

大スパンのPC折版屋根

— 日本専売公社水戸工場 —

矢野 克巳*
小林 勲**
藤井 利久***

1. ま え が き

この工事における主要な特色はつぎの6点にある。

- 1) 同規模同機構の鉄骨造シボレックス版葺工場（実例）と比較の上プレストレスト コンクリート造とした。
- 2) 全長 160 m 余の建家コンクリートの膨張・収縮に対し有利な折版構造を用いた。
- 3) ケーブル全長約 100 m の両側緊張をした。ジャッキストロークに近いケーブルの伸びが生ずるので、再緊張のできる鋼製コーンの検討をした。
- 4) 版厚 16 cm, 高さ 2 m の版を現場打ちした。
- 5) PC折版の型わくは、工程および転用を考慮して大型単位型わくを使用した。
- 6) 硬練りの生コンクリートをやわらかくするためにプラスチックメントを活用した。

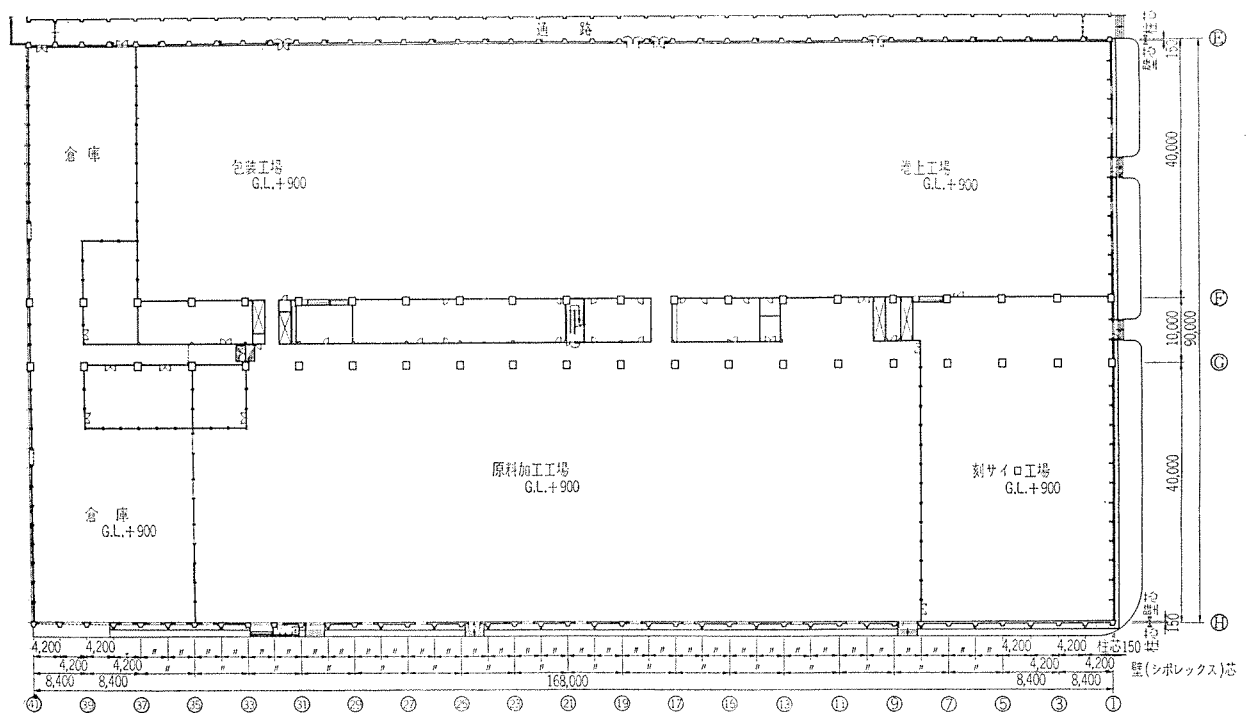
以上の点について検討し、実施した結果を報告する。

2. 設 計 (図-1~3)

(1) 鉄骨造との比較

専売公社工場の設備合理化は戦後着々と進められ、全国のたばこ工場が新鋭機械に置きかえられてきたが、この水戸工場の工事は第3期・第4次合理化の一環として実施されたものである。この間、工場の規模（たばこ製造本数）はますます大きくなり、温湿度調整した室内でより安くより良い品質の品物を産み出す努力が続けられてきた。一方たばこ工場は常に消費者の好みに応じ製造品種を変えてゆく必要があり、そのためには製造機械の配置転換、機種の変更が容易であり、またその際ロスが少ない建築として大スパンの工場が建てられるようになってきた。

