
6. 山腹斜面内の地下水の流れ

川上 浩 (信州大学・工学部)

1. まえがき

山腹斜面内で地下水がどのような形態で流動しているか、地下水のイメージ自体が各人各様であるように思われる。ここでは、斜面内の地下水の水頭変化に注目して地下水の流動について考えてみたい。

地下水がどのように流動しているかという問題は、環境問題として地下水の流動方向・地下水の水量等を考えるときも、地すべり災害の問題として斜面内の間隙水圧を考えると、同じ地下水の問題である。少し状態が異なるのは、環境問題としては平常の水の流れが問題であるのに対し、地すべりでは大量の降雨・融雪時の水の流れが問題となる。自然環境を把握することを目的として山腹斜面内の地下水の計測を実施している例は多くはないが、地すべり地では多くの計測結果が蓄積されている。そこで、それらのデータをもとに斜面内の地下水の流れについて考察を進めたい。

2. 均質土斜面内の地下水の流れ

斜面内の水の流れの最も単純なケースとして、均質な土の斜面内に地表面に平行な地下水水面を想定することができる。すなわち、箱の中に砂を詰めて、箱を傾斜させ、箱の上端より水を供給する場合を考えればよい。この時には、図-1に説明するように、地表面に平行な自由地下水水面をもつ流れが生じ、地表面に平行な流線とこれと直交する等ポテンシャル線が生ずる。斜面内各点のポテンシャルは、その点にガラス管を立てたとき管内にどこまで水が上昇するかという水頭で表現される。等ポテンシャル線はその水頭が同じ点を結んだものである。図-1の流れの場合地下水面上下 h の深さの点では、 $h^2 \cos^2 \beta$ の水頭をもつことを示している。この場合深さによって水頭が変化している。

一般的な地下水調査法として、垂直なボーリング孔に多孔管を挿入してその孔内水位を計測することが普及しているが、これは特殊な地下水の流れにのみ適用でき、一般的には不都合である。図-2に示すように、流線が水平で、等ポテンシャル線が垂直な場合にのみボーリング孔内の水頭は等しくなり意味のあるものとなる。これはある特定の状態でのみ生ずるものであり、今後ボーリング孔内の特定の深さの水頭を計測するよう改められね

