

## 岩見沢市における PC 卵形消化槽の設計・施工

坂 下 貞 美\*  
 秋 葉 昇 男\*\*  
 鬼 頭 利 幸\*\*\*  
 阿 部 銀 二†

### 1. ま え が き

岩見沢市における PC 卵形消化槽が建設された南光園処理場は、国道 12 号線から一望できる場所に位置している。

近年、当処理場の周辺部は宅地化が進み、処理場の諸施設の建設にあたっては、周辺環境との調和、また処理場公害の防止等に関し、より一層の配慮が必要とされた。

このような周辺環境のもとで消化槽を計画するにあたって、嫌気性消化方式における消化槽の形状のあり方について、ソロバン形（従来形）、上下円錐形、卵形の各種形状を、建設コスト、機能、維持管理、並びに周辺環境との調和に関し総合的に検討した結果、PC 卵形消化槽を採用するにいたった。

本文では、PC 卵形消化槽の設計・施工およびプレストレス導入試験について概要を報告する。

### 2. 工 事 概 要

工事名称：第二期南光園処理場消化槽築造工事  
 場 所：岩見沢市 10 条西 23 丁目  
 構造形式：PC 卵形消化槽  
 規 模：容量 1600 m<sup>3</sup>  
 施工期間：昭和 59 年 7 月～昭和 60 年 1 月  
 発 注 者：岩見沢市役所  
 設 計：日本上下水道設計（株）  
 施 工：不動建設（株）、勝井組土建（株）、ピー・エス・コンクリート（株）共同企業体

### 3. 設 計

#### 3.1 設計条件

##### 3.1.1 諸 寸 法

本消化槽の諸寸法は以下のとおりである。また構造一

\* 岩見沢市住宅下水道部下水道課課長

\*\* 日本上下水道設計（株）札幌事務所所長

\*\*\* 不動建設（株）土木本部技術部

† ピー・エス・コンクリート（株）東京支店工務部工務課主任技師

般図を図-1 に示し、各部材の呼び方を図のとおりとする。

有効容量：1600 m<sup>3</sup>

最大内径：13.508 m

最大水深：18.294 m

縦方向半径：10.000 m

壁 厚：0.300 m～0.500 m

基礎形式：杭基礎 N=40 本

上杭；SC 杭，φ 600，t=6 mm，

l=7.000 m

下杭；PHC 杭，φ 600，A 種，

l=34.000 m

#### 3.1.2 PC 鋼材の選定

本消化槽では躯体の円周方向および子午線方向に PC 鋼材を配置した。以下に PC 鋼材の選定理由を述べる。

円周方向 PC 鋼材は、本消化槽が小規模で内径が小さいことから、最小曲げ半径が小さく、また緊張作業が比

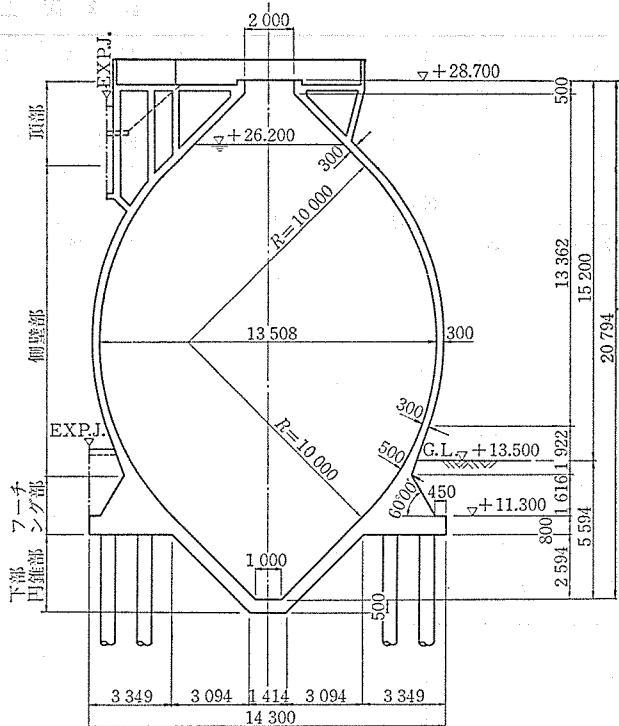


図-1 構造一般図

較的簡便で大きな導入力が得られる PC 鋼より線 SWPR 19 T 21.8mm を使用した。円周方向 PC 鋼材は、通常の円筒形 PC タンクではピラスター（定着柱）を用いて定着されるが、卵形消化槽は 2 方向に曲面を有する薄肉コンクリートシェル構造であるためその特質を損なわないように、また美観上の配慮から、部材に切欠きを設けて定着する方法を採用した。

子午線方向 PC 鋼材は、薄肉コンクリート部材をリング状に断面を分割して打上げ施工することから、PC 鋼材の継手を容易に設けることができ、またある程度鋼材の自立性が必要なことから、細径で導入力が大い PC 鋼棒 SBPR 95/120, φ32mm を使用した。

3.1.3 設計条件

本消化槽の設計にあたって考慮した荷重条件を表-1 に、荷重の組合せを表-2 に、使用した材料およびその許容応力度を表-3 に示す。また、適用基準は以下のとおりとした。

「下水道施設設計指針と同解説」（1972 年）

「下水道施設地震対策指針と解説」（1981 年）

[日本下水道協会]

表-1 荷重条件

自重	2.5 t/m <sup>3</sup>	静止土圧係数	0.5
上載荷重	0.5 t/m <sup>2</sup>	温度差	±10°C
保温材	0.1 t/m <sup>2</sup>	温度変化	±10°C
汚泥水	1.05 t/m <sup>3</sup>	風荷重	$q=60\sqrt{h}$
ガス超過圧	0.3 t/m <sup>2</sup>	水平震度	0.20
雪荷重	0.45 t/m <sup>2</sup>	地震時主働土圧係数	0.53
土の単位重量	1.8 t/m <sup>3</sup>		

表-3 材料の仕様および許容応力度

種別	仕様	応力状態	許容応力度および係数		
コンクリート	$\sigma_{ck}=350$ kg/cm <sup>2</sup>	P	曲げ圧縮応力度 プレストレッシング直後 主荷重時	170 kg/cm <sup>2</sup> 135 "	
			軸圧縮応力度 プレストレッシング直後 主荷重時	132 " 105 "	
		C	曲げ引張応力度 プレストレッシング直後 主荷重時	満水	13.5 " 0 "
				空水	7 "
			引張応力度 温度荷重時 風荷重時 地震時	18.5 " 23.5 " 23.5 "	
		プレストレッシング直後、主荷重時軸引張応力度		せん断応力度	0 " 5 "
		せん断応力度		斜め引張応力度	8.5 "
		RC 部材	曲げ圧縮応力度		116 "
			軸圧縮応力度		99 "
		PC 鋼材	PC 鋼より線 SWPR 19 T 21.8	プレストレス導入時	45.4 t
プレストレス導入直後使用状態	40.9 " 35.0 "				
PC 鋼材	PC 鋼棒 SBPR 95/120 φ32	プレストレス導入時	67.5 "		
		プレストレス導入直後使用状態	63.7 " 56.2 "		
鉄筋	SD 30	引張応力度	1800 kg/cm <sup>2</sup>		
		一般の部材 水に接している部材	1000 "		
許容応力度の割増し係数		圧縮応力度	1800 "		
		温度荷重時 風荷重時 地震時	1.15 " 1.25 " 1.50 "		

表-2 荷重の組合せ

組合せケース	基本ケース	ケ   ス No.	自	上	保	静	ビ	ガ	雪	静	揚	温	温	風	動	動	自	保	ビ	異
			重	載	温	水	ット	ス	荷	止	圧	度	度	荷	水	土	重	温	ット	常
ケース No.			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱
施工完了直後	⑲		○	○	○				○											
常時	満水時	⑳	○	○	○	○	○	○	○											
	空水時	㉑	○	○	○				○	○	(1/2)	○								
温度荷重時	満水時	㉒	○	○	○	○	○	○	○			○	○							
	空水時	㉓	○	○	○				○	○	(1/2)	○	○	○						
風荷重時	満水時	㉔	○	○	○	○	○	○	○					○						
	空水時	㉕	○	○	○				○	○	(1/2)	○		○						
地震時	満水時	㉖	○	○	○	○	○	○	○						○		○	○	○	
	空水時	㉗	○	○	○				○							○	○	○	○	
異常時	㉘		○	○	○		○	○												○

「プレストレストコンクリート標準示方書」(1978年)  
 「コンクリート標準示方書」(1980年) [土木学会]  
 「水道用プレストレストコンクリートタンク標準仕様書」

「水道施設設計指針・解説」

「水道施設耐震工法指針・解説」 [日本水道協会]

「ディビダーク工法・設計施工指針(案)」 [土木学会]

