

海上で施工する斜杭基礎の 施工管理と支持力管理について

多田 芳郎* 直田 公造*
Yoshiro Tada Kozo Suguta

1. はじめに

関西電力株式会社他（4社）が設立した堺LNG株式会社発注による年間270万トンの液化天然ガス（以下LNG）の受入・貯蔵・気化・送出行う「堺LNGセンター建設」のうち、本工事はLNG船（138,000m³級）の接舷可能な栈橋を建設するものである。本報告書は、この栈橋工事における鋼管斜杭（最大斜角25度）の計画時の検討と施工管理（打設精度，支持力）について述べるものである。栈橋計画平面図を図-1に示す。

2. 栈橋基礎概要

(1) 基礎構造

栈橋基礎は、組杭式の鋼管杭により上部RCスラブを支持する構造となっている。組杭式の鋼管杭は、長さ約37~60mで最大傾斜角25度であり、杭頭部を上部RCスラブ内に埋込む構造である。

(2) 地盤条件

当工事区域の水深は9m~10mであり、地質はOP-18.9m以深の洪積層とその上部に約8mの厚さで堆積した軟弱沖積層からなる。

洪積層は、上部洪積層と大阪層群に区分されており、上部洪積層の層成は、砂・礫の多い層と海成粘土層の互層であり、砂礫層の最上部は第1天満層、2番目の層は第2天満層と呼ばれる。

今回の基礎杭は、この第2天満層（N=30~50）を支持層としている。第1天満層と第2天満層の2枚の砂礫層に挟まれる海成粘土層は貝殻片に富みMa12層に対応する。図-2に当該区域の土質柱状図を示す。

3. 基礎鋼管杭の離隔

本工事の基礎は多数の鋼管杭を打ち込み角度0~25°、平面振り角0~45°の範囲で組み合わせた複雑な構造となる。それぞれの杭が全ての深度で所定の離隔を有していることを確認するため、3次元のコンピュータグラフィックス（以下、CG）を利用した。3次元CGによる処理画像の例は、図-3に示すとおりである。この3次

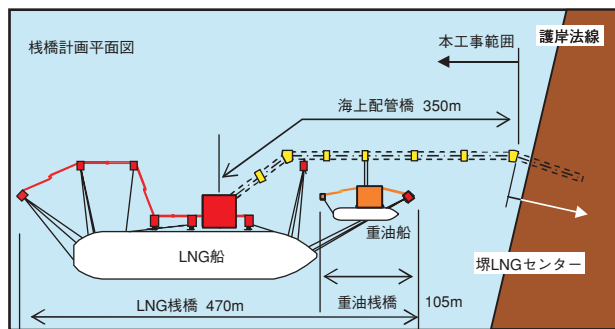


図-1 栈橋計画平面図

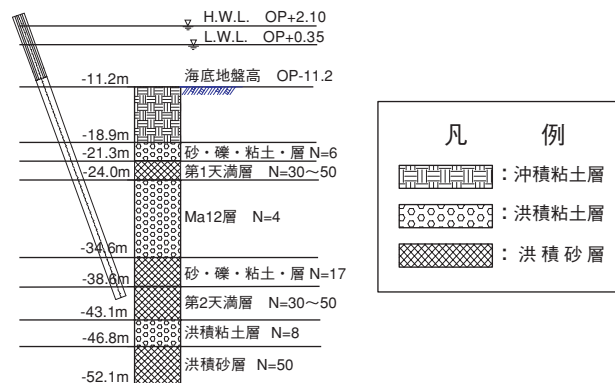


図-2 土質柱状図

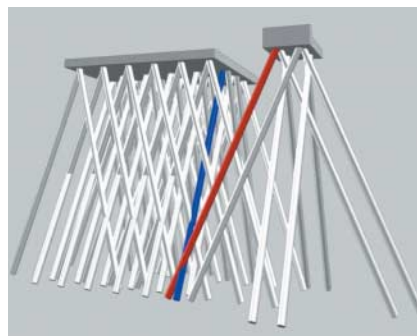


図-3 3次元CGパース図

元CGはコンピュータモニター上で任意の角度から、任意のスケールで各杭の位置関係を確認することが可能である。したがって、同一構造物内での基礎杭が干渉しない（最小離隔距離：400mm）ことばかりでなく、隣接する構造物の杭が干渉していないかをビジュアルに確認し、最適な杭配置を設定した。

4. 打設精度の管理

鋼管杭打設はオランダ製のIHC油圧ハンマーを使用し、鋼管杭の打設位置は、杭打船に搭載されている斜杭位置管理システム（以下管理システム）により設定した。

鋼管杭の管理基準は、平面位置±100mm、打止め高さ±20mmであり、海上施工としては高い精度を要求された。さらに、護岸から栈橋先端までは約600mあり、陸上からの測量のみでは杭の測量に時間を要するため、杭打船に搭載した管理システムを基本として打設位置を管理した。

*関西（支）堺LNG（出）関電シーバース（作）

このシステムはGPSにより求められた船体位置を基準とし、リーダー傾斜、キャッチホークストローク、重機傾斜角、重機旋回角、船体喫水、潮位を測定するセンサーにより斜杭の位置を管理するシステムである。この管理システムの精度は平面位置±30mmと管理基準値を十分に満足するものである。図-4に管理システムの搭載状況を示す。

