

宮崎配水池の建設報告

池 田 洋 一*
 高山 明 久**
 渡 辺 昭***

1. ま え が き

川崎市の水道では、現在執行中の拡張事業で大容量配水池を計画、着工したが、その頂版にプレストレスを導入したフラット スラブ構造を用い、さらに底版の一部にもプレストレスを導入したので、その設計、施工の概略を紹介する。

本配水池は、川崎市の水不足を満たすためと、非常用の貯水池を兼ねた容量 150 000 m³ の地下水槽であるが、築造場所が、東急田園都市線、鷺沼駅に近接し、将来、住宅街となる可能性の強い場所であるため約 40 000 m² もの広大な土地を水道施設として閉鎖することは好ましくない。したがって、本計画では市内に公園施設の少ないことを考え、上部を一般市民に開放して憩いの場とすることとし、配水池に載荷する荷重を 2 t/m² と余分に見込んだ。このため、頂版を RC 造とすることは版厚を厚くするのみで利点がないのでプレストレスを導入し自重を減らすことを考えた。

配水池仕様は、

内のり寸法

長さ：202.5 m, 幅：96.0 m, 深さ：8.2 m.

前述のごとく、有効水量は 150 000 m³ であるが、折込付図に示すように中央隔壁によって二分され、2つの池が独立して使用できるようにした。壁体はすべて重力式よう壁とし、バットレスを内または外に持った構造であるが、とくに南面、東面および西面の一部では、壁高の 2/3 が露出となるので滑動を起こす恐れがあり、これを防ぐために後述のごとく、外壁の底版とフラット スラブ構造の底版を結んだが、この連結には PC ケーブルを使用した。

池内は 1 池を 30 m×30 m 角の 9 ブロックのフラット スラブ構造に分割し、それぞれの継手は、底版では一種の目地切り構造とし、目地の下部に止水版と連結筋

を配置したが、頂版では完全な伸縮継手とした。

2. 設 計

(1) 設 計 条 件

構造概要は折込付図のようなものである。前述のごとく、中央隔壁によって二分された配水池は、それぞれ 9 個の構造ブロックによって形成されるが、各ブロックの底版および頂版は柱を介してフラット スラブ構造を構成し、さらに柱は中間ばりによって相互に剛結されている。

本構造に使用された構造材はつぎのとおりである。

頂 版：プレストレスト コンクリート

底版、柱、はり：鉄筋コンクリート

外壁、中央隔壁：鉄筋コンクリート

コンクリート強度は施工の便も考慮して頂版ではやや低強度におさえ、つぎのとおりとした。

頂 版： $\sigma_{28} = 300 \text{ kg/cm}^2$

底版、柱、はり： $\sigma_{28} = 240 \text{ kg/cm}^2$

外壁、中央隔壁： $\sigma_{28} = 240 \text{ kg/cm}^2$

その他、本構造の設計に採用した設計条件はつぎのとおりである。

載 荷 荷 重：最大； $w_{\max} = 20 \text{ t/m}^2$

最小； $w_{\min} = 1.0 \text{ t/m}^2$

地震時水平力算定用

$w = 1.7 \text{ t/m}^2$

温度差(頂版と中間ばり)： $\pm 10^\circ\text{C}$

乾燥収縮差(同 上)： -10°C に相当するひずみ度

震 度：水平； $K_H = 0.2$

鉛直； $K_V = \pm 0.1$

材料の許容応力度および PC 部材の安全率などは、主として土木学会「鉄筋コンクリート標準示方書」「プレストレスト コンクリート設計施工指針」によったが、直接ろう水に関係する部材、すなわち、壁体、底版などでは、SD-30 の鉄筋で許容応力度を常時 1 400 kg/cm² とした。

