

異なる粒度特性をもつ地盤内の不飽和浸透流の評価

熊本大学工学部 学生会員 ○唐崎 陽司 熊本大学大学院 正会員 椋木 俊文
熊本大学大学院 学生会員 谷口 徳晃

1.はじめに

焼却灰を主とした最終処分場は、雨水浸透による洗い出し効果により、有害物質を水に触れさせることで安定化に向かわせることが検討されつつある¹⁾。しかし、実際の覆土層地盤内では土粒子の密度、地盤内の粒度、締め固め度合いに差があるため、覆土層地盤内は不均質性が生じる。このため、降雨による地盤内への局所的な水の浸透箇所(みずみち)が発生し、最終処分場の安定化に膨大な時間がかかると考えられる。そこで、本研究の目的は、地盤内のみずみち形成メカニズムを解明することである。本報では、地盤内の透水係数に影響すると考えられる粒度分布に着目した。粒度分布をもつ不均質な模型地盤を作製するため、異なる粒度特性をもつ砂材料を用いた。その模型地盤内に降雨を想定とした水が浸透していく挙動を観察するとともに、不飽和浸透流解析により評価したので報告する。

2.実験概要および解析手法

本実験では、粒度が異なる不均質な地盤を作製するにあたり、図-1のように縦500mm、幅500mm、奥行き100mm寸法の土槽を用い、その土槽内に高さ120mm、幅125mm寸法の要素を8つ(a-h)作成した。その要素内に異なる粒度特性をもつ地盤を所定の乾燥密度で詰め、地盤全体に粒度分布をもたせた。また、下部に高さ100mmの硅砂3号(i)を排水層として敷き詰めた。図-1の記号(a-i)と表-1に示す地盤の記号(a-i)は配置した場所を示す。各々用いた地盤は対称となるように配置した²⁾。降雨境界条件ではほぼ均等に雨を降らせ、降雨強度は豪雨を想定とした25mm/hに設定し、7時間連続散水を行った。各境界条件は図-1に示す通りである。

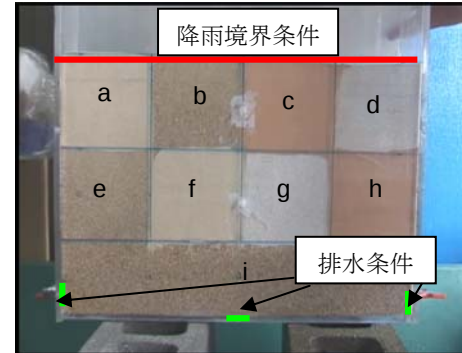


図-1 模型地盤

表-1 模型地盤材料

	乾燥密度(kg/m ³)	飽和透水係数(m/s)	間隙率
豊浦砂a、f	1.57	9.6 × 10 ⁻⁵	0.46
山砂b、e	1.46	5.0 × 10 ⁻⁶	0.45
硅砂8号c、h	1.41	6.5 × 10 ⁻⁶	0.47
硅砂5号d、g	1.40	1.8 × 10 ⁻⁵	0.47
硅砂3号i(排水層)	1.46	1.0 × 10 ⁻⁵	0.46

本解析では降雨浸透を考慮可能な、有限要素法を用いた不飽和浸透流解析プログラムAC-UNSAFにて解析を行った。下記に示すのは本解析で用いた不飽和浸透流解析プログラムAC-UNSAFの支配方程式である。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_r K_{xx}^s \frac{\partial \psi}{\partial x} + K_r K_{xz}^s \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_r K_{zx}^s \frac{\partial \psi}{\partial x} + K_r K_{zz}^s \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right) - q = c \frac{\partial \psi}{\partial t}$$

ψ は圧力水頭、 t は時間を示す。本解析では二次元断面場で表す。水平方向 x 軸と鉛直方向 z 軸とし、比水分容量 $c=d\theta/d\psi$ とする。 θ は体積含水率を示す。また、透水係数を不飽和領域にまで定義すると、透水係数 K は飽和透水係数 K^s と相対透水係数 K_r の積で表すとする。入力パラメーターである各々の地盤の飽和透水係数は透水試験により得られた値を採用し、地盤の θ - ψ 、 θ - K_r 関係は van Genuchten の推定式による不飽和浸透特性を採用した。図-2 は本解析のメッシュ図であり、寸法と境界条件は実験と同じ条件とした。降雨浸透、排水条件以外の境界条件は不透水境界条件とした。

