

# パームフレーム (Palm Frame) C 型による 工場 建 築 に つ い て

河 合 俊 郎\*  
長 倉 四 郎\*\*  
野 沢 正\*\*

## 1. 概 要

本建物は、ピー・エス・コンクリート（株）久留米工場のコンクリート製品の製造工場として建設されたものである。

工場内には 350 t, 70 m アバット 2 基と天井走行クレーン (10 t) 1 基が設備される。その後さらにアバット 1 基と天井走行クレーン 1 基が増設される予定である。

その他建物の概要は次のとおりである。

工 事 名：ピー・エス・コンクリート（株）久留米工場  
新築工事

建 設 地：福岡県久留米市荒木町白口 1200 番地

設計・施工：ピー・エス・コンクリート（株）

構 造：プレキャスト プレストレスト コンクリート  
構造

建築面積：1 485 m<sup>2</sup>

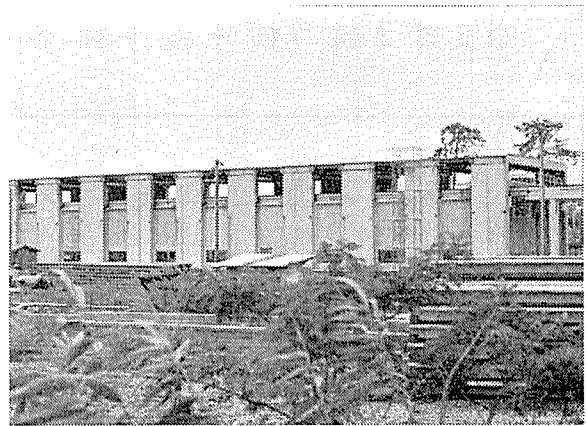
クレーン引出し部面積 495 m<sup>2</sup>

軒 高：8.1 m

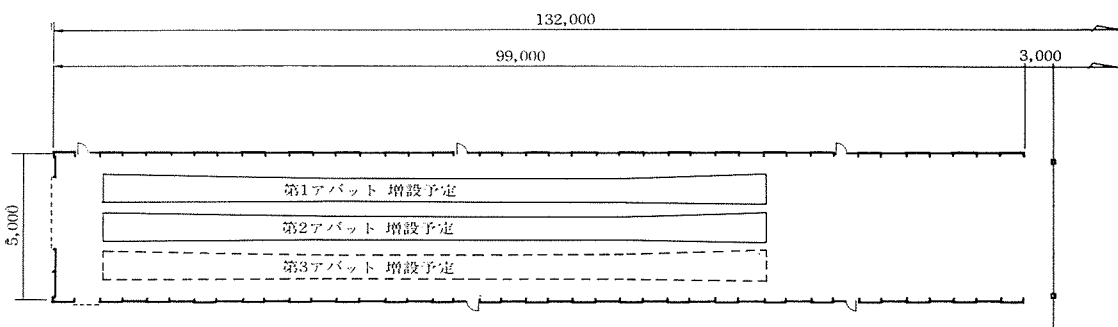
仕 上 げ：外壁，内壁プレキャスト コンクリート素地

屋 根：合成樹脂塗布防水  
目地部分はゴムシート防水  
窓 ：スチールすべり出しサッシュ  
合成樹脂波板  
トップライト：合成樹脂波板

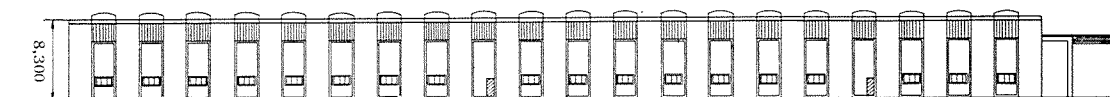
写真—1 (a)



