

外洋シーバースの運用 24 年を踏まえた設計の評価

Design Evaluation of Offshore Berth after 24 years Operation

山本 治生*

大岸 征二**

小林 昌春***

Haruo Yamamoto

Seiji Ohgishi

Masaharu Kobayashi

This offshore berth was constructed for Idemitsu Hokkaidou Refinery to receive crude oil from 300,000DWT class tanker. It is one of the largest jacket-type offshore berth in the world with 10,000t steel. The crude oil was unloaded from the first tanker in Aug. 73, only 10 months after the beginning of construction.

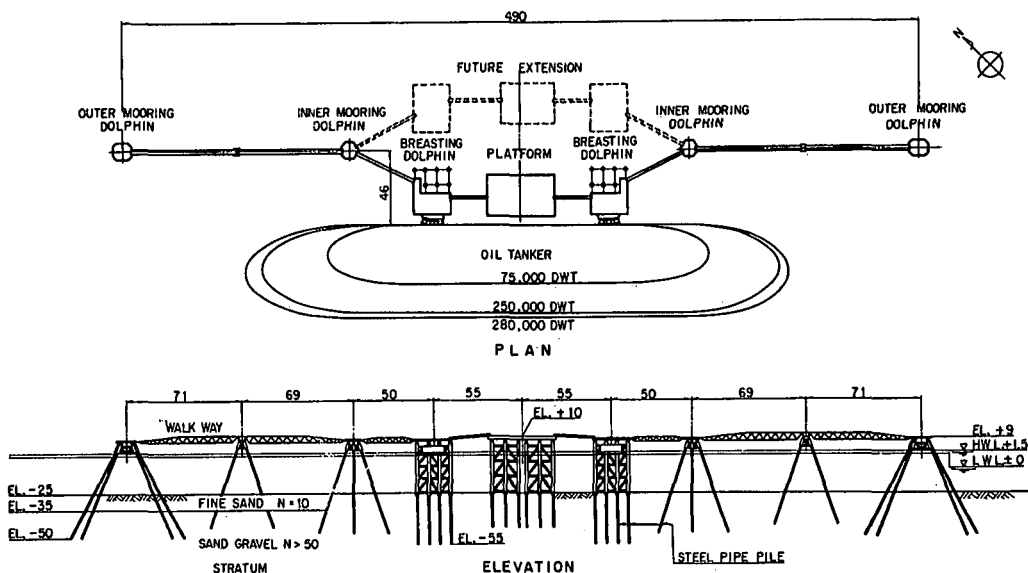
Its performance is sound through 24 years operation. On the basis of experiences of construction and operation, this paper presents the technical key suggestion that should be considered in planning, designing, operating and maintaining offshore berths and offshore facilities generally.

1. はじめに

このシーバースは出光北海道製油所への原油受け入れのために建設されたもので 30 万 DWT 級タンカーの着棧、係留と荷役を行う設備である。

外洋に建設されたものとしては、我が国はもとより外国にも類例を見ないものである。約 1.0 万 t の鋼材を投入して作られたもので、1972 年 10 月に工事を着工し、翌 73 年 8 月には第 1 船を着棧させた。工期は 10 カ月であった。

既に 24 年を経過しようとしているが、現在も健全で、その機能を全うしている。この論文では 24 年の経過を踏まえ計画、設計、施工、運転と維持管理に至る経験から、今後のシーバースと海洋構造物への技術的な課題を提示する。



図一 出光苫小牧シーバース一般図

2. 気象海象

当時北海道開発局はシーバース地点より僅か陸よりで苫小牧港建設のために波・風の観測を続けており、このデータがシーバース建設に利用出来た。この気象海象データの内、1965 年 1 月から 1969 年 12 月までの 5 カ年を使用して観測値に対する計画地点の同一時刻の風向、風速、波向、波高、波長を推算しこれを基本データとした。

3. 製油所設備計画

この製油所の設備計画は 1973 年度 7 万 BPSD、75 年度 15 万 BPSD、最終年度では 30 万 BPSD であった。精製能力、年間原油所要量からタンカーが年間に着棧すべき回数が決まる。BPSD (barrel per stream day) は年間の処理能力を稼働日数で割った値で設備の設計能力に相当する。表一は $1bl=0.159Kl$ とし年間 360 日稼働とした場合の

