

北極海向け PRC 人工島の設計・施工

中	島	東	洋	彦*
渡	辺	泰	充**	
黒	木	一	實***	
大	場	義	人****	

1. ま え が き

Super CIDS (Concrete Island Drilling System) はアラスカ北極海側のボーフォート海に海底石油・ガスの試掘を目的として計画された、鋼・コンクリート複合型移動式人工島である。図-1 に示すように、稼働時には着底しているが、次の試掘地点へは浮上して容易に移動できるシステムとなっている。

北極海における石油開発は、従来主としてごく浅い海

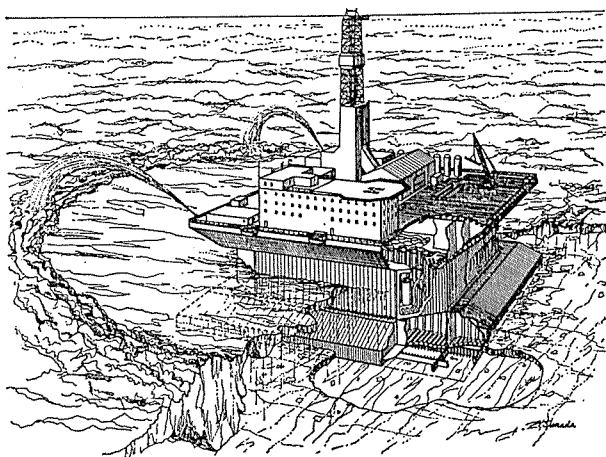


図-1 Super CIDS 稼働時予想図

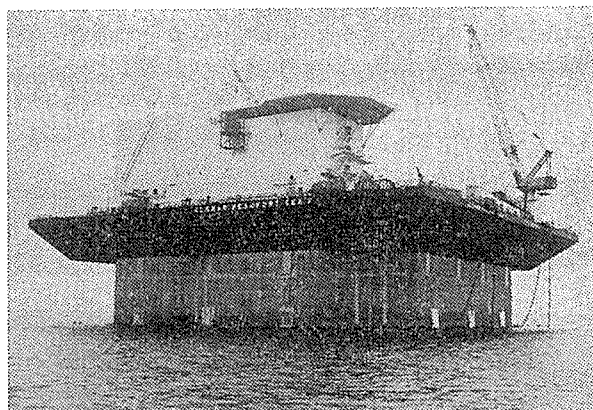
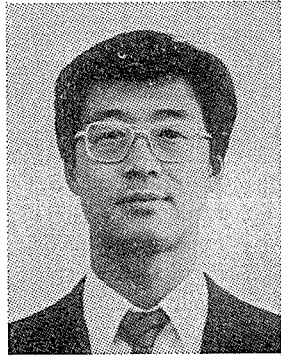


写真-1 完成した Super CIDS

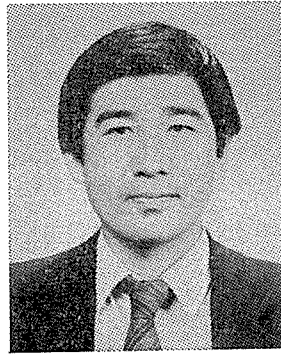
域での土砂による人工島によって進められてきた。しかし、土砂による人工島は水深が限られ、また沖合で鋼製リグを使用するとしても氷のない夏期しか作業できず、冬期にはリグを引き揚げざるを得なかった。このため米国では一年中を通じて掘削のできるリグとして大きな氷圧力に対して有利なコンクリート製のリグが注目され、いくつかの設計が生れている。この中でトップを切って施工されたのが、Super CIDS であり、図-2 に示すように、マッドベース、上部の鋼製デッキストレージバージ、およびその中間にあって氷圧力をうけるコンクリート製構造物 (BB-44: 高さ 44 ft の Basic Brick の意)



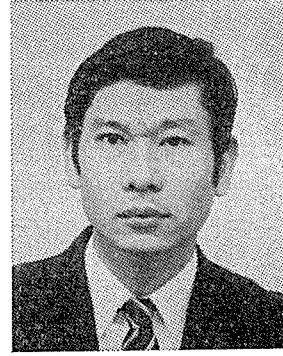
* Toyohiko NAKAJIMA
日本鋼管(株) 土木建築技術室課長(前: Super CIDS 建設工事アシスタントプロジェクトマネージャー)



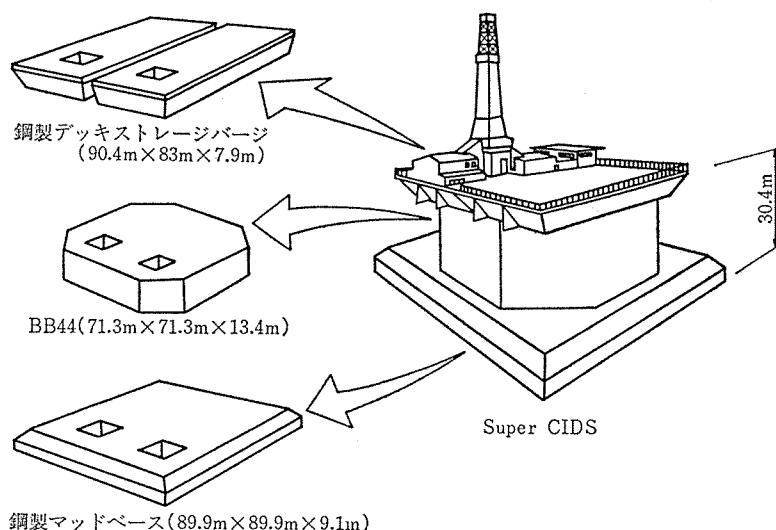
** Yasumitsu WATANABE
清水建設(株) 土木本部設計部(前: 五洋・清水建設共同企業体品質管理課長)



*** Kazumi KUROKI
五洋建設(株) 技術本部技術部第一課係長(前: 五洋・清水建設共同企業体品質管理主任)



**** Yoshito OBA
清水建設(株) 土木本部設計部(前: 五洋・清水建設共同企業体)



図—2 Super CIDS 構成図



図—3 設置場所および曳航ルート

から成っている。これらは、三重県津の沖合で一体とした後、図-3 に示すルートで設置地点まで曳航された。

BB-44 は、北極海の過酷な環境条件に曝される世界で初めてのコンクリート構造物であるので、材料、構造ともにこれまでにない技術が要求された。材料面からは、凍結融解に対する抵抗性をもった高強度軽量コンクリートを主材料として用いていること、また構造的には非常に鉄筋比の高い PRC 構造となっていることが本構造物の特徴であるといえる。この要求を満たす材料を開

発し高品質の構造物を構築する方策を見出すため、施工に先立っていくつかの研究・実証実験を実施するとともに、施工中に直面したさまざまな問題に対しても可能な限りの検討を加え対処してきた。本稿は、これら BB-44 建設工事の施工に際して得られた知見のうち、主にプレストレストコンクリートに関する事項をとりまとめて報告するものである。

2. 工事概要

工 事 名 : Super CIDS BB-44 建設工事
発 注 者 : Global Marine Development
Inc.

