

人工斜面土層内のパイプ流可視化に関する実験

立命館大学大学院 ○川口 航
 京都大学防災研究所 堤 大三
 京都大学防災研究所 藤田 正治

1. はじめに

斜面土層中のパイプ流に関して、現地観測や人工斜面実験、シミュレーションモデルによる解析など様々な研究がなされている。それらの研究のひとつとして、土層内浸透流に関する Richards 式とパイプ内の水流に関する Manning 式を連立して解くシミュレーションモデルが開発され、水路実験によって検証されている。このモデルは、パイプ内の水位変動に関しても解析することが可能であるが、これまでの検証実験ではパイプ内縦断方向の水位変動は観測されていない。そこで、シミュレーションモデルの更なる検証を行うと共に、パイプ流の特性を解明するために、人工斜面実験によるパイプ内縦断方向の水位変動の観測を行った。

2. 実験概要

2.1. 実験装置と材料

京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリー内実験棟の水路に土壌（3号珪砂：6号珪砂=1：1）を充填し、直方体形状の人工斜面を作成した（図-1 参照）。土層の側面、底面、および上流端は不透水境界条件とし、下流端は不織布とステンレス格子（格子間隔 5 mm）で固定し、大気開放条件とした。土層の表面には人工降雨装置にて平均降雨強度 90 mm/hr の降雨を与えた。

人工パイプは図-2 に示すように断面形状を正形状に形成し、透明板である水路右岸側面に底面から 10 mm の位置で埋設し、パイプ内部の流水状況を直接観察できる様にした。土層下流端では、パイプからの流出量と土層下流端からの浸透流出量を分離して計測できるようにした。

2.2. 実験条件

実験条件として、Case1；斜面全長（ $x=0-5\text{ m}$ ）にわたりパイプあり、Case2；斜面の一部（ $x=1-5\text{ m}$ ）にパイプあり、の 2 条件についてそれぞれ実験を行った。山地斜面のパイプの存在状態から、パイプが土層外部に開放されている場合（Case1）と、途中で閉塞し

ている場合（Case2）を考慮した条件としている。人工降雨装置を始動し、斜面への降水を開始した時刻を実験開始時刻として、各測定値の記録を開始した。

2.3. 測定項目

パイプ内の水位変動の測定は、下流端から 1.0, 2.5 m（ $x=1.0, 2.5\text{ m}$ ）の 2 箇所の位置で、水路側面からデジタルカメラにより 1 分間隔で撮影した。圧力水頭の測定では、テンシオメータを図-1 の白丸（○）の位置に設置し、土層底面における間隙水圧を 1 分間隔で計測した。土層下流端からの浸透流出量とパイプからの流出量は 1 分間隔で、メスシリンダーとストップウォッチを用いて計測した。

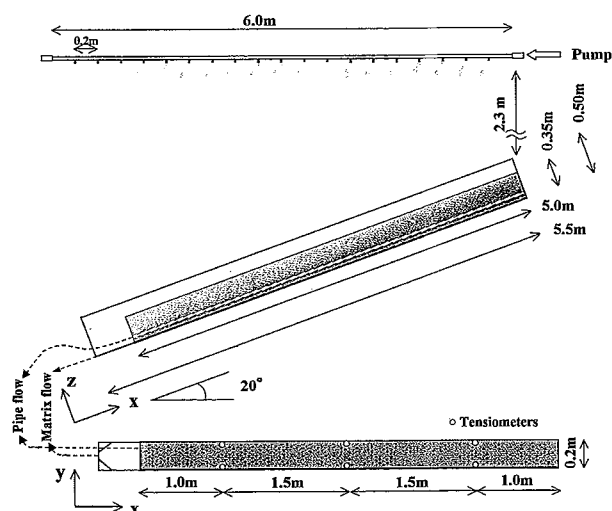


図-1 実験斜面と降雨装置の縦断面図および平面図

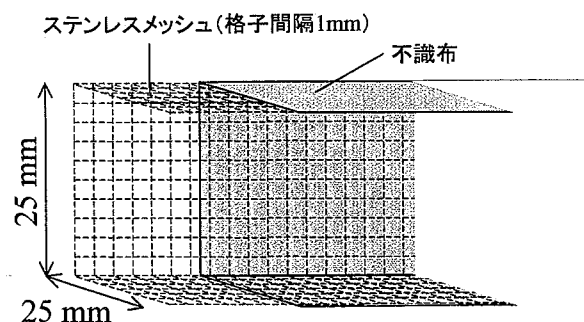


図-2 人工パイプ構造

3. 結果と考察

3.1. パイプ内水位変動と流量変化

$x=1.0, 2.5$ m でのパイプ内水位変動と土層浸透流出量およびパイプ流出量経時変化の実験結果を図-4 に示した。Case1, 2 共に $x=2.0$ m 付近でパイプ内に水面を形成し始めた。Case1 では、29 分に $x=1.0$ m, 30 分に $x=2.5$ m で水面を形成した後、一定の水位まで上昇し定常状態となった。60 分に降雨を終了した後も、水位変動に伴いパイプ流出量も同様の変動を見せた。Case2 では、実験開始後 31 分に $x=1.0, 2.5$ m で水位を形成し、パイプの閉塞地点である $x=1.0$ m では 32 分に満水となり、パイプ内に開水路流と管路流の 2 種類の流れが発生した。その後、管路流領域は上流側へ拡大したが、45 分頃の $x=2.1$ m 付近で移動量が減少し、50 分に降雨を終了させた。