ばならない。

いずれにせよ、図-1・図-2の状態は、ある特殊な状態で成り立つものであり、一般的状態とはいい難い。

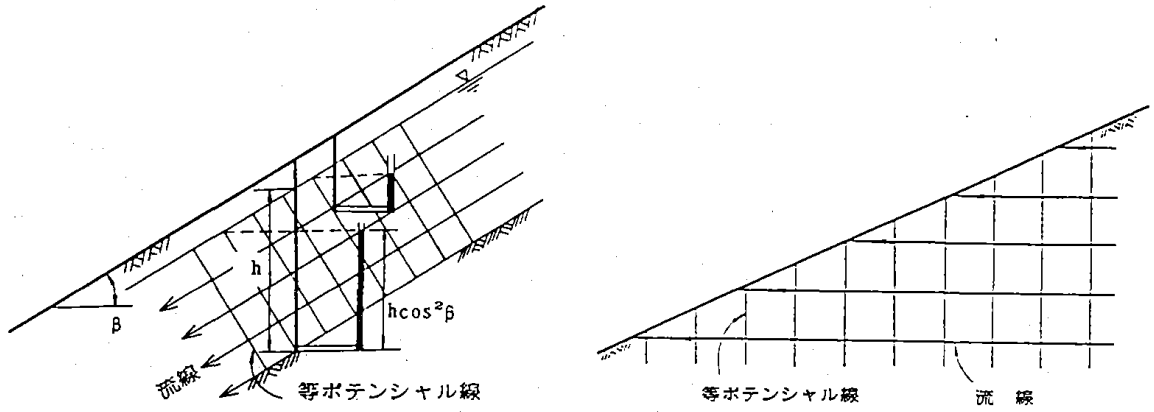


図-1 地表に平行な流れの流線網

図-2 ボーリング孔内の水頭一定

にみあう流線網

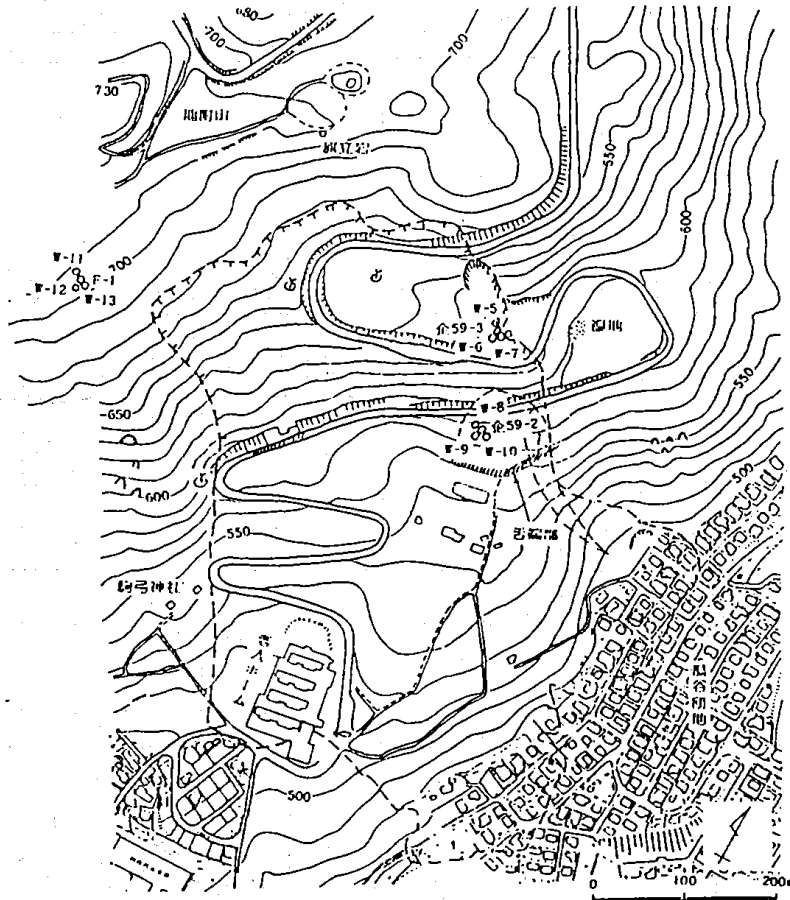


図-3 地附山地すべり地平面図

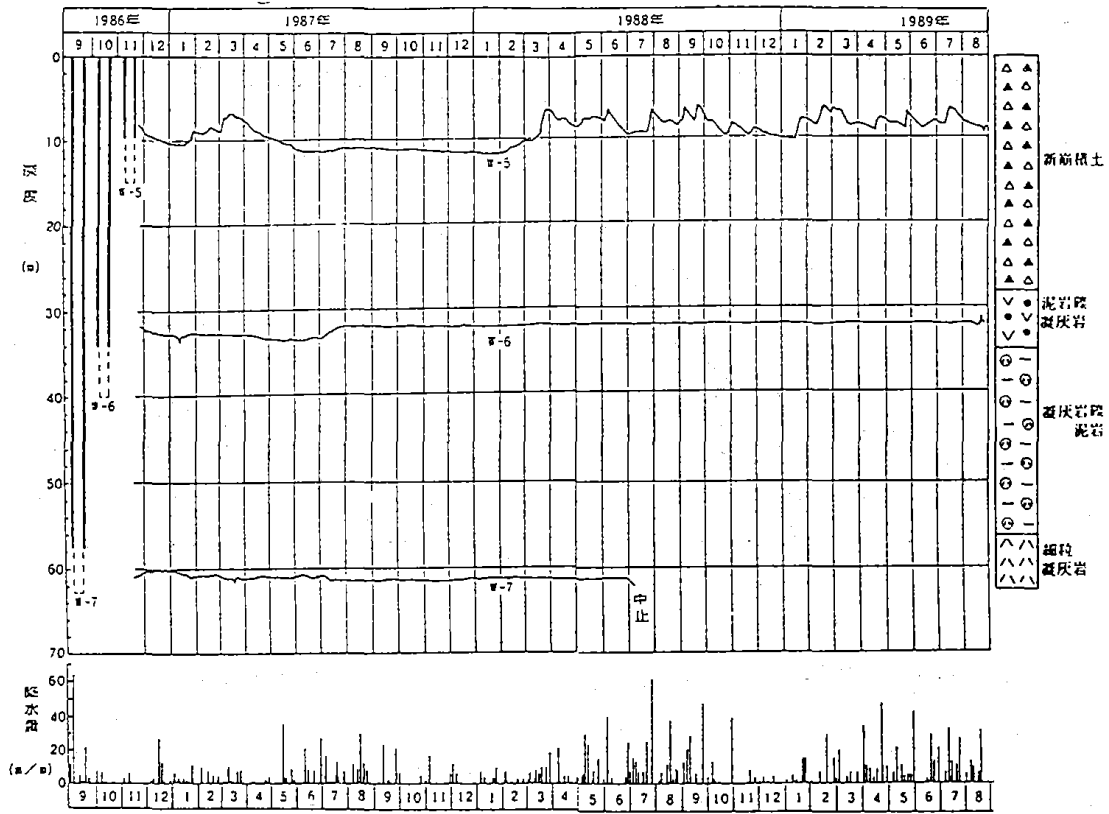


図-4 地附山層別地下水位その1

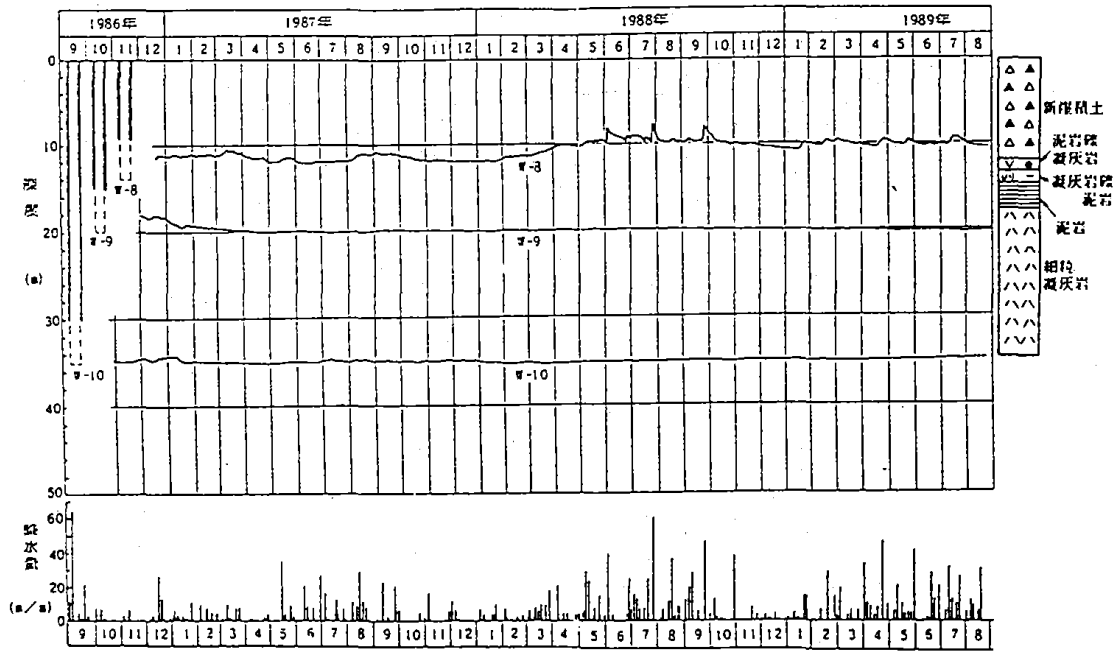


図-5 地附山層別地下水位その2

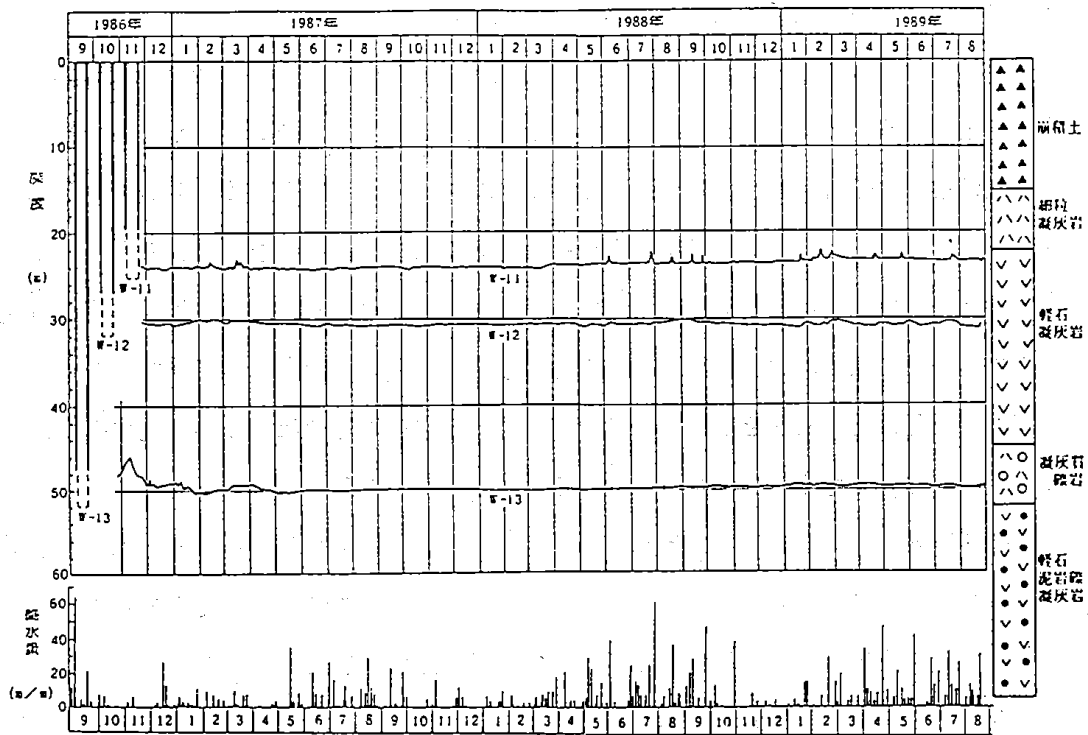


