

高性能ハイブリッドコラム工法

# トルネードドラフト工法

*Tornado Draft Method*

$$\begin{array}{c}
 \text{Ru} \\
 \text{トルネードパイル} \\
 \text{支持力}
 \end{array}
 +
 \begin{array}{c}
 \text{qd} \\
 \text{地盤} \\
 \text{支持力}
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 \text{パイルドラフト支持力} \\
 \text{(複合的支持力)} \\
 \text{トルネードドラフト工法}
 \end{array}$$



## 革新的 新技術!

### 第二弾

#### 新しい形の 住宅地盤補強提案

ご連絡・お問い合わせ先

 株式会社 **トラバース**

本社 千葉県市川市末広2-4-10  
TEL 047-359-4111 FAX 047-359-4115  
<http://www.travers.co.jp>

ご注意とお願い 本資料に記載された技術情報は、製品の代表的な特性や性能を説明するものであり、「規格」の規定事項として明記したもの以外は、保証を意味するものではありません。本資料に記載されている情報の誤った使用または不適切な使用等によって生じた損害については責任を負いかねますのでご了承ください。また、これらの情報は、今後予告なしに変更される場合がありますので最新情報は上記担当部署にお問い合わせください。本工法の提供は株式会社トラバースとなっています。

 **トラバース**

一般財団法人日本建築総合試験所  
建築技術性能証明取得工法  
(GBRC性能証明 第21-05号)

# トルネードドラフト工法とは

トルネードパイルと基礎で支持するパイルドラフト工法です。

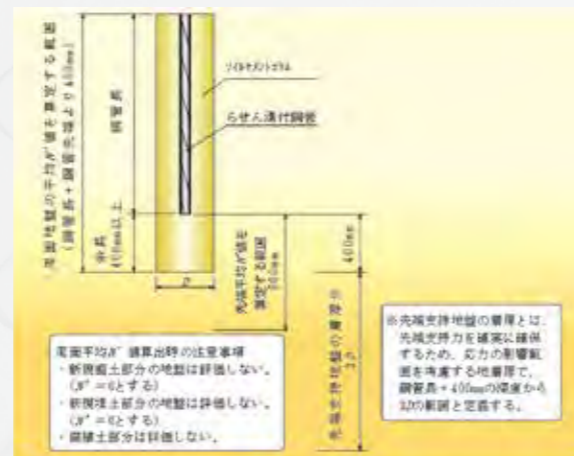
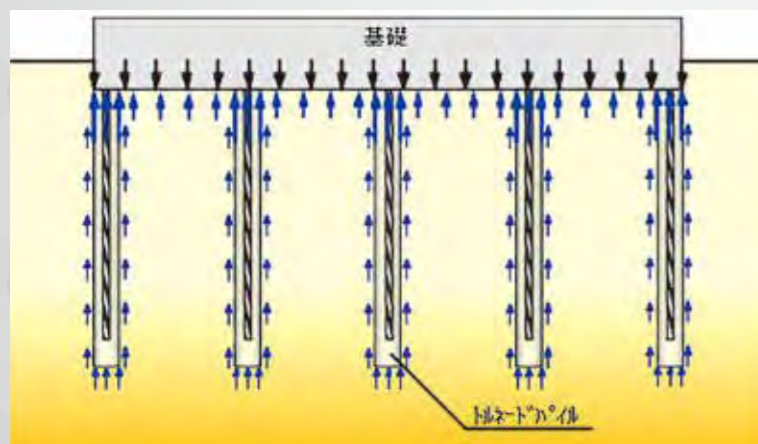
本工法は、基礎の支持力向上及び沈下量低減を図るため、  
2020年7月20日に(一財)日本建築総合試験所建築技術性能証明 第20-06号として  
性能証明されたトルネードパイル工法の支持力性能と基礎スラブによる  
補強体間地盤の支持力性能を利用した複合地盤補強工法です。

## 1 | 基礎底面の支持力を有効に活用します

本工法では、小規模建築物の現状に即した支持力機構(改良体支持力+地盤支持力)により支持力性能の検証を行うことで、トルネードパイルおよび基礎スラブの双方が有効に作用し、複合的な支持力性能を評価する事が可能となりました。

## 2 | トルネードドラフト工法を用いて経済性UP

本工法では改良体間地盤の支持力性能を適切に評価することが出来るため、補強体部分に荷重が集中することなく、複合地盤として一様に支持力剛性が向上します。従って、従来の杭状地盤補強に比べ、基礎梁にはたらく応力が減少し、適切な配筋量及び適切な断面での設計が可能となります。



## 3 | 適用範囲

本工法の適用建築物は以下の通りです。

適用範囲	地盤	建築物	基礎形式	工作物	鋼管長
(1)	先端地盤:粘性土地盤、砂質土地盤(礫質土地盤を含む)、ローム地盤	地上階:3階以下	ベタ基礎	高さH=3.5m以下の擁壁	最大:8m
(2)	周面摩擦考慮地盤:粘性土地盤、砂質土地盤(礫質土地盤を含む)、ローム地盤	建物高さ:13m以下	布基礎	ボックスカルバート等	最小:0.5m
(3)	基礎接地面地盤:粘性土地盤、砂質土地盤	基礎の設計接地圧: 100kN/m <sup>2</sup> 以下			
(4)		延べ面積:1000m <sup>2</sup> 以下			

