

高品質なアースドリル杭工法の開発

小 林 勝 巳 森 紘 一 ^{*1}
塚 本 正 巳 ^{*1} 秋 山 茂 雄 ^{*2}
山 本 秀 明 ^{*3} 丸 隆 宏 ^{*3}

概 要

本工法の開発の目的は、従来の場所打ちコンクリート杭（アースドリル工法）に見られる欠陥をなくし、設計上必要とされる鉛直支持力、コンクリート強度、施工精度と耐震性能を確保した、品質の高い杭を構築することである。本工法は、フジタ独自の 5 つの工法とフジタ式の施工管理標準からなる。5 つの工法とは、①杭頭心ずれの施工精度を確保するための敷き鉄板枠敷設工法、②杭頭部の主筋を溶接しないで鉄筋かごを組立てる杭頭部無溶接工法、③袴状スライム集積管を用いた良液置換によるスライム処理工法、④杭頭部のコンクリート強度を確実に確保するための杭頭バイブレータ工法、⑤杭の深さ方向に配合の異なるコンクリートを打ち分ける配合調整工法である。本報告では①～④の施工法の概要と検証の結果を報告した。

Development of a High Quality Earth Drill Pile Construction Method

Abstract

We have enhanced the recently-developed earth drill method, in order to (a) eliminate defects in cast-in-place concrete piles constructed by the method to-date, and (b) construct high quality piles that will meet design requirements for bearing capacity, concrete strength, positioning accuracy and seismic performance. The improved technique consists of five component methods implemented in accordance with Fujita's in-house construction management standard. The five component methods are (1) A steel plate frame method for accurate planar positioning of piles, (2) A non-welding method to build up reinforcing bars of piles, (3) Treatment method for slime, (4) A pile head vibration method and (5) Multiple combinations of concrete mixing methods. This report outlines these five component methods and shows verification results for component methods (1) – (4).

キーワード: アースドリル杭, 施工管理

*1 東京支店技術部

*2 設計エンジニアリングセンター構造設計部

*3 建築本部建築技術統括部

§1. はじめに

従来のアースドリル杭工事の欠陥には、杭頭部でのコンクリートの不良や被りコンクリートの欠如(写真1)、杭先端部のスライムによる断面欠損(写真2)、杭頭の心ずれなどがある¹⁾。また鉄筋かごの建て込み時の変形を防止するために杭主筋を溶接していることも、耐震的に欠陥である²⁾。

本工法では、アースドリル杭の施工方法および施工管理標準全体を見直して、これらの欠陥をなくし、設計上必要とされる鉛直支持力、コンクリート強度、施工精度と耐震性能を確保できる品質の高い杭を構築することを目的として開発をおこなった。さらにコンクリート余盛り高さの削減、杭頭の心ずれによる補強工事の削減や、杭の深さ方向に配合の異なるコンクリートを打ち分けることにより、施工コストのアップを抑える効果もある。



写真1 杭頭部でのコンクリートの不良



写真2 杭先端部のスライムによる断面の欠如

§2. フジタ式アースドリル杭工法の概要

本工法は、鉛直支持力や杭体のコンクリート強度等、設計で要求される性能を確実に確保するために、フジタ独自の改良を加えた5つの工法を、フジタ式の施工管理標準によって実施する、アースドリル杭およびアースドリル拡底杭の施工法である。

フジタ独自の5つの工法とは、

- ①杭頭心ずれの施工精度を確保するための敷き鉄板
枰敷設工法
 - ②杭頭部の主筋を溶接しないで鉄筋かごを組立てる
杭頭部無溶接工法
 - ③袴状スライムを用いた良液置換によるスライム処理
工法
 - ④杭頭部のコンクリート強度を確実に確保するための杭
頭バイブレータ工法
 - ⑤杭の深さ方向に配合の異なるコンクリートを打ち分
ける配合調整工法
- である。

特に、杭底のスライムをほぼ完全に除去し、高品質なコンクリートを打設するために、ポリマー安定液を用いることが前提となる。

§3. 敷き鉄板枰敷設工法

敷き鉄板枰敷設工法は、杭頭心ずれの施工精度を確保することを目的とした工法である。表層ケーシングの外径+50～60mmの位置に、通り心に平行に敷き鉄板枰を設置し(写真3)、敷き鉄板に接触しないように、掘削を開始して表層ケーシングを建て込む。表層ケーシングの径は、杭径+100mm～200mmのものをを用いる。本工法を実施することにより、杭頭の心ずれを100mm以下とすることができ、基礎梁等の補強が不要となる。



