

III-400

地盤の3次元弾塑性解析

名古屋工業大学大学院 学生会員 ○ 徐 連民
名古屋工業大学 正会員 中井照夫

これまで地盤の弾塑性解析は大部分が2次元（平面ひずみ、軸対称）解析で行われている。一方、トンネルの解析などでは3次元解析も行われるようになってきているが、弾性解析が行われている場合が多い。ここでは、トンネル掘削を単純化させた降下床問題をとりあげ、3次元解析でこそ、弾性解析ではなく、施工過程が地盤の応力・変形挙動に反映される弾塑性解析が必要であることを示す。

1. 解析の概要

トンネル掘削を単純化させた降下床問題を想定し、Fig.1に示すように $X=0$ m (YZ面)を対称面とする、 $20\text{ m} \times 20\text{ m} \times 80\text{ m}$ の半地盤を、250個の要素に分割して解析を行った。解析では $Z=0$ mと $Z=80$ mの両端面ではZ方向の変位を、 $X=20$ m端面ではX方向の変位を拘束している。底面では変位を固定し、 $X=0$ mおよび4 mの底面の節点に $L=0, 8, 16 \dots$ (m)の順にZ方向に向って、順次、-Y方向の強制変位(1 mmの変位増分で20 cmあるいは5 cm)を与えることにより、掘削をシミュレートしている。Fig.1では $L=24$ mまで掘削した様子を表す（実際は図に示すように $L=24$ mから $L=32$ mまではスロープ状に変位を与えていることになる）。解析に用いた要素は3次元8節点アイソパラメトリック要素で、地盤材料の構成モデルとして等方硬化型の t_{ij} -sand model¹⁾及び t_{ij} -clay model²⁾を用いている。また初期応力は自重と静止土圧係数を用いて与え、地盤は常に完全排水状態と仮定している。Table-1に解析で用いた豊浦砂と藤の森粘土の土質パラメーターを示す。

2. 解析結果と考察

Fig.2は砂地盤および粘土地盤における掘削距離(L)と地表面沈下量(C4点)関係を表す。降下量の変位量は20 cmと5 cmの2ケースについて解析した。同図より、20 cmの変位量を与えた時、3次元解析の最終沈下量は砂地盤では2次元解析に比べかなり小さいが、粘土地盤では逆に3次元解析の方が大きくなる。変位量が小さい(5 cm)の場合、砂地盤では3次元と2次元解析の間に差異はほとんどでないが、粘土地盤では20 cmの時と同様、3次元解析の沈下量が大きい。これはダイレイタンス特性の違いによるものであり、正のダイレイタンス(砂)と負のダイレイタンス(粘土)によって、このような差異が3次元解析で特に顕著となる。Fig.3は砂地盤の掘削距離(L)の進行に伴う3次元解析のC断面の鉛直変位のコンター図を(a)に、B断面の要素の体積ひずみと安全率分布のコンター図を(b)と(c)に示す。ここに、 $L=40$ mはA断面まで、 $L=80$ mはD断面まで降下床が下ったことを意味する。一方、Fig.4は2次元平面ひずみ解析結果であり、これはFig.1において降下床を $L=80$ mまで同時に降下させた場合に相当する。Fig.3より掘削断面がC断面に到達する前から、それまでの掘削の影響でこれらの断面では沈下が生じ、地盤内で応力、ひずみは変化している。さて、Fig.3の $L=80$ mの図とFig.4を比較すると、同じ降下床の変位量を与えているにもかかわらず、これらのコンター図が大きく異なっている（もし弾性解析をすればたとえ非線形であっても、これら2つの解析結果は一致する）。特に3次元解析の(b)図では大きな正のダイレイタンスが地盤内に生じており、Fig.2の変位量の差異がこの図から理解できる。

以上、ここではトンネル掘削のように掘削が終了すれば2次元(平面ひずみ)に考えられる地盤でもその施工過程が2次元的でない場合には、地盤材料の応力・ひずみ特性が地盤の応力・変形挙動に大きく影響することを明らかにした。

Table-1 Soil parameters for sand and clay

Toyoura sand		Fujimori clay	
C_t	0.84×10^{-2}	$\lambda / (1+e_0)$	5.08×10^{-2}
C_e	0.60×10^{-2}	$\kappa / (1+e_0)$	1.12×10^{-2}
m	0.3	R_f	3.5
R_f	4.7	α	0.70
D_f	-0.6	U_e	0.0
α	0.85		
U_e	0.0		

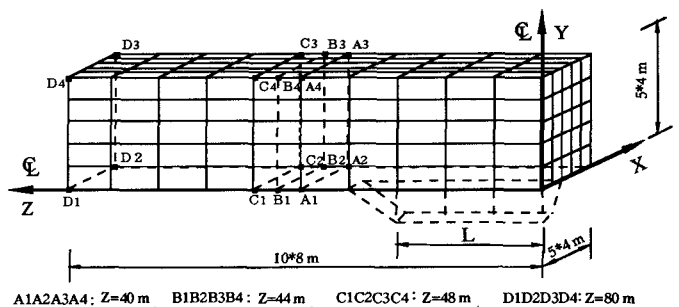


Fig.1 FEM Mesh

参考文献

- 1) Nakai, T. (1989) An isotropic hardening elastoplastic model for sand considering the stress path dependency in three-dimensional stresses. Soil and Foundations 29 (1), 119-137
- 2) Nakai, T. and Matsuoka, H. (1986) A generalised elastoplastic constitutive model for clay in three-dimensional stress. Soil and Foundations 26 (3), 81-98

