

日本中央競馬会京都競馬場 PC スタンドについて

野 中 三 郎*
林 保*
下伊豆 隆 三*

1. はしがき

日本中央競馬会京都競馬場の旧スタンド（昭和 13 年竣工）が全面的に改築されることになり、全体計画では全長 477m に及ぶ大スタンドが建設されることになった。

本建物は第一期工事として全長 117m にわたるスタンドを新築されたものである。今回、二層式スタンドのうち、上層のはね出しスタンドについて、構造技術、施工性、経済性の面で根本的検討を加えた結果、十分上記の要求を満足するとの確信を得たので PC 構造の採用に踏み切った。

2. 建物概要

工事名称：日本中央競馬会京都競馬場スタンド増築その他工事

工事場所：京都市伏見区島渡場島町 32 番地

建物用途：競馬場スタンド

建物規模：地上 6 階建

建築面積 10 904.79 m²

延床面積 33 242.62 m²

建築主：社団法人日本中央競馬会

設計：日本競馬施設株式会社

株式会社安井建築設計事務所

施工：(株)大林組、鹿島建設(株)、戸田建設(株)共同企業体

同(PC部分)：オリエンタルコンクリート(株)

工期：昭和 45 年 12 月～昭和 46 年 12 月

3. 設計

(1) 構造種別

スタンド本体のうち、1～5 階までは工期、工事費の点を検討の結果、従来どおり鉄筋コンクリート造とし、大屋根の構造についても本体と同様の理由で鉄骨プレートガーダーによる片持ばり形式を採った。6 階スタンドの床はり伏図および架構断面図は図-1 および図-2 に

* 株式会社 安井建築設計事務所

示すとおりである。従来、他の競馬場スタンドでは、鉄骨トラスによる片持ばり形式が採用されているが、今回、鉄骨造片持ばりと PC 片持ばりの二工法について検討を加えた結果、両者ともいちがいに甲乙つけがたいが、PC 片持ばりに工場製作による PC 床版を架設する工法の場合には、鉄骨トラスばりに比べて、内端部のはりせいをかなり小さくできることが判明し、基礎および全体架構の設計に影響の大きいスタンドの重量増加も建物全体の重量に比較するとごく微少であり、工期の点でも若干長くなるが、全体工程の中で調整可能との見通しも立ち、工事費の点では逆に、若干少なくできる見通しがついたので、6 階スタンドおよび 6 階客溜、投票所の張間方向大ばりを現場打ち PC 造とした。6 階スタンドの床構造はスタンドの自重を軽減するため、工場製作による PC 床版とし、これを間隔 9m の PC 片持ばりの間に架設する置きスラブ形式を採った。

(2) 応力解析および部材設計

大屋根の鉄骨主桁（はね出し長さ 27m）は片持ばりであるが、自重が軽いため、作用外力は暴風時における 430 kg/m² の吹上力が卓越する。したがって暴風時の大屋根の動的挙動を検討したが、その結果、固有周期は $T = 0.7 \sim 1.0 \text{ sec}$ となり、危険風速は $U = 148 \sim 275 \text{ m/sec}$ で共振は起こらないことがわかった。また、鋼材の許容応力度についても、風速 15 m/sec 以上の強風の頻度を検討し、くり返し回数を想定することによって日本建築学会「鋼構造設計規準」の値より若干小さい値をとり、部材の設計を行なった。

本体の構造は 6 階スタンドを PC 造とした以外は鉄筋コンクリート造純ラーメン架構である。張間方向架構については、競馬場の常として人の流れが激しく、勝馬馬券の発売時には観客の 60% 以上が投票所前の客溜に集中し、競走馬の出走直前より以後、スタンドに観客が集中する。このため、積載荷重については表-1 に示すように不均等分布を想定した。荷重計算および応力解析は表-1 に示すように、各施工段階において行ない、表-2 に示す組合せ応力のうち、もっとも不利な値を設計