### トルネードドラフト工法の魅力

## 4 | 摩擦力が大きく優れた支持力

トルネードドラフト工法は、鋼管杭工法の安定した材料強度とソイルセメントコラム工法の大きな摩擦力を合成させることにより、ソイルセメントコラム工法の短所であるコラム強度のバラツキを鋼管が補い、鋼管杭工法の短所である小さな摩擦力をソイルセメントコラム工法が補うことで、各工法の短所を打ち消し、高い支持力を発揮することができます。

## 5 | 良好な品質を確保!

芯材に使用する鋼管は、一般的に使用されている冷間製造の鋼管ではなく、熱間製造の鋼管を使用しており、造管ラインにて段付の鋼管を製造し、付着力の増大を考慮した鋼管として利用するものです。

### 安全性の比較

ソイルセメントコラムは、頭部周辺に応力が集中するため、固化不良や土塊の混入があると補強体が崩壊してしまうのに対し、トルネードパイルは、芯材効果により応力集中を防ぐと共に、芯材全長で支えていることから一部分に固化不良が生じた場合でも影響を回避できます。

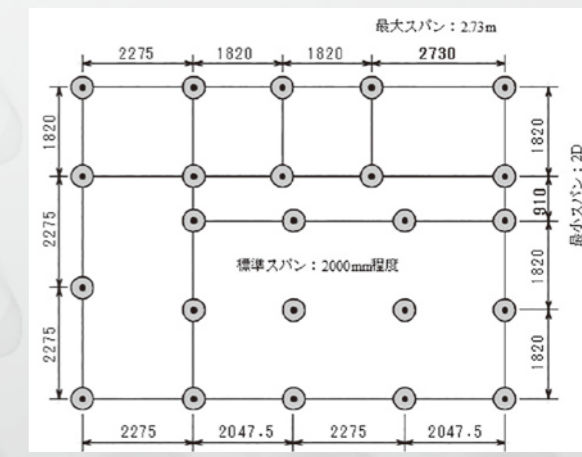
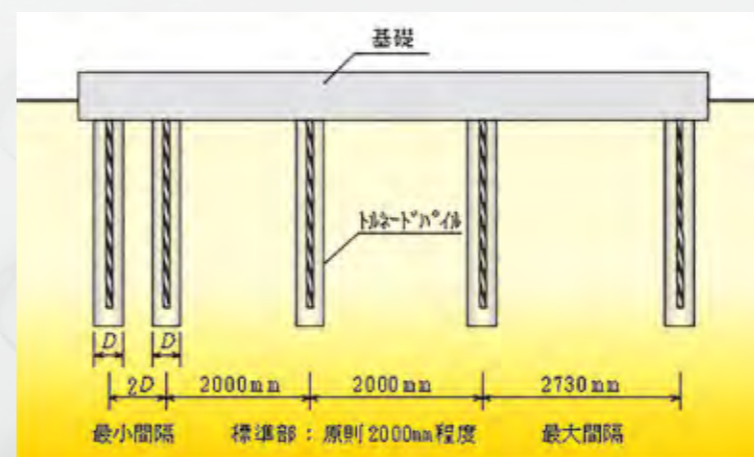
### 腐植土地盤における適用性

腐植土により固化不良が発生する地盤の場合、ソイルセメントコラムは強度を確保出来ないのに対し、トルネードパイルは、芯材の摩擦力(付着力)が大きいため、芯材の材料強度(80~166kN)及び腐植土部分を除いた支持力の小さい方まで設計考慮することができます。

## 6 | 優れた環境性能

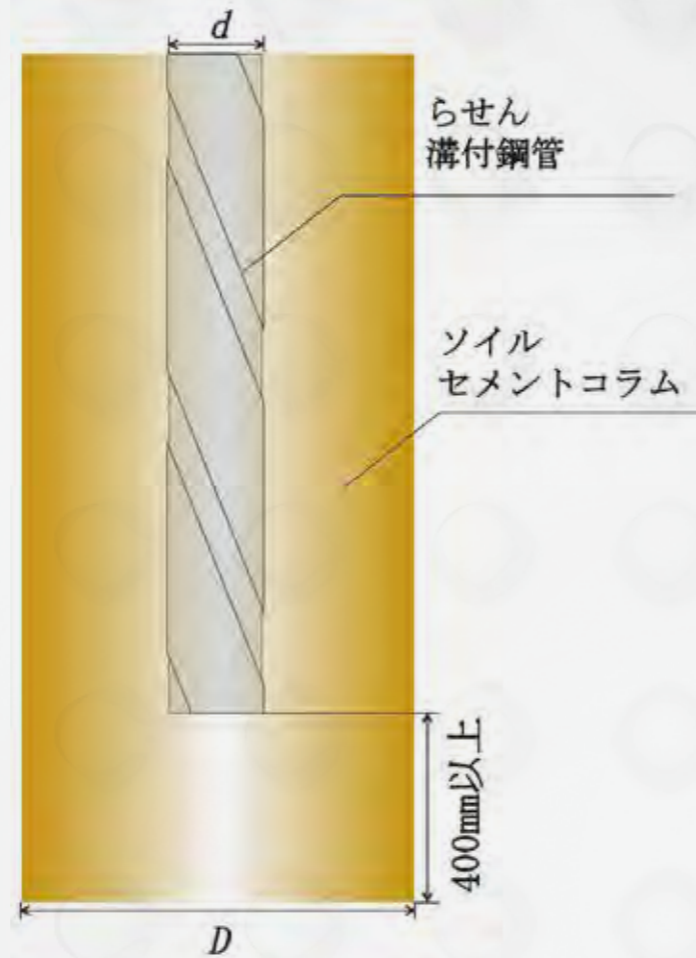
高支持力化に伴い、施工長の短縮が可能。製造時、CO<sub>2</sub>発生量の多い鉄やセメント系固化材の使用量を大幅に縮小。施工時の発生残土量及び施工設備の排気ガスについても大幅に減少することができ、環境に配慮した工法です。

