

節付き円筒杭の周面抵抗に関する一実験結果
(円筒杭の摩擦抵抗との対比)

関西大学 山肩邦男
武智工務所 ○小椋仁志
同上 金井重夫

1. 序 筆者らは節付き円筒コンクリート杭(以下「節杭」と呼ぶ)の支持力機構を考えるにあたり、実際の径の節杭と地盤内の応力が再現できる大型実験槽を用いて、その周面抵抗の特性を調べる実験を行なった。また比較のため、通常の円筒コンクリート杭(以下「円筒杭」と呼ぶ)の摩擦実験もあわせて実施した。本報告は、これらの実験に関するものである。

2. 実験概要 ○実験槽 本実験に用いた実験槽は、文献¹⁾に詳しく述べられているもので、図1に示すように直径1.5mの槽中に地盤を造成し、上載圧 σ_1 と側圧 σ_3 を与えることができる。上載圧は剛な鉄板を介して6個の油圧ジャッキにより与える。側圧はコンプレッサからの空気圧を水量計を通して水圧に変換し、厚さ5mmのゴム膜を介して与えている。

○試験杭 本実験では、相似則の問題を考慮して、実杭と同径の試験杭を使用した。節杭は本体部 $\phi 305$ mm、節部 $\phi 445$ であり、円筒杭は $\phi 305$ である。いずれも杭長は153cm、肉厚は約6cmであり、鉄筋

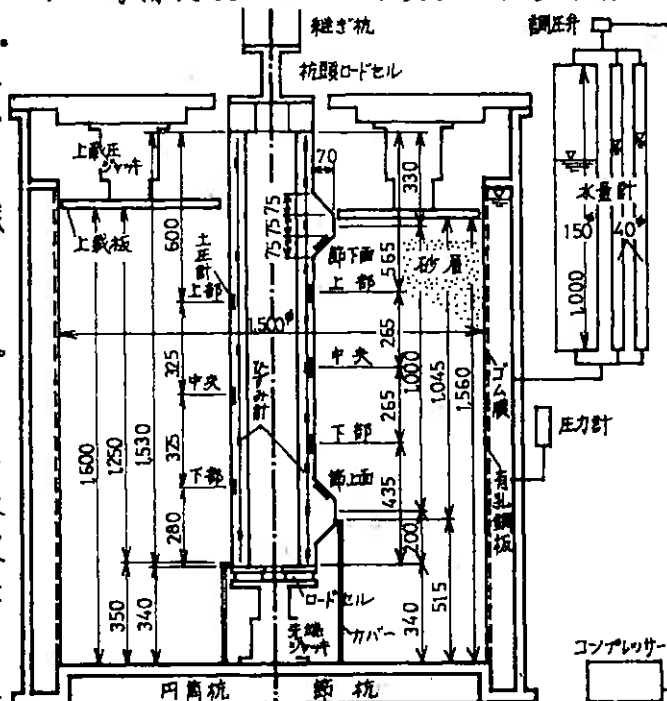


図1. 実験槽・試験杭の断面図

が8本($\phi 9 \times 4, D10 \times 4$)入っている。杭材は剛性を小さくするためモルタル(W/C=52%, S/C=4)とするが、表面の仕上り状態は実際のコンクリート杭と同じである。杭には図1の位置にひずみ計(節杭10×4, 円筒杭5×4)を鉄筋に貼付した。また杭面に作用する側圧 σ_3^* を測定するため土圧計(節杭5×2, 円筒杭3×2)を取りつけた。

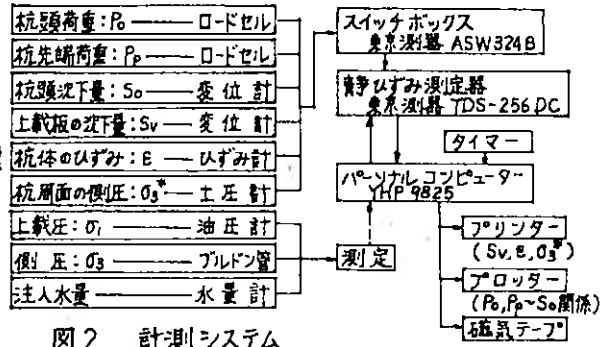
○実験装置 油圧ジャッキを実験槽底板の中央に置く。このジャッキはシリンダーをストローク(10cm)一杯に伸ばしておく。その上に薄型ロードセルを3個置き、試験杭をセットする。この時、杭が傾かないよう細心の注意を払う。ジャッキのホース等は杭の中空部を通して実験槽の外に出す。杭の載荷時には、ジャッキの油圧バルブを解放しフリーの状態にしておくので杭に先端抵抗は生じない。ジャッキ等を保護するため図1の位置にカバーを取りつける。節杭ではこれによって下側の節

