

III-185 複合地盤における3次元圧密解析と複合要素を用いた2次元解析との比較

鹿島建設(株) 正員 安東 伸泰 森川 誠司
同 正員 鈴木 輝一 松本 喬

1. はじめに

サンドコンパクションパイル工法などで地盤改良された複合地盤の圧密挙動をFEMで解析しようとする場合、圧密の進行にともなう間隙水の放射状の流れや、杭状改良体への応力集中および平面的変形、改良体の配列の影響など従来の2次元FEM解析では扱いきれない問題が数多く存在する。このような複合地盤の複雑な圧密挙動を比較的正確にしかも容易に2次元解析に取り入れることができる手法として石崎らの複合要素¹⁾が挙げられる。しかし、石崎らの研究は正方形配置された杭状改良体を想定したものであり、一般的な三角形配置を対象としてはいない。

ここでは、3次元解析と複合要素を用いた2次元解析との比較をによって、正三角形配置された複合地盤への複合要素の適用性を検討した。

2. 複合要素の概要

複合要素とは、杭状改良地盤の3次元変形を考慮しながら2次元FEMと同様な解析を行うための手法である。つまり、図-1(a)に示すように、5個の3次元要素で表した杭径 a 、杭間隔 b の杭状改良単位を、以下に示す変形モードの拘束条件を与えることにより図-1(b)に示すような2次元要素とし、既存の2次元解析プログラムに組込もうというものである。

- (1) Y方向の外側は平面ひずみである。
- (2) 中心線A-Aに対して対称運動をする。
- (3) XZ平面では平面運動をする。
- (4) 要素組内のZ変位は線形分布とする。

なお、杭状改良体へ向かう放射状による間隙水の消散については、関口らのマクロエレメント法²⁾が用いられている。

3. 1要素モデルによる比較

図2に示すように、1m間隔($b=1.0$)で正三角形配置された杭状改良地盤の1つの改良体を、2次元複合要素と3次元要素で表し、要素レベルでの比較を行った。

置換率は4%とした。図-2(a),(b)に示すように、ドレーンの影響径 De は排水面積が等しくなるよう決められる。したがって、マクロエレメント法では正方形配置を対象として影響径を $De=1.128b$ とするのに対し、ここでは正三角形配置を対象としているため $De=1.05b$ として間隙水の流れを取り扱う必要がある。

解析条件として、境界は両モデルとも、底面のZ変位、側面のX変位(3次元モデルではY変位も)を固定とした。また、側面および上下面からの間隙水の出入りは無いものとし、3次元モデルでは改良杭の周囲で過剰間隙水圧を 0tf/m^2 とした。改良杭は弾性体、原地盤は関口・太田モデル³⁾による弾塑性体とし、各々の物性値は表-1に示す通りである。図-3は、 1tf/m^2 の等分布荷重を鉛直に作用させたのち、12日間放置したときの間隙水圧の経時変化である。この図から、ドレーンの影響径を $De=1.05b$ とすることにより、複合要素は正三角形配置された杭状改良地盤の間隙水の流れを適切に表せることがわかる。図-4は、

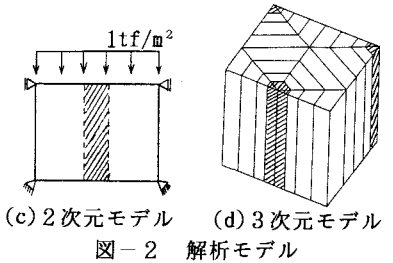
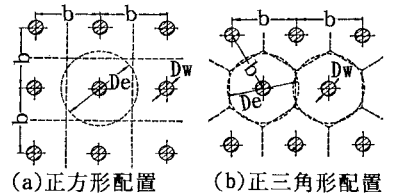
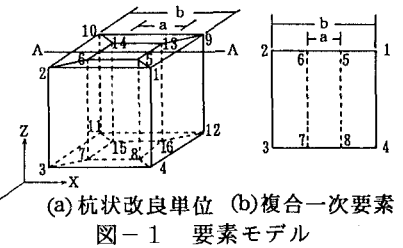


表-1 物性値

原地盤	改良杭
$D=0.053$	$E=100\text{ (tf/m}^2\text{)}$
$\Lambda=0.686$	$\nu=0.3$
$M=1.20$	$k=3.28\text{ (m/day)}$
$\nu=0.3$	
$k=3.28 \times 10^{-3}$ (m/day)	

ここで D : ダイレクシオン係数、 $\Lambda=1-\kappa/\lambda$
 M : クリティカルステイトパラメータ
 E : 弾性係数、 ν : ポアソン比
 k : 透水係数

鉛直有効応力の経時変化である。原地盤の応力は両ケースとも良く一致しているが、改良杭の応力は複合要素のほうがやや大きめになっている。これは、複合要素では要素内の鉛直変位が線形分布するという仮定によるものと思われる。

