

圧縮性を有する砂質地盤中の杭の先端支持力特性について

九州大学工学部 学○清水敬広 正 落合英俊 正 安福規之
九州大学工学部 正 大嶺 聖 正 大野司郎

1. はじめに

基礎の支持力を評価する際、拘束圧の増加に伴うせん断抵抗角の減少や、粒子破碎に伴う体積減少などのせん断・圧縮特性、初期応力状態等の影響を考慮することが重要である。特に、杭基礎直下や大型基礎周辺のような高拘束圧域においては、地盤の破壊よりもむしろ材料の圧縮性に起因して生じる過大な沈下が基礎の設計を困難にしている。このような観点から杭の先端支持力に関する数多くの研究がなされてきた。その一つとして、安福らの提案による地盤材料の圧縮性を取り入れた経験的な評価手法がある¹⁾。本報では、圧縮性の異なる2種類の砂を対象に模型杭の載荷試験を行い、先端支持力の発現特性を安福らの提案による評価手法を用いて検討する。

2. 圧縮性を考慮した支持力評価

図-1に安福らによる支持力評価の手順を示す。この手法は、等方圧縮試験により圧縮係数 C_p を求め、これと修正係数 F_f の関係より $q_{pult} = F_f \cdot N_q \cdot \sigma_v$ から極限支持力が求められることが特徴である。つまり、圧縮係数 C_p (等方圧縮試験から得られる $e - \ln \sigma'_m$ 曲線の任意の拘束圧における接線勾配) によって支持力評価式に圧縮性が考慮されている。ここに $\sigma'_m = (\sigma'_a + 2\sigma'_r)/3$ は平均有効応力である。また、修正係数 F_f は数多くの模型杭の載荷試験を行い、杭の沈下量が杭径に達したときの先端支持力 $q_{p100\%}$ を極限支持力とみなして、 C_p と関係づけたものである。支持力算定には、Prandtl の支持力係数 $N_q = \tan^2(\pi/4 + \phi'/2) \exp(\pi \tan \phi')$ を用いて、 ϕ' は限界状態の概念から ϕ'_{ch} として定めている。

3. 試料および模型実験

模型実験に用いた試料は気乾状態の豊浦砂 ($G_s = 2.640$, $e_{max} = 0.986$, $e_{min} = 0.607$) および Quiou 砂 ($G_s = 2.697$, $e_{max} = 1.303$, $e_{min} = 0.786$) である。模型杭はステンレス製の平坦杭で、杭径 30mm である。供試体は内径 305mm、高さ 400mm の円筒形で、側方を厚さ 1mm のメンブレンで拘束している。供試体への載荷は側圧、上載圧、模型杭への3系統によって行った。模型地盤は多重ふるいを用いた空中落下法により作成し、初期応力状態は、上載圧 100, 200, 400kPa に対し側圧/上載圧 = 0.5 の条件を与えた。また、模型杭への載荷はひずみ制御方式(沈下速度 0.2%/min)で行い、沈下量が杭径に達するまで続けた。

4. 試料の圧縮特性について

各試料の圧縮特性を把握するため一次元圧縮試験より得られる $e - \ln \sigma'_m$ 曲線から圧縮係数を求めた。図-2は平均有効応力 σ'_m と圧縮係数 C_p の関係を示している。各試料とも拘束圧の増加に伴って C_p の値は増加しており、拘束圧の増加とともに圧縮性が增大する傾向が見られる。ただし、さらに大きい拘束圧を与えると C_p の値はある一定値に収束するものと思われる。また、豊浦砂に比べ Quiou 砂の方が C_p の値は著しく大きく、圧縮性が顕著であると判断できる。

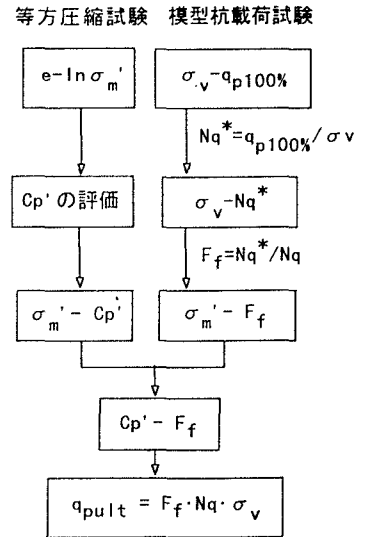


図-1 圧縮性を取り入れた支持力評価手法

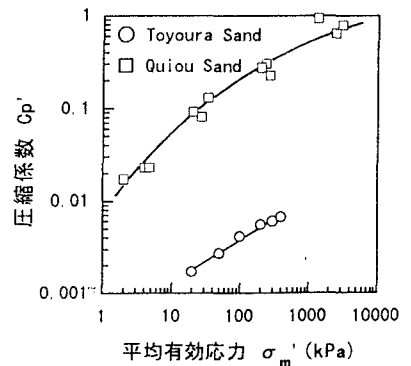


図-2 平均有効応力と圧縮係数の関係

5. 模型実験結果および考察

5.1 先端支持力と沈下量の関係

図-3は、各試料の先端支持力 q_p と沈下量 S/D (沈下量杭径比)の関係を示している。(a)図は相対密度 $Dr=90\%$ の豊浦砂、(b)図は $Dr=85\%$ のQuiou砂の結果である。各試料とも上載圧 σ_v の増加に伴い初期の立ち上がりや先端支持力は増加している。また、Quiou砂は豊浦砂に比べ約1/2と小さな値を示し、初期の立ち上がりも格段に緩やかなものとなっている。これは両試料の圧縮性の違いが支持力発現に影響を及ぼしているためであると考えられる。