図—1 平 面 図



図—2 西 立 面 図



\* ピー・エス・コンクリート（株）久留米工場長  
\*\* 同 東京支店建築部

図-3 矩 計 図

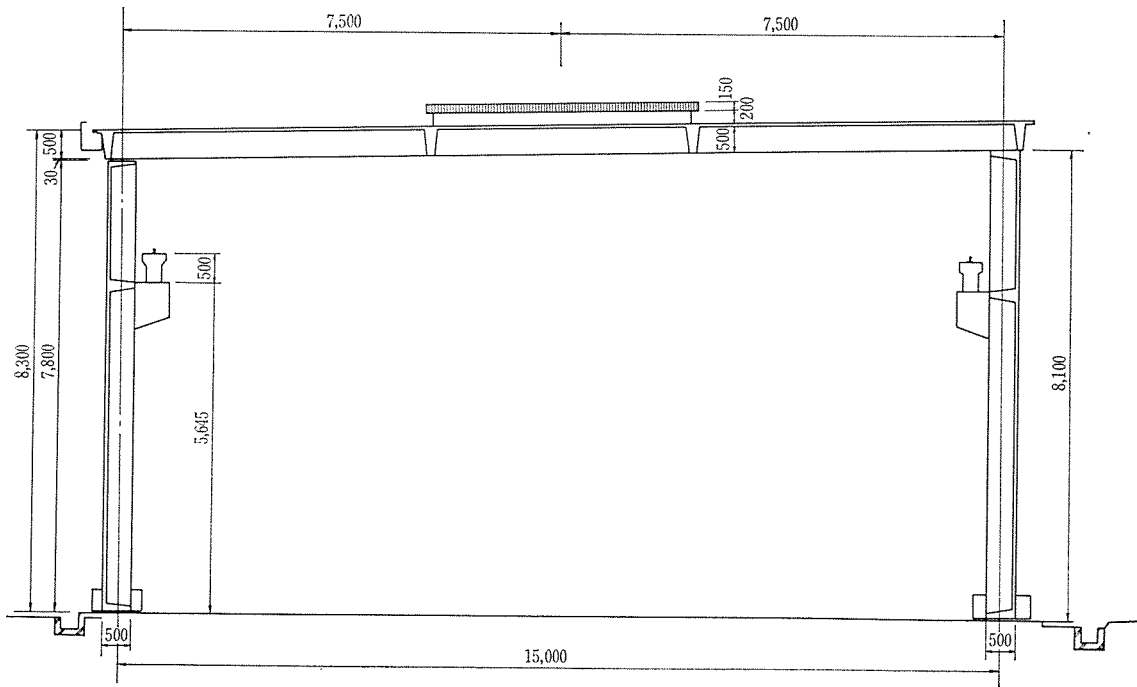


写真-1 (b)



## 2. 設計について

本建物はコンクリート二次製品の製造工場の上屋であり、工事以前にすでに 350t アバット 2 基が設備されており、製作ヤードとして使用されていた。その部分に上屋を建築した。

工事期間中は既設の門型クレーンは撤去し、クレーン車を使用し製造を続けた。ただし、架設期間中だけは操業をストップさせた。したがって、現場工事にあたっては、操業を止める期間をできるだけ短縮することが一つの課題であった。

建物の構造方式を決めるにあたっては、建物がプレキャストコンクリート製品の製造工場であるという事情から、オールプレキャスト製品による構造とすることが当初からの目標であった。しかし、予算面での制約等もあって、鉄骨造、現場打ちコンクリート造の構造も含め幅

広く検討を行なった。

性能、意匠等の要因が作用し、純粋な比較は不可能なのであるが、おのおのの概略設計をして比較してみた。

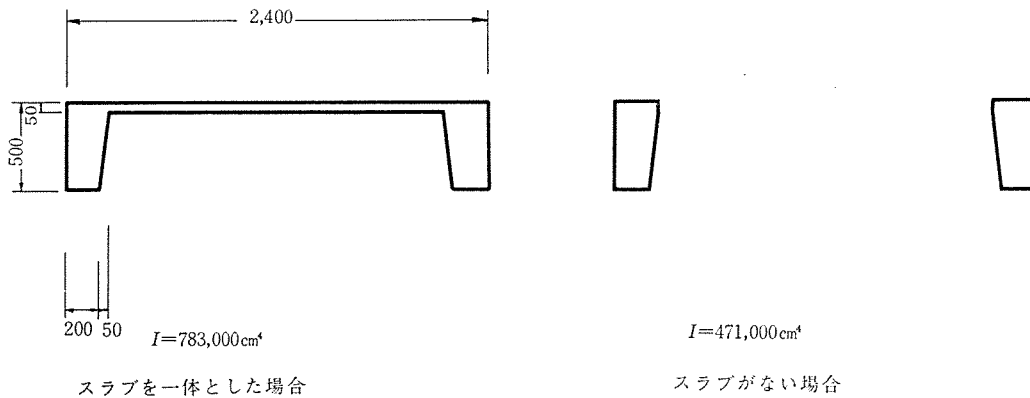
工期が短縮できることや建築上の性能の面ではコンクリート造がすぐれており、特に工場内部でコンクリート製品の促進養生のために蒸気による養生をするので、防錆に対する性能が必要である。鉄骨造は完成後もなんらかの方法による防錆管理が定期的に必要であり、インシヤルコストとともにランニングコストも加算される。しかし、何といても最大の問題点はインシヤルコストの大小であり、プレキャストコンクリート造で従来の構造方式をとった場合、どうしても鉄骨造よりも割高になってしまう場合が多い。

そこで従来の柱・はり部材により構成された構造体にカーテンウォールと屋根版を取付けるという方式を再検討し、安価なプレキャスト構造物を造るということを追求することにした。

考えられる事項としてはプレキャスト部材の種類をできるだけ少なくすること、使用材料の高度利用をはかりできるだけ材料を減らすこと、従来コンクリート構造物には、あまり使用されていなかった FRP 等の安価な仕上材を使用することにより構造体を軽くすること、単純化して工期を短縮し、組立工事費を少なくすること等がある。

そこで今回の設計では、従来の壁・屋根版のような非耐力要素であった物を構造体の一部に算入し、できるだけ合理的に材料を使用することにした。まず、15m 方

図-4 はり・柱断面形状



向の T ばりについては 図-4 に示すように屋根版を兼用したような形とした。このようにすることにより、はりの断面性能は断面 2 次モーメントで示すと 471 000  $\text{cm}^4$  から 783 000  $\text{cm}^4$  へと約 1.7 倍に増大した。