「道路橋示方書 I 共通編・IV 下部構造編・V 耐震設計編」

[日本道路協会]

「土木設計指針・第II編 構造物設計指針」

[日本下水道事業団]

## 3.2 躯体部の設計

### 3.2.1 断面力の算定

躯体の断面力は、構造特性を十分考慮し薄肉シェル構造として求めるため、軸対称シェル有限要素法解析プログラムを用いて算出した。ただし、マッシブなフーチング部については部分的にモデル化し、有限要素法による面内応力解析を行った。

図-2 に電子計算機入力用躯体解析モデルを示す。この図の基礎部は構造上便宜的にモデル化したものである。基礎の支持条件は杭頭を完全固定とした。地盤はシ

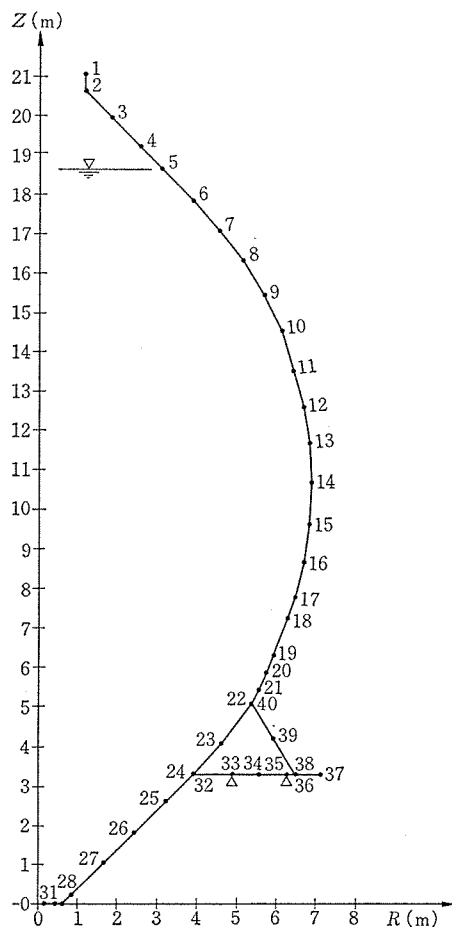


図-2 躯体解析モデル

ルト層で杭に比べて鉛直方向支持力が殆んど期待できないため、支持条件には考慮しなかった。

### 3.2.2 プレストレス

躯体本体の構造は原則として PC 構造とした。ただし、消化槽下部円錐部および頂部は内径が小さく PC 鋼材の最小曲げ半径以下となるため、円周方向は RC 構造とした。またマッシブな基礎部および消化槽上方ピット部も RC 構造とした。

消化槽躯体部の円周方向には、満水時の汚泥による静水圧により生じる円周方向軸引張力に見合う軸圧縮力に余裕圧縮力  $10 \text{ kg/cm}^2$  を加えた圧縮力を、プレストレスとして導入した。

子午線方向プレストレスは、常時の子午線方向軸力および曲げモーメントに対してフルプレストレスとなるように導入した。ただし、消化槽下部円錐部は上記の考え方でいくと PC 鋼棒の必要本数が非常に多くなり PC 鋼棒下方の定着具間隔が確保できないので、この部分は鉄筋で補強することとした。

以上により決定した PC 鋼材の配置を図-3 に示す。

## 3.3 フーチング部の設計

### 3.3.1 フーチング部の設計

フーチング部は大きな杭反力を受けるため、部分的なモデル化によってコンクリート応力を解析し、所要鉄筋量を求めた。応力解析は、有限要素法による面内応力解析を用い、面内力のみを受ける平面応力状態で行った。解析モデルを図-4 に示す。

### 3.3.2 杭の設計

杭の設計において、地震時動水圧はタンク内汚泥の自由水面が小さいので、汚泥すべてを剛体として求めた。また土質条件から判断して、地盤に地震時水平力を負担させることは不可能なため、杭に作用する反力の地盤反力による低減は行わなかった。

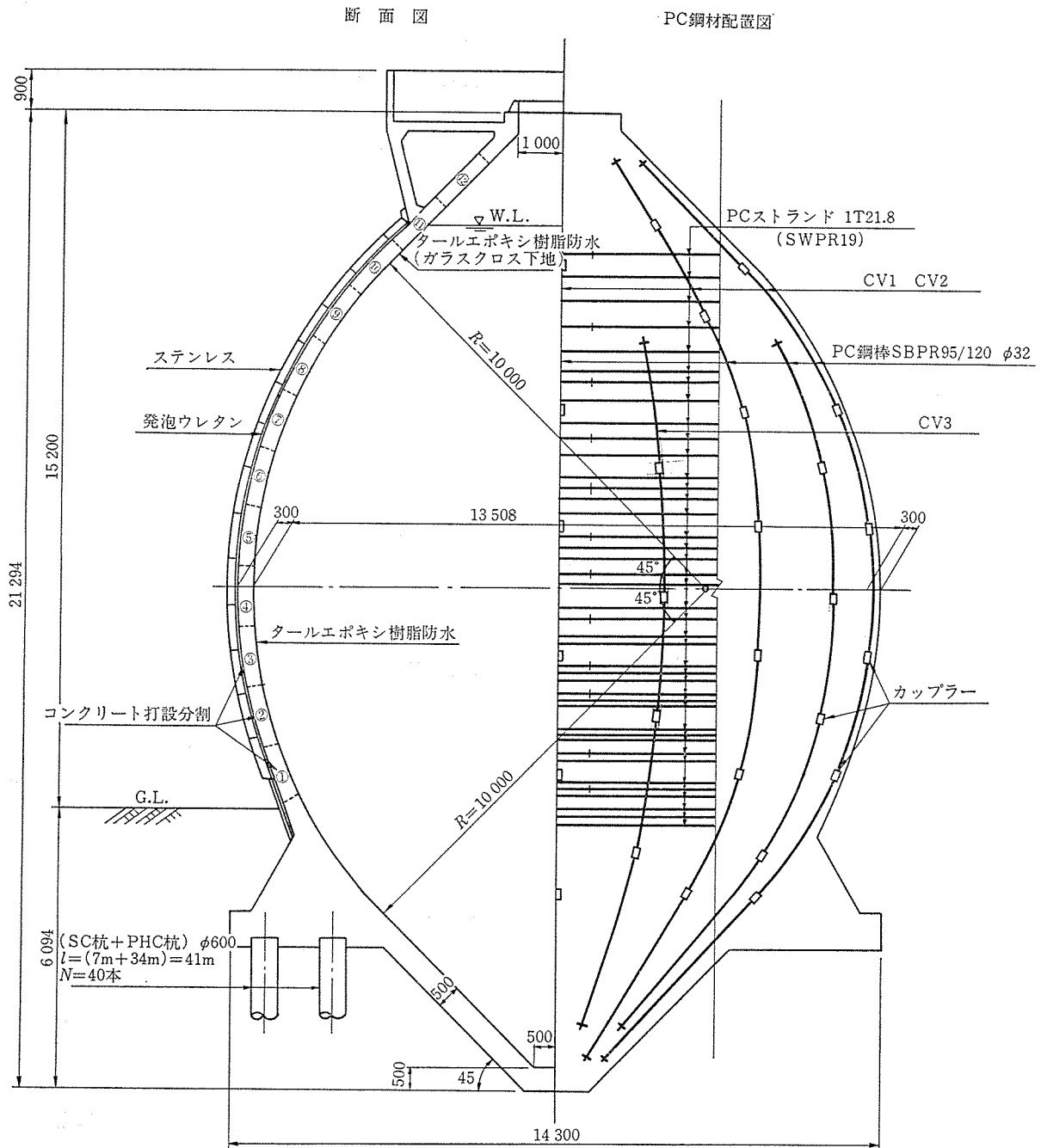
杭は、「道路橋示方書 IV 下部構造編」に則り杭頭の結合条件をヒンジおよび固定の両方に対して照査を行い、杭の支持力、応力度、および変位が許容値以内におさまっていることを確認した。また杭には地震時にも引抜き力を生じさせないようにして、消化槽本体が転倒に対して十分に安全であることを確認した。

### 3.4 上方ピット部および頂版の設計

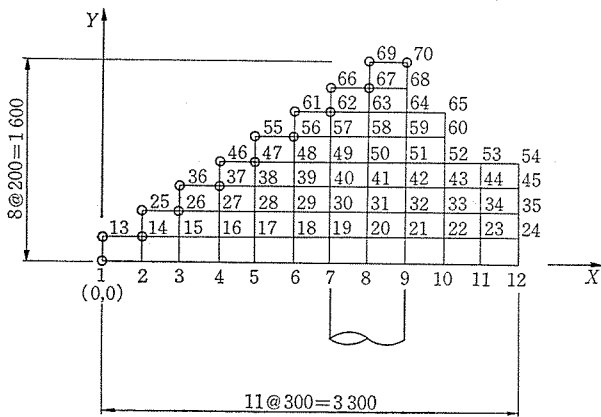
消化槽上方ピット部の側壁は、3 辺固定 1 辺自由な平板として骨組平板応力解析を行い、所要鉄筋量を求めた。また頂版については 4 辺固定版として断面力を算出し、所要鉄筋量を求めた。

