

実物大模型盛土に打設した排水パイプの浸透流解析モデルの検証

鉄道総合技術研究所 正会員 ○西田 幹嗣 正会員 渡邊 諭 正会員 川尻 峻三
 正会員 浅野 嘉文 正会員 太田 直之
 西日本旅客鉄道 正会員 高馬 太一
 京都大学大学院 フェロー 杉山 友康 岡山大学大学院 正会員 西垣 誠

1. はじめに

筆者らは、排水パイプを打設した小型土槽を用いた浸透実験を実施し、実験で得られた排水パイプからの排水量を浸透流解析上で再現する排水パイプのモデルとして、全面を浸出境界とした中空直方体の適用性について検討してきた^{1), 2)}。その結果、中空直方体周囲の一定範囲の盛土の透水係数を低下させることで実験結果を良く再現できることを明らかにした^{1), 2)}。本稿では、これまでに検討してきた排水パイプのモデルの実物大模型盛土への適用性について検討した結果を述べる。

2. 実物大模型盛土の散水実験の概要

図1に模型盛土の概略図を示す。模型盛土はのり面勾配 1:1.8, 盛土高さ 2.0m であり、実際の鉄道盛土の半断面を模擬して、天端幅は 4.0m とした。また線路延長方向の幅は 6.0m とした。盛土構築に使用した地盤材料は稲城砂(土粒子密度 $\rho_s=2.684\text{g/cm}^3$, 平均粒径 $D_{50}=0.209$, 均等係数 $U_c=23.4$, 曲率係数 $U_c'=5.66$, 細粒分含有率 $F_c=17.7\%$, 最大乾燥密度 $\rho_{dmax}=1.59\text{g/cm}^3$, 最適含水比 $w_{opt}=20.1\%$)である。盛土は、締固め度 D_c (乾燥密度 ρ_d /最大乾燥密度 $\rho_{dmax} \times 100$) = 83%, 含水比 $w=20.4\%$, 飽和透水係数 $k=2.3 \times 10^{-3}\text{cm/s}$ を目標として、高さ 25cm 毎に振動プレートによって締固めて作製した。

盛土内水位は、散水中 60 分に 1 回の頻度で観測井に水面検知機を挿入して散水開始 480 分まで計測した。観測井にはストレーナーを加工した塩ビ管を使用した。また、排水パイプには直径 60.5mm, 長さ 3.6m の有孔鋼製管¹⁾を用いた。散水時の降雨条件は、総雨量 120mm(時間雨量 $r=20\text{mm/h}$ を 360 分まで散水する)とした。

実験の 1 例として、のり尻から高さ 30cm の位置に排水パイプを打設した Case1(1 本打設; 10m 間隔に相当), Case2(3 本打設; 2m 間隔)の盛土内水位の経時変化を図2に示す。なお、盛土内水位は図1に示す計測断面での値である。同図から Case2 の結果と比較して Case1 の盛土内水位はいずれの計測時間においても高くなっている。

3. 排水パイプの浸透流解析モデルの検証解析

3.1 解析モデルおよび解析条件

図3に解析モデルを示す。解析モデルの寸法は散水実験に供した模型盛土と同様である。排水パイプは 1 辺の長さが 5cm の正方形断面を有する中空の直方体とし、排水パイプ周囲には厚さ 5cm の模型盛土よりも透水性の低い層(以下、スリットエフェクト層という²⁾)を設定した。このスリットエフェクト層は、排水パイプのスリットの開口率と排水パイプ打設時の盛土内の密度変化を考慮して設定して

