

櫃石島橋海中基礎の施工（第2報）

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

水分 登* 伊藤 典生**
Noboru Mizuwake Norio Ito

丸山 智義***
Tomoyoshi Maruyama

要 約

本文は、櫃石島橋下部工の中で、最も代表的な水深約30mの設置ケーソン工法による海中基礎2基のケーソン沈設及びプレパックス・コンクリートに関する施工報告である。

目 次

- §1. はじめに
- §2. ケーソン沈設
- §3. 粗骨材充填
- §4. モルタル注入
- §5. おわりに

§1. はじめに

本州四国連絡橋、児島～坂出ルート櫃石島橋下部工工事における施工報告の第1回目として、海底発破～底面仕上げについて、西松建設技報 Vol.9で述べたが、今回はその第2回目として、ケーソン沈設・粗骨材充填及びモルタル注入について述べる。

櫃石島橋下部工を代表する2基の海中基礎2P及び3Pは、隣接した基礎であるにもかかわらず、その施工条件の関係により、ケーソンの構造、沈設方法及びモルタル注入の施工法に大きな差異が見られる。この世界一の斜張橋基礎は、日本一の吊橋である南北備讃瀬戸大橋基礎と同様に、同ルートでの下部工を特徴づける存在である。

§2. ケーソン沈設

2-1 沈設工法の選定

鋼製ケーソンは、プレパックスコンクリート打設用の水中型枠であるが、その重量によって一重壁式と二重壁式（フロートタイプ）に大別される。また、ケーソン沈設工法は、現地の水深・潮流などを考慮した位置決め方法によって、下記の3種類に分類される。

- ① FC船のみによる位置決め沈設
 - ② ガイド杭による位置決め沈設
 - ③ アンカー係留による位置決め沈設（注水沈下併用）
- すなわち、比較的小さい一重壁式ケーソンは、潮流の有無により、①または②を、大水深の大型二重壁式ケーソンは、③を採用して位置決め沈設する。Table 1に各基礎別ケーソン沈設の施工例を示す。

櫃石島橋基礎の沈設工法は、2P、3Pとも下記の設定理由により、アンカー係留による位置決め沈設を採用した。

<2Pケーソン>

- ① 水深が28mと大きく、かつ潮流も5ノットと速いので、ガイド杭の施工は、技術的、工期的に困難である。
- ② ケーソンが一重壁で比較的小さいので、沈設時期を小潮期の潮止りに限定すれば、簡易なアンカーウインチを使用するだけで、精度良い位置決めが可能である。
- ③ 沈設後の急潮流による滑動対策として、ケーソン上部にバラストタンクを設けて海水を注入する。

<3Pケーソン>

- ① 形状寸法の大きな二重壁浮体式ケーソンである。
- ② FC船単独での沈設ができず、区画注水によるケ

*四国(支)土木課係長
**九州(支)上五島(出)所長
***四国(支)土木部長

Table 1 ケーソン沈設工事一覧表（児島一坂出ルート）

項目	基礎名	種子島橋		岩黒島橋		南北備讃瀬戸大橋						
		2 P	3 P	2 P	3 P	4 P	2 P	3 P	4 A	5 P	6 P	7 A
最大潮流速 (kt)		5	2	5	5	5			5	5.5	3	2
基礎底面深度 (TP-m)		2.8	2.5	1.5	2.4	1.4	1.0	1.0	1.0	3.2	5.0	5.0
仕底	大口径掘削機による	○	○	—	—	—	—	—	—	○	○	○
上面	エアリフト	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
形式	一重壁	○	—	○	○	○	○	○	○	—	—	—
形式	二重壁	—	○	—	—	—	—	—	—	○	○	○
形状寸法 (H×L×H (m))		46×25×32.5	46×29×30.5	46×18×17.5	46×22×26.5	32×36×16.5	57×23×13	57×23×13	62×57×13	59×27×37	59×38×55	59×75×55
(底面仕上寸法)		(52×31)	(52×35)	(52×24)	(52×28)	(42×38)		65×29	73×63	71×37	69×48	74×85
ケーソン本体		1,900	3,455	850	1,400	850	702	740	1,625	3,800	7,750	16,000
機装品		470	3,045	250	400	400	37		322	1,800	2,150	4,000
バラスト・ウエイト		200	3,600	—	—	1,500	—	—	—	3,700	1,750	20,000
計		2,570	10,500	1,100	1,800	2,850	739		1,947	9,300	11,650	—
運搬	吊運船 (FC船の能力)	3,000	—	1,300	3,000	3,000		1,300	3,000	—	—	—
曳船 (曳船の能力)		—	27,100PS	—	—	—		—	—	1,200PS	○	○
ガイド杭		—	—	φ1.5m×4本	φ1.5m×4本	—		φ2m×4本	φ2m×4本	—	—	—
位置決め	ウインチ	20t×8基	130t×8基	—	—	—		—	—	130t×8基	130t×8基	130t×8基
FC船による		—	—	—	—	○		—	—	—	—	—
作業管理装置		—	○	—	—	—		—	—	○	○	○
トランシット		○	○	○	○	○		○	○	○	○	○
注水		—	ポンプ	—	—	—		—	—	ポンプ	ポンプ+バルブ	ポンプ+バルブ
FC船による吊降し		○	3,000t	○	○	○		○	○	3,000t	3,000t	3,000t
ライナー調整		—	—	ガイド杭座席上	ガイド杭座席上	右側ランクリート上	右側ランクリート上	右側ランクリート上	右側ランクリート上	—	—	—
底面仕上精度に依存		○	○	—	—	—		—	—	○	○	○
設置直前	自重	○	○	—	—	○		—	—	○	○	○
注水		○	○	—	—	—		—	—	○	○	○
ガイド杭の抵抗		—	—	○	○	—		○	○	—	—	—

ケーソン沈下が必要である。

- ③ 他工区で施工実績のある自動位置決め装置を有するケーソン機装架台が使用できる。

2-2 2Pケーソン沈設

(1) ケーソン構造

2Pケーソンは、上部にバラストタンク、下端にシールゴム、外周に作業足場用骨組材を装備した長さ46m、幅25m、高さ32.5m、鋼重2030tの一重壁ケーソンであり、内部には、モルタル圧に耐えるように、水平および垂直梁の他に、モルタル注入管・検知管が配置されている。

(2) ケーソン機装

ケーソンは瀬居基地岸壁で貸与を受けた後、約40日かけて、Table 2, Fig. 1 に示すようなケーソン沈設及びモルタル漏洩防止工に必要な各種機装を行った。

なお、1次注水設備とは、ケーソン沈設時の重量を3000t吊FC船の吊上能力限度まで増すためのもので約200tの海水を事前にバラストタンク内に注入した。

(3) 堆砂排除工

ケーソン据付地点には、底面仕上げ直後から漂砂が堆積しており、ケーソン沈設時に刃口下に砂層が狹在することが予想された。(BB7Aでは最大2mの堆砂が確認された。)そこで、堆砂層を除去するために下記の2通りの堆砂排除工を行った。

- ① ケーソン沈設直前のグラブ船平バケットによる掘削底面全域の堆砂除去。

使用グラブ船：三友一号、6m²平バケット使用
所要日数=10日間、堆砂除去量=約300m³

Table 2 2Pケーソン機装一覧表

名称	設備概要	数量	備 考
係留設備	係留用ウインチ	8台	架台を含む
	フェアーリーダー	8基	公同貸与品
	リーディングブロック	8基	
ウォータージェット設備	ウォータージェット用配管、ポンプ架台	1式	SGP100A、KRS 8H
	水中ポンプ	16台	
給電設備	350KVA 発電機	2台	
1次注水設備	SGP100A 配管及びホース	1式	
	水中ポンプ	1台	KTS75H
2次注水設備	SGP150A 配管、及びホース	1式	固定用ブラケットを含む
	水中ポンプ、設置架台、防護柵	2台	KRS 8H
モルタル漏洩防止工	モルタル漏洩防止用布型枠	12基	
足場設備	ケーソン上面作業用通路	1式	
機装灯設備	F型機装灯	15基	公同貸与品
測量設備	測量用ポール、光波ターゲット、傾斜計	1式	
照明設備	投光器	18台	

- ② ケーソン沈設時のウォータージェットによる刃口部の堆砂の飛散除去。

噴射ノズルの角度・間隔及び筒先形状等は、当社技術研究所での実験結果から決定したが、そのウォータージェット設備を Fig. 2 に示す。

(4) ケーソン沈設

昭和59年5月7日に3000t吊FC船によりケーソンを瀬居基地から現場まで吊運搬し、翌5月8日に沈設した。据付け誤差は、ケーソン中心で水平方向10.5cm、鉛直方向3.0cmと良好であった。

(a) フローシート

ケーソン沈設のフローシートを Fig. 3 に示す。

(b) 吊運搬

ケーソンは3000t吊FC船『武蔵』、3400PS主曳船1隻、3200PS級補助曳船4隻、350PS級警戒船3隻によって2P海域に吊運搬された後、8基の300tコンクリートシンカーに係留した。また、FC船は、Fig. 4 に示

