

1. まえがき

山岳地が多く、かつ豪雨に見舞われることの多い我が国では、毎年各地で数多くの崖崩れが発生している。また崩壊の素地を備えた箇所は、社会資本に關係する部分に絞っても全国で何万箇所とあり、危険予報と対策に苦慮している。地盤の滑動崩壊に対する安定解析には、二次元の円弧すべり理論が使われることが多いが、自然斜面の滑動を考えた場合、滑動土塊の幅が長さを上回ることほとんどないので、二次元の安定解析は実状にそぐわない。また、崖崩れに代表される急傾斜地の表層崩壊においては、実際の滑動面が円弧を形成することは稀であり、滑動面は斜面に平行していることが多い。

本文は、上記のような実態を考慮した簡単な三次元安定解析原理を提案し、考察を加えるものである。ただし本論に入る前に滑動崩壊の素因と誘因について若干コメントする。

2. 斜面表層滑動崩壊の素因と誘因

斜面崩壊には素因と誘因があり、両者が共に滑動条件を満足する状態にあるとき又はその状態になったときに滑動が起きることは周知のとおりである。素因と誘因のどちらか一方が滑動条件を満足しても滑動には至らないので、崩壊の予知は難しいといえる。素因のなかには地形、地質、土質、地下水、植生などの要素があるが、最も大きな要因となるのは地形条件である。断崖でも緩斜面でもない傾斜 30° 前後の地形面であって、表流水または浸透水を集め易い条件を備えた箇所が崩壊し易い。例えば、上方に沢地形を控えた崖地形面、あるいは集中豪雨時に集水施設となる構築物が崖上にあつて、そこからの溢流水又は浸透水が流れ込む可能性の高い崖地形面などである。後者は誘因ともいえる。これらは危険箇所の判定に役立つ。誘因のなかには豪雨、地震、凍結融解、工事の影響などがあるが、発生頻度的には集中豪雨によるケースが最も多い。図1は、ある地域における降雨期間中の最大降雨強度(1時間当りの降雨量の最大値)と崖崩れ発生件数の関係を示す。この地域では、最大降雨強度が25 mmになると崖崩れが発生し、最大降雨強度と崖崩れ発生件数との間には指数関数的な関係のあることがわかる。

図2は、崩壊地のすぐそば、深さ60 cmにおいてブロックサンプリングした関東ロームの乱さない試料に対する三軸圧縮試験(UU条件)の結果の例である。

この試験は、土のせん断強度に及ぼす浸透水の影響を調べる目的で行なったもので、水頭差5 cmの状態下で供試体の下方から水を浸透させ、せん断時の側圧は 0.1 kgf/cm^2 とした。図2によると、飽和度の低い粘性土の場合、水の浸透を受け、飽和度が上昇するとせん断強度が著しく低下することが明らかである。ただし、飽和度が93%以上になると強度の変化は少ない。なお、不飽和層の表面から水が浸透する場合は、空気の上昇に伴ない、土層の途中に空気膜層が形成され、これが分離面となることがある。この現象は、斜面の安定を考えるとき、非常に重要な研究課題である。

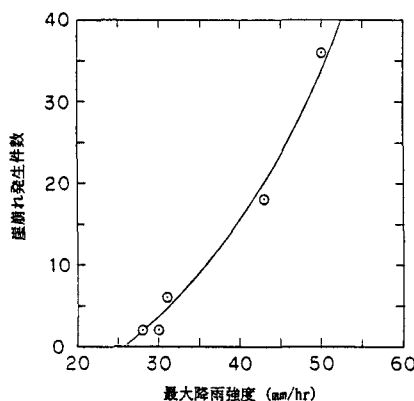


図1 丘陵を含むある行政区における最大降雨強度と崖崩れ発生件数との関係

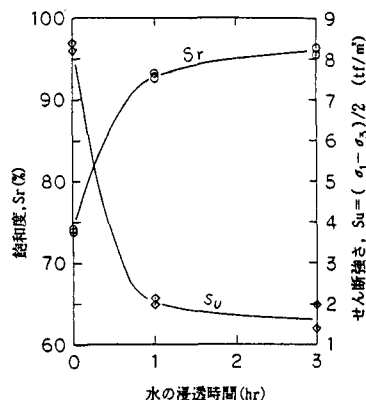


図2 水の浸透による土の強度低下の測定例(南向き斜面の新期ロームの例)

