

◇工事報告◇

牧の原 6 000 m³ PC タンクの設計と施工について

岡	島	武	博*
坂	口	国	夫*
川	原	忠	夫**
梶	谷	則	行***

1. ま え が き

本プレキャスト PC タンクは、静岡県農地森林部が県内牧の原台地の茶業振興を目的とした畑灌事業の一環として計画された農業用貯水槽である。

本プレキャスト PC タンクは 6 000 m³ と大容量のため、プレストレストコンクリート構造として計画され、現地施工の簡素化、工期の短縮化より側壁部分にプレキャスト工法を採用し実施されたもので、水密性・耐久性など優れた性能をもつものである。

プレキャスト工法での設計・施工については、まだ研究の余地もあると思われるが、ここに一例としてその概略をとりまとめ報告するものである。

2. 構造概要

工 事 名：62 畑総日東地区畑灌 2 工事

工事場所：榛原郡金谷町大代地内

発 注 者：静岡県牧の原農業用水建設事務所

施 工 者：ドーピー建設工業株式会社

形 式：プレキャスト PC タンク

容 量： $V=6\,000\text{ m}^3$

側 壁 高： $H=9.0\text{ m}$

水 深： $H=8.5\text{ m}$

内 径： $D=30.0\text{ m}$

側壁厚さ： $t=0.22\text{ m}$

PC 工法：水平方向；マルチストランドタイプ（埋込み方式）

鉛直方向；プレテンション方式

3. 設 計

本プレキャスト PC タンク側壁部は、図-1 のような近似円筒形状の構造物であり、長さ 9 m、断面 $1.55 \times 0.22\text{ m}$ のフラットなプレキャスト PC 版と現場施工による目地部分からなり、水平方向を PC 鋼材で緊結して組み立てる構造である。フラット版を用いているため

