

節杭の設計と施工

細川義隆・大杉富美一

(武智工務所)

節杭は、1925年に実用化されて以来¹⁾ 今日に至るまで、50年以上の長い期間使用されてきた。半世紀を超える歴史の中で変化した点を挙げると、次のようになる。

① 施工法

打込み工法が少なくなり、埋込み工法が主流となりつつある。

② 本体部形状

当初、節杭は4角柱に節をつけた形状であったが、主要部(本体)形状が8角形、6角形、3角杭および円筒形のものが増えるようになった。

③ 材質

振動詰めの鉄筋コンクリート杭に属する杭材から、遠心力成型の高強度プレストレストコンクリート杭タイプの杭材の節杭が製造され始めた。

表-1には、前述①～③の項目を中心として、現在実用に供されている節杭を分類して示す。同表中に示されている節杭に共通しているのは、杭長が12m以下であり、継ぎ杭として用いる例はほとんどないことである。

筆者らは、節杭にあってはどのように杭長が短く、単杭として用いられていることが節杭の設計および施工を考える上での特色につながっていると考えている。すなわち、節杭にあっては一般に次のようなことがらを認識しておく必要がある。

① 杭先端部が支持層に達している例は少ない。

② 比較的小さな設計支持力²⁾で用いられるため、施工本数が多くなる。

③ 杭先端より下に軟弱な粘性土が存在する例が多く、圧密沈下の検討を無視できない。

今回の特集号では、施工面を重視することを主旨として課題を依頼されたわけであるが、節杭には特に設計時点で留意しておくべき点が多いこと、および鉛直支持力に関する認識と実情が異なっており、施工管理にも関連すると考えられることから、節杭の性能について触れる部分が多くなることをあらかじめお断りしておく。

1. 節杭の施工法

現在、実施されている施工法を大別すると、打込み工法と埋込み工法にそれぞれ分類される。節杭メーカーにより、それぞれの施工法に多少の差を生じているが、基本的には次に示すとおりである。

A. 打込み工法

節杭を打設すると、節によって切り開かれた空隙が地盤に生じる。この空隙に碎石・砂利および高炉砕などの大

図-1 節杭の打込み工法

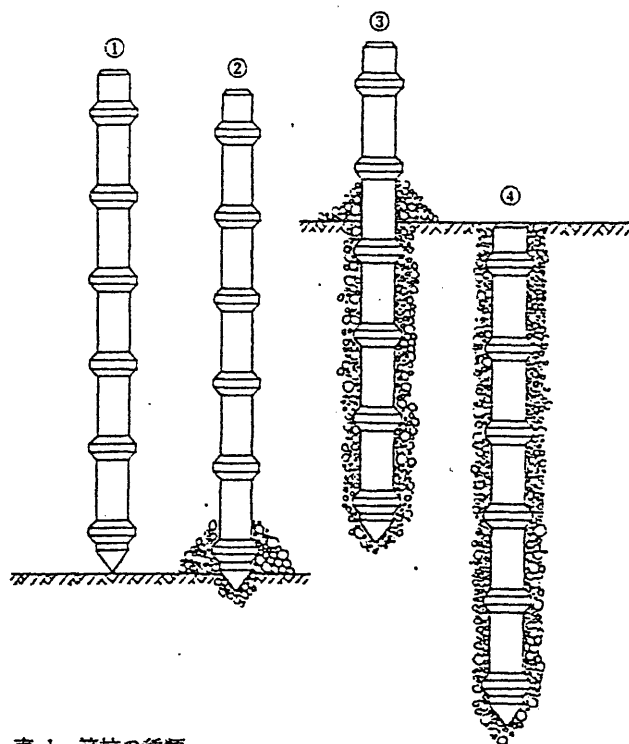


図-2 節杭の埋込み工法

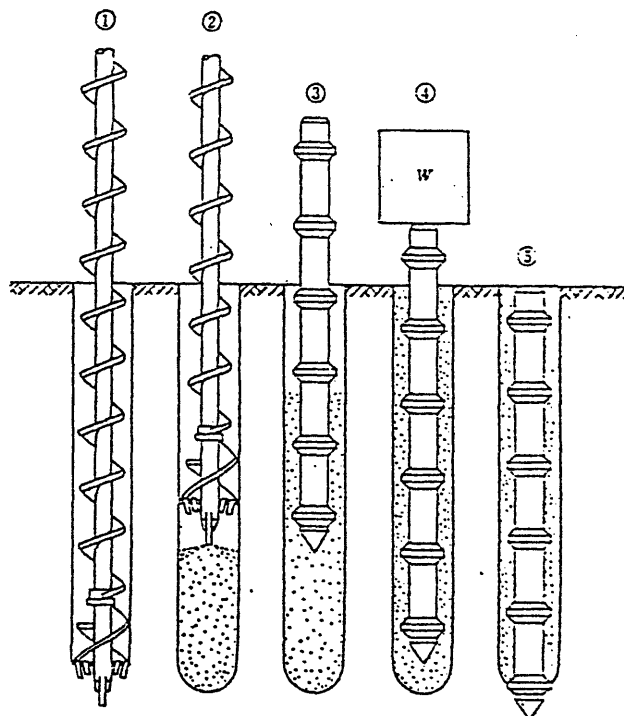


表-1 節杭の種類

No.	本体形状	製造方法	コンクリート強度 (出荷時 kgf/cm ²)	杭長 (m)	プレストレンス	
					有	無
①	円筒	遠心力成型	400~820	4~12	○	○
②	3角形	撓動詰	400	3~12		○
③	6角形	"	400	3~12		○

きな粒径 (40 mm 以下) を持つ骨材を充填する工法である (図-1)。打設本数が多いこと、打込み抵抗が節部の外径と同程度の既製コンクリート杭 (以下丸杭と略す) より大きいことなどの理由で、砂質土の締固め効果も期待されている。

また、施工において用いられる碎石などがドレーン材としての効果も考えられており (図-11)、埋立地におけるゆるい砂質土に節杭を施工していると、既設の節杭周辺部に大量の湧水が集中する現象を経験することが多い。地中の砂質土に比べて大きな透水性を持つ碎石などの層が節杭を中心として形成されるためと推定されるが、文献3におけるグラベルドレーンとして砂質土の液状化防止効果を論じられるほど、定量的な調査は行われていない。

しかし施工法としては、図-1に示される工法の応用として、より広範囲な地盤改良やドレーン効果を狙うため、使用する碎石量を積極的に増加する工夫や、深い深度まで確実に碎石柱を造成する工法などが一部では実施されている。

B. 埋込み工法

スパイラルオーガーを用いて掘削された地盤に、セメントミルクなどの注入液を充填しながら、スパイラルオーガーを引上げた後、節杭を掘削孔内に挿入する工法。(図-2)

注入液の配合および注入方法は施工者によっても異なっており、その一部を次に示す。

- ① セメントミルク系の注入液 (ホセメント比 $W/C=65\sim 150\%$) に膨張性の混和剤やベントナイトを使用。
- ② モルタルを使用 ($W/C=65\sim 75\%$, 砂セメント比 $S/C=1\sim 2$) 程度に流動性を増す混和剤を加える。
- ③ 掘削した土と①の注入液をスパイラルオーガーを用いて攪拌し、ソイルセメントとするもの。

