

神戸大学工学部 正員 〇田 中 茂
 全 上 学生員 沖 村 孝
 全 上 学生員 高 木 茂 樹
 建設省国土地理院 羽田野 誠 一

1 緒 言

一般に沖積地や洪積地の丘陵などにおいては天然の地層が互層をなしており、このような地層に降雨の浸透が行われる場合は、等方均等質の地層に降雨が浸透する場合とは大きくその様相を異にしている。また、花崗岩地域のような山地を考えた場合、表土のマサ土の浸透能とその下に存在している風化花崗岩のそれとはかなり異なる。また、人工的に盛土を行う場合には、切土と盛土の材料がかりに同じものである場合でも、盛土、地山、岩などの側ではかなり浸透能に差が存在することになる。このようにみると、天然のガケや切取りを行って生じたガケ、また盛土を施工して生じた斜面などにおいて、等方均等質の地質からなっていることはほとんどないといつても過言ではない。このような互層の所へ豪雨が降ると、等方均等質の厚さの大きい斜面に比較して、斜面崩壊を生じ易いのである。前者のような地質の斜面が崩壊する原因および機構がどのようなものであるかを明らかにすることは防災上極めて大切である。ここにおいて、著者は普通頭づなで考えられる崩壊原因や崩壊を引き起す作用の種々なるものを取り上げて、それらのうち、単一のものが有力であるか、数個のものが総合的に作用することにより始めて強力となるか、また時間的にみて、どの原因もしくは作用が最初に効くか、その次にはどれが作用するかというような時間的順序があるか、または同時に諸原因や諸作用が重り合って作用するか、などに因して研究を行い、新しい見解とその裏付けを得たので、ここに報告をする次第である。

2 一般に斜面崩壊の原因として考えられる作用など

斜面崩壊の原因として一般に考えられる作用を列挙すれば下記の通りである。

- (1) 表流水の作用により甚しく雨裂状浸食を受けることに起因するもの
- (2) 雨水の浸透により含水量が増加して土の内部摩擦角及び粘着力が減少することにより、斜面の土塊の内部に滑り面が発生することに起因するもの（自由水面の存在とは無関係）
- (3) 雨水の浸透により含水量が増加して土と岩盤の表面、または土と土母などの表面との間の摩擦係数および土とそれらのものとの附着力が減少することによって土塊が滑りを起すもの
- (4) (2) と (4) とが組合わされて土塊の滑動を生ずるもの
- (5) 雨水の浸透により浸透能が上方の層のそれよりも小さい層が横たわつており、両層の境界面より上の層内に強雨の浸透したものが降雨中に貯溜せられ、その貯溜水の自由水面が斜面の地表面に顔を出すことにより、「Piping現象」が発生して、浸出点附近の土の組織が粗になると同時に乾燥密度が小さくなり、このゆるんだ局部を通る滑り面に沿うて土塊が滑り落ちると、續いて落ち残った面と自由水面の交線付近に「Piping現象」が発生し、このよう

な現象がくり返されて崩壊が拡大するもの。この場合、自由水面から下の土は不動領域、それより上手の土は移動領域となる。砂質土において発生しやすい。

(6) (5) と同様にして自由水面が透水性の悪い土の土の内部に生じ、これが地表面をなしている斜面に浸出する尖と法尻との間のいわゆる「浸出面」が発生すると、この面に局部洗掘および「押し出し現象」が発生して、ゆるむことにより斜面が崩壊するもの。

(7) (5) と同様にして自由水面が斜面に浸出することにより、「Piping現象」が発生し、浸出尖付近の土の組織がゆるむことにより、このゆるんだ部分を通る滑り面が発生することにより起るもの。この滑り面は自由水面には関係なく出現することにより崩壊を生ずる尖が(5)の場合と異なり、この時滑り面は浸出尖付近を通り、水面以下の土中を通るのである。

(8) 透水性の良好な地層が透水性の悪い地層の間に挟まれて介在している時、その透水性の良好な地層に雨水が浸透して、その地層の先端が閉塞していると、その地層に浸透水が充満して恰も被圧地下水と類似の状況となると、その層の先端部の被覆部に圧力を及ぼすことにより、被覆層を押しぬく。この結果、上層の崩壊をも引き起すもの。

(9) (8) の場合と同じような地層がある処へ強度の大きい降雨があると、直接斜面上に降った雨が表層をなしている比較的透水性の層を徐々に浸透しながらその下に介在している透水性の悪い層にまで達すると前後して、透水性良好な層は不割の経路によりすみやかに浸透が行われて、その透水性の大きい層の先端が閉塞せずに斜面に露出していると、その露出部において piping 現象が発生し、崩壊のきっかけを生じ、やがて上層も支持を失って崩壊するもの。