* ドーピー建設工業（株）

** 日本コンクリート工業（株）

*** 日本プレスコンクリート（株）

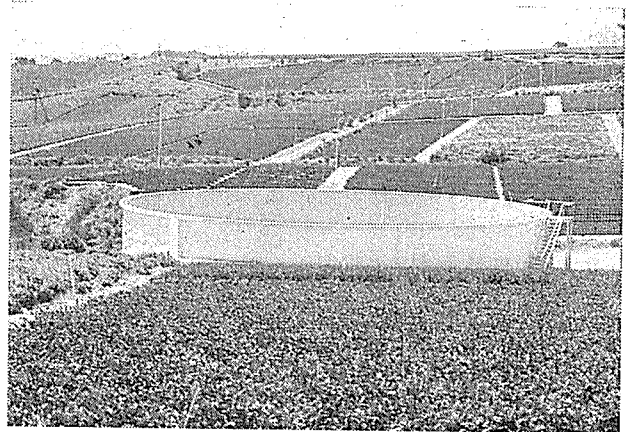


写真-1 完 成

密に考えれば 60 の辺を有する多角形の筒状の構造となる。そこで側壁部断面力算定時の解析モデルの検討を行った。

3.1 解析モデルの決定

詳細設計を進める前に、数種の解析モデルについて計算を行い断面力を求めた。それらの算出断面力の結果を比較検討して詳細設計使用モデルを決定した。

解析モデルとしては、有限要素法（2 ケース）、弾性円筒シェル理論（1 ケース）の 2 方法、3 ケースによって比較検討を行った。

なお、検討荷重としては、静水圧および地震時自重慣性力とした。静水圧については各ケース、慣性力については有限要素法の 2 ケースにて断面力の比較検討を行った。

（1）各解析モデルの形状

有限要素法

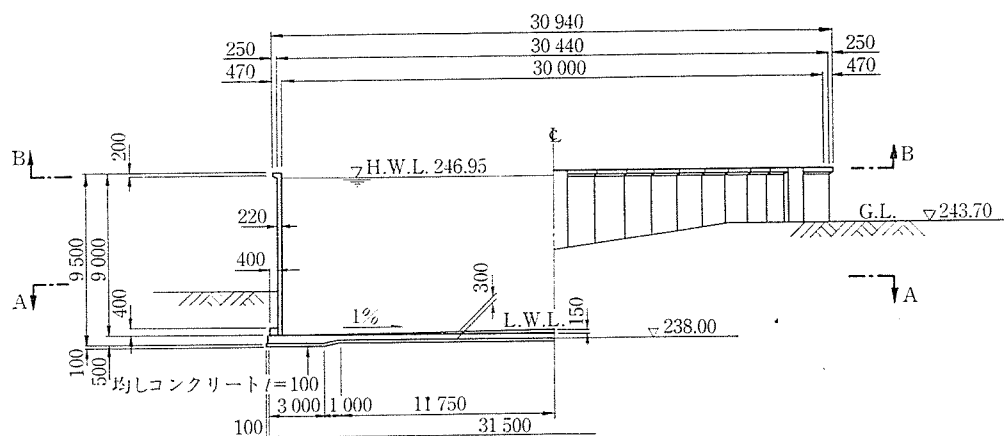
・＜モデル-1＞ 軸対称薄肉シェル構造

本プレキャスト PC タンクを近似円と考え、軸対称な薄肉シェル要素で構成された円筒状の構造とした（図-2）。

・＜モデル-2＞ 立体折版構造

プレキャスト側壁版を平版要素で構成されたものとし、それらを立体的に組み合わせた構造とした（図-3）。

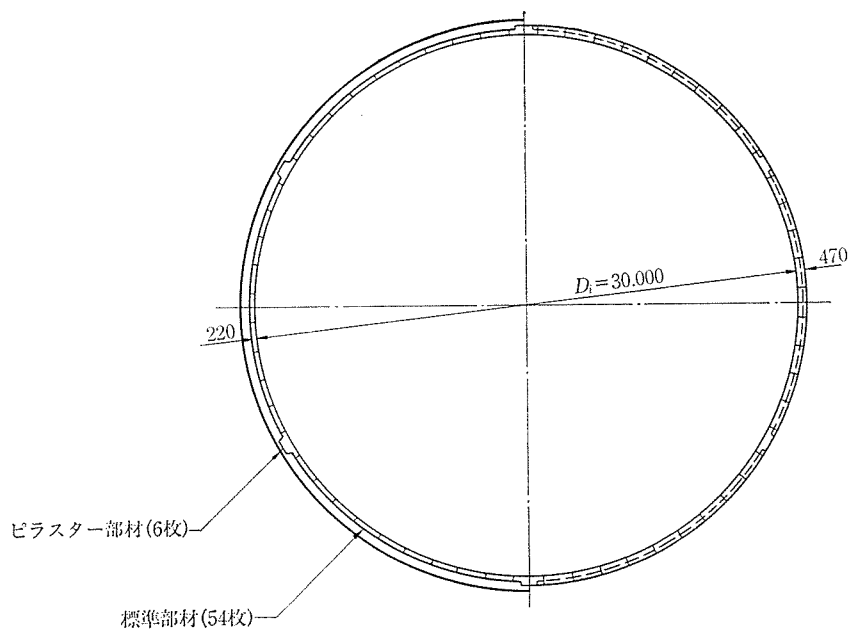
側面図



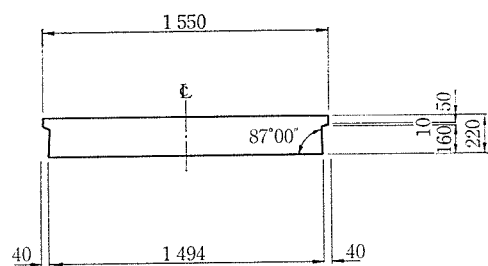
平面図

A-A断面

B-B断面



標準部材断面図



ピラスター部材断面図

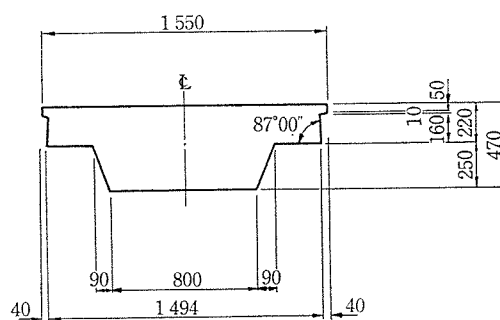


図-1 一般図

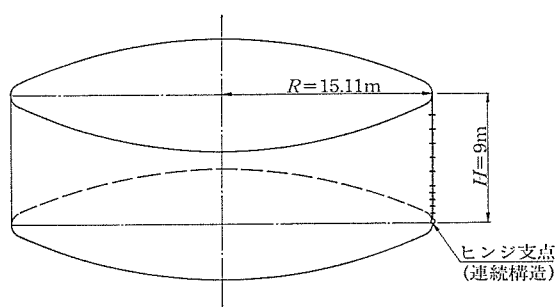


図-2 モデル-1

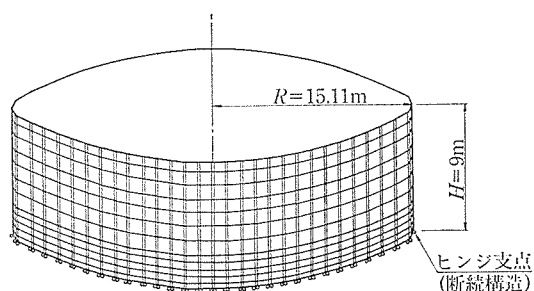


図-3 モデル-2

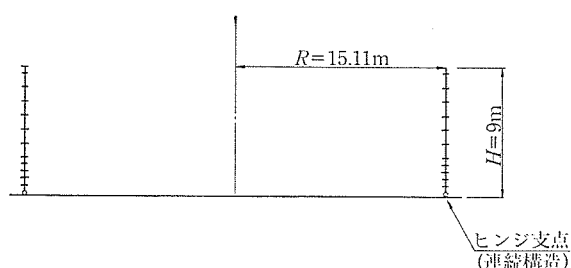


図-4 モデル-3

弾性円筒シェル理論

・＜モデル-3＞

側壁を弾性支承上の半無限長の梁構造と考えると断面

力を算出した（図-4）。

（2）各モデルの比較検討

前記の3ケースのモデルによって求めた静水圧・地震時自重慣性力による断面力の結果を図-5、図-6に示す。なおモデル-2については、版中心部と目地部の2か所の断面力を算出した。

・＜静水圧による断面力＞

軸対称荷重に対する比較を行った。

円周方向フープテンションについては、モデル-1とモデル-2では最大値の発生位置がややずれてはいるが、数値的にはほとんど同じであった。モデル-2は他のモデルに比べてやや少なめの傾向を示した。またモデル-2の版中心部と目地部の結果に関しては、側壁下方3mぐらいまでは目地部の値が大きくなる傾向がでた。これはモデル化での支点条件が、他のモデルと異なっていたためである。

