

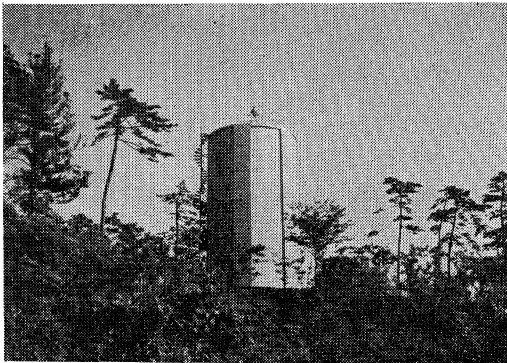
わが国最初のプレストレストコンクリート水槽工事

井 深 功*
渡 辺 和 夫**

1. ま え が き

本水槽は横浜市工業用水道における送水管の末端である市内鶴見区子安台地に設置したもので、配水管に加わる静水圧の減圧と、時間的使用量の調整を行わせるものである。

写真-1 子安台地に竣工した水槽



従来、この種の水槽は、鉄筋コンクリート造であつて、この場合、ろろ水を防ぐために内部に鉄板内張りを行うか、特殊の防水工を施すのが通例であるが、丈高の水槽では下部の水圧も高く、これに対して耐圧と水密をも考慮し、構造的に壁厚も増大するので、工費も割高になつているのである。

水槽それ自体は大量のものになれば、その径は大になるが構造的計算としては、水圧のパイプと同様で、いわゆるスタンドパイプであり、水道におけるコンクリートパイプが、コンクリート理論上では妥当と考えられても、水密を考慮に入れると疑問点が残されているが、この種の設計にも、あてはまるものである。

横浜市水道においては、すでにプレストレストコンクリート管を使用しており、この管が、コンクリート製の耐圧管として理論的、实际的に、最も適合している管であり、この体験上と、すでに外国においてはPC工法を水槽に採用しているので、この方法を用いて築造すれば経済的にも、はなはだ有利のものと考慮し採用することとした。

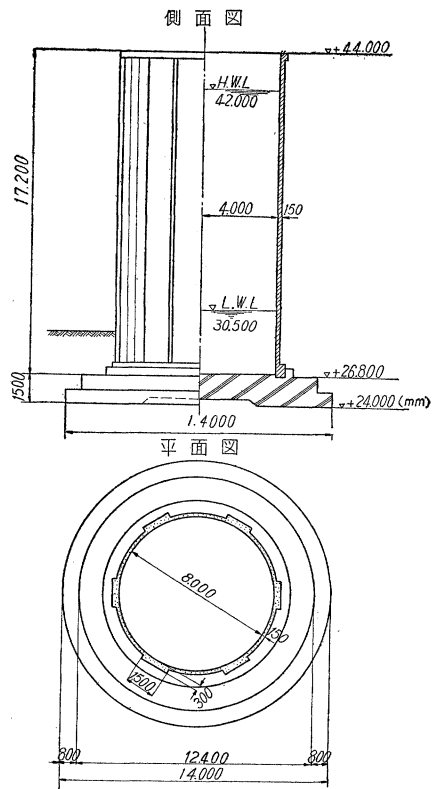
2. 設 計

* 正員 工博 横浜市水道局長

** 正員 オリエンタルコンクリート KK 常務取締役

水槽の形状寸法は図-1のような大きさの、付帯設備として内径 1100 mm 連絡管 (プレストレストコンクリート製)、400 mm 越流管、450 mm 泥吐管を有する円形構造物であり、その応力解析には種々の方法があるが、本設計では一般に用いられている弾性支承上の半無限上の、ハリと仮定して応力を解析した。

図-1 水槽一般図



すなわち、この水槽は下端をヒンジ支承とし、水圧は満水状態 (水深 17.00 m) を対象とし、次の項に示すような応力に対してプレストレスを導入したものである。

(1) 水槽壁面に生ずる水圧による応力

壁体に生ずる応力はフープテンション、鉛直方向曲げモーメント、せん断応力の3種であるが、ここで直接問題になるのはフープテンションと曲げモーメントであり、これらを計算する一般式を示すと次のようになる。

$$\frac{d^2}{dy^2} \left(F \frac{d^2 w}{dy^2} \right) + \frac{E t}{r^2} w = p \quad (\text{S. Timoshenko})$$