3.2. パイプ内水位変動と土層底面の水圧変化

$x=1.0, 2.5$ m でのパイプ内水位変動と土層底面における間隙水圧の経時変化の結果を図-5 に示した。Case1, 2 共に、 $x=2.5$ m では間隙水圧は上昇時刻が早く緩やかな上昇、 $x=1.0$ m では上昇時刻は遅いが急激に上昇するという変動を見せた。各 Case の $x=1.0, 2.5$ m のパイプ内に水面が形成される時刻はほぼ同時である。これらのことから、 $x=2.0$ m 付近で水面が形成され始め、その水流が下流へ輸送されて $x=1.0$ m での間隙水圧が急激に上昇、 $x=2.5$ m では土層からの浸透のみによって間隙水圧が上昇したということがわかる。Case2 の $x=1.0$ m では、パイプ内が管路流になった後に、間隙水圧が急激に上昇し、水路右岸側の間隙水圧が高い値を示していることから、管路流が水を土層へ逆流させていることがわかる。

3.3. パイプ内における管路流と開水路流の境界位置の変動

パイプ内縦断方向で観察した管路流と開水路流の境界位置の経時変化を図-6 に示した。これより、管路流と開水路流の境界位置は、上流からの開水路流による流入量とパイプから土層への管路流による流出量との差により、変動するということがわかる。

4. おわりに

本実験により、パイプ流では開水路流と管路流の 2 種類の流れが存在し、開水路流領域では土層内の水を排出し、間隙水圧の上昇を抑制、管路流領域では土層に逆流して間隙水圧の上昇を起こしていることが実証された。

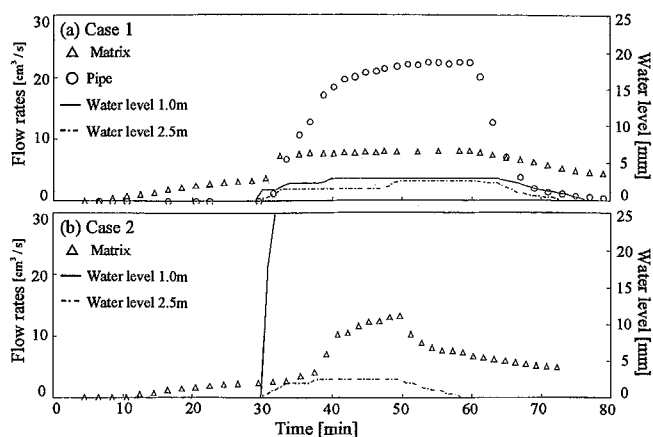


図-4 水位変動と土層浸透流出量およびパイプ流出量経時変化

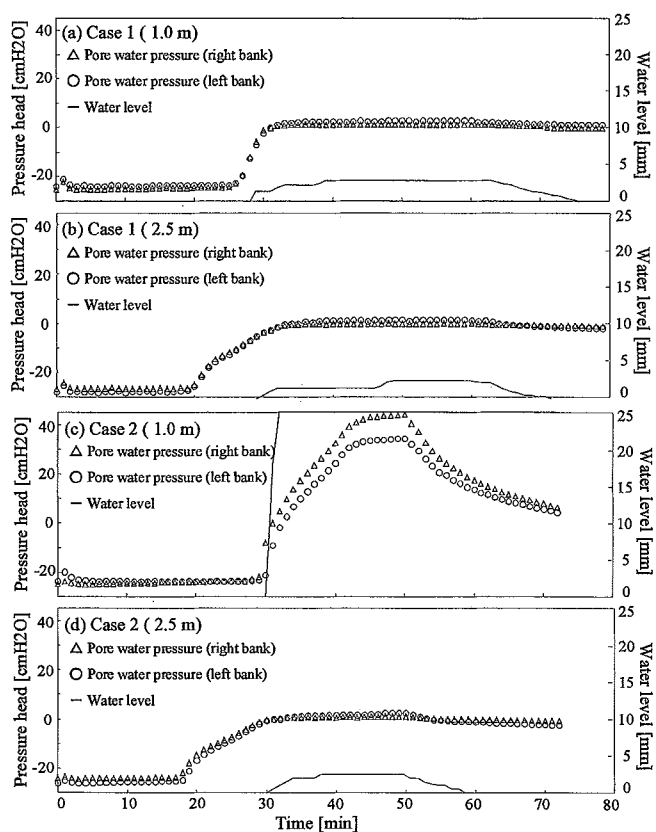


図-5 水位変動と土層底面における圧力水頭の経時変化

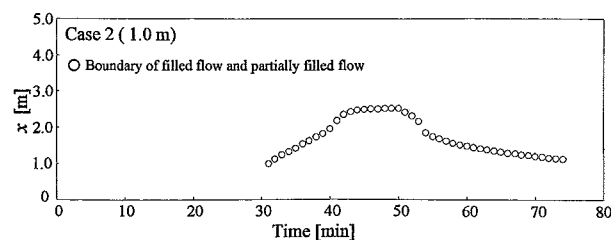


図-6 管路流と開水路の境界位置の経時変化

参考文献

- 1) 堤大三, 宮寄俊彦, 藤田正治, Roy C. Sidle: パイプ流に関する数値計算モデルと人工斜面実験による検証, 砂防学会誌 58(1), p.20-30, 2005