

限界状態に着目した打込み杭の周面摩擦力算定法

九州大学工学部 学○中村浩輔 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

杭の周面摩擦力は、実務設計においては、標準貫入試験による N 値を用いて評価されているが、この手法は経験式に基づくものであり、力学的な根拠は明確にはない。著者らは、今後、支持力発現のメカニズムを考慮したより合理的な支持力算定が強く求められるという考えから、地盤力学的な考察に基づく検討を行っている。本研究では、土の限界状態に着目し、円柱状の空洞膨張理論を利用した打込み杭の周面摩擦力の算定法を示し、その手法の特色をまとめる。

2.円柱空洞膨張理論に基づく周面摩擦力の算定法

1)基本式

打込み杭の周面摩擦力は、一般に次式で表される。

$$f_s = c_\delta + p_{uc} \tan \phi'_\delta \quad \cdots(1)$$

ここに、 c'_δ :土の粘着力 ϕ'_δ :土と杭の間の摩擦角
 p_{uc} :水平応力, σ'_v :垂直応力である。

著者らは、場所打ち杭の周面摩擦力算定に際し、式(1)中の地盤物性値として、限界状態における強度パラメータを用いるのが極めて有用であることを地盤力学的考察に基づいて示している¹⁾。この考え方が打込み杭に対しても有効であるとする、土の限界状態では粘着項は存在しないので、式(1)は、次式となる。

$$f_s = p_{uc} \tan \phi'_{cv} \quad \cdots(2)$$

ここに、 ϕ'_{cv} は限界状態における土の摩擦角である。さて、垂直応力 σ'_v と水平土圧係数 K を用いて水平応力 p_{uc} を表すと、次式となる。

$$p_{uc} = K \sigma'_v \quad \cdots(3)$$

以下には、円柱空洞の考え方をを用いて K 値、すなわち p_{uc} の求め方を示す。

2) p_{uc} の考え方と f_s の算定式

杭の貫入によって土が押し上げられる問題を考える。土を図1のような均質な等方弾・完全塑性体とし、図2に示すように内径が R_i から R_u まで円柱状に押し上げられるとして、Vesicの考え方を適用すると、 p_{uc} は結果として以下のように表され、 f_s は、図3のように求められる。

$$p_{uc} = K \sigma'_v$$

$$K = \left(1 + \sin \phi'_{cv}\right) \left(\beta I_{rr}' \sec \phi'_{cv}\right)^m \frac{(1 + 2K_0)}{3} \quad \cdots(4)$$

$$I_{rr}' = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta_{av} \sec \phi'_{cv}}, \quad I_r = \frac{3G}{(1 + 2K_0) \sigma'_v \tan \phi'_{cv}}$$

$$m = \frac{\sin \phi'_{cv}}{1 + \sin \phi'_{cv}}, \quad \beta = 1 + \Delta_{av} - \alpha^2, \quad K_0 = 1 - \sin \phi'_{cv}$$

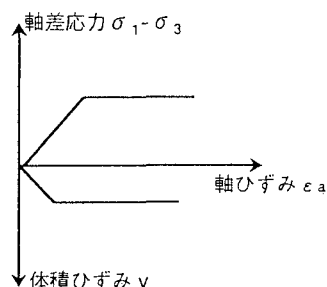


図1 応力ひずみ関係

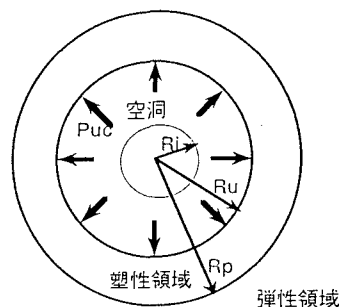


図2 Vesicの空洞膨張理論のモデル

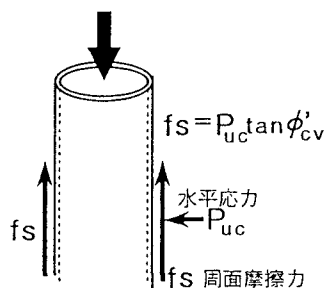


図3 打込み杭の周面摩擦力の考え方

ここに、 I_p :修正剛性指数、 I_r :剛性指数、 G :せん断剛性、 Δ_{av} :塑性域における平均的体積ひずみ、 K_0 :落合による静止土圧係数²⁾である。

また、 α は、初期の空洞の内径 R_i と押し拡げ後の空洞の内径 R_u の比として $\alpha = R_i/R_u$ で定義される。この α は、杭貫入時における地盤の押し拡げの程度を表すパラメーターであり、打込み杭の支持力算定に際し、重要なパラメーターである。以下には、上式の特徴を調べるために、 α に着目した算定結果をパラメトリックに示す。