式中

$$F = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}$$

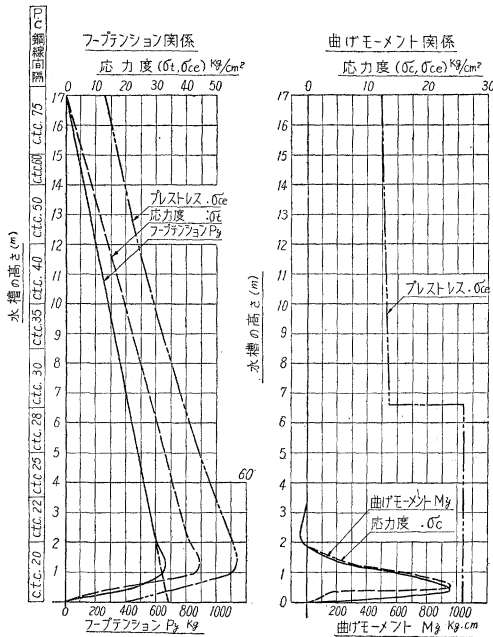
次に弾性支承のハリの解において用いられる係数 β は、

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{Et}{4r^2F}}$$

によつて表わされる。

以上の式を用いてヒンジ支承を有するハリの曲げモーメント (M_y)、フープテンション (P_y) を算出し、その結果を図示すると図-2 のようになる。

図-2 水槽壁面に生ずる応力とプレストレスとの関係



(2) プレストレス

前項で算出された各応力に対しプレストレスを求めると、プレストレスは次の式で与えられる。

$$\text{フープ方向 } \sigma_{ce1} = \sigma_{pe1} A_{p1} / t \lambda$$

$$\text{鉛直方向 } \sigma_{ce2} = \sigma_{pe2} A_{p2} / A_c$$

式中

λ : PC 鋼線のケーブル間隔

σ_{pe1} : PC 鋼線有効引張応力度

A_{p1} : PC 鋼線 1 ケーブルの断面積

σ_{pe2} : PC 鋼棒の有効引張応力度

A_{p2} : 水槽の断面積

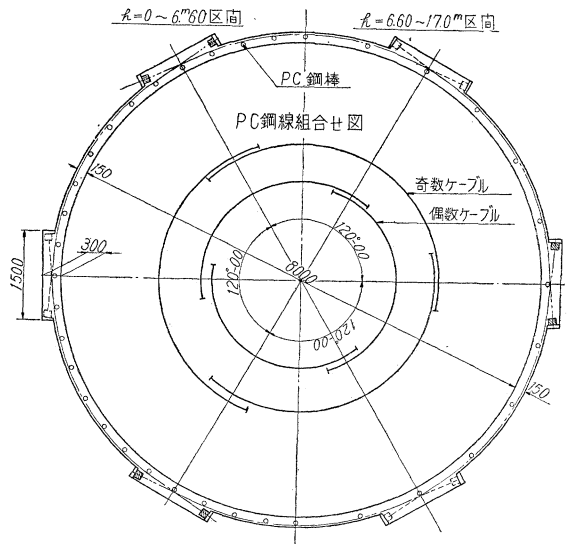
これらの式を用いてプレストレスを算出すると、鋼線および鋼棒の配置は図-2 のような間隔となり、同図に示すようなプレストレスが作用することになる。

フープテンションに対しては PC 鋼線 $\phi 5 \times 12$ のケーブルを使用し、摩擦その他を考慮してケーブル両端の定

着は図-3 のように 1/3 円周方式を採用し、鉛直方向曲げモーメントに対しては、同図に示してあるように PC 鋼棒を使用した。

なお応力分布の減少に対応するためにケーブルも鋼棒も水槽上部にゆくにしたがつて減少せしめた。すなわちケーブルは順次間隔をあらく、鋼棒は下端より 6.6 m 断面までは $\phi 1''-36$ 本、 $\phi 7/8''-12$ 本を用い、それ以上には $\phi 1''-24$ 本とした。またフープテンションに対しては全水圧作用後も、なおコンクリート断面に圧縮応力度が約 10 kg/cm^2 以上残るように設計した (図-2)。

