

テーパー杭による基礎杭工法



- テーパー杭とは
- テーパー杭の効果
- 実証実験、試設計
- テーパー杭の論文発表

NETIS KTK-220004-A

■テーパー杭とは

テーパー杭とは、「テーパー部」と「ストレート部」をもつ、鋼管杭です。

(ストレート部は $1/\beta$: 杭の特性値 以上の長さ)

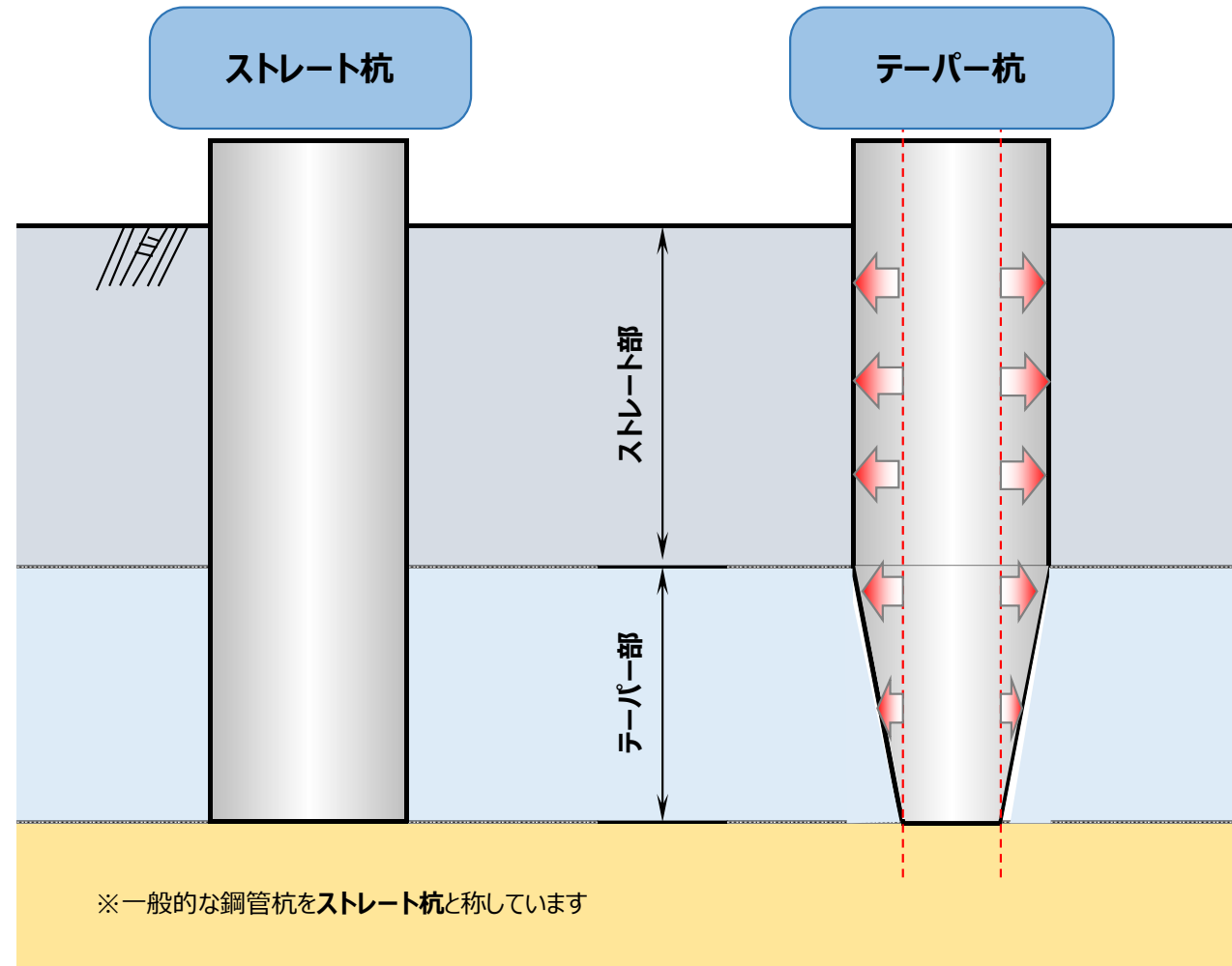
テーパー杭は、施工の際に杭周辺地盤を側方へ押し広げるため杭の周面抵抗力を増加させます。

