

新仙台火力発電所 LNG 受入栈橋における硬質岩盤等への引抜杭打設工法の開発

東北電力(株) 正会員 ○工藤武美, 木村雅道, 佐藤 努
大成建設(株) 正会員 浦崎宣行, 江草弘章, 外山雅昭

1. はじめに

新仙台火力発電所前面海域に現在建設中の LNG 受入栈橋は, 対象船舶の最大船型を 21.7 万 m³ 級として設計し, その構造形式は, 経済性の観点から斜杭(鋼管)による組杭構造とした。栈橋建設地点の地層構成は, 支持層(基盤岩)が N 値 50 以上の凝灰質砂岩と安山岩礫を含む凝灰角礫岩, 火山礫凝灰岩で構成される東宮浜層であり, その上位に概ね N 値が 30~50 の風化東宮浜層と 5~19 の未固結堆積物層等が存在する。さらに, 当地点のボーリング 6 本のうち 1 本から, 東宮浜層風化部に ϕ 650mm 程度の安山岩の巨礫が確認された。この結果を踏まえ, 硬質岩盤および巨礫等への適用可能な杭打設工法として, ウォータージェット併用バイブロハンマ工法(以下「JV 工法」)を検討した。JV 工法は, 杭先端部から吐出する高圧力水とバイブロ効果により, 杭先端の岩盤層等の破碎や巨礫等を移動させることで支持層への根入れを可能とし, かつ施工速度が速いという利点がある。一方, 岩盤を支持層とする引抜杭に対しては, JV 工法で杭周面に空隙が発生して周面支持力が確保できない欠点もある。このため, JV 工法の機構にて岩盤層でも杭周面支持力の確保可能な杭打設工法として, ジェットバイブロセメントミルク注入工法(以下「JVC 工法」)を開発し, 採用に至ったことから, 本稿にて JVC 工法の概要と工法評価のために実施したセメントミルク注入試験, 急速載荷試験結果等について報告する。

2. JVC 工法の概要と特徴

JVC 工法の概念図を図 - 1 示す。本工法と同様に JV 工法の機構にて打設した杭の周面にセメントミルク(以下「CM」)を充填する既工法として①RS プラス工法, ②CJV 工法がある。①は, 杭打設完了後に注入ホースを上方に引抜きながら杭周面に CM を充填するが, 斜杭の場合は注入ホースの引抜きが困難である。②は杭下端が CM 充填対象層に達した段階で, 高圧力水を CM に切替えて杭根入れ層に打設するが, CM 充填対象層が厚い場合には多大な量の CM を吐出することになり, 経済性に劣り環境負荷も大きくなる。これに対し, 本工法では, 杭打設(根入れ)完了後に杭先端部から高圧水管を引抜くことなく根入れ層に低圧で CM を充填することから, ①②の不具合や不合理性を解消できる特徴を有する。

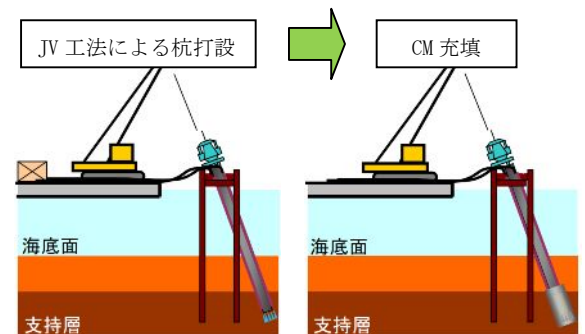


図 - 1 JVC 工法の概念図

3. JVC 工法の評価確認試験の概要と結果

本工法の評価にあたっては, 以下の表 - 1 に示す項目について確認が必要と判断し, 確認方法と評価方法を設定して, 実施工杭(陸上部橋脚基礎杭 2 本: ϕ 1000mm-18t, SKK490, L42m)により試験を実施したものである。

表 - 1 試験杭による JVC 工法評価の確認項目・確認方法・目標性能

確認項目	確認方法	目標性能(評価性能)
支持層への根入れ長	ボーリングデータと杭打設時(一定圧力下)のバイブロ電流値・貫入速度計測結果を比較	支持層への根入れ長の確保: 支持層上端部での電流値上昇傾向と杭貫入量 1cm/s 以下を確認
杭周面 CM 充填厚さ・高さ	杭内外周面のボーリングで CM 充填上端部の高さを調査	CM 設計充填量の確保: 杭内外周面の CM 充填厚さ 20cm 以下と最大充填高さ 12m 以上の確認
杭周面支持力	急速載荷試験により杭周面支持力分布および先端支持力を計測	打撃工法以上の杭周面支持力の確保: 杭周面支持力(摩擦力)が 2N 以上の確認

(1) 必要根入れ長確認試験概要と結果

支持層への根入れ長を確保するためには, 支持層の上面レベルを把握する必要がある。このため, ウォーター

キーワード バイブロハンマ, ウォータージェット, セメントミルク, ドルフィン, 斜杭, 急速載荷試験
連絡先 〒985-0901 仙台市宮城野区港 5-2-1 新仙台火力発電所建設所土木建築課 TEL022-362-5062

