

外海にシーバースをつくる——出光北海道シーバース工事——

関 厚*・川村 政良**・山本 治生***・石郷岡三郎****

1. はじめに

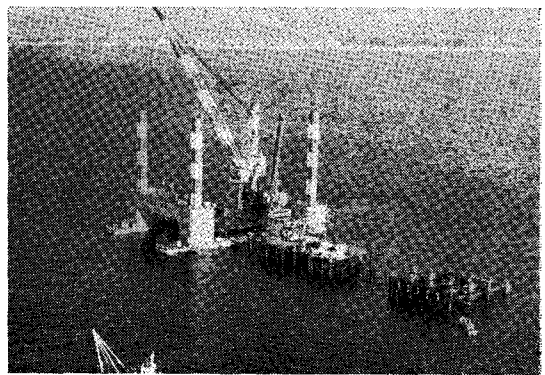
現在建設中である出光興産(株)北海道製油所の原油受入れシーバースは、公害防止、航行安全、漁業補償、所要水深、操船性などを勘案して、苫小牧港東防波堤南東方向沖合 3 km 地点に計画された。

当地点は太平洋に面した完全な外海で、波も荒く、冬期間の寒さも非常にきびしい。

このようなところに、大型シーバースを建設する工事は、わが国はもとより、世界的にもほとんど例がないので、その実施計画にあたっては、新たに検討を要する問題が種々発生した。これらに対して可能な限りの検討を加え、一応の見解のもとに方針を定め工事を進めているが、現在ほぼ完成の見通しもついたので、施工途中のものではあるが、この間の経緯について、その大要を報告する。

2. 工事概要

企業者：出光興産(株) (北海道製油所)
 工事名：原油受入設備シーバース工事(対象船舶 7.5 万 ~ 28 万 D.W.T, 計画水深 D.L. -24.0 m)



(後方は出光興産(株)北海道製油所)
 写真-1 シーバース施工状況

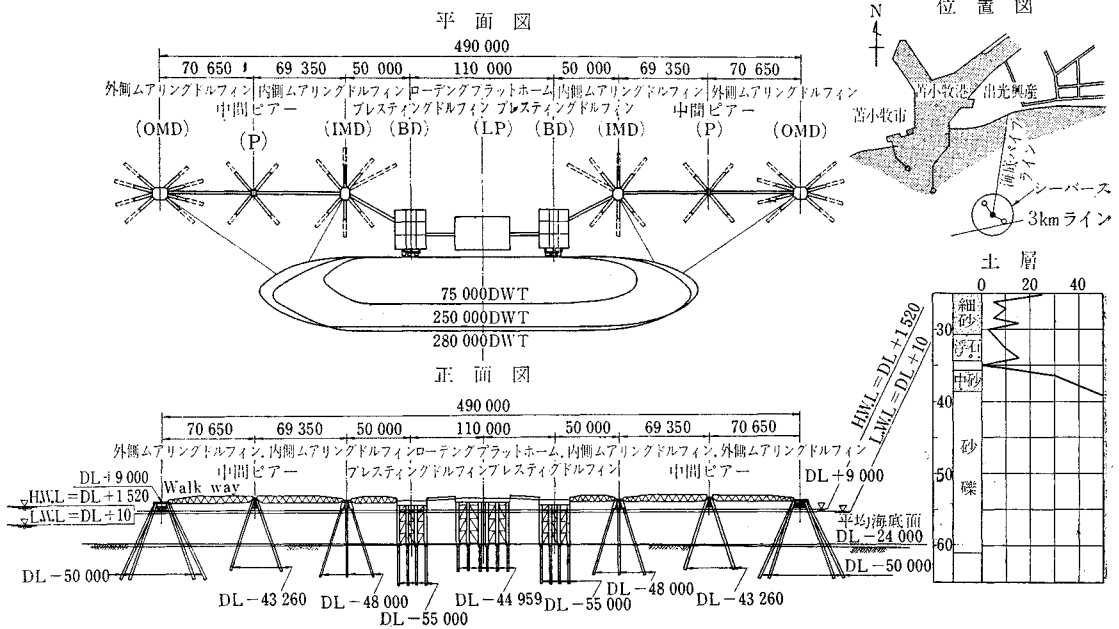
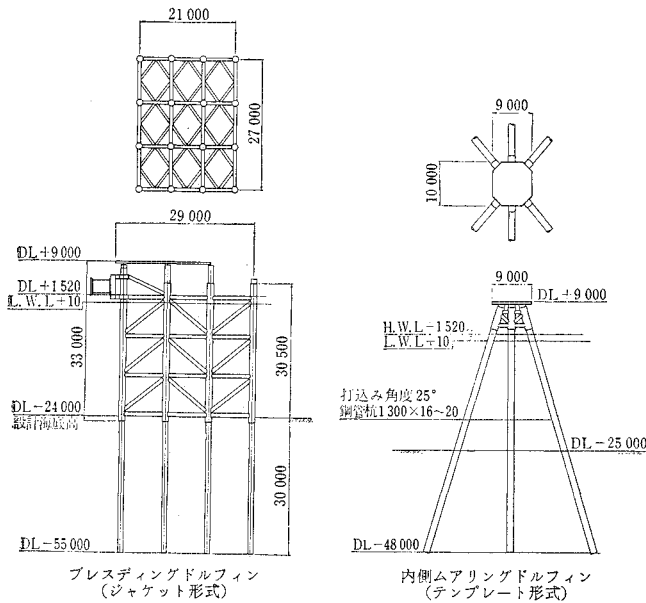


