

神戸大学都市安全研究センター 正会員 吉田信之
 神戸大学都市安全研究センター 正会員 西 勝
 神戸大学工学部 学生会員 ○荒井猛嗣
 京都大学大学院工学研究科 正会員 足立紀尚

1. まえがき

本報では、有限要素解析によりコセラ弾完塑性及び弾塑性ひずみ軟化地盤と仮定した砂質地盤に等分布帯状荷重を載荷した場合の変形・支持力を考察した。

2. コセラ弾塑性有限要素解析

コセラ連続体では、材料の変形はその微視構成要素の平行移動と剛体回転により記述され、古典連続体の応力に加えて偶応力も考慮される。等方弾性体の場合、構成関係式が次式のように表される。

$$\sigma_{ij} = \lambda \delta_{ij} \gamma_{kk} + (\mu + \kappa) \gamma_{ij} + \mu \gamma_{ji} \quad \mu_{ij} = \alpha \delta_{ij} \phi_{k,k} + \beta \phi_{i,j} + \gamma \phi_{j,i}$$

ここで、 σ_{ij} は応力テンソル、 μ_{ij} は偶応力テンソル、 $\gamma_{ij} = u_{j,i} - e_{ijk} \phi_k$ 、 $u_{j,i}$ はマクロ変位勾配、 ϕ_i はマイクロ回転ベクトルである。また、 λ 、 μ 、 κ 、 α 、 β 、 γ は弾性定数であり、 κ 、 α 、 β 、 γ がなければ古典弾性体の構成式となる。2次元変形ではねじりの影響及び異方向の偶応力と曲率の間の相乗効果が無視できるので、 α と β は0である。このとき、 λ 、 μ 、 κ 、 γ は古典弾性論のせん断弾性定数 G 及び体積弾性係数 K と $\lambda = K - (2/3)G$ 、 $\lambda + 2\mu + \kappa = K + (4/3)G$ 、 $\mu + \kappa = G + G_c$ 、 $\gamma = 4G l_c^2$ のように表される。 G_c はコセラせん断弾性係数、 l_c は特性長である。

塑性挙動を規定する降伏関数は既報¹⁾と同じDrucker-Prager型を用いる。さらに、ひずみ軟化挙動を表現するために、降伏関数の強度パラメタ α と κ を次式のような等価塑性偏差ひずみ $\bar{\epsilon}^p$ の関数とした。

$$\kappa = \kappa_p [1 - \bar{\epsilon}^p / \{ \xi_\kappa \bar{\epsilon}^p + \bar{\epsilon}_{res} \{ \kappa_p / (\kappa_p - \kappa_{res}) - \xi_\kappa \} \}]$$

$$\alpha = \alpha_p [1 - \bar{\epsilon}^p / \{ \xi_\alpha \bar{\epsilon}^p + \bar{\epsilon}_{res} \{ \alpha_p / (\alpha_p - \alpha_{res}) - \xi_\alpha \} \}]$$

$$\bar{\epsilon}^p = \int d\bar{\epsilon}^p \quad d\bar{\epsilon}^p = (b_1 d\epsilon_{ij}^p d\epsilon_{ij}^p + b_2 d\epsilon_{ij}^p d\epsilon_{ji}^p + b_3 d\kappa_{ij}^p d\kappa_{ij}^p l_c^2)^{1/2}$$

ここで、 ξ は軟化速度パラメタ、 $\bar{\epsilon}^p$ は残留状態に達する等価塑性偏差ひずみ量、 κ_{ij} は曲率ひずみ成分、 b_1 、 b_2 、 b_3 は材料パラメタである²⁾。また、サブスクリプト p 、 res はそれぞれピーク、残留時である。弾塑性有限要素法の定式化は、仮想変位の原理に基づいて通常の手法により剛性方程式が導かれる。

3. 解析条件及び解析方法

平面ひずみ条件下で半無限地盤上に等分布荷重 p が幅 $2m$ で作用する場合の地盤の変形・支持力を考える。地盤は弾完塑性 ($c' = 0.069 \text{ MPa}$, $\phi' = 20 \text{ deg.}$) あるいはひずみ軟化 ($c_p' = 0.069 \text{ MPa}$, $\phi_p' = 20 \text{ deg.}$; $c_r' = 0.0345 \text{ MPa}$, $\phi_r' = 10 \text{ deg.}$) 体とし、解析では載荷中心線を対称軸として2次の四辺形アイソパラメトリック要素でモデル化した。境界条件は、変位については両側面で水平方向固定、底面で水平及び鉛直両方向固定とし、また回転については底面でのみ固定とした。表-1に入力データをまとめて示す。解析は、収束解が得られなくなるまで増分載荷していくものである。なお、以下では紙数の都合上、結果の一部のみを示す。

4. 解析結果と考察

載荷圧－鉛直変位関係 図-1に載荷圧と載荷中心における鉛直変位量との関係を示す。古典連続体の支持力はプランドル解とほぼ一致している。同じ載荷圧では、コセラ連続体は古典連続体より小さな沈

