

地下水汲み上げによる地下水位変動の繰返しが地盤の圧縮特性に及ぼす影響

中部大学工学部 学生会員 ○黒田 葵
 中部大学工学部 正会員 杉井俊夫
 岐阜大学 正会員 佐藤 健

1. はじめに

地下水の過剰揚水による地盤沈下は、揚水対象礫層の地下水位低下により、隣接する粘土層の有効応力が増加する圧密現象で説明されている¹⁾。濃尾平野は、揚水規制で1977年以降、地下水位が上昇しているにもかかわらず、地盤沈下が進んでいる地点が平野西部に散在する。濃尾平野中西部の日光川や木曾三川の河口部には、1960年以降の累積沈下量が150cm以上の地域が分布し、防災上、喫緊の課題になっている²⁾。本研究では、濃尾平野に設置された観測井戸地点での土質試験結果を再点検し、地下水位変動が沖積粘土層の圧密現象にどのような影響を与えているのか考察した。特に被圧地下水位変動に着目し、繰返し水位変動が粘土構造の低位化にどのように関連付けされるのか、木曾三川下流域における地盤沈下観測井戸での計測結果を分析した。

2. 有効上載圧と圧密降伏応力の関係

有効上載圧(p_0)は、水中単位体積重量 γ_{sub} から推定した。圧密降伏応力(p_c)は沖積粘土層の圧密試験結果を再整理し、三笠法に基づき決定した³⁾。図1に、例として津島観測井地点の有効上載圧・圧密降伏応力の関係を示した。圧密降伏応力と一軸圧縮強度(q_u)の関係が、濃尾平野においては、 $p_c=1.5q_u$ が知られている。図1より、15m以深で p_c がほぼ一定の傾向を示す結果となった。有効上載圧が深度と伴に増加しているにもかかわらず、圧密降伏応力と一軸圧縮強度は低値でほぼ一定となり、骨格構造の低位化が想定された。図2は木曾岬の結果を示した。有効上載圧の増加に伴い圧密降伏応力と一軸圧縮強度が増加し、正規圧密状態が確認できた。図1と図2の比較から津島地盤が、地下水位変動で繰返し攪乱の影響を受け構造低位になっていることが示唆された。図2は、伊勢湾岸の木曾岬開拓地の結果であり、潮汐変動の影響は考えられるが、平野北部での地下水汲み上げによる地下水位変動低下の影響は小さいと考えられた。

3. 津島における圧縮曲線

図3に、津島における e - $\log p$ 関係を示した。土質試験の箇所であり、凡例のSに続く数字が大きいものほど深度が深いことを示している。浅い地点の圧縮曲線に比べ、深い地点が構造低位の傾向が伺われた。

図1,2の有効上載圧と圧密降伏応力の関係に地域的な規則性があり、G1層(第一礫層)の地下水位変動による上部の濃尾層、南陽層の有効応力の増減が、土粒子骨格構造を壊し、圧密降伏応力 p_c と一軸圧縮強度 q_u を低下させたのではないかと考えた。

4. 累積地盤収縮量と地下水位変動の関係性

油島観測井のG1地下水位と累積地盤収縮量の関係を図4に示した。被圧地下水位上昇に伴う有効応力低下(地盤膨張)と被圧地下水

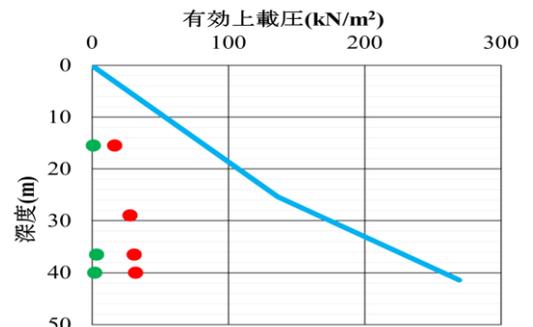


図1 有効上載圧と圧密降伏応力の関係 (津島)

