

名城大学食堂および大教室 PC ラーメン設計施工報告

丹羽英二*・原 敏 郎**
安立 康***・富田 价彦****

1. ま え が き

本建物は、名城大学総合計画の一部として計画設計されたものであり、学生の食堂と大教室がふくまれている。使用目的上、できるだけ柱のない空間を確保するために、PCラーメンを主体とする構造を採用することになった。建築用PC構造物としては、かなり大形なものと思われるので、設計および施工の概要を報告することにする。

工事概要はつぎのとおりである。

工事場所：名古屋市昭和区天白町八事裏山 69 番地

用 途：1階 食堂 600 人大教室 1室
2階 600 人大教室 2室（この部分を将来武道場に変更の予定）

構 造：PC，RC併用の2階建（ラーメンとし、脚部RC，はり部PCスパン 25.08 m，2階はり上りと屋上はり上りをふくめて合計 20 本）

規 模：建築面積 1 446.677 m²

延床面積 2 375.086 m²

1階 1 178.386 m²

2階 1 196.700 m²

建 築 主：学校法人名城大学

設計監理：丹羽英二建築事務所

施 工：鹿島建設株式会社

工 期：着工 昭和 41 年 11 月 28 日

竣工 昭和 42 年 4 月 30 日

2. 設計概要

建物は 図-1,2 に見られるとおり 24.0×24.0

* 丹羽英二建築事務所

** 鹿島建設株式会社名古屋支店

*** " 建築工務部

**** " 土木設計部PC課

図-1 断面図

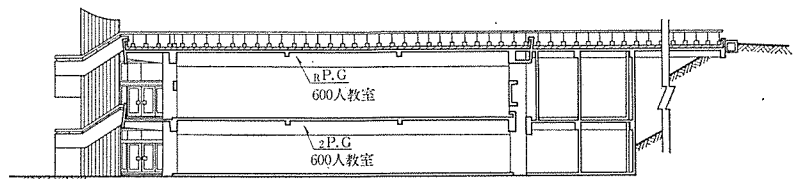
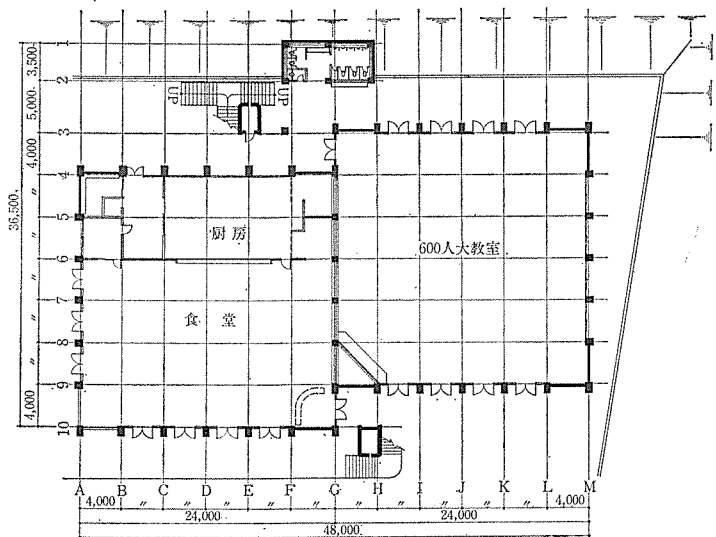
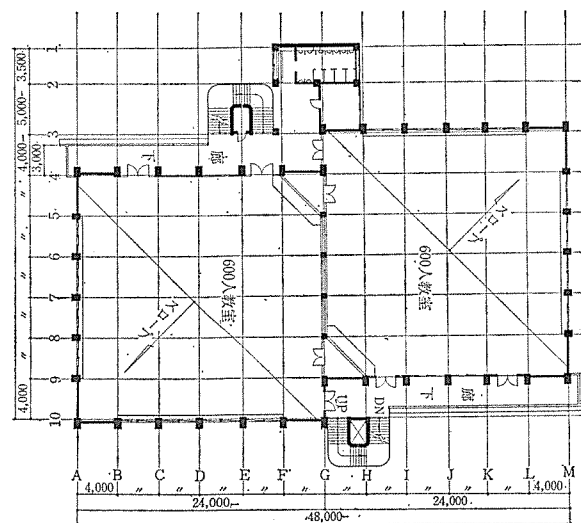


