JFE 技報 No. 43
（2019 年 2 月）p. 14–19

建築基礎向け高支持力杭「コン剛パイル®工法」の開発

Development of High Bearing Capacity Pile for Building Foundation: “Kongo Pile™ Method”

高田　雄大　TAKADA Yuta　　JFE スチール　大阪支社　大阪建材・プロジェクト営業部　建材技術室
松井　良典　MATSUI Yoshinori　　JFE スチール　建材センター　建材開発部　土木技術室　主任部員（課長）
市川　和臣　ICHIKAWA Kazuomi　　JFE スチール　スチール研究所　土木・建築研究部　主任研究員（課長）

要旨

JFE スチールとジャパンパイル株式会社によって共同開発された「コン剛パイル®工法」は，杭先端部に杭径の最大 2 倍径の根固め球根を築造し，杭体には鋼管杭と既製コンクリート杭とを組み合わせて使用することが可能な建築基礎向け高支持力杭工法である。荷重条件，地盤条件に応じて最適な根固め球根径，杭種構成，拡頭構造の有無を選択可能であるため，合理的な構造とすることができる。同類工法では最大級となる杭径 ϕ1 500 mm，根固め球根径 ϕ3 000 mm までの施工が可能で，従来 1 本の柱に対して複数本の杭が必要であったケースにおいても一柱一杭基礎構造として杭本数を削減して設計することができるため，基礎寸法の縮小や工費・工期の縮減を図ることが期待される。

Abstract:

“Kongo Pile™ Method” developed by JFE Steel and Japan Pile Corporation is a construction method of high bearing capacity piles for building foundation which has an enlarged foot protection part up to 2 times of the pile diameter, and steel pipe pile and ready-made concrete pile can be used in combination as pile materials. According to loading and ground conditions, it can be designed with the rational structure by deciding most suitable diameter of the enlarged foot protection part, pile materials, and applicability of enlarged pile-head. It can be constructed to one of the largest diameter of the pile in the same kind construction method, so it is expected to reduce foundation size and minimize construction costs and period by locating one-pile one-pillar and reducing number of piles.

1.　はじめに

近年，発電所建屋や臨海部の大型物流倉庫等の大規模建築物においては，建築物としての機能を向上させるため，柱の本数を削減し柱 1 本に負担させる荷重が増加する傾向にある。また，1 柱 1 杭基礎構造が成立し杭本数を削減することができれば建設時の工費・工期を縮減できるため，杭 1 本に期待される支持力も高くなっている。

こうした社会的要請を受け，JFE スチールは 2003 年に Super KING 工法[1)] を開発し，現在では建築基礎分野を中心に 90 件以上の施工実績を有している。一方で，上述の傾向は拡大を続けており，Super KING 工法においても鉛直支持力や水平耐力が不足し 1 柱 1 基礎構造で成立しない事例が増加してきた。

そこで，適用最大杭径を ϕ1 500 mm まで拡大させるとともに支持力性能を再評価した「コン剛パイル®工法」をジャパンパイル（株）と共同で開発した。本報では紙面の都合上，新工法の施工性と支持力性能に着目してその特長を述べる。

2018 年 11 月 5 日受付

2.「コン剛パイル®工法」の概要

2.1　構造

「コン剛パイル®工法」は，杭先端部の内外面に突起を設けた鋼管と杭先端部周辺に築造した根固め球根とを一体化させ，根固め球根が地盤に抵抗することで大きな鉛直支持力を発現する杭工法である。根固め球根は，拡翼機構を有する先端ビットを用いて支持地盤に築造され，杭径以上（杭外径の 1.25 倍，1.5 倍，1.75 倍，2.0 倍）の球根径を有する。また，基礎杭全体の形状は，全長にわたり杭径が一定である通常タイプと，杭頭部が拡径した拡頭タイプの 2 種類がある。

「コン剛パイル®工法」に用いる杭材料は，**図 1** に示す杭体構成例のように，根固め球根と一体化される杭先端部には鋼管杭を用いることとし，その上部には鋼管杭または既製コンクリート杭を組み合わせて用いることができる。荷重条件や地盤条件に応じて上杭・中杭に PHC 杭や SC 杭，鋼管杭等を複合させたハイブリッド構造（図 1 b）や拡頭タイプ（図 1 c）等，合理的な構造を選択することができる。

Copyright © 2019 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.

