

## 先端載荷試験後に掘り出した節杭を用いたプレボーリング工法の根固め部の調査

今 広人<sup>1</sup>, 吉田 映<sup>1</sup>, 樺澤 和宏<sup>2</sup>, 小松 吾郎<sup>1</sup>, 桑原 文夫<sup>3</sup>, 木村 亮<sup>4</sup>

1 ジャパンパイル・施工本部

2 ジャパンパイル・技術本部

3 日本工業大学・工学部建築学科

4 京都大学・産官学連携本部

## 概 要

節杭を用いたプレボーリング工法は、現地の土砂とセメントミルクを混合攪拌して造成するソイルセメントと、その中に建て込んだ節杭（既製コンクリート杭）とで構成される。本杭の地盤から決まる鉛直支持力については多くの載荷試験結果に基づく支持力推定式が提案されている。地盤から決まる鉛直支持力を発現するには、ソイルセメントは節杭に作用する荷重を地盤に伝達しなければならないため、ソイルセメントの品質（出来形や強度など）は支持力発現に影響する要因の一つと考えられる。しかしながら載荷試験を実施し支持力確認した杭のソイルセメントの品質を直接的に検証した例は少なく、極限支持力発現時のソイルセメントの損傷状況などは解明されていない点も多い。その様な疑問点を解決するために載荷試験を実施し、支持力確認をした2本の杭の掘出し調査を行った。その結果、掘出した本杭のソイルセメントは良好に築造されており、地盤から決まる極限支持力に対しても亀裂や破壊などはなく健全であった。

キーワード：節杭，プレボーリング工法，載荷試験，ソイルセメント，鉛直支持力

## 1. はじめに

プレボーリング工法は、埋込み杭工法の一つで、あらかじめ現地盤を掘削して地盤を緩め、セメントミルクなどを注入し、掘削孔内の土砂と混合攪拌したソイルセメントに、既製杭を建て込む工法である。掘削土を用いてソイルセメントにすることから場所打ち杭工法に比べて、建設発生土が少なく環境への負荷が小さい。節杭は、杭周に一定の間隔で突起（節部）を付けた杭であり、大半が既製コンクリート杭である。図1のように、軸部直径300～1000mmの杭に節部高さ70～100mmの節部を1mごとに設けるものが多い。現在では大半が遠心力成形のPHC杭になっている。

節杭を用いたプレボーリング工法の概要図を図2に示す。本杭は、杭先端の根固め部と称する部分と、杭頭から根固め部までの杭周部と称する部分で構成される。根固め部には高強度のソイルセメントを、杭周部には低強度のソイルセメントを造成する。本杭の地盤から決まる鉛直支持力については多くの載荷試験結果に基づく支持力推定式が提案されている<sup>1)</sup>。地盤から決まる鉛直支持力を発現するためには、節杭やソイルセメントはこの支持力に達するまで破壊することなく杭に作用する荷重を地盤に伝達しなければならない。

本杭は、支持杭として適用することが多く、根固め部の品質（出来形や強度など）は支持力発現に大きく影響する要因となる。節杭を用いたプレボーリング工法に関する模型実験で、根固め部の形状や寸法や強度などを変化させて、根固め部の破壊状況を確認した事例が報告されている<sup>2)3)</sup>。また、本杭と同様に、根固め部を高強度ソイルセメントで造成する杭（以後、同種の杭）の根固め部の品質について、掘出し調査により出来形や強度の確認を行い、品質を検証した事例は幾つかある<sup>4)5)</sup>。しかし、載荷試験を実施し地盤から決まる極限支持力に至るまでの荷重履歴を受けた杭の根固め部の品質を実杭で直接的に検証した例は少なく、極限支持力発現時あるいは発現以後の根固め部の状況などは解明されていない点が多い。そのような疑問点を解決するために載荷試験を実施し、地盤から決まる極限支持力まで載荷した杭の掘出し調査を行った。

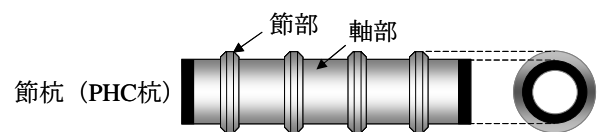


図1 節杭の概要図

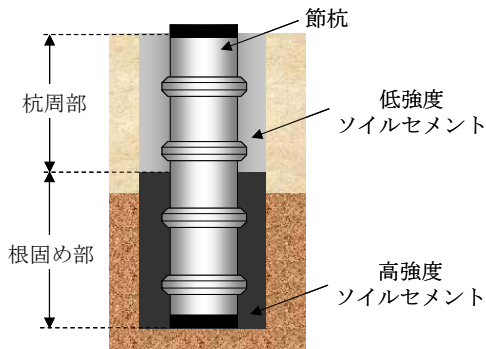


図2 節杭を用いたプレボーリング工法の概要図

## 2. 節杭を用いたプレボーリング工法の概要

図3に本杭の標準的な施工手順を示す。以下、図の①～④について説明する。

### ① 掘削開始～掘進

杭打機を所定の施工位置に据え付け、掘削装置の中心を杭芯に位置合わせをする。掘削芯及び鉛直性を確認しつつ、適宜掘削液（水またはベントナイト溶液）を送りながら所定の深度まで掘削する。

### ② 杭周部築造

所定の深度まで掘削後、掘削装置の先端から杭周充填液（貧配合のセメントミルク）を吐出しながら掘削した土と所定の範囲を上下反復して混合攪拌する。

### ③ 根固め部築造

杭周部築造後に、掘削装置の先端から根固め液（富配合のセメントミルク）を吐出しながら掘削した土と根固め部の範囲を上下反復して混合攪拌する。根固め部築造後に、掘削装置を引き上げる。

