

PC プレキャストケーソンの設計と施工について

—舞子沖地質調査—

神 弘 夫*
清 水 正 貴**
横 山 雅 臣***

1. ま え が き

明石海峡大橋に関する調査は、昭和 30 年代から始め、昭和 45 年に本州四国連絡橋公団が設立されてから、更に本格的な諸調査が進められてきている。

当プレキャストケーソンも、明石海峡大橋下部工の支持層となる地盤での現位置調査を実施することにより、明石海峡大橋基礎の設計精度向上を図るとともに、下部構造の施工法確立を目差して計画されたものである。

本工事は、舞子沖約 150 m、水深約 6 m の海上において約 3 か年で計画されており、その主要内容は次のとおりである。

- ① 調査地点と陸上部を結ぶ栈橋工および全高 36 m のプレキャストブロックによるオープンケーソンを海底下 25 m の深度まで掘削沈下させる。
 - ② ケーソン外周部に鋼管矢板による柱列式連続壁を TP -65 m の深度まで構築し、深層載荷試験と連続壁の止水性を確認する。
 - ③ 調査終了後、海底面より上の構造物をすべて撤去する。
- ① は舞子沖地質調査（その 1）、②③ は舞子沖地質調査（その 2）として実施された。本稿では上記 ①②③ 工事のうち、施工例の非常に少ないプレキャストケーソン工法について報告する。

2. 工 事 概 要

工 事 名：舞子沖地質調査（その 1）

企 業 者：本州四国連絡橋公団第一建設局

工 期：昭和 53 年 5 月 13 日～昭和 54 年 3 月 31 日

工事場所：兵庫県神戸市垂水区東舞子町地先

工事内容：連絡栈橋および足場栈橋構造

ケーソン製作

コンクリート	1 917 m ³
鉄 筋	140 t
型 枠	2 500 m ²
P C 鋼 棒	14 t

掘削地下

掘 削 工 量	2 500 m ³
沈 下 深 度	25 m
底版コンクリート	150 m ³

3. プレキャストケーソンの設計

調査地点は陸上取付け部が舞子公園内となっており、近くに国鉄舞子駅および住宅地域があり、特に夏季には納涼、海水浴客でにぎわう場所である。このため環境保全上、また陸上工事に比して稼働率の低い海上作業を極力減らす目的から、ケーソン本体構築にはプレキャストブロックによるオープンケーソン工法を採用した。

プレキャストケーソンの設計上特に考慮した検討項目を次に示す。

- ① プレキャストブロックの寸法精度を確保するための製作方法
 - ② プレキャストブロックの継手構造
 - ③ プレキャストブロックを緊結する PC 鋼棒の接続方法と緊張方式
 - ④ 沈下促進設備
- プレキャストケーソンの平



* Hiroo JIN
本州四国連絡橋坂出工事
事務所第 9 工事長



** Masayoshi SHIMIZU
鹿島建設（株）大阪支店
営業部部长



*** Masaomi YOKOYAMA
鹿島建設（株）大阪支店土
木部設計課課長代理

プレストレストコンクリート

面寸法は 10m×10m であり、刃口部の高さは 8m, 2 ブロック～15 ブロックの一般部は 2m で全高 36m である。

プレキャストブロック相互を PC 鋼棒 (φ32, B種 2号) で緊結することにより, ケーソン鉛直方向に生ずる応力はプレストレストコンクリートとし, 水平方向に生ずる応力は鉄筋コンクリートとして設計している。