図-1 シーバース全体計画図

* 正会員 鹿島建設(株)札幌支店出光苫小牧出張所長 ** 正会員 鹿島建設(株)札幌支店土木部設計課長
 *** 正会員 鹿島建設(株)札幌支店出光苫小牧出張所設計主任 **** 出光興産(株)北海道製油所建設事務所工務課長



図一 主要構造物の諸元

(写真一参照)

設計 鹿島建設(株)
 施工 鹿島建設(株)
 工期 昭和47年4月1日～昭和48年10月31日
 位置 北海道苫小牧市字中野30番地先, 沖合3km
 地点 (北緯 42°-36'-06"・東経 141°-38'-53")
 形式 ドルフィン棧橋片面接岸式(図一)
 構造 ジャケット形式全溶接鋼構造

(鋼材総重量 約 8000 t)
 主要構造物: プレスティングドルフィン (着船用・略称 B.D.) 2基
 ローディング プラットホーム (作業床・略称 L.P.) 1基
 外側ムアリング ドルフィン (繫船用・略称 O.M.D.) 2基
 内側ムアリング ドルフィン (繫船用・略称 I.M.D.) 2基
 中間ピアー (略称 P.) 2基
 連絡歩道橋 (略称 W.W.) 8連

上記構造物の主要例は別に示す(図二)。
 主要付帯設備: クイック リリーズ ムアリング フック (100 t x 2 連) 12基
 ゴム防舷材(新規開発セル型 C 3000 H) 6基
 主要荷役設備: ローディング アーム (16 B x 85 ft・全油圧駆動式) 4基
 主要操業設備: 消火設備 一式
 電気設備 一式
 保安計装設備(接岸速度計・霧探知装置・レーダーリフレクター・可燃性ガス検出警報装置・気象海象記録計・各種標識灯ほか) 一式

3. 自然条件および設計条件

(1) 自然条件

気象海象条件に関しては、北海道開発局室蘭開発建設

部苫小牧港建設事務所観測資料(昭和40年1月1日昭和44年12月31日の5か年分)より推算した(表一)。

また、地質、海底状況、潮流については、昭和46年7月から10月にかけて、実地調査を行なった。地質は比較的均一で、海底面下5~6mはN値が小さいシルト混り砂、その下7~8mはN値5~15の火山灰質細砂、さらにその下はN値が急増してN=50以上の礫混り砂層となっている。

(2) 設計条件

接岸速度: 28万 D.W.T. の場合で、 $v = 15 \text{ cm/sec.}$
 接岸角度: $\alpha = 0^\circ \sim 10^\circ$
 接岸時の偏心量: $\delta = 15 \text{ m}$
 潮位: $H.W.L. = D.L. + 1.520,$
 $L.W.L. = D.L. + 0.010$
 潮流: $v_{max} = 1.5 \text{ ノット}$
 波高: 最大波高 $H_{max} = 9.6 \text{ m}, T = 10.0 \text{ sec.}$ (再現期間 10 年)