図-3 PC 鋼線ケーブルおよび鋼棒の配置方法



3. 施 工

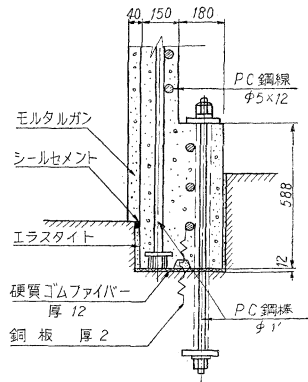
(1) 水槽壁下端と基礎面との構造

水槽下端部と基礎面とは設計仮定においてヒンジとしたのであるが、防水条件とプレストレス導入の条件を満たすため

図-4 に示すように躯体と基礎は、遮水用銅板とゴムファイバーを挿入し PC 鋼棒で定着し、さらに躯体の内側壁と底板との伸縮目地はシールセメントをコーキングするようにした。

この目的のため、ゴムファイバーはセメントペーストを用いて接触をよくし、銅板のヒンジ部分はアスファルトでよく包み、シールセメントはコン

図-4 水槽壁下端と基礎面との構造 (単位:mm)



クリートを乾燥せしめつつ丹念にコーキングして付着をよくせしめ、プレストレス導入および防水効果を十分あげるようにした。

(2) 型ワクの計画、製作および組立

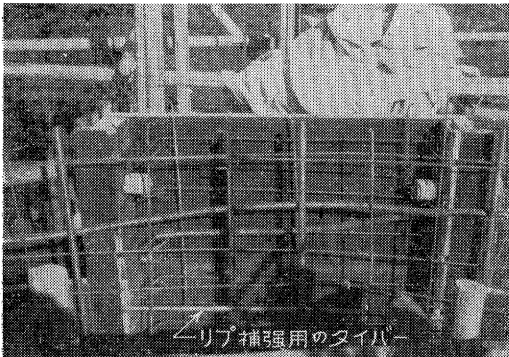
型ワクの計画にあたって、構造物の性質上、滑動型ワクを使用すべきか、あるいはくり返し方式を採用すべきか、の両者が考えられたが、躯体の外側に PC 鋼線が出ることで、型ワクに定着コーンを取りつけねばならぬこと、などから安全を考えて後者を採用することとし、外側はメタルフォーム、内側はフレームが鉄ワクの板張りとし、次の点を考慮し 1 枚の高さは 75 cm、3 段組立てのボルト締めによる型ワクとした。

- a) コンクリートは振動締めとし、1 回の打ち込み高さは 1.50 m とする。
- b) 透水の原因となるようなフォームタイを用いて内外の型ワクを連結せぬこと。
- c) 型ワクは足場上の操作であること。
- d) PC 鋼線端は型ワクの外側に出ること。
- e) PC 鋼線ケーブルの間隔は均一でないこと。

外側型ワクは曲り部、リブ部および定着コーン取付部の 3 枚を 1 組とし、鋼板 (板厚 3.2 mm) に L 型钢および平鋼を溶接して剛性を持たせたもの 6 組 (1 段当り) である。

型ワクの結合は、すべてボルト (φ13 mm) によつたものであるが、リブ部は型ワクの変形を防止するため写真-2 のようにタイバー (φ13 mm) を用いて補強した。

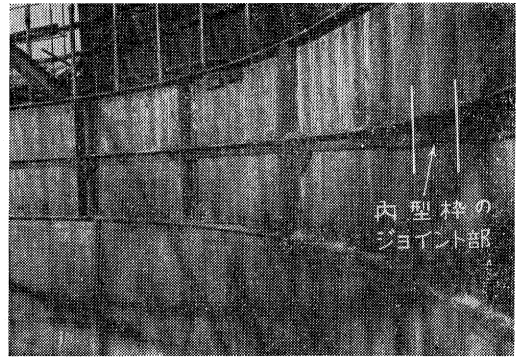
写真-2 リブ部補強用タイバー



内側型ワクは外側と同様にフレーム 12 組 (1 段当り) を前述のようにして作り、ジョイントは 12 カ所のうち、交互に 6 カ所はフレームが直接ボルト締めでき、他方は組立てのさい板を補充し、L 型钢をあて板として補充し、取りはずしを容易にできるようにした (写真-3)。

