

大津配水池水槽の設計と施工

極東鋼弦コンクリート振興株式会社
住友建設株式会社

1. 設計

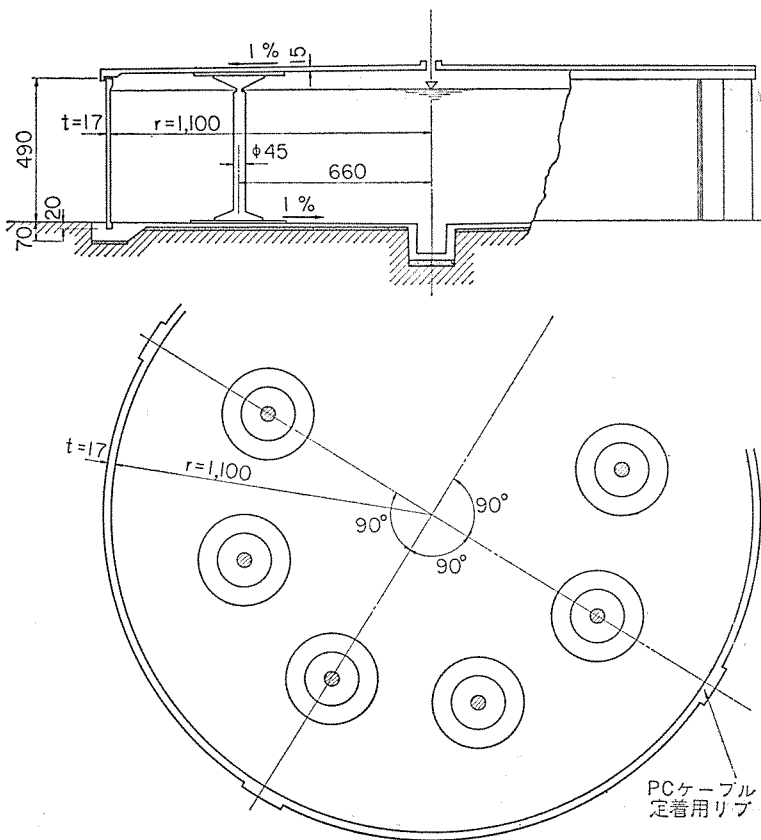
(1) 設計概要

この水槽は内径 22.0 m, 側壁全高 5.10 m, 側壁厚さ 17 cm (図-1) のものである。側壁は海風に直接さらされるので, PC 鋼材のかぶり厚は 4.0 cm 以上となるようにした。また満水時にも円周方向 K は 10 kg/cm^2 の圧縮応力を残すこととする。

側壁円周方向のプレストレスは $12\phi 5 \text{ mm}$ のフレシネーケーブルを用い, 鉛直方向プレストレスには $\phi 24 \text{ mm}$ の PC 鋼棒第 2 種を用いた。

側壁下端は水槽完成後はヒンジとなり, プレストレス時はネオプレーンゴム板上に乗って水平方向には容易に変位できるようにした。鉛直方向 PC 鋼棒下端は基礎コンクリート版中に埋込まれ定着されているので, プレストレス時に, この鋼棒が側壁下端の半径方向移動に対して大きい抵抗を与えないようにするため, シース下端は特にラップ状にした。

図-1 一般図



円周方向プレストレス用 PC ケーブルは円周を四等分するリブに定着され, ジャッキ 4 台を用いて一度に円周ケーブルを緊張定着することとした。

屋根は鉄筋コンクリート構造で 図-2 に示すように 8 本の鉄筋コンクリート柱および側壁上面で支承されたものである。側壁上端面と屋根板との間にはエラストイトをそう入し, 側壁上端の変位に対する拘束をなるべく小さくするようにした。

以上の設計方針にしたがい, プレストレス時は側壁下端はネオプレーンゴム板上に乗ったスライディング可能な構造であり, 鉛直 PC 鋼棒シースにグラウチングを実施したのちには, 側壁下端は水平方向には移動しないヒンジ構造の PC タンクとして計算を実施した。