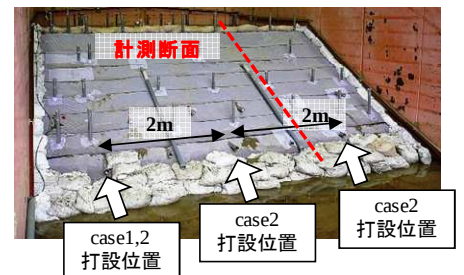
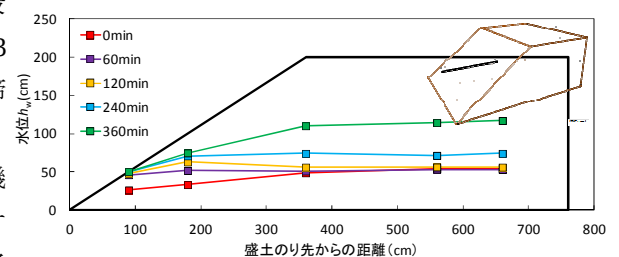
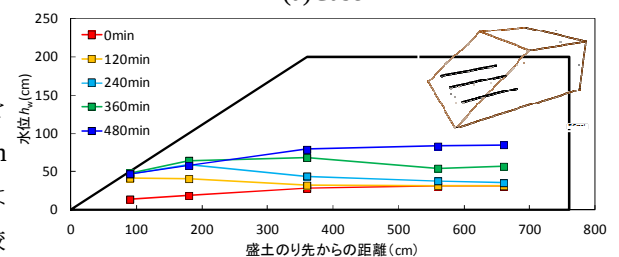


図1 模型盛土の概略図



(a)Case1



(b)Case2

図2 盛土内水位の経時変化

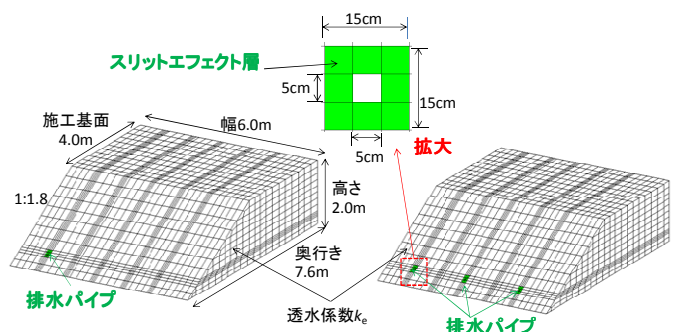


図3 解析モデル

キーワード 盛土、排水パイプ、浸透流解析、散水実験

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7263

いる。なお、スリットエフェクト層の厚みと透水係数比(スリットエフェクト層の飽和透水係数を盛土の飽和透水係数で除した値)は図4に示すような関係が得られている²⁾。境界条件は、模型盛土底面を不透水境界、模型盛土ののり面および天端を降雨浸透境界、排水パイプ内空を全面浸出境界と設定した。解析での降雨条件は、実験と合わせて実測散水量 22mm/h を 6 時間与えた。解析モデルの初期の飽和状態は、解析モデルを完全飽和状態として地下水位を低下させる解析を実施し、実験で得られた散水開始前の水位まで盛土内水位が低下した状態とした。

図5は実験に用いた地盤材料の保水性試験の結果である。浸透流解析で用いた水分特性曲線のモデルは van Genuchten モデル³⁾を、比透水係数のモデルは Mualem モデル⁴⁾を用いた。

模型盛土の飽和透水係数(以下、透水係数という) $k_{e,lab}$ は、すべての実験が終了した後に乱れの少ない試料を採取して行った室内透水試験により得た $k_{e,lab}=1.44 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ とした。また、スリットエフェクト層の飽和透水係数 $k_{s,lab}$ は図3に示すように解析上のモデルにおけるスリットエフェクト層の厚さを 5cm としたことから、模型盛土の透水係数 $k_{e,lab}$ の 50%の値である $k_{s,lab}=7.20 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ とした(図4)²⁾。

3.2 解析結果

図6には、Case1における計測断面の水位 h_w の経時変化について実験結果と解析結果を合わせて示す。なお、解析結果については、上記で示した $k_{e,lab}$ と $k_{s,lab}$ を用いて得た結果と解析値と実験結果が整合するように逆算して得た $k_{e,mod}$ と $k_{s,mod}$ を用いて得た結果の両方を示している。

室内透水試験の結果($k_{e,lab}$ と $k_{s,lab}$)を用いた解析結果は、散水開始後 120 分までは実験結果と整合しているが、散水開始後 360 分にはのり先付近で解析値が実験値よりも大きくなり、盛土天端直下では解析値が実験値よりも小さくなった。そこで、表1に示した $k_{e,mod}$ と $k_{s,mod}$ の値とした場合に比較的良好に実験結果を再現できることが分かった。これは、室内透水試験に用いた供試体のサイズが小さい(直径 50mm, 高さ 51mm)ことや模型盛土を構築した際の締固めムラによって模型盛土全体の見かけの透水係数を再現できていないためと考えられる。

