

サンドドレーン打設地盤の最適2次元モデル化について（第1報）

徳島大学工学部 正 山上 拓男
徳島大学大学院 学 ○宮川 俊介

1. まえがき

サンドドレーン打設地盤の圧密現象は厳密には3次元である。しかしこの地盤の圧密挙動をFEM等により数値解析する場合、もっぱら2次元平面ひずみ問題として処理されている。したがって、この間に地盤を2次元モデル化する過程で曖昧さを伴うことは避けられない。特に、規則的ではあるが不連続に点在する砂杭を、それと等価な砂の連続壁に置き換える作業において不明確な点が少なくない。この観点から、本研究においては、3次元地盤を最も好ましい状態で2次元モデル化する手法の開発に着手した。その際用いられた基本理念は、砂杭に等価な連続壁の厚さを設計変数とする最適設計問題としてこの手法を表現しようとするものである。こうしてここでは手始めに、実際に3次元FEM解析を行った結果を用い、これと最もよく一致する2次元モデルの探索方法を検討した。以下その基礎的部分について報告する。

2. 非線形計画法に基づく等価連続壁厚さの同定アルゴリズム

以後、最も好ましい状態でモデル化された2次元地盤の砂の連続壁の厚さを等価連続壁厚さと呼ぶことにする。このとき、本研究で対象とする等価連続壁厚さの同定問題の解析は、砂杭打設地盤の圧密観測データ（実は3次元FEM解析結果）と圧密の2次元FEM解析結果から目的関数（式(1)）を定義し、次いで非線形計画法の援用のもとにこの目的関数の最適解を探索するという手順で行われる：

図-1に示すように、サンドドレーン打設地盤に適当な数の観測点を設定する。いま、任意の砂連続壁厚さDSのもとに、2次元FEM解析を行い、各観測点における計算諸量を求める。その結果、これら計算データと実測（3次元解析）データに基づいて次式を定義する：

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (S_{i,j}^{3d} - S_{i,j}^{2d})^2 \cdots \cdots (1)$$

ここに、 $S_{i,j}^{3d}$ ：観測点*i*におけるSampling時刻*j*での3次元解析データの値、 $S_{i,j}^{2d}$ ：観測点*i*

におけるSampling時刻*j*での2次元解析データの値、
m：観測点数、*n*：時間軸上のSampling pointsの数。
そして上式の目的関数を目下の設計変数であるDSの関数と見なすのである。すなわち、

$$F = F(DS) \cdots \cdots (2)$$

である。式(1)は任意のDSのもとで一般に正の値を与える。そして、たまたま現実の3次元地盤とまったく同じ振舞いを示す2次元モデルのDSを代入したときFは零となる。いいかえると、式(1)のFを最小にするDSを見いだすことができたならば、それを目下の地盤の等価連続壁厚さで見なしてよいであろう。式(1)は変数DSのみの関数であるため、この関数を最小にする手法として黄金分割法¹⁾を採用した。

ここで、上式中の $S_{i,j}^{3d}$ 、 $S_{i,j}^{2d}$ の具体的内容としていかなる力学量を採用すればよいかといった疑問点が指摘される。すなわち、圧密を構成する力学量は変位と間隙水圧であり、かつ変位は1点において座標軸の数だけの成分を有す。理想的にはこれら全ての力学量を採用すべきであろうが、そうすると本来的な3次元現象を2次元でモデル化せんとしている手前、式(1)を精度良く最小化し得ない可能性が生まれてこよう。この点に関する解答は今後の検討に待たねばならないが、とりあえず以下の単純化された適用例では地表面の沈下量のみを $S_{i,j}$ の中身とした。

