

遠心装置を用いた模型節杭の貫入実験

(その1. 実験概要と貫入抵抗)

○正会員 小椋仁志\* 同上 紺屋好行\*  
同 山肩邦男\*\*

1. 序 筆者らは、節杭の支持力機構に関する一連の実験<sup>1)2)</sup>を行ってきたが、今回、節杭を地表面から貫入したとき杭体に生ずる抵抗や杭周地盤の挙動などを調べるための模型実験を実施した。この実験は、遠心装置を用いて実際の地盤と等価な地中応力を再現した模型地盤に、節杭と節のない杭（以下、「節なし杭」と呼ぶ）を貫入したものである。本報告では、この実験の概要と貫入抵抗について述べる。

2. 実験概要 実験土槽や地盤については、すでに文献<sup>3)</sup>で述べているので、ここでは概略のみを記す。図1に示すように、前面の強化ガラスと直径30cmの半円形の鋼製枠から成る容器に、深さ約21.5cmまで豊浦標準砂(平均粒径 0.16mm)を詰め、これを公称回転半径256cmの遠心装置<sup>4)</sup>に取り付け、30g(8は重力加速度)の遠心加速度場で使用した。地盤の相対密度Dr、含水比Wおよび作成法は表1に示す。前面ガラスの内側には地盤との摩擦を減らすため厚さ約0.8mmの寒天膜を塗布し、これに表1中に示す数の標点(直径2mm、+印を印刷)を添付している。模型杭は図2のように、鋼材を半円形断面に加工したもので、節杭と節なし杭を製作した。これらの模型杭には半円形の溝を設け、この内面にひずみゲージを貼付したあと、ポリエステル系樹脂を充填した。杭は静的に毎分8mmの速さで貫入した。節杭の貫入時には粒径が0.42~0.84mmの砂を杭周に充填した。また、杭が5mm貫入するごとに写真撮影を行った。実験は表1のように、地盤条件と杭の種類を変えて8通り行った。

3. 実験結果 図3は節杭の杭頭荷重Roと杭頭貫入量Soの関係の一例である。この図には最下端節部を含む先端部の抵抗R<sub>7</sub>(⑦断面の軸力)および周面抵抗(R<sub>0</sub>-R<sub>7</sub>)とSoとの関係も併記した。また、図4には軸力分布図の一例を示す。これらの図から、R<sub>0</sub>~Soと(R<sub>0</sub>-R<sub>7</sub>)~So関係は下に凸な曲線となるのに対しR<sub>7</sub>~So関係は直線状となること、周面抵抗は杭の上部より下部の方が大きいこと、(R<sub>3</sub>-R<sub>4</sub>)など節部をはさむ軸力差と、(R<sub>1</sub>-R<sub>2</sub>)など節部をはさまない軸力差には顕著な差がないことなどが分かる。ただし、杭体の各断面に貼付したひずみゲージは一枚ずつであったため、これらの軸力値にはある程度の誤差が含まれていると見るべきであろう。したがって、以後の考察では定性的な傾向についてのみ述べることとする。

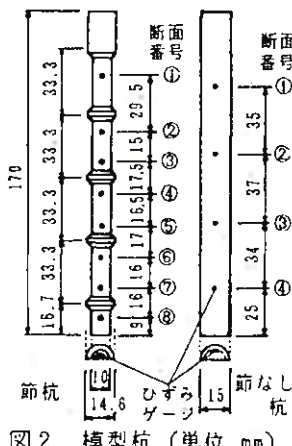
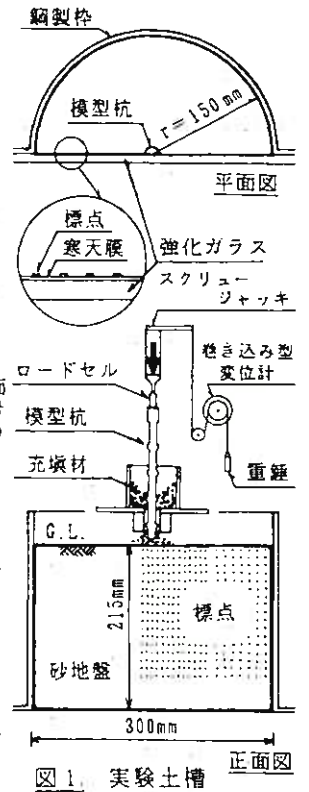