このほかに応用工法として、次のものがある。

- (イ) 掘削孔に拡大掘りを行い、杭先端部の拡底および中間部での突出部 (節) を設けるもの。
- (ロ) 排土を少なくするため特殊なスクリーを用い、土をスクリー周辺に押広げ、施工するもの。
- (ハ) 生石灰などを用い、地盤の脱水を図るもの。

2. 節杭の設計について

2-1 節杭の鉛直支持力

A. 節杭先端支持力 P_p と周面摩擦力 P_f

節杭の鉛直支持力を取扱った論文としては、石堂⁴⁾によるものが発表されており、節杭の杭周摩擦力は本体部より突出した節の部分先端支持力的な作用を生じるため、見かけの杭周摩擦力が大きくなるため、節径と同一外周を持つ丸杭に比べて鉛直支持力が大きくなるとされ

ている。

これらの研究とは別に、筆者らは節杭の鉛直支持力を現場の載荷試験結果から統計的に評価するため、杭体歪みを測定する載荷試験を繰返してきた。詳細な報告は今回の特集号の主旨からはずれるため別の機会に譲るものとして、ここでは、杭の先端部が砂質土である場合の杭先端支持力が杭の鉛直支持力に占める割合について紹介させていただくものとした。

一般に節杭にあっては、杭先端支持力が小さく、大半

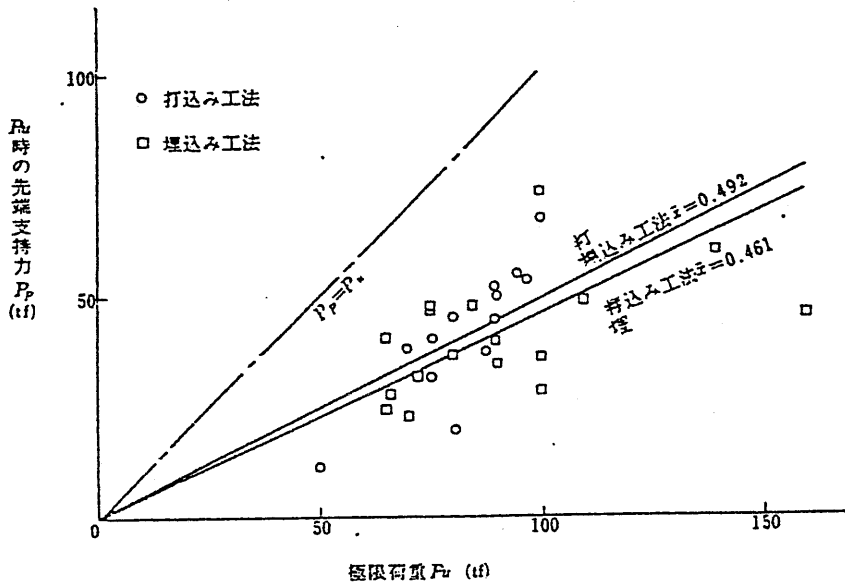


図-3 P_p 時の先端支持力

<打込み工法> $\bar{x}=0.492$
 ($n=13$ 件) $\bar{\sigma}_{n-1}=0.135$
 <埋込み工法> $\bar{x}=0.461$
 ($n=17$ 件) $\bar{\sigma}_{n-1}=0.131$
 $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum \frac{P_p}{P_u}$
 $\bar{\sigma}_{n-1} = t = \frac{P_p}{P_u}$ の標準偏差値
 $n =$ 件数

図-4 P_f 時の先端支持力

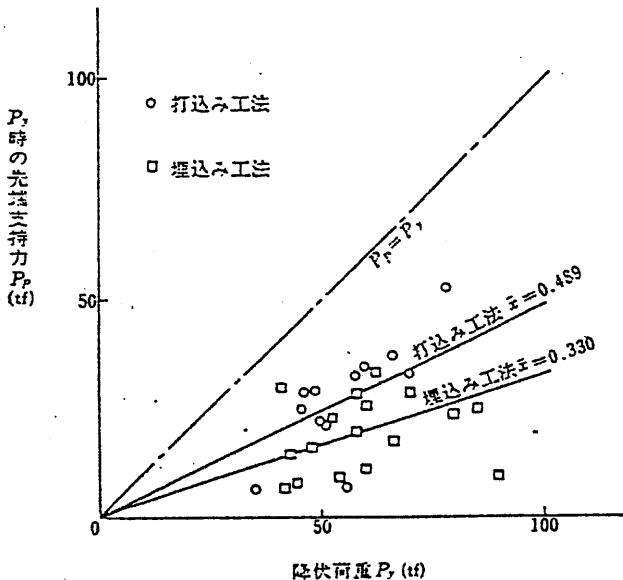
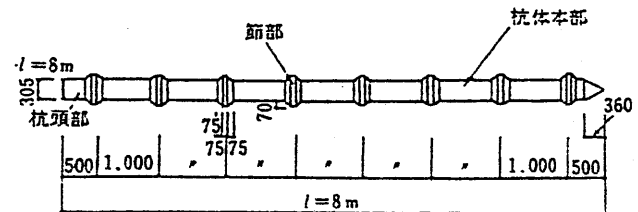


図-5 節杭の寸法例



<打込み工法> $\bar{x}=0.489$
 ($n=13$ 件) $\bar{\sigma}_{n-1}=0.167$
 <埋込み工法> $\bar{x}=0.330$
 ($n=17$ 件) $\bar{\sigma}_{n-1}=0.160$
 $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum \frac{P_p}{P_f}$
 $\bar{\sigma}_{n-1} = t = \frac{P_p}{P_f}$ の標準偏差値
 $n =$ 件数

表-2 歪み測定杭の地盤と杭長

施工法	\bar{N}_s : 砂質土平均N値 (件数)					\bar{N}_c : 粘性土平均N値 (件数)					杭根入れ長さ (m)	
	5>	5 ≤ <10	10 ≤ <15	15 ≤ <20	20 ≤ <25	2>	2 ≤ <4	4 ≤ <6	6 ≤ <8	8 ≤ <10	範囲	平均
打込み	1	11	0	1	0	5	3	3	1	0	5.5~7.75	7.46
埋込み	7	6	2	1	1	7	4	0	2	1	5.5~11.5	7.46

が杭周摩擦力で荷重を受持つものと考えられているため、節杭イコール摩擦杭との認識を受けている。しかし、極限荷重 P_u と先端支持力 P_p の比を施工法別に示した図-3から判断すると、かなり先端支持力が大きいことが分かる。図-3に示した試験杭の長さおよび施工された地盤の概要を、表-2に示した。

杭の鉛直支持力のうち先端支持力が占める割合については、杭の変位量によっても変わると考えられるため、図-4には杭頭部で降伏荷重 P_v が発生した時点での P_p と P_v の関係を示しておいた。

打込み工法にあっては、平均値で比べた場合、 $P_p/P_u \approx P_p/P_v \approx 0.5$ となっているのに対して、埋込み工法では $P_p/P_u \approx 0.5$ であるが、 $P_p/P_v \approx 0.3$ となっているが、この関係から次のことが推定される。

埋込み工法においては、施工時に杭先端部の砂質土がゆるみを生じたため、本来の抵抗力を発揮するまでに必要な変位量が大きくなる。

なお図-3、4で示した杭の先端支持力は、図-5に示す形状の節杭であり、 P_p は杭先端より1m上方の軸力としているものがほとんどである。この場合には、杭先端までの1m間に生じている摩擦力を含んでいることに注意されたい。

