

高性能ハイブリッドコラム

タイガーパイル工法

ラインナップ充実!

鋼管径 5種類 ソイル径 6種類

驚力な支持力性能・驚愕の耐震性能・驚異の環境性能



財団法人 日本建築総合試験所
建築技術性能証明書取得工法
(GBRC 性能証明 第 06-12号改4)



タイガーパイル工法とは

段付鋼管を芯材として用いたソイルセメントコラム工法です。

ソイルセメントコラム工法(深層混合処理工法)の優れた支持力と、付着力特性を高めるため、段付き形状の鋼管を芯材として採用することにより鋼管のメリットを合わせて高性能を実現! 品質のバラツキを低減します。



◎2008年3月、2009年5月、2010年12月、2011年8月追加申請により、適用範囲を拡大、更なる高性能を発揮。

1 摩擦力が大きく優れた支持力

タイガーパイル工法は、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。

2 良好な品質を確保!

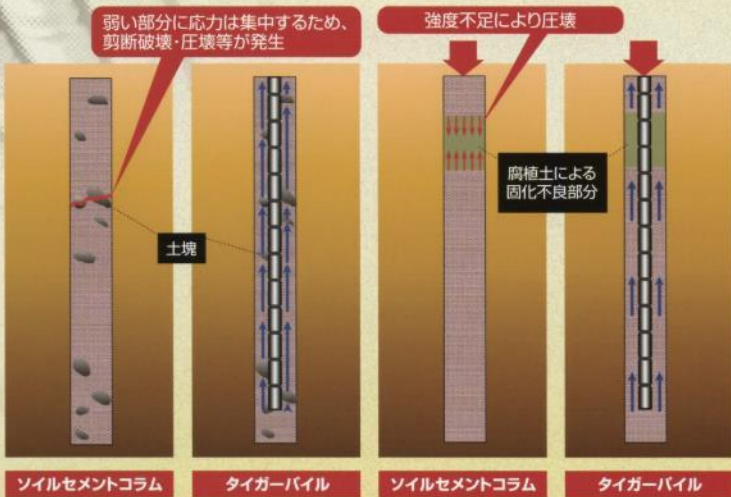
芯材に使用する鋼管は、一般的に使用されている冷間製造の鋼管ではなく、熱間製造の鋼管を使用しており、造管ラインにて段付の鋼管を製造し、付着力の増大を考慮した鋼管として利用するものです。

安全性の比較

ソイルセメントコラムは、杭頭部周辺に応力が集中するため、固化不良や土塊が有ると杭自体が崩壊してしまうのに対し、タイガーパイルは、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、ソイルコラムは強度を保てないため設計出来ないのに対し、タイガーパイルは、芯材の摩擦力(付着力)が大きいため、芯材の材料強度(60~400kN)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。