(10) 不透水に近い地層の上に比較的うすい透水層があり、その上に粘性土が乗っていて、これらの層が全体として傾斜して斜面をなしているとき、降雨が長時間継続すると、上層中にも自由水面が出現してくるが、この時に斜面全体の安定の変形が徐々に生じ、この変形がある限度に達すると、大きい土塊が一挙に滑動を開始する。その途中で局部的浸食によって地下水が地表へ流出すると、水が低下により斜面全体に不安定化の傾向をとるもの。

以上 10 項目をあげたが、これらのうちどの項目が当該斜面に作用するか、また 1 項目のみが作用するかを、また数項目の作用が考えられるけれども、その時の条件で、そのうち最もすみやかに単一項目の作用が有力に作用したかという問題を明らかにする必要がある。考えられる項目は以上の 10 以外にも一般的とはいえないものも加えるとさらに数項目増すことは勿論である。その一例をあげると、亀裂、節理、破壊などを受けている風化岩の切取り斜面などにおいて、下方に透水性の悪い層をかくていると、亀裂などに浸透水がまわりこれを充満して水圧を及ぼすために割れ目と切取り面の関係如何によって崩壊を生ずるのである。

3 研究者の研究成果

研究者らは透水係数を要にする土、たとえば、豊浦標準砂、長尾砂砂、マサ土、粘性土、関東ローム、セメントなどを使用して十数種の異った境界条件を有する互層をなしている斜面をとり上げ、これを巾 0.6 m、高さ 1.46 m、長さ 2.36 m の両面ガラス張り鋼枠製実験装置、および、巾 1.0 m、高さ 2.92 m、長さ 4.72 m の両面ガラス張り鋼枠製実験装置を使用して、模型斜面に人工降雨を降

らせる方法により、この崩壊に関する研究を行った。

右図 (a) ~ (g) は研究者らがとり上げた斜面のうち代表的なものである。つぎにこれらのおのおのについて説明を加える。

(a) の場合

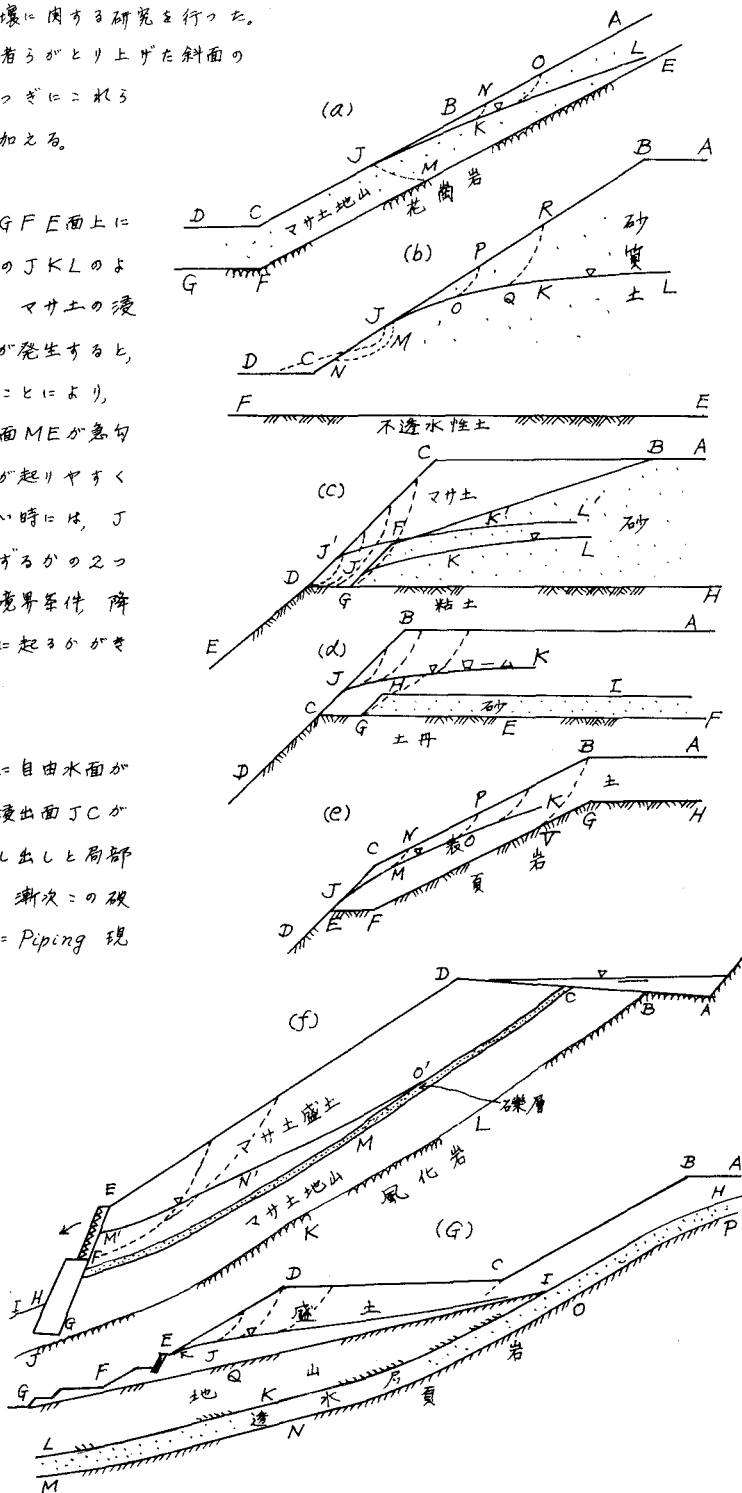
雨水が表面から浸透して G F E 面上に浸透水の貯溜が行われ、図の J K L のように自由水面が出現すると、マサ土の浸出点附近 J に Piping 現象が発生すると、