## 4. 施 工

### 4.1 杭の施工



図—3 PC 鋼材配置および断面図



図—4 基礎部解析モデル

消化タンク位置での標準貫入試験結果によると、GL-43m まで  $N$  値が 5~10 程度の泥炭質粘土層が続き、それ以下は  $N$  値が 50 の砂レキ層となっている。杭は  $\phi 600$  の PHC 杭の組合せで、40 セット ( $l=41$  m) を打設した (写真—1)。

#### 4.2 掘削およびモルタルの吹付け

杭打ち終了後、バックホー (1.4 m<sup>3</sup> 級) にて一次掘削が行われ、続いて下部円錐部にあたる二次掘削をバックホー (0.4 m<sup>3</sup> 級) と人力とで杭まわりの床付けと併行しながら施工した (写真—2)。西ドイツの例では、底部中央に地下水位を下げるためのディープウェル用ストレート

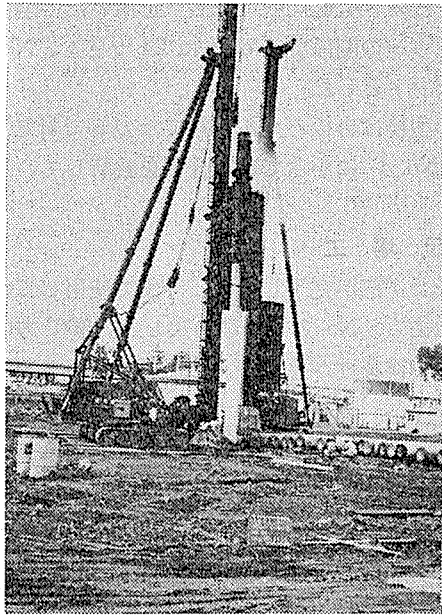


写真-1

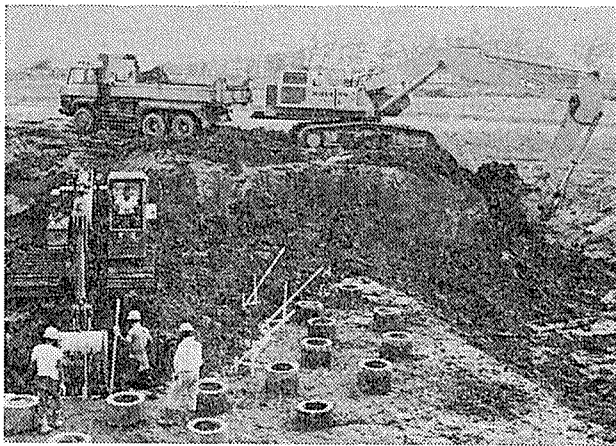


写真-2

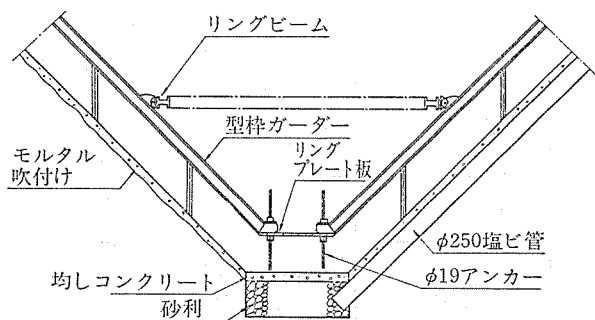


図-5 円錐部の施工

ナー管を配置しているが、ここでは時期的に地下水位が低い夏場であったため、また内部足場の構築、測量芯の設定、底部の鉄筋配置等を考慮して開口部は設けずに施工した。ただし杭とドッキングするフーチングの施工まで構造物が不安定なため、不測の事態に対処する意味で円錐勾配に沿って  $\phi 250$  の塩ビパイプを底部まで挿入

し、水中ポンプを据え付けた(図-5)。これはフーチング施工時、コンクリートで充填した。

円錐ノリ面のモルタル吹付けはそのまま躯体の厚みを決定するため、精度よく吹き付けなければならない。よって最小厚さ 50 mm になるように掘削したうえで吹き付けた。ラス鋼材は 2 mm (50 mm×50 mm) のものを使用し、主アンカー D 16、補助アンカー D 10 にて固定した(写真-3)。

#### 4.3 下部円錐部工

鉄筋の組立てが円錐部すべて完了した時点で底部のコンクリートを打設した。このとき円錐部型枠浮上がり防止のため D 19 アンカー 24 本を持ったリングプレート板 ( $t=19$  mm) を据え付けた(写真-4)。

円錐部の施工には鋼製ガーダーを使用した。これは子午線方向の 24 本の H 鋼 (175×90×5/8) とコンクリートの側圧に抵抗させるための円周方向の 2 本のリングビーム ( $[-125\times 65\times 6]$ ) とで構成される。型枠は合板 ( $t=15$  mm) を台形に加工し、H 鋼のフランジ間へ角材とキャンパーとで固定した(写真-5)。

