

節杭を用いたプレボーリング根固め工法杭の 荷重－沈下量関係の推定方法

ESTIMATION OF LOAD-SETTLEMENT RELATIONS ON PREBORING NODULAR PILES

伊藤 淳志*, 小椋 仁志**, 田中 佑二郎***, 韓 英敏****

*Atsushi ITO, Hitoshi OGURA, Yujiro TANAKA
and Hidetoshi HAN*

For the design of pile foundation under vertical load, the amount of the settlement is important as well as the bearing capacity. So it is necessary for the establishment of the method to calculate the settlement exactly. The technique to estimate the load-settlement relations is examined in this paper based on many vertical loading tests of preboring nodular piles. For the calculation of load-settlement relations, the load transfer analysis is applied with the frictional resistance and point resistance in unit area by digging diameter estimated from N-value of the ground. The results of estimation by proposed method are closed to the measured values.

Keywords : Bored pile, Vertical load, Settlement, Point resistance, Frictional resistance, N-value

埋込み杭, 鉛直荷重, 沈下量, 先端抵抗, 摩擦抵抗, N値

1. 序

近年の構造設計においては、仕様設計から性能設計へと移行しており、基礎構造の分野でも限界状態設計法が導入されて、強度（支持力）とともに変形に対する検討が重要視されるようになってきた。それに伴い、鉛直荷重に対する杭の設計¹⁾において、沈下量の検討が必要不可欠であり、これを精度よく算定する手法の確立が望まれている。

このような情勢に鑑み、筆者らの一部は埋込み節杭を対象として、既往の載荷試験データを統計的に検討し、杭頭の荷重－沈下量関係を地盤定数より推定する手法の提案²⁾を行った。この手法は、杭の先端抵抗－先端沈下量曲線および杭周面の地層ごとの摩擦抵抗－沈下量曲線をそれぞれの地盤のN値から推定し、杭を弾性体と仮定して変位の適合条件式を解く方法（以下、荷重伝達法と呼ぶ）であり、推定結果は実測値と比較的良好な対応を示した。

同手法においては、単位面積当たりの先端抵抗および周面摩擦抵抗を、杭の本体径（節部径）の円筒面積を採用して算出していた。しかし、現状の根固め液および杭周固定液の強度や剛性を考えると、支持力メカニズムとして、杭本体径よりも掘削径で評価する方が適切であろう³⁾。特に拡大掘削を伴う場合は、杭径に基づく先端抵抗－先端沈下量関係は他の掘削径の異なる工法での沈下量の評価には適

用できない。

そこで今回、文献²⁾のデータにその後の工法の載荷試験データを追加し、掘削径に基づく先端抵抗－先端沈下量曲線と周面摩擦抵抗－沈下量曲線の推定、およびそれらを採用して荷重伝達法により求めた杭頭荷重－沈下量関係の信頼性について検討を行ったので、本論において報告する。

なお、本論文の一部については、既に文献^{4, 5)}において中間発表済みであることをお断りしておく。

2. 荷重－沈下量関係の推定手順

本研究で提案している杭頭荷重 P_0 －杭頭沈下量 S_0 関係の推定手法は、平山ら^{6, 7)}の方法を基本としており、以下の手順によっている。

- ① 鉛直載荷試験の結果より、ひずみ計断面間ごとの区間周面摩擦応力 f_i －区間沈下量 S_i 関係と先端荷重 q_p －先端沈下量 S_p 関係を求める。
- ② f_i － S_i 関係、 q_p － S_p 関係を Kondner 型双曲線関数により近似する。
- ③ 多数の載荷試験結果から得られた近似双曲線の係数と、地盤種別ごとのN値との回帰直線を求める。
- ④ これらの回帰直線式を採用し、N値から求まる係数をもつ双曲

* 関西大学環境都市工学部建築学科 准教授・博士(工学)

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University, Dr. Eng.
JAPAN PILE CORPORATION, Dr. Eng.
JAPAN PILE CORPORATION, M. Eng.
Graduate School of Kansai University

** ジャパンパイル(株) 工博

*** ジャパンパイル(株) 修士(工学)

**** 関西大学大学院

線関数を適用して荷重伝達解析を行い、 P_0-S_0 関係を推定する。

3. 載荷試験データの概要

本論文で対象とした資料は、1994～2003年に施工された4種類(A～D工法)の節杭を用いたプレボーリング根固め工法による117件の載荷試験データである。AおよびBは掘削土を全て排出して注入したセメントミルクの中に杭を建て込む工法(B工法は低排土掘削)、CおよびDはセメントミルクと掘削土を混合攪拌してソイルセメント化した中に杭を建て込む工法である。A～C工法の掘削径は、杭全長にわたって節部径より30～60mm大きい径となっている。これに対してD工法は、杭先端から杭長の30～50%の範囲を節部径より150～250mm(節部径の約1.3倍)拡大掘削している。A～C工法の杭は全長が節杭であるが、D工法は11件のうち全長が節杭であるのは5件であり、残りは節杭の上側にストレート杭を継いだものである。したがって、周面摩擦力のデータの中には、少数ではあるがストレート部のものも含まれている。