実際の試験にあっては、最下端節部における歪み測定も実施しているが、この部分にあっては断面の急変などの理由もあり、正しい軸力値を得がたいと判断したため、上記の位置で杭先端支持力を表現するものとした。また、測定された歪み量から軸力を求めるに当たっては、2例を除いて試験杭ごとに軸力～歪み量の関係をあらかじめ測定しておいたほか、施工に伴う剛性の変化、注入液の影響などについても評価できるように配慮をしたものである。

B. 荷重 P と沈下量 S の関係

A. において節杭の先端支持力を無視しえないことを示したが、ここでは杭先端土質の影響について触れてみたい。図-6に施工法および杭先端地盤別の杭頭荷重 P_0 と杭頭沈下量 S_0 の関係を示した。同図より杭先端土質により $P_0 \sim S_0$ 関係に大きな差があることが分かる。また、図中黒印で示した降伏荷重発生後は、杭先端部が粘性土の場合にあっては砂質土の場合に比べて早く極限荷重に達しているように見える。

C. 節杭の支持力計算式など

節杭の支持力を推定する方法として最も利用されている計算式は、建設省告示1623号に示されているものである。

同式をそれぞれ施工法別に用いているが、先端断面積や杭周長を節部で考えているのが実情である。図-7には同式の適用性を調べた結果を示したが、平均値で判断すると、載荷試験結果より得られる実測値 P_t の方が計算値より60%高くなっているが、両者の相関性はかならずしも良いとは言えない。しかし、実用上過大な計算値を与える可能性は少ないと考えられる。なお、計算式は図-7中に示したが記号等の説明は省かせていただいた。

図-7は、図-5に示した杭形状に関するもので、杭長は8m以下かつ杭先端部が砂質土に限っており、平均杭先端部の N 値は30未満の資料であることを付け加えておく。このほかのタイプの節杭(6角杭、3角杭)についても、図-7と同じような結果を得ているが、ここでは省略させていただくものとした。

「支持力計算式とは別に、杭周面地盤の種類に応じ杭長に比例した支持力を与える一覧表により設計支持力を決める方法²⁾がある。同表による値自体は非常に小さいため、杭の支持力不足を生じることは極めて少ない。しかし、前述の節杭の実情を反映しているものとは考えられないので、早見表的な適用に流れないことが望まれる。

2-2 水平抵抗力

節杭はRC杭のものが多く、曲げ強度はPC杭に比べて小さい。さらに施工される地盤も軟弱なため、節杭の本体径と同程度のPC杭(直径 $D=300$ mm)と水平載荷試験結果の範囲を比べると、図-8に示すとおりの結果となる。

図-8に示した節杭はすべてRC節杭であり、最近製作されるようになったPC節杭などにあっては試験例も少ないが、同一地盤で丸杭との比較を試みた例を、図-9に示す。

図-9における丸杭は、ほかの節杭と同一日に配合他の条件を同じにして製作されたものであり、杭の形状において節の有無で水平抵抗力の差を比較したものである。結果は同一プレストレス量であれば、両者の間にはほとんど差がなかった。

なお試験を行った杭は長さがいずれも8mのもので、図-10に示す土質柱状図においてGL-1.0mを杭天端として施工し、GL-1.5m位置まで掘削したものである。地震時の安全性について関心の高まっている今日、節杭にあっては水平抵抗力について考えざるをえないが、試験例も少なく、今後の課題として残させていただきたい。