(2) 頂版の設計

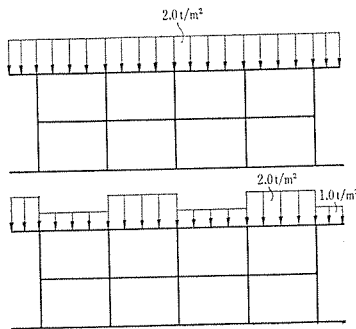
* 川崎市水道局建設課

** " 工務部

*** 日本構造橋梁研究所

本構造では頂版、底版とも通常のフラット スラブ構造と同様に、柱との接合点ではドロップ パネルとキャピタルを設けたが、これらの寸法は、土木学会および建築学会の鉄筋コンクリートにおける規定に準じて定め、ラーメン構造に置きかえて曲げモーメントを求めた。この際、積載荷重については、不均等載荷を考慮して 図-1 に示すような 2 種類の荷重状態を考え、その不利な方を設計用曲げモーメントとした。

図-1 頂版載荷状態



頂版には二方向とも 12φ7 mm のフレシネー ケーブルを使用し 折込付図 のごとく配置した。

本構造でも、通常の PC 造の場合と同様に、応力度の計算と、破壊安全率の計算を行ない、安全性を確かめたが、それぞれについて、つぎのごとき仮定を設けて計算した。

一般に、鉄筋コンクリートでは、1 ラーメン当りの曲げモーメントが、柱列帯と柱間帯に所定の比に配分されるものと考え、それぞれの曲げモーメントに対して柱列帯、柱間帯の配筋計算を行なっているが、本構造の曲げ応力度、およびプレストレスの計算ではこのような配分を考えずに、1 ラーメン当りの版を一本のはりと考え、通常のはりの応力度計算式を用いた。

破壊安全率の検算では、曲げモーメントを土木学会、建築学会の鉄筋コンクリートの規定に準じて柱列帯、柱間帯に配分して検算用曲げモーメントとした。ただし、柱位置で、下縁引張りになるような荷重組み合わせ、すなわち、鉛直モーメントと地震モーメントが異符号になるような場合には上記配分を考えず、

$$M = 0.9 \times (\text{全鉛直モーメント}) - 1.5 \times (\text{全地震モーメント})$$

なる値に対し、ドロップ パネルの下縁筋を定めた。

柱位置で鉛直と地震モーメントが同符号の場合、柱列帯、柱間帯について

$$\frac{\text{破壊モーメント}}{\text{鉛直モーメント} + \text{地震モーメント}} = \mu$$

なる値を求めたが、もっとも不利な点で $\mu = 2.2$ であった。

また、本構造では、頂版のケーブルは二方向とも曲線状に配置されているために、多数の点で十字に交さくすることとなる。したがってケーブルの曲線性状に施工誤差を生ずることはさけられないが、この誤差を低減するためには扁平シースの方が有利である。したがって 折込付図 に示すような長径 5 cm、短径 3 cm のだ円形のシースを用い、センタースパイラルは用いないこととした。

折込付図 に見るごとく、頂版の外周を後打ちの鉄筋コンクリート造としたが、これはプレストレス導入時の作業空間であり、緊張作業、およびグラウチングなどはこの空間を利用して行なわれる。

(3) よう壁底版のプレストレスングについて

前述のごとく、外壁は南面および西面の一部についてほぼ高さの 2/3 が地上に露出する。将来、他の計画によってさらに土を掘削し、露出面が増加した場合を考えると、よう壁が外方に滑動する恐れがある。このような危険性をさけるため、よう壁底版とフラット スラブ構造底版をとおしてフレシネー ケーブル 12φ8 mm を配置してプレストレスを与えた。ケーブル間隔は、地震時に両者の接合部に引張応力を生ぜしめないという条件から定め、1.2 m とした。

ケーブルは 図-2 に示すように配置されるが、よう壁のコンクリート強度が $\sigma_{28} = 240 \text{ kg/cm}^2$ であるため、定着具部分のみ強度を高め、 $\sigma_{28} = 400 \text{ kg/cm}^2$ とした。なお、ケーブルはよう壁の外側から片引きとし、フラットスラブ構造側では Button Head 方式使用の Dead Anchor とした。