ジェットの影響を除外した評価が必要と判断し、噴射水圧を一定(5Mpa)に保ち、ボーリングデータの支持層(N 値 50 以上)位置でのパイプロの電流値傾向と杭貫入量を計測し、そのトレンドを確認した。結果については図-2 に示すとおり、電流値の上昇傾向と杭貫入量の減少傾向に加え、概ね 1cm/s 以下の貫入となったことから、支持層上端部の判断指標とした。

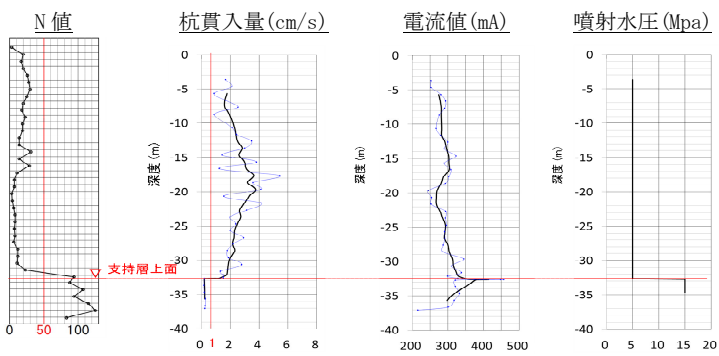


図-2 試験杭(B)のN値・杭貫入量・電流値・水圧の相関図

(2) CM 注入試験概要と結果

杭打設(根入れ)完了後、表-2 に示す CM の仕様および条件にて、充填試験を行った。充填完了後のボーリング調査の結果については、表-3 のとおり充填厚さにばらつきは想定されるものの、厚さが 1/3~1/6、高さが 3.3~7.0 倍となり目標性能を満足した。なお、実施工においても当結果を反映し、CM の充填厚さを低減した。

表-2 CM 充填試験仕様

項 目	試験杭(A)	試験杭(B)
CM 仕様	種類 N, C/W=65%, 比重 1.71, $\sigma_{ck}=20\text{N/mm}^2$	
充填厚さ	(内周面) 20cm+(外周面) 20cm=40cm	
充填高さ	a=12.0m (V1=15.1m ³)	b=4.0m (V2=5.1m ³)
充填圧力	5~10Mpa	

表-3 CM 充填試験結果

項 目	試験杭(A)	試験杭(B)
充填厚さ(内外)	12cm<40cm(ok)	6cm<40cm(ok)
充填高さ	40.6m 以上>a(ok)	28.2m>b(ok)

(3) 急速載荷試験概要と結果

試験方法は、重錘落下方式により行い、計測は、ひずみ計と加速度計を配置して計測した。試験内容および機器の配置は、表-4 に、試験状況は写真-1 に示す。試験結果については、表-5 に示すとおり CM 充填範囲が広範囲となったことに起因して、杭先端極限支持力が発揮されず、試験から得られた値は R(13)=751kN と非常に小さな値となったが、杭周面摩擦力は打撃工法(2N)以上を確保しており試験から得られた評価は良好であった。

表-4 急速載荷試験の内容

項 目	試験内容
目標試験荷重	Pmax=14,000kN/本 〔試験杭(B)設計極限支持力の1.2倍〕
載荷装置	質量70t重錘落下装置 ハイブリットナミッククッション
計測機器	ひずみ計:2方向×13断面(1~2.5m間隔) 加速度計:3断面(杭頭・中間・杭下端部)

4. JVC 工法の採用による合理化

従来、当地点のような地層構成の場合には、安価な工法として JV 工法の採用を考えるが、今回 JVC 工法を開発・採用したことで、JV 工法では設計杭周面摩擦力(1N)に対し、JVC 工法の設計杭周面摩擦力は 2N と評価していることから、当 LNG 受入栈橋では、鋼管杭重量を JV 工との比較で約 560t(約 12%)低減し、硬質岩盤等への杭打設時間も短縮できたことで工事費の低減に寄与した。

表-5 急速載荷試験結果

項 目		試験値
支持層上端軸力	R(10)	10,656kN
杭先端軸力	R(13)	751kN
支持層の杭周面支持力	R _{fo} t	573kN/m ²
支持層の杭外周摩擦力	R _{fo}	287kN/m ²
N 値のばらつき補正係数	α	0.644
設計杭周面支持力	R _{fo} '	185kN/m ²
設計値(2N)	R _f	100kN/m ²
判定 R _{fo} ' > R _f		ok
R _{fo} ' / N 値(50)		3.7N(kN)



写真-1 試験状況

5. おわりに

LNG 受入栈橋においては、引抜き力の発生する杭に対し、地質調査で確認された支持層上位部の巨礫の存在が障害となり、打設困難となった場合の対処可能で合理的な工法として、開発・採用に至ったものである。しかし、急速載荷試験では先端支持力の評価が過小となる等の課題があるものの、さらにデータを蓄積することで合理性等を確保できると考えている。また、工法の適用地層等の拡大も含めてさらなる技術向上に取り組んでいく。

参考文献： 1)パイプロハンマ工法技術研究会：パイプロハンマ設計施工便覧，pp.143~pp.156(2010)
2)(社)地盤工学会：杭の鉛直載荷試験方法・同解説，pp.171~192(2002)
3)(独)港湾空港技術研究所：港湾空港技術研究所資料 No.1196，(2009)