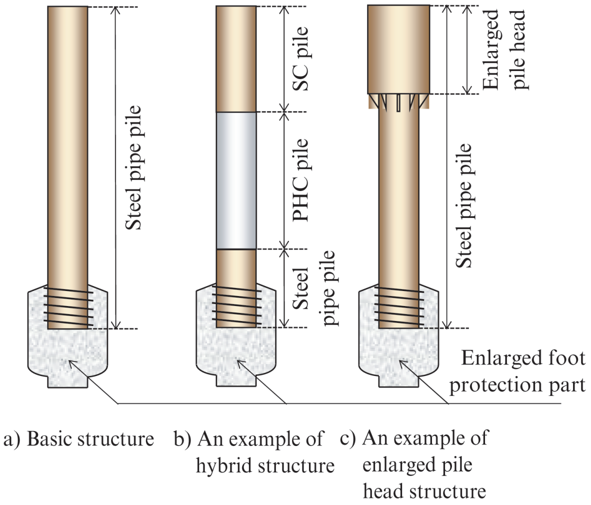


図 1　杭体構成例
Fig. 1　Examples of structure

2.1.1　杭先端仕様

杭体と根固め球根との一体化を図るため，杭先端部の鋼管杭の外面には螺旋状に，内面には円周状に異形鉄筋を取付けている。**図 2** に杭先端部の概要を示す。

杭先端は，内外面突起の突起高さと段数，根固め球根への鋼管根入れ長，根固め球根の鋼管下部長さおよび根固め倍率をパラメータに室内試験を実施し，杭体から根固め球根へ着実に荷重が伝達されるよう，杭径および根固め倍率ごとに最適仕様を設定している。荷重伝達の照査として，内外面突起の支圧強度の和が設計荷重（地盤から決まる最大先端支持力）を上回ること，および根固め部の支圧強度が鋼管内面に伝達される荷重を上回ることを確認している。

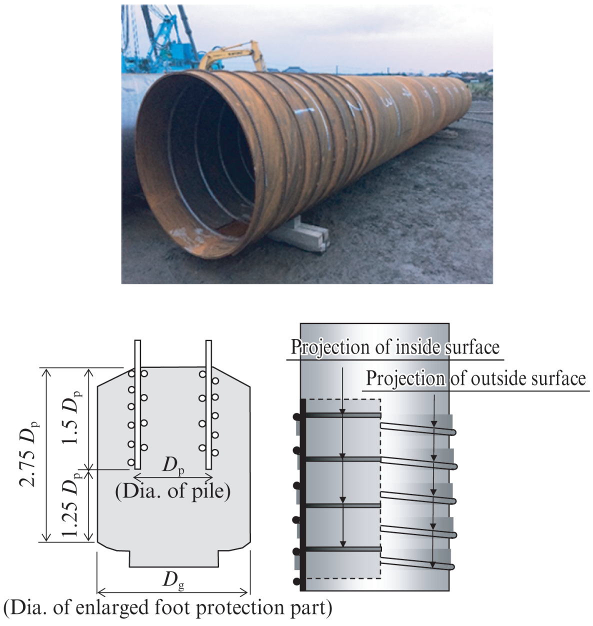


図 2　杭先端部の概要
Fig. 2　End part of steel pipe pile

2.1.2　拡頭構造

「コン剛パイル®工法」では，鋼製のリブ板を溶接接合することにより拡径した拡頭タイプ（**写真 1**）を採用することが可能である。

リブ板の寸法やその溶接仕様は室内試験および FEM 解析の結果を基に標準化している。例えばリブ板の枚数は，それをパラメータとした軸圧縮試験の結果より，安定した荷重伝達が行える 12 枚を標準とした。また，曲げ試験やその試験を補完する FEM 解析の結果より，リブ板の最大耐力が一般部鋼管の降伏荷重を上回るようにその仕様を決定した。詳細は既往の研究報告 [2] を参照されたい。

2.1.3　異種杭接合方法

鋼管杭と既製コンクリート杭の接合は，鋼管杭の端部に，接続する既製コンクリート杭と同一仕様の端板を溶接し，端板を介して接続する構造としている。**図 3** に異種杭接合方法の概要を示す。