基本設計：Global Marine Development
Inc., Alfred A Yee Division,
Leo A Daly

実施設計および施工：日本鋼管（株），五
洋・清水建設共同企業体

工事場所：三重県津市雲出鋼管町日本鋼管（株）津製作所内

工事期間：昭和 58 年 8 月 1 日～昭和 59
年 3 月 31 日

主要材料：表—1 参照

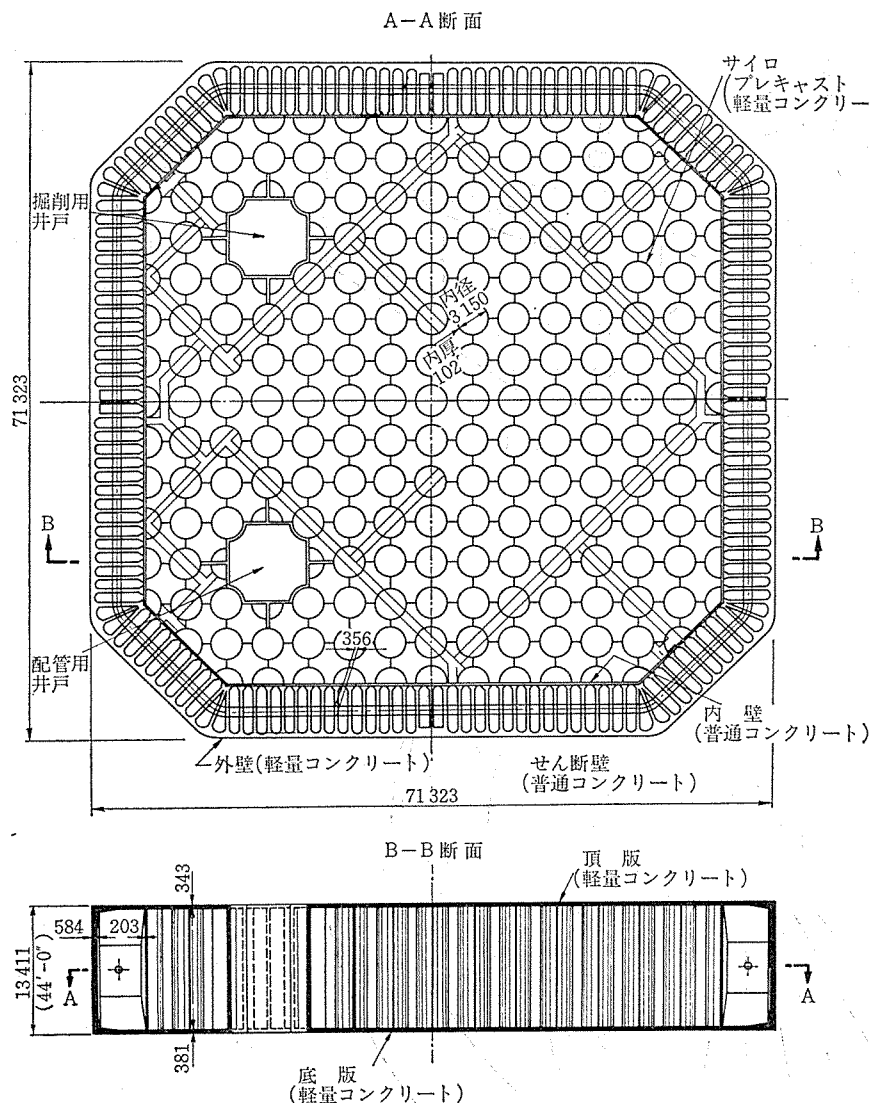
3. 設 計

3.1 構造概要

BB-44 の構造は図—4 に示すように、
71.3m×71.3m×高さ 13.4m の八角形の
函体となっている。構造部材としては函体
の外郭をなす底版、外壁、頂版のほか、外
壁と一体となって外圧に抵抗するせん断壁
・内壁、および内部にハニカム構造を形成
し全体の剛性に寄与する円筒体（サイロと
称する）が主要なものである。このうち、
せん断壁・内壁は普通コンクリート、その
他はすべて軽量コンクリートが用いられ、

表—1 主 要 材 料

項 目	仕 様	数 量
軽量コンクリート	$\sigma_{55}=457 \text{ kg/cm}^2$, $r \leq 1.84 \text{ t/m}^3$	9 280 m ³
普通コンクリート	$\sigma_{55}=562 \text{ kg/cm}^2$, $r \leq 2.48 \text{ t/m}^3$	5 070 m ³
鉄 筋	ASTM A 615 GRADE 60	6 060 t
ワイヤーメッシュ	ASTM A 185	260 t
PC 鋼 より 線	JISG 3536 SWPR 7 B	360 t
PC 鋼 棒	ASTM A 722(Deformed) $\phi 36$, $\phi 32$	330 t
型 枠	ウレタンフォーム吹付けメタルフォーム, 木製	38 400 m ²



図—4 BB-44 一般図

いずれも ASTM に規定される厳しい凍結融解抵抗性を要求された。なお、船尾側には、掘削用と配管用の井戸が設けられているので、浮上した状態では 78 cm のトリムがつくようになっている。

主鉄筋のかぶり、外壁の外側で $2\frac{1}{2}$ インチ (64 mm)、内壁内側で $1\frac{1}{2}$ インチ (38 mm)、その他は 2 インチ (51 mm) となっており、タイ鉄筋のかぶりはそれぞれ $\frac{1}{2}$ インチを減じた値以上を必要とされた。

3.2 設計条件

BB-44 の設計条件は下記のとおりである。

気 温	−50°C ~ +20°C
風 速	36 m/s
設計波高	$H_{1/3}=5.2$ m
潮 流	2.1 m/s
潮差	干 潮 : 30 cm
	……暴風時 : 1.2 m
水 深	10.7 m ~ 16.8 m

流氷速……冬 : 2.0 m/min

……夏 : 62 m/min

氷 厚 : 2.0 m (冬)

氷 原 の 径 : 3 km

設計氷圧…全体 : 684 t/m

…局部 : $1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ の範囲に 630 t/m²

3.3 設計上の特徴

結氷時には前述の巨大な氷圧のために、頂版、底版、外壁はすべて水平方向には圧縮部材となる。このため、柱における帯鉄筋の働きをする補強筋を必要とし、J 字形の D 10 のタイ鉄筋がタテ・ヨコ 12~15 cm 間隔で配置されている。また鉄筋の重ね継手長は、軽量コンクリートで疲労を考慮する場合の ACI 規準に従って $85d \sim 100d$ (d : 鉄筋径) が要求されたこともあり、部分的には 600 kg/m^3 、平均でも 430 kg/m^3 という鉄筋コンクリート構造の限界に近いような鉄筋量となっている。

更に、頂版、底版、外壁の水平方向にはひびわれ制御

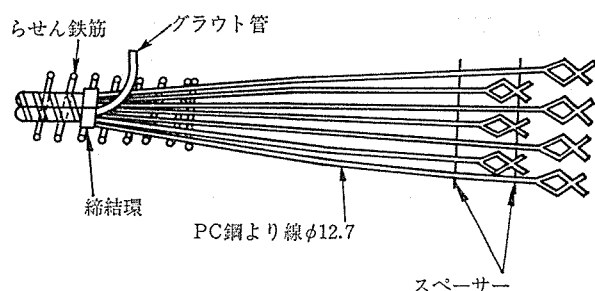


図-5 ボンドタイプのデッドアンカー

の目的で 35 kg/cm^2 の有効プレストレスが要求された。これに対し、クリープによる応力の遷移を考慮して計算し、部材の中に配置しうる最大容量のケーブルを使うという方針で検討した結果、水平テンドンは次のような配置とした。