鉛直方向曲げモーメントについては、3モデルとも同様な傾向を示した。数値的にも大きな差はなかった。

円周方向曲げモーメントについては、モデル-1、モデル-2の版中心部、モデル-3は差は生じなかった。モデル-2の目地部が異なる傾向を示したが、これも前に記した支点条件の差によるものと思われる。下端部の平板要素をこまかくして、支点が点から線に近いようなモデル化を行えば、他のモデルの結果に近づくものと考えられた。

・＜地震時自重慣性力による断面力＞

非対称荷重に対する比較を行った。

円周方向フープテンション・鉛直方向曲げモーメント・円周方向曲げモーメントともに静水圧作用時と同様な傾向を示した。ここでも支点条件による出力結果の差が出たが、問題はないと思われる。

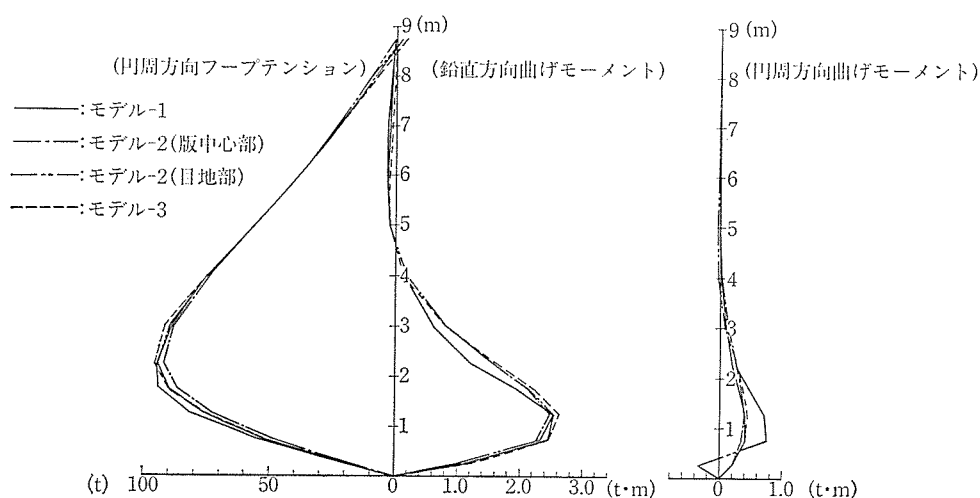


図-5 静水圧による断面力

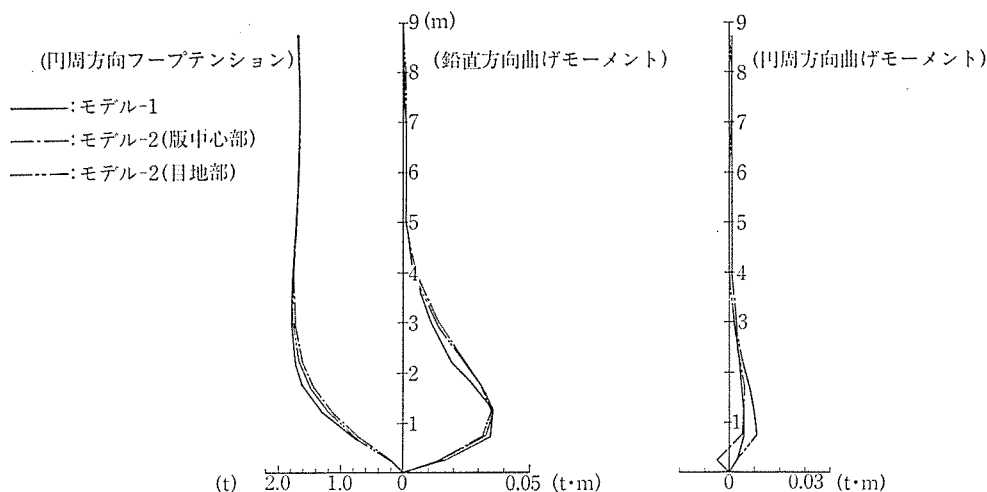


図-6 地震時自重慣性力による断面力

(3) 結 論

支点の拘束による影響が伝わらないと思われる側壁の高さ 4 m 以上での断面力に着目すると、今回の 3 モデルでは全く差が生じていない。この結果より、60 角形断面であっても円形（軸対称）と考えて、問題ないと判断した。側壁の下方では、支点拘束の影響が現われてくるため、支点のモデル化での条件設定の差が算出結果に若干の差を生じさせた。比較検討の項でも述べたが、モデル-2 での支点を連続した状態にモデル化を近づけてやれば、版中心部と目地部の結果の差も収束し他の 2 モデルにより近づくものと思われる。

詳細設計にはどのモデルを用いても十分な精度をもった結果が得られると判断した。

今回の解析モデルの決定に当たっては、各モデルとも信頼性は十分にあるが、非軸対称荷重に対する解析が容易であること、モデル化作業が容易であること等を考えて、モデル-1 を採用することとした。

