

シーバースの設計

島 田 安 正

シーバースの設計は、水深の浅い内海に計画するものについては、港湾設計規準で計算ができるものと思われる。大水深のシーバースについては、船舶の大型化に伴って、最近その必要性にせまられて来ているが、外洋における設計、施工条件については、自然条件、外力など未知な点が多く、今後の研究に待つところが多い。

こゝでは主として、大型船の接岸速度、船舶の外板の強度、けい留時のけい引力等について述べ、最後に新日本製鉄株式会社の原料シーバースについて一例をあげる。

1 概 要

近年、船舶の大型化に伴って、従来のように岸壁に船を直接、接岸させるためには、大水深の岸壁が必要であり、また接近するための航路を確保するのに大きな浚渫を要し、結果として莫大な工費がかかる。

これらの問題を解決するため、最近、企業とくに鉄鋼石油関係でシーバースを築造する傾向が多くなっている。

シーバースの種類には、つぎのようなものがある。

1-1 栈橋式

1-2 一点繫留式

杭式……………鹿島式、TTM式

ブイ式……………イモドコ式、シェル式

重力式……………ニールセン式

これらの形式のうち、わが国で使用されているのは、栈橋式とブイ式である。

それぞれつぎのような特色をもっている。

1-1-1 栈橋式

海中に杭を打ち込んで、横栈橋をつくり上部に荷役機械を設備するか、あるいはプレスティングドルフィン、荷揚場をつくって荷役の用に供するもので、前者の場合は固体、液体のいづれでもよく、後者の場合は液体の荷役に適している。どちらにしても工費的には比較的高価なものになるが、荷役作業は安全で能率的である。(図-10参照)

1-2-1 一点繫留式

海中に設けられた繫船と荷役の両方の役目をはたす構造物である。この形式は特許工法が多い。

2-1 鹿島式は杭を一本以上打込んで、上部のデッキに360°回転する荷役設備を設けたものである。

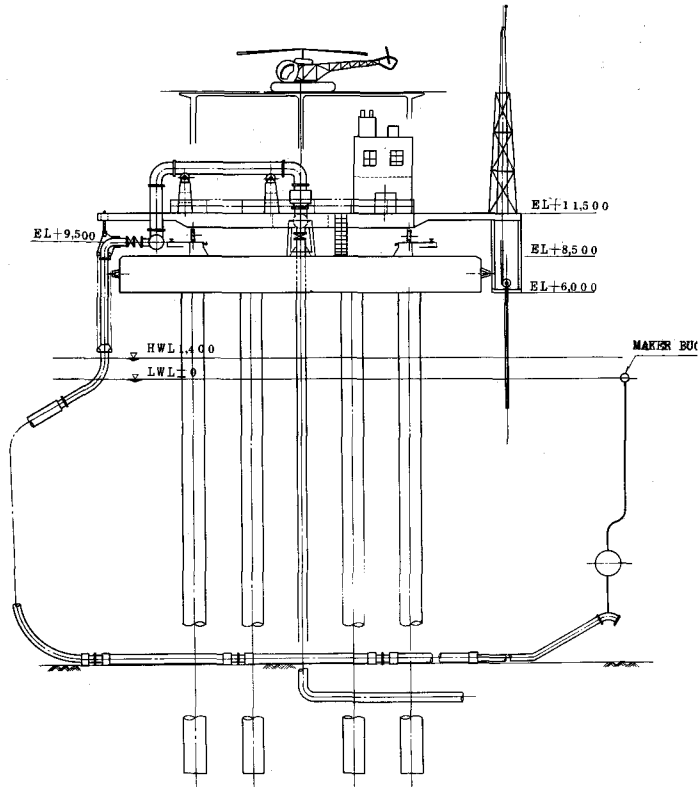
1-2-2 TTM式

フランスの工法で、一本の大口経杭を打込んで上部に回転台を設けたものである。(図-2)

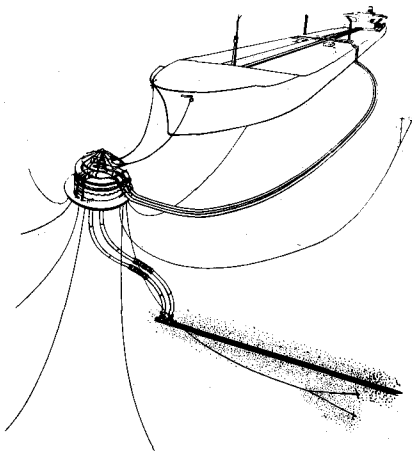
1-2-3 ブイ式

イモドコ式、シェル式とも若干の相違はあるが、ブイを使用する点では同一のものである。

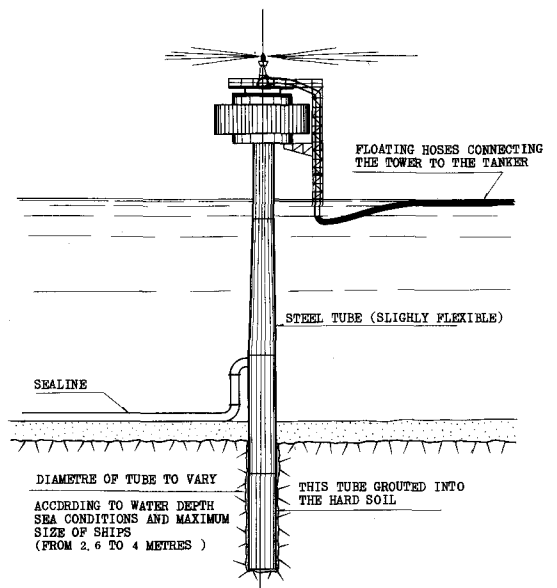
図一 鹿島式一点けい留シーバース



写真一 ブイ式一点けい留シーバース



図二 T T M式一点けい留シーバース (液体用)



この方式の利点は、ブイを使用する関係で船が万一接触しても、アンカー用チェーンの、あそびの分だけ逃げる事が可能なため、船舶に損傷を与えることがない。

この方式は、わが国で数ヶ所採用されており、仲々好評のようである。(写真-1)

1-2-4 重力式

重力式は型式としては、特に新しいものではないが、この中で特色があるのは、ニールセン式と言われるものである。この方式は当初スエーデンその他北欧で海中灯台として使用されたのが始めである。

以上それぞれ独特の長所、短所を持っており、どの方式が、最もベターであるとは言いきれない。基本的には船が安全につける構造であるかどうかで決ってくると思う。その意味から言えば、経済性さえ許せば、栈橋式がベターであろう。それは一点繫留式は少しでも波があれば接岸が困難であるから、利用率が悪いからである。

2 船舶の接岸速度

シーバースの強度を決定する諸要因の中で、重要な要素が接岸速度である。

速度については、港湾設計規程で値が定められているが、規程はともかくとして、設計に従事するものとしては、構造物の安全、ならびに船の安全を考えて、計画地点の地理的条件に合せて慎重に決定する必要がある。どちらに損傷を与えても重大な災害をまねくことは必定である。

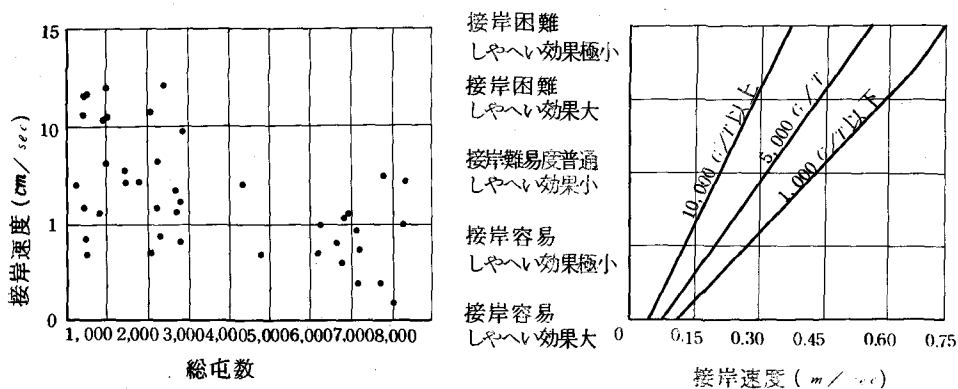
つぎのような場合には、ある程度の相違があるように思われる。

- 1) 護岸あるいは岸壁の場合とシーバース。
- 2) 内海と外海
- 3) 静穏な日と風波のある日。

すなわち、1)の場合前者はシャヘイ物、障害物が附近にあるので慎重に接岸し、後者の場合は障害もなく、広々としているので接岸速度が大きい。

2)の場合は内海は泊地が狭く、水深も比較的浅い場合が多いので速度が小さく、外海の場合は広々としており、水深も深い場合が多いので速度が大きい。3)の場合は静穏の日が風波の日より事故が多い。これらを考えて見ると人間の心理的な影響が多分にあるようである。事故が発生した場合を調査して見ると快晴、静穏の日が大部分を占めている。船舶の異常接岸の確率は着船回数50～100回で1回位の割合で発生している。バースの利用率は週一回位であるから、これから言える

図-3 船舶の接岸速度(港湾設計規程による)



ことは大小の差はあるが、一年に一回位は異常接岸により損傷を受けることが予想できる。

構造物が破壊しても、船に損害を与えても、企業のうける損害は勿論、第三者に与える被害は測り知れないものがあると思われる。

したがって、接岸速度を決定する場合は、できるだけ大きな値をとることが肝要である。

一応港湾設計規準に示されている接岸速度は図-3の通りである。この数値は10万DWT級以上の大型船の数値は示されていないが、一例として鉄鋼、石油関係各企業の採用している接岸速度には、次のようなものがある。

シーバースならびにけい船設備の例

		対 称 船 舶 (D W T)	接 岸 速 度 (cm/sec)
A	社	200,000 DWT	15
B	社	350,000	20
C	社	200,000	15
D	社	150,000	15
E	社	100,000	12
F	社	85,000	15
G	社	150,000	15
H	社	150,000	12
I	社	100,000	15
J	社	200,000	15
K	社	150,000	12
L	社	200,000	12
M	社	300,000	12

これらを見ると、いずれの場合も 12 cm/sec 以上の値を採用しており、とくに日本石油基地株式会社喜入原油基地では 20 cm/sec を採用しており、考え方によっては大きすぎるのではないと思われるが、「万一事故を起した場合の直接、間接の被害は測り知れないものがあり、可能な限り丈夫な構造物を築造して、船舶は勿論、構造物の安全を確保することが大切である。」との基本的思想からである。

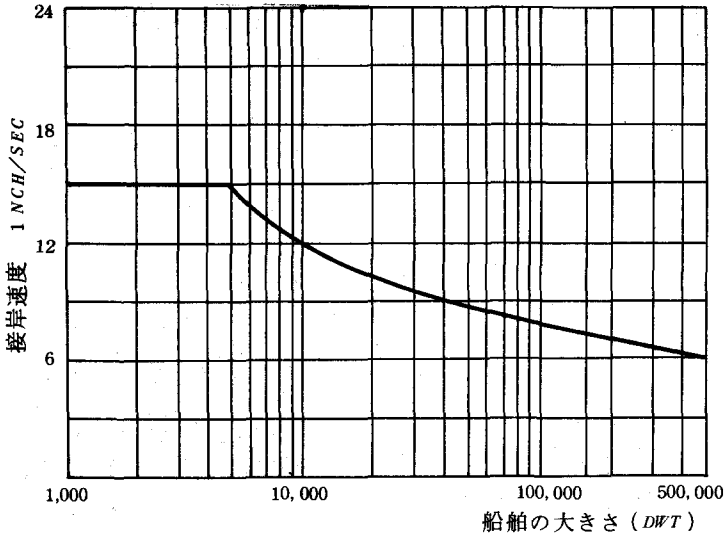
つぎに諸外国における一例をあげると次のようなものがある。

国 名	地 名	企 業 名	対 称 船 舶 (D W T)	接 岸 速 度 (cm/sec)
西 ド イ ツ	ウィルヘルム 港		100,000	15
アイルランド	バントリー 湾	ガルフオイル	312,000	15
ク エ ー ト		クエートオイル	312,000	15
日 本	沖 縄	ガルフオイル	312,000	15

これらの実施例とは別に、設計に採用されている接岸速度に図-4のような数値がある。

以上が標準的な値であるが、如何なる値を採用するかに当っては地理的条件、海岸等を十分に把握して決定することが大切であり、さらに企業の中には経済性だけを追求するに余り、小さな接岸速度を取りたがる傾向があるが、注意を促す責任があるように思われる。

図-4 船舶の接岸速度



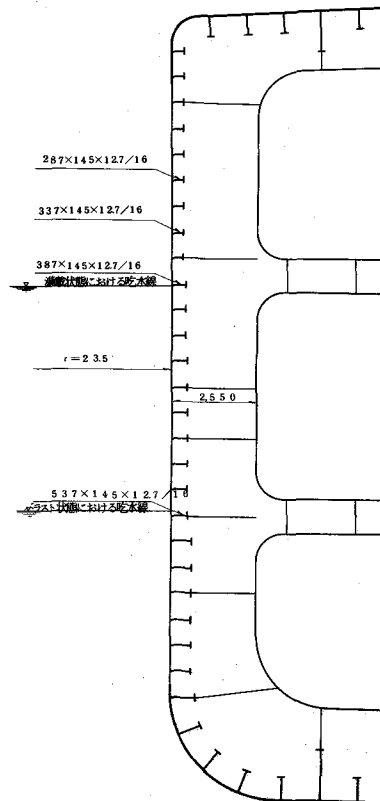
3 船舶の強度

本来船舶は波と積荷に対して十分な強度を持つように設計されるもので、接岸時の局所的な荷重に対して十分安全であるとは思われない。如何なる接岸でも安全のように考えれば明らかに造船コストの上から採算がとれなくなるであろう。

したがって、シーバースの設計に当っては、接岸防舷材の性能、構造物の三形式の三者の関係を十分検討する必要がある。

現時点における船舶は外板に大きな集中荷重を受けると損傷を受ける可能性がある。そこで接岸するバースは船に損傷を与えない構造でなければならない。普通バースの天端高さは海面上 $4\text{ m} \sim 8\text{ m}$ 程度であることが多い。したがって船は吃水線から上部 $4\text{ m} \sim 8\text{ m}$ 迄の船腹の強度が着船時の荷重を決める要素になる。図-5は15万DWTタンカーの構造を示すものである。

図-5 150,000DWTタンカーの骨組



大型タンカー、鉱石船等のバースでは、満載状態で着船し、小型タンカーは空船状態で着船するのが普通であるが、こゝでは満載吃水線より上部4 m～8 mの最小部材断面を用いて、許容応力を $2,400 \text{ Kg/cm}^2$ として外板の許容等分布荷重を算出して見ると図-7のようになる。

これは乏しい資料をもとにして推定したもので、十分に各種船舶に適用できるかどうか疑問もあらうかと思うが、これから一応推定出来ることは、外板の許容等分布荷重は $18 \text{ t/m}^2 \sim 22 \text{ t/m}^2$ 位のようなのである。ちなみに諸外国においてはこれを $15 \text{ t/m}^2 \sim 20 \text{ t/m}^2$