杭径および先端地盤の土質別の資料数を表1に示した。杭径は5種類で、節部径がφ440mmとφ500mmのデータは全ての工法にあるが、φ600mmとφ650mmのデータはCおよびD工法に、またφ800mmのものはD工法に限られる。節部は全て1m間隔で節が設けられており、杭本体先端と掘削底面とは一致している(図1参照)。杭長は4～43mである。なお、土質は砂および砂礫を砂質土、粘土およびシルトを粘性土とし、腐植土を加えた3種類に分類した。

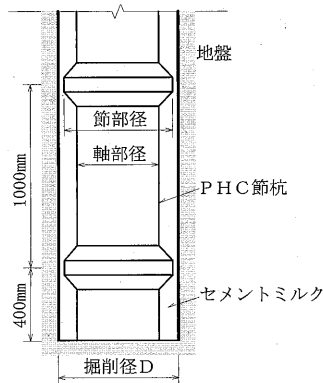


図1 杭先端部模式図

表1 載荷試験資料数一覧

節部径-軸部径 (mm)	掘削径 (mm)	先端地盤の土質			計
		砂質土	粘性土	腐植土	
φ440-300	φ500-620	23	8	4	35
φ500-400	φ550-680	26	7	3	36
φ600-450	φ630-800	11	7	0	18
φ650-500	φ680-800	19	7	1	27
φ800-600	φ1050	1	0	0	1
合計		80	29	8	117

4. f_i-S_i 関係および q_p-S_p 関係の双曲線近似

各試験杭には、杭頭(地表面付近)、杭先端(最下端節部と軸部先端との間)および各地層の境界深さにひずみ計が設置されており、各断面の軸力は、杭頭のひずみ値と載荷荷重との関係を指数関数で近似した式を採用して算定している。これらの軸力値より f_i-S_i 関係および q_p-S_p 関係を求めた。ここで、 f_i はひずみ計断面間の軸力差を掘削径の円筒面積で除して算出し、 S_i は杭頭沈下量と杭先端沈下量とから杭体のひずみを考慮して求めたひずみ計断面間の中間深さの沈下量である。また、 q_p は、最下端節部下面位置の軸力をそ

の上下に設置したひずみ計による軸力から内挿して求め、その値を先端の掘削面積で除したものである。 q_p の評価位置を最下端節部下面位置としたのは、最下端節部の下面は杭先端面と同様の支持力機構になっていることが、模型実験により確認されている⁸⁾ためである。 S_p は、先端沈下計による最下端節部位置での測定値である。

現行の埋込み杭の設計においては、杭本体径に基づく杭周面積および杭先端面積に対して支持力を算定している。これは、杭本体が構造材料として許容応力度が規定されているのに対して、セメントミルクの杭周固定液や先端根固め液が品質の面で信頼性が低いと考えられていることに起因している。しかし、最近のいわゆる国土交通大臣認定工法である埋込み杭の先端および摩擦の支持力係数は、掘削径が大きいほど大きくなっており、セメントミルク周面(掘削周面)と地盤との抵抗に起因する値となっているのが実状といえる⁹⁾。そこで、今後の杭の設計に当たって、工法を限定せず汎用性のある荷重-沈下量関係の評価に資することを目的として、上述のごとく掘削径に基づく、 f_i および q_p の算出を行うこととした。

次に、 f_i-S_i 関係および q_p-S_p 関係を定式化する関数として、実測値への適用性のよい Kondner 型双曲線を採用した。曲線式を(1)式、(2)式および図2に示す。

$$f_i = \frac{S_i}{a_f + b_f S_i} \quad (1)$$

$$q_p = \frac{S_p}{a_p + b_p S_p} \quad (2)$$

ここに、 a_f, b_f, a_p, b_p はそれぞれ係数であって、これらの逆数 $1/a_f$ および $1/a_p$ は関係曲線の初期接線勾配を、 $1/b_f$ および $1/b_p$ は極限值(漸近値)を表す(図2参照)。

(1)式および(2)式で表される双曲線は、図2のごとく単調に増加する曲線であるため、 f_i-S_i 関係で時折見られる応力のピーク値が現れた後減少する場合の実測値を全てフィッティングすることは困難である。しかし、Kondner 型双曲線は式が簡便であること、設計においては応力のピーク値まで推定できれば十分であることなどにより、同関数を採用した。したがって、近似曲線は応力のピーク値までの実測値(ピーク値が現れない場合は全実測値)について最小自乗法を適用²⁾して決定した。ただし、極端に不規則な実測値は除外した。近似の例として、 f_i-S_i 関係曲線を図3に、 q_p-S_p 関係曲線を図4に示した。いずれも実測値に対してかなりよい近似曲線となっていることが分かる。なお、近似曲線の数を杭径および土質別に表2および表3に示しておく。これらの表中の()内の値は、