本プレキャストケーソンに生ずる鉛直方向の応力は,

- ① 地震時
- ② プレキャストケーソン刃口下掘削時

であり, ② における荷重により 躯体に引張応力が作用しないように, PC 鋼棒の配置ならびにプレストレス量を決定している。

3.1 設計条件

(1) 荷 重

ケーソン上の荷重: 上載荷重 50t

土

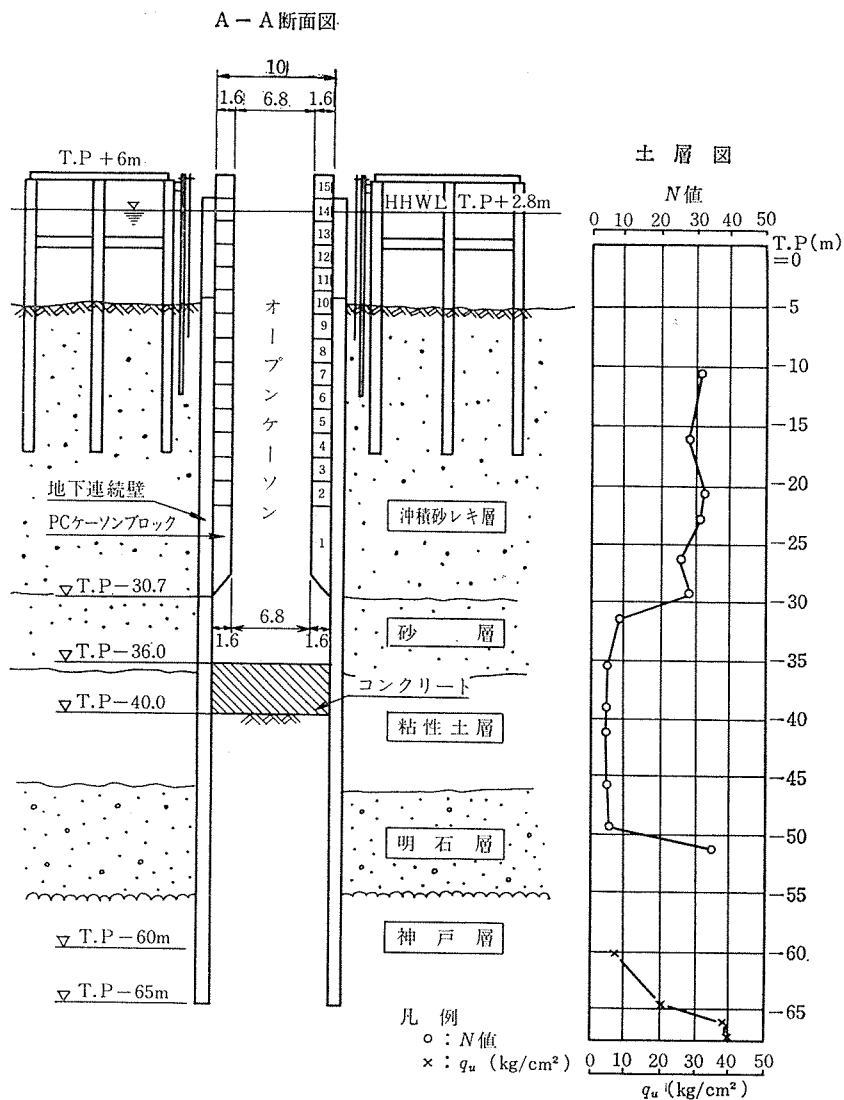
圧: 海底面から 15m 以下は一定とする。土圧係数はランキン式による。

静水圧および浮力: いずれも 100% 考慮する。
潮流力および波力: 遮水枠があるので無視する。

温度変化の影響: 考慮しない。
乾燥収縮およびクリープ: PC 鋼棒の有効応力度にのみ考慮する。

地震の影響: 水平震度 $K_H=0.1$, 鉛直震度 $K_V=0$, 動水圧は考慮する。

ケーソン吊上げ荷重: ケーソン刃口部は 16 点吊り, ケーソン一般部は 8 点吊りとする。
不均等係数は 1.8 とする。



図—1 舞子沖地質調査完成図

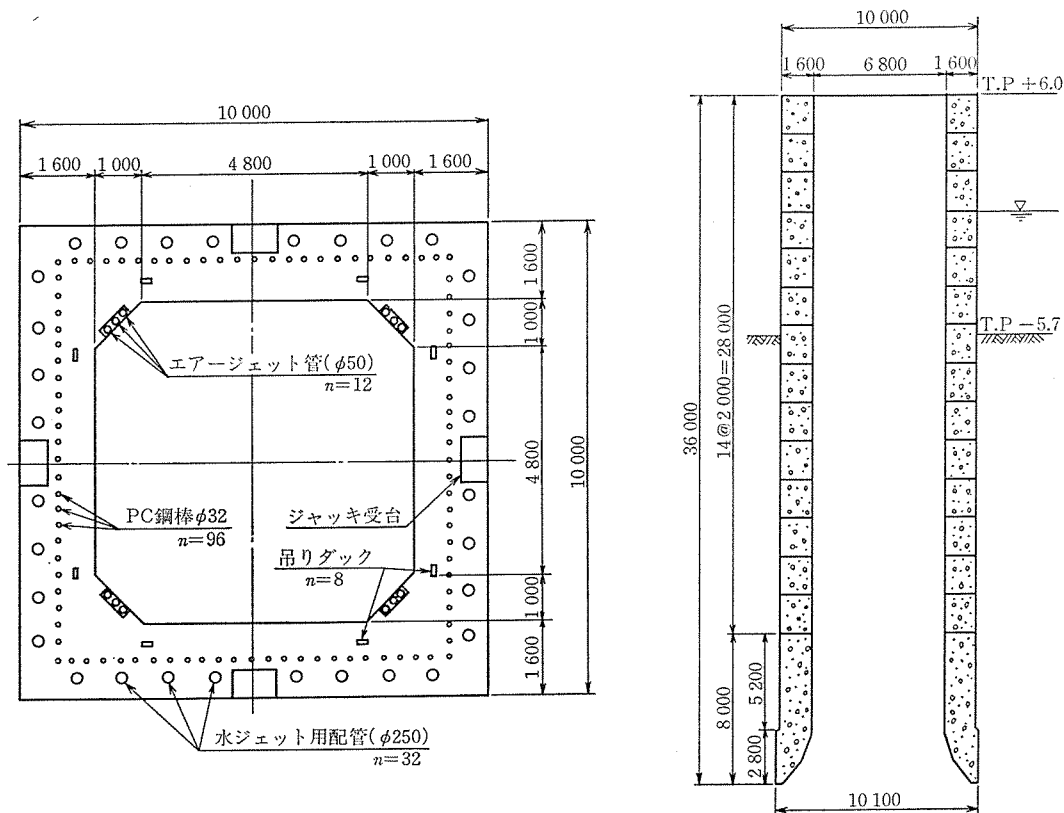


図-2 ケーソン平面図および断面図

表-1 プレキャストケーソンの許容応力度

項 目			
コンクリート	圧縮強度	設計基準強度 σ_{ck} プレストレス導入時 σ_{ci}	300 kg/cm ² 240 "
	許容曲げ圧縮応力度	設計荷重作用時 σ_{ca} プレストレス導入時 σ_{cal}	100 " 140 "
		許容曲げ引張応力度	設計荷重作用時 σ_{ca}' プレストレス導入時 σ_{cal}'
P C 鋼 棒	呼称径	ϕ	32 mm
	引張強度	σ_{pu}	120 kg/mm ²
	降伏点応力度	σ_{py}	95 "
	許容引張応力度	設計荷重作用時 σ_{pa}	71.0 "
		緊張時 σ_{pia}	85.5 "
緊張直後 σ_{pia}		80.6 "	
有効断面積	A_p	789.0 mm ²	
鉄筋		SD 30	1 800 kg/cm ²

(2) 許容応力度等

許容応力度を表-1に示す。ケーソンの安定についての照査は「道路橋下部構造設計指針 ケーソン基礎の設計篇」(道路橋示方書 IV 下部構造編)によった。

3.2 プレキャストブロックの継手

プレキャストブロックの継手部は一般に、

- ① ゴムパッキン + グラウト 工法
- ② 敷モルタル 工法

