

トンネル掘削ずり盛土における原位置不飽和透水試験

(株)奥村組 正会員 岩本容昭 (株)奥村組 正会員 大塚義一
 (株)奥村組 正会員 太田博光 (株)奥村組 正会員 倉品 悠
 (株)奥村組 正会員 長 千佳 (株)奥村組 正会員 清水祐也
 (株)ハイドロ総合技術研究所 正会員○森田修二 岩手大学 正会員 大河原文文

1. はじめに

近年、建設発生土や排水に含まれる自然由来の重金属類による環境汚染の問題が増加している。岩手県の北上高地を縦断する幹線道路となる押角トンネルの工事においても自然由来の重金属類を含む掘削ずりの発生が予想された。この掘削ずりの盛土では、ベントナイト混合土によって完全な封じ込めを実施したが、同時に排水暗渠を敷設して浸出水の処理も行っている。このような盛土の封じ込めを評価するためには、内部で溶出する重金属類の挙動を知る必要があり、浸出水の不飽和浸透特性を把握することが重要である。不飽和浸透特性の評価方法には、原位置試験¹⁾等があり、掘削ずりを対象とした研究には大型カラムを用いた暴露試験²⁾等がある。現地では、キャッピング前に表層での原位置不飽和透水試験やボーリング孔を利用した不飽和領域の注水試験を実施した。本報では表層の原位置不飽和透水試験で得られた有益な知見について報告する。

2. 原位置不飽和透水試験の概要

図-1 に示す注水圧力制御による原位置不飽和透水試験法³⁾を実施した。本試験では、地表から一定流量の注水を行い地中の土壤水分率の時間変化を測定する。不飽和特性を表す VanGenuchten モデル (式(1), 式(2)) を用いた浸透流解析によって、この時間変化を再現することで VG モデルの不飽和パラメータと飽和透水係数を同定する。なお、比透水係数については式(3)に示す変形式も適用した。ここで、 Ψ : サクシオン、 α , m , n , β : 実験定数、 θ : 体積含水率、 θ_s : 飽和体積含水率、 θ_r : 残留体積含水率である。

$$\text{有効飽和度 } S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \{1 + (\alpha\Psi)^n\}^{-m} \quad (1)$$

$$\text{比透水係数 } k_r = S_e^{1/2} \left\{1 - (1 - S_e^{1/m})^m\right\}^2 \quad (2)$$

$$\text{比透水係数の変形式 } k_r = S_e^\beta \quad (3)$$

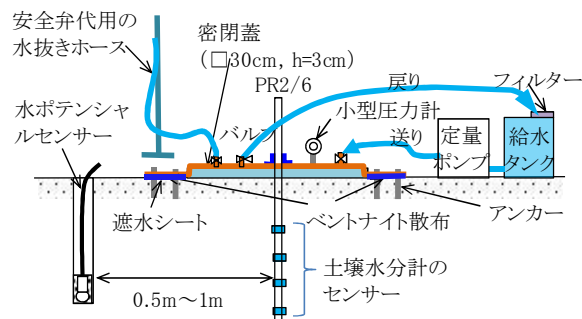


図-1 原位置不飽和透水試験装置の概要

3. 掘削ずり盛土における試験位置

掘削ずり盛土はベントナイト混合土で完全に封じ込めているが、その埋立工程の中で表層の一部が未キャッピングであった期間に原位置不飽和透水試験を実施した。図-2 に掘削ずり盛土の天端の開放区域を示す。2018年8月の4日間で一定の離隔(20m～30m)をとって3か所(No.1～No.3)で実施した。掘削ずりは粒径が大きく透水性が非常に高い地盤であったので、注水圧力制御ではなく一定流量の流量制御の試験を実施した。これで透水性の異なる幅広い地盤を対象に本試験が適用可能であることが確認できた。また、自然降雨の条件でも実施し、注水試験との比較検討を行った。

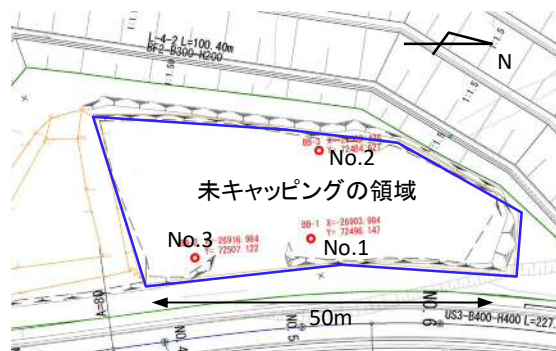


図-2 掘削ずり盛土の表層試験位置

キーワード：原位置不飽和透水試験、掘削ずり盛土、降雨試験 連絡先：〒530-6126 大阪市北区中之島 3-3-23
 中之島ダイビル 26F (株)ハイドロ総合技術研究所森田修二 TEL 06-6479-3815

4. 注水試験結果

図-3に体積含水率の測定値の解析結果を示す。解析では2次元の軸対称問題として数値解析を行っている。順解析を繰返してフィッティングを行った。凡例の数値は地表からの深度であり、5深度（GL-10cm～-80cm）の含水率を再現している。「側」が測定値、「解」が解析値である。注水量は30cm×30cmの範囲に、3L/minの流量で約35分間の注水を行った。写真-1には測定状況を示す。解析で求めた透水係数と不飽和パラメータを表-1に示す。初期含水率や飽和（最大）含水率に深度ごとのばらつきが大きいために地層を4層に区分して解析を行っている。これは掘削ずりの粒径のばらつきや埋立時の締固め度も影響していると考えられる。