テーパー部 : テーパー部による押し広げ、形状の違い

ストレート部 : テーパー部の押し広げが残存

テーパー杭は、ストレート杭と比較して、

テーパー部、ストレート部ともに周面抵抗力が増加します。



■テーパー杭の効果

◆テーパー杭は、ストレート杭より杭長を短くできるため、

➡ **コスト削減、工程短縮**

◆テーパー杭は、杭径や先端の地盤の影響を受けづらく、

➡ **確実に押込み抵抗力を発揮**

◆テーパー杭は、使用鋼材量が減るため、

➡ **CO₂ 排出量を削減**



ストレート杭



テーパー杭

■ 実証実験 兵庫県東播磨港にて、テーパー杭の製作・施工と載荷試験を2回実施



テーパー杭打設の様子

海上実証試験結果報告 1本511万円コスト削減

りんかい日産建設は、寄附建設、ユニバーサルエネルギー研究所との3社で開発を進めているテーパー型基礎杭（テーパー杭）について検討会を開き、2019年12月から20年1月の東播磨港（兵庫県播磨町）で実施した海上実証試験の結果報告と内容の審議を行った。

りんかい日産建設の天下英治執行役員土木営業担当は「従来のストレート杭工法と比べて、CO₂排出量とコストの削減という当初の目的が達成された」と説明した。同社はこの技術を、着床式洋上

風力発電向けに展開することを目指す。

検討会委員の日坂仁環境省地球環境局地球温暖化対策課地球温暖化対策事業室室長補佐は「洋上風力発電は、CO₂排出削減の重要なツールとして世界的に注目されており、政府でも事業化のための法改正準備を進めている」と技術の重要性について述べた。

審議では、従来のストレート杭と比べたテーパー杭の効果として「CO₂排出量は1本当たり4・8ト削減」「コストは1本当たり511万4000円削減」が示された。

【出典】20200302 建設通信新聞

りんかい日産建設らが第2回テーパー杭 実証検討会を開催

りんかい日産建設は2月26日(午後3時から、東京・芝のりんかい日産建設本社で「第2回テーパー型基礎杭と施工手法の技術開発『実証』検討会」を開催した。

テーパー型基礎杭は、洋上風力発電施設のみではなく、他の海洋構造物など幅広く適用できる可能性を秘めている。新工法であるテーパー杭工法は、杭引抜きの際、従来の工程に比べて、2倍の工程短縮が期待できる。CO₂排出量削減、コスト削減を実現する。また「引き抜き易さ」で、より環境に配慮した完全撤去も可能にする。

りんかい日産建設では、洋上風力発電施設の建設を目指し、環境省「CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業」の委託事業（平成29年度から令和元年度までの3カ年）として、寄附建設(株)ユニバーサルエネルギー研究所と共同で、テーパー型基礎杭に関する海洋再生可能エネルギーの推進に資する撤去可能

工法の実証を進めてきた。1年目は直径3mの構型杭で室内試験を行い、2年目は直径6mの構型杭での室内試験と直径1・5mの網管杭で陸上実証試験を行った。なお、室内試験は未だ直営東京都立大学工学部都市工学科地盤環境工学研究室教授の指導で実施した。3年目の今年度は室内試験と直径2・3mの網管杭で海上実証試験を行った。2mテーパーの網管杭の引抜きは国内ではほとんど事例が無、国内初の実証試験とターゲットとなる。またテーパー杭に関しては杭の製作も含め、打設引抜とも国内海外でも初の海上実証試験となった。

海上実証試験は兵庫・東播磨港で実施。昨年の12月3日(火)、4日(水)テーパー

・ストレート杭の引抜き試験を行い、1月15日(火)、16日(水)でテーパー・ストレート杭の引抜きを行った。実証に使用した杭の諸元は、ストレート杭・テーパー杭とも直径2・3m、杭長24m、28mであり、テーパー杭に関しては、テーパー長4・0m、テーパー角2度である。



