

# 自然粘土シミュレーション材料の開発(その4) —履歴減衰のひずみ速度非依存性—

奥村組 筑波研究所 正会員 ○ 日下部 伸  
奥村組 電算センター 正会員 森尾 敏  
奥村組 電算センター 正会員 小田 恵之輔

## 1. まえがき

オンライン地震応答実験は、原地盤の土要素を近似した供試体に、応答計算で得られた変位に相当するひずみを準静的に加え、実測した復元力を次の解析ステップに結びつける過程を繰返す<sup>1)</sup>。そのため、この手法では構成式を用いずに地震時地盤挙動の模擬が可能となる。反面、原位置の本物に近い供試体の使用が重要な課題となる。第1<sup>2)</sup>、2<sup>3)</sup>報では、地盤生成時の自重圧密による密度増加速度と化学的結合速度の比を試行錯誤的に再現する手法を提案し、年代効果を受けた正規圧密エージド(NCA)粘土の圧縮・非排水せん断挙動を模擬し得ることを示した。第3報<sup>4)</sup>では、繰返し載荷時のNCA粘土のせん断剛性が、ひずみ速度に依存しない事を示唆する実験結果を示した。

本稿では、繰返し載荷を受けるNCA粘土の履歴減衰のひずみ速度非依存性について述べる。

## 2. 実験方法

- 1) 供試体：素材として使用した試料は有明粘土である(液性限界=105%,  $I_p=60\%$ )。液性限界の3倍の含水比でスラリー化した試料1000 cm<sup>3</sup>に対して、早強セメント14.00 gを混合した。外径10cm, 内径6cmの中空供試体と外径5cmの中実供試体が同時に作製できる型枠を使用した。混合開始12分後に、図-1に示す2ケースの圧密履歴を与えた。圧密条件は両面排水の1次元圧密とし、最終圧密荷重は0.25kgf/cm<sup>2</sup>とした。供試体の初期高さは、ケース1で174mm, ケース2で180mmである。
- 2) 定ひずみ速度圧密(CRS)試験：供試体寸法はφ46mm, H20mm, ひずみ速度は $3 \times 10^{-2} \%$ /minである。
- 3) 異方圧密非排水三軸圧縮(CKCU)試験：供試体寸法はφ50mm, H89mmである。主応力比 $\sigma'_3/\sigma'_1$ を0.45とし、 $\sigma'_1=0.25\text{kgf/cm}^2$ まで異方圧密した。非排水せん断時の軸ひずみ速度は $5 \times 10^{-2} \%$ /minである。
- 3) ひずみ速度可変・ひずみ振幅漸増(VRAS)試験：供試体寸法は外径100mm, 内径60mm, H100mmの中空円筒状である。CKCU試験と同様の異方圧密後、非排水繰返しねじり単純せん断を行った。この試験の特徴は、同一の供試体に対して、異なるせん断ひずみ速度 $\dot{\gamma}$ の組み合わせの下で、 $\gamma$ の振幅を漸増させる点にある。実験条件の詳細を表-1に示す。同表に示すようにステージ1では $\dot{\gamma}$ を(大, 中, 小, 極小, 極小, 小, 中, 大)の順に変化させ、次のステージでは前のステージの逆の $\dot{\gamma}$ の組み合わせとしている。
3. 実験結果と考察

1) 作製した供試体の特徴：図-2はCRS試験で得られた間隙比 $e \sim$ 圧密圧力 $\log p$ 関係を示す。図中に原位置の有明粘土(深度4.2m)の $e \sim \log p$ 関係に近いと思われる半沢ら(1990)<sup>5)</sup>のデータを示す。図-3は圧縮指数 $C_c \sim \log p$ 関係を示す。 $C_c$ は明確なピークを示し、土田ら(1991)<sup>6)</sup>の定義による圧縮指数比 $r_c$ はケース1, 2で約1.5前後である。この値は、わが国の沖積のNCA粘土としては妥当である。図-4はCKCU試験で得られた応力 $\sim$ ひずみ関係と有効応力経路を示す。応力 $\sim$ ひずみ関係は明確なピークを有し、破壊時の軸ひずみはケース1で2.6%, ケース2で1.3%である。有明粘土の非排水せん断強度 $S_{uf}$ と有効土被り圧 $\sigma'_{vo}$ の比は0.57程度である<sup>5)</sup>。ケース1の $S_{uf}/\sigma'_{vo}$ は0.50であり妥当と言えるが、ケース2は1.28であり過大である。

