

大阪湾洪積粘土 (Ma12) 層の圧密解析モデルの同定における排水条件の影響

大阪産業大学 正会員 小田和広

1. はじめに

大阪湾洪積粘土では、圧密試験と実地盤における圧密挙動が異なることが知られている¹⁾。このため、埋立人工島の建設の際、建設前に長期沈下挙動を精度良く推定することは非常に困難である。なお、洪積粘土層の圧密速度は遅いので、建設中よりも完成後に沈下の問題が顕在化する。つまり、圧密沈下への対処は、埋立人工島の効率的な維持管理のために欠かすことはできない。通常、維持管理のために沈下や水圧などの現地計測が行われるが、現状において異常が無ければ、それらは死蔵されることがほとんどである。

本研究では、死蔵される現地計測データの再活用として、現地計測に対するデータ同化によって大阪湾洪積粘土 (Ma12) の圧密挙動を再現できる圧密解析モデルを同定し、それによって埋立人工島の維持管理に資する長期沈下予測を行うことを目的とした研究を行っている^(例えば2)。本研究では、その一環として、特に、下方の排水境界付近の過剰間隙水圧の再現性の改善を目的とした圧密解析モデルの改良を行った。その結果として、圧密解析モデルの同定精度向上に及ぼす上下の排水条件の影響について考察する。

2. データ同化解析の概要

本研究では、出来るだけ単純なモデルによる実地盤の圧密挙動を再現を意図している。そのため、粘土の圧密挙動は、土質力学の教科書に記載されている程度の単純なバイリニアの関係で表す。圧密降伏応力は小幅載荷、詳細小幅載荷、定ひずみ速度圧密試験から得られたものを区別せずに用いた。透水係数は圧密試験結果から推定した。但し、そのようにして求めた透水係数は間隙比の減少に伴い小さくなる。しかし、その特性を忠実にモデル化することは、本研究の趣旨にそぐわないので、埋立前と圧密終了後に相当する透水係数の対数平均を代表値として用いた。その結果、圧密解析モデルに

おけるパラメータは、圧縮指数、圧密降伏応力および透水係数の3つとなる。図-1は解析対象とした埋立人工島の Ma12 層の圧密パラメータの深度分布を示している。これらの圧密パラメータは圧密試験に基づくものである。また、図中の青実線はニューラルネットワーク (ANN) による圧密パラメータの深度方向の補間結果を示している。なお、データ同化解析の際にはそれぞれの圧密パラメータは補間結果±標準偏差の範囲でランダムに変動させた。その際、深度毎に全くランダムに変動させるのではなく、深度分布と相似になるようにパラメータの深度分布を変化させた。

図-2は圧密解析モデルを示している。図中には現場計測地点も併せて示している。圧密解析モデル上での沈下量の計測位置は赤丸、間隙水圧の計測位置は青丸で示している。モデルの上下の境界では水頭を固定しつつ排水を許容する境界条件（以下、水頭固定境界）とした。これは、Ma12層の下部と接する砂礫層が被圧されており、上下の境界の過剰間隙水圧をゼロとする自由排水境界では、特に、Ma12層の下部の過剰間隙水圧の挙動を適切に再現できなかったためである。なお、水頭固定境界における過剰間隙水圧もデータ同化によって同定する。

データ同化手法として、粒子フィルタ (Sequential Importance Sampling)³⁾を適用した。この手法は、解析パラメータを取り得る範囲の中でランダムに変化させた多数のシミュレーション (粒子) を行い、実測値に適合する粒子に適合度に応じた重みをつける。そして、最終的に重みに応じて解析パラメータをアンサンブル平均することにより、計測値に適合する解析結果を与える

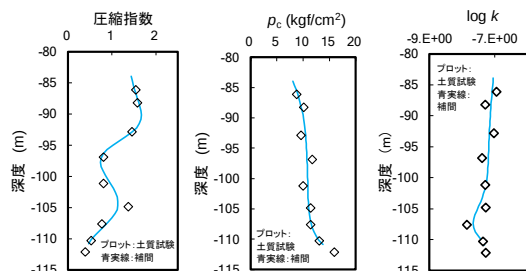


図-1 圧密パラメータの深度分布 (Ma12 層)

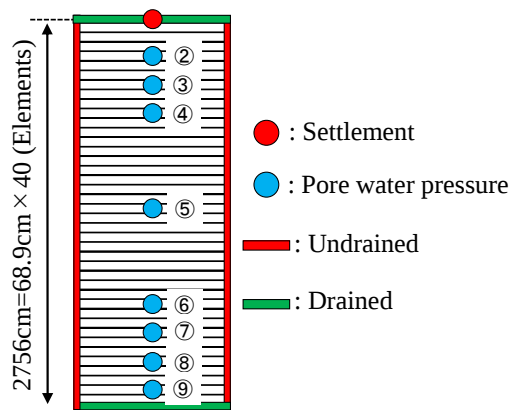


図-2 圧密解析モデル

キーワード データ同化、洪積粘土、圧密、数値解析、現場計測

連絡先 〒574-8530 大阪府大東市中垣内3丁目1-1 大阪産業大学工学部都市創造工学科 TEL 072-875-3001

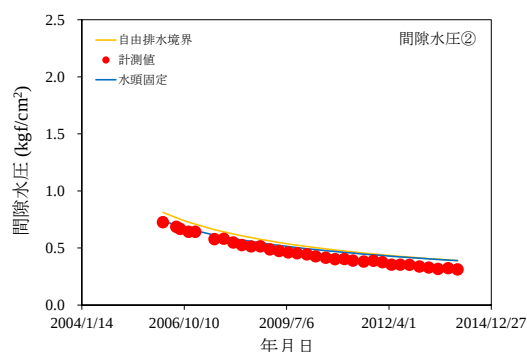


図-3 過剰間隙水圧分布における実測値とデータ同化結果の比較 (②番)

