

Ⅲ-B63

地盤材料の変形特性が地盤反力係数の載荷幅依存性に与える影響

日本道路公団 正会員 緒方辰男

株式会社白石 正会員 倉知禎直, 大内正敏, 岩本靖

東京大学生産技術研究所 正会員 古関潤一

1.はじめに 筆者らは、地盤材料のひずみ・応力依存性などの変形特性が地盤反力係数(k 値)の載荷幅依存性に与える影響を検討することを目的に、JH脇西工事にて深礎孔内で水平方向平板載荷試験を実施し¹⁾、LDTを用いた三軸試験結果を用い、地盤の微小ひずみレベルでの変形係数や応力ひずみ関係の非線形性を取り入れたFEMシミュレーションを行った²⁾。また、パラメトリックスタディを行い地盤特性の拘束圧・ひずみレベル依存性が k 値の寸法効果に与える影響について検討した³⁾。これまで、粘着力 c と内部摩擦角 ϕ の両者を有する粘土混じり礫地盤($c \cdot \phi$ 材)について検討を行ってきたが、本文では、他地盤材料でパラメトリックスタディを実施し、地盤材料特性の違いが k 値の載荷幅依存性に及ぼす影響を検討した結果について報告する。

2.パラメトリックスタディに用いた地盤定数 対象とした地盤材料は c が支配的な軟岩⁴⁾(c 材)と ϕ が支配的な再構成礫⁵⁾(ϕ 材)である。応力ひずみ関係の定式化は、地盤材料の応力依存性及び非線形性を評価するために、最大弾性係数 E_{max} 、最大主応力差 q_{max} 、接線弾性係数 E_{tan} について前報⁶⁾に示す通り龍岡らの一般化双曲線関数⁷⁾を参考に行った。図-1は q_{max} と拘束圧 σ_3 の関係を示している。 c 材は、粘着力成分が支配的であるため、拘束圧依存性が小さい。一方、 ϕ 材は、 σ_3 の増加と共に q_{max} が大きく変化し、 $c \cdot \phi$ 材はこれらの中間的な挙動を示す。図-2は、各地盤材料の E_{max} と σ_3 の関係を示している。 q_{max} と同様に E_{max} の拘束圧依存性は、 c 材、 ϕ 材で大きく異なる。 c 材は、 $E_{max} = a \sigma_3 + b$ として、 ϕ 材及び $c \cdot \phi$ 材は、 $E_{max} = a \sigma_3^m$ として⁸⁾定式化した。なお、 ϕ 材と $c \cdot \phi$ 材では、 q_{max} ほど拘束圧依存性の差が生じていない。図-3は、正規化接線弾性係数 E_{tan}/E_{max} と正規化主応力差 q/q_{max} の関係を各地盤材料で比較している。 c 材は q/q_{max} (せん断応力比)の増加に伴い徐々に弾性係数が低減するのに対し、 ϕ 材及び $c \cdot \phi$ 材は、 $q/q_{max} = 0.1 \sim 0.2$ で急激に低下し、非線形性が強い。

3.パラメトリックスタディ パラメトリックスタディは非線形弾性解析で、載荷初期の挙動を把握することを目的に行った。水平方向の地盤反力係数の検討には原位置載荷試験同様、深礎孔内の土留めの一部を用いた局所的な載荷試験¹⁾を想定して、3次元FEMで行った。図-4に解析領域図を示す。載荷板は地盤変形モードの違いを生じさせないよう深礎径を載荷幅とする半円形とした。載荷幅 B は1.0, 2.5, 5.0mの3通りである。載荷位置は、G.L.-10mの位置で一定とし、各地盤のポアソン比は、三軸圧縮試験結果から c 材: $\nu = 0.2$, $c \cdot \phi$ 材: $\nu = 0.35$, ϕ 材: $\nu = 0.3$ とした。静止土圧係数 K_0 は各地盤材料とも1.0とした。鉛直方向の地盤反力係数の検討は、2次元軸対称FEMで円形載荷板による平板載荷試験をモデル化し検討した³⁾。載荷板の直径 B は、1, 2.5, 5, 10, 20mの5通りで行い、 ν 及び K_0 は水平方向の検討と同様とした。