図-2 平面図

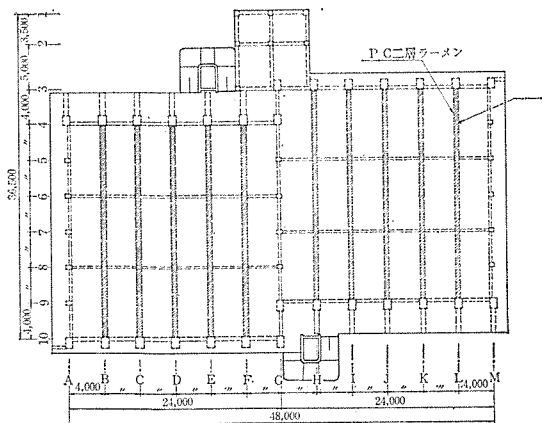


1階平面図



2階平面図

図-3 はり伏図



m角の建家を二つつないだ形になっている。構造的にはRCの柱をPCばりでつないだ10個の支間25.08mのPC二層ラーメンを横ばりでつなぎ合せたもので、このPCばりは柱より約2.93mつき出してバルコニーを支える片持ばりにもなっている。設計時の前提条件としてプレストレス力の解析を明確にする目的で、各階のPC架構につながる壁、桁方向ばり、小ばり、スラブ等は、PC部分の緊張が終了したのちにコンクリートを打設することとした。したがって大体施工順序はつぎのとおりとなる。

- ① 地中ばりおよび基礎コンクリート打設
- ② 1階柱コンクリート打設
- ③ 2PGばり(2階PCばり)コンクリート打設
- ④ 2PGばりプレストレス導入
- ⑤ 1階壁, 2PGばりをのぞくすべての2階ばり, 2階床, 階段等の各コンクリート打設
- ⑥ 2階柱コンクリート打設
- ⑦ RPGばり(屋上PCばり)コンクリート打設
- ⑧ RPGばりプレストレス導入
- ⑨ 2階壁, RPGばりをのぞくすべての屋上階ばり, 屋上床, 階段等の各コンクリート打設
- ⑩ 2階手すり, 屋上パラペット, 1階土間コンクリート打設, その他残りのコンクリート打設。

2階柱と屋上PCばりの接点を剛接したラーメン形の状態プレストレスを導入すると、PCばりの曲げ変形と同時に軸方向変形によって柱に不静定モーメントが生じる。柱とはりの剛性が大きく異なり、しかも柱のつけ根の固定度が大きい場合には、この柱に生ずる不静定モーメントが、かなりなものになる場合がある。本件の場合もこの柱に生ずる不静定モーメントが、2階柱頭で非常に大きな値となり不利な結果をきたしたため、なんらかの処置が必要になった。

普通実施されているように、はりを柱と離れた状態にしておき、この状態ではりだけに単独でプレストレスを

導入し、その後にこのPCばりと柱とを剛接する方法も考えられたが、この方法ではりだけの施工が二段階、場合によっては三段階に分れ、工期的な不利をまねくため本件では2階柱頭と屋上階PCばりとの接合部をプレストレス導入時はローラーに近い状態とし、その後完成時にはピン接合に近い状態にする方法をとった。

このため、屋上階PCばりの断面および鋼棒数量は多少大きくなっている。2階の柱と屋上PCばりの接合部は図-4, 5に示すごとく柱頭とはり底の間に緩衝ゴムをステンレス板でサンドイッチした400×250×15mmのTパット2枚を敷き、これをおとして上部重量を柱に伝えるようにし、Tパット以外の柱頭面には、はりとクリヤランスを取った。またプレストレス導入時のPCばりの軸方向変形による下の柱への影響は、Tパットのせん断たわみによって、ほとんど0に近いものとするようにした。なお地震時の水平力の負担はTパットでも十分であるが、さらに安全のため図-4, 5に示すように、2階柱頭の中央部に箱抜きを作り、これに上部PCばりに埋めこんだIビーム(I-250×125×10)を差しこむ形としこれをストッパーとした。ただし、このストッパーのIビームとこれを入れる2階柱頭の箱抜きは、プレストレス導入時にIビームが水平移動しても、ひっかからな

図-4 2階柱頭ピン接合部

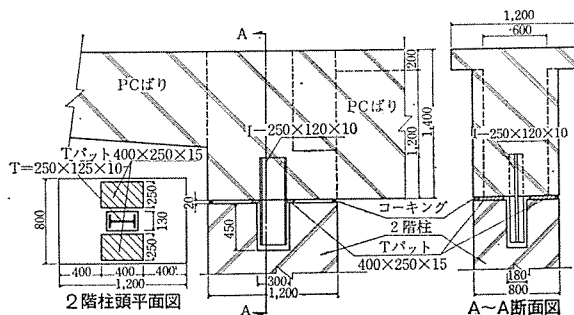
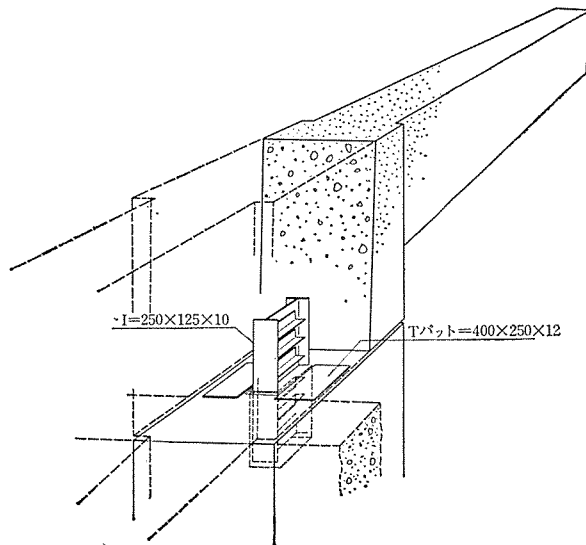