型ワクの組立ては、外側についてはリブ部分のうち、定着コーン取付部を立てこみ、側板を外側からあててボルトで締め、この部分を固定し (写真-4)、中間の曲り型ワクは、これらにならつて組立てるようにしたので、型ワク間のセリによる変形もなく、作業もスムーズに進

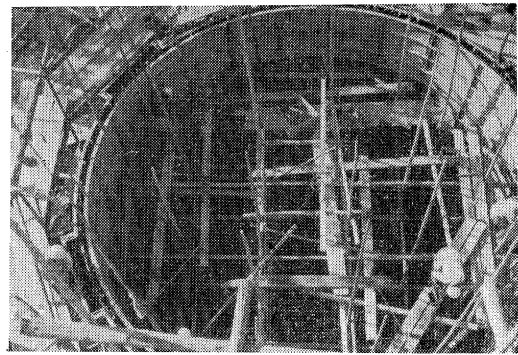
写真-3 内側型ワクの板補充ジョイント部



行した。

つぎに内側を組立て内外型ワクはタイバーにより上端で結んで断面を保持せしめ、ターンバックル 6 本を用いて真円を保たしめた (写真-4)。

写真-4 型ワク組立作業

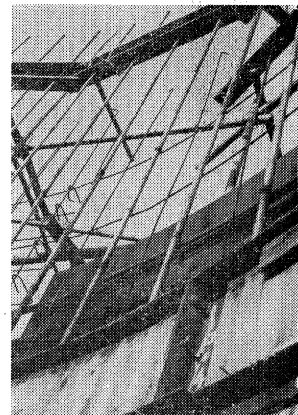


型ワクのくり返し方法は 3 段のうち、1 段はコンクリート面にセリ持ちにして保持せしめ、その上に型ワク 2 段 (2 @ 0.75=1.50 m) を組立てコンクリートを打設する。コンクリート硬化後、下側 2 段を取りはずし前回同様の方法をくり返しながる逐次上方へ移動した。

(3) PC 鋼棒および PC 鋼線ケーブルの組立て

小巾の板で多角形の定規を作り、PC 鋼棒の位置に穴をあけ、それによつて PC 鋼棒の位置を保つた。なお、この定規は PC 鋼棒の長さの関係から 2 組製作し上方と中頃に取りつけた (写真-5)。また型ワク上面においては型ワクを利用することにより所定の位置に固定せしめた。

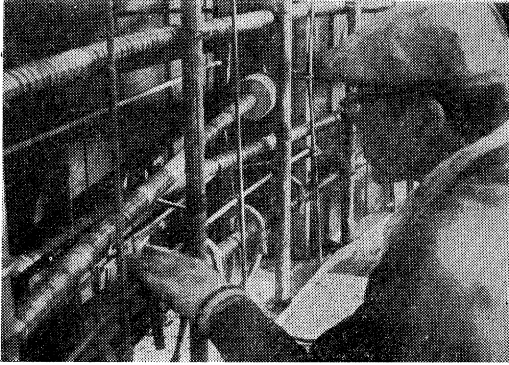
写真-5 定規による PC 鋼棒の立込み



PC 鋼線の配置はフ

レキシブル シースを使用し、配力鉄筋および PC 鋼棒のシースなどに密に緊結し、蛇行するのを極力防止しプレストレス導入効果をあげるようにした (写真-6)。

写真-6 PC 鋼線ケーブルの組立て



(4) コンクリート

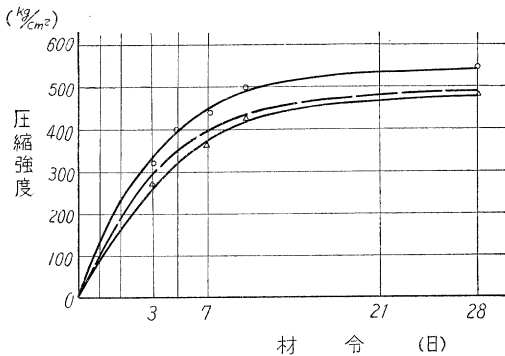
躯体断面は非常に薄いので均一性と水密性をうるために配合および施工にあたって次のような点に留意した。

a) 配合 コンクリートの強度は $\sigma_{28}=400 \text{ kg/cm}^2$ である。セメントは小野田早強セメント、骨材は相模川産、水密性を増すため AE 剤 (ポリス No.5) を使用した。示方配合および強度は 表-1、図-5 のとおりである。