### ④ 杭の建て込み～定着

杭を杭芯に位置合わせをし、掘削孔内に鉛直性を確認しながら建て込む。杭の自重による建て込み後、回転圧入により所定の深度まで杭を沈設し、定着させる。

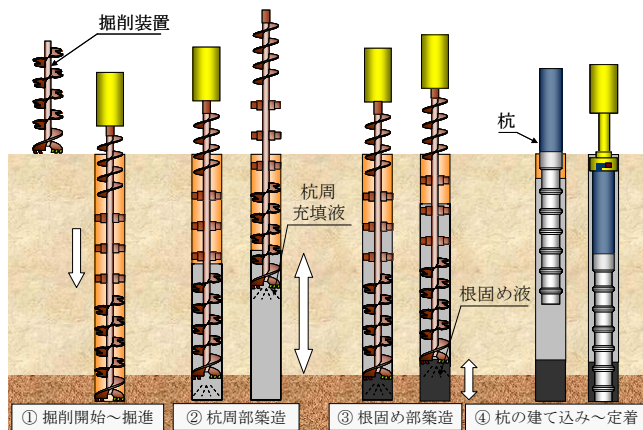


図3 本杭の標準的な施工手順

## 3. 掘出し調査の概要

本杭を施工後 28 日間養生して、載荷試験を実施した。載荷試験を実施した杭の掘出し調査は、試験実施の約 2 年後に行った。

### 3.1 地盤の概要

土質柱状図と掘出し杭の関係を図4に示す。地盤は表層から粘土混じり砂礫及び粘土質砂礫で構成され、GL-11mからN値50以上の粘土混じり砂礫となっている。また、土質柱状図で粘土混じり砂礫と表記されているGL-11～-13mの根固め部を築造する層の土を別途採取して行った粒度試験結果を図5に示す。粗礫分、中礫分(4.75～75mm)が26.0%、細礫分(2～4.75mm)が6.2%、砂分(0.075～2mm)が38.3%、シルト分以下(0.075mm以下)が29.6%であった。2mm以上の礫分を除いた細粒分含有率は43.6%と、ソイルセメントのモルタル部分(2mm以上の砂礫を除く現地土とセメントミルクの混合部分)の骨材としては細粒分を非常に多く含んだ地盤であった。

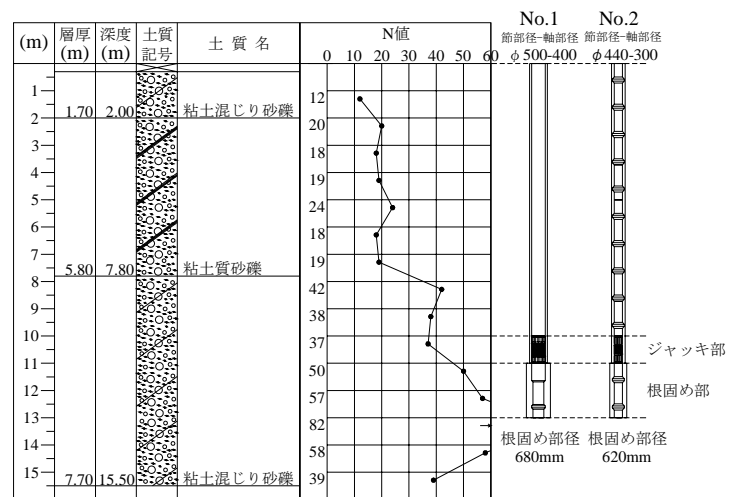


図4 土質柱状図と掘出し杭の関係

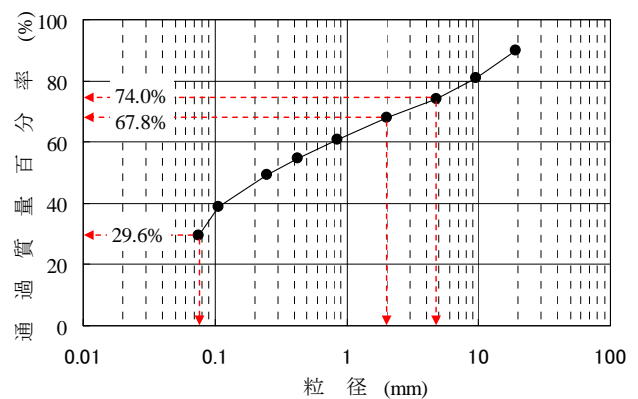


図5 粒度試験結果

### 3.2 掘出し杭の概要

掘出し杭は No.1, No.2 と 2 本実施し、いずれも杭先端深さは GL-13m で、根固め部は GL-11~13m の長さ 2m である。表 1 に掘出し杭の杭構成を示す。No.1 の下杭に用いた節杭は、φ400mm の SC 杭の外周面に鋼製の節部を取り付けた杭であり、図 6 に SC 節杭の杭詳細図を示す。掘出し杭の根固め部の仕様を表 2 に、掘出し杭の根固め部詳細図を図 7 に示す。図 8 にボーリング調査実施位置と掘出し杭の平面位置関係を示す。No.1, No.2 とともにボーリング調査実施位置の近傍に施工した。図 9 に掘出し杭の下杭とジャッキ部の杭詳細図を示す。根固め部上面位置に、先端載荷試験用のジャッキ（長さ No.1 : 0.45m, No.2 : 0.3m）及び台座を取り付けた杭を施工した。施工手順としては、図 3 に示す手順で実施し、根固め液の水セメント比 W/C=65%, 根固め液の注入比率（体積比率）は根固め部の現地土 1m<sup>3</sup>あたり 1m<sup>3</sup>とした。No.2 の施工状況を写真 1 に示す。

表 1 掘出し杭の杭構成

No.	下杭 (根固め部)	ジャッキ部	上杭 (杭周部)
1	SC 節杭 : 2m	ジャッキ+台座 : 1m	PHC 杭 : 10m
2	PHC 節杭 : 2m	ジャッキ+台座 : 1m	PHC 節杭 : 10m