2.2　施工および施工管理

「コン剛パイル®工法」の施工は，①地盤を掘削した後に杭体を沈設するプレボーリング方式と，②地盤を掘削しながら同時に杭体を沈設する中掘り方式がある。プレボーリング方式では杭周固定液を使用し，中掘り方式では地盤条件に応じてその使用を選択できる。

また，根固め球根の築造には，**写真 2** に示すような，油圧式シリンダにより拡大翼が開閉する機構を有する先端ビットを用い，地上でリアルタイムに拡翼状態を確認しなが

写真 1　拡頭タイプ
Photo 1　Enlarged pile head

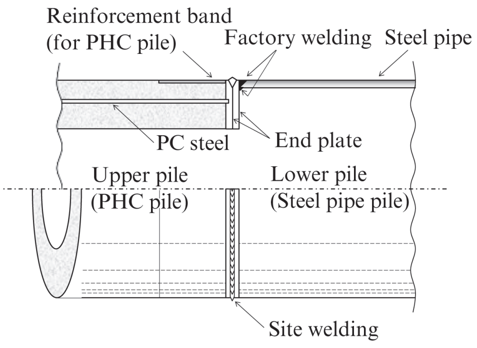


図 3　異種杭接合方法の概要
Fig. 3　Method of jointing different piles

ら所定の径の根固め球根を着実に築造する。

「コン剛パイル®工法」の施工管理項目・管理方法・管理値等は，（一財）ベターリビングの建設技術審査証明により審査された施工指針[3]に準拠しており，施工機械には掘削深度，オーガ駆動装置の負荷電流値および積分電流値，セメントミルクの積分流量等を計測可能な施工管理装置が装備されることを標準としている。

2.3　適用範囲

「コン剛パイル®工法」の適用範囲を**表 1** に示す。全長鋼管構造の場合，一般部の最大径は ϕ1 500 mm，根固め球根の最大径は ϕ3 000 mm まで施工可能で，杭先端に根固め球根を築造する同類工法の中では最大級の適用範囲となる。一方，ハイブリッド構造の場合の一般部の最大径は ϕ1 200 mm としている。

また，**表 2** に示すとおり，拡頭タイプを選択する場合の拡頭倍率（拡頭部径/一般部径）は最大 1.5 倍である。

なお，プレボーリング方式・中掘り方式のいずれの施工方式においても最大施工深さは 76 m で，杭の支持地盤には砂質地盤または礫質地盤が適用可能である。

写真 2　油圧式拡翼先端ビット

Photo 2　Hydraulic enlarged excavation head

表 1　「コン剛パイル®工法」の適用範囲

Table 1　Scope of application

Structure	Construction method	Diameter			
		Pile		Enlarged pile head	Enlarged pile end
		Min. (mm)	Max. (mm)	Max. (mm)	Max. (mm)
Basic (All steel pile)	Pre-boring	400	1 500	2 000	3 000
	Inside-boring	600			
Hybrid	Pre-boring	400	1 200	1 800	2 400
	Inside-boring	600			

表 2　拡頭部と一般部の組み合わせ

Table 2　Scope of application of enlarged pile head

Pile diameter (mm)	Enlarged pile head diameter (mm): 900	1 000	1 100	1 200	1 300	1 400	1 500	1 600	1 700	1 800	1 900	2 000
600	○											
700		○										
800			○	○								
900				○	○							
1 000					○	○	○					
1 100						○	○	○				
1 200							○	○	○			
1 300								○	○	○	○	
1 400									○	○	○	○
1 500										○	○	○

2.4　施工体制

「コン剛パイル®工法」の施工は，写真 2 に示したような特殊な掘削ビットを用い，一般工法とは異なる施工ノウハウが必要であることから，施工業者を「ジャパンパイル（株）」もしくは「JFE スチールおよびジャパンパイル（株）から承認を受けた杭施工会社」に限定し，公的機関から審査を受けた施工管理項目を満足させている。

