

202201020 中国地方建設技術開発交流会

杭の短縮化を実現するテーパー杭技術の紹介



- テーパー杭とは
- テーパー杭の効果
- 実証実験
- テーパー杭の試設計

※ テーパー杭はNETIS登録申請中です

■テーパ杭とは

テーパ杭とは、「テーパ部」と「ストレート部」をもつ、
開端の鋼管杭です。（ストレート部は $1/\beta$ （ β は杭の特性値）以上の長さ）

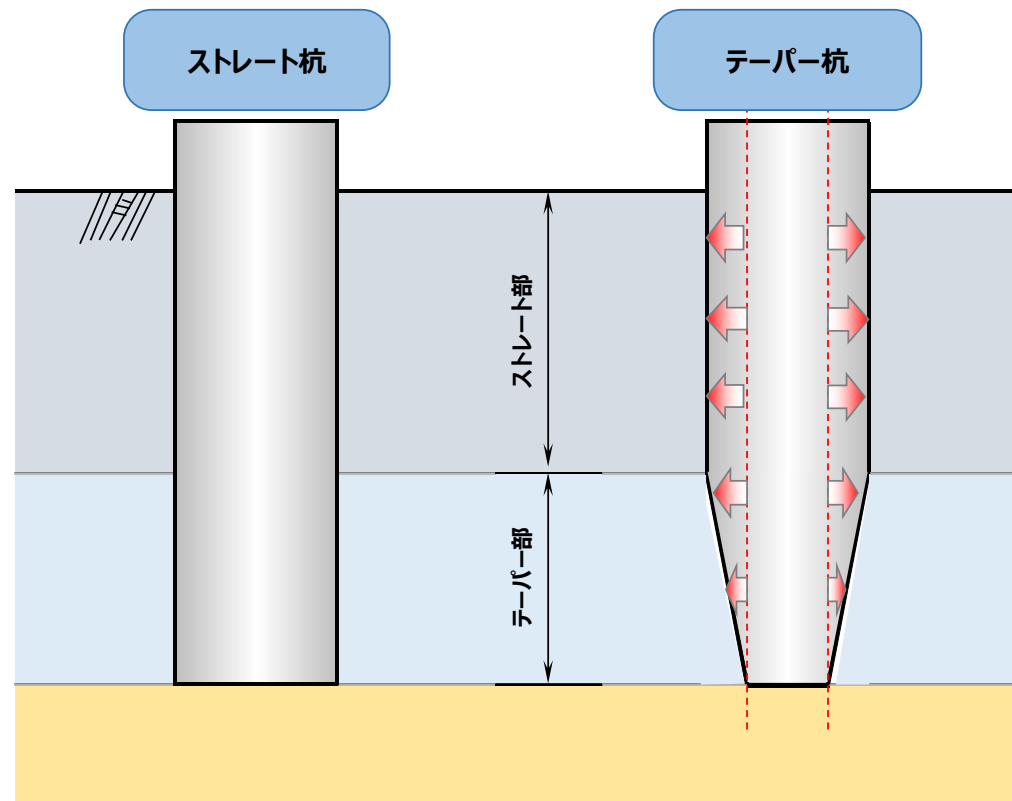
テーパ杭は、打設過程において杭周辺の地盤を側方に
押し広げるため、**杭の周面抵抗力を増加させます。**

テーパ部：テーパ部による押し広げ、形状の違い

ストレート部：テーパ部通過後の押し広げが残存



テーパ杭は、ストレート杭と比較してテーパ部、
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、

➡ **コストを削減**

◆テーパー杭は、杭径や先端の地盤の影響を受けにくいいため、

➡ **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**



■ 実証実験



【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)

載荷試験を2回実施



テーパー杭打設の様子

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 2/26

りんかい日産建設は、2月26日(木)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方法の技術開発『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ならず、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、杭引きの際、従来の工程に比べて、CO₂排出量が削減できることが、CO₂排出削減、コスト削減を実現する。さらに「引き抜き」と「打ち込み」の2つの作業を、洋上風力発電施設の建設に完全適用も可能とする。りんかい日産建設では、海上風力発電施設の建設を目的とし、環境省「CO₂排出削減対策技術開発・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、香播建設(株)ユニバーサルエネルギー研究が共同で、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事業が可能