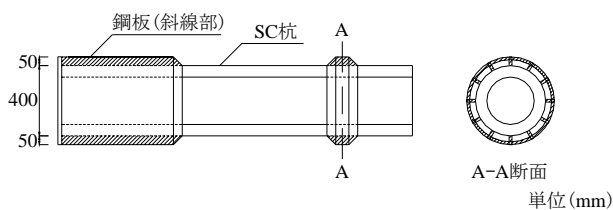


図 6 SC 節杭の杭詳細図

表 2 掘出し杭の根固め部の仕様

No.	節部径 Dn (mm)	軸部径 D (mm)	根固め部径 De (mm)
1	500	400	680
2	440	300	620

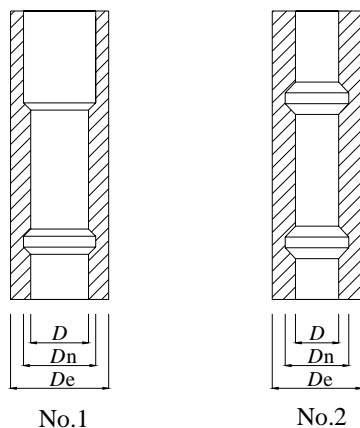


図 7 掘出し杭の根固め部詳細図

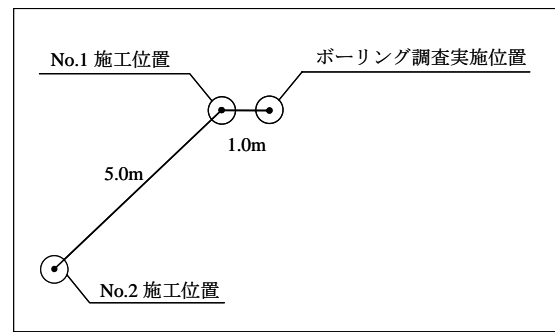


図 8 ボーリング調査実施位置と掘出し杭の平面位置関係

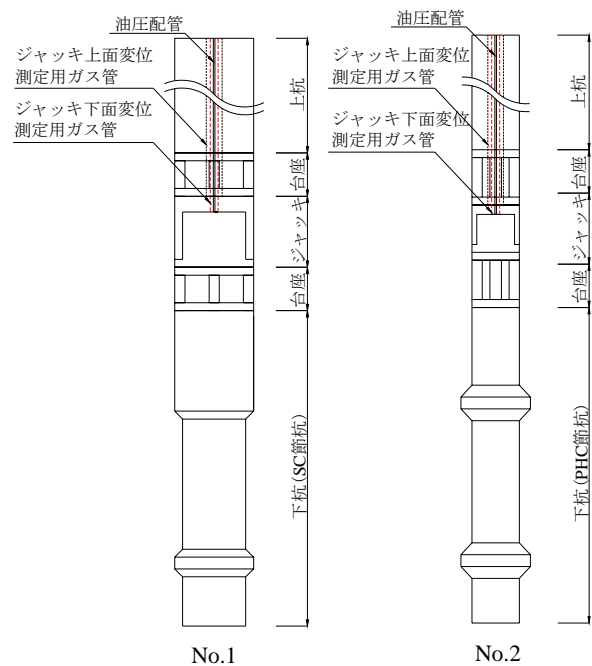


図 9 掘出し杭の下杭とジャッキ部の杭詳細図



写真 1 No.2の施工状況

### 3.3 載荷試験結果

載荷試験方法は、地盤工学会基準「杭の鉛直載荷試験方法・同解説」<sup>6)</sup>の杭の先端載荷試験方法とした。No.1は補助反力併用方式（杭周部の押上げ抵抗力と反力装置の抵抗

力を反力とする方式)、No.2は先端載荷方式(杭周部の押し上げ抵抗力のみを反力とする方式)とした。載荷試験の結果を、図10と表3に示す。本試験では根固め部上面に設置したジャッキの荷重を杭先端荷重 $P_p$ とし、ジャッキ下面の変位を杭先端変位 $S_p$ としている。

No.1では、 $S_p=50\text{mm}$ (節部径の10%)時の $P_p$ は4448kNであり、 $S_p=68\text{mm}$ (根固め部径の10%)時の $P_p$ は4654kNであった。また、 $P_p$ は最大で5210kNまで載荷し30分荷重を保持した(その時の $S_p$ は220mm)。No.2では、設置したジャッキの能力限度の $P_p=3290\text{kN}$ まで載荷し30分荷重を保持した(その時の $S_p$ は19mm)。Weibull分布曲線から推定した節部径10%変位(44mm)時での $P_p$ は3911kNであった。No.1は、杭径の10%以上変位しているので、地盤工学会基準に従って判定される第2限界先端抵抗力(杭先端変位が杭先端径の10%に達した時の抵抗力)の荷重履歴を受けている。No.2は最大荷重時の杭先端変位量が節部径の4.3%、根固め部径の3.1%と小さく第2限界先端抵抗力には達していないが、Weibull曲線から推定した杭先端極限支持力の81%(根固め部径10%変位時評価)~84%(節部径10%変位時評価)の大きさの荷重履歴を受けていることになる。

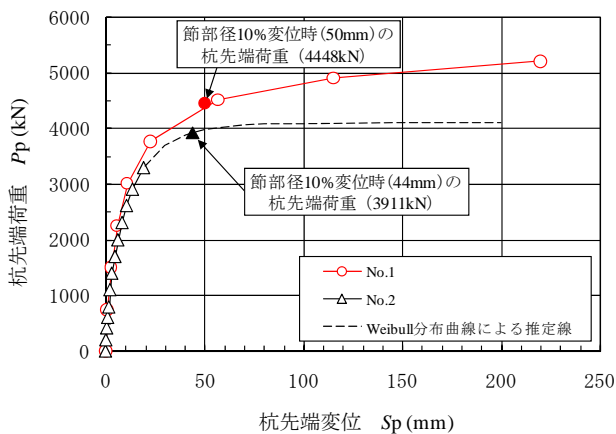


図10 載荷試験結果(杭先端荷重~杭先端変位量関係)

