

# PIP くい の 支持力 機構 に関する 研究 (その 3)

— 砂質土地盤と砂礫地盤における周面摩擦支持力の検討 —

小 粥 庸 夫  
黒 崎 富士美  
(プレバクト運営課)

## § 1. 序 論

第1報<sup>5)</sup>では、従来のようにピア基礎の場合に準じて求めた PIP くい の 設計支持力は、載荷実験結果から求めた設計支持力を非常に下回り、その原因は周面摩擦支持力が全く認められないことによるところが大きいことなどを明らかにした。

第2報<sup>6)</sup>ではその周面摩擦支持力について、粘性土地盤と砂礫地盤の場合をとりあげて、日本建築学会の建築基礎構造設計規準<sup>1)</sup>の場所打ちコンクリートくい の 周面摩擦支持力 (同規準では周面摩擦抵抗, あるいは周面摩擦抵抗力といっている) などと比較しながら検討し、粘性土地盤における周面摩擦支持力はブロックサンプル試

料の  $qu/2$  に近似することなどを明らかにした。

そこで本論では、第2報でとりあげなかった砂質土地盤と、とりあげはしたが資料が少なかった砂礫地盤における周面摩擦支持力について検討するために、昭和41年から昭和51年の10余年間にわたる90余例の鉛直載荷実験結果のなかから、砂質土地盤と砂礫地盤においてくい体 に 歪計や沈下計を埋設してあり、かつ、最終沈下量の比較的大きい8例を選び、おもに、

- 1) 周面摩擦力度と周面相対変位量の関係
- 2) 周面摩擦力度とN値の関係
- 3) 緩い砂地盤におけるくい の 沈下に伴うくい 周地盤の変位
- 4) 緩い砂地盤における同一地盤内での周面摩擦力度のばらつき
- 5) くい の 沈下に伴うくい 先端付近の周面摩擦支持力の変化

などについて考察した。

## § 2. 砂質土地盤と砂礫地盤における周面摩擦支持力

### 2.1 8つの実験例

前述の90余例の鉛直載荷実験結果は、昭和41年から昭和51年の間に当社が行なった鉛直載荷実験のほとんどすべてを網羅したものであり、その多くが設計支持力の確認のためのものである。

したがって最大荷重は設計支持力の3倍までで終わっているものが多く、最終沈下量も数mm程度のものが多い。

しかし、なかには現場の試験工事を発展させ若干の研究的な要素を加えて行なった例や、あるいは開発や研究のために行なった例もある。

これらの例はおよそ20あり、そのいずれの例もくい体 に 歪計や沈下計を埋設してくい体 の 軸力やくい体 各点の沈下を測定しており、最大荷重も比較的大きく、最終沈

載荷試験資料整理番号	試験現場	くい径 (mm)	くい長 (地中のくい長) (m)	測定区間 (GL-m)	平均N値 $\bar{N}_s$	平均周面摩擦力度の最大値 $f_{s,max}$ (t/m <sup>2</sup> )	$f_{s,max}$ 時の周面相対変位量δ (mm)
①	東京都大田区南千束	300	11.4 (10.4)	6.5 ~ 7.7	7	23.0	11.9
②	横浜市中区本牧	500	9.5 (7.6)	4.1 ~ 6.3	13	6.7	9.1
				6.3 ~ 8.5	27	52.7	7.1
⑦	清水市草薙	600	20.5 (14.5)	16.0 ~ 17.0	50	21.2	3.0
⑦⑤	横浜市瀬谷区	350	16.0 (14.0)	15.0 ~ 15.5	33	27.3	5.2
⑦⑥	横浜市瀬谷区	700	16.0 (13.5)	15.0 ~ 15.5	33	191	99.0
⑦①	清水市富士見町	600	18.0 (15.5)	2.5 ~ 4.0	7	17.7	88.9
				4.0 ~ 8.0	20	16.6	201
				8.0 ~ 9.5	23	35.4	34.4
				9.5 ~ 13.0	26	11.4	83.5
				15.0 ~ 17.0	10	9.3	1.2
⑧	燕市小高	400	22.0 (21.4)	20.0 ~ 23.0	8	9.8	9.6
⑨	模型地盤	350	4.5 (4.0)	0.5 ~ 1.0	12	36.4	50.0
				1.0 ~ 1.5	12	18.2	50.0
				1.5 ~ 2.0	12	16.4	13.2
				2.0 ~ 2.5	15	20.0	50.0
				2.5 ~ 3.0	16	30.9	13.0
				3.0 ~ 3.5	17	7.3	6.5
				3.5 ~ 4.0	14	20.0	50.0

