

複合杭の周面抵抗力算定式に関する一考察

九州大学大学院 ○学 仁井 克明 正 善 功企
正 陳 光斉 正 笠間 清伸

1.はじめに

複合杭は、鋼管杭本体とセメントミルク固化体が一体化した杭のことであり、従来の一般的な杭と比較して支持力が大幅に増加することから、杭周面のセメントミルクの凹凸に起因した土の受動周面抵抗力を発揮していると考えられる。実際の複合杭の周面形状は、非常に複雑な形状を有していると予想されるが、本研究では、複合杭の基本的な特性を把握するため、その周面形状を図-1のように「突起を有する杭」としてモデル化した。このようにモデル化すると、これまでの実験的な研究成果から、周面抵抗力に影響する要因として、突起の高さ、ピッチ、個数および突起の位置等がある。本文では、単一の突起を有する場合の周辺地盤の破壊状況にもとづき、周面抵抗の算定法を提案する。実験結果の詳細については、文献1)に述べられている。

2.杭周辺地盤の変形モード

図-2は、突起高さ2cmの杭の周面抵抗力ピーク時付近(沈下量15mm)における、地盤の変形モードである。変形図およびせん断ひずみ分布図より、杭周辺の地盤は大きく変形しており、突起の真上の地盤は、ほぼ鉛直下方へ移動し、ゆるみ領域が生じていることがわかる。また、突起直下の地盤には、突起の先端と杭の周面をむすぶくさびが形成されている。またくさび周辺では地盤が斜め方向へ移動していることがわかる。図中の破線で示すように、Meyerhofは、杭基礎先端面と主働くさびがなす角は $(45^\circ + \phi/2)$ であるとしているが、本研究で用いた模型地盤の内部摩擦角 $\phi=21^\circ$ より算定されるくさび角度より大きいように思われる。これは杭本体の軸部において摩擦抵抗が発生し、杭本体に平行な面が、最小主応力面となっていないことが原因と考えられる。以上の破壊状況から、突起底面においては土の受動抵抗的な支持力が発揮されていると考えられる。

3.複合杭の周面抵抗力の算定

一般に、杭の鉛直支持力 Q は先端抵抗力 Q_p と周面抵抗力 Q_s の和として算定される。実験の結果、複合杭の先端支持力については周面が滑らかな杭とほとんど変わらなかったため、従来の支持力公式を用いて算定できる。反対に周面抵抗は、杭軸部に作用する摩擦抵抗 Q_f と突起底面に作用する受動抵抗 Q_r を別々に分けて考える必要がある。つまり複合杭の鉛直支持力は $Q = Q_p + Q_s = Q_p + Q_f + Q_r$ と表すことができる。実験結果から、突起周辺地盤の破壊モードを図-3のように仮定し、砂地盤における突起底面に作用する抵抗力(突起支持力)を、 $q = p_0 N_q + \gamma h N_\gamma \cdots (1)$ で表現する。ここに p_0 : 表面荷重、 γ : 土の自重、 h : 突起の高さ、 N_q, N_γ : 支持力係数である。

主働くさびの角度: 図-3のように杭本体部に摩擦抵抗が存在する場合、くさび領域の応力状態を示すモール円を描くと図-4のようになる。同図において、杭本体に平行な面の応力状態は、点Aで表される。最小主応力面が杭本体に平行な面となす角を α とすると、 $\angle APC = \angle PAC = \angle CBP$ より、突

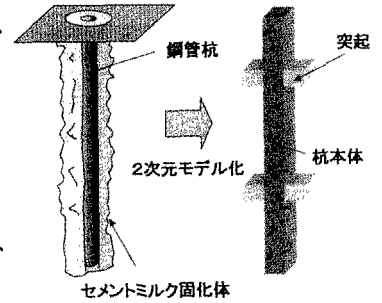


図-1 複合杭のモデル化

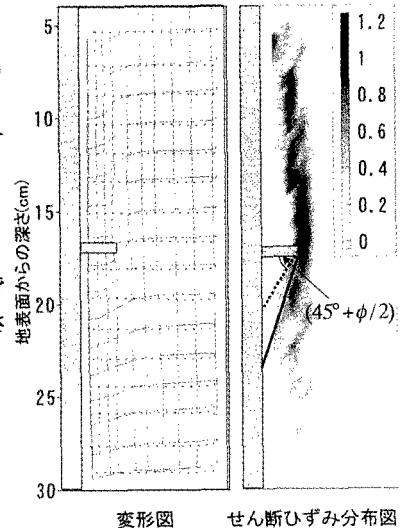


図-2 抵抗力ピーク値付近における杭周辺地盤の破壊モード(S=15mm)

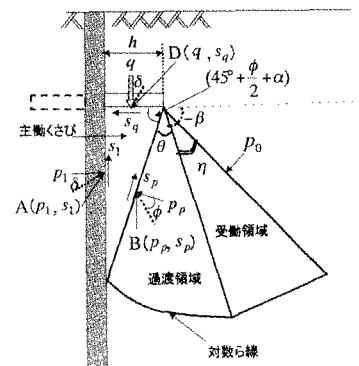


図-3 仮定した破壊モード

起底面とくさびのなす角($\angle DPB$)は $(45^\circ + \phi/2 + \alpha)$ となり、モール円の幾何学的関係より、 $OA=OB$ として、

$$\frac{(q+p_1)}{2} \sin \phi = \sqrt{\left\{ \frac{1}{2}(q-p_1) \right\}^2 + \{p_1 \tan \delta\}^2}, K = \frac{p_1 (\text{水平応力})}{q (\text{鉛直応力})} \quad \dots (2)$$