表3 載荷試験結果

No.	節部径10%変位時 $P_p$ (kN)	根固め部径10%変位時 $P_p$ (kN)	実測最大荷重 $P_p$ (kN)
1	4448	4654	5210
2	3911*	4024*	3290

\*: 推定値

本試験での杭先端部の変位・荷重はジャッキ下面(=根固め部上面)での測定値である。同種の杭<sup>7)8)</sup>について、それぞれの支持力評価式から根固め部上面を支持力評価位置としたときの極限先端支持力の設計上の最大値を求め、根固め部断面積で除した杭先端抵抗力 $q_d$ ( $q_d = P_p/A_e$ ,  $A_e$ : 根固め部断面積)を計算すると、 $q_d$ の最大値は概ね $q_d = 10000 \sim 13000\text{kN/m}^2$ 程度である。本試験で得られた第2限界先端抵抗力(杭先端極限支持力)から算出した $q_d$

を表4に示す。本杭は同種の杭での設計上の $q_d$ の最大値レベルの荷重履歴を受けていることになる。

表4 杭先端抵抗力

No.	根固め部径10%変位時		実測最大荷重時	
	杭先端抵抗力 $q_d$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_d/N$ (kN/m <sup>2</sup> )	杭先端抵抗力 $q_d$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_d/N$ (kN/m <sup>2</sup> )
1	12821	256	14353	287
2	13369*	267*	10930	218

N: 先端平均N値=50 \*: 推定値

### 3.4 掘出し手順

掘出し作業手順を図11に示す。杭先端深さがGL-13mであることや先端載荷試験を実施したことなどを考慮し、掘出し作業によって根固め部に損傷などをできるだけ与えないような方法とした。掘削に用いたケーシング径は根固め部径+300mm、掘削深度は根固め部下端から+1000mmとし現地土とともに杭を掘出した。No.1, No.2ともに掘出し作業によって根固め部に損傷を与えることなく掘り出すことができた。No.1の掘出した根固め部を写真2に示す。

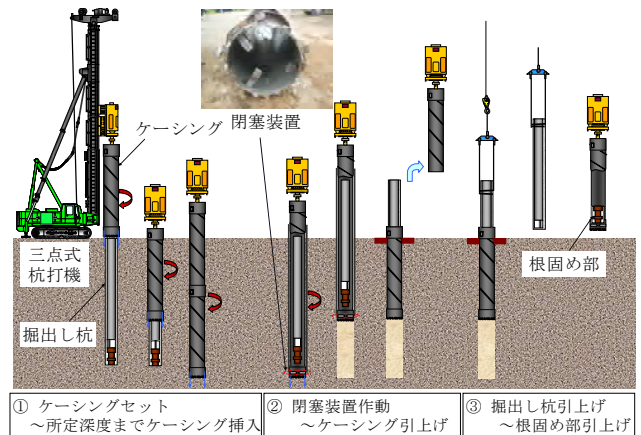


図11 掘出し作業手順

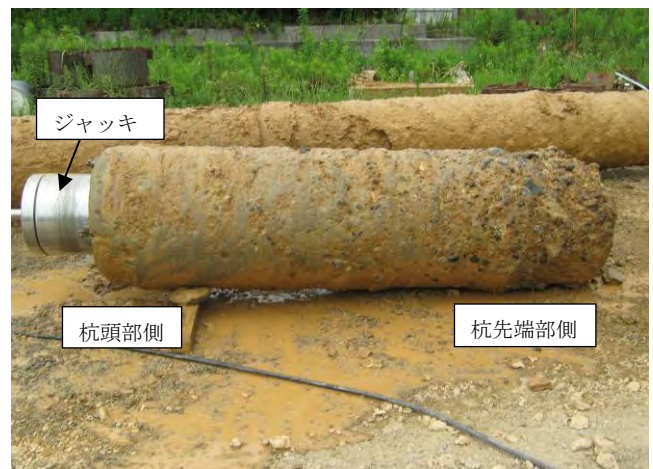


写真2 掘出した根固め部 (No.1)

#### 4. 掘出した根固め部の調査

掘出した根固め部の品質を確認するために、出来形調査、内部の健全性調査、ソイルセメントの強度確認を行った。

##### 4.1 出来形調査

掘出した根固め部の外周部の目視による観察を行った。根固め部は粘土混じり砂礫層に位置していることから根固め部全長にわたってその周面に礫が付着していた。また、大径の礫ほど杭先端部側（根固め部下端）に比較的多く存在する傾向が見られた。色調は全体的に黄褐色であったが、これはこの層のボーリング記事に黄褐色と記載されている粘土分が多く含まれているためであると考えられる。根固め部には大径の礫を除けば、礫がほぼ均等に分散された状態で混合されており、色調にむらが無かったことから、根固め部のソイルセメント築造時の混合攪拌は均一に実施されたものと判断される。

No.1 は載荷試験により地盤から決まる極限支持力まで荷重履歴を受けた杭であったが、根固め部外周面には亀裂や破壊は見られなかった。また、露頭した礫とソイルセメントの間には、破壊や剥離などは見られなかった。No.2 についても、同様に亀裂や破壊、剥離は確認されなかった。

根固め部の寸法計測位置を図 12 に、寸法計測結果を表 5 に示す。実測した周長から算出した根固め部径は、No.1 については、平均  $\phi 690\text{mm}$  と、設計根固め部径 ( $\phi 680\text{mm}$ ) よりも大きく、根固め部全長にわたってほぼ均等な径となっていた。No.2 については、平均  $\phi 640\text{mm}$  で、下方ほど大きくなるが、全長にわたって設計根固め部径 ( $\phi 620\text{mm}$ ) よりも大きく、設計値を満足していた。これらのことから、設計値を満足する根固め部が築造されていたことが確認できた。