柱についても同様に壁版と一体になったような形状、すなわち、はりと同じようなチャンネル形の形状とした。これにより柱とはりの型わくは兼用することができるようになる。柱のスパン方向の断面は地震力により決定されるので、チャンネル型断面はあまり有効とはならないが、桁行方向については 図-5 で示すように壁内部にブレース鉄筋を配置でき、壁を耐力壁とすることができる。ブレース鉄筋は引張りのみに効くこととし、壁のコンクリートの圧縮抵抗は計算上無視した。柱の引抜き力は 8.8t であり柱軸力を加えると引抜きは生じない。

図-5

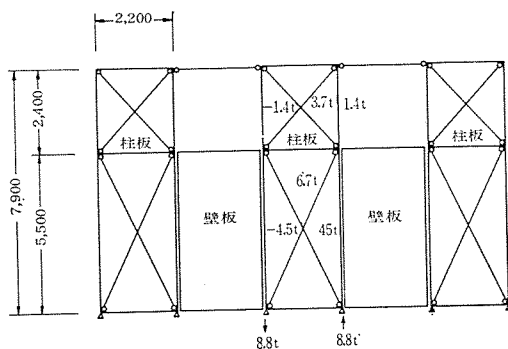
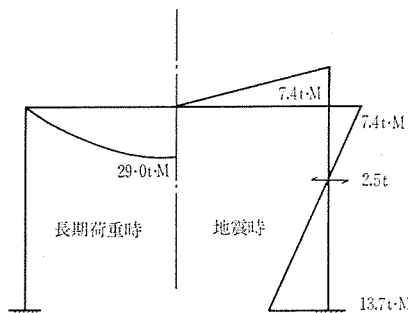


図-6



また、柱をこのようなチャンネル型にしたことにより架設時の板幅方向の安定性が増し、架設工事においてトラワイヤー、ステーキング等による転倒防止の装置が省略できることになる (写真-7 参照)。壁板もチャンネル形の形状とし、柱・はりよりもリブの部分を小さくした。壁板の長さは、5.605 m であり、柱の長さ 8.040 m との差 2.435 m の部分に合成樹脂波版を取り付け採光用の窓とした (写真-10 参照)。さらに壁内部に 90 cm  $\times$  200 cm のすべり出しサッシュを同時打込みとし、採光と換気用の窓とした。

屋根板は壁板と同様の断面形状をしている。両側のはりのブラケットの上に屋根板 2 枚をのせ、2 枚の屋根板の間の開口部 2.44 m  $\times$  4.29 m の部分に合成樹脂波版をアーチ状に取り付け、トップライトとした (写真-11 参照)。このトップライトと壁の採光窓を加えた総面積は 722  $\text{m}^2$  となり全面積の 2.6 割となる。

以上のようにこの建物で使用している部材はすべてチャンネル形をしている。今回の工事では工期上の制約があり、柱とはりだけを同一型わくとして使用したが、工期が十分に確保されている場合には簡単な型わくの改造と設計のくふうを加えれば一種類の型わくでも十分可能ではないかと思われる。

長期荷重・地震力による応力図を 図-6 に示す。

柱とはりおよび柱と基礎とのジョイントは、全荷重積載後鋼棒 (18φ) で緊張し、固定ジョイントとする (図-7)。したがって、大ばりは長期荷重に対しては単純ばりの応力状態となり、はり端部と柱には長期モーメントは生じない。地震時においては、柱頭・柱脚は固定ジョイントとなっているので、図で示すようなラーメン構造としてのモーメント図となる。基礎は柱版の中央に 1 つとした (図-8)。

