

杭の標準沈下特性に関する研究

脇田英治¹

¹正会員 工博 清水建設(株) 技術研究所 地下技術部 (〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17)

杭種毎に沈下特性を標準的に設定できれば、杭基礎の設計上のメリットは大きい。特に近年、既設基礎を再利用して構造物を建て替える工事が増加傾向にあり、その多くが異種杭混用基礎となるので、設計時には杭種毎の沈下特性の把握が重要であると考えられる。このような意図に基づいて、過去に実施された多くの載荷試験データを用いて、杭の荷重-沈下関係の曲線近似を行い、杭の沈下特性を表す最適な曲線式を求めた。そして、その曲線式のパラメータと杭種および仕様との関係を重回帰分析により解析し、杭種・仕様に對して一義的に沈下特性を標準的に設定できる推定式にまとめた。

Key Words : pile foundation, settlement, pile loading test, bearing capacity, hyperbolic curve, pile design, foundation, regression analysis

1. はじめに

宇都¹⁾は杭の鉛直荷重と沈下量の関係がワイブル曲線で良く近似できることを示した。そのワイブル分布を用い岡原、中谷、田口、松井²⁾は多くの杭の載荷試験の結果をワイブル曲線に置き換えて統計処理し、図-1に示すような杭の種類別の荷重と沈下量の関係を求めた。この図は日本道路協会の杭基礎設計便覧³⁾にも示されており、杭種類の沈下特性を定量的に示した点で意義が大きい。

一般に杭の載荷試験では極限支持力に到る荷重レベルまで載荷が行われることはまれであり、最大荷重は第1限界荷重(log P-log S 曲線に現れる明瞭な折れ点の荷重)、あるいはそれ以下である場合が多い。また、実際に施工される構造物においても、杭の最大荷重が極限支持力に到ることは一般的にはなく、常時は極限支持力の1/3以下、地震時はその1/2以下となるように設計が行われる。したがって、杭の沈下を検討する場合、[第1限界荷重～極限支持力]での沈下特性よりは[0～第1限界荷重]での沈下特性の方がより実務設計上の重要度が高いと考えられる。

図-1に示す岡原ら²⁾の検討においては極限支持力 R_u まで載荷を行ったケースについてはその値 R_u を採用し、極限支持力レベルまで載荷が行われなかったケース(全体の約2/3)については極限支持力 R_u が杭径の10%であるとする設定の基にデー

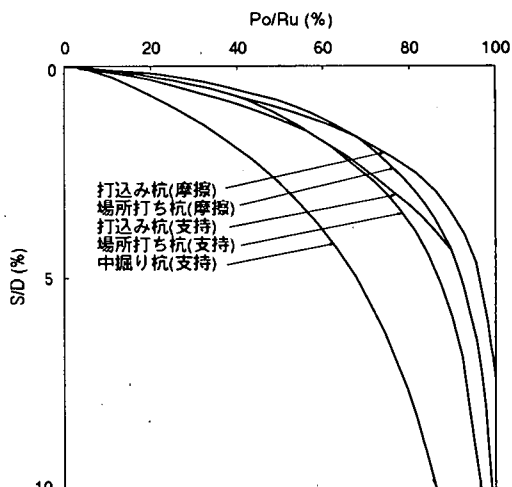


図-1 杭の施工法、支持形式別の杭頭荷重-沈下量関係²⁾

タの整理が行われている。

しかし、前述したように第1限界荷重以下の沈下特性の重要性を考慮すると、極限支持力を規準とせず、むしろ第1限界荷重を規準としたデータ整理法を採用するのが有効であったのではと考えられる。すなわち、[0～第1限界荷重]までのデータのみを用いて、分布曲線のフィッティングを行うのであるが、その場合には、 R_u を杭径の10%とする設定は不要であり、かつ、利用するデータの範囲が第1限界荷重以下に限定されるので、より精度の高い分布曲線のフィッティングが可能とな

る長所がある。

このような考えの基に、本論文では多くの載荷試験の第1限界荷重以下の範囲のデータのみを用いて、杭の荷重-沈下関係の曲線近似を行う。その際、荷重-沈下量曲線として、ワイブル分布だけでなく、双曲線分布についても検討し、両者の適合性を比較する。

杭の荷重と沈下量の関係の近似に双曲線を用いたのはChristow^{4),6)}が最初であり、双曲線近似を応用して、杭の極限支持力の推定法を提案した。その後、設計のための極限荷重の判定法としては双曲線近似による極限支持力の推定法が過大な推定値を与えることが指摘された^{5),6)}。

これに対して、本論文における双曲線近似の利用は第1限界荷重以下の荷重範囲に限るものであり、極限支持力を推定対象とするものではなく、沈下特性を一般化するために利用するものであり、その点、従来の多くの双曲線近似の利用法と異なる。本論文では前述の検討を経て、杭の荷重-沈下量関係を一般化・法則化し、実務設計に活用できる杭の荷重-沈下特性の設定法を提案する。