が用いられているが、表-2に示したように両工法を比較検討した結果、**ゴムパッキン** + **グラウト** 工法を採用することにした。

ゴムパッキンの形状については、比較的接合面の不陸が大きいと考えられる刃口部と No. 2 ブロックおよび No. 6 ブロックと No. 7 ブロックの継手部は、種々検討の結果、

- ① 施工誤差 10 mm を吸収できる。
- ② グラウト注入圧 3 kg/cm² に耐え得る。

ものとして、A型継手(丸形)を、その他の継手部にはB型継手(スパンシール)を用いるものとした。

3.3 PC 鋼棒

(1) 種類

プレキャストブロック相互の緊結に用いる PC 鋼材として、一般的に

- ① PC 鋼棒
- ② PC 鋼線

の2種類が考えられるが、

- ① 本工事では緊結方向が鉛直である。
- ② 接続の方法が比較的容易でかつ嵌合性が良い。

という理由で PC 鋼棒を採用した。

(2) 緊張方法

緊張の方法としては、

- ① 各ブロック緊張方式

表-2 ゴムパッキン+グラウト工法および敷モルタル工法比較検討表

比較検討項目	当現場への適用性		考 察
	(ゴムパッキン+グラウト)工法	敷モルタル工法	
1 ケーソンプロック設置直後の状態	○	○	
2 設置後から、PC 鋼棒緊張までの間	△	○	左記のような違いはあるが、当工事の適用については問題はないと考えられる。
3 PC 鋼棒緊張時の応力集中について	○	○	
4 継手の止水性	○	△	左記のとおりであるが、その影響は少ないものと思われる。
5 当工事における施工性	○	×	ケーソン設置前に敷モルタルを施す必要がある。 ① 面積が広い ② 配管が多く煩雑 ③ 時間調整が難しい
6 ブロック積みの方による影響			特になし

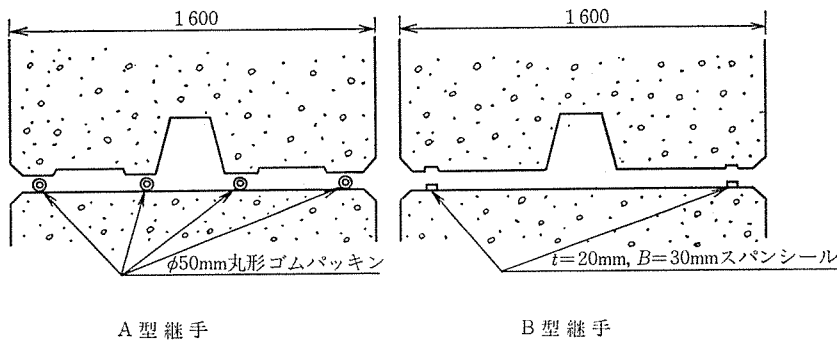


図-3 ケーソン継手部

ロックでφ38mm, その他ブロックでφ68mmとした。PC鋼棒の組立ておよび接続部の詳細については 図-4 に示す。

PC鋼棒の防食処理方法としては、グラウトする方法を採用した。ただし、調査終了後撤去する部分には、防食テープを用いることとした。

3.4 ケーソンプロック仮受けおよび姿勢制御

ケーソンプロックは、ケーソン平面図(図-2)に示した4か所に各2基(150tジャッキ), 計8基, およびサドルを設けることにより仮受けし、PC鋼棒および諸配管の接続を行った後、所定の位置にジャッキダウンさせる方式を用いた。この場合に、

