

大型PCサージタンクの施工(その2)

尾崎 政隆* 小林 一雄**
竹内 直彦*** 馬場 勇実*

要 約

中部電力(株)奥矢作第一発電所において大型PCタンクを施工。タンクは、外径16.8m、高さ51m、最大壁厚1.8mで、我国最大級のPC構造物である。

本タンクは、壁面と底版の継手が固定支承であるため、コンクリート硬化熱によって側壁部に収縮クラック発生懸念があった。このため、①底版コンクリートに分割目地を設けて側壁の収縮変位を拘束させない、②中熱セメントを用いて発熱量を抑える、③温度計、目地計、ひずみ計等を設置して、コンクリート打設からプレストレス導入までのタンク挙動を測定しながら慎重な施工を行うなどの対策を施して、良好な結果を得た。

また、壁体は施工継手(水平コンクリート打継目)をなくすためと工期短縮のために、コンクリート打設が連続的に可能なスリップフォーム工法を用いた。

本報告は、VOL.2 P.173の続報で、前回での設計及び施工法の紹介に引続いて、上記のタンク挙動測定結果及び施工結果を紹介するものである。

目 次

- § 1. 概要
- § 2. 施工実績
- § 3. 埋設計器と測定結果
- § 4. おわりに

§ 1. 概要

当サージタンクは、中部電力(株)が電力需要の増大に対処するために、矢作川水系に建設する109.5万kWの揚水式発電所のうち第一発電所に設けたものである。サージタンクの高さおよび直径などの諸元は、発電・揚水時の水路系の水力計算と、経済性を考慮して定められており、地上、約50m、直径16mである。

サージタンクの下端は、ベースとしてのマスコンクリートの上に載る構造となっている。このためPC円筒壁体部は、マッシブなコンクリート上に打ち継がれるので、水和熱により高温になった壁体が温度低下に伴って収縮し、それがベースによって拘束されるため壁体の下部数mの高さにわたって、クラックが発生するおそれがあった。このクラック防止に対処するため、底盤部から壁厚

1.1m部分については、水和熱の少ない中熱セメントを使用した。また、ベースコンクリートは分割施工を行って、分割目地にタンク壁体の収縮変位を吸収させることにより、できるだけ収縮変位を拘束しない構造とした。また、壁体部には温度センサ及び歪ゲージ等を埋設し、水和熱、収縮歪、プレストレス等を測定しながら慎重に施工した。

壁体の施工は、①十分な水密性、均一性及び高い寸法

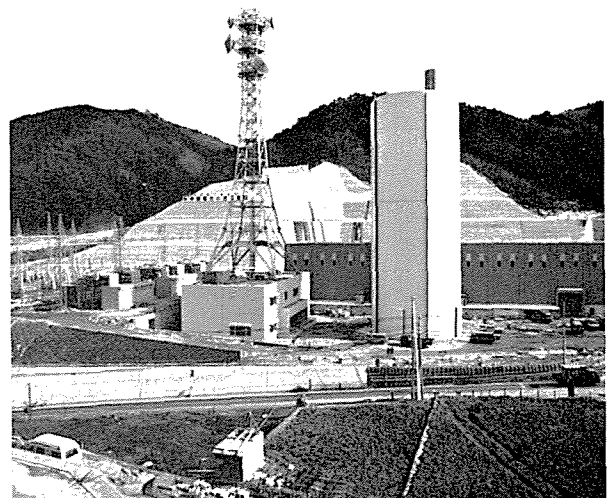


写真-1 完成全景

*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

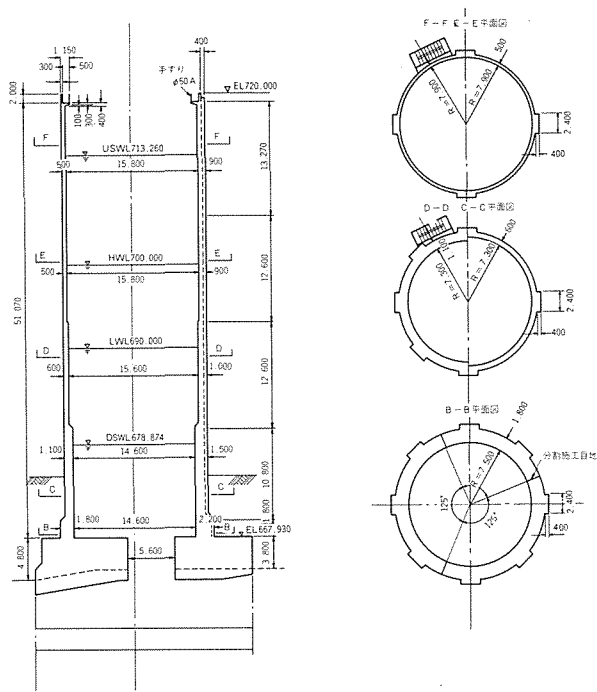


图 1 断面图

精度が要求される構造物であり、②前述の拘束クラックを防止するため、厳寒期をさけて、昭和54年3月に打設開始後同年秋迄に完了させる必要があった。このため、施工継手（コンクリート打継目）のない連続したコンクリート打設が可能で、且つ急速に施工できるスリップフォーム工法を用いた。

今回の報告は、上記の埋設計器の測定結果と施工結果の概略を報告するものである。

写真-1は完成したPCサージタンク、図-1は水槽の断面を示す。

§ 2. 施工実績

2-1 工事仮設備

- a) 仮設建物：事務所40㎡，倉庫23㎡
 労務宿舎 260 ㎡
- b) 電源設備：200 V・200kW低圧受電
- c) 給水設備：タービンポンプ15kW 1 台 ϕ 75mm
 $l=100\text{ m}$ $H=50\text{ m}$
- d) 人荷用エレベータ：15人乗り 支柱高50m
- e) タワークレーン：J C C180 1 基 吊荷重 6 tf
- f) スライドフォーム：油圧ジャッキ7.5tf 48台，
 大型ヨーク 24セット
 ロッド $\phi 32, l=3\text{ m}$ 864本
- g) 門型クレーン 1 基：最大吊荷重 2.8tf

2-2 スリップフォームの構造

壁厚1.8 mの高さ1.8 m迄は、固定型枠を使用した。

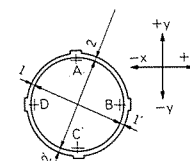
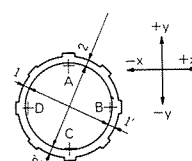
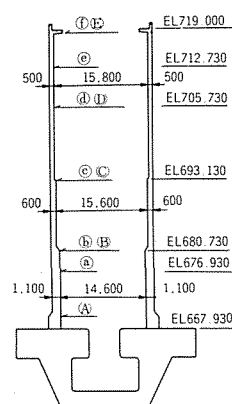
壁厚1.1 m部より上方は、スリップフォーム工法を採用した（詳細は前号参照）。型枠及び作業床を構成するスリップフォームの構造は、タンクの外径が、一定径であることから、施工精度の向上と安全性確保のため剛性の高いトラス構造とした。また、鉄筋・鉛直シースの配置が正しく施工できるように、各施工段階を考えて、ヨーク24本、クライミングジャッキ48台（総能力336tf）を等分に配置し、1ストロークは、40mmとした。3段階の内径変化は、腹起こしを2種類製作し、各断面ごとに組替えを行ったため、精度のよい施工ができた。スリップフォーム全体のレベル調整は、各ヨークに水管を連通させて、電氣的にそれぞれの水位を検出することにより、各ヨークの上昇時の水平バランスを調整できる機構となっている。また、ねじれのチェックは、底盤に目盛板を固定し、さげふりにより測定を行ったが、外壁の突出部（ピラストと称す）が、ねじれ防止の役目を果たしたため、特に施工中においてねじれの問題は生じなかった。躯体の出来上がり精度を表-1、2に示す。

2-3 コンクリート打設

スリップフォーム施工時のコンクリート1層の打設手順は、①シース、鉄筋の組立、②円周1まわりの一層20～30cmのコンクリート打設、③高周波バイブレータによる締固め、④ジャッキによるフォームの上昇、⑤コンクリート露出面の表面仕上げである。また、スリップフォ

表-1 鉛直度測定成果

測 点	x y 座標	編 号
a - A	0, 0	
a - B	- 1, + 1	EL 676.930
a - C	0, 0	
a - D	0, 0	
b - A	+ 2, - 1	
b - B	- 2, - 2	EL 680.730
b - C	+ 1, - 2	
b - D	- 2, + 3	
c - A	+ 23, - 2	
c - B	- 1, - 20	EL 693.130
c - C	- 19, + 4	
c - D	+ 5, + 21	
d - A	+ 17, - 1	
d - B	- 1, - 15	EL 705.730
d - C	- 15, + 3	
d - D	+ 3, + 17	
e - A	+ 10, - 1	
e - B	+ 1, - 9	EL 712.73
e - C	- 9, + 1	
e - D	+ 1, + 10	
f - A	+ 9, - 1	
f - B	+ 1, - 8	EL 718.600
f - C	- 8, 0	
f - D	0, + 9	



