

関西大学 山肩邦男 武智工務所 平尾幸太郎・大杉富美一

1. 序 節杭の支持力機構に関する研究例は数少なく、国内においては石堂<sup>1),2)</sup>に例を見るにすぎない。石堂によると、節部が互いに干渉し合うことのない距離を隔てておれば、節の下部において杭の先端支持力的な抵抗を生じるため一般の杭よりもみかけの摩擦抵抗が大きくなり、節部の断面積と等しい断面を持つ杭よりも支持力が大きくなるとしている。本報においては、円形断面の節杭を対象として、節部外形と等しい直径の円筒パイルと見なし、現場で実施されてきた鉛直載荷試験資料のうち、特にひずみ測定を行なった4ノ件を中心として、統計的な検討を加えた。このうち、杭先端部が砂質土の場合について支持力計算式を提示した。

2. 資料の概要 今回の検討に用いた節杭は、本体部直径  $d = 30\text{ cm}$  で節部直径  $D = 44\text{ cm}$  のもの、および  $d = 30.5\text{ cm}$  で  $D = 44.5\text{ cm}$  のもの2種類の円形断面であって、杭長さは4~12mである。表-1に、施工法・先端土質および試験結果別に分類して、載荷試験結果の件数を示した。同表中の資料は、ほとんど  $N$  値  $\leq 30$  の地盤に施工されたものであり、試験法はA法多サイクルである。図1に、杭先端土質が砂質土の資料で降伏荷重が確認されているものについて、杭先端部平均  $N$  値  $\bar{N}$  (杭先端より上方  $4D \sim$  下方  $1D$  間の平均) の分布を示した。  $N \leq 30$  がほとんどであることがわかる。なお表-1中に ( ) で示した件数は、ひずみ測定を実施した資料を表わしている。載荷試験結果から降伏荷重  $P_y$  および極限荷重  $P_u$  を判定した。  $P_u$  まで載荷されたものについて、  $P_y$  と  $P_u$  の関係を示したのが図2である。ただし先端が砂質土の場合に限ってある。結果として施工法による差は少なく、  $P_u \div 1.5 P_y$  とみてよい。図は省略したが、杭先端が粘性土の場合は  $P_u \div 1.4 P_y$  であった。

表-1 杭先端土質・施工法試験結果別一覧表

杭先端土質 試験結果	砂質土			粘性土		
	$\leq P_y$	$< P_y$	$> P_y$	$\leq P_y$	$< P_y$	$> P_y$
打込み 工法杭	27 (13)	26 (0)	0 (2)	37 (1)	0 (1)	0 (0)
埋込み 工法杭	65 (17)	44 (0)	0 (2)	87 (3)	0 (0)	0 (2)

(記号  $P_y$ : 降伏荷重,  $P_u$ : 極限荷重)

