

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

大阪市立大学大学院 ○学 武野航大 学 天満脩平 正 大島昭彦

1. まえがき

大阪市此花区舞洲（人工島）で複数の被圧帯水層（洪積砂礫 Dg2, Dg3 層）を揚水・還水する熱源井の構築（W-ATES）の実証実験を行っている。W-ATES の熱源井は Dg2, Dg3 層で揚水と還水を入れ替えるので、洪積粘土層には沈下と膨張が同時に生じ、地盤沈下の抑制が期待される。そこで、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¹⁾³⁾、さらに、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⁴⁾。

本稿では、洪積粘土層の繰返し圧密挙動を踏まえて W-ATES における地盤沈下量を予測した結果を報告する。

2. 帯水層の地下水位低下を持続した場合の沈下量の予測（静的な沈下量）

Dg2, Dg3 層の地下水位低下を持続した静的な沈下量予測は、Ma12, Ma11, Ma10 層の段階的圧密試験による圧密特性^{2),3)}を用いて行った。ただし、圧縮曲線は Δf 補正⁵⁾した f - $\log p$ 関係を用い、現状から地下水位を 0.5m ピッチで低下させた場合の有効土被り圧を与えて計算した。

図-1 に Dg2, Dg3 層の地下水位低下を持続した場合の静的な沈下量を示す。それぞれ Ma12 と Ma11_U, Ma11_L と Ma10 の合計沈下量となる。水位低下 2m では両者とも 1.5cm 程度、10m 低下ではそれぞれ 7.5, 9.5cm と予測された。

3. 繰返し圧密挙動に基づく沈下量の予測

ここで、W-ATES での地下水の季節間利用では、240 日サイクル（揚水 120 日、還水 120 日）で水位変動が生じる。したがって、圧密試験供試体の繰返し荷重時間 Δt_m は、実地盤の荷重時間 Δt_p (=240 日) に対して H^2 則を適用すると以下となる。

$$\Delta t_m = (H_m/H_p)^2 \times \Delta t_p = (H_m/H_p)^2 \times 240 \times 24 \times 60 \text{ (分)} \quad (1)$$

Ma12, Ma11, Ma10 層の繰返し圧密試験 17 ケース⁴⁾の供試体の平均深度から排水面深度までを排水距離 H_p とし、供試体の排水距離 $H_m = 0.01\text{m}$ に対して式(1)の H^2 則を適用すると、各ケースの換算時間 Δt_m は表-1 のようになる。実際の繰返し圧密試験は $\Delta t = 12$ 分で行ったので、 H^2 則を満足しない。

荷重時間の影響は尼崎 Ma12 層で調べている⁶⁾。図-2 に $\Delta t = 6, 12, 30, 60$ 分で行った繰返し圧密試験から得た地下水位低下量 ΔWL ごとの Δt と繰返し回数 $N=100$ 回のひずみ ε_f との関係を示す。当然ながら Δt が長くなるほど ε_f が大きくなる。この関係を ΔWL 毎に一次の回帰線（図の実線）で近似した。

そこで、図-2 の回帰線が舞洲にも適用できると仮定し、 ΔWL ごとに 12 分に対する Δt_m のひずみ ε_f 比率を求めると表-1 のようになる。 ε_f 比率は ΔWL によって若干変動したが、大差なかったため、平均値とした。排水面に近いほど Δt_m が大きくなるので、 ε_f 比率が大きくなる。よって、各ケースの ΔWL ごとの 12 分の ε_f にこの ε_f 比率を乗じて Δt_m における ε_f を求めた。