3.「コン剛パイル®工法」の施工確認試験

3.1　大径長尺杭の施工試験

「コン剛パイル®工法」の建設技術審査証明の一部として，審査委員による立会いのもと，油圧式先端ビットを用いた施工試験を実施した。

試験は茨城県稲敷郡で行い，施工場所の土質柱状図と杭仕様を**図 4** に示す。表層より 40 m 以深程度まで N 値 10 未満の軟弱地盤が堆積し，その後換算 N 値 100 を超える砂層

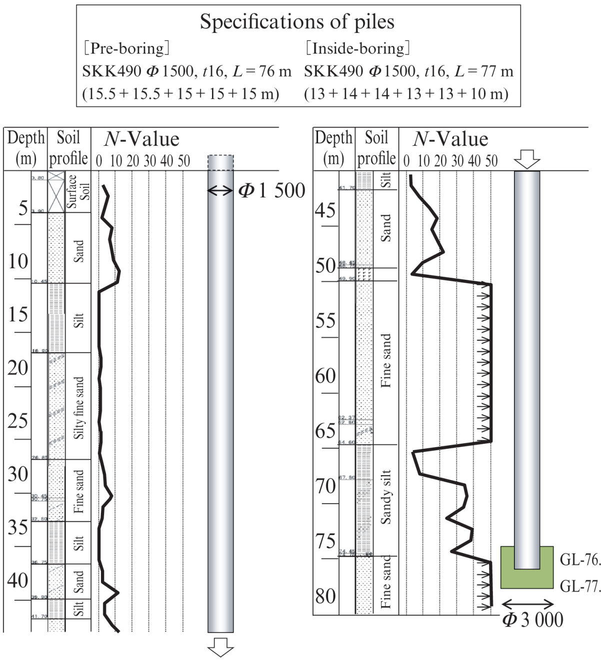


図 4　土質柱状図と杭仕様

Fig. 4　Soil boring log and specifications of piles

が 15 m 程度続いている。本試験ではその下に位置する砂地盤を支持層として選定した。根固め球根付近の地盤は換算 N 値 180 を超える箇所もあり，非常に難度の高い施工条件であると言える。

杭は適用最大杭径である ϕ1 500 mm，根固め球根径 ϕ3 000 mm，適用最大長 76 m の仕様で，プレボーリング方式と中掘り方式（杭周固定液なし）の両方式で施工した。本試験の結果，施工指針で定めた施工管理項目・管理方法に則って，適用最大径かつ適用最大長における施工が行えることが確認できた。

写真 3　掘り出し後の根固め球根姿図

Photo 3　Digging test

3.2　掘り出し調査試験

実地盤に施工した「コン剛パイル®工法」の根固め球根の品質確認を目的として，杭施工後に根固め球根を掘り出し形状を確認するとともに，根固め球根を半裁し内部の攪拌状況を確認した。

試験は千葉県君津市で行い，表層付近から N 値 50 以上の細砂が堆積する砂地盤に杭径 ϕ1 500 mm，根固め球根径 ϕ3 000 mm，杭長 5 m の杭をプレボーリング方式により 2 本施工した。**写真 3** に掘り出し後の根固め球根姿図を示す。

根固め球根径は，球根の高さ方向に等間隔で 5 断面の周長を計測し，これを円周率 π で除して求めた。測定の結果，2 体の測定値の中で最小値は 3 039 mm，平均値は 3 051 mm となり，設計値 3 000 mm を上回る結果が得られた。

次に，根固め球根を半裁し内部の攪拌状況や突起部周辺の充填状況を確認した結果，土塊の面積比（土塊面積/ソイルセメント面積）は 0.34〜0.76％であり，土塊混入率は極めて低いことが分かった。

さらに，本試験杭や載荷試験実施後の試験杭の根固め球根部からコア供試体を採取し圧縮試験を実施した。その結果，個々のコア強度のばらつきを考慮した 90％信頼区間の下限値が設計上の必要根固め強度を満たしていたことが確認できた。

4. 「コン剛パイル®工法」の支持力性能

4.1　載荷試験実施状況

「コン剛パイル®工法」では，Super KING 工法の載荷試験を含め全 13 件の押し込み載荷試験を実施しており，この試験結果に基づいて押し込み支持力の推定式を定めている。押し込み載荷試験一覧を**表 3** に示す。