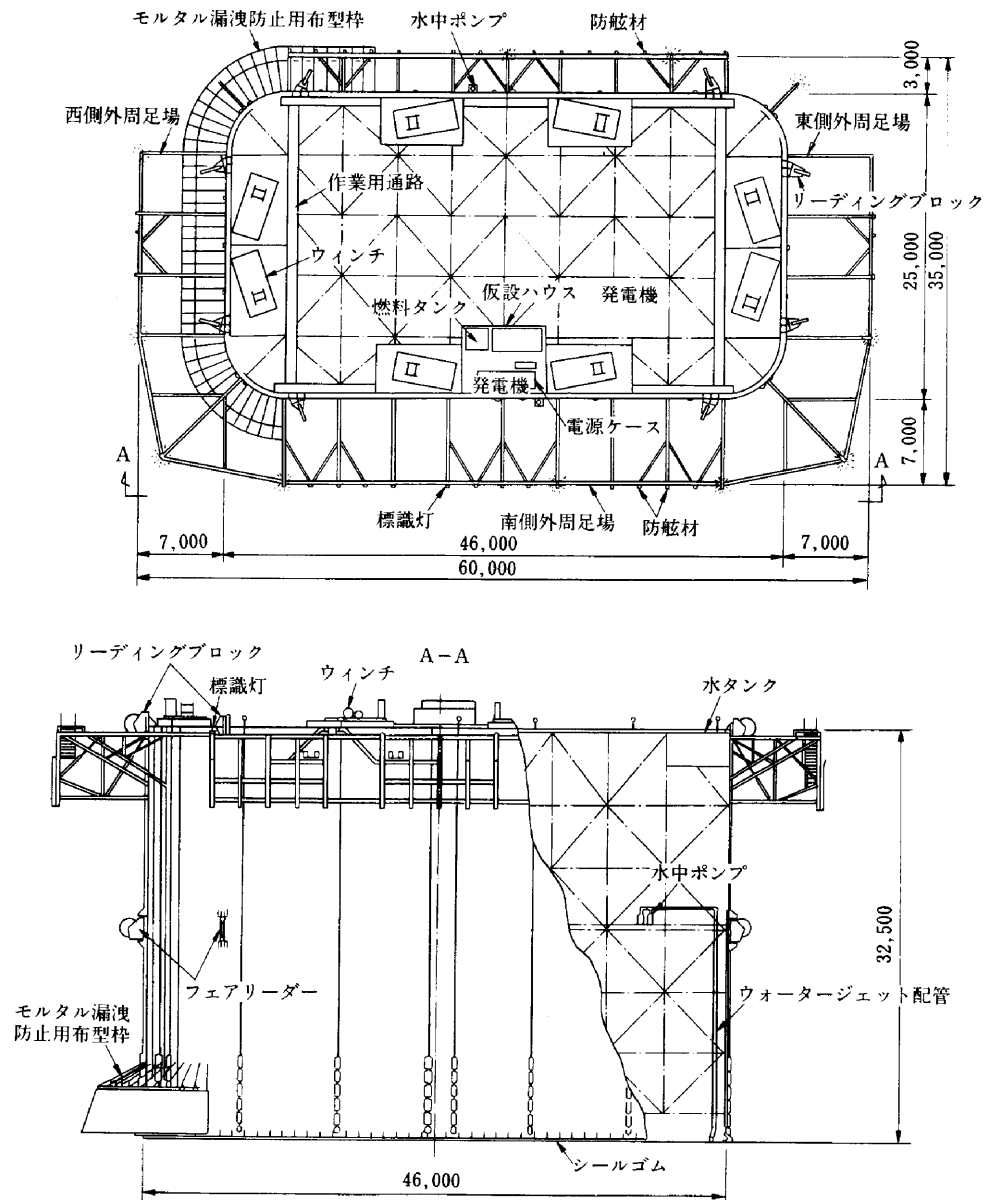


Fig.1 2Pケーソン機装図

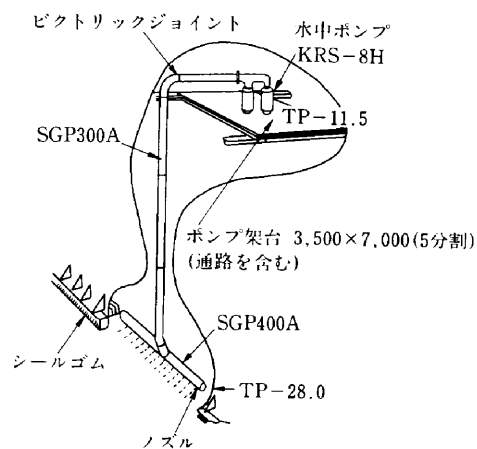


Fig.2 ウォータージェット設備図

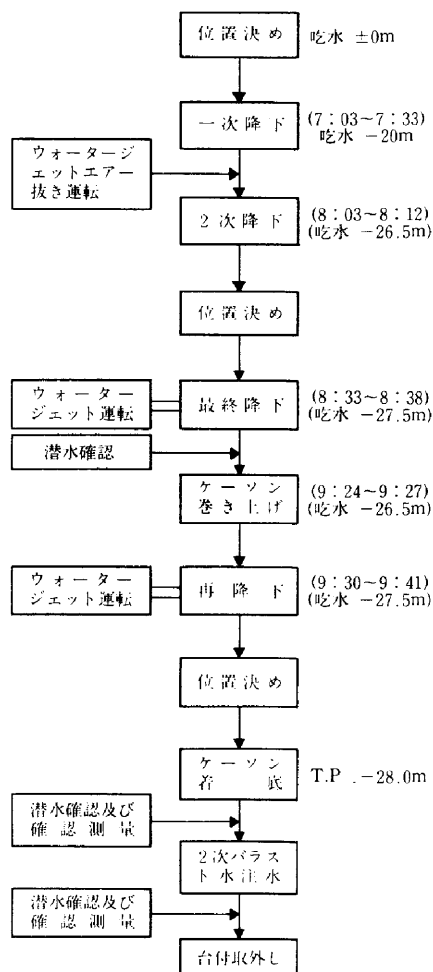


Fig.3 2Pケーソン沈設フローシート

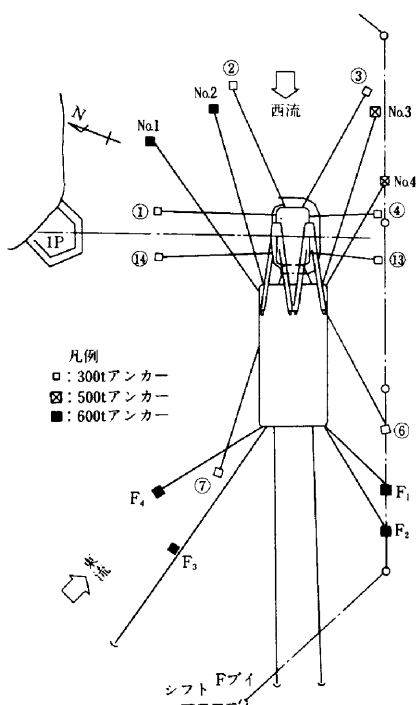


Fig.4 2Pケーソン，FC船係留図

すように500tまたは600tコンクリートシンカーに係留した。Photo 1は、ケーソン吊運搬の状況である。

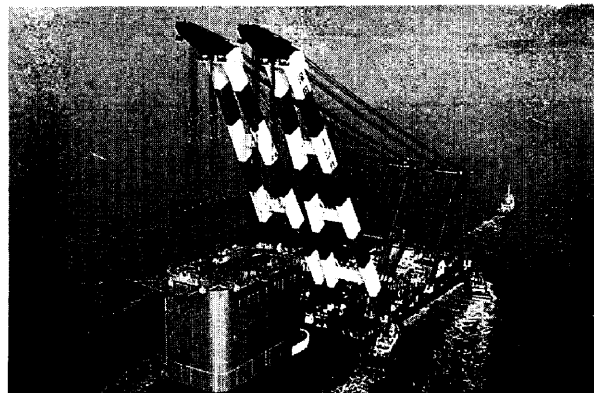


Photo 1 2Pケーソン吊運搬

(c) 降下・位置決め

FC船の巻き下ろしによってケーソンの降下を行うとともに、ケーソン上に搭載した8基の係留ウィンチを操作して位置決めを行った。ケーソンの位置決め測量には、光波測距儀、トランシット及びケーソン上に設置した2方向傾斜計を使用した。そして、測量で得られたデータは、司令室内に設置したマイクロコンピュータによって瞬時に処理され、その結果をCRT画面に表示、記録させることで、ケーソンの沈設状況を把握した。最終降下時には、ウォータージェットの排砂効果を高めるために、降下速度 v を通常の100cm/minから20cm/minまで減速し（再降下時 $v=9$ cm/min）なおかつ、着底時にはシーリングの破損を防ぐため $v=4$ cm/minとした。なお、第1回目のケーソン降下後に行った潜水調査の結果、堆砂排除効果が不十分であることがわかったため、ケーソンを吊り上げ、再度ウォータージェットによる堆砂排除を実施した。

(d) 2次バラスト水注入

着底確認後、2台の水中ポンプにより、ケーソン上面のバラストタンク内に海水約1600tを3時間で注水してケーソンの滑動抵抗の増大を図った。

(e) 船舶・機械使用実績表

Table 3にケーソン沈設に使用した船舶実績表を示す。

2-3 3Pケーソン沈設

(1) ケーソン構造

3Pケーソンは脚付き設置ケーソン基礎であるため大口径杭施工用ケーシング管・レール桁及び外周足場を装備しており、重量は10500tと大きく、浮力を利用した2重壁式のケーソンであった。また、ケーソン上面には、

Table 3 2Pケーソン沈設使用船舶実績表

種 類	規 格	備 考	5 月															摘要
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
F C 船	3000 t	武 蔵																9 日
主 曳 船	3400 P S	隆 興 丸																5 "
補 助 曳 船	3000 P S	武 陽 丸																3 "
——"—	2700 P S	第 38 た け 丸																9 "
——"—	3200 P S	海 鳳 丸																2 "
——"—	3400 P S	隆 鳳 丸																2 "
——"—	3200 P S	明 石 丸																7 "
——"—	2000 P S	宇 野 丸																1 "
——"—	2600 P S	玉 野 丸																1 "
——"—	2400 P S	太 陽 丸																1 "
揚 錨 丸	260 P S	た ち ば な																4 "
——"—	160 P S	第 2 富 士 丸																3 "
警 戒 船	340 P S	ひ し か ぜ																1 "
——"—	600 P S	こ と ざ き																2 "
——"—	370 P S	た か し ま																1 "
——"—	560 P S	と も か ぜ																2 "
着 火 船	60 P S	か し																3 "
——"—	300 P S	い ち ょ う																9 "
——"—	110 P S	き り																4 "
ダ イ バ ー 船		第 21 か い は つ																1 "
——"—		第 22 か い は つ																2 "
備 考										沈 設								