コンクリート打設は円錐部頂部からのポンプ車打設とした。また点検窓を 4 か所設け、中間のコンクリートの

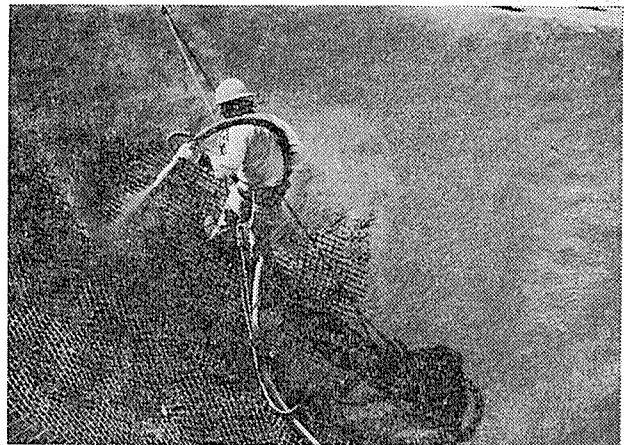


写真-3

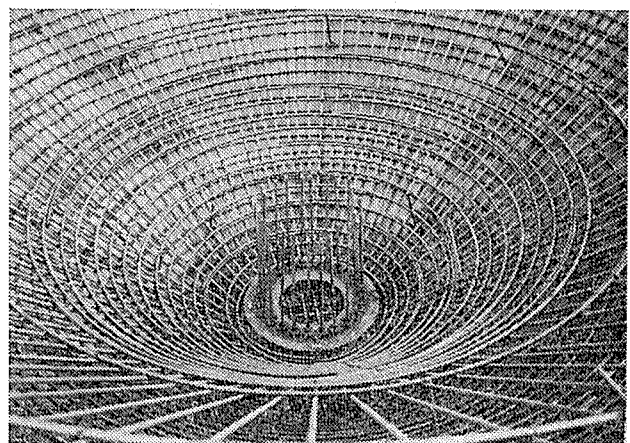


写真-4

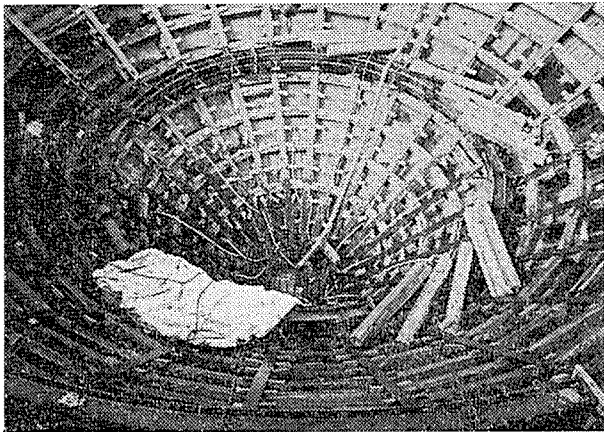


写真-5

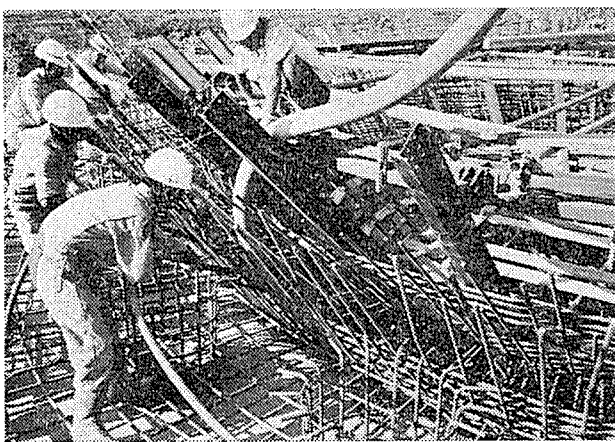


写真-6

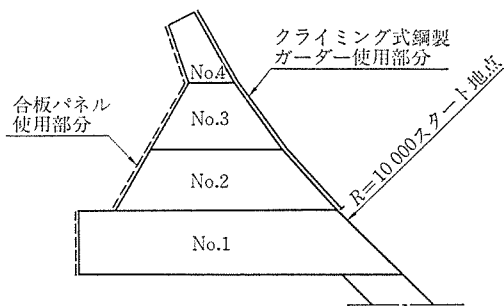


図-6 フーチングの施工

打設状況を確認した(写真-6)。

#### 4.4 フーチング部の施工

フーチング部は全高で約 3.5m あるが、内壁の形状は途中から卵の形にするために曲線が始まり、外側の形状は円筒形から円錐、更に逆円錐という複雑な形状となっているため、鉄筋および型枠組等の施工性と精度の面で工夫を要したが、図-6 のように4分割で施工を行った。鉄筋とPC 鋼棒は No. 1~No. 4 まで一括して組み立てた。内壁の型枠は No. 1 ではまだ直線部分なので下部円錐部で使用した鋼製ガーダーをそのままの状態で使用し、No. 2 からは側壁で使用するクライミング式の

鋼製フレーム(4.6 側壁工参照)を用いた。鋼製フレームはアンカーの関係で No. 2 は 24 セット、No. 3 以後は 48 セットとした。

外側の型枠は合板パネルと捨てセパ等で対処し、No. 1 から No. 4 にかけて順次合板を裁断していった(写真-7)。

#### 4.5 足場工

フーチング部が完了した後、今まで使用している内外足場を撤去し、No. 3 まで埋め戻した。360° 方向オープンカットで作業性が悪かったが埋戻しすることで解決さ

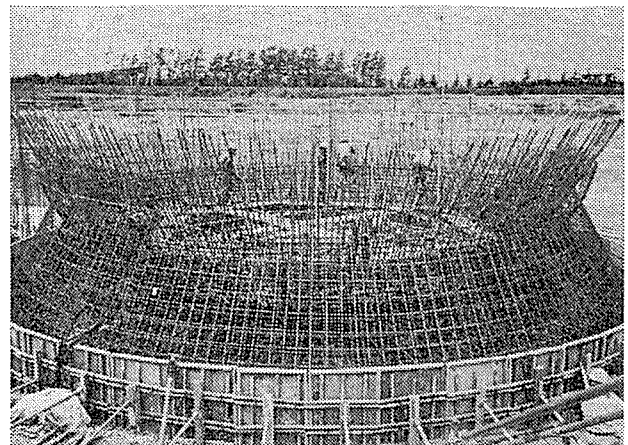


写真-7

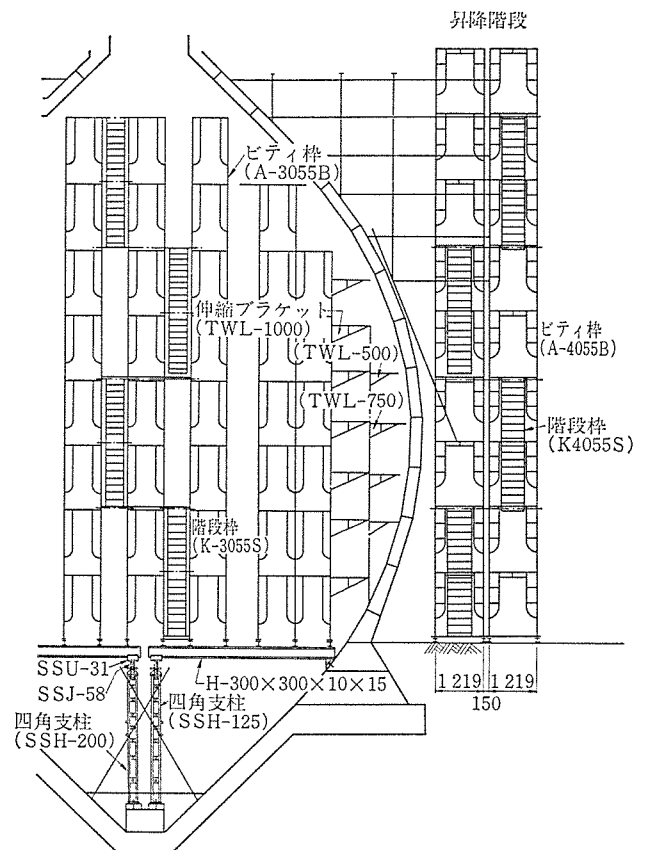


図-7 足場図

れた。

外部足場はビティ杵による杵組足場とし、内部足場は No. 3 ブロック付近まで四角支柱とH鋼とによる支柱式足場とし、それから上は杵組足場とした。卵の形状に沿う足場は、それぞれの足場から単管とブラケットによる張出し足場とした(図-7)。

また組立て方法は、側壁分割施工に合わせて、そのつど組み立てた。

#### 4.6 側壁工

側壁は、円周方向と子午線方向の両方に曲線を持って

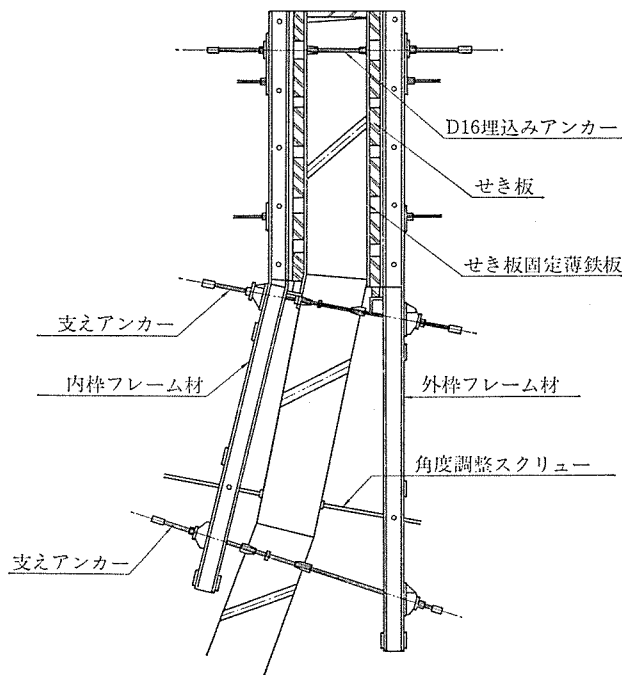


図-8 側壁の施工

いるため、その施工方法については十分な検討を要した。両方向とも折線円の施工となるが、子午線方向で  $R=10.0\text{ m}$ 、円周方向で  $R=6.754\text{ m}$  と曲率が小さいため、子午線方向の分割数、円周方向の面体数が出来上がり形状に大きく影響してくる。

子午線方向は、図-3 に示すように壁厚中心 ( $R=10.150$ ) で1段が  $L=1.320\text{ m}$  の12段のブロック施工とし、円周方向は型杵の幅が最大時で  $1.0\text{ m}$  以下であること、および円錐部使用ガーダーが24本で側壁型杵使用アンカーが埋め易いことからその倍数の48面体とした。

型杵は、フライミング式の鋼製フレーム(図-8)を使用した。これは型杵支え材で、本体は[形鋼( $[-100 \times 50 \times 5/7.5]$ )2本の抱き合わせで、角度調整スクリュー、支えアンカー(D16特殊ボルト)2本、せき板固定薄鉄板( $t=2.3\text{ mm}$ )で構成される。内・外壁とも48組使用し、鋼製フレームの移動据付けは、クレーン車によって行った。

せき板は合板( $t=12\text{ mm}$ )と角材( $60\text{ mm} \times 90\text{ mm}$ )とで構成され、各ブロックの周長の差はガーダーとせき板の遊間( $10\text{ cm}$ )で調整した。

表-4 に側壁工1サイクルの工程を示すが、5日を標準の作業サイクルとした。第1日目は打継ぎレイタンス除去と外型杵の移動組立ておよび内外張出し足場の組立て調整、第2~第3日目はPC工、鉄筋組立て、張出し足場の調整、第4日目は内型杵の移動組立て、付属物埋込み、第5日目は打設足場の製作、コンクリート打設、養生となっている。

コンクリートの打設は、ポンプ車打設とした。曲率が

表-4 側壁工1サイクルの工程

工種 \ 日程	第1日目	第2日目	第3日目	第4日目	第5日目
型杵解体, 組立て					
足場組立て, 調整	内部	外部	内部		
PC工, 鉄筋工					
その他工		型杵検測	埋込み・検測		
コンクリート打設 養生					
緊張, グラウト					