表-1 示方配合

骨材最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	単位水量 (kg)	単位セメント量 (kg)	水セメント比 (%)	絶対細骨材率 (%)	単位細骨材量 (kg)	単位粗骨材量 (kg)	ポリス No.5 (g)
20	8±1	157	400	42	40	733	1118	1860

図-5 コンクリートの材令と強度との関係



b) 打込み コンクリートの打込みにはタワーおよびカートを用い、振動機により十分締固めを行った。打込み速度は約 $2 \text{ m}^3/\text{h}$ とした。

c) 養生および打継目 壁体は湿潤養生に効果的なこともおおい、その周囲にはスプレーヤーを配置して噴霧養生を間断なく実施した。なお、施工時は冬期であつたため夜間は躯体の上方からシートでおおい、また、季節風も相当にあつたので防風設備も実施した (写真-7, 8)。

打継目は、表面のレイタンスをワイヤーブラシその他により完全に除去し、用心のため遮水板として鉄板 (30# 巾 6 cm) を挿入し透水距離を延長せしめた (写真-9)。

コンクリート打ちに際してはモルタルをしき、継目部分に豆板の生ずるのを防止した。

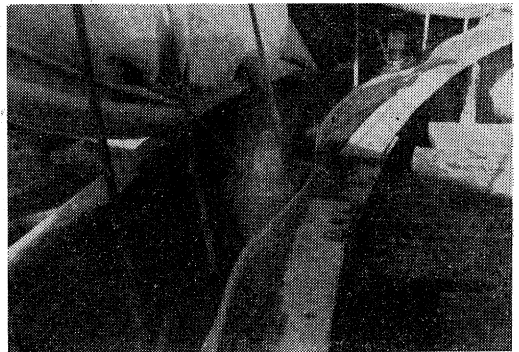
(5) プレストレッシング

前述のごとく水槽に導入したプレストレスは鉛直方向とフープ方向に大別されるが、次の要領で実施した。

a) 鉛直方向プレストレス 鉛直方向のプレストレスを与えるにはシンプレックス ジャッキ 4 台を使用し、壁の各部分に均等に応力が作用するように配置した (写真-10)。

緊張力は 5 t きざ

写真-9 レイタンスを完全除去した打継目



みに与え、そのつど PC 鋼棒の伸びを測定しチェックした。

b) フープ方向プレストレス フープ方向は図-7に示すようにフレシナー ジャッキ 6 台を同時に作動し、躯体の弾性変形が上下均等に進行するようにジャッキングの位置および順序を定めた。