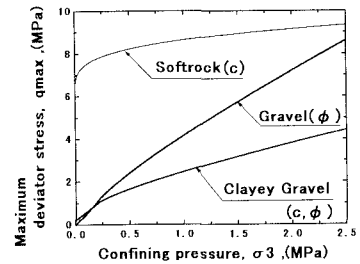
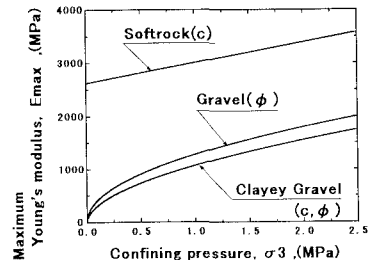
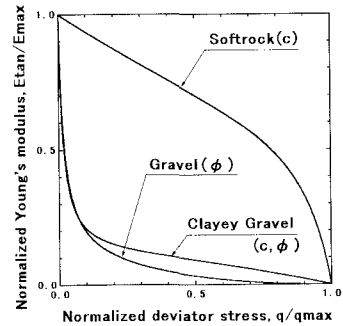
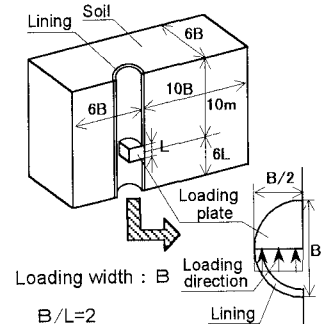
図-1. q_{max} と σ_3 の関係図-2. E_{max} と σ_3 の関係図-3. E_{tan}/E_{max} と q/q_{max} の関係

図-4. 解析領域図

keywords: 地盤反力係数, 載荷幅依存性, 有限要素法, 浅い基礎, 杭の水平抵抗

連絡先: 株式会社白石 (〒101-8588 東京都千代田区神田岩本町1-14, Tel. 03-3253-9118, Fax. 03-3253-7427)