図1. 実験土槽

図2. 模型杭 (単位 mm)

表1. 実験種類 (数字は標点の数)

| 含水比   | 0.1% (乾燥)              |     | 5.2%   |     |
|-------|------------------------|-----|--------|-----|
| 相対密度  | 60%                    | 80% | 95%    | 80% |
| 節杭    | 211                    | 378 | 211    | 257 |
| 節なし杭  | 134                    | 378 | 211    | 257 |
| 地盤作成法 | 多重フルイ (3層) 付サンドレイナーによる |     | タンピング法 |     |

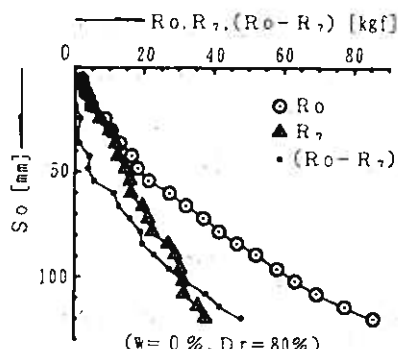


図3. 節杭の貫入抵抗

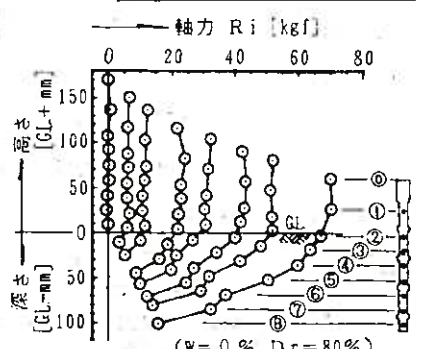


図4. 節杭の軸力分布図

4. 先端支持力度 図5は、節杭の先端部の抵抗 $R_r$ を節部径を持つ半円の面積で除した先端支持力度 $q$ と $S_o$ との関係であり、図6は節なし杭の④断面の軸力 $R_s$ を杭の断面積で除した $q$ と $S_o$ との関係である。これらの図には $S_o$ の他に、遠心加速度を考慮して換算した貫入量 $S_c$ も併記している。いずれの杭においても、地盤の密度や含水比が大きいほど $q$ は大きくなっている。また、同じ密度と含水比の地盤においては、節杭と節なし杭の $q$ の値はほぼ等しい。これまでの実験<sup>1)</sup>では節杭先端部の支持力度は節なし杭よりも小さかったが、本実験ではこの傾向は見られない。次にここで示す $q$ は、 $S_c$ に相当する根入れ深さを持つ杭の極限先端支持力度と見なすことができる。 $q$ は $S_c$ の増大に伴って直線的に増大しており、本実験の範囲(根入れ深さが杭径の約8倍)では、先端支持力度に及ぼす根入れ深さの影響は大きいことが分かる。

5. 周面応力度 図7と図8は、節杭と節なし杭の周面応力度 $f$ と $S_o$ 、 $S_c$ との関係である。 $f$ は、節杭では $(R_o - R_r)$ を、節なし杭では $(R_o - R_s)$ をそれぞれの負担杭周面積(半円周部分)で除したものである。節杭は節部径を持つ杭とみなして計算した。これらの図から次のことが分かる。① 大局的に見ると $S_c$ ( $S_o$ )の増加に伴って $f$ はほぼ直線的に増大し、 $f = 0.5 \cdot K \cdot \gamma \cdot S_c \cdot \mu$ (ここに、 $K$ :側圧係数、 $\gamma$ :地盤の単位体積重量、 $\mu$ :摩擦係数)の関係が成り立っている。② 節杭の $f$ は地盤が密であるほど大きくなるのに対し、節なし杭の $f$ は $Dr = 95\%$ よりも $80\%$ の時のの方が大きいことから、節杭の周面抵抗は節なし杭よりも地盤の密度に大きく影響されると思われる。③ 同じ密度・含水比の地盤ではこれまでの実験<sup>1)</sup>と同様、節杭の $f$ の方がかなり大きくなっている。④ 節なし杭の $K$ の値を、①で示した式で $\mu = 0.5$ として逆算すると $K = 4 \sim 8$ となり、既往の研究で報告されてきた摩擦応力の値よりも大きくなった。これは、計算では無視した前面ガラスと杭体との摩擦が、測定値に含まれていたためかもしれない。

