

大阪市舞洲の被圧帯水層の地下水位変動による洪積粘土層の繰返し圧密挙動

大阪市立大学大学院 ○学 天満脩平 学 武野航大 正 大島昭彦

1. まえがき

大都市が位置する沖積平野の足元には熱的な利用価値が高い帯水層が存在する。「帯水層蓄熱利用システム (ATES)」では、空調機の夏の温排熱、冬の冷排熱を帯水層に蓄熱し、それぞれ冬の暖房、夏の冷房に利用することで大幅な CO₂削減と省エネルギー効果が期待できる¹⁾。この考えの下、大阪市此花区舞洲 (人工島) で複数帯水層を揚水・還水する熱源井の構築の実証実験を行っている。ただし、揚水・還水によって帯水層の地下水位が変動するため、地盤沈下リスクの回避が必要となる。そこで、深度 150m のパイロットボーリングを行い、洪積粘土 (Ma12, Ma11, Ma10) 層の乱れの少ない試料をサンプリングしてその地盤性状を調べた^{2)~4)}。

本稿では、複数の帯水層で想定される地下水位変動による繰返し荷重をそれらの上下にある洪積粘土層に与えた繰返し圧密試験を行い、その繰返し圧密挙動を調べた結果を報告する。

2. 繰返し圧密試験方法

図-1 に大阪市舞洲の土質柱状図を示す。熱源井の実証実験では、複数帯水層として第 2 洪積砂礫層 (Dg2)、第 3 洪積砂礫層 (Dg3) を対象としたので、両層の上下にある洪積粘土層 (Ma12, Ma11, Ma10) を沈下対象層とした。ただし、Ma11 層は上部 (Ma11_U) と下部 (Ma11_L) の間に砂層を挟んでいるので、独立した層として扱った。

熱源井から地下水を揚水・還水することによって生じる地下水位変動による繰返し荷重が圧密挙動に与える影響を調べるために、Ma12 層、Ma11 層ではそれぞれ 6 ケース (各ケース 5 供試体、計 30 個)、Ma10 層では 5 ケース (各ケース 5 供試体、計 25 個) の繰返し圧密試験を実施した。

表-1 に繰返し圧密試験条件を示す。各ケースの供試体深度を図-1 に●で示す。圧密は時間短縮のために、Ma12, Ma11_U 層は圧密圧力 $p=39.2, 78.5, 157\text{kN/m}^2$ を 2 時間、 $p=314\text{kN/m}^2$ を 11 時間、有効土被り圧 p_0 で 1 日 載荷した後、 p_0 の下で所定の繰返し載荷を行った。Ma11_L 層、Ma10 層は圧密圧力を先の 2 倍の $78.5\sim 628\text{kN/m}^2$ とし、同様の試験を行った。繰返し載荷時間 Δt は繰返し載荷を 1 日で終えるために便宜的に 12 分 (載荷 6 分、除荷 6 分) とした。ただし、別途 Δt の影響も調べている⁵⁾。各ケースとも

表-1 繰返し圧密試験条件

Case	粘土	地下水位変動量 $\Delta W L$ (m)	繰返し荷重 Δp (kN/m ²)	供試体 深度(m)	有効土被り圧 p_0 (kN/m ²)	繰返し載荷 時間 Δt	繰返し 回数
1	Ma12	± 1	± 9.8	52.2~52.3	467	12min (載荷 6min, 除荷 6min)	100
2				53.5~53.6	474		
3				55.0~55.1	482		
4				56.9~57.0	489		
5				58.5~58.6	505		
6				61.7~61.8	535		
7	Ma11_L	± 1	± 9.8	77.5~77.6	690		
8		± 2	± 19.6	82.4~82.5	731		
9	Ma11_U	± 4	± 39.2	88.5~88.6	783		
10		± 7	± 68.7	91.5~91.6	801		
11		± 10	± 98.1	94.4~94.5	822		
12				98.4~98.5	853		
13	Ma10			129.6~129.7	1164		
14				132.6~132.7	1182		
15				135.8~135.9	1200		
16				138.6~138.7	1214		
17				141.6~141.7	1229		