底版：PC 鋼より線 12 $\phi 12.7$ @ 474 mm

(一部 @762 mm) 片引き

側壁：PC 鋼より線 19 $\phi 12.7$ @ 508 mm, 23 段
180° 両引き

頂版：PC 鋼より線 7 $\phi 12.7$ @ 474 mm

(一部 @ 533 mm) 片引き

底版、頂版は基本的には片側にグリップ型のデッドアンカーを用いて片引きとしたが、デッドアンカーが近接して直交することによる割裂応力の発生を避けるため、底版の隅角部には図-9 に示すL字形のケーブルを両引きとし、頂版では図-5 に示すボンドタイプのデッドアンカーを用いた。施工に先立ってボンドタイプの定着具のみならず、通常の緊張側定着具、固定側定着具の軽量コンクリートにおける安全性の確認および最適な補強方法を見出すため実大試験体による試験を行った¹⁾。その結果、本工事で用いる配合の軽量コンクリートに対しても、通常の補強方法で十分であると判明したが、ボンドタイプについては我が国では初めての適用例であると思われたので、安全をみて付着長を普通コンクリートに対する値の $1/0.75$ (=付着強度比) だけ長くした。また、頂版の一部では一般的な定着具背面の補強であるスパイラル鉄筋の装着が不可能であったため、前述のタイ鉄筋を密に配置することで対処した。これについても別途実証実験を行い、使用荷重の1.7倍の荷重に対してもコンクリートに何らひびわれの発生しないことを確認した。

また、外壁・せん断壁・内壁は、頂版と底版に支持されたI形梁として氷圧に抵抗するよう、鉛直方向に $\phi 32$ または $\phi 36$ の異形 PC 鋼棒でプレストレスされている。

4. 施 工

4.1 概 要

BB-44 の施工順序図を図-6 に示す。全体の工事工

程の実績は図-7 に示すようであり、10 月から翌年3月初旬の約5か月間に延べ 7 000 t 余りの鋼材と 14 000 m^3 余のコンクリートを施工するという超突貫工事であった。特に、11 月から 12 月にかけての最盛期には昼夜作業を余儀なくされた。このように厳しい工程管理下にはあったが、一方では施工方法についての検討、実験・試験工事を行い品質の確保に努めた。

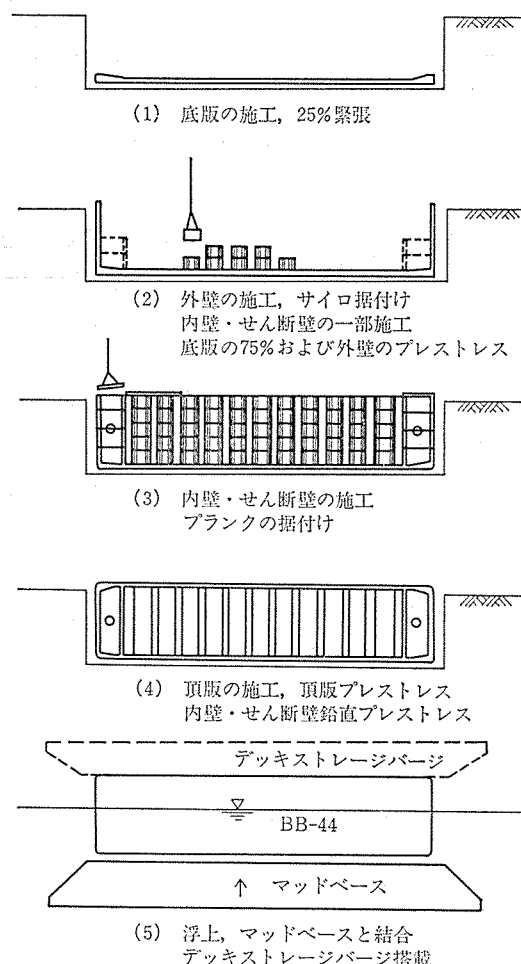


図-6 施工順序図

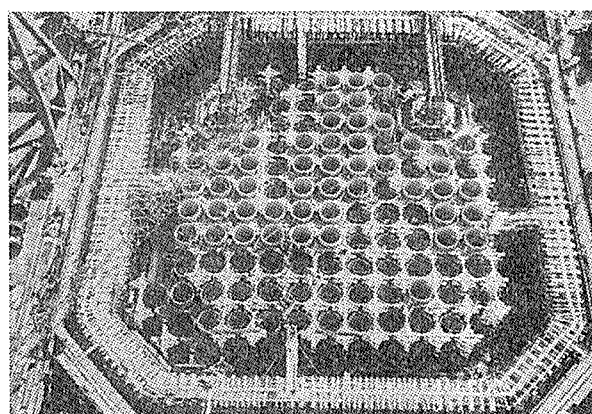


写真-2 施工中の全景

	1983						1984				
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5
実施設計											
渠底処理工											
サイロ・ブランクの製作											
底版工											
外壁工											
サイロ据付け工											
内壁およびせん断壁工											
ブランク据付け工および接続壁工											
頂版工											
プレストressing工											
配管・金物工											
水圧テスト											
マッドベース上舗装工											
マッドベース/BB-44 間エポキシ充填工											

図-7 BB-44 工事工程表

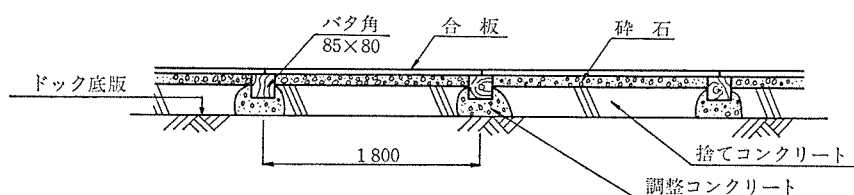


図-8 底型枠の構造

4.2 型 枠 工

底型枠の処理は BB-44 のような浮遊構造物を建造する際の重要なポイントの1つである。要求された底版下面の平坦性を確保しつつ、浮上時の底版下への海水の流れをよくすることを目的として検討した結果、図-8 に示す構造とした。プレストレスによる底版の変形は合板と砕石の間で許すものと考えた。

また、外壁外側は直接外海に接するところなのでコンクリート硬化時のひびわれを制御する目的で、実物大試験を行い種々検討した結果、ウレタンフォームを吹き付けた鋼製型枠を用いた。

4.2 鉄 筋 工

鉄筋組立て作業においては特筆すべき事項は、次の3点である。

- ① 前述のように、これまでの常識を超えた鉄筋量に対し、コンクリートの充填性が心配された。そこで外壁では鉄筋組立て中より、トレミー管の設置場所、パイプレータの挿入箇所には予め塩ビ管を設置し、最小のあきを確保することとした。
- ② 薄い部材の中に鉄筋とシースが錯綜して配置されるので、鉄筋の配置誤差のためにシースが設計図どおりに配置できないことが予想された。鉄筋、シースの組立て順序については、何度かの試行錯誤の後、かぶり・あきの確保を重点管理項目として標準的な手順が決定された。
- ③ 頂版の施工にはブランクと呼ばれるプレキャストコンクリート製埋殺し型枠を用いるため、壁からの

立上り筋はすべてブランク設置後現場曲げとする必要があった。所定の曲げ半径および曲げ始点を確保するため、D 25 以上の太径鉄筋についてはアタッチメントを改良したポータブルベンダーを、D 19 以下の細径鉄筋は2本の台直し用ハンドルを用い、それぞれセット場所に印を付けて現場曲げ加工した。