- ① 鉛直ジャッキのみでは水平位置の調整が難しい。
- ② ケーソンプロック据付け時にガイドとなるものがほしい。
- ③ 鉛直ジャッキが不均等にケーソンプロックを支え不測の水平力が作用した場合に、これを制御できるものがほしい。

等の理由により、図-5に示したようなガイド金物を設けるものとした。

ガイド金物の設置位置としては、ガイド金物に切梁を設けることにより、埋込みボルトを減らすことができる利点を考慮して、ケーソン内側に決定した。

また、刃口ブロック据付け時の①位置決定の定規、

② 敷ブロック一括緊張方式
が考えられるが、①の場合、施工の確実性があるが定着具数量、緊張手間の増加により経済的に不利になることから、②の方式を採用した。この場合、何段階ずつ積み重ねて緊張するかは

- ① 作業台の高さ、広さおよび掘削機の掘削可能リーチ
- ② 沈下管理上の問題

を考慮して、3ブロック毎に緊張する方式とした。またケーソンプロックを載荷重として掘削沈下させる事態も考慮し、各ブロック毎に仮緊張(8点、各点緊張力20~30t)を行うことにした。

(3) 鋼棒シースの大きさ

鋼棒用シース径については、

- ① ケーソンプロックの据付け誤差
- ② 緊張端定着具の傾き

などの施工誤差を吸収できるように、シース径は緊張ブ

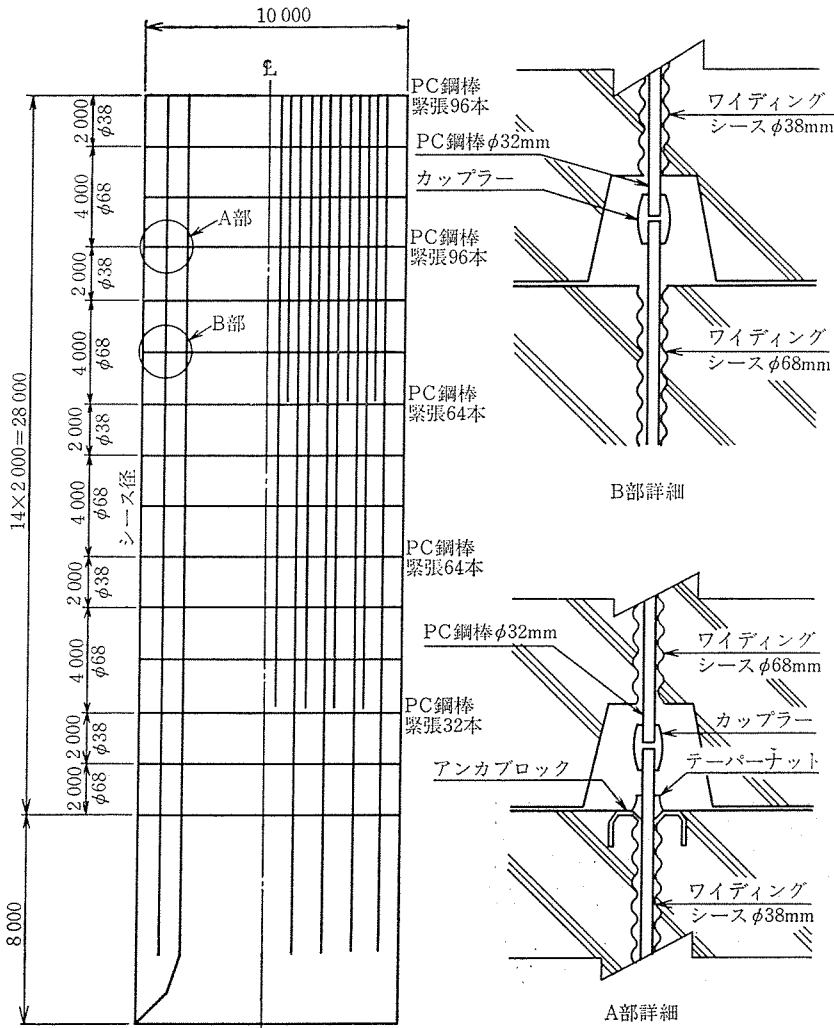


図-4 プレキャストケーソン PC 鋼棒組立て

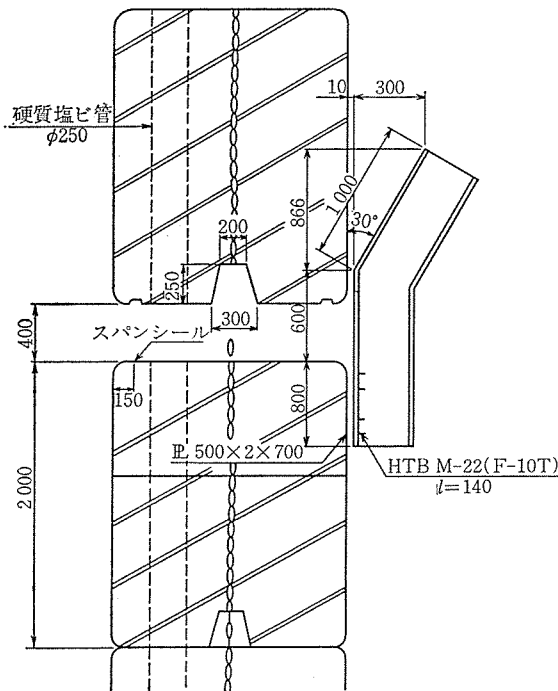


図-5 ガイド金物

② 設置後の傾斜制御, ③ 作業足場の受台としての機能を持たせるために図-5のような設置用ガイドを遮水枠内に設けた。

