

## ■ 調査・報告 ■

### 児島一坂出ルート海峡部橋梁下部構造物の施工

#### CONSTRUCTION OF LARGE SCALE UNDERSEA SUBSTRUCTURES IN KOJIMA-SAKAIDE ROUTE OF HONSHU-SHIKOKU BRIDGE PROJECTS

吉田 巖\*・桜井紀朗\*\*・加島 聡\*\*\*・坂本光重\*\*\*\*

By Iwao YOSHIDA, Noriaki SAKURAI, Satoshi KASHIMA and Mitsushige SAKAMOTO

#### 1. はじめに

本州四国連絡橋の児島一坂出ルートは、本州と四国を結ぶ道路・鉄道併用ルートである。その建設に要した工期は約9年で、昭和63年4月10日に開通する予定である。

本ルートの海峡部の道路・鉄道併用区間（約12 km）には図-1に示すように吊橋、斜張橋、トラス橋およびPC高架橋が連続している。

これらの下部工は、表-1に示すように全体で107基あり、その施工法も、ニューマチックケーソン工、設置ケーソン工、陸上の直接基礎、大口径場所打杭工法と多種多様であり、これらの総コンクリート量も264万 $m^3$ の膨大なものとなった。

その中でも、備讃瀬戸南および北航路を横断する南北備讃瀬戸大橋は、図-2に示すように、中央径間長、1100 m、990 m、桁下高65 mの2連の長大吊橋である。本橋のアンカレッジ基礎および主塔基礎7基のうち、1

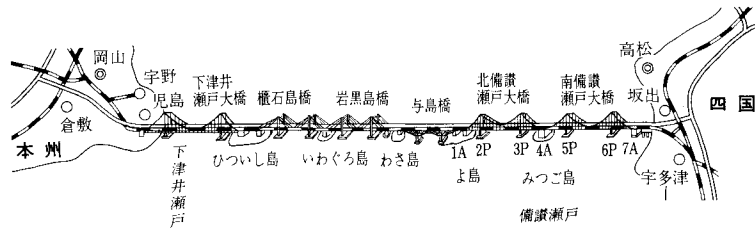


図-1 児島一坂出ルート一般図

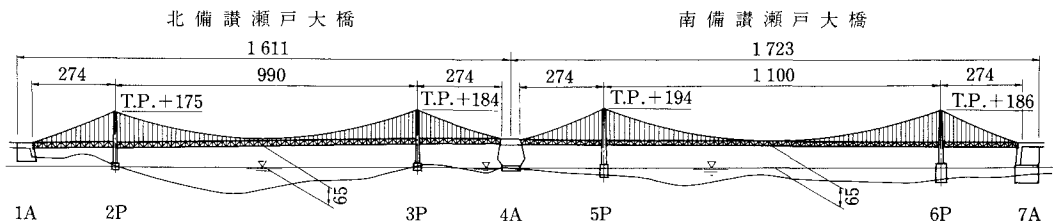


図-2 南北備讃瀬戸大橋一般図

\* 正会員 工博 本州四国連絡橋公団理事

\*\* 正会員 本州四国連絡橋公団第三建設局今治工事事務所長

\*\*\* 正会員 Ph. D. 本州四国連絡橋公団第一建設局垂水工事事務所長 (〒655 神戸市垂水区平磯 1-1-66)

\*\*\*\* 本州四国連絡橋公団第一建設局垂水工事事務所技術課長

Keywords: Honshu-Shikoku Bridge, Kita and Minami Bisan-seto Bridge, undersea foundation, prepacked concrete, mass concrete

表-1 児島一坂出ルート海峡部橋梁下部工の概算コンクリート量

橋梁名	橋梁形式	橋長 (m)	下部工 (基)	海中コンクリート等 (千m <sup>3</sup> )	気中コンクリート (千m <sup>3</sup> )	総コンクリート量 (千m <sup>3</sup> )
下津井瀬戸大橋	吊橋	1200	4	0	170	170
〃 (高架部)	PC橋	247	5	0	29	29
櫃石島高架橋	PC橋	1316	30	0	151	151
櫃石島橋	斜張橋	790	4(2)*	52	68	120
岩黒島高架橋	PC橋	92	1	0	12	12
岩黒島橋	斜張橋	790	4(3)	48	50	98
羽佐島高架橋	トラス橋	266	1	0	16	16
与島橋	トラス橋	611	4	0	48	48
与島高架橋	PC橋	717	10	0	118	118
南北備讃瀬戸大橋	吊橋	3334	7(6)	458	613	1071
番ノ州高架橋	トラス橋	483	2	(杭) 8	7	15
番ノ州高架橋	鋼箱桁橋(道路部) PC橋(鉄道部)	2456	35	(杭) 332	462	794
計		12302	107(11)	(海中) 558 (杭) 340	1744	2642

注：\*印の( )内は海中基礎

表-2 南北備讃瀬戸大橋下部工の諸元

	海中コンクリート		気中コンクリート		
	寸法 (m)	数量 (m <sup>3</sup> )	寸法 (m)	数量 (m <sup>3</sup> )	単位 鉄筋量 (kg/m <sup>3</sup> )
1A*1	—	—	71×54×56	137 000	16.8
2P*2	23×57×10	13 500	23×57×10	12 800	76.3
3P	23×57×10	13 500	23×57×10	12 800	75.9
4A	57×62×10	37 200	57×96×86	253 500	21.6
5P	27×59×32	48 900	27×59×10	15 500	80.8
6P	38×59×52.3	115 200	38×59×7.7	16 900	109.4
7A	75×59×52.3	230 000	75×55×72.7	186 000	14.8