天下執行役員



新谷技術課長



荒川東大名教授



日坂環境省地球温暖化室長補佐

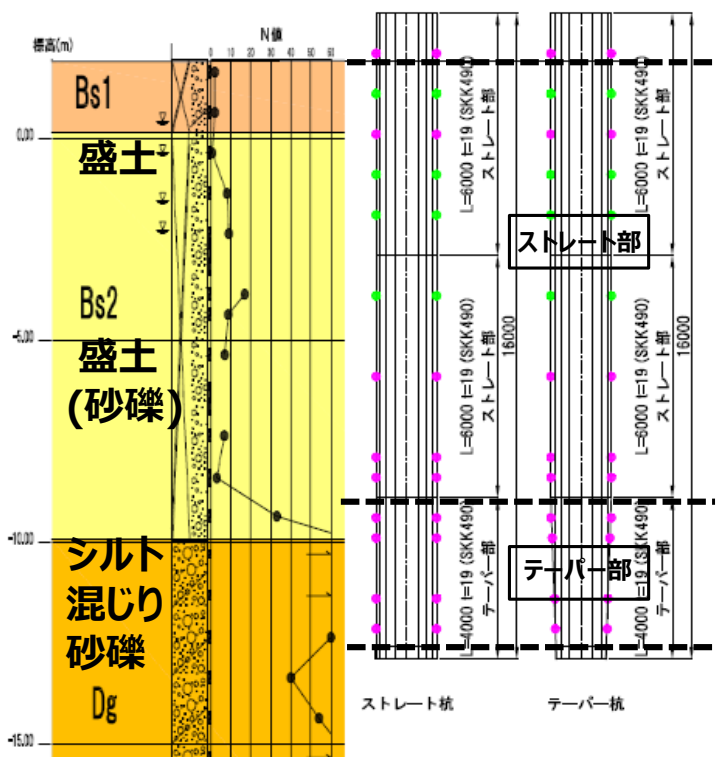
【出典】20200310 港湾新聞

【検討委員】敬称略（所属は2017年当時のもの）

氏名	所属
荒川 忠一	東京大学名誉教授
岩崎 日出夫	兵庫県東播磨県民局加古川土木事務所所長
清宮 理	早稲田大学名誉教授
佐々木 宏	(一社)日本埋立浚渫協会 調査役
白石 悟	北海道科学大学工学部都市環境学科教授
末政 直晃	東京都市大学工学部教授
水谷 崇亮	(国研)海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 基礎工研究グループ長
山本 修司	(一財)沿岸技術研究センター 参与

(五十音順)

◇ 第1回 押し込み载荷試験



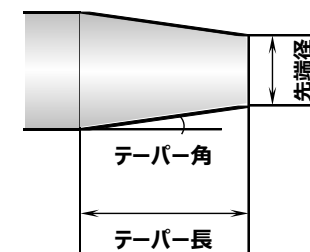
(砂質土地盤)



陸上実証	杭頭径 (m)	厚 (mm)	杭長 (m)	根入れ長 (m)	テーパ角 (度)	テーパ長 (m)	先端径 (m)
テーパ杭	1.500	19	16.000	14.800	2.0	4.000	1.221
ストレート杭					—	—	—