写真3 敷き鉄板枰の敷設

図1に、本工法によらない2現場の杭頭心ずれの計測値を、図2に本工法による19現場、790本の杭頭心ずれの計測値を示す。図の頻度はX方向、Y方向の頻度を加算した値である。

本工法によれば、明らかに施工精度が向上し、計測値の平均値と標準偏差も小さくなることと、杭頭の心ずれを100mm以下に抑えられることがわかる。

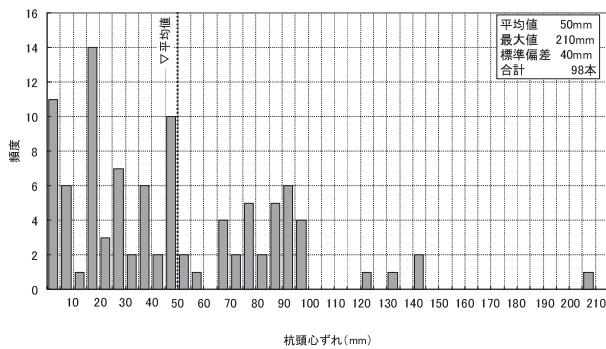


図1 本工法によらない2現場の杭頭心ずれ計測値

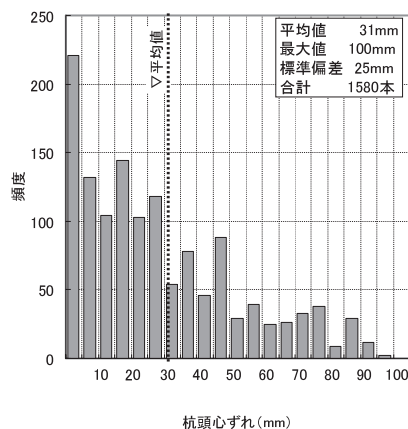


図2 本工法による19現場の杭頭心ずれの計測値

§4. 杭頭部無溶接工法

従来の技術では、鉄筋かごの建込み時の変形を防止するために、杭主筋にフープをスポット溶接し、杭主筋に補強リング(フラットバー)をフレア溶接して、鉄筋かごの組立を行うことが多かった。このような溶接による鉄筋かごの組立は、地震時に大きな曲げモーメントが作用する杭頭部の耐震性能を低下させる原因となる。

図3にフープをスポット溶接した杭主筋(フープ溶接)、フラットバーをフレア溶接した杭主筋(FB溶接)、杭主筋の生材の3種類の引張り試験の結果を示す。杭主筋はD35のSD390、フープはD16のSD345、フラットバーはSS400である。溶接した試験片はいずれも、主筋降伏後すぐに破断し、変形性能に乏しい脆性的な破壊性状であった。

写真4に溶接した試験片の破断面を示す。いずれも、伸びによるくびれはまったく見られず、脆性的に破断していることがわかる。

本工法では、特に地震時の曲げモーメントが大きい杭頭部において、このような溶接による組立をさけ、結束線による組立とした。さらに、建込み時の鉄筋かごの変形を

防止するために、主筋先端部に補強リングを溶接して、鉄筋かごの剛性を上げることとした(写真5)。本工法によれば、建込み時の変形を防止できるだけでなく、杭頭掘削から杭頭コンクリートはつり時にも、杭主筋のパイルキャップへの定着部を傷めることがなく、耐震性能が高い杭を構築することができる(写真6)。