\*1 A：アンカレッジ基礎

\*2 P：主塔基礎

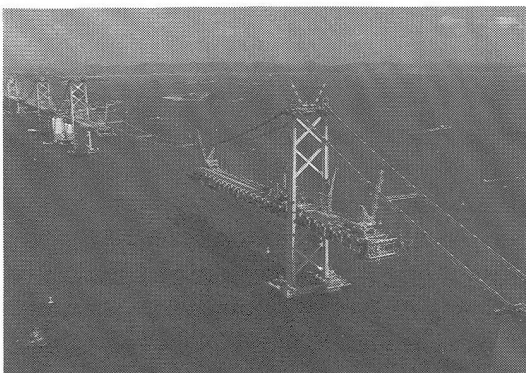


写真-1 架設中の南北備讃瀬戸大橋

基は陸上部に、他の6基は海中に位置している。これらの海中基礎の中には、基礎底面が深さ50mに及ぶものもあり、その施工規模は表-2に示すように格段に大きい。これらの海中基礎の施工は、大水深、強潮流下にお

いて輻輳する航行船舶や漁船に近接して行われるため、安全確実な施工と迅速な施工が重要な課題であり、「構造物のプレハブ化」、「施工の単純化」、「大型機械の導入」が可能ないわゆる設置ケーソン工法を採用した。本文はこの設置ケーソン工法のうち、主としてコンクリート工事について述べる。

## 2. 設置ケーソン工法<sup>1)</sup>

設置ケーソン工法とは図-3に示すように、次の施工手順により海中基礎を構築する工法である。

① 自己昇降式海上作業足場に搭載した穿孔機により堆積層を通して風化花崗岩盤に穿孔し、装薬し、風化花崗岩盤を爆破する。起爆方法には、無線(超音波)、電磁誘導、導爆線の各発破があり、水深、潮流速、堆積層の有無等の条件によって使い分けた(写真-2参照)。

② 海底発破完了後、堆積層および破碎された岩石を大型グラブ船(グラブ重量100t級)で掘削する。

③ グラブ掘削完了後の海底面は±50cm程度の不陸があり、また岩礫が残っているため、水深の深い5P、6P、7Aでは自己昇降式海上作業足場に搭載した大口徑掘削機(φ2.5m)により平坦に仕上げる。またその他の水深の浅い基礎はエアリフト作業により岩礫を除去する(写真-3参照)。

④ 上記の掘削作業と並行して別途工場で建造したケーソンを現地へ運搬し据え付ける。ケーソンのうち、重量が3000t未満の2P、3P、4Aはクレーン船で吊運搬し、岩盤面に吊下し設置する。重量が3000tを超える5P、6P、7Aは、ケーソンを2重構造とし、浮上させ現地へ曳航し、所定の位置へ8台のウインチにより係留する。次いでケーソン上に艀装した沈設設備により、浮

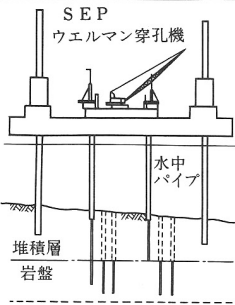
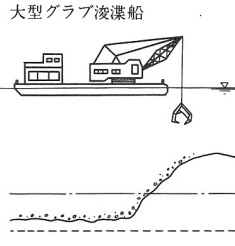
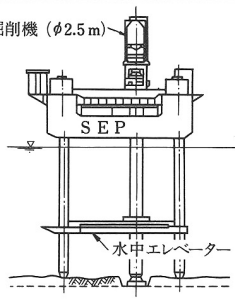
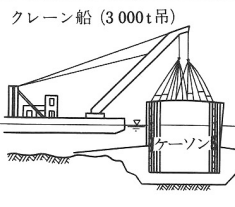
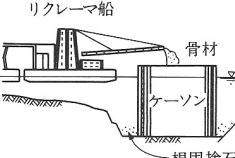
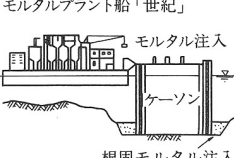
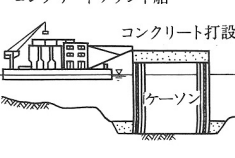
<p>① 海底発破</p> 	<p>② 海底掘削</p> 	<p>③ 底面仕上</p> 	
<p>自己昇降式海上作業足場(SEP)に搭載した穿孔機により堆積層を通して穿孔し、装薬し、堆積層を残したまま発破(電磁誘導起爆)するオーバーバーデン工法を行う。</p>	<p>海底発破完了後、堆積層および破碎された岩石を大型グラブ船で掘削する。</p>	<p>グラブ船による掘削完了後、SEPに搭載した大口径掘削機により、仕上掘削を行う。掘削ズリはエアリーフトで土運船に排出する。</p>	
<p>④ ケーソン沈設</p> 	<p>⑤ 粗骨材充填</p> 	<p>⑥ モルタル注入</p> 	<p>⑦ 気中コンクリート</p> 
<p>別途工場製作した鋼製ケーソンを曳航し、ケーソン上に積装した沈設設備を使用し、二重壁内にポンプ注水して着底1m付近まで沈下させた後、大型クレーン船により沈設する。</p>	<p>沈設後、ケーソンの外周部に根固め捨石を投入し、粗骨材(<math>\phi 80\sim 150\text{mm}</math>)を充填する。</p>	<p>モルタルプラント船「世紀」により根固めモルタル注入を行った後、ケーソン内にモルタルを連続注入する。</p>	<p>注入後、プレバッキングコンクリートの表面部をはつり(0.5m)、コンクリートプラント船により気中コンクリートを打設する。</p>

