

## 櫃石島橋海中基礎の施工（第3報）

### Construction of Hitsuishijima Bridge's Foundations in the Sea (III)

水分 登\* 伊藤 典生\*\*  
Noboru Mizuwaki Norio Itō

丸山 智義\*\*\*  
Tomoyoshi Maruyama

#### 要 約

本文は、本州四国連絡橋児島一坂出ルートの櫃石島橋下部工工事の施工報告の最終回で、大口径杭、気中コンクリートの施工と、海洋土木工事に不可欠な潜水作業および航行安全対策について述べる。

#### 目 次

- §1. はじめに
- §2. 脚付き設置ケーソン工法
- §3. 大口径杭の施工
- §4. 気中コンクリート
- §5. 潜水作業
- §6. 航行安全対策
- §7. おわりに

#### §1. はじめに

世界一の斜張橋である櫃石島橋の下部工工事を最も特徴づけているのは、3P基礎・脚付き設置ケーソン工法の大口径杭の施工であった。32本のφ4.0mの大口径杭を水面下25mのケーソン下に築造する工事は、困難な新工法であったが、種々の問題点を解決しながら所定の工期限内に完成できた。

次に気中コンクリートは、大型CP(コンクリートプラント)船の打設能力を最大限に活用して1回当たりの打設量を800~1,000m<sup>3</sup>、リフト高を1.0~1.6mで施工し、2P、3P合わせて36,300m<sup>3</sup>のコンクリートを約9ヶ月で海上打設した。

本文では、これら大口径杭および気中コンクリートの施工内容を報告するとともに、全工期を通じて行った海

洋土木工事特有の潜水作業と船舶運航に関する航行安全対策についてもその概要を紹介する。

#### §2. 脚付き設置ケーソン工法

##### 2-1 工法概要

3P橋脚地点は、岩黒島民家まで175mと非常に近く、同ルートでの標準工法である海底発破による設置ケーソン工法の採用は困難であった。また、海底はTP-10m~20mと傾斜しており、表層から堆積層、D~C<sub>L</sub>級岩盤で構成され基礎岩盤は狭い範囲内にあるにもかかわらず複雑な地質分布と岩盤状況であった。そこで、採用されたのがケーソン下にφ4.0mの大口径杭を施工する脚付き設置ケーソン工法であった。

すなわち、鋼製ケーソンが設置可能で、かつ、支持できる海底面まで直接グラブ掘削を行い、別途ドックヤードで製作したケーソンを曳航・沈設し、ケーソン下層地盤の安定を図る。そのうえで鋼製ケーソンを作業足場として、さらにケーソンより下層の岩盤に、大口径杭掘削及び鉄筋コンクリート杭を施工して、ケーソンと一体化した基礎とする工法である。

##### 2-2 基礎の設計

斜張橋である櫃石島橋3P基礎に作用する外力は下記のとおりである。

地震時上部工反力 (LL:橋軸方向, 180gal)

モーメント 47300tf・m

鉛直力 24400tf

\*関西(支)関西空港(出)係長

\*\*四国(支)土木課長

\*\*\*関西(支)関西空港(出)所長

水平力 1340tf

杭の設計思想は、置換地盤・仮想ケーソン及び立体ラーメン解析のいずれの場合においても安全であることとした。また、基礎下の地質状況が重要なポイントとなるので、ケーソン沈設後、大口径杭の中心位置で地質調査ボーリングを行い、そのデータを考慮して設計精査を行った。

Fig.1 に 3 P の基礎形状を示す。

その結果、杭径は  $\phi 4.0\text{m}$ 、杭の配筋は D51-56本 (SD35) とした。杭長は、地盤に関係なく一定とする考え方もあるが、地盤のバネ強さのバラツキが大きいため基礎に傾きが発生し、基準変位量 ( $10.0 \times 10^{-4}\text{rad}$ ) を超過することから、杭下端を同一の  $C_M$  級地盤に着底させることとした。

なお、基礎底面が深く、工期の制約が厳しいことにより、基礎の平面寸法を安定計算から求まる最小範囲内に収めたので、4列8行の32本の杭配置が非常に密となり、杭中心間距離で  $5.35\text{m}$  又は  $7.25\text{m}$  となった。よって、工期短縮のため大口径掘削機2台を使用した昼夜作業による大口径杭の施工において、孔壁崩壊の防止は最大の課題となり、その対策として下記の4項目を実施した。

- ① 掘削中の孔内水位は外水位 (海面) より上げる。
- ② 掘削循環水は泥水とする。
- ③ 掘削前に基礎底面の地盤安定化グラウトを行う。
- ④ 掘削は、隣接して行わず、安全距離だけ離して施工する。
- ⑤ 掘削後、速やかに、鉄筋及びコンクリートを施工する。

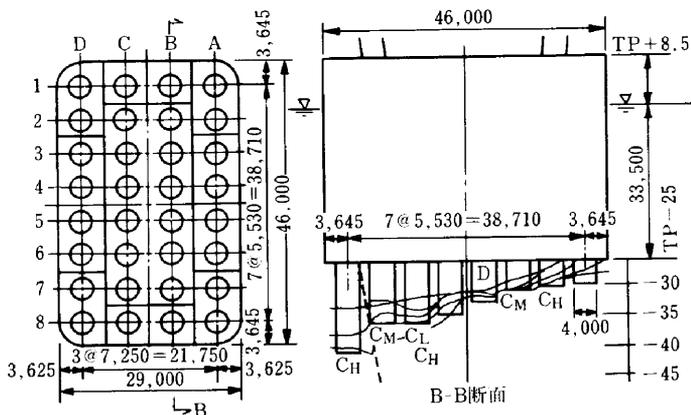


Fig.1 3P基礎形状

### 2-3 ケーソンの構造

3 P ケーソンは、平行刃口の二重壁式構造であるが、大口径杭施工のために、従来のケーソンと比べて下記の

点に工夫がなされている。

- ① ケーソン下半部に32本のケーシング管 (内径  $\phi 4.35\text{m}$  × 長さ  $13.5\text{m}$ ) を有する。
- ② 掘削機及び大型クレーンの移動に十分耐え得る強固な外周足場と内部水平梁を有する。
- ③ 二重壁部の底蓋は、水中切断の作業性を考慮して、リブ材のない鏡板加工である。
- ④ ケーソン下面グラウト用配管 ( $\phi 114.3\text{mm}$ ) を有する。

Fig.2 は、3 P ケーソン構造図及び杭配置図である。

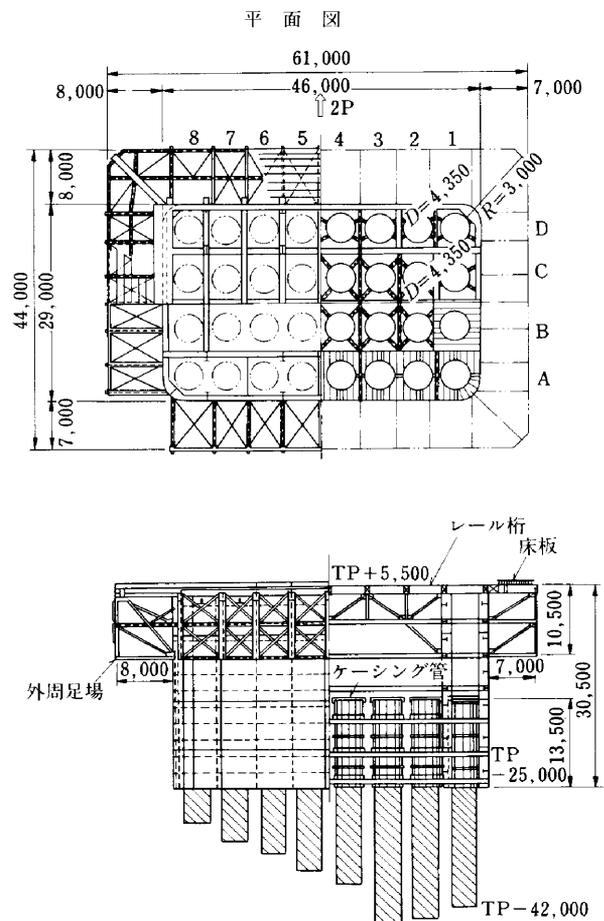


Fig.2 3Pケーソン構造及び杭配置平面図

## § 3. 大口径杭の施工

### 3-1 施工フローシート

直径  $4.0\text{m}$  の大口径杭を、ケーソン上に搭載した大口径掘削機2台によって、杭本数32本、延長  $312\text{m}$  (平均値  $10\text{m/本}$ ) 施工した。Fig.3 は大口径杭の施工フローシートである。

### 3-2 掘削準備

- (1) ケーシング管底蓋撤去及び漏洩防止コンクリート

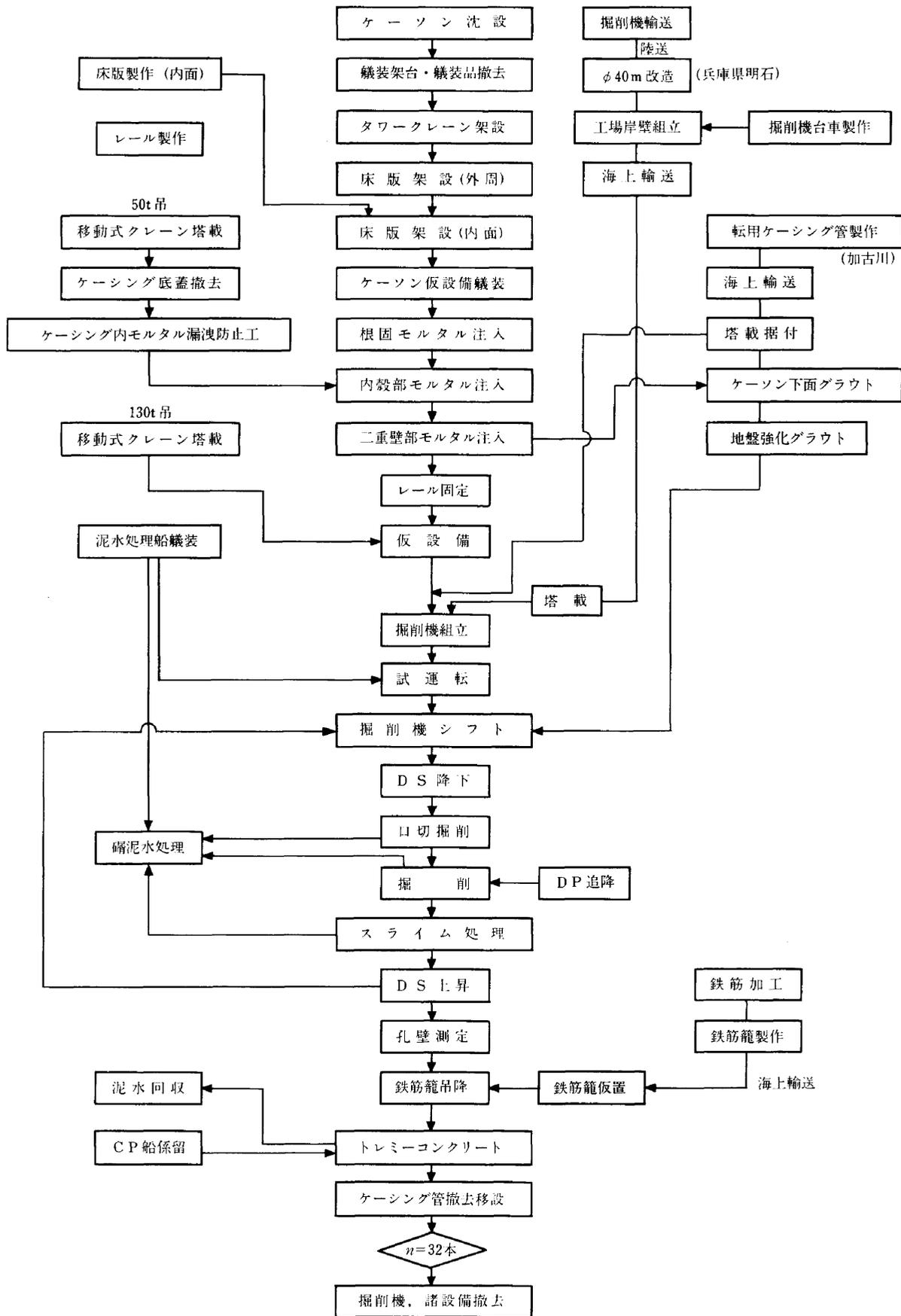


Fig.3 大口径杭施工フローシート

ケーソン沈設後、二重壁部のケーシング管底蓋を4分割に水中切断して撤去した。ダイバーは3班17人編成とし、20孔を8日間で撤去した。Photo1は底蓋撤去状況である。

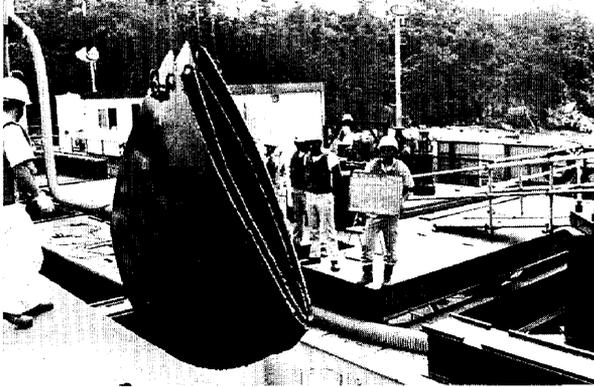


Photo 1 ケーソン底蓋撤去状況

次に、モルタル注入時のケーシング管内へのモルタルの流入及び大口径杭掘削までの基礎岩盤の風化を防止するために、ケーシング管内に厚さ約50cmの水中コンクリ

ートを打設した。型枠には、厚さ2.3mmの鋼板をケーシング管内面に水中溶接して使用し、水中コンクリートには、水中分離がほとんどない流動性及び充填性の良い特殊コンクリート(マリンクリート)を使用した。特にトレミ工法による打ち放し状態でのコンクリート表面の凹凸が±3cm以内という平滑性は、大口径杭施工時の初期掘削に対して極めて重要な性質であった。

Table1に特殊コンクリートの配合を示す。

(2) コアボーリング

大口径杭の施工に先立ち、杭中心部等36箇所のボーリングによる地質調査を行い、既往の資料と合わせた地質状況の解析及び抗支持岩盤の確認を行った。

ボーリング調査では、ケーソン床版上6台の油圧式ロータリボーリングマシン(YSO-1型)を使用し、掘進孔径φ66mm、総延長503mのコア採取を行った。Table2は3P基礎岩盤の分類総括表である。

また、最終的に判明した基礎地盤の性質は、大局的には斑れい岩と黒雲母花崗岩に区分される。西側は黒雲母花崗岩が浅い所まで分布し、風化帯はほとんど認められない。東側は、斑れい岩が分布し、風化帯の層厚が漸次

