

大型PCサージタンクの施工

馬 場 勇 実* 小 林 一 雄**
竹 内 直 彦***

要 約

現在、奥矢作第一発電所で施工中の放水路調圧水槽は、高さ51.07m、内径15.80mで、下端支承条件が固定のフレンネー方式のPC構造物であって、我国最大級の円筒形PC構造物である。

本工事の特徴は、

- 1) 底盤部及び壁厚1.8m部分で、施工途中に発生するコンクリート硬化熱によるひびわれを防止するため、円周方向を3分割して施工する。
 - 2) 壁体部の施工は、施工性および安全性、コンクリートの品質管理を考慮して、連続コンクリート打設の可能なスライディングフォーム工法を採用したこと
- などである。

ここで問題となるコンクリートの硬化熱による熱応力の測定結果は次号で報告することとし、今回はPCタンクの施工方法について概略を報告する

目 次

- § 1. まえがき
- § 2. 奥矢作第一発電所放水路PC調圧水槽工事について
- § 3. 設計および構造
- § 4. 施工概要
- § 5. あとがき

§ 1. まえがき

中部電力奥矢作揚水発電所は、我国初の二段式純揚水式発電所（出力31.5+78.0=109.5万kW）で、現在昭和55年の運転をめざして鋭意施工中である。

この工事は最大使用水量が234m³/sec と非常に大きいことなどから構造物の規模が大きいこと、設計・施工に高度の技術を導入するなど興味ある点が多い。

当社は第1発電所の施工を担当しているが注目すべき工事としてサージタンクがある。これは内径15.8m、側壁高さ51.7mの円筒形タンクでプレストレストコンクリート工法が採用された。

コンクリートタンクにプレストレス工法を採用したのは米国のW.E.Hewettで1923年、ターンバックルロッド（ $\sigma_y=4,650\text{kg}/\text{cm}^2$ ）でプレストレスを与えた。我国では横

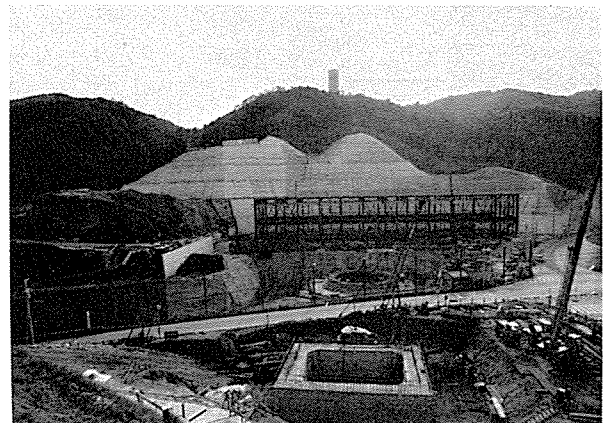


写真-1 奥矢作第一発電所工事（S.53.12）

浜市で施工されたPC水槽が最初で鉛直（PC鋼棒）および円周方向（PCケーブル12φ5）にプレストレスを与えた。

その後、高強度鋼の開発、各種プレストレッシング工法の発達と相まって、大容量の水槽タンクにしばしば用いられてきたが、本工事のPCサージタンクは設計内圧（4.5kg/cm²）、内容積（ $\phi 15.8 \times h 51.07$, 10,000m³）で過去類をみない規模である。

一方、施工法では、スライディング工法による連続コンクリートの打設、基礎コンクリートの特殊な分割施工による硬化熱の処理など高度な技術を採用している。

また、近時、原子炉の格納容器、低温貯槽などに鋼製にかわってPCコンクリートが注目されているがこれに

* 中部(支)奥矢作(出)
** 中部(支)奥矢作(出)所長
*** 中部(支)奥矢作(出)工事係長

先だつ大規模PCタンクの施工という点でも興味がある。

以下、施工方法を中心に奥矢作第一発電所のP Cサー
ジタンク工事を紹介する。

§ 2. 奥矢作第一発電所放水路 P C 調圧水槽工事について

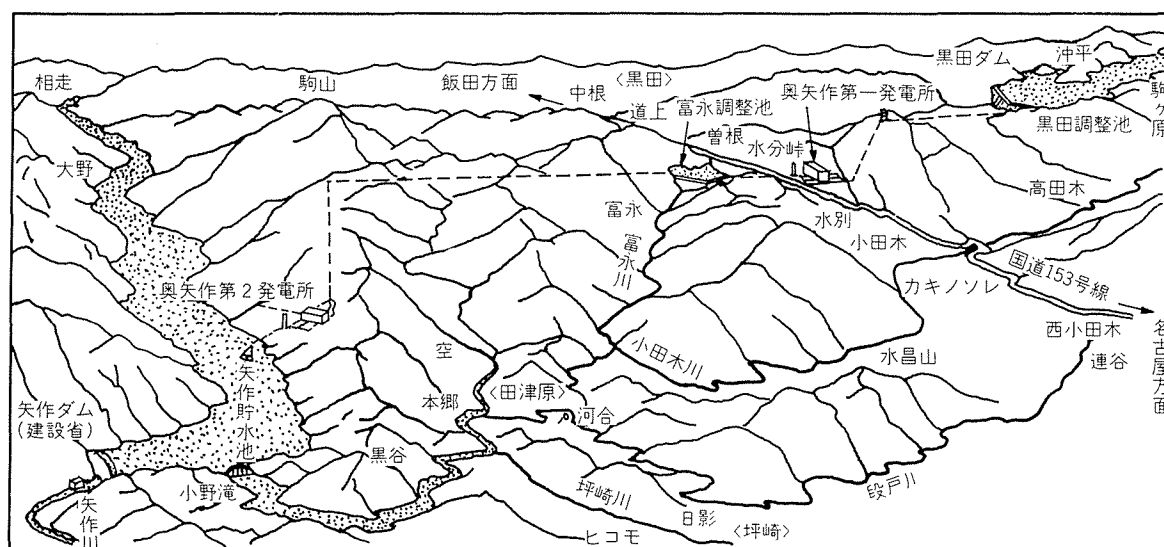
円筒構造物である。

設計諸元は次のとおりである。

型 式 フレシネー方式PC円筒形タンク

内 径 上部15.8m~下部14.6m

壁 厚 上部0.5m~下部1.8m



図一 1 奥矢作揚水発電計画図

表一 奥矢作第一発電所計画の諸元

発 電 所 名 称		奥矢作第一水力発電所
流 域 面 積		上池7.65km ²
貯水池または調整池計画	貯水池調整池	満水水位 総貯水量 有効貯水量 利用水深 868.0m 11,050,000m ³ 10,100,000m ³ 22.0m
	ダム	形式 高さ×頂長 体積 コンクリート重力式（既設黒田ダムかさ上げ） 45.2m×332m 145,000m ³
水路(内径×延長) 発電所(内法寸法)	導水路 導水路サージタンク 鉄管 発電所 放水路サージタンク 放水路	水路 制水口式 埋設式 地上式 制水口上 $\phi 7.3 \sim 6.5 \text{m} \times 1,047.402 \text{m}$ $\phi 18.0 \sim 5.2 \text{m} \times H102.75 \text{m}$ $\phi 6.5 \text{m} \times 465.783 \text{m}$ $18.2 \text{m} \times 82.7 \text{m}$ $\phi 16.0 \sim 5.6 \text{m} \times H58.0 \text{m}$ $\phi 6.8 \text{m} \times 327.892 \text{m}$
	最大有効落差 最大使用水量 最大出力 最大総合出力 発電継続時間	161.1m $78 \text{m}^3 / \text{sec} \times 3 \text{台} = 234 \text{m}^3 / \text{sec}$ $105 \text{MW} \times 3 \text{台} = 315 \text{MW}$ 1.095MW 12hr