図-1 6階床はり伏図

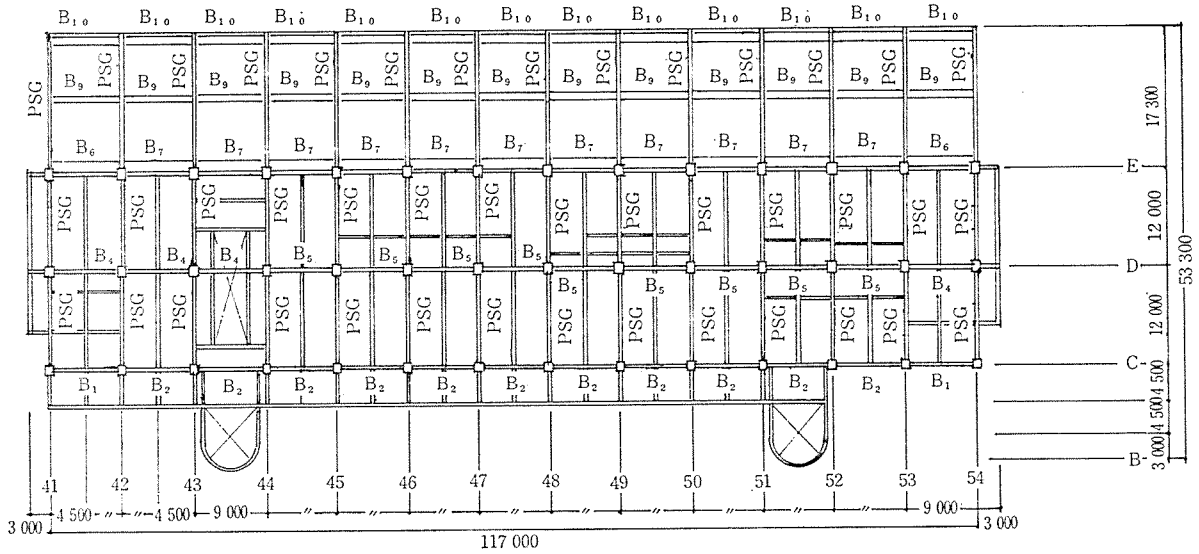


図-2 架構断面図

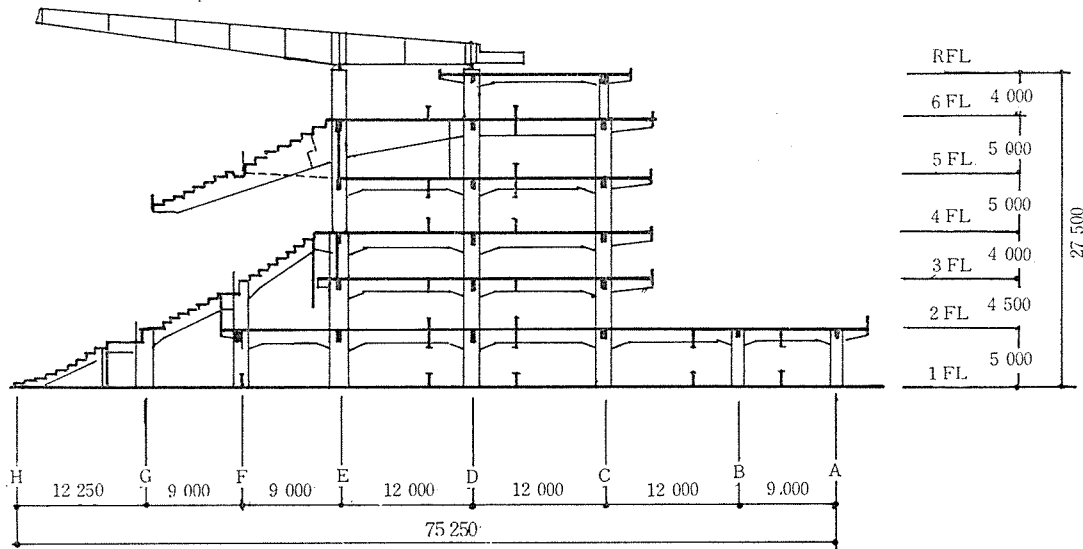


表-1 荷重条件

荷 重 条 件	大屋根	スタ ンド	ラン 架 構
1. ラーメン架構ばり, 床自重			○
2. PC片持ばり自重+屋根 D.L.	○	○	○
3. スタンド自重+ラーメン架構 (D.L.+L.L)		○	○
4. ラーメン架構 L.L.			○
5. スタンド L.L.+ラーメン架構 $\frac{1}{2}$ L.L.		○	○
6. スタンド L.L.		○	○
7. 緊張力導入		○	○
8. 地震	○	○	○

○: 満載 ⊙: 半載

表-2 応力の組合せ

	応力の組合せ		応力の組合せ
CASE I	1+2	CASE IV	2+3+5+7
CASE II	1+2+7	CASE V	2+3+6+7
CASE III	2+3+4+7	CASE VI	(上記の最大応力)±8

用応力として各部材の設計を行なった。

なお、応力解析は当社で開発した、曲げ、せん断、軸変形を考慮した DIRECT STIFFNESS METHOD による「任意型平面骨組解析用プログラム」SFOO 2 を使用して行なった。鉄筋コンクリート部材の設計については、異形ラーメンを含むため、柱、はりに

