硬質砂岩を支持層とするプレボーリング杭の載荷試験事例

Daigas ガスアンドパワーソリューション（株）　正会員　児島　啓太
（株）ＩＨＩプラント　遠藤　文夫
大成建設（株）　正会員　○本谷　幸康，森石　理絵

１．はじめに

本工事は，石炭火力発電所から環境負荷の少ない天然ガス火力発電所に更新するにあたり，同発電所へガス供給するための液化天然ガス（LNG）内航船受入基地を建設するものである．同基地の主要な設備である PCLNG 貯槽（容量 6,500kL）の基礎形式は杭基礎で，基盤層である硬質な堆積岩（主に砂岩）に支持させている．本稿では，基礎杭設計時の鉛直支持力および引抜き抵抗力を確認するために実施した，杭の載荷試験結果について報告する．

２．PCLNG 貯槽の構造概要および地質概要

PCLNG 貯槽の構造概要図を**図-1**に示す．本貯槽は直径 29.6m の基礎版，高さ 15.54m の PC 防液堤，金属製内槽からなる円筒形構造物である．SC 杭（杭径φ700，杭長 L=7.0～12.0m）を COPITA 型プレボーリング杭工法により 76 本打設する．

本貯槽の建設地点における土質柱状図と杭設置深度の関係を**図-2**に示す．杭の支持層となる岩盤は DL-1.3～6.3m と浅い位置に出現し，不陸を有している．支持層以浅には砂質土主体の沖積層および埋土層が堆積しており，本工事では液状化対策として地盤改良（サンドコンパクションパイル工法）を実施している．

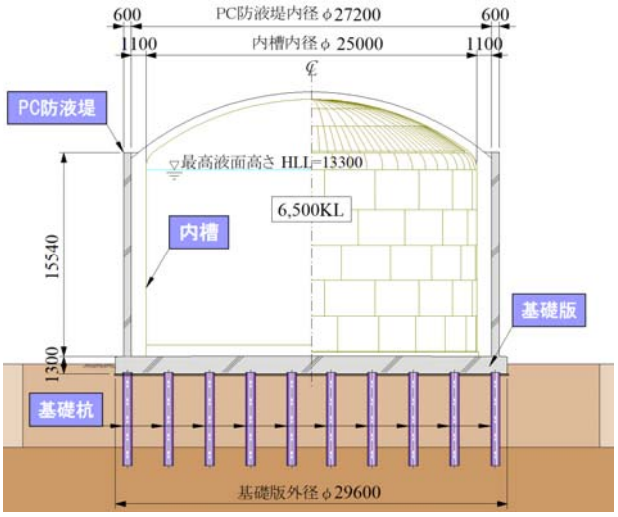

図-1　PCLNG 貯槽構造概要図（単位：mm）

３．基礎杭の設計施工における課題点

基礎杭は道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成 29 年）（以降，道示IVと称する）に準じて設計を行ったが，岩盤を支持層とする場合の支持力算定方法は記載されていない．また，本貯槽は地震時および津波時において基礎杭に引抜き力が発生するため，鉛直支持力だけでなく引抜き抵抗力も確保する必要があった．よって，道示IVに記載されている，砂れきにおける杭先端の極限支持力度の特性値（$300N \leqq 15{,}000$kN/m^2）および砂質土の最大周面摩擦力度の特性値（$5N \leqq 120$kN/m^2）を準用し，支持力および引抜き抵抗力を推定することとした．設計段階で推定した極限支持力および極限引抜き抵抗力を**表-1**に示す．

しかし，岩盤の亀裂や風化程度により推定した支持力および引抜き抵抗力が得られない可能性もあり，推定値が危険側の評価となっていないことを確認する必要があった．また施工面でも，不陸のある岩盤に対して所定の根入れ長を確保できる施工方法を確立する必要があった．

これら設計・施工の課題を解決すべく，本杭とは別に試験杭と反力杭を計 3 本施工し，試験杭に対して急速載荷試験および引抜き試験を実施することとした．

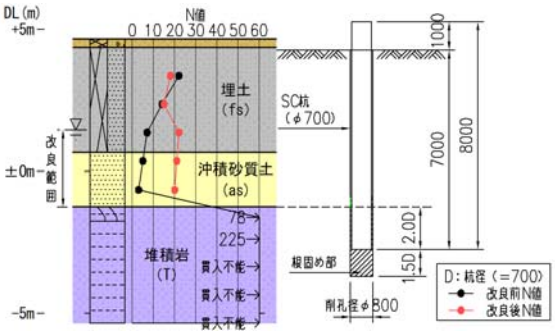

図-2　土質柱状図と杭設置深度

表-1　極限支持力および極限引抜き抵抗力の設計値

	先端支持力	周面支持力	合計値
鉛直支持力	5,760 kN	1,267 kN※	7,027 kN
引抜き抵抗力	－	1,685 kN	1,685 kN

※道示IVに準じ，根入れ部分の周面摩擦力は考慮してない

キーワード　PCLNG 貯槽，プレボーリング杭，砂岩，急速載荷試験，引抜き試験
連絡先　〒163-0606　東京都新宿区西新宿 1-25-1　大成建設(株)土木設計部特殊構造設計室　TEL：03-5381-5293

© Japan Society of Civil Engineers

4．試験杭の施工

試験杭の施工方法（掘削工法）を選定するために，支持層である岩盤のコア採取および一軸圧縮強度試験を実施した．その結果，根入れ位置近傍で一軸圧縮強度 62MN/m^2 という値が得られ，非常に硬質な砂岩であることが判明した．そこで，ロックオーガーを使用し，掘削ヘッドには特殊な回転ビットを取り付けた硬質岩盤削孔用ビット（コニカルヘッド，**写真-1右**参照）を使用することとした．また，**写真-1左**に示すように，ケーシングをガイドとして掘削を行うことで掘削孔のズレや曲りが生じないように配慮した結果，所定の出来形を確保し，問題なく掘削できることを確認した．

