

## 有明粘土の強度回復特性に関する検討

佐賀大学 学O 辻 大輔 同学 赤峰 剛徳  
同学 山寺 彰 同正 三浦 哲彦

**1. まえがき** 佐賀、白石平野に堆積している有明粘土は、高鋭敏性、高圧縮性を有していることで知られている。その土質工学的な性質は塩分濃度の影響、とくに堆積後の塩分溶脱の影響を受けることもわかってきた<sup>1)</sup>。さらに塩分溶脱を受けた粘土が依然として高位の構造を有していることも知られている<sup>2)</sup>。このような有明粘土の特性を明らかにするためには、まず堆積当初における有明粘土の構造および強度特性、圧縮特性を調べる必要があると考えた。本報告では、上述の事柄を明らかにすることを目的として、有明粘土を完全に攪乱することによって堆積当時の状況を再現し、その後の時間経過に伴う強度回復を調べたものである。

**2. 強度回復特性に関する実験** 実験には佐賀空港造成地(G.L. 3m)から採取した有明粘土( $\rho_s=2.683\text{g/cm}^3$ ,  $w_c=130\%$ ,  $w_i=100\%$ ,  $w_r=44\%$ , 塩分濃度 $10\text{g/L}$ )を用いた。試料は未処理のものと、試料を繰り返し圧密脱水させることによって塩分希釈処理を行い、蒸留水により自然含水比 $w_n$ と同等の含水比に調整(初期含水比 $w_i=130\%$ ,  $w_r=80\%$ ,  $w_n=40\%$ , 塩分濃度 $1\text{g/L}$ )したものの2種類準備した。これらの試料はミキサーに入れて10分間攪拌することにより完全に練返しを行った後、モールド(内径 $\phi=6.7\text{cm}$ ,  $H=5.0\text{cm}$ )に速やかに詰め、その上からラップでシールした後、ビニール袋に入れて水中で保存した。せん断試験はペーン試験機により(せん断速度 $3^\circ/\text{min}$ .)実施した。試験終了後、含水比、塩分濃度、電気伝導率およびpHを測定し、時間の経過にともなう各試料の初期条件に変化がないかをチェックした。

図-1に経過時間の異なる粘土のペーン試験結果を示す(塩分濃度 $10\text{g/L}$ ,  $I_L=1.5$ )。図-2は塩分濃度を $1\text{g/L}$ に低下せしめた試料についての実験結果である。図-3に練返し強さ $c_{ur}$ (曲線のピーク強さ)と経過時間の関係を示している。図-1に見られるように、塩分を含んだ粘土では完全攪乱によって粘土構造を十分破壊させた場合の $c_{ur}$ は $0.1\text{kN/m}^2$ であり、時間経過とともに $c_{ur}$ の値は大きくなる。ペーン回転角度が $90^\circ$ まで進むと強度は急激に低下し、攪乱直後の強度に向かう傾向を示している。図-3に見られるように、攪乱後の時間経過に伴う強度回復はおよそ $10,000\text{min}$ .までは急速に進んでおり、その後緩やかな強度回復を示す。このことは、塩分溶脱した試料の強度回復特性との比較でわかるように、海水中で堆積する有明粘土は比較的短い時間内に安定した堆積構造に達する特性を有することを示している。完全に乱された粘土は時間経過とともにその粒子間力は安定した状態に落ち着くが、塩分を含んだ有明粘土では図-3のデータからみてその粒子間力はおよそ $100,000\text{min}$ .を経過した頃にはほぼ定常状態に達しているものと推定される。実験を行った粘土の到達強度は双曲線法による解析の結果、未処理粘土の $c_{ur}=0.58\text{kN/m}^2$ であり、溶脱粘土の $c_{ur}=0.24\text{kN/m}^2$ であった。

**3. 不攪乱有明粘土の強度に関する検討** 図-3で示した粒子間力による強度に対して、不攪乱粘土の非排水せん断強さ $c_u$ は、図-4<sup>3)</sup>にプロットしたようにおよそ $10\text{kN/m}^2$ であった。先に述べた粒子間力だけによる粘土の非排水せん断強さ( $=c_{ur}$ )は、実験結果から推定される値として $0.6\text{kN/m}^2$ 程度であると推定される。この2つの強度の差が、堆積後に発達したセメンテーションによる強度成分であると見なすことができる。つまり、実験を行った粘土では非排水せん断強さの内およそ9割強がセメンテーションによる強度であり、残りが粒子間力