注：緊張は、外部作業との重複をさけている。

◇報 告◇

小さいためほとんどのブロックで打継仕上げ面は傾斜し、鉄筋が林立するため押え型枠するには作業性が悪いので、時間を経てコテで斜め仕上げとした。打継ぎ処理剤は液状およびゲル状のものを使用し、翌日、高压洗浄機によってレイタンスの除去をした。

⑩ブロックまで鋼製フレームを使用したが見、⑪⑫ブロックでは円周方向ケーブルがないことと、鋼製フレームピッチが狭くなるため48面体の合板パネルで一括施工した(写真-8~13)。

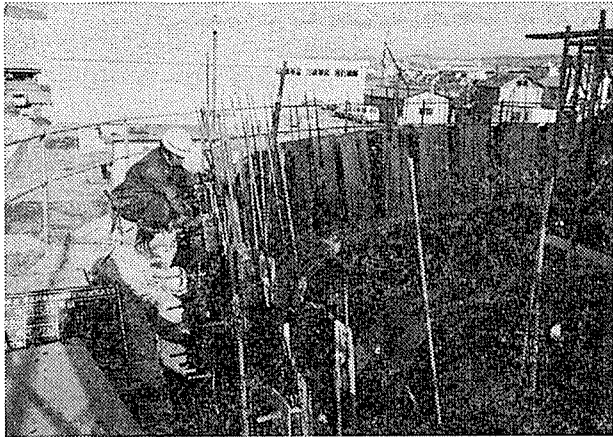


写真-8 外型枠組立て

#### 4.7 P C 工

子午線方向の PC 鋼棒 ( $\phi 32$ ) は、現場にて  $R=10.150\text{m}$  に曲げ加工した  $L=3.0\text{m}\sim 4.0\text{m}$  の長さのものをカップラーでジョイントし、全数 18 ケーブルのうち 9 ケーブルは⑧ブロックで緊張し、残りのケーブルは⑫ブロックで緊張した。

円周方向の PC ケーブルは 1 T 21.8 のモノストランドケーブルで、フーチング頂部より⑩ブロックの間に 41 段配列されている。1 段には半円周ずつ 2 本が交差して

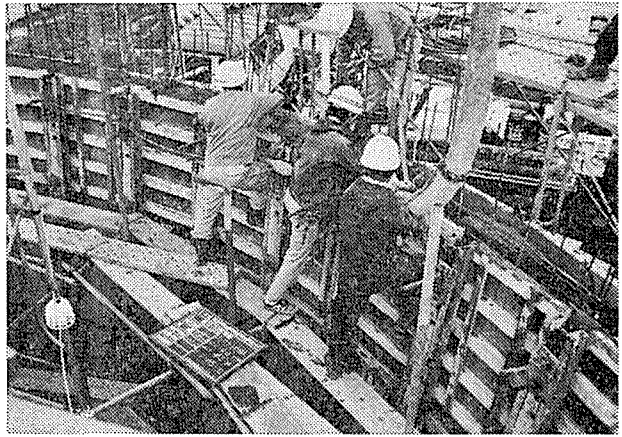


写真-11 コンクリート打設

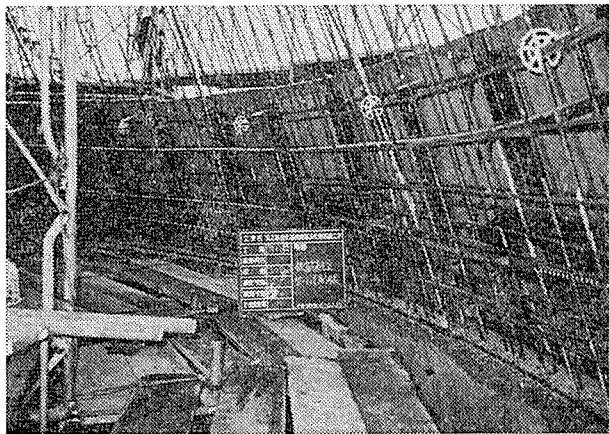


写真-9 鉄筋、ケーブル組立て

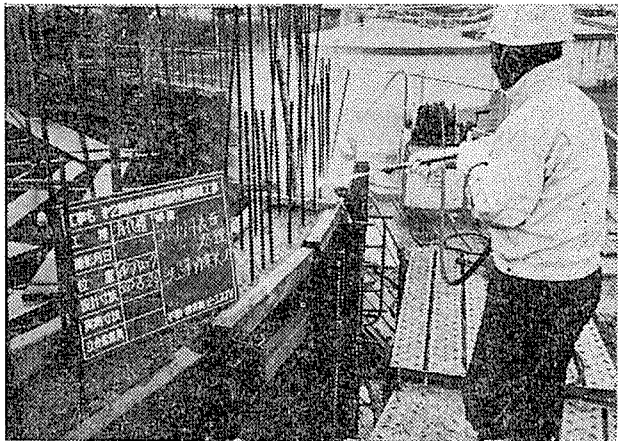


写真-12 コンクリート表面処理

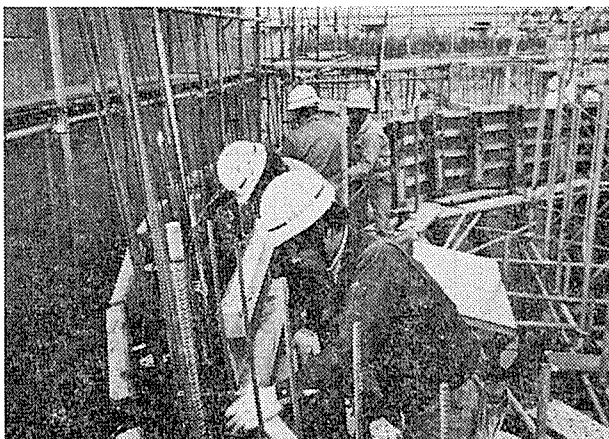


写真-10 内型枠組み

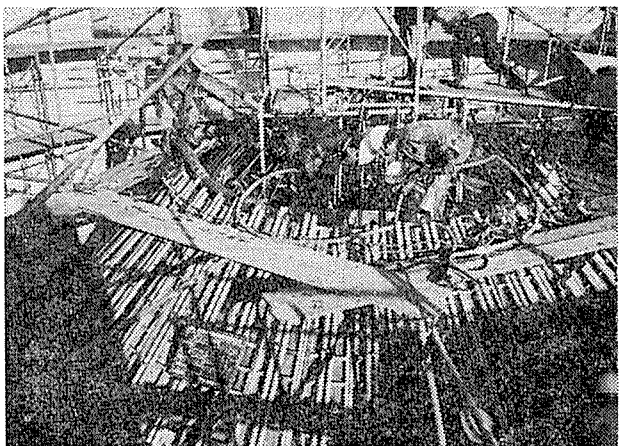


写真-13 ⑪, ⑫ ブロックの施工



配置されるが、図-9のように壁体に切欠き部を設けるために、PC鋼線挿入の際、型枠に大きい開口部が必要となり、また鋼製ガーダーも障害となるため、後挿入にて施工した。

緊張は、鋼製ガーダーが障害とならなくなった打設ブロックの3段下で、導入オーバーにならない本数ずつ順次施工した。この時、緊張力分布を平均化するため、緊張ジャッキ4台を同時に作動させ、トランシーバーを用いて確認後緊張作業を進めた。結果として円周方向ケーブルの、摩擦係数 $\mu$ 値は0.15前後、子午線方向のPC鋼棒の $\mu$ 値は0に近い値を示した(写真-14~15)。

グラウトは11月~12月初旬の中での施工となったた

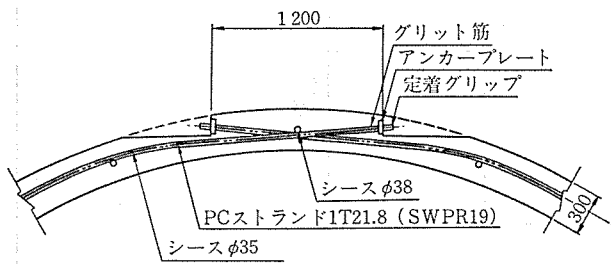


図-9 円周方向ケーブル定着図

め、全天候型の上屋を設け、室内養生は温風機5台でタンク内外とも10°C前後の気温に保って施工した。ちなみにこの期間の最低外気温は-5°Cであった。

#### 4.8 その他の施工

- 1) 側壁が終了すると、頂部マンホール部、各種ピット、回廊、壁高欄、および弁操作棟とのエキスパンションジョイント部、階段等の躯体工事へと進んだ。卵形球体への墨出しには細心の注意が要求された。頂部マンホールの施工は気密性の最も要求される場所で、躯体とマンホール架台の間は無収縮モルタルを充填し、ジョイントコーキング、更にガラスクロスを貼りつけてタールエポキシ樹脂防水を施した(写真-16~17)。
- 2) 内面防水はタールエポキシ樹脂防水で3層塗りとなっており、上部水位の増減するところはガラスクロス下地で施工した。
- 3) 外壁工は、外装材と断熱保温材とで構成されている。外装材は前もって埋め込まれたφ16Jアンカーを基礎としたリップ溝形鋼([-100×50×3.2および[-60×30×1.6)を骨組としているステンレス屋根材( $t=0.4$  mm)を32面体で施工した。また断