表一 砂質土地盤と砂礫地盤における8つの実験例

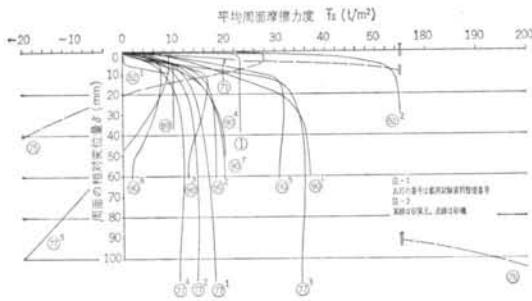


図-1 砂質土における平均周面摩擦力度( $\bar{F}_s$ )と周面相対変位量( $\delta$ )の関係

下量もおおよそ10mm~500mmに及んでいる。

本論では、このおおよそ20例のなかから砂質土地盤と砂礫地盤における8例をとりあげた。

その8例の载荷試験資料整理番号、試験現場、くい径、くい長、歪や沈下の測定区間、その区間の平均N値( $\bar{N}_s$ 、以下、N値という)、平均周面摩擦力度(以下、周面摩擦力度という)の最大値( $\bar{F}_{s, max}$ )、 $\bar{F}_{s, max}$ 時の周面相対変位量( $\delta$ )は、表-1に示すとおりである。

表-1によれば、試験現場は東京や横浜の洪積台地、横浜港の埋立地、清水市の沖積地や海岸砂洲、越後平野の沖積低地、N値おおよそ15の粗砂の模型地盤に及んでいる。また、くい径は $\phi 300\text{mm} \sim \phi 700\text{mm}$ 、くい長は $\ell 4500\text{mm} \sim \ell 22000\text{mm}$ 、N値は7~50以上、周面摩擦力度の最大値は $6.7\text{t/m}^2 \sim 191\text{t/m}^2$ 以上である。

## 2.2 周面摩擦力度と周面相対変位量の関係

表-1に示した8つの例のおおのこの測定区間について、くい体に埋設した歪計から軸力を計算し、軸力差をくい周面積で割って「周面摩擦力度~周面相対変位量」の関係を求め、図-1に示した。

図-1によれば、周面摩擦力度は周面相対変位量がおおよそ5mm~20mmまでほぼ直線的に増大して最大に達し、以後、それ以上の周面相対変位量に対してもほぼその値を保持する。

しかし、締った砂礫地盤の⑦(载荷試験資料整理番号⑥番を示す。以下同様)は、周面相対変位量が100mmを越えてもおおよそ増大し続け、この程度の周面相対変位量では最大値に達することはない。このような現象は、ここと同一地盤で、前報<sup>9)</sup>の引抜き試験でも確かめられている。

また、くい先端付近の周面摩擦力度は、くい先端地盤が締った砂礫地盤の場合、⑦、⑦<sup>s</sup>に示すように、周面相対変位量がおおよそ5mm~20mmで正の最大値に達し、以後、それ以上の周面の相対変位量に対しては次第に減少