(2)式は K (地盤破壊時)についての2次方程式になるが、 $\delta < \phi$ においては、 K は増加するのは明らかであり、解は一方に決まる。 α は、くさび領域における微小要素のつりあい条件から、

$$\tan 2\alpha = \frac{2p_1 \tan \delta}{q - p_1} = \frac{2K}{1 - K} \quad \dots (3)$$

をみたとす α をもとめればよい。図-5は、(3)式により求めたくさび角度の増加量を杭・地盤間の摩擦係数と地盤の内部摩擦角の比 δ/ϕ に対してプロットしたものである。同図より、 δ/ϕ が大きくなるほど、くさび角度の増加量は大きくなっているが、 δ/ϕ が同じ場合で比較すると、 ϕ が大きくなるにつれてくさび角度の増加量は小さくなっていることがわかる。

支持力係数 N_q, N_γ : $\gamma = 0$ の場合について、図-3のくさび領域の力のつりあいを考える。自重の影響がない場合の突起底面に作用する抵抗抗力 q' とすると、くさびに作用する力のつりあいは、

$$(\text{水平方向}) \quad p_1 + s_p \cot(45^\circ + (\phi + 2\alpha)/2) = p_p + s_q \cot(45^\circ + (\phi + 2\alpha)/2) \quad \dots (4)$$

$$(\text{鉛直方向}) \quad q' = p_p + (s_p + s_1) \cot(45^\circ + (\phi + 2\alpha)/2) \quad \dots (5)$$

となる。以下は文献²⁾を参考にして支持力係数をもとめると、

$$N_q = \frac{1}{(1 - \tan^2 \delta)} \frac{(1 + \sin(\phi + 2\alpha) + \cos(\phi + 2\alpha) \tan \delta) \exp(2\theta \tan(\phi + 2\alpha))}{1 - \sin(\phi + 2\alpha) \sin(2\eta + \phi + 2\alpha)} \quad \dots (6)$$

となる。(6)式は $\delta = \alpha = 0$ のときMeyerhofの支持力係数と一致する。図-6は、支持力係数 N_q を $(\phi + 2\alpha)$ に対してプロットしたものであるが、 $(\phi + 2\alpha)$ が等しければ、支持力係数 N_q は δ が大きくなるほど大きくなるがわかる。次に $\gamma > 0$ のときの N_γ については、文献²⁾を参考に、地盤の自重による影響はないとして、 $N_\gamma = 0$ とした。

理論式の評価: 図-7は(1)~(6)式により求めた実験値/理論値を β に対して比較したものである。実験における突起支持力は、各ケースから、突起をつけない杭の周面抵抗(摩擦)力を差し引くことにより求めた。また、 $\delta = 2/3 \times \tan \phi$ とした。同図より、実験値と理論値が一致するには、突起の位置が深くなるほど β は小さくなる傾向になった。実験や解析によるデータを蓄積し、 β を正確に評価することが今後の課題である。

4. 結論

・杭軸部の存在により、突起直下にできるくさびは $(45^\circ + \phi/2)$ とはならず、 $(45^\circ + \phi/2 + \alpha)$ で表現できると考えられる。

・杭軸部に突起が存在するときの周面抵抗算定法を示した。

<参考文献> 1) 鴨川慎矢:「複合杭の支持力発現メカニズムに関する模型実験」

平成13年度土木学会西部支部研究発表会概要集(提出中)

2) Meyerhof, G.G.: The Ultimate Bearing Capacity of Foundations,

Geotechnique, Vol.2, pp301-322, 1951.

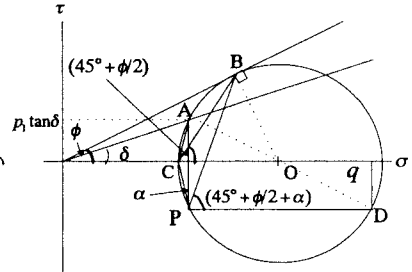


図-4 くさびの応力状態

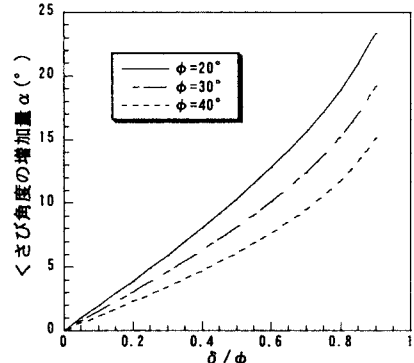


図-5 $\delta/\phi - \alpha$ 関係

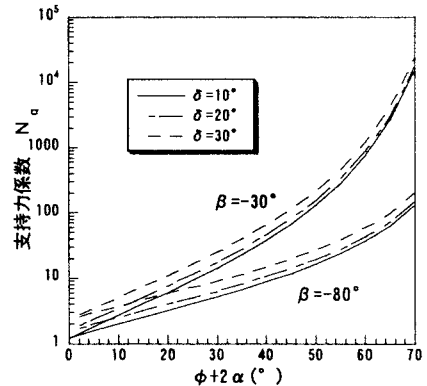


図-6 支持力係数 N_q

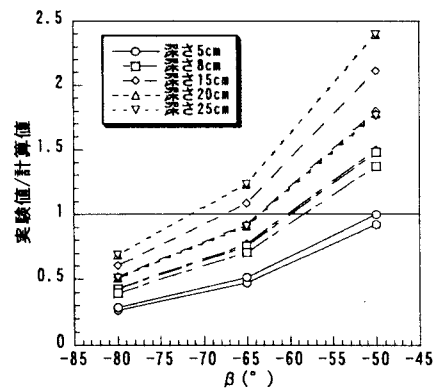


図-7 理論値と実験値の比較