図-6 地附山層別地下水位その3

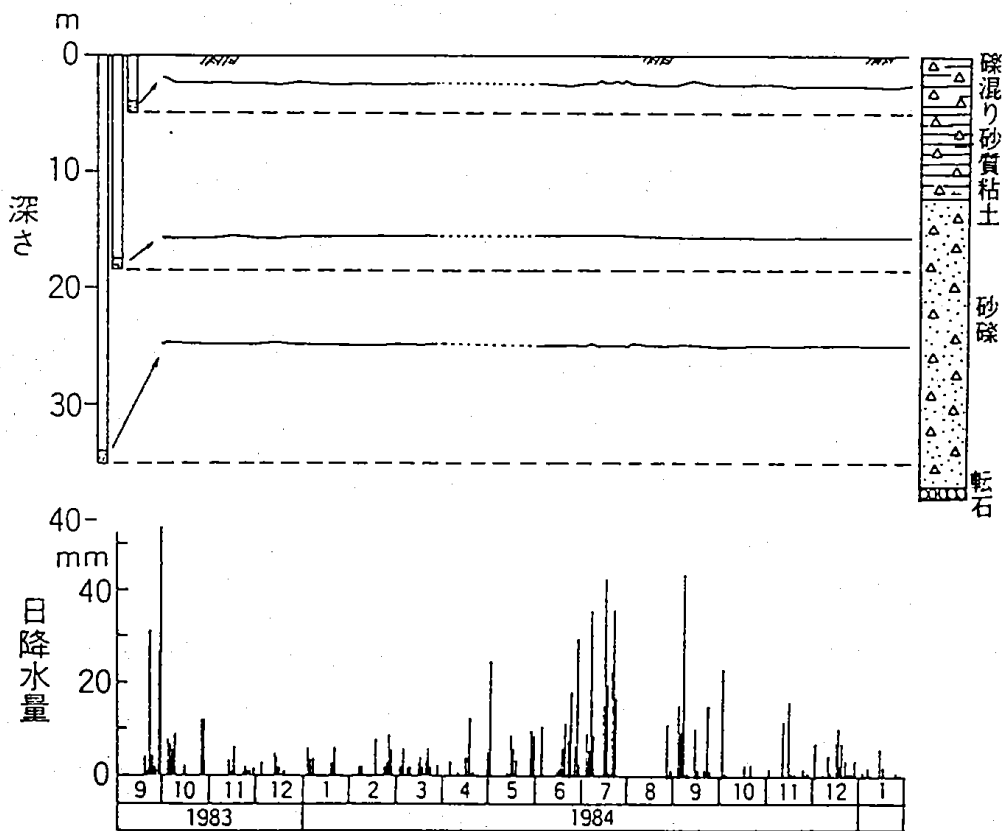


図-7 姥捨斜面内の層別地下水位

3. 地附山地すべり地での層別地下水位（水頭）の計測

実際の自然斜面ではどのような地下水の水頭が計測されているか、計測結果をみてみよう。前述のように、ボーリング孔に多孔管を挿入して孔内水位を計測したもので、地盤内の正確な水頭は計り得ないので、ここでは、フィルターの設置深度が明確な計測結果のみを引用する。これらのボーリング孔は孔の先端部にフィルターを設け、その上部には無孔管をとりつけシールをして埋め戻したものである。したがって、この管内の水位は孔先端のフィルター深度の水頭を指示することになる。層別地下水位とも呼んでいる。