## 7 | トルネードドラフト工法の配置例



## トルネードパイルの仕様

コラム径 D	400mm、500mm、600mm	
先端余長 C	400mm以上	
設計基準強度 Fc	砂質土	600~1200kN/m <sup>2</sup>
	粘性土	600~1000kN/m <sup>2</sup>
	ローム	600~800kN/m <sup>2</sup>
固化材配合量	砂質土・粘性土	300kg/m <sup>3</sup> 以上
	ローム	350kg/m <sup>3</sup> 以上
W/C	標準 70%	
	※試掘時の土質の状況により 50%~120%の範囲内で設定する	
変動係数 V <sub>quf</sub>	砂質土	0.20
	粘性土・ローム	0.25
羽根切回数	砂質土	500回/m以上
	粘性土・ローム	600回/m以上
先端練返し	1.5D以上	
固化材の種類	表1	



トルネードパイルの概要図

ソイルセメントコラムの仕様

主な用途	品種	生産者
標準タイプ 六価クロム 低溶出型 一般軟弱土用	ユースタビラー-50,52	宇部三菱セメント(株)
	ジオセット200	太平洋セメント(株)
	タフロック3E	住友大阪セメント(株)
	ハードキープP-530,540	(株)トクヤマ
	ネオセラメントLS,SS	(株)デイ・シイ
高含水土 高有機質土用	ユースタビラー-20,30,40	宇部三菱セメント(株)
	ジオセット220	太平洋セメント(株)
	タフロック-4,2000	住友大阪セメント(株)
	ハードキープP-310,730	(株)トクヤマ
	ネオセラメントVS,800S	(株)デイ・シイ

※施工実績のない固化材を使用する場合は事前に配合試験を行う

表1 固化材の種類

	らせん溝付鋼管径 d (mm)	ソイルセメントコラム径 D (mm)		
		400	500	600
	48.6	○	—	—
	63.5	○	○	—
	76.3	○	○	○
	89.1	○	○	○
	101.6	○	○	○
	114.3	○	○	○

トルネードパイルの組み合わせ一覧

## らせん溝付鋼管の仕様

外径 d (mm)	らせん溝付鋼管の各種数値						
	48.6	63.5	76.3	89.1	101.6	114.3	
材料名	RS-STK500			RS-STK400			
母材の規格	STK500			STK400			
厚さ t (mm)	2.0	2.3	2.3	2.6	2.6	2.6	
単位重量 <sup>※1</sup> W (kg/m)	2.32 (2.30)	3.51 (3.47)	4.21 (4.20)	5.50 (5.55)	6.39 (6.35)	7.25 (7.16)	
断面積 <sup>※1</sup> (mm <sup>2</sup> )	295.6 (292.8)	447.1 (442.2)	536.6 (534.7)	701.0 (706.5)	813.4 (808.6)	923.8 (912.4)	
らせん溝本数(本/周)	3			4			
らせん溝角度(°)	10 ± 2						
らせん溝幅(mm)	19 ± 10%	23 ± 10%	23 ± 10%	23 ± 10%	26 ± 10%	26 ± 10%	
らせん溝深さ(mm)	3.3 ± 1.0	3.7 ± 1.0	3.8 ± 1.0	4.3 ± 1.0	4.4 ± 1.0	4.2 ± 1.0	
らせん溝間隔(mm)	270 ± 10%	370 ± 10%	340 ± 10%	440 ± 10%	510 ± 10%	550 ± 10%	
引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	≥ 500			≥ 400			
降伏耐力 (N/mm <sup>2</sup> )	≥ 355			≥ 235			
圧縮耐力 <sup>※2</sup>	長期	80	80	97	126	146	166
	短期	120	120	145	189	219	249

※1 実測質量を基に計算した公称厚さの管の場合での値(括弧内の値は公称径の丸管として計算した値)  
※2 圧縮耐力は硬化率 α<sub>h</sub>=15%を考慮した値