底版のプレストレス導入範囲は 図-3 に示す。

図-2 底版ケーブル配置

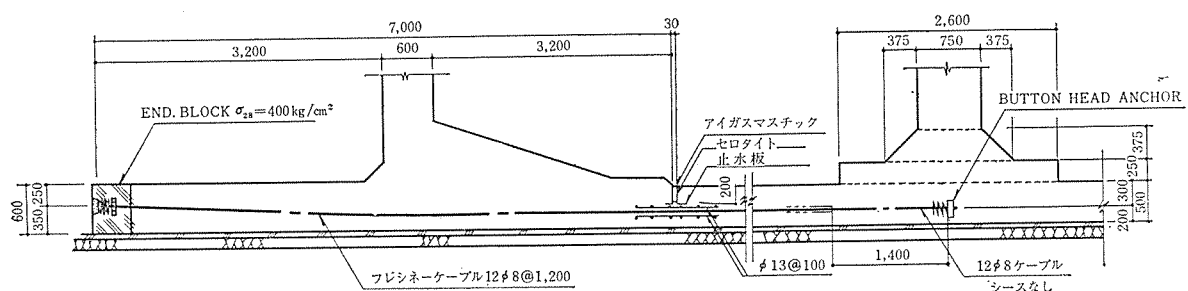
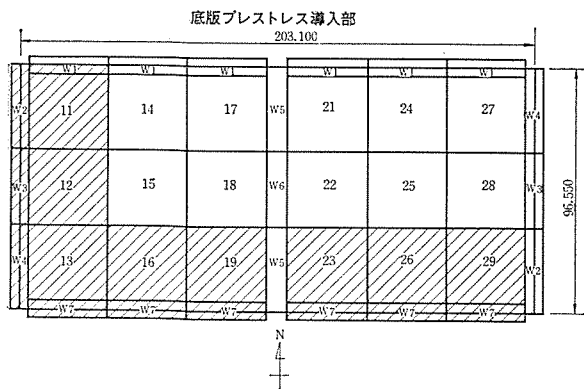


図-3 底版プレストレス導入範囲



3. 施 工

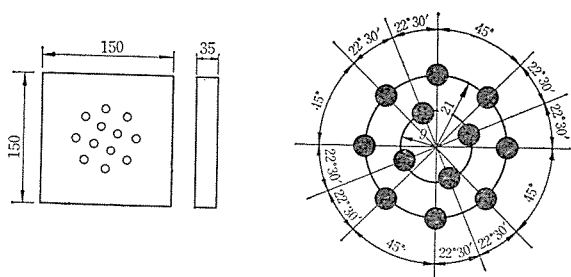
本構造を施工面より分類すれば、底版、柱および中間ばり、頂版、よう壁および中央隔壁の4つの部分に大別できるが、以下、プレストレス コンクリートに関する部分についてのみ説明する。

(1) 底 版 工

図-3 に示すごとく、全 18 ブロックの底版のうち、8 ブロックは、よう壁滑動防止のために、12φ8mm のフレシネー ケーブルが配置された。配置方法は、まず鉄筋の組み立てをすべて完了したのちに、ケーブルの長さに沿って 1m 間隔に高さを定めるための横筋 φ9mm を設置し、これにシースのみを配置する。つぎに、あらかじめ一端が Button Head に加工され、図-4 に示すような支圧版を取付けたケーブルをシースにそう入した。また、このケーブルは一端がコンクリート中に埋め込まれるため、グラウチング用の排気孔が必要であったので、Dead Anchor 部とケーブルの中間の 2カ所に設けることとし、φ12mm の塩化ビニール管をシースに直角に取付け、なかに鉄筋をそう入して固定した。

コンクリート打設は、ろう水の原因になる打継ぎ面を

図-4 ボタンヘッドアンカープレート詳細



なくするため、1ブロック 500 m³ のコンクリートを 1日で施工することとし、頂版のコンクリートが打設可能なように高さ 10m の位置に設置されたナベトロール用足場から、流しシュートによって打設した。所要時間はナベトロ車 (0.2 m³) 18 台を使用して約 9 時間であったが、打設されたコンクリートは、棒状振動機 (200 V φ45 mm) 8 台を使用し、ただちに十分な締固めが行なわれた。本工事は、コンクリート打設が冬期から夏期にわたって行なわれること、コンクリート ミキサから打設まで 5~6 分かかることなど、種々の条件を考慮し標準配分は表-1 のごとく定めた。

