

1. はじめに

崩壊跡地の滑落崖等にパイプ流出(湧水)やその痕跡が多く見られることから、パイプの斜面崩壊への寄与が指摘されているが、実際にパイプが斜面安定に与える影響について検討した例は見られない。パイプの流出機構に関する研究に比べ、パイプの崩壊現象に与える影響に関する知見は不足している。そこで、パイプの斜面崩壊に及ぼす影響を、状況の単純化しやすい模型斜面と人工降雨装置を用いた実験によって検討した。

2. 実験方法

a. 模型斜面・人工降雨装置 (図-1)

模型斜面のサイズは、水平長 380cm、幅 88cm、勾配 35° である。土槽下端は開放とし、ステンレス網と不織布で支え、水はとどこおることなく流出する。この斜面へマサ土 5mm 通過分を土層厚 40cm、乾燥密度 1.2t/m<sup>3</sup> (初期含水比 8%) で盛土した。給水は、人工降雨装置を使って 34.5mm/hr の定常降雨の形で行った。

b. 模擬パイプ (図-2)

模擬パイプは、難・不透水層直上に発達したパイプを想定し、模型斜面底に 3 本配置した。呼び径 13mm の塩化ビニル管に 7.0mm の孔を多数あけ不織布で 2 重に包み 3 個のゲートバルブを取り付けて模擬パイプとした。バルブの開閉で、パイプの連続性を斜面の部位ごとに変えることにした。

c. 測定項目

- ①地下水流出・パイプ流出・地表面流出: 転倒秤で計量。
- ②地下水位: Micro-tensiometer で測定。
- ③地表面移動量: Extention meter で測定。
- ④すべり面: あらかじめ φ 10mm のシリンダー状の色砂マーカーを設けておき、実験終了後にそのせん断破壊面の位置を測定。
- ⑤崩壊形状: 実験終了後測量。

d. 実験条件

実験は、表-1 に示す 5 つの条件で行った。

3. 実験結果

3.1 崩壊時間の差異と土層内貯留量

各試験条件の崩壊発生時間を図-3 に示した。開放したパイプが存在すれば崩壊に要する時間はパイプが無い場合より長くなった。しかし、閉鎖したパイプが存在すると崩壊は早く発生した。

図-4 に崩壊時刻の土層内貯留量を示した。累加雨量から発生時刻までの累加地下水流出量・累加パイプ流出量を差し引いたものが貯留量である。実験では降雨は定常状態であるから、崩壊が発生するのに時間を要したもののほど累加雨量は多い。そのため、崩壊が発生しなかったパイプ開放の場合累加雨量は他に比べ多いが、パイプ流出量・地下水流出量が多く、累加雨量の 70% が排出され、土層内の貯留量は最も少ない。パイプ開放が崩壊に至らなかったのは、土層内の水がパイプによって集水・排水され、斜面土層内の水分量が少ないためである。一方、閉鎖したパイプの場合は、累加雨量はパイプ開放の場合より少ないにもかかわらず、流出率がパイプ開放に比べ極めて少なく、貯留量はパイプ開放よりも多い。