5.2 極限先端支持力と上載圧の関係

図-4は、図-1中の式から求められる修正係数 N_q^* ($=q_{p100\%}/\sigma_v$)と上載圧の関係を示している。図中の破線はPrandtlの支持力係数 N_q の値である。両試料とも上載圧の増加とともに N_q^* の値は減少しているが、その傾向は豊浦砂に比べてQuiou砂の方が著しい。また、Prandtlの支持力係数 N_q に着目すると、豊浦砂の場合は実験値を過小評価し、Quiou砂の場合は逆に過大評価していることがわかる。従って、内部摩擦角のみの関数で与えられる支持力係数では先端支持力をうまく評価できず、地盤材料の圧縮性の影響を考慮することが重要であると考えられる。

5.3 圧縮性の影響を取り入れた先端支持力評価

図-5は圧縮係数 C_p' と修正係数 F_f の関係を示している。図中の線は安福らの提案によるもので、プロットは今回実験により得られたデータである。安福らによると修正係数 F_f は圧縮係数 C_p' の増加とともに徐々に減少し、ある値(0.3程度)に収束するが、Quiou砂に関しても同様の傾向が伺える。しかし、収束しはじめるまでの C_p' の値は多少大きな値を示している。この理由として、① Quiou砂が他の試料に比べて極めて圧縮性に富んでいること、②安福らの結果が等方圧縮試験から得られた C_p' であるのに対し、プロットは一次元圧縮試験から得られた C_p' を用いていることが考えられる。このため、Quiou砂の圧縮係数が小さい $C_p' < 0.04$ の範囲ではさらなる検討が必要である。

5. おわりに

圧縮係数 C_p' を用いて模型杭の先端支持力評価を行った。その結果、上載圧の増加に伴い先端支持力が増加するが、その傾向は圧縮性の小さい豊浦砂の方が顕著であることを確認した。また、Quiou砂の C_p' - F_f 関係は圧縮係数の増加に伴いある値に収束する傾向があり、先端支持力を補正する修正係数が有用なものであることが確認できた。

<参考文献>1) 安福ら：圧縮性の卓越した砂中の杭の先端支持力とその評価。土木学会論文集, No. 505, pp. 191~200, 1994.

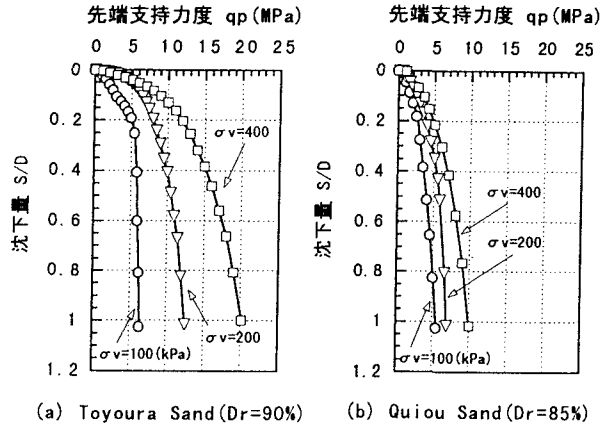


図-3 先端支持力と沈下量の関係

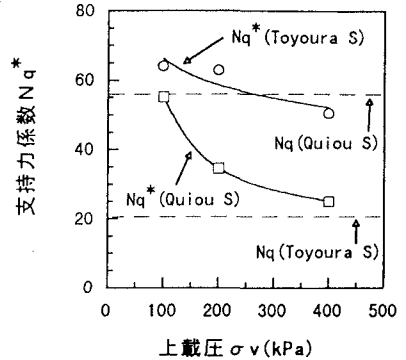


図-4 上載圧と支持力係数の関係

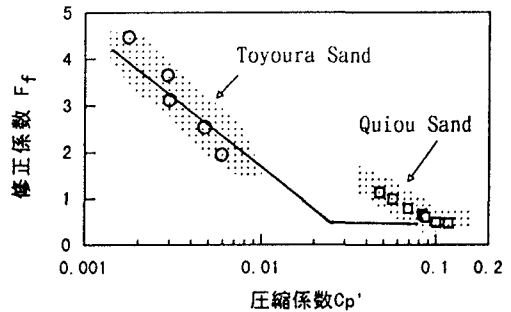


図-5 圧縮係数と修正係数の関係