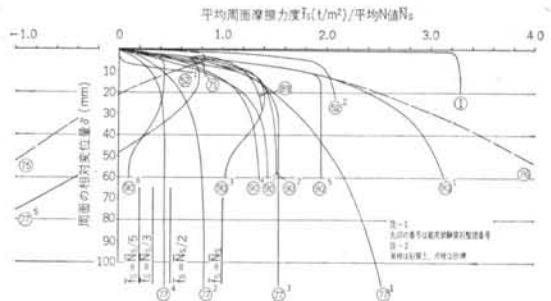


図-2 砂質土における平均周面摩擦力度( $\bar{F}_s$ )/平均N値( $\bar{N}_s$ )と周面相対変位量( $\delta$ )の関係

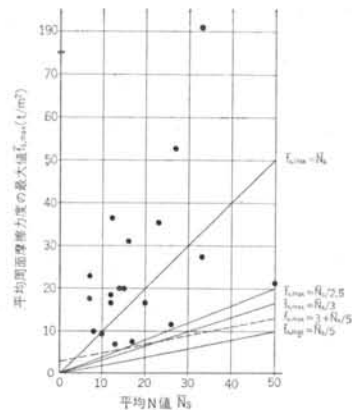


図-3 砂質土における平均N値( $\bar{N}_s$ )と平均周面摩擦力度の最大値( $\bar{F}_{s, max}$ )の関係

し負の値になることがある。このような現象については後述する。

## 2.3 周面摩擦力度とN値の関係

図-1によれば、周面摩擦力度の最大値は砂質土地盤の場合、 $6.7\text{t/m}^2 \sim 52.7\text{t/m}^2$ となるが、締った砂礫地盤の⑦では $191\text{t/m}^2$ 以上にも達する。締った砂礫地盤の周面摩擦力度については、⑦と同一地盤で、前報<sup>9)</sup>の引抜き試験でもおおよそ $100\text{t/m}^2$ 以上になることが確かめられている。

周面摩擦力度とN値の関係は図-2、図-3に示すとおりである。図-2は、表-1から図-1を求めたのと同様にして「周面摩擦力度/N値~周面相対変位量」の関係を求めたものであり、図-3は、同様にして「周面摩擦力度の最大値~N値」の関係を求めたものである。

図-3によれば、周面摩擦力度の最大値はN値に関してかなりばらついてはいるが、N値が大きくなれば周面摩擦力度の最大値も大きくなるという傾向は明らかである。周面摩擦力度の最大値は、N値を用いて示せばおおよそ式(1)で近似でき、式(2)の値を下回ることはない。

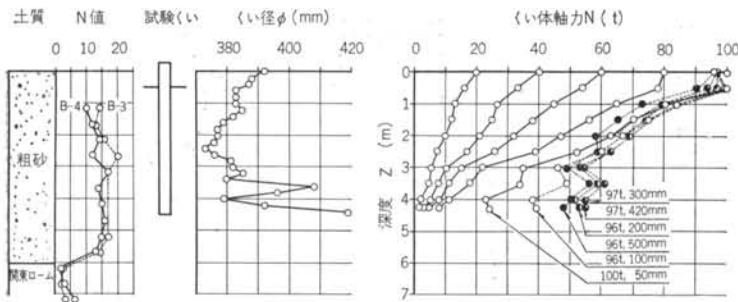


図-4 地盤、くい径、載荷時のくい体軸力(N)の分布(㊟くい)

$$\bar{f}_{s, max} = \bar{N}_s \quad (t/m^2) \quad \dots\dots(1)$$

$$\bar{f}_{s, max} = \bar{N}_s / 2.5 (t/m^2) \quad \dots\dots(2)$$

これらの値を周面摩擦支持力として設計に用いる場合その変位量あまり大きくては実用上無意味であるが、図-2によれば、仮りに変位量を10mmで押えた場合はおよそ式(3)の値、20mmで押えた場合は式(4)の値を下回ることはない。

$$\bar{f}_s = \bar{N}_s / 3 \quad (t/m^2) \quad \dots\dots(3)$$

$$\bar{f}_s = \bar{N}_s / 2.5 (t/m^2) \quad \dots\dots(4)$$

現在、日本建築学会の建築基礎構造設計規準<sup>1)</sup>の場所打ちコンクリートくいの砂質土における周面摩擦支持力は式(5)として求められ、日本道路協会の道路橋下部構造設計指針——場所打ちくいの設計施工篇——<sup>11)</sup>でもこれとほぼ同様な値が参考資料として記されている。

$$\bar{f}_s = \bar{N}_s / 5 \quad (t/m^2), \quad \bar{N}_s \leq 50 \quad \dots\dots(5)$$

しかし、式(5)の値は、いままでPIPくいについて述べてきた式(1)~式(4)の値に比較すると、はるかに小さな値である。

PIPくいの砂質地盤と礫地盤における周面摩擦支持力の算定にあたっては、これらの規準や指針による場合、かなり過小評価されることになる。PIPくいの同地盤の周面摩擦支持力としては、少なくとも式(3)の値はとれるのではないかと考える。