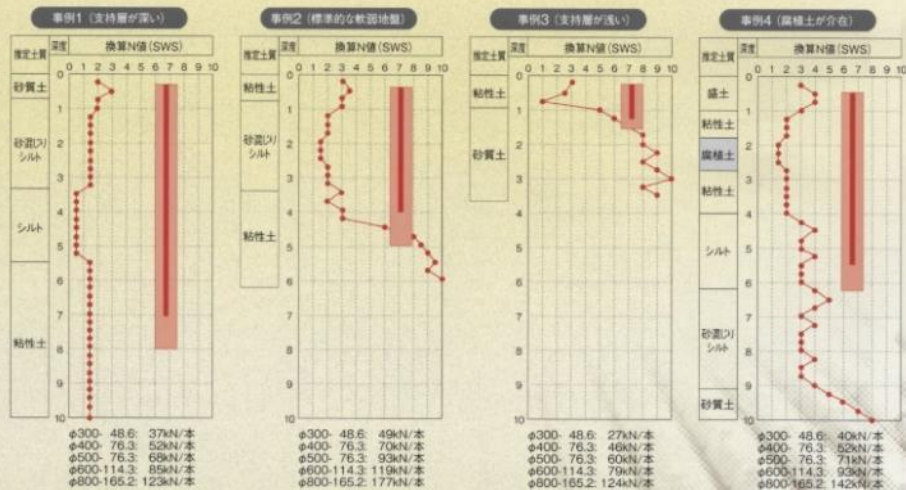
6つの特徴

4 軟弱地盤でも計画可能

非常に軟弱な地盤での載荷試験を実施し、適用地盤の範囲を拡大することができたことで、あらゆる地盤に対して計画が可能になりました。

適用地盤範囲

先端地盤N'値	0.15以上
周辺地盤平均N'値	0.6以上



5 地震時に対する抵抗力の向上

ソイルセメントコラムは圧縮力には強い材料ですが、曲げ力、せん断力には非常にもろい材料のため、段付鋼管を入れることにより、地震時に発生する曲げ力やせん断力に対して大幅に性能が向上しました。

6 適用範囲の拡大に伴い 実用性が大幅に向上

段付鋼管径5種、ソイルセメントコラム径6種となり、支持力性能が大幅に向上したため、幅広い建築物や工作物に対して適用可能となりました。

段付鋼管径 d (mm)	ソイルセメントコラム径 D (mm)					
	300	400	500	600	700	800
48.6	○	○				
76.3	○	○	○			
114.3			○	○	○	
139.8				○	○	○
165.2					○	○

3 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、CO₂発生量の多い鉄やセメント系固化工材の使用量を大幅に減少。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事が出来、環境に配慮した工法です。

なぜソイルセメントコラム工法と同じ径でも高支持力なのか？

ソイルセメントコラムとの支持力比較

ソイル攪拌性能が良く、ばらつきが少ないこともあり、実航載荷試験結果から得られた支持力算出用の係数値が大きくなっています。ソイルセメントコラム工法の支持力より、条件によって最小でも2倍、最大では4倍の高支持力となります。

ソイルセメントコラム比較倍率	砂質土	粘性土
先端支持力	2倍	4倍
周面摩擦	4倍	2倍

ソイルセメントコラム工法の支持力は、日本建築センター発行の建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針。タイガーパイル工法は、建築技術性能証明評価内容による。

支持力比較 (先端支持)

ソイルセメントコラム工法
先端支持力係数
砂質土 $\alpha:75$
粘性土 $\alpha:37.5$
タイガーパイル
先端支持力係数 $\alpha:150$

砂質土で2倍
粘性土で4倍の
先端支持力を
発揮

支持力比較 (周面摩擦)

ソイルセメントコラム工法
周面摩擦係数
砂質土 $\beta:3.33$
粘性土 $\beta:6.25$
タイガーパイル
周面摩擦係数 $\beta\gamma:13.9$

砂質土で4倍
粘性土で2倍の
周面摩擦力を
発揮

高支持力のメカニズム 材料強度の有効利用

材料強度

区分・姿	タイガーP φ300	ソイルセメントコラム φ700	タイガーP φ400	ソイルセメントコラム φ800	タイガーP φ600	ソイルセメントコラム φ1200
断面積 m ²	0.070	0.384	0.126	0.503	0.283	1.131
設計強度 kN/m ²	600	600	600	600	600	600
コラム強度 kN/本	10	76	24	100	56	226
鋼管強度 kN/本	60	—	73	—	180	—
合計強度 kN/本	70	76	97	100	234	226

ほぼ同等

支持力特性

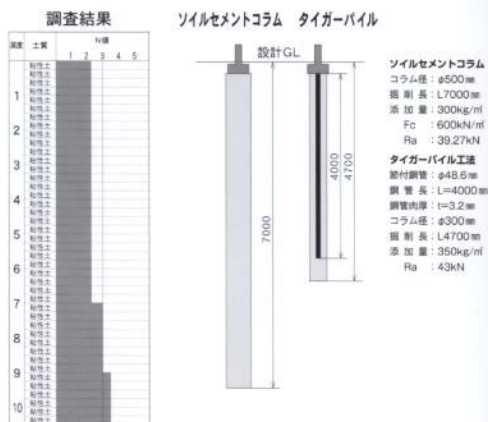


タイガーパイル性能を発揮した設計例

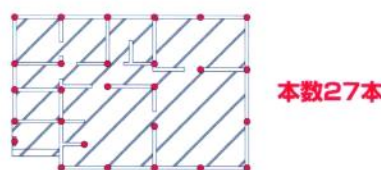
タイガーパイルは、ソイルセメントコラム・芯材鋼管のメリットを最大限に活かすことにより、一般のソイルセメントコラム工法と比較すると、材料強度、摩擦力、先端支持力が大きく発揮され、高い支持力が得られます。

