

福岡市水道局PCタンクの設計施工について

村井 潔* 石川 達夫***
渡辺 明** 山下 幸弘****

1. ま え が き

本PCタンクは、福岡市水道局が寺塚、長尾地区およびその周辺部の人口45600人に対し給水するために、第8回拡張工事の一環として、高宮浄水場内に新設した配水池である。その基本計画はつぎに示すとおりである。

給水区域：寺塚、長尾両地区およびその周辺部
給水量：1日最大給水量 11400 m³/day
有効容量：1基 2800 m³

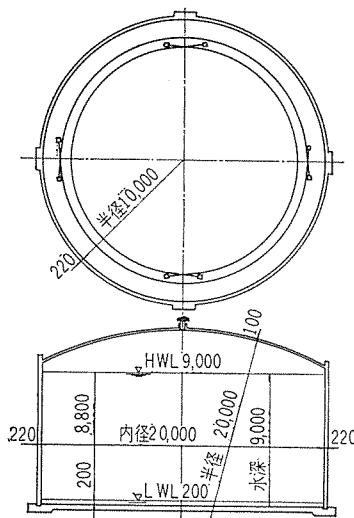
この配水池の構造の決定に当っては、第一に用地に制限があったこと、第二にRC工法のタンクに比し工費が節約できたことなどのために、PC工法を採用した次第である。

2. 設 計

(1) 設計要項

構造設計における諸条項はつぎのとおりである。
形式：円形ドーム屋根PCタンク
工法：フレッシュ方式
有効水深：9.0 m
内径：20.0 m
側壁厚：0.22 m

図-1 構造一般図



* 福岡市水道局 拡張課長
** 九州大学工学部
*** 九州大学工学部
**** 九州鋼弦コンクリートKK

側壁下端：ヒンジ構造

水平震度：0.1

円周方向プレストレス材：12φ5 mm ケーブル

鉛直方向プレストレス材：φ24 mm 3 種鋼棒

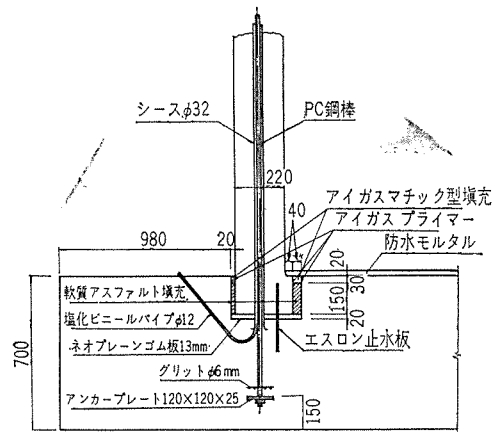
コンクリート28日強度：側壁 400 kg/cm² 以上

底版 300 kg/cm² 以上

屋根 350 kg/cm² 以上

一般形状、円周方向ケーブル配置は 図-1 に、ヒンジ部構造は 図-2 に示すとおりである。

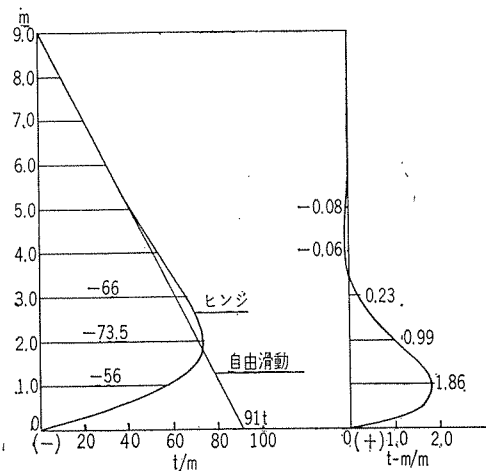
図-2 側壁下端部詳細図



(2) 水槽壁体の設計

a) 水圧により生じる応力 設計上問題となるのはフープテンションと鉛直方向曲げモーメントであるが、これは通常壁体を弾性支承上の半無限長のはりと考えて

図-3 水圧によるフープテンションおよび曲げモーメント



解析することにより求められる。この解析に用いた本水槽の係数は $B=0.88$ である。計算結果は 図-3 のごとくなる。

b) 円周方向プレストレスによる応力 円周方向プレストレスにより水圧によるフープテンション、曲げモーメントと逆方向に円周方向プレストレスと鉛直方向曲げモーメントが生じる。