「新工法の開発を進めてきた。1年目は直径3.3mの模型杭で室内試験を行い、2年目は直径6.0mの原型杭での室内試験と直径1.5mの網管杭で実証試験を行った。3年目の今年度は室内試験と直径2.2mの網管杭で海上実証試験を行った。2回テーパーの網管杭の引抜きは国内ではほとんど事例がなく、国内初の実証試験となる。さらに「引き抜き」と「打ち込み」の2つの作業を、洋上風力発電施設の建設に完全適用も可能とする。りんかい日産建設では、海上風力発電施設の建設を目的とし、環境省「CO₂排出削減対策技術開発・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、香播建設(株)ユニバーサルエネルギー研究が共同で、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事業が可能

・ストレート杭の順に打設を行い、1月15日(木)16日(金)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・テーパー杭ともに直径2.2m、杭長24m、28mであり、テーパー杭に関してはテーパー角2度である。



大下執行役員



新谷技術課長



荒川東大名誉教授



日保環境省地球温暖化室長補佐

【出典】20200310 港湾新聞

海上実証試験結果報告
りんかい日産建設は、寄神「風力発電向けに展開することを目指す。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（兵庫県播磨郡）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。

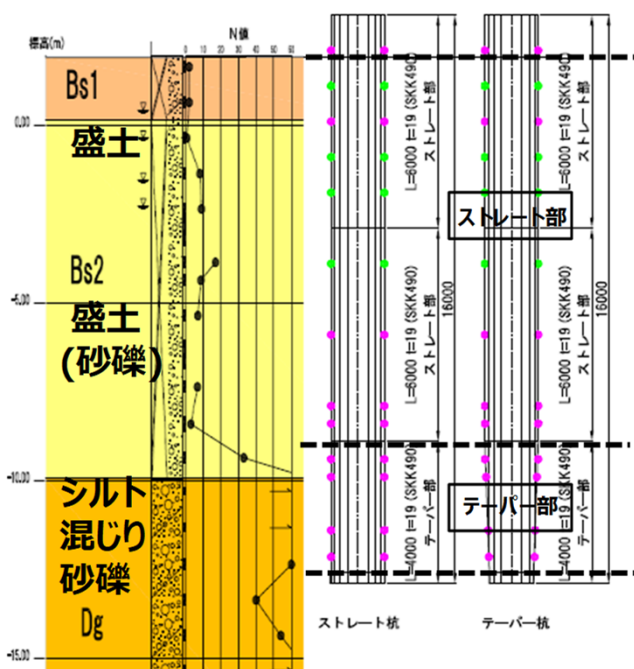
りんかい日産建設の代表取締役執行役員土木営業担当は「従来のストレート杭工法と比べて、CO₂排出量とコストの削減という当初の目的が達成された」と説明した。同社は「この技術を、着床式洋上

風力発電向けに展開することを目指す。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（兵庫県播磨郡）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代表取締役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

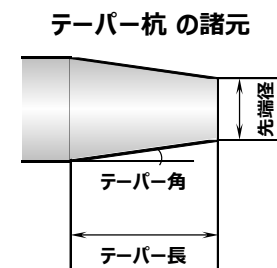
【出典】20200302 建設通信新聞

押込み载荷試験 (第1回载荷試験)