図-5 2階柱頭ピン接合部見取図



いように十分のクリアランスをとり、導入後にグラウトして固定することにした。

3. 構造計算

(1) 荷 重

固定荷重：屋 根	585 kg/m ²
2 階 床	435 kg/m ²
2階開放廊下	410 kg/m ²
屋上ばり自重	2300 kg/m
2階ばり自重	1600 kg/m
積載荷重：屋上階	240 kg/m ² (架構用)
	130 kg/m ² (地震用)
2 階 床	210 kg/m ² (架構用)
	110 kg/m ² (地震用)
地 震：震 度	k=0.2

(2) 材料の許容応力度

a) P C 用

① P Cコンクリート

$$F_{28} = 350 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{単位: kg/cm}^2)$$

許容圧縮応力度	プレストレス導入時 f_c'	0.40 F_{28}
	設計荷重時 f_c	0.35 F_{28}
許容引張応力度 (フルプレストレスング)		0
許容斜張応力度	f_t	0.07 f_c
定着部付近の許容引張応力度		
引 張 強 度	σ_t	0.07 F_{28}
弾 性 係 数	E_c	2.95×10^5

② P C 鋼材

P C鋼棒 ディビダーク 3種
95/120 接続法：非対称ねじ

公称径 (mm)	断面積 (mm ²)	引張強度 (kg/mm ²)	降伏点 (kg/mm ²)	許容引張応力 (kg/mm ² , t/本)	弾性係数 (kg/cm ²)
33	789	120 以上	95 以上	7 125 56.2 t/本	2.0×10^6

(3) 応 力

各段階での応力は 図-6~14 に示すとおり。

a) ₂PG

図-6 ₂PG ばり自重のみによるモーメント: Mg_1

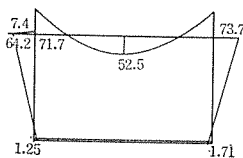


図-7 ₂PG プレストレスによるモーメント: Mp

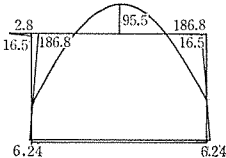


図-8 ₂PG ばり以外の固定荷重によるモーメント: Mg_2

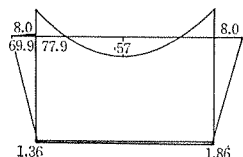
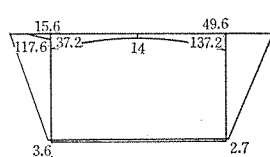


図-9 $Mg_2 + Mp + Mg_2$



b) _RPG

図-10 _RPG ばり自重のみによるモーメント: Mg_1

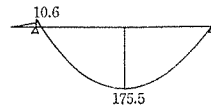


図-11 _RPG プレストレスによるモーメント: Mp

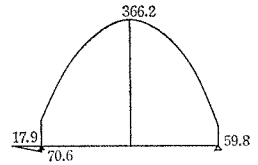


図-12 _RPG ばり以外の固定荷重によるモーメント: Mg_2

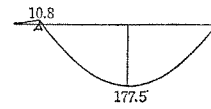


図-13 $Mg_1 + Mp + Mg_2$

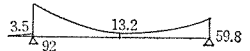
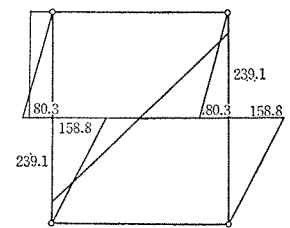


図-14 水平力のみによるモーメント



4. 施 工

(1) 鋼棒配置

鋼棒は前記したとおりディビダーク 3種 (95/120) $\phi 33$ mm を ₂PG (2階 P C ばり) には 8 本, _RPG (屋上階 P C ばり) には 12 本をそれぞれ配置した。₂PG, _RPG とも鋼棒 1 本が 26.20~28.55 m の間の長さであり、いずれも三本継ぎとし配置は 図-15 に示すとおりとした。鋼棒は 写真-1 に見られるよう各 P C ばりの片側に平行して設けた足場上まで運搬し、そこで接続したのち人力 (7~10 名) で下のはり型わく内に降し配置した。鋼棒を所定の位置に支持するサポートのすえ付け作業、モンタージュトップ (緊張端部分箱抜き用型わく) 取付け作業をふくめて鋼棒運搬、接続、配置に要した日数はつぎのとおりである。