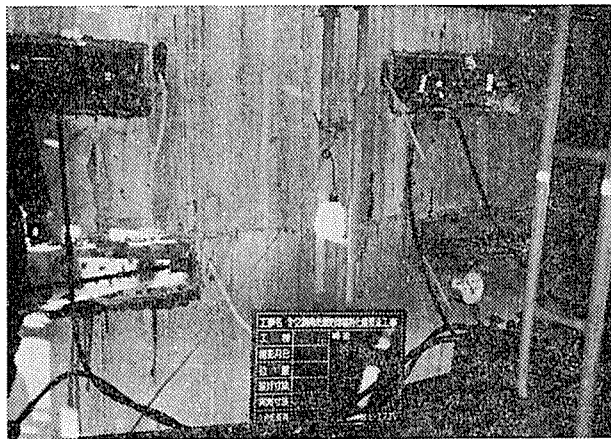


写真-14 円周方向緊張作業

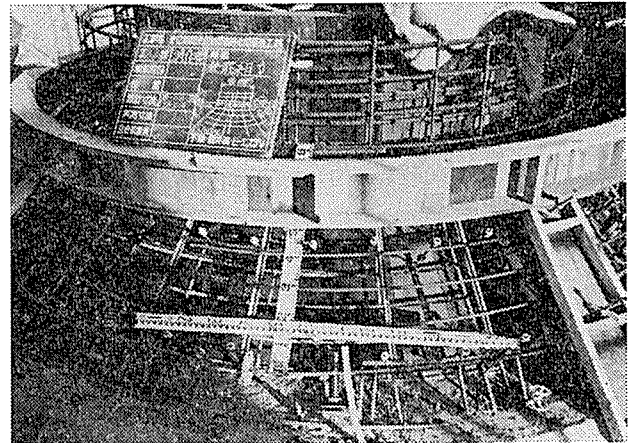


写真-16 頂部の施工

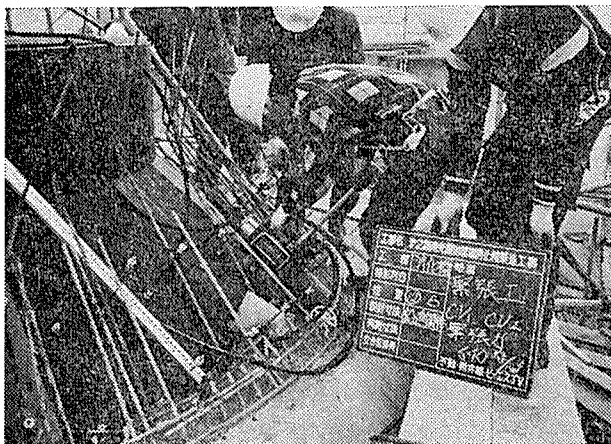


写真-15 子午線方向緊張作業

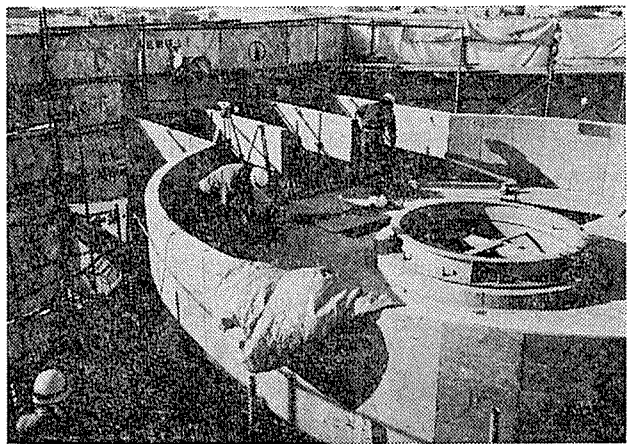


写真-17 ピット、回廊、壁高欄、頂部マンホールの施工

表-5 実 施 工 程

工種	1984							1985
	7	8	9	10	11	12	1	
杭 打 ち 工	■							
掘 削 お よ び モルタル吹付け工		■						
下部工円錐部工			■					
フ ー チ ン グ 工			■	■				
側 壁 工				■	■	■		
頂部,各種ビット, 回廊,壁高欄, そ の 他 工						■		
内 面 防 水 工							■	
外 壁 工						■	■	

熱保温材としては、発泡ウレタンを厚さ 50 mm 以上で吹き付けた。吹付けは 10°C を下回らない室内温度に保って施工した。また頂部外壁は吹付けタイルにて施工した。

4.9 実 施 工 程

1984 年 7 月より工事が開始されたが、実施工程に関してはフーチングが終わり埋戻しするまで雨が少なかったこと、また 11 月からは全天候型の冬期施工に切り換えたことなどで、順調に工事は進捗し、1985 年 1 月にすべての工事が終了した。実施工程を表-5 に示す。

5. プレストレス導入量測定結果

5.1 測定の概要

タンクには、プレストレス導入量を測定するため、ひずみ計を埋設した。ひずみ計の埋設位置を、図-10、11 のタンク平面図、側面図に示す。ひずみ計は、円周方向 PC ケーブル定着部、PC 鋼棒、それに側壁マンホール部を避け、北西と南東に近い軸線に沿った断面内の北西側 4 側点、南東側 11 測点に設置した。また、北西側、南東側のフーチング部内各 1 か所に、温度応力測定のため無応力計（無応力ケースの中に設置されたひずみ計）を埋設した。ひずみ計は、1 測点で円周方向と子午線方向の直角 2 方向に配置され、奇数番号が円周方向を、偶数番号が子午線方向を表わしている。フーチング部を除

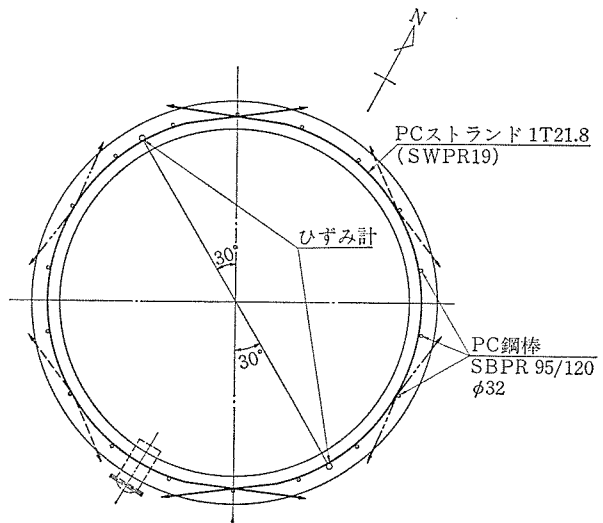


図-10 ひずみ計埋設位置図（タンク平面）

き、ひずみ計は、壁厚のほぼ中央面に埋設されている。ひずみ計の取付け状況を写真-18 に示す。

使用したひずみ計は、測温機能付きひずみ計 BS-8 FT である。

測定は、ひずみ計の設置されているブロックのコンクリート打設後、およびプレストレス導入時に行った。

5.2 ヤング係数、ポアソン比の測定

ヤング係数、ポアソン比の測定は、ASTM C 469-65（円柱形供試体による ヤング係数および ポアソン比の測定）に従って行った。

表-6 ヤング係数, ポアソン比測定結果

材 令	3 日	7 日	14 日	28 日	82 日
平均圧縮強度 $\bar{\sigma}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	289	356	375	405	430
平均ヤング係数 $\bar{E}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	316 000	339 000	363 000	362 000	371 000
平均ポアソン比 $\bar{\nu}$	0.208	0.203	0.200	0.193	0.207

$$E = (S_2 - S_1) / (\epsilon_e - 0.000 050) \dots \dots \dots (1)$$

ここに,  $S_2$ : 破壊荷重の 40% の荷重作用時の圧縮応力度 (kg/cm<sup>2</sup>)

$S_1$ : 縦方向ひずみが  $50 \times 10^{-6}$  に達した時のコンクリートの圧縮応力度 (kg/cm<sup>2</sup>)

$\epsilon_e$ : 40% 荷重時の縦ひずみ

(2) ポアソン比  $\nu$

$$\nu = (\epsilon_{t2} - \epsilon_{t1}) / (\epsilon_e - 0.000 050) \dots \dots \dots (2)$$

