

自然粘土シミュレーション材料の開発

(株)奥村組 筑波研究所 正会員 ○ 日下部 伸
 技術研究所 正会員 森尾 敏
 技術開発部 正会員 有本 勝二

1. まえがき

著者らは地震時の地盤挙動を再現する、オンライン地震応答実験システムの開発を進めている^{1)~6)}。この手法は地盤環境を実験装置内で再現し、地震動を受けた時に土が示す復元力を直接、土から聞き出し、その情報をオンラインで応答解析に結びつけ地盤挙動を模擬するものである。したがって供試体をいかに本物らしく作製するかは、重要な課題の一つである。

年代効果を持つ自然粘土と類似した力学挙動を示す試料作製方法としては、ケイ酸ナトリウムやポルトランドセメント等を添加する方法(嘉門ら, 1986, 1987)^{7), 8)}や、高温再圧密による方法(土田ら, 1988, 1989 a, 1989 b, 1990 a, 1990 b)^{9), 10), 11), 12), 13)}がある。本稿では、人工的なセメンテーション速度と圧密速度を積極的に制御することにより年代効果を受けた自然粘土の挙動を模擬する構造を付加する方法と、得られたシミュレーション材料について実施したひずみ速度圧密試験結果について述べる。

2. シミュレーション材料作製方法の概念

自然堆積中の粘土地盤は、各種の塩や酸化物などの固結効果によるセメンテーション作用や生物活動によるベレット(中世古ら, 1986)¹⁴⁾(嘉門ら, 1989 a)¹⁵⁾の存在により、自重による体積圧縮に対してはある程度抵抗し大きな間隙比を保った状態で形成されるという指摘(嘉門, 1989 b)¹⁶⁾がある。また、自然の海底地盤が波や海流等の作用に対して破壊せずに地盤として存在するためには人工的な正規圧密状態ではなく、ある程度の強度を持った過圧密状態が必要であるという考え方(小林, 1987)¹⁷⁾は、シミュレーション材料作製方法の概念を形成する上で示唆深い。

そこで、ここでは次の様な方法で自然粘土シミュレーション材料を作製した。①セメンテーション付加材として早強セメントを使用するとともに、②初期の再圧密時(固結力発現時)の圧密荷重を小さく保つことにより、③セメンテーション速度を圧密速度より卓越させ、④早強セメントの固結力が十分発現した後に最終圧密荷重を載荷する。

3. 実験方法

素材の粘土は広島粘土(液性限界 W_L 116.5%, 塑性限界 W_P 45.4%, 土粒子の密度 ρ_s 2.623)である。試料は W_L の2.0倍の含水比でスラリー化後、真空脱気を行った。

この粘土スラリー200cm³に対して早強セメント2.00gを混合し、 ϕ 61mm, H45mmの両面排水の一次元再圧密容器に入れ、図-1のケース①, ②, ③に示す再圧密履歴を与えた。同図のケース④は、早強セメントを加えない通常の再圧密試料(ϕ 250mm, 初期高さH215mm)である。図中の●印は定ひずみ速度圧密(CRS)試験実施時点である。試験方法および結果の整理方法は文献18)に従った。背圧は1.0kgf/cm²で、ひずみ速度は $3 \times 10^{-2}\%$ /min.である。

4. 実験結果と考察

1) 時刻歴: 図-2にケース①(実線)と④(破線)の軸方向沈下量 dH , 軸方向全応力 σ_v 、供試体底部の過剰間隙水圧 u_b の時刻歴を示す。横軸の t/t_r は軸方向の有効応力 σ'_v が12.8kgf/cm²に達した経過時間 t_r で正規化した無次元化時間である。ケース①の u_b は④の通常の再圧密試料に比べ、著しく小さい。この特徴は図-3の $u_b/\sigma'_v \sim t/t_r$ 関係に明確に反映している。同図のA1, 2, 3, 点とA4点は後述の $e \sim \log \sigma'_v$ 関係及び $C_c \sim \log \sigma'_v$ 関係の同点に対応している。

