

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）

りんかい日産建設株式会社 正会員 新谷 聡 正会員 元水 佑介 正会員 ○坂本 易隆
東京都市大学 正会員 末政 直晃 正会員 伊藤 和也 正会員 田中 剛

1. はじめに

我が国の洋上風力発電設備は、港湾法の一部改正や再エネ海域利用法の制定に基づき港湾・一般海域の占有ルールが定められたことを背景に多くの導入計画が進んでいる。しかしながら、事業者にとっては、全体事業費に占める施工費の割合が高いことや、占有期間終了後に設備の完全撤去が原則であることなど課題も山積している。そこで、基礎構造としての機能は維持し、占有期間終了後の撤去が可能であり、施工時のCO2排出量とコストが低減される「テーパー型基礎杭」（以後「テーパー杭」と称す）を開発した。テーパー杭は、これまで室内試験においてその効果が確認されており¹⁾、その結果を受け実際の陸上にてテーパー杭の製作と施工（衝撃載荷試験）、静的載荷試験（押込み、引抜き、水平）をおこなった。本稿は、そのうち、衝撃載荷試験と静的な押込み載荷試験の結果について報告するものである。

2. 試験概要

試験は、同杭径・同根入れ長のストレート杭とテーパー杭を製作し、既存技術であるストレート杭の性能とテーパー杭の性能を比較し、テーパー杭の効果を確認することを目的とした。杭の諸元は、地盤条件、室内試験の結果、完全閉塞が起らないような先端径とすること、などを考慮して表-1のように決定した。ストレート杭とテーパー杭の打設位置は、それぞれの杭の影響範囲を考慮して十分な間隔を確保し、その中間地点で地盤調査（SPT）を実施した。試験は、施工時の衝撃載荷試験と波形マッチング解析、施工後1ヶ月以上養生期間をおき、静的な押込み載荷試験を実施した。静的な押込み載荷試験の載荷方法は、多サイクル段階方式とした。また、テーパー杭の効果を明確にするため、地表面付近、杭先端部、ストレート部とテーパー部の断面変化点にて軸方向のひずみ測定をおこなった（図-1参照）。杭の打設は、日本車両製の油圧ハンマ（NH-115B）を用いた（写真-1参照）。

3. 試験結果

施工時の衝撃載荷試験の結果を図-2に示す。ストレート杭とテーパー杭の打設箇所が概ね同じ地盤条件であったとすると、テーパー杭はストレート杭と比較して、打設深度が増す毎に大きなハンマエネルギーを必要とし、同一根入れ長までの打撃回数は多く、深度毎の全抵抗値も大きな値を示した。これより、テーパー杭は、施工時にストレート杭より大きな押込み抵抗を必要としたことが判る。これらの値は、施工時の衝撃載荷試験より得られた動的な値であるが、波形マッチング解析による静的抵抗値は、後述する表-2に整理した。

表-1 ストレート杭・テーパー杭の諸元

	杭径 (mm)	杭長 (m)	先端径 (mm)	厚 (mm)	テーパー角 (度)	テーパー長 (m)	杭の重量 (t)
ストレート杭	1500	16.000	1500	19	0.00	0.000	11.103
テーパー杭	1500	16.000	1221	19	2.00	4.000	10.841

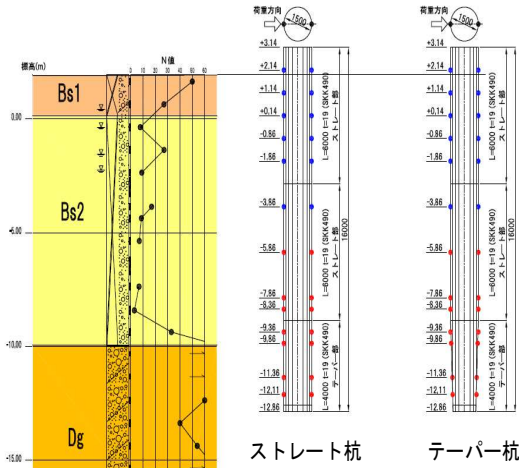


図-1 地盤調査結果とひずみゲージ貼付位置



写真-1 テーパー杭打設状況

キーワード テーパー杭, 洋上風力発電設備, 衝撃載荷試験, 静的載荷試験, 押込み抵抗,

連絡先 〒105-0014 東京都港区芝2-3-8 りんかい日産建設株式会社 TEL:03-5476-1728

次に、静的な押込み載荷試験より得られた荷重-変位量曲線と、第1・第2限界値を図-3に示す。ここで、テーパ杭の第2限界値は、所定の変位量まで載荷することができず、双曲線法にて第2限界値を推定した。これより、テーパ杭は、今回の条件下においてストレート杭の1.42倍もの押込み抵抗力を所持していることが判った。