右記の設計例では、同一地盤条件においてソイルセメントコラム工法と比較すると改良長を大幅に短く計画出来ます。

それにより、改良面積・固化材料・発生残土量等が少なく抑えられ、経済性及び施工性において有利な設計が可能となります。



◎コラム配置図



◎固化材料の比較



◎改良土量の比較



◎発生残土量の比較



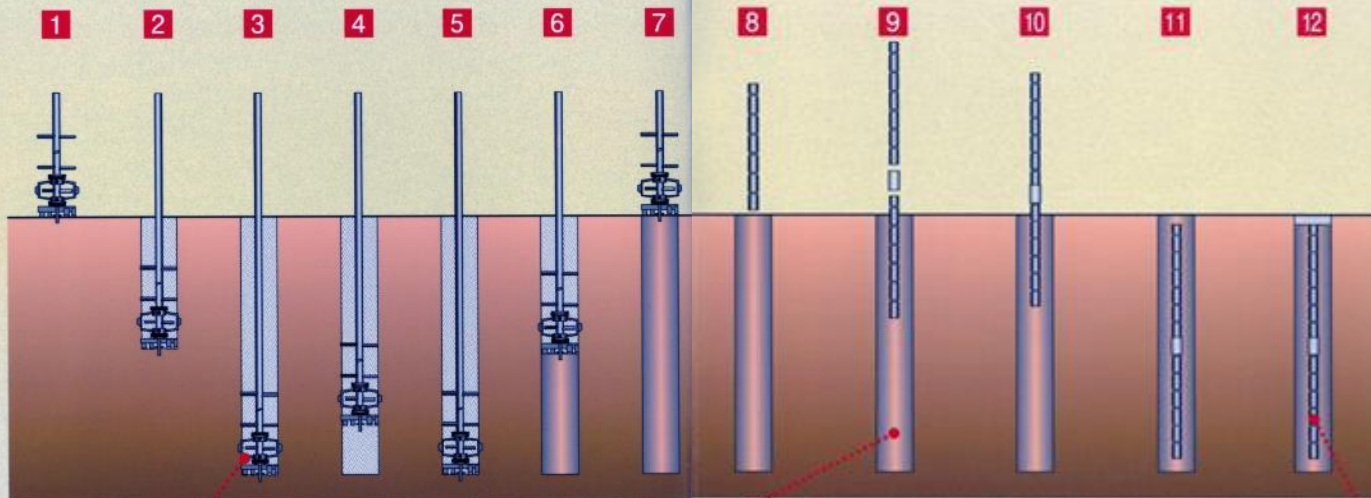
施工手順/仕様

- 1 コラム芯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分の先端繰返しを行う。(引上時は逆回転とする)
- 5 逆回転にて引き上げ工程に入る。
- 6 羽根切り回数をチェックしながら引き上げていく。
- 7 ソイルセメントコラムの打設完了。



施工手順

アイマーク工法で培った技術にてソイルセメントコラムを先行して築造。
次に段付鋼管を未固化状態のソイルセメントコラムの中へ挿入し、天端高さ合わせて終了。

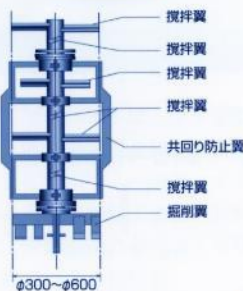


- 8 ソイルセメントコラムの中心に段付鋼管を建て込む。
- 9 継管がある場合は、下管を適切な位置で止め、上管を建て込む。
- 10 下管と上管との継ぎ手は、スリーブ継手、溶接継手で行う。
- 11 鋼管の天端を所定の深度まで挿入する。
- 12 鋼管レベルに合わせてコラム頭部を修正する。