4.3 コンクリート工

4.3.1 配 合

BB-44 に用いられる軽量コンクリートの要求品質は、一言で言えば「耐凍結融解抵抗性を有する高強度軽量コンクリート」である。この仕様を満足するため施工に先立って配合選定実験を行った結果、軽量骨材中の含水比を 5% 以下に抑えれ

ば十分な凍結融解抵抗性を示すとの結論を得た²⁾。そこで、本工事においては、軽量骨材の含水比を 5% 以下に管理するとの前提の下に、表-2 に示す配合を用いた。

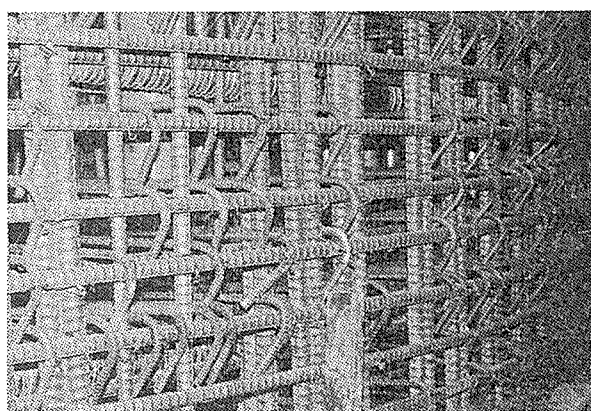


写真-3 外壁の配筋

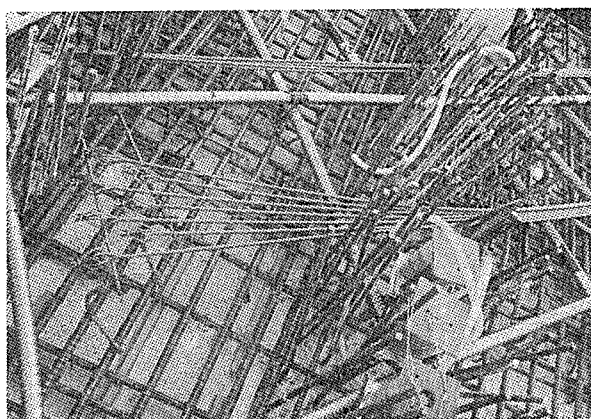


写真-4 ボンドタイプのデッドアンカー

表-2 コンクリートの配合

種 別	使 用 箇 所	骨材の最大寸 (mm)	スランプ (mm)	Air (%)	W/C	S/A	混 和 材		混 和 剤		
							フライアッシュ (C×%)	シリカフェューム (C×%)	高性能減水剤 (C×%)	AE 剤 (C×%)	高流動化剤 (C×%)
軽 量	底 版	15	210±20	7	0.289	0.370	10.0	—	1.8	0.07	1.5
軽 量	外 壁	15	220±20	7	0.320	0.400	—	10.0	1.6	0.05	1.8
普 通	内壁, セン断壁	20	210±20	7	0.301	0.379	10.0	—	1.5	0.08	0.7
軽 量	頂 版	15	210±20	7	0.289	0.370	10.0	—	1.5	0.07	0.6
軽 量	サイロ・ブランク (蒸気養生用)	15	190±25	7	0.296	0.370	10.0	—	1.2	0.07	—

4.3.2 コンクリートの製造

コンクリート製造に関し、通常と異なる事項について以下にその概要を示す。

- ① 絶乾状態で製造された軽量骨材は、吸水しないように船積み、運搬され、プラントでは屋根付きのサイロに貯蔵された。含水比は、荷おろし時および1日1回以上チェックした。
- ② 表-2 に示すような富配合のコンクリートをワーカブルなものとするため、高性能減水剤と高流動化剤を同時使用した。高性能減水剤はプラントにおいて水と同時に添加した。高流動化剤はアジテーター車に搬出直前に添加され、現場到着までの10～15分間にドラムの緩速回転により流動化された。なお、スランプの目標値はベースコンクリートで9±2cm、現着で21±2cm（一部22±2cm）とした。
- ③ ベースコンクリートのコンシステンシーを一定とするため、水分管理計によるスランプの自動管理を行った。これは、所定の水量より若干少なめの水量にて混練りし、混練りの抵抗値により追加すべき注水量を調整して一定のスランプにしようとするものであるが、本工事では非常に有効であった。
- ④ 9月～10月の打設時にはコンクリートの温度低減対策として砕氷を一部の水と置換して用いて効果をあげた。
- ⑤ 打込み、締固めが困難と予想され、かつ直接海水に接するため水密性が特に要求される外壁部分には、フライアッシュの代わりにシリカフェュームを使用した。

シリカフェュームは最近ようやく我が国でも研究が行われはじめた混和材であるが⁹⁾、本工事ではこれを用いて単位セメント量を減らすことができたため、高強度軽量コンクリート特有の「粘っこさ」(stickiness)がなくなり非常に施工性がよかった。

4.3.3 コンクリートの打設

軽量コンクリートは凍結融解抵抗性に関する骨材の含水比の制限のために、ポンプ工法で圧送することは現状の技術では不可能であるので、バケットを用いて打設された。このうち、高い位置よりコンクリートの流し込み

が必要な外壁部および底版の外周部（内壁・せん断壁の下部）の打設には、塩ビパイプ製のトレミー管を使用して、骨材の分離を防いだ。

普通コンクリートである内壁・せん断壁の輸送はポンプにより行い、ブーム車のブーム先に装着したフレキシブルホースにより直打ちした。

4.3.4 施工性実験

本工事に用いたコンクリートの性状は、いずれもこれまでに経験したことのないものであったので、それぞれの配合のコンクリートの打設に先立って実際に使用するプラントにおける混練り試験、現場の状況を再現した施工性実験を行った。実験は、主に骨材が分離しないことの確認、コンクリートの充填性の確認、打継部処理の時期の設定、および表面仕上げの方法を検討する目的で実施され、それぞれの部材の施工に反映された。

また、外壁については温度ひびわれに対する対策について実物と同スケールの模型を製作して実験し、養生方法を定めたが、これについては既にいくつかの報告^{4),5)}があるのでここでは省略する。

4.4 サイロ工

内径 3.15 m、肉厚 102 mm の円筒体であるサイロは、工程の短縮と土木構造物にしては非常に薄い部材を高品質で施工するためプレキャストとし、運搬と据付けを考慮して高さ 2.5 m の5つのブロックに分割して製作した。水平目地には、厚さ 10 mm のモルタルを敷き、軸方向鉄筋は、セメント系グラウト材を用いるスリーブジョイントで接合した。

サイロ相互は、厚さ 127 mm の場所打ち壁で2方向に接続されている。接続壁の水平鉄筋の継手にはフープクリップを用いて、重ね継手とすることによる鉄筋の混雑を防ぎ、また鉄筋の接合作業の省力化を図った。

4.5 足場工

限られたスペースの中で、鉄筋・型枠の組立て、コンクリート打設、金物・プレキャスト部材の据付け等の作業を併行して行うため、足場の組立て・解体作業は予想以上に手間どった。外壁外周は枠組足場、BB-44 内部は単管足場を用いたが、サイロまわりの足場はプレファブ化して作業の効率化を図った。特に内壁の周辺部で