風速: 最大風速 50 m/sec. (再現期間 100 年)
 滞留時風速 30 m/sec.
 気温: 最高気温 +35°C, 最低気温 -20°C, 平均気温 +8°C
 地震震度: $k_H = 0.2, k_v = 0.0$
 荷重条件および許容応力度: 常時・接岸時・繫留時・波浪時・地震時などについて、基本的な荷重の組合せを行ない、それぞれの場合につき、許容応力度の割増・低減を行なった。

注: なお、波圧による応力成分については、頻度大なる繰返し荷重とみなし、素材部各種溶接継手部に対して、A.I.S.C, A.W.S. 規

表一 気象海象推算統計結果表

項目	記	事
強風出現最多風向 (10 m/sec. 以上)	SE	
最大風速	32.9 m/sec.・SSW	
強風再現期間	30 年間 43.0 m/sec. 50 年間 45.3 m/sec. 100 年間 48.3 m/sec.	
年間最多風向	N { 春 NNW・夏 SSE 秋 N・冬 N	
年間平均風速	5.5 m/sec.	
高波高出現最多波向 (1.0 m/sec. 以上)	SSE	
最大波高	8.6 m	
最大有義波高	5.8 m	
高波再現期間	10 年間 $H_{max} = 9.6 \text{ m}$ $H_{1/10max} = 6.5 \text{ m}$	
年間最多波向	S	
1.0 m 未満波高出現率	74.6%	
1.5 m 以上波高出現率	10.6%	
水深	D.L. -24.0 m (南北方向に約 1/150 の勾配)	
最大潮流	1.5 ノット東西流 (沿岸恒流)	
気温	-20°C ~ +30°C	
降水量	年平均 1200 mm	
濃霧日数	年間平均 40 日程度	
年間漂砂量	東向 39 830 m ³	
年間着棧稼働率	波高 0.5 m 以下 20~25% 波高 0.8 m 以下 50~55% 波高 1.0 m 以下 60~70%	

準などに準拠し許容応力度の低減を行なった。

また、ジャケット部材などの応力計算は、すべて電子計算機(HITAC-8500)を使用して、変形法による6自由度の立体フレーム解析を行なった。

4. とくに検討を要した問題点

(1) 気象海象状況の把握

波浪が大きく、うねりがあり、しかも出現頻度が高いことは、その実状の把握が非常に困難なだけに、設計施工の両面において、最も根本的な問題点となった。

これについては後章において詳述する。

(2) パースの方向、タイプ、構造形式の選定

これらの問題については、企業者側、操船サイドとも十分協議のうえ、それぞれ次のように決定した。

パースの方向は、風向、波向、潮流、水深などを考慮して、NW-SE 方向とした。

タイプは、1点、多点繫留式、ドルフィン棧橋式、築島式などのうち、稼働率が高く使いやすく、維持費が低廉であり、築島式に比して施工が容易、設備費が低廉なドルフィン棧橋タイプ片側接岸方式を採用した。

構造形式については、ラーメン式、たわみ式、組杭式、ジャケット式などのうち、外海で施工がしやすく、僅少な作業日数で済むジャケット式を選定した。

このジャケット形式については後述する。

(3) 作用外力の決定

従来のドルフィンでは、最大作用外力として接岸時荷重を考えていたが、外海では繫留中の船舶が荒天時のうねりや波浪によって動揺し、構造物に相当大きな衝撃力を及ぼすものと考えられる。

このような力については現在ほとんど解明されておらず、これらに関する文献・研究なども非常に少ないが、大阪市立大永井荘七郎ほかの「横波を受けるスーパータンカーの drifting, swaying, および rolling によってドルフィンに働く衝撃力に関する研究」などを参考に決定した。波浪のみによる荷重については、波高の大小により作用頻度を分け、繰返し荷重として疲労強度を考慮し、前記のごとく許容応力度の低減を行なった。なお、完成後に実際の応力状態を測定できるようジャケット、テンプレートの各要所には、あらかじめストレインゲージを取り付けた。

