

大型海上鋼管矢板井筒基礎の施工 Construction of Offshore Steel Pipe Sheet Pile Well Foundation

渡邊 正就*
Masanari Watanabe

細見 宏幸*
Hiroyuki Hosomi

要 約

大阪市発注の夢洲～舞洲連絡橋は、大阪北港夢洲～舞洲間の北航路を横断する世界初の浮体式旋回可動橋である。当工事は、連絡橋舞洲側の海上橋脚築造工事であり、橋脚の構造は鋼管矢板井筒基礎形式となっている。当橋脚は、浮体橋の旋回軸となるため井筒外形寸法は、橋軸方向30.156m、橋軸直角方向44.634m、鋼管矢板は外径1.20m、長さ64.20m、総本数188本と海上の井筒基礎としては国内でも最大級の規模となった。

本報は、本鋼管矢板井筒の施工における問題点と施工実績について報告する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 土質および施工環境
- § 4. 施工順序
- § 5. 計画時における問題点、着眼点
- § 6. 問題点、着眼点に対する施策
- § 7. 施工実績
- § 8. おわりに

§ 1. はじめに

大阪市は、大阪港の取扱貨物量の増大、船舶の大型化に対応し夢洲内に水深-15.0mのコンテナ埠頭の建設を平成12年の供用を目指し進めている。また、夢洲地区は21世紀を目指した町づくり『テクノポート大阪』の中核地区として重要な位置づけがなされており、夢洲地区への交通の円滑な処理と土地利用の促進を図るため、夢洲～舞洲連絡橋の早期完成に強い期待が寄せられている。

当工事は、夢洲～舞洲連絡橋の一環として、舞洲側護岸前面の海上橋脚基礎を仮締切併用の鋼管矢板井筒工法にて施工する工事である。

当工事の位置する夢洲～舞洲間航路(北航路)は、日

り約200隻の小型船舶が航行する水深-10.0mの航路であり、航路の常時確保のため、ヤグラ式の杭打船は使用できない。このため、大型の全旋回起重機船による横方向打設を採用した。また、当工事では鋼管矢板井筒の完全閉合を目的とし、鋼管矢板の打設精度を垂直方向1/1000以内、杭頭水平誤差40mm以内を目標とした。

本報では、鋼管矢板井筒の施工手順を紹介し、計画時における問題点、施工時の改良および施工実績について報告する。

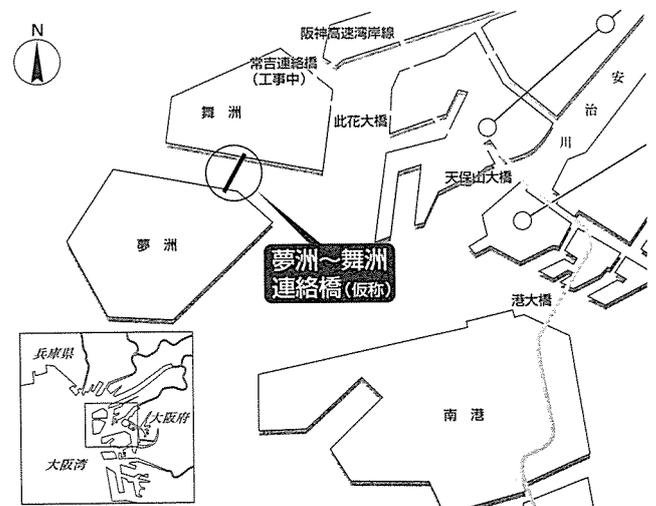


図-1 工事位置図

*関西（支）舞洲（出）

§ 2. 工事概要

2-1 工事概要

工事名：夢洲～舞洲連絡橋（仮称）架設工事-3
 企業先：大阪市
 工期：平成8年12月17日～平成10年3月18日
 工事場所：大阪市此花区北港緑地1町目地先
 施工者：西松・吉田特定建設工事共同企業体

2-2 工事内容

磁気探査	11,700m ²
地質調査	2ヶ所
床掘工	46,000m ³
置換砂	35,900m ³
導材工	263m
鋼管矢板打設	
上杭 φ1.2m L=36.2～40.2m	188本
下杭 φ1.2m L=24.0～28.0m	188本
障害物撤去(捨石)	250m ³
コンクリートシンカ製作据付	2基
係船柱設置	2基

図-2 に井筒平面図を示す。

§ 3. 土質および施工環境

3-1 土質概要

工事施工地点は、安治川および新淀川の河口域にあたり、海底面(DL-10.0m)よりDL-38.0m付近までは、基底粘土層とこれを覆う砂質層からなるN値0～6の軟弱な沖積層が分布する。その下位のDL-38.0m～DL-44.0mには、通称第一天満層と呼ばれるN値60～120の砂れき、細砂層が、DL-44.0m～DL-58.4mにはN値3～8の粘土層が、DL-58.4m以深には通称第二天満層と呼ばれるN値60以上の砂質洪積層が分布する。