2. 解析に用いる杭の載荷試験データ

表-1は解析に用いる杭の載荷試験データ(69例)の概要を示している。表-1に示すデータに対して、最初にワイブル分布によるフィッティングを行う。ただし、前述したように、第1限界荷重までの沈下を基準として実施する。文献2)および3)の中で杭の荷重-沈下量関係を表すワイブル分布は次式で示されている。

$$P_o/R_u = 1 - \exp\left\{-\left(S/S_y\right)^m\right\} \quad (1)$$

ここに、 S は杭頭沈下量、 P_o は杭頭軸力、 R_u は沈下量で規定しない極限支持力、 S_y は杭頭荷重が第1限界荷重の時の杭頭沈下量、 m は変位指数である。なお、 S_y/D の値(D は杭径)が杭種毎にほぼ一定値をとることが報告されている。つまり、杭種が1種類に限定されれば、 $S_y \propto D$ の関係が成立することになる。そこで、これらを考慮し、ワイブル分布の一般式として式(1)を変形すると次式が得られる。

$$S/D = a \left\{ -\ln(1 - b' \cdot P_o/R_u) \right\}^c \quad (2)$$

ここに、 a, b', c はパラメータである。さらに、第1限界荷重を基準とする主旨に従い、極限支持力

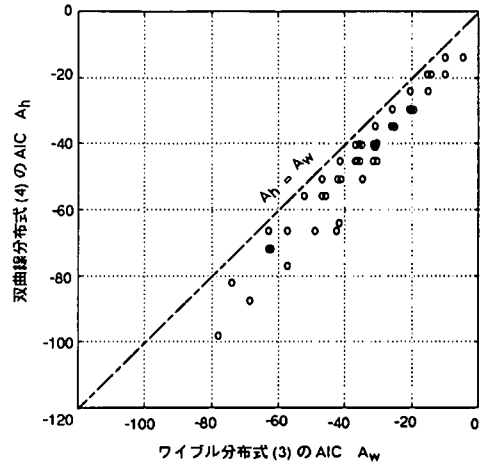


図-2 ワイブル分布と双曲線分布のAICの比較

R_u を第1限界荷重 R_y に置き換えると次式となる。

$$S/D = a \left\{ -\ln(1 - b' \cdot P_o/R_y) \right\}^c \quad (3)$$

以下に示すワイブル分布のフィッティングでは式(3)を用いる。一方、双曲線分布のフィッティングは次式による。

$$\frac{S}{D} = \frac{P_o/R_u}{d + e \cdot P_o/R_u} \quad (4)$$

ここに、 d, e はパラメータである。

図-2は表-1のデータの[0～第1限界荷重×1.1]の範囲のデータのみを用いて行ったフィッティングの結果を解析精度で示している。本図では解析精度をAIC(赤池の情報量規準)¹³⁾で評価している。AICの値が小さい程、解析精度が高いと判定できる。図では横軸にワイブル分布によるAICの値、縦軸に双曲線分布によるAICの値をとり、両者の関係を示している。その結果、プロット点が1:1のラインよりも全て下側にあり、全てのデータで双曲線分布の方がワイブル分布よりもフィッティング精度の高いことがわかる。このようなことから第1限界荷重以下の杭の荷重-沈下量関係に関しては双曲線分布の適合性が高いと考えられる。

3. 双曲線回帰式のパラメータ間の関係

以上の双曲線回帰で得られた式(4)のパラメータ d と e の関係を調べる。ただし、後述の検討で明らかにするが、杭種により特性に相違が見られるので、杭種毎に解析を実施する。図-3～5はそのようにして得られた各杭種毎のパラメータ d と e の

