

プレストレスト コンクリート工法による 工場建築の設計について

梓 建 築 事 務 所

1. ま え が き

最近経済の高度成長にともなって各種産業の設備投資が盛んになり、このため建築界も近來まれにみる工場建築のブームを巻き起こしているようである。われわれの事務所でも最近いくつかの工場建築を設計してきたが、ここに報告する、キャノンKKの工場計画は、施主の積極的な理解により、まだわが国では建築の構造主体として、数えるほどしか実例のない、プレストレストコンクリート工法を採用した建物なので、その構造計画の概要を記してみたい。なおこの建物は現在工事の進行途中

であり、施工経過などの詳細な資料も整理も全く手がけていない状態なので、この報告の内容はあくまで構造計画までにとどめておき、後日建物竣工後、機会をみて全体の施工経過などの報告をしたいと考えている。

2. 建 築 概 要

敷地は常磐線取手駅から約 2 km ほど離れた、利根川沿いの高台である。

建築面積：5 040 m²
延 面 積：5 220 m²
高 さ：低層部 G.L から はり天端まで 4.700 m

図-1 工 場 本 館 立 面 図

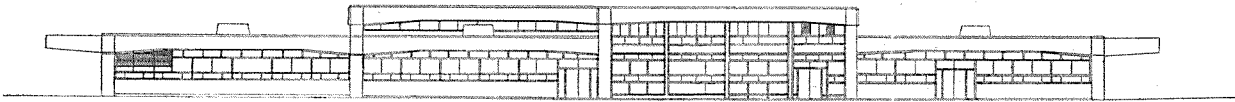
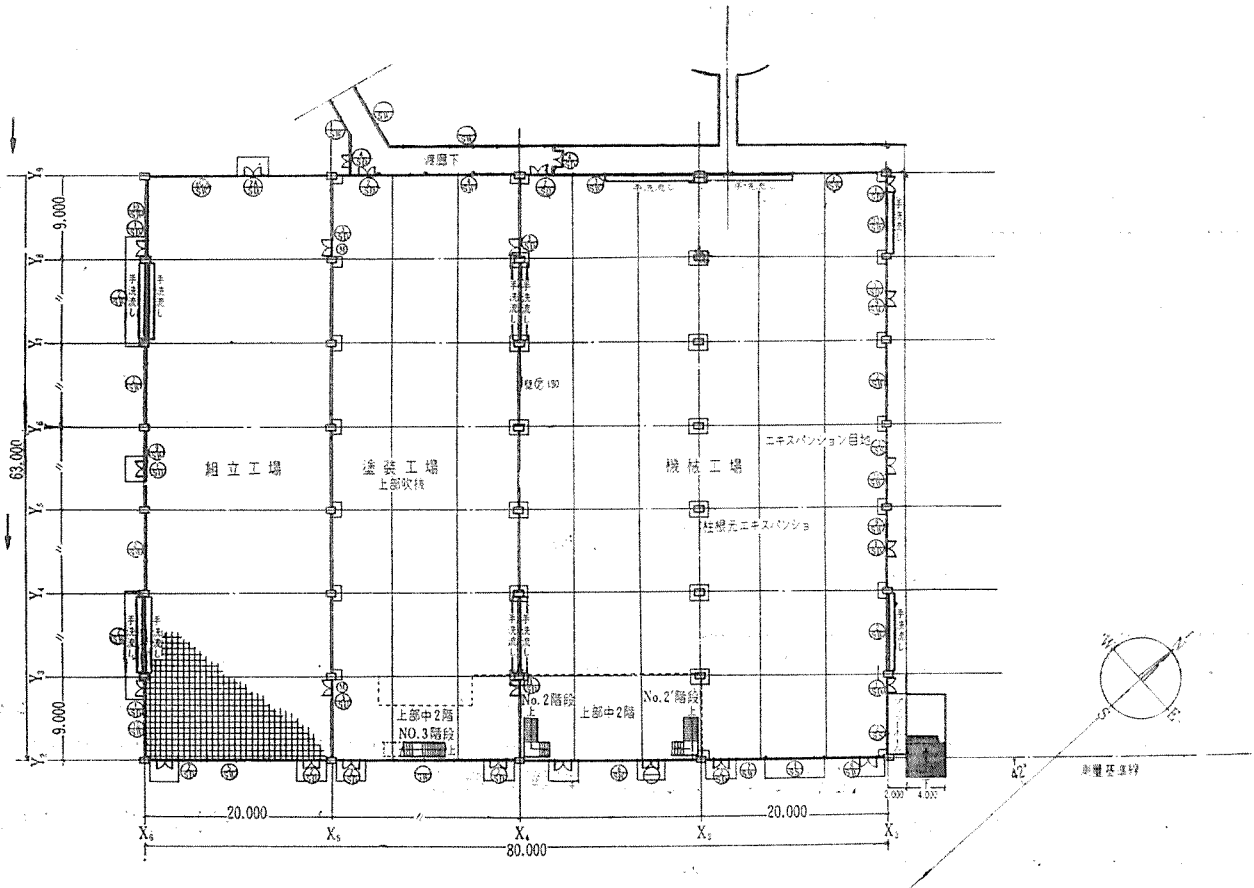