この建物は桁行方向に柱が非常に多いので、基礎は布基礎のほうが都合がよいのであるが、地耐力が不足なので杭打ち基礎とした。柱の直下に基礎を 1 つずつ設ける

図-7 架構配筋図

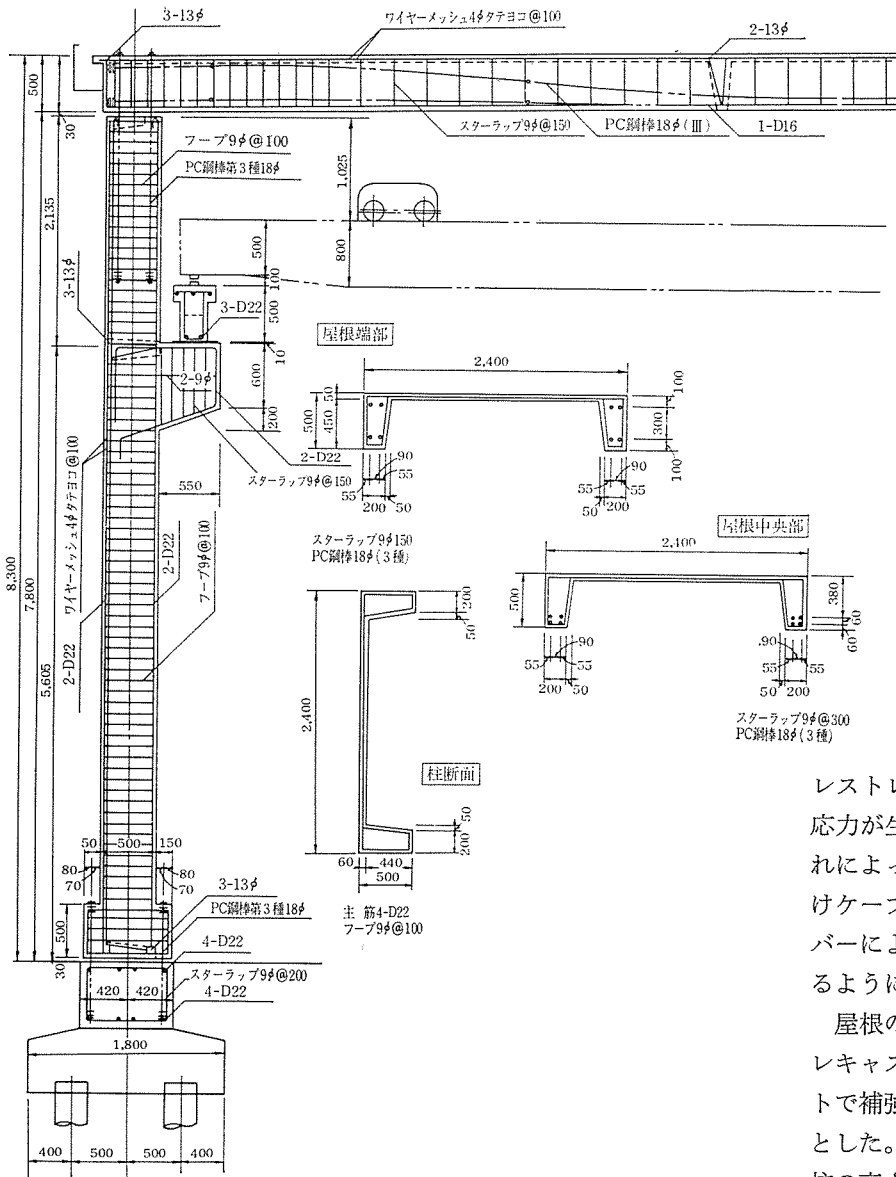
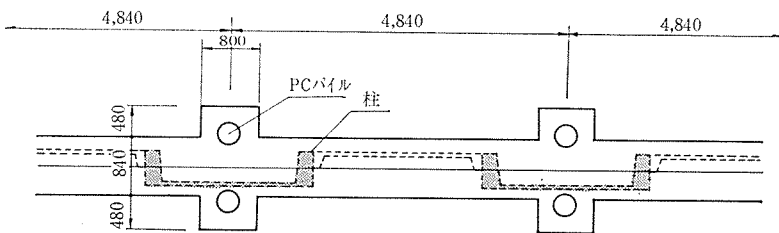


図-8



と非常に数が多くなり、工事ははん雑でしかも不経済であるので、柱2本に1つの基礎、すなわちチャンネル型の2本組み合わされている柱の中央に1つの基礎を設けることにした。したがって、柱からの軸力、曲げモーメントは直接基礎には伝わらず、地中ばりの曲げ、せん断ねじれの各応力となって伝わる構造となっている。

杭は外径 30 cm の PC 杭を使用した。地中ばりの形

状は 84 cm×80 cm である。

クレーンばりは柱に付いているクレーンばり受けのブラケットに取付ける。したがって、クレーンばりのスパンは非常に短く、はり断面はせん断力でのみ決定され、比較的小さな断面でおさまった。クレーンばりは柱間の中央でせん断ジョイントすることにし、1ピースの長さは3スパン分 7.24 m として連続とした。

クレーン引出し部のクレーンばりは 15 m スパンに単純ばりとなっている。10 t 吊り天井走行クレーン2基を設計用荷重とした。したがって、最大車輪圧が最も不利な状態で加わる頻度が非常に少ないことから、クレーンばりの設計はパーシャルプレ

レストレッシングとし、最大荷重時に引張応力が生じることをある程度許容した。それによってできる余裕を利用してできるだけケーブルの偏心距離を少なくし、キャンバーによるクレーン走行の障害を少なくするようにしてある。

屋根の防水は合成樹脂塗布防水とし、プレキャスト版目地部分だけを合成ゴムシートで補強した。屋根勾配は 1/50 の片流れとした。水上・水下の高低差 30 cm は、柱の高さを変えることで調節している。

### 3. 製作・施工について

部材製作、および基礎工事はともに6月から開始した。部材製作の工程は図-9に示すとおりである。柱・はり部材を同一型わくとしたこと、部材製作ヤードに屋根がないこと等により6月の梅雨時と合致したこともあって、初めの工程よりも多少延び