PIPくいの周面摩擦支持力が他の大口径場所打ちくいなどに比較して大きいのは、既報<sup>5~10)</sup>のように、泥水を用いないためスライムや泥壁がほとんどないこと、掘削後の放置時間がほとんどないため地盤をゆるめることが少ないこと、プレキャストモルタルに適度な膨張性があるため、くいと地盤との密着性が良いことなどによると考える。

### § 3. 緩い砂地盤における挙動

緩い粗砂の模型地盤を作成し、そこにPIPくいを打設

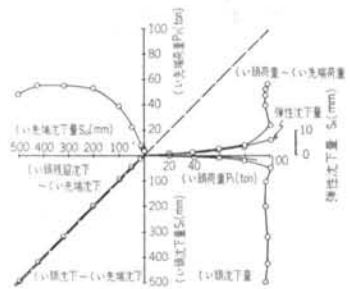


図-5 くい頭荷重(Pi)~くい頭沈下量(Si)~くい先端荷重(Pp)~くい先端沈下量(Sp)の関係(㊟くい)

し、鉛直載荷試験をした後、くい周地盤などを調査しながら、くいを掘出した。

#### 3.1 模型地盤と試験くいの概要

模型地盤は、関東ローンを縦5m×横4m×深さ6mに掘削し、その中に粗砂を投入し、均一になるように締固めたものである。

粗砂は、相模川の川砂で、粒度は礫分(<2000μ)がおよそ20%、砂分(74μ~2000μ)がおよそ75%、シルト分(5μ~74μ)がおよそ5%で、均等係数はおよそ5~10である。20cm厚ごとにランマ(パッケルBS-150パイプロランマ)と振動ローラー(ダイハツ0.8tパイブレーションローラ)でうずまき状に2回ずつ転圧し、締固め、石灰で層厚の目印をつけた。

この模型地盤では、載荷試験終了後に2本のボーリング調査をした。それによると、N値は図-4に示すようにおよそ15前後である。

試験くい㊟(以下㊟くいという)は、φ350mm、ℓ4500mmで、反力くいとしてφ350mm、ℓ11000mmのPIPくい2本を㊟くいからおのおの2.0m離して打設した。㊟くいには500mm~250mmごとに歪計を埋設した。

#### 3.2 実験結果の概要

鉛直載荷試験結果の概要は図-5に示すとおりで、最大荷重は100ton、最終沈下量は500mmである。

図-5は、4座標軸におのおのくい頭荷重、くい頭沈下量、くい先端荷重、くい先端沈下量を目盛り、㊟くいについて、くい頭荷重~くい頭沈下量の関係、くい頭荷重~くい頭残留沈下量の関係、くい頭荷重~弾性沈下量の関係、くい頭荷重~くい先端荷重の関係、くい先端荷重~くい先端沈下量の関係、くい頭残留沈下~くい先端沈下の関係、くい頭沈下~くい先端沈下の関係を示した

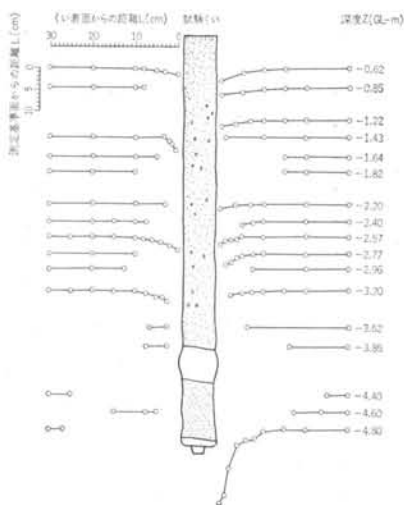


図-6 くいの沈下(最終沈下量およそ500mm)に伴う砂の変位(⑨くい)