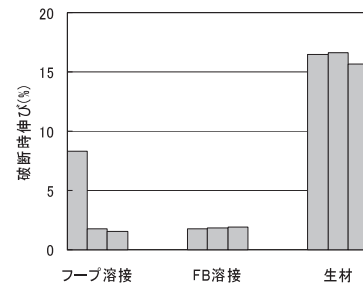


図3 引張り試験による破断時伸びの比較



(a) FB 溶接



(b)フープ溶接

写真4 溶接した試験片の破断面

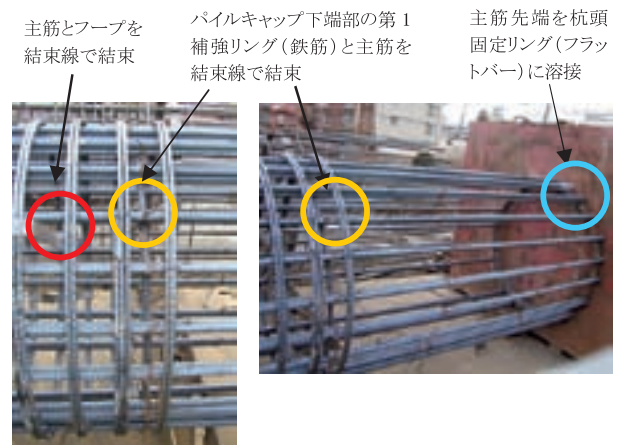


写真5 杭頭部無溶接工法による鉄筋かごの組立

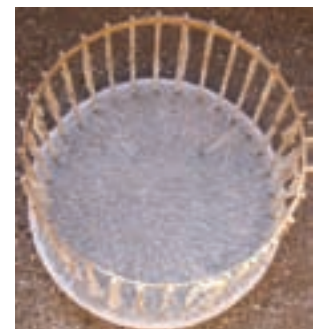


写真6 杭頭はつり後の鉄筋かごの状況

§5. 袴状スライム集積管を用いた良液置換によるスライム処理工法

5.1 スライム処理工法の概要

本工法では、鉄筋かごを挿入する前に、袴状スライム集積管を用いて杭底の泥水を吸い上げ、表層ケーシング上部から砂分が少ない安定液を投入することにより(良液置換)、スライム処理を行う(図4)。良液置換によるスライム処理は、揚水中の砂分が 0.5%以下となって、ほぼ完全に杭底のスライムがなくなるまで行う。本工法で用いるポリマー安定液の仕様を表 1 に、袴状スライム集積管の例を写真7に示す。

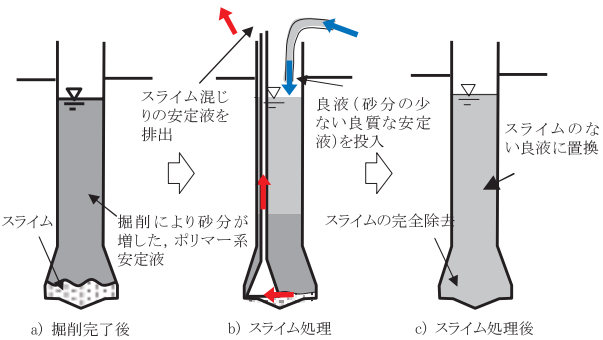


図4 スライム処理の手順

表1 ポリマー安定液の仕様

管理項目	地下水位が浅い場合(GL-5m 以下)			地下水位が深い場合(GL-5m 以下)			通圧密土	置換良液		
	粘性土	砂質土	砂礫土	粘性土	砂質土	砂礫土				
ファンネル粘度 (秒)	23～26	24～28	26～35	22～25	23～27	25～30	26～35	同左		
比重	1.03～1.09	1.02～1.09	1.03～1.09	1.02～1.09	1.10～1.25					
造壁性	濾水量 (ml)	—	≦25	≦20	—	≦25	≦20		≦12	≦25
	泥膜厚 (mm)				≦2					≦1
砂分含有率 (%)				≦1.5					<0.5	
pH	液温 ≧20℃			10～11.5					10～11.5	
	液温 <20℃			9～11.5					9～11.5	
炭酸塩 (HCO ₃) (ppm)				≦100					≧200	



写真7 スライム集積管の例

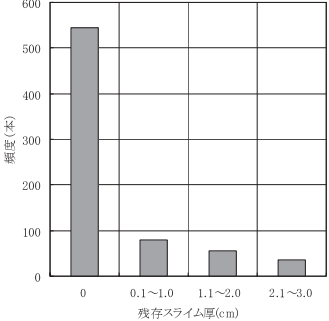


図5 残存スライムの厚さの測定結果

18 現場における残存スライム厚さの測定結果を図5に

示す。残存スライム厚さは、鉄筋かご挿入前の値であり、重錐によるリバウンド感覚がコツンコツンあるいはコンコンの場合は、残存スライム厚を0とした。一方、明瞭なコツンコツン感が得られない場合には、良液置換完了後の検尺長と、コンクリート打設前の検尺長の差とした。総数715本中、残存スライム厚 0cm は 545 本(76.2%), 0.1~1.0cm は 79 本(11.0%), 1.1~2.0cm は 55 本(7.7%), 2.1~3.0cm は 36 本(5.0%)となっている。残存スライム厚は全数 3cm 以下で管理されていることがわかる。