てしまった。

部材製作は、一般のプレキャスト部材と大差はないが二・三ふうした点を書き出してみる。

#### (1) 部材の製作について

はり材はチャンネル型で脱型前に緊張しなければならぬので、はり前後のリブがはりの軸方向変形を拘束してしまう。そこで緊張による変形をにげるくふうとして

図-9 実施工程表

		6月	7月	8月
部 材 製 作	はり板	[6月1日 - 6月15日]		
	柱板		[6月15日 - 7月15日]	
	壁板	[6月1日 - 7月15日]		
	屋根板	[6月1日 - 6月15日]		
	クレーン ばり小	[6月15日 - 7月15日]		
	クレーン ばり大	[6月1日 - 6月15日]		
現 場 工 事	柱	[6月1日 - 6月15日]		
	基礎工事	[6月1日 - 7月15日]		
	架設工事		[7月15日 - 8月15日]	
	目地工事		[8月15日 - 8月31日]	
	仕上工事		[8月15日 - 8月31日]	

表-1 部材材料表

	コンクリート (m <sup>3</sup> )	鋼材量 (kg)	部材重量 (kg)	部材数
はり	6.0	811.0	14.4	21
壁板	0.915	113.7	2.2	43
屋根板	1.23	144.5	2.95	40
柱 A	3.54	588.6	8.5	42
クレーンばり A	1.15	222.0	2.76	26
クレーンばり B	0.77	150.0	1.85	2
クレーンばり C	4.98	747.0	11.93	2
クレーンばり D	4.37	646.0	10.50	2
柱 B	1.47	264.0	3.53	6
総計	422.2	62 863.3	1 013.5	184

写真-2 大ばり鉄筋ケーブル組立中

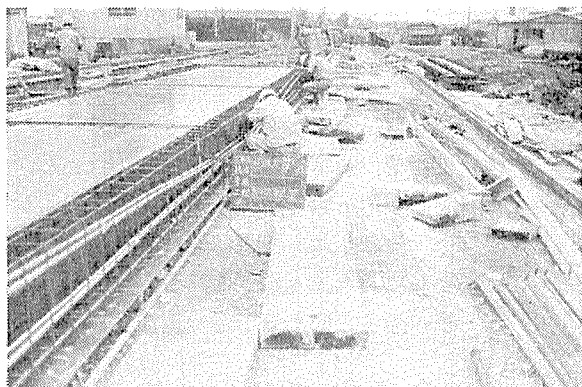
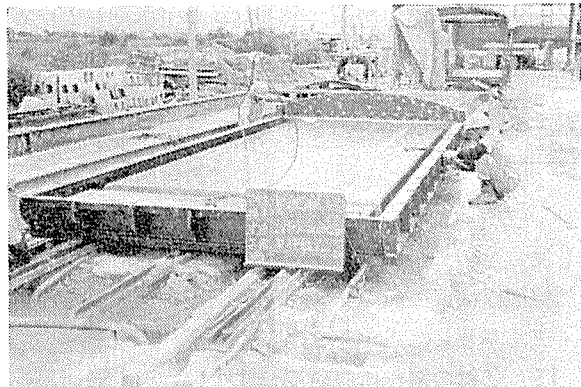


写真-3 屋根版型わく組立中

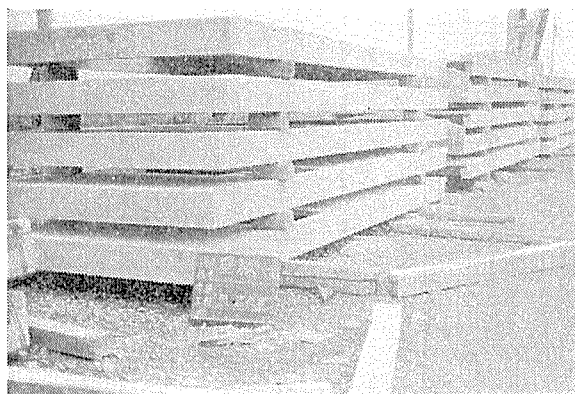


変形を拘束するリブにスチロール版を張って軸方向変形が自由にできるようにした。はり端部の水切り型わくも計画では鋼製であったが、脱型時にクラックが入ってし

写真-4 クレーンばり鉄筋ケーブル組立中



写真-5 壁版仮置き



まうので木製の目地棒を取り付けて、軸方向変形にある程度追従できる形とした。さらに脱型前の緊張力を、吊り上げ時の自重によるモーメントによって必要とする緊張力のみにとどめ、極力小さくして脱型後に残りを緊張することにした(写真-2~5)。

クレーンばりはレール止めのアンカーボルトが入るのでかさ打ちとし、型わく面に穴をあけアンカーボルトを取りつける埋込み位置を確実なものとした。

(2) 現場工事について

現場工事は部材製作との兼合いもあるので、少し早めではあったが同時に6月着工とした。基礎工事は工期的には余裕があったが、地下水位が非常に高いため(1.3m)たびたび排水作業をしなければならなかった。杭はPCパイプφ30cm、長さ6mを打ち込み、N値40程度で打止めとした(写真-6)。

