

III-454

自然粘土シミュレーション材料の開発(その3)

俣奥村組 筑波研究所 正会員 ○ 日下部 伸
 俣奥村組 技術研究所 正会員 森尾 敏
 俣奥村組 技術研究所 正会員 小田 恵之輔

1. まえがき

オンライン実験は、実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を準静的に加え、実測した復元力を次の解析ステップの応答計算に結びつける過程を繰返すことにより地震時地盤挙動を模擬する手法である^{1) 2) 3)}。したがって、供試体をいかに「本物らしく」作製するかは重要な課題である。

前報^{4) 5)}では、海成粘土地盤生成時の化学的結合密度と自重圧密による密度の増加速度の比(未知ではあるが)を試行錯誤的に室内で再現することにより、「年代効果を受けた沖積粘土として最も普遍的な正規圧密エージド粘土(NCA粘土)」⁶⁾の初期間隙比、圧縮および非排水せん断挙動を大筋において模擬し得る事実を示した。

本稿では、この自然粘土シミュレーション材料による一つの供試体について実施した非排水繰返しねじり単純せん断条件下のひずみ速度可変・ひずみ振幅漸増試験(VRAS試験)結果に基づいて、NCA粘土のせん断剛性のひずみ速度「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 $\omega_L=105.0\%$ 、 $I_p=60.3$)。試料を ω_L の3倍の含水比でスラリー化後、真空脱気を行った。このスラリー1ℓに対して早強セメント14.00gを混合し、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2重円筒型枠に流し込んだ。混合開始時点より12分後に図-1に示す再圧密履歴を与えた。供試体の初期高さは174mmであり、圧密条件は両面排水の一次元圧密で、最終圧密荷重は 0.25kgf/cm^2 である。

2) 定ひずみ速度圧密試験(CRS試験): 供試体寸法は $\phi 46\text{mm}$ 、 $H 20\text{mm}$ 、ひずみ速度は $3 \times 10^{-2}\%/ \text{min}$ である。

3) 異方圧密非排水三軸圧縮試験(CKC U試験): 供試体寸法は $\phi 50\text{mm}$ 、 $H 89\text{mm}$ で、キャップとベダスタルの端面は拡幅・摩擦除去を行っている。異方圧密時の主応力比 $K=\sigma'_3/\sigma'_1$ の値は、半沢ら(1981)⁷⁾、土田ら(1991)⁸⁾が報告している海成の沖積粘土(NCA粘土)の値を参考にして、0.45とした。軸方向圧密圧力 $\sigma'_{vc}=0.25\text{kgf/cm}^2$ まで異方圧密後、非排水せん断した。軸圧縮ひずみ速度は $0.05\%/ \text{min}$ である。

4) ひずみ速度可変・ひずみ振幅漸増試験(VRAS試験): 供試体寸法は外径100mm、内径60mm、 $H 100\text{mm}$ の中空円筒状である。CKC U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試験を行った(供試体高さを一定に保ち、中空部に満たした水の出入を止める方法を使用)。実験条件の詳細を表-1に示す。この試験の特徴は、同一の供試体に対してせん断ひずみ速度 $\dot{\gamma}$ と

せん断ひずみ γ 振幅を変化させる試験を行うことにより、「供試体間の初期条件の差」を取除けること、および異なる $\dot{\gamma}$ の組合せの下で、 γ の振幅が漸増しながら破壊へ進むため、それなりに地震時地盤挙動の実態を模擬している点である。すなわち、表-1に示す様にステージ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ステージの逆の $\dot{\gamma}$ の組合せとしている。

3. 実験結果と考察

1) CRS試験: 図-2に間隙比 e ~圧密圧力 $\log p$ 関係を示す。図中の圧縮指数 C_{c1} は3.0、 C_{c2} は2.1であり、半沢ら(1990)⁹⁾が不攪乱有明粘土について報告している値($C_{c1}=3.5$ 、 $C_{c2}=1.7$)に類似している。図-3に示した圧縮指数 C_c ~ $\log p$ 関係においても、 C_c は明確なピークを示し、土田ら(1991)¹⁰⁾が定義している圧縮指数比も約1.8であり、NCA粘土の基本的な圧縮特性を模擬している。