これらの実験結果から以下のことが伺える。ケース1ではセメント量が過大で、かつ密度の増加速度 $\dot{e}$ が化学的結合速度 $\dot{c}$ に対して遅れた。そのため、初期間隙比 $e_0$ が過大であるにも拘わらず、 $e \sim \log p$ 曲線の形状と $S_{uf}/\sigma'_{vo}$ の値は本物と類似した。ケース2では $\dot{e}$ と $\dot{c}$ の比は妥当であったと判断されるが、セメント量が過大であった。そのため、 $e_0$ は妥当であるが、圧密降伏応力と $S_{uf}/\sigma'_{vo}$ が過大である。

以上の検討結果から、作製された供試体は沖積のNCA粘土の基本的な圧縮・せん断挙動を大筋で模擬し得ていると判断される。

2) 履歴減衰 $h$ のひずみ速度非依存性：図-5～8はVRAS試験で得られたせん断応力 $\tau \sim$ せん断ひずみ $\gamma$ 関係を示す。図-6、8の第33サイクルにおいて、はっきりと軟化(ケース1)と降伏(ケース2)が生じている。その他のサイクルでは、繰返し載荷による劣化の影響が伺える以外、 $\tau \sim \gamma$ 関係に顕著な差異は認められない。図-9、10は $h \sim \dot{\gamma}$ 関係を示す。図中にプロットした記号は表-1に対応しており、黒塗りは各ステージの最初のサイクルを示す。ケース2のステージ5で、繰返し載荷による影響が明確である。それ以外のステージでは、ひずみ速度が履歴減衰 $h$ に与える影響は顕著ではない。

## 4. あとがき

年代効果を受けた正規圧密粘土の圧縮・非排水せん断挙動を模擬し得るシミュレーション材料を用いて、繰返し載荷時のひずみ速度が履歴減衰に与える影響を検討した。履歴減衰のひずみ速度依存性が顕著ではないことを示す実験結果が得られた。

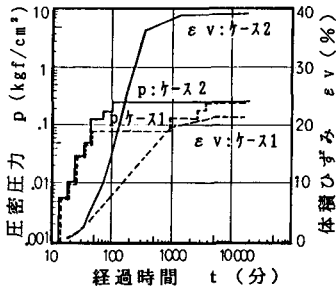


図-1 圧密履歴

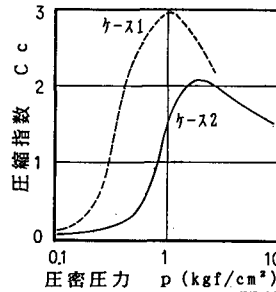


図-3  $C_c \sim \log p$  関係

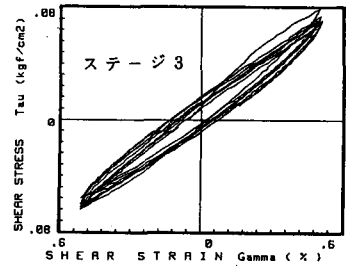


図-5  $\tau \sim \gamma$  関係 (ケース1)

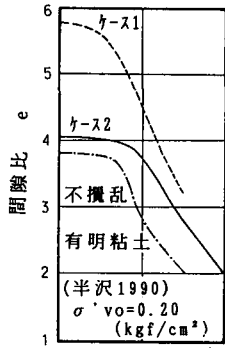


図-2  $e \sim \log p$  関係

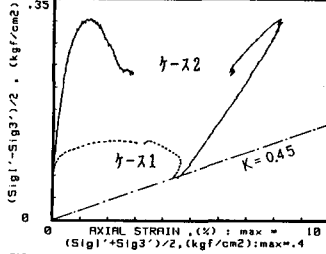


図-4 応力～ひずみ関係と有効応力経路

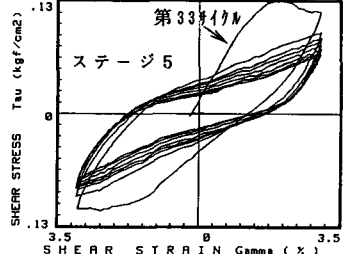
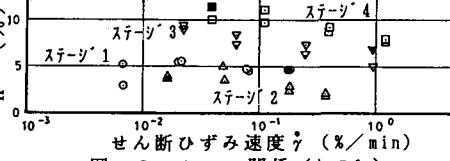


図-6  $\tau \sim \gamma$  関係 (ケース1)