架設工事は、柱はりでラーメンを構成しつつ進めてゆく方法と、柱をすべて立ててしまったのち、はりをかけて行く方法との2案が考えられた。前記の案は、柱架設後柱脚の緊張作業があるため、架設期間が長くかかること、柱はりの重量に差があるため重量の少ない柱の建込

みにも大型クレーンを使わなければならないこと、クレーンばりの架設時にすでにはり架設されていることになるので架設がむずかしいこと等に問題があった。後記の案は、はりを架設するまで柱が片持ばりのような状態で単独に立っていなければならないため、その期間に多少構造上の不安があったが、結局計算上の安全性も確かめられたので後記の案を採用することにした。

架設は、まず南側通りの柱から始め、次に北側通りの柱、壁版を進めていった。クレーンは 25t クレーンを使用した(写真一7)。

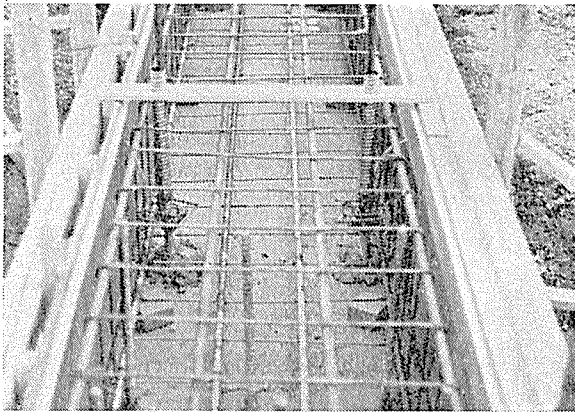
架設足場としては、両側の長手通りにローリングタワーを設置しただけで、別に柱の転倒防止の意味での装置

は造らなかった。ただし通り心を調節するために、図一10で示すように単管パイプを利用して、ジャッキベースで微調整を行なった。

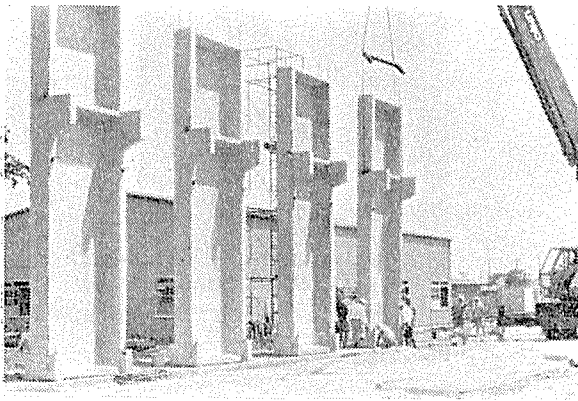
部材には吊り上げ用の鉄筋は埋込まずに、リブに貫通穴をあけボルトを通して吊り上げ装置とした。これは柱建ておこしの際、非常に便利であった。材料の節約にもなる。両側の柱をすべて建込み、柱脚の鋼棒を仮り止めたのち、クレーンばりを架設し、次に大ばりの架設を開始した。大ばりの架設は、35t クレーンを建物内部に入れ、西妻壁側から大ばり・屋根版を交互に順次東側へと進めていった(写真一8, 9)。

次に大ばりと柱の目地モルタルを詰め、柱頭、柱脚の

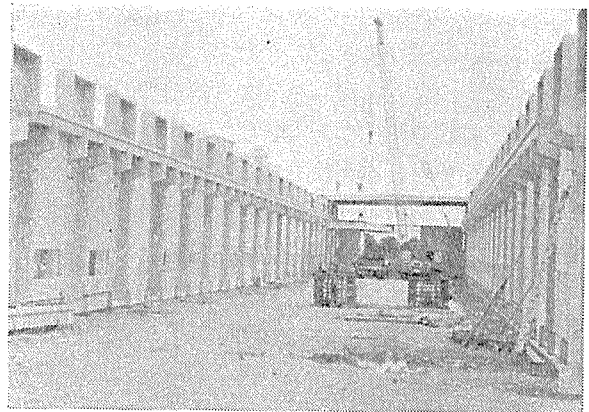
写真一6 基礎配筋中



写真一7 柱架設中



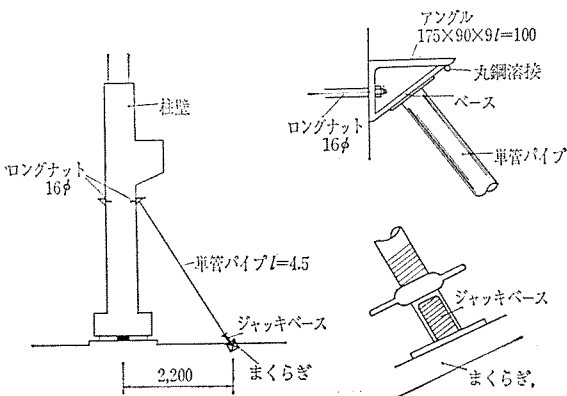
写真一8 大ばり架設中



写真一9 屋根版架設中



図一10



写真一10 サイドライト取付中



鋼棒を緊張した。大ばり架設の際、2か所ほど柱の位置を再調整した所もあったが、その他の部分は非常にうまくおさまり、架設工期は予想外に短期間であった。その後、サイドライト、トップライト、妻壁、目地コーキング、防水等仕上げ工事を行なった(写真-10)。