図-3 設置ケーソン工法による海中基礎の施工

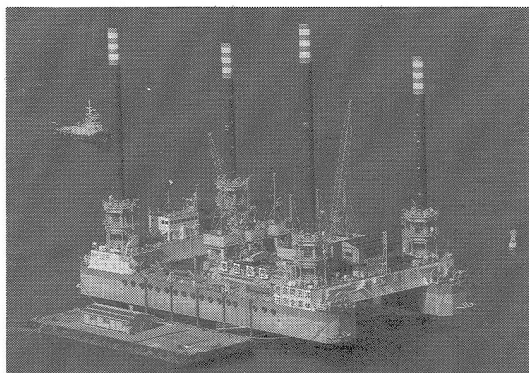


写真-2 穿孔装薬状況 (7A)

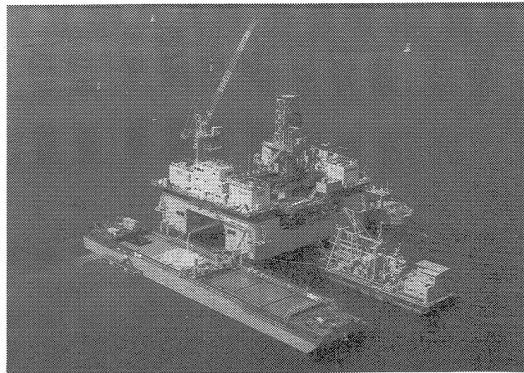


写真-3 大口径掘削機による仕上掘削状況 (6P)

力区画にポンプで注水して着底面上1m付近まで沈降させた後、大型クレーン船により、水平かつ一定速度で吊下し、基礎岩盤上に着底させる (写真-4, 写真-5 参照)。

⑤ 着底後、ケーソン外周部に根固め捨石を投入し、

ケーソンを安定させたのち、ケーソン内に直径80～150mmの粗骨材を充填する (写真-6 参照)。

⑥ 粗骨材の充填完了後、モルタルプラント船「世紀」により最初に根固め部分、次いでケーソン内にモルタルを注入し海中部のコンクリートを完成させる (写真-7



写真-4 ケーソンの曳航状況 (7A)

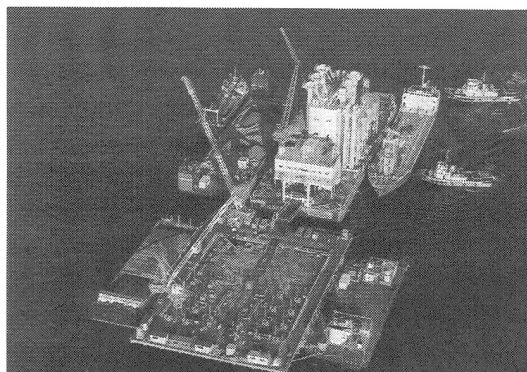


写真-7 モルタル注入状況 (4A)

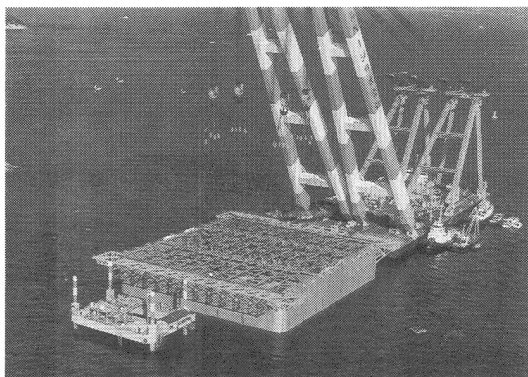


写真-5 FC船による4Aケーソンの沈設状況

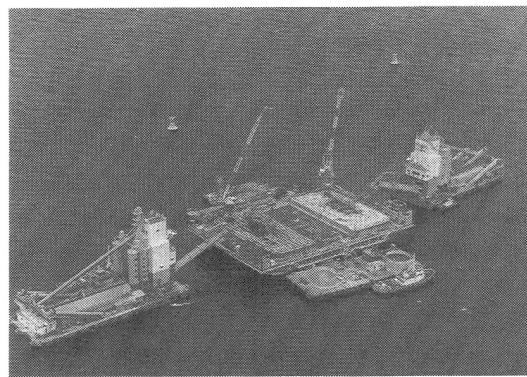


写真-8 コンクリートプラント船によるコンクリート打設状況 (6P)

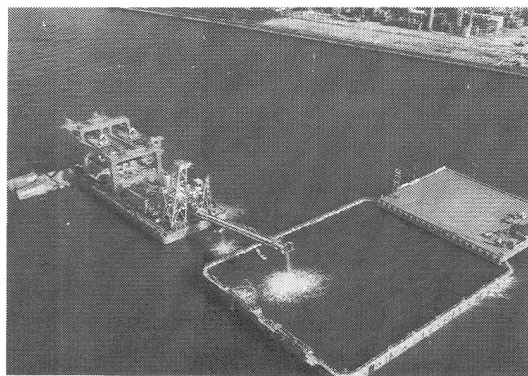


写真-6 粗骨材の充填状況 (7A)

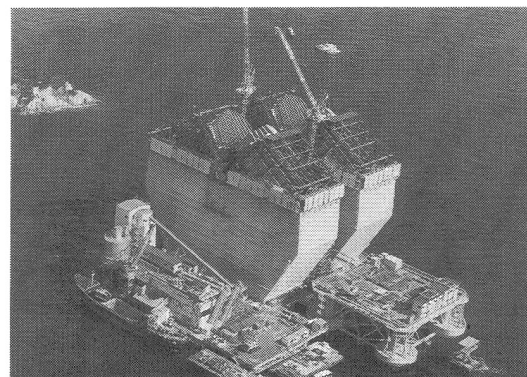


写真-9 定置式プラント (PCバージ上) によるコンクリート打設状況 (4A)

参照).