The Test Result on Frictional Resistance of Nodular Cylinder Pile (Comparison with Skin Friction of Cylinder Pile) ; Kunio Yamagata (Kansai Univ.) and Hitoshi Ogura, Shigeo Kanai (Takechi Engineering Co., Ltd.)

による抵抗が生じないようにしている。○実験地盤 実験槽に杭をセットしたあと表1に示す諸元の砂によって地盤を作成した。砂は5cm投入する毎に平らに均らし、24ヶ所を10回ずつ約65kgfの鉛直荷重によるタンピングをして締め固めた。地盤は一回の実験ごとに作りかえ、砂の投入時と取り出し時に重量を測定した。○荷装置 地盤を作成したあと、表面を均らし上載圧装置をセットする。一方、杭頭にはロードセルと紐き杭を置き、荷用の油圧ジャッキを取りつける。杭の荷方式は沈下制御方式とし、沈下速度は毎分1mm以下とした。なお、荷に先立ち、上載圧と側圧を与えた状態で2時間程度放置し、砂地盤の体積が安定するのを待った。○計測装置 図2に荷中の測定項目と計測システムを示す。測定は1分ごとに行なった。測定中も荷は続けていたが、測定に要する時間は

産地	鹿児島砂5号
最大粒径	$D_{max}=2.0\text{mm}$
有効径	$D_{10}=0.16\text{mm}$
均等係数	$U_c=2.8$
土粒子の比重	$G_s=2.64$
最大密度	$P_{max}=1.7449\text{g/cm}^3$
最小密度	$P_{min}=1.4419\text{g/cm}^3$

3~5秒であり、このことの測定結果に及ぼす影響は小さい。○実験種類 円筒杭・節杭とも、原則として σ_1 は一定とし σ_3 を変えることとした。 σ_1 は深さGL-8mを想定して1.28 kgf/cm² (単位体積重量 $\gamma=1.6\text{gf/cm}^3$) とした。 σ_3 は側圧係数KをK=0.5, 1, 3として、 $\sigma_3=K\sigma_1=0.64, 1.28, 3.84\text{ kgf/cm}^2$ の3通りとした。ただし、節杭については $\sigma_1=\sigma_3=0.64\text{ kgf/cm}^2$ (K=1) の場合についても行なっている。



3. 実験結果 I (円筒杭の場合) 円筒杭の実験で得られた杭頭荷重 P_0 と杭頭沈下量 S_0 の関係を図3に、諸数値を表2に示す。また、K=3の場合の軸力分布を図4に、杭体に作用する側圧 σ_3^* と S_0 の関係を図5に描いておいた。図3~5から次のことが言えよう。① $P_0 \sim S_0$ 関係において、 P_0 の明瞭なピークが見られる。このピーク値を P_{max} とし、これから計算した最大摩擦力や摩擦係数の値を表2にあわせて示しておいた。② P_0 はピークを過ぎたあとは減少し続け、一定値とはならない。③ 荷開始からピーク時までの軸力分布は逆三角形になっており、均等な周面摩擦力が生じている。ピークを過ぎると杭の先端部の方から摩擦力は小さくなる。④ 荷前における σ_3^* は、 σ_3 の1~1.3倍となっている。地盤内の応力分布はジョイント要素を考えた軸対称 FEM で検討したが、実測値と検討結果はよ

