

日本石油喜入原油基地大型シーバースの設計および施工について

大成建設土木本部設計部 二階堂守夫

1 はじめに

日本のめざましいGNPの増大に伴い、エネルギーとしての石油の消費量も飛躍的に伸びている事は言うまでもない。昭和45年度の日本の石油消費量は約2億KLであり、昭和60年度にはその約35倍の7億KLに達すると言われている。これを50万トタンカーで運ぶとしても1ヶ月130隻~150隻の大型タンカーが日本の港に入る事になる。実際問題として全量を50万トタンカーで運ぶと言う事は不可能であるから平均15万トタンカーとしても、約500隻のタンカーとなる。

この膨大な石油を少ないタンカー隻数と安い輸送コストで運ぶためには大型タンカーが必要となり、そのタンカーの繋船施設として大型のシーバースを建設する必要性がある。日本の既存の港湾はこれら大型タンカーの入港に適した水深を確保する事は困難であり、船舶の錯綜する港湾にあっては災害防止上から大型のタンカーを入港させる事は望ましくない。又石油政策上の備蓄という問題をも含めた、輸入原油の合理的輸送形態として、CTS構想が生まれ、日本石油基地株式会社が鹿児島県喜入町にCTSを建設することになり、その一環として原油受入、払い出し兼用の超大型バースと払い出し専用のバース、の計2バースを建設した。この内の超大型バースの設計および施工に当社があつたので、以下にその概要を述べる事にする。

2 位置および自然条件

CTS基地のバース建設位置は図-1、図-2に示すごとくであり、水深は汀線より1500mの沖合で2~3m、それより急激に深くなっており、この部分(+0.5~-1.5m)に突出し1250m×750m(幅)の約100万㎡を埋立ててCTS基地を建設し、その前面より図-3の如く水深18mの位置に払い出し専用バース水深28mの位置に受払い兼用の大型バースを建設した。

(1) 風、波浪、最高潮位、

潮流

鹿児島地方気象台に於ける過去10年間の風の記録は、図-3及び表-1の通りで、この統計によると全観測数に対する比率は、風速5m以下が約84%、

10m以下が99%、風速

10m以上は僅かに1%に

過ぎない。タンカーの繋船および荷役作業は風速10m/secまで、風速15m/secで離船するのが一般的であるので台風等の異常気象以外は問題にはならない。この地区に於ける最大風速は49.6m/secと言う

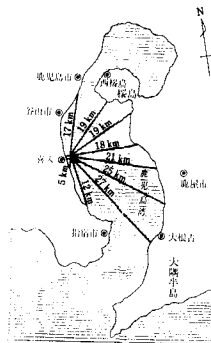


図-1 喜入基地位置図

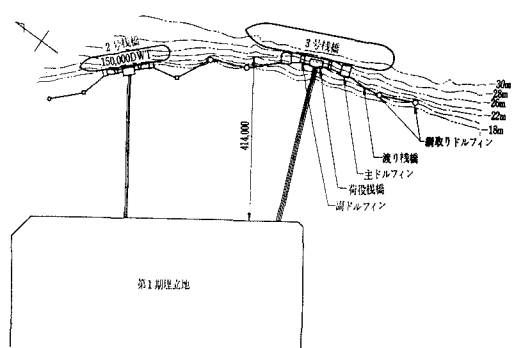


図-2 喜入基地バース位置図

記録があり、大型台風を考慮して構造物に対する風速は $V = 80 \text{ m/sec}$ の値を採用した。

波高については喜入地区の記録はないが、鹿児島湾の地勢より湾内の波浪は風によって発生するものと考えて、SMB法によって次の如く推定した。

方向	対岸距離	平均風速	波高
SE~SSE	28Km	24.5 m/sec	$H/3 = 3.0 \text{ m}$

潮位については次の如く決定した。

朔望平均満潮位	2,490 mm
最大気象偏差	1,460
最大波高×1/2	2.30
最高潮位	6,250 mm

潮流は干満によって発生するもので、海岸と平行に0.5~0.6ノットの沿岸流があり特に操船上の障害となるほどのものではない。

風速 %	計 (回)	出現率 %
0 ~ 5	73,685	84.01
6 ~ 10	13,249	15.11
11 ~ 15	650	0.74
16 ~ 20	102	0.12
21 ~ 25	21	0.02
26 ~	1	0.00

表-1 喜入地区に於ける風速
(昭和32年~41年)

