

砂のような粒状体の力学モデル（北村モデル）について

鹿児島大学大学院 学生会員 ○和田卓

National Institute of Technology Karnataka, India Krishnakumar Parvathy

鹿児島大学工学部 正会員 北村良介

1. まえがき

北村は砂のような粒状体の圧縮・せん断挙動を解析するための力学モデルを提案した^{1)・2)}。その後、鹿児島大学北村研究室では不飽和土質力学の体系化を目指した研究を行っている^{3)・4)・5)}。これらの研究においてはマルコフモデル、間隙モデル、粘着モデルと称する力学モデルが提案されている。ここではこれらのモデルをまとめて北村モデルと総称することにする。

本報告では、砂のような粒状体の土粒子レベルでの力学的考察に基づき提案された北村モデルの概要を説明する。また、北村モデルを用いた数値解析結果の例を示している。

2. 北村モデルの概要

土質力学の基本問題は、保水・浸透・圧縮・せん断挙動の解析である。従来の土質力学ではこれらの問題は独立に取り扱われてきており、それらの挙動を有機的・統一的に解析するための手法が未だ確立していない⁶⁾。北村らは、土質力学の基本問題を解析するため、土粒子レベルでの力学的・確率論的考察に基づき物理的意味の明確なパラメータを用いて有機的・統一的力学モデルを構築することを意図してきている。以下に各モデルの概要を説明する。

2.1 圧縮・せん断モデル

図-1は砂のような粒状体から取り出した2つの粒子の関係を示している。圧縮・せん断モデルでは、粒子接点での接平面の法線が直交座標軸となす角を β_1 、 β_2 、 β_3 とし、(β_1 、 β_2)を接点角と定義している。圧縮・せん断過程で生じる変形は土粒子レベルでの接点角の変化（連続的な挙動）と粒子接点の消滅・発生をインテグレート（Integrate）したものと考えている。圧縮・せん断モデルに必要なパラメータは接点角分布、粒度分布、粒子間摩擦係数、間隙比、含水比、弾塑性エネルギー曲面、間隙水の粘性係数・表面張力である。

2.2 保水・浸透モデル

図-2(a)は砂のような粒状体から取り出した数個の粒子からなる微小要素を示している。図-2(b)は図-2(a)の状態を不透水部分（粒子）と径が D 、傾き β のパイプ（間隙）によってモデル化したものである。保水・浸透モデルでは、パイプの径と傾きを確率変数とし、若干の考察を加えることによって間隙比、含水比、体積含水率、飽和度、サクション、不飽和・飽和透水係数、サクションに基因する見掛けの粘着成分を導くことができる。すなわち、不飽和浸透解析に必須な水分特性曲線、不飽和・飽和

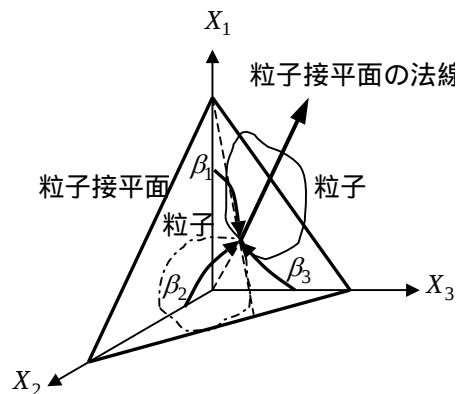


図-1 接平面と粒子間力

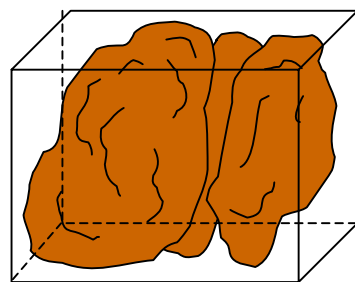


図-2(a) 土塊の微小要素

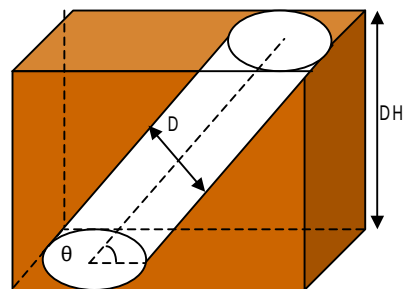


図-2(b) モデル化された一要素

図-2 間隙のモデル化

透水係数～含水比関係が得られる。モデルに必要なパラメータは管径分布（粒度分布より推定）⁷⁾、接点角分布、土粒子密度、間隙水の粘性係数・表面張力である。

3. 土質試験結果と数値解析結果の比較

図-3 は拘束圧 60kPa, 締固め度 95%の時の応力～ひずみ関係の試験結果と解析結果を示している。図より, 側方ひずみについては初期の応力段階では解析結果との一致はよいとおもわれる。しかし, 軸ひずみについては解析結果が初期の応力段階では試験結果よりも大きい値を取り, 軸差応力が大きくなるにつれて試験結果に近づくことがわかる。

