

ベントナイト系難透水性材料に対する透水・圧密試験時間短縮の試み

鹿島技術研究所 正会員 ○畔柳幹雄*,正会員 岡本道孝,正会員 笹倉 剛

1. はじめに

難透水性材料の水利・力学特性を把握する場合,試験期間が長期に渡るため,試験時間の短縮が望まれる。締固めベントナイトのような透水係数が $10^{-10} \sim 10^{-11}$ (cm/sec) オーダーの難透水性材料の透水係数の測定は,加圧法による定水位透水試験で実施した場合,定常状態の透水係数を得るのに少なくとも1ヵ月程度の試験期間を要する。また,標準圧密試験を実施した場合でも,間隙水圧の消散速度が遅く,1ヵ月程度の試験期間が必要である。本報文では試験時間の短縮策として,フローポンプ法による透水試験,及び定ひずみ圧密試験をとり挙げて,難透水性材料への適用性を検討した結果を報告する。

2. 試験概要

(1) 透水試験: フローポンプ法は, OLSEN¹⁾ が提唱した方法に則って実施した。この方法は, 供試体の一端から一定流量の流体を注入した時の供試体両端の水頭差を測定するものである。水頭差が一定となる定常状態では, 定水位法と同様に定常透水係数を得ることができるが, 注入初期段階の非定常状態であっても, MORIN らや ESAKI らによる非定常解を適用することにより, 定常状態での透水係数を求めることができ, 試験時間の短縮が可能となる。²⁾ ここでは, フローポンプ法の比較対象として $7 \sim 8 \text{ kgf/cm}^2$ で加圧通水した加圧法による透水試験を同じ供試体で実施した。

表-1 供試体の諸元

(2) 圧密試験: 定ひずみ圧密試験は JGS 0412-2000 に則り, ひずみ速度 $0.002 \sim 0.003\%/min$ で試験を行った。また, 透水試験と同様に, 定ひずみ圧密試験の比較対象として, 段階載荷による圧密試験(標準圧密試験)を JGS0411-2000 に則り実施した。

(3) 供試体諸元: それぞれの試験に用いた供試体の諸元を表-1 に示す。透水試験には Na 型ベントナイト(クニゲル V1) で乾燥密度の異なる2つの締固め供試体(1-1, 2)を, また圧密試験には, Na 型, 及びこれを Ca^{2+} イオンでイオン交換した Ca 型化ベントナイトで作成した締固め供試体を各々2つずつ(2-1, 2 及び 3-1, 2)用いた。

供試体 No.	ベントナイトの種類	適用	湿潤密度 (Mg/m^3)	初期含水比 (%)	乾燥密度 (Mg/cm^3)	直径 (cm)	高さ (cm)	質量 (g)
1-1	Ca型化	加圧法	1.639	7.98	1.518	4.0	2.0	41.1
1-2		フローポンプ法	1.566	7.98	1.450	4.0	2.0	39.4
2-1	Na型	標準	1.220	7.00	1.141	6.0	2.0	69.0
2-2		定ひずみ	1.251	9.45	1.143	6.0	2.0	70.8
3-1	Ca型化	標準	1.549	9.00	1.421	6.0	2.0	87.6
3-2		定ひずみ	1.579	9.10	1.448	6.0	2.0	89.7

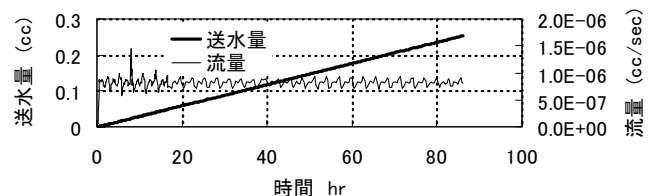


図-1 流量、送水量の経時変化

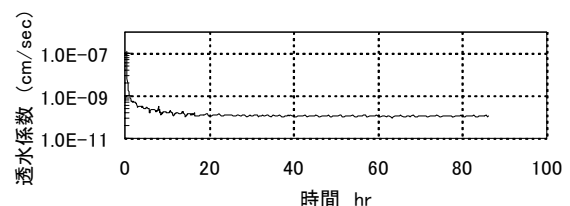


図-2 送水圧の経時変化

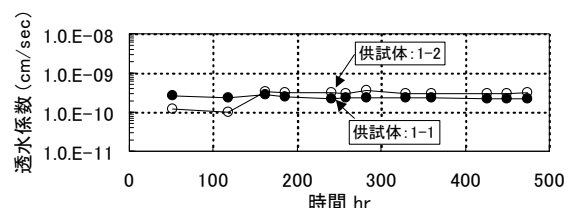


図-3 加圧法透水試験例

3. 試験結果

(1) フローポンプ法及び加圧法による透水試験の比較

図-1, 2 にフローポンプ法での注入流量, 透水係数の経時変化を, また比較のため, 図-3 に加圧法での透水係数の経時変化を示す。フローポンプ法による透水試験での供試体への注入流量は約 8.2×10^{-7} (cc/sec) 一定とした。図-2 から経過時間約 30hr で透水係数は一定となり, この時点でほぼ定常状態になっていることが確認できる。一方, 加圧法では透水係数が定常値に達するのに 200hr 程度必要であった。

キーワード: 透水試験, 圧密試験, ベントナイト

連絡先: 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 Tel. 0424-89-7067 Fax. 0424-89-7034

次に表-2 にフローポンプにより得られた試験結果を、図-4 にフローポンプ法及び加圧法で得られた透水係数の比較結果を示す。フローポンプ法は試験開始後3～

4 日後、一方、加圧法では試験開始後約 50 日での定常透水係数を示した。フローポンプ法による透水係数は $9.73 \times 10^{-11} \sim 1.56 \times 10^{-10}(\text{cm/sec})$ 、加圧法による透水係数は $2.26 \times 10^{-10} \sim 3.04 \times 10^{-10}(\text{cm/sec})$ で、両者の結果はほぼ一致することが分かる。したがって、定常状態であれば両試験法は同程度の定常透水係数を与えることが確認できた。

