地すべりと地下水

栗徳　丁

1. はじめに

地すべり斜面における地下水は、地すべりの発生機構やその運動に極めて大きな影響を与えている事は良く知られている事実である。

その地下水は

① すべり面に働らく間隙水圧として

② すべり土塊の増加荷重として

③ すべり面の潤滑水として（すべり粘土の強度低下）

地すべり斜面に作用すると考えられている。

地すべり対策工としては抑止工と抑制工があり、その地すべりの規模や機構に応じそれらの工法が組み合わせて設計されるが、その中でほとんどの場合に適用されるのが抑制工としての地下水排除工法である。しかしながら、その工法に対する評価は排水ボーリングによる排水量にバラツキがあることからもわかる様に、非常に不明確であるのが現状である。

本論では、有効な地下水排除工法を検討する為の資料として、地すべり斜面における地下水形態について整理し一考察を加えたものである。

2. 地すべり斜面における地下水形態

2-1 土質による違い

地すべり斜面における地下水の形態は、一つの自由水面をもつ場合（以下単一水位と呼ぶ）と二重水位の場合とに大別することができる。それは、地すべり土塊を構成する地質・土質及びその構造によって異なっている。

○ 硬岩

硬岩の場合、すべり面は節理面に沿うことが多く、イス型等直線の組合せに近いすべり面型を示すことが多い。したがって地下水も節理に沿って流れることとなり、連続した自由水面をつくることは少なくパイプ状に流れることが多い。その節理は上下方向への

連続性が良いことから、二重水位とはなりにくく一般に単一水位を形成していると考えられる。

○風化岩

全体に亀裂が多く、すべり面は亀裂に沿って形成されるため、すべり面は円弧・直線の組合せによる複合すべり面となることが多い。亀裂が多いため地下水面は連続しており、表層に強風化層をもたない場合は単一水位を形成していると考えられる。強風化層をもつ場合は、その礫混じり土層の中にも地下水が存在する場合があることから、二重水位となる場合も考えられる。

○礫混じり土

これは、扇状地や崩積土の場合と強風化岩の場合とがあるが、いずれも物性上は同様な土質に近いものである。この場合、すべり面は円弧または円弧・直線の組合せによる複合すべり面となる。

扇状地や崩積土はその堆積過程により、強風化岩の場合はその風化程度の違いによりそれらの土質が不均一となりやすく、すべり土塊の中の場所により透水性の違いが大きい。そのため、二重水位を形成しやすい。

○粘性土

地すべり土塊が粘性土となるのは、崩積土の場合か強風化土（粗粒玄武岩や泥岩等の強風化粘土層）の場合である。この場合も礫混じり土と同様に二重水位を形成しやすい。それは図-1の様な形態を示す。