Table 1 特殊コンクリートの配合(1m<sup>3</sup>当り)

※ボゾリスNo.70

コンクリートの種類	粗骨材の最大寸法(mm)	単位水量 W(kg)	単位セメント量 C(kg)	水セメント比 W/C(%)	細骨材率 S/a(%)	単位細骨材量 S(kg)	単位粗骨材量 G(kg)	単位混和剤量(g)	特殊混和剤(g)	
									マリンキープ	マリンキープL
X (特殊)	40	207	419	50	41.9	679	990	1,035	2,484	8,280

Table 2 3P岩盤分類総括表

岩区分	記 事		模式柱状図	R. Q. D (%)				弾性波速度値 Vp (km/S)				変形係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )			一軸圧縮強度 qu (kg/cm <sup>2</sup> )					
	岩盤状況	コア状況		20	40	60	80	10	20	30	40	50	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	200	400	600	800	1000
D	風化著しく砂状を呈する。まれに小岩塊が残る。割れ目は不明瞭。D <sub>50</sub> 級で岩組織が残るが軟質。	軟岩用ダブルコアチューブでコア採取。コアは砂状に砕け易い。D <sub>50</sub> 級で数cmの礫状。容易に指圧で砕ける。																		
Cl	岩芯まで風化をうけ軟質である。特に割れ目沿いに風化がすすむ。割れ目は開口。	コア長は約10cm以下部分的に硬質岩塊が残る。有色鉱物の変色。長石の白濁化が顕著。全体に酸化鉄が沈着し茶褐色を呈する。																		
C	岩塊内部の新鮮岩質は堅硬。割れ目面は密着気味。有色鉱物の周囲や割れ目面に沿い酸化鉄が沈着し茶褐色を呈する。	コア長は10~20cm大。硬質な棒状コアで採取。割れ目面に沿い部分的に酸化鉄が沈着し茶褐色~青色に変色。																		
CH		おおむね堅硬。緻密な岩盤。割れ目沿いに若干風化変質。		コア長は20~50cm大。棒状で新鮮。堅硬。割れ目はおおむね新鮮密着。																
B	全体に未風化な新鮮堅硬緻密な岩盤。まれに割れ目沿いに微弱な風化もしくはベアクラック(密着)が発達。	コア長は50cm以上の棒状コア。きわめて新鮮。堅硬。割れ目面は新鮮。																		

増加し、破碎帯も確認されたが比較的狭小であり、この劣化帯に沿って C<sub>L</sub>、C<sub>M</sub>級岩盤が急傾斜で深くなっている。

なお、大口径杭の杭長は、下記の判定基準に基づいて、現地の抗掘削データにより最終決定した。

- ① 地質柱状図により、C<sub>M</sub>級岩盤を掘止めとする。
- ② 削孔強度 S は 500kgf/cm<sup>2</sup>以上とする。

$$S = \left\{ K \frac{N^{0.8} \cdot W^{1.5}}{R \cdot D^{0.3} \cdot e^{1.1D}} \right\}^{0.566} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

R : 掘削速度 (m/h)  
 N : ビット回転数 (rpm)  
 W : ビット荷重 (tf)  
 D : 削孔径 (m)  
 K : ドリラビリティ定数=500

- ③ 最短杭長は4.0mとする。

(3) グラウト

① グラウトの種類

施工したグラウトは、ケーソン二重壁部(刃口)と据付け地盤との間隙から掘削泥水が漏洩するのを防止するための下面グラウトと大口径杭掘削時の孔壁崩壊を防止するための D 級岩盤に注入する地盤安定化グラウトに区分された。

② ケーソン下面グラウト

ケーソンに取り付けたグラウト用配管を使用して、

セメントミルクを配合比 1 : 4 で開始し、注入状況に応じて 1 : 2, 1 : 1 と順次切り替え、最終の孔埋めを配合比 1 : 1 で行ったが、全充填量は 102m<sup>3</sup>であった。

③ 地盤安定化グラウト

底面仕上げ施工時に SEP「盤石」を使用して、試験グラウトを実施し、グラウト施工可能との結論を得たことにより、杭間隔が非常に狭い(純間隔=1.53m)大口径杭の掘削に伴う孔壁崩壊防止対策として、130本、271ステージに及ぶ地盤安定化グラウトを行った。注入孔は、φ46mmのノンコアボーリングとし、各杭の周囲に5孔配置した。また、セメントにはコロイド系のものを使用した。

セメント注入量は、全体平均で 99kg/m となり、花崗岩を対象としたダムグラウトの施工例の実績注入量とほぼ匹敵することより、そのグラウト注入効果が期待できると考えた。

3-3 大口径杭掘削

(1) 大口径掘削機

φ4.0mの掘削機は、我国では現存しないことから、φ3.6mの掘削機(MD360, MD360A)をビットボディのみを改造して使用した。掘削した礫は、エアリフト方式でケーソン横に係留した2000m<sup>3</sup>積の泥水処理船に排出し、礫を沈降除去した泥水は循環して掘削用水として再利用した。Fig.4は、大口径杭施工図である。

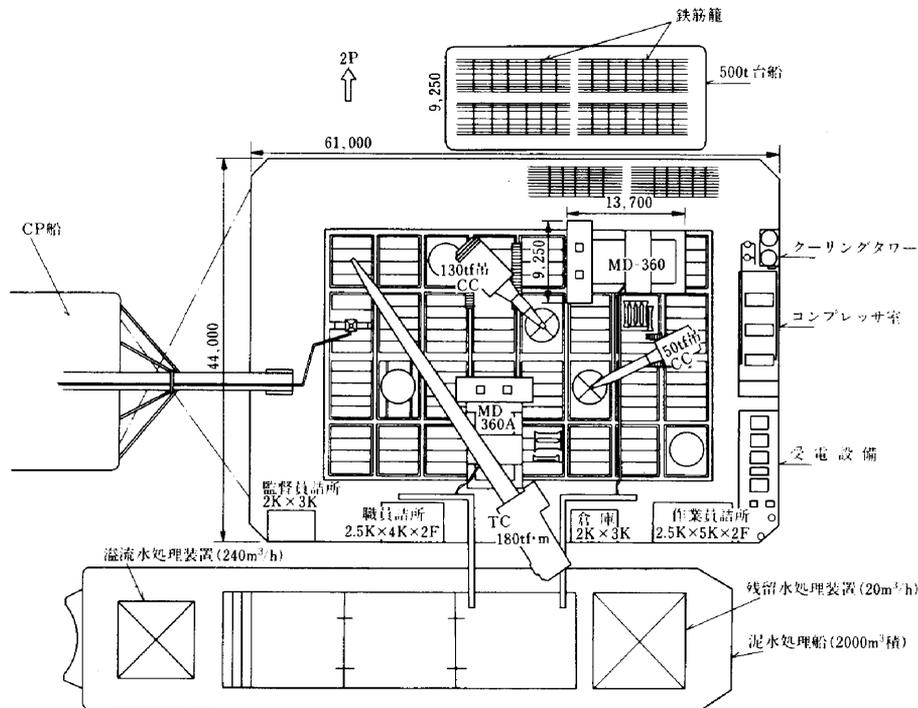


Fig.4 大口径杭施工図

大口径掘削機構造図を Fig.5 に示すが、本工事では、パワーユニット、コントロールユニットとも、掘削機本体に張り出し架台を設けて搭載し、移動時の能率化を図った。

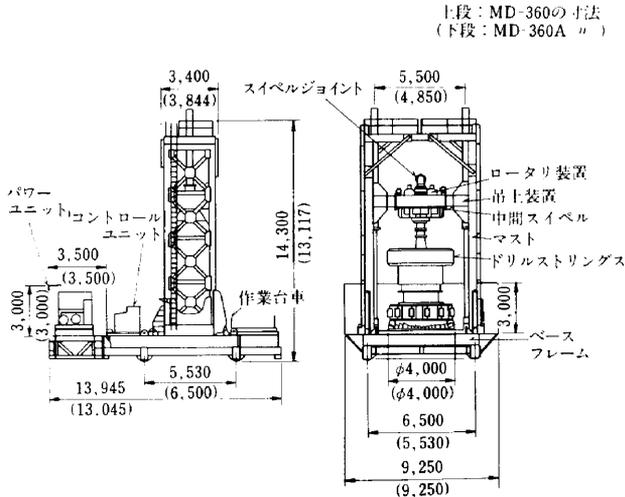


Fig.5 大口径掘削機構造図

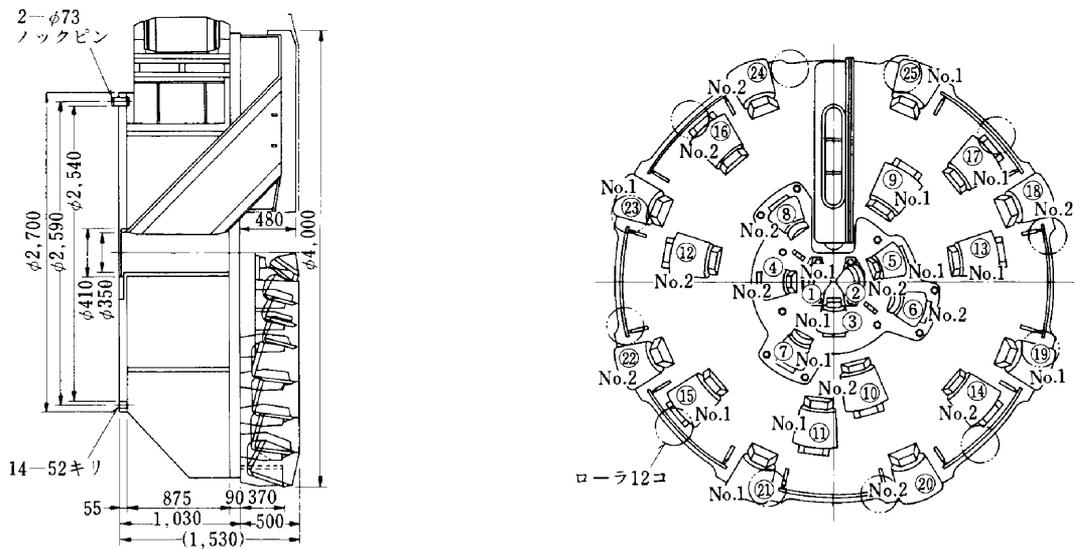
また、 $\phi 4.0\text{m}$ のカッターヘッドには、25個又は26個のチップインサートビットを装着した。Fig.6は $\phi 4.0\text{m}$ カッタービット (MD360) である。

掘削機本体及びビットボディは、改造後に兵庫県明石より海上輸送し、1300tf吊FC (フローティングクレーン) 船で3 P ケーソン上に搭載した。

(2) 掘削機の移動方法

大口径掘削機の移動方法は摺動式とし、水平梁に敷設した箱型レール桁上に掘削機のベースフレーム下面に取り付けたすべり沓で反力をとらせながら、油圧ジャッキの押し又は引き操作により移動した。すべり沓には、摩擦係数の低減並びに耐摩耗性に優れたMCナイロンを沓の表面に取付けた。なお、掘削機の移動時荷重は約310 tf/基、移動速度は平均 3 m/hであった。

レール桁は、H型鋼に比べて安定性があり変形が少ない箱型断面とし、高さは作業用床版 ( $h=60\text{cm}$ ) より低くして、移動式クレーンのキャタピラによってレール面が損傷を受けないように配慮した。レール桁は、水平梁



列	カッター種類	アンダーラップ mm	掘削幅 mm	掘削径 mm	カッター個数		カッター番号
					単	累計	
1	センタカッター RBU-SSD	0	—	510	2	2	①~②
2	インナカッター RBU-SD	0	185	880	1	3	③
3	"	0	185	1250	2	5	④~⑤
4	"	0	185	1620	3	8	⑥~⑧
5	インナカッター RBU-LSD	0	300	2220	2	10	⑨~⑩
6	"	0	300	2820	3	13	⑪~⑬
7	"	0	300	3420	4	17	⑭~⑰
8	ゲージカッター RBU-LSD	3	293	4000	8	25	⑱~㉕

Fig.6  $\phi 4.0\text{m}$ カッタービット (MD360)

上に高さ調整用ライナプレートを配置して、ほぼレベルになるように架設した後、溶接固定した。レール桁の数量は72基、全鋼重は140tであった。Fig.7は掘削機のすべり沓構造図である。

(3) ケーシング管

泥水掘削するための上部ケーシング管は経済性を考慮して内径4.4m、長さ16.7m、管厚12mm(鋼重37t/本)を6本製作して順次転用した。下管とのジョイント部には硬質ゴムパッキンを貼り付け、上管の自重でシールできる構造とした。また、ケーシング管の水切、設置には130t吊及び50t吊クローラークレーンを使用した。

(4) 泥水処理船

泥水処理設備として、泡消装置・溢流水処理・残留水処理装置等を機装した2,000m<sup>3</sup>箱型土運船(75m×16.5m×4.0m)を使用した。大口径掘削機が、2台同時稼働した場合の揚水量は24m<sup>3</sup>/mm程度であるが、泥水比重管理のために、適宜新しい海水を補給するとともに、泥水の上澄み水を、気泡を除去して、船底の放流口から海中に放流する必要があった。Photo2は3P大口径杭掘削全景である。

(5) 付帯設備

Table3に大口径杭掘削付帯設備一覧表を示す。

(6) 施工実績

① 掘削順序

大口径掘削機2台を効率良く、しかも、掘削中の地盤のゆるみを最小限に抑えるために Fig.8の大口径杭掘削順序図に示す掘削順序で施工した。

② 掘削速度

純掘削速度は、ビット荷重(W)とビット回転速度(N)に影響されるが、当初これまでの経験より  $W = 40 \sim 90\text{tf}$ ,  $N = 2 \sim 4\text{rpm}$ で掘削し、純掘削速度も0.2m/hを越えていたものもあったが、硬軟入り混った複雑な地質のために孔曲りを生じたので、途中から  $W = 40 \sim 70\text{tf}$ ,  $N = 4 \sim 6\text{rpm}$ に変更した。その後、孔曲りもなくなり小規模な肌落ちがあった程度で、順調に掘削できた。

なお、最終的な平均純掘削速度は、Table4の大口径杭掘削実績一覧表に示すように13.2cm/hであった。また、Table5は岩区分別平均純掘削速度、Table5'はビット荷重および回転数である。

本工事で使用したチップインサートカッタの寿命は、歯先摩擦よりチップの破損またはベアリングの寿命によると言われているが、51個のカッタ中2個のカッタに、全チップの1/3の破損が確認されたが、1セットのカッタで全掘削を終了した。