2) $e \sim \log \sigma'_v$ 関係: 図-4に $e \sim \log \sigma'_v$ 関係を示す。ケース①, ②, ③は、年代効果で形成された構造で耐える過程 C_1 、構造が破壊される過程 C_2 、構造が破壊された後の過程 C_3 (鈴木ら, 1989)¹⁹⁾を良くシミュレートしている。図-5は大阪湾海底地盤の大阪沖・Ma13層(沖積粘土, 層厚0~13m部分)の $e \sim \log p$ 関係(実線)(大阪湾海底の地盤研究委員会, 1990)²⁰⁾とケース①, ②, ③の $e \sim \log \sigma'_v$ 関係(破線)を示している。大阪沖のMa13の W_L は110~125%, W_P は30~50%, ρ_s は2.6~2.7であり、素材として使用した広島粘土のそれと類似している。両者の供試体の初期条件はMa13とケース①, ②, ③において初期含水比 ω_n が100~120と128, 123, 117%, e_0 が2.6~3.2と3.33, 3.22, 3.06, 湿潤密度 ρ_e が1.4と1.37, 1.38, 1.41g/cm³であり似ている。したがって同図は、同様な素材を使用しセメンテーション速度と圧密速度を制御して同様な初期条件になる様に構造を付加されたシミュレーション材料が、年代効果で形成された構造を持つ自然粘土の圧縮挙動を比較的良く模擬できる事実を示している。

3) $C_c \sim \log \sigma'_v$ 関係: 図-6に圧縮指数 C_c の σ'_v に対する変化(接線勾配)を示す。ケース①, ②, ③は明確なピークを示している。(1)式で定義される圧縮指数比 r_c (土田ら, 1989a)¹⁰⁾はケース①, ②, ③でそれぞれ2.2, 1.6, 1.9であり、わが国の自然沖積粘土($r_c=1.1 \sim 3.0$)¹⁰⁾とほぼ等しい値を再現している。

$$r_c = C_c \max / C_c^* \dots \dots \dots (1)$$

ここに $C_c \max$ は $C_c \sim \log \sigma'_v$ 曲線における C_c の最大値であり、 C_c^* は C_c が最大値を示す σ'_v の5倍の σ'_v での C_c である。

4) 体積圧縮係数 m_v 、圧密係数 C_v : 図-7, 8に m_v 、 $C_v \sim \log \sigma'_v$ 関係を示す。ケース①, ②, ③の m_v 、 C_v はいずれも自然粘土と類似の挙動を模擬している。

5. あとがき

大阪湾海底地盤の大阪沖・Ma13層と同様な素材(W_L , W_P , ρ_s)の広島粘土を使用しセメンテーション速度と圧密速度を制御して同様な初期条件(ω_n , e_0 , ρ_e)になる様に構造を付加することによって、自然粘土であるMa13と類似の圧縮挙動を示すシミュレーション材料を作製できる事実を示した。尚、広島粘土とその W_L , W_P , ρ_s のデータは広島大学・森脇武夫氏より提供していただきました。末筆ながら感謝の意を表します。