写真-1 底版コンクリート打設作業中



表-1 で、セメントはアサノ フライアッシュ セメント、骨材は多摩川産、シーカ AER は空気連行剤である。

養生は、冬期においては周辺にシートを張りめぐらせて風を避け、赤外線ランプ (200 V 500 W) 60 個を取りつけて凍結を防いだ。夏期は打設後 4 日間、散水養生を行なった。

プレストレスリングについては、底版ケーブルの一端が前述のごとく Dead Anchor であるため、摩擦試験は行なえなかったが、試験引きの結果、ケーブルの伸びが、ほぼ計算値と一致したので、当初の計画どおりに標準緊張力を 73.4 t/本 とした。これは鋼線降伏点強度の約 90% に相当する。

なお、グラウトの配合等は頂版と同じである。

(2) 頂 版 工

a) 工 程 頂版 1 ブロックの工程はつぎに示すようなものである。

①支保工組立て—②型わく組み (ドロップパネル部分とも)—③ P C ケーブル位置スミ出し—④はく離

表-1 底版コンクリート配合

強 度 kg/cm ²	スランプ cm	骨材最大寸法 mm	空気量 %	水セメント比 %	砂 率 %	セメント kg/m ³	水 kg/m ³	細骨材 kg/m ³	粗骨材 kg/m ³	プラスタークリート kg/m ³	シ ー カ AER cc/m ³
240	12	25	4.0	46	44	337	155	800	1024	1.68	101

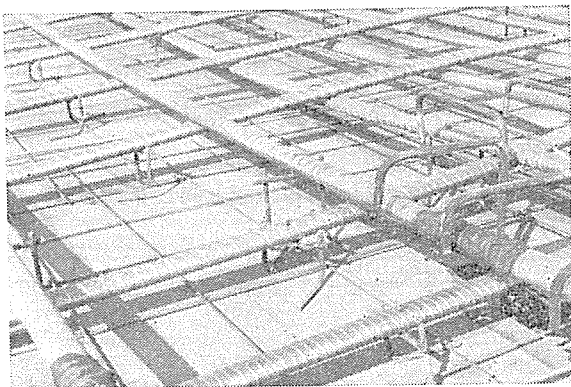
剤塗布——⑤下段ワイヤーメッシュ(φ5mm @200mm)配置——⑥PCケーブル配置(馬筋 φ9mm 使用)——⑦側面型わく組立て(木製)——⑧PCケーブル, 上段ワイヤーメッシュ補強用鉄筋組立て(φ13 @ 600mm)——⑨上段ワイヤーメッシュ配置——⑩コンクリート打設用足場組み立て(ナベトロ車レール設置)——⑪コンクリート打設——⑫養生——⑬1/3緊張——⑭型わく解体——⑮2/3緊張——⑯グラウチング。

以上の工程で1ブロックの施工が行なわれたが, 所要日数は60日であった。⑭1/3緊張は, 本頂版の底型わくは鋼製型わくを用いたが型わくパネル間のすき間はほとんどないので, 全プレストレスの導入によって頂版が短縮したときに, 隣接するドロップパネル間で型わくがせり合い, 型わくの取りはずしが困難になるのではないかと懸念があったために定められた工程である。すなわち, 1/3のプレストレスは, 自重と施工荷重に耐える程度のプレストレスを意味する。しかし, 途中から工期短縮のために全プレストレス導入後, 型わく解体を行なった結果, 多少の困難はあったが工期短縮上有利なため, 以後⑬の工程は省略した。

b) ケーブル配置および予備調査

ケーブルはあらかじめ加工場で切断, 結束されたものを池内に搬入し隣接頂版上でシース内にそう入し, さらに配置場所へ運搬した。図-3に示すごとく, 本頂版では4種類の波状の曲線ケーブルが網の目のように交差しているため, まずこれを解析して, ケーブル各点の高さを定め, 曲線の山, 谷, およびその中間の数点にそれぞれ独立した馬筋を配置し, つぎにこれらを固定するためにφ13mmの鉄筋を用いて馬筋同志を連結した。この馬筋はケーブルの上下方向の移動を防ぐためのものであるが, 同時につ