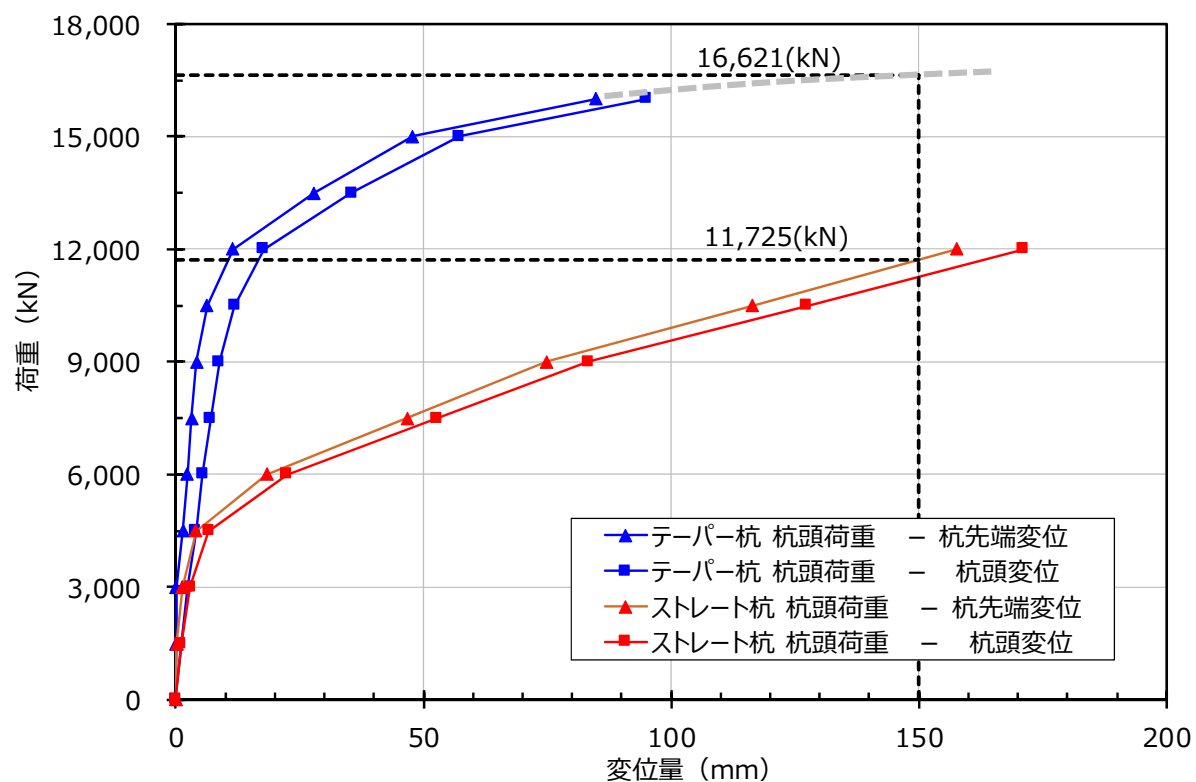
陸上実証	杭頭径 (m)	厚 (mm)	杭長 (m)	根入れ長 (m)	テーパ角 (度)	テーパ長 (m)	先端径 (m)
テーパ杭	1.500	19	16.000	14.800	2.0	4.000	1.221
ストレート杭					—	—	—

テーパ杭とストレート杭の諸元は、同杭頭径、同根入れ長



押込み载荷試験 (第1回载荷試験)

