

埋込み杭の先端平均N値の平均範囲に関する検討

正会員 ○ 小椋仁志*

1. はじめに

杭の先端支持力算定時における先端平均N値 N_p の平均範囲は、「杭先端から上方に 4d、下方に 1d 間(d:杭径)」とする基準類が多い。本報では、この問題点を既往の研究成果から考察し、埋込み杭の適切な平均範囲を節杭の載荷試験データをもとに検討する。

2. 現行の平均範囲の問題点

建築分野の主な基準類で規定されている平均範囲は、表-1 のように杭先端面から上方に 4d、下方に 1d(以下、「4d1d」と略す)が多い。これは、杭先端のくさびから生じたすべり線が杭側面に達するとした Meyerhof の支持力理論¹⁾と、杭の先端支持力は上方 3.75d、下方 1d 間の平均コンクリート貫入抵抗によって示されるとした Van der Veen の打込み杭の実験²⁾に基づいたものである³⁾。しかし、この支持力理論は地盤を剛塑性体として体積変化を考慮していないこと、想定されたすべり線が実験では見られないこと等から、実際の地盤とは合わないとされている³⁾。

杭先端のくさびがはっきりしたすべり線を生じることなく貫入するとした Vesic の支持力理論⁴⁾は、BCP 委員会⁵⁾、高野・岸田⁶⁾、佐藤・小泉⁷⁾の実験等によって妥当性が確認されており、先端支持力に寄与するのは先端面より下方の地盤のみであって、上方の地盤はほとんど影響しないことが確かめられている。また、杭の先端地盤が圧縮変形される範囲は高野らの実験⁶⁾で測定されており、それによると先端面下 2d 程度までとなっている。

土木分野では以前から、BCP 委員会の実験結果などをもとに、先端面より下方の地盤のみを評価する基準類が大半である。たとえば、鉄道構造物等設計標準(1997)では埋込み杭(中掘り先端根固め杭)の平均範囲は、「杭先端から下方へ 3d 間」となっている。

以上より、平均範囲を「4d1d」としたのでは、先端支持力に寄与する地盤をほとんど評価していないことになり、先端支持力機構から考えると不合理であるといえよう。ただし、支持層より上方の範囲も含めて N_p を小さくする、あるいは支持層に十分根入れさせるため等の「安全側の配慮」としての意義はある。しかし、安全側になるのは明確な支持層に根入れされる杭の場合であって、摩擦杭や中間支持杭では逆に危険側となることがある。たとえば、図-1 のように良好な地盤から軟弱層に変化する場合は、先端支持力に寄与するのは軟弱層、 N_p は良好地盤となって、極めて危険な設計となる。特に、埋込み杭の場合は、後述するように根固め部の存在によって、危険側になることが多くなる。

平均範囲を「1d1d」としている基準類もある(表-1)。上方を 4d から 1d としたのは、先端面より上方の地盤は支持力にあまり寄与しないこと、支持層に 1d 根入れさせること等を配慮したためであろう。しかし、支持力機構を考えるならば、場所打ち杭であっても下方地盤は圧縮変形される範囲である 2d まで含めるべきと考えられる。

埋込み杭の場合、杭先端に(1~2)d の深さまで根固め部が設けられる施工法が多い。この設計強度や剛性は地盤よりもはるかに大きいので、設計どおり施工されていれば根固め部は杭の一部として作用すると考えるのが自然である。したがって、杭本体の先端面からみた支持力に寄与する範囲は(1~2)d ~ (3~4)d 間となる。このため、「1d1d」でも実際に支持力に寄与する地盤を全く評価していないことになる。

また、杭径が 1 m 以下の場合、平均範囲内にN値が1つしか存在しないこと

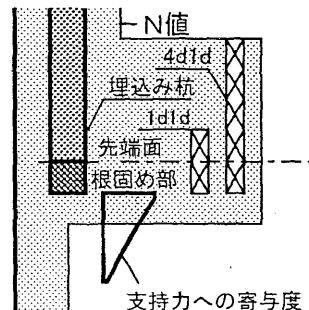


図-1 危険側となる地盤例

表-1 主な基準類の先端N値の平均範囲

機関 (基準類名)	対象工法	平均範囲
建設省 (建築基準法 昭和46年建設省告示111号)	打・埋・場	先端付近の地盤
日本建築センター (評定基本方針1996:埋込み杭工法)	埋	上方4d、下方1d
東京都建築構造行政連絡会 (建築構造設計指針1991)	打・埋・場	上方4d、下方1d
日本建築学会 (建築基礎構造設計指針1988)	打	上方4d、下方1d
	場	上方1d、下方1d

になるため、N値の変動の影響を受けやすくなる。さらに、50cm以下の杭では、平均範囲内にN値が存在しないこともありうる。以上より、埋込み杭の場合は、先端支持力機構からみても、実用上からみても、「1d1d」も不合理な平均範囲といえよう。

3. 埋込み節杭の平均範囲の検討

埋込み杭の場合の適切な平均範囲を、節杭の載荷試験データを用いて検討する。載荷試験杭は杭径φ440-300、φ500-400、φ600-450およびφ650-500(節部径・軸部径)の4種類、杭長4~43mのPHC節杭であって、改良セメントシ工法、低排土セメントシ工法、ソイルセメント工法など埋込み工法によって施工されている。先端地盤は大半がN値が0~30の砂質土、粘性土、腐植土であって、試験杭は摩擦杭や中間支持杭に分類される。