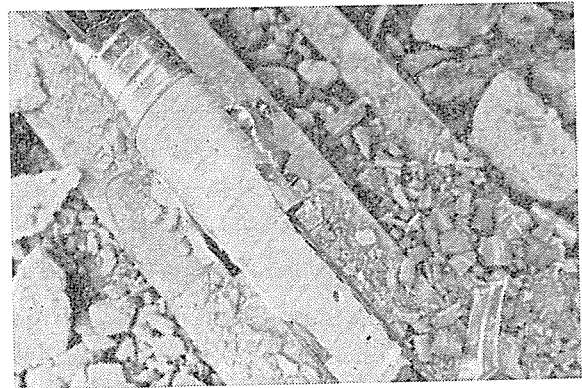
写真-2 頂版PCケーブル配置



ぎのような理由で, 横方向の移動も防止することができた。すなわち, コンクリート打設に際し, ケーブルの浮き上がりが考えられたので馬筋連結筋を利用して, メタルフォームに穴をあけ, 16番線で結束して固定したからである。

ケーブル配置の前に, グラウト用の排気孔に関しつぎの事項が検討された。前述のごとく, ケーブルは波状の曲線状に配置されるが, その頂点ごとに排気孔が必要ではないかという問題である。もし, 排気孔を設けるとすればケーブル1本当り5カ所, 1ブロック130本のケーブル全体では650カ所となり, コンクリート打設に際し事故を起す可能性がある。したがって排気孔を設けない場合のグラウトの充てん状態を確かめるため, 現場で, 実際と同じケーブルを製作し, これについて実験することとした。すなわち, 1/200の勾配でメタルフォームを敷きならべ, 4種類のケーブル曲線のうち波状高低が大きい2種類の曲線を採用してケーブルを配置し, さらに実物と同じに30cmの厚さのコンクリートを打設した。グラウチング終了後, 養生期間を終えて, コンクリートをこわし, シースをはぎ取って調査した結果, グラウトの充てん状態はきわめてよく(写真-3), ケーブル全長にわたって満足すべき結果を得た。この調査により, 本頂版に関しては排気孔は不要であると判断し, 実際の施工でも排気孔は設けないこととした。

写真-3 グラウト試験充てん状態



c) コンクリート工および養生

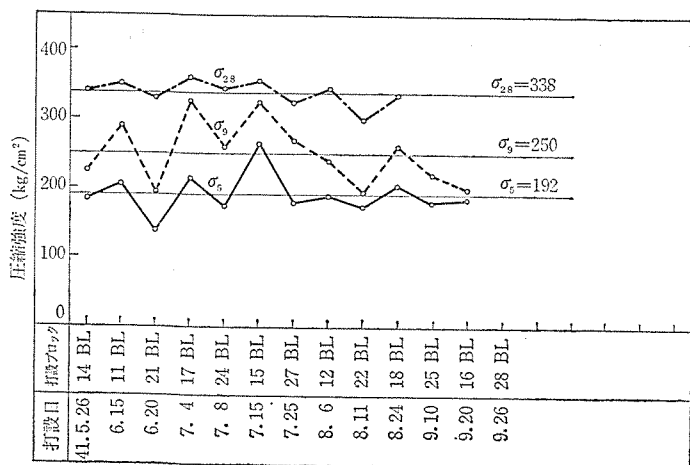
コンクリート打設は, 1ブロック(30m×30m)間にレール足場を5線敷設し, ナベトロ車18台により1日で打設した。打設量は300m³である。