3.5 ケーソンブロック製作方法

プレキャストブロックを製作する方法としては,

- ① 個別製作方式
- ② 積重ね製作方式

がある。

個別製作方式による結合は、ケーソンブロックを 15 ブロックに分割し積み重ねて、PC 鋼棒で緊結するため

- ① PC 鋼棒の接続性に問題が生ずる。
- ② 各種配管の接続性に問題が生ずる。
- ③ コンクリート接地面の不陸により、積み重ね時および緊結時にブロック端部のひびわれ発生の懸念がある。

よって積み重ね方式の方が望ましい。しかし積み重ね方式は,

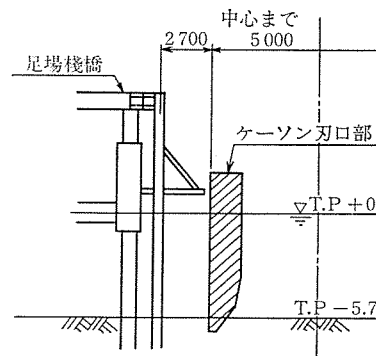
- ① 製作時に非常に高い足場が必要となる。
- ② 1ブロックずつ製作すると工種上に問題がある。

との欠点もあり、諸々検討した結果、

図-6 に示すような、原則として2段積み重ね方式で製作するものとし、工程上の問題を考慮して、刃口部および No. 6, No. 7 部のみ個別方式を採用する折衷方式によった。

3.6 ケーソン沈下促進工法

沈下促進工法については、次の理由により必要性が生ずることが考えられるので、事前に設備を



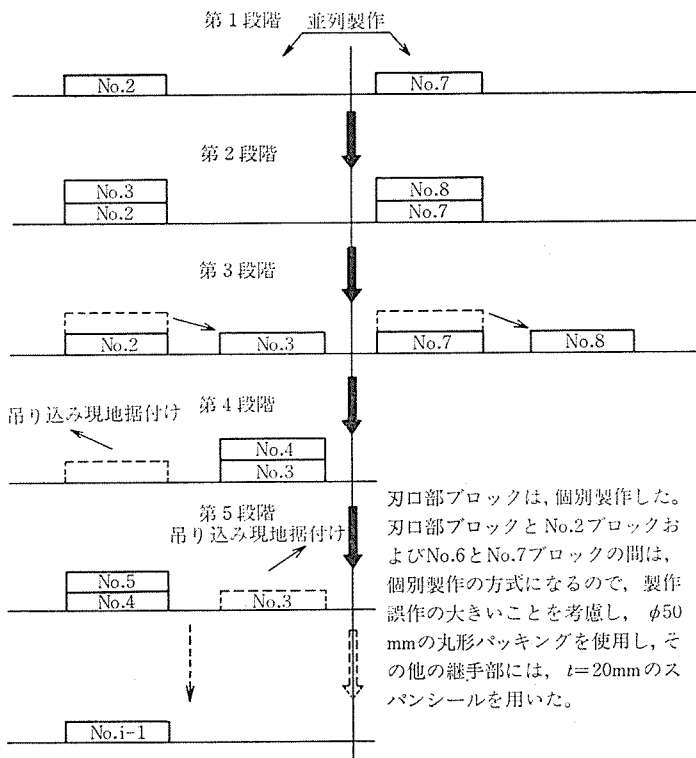


図-6 ケーソン一般部製作要領

刃口部ブロックは、個別製作した。刃口部ブロックとNo.2ブロックおよびNo.6とNo.7ブロックの間は、個別製作の方式になるので、製作誤作の大きいことを考慮し、 $\phi 50$ mmの丸形パッキングを使用し、その他の継手部には、 $t=20$ mmのスパンシルを用いた。

