

土骨格構造の働きから見た中間土の圧縮・せん断挙動の弾塑性応答

名古屋大学 正会員 ○山田英司、金田一広、野田利弘、中野正樹、浅岡顕

1 はじめに

従来、地盤力学・工学に関する問題の解析では、便宜的に土を砂と粘土に分けて取り扱い、その土の種類に応じて異なる構成式を用いてきた。しかし、人工島などの埋立て地盤では、粒度がそろったきれいな砂でも粘土でもない両者が混ざったいわゆる「中間土」が多くを占め、その力学挙動を記述する構成式研究は少ない。本報告では、土の骨格構造¹⁾(構造・過圧密・異方性)の働きを表現できる上・下負荷面修正カムクレイモデル²⁾を用い、骨格構造の働き方の違いによって粘土～中間土～砂の力学挙動を統一的な理論的枠組みの中で説明できることを示す。

2 土骨格構造の働きの発展則と計算条件

本報告では簡単のため、異方性とその発展は考慮しない。弾塑性構成式の詳細は文献2)に示すが、構造の程度、過圧密状態はそれぞれ R^* , R ($0 < R^*, R \leq 1$, $1/R$ は過圧密比)で表し、塑性変形に応じて $R^* \rightarrow 1$ (構造が喪失)で繰り返し状態に近づき、 $R \rightarrow 1$ (過圧密解消)で正規圧密状態に近づく。 $\dot{R}^*$, $\dot{R}$ を与える発展則を最も簡単な形でそれぞれ式(1),(2)に示す。

$$\dot{R}^* = JU^* \|D^p\|, \quad U^* = \frac{a}{D} R^{*b} (1 - R^*)^c \quad (1)$$

$$\dot{R} = JU \|D^p\|, \quad U = -\frac{m}{D} \ln R \quad (2)$$

ここに、 $\|D^p\|$ は塑性ストレッチングのノルム、 $J = v/v_0$ (v_0 と v は初期と現時刻の比体積(=1+間隙比)), $D = (\tilde{\lambda} - \tilde{\kappa})/M/v_0$ はdilatancy係数、 a, b, c は構造劣化指数、 m は正規圧密土化指数である。

同一の弾塑性パラメータ(表1)と初期値(表2)を持ち、構造劣化と過圧密解消の生じやすさが異なる5種類の土(表3)を想定した。式(1),(2)の発展則で $b = c = 1.0$ とすると、 a, m の大小によって構造劣化、過圧密解消の生じやすさが表現できる。

表1 弾塑性パラメータ

圧縮指数 $\tilde{\lambda}$	0.13
膨潤指数 $\tilde{\kappa}$	0.01
限界状態定数 M	1.2
NCLの切片 N (at $p' = 98.1\text{kPa}$)	2.5
ポアソン比 ν	0.3

表2 初期値

過圧密比 $1/R_0$	5.0
構造の程度 $1/R_0^*$	10.0
比体積 v_0 (= $1 + e_0$)	2.58
平均有効応力 p'_0 (kPa)	98.1
応力比 $\eta_0 = q_0/p'_0$	0.0
異方性 $\zeta_0 = \sqrt{3/2} \ \beta_0\ $	0.0

表3 発展則パラメータ

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
構造劣化	△	◎	○	△	◎
過圧密解消	◎	◎	○	△	△
a	0.3	1.5	1.0	0.3	1.5
m	5.0	5.0	0.5	0.05	0.05

※ 生じやすい ← ◎ ○ △ → 生じにくい

3 粘土～中間土～砂の非排水せん断、一次元圧縮、締固めの構成式応答

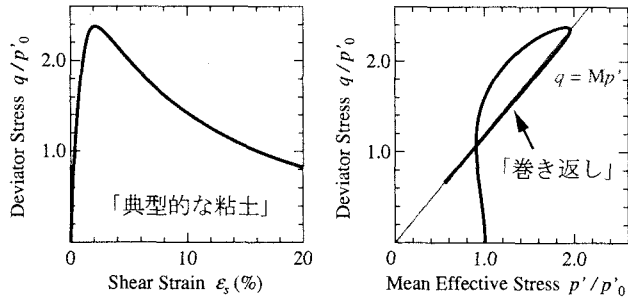
図1、図2および図3は構成式応答でそれぞれ非排水せん断、一次元圧縮、および側圧一定の排水繰返しせん断(繰返し振幅50kPa、20回繰返し)による締固め挙動を示している。同じ弾塑性パラメータ、初期値でも構造劣化、過圧密解消の生じやすさの相違が各挙動を大きく変化させることが分かる。