ものである<sup>2)</sup>。

図-5によれば、くい頭荷重はくい頭沈下量がおおよそ50mmで最大荷重100tに達し、以後くい頭沈下量が増大しても、およそ96t~97tとほぼ一定値を保持する。

周面摩擦支持力はくい頭荷重が100tに達した時最大となり、以後沈下量の増大とともに減少していく。その減少分をくい先端支持力が補うかたちで増大していく。ところが、沈下量がおおよそ200mm(長さはおよそ0.6D、Dはくい径、以下同様)を越えたところから先端支持力も最大(およそ55t)に達し、以後くい先端荷重、くい頭荷重ともにほぼ一定値を保持した状態で常状態に達する。この状態を極限支持状態と考える。

くいの軸力分布は図-4に示すとおりである。面摩擦支持力は、くい頭荷重が100tに達するまで、各荷重ごとにほぼ等差的に増大するが、くいの体のおおよそGL-3.0m以深の部分(長さはおよそ0.4D)の軸力がほぼ等しくなっていく、その部分の周面摩擦支持力がなくなった状態で常状態に達する。この状態が前述の極限支持状態にあたることを考える。

### 3.3 くいの沈下に伴うくい周地盤の変位

載荷試験終了後に、くい周地盤やくい体などを調査しながらくいを掘出し、図-4(くい径)、図-6、図-7を得た。

くい径は図-4や図-6のスケッチに示すように、全体としてオーガー径をおおよそ30mm前後上回っているが、GL-3.5m前後の部分は50mm前後上回っている。

くいが500mm沈下した後のくい周地盤の鉛直方向変位

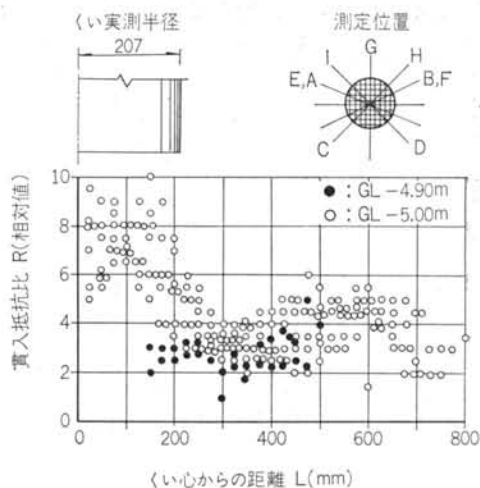


図-7 くいの沈下(最終沈下量およそ500mm)に伴う先端地盤の硬さの変化(⑨くい)

は図-6に示すとおりである。図-6は石灰の目印を目視可能な範囲内でスケッチしたもので、これによると、くい周地盤ははくい周からおおよそ150mm以内で変位が認められ、その程度はくい先端部分で著しい。

くい先端部分については、ポケットコーンペネトロメーターで貫入抵抗比を測定した。その結果は図-7に示すとおりである。図-7によれば、くい先端部分はくい先端直下がかなり締っており、くい周からおおよそ200mm~300mmの間は逆に緩んでいるようである。

⑨くいは、前述のように極限支持状態に達しており、これ以上の沈下が生じてもほぼこのような支持状態を継続すると推定されるが、このような状態におけるN値15程度の緩い砂地盤の変位は、おおよそこのようなものであろうと考える。これらのことについては今後改めて検討する予定である。

### 3.4 同一地盤内での周面摩擦力度のばらつき

⑨くいは、前述のように500mm~250mmごとに歪計を埋設してあるので、比較的短い間隔で「周面摩擦力度~周面相対変位量」の関係についての多くの曲線を得ることができる。⑨くいが全長4500mmと比較的短く、地盤もN値15程度でほぼ均一であるので、深さの違いによる拘束圧さえ無視すれば、おおよその曲線の条件はほぼ同一であると考えることができ、これらの曲線間の値のばらつきは、同一地盤内での周面摩擦力度のばらつきであると考えられる。