押し込み載荷試験は杭径 ϕ600〜ϕ1 500 mm の鋼管杭，および杭径 ϕ1 200 mm の異種材組み合わせ杭（ハイブリッド構造）で実施した。なお，試験 No.11 については根固め球根径が適用範囲外になるため，試験データは周面摩擦力の評価のみに使用した。

表 3　押し込み載荷試験一覧

Table 3　List of compressive load tests

No.	Pile		Enlarged pile end		Ground at the pile end		Construction method		The others
	Dia. D_p(mm)	Length L(m)	Dia. D_g(mm)	D_g/D_p	Ave. N-Value	Soil type	Type	Cement milk	
1	950	46.0	1 450	1.50	60.9	Gravel	IB	-	
2	650	37.0	820	1.25	62.0	Sand	IB	-	
3	950	60.0	1 675	1.75	49.3	Sand	IB	○	
4	609.6	12.0	920	1.50	33.1	Sand	IB	○	
5	650	16.5	1 150	1.75	44.3	Sand	IB	-	
6	1 200	67.0	2 400	2.00	57.3	Gravel	IB	○	
7	1 200	55.0	2 400	2.00	50.4	Gravel	IB	-	
8	650	22.5	1 300	2.00	36.8	Gravel	IB	○	
9	600	55.0	750	1.25	66.4	Gravel	PB	○	
10	600	19.0	750	1.25	43.0	Sand	PB	○	Enlarged pile head (D_h = 900 mm)
11	1 500	31.0	1 600	1.07	43.7	Sand	IB	-	
12	1 200	51.0	2 400	2.00	42.6	Sand	PB	○	Hybrrid structure (SC + Steel pipe pile)
13	1 500	51.0	3 000	2.00	42.5	Sand	PB	○	

4.2　支持力算定式

「コン剛パイル®工法」によって施工される杭の地盤により定まる長期許容支持力は以下により算出する。

$$R_a = \frac{1}{3} \times \left\{ \alpha \cdot \overline{N} \cdot A_p + \left(\beta \cdot \overline{N_s} \cdot L_s + \gamma \cdot \overline{q_u} \cdot L_c \right) \times \psi \right\} \quad \cdots\cdots (1)$$

R_a：長期許容支持力（kN）

α：先端支持力係数（砂・礫共通）

$$\alpha = 194 \cdot (D_g/D_p)^2 \qquad D_g \le 2.4$$

$$\alpha = \left\{194 - 6.5 \cdot (D_g^2 - 2.4^2)\right\} \cdot (D_g/D_p)^2 \qquad D_g > 2.4$$

D_g：根固め球根径（m）

D_p：基礎杭の本体径（m）

β：砂質地盤における杭周面摩擦力係数

・杭周固定液あり：β=3.79

・杭周固定液なし：β=1.66

γ：粘土質地盤における杭周面摩擦力係数

・杭周固定液あり：γ=0.60

・杭周固定液なし：γ=0.31

$\overline{N}$：杭先端より下方に $2D_p$，上方に $1D_p$ の範囲の地盤の標準貫入試験による打撃回数の平均値（回）
$\overline{N} \le 60$

A_p：基礎杭の先端の有効断面積（m^2）
$A_p = \pi \cdot D_p^2/4$

$\overline{N_s}$：基礎杭の周囲の地盤のうち砂質の標準貫入試験による打撃回数の平均値（回）
$6 \le \overline{N_s} \le 30$

$\overline{q_u}$：基礎杭の周囲の地盤のうち粘土質の一軸圧縮強度の平均値（kN/m^2）
$22 \le \overline{q_u} \le 200$

L_s：砂質地盤に接する長さの合計（m）

L_c：粘土質地盤に接する長さの合計（m）

Ψ：基礎杭の周囲の有効長さ（m）

・中掘り方式
$\Psi = \pi \cdot D_p$

・プレボーリング方式
$\Psi = \pi \cdot D_p$
（通常タイプまたは拡頭タイプの一般部の場合）
$\Psi = \pi \cdot D_h$
（拡頭タイプの拡頭部の場合）

D_h：拡頭部径（m）

上記の内容について平成29年3月に（一財）ベターリビングの一般評定を取得している[4]。なお，上記のうち杭径 ϕ1 200 mm 以下については，同年12月に同法人の性能評価を取得し[5]，平成30年4月には国土交通大臣認定を取得している[6]。各支持力係数の設定方法について4.3～4.4節に示す。