表 - 1 解析に用いる杭の載荷試験データ

No.	工法	杭種・工法	杭径	杭長	杭頭最大荷重	文献	No.	工法	杭種・工法	杭径	杭長	杭頭最大荷重	文献		
1	支持杭	リバース	φ 1,500	44.5m	2,100tf	7)	36	支持杭	打込み杭	PC 杭	φ 450	20.3m	210tf	7)	
2		リバース	φ 1,500	40.0m	2,600tf	7)	37		鋼管杭	φ 600	23.0m	330tf	7)		
3		リバース	φ 1,500	32.0m	4,000tf	7)	38		鋼管杭	φ 1,000	68.0m	1,100tf	7)		
4		リバース	φ 1,500	33.2m	2,100tf	7)	39		PC 杭	φ 1,000	10.0m	400tf	7)		
5		リバース	φ 1,500	26.5m	3,000tf	7)	40		鋼管杭	φ 800	61.5m	900tf	7)		
6		オルケーシング	φ 1,500	10.5m	3,000tf	7)	41	摩擦杭	リバース	φ 2,000	37.0m	3,200tf	8)		
7		オルケーシング	φ 1,000	28.8m	900tf	7)	42		場所打ち杭	φ 1,500	47.0m	1,200tf	9)		
8		オルケーシング	φ 1,090	6.0m	1,000tf	7)	43		場所打ち杭	φ 1,200	32.0m	1,050tf	9)		
9		オルケーシング	φ 1,500	18.5m	1,800tf	7)	44		場所打ち杭	φ 1,000	27.0m	660tf	9)		
10		リバース	φ 1,500	22.4m	1,500tf	7)	45		場所打ち杭	φ 1,200	30.0m	750tf	9)		
11		摩擦	リバース	φ 800	26.2m	440tf	7)		46	場所打ち杭	φ 1,000	31.0m	680tf	9)	
12		リバース	φ 1,016	24.0m	480tf	7)	47		場所打ち杭	φ 1,000	18.0m	660tf	9)		
13		ア-ストリル	φ 800	10.0m	500tf	7)	48		場所打ち杭	φ 1,200	22.5m	550tf	9)		
14		オルケーシング	φ 1,200	23.5m	1,700tf	7)	49		場所打ち杭	φ 1,000	13.0m	560tf	9)		
15		オルケーシング	φ 1,300	28.6m	2,000tf	7)	50		摩擦杭	鋼管杭	φ 800	49.0m	600tf	9)	
16	リバース	φ 600	12.3m	450tf	7)	51	鋼管杭	φ 812.8		30.0m	586tf	9)			
17	PHC 杭	φ 450	14.0m	180tf	7)	52	鋼管杭	φ 812.8		18.0m	420tf	9)			
18	PHC 杭	φ 600	21.0m	320tf	7)	53	鋼管杭	φ 600		49.0m	470tf	9)			
19	PHC 杭	φ 800	34.0m	650tf	7)	54	鋼管杭	φ 812.8		22.5m	305tf	9)			
20	鋼管杭	φ 800	11.8m	595tf	7)	55	鋼管杭	φ 600		18.5m	300tf	9)			
21	PC 杭	φ 600	59.0m	420tf	7)	56	鋼管杭	φ 812.8		27.0m	420tf	9)			
22	SC 杭	φ 600	47.0m	300tf	7)	57	鋼管杭	φ 812.8		30.0m	586tf	10)			
23	鋼管杭	φ 610	36.0m	225tf	7)	58	鋼管杭	φ 812.8		22.5m	305tf	10)			
24	PC 杭	φ 600	12.0m	380tf	7)	59	場所打ち杭	φ 1,200		22.5m	550tf	10)			
25	PHC 杭	φ 500	49.0m	350tf	7)	60	場所打ち杭	φ 1,200	30.0m	750tf	10)				
26	PC 杭	φ 1,000	34.0m	1,100tf	7)	61	支持杭	打込み杭	鋼管杭	φ 1,600	26.3m	2,700tf	11)		
27	PC 杭	φ 1,000	36.0m	1,200tf	7)	62			鋼管杭	φ 2,000	30.6m	3,600tf	11)		
28	PHC 杭	φ 600	44.0m	600tf	7)	63			鋼管杭	φ 609.5	37.5m	510tf	11)		
29	鋼管杭	φ 813	58.0m	750tf	7)	64			鋼管杭	φ 609.5	35.0m	558tf	11)		
30	摩擦	PHC 杭	φ 500	24.0m	180tf	7)			65	鋼管杭	φ 1,600	26.5m	2,700tf	11)	
31	支持杭	打込み杭	RC 杭	φ 400	12.0m	175tf			7)	66	鋼管杭	φ 700	51.0m	840tf	11)
32	鋼管杭	φ 711	28.0m	420tf	7)	67			鋼管杭	φ 508	32.0m	390tf	11)		
33	鋼管杭	φ 711	33.0m	520tf	7)	68			鋼管杭	φ 400	18.0m	220tf	11)		
34	摩擦	鋼管杭	φ 1,500	69.0m	1,500tf	7)			69	摩擦	PHC 杭	φ 300	31.0m	75tf	12)
35	支持	鋼管杭	φ 406	7.0m	80tf	7)									

関係を示している。

図 - 3 は埋込み杭，図 - 4 は打込み杭，図 - 5 は場所打ち杭のものである。これらの図よりパラメータ d とパラメータ e の関係は次のような直線式ではほぼ近似できることがわかる。

$$d = p - q \cdot e \quad (5)$$

表 - 2 回帰分析の結果得られた式 (5) の係数値

	p	q
埋込み杭	0.3002	1.868
打込み杭	24.03	1.596
場所打ち杭	9.462	1.502

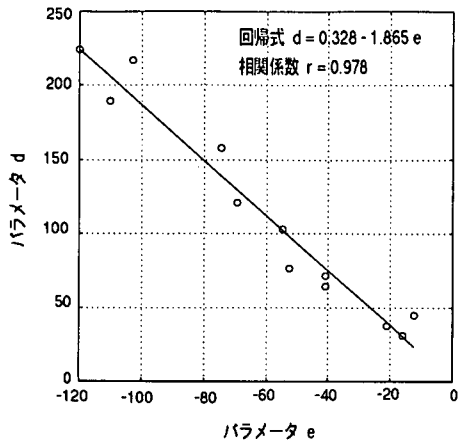


図-3 パラメータ d と e の関係 (埋込み杭)