3.2 本体の設計

プレキャスト本体の設計においては、次の点に留意して計算を行った。

- 1) 解析モデルは、軸対称薄肉シェル構造によった。
- 2) 解析モデルの支点条件を、プレストレス導入時はフリー、荷重載荷時はヒンジ構造とした。
- 3) 荷重としては、静水圧・土圧・プレストレス・側壁内外温度差・地震時動水圧・地震時土圧を作用させた。
- 4) 側壁はプレテンション方式のプレキャスト PC 部材とした。プレキャスト部材として、製作時・運搬時・組立時での応力チェックを行った。
- 5) 円周方向 PC 鋼材の配置は円弧状とした。
- 6) プレストレッシングは VSL 工法で行い、PC 鋼材を円周の 1/3 ずつ巻き 3 か所のピラスター部に

定着した。

- 7) プレストレス量としては、設計荷重時に円周方向に 10 kg/cm^2 程度の残留応力度が残る量とした。
- 8) 底版は弾性支承上の梁として解析を行った。
- 9) 地震時の検討はタンクの固有周期算出結果より静的解析とした。
- 10) 底版の安定計算には Housner 理論によって、地震時動水圧による断面力を用いた。

以上の 10 項目に留意し本体の設計を行ったが、特に問題となるような計算結果は無かったため、その詳細は省略する。

4. 施 工

4.1 概 要

当工法は、工場製作のプレキャスト部材を現場で建て込み目地部には膨張モルタルを打設し水平方向を PC 鋼材で緊結し一体化させる工法であり、プレキャスト部材は、長さ 9.0 m、幅 1.55 m、厚さ 0.22 m の PC 版であり現場の基礎工事と並行して製作することができる。

主な工事内容を大きく分けると次の 5 項目である。

- ① 基礎および底版工……直接基礎
- ② 側壁工……側壁組立工、縦目地工
- ③ PC 工……緊張工、グラウト工
- ④ アンカー工
- ⑤ 防水工……弾性シーリング材充填、防水塗装、外面塗装

以上の項目のなかで、側壁工はプレキャスト工法のため、側壁部材組立後、縦目地部に膨張モルタルを打設しなければならない。その施工方法および膨張モルタルの品質を確かめるために練混ぜ試験・実物大の目地注入実験を行った。また、防水に関しては目地止水構造に関する実験を行いその安全性を確認した（写真-2、写真-

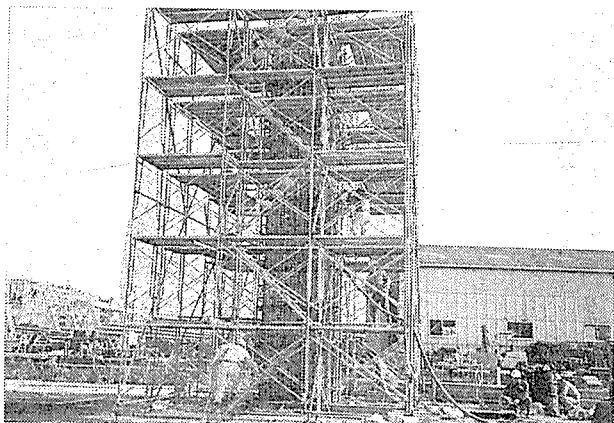


写真-2 縦目地注入実験

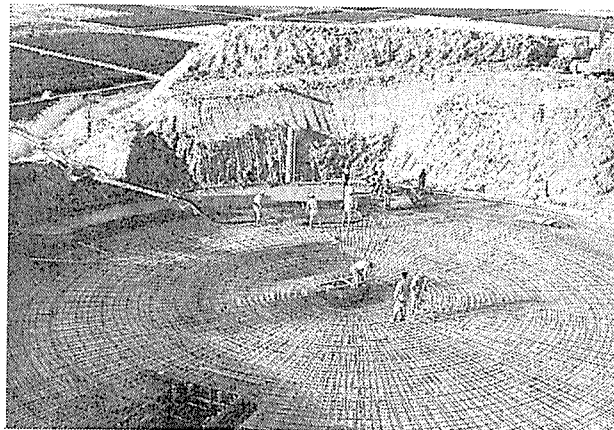


写真-4 底版コンクリート打設

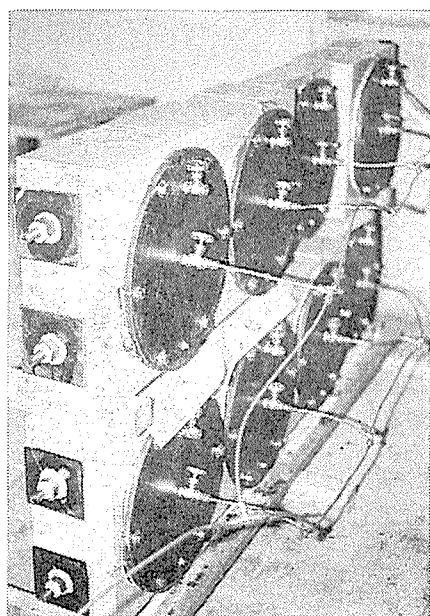


写真-3 止水実験

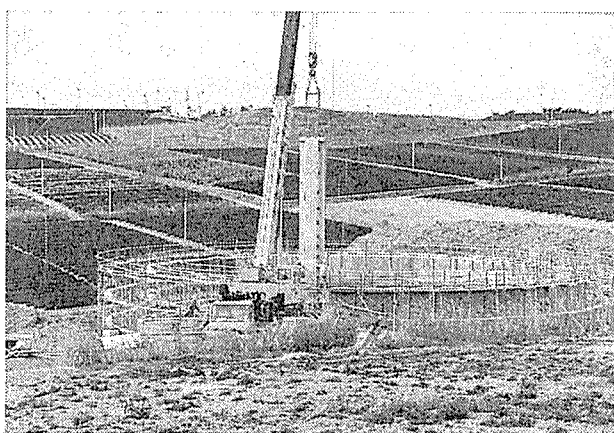


写真-5 側壁組立工

3)。

4.2 基礎および底版工

基礎底版の位置は、現地盤より約 6 m 下の位置に計画され表土より 3~4 m 下から N 値 50 以上の砂レキ層が位置している。支持層としては十分な地耐力があったため、掘削後、地盤面の路面転圧を繰り返し行き均しコンクリートを 10 cm 打設した。同時に配管敷設、巻立コンクリート打設を行った。