攪拌翼の仕様

タイプⅠ



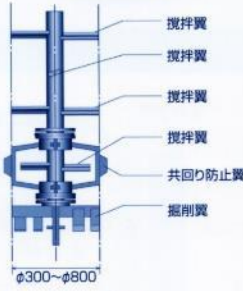
2枚

12枚

掘削翼

攪拌翼

タイプⅡ



2枚

8枚

特徴

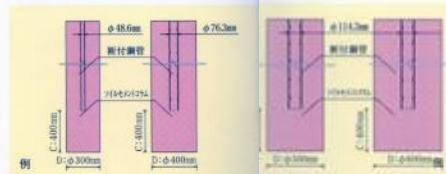
共回り防止翼が連結して多層に入っており、粘性の大きい土質や、有機物が混入した土質などのように、攪拌性能が大きい必要土質に適している、高攪拌タイプの攪拌装置。

共回り防止翼が攪拌翼を囲むようにして1箇所配置され、攪拌翼の間隔も大きい形状をしており、砂、砂礫及び地中障害物の混入した土質のように回転力が大きく必要な場合の土質に適している、高回転タイプの攪拌装置。

ソイルセメントコラムの仕様

ソイルセメントコラムは、当社が実績のあるアイマーク工法で培ってきた技術を盛り込んでいます。装置や攪拌方法、管理基準に至るまで詳細な仕様を設定し、施工・品質管理を行なうことにより、良質なソイルセメントコラムを築造します。ソイルセメントコラム径は最小でφ300を実現し、残土発生を抑えるとともに、固化材使用量も低減しています。

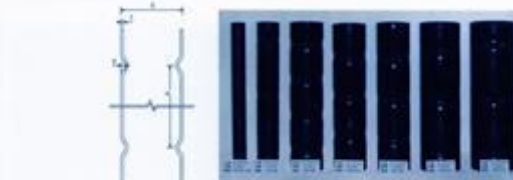
コラム径D	300mm, 400mm, 500mm, 600mm, 700mm, 800mm
先端余長C	400mm
設計基準強度F	標準 600kN/mf ※配合試験を行う場合は、600~1200kN/m ² の範囲内で設定する。
固化材添加率	標準 350kg/m ³ ※配合試験を行う場合は、試験内容による。
W/C	標準 70% ※試験時の土質の状況により50%~120%の範囲内で設定する。
変動係数V _{cu}	粘性土 0.25
	砂質土 0.20
羽根切り回数	粘性土 600回/m以上
	砂質土 500回/m以上
先端繰返し	1.50以上



段付鋼管の仕様

鋼管は、新日本製鋼(株)が新しく開発した鋼管を使用、段付きになっているためソイルとの付着力特性が向上、工場ラインで生産のため安心度も確保しました。

規格名	段付鋼管の各種数値						
	48.6	76.3	114.3	114.3	114.3	139.8	165.2
規格	STK400MD	SGP-MD			NSDP400		
製造方法	溶接鋼管			継目無鋼管			
肉厚 t	mm	2.8	3.2	3.5	4.5	6.0	6.0
単位質量 W	kg/m	3.16	5.77	9.56	12.19	16.03	19.80
断面積(最大値)	mm ²	402.88	734.88	1218.31	1552.26	2041.41	2522.07
溝の 溝幅	mm	5±2	6±2	7±2	7±2	7±2	8.5±2
溝の 溝深	mm	3±0.2	5±0.2	7±0.2	5±0.2	7±0.2	7±0.2
溝の間隔 b	mm	115±10	190±10	120±15	130±15	140±15	170±20
溝の幅	mm	6±5	8±5	15±10	15±10	15±10	40±15
引張強さ R _t	N/mf	≥400	≥290	≥290	≥290	≥400	≥400
降伏耐力 R _s	N/mf	≥235	≥190	≥190	≥190	≥235	≥235
伸び	%	≥24	≥24	≥24	≥24	≥24	≥24
へん平性		2/3d	2/3d	2/3d	2/3d	2/3d	2/3d