1985年7月26日大崩落を起こした長野市地附山地すべり地では、崩落後地すべり地の内外3か所において地盤内の水頭を計測している¹⁾。その計測地点は、図-3に示すように、地すべり地東縁滑落直下（W-5~7）、主要滑動土塊の東端部（W-8~10）及び地すべり地外（W-11~13）の3か所である。それぞれの地点で深さの異なる3本のボーリングを行い、先端部約5mを多孔管とし、その上部は無孔管を入れベントナイトでシールしている。その水頭計測結果を図-4~6に示している。図-4では、W-5は降雨の影響により、また季節により水頭変動を示している。また、W-6は孔底より約8m高い水頭を保ち、ほぼ一定している。W-7では、孔底より約2m高い水頭を保っている。図-5、図-6では、深さの浅い観測孔では降雨によりわずかな水頭変動を示し、深い孔では孔底に近い水頭を示したままほとんど変動は見られない。

ちなみに、W-8~10の観測孔地点は、地すべり発生前には、ボーリング孔内水位が降雨時に大きく変動した地点である。地すべり後には水頭計測では降雨による変動はみられず、地下水の流れが変わったとみることができる。

図-4~6に示したように、一般に浅層での地下水水頭は高く、深層では水頭は低くなるものといえよう。すなわち、通常の安定した斜面では、斜面内の水頭はその深度と同じかまたはいくらか高い水頭を示すものと考えうる。

4. 他の地域での地下水水頭変化

姨捨地区の斜面での計測例²⁾を示す。この斜面は姨捨土石流堆積物が厚く堆積した所で礫まじり粘土、砂礫の互層により構成される。1本のボーリング孔に3本の塩化ビニール管を挿入し、それぞれ5m、18.5m、35mの先端部にのみ多孔部を設けて、岸本式層別水位計として設置したものである。この地点での計測結果を図-7に示す。浅層では地表面に近い水頭を示すが、深層での水頭は、浅層の水頭より大きく低下している。しかし、深さ35m

表-1 姨捨地区での層別地下水位の測定結果²⁾

位置	孔番号	設置深度 (m)	最高水位 (m)	最低水位 (m)	変動幅 (m)	降雨との関係
更級川左岸	B ₄ -2	7	2.57	2.94	0.37	無
		11	7.15	9.34	2.19	微弱
		19	15.39	16.19	0.80	微弱
姨捨駅前	B ₄ -5	6	2.36	2.48	0.12	無
		11	9.61	10.08	0.47	微弱
		16	14.37	14.66	0.29	無
姨捨入口	B ₄ -8	6	0.18	0.51	0.33	無
		12	3.14	3.44	0.30	無
		16	2.65	2.89	0.24	無

観測期間 昭和60年 1月～ 9月

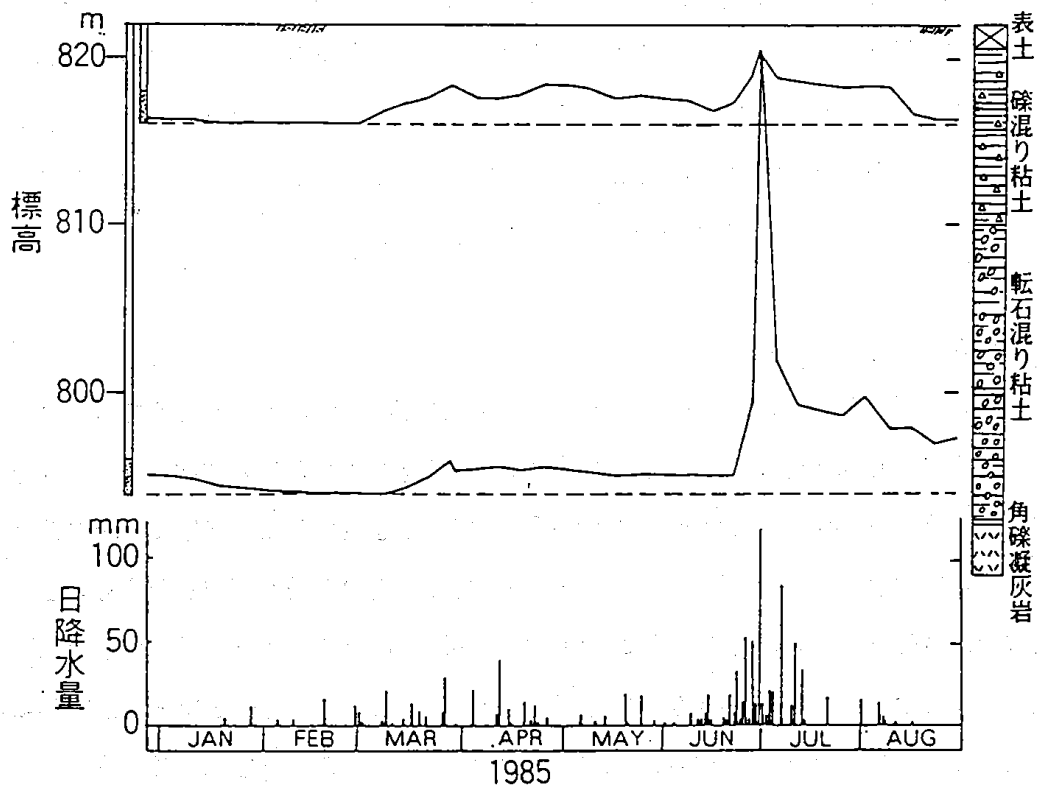


図-8 諏訪清陵斜面No.6孔の水位変動

の孔底より約10mの水頭を保持している。そしていずれの孔の水頭も降雨の影響がみられず、ほぼ一定した水頭を保っている。

この付近での他の計測例をまとめると表-1の通りで、いずれも岸本式層別水位計を設置したものである。これらは、前述の通り、フィルターの設置深度が浅いと水頭は高く、深度が深くなると水頭も低くなる傾向にある。全般的に姨捨地区では地附山の例よりも深いところでの水頭が高くなっている。また、深さ12mと16mで水頭が逆転し、深い所で水頭が高くなっている。深層で被圧しているといえる。