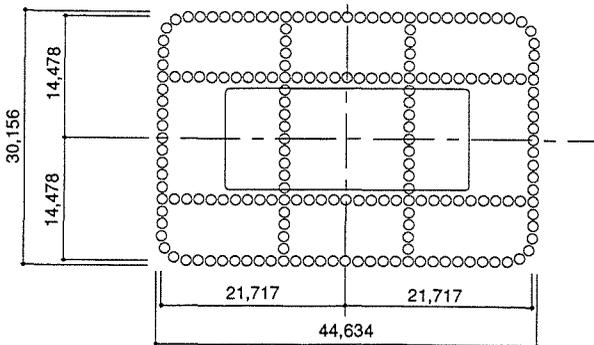


図-2 井筒平面図

通常大阪港における重要構造物は第二天満層を杭支持層としており、当工事においても第二天満層を支持層とし、杭先端高はDL -61.0mとなっている。図-3 に井筒中央における土質柱状図を示す。

3-2 施工環境

(1)航路幅の確保

北航路は全幅430m、実質船舶航行幅200mで、日当りの船舶航行量は日出～日没間においておよそ200隻である。当工事は対岸の夢洲側海上橋脚と施工時期が重なるが、航路巾は常時最低200mを確保することが義務づけられていた。図-4 に夢洲、舞洲海上橋脚同時施工時の杭打船配置と航路との関連を示す。

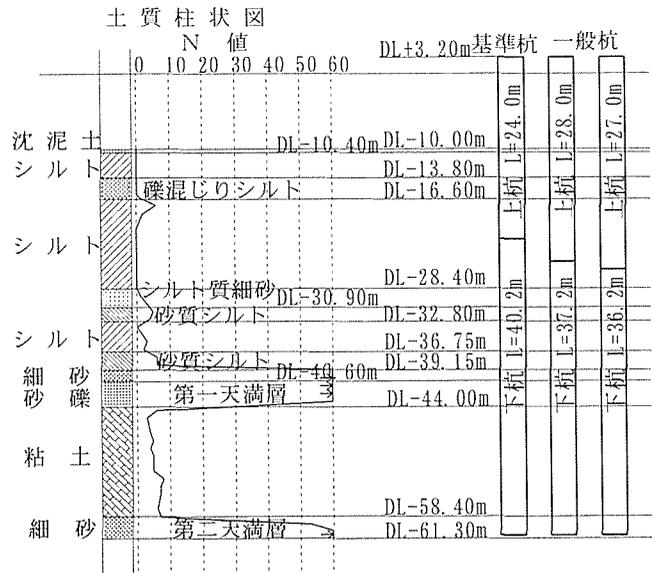


図-3 土質柱状図

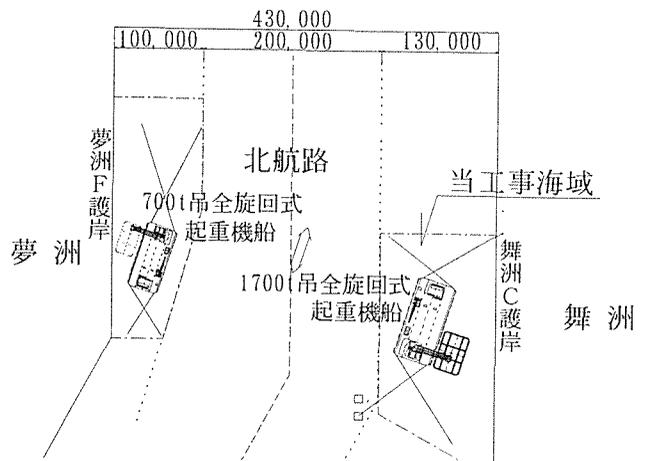


図-4 北航路平面図

(2)気象・海象

本工事海域は、例年11月中旬～3月上旬にかけての冬期間において、西風が強くなり、風速10m/sを越える日数が40日程にのぼる。

§ 4. 施工順序

4-1 鋼管矢板打設区域の分割

井筒は既設舞洲C護岸法線に対して傾斜しており、護岸法線と井筒陸側外壁間の最小距離は約28mである。このため、井筒陸側と護岸間には杭打船を配置する空間がなく、すべての鋼管矢板は海側より打設する必要があった。一方、北航路境界線と井筒海側外壁間の最小距離は約61mであり、航路確保のために通常のヤグラ式杭打船は使用できず、大型全旋回杭打船を井筒海側に配置し、杭打船左舷側での横方向打設を採用した。井筒の施工においては、下杭全数を先行打設し井筒を閉合した後上杭を打設する事が望しいが、上杭打設時の陸側外壁部までのリーチが非常に大きくなり、国内最大級の1700t吊全旋回杭打設船においても、リーチが不足した。このため、鋼管矢板の打設は陸側、海側に2分割し、陸側、海側の順に打設を行った。ここで陸側、海側ともに下杭を閉合後上杭の打設を行った。