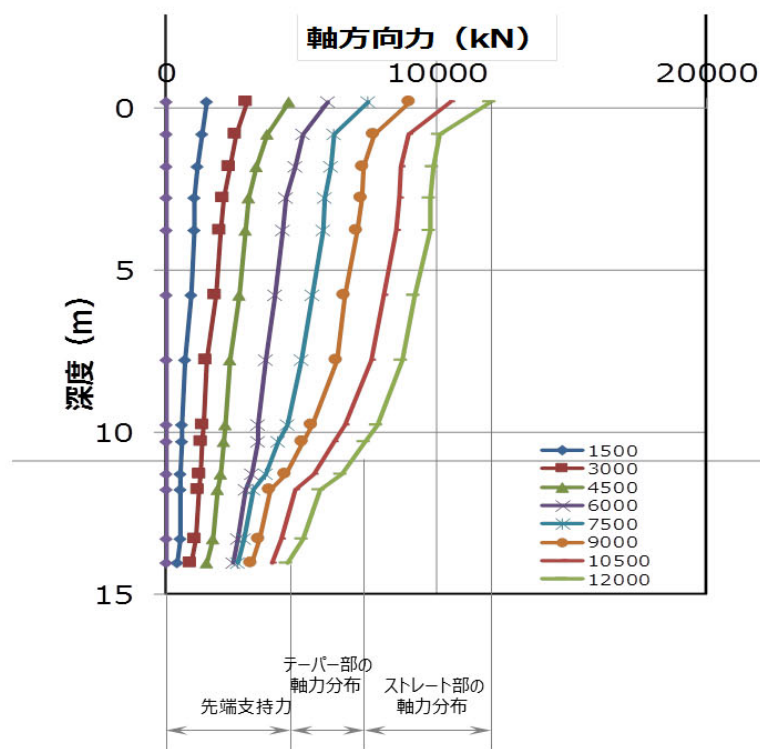
荷重-変位曲線



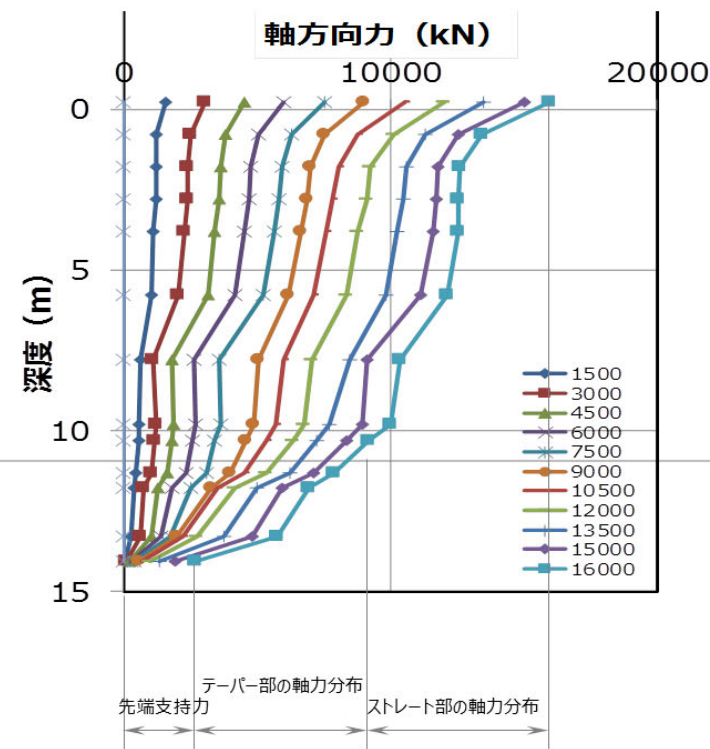
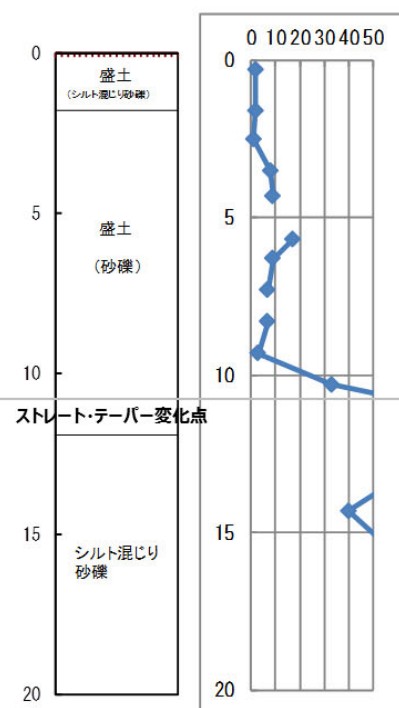
テーパ杭押込み抵抗 16,621(kN) : 推定値
ストレート杭押込み抵抗 11,725(kN)

押込み载荷試験 (第1回载荷試験)