⑦ 注入完了後、海中コンクリート表面を0.5m程度はつり取り、2P、3P、5P、6Pはコンクリートプラント船で、4A、7Aは定置式プラントでコンクリートを打継ぎ、基礎を完成させる(写真-8、9参照)。

これらの施工手順のうち、①~④についてはすでに、本誌第361号(1985年9月)に詳しく報告されているため、今回は、⑤~⑦のコンクリート工事の概要につい

て報告する。

### 3. プレパックドコンクリート<sup>3)</sup>

#### (1) ケーソンと岩盤のシール

ケーソン底面と、岩盤の間に隙間が生ずるとケーソン内に注入したモルタルが漏洩するためこれをシールしなければならない。このシール方法は、ダイバー作業の難





写真-10 シールゴムと岩盤の密着状況 (6P)



写真-11 袋詰コンクリートによるシール状況 (4A)

易により次の2つの方法を使い分けた。

すなわち、水深が深くダイバー作業の困難な5P、6P、7Aは、自己昇降式海上作業足場上に搭載した大口径掘削機により海底面を数cmの精度で平坦に仕上げるとともに、ケーソン外周部の壁に沿って全周に、60cm×60cmの断面のスポンジゴムを取り付けた。このゴムの下端はケーソンの下端より40cm下に垂れ下がっており、ケーソンを設置するとケーソンの重量により圧縮される。ゴムは20cm圧縮すると十分なシールできる性状をもっているため、ケーソンの沈設即、シールの完成となった(写真-10参照)。一方水深が浅くダイバー作業の比較的容易な2P、3P、4Aについては、あらかじめケーソン刃口下端全周に1m×1m程度の断面を有

する袋を取り付けておき、ケーソン沈設完了後、この袋内にモルタルを充填した。モルタルは流動性が良いため、その自重により袋を押し上げ海底岩盤の不陸になじんで、ケーソンと海底面との隙間をシールした(写真-11参照)。モルタル注入にあたってはケーソン外周の根固め部を先行注入した後、ケーソン内水位を上げ、シール効果を確認したが、いずれの方法も水位の変動はごくわずかであり、十分なシール効果が確認された。

## (2) 粗骨材の充填

粗骨材は、強硬で耐久であり、形状は球形に近く、その表面はある程度粗いものが良いとされている。しかし総量56万m<sup>3</sup>(粒径80~150mmの歩止りは40%程度のため、原石量では130万m<sup>3</sup>を越える。)におよぶ理想の原石山を開発し、かつ最大20万m<sup>3</sup>もの貯蔵積出設備を新しく設けることは環境問題を初めとする社会的制約や経費の面で困難であり、まず量の確保が第1の課題となった。このため、ルート周辺で貯蔵場を探し、倉敷市玉島地区の県有地を貯蔵、積出基地とした。また原石山は、埋蔵量や運搬路の面より、貯蔵場に近いう敷市福江地区の原石山より搬入するものとした。粗骨材は原石山で砕岩、分級されたものを貯蔵基地で再度分級洗浄し、1500~2000m<sup>3</sup>積の運搬船に積み込み各基礎へ運搬した。基礎側では写真-6に示すように、施工速度が大きく、運搬船からの荷揚と基礎全面積への巻出しが同時にできるアンローダー船を用い、ケーソン内に充填した。最初の5Pの施工において、問題となったのは予想を越えるビリの発生とこれによる粗骨材表面の汚れである。これらは粗骨材中でのモルタルの流動性と粗骨材とモルタルの付着を阻害し、品質低下の原因となるため極力避けなければならない。このようにビリが発生するのは、①粗骨材中に硬くてもろい流紋岩質の原石が含まれていること、②積出から充填にいたる過程で繰り返される落下の衝撃で砕けていることがわかった。長期間リクレーマー船を遊休させることは困難であり抜本的な対策は取り得なかったが、リクレーマー船内での洗浄を種々試みた。しかし、その後施工した7A、6Pでは、リクレーマー船のスプレッダー直前に新しく750t/hの分級設備と、1000t/hのウォータースクリーンを設け、さらに、粗骨材の充填前に根固め注入を行い、ケーソン内水位をケーソン天端まで上昇させ、粗骨材がケーソンのストラットに衝突し破碎するのを防いだ。また施工数量の少ない2P、3P、4Aでは、分級洗浄装置を備えたディストリビューターを用い、水中部は自由落下で充填し、気中部は落下させないようにワイヤーモッコに積み換えて充填した。このような徹底した管理により良好な施工を行うことができた。

## (3) 注入準備

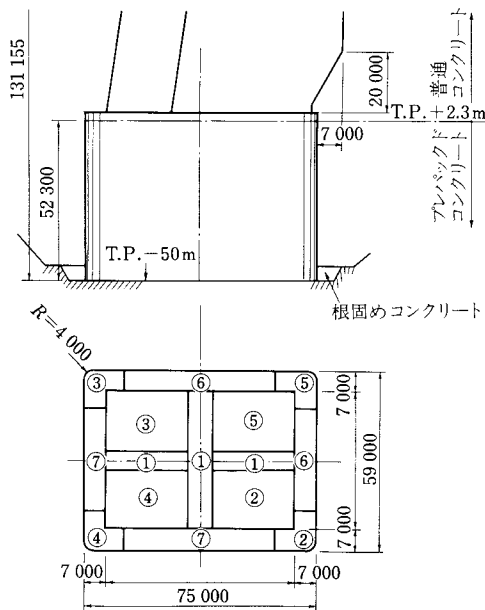
粗骨材の充填完了後、写真一7に示すようにケーソン上に作業足場、注入管引上装置、モルタルホース等を配置するとともに、ケーソンのまわりにモルタルプラント船、セメントタンカー、砂バージ、水バージ等の船団を係留し注入の開始を待った。これらの作業設備のうち、モルタルプラント船を初めとする主要設備は各基礎共通して使用するため、あらかじめ公団が製作し、各工事請負者に貸与した。注入作業は昼夜連続で3~4日間の作業であり、技術者150人、作業員300人程度を必要とするが、これらの人々には貸与機械で今回のような大量急速施工を行うことは初めての経験である。このため準備作業と並行して、あらかじめ公団側で用意したカリキュラムに従って、運転方法、施工方法について10日程度の講習を行い注入作業に万全を期した。