6. 結語 以上、本報告では遠心装置を用いて行った模型節杭の貫入実験の概要を述べ、貫入抵抗の測定結果について定性的に考察した。本実験は大阪市立大学工学部の遠心装置を用いて行ったものであり、親切なご指導とご助言を頂いた高田直俊教授および土質工学研究室の方々に謝意を表します。

- 参考文献 1) 小椋、山肩、岸田「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、昭和62年4月  
 2) 小椋、山肩、大杉「実大杭の押し込み実験による節杭の支持力特性の検討」日本建築学会構造系論文報告集、昭和63年4月  
 3) 小椋、上紺屋、山肩、高田「遠心模型による摩擦杭の貫入実験」第23回土質工学研究発表会、昭和63年6月  
 4) 寺師、藤井「遠心模型実験 4. 遠心模型実験装置の基本システムと計測システム」土と基礎、No.360、昭和63年1月

\* (株)武智工務所 \*\* 関西大学教授・工博

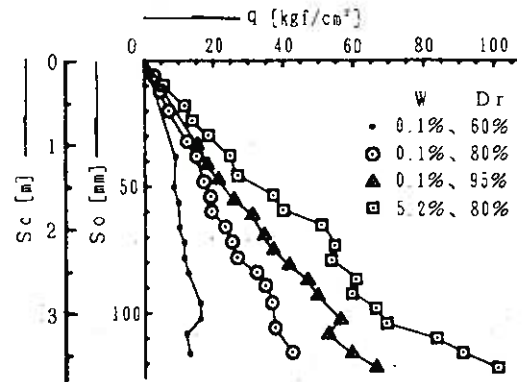


図5. 節杭の先端支持力度

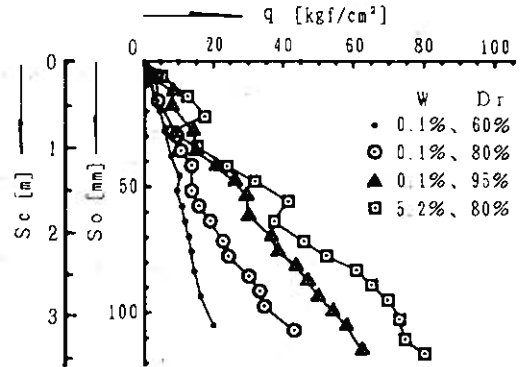


図6. 節なし杭の先端支持力度

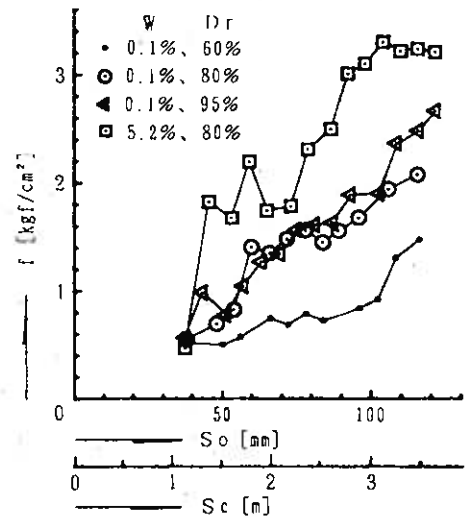


図7. 節杭の周面応力度

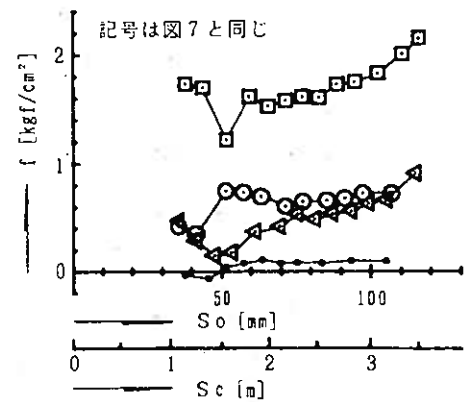


図8. 節なし杭の周面応力度

遠心装置を用いた模型節杭の貫入実験

(その2. 杭周地盤の挙動)

