

徳島大学工学部 正 山上 拓男
 徳島大学工学部 正 鈴木 壽
 株式会社大林組 正 宮川 俊介
 徳島大学大学院 学 O 岡田 雅寿

1. まえがき：砂杭打設地盤の圧密現象は道路盛土や堤防等の帯状荷重が載荷された場合でも準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、実務ではもっぱら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。本研究においては、現実的な砂杭打設地盤を例にとり3次元解析を行った結果を観測値とみなしてこの地盤の最適2次元モデル化を検討した。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、砂杭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観測(3次元解析)データに基づいて次式を定義する：

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(S_{i,j}^{3d} - S_{i,j}^{2d} \right)^2 \quad (1) \quad \text{ここに、} S_{i,j}^{3d} : \text{観測点} i \text{ における Sampling 時刻} j \text{ での 3 次元解析データの値, } S_{i,j}^{2d} : \text{観測点} i \text{ における Sampling 時刻} j \text{ での 2 次元解析データの値, } m : \text{観測点数, } n : \text{時間軸上の Sampling point の数。}$$

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、 $F = F(DS)$ (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を見出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として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問題点が指摘される。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、とりあえず以下の適用例では地表面の鉛直方向変位と粘土部に生じる過剰間隙水圧のみを $S_{i,j}$ の中身とした。

3. 適用例：図-2に示すように砂杭(直径1.2m)が格子状に打設された地盤を例にとって本手法の適用性を吟味する。この地盤はX軸方向に14本の砂杭が配列され砂杭中心間距離はX,Y方向ともに1.7mである。この地盤の中央の杭列8列分に図-3に示す荷重速度で5.0t/m²の等分布荷重が載荷された場合の3次元FEM解

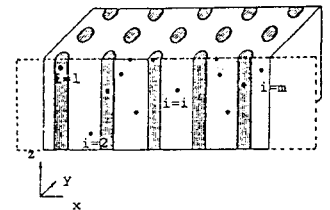


図-1 砂杭打設地盤

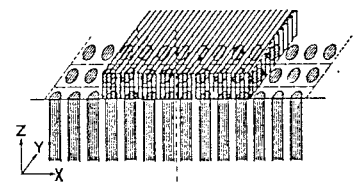


図-2 問題の設定

析結果を観測値として採用した。砂、粘土ともに弾性体としその材料定数 $t f / m^2$ は表-1に示した通りである。図-4にはそれぞれ3次元及び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次の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変位について2次の、間隙水圧について1次の四辺形複合要素を用いた。観測点については変位に関して図-4に●印(1...15)で示した節点を、間隙水圧に関しては○印(1'...24')で示した節点を採用した。また間隙水圧については3次元的な分布を最適化に反映させるため観測点を

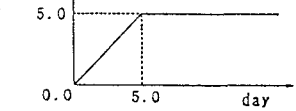
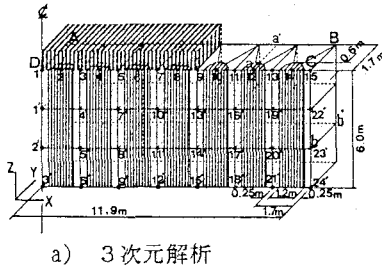


図-3 漸増荷重としての取扱

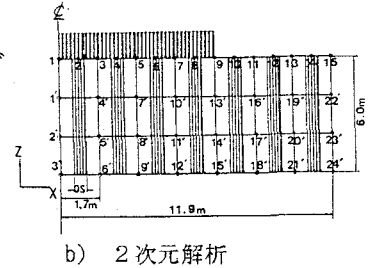


図-4 要素分割図と観測点

通りY軸に平行な直線(例**b-b'**)上の分布を平均したものを観測値として採用した。なお、図-4における境界条件としては、底面の変位を完全拘束とし、四側面については直線**AB**、**DC**を含む面のY方向変位を拘束し、直線**AD**、**BC**を含む面のX方向変位を拘束した。排水条件は上面のみの片面排水である。

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、図-5及び表-2に示したように12回の反復段階を経て最適解つまり等価連続壁厚さは84.72cmと決定された。図-6、図-7にはこのときの変位及び間隙水圧の観測点における等時曲線を示した。いずれの図においても実線

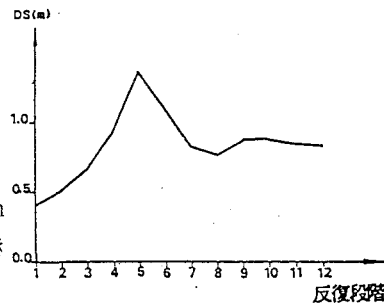


図-5 設計変数DSの収束過程

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

表-2 設計変数DSの収束経過

反復段階	DS(m)	$P(DS)$
1	0.4000	48.45912
2	0.5000	22.42639
3	0.6618	4.61679
4	0.9236	0.82727
5	1.3472	7.26404
6	1.0854	3.12392
7	0.8236	0.47981
8	0.7618	1.13503
9	0.8618	0.45034
10	0.8854	0.54110
11	0.8472	0.43362
12	0.8382	0.44602

が3次元解析を一点鎖線が最適解としての2次元解析結果を示している。これらの図より明らかなように、探索された2次元モデルは3次元解析に対しておおむね矛盾のない振舞いを示すことから本手法の妥当性が確認された。ただ、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といった問題については現時点でなんら答えることができない。今後こうした点について検討を加えねばならない。

4. 結び: 砂杭打設地盤の圧密解析に際し、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
感觸を得た。

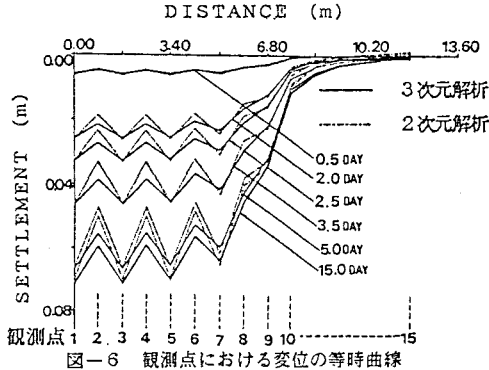


図-6 観測点における変位の等時曲線

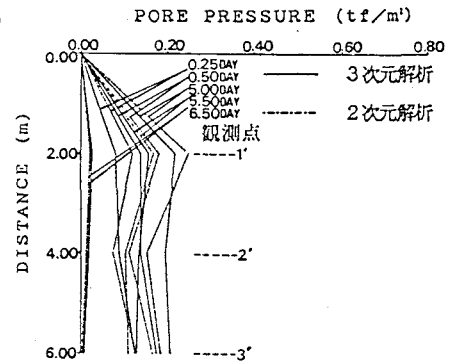


図-7 観測点における間隙水圧の等時曲線