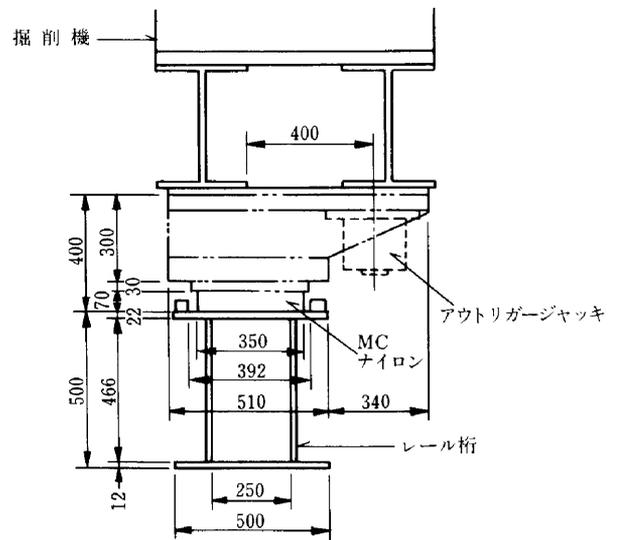
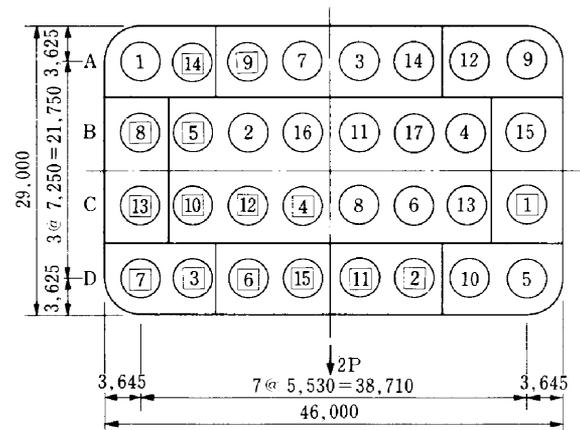


Fig.7 大口径掘削機のすべり沓構造図



杭の番号を□で囲ったものは2号機(MD360A)、他は1号機(MD360)で施工

Fig.8 大口径杭掘削順序図

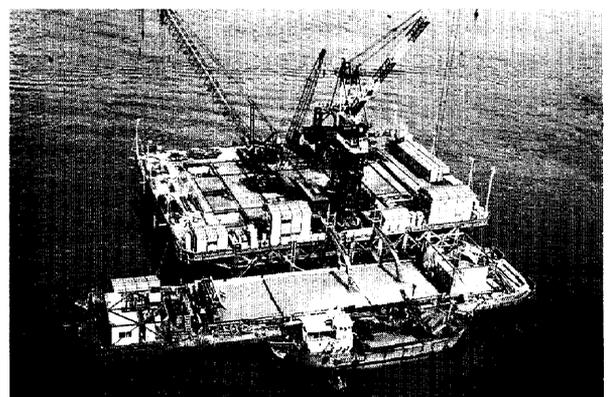


Photo 2 3P大口径杭掘削全景

③ 掘削精度

掘削後の孔曲りや余掘りなどの状況は、測定精度土

Table 3 大口径くい掘削付帯設備一覧表

設 備 名	仕 様				数 量	備 考
	諸 元	出 力		重 量		
		P S	k W			
大 口 径 掘 削 機	MD-360改 口径φ4.0m ロータリトルク 35tf・m		360	330t	1	
"	MD-360A改 口径φ4.0m ロータリトルク 35tf・m		300	322	1	
同 上 移 動 装 置	シュー式 ジャッキ引力:92t ジャッキストローク:2000mm				2	
タ ワ ー ク レ ー ン	JCC-180 180tf・m ジブ長:35m マスト高:24m		73.5	95	1	
ク ロ ー ラ ク レ ー ン	130tf吊級	250		129.5	1	
"	50tf吊級	152		46.5	1	
コ ン プ レ ッ サ	定置式150kW 吐出力27.5m <sup>3</sup> /min		150	4.0	3	
レ シ ー バ タ ン ク	1.8m <sup>3</sup>			1.5	2	
ク ー リ ン グ タ ワ ー	低騒音型 80RT		5.5	0.5	2	
冷 却 水 循 環 ポ ン プ	渦巻ポンプ φ100×0.8m <sup>3</sup> /min		7.5	0.2	1	
冷 却 水 タ ン ク	鋼製 10m <sup>3</sup>				1	
水 中 ポ ン プ	φ200×22kW 4m <sup>3</sup> /min		22	0.4	8	予備2台含む
"	φ150×11kW 2m <sup>3</sup> /min		11	0.2	4	予備2台含む
"	φ50×1.5kW 0.2m <sup>3</sup> /min		1.5	0.05	4	
排 砂 設 備	600×800U				45m	
給 気 管	φ100 SGPゴムホース				1式	
給 水 管	φ200 SGPゴムホース				1式	
作 業 用 水 槽	鋼製 20m <sup>3</sup>				1	
燃 料 タ ン ク	鋼製 5kℓ				1	
飲 料 水 タ ン ク	3m <sup>3</sup>		3.7		1	給水ポンプφ50
防 音 ハ ウ ス	2.5k×8k×1F				1	
防 音 カ バ ー	3m×9.2m×3.5m			8.5	2	
電 気 溶 接 機	400A		19	0.3	3台	
柱 上 開 閉 機	真空しゃ断器 7.2kV 400A				2	
気 中 開 閉 器	7.2kV 200A				2	
キ ュ ー ビ ク ル 式 3 相 ト ラ ン ス	6 / 3 kV 200kVA				2	
"	6 kV/400V 250kVA				2	
"	6 kV/200V 200kV A				1	
キ ュ ー ビ ク ル 式 単 相 ト ラ ン ス	6 kV/200V 100 50kVA				2	
進 相 コ ン デ ン サ	3φ 3V 50kVA				2	
"	3φ 400V 1500μF				1	
"	3φ 6kV 100kVA				1	
仮 設 ハ ウ ス 監 督 員 詰 所	2k×3k×1F				1	
職 員 所	2.5k×5k×2F				1	
作 業 員 詰 所	2.5k×5k×2F				1	
倉 庫	2.0k×3k×1F				1	
キ ャ プ ト イ レ	大・小・手洗 浄化槽 50人槽				2	
斜 路					1組	
照 明 設 備					1式	
電 動 ウ イ ン チ	3.7kW		3.7		2	排砂設備用
超 音 波 側 壁 測 定 装 置	DM-686III/688				1	光電製作所

Table 4 大口径杭掘削実績一覧表

杭番号	杭長 A	実総掘削長 B	延掘削時間 C	純掘削時間 D	平均延掘削速度 E=B/C	平均純掘削速度 F=B/D	備考	
A	1	10.0m	14.51m	151-12'	104-37'	9.6cm/h	13.9cm/h	
	2	10.5	11.54	104-35	69-00	11.0	16.7	
	3	10.0	11.35	90-00	53-25	12.6	21.3	
	4	8.5	9.83	125-10	92-39	7.9	10.6	
	5	6.0	6.62	129-48	89-59	5.1	7.4	
	6	4.5	5.24	82-30	42-00	6.4	12.5	
	7	4.0	4.63	105-05	77-40	4.4	6.0	
	8	4.0	4.43	99-15	67-30	4.5	6.6	
B	1	15.0	15.83	129-40	97-50	12.2	16.2	
	2	13.0	13.83	123-05	85-30	11.2	16.2	
	3	12.0	12.90	133-17	66-18	9.7	19.5	
	4	9.0	9.86	105-35	79-30	9.3	12.4	
	5	7.0	8.34	131-25	84-00	6.3	10.0	
	6	7.5	8.11	118-05	92-35	6.9	8.8	
	7	4.5	5.10	134-45	64-07	3.8	8.0	
	8	4.0	4.61	78-30	51-20	5.9	9.0	
C	1	15.0	15.76	145-10	99-15	10.9	15.9	
	2	16.0	16.75	196-45	115-20	8.5	14.5	
	3	17.0	17.66	154-20	118-45	11.4	14.9	
	4	12.0	12.83	137-33	104-33	9.3	12.3	
	5	10.0	10.90	166-10	98-35	6.6	11.1	
	6	8.5	9.09	126-20	90-33	7.2	10.0	
	7	6.0	6.83	102-30	72-10	6.7	9.5	
	8	4.0	4.70	103-45	67-44	4.5	6.9	
D	1	14.5	15.19	113-35	89-20	13.3	17.0	6 Rは再掘削を表わす。
	2	15.0	15.67	174-20	121-15	9.0	12.9	
	3	15.0	15.66	119-30	76-45	13.1	20.4	
	4	14.0	14.87	127-40	81-45	11.6	18.2	
	5	11.5	12.18	94-40	66-10	12.9	18.4	
	6	10.0	10.74	102-32	45-19	10.5	23.7	
	6 R		4.91	89-75	45-00	5.4	10.9	
	7	7.0	7.66	76-10	51-00	10.1	15.0	
8	7.0	7.58	78-30	50-58	9.7	14.9		
計	312.0	345.71	3951-42	2612-27	8.7	13.2		

Table 5 岩種別の実績純掘削速度 (平均)

単位 (cm/h)

岩種区分	純掘削速度 (平均)
DM	21
DM~DH	21
DH	19
CL	16
CM	7
CH	5
B	3

Table 5' ビット荷重および回転数

	ビット荷重 tf	ビット回転数 rpm
口付け掘削	30 ~ 40	3 ~ 4
定常掘削	D級岩盤	40 ~ 50
	C級岩盤	60 ~ 80

0.2%の超音波孔壁測定装置を用いて測定した。孔曲りの精度は、1/150以下を目標としたが、1孔が1/40程度の孔曲りを生じて、埋戻しコンクリートによる再掘削を行ったのを除けば、比較的良好であった。

また、余掘り量は、複雑な地質のために過去の大口径掘削実績に比べて大きい値を示し、コンクリート打設量から求めた掘削径で4.07m~4.53m (+2%~+13%)、平均では4.24m (+6%)であった。

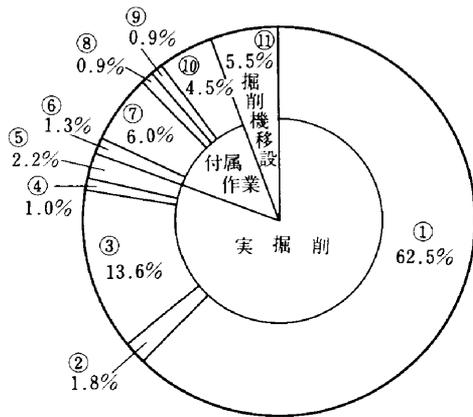
④ 作業別時間分布

大口径杭掘削の作業内容別時間の分布状況は、Fig. 9に示すようであり、純掘削時間の占める割合は、全作業時間の62.5%となっている。

3-4 大口径杭鉄筋

(1) 鉄筋組立

瀬居基地の岸壁近くの約700㎡の鉄筋組立ヤードで、主筋 D51、フープ筋 D29よりなる φ3.6m×(8~14m)の鉄筋籠を組み立てた。Fig.10は鉄筋籠組立要領図である。



- ① 純掘削
- ② ドリルパイプ着脱
- ③ ビット降ろし・引揚げ
- ④ スライム処理
- ⑤ その他
- ⑥ 準備片付
- ⑦ 整理修理
- ⑧ 付属機械条件
- ⑨ 検測
- ⑩ その他
- ⑪ 掘削機据付移設

Fig.9 作業別時間分布図

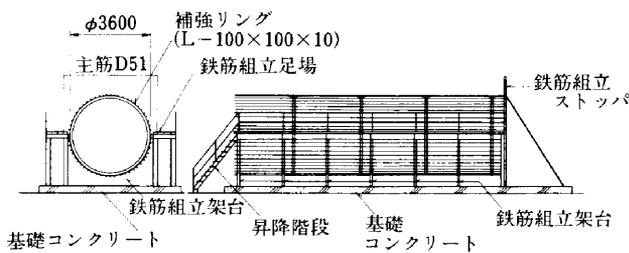


Fig.10 鉄筋籠組立要領図

(2) 鉄筋建込

大口径杭掘削の終了した孔は、空洞状態で放置すると孔壁崩壊の恐れがあるので、スライム処理後、速やかに鉄筋籠を建て込んだ。鉄筋籠は3~5ピースに分割され、各ピースの継手は主筋 D51の重ね継手で、継手長は40D=204cmであった。よって、なまし鉄線結束のみの継手では自重を支えることが困難なので、主筋のうち数本は現場溶接を行った。鉄筋籠の最大重量は約41tとなり、130tf吊クローラクレーンを使用して建て込んだ。

3-5 大口径杭コンクリート

(1) 配合

大口径杭コンクリートは、Table6に示す水中コンクリートの品質基準を満足するもので、試験練りの結果、その示方配合をTable7のように決定した。

(2) 打設

コンクリートの混練・圧送設備として、3Pケーソン西側に係留した90㎡/h級のCP船を用いた。水中コンクリートは、Fig.11の大口径杭コンクリート打設要領図に示すように、トレミ工法によって連続打設した。

コンクリート打設量は、1回当たり250~440㎡、合計で約10,800㎡、平均打設速度は57㎡/hであった。

3-6 大口径杭全体実施工程表

大口径杭の掘削工・鉄筋工及びコンクリート工の実施工程表をTable8に示すが、32本の大口径杭の施工に約4ヶ月、準備・撤去を含めると5.5ヶ月の工期を要した。

§4. 気中コンクリート

4-1 概要

モルタル注入及び大口径杭施工後、ケーソン内をドライアップして、コンクリート・モルタルのレイタンスや脆弱部分を除去するために表面仕上げを行った。

表面仕上げ後、ケーソンの梁及びブレース材を切断撤去して、気中コンクリートを施工した。気中コンクリートは、ケーソンに資材台船及び濁水処理台船を係留し、

Table 6 水中コンクリートの品質規準

コンクリートの種類	σ <sub>28</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	セメントの種類
Y	240	25	15±2.5	4±1	高炉セメントB種

Table 7 大口径杭コンクリートの示方配合

コンクリート種類別	水セメント比 (%) W/C	細骨材率 (%) S/a	単位水量 (kg) W	単位セメント量 (kg) C	単位細骨材量 (kg) S	単位粗骨材量 (kg) G	単位混和剤量 (g)
Y	47.3	43	175	370	740	1010	925