試験杭の打設位置は既往ボーリングより支持層レベルが判明している位置とし，支持層到達時における積分電流値の変化を確認した．その結果，支持層到達は積分電流値により明確に判断可能で，本施工においても所定の根入れ長を全数確保することができた．

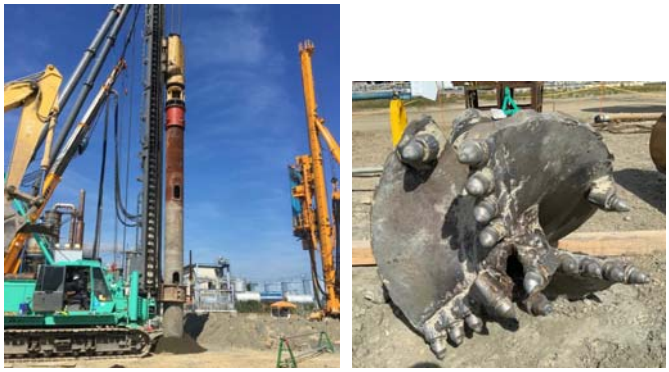

写真-1　杭施工状況（左：全景，右：掘削ヘッド）

5．載荷試験結果

載荷試験は地盤工学会「杭の鉛直載荷試験方法・同解説」基づき実施した．

（1）急速載荷試験

急速載荷試験は 8ton の重錘を使用し，7 段階（30～220cm）の落下高さで実施した．急速載荷試験から得られた荷重-変位関係（黒線）および除荷点抵抗力-変位関係（赤線）を**図-3**に示す．試験により得られた最大除荷点抵抗力は 7,296kN で，極限支持力の設計値（7,027kN）を上回る値が得られた．また，この時点の杭頭変位量は 7.9mm と小さい値であった．ここで，荷重-変位関係（黒線）に着目すると，荷重は低下しておらず，残留変位も約 2mm と小さい値となっている．このことから，杭先端の岩盤や根固め部が破壊したとは考えにくく，局所的な破壊の影響で除荷点抵抗力が低下した可能性が考えられる．

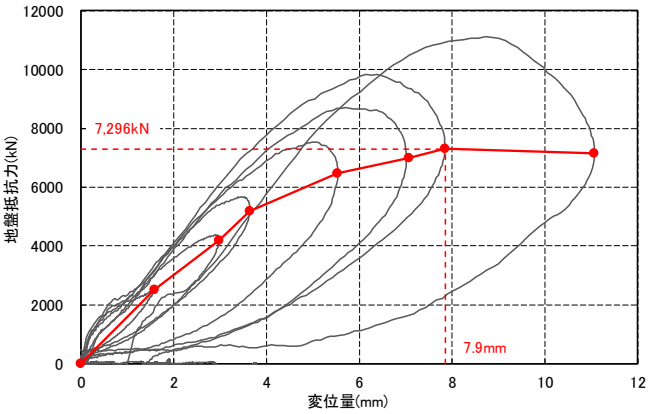

図-3　急速載荷試験結果

（2）引抜き試験

引抜き試験は多サイクル方式（5 サイクル）で実施し，新規荷重段階での荷重保持時間は 30 分とした．引抜き試験から得られた荷重-時間，変位-時間，荷重-変位関係をまとめた試験結果総合図を**図-4**に示す．

最終の第 5 サイクルで計画最大荷重 1,700kN を載荷したところ，杭頭変位が大幅に増加したため，引抜き抵抗力のピーク値が現れる前に試験を終了した．この時点の杭頭変位量は 26.7mm で，杭先端直径の 10%以下の値であった．よって，第 2 限界抵抗力は 1,700kN 以上と判定し，極限引抜き抵抗力の設計値（1,685kN）を上回る結果が得られた．

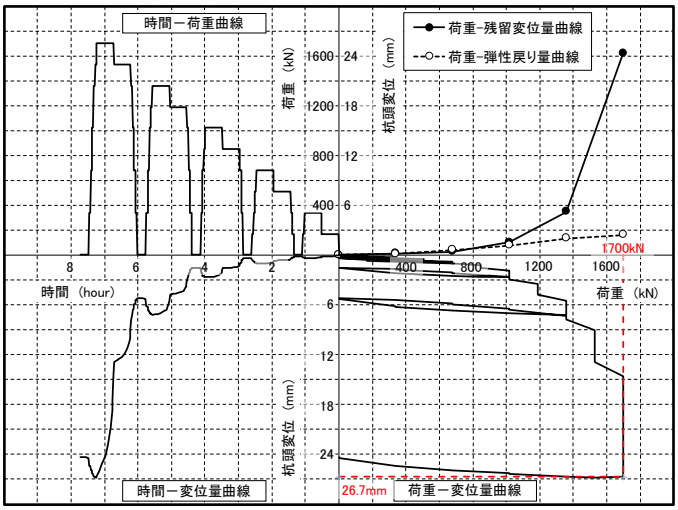

図-4　引抜き試験結果

6．まとめ

硬質砂岩を支持層とするプレボーリング杭について載荷試験を実施した結果，道示IVの砂れきにおける杭先端の極限支持力度および砂質土の最大周面摩擦力度を準用して推定した鉛直支持力および引抜き抵抗力を上回ることが確認できた．硬岩を支持層とする基礎杭の載荷試験例は少ないため，今後の参考になれば幸いである．

© Japan Society of Civil Engineers