4-2 施工順序

施工フローを図-5に示す。

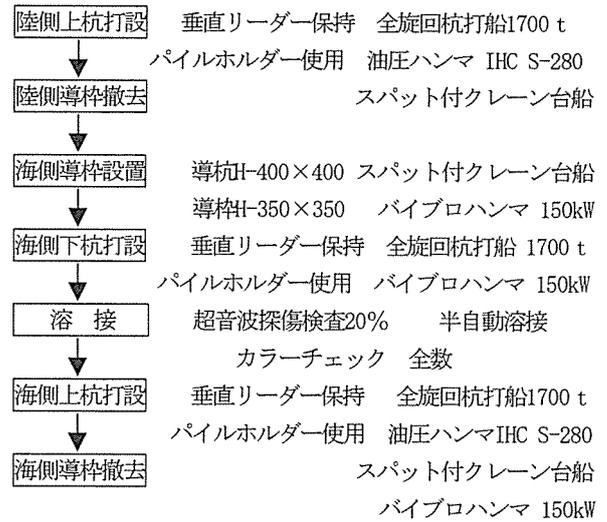


図-5 施工フロー

§ 5. 計画時における問題点、着眼点

当工事の計画にあたっては、鋼管矢板井筒の完全閉合をいかに問題なくスムーズに行うかを主眼として、打設機械、打設方法、仮設備等の検討を行った。解決・改善しようとした問題点および、着眼点は以下のとおりであった。

- ①鋼管矢板の打込み時応力の検討をスミスの波動理論による杭打解析プログラムを用いて行った。この結果、杭上端および下端において発生応力が許容応力度を上回り、ちょうちん座屈を起こす危険があった。
- ②原計画の導棒支持杭根入れ長は6.3mと短く、構造的に不安定であり、鋼管矢板の打込精度確保に問題があった。
- ③杭打設時の大きな振動に耐えられる、安全な導棒足場の確保が必要であった。
- ④鋼管矢板下杭の打込精度を最重要課題とし、管理目標を垂直方向傾斜1/1000以内、杭頭水平誤差40mm以内とした。
- ⑤下杭、上杭の現場溶接に関して、
 - ・溶接時期が冬期となるため、強風による溶接品質への影響が懸念された。
 - ・現場溶接を行う下杭上端部、上杭下端部での各鋼管矢板の真円度、継手取付位置の製管精度が懸念された。

§ 6. 問題点、着眼点に対する施策

(1)鋼管矢板の局部座屈の防止

スミスの波動理論による解析結果をもとに、鋼管矢板上下端部の発生応力が許容応力度を上回る範囲において、鋼管矢板材質のSKY490への品質変更を提案し、採用された。

(2)導枠の検討

導枠の構造は、下杭の打設方法、使用機械により大きく影響を受ける。当初、導枠の検討は下杭打設方法を後記(4)②に述べるフライング方式として検討した。

その結果、導枠支持杭としてH400×400部材を使用しても、杭頭変位は約100mmとなり、高い施工精度を確保することは困難との結論に達した。このため、導枠間を補強材で固定することによる導材の補強を検討した。

検討の結果、導枠支持杭は杭長23.5mのH400×400×13×21部材とし、導材間に図-6に示す補強材を設置することにした。これにより、導枠の杭打設時の最大変位量は約50mmとなった。

(3)導枠足場

導枠上の足場は、安全で、施工性が良く、波の影響を受けにくい構造とする事が望ましい。また、下杭、上杭打設時には大きな振動が足場に伝わるため、これに耐えうる構造が必要である。これらを満足する足場材は、市場に流通しておらず、このため、足場材は軽量形鋼(リップ溝形鋼)にエキスパンドメタルを組合わせ製作した。また、本足場材は、後続工種である継手洗浄工等の鋼管