そこで、 $k_{e,mod}$ と $k_{s,mod}$ を使って Case2 の解析を実行して得た結果を図7に示す。この図から実験値と解析値の形状は概ね一致している。

4. まとめ

以上のように、排水パイプを打設した盛土内水位の挙動を再現するためには、排水パイプを中空の直方体とし、その周囲の土の透水性を盛土本体の透水性よりも低く設定することが必要であることがわかった。今後、こうした計算手法をさらに高度化し、排水パイプを打設した場合の盛土内水位の挙動と効果を明らかにしていきたい。

参考文献

- 1) 渡邊諭ら：排水パイプの排水性能評価のための定水位浸透模型実験，第49回地盤工学研究会発表講演集(投稿中)、2014、2) 西田幹嗣ら：排水パイプのスリットを考慮した浸透流解析モデル，第49回地盤工学研究会発表講演集(投稿中)、2014、3) M. T. van Genuchten: A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils, *Soil Science Society American Journal*, Vol.44, pp.892-898, 1980. 4) Y. Maulem: A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media, *Water Resources Research*, Vol.12, pp.513-522, 1977

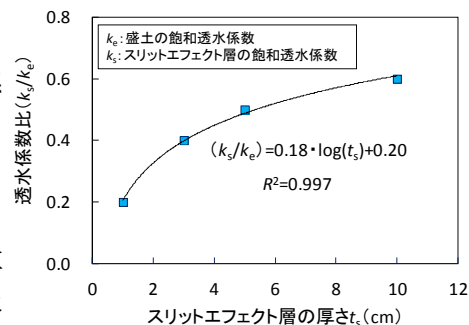


図4 スリットエフェクト層の厚さと透水係数比の関係²⁾

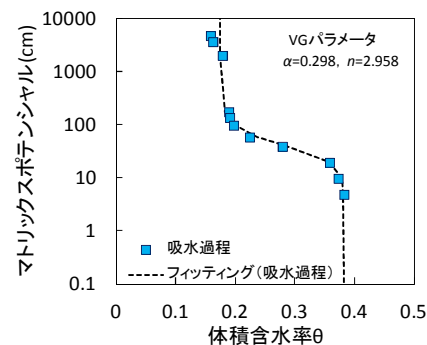


図5 実験に用いた地盤材料の保水性

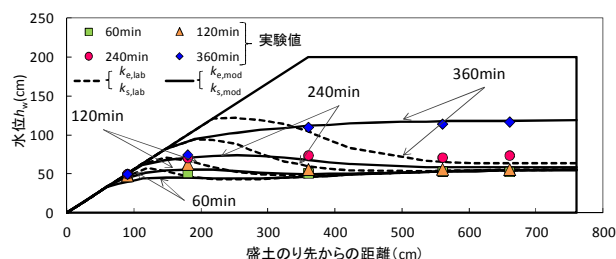


図6 実験結果と解析結果の比較(Case1)

表1 解析に用いた飽和透水係数

	$k_{lab}(\text{cm/s})$	$k_{mod}(\text{cm/s})$	k_{mod}/k_{lab}
模型盛土 k_e	1.44×10^{-3}	4.32×10^{-3}	3.0
スリットエフェクト層 k_s	7.20×10^{-4}	2.16×10^{-3}	

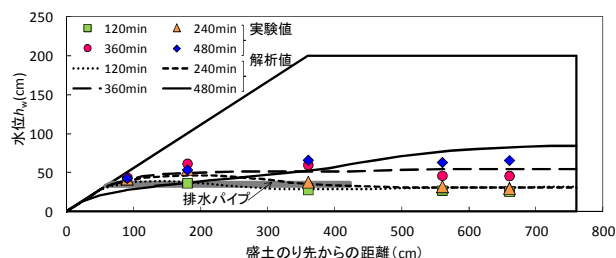


図7 実験結果と解析結果の比較(Case2)