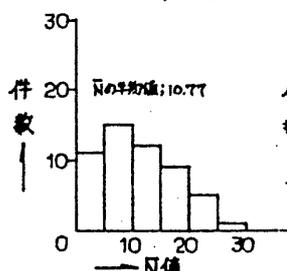


図1(a) 打込み杭  $\bar{N}$  分布図

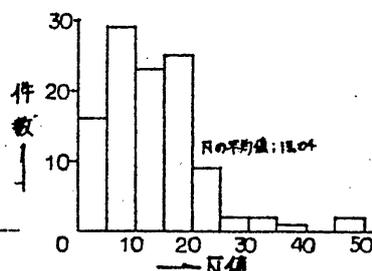


図1(b) 埋込み杭  $\bar{N}$  分布図

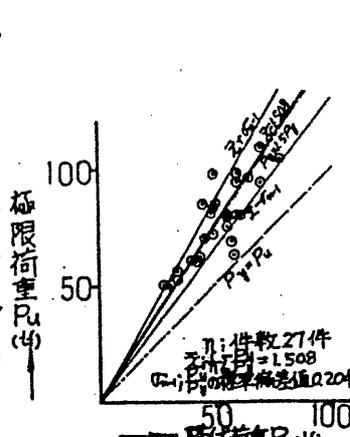


図2(a) 打込み杭  $R_u \sim R_y$  関係図

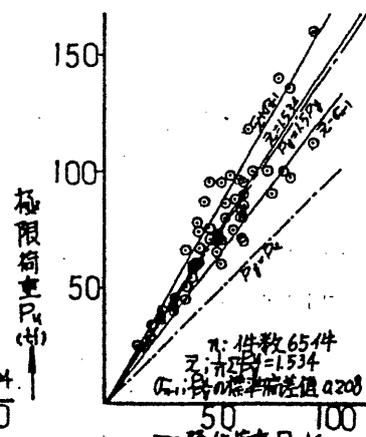
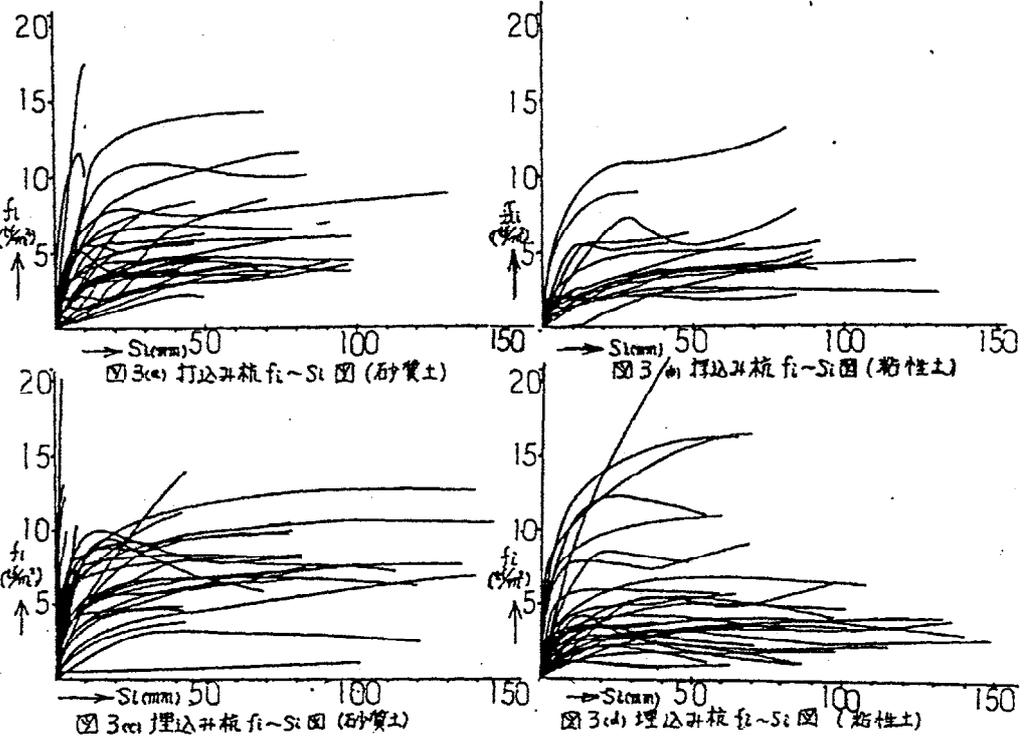


図2(b) 埋込み杭  $R_u \sim R_y$  関係図

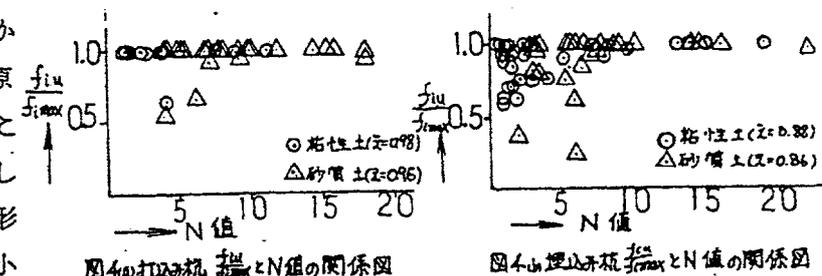
Vertical Bearing Capacity of Nodular-Piles; Prof. Kunio Yamagata (Kansai Univ.)  
Kohtaro Hirao Fumikazu Ohsugi (Takechi Engineering Co., LTD.)

3. 杭周摩擦力の評価 表一ノに示した資料のうち、ひずみ測定を行なった資料から軸力を求めるにあたっては、以下の手法によることを原則とした。施工に先だって杭の圧縮試験を行なって各ひずみ測定点の軸力 $P_i$ とひずみ $e_i$ との較正曲線を描いて参考としたほか、載荷試験時における杭頭付近の断面の $P_i \sim e_i$ 曲線を用いて換算した。上述の方法で得られた各杭の軸力分布から、測定点間の摩擦応力度 $f$ および同中心点の沈下量 $s_i$ を求めた。施工法および土質別に、 $f_i \sim s_i$ 曲線を示したのが図3である。なお土質の区分は、粘性土と砂質土に分けたが、複数の土質層により

