

砂杭打設地盤の最適2次元モデル化について (第4報)

徳島大学工学部 正 山上 拓男
 徳島大学工学部 正 鈴木 壽
 復建調査設計㈱ 正 ○ 岡田 雅寿

1. まえがき：砂杭打設地盤は道路盛土や堤防等の帯状荷重が載荷される場合でも3次元的な圧密挙動を示す。しかし、このような地盤の圧密挙動をFEM等により数値解析する場合、実務では通常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。そこで、筆者らは過去に砂杭と粘土地盤を共に線形弾性体と仮定し、砂杭打設地盤の最適2次元モデル化を行う方法とその適用例を示した¹⁾。ここでは新たに、粘土地盤に対して関口・太田モデル²⁾を導入し、3次元弾塑性解析結果を実測値とみた適用例を報告する。

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厚さを等価連続壁厚さと呼ぶ。このとき、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。

まず、砂杭打設地盤に適当な数の観測点を設置する。そして、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。：

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

ここに、 S_{ij}^{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_{ij}^{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 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の関数であると見なすのである。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次元地盤と全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は零になる。言い換えると、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に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。

3. 適用例：図-1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対象とする。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 5.0 tf/m^2 の等分布荷重が漸増的に載荷された場合の3次元解析結果を観測値として採用した。このとき、粘土は弾塑性体、砂杭は線形弾性体としその材料定数は表-1に示す通りである。

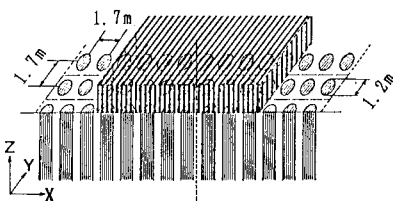


図-1 問題の設定

表-1 材料定数

図-2にはそれぞれ3次元及び2次元解析に用いられた

M	E (tf/m^2)	ν	k (m/day)	K_a	K_i	D	Λ	λ	e_a	γ' (tf/m^3)
0.961	—	0.349	0.3×10^{-2}	0.650	0.650	0.076	0.549	0.245	0.842	0.60
—	1000.0	0.200	8.64	0.25	—	—	—	—	—	0.70

要素分割図を示す。但し、2次元要素分割図は最適化の過程で絶えず自動的に変更されることはいうまでもない。また、図-2の境界条件としては、底面の変位を完全拘束とし、前面と後面のY方向変位を拘束、左右両側面についてはX方向変位を拘束とした。排水条件は上面のみの片面排水である。観測点については変位に関して図-2に●印(1~15)で示した地表面における砂杭の中心点と砂杭間の中心点を、間隙水圧に関しては○印(1'~24')で示した節点を対象とし、目的関数の具体的中身としては地表面沈下量と粘土部に生じる過剰間隙水圧を用いた。そして観測点の数を表-2に示すように3種類に変えて3ケースの解析を行った。なお、各観測点の観測データとしては各点の3次元計算値をそのまま用いた場合と、各観測点の奥行き方向

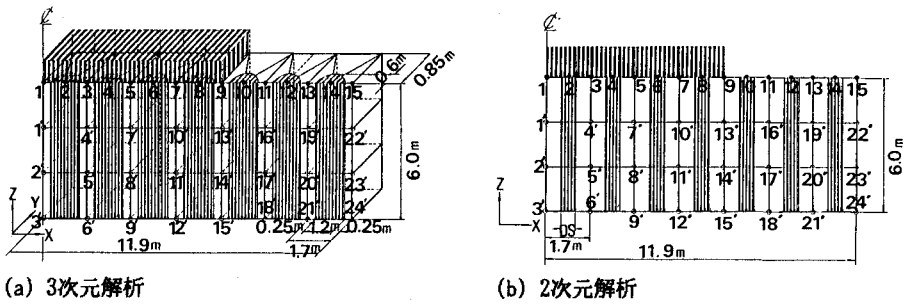


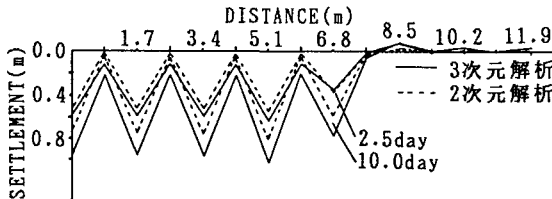
図-2 要素分割図と観測点

の平均値を用いた場合の2通りを検討した。

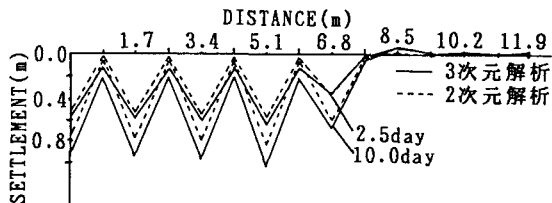
以上の諸条件のもとに各ケースについて最適化を行い、得られた等価連続壁厚さを表-2にまとめて示す。表中のNODEは地表面変位の観測点として各観測点の3次元計算値をそのまま採用した場合、またLINEとあるのは奥行き方向の平均値を用いた場合を意味する。表からわかるようにどのケースもかなり大きな等価連続壁厚さが算出されている。表中のNODEの場合には砂杭の径である1.2mを超える非現実的な値となった。図-3、4に表中のLINEの場合の地表面変位と間隙水圧に関する最適解と観測値の推移を示す。これらの図から、地表面変位もさることながら、特に間隙水圧において最適解と観測値の間のズレが顕著である。これより、得られた等価連続壁厚さが異様に大きいのは、2次元解析結果と観測値(3次元解析)の間で初期の間隙水圧に生じている大きなズレが目的関数に影響を与えているためといえよう。

表-2 観測点を変えた場合の等価連続壁厚さ

	変位(沈下量)観測点	間隙水圧観測点	変位(沈下量)の観測値の種類	等価連続壁厚さDS(m)
Case1	1~15	1'~24'	LINE	1.12710
			NODE	1.27432
Case2	1~9	1'~12'	LINE	1.12710
			NODE	1.29792
Case3	1~3	1'~3'	LINE	1.08891
			NODE	1.27432

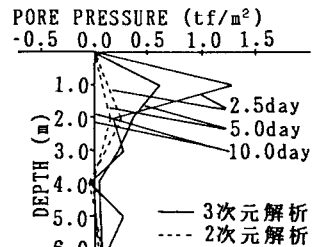


(a) Case1, Case2

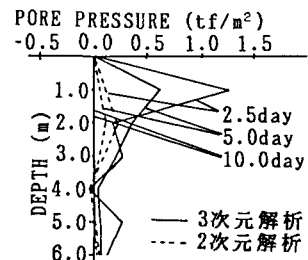


(b) Case3

図-3 観測点の変位の時間推移



(a) Case1, Case2



(b) Case3

図-4 観測点の間隙水圧の等時曲線

4. 結び: 砂杭打設地盤の最適2次元モデル化手法を述べた。適用例を通して、最適化に際し地表面沈下量のみに基づいた2次元モデル探索の必要性を痛感した。今後の課題としたい。

【参考文献】 1) 山上, 鈴木, 宮川, 岡田: 第34回土質工学シンポジウム論文報告集, pp.257~264, 1989.

2) Sekiguchi, H. and H. Ohta: Proc. Specialty Session 9, Ninth Int. Conf. SMFE, pp229~238, 1977.