(4) モルタル注入

各基礎の諸元は表一2に示すように、平面積で1000m<sup>2</sup>~4400m<sup>2</sup>、打設高で10m~53m、打設量で1万3500m<sup>3</sup>~23万m<sup>3</sup>と、構築位置の地形、地質条件と上部構造により異なっている。一方施工設備を各基礎ごとに作るのは不経済なため、各基礎を平面的に区画割をし、施工の標準化を図るものとした。この標準化にあたっての第1の条件は連続打設日数の設定である。水中コンクリートにおいてコンクリートを完全に打継ぐことは困難なため、海底から海面まで一気に打上るものとした。一方、一区画分の全材料をプラント船に保有することは難しいので、材料を補給しながら打設することとした。したがって好天の続くうちに注入を完了しなければなら

い。このため備讃海域の気象条件(連続好天日数とそれが得られる頻度)を調査のうえ連続打設日数を3日以内とした。したがって1回に施工する区画の大きさは、連続注入日数とプラント能力から求められるコンクリート量(4万m<sup>3</sup>)、あるいは注入管の配置本数すなわち1回に注入できる打設面積のいずれかで決まる。ちなみに最も大規模な7Aは、図一4に示すようにケーソンの曳航、沈設と注入の各作業を勘案して定めた15区画を適当に組み合わせ、7回に分けて注入した。

注入作業の中核となったモルタルプラント船「世紀」は表一3に示すように、出力2000l/分のモルタルプラントを3基備え、常時は2基使用し、1基は予備機とした。また材料の荷揚から計量、混練、品質確認(フロー値の測定)、品質調整、モルタル注入量の調節、注入管の引揚にいたる一連の作業を自動的に進めることのできる機構とした。したがって注入の開始は、表一4に示す示方配合に基づいて事前に決めた現場配合値と当日計測した砂の表面水率を計量機にセットし、起動ボタンを押せばモルタルの製造は始まる。次いで注入管の受持面積比に応じて全体の注入速度(4000l/分)を割りふった注入速度をその注入管につながらる20台のポンプにセッ



図中の○は注入順序を示す

図一4 7Aの注入ブロック割

表一3 モルタルプラント船主要仕様

要 目		性 能	記 事
船体部 設 計 条 件	水 深	(ケーソン係留時) 8~60m	(停泊時)
	潮 流 速	5kt	
	波 高	1.5m	3.0m
	風 速	30m/s	40m/s
船 体 主 要 目	全 長	90 000 mm	
	全 幅	32 000 mm	
	深 さ	7 500 mm	
	吃 水	4 000 mm	
プラント出力		6 000 l/min	2 000 l/min×3系列
操 作 方 式		全自動/手動	
材 料 一 次 貯 蔵 量	セメント	600 t	200 t×3
	砂	600 t	200 t×3
	水	900 t	
	混和剤	200 t	
計 量 機 秤 量	セメント	3 000 kg	精度±0.5% 各3基
	砂	4 000 kg	精度±0.5% 各3基
	水	1 500 kg	精度±0.5% 各3基
	混和剤	40 kg	精度±0.5% 各3基
ミキサー容量		3 300 l	各6台
アジテータ容量		30 m <sup>3</sup>	1台
注 入 ポ ン プ	吐 出 量	0~300 l/min	20台
	吐 出 圧	0~21 kg/cm <sup>2</sup>	

表-4 注入モルタルの示方配合

粗 骨 材			流下時間 の範囲 (s)	水結合材比 W/(C+F) (%)	混和材率 F/(C+F) (%)	砂結合材比 S/(C+F)	単 位 量					
最小寸法 (mm)	最大寸法 (mm)	空隙率 (%)					W (kg)	C (kg)	F (kg)	S (kg)	混和剤 (g)	アルミ粉 (g)
80	150	50	17±2	48	20	1	391	652	163	815	8150	81.5

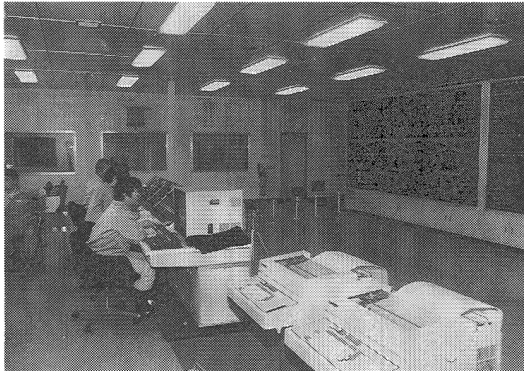


写真-12 世紀の中央操作室

トし、アジテーター内のモルタルの量に応じて各ポンプの起動ボタンを押せば注入が始まる。以後は写真-12に示すように中央操作室のグラフィックパネルとCRTディスプレイで稼動状況を監視しながら注入を進めていった。工事上の困難に遭遇しなければ、そのまま注入を続けることができたが、以下に述べる理由で初期には何度となく注入中断の危機に出会った。中断の危機は、天候の急変による材料補給の中断、プラントの故障等であり、荒天に対しては注入速度を下げた材料を節減しながら施工を続行し、プラントの故障に対しては予備機に切替るとともに早急な整備を繰り返し、いずれも休みなく注入することができた。

(5) コンクリートの品質

注入中は1000 m<sup>3</sup>ごとにアジテーターより試料を採取し所定の品質試験を実施したがいずれも良好な品質を示した。ちなみに標準供試体の圧縮強度は、いずれの基