奥矢作第一発電所は黒田ダムを上池、富永ダムを下池とし、最大設計水圧 270 m の水圧鉄管を持つ、出力 31.5 万 kW の半地下式発電所である。

この発電所の放水路調圧水槽は、高さ 51.07 m、内径 15.8mのPCコンクリート構造で、わが国最大級のPC

鉛直 P C 鋼材

フレッシュネーケブル 12T15.2

PC鋼棒 (B種1号) $\phi 26$

円周 P C 鋼材

フレッシュケーブル 12T12.7

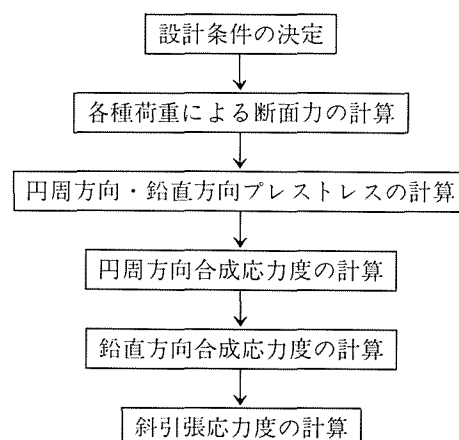
11 11 12ϕ 8

PC鋼より線 1 T21.8

§ 3. 設計および構造

3-1 設計手順

設計手順を簡単に示すと次のとおりである。



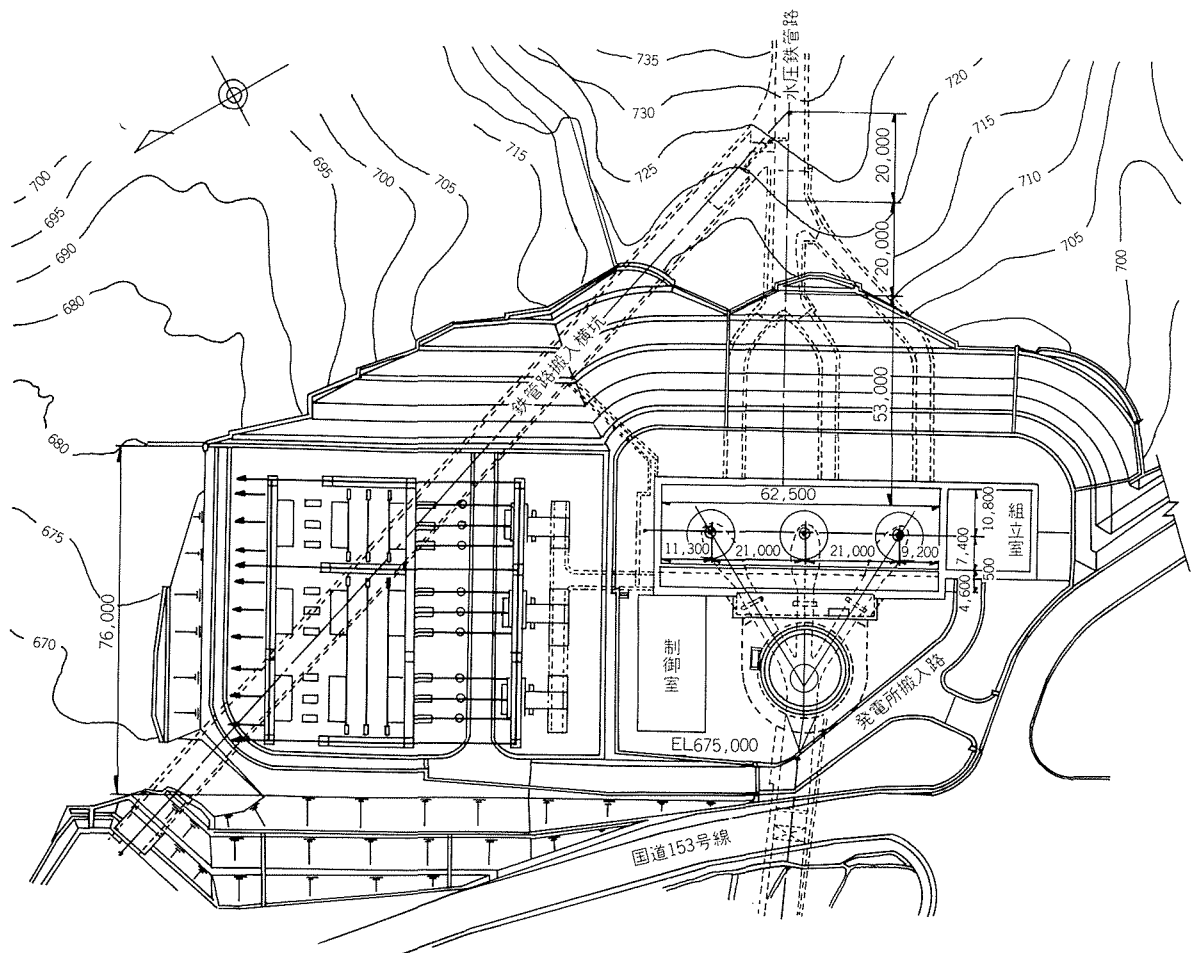


図-2 奥矢作第一発電所付近平面図

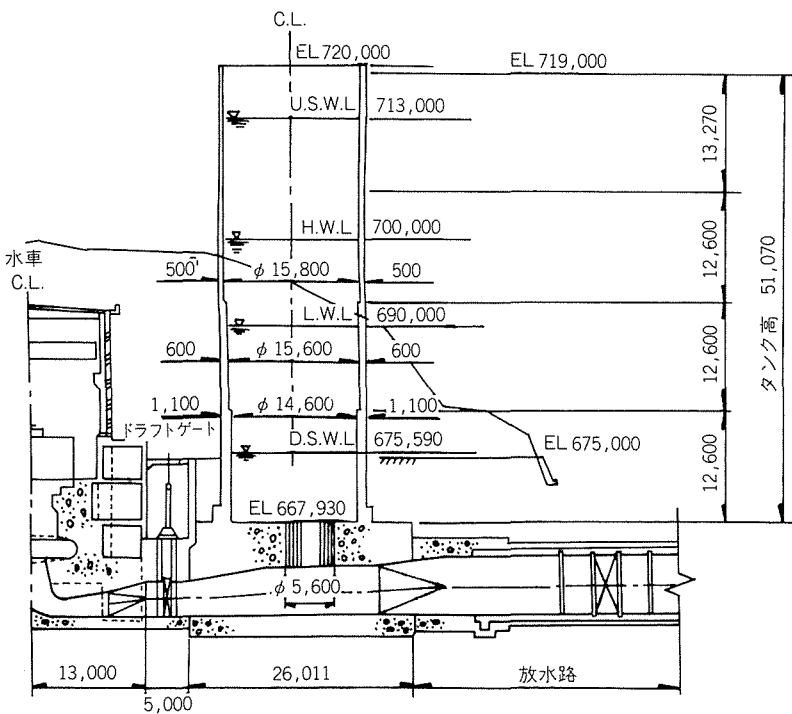


図-3 放水路調圧水槽縦断面図

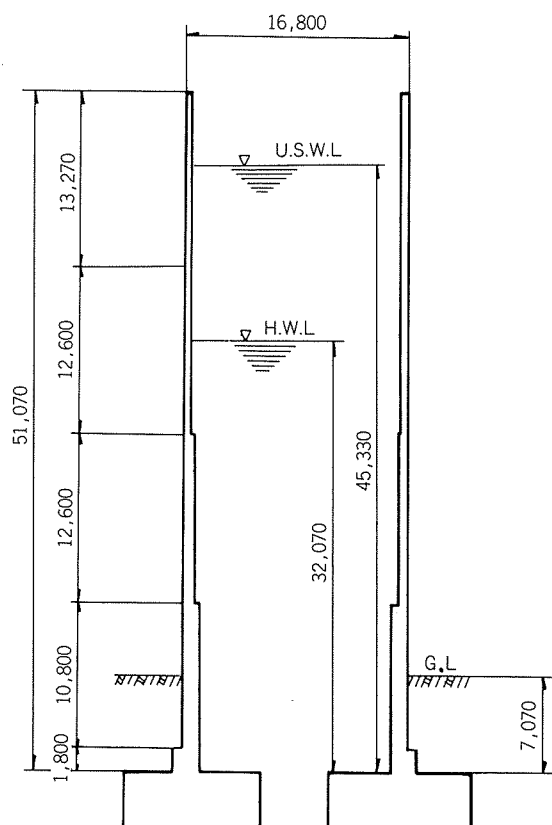
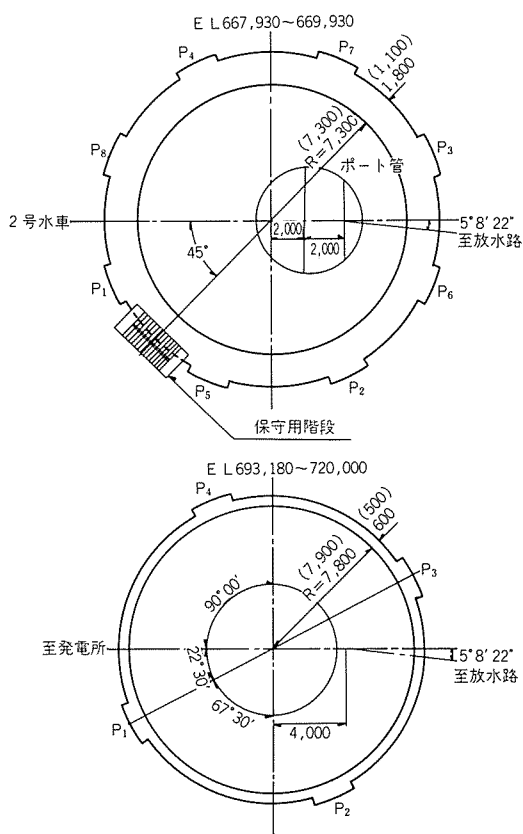


図-4 PCタンク構造寸法図



3-2 設計条件

(1) 構造寸法 (図-4)

(2) 荷重および設計応力度

PCコンクリート単位体積重量 2,500kg/m³

計画最高水位 U.S.W.L. = 45.33m

温度変化 ±10℃

PC鋼材許容応力度：表-2

PCコンクリートの設計基準強度

$$\sigma_{ck} = 350 \text{ kg/cm}^2$$

コンクリートの許容応力度：表-3

鉄筋 (SD35) の許容応力度

常時： $\sigma_{sa} = 1,800 \text{ kg/cm}^2$

地震時： $\sigma_{sa} = 2,700 \text{ kg/cm}^2$

表-2 PC鋼材の許容応力度

鋼材名称	断面積 (cm ²)	引張強度 σ_{pu} (kg/cm ²)	降伏点 応力度 σ_{py} (kg/cm ²)	設計荷重作用時の 許容応力度 $\sigma_{pa} \leq 0.60 \sigma_{pu}$ $\leq 0.75 \sigma_{py}$ の内小さい方の値
PC鋼 より線 12T15.2	16.644	19,700	16,300	11,500
PC鋼 より線 12T12.7	11.8542	19,000	16,000	11,400
PC鋼線 12φ8	6.0324	16,000	14,000	9,600
PC鋼線 1T21.8	3.129	18,700	16,100	11,200
PC鋼棒 φ26	5.188	11,000	9,500	6,600

(土木学会『PC設計施工指針』)

3-3 各種荷重による断面力の計算

一般に複雑な外力をうけるタンクの応力解析は、タンク壁面を鉛直方向に単位幅の帯に切断し、これを弾性支承上の無限長のはりと考え、図-5のような外力Pが作用する微小要素を考えた場合、Z方向のたわみwは

$$\frac{d^4 w}{dx^4} + 4\beta^4 w = \frac{P_z}{D} \dots\dots\dots(1)$$

ここに

$$D = E \cdot t^3 / 12(1 - \nu^2)$$

E：コンクリートの弾性係数 $E = 3.25 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

$$\beta^4 = \frac{3(1 - \nu^2)}{(R + t/2)^2 \cdot t^2}$$

t：壁厚 (m)

R：タンク内径 (m)

ν：ポアソン比 (=0.167)

で求められ、外力によるフープテンション T_x 、曲げモーメント M_x は次式で求まる。

表-3 コンクリートの許容応力度

荷重の 組合せ	荷重の種類と組合せ						許容応力度 (kg/cm ²)			
	プレストレス 荷重直後	有効プレ ストレス	水圧	+10℃	-18℃	USWL	HWL	曲げ圧縮	軸圧縮	曲げ引張
(1) - 1)	○							160	140	
- 2)		○						135	100	(+10)
- 3)			○							
(2) - 1)		○		○				155	115	(+10)
- 2)		○			○					(+10)
- 3)		○	○	○						
- 4)		○	○		○					
(3) - 1)		○				○		135	100	0
- 2)			○			○				0
(4) - 1)		○		○		○		155	115	-20
- 2)		○			○	○				0
- 3)		○	○	○		○				
- 4)		○	○		○	○				
(5) - 1)		○				○		135	100	(+10)
- 2)			○			○				(+10)
(6) - 1)		○		○		○		155	115	(+10)
- 2)		○			○	○				(+10)
- 3)		○	○	○		○				
- 4)		○	○		○	○				
(7)	(4) + 風荷重							200	150	-30
(8) - 1)	(4) + 地震荷重 (水平震度0.1)							200	150	-30
- 2)	(6) + " (水平震度0.2)									0
摘要	i) (+10) は最小圧縮応力度として 10kg/cm ² が必要であることを示す。 ii) 垂直方向応力度の検討の場合はコンクリート自重を加算する。									

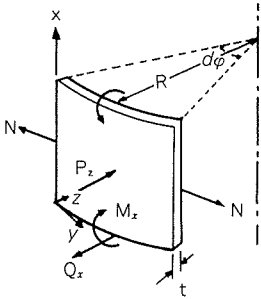
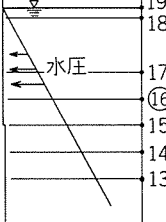
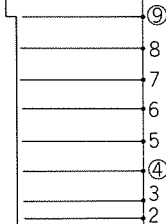


図-5

$$T_x = - \frac{E \cdot t}{R + t/2} \cdot w \dots\dots\dots(2)$$

$$M_x = - D \frac{d^2 w}{dx^2} \dots\dots\dots(3)$$

断面が変化する場合、各節点間の結合条件および荷重条件 (表-4) を用いて各節点毎の断面力を式(1), (2), (3)により計算する。電算による計算結果を図-6に示す。

