

1. はじめに

阿賀沖プラットフォームは新潟・阿賀野川沖合で昭和43年から進められ、物理探鉱、試掘に成功したガス井の採掘および生産のためのプラットフォームで、新潟沖合約11KMの水深80Mの外洋に建設された。我が国に於ける最初の本格的な、深海海洋構造物である。このプラットフォームは、日本海洋石油資源開発(株)と出光日本石油開発(株)の共同事業として実施され、新日本製鐵(株)が設計および下部構造物の製作と現地設置工事を、日本鋼管(株)が上部構造物の製作および機装を担当し、昭和49年8月に完成したものである。

海洋プラットフォームの歴史は、1947年メキシコ湾の水深6Mの地英に、鋼構造のプラットフォームが建設されたのが最初で、以来建設は年々外洋へと進み、1967年には100M水深を超える鋼構造物が初めて設置されるに至った。現在ではメキシコ湾では最大114Mの水深のプラットフォームが既に建設されているのを初め、300M水深のプラットフォーム建設計画が進行中であるといわれ、深海構造物の建設技術の進展は、図-1のように著しいものがある。

阿賀沖プラットフォームの建設はアメリカの実績からすれば、既にこの水深より大きいものが10数基建設されていて、目新しいものではなかったかもしれないが、我が国の建設技術にあつては、設計、製作、施工の何れをとっても革新的なもので、特に建設地英の設計自然条件(特に波浪、地震)はメキシコ湾のそれより遙かに厳しいもので、北海に匹敵するといっても過言ではない。このような状況

から、このプラットフォームの建設工事にあたってはアメリカの、この方面のコンサルタント会社であるLAWRENCE & ALLISON社の協力を仰ぎ、設計および施工についての基本的な考え方、手順についての指導を受けた。

2. プラットホームの構造

プラットフォームの全体構造は、図-2に示すように下部ジャケッット構造とデッキ部分とからなり、デッキ上にはガス井を掘るための掘削設備、掘削期間中使用する居住設備(50人用)とヘリポート、および生産設備のモジュールが搭載される。これら上載設備を支える下部ジャケッット構造は、主脚(レグ)を通して打設される8本の鋼管杭と、補助の4本のスカートパイルによって海底地盤に固定される。

下部構造の主な諸元を表-1に示す。

図-1
メキシコ湾におけるプラットフォーム開発の推移

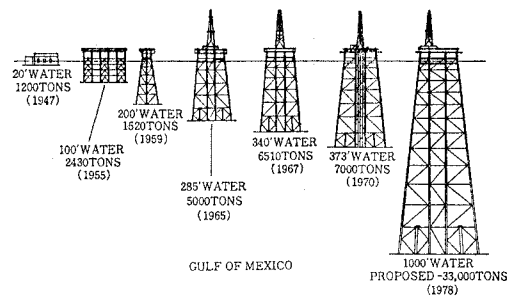


図-2 北海におけるプラットフォーム開発の推移

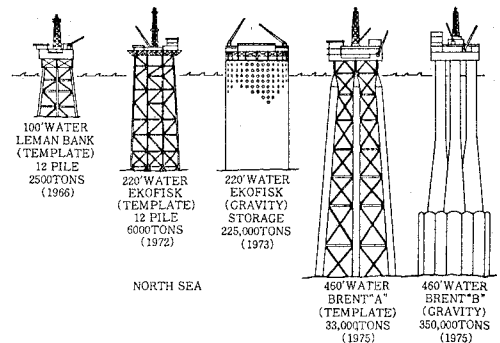
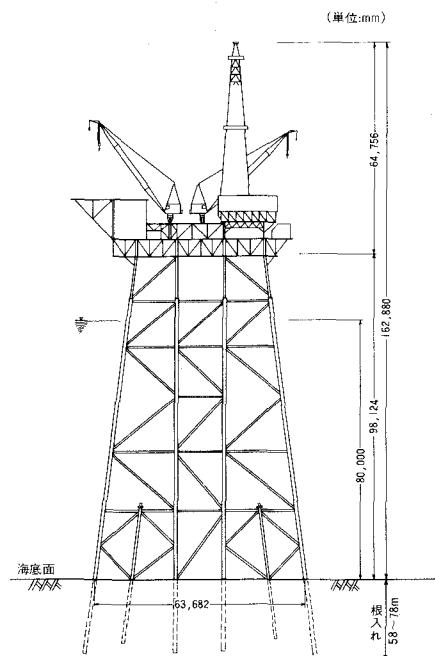