(1)は典型的な粘土、(5)は典型的なゆるい砂の挙動を示している。構造劣化、過圧密解消がともに生じやすい「中間土(2)」は、粘土に似た応力パスを示す(図1の $p'/p'_0 \sim q/p'_0$ 図)が、応力～ひずみ関係(図1の $\epsilon_s \sim q/p'_0$ 図)ではピークを迎えて急激に軟化する脆性的挙動を示し、圧縮性は高い(図2)。一方、構造劣化、過圧密解消がともに生じにくい「中間土(4)」は、砂に似た応力パスを示すが、応力～ひずみ関係ではピークを迎えて徐々に軟化する延性的挙動を示し、圧縮性は低い。(2)～(4)の締固め挙動(図3)を見ると、締まる土と締まらない土の比体積変化 Δv は1オーダー異なり明確な違いが出ている。構造劣化、過圧密解消がともに生じやすい中間土は締まりにくく、構造劣化、過圧密解消がともに生じにくい中間土は締まりやすい。

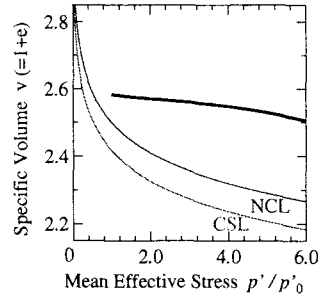
4 おわりに

本報告で用いた弾塑性構成式は、同一の弾塑性パラメータと初期値の組合せであっても構造劣化または過圧密解消の生じやすさが異なると力学挙動(せん断特性、圧縮特性、締固め特性)が大きく変化し、単調な載荷では圧縮しないが繰返し載荷によっては大きく圧縮する(締まる)(あるいはその逆の)ような中間土も表現できることを

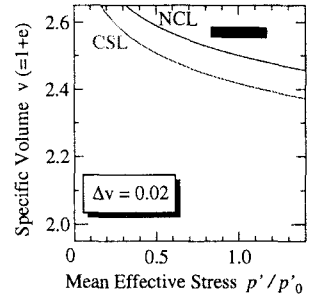
示した。なお、中間土が「圧密材」的挙動（プレロードによって圧密させる）か「締め固め材」的挙動（SCP によって締め固める）かを判断するためには、弾塑性パラメータ、初期値、土骨格構造の働きの発展則のみならず透水係数の影響も含めて議論する必要がある。



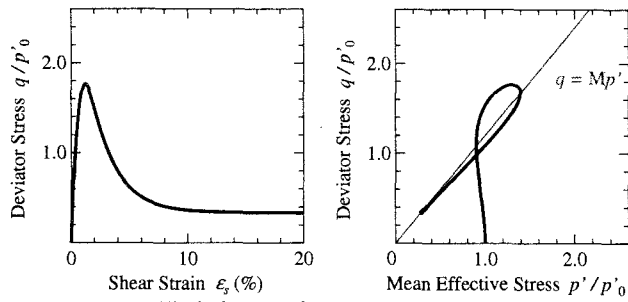
(1) 構造劣化：△、過圧密解消：◎



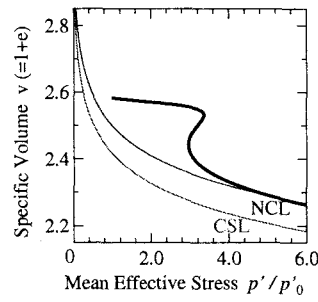
(1)



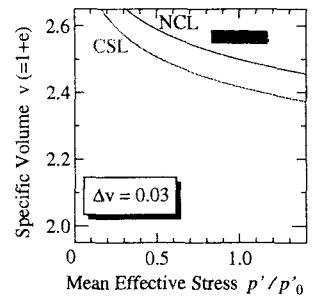
(1)