図-1 平 面 図



*日建設計工務株式会社東京事務所構造部長

**鹿島建設株式会社土木設計部

***鹿島建設株式会社建築部

図-2 断 面 図

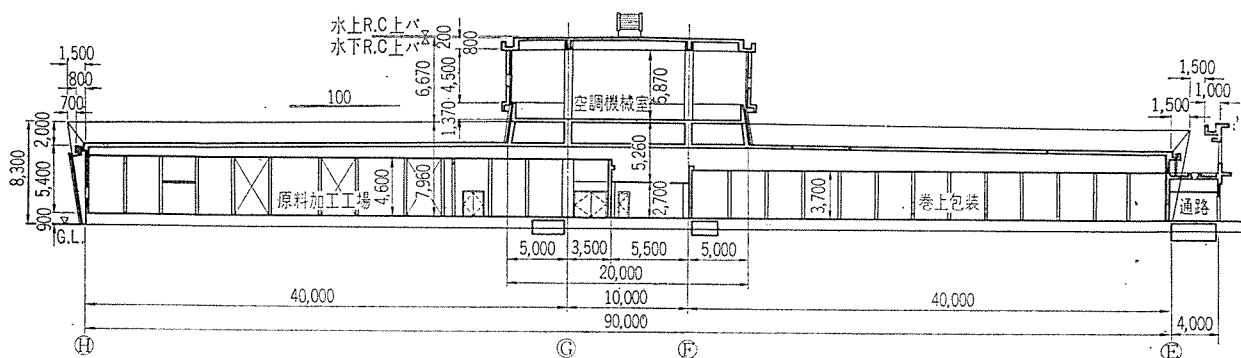


図-3 矩 形

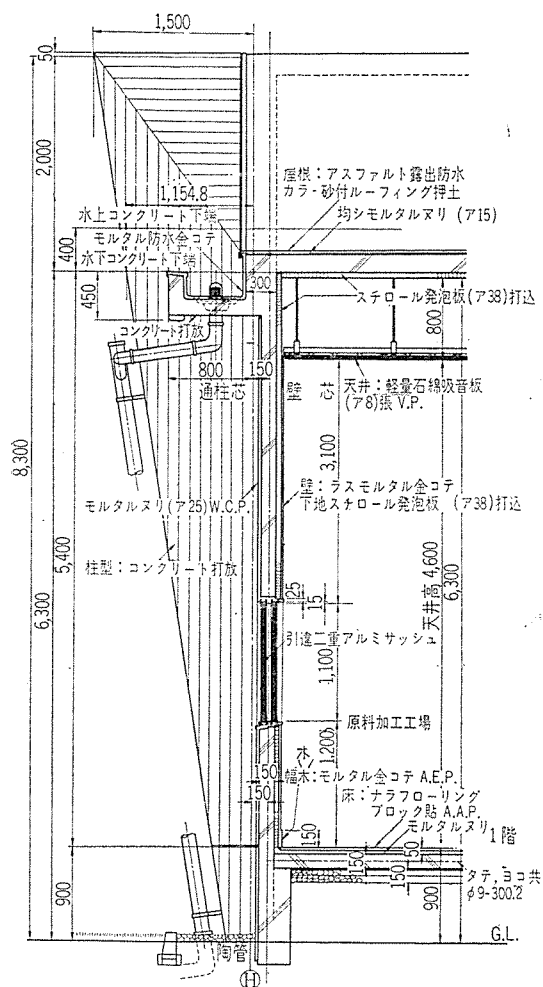


表-1 建 家 概 要

敷 地:	茨城県水戸市川崎町 374
用 途:	巻たばこ製造工場・倉庫および設備機械室 (付属棟は厚生施設その他)
構 造:	鉄筋コンクリート造, 屋根版は PS コンクリート折版, 平家建一部 2階建 (付属棟は鉄筋コンクリート造)
規 模:	延べ 18 159.3 m ² (工場および倉庫棟) 1階 15 105.3 m ² 2階 3 054.0 m ²
屋 根:	プレストレスト コンクリート折版, 上はアスファルト防水砂付ルーフィング, 下はスタイロホーム厚 38 mm 貼
天 井:	吸音アスベストボードはり
外 壁:	鉄筋コンクリート壁版の上防水塗料吹付け 間仕切・増築側外壁 シポレックス版の上防水塗料吹付け
床 :	土間コンクリートの上フローリングブロックはり
フロアーピット:	プレキャスト U型 ブロックの上スパンクリート版をならべる。
施 主:	日本専売公社
監 理:	日本専売公社営繕課
設 計:	日建設計工務株式会社
施 工:	鹿島建設株式会社
工 期:	着工 昭和 40 年 3 月 竣工 昭和 41 年 3 月

5) 経済的な設計。

この条件の内、1)~4) 項についてはプレストレストコンクリート造が他の構造に比べて有利であるが、5) 項については実例の資料がすくないため、工費がかさむのではないかと懸念された。専売公社としてはすでに同規模・同機構のA工場を計画し工事も着手しており、これは鉄骨造に断熱材(シポレックス)を屋根および壁版として用いた構造であった。これとプレストレストコンクリート造と比較したところ、プレストレストコンクリート造の方が安価になることがわかった。水戸工場は地盤が良くないため長尺杭(長さ 20~40 m)を用いねばならないが、この地盤に建つ場合の鉄骨造・PC造の両方式について杭地業をふくめて工費を比較した結果は、全工事費は両者ほぼ同額になった。したがって地盤の良い土地ならば問題なくPC造が経済的であるといえる。

水戸工場の場合も専売公社より示されたレイアウト図(基本計画図)は、幅 90 m, 長さ 160 m 余あり、設計条件として示された主なものはつぎの 5 項目である。

- 1) スパン 40 m の作業空間をつくる。
- 2) 空調条件がきびしく、23°C 80%, 20°C 80% とする。
- 3) 防じんのため室内仕上がり面を平滑にしたい。
- 4) 耐火的な構造とする。

表-2 工事費内訳比較 (坪当り工費)

A工場合計工費を 100 とする
 A工場は杭地業なし
 水戸工場は倉庫部分をのぞく工場棟について積算

	水戸工場	A工場
仮設工事	2.4	1.4
土工事	1.9	2.6
躯体工事	53.7	44.0
防水工事	9.8	5.4
仕上工事	29.4	46.8 (断熱板をふくむ)
合計	97.2	100.0
杭打工事	14.5	
合計	111.7	

工事費は空調条件がきびしく、仕上がり程度の良い工場としては安い工費で、坪当り約6.4万円となった(杭はふくまない)。

表-3 使用資材数量

延面積 1m ² 当り (工場および倉庫棟の合計)			
型わく	3.88 m ²	PC鋼材	0.008 t
コンクリート	0.485 m ³	鉄筋	0.058 t
折版 1山 (4.2 m×90 m) 当り (折版部分のみ)			
型わく	1120 m ²	PC鋼材	3.56 t
コンクリート	121 m ³	鉄筋	8.5 t

(2) 折 版 (写真-1, 図-4)

工場の設備計画は 図-4 のように中央 2 階に空調機室

写真-1 ダクト配置

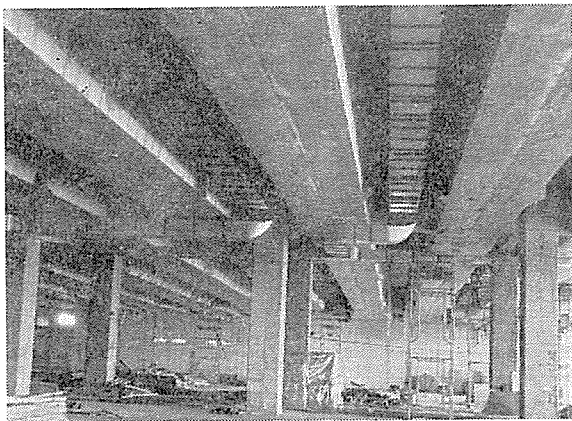
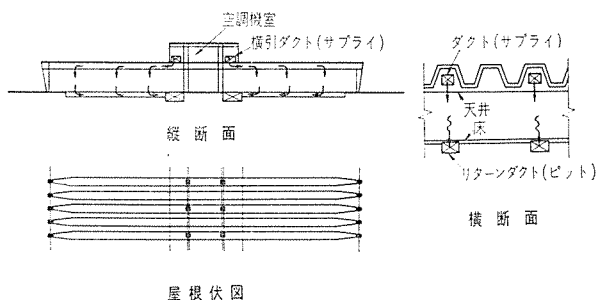


図-4 空調計画説明図



を設け 1 階に給気している。このダクトを天井内に取めるとともに室内空間を最小限度にするには、天井内に無駄なスペースができるより方式より折版方式の方が適当で、また大スパンの構造体として折版は曲げに有利であり、折版の外端はダクトがなくなるので、折版をしぼって柱と連続性を持たせて耐震的にも有利なラーメン(折版がはりの作用をする)を形成する。

2.(3)で検討する構造体の収縮によるきれつに対しても、折版は桁行方向に対してはアコーディオンのごとく伸縮に対し自由度が大きいため、きれつによる被害のもっとも大きい屋根版にこれを用いることが適当である(図-5)。

図-5 コンクリートの収縮による折版の変形



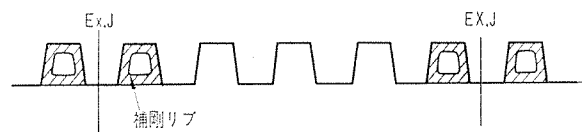
折版の欠点は、はり式にくらべて外周面積が大きいいため防水面積と屋根版に貼る断熱材の貼付け面積が大きくなる点が最大の欠点で、他にコンクリート打ちがやや困難である。水戸工場では、上記の諸条件を考えて折版構造とした。