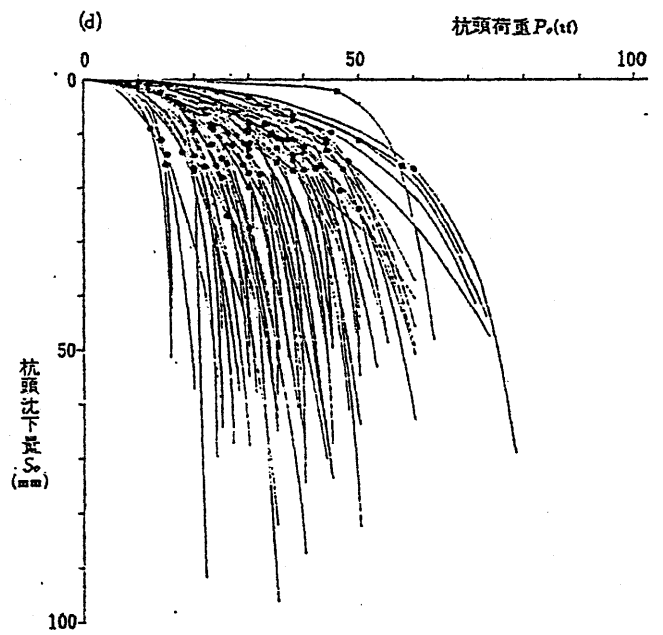
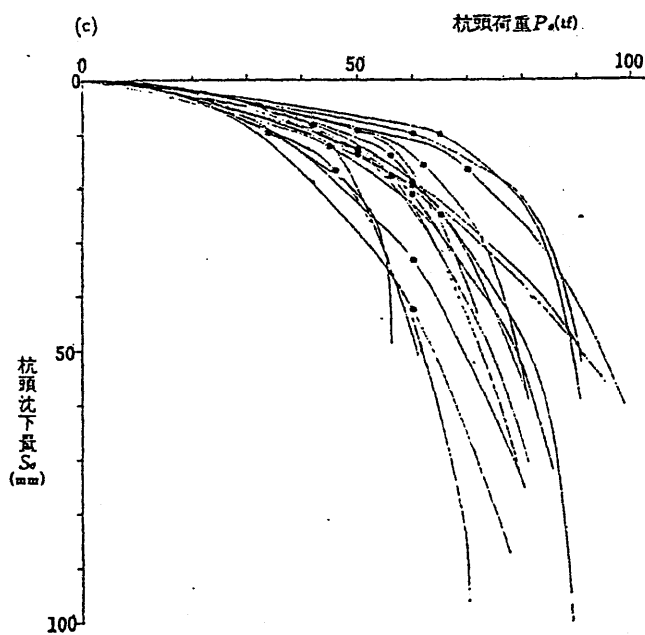
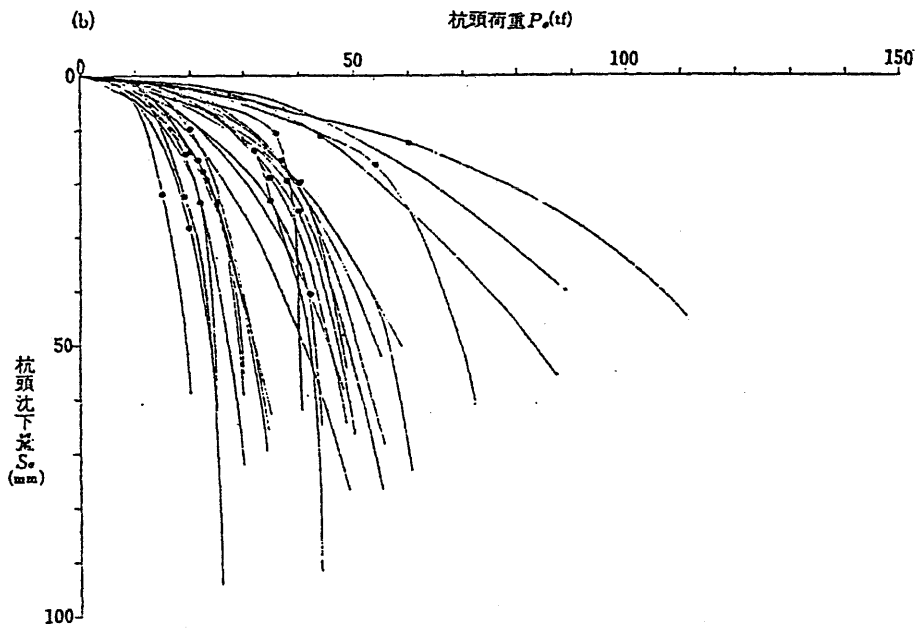
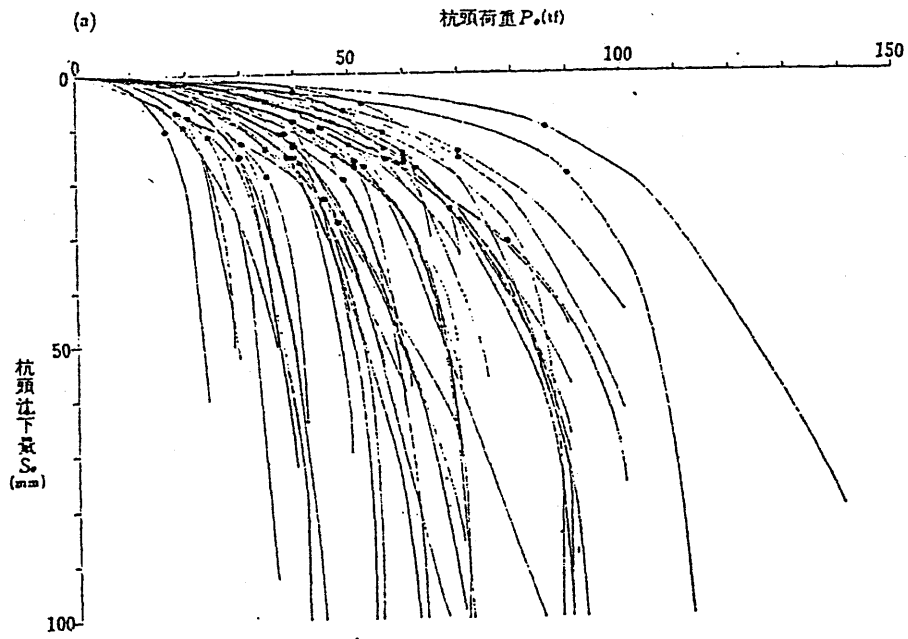
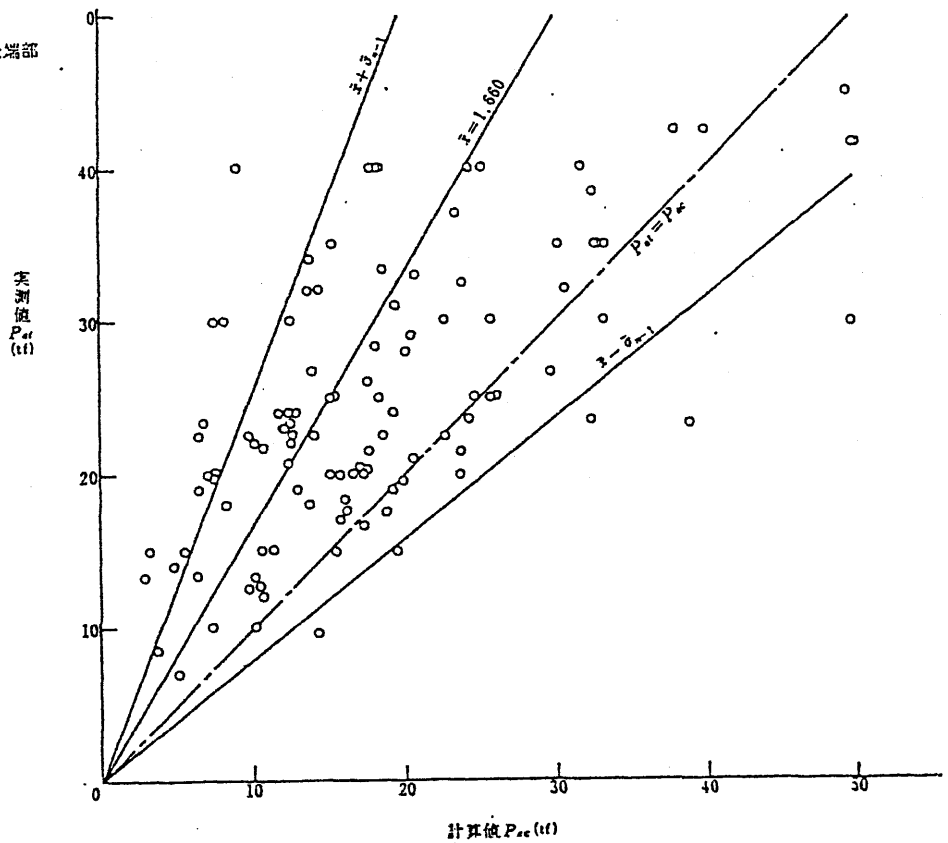


図-6

- (a) 埋込み工法杭 $P_0 \sim S_0$ 関係図
(杭先端砂質土)
- (b) 打込み工法杭 $P_0 \sim S_0$ 関係図
(杭先端粘性土)
- (c) 打込み工法杭 $P_0 \sim S_0$ 関係図
(杭先端砂質土)
- (d) 埋込み工法杭 $P_0 \sim S_0$ 関係図
(杭先端粘性土)

図-7

(a) 埋込み工法杭—杭先端部
砂質土の場合



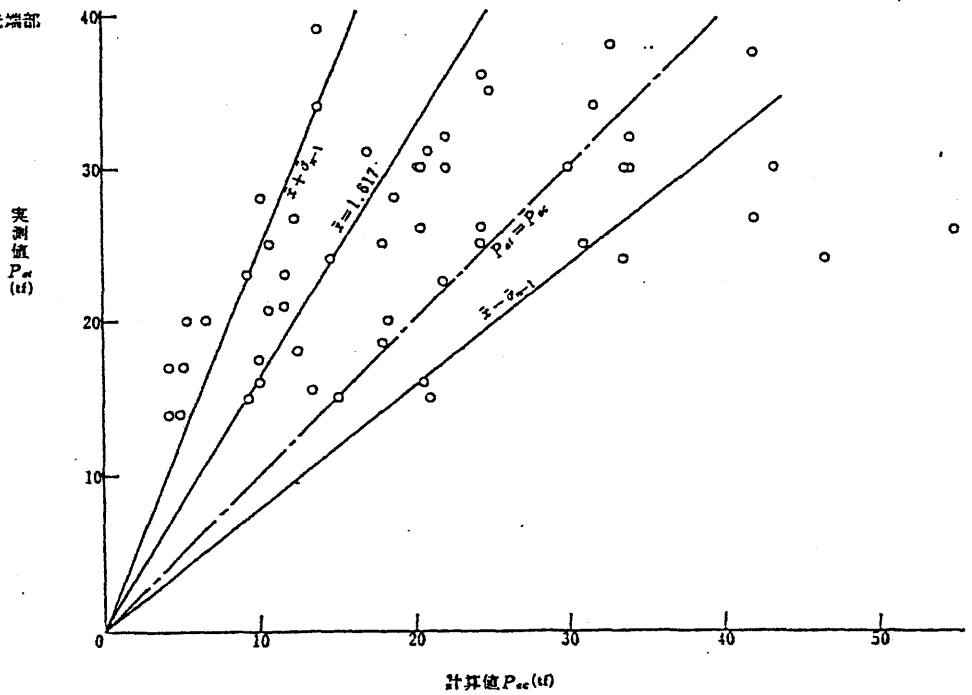
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{P_{st}}{P_{sc}} (1.660)$$

n : 件数 109件

σ_{x-1} : $x = \frac{P_{st}}{P_{sc}}$ の標準偏差 (0.869)

$$P_{sc} = \frac{1}{3} \left\{ 20N Ap + \left(\frac{N_s L_s}{5} + \frac{q_u}{2} L_c \right) F \right\} (tf) \text{ ただし } q_u = 1.25N_c \text{ とした。}$$