円周方向プレストレスは、水圧のフープテンションに対し、 10 kg/cm^2 程度の圧縮応力度が残るようにした。

これに必要な PC ケーブルの間隔は $12\phi 5 \text{ mm}$ の有効引張力を 18 t (76.4 kg/mm^2) とし計算すると 表-1 のようになる。

このケーブル配置による円周方向プレストレスおよび、鉛直方向曲げモーメントは 図-4 のようになる。

図-4 円周方向プレストレスおよびプレストレスによる曲げモーメント

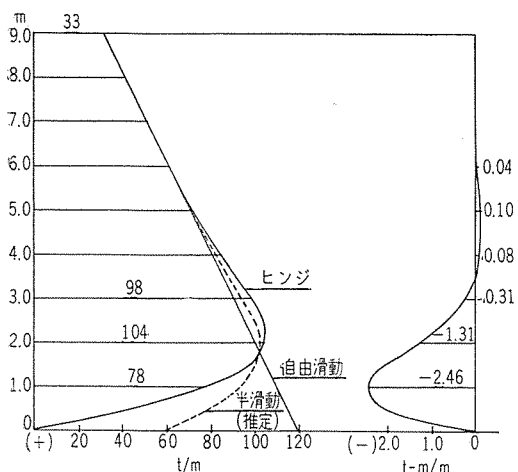


表-1

高さ	0~1.0 m	1.0~2.8 m	2.8~4.48 m	4.48~6.1 m	6.1~7.9 m	7.9~9.0 m
ピッチ	15 cm	18 cm	21 cm	27 cm	36 cm	55 cm

c) 鉛直方向プレストレス 上記曲げモーメントに抵抗させるため PC 鋼棒 $\phi 24 \text{ mm}$ (3種) にてプレストレスを導入した。

1本の有効引張力を 26 t とし側壁下端より 2.5 m の高さまでは円周を 160 等分して平均間隔 40 cm とした。この部分のプレストレスは 29.8 kg/cm^2 となる。

高さ 2.5 m から 6.0 m までは 80 cm 間隔でプレストレス 14.9 kg/cm^2 , 6.0 m からドーム基部までは 160 cm 間隔で、プレストレスは 7.4 kg/cm^2 となる。

d) 合成応力度 以上により水圧、円周方向プレストレスによる応力度を算出し、円周方向および鉛直方向について満水時および空虚時の応力度状態を示すと 表-2 および 表-3 のようになる。

円周方向プレストレスは、一応ヒンジとして計算した

表-2 円周方向応力度 (kg/cm^2)

高さ (m)	満水時			空虚時	
	有効プレストレス	水圧による応力度	合成応力度	有効プレストレス	導入直後のプレストレス
0	0	0	0	0	0
1.0	35.4	-25.6	9.8	35.4	40.7
2.0	47.3	-33.4	13.9	47.3	54.4
3.0	44.6	-30.0	14.6	44.6	51.3
4.0	38.5	-24.2	14.3	38.5	44.3
5.0	32.8	-18.5	14.3	32.8	37.5
6.0	28.1	-13.8	14.3	28.1	32.1
7.0	23.7	-9.2	14.5	23.7	27.1
8.0	19.3	-4.6	14.7	19.3	22.1
9.0	14.9	0	14.9	14.9	17.0

表-3 鉛直方向応力度 (kg/cm^2)

高さ (m)	鉛直方向有効プレストレス	円周方向プレストレスによる応力度 外縁/内縁	水圧による応力度 外縁/内縁	満水時合成応力度		空虚時合成応力度	
				外縁	内縁	外縁	内縁
0	29.8	0	0	29.8	29.8	29.8	29.8
1.0	29.8	± 30.5	∓ 23.0	37.3	22.3	60.3	-0.7
2.0	29.8	± 16.2	∓ 12.3	33.7	25.9	46.0	13.6
3.0	14.9	± 3.8	∓ 2.9	15.8	14.0	18.7	11.1
4.0	14.9	∓ 1.0	± 0.7	14.6	15.2	13.9	15.9
5.0	14.9	∓ 1.2	± 1.0	14.7	15.1	13.7	16.1
6.0	14.9	∓ 0.5	± 0.4	14.8	15.0	14.4	15.4
7.0	7.4	0	0	7.4	7.4	7.4	7.4
8.0	7.4	0	0	7.4	7.4	7.4	7.4
9.0	7.4	0	0	7.4	7.4	7.4	7.4