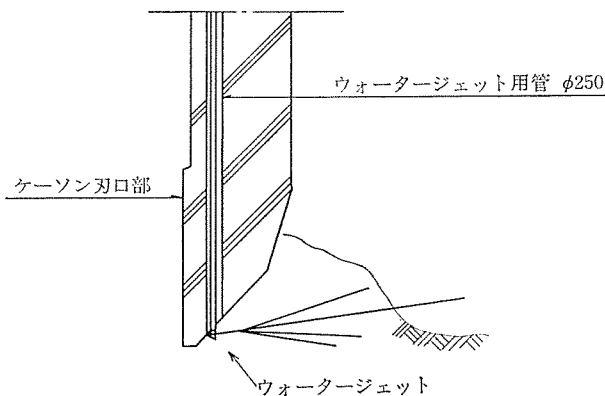


図-7

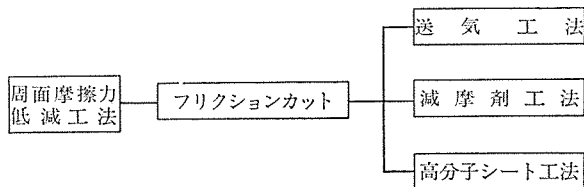


図-8

考慮しておくことにした。

- ① ケーソンの壁厚が厚く、刃口下の掘削が難しく、刃先抵抗が残る可能性が大である。
- ② 原設計では、平均周面摩擦力として「道路橋下部構造設計指針」（ケーソン基礎の設計篇）の最大値を採用して $f=3 \text{ t/m}^2$ としているが、現地は比較的

良質な砂礫層であり、上記以上の平均周面摩擦力が想定される。

- ③ ケーソン沈設進行中に沈下できない状態が生じて施工途中では対策が難しいので、事前に設備しておくのが望ましい。

沈下促進工法について諸々検討した結果、次に示す方法によった。刃口下の掘削に関しては、図-7に示すように、ケーソン躯体に $\phi 250$ の孔を設けておく。

沈下できない状態になった場合、この $\phi 250$ の孔を利用してオーガー等で先掘りして二重管式超高圧ウォータージェットを噴射し、刃口下の地山をゆるめる。

次に周面摩擦力低減工法としては、図-8に示す工法が考えられる。

当工事における適用性を検討した結果、フリクションカット+送気工法および減摩剤工法を併用できる設備とした。併用工法としたのは海水汚濁の心配から送気工法を主体とするが、もし沈下しない場合は、外周部に遮水枠があるため海水汚濁は軽妙であると思われるので、より効果的な減摩剤工法も使えるように配慮したためである。

フリクションカットは刃先から、2.8mの高さまで幅5cmとした。また噴射孔の配置は図-2に示すように 2 m^2 に1孔の割合で設け、送気工法と減摩剤工法の配管は共用とした。

4. プレキャストケーソンの施工

4.1 手順のフロー

プレキャストケーソンの施工手順は図-9の手順フローに示す。

4.2 ケーソン据付け

ケーソンは刃口部が1030t、一般部が270tであるため、1300t吊りのクレーン船と320t吊りクレーン船を使用して運搬、据付けを行った。

施工場所は潮流が速いことで知られる明石海峡にあり、海岸線に近いと言っても本流の40%程度の潮流があり、最大4ノット程度である。このため、据付け作業は潮止りを利用した。

刃口部据付けに当たっては、現地盤が約1/30の傾斜があるためウォータージェットを用い、低い方の地盤に合わせて高い部分をふきとばす方法で $\pm 5 \text{ cm}$ の精度に刃先部の均し作業を実施するとともに、設置用ガイドを設けた。更に水平精度を高めるため一度据え付けた後、再度吊り上げて傾斜した方に土のうを入れて地盤反力の調整を図った。