5.2 杭の載荷試験による支持力の確認

本工法による杭の支持力を確認するために、表 2 に示す 5 現場において杭の鉛直載荷試験を実施した。

表2 杭の鉛直載荷試験の概要一覧

工事略称	戸塚 M3)	大田物流 4)5)	大井町 M	藤沢学校	泉佐野 6)
場所	横浜市 戸塚区	東京都 大田区	東京都 品川区	神奈川県 藤沢市	大阪府 泉佐野市
杭径	2,000 mm	1,000 mm	1,000 mm	1,200 mm	1,200mm
杭先端深さ	GL-38.2m	GL-25.5m	GL-28.9m	GL-13.1m	GL-61.9m
杭長	38.5m	23.3m	28.1m	11.3m	61.9m
先端地盤 平均 N 値*1	シルト (N 値=29.5)	シルト質 微粒砂 (N 値=70.4)	微粒砂 (N 値 =100)	細砂 (N 値=31.7)	微細砂 (N 値=100)
主な周辺地盤	粘性土	細砂・シルト の互層	礫・細砂 ・シルト	細砂等	粘土・細砂等
最大荷重(kN)	31,360	18,670	23,500	12,834	17,640
最大荷重時先端 荷重(kN/m ²)	2,620	8,857	9,780	6,293	—
最大荷重時先端 沈下量(mm)	25.2	53.8	73.6	126.9	—
極限先端荷重 *2(kN/m ²)	—	10,000	11,627	6,153	—
極限先端荷重 先端平均 N 値	—	142	116	194	—
平均周面摩擦力 度(kN/m ²)	108	196	240	180	132
平均 N 値*3	22.8	29.7	39.6	31.7	15.5
平均摩擦応力度 平均 N 値	4.7	6.6	6.1	5.7	8.5
備考	洪積粘性土に支持させた大径杭。液状化対策層でも大きな摩擦抵抗が得られた。中間砂礫層で大きな摩擦抵抗が得られた。沖積細砂層に支持させた杭。摩擦抵抗が大きく先端荷重がわずかにあった。				

*1 先端平均 N 値：杭先端から上に 1 D (D：杭径)、下に 1 D の範囲の平均値で 100 を上限とする。 *2 極限先端荷重：大田物流、大井町 M は、双曲線近似による予測値を示す。 *3 平均 N 値：周面摩擦力の最大値が測定された区間の平均 N 値。

3 例の載荷試験においては、杭先端沈下量 S_p が杭径 d_p の 5~10%に達した。その 3 例について、杭先端荷重 q_p と無次元化先端沈下量(先端沈下量 S_p を杭径の 10% で除した値)を図6に示す。図中、文献データ⁷⁾は、東京地区の砂地盤(実線)、砂礫地盤(破線)のデータであり、いずれも先端平均 N 値が 50 以上である。

本工法と文献データを比較すると、先端平均 N 値(上に $1d_p$ 、下に $1d_p$ の範囲の平均値)が 50 以上の砂地盤である本工法の大田物流と大井町 M のデータは、文献データ

の砂礫地盤と同程度であること、本工法の先端平均 N 値が約 32 の藤沢のデータは、文献データの N 値 50 以上の砂地盤と同程度であることがわかる。

杭先端平均 N 値と極限先端支持力度 q_p との関係を図 7 に示す。極限先端支持力度は先端沈下量 S_p が $0.1d_p$ の時の値であるが、大田物流と大井町 M については、 $0.1d_p$ に若干達していないため、実測最大値 (白丸) と、双曲線近似による $0.1d_p$ のときの予測値 (赤丸) の両方を示した。いずれにおいても本工法の杭の極限先端支持力度 q_p は、日本建築学会の建築基礎構造設計指針の推奨式よりもかなり高く、国土交通省告示 1113 号第 5 の式と同程度かそれ以上であることがわかる。