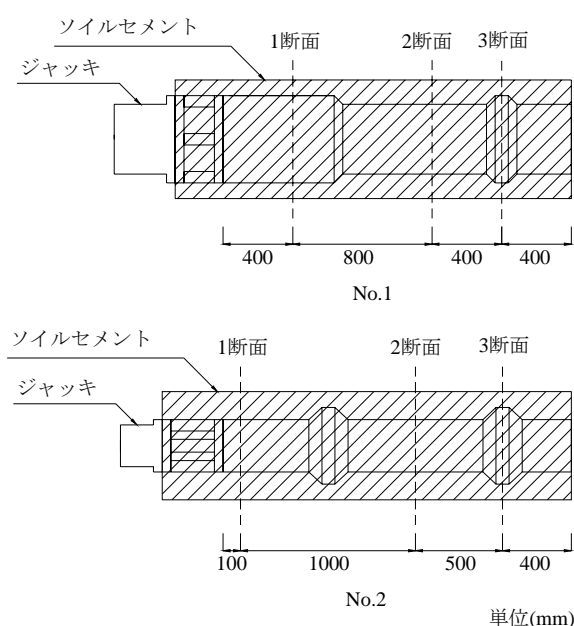


図 12 根固め部の寸法計測位置

表 5 根固め部の寸法測定結果

測定位置	No.1		No.2	
	周長 (mm)	算出した根固め部径 De(mm)	周長 (mm)	算出した根固め部径 De(mm)
1 断面	2185	695	1980	630
2 断面	2170	690	2020	643
3 断面	2155	685	2040	649
平均	2170	690	2013	640

##### 4.2 内部の健全性調査

No.1 については、使用した下杭が鋼製の節部を取り付けた SC 節杭であることから、今回はワイヤーソーによる切断を行っていない。No.2 について、根固め部のソイルセメントを根固め部内の PHC 節杭と一緒にワイヤーソーを用いて切断して、根固め部内部の健全性を調査した。切断位置は写真 3 に示すように、杭軸直角方向には根固め部の上方にあるジャッキ部の台座から 100mm 下の位置（図 12 の No.2 の 1 断面位置）とした。その後、杭の中心線を通るように杭軸方向に切断した。切断後、根固め部全長にわたる内部の健全性を目視により観察した。

写真 4 は、杭軸直角方向に切断した断面である。根固め部の内部にも礫が点在しており、杭中空部と杭外周部にほぼ均等に分散していた。また、特に大きな土塊は見られなかった。切断面においても、ソイルセメントと杭の剥離は無く、付着は良好であり、亀裂などの破壊は見られなかった。

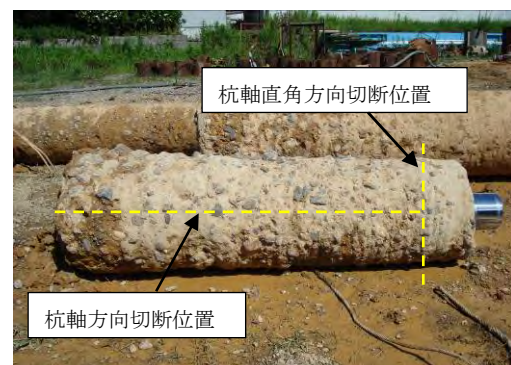


写真 3 掘出した根固め部切断位置 (No.2)



写真 4 杭軸直角方向の切断面 (No.2)

杭軸方向に切断した断面を写真5に示す。根固め部は掘削装置を上下に反復することにより築造しているが、礫が根固め部全体に分散していること、外周部の観察と同様に黄褐色となっていることから、混合攪拌は均一に実施されたものと判断される。また、根固め部全体にわたって節杭とソイルセメントとの剥離が無く付着は良好であり、亀裂なども確認されなかった。よって、载荷試験による根固め部の破壊は生じていないことが確認できた。なお、写真5で杭先端部側の方がPHC節杭の肉厚が大きくなっているが、これは切断する際にPHC節杭の中心軸から徐々に20mm程度下方へとワイヤーソーの切断位置が外れたことによるものである。

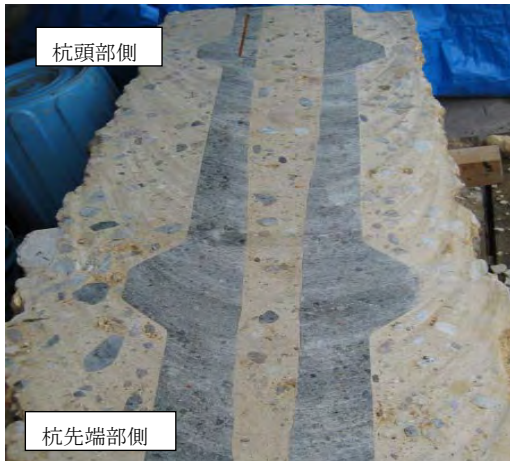


写真5 杭軸方向の切断面 (No.2)

### 4.3 ソイルセメントの強度

No.1及びNo.2の根固め部のソイルセメントからコアボーリングにより採取したコア供試体の一軸圧縮試験を実施した。一軸圧縮試験はJIS A 1216（土の一軸圧縮試験方法）およびJIS A 1108（コンクリートの圧縮試験方法）に準じて行った。なお、No.1については杭の切断を行っていないため、杭軸方向のコア供試体は採取していない。

図13にコア供試体の採取位置と採取径を示す。コア供試体の採取径はφ60mmを基本とした。No.1において、コア採取時に大径の礫に接触し、試験実施が可能な長さのコア供試体採取ができなかった3箇所については、φ100mmでコア採取を行った。写真6にNo.2において杭軸直角方向で採取したコア供試体、写真7にNo.2において杭軸方向で採取したコア供試体を示す。