(6) グラウト

グラウトは表-2 の配合により回転数約 3000 回/min

写真-7 スプレーヤーによる養生

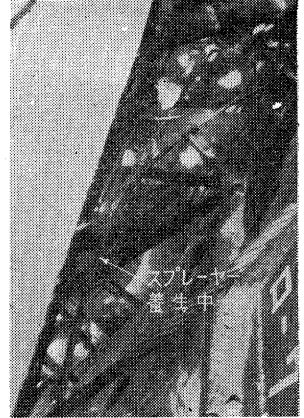


写真-8 防風設備を施した水槽

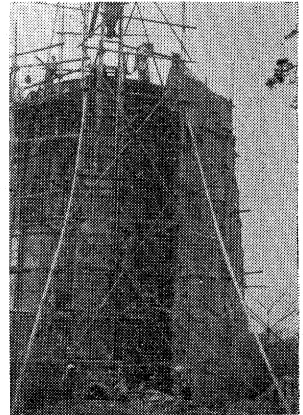


写真-10 鉛直方向プレストレス導入作業

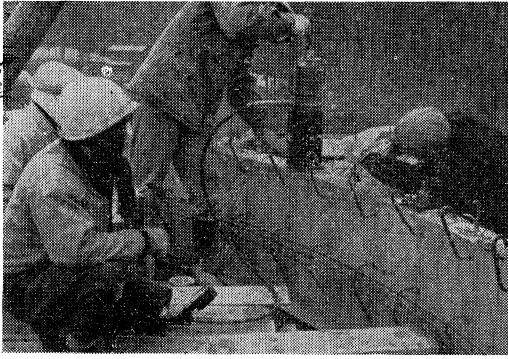


図-6 PC 鋼棒の伸びと緊張力との関係

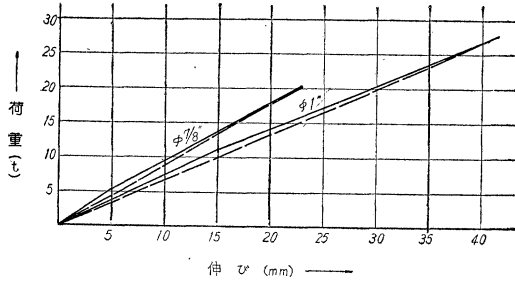


図-7 緊張要領

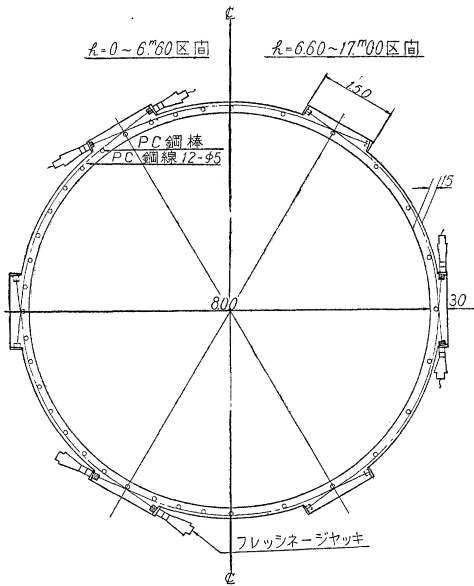


表-2 グラウトの配合

セメント (kg)	フライアッシュ (kg)	ポリス No.5 (g)	フロー値 (sec)
50	10	250	16~18

のミキサーで約 5~7 分練り混ぜたものを鉛直方向は下端より上方に向かって、フープ方向はコン注入口より、それぞれグラウトした。

(7) 試験

プレストレス導入時および灌水時に生ずるコンクリー

写真-11 フープ方向プレストレス導入作業

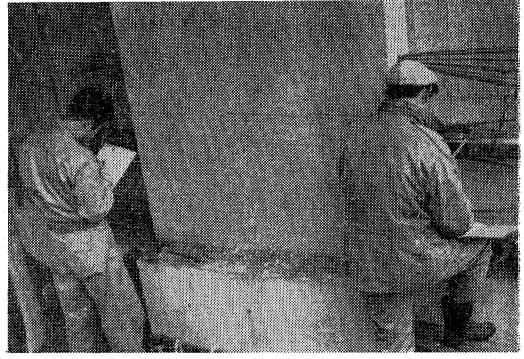
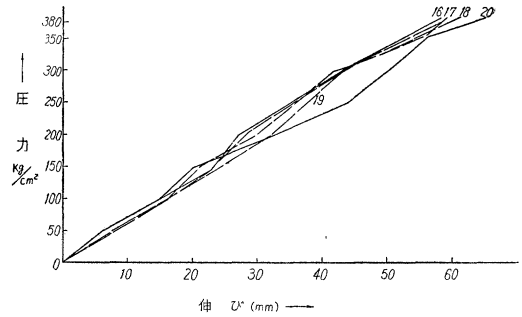