(4) 大口径薄肉鋼管継手部の応力集中度ならびに補強方法

鋼管部材溶接継手部の応力分布状態についても、不明瞭な点が多いため、鹿島建設(株)技術研究所において

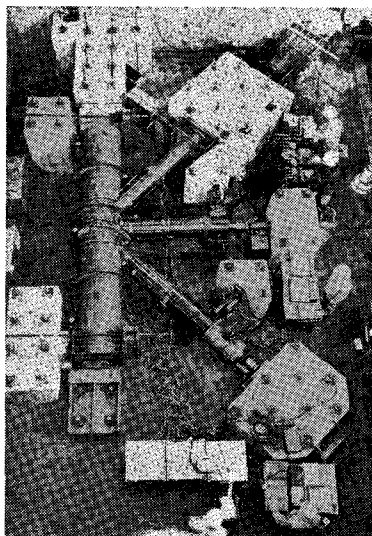


写真-2 鋼管継手集中応力実験状況

無補強、リングプレート補強、ガセットプレート補強のそれぞれの場合について、それぞれ縮尺 1/2 の実験を行なった(写真-2)。

その結果、疲労強度なども勘案のうえ、当構造物の場合特殊な補強は行なわず、素材の肉厚を加減する方法を採用した。

(5) 寒冷地における使用材料、溶接部低温ぜい性の問題

低温時における鋼材、ゴム、防食、溶接作業などについても十分考慮し、寒冷地に対する種々の研究、メーカーの実地試験などにより検討した。とくにゴム防舷材については、新たに高さ 3m×径 3m のセル型 C 3000 H1 を試作使用するので、その性能特性曲線については、常に、低温時ともに十分な検討を行なった。

(6) 確実な施工方法の選定

このような所で、確実に工事を完成させるためには、どのような施工法を採用すべきかは大きな問題であり、あとで改めて詳述する。

5. 外海に適した構造形式の選定

このような場所での構造形式としては

① 過酷な波浪条件下でも施工が可能であり、② 施工途上で大時化を受けたときには、そのまま放置しても破壊されず、③ しかも海上作業の稼働日数が僅少であっても、完成できる形式を選択しなければならない。

そのような観点から種々の工法を比較検討した結果、当工事では鋼管製ジャケット、およびテンプレートを使用した大型プレハブ工法を採用し、現地作業の省力化・単純化をはかるとともに、施工途上に受ける外力に対し

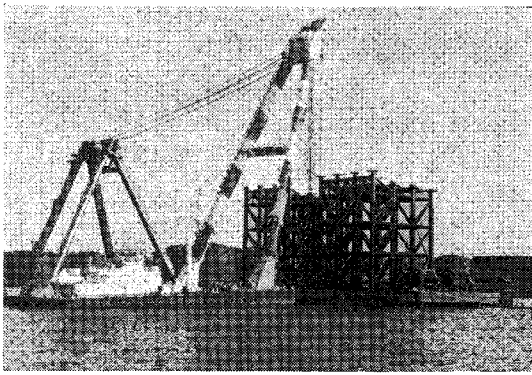


写真-3 1500t クレーン船と BD ジャケット (1100 t/基)

でも抵抗力の大きな構造形式を選定した。

ジャケット形式は、ジャケット、直杭、デッキの三部分で構成され、プレッシングドルフィン、ローディングプラットホームに採用された。

ジャケットは鋼管を主材にあらかじめ工場組立てされた角形の架構で、鉛直支柱、水平材、斜材などからなり最大ジャケット寸法 (B.D. 用) は縦 27 m × 横 21 m × 高さ 33.5 m、重さ 1100 t となっている。鉛直支柱には鋼管径 $\phi 1400$ の厚肉部材を採用した (写真-3)。

このジャケットを 1500 t クレーン船で現地海底に設置し、各支柱鋼管の中をとおして直杭 ($\phi 1200 \times 63.600$, $t=18\sim 30$, $W=41$ t/本) を打ち込み、ただちにジャケットと杭を溶接結合する。そのうえに、陸上であらかじめ工場製作された鋼製デッキユニット、諸設備を設置して完成する。このように、各部ともすべて鋼構造とし、現場作業時間が長大となるコンクリートの使用はさけた。