3. 三次元安定解析原理

滑動面は斜面に平行であり、滑動土塊は方形体であると仮定する。この仮定は崩壊機構をあまりにも単純化しすぎているが、これは計算を簡単にするためである。滑動土塊の下位は堅固な不透水管であるとする。浸透水によって、表層は下方から次第に飽和し、その厚さを増大する。そして、斜面に平行な等水圧帯を形成する。基盤が元々飽和している場合および滑動土塊の下に圧液状流水管がある場合は取扱わない。また、空気膜層の考慮は重要であると述べたが、いまのところ計算式にこの影響を考慮することは難かしいので考えない。前提条件を上記のように設定するとき、安定解析原理は図9に示すようになる。

4 適用例と考察

図4は、集中豪雨を伴う台風の来襲により崩壊した斜面の断面図である。地盤断面および土柱値は事後の土質調査による。図2の結果もこの箇所の土質調査結果の一部である。

飽和帯の厚さを種々変え、図3の原理を使って安定計算を行なった。その結果を図5に示すとおりである。実際の崩壊規模は $L/B = 1.0$ であつたから、 $F_5 = 1.0$ に対応する飽和帯の厚さ (d_w) として 1.5 m が得られる。この計算によつて、図3の解析原理が妥当であることを厳密に検証することはできないが、集中豪雨（最大降雨強度 50 mm ）を含む長時間に亘る降雨による表流水量から推定された崩壊斜面への浸透水量は、ローム層を 2 m 以上に亘つて飽和させるに十分な量であつたから、妥当性は低くないと考える。因みに、二次元の円弧すべり解析法で求めた最小安全率は、地下水位を地表面に設定した条件においてさえ 1.4 であつたから、図3の原理は円弧すべり理論に比べより実質的であると推察される。

5. あとがき

斜面灰層の滑動崩壊の場合について、より实际的と考えられる簡易な三次元安定解析原理を提案した。計算結果を図5のように整理すれば、水位計をモニタリングすることによって危険予報が可能と推察されるが、提案方法はまだ原理の段階であるので、細部については今後更に煮つめたいと考えている。なお不飽和土を対象とする場合は浸透水による土の強度低下を調べるのが重要である。また空気膜層の考慮は今後の研究課題である。

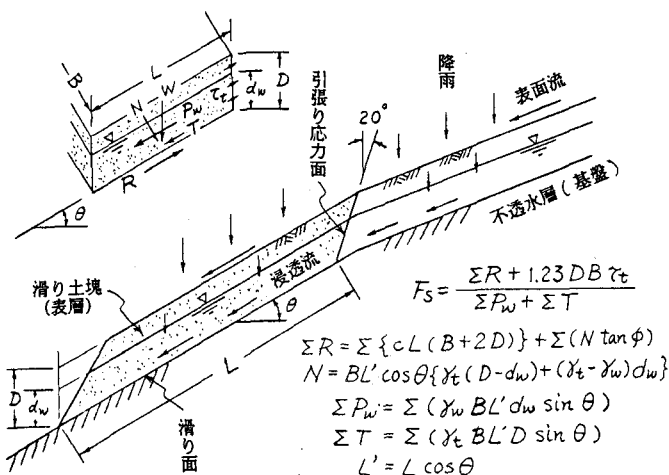


図3 浸透流を含む斜面の表層崩壊の三次元安定解析原理

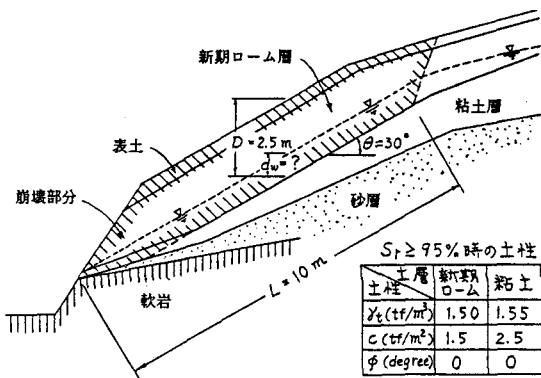


図4 実際に崩壊した斜面の地形・地質断面（付土性値）

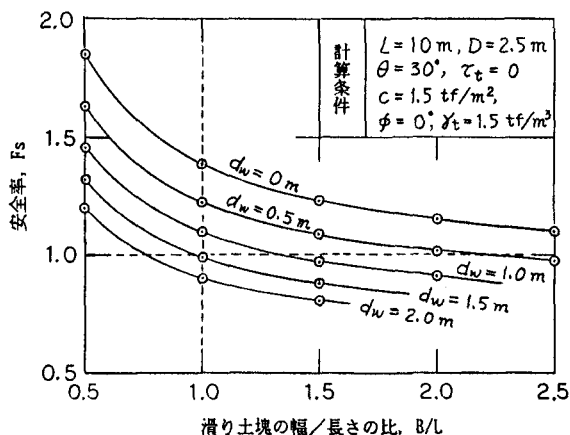


図5 図4の断面の三次元安定解析結果