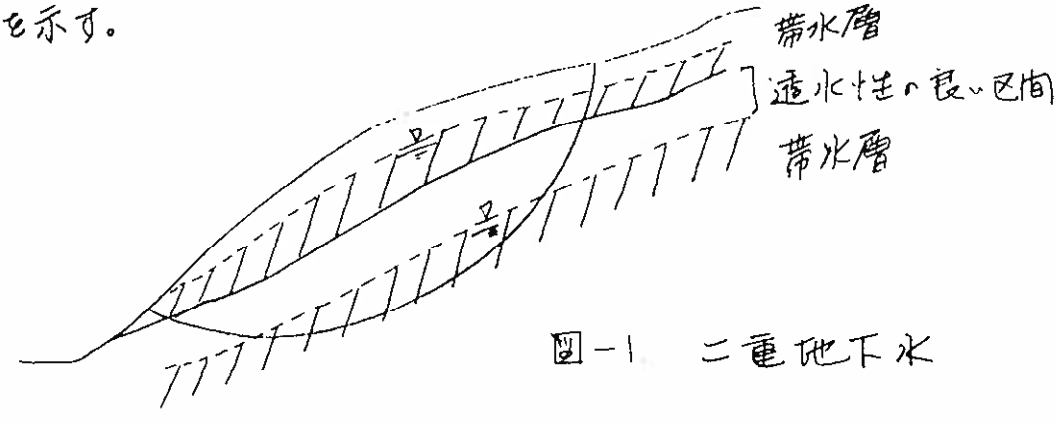


図-1　二重地下水

2-2. 地質構造による違い

岩盤すべりや風化岩すべりの場合は特に断層の影響を受けていることが多く、そのため地下水形態もその断層粘土に支配

された地下水面を形成することが多い。また断層に沿った豊富な地下水が供給源となることも多い。

図-2にその数例を示す。

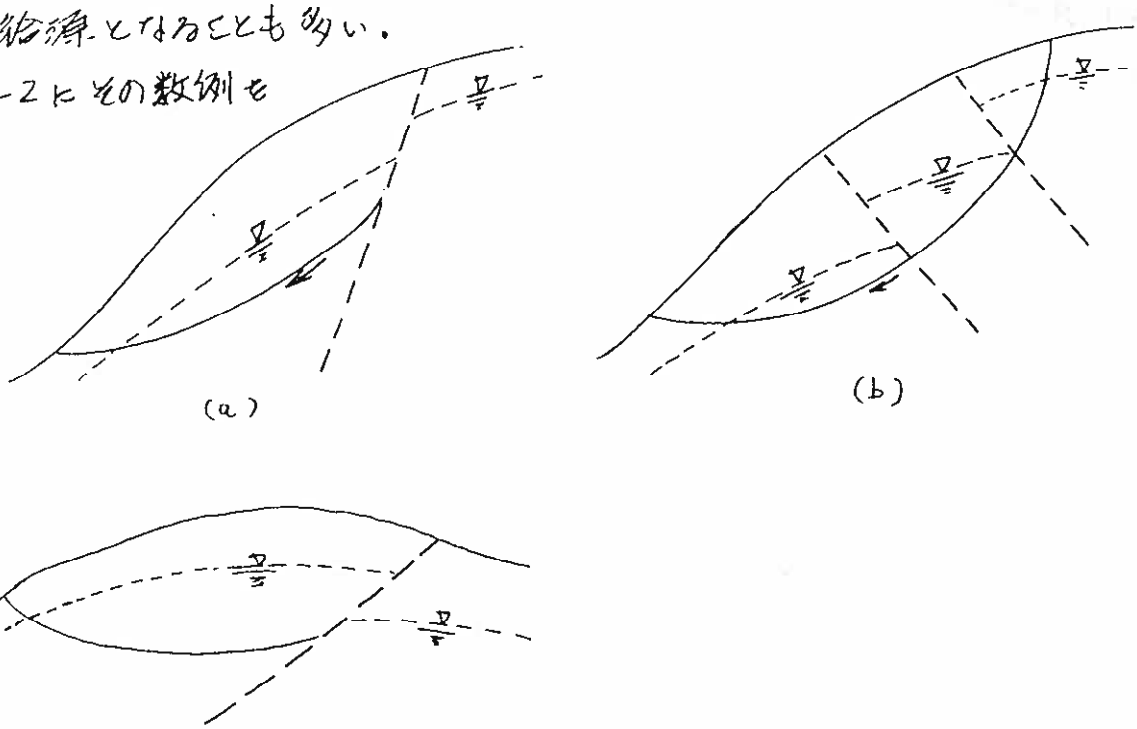


図-2 断層と地下水面

また、頁岩・砂岩・凝灰岩等の組合せによる互層の場合も二重水位を形成し、その不透水層を境界面として地すべりを発生する事が多い。松江層に見られる細粒砂のすべりは図-3に見るような形態を示すことがある。