A. 鉛直荷重時 B. 緊張力導入時 C. 地震時において、相当な軸方向力を生じるので、柱、大ばりの断面設計は軸力、曲げモーメントおよび、せん断力が作用する部材として行なった。

スタンドPC床版の荷重は次のとおりである。

床版自重	$w_d = 433 \text{ kg/m}^2$
床仕上	$w_f = 0$
積載荷重	$w_L = 300 \text{ kg/m}^2$
計	$\Sigma w = 733 \text{ kg/m}^2$

図-3 PC片持ばりの応力分布

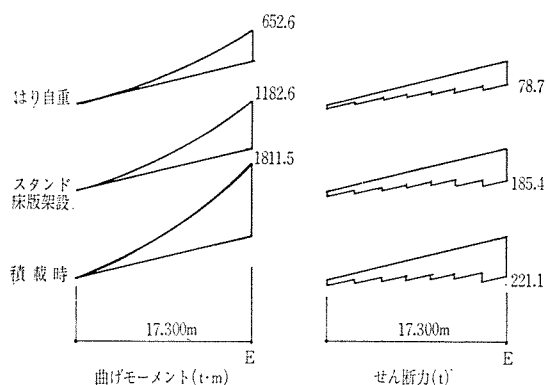
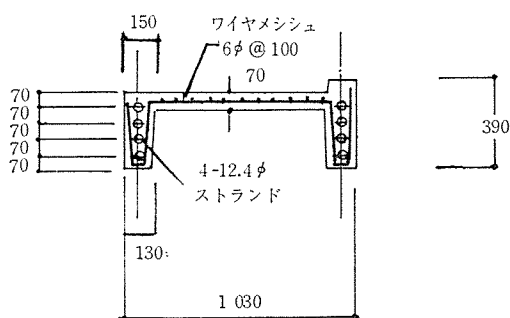


図-4 PC床版断面図



PC床版相互間をアンカー鉄筋を溶接することにより一体化し、地震時スタンドに作用する全水平力を床版を通じてラーメン架構に伝達するようにした。断面詳細は図-4に示すとおりで、コンクリートの4週圧縮強度は400 kg/cm²である。

PC大ばりの応力は図-3に示す各段階ごとに計算し、断面算定を行なった。なお、施工順序を検討した結果、大屋根鉄骨の建方をPC片持ばりの施工より先行せねばならなくなったので、PC片持ばりの内端部でコンクリートを打継ぐことになった。この打継面処理は凹形の段型とし、接着剤は使用せず、打継面の一体性を高めるため、目地部は小たたきとし、緊張力導入以前のひびわれ防止のため、腹筋20-D16で補強した。

6階スタンドの地震時水平力は、PC床版を一体に接合することによりラーメン架構に直接伝達されるが、片持ばりの内端部では、はりせいが大きいため、PC大ばり下端部分は、若干床版より独立した状態で変形することも考えられるので、この対策として、スタンドの先端と中間に、つなぎばりを設けることによりスタンド面内に水平ラーメン架構し、このラーメン架構でも、スタンドの全水平力に抵抗するものとして、PC大ばりに補強を施した。

(3) 施工順序および緊張方法

ラーメン架構の施工順序は次のとおりである。

- 1) A～F通り間のラーメン架構のコンクリートを1

～6階まで打設し、6階スタンドのPC大ばりはE通りより3mのブラケットまで施工する。

- 2) 大屋根鉄骨の建方を行なう。
- 3) F～H通り間の下部スタンドコンクリート打設。
- 4) 下部スタンドより支保工を組み、6階スタンドのPC片持ばりのコンクリートを打設し、材令4～5日で緊張力を導入する。

緊張力導入の方法としては、当初、一期に全ケーブルの緊張を行なうことを考えたが、この場合、緊張力導入時におけるスタンドの作用荷重が軽いため、PC片持ばり下縁に引張応力が生じるので、これを避けるため、緊張力導入を2段階に分けて行なうことにした。すなわち、PC片持ばりコンクリート打設後、材令4～5日でC端より18ケーブルの緊張を、D端より6ケーブルの緊張力導入を行ない(第1次緊張)、次に、PC床版を架設したのち、D通り端より残りの6ケーブルを緊張(第2次緊張)する方式を採用することにした。