今後はフローポンプ法で非定常状態での透水係数の妥当性を確認し、試験期間短縮の可能性を検討したい。

(2) 定ひずみ及び標準圧密試験結果の比較

図-5,6 に、定ひずみ及び標準圧密試験の $e-\log p$ 曲線を、図-7 に供試体 2-1,2 の c_v-p 及び m_v-p の関係を示す。試験期間は、標準圧密試験では約 1 ヶ月、定ひずみ圧密試験では約 3～4 日であった。図-5,6 より、 $e-\log p$ 曲線に関しては、定ひずみ圧密試験の結果が標準圧密試験結果よりも若干上側に位置しているが、これは初期間隙比の差が原因と考えられ、両者の P_c, C_c 及び $e-\log p$ 曲線はほぼ同様の傾向を示していると考えられる。また、図-7 より、供試体 2-1 の c_v 及び m_v は、平均圧密応力が 500 kN/m^2 を越えたあたりで値がばらついているが、これは次の原因によると考えられる。a) ひずみ速度を $0.002 \sim 0.003\%/ \text{min}$ と通常速度の $1/10$ 程度と非常に小さくしたため、ひずみ速度一定とするのが精度上困難であった。b) 難透水性材料であるため、ひずみ速度を小さく設定したが、試験中に供試体内の過剰間隙水圧が十分に消散しきれず、過大な間隙水圧が発生した。c) 間隙水圧を測定する系が体積変化を起こした場合、透水係数が小さいために応答に遅延が生じ、同一の間隙比で圧密応力が過大評価になっている可能性がある。

今後はこれらの問題点を改善して行くことで、定ひずみ圧密試験の試験結果の信頼性向上を図りたい。

4. あとがき

締固めベントナイトに対して、フローポンプ法による透水試験、及び定ひずみ圧密試験を行った。その結果、基本的な適用性については確認ができたものの、精度を高める上での課題が明らかとなった。今後は問題点の改善を図り、データの信頼性向上に努める予定である。

<参考文献>

- 1) Olsen, H.W.(1965): Deviations from Darcy's law in saturated clays, Soil Science Society of American Proceedings, Vol.29, No.2, pp.135-140.
- 2) 亀谷祐志, 平山伸行, 船戸明雄: 難透水性岩へのフローポンプ透水試験法の適用, 第 31 回岩盤力学に関するシンポジウム, 2001 年 1 月, 東京.

表-2 フローポンプ法の試験結果

供試体	送水圧 p (kN/m^2)	流量 Q (cc/sec)	動水勾配 I	温度 T ($^{\circ}\text{C}$)	透水係数 k (cm/sec)
1-1	$5.25\text{E}+01$	$8.20\text{E}-07$	$2.63\text{E}+02$	20.0	$9.73\text{E}-11$
1-2	$3.28\text{E}+01$	$8.20\text{E}-07$	$1.64\text{E}+02$	20.0	$1.56\text{E}-10$

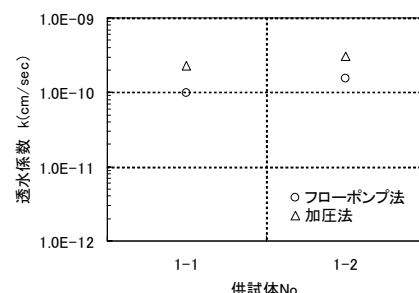


図-4 フローポンプ法と加圧法の比較

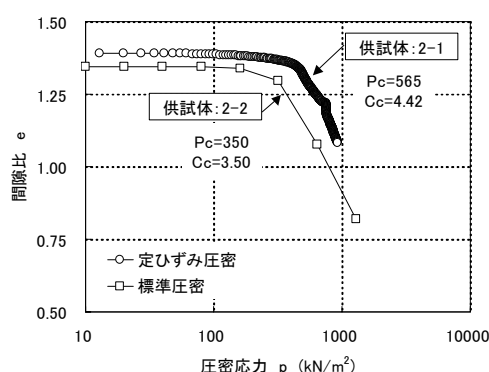


図-5 $e-\log p$ 曲線の比較 (Na 型)

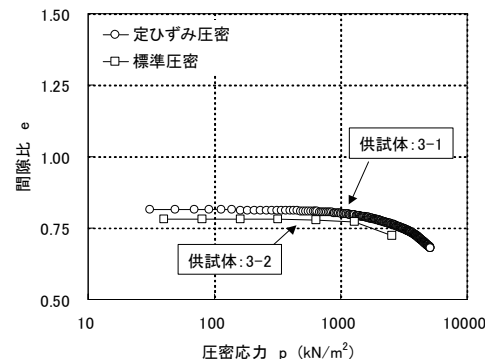


図-6 $e-\log p$ 曲線の比較 (Ca 型化)

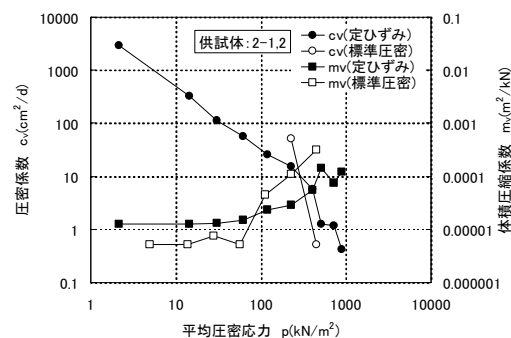


図-7 c_v, m_v-p_m の比較 (Na 型)