		節 点 No.	x (m)	常 数	半径R (m)	壁 厚 (m)	水 圧 USWL q ₁ (t/m)	水 圧 H.W.L q ₂ (t/m)	水 圧 γ=1.8t/m ² K=0.4 q ₃ (t/m)	温度上昇 T= +10℃ q ₄ (t/m)	温度下降 乾燥収縮 T= -18℃ q ₅ (t/m)
		28	51.07	E=3,250,000t/m ² , ν = 1/6 = 0.167	8.0	0.4				15.85	-28.54
		27	47.7525		"	"				"	"
		26	45.33		"	"	0			"	"
		25	44.435		"	"	0.895			"	"
U.S.W.L45.33		24	41.1175		"	"	4.213			"	"
		23	39.459		"	"	5.871			"	"
		22	37.8		8.0/7.9	0.4/0.5	7.53			15.85/19.94	-28.54/ -35.89
H.W.L32.07		21	36.225		7.9	0.5	9.105			19.94	-35.89
		20	34.65		"	"	10.68			"	"
		19	32.07		"	"	13.26	0		"	"
		18	31.5		"	"	13.83	0.57		"	"
		17	28.35		"	"	16.98	3.72		"	"
		16	26.775		"	"	18.555	5.295		"	"
		15	25.2		7.9/7.8	0.5/0.6	20.13	6.87		19.94/24.07	-35.89/ -43.33
		14	23.625		7.8	0.6	21.705	8.445		24.07	-43.33
		13	22.05	"	"	23.28	10.02		"	"	
		12	18.9	"	"	26.43	13.17		"	"	
		11	15.75	"	"	29.58	16.32		"	"	
		10	14.175	"	"	31.155	17.895		"	"	
		9	12.6	7.8/7.3	0.6/1.1	32.73	19.47		24.07/45.54	-43.33/ -81.97	
		8	10.8	7.3	1.1	34.53	21.27		45.54	-81.97	
		7	9.0	"	"	36.33	23.07		"	"	
6	7.2	"	"	38.13	24.87	0	"	"			
G.L 7.07		5	5.4	"	"	39.93	26.67	1.2	34.78	-62.61	
		4	3.6	"	"	41.73	28.47	2.5	23.19	-41.74	
		3	1.8	"	"	43.53	30.27	3.79	11.59	-20.87	
		2	0.9	"	"	44.43	31.17	4.44	5.8	-10.43	
		1	0	"	"	45.33	32.07	5.09	0	0	

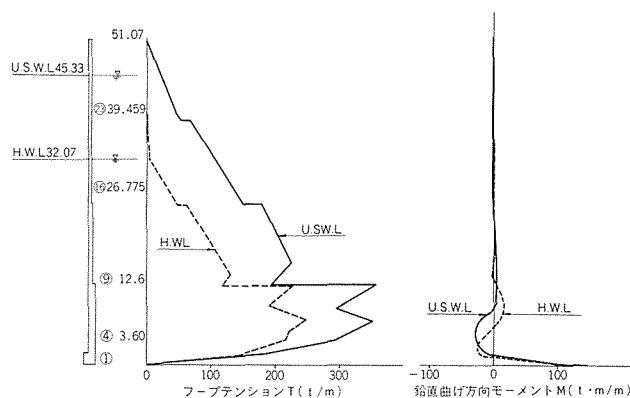


図-6 断面力図

3-4 円周・鉛直方向プレストレスの計算及びPC鋼材の配置

(1)円周方向プレストレス

円周方向プレストレスは、内水圧により生ずるフープテンションに対して、残留圧縮応力度を $10\text{kg}/\text{cm}^2$ としてプレストレスを考えた。PC鋼より線12T 12.7の有効張力 $P_e=100.5(\text{t})$ 、PC鋼より線 $12\phi 8$ の場合、 $P_e=43.6\text{t}$ 、PC鋼線1 T 21.8は $P_e=27.3\text{t}$

で、各点での円周方向のPCケーブルのピッチ及び本数を図-7に示す。

(2)鉛直方向プレストレス

側壁に作用する曲げモーメントに抵抗させるため鉛直方向プレストレスを図-8のように配置した。但し各区間の鉛直方向有効プレストレス量は、

$$A : \sigma_{pe} = 63.1\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$B : \sigma_{pe} = 45.2\text{kg}/\text{cm}^2$$

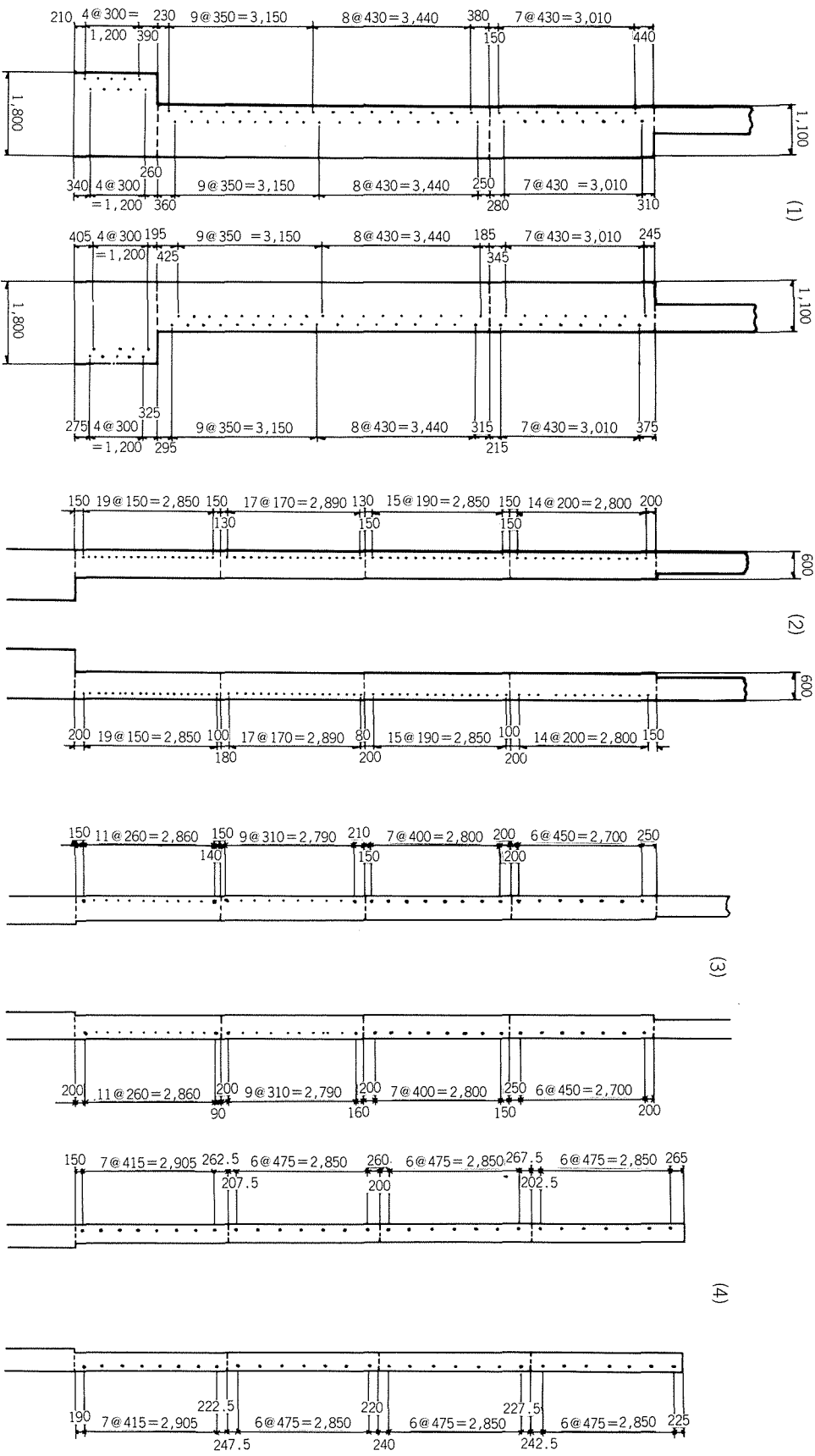
表-5 円周方向、鉛直方向合成応力度

節点 No	壁厚 (m)	円 周 方 向 合 成 応 力 度					
		有効 プレストレス $\sigma(\text{kg}/\text{cm}^2)$	U・S・W・L case(4)		H・W・L case(6)		
			フープ テンション $\sigma(\text{kg}/\text{cm}^2)$	合成応力度 $\Sigma\sigma$	フープ テンション $\sigma(\text{kg}/\text{cm}^2)$	合成応力度 $\Sigma\sigma$	
28	0.40	13.0	- 0.1	12.9	0	13.0	
27		13.0	0.2	13.2	0	13.0	
26		12.9	- 1.0	11.9	0	12.9	
25		12.9	- 1.9	11.0	0	12.9	
24		13.5	- 8.7	4.8	0	13.5	
23		14.8	-11.8	3.0	0	14.8	
22		16.1	-13.8	2.3	- 0.1	16.0	
22	0.50	16.2	-13.8	2.4	- 0.1	16.1	
21		17.3	-15.1	2.2	0.1	17.4	
20		19.5	-17.3	2.2	0.1	19.6	
19		23.9	-21.7	2.2	- 1.0	22.9	
18		24.9	-22.6	2.3	- 1.2	23.7	
17		30.0	-27.9	2.1	- 6.1	23.9	
16		32.1	-29.6	2.5	- 8.4	23.7	
15	0.60	33.7	-29.9	3.8	-10.2	23.5	
15		33.2	-29.9	3.3	-10.2	23.0	
14		33.6	-29.9	3.7	-11.6	23.0	
13		35.2	-31.3	3.9	-13.5	21.7	
12		38.9	-36.0	2.9	-18.0	20.9	
11		44.9	-39.8	5.1	-22.0	22.9	
11		43.8	-39.8	4.0	-22.0	21.8	
10	1.10	43.5	-37.6	5.9	-21.6	21.9	
9		42.4	-32.7	9.7	-19.7	22.7	
9		40.6	-32.7	7.9	-19.7	20.9	
8		40.5	-27.9	12.6	-17.5	23.0	
7		43.8	-26.6	17.2	-17.1	26.7	
7		43.4	-26.6	16.8	-17.1	26.3	
6		48.5	-32.1	16.4	-22.5	26.0	
5	1.80	48.3	-29.8	18.5	-20.4	27.9	
4		37.6	-26.6	11.0	-19.0	18.6	
3		17.9	-16.7	1.2	-13.2	4.7	
3							
2	1.80						
1							