礎も大差なく、平均すると  $\sigma_{28}=322 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $\sigma_{91}=422 \text{ kgf/cm}^2$  であり、注入実験における強度の範囲に収まっている。打設完了後各基礎から直径 45 cm のコアを抜き取り圧縮強度試験を実施した結果は表-5 に示すように総平均で 200 kgf/cm<sup>2</sup> であり、従来の施工実験より若干小さい値となったが安全率を見込んだ目標強度を大幅に上回っており、実用的には十分な強度であった。

4. 気中コンクリート<sup>2)</sup>

(1) 基本計画

プレパックドコンクリートの打設完了後、表面を 50 cm 程度はつり取り、この上に気中コンクリートを打設した。この気中コンクリートは表-2 に示すように、主塔基礎で 1 万 6 900 m<sup>3</sup>、アンカレイジで 25 万 3 500 m<sup>3</sup> におよぶマスコンクリートである。今回のマスコンクリートは他のマスコンクリート、たとえばダムコンク



写真-13 アンカーフレーム内のコンクリート打設状況 (7A)

表-5 コンクリートコアの平均圧縮強度

(単位: kgf/cm<sup>2</sup>, 材令: 91日)

基礎	注入管からの距離 (m)	
	0.5~2	2.7~5.5
2P	241	183
3P	208	178
4A	202	183
5P	200	174
7A	207	180

表-6 南北備讃瀬戸大橋気中コンクリートの品質基準

場所	コンクリートの種類	材令91日における圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (打込み箇所) (cm)	空気量の範囲 (打込み箇所) (%)	セメントの種類
BB 1 A	F	240	40	11±1.5	4±1	高炉セメントB種 (中庸熱型)
BB 2 P	Q	240	40	8±2.5	4±1	
BB 3 P	Q	240	40	8±2.5	4±1	
BB 4 A	F-1	240	40	11±1.5	4±1	"
	F-2	240	40	11±1.5	4±1	"
BB 5 P	Q	240	40	8±2.5	4±1	"
BB 6 P	Q	240	40	8±2.5	4±1	"
BB 7 A	F	240	40	11±1.5	4±1	"

表一 南北備讃瀬戸大橋気中コンクリートの示方配合

場 所	コンクリートの種別	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位水量 W (kg)	単位セメント量 C (kg)	単位細骨材量 S (kg)	単位粗骨材量 G (kg)	単位混和剤量 (kg)	混 和 剤
BB 1 A	F	56.4	40	158	280	718	1 179	0.7	減水剤
BB 2 P	Q	55.0	39.0	154	280	718	1 155	0.7	"
BB 3 P	Q	55.4	39.0	155	280	725	1 155	0.7	"
BB 4 A	F-1	57.1	39.2	160	280	723	1 143	0.7	"
	F-2	60.0	40.7	168	280	743	1 100	0.7	"
BB 5 P	Q	54.3	38.0	152	280	696	1 165	0.7	"
BB 6 P	Q	54.3	38.0	152	280	696	1 161	0.7	"
BB 7 A	F	55.3	38.2	165	280	701	1 182	0.7	"
	F	57.1	38.2	160	280	696	1 174	0.7	"

表一 8 コンクリート練上り温度 (BB 7 A)

打設月日	打 設 ア ロ ク ケ リ フ ト	平 均 気 温 (°C)	材 料 温 度 (°C)		氷 骨 材 セ メ ン ト (%)	練上り温度 (°C)	
			骨 材	セ メ ン ト		計 算	実 測
6月11日	R <sub>1</sub> -35	22.8	22	27	15	18.8	15.0
6月22日	C <sub>1</sub> -29	22.0	23	29	40	12.7	11.0
6月30日	C <sub>1</sub> -30-1	24.5	23	30	50	10.0	9.0
7月10日	R <sub>1</sub> -38	24.5	26	31	45	14.0	14.0
7月20日	R <sub>1</sub> -39	26.8	26	31	50	12.6	13.0
7月31日	R <sub>1</sub> -40	27.3	27	32	55	12.1	12.0
8月9日	R <sub>1</sub> -37	29.5	29	34	60	12.5	12.0
8月21日	L <sub>1</sub> -37	28.4	29	34	60	12.5	11.0
8月29日	L <sub>1</sub> -42	29.6	28	32	60	11.5	11.0
9月11日	R <sub>1</sub> -39	24.4	25	29	55	10.0	10.0
9月20日	L <sub>1</sub> -44	24.3	25	28	50	11.3	10.0
10月1日	R <sub>1</sub> -45	24.4	25	27	60	8.3	7.0
10月10日	L <sub>1</sub> -41	22.0	18	26	35~40	8.1	10.5
10月24日	L <sub>1</sub> -42	20.7	17	23	20	12.7	14.0

注) 冷水温度：6°C

表一 9 製氷装置主要仕様

機器名	型 式	能 力	摘 要
圧縮機	SMC 112L×870rpm	133 000 kcal/h	25t/日×2基 AC440V×60Hz 24h稼働
電動機	全閉外扇カゴ型	75 kW×8P	
製氷機	VD 746 X	25 t/日	25t/日×2基 220V×60Hz
電動機		0.75 kW×2 +0.75 kW	
貯氷庫		50 t	

リートと異なり、上部構造からの載荷重に耐えるため表一6に示す高強度が要求されるとともに、内部に多くの埋込金物が入るため(写真一13参照)、ポンプ打設によらざるを得ない。このためコンクリート配合は表一7に示すように単位セメント量が多くなり、施工にあたっては温度応力によるひびわれ防止が最重要課題となった。温度応力によるひびわれを防止するにはコンクリートの内部最高温度を低くすればよく、具体的には