(2) 土質、地震係数

繫船施設を構成する各構造物の位置で土質調査を行った結果の代表的なものが図-4である。5ヶ所行った各データーとも大差がない。このデーターが示す様に海底面から5~6mは貝殻交りの砂でその下は砂および軽石が混入した砂層であり、この地帯特有のシラスといわれる土質である。N値は海底面下20mで $N = 40 \sim 50$ であり深さに比例して大きくなっている。本計画の各構造物の杭の先端はこの深さ以上まで打込む様に計画した。地震係数については「港湾構造物設計基準」により $K = K_0 \times d \times B = 0.05 \times 1.2 \times 1.5 = 0.09 = 0.1$ を採用した。

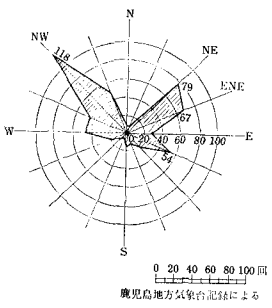


図-3 喜入地区に於ける
10 m/sec以上の風向図
(昭和32年~41年)

3. 設計計画

3.1. 平面配置

バースの配置は将来出荷バース2基、受入バース(1基出荷兼用)2基を必要とするので基地最終の形態に於ける一部として、バースの占有率を考慮して、35~45万トン受入兼出荷バース1基、15万トン出荷を図-5、6の如く配置されている。配置に当って考慮した点は繫船法線は各バースの最大船型の吃水に余裕水深を取った水深線とし、埋立地先端より400~500m、航路浚渫零線を持って繫船法線とした。又湾口に近い方から将来の50万トンバース、35~45万トンバース、15万トンバース2基の順に配列する。バース間の距離は埋立地の前面を十分活用して船の離着棧、操船に十分な間隔を取った。各構造物の配置によって特に考慮した事は着棧する船舶が