図-6 骨組の概要

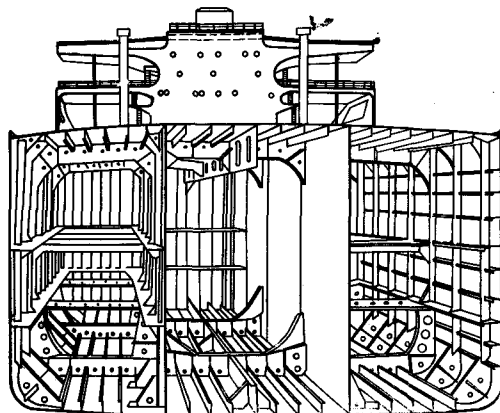
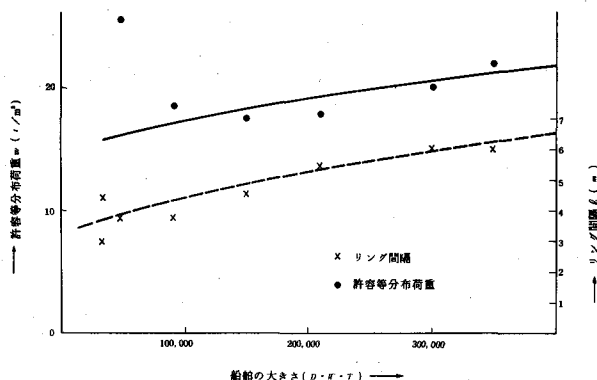


図-7 船舶外板の強度



位に押えているようである。

この値を規準にして防舷材およびその前面の緩衝版を設計することが大切である。

4. 防 舷 材

船舶を安全にバースに接岸させ、さらに繫留時の保安を保つために防舷材は重要な役割をはたすものである。

わが国では数社のメーカーが開発しており、現在35万DWT級迄は実用に供されている。

これらは構造物の型式と、船舶の速度によって限界があるので、今後更に吸収特性のよい防舷材の開発が必要である。

こゝで大型タンカー、鉱石船用に使用されている大型防舷材の特性曲線の一例として図-8, 9がある。

5 船舶のけい留索とけい引力

シーバースに船が接岸した荷物の受払いをする場合、けい留期間はタンカーの場合、24時間から36時間、バラ荷の場合、一週間位である。したがってこの間ある程度の風、波に対して安全にけい留できる、けい留索を設備している。

図-8 セル型防舷材の特性曲線
(C2000H, C1600H)

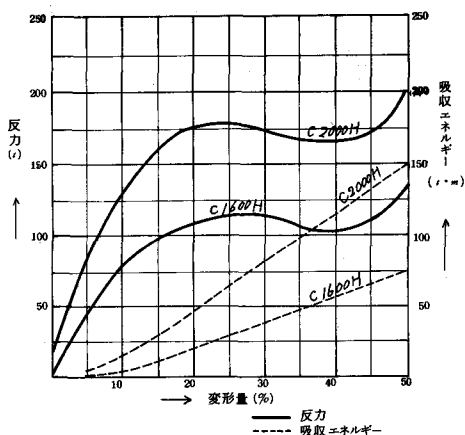
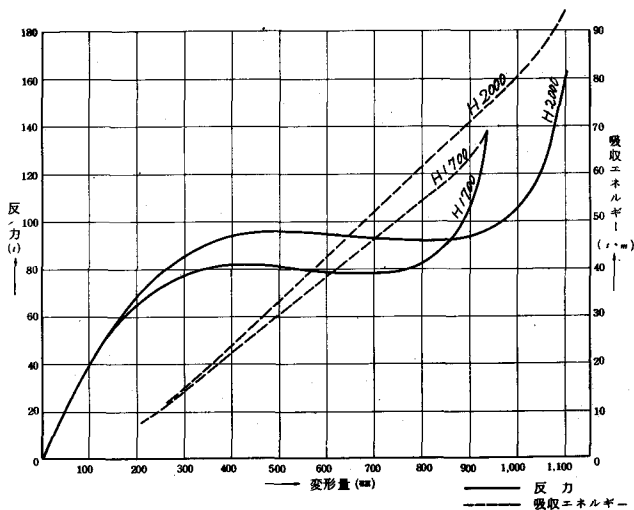


図-9 H型防舷材の特性曲線
(H2000, H1700)



大型船の諸元と装備しているけい留索は表-1, 2のようである。

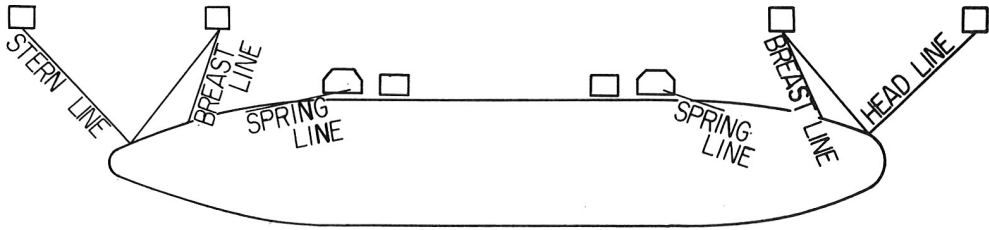
これらのけい留索は配置によってヘッドライン、プレストライン、スプリングラインと呼ばれており、それぞれの径と本数および破断力は表の通りである。港湾設計規準によると、けい留時のけい引力は10万総トン迄は定められているが、それ以上の船については規定がないようである。シーバースのように大型船をけい留する場合は実際に着船する船舶の諸元を調査して決める必要がある。

表-1 船 舶 の 諸 元

	満 載 の 場 合			バラストの場合			諸 元		
	排水屯	吃 水	干舷高	排水屯	吃 水	干舷高	全 高	長	巾
D.W.T	LT	m	m	m	m	m	m	m	m
33,000	45,000	10.33	3.38	24,700	6.10	7.61	13.71	203	27
47,000	61,000	11.38	3.82	34,200	6.55	8.65	15.20	225	30.5
700,000	87,800	14.12	3.98	47,600	7.90	11.20	19.10	238	33
900,000	120,000	14.86	5.04	60,000	8.27	11.63	19.90	255	37
150,000	182,000	16.04	7.95	100,200	9.30	14.70	24.00	306	47.5
312,000	372,000	24.10					32.00	346	53.34
500,000	590,000	24.07	8.23		14.02	18.28	32.30	396	72.2

500,000 D.W.Tは推

表一 2 船舶のけい留索と強度



		HEAD LINE	BREAST LINE	SPRING LINE	STERN LINE	合計破断力 ΣR
D.W.T 91,000	ワイヤーロープ本数	4 - ϕ 32	3 - ϕ 32	2 - ϕ 32	4 - ϕ 32	
	ホーサー本数					
	破断力 R TON	210.8	158.1	105.4	210.8	948.6
	$R/\Sigma R$	0.223	0.167	0.111	0.223	
150,000	ワイヤーロープ本数	1 - ϕ 36	3 - ϕ 36	2 - ϕ 36	1 - ϕ 36	
	ホーサー本数	3 - ϕ 70			3 - ϕ 70	
	破断力 R TON	252.5	199.5	143.6	252.5	1,191.6
	$R/\Sigma R$	0.212	0.167	0.121	0.212	
204,000	ワイヤーロープ本数	1 - ϕ 42	1 - ϕ 42・1 - ϕ 40	2 - ϕ 40	1 - ϕ 42	
	ホーサー本数	3 - ϕ 80	1 - ϕ 80		3 - ϕ 80	
	破断力 R TON	337.7	260.3	177.2	337.7	1,562.4
	$R/\Sigma R$	0.216	0.170	0.113	0.216	
350,000	ワイヤーロープ本数					
	ホーサー本数					1,920
	破断力 R TON	420	320	220	420	

350,000 D.W.T の破断力は推定である。

6 けい船柱

けい船柱の形状については港湾設計規準によって直柱、曲柱の二形式があり、前者は主としてヘッドライン・ブレストラインのように船体から比較的遠い距離のけい船柱に使用され、後者はスプリングラインに使用されることが多い。

けい船柱で考えなければならないことは、けい引力に対して十分な強度を持つことは当然であるが、さらに停泊中、風波を受けて緊急待避する場合に容易に策の取りはずしが出来るものでなくてはならない。けい引力が働いている索を人力でははずすことは不可能である。その意味では旧年ドイツで使用され現在世界各国で使用されている写真一2のようなフックを使用するのが望ましい。けい船柱の個数はけい船索の本数と同じ個数にしてなるべく複雑さを避けるようにすべきである。

写真 2 Quick Release Hook



7 設 計

シーバースの設計については、港湾設計規準に定められているので、それに従えば一応設計は可能であるが、どちらかと言えば、既存の港湾附近か、内海の場合に使用されるものではないかと思う。最近海洋開発が国の重要課題として取りあげられているが、海洋に関するデータは未だ皆無と言ってもよいのではないだろうか。

それと同じ意味で、外海における大水深のシーバースに関しては資料は無いと見てよいと思う。

こゝでは設計に必要な項目について述べて見たい。

7-1 調査項目

7-1-1 風

シーバースの方向、天端高さの決定、利用率の決定に必要である。現状では陸上の資料から類推しているが、海上風との関係については正確なものがない。

7-1-2 波

構造物の強度を決定したり、利用率を決定するのに必要であるが、波高、波向について大水深の観測はされていないのが現状である。また波力については20m以内での研究はされているが、大水深の実測例はない。

7-1-3 潮流および流水圧

外洋における潮流は実測されておらず、その都度測定する必要があるが、これは特に問題はない。また船舶および構造物に作用する流水圧については特に問題はないようである。実測の結果潮流が1ノット以上であれば、むしろ操船に支障をきたす恐れがあるので注意を要する。

7-1-4 設計外力

1) 風

構造物、船舶、ブイ等に作用する風圧力は、陸上の構造物に対するものを準用しているが、洋上の場合は陸上よりも風速がきびしいことが予想されるので設計風速はいくらにするかは慎重に決める必要がある。

さらに船にとっては、バースに対する風向によって着船が困難なこともあるので、季節風の方向と強度には注意しなければならない。

2) 波およびうねり

構造物に作用する波の静的な力は算定できるが、それだけで材料の応力を決めることはできない。実際の波は動的なものであり、さらに数秒の周期で繰返し作用するものであるから、振動する構造で鋼管杭などを使用した場合は、疲労も問題になってくる。さらに寒冷地のときは、脆性破壊も発生する恐れがある。また船やブイに作用する波力についても研究が必要である。

3) 地震力

地震力については、従来の方法で計算されているが、大水深のシーバースの場合、仲々困難ではあるが、動的解析の研究が必要である。

4) 船舶力

船舶の接岸時の力は港湾構造物設計規準によってエネルギーによって計算され、また繫留時の力は繫留索の破断強度によって求めることができる。こゝで気をつけなければならないことは、繫留時に風、波浪によって船体が動揺し、構造物に影響を与えることが、その際の力については不明な点が多い。

8 設 計

8-1 栈橋式

杭の水平抵抗, 群杭作用などについては解決されていると考えてよいであろうが, 軟弱地盤に打込まれた大口径鋼管杭の支持力については, 先端閉塞効果について疑問があり, できれば先端を閉塞したい。閉塞ができなければ載荷試験をして支持力を確認する必要がある。

外力が与えられれば, 現在静的な扱いで応力計算をしているが, 大水深の場合は, 動水圧, 粘性抵抗を取り入れて, 動的設計を今後進める必要がある。さらに材料については, とくに鋼管杭を使用する場合は, 疲労強度, 座屈, 脆性破壊, 溶接部の応力集中など解決しなければならない点が種々あるようである。

8-2 一点繫留式

ブイ式の浮力, 構造, チェーン, アンカーの設計は静的な計算で応力をきめているが, 実際には, ブイの動揺とチェーンの張力の解析が必要である。またアンカーの把ちゆう力と地盤との関係は解決されていないと思われる。

9 実 例

ここに実例としてあげるシーバースは新日本製鉄株式会社大分製鉄所の原料荷揚用シーバースで, 延長620M, 巾45M, 水深平均)(-30Mで6萬重量トンから25萬重量トン迄の鉱石船が3隻同時に接岸することが可能であり, 規模において世界最大級のものである。

9-1 設計条件

構造物の天端高さとお水深

天端高 $OP + 7.5 M$ OP 大分港工事基準面

水 深 $OP - 2.5 M \sim -3.3 M$

気象条件

風

設計風速 $6.0 M/sec$

作業時風速 $2.0 M/sec$

潮位

$H \cdot H \cdot W \cdot L$ $OP + 3.483 M$

$H \cdot W \cdot L$ $OP 2.260 M$

$L \cdot W \cdot L$ $OP 0.110 M$

波

設計波高

有義波 $H_{1/3} = 3.7 M$ $T = 7 sec$

$H_{1/10} = 4.8 M$ "

最大波 $H_{MAX} = 6.9 M$ "

温度変化

$3.0^{\circ}C$

地震震度

水 平 $K_H = 0.2$

鉛 直 $K_V = 0$

土 質

海底 $OP-30M \sim OP-35M$

$OP-35 \sim OP-65M$

$OP-65M$ 以下

沈 泥

粘 土 $C=1.0 \sim 5T/M^2$

砂 礫 $N>50$

対称船舶と接岸速度

海側バース 6万DWT $\sim$ 25万DWT 2バース

陸側バース 6万DWT $\sim$ 20万DWT 2バース

接岸速度 $v=12cm/sec$

上載荷重

アンローダー

自重 2,860TON/基

基数 3基

その他 ベルトコンベヤー 自動車

9-2 原料栈橋の設計

構造は鋼管杭が主体で図-10, 11, 12の通りである。

9-2-1 杭の反力と応力の計算

栈橋は延長620Mであるが、収縮を考慮して95Mを1ブロックとして伸縮継手を設けた。アンローダー杭はアンローダーの荷重を支持し、中間杭はベルトコンベヤーおよび車道荷重を支持し、中央斜杭は地震力、波力、接岸時の船舶の衝撃力などの水平力に抵抗するようになっている。構造解析は電算を用いて立体および平面について行った。

詳細については省略するが、それぞれの杭の反力と応力は次のようになる。

	杭 仕 様	反力 (TON)	応力(Kg/cm^2)	備 考
アンローダー杭	$\phi 1500mm$ $t=15mm$	413	750	常 時
中 間 杭	$\phi 1016mm$ $t=12.7mm$	109	380	常 時
中 央 斜 杭	$\phi 1200mm$ $t=18mm$	592	1,270	地震時