なお、ジャケット支柱外管と、中に打ち込んだ直柱内管との間隙充填のために、特殊配合による少量のモルタルを使用した。

テンプレート形式は、テンプレート、斜杭、デッキの三部分で構成され、外側、内側ムアリングドルフィンおよび中間ピアに採用された。

テンプレートは、やはり鋼管を主材にあらかじめ工場て組み立てられた、杭打ちガイド兼用の斜杭頭部結構金物で角錐台形の架構である。最大テンプレート寸法 (O.M.D. 用) は、縦 13.3 m × 横 8.9 m × 高さ 5.2 m、重さ 100 t、主軸鋼管径 $\phi 1700$, $t=20$ となっている。

このテンプレートを、バージに積載し現地まで曳航して所定位置の海上に据付け、その主軸鋼管の中をとおして斜杭 ($\phi 1500 \times 64300$, $t=16\sim 24$, $W=43$ t/本、傾斜角 25°) を打ち込み、ただちにテンプレートと杭を溶接結合し、そのうえにデッキを設置して完成する。

ジャケットは現場に設置しただけでも、波に対して相当の抵抗力を発揮し、テンプレートは斜杭打ち込み後仮溶接程度で斜杭の頭部を剛結できるため、波によって折損

したり、倒壊したりすることもなく、十分に所期の目的を達成することができた。

6. 工場製作の多用と、現地作業の省力化

(1) 工場製作の多用による品質管理の向上

本シーバースは、全鋼構造形式としたため、溶接の信頼性と完全な防食法の実施が絶対不可欠であり、構造物の死命を制する要素となる。

したがって、ジャケット、テンプレート、上部デッキ、鋼管杭など、重要な部分はすべて品質管理の完全を期して、大手メーカーの工場で陸上製作し現地まで海上輸送することにした。とくに杭については、不確実な現場溶接をさけるため、工場内で所定の長さ仕上げて出荷した。しかも、溶接箇所の検査は特別に専門の検査班を常駐させて、素材切込み時の寸法検査から厳密に行ない、JIS 2 級以上に管理した。作業に従事する溶接工も、すべて所定の有資格者を対象に訓練のうえ、あらためて独自の溶接工認定試験および溶接施工試験を行なって厳選し、施工体制そのものの質的向上をはかった。

現地での溶接工についても、同様な措置を講じた。

一方、防食方法としては、海中部分については流電陽極法とし、大部分の電極はあらかじめ工場において取り付けられた。また、海上部分については、所定の腐食しろを考慮のうえ、さらに良質の亜鉛系、ビニール系塗装を施し、下地処理はサンドブラストによる S.S.P.C-S.P. 10 (Near White Blast Cleaning) 程度とした。

(2) 新鋭機器使用による現地作業の省力化

当工事においては、大型プレハブ工法の採用および後述の万能型海洋工事作業船の開発使用により現地作業の省力化を図った。シーバース建造位置測定なども、スウェーデン AGA 社ジオジメーター 6 型を使用することにより、容易に陸上からの三角測量で基点を設定することができた。

また、作業工程については、前述の気象海象の解析結果から、作業の難易度により、A 作業 ($H_{1/3}=0.5$ m 以下)、B 作業 ($H_{1/3}=1.0$ m 以下) に分け、稼働率を推定したところ、月平均 A 作業 23%、B 作業 53% であった (平均風速 7 m/sec 以下、体感温度 -15°C 以下、雨 5 mm/日 以下、霧陸上視界 500 m 以下の日を作業可能日とした)。

当工事では、工事中の指揮判断、作業計画、工程把握を正しく行なうため、専門家による気象海象観測班を設け、毎日気象、海象の観測および予報を行なった (これら観測資料の整理、稼働可能日数の推算、変更などは、

すべて電子計算機・自動図化機によって行なった)。

7. 波浪に強い万能型海洋工事作業船の新規開発

海上作業の方法としては、① 工期が非常に短いうえ時間的余裕が全然なく 試行錯誤が許されないこと、② 稼働可能日が非常に少なく、しかも好天日が作業に必要なだけ、連続する可能性もきわめて少ないこと、③ 地理的に夏のほうが海象条件が悪く、現地作業はどうしても酷暑降雪をおしての冬期間作業にならざるを得ないこと、などのきびしい諸条件を克服し、確実に工事を完成させようとの観点から、波浪に弱い普通作業船の使用には見切りをつけ、新たに特殊自己昇降式海上作業台 (Self Elevating Platform, 略称 S.E.P. “KAJIMA”) を開