(2) 水圧による側壁モーメントおよびフープテンション

以下の計算は猪股俊司著「プレストレスコンクリート設計施工法」によったものである。

$$\text{半径 } r = 11.0 + 0.085 = 11.085 \text{ m}$$

図-2 屋根構造の概要

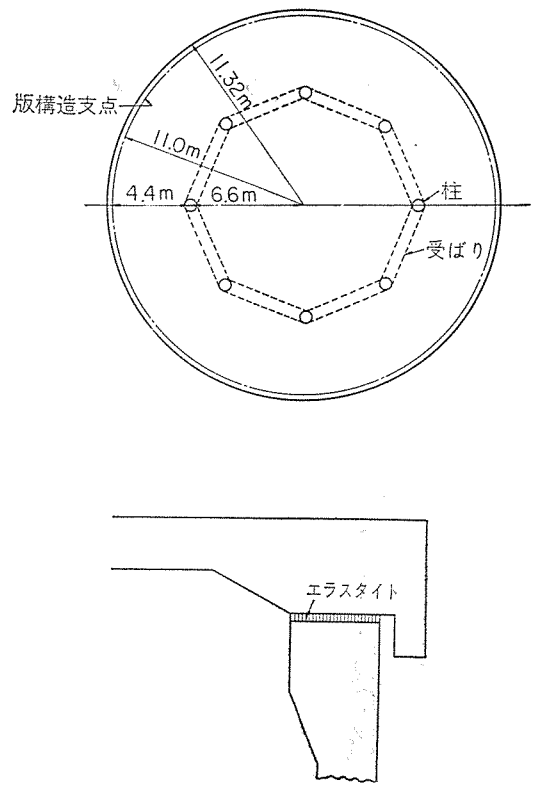
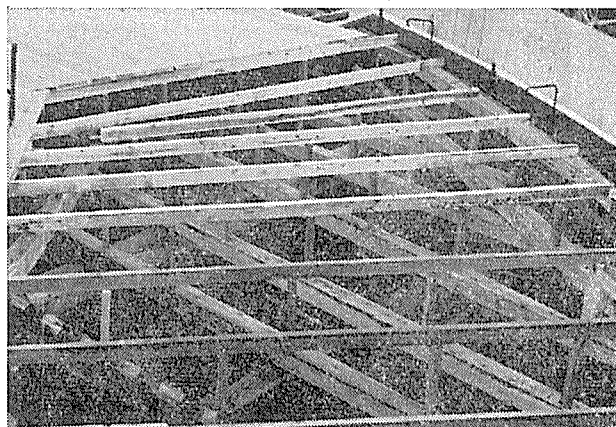


写真-1(a) 屋根の型わく



写真-1(b) 同左(詳細)



壁厚 $t=0.17$ m, 係数 $B=1.31/\sqrt{rt}=0.95$ m
 $h=4.70$ m とし, $Bh=4.46$ であるから, 弾性支承上の半無限長ばりと考えてよい。側壁下端のせん断力 S は

$$S = \frac{\rho h}{2B} = \frac{1.0 \times 4.70}{2 \times 0.95} = 2.47 \text{ t/m}$$

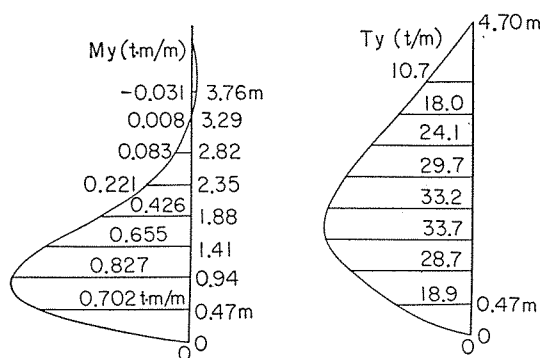
よって任意高さ y における曲げモーメント M_y およびフープテンション T_y は次式で求められる。

