

古墳墳丘の細・粗互層構造が雨水浸透に与える影響

京都大学大学院	正会員	○澤田 茉伊
京都大学大学院	学生会員	中野 雄太
京都大学大学院	フェロー会員	三村 衛
ソイルアンドロックエンジニアリング	正会員	吉村 貢

1. はじめに

古墳墳丘は、一般に細粒土を締め固めて造られているが、粗粒土と互層にした構造を有するものがある。地盤工学の観点から見ると、互層の目的のひとつとして、雨水の浸透抑制が考えられる。墳丘では、暗渠排水が発掘されるなど、墳丘斜面の不安定化や石室の劣化を促す雨水の浸透を抑制する工夫が見られることから、互層構造もその一環と予想される。本稿では、墳丘土を模した細・粗粒土の浸透特性を室内試験で調べ、数値解析で互層構造が雨水浸透に与える影響を評価する。

2. 墳丘土を模した細・粗粒土の浸透特性

奈良県高市郡明日香村に位置する都塚古墳¹⁾は、6世紀に造られた、一辺約40m、高さ4.5m以上の方形の墳丘と推定されている¹⁾。墳丘断面を調査したところ、層厚が10cm前後の、粒度が明確に異なる数種類のマサ土からなる互層構造が確認された(図1)。大きく二分すると、細粒分含有率 $F_c=60\%$ の細粒土と、 $F_c=17\sim41\%$ の粗粒土に分けられる。墳丘土は、基本的に採取が禁止されているため、購入土(マサ土、深草粘土)を粒度調整して、墳丘の細・粗粒土を模した二種類の試料(図1に併記)を作製し、これらを用いた室内試験で、各層の浸透特性を評価した。供試体は、墳丘の施工条件を考慮して、自然含水比の試料を人力相当のエネルギー²⁾(標準 Proctor の20%)で締め固めて作製した。

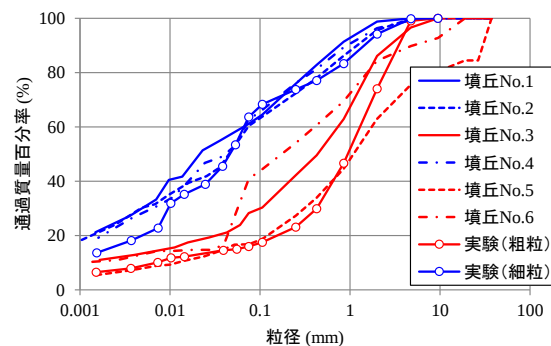
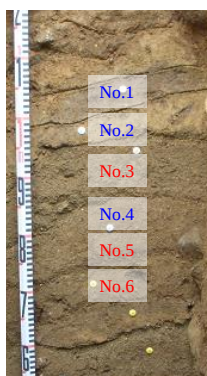


図1 都塚古墳断面の互層構造と、各層の粒度分布

細・粗粒土の透水係数を図2に示す。試験で得られた水分特性曲線を van Genuchten モデルを用いて補完し、ここで同定したモデルパラメータと定水位透水試験で求めた飽和透水係数を用いて、不飽和透水係数を評価した。細・粗粒土の透水係数は、サクシヨンレベルによって大小関係が変化し、 $0.1\text{mH}_2\text{O}$ より湿潤側では粗粒土のほうが高いが、乾燥側では逆転している。これは、互層にした場合に、湿潤側では粗粒土層が排水層となり(①)、乾燥側では逆に細粒土層が排水層となる(②)ことを意味しており、特に②はキャピラリーバリアと呼ばれている³⁾。①、②のどちらの場合も、細・粗粒土の透水係数の差異の程度が遮水性に寄与する。図2のように最大でも1オーダー程度の差異しかない場合は、層境界あたりの遮水量は多くないが、多層構造になると、層境界で繰返し遮水されるため、有意な浸透抑制効果を発揮する可能性がある。

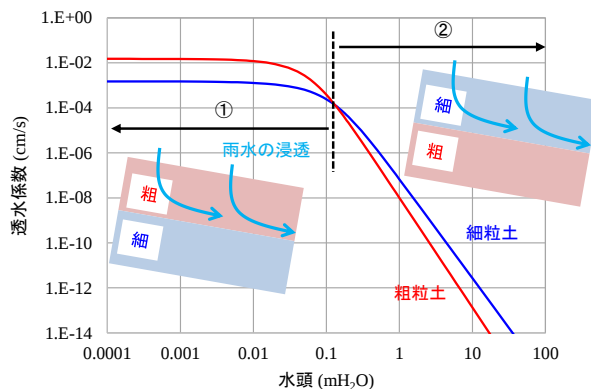


図2 墳丘土を模した細・粗粒土の透水係数

3. 細・粗互層地盤内の雨水浸透

図3に示す全12層の細・粗粒土の互層地盤に、一定降雨を与えた場合の浸透挙動を数値解析で評価する。傾斜角

キーワード キャピラリーバリア、雨水浸透、不飽和透水係数、歴史的地盤構造物、古墳
連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-2 京都大学大学院工学研究科 TEL 075-383-3306

と層厚は都塚古墳を想定して設定した。層厚 8cm の各層の下流端には、浸出面境界でモデル化した排水口が設けられており、各層の遮水量を評価できる。上流側側面と底面は、不透水境界とした。なお、解析条件の妥当性は、既往の研究³⁾において、2層地盤で同様の模型実験を行い、数値解析で定量的に再現することにより確認している。

