# 粘土の膨張挙動に見られるひずみ速度依存性の一考察

港湾空港技術研究所	正会員	渡部要一	
小林ソフト化研究所	正会員	小林正樹	
関西国際空港	正会員	江村 剛	
応用地質	正会員	宇高 薫,渡部 有	

## 1.はじめに

筆者らは,これまで大阪湾粘土に対する一連の圧密試験結果を基に,長期圧密特性を表現するシンプルなモデル を構築してきた(Watabe ら,2008). 地盤の様々な挙動を再現するためには,載荷による沈下挙動だけでなく,除 荷に伴う膨張挙動,ひいてはその後の再沈下挙動に至るまで表現できるように,同モデルを拡張していく必要があ る.そこで本研究では,除荷膨張挙動のひずみ速度依存性について調べることを目的とし,圧密試験中に除荷試験 を行い,除荷膨張特性ならびに膨張過程におけるひずみ速度の影響について検討した.

## 2.試験方法

試験には,大阪湾粘土 Ma12の乱れの少ない試料( $\rho_t = 1.52$ g/cm<sup>3</sup>,  $w_0 = 75$ %,  $\rho_s = 2.65$  g/cm<sup>3</sup>,  $I_p = 63$ ,  $\sigma'_{v0} = 281$  kPa,  $p_c = 430$ kPa)を使用し,装置としては重錘レバー式圧密試験機を用い た.試験条件は既発表の方法(渡部ら,2009)を準用し,最大 圧密圧力に対する除荷後の載荷圧力 OCR をパラメータとして,

表	_	1	試験条	(牛
1.5			미시에지 기도	

OCR	$p_{\max}$	載荷時間	除荷後圧力	n /n
(目標)	(kPa)	(時間)	p (kPa)	$P \max' P$
1.3			686	1.26
2.0	863	24	431	2.00
5.0			177	4.88
10			78	11.1

1.3, 2.0, 5.0 および 10 の 4 種類とした (表 - 1 参照). 最大圧密圧力 p<sub>max</sub> は圧密降伏応力 p<sub>c</sub>の 2 倍として 24 時間載荷し, その後直ちに除荷し,約 30 日間の長期挙動を計測した.なお,試験中試料は水浸し,室温 20 を保持した.

#### 3.除荷膨張挙動

最大圧密圧力載荷から除荷に至る一連の状況を示すものとして,ひずみの経時変化を図-1 に示す.各試験ケースで供試体はそれぞれ異なるが,除荷操作までの圧密曲線は概ね等しいと言える.除荷膨張過程のひずみの経時変化を図-2 に示す.除荷量が大きいほど膨張ひずみが大きく,OCR10のケースで3.2%程度の膨張が確認できる.また,全てのケースにおいて,計測期間内に再沈下挙動が認められるが,それまでの膨張継続時間についても,除荷量が大きいほど長くなっている.

### 4.ひずみ速度に着目した整理

除荷膨張挙動について, ひずみ速度に着目した整理を行った.図-3 は, 圧密曲線を整理する際に一次圧密終了 後を目安にしたように,図-2 に示した膨張過程で変化が緩やかになった後(例えば,OCR10 のケースで 10 分以 降)のひずみ速度を読み取り,  $\varepsilon \sim \log(p'/p'_{max})$ 関係にプロットしたものである.図-3から,OCR すなわち除荷量が 大きくなる( $p'/p'_{max}$ が小さくなる)につれて,等ひずみ速度を示す曲線で各々の勾配が異なり,除荷量が大きいほ ど開きが認められる.これは,除荷時の応力~ひずみ曲線の勾配 $\Delta \varepsilon / \Delta (\log p')$ が,OCR に依存して変化することによ るものと考えられる.参考までに,同じ試料を用いて別途実施した,除荷過程の途中でひずみ速度を変えた定ひず み速度圧密試験結果(以下,CRS 試験;渡部ら,2010)を併記している.これら手法の異なる試験結果は必ずしも 合致しないが,CRS 試験による曲線は下に凸であり,かつ,ひずみ速度を変えたことにより曲線がシフトする(横 軸方向にずれる)現象が確認できる.また,わずかな除荷に相応する $p'/p'_{max} = 0.79$ において,発生しているひずみ 量に差が見られるが,これは試験方法が異なるため除荷直後のひずみ速度が異なることによるものと考えられる. すなわち,CRS 試験では変位制御により $3.3 \times 10^{-5}$  s<sup>-1</sup>にて除荷されるのに対し,重錘式では圧力を瞬時に除荷する ため $10^{-5}$  s<sup>-1</sup>オーダーより速い速度となっている.そこで,種々の定ひずみ速度で除荷するCRS 試験を実施した.