値である。導入直後のプレストレスは、クリープ係数 $\phi = 2.0$, 乾燥収縮度 $\epsilon_s = 15 \times 10^{-5}$, 鋼線のレラクゼーション 5% として計算したもので有効プレストレスの 15% 増となった。

(3) ドーム屋根の設計

このドーム屋根は、基部周縁に作られたリングはりに自重と載荷重によって 45.3 t の水平力が作用する。

これに対し PC ケーブル $12\phi 5 \text{ mm}$ 3本にて 54 t のプレストレスを導入して抵抗させた。

ドームは半径 20 m で厚さ 10 cm , 基部リングはり付

表-4 (a) 緯線方向応力度 (kg/cm^2)

θ	0°	10°	20°	30°
自重	2.4	2.4	2.6	2.6
荷重	2.0	2.0	2.0	2.0
計	4.4	4.4	4.5	4.6

表-4 (b) 経線方向応力度 (kg/cm^2)

θ	0°	10°	20°	30°
自重	2.4	2.3	2.0	1.6
荷重	2.0	1.9	1.5	1.0
計	4.4	4.2	3.5	2.6

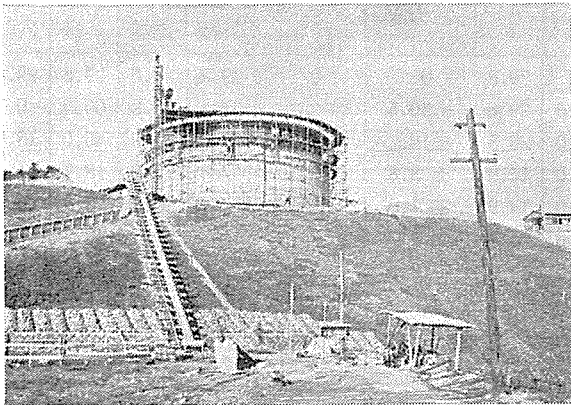
近で15 cmにした。この設計は通常行なわれているシェルの薄膜理論で行なった。計算結果は表-4のとおりで、すべて圧縮応力度となる。

3. 施 工

(1) 仮設備関係

高宮浄水場内の最高箇所の地山をカットして築造するので、マクラギ700本を敷並べてのり尻まで運搬路を作り、のり長33mには軽便ガーダーを布設し、その上に15kgレールを敷いてインクラインを設置した。台車は0.5m³の生コンを運搬できる容積とし25HPの複動ウインチで引上げるようにした。生コン以外のすべての材料の運搬もこれを利用したが、1往復に約5分間を要する速さであった。

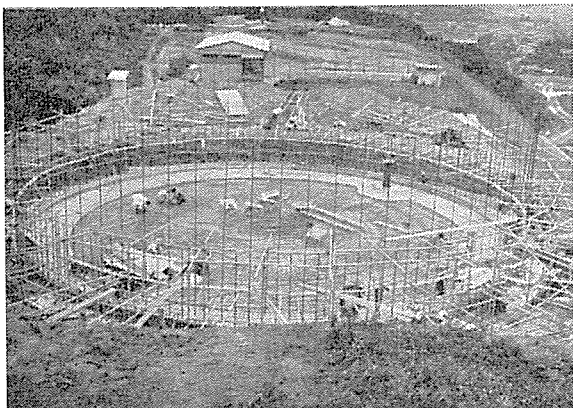
写真-1 運搬設備



(2) 基礎および底版工

基礎地盤は硬質粘土層で、実験の結果からも支持力は十分期待できて基礎ぐいの必要はなかった。計画高に風化を防ぐ意味で15cm被覆した面まで着工前にブルで掘削されていた。その15cmを人力掘削し栗石を20cmの厚さに敷並べて十分につき固めを行なった。この上に厚さ10cmの無筋コンクリート(セメント200kg/m³スランプ12cm)を打設した。底版コンクリートは、鉄筋φ13mmをダブルに配筋し、厚さ30cm(セメント350