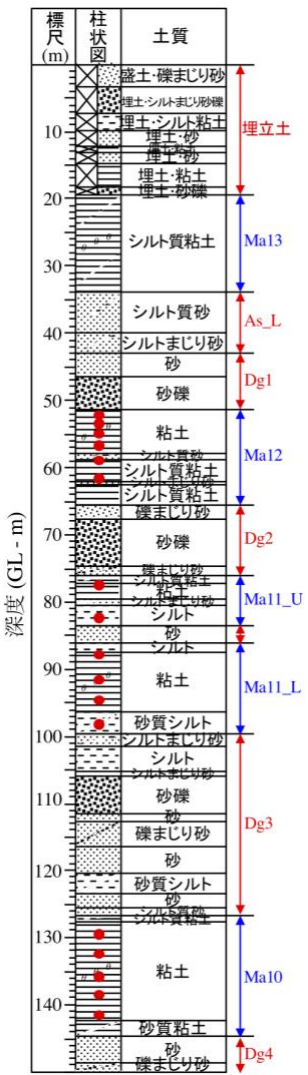


図-1 舞洲の土質柱状図

Key Words : 帯水層, 地下水位低下, 洪積粘土, 繰返し圧密, 時間効果

〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 TEL 06-6605-2996 FAX 06-6605-2726

地下水位変動量 ΔWL を $\pm 1, 2, 4, 7, 10\text{m}$ に想定したので、繰返し荷重 Δp は $\pm 9.8, 19.6, 39.2, 68.7, 98.1\text{kN/m}^2$ とした。試験機は空圧式の全自動圧密試験装置を使用した。

3. 繰返し圧密試験結果

図-2に代表例としてCase4 (Ma12層中央付近)とCase7 (Ma11_U層上部)の繰返し圧密試験から得られたひずみ ε - $\log p$ 関係を示す。 ε は有効土被り圧 p_0 時を原点としている。図には繰返し圧密試験の供試体に近い深度で実施した段階荷重圧密試験の ε - $\log p$ 関係も重ねて示している。地下水位変動量 ΔWL が大きいほど、 ε が蓄積していくことがわかる。ただし、 ΔWL が $\pm 1 \sim 4\text{m}$ までであれば、繰返しによる ε の蓄積は小さい。 ΔWL が $\pm 10\text{m}$ となると、 ε の蓄積は顕著となり、100回の繰返しによってCase4では2.6%、Case7では1.2%程度のひずみが生じている。

図-3にCase4, 7, 11, 15 (それぞれMa12, Ma11_U, Ma11_L, Ma10層)のひずみ ε と繰返し回数 N の関係を示す。全

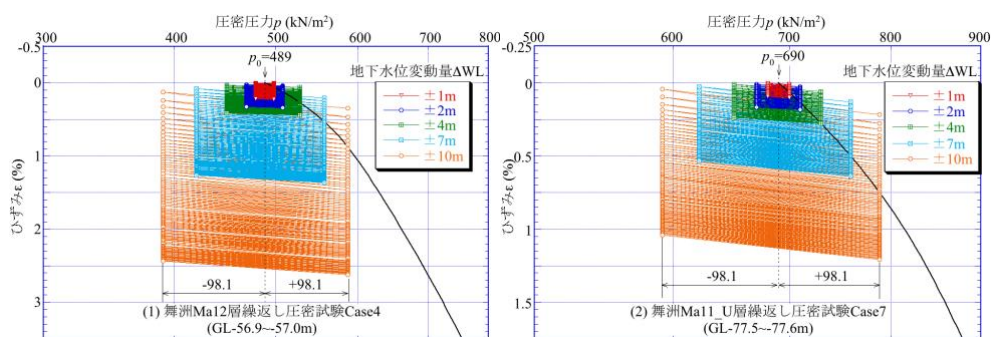


図-2 繰返し圧密試験の ε - $\log p$ 関係 (Case4, 7)

