

III-500

埋込み杭の周面摩擦力について

九州産業大学工学部 正会員 松尾 雄治
同 上 正会員 石堂 稔

1. はじめに 埋込み杭工法は、プレボーリングの影響で地盤に緩みが生じ、地盤の性状が調査時と施工後で異なることが避けられない。このため、杭の支持力を事前調査のN値からの確に推定することはかなりの困難をともない、現行の算定式を用いても必ずしも満足とは言えないことが多い。ここでは、実物杭の現地載荷試験結果を整理し、杭の支持力について実測値と地盤のN値との関係について検討を行ったもので、おもに周面摩擦力に関して報告する。

2. 検討資料の概要 本報では、実際の構造物の基礎杭として採用された埋込み杭（節杭セメントミルク工法）について実施された現地載荷試験の結果を検討の資料とした。載荷試験はほとんどの場合、設計荷重における杭の安全性確認のために実施されているので、最大載荷重を設計荷重の3倍程度とする試験が多く、杭の降伏や極限荷重はほとんど確認できない。収集した資料のうち降伏荷重が確認でき、同時に軸力測定が行われたもののみを検討に用いた。（表-1）

表-1 載荷試験杭の概要

	杭 径 ※ (mm)	杭 長 (m)	設計荷重 (tf)	実測降伏 荷重 (tf)
A 杭	φ300-440	8	15	74
B 杭	φ400-500	14	40	120
C 杭	φ400-500	10	38	250
D 杭	φ300-440	7	38	160
E 杭	φ400-500	6	60	200
F 杭	φ400-500	22	40	225

※ 杭径φは、軸部-節部の直径（円筒節杭）を表す

3. 検討の結果 表-1の試験杭の内、A杭を例に検討の概要を説明する。A杭は設計荷重15tfに対し、試験結果の降伏荷重が74tfとかなり大きな支持力が得られている。現地盤の事前調査および杭設置の状況を図-1に示す。上部構造物が低層で載荷重が小さいため、単一砂層中の中間支持杭として設計されている。荷重～沈下曲線を図-2に示す。杭頭荷重は杭頭に設置したロードセルで測定、先端荷重は軸力測定用の杭最先端部ゲージのひずみ量から計算によって求め、周面摩擦は杭頭荷重から先端荷重を差し引いた値である。杭は先端抵抗と周面摩擦抵抗との合力で載荷重を支えるが、2つの抵抗力の発現が異なる形態を示すことは多くの研究等で報告されており、図-2からもそれが確認できる。載荷初期から周面摩擦は急激に増加するのに対し、先端荷重はほとんど発現していない。沈下量が大きくなると周面摩擦は上限に達し残留強度を示すようになる。先端荷重はほぼ直線的な増加を示すがその勾配は低く、周面摩擦が上限に達する頃から増加の程度が大きくなる。載荷の初期段階では載荷重のほとんどを周面摩擦抵抗で支え、摩擦力が上限に達してくると先端抵抗で支えるようになることがわかる。杭頭に作用する荷重は杭から地盤に伝達され、杭と地盤の間に摩擦力が生じ荷重が分散される。最終的に杭先端まで

作用する荷重を先端抵抗で支えることになる。先端抵抗の荷重分担率は杭頭荷重に対する先端荷重の割合から求めると、A杭の場合、降伏荷重（杭頭荷重=74tf）時で約14%と極めて小さいことがわかった。同様に他のB～F杭について求めると、平均的には約20%程度（max=25、min=9%）であり、

