$$

- 流量が既知の境界：

$$\partial h / \partial \vec{n} = V(x_i, t)$$

(\vec{n} は境界面に垂直なベクトル)

計算に際して境界条件の導入は、初期条件に応じてまず定めておき、時間ステップの移行とともに雨水浸透を許す斜面上の境界で 2 つの条件を計算結果に応じ変換させた。

図-10 に土柱の下部を水と接触させ毛管上昇させたときの浸潤前線の上昇を本法により解析した結果を示す。解析の条件は河野⁸⁾ が行った実測と同一で、その実測結果と比べると非常によい対応性を示している。ゆ

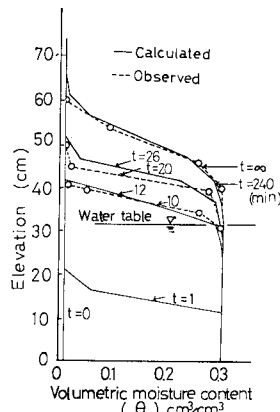


図-10 毛管現象解析値

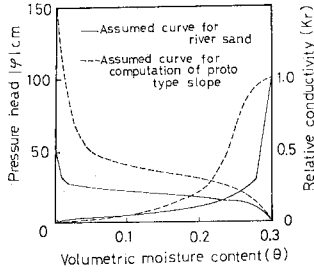


図-11 浸透特性曲線

えに、本法は飽和-不飽和浸透の追従に十分役立つといえる。なお、斜面内への雨水浸透を考える際には、間隙空気の影響を考慮する必要がある。しかし、それは現段階で非常に難しい問題であり、解析の目的をおもに定常状態の間隙圧分布においたので、今回は崩壊の多発する斜面に砂質系地盤が多いことから、間隙空気は抜け道等により自由に斜面外へ排出されると仮定し解析を行った。また、図-11に3.(2),(3)で解析の際用いた不飽和土の浸透特性曲線を示す。この関係は求めることが難しいため毛管高さを $h_c = C/eD_{10}$ (ここに、 e は間隙比、 D_{10} は有効径、 C は係数) の式⁹⁾より求め、標準的な浸透特性曲線¹⁰⁾にない仮定したものである。

(2) 室内模型実験との比較

モデル斜面の解析を行う前に室内模型実験の結果との比較を行った。比較を行ったのは、シリーズⅢの斜面高さ 60 cm、斜面角度 25°、斜面先地表面からの深さ 30 cm に不透水面がある場合で、試料は川砂である。解析のための川砂の物理定数の入力データは、有効間隙率 $n_e = 0.3$ 、飽和透水係数 $k = 4.0 \times 10^{-3}$ (cm/s) で、浸透特性曲線は毛管高さ 30 cm として図-11に示したものを用了。ここで、 k は実測値であり、 n_e は河野ら⁹⁾の実測値を参考にした。

a) 浸潤前線

図-12に乾燥地盤における浸潤前線の推移についての実験と解析の結果を示す。ただし、解析では $\theta = 0.29$ となった点を速ね浸潤前線の位置とした。図をみると実験値、解析値ともその浸潤前線は斜面にほぼ平行に降下していくことがわかる。降下速さは 60 分くらいまでは

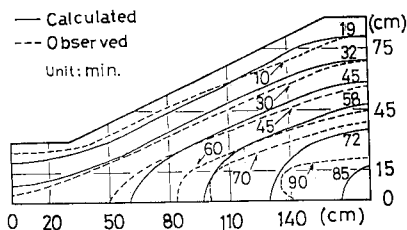
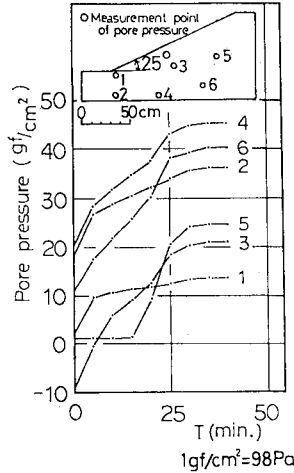
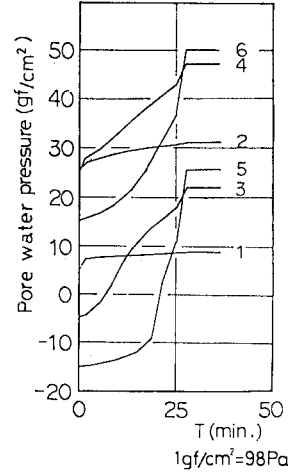