次に、諏訪清陵高校裏山の斜面での計測結果を示す。この斜面では、基盤岩は凝灰岩よりなり、この上に安山岩の角礫を含む古い崖錐堆積物（礫まじり粘性土）が30m余も厚く堆積している。ここに1mはなして浅深2本の孔をあけて水位測定管を挿入している。孔底から2mのみを多孔管とし、管と地盤との隙間には砂を充填している。多孔部より上部の地盤との隙間はベントナイトと粘土ををつめてシールしている。測定の結果を図-8、図-9に示す。この斜面では、フィルターの設置深度より5~10m高い水頭がみられる。いずれも降雨時には水頭が上昇している。特に、図-8の場合には降雨時に深層の地下水頭が浅層のそれに一致するまで急上昇している。一般に、このように深層の地下水頭が降雨時に急上昇することは斜面の安定性のうえからは好ましいことではなく、降雨のたびに水頭が上昇する斜面は崩壊の危険性の高い斜面と考えられる。

5. 斜面内の地下水の流れ

前節に示した斜面内の地下水の水頭分布から、斜面内の水の流れを考えてみたい。

地附山での計測例でみられるように、水頭計測地点で水頭が殆ど存在しない状態を想定すると、それは全深さにわたって間隙水圧0の状態を想定することになる。その流れ図は、図-10に示すように、ポテンシャル線が水平であり、流線が垂直下向を示すものとなる。

また、姨捨斜面での計測のように、浅層では間隙水圧0の状態を保ち、深層では間隙水圧がいくらか存在するような場合には、図-11に示すような流線網となる。図-10に比し斜面の深い所でポテンシャル線が多少傾斜した流れとなることを意味している。

次に、諏訪清陵の図-8の場合について考える。降雨がなく、浅層・深層ともにそれぞれの孔底の高さの水頭をもつ状態は図-10の流線網の状態にあるといえる。しかし、降雨により浅層・深層ともに水頭が上昇し、両者が一致する程に上昇した場合には、斜面内の流線網は図-1ないし図-2の状態に変化していると考えうる。