図-2 一 階 平 面 図



高層部 G.L から、はり天端まで 7.100 m
 基礎：敷砂利転圧地形、現場打ち鉄筋コンクリート造
 軸部(柱)：PC造(現場内製作)
 はり：Y方向(はり間 20 m)；PC造(現場内製作)
 X方向(はり間 9 m)；現場打ち鉄筋コンクリート造
 屋根：PC造(工場製作)……………DTスラブ
 使用構造材

	プレストレスト コンクリート	現場打ち鉄筋コンクリート
コンクリート	はり 246.26 m ³	基礎 430.40 m ³
	柱 94.60 m ³	基礎ばり (X方向) 90.72 m ³
		はり 151.5 m ³
計	340.86 m ³	672.62 m ³
鋼材	P.C.W 7φ 13.50 t	普通鉄筋 9φ 27.499 t
	P.C.B 24φ 8.11 t	13φ 14.325 t
	P.C.B 22φ 2.49 t	16φ 10.716 t
	普通鉄筋 9φ 11.30 t	19φ 8.748 t
	" 13φ 6.00 t	22φ 28.212 t
		異形鉄筋 22φ 5.400 t
計	PC 24.10 t	94.90 t
	普通鉄筋 17.30 t	

3. PC工法採用に至るまで

この工場の場合、施主より提示された設計条件の概要

写真-1 建設現場全景(PC部材製作)