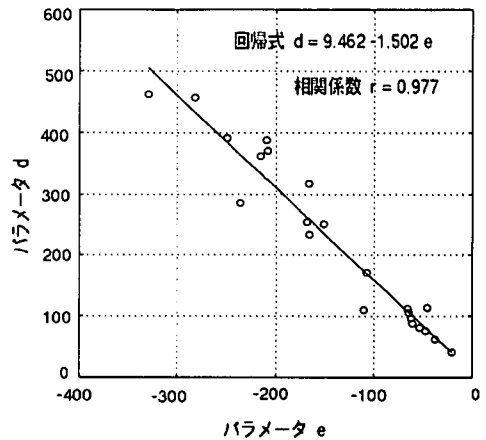


図-5 パラメータ d と e の関係 (場所打ち杭)

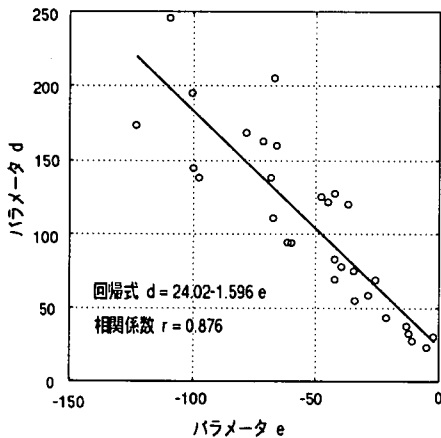


図-4 パラメータ d と e の関係 (打込み杭)

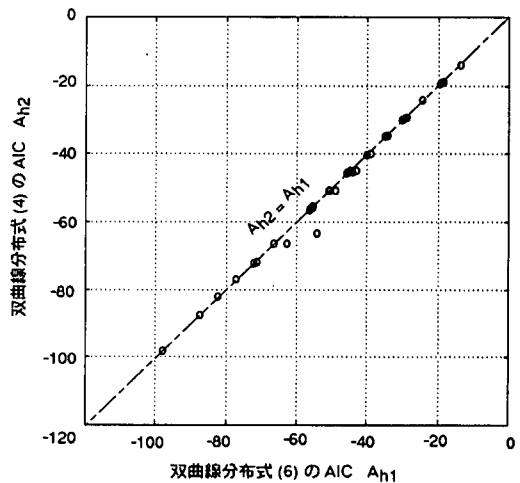


図-6 双曲線分布式(4)と(6)の AIC の比較

ここで、 p, q は図-3～5に示す回帰直線の係数であり、回帰分析による同定値を表-2に示す。そこで、このようなパラメータ間の関係を利用して、式(4)におけるパラメータの数を減らす目的で、式(5)を式(4)に代入すると双曲線分布式として次式が得られる。

$$\frac{S}{D} = \frac{P_0/R_y}{(p-q \cdot e + e \cdot P_0/R_y)} \quad (6)$$

式(6)を用いて、再び表-1のデータに対して双曲線回帰を行う。図-6は表-1のデータに対して行ったフィッティングの結果得られた解析精度に関する分布図である。図では x 軸に式(6)の双曲線分布による AIC の値、y 軸に式(4)の双曲線分布による AIC の値をとり、両者の関係を示している。その結果、ほとんどのプロット点が 1:1 のライン付近にあり、式(4)の双曲線分布と式(6)の双曲線分布ではフィッティング精度にほとんど差のないことがわかる。つまり、先に図-2の解析で式

(6)の双曲線分布はワイブル分布よりも優れ、杭の荷重-沈下量関係を良好に表すことができることを示したが、式(4)と比べてパラメータの数が少ない式(6)を用いても、フィッティング精度はほとんど低下しないことが明らかとなった。このことから杭の荷重-沈下量関係を表す式として、式(6)の双曲線分布が適していると考えられる。式(6)における係数 p, q に関しては表-2の値を設定することができる。式(6)中の残された未知パラメータは e のみである。したがって、杭種に応じてこのただ一つのパラメータの値さえ決定すれば、杭の荷重-沈下量関係は確定することになる。

4. 杭の荷重-沈下関係式の提案

式(6)におけるパラメータ e はそのままでは物理的意味が不明確であるため、物理的意味が明確なパラメータ S_0 を新たに定義し、それを用いて式(6)

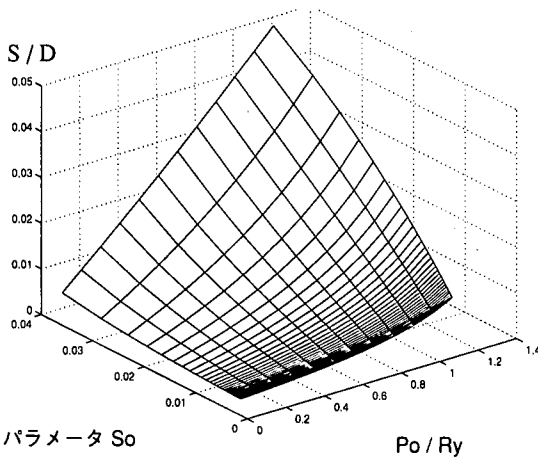


図-7 $S_o \sim P_o/R_y \sim S/D$ 関係 (打込み杭)