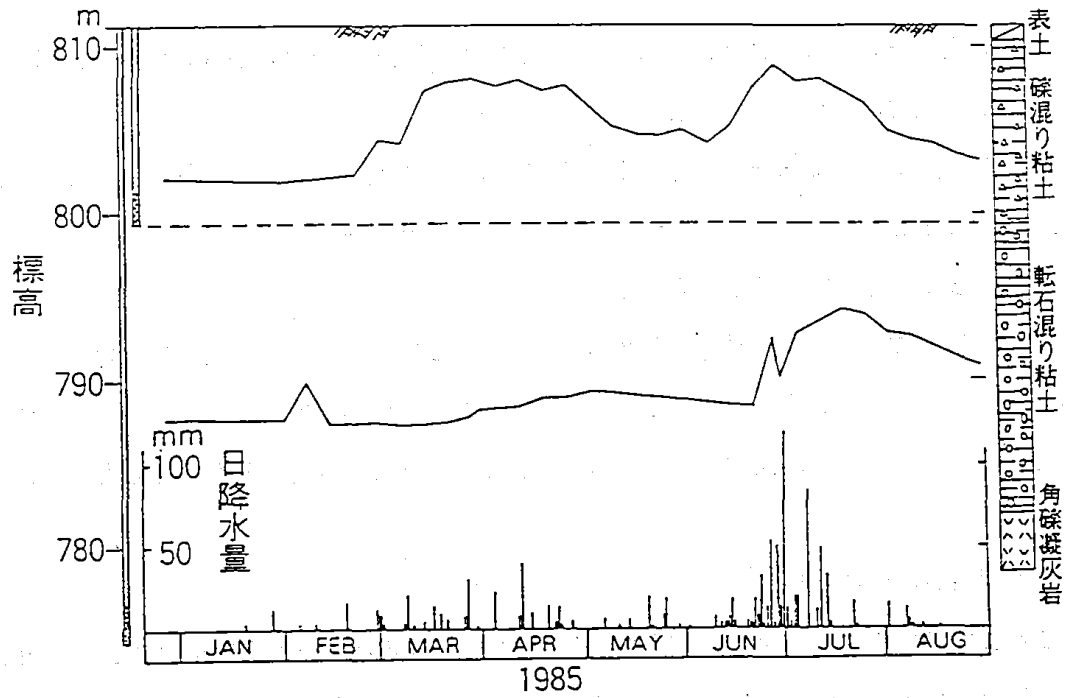


図-9 諏訪清陵斜面No.7孔の水位変動

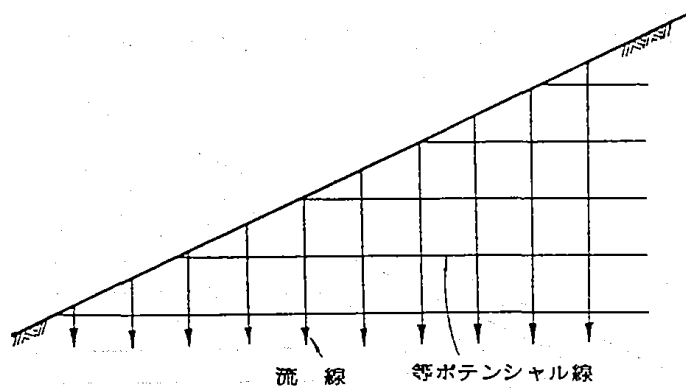


図-10 斜面内間隙水圧0の流線網

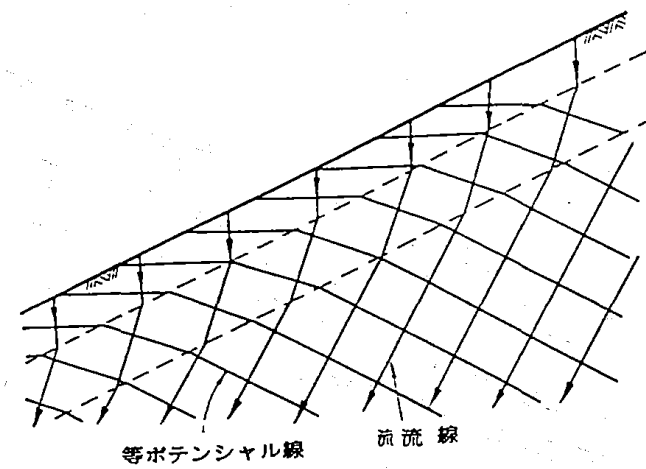


図-11 深層の間隙水圧上昇時

斜面の安定を考える上には、すべり面の間隙水圧が上昇した場合が危険であり、図-1～図-2の状態は危険なものとなる。

晴天時から降雨時に水頭が変化する状態は、図-10の状態から図-11を経て、図-2に変化することを意味している。ポテンシャル線が水平から段々に立ち上がり、図-2の垂直の状態まで変化していくと考えうる。

逆に浅層の間隙水圧が上昇し、深層の水頭は変化しない場合には、図-10の状態から、図-12の状態にかわることが推測される。この場合は、浅い層でのすべりが発生しやすくなる。風化した砂質土斜面での薄層すべりは、このような状態によるものと考えうる。

6. 斜面侵透の数値実験

これまでは均質土の斜面について考えてきたが、実際の斜面は均質な土ではなく、透水性の異なる地層が何枚も存在し、その厚さも長さも不規則に分布するものと考ええる。さらに、そこに水が浸透してくる状況も境界条件、気象条件により複雑なものとなろう。しかし、斜面は透水性の悪いものの中に透水性の良いものがレンズ状に、あるいは管路状に挟