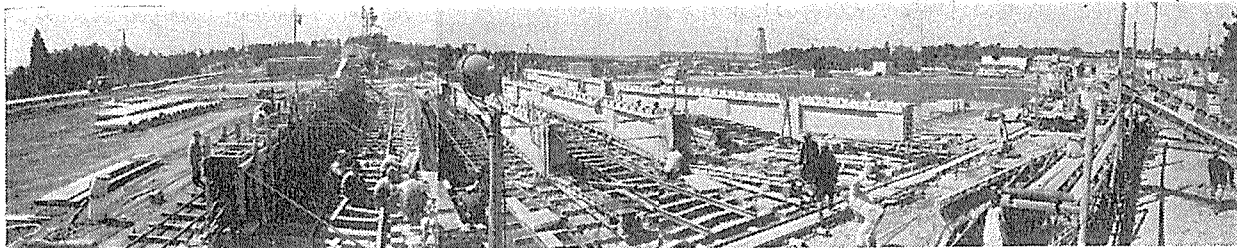


写真-2

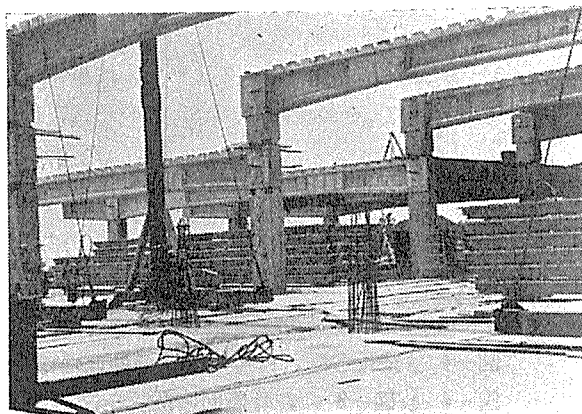
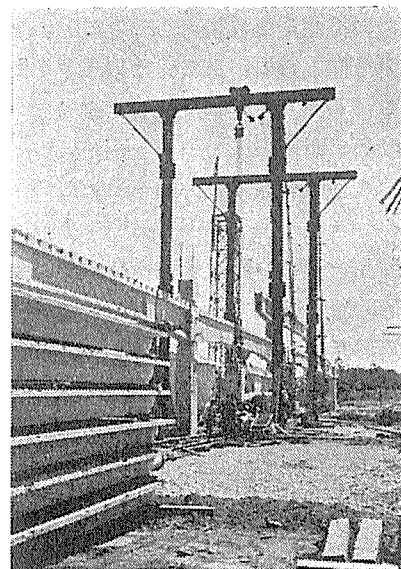


写真-3



を集約してみると次の4点にしぼることができる。

a) 敷地が十分であることと、作業全体が流れ工程であるので建物は平家建とする。

b) 全館暖房を施し、そのうち組立工場と、将来増設されるガラス工場はエアークンディショニングを行なう。

c) ① 塗装工場は約 20 m のスパンを必要とする。

② 組立工場および機械工場は機械やコンベヤなどの頻繁な配置変更が自由であること。

①②の理由から柱の数をなるべく少ない空間とすること。

d) 工期はできうるかぎり短縮すること。

上記条件のほか工費がより経済的であることは、当然のことである。

さてこれらの条件を満たすべく構造計画の総合的検討を進めたわけであるが、まず前述条件の e) によって一方向のスパンは少なくとも 20 m 以上必要であることが確認された。そこで 20 m という大スパンの可能な現在の構造技術で考えられる構造法を、それぞれの各得失について比較検討してみると表-1 のようになる。

以上からPC造が最も長所が多く、次に 1. 鉄骨造(鋸屋根)が考えられたわけだが、構造躯体の工費の点で問題となった。しかしこれは建物の気密性の点で鉄骨造(鋸

写真-4

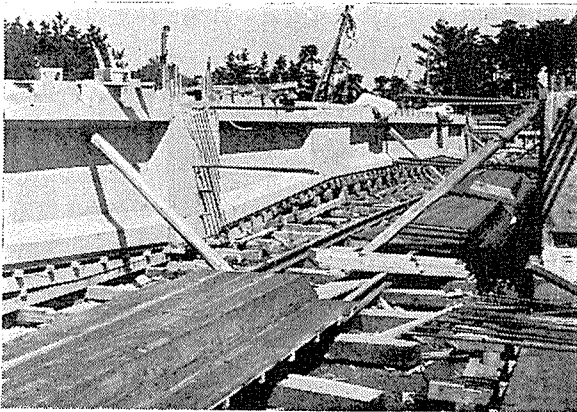


表-1

	気密性	構造躯体の工費	屋根防水の安全度	工期	耐震性および耐風等に対する保守
1. 鉄骨造 (鋸屋根スレートまたは鉄板ふき)	△	○	○	○	△
2. 鉄骨造 (陸屋根、豆砂利等の上アスファルト防水)	△	○	△	○	△
3. 鉄筋コンクリート、膜構造 (シエル、折版、等)	○	△	△	△	○
4. P C 造	○	△	○	○	○

屋根)をP C造と同程度に外周壁や屋根等のビルディングエレメントに費用をかけた場合、総合的には大差はないものと考えられた (しかしこの問題は実際にP C造の設計が進められて、正確な工費が算出された結果、構造躯体のみでも、鉄骨造と比較して同等に対抗できうという、明るい結論を得たのである)。また耐火性能の問題からも鉄骨造のそれよりはるかに上まわることは明らかである。しかしさらにこのP C造と鉄骨造を、構造的におおのの特性を比較検討してみると、まず両者に共通した規準を作る必要がある。その規準を断面形状係数 ϕ で表わし、 ϕ を(7)式で表わす。

I型断面の面積.....A

” ” 断面係数.....z

” ” 巾.....b

I型断面と等しい断面係数を持った

矩形の断面係数.....z'

同上矩形断面の巾.....b'

