

実測値に基づく二次圧密を考慮した沈下予測

岡山大学大学院自然科学研究科 正会員 ○西村伸一
岡山大学環境理工学部 正会員 藤井弘章
岡山県庁 大平貴志

1. はじめに

軟弱地盤の沈下実測値から将来の沈下予測を行う方法は、もっとも頻繁に使用され精度が良いとされる双曲線法を代表に様々な手法が存在する。また、長期の二次圧密に対する沈下予測にはlogt法が用いられる。しかしながら、進行する圧密過程の中のどの時点で、logt法が適用可能となるかの判断は難しい場合も多い。そこで、本研究では、最適化のアルゴリズムを用いて、一次圧密、二次圧密に関連するパラメータを早期に自動的に同定し、将来沈下予測を行う方法を提案している。今回は、手法の精度を検討するため、カオリン粘土と不攪乱沖積粘土の圧密試験結果を用いた解析を実施している。

2. 二次圧密を考慮した沈下計算法

地盤の二次圧密を考慮した場合、時間 t における地盤の沈下量は次の式によって求めることができる。すなわち、一次圧密沈下量と二次圧密沈下量をそれぞれ S_1 、 S_2 、二次圧密開始時間（logt法結合時間）を t_α とすると、

$$S(t) = S_1(t) + S_2(t) \quad (t \geq t_\alpha) \quad S(t) = S_1(t) \quad (t < t_\alpha) \quad (1)$$

本研究では、載荷過程を正確に沈下予測に反映させ、さらには、地盤の不均質さを考慮したいので、一次圧密量を求めるために線形弾性理論に基づいた有限要素法を用いることにする。一次圧密では、体積圧縮係数 m_v および透水係数 k が未知パラメータとして同定される。二次圧密部分の沈下解析には次の式を用いている。

$$S_2(t) = \frac{0.434C_\alpha}{1+e} H \cdot \log \frac{t}{t_\alpha} = r_\alpha m_v H \cdot \log \frac{t}{t_\alpha} \quad (2) \quad r_\alpha = p \cdot C_\alpha / C_c \quad (3)$$

C_α ：二次圧密係数 e ：間隙比 p ：地盤の鉛直有効応力

二次圧密係数は圧縮指数 C_c と比例関係にあることが知られており¹⁾、事前情報の導入をし易くする目的で、ここでは、パラメータ r_α を同定することを提案している。

3. パラメータ同定法

同定のアルゴリズムをFig.1に示す。この中で、非線形最小二乗法で最小化されるべき目的関数 J は、次の式で与えられる。固定された t_α のもとで、 m_v 、 k 、 r_α が同定される。

$$J = \sum_{j=1}^{NT} \left\{ \sum_{i=1}^{NP} (S_i^j - \bar{S}_i^j)^2 + \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^{NE} (u_i^j - \bar{u}_i^j)^2 \right\} \quad (4)$$

λ ：間隙水圧の影響を調整するパラメータ NT ：同定に用いる時間ステップ数 NP ：同定に用いる変位観測節点数 NE ：同定に用いる間隙水圧計測要素数 $S_i^j, \bar{S}_i^j$ ：時間ステップ j 、節点 i における解析および観測沈下量 $u_i^j, \bar{u}_i^j$ ：時間ステップ j 、要素 i における解析および観測間隙水圧