継目無鋼管はソイルコラムの中心部に挿入して使用する。その深さが150mm以上あることにより、腐食は発生していません。

許容鉛直支持力の根拠

◎タイガーパイルの許容鉛直支持力

$$R_a = \min(R_{a1}, R_{a2})$$

○圧縮耐力 R_{a1}

$$R_{a1} = R_{a1}'' + \min(R_{a1}', R_{a1}''' * 1)$$

*1: $(f_u \times L + R_{pu}) < P_y$ の場合にのみ検討を行う。

■タイガーパイルの段付鋼管の圧縮耐力

$$R_{a1}' = \frac{1}{F_s} P_y \times (1-a)$$

記号
 R_{a1}'' : 段付鋼管の圧縮耐力(kN)
 P_y : 降伏圧縮耐力
 F_s : 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-a所あたり5%の低減をする。
 $a = 5 \times m \times 0.01$
 m : 継手箇所数

■段付鋼管の付着力と先端支持力の組み合わせ耐力

段付鋼管の付着力と先端支持力の組み合わせ耐力 R_{a1}''' の算定は次式による。

$$R_{a1}''' = \frac{1}{F_s} (\tau_u \times \phi \times L + R_{pu})$$

記号
 F_s : 安全率 長期(常時) =3.0
 短期(中地震時) =1.5
 τ_u : 段付鋼管の付着力度(kN/m)
 $\tau_u = (0.344qu + 397) \times a$
 qu : ソイルセメントコラムの一軸圧縮強さ(kN/m)
 $qu = F_c$ と仮定
 a : 鋼管径と溝間隔の比 $a = d/Lb$
 d : 段付鋼管径(mm)
 Lb : 溝の間隔 ϕ 48.6 12.8 - 115mm
 ϕ 76.3 13.2 - 190mm
 ϕ 114.3 13.5 - 120mm
 ϕ 114.3 14.5 - 130mm
 ϕ 114.3 16.0 - 140mm
 ϕ 139.8 16.0 - 170mm
 ϕ 165.2 16.0 - 190mm
 L : 段付鋼管長
 R_{pu} : 段付鋼管の先端支持力(kN)
 $R_{pu} = 6 \times C_u \times A_p$
 C_u : ソイルセメントコラムの粘着力
 $C_u = qu/2$
 $qu = F_c$ と仮定

■ソイルセメントコラムの圧縮耐力 R_{a1}''

ソイルセメントコラムの長期圧縮耐力 R_{a1}'' の算定は次式による。

$$R_{a1}'' = \frac{1}{F_s} F_c \times A_s$$

記号 F_c : 設計基準強度(kN/m)
 F_c : 安全率 長期(常時) =3.0
 短期(中地震時) =1.5
 A_s : ソイルセメントコラムの有効断面積(m²)
 $A_s = \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4}$
 D : ソイルセメントコラムの直径(m)
 d : 段付鋼管の直径(m)

○許容鉛直支持力

$$R_{a2} = \frac{1}{F_s} a' N' s A_p + \beta \gamma N' f L \psi$$

a' : 先端支持力係数
 $\beta \gamma$: 周辺摩擦係数
 $N' s$: 先端地盤の平均 N' 値
 A_p : 改良体の断面積
 $N' f$: 周辺地盤の平均 N' 値
 L : 改良体の長さ(m)
 ψ : 改良体の周長(m)

先端支持係数と周辺摩擦係数の関係

先端支持係数	a'	150
周辺摩擦係数	$\beta \gamma$	13.9

■先端地盤の種別

先端地盤の種別	先端平均 N' 値	先端地盤の種別	先端平均 N' 値
a	$0.15 \leq N' < 1.0$	a	$0.15 \leq N' < 1.5$
b	$1.0 \leq N' < 2.0$	b	$1.5 \leq N' < 2.25$
c	$2.0 \leq N' < 3.0$	c	$2.25 \leq N' < 3.0$
d	$3.0 \leq N' < 4.0$	d	$3.0 \leq N' < 5.0$
e	$4.0 \leq N' < 5.0$	e	$5.0 \leq N' < 7.0$
f	$5.0 \leq N' < 7.0$	f	$7.0 \leq N' < 10$
g	$7.0 \leq N'$	g	$10 \leq N'$