4. 振動実験について

プレストレストコンクリート構造物は、一般に減衰性が少ないこと、あるいは固有周期が長いこと等RC構造物とは違った振動性状を示すものとされているが、プレストレストコンクリート構造物は、わが国ではまだまだあまり一般的でないこともあって、振動についての実験報告も少ないのが現状である。また、近年電算機による振動解析が進むにしたがって、低層建物の地震に対する危険性が問題にされるようになってきた。

特に本建物のようにプレキャスト構造であると、各部材の仕口・目地の剛性など実験によらなければ明らかにならない点が多い。本実験では、建物の減衰性、固有周期、ばね定数、柱脚の固定度等を以下に示す方法によって測定した。さらにそれらの定数を使用して電算機によって振動応答解析を行なった。

(1) 実験の方法

a) 自由減衰振動試験 中央フレームの屋根面に水平方向に3tで加力したのちワイヤーを切断し、減衰振動をほぼ静止するまでA・B・Cの各点で熱ペン式記録計で記録した(図-11、12)。

b) スパン方向の静的加力試験 a) 試験と同様の方向に5tまで加力し、ロードセルで張力を測定しながら1tきざみに各点の変位を測定した。測定位置は、屋根面の水平移動量と、柱脚のA、B、Cの各点をそれぞれ2点ずつ(柱版の両側のリブ)計8点をダイヤルゲージ

図-11 屋根伏図

起振機設置位置および変位測定点

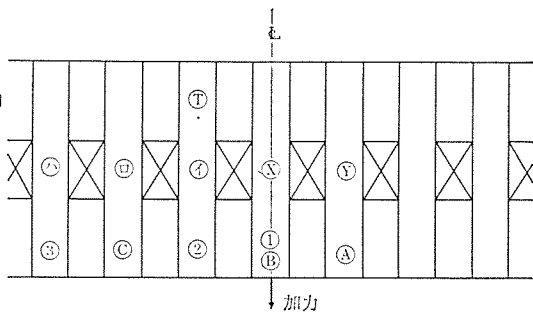
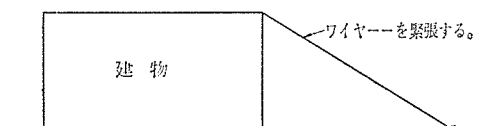


図-12 ワイヤーによる静的加力



で測定した(図-13)。

c) スパン方向起振試験 ×位置に起振機を取り付け、強性振動試験を行ない、A、B、Cおよび柱脚の4点で熱ペン式記録計で変位を測定した(写真-11、12)。

図-13 柱脚変位測定位置

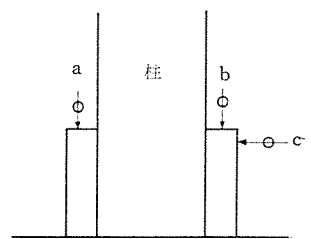
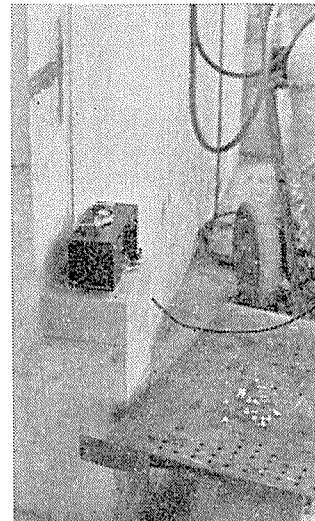


写真-11 起振試験中



写真-12 柱脚の振動測定



d) 桁行方向振動試験 c)と同様の方法で桁行方向に起振し、1,2,3点で測定した。

e) 屋根スラブ面での跳躍による鉛直方向振動試験

T位置で体重約70kgの人が跳躍し、イ、ロ、ハの3点で鉛直変位を測定した。

(2) 実験の結果と考察

自由減衰振動試験より得た変位振動記録を線型減衰自由振動であると仮定すると、次式が成立する。

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\epsilon \frac{dx}{dt} + p^2x = 0 \dots\dots\dots (1)$$

したがって  $h = \epsilon/p$  とおくと振幅は

$$x = \pm Ce^{-hpt} \dots\dots\dots (2)$$

となり減衰定数は

$$\log \frac{x_n}{x_{n+1}} \doteq 0.4343 \frac{h}{\sqrt{1-h^2}} \pi \dots\dots\dots (3)$$

となる。式(3)によって減衰定数を求めると

$$h=0.0165 \text{ が求まる。}$$

また実験値より固有周期  $T$  は 0.42 sec である。したがって、建物のばね定数は

$$K=mp^2=(W/g \times (2\pi/T) \dots \dots \dots (4)$$

$$K=6.85 \text{ t/cm}$$

さらにスパン方向の起振試験によって求めた各フレームの最大振幅の分布によって、加力フレームの分担率がおよそ 0.33 であると計算できるので、1フレームのばね定数  $K_1=2.26 \text{ t/cm}$