矩形断面積.....A'

$$\phi = \frac{A}{A'} \dots\dots\dots(1)$$

$$A' = b \times d \dots\dots\dots(2)$$

$$z = z' = \frac{bd^2}{6} \dots\dots\dots(3)$$

$$(2)より d = \frac{A'}{b} \dots\dots\dots(2')$$

$$z = \frac{A'^2}{6b} \dots\dots\dots(4)$$

$$A'^2 = 6 \cdot z \cdot b$$

$$A' = \sqrt{6 \cdot z \cdot b} \dots\dots\dots(5)$$

(5)を(1)に代入すると

$$\phi = \frac{A}{\sqrt{6 \cdot z \cdot b}} \dots\dots\dots(7)$$

鉄骨とP Cの断面形状係数の範囲を示す。

鉄骨 $\phi = 0.2 \sim 0.3$

P C $\phi = 0.45 \sim 0.65$

ここで ϕ は断面のフランジとウェブを薄くして、せいを大きくすれば次第に小さくなる。

いま鉄骨とP Cの ϕ を等しくした両者の断面を比較して図示する(図-3)。

図-3

	A	B	C	D
鉄骨				
ϕ	0.284	0.27	0.278	0.287
自重 kg/m	47.5	74.0	96.0	140
抵抗モーメント kg·cm	765 000	1 600 000	2 500 000	4 400 000
P C				

しかし実際にP Cの断面を、このようにフランジ、ウェブを薄くすることは技術的にも製作不可能なことである。

そこで、もしP Cと鉄骨の自重が等しくなるような断面を設計できたら明らかに鉄骨と対抗できうことになる。

鉄の比重は 7.85、コンクリートの比重は 2.4 である。

したがって、その比率は $7.85/2.4 = 3.27$ 倍になる。これを一次のディメンションにすると $\sqrt{3.27}$ となり断面係数は 1.83=6 倍で、鉄骨の許容応力度 1600 kg/cm^2 を $1600 \text{ kg/cm}^2 / 6 = 270 \text{ kg/cm}^2$ におきかえると、この応力はコンクリートの一般的な許容圧縮応力と等しくなる。

図-4 は鉄骨と同じ自重のP Cの断面を示す。

図-4 と図-3 の鉄骨断面の関係を図示すると図-5 のようになり、P Cの許容圧縮応力度を高くすることに

図-4

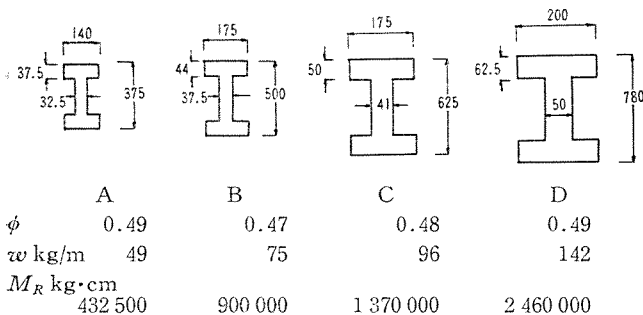
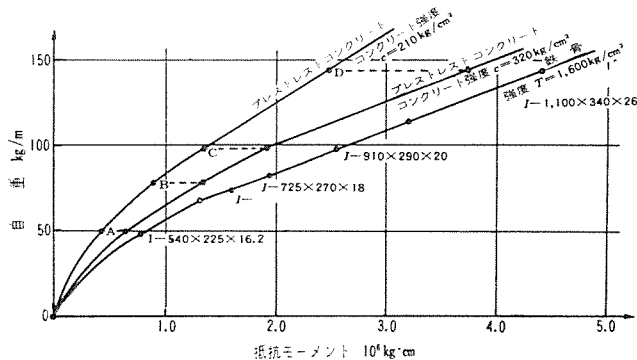


図-5 I型断面プレストレスト コンクリートと鉄骨の比較



より、材料特性上、十分鉄骨と対抗できうるわけである (実施設計 $C_{28} = 450 \text{ kg/cm}^2$)。

以上の総合的な他種構造との比較検討の結果、P Cの大ばり採用にふみきったのである。

主構造は、2.の建築概要で述べたごとく、柱大はり間のはり、および屋根版スラブをP Cで構成し、短はり間のはり、および基礎を現場打ち鉄筋コンクリート造とした。

なお、はりを両方向ともP Cにする問題は建物全体の剛性の問題、ジョイントのディテールの問題、その他現在のP C技術の問題などをふくめて、今後の大きな課題として研究したい。