なる場合は、層厚が5割以上を占める土質の方へ分類した。同図から $f_{i\max}$ は $s_i$ がおよそ10mm以上において広く分布しているが、10mmを越えると $f_i$ の増加は少なくなる。また $f_{i\max}$ に達したあと $f_i$ が低



下する例は、埋込み工法に多く見られるが、打込み工法では比較的少ない。最終摩擦応力度を $f_{iu}$ とし、 $f_{iu} / f_{i\max}$ とN値の関係を参考までに図4に示した。杭の支持力を算定する上では、 $f_{i\max}$ よりも $f_{iu}$ を採用する方が妥当であると考えられる。したがって $f_{iu}$ とN値との関係を図5に示した。ただし同図では、図3の資料のうち互層となっているものについては、文献<sup>4)</sup>に準じて優勢な土質が8割以上占めるものに限った。図5の分布からみて、 $f_{iu}$ とN値を座標原点を通る直線で近似化することは、不自然と思われる。したがって、 $f_{iu} = aN + b$ の形で関連づけることとし、最小



自乗法で関係式を求めた。なお従来の提案(文献<sup>4)</sup>)による砂地盤の場合の $f_{iu} = \frac{1}{2}Ns$ 、粘性土地盤の場合 $f_{iu} = 2Nc$ および $f_{iu} = Nc$ もあわせて示してある。同図より、砂質土中の打込み杭では $f_{iu} = \frac{1}{2}Ns$ よりかなり大きいことがわかる。この原因は、節杭が普通の円筒杭よりも地盤の締固め効果が大きいこと(文献<sup>5)</sup>)および節部での支持効果も含まれていることによるものと考えられる。埋込み杭についても、砂

質土の場合  $f_{iu} = \frac{1}{2}N_s$  よりかなり大となった。文献<sup>6)</sup>に示すとうり、杭周辺の砂層へ注入液が浸透し、みかけ上の杭径が大きくなることによるものと考えられる。なお粘性土については、打込み杭の場合円筒杭の  $f_{iu} = 2N_c$  と大差はないが、埋込み杭の場合は  $f_{iu} = N_c$  よりかなり上まわり、場所打ち杭の  $f_{iu} = 2N_c$  の場合にかなり近づいていることがわかる。以上より、節杭の場合の摩擦抵抗算定式としては次式を採用してよからう。

打込み杭  $R_{fc} = \{ (0.2N_s + 3.0)L_s + (0.4N_c + 3.5)L_c \} \Psi (tf) \dots \dots (1)$

埋込み杭  $R_{fc} = \{ (0.4N_s + 3.6)L_s + (0.5N_c + 2.4)L_c \} \Psi (tf) \dots \dots (2)$

(ただし、 $N_s$  ; 杭周辺砂質土平均N値・ $N_c$  ; 杭周辺粘性土平均N値・ $L_s$  ; 砂質土中の杭長(m)・ $L_c$  ; 粘性土中の杭長(m)・ $\Psi$  ; 節部の周長(m))

