

京都大学工学部 正会員 足立 紀尚
 京都大学工学部 正会員 吉田 信之
 京都大学大学院 学生会員 伊藤 悟郎
 京都大学工学部 学生会員 ○後藤 隆一

はじめに コセラ連続体理論では、材料の有する内部構造の影響すなわち曲げ剛性も考慮され、導かれる構成式には微視的構造を表す特性長を含む。本報では、剛な帯基礎を砂質地盤に押し込んだ場合のコセラ弾塑性有限要素解析を行い、コセラ弾塑性体の挙動について考察した。

コセラ弾塑性有限要素解析

コセラ弾塑性モデル 平面変形条件下で応力テンソルおよびひずみテンソルをそれぞれ偶応力成分 μ 、曲率成分 κ を含む形で $\sigma = \langle \sigma_{11} \ \sigma_{22} \ \sigma_{21} \ \sigma_{21} \ \mu_{31} \ \mu_{32} \rangle$ 、 $\varepsilon = \langle \gamma_{11} \ \gamma_{22} \ \gamma_{21} \ \gamma_{21} \ \kappa_{31} \ \kappa_{32} \rangle$ とする。なお、 u_{ij} を変位勾配、 ω^3_i をマイクロ回転ベクトルとすると $\gamma_{ij} = u_{ij} + c_{ij3} \omega^3_i$ の関係がある。弾性構成式は既報¹⁾の通りであり、コセラ弾塑性体の構成式は古典連続体理論におけると同様にして誘導される。降伏関数は次式で表される偶応力を含む一般化した Drucker-Prager の降伏関数を用い、関連流動則を適用した。

$$F = \sqrt{J_2} + \alpha I_1 - \kappa = 0 \quad ; \quad I_1 = \sigma_{ii} \quad ; \quad J_2 = \alpha_1 s_{ij} s_{ij} + \alpha_2 s_{ij} s_{ji} + \alpha_3 \mu_{ij} \mu_{ij} / l_c^2$$

ここで、 α 、 κ は材料定数であり、 J_2 は粒状体に作用する応力の微視的考察から導かれたもので微視構造を表わす特性長 l_c を含むせん断応力²⁾であり、古典連続体論の偏差応力の第二不変量に相当する。

解析条件と解析手順 平面ひずみ条件下で剛な帯基礎（幅 $B=8\text{m}$ ）を砂質地盤（コセラ弾塑性体）に押し込んだ場合の支持力・変形について考える。地盤は幅 56m 、深さ 24m とし、対称性を考慮して図-1 に示すように 2 次のアインパラメトリック要素でモデル化した。境界条件は、変位に関しては両側面境界を鉛直ローラー支持、底面境界を完全固定とし、また、回転に関しては右側面と底面境界で固定とした。表-1 に地盤物性を示す。解析は、表-2 に示すように古典弾塑性体と仮定した場合（CLAS）を含む 4 ケースについて行なった。なお、コセラパラメタ G_c はせん断弾性係数 G に等しく、 l_c は標準砂の有効粒径を参考にした $1.6 \times 10^{-4}\text{m}$ とその 100 倍の $1.6 \times 10^{-2}\text{m}$ を仮定した。解析手順は、まず線形弾性解析を行ない地盤内に初期応力を導入した後、帯基礎の接地面に鉛直下方の強制変位を増分的に与え、収束解が得られなくなるまで計算を繰り返していく方法である。

解析結果 図-2 に、4 ケースで得られた荷重-沈下曲線を示す。なお、縦軸の鉛直変位量は初期応力導入時の変位量を引いた値である。図より、コセラ弾塑性体の方が古典弾塑性体よりも小さい荷重で同量貫入することがわかる。また、 α_3 はほとんど影響を及ぼしていないが、 l_c が大きい方が支持力が大きくなっている。支持力は、CLAS と COSS-1, 3 で約 6.3 MPa 、COSS-11 で約 7.8 MPa である。次に、鉛直応力分布として、貫入量 0.40m 時の地表面下 0.42m の水平面上の鉛直応力を図-3 に示す。なお、横軸は右側が載荷中心で載荷幅 B で無次元化し、載荷面周辺のみ示している。鉛直応力は載荷端直下内側で大きく、そこから離れるに従い急激に減少している。他より少し大きい鉛直応力が COSS-11 で生じている。図-4 に貫入量 0.40m 時の地表面下 0.42m での偶応力の水平分布を示す。COSS-11 で、載荷端直下内側で大きな偶応力が生じ側方へいくに従い急激に減少している。図では判読できないが、COSS-1, 3 でも非常に小さな偶応力（4 オーダー小さな）が COSS-11 と同じ載荷端直下の近傍にのみ発生しており、その大きさはほとんど同じであった。また、ここでは示さないが、曲率についても同様な傾向が認められている。