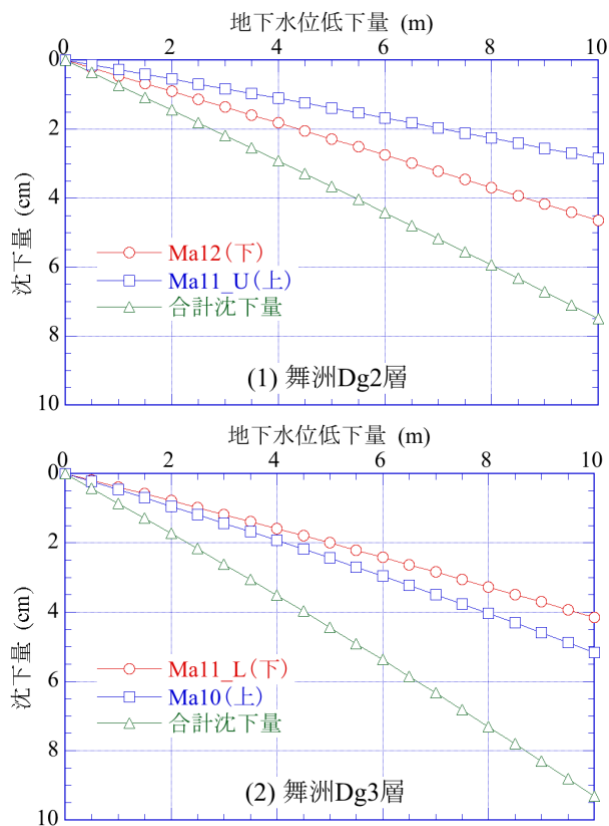
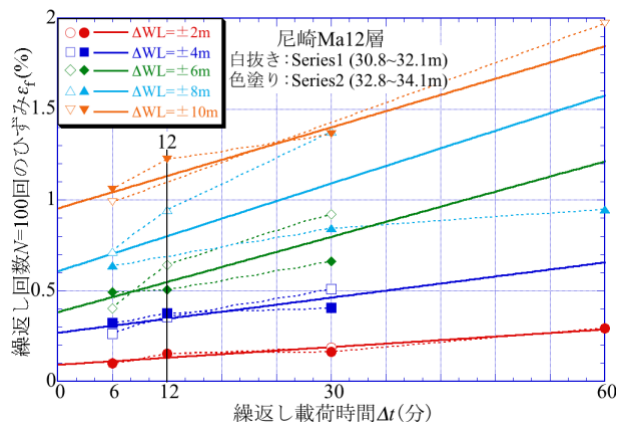


図-1 各帯水層の水位低下による地盤沈下量

図-2 繰返し荷重時間 Δt とひずみ ε_f の関係

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

〒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

図-3(1), (3)にそれぞれ Dg2, Dg3 層の地下水位変動による繰返し圧密挙動を考慮した沈下量を, 図-3(2), (4)に静的な地下水位低下による沈下量(図-1)との比較を示す。Dg2 層では Ma12, Ma11_U 層, Dg3 層では Ma11_L, Ma10 層の合計沈下量となる。Dg2, Dg3 層の $\Delta WL = \pm 2\text{m}$ の $N=100$ 回で, それぞれ 1.8cm, 3.9cm 程度の沈下量となる。 ΔWL が大きくなると, 繰返しによる沈下量の振幅が大きくなり, 沈下量が蓄積し, 塑性的な挙動を示している。Dg2, Dg3 層ともに繰返し変動の方が静的よりも沈下量は大きい。これは, 繰返し効果によって粘土の構造が破壊されていくためと考えられる。ただし, Dg3 層では $\Delta WL = \pm 1 \sim 4\text{m}$ の沈下量が過大となっているため, これまでの傾向⁶⁾とは異なり, ΔWL が小さい範囲で繰返し変動による沈下量が静的よりもかなり大きくなっている。これは Ma10 層での繰返しによるひずみが大きくなったためである⁴⁾。

3. W-ATES を想定した舞洲の沈下予測

まず, Dg2, Dg3 層から同時に揚水・還水する場合の地表面沈下量は, 先の図-3(1), (3)の沈下量を合算して図-4(1)のように示される。やはり ΔWL が大きくなるほど繰返しによる沈下量の振幅が大きくなり, 沈下量が蓄積していく。

一方, W-ATES では Dg2 層と Dg3 層の揚水・還水を入れ替える。Dg2 層からの揚水は Ma12 層と Ma11_U 層を沈下させるが, Dg3 層への還水は Ma11_L 層と Ma10 層を膨張させるので, 全体に沈下が抑制される。この場合の地表面沈下量を図-4(2)に示す。図-4(1)と比べると, 沈下量の振幅がごく小さくなる。これが沈下と膨張が共存する効果である。しかし, 沈下と膨張が共存しても繰返しによる沈下傾向は変わらないので, W-ATES の沈下量は図-4(1)の上限値と一致している。 $\Delta WL = \pm 1, 2\text{m}$ では, $N=100$ 回(100 年相当)でそれぞれ 3.0, 5.2cm 程度, $N=10$ 回(10 年相当)でそれぞれ 0.5, 1.0cm 程度の沈下量となる。ただし, 帯水層 1 層の場合と揚水量を同じとするなら, ΔWL は半分となるので, 沈下量も半減すると考えられる。