表-1. ジャケット構造物の主な諸元

図-2

■阿賀沖プラットフォーム

型式	8脚式(スカートパイル4脚つき) ランチング・クレードルつき。
寸法	全高 85.73 M (トップ~ボトム ブレース中心間) トップ寸法 39.9 M × 22.2 M ボトム寸法 63.7 M × 36.9 M 面傾斜 各構面共 1:8 ランチング・クレードル間隔 14.6 M
レブ寸法	外径 52 1/4" ~ 54" (肉厚 0.625" ~ 1.5") 内径 51"
水平ブレース	段数 6段
防食	塗装 -4 M 以浅アマコート塗装 電気防食 アルミニウム合金陽極 腐食代 スプラッシュ・ゾーンに 1/4 肉厚 増す
パイル	メインパイル 48" (肉厚 1.0 ~ 1.875") 根入れ 65 ~ 78 M スカートパイル 47 ~ 48" (肉厚 1.0 ~ 1.875") 根入れ 58 M
コンダクターパイプ	30" × 1.0 WT



プラットフォームの建設に使用した鋼材量は次のとおりである。

ジャケット	約 2100 トン
杭	約 2000 トン
コンダクターパイプ	約 1000 トン
上載構造物	約 1500 トン

3. 設計概要

阿賀沖プラットフォームは外洋に設置されるため、日本における従来の港湾構造物に比べ、非常に厳しい条件であり、国内においては設計、施工法に関する規格が十分整っていないので、アメリカ合衆国石油協会の規格 (API-RP-2A: PLANNING, DESIGNING AND CONSTRUCTING FIXED OFFSHORE PLATFORM) を主として適用して設計を進め、構造計算は、波力安定から応力計算まで一貫した計算プログラム OJDS (OFFSHORE JACKET DESIGN SYSTEM) (新日本製鐵で開発) を使用した。

設計条件は表-2に示すとおりで、以下にあげる事項に特に重点をおきながら設計を進めた。

- ① 波力・潮流力: API-RP-2Aに従い、ストックス第5近似波を適用して OJDS プログラムにより

算定し、抗力・質量力係数については、
水理実験によりチェックする。

- ② ジャケット格突部：格突部は応力集中が大きいことから
厚肉サイズを採用し、杖履も鋼杖層状
ワレに対してSM50CN鋼を使用し、
また模型実験により格突部の耐力を
把握する。

- ③ 耐震：新潟地震の記録を入力波として多質点
系モデルによるプラットホームの応答
を求める。

- ④ くい解析：水平外力に対するくいの解析は、地盤
の横方向反力係数に基づくY-L Chang
の方法と、米国で一般的に用いられて
いる非線形解析を前提とするP-Y
Curve法とを併用して行う。

- ⑤ ロンチトラス：施工現場におけるジャケットの進水の
ための、ロンチングシステムのトラス
設計は、その構造をモデル化して進める。

4. ジャケットの製作

ジャケットの加工・組立は、北九州市若松区の新日鐵
響灘加工基地に於いて、昭和48年12月に始まり、翌
49年5月始めに終了した。

ジャケットは2200トンと大型で、製作が終ると、
バージュ上に滑らせて搭載するため、岸壁線に面したヤード
において、岸壁に直角に位置する2本のコンクリート
のスキッドベース（高さ1M）上に組立てられる。
岸壁は数百トンの水平反力を積出時バージュから受ける上、
バージュのロッカーアームとの関係から特殊な岸壁構造と
なる。