測定要領：EL667.93の
A、B、C、D点に基準点を設け、
各高さ毎に重垂によりx、y方
向の変位を測定

表-2 出来形成果表

測点		内 径 (mm)				壁 厚 (mm)				高 さ (mm)		
		設計値	実測値	差	許容値	設計値	実測値	差	許容値	設計値	実測値	差
A	1					1,800	1,804	+ 4	± 5	669,930	669,931	+ 1
	1'	14,600	14,610	+ 10	± 20	"	1,804	+ 4	"	"	669,932	+ 2
	2					"	1,804	+ 4	"	"	669,930	± 0
	2'	14,600	14,608	+ 8	± 20	"	1,801	+ 2	"	"	669,932	+ 2
B	1					1,100	1,100	± 0	± 5	680,730	680,740	+ 10
	1'	14,600	14,605	+ 5	± 20	"	1,100	± 0	"	"	680,740	+ 10
	2					"	1,103	+ 3	"	"	680,740	+ 10
	2'	14,600	14,603	+ 3	± 20	"	1,102	+ 2	"	"	680,740	+ 10
C	1					600	603	+ 3	± 5	693,130	693,145	+ 15
	1'	15,600	15,608	+ 8	± 20	"	603	+ 3	"	"	693,140	+ 10
	2					"	604	+ 4	"	"	693,140	+ 10
	2'	15,600	15,606	+ 6	± 20	"	604	+ 4	"	"	693,135	+ 5
D	1					500	502	+ 2	± 5	705,730	705,735	+ 5
	1'	15,800	15,801	+ 1	± 20	"	502	+ 2	"	"	705,740	+ 10
	2					"	502	+ 2	"	"	705,730	± 0
	2'	15,800	15,800	+ 0	± 20	"	503	+ 3	"	"	705,735	+ 5
E	1					500	504	+ 4	± 5	718,800	718,830	+ 30
	1'	15,800	15,802	+ 2	± 20	"	500	± 0	"	"	718,840	+ 40
	2					"	502	+ 2	"	"	718,830	+ 30
	2'	15,800	15,798	- 2	± 20	"	503	+ 3	"	"	718,835	+ 35

ームの上昇速度は、①コンクリートの時間当り打設量、②鉄筋・シース組立、③型枠から出てくるコンクリート強度等によって決まる。中庸熱セメントを用いた壁厚1.1mの部分では③のコンクリートの若令強度確保の意味から12cm/hの打上り速度とし、普通セメントを使用した、壁厚0.6～0.5m部では、30cm/hを標準とした。スリップフォームの上昇により、型枠の下方から抜け出すコンクリートの材令は、概ね中庸熱セメントで7～8時間、普通セメントで4～5時間であった。この時のコンクリート強度試験結果は、図-2、図-3のとおりで、中庸熱

セメント8時間経過で1.1kgf/cm²、普通セメント5時間経過で3kgf/cm²であった。コンクリートの強度が特に問題になるのは、スライディング開始時と断面変化部等で型枠をセット仕直してスライディングを再開する時である。コンクリートと型枠の付着から、打設開始後3～5時間程度でスライディングを開始しなければならないため、型枠から抜けだしたコンクリートの強度が不足する。

コンクリート打設時の、職員及び作業員の配置は、表-3、表-4の通りで通常作業に比べ、作業員が倍增する。コンクリートのバッチャプラントの位置は、打設現場より約10kmの距離にある。トラックミキサー車による運搬中に、若干のスランプ低下が生じたが、現場到着時の生コンのスランプは、普通5±1cmであった。打設は、

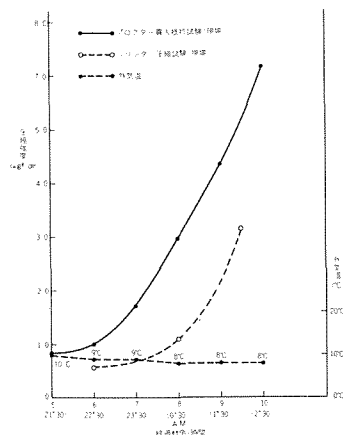


図-2 若令強度試験
(中庸熱セメント 供試体採取日54.4.20 16:30)

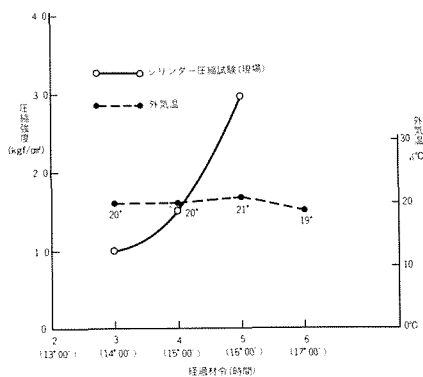


図-3 若令強度試験
(普通セメント 供試体採取日54.6.13)

基礎部及び壁厚1.8 m部は、ポンプ圧送、及びレッカーによるバケット打設を、壁厚1.1 mより上部は、JCC 180を利用したバケット打設を行った。2 m³バケットに投入したコンクリートを地上からスリップフォーム作業床中央のホッパーに移し、次に移動バケットによって円周壁部に運搬し、各ヨーク間(約2 m)を2ヶ所に分けて壁型枠内に投入し、高周波バイブレータ(HMV50N) 6台を使用して、入念なコンクリート締固めを行った。打設サイクルタイム例を図-4に示す。養生は、多孔塩ビパイプによる常時散水を行い、打設から緊張までの間は打設直後の壁面に風と直射日光が当るのをさけるため、シートでコンクリート壁面を覆った。脱型直後の壁面は、スライディングに伴い、金ごて、はけによって表面仕上げを行った。

表-3 職員配置表

職 種 \ 人 員	昼	夜	計
工 事 指 揮 者	1	1	2
コンクリート打設担当	1	1	2
鉄筋、PCケーブル配置担当	1	1	2
埋設計器担当	1	1	2
スリップフォーム担当	1	1	2
現場コンクリート品質管理担当	1	1	2
生コン工場コンクリート出荷品質管理担当	1	1	2
合 計	7	7	14名

表-4 労務配置表

職 種 \ 人 員	昼	夜	計
作 業 指 揮 者	1	1	2
ロッド立込、鉄筋組立作業	5	5	10
PCケーブル組立作業	4	4	8
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 「	2	2	4
回転シューター操作	1	1	2
左 官 作 業	2	2	4
小 運 搬 作 業	2	2	4
タワークレーン運転士	1	1	1
合 計	26	25	51名

昼 A.M.7:00~P.M.19:00まで
夜 P.M.19:00~A.M.7:00まで

2-4 実施工程

実施工程を図-5に示す。当初の予定どおり円滑に工事を進行することができた。PC壁体部の拘束日数8ヶ月に対して、フォームの実働日数は、27日間であった。

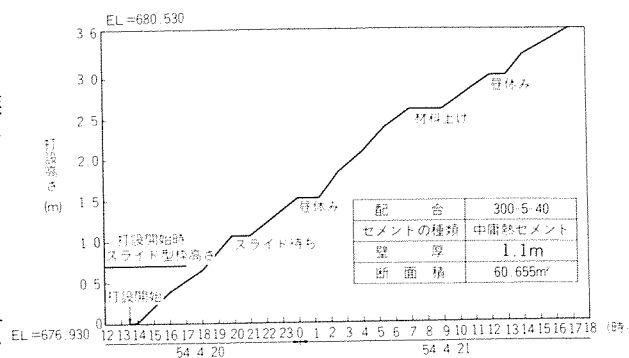


図-4 コンクリート打設サイクルタイム(実績)

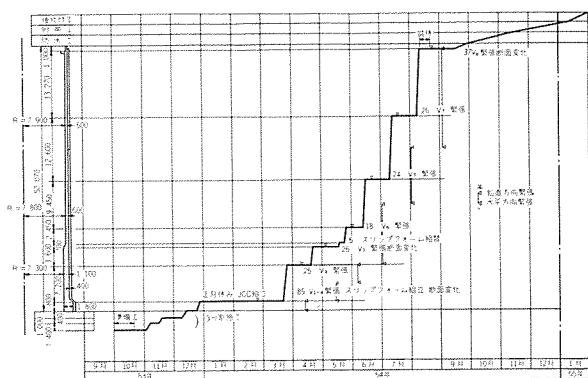


図-5 実施工程図

この原因は、緊張、断面変化等による停止回数が多かったためである。

2-5 コンクリートの性質と品質管理

コンクリートは、施工上からは緊張時期を早めうる早期強度の得られる富配合を、品質管理上からは、温度収縮の少ない貧配合が要求される。コンクリート硬化時の発熱により発生するクラックを防止するため、ベースから壁厚1.1 m部については、中庸熱セメントを使用し、その最大使用量を300kg/m³に抑える一方、骨材(天竜川水系遠山川産)の最大粒径を40mmとし、水セメント比の小さいスランプ5 cmのコンクリート配合を用いて、設計基準強度を確保した。コンクリートの配合を表-5に示す。ポンプ圧送の場合、示方配合のスランプでは圧送困難なため流動化剤を使用した。圧送試験と試験練りの結果、流動化剤を表-6のように施工した。品質管理としては、各施工断面ごとに、現場及びバッチャプラントで試料を採取し、7日、28日の圧縮強度及び引張強度、曲げ強度試験を実施した。打設位置及び試験結果は表-7、8、9のとおりである。また、一部のコンクリートについて中部電力研究所で行った弾性係数、超音波伝播速度、ポアソン比等の試験結果を表-10に示す。

表-5 コンクリート配合表

種別	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ の 範 囲 (cm)	空気量の 範 囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/A (%)	単 位 量 (kg/m³)					混和剤 %
						セメント	水	細骨材	粗 骨 材		
									5 ~ 25	25 ~ 40	
A	40	5 ± 1	4 ± 1	44	34	300	132	656	907	391	C × 0.25
B	25	5 ± 1	4 ± 1	44.1	41.3	340	150	761	1100	—	—