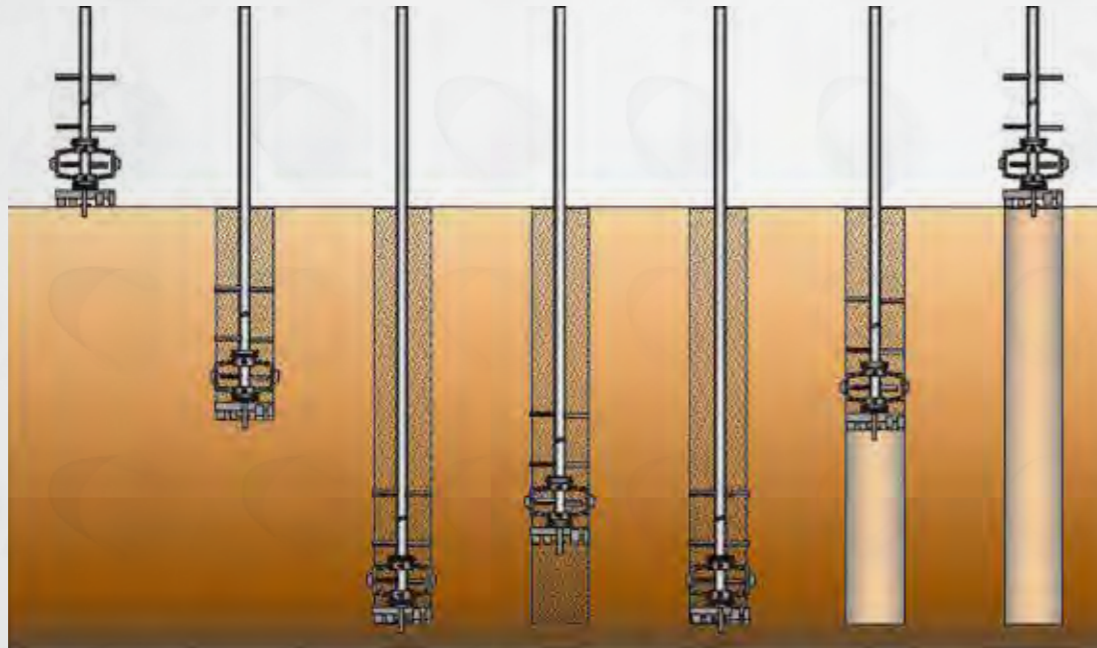


らせん溝付鋼管

トルネードパイルは、高支持力で補強体強度が強い

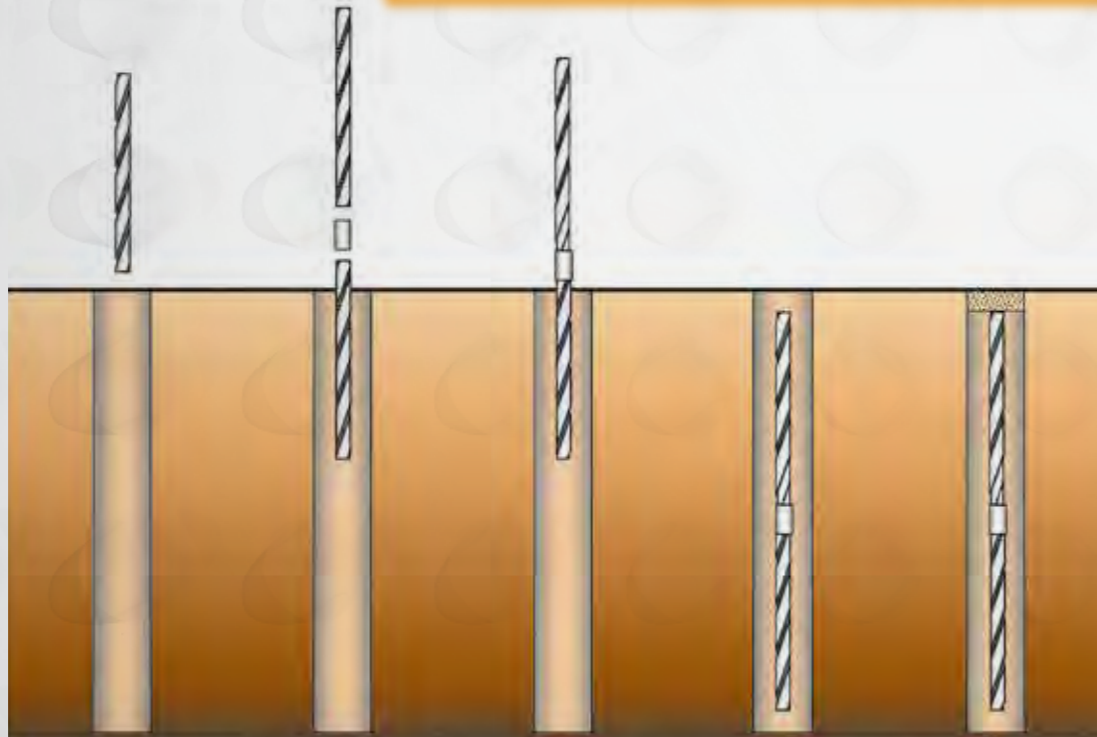
最新鋭設備で特殊加工技術を用いて生産します

施工手順



- ① 芯位置セット及びロッドの鉛直確認を行う
- ② セメントミルクを吐出しながら正回転にて掘進・混合攪拌する
- ③ 深度計により、設計深度まで到達したことを確認する
- ④ 1.5D分の先端繰り返しを行う(引上げ時は逆回転とする)
- ⑤ 逆回転にて引上げ工程に入る
- ⑥ 羽根切り回転をチェックしながら引上げていく
- ⑦ ソイルセメントコラムの打設完了