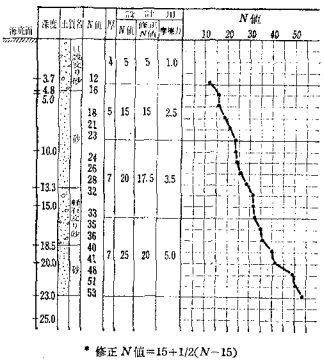


図-4 喜入地区の海底土質図

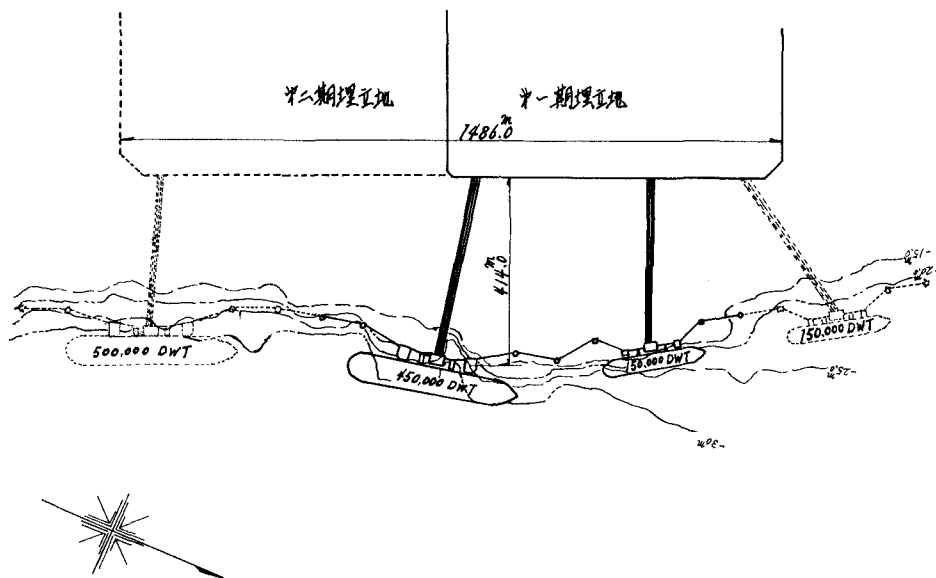


図-5 バース配置図

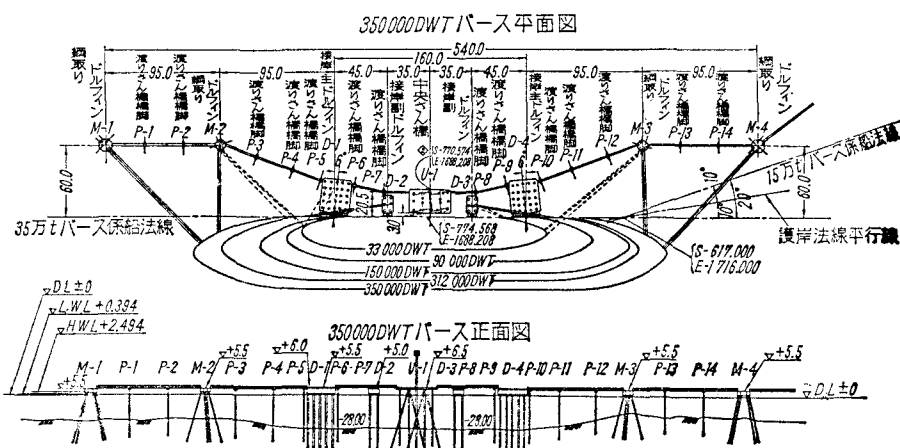


図-6 超大型バース構造物配置図及正面図

33,000トンから超大型船までと着船幅が広いので接岸ドルフィンには4基とし、15万トン以下の船は内側ドルフィンに、それ以上の船は外側ドルフィンに着船するよう各々のタンカーの船体の直線部以内に配置してある。

細取ドルフィンは4基とし、位置の選定は「巨大船に関する運輸大臣への答申」に従って繫船ロープとタンカーとのなす角度を30°～35°にするとともに船舶との間隙をタンカーが所持するロープ長220mの80%以内、即ち180m以内の地味とした。

尚荷役栈橋、接岸ドルフィン、細取ドルフィンの各構造物は渡り栈橋で連絡してある。

又陸上とは海上配管栈橋により連絡している。

3.2 対象船舶表

表-2の通りである。

表-2 対象船舶の寸法表

(D.W.T)	満 載 時			バラスト荷重時			諸 元			
	排水(t)	吃水(m)	干舷高(m)	排水(t)	吃水(m)	干舷高(m)	全高(m)	長(m)	幅(m)	船側直線幅(m)
33,000	45,000	10.33	3.38	24,700	6.10	7.61	13.71	203	27.0	75
70,000	87,000	14.12	3.98	47,000	7.90	11.20	19.10	238	33.0	123
150,000	182,000	16.04	7.96	100,200	9.30	14.70	24.00	306	47.5	115
350,000	420,000	20.00	8.10				28.10	393	60.6	160
400,000	467,000	24.24	6.66				30.90	368	62.2	
500,000	575,000	27.00	11.00				38.00	411	65.0	

3.3 各構造物の床高の決定

構造物の床高の決定に当っては最高潮位+6^m230とし、それに余裕を考慮に入れ、又船の満空船時の高さの関係、使用目的により、荷役栈橋+6^m500、接岸ドルフィン+5^m500、細取ドルフィン+5^m500、渡り栈橋は特に波浪の影響を考慮して+7.0^mに決定した。

3.4 接岸ドルフィン

接岸ドルフィンの型式は土質条件より杭式が有利であり、斜杭式についても検討したが、船舶の接岸時の安全性工期、工事費の比較により撓み式ドルフィンを採用したこのドルフィンの設計に当り特に考慮した点は次の通りである。

3.4.1 接岸速度

接岸速度は接岸の安全性、経済性についても重要なものでありながら基準がなく、種々の数値を採っている。風向、風速、波浪、潮流の方向と大きさ、タグボートの能力及び使用隻数、タンカー及びタグボートの操船熟練度等の多くの要因によって定まるものであるが設計に際しては在来の栈橋に対する接岸速度の記録、論文等を参考として35万D.W.Tタンカーに対する接岸速度を $v = 20 \text{ cm/sec}$ とした。

3.4.2 付加重量

付加重量については多くの論文があり、排水トンに対する比率も30～80%の幅があるが今回は「港湾構造物設計基準」によった。

3.4.3 接岸時の船舶重心とドルフィン間中心とのずれ

船舶の接岸時に船舶重心とドルフィン間を中心とが一致する事はまれであるので接岸速度が最大の時ずれが最大となる事はないと考えずれの距離を20^mとして計算した。

3.4.4 船舶の接岸角度

船舶の接岸時には数隻のタグボートにより繫船法線に平行になる様にするが、風、潮流、波浪、タグボート及び本船の操船等のために、繫船法線に対して何等かの角度をもった状態で接岸する。この接岸角度は実船について測定した結果、最も多いのが3.5°前後であり、事故に至らなかったが最大9°であったと言う報告論文があり、中近東その他の大型タンカーバースでも最大接岸角度9°とし