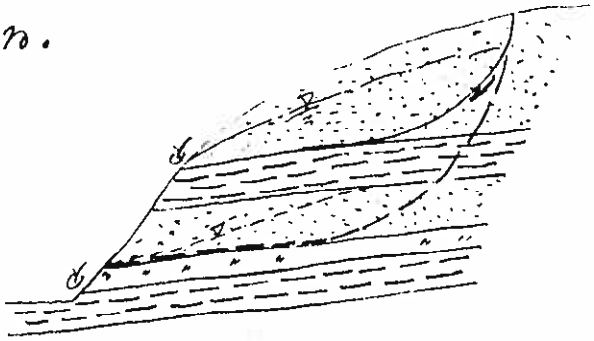


図-3 頁岩・砂岩・凝灰岩と地下水面

2-3 地形による違い

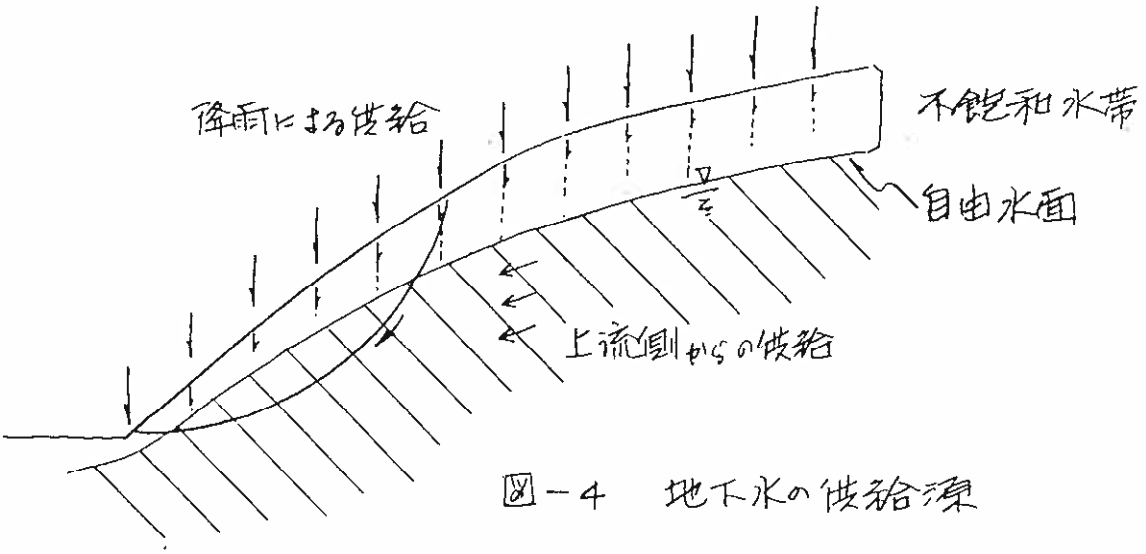
地すべり斜面が尾根地形の場合と谷地形の場合とでは、その地下水面の深さに違いが表れ、尾根部では深く谷部では浅くなる。

またそれらの斜面の後背地が、高い山地であるか低い山地であるかによっても、その供給源の規模の違いから水位に違いを生ずる。降雨時には特にその影響が大きく現われることとなる。

3. 水位上昇と安全率の変化

3-1 水位上昇パターン

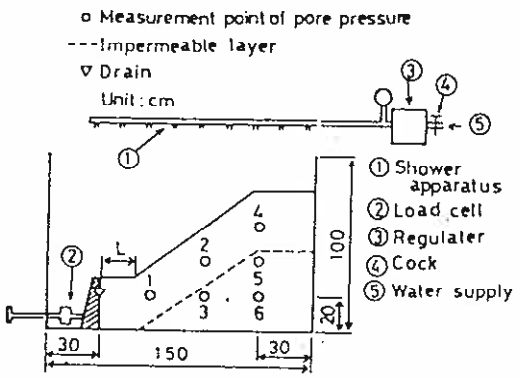
地すべり斜面内への地下水の供給は、地表面からの浸透水とその斜面上流側からの流入地下水とに大別される。



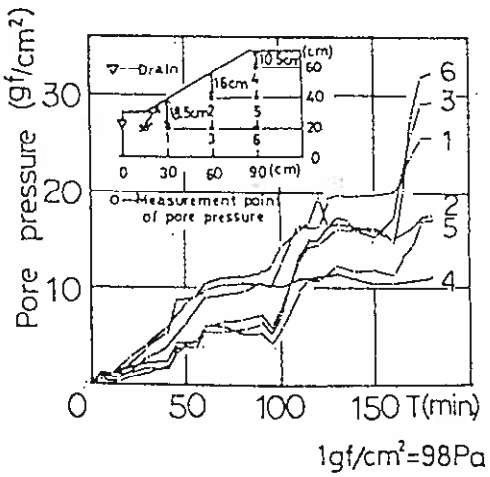
図－4　地下水の供給源

地表面からの浸透水は、地すべり斜面を形成する土質およびその構造に支配されて様々な地下水形態を示す。その地すべり土塊が砂質土礫質土等の透水性の良い土質の場合には単一な自由水面となり、粘性土主体の土質である場合や粘性土と砂質土の互層状の地層である場合には二重地下水となりやすい。