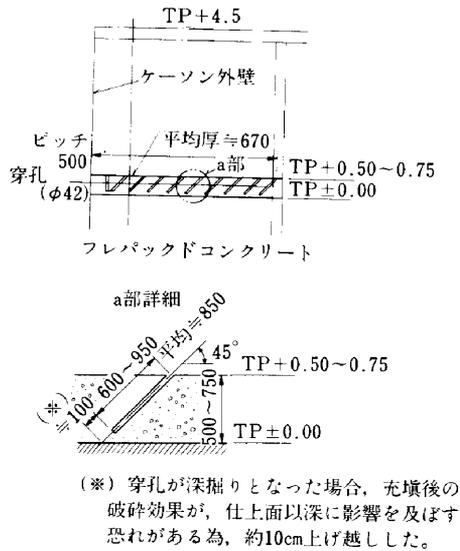


Fig.12 表面仕上げ穿孔位置図

(2) 2次破碎

研り作業は、エアブレイカ付バックホー (0.2m<sup>2</sup>級) 3台、油圧ブレイカ付バックホー (0.15m<sup>2</sup>級) 2台を使用して、1次破碎が終わったところから順次行った。また、ケーソン構造上機械研りが困難な箇所については、ハンドブレイカ (CB20, CB30) により入力施工した。

研りガラは、ケーソンに係留した500m<sup>2</sup>ボックスバージに仮置きし、199型ガット船にて背取りして捨工場まで海上運搬した。Photo3はブレイカによる2次破碎状況である。



Photo 3 ブレイカによる2次破碎状況

研り面積及び体積は、それぞれ約1,100m<sup>2</sup>、約760m<sup>3</sup>(平均厚さ約70cm)で、所要作業日数は約1ヶ月であった。表面仕上げ後のシュミットハンマによるコンクリートの

表面強度は平均295kgf/cm<sup>2</sup>(材令40日)であった。

なお、以上は2Pについて述べたが、3PはFig.13に示すように、隔壁及び骨組部材の交錯するケーソン床版下約20m位置での作業であり、換気・昇降及び礪出設備の関係から表面仕上げには約2ヶ月を要した。

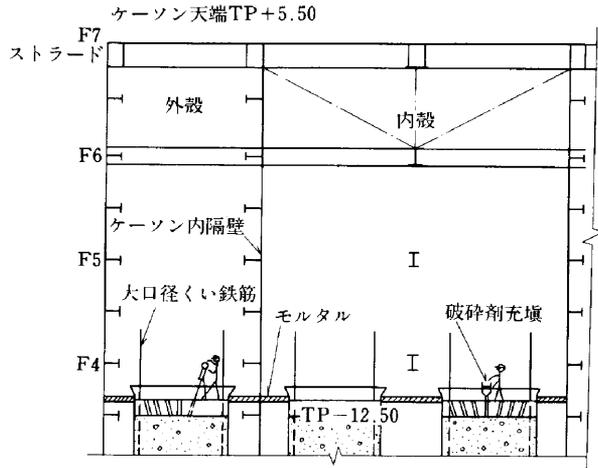


Fig.13 3P表面仕上げ要領図

4-3 気中コンクリート

(1) ブロック及びリフト割

鉄筋部は、当初3ブロック・11リフト(標準リフト高0.75m)で計画されたが、下記に示す施工条件の変化に伴って、2ブロック・6リフト(標準リフト高1.5m)で施工した。

- ① 120m<sup>3</sup>/h級大型CP船を使用することにより、1日当たり1000m<sup>3</sup>程度の打設が可能である。
- ② コンクリートのひび割れの主たる原因である温度応力を検討した結果、施工時期が冬期(11月~4月)であるので1.5mリフトの施工が可能である。
- ③ 工期短縮が不可欠である。

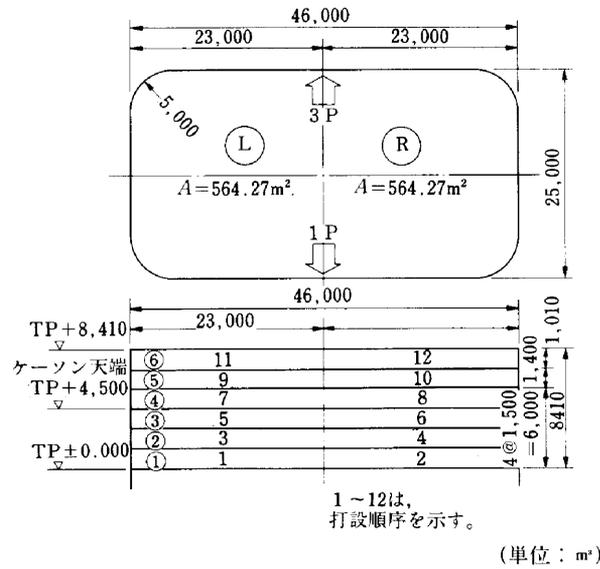
Fig.14, 15に2P及び3Pの気中コンクリートブロック・リフト割図を示す。

(2) 鉄筋

鉄筋の加工は、瀬居基地鉄筋加工ヤードにてリフト単位で行った。加工された鉄筋は200t台船に積み込み、500PS曳船にて現場まで海上運搬し、1,000t資材台船に水切り・仮置きした。

組立ては、ケーソン上に設置した180tf・mタワークレーンで行った(3Pでは50t吊C.C.を併用した)。このため、気中コンクリートの全体工程は鉄筋組立てに大きく左右されたので、太径鉄筋架台の増設や圧着継手の残業施工などを実施して工期短縮に努めた。

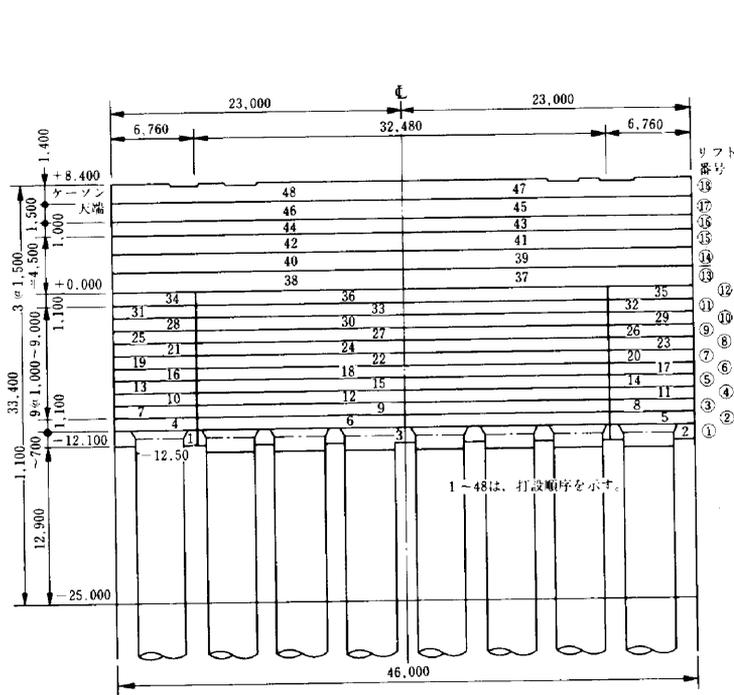
特に、D51太径鉄筋の継手には、特殊技能員が不要で機



(単位: m²)

ブロック リフト	コンクリート量		摘 要
	L	R	
⑥	587.8	587.8	大端水切り含む 一部大端形状変更
⑤	790.0	790.0	
④	846.4	846.4	
③	"	"	
②	"	"	
①	846.4	846.4	
計	4,763.4	4,763.4	合計 9,527

Fig.14 2P気中コンクリートブロック・リフト割図



(単位: m²)

リフト 番	コンクリート量 (m²)		摘 要	部
	鉄筋部	無筋部		
18	952.54	952.54	大端水切り 含む	鉄 筋 部
17	994.71	994.71		
16	663.14	663.14		
15	994.71	994.71		
14	994.71	994.71		
13	994.71	994.71		
小計	5,594.50	5,594.50		
12	470.42	518.06	470.42	無 筋 部
11	427.65	470.96	427.65	
10	427.65	470.96	427.65	
9	427.65	470.96	427.65	
8	427.65	470.96	427.65	
7	427.65	470.96	427.65	
6	427.65	470.96	427.64	
5	427.65	470.96	427.65	
4	427.65	470.96	427.65	
3	427.65	470.96	427.65	
2	384.89	423.86	384.89	
1	494.60	560.04	438.98	
小計	5,198.76	5,740.60	5,143.14	合計 27,271.50

Fig.15(a) 3P気中コンクリートブロック・リフト割図

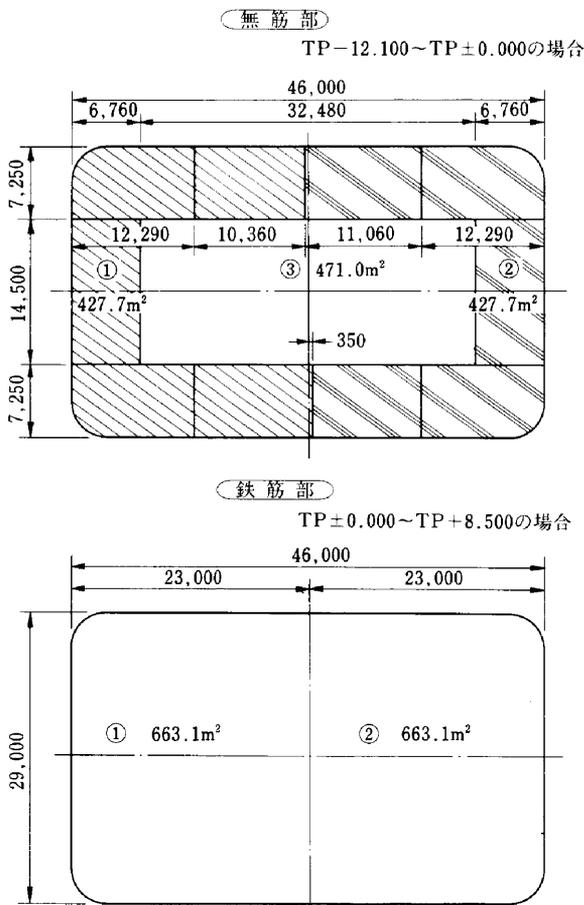


Fig.15(b) 3P気中コンクリートブロック割図

械的に施工できる「神鋼—理研式冷間圧着継手方法」を採用し、2P・3Pで1,800箇所、下部工全体で約11,000箇所の継手を施工した。

(3) 型枠

気中コンクリートで使用した型枠は、ブロック境の仕切り型枠と外周型枠の2種類であった。

仕切り型枠は、鉄筋組立てを考慮してメタルラス(TS-35)を使用して埋殺し型枠とした。

また、外周型枠は、ケーソン天端(2PでTP+4.5m、3PでTP+5.5m)からTP+8.41mの躯体天端まで、NOP合板型枠をリフト毎にスライドして使用した。

(4) コンクリート

i) 配合

セメントは水和熱を抑えた中庸熱型の高炉セメントB種(支給品)、細骨材は岡山県日比沖産の海砂、粗骨

材は赤穂市福浦産の砕石を使用した。コンクリートの示方配合は、試験練りの結果 Table9 のとおりに決定した。

ii) CP船

コンクリートの混練・圧送には、現有船舶のうち最大級の能力(150m³/h)を持つCP船「第8神照」を使用した。同船の無補給打設量は最大2,000m³、通常の1日当りの打設量は、打設時間を8時間として800~1,000m³(打設速度=100~120m³/h)であり、今回の施工において、工期短縮の最大の手段として大いに貢献した。Table10はCP船の仕様である。

iii) 打設方法

CP船から2系統で圧送されるコンクリートは、φ150mm輸送管を經由して、ディストリビュータにより2層打ちで打設した。また、外気温の低い冬期の施工であり、打設当夜は打設ブロック全面をシートで覆うとともに、6台のジェットヒータを稼働させて保温養生に努めた。

iv) グリーンカット

コンクリート打設後、表面の硬化具合を見て、ハイワッシャ(HPJ-180)とバキューマ(EV-15)によりグリーンカットを2日間で実施した。グリーンカットにより発生する汚濁水は、濁水処理設備で処理して再利用した。また、グリーンカット終了後は原則として湛水養生して、コンクリート表面の乾燥を防止した。Fig.16に気中コンクリートの仮設備配置平面図を示す。

(5) コンクリート温度

気中コンクリートは、2P、3Pとも典型的なマスコンクリートであり、温度応力によるひびわれの発生が問題となった。そこで、本工事において各種温度センサを埋め込み、コンクリートの温度履歴を測定・解析したので、その結果を以下に示す。

i) 使用機器

コンクリートの温度測定には、熱電対式温度計(C-900; 鋼—コンスタンタン)を各ブロック毎のリフト中心位置に設置した。その設置個数は2Pで4個、3Pで24個であった。

Fig.17に温度計埋設位置図を示す。

Table 9 気中コンクリートの示方配合表

コンクリートの種別	圧縮強度 $\sigma_{91}$ (kgf/cm²)	粗骨材最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	セメントの種類	W/C (%)	s/a (%)	単位セメント量 (kg/m³)	単位水量 (kg/m³)	単位細骨材量 (kg/m³)	単位粗骨材量 (kg/m³)	単位混和剤量 (ℓ/m³)
Q	240	40	8±2.5	4±1	高炉B種	54	39	280	151	724	1,166	0.28

Table 10 CP船『第8神照』の仕様

船体部	全 員 (O.A)	90.0m	
	幅 (M1ℓ)	26.0m	
	深 さ (M1ℓ)	5.1m	
	吃 水 (計画満載) abt 4.0m (空 船 時) abt 1.5m		
機 関 部	主 発 電 機	925VA×440V×60Hz 2基	
	原 動 機	1120PS×720rpm 2基	
	補 助 発 電 機	125VA×220V×60Hz 1基	
	原 動 機	150PS×1800rpm 1基	
タンク容量	清水タンク (飲料水)	130m <sup>3</sup>	
	燃料タンク (A重油)	130m <sup>3</sup>	
	バラストタンク	2400m <sup>3</sup>	
	混練水タンク (清水)	1300m <sup>3</sup>	
	AEタンク	30m <sup>3</sup> ×2	
係留装置	復調ウインチ	20t×30m/min-4台	
	ワイヤーロープ	φ40mm×400m	
バッチャー プラント部	プラント能力	2400m <sup>3</sup> /h	
	無補給打設量	2000m <sup>3</sup>	
	材料受入能力	砂利, 砂	360t/h
		セメント	50t/h×4
	材 料 1 次 貯 蔵 槽	砂利	1600m <sup>3</sup> (G <sub>1</sub> :550, G <sub>2</sub> :600, G <sub>3</sub> :450)
		砂	1050m <sup>3</sup> (S <sub>1</sub> :600, S <sub>2</sub> :450)
セメント		1200t (300t×4基) 船外圧送可能	
バッチャー プラント部	材料供給能力	砂利, 砂 360t/h×2係槽 セメント 50t/h×2係槽	
	材 料 2 次 貯 蔵 槽	砂利	80m <sup>3</sup> ×2(G <sub>1</sub> , G <sub>2</sub> , G <sub>3</sub> )
		砂	50m <sup>3</sup> ×2(S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> )
	計 量 器	セメント	30m <sup>3</sup> ×2
		水	3m <sup>3</sup> +2m <sup>3</sup>
		(ロードセル方式)-2係槽	
		G <sub>1</sub> , G <sub>2</sub>	3200kg/10kg (係槽)
		G <sub>3</sub>	3200kg/10kg
		S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub>	3200kg/10kg (係槽)
		C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub>	1200kg/5kg (係槽)
W <sub>1</sub> , W <sub>2</sub>	750kg/2kg (係槽・比率補正)		
AE <sub>1</sub> , AE <sub>2</sub>	30kg/0.1kg (係槽)		
ミキサー	AE2250強制練ミキサ (容量2.25m <sup>3</sup> ) 2台		
アジテーター	10.0m <sup>3</sup> (強制攪拌)		
コンクリート ポ ン プ	PTF-90S 90m <sup>3</sup> /h×35m (ヘッド) スランプ18-22 C=340kg/m <sup>3</sup> 以上 MS:20		
	PTF-90SH 60m <sup>3</sup> /h×85m (ヘッド) スランプ18-22 C=340kg/m <sup>3</sup> 以上 MS:20		
打設コンベア	550t/h (アウトリーチ:25m)		
汚水処理能力	10m <sup>3</sup> /h		
冷水プラント	(26℃-5℃) 22t/h		