(b) 打込み工法杭—杭先端部
砂質土の場合



$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{P_{st}}{P_{sc}} (1.617)$$

n : 件数 53件

σ_{x-1} : $x = \frac{P_{st}}{P_{sc}}$ の標準偏差 (0.834)

$$P_{sc} = \frac{1}{3} \left\{ 30N Ap + \left(\sum \frac{N_s L_s}{5} + \sum \frac{q_u}{2} L_c \right) F \right\} (tf) \text{ ただし } q_u = \frac{10}{8} N_c \text{ とした。}$$

2-3 地盤改良

節杭の地盤改良については、文献6～9に砂質土の場合が報告されている。節杭は古くから地盤改良杭として用いられているにもかかわらず、その効果については定性的な傾向を知る程度である。

この現状にあって設計に用いる方法を論ずることは難しいが、文献¹⁰⁾に示された例などが参考になると考えられる。同文中には、試験工事をし実物の丸杭を用いて、地盤の締固め効果を実測した上に、本工事においてもその結果の確認を行うなど、難しい問題に対して慎重な取組み方がなされている。

3. 節杭の施工について

この章では、以下の項目について考えるものとした。

(a)杭の打止め管理、(b)ハンマーの選定、(c)砕石などの投入、(d)杭の打設順序と杭間隔、(e)注入液の配合と必要量、(f)掘削深度と杭高さ。

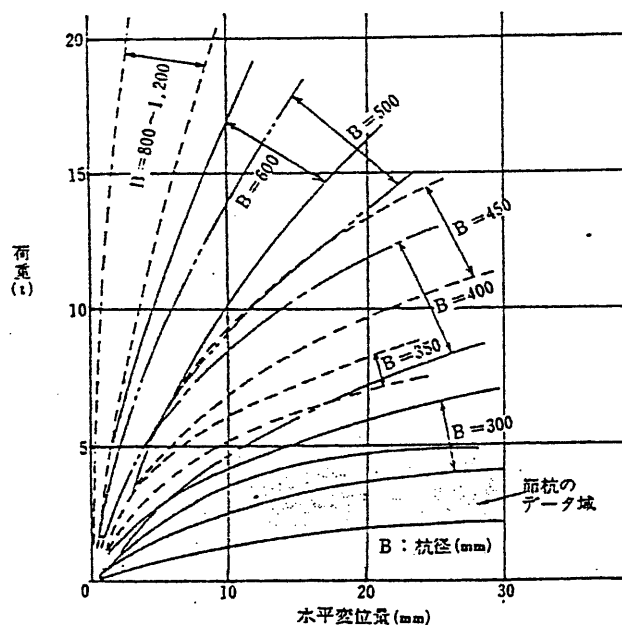
3-1 打止めの管理

節杭の打込み工法にあっては、杭を打止める位置においては、杭の貫入量やハンマー落下高さなどから打込み公式による支持力を施工管理に用いている。

打込み公式より得られた値と載荷試験結果の対比は、図-11に(旧市街地建築物法式における場合)を示した。同図にあっては、平均値で比べると打込み公式による値と載荷試験結果は一致しており、定性的には両者になんらかの関係があると考えられるが、バラツキも大きい。

同式の適用は、施工管理上大きな地盤の変化を知るき

図-8 節杭とPCAC杭水平力の比較図¹⁵⁾



っかけには有用であるが、支持力を打込み公式で推定する場合はかなり余裕を持たせるなどの配慮が必要と考えられる。

3-2 ハンマーの選定

現在、節杭の施工に用いているハンマーは、ラム重量が1.2～2.5t程度のものであり、文献¹¹⁾に示されているハンマー選定の表とはほぼ一致している。最近油煙の問題などによりディーゼルハンマーが嫌われる傾向があるため、ドロップハンマーを用いる例がある。

しかし杭材の破損を防ぐ立場からみると、ディーゼルハンマーの方が望ましいと考える。

3-3 砕石などの投入

打込み工法杭において使用される砕石などが地中でどのように振舞っているかについては、粘性土地盤で実施できた例を、図-11に示す。入念な施工管理を行えば、投入した砕石はかなり深い所まで節により引込まれていた。

3-4 杭の打設順序と杭間隔

節杭にあっては一般に打設する杭長が短いため、長尺杭の場合に比べて施工自体は容易であるが、施工する本数が増えること、および杭間隔が狭くなる傾向がある。このため砂質土地盤にあっては、地盤が締固まるため、打設する本数が増加するに従って打込みが困難になる。

施工する順序によっても杭の貫入抵抗が大きく影響されることは、伊藤¹²⁾岸田¹³⁾らにより報告されているとおりである。

図-9 地表面変位量fと逆算k値の関係図

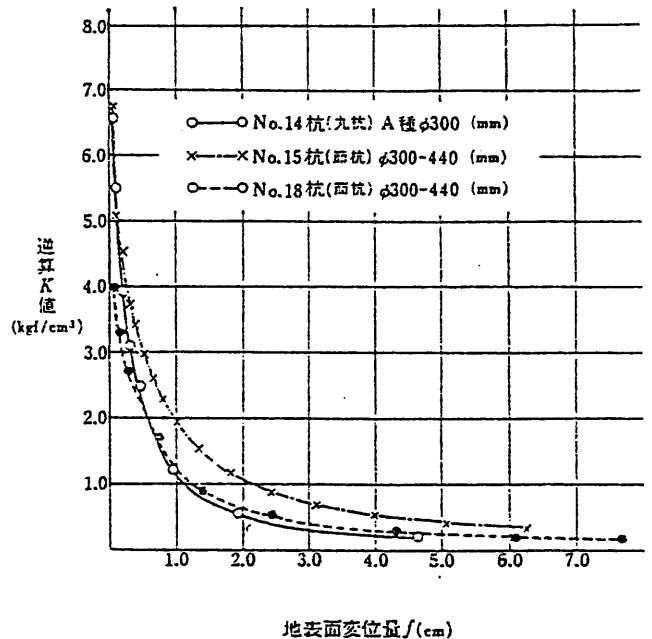


表-3 節杭の杭間隔（砂質土の場合）の目安値

杭長 (m)	独立基礎 (m)	連続フーチング (m)	ベタ基礎 (m)
4~6	1.0	1.0	1.3
7~8	1.1	1.1	1.4
9以上	1.1	1.2	1.5