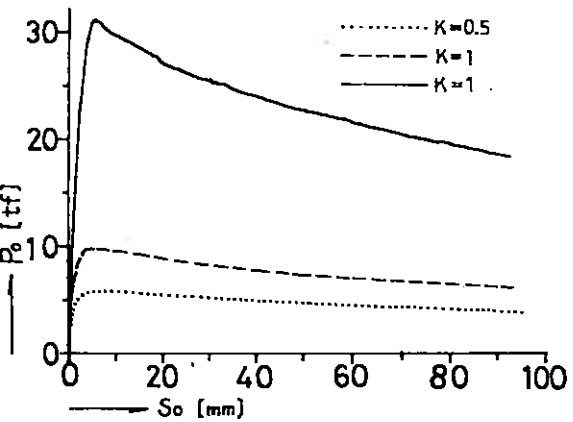


表2. 円筒杭の実験結果

K	σ_1 kgf/cm ²	σ_3 kgf/cm ²	Ws kgf	初期状態			P_{max} tf	f_{max} kgf/cm ²	μ	S_{0jpc} mm
				Vs m ³	γ gf/cm ³	Dr %				
0.5	1.28	0.64	4512.8	2.690	1.677	81.0	5.6	0.47	0.73	6.9
1	1.28	1.28	4502.4	2.690	1.674	80.1	9.5	0.79	0.62	5.1
3	1.28	3.84	4525.9	2.690	1.682	82.5	30.9	2.58	0.67	5.2

K: 側圧係数 σ_1 : 上載圧 σ_3 : 側圧 Ws: 砂の重量 Vs: 砂の体積 γ : 単位体積重量
Dr: 相対密度 P_{max} : 杭頭荷重のピーク値 $f_{max}=P_{max}/A_f$: 周面摩擦力の最大値
 $A_f=11.777\text{cm}^2$: 杭周表面積 $\mu=f_{max}/\sigma_3$: 摩擦係数 $S_{0jpc}=P_{max}$: 杭頭荷重ピーク時の沈下量

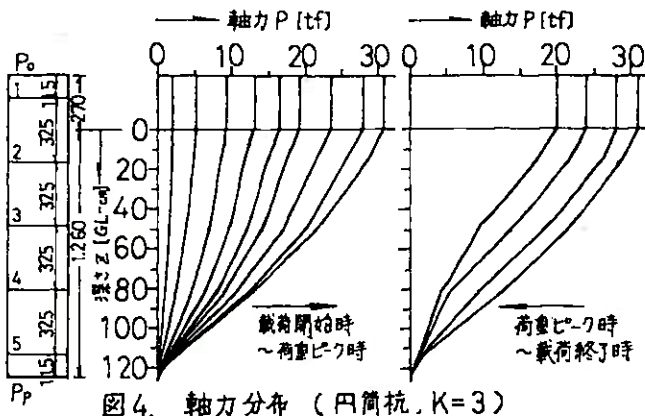


図4. 軸力分布 (円筒杭, K=3)

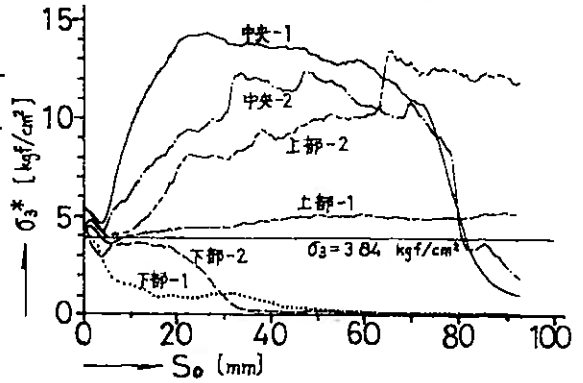


図5. 杭周面に作用する側圧 σ_3^* ~ 杭頭沈下量 S_0 関係図

く一致している。⑤ 載荷中 σ_3 は一定に保っていたが、 σ_3^* には大きな変化が見られた。すなわち P_0 がピークになるまでは若干減少し、ピークを過ぎると中央の値は非常に大きくなり、 σ_3 の3~4倍にも達している。しかし沈下が進むと再び減少する。これに対して下部ではピークを過ぎても減少し続ける。⑥ 沈下が進むにつれて σ_3^* が増大することは石堂の報告²⁾にも見られる。しかし、本実験とは条件が異なっており、 σ_3^* の分布は一致しない。⑦ 以上の傾向は $K=0.5$ と $K=1$ の場合も同様である。

4. 実験結果Ⅱ (節杭の場合)