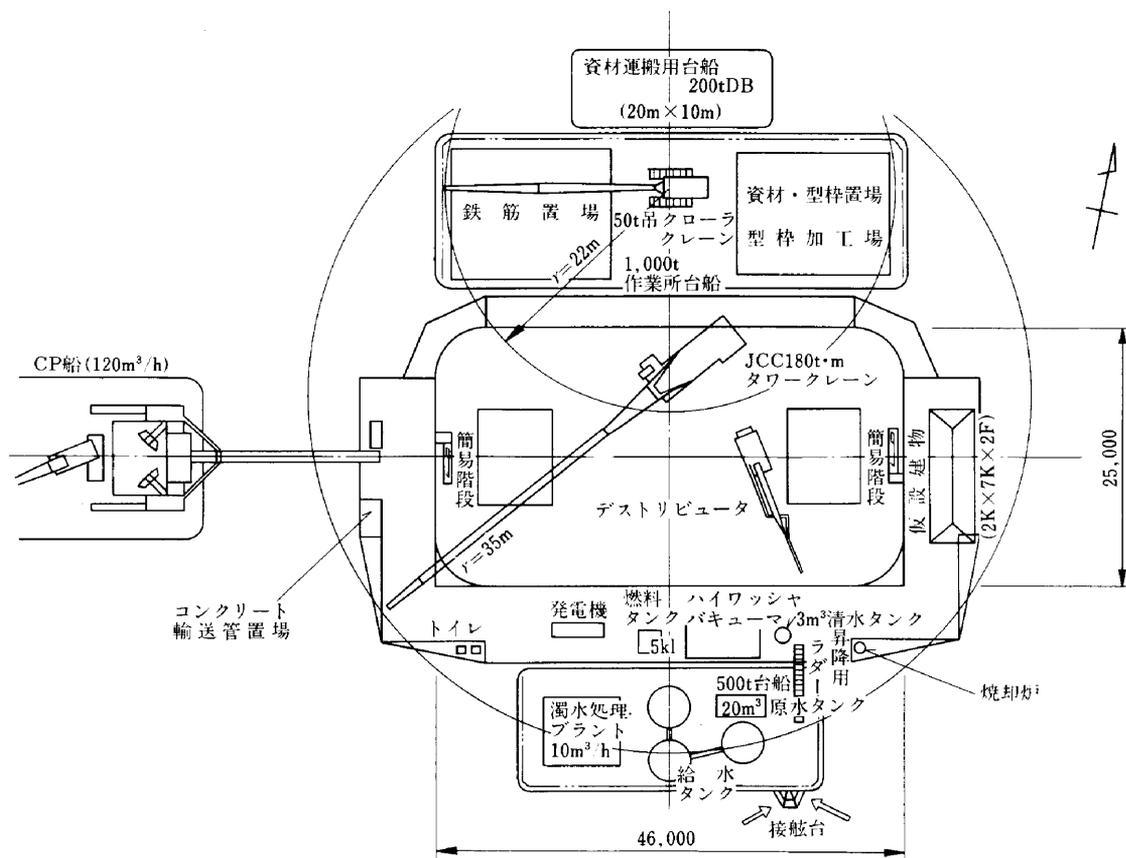


Fig.16 気中コンクリート仮設備配置平面図

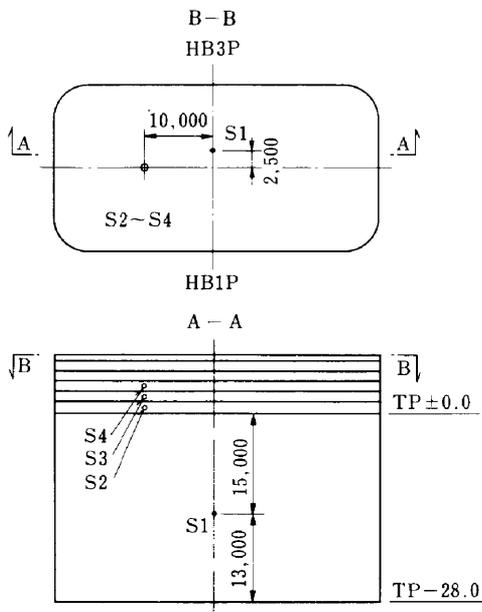


Fig.17(a) 2P温度計埋設位置図

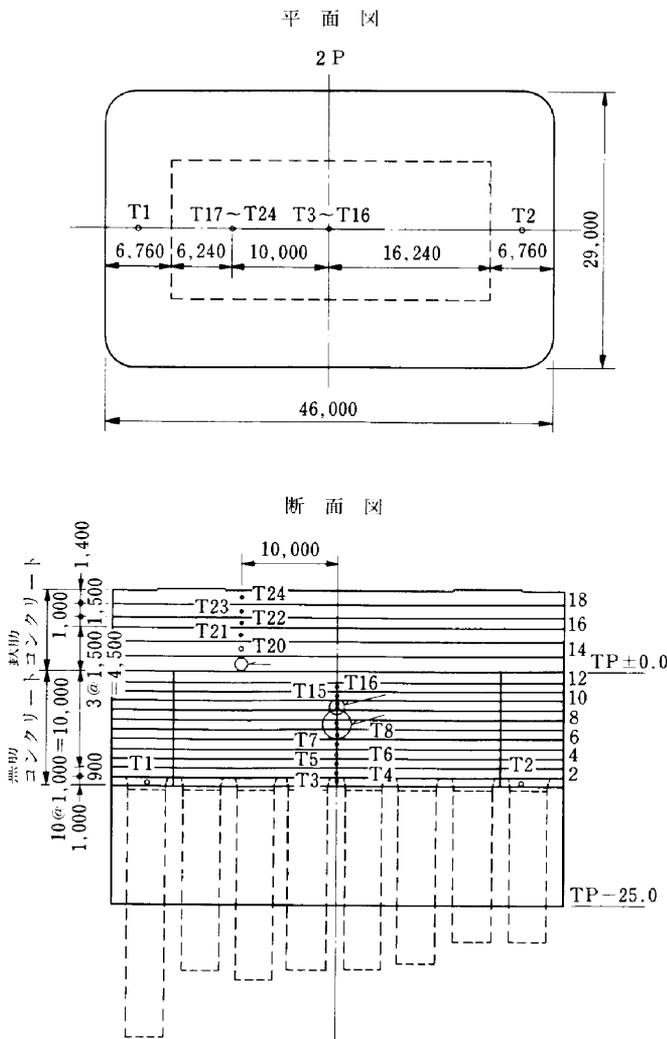


Fig.17(b) 3P温度計埋設位置図

ii) 測定結果

2 Pでプレパックドコンクリート温度 ( $S_1$ ) は、モルタル注入後約2ヶ月で最高温度84°Cを記録した。この測定値は、コンクリートの断熱温度上昇の理論値よりも約18°C高い値を示していたが、他工区での施工実績と比較しても、特別に大きい値であるとは言えない。

次に、気中コンクリート無筋部 (3 Pのみ) の各リフトの中心温度は、いずれも2つのピークを持つ類似した履歴を示し、第1のピークは打設後2日目、第2のピークは次リフト打設後4~5日で表われている。そして打設後1ヶ月でほぼ一定の45°Cとなっている。

また、気中コンクリート鉄筋部 (2 P, 3 Pとも TP±0.0以上) は無筋部と同様の履歴を示すが、打設間隔が長いいため第2のピークの出現時期、温度ともバラツキが大きい。コンクリート最高温度は、2 Pで材令4日の34~33°C、3 Pでは季節的な外気温の影響によって42~22°Cとなっている。

Table 11 にコンクリート温度一覧表を、Fig. 18 に2 Pコンクリート温度履歴曲線を示す。

iii) 温度応力解析

気中コンクリートの単位セメント量 (高炉セメント B種280kg/m<sup>3</sup>) から断熱温度上昇量を計算すると36°Cとなり、測定値24°Cと比較するとかなりの差異がある。これは、コンクリート表面からの放熱の影響と考えられる。そこで、各リフト毎に設置した温度センサによって得られた温度履歴に基づいて FEM 解析を行い、コンクリート温度応力を推定した。Table 12 にコンクリートの諸性質を、Fig. 19 に2 P温度解析モデルを、Fig. 20 に2 Pコンクリート温度応力履歴曲線を示す。

温度応力解析は静弾性係数を用いて行ったが、クリープによる応力緩和を考えれば実際の応力レベルはさらに小さくなり、温度による引張応力は2 P及び3 Pともコンクリートの引張強度以下に収まっていると考えられた。

iv) マスコンクリートにおけるひび割れ

コンクリート打設後の表面のひび割れ発生状況は前項の解析結果とは異なり、2 Pと3 Pとでは著しい違いが確認された。すなわち、コンクリート表面が直接目視できる範囲 (2 Pは④リフト、3 Pは⑰リフト以上) において、3 Pはほとんどひび割れが発生していないのに対して、2 Pは④、⑤リフト側面に4~5 m間隔に縦方向のひび割れが発生した。また、最終リフトでは、2 P, 3 Pともに天端面及び側面にひび割れが発生した。ひび割れ幅は、いずれも0.05~0.3mm程

Table 11 コンクリート温度一覧表

基礎	リフト番号	温度計番号	打設日	練り上り温度(°C)	最高上昇温度		Tmax-練り上り温度(°C)	リフト(m)	
					温度(°C)	材令(日)			
3 P	1	T <sub>1</sub>	S 59 7/23	28.0	55.0	2	27	1.0	無筋部
	"	T <sub>2</sub>	24	27.0	50.0	2	23		
	"	T <sub>3</sub>	28	27.0	54.0	2	27		
	2	T <sub>4</sub>	8/ 8	28.0	52.0	2	24		
	3	T <sub>5</sub>	25	28.0	49.5	2	21.5		
	4	T <sub>6</sub>	31	27.5	55.0	2	27.5		
	5	T <sub>7</sub>	9/ 7	25.0	47.0	2	22		
	6	T <sub>8</sub>	13	24.0	47.5	2	23.5		
	7	T <sub>10</sub>	19	24.0	48.0	2	24		
	8		25	25.0	-	-	-		
	9	T <sub>14</sub>	10/ 1	24.0	48.0	2	24		
	10	T <sub>15</sub>	6	23.0	47.5	2	24.5		
	11	T <sub>16</sub>	11	23.5	47.5	2	24.5		
	12		16	23.5	-	-	-		
	13	T <sub>18</sub>	11/21	18.5	40.0	2	21.5	1.5	鉄筋部
	14	T <sub>20</sub>	12/ 4	18.0	42.0	2	24	1.5	
	15	T <sub>21</sub>	S 60 1/ 8	11.0	26.0	3	15	1.5	
	16	T <sub>22</sub>	21	11.0	22.5	3	11.5	0.9	
17	T <sub>23</sub>	2/18	11.0	28.0	2	17	1.6		
18	T <sub>24</sub>	3/19	12.0	32.0	3	20	1.4		
2 P		S <sub>1</sub>	S 59 10/17~10/20	24.0	84.0	60	60	28.5	プレバックド コンクリート
	1	S <sub>2</sub>	12/23	13.0	34.0	4	21	1.5	鉄筋部
	2	S <sub>3</sub>	S 60 1/15	10.0	34.0	4	24	1.5	
	3	S <sub>4</sub>	2/ 6	11.5	33.0	4	21.5	1.4	
	4		25	11.5	-	-	-	1.6	
	5		3/12	12.5	-	-	-	1.4	
	6		4/ 8	13.0	-	-	-	1.0	

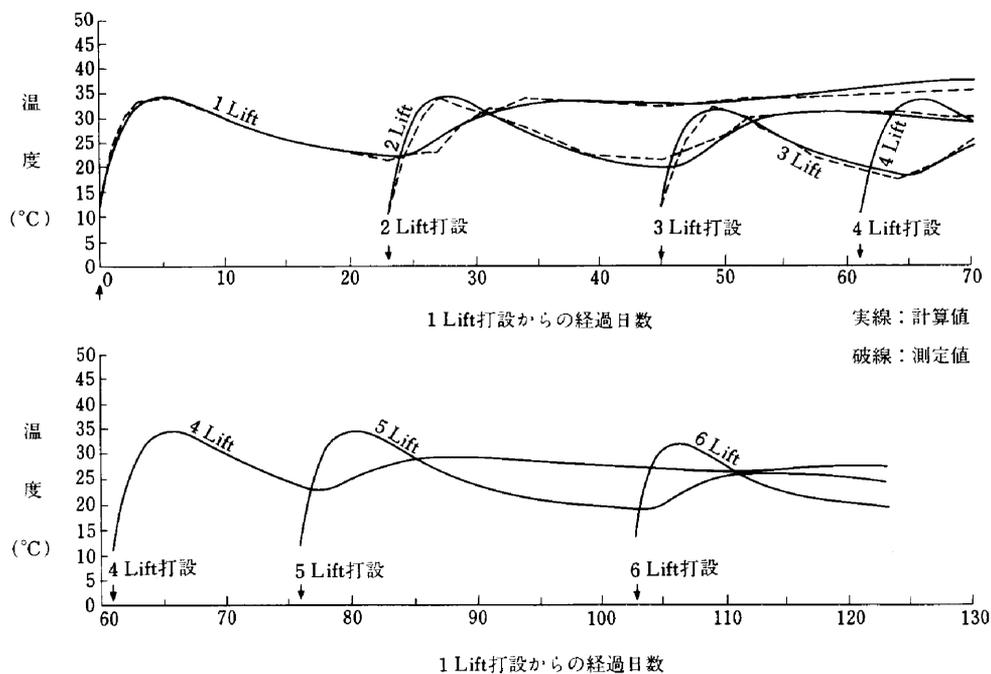


Fig.18 2Pコンクリート温度履歴曲線

Table 12 コンクリートの諸性質

項目	設定値
熱伝導係数	$K=2.00 \text{ kcal/mh } ^\circ\text{C}$
比熱	$C=0.259 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$
熱膨張係数	$10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$