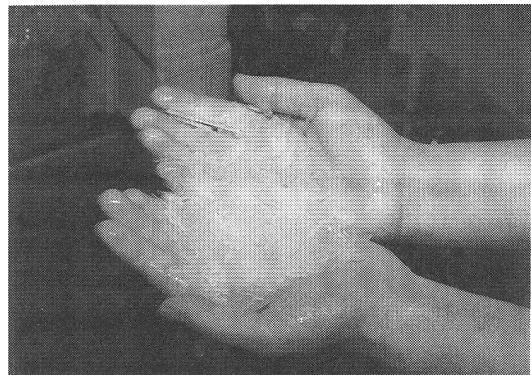
- ① 低発熱の高炉セメント(B種)の使用
- ② 冷却水や氷によるブレイクリング

## ③ 打設後のパイプクーリング

等を実施した。以下7Aを中心に、これらの結果について報告する。

## (2) コンクリートの製造

コンクリートの配合は表一7に示すように、単位セメント量が280 kg/m<sup>3</sup>と多いため、水和熱基準59 cal/g(7日間)、72 cal/g(28日間)の中庸熱高炉セメントB種を使用した。コンクリートの練上り温度は式(1)で求め、夏季では30°Cを越えるためコンクリートの混練水に冷却水(5°C)と氷を使用してコンクリートの練上り温度を下げた。外気温度(材料温度)は季節によって変化するため、表一8に示すように氷の添加率を変えた結果、練上り温度は10~15°Cの間に管理することができた。氷を添加するのは初めての試みであり、混練効果が心配されたため、写真一14に示すようなフレーク状(表面積が多いため早くとける)の氷とした結果何ら問題なく良質のコンクリートが得られた。この製氷プラントの主要仕様を表一9に示すが、冷媒により強制冷却した立型の製氷ドラムの表面に冷水を噴霧して、ドラム表面に氷を付着させ、ドラムの回転の際に、ドラム側面のナイ



写真一14 練りませ用のフレークアイス

フエッジでこの氷を研り取る構造とした。なおコンクリートプラントは、2.5 m<sup>3</sup>の二軸強制練りミキサーを備えた出力150 m<sup>3</sup>/hのプラントとした。

$$T = [1\,160 \times 0.18 \times T_g + 740 \times 0.18 \times T_s + 280 \times 0.2 \times T_c + 44 \times 1.0 \times T_w + \{155 \times (1-x) - 44\} \times 6 - 80 \times 155 \times x] \div 2\,300 \times 0.2 \dots\dots\dots (1)$$

ここに  $T_g$ ,  $T_s$ ,  $T_c$ ,  $T_w$  は粗骨材, 細骨材, セメント, 表面水の温度

(3) コンクリートの打設

練り上がったコンクリートは、4 m<sup>3</sup> ミキサー車で7Aに運搬し(約500 m), 7A側に設置したポンプ車で打設面に圧送した。7Aは打設面が約3 500 m<sup>2</sup>と広いため、図-5に示すように5ブロックに分割して、リフト高は1.5 mを基準とし、5~8日サイクルで打設した。なお長期間放置したブロック上に打設する場合は外部拘束を考慮して0.5~0.75 mリフトとした。

コンクリート温度は、練り上り直後より外気温の熱吸収、運搬、圧送時の摩擦熱等により上昇し、最終的なポンプ筒先の打設温度は図-6に示すように、練り上り温度より5°C程度上昇した。さらに打設後は水和反応に

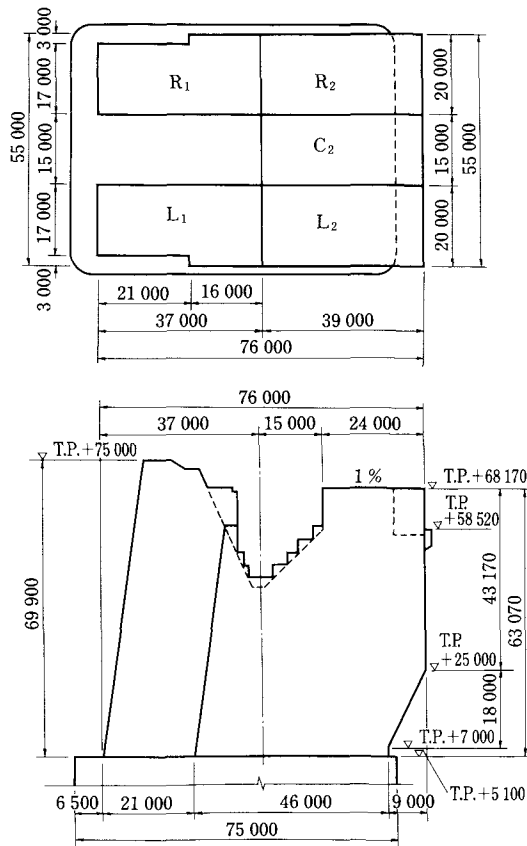


図-5 7Aアンカレイジ打設ブロック割

より温度上昇するため、打設後は海水を使用したパイプクーリングを実施した。パイプクーリングの効果は、図-7に示すように、コンクリート温度と海水温度の差と、通水期間により決まるため、コンクリート内に埋設した熱電対温度計でコンクリート温度を計測しながら通水した。この結果コンクリートの内部最高温度を50°C以下に規制することができた。

4Aと7Aは施工数量が大きく、また全体工程のクリティカルパスとなったためこのように氷を使用せざるを得なかった。しかし1Aは陸上におかれており、比較的規模も小さく、また工程も余裕があるため、氷を使用せず冷水の使用とリフト高を低くすることで対応した。