ジャケットは図-3のような手順で組立てられるが、
大型構造のため、部材加工の他はすべて屋外作業となる。
しかも冬期の高所での溶接が主となるため予熱、X線
超音波探傷による非破壊検査等による十分な品質管理が
行われた。ジャケット組立ての機動力としては、フロ
ーラーフレーンを多用するが、ジャケットのどの部分に
も到達するブーム長と吊り能力を必要とし、平面組され
た構面を起す作業には、一構面の重量が270Tにも
達するので、270Tフレーンと100Tフレーンを
各々2台使用する。面起しされた構面は鉛直に保つ

表-2

風速—暴風時49.1M/秒
波高—暴風時23.2M/秒（波長237M）
潮流—1ノット
風送潮流—3.3M/秒
地震加速度—200gal（減衰係数0.02）

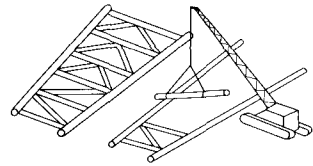
土質設計条件

深度 (M)	区分	N値 (修正N値)	抗剪能力 (kg/cm ²)	摩擦係数 (1/25 tanφ)	横断反力係数 (kg/cm ²)
0~23	粘土	0~7	0.04~0.3	—	0.58~2.77
23~38	砂質 シルト	11	0.3	—	2.93~5.73
38~48	細砂	108	—	0.8	3.7
48~55	砂質 シルト	21	0.3	—	—
55~71	細砂	61	—	0.667	—
71~75	粘土	30	0.16	—	—
75~	砂層	121	—	0.8	—

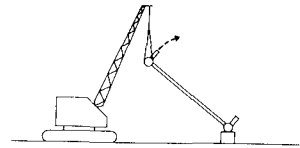
図-3

加工、据え付けの手順

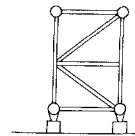
① 平面組加工



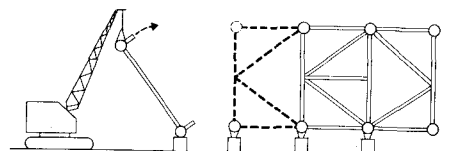
② 平面起し作業



③ 立体組加工



④ ①、②、③の繰り返し



ため、ワイヤーにて地上のブロックアンカーに固定され、風圧に対して十分安全で立体組の作業中動かないようにする。

5. 施工概要

5.1. 施工手順

陸上で製作されたジャケットは、バージの積み出しから、現地作業まで次の手順で行われた。

① ジャケットの積み出し

ヤードで加工されたジャケットは、ランチングバージと呼ばれる専用バージを岸壁に固定して、ウインチによりバージ上に引き込まれる。

このとき、摩擦係数を減少させるため、スキッドビーム上にグリースが塗布され、ジャケットの移動中には潮位を考慮してバージのバラストを調整する。

② 曳航

バージに積込まれたジャケットは、タイダウンパイプで固縛されるが、両舷から大きく張り出しているため、曳航中の安定性 (ABS rule)

と動揺によるタイダウンパイプおよびジャケット部材の発生応力を検討し、5200HPのタブポートで約500マイルの距離を4日間で曳航した。タイダウンはジャケットレグについたクレードルとバージ甲板の間を $\phi 12 \sim 14 \times 0.5$ W.T.の鋼管で溶接した。