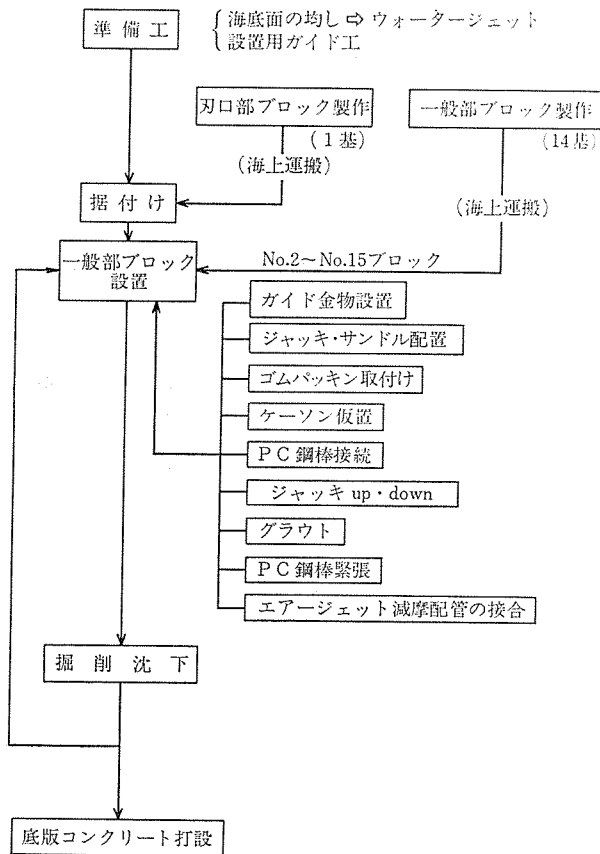


図-9 施工手順

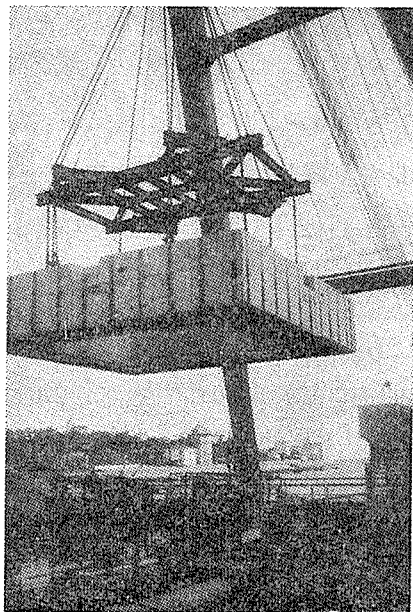


写真-1 ケーソン据付け

一般部ケーソンの据付けから接続までの作業手順は図-9に示したとおりであるが、ジャッキはストロークの関係で1か所2基、計8基使用した。

ケーソン据付けは、接続性を確保するため8基のガイドを設け、余裕は10mmとした。ケーソンをガイドに沿って吊り下げ8か所の木製サンドル上に仮置きすると同時に4基のジャッキで受ける。その後PC鋼棒をカッ

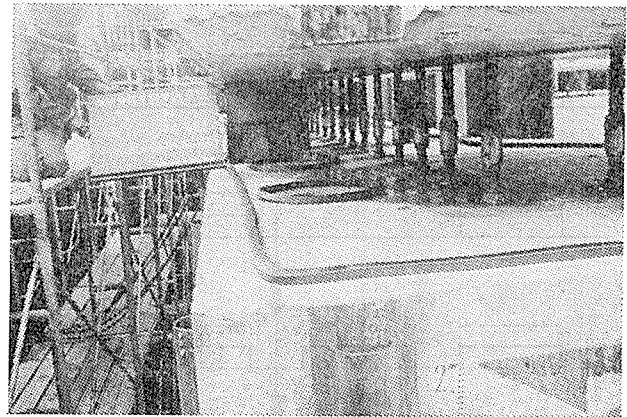


写真-2 PC鋼棒接続状況

プラーで継ぎ、ジャッキ操作により下げて接合する。

PC鋼棒は刃口部~3BL間が32本、4BL~9BL間が64本、10BL~15BL間が96本であり、鋼棒の腐食対策は丸形パッキン（生ゴム系、φ50、積重ね方式で製作していないケーソン間すなわち刃口部と2BL間、6BLと7BL間）あるいはスパンシール（20×30、20×25、積重ね方式で製作したケーソン間）で止水するとともに、調査終了後撤去しない刃口部~9BLまではシース内をすべてグラウトし、撤去する10BL~15BLでは2重の硬質ポリ管で被覆したアンボンド用PC鋼棒を使用し、継手部はビンデで養生した。

丸形パッキンは外径50mm、内径25mmの中空であり、鋼棒の緊張力でも弾性ちぢみは25mmである。したがって、コンクリート面の不陸を25mm以下としないとグラウト漏れの原因となるので、コンクリート打設後にレベルチェックを行いモルタルで補正した。

PC鋼棒の緊張は3ブロックごとに本緊張（緊張力59.5t/本）し、他ブロックは掘削沈下時のズレ防止対策として8本のみ仮緊張（緊張力30t/本）した。緊張作業は70t用のディビダークジャッキを2台使用して、ケーソン中心に関して対称に実施した。