矢板上の足場としても再使用出来る構造にした。構造図を図-7に示す。

(4)下杭の打込精度確保

①基準杭について

当工事の井筒はコーナー部に曲線を有する矩形であり、井筒内部に橋軸・橋軸直角の2方向に各2列の隔壁がある。このため、4方向に継手を有する杭が4ヶ所、3方向に継手を有する杭が8ヶ所となっている。鋼管矢板は片押し打設を続けると、継手の摩擦抵抗により前方へ倒れこむ傾向があるため、ある程度の距離をおいて基準となる鋼管矢板(基準杭と記す)を先行打設し、この間を両側より順次打設、閉合させる方法が一般的である。当工事においては、上記3方向、4方向に継手を有する杭を基準杭とし、かつ、平面的に片押し打設が長くなる4コーナー付近に各1本の基準杭を設けた。これにより、鋼管矢板の下杭閉合箇所は24ヶ所となった。

下杭の設計長は、36.2mおよび、37.2mである。この長さにおける杭先端部の土質はN値2~3の粘性土であり、第一天満層上5.6m~4.8mの地点である。基準杭の杭長は、隣接杭打設時の安定性確保および、使用バイプロハンマ(CM2-25000A・150kW)の能力上限より杭長40.2mに変更し、第一天満層上1.8mのN値3~5付近で打止めることとした。基準杭・閉合杭の平面位置図を図-8に示す。

②打設方法

当初、下杭の打設方法は250t吊起重機船、150kWバイプロハンマの組み合わせにより、フライング打設する方法を基本とし検討した。この結果、導枠では杭の偏芯、傾斜、回転の防止には不十分であるとの結論に至った。再検討の結果、鋼管矢板上端部、中間部を固定でき、打設時の杭の偏芯、傾斜、回転の防止に最も効果のある垂直保持リーダーとリーダー下部のパイルホルダーを併用する方法を採用した。また、杭打船には、上杭打設と同様1700t吊り全旋回杭打船を使用することとした。

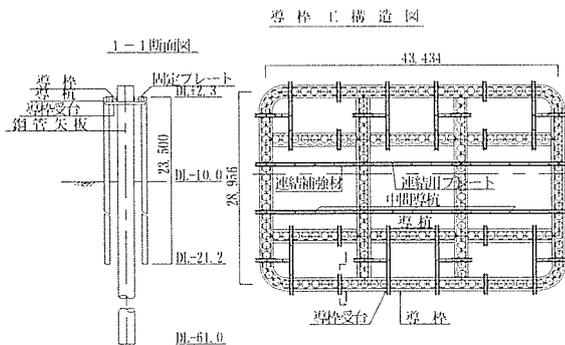


図-6 導枠構造図

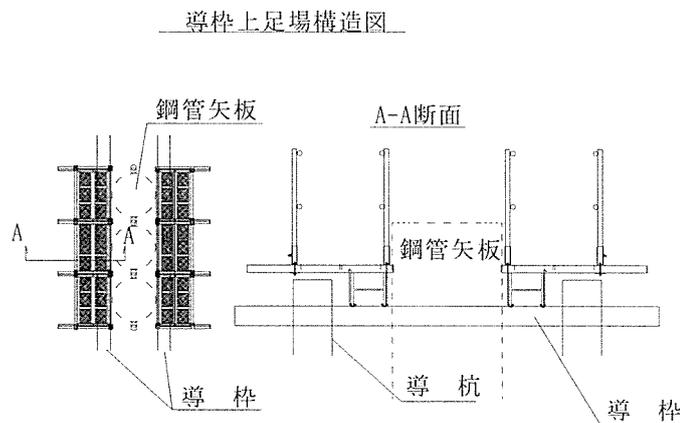


図-7 導枠足場平面図

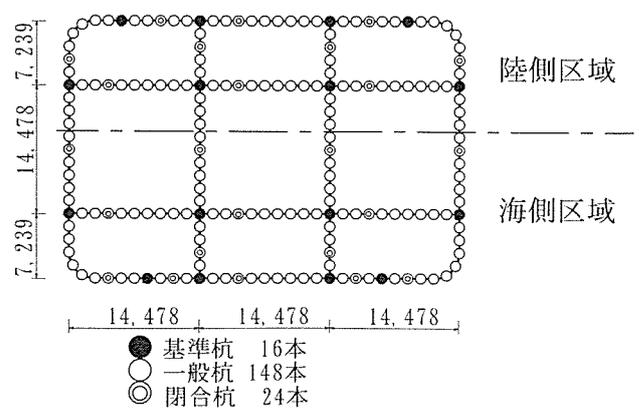


図-8 基準杭・閉合杭平面位置図

③杭の回転防止

鋼管矢板の回転防止策としては、一般に良く用いられている方法として継手部を金物で固定する方法がある。当現場も写真-1に示す様な回転防止金具を使用した。しかし、回転防止金具のみでは杭の回転を止めることはできず、杭頭での回転防止方法として、下杭打設時はパイプロハンマをリーダーに保持させ、上杭は杭頭部に回転防止板を取り付け、油圧ハンマ下部に固定する杭径調整パイルキャップに鋼管矢板差込部を設け、これを回転防止板に差込み回転を防止した。