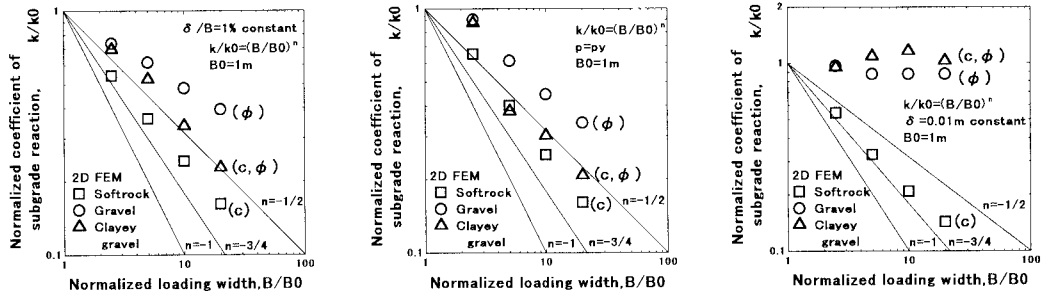


図5. 鉛直方向の地盤反力係数の載荷幅依存性

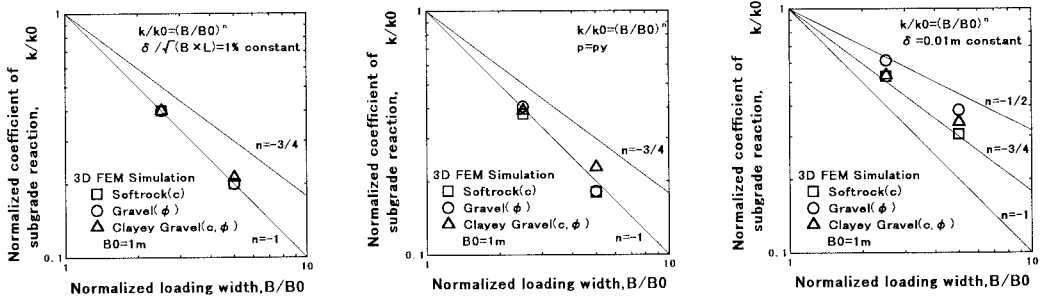


図6. 水平方向の地盤反力係数の載荷幅依存性

4. 解析結果 図-5は、2次元FEMの結果から同一のひずみレベル($\delta/\sqrt{(B \times L)}=1\%$)・変位レベル($\delta=0.01\text{m}$)・荷重レベル($p=py$: py は荷重変位関係から求めた降伏荷重)における鉛直方向の k 値を算出し、載荷幅 $B_0=1.0\text{m}$ の値(k_0)で正規化した正規化地盤反力係数 k/k_0 と、正規化載荷幅 B/B_0 の関係を示している。図中には、 k 値の載荷幅依存性を $(k/k_0)=(B/B_0)^n$ の形で評価した場合の関係も示した。同一のひずみ・荷重レベルでの k 値の載荷幅依存性は、 c 材で $n=-3/5$ 、 $c \cdot \phi$ 材で $n=-1/2$ 程度である。鉛直載荷の場合、地盤内に発生するひずみレベルが同じであっても、深さ方向に拘束圧が増加し、この結果として本解析においてはせん断ひずみ比 $\gamma/\gamma_{\max}$ も異なるため、拘束圧依存性と非線形性によって対応する弾性係数が変化し、載荷幅依存性が生じる³⁾。一方、同一の変位レベルで整理した場合、 c 材では $n=-3/4 \sim -1/2$ 程度であるが、 ϕ 材及び $c \cdot \phi$ 材は k 値が載荷幅に依存せずほぼ一定値($n=0$)を示している。同じ変位量では、載荷幅により地盤に生じるひずみ量が異なるため、地盤材料の持つ非線形性の影響を大きく受けたと考える。特に、非線形性の強い ϕ 材及び $c \cdot \phi$ 材では、弾性係数が著しく変化する領域で弾性係数を評価したため、線形弾性論的な載荷幅依存性($n=-1$)と著しく異なつたと考える。

図-6は、3次元FEMから得られた水平方向の k 値の載荷幅依存性を2次元FEMと同様に k/k_0 と B/B_0 の関係として示している。同一のひずみレベル・荷重レベルで k 値の載荷幅依存性を整理した場合、 $n=-1$ 程度となり線形弾性論的な挙動を示している。これは、水平載荷の場合、前述した拘束圧依存性の影響が現れにくいためである。一方、同一の変位量に着目して k 値の載荷幅依存性を検討すると、前述したように載荷幅の大きさにより地盤内に生じるひずみ量が異なるため、 c 材では、 $n=-3/4$ 程度、 ϕ 材は、 $n=-1/2$ 程度の載荷幅依存性を示した。この差は、材料特性の拘束圧依存性と非線形性の違いにより生じたものと考えられる。

5. おわりに 地盤材料の変形特性が k 値の載荷幅依存性に与える影響を検討するため、 c 材・ ϕ 材、 c と ϕ を持つ材料でパラメトリクススタディを行った。その結果、 k 値の載荷幅依存性は、同一のひずみレベル・荷重レベル・変位レベルのいずれで整理するかによってそれぞれ異なり、地盤材料のもつ変形特性(非線形性や拘束圧依存性)と載荷方向に影響されることを示した。

最後に、本研究は(財)高速道路調査会「柱状体基礎の設計に関する調査研究」(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)垂水ら(1995):第30回地盤工学研究発表会, pp.1477-1478. 2)湯川ら(1997):第32回地盤工学研究発表会, pp.1629-1630. 3)湯川ら(1997):第32回地盤工学研究発表会, pp.37-38. 4)王林(1996):東京大学博士論文, 5)蔭関魯(1996):東京大学博士論文. 6)瀬谷ら(1996):第51回土木学会年次学術講演会, pp.94-95. 7)Tatsuoka&Shibuya(1990):Proc. of Int. Jour. for numerical&analytical methods in geomech., Vol.14, pp.587-594. 8)Kohata, et al(1997):Geotechnique, Vol.47, No.3, pp.563-580.