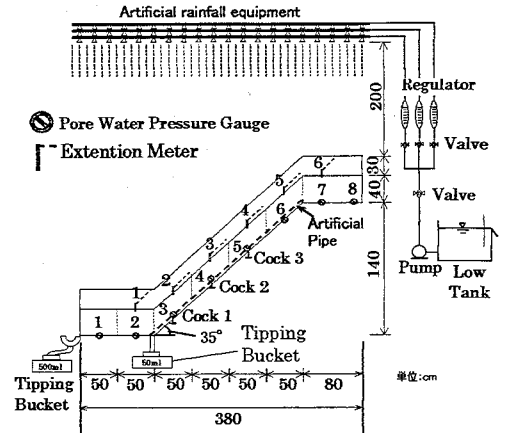


図-1 実験装置と測定器の配置

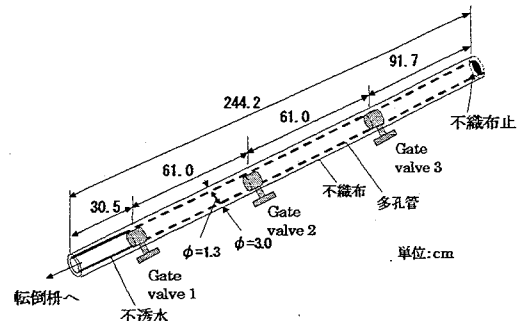


図-2 模擬パイプの構造

表-1 実験条件とゲートバルブの開閉

呼称	パイプの存在形態	ゲートバルブの開閉条件			パイプ出口の状態
		1	2	3	
①	パイプなし 斜面土層中にパイプが存在しない場合。				
②	パイプ開放 パイプの末端が土層外へ繋がっている場合。	○	○	○	○
③	パイプ下部閉鎖 パイプの末端が土層内で埋設した状態の場合。	●	○	○	●
④	パイプ中部閉鎖 土層外へ繋がるパイプの一部が閉鎖している場合。	○	●	○	○
⑤	パイプ下部途中閉鎖 パイプ内を水が流下している時に、パイプ上段の給管等によりその一部が突然閉鎖し、パイプの連続性が途中で断られた場合。	○	●	○	○ → ●

○ 開放  
● 閉鎖

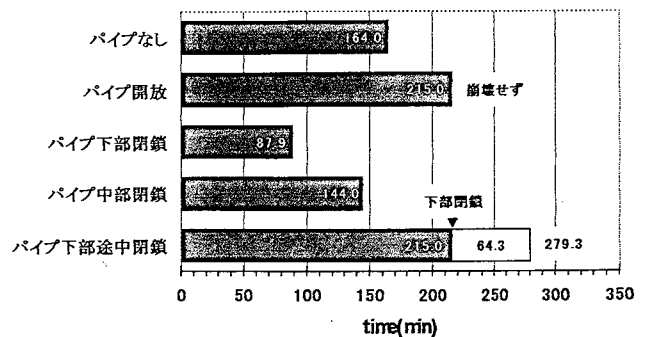


図-3 崩壊発生時間の差異

..パイプの排水システムが完全か不完全かで、土層内の水分量に大きな差が生じ、崩壊時間に差が生まれたと言える。

### 3.2 地下水面形状の変動の差異

各試験条件における地下水位の経時変化を図-5に示した。

- ① パイプなし: 斜面全体に亘って地下水面が形成される。
- ② パイプ開放: パイプが存在する斜面部では地下水面が形成されない。
- ③ パイプ下部閉鎖: パイプの閉鎖点で地下水位が局所的に上昇する。
- ④ パイプ中部閉鎖: パイプの閉鎖点で地下水位が上昇するが、閉鎖点下方では開放状態のパイプが存在するため地下水位が低下する。
- ⑤ パイプ下部途中閉鎖: 閉鎖直後に閉鎖点で地下水位が上昇する。閉鎖点より下方の水平地盤部の地下水位も大きく上昇している。

.. 土層内の水を集水し、斜面下方へ速やかに運搬する機能をもつパイプの下端が土層外へ開放されている場合は、斜面土層内の水は排除される。しかし、パイプの一部が閉鎖している場合には、斜面土層内の水をその閉鎖点へ集めることとなり、閉鎖点で局所的に地下水位を上昇させる。

### 3.3 斜面土層の安全率の変動

簡便 Janbu 法で安全率(Fs)と局所安全率(LFs)の計算を行った。図-6に降雨開始から崩壊発生時刻までのFsの経時変化を示す。

パイプが初めから閉鎖しているパイプ下部閉鎖・中部閉鎖の場合は、土湿不足を補いながら飽和帯が形成されるので、Fsの低下までに時間を要する。しかし、パイプ下部途中閉鎖の場合は、閉鎖点から溢出した水による急激な地下水位上昇に伴ってFsが閉鎖直後に低下し崩壊に至っている。パイプ流生起時のパイプの突発的な閉鎖は、斜面を急激に不安定化させる。

斜面土層を幅20cmに分割した各スライスの実験開始時刻からの LFs 低下量を図-7に示す。時間経過とともにパイプなしとパイプ下部途中閉鎖では、比較的広い範囲に亘って LFs が低下しているのに比べ、パイプ下部閉鎖・中部閉鎖では、パイプ閉鎖点下方の狭い範囲で局所的に LFs が低下する。