- 5) 2次緊張後、PC床版の接合部溶接および目地コンクリート打設を行ない、全支保工のジャッキダウンを行なう。

なお、緊張力導入時には、5階ラーメン架構に含まれる張間方向の間仕切壁は緊張力導入を円滑ならしめるため、柱と大ばりから絶縁し、導入後目地にグラウト施工を行なった。

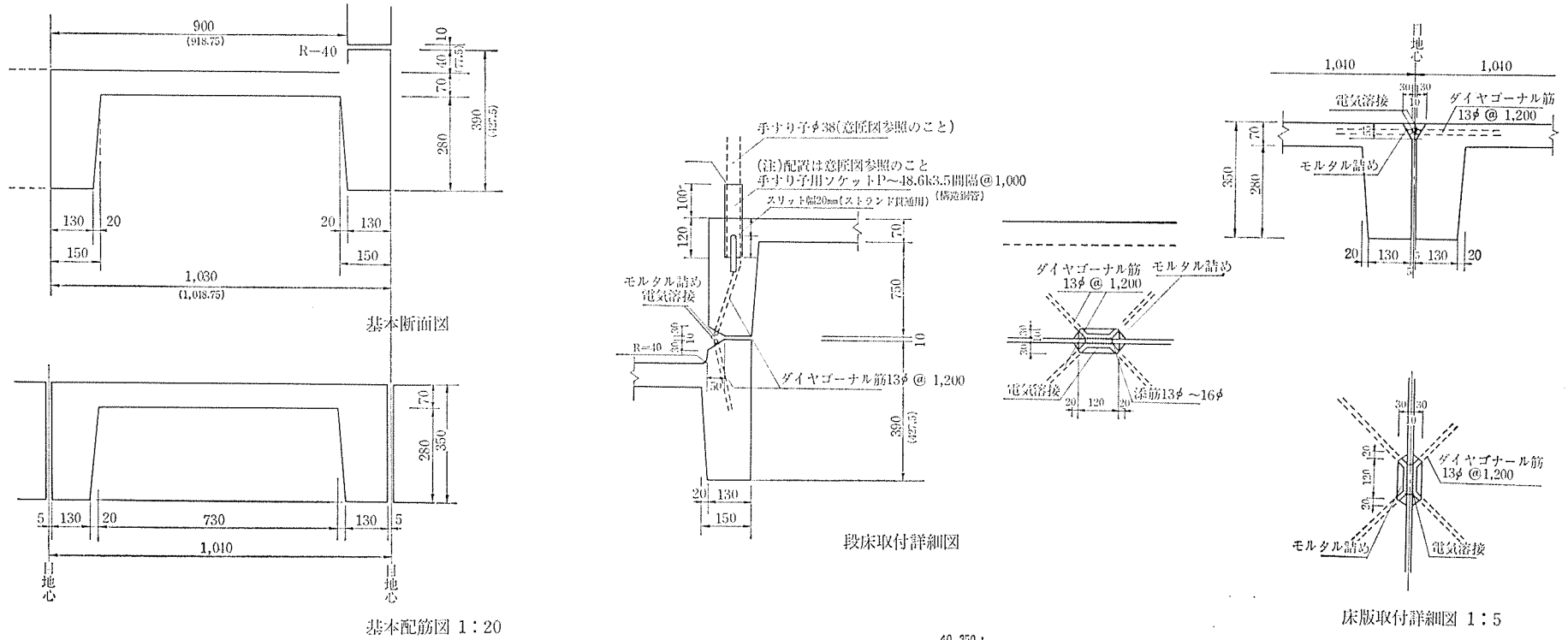
PC大ばりの軸心はE通り付近で急角度に曲がっているのでPC鋼材としてストランドを使用し、定着部分のコーンが比較的小さくてすみ、定着部コンクリートの断面欠損が少なく、また、経済的であるとのことで定着装置はOBCコーンを使用した。すなわち、9.3φワイヤーストランドを9本たばねて1ケーブルとし、鋼製のくさび形コーンで定着する方法をとり、片持ばり先端部で埋殺し定着とした。

なお、導入緊張力は、ケーブル配置が大きな角度変化を持っているので、摩擦による損失量の推定は困難であると考え、後述のごとく、各種の供試体について「緊張力の摩擦損失測定実験」を実施した結果、λ値はともかく、μ=0.521となり、μの平均値が予想外に大きく出たので、摩擦係数μをμ=0.521として有効緊張力を算出し、施工時緊張力を1ケーブルあたり58tとした。スタンドのPC床版は工場で作製して製作し、1ユニットあたり12.4φストランド8本を使用し、プレテンション方式で緊張力を導入した。なお、導入緊張力は1ストランドあたり10tとした。

コンクリートの圧縮強度は次のとおりである。

RC部分	$F_{28}=210 \text{ kg/cm}^2$
PC大ばり	$F_{28}=350 \text{ kg/cm}^2$

図-5 上部スタンドプレキャスト床版詳細図



基本配筋図 1:20

段床取付詳細図

床版取付詳細図 1:5

コンクリート	圧縮強度	F28	400
	kg/cm ²	PS導入時	350
P C 鋼材 (ストランド)	公称径	12.4 mm	
	断面積	92.9 mm ²	
	引張強度	16.4 t/本	
	降伏強度	14.0 t/本	
	弾性係数	200×10 kg/cm ²	
	許容張力	10.66 t/本	