写真-2 底版工状況



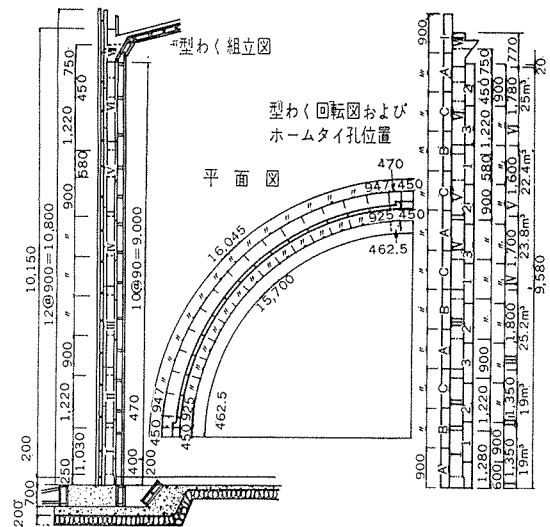
kg/m³, スランプ12cm)を3回にわけて打設した。3m³の生コンを約30~40分間でインクラインにより巻きあげ、ベルトコンベア3台を使用して打設した。打継ぎ面には新旧コンクリートの接着をよくするためショードンD#202を塗布した。

(3) 壁体工

型わくは、円形に施工するのに容易なように内側の最下段60cmは木製型わくとした。その他は鋼製型わく(スミフォーム900mm×300mm 1300枚)を使用した。

これは他の現場への転用を考慮して同一寸法とし、内外とも3段分ずつを揃えた。PCケーブル定着部などの特殊型わくはすべて木製とした。コンクリートの打設高さの決定に当たって考えた点は、第一に2.5mおよび6.0mの点で鋼棒を緊張するために打設面を設ける必要がある。第二に打継ぎの数は防水上少なくしたいので、できるだけ1回の打設高を高くしたい。第三に型わくの回転をスムーズにしたい。第四にコンクリート打設時間を3時間程度にしたい。これは気温が午後3時頃ピークとなるので、午後4時頃から打設するのが、コンクリート養生に最適と考えたためである。第五に十分にバイブレーターを使用できる高さにしたい。以上の5点を考慮して図-5のように1.35~1.8mを1回の打設高さとした。型わくは内外をフォームタイ(止水板つき丸セパレータ)にて壁厚を保持し、内側には木製骨板をスミフォーム1枚に1段の割合で使用して円形を保たしめ、外側はφ25mmの丸鋼とターンバックルにて締付けた。円型のチェックは、各段ごとに8等分点でスチールテープを使用して行なった。

図-5 型わくおよびコンクリート打設高



コンクリートは、生コン(ベロセメント400kg/m³スランプ8cm)をインクラインおよび、タワーで所定の高さまで上げ、一輪車3台ずつで足場の上を運搬し、中央

から二手にわかれて縦方向の打継面ができないように、おのおの3台のφ45mmフレキシブルパイプレタを使用して打設した。打継面にはセキスイのFのD型止水板を使用し、養生は散水養生とした。

コンクリート打設および型わく組立用足場、型わくバタ材などはすべて足場パイプを使用した。パイプの使用本数は4m 800本、3m 500本、2m 800本であった。

写真-3 型わく組立状況

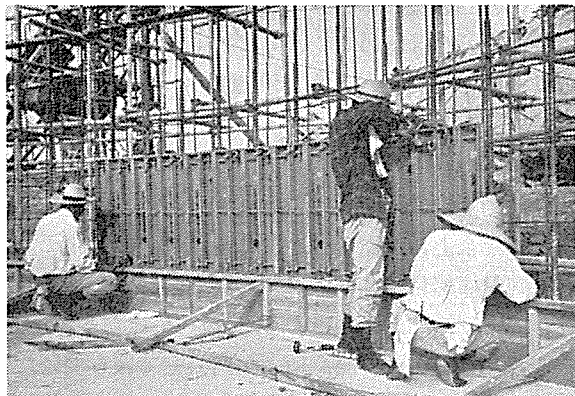
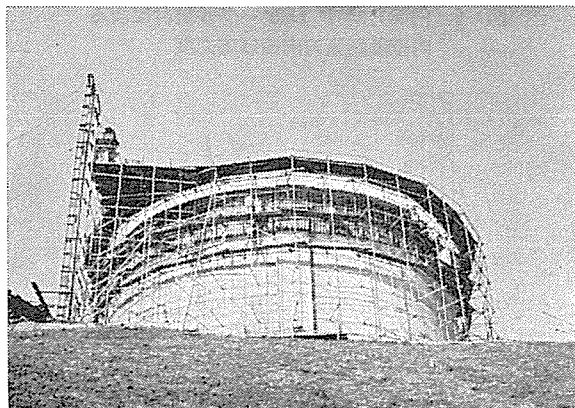