このように考えると、同一地盤内での周面摩擦力度のばらつき(最大値と最小値の比、以下同様)は、表-1、

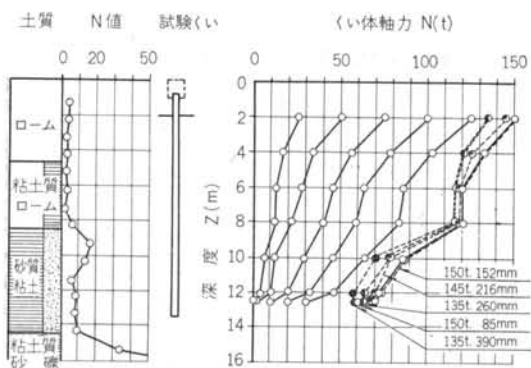


図-8 地盤、載荷時のくい体軸力(N)の分布 (④くい)  
 図-1に示すようにおよそ4倍である。このばらつきのおもな原因は、 $90^\circ$ の値がひとつだけ小さいことによるが、これは図-4に示すようにGL-3.5m前後の部分のくい径が大きく、そのためこの部分のくい周面が上方へ傾いていることなどによるものであると考える。

このばらつきは部分的なものであり、くい径のおよそ3倍の区間で平均的に比較すれば2倍以下に低下する。

### § 4. くい先端付近の周面摩擦支持力

くい先端付近は、くいの沈下に伴いくい先端地盤が比較的大きく移動するので、それより上部のくい周付近とはかなり異なった現象がおこることが知られている。

しかし、これらの現象を実大のくいで実験するためには、載荷重を大きくし、沈下量を大きくしなければならぬので、これらの現象を得ることは容易ではない。そのため、これらに関する資料は極めて少ない。

そこで、ここに、くいが極限支持状態に達するにつれてくい先端付近の周面摩擦支持力がどのように変化するかを、「くい先端地盤が粘性土か、あるいは緩い砂地盤の場合」と「くい先端地盤が締った砂礫地盤の場合」に分けておのおの2例ずつ紹介し、それらについて若干の問題点を指摘する。

#### 4.1 くい先端地盤が粘性土か、あるいは緩い砂地盤の場合

図-8、図-9は、くい先端地盤がN値およそ8の砂質粘土の場合、載荷時のくい体軸力分布の変化と、くい頭あるいはくい先端の荷重や沈下量などを示したものである。

これらの図によれば、くい頭荷重が最大荷重150tに達し、くい頭沈下量がおよそ100mm(およそ0.3D)に達

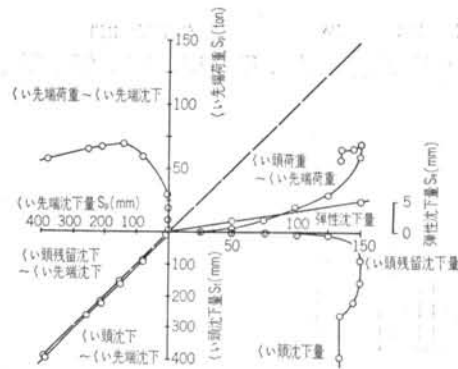


図-9 くい頭荷重( $P_t$ )～くい頭沈下量( $S_t$ )～くい先端荷重( $P_p$ )～くい先端沈下量( $S_p$ )の関係 (④くい)  
 すると、くい先端付近GL-10.0m以深の部分(長さは10D)の周面摩擦支持力が低下ぎみになる。

図-4、図-5は、くい先端地盤がN値およそ15の緩い砂地盤の場合の、同様なことを示したものである。

これらの図によれば、くい頭荷重が最大荷重100tに達し、くい頭沈下量がおよそ200mm(およそ0.6D)に達すると、くい先端付近GL-3.0m以深の部分(長さはおよそ4D)の周面摩擦支持力がほとんどなくなる。

#### 4.2 くい先端地盤が締った砂礫地盤の場合

図-10、図-11は、くい先端地盤がN値50以上の粘土質砂礫の場合、同様なことを示したものである。

これらの図によれば、くい頭荷重が300tに達し、くい頭沈下量がおよそ35mm(0.1D)に達すると、くい先端付近GL-12.0m以深の部分(長さは10D)の周面摩擦支持力が正から負に変わる。この変化区間のくいの状況は、図-11の斜線部分の領域で示され、この領域は「くい先端荷重～くい先端沈下」の関係の曲線の降伏点に近似する。

図-12、図-13は、くい先端地盤がN値50以上の砂礫の場合、同様なことを示したものである。

これらの図によれば、くい頭荷重が640tに達し、くい頭沈下量がおよそ60mm(0.1D)に達すると、くい先端付近GL-13.0m以下の部分(長さは9D)の周面摩擦支持力が正から負に変わる。この変化区間のくいの状況は、図-13の斜線部分の領域で示され、この領域は「くい先端荷重～くい先端沈下」の関係の曲線の降伏点に近似する。