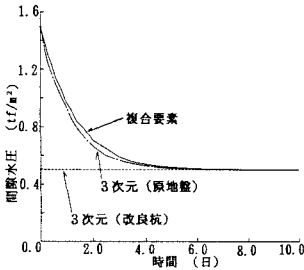


図-3 間隙水圧経時変化

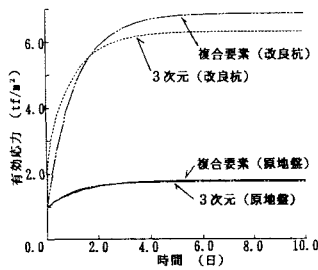
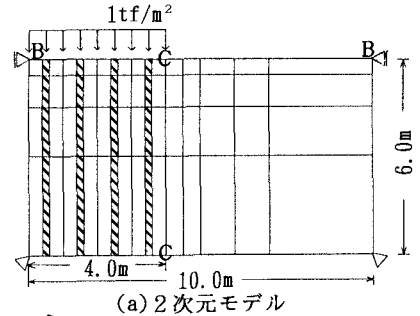
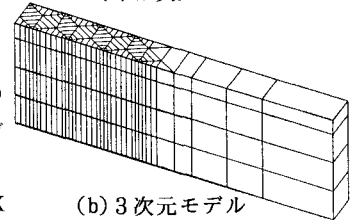


図-4 鉛直有効応力経時変化



(a) 2次元モデル



(b) 3次元モデル

図-5 解析モデル

4. 2次元モデルによる比較

次に、正三角形配置された杭状改良地盤に道路盛土のような帯状の荷重が作用した場合について、図-5に示すような2次元複合要素モデルと3次元モデルを用い、2次元問題での比較を行った。

杭間隔は1m、置換率は4%とした。境界は底面のZ変位、側面のX変位(3次元モデルではY変位も)を固定とした。また、側面及び下面からの間隙水の出入りは無いものとし、上面を排水条件とした。

図-6は、盛土中心最上部の間隙水圧の経時変化である。この図から、1要素モデルと同様に複合要素が間隙水の流れを適切に表していることがわかる。図-7及び図-8は、地表面沈下量(B-B)及び盛土右端(C-C)での側方変位である。3次元解析では杭頭部と原地盤の沈下量の差異が見られるのに対し、複合要素ではなめらかな曲線となっている。一般に改良地盤では、改良域の上部にサンドマットを敷くため完全な等分布荷重は作用せず、杭頭部と原地盤の沈下量に3次元解析のような顕著な差異が現れるとは限らないことから両者の沈下量はおおむね一致する。側方変位については $t=5$ (日)において若干結果が異なっており、盛土法尻の側方変位を精度良く表すには複合二次要素等の検討が必要と思われる。

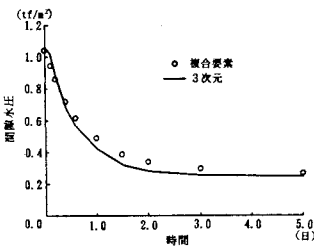


図-6 間隙水圧経時変化

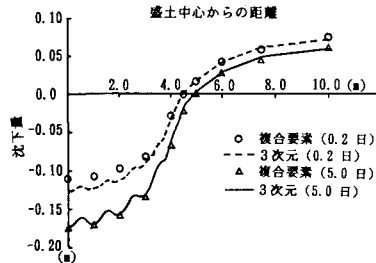


図-7 地表面沈下量分布

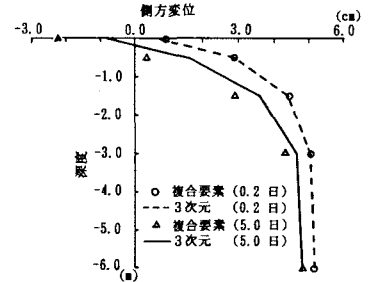


図-8 側方変位分布

5. おわりに

本解析では、複合地盤の3次元挙動を2次元有限要素法で解析できる手法として複合要素を取り上げ、正三角形配置された杭状改良地盤についてその適用性を検討した。その結果、複合要素のモデル化にあたりその影響径を考慮する必要があるものの、実用上の問題はないものと考えられる。

[参考文献]

- 1) 石崎仁・松岡元・中井照夫; 3次元挙動をする複合地盤の2次元有限要素解析法, 土木学会論文集, 400号, pp.113-121, 1988.
- 2) 関口秀雄・柴田徹・藤本朗・山口博久; 局部載荷を受けるパーチカルドレーン打設地盤の変形解析, 第31回 土質工学シンポジウム, 土質工学会, pp.111-116, 1986.
- 3) Ohta, H. and Sekiguchi, H.; Constitutive equations considering anisotropy and stress reorientation in clay : 3rd Int. Conf. on Numerical methods in geomechanics, pp.475-484, 1979.