写真-4 コンクリート打設用足場



(4) プレストレッシング

PC鋼棒は3段にわけて、おのおの所定の緊張をジャッキ4台で4等分点から同時に行なった。

PCケーブルは、PC鋼棒を全部緊張した後、フレネージャッキ4台にて1ケーブル間隔に下方より緊張を行なった。ドームリングのケーブルは屋根コンクリート打設後に緊張した。この鋼棒およびケーブルの緊張時には試験の項に述べるようにすべて応力の測定を行なった。

PCケーブルは緊張前は摩擦測定を行なったが、このケーブルは円周上に同一曲率半径で配置されているために、どの部分の単位長さにおいても角変化および、シーソとPC鋼線との摩擦係数 $(\mu\alpha + \lambda l)$ は同一である。

このケーブル長さ1m当りに対する $(\mu\alpha + \lambda l)$ はシーソ内を水洗いしたただけの場合は実測値より0.055/mとなるが摩擦を減少させるために水洗い後水溶性油を使用

すると0.035/mとなった。水洗い後水溶性油(当現場では出光興産のダフニーEの70倍溶液)を注入して緊張を行なった。この水溶性油はグラウト前に良く水洗いを行なってシーソから洗い出した。

PC鋼棒のグラウトは、鋼棒下端に埋め込んだ塩ビパイプより注入した。

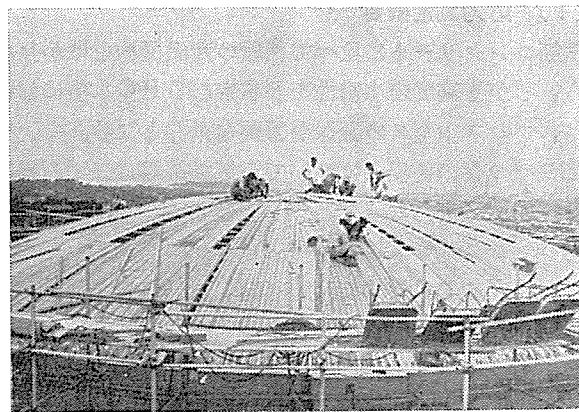
(5) ドーム屋根工

支保工は、壁コンクリート打設に使用した足場と同様に足場パイプを4m 1200本、3m 500本、2m 500本使用したが、そのうち900本はコンクリート打設足場の内まわりの分を流用できた。足場パイプはクランプを使い1.5m間隔で格子状に組立てた。この上にスクリージャッキ250個を使用して高さを調整し、その上に木製合掌を組み立てた。型わくは合掌の上に3.5寸角材を縦横にならべ板張りを行なった。

コンクリート打設は、ドーナツ型にコンクリート量を三等分して下から三回にわけて打設した。かなりの勾配があるが、運搬を考えてスランプ8cmで打設した。打継面はショーボンド#202を塗布した。

支保工および型わくの撤去は、高さ調整のスクリージャッキをゆるめ水槽内で細分して、直径60cmのマンホールから0.3tマイティプラーを使用してつり出した。

写真-5 ドーム屋根型わく組



(6) 防水工その他

ドーム屋根(350m²)および水槽内面(底面320m²、壁面650m²)は、防水工としてフリントコート(KRC工法)を採用した。内壁最下部と底面の接合部および打継面の最下段とその上の段は特に幅50cmのラスを一周させてその上にフリントコートを再塗布した。