地下水位の上昇に伴なう間隙水圧上昇パターンに関しては次の様な実験例がある。



図—1　実験装置の概要図



(b)　まさ土乾燥地盤

図－5　発生間隙圧と経過時間（T）の関係

出典：雨水浸透による斜面崩壊（土木学会論文報告集第270号）

この実験により次の事項が明らかになっている。

1) 測点1では異常に高い間隙圧（過剰間隙圧）が生ずる。これは、斜面先近傍の下部において鉛直方向の水の流れの成分が存在しているためである。

2) 透水係数の小さい乾燥土の地盤では、浸潤前縁の下降に伴って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。

3) 進行浸潤面が不透層に達して跳ね返り現象が生じた後急激に間隙圧の上昇が見られる。

この実験結果から明らかな様に、降雨時には地表面から浸透する地下水の浸潤面と自由水面とが徐々に接近し、両者がぶつかり合って跳ね返り現象が生じた後急激に地下水位が上昇し間隙圧が高くなるものと考えられる。この様に土質によっては異なる場合も考えられるが、多くの場合降雨時には一時的に二重地下水面が形成されるものと考えられ、図-6に示す様な間隙水圧の変化が予想される。これは観測孔で地下水位がない場合でも、上位に地下水位が存在する可能性を示している。

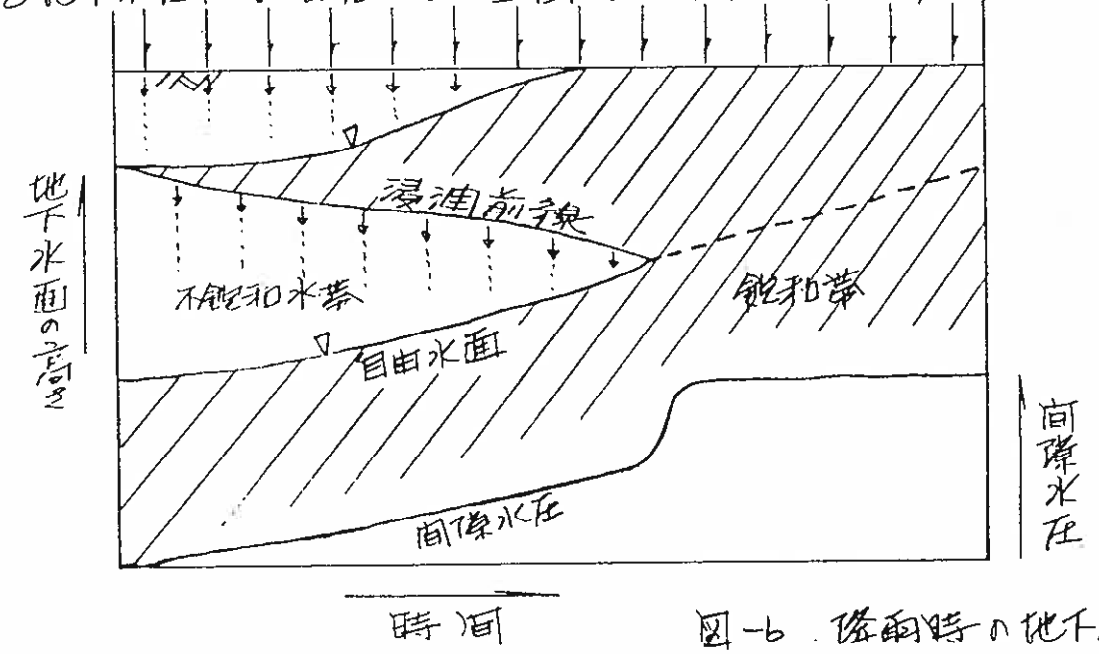


図-6 降雨時の地下水

同様に平常時から二重地下水である場合は、跳ね返り現象による間隙水圧の急上昇が比較的早い時期に発生するものと考えられる。ここで地すべり運動から見て重要な点は、間隙水圧がどの

程度の段階で地すべりが発生するのかという事である。

3-2 地すべり規模と地下水

当社で実施した調査資料に基づいて、地すべり面の深さ l_0 と平常時の地下水面の深さ（l_1）の関係について図-7に示した。また l_0 と l_2（l_0-l_1）の関係を図-8に示した。その値は地すべり斜面のほぼ中央付近の調査孔について整理したものであり厳密な数値ではなく、一つの傾向をつかむ目的でまとめたものである。