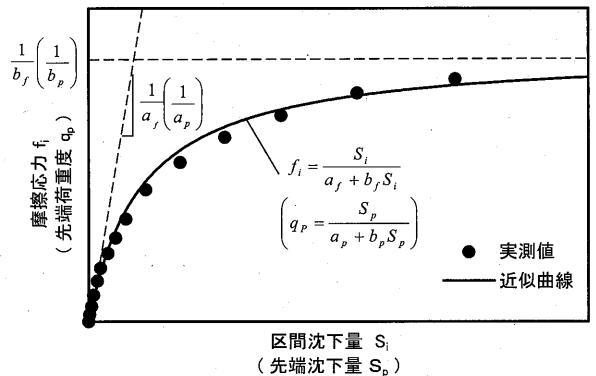


図2 Kondner型双曲線

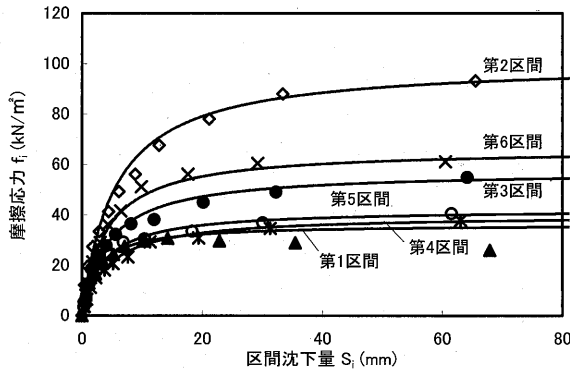


図3 f_i-S_i 関係曲線近似の例

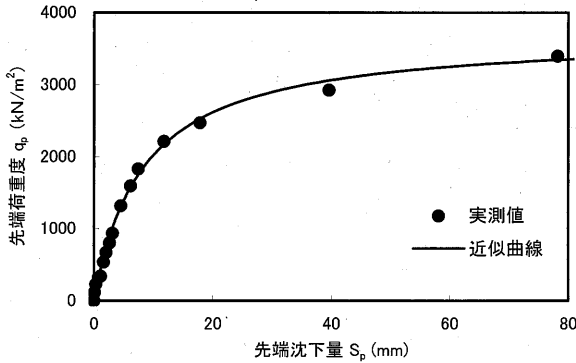


図4 q_p-S_p 関係曲線近似の例

表2 f_i-S_i 曲線数一覧

節部径-軸部径 (mm)	砂質土	粘性土	腐植土	計
φ 440-300	70 (2)	80 (3)	27	177
φ 500-400	102 (4)	99	16 (2)	217
φ 600-450	67	65 (3)	9 (1)	141
φ 650-500	59 (1)	65 (3)	2	126
φ 800-600	5	2	0	7
合計	303	311	54	668

表3 q_p-S_p 曲線数一覧

節部径-軸部径 (mm)	砂質土	粘性土	腐植土	計
φ 440-300	23	8	4	35
φ 500-400	25 (1)	7	3	35
φ 600-450	9 (2)	6 (1)	0	15
φ 650-500	19	5 (2)	(1)	24
φ 800-600	1	0	0	1
計	77	26	7	110

実測値がかなり乱れているため最小自乗近似が不可能であって、以後の検討対象から除外した数を示している。

5. 双曲線定数とN値との相関

荷重伝達解析により P_0-S_0 関係を推定する場合、それに適用する杭周面の f_i-S_i 関係および杭先端の q_p-S_p 関係を設定する必要がある。すなわち、(1)式および(2)式の各係数を地盤定数より推定しなければならない。前述のごとく、これらの係数の逆数(以下、双曲線定数と呼ぶ) $1/a_f$ および $1/a_p$ は関係曲線の初期接線勾配を、 $1/b_f$ および $1/b_p$ は極限值を表しており、地盤の剛性および強度と関係づ

表4 双曲線定数の回帰直線式 (f_i-S_i 曲線)

定数	土質	回帰直線式	標準偏差 σ	相関係数 r
$1/a_f$ (kN/m ³)	砂質土	1580N+10900	29600	0.400
	粘性土	1750N+15000	22400	0.307
	腐植土	345N+7070	7450	0.118
$1/b_f$ (kN/m ²)	砂質土	7.03N+67.1	76.5	0.584
	粘性土	4.40N+50.1	31.6	0.499
	腐植土	6.05N+14.8	16.4	0.686

表5 双曲線定数の回帰直線式 (q_p-S_p 曲線)

土質	定数	平均N値の区間	回帰直線式	標準偏差 σ	相関係数 r
砂質土	$1/a_p$ (kN/m ³)	0D2D	15400N+75800	290000	0.528
		0D3D	18200N+13700	274000	0.531
		0D4D	15100N+74800	300000	0.474
		1D1D	18300N+22000	272000	0.603
		1D2D	17700N+40000	279000	0.574
		1D3D	15100N+88600	285000	0.557
		4D1D	23100N-3410	284000	0.553
	$1/b_p$ (kN/m ²)	0D2D	217N+495	2570	0.703
		0D3D	243N-49.4	2510	0.707
		0D4D	231N+138	2630	0.686
		1D1D	228N+248	2610	0.686
		1D2D	219N+535	2680	0.670
		1D3D	225N+452	2630	0.687
		4D1D	267N+291	2880	0.602
粘性土	$1/a_p$ (kN/m ³)	0D2D	10100N+110000	193000	0.621
		0D3D	12400N+67500	181000	0.677
		0D4D	13100N+64100	187000	0.650
		1D1D	36400N+1060	177000	0.695
		1D2D	17500N+67800	181000	0.678
		1D3D	17300N+34700	186000	0.655
		4D1D	41100N+821	192000	0.624
	$1/b_p$ (kN/m ²)	0D2D	42.0N+1010	733	0.654
		0D3D	38.0N+1000	824	0.525
		0D4D	43.6N+949	809	0.551
		1D1D	137N+643	724	0.665
		1D2D	71.4N+850	692	0.700
		1D3D	58.9N+837	799	0.566
		4D1D	207N+366	585	0.797
腐植土	$1/a_p$ (kN/m ³)	0D2D	8800N+104000	115000	0.647
		0D3D	11500N+83100	108000	0.694
		0D4D	12100N+70100	109000	0.688
		1D1D	12800N+73600	105000	0.714
		1D2D	11800N+81100	108000	0.699
		1D3D	14200N+63900	102000	0.734
		4D1D	21500N+33600	97000	0.764
	$1/b_p$ (kN/m ²)	0D2D	80.9N+394	249	0.963
		0D3D	98.6N+272	251	0.963
		0D4D	98.5N+214	389	0.908
		1D1D	106N+225	260	0.960
		1D2D	100N+261	253	0.962
		1D3D	114N+179	272	0.956
		4D1D	167N-16.3	259	0.960