9-2-2 杭の支持力

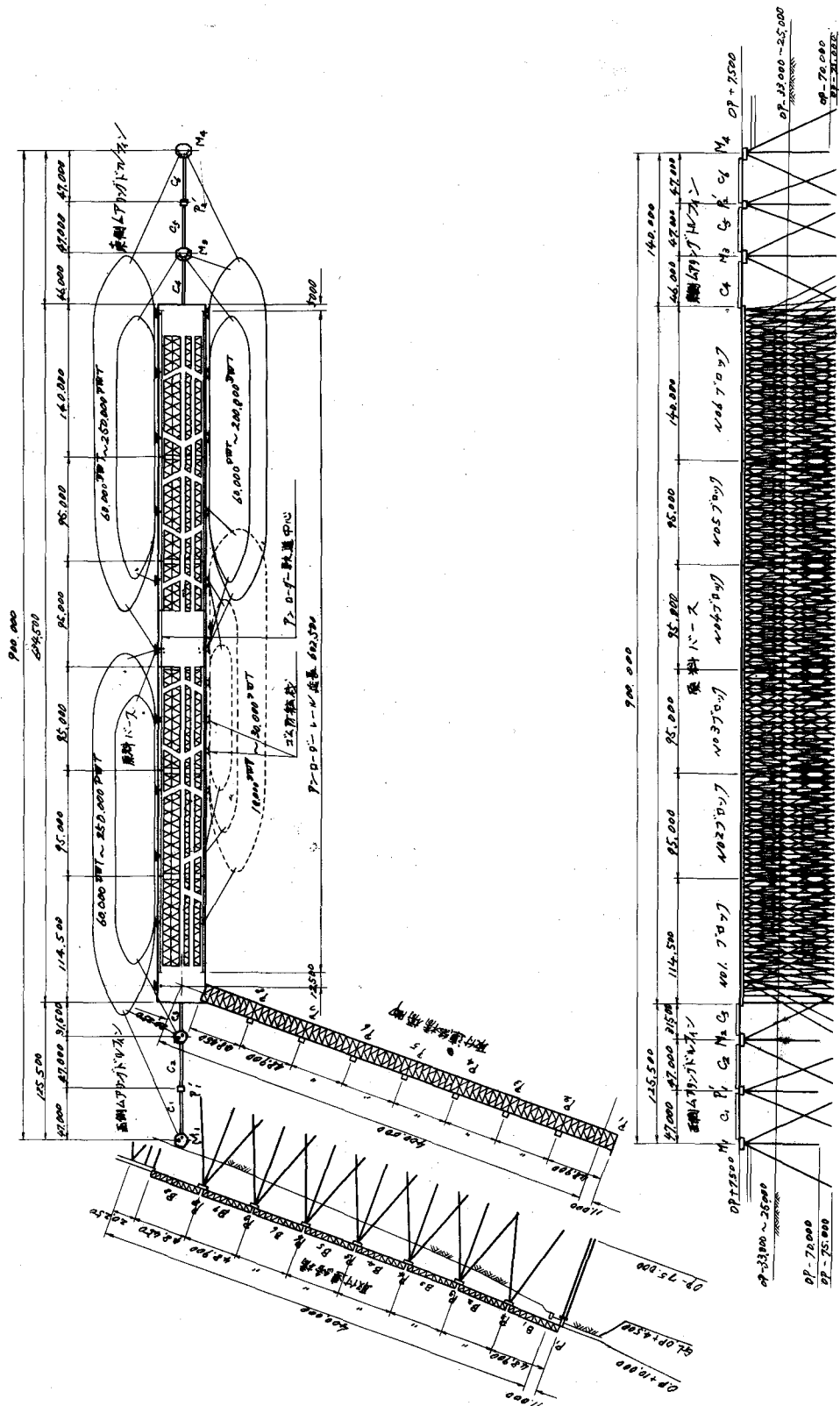
杭が打込まれる地層は上部5mは沈泥で、それ以下に30M厚さの粘着力が平均3TON/M²の粘土層があり、OP-65M以下はN値50以上の砂礫層があり、杭はこの砂礫層に10M打込んだ。支持力をもとめる公式は種々発表されているが、ここではメイヤーホッフの式で算出したがその結果は次表のようである。

	径 (mm)	R_f (t)	R_p (t)	R_u (t)	許容支持力 $R_u/3(t)$
アンローダー杭	$\phi 1500$	420	1,280	1,700	550
中 間 杭	$\phi 1016$	280	720	1,000	350
中 央 斜 杭	$\phi 1200$	380	960	1,300	450

ただし R_u : 杭の極限支持力(t)

R_f : 杭の粘性土による極限支持力(t)

R_p : 砂層の極限支持力(t)



[illegible][illegible]

計算でもとめられた数値は以上のものであるが、これをそのまま採用してよいかどうかは、先端開放の大口径杭においては大きな問題であり、工事を安全に遂行するためには、載荷試験をする必要がある。そこで水深 30 m の洋上で $\phi 1500\text{ mm}$ の杭を 7.5 m 迄打込んで載荷試験を実施したが、その結果、 1200 TON 以上の降伏荷重が確認された。これらの状況から $\phi 1500\text{ mm}$ の杭の許容支持力を 450 TON とした。

9-2-3 防舷材

前述のように防舷材は船舶を安全に接岸させるために、反力を出来るだけ小さくし、しかも広い面積に分散させる必要がある。

1) 船の有効接岸エネルギー

船の有効接岸エネルギーは $L/4$ 点(L =船長)とし港湾設計規準に示された式で計算するとつぎようになる。

$$E = \frac{M v^2}{4g}$$

E : 船の有効接岸エネルギー (t-m)

g : 重力の加速度 (m/sec^2)

M : 船の仮想重量 (t) $M = M_1 + M_2$

v : 接岸速度 (m/sec)

M_1 : 船の排水量 (t)

M_2 : 附加重量 (t) $= \frac{1}{4} \pi D^2 L w$

D : 船の吃水 (m)

L : 船長

w : 海水の単位重量 t/m^3

とすると

$$v = 0.12\text{ m/sec} \quad L = 34.6\text{ m} \quad D = 3.2\text{ m}$$

$$M_1 = 372,000\text{ t} \quad M_2 = 162,500\text{ t}$$

とすると

$$E = \frac{534,500 \times 0.12^2}{4 \times 9.8} = 197\text{ t-m}$$

2) 防舷材の性能

防舷材は図-13のような型を使用した。これはどれを使用しても大同小異である。この防舷材の性能はモデルテストで確認し、変形量 60% 以下で $E = 197\text{ t-m}$ で反力 $R = 325\text{ TON}$ であった。

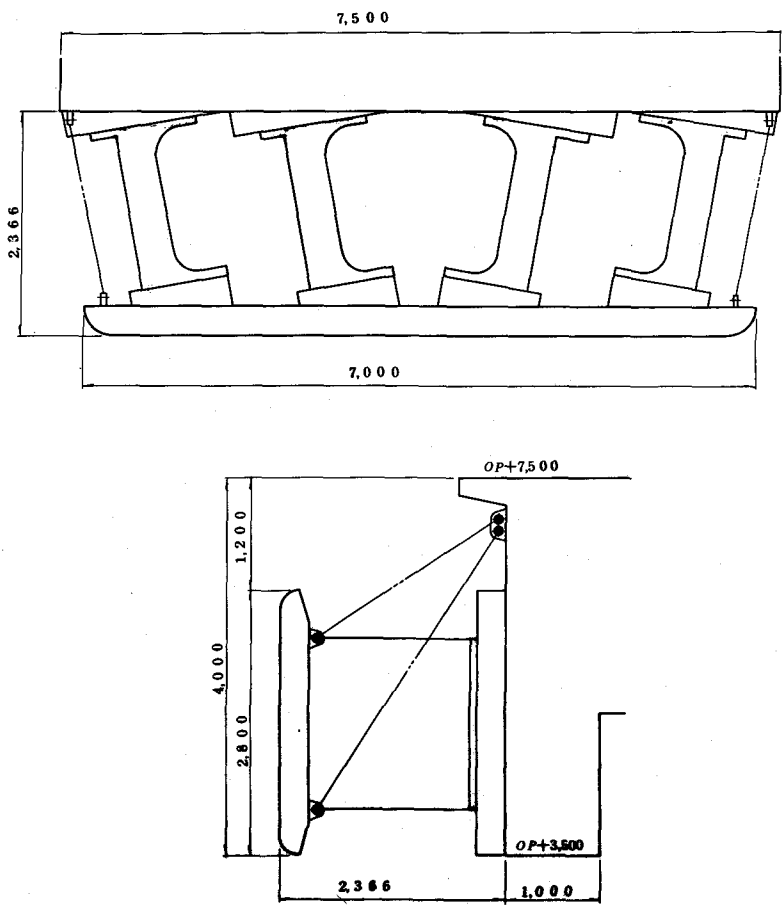
防舷材前面のプロテクターの面圧

前述のように船の外板に作用する圧力を 20 t/m^2 以下に押えることが好ましいので、防舷材の前面に力を均一化するためのプロテクターを設けた。プロテクターの面積は巾 7.0 m 、長 2.8 m で、船体に接する面積は約 16 m^2 になり、前記の防舷材の反力 325 TON を受けるから面圧は約 20 t/m^2 になり、外板を傷める心配はない。

9-2-4 けい船柱

けい船柱は可能な範囲で船舶を安全に、けい留できるように、大型船の棧橋としては、多すぎる程のけい船柱を設けた。

图-13 防 舷 材



シーバースの施工

内 野 武 彦

シーバースの施工例は比較的少く、しかも施工機械に非常に左右されるので、どの工事にもあてはまる施工法を述べることは仲々困難である。ここでは「京葉シーバース建設工事」および「新日本製鉄大分シーバース建設工事」を中心に、調査事項および主要工事の施行法について述べる。

「シーバース (Sea Berth)」という語は、京葉シーバース建設工事の直前の昭和42年頃から使われた新造語であり、直訳すれば「海上の船舶停泊所」となり、いわゆる「バース」と区別して使っている模様である。従って、「シーバース」という語に対する定義あるいは納得のいく説明を加えた報告はない現状であるが、強いて言えば、陸上から距離の遠い海上に設置された船舶の停泊所と言えるのではないだろうか。

このように、シーバース建設工事の歴史が浅いうえ、50 mをこえる水深のシーバースともなればその施工法については未経験の分野の占める比率が大きいと言えよう。

本稿では、その数少ない経験から「京葉シーバース建設工事」および「新日鉄大分シーバース建設工事」を中心に、調査事項および本工事の主要工種の施工法について取り扱い、任者の参考の一資料としたい。

第 1 章 事 前 調 査

土木工事全般について言えることであるが、事前調査を行ない適確な判断を下さなければ、稼働率の算定ひいては工事費の見積あるいはその工法選定に重大な影響を及ぼすことは言うまでもない。特に、海上工事においてはその感が強く、現時点において利用可能の実測値を極力収集し精度の高い解析が必要とされる。とりわけ気象・海象条件の把握には万全を期し、人員ならびに構築物の安全を確保しなければならない。

以下、調査事項について説明する。

I 気象・海象調査

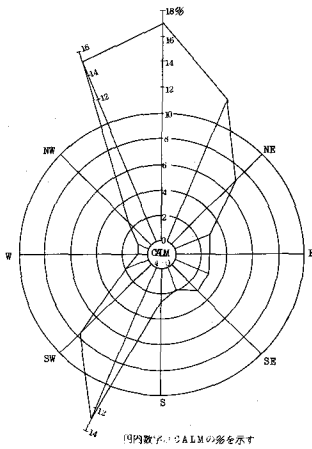
一般に気象といわれる項目は、風・雨・雪・温度・湿度 *etc* であるが、経験からいって、雨・雪・温度等は、豪雨・多雪・酷暑・厳寒地域で特に問題となる以外は、一般には風が工事に及ぼす影響が大きい。

I-1 風

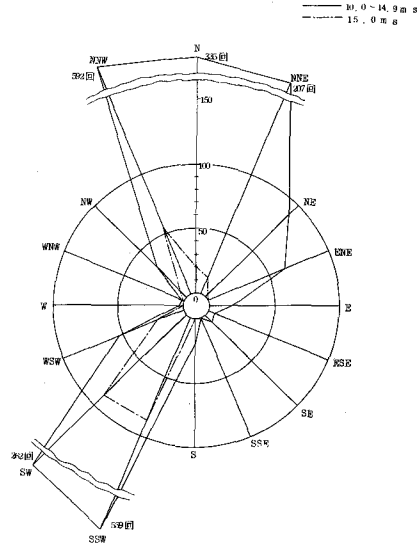
風の基本的要素は風向と風速であるが、周知のように風向は風信計、風速はロビンソン風速計で観測される。これから得られたデータをもとにして図-1のような風向別風配図（全体、四季別、月別）、あるいは図-2のような風速別風向頻度図（全年、四季別、月別）を作成し、稼働率算定の参考あるいは施工能率の判断にあてる。

この施工能率の判断と風速の数値との関連性については、海上において風速10 m/sec（陸上風の場合、強風といわれ樹幹が揺れ動く現象を伴う。）以上は作業能率悪、さらに15 m/sec以上は作業不可能としている場合が多い。富士鉄室蘭19バース工事では8 m/sec以上、鹿島石油20万トンバース工事では10 m/sec以上を作業不可能としたが、このような考え方の違い

図一 1 風向別風配置
全年 (昭 43. 8 ~ 45. 4)



図一 2 風速別風向出現回数 K S B
全年 (昭 43 年 ~ 45 年)



は、その地域での作業船船長の判断から生じたものであろうが経験的にだいたい 10 m/sec というのが妥当な線ではないかと思われる。但し、現在までのような浅海波領域におけるシーベース工事では、気象とくに風は天気図や陸地資料から推定していたため真に海上の気象とは異なる場合が多い。従って、沖合の水深 50 m 地点での風向、風速の定常観測が強く要望され、従来のような精度不十分な推定は避けたいものである。最近、外国ではこの定常観測法として洋上ブイ観測法が開発されているが、国内でも港湾技術研究所において観測ブイを開発していると聞く。今後の浅海波および深海波領域に有効な観測法の実用化に期待する次第である。

I - 2 波

波はその発生から大別して「風波」と「うねり」に別けられるが、その他にこれらの波が海岸に接近して生ずる「いそ波」「巻き波」「くずれ波」などがある。

うねりは波の周期が大きく、エネルギー大であり、かつ減衰も大変遅いのが特徴である。施工の際にはうねりが大きな影響を及ぼすことが多い。うねりの推算法については各種あるが、天気図の精度やうねりの伝播機構が明確でないためその値を概略値として用いているが、今後、細部の研究が必要であろう。

波の基本的用語としては波高、波長、周期、波速、風向がある。波高あるいは周期の観測については、現行では、

- (1) 沖合海上に目盛をつけた杵を設置して陸上よりトランシット等で測定する。
- (2) 2 台の同型写真機を基線上に一定距離へだてて同じ高さから同時に撮影する実体写真方式。
- (3) 波高計を用いる。
- (4) 実験式を用いて風から波高を推定する。

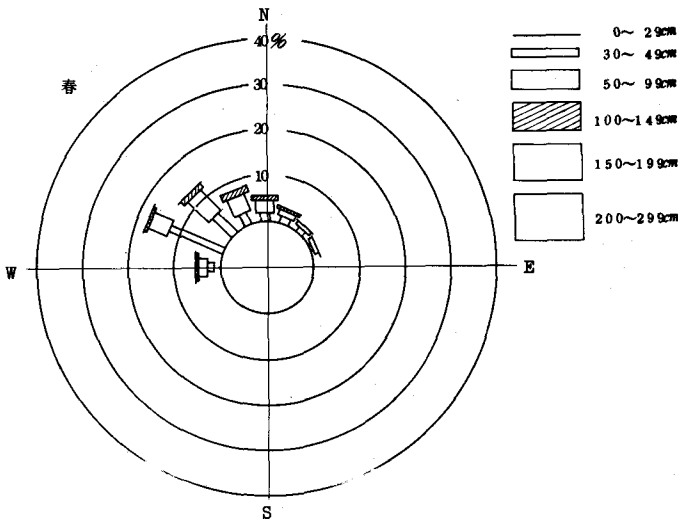
等があるが、水深 50 m 地点での定常観測法はなく、わずかに石油掘削船等で波浪観測を行なっ

ているにすぎない。このような現状に対し港研式観測法の開発で定常観測が可能となるという見方もあるが、この場合、立ち上り式作業台を設置する必要が生じ、非常に高価な観測となり必要性和経済性との兼ね合いがむずかしい。

波向観測については、ミリ波レーダーによる観測例があるが、実用にどの程度供し得るかは検討の余地があり、大水深用波高計の開発が望まれる。

現在までのシーバース工事では、拙ない観測によるデータをもとにして表－１のような「波高出現頻度（年間，季節別，月別）」や図－３の「波向別波高出現頻度（年間季節別，月別）」として施工可否の判断の一資料としてきた。波高と施工