おわりに 本解析例では、コセラ弾塑性体と古典弾塑性体とで支持力に違いは見られたが、応力やひずみ分

Toshihisa ADACHI, Nobuyuki YOSHIDA, Goro ITOH and Ryuichi GOTO

布に大きな差は認められなかった。これは、砂質地盤が柔であったこと、微視構造の影響が荷端直下に局所的に現われたこと、 l_c の値が解析対象領域と比較して小さかった (COSS-1, 3) ことによると考えられる。今後、種々の地盤条件での解析を行うとともに、コセラパラメタの妥当性について考察していく予定である。

参考文献 1) 伊藤, 吉田, 足立, 1995. コセラ弾性有限要素解析による軟岩層状地盤の変形挙動について. 土木学会第50回年次学術講演会講演概要集, 3 - A, pp. 662 - 663. 2) Muhlhaus, H.-B. and Vardoulakis, I., 1987. The thickness of shear bands in granular materials. Geotechnique, 37, No.3, pp. 271-283.

表 - 1 砂質地盤の諸特性

γ (MN/m ³)	E (MPa)	ν	κ	α	G (MPa)
0.015	20	0.33	0.0072	0.137	7.51

表 - 2 解析ケース

	α_1	α_2	α_3	Gc (MPa)	l_c (m)
CLAS	1/4	1/4	0	0	0
COSS-1	1/4	1/4	1/8	7.51	0.16×10^{-3}
COSS-3	1/4	1/4	1/2	7.51	0.16×10^{-3}
COSS-11	1/4	1/4	1/8	7.51	0.016

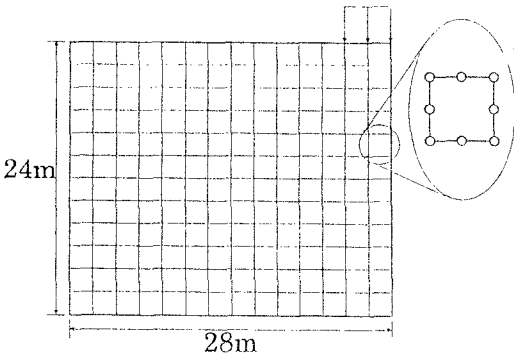


図 - 1 有限要素メッシュ

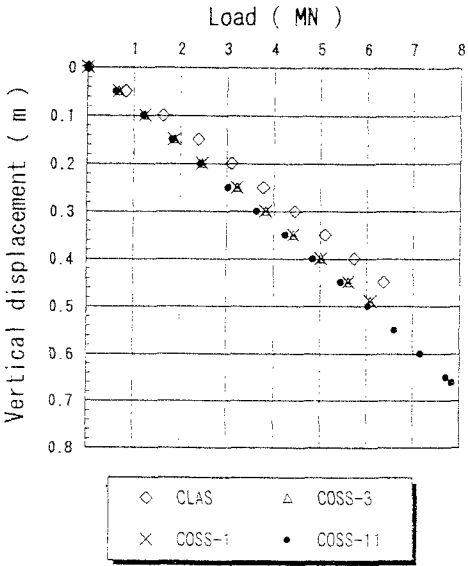


図 - 2 荷重-沈下曲線

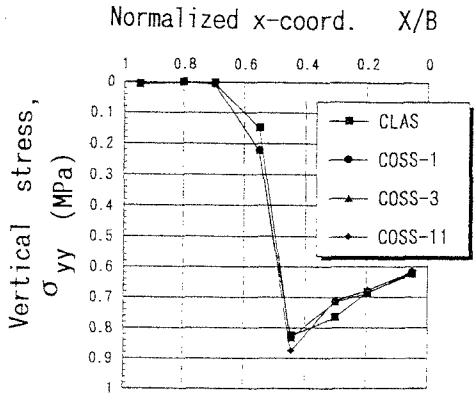


図 - 3 鉛直応力分布 (貫入量0.40m:地表面下0.42m)

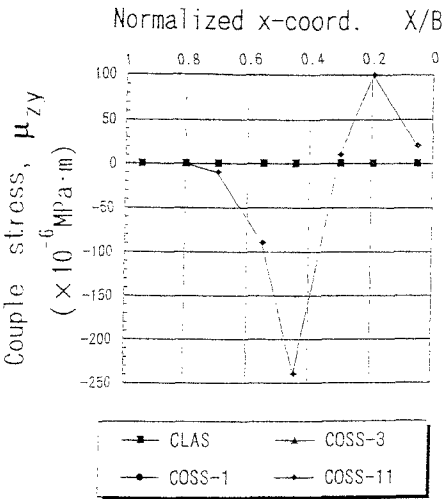


図 - 4 偶応力分布 (貫入量0.40m:地表面下0.42m)