Table 4 アンカー設置工一覧表

コンクリートシンカー種別	数量	形状寸法 (m)	設置場所	使用船舶	設置時期
900 t	4 基	13 × 7.2 × 4.8	番ノ州仮係留地	1,300t吊 FC 船	S58 7/5~7/7
700 t	4 基	11.6 × 6.8 × 4.5	— " —	— " —	7/2~7/4
600 t	4 基	9.6 × 7.0 × 4.0	3 P 海域	600t吊 FC 船	8/13~8/21
300 t	6 基	7.0 × 7.0 × 3.0	— " —	— " —	8/11~8/29
計	18 基				

アンカー係留用の機装架第 (46m × 23m, 重量1300 t) が搭載されていた。

(2) アンカー設置

3 P ケーソン沈設の準備工として、番ノ州仮係留地と 3 P 海域に Table 4 に示すアンカーを潮流の速い大潮期を避けて 1 日平均 1 基の割合で順次設置した。

(3) ケーソン仮係留

昭和58年7月19日、番ノ州仮係留地で 8 点係留した状

態で貸与を受けたケーソンは、3 P 海域でのアンカー設置等の準備が完了するまで、当地に仮係留するとともにケーソン沈設に備えて各種機器の作動確認、習熟訓練及び測量用ターゲット等の設置を行った。

(4) ケーソン沈設

ケーソンは 8 月 31 日 8 隻のタグボートにより海上約 7 km を曳航して、300 t, 600 t アンカーに係留し、ポンプ注水のみで吃水 21.2 m まで沈下させた。翌 9 月 1 日に

ケーソン降下用3000t吊FC船を3P海域に曳航・係留して吊りワイヤーの取付けを行った。そして9月2日には海面下25mの据付盤にFC船で沈設した後、ポンプ注水した。

ケーソンの据付誤差は設計許容値1mに対して最大9cmであった。また9月3日にFC船の吊りワイヤーの段取替えをし、翌9月4日に機装架台を一括吊り取り撤去して、一連のケーソン沈設工を無事完了した。

(a) ケーソン曳航・係留

仮係留地での係留索の解放に引き続いて、Photo 2に示すように、3500pS曳船8隻によって、ケーソンを備讃瀬戸、水島航路を経由して3P海域へ約90分を要して、曳航・係留した。



Photo 2 3Pケーソン現地曳航

次に、ケーソンの安定を図り、FC船の吊りワイヤー取り付けを容易にするために、吃水が12mから21.2mになるまで1次注水した。（注水量＝8300t、所要時間＝3時間）

(b) FC船曳航・係留

3000t吊FC船『武蔵』を瀬居基地から3P海域へ曳航して、ケーソン西側に船首側4点、船尾側6点係留した後、ケーソン上端の24基の吊りピースに吊りワイヤー（φ100mm）を取付けた。

(c) 降下・位置決め

浮体構造であるケーソンは、バラストタンクに注水することで、沈設が可能であるが、下記の理由により、ケーソン着底直前にFC船に負荷を与え、最終的な沈設はFC船による吊下して行った。

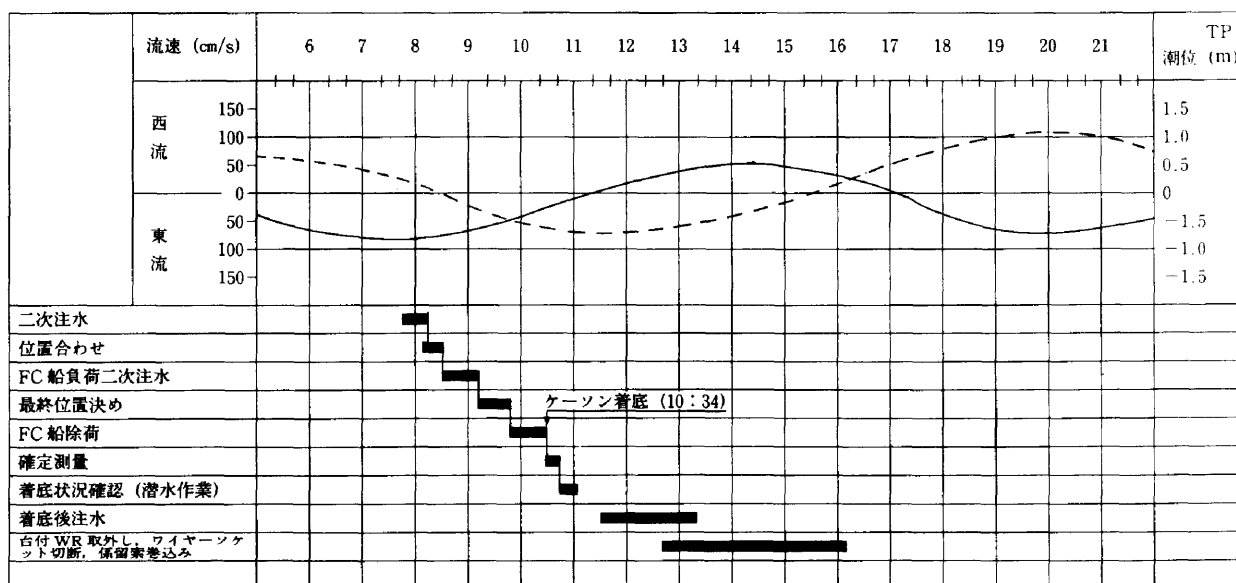
- ① ケーソンを上、下いずれにも制御可能で、必要によっては沈設のやり直しがすぐにできる。
- ② 着底速度の管理が容易にできる。
- ③ 着底後FC船の負荷を解放することにより、速やかにケーソンの鉛直荷重を増加し、滑動に対する安全性を高めることができる。

ケーソン沈設の施工順序図及び実施工程表をFig. 5、Table 5に示す。

2次注水ではまず、10室のブロックに分かれたバラストタンクへの注水によって吃水22.5mまでケーソンを下げた時点で位置修正を行い、続いてFC船のワイヤー巻き取りと並行して注水を行うことがFC船に負荷をかけた。8台のウィンチを操作して最終位置決めを行っ

Table 5 3Pケーソン沈設工程表

昭和58年9月2日



た後、FC 船の除荷によって、着底へ向けてケーソンを降下した。この間、ケーソンの位置を CRT 画面で把握し、FC 船操作室と連絡を取って位置修正を行った。

ケーソンの水平方向及び鉛直方向の位置管理並びに注水ポンプ及び係留用ウィンチの作動状況の管理は、すべて艀装架台上の作業管理装置を使用して行った。Fig.6 に示すように各種センサーにより得られた情報は、コンピュータで処理され、各項目の管理状況として CRT 画面上に瞬時に映し出され、異常発生時には、警報ランプが点灯し、ブザーが鳴る。例えば、位置測量においては、備え付けのスコープ（光波測距儀2台、トランシット1台）でケーソン上の光波ターゲットを視準すると、自動的に測量が行われ、結果がテレメータを通じて処理され

ると言う具合であり、担当職員は、バックアップ測量でその精度を確認することが主な任務であった。

Fig.7 に 3 P ケーソン沈設指揮命令系統図を Fig. 8 にケーソン水深・吃水及びタンク水位変化図を示す。

(d) 最終注水

ケーソン着底後、シールゴム及び艀装品に損傷がないことを潜水確認した後、ケーソン天端まで最終注水した。（注水量＝約13000 t、所要時間＝2 時間）

(5) 艀装架台及び艀装品撤去

ケーソン沈設後、ケーソン本体と艀装架台にまたがって取付けてある水中ポンプを撤去するとともに、吊りワイヤーの段取替えをケーソン西側に係留した2000 t 台船で行った後、3000 t 吊 FC 船で艀装架台を一括吊り