た例がある。本バースの設計では35万～45万トンと言う巨大船の未知の操縦性能、及びフェンダーと船腹の接触面積を考慮して、主ドルフィンの中心線を繫船法線の直角線に対して6°の角度を持って配し、ドルフィン前面は繫船法線からドルフィン前面を0°、6°、12°の折線ドルフィンとして許容接岸角度を最大12°とした。

3.4.5. 船腹強度

船腹強度は、プレート部は 20 t/m^2 、バーチカルで 60 T/m^2 程度に設計されている様である。接岸時にドルフィンより受ける衝撃力がこの値を越える事は事故の原因となるので設計に際しては 20 T/m^2 以下を原則とした。

3.4.6. 防舷材

低反力で吸収エネルギーを増加させるため大型ドルフィンでは2段式のゴム防舷材を使用していたが構造的に難点があるようなので、本施設のため、メーカーの協力を得て、種々実験を重ねた結果設計条件に適した低反力で吸収エネルギーの大きい新型のH型防舷材を開発する事が出来たのでこれを取付けた最近の大型船舶用のドルフィンにはこの型のものが多く用いられる様になった。

3.4.7. ウネリに対する検討

繫船中の船舶に対する風、潮流については、その外力に対処する構造物として計画すれば良いが波力、特にウネリの影響については不明な点が多い。この問題についての資料は少ない。波高、波の周期及び船体とドルフィンのバネ係数等の関連に於て相当大きな衝撃力となってドルフィンに作用する事が有るが今回の設計に於ては幸い外海の波浪による大きなウネリは無いのでその調査にとどめた。

3.4.8. 繰返し荷重について

今回の設計に使用したドルフィンの鋼管杭(φ1500)は鋼杭本数の減量、ドルフィン自体の撓みの増大による経済性を計るためSM-58Qとした。SM-58Qについての疲労の資料はないが、同程度のWEL-TEN60の疲労試験の結果では、溶接部(余盛付)の疲労強度は母材の疲労限の向上(SS-41, SM-51に比し)に比し大差なく、約 19 kg/mm^2 前後で、高張力鋼を使用しても特に有利性は認められない。溶接部に欠陥がある場合には更に疲労限は低下すると言われている。

ドルフィン杭の着船時の応力度は疲労限を越えるが波浪に比し少なく20年間で2000～3000回程度であり問題はない。

波浪による振動は、ドルフィンに作用する波力を正確に算定する事は困難であり、例え外力の算定が出来ても杭の応力まで算定する事は容易ではない。このためドルフィンの挙動を観測し杭の応力度を推定する方法を取った。

応力度と変位量の関係は、 $\text{応力度} \sigma = 1800 \text{ kg/cm}^2$ で変位量は約20cmである。

3.4.9. スピードメーター(接岸速度計)

船舶の接岸は船体とドルフィンとの距離の変化量を目測して勘により接岸速度を推測しているのが一般的であり、 10 cm/sec の速度を目測で適中することは難しい。このため巨大船を扱い事故を生じせしめない様に開発されたのが本装置である。

この装置は大型船が棧橋前面で一旦停止した後、繫船法線に平行のまゝ接岸する際、海面下5mに

設置(ドルフィン杭に取付けてある)した送受波器より超音波パルスを発射し、船腹に反射し到達した伝播時間を計測して距離を求め、更に速度を算定して数字表示させるものであり、その測定可能範囲は、a) 棧橋、船舶間距離、99m以内

b) 接岸速度、±99cm以内

c) 繫船法線直角に対する傾、6°以内

である。

3.4.10. 構造概要

ドルフィンは9万~45万D.W.T用の主接岸ドルフィン2基と3,3万~15万D.W.T用の副ドルフィンの2基の計4基で構成し構造は主、副ドルフィンとも鋼管杭(φ1,500mm)を垂直に打込んだ撓み式であり、上部は鉄筋鉄骨コンクリート造である。鋼材はSM-58BでN値50まで打込んである。主ドルフィンは2,000H×3,000LmmのH型フェンダー6本を用い間隔は160mである。又副ドルフィンは同型のフェンダーを用い間隔は70mである。ドルフィン上には船のスプリング鋼取用と100Tビット、及び鋼取用のキャアスタン、その他照明関係がある。