(5)杭現場溶接の品質確保

鋼管矢板の打設は冬期の強風時期にかかり、現場溶接の品質確保のため、溶接箇所を囲むメッシュ状の風よけを設置することとした。また、溶接部(下杭杭頭・上杭下端部)での真円度、継手位置の精度を事前に正確に測定する方法として写真-2に示すアクリル製の真円度定規を作成し、製品の事前精度確認を行った。

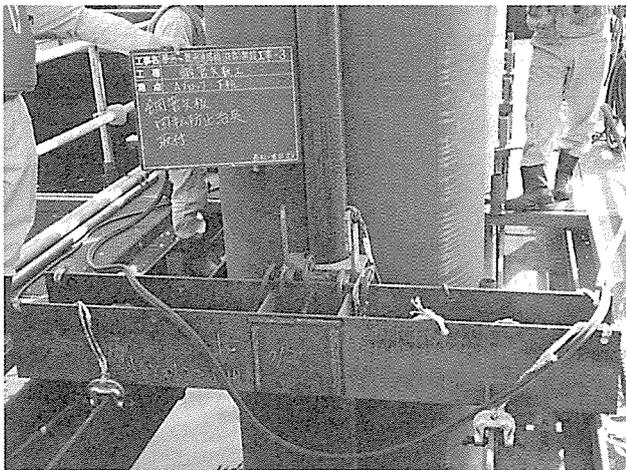


写真-1 回転防止金具

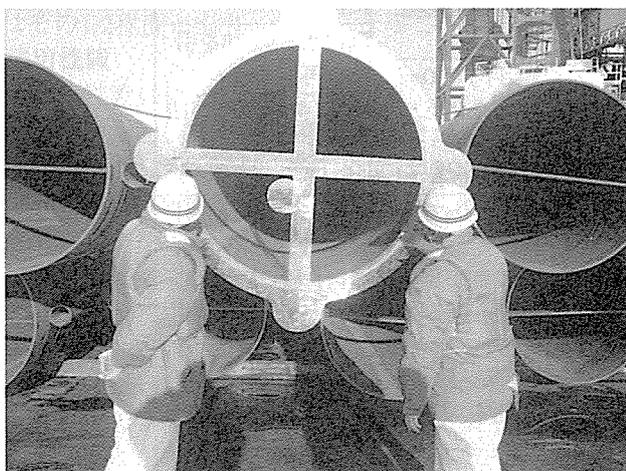


写真-2 真円度定規

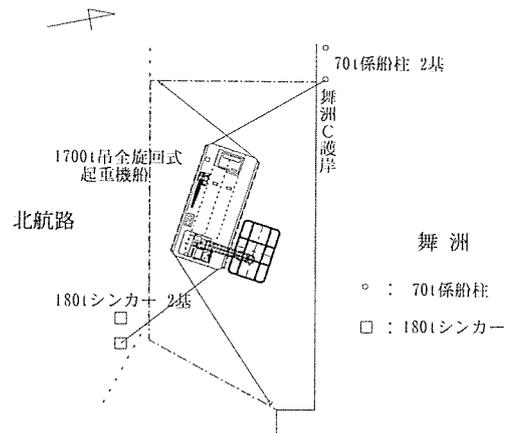


図-9 係留設備配置図

§ 7. 施工実績

7-1 下杭の打設

(1)杭打船係留設備

下杭打設では垂直保持リーダー使用にともない杭打船の位置固定が重要となった。当工事で使用した1700t吊全旋回杭打船のアンカーウインチ巻込み能力は60tfであり、これに耐え、かつ、北航路の航路を確保するため海上に180tシンカー2基、また、陸上に杭方式の70t係船柱2基を設置した。係留設備配置図を図-9に示す。

(2)杭打船位置決め

杭打船の位置決めには光波自動追尾装置を使用した。本システムは、杭打船のパソコンに杭打船位置がリアルタイムで示され、あらかじめパソコンに入力した各杭ごとの杭打船予定位置との関係をパソコンで確認しながら、操船誘導するものである。

(3)鋼管矢板の吊込み

鋼管矢板の吊込み用金具は上部に2ヶ所、下部に1ヶ所取付けた。上部の吊込み金具の取付け位置は、設定杭打船位置より、2本の吊込みワイヤーで杭を吊込んだ時に継手位置が所定の方向となるよう定めた。吊込みは、杭打船のリーダーから上部の2点を杭打船の補助クレーン(200t吊)により下部の1点を吊上げ、リーダーワイヤーの巻上げによりパイプロハンマに装着した。