ここに,  $\epsilon_{t2}$ : 応力  $S_2$  によって供試体の高さの中央に生じる横ひずみ

$\epsilon_{t1}$ : 応力  $S_1$  によって生じる横ひずみ

式 (1), (2) を用いて, ヤング係数, ポアソン比を計算し, その平均値を圧縮強度の平均値と併せて表-6 にまとめる。

5.3.2 緊張作業

PC 鋼材は図-3 に示すように円周方向に PC ストランド  $\phi 21.8\text{mm}$  (19 本より) を 41 段, 子午線方向に PC 鋼棒  $\phi 32\text{mm}$  を 18 本配置した。なお, 端部緊張力は, 円周方向 45.3 t/ケーブル, 経線方向 63.7 t/本であった。

各ブロックのコンクリート打設日, PC 鋼材の緊張日, および円周方向ケーブル緊張日における各ブロックコンクリートの養生日数を図-12 にまとめる。

5.3.3 ひずみ, 温度の測定結果

コンクリートのひずみと温度の測定結果のうち, ひずみ計 No. 19 と No. 20 のデータを図-13 に示す。図中の外気温 (最高, 最低) は, 現場内に設置されている百葉箱で日中に測定された気温である。

図-13 より, プレストレッシングにより確実に圧縮ひずみが増加していること, この圧縮ひずみも子午線方向より円周方向の方が大きいことがわかる。また, コンクリートの温度は, 打設後 6 日以後, 外気温の変化の範囲内にあり, 温度変化に追従してひずみも変化している。なお, No. 19, No. 20 以外のデータも, プレストレッシングの影響をうけることの少ないフーチング部に埋設されたひずみ計を除いて, ほぼ同様な傾向を示していた。

5.4 プレストレス導入量

5.4.1 コンクリート応力の計算

プレストレッシングによる応力は, 壁法線方向の応力

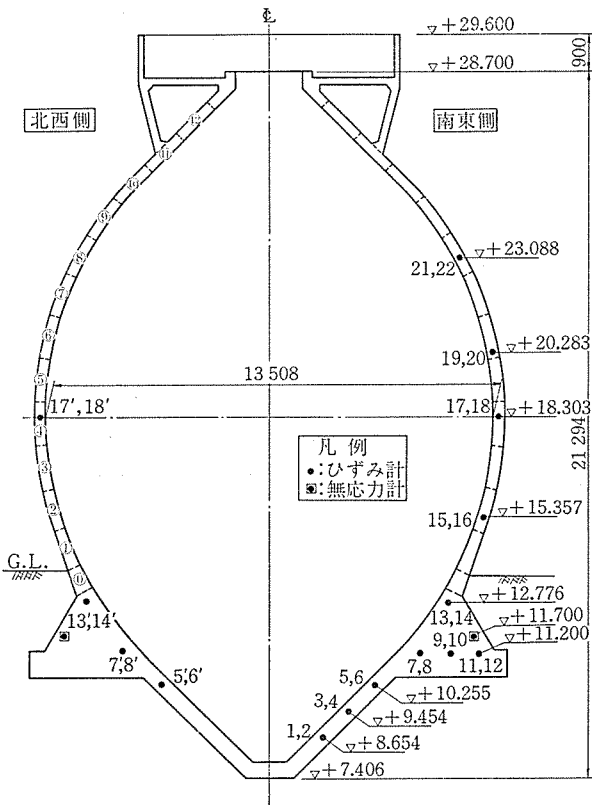


図-11 ひずみ計配置図 (タンク側面)



写真-18

測定用供試体 (150 mm × 300 mm) は, フーチング部コンクリート打設時に 15 個採取し, 材令 3 日, 7 日, 14 日, 28 日, 82 日 (タンク躯体コンクリート打設終了時) の各時点で測定した。供試体表面にひずみゲージをはりつけ, 2 回繰返し荷重 (最大荷重は破壊荷重の 40% 程度とする) をかけた。また, 載荷速度は, 毎秒 2~3 kg/cm<sup>2</sup> で連続して載荷した。

5.3 測定結果

5.3.1 ヤング係数, ポアソン比の測定値

ヤング係数, ポアソン比は次式で計算する。

(1) ヤング係数  $E$  (kg/cm<sup>2</sup>)

コンクリート打設	ブロックNo.	円周方向ケーブル配置	子午線方向鋼棒配置と緊張日	円周方向ケーブルの緊張日 (緊張日におけるコンクリート養生日数)
	11/29	12	CV1, CV2 12/1	
	11/29	11		
	11/24	10	CH1	12/4 (10)
	11/20	9		12/3 12/4 (13) (14)
側壁部	11/14	8	CV3 11/16	11/30 12/3 (16) (19)
	11/8	7		11/30 12/3 (22) (25)
	11/2	6		11/19 12/3 (17) (31)
	10/28	5		11/19 11/30 (22) (33)
	10/23	4		11/8 11/19 (16) (27)
	10/17	3		11/2 11/3 11/8 11/19 (16) (17) (22) (33)
	10/12	2		10/27 11/8 (15) (27)
	10/6	1		10/26 11/2 (20) (27)
	9/22	0		10/26(34) 11/2(41)
	リング基礎部	9/13		
9/8				
8/31				
底版部	8/27			
	8/20			

図-12 緊張順序

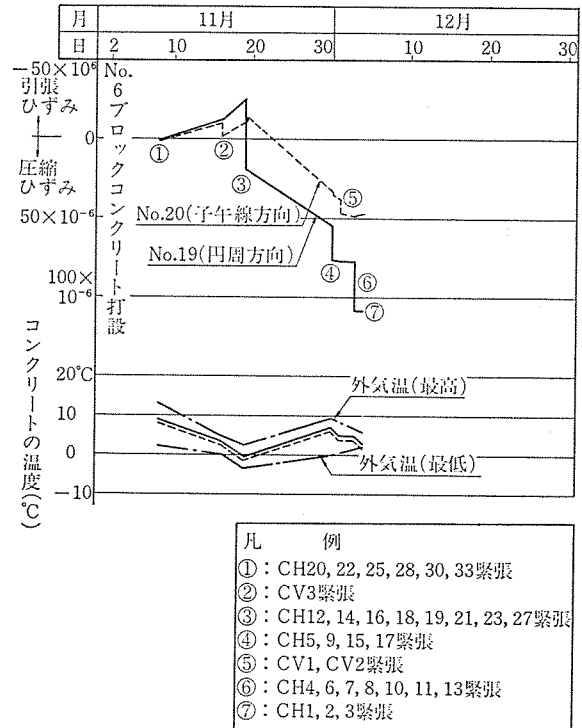


図-13 ひずみ、温度測定結果

はすべてゼロとした平面応力状態を考え、次式より計算する。

$$\sigma_T = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_T + \nu \epsilon_Z) \dots\dots\dots (3)$$

$$\sigma_Z = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_Z + \nu \epsilon_T) \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 $\sigma_T$  : 円周方向の応力度

$\sigma_Z$  : 子午線方向の応力度

$\epsilon_T$  : 円周方向のひずみ

$\epsilon_Z$  : 子午線方向のひずみ

なお、ヤング係数、ポアソン比は、材令 14 日、28 日、82 日で大きな差のないこと (表-6)、および円周方向ケーブル緊張時における養生日数が 10 日~41 日であること (図-12) から、材令 28 日の値、 $E=362000 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\nu=0.193$  を使用する。

#### 5.4.2 プレストレス導入量測定結果

プレストレス導入時のひずみ測定は、円周方向ケーブルを 1 段緊張すると、子午線方向鋼棒を 3 本緊張することに行った。また、コンクリートの温度は、1 日の緊張作業で緊張前後に測定した。この間の温度変化は小さかったため、緊張前後でのひずみの差はすべてプレストレスによるものと考えて式 (3)、(4) より応力を計算する。

以上の方法により、全ケーブル・鋼棒緊張によるプレストレス導入量を求め、計算値と併せて図-14、15 にまとめる。図-14 は円周方向プレストレスによる応力度を、図-15 は子午線方向プレストレスによる応力度

を示す。なお、計算値は、PC鋼材の摩擦係数を  $\mu=0.3$ 、 $\lambda$  はストランドで  $\lambda=0.004$ 、鋼棒で  $\lambda=0.003$  として求めている。また、子午線方向プレストレスによる円周方向応力度の計算値は 0 と考えている。

5.4.3 考 察

(1) 円周方向プレストレスによる円周方向応力度 ( $P_{TT}$ )

全体的に、実測値は計算値より大きくなっているが、応力度の分布傾向はよく合っている。実測値が計算値より大きくなった理由としては、PCケーブルの伸び量より推定した摩擦係数が  $\mu=0.15$  前後と計算値で採用した値のほぼ半分ぐらいであったこと、および、PCケーブル3段のうち2段の定着部がひずみ計の埋設されている位置の近くにあること、等が考えられる。