#### 4.3 支持力算定上の問題点

このようなわけで、くいの支持力を極限状態で考える場合、くい長のどこまでを周面摩擦支持力として考え、

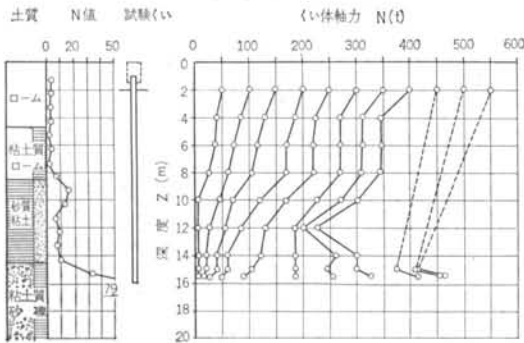


図-10 地盤、載荷時のくい体軸力(N)の分布 (㉞くい)

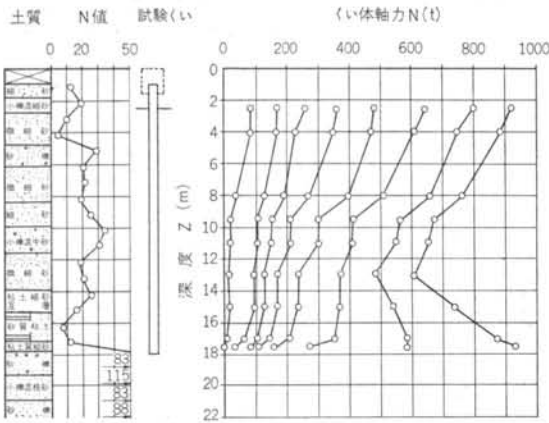


図-12 地盤、載荷時のくい体軸力(N)の分布 (㉟くい)  
どこまでを先端支持力として考えたらよいか、今後検討しなければならぬと考える。

### § 5. 結論

以上の検討の結果、およそ次のようなことを明らかにした。

- 1) 周面摩擦支持力は、通常の砂質土地盤の場合、周面相對変位量がおおよそ 5 mm~20mm で最大に達し、それ以上の周面相對変位量に対してもほぼその値を保持する。  
しかし、締った砂礫地盤の場合は、周面相對変位量が 100mm を越えてもなお増大し続け、この程度の周面相對変位量では最大値に達することはない。
- 2) 周面摩擦支持力の値を N 値で表わすと、通常の砂質土地盤の場合おおよそ  $Nt/m^2$  となり、最低値でも  $N/2.5 t/m^2$  を下回ることはない。この値は、通常設計に用いられている値をはるかに上回るものである。
- とくに、締った砂礫地盤の場合は  $2Nt/m^2$  以上にも達する。

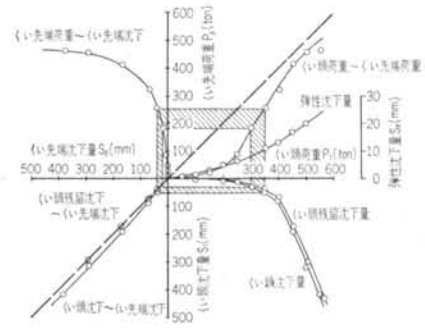


図-11 くい頭荷重 ( $P_i$ ) ~ くい頭沈下量 ( $S_i$ ) ~ くい先端荷重 ( $P_p$ ) ~ くい先端沈下量 ( $S_p$ ) の関係 (㉞くい)

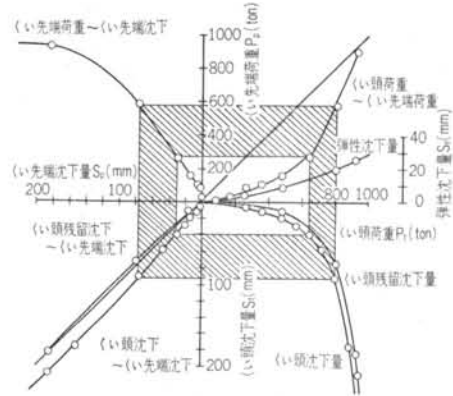


図-13 くい頭荷重 ( $P_i$ ) ~ くい頭沈下量 ( $S_i$ ) ~ くい先端荷重 ( $P_p$ ) ~ くい先端沈下量 ( $S_p$ ) の関係 (㉟くい)