4mm/h の一定降雨を与えたところ、浸透水は全て最下層から排水する状態で定常に至った。図 4(a)に流速ベクトルの分布を示す。これは、全層が細粒土の場合と同等の結果であり、互層による遮水効果がないことを表す。このときの模型中央の側線上(図 3 参照)の透水係数の分布を調べると、全層の透水係数がほぼ均一になっている(図 5(a))。これは、図 2 の交点付近で定常に至るためであり、このとき①、②のどちらの遮水も生じない。なお、降雨を 1mm/h に弱めると、やや乾燥側で定常に至り、層境界で若干の透水係数の差異が生じるが、鉛直方向の浸透が卓越し、全て最下層から排水した。

図 6 に示す透水係数の差異がより明確な礫と、細粒分まじり礫質砂の互層地盤³⁾に対して、同一条件で解析を行った。4mm/h の一定降雨を与えたところ、定常時の浸透水は、表層から 40cm 以内の 3 つの細粒土層ですべて排水された(図 4(b))。これは、浸潤した表層部では、図 6 の交点から十分乾燥側で定常に至り、層境界で 4 オーダー程度の大きな透水係数の差異が維持されているためである(図 5(b))。

以上の対照的な 2 ケースの解析結果から、互層をなす細・粗粒土の透水係数の差異が遮水性を支配しており、墳丘土のように、細粒分含有率に明確な違いはあるが、ともに締固めができるような二種類の土の組み合わせでは、透水係数の差異があまり大きくないため、多層構造であっても浸透抑制効果はほとんどないと言える。

4. 結論

墳丘内の細・粗互層構造は、細・粗粒土の透水係数にあまり差がないため、雨水浸透にはほとんど寄与していないことがわかった。互層構造の目的は、浸透抑制以外にも、密度・強度の増加などが予想され、解明には多方面からさらなる検討が必要である。

参考文献 1) 明日香村教育委員会・関西大学考古学研究室：都塚古墳発掘調査報告書, 2016. 2) 三村ら：古墳墳丘の締固めエネルギーに関する一考察, 地盤工学研究発表会概要集, pp. 23-24, 2015. 3) 澤田ら：キャピラリーバリアを用いた古墳の雨水の浸透抑制に関する研究—キャピラリーバリアのメカニズムに関する実験および解析的検討—, 土木学会論文集 C, 72(2), pp.101-116, 2016.

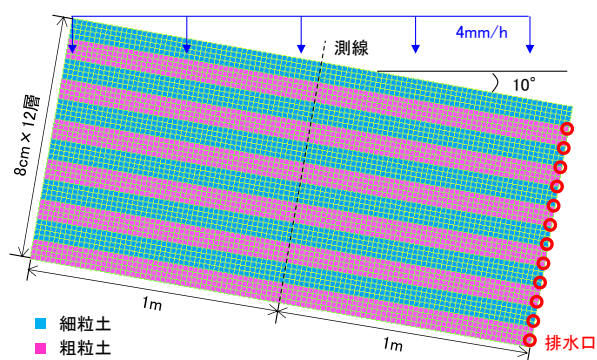


図 3 細・粗互層地盤の解析モデル

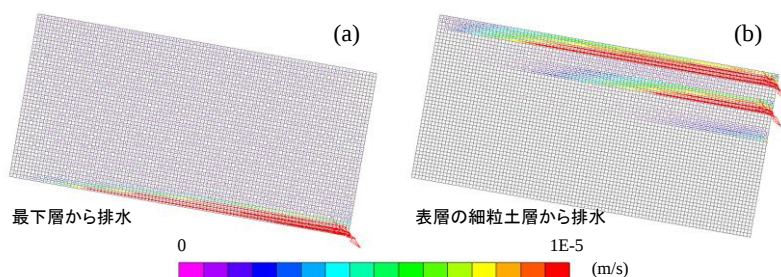


図 4 定常時の雨水浸透を表す流速ベクトルの分布

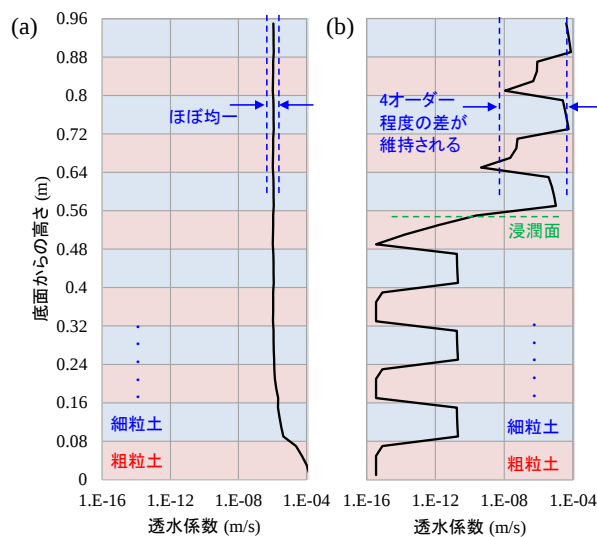


図 5 遮水性を支配する透水係数の分布

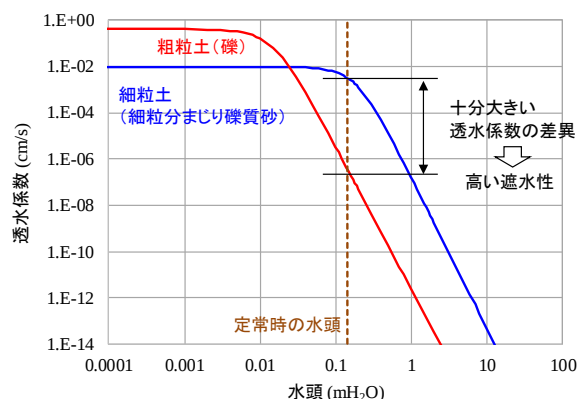


図 6 透水係数に明確な差異がある細・粗粒土