第三者認証歴20年のノウハウがあります

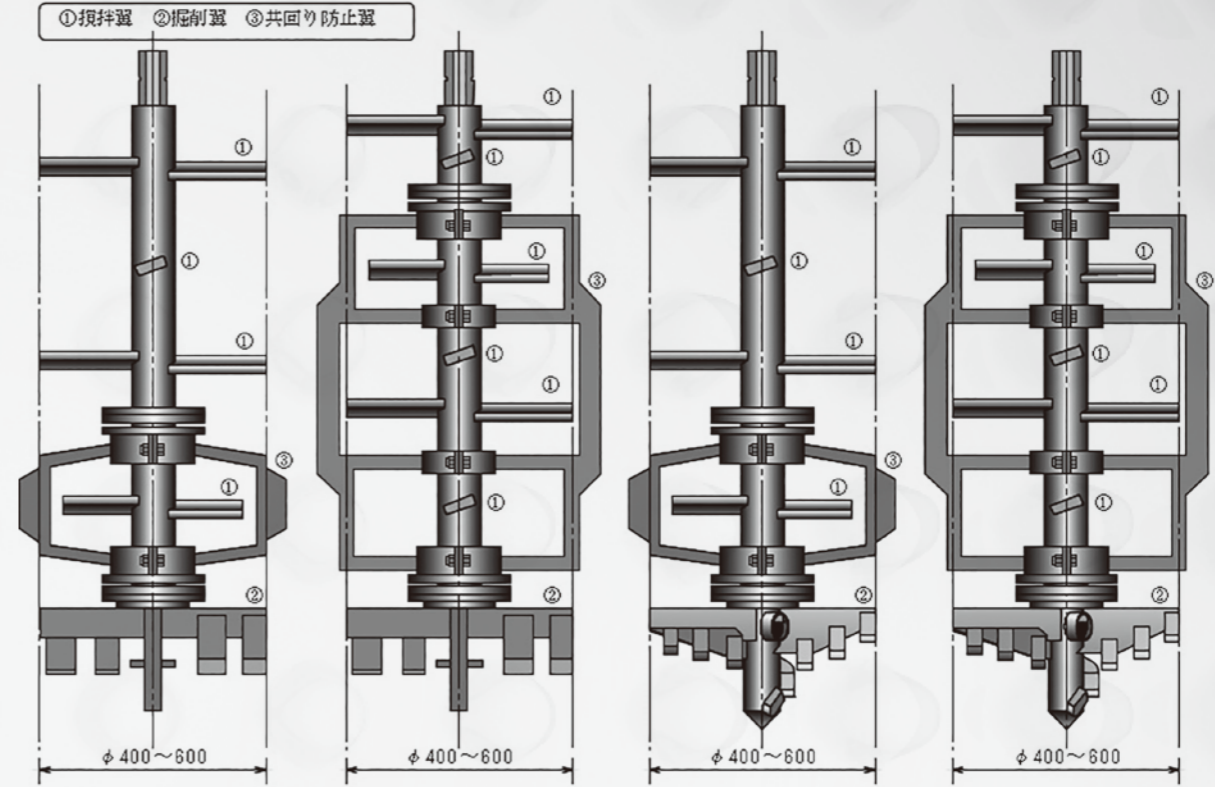


- ⑧ ソイルコラムの中心にらせん溝付鋼管を建て込む
- ⑨ 鋼管を繋ぐ場合は、下管を適切な位置で止め、上管を建て込む
- ⑩ 下管と上管との継手は、スリーブ継手又は溶接継手にて行う
- ⑪ 鋼管天端を所定の深度まで挿入する
- ⑫ 鋼管天端レベルに合わせてコラム頭部を修正する

