

第Ⅲ部門

自然由来重金属等を含む掘削ずりを盛土利用する際の覆土構造の検討

大阪大学工学部 学生会員 ○南口 和真

大阪大学 正会員 緒方 奨

大阪大学 正会員 乾 徹

1. はじめに

建設工事において発生する自然由来重金属等を含む掘削物の保管・処分方法として、遮水シートによる封じ込めを行った上で盛土を構築する手法が広く採用されてきた。しかし、過剰に安全側であるという指摘や遮水シートが盛土の構造安定性に及ぼす影響を考慮すると、覆土による降雨浸透の抑制は有効な代替手法であると考えられる。また、2017年の土壤汚染対策法の改正において、自然由来特例区域間での土壤の移動や汚染土壌処理施設として許可された土構造物に自然由来重金属等を含む土壌の利活用が認められるようになった。しかし、覆土の浸透特性や長期耐久性についての知見は限定されており¹⁾、覆土の降雨浸透抑制能が重金属等の地下浸透を低減する効果については、これらの盛土構造物の設計には反映されていない。本報では、自然由来重金属等を含む掘削物を盛土材として利用する場合を想定して、覆土設置による降雨浸透抑制効果と適切な盛土構造の検討および設計において考慮すべき要因を明らかにすることを目的として、覆土層厚、降雨浸透抑制層の設置、法面勾配といった要因が及ぼす降雨浸透挙動への影響を数値解析により評価を行った結果を報告する。

2. 解析方法

本研究では、汎用の有限要素解析ソフトウェア COMSOL Multiphysics を使用して、Richards 方程式を支配方程式とする飽和・不飽和浸透流解析を実施した。Richards 方程式を解く上で必要となる不飽和浸透特性である負の圧力水頭と土中水分量の関係を表す水分特性曲線は S_e を有効飽和度として、式(1)に示す van Genuchten モデル、不飽和透水係数については Mualem モデルを適用した。

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left\{ 1 + (-\alpha h_p)^n \right\}^{-m} \quad \text{式(1)}$$

図-1 に解析で用いた鉛直 2 次元断面を示す。自然由来重金属等を含む掘削ずり（礫質材）の道路盛土としての利用を想定した。盛土天端は舗装により降雨浸透がほぼ無視できることから、盛土斜面部のみを対象とした。また、掘削ずりと覆土との間にキャピラリーバリア効果（毛管力の差を利用した降雨浸透抑制手法）が期待される。斜面勾配 1:2 の法面のモデルにおいて、覆土層厚 1.6m の 2 層構造を基準として、降雨浸透抑制層を設置した 3 層構造、覆土層厚を薄くした 2 層構造の 3 ケースでの降雨浸透挙動と保水状態の変化について比較し、評価を行う。覆土材としては比較的保水性の良いまさ土の利用を想定している。使用した土材の浸透特性値を表-1 に示す。

初期状態の設定においては先行研究⁴⁾を参考にし、日本の年間降雨量と降雨日数をもとにして作成された先行降雨を与え、定常状態を確認し、それを初期状態とした。その後、降雨強度を 1 mm/h、5 mm/h、15 mm/h と変化させ、本降雨として 72 時間与えた。

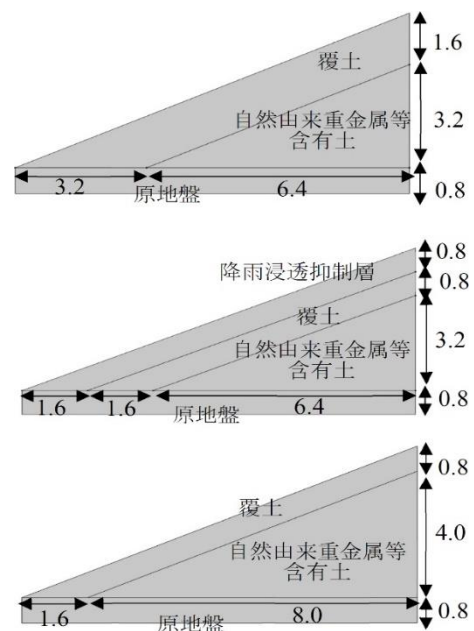


図-1 解析モデル(単位:m)

3. 解析結果と考察

覆土層厚 1.6 m の 2 層構造における降雨強度 5 mm/h の本降雨を 72 時間与えた時点での圧力水頭とダルシー流速ベクトルの分布を図-2 に示す。盛土内は不飽和領域となっており、法肩部の覆土層と掘削ずりの層境界ではキャピラリーバリア効果により側方排水が生じている。しかし、法尻側の層境界では、降雨浸透水が掘削ずりに浸入し、掘削ずりから原地盤への浸透が生じていることがわかる。