また、このP Cによって組立式一体構造とすることにより、将来建築工業化への重要な足がかりとなるのではないかとと思われる。

今回の設計では、まだわれわれのP Cに対する経験も浅く、その精度やジャンクション等について確信を得られなかったので、設計にMC問題はとり入れていないが、これも今後の重要な課題であろう。

4. 柱、はりの設計

(1) は り

はり断面は各応力に対して、最も有効に働くようにしなければならない。

I型断面は、はりに起る曲げモーメント、圧縮力、引張力、せん断力の各応力に対してフランジとウェブで、もっとも能率的に抵抗しうるし、またもっとも無駄のな

い断面であることは明らかである。

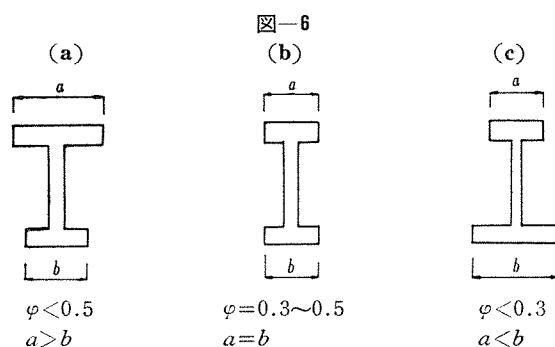
したがって、あとはフランジの巾の検討だが、これは、上・下とも同一の巾にするか、しないかで、その断面性能は非常に異なる。いま自重および固定荷重による曲げモーメントを M_D 、自重、固定荷重および積載荷重による曲げモーメントを M_T として、その比率を ϕ で

$$\phi = \frac{M_D}{M_T}$$

ϕ の値の大小によってI型断面の形状を決定する。

一般的に ϕ の程度は ϕ が、0.2~0.3 までは小さく、 ϕ が 0.4 以上の場合大きい、と見なす。

ϕ によって決まる一般的な断面の形状を示すと 図-6 のように3種類に分けることができる。



本設計では、 $M_D \div 160$ $M_T \div 190$

$$\phi = \frac{160}{190} = 0.85 > 0.5$$

となり、したがって図-6の(a)タイプの断面形状をとることに決定した。

(2) 柱

従来、柱もP Cにした設計の例は比較的少ない。

したがって、現場打ちの鉄筋コンクリートの柱とP Cのはりの接合は、ほとんどピン接合として大ばりを設計している。

しかし、その場合、柱とはりの接合のディテールの問題(半固定状態になる)や、大スパン基礎のつなぎばり等に、どうしても無理が生じやすいし、また全体の剛性を高めにいくことになる。

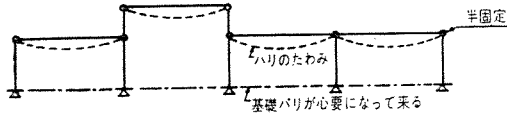
すなわち図-7でわかるように、a)は大ばりの中央の曲げモーメントが非常に大きくなり、したがって、はりのせいもまた大きくなってしまふ。

また基礎つなぎばりがどうしても必要になってくるが大スパンの場合のつなぎばりは非常に大きな断面となってしまう、経済的にも構造的にもあまり有利とはいえずなくなってくる。