底版コンクリートは、設計基準強度 $\sigma_{ck}=210 \text{ kg/cm}^2$ 、スランプは $8 \pm 2.5 \text{ cm}$ としピット部も同時に打設した。コンクリートボリュームは、 $V=300 \text{ m}^3$ と大容量であったが、打継目を無くするため 1 日で打設した。打設はコンクリートポンプ車を用い、コンクリートが打ち終わるまで 9 時間を費やした。また、表面コテ仕上げ作業は、徹夜作業となった（写真-4）。

コンクリートの強度管理は、材令 7 日、28 日の標準

養生、現場養生、さらにコンクリートハンマーによる強度管理と温度勾配による熟成強度で長期管理を行った。

現地は特に風が強く、日の当たる乾燥しやすい場所なので、養生方法としては底版の上を水を溜めて（底版には、中心に向かって 1% の勾配がついている）、養生を行った。

側壁部材据付け部は箱抜ききの形となっているので、浮型枠（木製）で箱抜き状に仕上げ、レイタンス処理後にセルフベリング材を打設してレベル調整を行い、支承材を敷設した。

4.3 側壁工

側壁部材は、プレテンション部材（標準部材 $W=7.6 \text{ t/枚}$ -54 枚、ビラスター部材 $W=12.5 \text{ t/枚}$ -6 枚）として工場で製作した。

製作時は特にタワミに注意し、工場仮置き時には支点となる部分が無いよう長い板材の上にベタ置きとし、直接日光が当たらぬようシートで覆った。

側壁部材の組立支保工は、枠組足場を単管で補強し内側（3 段まで 2 列配置）と外側に円形状に高さ 8.5 m まで組み立て、内側と外側の上端を単管でつなぎ外側には

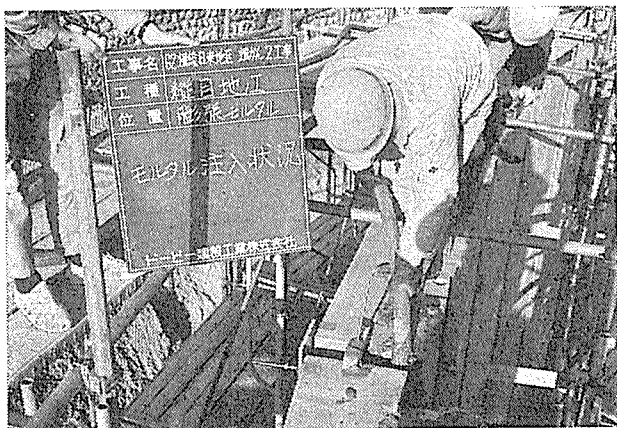


写真-6 縦目地工

ワイヤーを張り転倒防止を行った。さらに墜落・落下防止に外側全面にネットを張り安全に留意した。

現場は、スリパチ状の形状に掘削しており、部材を架設する現地盤から底版までは5~6mの高低差があり、表土は軟質土でクレーンの移動・据付けが困難と思われたため、周りに部材架設用の仮設道路を施工した。

部材組立は、60tトラッククレーンで吊り上げ内側足場と外側足場の間(1m程度)に落とし込み、前後の倒れは上端の単管とボルトで固定し、部材間は部材上端であらかじめ加工したアングルとボルトで繋ぎ、順次固定しながら施工した。ピラスター部材が、12t/枚ほどあるのでクレーンの作業半径が大きくとれずクレーンは、仮設道路を7回移動して組立を完了した。

組立精度は、 ± 50 mmを規格値として検査を行ったところ直径で $-5.0 \sim 1.0$ mm(4点計測)と満足のいくものであった。

縦目地部には、膨張モルタルを打設した。膨張モルタルに関しては、練混ぜ試験・施工試験を行ったうえで施工に臨んだ。

膨張モルタル打設は、1インチのホースを縦目地部の上から下まで降ろし、モルタルポンプでモルタルを送りながらホースを徐々に引き上げ打設した。流動性は、J14ロートで10~14 secであり、打上げ速度は60 sec/mであった。また、エアーの混入を防ぐために、モルタル打設後下から外側型枠をたたきながら施工した。後日脱型後、モルタルの表面を観察したが、気泡の巻込み等もなく、目地全体にわたって充填されており、非常に良好であった。

工期短縮のため、膨張モルタルのセメントは早強セメントを使用した。平均圧縮強度は、プレストレス導入時で 400 kg/cm^2 (規格値 350 kg/cm^2)と十分な強度であった(写真-6)。

