

しらす地盤における拡張 Kötter 式を用いた杭の極限支持力解析

(株)建設技術研究所 九州支社 道路交通部 正○藤尾保幸

1. はじめに

沖積しらす地盤では深度方向に N 値が増加せず、支持層 (N 値 ≥ 30) が明確に現れるのは稀である。鹿児島湾沿岸では沖積しらす地盤の厚さは 60~100m に達するため、構造物基礎となる場所打ちコンクリート杭の支持力算定に際しては、摩擦杭とすることが多い。一方で、鹿児島湾沿岸で実施された沖積しらす地盤における場所打ちコンクリート杭の鉛直載荷試験では、杭先端 N 値 26 (< 30) で杭先端極限支持力 $q_d = 4,041 \text{ kN/m}^2$ が確認されている¹⁾。沖積しらす地盤における杭の支持力算定にあたっては、 N 値がしらすの特性を適正に評価しているのかということと杭先端の支持力機構を明らかにする必要があることの 2 つの課題を有する。

本論文では、鉛直載荷試験をもとに沖積しらす地盤における杭の先端極限支持力を実務的な解析方法により求め、実杭による鉛直載荷試験結果と対比を行ったものである。

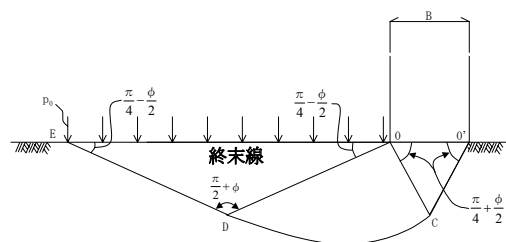
2. 杭の先端支持力の解析方法

剛塑性理論による支持力解析手法のひとつであるすべり線法は、力の釣り合い式と破壊基準より得られる Kötter 式を境界条件を基に解くものである。Kötter 式は、山口²⁾により強度定数 c 、 ϕ が変化しても適応できる拡張 Kötter 式となり、日下部³⁾、前田⁴⁾により、強度の応力依存性が取り入れられた。Kötter 式は、地盤の圧縮性を考慮できないものの、受動抵抗部のせん断強度の応力依存性を考慮することができる。Kötter 式を解き先端支持力を算定するには、 c 、 ϕ 、 γ がわかっているならば可能であり、コンピュータによる解析も容易であることから、実務上適している。

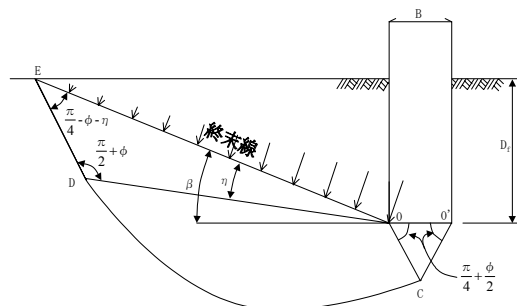
3. 粒子破碎を考慮した沖積しらす地盤での杭の先端支持力算定

浅い基礎と深い基礎のすべり破壊形状は図-1 のように異なる。深い基礎では、基礎底面から上方の地盤の抵抗力を考慮すること、受動領域の終末線に境界条件が必

要であること、及び境界面に作用する荷重が地盤内土圧であることが、直接基礎とは異なる。また、深い基礎の場合、軸対称モデルとして取り扱う必要がある。



(a) 浅い基礎



(b) 深い基礎

図-1 基礎のすべり破壊形状

4. 杭諸元及び土質定数

解析に用いた杭は、前述の鉛直載荷試験杭と同じ杭径 $\phi 1.2\text{m}$ 、杭長 43.0m の場所打ちコンクリートとした。また、地盤の強度定数及び単位体積重量は、鉛直載荷試験実施箇所での原位置試験及び採取試料による室内土質試験より求められた $c=60 \text{ kN/m}^2$ 、 $\phi=30^\circ$ を用い、単位体積重量は浮力を考慮し、 $\gamma=8 \text{ kN/m}^3$ とした。また、壁面摩擦角 δ は、道路橋示方書・下部工編より土と土の摩擦角 $\delta=\phi$ を用い $\delta=30^\circ$ とした。

内部摩擦角の応力依存性パラメータは、載荷試験では測定されていないため、片上⁵⁾の試験結果を用い、応力依存性パラメータ： $A=0.25 \text{ rad}$ 、応力依存性が始まる平均主応力： $\sigma_{m0}=200 \text{ kN/m}^2$ とした。