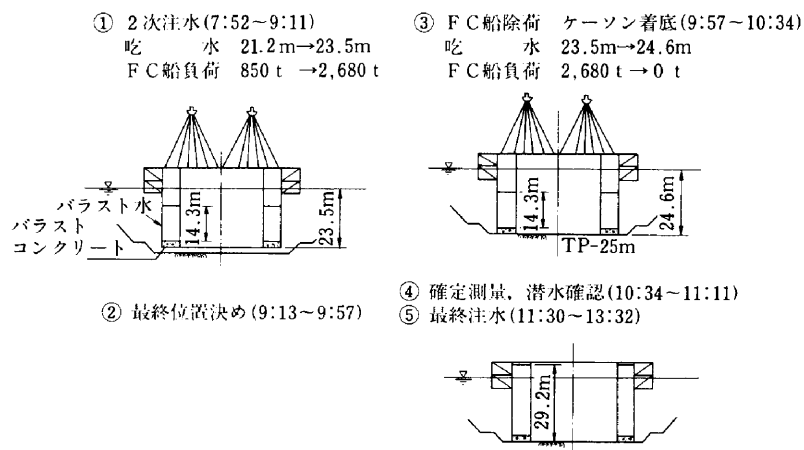


Fig.5 3Pケーソン沈設施工順序図

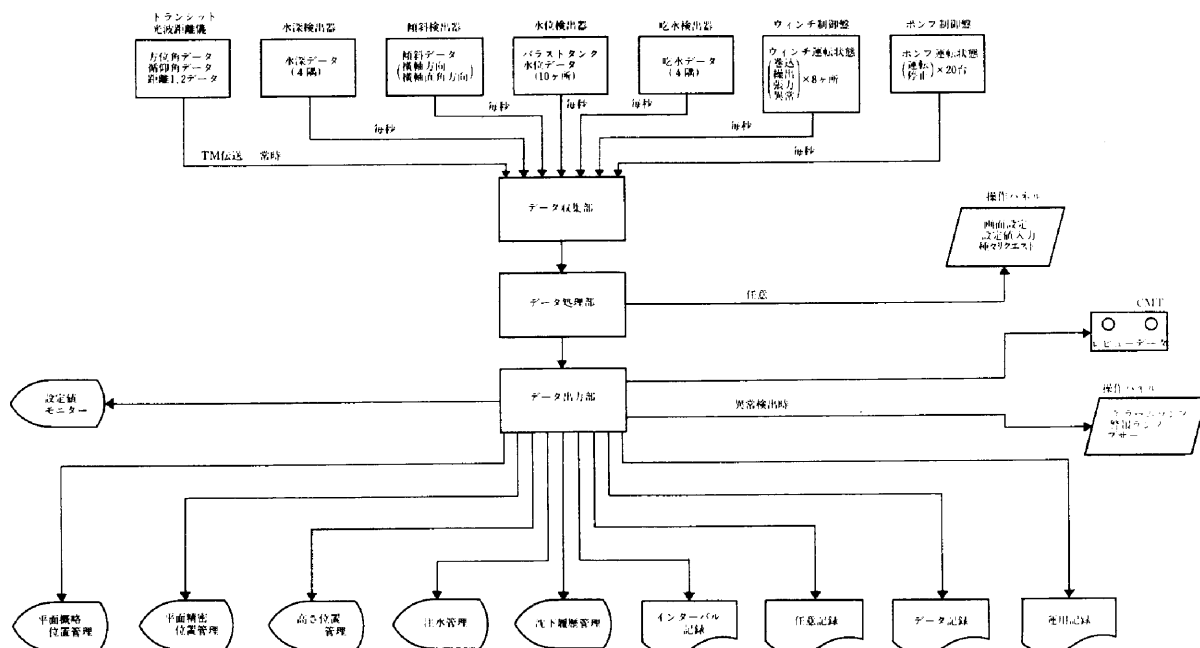


Fig.6 作業管理システム概略図

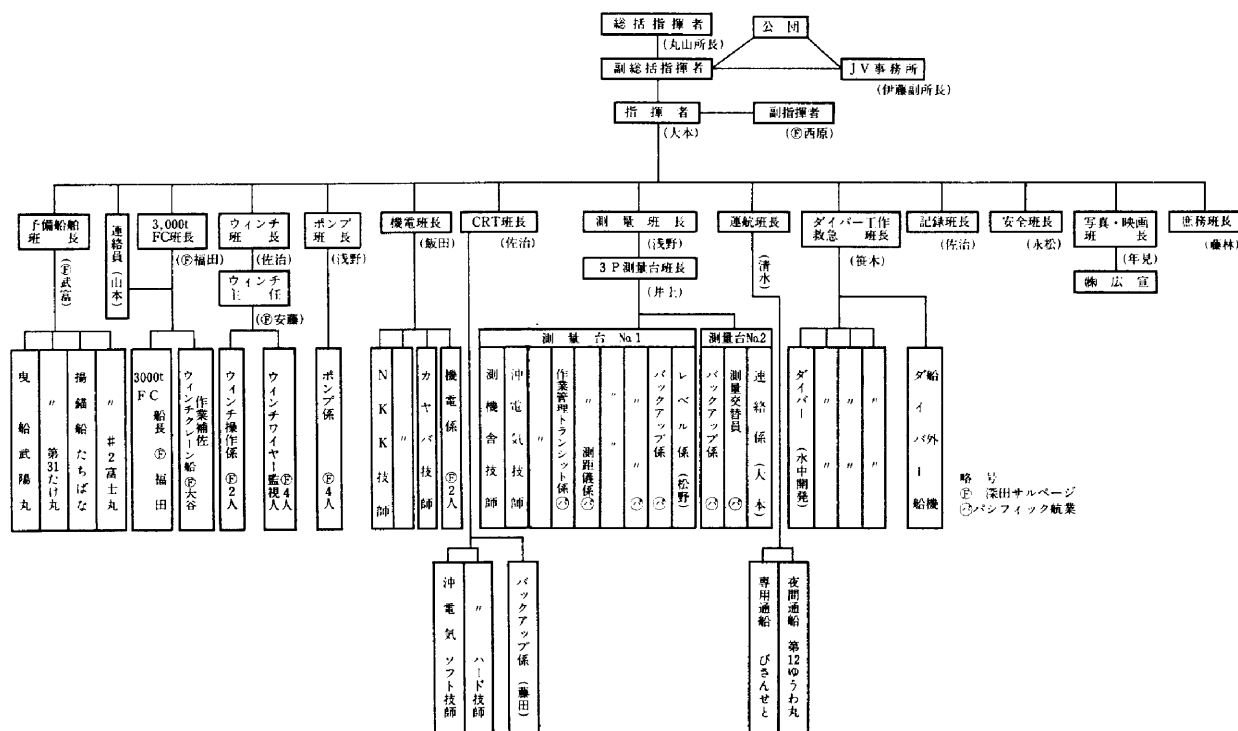


Fig.7 3Pケーソン沈設指揮命令系統図

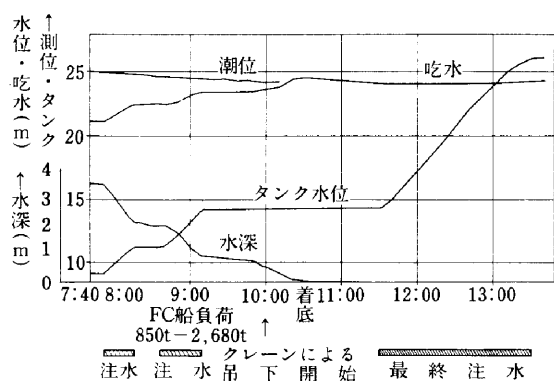


Fig.8 3Pケーソン水深、吃水、タンク水位変化図

取り瀬居基地まで吊運搬した。そして、フェアリーダ・リーディングブロックなどの艀装品を順次撤去した。

内粗骨材充填は、ケーソン内に海中コンクリート用大径粗骨材80mm～150mmを高さ28.5m (TP+0.5m) まで充填することをいう。Photo 3 には、粗骨材充填状況を示す。

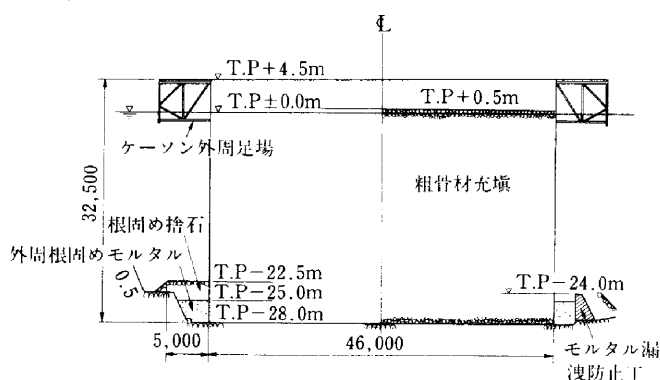


Fig.9 粗骨材充填一般図 (2P)

§ 3. 粗骨材充填

3-1 概要

粗骨材充填は、ケーソン外周部に行う根固め捨石とケーソン内の粗骨材充填に区分される。ケーソンの安定、潮流による洗掘および本体モルタル注入時のモルタル漏洩を防止するために、外周根固めコンクリートを施工するが、根固め捨石とは、Fig.9に示すように、ケーソン外周部に粒径150mm～500mmの大径粗骨材を、高さ5.5m (TP-22.5) まで投入することをいう。他方、ケーソン

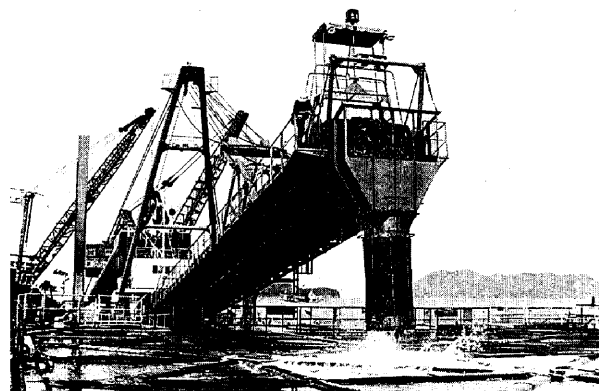


Photo 3 粗骨材充填状況

3-2 根固め捨石

(1) モルタル漏洩防止工

ケーソンの西側は、地盤が低く、外周根固めモルタル注入時に、モルタルが海底斜面に沿って流出する恐れがある。そこで、モルタル壁（布型枠使用）とロックマット壁（ロックマット・モルタルマット）を使用してモルタル漏洩防止工を行った。モルタル壁、モルタルマットへの約400m³のモルタルは、CP船を使用して、潮止まりに、ダイバー補助によるトレミー工法で、延べ6日間で打設した。

(2) 根固め捨石

根固め捨石の運搬・投入には499型及び199型ガット船を使用した。捨石の投入は、ケーソン外周部を10ブロックに分割し、効率よく投入できるよう直線部を優先し、同時投入可能なコーナー部も並行して投入した。

なお、直線ブロックでは、粗骨材の投入効率向上のため外周足場上に投入ホッパーを設置し、捨石の投入を行ったが、コーナー部は直接投入した。2P地点は潮流が速く、投入時期が小潮期前後の4～6日間と制限されたうえ、潮待ちの関係からガット船の投入能力は平均で約110m³/hrと通常の約半分程度であった。また、捨石天端高の確認は、超音波測深機・レッド測量及びダイバー調査によって行った。

3-3 ケーソン内粗骨材充填

(1) ケーソン内エアリフト清掃

ケーソン沈設後の調査で、ケーソン内部全面に渡って薄い堆砂層及びマリンスノーの沈降が確認されたことから、粗骨材充填前に、ダイバーによるエアリフトで、これらを清掃除去した。また、粗骨材充填時に障害となるバラスタタンクも撤去した。