コンクリートの締固めはいうまでもなく振動機によったが, まず棒状を使用し, シースがコンクリート中に埋

表-2 頂版コンクリート配合

強度 kg/cm ²	スラブ cm	骨材寸法 mm	空気量 %	水セメント比 %	砂率 %	セメント kg/m ³	水 kg/m ³	細骨材 kg/m ³	粗骨材 kg/m ³	プラスタークリート kg/m ³	シース AER cc/m ³
300	7.5 ±2.5	25	4.0	42.2	42.5	355	150	770	1050	1.77	106

図-5 頂版コンクリート圧縮強度



設したのちはシースの破損をさけるために棒状を中止し、平面振動機を使用した。

コンクリートの配合については底版と同様の諸条件を考慮し表-2のごときものとした。

セメントおよび骨材は、底版と同様にアサノフライアッシュセメント、および多摩川産である。なお、頂版コンクリートの圧縮強度の季節的变化は図-5に示すようなものである。

養生については、もちろん、頂版上には防水工が施工されるにしても、本配水池の使用目的上、ろう水の原因となる収縮きれつはできるだけ避ける必要があるため、より完全なものとしてつぎの方法を採用した。まず 30m×30m の頂版周辺の型わく上部に、15~20cm の高さ鉄板のわくをくみ、全面に 2~15cm の深さに水を溜め、4昼夜放置した。水は流出した分だけ常に補給されるようにしたため、冬期においては凍結の危険性もなく、夏期にも直射日光に特別の対策は不要であった。

d) プレストレッシングおよびグラウチング 頂版 PC ケーブル (12φ 7mm) の緊張作業開始前に、計 6 本のケーブルについて摩擦係数の測定を行なった。あらかじめ、他の試験によってジャッキ—定着部の摩擦損失量が 5% であるとの結果を得ていたのをこれを用い、さらに $\lambda/\mu=0.013$ なる仮定のもとに摩擦係数を計算した結果はつぎのとおりである。

南北方向ケーブル	No. 1	$\mu=0.27/\text{rad}$
	No. 2	$\mu=0.26/\text{rad}$
	No. 3	$\mu=0.26/\text{rad}$
東西方向ケーブル	No. 1	$\mu=0.17/\text{rad}$
	No. 2	$\mu=0.14/\text{rad}$
	No. 3	$\mu=0.15/\text{rad}$

データとしてはあまり良好とは思えないが、これらの

結果を代入して求めた伸びの計算値が、同時に測定されたケーブルの伸びとよく一致することから一応信頼できるものと思われた。設計計算では $\mu=0.3/\text{rad}$, $\lambda=0.004/\text{m}$ と仮定しているため、いずれにしても実際の摩擦減少量は当初の仮定よりも少ないものと推察される。したがって、初張力は設計計算における 57.7t をそのまま採用し、一方、伸びの測定結果が、予定値と大きく異なるような場合には、そのつど、張力の上げ越しなどを行なうこととした。

ケーブル緊張は、長辺方向、短辺方向ともに 2 本ずつ、計 4 本を同時に行ない、さらに、一方の 2 本のケーブルは版の中心線に関し、常に対称になるようにした。なお、ケーブルは両引きであるが、両端の計 2 台のジャッキは 1 台の電動式オイルポンプに並列に連結し、常に同一の力が両端のジャッキに加えられるようにした。

グラウトの配合はつぎのごときものである。

セメント	50 kg
水	20.5 kg
ポゾリス	125 g
アルミ粉	5 g

グラウチングに先立ち、試験を行なったが、結果はつぎのとおりである。

フロー値	8 秒
ブリージング率	3 時間後 1.7%
	20 時間後 0
膨張率	20 時間後 6.1%
圧縮強度 σ_7	285 kg/cm ²
σ_{28}	380 kg/cm ²

なお、上記グラウト製造は、グラウト専用的高速回転式のミキサによったものである。

4. あとがき

宮崎配水池は現在施工中であるが、工事途中においてプレストレスト コンクリートに関する部分の設計および施工について、その概要を述べた。本構造は、PC フラットスラブ構造としてはいままでに例のないほど大規模なものであるため、とくに施工面については、関係者の協力を得て、入念な管理が行なわれている。

本工事に関係された諸氏、あるいは現在関係されている諸氏に謝意を表する次第である。

1966.10.26・受付