

トンネル掘削ずり盛土における不飽和浸透流の検証

(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、内部の浸出水の不飽和浸透流を評価する必要がある。現地では浸出水の管理を行い、浸出水量の計測と水質分析を実施している。同時に降雨量を測定して総量として水収支の評価から封じ込めの状況を考察した。また、地盤解析ソフト FEAST を用いて解析的な検証も行ったので、その成果について報告する。

2. 掘削ずり盛土の概要

図-1 と図-2 には掘削ずり盛土の平面図と断面図を示す。本盛土では、平成 30 年 7 月 12 日までに掘削ずりの搬入を完了したが、被覆範囲の一部は、今後の道路工事などで発生する残土を受け入れるため、平面図に示す天端の一部（約 970m²）で未施工の状態となった。そこで、未被覆範囲からの降雨浸透が生じる状態を利用して、平成 30 年の 7 月 12 日から 11 月 30 日までの盛土内に浸透する降雨量 P と盛土からの浸出水量 V の計測から、盛土内部における水収支について検討した。降雨量は、平面図に示す雨量測定地点（1 箇所）に転倒升雨量センサーを設置して測定した。また、浸出水量は浸出水集排水管からの流出した浸出水を対象とし、中和処理施設から放流される配管に超音波流量計を設置して測定した。

3. 浸透量の検討

図-3 に盛土内部への浸透量 Q を示す。天端の一部未被覆範囲（浸透面積：970m²）に加え、盛土の形状から図-1 に示す範囲（集水面積：約 1,790m²）から雨量が集水していると想定して算出した。盛土内への浸透量 Q（=P-E）は、降雨量 P から浸透範囲の内部保有水の蒸発散量 E を除いた量とした。蒸発散量は、式(1)に示す月平均気温 T から可能蒸発散量を求める経験式であるソーンスウェイト法¹⁾を用い、日平均可能蒸発散量を算出した。降雨日に日平均可能蒸発散量の水が蒸発散すると想定した。ここで、Em: 月可能蒸発散量(mm/月), Ed: 日平均可能蒸発散量(mm/月), T: 月平均気温(°C), N: 月平均日照時間(h), M: 対象月の日数である。α は月平均気温等から求められる係数である。

$$Ed = \left(\frac{Em}{M} \right) \quad (1)$$

$$Em = 16M \left(\frac{10T}{1t} \right)^{\alpha} \left(\frac{N}{12} \right) \left(\frac{1}{30} \right) \quad (2)$$

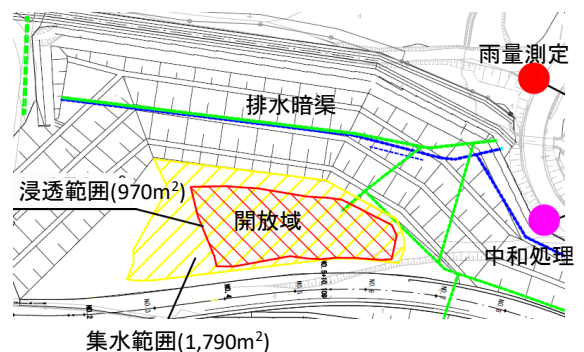


図-1 掘削ずり盛土の平面図

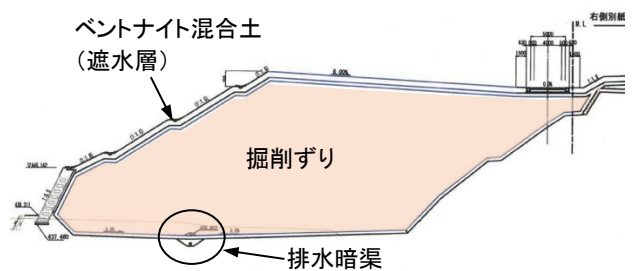


図-2 掘削ずり盛土の断面図

キーワード：掘削ずり盛土，封じ込め，ソーンスウェイト法，不飽和浸透流

連絡先：〒108-8381 東京都港区芝 5-6-1 (株)奥村組 清水祐也 TEL 03-6730-8775

4. 浸透量と浸出量の水収支の検討

図-4 には放流管の流量計で計測された浸出流量を示す。図-3 の浸透量と比較すると、浸透量が多い日に浸出流量が多くなるなど一定の相関が見られる。一方、測定開始(7/12)当初の降雨のない時期にも浸出流量は比較的多く、測定開始前の掘削ずりの保有水(内部水と称す)が存在することは明らかである。この内部水には掘削ずりの含水量や埋立段階の降雨量が考えられる。また、常に一定の浸出流量があることから降雨が掘削ずり内部で滞留しながら浸出していると考えられる。浸透量と浸出量の水収支を検討する上では内部水や浸透水の流れを考慮した検証が必要である。