図－３ 四季別波高別波高出現頻度



表－１ 年間波高出現頻度（推算値）

昭和４３年～４５年

地点：KSB

波 高(m) 四季	冬		春			夏			秋			冬	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
0 ~ 0.4 9	76.4	69.7	69.0	52.6	60.5	62.4	64.5	75.6	78.1	68.6	82.5	76.8	69.7
0.5 0 ~ 0.9 9	16.4	21.1	18.7	22.7	26.0	21.1	23.6	16.8	19.2	25.3	12.1	14.4	19.8
1.0 0 ~ 1.4 9	5.4	6.1	8.8	16.1	8.4	8.4	6.2	3.4	1.7	5.5	3.4	4.7	6.5
1.5 0 ~ 1.9 9	1.5	2.0	2.0	5.6	2.3	5.9	3.3	2.2	0.9	0.6	0.6	1.5	2.4
2.0 0 以 上	0.4	1.2	1.6	2.3	2.8	2.1	2.5	2.0	0.2	0.2	1.5	3.1	1.7
測 得 率	97.2	91.5	87.3	97.3	86.7	98.8	97.6	100.0	99.8	100.0	100.0	98.0	96.2

可否の判断との関係については、地域によって多少の変化が見られる。たとえば東京湾における京葉シーバース工事では、杭打ち船による鋼管杭打ちは大体 0.5 m ～ 0.7 m の波高が作業限度であり、クレーン船による鋼材の加工取付けやガット船による中詰砂の施工は 0.5 m ～ 0.6 m 程度であった。一方デロングバージによる鋼管杭打作業はこみ入った場所でない限り 1.2 m ～ 1.5 m でも可能であったが、鋼管杭の曳航運搬並びにバージ上への取り上げ作業等は 0.8 m 程度になると非常に危険であった。参考までに、鹿島港では、海工事に対して表－２のような基準をとっている。

おおよそ海工事全般をシーバース工事にふり替えて考えた場合、やむを得ない事情がない限り安全を重視して波高 0.5 m 以上の作業能率悪とするのが妥当ではないかと思われる。現に、大分シーバース工事でも 0.5 m 以上を船舶作業不可能として扱った。

表一 2 作 業 規 準

風 波 の 場 合		う ね り の 場 合	
波 高	作 業 可 能 な 工 種	波 高	作 業 可 能 な 工 種
0.5以下	根固方塊据付（フローティングクレーン使用の場合）鋼管杭打上	0.4以下	根固方塊据付（フローティングクレーン使用の場合）鋼管杭打
0.7 "	ポンプ船浚渫，グラブ船浚渫，帆布ビニールマット敷設	0.5 "	ポンプ船浚渫，グラブ船浚渫，帆布敷設
1.0 "	函塊中詰中，ミキサー船によるコンクリート打設工	0.7 "	ミキサー船によるコンクリート打設，ビニールマット敷設
1.1 "	函塊据付，捨石各種均し	0.9 "	函塊据付，捨石各種均し，中詰砂入れ工
1.3 "	割石捨込み，捨方塊捨込み	1.1 "	割石捨込み，捨方塊捨込
1.4以上	作業できない事はないが危険大な為作業見合せ	1.2以上	作業できない事はないが危険大なため作業見合せ率多い

なお波力については，20 m以浅での研究が行なわれている段階であり，50 mを対象とした場合には実測例がなく解明すべき点も多い上，構造物の施工条件，安定性等，問題が非常に大きく，現地観測を含めて総合的な解析が必要である。これは津波の観測についても同様に言えることである。

1-3 潮 汐

潮の干満時刻，干満差並びに潮汐によって生じる潮流あるいは海流などとシーバースの施工位置関係，あるいは施工面のレベル等を熟知しておき，作業船舶の回航等に及ぼす影響を最小限にいく止める必要がある。船舶並びにシーバースに作用する流れの測定はかなり行なわれており，特に問題は無いと思われる。

最後に京葉シーバース工事における気象・海象観測の状況を紹介したい。京葉シーバース工事では，数少ない観測データから推定したため，予測の確認を追求する目的で，専門家を現場内に常駐させ，現場内における波高の目視観測，作業所における気象観測を行なうとともに，船舶に対する気象通報（無線で3時間毎に行なわれている。）を傍受して天気図を作成し，作業実施あるいは中止の決断を下した。これらは，台風時あるいは濃霧時における作業員の生命並びに船舶の安全を守る上で充分役に立ったと確信している。

II 土 質 調 査

海底地盤の調査には，通常，ボーリングが行なわれる。ボーリング方式にはロータリー方式，パークッション式，ジェット式があり，それぞれに特徴を備えているが，問題は不攪乱試料が採取できるかという点にある。不攪乱試料の採取方法は，ボーリング施工技術の進歩に伴うほど，研究が進んでおらず，攪乱試料による不攪乱強度補正法の研究へと変化している感がある。一般に，施工の前には，できるだけ熟練者を有する専門の調査会社に委託することが望ましい。

最近では，大水深ボーリングに要する手間と費用を減少することを主目的として，物理探査を併用させボーリング数をできるだけ少なくする傾向が活発になってきている。物理探査による調査は，音響測深器（Echosounder）を利用した海底地形の判読が最もよく知られているが，最近では，これを更に改良して音源の強いエネルギーにより海底面下の地層構造を調査する方法がある。これは音源の相違により，水中放電を音源とするスパーク（Sparker）と，磁歪（じわい）振動によるソノプローブ（Sonoprobe）などである。但し，これらは海底面下の地層の境層および硬度などは

判別できるが、いかなる土質であるかは判定できないという不利がある。しかし、高価なボーリング数を大巾に減らして数少ないボーリングから得られた土質と照合して精度の高い土質を把握できるという利点がある。

II 深浅測量

最も簡単な測深方法は測量用の鉛錘（レッド，Lead）を付けたロープによる実測である。この方法は小範囲でかつ浅海での測量や構造物築造のための所定位置の正確な測深には効果的である。一方、大水深では通常、音響測深が行なわれる。音響測深は前述のスーパーカーやソノプローブなどで容易に成し得る。音響測深器の原理は周知の如く、超音波を海底に向けて船上より発射し、海底に当り反射して受信されるまでの時間から水深を算出する。（超音波速度は水中では $1,500\text{m/sec}$ で空中の音速の約 4.5 倍である。）この音響測深は浅海でも適用される。レッドの場合がある地点における水深のみを示すのに対して、音響測深では、船があらかじめ平面上で定められた方向に等速度で測線上を走行するので水深が連続する線となって現われる。この測線間隔は必要な測深面積により多少異なるが、 50m 位であっても充分な場合がある。但し、音響測深では水深が大になると温度変化（密度変化）による誤差の調整、音波ビームの拡散などが今後の課題として残されており、検討が必要であろう。

かくして得られた水深は測深時刻の潮位と対比し真の水深に調整し等深線（Counter line）で深浅図（Sunder-map）を作成する次第である。

第 2 章 杭 打 工 事

シーバース建設工事は、特別の構造型式を除いては鋼管杭打ち込みから始まるものが多い。鋼管杭は大口径長尺の重量杭が用いられ、打ち込み角度によって直杭と斜杭に分けられる。打ち込み方法は、杭打船を利用した方法が最も汎用されているが、創意工夫によっては色々な杭打方法が考えられる。本章では、杭打船による方式、作業台船による方式、ガーダによる方式、 2000t クレーン船による方式の概略の施工法について扱いたい。

I 杭打船による方式

杭打船は周知の如く鋼製の箱形台船上の前方に高い櫓を装置して、これに杭打機が自由に昇降できるガイドを設けたもので、海上における杭打工事には最も実績がある。櫓の形式には旋回式、直動式、斜動式、起重機式等があり、それぞれの杭状に合わせたものが必要とされる。本編では一例として新日鉄大分シーバース工事におけるムアリングドルフィン斜杭の船打工法について紹介したい。

1) 杭打船および機械設備

表-3、表-4 に示す通りである。

表-3 杭打船および機械装備

名 称	組合せ機械および船舶	型 式 ・ 仕 様	数 量	用 途	備 考
寄 附 号	ポータブルコンプレッサ エアハンマ ウインチ	350吊 300HP	1	ハンマ用 主巻 ハンマ吊上用 リーダー調節 鋼管吊込用 呼込用 アンカー用 予 備 曳 船	3 艀前後煩
		115KW	5		
		メンクMRB 1500	1		
		300巻	1		
		7 "	1		
		5 "	2		
		5 "	2		
		5 "	2		
		5 "	4		
		10 "	2		
		5 "	2		
		5 "	1		
		600HP	1		
	住 勢 丸				

表-4 その他主要機械

名 称	数 量	用 途
陸 上 部		
運搬ロコ 8 t	1	鋼管運搬
台車 (ボギー車)	2	"
ウインチ	3	台車積込用
"	2	鋼管海中落込
海 上 部		
クレーン 355	1	上杭積込用
台船 (200~300 t)	1	導材運搬
曳船 (150 HP ~ 250 HP)	1	"
連絡用船 20 HP ~ 15 HP	3	下杭盲蓋切断
"	5	導材・仮結合取付

2) 杭の打ち込み

斜杭打ち込みはすべて前傾打とした。但し、直杭打の際には、4点アンカーで施工する。導材は工場製作とし取付けは杭打船で行なった。

表-5 ムアリングドルフィン鋼管杭仕様

No	長さ(ℓ)	直径(φ)	摘 要
1	75,000	1,500	0°
2	89,000	1,200	25° t=16
3	"	"	25° "
4	89,000	"	25° "
5	89,000	"	25° "
6	75,000	1,016	0° t=12.7
7	89,000	1,200	25° t=16
8	"	"	" "
9	"	"	" "
10	"	"	" "
11	76,500	1,016	0° t=12.7
12	87,000	1,016	20° "
13	"	"	" "
14	"	"	" "
15	"	"	" "

図-4 杭 打 船 配 置

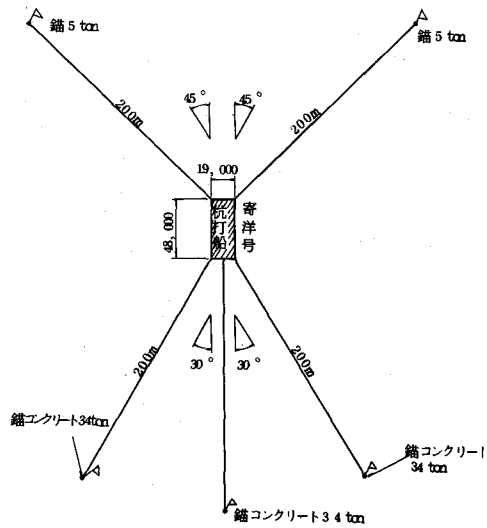
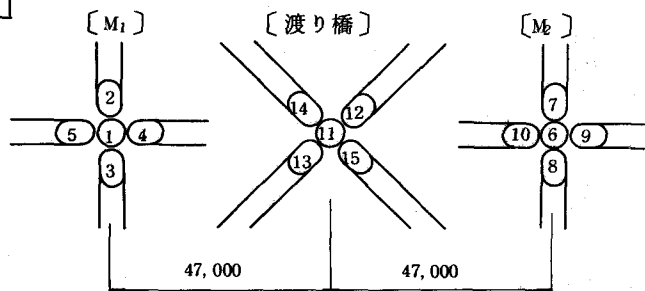


図-5 ムアリングドルフィン杭打込順序

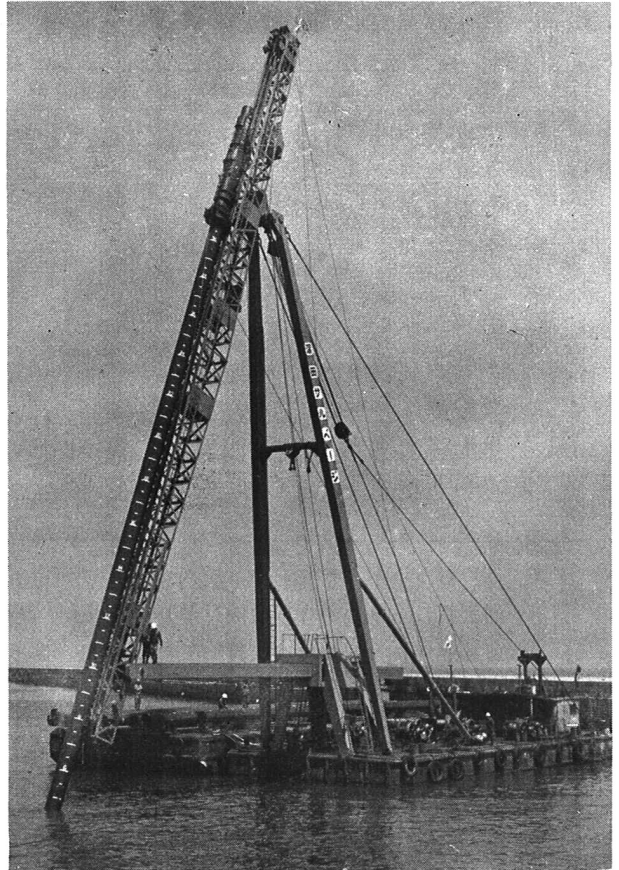


Ⅱ 自揚式作業台船による方式

京葉シーバースのような構造型式に対して当初考えられた施工法は杭打船とデロング作業台船の二通りであった。デロングバーヂはいうまでもなく米国デロング社が開発し、また特許による独占市場を有しているため工費が高つくこと、国内では実績が少ないという難点があったが、杭打船と比較した場合、表－６に示すように大口径長尺の重量杭を東京湾のようなきびしい自然条件の中で正確に速く打ち込むためには、デロングバーヂ以外の工法では施工不可能であると判断し、デロングバーヂの全面的な採用にふみきった。

1) 構 造

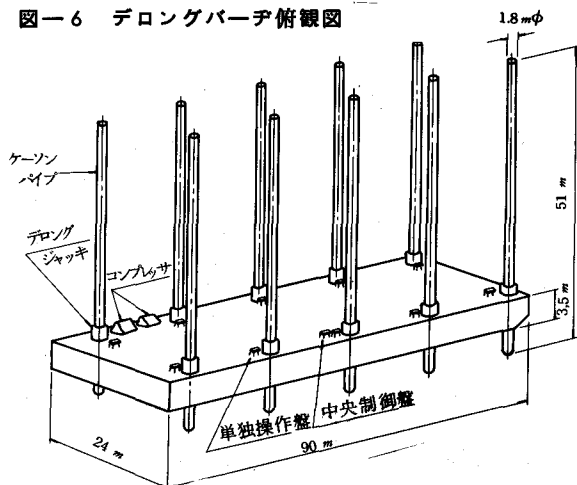
デロングバーヂの構造は図－６にみるように台船、脚柱（ケーソンパイプ）デロングジャッキ、ジャッキ制御器、エアコンプレッサーに分けられる。これらの仕様については、表－７、表－８、表－９、表－１０に示す。



表－６ 杭打ち船とデロングバーヂとの比較検討

条 件	(1) 杭 打 ち 船 (調達可能機種について)	(2) デロングバーヂ (現在使用中の機種について)	どちらが 有 利 か
総合			
1 工事への信頼性	不安	信頼できそうだ	2
自然条件			
2 波浪に対する作業限度	波高 1.0 ～ 0.7 m	波高 1.0 ～ 1.5 m	2
3 風	5 ～ 7 m/sec	10 ～ 15 m/sec	2
4 潮汐、潮流、水深に対して	影響受ける、水深に不利	ほとんど影響受けず	2
5 地質	影響受けず	影響受ける	1
性能			
6 つり上げ性能φ 1,500 杭 42t に対し	大改造を要する	塔載クレンで OK	2
7 つり上げた杭の振り回し	多少きく	(1)より有利	2
8 杭の打込み精度	船の揺れと杭の揺れの影響あり	杭の揺れの影響のみ	2
9 斜杭の打込み装置 (30°)	かなり困難	(1)より明らか	2
作業性			
10 避難の必要限界	波高 1.0m 以上、風 10m/sec 以上	波高 5.0m 以上、風 50m/sec 以上	2
11 作業能率 (気象条件を無視)	良い	(1)より劣る	1
12 塔載機械の制限	かなり制約受ける	(1)より有利	2
13 杭位置設定の測量	杭を視準する	座標を読んでやぐらをセットする	2
14 アンカーの錨定性	波浪、潮汐、地質等により限度あり	(1)より大幅に有利	2
工費			
15 工費	標準とすれば	(1)より高い	1
16 作業人員	5 ～ 7 人	15 ～ 20 人	1
諸準備その他			
17 調達の難易	比較的容易	むずかしい	1
18 使用に対する諸準備	必要	大いに必要	1
19 付属装置	余りない	沢山ある	1
20 機械に対する知識	ある程度普及している	ほとんど知られていない	1

