

KITA-CS モデルの一次元圧縮過程への適用

鹿児島大学大学院 学生会員 ○下川大介
 (株)ダイヤコンサルタント 正会員 荒木功平
 鹿児島大学工学部 正会員 北村良介

1. はじめに

北村らは土粒子レベルでの力学的・確率論的考察に基づき、砂のような粒状体の保水・透水・圧縮・せん断挙動を解析するための力学モデルを提案してきている^{1) 2) 3) 4)}。ここでは、これらをまとめて北村モデルと総称する。北村モデルは保水・透水に関するモデル(ここでは、KITA-RP モデルと称する)と圧縮・せん断に関するモデル(ここでは、KITA-CS モデルと称する)から成り立っている。

本稿では、不飽和土のコラプス(水浸沈下)と吸水膨張を統一的に説明することを目指し、KITA-CS モデルを一次元圧縮過程に適用する取り組みを紹介する。

2. 北村モデルの概要

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。KITA-CS 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 、 β_3)を接点角と定義し、確率変数としている(但し、独立な確率変数は(β_1 、 β_2))。図-2 は KITA-CS モデルを用いて応力～ひずみ関係を得る計算手順を示したフローチャートである。KITA-CS モデルでは、圧縮・せん断過程で生じる巨視的な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。すなわち、粒状体になされた仕事を土粒子レベルでの接点角の変化と接点の消滅・発生に必要なエネルギーの総和に等しいとすることによって応力～ひずみ関係が得られる。接点の消滅・発生は次節で説明する接点数変化率によって評価する。KITA-CS モデルに必要な入力パラメータは初期粒子接点角分布、間隙比、粒度分布、粒子間摩擦係数、エネルギー曲面を規定するパラメータ(4つ、図-3 参照)、間隙水の表面張力・粘性係数である。

KITA-CS モデルでは、粒状体の圧縮・せん断挙動を解析するために粒状体になされた単位体積当りの仕事 W (エネルギー) を物理量として用いている。

式(1)～(4)は圧縮過程、せん断過程における仕事量 W ～ 合応力 ($\sigma_m^2 + \tau_{oct}^2$) 関係、弾性エネルギー W_e ～ 合応力 ($\sigma_m^2 + \tau_{oct}^2$) 関係を表したものである。

$$\log_{10} W = a_c + d_c \cdot \log_{10} (\sigma_m^2 + \tau_{oct}^2) \dots (1) \quad \log_{10} W = a_s + d_s \cdot \log_{10} (\sigma_m^2 + \tau_{oct}^2) \dots (2)$$

$$\log_{10} W_e = a_{ce} + d_{ce} \cdot \log_{10} (\sigma_m^2 + \tau_{oct}^2) \dots (3) \quad \log_{10} W_e = a_{se} + d_{se} \cdot \log_{10} (\sigma_m^2 + \tau_{oct}^2) \dots (4)$$

図-3 は等方圧縮を含む応力比一定圧縮では、応力比に依存せず、1本の直線をたどり、せん断へ移行すると別の直線へと移行することを示している。図中の a_c 、 a_s 、 a_{ce} 、 a_{se} は圧縮過程、せん断過程における直線の縦軸切片を表し、 d_c 、 d_s 、 d_{ce} 、 d_{se} ($d_c < d_s$ 、 $d_{ce} < d_{se}$) はせん断過程、圧縮過程における直線の傾きを表している。

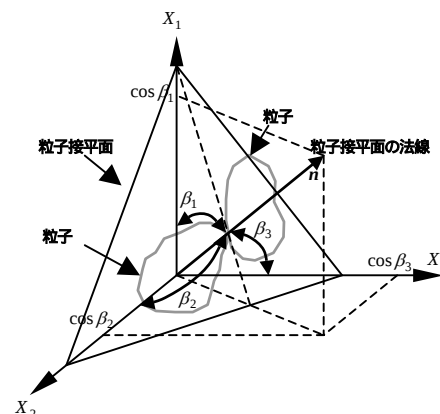


図-1 接平面と粒子接点角

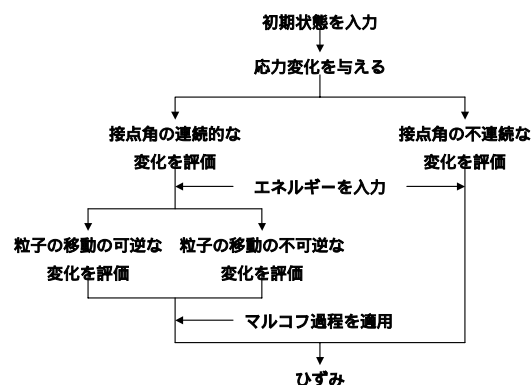


図-2 KITA-CSモデルの計算フロー

キーワード：圧縮、数値計算

〒890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元1丁目21-40 工学部 北村研究室 Tel.099-285-8473

一般の粒状体は形状、大きさの不規則な粒子の集合体であり、変形過程において粒子接点が発生・消滅する現象（北村はこのような現象を落ち込み、割り込みと称している）が複雑に絡み合って、巨視的に計測が可能な体積変化となって表れると考えられる。