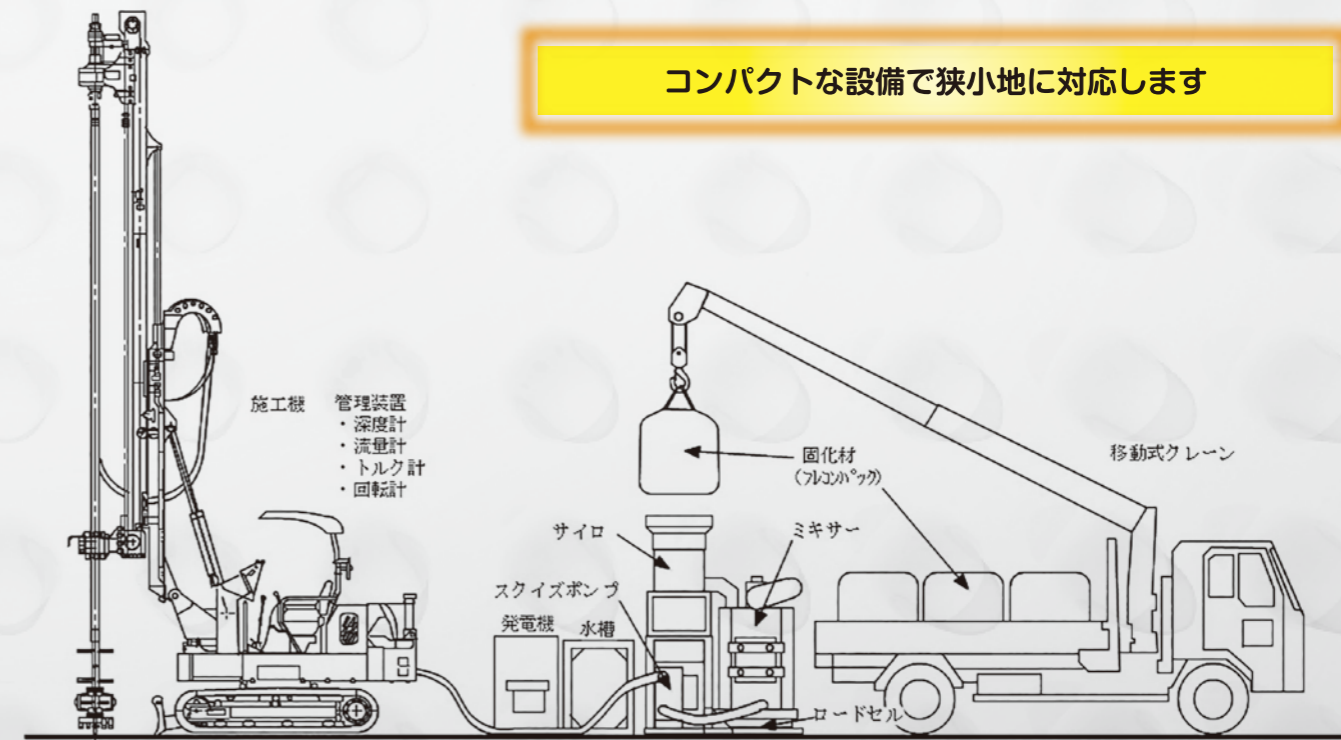
複合補強体は曲げやせん断に強い

攪拌装置

ソイルセメントコラム築造には30年の実績があります



コンパクトな設備で狭小地に対応します



施工設備概要図

# トルネード工法の許容鉛直支持力 1

本工法で補強された複合地盤の許容鉛直支持力 $q_a$ は、式1の通り、地盤の極限支持力 $q_d$ と補強体の許容鉛直支持力 $R_a$ 、及び1本当たりが負担する基礎の支配面積 $A_f$ に対する改良率 $a_s$ から求める。

$$q_a = \frac{1}{F_s} \left( q_d \cdot (1 - a_s) + \frac{R_u}{A_P} \cdot a_s \right) = \frac{1}{F_s} q_d \cdot (1 - a_s) + \frac{R_a}{A_P} \cdot a_s$$

..... 式1

$q_a$  : 複合地盤の許容鉛直支持力度(kN/m<sup>2</sup>)

$F_s$  : 安全率(長期:3, 短期:1.5とする)

$q_d$  : 補強体間地盤の極限支持力度

$a_s$  : 改良率

$$a_s = \frac{A_P}{A_f}$$

$A_P$  : 補強体の断面積(m<sup>2</sup>)

$A_f$  : 補強体1本当たりが負担する基礎の支配面積(m<sup>2</sup>)

図1に支配面積の設定例を示す

$R_u$  : 補強体の許容鉛直支持力(kN)

$R_a$  : 補強体の極限鉛直支持力(kN)

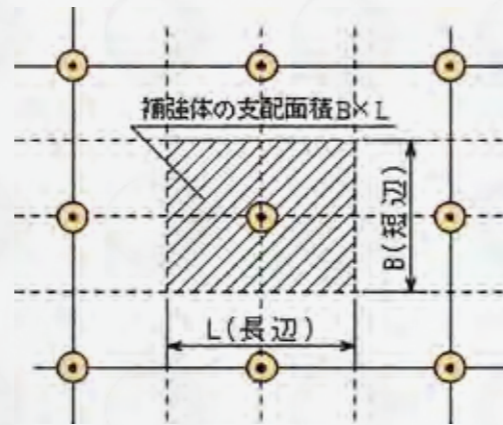


図1 補強体が負担する基礎の支配面積設定例

地盤の極限支持力 $q_d$ は、式2の通り、日本建築学会『小規模建築物基礎設計指針』(以下、小規模指針と称す)に示された支持力算定式により求める。

$$q_d = (30 \times W_{sw} + 0.64 \times N_{sw}) \times 3$$

..... 式2

$q_d$  : 補強体間地盤の極限支持力度(kN/m<sup>2</sup>)