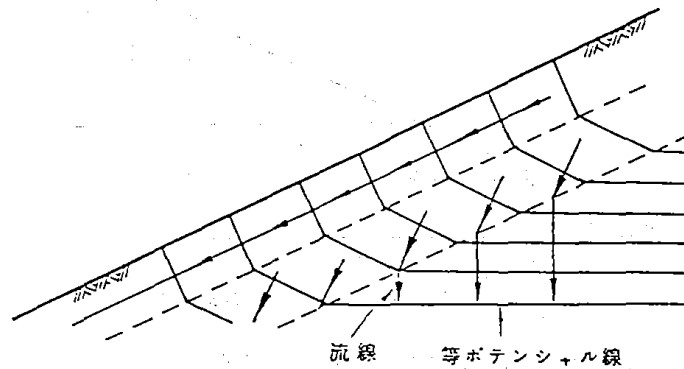


図-12 浅層の間隙水圧上昇時

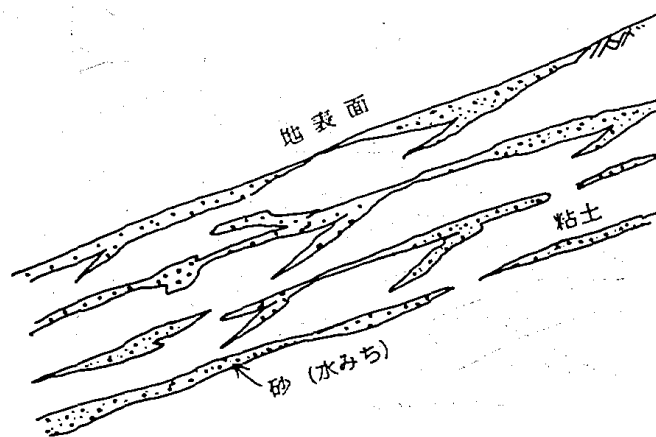


図-13 自然斜面の中の水みちの模式図

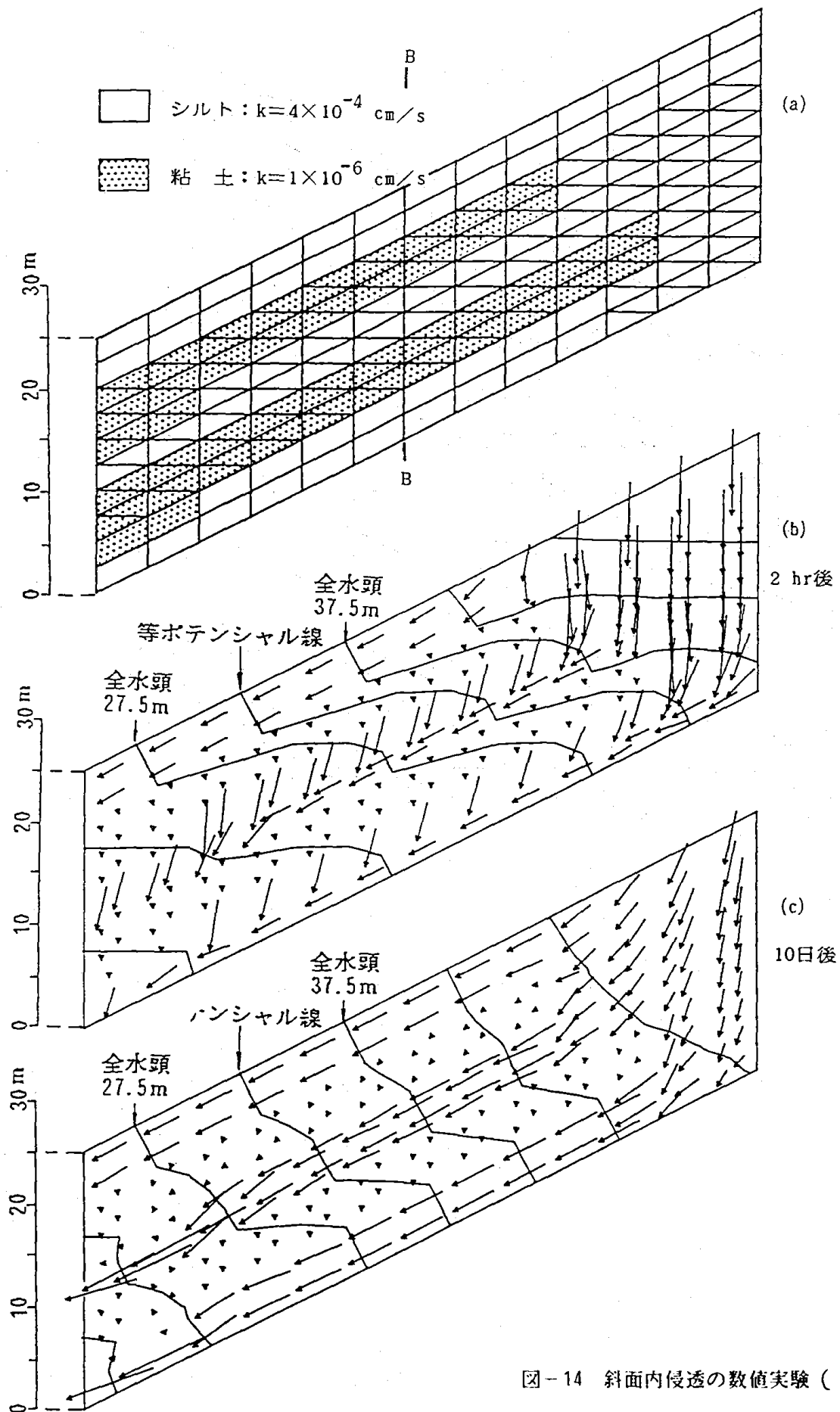


図-14 斜面内浸透の数値実験(1)

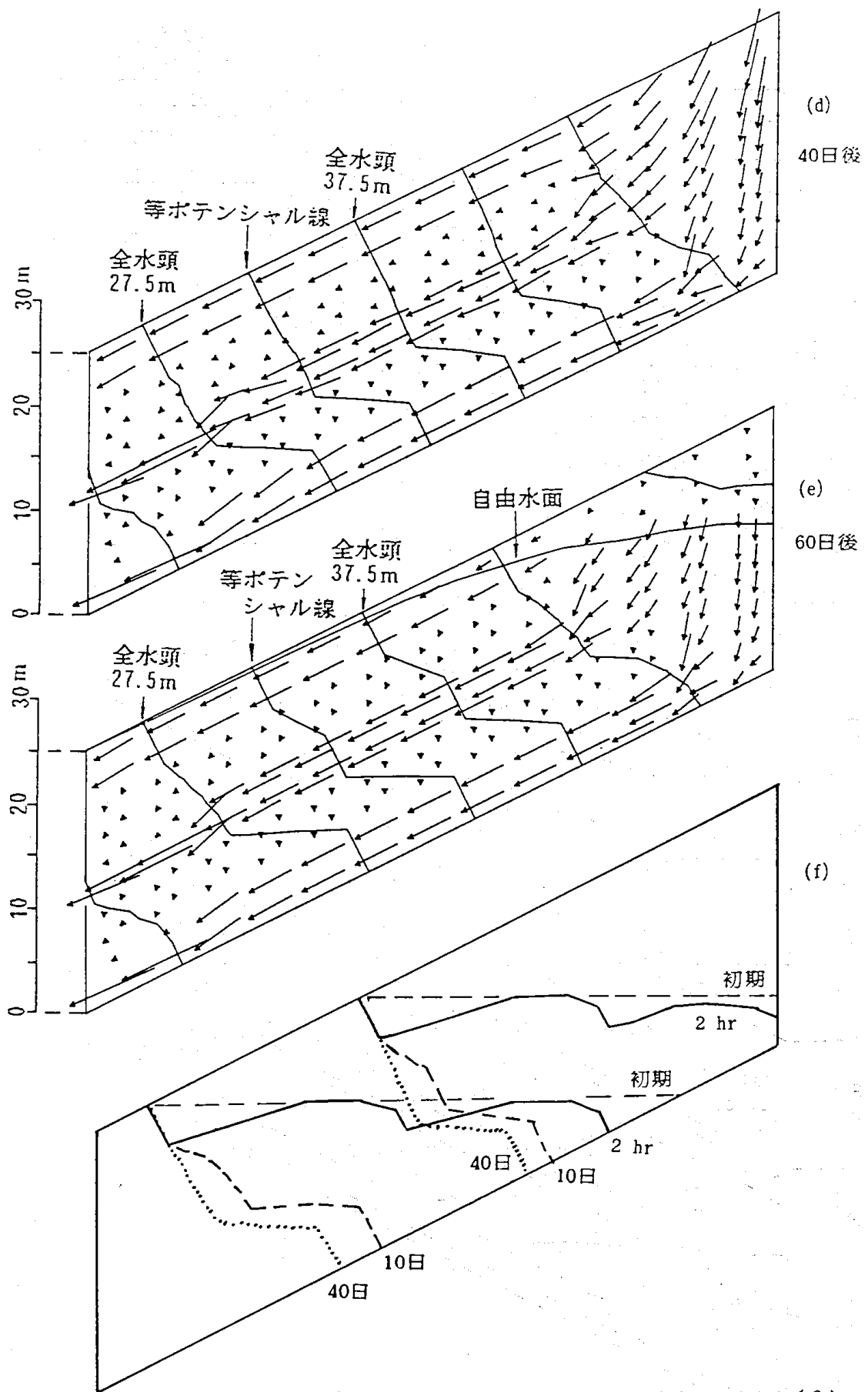


図 14 斜面内浸透の数値実験(2)