図一六 デロングバーチ俯観図



表一七 500tデロングジャッキ仕様諸元

形状寸法	外径3,000mm内径1,830mm高さ3,000mm
シリンダー径	300mm
ストローク	300mm
シリンダー数	10本 揚重用 (耐力100t/本)
"	2本 引込用
グリップバー	内径1,830mm外径2,300mm ゴムバンド6本 上下2段式
使用空気圧	max 27kg/cm ² min 12kg/cm ²
重量	10t

表一七 台船仕様諸元

(三井造船製作)

寸法	巾	24m
	長さ	90m
	深さ	3.5m
吃水深さ	空船時	0.75m
	機装後	1.15m
重量		1,140t

表一八 ケーソン仕様

ケーソン外 径	1,800mm
" 長さ×本数	51m×9本 45m×1本
" 板 厚	38mm
" 重 量	91t (51m) 75t (45m)

表一八 エアーコンプレッサー仕様諸元

呼 称	"S chramm" (ペンシルバニア)
空 気 量	12m ³ /min (425cfm) 7kg/cm ² (100psi)
常 用 圧 力	21kg/cm ² (max 350lbs /in ² min 280lbs /in ²)
ディゼルエンジン	GM-8VA 37953型
馬 力	400ps/1600r.p.m.
レシーバタンク	φ800mm×4,000mm (高圧用)

図一七 デロングジャッキ作動図

デロングバーチの特許は、デロング式ニューマチックジャッキの構造にあり、グリップバーと称する上下2ヶ所のゴムパッキンとそれを連結するホイストシリンダーから成っており図一七の要領で昇降する。

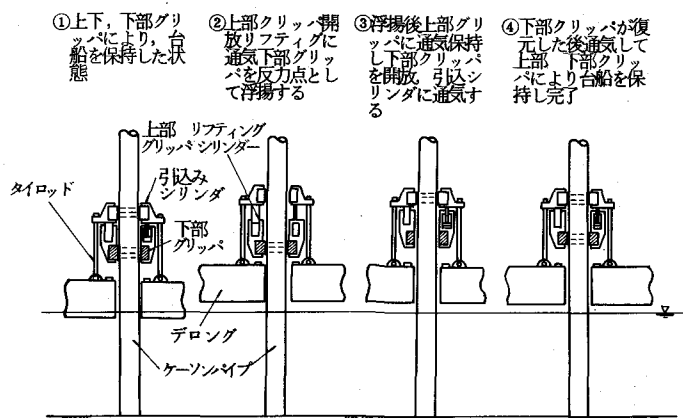
次にデロングバーチの構造に起因する問題点について述べてみよう。

イ) バーチ全装備重量とジャッキアップ能力の関係

4 偶にあるケーソン4本あわせての最大揚重能力1,530tに対して、荷重配置を考え、当初機装した総重量を大巾に上回るものを搭載しないこと。

ロ) ケーソンとバーチウェルとの間のフリクション

ケーソンウェルとケーソンとの間のクリアランスは $\frac{1}{2}$ " であるため、ケーソンを落とし込む



際、潮流、風力等の横力が働いたり、海底地盤が不均一であったりすると、ケーソンは海底に斜めに貫入し、バーヂをジャッキアップするにつれ、ケーソンがウェルの上下の角に接触し、フリクションが生ずる。このため、ジャッキアップ能力が著しく落ちることがある。実際の施工の場合、4 偶のアンカーワイヤーをきっちり張って船の動揺を押えて、ケーソンパイプをドロップする方法をとったが、稼働率を下げる一因となったことは否定できない。

ハ) グリッパーのグリップ力

グリッパーの吊り下げ能力はグリッパーの締め付け力はもちろんケーソン表面とグリッパーの間の摩擦抵抗力が大いに関係する。従って、バーヂがスリップダウンするような事故の起きないように降雨、降雪、結氷、降霜等摩擦抵抗を減少させるような状況下での移動は好ましくない。

ニ) グリッパーの消耗

グリッパーのラバーパッキンの断面（推定）は図-8 に示す通り、ケーソンに接触する部分と裏面のチューブ部分から成っている。接触面の損耗は、ケーソンの表面に極端な凹凸がなければ問題はないが、ジャッキ操作時に船体に波力等の横力がかかり、ケーソンとバーヂの間のずれを生ずるとエアバルブの付け根附近が裂けてチューブがパンクする事故が起きる。

ホ) ケーソンの先端の支持力

ケーソン長の標準は 175 ft とされているが、仮に海底地盤が予想より軟弱であった場合、

当然ケーソンの余裕長

が短くなる。このた

め、ケーソンの継ぎ足

しを海上で行なう羽目

になることも生ずるの

で施工中はシリンダの

空気圧力計によって地

盤の耐力を推定するこ

とが必要である。

以上がデロングバーヂ

の概略の構造並びに施工

時の問題点である。こ

で参考までに M 造船で開

発し、すでに実用化され

ているテーパリングとジャッキを組みあわせた方法を紹介しよう。

このジャッキはすべて油圧作動で図-9 の如き順序で上昇し、下降は逆の作動をするものである。

2) 杭打ち設備の選定と開発

デロングバーヂを足場とした杭打ち方法としては次の二つの方法が考えられる。

イ) あらかじめ杭にハンマーをチャッキングしておいて簡単なテンプレートをデロングバーヂの

図-8 ラバーパッキン断面図

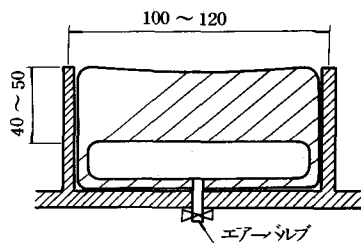
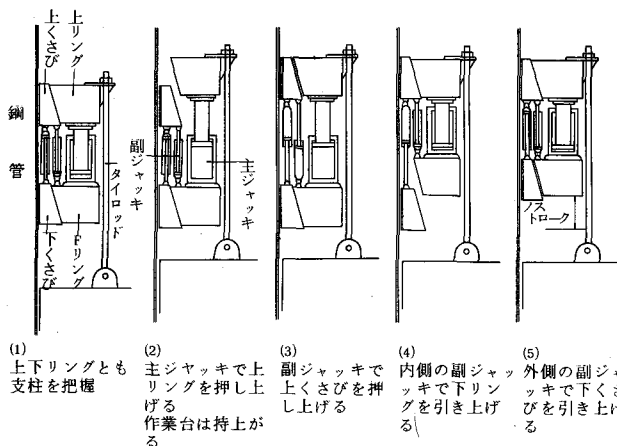


図-9 上昇作動順序図



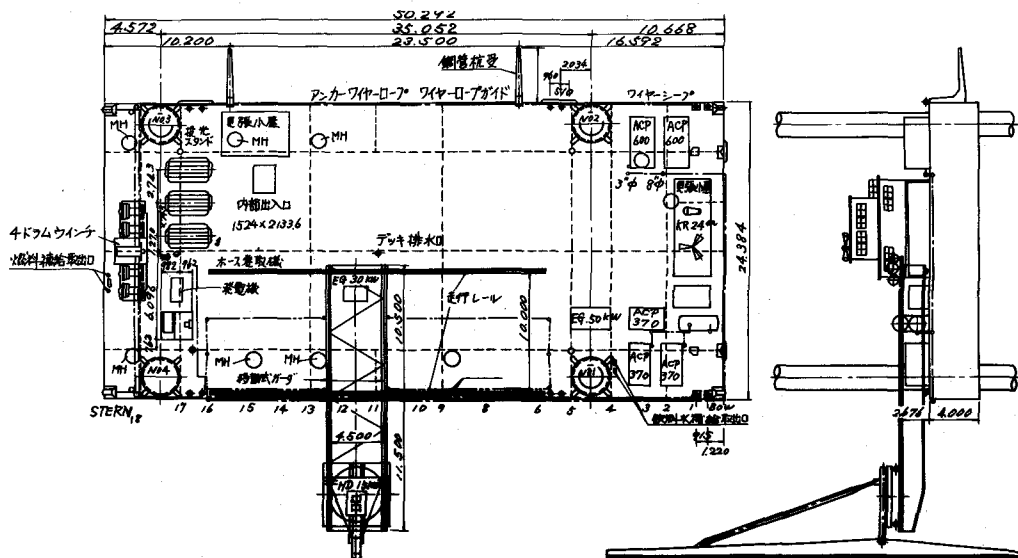
甲板から張り出し、これをガイドとして建て込み、クレーンで吊り下げながら打ち込む方法
 ロ) まず杭を建て込み、その後ハンマーをチャッキングして杭打槽にガイドさせ打ち込む方法
 この両者を比較した場合、前者にはクレーン能力や作業性に問題があるので後者の方法を採用した。

またデロングバーズの移動には多くの労力と時間を必要とするので、最小の移動回数で押えることが進捗上有利であることはいうまでもない。そのため一回の据付け位置でなるべく多くの杭を打つことができるように考案された設備が移動式ガーダーであり、杭打槽である。

2-1) 移動式ガーダ・杭打槽

移動式ガーダは図-10に示すようにバーズの舷側より11.5m突き出しており4組の車輪を有するプレートガーダである。この4組の車輪はバーズ本体に溶接された4条の50Kgレールの上を横行移動でき、杭打ち作業中は車輪上めにより固定される。

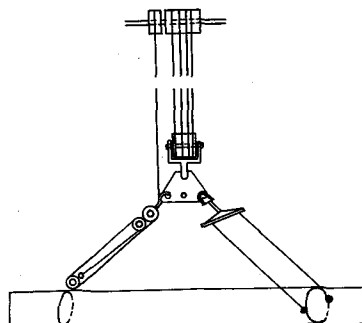
図-10 移動式ガーダ、杭打槽及び機械配置図



また、杭打槽の仕様は次の通りである。

- (1) ガーダ上を自走する構造とした。
- (2) 360°全旋回可能とした。
- (3) リーダーは-5°~+35°まで傾斜できる構造とした。
- (4) ガーダより下に長大な下部リーダーを設け、このリーダーはバーズ上に格納できるよう上部リーダーとの結合をピンジョイントの構造とした。
- (5) リーダーの頂部はハンマーの着脱容易な構造とした。
- (6) ガーダ並びに槽はバランスウェイトを用いず各々走行レールにクランプされる構造とした。
- (7) 斜杭打ちの場合に、リーダーの中間部からハンマーが容易に取りはずせる構造とした。
- (8) リーダーには3段に鋼管抱き込み金具が取り付けられ、杭を建て込んだ後、正確な位

図-11 杭つり込要領図



置を保つようにした。

2-2) 杭受け台

杭打ちの足場は安全となっても海上が時化してきた場合、最初に途絶してしまう作業は杭の海上輸送である。このためバーチ附近にできるだけ多くの杭をストックする必要があるが、そのストック場所としては当然デロングバーチ上と海上繫留とが考えられる。しかし海上繫留は波浪より杭を安全に保護することが困難なのでバーチの側面長手方向にL型のハンガーを取り付け、 $\phi 1,500$ mmの杭で2本、 $\phi 600 \sim 700$ mmのパイルで4～5本ストックできるよう考案した。この装置によって浮上曳航用の盲蓋の切断、杭の建て込み時のワイヤー取りなどが非常に容易となった。

2-3) 杭の吊り込み装置

非常に長尺な重量杭はストック場においても温度変化で撓むが、吊り込み時に生ずる撓みを最小にすることがより大切である。また、水平あるいは鉛直に自由に吊ることができなければならない。更に台付けロープは水中でも容易に取りはずしできるものが望ましい。このような観点から図-11に示すような吊り金物を考案した。

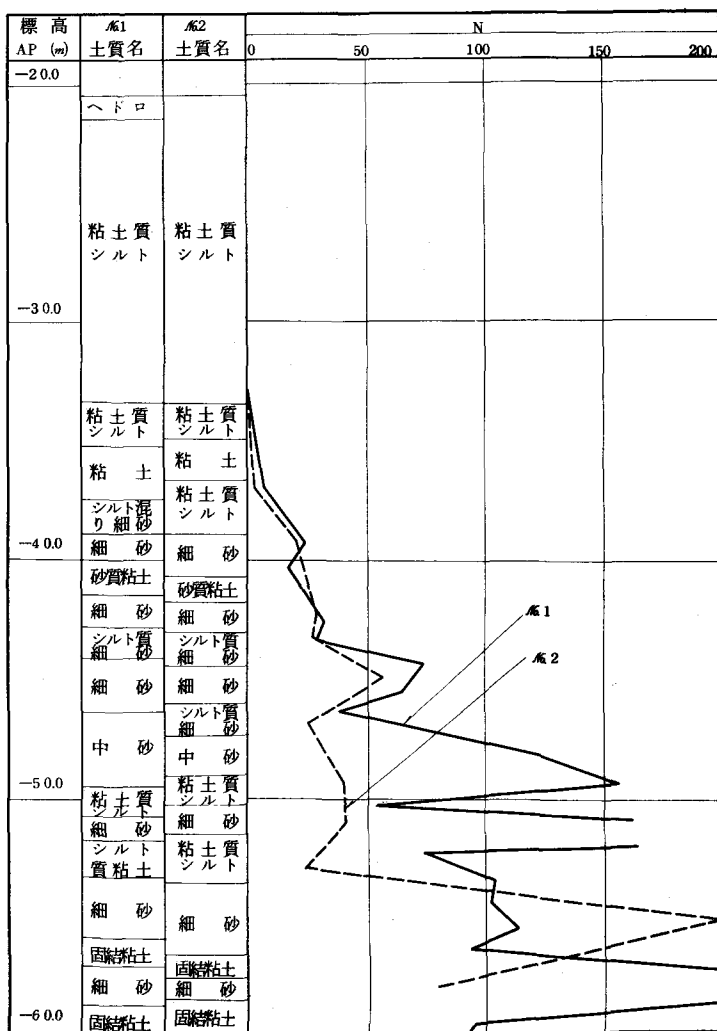
杭の吊り込み要領はクレーンの主巻きのフックで中央の梯子形の金物を吊り、図の右方の2本のワイヤーロープを杭上方の吊り点に巻きつけられた台付けロープの端部にそれぞれシャックルで取り付け、左方の滑車のフックを杭下方の吊り点の台付けロープの端部に引掛けた。この滑車を通るワイヤーロープの一端をクレーンの補助巻きロープに継いでおけば、水平に吊ることも、斜杭の所定角度に合わせて傾けることも、鉛直にすることも可能である。

2-4) 杭打機の選定

ディーゼルまたはスチームハンマーの選定にあたっては次の諸点を十分に検討する必要がある。

- (1) 所要の打撃力を有する。
- (2) 機構が簡単で故障が少ないこと。

図-12 土質柱状図



(3) 使用時期に納品されること。

京葉シーバースの場合、土質（図－12）と杭仕様（表－11）からみて $\phi 609.6$ と $\phi 711.2$ に対しては、 $MB40$ 、 $MRB500$ 、 $\phi 1,200$ 、 $\phi 1,500$ に対しては、 $MB70$ 、 $MBR1,000$ を比較した。打撃エネルギー