改訂2
改訂3, 改訂4

■周辺地盤の種別

周辺地盤の種別	周辺地盤の N' 値	周辺地盤の種別	周辺地盤の N' 値
I	$0.6 \leq N' < 1.0$	a	$0.6 \leq N' < 1.0$
II	$1.0 \leq N' < 2.0$	b	$1.0 \leq N' < 2.0$
III	$2.0 \leq N' < 3.0$	c	$2.0 \leq N' < 3.0$
IV	$3.0 \leq N' < 5.0$	d	$3.0 \leq N' < 4.0$
V	$5.0 \leq N'$	e	$4.0 \leq N' < 5.0$
		f	$5.0 \leq N'$

改訂2
改訂3, 改訂4

性能証明内容(圧縮試験)

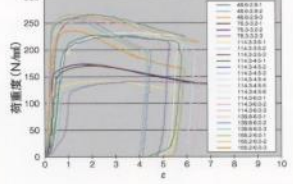
■試験結果

鋼管芯材は試験により強度を確認致しました。

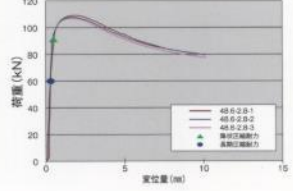
◎圧縮耐力及び圧縮荷重と引張荷重の割合

段付鋼管径 d(mm)	肉厚 t(mm)	規格名	降伏(短期)圧縮耐力(kN)	長期圧縮耐力(kN)	平均引張降伏荷重 S_y (N/ml)	平均圧縮降伏荷重 σ_y (N/ml)	σ_y/S_y
48.6	2.8	STK400-MD	90.0	60.0	331	223	0.67
76.3	3.2	SGP-MD	110.0	73.3	251	150	0.60
114.3	3.5	SGP-MD	145.5	97.0	212	121	0.57
114.3	4.5	SGP-MD	270.0	180.0	206	174	0.84
114.3	6.0	NSDP400	420.0	280.0	332	206	0.62
139.8	6.0	NSDP400	540.0	360.0	319	214	0.67
165.2	6.0	NSDP400	600.0	400.0	302	200	0.66

◎荷重-ひずみ曲線

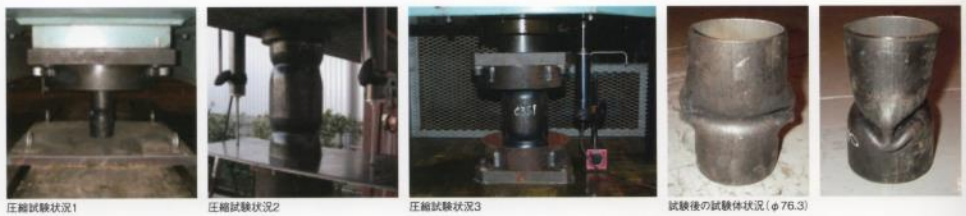


◎荷重-変位曲線(φ48.6-t2.8)