一軸圧縮試験の結果を図14、表6に示す。No.1でφ60mmのコア供試体は、荷重と圧縮量を測定できる試験機を用いたが、φ100mmのコア供試体は、荷重と圧縮量を測定できる試験機の载荷荷重限度を超えたため、最大荷重のみを測定する別試験機を用いた。

一軸圧縮強さは、No.1の杭軸直角方向で9.0～17.5N/mm<sup>2</sup>（8本の供試体の平均13.2N/mm<sup>2</sup>、φ60mmの5本の供試体の平均14.0N/mm<sup>2</sup>、φ100mmの3本の供試体の平均11.9N/mm<sup>2</sup>）、No.2の杭軸直角方向5.8～

16.1N/mm<sup>2</sup>（9本の供試体の平均11.2N/mm<sup>2</sup>）、No.2の杭軸方向5.0～15.5N/mm<sup>2</sup>（9本の供試体の平均10.9N/mm<sup>2</sup>）であった。No.1とNo.2は同一地盤で同一施工法によって築造したことから同程度の一軸圧縮強さであった。なお、一軸圧縮強さが小さい供試体の大半は礫分とソイルセメントの付着が切れて破壊に至っていた。

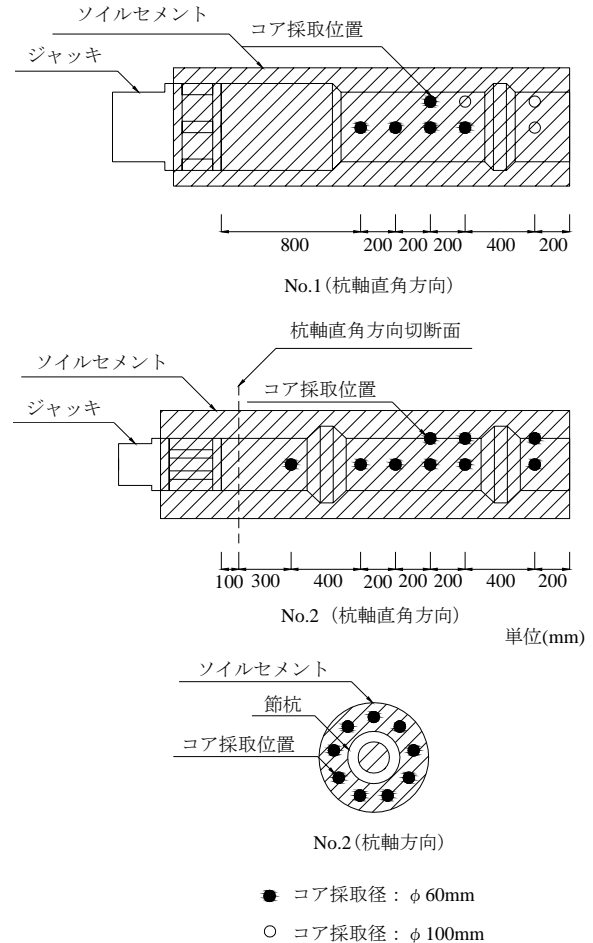


図13 コア供試体の採取位置と採取径



写真6 コア供試体 (No.2: 杭軸直角方向)



写真7 コア供試体 (No.2: 杭軸方向)

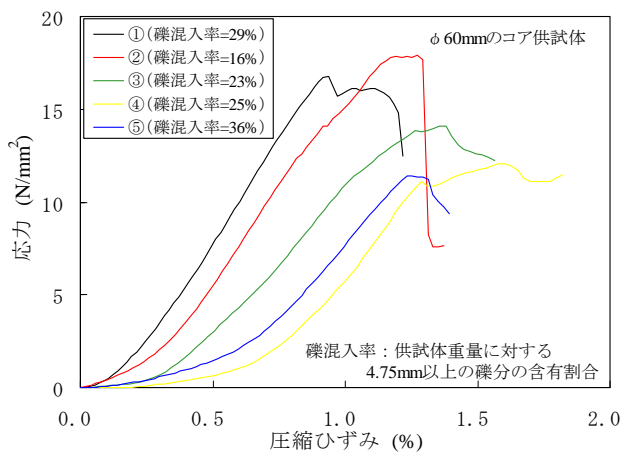


図14 一軸圧縮試験の結果 (No.1: 応力～圧縮ひずみ関係)

表 6 一軸圧縮試験の結果

No.	杭軸直角方向			変動係数 (%)	杭軸方向			変動係数 (%)
	一軸圧縮強さ (N/mm <sup>2</sup> )				一軸圧縮強さ (N/mm <sup>2</sup> )			
	平均	最小	最大		平均	最小	最大	
1	13.2	9.0	17.5	20.0	—	—	—	—
2	11.2	5.8	16.1	24.7	10.9	5.0	15.5	29.6

一軸圧縮試験後の供試体を粉砕して調査した結果、供試体内に点在する礫の径は大きく、4.75mm以上の礫分の含有割合は、施工前の現地土の割合(26%)に比べ、供試体重量の30%程度と高かった。本杭の場合、現地土と注入したセメントミルクが均等に混合攪拌したと仮定すると、ソイルセメント重量に占める4.75mm以上の礫分重量の割合の計算値は約14%であるので、できあがったソイルセメントには計算値よりもかなり多くの礫が混入していたことになる。また、掘出し作業によって根固め部と同様に損傷などをできるだけ与えないように杭周囲も掘出した。No.2の掘出した杭周囲部を写真8に示す。写真3に示した根固め部の外周部の礫分の混入状況と比較すると、根固め部にかなり多くの礫が混入していたことがわかる。根固め部築造の過程で大径の礫が沈降したためと考えられる。