はり名称	所要日数 (日)	鋼棒本数 (本)	鋼棒全長 (m)	鋼棒トン数 (t)
₂ PG	8	80	2 224	14.21
_R PG	7	120	3 216	20.55

所要日数が多くなっているが、これは各階ともはりを 5 本ずつに分けて 2 回に施工したからである。

写真-1 鋼棒配置状況

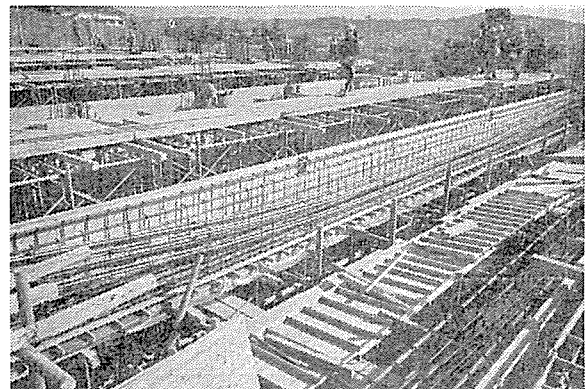
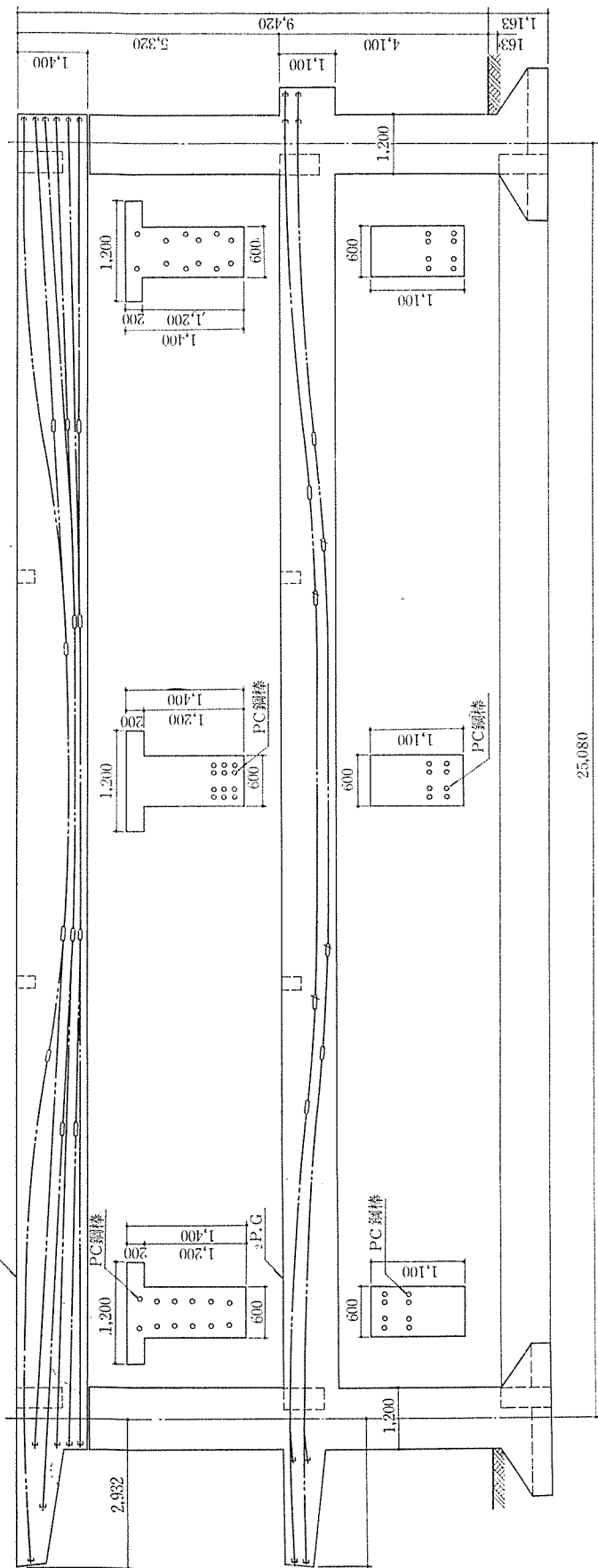