4.4 P C 工

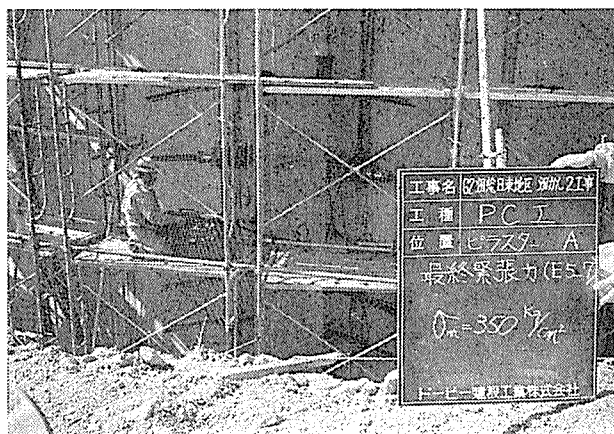


写真-7 緊張工

円周方向 PC ケーブルは、図-7 に示すように配置し、PC ケーブル挿入は人力で行った。

緊張工法は VSL 工法を採用し、両引きとし、定着は23段(下段より7本より12.4 mm-7本~18段, 7本より12.4 mm-6本~5段)、ジャッキは VSL ジャッキ(ZPE-100 B, 最大緊張荷重100t, 最大ストローク250 mm)を6台使用した。

緊張時側壁部材は、支承材の上に載っている(下端フリー)状態なので、コンクリートの弾性変形により内側に移動するため、12個の変位計を各ピラスター部材の中間で側壁部材の上下に取り付け変位量を確認しながら緊張を行った。

緊張方法は、1次緊張として最大緊張力の20%を全ケーブルに与えることとし、ピラスター部材④の上段から下段へ1次緊張を行い、次にピラスター部材⑤にジャッキを移動し下段から上段へ緊張を行った。2次緊張は1次緊張の逆の順序で行い、全ケーブルの緊張を完了した(写真-7)。

PC 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、どの部分の単位長さにおいても角変化およびシースと PC 鋼より線との摩擦係数は同一である。平均摩擦係数 $U=0.12$, 標準偏差 $U_{n-1}=0.020$ であり、バラツキも少なく緊張結果は良好であった。

グラウト注入作業は、中断することが無いようにして、空気の混入を避けるよう十分注意した。注入時の圧力は $3 \sim 5 \text{ kg/cm}^2$ であった。

4.5 アンカー工

アンカー部は、アンカー筋(D22 mm)を底版より突出させておき側壁部材下端の鉄筋(13 mm)と連結させ、コンクリートを打設して側壁と一体化した。

コンクリート打設は、現地盤より5~6m低い場所に打設することと足場材の間に縫って打設しなければならなかったため、ポンプ打設とした(写真-8)。

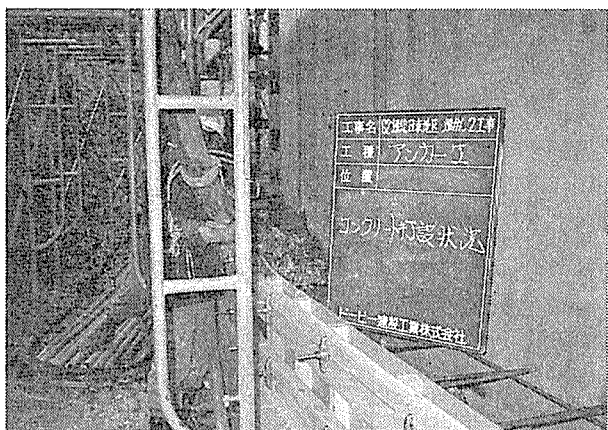


写真-8 アンカーコンクリート打設

4.6 防水工

防水は、側壁部材間および支承部に弾性シーリング材（ポリウレタン系）を充填し、さらに防水塗装（エポキシ樹脂系）を行った。この時期は特に雨が多く工程の調整に苦労した（写真-9）。

4.7 実施工程

表-1 のとおりであるが、特に組立支保工は枠組足場を利用して行ったが、円形であり現地がスリパチ状であったため、当初の予定より多く日数がかかってしまい、もっと工夫が必要なことと、また防水施工時期に雨が多く、1か月早く始めれば工期をさらに短縮でき、経済的にもっと楽に施工できるものと思われる。

5. ひずみおよび変位測定

5.1 概要

この種の工法を用いた構造物としては、前例のない特殊な大構造物であり、その設計主旨にあった一体構造を

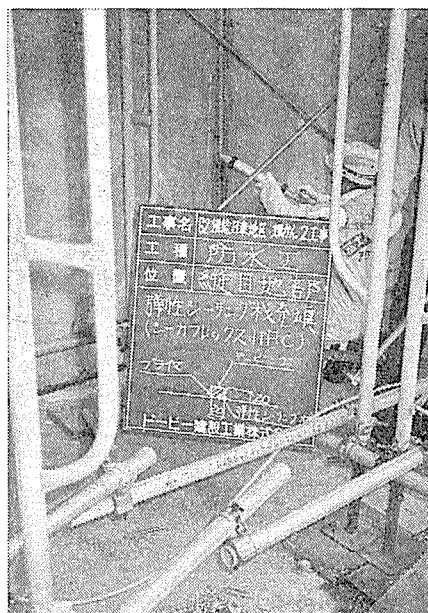


写真-9 弾性シーリング材充填

表-1 実施工程表

工種	月日	S62.11	12	S63.1	2	3
		10 20	10 20	10 20	10 20	10 20
部 材 製 作						
土 工						
底 版 工						
組 立 支 保 工						
支 承 工						
部 材 組 立 工						
縦 目 地 工						
P C 工						
ア ン カ ー 工						
防水工、その他						