* 正会員 鹿島建設 (株) 土木技術本部 (〒107 港区元赤坂 1-2-7)

** 出光エンジニアリング (株) 北海道事業所

*** 出光興産 (株) 北海道製油所

所要着栈回数である。

表一1 製油所能力と所要着栈回数

西 暦 年度	精製能力 万BPSD	年間原油 所要量千kl	年間所要着栈回数 (回)		
			15万DWT	20万DWT	25万DWT
73,74	7	4,007	27	20	16
	10	5,720	38	28	23
75,76	15	8,580	57	42	34
	20	1,150	77	57	46
	25	14,300	95	71	57
最 終	30	17,200	115	86	69

4-1. 設計対象船舶

シーバースに着栈する船舶

は最大約 25 万 DWT 級タンカ

ー、最小約 7.5 万 DWT 級タ

ンカーとする。表一2 の内、

31.2 万 DWT 以上は吃水制限

着栈の検討用諸元である。

表一2 船 舶 諸 元

重量トン (DWT)	船 長 (m)	船 幅 (m)	全 高 (m)	吃 水(m)		平 行 部(m)		船 名
				満 載	バラスト	FORE	AFT	
326,000	345.9	53.3	32.00	24.70	10.40	—	—	標準船
312,000	346.0	53.0	32.00	24.00	10.70	—	—	GULF OKINAWA
280,000	320.0	55.0	28.00	21.50	10.00	—	—	標準船
254,773	337.7	53.6	26.40	19.70	6.92	109.0	80.0	沖ノ島丸
222,401	317.0	50.0	27.00	19.00	—	—	—	大島丸
207,108	315.5	50.0	25.40	18.80	7.20	108.0	59.0	松寿丸
209,413	344.3	49.8	23.20	17.70	7.08	124.0	64.0	出光丸
139,328	291.0	43.0	22.20	17.20	5.98	91.0	59.0	日章丸
100,000	285.0	41.2	20.60	15.00	8.20	—	—	
77,474	249.6	34.6	18.75	14.12	3.10	75.0	62.0	オリンパス
75,000	240.0	35.0	19.50	14.00	8.00	—	—	

4-2. 設置位置及び方向

漁業補償の条件から海岸

線から 3km 以内、しかも水

深 24m が確保される水域か

ら場所が決まり、卓越風向と

潮流流向を勘案した操船上

検討の結果、バース向きを NW45 度とした。

(1) 中心位置 (中央栈橋前面中央基準) 北 緯 141 度 38 分 53 秒 東 経 42 度 36 分 06 秒

(2) 方 向 NW45 度

(3) シーバースの全ての設備が、海岸渚線から 3.0km 以内に入ること。

4-3. 水 深

タンカーの着栈位置及び進入水域の水深は 24m (苫小牧港港湾工事基準面 DL) 以上とする。

4-4. シーバース形式

栈橋式ドルフィン形式とする。ローディングプラットフォーム (以下 LP と略称) とプレスティングドルフィン (以下 BD) は海底面まで骨組構造を持つジャケット式とし内側ムアリングドルフィン (以下 IMD)、ピアーと外側ムアリングドルフィン (以下 OMD) は海面上のみに骨組構造を持つテンプレート式とする。当初は片側接舷 (右舷付け) とするが、将来 BD および LP を増設することによって最大 20 万 DWT 級タンカーを同時着栈出来るよう配慮する。

4-5. 自然条件

風及び波は北海道開発局苫小牧港建設事務所が水深 14m の外洋で観測したデータの内、1965 年から 69 年の 5 カ年のデータよりシーバース地点の風と波を補正推算し自然条件として設定した。

(1) 潮 汐 HWL DL.+1.52m MSL DL. +0.82m LWL DL. -0.01m

(2) 風 速 10 分間平均風速

最大風速 V=50m/sec, 係留時最大風速 V=30m/sec, 常時風速 V=20m/sec

(3) 波 浪

1) プラットフォーム高さの決定に際し基準とする波 Hmax =9.6m, T=10.0sec (静水面 DL+2.00m)

2) ドルフィン等に及ぼす波力の基準とする波 H1/3 =6.6m, T=10.0sec (静水面 DL+1.80m)