キーワード 除荷,ひずみ速度,アイソタック 連絡先 〒331-8688 埼玉県さいたま市北区土呂町2-61-5,応用地質(株),TEL.048-652-0651.

当該試験では,3.3×10<sup>-7</sup> s<sup>-1</sup>にて圧力が2p。まで圧 縮後,所定のひずみ速度 (3.3×10<sup>-9</sup> s<sup>-1</sup>)に達する までクリープさせ,3種 類のひずみ速度で除荷 した.図-4は,大阪湾 粘土 Ma13の再構成試料 を用いた試験結果の一 例(除荷速度: 3.3×10<sup>-7</sup> s<sup>-1</sup>)である 図 - 5 には, このケースの  $C_{\rm s}$  (=  $\Delta e / \Delta (\log p')$ )と圧密圧力 との関係を示した.圧縮 時の C<sub>c</sub> = 0.7 程度に対し て C<sub>s</sub>は 0.02~0.04 とき わめて小さいものの,圧 力減少とともに増加傾 向にある.

図 - 6 は, これよりも 1 オーダーずつひずみ速 度を増減させた試験結 果とともに,膨張時のε ~ logp'曲線に重ねたも のであるが,除荷時の定 ひずみ速度の設定が異 なっても,膨張時のε~ logp'曲線に差異は認め



られない.このことは, 図-5 膨張時のΔε/(Δlogp')~logp'関係 図-6 種々のひずみ速度による膨張曲線 除荷開始直後から一定のひずみ速度で膨張させると,同一の膨張曲線となることを示唆している.

## 5.まとめ

結果を総括すると, 膨張ひずみの経時変化は除荷レベル(OCR = p'max/p')に依存し, 除荷途上で速度を変更 すると膨張曲線がひずみ速度に応じて遷移するアイソタック型の挙動が見られるものの, 除荷開始時から定ひず み速度で除荷すると膨張曲線にひずみ速度の依存性は認められない.このことから 除荷開始直後のひずみ速度が, 相対的なひずみ速度依存性を記述するアイソタックモデル(ひずみ速度に応じて相対的な位置関係が規定された膨 張曲線群)の絶対的な位置を支配していることが示唆される.これらの実験事実から,除荷膨張挙動にアイソタッ ク概念を適用するためには,圧力に依存する弾性成分の適切な評価と,除荷開始直後のひずみ速度の影響について, さらに明らかにする必要がある.今後は,膨張挙動をより顕著に確認できるモンモリロナイト系粘土で同様の試験 を行い,引き続き検討していく予定である.

謝辞:本研究は関西国際空港用地造成(株)と(独)港湾空港技術研究所との共同研究として実施された.関係各位に感謝の意を表します. 参考文献: 1) Watabe et al. (2008): Strain rate effect on long-term consolidation of Osaka Bay clay, *Soils and Foundations*, 48(4), 495–509.; 2) 渡部ら(2009): 圧密途上での有効応力減少がその後の沈下挙動に及ぼす影響,第44回地盤工学研究発表会, 221–222.;
3) 渡部ら(2010): 大阪湾粘土の除荷膨張過程に見られるひずみ速度依存性について,第45回地盤工学研究発表会(投稿中).