(3) 収縮きれつ

規模の大きいコンクリート構造にとって収縮きれつは大きい問題で、既往の例でも竣工後の故障の主なものにこの収縮きれつによる雨もりがある。

コンクリートの収縮きれつを防ぐために Ex. Joint を設ける場合は、30 m 前後に分割する必要がある。Ex. Joint を設けた場合その位置の雨仕舞に手間がかかるとともに、折版の耐力を十分に発揮させるためには外端の折版には 40 m スパンの間折版の形を保つ補剛リブ(または隔壁)を設ける方がよい(図-6)。

図-6 Ex. Joint を設けた場合



地震時に外柱の基礎が水平移動しようとするような大きい力が働いた場合に折版には大きい応力が生じ折版の形が変形しようとする。このとき Ex. Joint 側の折版は、水平方向の移動を拘束するものがないので変形しようとする。これを防ぐために補剛リブが必要となる。

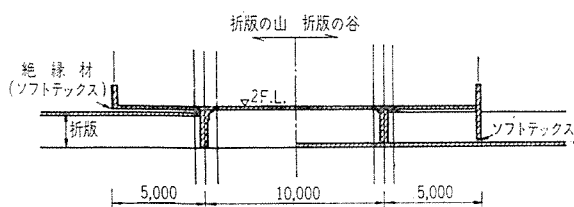
リブのある場合は、同一型わくの反復使用をさまたげるとともに、構造材が多くなり経済的でない。またダクトを通すのに支障となる。水戸工場では Ex. Joint を設けず、すべて連続の構造体とした。この場合のきれつ予防策としてつぎのように処置した。

1) 屋根版は折版としてアコーディオン効果できれつを

生じないようにする。はり間方向はプレストレスで圧縮を導入してあるので安全である。

2) 中央 10 m スパンの部分は剛なはりで継ぐので、外側 5 m の範囲の 2 階床版を折版と絶縁した二重床として折版の伸縮を自由にし、折版側にたとえきれつが生じても雨もりのおそれがない戸外に接しない二重床の範囲内できれつを止めるように設計した (図-7)。

図-7 2 階床と折版の絶縁



3) 折版外端側隔壁のある位置では、アコーディオン効果を期待できないのできれつ止めの鉄筋を版内に入れ、大きいきれつにならないようにした。

4) 間仕切壁はすべて折版とフリージョイントとなるようにして、折版の収縮を拘束しないよう鉄骨柱を取付け、シボレックス版と折版は直接つながっていない。

5) 桁行方向外壁は、施工の容易さと経済性を考え折版と一体とした。きれつ幅が大きくなるよう配筋量の決定に留意するとともに、すべて異形鉄筋を用いた(壁筋は事情により普通丸鋼に現場で変更された)。

以上の対策により工場室内に雨水のろうえいが生じないようにした。

(4) 場所打プレストレスト コンクリート

現状では建築のプレストレスト コンクリートはプレファブとするより場所打とする方が安価で利点が多い。

1) 工場建築の場合は根伐および基礎コンクリート打ちの完了は着工後 1 カ月余であるため、プレファブにより部材をストックする時間的余裕はなく、型わく製作完了と同時に屋根工事が始まることとなり、場所打ちコンクリートとする方が工期が短くなる場合が多い。本工事の場合もこれがいえる。

2) 不静定構造は、静定構造より構造体として有利であり、また大スパン構造の場合に地中ばりを設けることは不経済のため、特に強固な地盤に建つ場合のほかは柱は P C ばりと剛接合する必要がある。このような構造の場合は、プレファブより場所打の方が合理的となる。プレストレス導入による不静定二次応力はそれほど不利側の応力とならないので (3. 参照), プレストレス導入時の材長の縮みに対して特別な対策を講じ、工事を複雑化し工期を長くするより、不静定応力を算定し、それを考慮して断面決定をする方がよい。

3) 本工事のように導入プレストレスが小さく (30 kg/cm²), せん断応力度も大きくない(斜張力 7 kg/cm²) 場合、ウェブ部分のコンクリート充てん度がそれほど完全でなくても危険でないので、コンクリート打の確実性を求めてプレファブとする必要性はうすい。

4) 場所打ちコンクリートとすることにより床版部分とはり部分を一体とすることが容易ではり丈+床版丈とにならないから空間のロスが少ない。

5) プレファブ材製作のために他に用地を必要としない。また工場で作製し輸送するより近くの生コン工場を利用する方が経済である。

6) コンクリートの収縮きれつに対しては、場所打ちコンクリートの方がきれつの集中度が少なく、プレファブ式の場合のように目地にきれつが集中するようなことはなく有利である。

以上の点を考え場所打ちコンクリートとした。

3. 構造計算

(1) 荷 重

固定荷重	折版 : 0.79 t/m ²
	2 階床 (中央 10 m スパン) : 0.85 t/m ²
	〃 (外側 5 m スパン) : 0.99 t/m ²
積載荷重	屋根 : 0
	2 階 : 床用 0.3 t/m ²
	ラーメン用 0.18 t/m ²
	地震時用 0.08 t/m ²
雪 荷 重	0.06 t/m ² (短期)
地 震 震 度	0.2

(2) 材料の許容応力度

コンクリートの 4 週圧縮強度	一般 180 kg/cm ²
	P C 350 kg/cm ²
P C 鋼材 (φ7) 引張強度	6 t/本
	降伏強度 5.2 t/本
	伸 び 5.0 %
鉄筋 径 13 以下	SD 24
径 16 以上	SD 35

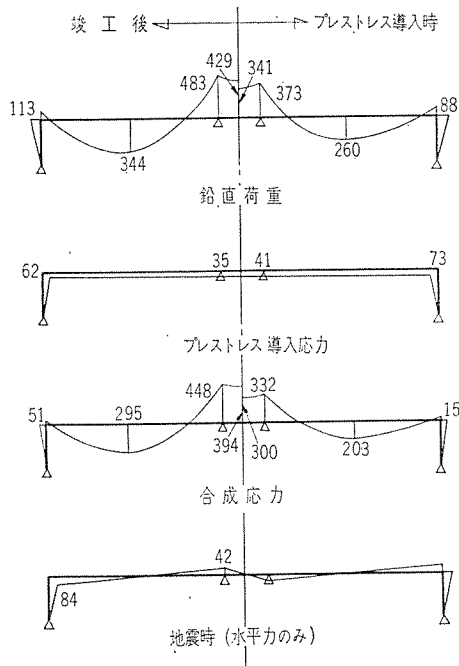
許容応力度 (長期)

コンクリート 圧縮	123 kg/cm ² (P C)
	60 kg/cm ² (一般)
	140 kg/cm ² (P C 導入時)
鉄筋 引張	1 600 kg/cm ² (φ13 以下)
	2 000 kg/cm ² (D16 以上)
P C 鋼材 φ7 引張	3.9 t/本

(3) 応 力

各階段での応力は 図-8 のようになる (折込付図 参照)。

図-8 応力図 (単位 t・m)