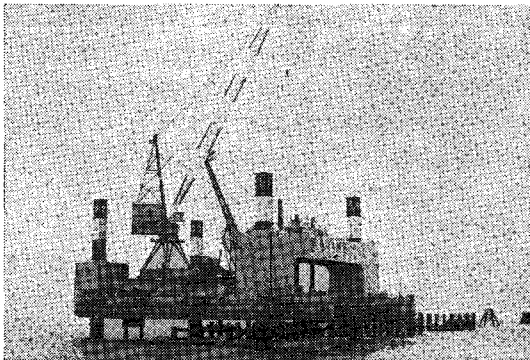


写真-4 SEP “KAJIMA” の稼働状況

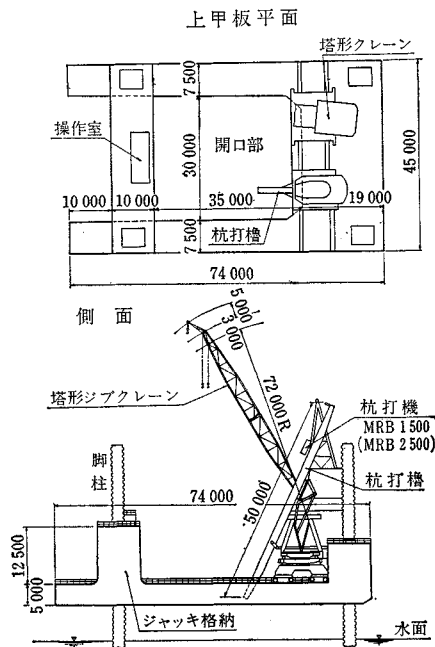


図-3 SEP “KAJIMA” の概略構造図

表-2 SEP “KAJIMA” の概略仕様と諸設備

項目	内容
1	形式 非自航型4本脚自揚式
2	主要寸法等 長さ 幅 高さ 74.0m×45.0m×5.0m 開口部 35.0m×30.0m 門型部高さ 10.0m (静水面より) レグ 2.4m×2.4m×70.0m きっ水 約 3.4m 排水量 約 5500t
3	ジャッキング装置 形式 ジャッキング容量 操作方式 KAWASAKI・I・H・C・GUSTO 1585t×2基 1145t×2基 中央制御室ワンマンコントロールおよび機側制御の併用
4	諸設備 動力設備 発電機 蓄電池 通信設備 居住設備 主発電機 AC625kVA×2台 補助発電機 AC125kVA×1台 DC. 24V 200Ah×1台 拡声機・電話機・無線装置ほか 操作室・作業室・居室(8部屋40人分)ほか
5	主要搭載機器 塔形ジブクレーン 巻上荷重 ×作業半径 揚程(R.Lより) 杭打やぐら マスト全長 マスト傾斜角 レールゲージ ハンマー 走行ガーダー スパン 全長 全幅 100t/50t×10m/20m +80m~-20m 直杭 46.5m・斜杭打ち 49.5m +5°(前傾)~-30°(後傾) 9.0m MRB-1500~2500 30m 45m 10m (走行部は 14m)

発・建造して使用し、できるだけ海象状況に左右されない工法を採用することにした(写真-4)。

自己昇降式海上作業台(以後 S.E.P. と略記する)の建造にあたっては、その規模、機能、搭載機械の種類、能力など、当工事のみならず、将来の多様な用途も考慮して決定された(図-3、表-2)。

本作業台のおもな特徴としては、

① 所定の位置に曳航されたのち、脚柱を海底におろし、自力で台船本体を上昇させ、海面上の空中に固定できる。

② 船体後尾に開口部をもたせ、U字形としているため船体中央部での海上構造物の施工が容易に行なえる。

③ 従来の S.E.P. よりさらに大型の機械、100t ジブクレーン、作業台、杭打機 (M.R.B 1500~2500)、資材など、積載重量約 1400t を搭載できる。