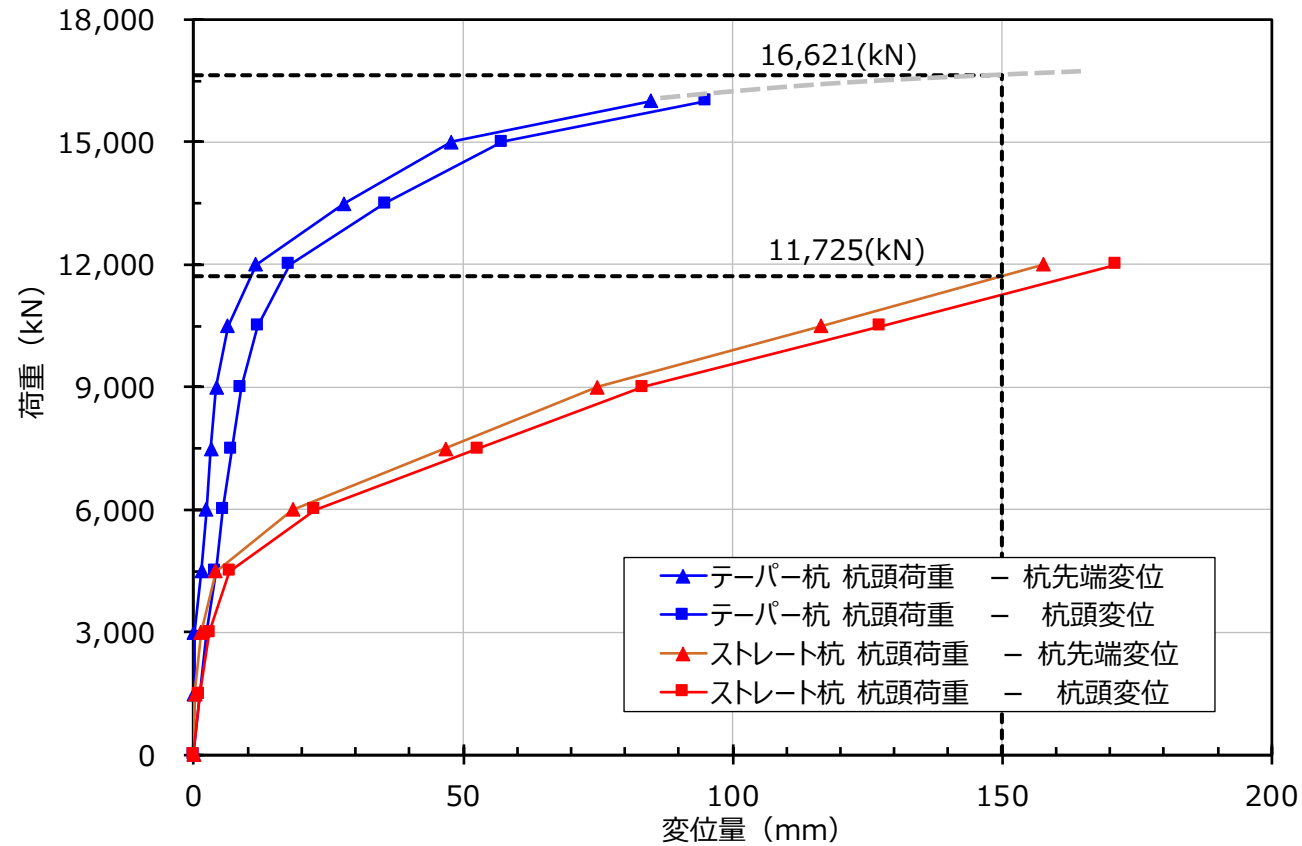
テーパ杭 と ストレート杭 の諸元は、同杭径、同根入れ長

テーパ杭の諸元



◇ 第1回 押込み载荷試験

荷重-変位曲線

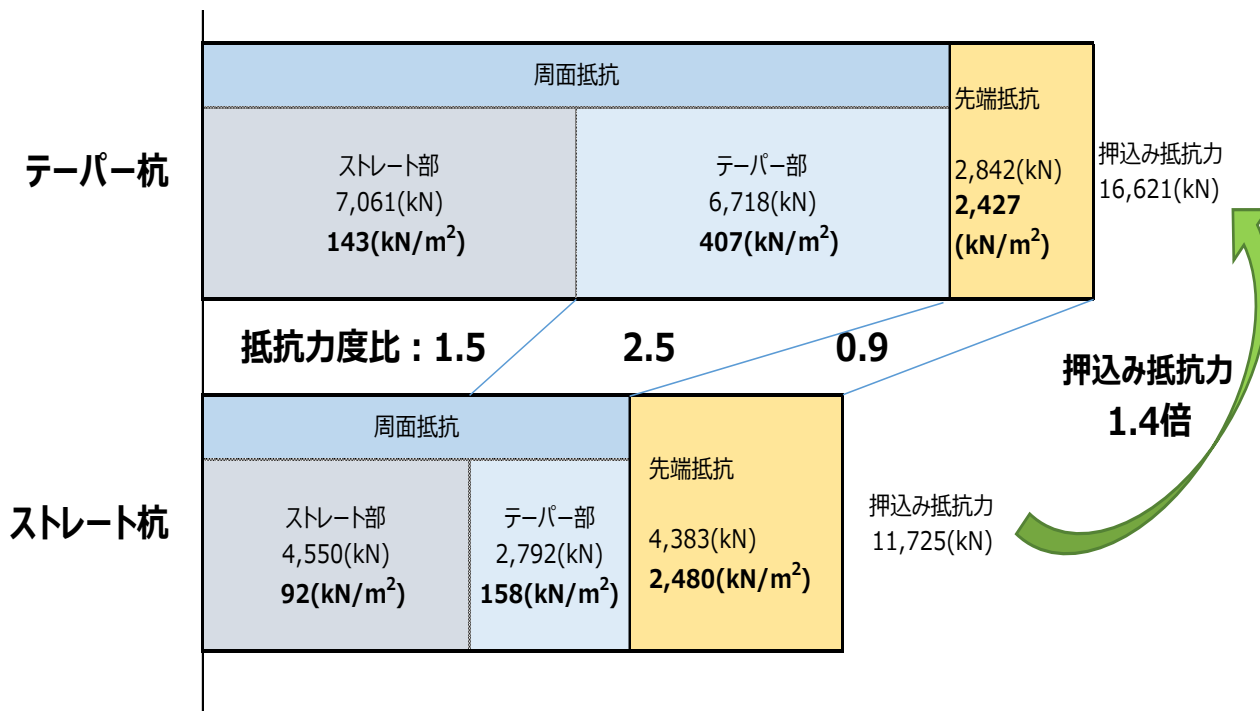


テーパ杭押し込み抵抗力 16,621(kN) : 推定値
 ストレート杭押し込み抵抗力 11,725(kN)