写真8 掘出した杭周囲部 (No.2)

一軸圧縮強さの変動係数は、No.1では20.0%、No.2の杭軸直角方向では24.7%、杭軸方向では29.6%であった。同種の杭でコア供試体を1本の杭から5本以上採取して一軸圧縮強さを測定した結果が、鋼管ソイルセメント杭<sup>9)</sup>、プレボーリング杭<sup>10)</sup>について報告されている。表7に既往の文献における同種の杭の一軸圧縮試験結果を示す。鋼管ソイルセメント杭は別現場の3本の杭の調査結果として、平均強度は8.7～11.5N/mm<sup>2</sup>、変動係数は9～18%と報告されている。根固め液はいずれも水セメント比W/C=60%、根固め液の注入比率は現地土1m<sup>3</sup>あたり0.6～1m<sup>3</sup>である。プレボーリング杭は1現場の1本の杭の調査結果として、平均強度は36.5N/mm<sup>2</sup>、コア供試体の測定データから計算すると変動係数は7%との結果が得られた。根固め液は水セメント比W/C=60%、根固め液の注入比率は現地土1m<sup>3</sup>あたり3m<sup>3</sup>である。

今回のコア供試体の強度は、ほぼ同じ条件の根固め液を用いた鋼管ソイルセメント杭の調査結果とほぼ等しいが、変動係数はやや大きい。変動係数が大きい理由として、鋼管ソイルセメント杭の根固め部の地盤は本杭とは異なり細粒分や大径の砂礫の少ない地盤であり、地盤条件による差と考えられる。プレボーリング杭の調査結果は、著しく強度も高く変動係数も小さいが、この理由として根固め液の注入比率の違いが支配的と考えられる。

表 7 既往の文献における同種の杭の一軸圧縮試験の結果

施工方法	現場 No.	平均一軸圧縮強さ (N/mm <sup>2</sup> )	変動係数 (%)
鋼管ソイルセメント杭	1	11.5	17.0
	2	8.7	9.0
	3	8.7	18.0
プレボーリング杭	1	36.5	7.0

### 5. 先端支持力と根固め部のソイルセメントの強度の検討

今回の先端載荷試験で得られた先端支持力  $R_p$  は、図15のように根固め部底面の先端地盤の支持力  $R_{p1}$  と根固め部の周面摩擦力  $R_{p2}$  の合計になる。

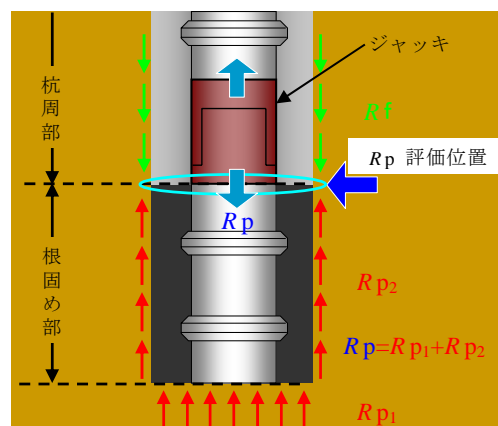
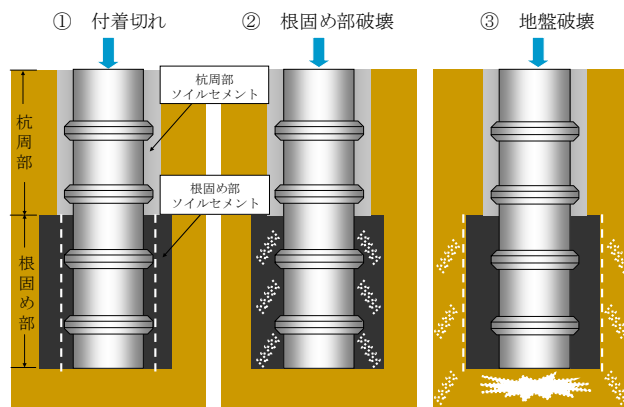


図15 先端支持力の伝達機構

図 16 は、鉛直荷重を受ける根固め部の極限状態で想定される破壊パターンである<sup>11)</sup>。すなわち、杭の先端支持力(根固め部上面で評価)は、①根固め部内での杭とソイルセメントとの付着切れによるすべり、②根固め部のソイルセメントの破壊、③地盤の破壊(杭とソイルセメントは健全)の最も小さい値になる。今回の杭では掘出し調査により根固め部の破壊などが見られなかったことから、先端支持力は③の地盤破壊によるものと判断される。

したがって、今回の試験条件(根固め部径と節部径の比が 1.36~1.41、節部外面からのソイルセメントの被り厚さが 90mm、根固め部の先端地盤の N 値が 50 以上)の下では、根固め部の強度は 10.9~13.2 N/mm<sup>2</sup>(変動係数 20~30%)で地盤から決まる極限支持力に対して根固め部は健全であった。

節杭を用いたプレボーリング工法において根固め部のソイルセメントに関する模型実験<sup>2)</sup>と FEM 解析<sup>12)</sup>が行われている。実験や解析の結果では、節杭から根固め部のソイルセメントに伝わる応力は最下端節部よりも下方に集中していた。そこで、掘出し杭の最下端節部よりも下方のソイルセメントを確認したところ亀裂や節杭との剥離などの損傷は見られなかった。また、最下端節部よりも下方のソイルセメント強度は、No.1 で平均 10.9N/mm<sup>2</sup>、No.2 で平均 12.6N/mm<sup>2</sup>であり、表 6 に示す根固め部全体の平均値とほぼ等しい結果であった。