なお、紙面の都合で、途中段階でのプレストレス導入量を示すことはできなかったが、そのデータによると、1段のケーブルを緊張することによるひずみの影響範囲は、フーチング部を除けば、ケーブルの上下約 2.0~2.5 m であった。

(2) 円周方向プレストレスによる子午線方向応力度 ( $P_{Tz}$ )

計算では、側壁部にはほとんど応力が加わらないのに対し、実測では圧縮応力が加わっている。また、この圧縮応力も側壁上部の方が下部より大きい。この理由としては、図-12 よりわかるように、ひずみ計が大きな影響をうける円周方向ケーブルの緊張日が、上部ではPC鋼棒の緊張後になっており、円周方向ケー

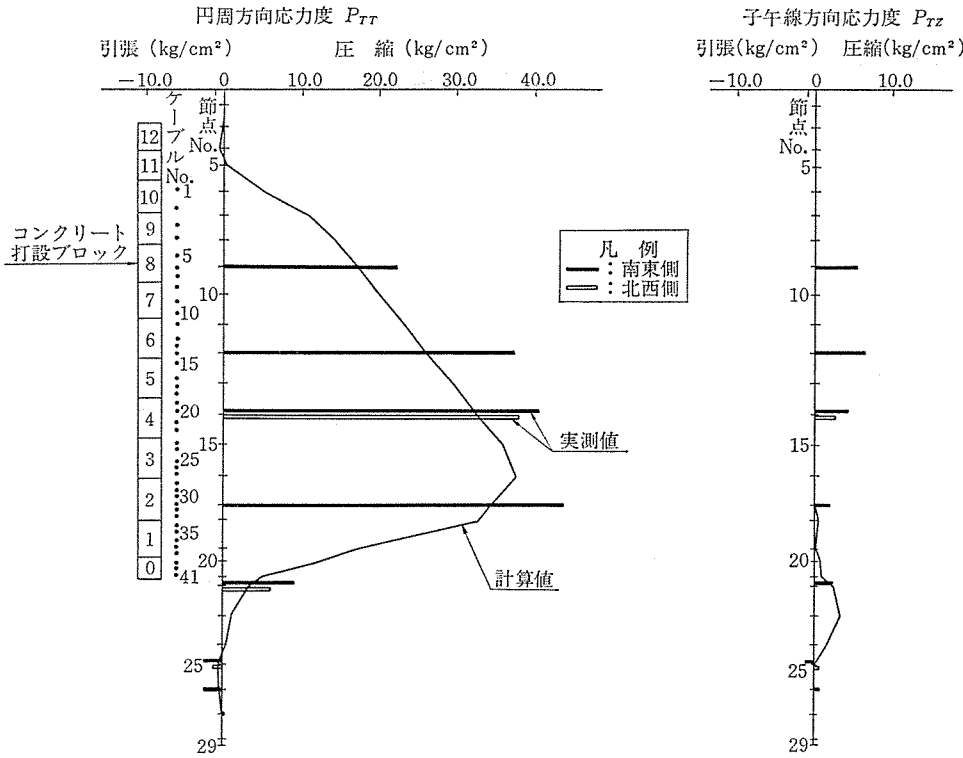


図-14 円周方向プレストレスによる応力度

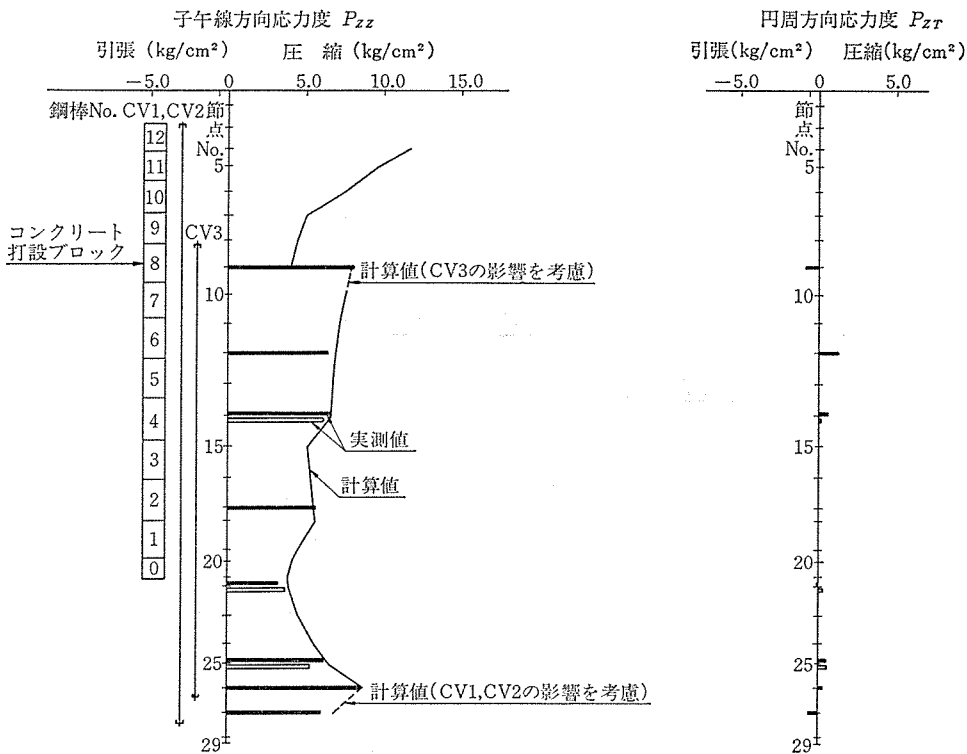


図-15 子午線方向プレストレスによる応力度

◇報 告◇

ブル緊張時に、子午線方向に PC 鋼棒緊張による拘束が加わったことが考えられる。

(3) 子午線方向プレストレスによる子午線方向応力度 ( $P_{zz}$ )

節点 No. 9 と No. 27 を除くと計算値と実測値はよく合っている。計算値は、節点 No. 9 と No. 27 ではそれぞれ 図-3 に示す CV 3, CV 1・CV 2 緊張による影響を入れてないが、実測ではこの影響の入っていることがわかる。この影響をとり入れた計算値を破線で示すが、いずれもよく合ってくる。

なお、PC 鋼棒の伸び量より推定した摩擦係数は 3.7 で述べたように 0 に近い値を示した。この値を用いると 図-15 の計算値はもう少し大きくなり、実測値は計算値より小さくなる。しかしながら、 図-15 で計算値と実測値の傾向がよく合っていることを考えると、見かけのヤング係数が伸び量計算に用いた鋼棒のヤング係数より小さく、実際の摩擦係数は 0 に近い値よりも大きいものと推定される。

(4) 子午線方向プレストレスによる円周方向応力度 ( $P_{zz}$ )

全体に値は小さく、 $P_{Tz}$  のような明瞭な傾向は認められない。これは、 $P_{TT}$  の実測値が最大で約  $44 \text{ kg/cm}^2$  であるのに対し、 $P_{zz}$  の実測値は最大で約  $9 \text{ kg/cm}^2$  と  $P_{TT}$  の 1/5 ぐらいの大きさしかないことによるものと考えられる。設計計算では  $P_{zT}$  は 0 としており、この判断は妥当であったことがわかる。

## 6. おわりに

これまで、我が国で実績のない、また寒冷地での初めての PC 卵形消化槽について、設計・施工報告をしたが、施工面について言えば、型枠支材や内外足場および作業環境等検討すべき点が多々あり、設計面についても、鉄筋やケーブル配置、埋込み配管、各種ピットの形状等、更に工夫をすべき点もいくつか見受けられた。

将来、これまでの資料をもとに、更に入念な設計と施工の検討を加えるならば、より良い品質管理、効率的な労務管理、適切な工程管理が行えると確信している。

最後に本工事の設計、施工にあたり御指導、御協力いただいた関係各位に感謝の意を表します。

【昭和 60 年 1 月 21 日受付】

---

◀刊行物案内▶

## PC 定 着 工 法

(1982 年改訂版)

本書は、現在我が国において多く用いられている PC 定着工法 19 種についてとりあげ、それぞれの工法の概要、構造、施工法、特長、注意事項などを解説したものであります。

設計者、施工者の利用とともに教育用テキストなどにも広く使用できることと思います。

また付録として PC 鋼材一覧表 (改訂版) 等を添付してあります。

ご希望の方は代金を添え (現金書留かまたは 郵便振替東京 7-62774) プレストレストコンクリート技術協会宛 (電 03-261-9151) お申し込みください。

体 裁 : B 5 判 94 頁

定 価 : 2,800 円 (会員特価 2,500 円)

送 料 : 350 円