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

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 天満・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繰返し圧密挙動, 土木学会第 74 回年次学術講演会(投稿中), 2019.
- 5) 末吉・他: うめきた帯水層の地下水位低下による粘土層の沈下量予測, 土木学会第 72 回年次学術講演会, III-406, 2017.
- 6) 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

表-1 H^2 則による換算時間とひずみ ϵ_f 比率

Case	供試体 深度(m)	排水距離 H_p (m)	換算時間 t_m (分)	ひずみ ϵ_f 比率 (%)
1	52.2~52.3	0.97	36.36	149.3
2	53.5~53.6	2.26	6.77	89.4
3	55.0~55.1	3.80	2.40	80.6
4	56.9~57.0	5.65	1.08	77.9
5	58.5~58.6	7.01	0.70	77.1
6	61.7~61.8	3.81	2.38	80.5
7	77.5~77.6	1.74	11.41	98.8
8	82.4~82.5	1.21	23.60	123.5
9	88.5~88.6	2.54	5.36	86.5
10	91.5~91.6	5.54	1.13	78.0
11	94.4~94.5	5.26	1.25	78.2
12	98.4~98.5	1.26	21.77	119.8
13	129.6~129.7	2.82	4.35	84.5
14	132.6~132.7	5.81	1.02	77.8
15	135.8~135.9	8.88	0.44	76.6
16	138.6~138.7	6.01	0.96	77.6
17	141.6~141.7	3.01	3.81	83.4

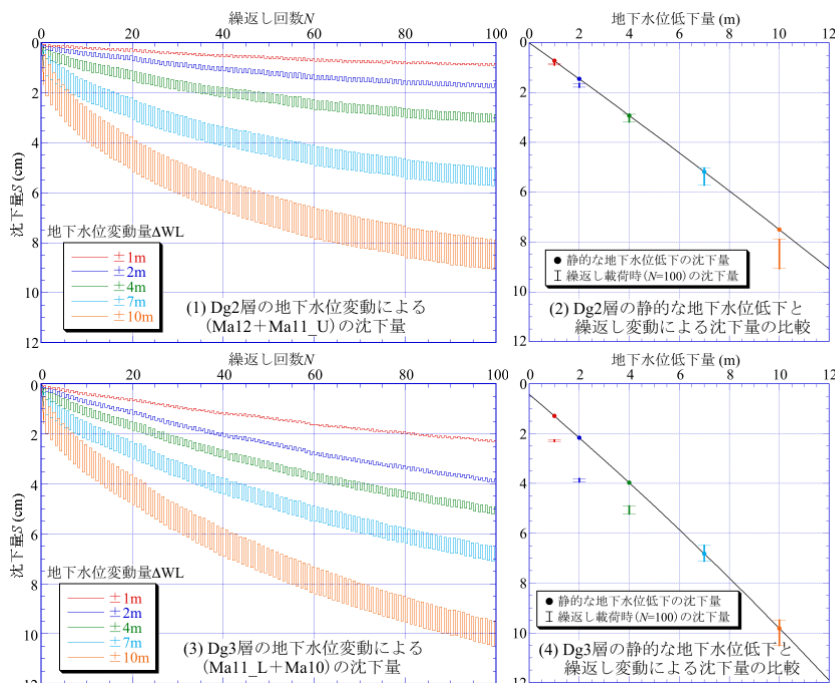


図-3 舞洲 Dg2, Dg3 層の地下水位変動による粘土層の沈下量

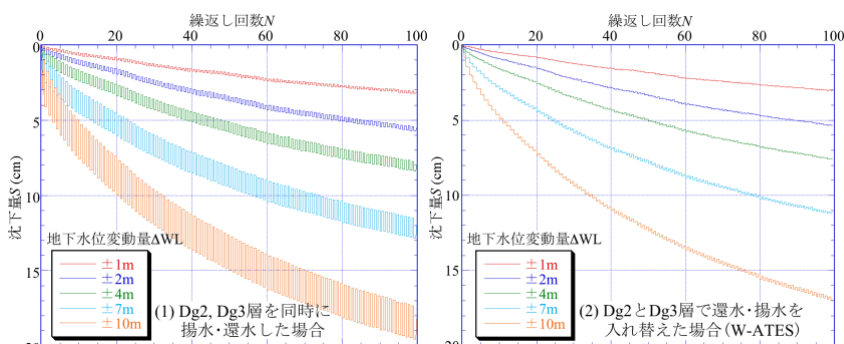


図-4 帯水層 2 層から揚水・還水した場合の地表面沈下量