$W_{sw}$  : SWS試験における静的貫入最小荷重(kN)

$N_{sw}$  : SWS試験における換算半回転数

ただし、 $0.3 \leq W_{sw} \leq 1, 0 \leq N_{sw} \leq 80$ とし、

$W_{sw}$ 、 $N_{sw}$ は、それぞれ基礎底面より2m範囲内の平均値とする。

**パイルドラフト(複合地盤)は、  
直接基礎・杭基礎と並ぶ新しい基礎技術です**

# 許容鉛直支持力 2

トルネードパイルの仕様は、負担荷重により鋼管長 $L$ を設定して、先端支持力及び周面摩擦力を考慮する部分を設定し、先端地盤の平均 $N'$ 値( $N's$ 値)及び周面地盤の平均 $N'$ 値( $N'f$ 値)を求めて設定する。ここで、先端地盤の平均 $N'$ 値は、図2に示す先端平均 $N'$ 値を算定する範囲(芯材先端から800mm以内)の平均 $N'$ 値と、先端支持地盤の層厚(鋼管先端より400mm深い深度から3Dの範囲)の25cm毎の $N'$ 値を比較し、最も小さい値を $N's$ として求める。また、周面地盤の平均 $N'$ 値は、図1に示す周面地盤の平均 $N'$ 値を算定範囲(鋼管長+400mm)より算出し $N'f$ として求める。ここで、先端支持地盤の層厚とは、先端支持力を確実に確保するため、応力影響範囲を考慮するための層厚で、鋼管先端より400mm深い深度から3Dの範囲と定義するものである。また、余長を400mm以上とする理由は、支持力が確保出来ていた場合でも、沈下量を軽減するために改良のみ長く確保する場合があるためである。 $N'$ の算定はSWS試験結果より、土質に応じて式3、式4を用いて行う。また、先端地盤及び周辺地盤の平均 $N'$ 値の適用範囲は表2の通りとする。

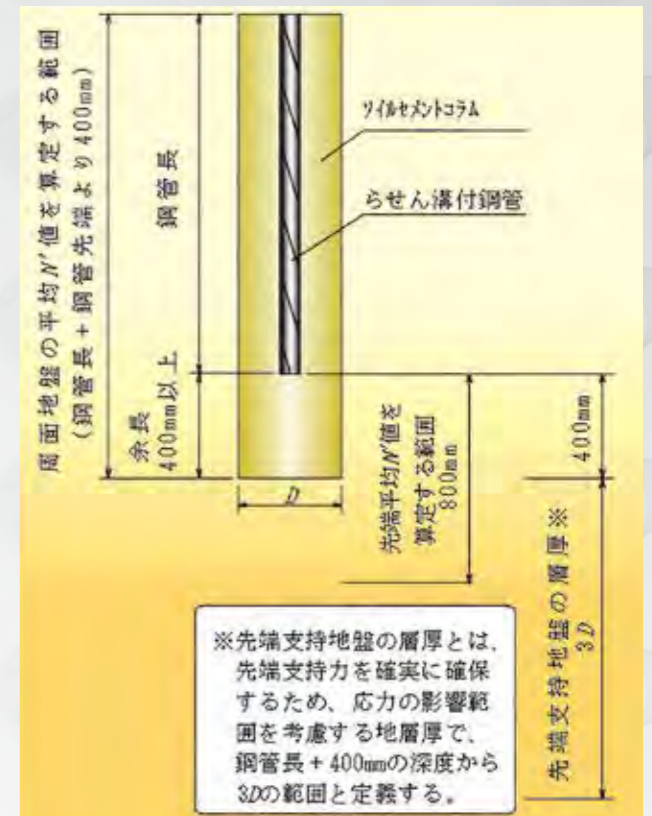


図2 支持力算出方法概要図

砂質土地盤の場合  $N' = 2W_{sw} + 0.067N_{sw}$  ..... 式3

粘性土地盤の場合  $N' = 3W_{sw} + 0.05N_{sw}$  ..... 式4

$W_{sw}$  : SWS試験における静的貫入最小荷重(kN)

$N_{sw}$  : SWS試験における換算半回転数

鋼管長 ( L )	先端地盤		周面地盤	
	個々の $N'$ 値	平均 $N'$ 値	個々の $N'$ 値	平均 $N'f$ 値
$0.5 \text{ m} \leq L < 2.0 \text{ m}$	$0.8 \leq N' \leq 19.0$	$3.0 \leq N's \leq 14.0$	$0.15 \leq N' \leq 18.0$	$0.6 \leq N'f \leq 7.5$
$2.0 \text{ m} \leq L < 6.0 \text{ m}$	$0.15 \leq N' \leq 19.0$	$1.5 \leq N's \leq 14.0$		
$6.0 \text{ m} \leq L \leq 8.0 \text{ m}$		$0.3 \leq N's \leq 14.0$		