図-4 は豊浦砂の最小間隙比 ($e_{\min} = 0.62$), 最大間隙比 ($e_{\max} = 0.97$) における水分特性曲線の解析結果を示している。間隙比が大きくなると水分特性曲線は下側に移行することがわかる。

図-5 は豊浦砂の最小間隙比, 最大間隙比における不飽和・飽和透水係数～有効飽和度関係の解析結果を示している。図より, 不飽和・飽和透水係数～有効飽和度関係は間隙比に依存することがわかり, 有効飽和度が等しければ間隙比の大きい方が透水係数が大きいことがわかる。

4. あとがき

土質力学の体系化を目指した北村モデルの概要の説明とその妥当性について検討を加えた。地盤工学の立場から地球環境の変化を定量的に評価し、有効かつ最適な対策を講じるためには不飽和土質力学の体系化が必要である。土粒子レベルでの力学的・確率論的考察に基づいた北村モデルは不飽和土を有機的・統一的に解析するために有用なツールとなる可能性を有していると考えている。北村モデルの妥当性の検討、精度の向上には不飽和土の土質試験法の確立が必要である。

本研究は科研費（基盤（A））、代表：北村）の援助を受けた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) Kitamura, R.: Analysis of deformation mechanism of particulate material based on the probability theory, 京都大学大学院工学研究科 学位申請論文、178p., 1980.
- 2) 北村良介: マルコフ過程を用いた粒状体の力学モデル、科研費報告書（課題番号：60550355）、164p., 1987.
- 3) 宮本裕二: 熱を考慮した不飽和土の浸透特性に関する基礎的研究、鹿児島大学大学院理工学研究科 学位申請論文、155p., 2001.
- 4) 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 学位申請論文、154p., 2004.
- 5) 荒木功平: 不飽和土の数値力学モデルに関する基礎的研究、鹿児島大学大学院理工学研究科 学位申請論文、116p., 2006.
- 6) 最上武雄: 土質工学 30 年の歩み, 土と基礎, 27-10, pp.3-8, 1979.
- 7) Sako, K. and Kitamura, R.: A practical numerical model for seepage behavior of unsaturated soil, Soils and Foundations, 46-5, pp.595-604, 2006.

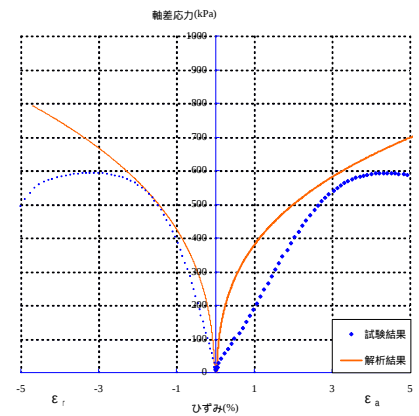


図-3 応力～ひずみ関係

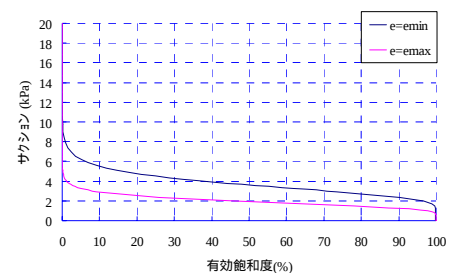


図-4 水分特性曲線の解析結果
(豊浦砂)

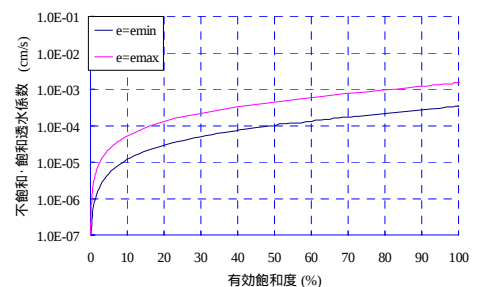


図-5 不飽和・飽和透水係数～
有効飽和度関係(豊浦砂)