表-1 飽和透水係数と不飽和パラメータ(注水試験)

層番	k_0 (10^{-2} cm/s)	n	α	β	θ_r	θ_s	ϕ_0 (m)	深度 (m)
1	2.5	20	10	7	0.05	0.3	-3	0.2
2					0.05	0.25		0.3
3					0.05	0.2		0.4
4					0.1	0.25		3

注) 深度は各層の下端深度、 ϕ_0 は初期全水頭

5. 降雨時の試験結果

降雨時の試験は2018年9月と11月に2回実施した。図-4には9月に実施した際の現地の時間降雨記録を示す。降雨時の測定では、密閉蓋やポンプ類など降雨浸透の障害物は全て取り外している。図-5に解析結果を示す。解析では、図-4の赤線の範囲を対象とし、地表面を降雨量3mm/hrの流量境界とする2次元の平面問題として数値解析を行った。解析で求めた透水係数と不飽和パラメータを表-2に示す。前項の注水試験と比較すると飽和透水係数は1/10程度になり、飽和含水率も小さい。この理由には、降雨量が注水試験の流量の1/100程度とはるかに少ないことが考えられた。

表-2 飽和透水係数と不飽和パラメータ(降雨試験)

層番	k_0 (10^{-3} cm/s)	n	α	β	θ_r	θ_s	ϕ_0 (m)	深度 (m)
1	1.67	20	10	7	0.10	0.15	-5	0.2
2					0.08	0.15		0.3
3					0.12	0.20		0.4
4					0.15	0.25		3

6. あとがき

掘削ずり盛土という特殊な地盤で原位置不飽和透水試験を行ったが、不飽和浸透特性は流量の影響が大きいことが推測された。盛土内部は降雨試験に近い挙動を示すと考えられるので、今後は現地の掘削ずりを用いたカラム試験で流量の影響などを検証して行きたい。

[参考文献]

- 1) 竹下祐二, 杉井俊夫, 「不飽和地盤における原位置透水試験」, 土と基礎, 54-5, pp.10-12, 2006.5
- 2) 品川俊介, 阿南修司: 自然由来重金属等含有岩石の大型カラム曝露試験, 第49回地盤工学研究発表会, pp.2033-2034, 2014
- 3) 森田修二, 今泉和俊, 三澤孝史: 注水圧力制御による原位置不飽和透水試験法, 土木学会論文集 C (地圏工学), VOL. 73, No. 1, 39-44, 2017

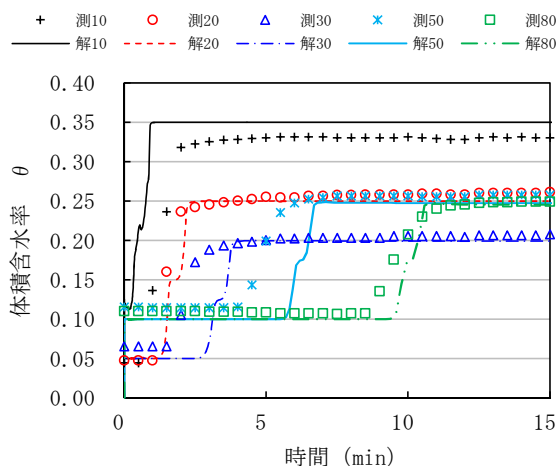


図-3 体積含水率の解析結果(注水試験)



写真-1 原位置不飽和透水試験の測定状況

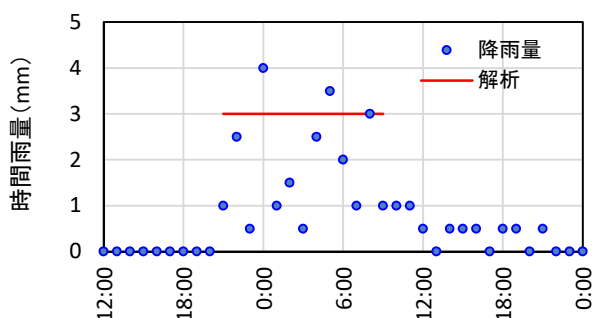


図-4 現地の降雨記録

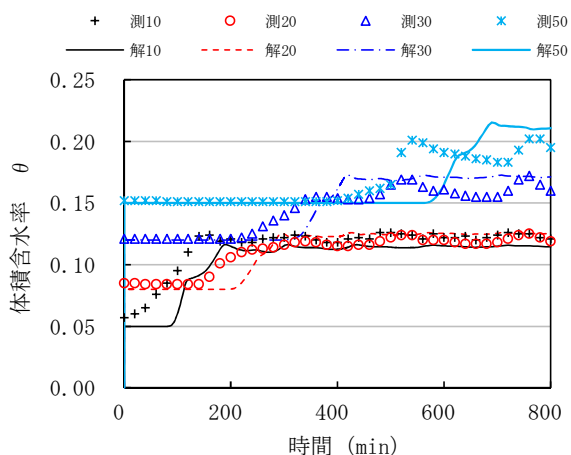


図-5 体積含水率の解析結果(降雨試験)