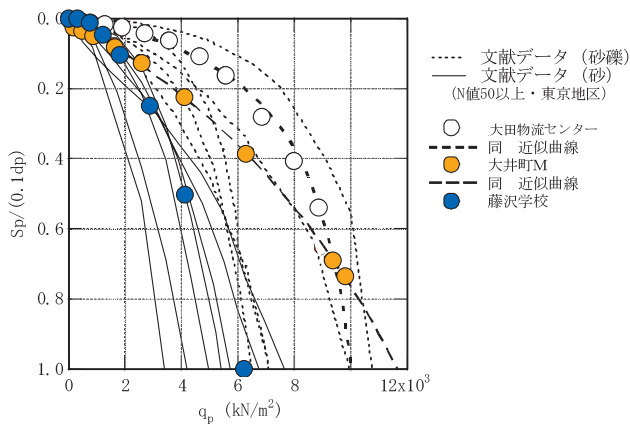


図6 杭先端荷重度 q_p - 沈下 S_p 関係

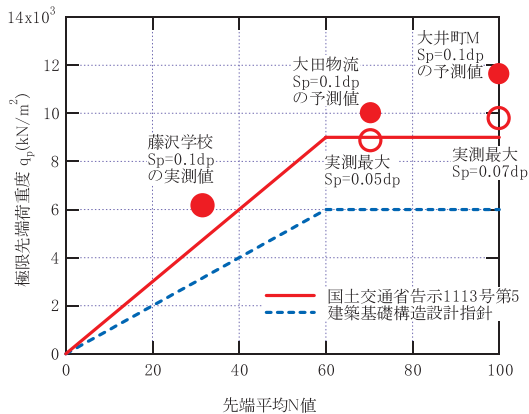


図7 極限先端支持力度 q_p と先端平均 N 値との関係

図 8 に最大周面摩擦力度 $\tau_{\max}$ と N 値との関係を示す。 $\tau_{\max}$ は国土交通省告示 1113 号第 5 式 (砂) と建築基礎構造設計指針式 (砂) よりも平均的に高い値を示すことがわかる。ただし、非常にばらつきが大きい。

図 9 に同じデータを用いて、杭全長の最大周面摩擦力度と平均 N 値との関係を示す。5 現場の試験のうち、泉佐野については杭深部まで周面摩擦力度が極限に達して

いなかったため、極限に達した深さまでの平均値とした。その他のデータについては、杭全長にわたる平均値とした。このように整理すると、ばらつきが減少し平均的に $\tau_{\max} = 6 N$ (kN/m^2) で表せることがわかる。

以上の杭の載荷試験結果より、本工法の杭の先端支持力と周面摩擦力は、既往のデータや国土交通省告示式あるいは建築基礎構造設計指針式よりも高い値となっていることが確認できた。

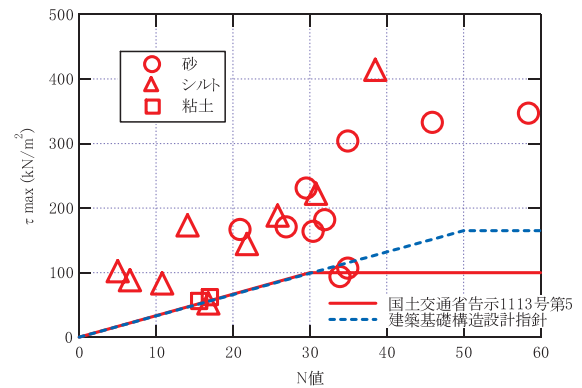


図8 周面摩擦力度 $\tau_{\max}$ の測定値と N 値との関係

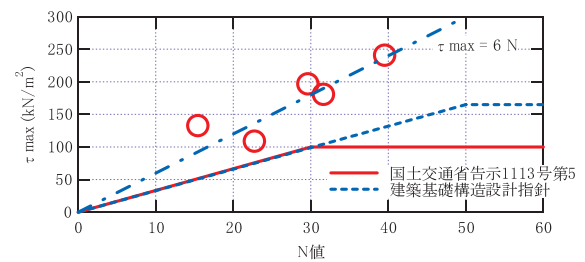


図9 杭1本の周面摩擦力 $\tau_{\max}$ と平均 N 値との関係

§6. 杭頭パイブレータ工法

あらかじめ杭頭部鉄筋かごの内側に円周状に設置した複数本のパイブレータを、コンクリート打設後に同時に作動させることにより、安定液を巻き込むことなくコンクリートを密実に閉め固める工法である。

図 10 に杭頭パイブレータ工法の概要を、写真 8 に杭頭パイブレータの設置状況を示す。パイブレータは杭天から 1.5m 程度下に設置し、コンクリートの打設完了、表層ケーシングを引き抜いた後に作動させる。一定時間パイブレータを作動し、一定距離引き上げるサイクル 3～4 回繰り返して、杭頭部全体を密実に締め固める。