○正会員 上紺屋好行\* 同 小椋仁志\*  
同 山肩邦男\*\*

1. 序 本報告では、同名報告(その1)に続いて、相対密度が80%の乾燥地盤に充填材を入れながら節杭を貫入した時の杭周地盤の変形状況やひずみ分布について述べる。ここでは、節なし杭の測定結果と比較して考察する。標点変位の測定方法や地盤のひずみの計算方法などについては、文献<sup>1)</sup>を参照されたい。

2. 杭周地盤の挙動 図1と図2には、節杭と節なし杭が、約90mm(遠心加速度を考慮して換算すると2.7m。以下同様に示す。)貫入した時の標点の変位をベクトルで表す。これらの図から次のことが分かる。①杭先端面より上方の地盤で、節杭は節なし杭よりも水平方向に広い範囲で標点の移動が見られる。標点の変位量が0.5mm(15mm)以上の範囲は節部径14.6mm(44cm)の約6~8倍に達している。②杭先端面より下方の地盤において、節杭の直下では標点移動する範囲は節なし杭に比べて少し小さい。しかし、杭先端面の中心点から鉛直軸となす角が約45度の方向にある標点の変位は大きくなっている。

次に、図3と図4は節杭と節なし杭が、約60mm(1.8m)から約90mm(2.7m)まで貫入する間の変位増分を示したものである。これらの図より、①節なし杭では、貫入前の杭先端面より主に下方の標点だけが移動しているのに対し、節杭の場合は杭先端面より上方にある標点も移動していること、②節杭の側方では杭に最も近い標点が、鉛直方向に大きく移動していることなどが分かる。以上より、節杭は節なし杭に比べて貫入時の地盤変形を生じる範囲が広いこと、節部径を持つ円筒面にそってせん断面が形成され、円筒面内の地盤は杭体とほぼ一体となって移動することなどが推察される。これは、これまでの実験<sup>2)</sup>と同じ傾向である。

3. 標点の鉛直方向の変位 図5(a),(b)と図6(a),(b)はある標点に注目し、その標点と杭先端面との鉛直方向の相対距離(杭先端面が標点より上方の時は正、下方の時は負)と、その標点の鉛直変位との関係を示したものである。図5は節杭の、図6は節なし杭の場合であり、それぞれの図の(a)は杭の中心から水平方向に5mm(15cm)、(b)は15mm(45cm)離れた位置に設置した各

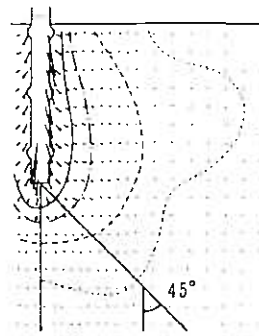


図1 変位ベクトル図  
節杭 : So = 90.7mm (2.72m)

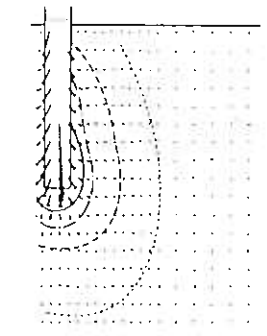


図2 変位ベクトル図  
節なし杭 : So = 90.4mm (2.71m)

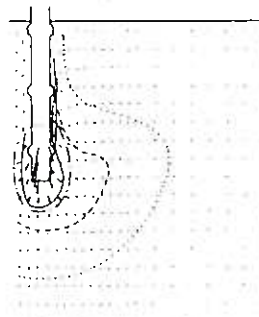


図3 変位ベクトル図  
節杭 : So = 60.8~90.7mm (1.82~2.72m)