図-12 浸潤前線と経過時間の関係



(a) 実測値



(b) 解析値

図-13 発生間隙圧と経過時間 (T) の関係

ほぼ両者が一致している。しかし、それ以降は解析結果の方が早い。これは、本法が間隙空気はスムーズに浸透水と入れ換わると仮定したため、解析では空気閉塞の影響をまったく受けないためと思われる。

b) 発生間隙水圧

図-13(a),(b)に湿潤地盤における実験と解析の経過時間による発生間隙水圧の変化をそれぞれ示す。ここで実測値は間隙圧で、解析値は空気圧を考慮せず間隙水圧であるので、厳密には両者の比較はできないが、浸潤前線の跳ね返り後斜面内は飽和状態に近く、測定値はほぼ間隙水圧に等しいと考えてよい。両者の比較をすると、その経時変化の傾向はよく一致している。しかし実験では降雨開始後 20 分から 25 分にかけてやや鋭角的に間隙(水)圧の上昇を示し、その後ゆっくりと最終の定常値に達しているのに対し、解析では 25 分から 28 分にかけて急激に上昇し一気に最終の定常値に達している。これも実験結果には、わずかに残留した間隙空気が影響を与えているせいだと考えられる。

最終定常値の比較のため、図-14に同地盤の間隙(水)圧分布を示す。同図より、その傾向はほぼ一致しているといえる。実測値と比べ解析値の方が、斜面中央

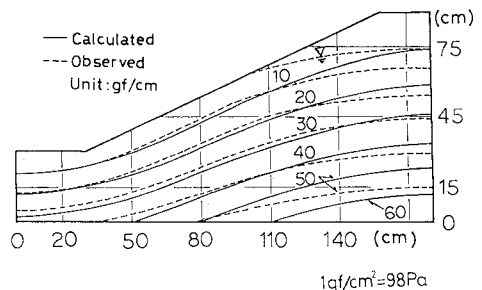


図-14 定常状態での斜面内間隙(水)圧分布

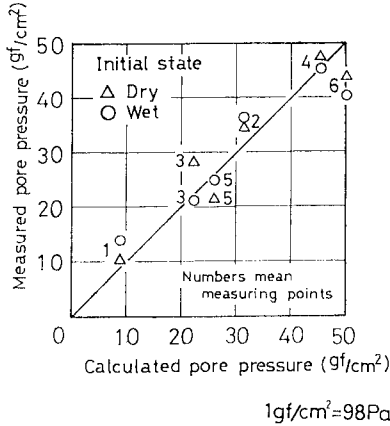


図-15 定常状態での間隙(水)圧の解析値と実測値の比較

部から斜面先にかけてその分布はやや低く、斜面の肩側で高くなっている傾向はあるが、定常状態での各測点の間隙圧の実測値と解析値を比較すると図-15のようになり、比較的良好に実測値と解析値が合っている。

ところで、室内模型実験の結果のうち重要と思われるものに斜面先の過剰間隙(水)圧の発生がある。解析ではその値が実測値よりわずかに小さいものの算出されている。これは、定常状態において斜面上部より浸透した雨水が斜面先で上向きに浸出することによるもので、図示はしていないが等ポテンシャル線が、斜面先の下部で曲線を描いていることから明らかである。

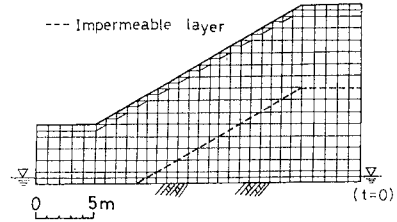
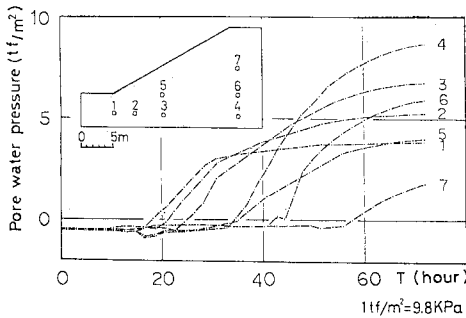


図-16 要素分割図

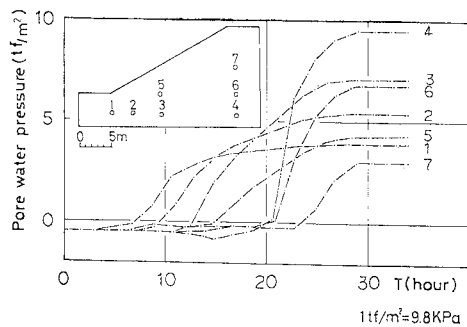
(3) 実大斜面への適用

解析を行ったモデル地盤は、斜面角度 30°, 斜面高さ 10 m の斜面で、一つは斜面に平行な不透水層を考えた。図-16 にその形態と要素分割を示す。また地盤の物理定数入力データは、 $n_e=0.3$, $k=5 \times 10^{-3}$ (cm/s), $h_c=70$ cm, 初期体積含水率 $\theta_0=0.05$ で均一とし、浸透特性曲線は図-11 に示したものをを用いた。降雨強度は、50 mm/h と 100 mm/h を考えた。