材令 (日)	7	28	91
圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	142	285	353
引張強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	12.9	28.1	32.7
弾性係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	$28.6 \times 10^4$	$37.0 \times 10^4$	$39.7 \times 10^4$
ポアソン比	0.167		

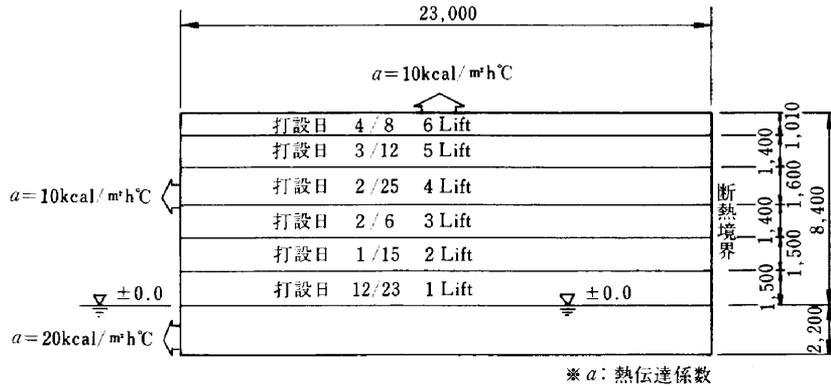


Fig.19 2P温度解析モデル

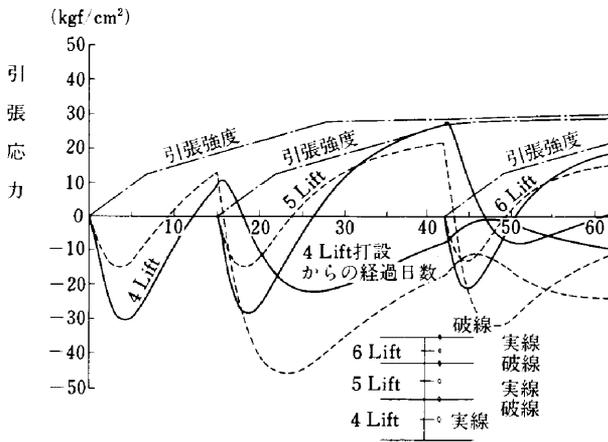


Fig.20 2Pコンクリート温度応力履歴曲線

度であった。Fig.21 に 2 P コンクリートひび割れ発生状況図を示す。今回のひび割れ発生の有無は、各種の要因が複雑に影響した結果であり、その因果関係を究明することは困難であるが、推測として下記の3点の差異に起因したものと考えられる。

- ① 2 P は 3 P と比較して、大口径杭及び無筋コンクリート工などがなく、モルタル注入以降が短期間に施工されたので基礎面温度が高かった。
- ② 気中コンクリートの最高温度は 2 P が 33~34°C であるのに対して、3 P では 22.5~28°C と約 6~8°C 低かった (2 P での最終打設が 4 月初旬と

なったため、混練水の冷却を実施した)。

- ③ 鋼製ケーソン自体の構造が、2 P は 3 P と比較して剛性に乏しく、使用船舶等の衝撃・振動の影響をより受けやすかった。

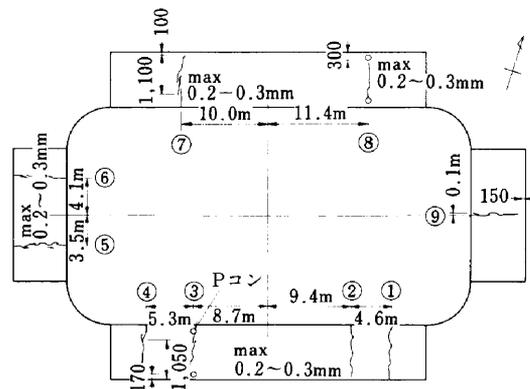


Fig.21 2Pコンクリートひび割れ発生状況図 (第4リフト側面)

#### 4-4 塔アンカーフレーム据付

第2リフトのコンクリート打設後(TP+3.0m), 鋼重約53t/基の塔アンカーフレーム2基を100tf吊FC船を使用して据付けた。

塔アンカーフレームは、Photo4 に示すとおり幅6.6m, 長さ7.8m, 高さ7.5mで、アンカーボルトφ120mm×7230mm×30本で構成されている。アンカーボルト頭部で

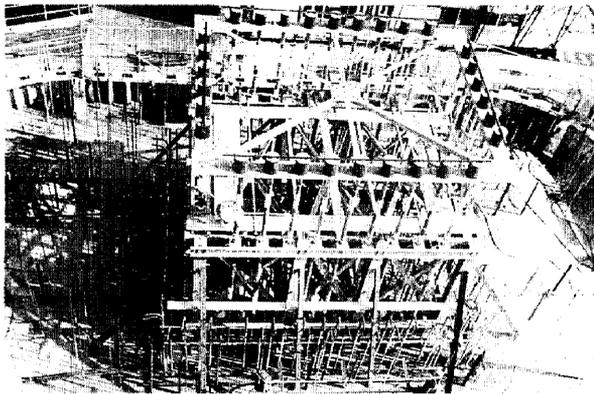


Photo 4 塔アンカーフレーム据付状況

の据付け許容誤差は、水平方向で±10mm以内、垂直方向で-10mm～+20mm以内である。据付け順序は下記のとおりであり、所要日数は約10日間であった。

- ① 受台及び固定金物設置 (TP+1.50m)
- ② 基準点照査及び芯出し測量 (TP+3.0m)
- ③ 100tf吊 FC 船による塔アンカーフレーム本体据付け
- ④ アンカーボルト芯の確認測量
- ⑤ 塔アンカーフレーム本体固定

据付け位置誘導は、ケーソン外周に設置した引照点にトランシットを据付け、テンプレート及びフレームのマ

ーキングを視準して行った。調整は、水平・垂直方向とも埋設したH形鋼と30tf油圧ジャッキを使用して行った。また、塔アンカーフレームの据付精度は極めて良好で、最大誤差は水平方向3mm、鉛直方向4mmであった。

なお、塔アンカーフレームの他にコンクリート天端位置に、上部工架設用の埋込金物として35基、鋼重約20tを据付けた。

4-5 気中コンクリート全体実施工程表

Table 13, 14 に 2 P 及び 3 P の気中コンクリート全体実施工程表を示す。

§ 5. 潜水作業

5-1 概要

大水深・急潮流下での海中工事では、大型の海上作業足場や作業船を使用し、できるだけ機械化施工を行って潜水作業を少なくするのが原則である。しかし、実際の工事においては、機械での施工が困難な複雑な作業や人間の判断を必要とする調査・確認作業があり、依然として潜水作業に頼らなければならないのが現状である。

当工事における潜水作業も、シンカー設置をはじめ大部分が設置ケーソン工法の一環として行われ、中でも底面仕上げにおいて、最も多くの潜水作業が行われた。

Table 13 2P気中コンクリート全体実施工程表

I. 種	単位	数量	S 59. 12						S 60. 1						2					3					4					摘要			
			5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20		25	30	
気中コンクリート工	m³																																
① リフト	〃	1,693	■																											21日			
② リフト	〃	1,693							■																					13日			
③ リフト	〃	1,693													■															19日			
④ リフト	〃	1,693																		■										16日			
⑤ リフト	〃	1,580																		■										15日			
⑥ リフト	〃	1,176																							■					23日			
C P 船シフト	回	5	----- 2 P -----						----- 2 P -----						----- 2 P -----					----- 2 P -----					----- 2 P ----- 帰港 →								
(塔アンカーフレーム据付工)	基	2							□																					12日			
埋込金物工	t	20																		□					□					7日			
フットライト工	式	1																							□					2日			
天端水切り工	m	130																							□					7日			
天端手摺工	〃	130																							□					7日			
ケーソン外周足場撤去工	式	1																							□					6日			
防舷材取付	基	9																							□					5日			
タワークレーン撤去工	〃	1																							□					5日			

Table 14(a) 3P気中コンクリート(無筋部)実施工程表

工種	単位	数量	S 59. 7					8					9					10					11					摘要					
			5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5		10	15	20	25	30
気中コンクリート準備工			=====																														
気中コンクリート																																	
① リフト	m <sup>3</sup>	1526																															
② リフト	"	1196																															
③ リフト	"	1286																															
④ リフト	"	1294																															
⑤ リフト	"	1296																															
⑥ リフト	"	1303																															
⑦ リフト	"	1285																															
⑧ リフト	"	1306																															
⑨ リフト	"	1336																															
⑩ リフト	"	1319																															
⑪ リフト	"	1297																															
⑫ リフト	"	1364																															
CP船シフト																																	
ケーソン部材切斷・撤去																																	

Table 14(b) 3P気中コンクリート(鉄筋部)実施工程表

工種	S 59. 11			12			S 60. 1			2			3			4			摘要
	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	28	10	20	30	10	20	30	
ケーソン部材切斷・撤去	=====																		
気中コンクリート																			
⑬ リフト																			
⑭ リフト																			
⑮ リフト																			
⑯ リフト																			
⑰ リフト																			
⑱ リフト																			
CP船シフト																			
(塔アンカーフ)レーム据付工																			
埋込金物工																			
フットライト工																			
天端水切工																			
防眩材取付																			
ケーソン外周足場撤去工																			
タワークレーン撤去工																			

そこで、以下にこれらの潜水作業の施工要領を述べるとともに、児島～坂出ルートで実用化された大深度潜水におけるSDC・DDCシステムを合わせて紹介する。

### 5-2 潜水機器による分類

従来土木工事で潜水作業を行う場合は、比較的水深が浅く作業時間も短いので空気潜水が主体となり、調査・確認などの機動性を必要とする作業ではスキューバ潜水、比較的軽作業ではフーカー潜水、捨石均し等の重作業ではヘルメット潜水というように空気潜水が使用されてきた。しかし、同ルートの南備讃瀬戸大橋6P、7Aの底面仕上げ作業では、水深50mで作業時間が1時間を超えるため、土木工事で初めてヘリウム酸素混合ガス潜水が本格的に採用された。Fig.22は潜水機器による分類図である。

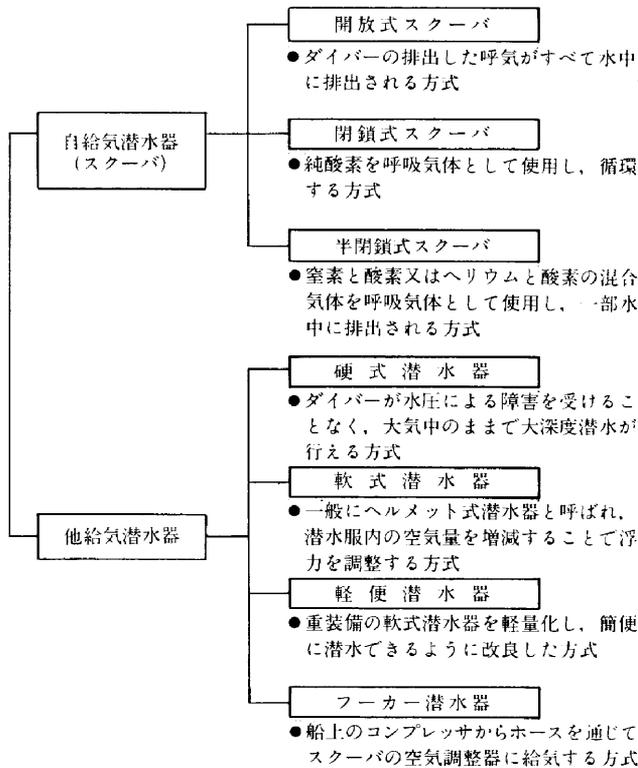


Fig.22 潜水機器による分類図

櫃石島橋下部工工事で採用した潜水方法は、大部分が自給気式のスキューバ潜水であり、その他はエアリフト清掃で送気式のフーカー潜水を一部使用したのみであるが、その潜水方法は次のとおりである。Table15は工種別潜水作業一覧表である。

#### (1) スキューバ潜水

別名アクアラング潜水とも呼ばれ、ダイバーはウェットスーツを着用して空気ポンペを背負い、足ひれにより

海中を自由に泳ぐことができる。このため、調査・確認などの作業に適しているが、自給気式であるため潜水時間が限られる。通信連絡には咽喉マイクが開発され、簡単な通話が可能である。Photo5はスキューバ潜水のダイバーである。



Photo 5 スキューバ潜水のダイバー

#### (2) フーカー潜水

潜水服はウェットスーツを主体に使用し、厳寒時などはドライスーツも着用する。顔面はマスクで覆い船上又は地上からレギュレータを通して送気を受け、通常は海底を歩行式で作業するが、足ひれをつけ遊泳式で作業することもできる。水中で軽作業を長時間行う場合に適した方法である。通信連絡には咽喉マイク又は水中電話付きのヘルメットを使用する。

### 5-3 潜水作業要領

#### (1) 人員構成

潜水作業の人員は、潜水作業管理者・潜水指揮者・ダイバー・連絡員及びコンプレッサ運転員等によって構成されるが各構成員の職務は次のとおりである。

##### ①潜水作業管理者

潜水士の資格を有し、潜水作業を熟知した者で、潜水作業の安全施工管理を行う。

##### ②潜水指揮者

ダイバーの配置を決定し、潜水前に毎回、ダイバーの健康状態・潜水設備及び装備をチェックリストにより各自点検させ、自ら再度確認して作業内容及び現場状況について説明するとともに適切な指示を与える。また、ダイバーの潜水時間を管理・記録し、異常事態発生時には定められた方法により速やかに対処する。