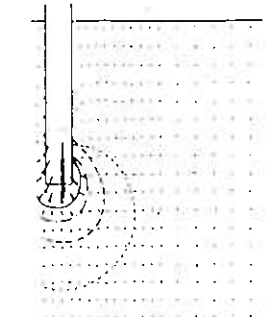
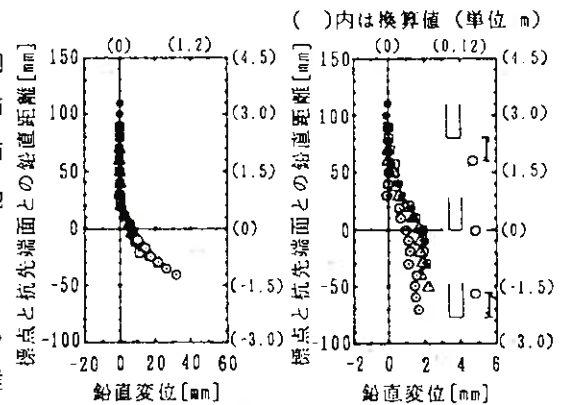


図4 変位ベクトル図  
節なし杭 : So = 60.3~90.4mm (1.81~2.71m)

図1~図4の凡例

- 変位量 3mm(9cm)以上
- 変位量 2mm(6cm)以上
- 変位量 1mm(3mm)以上
- ..... 変位量 0.5mm(1.5mm)以上



( )内は換算値(単位 m)  
(a) 杭心から5mm(15cm) (b) 杭心から15mm(45cm)  
凡例(標点の位置)

- G.L. -45mm(1.35m)
- △ G.L. -65mm(1.95m)
- G.L. -85mm(2.55m)
- G.L. -105mm(3.15m)

図5 地盤の鉛直変位 (節杭)

標点について示している。これらの図から次のことが分かる。

①節杭では杭先端面が標点に対して約45mm(1.35m、節部径の約3倍)の鉛直距離まで近づくと、標点移動し始める。これは節なし杭も同様である。②杭の中心から5mm(15cm)離れた標点の鉛直変位は、節なし杭では杭先端面が各標点の深度に近づいたがって増加するが、その深度より深くなるとほとんど増えない。これに対し、節杭では、杭先端面が標点の深度より深くなった後も標点の鉛直変位は増え続けており、その量も大きくかつ標点は杭とほぼ一体となって移動していることが確認できる。③杭の中心から15mm(45cm)離れた位置の標点も、変位は小さいが、節杭では杭先端面が標点の深度より深くなった後も鉛直変位は増加する傾向が見られる。図は省略するが、この傾向は水平方向の変位についても同様である。

4. 地盤のひずみ分布 図7と図8は貫入量 $S_0$ が約120mm(3.6m)の時の節杭と節なし杭との地盤のせん断ひずみ $\gamma_{rz}$ の分布を描いたものである。同様に、図9と図10には水平方向のひずみ $\epsilon_r$ の分布を、図11と図12には鉛直方向のひずみ $\epsilon_z$ の分布を示す。これらの図から以下のことが分かる。

①いずれの杭においても杭の側方と下方に $\gamma_{rz}$ の大きい領域が見られるが、節杭の場合は特に杭の側方が大きい。② $\epsilon_r$ 分布では、地盤が水平ひずみを生じる範囲は節杭の方が節なし杭より多少広い。③ $\epsilon_z$ 分布によると、地盤の鉛直ひずみの領域は、節杭では杭先端面の下方だけでなく杭体の側方にも見られる。これは、文献<sup>2)</sup>で述べた節部下面の支持作用によるものであろう。

5. 結語 以上、本報告では、実地盤と同じ応力条件下における杭周地盤の挙動を、節杭と節なし杭とを比較して示した。その結果、節杭は節なし杭に比べて広い範囲の地盤に影響を及ぼすことなどが分かった。

本実験に際し、遠心装置の使用法などについて、多大なご指導とご協力を頂いた、大阪市立大学工学部の高田直俊教授を始め土質工学研究室の皆様へ深く感謝致します。

参考文献 1)小椋、上紺屋、山肩、高田「遠心模型による摩擦杭の貫入実験」第23回土質工学研究発表会、昭和63年6月  
2)小椋、山肩、岸田「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、第374号、昭和62年4月  
\* (株)武智工務所 \*\* 関西大学教授・工博