3) 構造物の疲労検討の基準とする波 H1/3 =6.6m, T=10.0sec (10 万回<N≤ 50 万回)

H1/3 =3.0m, T= 8.0sec (200 万回≤ N)

4) 波浪を受けるタンカーが BD に及ぼす衝撃力を算出する際基準とする波

静水面 DL+1.50m における H1/3=1.5m T1/3=11.0sec とする。

- 5) 気 温 最高 +30.0℃, 最低 -20.0℃
- 6) 潮 流 潮流流向は全方向に対して
- 対象船舶 25 万 DWT 以下の場合 1.5knt
- 対象船舶 25 万 DWT 以上の場合 1.0knt
- 7) 地震震度 水平震度 Kh=0.2, 鉛直震度 Kv=0

4-6. 接岸条件

タンカーはバースに対して十分な距離を保って停船し、タグボートにより接岸させる。接岸速度 $v=15\text{cm/sec}$, 接岸角度 $0\sim10^\circ$, 接岸時の船の長手方向のずれ 15m 以内とする。

4-7. 許容応力度

(1) 使用鋼材

SM-41C----DL-5.00m 以上の溶接性を要求される主要部材、即ちジャケット、テンプレートと杭。

SM-41B----DL-5.00m 以下で溶接性を要求される部材、即ちジャケットと杭。

SM-50B----BD 地中部最大曲げモーメント部。

STK-41----上記以外の主要部材、 SS-41 -----上部工

(2) 基本的な許容応力度 (σ_a)

港湾構造物設計基準と米石油学会 API-RP-2A を参考として通常の許容応力度と疲労に対する許容値を設定した。

(3) 許容応力度の割り増し

常 時 $1.0 \sigma_a$, 接岸時 $1.3 \sigma_a$, 係留時 $1.3 \sigma_a$, 波浪時 $1.5 \sigma_a$, 地震時 $1.5 \sigma_a$

(4) 疲労に対する検討

1) 波高 $2.0\text{m} < H \leq 3.0\text{m}$ 周期 $T = 8.0\text{sec}$ の波は年間で 13 日あり、25 年間では $N = 351$ 万回となる。

上限の有義波高 $H=3.0\text{m}$ に対し、200 万回 $\leq N$ に耐えられるものとした。

2) 波高 $3.0\text{m} < H$ 周期 $T = 10.0\text{sec}$ の波は年間で 2 日あり、25 年間では $N = 43$ 万回となる。

上限の有義波高 $H=6.6\text{m}$ に対し、10 万回 $\leq N < 50$ 万回の疲労強度に耐えられるものとした。

4-8. 鋼材の防食及び腐食代

(1) 電気防食、水中部鋼材は設計寿命 10 年のアルミ合金アノードを取り付ける流電陽極法による防食を行う。

(2) 重防食塗装、DL-1.00m 以上のスプラッシュゾーンは“ダイメットコート#5”システムによる重防食塗装を行う。

下地処理 Near White Metal Blast Cleaning(SSPC-SP-10)

下 塗 無機亜鉛系塗装 “ダイメットコート#5” 1 回塗り 75μ

中 塗 有機タイコート “アマコート NO.86” 1 回塗り 25μ

上 塗 ビニール系塗装 “アマコート NO.99” 1 回塗り 125μ 合計膜厚 225μ

(3) 腐食代 DL+5.00m 以上の鋼材は 1.0mm, DL+5.00m 以下の鋼材は 1.5mm

4-9. 貝殻等の付着に対する考慮

DL-10.00 $\sim$ +3.00m の範囲にある部材は、厚さ 50mm の貝殻等の付着を考慮し波圧計算を行う。

5. 操船及び荷役

基本計画初期の段階では操船及び荷役手順については設計する側はもとより、操船する側にとっても未経験の分野であった。既に、東京湾にある京葉シーバースでの操船の経験は有ったものの湾内と外洋では海の厳しさは全然異質であった。