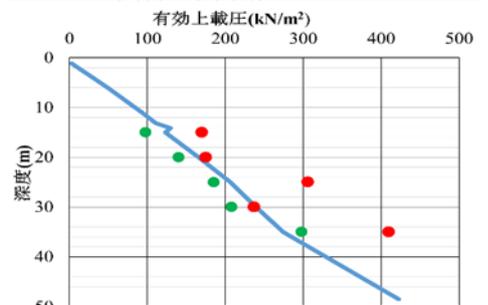


図2 有効上載圧と圧密降伏応力の関係 (木曾岬)

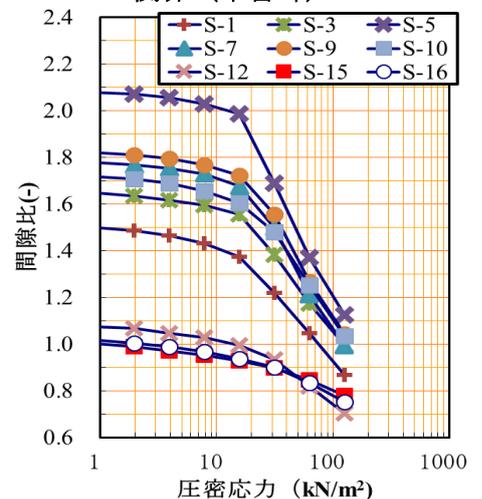


図3 e と $\log p$ の関係図

位低下に伴う有効応力増加(地盤収縮)が等しいわけではなく、塑性的沈下が地下水位変動の繰り返りで蓄積される様子が確認できた。また、繰り返し回数の増加とともに、地下水位と沈下量のどちらも変動幅が小さくなり、塑性的沈下も小さくなっていく傾向が認められた。

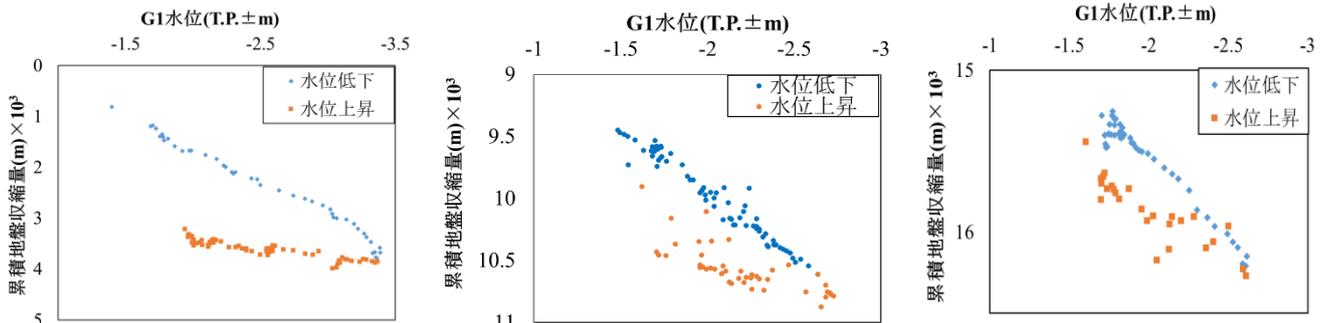


図 4.(a) 地下水位と累積地盤収縮量の関係図 (2007) 図 4.(b) 地下水位と累積地盤収縮量の関係図 (2011) 図 4.(c) 地下水位と累積地盤収縮量の関係図 (2015)

式(1)で定義した見掛圧縮(膨潤)指数を用いて被圧地下水位変動による骨格構造低下を調べた。

$$\left(\frac{Cc^*_i}{Cs^*_i} \right) = \left[\frac{\Delta S_i}{H \times \log_{10} \frac{P_i \pm \gamma_w \times \Delta h_i}{P_i}} \right] \times (1 + e_0) \quad \dots (1)$$