導入時 $F_p \geq 300 \text{ kg/cm}^2$
 P C床版 $F_{2s} = 400 \text{ kg/cm}^2$
 導入時 $F_p \geq 350 \text{ kg/cm}^2$

写真—1 摩擦損失試験状況



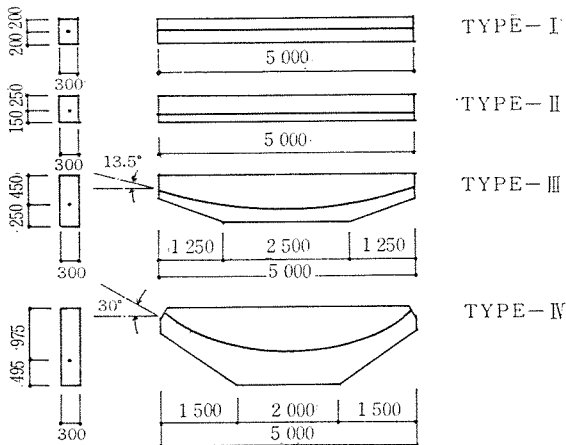
4. 実 験

(1) 緊張力の摩擦損失測定実験

本工事のP C大ばりのごときケーブル配置の場合、ケーブルとシース間の摩擦による緊張力の減退量を計算によって求めることは、實際上、不可能に近い。本実験ではケーブルの配置を変えたコンクリート供試体を用い、緊張端と非緊張端における引張力を測定して、摩擦係数 μ, λ を求め、有効緊張力算定の資料とした。

a) 供 試 体 供試体は図—6および表—3に示す4種類のものを使用し、使用材料はすべて本工事に使用するものと同一とした。なお、ケーブルは発錆状況による影響を見るため、供試体1個につき6本準備し、うち3本は屋外にて発錆させ、他の3本は発錆しないように屋内で養生したものを用いた。

図—6 供 試 体



表—3 供試体諸元

供 試 体	ケーブルの処理	供試体数	P C鋼材
TYPE-I	A 発 錆	3	9~9.3φ
	B 未 発 錆	3	〃
TYPE-II	A 発 錆	3	9~9.3φ
	B 未 発 錆	3	〃
TYPE-III	A 発 錆	3	9~9.3φ
	B 未 発 錆	3	〃
TYPE-IV	A 発 錆	3	9~9.3φ
	B 未 発 錆	3	〃

b) 測定方法 セットしたP Cケーブルの両端にロードセルと OBC ジャッキを設置し、片方のジャッキを P_1 まで加圧したときの他端のロードセルおよびジャッキの圧力 P_2 を読み取り、式 (1) より摩擦係数 μ, λ の

値を求めた。なお、各供試体について発錆したケーブルと未発錆ケーブルを交互にセットして測定を行なった。

なお、 P_1 と P_2 の間には次の関係式が成り立つ。

$$P_1 = P_2(1+V)^2 e^{\mu \Sigma \alpha + \lambda \Sigma l} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、

- V: ジャッキと OBC コーンとの間の摩擦係数
- μ : 角度変化1ラジアンあたりの摩擦係数
- λ : 材長1mあたりの摩擦係数
- α : 角度変化(ラジアン)
- l: シースの実長(m)

TYPE-I, TYPE-IIの供試体については $\alpha=0$ であるから式 (2) より λ の値が求められる。

$$\lambda = \frac{1}{M} \log_{10} \frac{1}{(1+V)^2} \cdot \frac{P_1}{P_2} = \frac{C_i}{\Sigma l} \dots \dots \dots (2)$$

TYPE-III, TYPE-IVの供試体については式 (2) より求めた λ の値を用いて式 (3) より μ の値が求められる。

$$\mu = \frac{C_i - \lambda \Sigma l}{\Sigma \alpha} \dots \dots \dots (3)$$

c) 使用材料

- コンクリート
- セメント: 小野田早強セメント $\rho=3.12$
- 砂 : 淀川産 F.M.=3.06 $\rho=2.56$
- 砂 利: 高槻産 F.M.=6.86 $\rho=2.74$
- 混和剤: ポゾリス No. 5 L
- 配 合: 表—4 参照

○P C鋼材

ストランドは神鋼鋼線工業製の9~9.3φで、機械的性質は表—5に示すとおりである。

d) ジャッキとポンプ間の摩擦係数 V 図—7に示

表-4 調 合

(1m³あたり)

G _{max} (mm)	S _I (cm)	Air (%)	W (kg)	C (kg)	W/C (%)	S (kg)	G (kg)	ポゾリス No. 5 L (kg)
20	5~7	1~3	168	410	41	662	1157	1.025

表-5 ストランドの品質

線径 (φ)	断面積 (mm ²)	引張荷重 (kg)	伸び (%)	降伏荷重 (kg)	降伏比 (%)	弾性係数 (kg/cm ²)
9.3	51.9	9750	6.7	9200	94.4	1.99×10 ⁶