◇ 第1回 押し込み載荷試験

(テーパー杭とストレート杭は、同杭径、同根入れ長)

テーパー杭 押し込み抵抗力の特性



- ・テーパー杭の押し込み抵抗力はストレート杭の約1.4倍
- ・テーパー杭の周面抵抗力は押し込み抵抗力に大きく寄与

押し込み載荷試験の抵抗力度比

→各部位毎の抵抗力度の比(テーパー/ストレート)

ストレート部	...	1.5倍
テーパー部	...	2.5倍
先端部	...	0.9倍

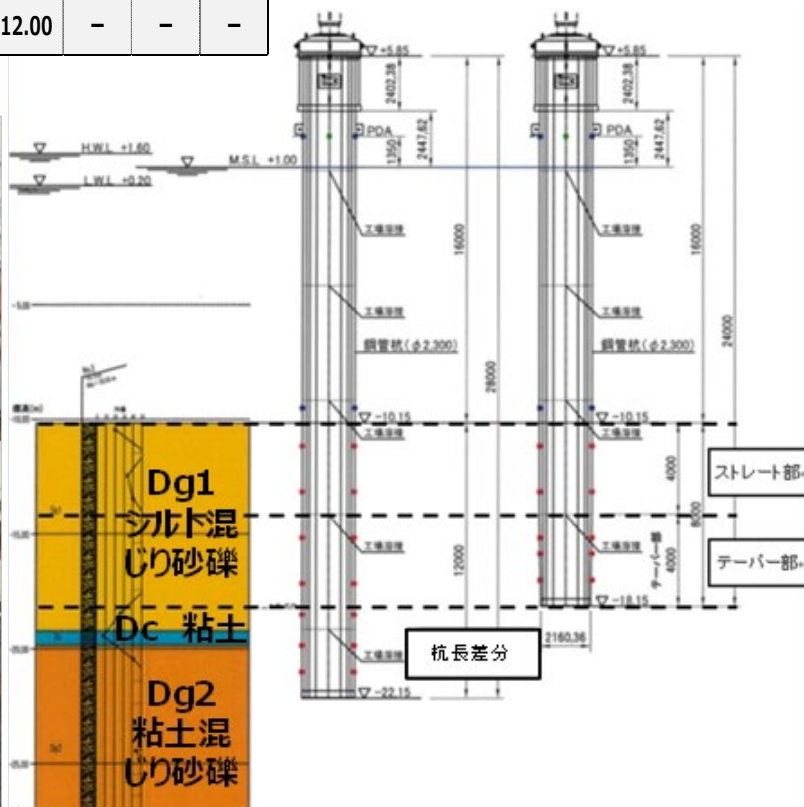
(地盤条件は砂質土)

鋼材重量減により、CO2排出量を約0.5 t 削減

◇第2回 衝撃載荷試験 (テーパー杭はストレート杭より根入れ長が4m短い)

海上実証	杭径 (m)	厚 (mm)	杭長 (m)	根入れ長 (m)	テーパー角 (度)	テーパー長 (m)	先端径 (m)
テーパー杭	2.30	30	24.00	8.00	2.00	4.00	2.02
ストレート杭			28.00	12.00	-	-	-

⇒ 杭の諸元は P4 写真参照



テーパー杭		ストレート杭	
周面抵抗		周面抵抗	
ストレート部 3,276(kN) 113(kN/m ²)	テーパー部 2,356(kN) 87(kN/m ²)	ストレート部 1,264(kN) 44(kN/m ²)	テーパー部 517(kN) 18(kN/m ²)
先端抵抗 3,371(kN) 1,051(kN/m ²)		先端抵抗 4,405(kN) 1,061(kN/m ²)	
抵抗力度比: 2.5		抵抗力度比: 4.8	
抵抗力度比: 0.9		抵抗力度比: 0.9	
押込み抵抗力 8,997(kN)		押込み抵抗力 6,961(kN)	
		押込み抵抗力 1.2倍	