ここに、 Cc^*_i :見掛圧縮指数(-)、 Cs^*_i :見掛膨潤指数(-)、 ΔS_i :i 期間沈下量(m)、 H :層厚(m)、 p_i :有効上載圧(kN/m²)、 γ_w :水の単位体積重量(kN/m³)、 Δh_i :i 期間の水位変動量(m)、 e_0 :初期間隙比(-)

図 5 に地下水位変動量と Cc^*, Cs^* の関係を示した。間隙水圧変化量($\gamma_w \Delta h_i$)が p_0 の 0.5% 以内になると弾性的挙動($Cc^*=Cs^*$)を示す傾向が伺われた。水位変動量が大きくなると Cc^* と Cs^* が異なる値を取り、非回復性の沈下が発生するようになった。

図 6 に沈下速度(m/d)と Cc^*, Cs^* の関係を示した。沈下(収縮)を正、膨潤を負で表示した。当該地域では、地下水位変動の振幅が小さくなりつつあり、地盤の収縮、膨潤現象は目立たなくなってきたが、過圧密領域での再圧縮、再膨潤、再々圧縮、再々膨潤における Cc^*, Cs^* は年々一定値に近づいてきつつあり、弾性的な挙動を示す結果となった。線形関係線上の $Cc^*(Cs^*)$ -沈下速度の線形関係からはずれた値は、地下水位変動の周期が 100 日以上の高周期の結果であった。沈下速度(m/d)と Cc^*, Cs^* 線形関係が認められるのは、40 日周期近辺の結果であった。

5. 結論

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 南陽層、濃尾層粘土の圧密降伏応力と一軸圧縮強度が有効上載圧に比較して小さい値を示し、被圧地下水位変動によって土粒子骨格構造の低位化を受けた地盤になっていることが判明した。
- 2) 第一礫層(G1)以浅の複合地盤を単一層で評価すると、見掛けの Cc^* と Cs^* の値が水位変動量(沈下量)に応じて異なる値を取り、 Cc^* と Cs^* の低下とともに塑性的沈下量が減少することが分かった。

謝辞 東海三県地盤沈下調査会より、地盤沈下観測井戸計測値の提供を受けて研究遂行した。

記して感謝申し上げます。

【参考文献】 1)西村ら:基礎から学ぶ土質工学朝倉書店:pp.52-72. 2007 年,2)東海三県地盤沈下調査会,平成 28 年における濃尾平野の地盤沈下報告書 2017 年,3)地盤工学会:土質試験基本と手引き、p.112. 2010 年

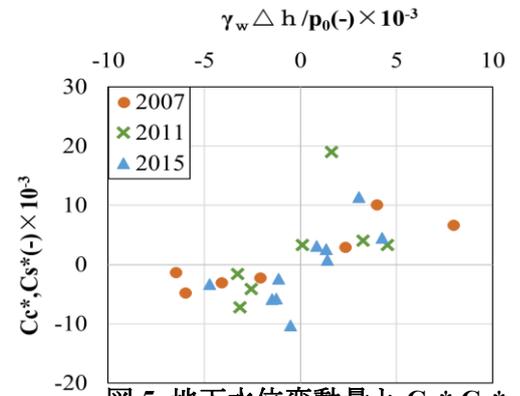


図 5 地下水位変動量と Cc^*, Cs^* の関係 (油島)

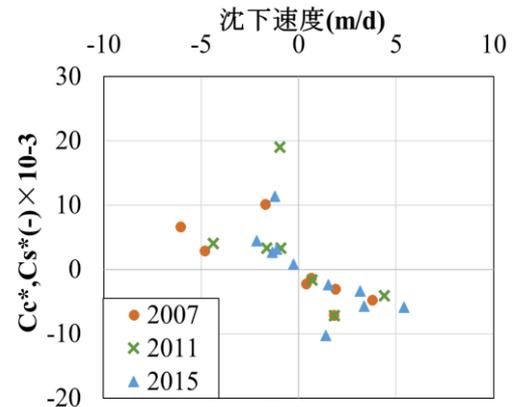


図 6 沈下速度と Cc^*, Cs^* の関係 (油島)