Ⅲ－A244　統計的非線形圧密モデルと間隙水圧の計測結果を利用した一次元圧密逆解析

岡山大学環境理工学部　正会員　○西村伸一　島田　清　藤井弘章

1. はじめに

本研究では，軟弱地盤の圧密パラメータ同定および挙動の将来予測を行う場合において，非線形圧密モデルを用いる方法について考察を行っている．ここでは，一次元圧密パラメータである体積圧縮係数m_vと透水係数kの同定を行っている．特色として，これらのパラメータの空間的な変動性と非線形性を表現するために，統計的な非線形圧密モデル[1)]を用いている．計測データとしては，沈下量と間隙水圧の実測値を用いている．また，これまで圧密挙動の将来予測を行う際の間隙水圧データの有効性を示してきたが[2),3)]，非線形モデルを用いる場合は，解析上の挙動メカニズムがやや複雑になるため，間隙水圧の計測がとくに重要となる．ここでも，逆解析に間隙水圧を考慮する方法について重点的に考察を行っている．今回は，岡山県の干拓地におけるサンドドレーンが施工された盛土地盤を解析の対象としている．

2. 統計モデルの概要

軟弱地盤の圧密現象を表す2つのパラメータである体積圧縮係数m_vと透水係数kの対数$M_v(Z,P)=\log_{10}m_v$, $K(Z,P)=\log_{10}k$に対して(1)式の統計モデルを当てはめる．海成軟弱地盤の水平方向のパラメータの相関性は鉛直方向に比較して非常に強いので，ここでは，鉛直方向のみに対してモデル化を行っている

$$CP(Z,P)=\mu(Z,P)+\sigma(Z,P)u(Z,P) \quad (1) \qquad \mu(Z,P)=\sum_{i=0}^{L}a_i(P)\cdot Z^i \quad (2)$$

ここで，$CP(Z,P)$は，深度Zと鉛直有効応力増分P（土被り圧状態をP=0と定義する.）の関数であり，パラメータ$M_v(Z,P)$もしくは$K(Z,P)$を表す．$\mu(Z,P)$は平均値関数であり，(2)式で与えられる．また，$\sigma(Z,P)$は標準偏差関数，$u(Z,P)$はN(0,1)型の正規確率変数を表す．$a_i(i=1,2,...,L)$は回帰係数である．また，確率変数$u(Z,P)$は深さ方向と有効応力に対して相関特性を有する．その相関特性をパラメータs,t間の相互相関関数として(3)式で与えることとする．この場合s,tは，M_vとKのいずれかをとるが，$s=t$の場合はそれぞれの自己相関関数を表すものとする．

$$r_{st}(\Delta Z,P_i,P_j)=B_{st}\exp(\Delta Z/l_Z)\cdot \mathrm{Cov}(P_i,P_j) \quad (3)$$

B_{st}はパラメータs,t間の相関係数　ΔZ:深度方向の二点間の距離
l_z：深さ方向のパラメータの相関距離　$\mathrm{Cov}(P_i,P_j)$：$u(Z,P_i)$と$u(Z,P_j)$間における共分散関数

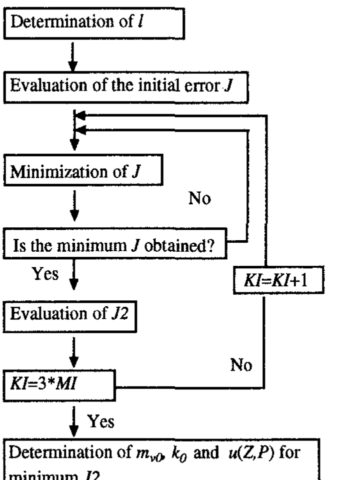
今回は，簡単のため標準偏差σは深さ方向に対しては一定とする．具体的なモデルパラメータの値は，文献(1)によるものとする．

3. 逆解析手法

逆解析手法としては，非線形最小二乗法を利用し，次の二乗誤差をJを最小化する手法を用いている．

$$J=\sum_{j=1}^{M}\left\{\sum_{i=1}^{NP}\left(U_i^j-\overline{U}_i^j\right)^2+\frac{1}{\lambda}\sum_{i=1}^{NE}\left(u_i^j-\overline{u}_i^j\right)^2\right\} \quad (4)$$

U_i^j, $\overline{U}_i^j$：時間ステップj，節点iにおける解析および観測変位
u_i^j, $\overline{u}_i^j$：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
λ：間隙水圧の影響を調整するパラメータ



MI= Number of MoteCarlo simulation
Fig.1 同定アルゴリズム

キーワード：圧密，逆解析，統計モデル，非線形性，間隙水圧
連絡先：〒700-8530　岡山市津島中2-1-1　岡山大学環境理工学部・TEL:086-251-8362・FAX:086-251-8361