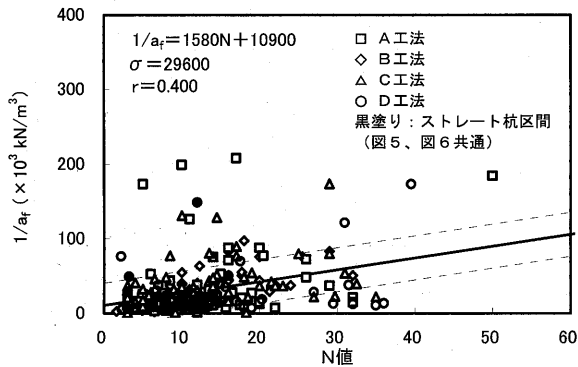
けることができよう。そこで、双曲線定数とN値との相関性について、地盤を砂質土、粘性土および腐植土に分けて検討を行う。粘性

土や腐植土の場合は地盤定数として一軸圧縮強さ q_u を用いるべきであるが、 q_u が測定されている例がほとんどないため、実用性を考慮して粘性土や腐植土にも N 値を用いることとする。

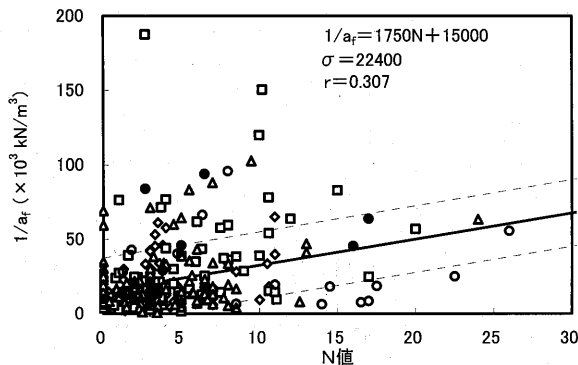
f_i-S_i 曲線の初期接線勾配 $1/a_f-N$ 値関係を図 5 に、極限值 $1/b_f-N$ 値関係を図 6 にそれぞれ土質別に示した。ここに、 N 値はひずみ計断面区間の N 値の単純平均値を用いている。両図では 4 つの工法ごとに記号を変えてプロットしてある。また、6 件は上杭にストレート杭が使用されており、ストレート杭部分の 28 区間については黒塗りの記号としてある。図中の実線は最小自乗法による回帰直線、破線は回帰直線から $\pm\sigma$ (σ : 標準偏差) の線である。なお、表 4 に回帰直線式、 σ および相関係数 r をまとめて示しておいた。図 5 および図 6 において、ある程度ばらつきはあるものの、図 6 の $1/b_f-N$ 値関係には明確な相関関係が認められるため、 b_f を N 値から求めることは妥当である。一方、図 5 の $1/a_f-N$ 値関係の相関性は小さいが、砂質土および粘性土ではある程度の相関関係が認められること、 b_f と同様に扱う方が荷重-沈下量関係の推定が簡便にな

ることから、 a_f も N 値から求めることとする。なお、これらの関係については、工法の違いおよび節杭区間とストレート杭区間の違いによる差はないものと判断でき、また杭径による違いについても検討したが、有意な差は見られなかった。

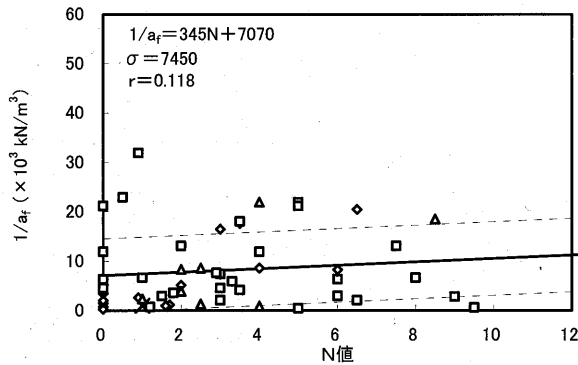
次に、 q_p-S_p 曲線の双曲線定数と N 値との相関性については、採用する先端 N 値の平均範囲として、掘削底面 (杭先端) を基準とし上方 0 D (D: 掘削径) から下方 2 D 間 (0D2D と表記、以下同様)、0D3D、0D4D、1D1D、1D2D、1D3D、4D1D の 7 種類について検討を行った。このうち 4D1D は Meyerhof の支持力理論に基づいたものであるが、現在では杭先端~下方 (1~2) D 間の範囲の地盤が圧縮されるという Vesic の理論が有力である¹⁾ ため、参考として採用したものである。これらの平均 N 値についての双曲線定数 $1/a_p$ および $1/b_p$ との回帰直線式、 σ および r を表 5 にまとめて示した。同表の σ および r を土質ごとの平均 N 値の区間で比較すると、有意な差あるいは顕著な傾向は認められない。そこで、設計においては土質にかかわらず 1 種類の平均 N 値を使用するほうが混乱が少ないこと、0D2D や