フォームタイの木コーン穴およびその他の壁面にあるボルト穴などは、すべてショーボンド#101にて填充した。

外面はペンキ(メタラック)をはけぬりして白銀色に塗装をした。

内部のハシゴはPS部材をボルトにて組立て、ショー

ボンド #101 で接合および保護をした。

(7) 実施工程

表-5 のとおりの工程であるが、冬期に施工される場合はコンクリートの養生が大変で、この工程では無理と思われる。

以上施工に関してはすでに本誌 Vol. 5, No. 5 にて発表された松本市のPC水槽工事報告と重複する点は省略したが、工程その他比較して、できるだけ夏期に施工すれば経済的にも楽にできると思われる。

表-5 工 程

工 種	39年6月		7月		8月		9月		10月	
	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20
板 敷 備 工										
基礎築造工										
床 工										
定 場 工										
鉄筋ケーブル工										
型 枠 工										
コンクリート工										
PC鋼棒緊張工										
PC鋼棒緊張工										
グラウト工										
定 場 工										
型 枠 工										
鉄 筋 工										
コンクリート工										
PC鋼棒緊張工										
グラウト工										
型枠及支保撤去工										
防 氷 工										
梯子取付工										
常設備工										
漆・雷針工										
外観足場撤去工										
取 片 工										

3. 応力測定

(1) 応力測定概要

鉄筋コンクリートに比べて格段の断面節約をはかりながら、しかも高度の水密性を要求されるPC水槽においては、プレストレスの確保が重要な条件となる。

そこでつぎの各場合について電気抵抗線式ひずみ計による応力測定を行なった。

① プレストレス導入時

鉛直方向PC鋼棒締付時 (第1次測定)

円周方向PCケーブル締付時 (第2次測定)

図-7 円周方向PCケーブル締付による外壁面鉛直方向曲げ応力度

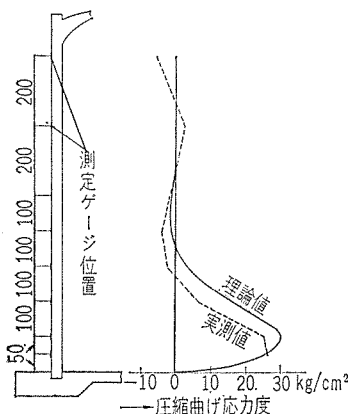


図-8 円周方向PCケーブル締付による内壁面円周方向曲げ応力度

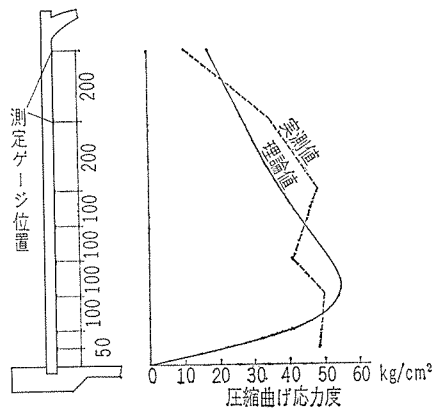
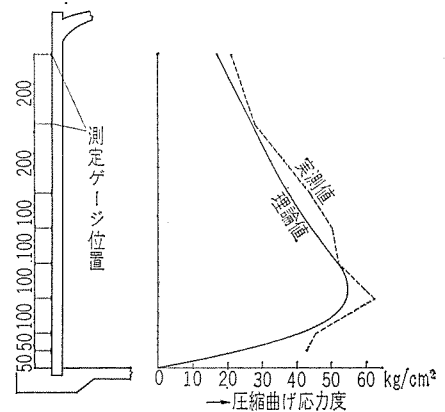


図-9 円周方向PCケーブル締付けによる外壁円周方向曲げ応力度



② 完成後満水時 (第3次測定)

(2) 測定方法

相隣るPCケーブル定着ブロック断面間にA断面を、その反対側にB断面を選んで計測断面とした。

図-6~9 に示すごとく、両断面の内外壁面に鉛直ならびに円周方向にストレインゲージを貼付した。

第1次測定より第3次測定までにおよそ3カ月の工事期間を要するので、ゲージの接着、保護には特に留意し、PC-12(共和電業)、ハマタイト(横浜ゴム)によるコーティングを行なったのち、さらにショーボンド#101によるコーティングを施した。50測点中、3測点をのぞきゲージは終始良好であった。温度の影響を考慮して測定は夜間を原則とした。