この点附近の土がゆるむことにより、土塊 J K N が滑落するか、面 M E が急勾配で且つこの面に沿う滑りが起りやすく且つ地山表層の厚さがうすい時には、J M E に沿う土塊の滑りが生ずるかの二つの場合がある。土質条件、境界条件、降雨条件でそのいずれがさきになるかがきまる。

(b) の場合

雨水が浸透して図のように自由水面が J O K L のようになると、浸出面 J C が急勾配の時にはこの面の押し出しと局部破壊が発生することにより、漸次この破壊が拡大するが、J 点附近に Piping 現象が生じ、これが図の土塊 J O P の崩壊を誘発し、さらに P O Q R の崩落を引き起すかの場合が生じうる。

後者の崩落がさきを生ずるときには、その土砂が面 J C D 上を蔽いその上面の勾配は緩になるときは、前者の崩壊がおさえられてしまう。後者の崩壊が生じ難いときには前者の崩壊が卓越する。土質条件、境界条件、降雨条件による。



(c) の場合

このような境界条件と土質条件では、強雨が長時間継続すると、図の面CDの下部に貯溜水の自由水面が出現することになる。このような時には丁集附近に *Piping* 現象が生じやすく、この部分に空洞などが生ずることにより自由水面J'K'より上方の土塊に滑り面が発生すると同時に、浸出面J'Dに押し出し現象と局部崩壊が発生する可能性が大きい。しかし前者の崩落が卓越する傾向が大きい。

自由水面に無関係な滑りはこのような土では生じ難い。

(d) の場合

この場合は(c)の場合と同様な崩壊が生ずる。自由水面JHKより上のロームが崩落すると同時に、もし砂の前面の被覆ローム層がうすいときに砂内の木目が大きいならば、この層がまた崩落して砂が斜面にあられる。砂層はすみやかに崩落流出し始めると、上のローム層は支持を失ってさらに崩落する。

(e) の場合

この場合はやはり、表土内に雨水が浸透するとき、長時間浸透が継続すると、表土層内に自由水面JMOKが出現する。丁集附近に *Piping* 現象が発生しやすい時と、そうでない場合にはFV面が急な時にはBVE面に沿って滑落する場合とがある。土質、境界条件、降雨条件により決まる。

(f) の場合

盛土の浸透能よりも強い雨が長時間継続すると、地山の上の盛土内に自由水面が生じやすい。また図の礫層が非常に透水性が大きいならば礫層内への浸透がすみやかに行われ、この層から上下へ浸透が生じ、上方からの浸透と出会い、図のように自由水面が出現すると、上段擁壁は倒壊して、それに接している盛土も崩落する。このときの盛土の崩壊は自由水面の浸出による *Piping* 現象の発生が誘因となり自由水面より上の滑りを引き起すものに移行する。自由水面の出現とは無関係な滑り面の発生も考えられるけれどもマサ土の場合はこの発生の可能性は上述のものの発生のそれに比べて小さい。

土質条件、境界条件、降雨条件の如何により、崩壊の発生は異なることは勿論である。

(g) の場合

かなりの強度の降雨があると、地山の上の盛土内に図の丁工面のような浸透水の自由水面が出現すると同時に、地山の下透水層内にも右方よりすみやかに浸透水が侵入する。この透水層内の水圧がある値に達すると、この層から地山の方へ浸透が行われると同時に地山部にも圧力に及ぼす、このとき、圧力が上の土層を動かすことになるため崩落や亀裂を生ぜしめる地滑り型の崩壊を生ずる。また、表層の盛土層内に貯溜せられた浸透水の水面が斜面に浸出するときには水面と地表面との間の土層の厚さがかかり厚いと *Piping* 現象に誘発された崩壊を生ずる。

4 結 論

浸出集附近の流速の計算と土の粒径分析と空隙率とから *Piping* 現象発生に関する可能性の有無の決定のための計算法の確立、もしくは現場判定法の確立、完全不透水層でない地層にはさまれた透水層のなかに充滿した浸透水の圧力水頭の計算法もしくは決定法の確立、降雨中の土の内部摩擦角及び粘着力の判定法の確立などに何つて研究を進めているので、この成果を用いて、どの原因が最もふえられた斜面の崩壊に寄与するかを決定する比較検討法が可能になるのである。