(a) 砂質土

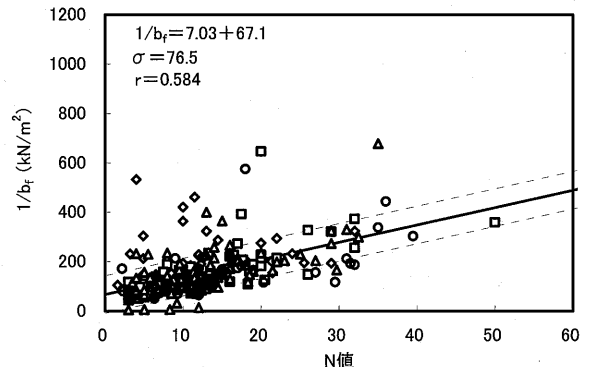


(b) 粘性土

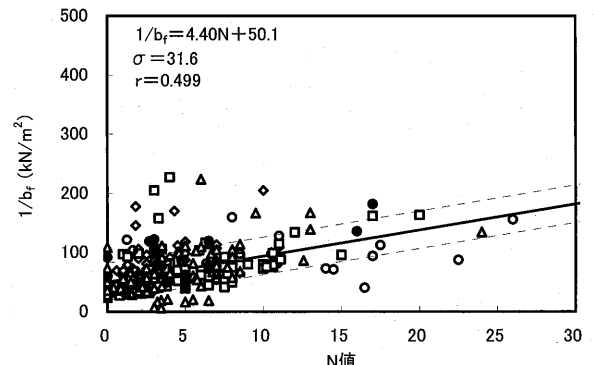


(c) 腐植土

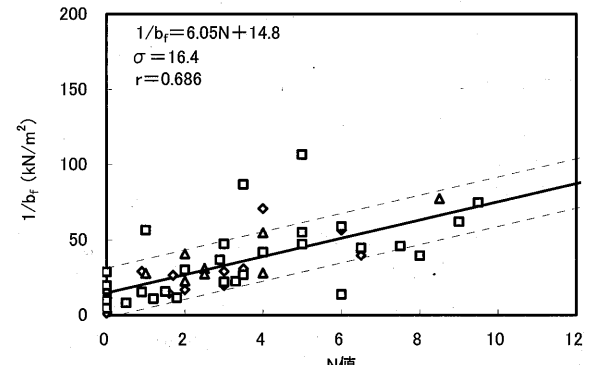
図 5 f_i-S_i 曲線の初期接線勾配 $1/a_f-N$ 値関係



(a) 砂質土



(b) 粘性土



(c) 腐植土

図 6 f_i-S_i 曲線の極限值 $1/b_f-N$ 値関係

1D1D では1 mごとに測定されるN値の値が範囲内に1個しか入らない可能性が高いこと、荷重-沈下量曲線の全体的な形状は $1/a_p$ よりも $1/b_p$ のほうが影響が大きいことなどを考慮し、データ数が多い砂質土の $1/b_p$ で相関係数が最も高いOD3Dの回帰直線式(表5で網がけた部分)を採用することとした。この平均N値についての土質別の $1/a_p$ -N値関係および $1/b_p$ -N値関係を図7および図8に示した(ただし、黒塗りの記号を除く)。各図中の実線は回帰直線、破線は回帰直線から $\pm\sigma$ の線である。 q_p - S_p 関係の双曲線定数についても、N値との相関性は高いと判断できる。

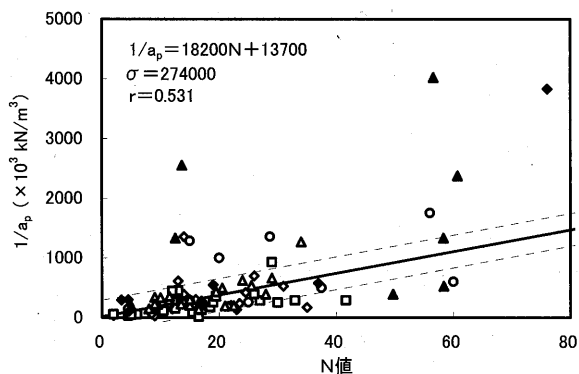
両図中の黒塗りのプロットは、比較的最近の2工法(E, F)による26件の載荷試験について、上記と同様に掘削径に基づいて算出した双曲線定数とN値との関係を参考として示したものである。いずれも拡大掘削を伴う節杭を用いた根固め工法であるが、拡大掘削径は、E工法はD工法と同じ節部径の約1.3倍、F工法は節部の1.25~2.13倍(最大2500mm)となっている。これらは径が大きい杭(最大 ϕ 1200-1000)のデータが多く、また先端N値が比較的大