(注) 節点No22~28間の壁厚は、本表では0.4mとなっているが、実際には施工性、外観上などにより0.5mに変更した。

節点 No.	壁厚 (m)	鉛 直 方 向 合 成 応 力 度									
		有効プレストレス+ 自重 (kg/cm ²)		U・S・W・L case(4)				H・W・L case(6)			
				曲げ応力度(kg/cm ²)		合成応力度		曲げ応力度		合成応力度	
		外	内	外	内	外	内	外	内	外	内
28	0.40	11.1	11.1	0	0	11.1	11.1	0	0	11.1	11.1
27		11.9	11.9	0.2	- 0.2	12.1	11.7	0	0	11.9	11.9
26		12.5	12.5	0.7	- 0.7	13.2	11.8	0	0	12.5	12.5
25		12.8	12.8	0.9	- 0.9	13.7	11.9	0	0	12.8	12.8
24		12.9	14.3	- 0.3	0.3	12.6	14.6	0	0	12.9	14.3
23		14.4	13.6	- 1.0	1.0	13.4	14.6	0.1	- 0.1	14.5	13.5
22		13.3	15.5	0	0	13.3	15.5	0	0	13.3	15.5
22	0.50	15.6	17.0	0	0	15.6	17.0	0	0	15.0	17.0
21		15.6	17.6	0.8	- 0.8	16.4	16.8	- 0.1	0.1	15.5	17.7
20		16.5	17.5	0.3	- 0.3	16.8	17.2	0.2	- 0.2	16.7	17.3
19		17.7	17.7	0.1	- 0.1	17.8	17.6	0.9	- 0.9	18.6	16.8
18		17.8	17.8	0	0	17.8	17.8	1.0	- 1.0	18.8	16.8
17		19.1	18.1	- 0.7	0.7	18.4	18.8	- 0.3	0.3	18.8	18.4
16		20.0	18.0	- 1.7	1.7	18.3	19.7	- 0.7	0.7	19.3	18.7
15	0.60	18.7	20.1	0.3	- 0.3	19.0	19.8	- 0.1	0.1	18.6	20.2
15		16.1	17.1	0.2	- 0.2	16.3	16.9	- 0.1	0.1	16.0	17.2
14		15.7	18.3	1.6	- 1.6	17.3	16.7	0.5	- 0.5	16.2	17.8
13		16.9	17.9	0.8	- 0.8	17.7	17.1	0.3	- 0.3	17.2	17.6
12		17.9	18.5	0.1	- 0.1	18.0	18.4	0.1	- 0.1	18.0	18.4
11		20.0	18.0	- 4.0	4.0	16.0	22.0	- 2.4	2.4	17.6	20.4
11		24.2	22.2	- 4.0	4.0	20.0	26.2	- 2.4	2.4	21.8	24.6
10	1.10	20.9	26.3	- 5.3	5.3	15.6	31.6	- 3.3	3.3	17.6	29.6
9		20.0	28.0	9.4	- 9.4	29.4	18.6	5.4	- 5.4	25.4	22.6
9		25.7	28.1	2.8	- 2.8	28.5	25.3	1.6	- 1.6	27.3	26.5
8		23.9	30.7	7.0	- 7.0	30.9	23.7	4.5	- 4.5	28.4	26.2
7		25.6	30.0	8.1	- 8.1	33.7	21.9	6.8	- 6.8	32.4	23.2
7		48.5	52.9	8.1	- 8.1	56.6	44.8	6.8	- 6.8	55.3	46.1
6		52.9	49.3	8.1	- 8.1	61.0	41.2	8.1	- 8.1	61.0	41.2
5	1.80	63.4	39.8	-11.6	11.6	51.8	51.4	- 9.4	9.4	54.0	49.2
4		72.7	31.3	-13.2	13.2	59.5	44.5	- 9.6	9.6	63.1	40.9
3		55.1	49.9	-11.9	11.9	43.2	61.8	-11.1	11.1	44.0	61.0
3		68.6	66.6	- 4.5	4.5	64.1	71.1	- 4.1	4.1	64.5	70.7
2		56.5	79.1	11.2	-11.2	67.7	67.9	9.0	- 9.0	65.5	70.1
1		35.5	100.5	27.3	-27.3	62.8	73.2	21.0	-21.0	56.5	79.5

(注) 有効プレストレスは、鉛直方向PC鋼材による応力度と円周方向PCケーブルによる応力度を合成したものである。



圖一 7 円周方向 P C 鋼材配置図

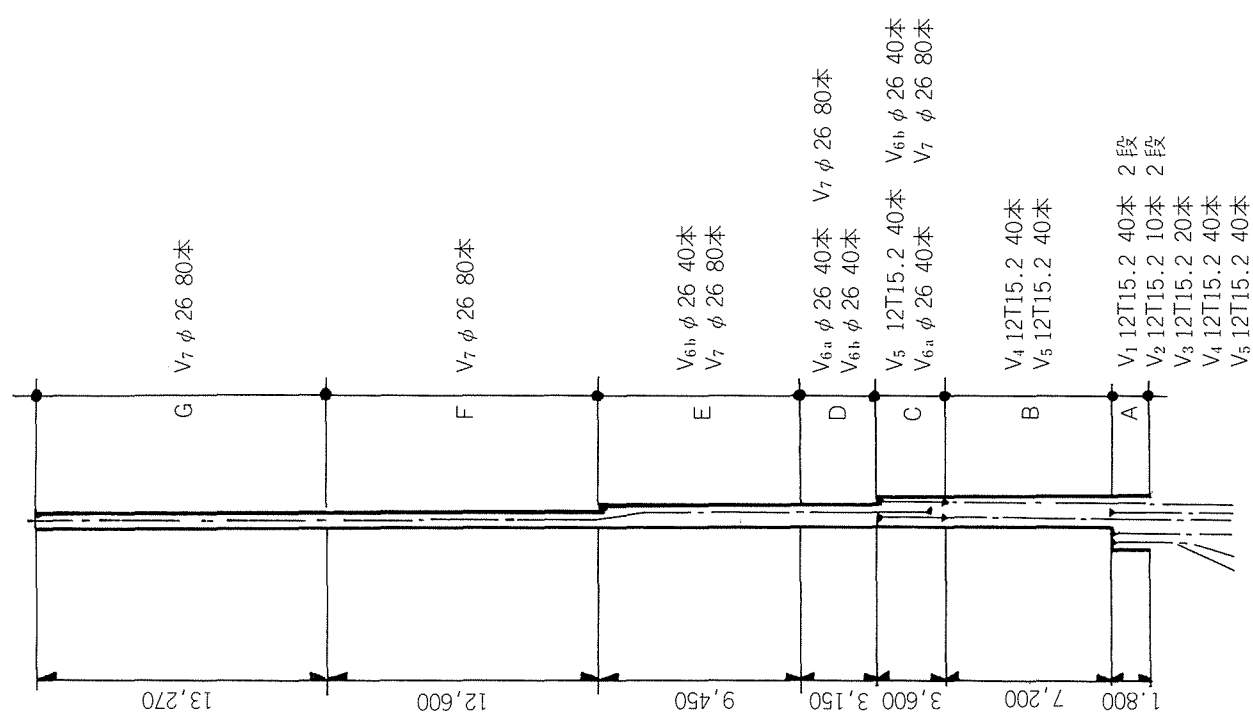


図-8 鉛直方向P C鋼材配置図

$$C : = \sigma_{pe} = 22.3 \text{ kg/cm}^2$$

$$D : = \sigma_{pe} = 15.8 \text{ kg/cm}^2$$

$$E : = \sigma_{pe} = 11.6 \text{ kg/cm}^2$$

$$F : = \sigma_{pe} = 13.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$G : = \sigma_{pe} = 11.1 \text{ kg/cm}^2$$

である。

(3)合成応力度

円周方向、鉛直方向についてはU S W L及びH W Lの場合の応力状態は表-5のとおりである。

§ 4. 施工概要

4-1 概要

本水槽は、昭和53年8月下旬より基礎工の施工を開始し、昭和54年3月現在で壁体部 $t = 1.1 \text{ m}$ 部の施工中である。当現場は、第一発電所新設工事及び付帯設備工事等の施工により、材料置場及び鉄筋加工場等のスペースが設けられず、現場から300 m程はなれた場所に配置し必要な材料のみトラックで現場に搬入しタワークレーンでタンク施工箇所に吊上げる。スライド用型枠は重鉛メッキを施したメタルフォームを使用した。また、施工においては特に下部の壁体の厚い部分において、主に施工途中に発生する硬化熱によるひびわれを防止する為、図-10のように円周方向に3分割目地を設けて施工した。また、主要材料は、表-6(1), (2)に示す。

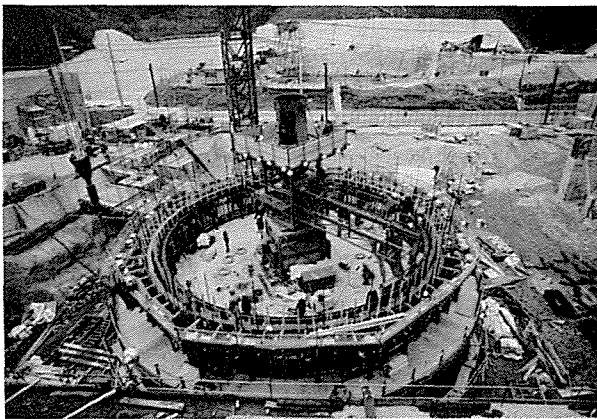


写真-2 施工現場状況 (S54.3)

4-2 施工順序

概略の施工順序は

- ①基礎工
- ②壁体部 壁厚 $t = 1.80 \text{ m}$ 部施工
- ③~⑧ 壁厚 $t = 1.10 \text{ m} \sim 0.50 \text{ m}$ 施工
- ⑨回廊部施工
- ⑩防水工、量水標設置工
- ⑪保守用階段設置工

であり、工程(計画)は表-7のとおりである。

表-6(1) 調圧水槽主要材料表

		単位	基礎	円筒		回廊	合計	備考
				本体	後打ち			
コンクリート	$\sigma_{ca} = 350 \text{ kg/cm}^2$ (普通)	m^3		1,509			1,509	
	" (中濃熱)	"	2,232	497			2,729	
	$\sigma_{ca} = 240$	"			31	36	67	
	合計	"	2,232	2,037		36	4,305	
	固定枠	m^2	352	383	348	249	1,332	
型枠	始動枠	"		5,073			5,073	
	目地枠	"	141	10			151	
	合計	"	493	5,814		249	6,556	
	鉄筋	t	51,347	182,399		3,396	237,142	
P C 鋼材	P C 鋼線	"		119,013			119,013	シース定着体 別紙参照
	P C 鋼棒	"		19,760			19,760	"

表-6(2) P C 鋼材及び関係材料表

		単位	円周方向	垂直方向	備考
P C 鋼材	12T15.2	kg		54,378	
	12T12.7	"	50,328		
	12 ϕ 8	"	10,196		
	1T21.8	"	4,111		
	ϕ 26	"		19,760	B種1号
シース	12T15.2用	m		3,713.2	スバイラル直線部 2742.8 円弧部 970.4 鋼管90A
	12T12.7用	"	5,173.9		ϕ 65
	12 ϕ 8用	"	2,043.9		ϕ 50
	1T21.8用	"	1,615.0		ϕ 35
	ϕ 26用	"		4,583	ϕ 35
	12T15.2用 カップラーシース	個		400	
	トランベット シース				
	ϕ 26定着部用	"		320	
	カップリング部用	"		200	
	12T15.2用	"		400	
定着体	12T12.7用	"	372		
	12 ϕ 8用	"	148		
	1T21.8用	"	116		
	ϕ 26用	"		640	
	カップラー (ϕ 26用)	"		520	

4-3 基礎工

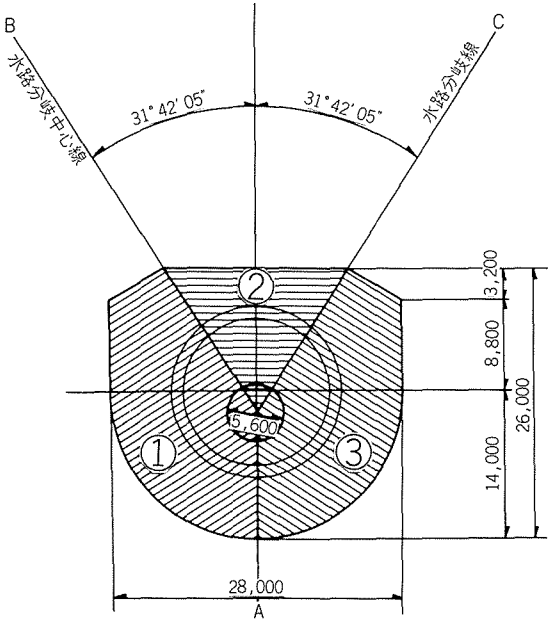
Uターンシースの配置及び鉄筋、型枠等の組立完了後基礎コンクリートを打設する。打設方法は、コンクリート硬化時の熱応力による収縮クラックの発生を防止する為、コンクリートの打設高を約1.0m~1.4mとして、垂直方向に3分割(図-9)し、水平方向にI, II, III(図-10)の3分割して施工する。