節杭の実験で得られた $P_0 \sim S_0$ 関係図を図6に、諸数値を表3に示す。また図7に $K=3$ の場合の軸力分布を、図8に砂の体積変化量 ΔV と S_0 の関係を描いた。図6~8から次のことが分かる。① $P_0 \sim S_0$ 関係において、 $S_0 = 40$ mm 付近に P_0 の明瞭なピークが見られ、ピークを過ぎると急に減少する。② 軸力分布は、ある荷重 P_0 までは逆三角形分布をしている。この P_0 は円筒杭の P_{0max} に近い値となっている。荷重が P_0 より大きくなると節の下面の抵抗が大きくなり本体部の周面摩擦力は減少する。 P_0 がピークに近くなると節の下面で50~60%の荷重を分担するようになる。 P_0 がピークの時の節の下面による抵抗を P_n とし、これを節の下面の実表面積 A_r と水平投影面積 A_p で除した値を表3中に示した。また節の下面に取りつけた2個の土圧計による抵抗値も示しておいたが、この値は P_n/A_r と P_n/A_p の間の値となっている。③ 砂の体積は杭の沈下に伴ない減少するが、途中からダイレイタンスの影響で体積は増加する。しかし P_0 がピークを過ぎると再び減少する。このことは同じ実験槽による先端抵抗

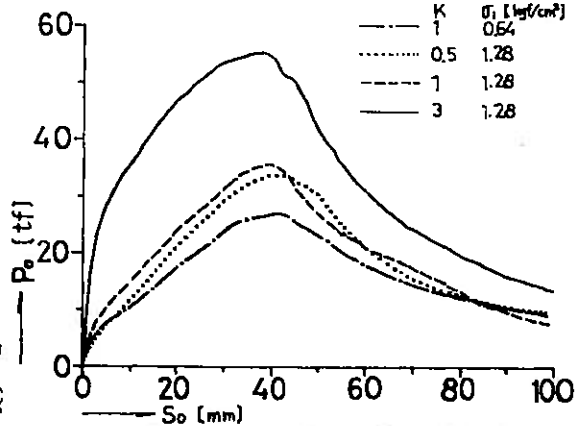


図6. 杭頭荷重 P_0 ~ 杭頭沈下量 S_0 関係図

表3. 節杭の実験結果

K	σ_1 kgf/cm ²	σ_3 kgf/cm ²	Ws kgf	初期状態			Ps tf	P0max tf	Pn tf	Pn/Ar kgf/cm ²	Pn/AP kgf/cm ²	節部下面の抵抗値 kgf/cm ²		S0jP0max mm
				Vs m ³	r gf/cm ³	Dr %						土圧計1	土圧計2	
1	0.64	0.64	4287.7	2.571	1.668	78.3	4.0	27.0	15.2	12.6	18.4	18.2	12.6	41.5
0.5	1.28	0.64	4293.6	2.571	1.670	78.9	6.8	33.6	20.6	17.0	25.0	20.3	15.3	42.9
1	1.28	1.28	4286.7	2.571	1.667	78.0	9.0	35.6	21.0	17.4	25.5	23.5	15.3	39.4
3	1.28	3.84	4289.4	2.571	1.668	78.3	28.0	55.4	28.5	23.6	34.6	38.0	20.5	38.1

K, σ_1 , σ_3 , Ws, Vs, r, Dr, Pn, S0jP0max: 表2参照

Ps: 軸力分布が逆三角形分布となる杭頭荷重の最大値

Pn: 杭頭荷重がピークの時の節の下面による抵抗値 Ar=1208.6 cm²: 節の下面の実表面積 Ap=824.7 cm²: 節の下面の投影面積

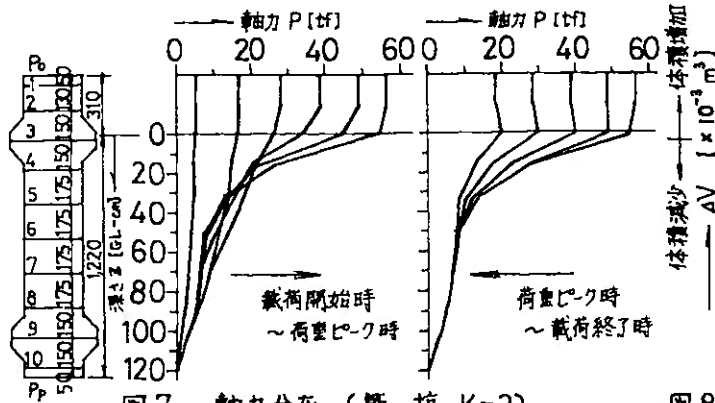


図7. 軸力分布 (節杭, K=3)