$$M_y = \frac{S}{B} Y = 2.60 Y$$

$$T_y = \{\rho(h-y) - 2SBX\}r = \{4.7(1-X) - y\} \times 11.09$$

以上の式から求めた M_y, T_y は 図-3 のようになる。

図-3 M_y, T_y の分布



(3) 埋もどし土による側壁モーメントおよび円周圧縮力

土の重量 $\rho=1.8$ t/m³, 内部摩擦角 $=30^\circ$, 埋もどし土の高さを 2.0 m とする。水槽底面での土圧 p_e は

$$p_e = \frac{1}{3} \times 1.8 \times 2.0 = 1.20 \text{ t/m}^2$$

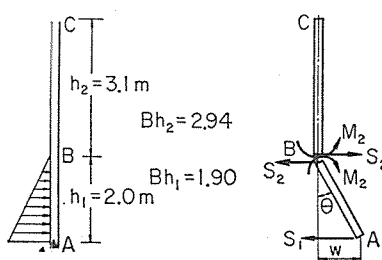
となる。側壁 C を B 点で切断し (図-4), A 端に S_1, B 端に S_2, M_2 を作用させる。土圧のみによる AB 部分の傾斜角 θ および A 端変位 w は次のようになる。

$$\theta = \frac{1.20}{2.0k} = \frac{0.60}{k} \quad w = \frac{1.20}{k}$$

A 点の変位が 0 であるための条件式

$$\frac{1.20}{k} - \frac{2S_1B}{k}N + \frac{2S_2B}{k}R - \frac{2M_2B^2}{k}T = 0 \quad (1)$$

図-4 土圧による場合の計算



常数 N, R, T は $Bh_1=1.90$ であるが, それぞれ, $1.15, 0.43, 0.65$ となる。
 AB 区間の B 点の変位と傾斜角とは, それぞれ次の

ように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} \text{変位} &= \frac{2S_1B}{k}R - \frac{2S_2B}{k}N + \frac{2M_2B^2}{k}U \\ \text{傾斜角} &= \frac{0.60}{k} - \frac{2S_1B^2}{k}T + \frac{2S_2B^2}{k}U - \frac{2M_2B^3}{k}V \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

BC 区間は半無限長ばりと考えられるか, B 点について,

$$\left. \begin{aligned} \text{変位} &= \frac{2S_2B}{k} + \frac{2M_2B^2}{k} \\ \text{傾斜角} &= \frac{2S_2B^2}{k} + \frac{4M_2B^3}{k} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

常数の数値を表から求め, B 点における変位および傾斜角の連続の条件式を求めると, つぎのようになる。

$$0.817S_1 - 2.185S_2 + 2.235M_2 = 1.90S_2 + 1.805M_2 \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$0.60 - 1.173S_1 + 2.237S_2 - 3.824M_2 = 1.805S_2 + 3.422M_2 \quad \dots\dots\dots(5)$$

および (1) 式から,

$$1.20 - 2.185S_1 + 0.817S_2 - 1.173M_2 = 0 \quad \dots\dots(6)$$

以上 (4), (5), (6) の 3 式を解いて, $S_1=0.516$ t/m, $S_2=-0.102$ t/m, $M_2=-0.007$ t·m/m となる。以上の曲げモーメント, せん断力, および土圧による側壁の曲げモーメント, 円周圧縮力を計算すると 図-5 のようになる。

