

94 斜面崩壊前兆現象計測のための基礎実験

建設省土木研究所 ○工藤 賢二

吉松 弘行

青木 隆典

服部 泰英

1 まえがき

過去の実績によると、斜面崩壊の 95 %以上が豪雨時に発生しており、降雨量を指標として斜面崩壊発生の予知予測手法の検討がなされている^{1),2)}。また斜面土層内の水分変化特性を追跡して、斜面安定度の観点から崩壊の予知予測の検討もされつつある³⁾。今回は後者に焦点を当て、斜面崩壊予測手法の確立を目的として斜面崩壊模型実験を実施したので報告する。また模型実験実施において各種崩壊前兆現象として考えられる要因について計測したので、その結果も併せて報告する。

2 実験方法

2.1 実験装置

実験装置は図-1に示すように模型斜面、降雨装置及び計測器よりなる。模型斜面は鋼製の箱状であり、側壁は強化ガラスになっており側方より観察が出来るようになっている。模型斜面の大きさは長さ 2.00 m×幅 1.50 m×深さ 0.70 mである。斜面勾配は 0~ 45° の範囲で可変可能である。斜面上部には 10 ~ 100 mm/h の降雨を再現可能な降雨装置を有している。試料土は表-1に示す物性をもつ砂質土である。

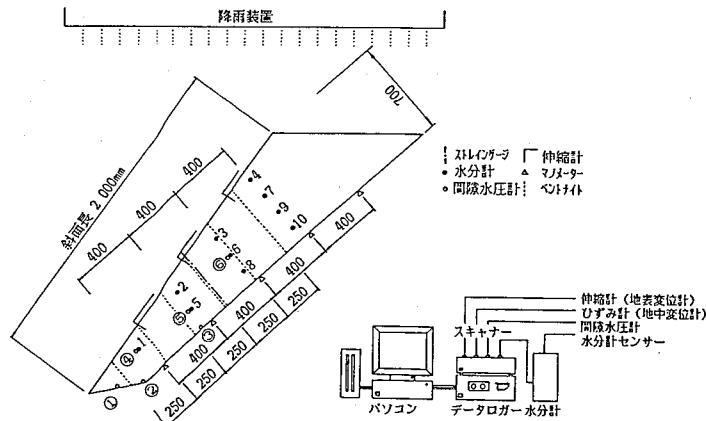


図-1 実験装置の概要

表-1 土質試験結果

土粒子の比重G	2.676	10%粒径 (mm)	0.185
試料土の間隙率 (%)	38.11	均等係数U _c	4.8
最大粒径 (mm)	19.1	曲率係数U _{c'}	0.6
60%粒径 (mm)	0.88	粘着力C (tf/m ²)	0.004
30%粒径 (mm)	0.32	内部摩擦角φ (°)	36.5

測定項目は土中水分、間隙水圧、地表変位、せん断面である。測定器はそれぞれ以下のとおりである。

水分計 : 坂田電気㈱製RX-2254型、4電極インピーダンス測定方式

間隙水圧計 : 三計エンジニアリング㈱製P310A-10型

伸縮計 : 坂田電気㈱製LR-19型

せん断面 : ベントナイト

2.2 実験方法

実験斜面の形成は厚さ 30 cm毎にしきならした試料土を人力締め固めによって行った。締め固め後各層毎に間隙率を測定し、均一斜面であることを確認した。実験は降雨強度 30 mm/h、地表面の勾配 55° の条件で3ケースを行った。

3 実験結果

3.1 崩壊形態と降雨量

土層の変位量を計測するために斜面側面に設置したベントナイトの観察より、3ケースとも降雨による表面侵食、斜面法先における小規模な崩壊等を伴わずに、地表部において最大 10 mm程度斜面下方へのクリープ変位が認められた後、瞬時に図-2に示す形態で模型斜面全体にわたり崩壊が発生した。崩壊後のすべり面形態計測より、すべり面は図-2に示すとおり円弧になっている。崩壊深の最大は 26 cm程度であった。崩壊にいたる時間は降雨開始後 96 ~ 115 分を要しており、総降雨量は 48 ~ 57 mmであった。