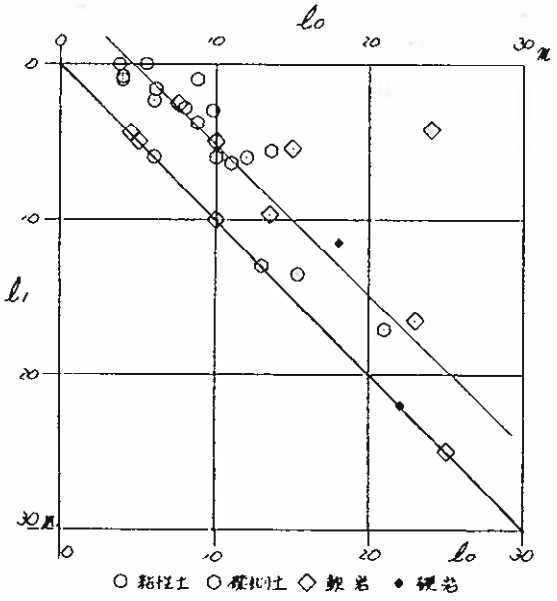


図-7 l_0 と l_1 の関係

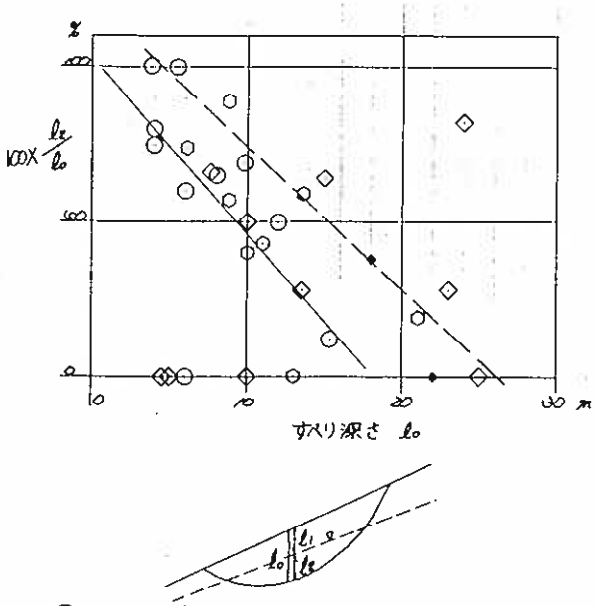
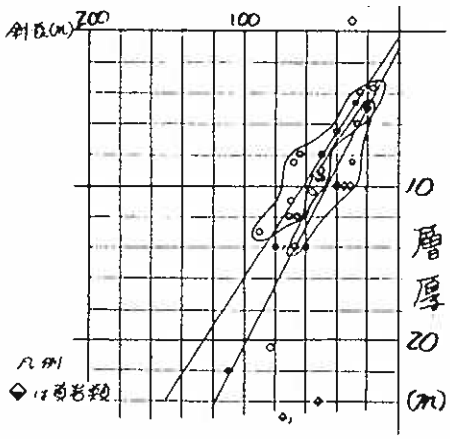


図-8 l_0 と $l_2/l_0\times100$ の関係



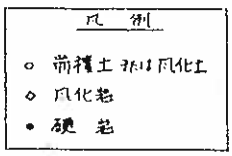
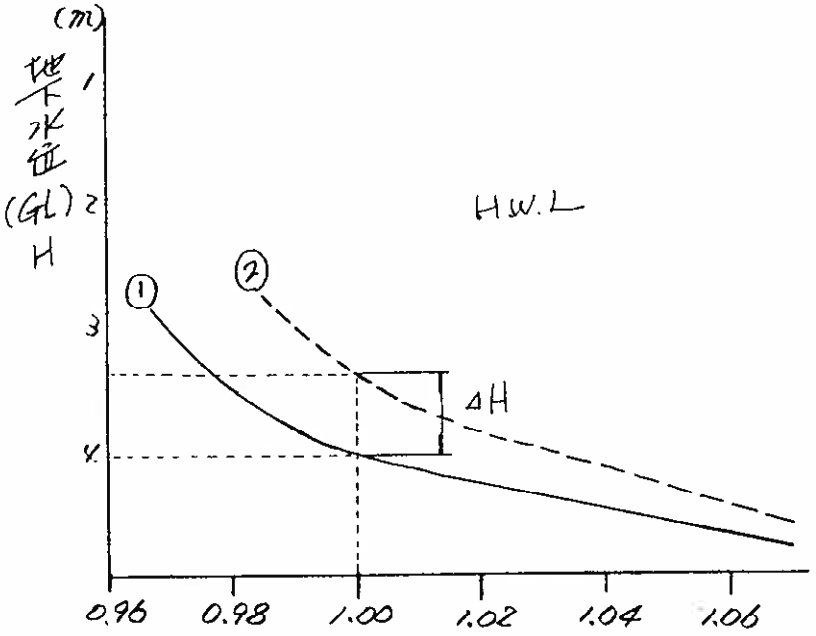