(4) 円周方向プレストレスング

円周方向には 4 個のリブをつけ $P-C$ 鋼線を半円周にわ

図-5 土圧による M_y, D_y

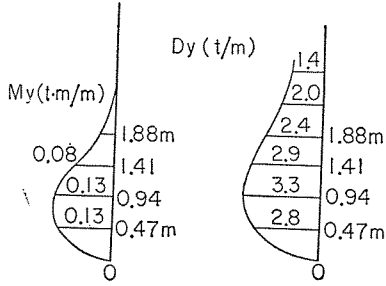


図-6 円周に沿ってのケーブル配置

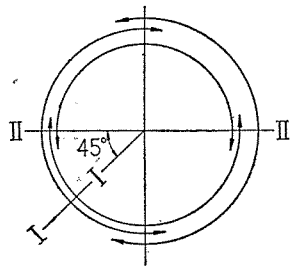
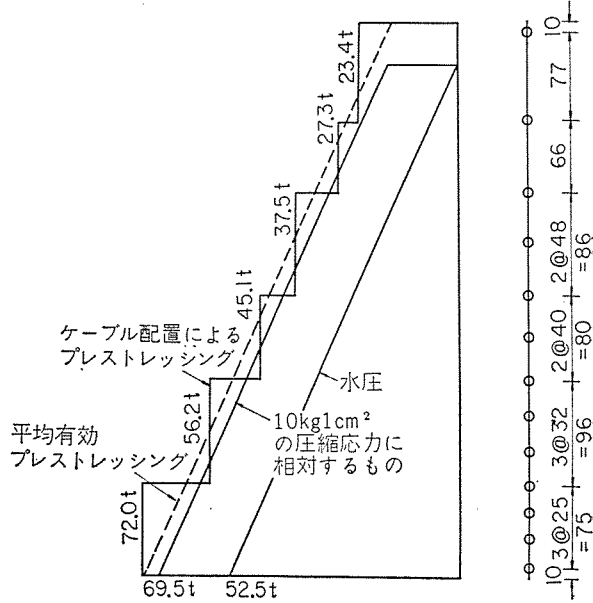


図-7 円周方向ケーブルのピッチ決定



たって配置するので、ケーブル 1 本の長さは 3.5 m である。 $\mu=0.3$, $\lambda=0.004$, $P_t=27.8$ t とし、図-6 の断面 I-I, II-II における引張力の平均値は、つぎのようになる。

断面 I-I

$$\frac{1}{2} \times 2 \times e^{-0.30 \times \pi/4 - 0.004 \times 8.75} = e^{-0.273} = 0.763$$

断面 II-II

$$\frac{1}{2} (1 + e^{-0.30 \times \pi/2 - 0.004 \times 17.5}) = \frac{1}{2} (1 + e^{-0.542}) = 0.791$$

よって断面 I-I の平均引張力はケーブル 1 本あたり、 $27.8 \times 0.763 = 21.2$ t である。コンクリートの乾燥収縮、クリープによる引張力の減少を 15% と考え、 $P_e = 18.0$ t とする。図-7 に円周方向プレストレッシングと水圧、および 10 kg/cm^2 の圧縮応力度に相当する水圧との関係を示してある。

側壁下端はネオプレーンゴム板の上に乗っているので、側壁が半径方向に変位する場合、ゴムのせん断抵抗によって、側壁下端にはせん断力 F が生ずる。

プレストレッシング時の引張力を有効引張力の 15% 増しとし、このせん断力 F および、これによる曲げモーメント、および円周方向力を計算する。

ネオプレーンの表面積 $\Omega = 0.07 \text{ m}^2/\text{m}$, $G = 70 \text{ t/m}^2$, 厚さ $\varepsilon = 0.015 \text{ m}$ とする。 F は次式で求まる。

$$F = \frac{p_0}{2B + \frac{\varepsilon k}{G\Omega}}$$

ここに、

$$p_0 = \frac{72.0/0.85}{11.09} = 7.58 \text{ t/m}$$

$$k = \frac{E_c t}{r^2} = \frac{35 \times 10^5 \times 0.17}{11.09^2} = 4160$$

$$\frac{\varepsilon k}{G\Omega} = 14.55$$

$$F = \frac{7.58}{1.90 + 14.55} = 0.461 \text{ t/m}$$

この F による側壁曲げモーメントおよび円周方向力は次式で求まる。

$$M_p = \frac{0.461}{0.95} Y = 0.486 Y$$

$$D_p = \{1.95 + 5.63 \times (1 - \frac{y}{4.7}) - 2 \times 0.95 \times 0.461 \times X\} \times 11.09$$

以上の式を用いて、プレストレスを与えた直後の側壁曲げ応力度および側壁の圧縮応力度とが求められる。

曲げ応力度の最大は $\pm 3.2 \text{ kg/cm}^2$ ($y=0.94 \text{ m}$) であり、圧縮応力の最大値は $+44.2 \text{ kg/cm}^2$ ($y=0 \text{ m}$) であって安全である。