(2) 工法の選定

施工方法としては、下記の3通りの方法が考えられたが、粗骨材の品質管理および施工性が良好で、ケーソン本体の機装が不要なことから、リクレーマ船による投入に決定した。

- ①グラブ船+ディストリビュータによる投入。
- ②ガット船+ベルトコンベアによる投入。
- ③リクレーマ船による投入。

使用したリクレーマ船は、41.2m×15.2m×3.0m、投入能力900m³/hを有する『第25西部号』であった。

(3) 粗骨材の材質

粗骨材としては、試験工事などにより、モルタルを急速に注入しても材料分離が少なく、粗骨材の空隙を十分に充填し、目標圧縮強度180kg/cm²を充分期待できると確認された80～150mmの大径粗骨材を選定した。

産地は、岡山県倉敷市福江で、岩質は、火成岩の流紋岩である。

(4) 分級及び洗浄

海中コンクリートとしての品質を確保するためには、粗骨材の分級（80mm以下の選別除去）及び洗浄（骨材表面の石粉、粘土の除去）は、非常に重要な作業であり、リクレーマ船にFig. 10に示すような大規模な分級及び洗浄設備を機装した。

(5) ケーソン内粗骨材充填

粗骨材は、水島の粗骨材供給基地にて、水張りした499型ガット船に能力500t/hのシップローダで、積み込み、2Pまで海路約20kmを運搬した。

ケーソン内は、天端（TP+4.5m）まで水張りをし、最上段部材をゴム養生して、ケーソン部材の損傷および粗骨材の投入時の破碎を防止した。

ケーソン内への投入は、骨材の段差が5m以上にならないように、リクレーマ船を交互にシフトして行ったが、これも、骨材の二次破碎を防止するためであった。

粗骨材充填は、48日間で約32000m³の投入（670m³/日）を終えた後、6日間を要して、TP+0.5m±0.2mの精度に入力で粗骨材天端均しを行って、昭和59年9月25日に無事終了した。

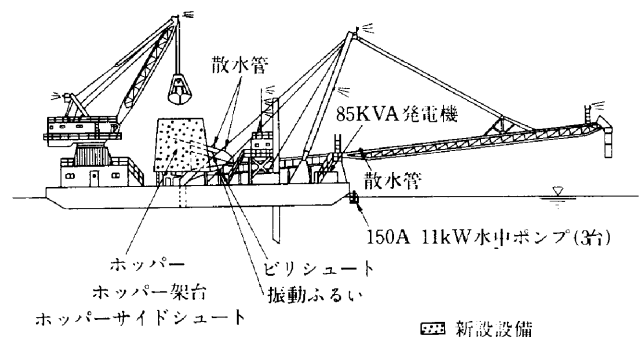


Fig.10 リクレーマ船機装要領図

§4. モルタル注入

4-1 概要

モルタル注入とは、あらかじめ鋼ケーソン内に充填された粗骨材中に、モルタルプラント船を用いて、膨張性のある特殊なモルタルを注入することを言う。モルタル注入によるプレパックドコンクリートは、米国で開発され、我国でも昭和20年代後半から研究・施工実績が積み重ねられてきたが、主として重力式の港湾構造物、河川の改修工事、小規模な橋脚工事に使用されていたのが現状であった。しかし、本四架橋でのモルタル注入は、重

要かつ不可欠な工種であり、種々の試験工事及び技術開発を経て、昭和53年本四公団により建造された世界初のモルタルプラント船『世紀』（以下MP船という）に集大成され、児島～坂出ルート海峡部11基のプレパックスドコンクリートの施工に使用された。

このルートにおけるモルタル注入の施工実績を見ると全施工数量は285000m³で、プレパックスドコンクリート体積では537000m³に相当する。当社施工分の2P、3Pでのモルタル注入は、施工回数が5回、モルタル注入量は約24000m³であった。

4-2 施工フローシート

モルタル注入の一連の作業の流れを Fig. 11 に示す。モルタル注入が他の工種と異なる点は、下記の3点である。

- ① MP船『世紀』を使用して施工する。
- ② プラント及びそれに付属した設備の操作・運転は全てJVの職員が、操作講習を受けて実施する。
- ③ 注入作業は中断なく連続して行う必要があり、最大で4昼夜連続注入が可能である。

4-3 MP船

船体の長さ90m、幅32m、深さ7.5mの箱型非航式船で排水トン数は11500tのMP船の仕様を Table 6 に示す。MP船の主な特徴は、下記の通りである。

① モルタルの製造及び注入管理

全ての作業が、中央操作室で集中管理でき、モルタルの製造・注入作業は、グラフィックパネルで監視され、トラブルの発生場所が表示されることにより、その対策を中央操作室から3各班へ指示できるシステムである。また、材料の貯蔵量、使用量、フロー値、注入速度、注入量、計画値との検証などのデータが、パルス及びCRTディスプレイにより、瞬時に判断できるよう電算処理されている。Fig.12にグラフィックパネル表示図を示す。

② モルタルミキサー

3.3m³の超大型高速攪拌ミキサー（110rpm）で流動性の高いモルタルを練り、フロー値は自動測定されて適合バッチは、アジテータに放出される。製造能力120m³/hが3系列装備されているが、2系列は常時運転、1系列は予備とし、計画最大能力は240m³/hである。

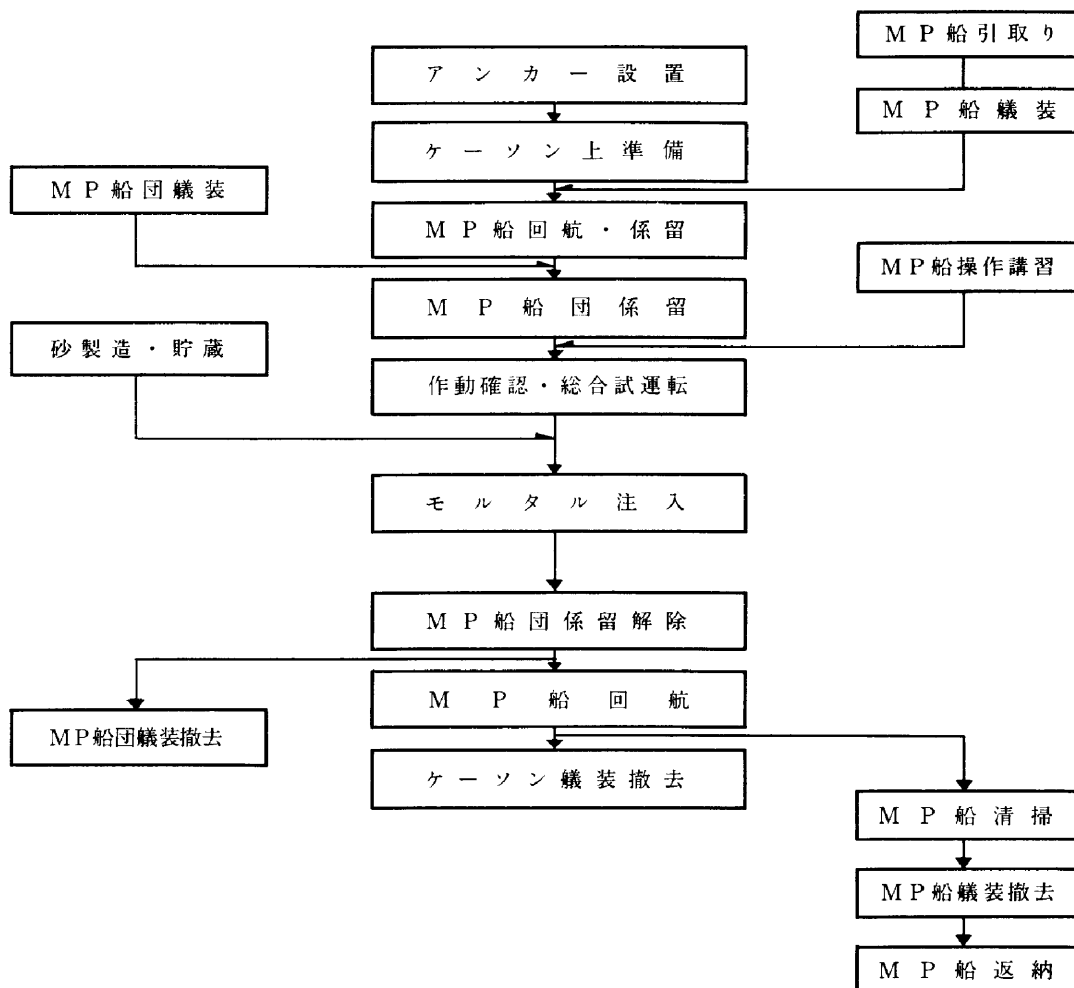


Fig.11 モルタル注入施工フローシート

Table 6 MP 船仕様

要 目	性 能	備 考
全 長	90 m	
型 幅	32 m	
型 深	7.5 m	
型 吃 水 (最 大)	4.5 m	
主 発 電 機	1,350 KVA	3 台
補 助 発 電 機	150 KVA	2 台
タンク容量	燃 料 油	530 m ³
	清 水	900 m ³
	バ イ ラ ス ト 水	4,000 m ³
	飲 料 水	450 m ³
乗 員	停 泊 時	8 名
	作 業 時	100 名
	宿 泊 者 数	22 名
プラトン部	ブ ラ ト ン 出 力	6,000 t/分 2,000 t/分×3 系列
	材 料 一 次 貯 蔵 槽	セ メ ン ト 600 t 200 t×3
		砂 600 t 200 t×3
		水 900 t
		混 和 剤 200 t
	材 料 共 給 能 力	セ メ ン ト 360 t/時 120 t/時×3
		砂 360 t/時 120 t/時×3
		水 180 t/時
		混 和 剤 6 t/時
	ミ キ サ ー 容 量	3,300 t 6 台
	ア ジ テ ー タ 容 量	300 m ³ 1 台
濁水処理部	注 入 ポ ン プ	吐 出 量 30 t/分~300 t/分 24 台
		吐 出 圧 0~21 kgf/cm ²
	処 理 濁 水	処 理 量 50 m ³ /時
		モ ル タ ル 含 有 量 0~5 % 平均 2 %
	処 理 基 準	pH 値 8~13
		浮 遊 物 質 量 20PPM 以下