杭頭パイブレータ工法によって構築した杭から、コア抜きを行い、コンクリートの圧縮試験を行った結果を図 11 に

示す。これより呼び強度 27～40の範囲であるが、コンクリート天端にごく近い一部を除いて、呼び強度以上の圧縮強度が発現していることを確認できる。

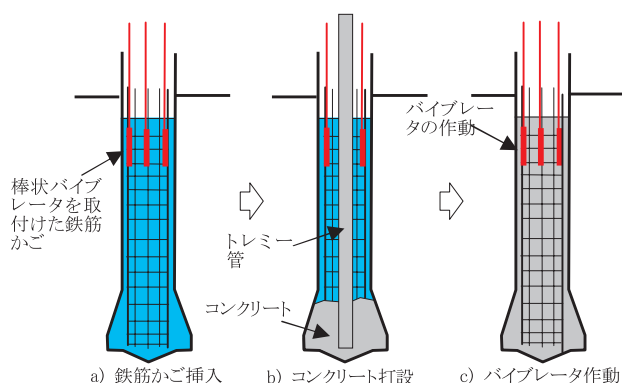
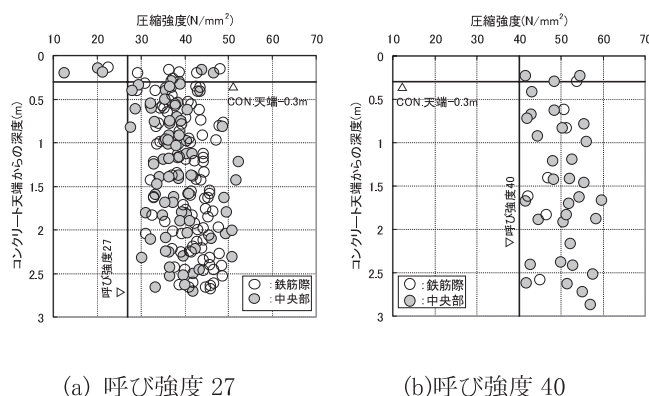


図10 杭頭パイブレータ工法の概要



写真8 パイブレータの設置状況



(a) 呼び強度 27

(b) 呼び強度 40

図 11 コア抜きコンクリートの圧縮試験結果

§7. おわりに

高品質な場所打ちコンクリート杭(アースドリル工法)の施工方法と、検証した結果をまとめると以下のとおりである。

- ① 敷き鉄板枠敷設工法によって、杭頭心ずれの施工精度を 100mm 以下に抑えることができる。
- ② 杭頭部無溶接工法によって、杭主筋にフープと補強

リングを溶接せずに鉄筋かごを組立て、建込み時の変形と杭頭掘削・はつり時の定着部の変形を防止することができる。

- ③ 袴状スライム集積管を用いた良液置換によるスライム処理によって、杭先端のスライムをほぼ完全に除去することができ、その結果、高い支持力を発揮することができる。
- ④ 杭頭パイブレータ工法によって、杭頭部に必要なコンクリート強度を確実に発揮することができる。

なお、今回は配合調整工法については記載できなかったが、データが蓄積した段階で報告したい。

参考文献

- 1) 森紘一, 小林勝巳, 山本秀明: 高品質なアースドリル杭の開発, 基礎工, 2005 年 2 月号, pp.42～46.
- 2) 森山英治, 小林勝巳, 福島泰之, 寺岡勝, 森紘一: 場所打ちコンクリート杭の主筋に対する溶接の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp.699～700, 2003 年.
- 3) 野尻善正, 森紘一: 洪積シルト層に止めた大口径場所打ちコンクリート杭の鉛直載荷試験, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.499～500, 2002 年.
- 4) 森紘一, 木岡隆, 宮岡友之, 石崎長俊, 山本秀明: 砂質地盤におけるアースドリル杭の鉛直載荷試験(その1: 施工品質管理), 日本建築学会学術講演梗概集, 2003 年 9 月, pp.667～668
- 5) 秋山茂雄, 木岡隆, 小林勝巳, 森紘一, 丸隆宏, 寺岡勝: 砂質地盤におけるアースドリル杭の鉛直載荷試験(その2: 試験結果), 日本建築学会学術講演梗概集, pp.669～670, 2003 年.
- 6) 森口英樹, 山本隆威夫, 安藤欽也, 野尻善正: 泉南地区における場所うち杭の鉛直載荷試験, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造 I, pp.1429～1430, 1991 年.
- 7) 持田悟, 萩原康嘉, 森脇登美夫, 長尾俊昌: 場所打ちコンクリート杭の支持力性能(その1)先端荷重-先端沈下特性, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造 I, pp.725-726, 2000.



小林 勝巳

ひとこと

杭の施工は、杭の品質を決定する最も重要なファクターで、ゼネコンの技術力として欠かせないものです。