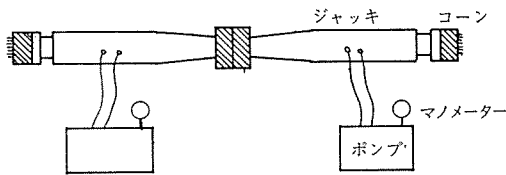
す装置で、一端のジャッキに圧力 P₁ を加えたときの他端のジャッキのマノメーターの読みから圧力 P₂ を測定した。

緊張は左右端より交互に合計 6 回行ない、式 (4) より

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= P_2(1+V)^2 \\ V &= \sqrt{\frac{P_1}{P_2} - 1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

係数 V の平均値を求めた結果 V=0.0083 であった。

図-7 試験方法



e) 摩擦係数 λ, μ 実測値 P₁, P₂ の値を式 (2), (3) に代入して求めた係数 μ, λ の値は 表-6 に示すとおりである。

表-6 摩擦係数 μ, λ

供 試 体	TYPE-I	TYPE-II	TYPE-III	TYPE-IV
λ	未発錆 発 錆	0.0014 0.0024	0.0018 0.0028	— —
μ	—	—	0.506	0.536

表-6 に見るとおり、係数 λ の値は予想されたとおり発錆ケーブルのほうが未発錆のそれより大であるが、平均値は供試体の材長が短いため、日本建築学会規準の標準値 0.005 よりも小さい。一方、μ の値とケーブルの発錆状況とはほとんど関係が見られなかったが、μ の平均値は 0.521 であり、標準値 0.3 より 73% も大なる値である。この結果、μ=0.521 としてケーブルの有効緊張力を再計算で P C 片持ばり先端部のみ若干の補強を行なった。

(2) P C 大ばりの変形測定実験

本実験は、設計どおりの緊張力が導入されたか否かを確認し、あわせて P C ばりの安全性を最終的に確認する目的で行なったものである。

a) 供 試 体 変形測定の対象として供試体は、42 通り、43 通り、44 通りの P C 大ばり 3 台を選定した。測定時の P C ばりコンクリートの機械的性質は 表-7 に示すとおりである。

表-7 コンクリートの品質

(1m³あたり)

S _I (cm)	W/C (%)	S/A	早強 C (kg)	W (kg)	S (kg)	G (kg)	ポゾリス No. 5 L (g)	Air (%)
16.5	42.3	40.3	399	169	702	1064	998	3.2

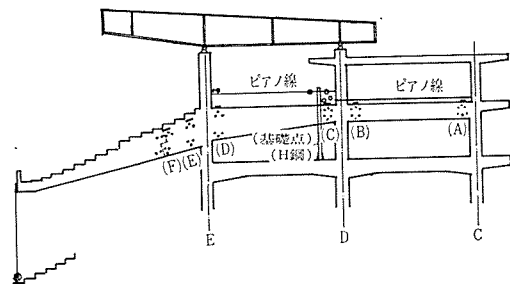
圧縮強度 (kg/cm ²)	弾性係数 (kg/cm ²)
354	3.1×10 ⁵

b) 測定事項およびひずみ計 変形測定は、各施工段階ごとに 表-8, 図-8 に示す位置で行なった。P C ばりコンクリート上・下縁ひずみ測定用には、抵抗線ひずみ計 (G.L.=100 mm) とモールドゲージを合計 36 点、P C 片持ばり先端の鉛直変位測定用にリングゲージとダイヤルゲージ (1/1000) を使用し、5 階柱頭の水平変位測定には、リングゲージとダイヤルゲージを併用した。

表-8 測定事項

測定事項	はり上下 縁ひずみ	P C ばり先端 部鉛直変位	柱頭水平 変位
1 次緊張前後	○	○	○
スタンド床版架設前後	○	○	○
2 次緊張前後	○	○	○
載荷時	○	○	○

