

杭の支持力算定におけるせん断剛性の評価

九州大学工学部 学○高原 良太 正 落合 英俊
九州大学工学部 正 安福 規之 正 大野 司郎

1. はじめに 通常地盤材料では拘束圧の増加に伴って内部摩擦角は減少し、圧縮性が增大することが知られている。このような材料特性の変化は破碎性の卓越した材料ほど顕著であり、そのような地盤中での合理的な杭の支持力算定法の確立が望まれている。著者らは、圧縮性の卓越する破碎性地盤中での杭先端における破壊形態の観察に基づく破壊モードの仮定と Vesic の空洞膨張圧理論を組み合わせた先端支持力算定法を提案し、1) 地盤の初期応力と密接に係わる静止土圧係数、2) 地盤の強さに係わる内部摩擦角、3) 地盤の圧縮性を反映した体積変化特性、4) 地盤の固さに関係するせん断剛性、の4つの事項をバランスよく評価することが重要であることを示した¹⁾。本報では、それらのパラメーターを実用上簡便に求めることのできる方法が必要であることから、材料の圧縮性の違いに着目し、空洞膨張理論に整合するようなせん断剛性の決定法についての検討を行った。

2. 空洞膨張理論に基づく支持力算定式 著者らは、砂の圧縮性を考慮した杭の先端支持力を評価するために、Vesic の示した空洞膨張理論と落合の静止土圧係数算定式 $K_0=1-\sin\phi'_v$ を利用して、均質な等方弾・完全塑性体として地盤材料を仮定し、この材料で囲まれた空洞を膨張させるために必要な極限圧力を求め、それと杭の先端支持力 q_p とを関連づける次の計算式を提案した。

$$q_p = \frac{1}{1-\sin\phi} \left(\frac{1+2K_0}{3} \sigma_v \right) \frac{3(1+\sin\phi)}{3-\sin\phi} (Irr)^{\frac{4\sin\phi}{3(1+\sin\phi)}} - (1)$$

$$Irr = \frac{Ir}{1+Ir\Delta_{av}} - (2) \quad Ir = \frac{G}{(1+2K_0)\sigma_v \tan\phi} - (3)$$

ここに、 K_0 : 静止土圧係数、 σ_v : 土被り圧、 Δ_{av} : 塑性域の平均的な体積ひずみ、 ϕ : 内部摩擦角、 G : せん断剛性、 Ir : 剛性指数、 Irr : 修正剛性指数、である。 Irr は Δ_{av} と G の関数となっており、杭の支持力を算定するうえでこれらのパラメーターを合理的に評価することが重要である。

3. せん断剛性の評価 地盤材料のせん断剛性はそれを定義するひずみレベルにより、図-1の実線のように変化する²⁾。したがって、杭の支持力を算定する際にどのひずみレベルでの G を用いればよいかが問題となる。図-1の破線はそれぞれのひずみレベルでの G を用いて(1)式より算定した q_p の値($\Delta_{av}=0$)を示しているが、 G のとり方によって q_p の値が大きく変化することが分かる。そのため、空洞膨張理論に最も整合するような G を合理的に評価することが重要である。Vesicの仮定した等方弾・完全塑性体のせん断剛性 G に整合するようなせん断剛性としては、図-2に示すように载荷の途中で除荷再载荷を行い、そのループ曲線から得られる G_{eq} を用いる手法がひとつの方法として考えられる。この手法は特殊な微小変形量を測定しなくても、通常の三軸試験で行うことができるため、試験者の