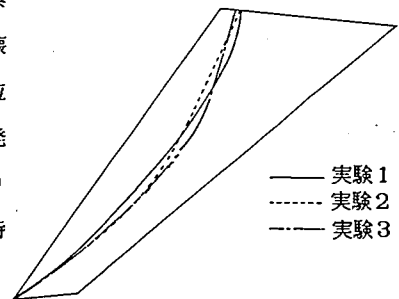


図-2 崩壊形態

3.2 間隙水圧

降雨開始後から崩壊発生にいたるまで間隙水圧は発生しなかった。その原因として試料土の透水係数が 0.10 cm/s と大きい事が上げられる。

3.3 地表変位と土中水分

地表変位と土中水分の関係を併せて図-3に示す。図より崩壊は地表変位が発生してその変位の勾配が徐々に大きくなった時点で発生している。水分計の値は体積含水率を示しており、表層に近い位置から体積含水率が上昇し始め

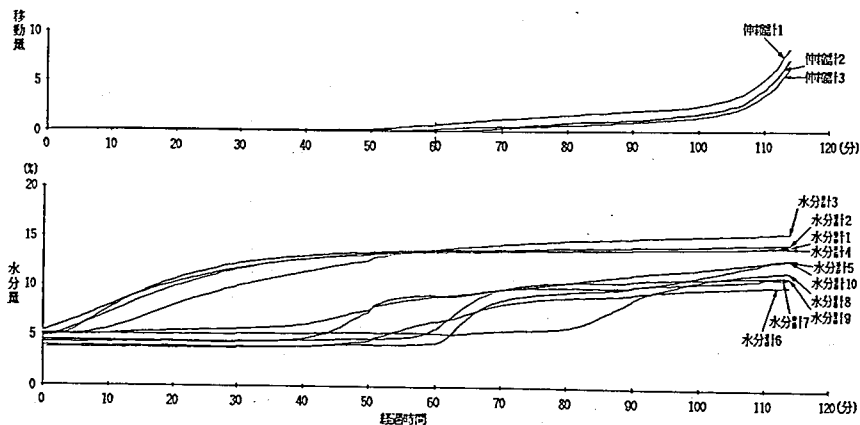


図-3 計測結果(実験ケース2)

体積含水率で 10 % を越えた位からその勾配も緩やかになっている。崩壊発生時における体積含水率は平均 14.9 % であり、間隙率が 39 % であるので飽和度としては 38 % である。このことから本実験で見られた崩壊現象は、間隙水圧計による変化が見られなかったので、降雨が浸透し表層部における水分の増加によって土塊重量が増加したために崩壊が起こったと考えられる。そこで、土中水分の増加を単位体積重量の増加として取り扱い、安定解析を実施して水分増加量の斜面安定度に与える影響を検討することとした。

4 土中水分と斜面安全率の関係

4.1 安定解析

安定解析には崩壊後のすべり面形状が円弧状であること、間隙水圧が計測されなかったことより基本式として全応力表示のスライス分割法を用いる。

実験で得られた体積含水率を用いて等値曲線図を図-4 に示す。図中に示された数字は体積含水率を示している。それぞれの時刻での土塊の単位体積重量は、土質試験結果より真比重 2.676、間隙率 39 % であることから図中に示す等値曲線に応じて設定した。すべり面の粘着力、内部摩擦角については表-1 の土質試験結果を適用した。

時間経過に伴う安全率の変化を図-5 に示す。図より降雨浸透による土塊の単位体積重量の増加によって、斜面の安全率が低下し崩壊にいたったことが説明できる。しかし、崩壊にいたる前にクリープ変位が発生しており、極限平衡法による限界が生じた。

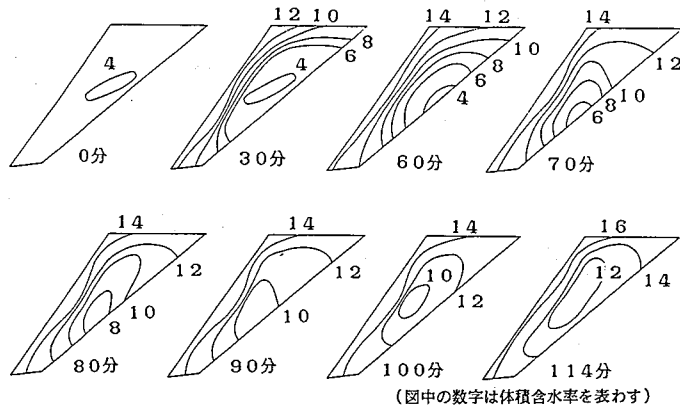


図-4 土中水分等値曲線 (実験ケース2)

