

III-A 47

三軸圧縮試験による粘土混じり礫の変形特性（その2）—地盤定数の定式化—

日本道路公団 瀬谷 時夫 藤本 泰弘
 (株)白石 倉知 禎直 大内 正敏
 東京大学生産技術研究所 古関 潤一

1.はじめに

筆者らは、地盤反力係数の寸法効果、ひずみ依存性を検討するために、深礎孔内で水平載荷試験を実施し、載荷地盤の変形特性を把握するために不攪乱試料を採取し、LDTを用いた三軸圧縮試験を行った。前報¹⁾では、三軸圧縮試験結果について述べたが、本論文は、変形解析を行うために、三軸圧縮試験結果を定式化し、それらを用いて三軸圧縮試験のシミュレーションを行った結果を報告する。

2.土質定数

(1)最大弾性係数の定式化 図-1は、最大弾性係数 E_{max} と拘束圧 σ_3 の関係を示している。 E_{max} の拘束圧依存性を $E_{max}=a\sigma_3^m$ として定式化し、係数 a 及び m を最小自乗法で求めた。

$$E_{max}=3137.6\sigma_3^{0.5363} \quad (式1)$$

(2)最大主応力差の定式化 図-2は最大主応力差と拘束圧の関係を示している。ここで、前報¹⁾で示したG.L.-5.0m拘束圧5.0kgf/cm²のデータは、供試体内の粘土分含有量が他の試料と異なっていたので除外した。これらの関係を線形的に定式化した場合、解析時に q_{max} を過大評価することが考えられるので、 q_{max} の定式化に拘束圧が高くなるに従い ϕ が減少するような拘束圧依存性を取入れた。ここで内部摩擦角 ϕ の低減率は図-3に示すようにde Beerの提案式²⁾で決定し、平均応力 $\sigma_m=6.93\text{kgf/cm}^2$ ($\sigma_3=2.0\text{kgf/cm}^2$)までは、内部摩擦角を一定とした。

$$q_{max}=3.85\sigma_3+2.16 \quad (0 \leq \sigma_3 < 2\text{kgf/cm}^2) \quad (式2)$$

$$q_{max}=2.91(\sigma_3-2.0)^{0.79}+9.85 \quad (\sigma_3 \geq 2\text{kgf/cm}^2)$$

(式3)

(3)弾性係数の定式化 応力ひずみ関係の非線形性をモデル化するために、ここでは龍岡らの一般化双曲線関数 (General Hyperbolic Equation)³⁾を用いた。図-4に正規化弾性係数 E_{tan}/E_{max} と正規化主応力差 q/q_{max} の関係を示す。ここでは、試料採取位置の土被り圧以上の拘束圧 (G.L.-5m $\sigma_3=1.2\text{kgf/cm}^2$, G.L.-10m $\sigma_3=2.4, 5\text{kgf/cm}^2$)のデータを定式化に用いた。 E_{tan}/E_{max} には拘束圧依存性を考慮せず、全データの平均的な関係として設定した。

$$\frac{E_{tan}}{E_{max}} = \frac{1-y+c(y^2-y)+d(y^3-y)}{1+by} \quad y = \frac{q}{q_{max}} \quad (式4)$$

$$b=66.87, c=-0.4, d=-6.76$$

(4)ポアソン比 ポアソン比は前報¹⁾で述べたように、 q/q_{max} の増加と共に増加するが、各拘束圧でのデータのバラツキが大きいため、等体積条件に相当する $\nu=0.49999$ で一定と仮定した。

3.FEMシミュレーション

前節で述べた地盤定数の定式化の妥当性を確認するために三軸圧縮試験の非線形弾性解析 (使用ソフト:MARC)を行った。解析条件は、供試体を軸対称問題として仮定し、土質パラメータは(式1~4)に基づいて決定した。また、載荷方法は、実験では微小な繰返しを入れたが、シミュレーションでは、単調載荷とし、荷重ステップを100ステップとした。

4.シミュレーション結果

図-5,6は三軸圧縮試験シミュレーションの結果である。ここでは、前報で述べたように、採取位置と拘束圧の違うG.L.-5.0mで $\sigma_3=1.0\text{kgf/cm}^2$ 、G.L.-10mで σ_3