(5) 垂直方向プレストレッシング

垂直方向には SBPC 95 ϕ 24 mm を使い、有効引張力を 1 本あたり 22.5 t とした。

配置は

$$0 < h < 2.1 \text{ m} \quad 70 \text{ cm ctc.}$$

$$\text{有効プレストレス} = 22.6 \text{ kg/cm}^2$$

$$2.1 \text{ m} < h < 5.1 \text{ m} \quad 140 \text{ cm ctc.}$$

$$\text{有効プレストレス} = 11.3 \text{ kg/cm}^2$$

(6) 合成応力度

有効プレストレスと水圧の合成応力度は下表のようになる(土圧は満水時安全側に作用するので無視した)。

表-1 満水時の合成応力度 (kg/cm²)

y(m)	垂直方向曲げ			円周方向		
	プレ ス ト レ ス	曲 げ 力	合 成	プレ ス ト レ ス	水 圧 力	合 成
0	+ 23	0	+ 23	+38	0	+38
0.47	+ {20 25}	±15	+ {35 10}	+37	-11	+26
0.94	+ {20 25}	±17	+ {37 8}	+35	-17	+18
1.41	+ {21 25}	±14	+ {35 11}	+32	-20	+12
1.88	+ {21 24}	± 9	+ {30 15}	+30	-20	+10
2.35	+ {22 23}	± 5	+ {27 18}	+27	-17	+10
2.82	+ {22 23}	± 2	+ {24 21}	+24	-14	+10
3.29				+22	-11	+11

よって最悪状態でも円周方向には 10 kg/cm² の圧縮力が作用することになる。

(7) ネオプレーンゴム板の応力検討

プレストレスング時側壁下端移動量は、

$$\frac{F\epsilon}{G\delta} = \frac{0.461 \times 0.015}{70 \times 0.07} = 0.0014 \text{ m}$$

よってせん断ひずみは $0.0014/0.015 \approx 1/11$ であって安全である。

圧縮応力度の計算

屋根反力.....56.7/70=0.81 t/m

側壁重量..... 2.29 t/m

計 3.10 t/m

鉛直方向有効プレストレスング... 38.4 t/m

計 41.4 t/m

$$\text{圧縮応力度} = 41.4/10 \times 0.07 = 59 \text{ kg/cm}^2$$

よって安全である、

(8) 屋根構造の設計

屋根版の設計は次のような順序によって実施された。

a) 周辺単純支承支持の円版としてのたわみ、曲げモーメント M_r, M_t を求める。

b) 柱の位置で円環荷重を作用させ、たわみを求める。(1) および (2) で求めたたわみの和が柱の位置(円環荷重作用位置)で0となるように円環荷重を求める。

c) 以上 a) で求めた M_r, M_t と、b) で求めた円環荷重による M_r, M_t とを合成して、設計用曲げモーメントを計算する。

d) 受ばりの応力は b) で求めた円環荷重が等分布であるとして、無限連続ばりと考え、

支点モーメント $-pl^2/12$, 支間モーメント $pl^2/24$ として断面を決定する。

e) 柱は軸力のみを受ける上端ヒンジ、下端固定のものとして設計をする。

以上のような考え方によって鉄筋コンクリート構造とした。

2. 施 工

(1) 施工計画

本配水池は37年2月10日着工、5月21日に竣工した。配水池は山頂を切取った狭小な場所に設置され、そこまでの坂路が急しゅんなため、約60m下にある平坦地に材料置場、バッチャープラント、作業場および仮設建物を配置し、材料ケーブルキャリヤを用いた。

型わくはすべて木製を用い、コンクリートは散水養生を行なった。タンク外周の足場は丸太、内部は頂部支保架台をかねてビティ足場を用いた。施工においては水密性の高いコンクリートをうるために、コンクリートの打設、締固め、打継目ならびに養生に特に留意した。

(2) コンクリート工

底板には普通セメント、側壁、柱、頂板には早強セメントを使用した。骨材は相模川産で、粗骨材最大寸法は25mm、スランブ4~7cmとした。コンクリート打設は、ケーブルキャリヤで運び上げたコンクリートをカード車で配送し、棒バイブレーターで締固めた。底板および頂板は木コテ仕上げとした。