ひずみ測定杭についての実測値  $R_{ft}$  (極限值) と  $R_{fc}$  との比較を図6に示した。かなり相関性がよいことがわかる。

4 杭先端支

持力の評価

杭の先端支

持力係数は、

ひずみ測定杭

に関する測定

値から逆算し

て求めること

とした。この

場合、杭先端

から約1m上

りの本体部の

軸力測定値を

算定基準とし、

その点以下最

下段節部中央

点までの摩擦

力を差引いて

先端支持力を

求めた。ただし

極限荷重まで

に荷重された

ものに限って

ある。図7に、

杭先端の極

限支持力  $q_p$  と

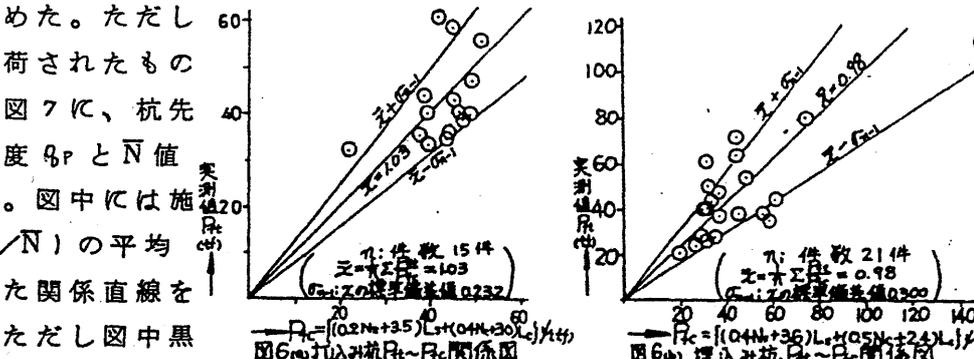
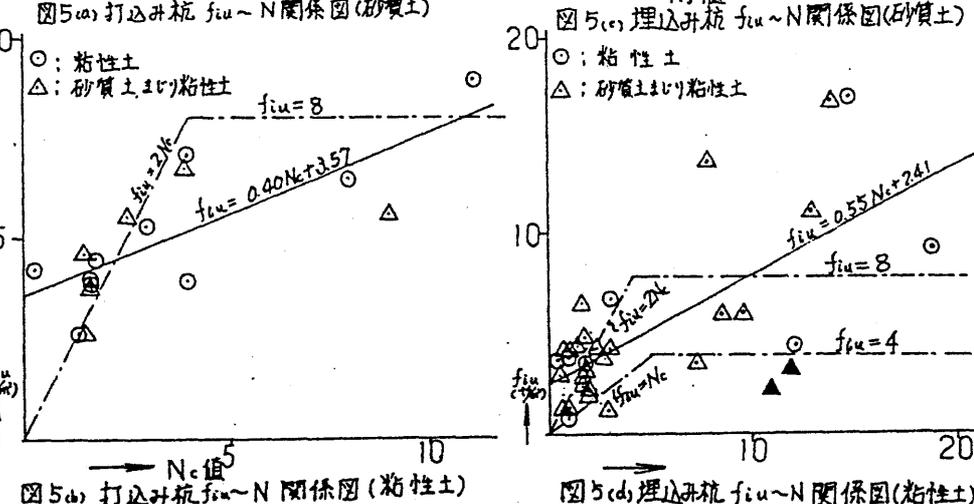
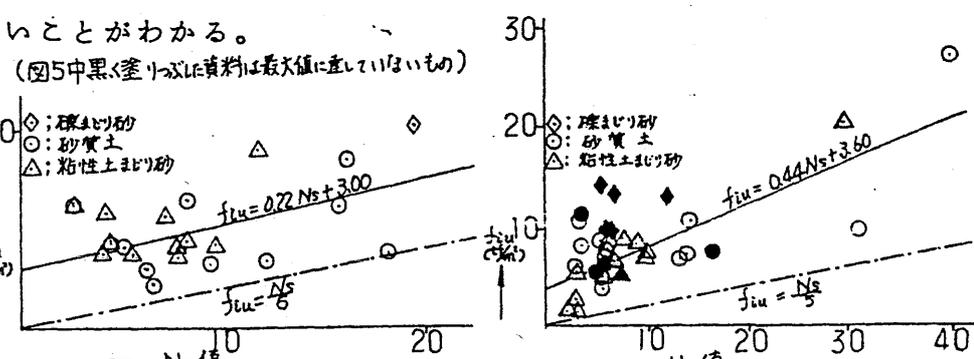
$\bar{N}$  値の関

係を示した。

図中には施

工法別に  $\alpha (q_p / \bar{N})$  の

平均値によ



く塗りつぶした資料は、杭先端部を拡大した工法および他と著るしくかけ離れたも

のであって、これらは平均値から除外してある。以上より、砂質上層に先端をおいた場合の極限支持力  $R_{pc}$  の算定式としては、次式を採用できよう。

打込み杭  $R_{pc} = 20 \bar{N} A_p (tf) \dots\dots\dots (3)$

埋込み杭  $R_{pc} = 14 \bar{N} A_p (tf) \dots\dots\dots (4)$

(ただし、 $A_p$  ; 節部の断面積  $m^2$  )  $\cdot \bar{N}$  ; 杭先端部平均  $N$  値 ( 杭先端より上方  $4D \sim$  下方  $1D$  間 )

5. 節杭の支持力算定式 3 および 4 の検討結果より節杭の支持力計算式として、次式を提案する。

◎打込み工法杭

$R_{ac} = \frac{1}{2} \{ 20 \bar{N} A_p + [ (0.2 N_s + 3.0) L_s + (0.4 N_c + 3.5) L_c ] \Psi (tf) \dots\dots\dots (5)$

◎埋込み工法杭

$R_{ac} = \frac{1}{2} \{ 14 \bar{N} A_p + [ (0.4 N_s + 3.6) L_s + (0.5 N_c + 2.4) L_c ] \Psi (tf) \dots\dots\dots (6)$