5-1. 操船の経験から判明した事実

以下の事実は着桟稼働率に大きく影響する実質的要因である。

(1) タンカー誘導のためパイロットが通船で沖合に停泊しているタンカーまで行ったが通船の動揺が激しく乗船が出来なく着桟不能となった。

(2) 作業員が通船からシーバースに移乗しようとしたが動揺が激しく移乗が出来なかった。

(3) タグボートでタンカーを押す時、風と潮流がある限度以上では制御不能となる。

(4) シーバースは着桟係留時にタンカーが風の影響を出来るだけ少なくなるよう卓越風向に対して船首尾を立てる向

きとし着棧係留時には動揺は少くなる様に配慮されている。しかし、タンカーを押しているタグボートは真横に風波を受ける事になり動揺が激しく操船困難な状況がしばしばあった。

(5)15万 DWT 以下のタンカーは長周期の波に同調し易いので動揺激しく、軽荷状態になった際これが顕著である。

5-2.着棧時操船作業限界の設定

これまでの操船の経験を踏まえ着棧時作業限界は以下のとおり設定している（1995 年 7 月現在）。

- (1) 平均風速 12m/sec 以下でしかも有義波高 0.7m 以下とする。
- (2) 潮流は 0.3m/sec 以下であること。0.3m/sec を越す場合は潮待ちする。
- (3) 視界は 1,000m 以下を目安とする。

5-3.操船荷役の手順

このシーバースにおいては 15 万 DWT 以下は操船上好ましくないことが判り、供用 10 年以降は着棧するタンカーは 20 万 DWT 以上として配船計画し、操船荷役の標準の手順は以下の通りとしている。

- (1)入港（シーバースを含み港湾区域が設定されている）したタンカーは沖合いに停泊して検疫を受ける。
- (2)パイロットは通船により沖合いのタンカーへ行き乗船する。
- (3)パイロットはバースマスターと連絡を取りながらタグボートを適宜使用して、シーバース防舷材に押し付け停船させる。使用するタグボートの総馬力数は DWT の 8%を目安とする。
- (4)ムアリングボート及びメッセンジャーロープを使用して本船上からシーバース側に係留索を送り、キャブスタンにより巻き上げクイックリリースフック QRF に係止する。
- (5)本船のムアリングウインチを操作して係留索を張り合わせて本船をシーバースに固定する。
- (6)シーバース側からタンカーへ本船ラダー（ワークラダーとも呼ぶ）を渡す。
- (7)シーバース側から作業員がタンカーに乗り込みローディングアームをタンカーマニホールドに接続する。
- (8)タンカー側ポンプにより陸上タンクへ原油を圧送する。

6.維持管理及び補修

第 1 船 東光丸が着棧した際、出光・鹿島立ち会いによる竣工検査を行い、大部分の不具合は手直した。その後は毎年点検を行って来たが保証期間の終わりの 5 年目と 10、15 年目に総点検を行った。

6-1. 電気防食

ジャケットには工場製作時点で電気防食用のアルミニウム合金陽極を取り付け、ジャケットを海中に設置後 5 年間は、3,6,12 カ月ごとに防食電位を測定した。15 年目に当たる 1989 年 6 月には予め取り外し可能としてあった、電極を取り上げ重量測定した結果 20 年以上の残存寿命があることが判った。この時、予め設置してあった防食一非防食試験片 22 組を取り上げ実証的に防食効果を測定した結果、その効率は 99.9%であることが判った。

6-2. 重防食塗装

重防食塗装は供用 2,5,10,15 年後に劣化状況の調査を行って来た。その結果、2 年目に現場タッチアップ部分に錆が見られ部分補修し、10 年目には海上部分ジャケットと上部工全般に塗装工事を行った。これらは、基本的には上塗のビニール系塗膜部分のみの補修であり錆止めを行う下塗無機亜鉛系塗膜は健全であった。

6-3. 海生物付着

供用 8 年目の海中調査の結果、構造物海中部にふじつば、からす貝などの海生物が厚さの許容値 5cm を大幅に上回り 10 ないし 15cm 付着していることが分かった。外洋においては、波力は絶大でありジャケットまたは杭に海生物が付着すると余分な波力を受け致命的な被害を被る事があり、直ちに除去をした。その後は付着厚を 5cm 以内にする様厳しく管理しておりほぼ 2 年に 1 度はカキ落とし工事を行っている。

