

## 不飽和土/水連成問題における排水パイプの表現 Expression of drain pipe on unsaturated soil/water coupling problem

井井 克之 (近畿大学・理工) 赤木 悟 (京都大学大学院・工) 中島 晃司 (近畿大学・理工)  
安富 懸一 (日鉄建材株式会社) 大高 範寛 (日鉄建材株式会社)  
Katsuyuki KAWAI, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Kindai University  
Satoru AKAGI, Graduate School of Engineering, Kyoto University  
Koji NAKASHIMA, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Kindai University  
Kenichi YASUTOMI, Nippon Steel Metal Products Co. Ltd.  
Norihito Otaka, Nippon Steel Metal Products Co. Ltd.  
FAX: 06-4307-4360, E-mail: kkawai@civileng.kindai.ac.jp

Elevation of the phreatic surface causes instability of an earth structure. Therefore, drainage system is important on constructing an earth structure. Drain pipe is the drain system applicable even for an existing earth structure. In this study, the drain pipe was expressed in the initial and boundary problems on unsaturated soil. Here, the results of electrical prospecting were compared with seepage analysis on the embankment installed drain pipe. Consequently, qualitative agreement between them was found.

### 1. はじめに

盛土や切土といった土構造物や自然斜面では、降雨浸透や地下水位上昇などの外部からの水の供給があると、内部の含水状態が高まり、やがて浸潤線を形成するようになると、安定性が大きく低下する。そのため、重要な盛土建設時には、あらかじめ内部に排水を行うための設備を設ける。しかしながら、既設構造物では構造的に新たに排水設備を設置するのは難しい。排水パイプは、スリットを有する鋼管を土構造物に打設し、内部に浸透した水を排出することで、浸潤線の低下を期待するものであり、既設構造物に容易に適用できる排水対策である。排水パイプの施工は、鉄道分野で多く実施されており、その排水効果についても模型実験や解析によって検討されてきた<sup>1)2)</sup>。しかしながら、実施工の現場において、数値解析によって排水パイプの効果を検証するためには、地盤材料の不均一性のみならず、現在の構造物内の含水率分布を把握する必要がある。本研究では、実際に排水パイプが設置され、地下水位計測も行われている現場を例として、電気探査による比抵抗分布図及び不飽和土/水連成解析を行い、排水パイプ工が盛土内浸潤線に及ぼす影響を明らかにする。

### 2. 排水パイプ設置現場概要および電気探査による電気比抵抗分布

解析対象としたのは鉄道用腹付け盛土であり、元々地下水位が高く、過去に降雨による崩壊履歴がある場所である(図-1)。図-2に示すように、1段あたり2m間隔に5本で、合計15本の排水パイプが設置されている。施工された排水パイプは3段式で、打設時の摩擦低減のために先端に向かって細くなっている。打設長さは6m、パイプの最小直径は4.9cm、最大直径は7.6cmである。また、地下水位計測のための観測井戸が設けられており、感圧式の水圧計が設置されている。地盤断面の含水率分布、浸潤線位置を把握するために、電気探査を実施した。電気探査は地盤に一直線上に電極を挿入し、電極間に電流を流し、その電位差によって地盤直電気比抵抗分布を計測できる。地盤材料の電気比抵抗は土質や土壌水の含有イオンの影響を受けるものの、同じ土質条件であれば含水率が支配要因となることから含水率分布を把握する有効な手段のひとつであるとされている。当該現場では、排水パイプ直上とならないように

図-1のとおり測線を設定し、電極間隔50cmのダイポール・ダイポール配置で探査を実施した。

電気探査実施日(2019年12月28日)は晴天であったが前々日に8mm、前日に14.5mmの降雨があり、測線近傍の排水パイプでは探査時に下段の排水パイプのみ排水が確認された。図-3に電気探査によって得られた電気比抵抗分布を示す。図中には排水パイプ設置位置を矢印で示している。ここで、電気比抵抗が小さいほど含水率が高いとみなすことができる。天端付近の高比抵抗領域は道床バラストの影響を受けていると考えられる。法面に設置した観測井戸で