表－11 鋼管杭

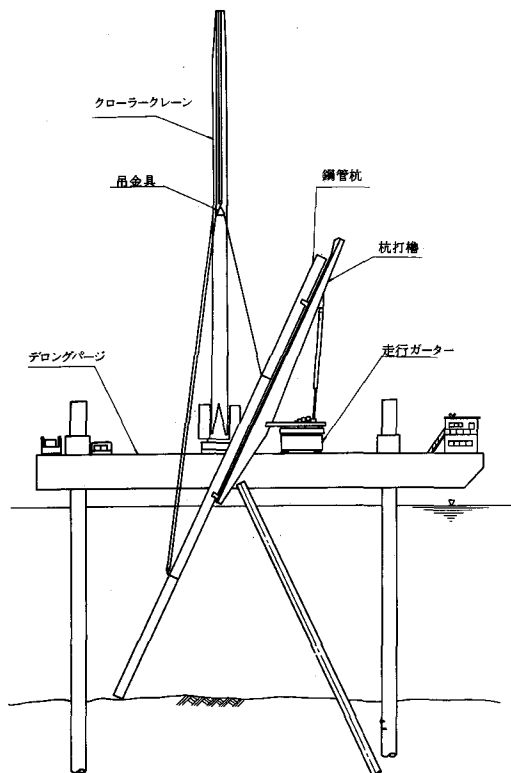
	直径 mm	肉厚 mm	長さ m	種別	本数
鋼管杭	$\phi 1,500$	16~24	56	直杭	56
〃	$\phi 1,200$	12.7	65.5	斜 25°	4
〃	〃	〃	63.4	斜 20°	2
〃	〃	〃	55.5	斜 25°	12
〃	〃	〃	53.4	斜 20°	2
〃	$\phi 711.2$	9.5	62.6	斜 30°	15
〃	〃	7.9	53.5	直杭	26
〃	$\phi 609.6$	9.5	62.5	斜 30°	9
〃	〃	〃	53.5	直杭	2
〃	〃	7.9	54.9	斜 15°	24
〃	〃	〃	50	斜 4°	20

はいずれもディゼルハンマーが大きくスチームハンマーは小さい。しかし、これはエネルギーの算定法が違うもので打撃力はスチームハンマーが大きい。またスチームハンマーはエア量によってラムのストロークを調整でき、かつ単純な機構であるため故障が少ない等の利点があるので MBR 系を採用した。

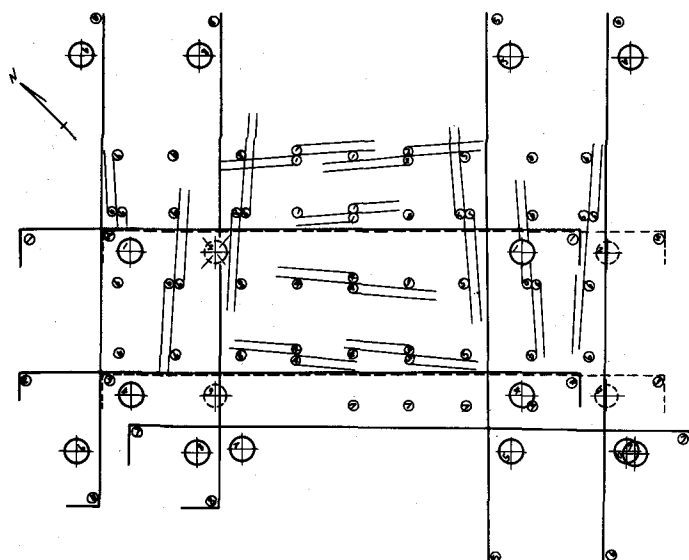
3) 機 装

デロングバーチは以上述べてきた通り、種々の機械を搭載したり、あるいは改造を加えなければならない。

図－13 杭打ち要領図（斜杭の場合）



図－14 作業床デロングバーチ据付位置図



4) デロングバーチ据付け方法

シーバースはその型式にもよるが、直杭、斜杭が入り乱れた配置になっていることが多い。特にデロングを使用する場合、移動回数を最小限にとどめることが第一条件で、かつ移動した際にはアンカーの打換を少なくすること、打ち込んだ杭に損傷を与えないことを考慮しなければならない。京葉シーバースの作業床の場合、図-13のような要領で杭を打ち込んだ。その時のデロングの据付け位置は図-14に示すように番号①～④まではデロングバーチが平面内の小移動をし、⑤、⑥は直角に向きを変えている。更に⑦、⑧はその対称の向きとなっている。

このような打ち込み方法の場合の所要時間は表-12に示すようにφ1,500直杭で約4時間半となっている。

表-12 杭打ち工程の各作業ステップと所要時間(実績)

順	区分	作業ステップ	作業内容	所要時間(分)	摘 要
1	移動	荷重配置	甲板上の移動荷重の配置	30	クレーン2台、ガーダ、やぐら、ハンマー等
2		ジャッキダウン	ケーソンの引抜き 浮上	130	75'
3		移動	アンカーを打ち替えず自力移動	30	ウインチ操作のみにより
			アンカーを打ち替える場合	(400)	移動距離、周囲の状況により大幅変化
4		据付測量	測量台2個所よりケーソンを視準	20	測量台から微移動を指示
5		ケーソン落下	上下グリップを開く	≒0	ケーソンは自由落下し海底に約35'貫入
6		ジャッキアップ	ケーソンの押込み	160	
7		ロック	ケーソン2本に自重を移す	40	ケーソンを支持層に定着する
8		レベル調整	規定高さに甲板を調整	40	測量台より高さを移す
9		測量	甲板上に座標を移し誤差測定	80	測定した誤差をもとにガーダ、やぐら位置決定
		小計		530	自力移動の場合
10		ガーダやぐらセット	与えられた目盛まで移動据付	70	クランプによりレールに固定
11	杭建込み	クレーンにより杭をやぐらにセット		60	φ609.6 φ711.2 直杭
				45	" " 斜杭
				120	φ1200 "
				120	φ1500 直杭
12	ハンマーセット	クレーンにより杭頂部にハンマー取付け		25	φ609.6 φ711.2 直杭
				25	" " 斜杭
				40	φ1200 "
				40	φ1500 直杭
13	杭打ち込み	ハンマー取はずし含む		30	φ609.6 φ711.2 直杭
				40	" " 斜杭
				20	φ1200 "
				30	φ1500 直杭
		小計		185	φ609.6 φ711.2 直杭
				180	" " 斜杭
				250	φ1200 "
				260	φ1500 直杭

Ⅲ 架台(ガーダ)による杭打ち方式

1) 杭打ち方法の選定

本年6月完成の新日鉄大分シーバースは、鉾石船の着船を対称としているため、タンカーの着船を対象とした京葉シーバースと構造形式が異なっている。もちろん構造型式の違いがデロングバーチ方式を否定する理由にはならないが、デロングが割高であること、デロングの納期と施工時期のズレおよび、大分シーバースと同一形式の新日鉄室蘭19シーバースで採用した架台方式(図-15)が非常に好調であった事等から架台方式の採用に踏みきった。

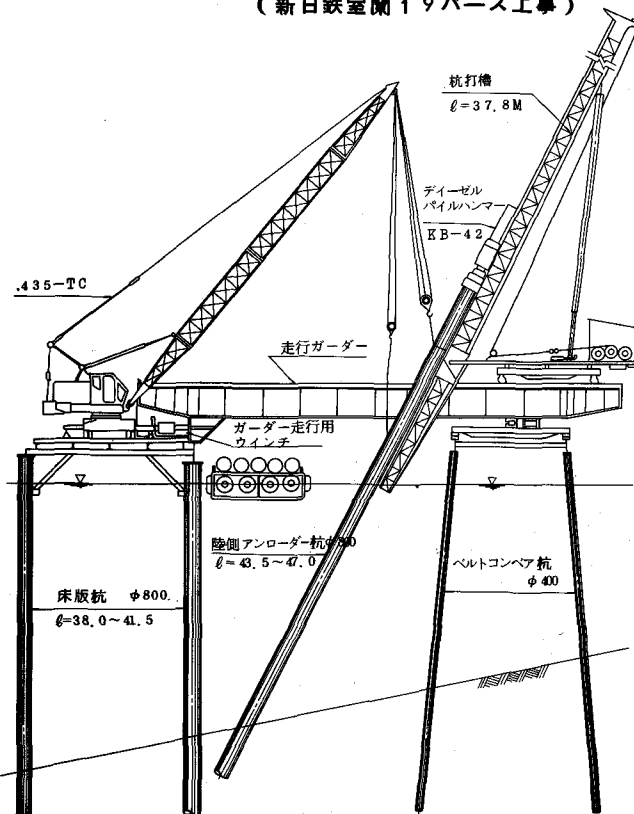
以下、大分シーバースについて述べてみる。

架台方式は、直杭は杭打ち船を用いて打ち込み、精度を要しかつ工程を左右する斜杭は、先行して打ち込んだ直杭上にガーダを渡し、ガーダ上に設置したクレーンにより杭を吊り込むという工法である。従って、この工法は、直杭が連続的に配置されたような構造のシーバースでなければ採用できないのであるが、デロングバーヂと同様に、波浪の影響を受けず杭が打ち込め、かつ移動がスムーズであるという利点を有する。

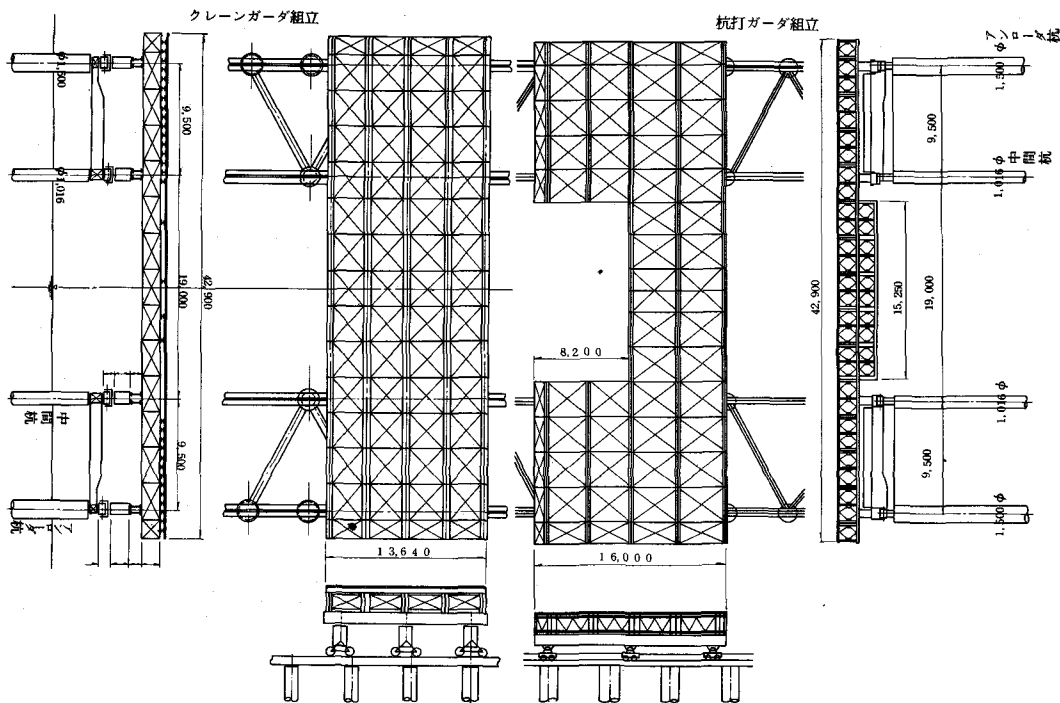
2) 施工機械の組立

施工機械は大別して台車、ガーダ、杭打槽、クレーンであるが、これらは陸上であらかじめ主要部分に分割組立としておくことが好ましい。

図一 15 ガーダ方式による杭打要領図
(新日鉄室蘭 19バース工事)



図一 16 ガーダ 組 立 図



(1) 台車組立

地盤上に枕木とH鋼の受台を設置する。この受台上に工場製作された車輪を固定し台車フレームを組み立てる。

(2) ガーダ組立要領

ガーダには杭打槽を塔載した杭打用ガーダとクレーンを載せたクレーンガーダがある。これらはいずれも地上に組まれたH鋼上で、ガーダの各パネルを組立クレーンで台車フレーム上に組み上げる。ガーダの組み立ては図-16に示す。

(3) 杭打槽組立

槽は海上運搬を考慮して下部走行台車、上部走行台車と旋回台、Aフレーム、マストの4部分に分けて組み立てる。

(4) クレーン組立

ただちに現場で使用できるような部分に分割しておくほうがよい。

3) 施工機械の運搬・架設

運搬はクレーン船を使用するが、吊り上げ荷重、揚程、水平距離等の能力は充分検討しなければならない。

杭打ガーダは1,000tクレーン船で吊り上げ鋼管直杭上に直接架設する。吊り上げの際、ガーダ本体にかかる力が最小となるように走行クレーンを補強し、吊りビースをつけ、吊平秤を用いる等の考慮が必要である。

表-13 機械の吊り上げ高さ

機 材 名	重 量 (t)	吊り上げ高さ (m)	備 考
杭 打 ガ ー ダ	490	10.0	吊り金具を含む
同 上 嵩 上 げ 部	98	12.0	
同 上 移 動 デ ッ キ	47	12.0	吊り金具を含む
ク レ ー ン ガ ー ダ	575	10.0	
杭 打 槽 (台 車)	17	13.5	
〃 (旋 回 台)	42	15.0	
〃 (A フ レ ー ム)	9	10.0	
〃 (マ ス ト)	25	10.0	
9 1 2 5 T S	100	10.0	
9 5 5 A L C	75	10.0	

表-14 起重機船能力

公称能力(t)	吊り上げ荷重 (t)	揚 程 (m)	水平距離 (m)
1000	1000	5.2	2.1
500	480	3.3	11.5
400	320	3.3	16.5
	100	4.2	2.4

クレーンはクレーンガーダ架設後、所用のクレーン船で吊り上げ組み立てる。

杭打槽はクレーン船で運搬し、ガーダ上に置き、クレーンにて架設する。

これらの順番は次の通りである。

- (1) クレーンガーダ運搬架設、
一部デッキ張り
- (2) クレーン運搬
- (3) 杭打ガーダ嵩上げおよび移動デッキ
- (4) 杭打櫓

櫓、クレーンその他機械の配置を図-17に示す。

4) 杭の運搬、取り込み

鋼管杭は、70mの下杭と22mの上杭から成り、下杭は盲蓋を海上に浮かせボートで曳航運搬する。これは3～4日の打ち込み予定数を既に打ち込んだ直杭側面に架設したH鋼上にストックしておく。上杭は両端開放で台船に積み込んで運搬する。下杭と上杭の取り込みはガーダ上のクレーンによって行なう。