ではb)の場合、柱とはりの剛接合のディテールが、ある程度完全に解決できれば、基礎のつなぎばりも必要でなく、より経済的である。

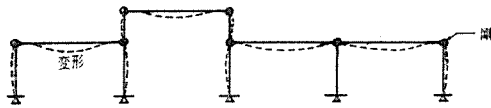
図-7

(a) 柱を鉄筋コンクリートにした場合



柱頭半固定状態で独立基礎にすることは建物の安全性を欠くので基礎バリが必要になってくる。

(b) 柱をプレストレスト コンクリートにした場合



柱頭の剛性が大きいので基礎は独立基礎で安定をうることができる。

しかし柱をPCにした場合、曲げモーメント M と軸圧力 N の合成応力がコンクリート断面内に圧縮の部分と、引張りの部分を生ずるときにのみ有効である。

すなわち軸圧力の偏心位置 $e=M/N$ が断面の核半径より大きい場合である。

逆に N と M の合成応力がすべて圧縮応力になる場合には、PCの柱は不利になり、あまり経済的ではない。

本設計の場合、 e が断面の核半径より大きくなるような応力が生じ、PCの柱を採用することにより構造的にも不経済ではないことを確認した。

その他に、施工の面から、柱のみを現場打ちコンクリートにした場合、独立柱のコンクリート打設計画や段取り等で、精度は低下しやすく、またその仮設工事（コンクリート足代や型わく支保工、等）は、柱打設だけのために建物全体が現場打ちコンクリート造の場合と、ほとんど変わらないくらいなものが必要になってくる。

それに比べてPCのプレキャスト柱は、きわめて簡単にすえつけることができる。

これは従来の現場打ちの一体構造と比較して、画期的問題と思われる。

5. 耐震計画

耐震計画については、柱とはりの接合を剛にすることにより、架構全体の耐震性を高める方針をとった。

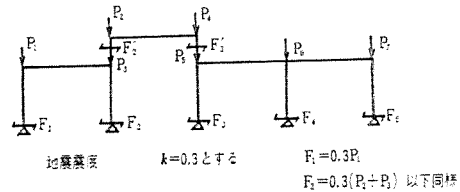
一般に鉄筋コンクリート ラーメン構造の場合、地震力は、床版や壁により、はり、柱、基礎に分布されてゆく。

しかしこの建物の場合、柱だけを現場打ちの鉄筋コンクリート造にした場合は図-7 (a) でわかるように、地震力はほとんど柱のみで負担する傾向になるが、柱もPC造とし、はり柱の接合が剛となれば、地震力の応力分布も一般のラーメン構造とほとんど同じ状態になる。

しかし プレテンションによるDTスラブにはあまり剛性が期待できないので、地震力の分布は、各ラーメン

($Y_2 \sim Y_9$) 別に分けて決定し、各柱が分担する地震力は、各柱の軸圧力に分けて負担させた (図-8 参照)。

図-8



また X_4, X_5 通りは高層部を有しているもので、この2通りには現場打ち鉄筋コンクリートによる厚さ 18 cm の耐震壁を配置して、この2通りの柱も他の柱と同じ断面で設計した。

6. 基礎の設計

敷地の地盤状態は、ボーリングの結果図-9のような状態である。当初の計画では（柱1本当たりの軸力が非常に大きいので）地耐力が 10 t/m^2 以下の場合には杭打ち基礎にする予定にしていたが、その後の地耐力試験の結果 $12 \sim 15 \text{ t/m}^2$ の地耐力が期待できることがわかったので、地耐力による独立基礎で設計することに決定した。基礎のつなぎばりについては、Y方向はスパンが 20 m もあるので、前述 4. (2) 柱、の項で述べたとおり、あまり有効に働かないので、つなぎばりを設けず、X方向(9 m スパン)にのみ、つなぎばりを配置した。

その他基礎のバックリングに対する検討も十分に行なったつもりである。

7. 断面設計過程

Y方向のPC造は組立式の一体構造であるから、プレストレス導入時は、静定架構であるが、施工の各段階を経て、順次、不静定構造物となる。そこで各部材の組立施工順序の概略を説明する。

(1) 第1段階

柱を立てカップラーによりPC鋼棒の接続をし、柱根元にドライ パッキングを施し、目地モルタルが所要強度に達したところで、柱頭にてPC鋼棒を緊張する。

(2) 第2段階

はりのジョイント部分には仮受のサポートを使用して、はりの架設を行ない、柱とはりの接合部の目地充填を行ない、柱とはりの接合部の緊張をし、剛接合とする。

(3) 第3段階

第2段階の工程と前後して、はりの継手の施工を行なう。

(4) 第4段階

以上の工程が完了したあとで、はりの継手部分のサポートを除去して、DTスラブの架設をするわけであ