は、内壁のコンクリート打設とサイロの据付け作業が錯綜したため、コンクリート打設のために組んだ足場を次の日にはサイロの据付けのための足場に組み変えるということ余儀なくされた。

4.4 プレストレス工

4.4.1 施工順序

BB-44 のように完全に密閉された函体に二次応力を生じさせることなくプレストレスを導入するためには、理想的には摩擦のない平面上ですべての構造体が完成してから底版、側壁、頂版を同時に緊張しなければならない。

しかしながら、外壁は函体内部から緊張するため頂版施工後では機器の搬出が困難であること、底版緊張後外壁のフープテンドンに緊張すれば底版の拘束により鉛直方向に二次応力が発生すること、躯体完成後、頂版のみを緊張してもせん断壁、内壁、サイロ、コネクションウォール等による拘束のためのロス、たかだか数%であることが FEM 解析により確かめられたこと、更に底版打設後の乾燥収縮等によるひびわれを防ぎたいこと等の理由で以下のような緊張順序とした。

- ① 底版コンクリート打設後、総数の 25% だけ緊張。
- ② 外壁完成後、底版の残り 75% および外壁の水平および鉛直方向を緊張。
- ③ 頂版コンクリート打設後、頂版および内壁、せん断壁の鉛直鋼棒を緊張。

それぞれの緊張に使用したジャッキ仕様を表-3 に示す。

4.4.2 底 版

(1) PC ケーブルの挿入

底版では、PC ケーブルはコンクリート打設前に挿入した。コイル状に巻いたストランドをドックの壁体と構造物との間で引き出し、ディスクサンダーにて所定の長さに切断した後、12 本束ねてケラムス グリッ プを取り付け 12 kW ウィンチにて引き込んだ。また、鋼線は 5 m 間隔ぐらいにセットしたローラー上を滑らせて摩擦による引込み力の増大を防止した。L 字形のストランド

表-3 ジャッキの諸元

場所 諸元	底 版	側 壁	頂 版	鉛 直 鋼 棒	
テンドン構成	12×φ12.7	19×φ12.7	7×φ12.7	φ32	φ36
受圧面積 (cm ²)	264.7	405.8	188	126.6	126.6
最大圧力 (kg/cm ²)	642.2	616	532	552.7	710.6
最大荷重 (ton)	170	250	100	70	90
ストローク (mm)	200	200	150	200	200
自重 (kg)	108	410	68	40	40
使用台数 (台)	10	8	10	2	8

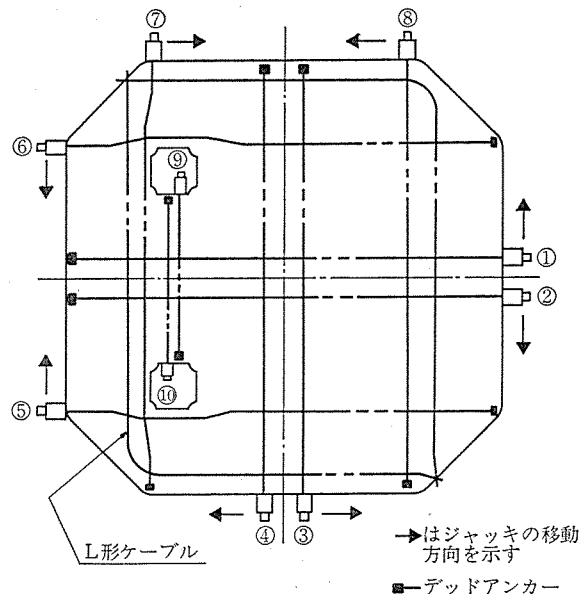


図-9 底版緊張時ジャッキ配置図

表-4 底版緊張における摩擦係数

	本数(本)	平均値 $\bar{\mu}$	標準偏差 σ_{μ}
ストレートケーブル	152	0.28	0.16
ムーンプールまわり	14	0.31	0.16
L 形 ケーブル	52	0.42	0.22

はコーナー部分にガイドローラーを設置して引き込んだ。

(2) 緊 張

底版の緊張は 2 回に分けて行ったが、いずれの場合も緊張中に有害なひびわれを生じないように緊張順序およびジャッキの台数を決定した(図-9)。

ストランドの形状別の緊張結果は表-4 に示すとおりであり、これによると L 字形ケーブルの摩擦係数が若干大きめの値を示している。これはこのケーブルがせん断壁内の鉄筋が錯綜している区間に配置され、シースを設計図どおりに配置するのが困難であったためと思われる。

(3) 定着用箱抜き部の後埋め

一般に PC 海洋構造物では、定着用箱抜き部が弱点となって海水による PC 鋼材の腐食が大きな問題となる。したがって、この後埋め作業は重要な作業の一つである。また、本構造物の場合は $-50^{\circ}\text{C} \sim +20^{\circ}\text{C}$ という北極海における凍結融解に対する抵抗性も要求される。以上のような理由で今回は施工にかかる前に後埋めの材料、施工手順を種々比較検討した結果、無収縮モルタルを $W/C=30\%$ で用い、図-10 に示す手順で後埋めすることとした。