図-17(a),(b) に降雨強度 50 mm/h と 100 mm/h の場合の経過時間による発生間隙水圧の変化を示す。両図をみると、各ポイントでの間隙水圧の発生時刻は、降雨強度 100 mm/h の方が 50 mm/h より倍近く早く、その上昇も急激である。また斜面先のポイント1で間隙水圧の発生状況を見ると、その点で静水圧に達するに要する時間は、50 mm/h の 34 時間に対し 100 mm/h では 14 時間と倍以上早い。そしてその発生は斜面先より生じ時

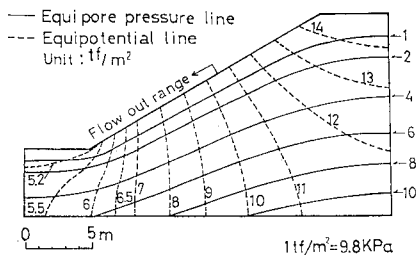


(a) 降雨強度 50 mm/h

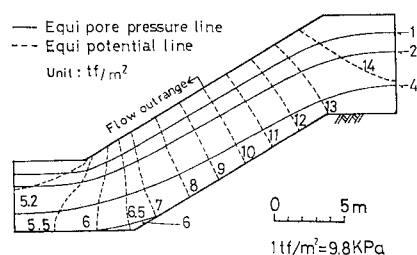


(b) 降雨強度 100 mm/h

図-17 発生間隙水圧と経過時間 (T) の関係



(a) 不透水層なし



(b) 不透水層あり

図-18 定常状態での斜面内間隙(水)圧分布(降雨強度 100 mm/h)

間とともに斜面奥へと移行する地下水面の動きと一致している。ところで、このように間隙水圧が定常となるまで相当長い時間を要するのは、初期において地盤条件を乾燥状態としたからである。

図-18(a),(b)に定常状態における間隙水圧の分布を示す。なお、降雨強度はいずれも100 mm/hで図には等ポテンシャル線もあわせて示してある。これを見ると等圧線は、不透水層の有無にかかわらず、斜面の肩から斜面先に行くにつれて斜面に近づいており、このような実大斜面においても斜面先近傍の下部において過剰間隙水圧が発生することがわかる。その傾向は等ポテンシャル線にはっきりと現われている。また、その発生量を図-17のポイント1で示すと、不透水層のない場合が約90 gf/cm²(9.6 kPa)、ある場合が約85 gf/cm²(8.33 kPa)で、不透水層がある場合の方が斜面先下部での過剰水圧は小さくなっている。しかし、定常状態に達するまでの時間は、不透水層がある場合の方が短い。

また、不透水層がない地盤で降雨強度50 mm/h, 100 mm/hの場合の定常状態におけるポイント1での過剰間隙水圧は両者とも約90 gf/cm²(9.6 kPa)であり大差がない。また不透水層を有する地盤でも降雨強度の違いによる過剰間隙水圧にそれほど差異はみられない。

4. 斜面安定解析

降雨開始後任意の時刻における斜面内間隙水圧分布が計算できたので、それをもとにして安定解析を行った。その方法は室内模型実験で崩壊形態が円弧状をなしていたことから、円弧すべりによる簡略計算法を用いた。必要な入力データのうち間隙水圧は先の浸透解析の結果を用い、自重の増加量は、浸透特性曲線により間隙水圧から体積含水率を求めて計算した。また、計算に際し数多くの円弧を設定した。

モデル斜面として斜面高さ10 m, 斜面角度30°, 斜面先の表面下から4.5 mのところに地下水面がある斜面を考える。地盤材料の有効粘着力は不飽和時に $c' = 0.2$ kgf/cm²(19.6 kPa), 飽和時に $c' = 0$ とし、有効内部摩擦角は41°で飽和度にかかわらず一定とした。また、透