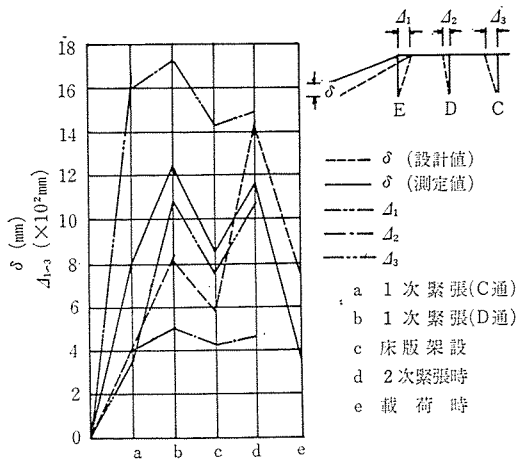
図-8 ひずみ計取付位置



c) 載荷方法 載荷荷重として H 鋼およびレールを使用し、20 匁吊り油圧式クレーンにてスタンド段床上に均等に 270 kg/m² を載荷した。

d) 測定結果 P C ばりの上下縁ひずみ測定結果は誌面の都合で省略するが、ひずみ測定値より換算した P C 片持ばり上縁の圧縮応力度は平均 20 kg/cm² 大きめに出ており、一方、下縁のひずみ度は抵抗線ひずみ計の測定値とモールドゲージのそれと比較すると、モールドゲージによる測定値のほうが若干大きく出ている。測定値と設計値との差違の原因としては、工事中の測定のため

図-9 架構の変位置



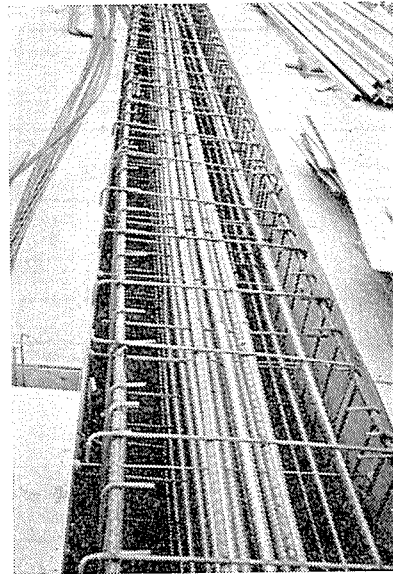
ひずみ計の養生等に万全を期せなかったことや、仕上げ工事が未完の状態であったため、荷重条件が不明確であった点があげられると思う。

PC片持ばり先端の鉛直方向変位量は図-9に示すとおり、1次緊張作業をC通りから始め、D通りに移行するにつれて、徐々に、鉛直上向きに増加し、スタンド床版架設終了時に鉛直下方に約4mmもどる。2次緊張後、再び鉛直上向きに3.6mm上昇し、載荷時には、原位置に対して13.6mmむくった状態にある。図-9を見ると、各施工段階におけるPC片持ばり先端の鉛直方向変位測定値は設計値とほぼ同傾向を示し、両者の差は最大4mmであり、いずれの段階においても、はり先端は原位置よりも上方にある。測定の対象に入れなかったPCばりについても、スケールによる鉛直変位量を測定した結果、いずれのはりでも、上記の傾向が見られ、各ばりの先端の鉛直変位の差は2~4mm程度であって、当初懸念したほどではなかった。また、載荷時に、はり先端が原位置（側面型わく脱型時レベル）より鉛直上方にある事実からも、ほぼ所要の緊張力が導入されたことを確認できた。

5階柱頭の水平変位量は、図-9に示すとおり、きわめて微少であり、1次緊張終了時で0.12mm~0.17mmである。また、PCばりE~C通り間の平均圧縮ひずみ度 ϵ は、2次緊張終了時において $\epsilon=1.3 \times 10^{-4}$ となり、PCばりが自由収縮した場合の平均圧縮ひずみ度 $\epsilon_m=1.44 \times 10^{-4}$ に比較して大差が見られない。このことから、ラーメン架構に含まれるPCばり部分にも、ラーメン架構の変形拘束にもかかわらず、ほぼ、所要の緊張力が導入されたものと思う。

なお、2次緊張終了直後の片持ばりの上縁応力度 σ_1 をもとに式(5)より、PC片持ばりのひびわれモーメント M_{cr} を算定した結果は表-9に示すとおり、ほぼ、設計値に近く、ひびわれ安全度も1.3以上で、特に耐力

写真-2 PCばり配筋状況



上の問題はなかった。

$$\text{ひびわれモーメント } M_{cr} = \left(\frac{5}{3} \sigma_t + \sigma_1 \right) Z_1 \dots \dots \dots (5)$$

ここで、 σ_t : コンクリートの引張強度

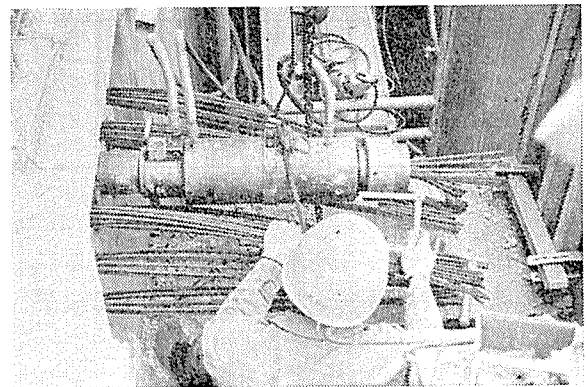
Z_1 : はり上縁の断面係数

表-9 PC片持ばりのひびわれ安全度

測定	$M_{cr}^{(1)}$ (t·m)	$M_{cr}^{(2)}$ (t·m)	全荷重による曲げモーメント M T.L. (t·m)	ひびわれ安全度 $M_{cr}^{(1)}/M T.L.$
E	2723	2734.6	1811.5	1.51 > 1.3
F	1074	1115.6	526.3	2.05 > 1.3