北村ら⁵⁾はこのような粒子の不連続な運動を評価するため、落ち込み率 R_i （接点数変化率と同義）を導入し、圧縮過程では落ち込み率 R_i と単位体積あたりの仕事量 W の間に図-4 に示すような関係があることを実験結果より明らかにしている。すなわち、式(5)、式(6) により表される。

$$0 < W < W_0 \text{ のとき, } R_i = S \cdot (W_0 - W) + C \quad (5)$$

$$W > W_0 \text{ のとき, } R_i = C \quad (\text{一定}) \quad (6)$$

R_i : 落ち込み率

S, W_0, C : 図-4 中におけるパラメータ

3. 一次元圧縮過程への適用

図-5 は KITA-CS を一次元圧縮過程に適用した時の計算手順を示したフローチャートである。軸圧を増加させ、側方ひずみが計算される。次に側方ひずみがゼロとなるように側圧を変化させる。これを繰返すと圧縮曲線が得られる。KITA-CS において、水浸沈下は粒子接点数変化率が急増することを意味している。表-1 に豊浦砂を想定した入力パラメータを示している。サクシオンはゼロとしている（飽和あるいは乾燥状態）。図-6 に計算結果を示している。図は初期間隙比 1.0 の豊浦砂の $e \sim \log p$ 関係を示している。

4. おわりに

本稿では、KITA-CS モデルを一次元圧縮過程に適用する取り組みを紹介した。発表当日にはサクシオンを変化させたシミュレーション結果を示す予定である。今後、不飽和土のコラプス（水浸沈下）と吸水膨張を統一的に説明することを目指し、接点数変化率に関する理論的・実験的研究を行っていく予定である。

本研究に対して科研費（基盤（A））の援助をいただいた。ここに謝意を表します。

【参考文献】

- 1) Kitamura, R.: A mechanical model of particulate material based on stochastic process, Soils and Foundations, Vol.21, No.2, pp.64-72, 1981.
- 2) Kitamura, R.: Analysis of deformation mechanism of particulate material at particle scale, Soils and Foundations, Vol.21, No.2, pp.85-98, 1981.
- 3) Kitamura, R., Fukuhara, S., Uemura, K., Kisanuki, J. and Seyama, M.: A numerical model for seepage through unsaturated soil, Soils and Foundations, Vol.38, No.4, pp.261-265, 1998.
- 4) Sako, K. and Kitamura, R.: A practical numerical model for seepage behavior of unsaturated soil, Soils and Foundations, Vol.46, No.5, pp.595-604, 2006.
- 5) 荒木功平、北村良介：粒状体の北村モデルにおける粒子接点の発生・消滅、応用力学論文集、Vol.7, pp.737-746, 2004.

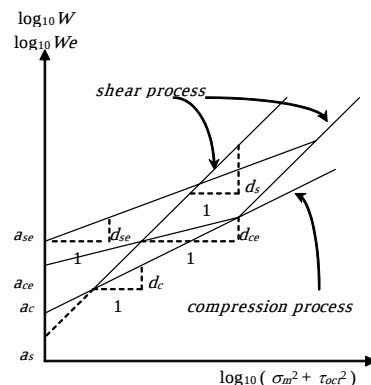


図-3 エネルギー曲面

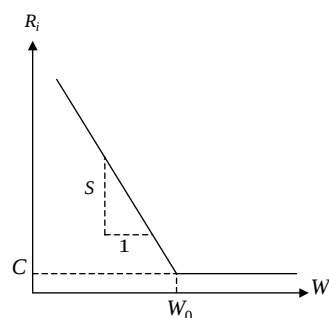


図-4 落ち込み率 ~ 仕事量関係

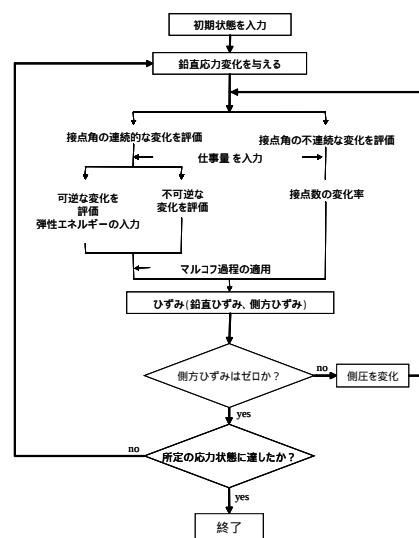


図-5 一次元圧縮のフローチャート

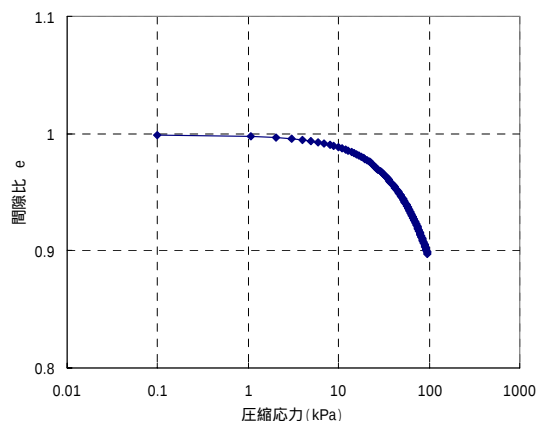


図-6 計算結果