3.提案式の特徴

先程の式(4)から、 K 値すなわち f_s を算定するために必要なパラメーターは ϕ'_{cv} , σ'_v , G , Δ_{av} , α の5つである。ここでは、 ϕ'_{cv} , σ'_v , G , Δ_{av} の4つのパラメーターに着目して、 K 値の α 依存性について解析的に検討する。図3は、 α 値と K/K_0 値の関係をまとめたものであり、4つのパラメーターのうち、(a)~(d)はそれぞれ ϕ'_{cv} , Δ_{av} , G , σ'_v に着目して、他の3つのパラメーターが一定であるとして整理した結果である。 K 値と K_0 値が一致する、すなわち $K/K_0 = 1.0$ のときに注意してこの結果を見ると、次のことが言える。

- (1) K/K_0 値は、 α の増加、すなわち、杭貫入時における地盤の押し拡げの程度が小さいほど、小さな値をとる。
- (2) K 値が K_0 値に一致する、すなわち $K/K_0 = 1.0$ となる α の値は、 α が1.0近傍においてである。
- (3) K/K_0 値は、 ϕ'_{cv} が小さいほど、圧縮性(Δ_{av})が大きいほど、せん断剛性 G が小さいほど、さらに垂直応力が小さいほど、小さくなると言える。

4.まとめ

本報では、土の限界状態に着目し、円柱状の空洞膨張理論を利用した打込み杭の周面摩擦力の算定法を提示し、その適用性について検討した。得られた主要な結果をまとめると以下のようなものである。

1) 杭貫入時における地盤の押し拡げの程度を表す新たなパラメーターを導入した支持力算定式を円柱空洞膨張理論に基づいて導いた。

2) この算定式を通して、 α の決め方が、打込み杭の支持力算定には重要であることを示した。

<参考文献> 1) N.Yasufuku, H.Ochiai and Y.Maeda: Geotechnical analysis of skin friction of cast-in-place piles, 14th Int.Conf.on SMFE, Humburg, Vol.2, pp.921-924, 1997. 2) 落合英俊: 土の静止土圧係数, 土質工学会論文報告集, Vol.16, No.2, 1976.

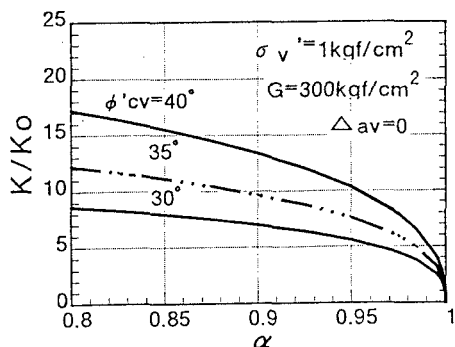


図3(a) ϕ'_{cv} に着目した α と K/K_0 の関係

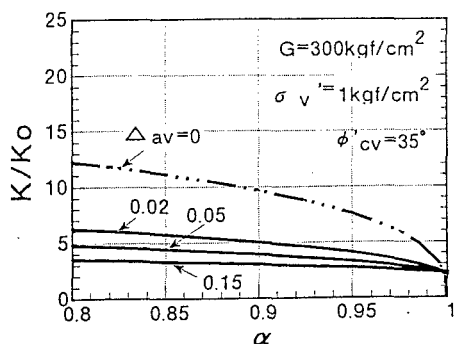


図3(b) Δ_{av} に着目した α と K/K_0 の関係

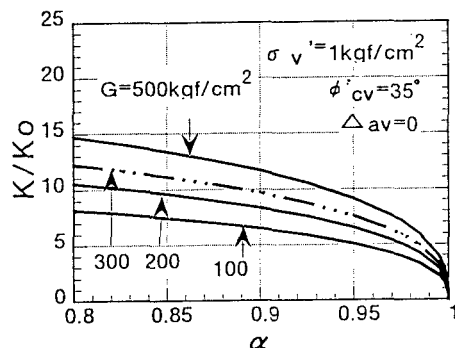


図3(c) G に着目した α と K/K_0 の関係

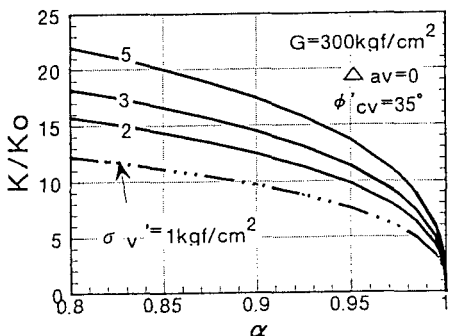


図3(d) σ'_v に着目した α と K/K_0 の関係