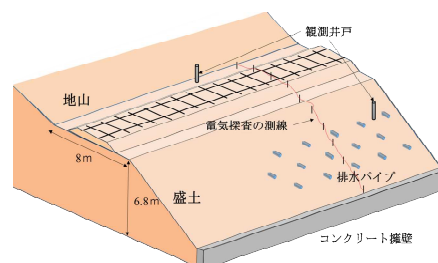


図-1 現場概略図

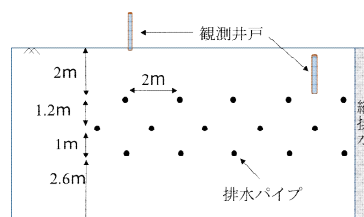


図-2 排水パイプ配置図

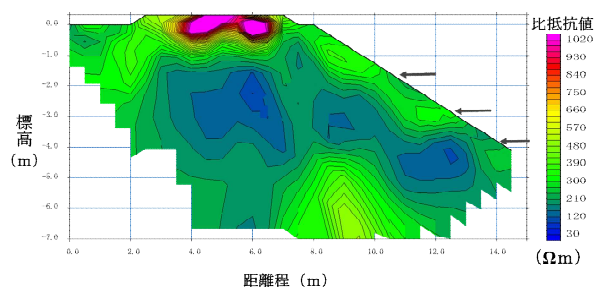


図-3 盛土横断面の比抵抗分布図

は法面から-1.3m の水位が計測されており、電気比抵抗 120Ωm 付近に相当すると考えると、上段、中断の排水パイプは浸潤線以上の領域にあることになり、観測事実と一致する。

### 3. 排水パイプを考慮した浸透解析

排水パイプの効果を、正の値を示す間隙水圧の消散に寄与するものとするとし、排水パイプ設置領域では、間隙水圧が負の値から正の値に転じるときにゼロ圧力水頭境界に自動的に切り替える浸透境界として表現した。用いた解析コードは不飽和土の変形挙動及び浸透挙動を同時に表現できる土/水連成解析コード DACSAR-MP<sup>3)</sup>を用いた。図-4 および図-5 に解析に用いた解析メッシュ及び境界条件を示す。排水パイプの三次元的な効果を見るために、盛土横断面と縦断面を設定した。盛土縦断面での排水パイプ位置は○印で示す。盛土横断面の解析では、過去の観測井戸での水位計測結果から想定される前日の降雨量相当の地下水水位として底面から 5.2m の水位を解析領域左端に与えた。法面および右端には排水パイプ同様、浸透境界を与えて、浸出位置を明らかにした。盛土縦断面解析では、法面側水位計で観測された水位 2.3m を解析領域下端に与えることで降雨後の水位を再現した。現地の詳細な土質データがないため、真砂土を想定し、表-1 に示す解析入力定数を設定した。

図-6 に盛土横断面解析によって得られた定常状態の飽和度分布である。図中には別途行った排水パイプがない状態での浸潤線位置を白色破線で示している。排水パイプがない場合は、浸潤線が法面に達しており、法面から浸出が生じることが分かる。排水パイプがあることで、浸潤線が大きく低下している。最大で排水パイプ先端で 1.4m の低下がみられ、浸潤線が法面に達するのを抑制している。図-3 に示す電気比抵抗分布で 120Ωm 付近を浸潤線と考えると、排水パイプの先端から 3 分の 1 ぐらいまでは浸潤線以下である。横断面の解析は平面ひずみ条件であり、排水効果を過大評価することになるため、縦断面の水位低下効果に注目する。図-7 は盛土縦断面解析から得られた定常状態の飽和度分布である。排水パイプがない場合は、底部から 2.3m 位置まで水位が上昇することになる。排水パイプ位置で 30cm の水位低下が期待できる。左側の排水パイプに注目すると、左方に向かって水位が上がっており、1m 離れると 20cm ほど水位が高い。排水パイプの排水効果が干渉する 2 本の排水パイプ間では水位上昇は 10cm にとどめられている。密に排水パイプを設置することで、排水効果が向上することは明らかである。電気探査結果、観測井戸水位と解析結果を比較すると、解析で設定した透水係数は実際よりも高いものと予想できるが、浸潤線の概形は一致しており、不飽和土/水連成解析の中で浸透境界として排水パイプを表現することの妥当性が確認できた。