表-1 実験条件

| グループ | 試料番号 | $\dot{\gamma}$ (%/min) | $\gamma$               |
|------|------|------------------------|------------------------|
| 1    | 1    | 0.18                   | $\pm 5 \times 10^{-4}$ |
|      | 2    | 0.078                  |                        |
|      | 3    | 0.021                  |                        |
|      | 4    | 0.0066                 |                        |
|      | 5    | 0.0066                 |                        |
|      | 6    | 0.020                  |                        |
|      | 7    | 0.078                  |                        |
|      | 8    | 0.18                   |                        |
| 2    | 9    | 0.016                  | $\pm 1 \times 10^{-3}$ |
|      | 10   | 0.048                  |                        |
|      | 11   | 0.18                   |                        |
|      | 12   | 0.37                   |                        |
|      | 13   | 0.37                   |                        |
|      | 14   | 0.18                   |                        |
|      | 15   | 0.049                  |                        |
|      | 16   | 0.016                  |                        |
| 3    | 17   | 0.93                   | $\pm 5 \times 10^{-3}$ |
|      | 18   | 0.25                   |                        |
|      | 19   | 0.063                  |                        |
|      | 20   | 0.022                  |                        |
|      | 21   | 0.022                  |                        |
|      | 22   | 0.063                  |                        |
|      | 23   | 0.25                   |                        |
|      | 24   | 0.95                   |                        |
| 4    | 25   | 0.038                  | $\pm 1 \times 10^{-3}$ |
|      | 26   | 0.11                   |                        |
|      | 27   | 0.40                   |                        |
|      | 28   | 1.21                   |                        |
|      | 29   | 1.21                   |                        |
|      | 30   | 0.39                   |                        |
|      | 31   | 0.11                   |                        |
|      | 32   | 0.039                  |                        |
| 5    | 33   | 1.27                   | $\pm 3 \times 10^{-3}$ |
|      | 34   | 0.70                   |                        |
|      | 35   | 0.22                   |                        |
|      | 36   | 0.081                  |                        |
|      | 37   | 0.082                  |                        |
|      | 38   | 0.22                   |                        |
|      | 39   | 0.72                   |                        |
|      | 40   | 1.59                   |                        |



せん断ひずみ速度  $\dot{\gamma}$  (%/min)

図-9  $h \sim \gamma$  関係 (ケース1)

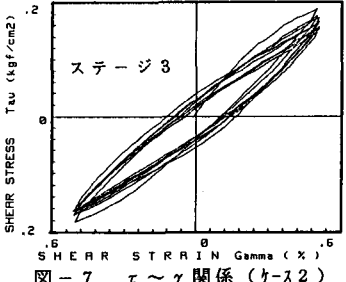
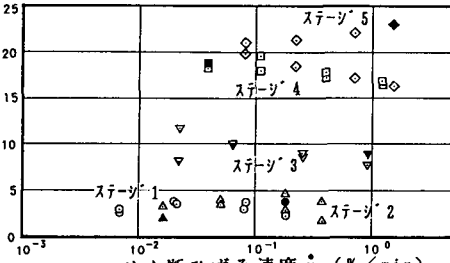


図-7  $\tau \sim \gamma$  関係 (ケース2)



せん断ひずみ速度  $\dot{\gamma}$  (%/min)

図-10  $h \sim \gamma$  関係 (ケース2)

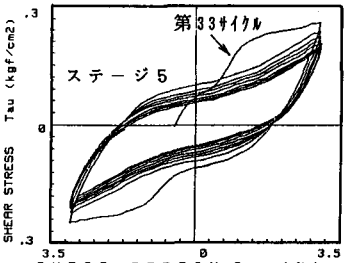


図-8  $\tau \sim \gamma$  関係 (ケース2)

参考文献

- 1) 日下部 伸, 森尾 敏, 有本 勝二(1990):オンライン化 of engineering properties for an Ariake clay ン地震応答実験による2層系砂地盤の液状化挙動, 「土」 Soils and Foundations, Vol. 30, No. 4.
- 2) 3) 4) 日下部 伸, 森尾 敏, 小田 恵之輔(1991, Effect of aging of marine clay and its duplication 1992, 1993): 自然粘土シミュレーション材料の開発 (soy high temperature consolidation, " Soils and Foundations, Vol. 31, No. 4.
- 5) Hanzawa, H., Fukaya, T. and Suzuki, K. (1990): "Evaluation of engineering properties for an Ariake clay by using a new test method", Soils and Foundations, Vol. 30, No. 4.
- 6) Tsuchida, T., Kobayashi, M. and Mizukami, J. (1991): "Effect of aging of marine clay and its duplication", Soils and Foundations, Vol. 31, No. 4.