ひずみ計測による軸力分布



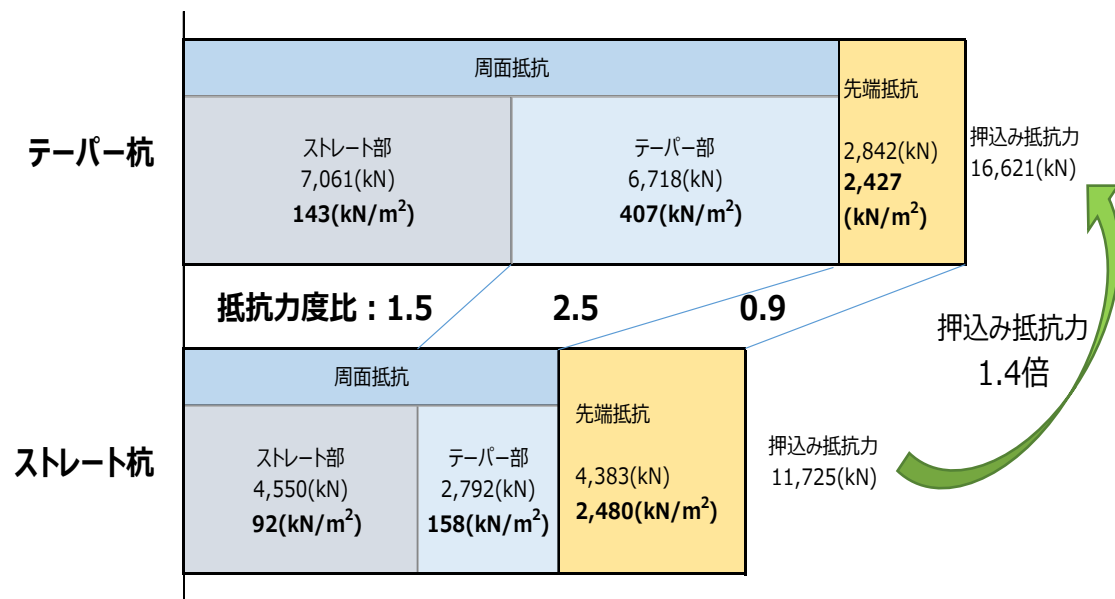
ストレート杭



テーパー杭

押込み载荷試験 (第1回载荷試験)

テーパ杭の押込み抵抗特性 (同杭頭径、同根入れ長のストレート杭との比較)



テーパ杭の押込み抵抗力はストレート杭の約1.4倍

押込み载荷試験の抵抗力度比

→各部位毎の抵抗力度の比(テーパ/ストレート)

ストレート部 ... 1.5倍

テーパ部 ... 2.5倍

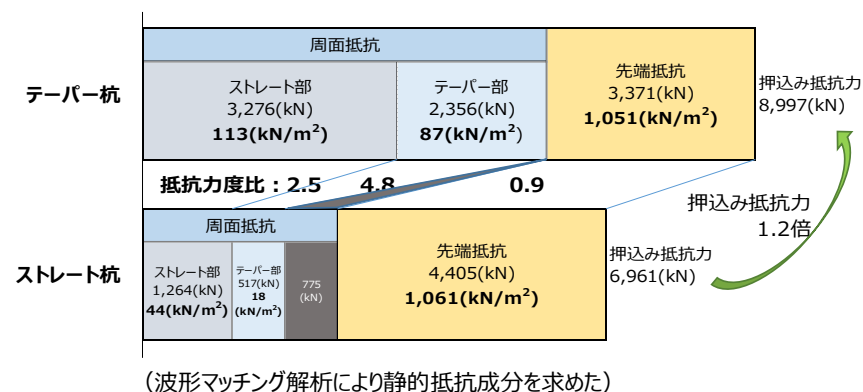
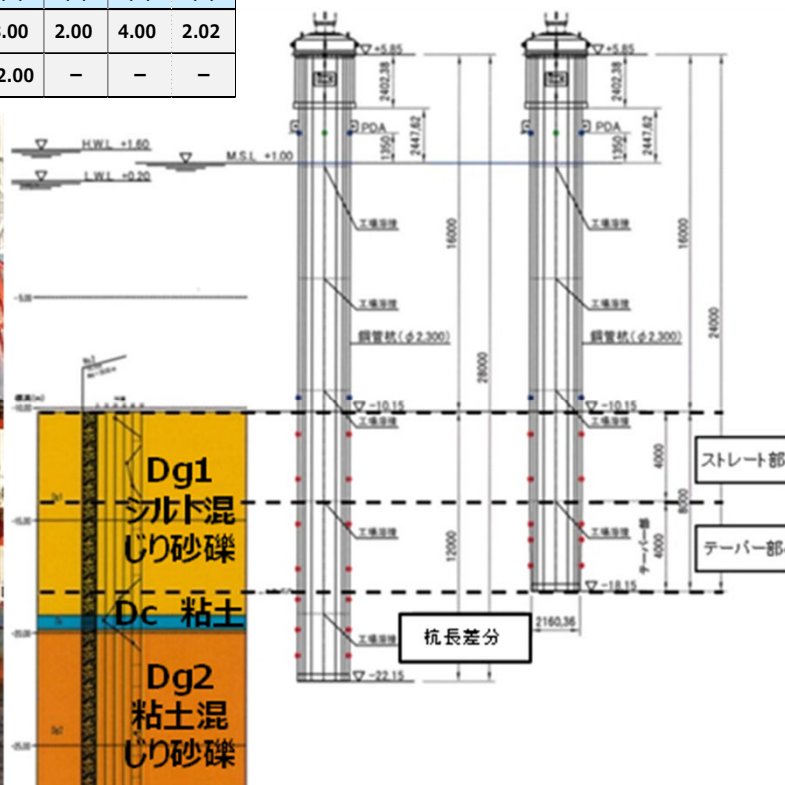
先端部 ... 0.9倍