(波形マッチング解析により求めた静的抵抗成分)

・テーパー杭の押込み抵抗力はストレート杭の約1.2倍

衝撃載荷試験の抵抗力度比
→各部位毎の抵抗力度の比(テーパー/ストレート)

ストレート部	...	2.5倍
テーパー部	...	4.8倍
先端部	...	0.9倍

(地盤条件は砂質土)

鋼材重量減により、CO2排出量を約12.1 t 削減

◇テーパー杭の「押し込み抵抗」の考え方 (第1回載荷試験結果より)

港湾基準 3.4.3 杭の軸方向押し込み抵抗力 (抜粋)

(2) 杭の軸方向押し込み抵抗力の特性値は、式(3.4.1)に示すように、杭の先端抵抗力の特性値と周面抵抗力の特性値の和として表される。

$$R_{sk} = R_{pk} + R_{rk} \quad (3.4.1)$$

ここに、

R_{sk} : 杭の軸方向押し込み抵抗力の特性値 (kN)

R_{pk} : 杭の先端抵抗力の特性値 (kN)

R_{rk} : 杭の周面抵抗力の特性値 (kN)

$$R_{rk} = \sum_i \bar{r}_{fki} A_{si} \quad (3.4.2)$$

ここに、

\bar{r}_{fki} : i 層における杭と地盤の単位接触面積あたりの平均周面抵抗力 (kN/m²)

A_{si} : i 層における杭と地盤の接触面積 (m²)

$$A_{si} = U_{si} \cdot l_i$$

U_{si} : i 層における杭の外周長 (m)

l_i : i 層における杭長 (m)

(10) 打撃工法で施工された杭の砂質土地盤中における単位接触面積あたりの周面抵抗力の特性値は、式(3.4.6)により推定することができる。

$$\bar{r}_{fki} = 2\bar{N} \quad \text{砂質土におけるストレート杭の周面抵抗力の応力度} \quad (3.4.6)$$

ここに、

\bar{N} : i 層における平均のN値

押し込み載荷試験の抵抗力度比

→各部位毎の抵抗力度の比(テーパー/ストレート)

ストレート部 … 1.5倍

テーパー部 … 2.5倍

先端部 … 0.9倍

(地盤条件は砂質土)

砂質土におけるテーパー杭の周面抵抗力の応力度

ストレート部 … $\bar{r}_{fki \cdot ST} = 1.5 \times 2\bar{N}$

テーパー部 … $\bar{r}_{fki \cdot TP} = 2.5 \times 2\bar{N}$

テーパー杭の先端抵抗力の特性値

$$300 N A_{P \cdot ST} \eta_{ST} \Rightarrow 300 N (0.9 \times A_{P \cdot TP}) \eta_{ST}$$

(粘性土地盤は港湾基準に則る)

【参考】 既往論文より、テーパー杭を用いた載荷試験を実施した結果

・富永らは、テーパー杭とストレート杭の周面抵抗力の応力度比は2倍以上

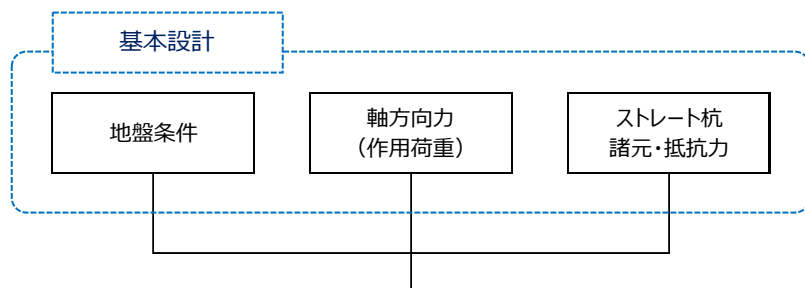
・佐藤らは、テーパー杭とストレート杭の周面抵抗力の応力度比は1.25~10.5倍

■テーパー杭の試設計

◆テーパー杭の適用可能な構造形式

テーパー杭は、栈橋、ドルフィン、浮栈橋の係留杭、杭式防波堤、係船杭などの基礎杭への適用が考えられます。

◆テーパー杭による試設計の方法



テーパー杭の押し込み抵抗力の試設計

- ・ ストレート杭と同杭径・同板厚を基本とする。
- ・ テーパー杭とストレート杭の抵抗力比（砂質地盤）を用いて押し込み抵抗力を算出する。
- ・ テーパー杭の諸元は、室内試験の結果から、テーパー角は2度、テーパー長は杭頭径の3倍以上とする。