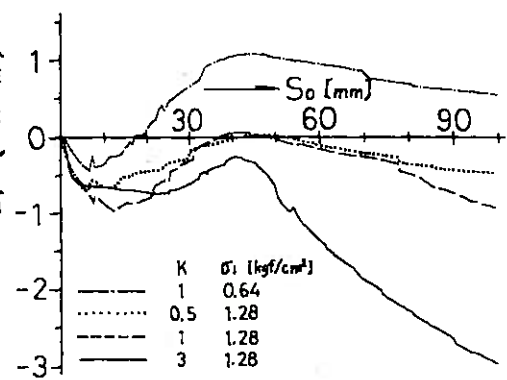


図8. 砂の体積変化量 ΔV ~杭頭沈下量 S_0 関係図

杭の実験³⁾でも見られる。図は省略しているが円筒杭の場合は P_0 がピークになるまでは沈下に伴って減少し、ピークを過ぎても減少率は小さくなるものの増加の様子は認められなかった。④図は省略するが、 σ_3^* は円筒杭と同様沈下に伴い変化した。しかし、上部の方が中央より大きな値を示した。これは節の下面で圧縮された砂が杭の方にも押しつけられているためであろう。

5. 円筒杭と節杭の比較

円筒杭の $P_0 \sim S_0$ 関係を節杭のそれと比較するため、杭周表面積 A_f を $A_f = 44.5 \times \pi \times 104.5 \text{ cm}^2$ (節部径 $\times \pi \times$ 節杭の砂中長さ)として P_0 を修正した。この修正 P_0 と S_0 の関係を、節杭と比較して図9に描いた。ただしこの図では $K=3$ の場合に限ってある。また、 P_{0max} の値と σ_3 の関係を図10に、 $\sigma_m^{0.5}$ (σ_m :平均主応力)との関係を図11に示す。これらの図から次のことが分かる。

①節杭は節部と同じ径を持つ円筒杭よりも大きな周面抵抗が生じる。②円筒杭の P_{0max} が σ_3 に比例しているのに対し節杭は比例しているとは言えない。節杭の P_{0max} と σ_m の関係を検討すると $\sigma_m^{0.5}$ にほぼ比例していることが分かった。③節杭で P_0 がピークになる沈下量は円筒杭の場合より大きい。これは円筒杭では砂のせん断変位が主成分であるのに対して、節杭の場合杭先端に生じるコアに似たものが節の下に形成されて、砂を圧縮変形させるためと考えられる。④しかし、表3に示す P_0/A_p の値は $18 \sim 35 \text{ kgf/cm}^2$ であり、同じ実験槽で行なわれた杭先端抵抗の多くの実験結果⁴⁾($150 \sim 250 \text{ kgf/cm}^2$)に比べ非常に小さい値となっている。また、節杭の場合沈下が進むと P_0 が減少することも通常の先端抵抗の場合と異なっている。⑤以上より節杭全体としての周面抵抗は、節部を先端と仮定した時の先端抵抗と、円筒杭の摩擦抵抗の中間的なものと考えられる。

6. 結語

以上、実径の円筒杭と節杭を用いて行なった周面抵抗に関する実験の結果を報告した。最後になりましたが、実験槽を使用させて頂いた上、貴重なご助言を頂いた東京工業大学の岸田教授をはじめ同研究室の方々に深く感謝致します。

参考文献 1) 岸田・高野・安嘉「加圧砂地盤タンクの試作と杭の載荷試験」第8回土質工学研究発表会 昭和48年6月
 2) 石堂「砂中の杭の鉛直支持力に関する研究」学位論文 昭和49年11月
 3) 佐伯・岸田・毛沢「クイ貫入による先端地盤の体積変化」第10回土質工学研究発表会 昭和50年6月
 4) 高野「砂地盤に設置されたNONDISPLACEMENT PILEの先端支持力」学位論文 昭和56年3月