外周部の杭を先に打設し、順次内側の杭を施工していけば、すでに施工された杭が地盤を拘束するため、締固め効果も大きくなり、地盤改良を積極的に行う場合には効果的である。これが高止り杭を生じる場合には、多数の高止り杭を生じることになる。

また、多数の杭を施工する場合、すでに杭が打込まれている方向の地盤は、締固められているため、新たに打設しようとする杭の先端は、軟らかい方（これから施工する方向）へ少しずつ傾いていく。このため杭頭部での偏打が生じ、杭の破損を生じることもある。このような場合、あらかじめ杭が傾斜する分を見込んで傾けて打設しているのが実情である。

このように多数の杭を打設する場合、杭間隔によっては無理な施工に結びつく場合がある。打設する本数・杭長や地盤にもより多少変わるが、表-3に示した杭間隔程度あれば砂地盤での施工も比較的スムーズに行えると考えられる。

一方、埋込み杭の場合には、締固めによる問題は生じないが、杭間隔が近い場合、掘削孔の崩壊などにより、既設の杭穴のセメントミルクなどがまだ固まらない間に流出したり、排土された土が混入したりする場合がある。掘削残土の処理を十分に行うほか、既設杭との間隔が十分に取れるような施工順序を考えるなどの工夫が必要となる。

例えば図-12に示す方法などが考えられるが、既設の杭穴に落とし込み防止策を行わなければ、施工時の事故につながるため注意が必要となる。

3-5 注入液の配合と量

埋込み工法杭の注入液として用いられているものは、セメントミルクが主体であり、この配合もかなりの幅がある。通常、節杭が設計されている程度の支持力 ($P_d \leq 30\text{tf}$) にあっては、注入液の強度が杭の支持力に影響することはないと考えられる。

図-13には、同一地盤でセメントミルクの水セメント比を変えて比較試験を行った結果を示しているが、鉛直・水平両方向試験の結果は、水セメント比とは直接関係

図-10 杭周砂利充填状況の観察図

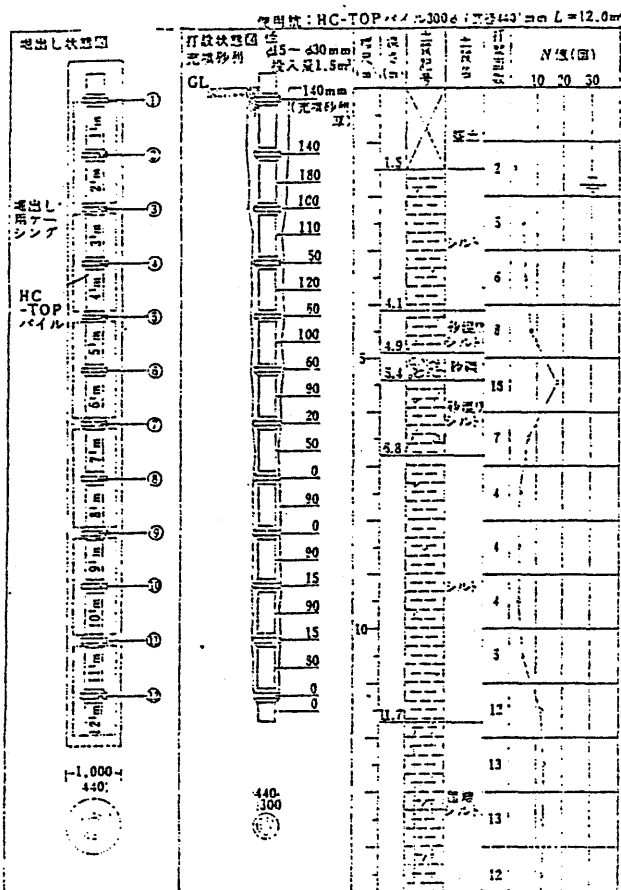


図-11 P_t - P_d 関係図

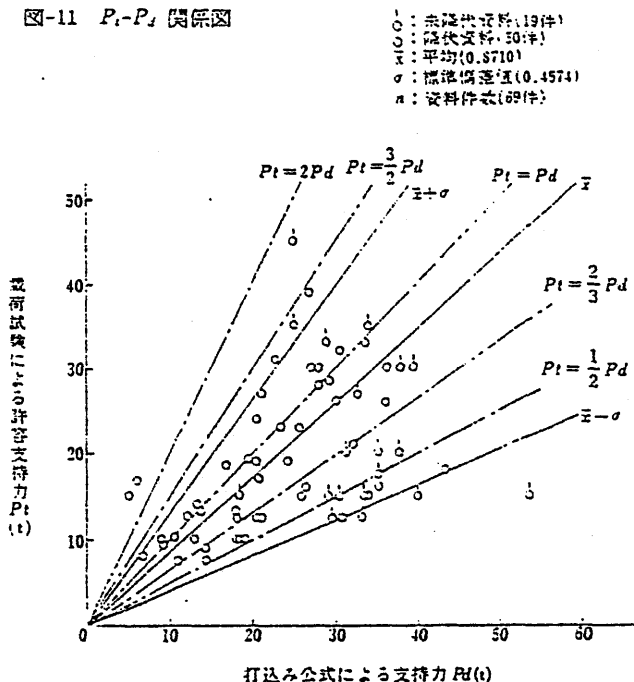
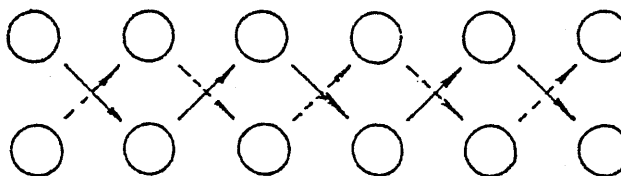


図-12 杭間隔が狭い場合の施工順序例



がないと考えられる。

これに対して図-14 に示したのは、水セメント比の高いセメントミルクやミルトルなどで生じるブリージングおよび注入液の流出により、杭頭部で空隙を生じている例である。

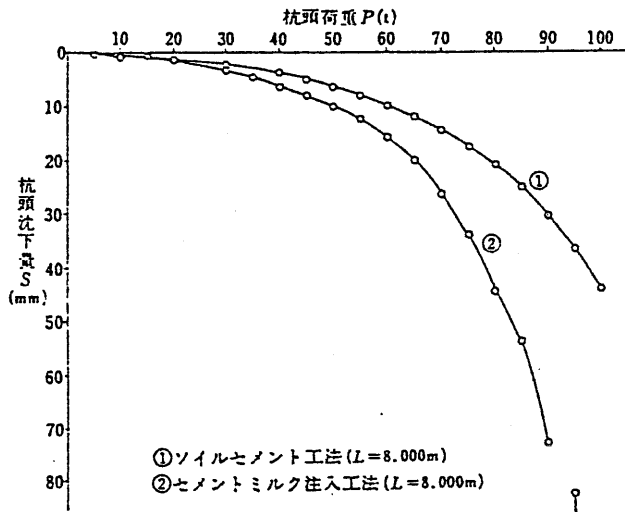
このような失敗を避けるため、注入液の配合に工夫を行い、膨張させるもの、粘性を増すものなどの混和剤を用いるほか、ソイルセメント化を図る工法などを実施し