設計基準強度 $\sigma_{ck} = 350 \text{ kgf/cm}^2$ セメント種類 A: 中庸熱 B: 普通

表-6 流動化剤使用方法

流 動 化 剤	マイティFD
混 入 量	C × 0.25 %
混 入 時 期	打 設 直 前
練りませ時間	90秒 (ミキサー車の高速回転による)

中庸熱セメント (300-5-40)

表-7 PCコンクリート品質管理結果

打 設 日	採 取 場 所	スランプ (cm)		空 気 量 (%)		練上り 温 度 (°C)	圧 縮 強 度 (kg/cm²)						引張強度 (kg/cm²)			曲げ強度 (kg/cm²)		打 設 位 置 他
		添加前	添加後	添加前	添加後		σ_7		σ_{28}		σ_{91}		σ_7	σ_{28}	σ_{91}	σ_7	σ_{28}	
							標準養生	現場養生	標準養生	現場養生	標準養生	現場養生						
53. 11/2	プラント	5.0	—	3.4	—	—	239	—	418	—	—	—	—	—	—	—	—	E L 664.130～665.530 ①
	現 場	3.8	8.2	3.5	—	—	222	229	385	320	434	—	—	—	—	—	—	
53. 11/4	プラント	4.4	—	3.5	—	—	257	—	442	—	—	—	—	—	—	—	—	E L 664.130～665.530 ②
	現 場	5.0	10.2	3.4	—	16.0	256	214	369	386	436	—	—	—	—	—	—	
53. 11/6	プラント	4.3	—	4.0	—	—	265	—	407	—	—	—	—	—	—	—	—	E L 664.130～665.530 ③
	現 場	3.0	8.0	3.2	—	—	233	212	400	384	476	—	—	—	—	—	—	
53. 11/15	プラント	4.8	—	4.2	—	—	268	—	421	—	—	—	—	—	—	—	—	E L 665.530～666.530 ①
	現 場	4.5	8.5	3.8	—	14.0	203	160	399	289	422	—	21.9	36.5	38.1	—	—	
53. 11/17	プラント	5.2	—	4.3	—	—	281	—	438	—	—	—	—	—	—	—	—	E L 665.530～666.530 ②
	現 場	4.1	8.0	3.7	—	14.0	270	278	411	417	—	—	—	—	—	—	—	
53. 11/18	プラント	5.6	—	4.0	—	—	260	—	413	—	—	—	—	—	—	—	—	E L 665.530～666.530 ③
	現 場	5.0	7.5	3.9	—	13.0	212	226	394	381	—	—	—	—	—	—	—	
53. 12/8	プラント	4.6	—	4.2	—	—	290	—	473	—	—	—	—	—	—	—	—	E L 666.530～667.930 ①
	現 場	3.5	8.0	3.8	—	18.0	231	242	367	365	—	—	—	—	—	—	—	
53. 12/11	プラント	4.8	—	4.0	—	—	255	—	413	—	—	—	—	—	—	—	—	E L 666.530～667.930 ②
	現 場	5.0	—	4.0	—	13.0	222	234	359	358	432	—	21.5	30.9	40.7	—	—	
53. 12/13	プラント	5.5	—	4.1	—	—	282	—	443	—	—	—	—	—	—	—	—	E L 666.530～667.930 ③
	現 場	5.5	9.1	3.8	—	13.0	237	221	366	342	—	—	—	—	—	—	—	
53. 12/23	プラント	5.0	—	3.9	—	—	294	—	411	—	—	—	—	—	—	—	—	E L 667.930～669.730 ①
	現 場	5.0	—	3.9	—	12.0	210	203	387	309	408	—	—	—	—	—	—	
53. 12/25	プラント	5.3	—	3.7	—	—	270	—	414	—	—	—	—	—	—	—	—	E L 667.930～669.730 ②
	現 場	5.3	—	3.7	—	12.0	252	240	387	280	414	—	—	—	—	—	—	
53. 12/26	プラント	5.1	—	4.0	—	—	280	—	422	—	—	—	—	—	—	—	—	E L 667.930～669.730 ③
	現 場	5.1	—	4.0	—	12.0	271	248	382	286	402	—	—	—	—	—	—	

中庸熱セメント (300-5-40)

表-8 PCコンクリート品質管理結果

打 設 日	採 取 場 所	スランプ (cm)		空 気 量 (%)		練上り 温 度 (°C)	圧 縮 強 度 (kg/cm²)						引張強度 (kg/cm²)			曲げ強度 (kg/cm²)		打 設 位 置 他
		添加前	添加後	添加前	添加後		σ_7		σ_{28}		σ_{91}		σ_7	σ_{28}	σ_{91}	σ_7	σ_{28}	
							標準養生	現場養生	標準養生	現場養生	標準養生	現場養生						
54. 3/23~3/25	プラント	5.1	—	3.3	—	10.0	292	249	446	384	—	—	—	—	—	—	E L 669.730~676.930	
	現 場	4.3	—	3.0	—	10.0	267	239	431	376	548	—	26.3	41.7	—	39.8		60.5
54. 3/23~3/25	プラント	5.7	—	3.5	—	15.0	281	246	410	359	—	—	—	—	—	—	— " —	
	現 場	5.0	—	3.2	—	16.0	261	245	404	361	437	—	—	—	—	—		—
54. 4/20~4/21	プラント	4.0	—	3.7	—	14.0	300	268	410	379	—	—	—	—	—	—	E L 676.930~680.530	
	現 場	4.0	—	3.5	—	15.5	319	294	430	403	447	—	—	—	—	—		—
54. 5/18	プラント	5.5	—	4.0	—	—	299	292	410	382	—	—	—	—	—	—	E L 680.530~681.230	
	現 場	4.5	—	3.6	—	—	307	294	411	391	402	—	—	—	—	—		—

中庸熱セメント (290-5-40)

打 設 日	採 取 場 所	スランプ (cm)		空 気 量 (%)		練上り 温 度 (℃)	圧 縮 強 度 (kg/cm²)						引張強度 (kg/cm²)			曲げ強度 (kg/cm²)		打 設 位 置 他
		添加前	添加後	添加前	添加後		σ_7		σ_{28}		σ_{91}		σ_7	σ_{28}	σ_{91}	σ_7	σ_{28}	
							標準養生	現場養生	標準養生	現場養生	標準養生	現場養生						
53. 11/2	プラント	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	E L 664.130～665.530 ①	
	現 場	5.2	8.0	—	—	18.0	163	159	274	279	365	—	—	—	—	—		
53. 11/4	プラント	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	E L 664.130～665.530 ②	
	現 場	5.0	9.5	—	—	14.0	143	123	230	—	—	—	—	—	—	—		
53. 11/15	プラント	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	E L 665.530～666.530 ①	
	現 場	6.0	7.5	3.5	—	12.0	130	127	247	192	—	—	14.2	23.6	—	—		
53. 11/17	プラント	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	共同プラント故障のため 300kg/m²で打設 E L 665.530～666.530 ②	
	現 場	4.1	8.0	3.7	—	14.0	256	253	445	454	—	—	—	—	—	—		
53. 12/8	プラント	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	E L 666.530～667.930 ①	
	現 場	5.1	8.0	—	—	13.0	141	146	227	229	—	—	—	—	—	—		
53. 12/13	プラント	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	E L 666.530～667.930 ②	
	現 場	6.0	10.0	3.8	—	14.0	190	199	318	257	411	—	—	—	—	—		

普通セメント (340-5-25)

表-9 PCコンクリート品質管理結果

打 設 日	採 取 場 所	スランパ (cm)		空 気 量 (%)		練上り 温 度 (°C)	圧 縮 強 度 (kg/cm ²)				引張強度 (kg/cm ²)		曲げ強度 (kg/cm ²)		打 設 位 置 他
		添加前	添加後	添加前	添加後		σ_7		σ_{28}		σ_7	σ_{28}	σ_7	σ_{28}	
							標準養生	現場養生	標準養生	現場養生					
54. 5/24～5/25	プラント	5.7	—	3.5	—	20.0	319	295	395	388	—	—	—	—	E L 681.230～683.680
	現 場	5.0	—	3.1	—	22.0	292	276	398	365	27.8	32.5	—	—	
54. 6/13～6/14	プラント	5.3	—	3.2	—	19.0	327	313	433	381	—	—	—	—	E L 683.680～693.130
	現 場	4.5	—	3.5	—	21.0	344	343	463	429	32.3	39.4	58.2	62.8	
54. 7/10～7/12	プラント	4.6	—	3.4	—	—	291	277	414	377	—	—	—	—	E L 693.130～705.730
	現 場	4.6	—	3.5	—	22.0	279	277	371	378	28.6	36.2	—	—	
54. 8/8～8/10	プラント	4.0	—	3.5	—	—	317	305	437	399	—	—	—	—	E L 705.730～719.000
	現 場	4.5	—	3.5	—	28.0	295	303	372	372	27.8	33.5	—	—	

