

場所打ち杭の先端平均N値の平均範囲に関する検討

場所打ち杭 設計 先端支持力
N値 載荷試験 統計解析

正会員 小椋仁志*

1. はじめに

筆者は文献 1)と 2)において、埋込み杭の先端支持力算定時における先端平均N値 N_p の平均範囲について、埋込み節杭や中掘り鋼管杭の載荷試験のデータをもとに検討した。その結果、杭先端から上方に 1D、下方に 3D 間(以下、「上 1D 下 3D」と略す、D: 杭径)が、支持力機構上からも載荷試験データからも最適な平均範囲であることが分かった。また、先端支持力 R_p の算定式が、支持力機構などを反映していない $R_p = \alpha N_p A_p$ (α : 先端支持力係数、 A_p : 杭先端面積)の形であることへの疑問を述べた²⁾。これらの問題、 N_p の平均範囲の見直しと算定式の形の可否は、杉村も 21 世紀の課題の一つに挙げている³⁾。

今回、埋込み杭に続いて、場所打ち杭についても載荷試験データの統計解析によって N_p の最適な平均範囲を検討した。本報では、その検討結果の概要を報告する。

2. 支持力機構からみた最適な平均範囲

文献 2)では、支持力機構を検討することによって、場所打ち杭の最適な平均範囲は、図 1 のように、「上 1D 下 2D」であることを示した。これは、以下の根拠による。

- a. 既に定説といえる Vesic の支持力理論⁴⁾や、佐伯らの FEM 解析の結果⁵⁾では、先端支持力に寄与するのは杭先端面より下方の地盤であって、上方の地盤は寄与しない。
- b. 高野・岸田の実験⁶⁾では、Non-Displacement 杭の場合、杭が沈下したときに地盤が圧縮される範囲は、杭先端から 2D 程度下方までとなっている。
- c. 載荷試験では、杭先端から 1D 程度上方に設置したひずみ計の計測値から R_p を求めている。これより下側の周面摩擦力も R_p に含まれることになるため、杭先端面より上方 1D の地盤も間接的に R_p に寄与することになる。

埋込み杭の場合は、杭先端下方の根固め部の強度や剛性が周囲の地盤よりもはるかに大きいことを考えると、場所打ち杭よりも寄与する範囲は 1D~2D 深くなる。こ

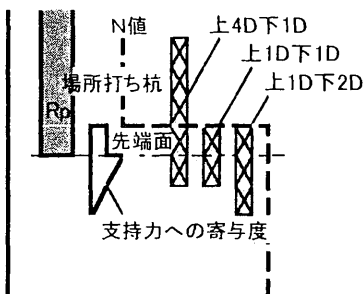


図 1 支持力への寄与度と平均範囲

れを反映して、載荷試験データの検討でも先端支持力度 $q_p \sim N_p$ 関係の相関性は、「上 1D 下 3D」の N_p によるものが最も良くなっており、これが最適の範囲となる¹⁾²⁾。

一方、現行の基準類(建築系)では平均範囲を、「上 4D、下 1D」とするものが多く、場所打ち杭でも建築基準法や東京都の建築構造設計指針(1991)などはこの範囲を採用している(日本建築学会建築基礎構造設計指針は「上 1D 下 1D」)。しかし、「上 4D、下 1D」では図 1 のように支持力に寄与する地盤にほとんど対応していない。この平均範囲は、既に否定された Meyerhof の支持力理論⁷⁾と、打込み杭の先端支持力が「上 3.75D 下 1D」のコーン貫入抵抗の平均値によって示されるとした Van Der Veen の実験⁸⁾に基づいたものであり、少なくとも埋込み杭や場所打ち杭に適用するのは妥当でないことは明白といえる。

3. 載荷試験データからみた最適な平均範囲

本節では、場所打ち杭の最適な平均範囲を、載荷試験データを用いて検討する。収集できた載荷試験例のうち、

- ・先端沈下量 S_p の最大値が杭径の 7% 以上、
 - ・杭先端から少なくとも 2D 下方までの N 値が分かる、
 - ・ $N > 50$ の場合に換算 N 値を求めることができる、
 - ・先端載荷試験の場合、載荷径 D' が杭径の 1/3 以上、
- の 4 条件を満足するものを選ぶと、表 1 に示す 12 件となった。大半が先端載荷試験による試験例⁹⁾である。