.. パイプなし・パイプ下部途中閉鎖の場合は、斜面全体に歪みが生じ崩壊に至ると考えられる。一方、パイプ下部閉鎖・中部閉鎖の場合は、狭い範囲の土層が不安定化し滑動するために上方土層を支えることができず、上方土層と一緒に滑落すると考えられる。パイプの閉塞は、土層の不安定化する位置を変え、崩壊形態に差異を生じさせる。

### 4. おわりに

本研究では、パイプの存在が斜面安定に与える影響を模型実験と安定解析で検討し、パイプの閉鎖による斜面不安定化の存在を確認した。今後は、パイプの屈曲・分岐・連結の影響や、降雨強度とパイプの排水機能の限界の関係も考える必要がある。

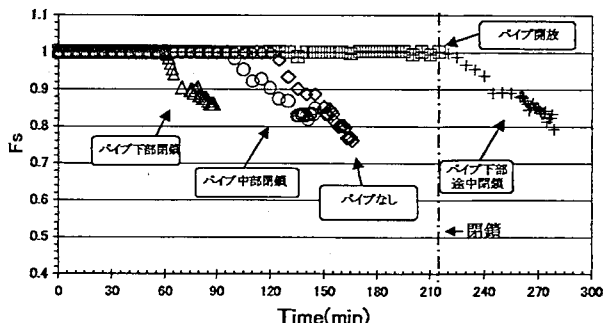


図-6 各実験条件におけるFsの経時変化

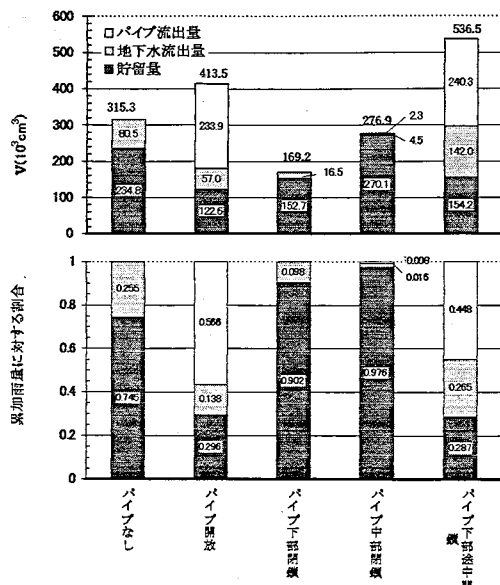


図-4 土層内貯留量の差異

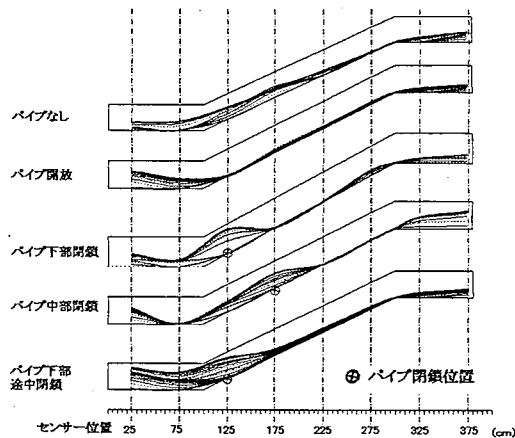


図-5 地下水面形状の経時変化

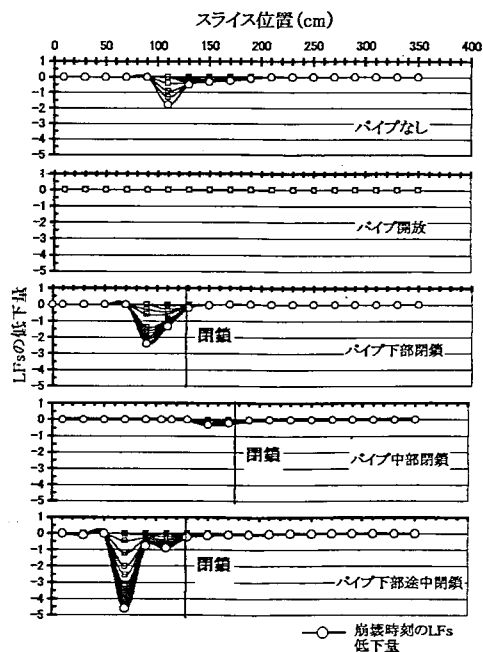


図-7 各スライスのLFsの低下量