ている。

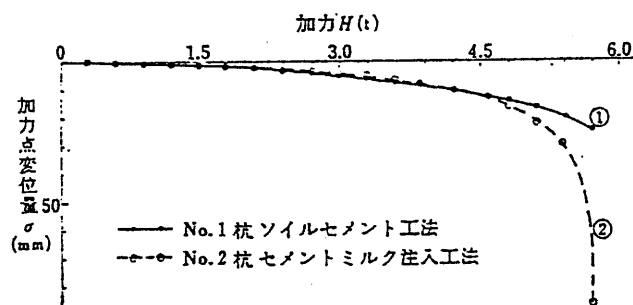
このうち比較的経済的で入手が容易なものとして、ベントナイトの使用が効果的であり、図-13 の例でも用いている。必要とされる注入液の量は、一般に掘削体積から杭体積を差し引いた量を想定しているが、以下のような理由により施工時に必要な量を調整しなければならない。

- ① 地盤中の土と攪拌され、ソイルセメント化した場合

図-13 (a) 杭頭荷重～杭頭沈下量比較図



(b) 加力Hと加力点変位σの関係図



(c) 土質柱状図と杭の関係図

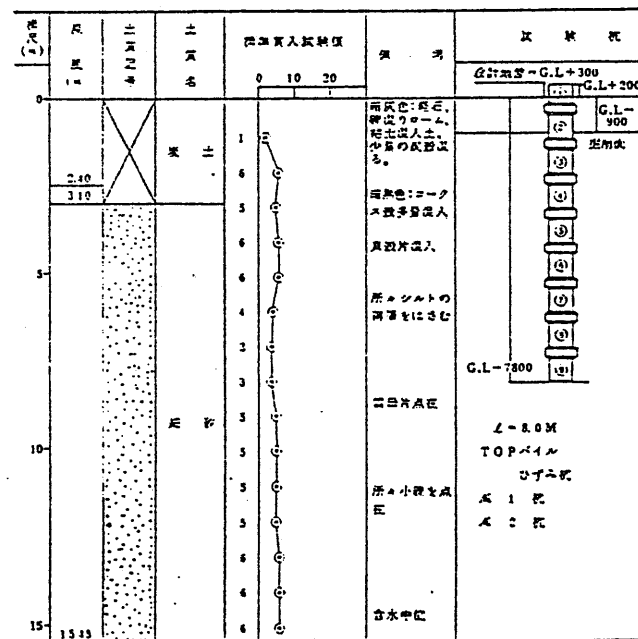


図-14 施工不良の例

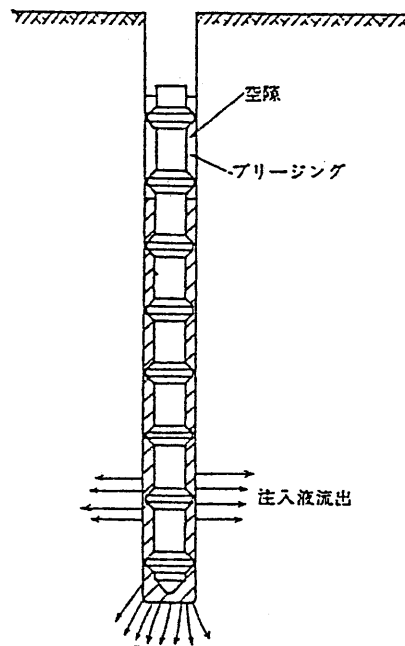
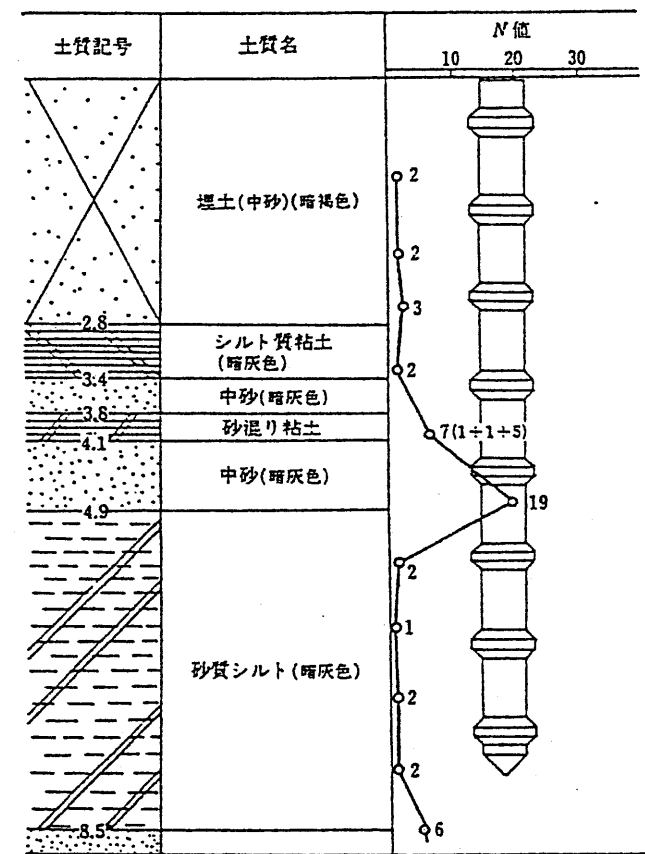


図-15 杭と地盤の関係



は、みかけ上の注入液体積は増加し、杭の挿入に伴い、掘削孔より一部の注入量がオーバーフローする。

② プリージングや透水性の良い地盤における注入液の流出により、注入液面が所定高さに不足を生じる場合。

特に②の現象にあっては、杭の水平抵抗力に与える影響が大きいため、十分な注意が必要である上に、この現象は施工中の杭だけでなく、隣接している既設の杭についても留意しなければならないのは前述のとおりである。

る。

一般に杭は土中に隠れてしまうため、これらの注入液がどうなったかについて、調査された節杭の例としては、文献13、14に示されている程度であろう。

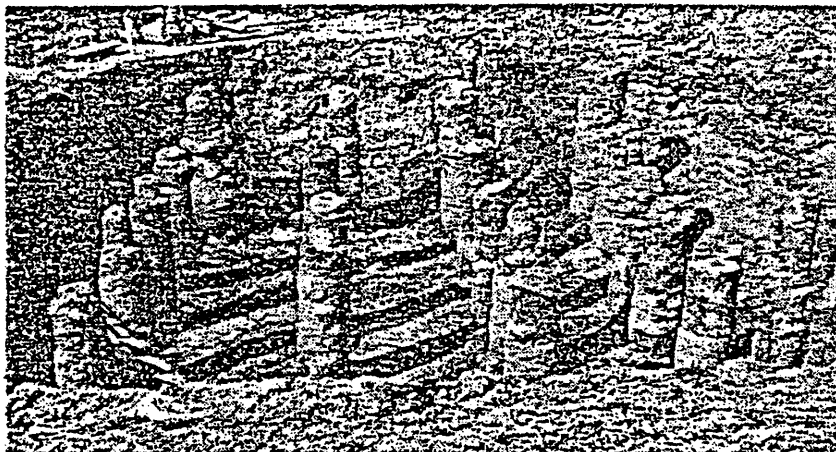
ここでは、配合の差による埋込み工法杭の出来上がり形状を浅層部分について観察した例を、表-4および写真-1に示す。