③ 注入ポンプ

300 t/min の注入ポンプを24台装備し、そのうちの20台を常時運転してケーソン内にモルタルを注入する。

④ 濁水処理設備

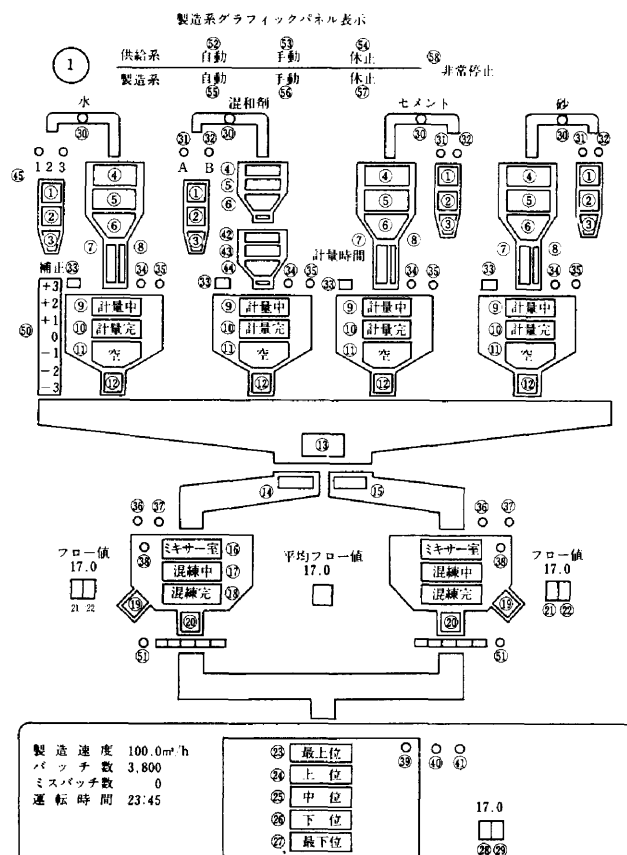
多葉式フィルタープレス2基、中和装置1基を備え、船内の作業水は全量処理し、処理水は再利用するシステムである。付帯設備としてケーソン内溢流水中和装置(240m³/h)、残留水処理装置(20m³/h)を船外に備えている。

⑤ 混練水冷却装置

モルタルの練り上り温度を低下させるために混練水を冷却装置で4~6℃程度までに下げる必要がある。混練水冷却装置は、公称冷凍容量=450JRTの冷凍機2台で、最大能力に対する使用混練水85m³/hを連続して23℃から4℃までに冷却する能力を有する。

MP 船はモルタル注入前に各種機器の作動確認や施工に必要な仮設備(居住設備、連絡設備、燃料等)の搬入を完了した後、瀬居基地から現場まで曳航・係留した。

モルタル注入時に各種材料を MP 船に供給する作業船団を MP 船団と言い、その標準的な配置を Fig. 13



注入系グラフィックパネル表示

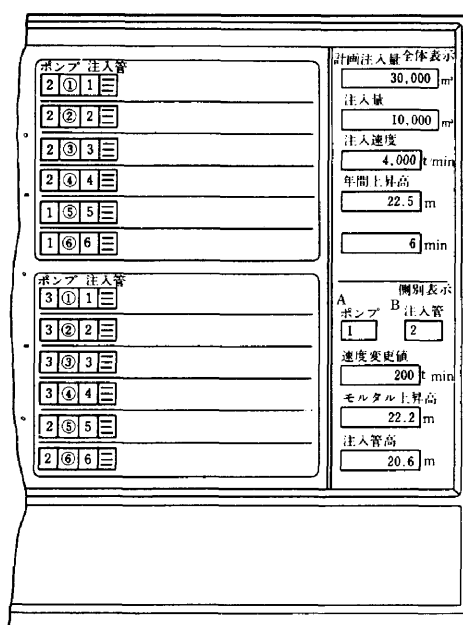


Fig.12 グラフィックパネル表示部

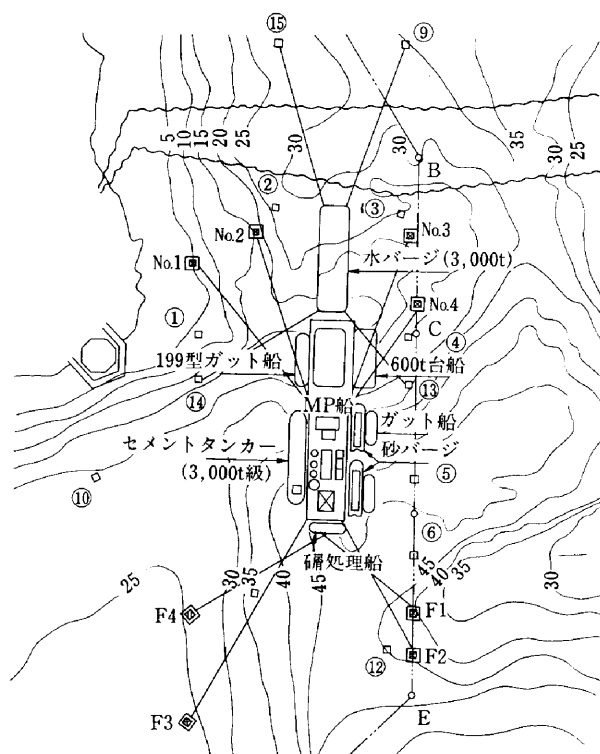


Fig.13 MP船団配置平面図(2P)

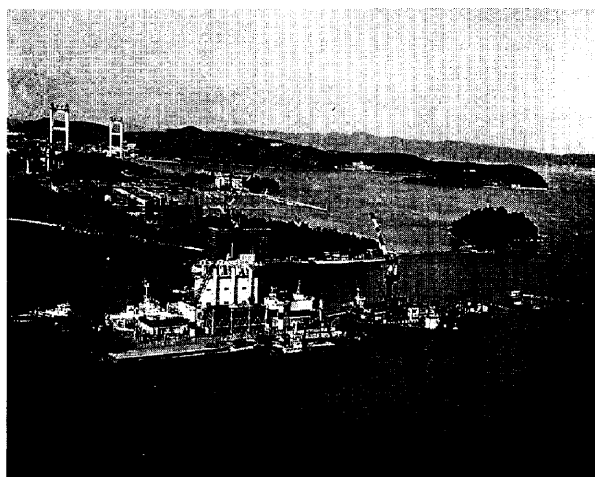


Photo 4 MP船団全景(2P本体モルタル注入)

に示す。船舶の航行安全を確認するために、夜間の材料補給は原則として行わないことから、最大注入量に対して約8時間分の材料ストックを保つように、セメントタンカー、砂バージ、水バージの容量を決定した。Photo 4にMP船団の全景写真を示す。

4-4 ケーソン上準備

(1) 作業内容

ケーソン上での準備作業は下記のとおりである。

- ①ケーソン上面に床版を敷設する。
- ②注入管引上装置（20台）を注入位置に設置する。

- ③注入管及びパッカー管をセットする。
- ④注入ホースを配置し、注入圧力計を取付ける。
- ⑤給水、洗浄、電気、溢流水処理設備を設置する。
- ⑥昇降階段、通路、手摺等の安全設備を設備する。
- ⑦モルタル天端高測定のための通路及び各種検知管を設置する。

(2) 注入設備

MP 船で製造されたモルタルは、Fig.14 に示す経路でケーソン内に連続注入した。

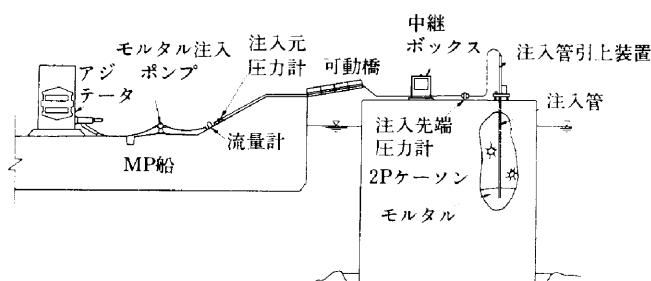


Fig.14 モルタル注入経路図

(a) 注入管及びパッカー管

注入管は内径2.5B、長さ1 m、2 m、3 m、をボルト
 接合して、既にケーソンに取付けられている8 B有孔注
 入外管内に降管する、パッカー管は、注入外管内をモル
 タルが逆流するのを防止するためのゴム製水袋を有し、
 先端は注入しやすいように傾斜している。

(b) 注入ホース

注入ホースは、長さ10mの高圧ゴムホースで継手構造によってワンタッチ、片フランジ、両フランジの3タイプがある。Photo 5 にケーソン上設備配置状況を示す。

(c) 注入管引上装置

注入管引上装置は、モルタル品質に重要な影響を与えるモルタル被りを常時1.4~1.6mに保つために、モルタル高さを測定して順次注入管を引き揚げ、切り離す装置である。

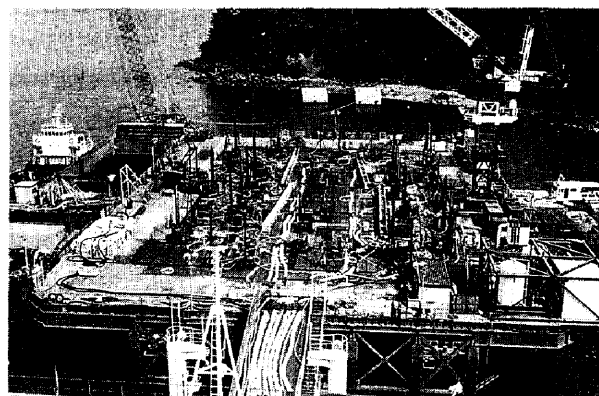


Photo 5 ケーソント設備配置状況 (3P)

