

不飽和土質力学に基づく版築技術の復興に向けて

鹿児島大学大学院 学生会員 松元真一
 鹿児島大学工学部 正会員 北村良介

1 まえがき

土木用語大辞典によれば「版築」とは「突固めた土の層。万里の長城や前方後円墳等の構築方法。5~10 cm 程度の厚さの土を十分に突固めつつ層状に積重ねたもの。古墳では、砂質土と粘性土を交互に積重ね、さらに全体に勾配を設けて排水性を高めるなどの工夫が凝らされた。」となっている。高松塚古墳やキトラ古墳等では石室の壁画の保存問題がマスコミ等で報じられているが、現代の地盤工学に版築技術は継承されていない。電気エネルギー（エアコン等）を使わず、所定の温度・湿度を維持でき、コンクリートや鉄を使わずに土中水の運動を制御できる版築技術は地球環境に優しい貴重なローテク技術である。

北村ら¹⁾は保水・浸透特性の異なる二種の隣接する不飽和土の境界での土中水の流動について考察を加えた。本報告はその続編と位置付けられ、数千年前にアジアで確立していた版築建造物の築造技術を現在の不飽和土質力学に基づいて復興することを意図している。

2 数値解析モデル

数値解析モデルは、降雨に伴う斜面崩壊の予知を目指して北村研究室で開発中のプログラム^{2),3),4)}に含まれる間隙モデルと浸透モデルを用いている。間隙モデルの入力パラメータは室内土質試験（物理試験）等から簡単に求められる粒径加積曲線、土粒子密度、間隙比、間隙水の密度・粘性係数である。間隙モデルから水分特性曲線、含水比（体積含水率）～不飽和・飽和透水係数関係が得られる。浸透モデルでは有限要素法による2次元不飽和浸透解析を行い、土層境界での間隙水とメッシュサイズとの関係について検討中である⁵⁾。数理解析モデルの詳細は参考文献を参照されたい。

3 浸透挙動のシミュレーション適用例

ここでは、粒度分布の異なる豊浦砂とDLクレーを例に挙げて、間隙モデルと浸透モデルの結果について示す。

3.1 間隙モデルの計算結果 間隙モデルで用いたパラメータを表-1に示す。図-1に間隙モデルから得られた豊浦砂とDLクレーの水分特性曲線、図-2に豊浦砂とDLクレーの体積含水率～不飽和・飽和透水係数関係を示し、それぞれ計算結果と実験結果との比較を行った。ここで、実線は豊浦砂、破線はDLクレーの計算結果を示し、印は豊浦砂、印はDLクレーの実験結果を示している。図-1より豊浦砂では体積含水率の低い領域（0.05以下）を除くと実験結果と計算結果はほぼ一致していることがわかる。DLクレーでは高体積含水率領域（0.4以上）で計算結果は実験結果とずれていることがわかる。図-2では実験結果のプロットがそれぞれ一つ（豊浦砂：定水

表-1 入力パラメータ

試料	豊浦標準砂	DLクレー
土粒子密度(g/cm ³)	2.64	2.68
水の表面張力(N/m) (水温15 時)	73.48*10 ⁻³	
水の粘性係数(Pa·s) (水温15 時)	1.138*10 ⁻³	
分割数	360	
円管の傾き のp.d.fの最低高さ	0.159	
間隙比	0.67	0.97
粒径加積曲線データ数	4	13

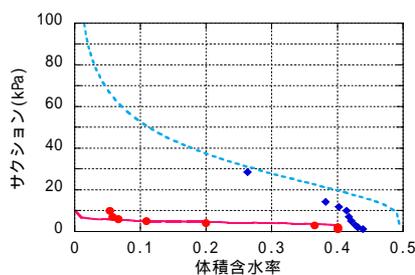


図-1 水分特性曲線

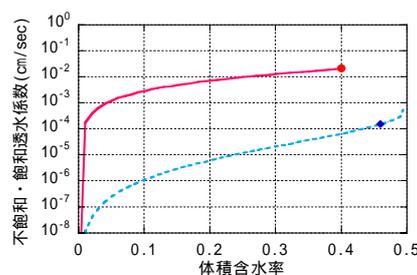


図-2 体積含水率～不飽和・飽和透水係数の関係

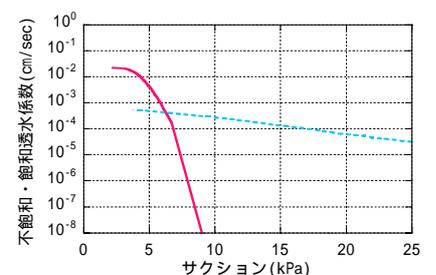


図-3 サクション～不飽和・飽和透水係数関係

キーワード：不飽和土，締固め，浸透

連絡先：〒899-0065 鹿児島県鹿児島市郡元1丁目21-40 鹿児島大学工学部海洋土木工学科北村研究室

位透水試験, DL クレー: 変水位透水試験) であるため, それらのプロットに合うように描いた。また, 実験結果が飽和透水係数のみであるため, 低体積含水率領域におけるモデルの妥当性を検討することは難しい。今後は, 不飽和透水試験を行うことで低体積含水率領域におけるモデルの妥当性を検討していきたいと考えている。図-3 に豊浦砂とDLクレーのサクシオン~不飽和・飽和透水係数関係を示す。図より透水係数に関して, サクシオンが大きい乾燥側では豊浦砂よりDLクレーのほうが大きく, サクシオンが小さい湿潤側ではDLクレーより豊浦砂のほうが大きいことがわかる。