きいデータが多いのも特徴である。件数が少なくばらつきが大きい図8(a)の砂質土の $1/b_p$ -N値関係については、図中の4工法による回帰直線と大差はないと言える。その他の関係については、今後データを蓄積してさらに検討を行う必要がある。

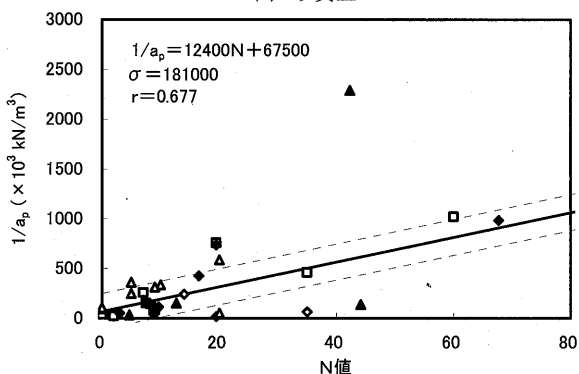
6. P_0 - S_0 関係の解析結果

全載荷試験について、前節の双曲線定数とN値との回帰式を採用して各ひずみ計断面間の f_1 - S_1 関係および杭先端の q_p - S_p 関係を推定し、荷重伝達解析によって杭頭荷重 P_0 -沈下量 S_0 関係を計算した。荷重伝達法の詳細については文献¹⁰⁾を参照されたい。なお計算に当たっては、土質柱状図に盛土あるいは表土と表記された土層の摩擦応力は無視した。また、セメントミルクおよび杭本体を含んだ掘削径全体を均質な弾性体と仮定し、弾性係数 E_p は次式により求まる値を採用した(図9参照)。

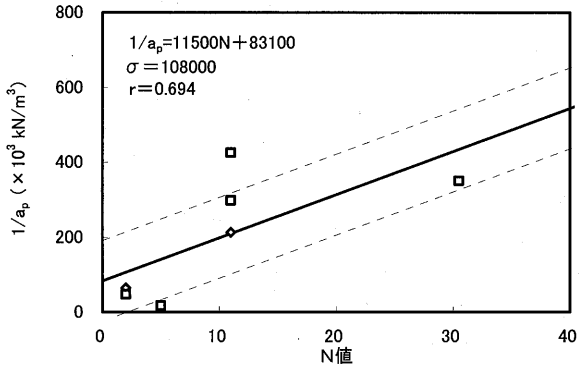
$$E_p = \frac{E_c A_c + E_m A_m}{A_c + A_m} \quad (3)$$



(a) 砂質土

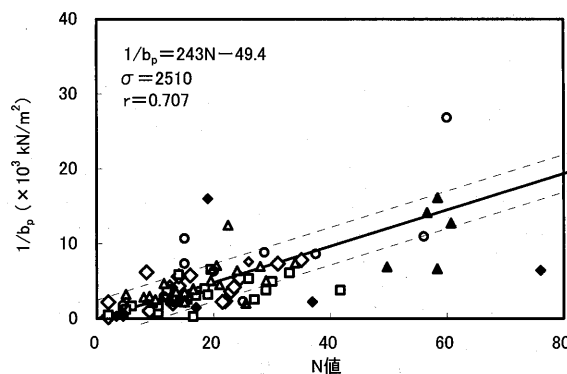


(b) 粘性土

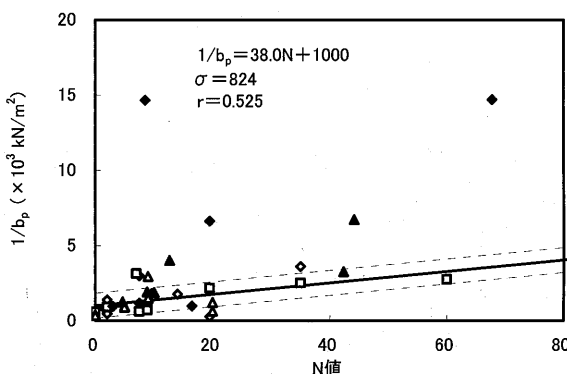


(c) 腐植土

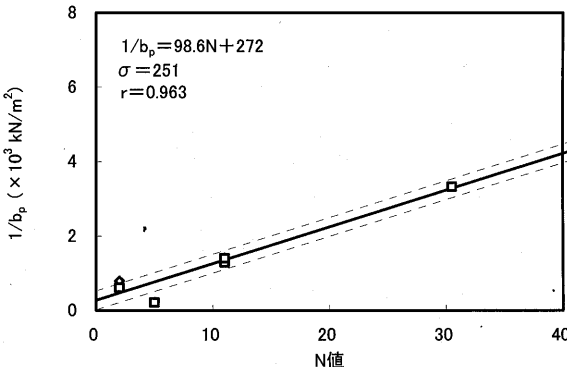
図7 q_p - S_p 曲線の初期接線勾配 $1/a_p$ -N値関係



(a) 砂質土



(b) 粘性土



(c) 腐植土

図8 q_p - S_p 曲線の極限值 $1/b_p$ -N値関係

ここに、 E_0 ：杭本体の弾性係数 $=4.0 \times 10^4$ N/mm²

E_m ：セメントミルクの弾性係数 $=4.0 \times 10^3$ N/mm²

A_c ：杭軸部の実断面積 (mm²)