(3) 測定結果

紙面の都合上A断面についてのみ示す。設計施工上、鉛直方向鋼棒締付は3回にわけて実施したから、各回における応力測定結果をまとめると表-6となる。

高さ7mと9mの測点応力が内外壁でばらついたのは鋼棒の若干の偏心の影響と思われる。

図-6 円周方向PCケーブル締付による内壁面鉛直方向曲げ応力度

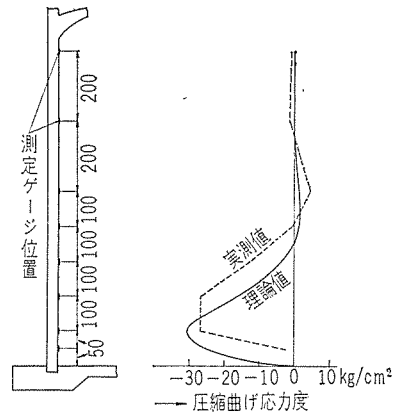


表-6 鉛直方向 P C 鋼棒締付直後のプレストレスの実測値と理論値

測壁面高さ	点の下端よりの高さ (m)	実 測 値 (kg/cm ²)					理論値 kg/cm ²
		第 1 回締付	第 2 回締付	第 3 回締付	第 1 回 + 第 2 回 + 第 3 回	内外壁の平均値	
1	外 壁	24.3	7.5	4.8	36.6	33.1	34.4
	内 壁	18.9	8.4	2.4	29.7		
2	外 壁	27.2	8.1	6.3	41.6	42.4	34.4
	内 壁	31.9	9.3	2.1	43.3		
3	外 壁		9.9	7.5	17.4	14.7	17.2
	内 壁		9.9	2.1	12.0		
4	外 壁		9.3	7.5	16.8	14.5	17.2
	内 壁		9.9	3.3	13.2		
5	外 壁		9.0	5.4	14.4	14.6	17.2
	内 壁		9.5	5.4	14.9		
7	外 壁			6.3	6.3		8.6
	内 壁			12.6	12.6		
9	外 壁			6.6	6.6		8.6
	内 壁			14.7	14.7		

図-10 満水試験時の外壁面鉛直方向曲げ応力度

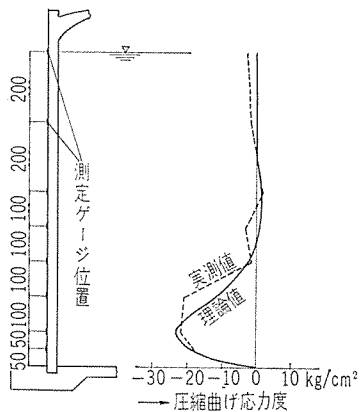


図-11 満水試験時の外壁面円周方向曲げ応力度

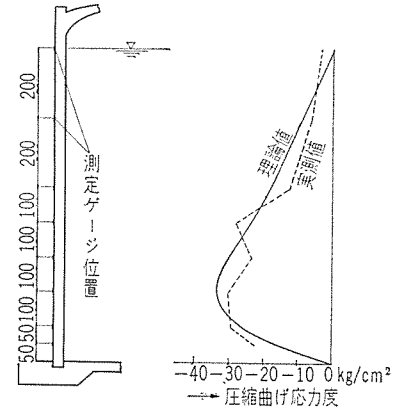


図-6~7, 図-8~9 は、円周方向 P C ケーブル締付時における内外壁面の曲げ応力度分布を示したもので、前者では鉛直方向応力、後者では円周方向応力の実測値と理論値を比較した。鉛直方向応力のピークは 50~150 cm にあり、また円周方向応力のピークは 2m 付近にあ

り本理論適用の妥当性がうかがわれる。

満水時における鉛直方向および円周方向の応力の実測値と理論値を示せばそれぞれ 図-10, 図-11 となる。

1964. 12. 21. 受付

お 詫 び : 会誌 資料 57 Vol. 6, No. 6 の P C 設計施工資料

電動グラウトポンプ (極東鋼弦コンクリート振興 K.K.) 中に誤りがございましたので、お詫び申し上げますとともに下記のように訂正致します。

- 誤
- 仕様
三方切換循環式
注入圧力 : 10 kg/cm²
吐出量 : 1.5 l/min

- 正
- 仕様
三方切換循環式
注入圧力 : 10 kg/cm²
吐出量 : 15 l/min