表2 先端地盤及び周面地盤の $N'$ 値の適用範囲

※SWS試験とは、JIS A 1221:2020 スクリューウェイト貫入試験方法の略である。

(旧名称:スウェーデン式サウンディング試験)

## 許容鉛直支持力 3

許容支持力Raの算定は、次式による。

$$Ra = \min(Ra', Ra1) \dots\dots\dots \text{式5}$$

ここで、Ra'は、地盤から決まるトルネードパイルの許容支持力であり、Ra1は、トルネードパイルの圧縮耐力である。以下その算定方法を示す。

### 【地盤から決まるトルネードパイルの許容支持力Ra'】

$$Ra' = Ru' / Fs = (\alpha N's A_p + \beta \gamma N'f L \psi) / Fs \dots\dots\dots \text{式6}$$

- Ra': 地盤から決まるトルネードパイルの許容支持力
- Ru': 地盤から決まるトルネードパイルの極限支持力
- Fs : 安全率 長期(常時)=3.0、短期(中地震時)=1.5
- α : 先端支持力係数=142
- βγ : 周面摩擦力係数=14.3
- N's : 先端地盤の平均N'値
- A<sub>p</sub> : 補強体の断面積
- N'f : 周面地盤の平均N'値
- L : 周面地盤の長さ(m)
- ψ : 補強体の周長(m)

### 【トルネードパイルの圧縮耐力Ra1】

$$Ra1 = Ra1'' + \min(Ra1', Ra1''') \dots\dots\dots \text{式7}$$

$$Ra1' = \frac{1}{Fs} P_y \times (1-a) \dots\dots\dots \text{式8}$$

- Ra1' : らせん溝付鋼管の圧縮耐力(kN)
- P<sub>y</sub> : 短期圧縮
- Fs : 安全率 長期(常時)=1.5、短期(中地震時)=1.0
- a : 継手低減率  
継手は、スリーブ継手または溶接継手とし、次式に示すように、継手一カ所あたり5%の低減をする。
- $a = 5 \times m \times 0.01 \dots\dots\dots \text{式9}$
- m : 継手箇所数

外径 d(mm)	48.6	63.5	76.3	89.1	101.6	114.3
短期圧縮耐力 P <sub>y</sub> (kN)	120	120	145	189	219	249

らせん帯付き鋼管の短期圧縮耐力 ※トルネードパイル工法性能証明を引用

ソイルセメントコラムに鋼管芯材を入れるので地震に強い

本工法は、ソイルセメントコラムが未固化状態の時にらせん溝付鋼管を建て込むため、鋼管の鉛直性(傾斜)を容易に確保出来ると共に施工時に座屈の問題は発生しない。また、らせん溝付鋼管はソイルセメントコラムで周囲を拘束されることから局部座屈の恐れはないので、長さ径比低減は施さない。

$$Ra1'' = \frac{1}{Fs} F_c \times A_s \dots\dots\dots \text{式10}$$

- Ra1'' : ソイルセメントコラムの圧縮耐力(kN)
- F<sub>c</sub> : 設計基準強度(kN/m<sup>2</sup>)
- Fs : 安全率 長期(常時)=3.0、短期(中地震時)=1.5
- A<sub>s</sub> : ソイルセメントコラムの有効断面積(m<sup>2</sup>)

$$A_s = \left[ \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right] \dots\dots\dots \text{式11}$$

- D : ソイルセメントコラムの直径(m)
- d : らせん溝付鋼管の直径(m)

$$Ra1''' = \frac{1}{Fs} (\tau_u \times \psi \times L \times R_{pu}) \dots\dots\dots \text{式12}$$

- Ra1''' : 抜け出し耐力(らせん溝付鋼管の付着力と先端耐力の合力)(kN)
- Fs : 安全率 長期(常時)=3.0、短期(中地震時)=1.5
- τ<sub>u</sub> : らせん溝付鋼管の付着力度(kN/m<sup>2</sup>)

$$\tau_u = (0.358 q_u + 795) \alpha \dots\dots\dots \text{式13}$$

- q<sub>u</sub> : ソイルセメントコラムの一軸圧縮強さ(kN/m<sup>2</sup>)  
q<sub>u</sub>=F<sub>c</sub>と仮定
- α : 溝面積とらせん溝付鋼管周面積の比  
α=sg/S
- sg : 単位長さ当り溝面積(mm<sup>2</sup>)
- S : 単位長さ当りらせん溝付鋼管の周面積(mm<sup>2</sup>)
- ψ : らせん溝付鋼管の周長(m)
- L : らせん溝付鋼管長(m)
- R<sub>pu</sub> : らせん溝付鋼管の先端耐力(kN)

$$R_{pu} = 6 \times c_u \times A_o \dots\dots\dots \text{式14}$$

- c<sub>u</sub> : ソイルセメントコラムのせん断強さ(kN/m<sup>2</sup>)  
c<sub>u</sub>=q<sub>u</sub>/2  
q<sub>u</sub>=F<sub>c</sub>と仮定
- A<sub>o</sub> : らせん溝付鋼管の先端閉塞断面積(m<sup>2</sup>)

パイルドラフトは地盤の支持力を活かすので経済的です