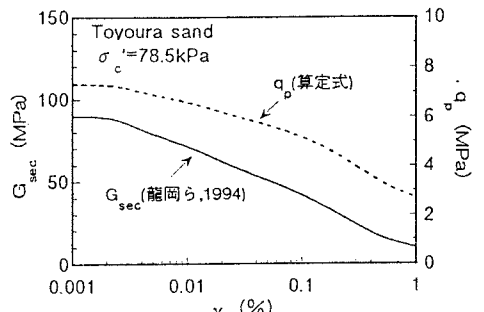


図-1 G_{eq} および q_p とせん断ひずみの関係

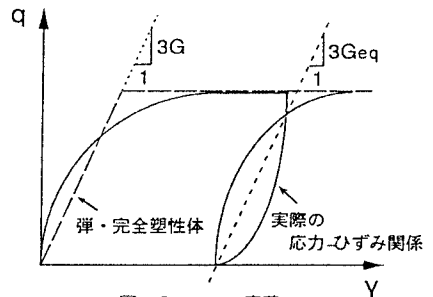


図-2 G_{eq} の定義

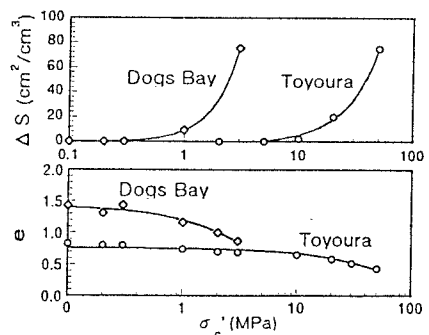


図-3 試料の破碎性および圧縮性

技術レベルによらず比較的簡便に G_{eq} を算定することができる。

4. 試料および実験概要 今回実験に用いた試料は、豊浦砂 ($\rho_s=2.640\text{g/cm}^3$, $e_{max}=0.986$, $e_{min}=0.607$, $\phi'_{cv}=31^\circ$) と、Dogs Bay 砂 ($\rho_s=2.717\text{g/cm}^3$, $e_{max}=1.720$, $e_{min}=1.080$, $\phi'_{cv}=41^\circ$) の2種類である。Dogs Bay 砂は CaCO_3 含有率が93%のカーボネイト砂であり、破碎性に富む材料として知られている。図-3に、等方圧縮の前後における土粒子の表面積増加量 ΔS および等方圧縮後の間隙比 e と拘束圧の関係を示した。両試料とも ΔS の増加と e が減少し始める応力域が一致しているが、Dogs Bay 砂は豊浦砂に比べはるかに低い応力域で ΔS の増加、すなわち粒子破碎が生じていることが分かる。それら2つの試料を用い、圧密排水三軸試験を行い、せん断中に所定のひずみに達したらせん断力が0となるまで除荷を行い、再び載荷した。

5. G_{eq} のひずみレベルおよび拘束圧依存性 図-4 (a) (b) は、それぞれの試料の応力-ひずみ関係および G_{eq} とひずみの関係を示している。豊浦砂は G_{eq} の値がせん断ひずみの増加にともなって徐々に減少し、一定値へと収束していくのに対し、Dogs Bay 砂は、ひずみによらず G_{eq} の値はほぼ一定である。図-5は、拘束圧と図-4で示した G_{eq} の収束値との関係を示している。これを見ると、拘束圧の増加にともなう G_{eq} の増加のしかたに材料の違いの影響が表れているものの、両者の関係は次式で表すことができる。

$$G_{eq} = A \cdot \left(\frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} \right)^\alpha \quad (4)$$

A, α の値は表-1のようになっている。これらは材料の破碎性や相対密度などによって決まる定数であると考えられる。図-6は、 G_{eq} の値を用いて(1)式より求めた支持力値 q_p と拘束圧の関係を示している。ここでは、 Δ_s の値を0として計算しているため Dogs Bay 砂の方が大きな支持力値を示しており、実際とは大小関係が逆転している³⁾。このことは、 Δ_s の値を合理的に評価し、算定することも重要であることを示唆する。

6. まとめ 1) 空洞膨張理論を組み込んだ支持力算定式において、せん断剛性を正當に評価し、合理的に算定することの重要性を示した。2) G_{eq} のひずみレベルおよび拘束圧依存性について実験的検討を行い、 G_{eq} の評価式を示した。3) G_{eq} を用いて支持力を算定し、今後の検討課題である圧縮性の評価が重要であることを示した。

【参考文献】1) 安福ら：圧縮性を考慮した砂中の杭の先端支持力と破壊メカニズム、第32回地盤工学研究発表会、pp.39-40、1997。2) F. Tatsuoka & Y. Kohata: STIFFNESS OF HARD SOIL AND SOFT ROCKS IN ENGINEERING APPLICATIONS, KEYNOTE LECTURE, IS-Hokkaido '94, pp.227-336。3) 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/III-29, pp.191-200、1994

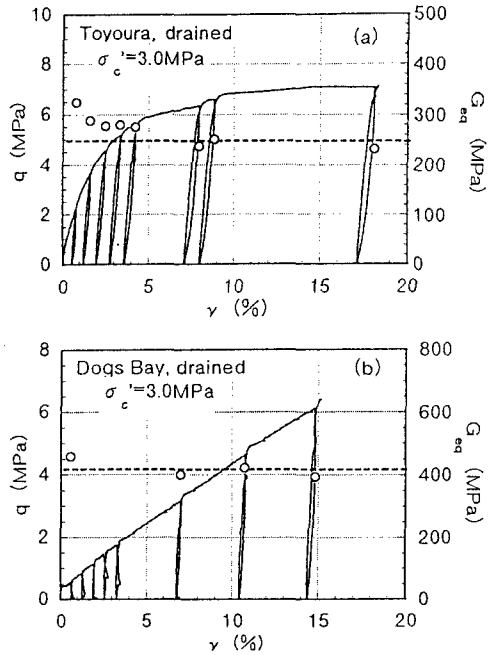


図-4 応力および G_{eq} とせん断ひずみの関係

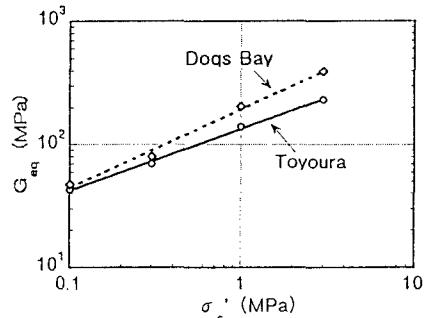


図-5 G_{eq} と拘束圧の関係

表-1

	A	α
Toyouura	135	0.50
Dogs Bay	194	0.64

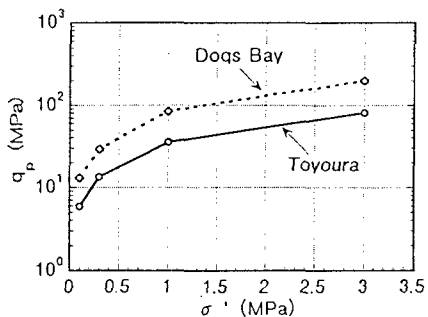


図-6 先端支持力値と拘束圧の関係