4.3　先端支持力係数 α の設定方法

極限支持力時の先端支持力 R_p を根固め球根断面積 A_g で除した杭先端支持力度 q_p* と杭先端平均 N 値の関係を**図5**に示す。ここで，極限支持力は根固め球根直径の10％相当の杭先端沈下量が生じたときの荷重とした。

杭径 ϕ1 200 mm（根固め球根径 ϕ2 400 mm）以下の α の設定におけるデータ数は，砂質地盤が6個，礫質地盤が5個である。図5より，砂質地盤と礫質地盤による載荷試験結果の有意な差異はないと判断できるため，両者を合わせたデータを用いて α を設定した。また，杭の構成（全長鋼管構造またはハイブリッド構造）や施工法（中掘り方式またはプレボーリング方式）の選択にかかわらず，根固め球根の築造工程や先端鋼管杭の球根根入れ方法は変わらないため，これらの先端支持力への影響はないものと整理した。

q_p* を杭先端平均 N 値で除した値 α* の算定式を図5内の点線に示す。算定式は統計解析により90％信頼区間の下限値になるように決定しており，以下の式で設定した。

$$\alpha = \alpha^* \cdot (D_g/D_p)^2 = 194 \cdot (D_g/D_p)^2 \quad \cdots\cdots\cdots (2)$$

一方，杭径 ϕ1 200 mm を超える載荷試験事例は試験No.13の1件のみで，その α* は172となった。**図6**に先端支持力係数 α* と根固め球根断面積の関係を示す。

建築基礎構造設計指針[7]では，大径杭の沈下量は先端支持力度が同一でも中小径杭と比較すると大きくなる傾向があるとされ，その先端支持力は標準算定式よりも低減すべきと指摘されている。「コン剛パイル®工法」においても，現状載荷試験事例が少ないことと上記の指摘を考慮し，根固め

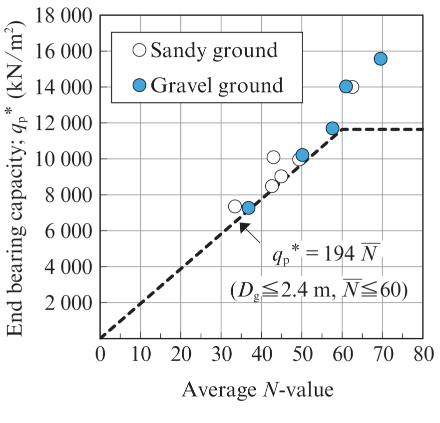


図5　杭先端支持力度と杭先端平均 N 値の関係

Fig. 5　Relation between end bearing capacity and average N-value

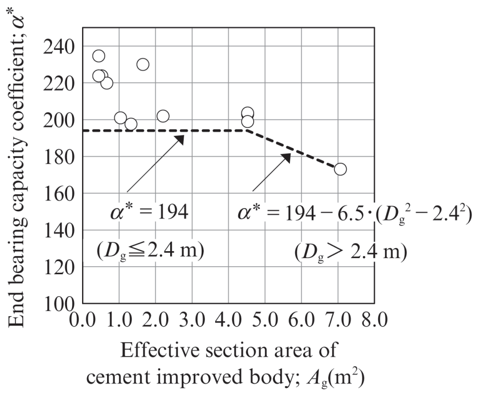


図 6　先端支持力係数 α^* と根固め球根断面積の関係

Fig. 6　Relation between end bearing capacity coefficient and effective section area of enlarged foot protection part

球根径 ϕ2 400 mm を超える杭については，根固め球根断面積に比例して以下式のとおり α^* を低減させることとした。

$$\alpha = \alpha^* \cdot (D_g/D_p)^2$$
$$= \{194 - 6.5 \cdot (D_g{}^2 - 2.4^2)\} \cdot (D_g/Dp)^2 \quad \cdots\cdots \quad (3)$$

以上より，適用最大径である杭径 ϕ1 500 mm，根固め球根径 ϕ3 000 mm の杭を平均 N 値 60 相当の支持層に支持させれば，24 400 kN/本の長期許容支持力を発揮することができる。