3.2 浸透モデルの計算結果 浸透モデル

によって得られた計算結果について示していく。今回用いる不飽和二層模型地盤の解析領域として, 横 20cm, 傾斜角 30° の地盤を想定し, 上層から 5cm を DL クレー, 下層を豊浦砂とする。境界条件として, 上面を降雨条件 (0.6mm/h), 底面と左側面を排水条件とする。また, 図-4 に傾斜角 30° の地盤の透水係数分布図を示す。DL クレー層では, 給水開始から 720 分後に層状地盤の左側から DL クレー層と豊浦砂層の境界に浸潤面が到達し, 960 分後には境界面のほぼ全域に達していることがわかる。

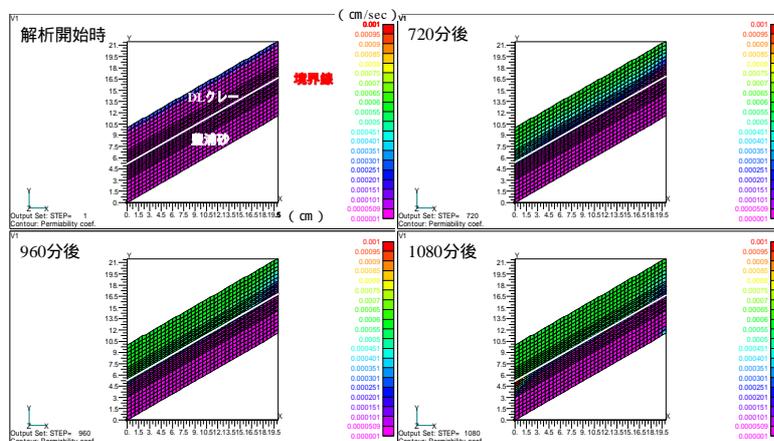


図-4 傾斜層状地盤の透水係数分布図

また, 給水開始から 720 分後から 1080 分後まで豊浦砂層に浸透していないことから Capillary Barrier が発生していたと考えられる。1080 分後には豊浦砂層に浸透してきたことから Capillary Barrier が消失したと考えられる。豊浦砂層の上層あたりでは, DL クレー層よりも不飽和・飽和透水係数が大きくなってきていることがわかる。

3.3 考察 解析結果より粒度の異なる豊浦砂とDLクレーを用いることで Capillary Barrier が発生し, DL クレー層の含水量が増加することで Capillary Barrier が消失し, 下層の豊浦砂層へ土中水が浸透することが分かった。また, 本研究室では, 赤土等流出対策の確立を目指し, 土槽に赤土とサンゴ礫の層をセットし, 不飽和浸透特性を明らかにするための研究に取り組んでいる^{7),8)}。今後は, 豊浦砂とDLクレーの不飽和二層地盤の数値計算結果を利用して, 赤土等流出対策の確立への適応を検討している。

4 あとがき

北村研究室での版築技術の復興へ向けた取り組みを紹介した。版築構造物を造った古代アジアの技術者は不飽和土質力学の精緻な成果を経験的(暗黙のうち)に理解していたものと考えられる。一方, 現在の地盤工学において不飽和土の整合性のある土質試験方法は未だ基準化されていない。版築技術の復興にはハイテク技術の活用とともに, ローテク技術に基づく精度のよい試験結果と古典力学に基づく汎用性の高い力学体系の構築が必要である。

【参考文献】

- 1) 北村良介, 中野裕次郎, 松元真一: Capillary Barrier を応用した止水・乾燥技術について, 第 40 回地盤工学会研究発表会, pp.861-862, 2005.7.
- 2) 松尾和昌, 酒匂一成, 北村良介: 斜面崩壊予知戦略-南九州シラス地帯を例として-, 自然災害学会, 2002.
- 3) 酒匂一成: 降雨による斜面崩壊の予知に関する研究, 鹿児島大学大学院理工学研究科博士請求論文, 2004.
- 4) K.Sako and R.kitamura: A practical numerical model for seepage behavior of unsaturated soil, Soils and Foundations (投稿中).
- 5) 宮里沙世: 斜面への雨水浸透に関する数値解析, 平成 17 年度土木学会西部支部研究発表会, 2006.3.
- 6) 塩屋真帆: 不飽和二層地盤の浸透挙動に関する一考察, 平成 17 年度土木学会西部支部研究発表会, 2006.3.
- 7) 竹原晋平: Capillary Barrier システムの赤土等流出問題への応用に関する一考察, 平成 17 年度土木学会西部支部研究発表会, 2006.3.
- 8) 深見健一: 奄美諸島に分布する風化残積土(赤土等)の土質特性について, 第 41 回地盤工学会研究発表会, 2006.7.