(ただし  $R_{ac}$  ; 杭の長期許容支持力) 上式による計算値  $R_{ac}$  と載荷試験より得られた長期許容支持力  $R_{at}$  との比較を図 8 に示した。ただし  $R_{at}$  は、極限荷重が得られているものは、 $\frac{1}{2} P_y$  または  $\frac{1}{2} P_u$  のうち小さい方とし、 $P_u$  の得られていない場合は  $\frac{1}{2} P_y$  のみから求めた。同図から  $R_{at}$  と  $R_{ac}$  はかなり相関性がよく、 $R_{at}$  が  $R_{ac}$  を上まわる結果となっていることがわかる。

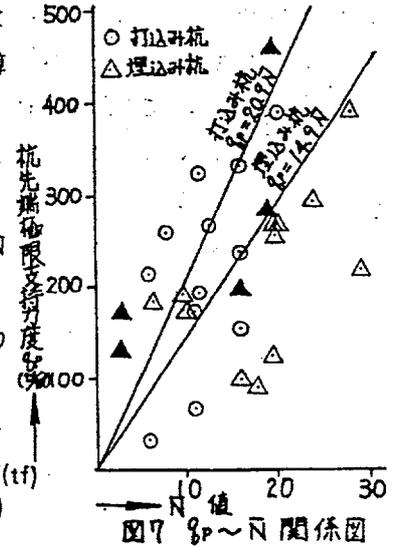


図7  $R_{pc} \sim \bar{N}$  関係図

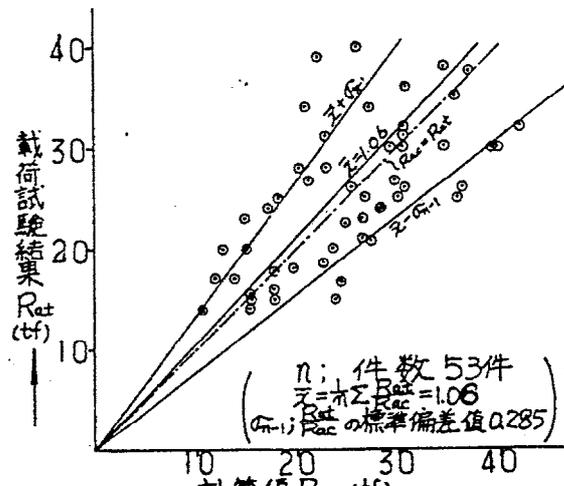


図8(a) 打込み杭  $R_{at} \sim R_{ac}$  相関図

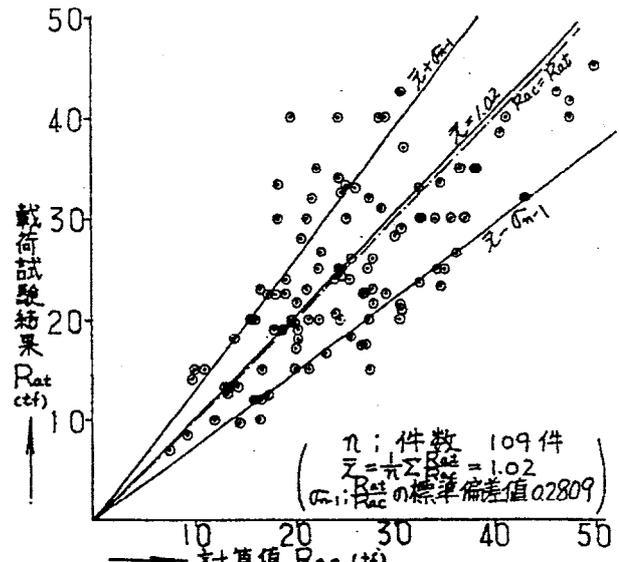


図8(b) 埋込み杭  $R_{at} \sim R_{ac}$  相関図

6. 結語 節杭の支持力計算式として(5)および(6)式を得たが、検討に用いた資料の大半が  $N$  値 30 以下の地盤に施工されたものであること・摩擦抵抗は、最下段節部の中心点までを算定していること・杭先端地盤が砂質土層に限られたことなどに注意されたい。

参考文献 1) 石堂 九州産業大学工学部研究報告 6、8号; 2) 山肩・永井 建築学会大会号 / 98 / 年 p. 23 / 5 ~ 23 / 6; 3) 山肩・土と基礎 / 97 5年 7月号 p. 13 ~ 20; 4) 平尾他、本会第 9 回研究発表会 / 97 4年 p. 5 / 3 ~ 5 / 6; 5) 大杉他、本会第 14 回研究発表会、 / 97 9年 p. 929 ~ 932