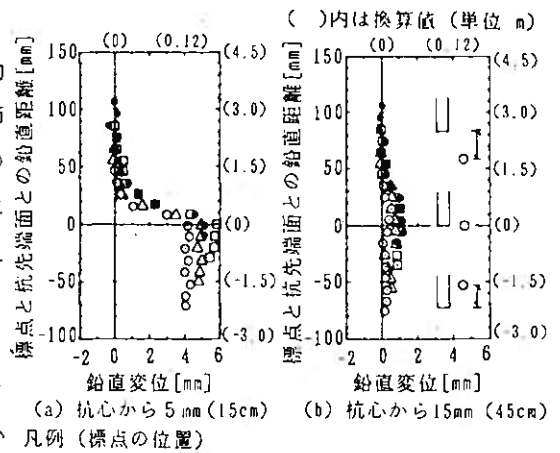


図6 地盤の鉛直変位 (節なし杭)  
凡例 (標点の位置)  
○ G.L. = 45mm(1.35m) □ G.L. = 85mm(2.55m)  
△ G.L. = 65mm(1.95m) ● G.L. = 105mm(3.15m)

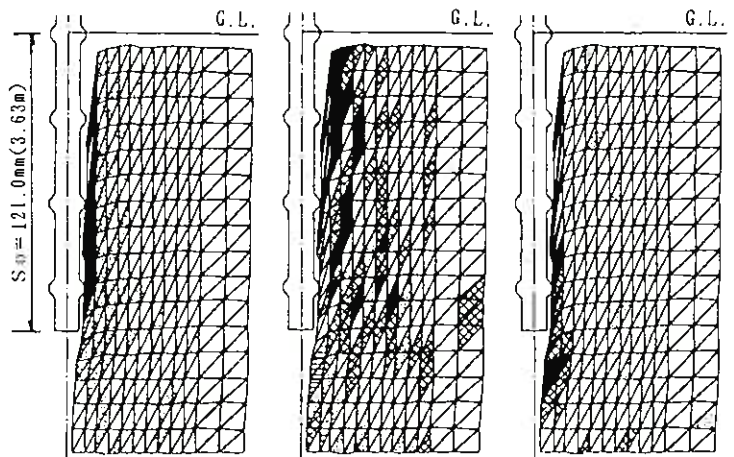


図7  $\gamma_{rz}$ 分布図 (節杭) 図9  $\epsilon_r$ 分布図 (節杭) 図11  $\epsilon_z$ 分布図 (節杭)

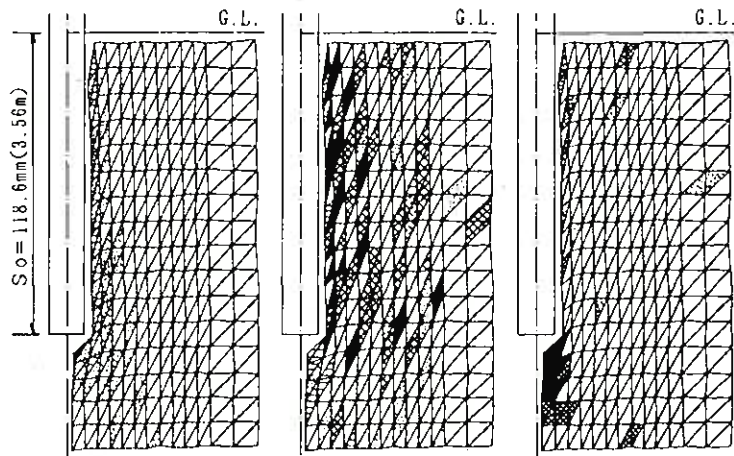


図8  $\gamma_{rz}$ 分布図 (節なし杭) 図10  $\epsilon_r$ 分布図 (節なし杭) 図12  $\epsilon_z$ 分布図 (節なし杭)

図7、図8の凡例 (単位%)  
△  $\gamma < 10$  ▲  $10 \leq \gamma < 50$   
▲  $50 \leq \gamma < 100$  ▲  $100 \leq \gamma$   
図9～図12の凡例 (単位%)  
▲  $\epsilon < -10$  ▲  $-10 \leq \epsilon < -5$   
▲  $-5 \leq \epsilon < 5$  ▲  $5 \leq \epsilon < 10$  ▲  $10 \leq \epsilon$