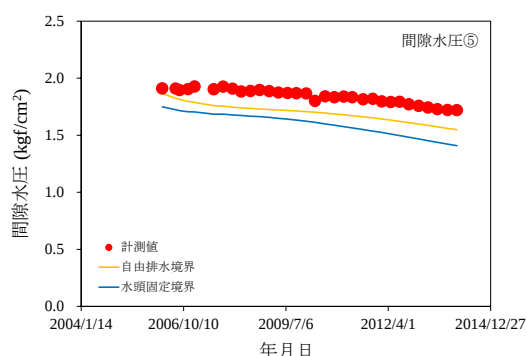


図-4 過剰間隙水圧分布における実測値とデータ同化結果の比較 (⑤番)

圧密パラメータとその確率分布を推定するものである。本研究では、500個の粒子を用いた。また、実測値に対する適合度は誤差率によって評価するものとし、重みの計算はガウス分布に基づいて行った。その際の分散は20%とした。

3. 過剰間隙水圧のデータ同化結果

図-3～図-5は図-2中の②、⑤および⑧の地点における過剰間隙水圧の分布における実測値とデータ同化結果の比較を示している。また、上下の境界を自由排水境界とした解析結果も併せて示している。いずれの解析結果も重み付き平均である。

②の地点では、水頭固定境界のケースと自由排水境界のケースよりの違いはほとんどなく、また、解析結果と実測値はよく一致している。⑤の地点では、いずれの解析値も実測値よりも小さい。また、水頭固定境界のケースが自由排水境界のケースよりも過剰間隙水圧が小さくなっている。⑧の地点では、水頭固定境界のケースは実測値とほぼ一致しているのに対し、自由排水境界のケースは実測値よりもかなり小さい。

以上のように圧密解析モデルの上下の排水境界において水頭固定境界の場合、境界面付近の実測値に対するデータ同化結果は改善された。その一方、Ma12層の中央付近では改良以前よりも計測値との差が拡大することとなった。

4. 沈下量のデータ同化結果

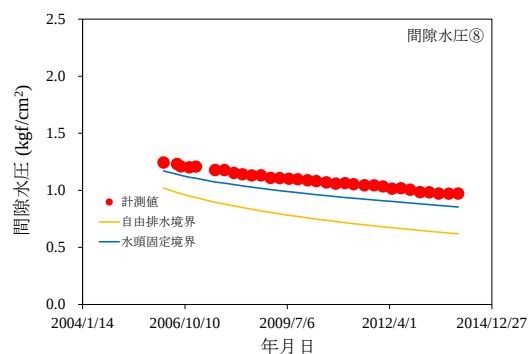


図-5 過剰間隙水圧分布における実測値とデータ同化結果の比較 (⑧番)

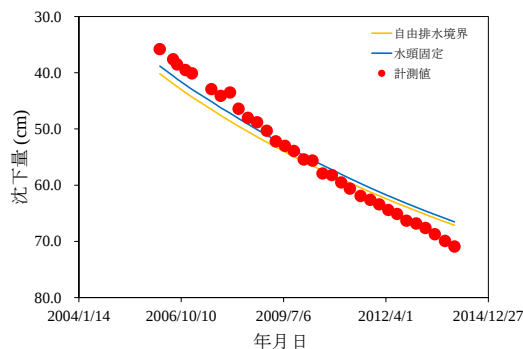


図-6 沈下量の経時変化における実測値とデータ同化結果の比較

図-6は沈下量の実測値とデータ同化結果を示している。自由排水境界のケースと水頭固定境界のケースはほぼ平行であり、両者の差は大きくない。また、同化の最初では2つの解析値ともに実測値よりも大きい、最後には逆に実測値よりも小さくなっている。水頭境界を用いることは沈下挙動に及ぼす影響は大きくない。そのため、沈下挙動に関しては改善することができなかった。

5. まとめ

本研究では、大阪湾洪積粘土(Ma12)層の圧密解析モデルの同定に関する排水条件の影響について考察した。その結果、水頭固定境界を用いることは、排水境界付近の計測値に対する再現性の向上には貢献するが、Ma12層中央部分の再現性を悪化させる。また、沈下量の経時変化にはほとんど影響を及ぼさないことが分かった。

参考文献

- 1) 長谷川憲孝ほか：神戸空港海底地盤における洪積粘土層の原位置圧密挙動，土木学会論文集 C, Vol.63, No.4, 780-792, 2006.
- 2) 小田和広ほか：洪積粘土層の圧密挙動に対する相対誤差によるデータ同化における観測ノイズの影響，令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会，III-264, 2020.
- 3) 樋口知之：予測にいかす統計モデリングの基本，25-120，講談社，2011