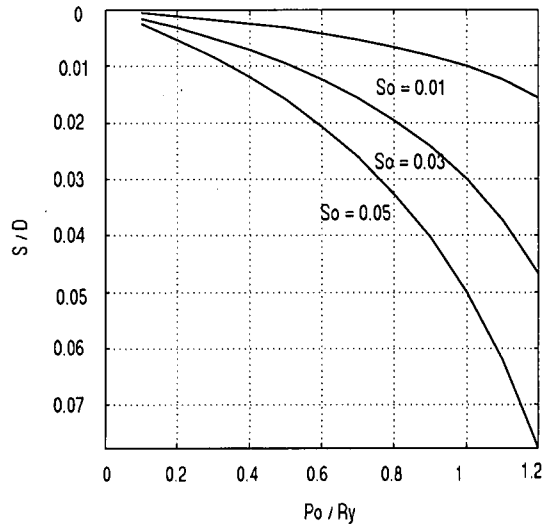


図-9 P_o/R_y と S/D の関係 (埋込み杭)

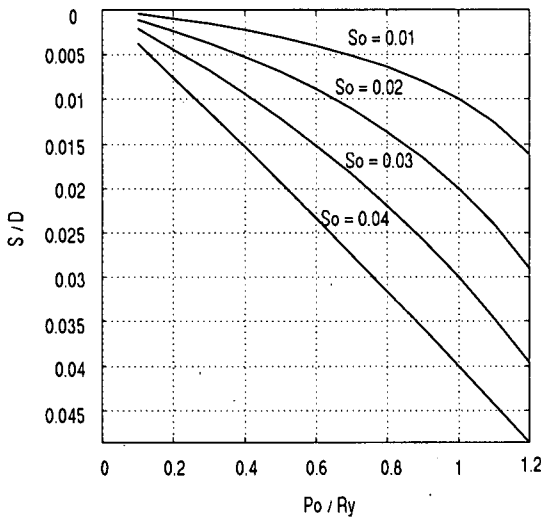


図-8 P_o/R_y と S/D の関係 (打込み杭)

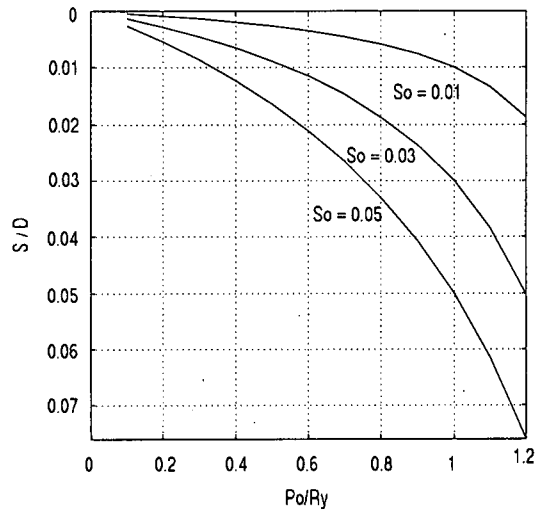


図-10 P_o/R_y と S/D の関係 (場所打ち杭)

を表す。すなわち、杭頭軸力が第1限界荷重の時の杭頭沈下量を杭径で除したものを S_o とする。 S_o と e との関係は次のとおりである。

$$S_o = [S/D]_{P_o=R_y} = \frac{1}{p + (1-q) \cdot e} \quad (7)$$

次に、式(7)を e について解き、それを式(6)に代入して整理すると次式が得られる。

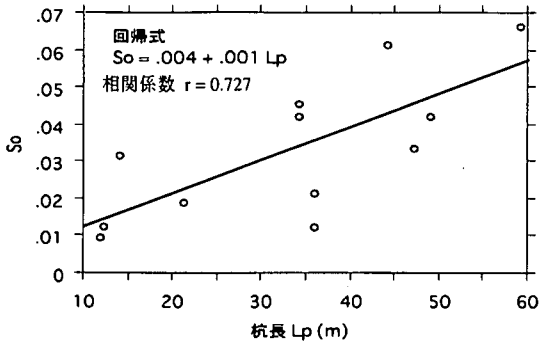
$$\frac{S}{D} = \frac{(q-1) S_o \cdot P_o/R_y}{(q-1) - p \cdot S_o + (p \cdot S_o - 1) P_o/R_y} \quad (8)$$

図-7は打込み杭のみのデータについて、 S_o を横軸に、 P_o/R_y を縦軸にとり、その時、式(8)で与えられる S/D の値の分布を表したものである。

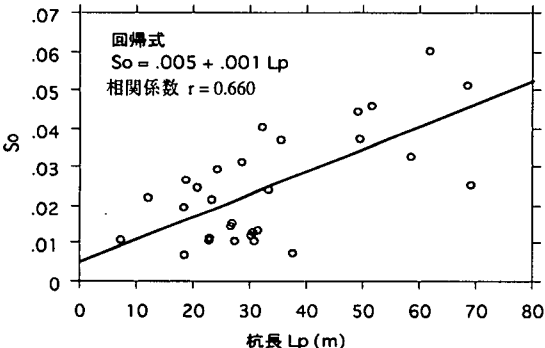
図-8は図-7の関係のうち、 $S_o = 0.01, 0.02, 0.03, 0.04$ の場合についてパラメータ P_o/R_y と S/D の関係をプロットしたものである。また、埋込み杭と場所打ち杭の場合について、同様の処理を行って得られたパラメータ P_o/R_y と S/D の関係をプロットしたものが図-9、図-10である。

