

# 模型実験と浸透流解析による斜面内ドレーン管の排水性能に与える影響評価

東北大学 学 ○及川大夢 S.O.A.D Mihira Lakruwan 正 加村晃良 フ 風間基樹

## 1. 研究背景と目的

降雨が引き起こす災害の一つに、斜面崩壊がある。近年、激甚化する豪雨に対して、斜面安定を確保するための効果的な排水対策が求められている。一般的な法面排水は、表面排水工と、横ボーリング孔を利用した水平排水工に分類されるが、本稿では後者に着目する。水平排水工は、有孔ドレーン管を斜面内へ概ね水平に挿入し、斜面内の地下水位を直接的に低下させる工法である。

水平排水工に用いられる有孔管の排水性能については、有孔部の間隔や配置パターンによって変化するが、それらの選定にあたっては経験的に決められている部分がある。本研究では、水平排水工に用いられる有孔管を対象に、孔間隔と配置に着目して排水性能の効果を定量的に評価する。排水条件を模擬した模型実験と、3次元浸透流解析を実施し、排水流量および水理学的指標の観点から、有孔管の排水性能の一例を定量的に示す。

## 2. 模型実験の概要

基礎的検討として、全水頭一定の条件下で定常状態の流量を計測するための模型実験を実施した。模型実験には、**図1**に示すステンレス製の土槽を用いた。土槽の内寸は、横幅 400 mm、奥行き 600 mm、高さ 500 mm である。これに直径 60 mm の有孔 VP 管をタンク下端部から 100 mm の中央部に、長軸方向へ設置した。土試料には豊浦砂を用い、タンク内部を底から 400 mm の高さまで、7層に分けて突固め法により模型を作製した（目標相対密度  $D_r = 70\%$ ）。また、土槽断面の中央部には、**図1(c)**に示すように間隙水圧計を5箇所に設置した。試料充填後は、タンク底部から脱気水を供給しつつ、24時間かけて土槽内部を飽和させた。

流量の計測実験については、外付の水供給兼加圧タンクから土槽へ 2000 mm の水頭を維持しながら脱気水を供給した。このとき、有孔管からの排水流量をはかりで計測し、一定になった段階で定常状態と判断し、その有孔管の排水流量とした。同様の手順を、タンク上面に与える全水頭を 1000 mm、500 mm と変えて実施した。その結果、円形の孔が5列、千鳥配置されている有孔管（**図2**）の排水効果が高いことが分かった。

## 3. 解析モデルの設定と孔間隔の数値解析的検討

模型実験の結果に基づき、有孔管の水理学的特性（有孔部の損失係数）を評価するために、3次元浸透流解析

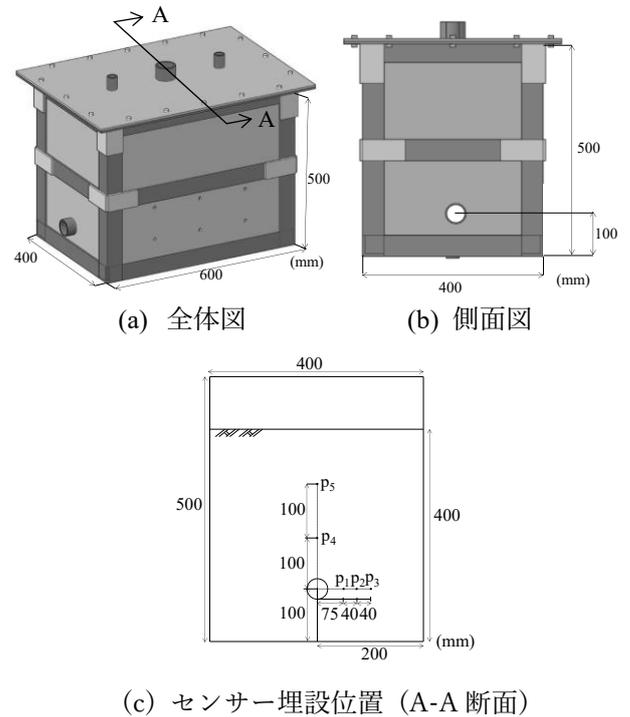


図1 模型土槽の諸元

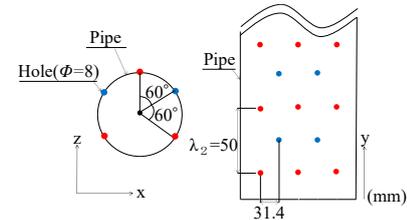


図2 排水流量が最大となったパイプの孔配置

によるパラメトリックスタディを実施した。実験データのうち、排水流量および土槽内間隙水圧分布を参照した。解析コードは PLAXIS 3D を用い、透水係数等のパラメータには豊浦砂の標準的値を用いた。**図2**に示した有孔管の排水流量と間隙水圧について、実験値に対する解析結果の  $R^2$  値は、流量の  $R^2$  が 0.99、間隙水圧の  $R^2$  が 0.93 であった。この結果より、設定した浸透流解析モデルは、模型実験の流量を表現できることが確認された。

上記検証によって、解析モデルの妥当性が示されたことから、次に、孔間隔 ( $\lambda_2$ ) と孔配置パターンに着目した、数値解析的検討を実施した。モデルの対称性を考慮して、**図3**に示すような軸対称のハーフモデルを設定した。孔はすべて直径 8 mm の完全排水条件で表現し、その配置は**図4**の通りである。孔間隔は、25~200 mm で 25 mm 刻み、8パターンとした。孔間隔 ( $\lambda_2$ ) と有孔管長さ (L) の関係を**表1**に示す。また、孔の配置パター