表-10 コンクリートの性質

種別	単位セメント量 (kg/m ³)	材令 (日)	単位容積重量 (kg/m ³)		弾性係数 ($\times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$)		超音波伝播速度 (km/s)		ポアソン比		動弾性係数 ($\times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$)		圧縮強度	
			標準養生	現場養生	標準養生	現場養生	標準養生	現場養生	標準養生	現場養生	標準養生	現場養生	標準養生	現場養生
B 53. 11. 2採取	300	7 28	2450 2455	2432 2422	3.259 3.830	3.252 3.829	-	-	0.140 0.255	0.173 0.241	3.763 4.275	3.669 4.003	222 385	229 320
			2456 2453	2446 2453	3.397 3.828	3.126 3.792	-	-	0.171 0.198	0.153 0.244	3.762 4.363	3.244 4.045	203 399	160 289
B 53. 11. 15採取	300	7 28	2445 2453	2392 2426	3.226 4.441	3.296 3.699	-	-	0.138 0.271	0.173 0.232	3.720 4.213	3.628 4.039	237 366	221 342
			2464 2464	2457 2455	3.417 3.827	3.291 3.809	-	-	0.135 0.223	0.167 0.215	4.015 4.299	3.893 4.315	319 430	294 403
B 54. 4. 20採取	300	7 28	2384 2400	2372 2365	2.989 3.397	3.004 3.354	-	-	0.190 0.189	0.194 0.203	3.520 3.97	3.450 3.780	279 371	277 378
			2400 2400	2365 2365	3.397 3.354	3.354 3.354	-	-	0.189 0.203	0.203 0.203	3.97 3.97	3.780 3.780	371 371	378 378

供試体寸法φ15×H30(cm)

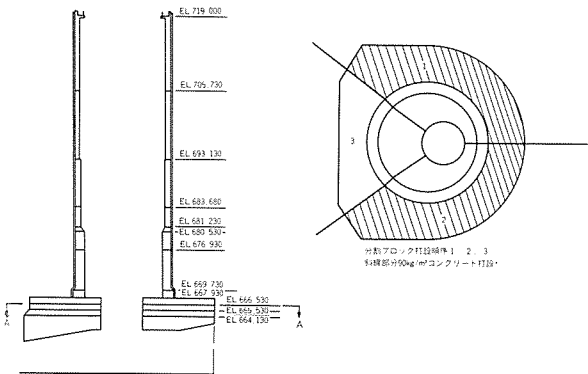


図-6 コンクリート打継目

2-6 プレストレスリング (緊張作業)

鉛直方向のプレストレスリングは、コンクリート強度が、270kgf/cm²以上に達したとき、下端が定着されている鉛直方向ケーブルを、円中心対称方向に均等にプレストレスが導入されるように、点対称位置で緊張した。円周方向ケーブルのプレストレスリングは、鉛直方向ケーブルの緊張が完了したあと、側壁下端より順次上部へ向け、フレッシュジャッキ8台(4ヶ所に2台づつ)を使用し、全円周に同時にプレストレスが導入されるようにした。

本緊張にさきだち、各ケーブルの緊張管理のために、摩擦係数(μ)見かけのヤング係数(E)を試験緊張により求めた。試験緊張は、ケーブル種別ごとに、任意に10ケーブルを選定して行った。試験緊張結果を表-11に示す。

表-11 試験緊張結果

設置方向	ケーブルの種類	設計値		実測値	
		μ	$E \times 10^6$	μ	$E \times 10^6$
鉛直	12T15.2	0.3	1.95	0.314	1.92
	12T12.7	"	"	0.262	1.96
	12φ8	"	2.00	0.100	1.97
	1T21.8	"	1.95	0.409	1.95

試験緊張で求めた、 μ 、 E に基づいて、鉛直ケーブルについては、伸び管理を、円周ケーブルについては、摩擦管理を行った。管理限界は、 2σ 法を採用した。又、緊張作業の進行に伴い、本緊張結果が100ケーブル程度まとまった時点で、試験緊張による管理限界値に修正を加えた。図-7に12T15.2(縦方向Uターンケーブル)

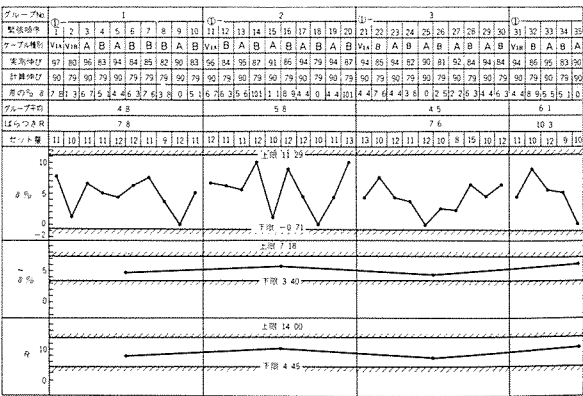


図-7 12T15.2ケーブル緊張管理図

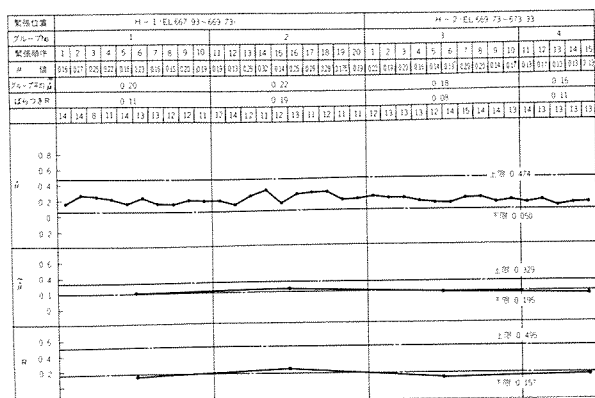


図-8 12T12.7ケーブル緊張管理図

の緊張管理図の一例を、図-8に12T12.7（フープケーブル）の緊張管理図の一例を示す。12T15.2ケーブルの場合、緊張力は、231.4tf、摩擦係数（ μ ）は、ほぼ0.3であった。また、12T12.7ケーブルの場合、緊張力は、平均164.5tf、（ μ ）は平均0.29であった。（PC鋼材配置については、VOL.2⁵⁾参照）

2-7 グラウトその他

(1) グラウト

ケーブル及び鋼棒のプレストレスング後、ケーブル防錆のためにシース内の空げきにグラウトを実施した。グラウトは、FKK式電動グラウトポンプを使用し、表-12のような配合で注入を行った。また、グラウトの各試験結果を表-13に示す。

表-12 グラウト配合表(1バッチあたり)

水セメント比	水	セメント	ポゾリス NO8	アルミ粉末
40%	16kg	40kg	100g	1.6g

表-13 グラウトの試験結果

試験内容		試験結果
コンシステンシー試験(流下方法)		11秒
ブリージング率試験(体積方法)	3時間後	1.54%
	最終	0%
膨張率試験(体積方法)		1.74%
強度試験(型わく方法)	σ_7	241kg/cm ²
	σ_{28}	339kg/cm ²

(2) 防水工

底盤部及び壁厚1.8 m部のコンクリートは、水平方向3分割、垂直方向3分割してコンクリート打設を行い、硬化熱による収縮きれつ発生を分割目地に集中させることで収縮調整を行った。各分割目地には

塩ビプレートを使用し、また、きれつ発生後のグラウト注入口を設置し、目地部の収縮変位が無くなった時点（約80日後）で、樹脂グラウト（クリートボンド#1）を実施した。注入状態は、コアボーリングにより試料を採って確認したが、結果は良好であった。写真-2にグラウト注入口を示す。



写真-2 分割目地部グラウト注入口

壁体部には、壁厚の変化と、緊張作業のため約50 mの高さに7ヶ所の施工継手ができた。打継面は、幅150 mmの鉄板をブチルゴムで包んだ止水板を挿入し、その周囲を入念な振動を加えて、コンクリートとの付着を確実なものとした。コンクリート打設後6～7時間で、ジェット水を吹きつけて、レイタンスや、止水板についたモルタルを完全に洗い落とした。また、コンクリート打ち継ぎに際しては、打設面に十分水を与えて湿潤にするとともに、最初にモルタルを薄く敷き、新旧コンクリートの付着をよくするよう努めた。

内壁面防水として、LWLまでは、カンペライニングTRを、それ以上については、セリノール防水塗装を行った。

(3) 避雷針

落雷及び熔接等の電流がPC鋼材を流れると材質低下をまねくので、落雷に対しては工事中3本の避雷針を設置するとともに、PC鋼材近辺における電弧熔接作業は全面的に禁止した。

§ 3. 埋設計器と測定結果

3-1 埋設計器の目的と内容

施工中におけるコンクリート打設及びプレストレス導入にともなう水和熱、熱応力、コンクリートの応力、鋼材の応力等の各種の挙動を計測し、計算値との比較を行った。

計測は、①底盤部、水槽基部の温度変化、②分割施工にともなう施工目地の挙動、③水槽壁体部のプレストレッシングによる歪の変化等を計測した。

3-2 使用計器および取付方法

計器及び測定機器は、次のものを使用した。また、各計器のリード線は、漏水、断線を考慮して、全てコンクリート壁体内部に埋込み、底盤部より外部に出し、水槽近くに設置した計測小屋で測定をした。

表-14 使用計器及び機器

品 名	規 格
コンクリート歪計	BS-25, AM ₃ S140
継 目 計	BJ-5A
CC熱電対温度計	GC-3 (JIS0.75)
静歪測定器	SM-60AT, SD-510A
スイッチボックス	ASB-55D
スターター	AST-50A
熱電対温度記録計	EBR-12-30-23