4. 予備試験

(1) 実寸模型によるコンクリート打設実験

施工にあたり未知の分野としてつぎの事項が考えられたので、実寸の模型型わくを作りコンクリートの打設実験

図-9 実寸模型によるコンクリート打設実験

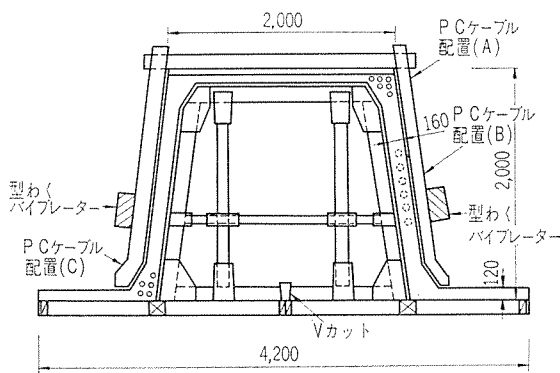
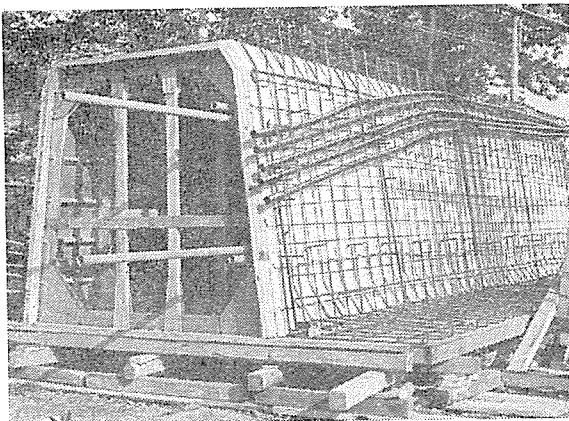


写真-2 コンクリート打設実験



験を行なった (図-9 および 写真-2 参照)。

- 1) 型わくの取扱いの難易
- 2) 型わく強度
- 3) 型わく解体方法
- 4) ケーブル配置とバイブレータの関係

a) 型わくの取扱いの難易 本工事はPCばりの施工サイクルが工事のキーポイントになることが予想されたので、大型単位型わくを考案して円滑な型わくの転用を図った。

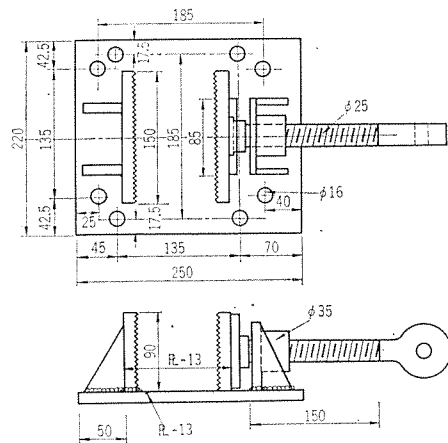
特に内型わくの重量は約 180 kg で4人で運搬は可能であるが、型わくの運搬距離を考えると職人の疲労が考えられたので、型わく運搬用の手押し台車 (1.300 m × 2.000 m) を考案した。

この台車は、型わくの転用ばかりでなく、ビティ足場および各種の材料の運搬に大変役立った。

b) 型わく強度 型わくバイブレータ (1/2 HP) の振動によって型わくが破壊するような現象は全然認められなかった。

型わくバイブレータの取付け方法はバイブレータに木の横棧、外型わくフレームに金物を取りつけて使用したが、この方法では振動伝達が不十分だし、振動中にはずれるところも出たので 図-10 に示すような取付け金物を考案し、外型わくのタテ棧に取付けた。

図-10 型わくバイブレータ取付け金物



c) 型わくの解体方法 スタイロフォームを内型わくに張りつけて、コンクリートを打設する先張り工法を採用したので、型わくの解体がきわめて困難ということとはなかった。

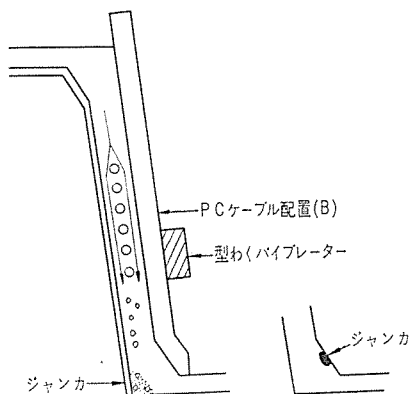
実際の施工に当っては、内型わくの下材をVカットすることにより型わくの解体を容易ならしめた。

スタイロフォームの取付けるためのクギの大きさおよびピッチが、型わくの解体の難易に関係があるようであった。

d) ケーブル配置とパイプレータの関係 コンクリート打設に当ってPCケーブル配置 (A) の部分をコンクリートが通過するためには、型わくパイプレータのみならず、棒状パイプレータの補助を必要とした。

PCケーブル配置 (B) の場合は、ほぼ良好にコンクリートが通過しているようであるが、この位置を通過する最初のコンクリート骨材が分離されたままで下隅に骨材のみのコンクリート部分が生ずる危険がある (図-11 参照)。

図-11 ジャンカの生じた部分



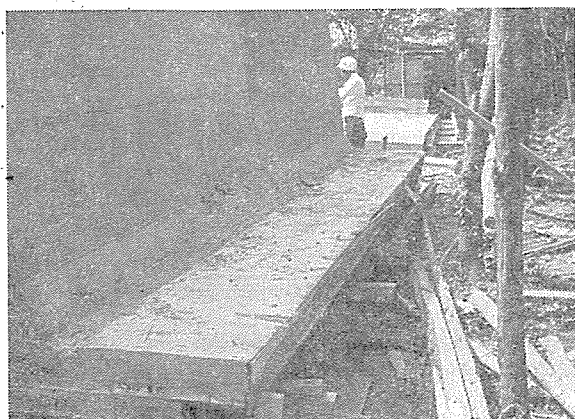
実際に妻型わくを脱したところ、3カ所にジャンカが生じていた。PCケーブル配置 (C) の場合は、型わくが底版に固定されている関係から、型わくパイプレータの効果が少なく問題点がある。

打設中の観測では、一応はりを通ったコンクリートが底版にふき出していることから、外側部分のコンクリートに関しては多少振動効果がでていると思われるが、内側部分に関しては疑問である。

つぎに下ハンチ部分に生じた打継状のジャンカは下ハンチ部分のコンクリートが下ったために生じたものと思われる (写真-3 参照)。

このジャンカを防ぐため底版のコンクリートが80%くらい打設されたとき、パイプレータの振動を止め、底版のコンクリートを十分ふくれ上がらせ、その後底版の

写真-3 模型実験で生じたジャンカ



コンクリートを動かさないようにし、コンクリートが多少硬化してからふくれたコンクリートを取り去るようにした。

(2) 鋼製コーンの定着テスト

従来のフレッシュおすコーン (12-φ7 用) はモルタル製で再緊張できないので、これの改良のため鋼製のおすコーンを新しく極東鋼弦が試作した。

本工事のようにPCケーブル長が約100.00mという長いものになるとジャッキストローク以上に鋼線ののび (鋼線のあそびもふくめて) が必要とされる可能性があったので、再緊張のできる鋼製おすコーンの定着実験を行なった。