図-15 軸組および鋼棒配置図



鋼棒 ディビダーク3種 φ33mm
クラウト挿出孔付カッピングジョイント部
カッピングジョイント部

(2) 鋼棒緊張作業

緊張には 70t 電動ジャッキ 3 台を用意し、₂PG ばかりではこのうち 2 台を R₂PG ばかりでは、3 台をそれぞれ使って緊張した。₂PG ばかりは、はり 1 本についてディビダーク 3 種 φ33mm 鋼棒 8 本を配置し、いずれも片引きであるが 4 本を一方側から緊張し、残り 4 本をその反対側から緊張した。R₂PG ばかりは、はり 1 本について同じディビダーク 3 種 φ33mm 鋼 12 棒を 12 本入れている。これもいずれも片引きであり、6 本ずつお互いに逆方向から緊張した。緊張作業は別に支障なくできたが、予定伸び量を導入するためには、ほとんどの鋼棒が大ハンマーで打撃を与え振動で摩擦をとらなければならなかった(表-1)。

表-1 緊張作業内訳

はり名称	作業所要日数	緊張本数	使用ジャッキ台数
₂ PG	4日間	80本	2台
R ₂ PG	4日間	120本	2台

プレストレス導入後のはりのたわみ量および弾性短縮量はレベル、スチールテープによる計測であるので、測定誤差もあると思われるが、事前に計算した数値とかなりよく一致した。

(3) コンクリートの調合

コンクリートは レディミックスト コンクリートを使用し、生コン工場より現場までの運搬時間は約 40 分を要した。このためコンクリートの調合は、早期強度の要求値と、この運搬中のスランプロスを合せ考え、試験練りと強度試験結果を参考にして、₂PG ばかりでは工場出荷時スランプ 13 cm、現場到着スランプ 10 cm を目標として表-2、R₂PG ばかりでは工場出荷時スランプ 11 cm、現場到着時スランプ 8 cm を目標とし、表-3 のごとくそれぞれ決定した。両者とも、セメントは早強ポルトランドセメントを使用し、細骨材最大寸法 2.5 mm、粗骨材最大寸法 25 mm とした。

(4) コンクリート打設

コンクリートの打設は、前にものべたとおりコンクリート強度の相異からだけでなく、構造上、応力解析上の点を考慮して、PC ばかりをスラブとはなした単独の状態

表-2 ${}_2$ PG はり用コンクリート調合

セメントの種類	W/C (°/wt)	Sl (cm)	S/A (°/vl)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)	Pozz. #5 (kg/m ³)
早強ポルトランド	40	10	35	152	380	637	1 196	1.9

表-3 ${}_R$ PG はり用コンクリート調合

セメントの種類	W/C (°/wt)	Sl (cm)	S/A (°/vl)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)	Pozz. #5 (kg/m ³)
早強ポルトランド	39	8	35	148	380	637	1 196	1.9

(すなわち純ラーメン架構のみ)でプレストレスを導入するため、1,2 階とも三段階ないし四段階に分けて行なった。まず柱のコンクリート ($F_{28}=210 \text{ kg/cm}^2$) を PC ばり下端まで、その後 PC ばり ($F_5=300 \text{ kg/cm}^2$, $F_{28}=350 \text{ kg/cm}^2$), 最後に PC ばり以外のはり、壁、スラブおよび手すり等 ($F_{28}=210 \text{ kg/cm}^2$) をそれぞれ打設した。1 回の打設量を $100\sim 140 \text{ m}^3$ とし (はり 5 本), アジテーター 5 台目ごとにスランプと空気量の測定を行ない, さらに強度管理用テストピースを採取して, PC ばりコンクリートの強度管理を行なった。この結果は表-4 のとおり (コンクリート強度については次項参照)。

表-4

はり名称	打設日	打設箇所	現場到着時スランプ (cm)	スランプ平均値 (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	測定回数 (回)
${}_2$ PG	1月21日	第1回 H, I, J, K, L ばり	7~15.5	12.02	2.4~3.4	13~16	9
	1月25日	第2回 B, C, D, E, F ばり	7~13.5	10.47	2.5		12
${}_R$ PG	2月25日	第1回 H, I, J, K, L ばり	6.7~10.8	8.05	1.65~3.05	11.5~17	10
	2月28日	第2回 B, C, D, E, F ばり	5.7~11.5	7.64	1.4~2.5		9~15

${}_2$ PG の第1回目の打設で、最初多少スランプの大きいやわらかいコンクリートがあった以外は、ほとんどばらつきの少ない良好なコンクリートを打設することができた。打設に要した時間は表-5 のとおりである。

表-5 コンクリート打設作業時間

	コンクリート量 (m ³)	打設所要時間	単位時間当りの打設量 (m ³ /h)
${}_2$ PG	第1回 5 ばり分 100	9 時間	11.1
	第2回 5 ばり分 100	6 時間 30 分	15.4
${}_R$ PG	第1回 5 ばり分 140	9 時間 40 分	14.5
	第2回 5 ばり分 140	8 時間 30 分	16.5