2) CKC U試験: 図-4に応力~ひずみ関係、有効応力経路を示す。同図も明確なピークを示し、破壊時の軸ひずみは2.6%である。非排水せん断強度 S_{uf} と有効土被り圧 σ'_v の比は0.50であり、文献9)の0.57という値に類似しており(有明粘土の正規圧密ヤング状態(NCY粘土)での値は0.31)、NCA粘土の非排水せん断挙動も大筋において似ている。

3) VRAS試験: 図-5、6、7にVRAS試験で得られたせん断応力 τ ~せん断ひずみ γ 関係の例を示す(γ の大きいステージ3, 4, 5)。第5ステージの最初の半サイクル目でははっきりと軟化挙動を示して降伏した第33サイクル以外では、繰返しに伴うせん断剛性 G の低下が若干生じるものの $\dot{\gamma}$ の組合せ順を考慮すると、 $\dot{\gamma}$ の影響は顕著でない。この傾向は、 G ~ $\dot{\gamma}$ 関係を示した図-8で次の様に見て取れる。図中のプロットの記号は表-1に対応しており、黒塗りの記号は各ステージの最初のサイクルを示している。第3, 4, 5ステージでは最初のサイクルと最後のサイクル間での G の差異が認められる以外、白抜き記号間では $\dot{\gamma}$ の組合せ順のいかに拘らず G の変化は小さい。すなわちNCA粘土の地震応答過程でのせん断剛性は、せん断ひずみ速度「非依存性」を示すことを示唆している。

4. あとがき

NCA粘土と類似の圧縮・せん断挙動を示すシミュレーション材料を用いてVRAS試験を実施し、この材料のせん断剛性がせん断ひずみ速度「非依存性」を持つ事実を示した。一方、年代効果を持たない正規圧密ヤング粘土の単調載荷時の非排水せん断強度には、「ひずみ速度依存性が認められる。」という報告が多い。両者の相違の原因が何であるのか、興味深い所である。

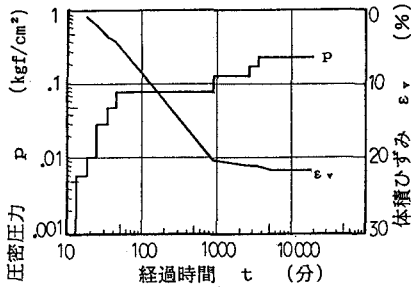


図-1 再圧密履歴

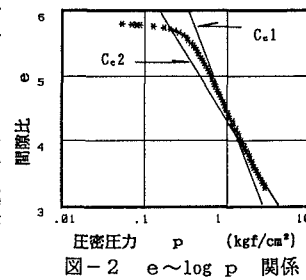


図-2 $e \sim \log p$ 関係

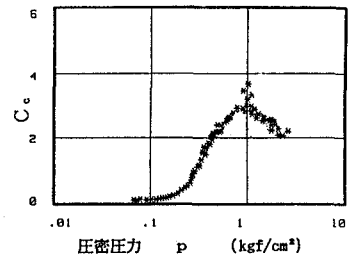


図-3 $C_c \sim \log p$ 関係

表-1 実験条件

ステージ	試料番号	$\dot{\gamma}$ (%/min)	γ	G (kgf/cm²)
1	1	0.13		16.3
	2	0.078		17.9
	3	0.021		17.4
	4	0.0066		16.1
	5	0.0066		17.2
	6	0.020		18.6
	7	0.078		18.8
	8	0.13		19.4
2	9	0.016		17.4
	10	0.048		17.9
	11	0.18		18.5
	12	0.37		18.7
	13	0.37		18.7
	14	0.18		18.4
	15	0.049		18.0
	16	0.016		17.3
3	17	0.93		14.4
	18	0.25		13.1
	19	0.063		12.5
	20	0.022		12.2
	21	0.022		12.5
	22	0.063		12.9
	23	0.25		13.0
	24	0.95		13.0
4	25	0.038		9.8
	26	0.11		9.3
	27	0.40		9.2
	28	1.21		9.0
	29	1.21		8.9
	30	0.39		8.8
	31	0.11		8.8
	32	0.039		8.5
5	33	1.27		5.1
	34	0.70		3.2
	35	0.22		3.0
	36	0.081		2.8
	37	0.082		2.7
	38	0.22		2.6
	39	0.72		2.5
	40	1.59		2.4