④ 風浪に強く、風速 60m/sec.、潮流 4ノット、波高 6m、最低気温 -20°C まで安全に自立できる。

⑤ 水深 55m の地点まで作業可能である。

⑥ 居住設備の収容人員は 40 人である。

などがあげられる。

船体自体で検討を要した点は、脚柱の本数と船体強度、ジャッキの形式と能力であったが、脚柱の本数は4本、ジャッキは KAWASAKI-I.H.C. GUSTO を使用した。

作業船のおもなものとしては、このほかに 1500 t、200 t 海上クレーン、2400 PS シュナイダー式タグボートなどを使用した。

現地作業は昭和 47 年 10 月初旬に S.O.M.D のテンプレート設置から開始した。

各ジャケット、テンプレートの設置は次のようにして行なった。

① O.M.D. テンプレート (W=100 t) : デッキバージに積んで正規の位置に据えられた S.E.P. の開口部に曳航し、S.E.P. 船体に仮止めしたうえ昇降装置で船体もろとも所定の高さに引上げて固定する。

② I.M.D. (W=65 t), P. テンプレート (W=20 t) : S.E.P. 搭載の 100 t ジブクレーンでバージから吊り上げ、S.E.P. 開口部の所定の位置へ固定する。

③ L.P. ジャケット (W=380 t) : 1500 t クレーン船で直接 S.E.P. 開口部の中心へ据え付ける。

④ B.D. ジャケット (W=1100 t) : かさばっているため上から吊り込まずに S.E.P. 開口部入口に案内定規の鋼桁を渡し、その前方に 1500 トンクレーン船で据え付け、再び S.E.P. を移動してこのジャケットを開口部にでき込む。

ジャケットは接地面積、浮力などを調節することにより、高さ、位置、傾斜度とも、10~20 cm 程度の精度に

おさめることができた。

杭打工はすべて S.E.P. 搭載の西ドイツ・メンク社製の MRB-1500 (吸排気自動操作式) ハンマーを使用した。杭の打止め付近の 2~3 m は相当に硬く、打込みには苦勞したが何とか所定の位置まで打ち込むことができた。

新規に開発した S.E.P. の性能は予期した以上の威力を発揮し、いまのところ、十分満足のいく成果をおさめている。

8. おわりに

上記のとおり、工事のほうは一応計画どおり順調にいったが、完成後の着床稼働率、作用外力、繰返し荷重、防舷材、防蝕効果などに関しては、今後の資料を得るため引き続き追跡調査を実施していく予定である。実際に工事を行なったことにより、当初計画に際して問題となった懸案事項が種々究明されたこともさることながら、最大の収穫は、設計・施工の両面において、この種工事の今後の課題となるべき多くの問題点が把握できたことであろう。

今後はさらにこれら問題点の究明解決に努力し、いささかなりとも海洋開発工事の進歩発展に寄与していきたいと考えている。

最後に、当工事の実施にあたり種々ご指導およびご支援をいただいた出光興産(株)ほか関係各位に対し、厚く感謝の意を表するしだいである。

抄録作成協力者募集のお知らせ

日本科学技術情報センターでは下記文献の抄録作成協力者を広く募集しています。応募ご希望の方は下記あてご連絡願います。

Civil Eng. & Public Works Review 英国 月刊
Construction 仏 月刊
Eng. News Record 米国 週刊
Journal AWWA 米国 月刊
Photogrammetria オランダ 隔月刊
Photogrammetric Record 英国 年2回
Proceedings of ASCE Journal of Sanitary Eng. Div. 米国 隔月刊
Proceedings of ASCE Journal of Urban Planning and Development Div. 米国

Proceedings of the Institution of Civil Engrs. 英国
Public Works 米国 月刊
Strasse Brücke Tunnel 西独 月刊
Surveying and Mapping 米国 季刊
Traffic Quarterly 米国 季刊
Tunnel and Tunneling 英国
Wasserwirtschaft-Wassertechnik 東独 月刊
Механизация Строительства ソ連 月刊
その他 国内雑誌

連絡先 特殊法人 日本科学技術情報センター情報部土木

所在地 〒100 東京都千代田区永田町 2-5-2 サイエンスビル Tel. 03 (581) 6411 内線 572