この分割目地部には、継目計を埋設してコンクリートが最も収縮した時点(計測の結果では0.5~1.0mmのひらきがあった)で樹脂グラウト(クリートボンド#1)を注入して漏水を防止した。

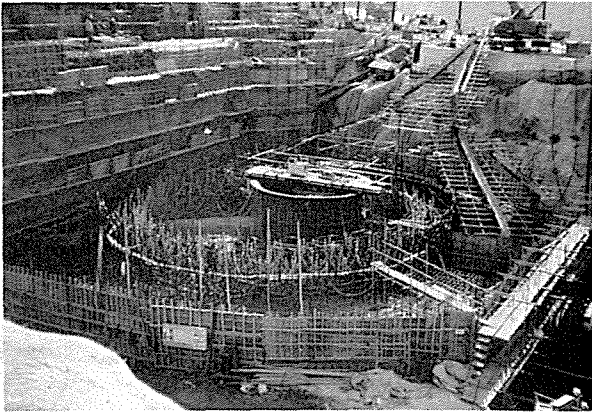
なお、P C ケーブル(鉛直方向)のアンカー方式は、デッドアンカー方式では、①ケーブルの後そう入が困難である。②Uターン方式と比べて2倍の定着金物が必要であるなどのためUターン方式が採用された。(図-11, 写真-4, 5)

表－7 奥矢作第一発電所放水路P C 調圧水槽工事工程表（計画）

年 月 日 工種、名称	年	53												54												55	
	月 日	8 31	9 30	10 31	11 30	12 31	1 31	2 28	3 31	4 30	5 31	6 30	7 31	8 31	9 30	10 31	11 30	12 31	1	2							
仮 設 備 工																											
スライディング フォーム組立																											
基 礎 工	2,500m³																										
壁 体 工	壁厚 1,800	1,800× 1,800																									
	壁厚 1,100	1,100× 12,600																									
	壁厚 600	600× 12,600																									
	壁厚 500	500× 12,600																									
	壁厚 400	400× 13,270																									
回 廊 工																											
防 水 工																											
保守用梯子工																											
保守用階段工																											
量 水 標 工																											
天 蓋 工																											
跡 片 付 工																											



図－9 底盤部垂直方向3分割方法（平面）



写真－3 基礎施工状況

4－4 壁体工

(1)壁厚 t = 1.80 m 部

固定型枠はメタルフォーム300×1,800を図－13のように組立てる。但しフォームタイによる漏水を防止するために、内側と外側の型枠を直接フォームタイで連結せず、基礎面にあらかじめ内側と外側とは別個に、差し筋を配置して、これにフォームタイを溶接した。

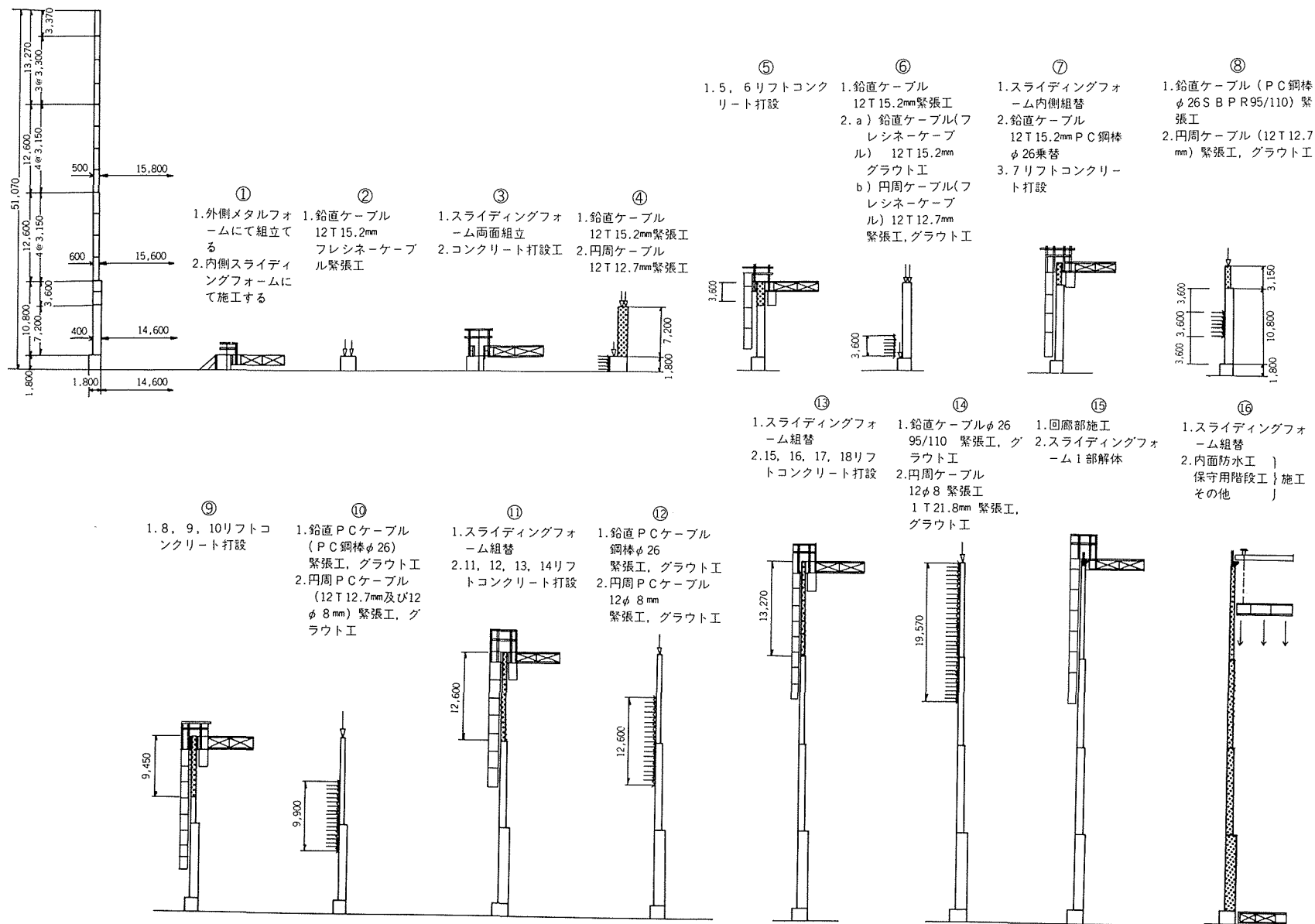


図-12 壁体工施工要領図

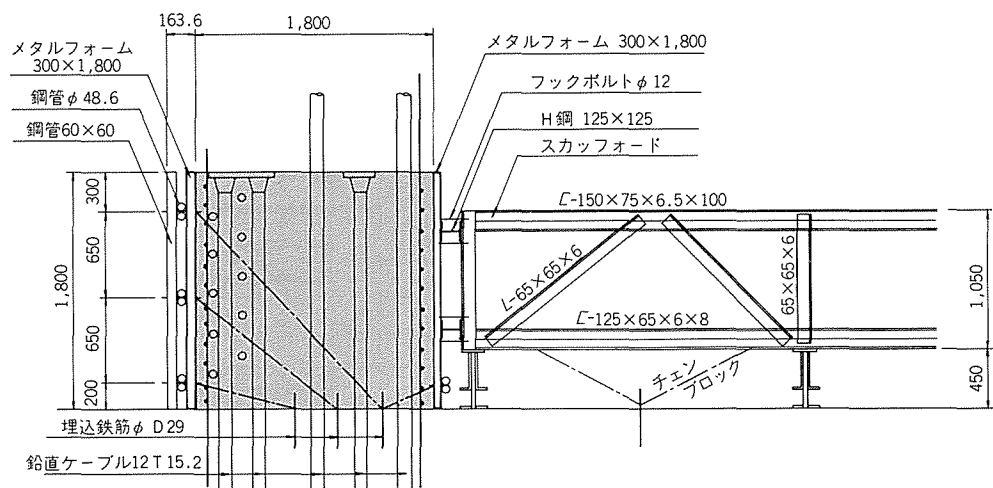


図-13 t=1.8m部型枠組立図

また、基礎部と同様、収縮クラック防止の為、平面でみて円周方向に3分割して、壁面に直角に分割目地を設けた。コンクリート打設は各ブロック毎1日おきに垂直に3回に分けて施工した。また各分割目地には塩ビ止水板を施した。

(2) 壁厚 $t = 1.10\text{m} \sim 0.50\text{m}$ 部

側壁の固定型枠として壁面内側にメタルフォーム $300 \times 1,500$ を組み立て、壁面外側のハンチ部分は木製型枠を加工して組立てる。

この上にスライド用型枠として、壁面内側にはメタルフォーム $300 \times 1,200$ (亜鉛メッキ塗) を、壁面外側にはメタルフォーム $300 \times 1,500$ (亜鉛メッキ塗) を組み立てる。(図-18)