下量を示し、極限時ではかなり大きな支持力を示す。また、ひずみ軟化地盤は、古典連続体とはほぼ同じ支持力を示すが、その発現過程が異なる。コセラ連続体では偶応力を降伏関数に考慮しなければ支持力が少し大きめになり (Case 1.2)、また l_c が小さくなると支持力も小さくなることがわかる (Case 1.4, Case 2.4)。地表面の回転の水平分布 図-2にCase1.1とCase 1.4の载荷圧ごとの地表面の回転量の水平分布を示す。 l_c の違いにより回転量にはかなりの違いが見られるが、ともに载荷縁下で相対的に大きな回転量となっている。また、ここには示していないが、偶応力を降伏関数に考慮しない場合には発生する回転の量ならびに分布も著しく異なっている。

5. あとがき

本報では、有限要素解析に基づいてコセラ弾塑性地盤の変形・支持力の特徴を調べるとともに、コセラ連続体固有のパラメタの影響についても検討した。コセラ連続体の方が支持力が大きく、また特性長の影響が大きいことや偶応力は無視できないことがわかった。

参考文献

1)足立, 吉田, 伊藤, 後藤, 帯基礎下の砂地盤のコセラ弾塑性有限要素解析. 平成8年度関西支部年次学術講演会講演概要, pp.III-13-1 ~ III-13-2. 2)Borst, R.de, 1990. Simulation of localization using Cosserat theory. Computer Aided Analysis and Design of Concrete Structures. Ed. by Bicanic,N. and Mang, H., pp.931-943.

表-1 入力データ

Para- meters	unit	Classical E-P	Cosserat E-P	Cosserat E-P	Cosserat E-P	Cosserat E-P	Cosserat S-W	Cosserat S-W
		Case 0	Case 1.1	Case 1.2	Case 1.3	Case 1.4	Case 2.1	Case 2.4
E	MPa	207	207	207	207	207	207	207
v		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
κ_p		0.06361	0.06361	0.06361	0.06361	0.06361	0.06361	0.06361
α_p		0.11185	0.11185	0.11185	0.11185	0.11185	0.11185	0.11185
κ_r		-	-	-	-	-	0.03380	0.03380
α_r		-	-	-	-	-	0.05759	0.05759
G_c	MPa	0	G	G	G	G	G	G
l_c	m	0	H	H	H/2	H/10	H	H/10
a_1		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
a_2		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
a_3		0	0.50	0.0	0.50	0.50	0.50	0.50
b_1		-	-	-	-	-	0.333	0.333
b_2		-	-	-	-	-	0.333	0.333
b_3		-	-	-	-	-	0.667	0.667
ξ_{Σ}		-	-	-	-	-	0.0	0.0
ξ_{α}		-	-	-	-	-	0.0	0.0
ϕ_T	%	-	-	-	-	-	10.0	10.0

E-P = elastic, perfectly-plastic model; S-W = strain-weakening model;
H=layer thickness, $G = E / 2(1+v)$.

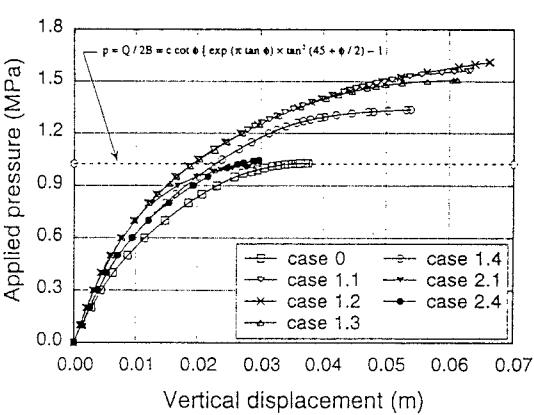


図-1 载荷圧－鉛直変位の関係

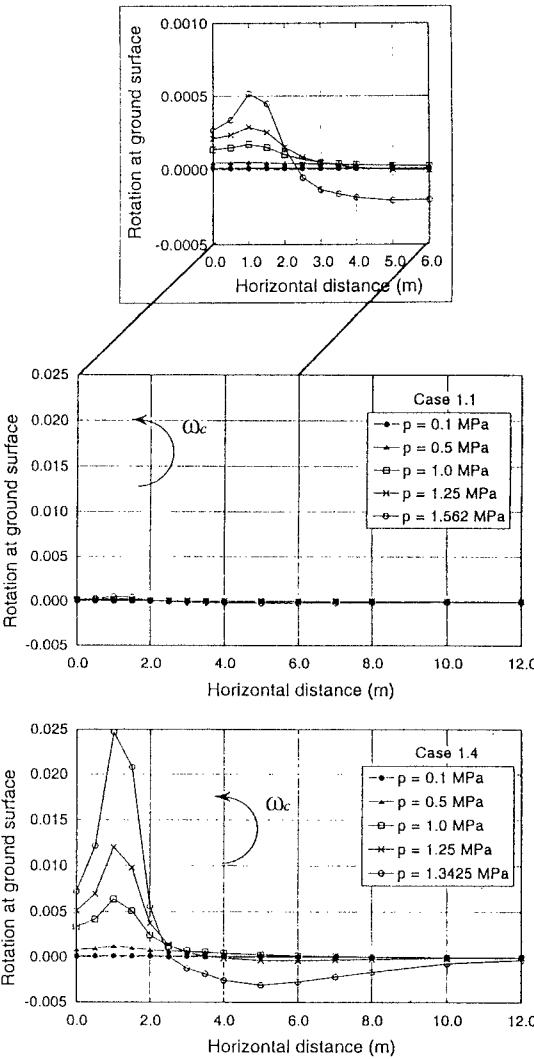


図-2 地表面の回転の水平分布