6-4. 防舷材

湾内に設けられたバースでは、防舷材は船舶が着棧する数秒間大きな衝撃を受け変形するが、係留時には殆ど変形は無い。しかし、外洋では係留中船舶のローリングにより常に大きな変形を受け続け数時間持続することもまれではない。このシーバースにおいては、供用後 9 年目に防舷材のバース側固定ボルト付近より鋼板とゴムの界面剥離が進行し始め、供用後 13 年目に第 1 基目の防舷材を取り替えた。その後現在までに全 6 基の内 5 基を取り替えた。

6-5. 溶融亜鉛メッキ製品

グレーチング、手摺、防舷材チェーン及び各種ボルト類は被覆防食としては最も信頼性の高い溶融亜鉛メッキを施した。この内最も腐食環境の厳しいスブラッシュゾーンにある通船乗り場のグレーチングは供用 10 年ほどで亜鉛を消耗し錆が出始め、取り替えた。手摺は工場で製作後溶融亜鉛メッキを行い、基部を現場溶接し塗装タッチアップにより防食を行ったが、先ず基部から腐食が進行し、供用 15 年頃から補修が必要となった。

7. 計画及び設計の評価

7-1. バース向き

原油を満載したタンカーは潮流力が支配的であるので、バース向きは潮流の卓越方向である海岸線と平行、即ち EW 方向が望ましい。しかし、荷役が進みタンカーが軽荷状態になると風の影響が支配的になる、風の卓越方向である SE-NW 方向が望ましい。以上を勘案の上、風の影響は最少でしかも潮流の影響も緩和される NW45 度とした。

7-2. シーバース形式

シーバース形式は自己昇降式海上作業台 SEP による施工を前提としてジャケット、テンプレート方式として設計された。外洋における杭打工法は波浪に対して杭を単独で放置しないのが必要条件である。海上工事に着手した当日 OMD の斜杭 8 本の内 1 本を打ち終わった夕方から日本海を低気圧が北東進したことにより海はシケとなり Hmax=10.0m の波に見舞われた。この杭はテンプレートを通して SEP に支えられており難を逃れた。他の工法では杭の折損など大きなトラブルは必至であった。

7-3. バース高さ

当初の設計ではバースの高さは一律に DL+9.00m としていたが施工中に Hmax=10.0m を経験したことから、重要な機器を搭載するローディングプラットフォーム LP のみは急遽 DL+10.00m と設計変更した。その後、幸いな事に 24 年間この様な大きな波には見舞われておらず、プラットフォーム高さの設定は妥当であったと言える。

7-4. 操船性

(1) 防舷材

両側の BD に高さ 3.0m のセル型防舷材 C-3000H 3 本組みを取り付けた。当時セル型防舷材の最大のものは高さ 2.0m でありメーカーとしてはこれ以上は必要無いと考えており工場設備もこれに合わせたものであった。しかし、C-3000H を使用する事により船体との接触圧を小さく出来る上に所要鋼材量も減少出来ることからメーカーを説得して採用に踏み切った。

(2) 係留設備

従来の係留設備は直柱ビットまたは曲柱ビットであったが、外洋における緊急離脱の重要性から全面的に 100t 2 連式クイックリリースフック（以下 QRH）を採用した。タンカー係留のためはおよそ 20 本の係留索が必要であり、これを緊急離脱するためにはコントロールハウスにおいて一括操作可能な QRH が必要である。

(3) 綱取り作業性

タンカーの係留索は標準的にはヘッド、スターンライン各 4 本の計 8 本、プレストライン各 4 本スプリングライン各 2 本の 12 本の構成である。設計は各ラインが正規の位置で張り合わされた状態は適切に考慮されていたが、ホーサーの場合 ϕ 80mm、ワイヤーなら ϕ 40mm の係留索を QRH に係止するまでの過程に対する配慮が充分でなく第一船を着桟させた後竣工までかなりの手直しを行った。

(4) 通船着桟（ボートランディング）

通船着桟はシーバースの稼働率を左右する程重要な施設である。着桟設備は LP と両サイドの OMD の 3 カ所に付けた。この内、使用頻度の高い LP については、施工時通船から SEP への移乗が容易でなかった経験から当初の横付けから船首付けに設計変更して潮位および波浪に対し操船性の良い通船着桟とした。OMD に取り付けした通船着桟は将来両面バースとなった際の配慮によるもので、片面バースの現状では殆ど使用されていない。