### 4. まとめ

本研究では、排水パイプの排水効果を浸透解析の中で表現する手法として、浸透境界を適用することの妥当性ととも、初期値境界値問題で重要となる現状の含水率分布把握のための電気探査の適用性を検討した。実盛土における電気探査から得られた電気比抵抗分布は、地盤の含水率を定性的に表現できることが分かった。ただし、詳細な浸潤線の把握については、水位観測を併用する必要がある。また、排水パイプを浸透境界として不飽和土/水連成解析の中で表現することができた。地盤の土質性状を忠実に再現す

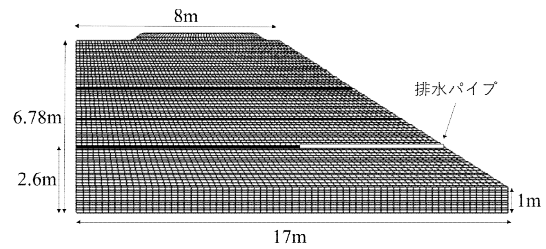


図-4 解析メッシュ(盛土横断面)

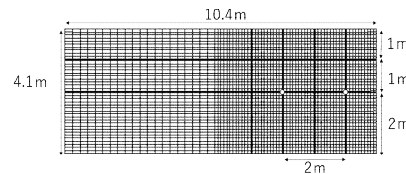


図-5 解析メッシュ(盛土縦断面)

表-1 解析入力定数

$\lambda$	$\kappa$	$M$	$m$	$n_E$
0.087	0.009	1.375	0.6	1.0
$a$	$n_s$	$S_{r0}$	$k_x$	$k_y$
10.0	1.0	0.43	$2.4 \times 10^{-3}$	$2.4 \times 10^{-3}$

$k_x, k_y$ : Permeability coefficient, unit m/day

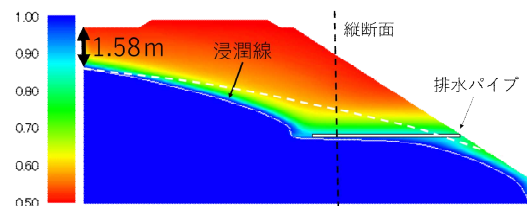


図-6 盛土横断面飽和度分布

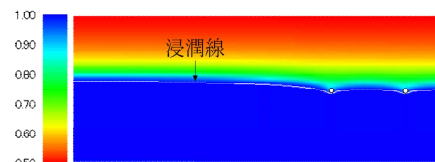


図-7 盛土縦断面飽和度分布

ることで、定量的な排水パイプの排水効果把握や、設計時の適正配置を求めることができると期待される。

### 参考文献

- 1) 藤井昌隆, 岡田勝也, 杉山友康, 村石尚, 佐藤晶彦, 草野國重: 排水パイプ工の施工ピッチの影響に関する実験, 第 31 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.1999-2000, 1996.
- 2) 太田直之, 杉山友康, 渡邊諭, 高馬太一, 西田幹嗣, 石川智史: 盛土に用いる排水パイプの浸透流解析モデル, 鉄道総研報告, 26(9), pp.35-40, 2012.
- 3) Sugiyama, Y., K. Kawai and A. Iizuka: Effects of stress conditions on B-value measurement, Soils and Foundations, 56(5), pp.848-860, 2016.