M：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

解析では，標準圧密試験から求まる体積圧縮係数$m_v(Z,P)$，透水係数$k(Z,P)$と基準体積圧縮係数m_{v0}，基準透水係数k_0との比$m_v(Z,P)/m_{v0}$，$k(Z,P)/k_0$がパラメータの非線形性と空間的な変動性に関する事前情報として考慮される．m_{v0}とk_0はいずれかの深度（今回の解析では最上部の要素）に対応した体積圧縮係数と透水係数である．Jの最小化により，基準体積圧縮係数m_{v0}と基準透水係数k_0が同定される．λの決定に際しては，平均モデル（統計モデル(1)式の平均値）を用い，λを徐々に減少させ，同定結果に変化が少なくなるλを用いた．次いで，(1)式で表される統計モデルに関して，モンテカルロ法をMI回繰り返して，モデルパターンを作成する．さらに，(1)式の標準偏差を$2\sigma(Z,P)$，$3\sigma(Z,P)$と変化させた場合も作成し，合計$3MI$個のモデルに関して逆解析を行う．最終的に，(5)式で表される$J2$を最小にするm_{v0}, k_0, $u(Z,P)$を最適パラメータおよびモデルとする．

$$J2=\left\{\sum_{j=1}^{M}\sum_{i=1}^{NP}\left(U_i^j-\overline{U}_i^j\right)^2\right\}\left\{\sum_{j=1}^{M}\sum_{i=1}^{NE}\left(u_i^j-\overline{u}_i^j\right)^2\right\} \quad (5)$$

4. 解析モデル

ほぼ，一次元的圧密が生じていると考えられる現場の一次元圧密解析を実施した．Fig.2にそのモデルを示す．現場では，サンドドレーン（φ12cm）が施工されており，1.3mピッチで正方配置されている．排水は放射方向が支配的であるが，今回の解析では鉛直および水平方向の透水係数が等しいと仮定している．現地では盛土によって，約60日で41kPaの載荷がなされ，地表面沈下が計測された．また，解析地点においては間隙水圧は計測されていないが，40m離れた同じ盛土高の地点における間隙水圧計測データを解析の際に用いた．なお，モンテカルロ法はMI=100回繰り返した．

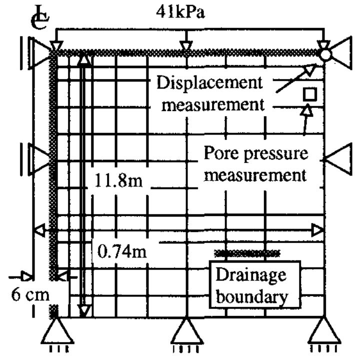


Fig.2 軸対象解析モデル

5. 解析結果および考察

Fig.3に，現場の沈下計測値と予測結果をFig.4には間隙水圧を示している．非線形モデルを用いると，同定期間が短い場合は，沈下量の計測値のみでは将来の沈下予測が不可能であったので，間隙水圧の計測値を用いている．同定区間を計測開始から145日とした場合は，将来予測が過大評価となった．251日まで同定区間を延ばすとかなり正確な予測を行うことができる．間隙水圧の消散過程は比較的実測値と良く一致している．

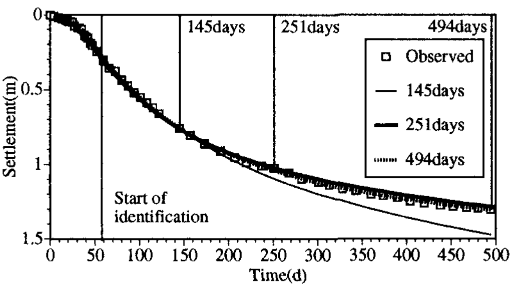


Fig.3 同定と沈下予測結果

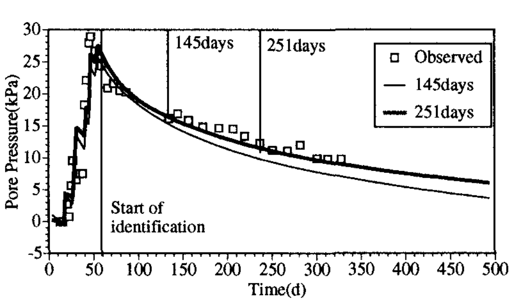


Fig.4 同定と間隙水圧予測結果

5. まとめ

(1)統計的非線形圧密モデルを軟弱地盤の逆解析に用いる場合の定式化を行った．この定式化によって，事前条件として地盤の不均一性と非線形性が取り込まれる．

(2)非線形モデルによって将来挙動予測を行う場合は，変位のみならず間隙水圧の計測結果が必要となる．

参考文献

1)西村他：第33回地盤工学研究発表会講演集，pp.495-496(1998)

2)西村他：土木学会第53回年次学術講演会講演概要集第3部，pp.422-423(1998)

3)西村他：第34回地盤工学研究発表会講演集（投稿中）