(地盤条件は砂質土)

鋼材重量減によるCO2排出削減

衝撃載荷試験 (第2回載荷試験) 同杭頭径、テーパー杭の根入れはストレート杭より4.0m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	-	-	-



テーパー杭の押込み抵抗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)

鋼材重量減によるCO2排出削減

テーパ杭の「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 (抜粋)

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

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

ここに、

R_{sk} : 杭の軸方向押し込み抵抗の特性値 (kN)

R_{pk} : 杭の先端抵抗の特性値 (kN)

R_{sk} : 杭の周面抵抗の特性値 (kN)

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

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 (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/ストレート)

ストレート部 ... 1.5倍

テーパ部 ... 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杭の周面抵抗の応力度

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

テーパ部 ... $\bar{r}_{fki \cdot TP} = 2.5 \times 2 \bar{N}$

テーパ杭の先端抵抗の特性値

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

(粘性土地盤は港湾基準に則る)

【参考】 既往論文より、テーパ杭を用いた載荷試験を実施した結果

・富永らは、テーパ杭とストレート杭の周面抵抗の応力度比は2倍以上

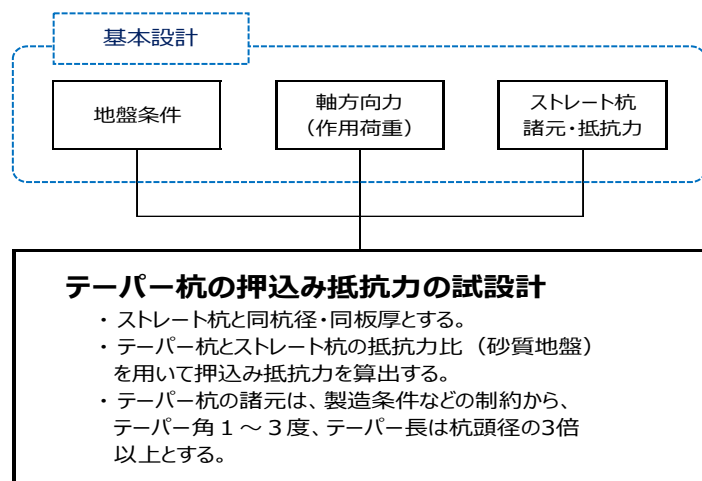