表 1 4 条件を満足した載荷試験

番号	杭径 (m)	載荷径 (m)	根入長 (m)	先端の土質	杭の施工法	qp (kN/m ²)	載荷試験法
1	1.20	1.20	26.5	砂	RCD	5029	杭頭
2	1.20	1.20	38.5	砂	RCD	6718	先端
3	1.20	1.20	38.5	砂	RCD	6669	先端
4	1.20	1.20	38.0	砂	RCD	4266	先端
5	1.20	1.20	26.5	砂	RCD	4972	先端
6	1.20	1.20	30.2	砂	RCD	5403	先端
7	2.20	2.20	48.0	砂	ED	5747	先端
8	1.60	1.60	35.0	砂	ED	3212	先端
9	1.20	0.95	27.0	砂礫	AC	9669	先端
10	2.00	2.00	21.7	砂礫	AC	7120	先端
11	1.60	1.20	11.5	砂礫	深礎	7630	先端
12	1.60	0.60	17.0	砂	深礎	4894	先端

これらの試験で得られた q_p と種々の平均範囲による N_p との関係から、相関係数や変動係数を求めた。 q_p は、 $S_p = 0.1D'$ 時の先端支持力 R_p を、 D' 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 $0.1D'$ 未満のものは、 $\log R_p \sim \log S_p$ 関係の直線を外挿して q_p を求めた。

N_p を求める平均範囲は「上 1D 下 1D」などの 7 通りを考え、各々の範囲に含まれる N 値を単純平均した値を N_p とした。50 を超える N 値も、換算 N 値により評価し

た。図2は、平均範囲を「上4D下1D」と「上1D下2D」としたときの $q_p \sim N_p$ 関係図である。これらの図には、最小自乗法による回帰直線(平均 μ)と $\mu \pm \sigma$ (σ :分散を定数としたときの標準偏差)、および N_p の平均値を示している。また、原点を通る回帰直線も併記したが、変動係数は2倍近くの値になっている(表2)。なお、原点を通る回帰直線の勾配は、種々提案されている方法¹⁰⁾のうち「 q_p/N_p の単純平均値」を採用した。これは、最も一般的な方法であるが、他の方法に比べて大きめの勾配を与えることが多いことに注意する必要がある。

表2は、平均範囲ごとの相関係数、標準偏差、 N_p が平均値のときの変動係数 V などの値である。これによると、相関性が最も良いのは、 N_p の平均範囲が「上1D下2D」の場合であり、「上1D下1D」はやや劣るもののほぼ同等の相関性となる。最も悪いのは「上4D下1D」である。

したがって、載荷試験データからは、場所打ち杭の最適な平均範囲として「上1D下2D」が得られる。これは、前節の支持力機構による検討結果と一致する。

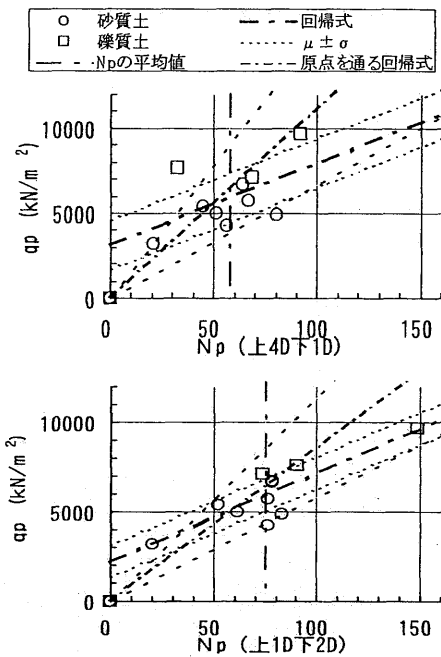


図2 $q_p \sim N_p$ 関係図

表2 平均範囲別の相関係数と変動係数

平均範囲(上下)	データ数	相関係数	N_p の平均値 (Npm)	回帰直線(最小自乗法)		原点を通る回帰直線(q_p/N_p による)			
				σ	$N_p = N_{pm}$ 時	回帰式	変動係数		
4D1D	12	0.552	57.8	1439	5944	0.242	112Np	45Np	0.401
1D1D	12	0.847	75.4	918	5944	0.154	85Np	27Np	0.315
1D2D	12	0.855	74.9	895	5944	0.151	86Np	28Np	0.323
1D3D	11	0.796	71.0	1069	5837	0.183	90Np	33Np	0.364
0D1D	12	0.689	79.9	1250	5944	0.210	81Np	32Np	0.392
0D2D	12	0.780	75.7	1079	5944	0.182	89Np	34Np	0.384
0D3D	11	0.717	70.9	1232	5837	0.211	93Np	38Np	0.414