3. 適用例

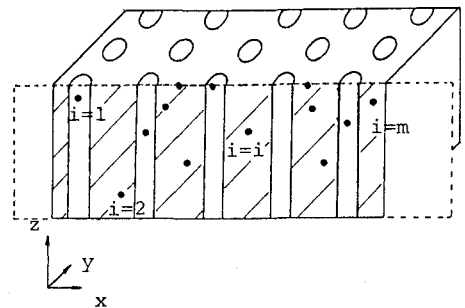


図-1 サンドドレーン打設地盤

図-2に示すように1本の砂杭(直径2m)のみを有す極めて単純化された地盤を例にとって、本手法の適用性を吟味する。この地盤の表面に 5 tf/m^2 の等分布荷重が載荷された場合の3次元FEM解析結果を実測値として採用した。砂杭、粘土ともに弾性体とし、Sandhu流の圧密解析を行った。材料定数は表-1に示す通りである。図-3にはそれぞれ3次元、2次元解析に用いられた要素分割図を示す。ここに、3次元解析の有限要素タイプは変位、間隙水圧ともに20節点の2次アイソパラメトリック要素である。他方、2次元解析に際してはいずれも四辺形一次アイソパラメトリック要素を用いた。いうまでもなく図-3(b)の2次元要素分割図はコンピュータ内で絶えず自動的に修正されつつ計算が進められる。ところで、前記した観測データの中身とは別に、いま1つ観測点そのものをいかに配置するかも少し問題となろう。例えば、図-2において、設計変数DSつまり砂連続壁の厚さは式(1)の最適化の過程でたえず変動する量であるため、観測点の配置がまずければ、解析途上で観測点が砂柱内から粘土地盤に移行したり、あるいはその逆の現象が生じるなど、好ましくない事態を招きかねない。そこで本解析例では、図-3に●印で示したように、地表面において砂杭中心を通るx軸に平行な直線上の左端と砂杭中心点に観測点を設けた。そして観測量つまり式(1)の $S_{i,j}$ の中身としては鉛直方向の沈下量のみを採用した。なお、図-2における圧密解析の境界条件としては、四側面の変位を鉛直方向に限定、底面は完全拘束とし、また排水条件は上面のみの片面排水とした。

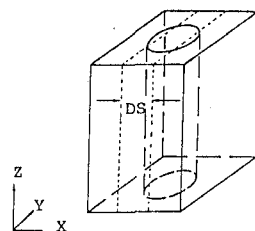


図-2 問題の設定

表-1 材料定数

	E (tf/m ²)	ν	k (m/day)
砂杭	1000.0	0.2	8.64
粘土	100.0	0.33	0.0009

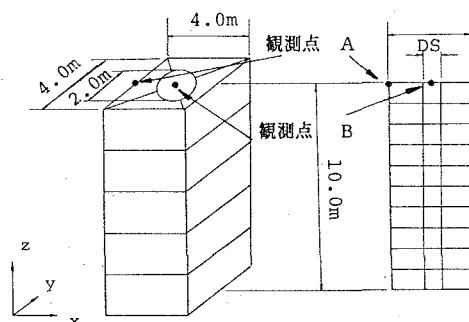


図-3 要素分割図と観測点

以上の諸条件のもとに、式(1)の最適化(最小化)を行った結果、最適解つまり等価連続壁厚さは89.04cmとなった。図-4にはこのときの観測点における沈下の時間推移を、また図-5には側面上の深さ方向の間隙水圧の等時曲線を示した。いずれの図においても、実線が3次元解析を、破線が最適解としての2次元解析結果を表す。これらの図をみれば、当然の帰結ではあるが、間隙水圧の分布にかなり大きいずれが現れている。いまの場合、

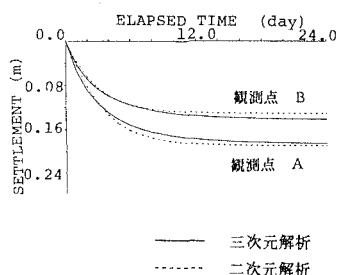


図-4 観測点における時間-沈下曲線

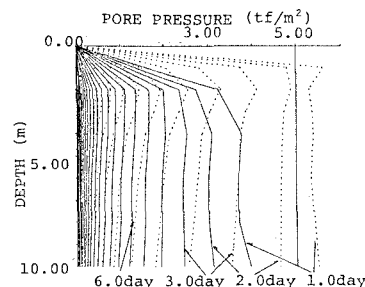


図-5 間隙水圧の等時曲線

式(1)の最適化に間隙水圧分布をなんら反映させなかったことに起因する。このことは、先にも記したように観測力学量として何をとるべきか、また観測点の数とその配置をいかにすべきかが大切である事実を示唆するものである。今後こうした点について検討と考察を加えねばならない。

4. むすび

サンドドレーン打設地盤の2次元圧密解析に際し、地盤を最適2次元モデル化する一手法を提案した。未解決の問題点が少なくないが、この方法を実際問題に十分適用し得るであろうとの感触を得た。

【参考文献】1) S. L. S. ジャコビ, J. S. コワク, J. T. ヒッソ: 非線形最適化問題の反復解法, 培風館, 1976.