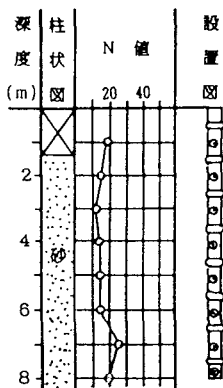


図-1 土層図

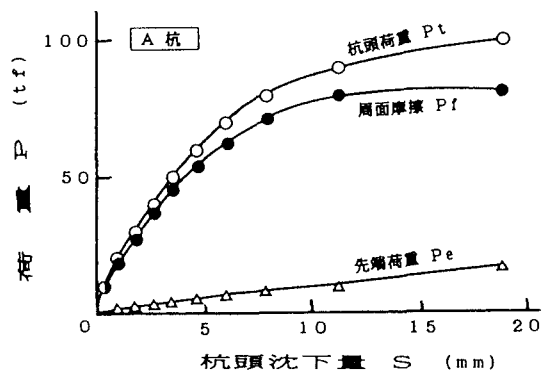


図-2 荷重～杭頭沈下量

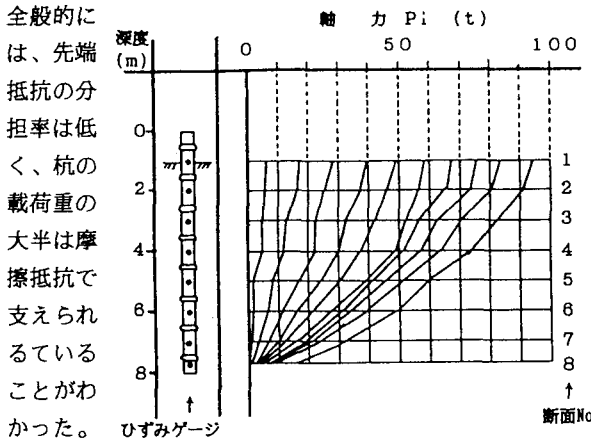


図-3 軸力分布

全般的には、先端抵抗の分担率は低く、杭の載荷重の大半は摩擦抵抗で支えられていることがわかった。

軸力分

布（図-3）および周面摩擦力の発現性（図-4）を示す。周面摩擦力はひずみゲージ設置区間毎の軸力差をセメントミルク外周面積で除した値とした。節杭は異径鉄筋の働き同様にセメントミルクの相対変位を抑制し、埋込み杭は固結したセメントミルク全体で杭体を形成しており、摩擦力はセメントミルクと地盤の接触面で発現すると考えられる。図より周面摩擦力は各断面で異なった発現をしていることがわかる。図中の数字はゲージの設置区間を表すが、杭頭に近い区間では、周面摩擦力の上限（断面沈下量2～5mm程度）に達しており、杭先端部の6～7、7～8区間においては周面摩擦力は増加の傾向を示し最大には達していないことがわかる。杭は載荷面に近い区間から順次荷重の影響を受け、周面摩擦力の上限に達する区間が徐々に下方へと移行していくことが考えられ、その影響によるものと思われる。

周面摩擦力の最大値と各区間の地盤のN値（事前調査）との関係を図-5、6に示す。砂質土の周面摩擦力の関係式の代表的なものに、 $f_s = N/5$ 、 $N/3$ (tf/m^2) が提示されている。実測値はいずれの関係よりも大きいことがわかる。N値が0の地盤でも、杭と地盤の接触面に相対変位が生ずれば摩擦力が発現するので、 $(N/3) + \alpha$ の関係式を用いる方が実用的であると考えられる。図-6については実測値のプロットが少ないので、参考データとして円筒杭セメントミルク工法の結果をプロットした。算定式では粘性土に関してN値との関係は提示されていないが、地盤性状を示すものはほとんどの場合N値に限られるため、N値からの推定が一般に行われている。プロットが少なく明確ではないが、 $f_s = N$ (tf/m^2) の関係が見られる。

4. まとめ 埋込み杭の現地載荷試験結果を整理検討した結果、杭の先端抵抗、周面摩擦抵抗は発現性が異なることから、構造物の許容沈下量に応じた荷重分担を考える必要があり、現行の設計では摩擦抵抗を過小に、先端抵抗を過大に評価している傾向のあることがわかった。

（謝 辞） 本文をまとめるに際し、載荷試験結果など貴重な資料を収集提供して頂きました（株）ジオトップの関係各位の皆様には謝意を表します。

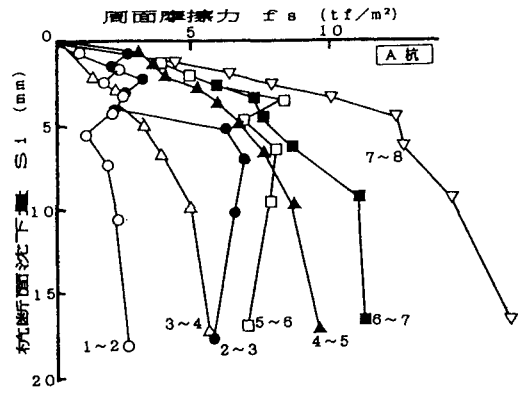


図-4 断面沈下量～周面摩擦力

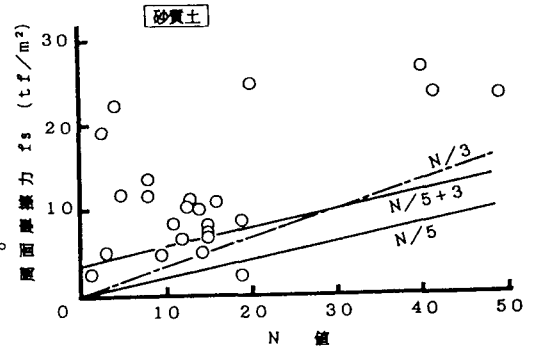


図-5 N値～周面摩擦力（砂質土）

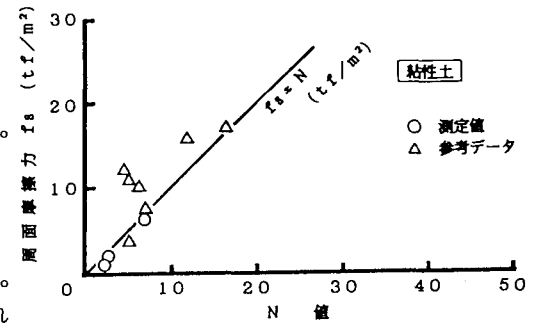


図-6 N値～周面摩擦力（粘性土）