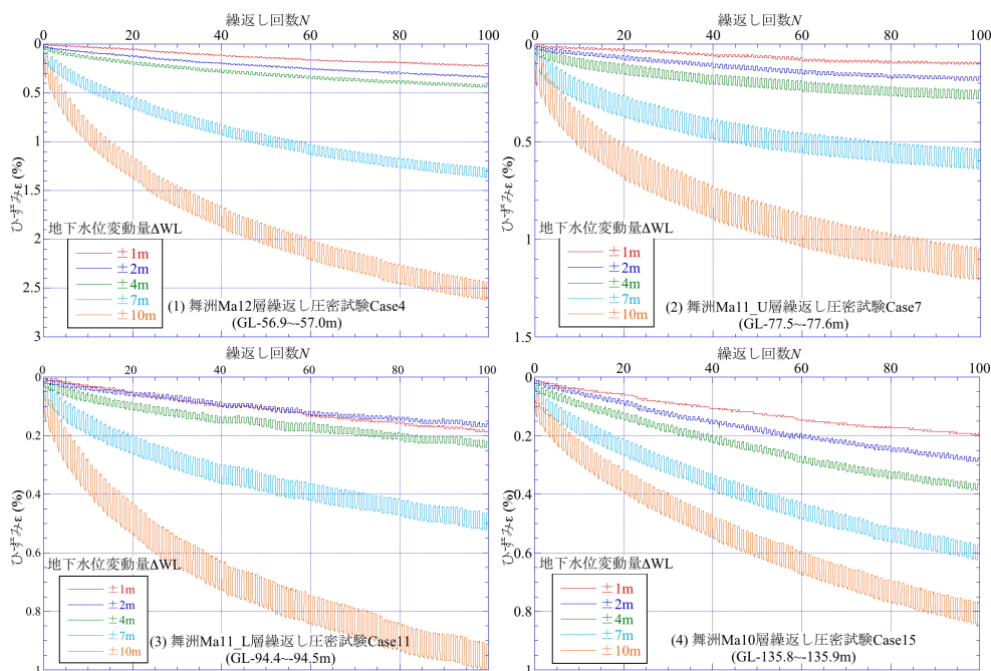


図-3 繰返し圧密試験により得られた ε - $\log N$ 関係 (Case4, 7, 11, 15)

体に深い深度にある洪積粘土層ほど生じる ε は小さくなっている。図-3(1)のMa12層の $\Delta WL = \pm 1 \sim 4\text{m}$ では ε は小さく、弾性変形を示すが、 $\pm 7\text{m}$ 以上となると繰返しとともに ε が大きく蓄積している。図-3(2), (3)のMa11_U, Ma11_L層でも同様の傾向が見られる。これらより ΔWL が大きくなると、繰返しによって塑性変形が生じて ε が蓄積していくことがわかる。一方、図-3(3)のMa11_L層及び図-3(4)のMa10層の $\Delta WL = \pm 1 \sim 2\text{m}$ では ε は小さいものの、弾性変形と言い難く、繰返しによって少しずつ ε が蓄積する傾向が見られる。これは、同様な試験を行ったうめきた2期地区⁶⁾とは異なる傾向である。特に、図-3(4)のMa10層の $\Delta WL = \pm 1 \sim 4\text{m}$ の ε は、 $\pm 7 \sim 10\text{m}$ に比べて相対的に大きい(Ma11_L層よりも大きい)。これらは、舞洲のMa11, Ma10層の過圧密性が低い⁴⁾ことによると考えられる。

以上の結果を踏まえて、Dg2, Dg3層の複数帯水層の揚水・還水(W-ATES)によって生じるMa12, Ma11, Ma10層の沈下量の予測は別報7)を参照されたい。

最後に、本研究はH30年度環境省CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業「複数帯水層を活用した密集市街地における業務用ビル空調向け新型熱源井の技術開発」(研究代表者:佐藤達哉)で行ったことを付記する。

参考文献

- 河合・他：大阪市域における地盤環境に配慮した地下水の有効利用に関する検討，第52回地盤工学研究発表会，No.1066，2017。
- 大島・他：大阪市舞洲における地盤調査(その1：ボーリング調査結果)，土木学会第74回年次学術講演会(投稿中)，2019。
- 糟谷・他：大阪市舞洲における地盤調査(その2：Ma13層とMa12層の土質特性)，土木学会第74回年次学術講演会(投稿中)，2019。
- 田中・他：大阪市舞洲における地盤調査(その3：Ma11層とMa10層の土質特性)，土木学会第74回年次学術講演会(投稿中)，2019。
- 天満・他：地下水位変動を受ける洪積粘土層の繰返し圧密特性を考慮した沈下予測，土木学会第72回年次学術講演会，III-182，2018。
- 末吉・他：うめきた2期地区の沖積，洪積粘土層の繰返し圧密挙動，第52回地盤工学研究発表会，No.0386，2017。
- 武野・他：大阪市舞洲の被圧帯水層の地下水位変動による洪積粘土層の沈下量予測，土木学会第74回年次学術講演会(投稿中)，2019。