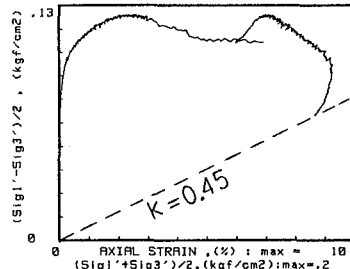


図-4 応力～ひずみ関係と有効応力経路

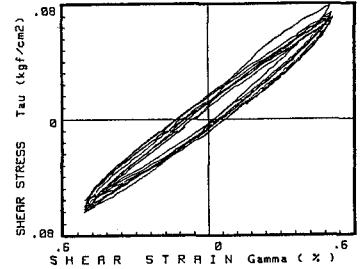


図-5 $\tau \sim \gamma$ 関係 (ステージ3)

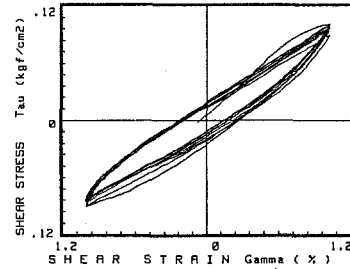


図-6 $\tau \sim \gamma$ 関係 (ステージ4)

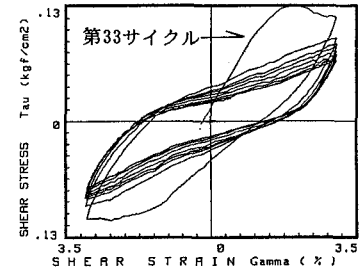


図-7 $\tau \sim \gamma$ 関係 (ステージ5)

参考文献

- 1) 日下部、森尾ら (1992) : 地盤系オンライン地震応答実験システムの開発 (その6)、「第27回土質工学研究発表会」。
- 2) 日下部、森尾 (1993) : オンライン実験による地震時地盤挙動 (その1: 砂粒子表面形状と液状化抵抗)、「第28回土質工学研究発表会」。
- 3) 日下部、森尾ら (1990) : オンライン地震応答実験による2層系砂地盤の液状化挙動、「土質工学論文報告集」、第30巻、第3号。
- 4)、5) 日下部、森尾ら (1991, 1992) : 自然粘土シミュレーション材料の開発 (その1～2)、「土木学会第46、47回年次学術講演会」。
- 6) 半沢秀郎ら (1982) : 年代効果を受けた粘土の非排水強度特性、「土と基礎」、Vol.30, No.12。
- 7) Hanzawa, H. and Kishida, T. (1981): "Fundamental considerations on undrained strength characteristics of alluvial marine clays," Soils and Foundations, Vol.21, No.1。
- 8) Tsuchida, T. and Kikuchi, Y. (1991): "Ko consolidation of undisturbed clays by means of triaxial cell," Soils and Foundations, Vol.31, No.3。

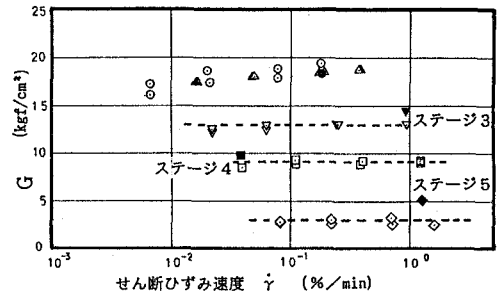


図-8 $G \sim \dot{\gamma}$ 関係 (ステージ1～5)

- 9) Hanzawa, H., Fukaya, T. and Suzuki, K. (1990): "Evaluation of engineering properties for an Ariake clay," Soils and Foundations, Vol.30, No.4。
- 10) Tsuchida, T., Kobayashi, M. and Mizukami, J. (1991): "Effect of aging of marine clay and its duplication by high temperature consolidation," Soils and Foundations, Vol.31, No.4。