注: (1): 測定値 (2): 設計値

写真-3 PCばり緊張状況

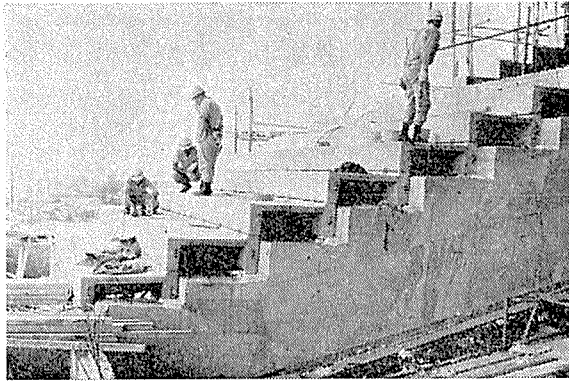


5. あとがき

以上、主として、設計および実験に関する概要を述べたが、設計上、特に苦心した点は6階特別スタンドと大屋根鉄骨の施工のうち、いずれを先行するかという問題と、緊張力導入の順序に合わせて、PC片持ばり先端のたわみ量をいかにControlするかの2点であった。

6階スタンドと大屋根の施工法については、工期と関

写真-4 PC床版架設状況



連して種々の角度から検討を加えた結果、6階スタンドを先に施工すると、大屋根鉄骨の建方が大容量のクレーンを使用しても困難であることが判明したので、大屋根の施工を先行することにし、鉄骨建方をスムーズに行なうために、PC片持ばりの施工を2段階に分け、大屋根鉄骨建方開始以前に片持ばりを内端より3mのブラケット部分のみ施工し、建方完了後に、先端部分のPCばりを施工することにした。このPCばりの打継部分については、特にPCばりの傾斜を考慮に入れ、コンクリート打設用の仮設計画および緊張力導入までの目地部の補強と養生には苦心を払ったところである。

PC片持ばり先端のたわみ量と、隣接するPCばり間

のたわみ量の差を少なくするために、耐力上必要な量以上に、はり断面を大きくせざるを得なかったが、内端部分のはりせいを大きくし、剛性を上げることにより、片持ばりの中間より先端にかけて、かなりスレンダーな断面型とすることができた。

施工面では、特に新しい工法は見られないが、昭和47年度の正月競馬に間に合わせるため工期が短く、したがって、やり直しのできない工事の性格上、筆者らが現場に常駐し、直接、PC工事の管理にあたり、各工程に先立ち、入念な準備と検討を加えて工事を進めた結果、幸いにして、施工業者の協力も得て、当初の予想よりも約3週間PC工事の完了を早めることができた。

最後に、実質11か月の短い工期内で工事を完了し、1月に予定されたレースにも間に合わせることができ、関係各位のご期待に応え得たことは、筆者らの喜びとするところであります。

なお、基本計画段階より工事完了に至るまで、終始、好意のご支援を頂いた日本中央競馬会、日本競馬施設株式会社各位、ならびに、京都大学六車教授、大阪大学奥島教授、同鈴木助教授と、ご協力頂いた共同企業体の各位に心から御礼申し上げます。

なお、工事の施工については、いずれ、別稿にて御報告する予定です。

1972. 5. 30・受付

御 寄 稿 の お 願 い

この雑誌は、プレストレストコンクリートのわが国でただ一つの総合技術雑誌です。会員諸兄の技術向上にいささかでも役立つよう日夜苦心して編集にあたっておりますが、多くの問題を広くとりあげるのはいささか大変なことです。一方的になっても困りますし、とにかく皆様の卒直な声をお聞かせ願えませんでしょうか。自由に気楽に意見を述べて頂く会員欄、疑問点を相談していただきたい質疑応答欄、工事の状況、施工の苦心点を、現場から速報してほしい工事ニュース欄、口絵写真欄、その他報告、質問など、お気軽にどしどし原稿をお寄せ下さい。また、新設してほしい欄とか、もっと充実してほしい欄、雑誌に対する建設的な御意見なども募ります。少しでも多く皆様の声を反映した親しみやすい雑誌に育て上げたいと念じておりますので御協力願います。以上の原稿、御意見などはすべて下記へお送り下さい。

東京都中央区銀座2の12の4 銀鹿ビル3階

PC技術協会編集委員会 電話 (541) 3595