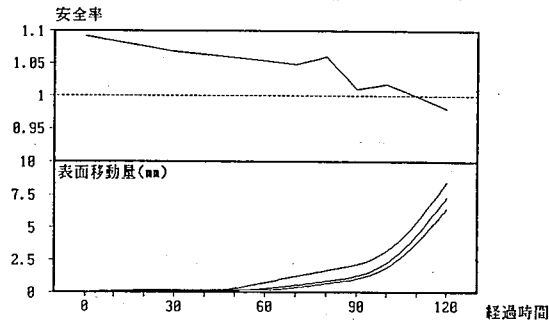


図-5 安全率の変化と地表変位 (実験ケース2)

4.2 不飽和浸透流解析

前章の斜面安定度の検討により、土層内の水分変化特性が重要である。この水分変化量の子測が必要であることより、降雨の斜面への浸透状況をFEMによるシミュレーションを実施し、実験結果と対比検討し、解析の適用性に付

いて調べてみた。解析には二次元非常飽和-不飽和浸透流解析を用いた⁴⁾。

シミュレーション結果を図-4と対比するため降雨開始 60 分後より 110 分までの 10 分刻みの等水分曲線図として図-6に示す。実験結果と対比して浸透の変化が遅れて現れているものの、等水分曲線の形態およびその変化過程は実験と良い対比を示しているが、浸透のいくぶんの遅れが見られる。これは今回用いた不飽和等水係数が過小であったためと思われる。

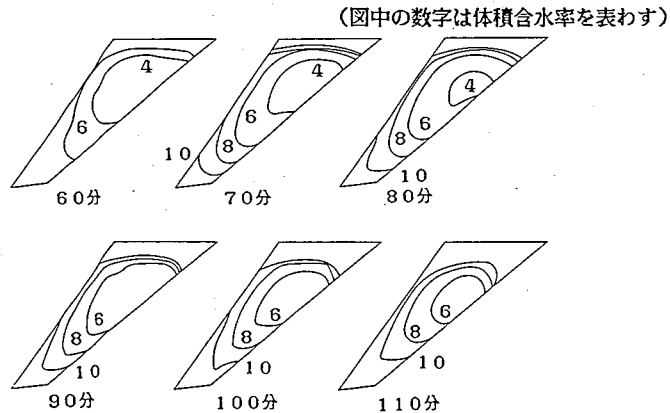


図-6 シミュレーション結果

5 考察

降雨を起因とした室内崩壊実験を行い、斜面崩壊前兆現象の計測を試みた。

本実験では間隙水圧が生じる事なく崩壊が発生した。実験試料が透水性の良い砂質土であったためと思われるが、実際の斜面においても、斜面表層部ではかなり透水性の良い土で構成されている場合も観察され、今回のような崩壊形態も非常に興味深いものとする。

土中の水分は斜面表面に近い部分から徐々に斜面内部に浸透するが、ある飽和度近くになると水分の上昇傾向は緩やかになる事が観察された。崩壊にいたる過程については、斜面表層部における水分の増加による単位体積重量の増加を考慮した安定解析によって説明できる。しかしながら、本安定解析は土の強度 C 、 ϕ を一定としており、飽和度上昇による土の強度低下等の報告もなされていることから⁵⁾、今後飽和度上昇による土の強度低下を考慮した安定解析を行う必要がある。また、斜面表層から内部への水分状況の把握のため浸透流解析を行ったが、今後解析に用いる土の物性値の把握が容易になれば、浸透流解析によって降雨による斜面内の水分状況の把握は可能であり、斜面安定解析と組み合わせることによって、より現実的な崩壊予測が実施できるものとする。

参考文献

- 1) 芥川真知他：斜面崩壊と降雨条件との関係について 第20回災害科学総合シンポジウム 1983
- 2) 春山元寿他：南九州における斜面崩壊の発生限界雨量 第12回自然災害総合シンポジウム 1975
- 3) 八木則男他：降雨時の斜面崩壊予知に関する室内及び現地実験 地すべり 第22巻第2号 1985
- 4) 西垣 誠：有限要素法による飽和-不飽和浸透解析手法 土質工学会 1987
- 5) 風間秀彦他：降雨に伴う砂質土の強度低下と斜面の不安定化 不飽和土の工学的性質研究の現状シンポジウム