鋼管矢板のパイプロハンマへの装着には、当初時間を要したが、後記するパイプロハンマチャック部への定規金具先端を台形状にしたことにより装着時間を短縮することが出来た。

(4)鋼管矢板の位置決め

鋼管矢板の位置決めには、杭打船の位置同様、リーダーの張出し距離をあらかじめプログラムに組み込むことにより、リーダーは自動的に予定杭打位置に導かれる。

打設予定位置に導かれた杭は、陸上の3台のトランシットによる位置確認の後、海底に建込んだ。当工事においては、下杭打設をリーダー保持方式としたため、杭打船クレーンの旋回軸が常に各杭の橋軸方向と同一線上になるように操船する必要があった。これにより、鋼管矢板の回転をおさえることが出来た反面、杭打船上の定規にあわせた継手方向の微調整を行う必要が生じた。写真-3に継手方向調整作業の状況を示す。

(5)鋼管矢板の偏芯

下杭打込み当初において、杭打船リーダーとリーダー装着杭の鉛直性が微妙に違うケースが、また、打込み後の杭頭の変形が生じるケースが見られた。調査の結果、バイプロハンマのダブルチャックが杭の真芯にセットされていないことがわかった。このため、バイプロハンマ



写真-3 継手方向調整作業状況

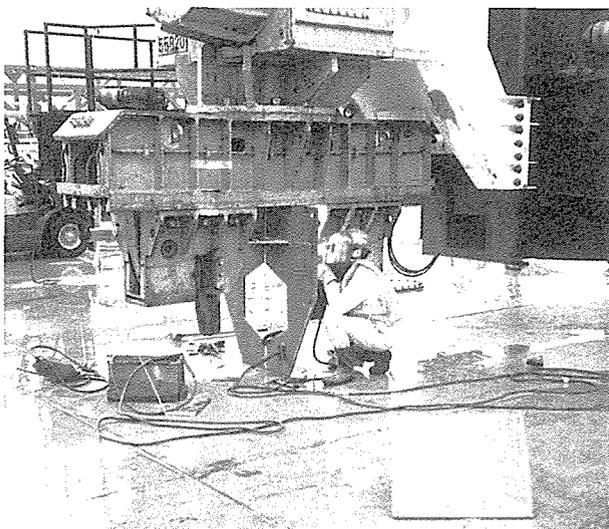


写真-4 鋼管装着金具

チャック部にチャック装着が杭頭の真芯になるような金具を取付け対応した(写真-4参照)。この結果、杭頭の変形はまったく見られなくなり、また、吊込み時のリーダーとの鉛直性の誤差もなくなった。

(6)打設

陸側下杭打設時において、打込み精度が管理目標値を下廻ったため打直しを行った杭は4本であった。また、閉合杭3ヶ所において打込み困難となり、隣接杭を引抜き再打設を行った。この3ヶ所の閉合杭打設前の両隣接杭は、傾斜、継手位置、水平誤差のいずれにおいても良好な結果であり、打込み困難の原因は明確でないがその状況、対応処置および考えられる原因を表-1に示す。

海側区域の下杭打設時においては、継手の連結をより正確に行うことを目的とし、先行打設杭の継手方向に合わせ、継手方向の微調整を実施した。これにより、閉合杭で打込み困難となり隣接杭を引抜き再打設を行った箇所は1ヶ所であった。

下杭の打設実績を表-2に打設精度を表-3に示す。

表-1 打込困難の状況および対応処置

杭NO	状況	対応処置	考えられる原因
NO. 37	DL-20.5mで貫入不能。 継手内で70mmの石を発見。	NO. 37, 35, 34の順に引抜きNO. 37, 35, 34の順に再打設後、閉合杭をNO. 34とし閉合完了。	陸側置換砂中の大径のレキが継手部にあたった。
NO. 51	DL-31.0mで貫入不能。 継手に変形発生。 継手内で70mmの石を発見。	閉塞変形している継手を所定の形状に補修。 隣接するNO. 48を引抜き再打設。 NO. 51を再打設、閉合完了。	同上
NO. 70	DL-31.0mで貫入不能。 継手両側共先端より5m~7mに渡り、スリット間隔に広がり発生。55mm	NO. 70, 69の順に引抜きNO. 69, 70の順で再打設。NO. 70で閉合完了。	不明

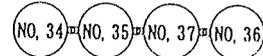


表-2 下杭打設実績

ブロック	施工期間	歴日	実作業日数	稼働率%	施工本数	実作業日当り打設本数	1本当り平均所要時間
陸側	9/9～10/10	32	28	87	88	3.14	102分
海側	12/10～1/13	35	21	84	100	4.76	92分
合計		67	49	86	188	3.84	97分