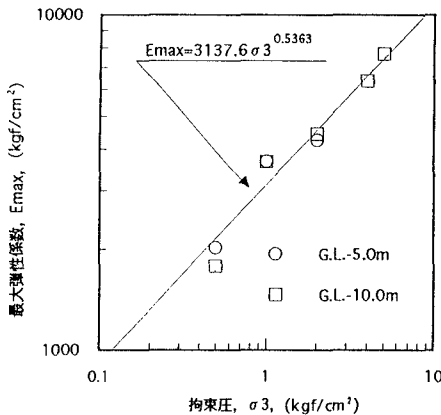


図-1 最大弾性係数と拘束圧の関係

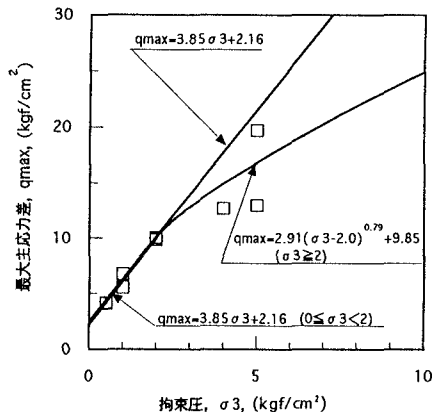


図-2 最大主応力差と拘束圧の関係

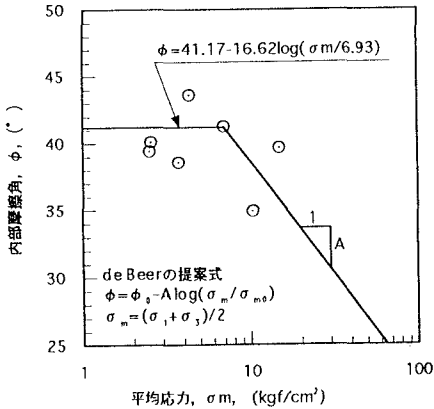


図-3 内部摩擦角と平均応力の関係

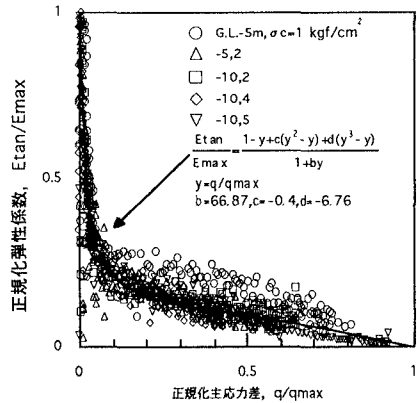


図-4 正規化弾性係数と正規化主応力差の関係

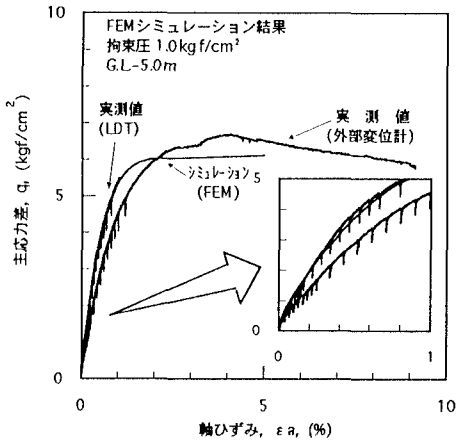


図-5 FEMシミュレーション結果
主応力差と軸ひずみの関係
(G.L.-5m, $\sigma_3=1.0\text{kgf/cm}^2$)

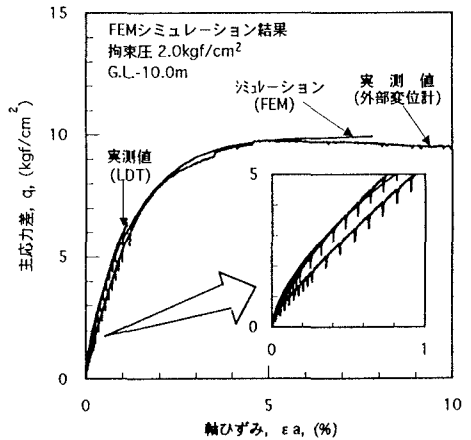


図-6 FEMシミュレーション結果
主応力差と軸ひずみの関係
(G.L.-10m, $\sigma_3=2.0\text{kgf/cm}^2$)

$\sigma_3=2.0\text{kgf/cm}^2$ の2ケースについて結果を示している。どちらのケースとも、実験値と解析値がほぼ一致していることが分かる。解析値は、LDTの計測範囲（軸ひずみ1%以内）と破壊までの挙動をよく再現している。ここで、実験値と解析値の間に差が見られる。原因としてEtan/Emaxの定式化において実験値に見られる若干の拘束圧依存性を無視したこと、また、荷重により変化するポアソン比を一定としたことが考えられる。

5. まとめ

三軸圧縮試験結果を定式化し、それらを用いて三軸圧縮試験のシミュレーションを行った結果、シミュレーション結果は実験値とほぼ一致しており、土質定数の定式化の妥当性を確認した。特に、弾性係数の定式化に用いた一般化双曲線関数により、微小ひずみ領域の挙動を把握できた。

今後、本結果を用いて原位置で行われた深礎孔内の

水平荷重試験のシミュレートし、地盤反力係数の寸法効果について検討していく予定である。

最後に、本研究は高速道路調査会「基礎工の諸問題に関する調査研究」（委員長：前田良刀九州共立大学教授）の一環として実施されたものである。

参考文献

- 1) 湯川, 大石, 古関, 蔭, 山口(1996):三軸圧縮試験による粘土混じり礫の変形特性(その1),土木学会第51回年次学術講演会,投稿中,
- 2) de Beer, E.E.(1963):The scale effect in transposition of the results of deep sounding tests on the ultimate bearing capacity of piles and caisson foundations, Geotechnique, Vol.13, pp.39-75.
- 3) Siddiquee, M.S.A., Tatsuoka, F., Hoque, E., Yoshida, O., Yamamoto, S., Tubouchi, T., Tanaka, T.(1994):FEM simulation of footing settlement for stiff geomaterials, Proc. Prefailure Deformation of Geomaterials, IS-Hokkaido, pp.531-537.