${}_2$ PG の第1回目のコンクリート打設にかなり時間がかかっているのは、現場として初めての硬練りコンクリートでなれていなかったためと、段取り等に少々無理があったこと、さらに一部予定していたよりも、極端にスランプの小さいコンクリートがきたことも原因している。 ${}_2$ PG の打設には打設箇所が生コン車の取入れ位置より一段低くなっているため、写真-2 に見られるごとく、いったん下にもうけたグラウンドホッパーにシュートをと

おして出し、これよりネコ車を使って打設した。 ${}_R$ PG については、ほとんど打設箇所が生コン車と同一面上になるのでネコ車でしか取りして行なった。

この程度の断面のはりであればバイブレーターを使えば別段打ちにくい点はなく、硬練りコンクリート (スランプ 5~12 cm) で打設時に問題になる点はシュートおよびグラウンドホッパーを使う場合で、コンクリートがよく流出しない点である。スランプ 8 cm 以下になるとグラウンドホッパーから出にくくなり、写真-2 に見られるシュートも流れにくくなった。スランプ 9 cm 以下の硬練りコンクリートを打設する場合はシュート、ホッパーにそれなりの工夫をこらす必要がある。

(5) コンクリートの養生と強度

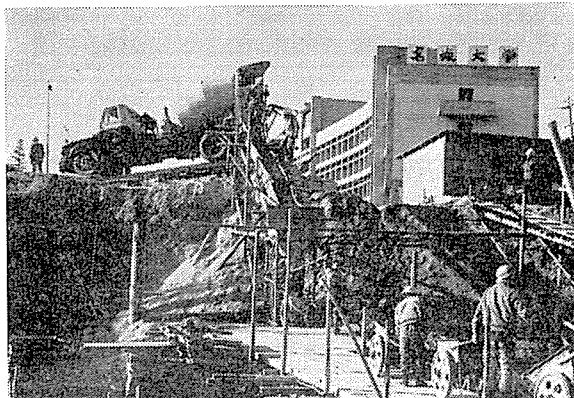
a) 養生 工期が短いため、PC ばりはコンクリート打設後できるだけ早く緊張作業を行なう必要があり、冬期でありながら打設後 5 日目で緊張できるだけのコンクリートの早期強度が要求された。強度的な条件はつぎのとおりである。

プレストレス導入時所要強度 $F_5=300 \text{ kg/cm}^2$
 設計基準四週強度 $F_{28}=350 \text{ kg/cm}^2$

${}_2$ PG 施工時は気温の低い 1 月ということで、促進養生 (温風養生) を行なった。養生おおいには、はり全体をビニールシートでおおい、その上に布製の養生シートをかけ移動式ジェット熱風発生機 6 台を使って、PC ばりの両端 (アンカー部のある所) から布製ダクトをとお

写真-2 コンクリート打設

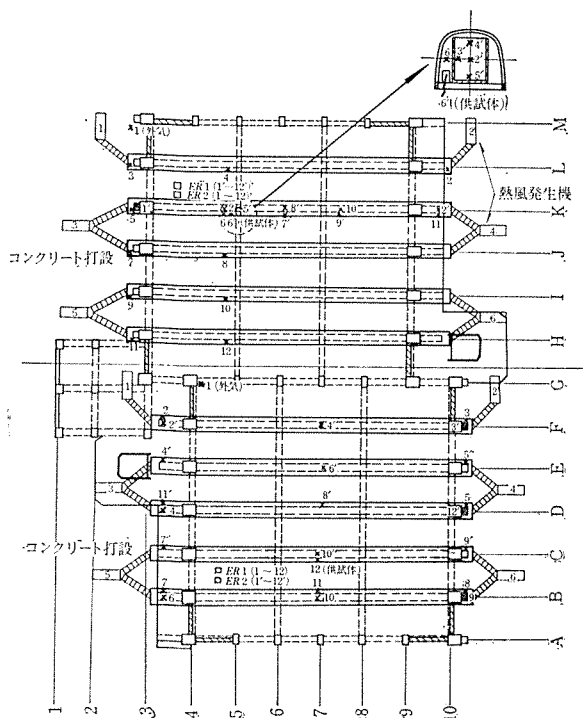
(生コン車よりいったんホッパーに入れネコ車で運搬した)



して温風を養生おおいの中に導き 24 時間養生を行なった。この場合はりの両端は吹出し口に近いため養生温度は上がるが、はりの中央部（吹出し口より約 14 m）付近は吹出し口から遠いため、はりの中央部にも吹出し口をもうけ、随時温風を送り養生温度をできるだけ均等にするようにした。また温風により養生覆い内部が乾燥するのを防ぐために補助的にダクト内部に蒸気を噴出させるとともに、温風吹出し口に散水した。