表-3 構造概要

名 称	基数又は延長	構 造
主接岸ドルフィン	2基	躯体 24M×27.58M 且繫船法線に対し120°、天端+5.500M ゴム防舷材 2,000M×3,000L×6本 ドルフィン間隔160M 鋼管杭 25本 φ1,500×t16~27×L51,000~47,000 (SM58) ビット 100t×4基(以上何れも1基当り)
副接岸ドルフィン	2基	躯体 9M×15M 且繫船法線に対し90° 天端高+5.000M ゴム防舷材 2,000M×2,000L×2本 ドルフィン間隔70M 鋼管杭 6本 φ1,500×t16~27×L50,500 (SM58) ビット 100t×2基(以上何れも1基当り)
鋼取ドルフィン (外側)	2基	躯体 10M×10M 8角 且繫船法線に対し35°, 40° 天端高+5.500M 鋼管杭 6本 φ1,300×t13~17×L39,000~49,000 (STK41) 20°斜杭 ビット 直柱100t×4基(以上何れも1基当り) 15万DWT兼用ムアリングは更に85t直柱×4基あり
鋼取ドルフィン (内側)	2基	躯体 8M×8M 8角 且繫船法線に対し80° 天端高+5.500M 鋼管杭 6本 φ1,200×t12~16×L37,000~49,000 (STK41) 20°斜杭 ビット 直柱100t×3基 ベリカンフック×1基
荷揚場	1基	躯体 35M×20M 且繫船法線より3M後退 天端高+6.500M 鋼管杭 22本 φ700~12,000×t9~10×L45,000~54,000 (STK41) 15°斜杭14本 ビット 直柱100t×2基 電気室兼控室 7M×6.5M アンローデングアーム(高さ25M)×1基、照明塔30M×1基 ショアラダー×1基

名 称	基 礎 又 は 延 長	構 造
渡り 棧 橋 (ムアリング用歩廊)	451M	型式 ハウトラス パイプ構造 歩廊幅員1.5M 床高7.000M 橋脚 頭部R・C 3M×1.5M×1.5M 鋼管杭 $\phi 600 \times t 9 \times L 31,000 \sim 46,000$ (STK41 スパイラル管) 床アマグレート 3ME
パイプ 棧 橋 (陸～荷揚場間)		型式 油パイプをガードに兼用 パイプ下端 橋脚 鋼管杭打

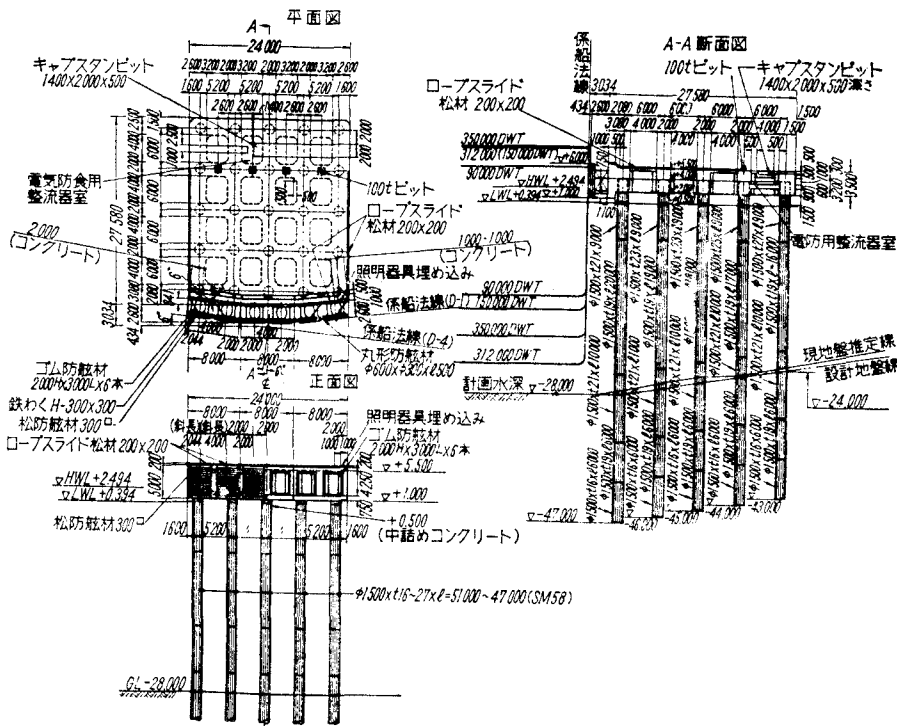


図-7 接岸メインドルフィン一般構造図

3.5. 荷役棧橋の概要

棧橋の平面寸法は縦20m横35mであり、棧橋上には原油荷役用のローディングアーム(φ16^B×6基)配管、コントロールタワー、乗降船するためのはしご用タワー、電気室、及び夜間離着船、荷役のためのH=30mの主照明タワー、その他一般照明設備がある。構造は風速80m/sec及び地震に耐えるため鋼管斜杭と直杭より、上部は鉄筋コンクリート造である。天端は波浪に対して安全である様+6.5mとした。又、荷役棧橋前面はドルフィンの撓みに対し安全である様に繫船法線より3m控えて設置してある。