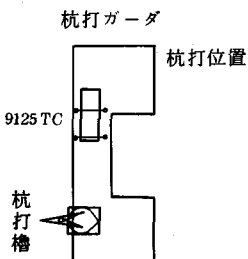
5) 杭の建て込み、打ち込み

杭の建て込みおよび打ち込みは斜杭配置（シーパースの中心

軸に対して軸方向杭か直角方向杭）、杭の建て込み高、打ち止り高、ハンマーの投入高等と、リーダーの関係を充分熟知した上で次の順序で施工する。

（軸方向斜杭の例）

- ① 杭打ちリーダー、クレーンは杭打ち位置に固定設置。
- ② クレーンガーダとクレーンによって杭取り込み、杭回転



- ③ クレーンガーダは杭打櫓に移動接近。

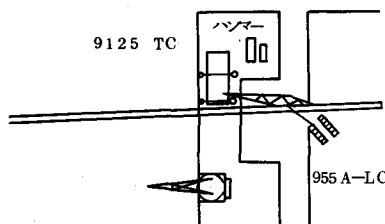
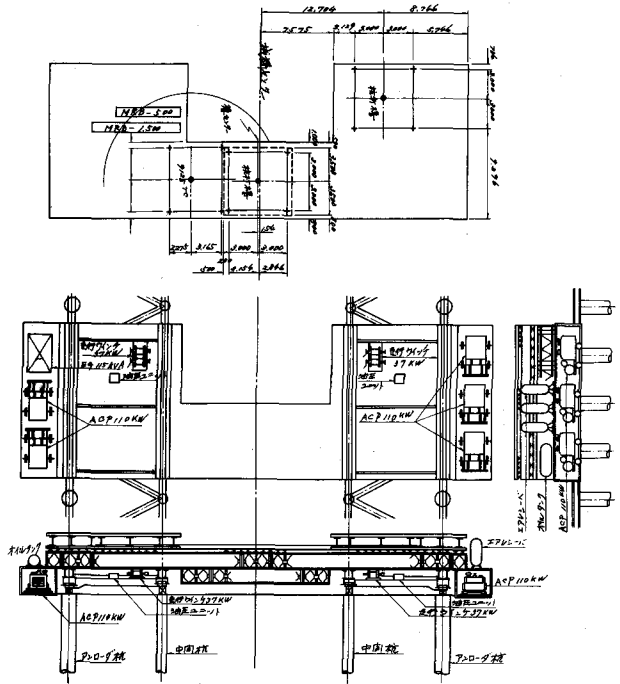


図-17 杭打ガーダ櫓、クレーン、機械配置

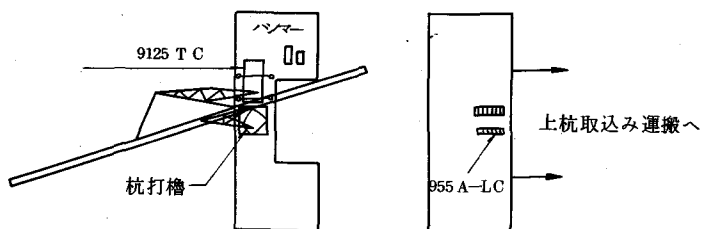


付図1

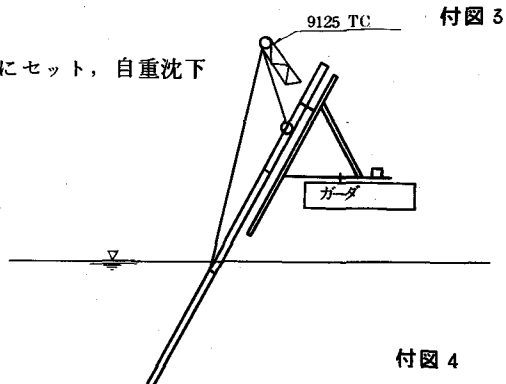
杭は955 A-LC（または9125 TC）により多少吊上げ、杭打ガーダにあたらないうようにして接近する。

付図2

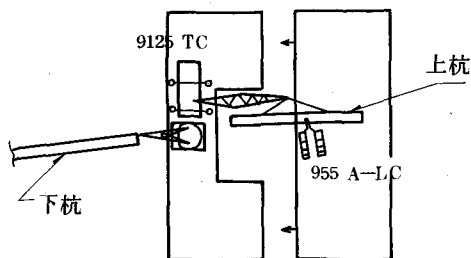
- ④ クレーンにより吊り上げ、杭打櫓打ち込み位置に移動固定



- ⑤ 杭を櫓にセット、自重沈下



- ⑥ 台付撤去, $M R B 500$ 吊り込み打撃
⑦ クレーンガーダとクレーンにより上杭運搬



付図 5

- ⑧ 下杭打止め, ハンマー撤去, 上杭建込み
⑨ 溶接, 検査
⑩ $M R B 1,500$ 吊り込み打撃
⑪ 打止め, ハンマー撤去

6) ガーダの移動と杭打ち順序

ガーダによる打ち込みは杭打櫓の方向、角度転換の回数をできるだけ少なくすることが工程進捗上有利と考えられる。そこで図-18のように同じ向きの杭は連続して打つ方が好ましい。しかし、どこまでも連続して打ち込んでゆくことは、先に打ち終った杭が単独杭のまま波浪にさらされて折損する恐れがあること、並びに上部工工事が進捗しないので、ある一定の区域を往来して打ち込むことは当然のこととなる。但し、この区間長については別に決まりはなく、あくまでも現場の海象条件、工程から割り出されるものであろう。

7) 杭打実績

ガーダーの固定から次の位置への移動終了まで、打ち込みはmax. 4本/日の実績であったが、継杭であったため、下杭を打ち込んだ状態で1日の作業を終了した場合もあった。標準サイクルを表-15に示す。

図-18 杭打込順序図

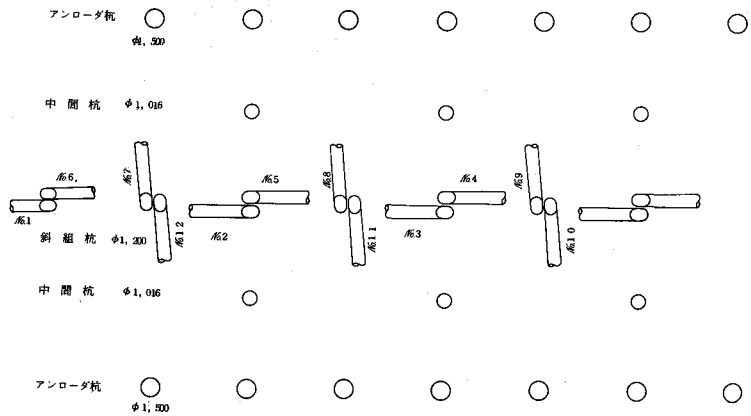
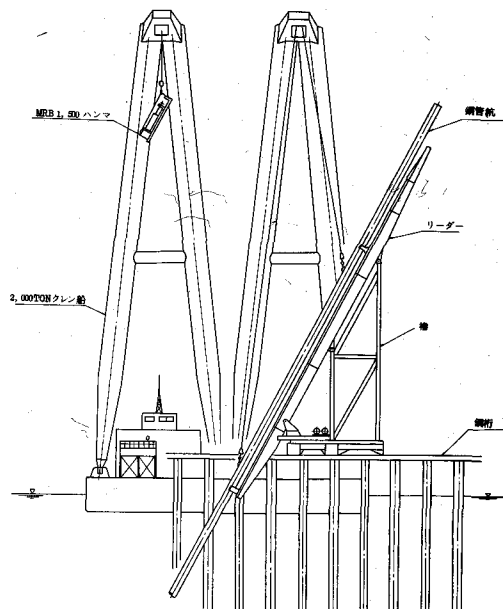


表-15 標準サイクルタイム

作 業	時 間 分	作 業	時 間 分
鋼管杭（下杭）水切	40	溶 接	90
〃 吊り込み	20	X線検査	30
〃 自重沈下	30	鋼管杭（上杭）打込、仮結構	60
〃 台付撤去	10	ガーダ移動	60
〃 打込	20	計	390
鋼管杭（上杭）溶接足場セット	30		(6'60'')

この表からわかるように継杭としたために、溶接に要する時間が多い。従って、もし一本杭と仮定したならば、約4時間で1サイクルを終了したのであろう。この事は、今後、海上における杭打ち工事では、できるだけ一本物で打ち込めるような杭打設備をとるべきであるという、一つの教訓を如実に示しているといえよう。

図-19



Ⅳ クレーン船による打ち込み方式

ここで述べる施工法は、クレーン船を改造して杭打ちができるようにしたという意味ではなく、クレーン船を最大限に利用する方法である。

新日鉄大分シーバースでは、ガーダによる打ち込みを行なう一方更に工程を短縮するために、2,000t

クレーン船をフルに活用して杭打ちを行なった。

この方法は図-19にみるように、陸上で特別製作した櫓を2,000×クレーン船で直杭上に載せる。同2,000×クレーン船のアンカワイヤーの前端は直杭にとっており、このワイヤーを調整して杭の吊り込み、およびハンマーの据付け、杭打ち後の櫓の移動を行なうものである。打ち込み中、クレーンの吊りワイヤーは多少吊り気味にしながらハンマーとともに落下させる。櫓の固定には、櫓の四隅に設けた穴をあらかじめ直杭上に溶接しておいた突起鋼材上に吊りおろすという方法をとる。この杭打方法の実績はmax, 4本/日であった。表-16にサイクルタイムを示す。

図-20 ジャケット

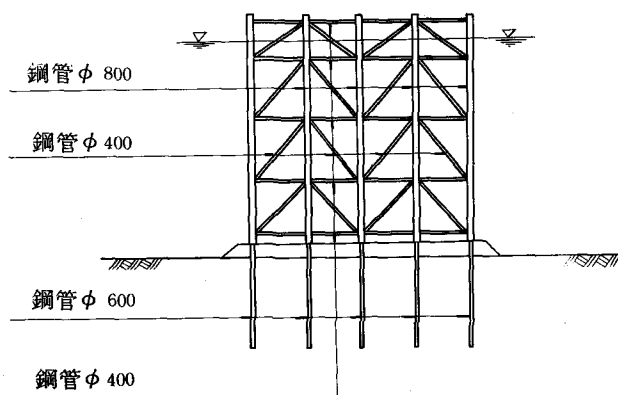


表-16 標準サイクルタイム

作 業	時間(分)
櫓の吊り移動、固定	25
鋼管杭水切	20
鋼管杭セット、自重沈下	15
ハンマーセット、エアホース繋ぎ	15
鋼管杭打込	55
ハンマー撤去、ホースはずし	20
仮 結 構	20
計	170 (2°50')

その他に、クレーン船を杭の建て込みだけに利用する方法もあるが、次のような場合にも使用してはどうかと思われるので参考までに述べたい。シーバースのタイプは最近図-20のようなジャケットを何個も据え付け剛なシーバースを建設しようという考えがでてきている。このようなジャケットの運搬据え付けはもちろん、ジャケットを構成する鋼管のうち鉛直な鋼管の中に鋼管杭を打ち込みジャケットを固定しようという場合、クレーン船で杭の建て込み、ハンマーの吊りおろし、杭の打ち込み等一連の作業を行なうものである。

クレーン船も最近では2,500×クラスが製作されているので、経済性は別問題として、施工法としては良いアイデアと思われる。

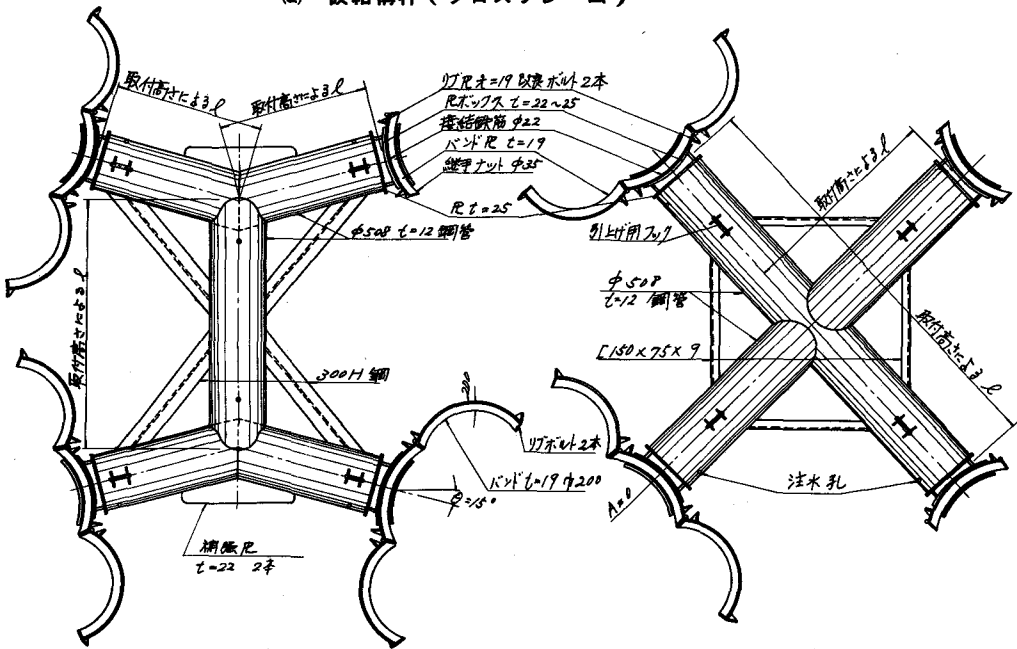
第3章 結 構（ 結 合 ） 工 事

1 結 構 の 目 的

結構とは、打ち込んだ杭を鋼材で緊結することで、設計構造物の構築の本結構と、本結構の前の段階で波浪による杭が折損することを防ぐこと、および打ち込み杭の平面位置に修正することを目的とする仮結構とに分類される。シーバースのタイプによって（特にジャケットタイプ）は、仮結構の必要がない場合もあろう。いずれの場合でも、結構の本来の目的は、

- イ) 杭を何本かまとめて揺れを少なくし、疲労による杭の折損を防ぐこと。
- ロ) 斜杭とある角度で打ち込んだ後、杭打ちリーダをはずすと、自重により杭の傾きが増す傾向があるが、これを引き起し組み杭として結束することにより正規の位置を保たせる。
- ハ) プレキャストコンクリート据え付けの受け台となる。
- ニ) 各種工事の足場となる。

図-21 仮 結 構 例
(d) 仮結構枠 (クロスフレーム)



1) ジャッキあるいはレバーブロックで杭を所定間隔に修正し、電気溶接で固定する。あるいは鉄筋、ボルト、型鋼、ワイヤロープ等で杭を緊結する。

ロ) 特製の結構枠を使用してトラス方式に固定結束する。

等が代表的である。仮結構の実際の型式は多種多様であり原則的な型式はないので、二、三の例を図-21に紹介する。

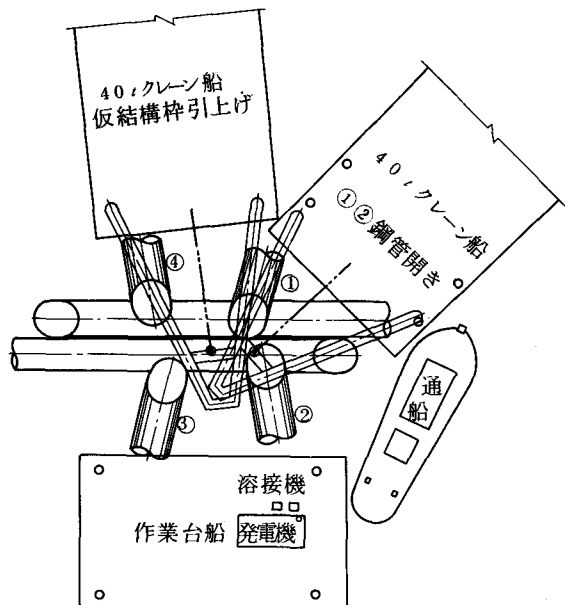
これら仮結構の作業は、杭打ち船、クレーン船、曳船、台船等の船舶を利用して行なうのが一般的である。図-22にその一例を示す。