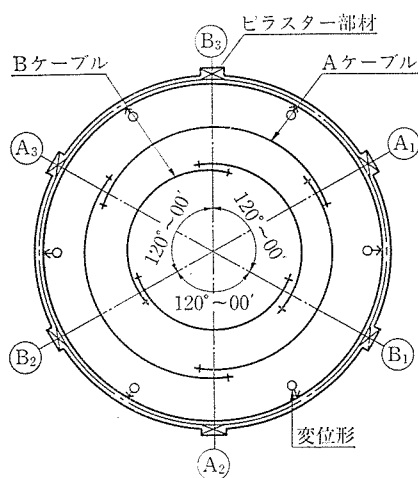
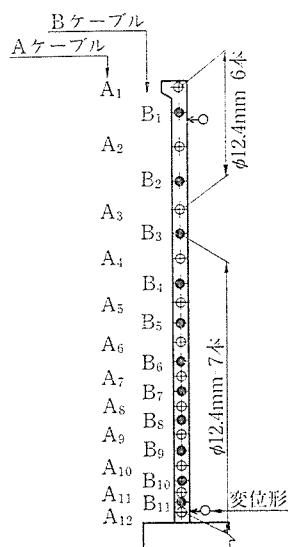


図-7 PC ケーブル配置図

構成させるためには現場での施工管理が重要である。

そこで施工管理の一貫として、プレキャスト側壁部材を一体化してプレストレスを導入するまでの側壁部材に生じるひずみ（応力）と変位を測定し、得られた値より側壁全体の変形と応力状態を推定し、設計値と比較検討することにより、施工途中の安全性と、最終的には計画どおりのプレストレスが導入されたかを確認する目的で行った。

5.2 測定方法

相隣るピラスター部材④、⑤の中間3部材の内外壁面とピラスター部材⑤、⑥間の9部材の外壁面にストレインゲージ（合計126点）を貼付した。変位計は各ピラスター部材の中間部材の上下（合計12個）に取り付けた。計測は仮緊張を除きPCケーブル1本毎に行った（図-7 参照）。

5.3 測定結果

紙面の都合上ピラスター部材④、⑤の中間3部材の円周方向フープテンション（全PCケーブル緊張終了後）を図-8～図-10に示す。また、PCケーブル1本毎の緊張終了時の上・下端の変位量の移行を図-11に示す。

理論的に下端フリーとして側壁下端（Aの位置）の円周方向フープテンションと移動量を求めると

234.1 t/m, 4.0 mm となり、実測値との差が円周方向フープテンションで 55.5 t/m, 移動量で 1.4 mm 認められた。これは、支承材と側壁自重との摩擦によりせん断力が発生しているためであり、このせん断力を計算すると 55.5 t/m を起こすせん断力（下端フリーとして計算した場合）に等しく、完全に自由滑動の状態でないことが分かった。しかし設計荷重作用時の円周方向フープテンションのピークがC～Dの間に発生することを考えれば、構造上は問題無いと判断した。

6. むすび

本プレキャスト PC タンクの設計・施工に関して特に感じたことを列記すれば次のとおりである。

- 1) 本プレキャスト PC タンクは、厳密には 60 の辺を有する多角形筒状の構造と言えるが、設計法の比

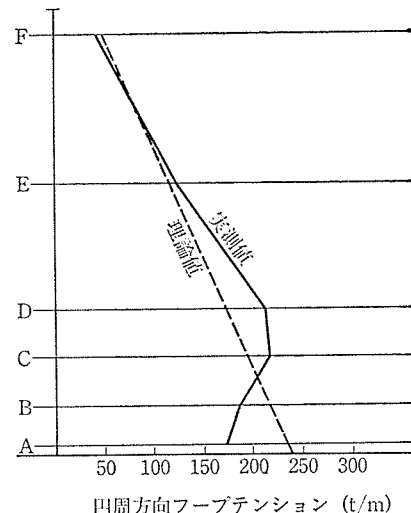
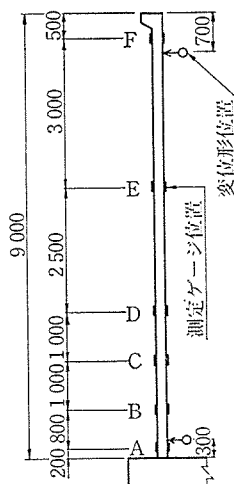