降雨強度 5 mm/h での掘削ずり部分からの排水量の経時変化を降雨浸透量に対する割合として各ケース毎に図-3 に示す。覆土層厚 1.6 m の 2 層構造では降雨開始から 24 時間後に掘削ずりからの排水の急増が生じたが、覆土層厚 0.8 m の場合は 7 時間後に急増しており、より早い時間での急増が確認された。これは、層厚が薄くなったために降雨浸透水が層境界に到達する時間が早くなったこと、覆土の保水量が低下したことにより生じたものであると考えられる。降雨強度 5, 15 mm/h に対して、低透水性の降雨浸透抑制層を設置することで表面流を発生させ、盛土内への浸透量の抑制を行った。その結果、掘削ずりからの排水は発生するが、増加割合が緩やかとなり、72 時間経過時点での排水割合は 10~20%程度低減された。自然由来重金属等含有土から原地盤への浸透が生じている領域の大きさについては、原地盤との境界部での体積含水率が掘削ずりの残留体積含水率より大きい値となっている範囲とし、全ケースでの結果を図-4 に示す。降雨強度が高くなると排水領域の拡大が確認されるが法面内部への浸透量を抑制すると排水域の拡大も低減されている。

4. おわりに

まさ土を覆土とした単純な 2 層構造では降雨強度が高くなると汚染土への浸透が発生するため、比較的高い降雨強度や長時間の降雨に対応するためには法面表層に低透水性の土層を設置することに構造としての優位性がある。また、汚染土から原地盤への浸透領域から、法尻から覆土層に 2 m 程度の距離を加えて汚染土の設置をすることで、降雨浸透水との接触を抑制することが示唆された。今後は掘削物の土質特性が異なる場合の影響や盛土の構造安定性の観点からも同様の対策が可能な検討していく必要があるといえる。

最後に、本研究は JSPS 科研費 18H03797 の助成を受けたものである。研究実施にあたっては、京都大学 勝

見武先生、F.Gulsen 前・博士学生には多大なご指導をいただいた。記して謝意を表する。

表-1 土材の浸透特性値

	降雨浸透抑制層 ¹⁾	覆土 ²⁾	掘削ずり ³⁾
飽和透水係数(m/s)	5.6×10^{-7}	6.2×10^{-5}	1.26×10^{-2}
比貯留係数(1/m)	2.0×10^{-3}	2.0×10^{-4}	2.0×10^{-5}
飽和体積含水率	0.33	0.554	0.4
残留体積含水率	0	0.27	0.002
n	1.2	2.06	2.2
$\alpha(1/m)$	0.196	3.49	230

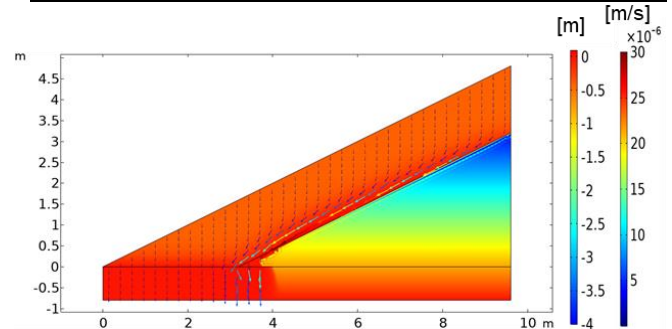


図-2 圧力水頭、ダルシー流速ベクトルの分布

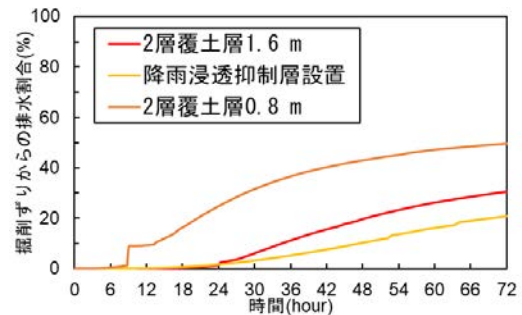


図-3 降雨浸透量に対する掘削ずり部分からの排水割合

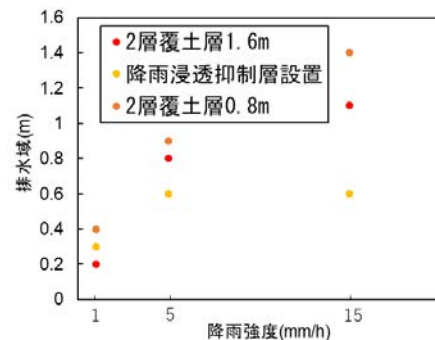


図-4 各解析ケースでの排水域の大きさ

参考文献

- 1) C.H. Benson, A. Sawangsuriya, B. Trzebiatowski and W.H. Albright: Postconstruction changes in the hydraulic properties of water balance cover soils, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.133, No.4, pp.349-359, 2007.
- 2) 竹下祐二, 河野伊一郎: 不飽和浸透特性の推定方法とその適用について, 地盤工学会論文報告書「地盤と建設」, Vol.11, No.1, pp.95-104, 1993.
- 3) 松元和伸, 小林薫, 森井俊広, 中房悟: 上部層厚の影響を考慮した 3 層キャピラリーバリア地盤の限界長の評価手法, 地盤工学ジャーナル, Vol.11, No.4, pp.305-313, 2016.
- 4) 小島謙一, 館山勝, 橋本和佳, 西原聡: 設計時における降雨の盛土内浸透のための浸透特性曲線の検討, 第 39 回地盤工学研究発表会, pp.1223-1224, 2004.