(d) 注入圧力計

注入圧力計は、MP 船出口と注入管引上装置手前に設置してモルタルの漏洩や詰まり等の有無を監視する。

4-5 細骨材製造・積出し

瀬戸内海産の海砂を瀬居位置に搬入し、脱塩・粒度調整を行って製造した。砂製造設備はロッドミル及びクラシファイヤを備え FM が約 2.6 の原料砂から 1.8 ± 0.2 の製品砂を 60t/h の速度で製造する能力を有する。2 P、3 P での製造数量は合計で約 33000 t で、平均製造量は約 600 t/日であった。

製品砂は、注入前日までストックヤードに貯蔵し、風雨によって、飛散、流出しないようにシート養生を行うとともに、表面水率（通常は 2～4%）の保持に努めた。

また、細骨材は、2.3m³タイヤシャベルを使用して容量 15 m³のホッパー内に投入し、ベルコン及びシップローダによって岸壁の砂バージまたはガット船に積込んだ。

4-6 モルタル配合

(1) モルタル品質

品質の良いプレパックドコンクリートを施工するためのモルタルの目標品質は、Table 7 のとおりである。また試験練りの結果、目標品質を満足する示方配合は、Table 8 に示すとおりである。3 P モルタル注入は、脚付きケーソン工法の関係により 2 P とは大きく異なり、粗骨材充填のないモルタルのみの注入であることから、純膨張率の値がプラス側となっている。

(2) 品質管理

Table 7 モルタル目標品質

項 目	目 標 品 質
圧 縮 強 度	$\sigma_{28} \geq 250 \text{ kgf/cm}^2$
フ ロ ー 値	17 ± 2 秒
ブリージング率	3 % 以下（3 時間後）
純膨張率	2 P 5 % 以下（一側）
	3 P + 側（一側）

Table 8 モルタル示方配合

	W/(C+F) (%)	F/(C+F) (%)	S/(C+F) (%)	単 位 量 (1 m ³ 当り)					セメント フライアッシュ
				W (kg)	C+F (kg)	S (kg)	混 和 剤		
							(kg)	アルミタイプ	
2 P	48.0	18	100	397	827	827	8.273	GF-610 A3	三 菱 鉱 業 三 井 アルミ
3 P	47.5	18	100	394	830	830	8.30	イントロ ジョイエンド A1	小 野 田 三 井 アルミ

Table 9 モルタル品質管理試験内容一覧表

管理項目	試 験 項 目	試 験 方 法	試 験 頻 度		備 考
			仕 様	作 業 標 準	
注 入 モ ル タ ル の 品 質 管 理	コンシステンシー試験	土木学会 基 準 III-1	自動フロー ミキサ：各バッチ 毎	自動フロー ミキサ：各バッチ毎 アジテータ： 1 回/号機/10分 手動フロー ミキサ：各バッチ毎 アジテータ 1 回/号機/30分	
	ブリージング率試験 膨張率試験	土木学会 基 準 III-3	モルタル注入量 1,000 m ³ に 1 回	モルタル注入量 1,000 m ³ 毎 (500, 1,000 以後 1,000 m ³ 毎)	供試体数 3 本/回
	注入モルタル 圧縮強度試験	土木学会 基 準 III-4	同 上	同 上	供試体数 注入モルタル：9 本/回 ($\sigma_1, \sigma_{21}, \sigma_{31}$)
	プレパックドコンクリ ートの圧縮強度試験	土木学会 基 準 III-5	同 上	同 上	供試体数 3 本/回 (σ_{p1})
	凝結試験	—	—	同 上	供試体数 2 本/回
使 用 材 料 の 管 理	砂粒度の変動測定	JIS A 1102	モルタル注入量 2,000 m ³ に 1 回以 上	一次サイロ ①注入開始前 ②4 時間毎	
	砂表面水の変動測定	JIS A 1111	①注入開始前 ②運搬船毎 ③注入時 2 時間毎	運 搬 船 ①運搬船毎 一次サイロ ①注入開始前 ②2 時間毎 ③表面水異常時毎 二次サイロ ①注入開始前 ②2 時間毎 ③表面水異常時毎	一、二次サイロ同時に 採取
注 入 管 理	注入モルタルの 温度測定	—	自 動 各バッチ毎	自 動 各バッチ毎 手 動 30 分毎	

Table 10 モルタル注入時の班別作業内容

番号	班 名	作 業 内 容
1	中 央 操 作 班	モルタルの製造、注入を各種コンピュータを駆使して制御する班で、艀側の中央操作室で作業する。
2	記 録 班	モルタル注入作業における全情報を入手し記録する班で、写真撮影も行う。中央操作室に待機する。
3	連 絡 調 整 班	各班への連絡および船舶の入出域の調整をする班で、中央操作室の指揮者横に待機する。各種無線、電話の応対もする。
4	点 検 班	プラント設備のトラブル時の調整、修理を担当する班で、メーカー指導員を含めて、中央操作室および点検班室で待機する。
5	セメント・混和剤供給班	セメント・混和剤の受入、供給を担当する班で、MP 船右舷の甲板上で作業する。セメントタンカーの離接舷には指揮する。
6	砂・水・冷水供給班	砂・水の受入、供給および混練水冷却装置の運転を担当する班で、MP 船左舷甲板上で作業する。クラムシエルの運転も含む。
7	計 量 班	プラント3 F、4 Fで作業し、セメント・砂・水および混和剤の計量作業を担当する班である。特に混和剤の過計量に注意を要する。
8	ミ キ サ ー 班	プラント2 F、1 Fで作業し、ミキサの作動状況を把握する班であり、号機切替時のミキサの水洗い清掃等を担当する。
9	ポ ン プ 班	プラントポンプ室で作業し、アジテータおよび注入ポンプ関係を担当する班であり、ミスバッチ発生時にはその処理を行う。
10	ホ ー ス ラ イ ン 班	MP 船可動橋下部で作業し、MP 船側とケーソン側の注入ホース接続切替を担当する班である。
11	ケ ー ソ ン 班	ケーソン上の注入作業全般を担当し、注入管の切り離し、注入高さの測定等を行う。またケーソン上の準備工も行う。
12	試 験 班	モルタル品質管理を担当し、居住区1 Fの試験室で各種試験を行う。またミキサ室およびポンプ室でフロー値の手動測定を行う。
13	濁 水 班	MP 船内の濁水処理設備の運転を担当する班で、濁水処理室で作業する。処理ケーキは甬処理船へ搬出する。
14	溢 流 水 処 理 場	モルタル注入に伴って発生するケーソン溢流水を溢流水中和装置で処理して放流する班である。水質計測も行う。
15	電 動 機 盤 班	各機側のNFBの操作・管理を担当する班で艀側の電動機盤室で作業する。
16	機 関 班	MP 船の発電機の運転・管理を担当する班で機関室で作業する。
17	操 船 班	セメント運搬船等の各種材料供給船舶の離接舷時のもやい取りおよび係留船舶の係留状況の点検、調整を行う。
18	資 材 供 給 班	モルタル注入時の食事、飲物および必要資材を手配し、各班へ配布する。また MP 船内および仮設ハウス内の清掃を行う。
19	瀬 居 基 地 班	瀬居基地での砂・水の積込み作業を担当する班である。また、瀬居基地での人員点呼を行う。
20	運 航 管 理 班	交通船、材料供給船舶の運航を管理する班で、事務所で情報連絡を行う。

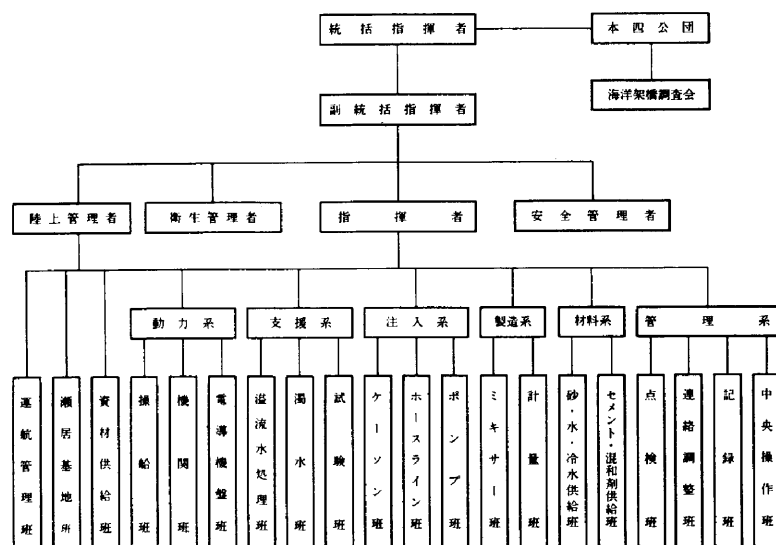


Fig.15 モルタル注入指揮系統図

モルタル注入時に行った品質管理試験を Table 9 に示す。また、品質管理試験の結果は、良好で目標品質を十分に満足するものであった。特に、モルタル硬化後、2 Pで採取した大口径コア（φ450×900mm）の圧縮強度 σ_{91} は、同ルートでの最高値を示し、粗骨材充填及びモルタル注入という一連のプレパクトコンクリートの施工における品質管理が、極めて良好であったことを実証している。

4-7 モルタル注入

(1) 注入区分

モルタル注入順序は、ケーソン外周部を注入してモルタルの外部への漏洩を防止した後、本体部を注入した。また二重壁式ケーソンでは、モルタルの温度上昇を防止するために内殻部→外殻部の順に注入した。

(2) 施工体制

モルタル注入は、注入開始から終了まで中断するたなく、連続して施工する必要がある。かつ、作業内容も多岐に渡っているため、約20班の組織に分割された昼夜勤体制で行った。Fig.15に指揮系統図を Table 10 に各班毎の作業内容を示す。施工に必要な人員は、1方当り200人の計約400人で、そのうちJV職員は、約90人であった。