温度測定点は 図-16、温度測定結果は 図-17 に示す

図-16 温度測定位置ならびに熱風発生機位置



とおりで、この表示温度にしたがって熱風発生機の吹出し温度を調整した。熱風発生機の運転終了時の PC ばりコンクリート温度はスパン端部のはり中心で 45~50°C、スパン中央部のはり中心で 35~40°C であった。これははり端部より温風を吹込んだためはり端部の空気温度がはり中央のそれより高かったからである。熱風発生機の運転終了後 2 日間(コンクリート打設後 3 日間)はビニールシート、側型わくを存置して、保温養生したためこの効果は大きく、温度降下はきわめて緩慢で 0.4~0.1°C/h 程度であった。

RPG ばりについては施工時期が 2 月末となり気温もいくぶん上昇すること、PG 施工後これを参考にして再度コンクリートの試し練りと空中放置養生の強度試験を行なった結果、特別の促進養生をしなくてもいける見通しがついたので、布製の養生シートおおいのみとした。ただしコンクリートの調合は PG の場合より水セメント比を 1% 下げ 39% とし 表-3 に示すものとし

写真-3 コンクリート打設

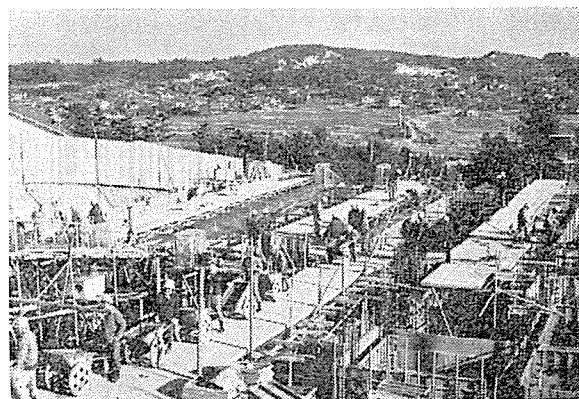
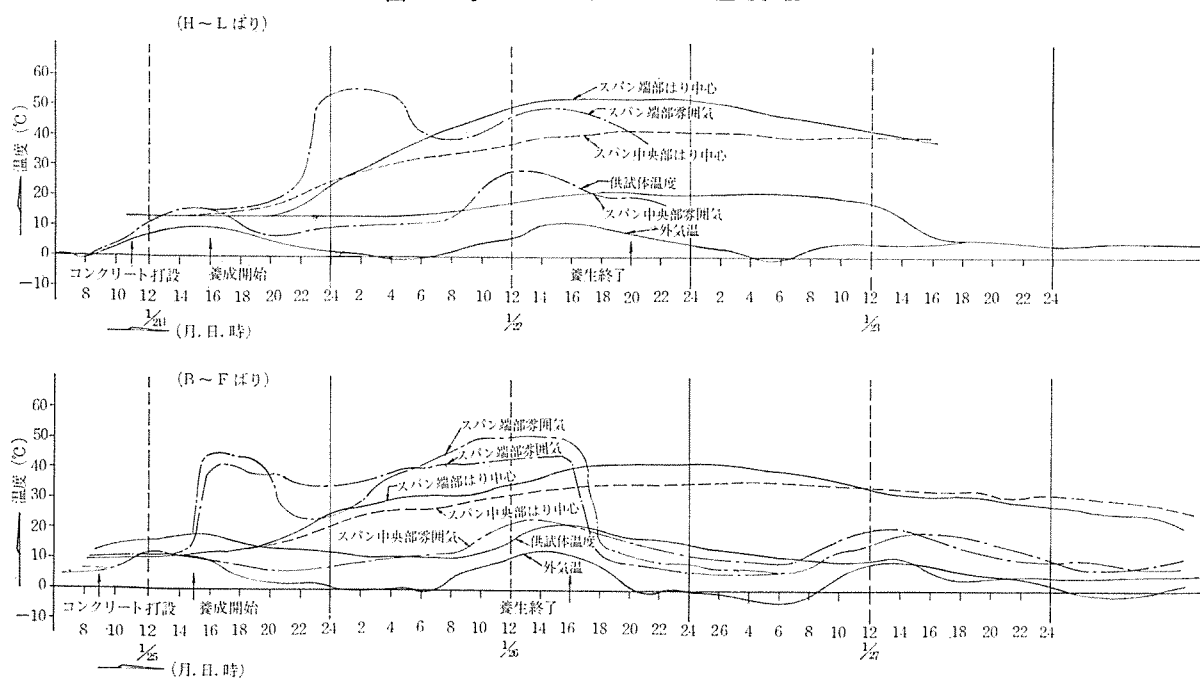