CC熱電対温度計、継目計、コンクリート歪計の取付方法を、図-9～11に示す。

3-3 計器の配置

施工途中に発生するコンクリートの硬化熱測定のために、CC熱電対温度計6ヶ所、分割施工の目地部の挙動測定のために、継目計を鉛直分割目地に上下2ヶ所、計6ヶ所に配置した。また、プレストレス導入チェックのため、壁体部にコンクリート歪計を円周方向、鉛直方向に13ヶ所埋設した。各種計器の取付位置断面図を、図-12、図-13に示す。

3-4 測定結果とその検討

a) コンクリート温度

図-14にコンクリートの温度と材令曲線図を示す。コンクリート打設は、底盤部1層目11月6日、2層目11月18日、3層目12月13日、壁体1.8m部12月26日に行った。

コンクリート打設後の最大温度上昇量についてみると、1層目(No1～No3平均値)48時間後で24.5℃、2層目(No4)48時間後で15.5℃、3層目(No5)48時間後で20℃、壁体1.8m部(No6)72時間後で21℃である。打設後約48時間でピークに達している。また、上層のコンクリート打設によっても影響を受け、(No4)についてみると(No5)の打設によって、温度上昇量は、14℃になっている(図-14参照)。

(No3)と(No4)を比較すると、(No3)は1リフト2m、(No4)は1mを一挙に打設したもので、

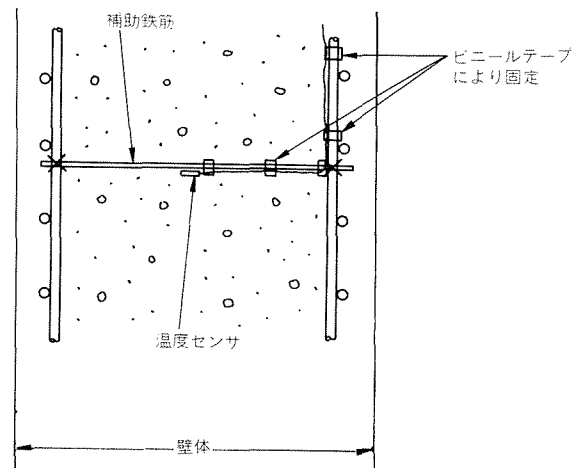


図-9 CC熱電対温度計取付図

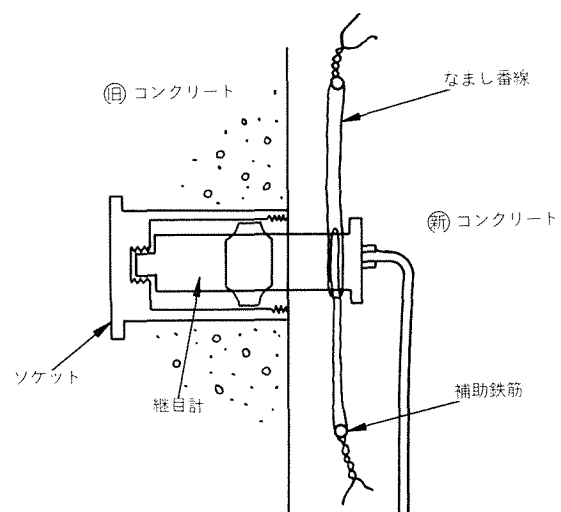


図-10 継目計取付図

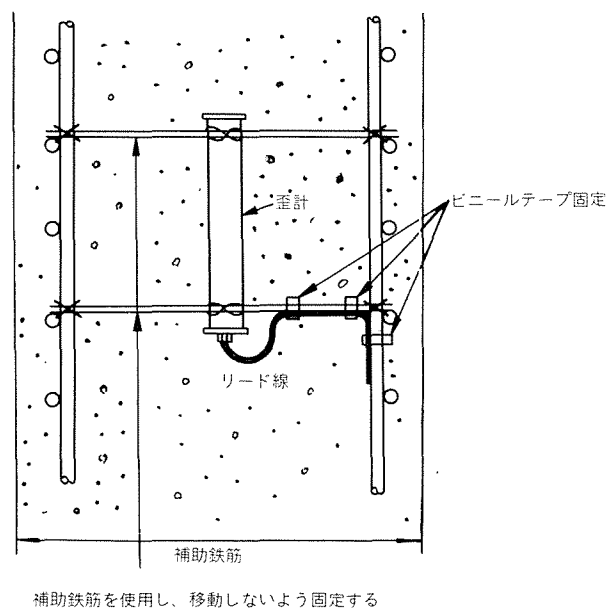
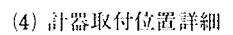
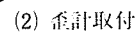
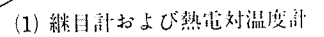
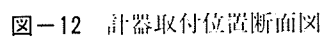
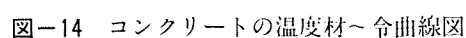


図-11 コンクリート歪計取付図



(3) 垂計取付

图一13 計器取付平面図



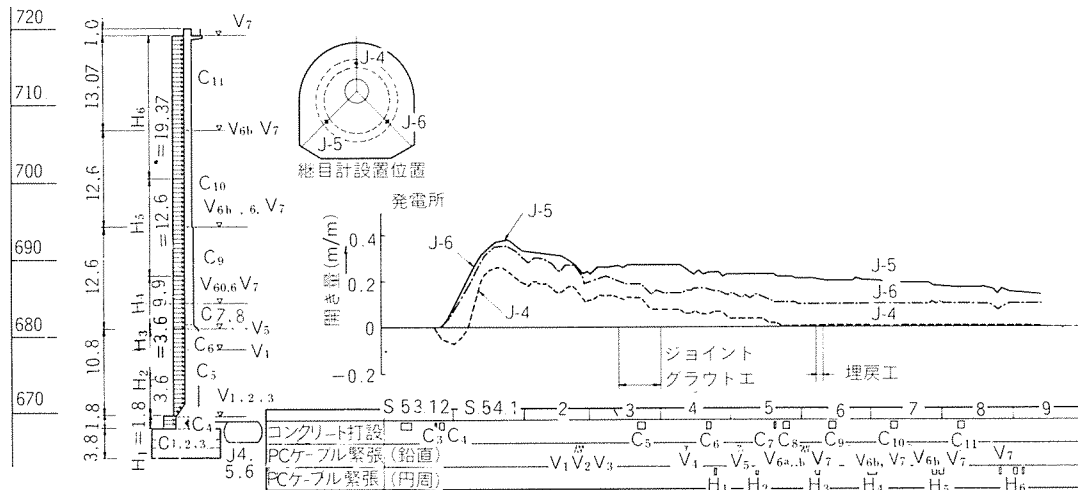


図-15 継目日地間隔測定結果(壁厚1.8m, EL668.83)

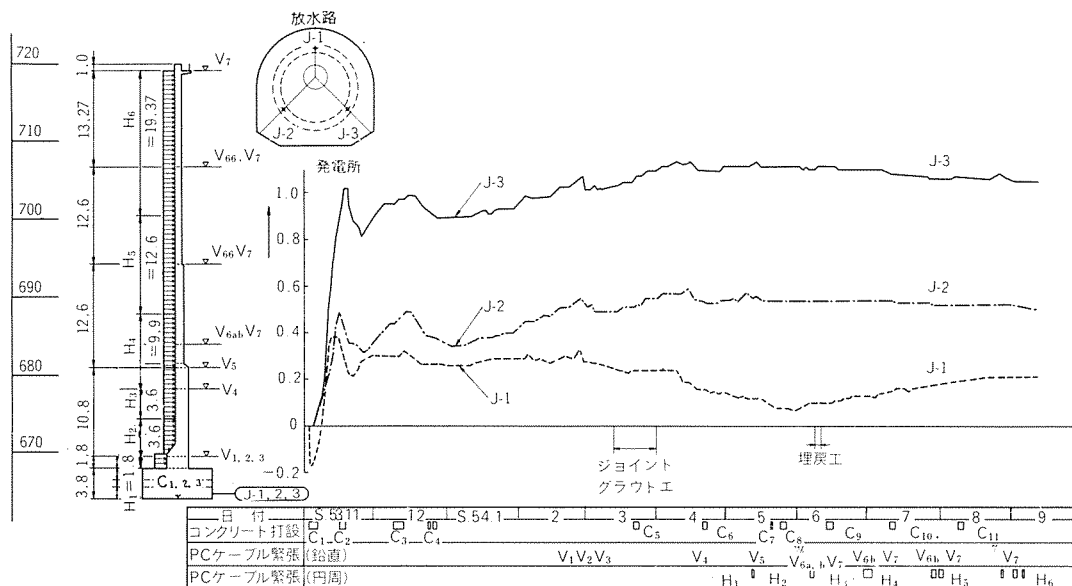


図-16 日地間隔測定結果(基礎, EL664.83)

それぞれ温度上昇量は、(No 3) の場合 24.5°C 、(No 4) の場合 15.5°C を示している。このことから、マスコンクリートの1リフト打設高を低くすることにより、温度上昇を少なくできることがわかる。

b) 分割目地・継目計測定

図-15, 16に継目計測定結果を示す。

コンクリートの温度(図-14) と目地の開き量の関係を見ると、表-15, 16 のような結果となる。表-15, 16 の開き量は、サージタンクの半径8.2 mの円弧上に設置されている各目地計の3ヶの平均値である。コンクリートの温度は、3分割の1ブロックに設けた温度計の読みである。