##### ③ダイバー

潜水指揮者の指示に従い、事故防止に関する必要措置を守り、自ら安全に対する意識を持って作業に従事する。特に、平素から体力の練成を行い自ら摂生に努

Table 15 工種別潜水作業一覧表

工種	作業項目	潜水区分		潜水場所			備考
		スキューバ	フーカー	1P	2P	3P	
共通	燈浮標設置・点検	○		○	○	○	最大水深55m
	シンカー設置・移設	○		○	○	○	
締切堤	エアリフト，人力掘削		○	○			
	水中型枠，コンクリート打設		○	○			
海底発破	SEPスパッド着底部調査	○			○		
	ループアンテナ布設・撤去	○			○		
	起電力測定	○			○		
	完爆及び海底破碎状況確認	○			○		
	ループアンテナ保守管理	○			○		
海底掘削	掘削状況及び法面調査	○			○	○	
底面仕上げ	SEPスパッド着底部調査	○			○	○	
	掘削，清掃状況調査	○			○	○	
	弾性波速度探査	○			○	○	
	転石除去，堆砂状況調査	○			○	○	
	水中写真，刃口部ビデオ撮影	○			○	○	
	水中投光器補修	○			○	○	
ケーソン沈設	ケーソン着底状況調査	○			○	○	
	シールゴム水中部点検	○			○	○	
	シンカー係留索点検	○			○	○	
	機装品撤去	○			○	○	
	堆砂状況調査	○			○	○	
	ケーソン内エアリフト清掃		○		○	○	
プレバックド コンクリート	モルタル漏洩防止工		○		○		
	根固め捨石投入状況調査	○			○		
	粗骨材充填状況調査	○			○		
	縁切りシート設置	○			○		
大口径杭	モルタル注入状況調査	○			○	○	
	ケーシング管底蓋切断		○			○	
	モルタル漏洩防止コンクリート打設		○			○	
気中 コンクリート	初期掘削状況調査	○				○	
	ケーソン外周足場撤去	○			○	○	
気中 コンクリート	防舷材取付・撤去	○			○	○	

める。

テンダーダイバーは，水中減圧を伴う作業，特に40m以上での作業（大深度潜水作業）時に第1減圧点に待機し，作業ダイバーの浮上確認と減圧管理，指揮者との連絡を行う。また，支援ダイバーは，異常事態の発生に対処するため，潜水指揮者横で待機する。

#### ④連絡員（フーカー潜水の場合のみ）

水中電話を使用して，ダイバーへの潜降及び浮上の指示，異常事態等の連絡を適切に行う。また，ダイバーへの送気量の調節を行う。

#### ⑤コンプレッサ運転員（フーカー潜水の場合のみ）

発電機，コンプレッサ等の始業点検，保守，起動停

止等の作業を行う。

Fig.23 は、スキューバ潜水及びフーカー潜水作業の人員構成表である。

(2) 使用機器

Table16 は、スキューバ潜水及びフーカー潜水作業における使用機器一覧表である。また Fig.24 は、フーカー潜水作業の送気系統図である。

(3) 作業要領

潜水作業における主な作業要領を列挙すると次のとおりである。

- ① 潜水に先立ち潜水作業指揮者と作業の内容・手順、潜水時間、減圧時間等について打合せを行い、ダイバー全員に周知徹底させる。
- ② 潜水作業の前後において、潜水器具の点検を入念に行う。
- ③ 潜水作業中は、ダイバー船に標識 (A 旗) を掲げ

Table 16 使用機器一覧表

分類	項目	名 称	仕 様 又は 用 途
スキューバ潜水	潜水機器	自動空気調節器 (レギュレータ)	潜水深度に応じて給気を調整する装置
		空 気 ポ ン ベ	ダイバーが携帯するボンベ
		マ ウ ス ビ ー ス	ダイバーが吸気又は排気できる構造
		重 錘 帯 (ウエイト)	体の浮力を押さえるための重錘
		足 ひ れ (フィン)	遊泳用のゴムひれ
		潜 水 服	ウェットスーツ
		マ ス ク	目と鼻の部分だけを覆うもの
		リ ザ ー ブ バ ル ブ	ボンベ内の空気がなくなって、予め調整された圧力以下になると、自動的に給気が止まり、残気量を知らせる装置
	潜水計器	潜 水 用 腕 時 計	防水性及び耐圧性に優れたもの
		水 深 計	アネロイド式のもの
		浮 上 用 早 見 表	浮上方法、減圧時間等の早見表
		修 正 時 間 用 計 算 尺	作業時間に応じた修正時間を求める計算尺
		流 量 計	潜水深度に応じた適量空気を確認する流量計
		救 命 胴 衣	緊急時に急速浮上ができるもの
		潜 水 ナ イ フ	ロープ等を切断するためのナイフでカバー付
		さ が り 綱	ダイバーが潜降や浮上をするためのロープ
		信 号 索	ダイバーと船上との連絡用のロープ
		水 中 電 話 装 置	ダイバーと船上との連絡用の有線電話
	潜 水 上 船 (ダイバー船)	堅牢で耐波性及び復元性の高い構造 ダイバーの乗降用梯子、潜水中の標識を取付ける。	
	フーカー潜水	潜水機器	発 電 機
電 動 コ ン プ レ ッ サ			ダイバー毎にその水深下で60ℓ/分の送気能力を持つもの
逆 止 弁			コンプレッサ故障時に圧縮空気の漏洩を防止する。
送 気 調 節 用 空 気 槽			空気圧の均等化と送気中の水分や油気を分離させる。
空 気 清 浄 装 置			空気中のちりや排気ガスを清浄にする。
送 気 管 (ゴムホース)			内径8~12.7mmの送気用編上式ゴムホース
潜 水 マ ス ク			目と鼻の顔面を覆うマスク
潜 水 服			ウェットスーツ又はドライスーツ
潜水計器、潜水上船はスキューバ潜水の項と同じ			

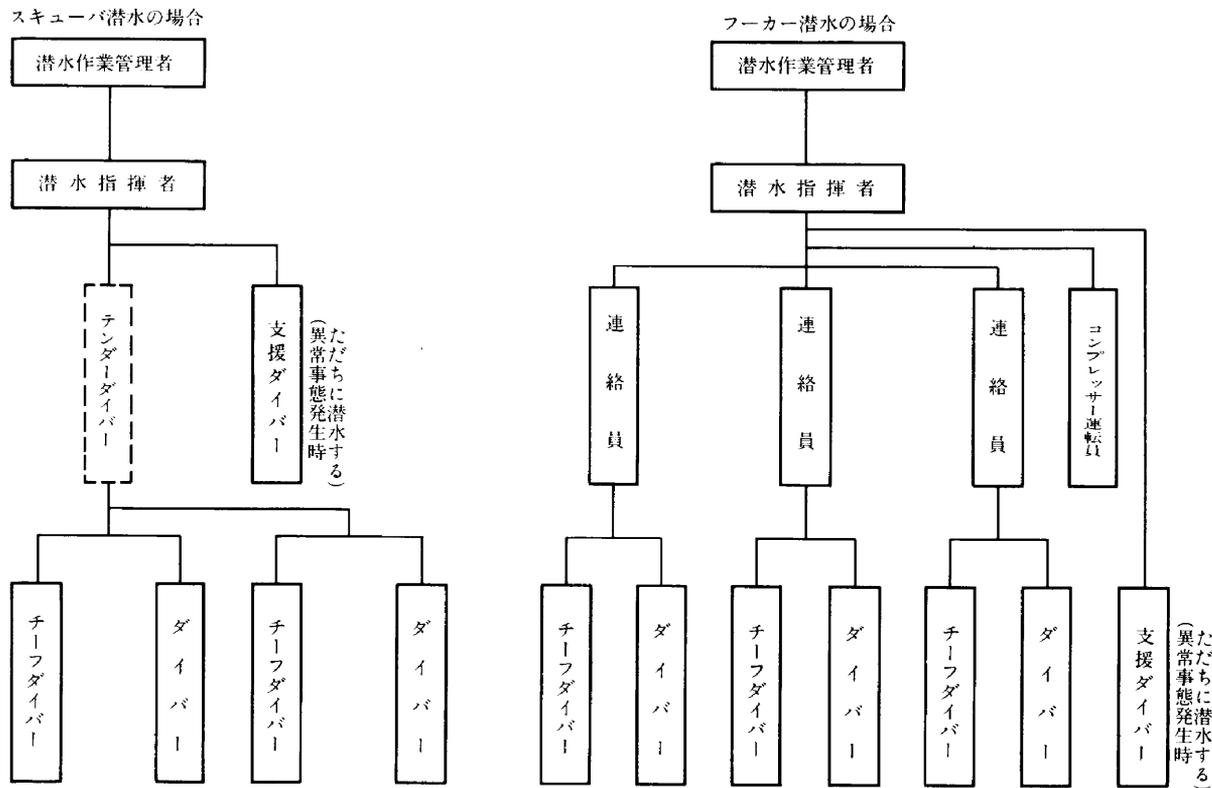


Fig.23 潜水作業人員構成表

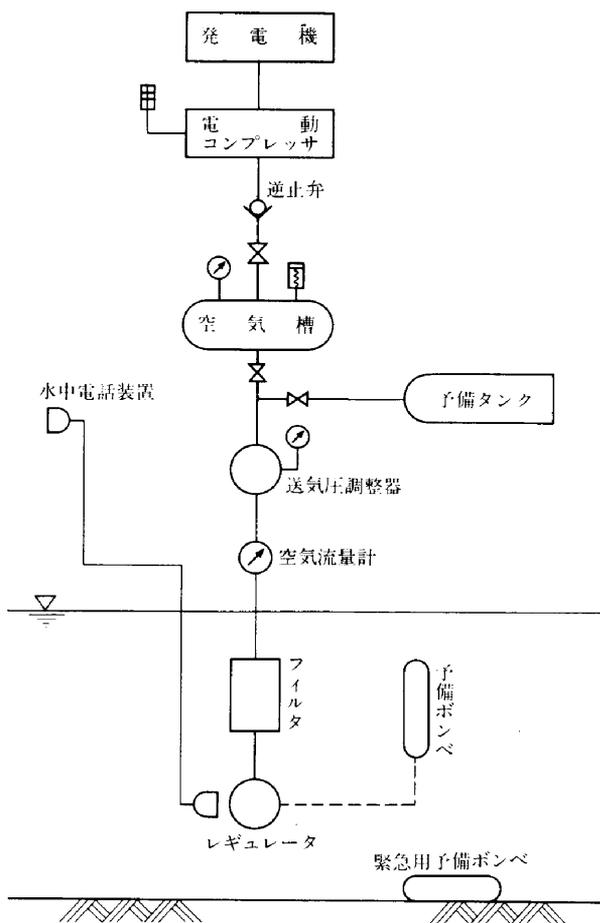


Fig.24 フリーダイビングの送気系統図

- る。
- ④ 船舶が航行する潜水作業場所では、警戒船を配備して監視する。
- ⑤ 潜水作業中は、緊急の場合を除き、推進機によるダイバー船の移動は行わない。
- ⑥ フリーダイビング作業を行うときは、連絡員をダイバー2人毎に1人置き、ダイバー・送気員との連絡を行う。
- ⑦ ダイバーは必ず2人以上1組になって潜水し、その中の1人をチーフダイバーに指名して潜水作業を指揮させるとともに、お互いに異常がないかを監視させる (バディシステムと呼ぶ)。
- ⑧ 潜水作業に要した時間、潜水作業内容、潜水回数、潜水深度などの記録を、ダイバー毎に作成させ保存する。
- ⑨ 潜水作業中にダイバーの出す排気音及び泡の浮上位置を船上にて監視する。
- ⑩ 浮上の速度は、毎分10m以下とし、規定された深度で規定の時間減圧する。
- ⑪ 潜水作業は、各潜水深度に応じて1回に潜水できる時間と1日の累計潜水時間が定められており、これ以上の長時間作業は行わない。また、業務間ガス圧減少時間を厳守する。

⑫ 潜水作業従事者に対しては、雇入れ時・配置替え時及びその後6ヶ月以内毎に1回、定期的に関節の痛みの有無や聴力検査などについて医師による健康診断を実施する。

(4) 作業条件

潜水作業は原則として下記の条件で行うが、安全性を確認してから作業に入るとともに、無理のない安全優先に徹した潜水を行う。また、潜水作業指揮者は、気象・海象の変化に伴う作業の打切りの判断を迅速に行う。

- ① 潮流 1.0kt以下
- ② 波高(有義波) 1.0 (0.5) m以下
- ③ 風速(平均風速) 12 (10) m/s以内
- ④ 視程 1.0km以上

但し、( )内の数値は大深度潜水時のものである。

(5) 救急再圧体制

潜水業務を終えて浮上して再び大気中に戻った時、数時間位の間、軽い場合は体のかゆみや関節の痛み、重い場合は息が詰まったり手足が麻痺して全く動けなくなるなど、種々の症状を呈することがある。これは、急激な減圧が原因で、潜水中に体内に溶け込んだ窒素ガスが大気中に戻った時に抜け切らずに起こるもので、高気圧滞在後の『減圧症』と呼ばれている。減圧症が発症した場合は、できるだけ早く適正な救急再圧をすることが必要である。この場合は、熟練した医師の指導監視のもとに行われるべきであるが、潜水作業の場合、救急処理として、医師以外の者が再圧を行うことも生じてくる。

そこで、潜水作業位置から遠くない場所に、適正な規模の再圧室を設置・整備して、常時救急再圧員有資格者を配備する必要がある。当工事においては、櫃石島現場詰所横に定員4～5人の再圧室を設置した。

5-4 大深度潜水作業

(1) 大深度潜水の定義

潜水作業は、必ずしも深さだけの要素で区分できるものではないが、水深が40mを境として、下記に示す理由により潜水作業の難度は著しく増大する。

- ① 一般的には、40mを越す潜水作業は特殊なものに限られ施工頻度が少ない。
- ② 40mを越す水深での空気潜水では、窒素酔いにかかる危険性が大きくなり、ダイバーは正常な判断ができなくなり、ひどい場合には意識を失うことがある。
- ③ 40mを越す潜水作業では減圧時間が必要で、しかも、長くなることより心理的な不安感が大きい。

そこで、深度40mを越す潜水作業は特に大深度潜水と

定義し、通常の潜水作業とは区別して作業内容を十分に検討する必要がある。本工事における大深度潜水作業の対象工種は、燈浮標設置及び300tアンカー設置であり、最大水深は55mであった。

(2) 安全対策

大深度潜水作業を行うに当たっての安全対策としては、次の5項目が挙げられる。

① 作業条件の見直し

前述の作業条件において、ダイバーの気泡確認を徹底させるために、波高及び平均風速をさらに制限した。

② 工事経歴及び健康診断の重視

大深度潜水作業を予定するダイバーは、事前に主要な工事経歴・大深度潜水の実績回数及び最大潜水深度を記入した経歴書を提出させた。また、指定した病院で、関節の痛み・耳鳴りの有無及び四肢の運動機能検査などの健康診断を受診させた。

③ 窒素酔い耐性試験の実施

窒素酔いの耐性については、再圧室で耐性試験を行い適応性を検討した。耐性試験は、深度50mの潜水作業と同じように加圧した状態で簡単な数字の加算計算(内田クレペリン法)を行わせた後、順次減圧する方法を採用した。

④ ダイバー人員構成の見直し

大深度潜水作業時の連絡体制を充実させるために、作業ダイバーとは別途に通信専従ダイバーを追加した。

⑤ 救命胴衣の着用

緊急時の急速浮上などに有効な救命胴衣をダイバーに着用させた。

(3) SDC・DDCシステム

6 P, 7 Aの水深50mでの長時間潜水作業では、大規模な設備によるヘリウム酸素混合ガス(He: 83%, O<sub>2</sub>: 17%)を使用する潜水システムを我国の土木工事で初めて採用した。このシステムを採用した理由は以下のとおりである。