◇ 鋼管杭の押し込み抵抗力確保

大口径鋼管杭の押し込み抵抗力の確保には、先端抵抗力における閉塞率の設定が大きく影響する。閉塞率は、杭径に依存する傾向が強いと示されているが、バラツキも大きい。

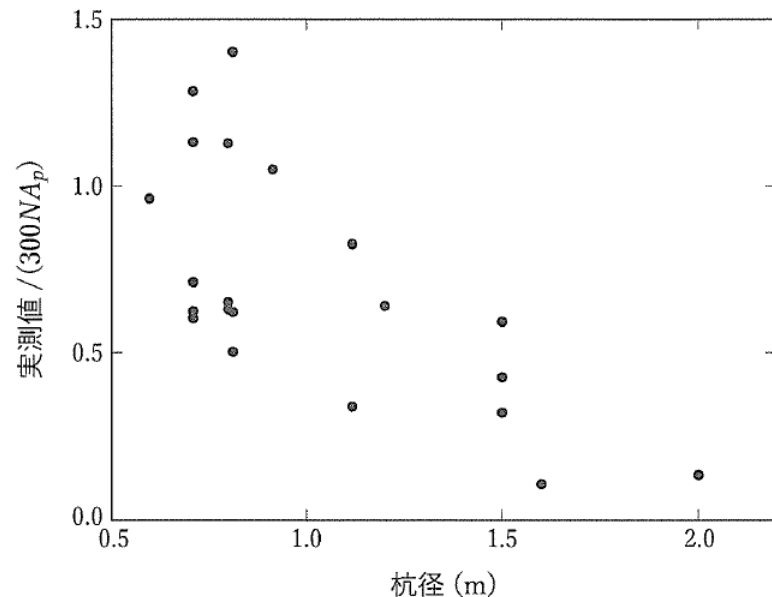


図-3.4.2 開端杭の杭径と閉塞率の関係 (菊池ら¹⁶⁾ に加筆修正)

出典：港湾の施設の技術上の基準・同解説(平30年5月)

押し込み抵抗力確保の比較検討に「テーパー杭」を提案

- ◆ 根入れ延長
 - …支持層に長く打ちこみ、周面抵抗力を確保。打設難の場合も。
- ◆ 先端根固め工法
 - …杭先端部をセメントミルクで固め、先端抵抗力を確保。施工費が高価。
- ◆ 仕切り板
 - …杭の先端部に仕切り板を設け、先端抵抗力を確保。閉塞率が向上できた場合と、明確な効果が得られない場合がある。
- ◆ **テーパー杭**
 - …杭の先端部にテーパー部を連結し、周面抵抗力を増加。
杭径や先端の地盤の影響を受けづらく、確実に押し込み抵抗力を発揮。
 - 【杭径】
ストレート杭…大口径では杭径による閉塞率のバラツキで、先端抵抗力に影響
テーパー杭…大口径でも杭径によらず、周面抵抗力を発揮
 - 【先端の地盤】
ストレート杭…杭先端部に不均質な地盤があると、先端抵抗力の発揮が不確実
テーパー杭…先端閉塞に期待しないため地盤の影響を受けづらく、抵抗力を発揮