定着実験結果を表-4に示す。

つぎに鋼製おすコーンを使用した場合の鋼線の破断実験結果を表-4に示す。

表-4 ヤング係数の測定

番号	直径 mm	ヤング係数 kg/cm ²	鋼線長 mm	試験機	備考
1	7.01	2.05×10 ⁶	100	アムスラー	破断試験
2	7.01	2.06×10 ⁶	100	"	"
3	7.01	2.03×10 ⁶	100	"	"
4	7.02	2.06×10 ⁶	100	"	"
平均	7.01	2.05×10 ⁶	100	"	
5	7.01	2.04×10 ⁶	8000	ジャッキ	
6	7.01	2.06×10 ⁶	100	"	
7	7.01	2.06×10 ⁶	8000	"	
8	7.01	2.08×10 ⁶	100	"	
平均	7.01	2.06×10 ⁶			

フレッシュコーンより局部応力を受けるために母材の引張強度より7~13%下まわった定着耐力しか得られなかった。しかしこれはコーンの材質、形状等を改良することにより5%程度になるものと思われる。

本工事においては、再緊張する必要性がでたときのみ鋼製コーンを使用する用意をした。

表-5 コンクリート調査試験成績

スランブ	S/A	w/c	w	c	S	G	混和剤 (プラスチックメント) %
cm	%	%	kg	kg	kg	kg	%
12	36	43.2	160	370	668	1195	0.25
スランブ	F ₃ kg/cm ²	F ₅ kg/cm ²	F ₇ kg/cm ²	養生	練り始めの時の間		
12	243	284	325	空中	40分		
12	238	283	319	"	"		
12	247	285	327	"	"		
12	271	324	358	水中	40分		
12	270	334	361	"	"		
12	267	320	352	"	"		

(3) コンクリートの試験練り

コンクリート強度としてプレストレス時 250 kg/cm² 4週強度 350 kg/cm² が要求されたが、特に今回の場合コンクリートの早期強度がプレストレスの時期、工程サイクルに大きく響くので、何回も試験練りを行なって最後につぎの調合にて材令と強度の関係を確認しコンクリートの調合を決定した(表-5)。

(4) グラウト試験

グラウト試験は、コンシステンシー試験、ブリージング率および膨張率試験強度試験を行なった。

試験方法はつぎのとおりである。

コンシステンシー試験一流下方法

(土木学会PCグラウト試験方法案 第1章)

ブリージング率および膨張率試験一体積方法

(土木学会PCグラウト試験方法案 第2章)

強度試験一型わく方法

(土木学会PCグラウト試験方法案 第5章)

グラウトの調合は 表-6 のごとく行なった。

表-6 グラウトの調合

セメント比 w/c	水 W	セメント C	混和剤プラス チメント	アルミ粉
40%	20 kg	50 kg	125 g	5 g

試験結果は

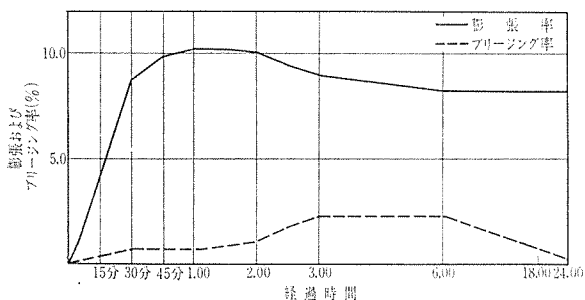
コンシステンシー試験一流下時間

ブリージング率および膨張率試験一試験結果の一例を図-12 に示す。

強度試験(アルミ粉 6.5 g) $F_7 = 214 \text{ kg/cm}^2$

$F_{28} = 241 \text{ kg/cm}^2$

図-12 グラウト膨張率およびブリージング率



(5) PC鋼材試験

プレストレスの管理は、ジャッキの圧力計示度とPC鋼材の伸びによって行なう。

そこで後者のPC鋼材の伸びは、鋼材のヤング係数と断面積によって相違があるから、事前にこれらの測定を行なった。

a) PC鋼線(φ7)直径の測定 A社の124の資料について鋼線の直径を測定した結果はつぎのとおりであった。

規格直径 7.00±0.05 mm

実測平均直径 $\bar{X} = 7.013 \text{ mm}$

$S = 0.0119 \text{ mm}$

つぎにこれらの断面積比を示す。

直径	断面積×4/π	断面積比(φ7に対して)
φ7 mm	49.00	1.000
φ7.013 mm	49.18	1.004
φ7.025	49.35	1.007

上記のとおり断面積誤差は現製品においては0.5%程度であり問題とならない。

b) ヤング係数の測定 短い鋼線と長い鋼線を用いてヤング係数の測定を行なった。

短い鋼線は長さ10 cmでストレインゲージにて伸びを測定した。

長い鋼線は長さ8 mで緊張力と伸びを測定した。以上の結果を表-7に示す。

表-7 PC鋼材のヤング係数

	PC鋼材 ヤング係数 t/cm ²	ヤング係数 の範囲 t/cm ²	資料数
緊張試験	1980	1950~2040	6
予備試験	2060	2030~2080	8
試験成績表	2050	2020~2070	30

破断試験に用いた100 mm PC鋼線より求めたヤング係数の平均は $2.05 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ である。

長さ8 mの資料を用いて緊張した結果より求めたヤング係数の平均は $2.06 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ である。

5. 施工

(1) 工程

PC折版の施工は、7月中旬より12月末までの約150日間に行なった。施工単位は、はり2本を1組として41はりを21組に分けた。1組の完成には約30日かかるが、各組の施工を6日遅れで重複させたので、6日サイクルの作業工程となった(表-8,9参照)。

(2) 支保工および型わく

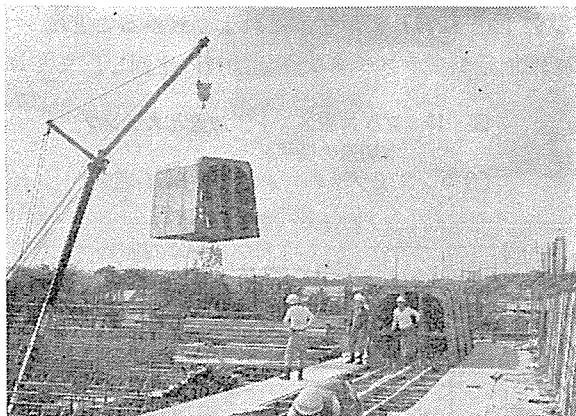
支保工は、組立・解体・運搬の容易な鳥居型建わく組足場(ビティ式)を10はり分用意して4回転用した。

内型わくは予備試験によって定められた木製骨組の大型単位型わく(幅1.80 m, 高さ1.88 m, 長さ1.82 m)を9はり分製作し5回転用した。型わくの解体運搬の際に重量物であるので、多少の衝撃を与えたが、わく組本体の破損はわずかであった。