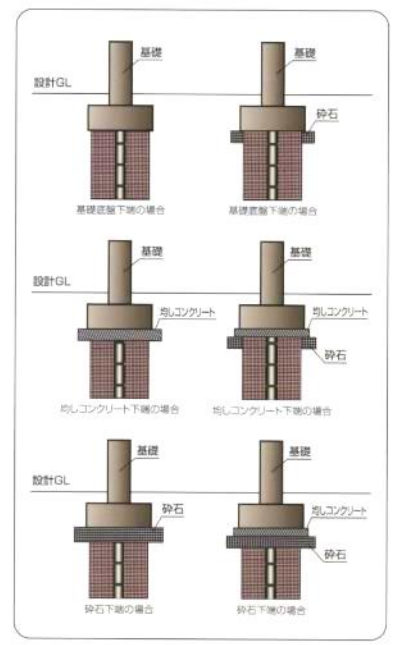


◎段付鋼管の限界耐力、限界荷重及び変形係数

試験体 No.	規格	圧縮限界耐力 Pmax (kN)		圧縮限界荷重 (N/ml)		変形係数 Ed (N/ml)	
		平均	平均	平均	平均	平均	平均
40-2-8-1		108		267		5.9×10^4	
40-2-8-2	STK400-MD	106	107	264	265	5.9×10^4	5.9×10^4
40-2-8-3		106		262		6.0×10^4	
65-3-2-1		125		171		5.3×10^4	
65-3-2-2	SGP-MD	127	127	173	173	5.6×10^4	5.5×10^4
65-3-2-3		128		174		5.7×10^4	
100-3-5-1		174		143		3.0×10^4	
100-3-5-2	SGP-MD	173	173	142	142	4.5×10^4	3.3×10^4
100-3-5-3		172		141		2.3×10^4	
100-4-5-1		356		229		4.2×10^4	
100-4-5-2		353		227		4.4×10^4	
100-4-5-3		362		233		5.7×10^4	
100-4-5-4	SGP-MD	367	360	236	231	5.5×10^4	5.2×10^4
100-4-5-5		356		229		5.8×10^4	
100-4-5-6		363		234		5.5×10^4	
100-6-0-1		550		269		12.7×10^4	
100-6-0-2	NSDP400	527	538	258	263	11.1×10^4	11.2×10^4
100-6-0-3		538		263		9.8×10^4	
125-6-0-1		663		263		14.9×10^4	
125-6-0-2	NSDP400	661	659	262	261	14.9×10^4	14.7×10^4
125-6-0-3		653		259		14.3×10^4	
150-6-0-1		712		237		14.4×10^4	
150-6-0-2	NSDP400	717	713	239	238	14.0×10^4	14.1×10^4
150-6-0-3		710		237		14.0×10^4	



コラム頭部処理例



水平力の検討について

◎タイガーパイル工法における水平力の検討は、改良体に生ずる応力度が許容圧縮応力度と許容引張り応力度及び許容せん断応力度以下であることを確認します。許容応力度及びせん断応力度について、これまでに培われたデータにより以下の検討により求めるものとしております。

■ 許容圧縮応力度と許容引張り応力度

	常時	中地震時
許容圧縮応力度 f_c	$(1/3Fc \cdot Ac + Pa) / Ap$	$(2/3Fc \cdot Ac + Py) / Ap$
許容引張り応力度 f_t	0 (引張り応力を生じてはならない)	$(-0.2)f_c$ 又は $(-2/3)q_{utmax}$ のうち絶対値が小さい方

Fc: 設計基準強度 (kN/m²), q_{utmax} : 300 (kN/m²)
Py: 段付鋼管の長期圧縮耐力 (kN), Pa: 段付鋼管の長期圧縮耐力 (kN)
Ac: ソイルセメント部分の断面積 (m²), 改良体全体の断面積 (m²)

断付鋼管仕様			断付鋼管の許容圧縮耐力	
外径 (mm)	肉厚 (mm)	規格	(常時) Pa (kN)	(中地震) Py (kN)
48.6	2.8	STK400-MD	60.0	90.0
76.3	3.2	SGP-MD	73.3	110.0
114.3	3.5	SGP-MD	97.0	145.5
114.3	4.5	SGP-MD	180.0	270.0
114.3	6.0	NSDP400	280.0	420.0
139.8	6.0	NSDP400	360.0	540.0
165.2	6.0	NSDP400	400.0	600.0

■ 許容せん断応力

$$\text{常時 } f\tau = \left\{ \frac{1}{3} F\tau \cdot Ac + P\tau a \right\} / Ap$$

$$\text{中地震時 } f\tau = \left\{ \frac{2}{3} F\tau \cdot Ac + P\tau y \right\} / Ap$$