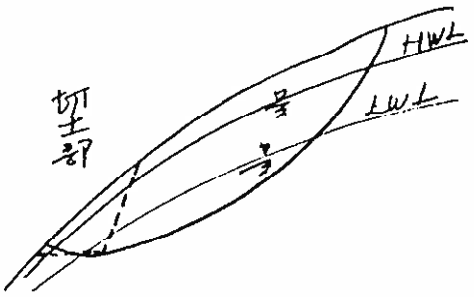
図-9 地すべりの斜長と層厚

この図-7によれば、l_0 と l_1 はほぼ正比例する傾向を示す。l_0 は地すべりの斜長に正比例する傾向があることから、地すべり規模が大きい程地下水位は低いことがわかる。規模の小さい地すべり（斜長=20m以下を考える）の場合、図-7と図-9によれば地すべり土塊の多くは過程度が飽和状態にあることになる。逆に考えれば、地下水の高い斜面ほど不安定度が高く小さなりに浸食が進む結果、規模が大きくは

ならないものと考えられる。

3-3 水位上昇による安全率の変化





① 切土後のFs-H曲線
② 切土前のFs-H曲線

図-10. Fsと地下水位の関係

水位の上昇による安全率の変化は、すべり面のセン断力の内の内部マサツ角の大小に左右される。もちろんこれは計算上の事であり、筆者は他のファクターをもっと検討すべきであると考えているが、ここでは通例に従って単純化した計算モデルをもとに水位低下と安全率の変化を計算し図-10に図化した。これも地すべり斜面の中央付近の水位変化をもとに求めたものであり、概略値である。

切土(※1)するまでのこの自然斜面は、最も不安定斜面にあったとしてもHWLでFs≒0程度のバランスを保っていた斜面と考えられる。ところが被災地のほとんどは切土工によってバランスを崩していることから、図-12のa点付近の水位で地すべり運動を開始することとなる。すなわち曲線①は②よりΔH分だけ低い水位で地すべり斜面のバランスが崩れることとなる。

このことから逆に考えれば、切土後の斜面の地下水位をΔH/分だけ下げておけば、地下水位に対して切土前とほぼ同程度の安定度をもつ斜面になると考えられる。一般に静止マサツはすべりマサツより大きい事もあるので単純に比較はできないが、一つの目やすとしてC-中の決定に図-10を利用すればより正確な強度設定が可能になるものと考えられる。

※切土　対象とした地すべり資料が道路土工(斜土)を誘因とするものが主体であることから、計算モデルもそれに従った。

4. 地下水の供給源と流動層.

降雨時における地すべり斜面への地下水の供給は、地表面からと山側からの地下水とが考えられる。そのいずれが主体となるかは場合により異なるが、一般には山側から地下水として流入する水の量が多いものと考えられる。

地すべり斜面内の地下水流動層は、平常時の地下水面の上側付近にあることが多く、地下水位の高い小規模な地すべりではすべり面付近またはそのすべり面より下側に流動層が存在する事がある。