なお、組立にはオーストリッチを利用した。表面には厚さ12 mmの耐水ベニヤを打ちつけ、その上に断熱材のためのスタイロフォームを先張りした(写真-4)。

外型わくは同じく大型型わく(高さ1.88 m, 長さ1.82 m)を4はり分製作して、約10回転用した。この型わ

写真-4 型わくの組立

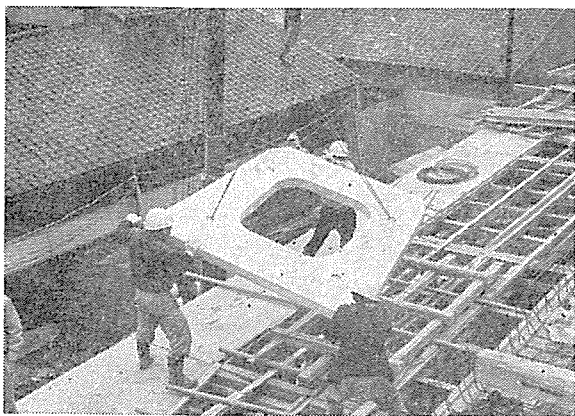


くは転用回数が多いため、わく組の修理を大分必要とした。表面の耐水ベニヤも、コンクリート打設の際に、棒状パイプレンタがこじ当てられた部分がささくれてしまい、部分的に張りかえねばならなかった。転用回数としては5~6回が良好と思われる。

このような大型組立型わくを用いて、型わくの取りはずし、運搬等が円滑に行なわれるかどうか、非常に心配されたが、実際には良好に行なわれ、これがサイクル工程を順調に進めた一大要因となった。

なお、第1はりりと第41はりのみ、はり中間にリブ(隔板)が28個入るので、これの施工にはプレキャスト製品を用い、他のはりと同じ型わくを転用できるようにした(写真-5)。

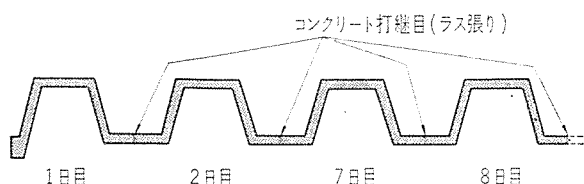
写真-5 リブ(隔板)のすえつけ



(3) コンクリート打設

a) 打設順序 コンクリート打設は1はりずつ行ない、各はりの底スラブに打継目を設けた(図-13)。第1日に1はり目、翌日2はり目を打設し、中4日置いて

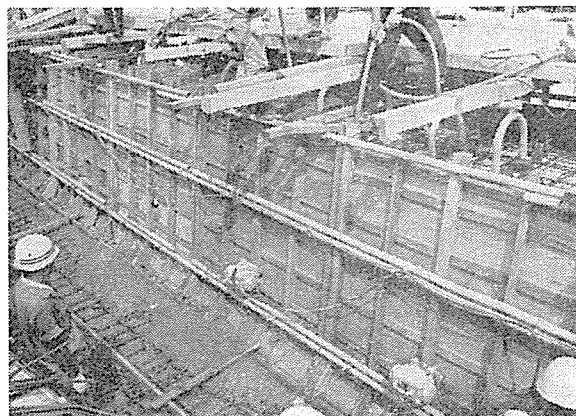
図-13 コンクリートの打継ぎ



3はり目、4はり目の打設をするサイクルとした。1はり分のコンクリートが約120m³もあり、はりが薄く(高さ2m、厚さ16cm)、さらに硬練りのコンクリートを打設するので、予備試験の検討をもとに、打設には十分な注意を払った。打設方法は、トラックミキサで運搬された生コンクリートをタワーではり上までせり上げ、カード車で運搬して打設した。打設の進行は、当初はりの両端より中央に向かって打設し、第11はり以後は、はりの一端より他端に向かって片押しとした。前者の打設時間は約7時間、後者は約10時間であった。

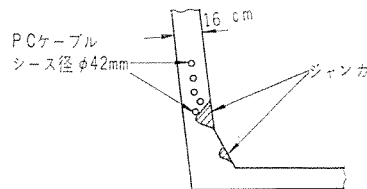
コンクリートの締め固めのため、型わくパイプレンタと棒状パイプレンタを用いた。型わくパイプレンタは側型わくに1.8m間隔に取り付け、転用しながら打設した(写真-6)。

写真-6 コンクリート打設のパイプレンタ



b) コンクリートのジャンカ 打設の進行は木植で側型わくをたたくことによって、コンクリートが打設されたことを確認しながら進行した。このような注意を払って施工したにもかかわらず、数ヵ所ジャンカを生じた。その場所は底スラブのハンチ部分およびケーブルPCの配置がかたまった部分の下である(図-14)。

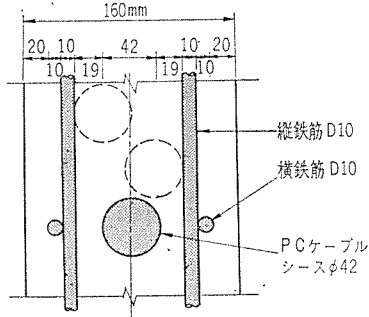
図-14 ジャンカの出した場所



ジャンカの生じた原因は、厚さ16cmの中にPCケーブル用シースφ42mmと両側に縦横鉄筋が入るので、すき間はわずか30mmであり、このため棒状パイプレンタが入らないので、直接コンクリートを締め固められない(図-15)。型わくパイプレンタを用いても、各部分を十分に締め固めることは困難である。すなわち、このような設計断面では、ジャンカが生じるのはやむをえないものと思われる。しかし、建築構造物の屋根のよう

に振動荷重が加わらない場合は、わずかのジャンカの程度なら、プレストレス導入前に接着剤を用いて完全に補修するならば十分と思われる。さらに当工事の場合は、このはりの上に防水をするので漏水のおそれはない。

図-15 はりの中の P C ケーブルと鉄筋



c) プラスチックを用いてコンクリートを柔らかくする方法 コンクリートが十分に打設されるためには、コンクリートのワーカビリティが良いことも大切である。すなわち、多少スランプの大きいコンクリートが必要とする。これに対し、プレストレスコンクリートの場合は、強度・乾燥収縮・クリープ等の関係でできる限り硬練りのコンクリートを用いなければならない。しかし、当工事の場合は、スランプが 8 cm 以下であると打設が困難になる。そこで、生コンクリート運搬中にスランプが低下し、現場到着スランプが 8 cm 以下になった場合は、コンクリートの分散剤であるプラスチックをミキサ車内のコンクリートに約 1000 cc 投入し、再度練り返すことによってコンクリートを柔らかくし、所望のスランプとする作業を行なった (写真-7)。

このスランプ改善方法については、当現場において始めて実施されたものであり、これに関する実験報告は他

写真-7



誌 (土木施工 1966 年 2 月号) に行なうこととして結果のみを 図-16,17 に示す。これよりわかることは、スランプ増加量がプラスチック添加量に比例し、またコン

図-16 プラスチック添加量とスランプ増加量の関係 (生コン工場プラスチック 0.2% 混入)

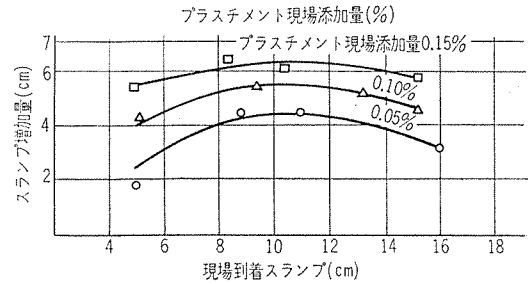
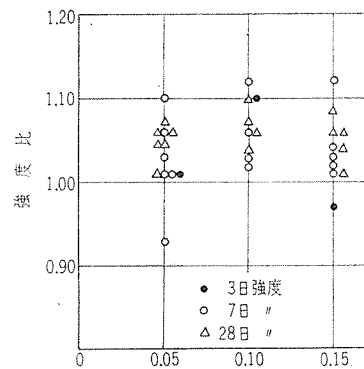