さらに最小二乗法は、 t_α の値を変化させて繰り返される。最終的に、

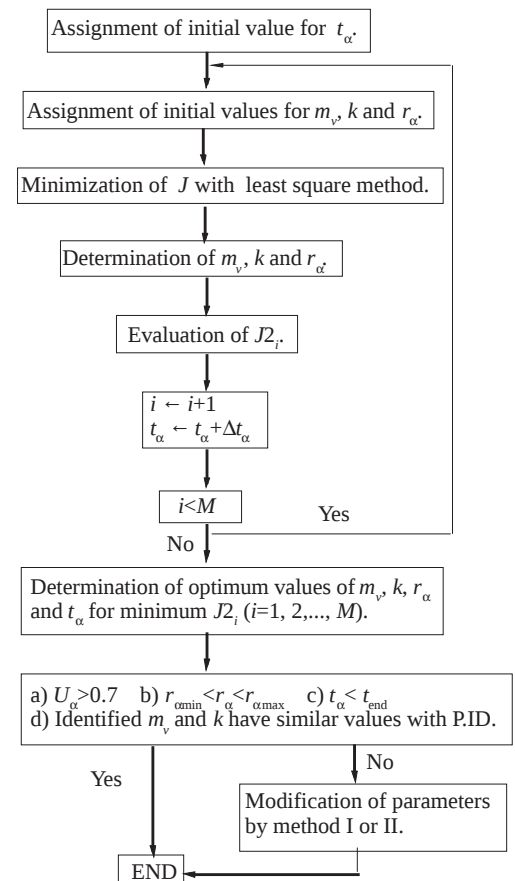


Fig.1. パラメータ同定アルゴリズム

U_α ： t_α に対応した圧密度

M ：最大繰り返し回数

$r_{\alpha\max}, r_{\alpha\min}$ ： r_α の最大・最小値

t_{end} ：同定終了時間

P.ID.：一次圧密のみを考慮した同定

キーワード：二次圧密，沈下予測，逆解析

連絡先（岡山市津島中 3-1-1 TEL&FAX：086-251-8353）

次の目的関数 $J2$ を最小にするパラメータの取り合わせ $m_v, k, r_\alpha, t_\alpha$ を予測のためのパラメータとして採用する。

$$J2 = \left\{ \sum_{j=1}^{NT} \sum_{i=1}^{NP} (S_i^j - \bar{S}_i^j)^2 \right\} \left\{ \sum_{j=1}^{NT} \sum_{i=1}^{NE} (u_i^j - \bar{u}_i^j)^2 \right\} \quad (5)$$

Fig.1では、異常な同定を避けるためa)～d)のチェック項目を設けているが、意味は以下のようである。a) logt法の結合時点が圧密度で0.7を上回っているか。b) $r_{\alpha min} < r_\alpha < r_{\alpha max}$ であるか。これは、 C_α/C_c の値には、一般的な範囲が存在する（例えば、一般の粘性土の対しては $0.03 < C_\alpha/C_c < 0.07^{11)}$ ）ことに基づく。c) logt法の結合時点が同定終了時間より早いか。d) 一次圧密パラメータのみを同定した場合と比較し同定された m_v, k が大きく（例えば20%以上）異なるか。

a), c), d)のチェックを通過できない場合は一次圧密のみを考慮した同定を実施し、 $U_\alpha = 0.9, r_\alpha = r_{\alpha max}$ と設定して予測を行う（補正法Ⅰ）。b)を通過できない場合は、 $t_{end} < t < 2 \times t_{end}$ の期間内に logt に比例して $r_\alpha \rightarrow r_{\alpha max}$ ($r_\alpha > r_{\alpha max}$)、 $r_\alpha \rightarrow r_{\alpha min}$ ($r_\alpha < r_{\alpha min}$) に強制的に変化させる（補正法Ⅱ）。

4. 解析結果および考察

Fig.2にカオリンの圧密試験の解析結果を示している。Fig.2(a)およびFig.2(b)は、それぞれ沈下量および間隙水圧を示している。同定期間を計測開始から1min, 3min, 10minとして同定および予測を行った。計測値として沈下量および間隙水圧を用いた場合、10minの同定期間に対しては、二次圧密期間を通して非常に良好な予測がなされている。この場合は、c)のチェック項目を通過できなかったため補正Ⅱを施した。この場合の予測に用いた C_α/C_c の変化をFig.3に与える。ただし、カオリンに関しては、標準圧密試験の結果から $0.01 < C_\alpha/C_c < 0.02$ であることが分かっているため、 $r_{\alpha max} = 0.02 \times 235 \text{ kPa}$ と設定している。同定期間が1min, 3minの場合は補正法Ⅰを用いた。1minの場合は、沈下量を若干過小評価している。3minの場合は、沈下量のみを計測データとして用いた予測も実施したが、過小評価となっている。Fig.4では、二次圧密量が多いと考えられる不攪乱沖積粘土の標準圧密試験の解析結果を示している。この場合は、沈下量のみを計測値として用いている。これとは別に実施された圧密試験によると、この地域においては $0.045 < C_\alpha/C_c < 0.075$ であることが判明している。1440minの同定期間を設定すると、当然であるが、解析値は実測値を忠実に再現し得る。60minの同定期間で、1440minの予測を行うと、若干の過小評価となっている。この場合の C_α/C_c は、0.062と同定され、補正の必要がない。