図-8 PC 鋼線の伸びと緊張力との関係



トの変形量を測定し、水槽躯体の応力状態を検討した。コンクリートのヒズミ測定には、フーゲンベルガー デフォーメーターを使用し 図-9 に示す位置で測定した。

図-9 ヒズミ測定位置

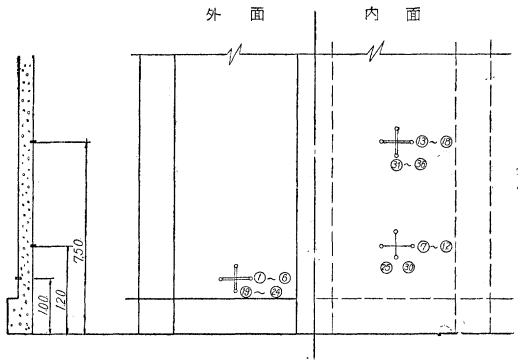


写真-12 デフォーメーターによるヒズミ測定作業

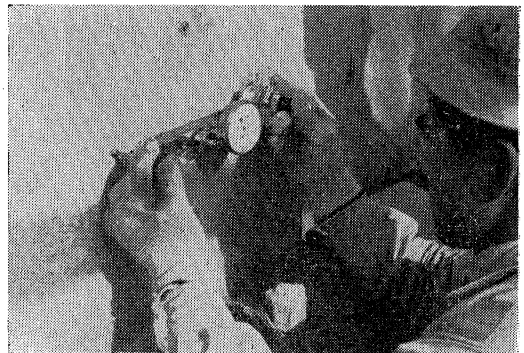
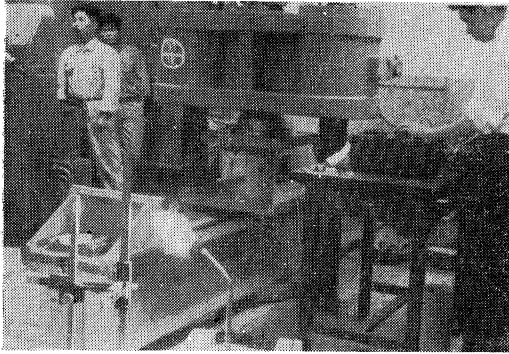


写真-13 テストピースのヤング係数測定



このヒズミ計は 1×10^{-5} までの精度を有するものである(写真-12)。また、この試験に平行してテストピースによる弾性係数の測定も合わせて行つた(写真-13)。これらの測定結果の主なものを示すと表-3のようになる。

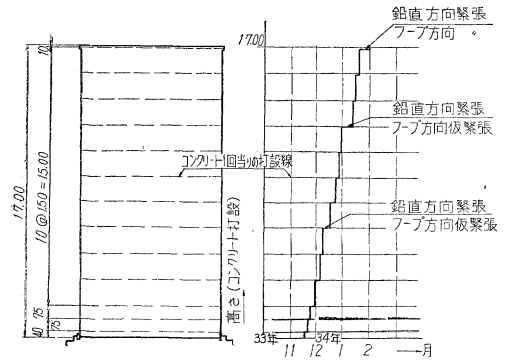
表-3 コンクリートのヒズミ度および応力度の測定値(プレストレスを与えたとき)

フープ方向 ($E=3.7 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$)			鉛直方向 ($E=3.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$)		
測点	ヒズミ度 $\epsilon = 1 \times 10^{-5}$	応力度 $\sigma = E\epsilon \text{ kg/cm}^2$	測点	ヒズミ度 $\epsilon = 1 \times 10^{-5}$	応力度 $\sigma = E\epsilon \text{ kg/cm}^2$
1	18	66.6	21	9	31.5
2	19	70.4	23	9	31.5
3	20	74.0	25	10	35.0
4	19	70.4	31	5	17.5
5	20	74.0	33	5	17.5
6	19	70.4	35	6	21.0

(8) 工 程

躯体コンクリート打込みの工程およびプレストレッシングの時期は 図-10 のとおりであつて、約2カ月で主

図-10 躯体進行図



体工事を完成した。

4. あとがき

本水槽設計施工は、日本で最初であるため慎重を期した。理論的検討はPCパイプと同様で割合簡単であるが、小口径のプレストレストコンクリート管でもPC鋼線の応力導入に多大の苦心を要したのに、大径の水槽に、いかにして応力を導入するかの施工が、PC水槽築造に対する焦点となつた。

当局としても設計は初めてであり、また、プレストレストコンクリート関係業者としても未経験であるため、これが設計、施工にあつては施工業者オリエンタルコンクリートKKと当局が一体となり、昭和33年9月着工、昭和34年5月竣工し、試験充水の結果、PC鋼線および鋼棒の応力は設計どおりに導入され、また、水密も完全なることが判明し、わが国最初のPC水槽がここに誕生したので発表した次第である。

學術用語集 土木工学編 改定公告

文部省より下記のとおり改定申入れがありましたので公告いたします。

ページ・索引	行	現行用語	改定用語
168 yāk	上 14	yunion-meruto-yōsetuhō ユニオンメルト溶接法 union-melt ((Submerged-melt)) welding	削 除
uni 381	下 1	union-melt ((Submerged-melt)) welding ユニオンメント溶接法 yunion-meruto-yōsetuhō	削 除