側壁は3段に打上がり、1/2円ずつ打設した。頂板および底板はコンクリートの硬化収縮によるきれつ発生を防止するために3ブロックにわけてコンクリートを打設し、連続散水養生を施した。各打継目は水密性を確保するために、ピノン止水板をそう入しておき、ワイヤーブラッシでレイタンスを取除き水洗いを行なった。

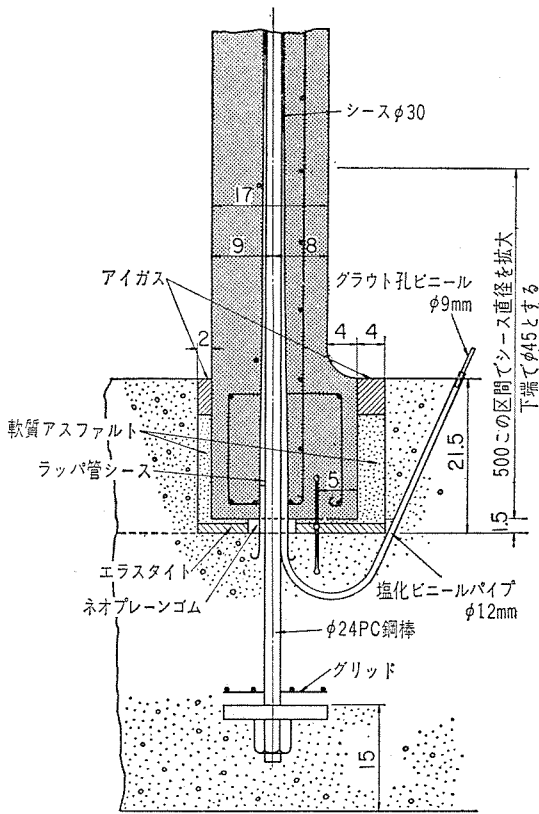
(3) 側壁支承部

側壁支承部はプレストレスによる変形滑動可能と漏水防止のため特に注意を払った。図-8に示すごとくポリビン止水板を底板と側壁とに半分ずつ埋込み、側壁下端滑動面には厚さ15mm、巾70mmのネオプレーンゴムを敷き、その周囲に厚さ12mmのエラストイトを敷いた。底板と側壁との接触部は内外面とも軟質アスファルトを入れ、上部をアイガスで充填した。外面の軟質アスファルトの厚さを薄くしたのは、満水時における壁の外側移動量を極力押えるためである。グラウトの注入孔として塩化ビニールパイプφ12mmをラップシースの下端からU字形にして埋込んでおいた。

(4) プレストレスングおよびグラウト

a) 鉛直方向プレストレスング 緊張はディビダークジャッキを使用した。第1回目は鋼棒長2.5mで緊張力26.9t、平均伸びは8mmであった。第2回目は鋼棒長5.65mで緊張力26.9t、平均伸びは17.7mmであった。いずれも計算値とよく一致した。鉛直方向の

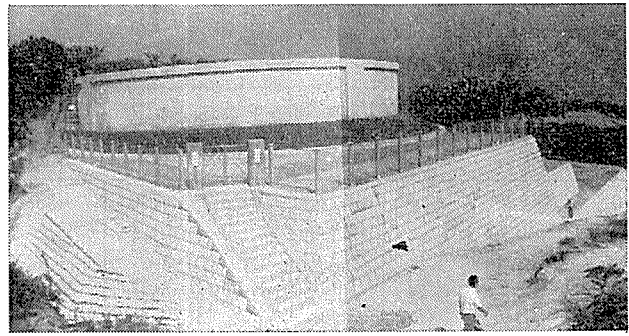
図-8 側壁下端部



PC鋼材はφ24mmの第三種PC鋼棒を使用した。

b) 円周方向プレストレスリング 12-φ5mmのフレシネーケーブルを用い、フレシネージャッキで緊張した。第1回目は中心角180°に配置された2カ所の定着用ブロックにおいて、第2回目は残りの2カ所において、下から順次頂板まで4台のジャッキで緊張した。PC鋼線長36.4mで、平均伸びは165mmとなった。定着時のPC鋼線の滑入量は4~8mm(平均6mm)であ