この管理システムは杭打船が完全に固定された場合、平面的な位置・打込角度・方向角の精度を確保できる。しかし、実施工では波による動揺や斜杭自体によるたわみなどによって杭先端位置のズレが想定されるため、これらの管理システムの整合性とズレ修正を確認する上でも陸上からの測量も必要とした。

陸上からの位置測量は、杭法線に対し直角となる位置と任意の点の2点からトランシットで杭の中心を視準した。ただし、杭方位の測定は、10回に1回程度の割合で実施し、管理システムの検証のみにとどめた。

打止め高さ管理は、管理システムだけでは要求された精度が確保できないため、陸上からレベル測量により行った。

測量方法としては、所定の杭長に対してあらかじめ鋼管杭に打止め位置をマーキングし陸上から杭頭高さをレベル測量により求めた。レベルは、杭方位角に対し直角となる位置にセットし、曲率を考慮した打止め高さに合わせ視準した。杭打設施工精度を表-1に示す。

5. 支持力の確認

打設杭の支持力は、杭の打止め時の全貫入抵抗力（以下、Rd）から地盤回復後の静的貫入抵抗（以下、Rs）を算定して評価した。

Rdはハイリーの簡易式から算出し、Rsは鋼管杭の衝撃載荷試験から地盤回復率（St）、静的抵抗比（Sr）を算出し求めた。

$$Rd = ef \times Cf \times Eh \div (s + 0.5k) \quad (1)$$

$$Rs = Rd \times Sr \times St \quad (2)$$

ここに、ef：ハンマー効率

Cf：換算係数

Eh：打撃エネルギー（kN・m）

s：最終貫入量（m）

k：リバウンド量（m）

各係数は、施工開始時から衝撃載荷試験の結果が得られるまでの3週間は、上記式の係数を陸上タンク基礎工事の載荷試験結果等から得られた値を参照し仮定した。地盤周面摩擦力の回復を待った後、衝撃載荷試験を行いシグナルマッチング解析により各係数を算出し、支持力管理に採用した。比較結果を表-2に示す。

解析結果では、各層における抵抗は陸上のタンク工事等の実績から仮定した値より大きくなり、特に地盤回復率が当初想定値の約1.7倍となった。地盤回復率が増加

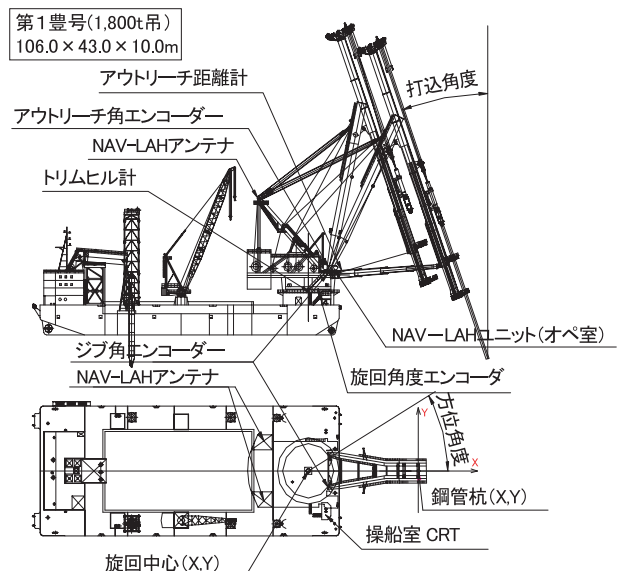


図-4 斜杭位置管理システム搭載状況図

表-1 杭打設施工精度及び実績表

	規格値	単位	実施工	平均	標準偏差
X方向のズレ	±100	mm	-94~+90	-3	41
Y方向のズレ	±100	mm	-95~+97	-8	52
天端高	±20	mm	-10~+15	4	6

表-2 施工開始時仮定係数と衝撃載荷試験による係数比較表

係数	施工開始時の仮定係数	衝撃載荷試験後の係数	
ef	ハンマー効率	0.85	0.93
Cf	換算係数	2.00	1.35
Sr	静的抵抗比	0.32	0.88
St	地盤回復率	1.57	2.61
ef×Cf×Sr×St	係数	0.85	2.88

した要因としては周面摩擦の回復が予想以上に大きなものであったことが主因と考えられる。もともとの設計値においても先端支持力よりも周面摩擦抵抗がかなり大きな割合を占めたこともあり、杭全体の回復率が大きな値を示したと考えられる。この結果、打設杭の支持力は設計上の所要支持力を満足した。

6. おわりに

本工事において、以下のことを改めて認識した。

- ① 今回の管理システムによる高さ精度は、本工事の管理基準に達してはいないが、陸上からの測量を併用することにより実用上十分な精度管理が可能。
- ② 周面摩擦が支配的である杭の支持力管理においては、打設後の周面摩擦の回復について十分な配慮が必要。

謝辞：最後に数多くのご指導ご協力を頂いた関係各位に厚くお礼申し上げます。