5. 3次元の非定常不飽和浸透流解析による検証

浸透量と浸出水の水収支を検証するために FEM による 3 次元の非定常不飽和浸透流解析を行った。図-5 に解析モデルを示す。緑色部分が開放域を示しており、流入境界として図-3 の浸透量を設定し、放流位置の節点には水位境界を設定して流出量を求めた。開放域以外の外周境界はベントナイト混合土で遮水されていると考えて不透水境界とした。不飽和浸透特性には、別途に実施した原位置不飽和浸透試験で求めた VanGenuchten モデル²⁾のパラメータを適用したが、比透水係数には変形式を用いた。表-1 に物性値を示す。

表-1 飽和透水係数と不飽和パラメータ

k_0 (10^{-2}cm/s)	n	m	α	β	θ_r	θ_s
2.0	2	0.5	10	3	0.05	0.35

有効飽和度 $S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \{1 + (\alpha\psi)^n\}^{-m}$ (3)

比透水係数の変形式 $k_r = S_e^\beta$ (4)

図-6 には、7/12 からの累積量について計測値の浸透量と浸出量、解析結果の浸透量(内部水を考慮)を比較した。計測値の浸出量は測定開始から常に浸透量より多いことから内部水の存在は明らかである。解析では内部水を考慮するために初期全水頭 H_0 のパラメトリックな検討から $H_0 = -1\text{m}$ (盛土の底面を 0m) とすると、計測値の浸出水を概ね再現できており、封じ込めに特に問題はないと考えられた。

6. あとがき

掘削ずり盛土の封じ込めの状況を考察するために浸透水と浸出水の水収支について検証を行った。この水収支には内部水や内部の不飽和流れを評価する必要があるが、3次元の非定常不飽和浸透流解析により一定の評価が可能であることを確認した。なお、内部水の評価方法などさらに詳細な検証が必要である。

[参考文献]

1) Thornthwaite, C.W: An approach toward a rational classification of climate, Geographical Review, 38, pp. 55-94, 1948
2) van Genuchten, M.T.: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, Soil Science Society of America Journal, Vol. 44, No. 5, pp. 892-898, 1980.

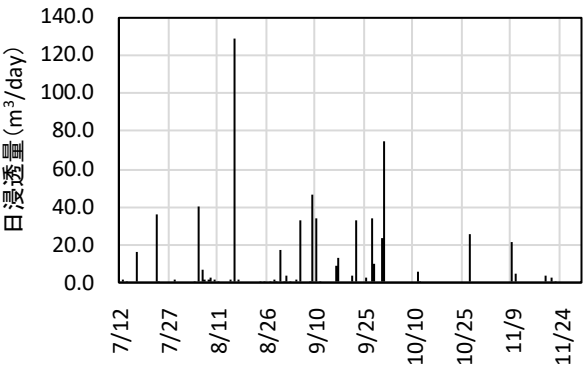


図-3 浸透量 Q

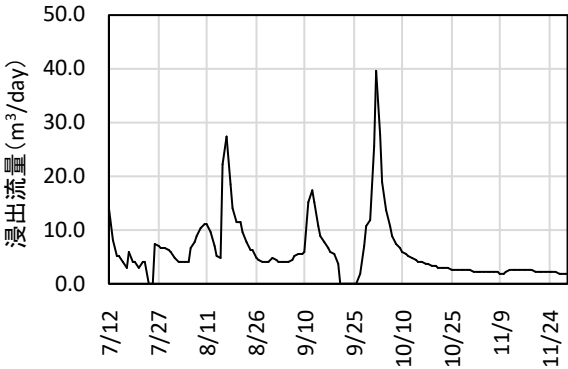


図-4 浸出流量

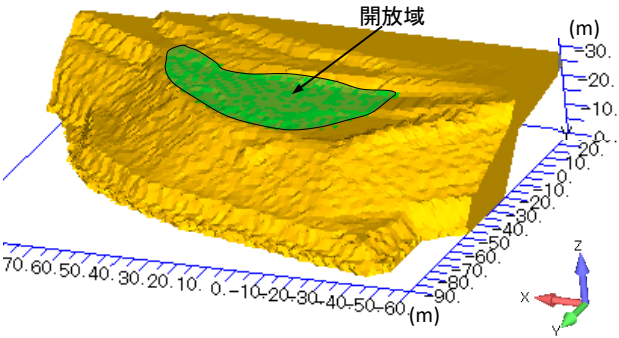


図-5 3次元解析モデル

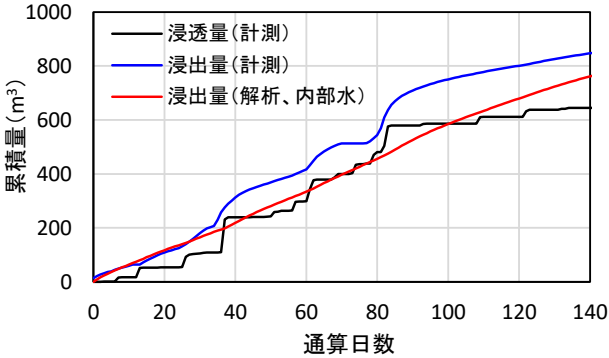


図-6 累積浸透量と浸出量の比較