4.4　周面摩擦力係数 β，γ の設定方法

プレボーリング方式および中掘り方式（杭周固定液あり）により施工された杭の載荷試験結果から，砂質地盤における平均 N 値と周面摩擦応力度，粘土質地盤における平均一軸圧縮強度と周面摩擦応力度の関係を**図 7** に示す。図中の点線は β=3.79，γ=0.60 の場合の算定式を示す。周面摩擦力係数 β，γ は α の設定方法と同様に 90％信頼区間の下限値になるように決定した。プレボーリング方式と中掘り方式において，施工法の違いによる β，γ には有意な差異が見られなかったため，両者を区別しない算定式とした。

同様に，中掘り方式（杭周固定液なし）により施工された杭の周面摩擦応力度の実測値と算定式を**図 8** に示す。杭周固定液なしの場合は，β=1.66，γ=0.31 を採用した。

5.　おわりに

本報では，「コン剛パイル®工法」の施工確認試験と支持力性能を中心にその特長を述べた。「コン剛パイル®工法」は Super KING 工法の基本的な構造や施工法を踏襲しながら適用範囲や支持力を大幅に向上させた工法であり，従来工法と比較して先端支持力係数は最大 1.25 倍，1 本あたりの最大先端支持力は 1.74 倍の値を得ることができる。

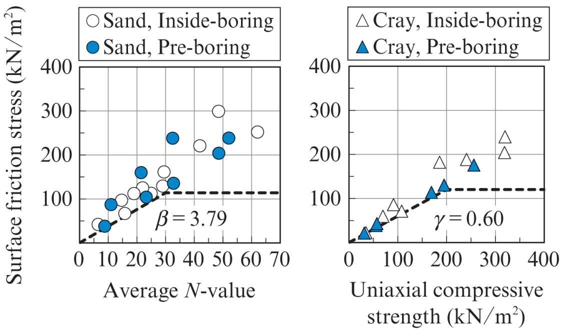


図 7　周面摩擦抵抗力度（杭周固定液ありの場合）

Fig. 7　Surface friction stress (In case of using cement milk)

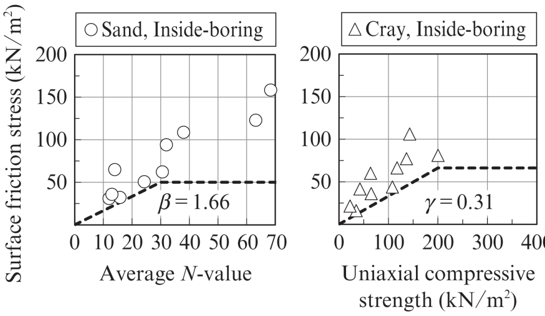


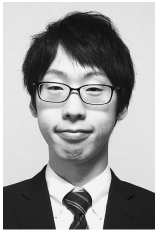
図 8　周面摩擦抵抗力度（杭周固定液なしの場合）

Fig. 8　Surface friction stress (In case of not using cement milk)

さらに，「コン剛パイル®工法」は従来工法より信頼性の高い施工管理を目指した施工指針が規定されており，施工管理面の優位性も併せ持つと考えられる。今後も認定会社および承認施工会社と協力して信頼性の高い杭基礎の提供に尽力していきたい。

参考文献

1) 市川和臣．Super KING 工法．基礎工．2008，vol. 36，no. 12，p. 72–74.
2) 脇屋泰士，市川和臣，林正宏．拡頭構造を有する大支持力鋼管杭工法．JFE 技報．2005，no. 10，p. 51–58.
3) ベターリビング．「コン剛パイル工法」建設技術審査証明報告書．BL 審査証明-024.2016-03.
4) ベターリビング．「コン剛パイル工法」評定書．CBL FP011-15 号．2017.
5) ベターリビング．「コン剛パイル工法」性能評価書．KE-P001-17．2017.
6) 国土交通大臣認定 TACP-0549「コン剛パイル工法」別添資料．2018.
7) 日本建築学会．建築基礎構造設計指針．2001, p. 210.


髙田　雄大

松井　良典

市川　和臣

Copyright © 2019 JFE Steel Corporation. All Rights Reserved.　禁無断転載