100件以上の試験結果のうち、先端地盤が腐植土のもの、所定時間保持された処女荷重階の先端沈下量 S_p の最大値が節部径 D_o の7%未満のものを除いた78件を検討対象として、先端支持力 q_p と種々の平均範囲による N_p との相関係数や変動係数を求めた。 q_p は、 $S_p=0.1D_o$ 時の先端荷重 R_p を節部径を直径とする面積で除したものである。なお、 S_p の最大値が $0.1S_p$ に達していないものは、 $\log R_p \sim \log S_p$ 関係から外挿して q_p を求めた。 R_p は、節杭の支持力機構を調べた模型実験⁸⁾での結果から図-2のB位置の軸力を採用し、上下の軸力から内挿して求めている。

B位置は、 N_p を計算するときの基準面でもある。このため、対象とした施工法は根固め部先端位置は杭先端位置と一致しているものの、基準面が杭先端から約0.36m(D_o の0.55~0.82倍)または0.46m(D_o の0.92~1.05倍)上方である

ことによって、支持力に寄与する範囲は前節で述べた埋込み杭とほぼ同じ状態となる。

N_p を求める平均範囲は「1d3d」などの7通りを考え、これらの範囲に含まれるN値の単純平均値を N_p とした。一例として、「1d3d」から求めた N_p と q_p との関係を図-3に示す。表-2に、平均範囲ごとに示した相関係数と $N_p=10$ の時の変動係数などを示す。この表で相関性がよいのは「1d3d」であって、埋込み節杭ではこれが最適な平均範囲ということになる。

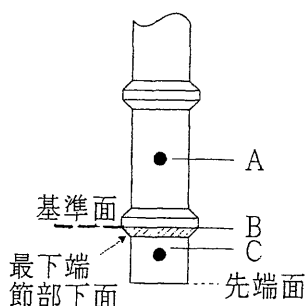


図-2 R_p の算定位置

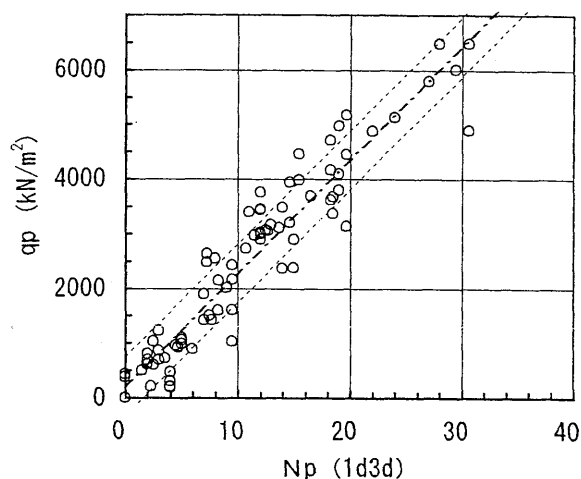


図-3 $q_p \sim N_p(1d3d)$ 間の平均)関係図

表-2 平均範囲別の相関係数と変動係数

平均範囲	相関係数	平均値*	標準偏差*	変動係数*
4d1d	0.828	2551kN/m ²	1109kN/m ²	0.435
1d1d	0.941	2435kN/m ²	728kN/m ²	0.299
1d2d	0.963	2396kN/m ²	625kN/m ²	0.261
1d3d	0.998	2287kN/m ²	538kN/m ²	0.235
0d2d	0.924	2231kN/m ²	807kN/m ²	0.362
0d3d	0.958	2130kN/m ²	727kN/m ²	0.341
0d4d	0.918	2029kN/m ²	919kN/m ²	0.453

* $N_p=10$ の時の値

4. おわりに

本報では、先端平均N値を求める際の平均範囲について考察し、埋込み杭では現行の「4d1d」や「1d1d」は支持力機構から考えると問題の多い平均範囲であることを指摘した。また、埋込み節杭の場合は最適な平均範囲は「1d3d」であることが分かった。今後、他の杭についても同様の検討結果が蓄積され、建築分野の諸基準においても、支持力機構からみて合理的な平均範囲に改められることが期待される。

参考文献 1) Meyerhof, G. G.: Some Recent Research on the Bearing Capacity of Foundations, Canadian Geotechnical Journal, 1, 1963. 9.
 2) Van der Veen: The Bearing Capacity of a Pile Predetermined by a Cone Penetration Test, Proc. 4th ICSMFE, 2, pp. 72~75, 1957
 3) たとえば、山肩邦男: 建築基礎工学, pp. 183~200, 朝倉書店 1990. 4.
 4) Vesic, A. S.: Design of Pile Foundations, Transportation Research Board, 1977
 5) BCP 委員会: 砂層に支持されるくい的大力支持力に関する実験的研究, 1969. 7.
 6) 高野昭信・岸田英明: 砂地盤中の Non-displacement pile 先端部地盤の破壊機構, 日本建築学会論文報告集, 第 285 号, pp. 51~62, 昭和 54 年 11 月
 7) 佐藤英二・小泉安則: 二層系地盤における杭の鉛直支持力, 第 17 回土質工学研究発表会, pp. 2097~2100, 1982. 6.
 8) 小椋仁志・山肩邦男・岸田英明: 模型実験による節付き円筒杭の支持力特性の検討, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 374 号, pp. 87~97, 昭和 62 年 4 月

* (株)ジオトップ 技術開発本部・工博