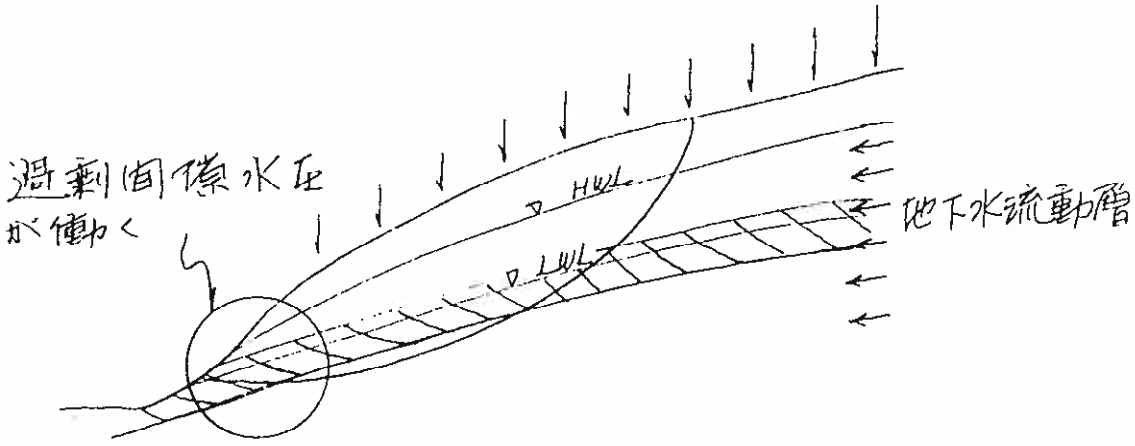


図-11 地下水の流れ.

これらの場合、図-11に示した様にその末端部では過剰間隙水圧が働きやすく、流速をもった地下水が湧出することにより末端部の崩壊現象をもたらしたり、その付近のすべり抵抗の著しい減少により地すべり斜面を不安定にさせる大きな要因となったりする。

また図-7や図-8に示した様に、地すべりの規模が大きくなればなる程平常時の地下水位が低い傾向を示している。これは規模が大きい程地すべり土塊全体（地下水面より上側）の透水性が高いとも言える。いずれにしても、地すべり斜面の上流側からの供給量とその下流側への排出量のバランスにより平常時の地下水位が決まることとなる。

5. まとめ

地すべり斜面内における降雨時の水の流れは、図-12に示すように

- 地表面からの浸透水
- 山側から地下水としての流入水

とに大別される。それによって増加した地下水が地すべりを誘発させることから、その地下水をいかに早くいかに多量に排水するかが対策上重要となる。前項までにまとめた内容に基づいて検討した結果、図-12のA・Bの2つのゾーンの地下水を排除する事が、地すべりの安定上最も有効であろうと思われる。Aゾーンについては一般に実施されている様に山側からの流入地下水を排除するという考えであるが、Bゾーンについては右端部に働らく過剰間隙圧を減少させるという目的で行なう。しかしこれは粘性土地盤や崩積土地盤等の単純なモデルによって検討したものであり、断層に沿って多量の地下水が流入する場合がある様に地下水形態は様々である。現実にはそれらの situation も充分調査した上での有効な排水計画が望まれる。

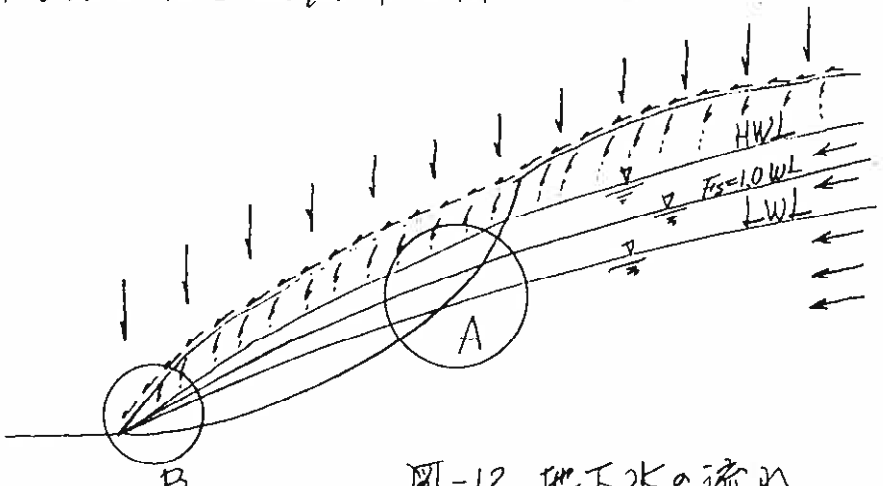


図-12 地下水の流れ

また地表面排水としては、水路工や暗きょ工があるが、自然斜面に対してはそれらの施工はしない事が多い。被災直後には応急処置としてその斜面内の亀裂にシートをかぶせる事が多いが、これは降雨時に山側からの地表水をカットする事も重要であるから、図-13の様に山側のシートを埋め込むことが必要である。

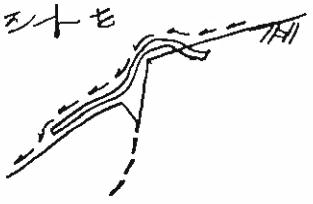


図-13

参考文献

- 土質工学会 1983 地下水入門
- 第6回奥秩研修会論文集