なお、型枠脱型後、止水の目的で煮アamani油 (Linseed Oil) を塗布した。

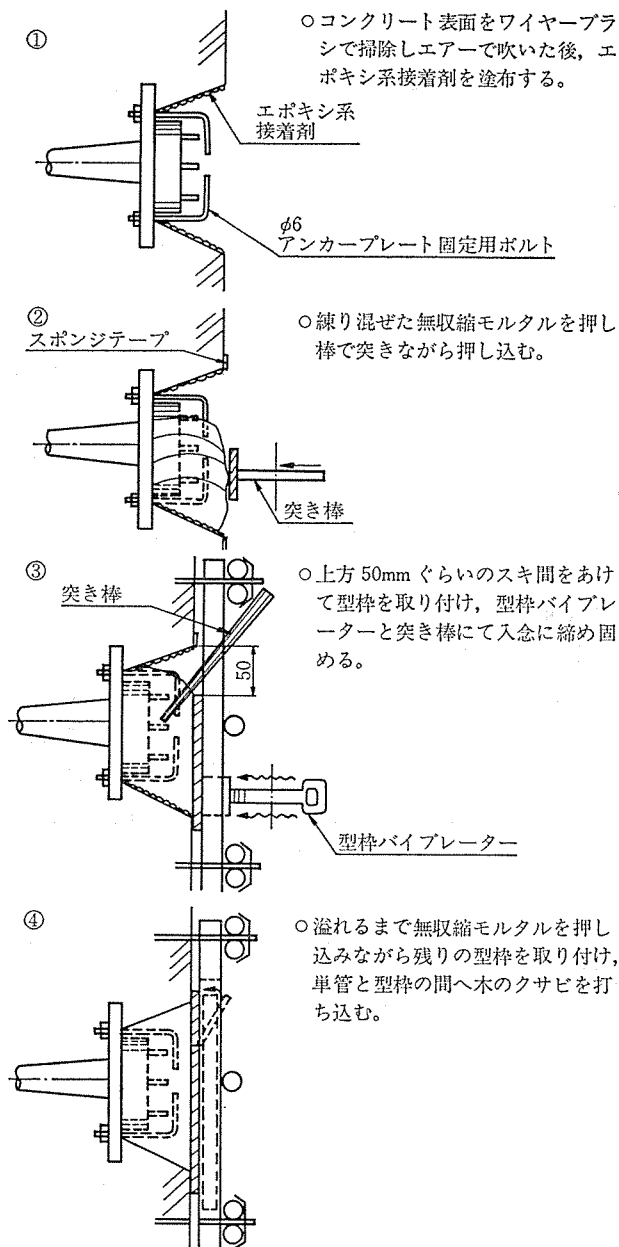


図-10 アンカーポケット後埋め手順

4.4.3 外 壁 工

(1) ケーブルの挿入

外壁のフープテンドンのような比較的大型で長尺のケーブルの挿入作業は多くの困難が予想されたので、ケーブルをコンクリート打設前に挿入するか、後挿入するか

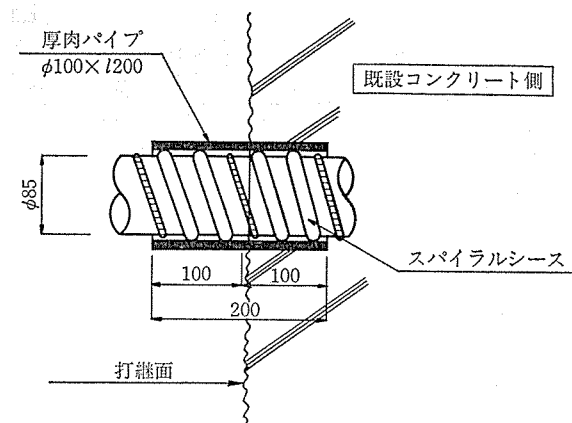


図-11 水平シースの保護

について比較検討した結果、安全性および他の作業との錯綜をさけたいとの理由から後通しとした。しかしながら後挿入案では、鉄筋組立て時またはコンクリート打設時にシースが破損してストランド挿入不能という重大な問題が生じる恐れがある⁹⁾。このためシースは内径が 85 mm で製作可能な最大厚である厚さ 0.5 mm を使用し、また各ブロック鉛直打継処理時にシースに穴をあけられないよう、図-11 のようにあらかじめ厚肉パイプでシースを防護した。更に、コンクリート打設中には下記の対策によりシースのつぶれおよびシースへのセメントペーストの混入を防いだ。

① 「バフ」「ラビット」によるシース内の清掃および検査

コンクリート打設前、中、後に「バフ」「ラビット」によってシース内の清掃を行う。「バフ」とは円形に裁断した布切を多数束ねたものでシースに漏出したセメントペーストを除去するのが役目である。「ラビット」は鋼線挿入が可能かどうか検査したり、シース内側の小さなまくれ等を直すのが役目である(図-12)。

② 鋼線と引込み金具のテルミット溶接

一般的には小容量のテンダンの場合は底版と同様に先端ケラムスグリップを取り付けて引き込むが、外壁のテンダンは長さ 140 m、自重約 2t で引込み

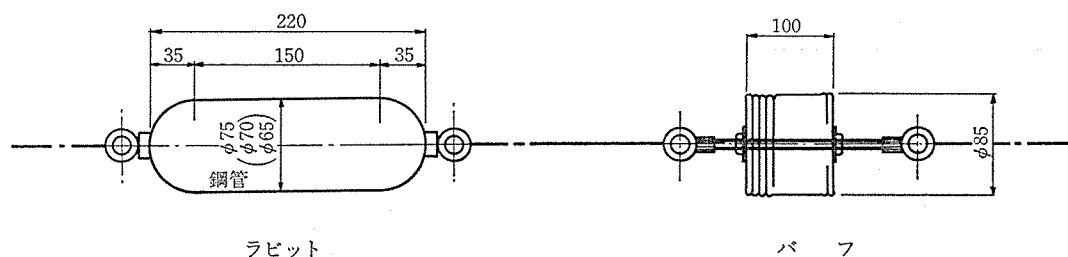


図-12 ラビットおよびバフ

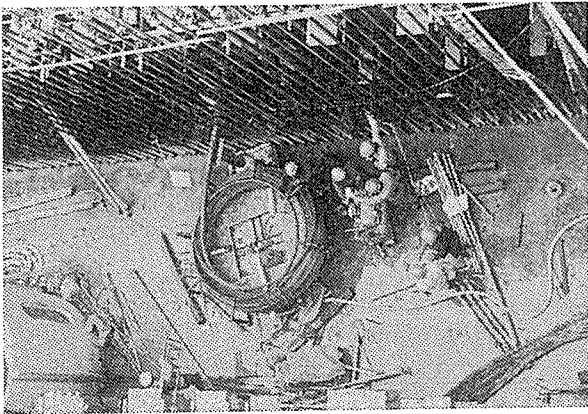


写真-5 外壁フープテンドン挿入用アンコイラー

時の最大摩擦力は約 6t と想定された。このため引込み途中でのケラムスグリップが外れる恐れ、およびシースのつぶれ等で挿入に支障を来すことも考えられたので、できるだけ引込み具の直径を小さくする目的で、引込み具とテンドンをテルミット溶接した。なおテルミット溶接による鋼線への熱の影響は過去の試験により安全性が確かめられている。

③ 「アンコイラー」と「特殊ウィンチ」

今回のテンドンの挿入は、テンドンをアンコイラーにセットした後、出口側に設置されたウィンチによる引出しと入口側のアンコイラーの回転による押出しの2つの力を調整しながら行った(写真-5)。

(2) 緊 張

側壁の緊張は各断面均等にプレストレスが導入されるように2周分4本のケーブルを同時に緊張することとし、2周おきに下から上に緊張した。外壁フープテンドンは図-13に示すように180°両引きとしているので、緊張管理はケーブル中央断面およびセット後の緊張端の両方の点において所定の緊張力が得られるように行う必要があった。

以下に管理手順を示す。なお底版の1次緊張の結果、

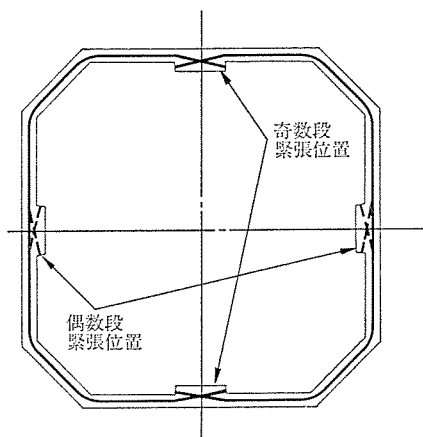


図-13 外壁フープテンドンの配置

プルイン量は 10 mm としておけば充分と考えられた。

- ① すべてのケーブルに $0.9 P_y (=272 \text{ t})$ の緊張力を与える。
- ② μ の平均値が 0.36 以下であることをチェックする。
- ③ μ の平均値が 0.36 以上であれば $0.8 P_u (284 \text{ t})$ まで緊張する。
- ④ 1/2 のテンドンを緊張した時点で摩擦係数とプルイン量を検討し、オーバーストレスとなっていれば残りの 1/2 のケーブルで調整する。

緊張の結果、 μ の平均値と標準偏差はそれぞれ 0.13, 0.037 と非常に安定した値を示した。これはラビットおよびバフの使用によりシース内面がなめらかに保たれたためと思われる。

4.4.4 頂 版

(1) シースの配置

頂版にはマンホール、内壁、せん断壁からの立上り筋があるので、シースを設計図面どおりに配置することは容易ではなかった。したがって、緊張計算はシース配置終了後形状を実測し、緊張計算をやり直して所定の総緊張力が得られることを確認した。