図-17 プラスチック現場添加量と強度比 (生コン工場プラスチック 0.2% 混入)

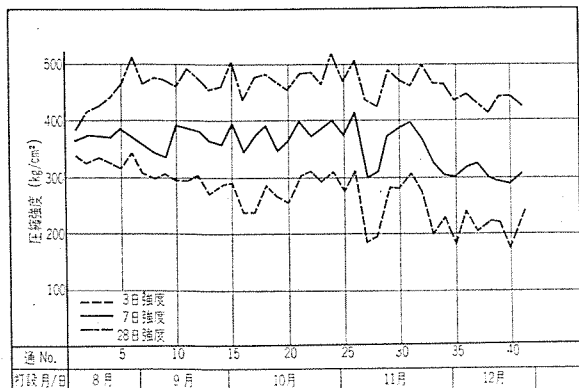


クリート強度はプラスチック添加によって減少することはない、かえって増加している。これはプラスチックが空気を連行せず、セメント分散効果を発揮するからである。なお、わずかのプラスチックを添加するだけでセメントペースト量もほとんど変わらず乾燥収縮、クリープ等に対する影響も変わらないと思われる。そこで当現場ではこの方法を用いて、できる限りスランプ 12 cm 程度のコンクリートを得るように努力した。

d) 定着部付近のコンクリート プレストレスの一部を早期に導入したいため、はり端のフレッシュコンクリートのみコンクリートの配合を変え、硬練りコンクリート (スランプ 6~8 cm) を打設した。その結果、4 日目にプレストレスの一部を導入できた。

e) コンクリート強度 コンクリート圧縮強度試験の結果を 図-18 に示す。定着部付近のコンクリート強度 (スランプ 8 cm) が 320 kg, はり中間部のコンクリート (スランプ 12 cm) になったとき、初めて緊張を行なうこととした。したがって表からわかるとおり夏から秋にかけては 3 日目にこの強度を得られたが、冬期には 5 日程度を要した。

図-18 コンクリート圧縮強度

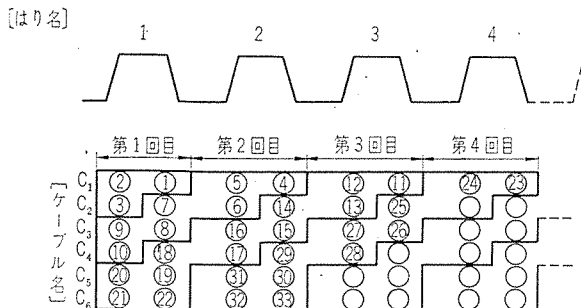


(4) プレストレス導入

a) 緊張作業 プレストレス導入は、フレシネ方式 12-φ7 mm ケーブルを配置し、フレシネジャッキおよび電動ポンプによって両側緊張を行なった。PCケーブルの作業ははりに平行して行ない、ケーブル長が 100 m もあるので、約 20 名によって運搬ならびに配置を行なった。PCケーブルの高さを正しく保持するため、配筋とは別に鉄製のスペーサーを 2 m 間隔(重要な場所は 1 m 間隔)に配置した。

プレストレス導入は相隣れるはりと 1 本以上の差が生じないように方法とした。したがって 1 本のはりのプレストレス導入は 3 回に分けて行なった(図-19 参照)。

図-19 プレストレス導入順序



緊張作業において特に注意したことは、ケーブル長が約 100 m もあり、両側緊張する場合の片側の伸び量が約 250 mm 程度で、ジャッキのストローク 300 mm に対して余裕がほとんどない。そこで両側にトランシーバーを用意して連絡をとりながらポンプ圧力 50 kg/cm² ごとに緊張作業を区切り慎重に行なった結果、両側の伸び量の差は 30 mm 以内におさまった。したがって、緊張中にコーンを一時定着し、そして再緊張する作業の必要はなくなり、予備試験のとき問題とされた鋼製コーンの必要性はまったくなかった。

b) 緊張管理図の作成 次式によって緊張力ならびに伸びを算定し緊張管理図を作成した。

$$緊張力 P = P_0 e^{u(\alpha + \frac{\lambda}{\mu} l)} (1 + \beta)$$

P: ジャッキ部緊張力

P₀: 中央断面緊張力

μ: 角変化 1 ラジアン当りの摩擦係数

α: 角変化 (ラジアン)

λ/μ: PC鋼材長さ 1 m 当りの角変化 0.015 ラジアン

l: PC鋼材の長さ (m)

β: ジャッキならびにコーン部分の摩擦損失 3 %

$$伸び \Delta l = \frac{\bar{P} \cdot l}{E_P \cdot A_P} + x$$

Δl: ジャッキ部測点のPC鋼材の伸び

P̄: 平均緊張力

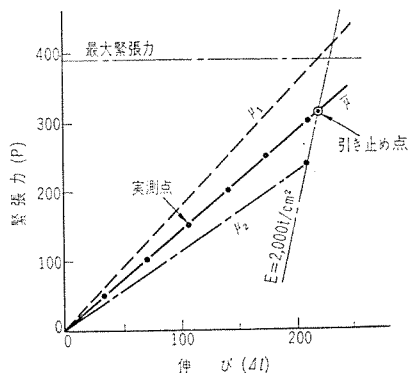
E_P: PC鋼材のヤング係数 2000 t/cm²

A_P: PC鋼材の断面積 461.8 mm²

x: コーンからジャッキ部測点までのPC鋼材の伸び, 約 2 mm

上式において μ のみが未知数であり、緊張中に緊張管理図に記録された実測点を結ぶことによって、そのPCケーブルの μ を推定し、同時に引き止め点の緊張力および伸びを決定した(図-20)。

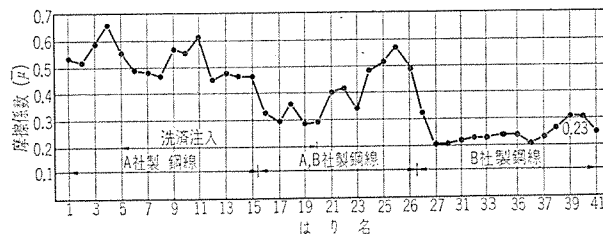
図-20 緊張管理図



c) PCケーブルの摩擦係数と定着部のすべり 実

際に緊張した結果の摩擦係数を 図-21 に示す。これよ

図-21 各はりのPCケーブル摩擦係数 (1はり 12 ケーブルの平均値)



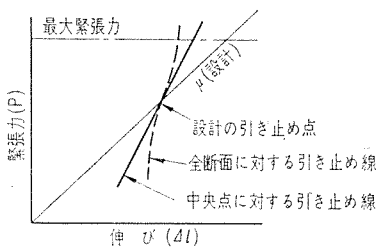
りわかるとおり、始めは非常に摩擦が大きかったので、摩擦を減ずる手段として中性洗剤をシース内に通して緊張した。この結果、摩擦係数は μ=0.1 程度減少できた。後半は逆に摩擦係数が設計の μ=0.3 以下になってしまった。ところが突然鋼線の定着が不十分になり、中には定着不能で鋼線が緊張終了後、すべってしまうことが起った。そこで鋼線の定着部分の磨きをより完全にすることに努めた結果、ほとんど定着部のすべりをなくすことができた。