図-8

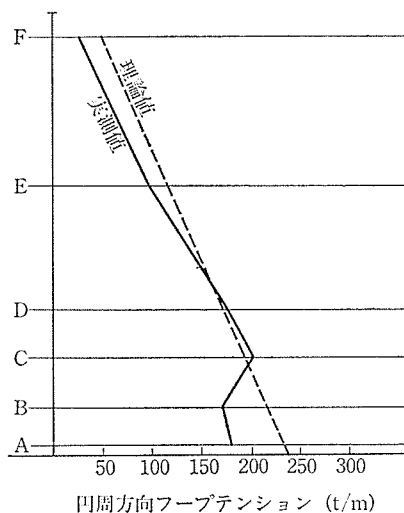


図-9

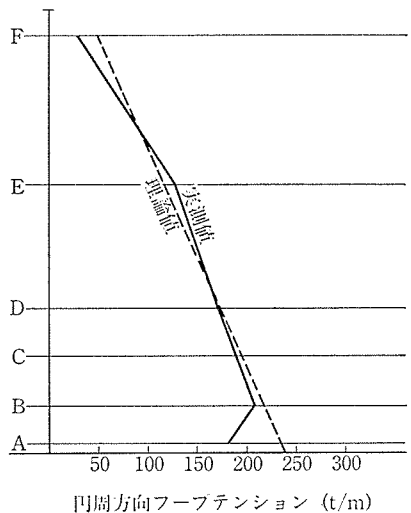
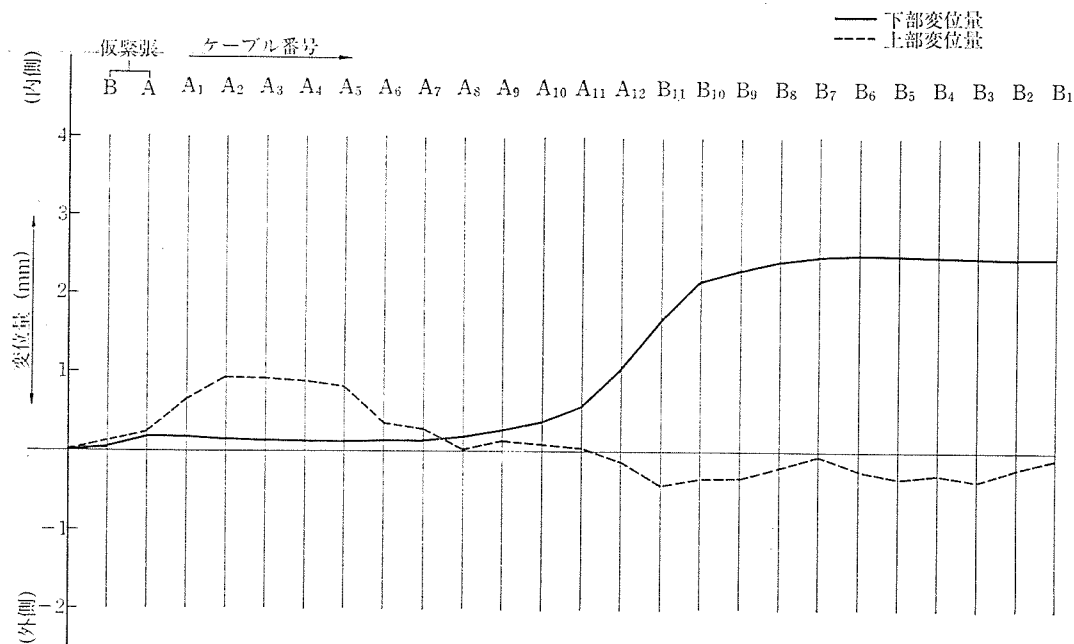


図-10

較、施工時の応力測定の結果、円形構造物として取り扱っても問題無いと思われる。これにより部材製作において、型枠等の転用が十分に行え経済的にニーズに対応することができるとと思われる。

- 2) プレストレス導入時部材の円周方向フープテンションは理論値に近く、必要とされるプレストレスが導入されたと判断した。側壁下端で摩擦のために拘束力が生じ若干理論値と差が出ているが、設計計算でチェックした結果問題は無かった。
- 3) 側壁部材制作時は、特にタワミがつかないように注意したが中には5 mm程度のタワミがついている部材があった。今後工場内でタワミを減少させる仮置きの方法、現場工程に合わせた部材制作等を考えていかなければならない。
- 4) 側壁部材組立は今回は外側より行ったが、場所が



図一11 緊張時変位量測定結果

狭く仮設道路が造れない場合でも、底版の上にトラッククレーンを載せて組み立てることも可能である。

- 5) PC ケーブルの緊張方法としては、今回行ったように3ケーブル同時緊張を基本として、1次緊張（最大緊張力の20%程度）から2次緊張へ入ることを原則とした方が良いと判断した。

今回報告したプレキャストPCタンクの容量は6000m³、プレキャストPCタンクとしては我が国最大である。このような大きな円形構造物をプレキャストで施工

するに当たり、当初種々の問題点が予想されたが、設計・施工両面の技術開発により殆どトラブルも無く施工することができ、今後さらに大きなプレキャストPCタンクの建設に挑戦していきたいと考えている。

末稿ながら、本プレキャストPCタンクの設計・施工に当たり静岡県牧の原農業用水建設事務所の方々の暖かい御理解と御協力を得ましたことに心より感謝の意を表す次第であります。

【昭和63年7月13日受付】

◀刊行物案内▶

プレストレストコンクリート構造物設計図集（第2集）

本書は協会設立20周年行事の一環として、前回発行した設計図集の様式にならない編集した、その第2集です。協会誌第10巻より21巻に亘る巻末折込付図を主体とし、写真ならびに説明を付し、その他参考になるPC構造物についてとりまとめた設計図集で、PC技術者の座右に備え付けるべき格好の資料と考えます。

希望者は代金（現金為替または郵便振替 東京 7-62774）を添え、下記宛お申し込みください。

体 裁：B4判 224頁

定 価：9,000円（会員特価 7,000円） 送 料：1,000円

内 容：PC橋梁（道路および鉄道）74件、PC建築構造物 25件、その他タンクおよび舗装等 10件

申 込 先：（社）プレストレストコンクリート技術協会

〒102 東京都千代田区麹町 1-10-15（紀の国やビル）電話 03（261）9151