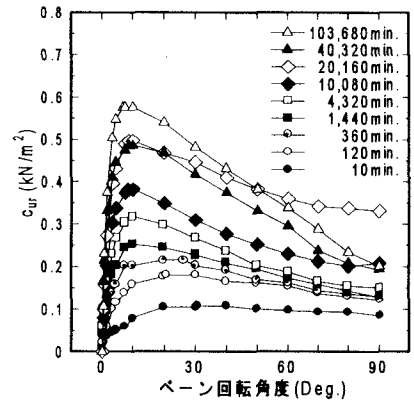


図-1 経過時間の異なる未処理粘土のペーン試験結果

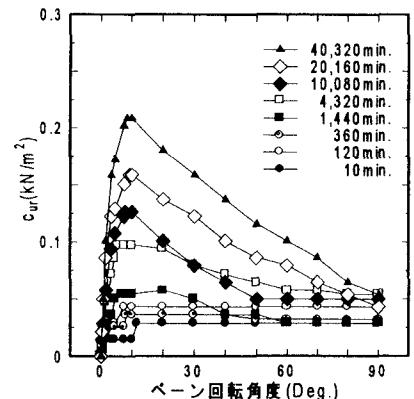


図-2 経過時間の異なる溶脱粘土のペーン試験結果

による強度成分であると推論される。

図-4に示した粘土の強度を図-5のコンシステンシー特性と粘土のせん断強さとの関係<sup>4)</sup>に照らして考察する。粘土が $I_L=1$ であることは図-5に示すように流体状になる境界であり、そのときのせん断強さは $2\text{ kN/m}^2$ である<sup>5)</sup>。しかるに、図-4の有明粘土の強度は $I_L=1.0\sim 1.6$ の間に分布しているにも関わらず $c_u=2\sim 20\text{ kN/m}^2$ という大きな値を示している。このような $c_u$ を示すのは、先に述べたようにセメンテーションに起因する強度であり、このことが有明粘土の特異な性質の1つであるといえよう。

**4. 考察** 有明粘土は堆積後間もなく、比較的安定した堆積構造を持つに至ると考えられる。堆積時の高い間隙比状態が維持されていることの1因がここにある。その後、粒子間にセメンテーションが発達し、高い間隙比状態を保ったまま上から堆積する上載荷重に耐えてきたものと推定される。図-4において、黒丸で示される下部粘土は平均堆積深さ20mであるが、間隙比は2.5～3.0を保っている。このような高い間隙比状態は、通常の粘土の土被り圧と間隙比との関係とはかなり異なるのである。先の研究において、図-4に示した下部粘土はある程度塩分溶脱が進んでいることがわかっている<sup>6)</sup>。塩分溶脱すると、図-3に示したように構造が不安定化して間隙比も土被り圧に見合う値に減少するが、実際には上述のように高い間隙比状態にある。この現象については、塩分溶脱に伴う塩分濃度の低下が海成粘土中の貝殻を溶解し、これが粒子間セメンテーションに寄与しているという観点から現在検討を進めているところである。

## 5. 結論

- 1) 有明粘土を完全攪乱して堆積直後の状態を再現させ、その強度回復を調べた結果、非常に早く強度回復することがわかった。
- 2) 完全攪乱後、およそ100,000min. 経過した粘土の非排水せん断強さをもって粒子間力による粘土強度を推定した。実験試料の場合に、その値は $0.6\text{ kN/m}^2$ 程度であった。
- 3) 上述した不攪乱粘土の非排水せん断強さは、およそ $10\text{ kN/m}^2$ であった。したがって、この粘土の強度の大部分が堆積後のセメンテーションによって生じたものであると推論された。
- 4) 塩分を溶脱した粘土の強度回復速度は著しく遅く、かつその絶対値も小さい。塩分濃度 $10\text{ g/L}$ を $1\text{ g/L}$ に溶脱することによって、粒子間力に起因するせん断強度は、1/3程度に低下することがわかった。

**参考文献** 1)三浦ほか：土木学会論文集，No. 541/Ⅲ・35，pp. 119-131，1996. 2)赤峰ほか：第31回地盤工学研究発表会講演概要集，2分冊の1，pp. 595-596，1996. 3)山口ほか：農業土木試験場報告，第2号，pp. 509-566，1964. 4)嘉門ほか編：新体系土工学16，技報堂出版，pp. 87-97，1988. 5)Nagaraj et al. : Wiley Eastern Ltd, pp. 106-123，1994. 6)藤川ほか：第13回土質工学研究発表会講演集，pp. 125-128，1978. 7)Nakamura et al. : Environmental Geotechnics and Problematic Soils(Balasubramanian et al. -editors), A. A. BALKEMA, pp. 533-544，1988.

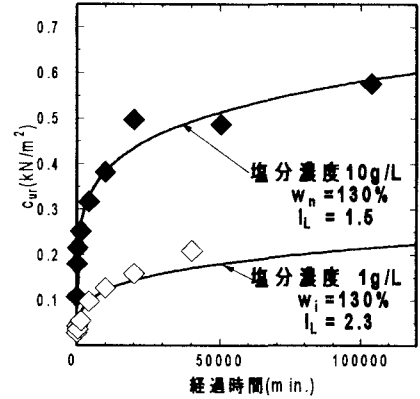


図-3 繰返し強さ（ピーク強さ）と経過時間の関係

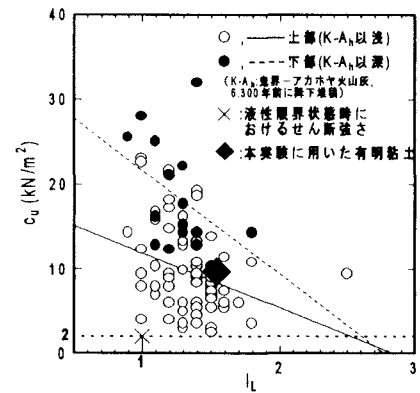


図-4 不攪乱有明粘土の非排水せん断強さと液性指数の関係

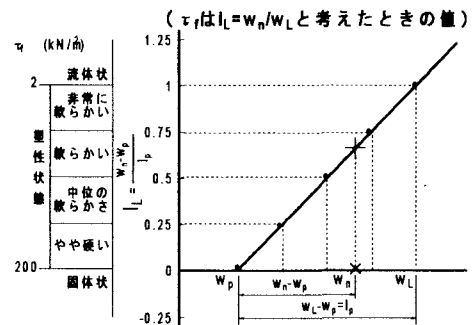


図-5 粘土のせん断強さとコンシステンシー特性の関係