表-3 下杭打設精度

ブロック	本数	偏芯(mm)		傾斜	
		最大	平均	最大	平均
陸側	88	45	26	1.41/1000	0.84/1000
海側	100	45	28	1.41/1000	0.71/1000
合計	188	45	27	1.41/1000	0.77/1000

7-2 上杭の打設

(1)現場溶接

当初、懸念された溶接部の製管精度は、真円定規で測定した結果、最大4mm以内の誤差におさまっており、事前に調整することなく、溶接時のせり矢による調整のみで対応出来た。また、当初冬期強風時の風による溶接品質への影響が懸念されたが、実施工において、杭打船が常に風上側に配置されることとなり、このため、溶接箇所での風速は大幅に減少することがわかった。杭打船上の風速計で10m/s近い強風下において、溶接箇所での風速はその1/2程度となり、溶接を行うことが出来た。

(2)使用機械

上杭の打設には、リーダーへの全装備重量より700t吊級以上の全旋回杭打設船を必要としたが、このクラスの船は国内に5隻しかなく、当工事では1700t吊全旋回杭打船(第60吉田号)を使用することとした。使用ハンマはエネルギー効率がよく、油の飛散による海洋汚染の防止に効果があるオランダIHC社製のS-280(最大エネルギー280kJ)油圧ハンマを使用することとした。写真-5にハンマの写真を示す。

本ハンマは打撃エネルギー等を制御盤により集中管理することができ、CCVカメラとの併用により管理室内で制御することが可能である。また、そのデータはパソコンに記憶されプリントアウトすることができる。このよ

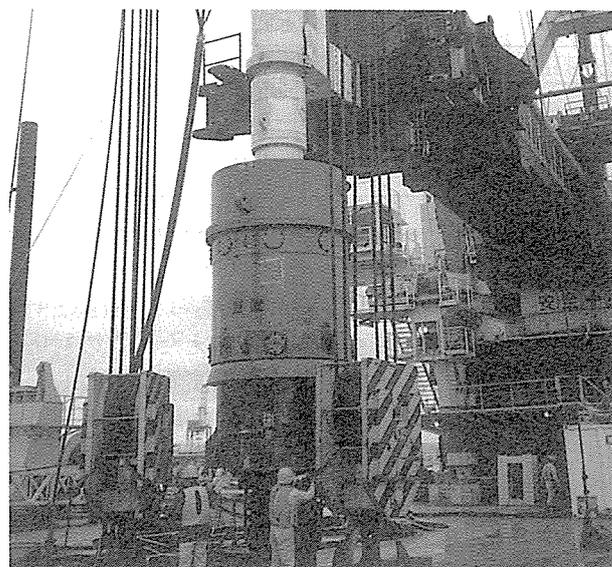


写真-5 油圧ハンマ

うに打撃管理に優れたハンマである反面、構造上パイルキャップは破損が多く、とりわけ溶接部付近へ亀裂が多発した。

(3)鋼管矢板の位置決め建込み

上杭打設時の杭打船位置および鋼管矢板の位置決めは、下杭同様あらかじめパソコンにデータ入力することにより管理した。建込み予定位置に旋回された鋼管矢板は陸上の3台のトランシットにより杭位置、傾斜、継手位置を確認の後下杭上に降し、再度トランシットにより再チェック後、溶接を開始する。溶接2層目まで上杭は杭打船リーダーによる保持を継続し、その後、杭打船リーダーをはずし溶接を継続する。一方、杭打船は次の杭を継続して建込むこととした。このため、上杭の建込みは1本おきとし、先行杭打設後、その中間を建込み打設した。

連続建込み数は、運搬台船の能力より最大15本とした。

(4)打設

陸側区域での打撃エネルギーは、全般的に打始めの粘土層においては、100～110 kJに抑え、1打撃での沈下量を控えめにして打込み精度を優先した。また、第一天満層打込時には打撃エネルギーを調整し、沈下量を10mm/1打撃前後とし、第一天満層後は打撃エネルギーを増し、1打撃当りの沈下量を増やす方法とした。

陸側区域では、基本的に杭長の長い杭を先行打設とし、下杭閉合杭など杭長の短い杭は後打設とした。この結果、一般杭での打撃回数は、主に継手部の摩擦により後行杭で先行杭をかなり上回り、また、閉合杭において一般杭を大きく上回った。陸側区域での杭の種類別、打撃回数を表-4に示す。

表-4 陸側区域上杭打撃回数比較表

上杭打設順序	下杭での種別	本数	平均打撃回数
先行杭	一般杭	38	1801
	基準杭	8	1958
後行杭	一般杭	32	2293
	閉合杭	10	3149
合計		88	2148