4-5 仮設備

a) タワークレーン (JCC180) 1基

作業能力：作業半径30m、吊荷重6t

目的：鉄筋、PC鋼材、生コンクリート等諸材料の吊上げ作業

b) エレベーター (YEライザー600型) 1基

作業能力：最大積載量600kg、塔乗人員9人

目的：外面の防水塗装

c) 電動式ゴンドラ1基

作業能力：最大積載量378kg

目的：内面の防水塗装、インサートの仕上げ

d) スライディングフォーム

油圧ジャッキ 7.5t 48台

電動ポンプ 0.75KW×48台

e) 門型クレーン1基

作業能力：最大吊荷重 2.8t

目的：鉄筋ヤードの諸材料の積み込みおよび吊降し

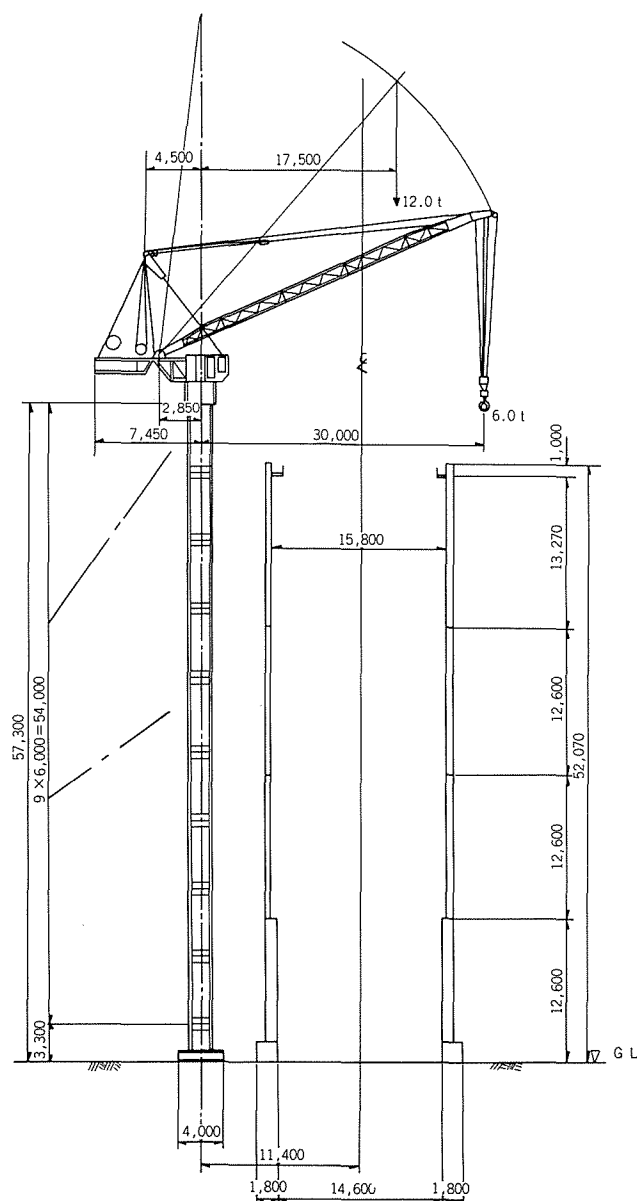


図-14 JCC180 t m組立姿図

表-8 使用機器一覧表

機 械 名	規 格	台 数	昭 和 53 年					昭 和 54 年										
			8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1 タワークレーン	Jcc180tm	1																9
2 スライディングジャッキ	KSH-15	48																392
3 同上ポンプユニット	0.75KW	48																392
4 フレッシュネージャッキポンプ	12T15.2用	8																32
5 "	12T12.7用	8																32
6 "	12φ8用	8																40
7 SMジャッキポンプ	1T21.8用	4																4
8 センターホールジャッキ	φ26用	2																12
9 同上ポンプ		2																12
10 グラウトミキサー	6KW	2																16
11 同上ポンプ	4KW	2																16
12 ヤードクレーン	2.8t吊	1																12
13 コンプレッサー	15KW	1																12
14 高圧洗浄機	5KW	1																12
15 鉄筋切断加工機	7.4KW	1																12
16 ボイラー	3KW	1																4
17 バイブレーター	0.75KW	18																12
18 ベルトコンベアー	1.5KW	2																18
19 揚水ポンプ	2.75KW	2																24

4-6 スライディングフォーム工法

コンクリートを連続的に打設することによって工期を短縮し工事を経済的に行うことができる。また、構造物の弱点となる打継目をさけることができる。スライディングフォーム工法はコンクリートの連続打設用に考案された工法で、水槽のような構造物に、しばしば使用される。本工事では図-15に示すスライディングフォームを用いて、工期の短縮および打継目の解消を図った。

スライディング工法は、コンクリート中に垂直に埋め込まれたロッド（鋼棒）に反力をとってジャッキにより型枠を連続的に上方に移動する。型枠の自重、スライディング摩擦力、作業足場およびコンクリート打設機械等の荷重はヨーク（横木）を通じてジャッキ、ロッドに伝達される。

スライディングフォームの上昇速度は、打設したコンクリートの若令強度により決定される。3月下旬に実施したスライディングフォームの上昇速度は、若令強度を $0.9\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上として15分間に4cm、時間当り12cmで、コンクリートが型枠から離脱するのに8～9時間を要した。型枠から離脱したコンクリートの表面仕上げは、型枠の下部に設けた吊足場から金ゴテで仕上げし、内外面に穴あきの塩ビパイプで散水養生を行なった。

4-7 コンクリート工

コンクリートの配合の特徴は、ひびわれを防止する為

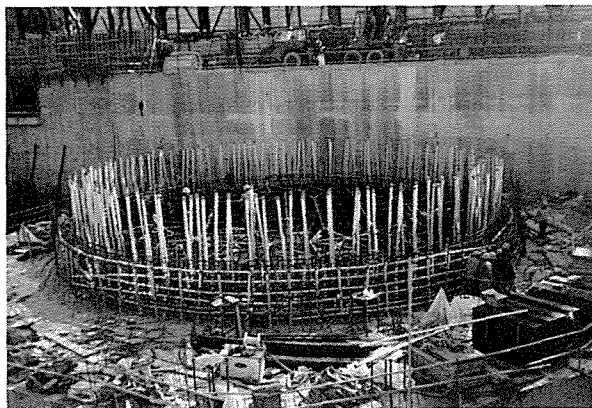


写真-6(1) スライドフォーム組立状況

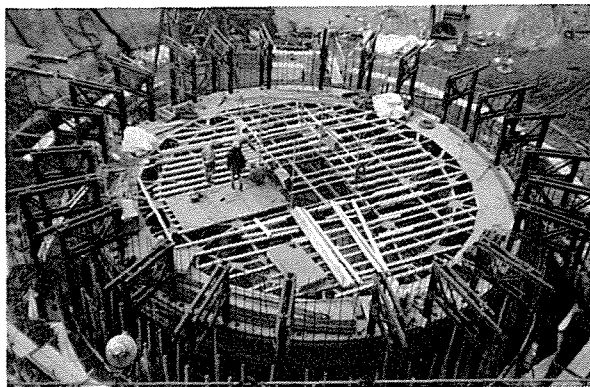


写真-6(2) スライドフォーム組立状況

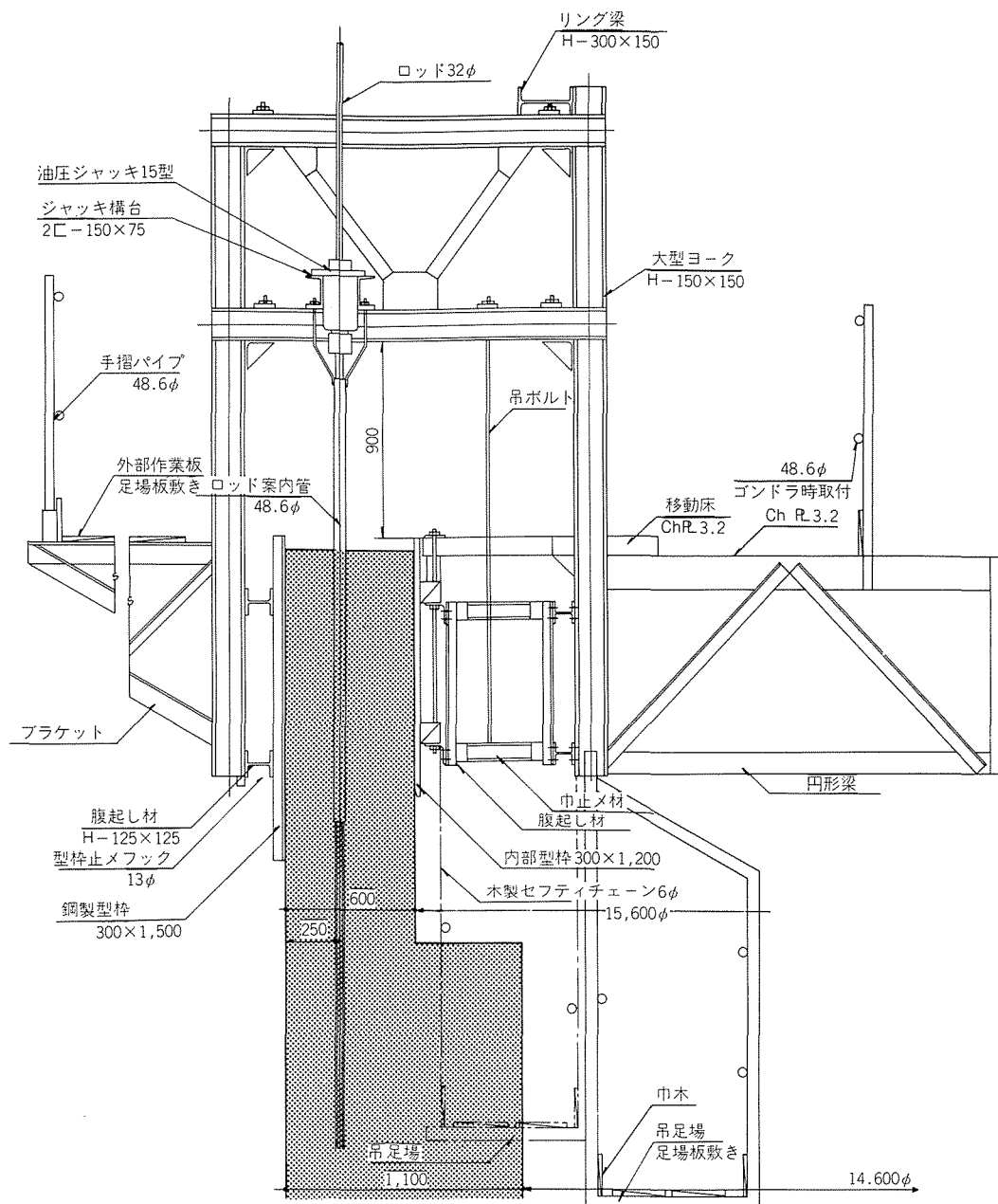


図-15 スライディング工法図

に単位水量の少ない硬練りコンクリートを使用する事、施工性を考慮して流動化剤マイティFDを使用する事および硬化熱の小さい中庸熱ポルトランドセメントを使用する事の3点である。このため、マイティFDの添加前後のスランプ、空気量の時間経過による変化の状態、強度、生コンクリートのポンプ車による圧送試験等を実施し比較検討した。その結果、スランプはマイティFDの添加量によって直線的にスランプアップし、空気量はマイティFD添加によって分散効果が大きくなるため0～0.6%程度増加した。また、圧縮強度、引張強度は流動化