A_m ：セメントミルク部（節部は無視）の断面積 (mm²)

掘削土を含むセメントミルクの弾性係数は、実測された例が少ないが、文献¹⁾で3000~6000N/mm²と報告されていることから、ここでは杭本体の1/10の値である4000N/mm²と仮定した。なお、この値の差が荷重-沈下量関係に及ぼす影響は小さい。

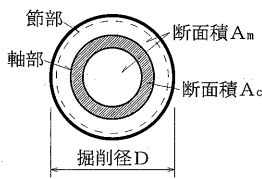


図9 杭断面模式図

計算結果の一例として、掘削径φ550mm（杭径φ500-400）、杭長8mの場合を実測値と合わせて図10に示す。同図に示したように、実測沈下量 S_t と同一荷重の解析による沈下量 S_c との比 S_t/S_c を全てのデータについて求め、その値を自然対数 $\ln(S_t/S_c)$ とした場合のヒストグラムを図11(a)に示す。データ数は載荷試験ごとに異なり、6~20点の範囲にある。自然対数としたのは、 S_t/S_c では $S_t > S_c$ の場合の値が1以上となるのに対し、 $S_t < S_c$ の場合は0~1の狭い範囲の値となり、後者のデータを軽く扱うことになって不合理な結果となるためである。 $\ln(S_t/S_c)$ の値が0に近いほど解析値が実測値に近いと言えるが、全データの平均値 m は0.145、標準偏差 σ は0.332となった。同図にはこれらのデータを正規分布とした場合の曲線を描いておいた。既報の文献²⁾においては、埋込み節杭（AおよびB工法）の本体径（節部径）の円筒面積を採用して周面摩擦応力および先端荷重度を算出し、本報と同様の手順で荷重-沈下量関係を推定した結果が報告されている。その際、データ数730個の $\ln(S_t/S_c)$ は $m=-0.011$ 、 $\sigma=0.608$ であった。本報では、平均値については S_c が S_t より多少小さくなったが、標準偏差についてはかなり向上している。

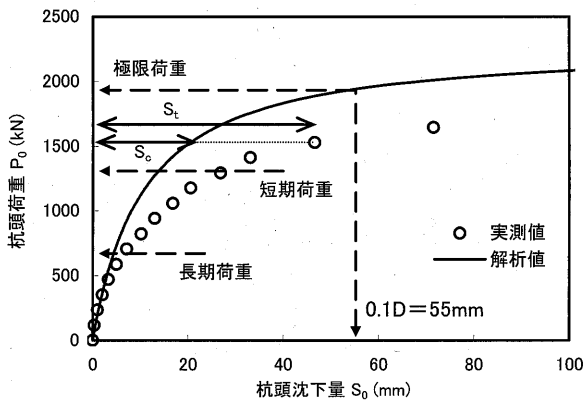
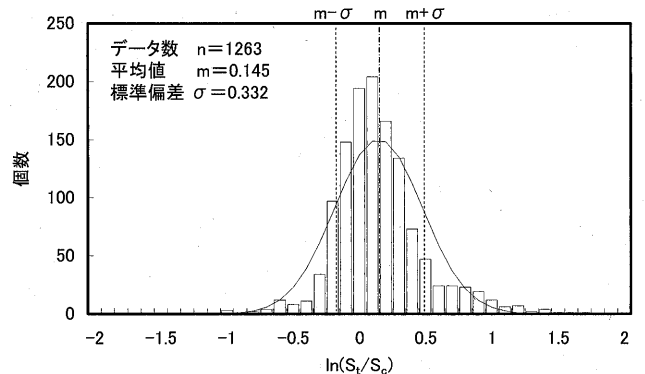
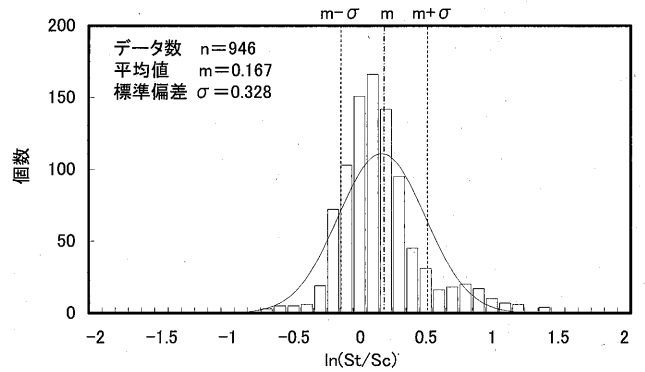