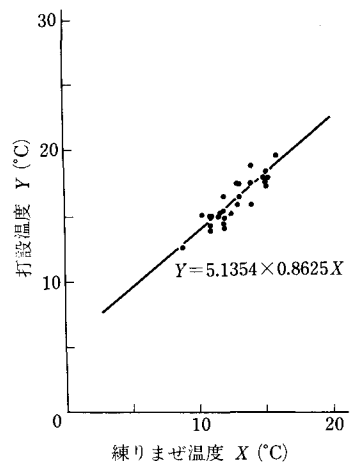


図-6 練りませ温度と打設温度

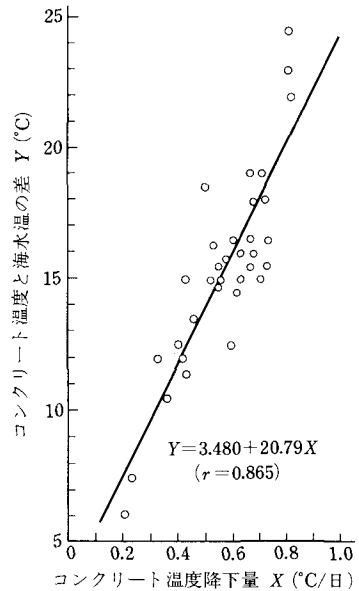
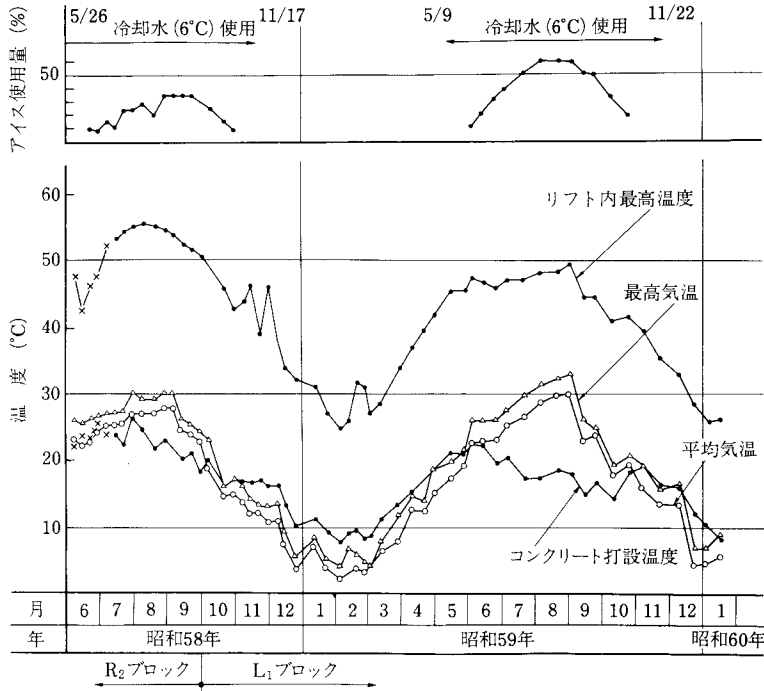
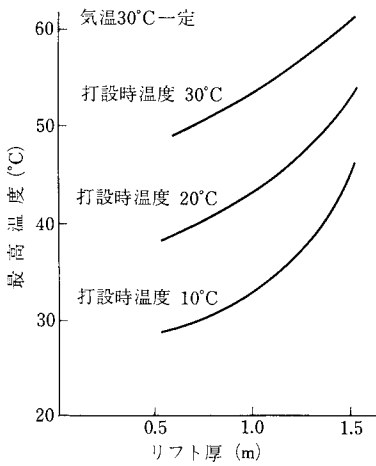


図-7 パイプクーリング実施時のコンクリート降下速度





図—9 コンクリート打設温度とリフト内最高温度 (BB7A)



図—8 最高温度とリフト厚の関係 (BB1A)

リフト高、打設温度、最高温度の関係は図—8に示すようにリフト高を下げれば最高温度はほぼ比例して下がる。このため夏季にはリフト高を0.5~1.0mの間で施工し、温度規制を行った。

(4) ひびわれの防止

ひびわれの発生メカニズムは次のとおりである。

- ① 自層のコンクリートの温度上昇過程で内部に圧縮応力が発生する。
- ② 自層のコンクリートの温度低下過程で内部に引張

応力が発生する。

- ③ 上層コンクリートを打設するとその温度上昇に応じて引張応力が引続き増加し、上層コンクリートの最高温度のとき引張応力も最大値を示す。

このときのコンクリートの引張強度と、この引張応力の比をひびわれ安全率とし、実際のひびわれ発生状況と対比させたところ、58年8月に一部にひびわれがみられたときの安全率が1.4であり、ひびわれのみられなくなった10月の安全率が1.8であった。このため以後は2以上の安全率を確保するものとした。すなわち、図—9に示すようにコンクリートの内部最高温度を50°C以下、打設温度を20°C以下、練り上り温度を11°C以下で管理した結果温度ひびわれは完全に防止することができた。

5. おわりに

海中工事の難しさは、①潮流、波浪等の外力条件、②海面下の深度、③構築する構造物の大きさ、精度、品質、④許される建設期間等に関連するものである。今回報告した、7Aを初めとする海中基礎群の施工は、建設に着手した昭和53年当時の技術水準では、いずれも難度の高いものであったが、多くの人々のご努力、ご協力のもとに無事完成することができた。誌上を措りてあらためてお礼を申し上げる。本四架橋ではこの工事経験をもとに、さらに高難度の明石海峡大橋の建設に挑んでいると

ころであり、旧倍のご支援をお願いし報告を終える。

参 考 文 献

1) 杉田：橋梁基礎の海中工事（南北備讃瀬戸大橋の海中基礎），土木学会論文集，第 361 号，VI-3，1955 年 9 月。

2) 加島ほか：吊橋下部工マスコンクリートのクーリングによる温度制御，コンクリート工学，Vol. 24，No. 6，June 1986.

3) 櫻井：巨大ケーソンの海中コンクリート工事，セメントコンクリート，No. 440，Oct. 1983.

(1987.12.10・受付)

---