(2) 鋼線の挿入

頂版の鋼線挿入は外壁と同様所定の長さにコイルしたものを現場に搬入し、足場上に置いたアンコイラーに載せベビーウィンチにて行った。

(3) 緊 張

頂版の緊張は8台のジャッキを用い、工程短縮のためジャッキの移動は各ジャッキそれぞれに 5t トラッククレーンをドックサイドおよび頂版上に配置して行った。これにより頂版のプレストレスング作業は全ケーブル 338 本を 1.5 日で終了した。

緊張管理の結果、摩擦係数の平均値、標準偏差値はそれぞれ 0.11, 0.08 と通常より小さい値を示した。このことは、納入から緊張までの期間を極力短くして発錆をおさえ、実際のケーブルの曲がりを実測して緊張計算をすれば、緊張管理の精度を高めることができるということを示唆するものと思われた。

4.4.5 鉛直鋼棒工

今回のように、 $\phi 36$ の異形 PC 鋼棒を多量に本設構造物に使用したことは、我が国では初めてである。鉛直鋼棒の施工に当たっての特筆すべきことは次のようである。

(1) 異形 PC 鋼棒の建込み

鋼棒は2本継ぎとし、シースは足場用単管と同径($\phi 48.6$)の鋼管を使用した。これは、シース自体に剛性をもたせて足場にも使えるようにしたためである。シース

はドックサイトで定着体、PC 鋼棒、シースをセットしたものを、壁 1 ブロック分地組してクレーンにて底版に吊り込んだ。建込みにあたっては、PRC 構造の特徴である薄い部材に多量の鉄筋とシースを高い施工精度で配置するという事に配慮する必要があった。平面位置については、天端上でテンプレートを設置して設計位置を確保し、また天端プレートの高さについても、頂版の鉄筋の配置上から数 mm の精度が要求されたので、シースを高さ調整が可能となるように加工して用いた。

(2) 緊 張

せん断壁の鉛直鋼棒の一部は、そのアンカープレート直下に水平ケーブルがあり、工程上の問題で水平ケーブルをグラウトする前に緊張しなければならなかった。そのためシースのつぶれが心配されたが、事前に供試体を製作して実験し、その安全性を確認して施工した。

試験緊張の結果、ミルシートの平均値 $E_p = 2.1 \times 10^6$ を用いた計算値にナットおよびカップラー位置での PC 鋼棒のネジ山の塑性変形分として 1.5 mm を加えた伸び量で管理した。

(3) 後 埋 め

鉛直鋼棒の定着用箱抜き部の後埋めは、無収縮モルタルを $W/C = 36\%$ で用いた。モルタル流し込み前にコンクリート表面はジェットタガネおよび電動ピックにて十分目荒しを行った。ポケット内表面には、水平ポケットと同様のエポキシ系接着剤を塗布した。

4.4.6 グラウト工

(1) 配 合

グラウトの要求品質はフロー値 6~12 秒(J ロート)、膨張率 5~10%、圧縮強度 $\sigma_{cs} \geq 280 \text{ kg/cm}^2$ であった。これを満足する配合を決定するため、数種類の試験練りを行った結果、表-5 に示す配合を用いた。

(2) 施工手順

① 水平ケーブル

水平ケーブルは、注入に先立って全シースに水を通してシース内の清浄、および閉塞の有無を確認した。今回は底版上ではサイロ据付け等多くの工種が錯綜し排気孔ホースが損傷をうけることが予想されたので、ホースの維持管理には留意し、底版・側壁については水通し時に位置を再確認して排気孔の位置図を作成した。排出口でのグラウトのコンシステンシーは J ロート試験によって注入口と同じであることを確認した。またすべてのグラウトホースは 1.5 m 以上鉛直に立ち上げて、かつ注入



写真-6 BB-44 出渠状況

終了後 20~30 分して口元を全開し、シース内のブリージング水を入れ替えることによってグラウトを完全に充填できるようにした。グラウトホースの立上げ高さおよびホースを全開するまでの時間は事前の実験により最適な値を見出した。

② 鉛直シース

鉛直シースは 2 本のシースを一對とし、下端をグラウトホースで接続してグラウトを行った。

今回の特徴は、異形 PC 鋼棒を使用したためにナットと鋼棒のネジ山とのすき間にも完全にグラウトを充填しなければならなかったことであった。そのため、鋼棒の天端に排気用ホースを取り付けたキャップをナット上に仮固定してグラウトした。

緊張に先立って全本数の閉塞状況をエアーにてチェックしたところ、一部の鋼棒について閉塞しているものがあることが判明した。これに対し、仮緊張を行い伸び量より閉塞位置を推定した結果、すべて下端の接続グラウトホース部分で閉塞していることがわかったので、エアーを排出しながら少量ずつ自然流下方式で注入することとした。更に、1.5 m 立ち上げたホースの先端に容器を取り付けて放置し、エアーで強制排出できなかった水とグラウトを置き換えた。

グラウトは一部冬期の施工となるが、寒中グラウトについては「現場養生の 2 インチ立方供試体の圧縮強度が 56 kg/cm^2 以上になるまでコンクリートの温度を 2°C 以上に保たなければならない」という ACI 基準に則って行うよう指示された。これに対し、シースまたはコンクリートを暖めることは非常な困難が予想されたが、コンクリートの温度を数週間にわたり測定した結果、気温が -3°C 程度に下がってもコンクリート温度が 2°C 以下になることはない判断されたので、特に対策を施すことなく施工した。

表-5 グラウト配合表 (1 バッチ当り)

水セメント比 W/C	水 W	セメント C	遅延型減水剤 (プレミックス型) A
33%	79.2 kg	240 kg	2 000 g

5. 品質管理

5.1 概 要

本工事においては、施工部門と独立した品質管理(QC)部門を設けたことも特色の一つである。同部門は、タイトなスケジュールの中で構造物の所定の品質を確保しこれを保証するため、主に以下に示す活動を行った。

- QC 工程表の作成
- フレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの品質管理
- 鉄筋工・型枠工・打継目地の検査
- プレストレスングおよびグラウトの品質管理
- プレキャスト部材の品質管理
- 出来形検査
- 必要に応じ施主側エンジニアとの協議

このうち、本工事において特徴的な事項について、以下にその概要を示す。

5.2 QC 工程表の作成

QC 工程表とは、本工事における品質管理活動について、管理項目・管理限界・試験方法・試験頻度・不具合が生じた場合の対策および再発防止策等を作業の流れに従ってまとめたものである。大きく、準備段階、材料の受入れ段階および施工段階にわかれ、各工種における管理項目が網羅されている。

5.3 フレッシュコンクリートの品質管理

コンクリート打設時には、生コンプラントおよび荷受け場所にそれぞれ1名の QC 係員を配置しフレッシュコンクリートの品質管理を行った。プラントおよび現場における品質管理活動の流れは図-14 に示すようであり、相互の連絡には高性能無線機を用い情報の交換を密