表-15 EL664.73における目地の開き量

	11/4, 6 コンクリート打	11/8	11/16	11/21	12/15	12/28	2/20
開き量(mm)	0	0.02	0.60	0.47	0.62	0.51	0.61
コンクリートの温度($^{\circ}\text{C}$)	16.0	38.1	14.5	29.7	16.3	22.0	9.0

表-16 EL668.83における目地の開き量

	12/25, 26 コンクリート打	12/29	1/20
開き量(mm)	0	0	0.33
コンクリートの温度($^{\circ}\text{C}$)	12.0	33.0	3.0

目地の開きは、コンクリートの温度に直接影響を受けて反応しており、コンクリートの硬化熱が下降するにしたがって、目地の開き量は増大し、上層のコンクリート打設により温度が上昇すると、目地の開き量は再び小さくなっている。無拘束状態のコンクリートの温度変化量と比較すると、5～15%程度の動きである。

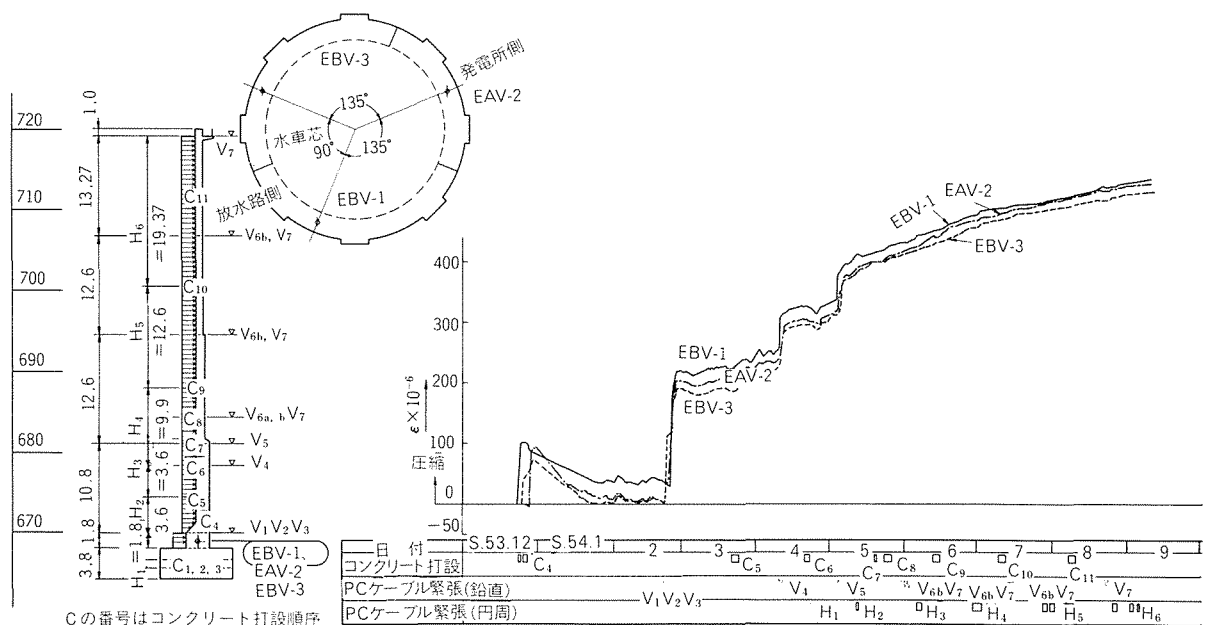
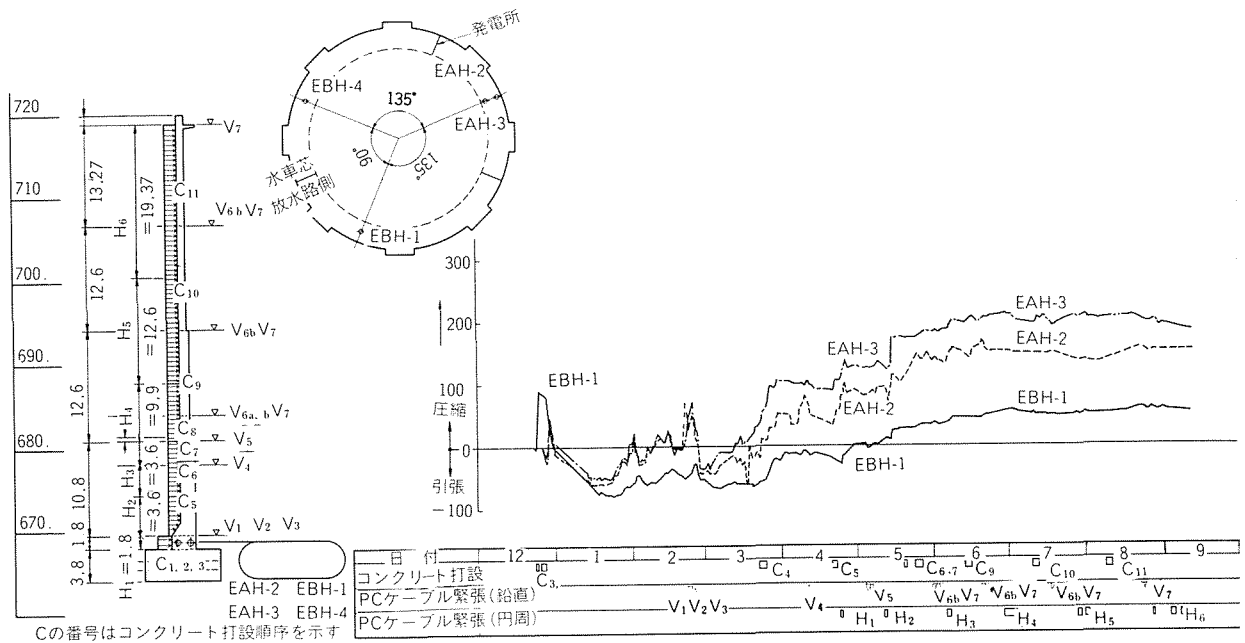
PC鋼材のプレストレスングによる影響については、Uターンケーブル(V₁～V₅)緊張による影響が量としては小さいが現われている。(V₁～V₃)ケーブル緊張により、J-1～J-3は各目地部で、

0.04～0.07mm広がり、緊張作業終了2日後には、元の状態に戻っている。J-4～J-6は、それぞれ0.07～0.08mm閉じて、5日後には元の状態に戻っている。また、円周方向ケーブルの緊張による影響については、ほとんど現われていない。

c) プレストレス導入によるコンクリート応力

図-17, 18に歪測定結果の一例を示す。

鉛直方向, Uターンケーブル(V₁～V₅)の緊張時には顕著な歪変化を示しているが, V₇(PC鋼棒)緊張時には歪変化はほとんど認められず, Uターンケーブルと鋼棒との不連続性が観測されている。ま



た、円周方向ケーブルの挙動は、鉛直方向に比べて歪変化が少なく、比較的均等なプレストレスの導入が認められる。

表-10に示す試験結果をもとに、Goralの材令～強度関係式を用いて、応力換算時における、材令～静弾性係数の関係式を次の様に設定した。

i) $0 \leq t < 28$ 日

$$E_c = \frac{t}{4.248 + 2.588t} \times 10^{-6} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

ii) $t \geq 28$ 日 $E_c = 365000 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$

コンクリートの弾性係数～材令曲線を図-19に示す。

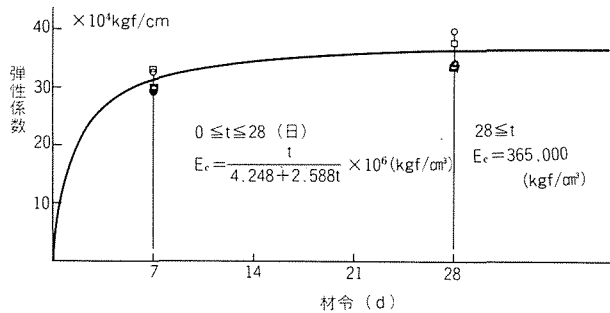


図-19 コンクリートの弾性係数～材令曲線
(Goralの関係式を用いた)

表-17 施工段階ごとの鉛直方向プレストレス応力(測定値)