しらす、粒子破碎、先端支持力

福岡市中央区大名 2-4-12CTI 福岡ビル, TEL : 092-714-6226, FAX : 092-715-5200

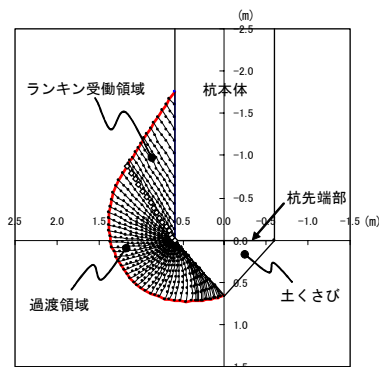


図-2 Meyerhof 型

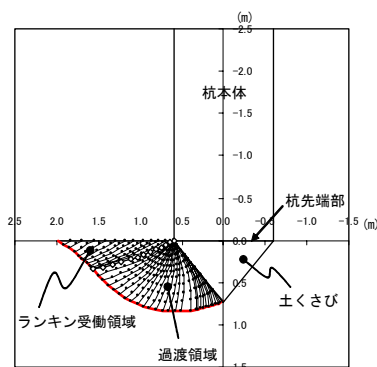


図-3 Terzaghi 型

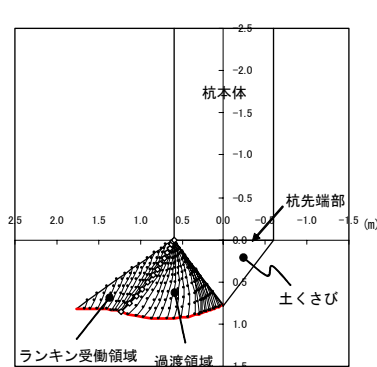


図-4 Vesic 型

表-1 有効土被り圧と支持力との関係

杭長 m	有効土被り圧 kN/m ²	先端極限支持力 kN/m ²	増加支持力
0	0	1,770	-
5	40	2,100	330
10	80	2,520	420
15	120	3,080	560
20	160	3,630	550
25	200	4,180	550
30	240	4,740	560
35	280	5,290	550
40	320	5,840	550
45	360	6,390	550

表-2 有効土被り圧とすべり線形状との関係

杭長 m	有効土被り圧 kN/m ²	境界面と杭先端とのなす角 deg	先端極限支持力 kN/m ²
5	40	-90	4,300
10	80	-45	4,110
15	120	-20	4,100
20	160	-10	4,270
25	200	5	4,030
30	240	15	4,140
35	280	25	4,060
40	320	30	4,140
45	360	35	4,160

5. 解析結果

杭先端のすべり線の形状は、図-2 に示す終末線が杭先端レベルより上方まで達するもの(Meyerhof 型と呼ぶ)、図-3 のように杭先端レベルで停止するもの(Terzaghi 型と呼ぶ)及び図-4 のように杭先端レベル下方で停止するもの(Vesic 型と呼ぶ)がある。杭先端部の有効土被り圧が 98kN/m² 以上の場合は、受働領域の終末線は杭先端レベルより下方に留まることは Vesic ら⁶⁾によって明らかにされている。表-1 は、有効土被り圧の支持力への影響を検討したものである。図-3 の Terzaghi 型すべり線に対し、有効土被り圧を変化させ、先端支持力がどのように変化するかを示している。これによると、杭長 15m 以上となると、支持力は一定値で増加することがわかる。杭長 15m のとき有効土被り圧は 120kN/m² で Vesic の提唱した 98kN/m² とほぼ一致する。表-2 は、鉛直載荷試験で得られた先端支持力 $q_d=4,041$ kN/m² が同一性状の地盤の場合、有効土被り圧の大きさに関わらず一定であると仮定し、解析的にすべり線形状がどのように異なるかを示したものである。杭長 5m で図-2 に示す Meyerhof 型、杭長 20~25m で図-3 に示す Terzaghi 型、杭長 40m で図-4 に示す Vesic 型となっている。

6. おわりに

解析の結果より、しらす地盤における杭基礎の支持力に関して、以下のようなことが明らかになった。

- ・先端支持力の大きさは、有効土被り圧によって異なる。解析のうえでは、有効土被り圧が 100 kN/m² 程度以上になると、先端支持力は単純に有効土被り圧の増加分のみ大きくなっている。
- ・実際の杭の先端支持力が 3,000 kN/m² 程度であることより、有効土被り圧 100 kN/m² 以上は、先端支持力に寄与しないことがわかる。
- ・すべり線形状は、有効土被り圧によって異なる。有効土被り圧が 100 kN/m² 程度以上となると、すべり線は杭先端レベル上方には達しなくなる。
- ・有効土被り圧 100 kN/m² 程度が先端支持力に寄与する有効土被り圧の値で、そのときのすべり線形状が先端支持力を表していると考える。

【参考文献】1) 日本道路公団福岡建設局鹿児島工事事務所 (1995): 東九州自動車道天降川橋基礎工事、くいの鉛直載荷試験・支持力報告書、2) 山口柏樹: 拡張せる Kotter の方程式に関する二、三の考察、土木学会論文集, No.60, 1959, 3) 日下部治ほか: 拡張した Kotter 式を用いた大型三次元基礎の載荷試験の解析, 第 25 回土質工学研究発表会, PP.1243~1246, 1990, 4) 前田良刀ほか: 密なスコリア層における大型三次元基礎の支持力特性、土木学会論文集, No.430/III-15, PP.97~106, 1991, 5) 片山典久ほか: シラス地盤の支持力と基礎の寸法・根入れ効果、破碎性地盤の工学的諸問題に関する研究委員会報告書及びシンポジウム発表論文集, pp.18, 1999. 6) Vesic, A.S.: Foundation Engineering Handbook, Bearing Capacity pp.129, 1975