5. パラメータ S_o の設定法と設計への応用

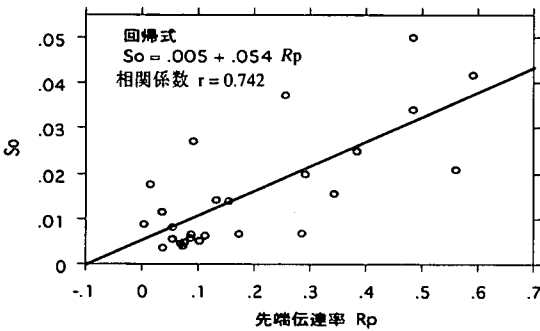
杭基礎の設計時に S_o の値を合理的に設定できれば、図-7～10を用いて杭の荷重-沈下曲線を推定することができ、それをういた設計が可能である。そこで、設計における S_o の値の設定法について次に検討する。表-1に示す載荷試験データに対し



(a) 埋込み杭の S_o



(b) 打込み杭の S_o



(c) 場所打ち杭の S_o

図 - 11 杭仕様と S_o 値の関係 (回帰分析の結果)

表 - 3 ステップワイズ回帰分析の結果

	回帰係数		F値
	切片	採用変数	
埋込み杭	0.004	0.001(杭長)	11.2
打込み杭	0.005	0.001(杭長)	20.9
場所打ち杭	0.005	0.054(伝達率)	29.4

て、杭長、杭頭荷重先端伝達率(最大試験荷重時の杭先端荷重値を杭頭荷重値で除した値)、第1限界荷重、支持形式(支持杭と摩擦杭の区別)を独立変数、 S_o を従属変数として、重回帰分析を実施する。なお、杭の沈下特性に対する地盤種別の影響は周面

摩擦の大きさを評価できると考えると、杭頭荷重先端伝達率で評価するのとほぼ同じことになるので、地盤種別は独立変数から除外する。

重回帰分析の手法としてステップワイズ回帰分析法を用いる。この手法には変数減少法と変数増加法があるが、ここでは両手法を適用する。ステップワイズ回帰分析の変数減少法とは独立変数の数を段階的に減少させながら、回帰分析を繰り返し実施するものである。各段階において各独立変数の F 値を評価し、 F 値が基準値よりも低い場合にはその独立変数は次段階では削除される。このような過程を経て、最終的に最適解に到達できる。また、変数増加法は同様な F 値評価により、変数減少法とは逆に徐々に独立変数の数を増加させていくことにより、最適解に到達する手法である。本解析では S_o への影響に関して確率的に偶然性を否定し、必然性を肯定できる値として基準 F 値を 6.0 に設定する。すなわち、 $F=6.0$ 以上の独立変数を各解析段階で回帰分析に採択することを意味する。

表 - 3 は杭種毎に実施したステップワイズ回帰分析の結果を示している。変数減少法と変数増加法の解析結果は共に同じ結果となった。表 - 3 によると、最終的に採択された独立変数は埋込み杭、および打込み杭では杭長 L_p のみであり、場所打ち杭では杭頭荷重先端伝達率 R_p のみである。図 - 11 はそれらの採択された独立変数を横軸に、 S_o を縦軸にとって、回帰分析の結果をグラフに表したものである。また、表 - 4 はステップワイズ回帰分析の結果より得られた杭種毎の S_o の推定式を示している。杭種に応じて杭長、または杭頭荷重先端伝達率の値を設定して、表 - 4 より S_o の値を設定し、その値を式 (8) に代入すれば、設計時に杭の荷重 - 沈下関係を特定することができる(式 (8) 中の他のパラメータ p, q は表 - 2 の値を用いる)。

図 - 12 は表 - 4 に示す関係式の推定精度を検証するために行った検討結果を示している。表 - 1 に示す載荷試験データに関する S_o の観測値 S_{o0} を縦軸に、表 - 4 に示す式により算定した S_o の値 S_{oc} を横軸にとり、両者の関係を図に表したものである。図によるとばらつきがあり、両者が完全に 1:1 に対応してはいないが、おおむね 1:1 のラインを中心にしてばらついており、表 - 4 に示す関係式が妥当なものであることがわかる。

図 - 13, 14 は表 - 5 に示す条件の基に、表 - 4 に示す式を用いて S_o を算定し、式 (8) を用いて求めた荷重 - 沈下曲線を図に表したものである。

表-4 杭種毎の S_0 推定式

杭種	S_0 推定式
埋込み杭	$S_0 = 0.001 L_p + 0.004$
打込み杭	$S_0 = 0.001 L_p + 0.005$
場所打ち杭	$S_0 = 0.054 R_p + 0.005$