結果論として、摩擦の大きいPC鋼材は、定着部のすべりの危険がなく、摩擦の小さいPC鋼材は定着部のすべりのおそれがあることがわかった。当工事においては前半と後半とで別の会社のPC鋼材を用いた。その結果、会社別によって摩擦係数ならびに定着部のすべりに差異のあることがわかった。これはPC鋼材製造上の減磨剤の程度によるのではないと思われる。

PC鋼材がすべることは非常に危険である。完全に磨くよう努めたとしても、人為作業ゆえ、不十分なものも出ないとは限らない。特にPCケーブルが長い場合には緊張直前にケーブルを移動させて、定着部にあたる部分の鋼線を磨くことは困難である。さりとて定着部のすべりのないPC鋼材を用いると摩擦が大きくなり、プレストレス導入の点から問題がある。当工事においてはPCケーブル492本緊張に際し、定着部のすべりが4回あった。

d) 不静定構造物の緊張管理 つぎに不静定構造物の緊張管理の問題点を検討してみたい。静定構造物の場合は、一般に重要な断面は1ヵ所であり、その点に正確なプレストレスが導入されれば、他の点は摩擦の大小によって多少の差があっても問題になることは少ない。しかし、不静定構造物の場合は重要な断面は1ヵ所とは限らず、さらに摩擦の大小によって、2次プレストレスも変ってくる。すなわち摩擦が小さい場合は、単に中央点のプレストレスは不足しており、さらに2次プレストレスも変化している。摩擦が大きい場合はこの逆がいえ。そこで緊張管理図における引き止め点は、単に中央点を満足するものでなく、全体を満足するものでなければならず、これを 図-22 に示す。この引き止め点を推定す

図-22 全断面に対する緊張引き止め点



る計算は緊張者にとって非常にはん雑である。したがって不静定構造物の場合は設計に仮定された摩擦係数と同一のものを得られることが大切である。その点、PC鋼棒緊張のように打撃によって摩擦係数がある程度調整できるものは望ましい。PC鋼線も、なんらかの方法によって緊張中に摩擦係数を調整できる方法を検討する必要がある。

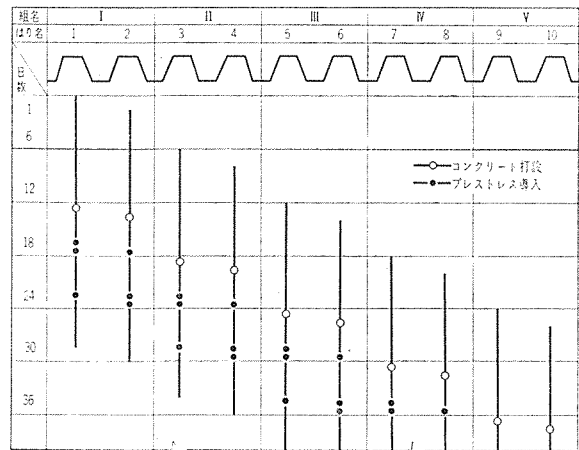
e) PC鋼材のヤング係数測定 緊張計算に用いたヤング係数 $E=2000 \text{ t/cm}^2$ は実際に配置されたPCケーブルの緊張試験結果をもとに、予備試験結果ならびに

PC鋼材試験成績表を参考にして、決めたものである(表-7 参照)。

表-8 はり製作工程表

工程	日	5	10	15	20	25	30
支保工							
型枠組立							
鉄筋							
PCケーブル							
コンクリート							
養生							
型枠解体							
グラウト							
表面処理							

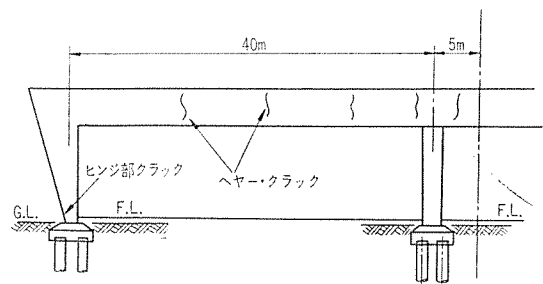
表-9 各はり製作工程表



(5) コンクリートのきれつ

コンクリート打設の養生は、季節が秋であったのでぬれた麻袋を敷き、ときどき散水した。しかし、約10mの間隔にはり断面に対し縦にヘアクラックが入っているのを見かけた(図-23 参照)。これは乾燥収縮によるきれつと思われ、スパンが長く($l=40 \text{ m}$)断面が薄いからで、さらに割合にセメントペーストの多いコンクリート(単位セメント量 370 kg, 単位水量 160 kg)であったからと思われる。しかし、このヘアクラックはプレ

図-23 コンクリートのきれつ図



ストレスを導入することによってほとんど消えてしまい、問題となるほどではなかった。

この他、完成後数ヵ月たったとき、ラーメンの両側の柱の外側の根本にクラックが入った。これはコンクリートのはりがプレストレスの弾性変形・塑性変形・乾燥収

縮によって約 15 mm 縮むことによって、柱が内側に倒れるからである。これに対し、柱の根本は断面を小さくすることによって、ヒンジとしているが、特別にヒンジ構造にしていないので、クラックが入ったものと思われる。建築構造物等の場合は壁があるため完全な縁切りをしてヒンジ構造とすることは難かしい。しかし大スパン PC ばりを支持する柱の場合は変位置が大きいことがあるので、ヒンジ構造について工夫する必要があると思う。

6. む す び

本工事は日本専売公社本社および水戸局の方々のプレストレス コンクリートに対する なみなみならぬ 熱意

と御理解により実現のはこびとなり、適切な現場監理により無事工事を終えることができた。

構造設計については、京大名誉教授 坂 静雄博士の御指導を賜りました。

監理担当：日本専売公社営繕課

栗原得二氏 安永改男氏

設計担当：日建設計工務株式会社

舟木昭二計画部長 辻 愛也氏

施工担当：鹿島建設株式会社建築部

高橋 仁所長 山賀工務主任 藤原係長

土木設計部 百島課長

1966.3.14・受付

工事ニュース提供のお願い

工事ニュースは非常に関心をもたれておりますので、現場から直接お送りいただくと助かります。完成だけでなく工事中の状況でも結構です。必ず写真と図面くらいは入れて下さい。写真によっては口絵に出させて頂くようになるかも知れません。採用の分には薄謝を呈します。

スパイラルシース

昭40-22729



(特許公告 昭40.10.7)

神奈川県工業試験所で

製品の優秀性 実証



PC器材専門製造



鋼弦器材株式会社

取締役社長 平野勝之助

本 社 横浜市西区中央2丁目42番6号

電話 横浜(44) { 5 7 8 1 · 5 7 8 2
2 2 6 4 · 7 2 3 9

製造工場 (合)平野機械製作所

関西支社 大阪鋼弦器材株式会社