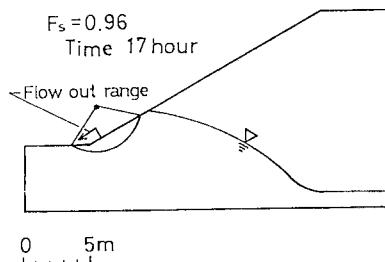


図-19 安定計算結果

水係数 $k = 5.0 \times 10^{-3}$ (cm/s), 降雨強度は100 mm/hとした。

降雨前すなわち乾燥状態での斜面の安全率 $F_s = 1.76$ であった。降雨が始まって約17時間で $F_s = 0.96$ となり、計算上斜面は崩壊する。そのときのすべり面は図-19に示すように斜面先付近の一部分となる。したがって、この崩壊は順次斜面上部へ移行する。これは、2.(2)で述べた崩壊形態の一つを表わしている。最初の崩壊のときには間隙水圧は、斜面先の一部で過剰間隙水圧となっている。

5. むすび

室内で模型斜面に対する雨水浸透実験を行い、間隙水の発生に関する定性的な結果を得た。また有限要素法による飽和-不飽和浸透解析を行い、実験事実をよく説明できる結果を得た。続いて実大斜面へ浸透解析を適用し、この結果を使用して斜面安定解析を試みた。今後、種々の条件に対し計算を行えば、雨水浸透時の斜面の安定の度合の判定が行える。しかし、実際の自然斜面では地盤が不均一で複雑であるので、地盤の定数の定め方や不均一性を考慮した解析方法などの問題点がある。また、浸透解析において設けた諸仮定や厳密な意味での流出解析は行っておらず、今後解決せねばならないことが残されている。

ここで得られたおもな結果は次のようである。

- (1) 雨水浸透により斜面先下部に過剰間隙水圧が発生し、これが斜面崩壊の原因の一つになっていることが実験的および解析的に判明した。
- (2) 崩壊形態は2つあり、前述の過剰間隙水圧によって斜面先の一部から崩壊が起こる場合と斜面角度が急で雨水浸透量が少なく、降雨後早い時間で斜面全体にわたり崩壊が起こる場合である。
- (3) 有限要素法による雨水浸透解析法を開発し、実験事実をよく表現する斜面内間隙水圧分布の計算結果を得た。そしてこの間隙水圧分布をもとにして雨水浸透時の斜面安定解析を可能にした。

盛土や自然斜面における雨水浸透時の斜面安定解析を行う場合、締固め土やかく乱土の力学特性の把握や、自然斜面では特に地質構造等による境界条件の把握といったことが重要な問題であると思われるので今後研究を行ってきたい。

本研究の実験を協力して行った愛媛大学大学院 萩野良章、当時学生 宮本智行(現・大日本土木(株))の両君に感謝します。

なお、数値計算には九州大学大型計算機センターの Facom M-200 と愛媛大学計算機センターの Facom 230

-28 を使用した。

参 考 文 献

- 1) 西田義親・八木則男・三木幹夫：雨水浸透による地盤内発生間隙圧と斜面安定，土木学会論文報告集，第262号，pp. 91~100, 1977.
- 2) 松尾 稔・上野 誠：破壊確率を用いた自然斜面の崩壊予知に関する研究，土木学会論文報告集，第281号，pp. 65~74, 1979.
- 3) 八木則男・矢田部龍一・山本浩司：雨水浸透による斜面崩壊について，第15回土質工学研究発表会講演概要集，pp. 1093~1096, 1980.
- 4) 八木則男・榎 明潔・矢田部龍一・山本浩司：雨水浸透時の斜面崩壊：愛媛大学紀要第三部工学，第9巻，第4号，pp. 433~440, 1981.
- 5) 八木則男・矢田部龍一・山本浩司：雨水浸透による斜面内間隙水圧，第18回自然災害科学総合シンポジウム講演要旨集，p. 60, 1981.
- 6) 八木則男・矢田部龍一・山本浩司：雨水浸透による斜面内間隙水圧分布と安定解析，第17回土質工学研究発表会講演概要集，pp. 1141~1144, 1982.
- 7) 赤井浩一・大西有三・西垣 誠：有限要素法による飽和-不飽和浸透流の解析，土木学会論文報告集，第264号，pp. 87~96, 1977.
- 8) 河野伊一郎・西垣 誠：不飽和砂質土の浸透特性に関する実験的研究，土木学会論文報告集，第307号，pp. 59~69, 1981.
- 9) 山口柏樹：土質力学，技報堂，p. 52, 1975.
- 10) 大西有三・西垣 誠：土中水の不飽和流動3. 不飽和流の解析（解析例），土と基礎，29-8，pp. 37~45, 1981.

(1982.3.30・受付)