[記号] L_p : 杭長 (m), R_p : 杭頭荷重先端伝達率

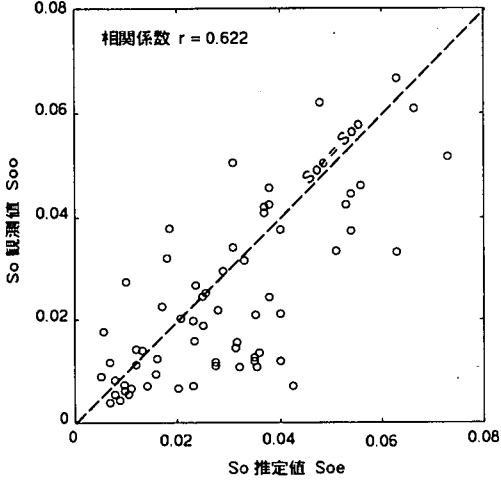


図-12 パラメータ S_0 の推定値と観測値の比較

表-5 図-13,14,15の検討条件

	杭長 (m)	杭頭荷重先端伝達率
図-13	15	0.1, 0.4
図-14	30	0.1, 0.4
図-15	20	0.2

同様に、図-15は表-5に示す条件の基に荷重-沈下曲線を図に表すと共に、岡原ら²⁾による図-1の値を同時に図中にプロットし、両者を比較したものである。提案式(式(8)および表-2,4)は杭長、杭頭荷重先端伝達率をパラメータとして含んでいるのに対して、岡原ら²⁾の図はそれらを含んでいないので、単純に両者を比較することはできないが、表-5に示す条件の場合に限定された比較結果である。

図-15によると提案式の埋込み杭と岡原ら²⁾の中掘り杭とはほぼ近い特性を示しているが、打込み杭に関しては岡原ら²⁾の方が提案式よりも沈下をかなり小さく評価している。また、場所打ち杭に関しては杭頭荷重先端伝達率が小さい(0.1程度)場合には両者の特性が近いが、先端伝達率が大きくなるほど岡原ら²⁾の方が提案式よりも沈下を小さく評価している。

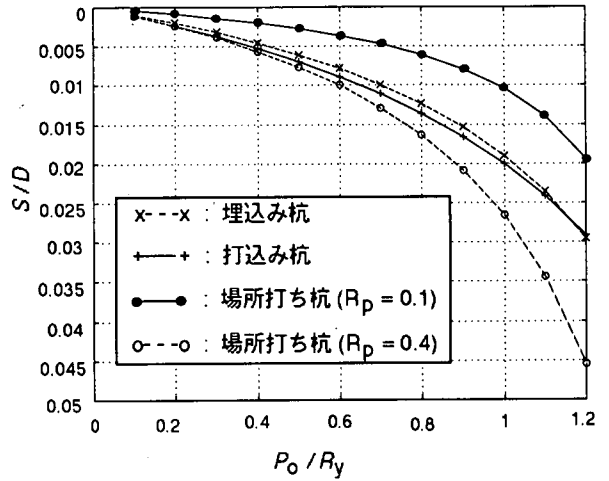


図-13 杭の荷重-沈下関係の標準曲線(1)
(杭長 $L_p = 15$ m, 先端伝達率 $R_p = 0.1, 0.4$)

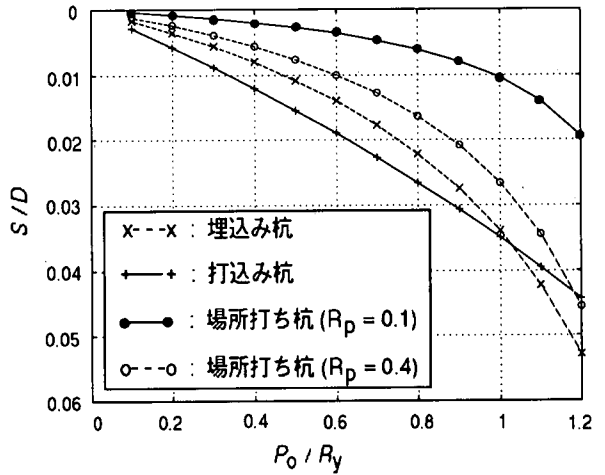


図-14 杭の荷重-沈下関係の標準曲線(2)
(杭長 $L_p = 30$ m, 先端伝達率 $R_p = 0.1, 0.4$)

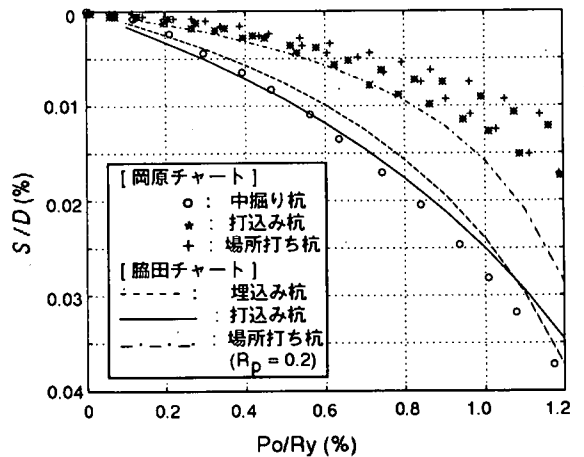


図-15 提案法と既往の研究との比較
(杭長 $L_p = 20$ m, 先端伝達率 $R_p = 0.2$)