4.3 掘削沈下

使用機械は、掘削地盤が相当硬く、更に水中掘削であ

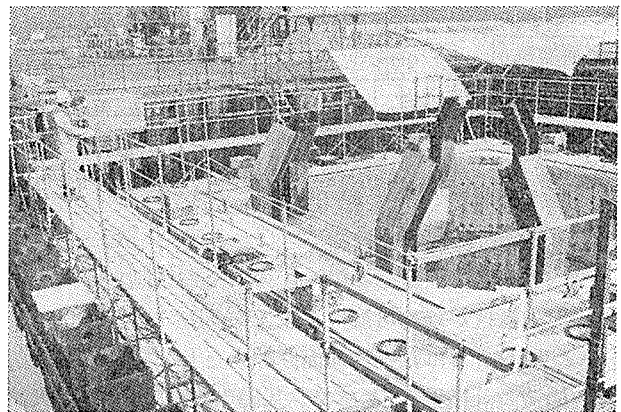


写真-3 ガイド金物

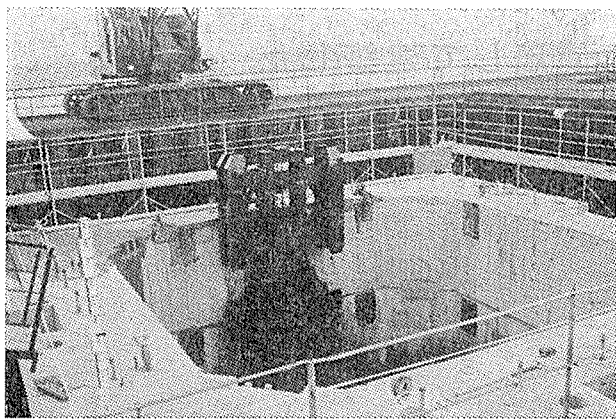


写真-4 掘削状況

るため容量比の大きな地下連続壁掘削に使用されるハーベバケット (0.5 m³, 4 t) で、ベースマシンとしては 40 t 吊りクローラクレーンを使用した。

掘削方法はできるだけ刃先近くを掘削するよう内壁沿いにバケットを落とし込み、一辺を 2 回 (バケット開口幅 2.2×0.6 m) で掘削した。しかし、過大な先掘りは周辺地盤の呼び込みを生じ、更には地山の崩壊を招く恐れがあるため、先掘量を測深して、コーナー部と各辺中央部の掘削量が大きい場合にはコーナー部を掘削した。

掘削土砂は足場棧橋に横着けた土運船内に排土し、満杯になるとガット船で搬出した。

作業はオペレータと排土時の回転防止用タグライン着脱のための補助作業員とで実施した。

あとがき

本文は実績が少ないプレキャストケーソンについて、設計、施工上で留意した事項を、報告したものである。

本工事は、この工事に引き続き外周部に柱列式連続壁を構築することから、高いケーソン据付け精度を要求され、その許容値を、

平面位置の誤差; ±100 mm 以下

中心軸の回転誤差; ±1° 以下

ケーソンの傾斜; ±1/300 以下

としたが、据付け完了後の測量によると、

平面位置の誤差; 65 mm

中心軸の回転誤差; 4'8"

ケーソンの傾斜; 1/320

と、いずれも許容値を満足する結果となった。

また、周面摩擦力は土質条件から「道路橋下部構造設計指針」(ケーソン基礎の設計篇)によって、 $f_s=3 \text{ t/m}^2$ と推定していたが、計測の結果、周面摩擦力 $f_s=2.7 \text{ t/m}^2$ と予想よりやや小さめの値となったこともあり、各種、沈下促進工法の設備を考慮したが、バケット掘削による水中掘削工法のみで沈下を完了することができた。

最後に、本工事の設計、施工に御尽力頂いた関係者各位に深く感謝する次第です。

参考文献

- 1) 舞子沖地質調査(その1)舞子沖地質調査プレキャストケーソン詳細設計, 昭和53年7月, 本州四国連絡橋公団
- 2) 舞子沖地質調査 調査報告書, 昭和57年3月, 本州四国連絡橋公団
- 3) 舞子沖地質調査(その1)工事報告書, 昭和54年3月, 鹿島建設・大成建設共同企業体
- 4) 本四技報 No. 10, 昭和54年10月, 本州四国連絡橋公団
- 5) 明石海峡大橋下部工関係検討概要書 下部工 I, 昭和52年3月, 本州四国連絡橋公団
- 6) 道路橋下部構造設計指針 ケーソン基礎の設計篇, 昭和45年3月, 日本道路協会
- 7) 吉田 巖: 基礎工法, 理工図書

◀刊行物案内▶

プレストレストコンクリート構造物設計図集 (第2集)

本書は協会設立 20 周年行事の一環として、前回発行した設計図集の様式にならい編集した、その第2集です。協会誌第 10 巻より 21 巻に亘る巻末折込付図を主体とし、写真ならびに説明を付し、その他参考になる PC 構造物についてとりまとめた設計図集で、PC 技術者の座右に備え付けるべき格好の資料と考えます。

希望者は代金(現金為替または郵便振替 東京 7-62774)を添え、下記宛お申し込みください。

体 裁: B4判 224 頁

定 価: 9,000 円(会員特価 7,000 円) 送 料: 1,000円

内 容: PC 橋梁(道路および鉄道) 74 件, PC 建築構造物 25 件, その他タンクおよび舗装等 10 件

申 込 先: (社)プレストレストコンクリート技術協会

〒102 東京都千代田区麹町 1-10-15 (紀の国やビル) 電話 03 (261) 9151