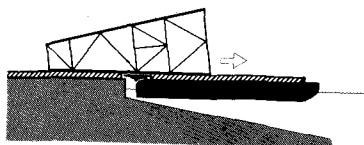
曳航条件：曳速 6ノット

風速 25 m/秒

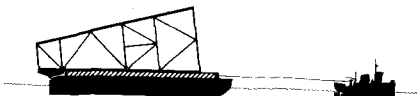
波高 4 M

図-4

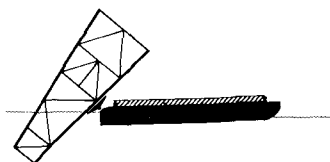
① ジャケットの積み出し



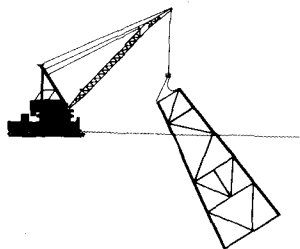
② 曳航



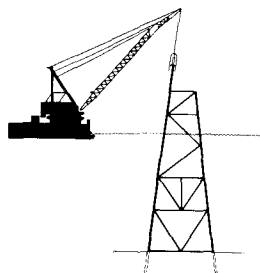
③ 進水



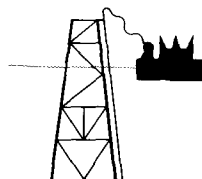
④ 注水および設置



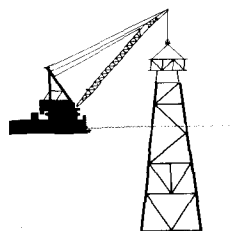
⑤ くい打ち



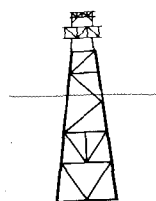
⑥ グラウト作業



⑦ デッキの据え付け



⑧ 上載ユニットの据え付け



③ 進水

デリックバージのアンカー打設、位置測量、潮流、風などの気象観測を含めた事前準備の完了を待って、ランチングバージのバラスト調整をして傾斜させたあと、バージ上のウインチによりジャケットを進水させる。ランチングバージの端には回転可能な長さ15 Mのロッカーアームが取り付けられており、ジャケットの進水を容易にしている。進水計算としては、ジャケットの姿勢、位置を経時的に追う計算とバラスト調整計算などが行われる。

④ 注水および設置

進水されたジャケットは、レグが両端肉構造となっているので、浮力により浮上する。ジャケットはデリックバージのアンカーラインおよびタグボートにより、設置位置に誘導され、ただちに注水作業に入る。8本のレグに取り付けられたバルブ操作によりレグ内に海水を注水してジャケットを傾斜させるめと平行して、デリックフレーンにより吊り上げて鉛直な状態にもっていく。

⑤ 杭打ち

杭は径48"でレグをガイドとして打ち込まれるメインパイル8本とスカートパイル4本とがある。長尺杭であるためフレーンの吊り込み能力を考慮して杭は20～82 Mに分割され、建て込み、中継溶接、杭打ちがくり返される。ジャケットにかかる最大水平力は3,624トン、鉛直5,177トンであり、これによって生ずる杭1本あたりの設計支持力は3,800トンとなっている。打ち込みに用いられたハンマーはラム重量30トンのドロップエアハンマーで、杭の根入れ(58 M～78 M)に対する打ち込み性の検討は、土質調査に基づく静的支持力と、波動方程式に基づいている。中継溶接には、斜杭用自動溶接機を用い、溶接時間の短縮、品質の高度化を図る。なお、打ち込まれた杭はジャケット最上段の位置で、シムプレートを介し溶接でジャケットと固定される。

⑥ グラウト作業

杭打ち終了後、水深78 Mの付近からグラウトポンプによりジャケットのレグと杭の間隔をモルタルグラウトして、杭とジャケットを固定する。

⑦ デッキの据付け

ジャケットの最終傾斜度の測定、杭頭のレベル切断後、2分割されたデッキ(360～375 T)を搭載したデッキバージをデリックバージの舷側に接触し、フレーンの吊り込み能力を十分検討して据付けを行う。デッキレグの下端には、スフィンクガイドを取り付け、据付け時の誘導を容易にしている。

⑧ 上載ユニットの据付け

掘削設備、生産設備などの8個の重量ユニット(60～365 T)を据付ける。各々のユニットは、工場で配管・配線としておき、洋上での設備の機械工事をなくしている。

5.2 施工設備

施工現場が日本海の外洋で、気象・海象条件が厳しく、かつ、構造物が大型なため、海上作業を安全かつ短期間に完了させるため、次のような最新の作業機器を投入した。

- ・デリックバージくろしお：123 M × 28.6 M × 8 M
約12,000 DWT
530 TON 全旋回フレーン
186名分居住区
- ・くい打ちハンマー：MENCK-MRBS2500SL型
エアハンマー
30 TON ラム × 1.5 M ストローク