		EBH-1	EAH-2	EAH-3	EBH-5	EAH-6	EAH-7	EBH-8	EAH-9	EAH-10	EBH-11	EAH-12	EAH-13	EBH-14	EAH-15	EBH-16	EAH-17
		E L 668.83 (t = 1.8m)			E L 671.53 (t = 1.1m)			E L 675.13 (t = 1.1m)			E L 678.73 (t = 1.1m)			E L 682.105 (t = 0.6m)		E L 688.405 (t = 0.6m)	
H ₁ 緊張	歪	10 "	26 "	22 "	10 "	25 "	18 "	2 "	4 "	8 "							
	応力	3.7	9.5	8.0	3.7	9.1	6.6	0.7	1.5	2.9							
H ₂ 緊張	歪	16 "	31 "	40 "	75 "	70 "	77 "	22 "	19 "	16 "	-4 "	-8 "	-4 "				
	応力	5.8	11.3	14.6	27.4	25.6	28.1	8.0	6.9	5.8	-1.4	-2.9	-1.4				
	累計	9.5	20.8	22.6	31.1	34.7	34.7	8.7	8.4	8.7	-1.4	-2.9	-1.4				
H ₃ 緊張	歪	5 "	8 "	8 "	23 "	25 "	24 "	85 "	75 "	71 "	31 "	27 "	27 "	-8 "	-7 "		
	応力	1.8	2.9	2.9	8.4	9.1	8.8	31.0	27.4	25.9	11.3	9.9	9.9	-2.7	-2.4		
	累計	11.3	23.7	25.5	39.5	43.8	43.5	39.7	35.8	34.6	9.9	7.0	8.5	-2.7	-2.4		
H ₄ 緊張	歪	2 "	-2 "	11 "	-2 "	8 "	0 "	24 "	53 "	21 "	111 "	64 "	85 "	146 "	138 "	-2 "	6 "
	応力	0.7	-0.7	4.0	-0.7	2.9	0	8.8	19.3	7.7	40.5	23.4	31.0	53.3	50.4	-0.7	2.2
	累計	12.0	23.0	29.5	38.8	46.7	43.5	48.5	55.1	42.3	50.4	30.4	39.5	50.6	48.0	-0.7	2.2
H ₅ 緊張	歪	1 "	1 "	3 "	2 "	-1 "	7 "	-8 "	19 "	0 "	9 "	-10 "	1 "	-1 "	0 "	134 "	132 "
	応力	0.4	0.4	1.1	0.7	-0.4	2.6	-2.9	6.9	0	3.3	-3.7	0.4	-0.4	0	48.9	48.2
	累計	12.4	23.1	30.6	39.5	46.3	46.1	45.6	62.0	42.3	53.7	26.7	39.9	50.2	48.0	48.2	50.4

表-18 施工段階ごとの円周方向プレストレス応力(測定値)

		EBV-1	EAV-2	EAV-3	EBV-4	EAV-5	EAV-7	EBV-8	EAV-9	EBV-10	EAV-11	EBV-12	EAV-13
		E L 668.830 (t = 1.8m)			E L 671.530 (t = 1.1m)		E L 675.130 (t = 1.1m)	E L 678.730 (t = 1.1m)		E L 682.105 (t = 0.6m)		E L 688.405 (t = 0.6m)	
V ₁ 緊張	歪	144 "	155 "	118 "									
	応力	52.6 kg/cm ²	56.6	43.1									
V ₄ 緊張	歪	52 "	46 "	54 "	85 "	72 "	103 "						
	応力	19.0	16.8	19.7	30.1	25.5	36.3						
	累計	71.6	73.4	62.8	30.1	25.5	36.3						
V ₅ 緊張	歪	40 "	42 "	41 "	76 "	66 "	78 "	102 "	95 "				
	応力	14.6	15.3	15.0	27.7	24.1	28.5	35.3	32.9				
	累計	85.2	88.7	77.8	57.8	49.6	64.8	35.3	32.9				
V _{6a}	歪									82 "	73 "		
V _{6b} ①	歪												
V ₇ ①緊張	応力									25.7	22.8		
V _{6b} ②	歪											37 "	51 "
V ₇ ②緊張	応力											11.6	16.0
計 kgf/cm ²		85.2	88.7	77.8	57.8	49.6	64.8	35.3	32.9	25.7	22.8	11.6	16.0

表-19 施工段階ごとのプレストレス応力(計算値)

節点No.		1	2	3	3	4	5	6	7	7	8	9	9	10	11	11	12	13	14	15	15	16	17	18	19	20	21	22	22	23	24	25	26	27	28
田間方向 プレストレス 導入直後	H ₁ 緊張	0	1.2	4.0	4.0	3.4	1.3	0	-0.9																										
	H ₂ "	0	1.2	4.0	4.0	3.4	1.3	0	-0.9																										
	H ₃ "	0	3.2	16.8	16.8	35.0	28.9	11.9	1.7																										
	H ₄ "	0	0.2	1.6	1.6	9.6	25.0	34.1	25.0	25.1	9.3	7.4	-1.6	-3.4	-1.3																				
	H ₅ "	0	4.6	22.4	22.4	48.0	55.2	46.0	25.8	26.7	7.4	4.5	-1.6	-3.4	-1.3																				
鉛直方向 プレストレス 導入直後	H ₁ "	0	-0.1	-0.6	-0.6	-1.4	-0.3	6.7	22.7	22.6	40.4	44.8	53.8	57.6	55.6	55.6	24.9	-1.3	-1.5	-0.3															
	H ₂ "	0	4.5	21.8	21.8	46.6	54.9	52.7	48.5	49.3	47.8	49.3	52.2	54.2	54.3	55.6	24.9	-1.3	-1.5	-0.3															
	H ₃ "	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	-0.1	-0.4	-0.4	-1.2	-0.7	-0.9	23.4	44.1	42.4	40.9	40.9	39.7	37.4	15.9	12.9	-1.1	-0.8	0.2							
	H ₄ "	0	4.5	21.8	21.8	46.6	54.9	52.7	48.5	49.4	47.7	48.9	51.8	53.0	53.4	54.7	48.3	42.8	40.9	40.6	40.9	39.7	37.4	15.9	12.9	-1.1	-0.8	0.2							
	H ₅ "	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	-0.2	-0.2	-0.6	-0.8	14.4	16.2	24.9	21.9	19.6							
鉛直方向 プレストレス 導入直後	V ₁ 緊張	42.7	42.5	42.4																															
	V ₁ "	17.1	17.0	17.0	27.7	27.5	27.3	27.1	26.9																										
	V ₂ "	17.4	17.3	17.3	28.3	28.1	27.8	27.6	27.4	27.4	27.2	27.0																							
	V ₃ "	77.2	76.8	76.7	56.0	55.6	55.1	54.7	54.3	27.4	27.2	27.0																							
	V ₄ "	77.2	76.8	76.7	56.0	55.6	55.1	54.7	54.3	27.4	27.2	27.0	19.3	19.3	19.4																				
鉛直方向 プレストレス 導入直後	V ₅ "	77.2	76.8	76.7	56.0	55.6	55.1	54.7	54.3	27.4	27.2	27.0	19.3	19.3	19.4	13.8	14.1	14.3	14.5	14.6															
	V ₆ "	77.2	76.8	76.7	56.0	55.6	55.1	54.7	54.3	27.4	27.2	27.0	19.3	19.3	19.4	13.8	14.1	14.3	14.5	14.6	16.0	16.1	16.2	16.5	16.5	16.8	16.9	17.1							
	V ₇ "	77.2	76.8	76.7	56.0	55.6	55.1	54.7	54.3	27.4	27.2	27.0	19.3	19.3	19.4	13.8	14.1	14.3	14.5	14.6	16.0	16.1	16.2	16.5	16.5	16.8	16.9	17.1							
	V ₈ "	77.2	76.8	76.7	56.0	55.6	55.1	54.7	54.3	27.4	27.2	27.0	19.3	19.3	19.4	13.8	14.1	14.3	14.5	14.6	16.0	16.1	16.2	16.5	16.5	16.8	16.9	17.1							
	V ₉ "	77.2	76.8	76.7	56.0	55.6	55.1	54.7	54.3	27.4	27.2	27.0	19.3	19.3	19.4	13.8	14.1	14.3	14.5	14.6	16.0	16.1	16.2	16.5	16.5	16.8	16.9	17.1							
鉛直方向 プレストレス 導入直後	V ₁₀ "	77.2	76.8	76.7	56.0	55.6	55.1	54.7	54.3	27.4	27.2	27.0	19.3	19.3	19.4	13.8	14.1	14.3	14.5	14.6	16.0	16.1	16.2	16.5	16.5	16.8	16.9	17.1							
	V ₁₁ "	77.2	76.8	76.7	56.0	55.6	55.1	54.7	54.3	27.4	27.2	27.0	19.3	19.3	19.4	13.8	14.1	14.3	14.5	14.6	16.0	16.1	16.2	16.5	16.5	16.8	16.9	17.1							
	V ₁₂ "	77.2	76.8	76.7	56.0	55.6	55.1	54.7	54.3	27.4	27.2	27.0	19.3	19.3	19.4	13.8	14.1	14.3	14.5	14.6	16.0	16.1	16.2	16.5	16.5	16.8	16.9	17.1							
	V ₁₃ "	77.2	76.8	76.7	56.0	55.6	55.1	54.7	54.3	27.4	27.2	27.0	19.3	19.3	19.4	13.8	14.1	14.3	14.5	14.6	16.0	16.1	16.2	16.5	16.5	16.8	16.9	17.1							
	V ₁₄ "	77.2	76.8	76.7	56.0	55.6	55.1	54.7	54.3	27.4	27.2	27.0	19.3	19.3	19.4	13.8	14.1	14.3	14.5	14.6	16.0	16.1	16.2	16.5	16.5	16.8	16.9	17.1							

上段：各緊張段階ごとのプレストレス 下段：各施工工までの累計プレストレス

表-20 測定値と計算値との比較(壁厚1.8m部)

	V ₁ ~V ₃		V ₄		V ₅		計	
	発電所側	放水路側	発電所側	放水路側	発電所側	放水路側	発電所側	放水路側
測定値	49.9	52.6	18.3	19.0	15.2	14.6	83.3	85.2
計算値	42.5		17.0		17.3		76.8	

発電所側は2点計測しているなのでその平均値

表-21 測定値と計算値との比較(最終応力)

位置	t = 1.8 m E L 668.83	t = 1.1 m			t = 0.6 m	
		E L 671.53	E L 675.13	E L 678.73	E L 682.105	E L 688.405
測定値	22.3	44.0	50.0	40.1	49.1	49.3
計算値	4.5	46.6	52.7	47.7	53.0	45.6