注) 表1の10番の試験は、1D3Dと0D3Dの N_p が不明

また、「上0D下*D」よりも「上1D下*D」の相関性が良いのも注目される。これにより、前節で述べた根拠cが、載荷試験データからも裏付けられたことになる。

今回の検討は12例という少ないデータ数によるものである。今後、前述の4条件を満足するデータが収集されて、より多くのデータ数で検討する必要がある。もっとも今回の結果は、30件以上の場所打ち杭の載荷試験データを使って、「上4D下1D」、「上1D下1D」、「上0D下1D」の3種類の平均範囲(下2D以深の検討はされていない)による N_p と q_p との相関性を調べた山肩・伊藤らの検討¹¹⁾と同じ傾向を示していることを考えると、12件のデータでの検討でも信頼できるものといえよう。

4. おわりに

以上、場所打ち杭の先端平均N値の平均範囲について検討した結果、支持力機構からも載荷試験データからも「上1D下2D」が最適な平均範囲であることが分かった。今後、データの収集や蓄積により、基準類の平均範囲も適切なものに改められることが期待される。

さらに、支持力係数 α は平均範囲によって変わるため、その再検討も必要である。現行の $\alpha = 150$ (kN/m²)は、「上4D下1D」に対応したものである¹²⁾。表2に示した平均 N_p は他の範囲では大きいことを考えると、 α を小さくする必要はある。例えば、文献13)では「上1D下1D」に対応した α として、 $\alpha = 100$ (kN/m²)を採用している。将来、適切な平均範囲に応じた α が決められることが望まれる。

参考文献

- 1) 小椋仁志:埋込み杭の先端平均N値の平均範囲に関する検討、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)B-1, pp. 737~738, 2000. 9.
- 2) 小椋仁志:杭の先端支持力算定式に関する一考察(先端平均N値の平均範囲を中心として)、第45回地盤工学シンポジウム, pp. 199~204, (社)地盤工学会, 2000. 10.
- 3) 杉村義広:21世紀における建築基礎の展望、基礎工, Vol. 29, No. 1, pp. 6~9, 総合土木研究所, 2001. 1.
- 4) Vesic, A. S.: Design of Pile Foundations, Synthesis of Highway Practice, 42, Transportation Research Board, 1977.
- 5) 佐伯英一郎・岩松浩一・木下雅敬: Non-Displacement Pileの先端支持力推定のための地盤の「平均N値」に関する解析的一考察、日本建築学会構造系論文集, No. 535, pp. 87~94, 2000. 9.
- 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, No. 285, pp. 51~62, 1979. 11.
- 7) Meyerhof, G. G.: The Ultimate Bearing Capacity of Foundations, Geotechnique, 2, pp. 301~332, 1951.
- 8) Van der Veen: The Bearing Capacity of a Pile Predetermined by a Cone Penetration Test, Proc. 4th ICSMFE, 2, pp. 72~75, 1957.
- 9) 小椋仁志: 杭先端載荷試験法の概要と適用例, GBRC, No. 87, pp. 54~67, (財)日本建築総合試験所, 1997. 7.
- 10) 小椋仁志・日野真紀子・カルキーマグダ: 信頼性理論を考慮した杭の支持力算定式の作成例, 第44回地盤工学シンポジウム, pp. 121~126, 1999. 11.
- 11) 山肩邦男・伊藤淳志・山田 毅・田中 健: 場所打ちコンクリート杭の極限先端荷重および先端荷重~先端沈下量特性に関する統計的研究、日本建築学会構造系論文集, No. 423, pp. 137~146, 1991. 5.
- 12) 日本建築学会: 建築基礎構造設計規準・同解説, pp. 235, 1974. 11.
- 13) 日本建築学会: 建築物の限界状態設計指針(案)第2版・同設計指針, pp. 167, 2000. 10.

* (株) ジオトップ・工博

GEOTOP Corporation, Dr. Eng.