■テーパー杭の効果

◆テーパー杭は、ストレート杭より杭長を短くできるため、

➡ **コスト削減、工程短縮**

◆テーパー杭は、杭径や先端の地盤の影響を受けづらく、

➡ **確実に押込み抵抗力を発揮**

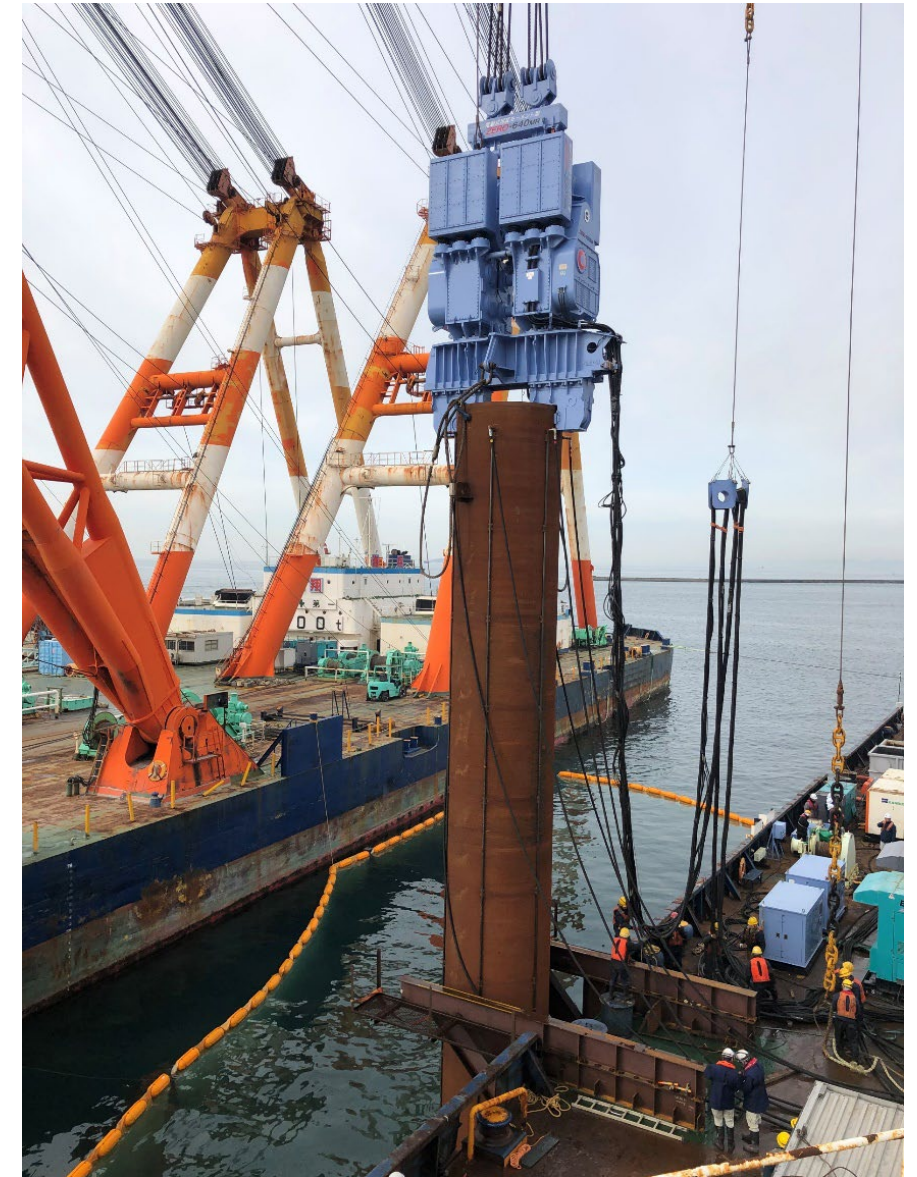
◆テーパー杭は、使用鋼材量が減るため、

➡ **CO₂排出量を削減**



■テーパー杭 室内・実証実験の論文発表

- 201706～ 東京都市大学 工学部（現：建築都市デザイン学部）都市工学科 地盤環境工学研究室 末政教授 との共同研究
- 2017～2019 環境省 CO₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発実証事業「海洋再生可能エネルギーの推進に資する撤去可能なテーパー型基礎杭の施工法開発・実証」
- 201909 土木学会全国大会 第74回年次学術講演会
テーパーを有するモノパイルの基礎的研究（その1 鉛直載荷、水平載荷実験）
" （その2 コーン貫入試験によるテーパー部の周面摩擦力の推定）
- 202009 土木学会全国大会 第75回年次学術講演会
洋上風力のためのテーパーモノパイルの模型実験
テーパー型基礎杭の製造と打設施工の管理 [第1回実証]
テーパー型基礎杭とストレート杭の性能比較（その1：押込み抵抗力）
" （その2：引抜き・水平抵抗力）
- 202012 基礎工 洋上風力発電施設におけるテーパー型基礎杭の特性と撤去可能性
- 202109 土木学会全国大会 第76回年次学術講演会
テーパー型基礎杭とストレート杭の性能比較（杭の衝撃載荷試験）
テーパー型基礎杭の製造と打設施工の管理 [第2回実証]
テーパー杭の水平繰返し載荷模型実験
- 202112 港湾空港技術研究所資料 No.1391 開端ストレート・テーパー杭の支持力特性に関する大型模型実験
港湾空港技術研究所報告 Vol.60 No.3 2021 MPMを用いた開端ストレート・テーパー杭の支持力特性に関する解析的研究
港空研との共同研究



ご清聴ありがとうございました



 りんかい日産建設株式会社

土木本部 技術部 新谷 (しんがい)

singai@rncc.co.jp