3) くの沈下に伴うくい周地盤の変位は、N 値 15 程度の緩い砂礫地盤の場合、くい周面からおおよそ 150mm の範囲内で起こる。この変位はくい先端付近ほど顕著である。

4) 同一地盤内での周面摩擦支持力のばらつきは、N 値 15 程度の緩い砂地盤の場合おおよそ 4 倍ほどである。このばらつきのおもな原因は、くい径にばらつきがあり、そのためくい周面の傾きに差が生じることなどによるものであると考える。

したがって、このばらつきは部分的なものであり、くい径のおおよそ 3 倍の区間で平均的に比較すれば、2 倍以下に低下する。

5) くい先端付近の周面摩擦支持力は、くい先端地盤が粘性土か、あるいは緩い砂地盤の場合、くいがくい径のおおよそ 0.5 倍以上沈下すると、低下ぎみになるか、あるいはほとんど零になる。

とくに、締った砂礫地盤の場合は、くいがくい径のおおよそ 0.1 倍以上沈下すると、負の周面摩擦力が働くことがある。



6)前述の5)の現象は、くい貫入に伴うくい先端地盤の移動に関係するものと考えられるが、くいの支持力を極限状態で考える場合、今後検討しなければならない課題であると考ええる。

## § 6. あとがき

本報によって、砂質土地盤と砂礫地盤における周面摩擦支持力について知ることができた。前報<sup>9)</sup>の粘性土地盤と砂礫地盤の場合を合わせれば、これでほとんどの地

盤におけるPIPくいの周面摩擦支持力について知ることができたことになる。

今後は、先端支持力、くい体強度、沈下量の算定などについて検討する予定である。

末筆ながら、本報で引用した資料のもととなった実験に協力をいただいた方々の名(敬称略)をしるし、謝意を表します。

土木技術部：渡辺俊雄，大内雅典(以上現土木部)，  
田口 弘(プレパクト運営課)

研究所：岡田武二(施工研)，作田尚志(土質研助手)

## <参考文献>

- 1) 日本建築学会：“建築基礎構造設計規準・同解説(第1版)”丸善 昭和49年
- 2) 吉成元伸：“載荷試験から支持力を判定するうえでの問題点”土と基礎 Vol.23, No.7 1975
- 3) 阪口 理：“クイ支持地盤について”土と基礎 Vol.23, No.7 1975
- 4) 山肩邦男：“各種施工法によるクイの許容支持力”土と基礎 Vol.23, No.7 1975
- 5) 小粥庸夫：“PIPくいの支持力機構に関する研究(その1)——従来の設計支持力についての検討——”清水建設研究所報 Vol.20 1973.4
- 6) 小粥庸夫，大内雅典：“PIPくいの支持力機構に関する研究(その2)——粘性地盤と砂礫地盤における周面摩擦支持力の検討——”清水建設研究所報 Vol.25 1975.10
- 7) 小粥庸夫：“PIPクイ(Pakt-in-Place pile)の支持力機構に関する実験的研究”建築学会九州大会 1972
- 8) 小粥庸夫：“PIPクイ(Pakt-in-Place pile)の支持力機構に関する実験的研究(周面摩擦応力度と先端応力度)”建築学会東北大会 1973
- 9) 小粥庸夫：“PIPクイ(Pakt-in-Place pile)の支持力機構に関する実験的研究(関東ローム層におけるPIPクイと泥水を使った場所打ちコンクリートクイと打込みクイの周面摩擦支持力と、それを決める要因)”建築学会東海大会 1976
- 10) 小粥庸夫：“関東ローム層におけるPIPくいの周面摩擦支持力と同層の強度特性”第11回土質工学研究発表会(仙台)昭和51年6月
- 11) 日本道路協会：“道路橋下部構造設計指針——場所打ちくいの設計施工篇——”丸善 昭和48年1月