3.6. 網取ドルフィン

風速15m/secで荷役を中止し20m/secで解留するか安全を考慮して風速30m/secと潮流1ノットが

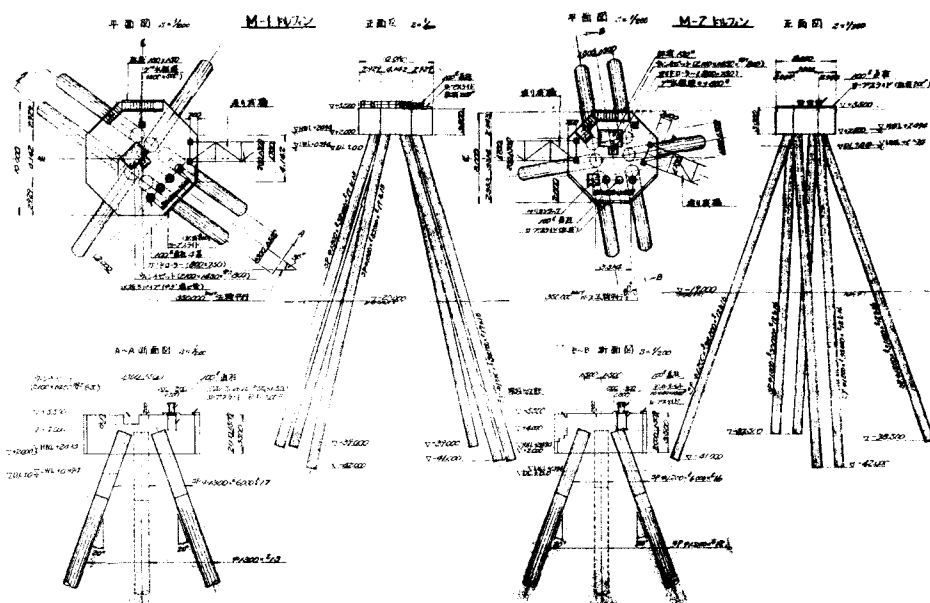


図-8 ムアーリングドルフィン構造図

同時に加わった時の力、及び綱の取付、必要本数を決め、それに綱1本の切断強度(約100T)を乗じたものをけん引力とした。

綱取ドルフィンには外側と内側に2基ずつ設置し、外側ドルフィンには各々100Tビット4基、けん引力400T、内側ドルフィンには同じく100Tビット3基、牽引力300Tに耐える様に船舶からの綱取用の電動キャプスタンを各ドルフィン上に取り付け、内側のドルフィンのビットの内各1基は陸方向よりの風の際の離船を考慮してクイックリリースとした。

3.7. 渡り棧橋

渡り棧橋は船の着離棧時の綱取に便利にように荷役棧橋、接岸ドルフィン、綱取ドルフィン相互の人間の連絡歩行に使用するので幅1.5m、荷重 $100\text{kg}/\text{m}^2$ 、横方向より $80\text{m}/\text{sec}$ の風荷重を取った構造は斜杭基礎のビヤード上部構造は荷役棧橋～主ドルフィン～副ドルフィン間は鋼桁橋とし、その他はパイプトラス橋とし、波の影響を受けない様に $+7.0\text{m}$ とした。

3.8. 配管棧橋

荷揚棧橋と陸をつなぐ配管棧橋で現計画配管の他、将来の配管重量及び保温配管時の熱膨張による荷重を考えた単純トラスとなっている。交通としては歩廊のみを考えている。橋脚については難破小船、流木などのショックに耐える様にしている。

3.9. 電気防蝕及び塗装

外部電源方式による電気防蝕を行ない、飛沫帯の防蝕としてコンクリートスラブ下よりL.W.L.-1.5まで亜鉛末防蝕塗料3回塗り、その他のトラス、ポール等の海上施設の鉄部はタールエポキシ系塗料3回塗を行った。

4. 終りに 当初、施工についても記する予定であったが、紙面の都合上、設計に重負を置いて記するにとどめた。