写真-3 大津配水地全景



った。

c) グラウト プレストレスが全部完了後、グラウトを行なった。グラウト施工直前にシース内を清浄水で水洗した。グラウトは下端の注入パイプから填充した。グラウトの配合は次のとおりである。

普通セメント	50 kg	アルミ粉	3 g
ポゾリス (No. 5)	250 g	水	19 l

(5) 防水工

底板の防水はネオベック A~1号を塗布し、その上にネオベック A~2号を配合した防水モルタルを15mm厚に施工した。

側壁内部の防水はエポキシ樹脂を0.5mm厚に塗布した。側壁外部はセメントガン吹付け仕上げとした。

頂板の防水にはパーライトモルタルを40mm厚に仕上げ、スーパーアルソイドルーフィングを施工した。

3. むすび

本水槽は神奈川県企業庁水道課の依頼によって極東鋼弦コンクリート振興KKが設計し、住友建設KKが施工したものである。

1962.11.9 受付

討 議 欄 の 活 用 に つ い て

学術の発展は活潑な意見の交換があってこそ正しい姿で進歩してゆくものと思います。以前はしばしば協会誌上をわかせた討議欄も、利用される方が少ないようで開店休業の状態です。Discussion という大がかりなものでは言いにくい……ということを経々耳にしますが、要は私はこう思う……かくあるべきだ、といった小さな御意見の集積が貴重なのではないかと存じます。討議が再び討議を呼び、賛成、反対が入りまじって一つの結論に近づいてゆくことこそ技術の進歩の理想的な形ではないでしょうか。比較的若い学問であるPC技術の場合、解明されなければならない問題、果してこれで良いのか等、問題は山積しているはずです。とくに若い会員の方々の活潑なお考えを、どしどし協会誌のうえに反映させて頂ければ幸いです。質疑応答にも、お答えできる範囲で応じますから大いに協会誌を御活用下さい。

【 編 集 委 員 会 】

Freyssinet

Prestressing

METHODS

- 営業種目
- コンサルタント・計画・調査・設計・監理・試験・技術指導
 - 販売・貸与・フレッシュパッド(橋梁用ゴム支承版)・各種PC機材

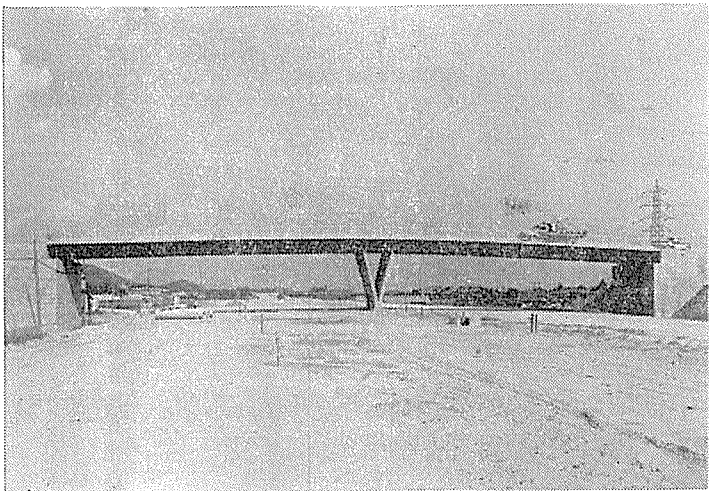
F.K.K.

— 仏国STUP社極東総代理店 —

極東鋼弦コンクリート振興株式会社

取締役社長 藤田 亀太郎

本社 東京都中央区銀座西六の六(合同ビル) TEL (571) 8651 (代)



プレストレスト・コンクリート

各種製品

建設工事の設計・施工

名神高速道路岡本跨道橋(滋賀)

形式: 3径間連続ポストテンション桁
 橋長: 54.6 m (25.600+2.600+25.600)
 巾員: 6.0 m
 荷重: 14 ton
 竣工: 昭和36年10月



ピー・エス・コンクリート株式会社

取締役社長 三田村 保武

本社 東京都千代田区四番町5番地 東亜ビル1階 電話(332)6101~8
 事務所 東京・大阪・福岡・名古屋・仙台
 工場 七尾・鴨宮・水島・伊丹・北上・神町・水口