5. まとめ

二次圧密を考慮した、実測値に基づいた沈下予測法を提案

した。室内試験結果に適用した限りにおいては、良好な予測結果を得ることができた。

参考文献 1) Mesri, G. and Godlewski, P.M.: Time- and stress- compressibility interrelationship, Journal of the Geotechnical Engineering Division, Vol.103, No.GT5, pp.417-430, 1977

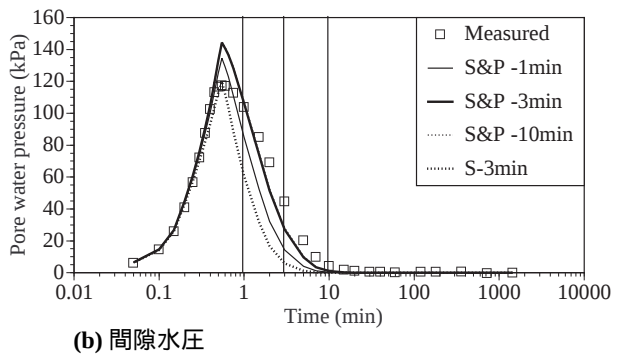
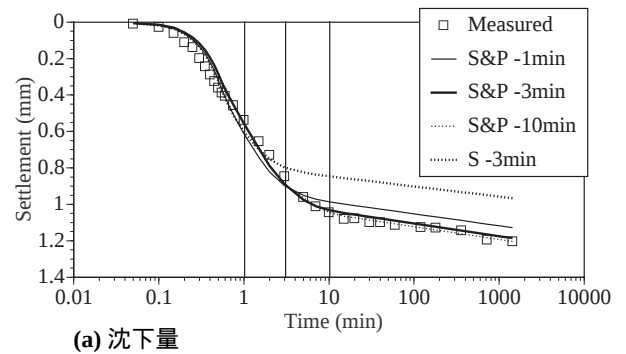


Fig.2. カオリン粘土圧密試験の解析結果

載荷条件: 30 sec の等速載荷 156.8 kPa → 313.6 kPa

試料形状: 直径 6cm, 高さ 2cm

排水条件: 上面片面排水 下面で間隙水圧計測

S&P: 沈下量および間隙水圧を用いた同定

S: 沈下量のみを用いた同定

-min: 計測開始からの同定期間

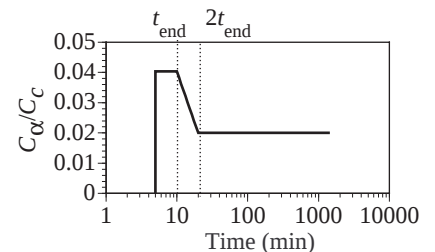


Fig.3. 予測に用いた C_α/C_c

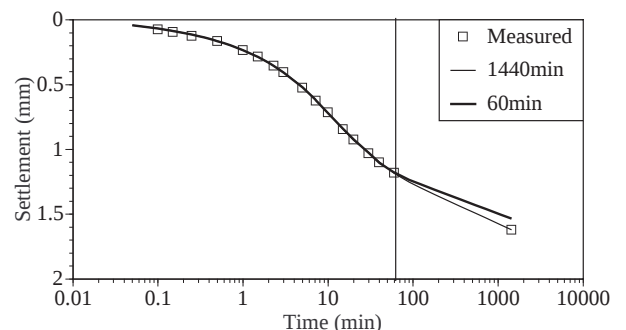


Fig.4. 不攪乱粘土の標準圧密試験の解析結果

載荷条件: 瞬時載荷 165.6 kPa → 321.4 kPa

-min: 計測開始からの同定期間