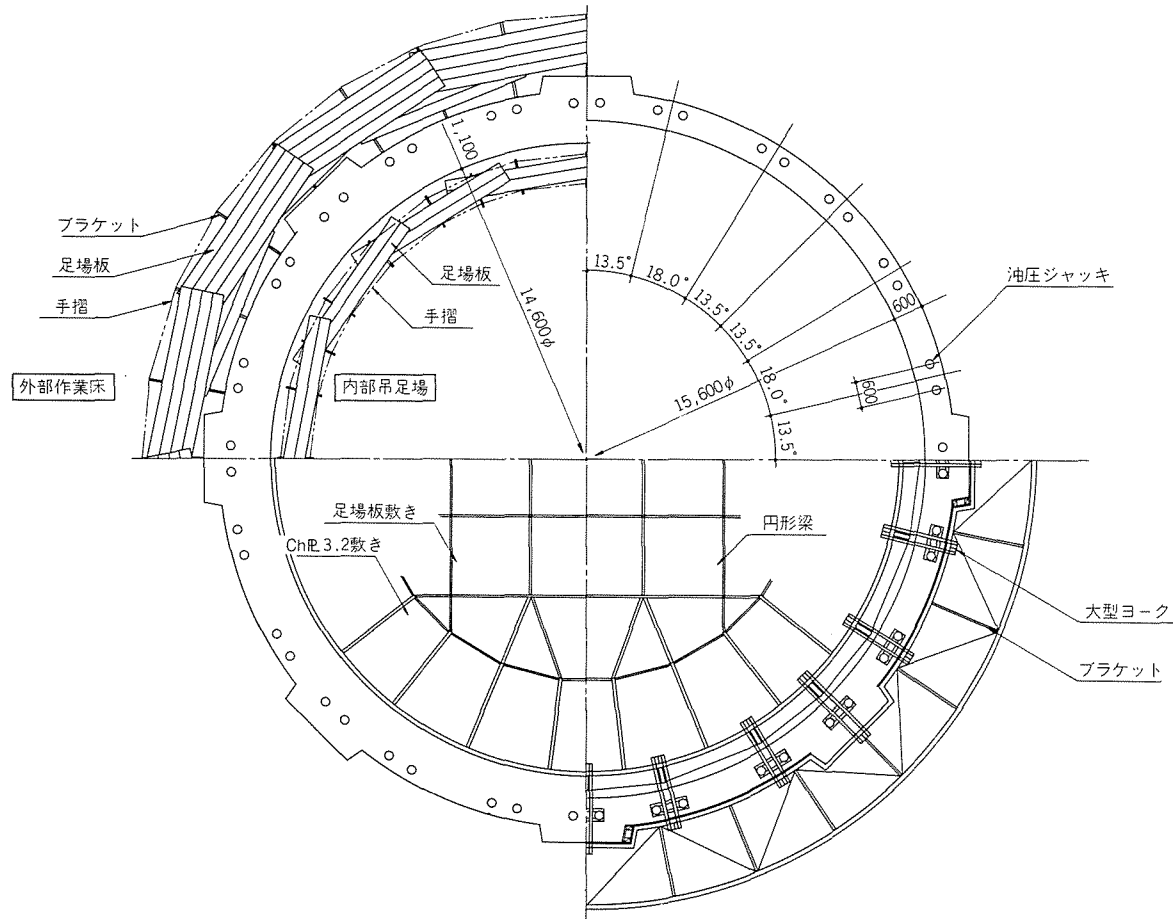
剤マイティFDによる分散効果が大きく、添加しないコンクリートと比較して粘りがあるため、供試体の製作時の製作技術良否による強度のバラツキが多少観られた。また、コンクリートポンプ車による圧送試験結果から細骨材率 s/a は38%以上必要であることがわかった。以上の結果に施工性を考慮して、単位セメント量 300 kg、スランプ 5 ± 1 cm、粗骨材最大寸法 40cm、 $s/a = 38\%$ にマイティFD添加して打設時のスランプを 8 ± 1.5 cm に配合したコンクリートが最適であるとの結論に達した。コンクリート配合結果は表-9のとおりである。

表－9 コンクリート配合表

配 合	ス ラ ン プ cm	空 気 量 %	水 セ メ ン ト 比 %	粗 骨 材 の 法 mm	最 大 寸 の 法 mm	細 骨 材 率 %	調 合							
							単 セ メ ン ト 位 (kg)	単 位 水 量 (kg)	細 骨 材 (kg)	粗 骨 材 (kg)		混 和 剤 ポ ゾ リ ス 5 L	マ イ テ ィ F D	備 考
										5 ～25mm	25～40mm			
A											セメント量(C) C×4%	C× 0.3%	目標強度 $\sigma_7=269$ $\sigma_{28}=394$	
B	5±1	4±1	46	40	38	300	138	727	845	364	C×4%	C× 0.3%	目標強度 $\sigma_7=255$ $\sigma_{28}=382$	

コンクリートの品質管理としては、生コン工場では、生コン車20台につき1回スランプ及び空気量を測定し、6時間毎に表面水を測定する。一方、現場では2時間に1回スランプと空気量を測定した。供試体は現場標準養生のもので圧縮試験用に σ_7 、 σ_{28} 、 σ_{91} の各4本計12本、引張試験用に σ_7 、 σ_{28} の各4本計8本、打設時に圧縮 σ_7 、 σ_{28} 各4本計8本と緊張時用に8本、合計36本採取して生コンの品質管理を行った。

スライド時のコンクリート打設方法はトラックミキサー(4.5m³)で現場に運搬されたコンクリートにマイティFDを添加後90秒間攪拌し2.0 m³のコンクリートバケツに積み換えて、タワークレーンによって上部ホッパー(3.88m³)に移し、ここから移動バケツ(0.39m³)に積込んで回転シュートにて打設位置に投入し高周波バイブレーター3～5台により十分締め固める。



図－16 スライディングフォーム平面図

表-10 スライド労務配置図

職 種	昼	夜	計
作 業 指 揮 者	1名	1名	2
鉄 筋 組 立 作 業	6	6	12
P C ケーブル組立作業	5	5	10
コンクリート打設作業	6	6	12
コンクリートバケット先誘導	1	1	2
ホ ッ パ ー 先	2	2	4
回 転 シ ュ ー タ ー	1	1	2
左 官 作 業	2	2	4
小 運 搬 作 業	3	3	6
合 計	27名	27名	54名

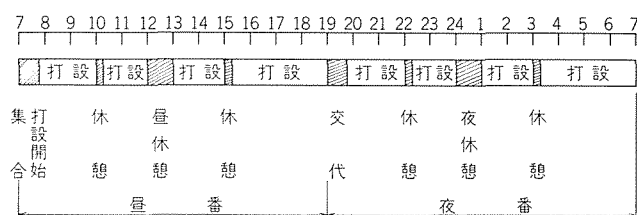


図-17 コンクリート打設作業時間割図



写真-7 回転移動式コンクリート打設機械

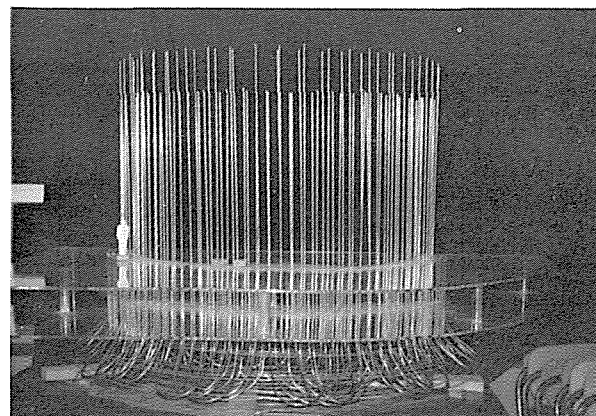


写真-8 PCケーブル配置模型

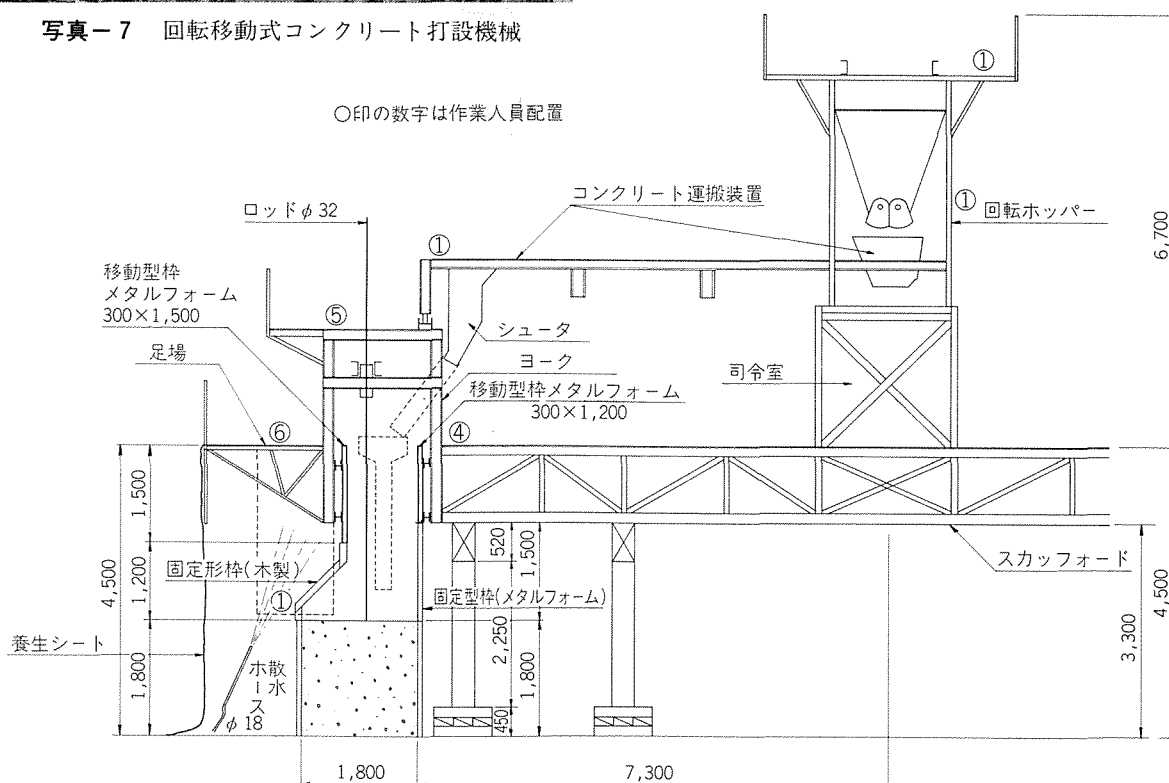


図-18 $t = 1.10\text{m}$ 部コンクリート打設開始図

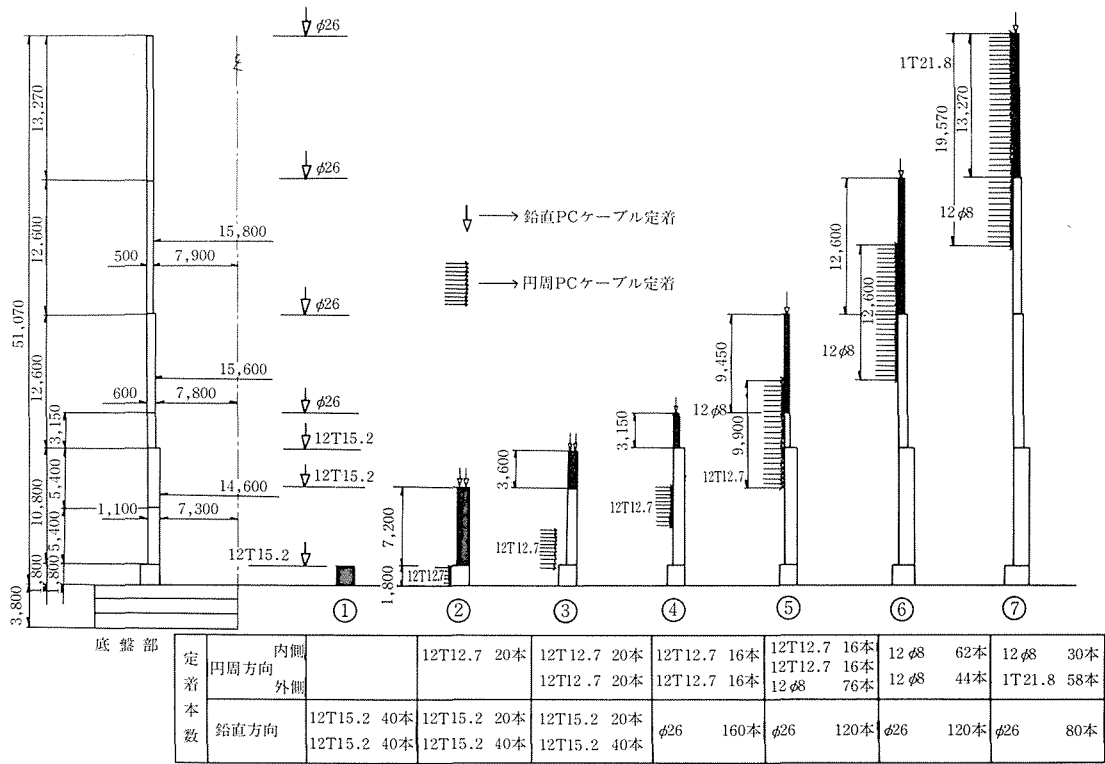


図-19 プレストレッシング図

4-8 プレストレッシング

PC鋼材の配置は図-7、図-8のとおりである。プレストレッシング(図-19)は、各リフトのコンクリート強度が270kg/cm²以上に達した時にまず鉛直方向に締付け、次に円周方向に締付ける。ただし円周方向のPCケーブルの定着部には図-4、図-20、写真-9のようなピラスター(側壁外面に設けた突起)を設ける。ピラスターの設置数は、①プレストレッシング時の摩擦による引張力の損失を少なくする事、②工費、③プレストレッシング力の平均化などを考慮して4ヶ所(E L680.53~E L720.00)及び8ヶ所(E L667.93~E L680.53)とした。