モルタル注入に先立ち、MP船の操作方法を理解し、作業に習熟するために、各班長は約1週間の操作講習を受けた後、マニュアルを作成し、習熟訓練を行った。

(3) 注入方法

外周部は、ケーソン外周の固定式注入管（2.5B）に直接注入ホースをフランジ接合して行い、注入高は、2 Pが3 m、3 Pが2 mであった。本体部は、注入管引上装

置を用いてモルタル被りを一定に保ちながら、2 Pで28.5m、3 Pで約13mを一気に注入した。注入当日は、プラント運転準備、全体水通し運転を経て、S/C+F=7.5%の富配合モルタルを製造・注入した後、正規のモルタルの注入を開始した。また2 Pでは注入時間が66時間と長いことから、ミキサー内でのモルタル付着に起因するミスバッチの発生を防止するために、バッチャープラントの切替を2回行うとともに、注入ポンプを適宜交換した。

注入中の主なトラブル内容は、下記のとおりであった。

- ① 注入ポンプの作動不良
- ② ミキサー自動フロー値測定装置の作動不良
- ③ 混和剤、セメント計量機の過計量

(4) 材料供給

セメントは、過度の圧密を避けるために、MP船右舷の2000～4000 tセメントタンカーから、注入速度に合わせて、サイロへ順次圧送した。細骨材は、MP船左舷の1000～1800 m³積砂バージ2隻に499型ガット船で補給し、MP船のクラムシェルでサイロへ供給した。水は、1800 t積貨物船または3000 t台船を、艀装して水バージとし、ケーソン上を配管してMP船に供給した。水バージには500 t水タンカーで補給した。混和剤は、量が比較的少なく、事前に瀬機基地で全量をサイロ内に積み込んだ。

なお、注入中に使用した材料供給船の延べ隻数は、セメント11隻、細骨材30隻、水20隻であった。

(5) 注入管理

モルタルの注入管理上最も重要なことは、注入管配置・打上り速度及びモルタル被りである。注入管配置は、

モルタルの分離、流動勾配の関係から約9m以下が望ましく、注入管を中心とした半径5mの円で全範囲が均等にカバーできることが必要である。打上り速度は、0.2m/h以上（施工実績では0.4～1.0m/h）とし、モルタル天端の流動勾配をできるだけ小さくするために、各注入管毎に分担注入体積から注入速度 L_i ℓ/min ($70 < L_i < 270$) を設定して可能な限り持続した。また、モルタル被りは、注入管引上装置の自動運転を利用して、1.4～1.6mの値を確保するとともに、常時巡回して実測修正する必要がある。

2P本体部モルタル注入のブロック割図と注入管別注入量を Fig. 16, Table 11 に示す。

次に2Pでのモルタル流動勾配は、注入管付近の2m辺りで20～50%、平均35%で、4～5m離れたところで平均14%の値を示した。さらに、同ルートでの大口径コア圧縮強度と注入管からの距離の相関関係を調べると、Fig.17 のようになり、明らかに注入管からの距離に逆比例し、注入管から1m離れると19kgf/cm²の強度低下が認められた。プレパックド・コンクリートの内部温度の上昇量は、計測の結果、最大60℃であり、最高温度は材令60日目の84℃であった。

全体の時間注入量は、注入開始時及び終了時を除いて2P、3Pとも200～240m³/hと最大能力付近の値を示し、モルタル注入は、大きなトラブルもなくほぼ計画どおり無事完了した。

(6) 水質計測

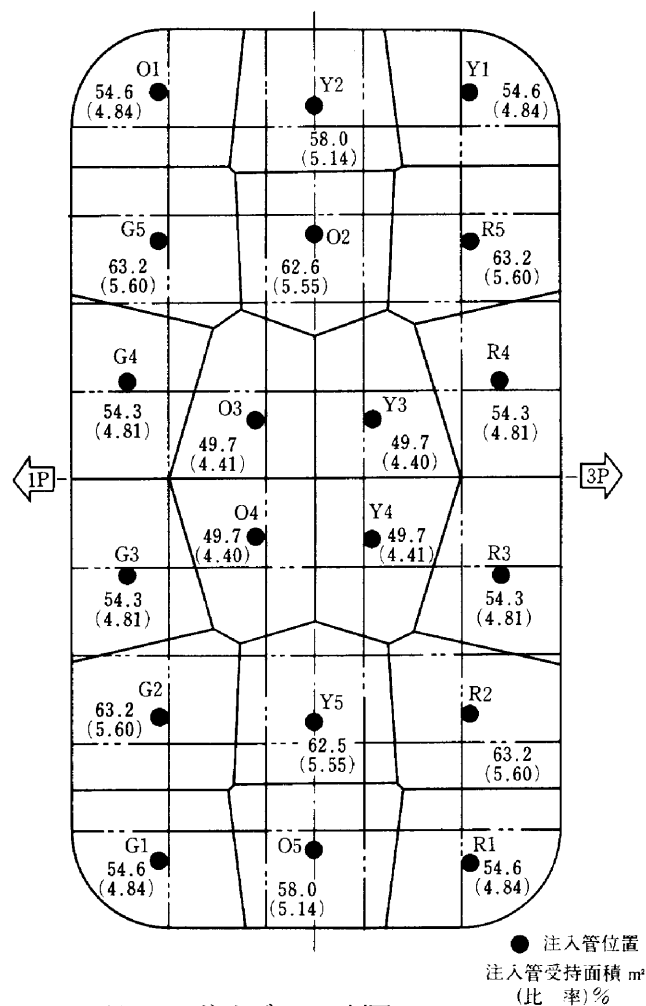


Fig.16 注入ブロック割図
 (2P本体部モルタル注入)

Table 11 注入管別注入量一覧表 (本体部モルタル注入)

注入管番号	注入管受持面積比(%)	注入速度 (ℓ/min)	計画注入量 A (m ³)	実績注入量 B (m ³)	比率 (%) = $\frac{B-A}{A}$	備考
R 1	4.84	194	698	712	2.0	
R 2	5.60	224	808	815	0.9	
R 3	4.81	192	694	701	1.0	
R 4	4.81	192	694	706	1.7	
R 5	5.60	224	808	804	△ 0.5	
Y 1	4.84	194	698	703	0.7	
Y 2	5.14	206	742	748	0.8	
Y 3	4.40	176	636	646	1.6	
Y 4	4.41	176	636	636	± 0.0	
Y 5	5.55	222	800	793	△ 0.9	
G 1	4.84	194	698	708	1.4	
G 2	5.60	224	808	815	0.9	
G 3	4.81	192	694	699	0.7	
G 4	4.81	192	694	707	1.9	
G 5	5.60	224	808	801	0.9	
O 1	4.84	194	698	706	1.1	
O 2	5.55	222	800	809	1.1	
O 3	4.41	176	636	656	3.1	
O 4	4.40	176	635	649	2.2	
O 5	5.14	206	742	749	0.9	
合 計	100	4,000	14,427	14,563	0.9	

※印はプリンターによる注入量であり、グラフィックパネルによる注入量（検収量）は14,572m³である。

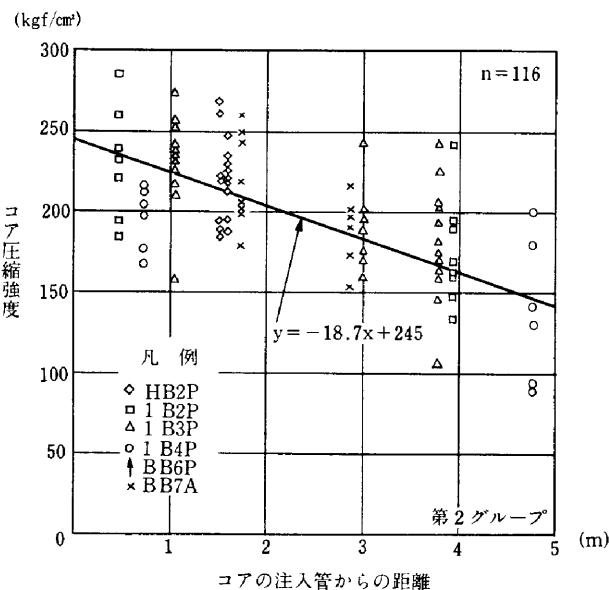


Fig.17 コアの注入管からの距離と圧縮強度の相関図

モルタル注入に伴って発生するケーソン溢流水は、中和処理しながら、海中へ放流するが、放流水は、pH・SS・T・Cr・Cr⁶⁺などの水質計測を行って、所定の排水規準を満足することを確認した。

4-8 MP 船清掃

セルタル注入終了後、ケーソン上仮設備を撤去するとともに、MP 船は、瀬居基地へ曳航して清掃を行った。清掃は、残モルタルの処理及びミキサー、アジテータなどのモルタル付着箇所の水洗いのみならず、各種材料の抜取り、プラント各機器の分解清掃、点検・整備の他に船体部や甲板部の清掃、塗装にまで及んだ。MP 船の清掃に要する日数は、約3週間で延約1300人の職員、作業員が必要であった。

- 4) 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
- 5) 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

§5. おわりに

今回紹介したケーソン沈設、粗骨材充填及びモルタル注入は、底面仕上げという海面下約30mの作業から、約6ヶ月間に、施工場所が一気に、海面上まで浮上する工種である。また、海面下での目に見えない工事の施工管理の良否が、海面上で一気に問われる工種であり、工事を直接担当する者にとっては、いささか大袈裟ではあるが、不安と期待に満ちた時期であったといえる。

特に、2Pケーソン沈設の際の、まさに計画どおりの着底完了の瞬時や3昼夜連続のモルタル注入完了の放送を聞いた時の感激は、今もなお鮮明に甦える体験であった。

しかし、施工技術上の問題点として、ケーソン周囲へのモルタル漏洩防止及びプレパックド・コンクリートの内部温度上昇の影響等が残されたことから、今後さらに検討が必要である。

また、短時間に大量動員する労働状況は、雇用管理上も、安全管理上も問題点が多い。

なお、今回は施工報告の最終回として、大口径杭掘削による脚付き設置ケーソン工法の施工、潜水作業および航行安全対策等について述べる予定である。

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) 桜井紀朗 共立出版
「特殊コンクリートの施工」