- ① 窒素酔いの心配がない。
- ② 長時間の潜水では、空気潜水よりも減圧時間が短い。
- ③ 潜水時間が1時間半以上も確保でき、作業効率が良い。

長時間潜水では減圧が長時間に及ぶため、水中で減圧することはダイバーの負担となり、管理も不十分となるため、潜降・浮上はSDC(Submersible Decompression Chamber: 海中加減圧室)で行い、減圧はダイバーを船上に収容した後SDC又はDDC(Deck Decompres-

sion Chamber：船上減圧室) 内で行うもので、一般にSDC・DDCシステムと呼ばれている。ダイバーは船上から呼吸ガスと温水の供給を受け、SDCおよび船上の管制室との通信設備が備えられているので大水深での長時間作業が可能である。

このようなSDC、DDC、管制室の他に、ガスカードル、コンプレッサ、温水ヒータ、SDC昇降装置など大水深の潜水作業を行うために必要な全装備を搭載しているのが深海用潜水支援設備「深竜」又は「シートピア」であり、同ルートでの施工で開発された新技術の1つである。

Fig.25に「深竜」による潜水作業概要図を示す。

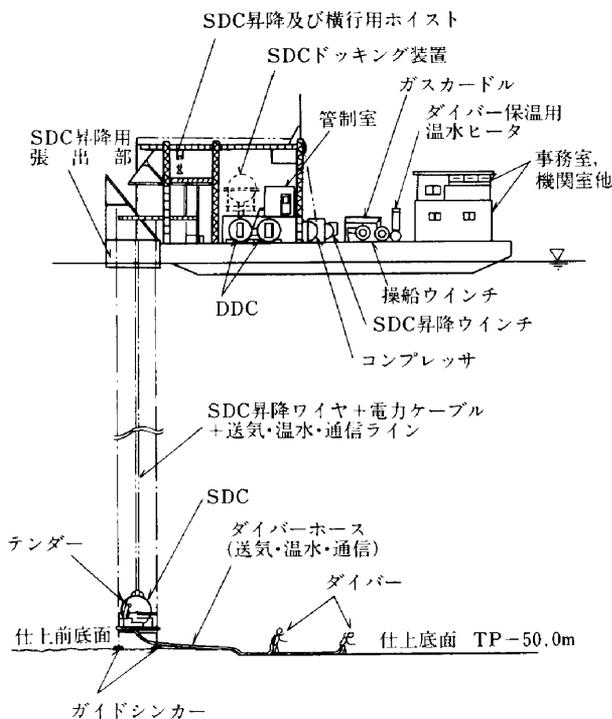


Fig.25 『深竜』による潜水作業概要図

### 5-5 潜水作業の問題点

潜水作業は海中での特殊作業であり、作業を管理する側にとっては通常の陸上作業や海上作業とは異なり、作業状況を直接監視することができない。また、潜水作業時のトラブルは様々な要因によって引き起され、たとえ小さなトラブルでも大事故に結びつく可能性が高い。そこで、以下に潜水作業の問題点を示す。

スキューバ潜水(空気潜水)では、通信連絡が困難であり、事前にダイバーとは十分打ち合せをするものの、実際の作業はダイバー任せになってしまう。作業を管理する側にとって、潜水時間が予定より長くなった場合、作業が手間取っているだけで間もなく浮上してくるものか、何かトラブルが生じ緊急に支援等を必要とする事態

になったかを判断することができない。テンダーダイバー、支援ダイバーを待機させてはいるものの、通信連絡面で不安が残る潜水方法である。他方フーカー潜水の場合は、特別に水中電話を装備しておけばスキューバ潜水のような不安はないが、エアホースの監視のためにテンダーを張付けておく必要がある。また、急潮流下の潮止まりを利用した定常潜水作業(他工区で実施されたフーカー潜水によるエアリフト清掃)は工期を要し、ダイバーに過酷な作業を強いることになり、安全管理及び品質管理上に問題があると言える。

## §6. 航行安全対策

### 6-1 確立までの経緯

海上工事の安全対策としては、明石～鳴門ルートの大鳴門橋工事において、初めて警戒船と海上安全管理室が導入され、海上作業に関する情報の収集及び安全の確保を図った。そして児島～坂出ルートにおいて、後述する一連の航行安全対策として、整備、確立されたのである。特に警戒船については、海上保安部により「海上における工事作業の警戒船の配備等に関する基準」が制定され、昭和60年4月から適用されている。

### 6-2 航行安全対策

#### (1) 工事作業区域の設定

工事用船舶等の作業、係留及び構造物等への離接舷に必要とする最小海域を工事作業区域とし、その縁線に同時点滅装置を揃えた燈浮標を設置し、工事作業区域が明確に判断し得るようにした。Fig.26は工事作業区域図、Photo6は燈浮標である。

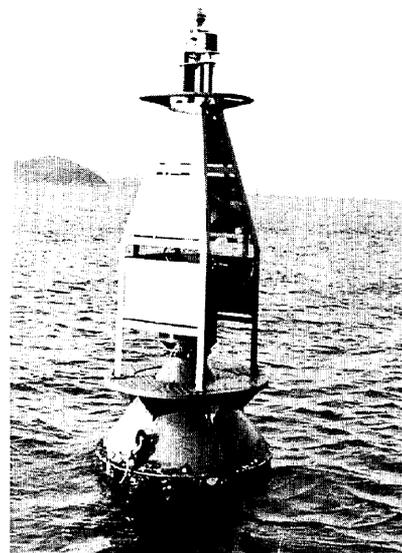


Photo 6 燈浮標

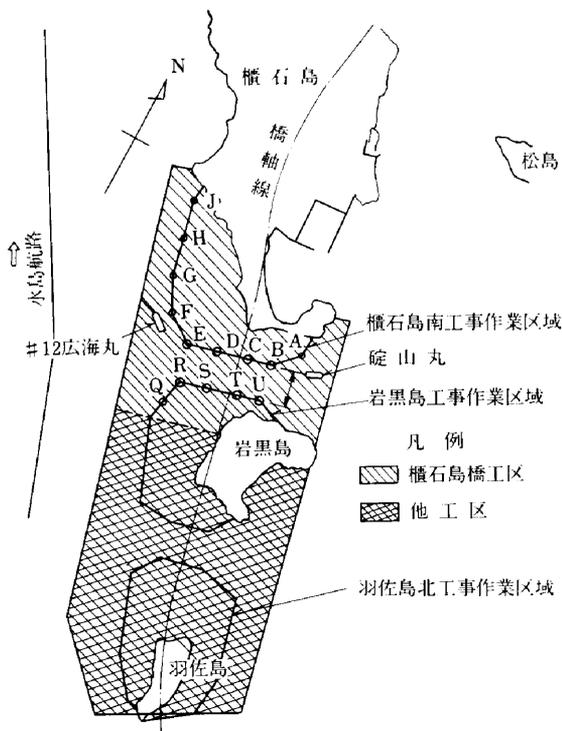


Fig.26 工事作業区域図

(2) 情報管理室の設置

航行船舶の安全に関する情報は、工事作業区域別に施工業者が異なっている。各業者が個別に情報を出した場合は情報が混乱する恐れがある。そこで、情報の一元化と周知の徹底を図る事を主目的とし、施工業者に対し航行安全に関する指導援助を行うために、児島～坂出ルート情報管理室を設置した。Fig.27は情報連絡系統図である。

(3) 運行管理者の配置

工事は作業用船舶を多数使用し、船舶航行の激しい海域において行われるため、作業用船舶の運行管理が必要であった。そこで、一定の条件を備えた者を運行管理者に選出し、情報管理室と緊密な連絡のもとに所属船舶の運行管理を行い、さらに管理下の乗組員の教育研修を実施した。

(4) 警戒船の配置

一般航行船舶が誤って工事作業区域内に侵入した場合、工事作業区域内では仮設物・作業船等の係留索が多数設けられているため、双方に重大な損害を生じる恐れがある。そこで、警戒船（第1，2広海丸1,100PS，碓山丸550PS）を東西海域に2隻配置し、工事作業区域内の警戒を24時間体制で行った。

(5) 標識灯の設置

2P及び3Pケーソンには、夜間でもその存在を航

行船舶等にわかりやすくするため、標識灯を各15基設置した。

(6) 霧警報装置の設置

霧警報装置は、海上で濃霧が発生し視界が0.5マイル以下に落ちたとき、工事海域周辺を航行する船舶に工事中の工作物がある事を音響信号によって知らせる装置である。音響信号は船舶の霧中信号とまぎらわしくない擬鐘音で、その音達距離は約2kmである。

(7) 広報活動

広報活動とは、情報管理室が主体となり高松海上保安部と協議しその指導を受け、工事の開始時期及び海上交通に制限を求めるような工事を行うときに、ポスター・新聞・テレビ及びラジオで広報するほか、毎月工事の実施状況を共同ファクシミリ放送を利用して直接船舶あてに通報することである。

6-3 通信連絡設備

通信連絡設備は、海上工事を進めて行く上で、運航管理・施工に関する指示伝達や天候急変に対する指示並びに散在する作業船・海上足場などと連絡を図るため、その果たす役割は非常に大きく、作業能率の向上及び安全対策上でも有意義であった。本工事では、無線電話・一般加入電話・船舶電話及び作業所単位での場内放送並びにトランシーバなどを使い、通信連絡網を完備し作業を行った。

6-4 作業船の運航

作業船及び交通船を安全に運航させるために、運航管理者が中心となって、下記の事項に十分注意して、運航管理に努めた。また、交通船には定員50人程度の250ps級の旅客船をチャーターして、昼間は常時4隻（内1隻は企業先監督船）、夜間作業時の現場待機船に1隻、計5隻を配備して職員及び作業員の輸送に供した。

- ① 作業船の適用法令の確認  
船舶法，船舶安全法，船舶職員法，船員法等
- ② 作業船運航基準経路の設定
- ③ 作業船標示旗の掲揚
- ④ 作業船運航計画の作成
- ⑤ 作業船船長及び船員の入場時教育の実施
- ⑥ 荒天時の処置の周知徹底

§7. おわりに

以上3回にわたって、児島～坂出ルートにおける櫃石島橋下部工工事の施工報告をしてきたが、残念ながら全工期が3年間にも及ぶ大規模海洋土木工事であり、工種毎にその細部に至るまで十分に報告することができな

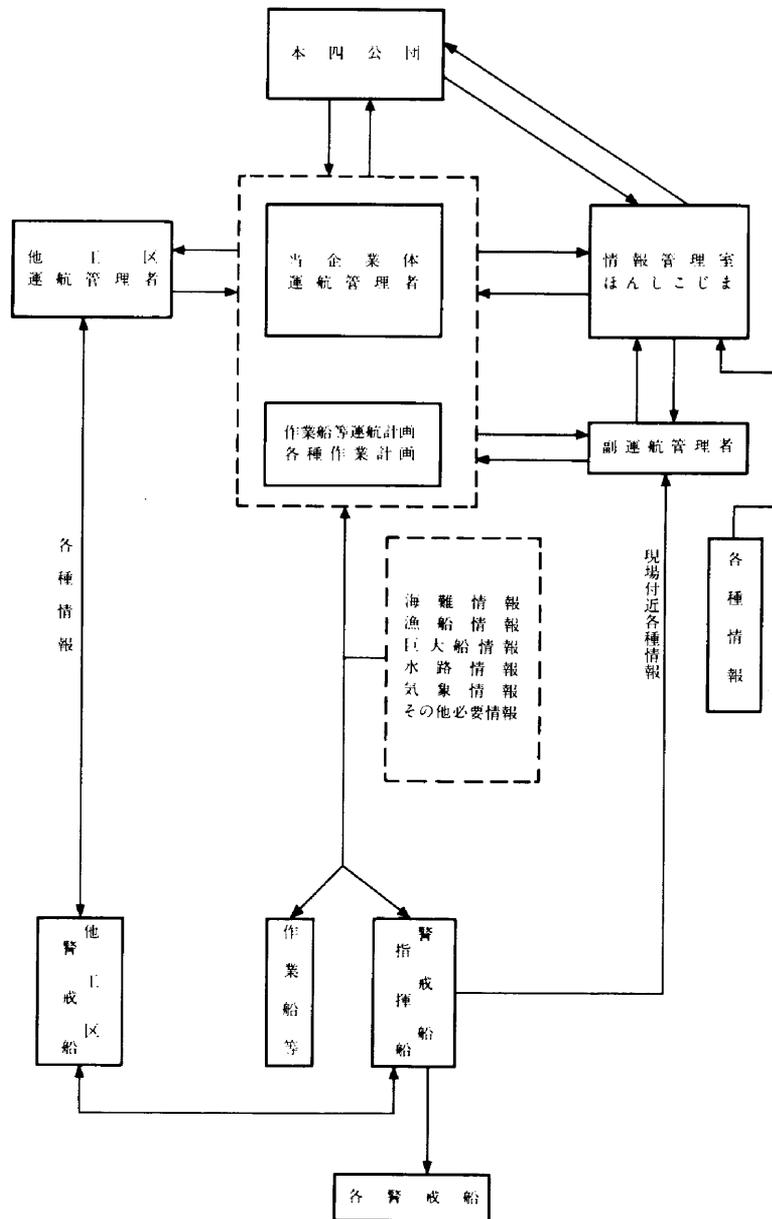


Fig.27 情報連絡系統図

った、脚付き設置ケーソン工法をはじめ、各種新技術及び最新鋭の船舶・設備を駆使して創意工夫を加え、幾多の困難を克服して進めた施工過程は、まさに海洋土木技術の最先端であったと自負している。

最後に、本工事の施工に当たりご指導・ご協力をいただきました関係各位に心からお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 本州四国連絡橋公団  
「本州四国連絡橋のあゆみ」昭和60年7月
- 2) 土木学会  
「海上工事の施工技術」昭和60年9月  
—本四連絡橋児島～坂出ルートの下部工—

- 3) 田島照義  
「櫃石島橋における脚付ケーソン基礎の施工」  
土質工学会, 土木学会, 日本建設機械化協会関西支部  
昭和59年度施工技術報告会講演概要 昭和60年1月
- 4) 労働省安全衛生部労働衛生課編  
「改訂・潜水士テキスト」昭和60年3月15日改訂
- 5) 本州四国連絡橋公団  
「作業船運用基準」昭和52年  
「警戒船運用基準」昭和52年
- 6) 西松・青木・東洋共同企業体児島出張所  
「櫃石島橋下部工工事報告書」昭和60年7月
- 7) 西松・青木・東洋共同企業体児島出張所  
「櫃石島橋下部工工事記録写真集」昭和60年7月