・杭体とソイルセメントの付着切れ ・杭体の破壊  
 ・ソイルセメントのせん断強度不足 ・ソイルセメントの破壊  
 ・根固め部と地盤とのすべり ・地盤の破壊

図16 想定される極限支持力の破壊パターン

## 6. まとめ

本研究では、節杭を用いたプレボーリング工法により、施工した杭の先端載荷試験を行い、地盤の極限支持力まで載荷した後の杭を掘り出して、根固め部の杭の出来形、内部の健全性、ソイルセメントの強度などの調査を実施した。

今回の試験条件としては、根固め部を造成した地盤は N 値 50 以上の粘土混じり砂礫であり、礫や細粒分を多く含む地盤であった。根固め部径と節部径の比は 1.36~1.41 で、節部外面からのソイルセメントの被り厚さは 90mm であった。先端載荷試験では、第 2 限界先端抵抗力までの荷重

履歴を与え、その大きさは同種の杭の設計上の杭先端抵抗力  $q_d$  の最大レベルの値であった。

以下に、本研究により得られた知見をまとめる。

- ① 掘出した根固め部の外周部及び内部の健全性調査から、現地土とセメントミルクの混合攪拌が均一に実施され、設計根固め部径を満足する根固め部が築造されていたことを確認した。
- ② 外周部及び内部の健全性調査から、根固め部のソイルセメントには、剥離や亀裂などの損傷は見られなかったことを確認した。
- ③ 根固め部のソイルセメント強度は、平均で 10.9~13.2 N/mm<sup>2</sup>(変動係数 20~30%)であったが、今回の試験条件では地盤から決まる極限支持力に対して、根固め部は健全であり、極限支持力時の破壊パターンは、地盤破壊であることを確認した。

今後も同様なデータを蓄積することにより、先端支持力と根固め部の強度の関係などを明確にしていきたい。

## 参考文献

- 1) 小椋仁志, 小松吾郎, 真鍋雅夫, 大島章, 千種信之, 細田豊, 須見光二, 三村哲弘: 既製杭のプレボーリング拡大根固め工法の拡大掘削径と鉛直支持力, GBRC, Vol.32, No.1, pp.10-21, 日本建築総合試験所, 2007.
- 2) 木谷好伸, 加藤洋一, 桑原文夫: 埋込み杭の拡大根固め球根の鉛直支持性能に関する模型実験(その2 節部を有する杭体の場合), 日本建築学会構造系論文集, Vol.73, No.624, pp.267-273, 2008.
- 3) 石川一真, 伊藤淳志, 永井雅, 小椋仁志, 中野恵太: 節杭を用いたプレボーリング拡大根固め工法の根固め部に関する模型実験(その3: 根固め部の状況と先端面の支持力), 日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1, pp.595-596, 2008.
- 4) (財)土木研究センター: 鋼管杭先端拡大根固め工法「Super KING 工法」, 建設技術審査証明報告書, pp.101-108, 2007.
- 5) 塩坂英之, 土屋富男, 内田明彦, 田屋裕司: 高支持力埋込み杭の拡大根固め部の掘り出し調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1, pp.605-606, 2008.
- 6) (社)地盤工学会: 地盤工学会基準 杭の鉛直載荷試験・同解説一第一回改訂版一, 2002.
- 7) 桑原文夫: 建築分野における高支持力杭の現状と課題, 基礎工, Vol.36, No.12, pp.2-6, 2008.
- 8) 横幕清, 白戸真大, 中谷昌一: 杭の鉛直支持力推定式の作成方法の標準化とそれに基づく推定式の見直し, 土木技術資料, Vol.51, No.5, 2009.
- 9) 山田哲司, 加津憲章, 板垣浩三, 吉田映: 正逆回転攪拌翼により造成されたソイルセメント合成鋼管杭のソイルセメントの品質について, セメント系安定処理土に関するシンポジウム, 地盤工学会, pp.111-116, 1996.
- 10) 土屋富男, 佐々木幸男, 檜垣歩: 細粒分を含む砂質土支持地盤に定着する高支持力埋込み杭の品質調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1, pp.591-592, 2009.
- 11) 桑原文夫: 既製コンクリート杭埋込み工法の現状と展望, 基礎工, Vol.28, No.11, pp.2-5, 2000.
- 12) 小椋仁志: 節杭を用いたプレボーリング拡大根固め工法における根固め部強度の FEM による検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1, pp.603-604, 2008.

(2010. 6. 30 受付)



---

---

## Investigation of soil cement around nodular piles after pile-toe load test installed by pre-bored piling method

Hirohito KON<sup>1</sup>, Ei YOSHIDA<sup>1</sup>, Kazuhiro KABASAWA<sup>2</sup>, Goro KOMATSU<sup>1</sup>,  
Fumio KUWABARA<sup>3</sup> and Makoto KIMURA<sup>4</sup>

- 1 Construction Division, Japan Pile Corporation
- 2 Engineering Division, Japan Pile Corporation
- 3 Department of Architecture, Faculty of Engineering, Nippon Institute of Technology
- 4 Society-Academia Collaboration for Innovation, Kyoto University

### Abstract

Prebored piling method using nodular pile (precast concrete pile) consists of pitching the nodular pile into soil cement formed by mixing and agitating cement slurry and soil. Formulae for estimating vertical bearing capacity determined from the ground around the pile have been proposed based on the results of many loading tests. For vertical bearing capacity to develop, the soil cement has to transmit the load acting on the nodular pile to the ground; thus, the quality of soil cement (finished work quality, strength, etc) is a factor that affects the development of bearing capacity. However, examples that directly verify the quality of the soil cement after the loading tests are few in number, and many uncertain factors, such as the damage status of soil cement at ultimate bearing capacity, have not been clarified. In order to clarify such uncertainties, investigations were carried out on two excavated piles after conducting loading tests and confirming the bearing capacity. The results of the investigations showed that the soil cement around the excavated piles was formed satisfactorily and was sound with no crack or damage even at the ultimate bearing capacity.

Key words: nodular pile, prebored piling method, loading test, soil cement, vertical bearing capacity