(5) プロテクター

IMD と OMD については綱取作業船が接近して水面下にある斜杭を傷めないようプロテクターを取り付けた。

プロテクターの所期の目的は果たしているが網取作業上は障害となっている。両立させる設計が必要である。

7-5.構造強度

これまでに構造強度上のトラブルは皆無であった。バース全体について言える事であるが非常に過酷な荷重を受け続けていることは事実であり、特に BD については疲労を主とした健全度調査を行う必要がある。

7-6.重防食塗装

採用した重防食塗装システムは非常に良好であった。錆の出方から設計施工上から大いに考えさせられる点がある。基本的には設計の段階から表面積は出来るだけ少なく、単純な構造で現場溶接は極力少なくする事が良い品質の塗装に繋がる。塗装は二次的要素と考えられているが、竣工後に掛かる労力とコストを考えると基本設計の段階からの配慮が必要である。

7-7.電気防食

調査の結果、設計寿命 10 年のアルミニウム合金陽極は 16 年経過時点で残存寿命は 20 年以上あると判断された。これは、鋼材表面に炭酸カルシウム CaCO_3 を主成分とする良好なエレクトロコーティングが形成され鋼材表面を保護している事から腐食の進行を遅らせている事が判った。また、海水が清浄であり、水温が低い点も残存寿命に好結果を与えている。

8.おわりに

外洋シーバースの建設は全く経験の無い事ばかりであり設計はもとより操船について適切なアドバイスが出来る経験者も居なく手探り状態で進行した。その中で北海とアラスカにおける海洋構造物施工管理経験者であったカリフォルニア大バークレイ校 B. C. ガーウィック教授から受けたデザインレビューは短期間ではあったが意義深いものがあつた。適切なデザインレビューは効果がある。

当時日本には港湾構造物設計基準があつたが、外洋の構造物まではカバーされておらず、API-RP-2A が参考になった。API-RP-2A は世界中の海底石油開発用ジャケットの計画・設計・施工に使用されているレベルの高い技術指針であり毎年改定されておる。広い意味に於ける技術標準のあるべき姿としても参考になる。

9.参考文献

- 1)運輸省港湾局編：“港湾構造物設計基準”日本港湾協会、1967
- 2)永井莊七郎、小田一紀、重藤宗之：横波を受けるスーパータンカーによって 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、土木学会 第 16 回海岸工学講演集、1969
- 3)American Petroleum Institute: *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platform(API-RP-2A 2nd Edition)*
- 4)石郷岡三郎、関 厚、川村政良、山本治生：外洋にシーバースをつくる、土木学会誌、1973.4
- 5)石郷岡三郎、大村利夫、島田安正、砂子幸男：外洋に建設されるジャケット式シーバース、土木施工 14 巻 6 号
- 6)関 厚：海上作業台による海洋土木工事、橋梁 1974.11
- 7)島田安正：土木工学大系 35 “ケーススタディ 海工システム”
- 8)三村長二郎、藤田時男他：外洋シーバースにおける船舶係留中の衝撃力実測例、土木学会第 29 回年次学術講演会
- 9)野尻陽一、三村長二郎、村山八洲雄、中山三生、藤田時男：海洋構造物設計に関する研究（その 3）
—大型シーバース用ジャケット構造の大口径鋼管継手部の構造実験—鹿島建設技術研究所年報 第 21 号、1973
- 10)野尻陽一他：出光北海道シーバースの動的挙動測定（その 1）鹿島建設技術研究所年報 第 22 号、1974
- 11)Saburo Ishigooka, Yasumasa Shimada et al: Deep Water Berths in Japan, JSCE Apr.197
- 12)Yasumasa Shimada, Haruo Yamamoto: Design Consideration for Seaberth with Relation to Construction Technique, International Association for Bridge and Structural Engineering, IABSE 10th Congress Sep.1976
- 13)Atsushi Seki, Yasumasa Shimada: Supertanker Fixed Berth in Open Ocean, Civil Engineering-ASCE Apr.1976
- 14)Haruo Yamamoto, Takashi Tukada et al: Corrosion Protection for Offshore Berth, Proceedings of international Conference on Evaluation of Material Performance in Severe Environments, EVALMAT89 Nov.1989