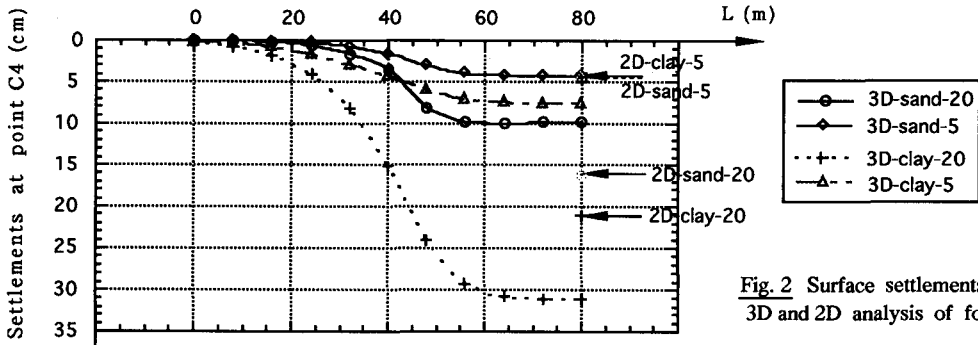


Fig. 2 Surface settlements of 3D and 2D analysis of foundation

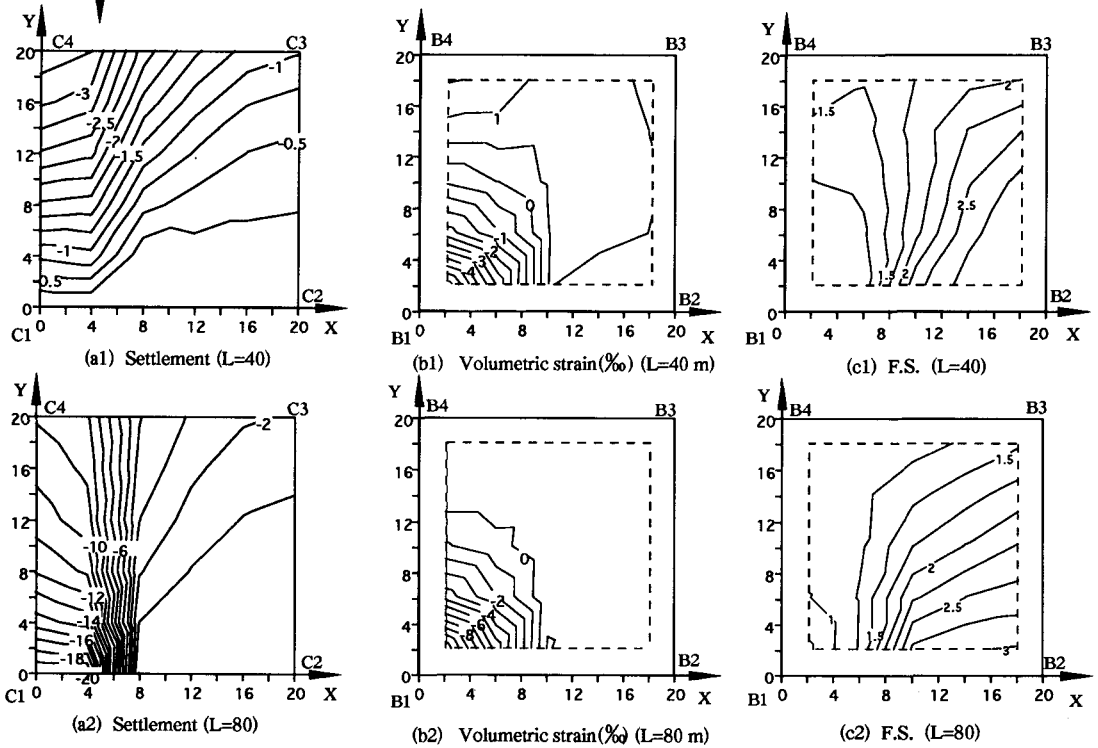


Fig. 3 Contours of 3 dimensional analysis

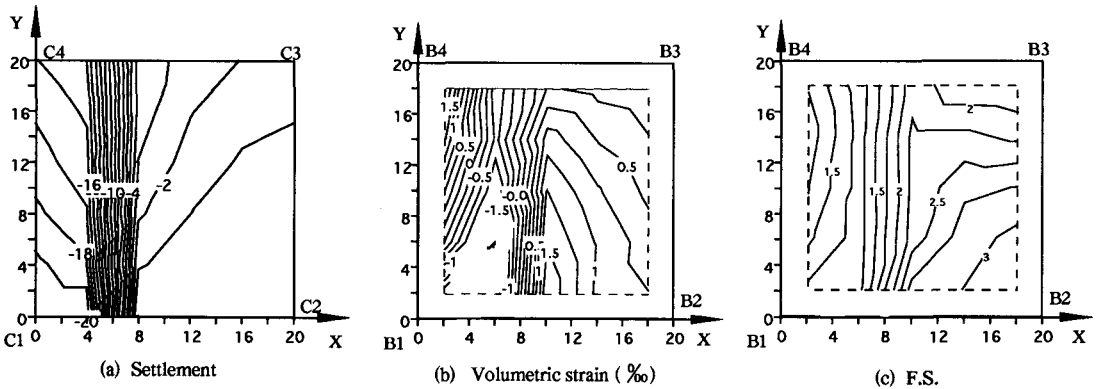


Fig. 4 Contours of plane strain analysis