屋根面のばね定数  $K_2=4.56 \text{ t/cm}$  が求まる。

図-14 振動モデル

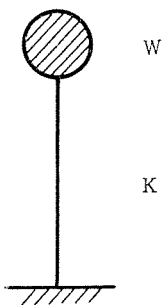


図-15 復元力特性

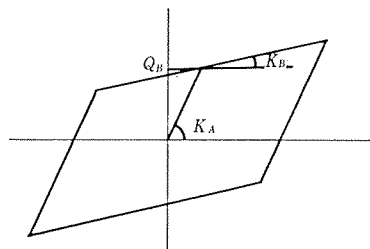
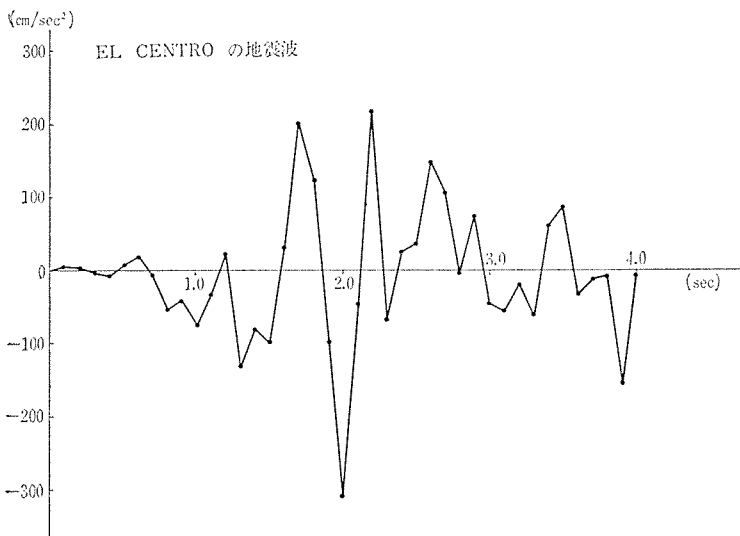
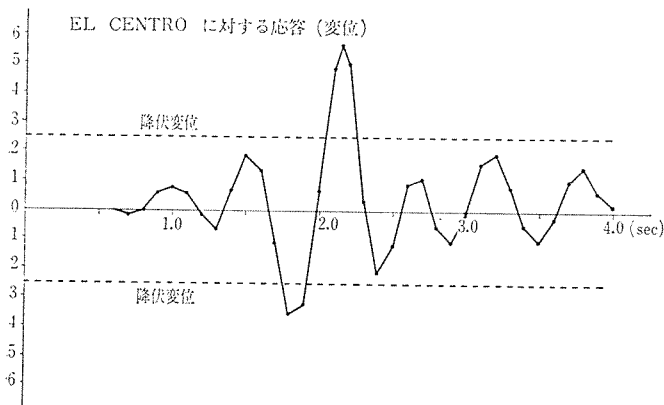


図-16



これらの値は静的加力試験、起振試験の結果ともほぼ一致している。

電算機による振動解析は建物を図-14に示すような一質点形モデルに置きかえて行なう。なお、ロッキングスウェイは非常に値が少ないので無視することにした。

復元力特性は図-15に示すようなバイリニア型と仮定し、 $K_A=2.26 \text{ t/cm}$ 、 $K_B=0.2 K_A$ とする。降伏せん断力は  $Q_B 11 \text{ t}$ とする。図-16は振動応答解析の結果である。なおその他の実験については結果のみを記した。

桁行方向起振試験の実験データ

- 共振振動数 1次 11.3 c/s
- 2次 15.9 c/s (建物一次)

起振力  $P=478.7 \text{ kg}$  のときの各点の全振幅測定結果

- 1点 0.0102 mm      2点 0.0046 mm
- 3点 0.0004 mm

屋根スラブ面での跳躍による鉛直方向振動試験の実験データ

固有振動数 5.4c/s

各点での振幅測定結果 (全振幅)

- イ点 0.1312 mm      ロ点 0.0652 mm
- ハ点 0.0302 mm

## 5. あとがき

本建物は、プレキャストコンクリート方式によるものとしては新しい構造方式ではないかと思われる。柱・壁の架設工事も予想以上に順調に進み、全部材の架設が8日間という短期間に行なわれたことは、この方式の有効性を示すものであった。

目標としていたローコストプレキャスト構造というねらいも達成され、今後パームフレームと命名した本方式による構造を工場、体育館、ホール等の建築物にも適宜して行くことが可能であると考えている。

終りに、実験を御指導いただいた九州産業大学の河村助教授に深く感謝申し上げる次第です。

### 参考文献

- 1) 武藤 清：耐震設計シリーズ 4, 建造物の動的解析
- 2) 小高昭夫：耐震構造の総合研究
- 3) 中野清司：プレストレストコンクリート建造物の設計耐力に関する一考察, 日本建築学会論文報告集号外, 昭和 40 年 9 月
- 4) Joseph Penzien: Damping Characteristics of Prestressed Concrete, Journal of A.C.I Sept. 1964.

1972.1.20・受付