・佐藤らは、テーパ杭とストレート杭の周面抵抗の応力度比は1.25～10.5倍

■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



鋼管杭の支持力確保

大口径鋼管杭の押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。

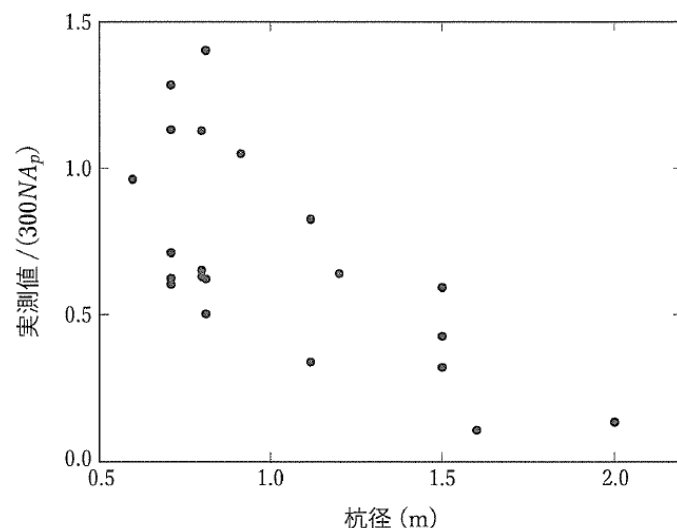


図-3.4.2 開端杭の杭径と閉塞率の関係（菊池ら¹⁶⁾に加筆修正）

出典：港湾の施設の技術上の基準・同解説（平30年5月）

鋼管杭の支持力確保の対策

◆根入れ延長

…杭の根入れを長くし、周面抵抗力により支持力を確保
→ 支持層に長く打ちこむため、打設が難しい場合がある

◆先端根固め工法

…杭先端部をセメントミルクにより固め、先端支持力を確保
→ 施工費が高価

◆仕切り板

…杭の先端部に仕切り板を設け、先端支持力を確保
→ 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

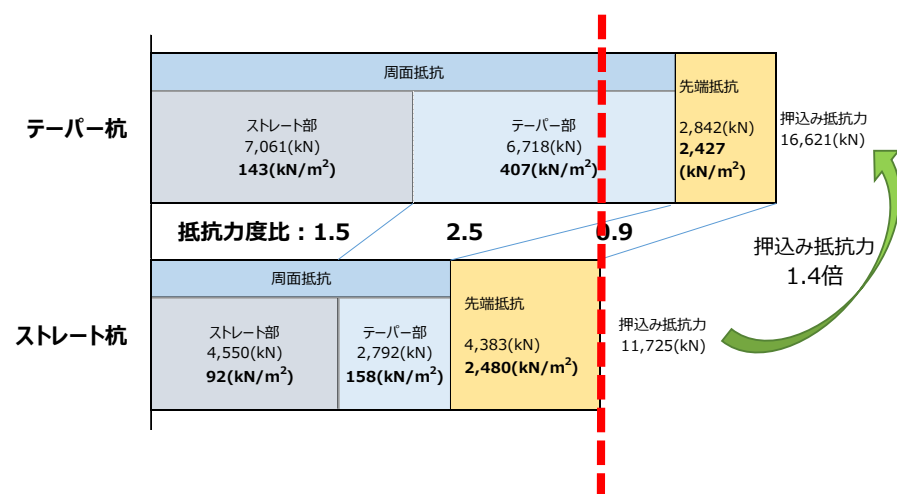
◆テーパ杭

…杭の先端にテーパ部を連結し、周面抵抗力を増加
→ 杭径や先端の地盤の影響を受けにくい、確実に押込み抵抗力を発揮する

鋼管杭の支持力確保

テーパー杭の押込み抵抗特性

同杭頭径(1.5m)、同根入れ長のストレート杭との比較



ストレート杭の押込み抵抗は、先端抵抗に大きく寄与し、杭径による閉塞率設定のバラツキの影響を受ける。しかしながら、テーパー杭は、周面抵抗に大きく寄与し、閉塞率の影響を受けにくいので、**杭径によらず確実に押込み抵抗を発揮する。**

ストレート杭の押込み抵抗は、先端閉塞に期待しているため、杭の先端部に不均質な地盤があると、抵抗力の発揮が不確実となる。しかしながら、テーパー杭は、先端閉塞に期待していないため、先端部の**地盤の影響を受けづらく、確実に押込み抵抗を発揮する。**

◆テーパー杭

→ 杭径や先端の地盤の影響を受けにくいため、**確実に押込み抵抗を発揮**

■テーパー杭 実験・実証・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）
〃 （その2：引抜き・水平抵抗）
- 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