下杭で閉合杭打設にトラブルのあった杭(NO.37)は、上記打撃回数においても許容値を越えた。この対応策として①継手の洗浄②杭の中掘を実施することとし、継手洗浄完了後に再打設を行ったところ、設計深度で許容誤差内となり、打撃を完了した。以上の経緯より、海側区域の上杭打設においては、下杭での杭長の短い杭を先行打設することに改め長い杭を後行打設に変更した。この結果、海側上杭打設時でのトラブルは特になかった。上杭の打設実績を表-5に、また、上杭打設精度を表-6に示す。

陸側上杭の一部について、杭打船の配船予定により800t吊油圧スパット式杭打船を使用した。本杭打船の油圧ハンマは、1700t同様IHC社製S-280であり基本的に同一の施工方法にて打設を行ったが、パイルキャップ形状が大きく異なった。この間の打設においては、低い打撃エネルギーでほぼ同一の打撃回数にて完了した。その原因は、明確ではないが、恐らくパイルキャップ形状による打撃効率の差と思われる。今後、パイルキャップ形状については実績をふまえた検討が重要と思う。写真-6にこのパイルキャップを、図-10に両ハンマの平均的な打撃データ比較を示す。

表-5 上杭打設実績

ブロック	施工期間	歴日(日)	実作業日数(日)	稼働率(%)	施工本数(本)	実作業日当り打設本数
陸側	10/13~11/21	40	35	87	88	2.51
海側	11/7~2/21	36	30	83	100	3.33
合計		76	65	85	188	2.92

表-6 上杭打設精度

ブロック	本数	偏芯(mm)		傾斜		高さ(mm)	
		最大	平均	最大	平均	最大	平均
陸側	88	42	23	2.24/1000	1.01/1000	-13	6
海側	100	45	32	1.41/1000	0.66/1000	14	2
合計	188	45	28	2.24/1000	0.82/1000	14	4

§ 8. おわりに

当井筒の鋼管矢板打設結果は、陸側に比べ海側において効率の良い、高品質の施工が出来た。これは、上記したように陸側での経験を海側に生かした面があるものの、それ以上に陸側と海側の地質の差によるものと思われる。当初、土質調査においては明確ではなかったが、現在実施中の井筒内掘削において、陸側は既設護岸の置換土が広く分布しており人頭大のレキが多数含まれていることを確認した。陸側下杭打設時の問題となった杭の引抜き観察結果とあわせ、これらトラブルの多くはレキ質土の継手部への影響と思われる。今後の類似する工事においては、事前の地質調査を充実させる必要がある。また、本工事のように、杭長の長い井筒においては、下杭の打設精度がそのまま上杭にあらわれ、下杭にの精度管理の重要性を認識した。当工事は、平成11年12月末完了を目指し、現在躯体工事を施工中である。

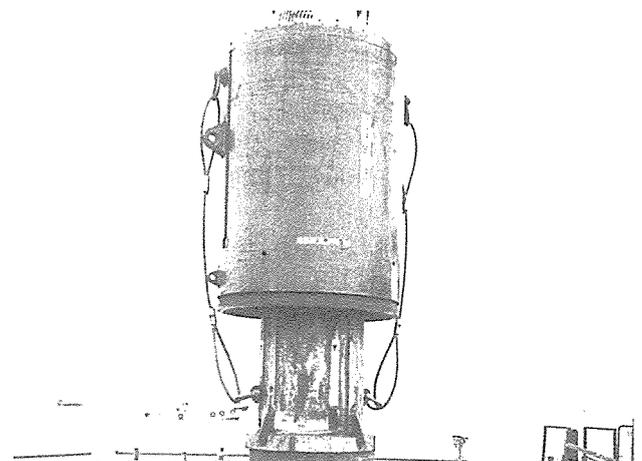


写真-6 パイルキャップ

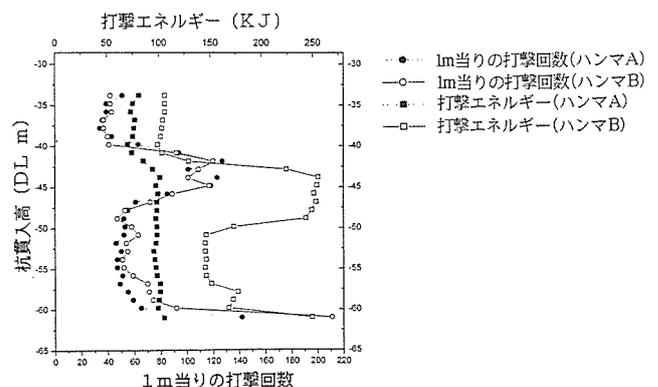


図-10 打撃データ比較表