さらに、静的な押込み載荷試験時のひずみ計測より、軸方向力分布を求めた結果を図-4に示す。これより、表-2において、テーパ杭の押込み抵抗力を、周面抵抗力のストレート部分・テーパ部分、先端抵抗りに分解し、それぞれの値を同条件下のストレート杭の値と比較できるように、抵抗りと応力度について整理した。また、施工時の衝撃載荷試験より波形マッチング解析にて求められた静的抵抗りにについても、同様に表-2へ整理した。これより、テーパ杭の押込み抵抗力は、周面抵抗りが大きく約8割を占めることが判った。これは、テーパ形状により、押込み時の円筒拡張による押広げ効果によるものと考えられる。さらに、テーパ杭は円筒拡張により押広げられたため、周面抵抗力度がストレート杭よりストレート部で1.55倍、テーパ部で2.58倍と大きくなることが判った。また、テーパ杭の先端支持力度は、静的な押込み載荷試験の結果を見るとストレート杭の先端支持力度の0.98倍となり、ほぼ変わらない値を示すことが判った。なお、これらの試験結果よりセットアップ率を求めると、ストレート杭3.58、テーパ杭2.88となり、どちらもほぼ一般的な範囲の値であった。

4. まとめ

ストレート杭とテーパ杭の性能比較のため、衝撃載荷試験と静的な載荷試験をおこない、以下の主な知見が得られた。

- (1) 同杭径・同根入れ長のストレート杭とテーパ杭では、テーパ杭の押込み抵抗りが大きい。
- (2) テーパ杭の押込み抵抗りが大きいのは、円筒拡張による押し広げ効果と考えられる。テーパ杭の押込み抵抗力は周面抵抗りの占める割合が大きく、ストレート杭の周面抵抗力度より大きい。

謝辞

本研究は、環境省地球環境局「CO2排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業」の委託事業により実施しております。関係者の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 新谷ら「テーパ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）」，2019 土木学会全国大会 第74回年次学術講演会

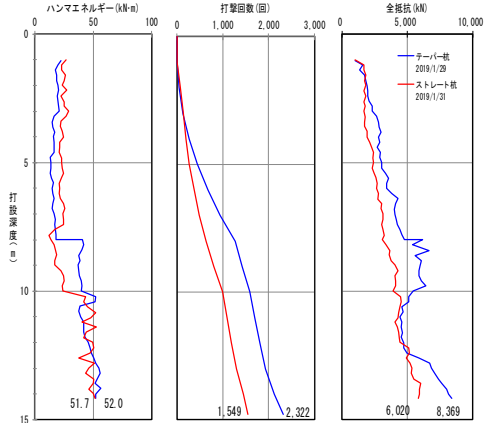


図-2 施工時の載荷試験（深度方向の抵抗変化）

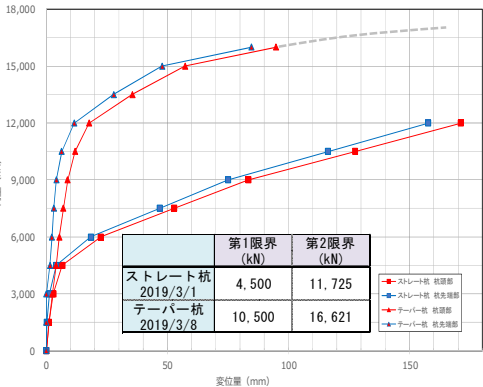


図-3 静的押込み載荷試験 荷重-変位量曲線

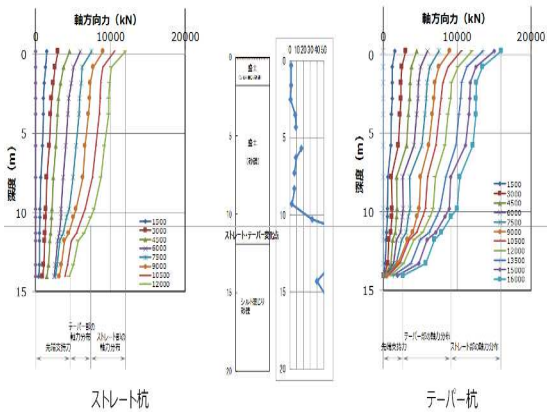


図-4 静的押込み載荷試験 軸方向力分布

表-2 ストレート杭とテーパ杭の比較

			施工時衝撃載荷試験 波形マッチング解析			静的押込み載荷試験		
			ストレート杭	テーパー杭	テーパー／ストレート	ストレート杭	テーパー杭	テーパー／ストレート
周面抵抗力	ストレート部分	抵抗力 (kN)	878	1,821	2.07	4,550	7,061	1.55
		応力度 (kN/㎡)	18	38	2.07	92	143	1.55
	テーパー部分	抵抗力 (kN)	521	1,761	3.38	2,792	6,718	2.41
		応力度 (kN/㎡)	27	103	3.82	158	407	2.58
先端抵抗力		抵抗力 (kN)	1,872	2,183	1.17	4,383	2,842	0.65
		応力度 (kN/㎡)	1,059	1,864	1.76	2,480	2,427	0.98
押込み抵抗力 (kN)			3,270	5,766	1.76	11,725	16,621	1.42