記号
 $f\tau$: 許容せん断応力 (kN/m²)
 $F\tau$: 設計せん断強度 (kN/m²)
 $F\tau_1 = 0.3Fc + \sigma_n \cdot \tan \phi$ 又は $F\tau_2 = 0.5Fc$ のうち小さい値
 Fc : 設計基準強度 (kN/m²)
 σ_n : せん断面に作用する垂直応力 (kN/m²)
 $\sigma_n = Qp / Ac$
 Qp : 改良体1本あたりに作用する水平力 (kN)
 Ac : ソイルセメント部分の面積 (m²)
 Ap : 一体として扱う改良体の面積 (m²)
 ϕ : 改良体の内部摩擦角 (30°)
 $P\tau a$: 段付鋼管の短期せん断耐力 (kN)
 $P\tau y$: 段付鋼管の長期せん断耐力 (kN)

性能証明内容 (剪断試験及び曲げ試験)

■ 材料強度の確認

追加申請においては、様々な追加試験を行い、多角的にタイガーパイルの特性を検討致しました。中でもタイガーパイル芯材 (段付鋼管) の剪断試験や、タイガーパイルに対する実大曲げ試験においては、ソイルセメント・鋼管のみの場合と比較して、耐力及び靱性の大幅な向上が確認されました。

◎ 段付鋼管の剪断試験

鋼管径 (mm)	肉厚 (mm)	断面積 (mm ²)	荷重条件	剪断耐力 (kN)	剪断応力度 (N/mm ²)
48.6	2.8	402.9	長期	24	59.6
			短期	36	89.4
76.3	3.2	734.9	長期	36	49.0
			短期	54	73.5
114.3	3.5	1218.3	長期	54	44.3
			短期	81	66.5
	4.5	1552.3	長期	100	64.4
			短期	150	96.6
			長期	120	58.8
			短期	180	88.2
6.0	2041.4	長期	172	68.2	
		短期	258	102.3	
139.8	6.0	2522.1	長期	224	74.6
			短期	336	112.0



剪断試験状況



試験前状況

試験後状況

◎ 段付鋼管の曲げ試験

No	外径 (mm)	肉厚 (mm)	スパン (mm)	リブ位置	載荷位置	降伏荷重 (kN)	最大荷重 (kN)	断面2次モーメント (mm ⁴)
a	48.6	2.8	1,800	水平	直管部	2.4	3.2	7.25×10 ⁴
b				水平	段部	2.4	2.9	
c				垂直	段部	2.3	3.2	
d	76.3	3.2	3,000	水平	直管部	3.1	4.7	3.8×10 ⁴
e	114.3	3.5	1,900	垂直	直管部	9.0	12.4	8.71×10 ⁴
f				垂直	段部	9.2	12.7	
g				水平	段部	10.0	13.2	
h	114.3	4.5	3,100	水平	直管部	9.0	12.6	2.14×10 ⁴
i	114.3	6.0	1,900	垂直	直管部	28.5	36.2	1.95×10 ⁴
j				垂直	段部	30.0	36.3	
k				水平	段部	30.3	37.5	
l	139.8	6.0	1,900	水平	直管部	56.5	68.4	4.17×10 ⁴
m				垂直	段部	54.0	66.9	
n				水平	段部	49.0	61.6	
o	165.2	6.0	1,800	水平	直管部	72.5	87.0	5.38×10 ⁴
p				垂直	段部	80.2	99.5	
q				水平	段部	70.0	91.8	



タイガーパイル曲げ試験状況 (試験前)



タイガーパイル曲げ試験状況 (試験後)

◎ タイガーパイルの曲げ試験

試験体	土質	最大荷重P (kN)	対段付鋼管倍率	対ソイルセメント倍率	芯材
タイガーパイル	粘性土	20.0	4.3	倍率なし	76.3
タイガーパイル	砂質土	24.5	5.2	16.3	76.3
ソイルセメント	粘性土	0 (自働により破壊)	0.0	-	76.3
ソイルセメント	砂質土	1.5	0.3	1.0	76.3
段付鋼管のみ	-	4.7	1.0	-	76.3
-	-	15.0	1.0	-	114.3



タイガーパイル曲げ試験状況 (試験前)



タイガーパイル曲げ試験状況 (試験後)