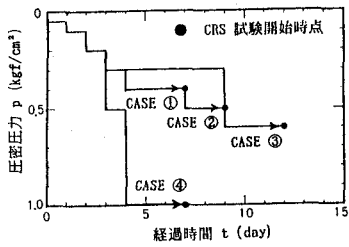


図-1 再圧密履歴

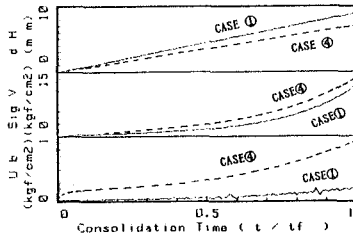


図-2 実測値の時刻歴

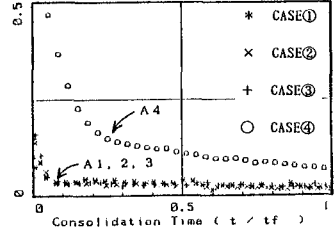


図-3 $U_b / \sigma_v \sim t/t_f$ 関係

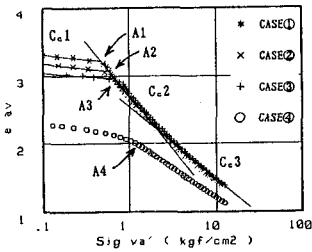


図-4 $e \sim \log \sigma'_v$ 関係

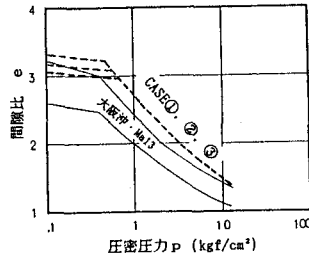


図-5 $e \sim \log p$ 関係

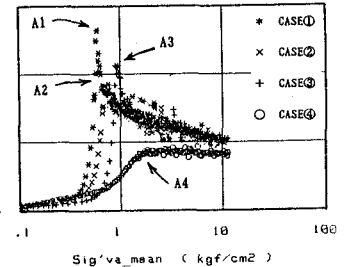


図-6 $C_c \sim \log \sigma'_v$ 関係

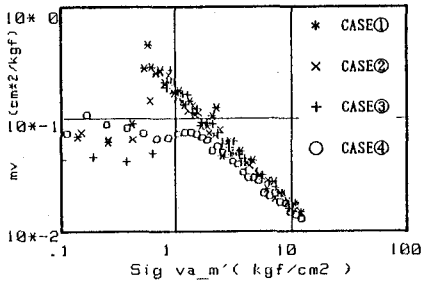


図-7 $m_v \sim \log \sigma'_v$ 関係

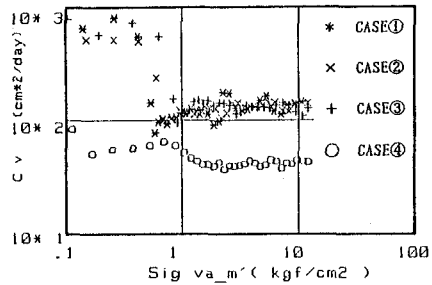


図-8 $C_v \sim \log \sigma'_v$ 関係

参考文献

1) 2), 3), 4), 5) 日下部、森尾、有本 (1987~1991) : 地盤系オンライン地震応答実験システムの開発 (その1~5)、「第22~26回土質工学研究発表会」
 6) 日下部、森尾、有本 (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、「土質工学会論文報告集」、第30巻、第3号
 7) 嘉門雅史、長尾毅 (1986) : 人工的にセメンテーション効果を与えた粘土の土質学的特性について、「第21回土質工学研究発表会」
 8) 嘉門雅史、佐野郁雄、陶秀珍 (1987) : 人工的に粒子間にセメンテーションを与えたカオリン粘土の物理化学的的特性、「土木学会第42回年次学術講演会」
 9) 土田孝、水上純一、小林正樹、平良聡 (1988) : 高温で再圧密した海成粘土の力学特性、「第23回土質工学研究発表会」
 10) 土田孝、小林正樹、水上純一、田中政典 (1989a) : 高温再圧密による海成粘土の年代効果の再現、「港湾技術研究所報告」、第28巻、第1号
 11) 土田孝、小林正樹、水上純一 (1989b) : 高温再圧密による年代効果の再現性について、「第24回土質工学研究発表会」
 12) 土田孝、水上純一、及川研、小泉和広 (1990a) : 高温で再圧密された大阪湾粘土の力学特性について、「第25回土質工学研究発表会」

13) 土田孝、水上純一、小泉和広 (1990b) : 高温で再圧密した粘土を用いた定率のみ速度密試験について、「土木学会第45回年次学術講演会」
 14) 中世古幸次郎、山内守明、大野照文 (1986) : エッチング法による泥質堆積物の観察、「地質学雑誌」、第92巻、第2号
 15) 嘉門雅史、曾我健一、木山正明、井上啓司 (1989a) : 大阪湾海成粘土のベレットの出現特性とその土質学的性質への影響、「土質工学会論文報告集」、Vol.29、No.2
 16) 嘉門雅史 (1989b) : 土の物理化学的性質、「土と基礎、土質工学40年の歩み」、Vol.37、No.12
 17) 小林正樹ら (1987) : 講座「海洋・海岸工学と土質」の座談会、「土と基礎」、Vol.35、No.8
 18) 善功、西江俊作、日下部伸、土田孝 (1988) : 定のみ速度密試験について、「特殊圧密試験に関するシンポジウム」、土質工学会・特殊圧密試験方法に関する研究委員会、定のみ速度密試験小委員会
 19) 鈴木耕司、半沢秀郎、福田康宏 (1989) : 粘土の圧縮性に及ぼす地質史的応力履歴の影響、「第34回土質工学シンポジウム」
 20) 大阪湾海底の地盤研究委員会 (1990) : 大阪湾海底地盤、(社)土質工学会関西支部