また、杭全長に渡って掘り起こしたもののうち、成功

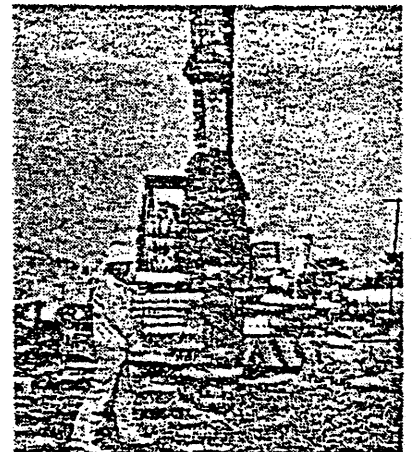
表-4 埋込み工法の出来上がり形状の例

杭 No.	水セメント比 W/C (%)	砂セメント比 S/C	混和剤	注入量 V (m ³)	平均杭径 (mm)
3	60	0	ナシ	1.50	70.47
14		1.5	E	0.90	56.66
15		2	IA	0.90	58.69
4	65	0	ナシ	1.35	71.62
22		1	ナシ	1.36	—
19		1.5	IA	0.90	54.33
18	70	1	ナシ	0.90	55.86
7		1	MC 0.1%	1.02	51.41
8		1	MC 0.2%	0.90	50.75
9		1.5	MC 0.2%	0.90	55.00
21		2	MC 0.2%	1.02	50.65
5	75	1	CMC, B (4%)	0.90	81.17
6		1	IA 1%	0.90	50.56
10		1	E 8%	0.90	52.52
11		1	E	0.90	55.07
13		1	E	0.90	53.61
20		1.5	IA 1%	0.90	52.55
12		2	MC 0.1%	0.90	52.20
17	80	1	ナシ	0.90	52.20
1	85	0	ナシ	0.90	60.78
2		0	ナシ	0.90	56.04
16		1	ナシ	0.90	61.97

E: 膨張材, IA: イントロジョンアイド, B: ベントナイト, MC: メチルセルロース, %はセメントに対する比を示す。



1. 埋込み工法の出来上がり形状



2. 杭全長掘り起こしの成功例
失敗

例と失敗例を写真-2, 3 および図-16 に示す。

これらの試験結果より、次のことが推定される。

- ① セメントミルクだけであれば水セメント比85%を超えると、杭上部で地盤との間に空隙を生じる可能性が高くなる。
- ② 同一水セメント比 (W/C=85%) であれば、ソイルセメント工法で施工を行うほうが失敗が少ない。
- ③ 注入液をモルタルにすると地盤の崩壊も少ない上、杭上部での空隙を生じにくい。
- ④ ベントナイトやメチルセルローズは、ブリージングを少なくし、出来上がり形状も良い。

3-6 掘削深度と杭高さ

3章の節杭の鉛直支持力において述べたとおり、杭先端支持力は節杭にあっても大きな比率を占めているため、埋込み工法杭の杭先端処理に十分な注意をしなければならない。

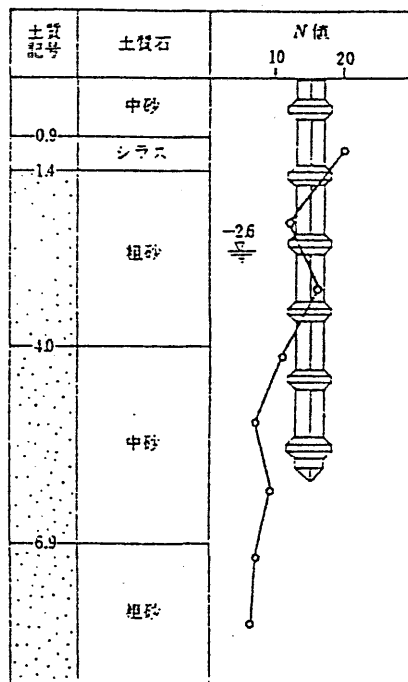
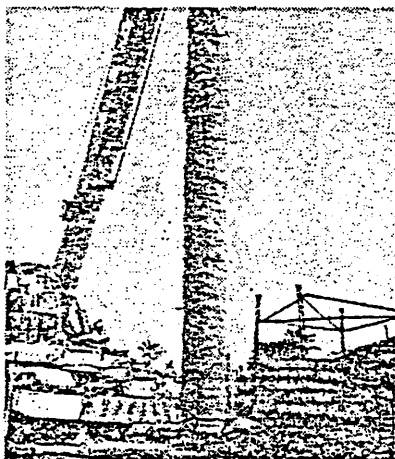


図-16 杭と地盤の関係



3. 杭全長掘り起こしの失敗例成功

少なくとも掘削を行った深度までは杭の先端が到達するように、ドロップハンマーなどによる軽打を行うか、圧入する必要がある。

4. 節杭のまとめ

節杭の設計と施工に関するまとめとしてここに要点を整理し直すと、以下の2点となる。

- ① 節杭の鉛直支持力および荷重～沈下量の関係において、杭先端支持力と杭先端土質の影響はかなり大きく、十分な配慮が必要である。
- ② 節杭にあつては、杭長は短く、本数が多いため、杭間隔や打設順序の決定に注意しなければならない。

おわりに

以上、節杭における設計・施工上の問題について気付いた点を中心にまとめたわけであるが、限られた紙面の中にうまくまとめられず、的をはずれた内容となってしまったことをお詫びする。また、長い歴史を持つ節杭ではあるが、その機能や支持力の問題についても、経験に頼るあまり、定量的な把握が遅れていることに改めて気付かされた。

末筆ではあるが、節杭の設計・施工上の残された課題を解決していくに当たり、関係各位のご批判とご指導をお願い申し上げる次第である。

〔引用・参考文献〕

- 1) 大内他：建築施工講座2，基礎工事（1977年）鹿島出版会，p.4～5
- 2) 田徑：東京都における建築基礎杭の取り扱い，基礎工，1981年8月号 p.29
- 3) 吉見：砂地盤の液状化，技報堂，1980年版，p.131～139
- 4) 石堂：砂中の節杭の極限支持力について，第4回土質工学研究発表会，p.235～238
- 5) 石堂：粘性土中の節杭の支持力，九州産業大学工学部研究報告，第8号，昭和46年6月 p.12～23
- 6) 石岡他：鉄筋コンクリート節グイの地盤改良効果測定，日本建築学会論文報告集号外，1966年10月
- 7) 広岡他：鉄筋コンクリート節グイの地盤改良効果測定その2，日本建築学会論文報告集号外，1967年10月
- 8) 広岡他：砂質ローム層における鉄筋コンクリート節グイの適用例，日本建築学会九州支部研究報告，第17号，1968年
- 9) 大杉：節つき摩擦杭，建築機材事典，産業調査会 p.26～30
- 10) 伊藤：上越新幹線・新潟駅における液状化砂地盤の処理工法，基礎工，1978年7月，p.66～74
- 11) 藤田：くい打ち技術ノート，日刊工業新聞社，1975年，p.76，図7.8
- 12) 岸田：PC バイルハンドブック，山澤堂，1965年版，p.119～120 より引用
- 13) 大杉他：節グイを用いた群グイ実験（鉛直支持力），第14回土質工学研究発表会，p.929～932
- 14) 三輪：三角杭のミルクオーガ SEMI 法の特徴と施工例，基礎工，1979年，12月，p.91～96
- 15) 山本他：載荷試験結果から見た杭の水平抵抗，第14回土質工学研究発表会，p.961～964