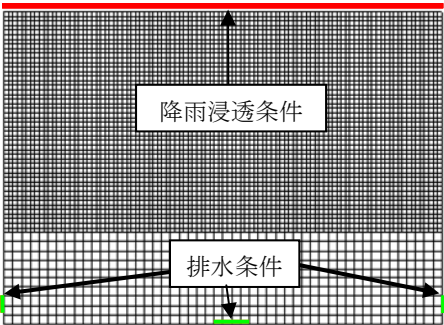


図-2 解析メッシュ図

3.実験・解析結果および考察

実験結果として、実験開始 15 分後の水の浸透状況を図-3 に示す。図-3 で示す通り、それぞれの地盤は全く異なった水の浸透が見られる。本報では赤枠で示す、豊浦砂に発生した水の浸透挙動について報告する。これは、飽和透水係数の小さい山砂(e)の水の浸透より、飽和透水係数の大きい豊浦砂(a)の水の浸透速度が速く、豊浦砂(a)の水が豊浦砂(f)に流れ込んだと考えられる。その後、豊浦砂(f)は不飽和状態であり、間隙径が大きいので水が抜けやすく、そのため水が豊浦砂(f)底部にまで浸透したと推測する。次に 15 分後の解析結果を図-4 に示す。本解析では黄色で示す流線ベクトルを示すことにより、水の浸透状況を把握した。本解析も赤枠で示すような、透水係数の大きな地盤に局所的な水の浸透が確認できた。そのことから、実験で起こった豊浦砂に発生した局所的な水の浸透は妥当だといえる。最後に図-5 に模型地盤の時間と流量の関係、表-2 に実験終了後の模型地盤の飽和度を示す。実験開始 4 時間から実験終了 7 時間まで、土槽内の保水量がほぼ一定であることから、土槽内の地盤はほぼ飽和したと考えられる。しかし、表-2 で示すように飽和度が低い地盤が存在することから、模型地盤内部に局所的な水の流れやすい箇所が存在したと考えられる。そのため、水は流れやすい箇所に集中的に浸透し、排水された可能性がある。以上の結果から、透水係数の大きな地盤に水は浸透しているが、透水係数に影響するとされる地盤内の粒度特性の違いが、覆土層地盤内に存在する場合、水の浸透が局所的に発生することを実験と解析は示している。そのため、局所的な水の浸透箇所(みずみち)が形成される要因の一つとして、地盤内の粒度の違いが挙げられ、地盤内の水の浸透挙動に粒度特性の違いは大きく関係していると考えられる。

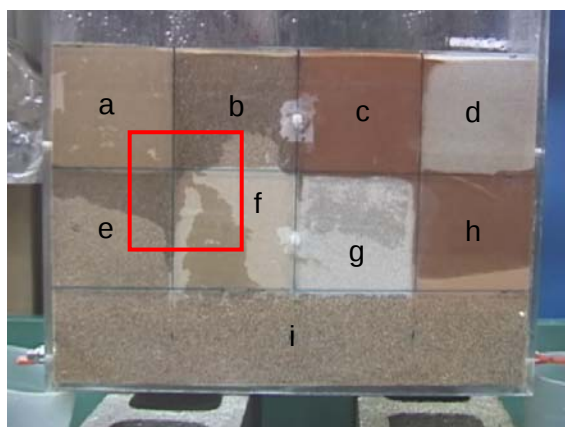


図-3 実験開始から 15 分後の水の浸透状況

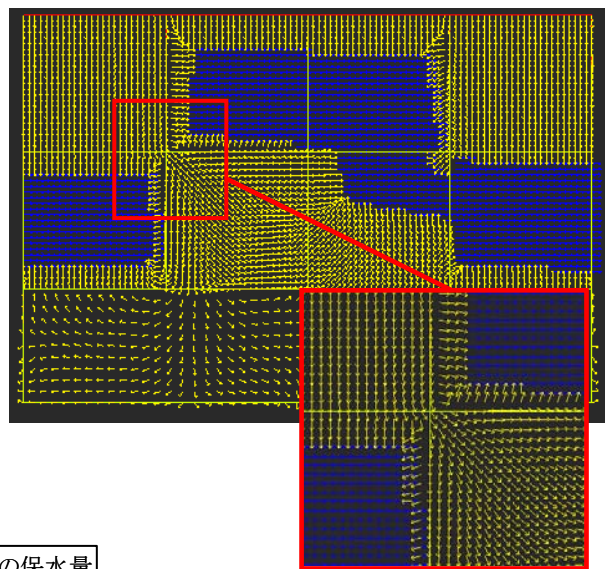


図-4 解析での 15 分後の水の浸透分布

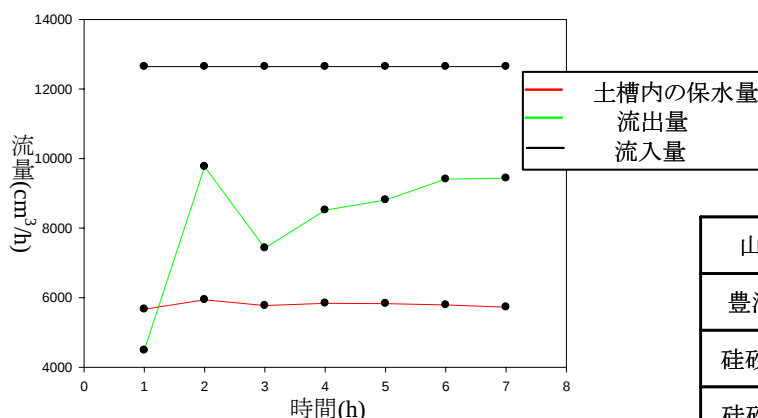


図-5 実験終了までの時間と流量の関係

表-2 実験終了後の地盤の飽和度

山砂b	86.20%	山砂e	90.10%
豊浦砂a	85.90%	豊浦砂f	109.0%
硅砂5号d	73.30%	硅砂5号g	73.30%
硅砂8号c	98.80%	硅砂8号h	94.80%

4.まとめ

今回の実験での粒度特性が異なる不均質な模型地盤を一つの地盤として考えたとき、局所的な水の浸透が発生し、その水の浸透が局所的な洗い出し効果を引き起こす可能性がある。

5.参考文献

- 1) 吉崎耕大、堀井安雄、内田 正信、中島 健一、武下俊宏、花嶋正孝: 廃棄物埋立地の早期廃止・安定化・安定化促進に関する研究、第 17 回廃棄物学会研究発表会講演論文集 D-51 pp959-961 2007
- 2) 齋藤雅彦、川谷健: 透水係数の空間分布に関する理論的考察、土木学会論文集 No.645/III-50, pp103-114, 2000