- ・くいの自動溶接機 : ラックビニオン式走行
(サーフウェルP) 0～500MM/分 アーク電圧
25～45V 電流200～450A
- ・ランチングバレッジあがの: 90M×30M×7M
15TONウインチ×2
16Mロッカーアーム

5.3 杭打ち

現場作業のうち最も時間を要する作業は杭打ち作業で、このプラットフォームに打ち込まれた杭は長いもので、17.2Mに達するため、メインパイルは4分割、スカートパイルは5分割された単管を建込み、中継ぎ溶接しては打込まれた。1本目と2本目の杭は50～80Mと長いものを使用し、3本目以降はハンマーで打撃する時のハンマー重量により、斜杭に発生する曲げモーメントの制限から、単管長は20Mとした。現場ジョイント(中継)部の構造は波浪・うねりのあるときでも建込みが容易で、建込んだまゝ自立出来るスタビングガイドを設けた。スカートパイルは所定根入れまで貫入すると、海面下5.5M附近で水中切断し、上部杭は撤去する。

・使用ハンマーと打込性能

根入長が78～58Mに及び、予想される貫入抵抗も数千tで陸上の杭と比べ10倍以上異なる杭であり、しかも海上杭打作業であることから、まず(1)デリックバレッジの旋回クレーンによる操作が可能であること、(2)打撃エネルギーが杭のサイズ(48"φ×1.0～1.75"WT)から考えて、座屈が起こらぬ程度にできるかぎり大きいこと、の二点が何よりも重要であった。

このために選択されたのが、西独メンク社製のドロップハンマーMRBS-2500SL型であり、次の諸元を持つ。

重量 106t(全体)
30t(ラム)
ストローク 1500MM
打撃エネルギー 約45t・m
打撃数 30～40打/分
最小貫入量 500打/ft
対象杭 30～60"φ×0.5～2.0"WT
必要空気圧 7～8kg/cm²
斜杭使用限度 1:3
エネルギー調整範囲 25～100%

打込性の検討にはHiley式、Engineering-News式の動的打込公式では、公式間の結果のバラツキが余りに大きく、しかもこれらの公式が短く小径の杭から由来しているため、Off shore pileには一般に不適である。そこで、土質調査データに基づく静的支持力と波動方程式によって検討された。ハンマーの性能からして3000t近くでその打込限界に達する。

必要根入長を達成するまでには打込み不能となることが考えられたため、管内掘削装置も準備された。

結果的には、12本の杭のうち3本のみが管内掘削が施されたが、杭打ち記録(ブローカウントグラフ)からは、掘削作業が長くかかるその間に地盤の回復効果が予想以上に大きく、計算された程の打込抵抗の低減はみられなかった。

使用された管内の掘削装置の主要諸元は次のとおりである。

F-3型穿孔機仕様概内訳

掘削孔径 1500 ϕ MAX

掘削トルク 400 Kg $\cdot$ m MAX

回転数 0 $\sim$ 22.5 r.p.m

吊上能力 30000 Kg MAX

杭の自動溶接

特に海上では、杭の中継溶接に自動溶接機を使う例は極めて少く、今回のように極厚の鋼管でしかも斜杭に対しての自動溶接はわが国で初めての試みであり、世界的にも同様と思われる。

新日本製鐵と日鐵溶接工業で共同開発したノンガスタイプの自動溶接機は次のような性能を有する。

方式 直流ノンガスアーク溶接

走行方式 バンドラック・ピニオン方式

走行速度 0 $\sim$ 60 mm/分

トーチ移動量 $\pm$ 40 mm (前後)

$\pm$ 50 mm (高さ)

制御機構 電流と電圧の周期的切替方式 (個別操作可能)

ワイヤは通常のフラックス入りワイヤと異なり、高電流時に低電圧として溶込みを十分よくし、また低電流時には高電圧としてアーク長さを伸ばし、溶融スラグをアークカで吹上げて溶融スラグの先行を防止できる。

このサークワエル自動溶接機は、開先形状が手溶接にくらべ狭開先(レ型)であり、溶着金属量も小さい上、単位時間当りの溶着量が手溶接(5 mm ϕ 棒)より2倍程度多く、大巾にスピードアップが図れる。