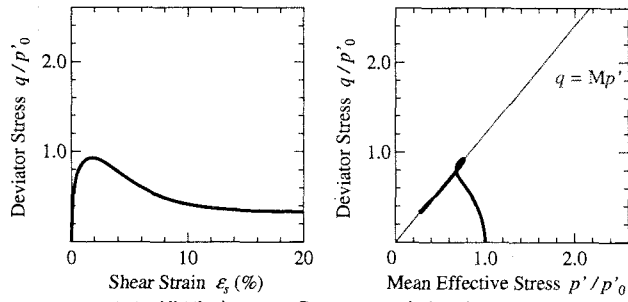
(2) 構造劣化：◎、過圧密解消：◎



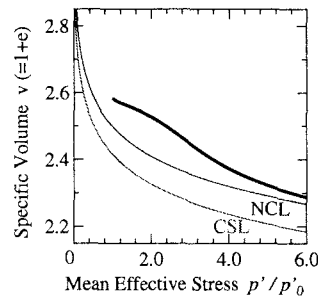
(2)



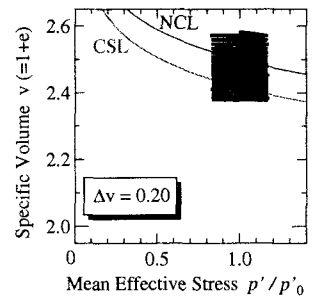
(2)



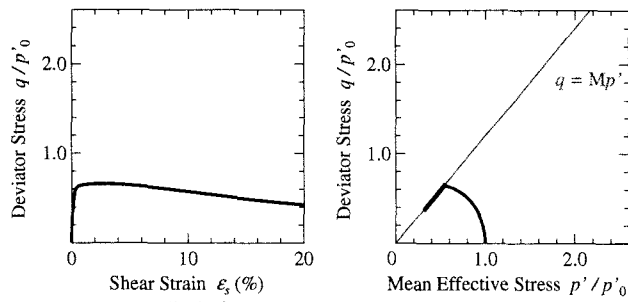
(3) 構造劣化：○、過圧密解消：○



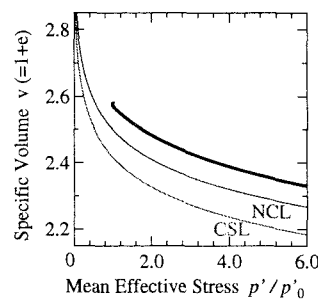
(3)



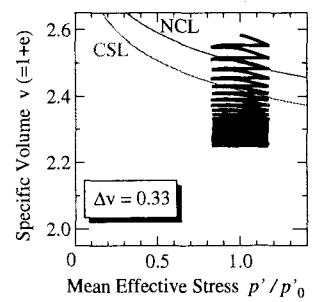
(3)



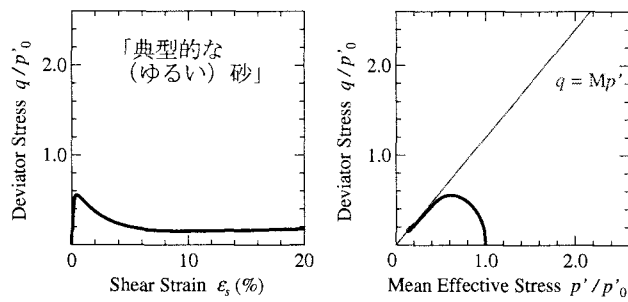
(4) 構造劣化：△、過圧密解消：△



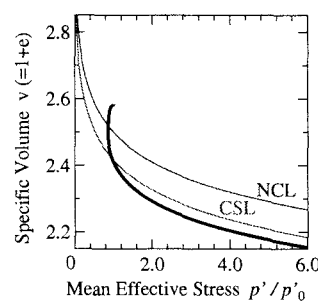
(4)



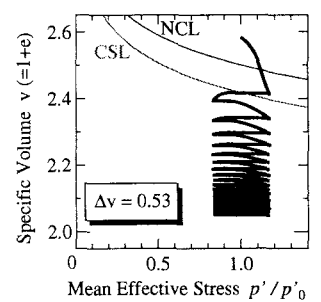
(4)



(5) 構造劣化：◎、過圧密解消：△



(5)



(5)

図1 非排水せん断応答

図2 一次元圧縮応答

図3 締め固め挙動

参考文献 1) 三笠 (1964): 土の工学的性質の分類表とその意義, 土と基礎, 12(4), pp.17-24. 2) Asaoka et al.(2002): An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, S & F, 42(5), pp.47-57.