また、緊張順序は、鉛直方向の12T15.2の場合180°相対する位置からSF型ジャッキ4台で同じ回転方向に、V_{1a}→V_{1b}→V_{2a,b}・V_{3ab}→V₄→V₅(図-21)の順で行う。また、φ26も同様に180°相対する位置からLPP5015型ジャッキ8台で締付ける。

円周方向は12T12.7(t=1.1~1.8)の場合、P₁~P₃、P₂~P₄定着ケーブルを下から順に所定の高さまで緊張し、ついでP₅~P₇、P₆~P₈定着ケーブルを下から順にS6B型ジャッキ8台で緊張する。(図-22)

12φ8、1T21.8の場合、P₁~P₃、P₂~P₄定着ケーブルを下から順にS7型及びLPP5015型ジャッキにより全円周同時にプレストレスを導入する。

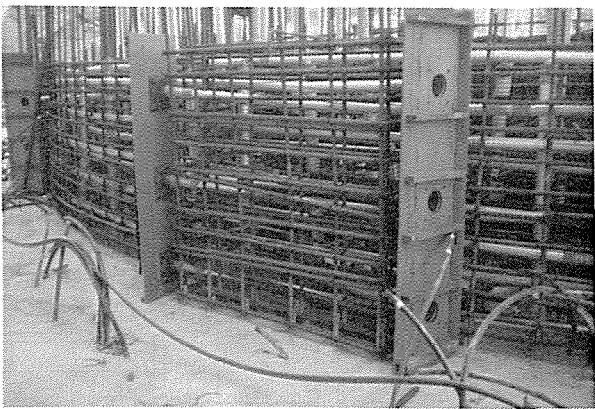


写真-9 施工途中のピラスター

表-11 緊張ジャッキの性能

ジャッキの 機能	S F 型 12T15.2	S 6 B 型 12T12.7	S 7 型 12φ8	LPP5015 1T21.8,φ26
最大ストローク (mm)	300	300	300	150
受圧面積 (cm ²)	426.0	300.0	161.0	71.98
最大圧力 (kg/cm ²)	660	600	575	694.6
最大緊張力 (t)	281.2	180.0	92.6	50
重 量 (kg)	265	206	138	50
全 長 (cm)	112.0	101.2	93.6	60

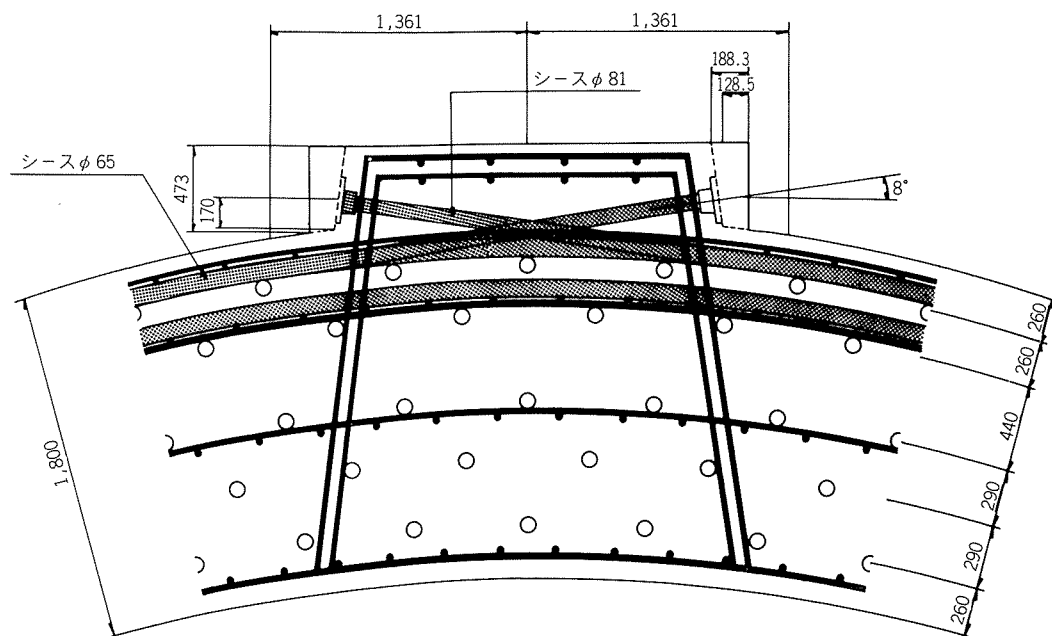


図-20 ヒラスター詳細図

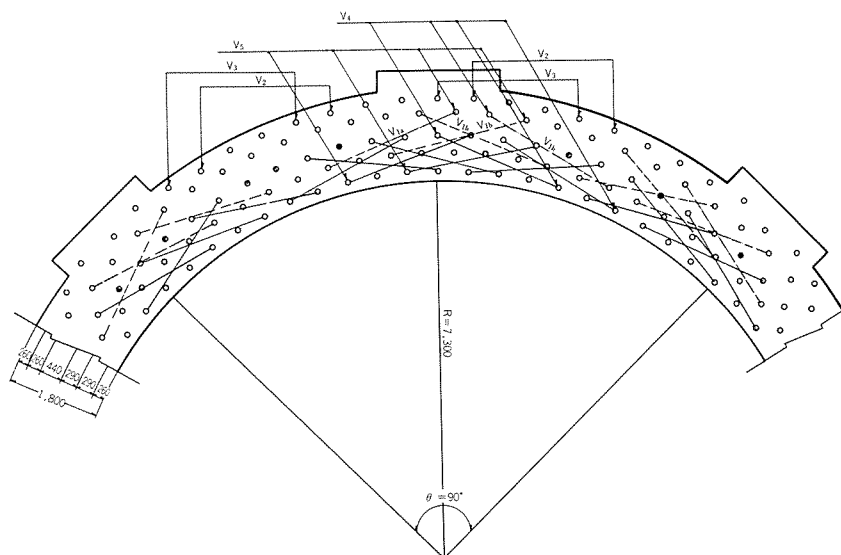


図-21 PCケーブルの緊張法（鉛直方向）

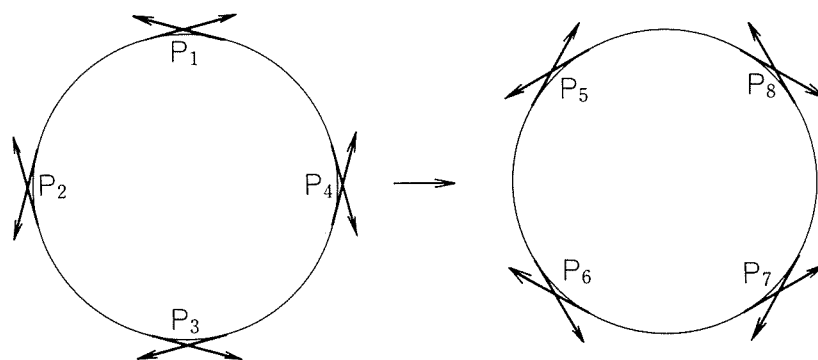


図-22 PCケーブルの緊張法（水平方向）

4－9 グラウトその他

(1)グラウト工

プレストレッシング完了後、電動式グラウトポンプを用いUターンシースには図-23のようにグラウトパイプを配置し速かに注入する。

グラウトの配合及び試験結果は表-12、13のとおりである。

(2)止水工

施工継目はスパンシール(幅150mm)を打設面に施し、コンクリートを十分締固めて新旧コンクリートの接着を確実にし、漏水の防止を図る。また、コンクリート打設終了後、7～8時間頃にハイワッシャーにて高压水をコンクリート表面に吹付けてレイタンスの処理を行う。また、コンクリート打設に際して敷モルタルを行う事によって新旧コンクリートの付着をよくするよう努めた。

表-12 グラウト配合表

配 合	W/C %	セメント kg	水 kg	ポゾリス No8 g	アルミ粉 g	AL/C %
A	40	40	16	100	2.8	0.007
B	"	"	"	"	1.6	0.004

表-13 グラウト試験練結果

配合	フロー値 (sec)	ブリージング率		膨 張 率		圧 縮 強 度	
		3 H	20H	3 H	20H	$\bar{\sigma}_7$ (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_{28}$ (kg/cm ²)
A	10, 12, 17	1.4%	0	6.9%	7.8%	235	348
B	11, 12, 14	1.2%	0	3.4%	3.4%	244.1	343

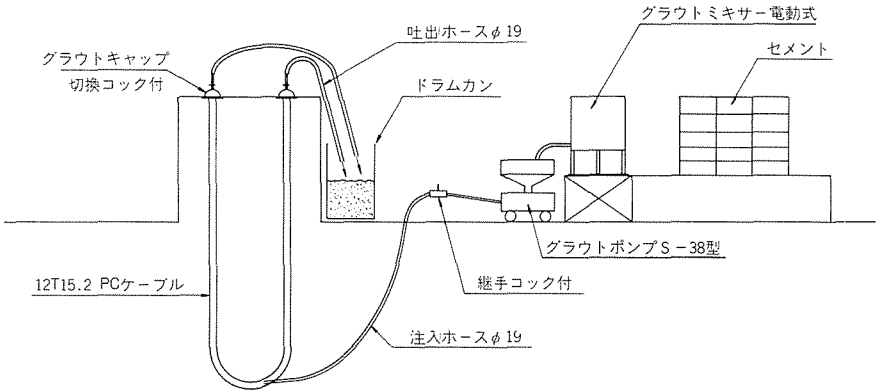


図-23 グラウト施工要領図

§ 5 . あとがき

以上で大型PCタンクの設計と施工に関する報告を終
わるが、現在測定中の硬化熱によるコンクリートの温度
応力及びプレストレッシング前後のコンクリートの内部
応力等の問題を解析し、その結果を次号で報告する。

最後に、ご指導、ご鞭撻をいただいた関係各位に深謝
する次第である。

参考文献

- 1) 戸田、森下、三浦「奥矢作第一、第二発電所建設につい
て」土木施工 1978.7 山海堂
- 2) 岡田、神山「プレストレストコンクリートの設計」国民
科学社
- 3) 「最新土木工事ハンドブック」建設産業調査会