6. まとめ

現実の構造物における杭の応力状態を考慮すると、極限支持力に到る領域ではなく、第1限界荷重までの領域での沈下特性が設計上は重要であると考えられる。そこで、第1限界荷重までの荷重領域に着目して、多くの載荷試験データを用いて、杭の荷重-沈下関係の曲線近似を実施した。その結果、第1限界荷重以下の杭の荷重-沈下関係に関しては双曲線分布の適合性が高いことが明らかとなった。

双曲線分布式にはパラメータが2つ含まれているが、両パラメータの間には直線的な関係がある。そこで、その関係を考慮して、パラメータを1つに減らした双曲線分布式を求め、それについてフィッティング精度を検討したが、パラメータが2つの場合と比べ、精度に大きな差のないことが明らかとなった。

次に、双曲線分布式に含まれるパラメータと杭仕様との関係について重回帰分析を実施した。その結果、パラメータに影響する要因は埋込み杭では杭長のみ、打込み杭の場合も杭長のみ、場所打ち杭の場合には杭頭荷重先端伝達率のみであることが明らかとなった。この結果を表(表-4)にまとめた。

実務設計においては杭種に応じてこの表より S_0 の値を設定し、その値を式(8)に代入すれば、杭の荷重-沈下関係を一義的に設定することができる。なお、場所打ち杭の杭頭荷重先端伝達率 R_p の大きさは実測では図-11に示すように0~0.6の範囲に分布している。完全な摩擦杭では $R_p=0$ であり、そこから支持杭に近づくほど R_p の値は大きくなり、支持杭では最大 $R_p=0.6$ 程度である。

杭の荷重-沈下関係について、提案式による曲線と岡原ら²⁾の曲線を同時に図中にプロットし、

両者を比較した。その結果、両者は杭種や杭仕様によって比較的類似した特性を示す場合と特性に相違のある場合のあることが明らかとなった。

謝辞：本解析に参考文献7)~12)のデータを利用して頂いたことを関係各位に感謝致します。

参考文献

- 1) 宇都一馬, 冬木衛, 桜井学: 杭の載荷試験結果の整理方法, 基礎工, Vol.10, No.9, pp.21-30, 1982.
- 2) 岡原美知夫, 中谷昌一, 田口敬二, 松井謙二: 軸方向押込み力に対する杭の支持特性に関する研究, 土木学会論文集, 第418号/III-13, pp.257-266, 1990.
- 3) 日本道路協会: 杭基礎設計便覧, pp.164-166, 1992.
- 4) Christow, Ch. K.: Beitrag zur Praktischen Setzungs Berechnung und Auswertung von Zeit-Setzungsmessungen, Proc. of the Sixth European Conference on Smeff, Vol. 2.1, 1976.
- 5) 芳賀孝成, 土屋幸三郎, 室橋伸一: 杭の極限支持力判定法に関する一考察(打込杭・場所打杭の場合), 土木学会第36回年次学術講演会講概集, 第3部, pp.592-593, 1980.
- 6) 沈保漢: 載荷試験による杭の鉛直支持力の判定(その1), 基礎工, Vol.10, pp.116-127, 1983.
- 7) 地盤工学会: 杭の鉛直載荷試験方法・同解説, pp.151-206, 1993.
- 8) 松村駿一郎, 橋本良之, 林秀侃: 大径リバース杭の載荷試験, 基礎工, Vol.10, No.9, pp.76-83, 1982.
- 9) 宇都一馬, 岡原美知夫, 池田憲二, 前田良刀, 松井謙二: 摩擦杭の支持力特性と信頼性, 土質工学シンポジウム発表論文集, Vol.32, pp.17-22, 1987.
- 10) 島田巖乃, 佐久間智: 東北横断自動車道・山形地区橋梁基礎工(摩擦杭)の設計・施工について, 土質工学シンポジウム発表論文集, Vol.32, pp.1-6, 1987.
- 11) 鋼管杭協会: 動的載荷試験による鋼管杭の支持力推定法, pp.25-89, 1995.
- 12) 本郷智之, 豊島祐昌, 大野富男: 名古屋港埋立地における長尺摩擦杭の設計と性能試験, 土と基礎, 40-2(409), pp.29-34, 1992.
- 13) Akaike, H.: A New Look at the Statistical Model Identification, IEEE, Trans. A. C., 19, pp.716-723, 1974.

(1997.8.20 受付)

STUDY ON STANDARD SETTLEMENT CHARACTERISTIC OF PILE

Eiji WAKITA

If the characteristic is standardized every pile types, it is very convenient for the design work of pile foundation. Recently, there is a tendency that buildings are built by reusing existing foundations. The foundations of these buildings are likely made of different types of pile, therefore, it is important to know fully the settlement characteristics of the each pile in the design process. Based on such intention, curve fittings for the relationship between load and settlement of piles were carried out by using data of many pile loading tests. The most suitable curve equation was searched that represents the settlement characteristic of piles. The relation between parameters of the curve equation and the pile species was analyzed by the multiple regression analysis. At the results, an equation was obtained that represents the settlement characteristic every pile species.