3 本結構の方法

仮結構と中詰砂の投入後、行なうのが本結構である。本結構の鋼材はすべて埋殺しとなるが、その作業順序は、

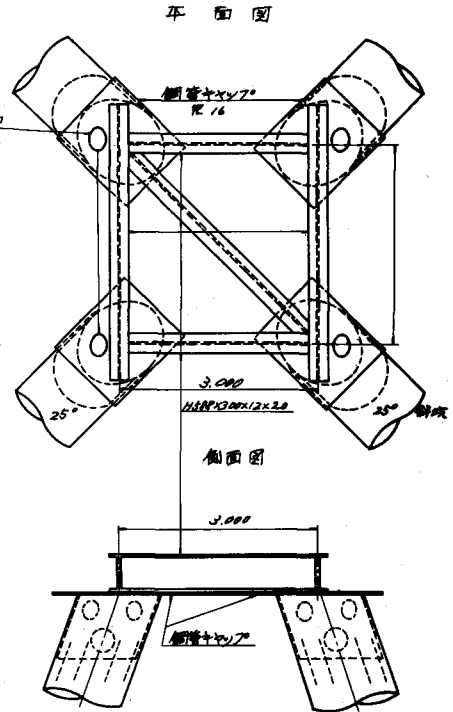
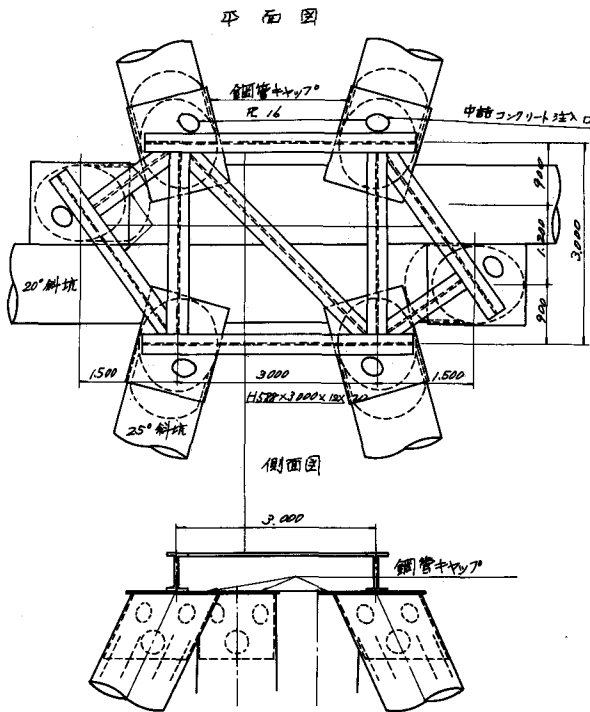
- イ) 鋼管頭部の切揃え、損傷の修理、仮設金物撤去。
- ロ) 鋼管キャップの取り付け。
- ハ) H鋼や鋼棒の取り付け。

図-22 作業船配置図



である。これらの作業は、仮結構と類似の手段で行なわれる。図-23に、二、三の例を示す。

図-23 本 結 構 例 (a)



第4章 中詰砂・中詰コンクリート工事

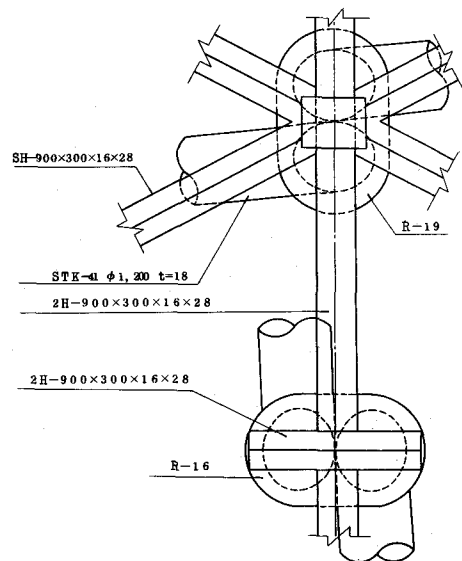
図-23 本 結 構 例 (b)

1 中詰砂

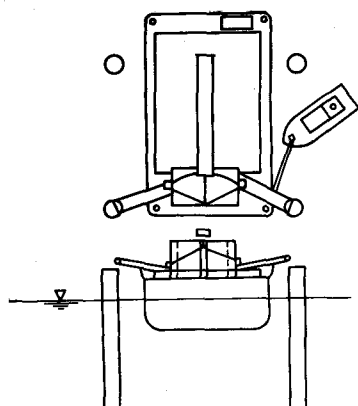
中詰砂の填充方法としては、

- イ) 杭の頭部に直接ホッパーにのせ、ガット船(クラムシェルをもった自航式砂、砂利運搬船)のクラムシェルで直接その上にあげる。
- ロ) 十分な足場があるならば、ガット船を使って型枠の上に砂をおろし、高揚程水中ポンプで杭内の水を抜いた後、猫車、ベルトコンベアーで投入する。
- ハ) 砂を積み込んだ台船にベルコンを設け、打ち込んだ杭に直ちに投入する。(図-24)

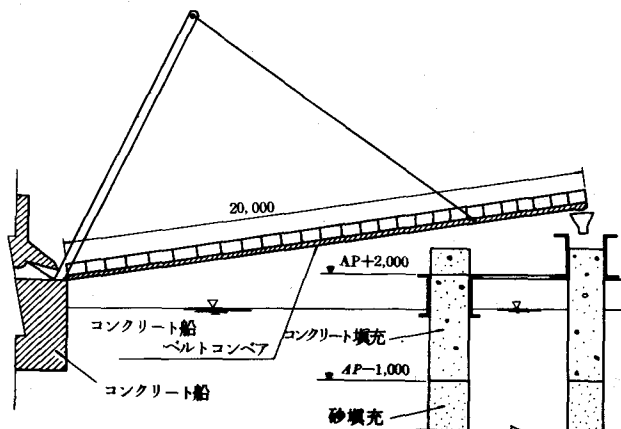
等が考えられる。中詰砂は投入後、海底の非泥層圧密と波による杭の揺動によって砂自身が固まり、補充せざるを得なくなる。この補充量は全体の15%位はみておく必要があろう。



図一 2 4 中詰砂投入船



図一 2 5 中詰コンクリート打設要領図



2 中詰コンクリート

中詰砂填充完了後、約1ヶ月の圧密期間を置き、その補充を行なった後、中詰コンクリートを打設する。打設は、コンクリート船のベルトコンベアによって、図一25の要領で直接打設する場合が多い。

第5章 コンクリート工事

シーバース工事のコンクリートは大別して、現場打ちコンクリートとプレキャストコンクリートに分けられる。(注：沖縄ガルフのシーバースのようにコンクリートをいっさい使用せず全て鋼材で造った、いわゆるメタル式シーバースもあるが、ここでは説明を省略する。)

1) 現場打ちコンクリート

海上でのコンクリートの打設方法については、

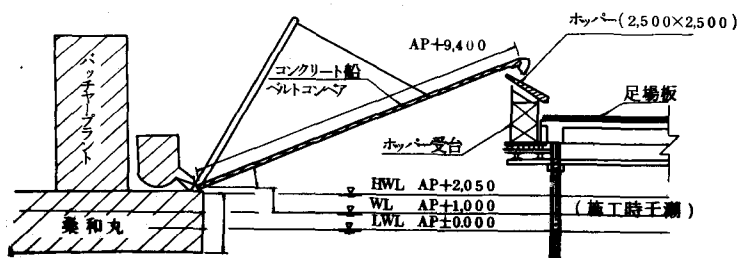
- イ) ミキサー、ベルトコンベア等の打設機械、セメント、骨材、水等の材料を搭載したコンクリート打設船による方法
- ロ) 岸壁に積み込み設備を設け、陸上プラントで練ったコンクリートを台船に積み込み海上輸送し、現場ではクレーン船等によってコンクリートを打設する方法
- ハ) コンクリートポンプ等で陸上から圧送する方法
- ニ) ヘリコプター等で現場まで空輸して打設する方法

等が考えられる。一応、各方法の問題点を列記してみると、

イ) については、材料補給と連続打設量の関係。ロ) については、海上輸送距離(時間)と品質管理、小型船の安全性。ハ) については、圧送距離(水平、垂直)制限およびホースの受け方。ニ) については、実績がなく、気象条件と輸送コストの関係など未知の要素が多い。等である。

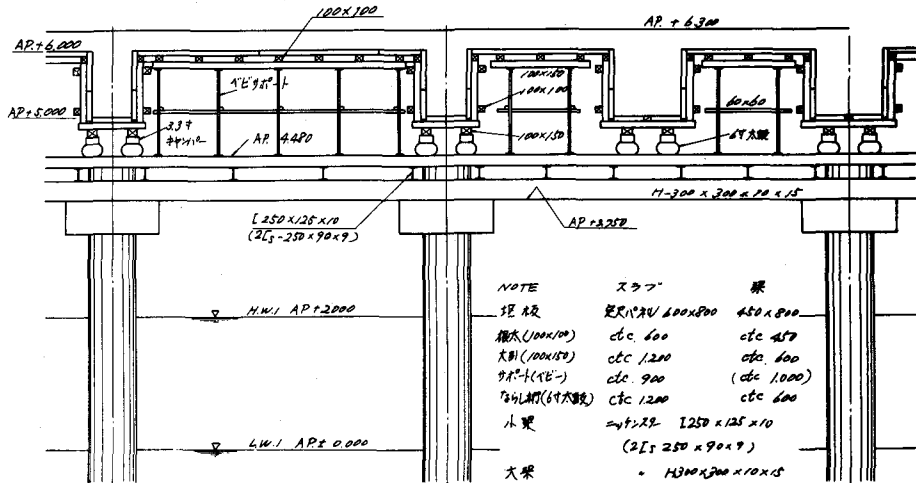
しかし、最も一般的な方法はコンクリート船による打設であり、これは実績が多い。コンクリート打設はコンクリート船のベルトコンベアによって作業床上に設備したホッパーに投入し、更に一輪車で小運搬し打設する。(図一26)あるいはコンベアから直接投入する。なお、型枠

図一 2 6 コンクリート船による打設

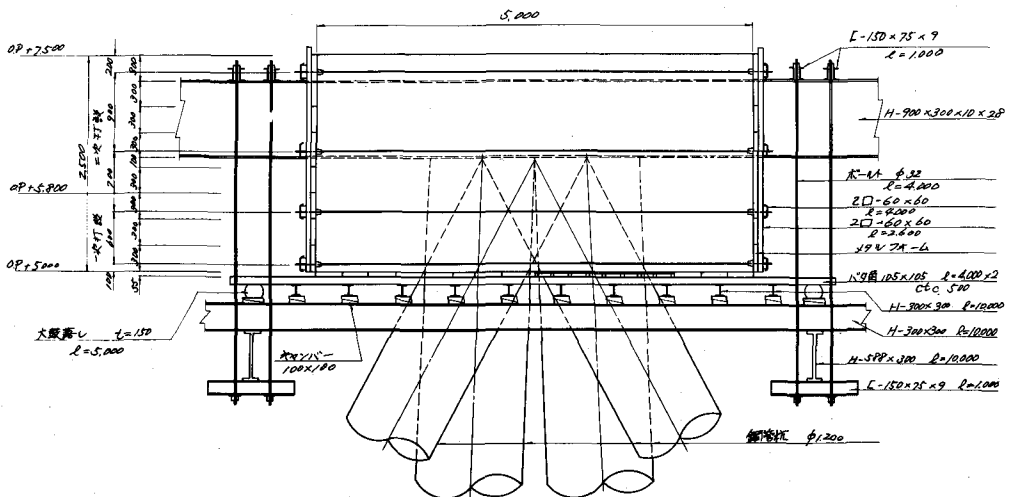


支保工は鋼管に取り付けたブラケットの上にH型钢の大梁，小梁を乗せて支保工としたタイプ（図－27(a)）と，本結構鋼材を利用した吊り型枠方式（図－27(b)）とに分類される。

図－27 作業床支保工型枠割付図 (a)



図－27 作業床支保工型枠割付図 (b)



2) プレキャストコンクリート

海中に没する部分はコンクリートの施工の確実性を期し難いことがあるので，大きい構造物はなるべくその一部を陸上でプレキャストし，これを海上に移して仕上げをする工法をとるのが工程を短縮でき，より安全であるという見地から現在，臨海工事全般にプレキャストコンクリートの使用が普及している。シーパースもその例にもれず，プレキャスト工法を採用した例がある。

製作は陸上のヤードで行なうが、その製作に当っては、打ち込み完了した鋼管杭の結構方法と、プレキャストの吊り込み、据え付け工法、あるいは据え付け金物と杭との緊結方法等、合わせて検討しなければならない。特に具体的な問題となるのは、形状、最大重量、吊り上げ機構、杭上に載せる方法と仮固定、等である。

っては、金具類が転用可能であること
 プレキャスト版を水平に、かつ均一な
 力で吊る事ができるように調整可能で
 あることを主眼としなければならない。
 また固定方法については、プレキャスト
 を受け金具上に据え付けた後、プレ
 キャストの中に突き出した鋼管杭の頂
 部に H 鋼を並べ、この H 鋼を杭に電気
 溶接で仮固定し、その後、海上コンク
 リートを打設し H 鋼と杭とを巻き込ん
 で、上部コンクリートを杭に固定する
 方法をとった。

The drawing consists of two parts: a plan view (top) and a cross-section D-D (bottom).

Plan View (Top): Shows a square foundation with a total width of 12,000 mm and a total depth of 12,000 mm. The foundation is divided into four quadrants by a central square area. The central square has a side length of 7,300 mm. The four quadrants are separated by 1,300 mm gaps. The foundation is supported by four circular piles. The piles are arranged in a square pattern with a center-to-center distance of 4,500 mm. The piles have a diameter of 600 mm and a length of 12,000 mm. The foundation is labeled with dimensions: 1,300, 4,500, 12,000, 7,300, 1,300, 4,500, 12,000, 7,300, 1,300. The foundation is labeled with dimensions: 1,300, 4,500, 12,000, 7,300, 1,300, 4,500, 12,000, 7,300, 1,300. The foundation is labeled with dimensions: 1,300, 4,500, 12,000, 7,300, 1,300, 4,500, 12,000, 7,300, 1,300.

Cross-section D-D (Bottom): Shows a cross-section of the foundation. The foundation is 12,000 mm wide and 12,000 mm deep. The foundation is supported by four circular piles. The piles are arranged in a square pattern with a center-to-center distance of 4,500 mm. The piles have a diameter of 600 mm and a length of 12,000 mm. The foundation is labeled with dimensions: 1,300, 4,500, 12,000, 7,300, 1,300, 4,500, 12,000, 7,300, 1,300. The foundation is labeled with dimensions: 1,300, 4,500, 12,000, 7,300, 1,300, 4,500, 12,000, 7,300, 1,300. The foundation is labeled with dimensions: 1,300, 4,500, 12,000, 7,300, 1,300, 4,500, 12,000, 7,300, 1,300.

フック 600mm クレーン船

40m

3Nワイヤーロープ 84φ (6×61)

3Nノット

508φmm

三角フレーム

3Nワイヤーロープ 84φ (6×61) 10m

3Nノット

中間桁 7,000mm 長さ

タイロッド 120φ3, 200mm

中間ビーム 8,000mm 長さ

Y字形桁 H 600

む す び

シーバース工事は以上述べてきたものの他に、測量法、防舷材取付け工、防蝕工等が挙げられるが、紙面の都合上、割愛させていただく。しかし、最近では海洋開発が強く叫ばれているすう勢から、設計上は構造物の動的設計法の開発、部材の疲労、座屈、溶接部の応力集中、外力条件との関連等についての研究、更には、巨大船に対処できうる防衝工の開発、船舶のけん引力の解明などが徐々にではあるが進んでいると聞いている。一方、材料上は、コンクリートについては軽量、耐海水水密、高強度、耐摩耗性、プレパックなどの研究も盛んであり、鋼材についても防錆技術とも合わせて耐食鋼の研究が必要視されている現状なので、施工にたずさわる人間は期待している次第である。