図10 P_0-S_0 関係の推定例

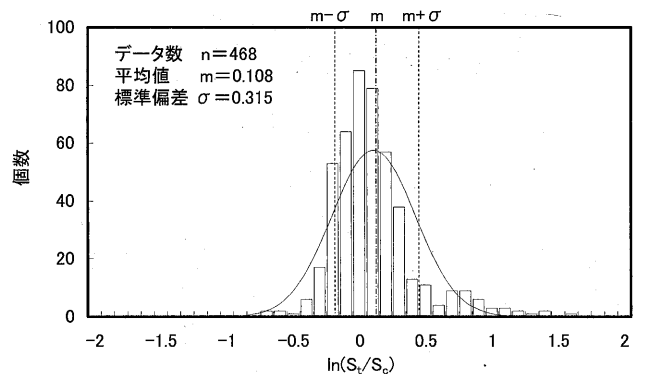
ここで、解析値の S_0 が掘削径 D の10%の時の P_0 を極限荷重とし、その2/3を短期荷重、1/3を長期荷重と考え、 $P_0=0$ からそれらの荷重までの実測データについて、上記と同様のヒストグラムを図11(b)および(c)にそれぞれ示した。図11(c)の長期荷重までの範囲では、 $m=0.108$ 、 $\sigma=0.315$ となった。これは、データ数468個の35%である164個の実測値が解析値の0.9倍から1.1倍 ($\ln(S_t/S_c)$ が-0.105から0.095)の範囲に、63%である294個の実測値が解析値の0.8倍から1.2倍 ($\ln(S_t/S_c)$ が-0.223から0.182)の範囲



(a) 全データ



(b) 短期荷重以下



(c) 長期荷重以下

図11 $\ln(S_t/S_c)$ のヒストグラム

に含まれることを意味しており、推定精度はきわめてよいことが分かる。

以上より本推定手法は、理論式の簡便性と、地盤定数としては N 値のみを用いて求めたものであることを考えると、十分に満足できる精度の推定法といえる。

7. 結語

以上、節杭を用いたプレボーリング根固め工法杭の載荷試験データを統計的に検討し、地盤の N 値より杭頭の荷重-沈下量関係を推定する手法の提案を行い、推定結果の信頼性について検討を行った。本論を要約すると以下のとおりである。

- ① 埋込み節杭の掘削径に基づく単位面積当たりの周面摩擦応力 f_1 -沈下量 S_1 関係および先端荷重度 q_b -先端沈下量 S_b 関係は、Kondner型双曲線関数を採用した最小自乗法により目視的にかなりよい近似を行うことができる。

- ② これらの f_i-S_i 曲線および q_p-S_p 曲線の初期接線勾配と極限值（漸近値）は、土質によって程度は異なるものの、地盤の平均N値との間に相関性が認められることから、それぞれの回帰直線式を提示した。ここで、先端地盤のN値の平均範囲は、データ数が多い砂質土において極限值とN値との相関性が最もよい掘削底面～底面下方3D（D：掘削径）間を採用した。
- ③ 対象とした載荷試験データには、上杭にストレート杭を採用したのも含まれるが、ストレート杭の区間の f_i-S_i 曲線と節杭区間の曲線とに、N値との相関において有意な差は見られなかった。
- ④ 近年施工されている先端の掘削径が杭径よりも比較的大きい埋込み杭の q_p-S_p 曲線についてN値との相関性を調査した結果、砂質土の極限值については、本報での4工法とほぼ同様の相関関係があったが、初期接線勾配および粘性土についてはばらつきが大きく、さらにデータを蓄積して検討が必要である。
- ⑤ 荷重伝達解析により杭頭荷重～沈下量関係を推定した結果、長期荷重以下の荷重に対して、実測沈下量の63%が解析値の0.8～1.2倍の範囲にあり、本推定法が地盤のN値のみを用いた簡便な手法であるが、推定精度はかなりよいと考えられた。
- 最後に、本研究を行うに当たり多大のご協力をいただいた関西大学卒業研究生の諸氏に謝意を表す。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，pp.200～237，2001.10
- 2) 二見智子，小椋仁志：埋込み節杭のデータによる摩擦杭の荷重～沈下量関係推定法の提案，第44回地盤工学シンポジウム論文集，pp.127～132，1999.11
- 3) 山本 敏，伊藤淳志：埋込み杭の先端支持力性状に関する有限要素法解析，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-1，pp.553～554，2007.8
- 4) 韓 英敏，伊藤淳志，小椋仁志，田中佑二郎：埋込み節杭の先端抵抗～先端沈下量関係曲線について，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-1，pp.581～582，2007.8
- 5) 小椋仁志，伊藤淳志，韓 英敏，田中佑二郎：埋込み節杭の杭頭荷重～沈下量関係の推定方法，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-1，pp.583～584，2007.8
- 6) 平山英喜，金井重雄，木原律子：埋め込み節杭の荷重～沈下解析（その1：荷重伝達関数に関する統計的解析），第32回地盤工学研究発表会講演集，pp.1507～1508，1997.7
- 7) 平山英喜，金井重雄，木原律子：埋め込み節杭の荷重～沈下解析（その2：荷重伝達解析に基づく修正定数算定式），第32回地盤工学研究発表会講演集，pp.1509～1510，1997.7
- 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，No.374，pp.87～97，1987.4
- 9) 土屋 勉：最近の埋込み杭施工法の動向と今後の展望，基礎工，Vol.31，No.9，pp.11～15，2003.9
- 10) 伊藤淳志，山肩邦男：差分方程式に基づく単杭の鉛直荷重～沈下量関係の理論解析法およびその砂地盤への適用，日本建築学会構造系論文集，No.505，pp.77～84，1998.3
- 11) 山肩邦男，生田喜一郎，平田定男，藪内貞男，平尾幸太郎，小椋仁志：大口径鋼管埋込み杭の先端支持力特性，第16回土質工学研究発表会講演集，pp.949～952，1981.6

(2007年9月10日原稿受理，2008年2月25日採用決定)