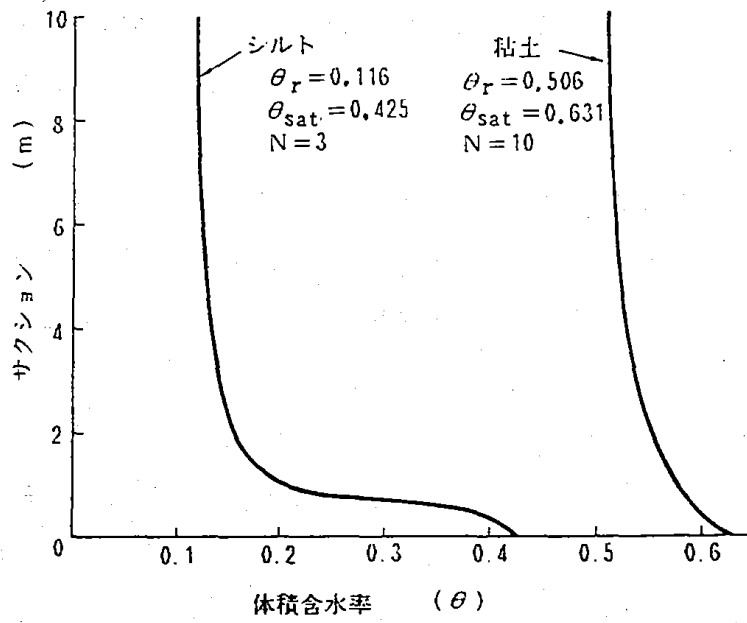


図-15 地盤材料の保水特性

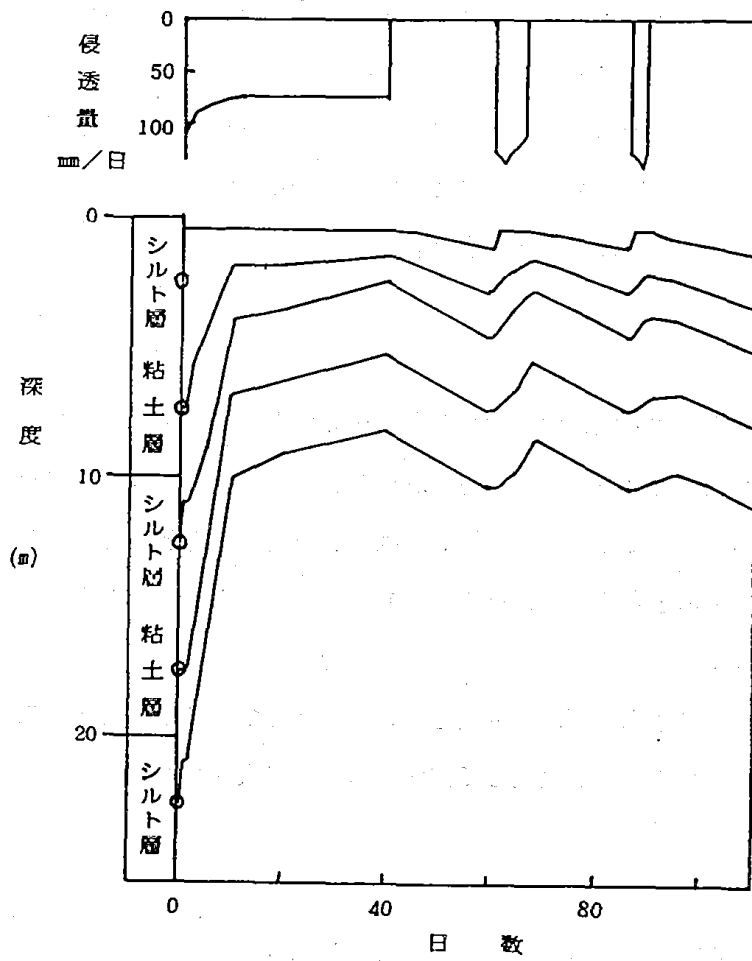


図-16 斜面中央部B-Bの間隙水圧変化

まれていて、その中を水が流れていると考えられる。図-13に示すような模式図が考えられる。かかる模式的斜面のポテンシャルが浸透水の状況に応じて変動するものかどうか計算によって確かめたい。

図-14(a)に示すように、傾斜 27° の斜面が2種の透水性材料より構成されているものとする。初期状態は斜面内すべての点で間隙水圧が0という図-10の状態を設定する。地盤材料の保水特性は図-15に示すとおりとする。シルトについては砂に近い特性を設定しており、粘土については、高含水比粘土を設定している。

連続して雨を降らせた場合、斜面内にどのように雨が浸透し、地下水の流れが生ずるかを図-14(b), (c), (d)に示している。時間が経過すると、等ポテンシャル線がどう変化したかを(f)図に示す。わかりやすくするため、全水頭 27.5m 及び 37.5m の等ポテンシャルのみを示している。時間の経過により等ポテンシャル線が立ち上がることがわかる。このことは斜面内の深いところで間隙水圧が上昇していることを示している。(d)図の状態ですべての降雨を止め、20日間放置すると斜面内のポテンシャルは(e)図のようになり、これまでと逆の変化となり、斜面内のポテンシャルは低下しはじめる。

このような降雨・晴天・降雨の繰り返しの中で、斜面中央部の地盤内で間隙水圧がどう変化したかを図-16に示している。最初の長期の雨で斜面内の間隙水圧は上昇し、雨が止めば間隙水圧は減少し、降雨によりまた上昇する。

7. まとめ

実際の斜面の中の地下水の流れは自由地下水面をもつ均質土の中の流れのように単純なものではない。網目状に透水性の異なる地層が交錯し、大小様々な水みちが存在するものと考えたい。平常の斜面内では、間隙水圧0の状態が安定的状態として存在し、降雨時に間隙水圧が上昇するものと考えうる。その上昇の仕方は、不均質土でも均質土におけると同様な状況がみられる。

このような斜面内の地下水の流れの変化を詳細に把握していくためには、深さごとに水頭を計るよう多数の層別地下計を設置して観測することが大切である。

参考文献

- 1) 長野県：地附山地すべり機構解析報告書，1989年 5月
- 2) 高速道路技術センター：明科～更埴間地すべり検討委員会報告書，1985年 3月