ンは、図5に示すように、平行配置（Parallel）が1種類と千鳥配置（Stagger）が3種類（ $X=\lambda_2/2, \lambda_2/3, \lambda_2/4$ ）の計4種類とした。土要素の透水係数は  $k_{soil}=1.0 \times 10^{-4}$  (m/s) とし、有孔管周囲の不織布の透水係数は  $k_f=1.0 \times 10^{-3}$  (m/s) と設定した。有孔管の孔以外の部分やモデル側面と底部は水理的閉境界とし、モデル上面は水頭条件とした。なお、浸透流解析は、飽和条件で実施した。解析ステップは、段階的にモデル上部に2000 mm, 1000 mm, 500 mm の水頭を与えて定常状態を解析した。

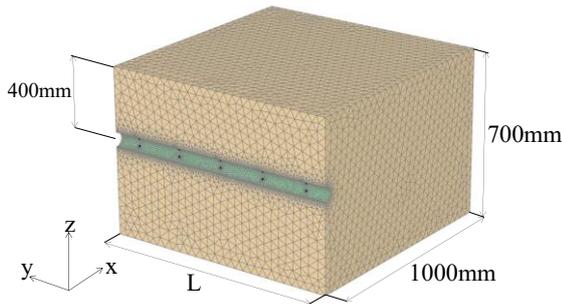


図3 浸透流解析の3次元FEメッシュ図

表1 孔間隔とモデルにおける有孔管長さの関係

$\lambda_2$ (mm)	25	50	75	100	125	150	175	200
L (mm)	600	600	600	600	750	750	1050	1000

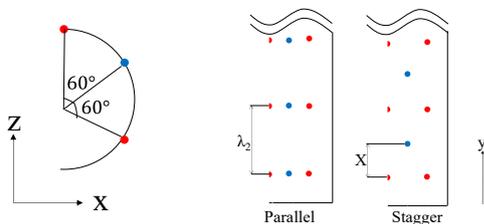


図4 孔配置位置

図5 孔配置パターン

#### 4. 解析結果および考察

上述の条件で設定した4ケースの浸透流解析により、排水流量と孔間隔  $\lambda_2$  との関係を整理したものを図6に示す。この結果より、孔間隔が広くなると排水流量が減少するという全体共通の傾向が見られ、さらに、単位長さあたりの孔数が同じであっても、平行配置と千鳥配置では、千鳥配置の方が排水効果が高いことが分かった。

平行配置と千鳥配置で違いが生じる理由を検討するため、モデル地盤内の水頭分布を図7(a)に示す。これより、千鳥配置の方が平行配置よりも  $y-z$  平面内 ( $x=30$  mm) において、水頭の値が低い部分の面積が広いことが分かる。すなわち、千鳥配置の方が、より広い範囲から集水しており、このことが排水流量に差が生じた理由であると考えられる。また、排水設計の際に重要なパラ

メータとなる有孔部の入口損失係数  $\alpha$  については、図8に示すとおり、孔間隔が広くなると平行配置と千鳥配置の差が大きくなることがわかった。

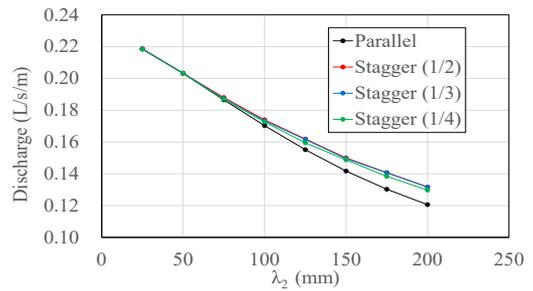
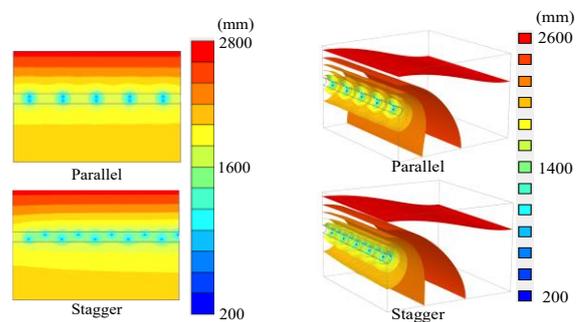


図6 孔間隔と排水流量の関係



(a)  $y-z$  平面の水頭分布 (b) 3次元の水頭分布

図7 全水頭2000 mm のモデル内 ( $\lambda_2=200$  mm) の水頭分布

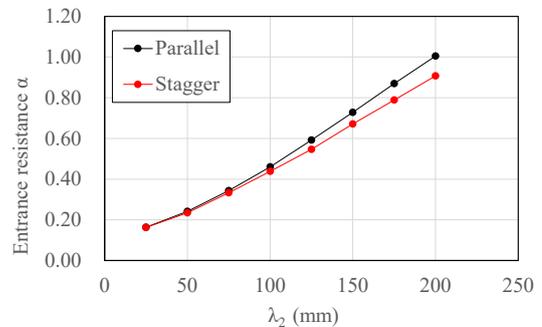


図8 孔間隔と入口損失係数の関係

#### 5. 結論

孔間隔に着目した、有孔管の排水性能に関して、模型実験と浸透流解析より以下のことがわかった。

- ・ 平行配置と千鳥配置を比較すると、後者のほうが排水流量が多く、入口損失係数の値は小さくなる。
- ・ 孔間隔が広くなると、入口損失係数の値の差が大きくなる。

#### 参考文献

- 1) Gaj Naresh and Chandra A. Madramootoo: Effects of Perforation Geometry on Pipe Drainage in Agricultural Lands, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol.146, No.7, pp.04020015-1-12, 2020.
- 2) Oyarce Patricio Luis Gurovich and Víctor Duarte: Experimental evaluation of agricultural drains, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol.143, No.4, pp.04016082-1-13, 2017.