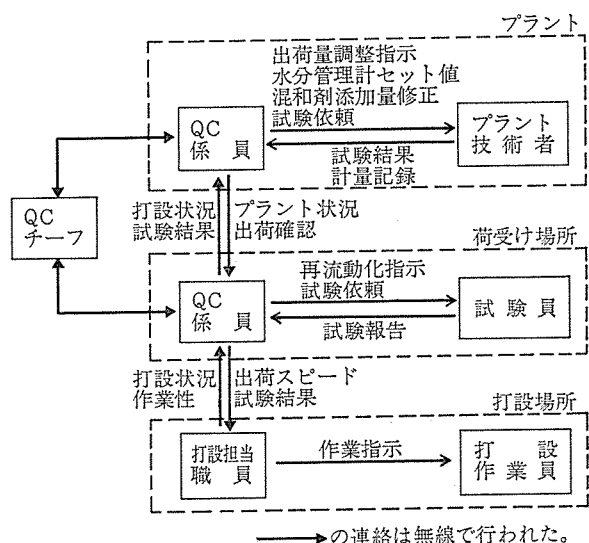


図-14 フレッシュコンクリートの品質管理体制

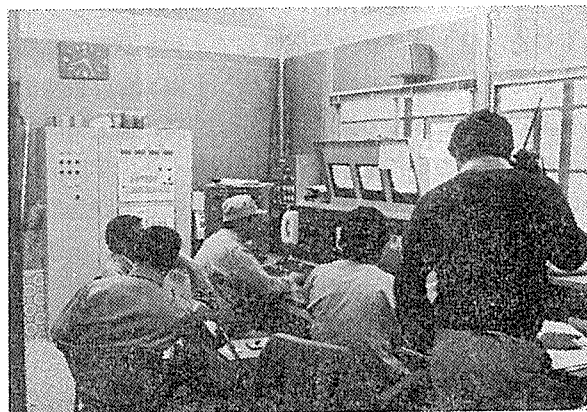


写真-7 生コンプラントの集中管理室（右側で QC 係員が無線で現場と連絡をとっている）

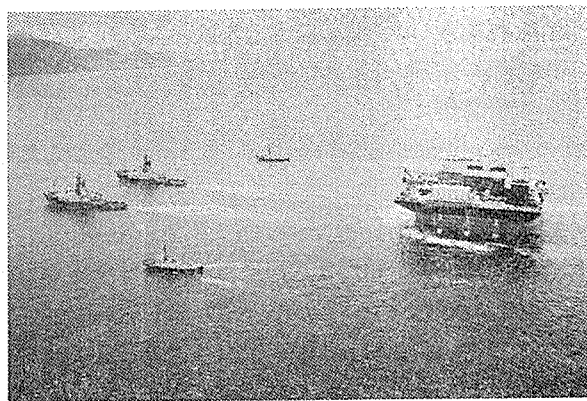


写真-8 曳航中の BB-44

にした。

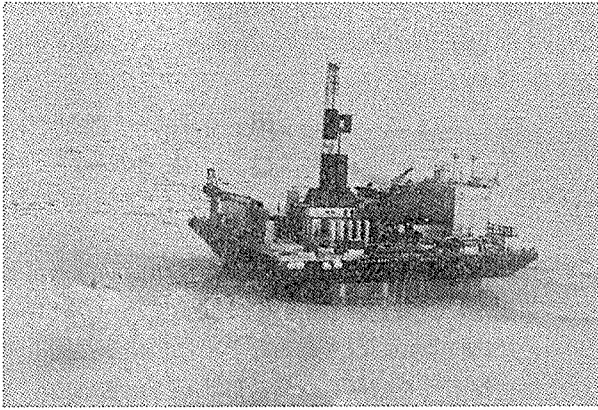
5.4 検 査

本工事が国内で施工されたにもかかわらず、海外工事であることを特徴づけているものに、発注者側検査官、USCG（アメリカ沿岸警備隊）および ABS（アメリカ船級協会）の検査官らによる検査があげられる。検査はすべての部材のすべての施工区画について、鉄筋・型枠・コンクリート・打継処理に対して行われた。これらの検査で手直し命令をうけた項目の主なもの、かぶりの不足、鉄筋の混雑、打継目の目荒し不足および清掃不足等々であった。

頂版の施工に先立ち、足場撤去の前には最終検査として目視および検査ハンマーによりすべてのコンクリートの表面が検査され、必要に応じ補修した。

9. あとがき

世界初の北極海向けコンクリート構造物ということで、日米の土木、造船、石油業界から注目を集めた Super CIDS BB-44 も、8か月という短工期を克服して本年3月末無事竣工した。その後、時を同じくして完成したマッドベースと伊勢湾上で結合した後デッキストレ

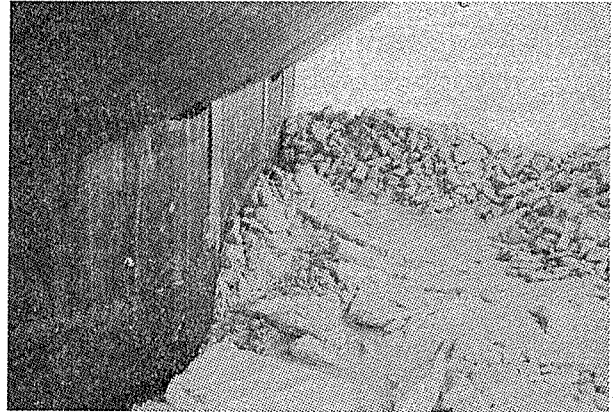


写真—9 北極海で稼働中の Super CIDS

ージバージを搭載し、6月初旬アラスカビューフォート海に向かって出航した。コンクリートという材料がこれまでに体験したことのない環境に向かう BB-44 に対し、“Bon Voyage”と呼びかけたい気持ちであった。

本工事においては、これまでの経験からは予測のつかないいくつかの問題に直面しながら、実験等によりできるだけ確かめながら施工することができたということは技術者として幸運であったと思っている。本文が、今後増加すると思われる同種構造物の検討の参考になれば幸いである。

最後になりましたが、現場に幾度となく足を運ばれ、適切な御助言をいただいた東京工業大学教授長滝重義博士、PC 工事に関して行ったいくつかの実証実験を進んで実施していただいたピー・エス・コンクリート（株）Super CIDS 作業所所長山田健次氏、未体験のコンクリートの製造に挑戦し安定した品質で供給していただいた三重アサノコンクリート（株）の皆様をはじめ、本工事の遂行に御協力いただいた皆様に深く感謝の意を表する



写真—10 BB-44 に押し寄せる氷塊

次第です。

参 考 文 献

- 1) 「軽量コンクリートにおける PC 定着部の安全性確認試験報告書」昭和 58 年 9 月、清水建設、五洋建設、ピー・エス・コンクリート
- 2) 橘、大野、黒木、岡田：「高強度軽量コンクリートの耐凍結融解性に関する研究」第 6 回コンクリート工学年次講演会
- 3) 例えば、田沢、信田、石井：「シリカフェームを用いた高強度人工軽量骨材コンクリートの基本特性」第 6 回コンクリート工学年次講演会
- 4) 大野、鈴木、丹羽、井畔：「極寒地向け海洋構造物のための軽量コンクリートの研究」セメントコンクリート、昭和 59 年 8 月
- 5) J. McNary, T. Nakajima 他：“Control of thermal cracking in the construction of offshore concrete structures”, 1984 ACI Fall Convention
- 6) Ben C. Gerwick (小林、長田・訳)：「PC 大規模構造物の施工上の種々の問題と対策」プレストレストコンクリート、1983.11
- 7) 「テルミット溶接による PC 鋼線の熱影響について」昭和 53 年 9 月、ピー・エス・コンクリート社内資料