測定値は同一高さにある計器の読み平均値

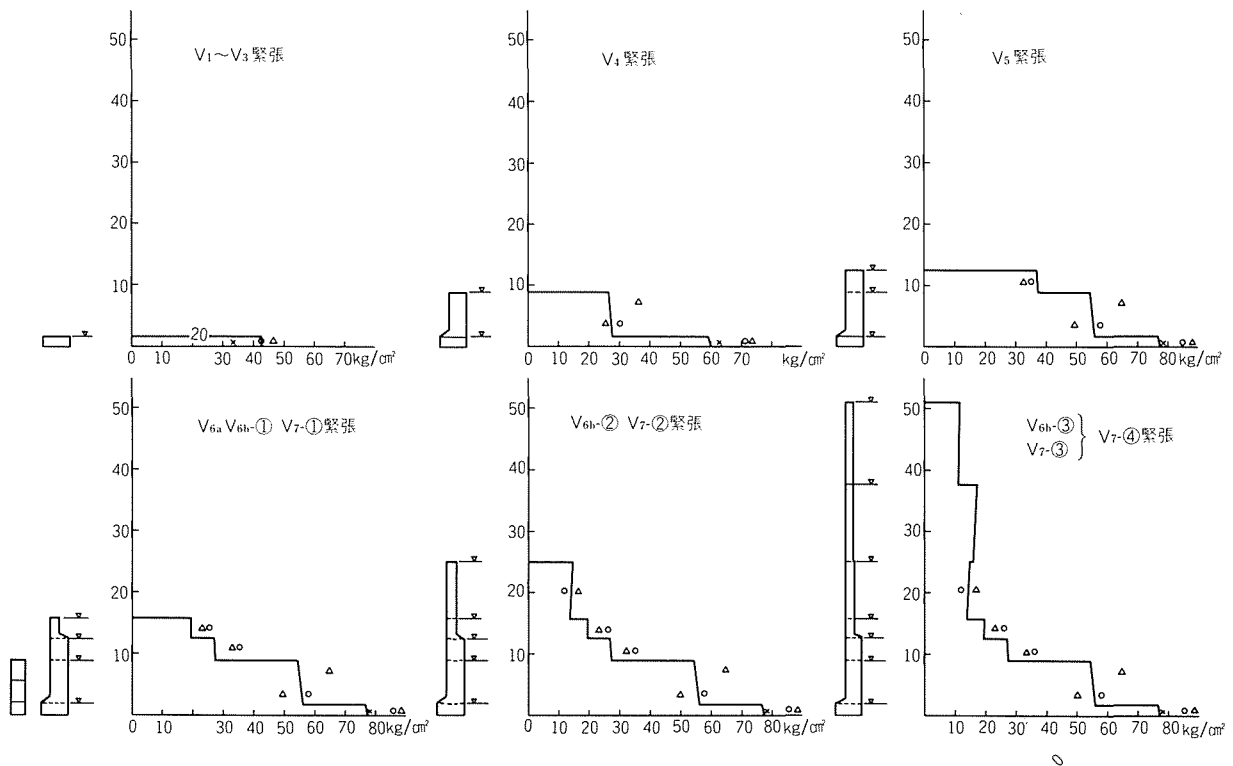


図-20 鉛直方向プレストレス計算値～測定値比較図

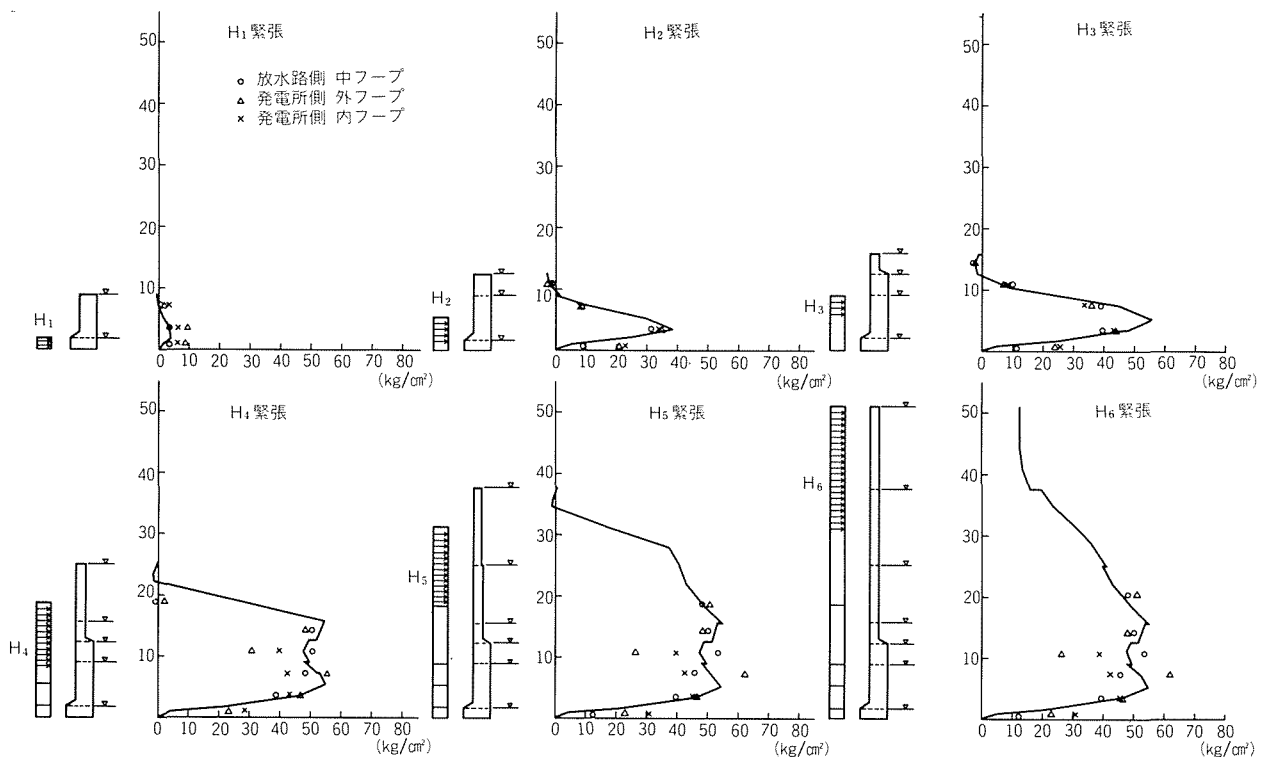


図-21 円周方向プレストレス計算値～測定値比較図

§ 4. おわりに

中部電力(株)奥矢作第1発電所建設工事において、我国でも最大級の規模をもつ、PCサージタンクをスリップフォーム工法によって施工完了した。構造物の施工精度もよく漏水の原因となる、ジャンカや、クラックも見られなかった。これは、適切な配合によって、極力コンクリートの硬化熱を小さくするよう配慮したことと、打設工程、打設設備が適切であったことによると思われる。

今後、大型PC構造物の施工にスリップフォーム工法が多く採用されると考えられるが、当水槽の施工に当たって感じたことを以下に列記する。

- 1) スリップフォームによるコンクリート打設は、昼夜にわたるため作業員が通常作業の約2倍の員数が必要である。このため作業員の急激な増減に対処するため適切な配置、工程上の工夫が要求される。
- 2) PC鋼材の緊張作業と断面変化のため、フォームの停止回数が多くなったが、スリップフォーム工法では、できるだけ停止回数を少なくする方が作業効率も良く、そのためには、設計段階から、例えば、断面を平滑に減少させるとか、連続的に緊張を行うとかの検討が必要であらう。
- 3) 固定型枠部においては、型枠の構造設計、建込みの良否は、直接水槽の水密性を左右するので、特に慎重に取扱わなければならない。例えば、内、外側の型枠を連結するために壁体を貫通して用いられる

タイボルトは、漏水の原因となりやすいので、不連続の形で用いるのが良い。

- 4) 分割目地部の樹脂グラウト注入は、目地の開きが少ないため、その浸透に多くの時間を要した。グラウト注入管の埋設は、そのピッチを出来るだけ小さくする方が望ましい。
- 5) PC鋼線は、1巻ものを現場で所定の長さに切断して使用したが、残長が多く生じた。水槽工事等の鋼線購入にあたっては、単位購入量に注意する必要がある。
- 6) 鉛直グラウト注入は、上部に鋼製キャップを取付け、グラウト漏れのないようにして圧入を行ったが、二次グラウトの必要が多く生じた。今後さらに注入方法等について検討が必要であると思われる。
- 7) 側壁下端を固定構造にすれば、断面も厚くなり、温度応力の影響はさけられない。底盤部のコンクリート打設に際しては、できるだけ1リフトの打設高さを低くし、コンクリート打設後の温度上昇を極力低くすることが望ましい。あるいは強制冷却(クーリングパイプ)方法を検討の必要がある。
- 8) プレストレス導入時のGoral関係式の静弾性係数による計算値と歪測定値とは、よく一致している。

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) 戸田・宮口・中島「スリップフォーム工法による
PCサージタンクの建設工事」土木施工1979. 9
山海堂
- 3) 橘田・斉藤「PC橋のプレストレスングと設計
施工」現代理工学出版
- 4) 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
- 5) 馬場・小林・竹内「大型PCサージタンクの施工」
西松建設技報Vol. 2 P. 173 1979. 6