図-17 PG コンクリート温度履歴



た。RPG の場合も PC ばりのコンクリート温度がコンクリートの水和熱によってどの程度上昇し、現場管理用コンクリート供試体の温度と、どの程度温度差を生じる

かを調べる目的で、PC ばりの内部のコンクリート温度と供試体のそれとを同時に測定した。温度測定結果は図-18 に示すとおりである。

図-18 名城大 R_{PG} ばりコンクリート温度履歴

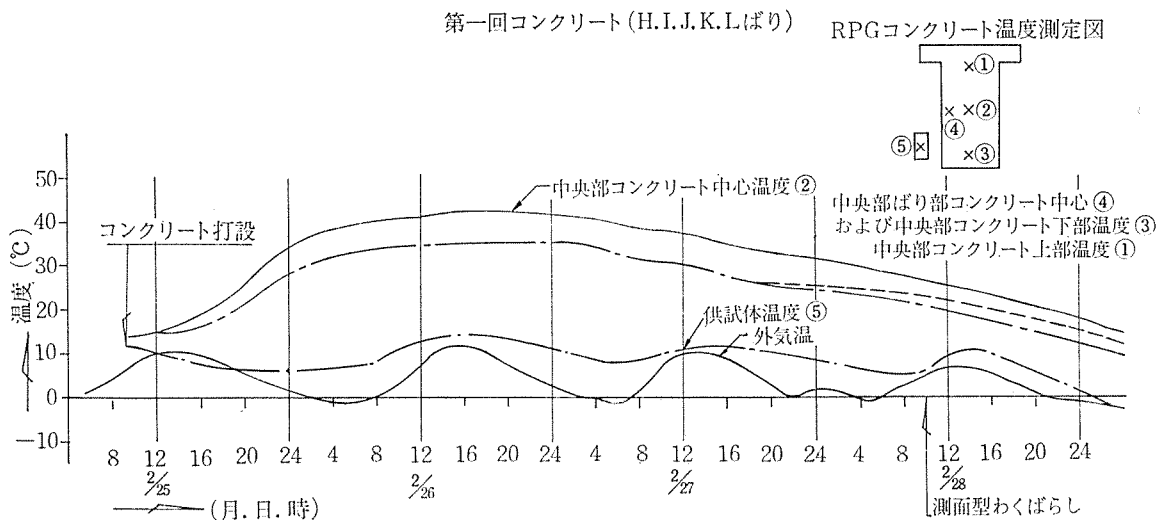


表-6 R_{PG} ばり第1回 PC コンクリート圧縮強度試験結果 (kg/cm²)

試験日	1/23	1/24	1/25	1/26	1/27	1/28	1/31	2/18		
材 令	2	3	4	5	6	7	10	28		
空 中 放 置 養 生	1	167	162	274	各ばりから3本ずつ試験したので各ばりの平均値を記す Hはり 318 Iはり 283 Jはり 254 Kはり 285 Lはり 312	297	345	373	459	
	2	163	224	287		320	348	389	455	
	3	195	231	282		318	334	378	465	
	4									
	5									
	6									
	平均	175	227	281			312	342	380	459
標 準 養 生	1		302			395		503		
	2		301		369	415		490		
	3		297		362	409		497		
	平均		300		364	406		496		

コンクリート打設日 1月21日

表-7 R_{PG} ばり第2回 PC コンクリート圧縮強度試験結果 (kg/cm²)

試験日	1/27	1/28	1/29	1/30	2/1	2/4	2/8	2/22	
材 令	2	3	4	5	7	10	14	28	
空 中 放 置 養 生	1	233	242	312	各ばりから3本ずつ試験したので各ばりの平均値を記す Bはり 300 Cはり 323 Dはり 308 Eはり 318 Fはり 314	346		450	
	2	181	253	298		331			474
	3	222	240	302		329			447
	4	192		296					
	5	199		293					
	6	197		301					
	平均	204	245	300			335		457
標 準 養 生	1		313		355			502	
	2		305		355	419		524	
	3		304		364	426		515	
	平均		307		358	421		514	

コンクリート打設日 1月25日

表-8 R_{PG} 第1回 PC コンクリート圧縮強度試験結果 (kg/cm²)

採取時刻	試験日	材 令	2/28	3/1	3/2	3/3	3/4	3/25
			3	4	5	6	7	28
戸 外 お が く ず 養 生	A.M. 10.00	1	232	295	320	336	357	450
		2	245	288	329	331	355	462
		3	248	292	298	296	313	468
	平均	241	292	315	321	342	460	
	P.M. 3.00	1	229	274	322	292	312	442
		2	234	284	313	322	341	467
		3	221	280	320	358	361	429
平均	228	280	318	324	338	446		
標 準 養 生	1		332		383		453	518
	2		346		418		456	492
	3		341		409		438	508
	平均		339		403		449	506

コンクリート打設日 2月25日

表-9 R_{PG} 第2回 PC コンクリート圧縮強度試験結果 (kg/cm²)

採取時刻	試験日	材 令	3/3	3/4	3/5	3/6	3/7	3/28
			3	4	5	6	7	28
戸 外 お が く ず 養 生	A.M. 9.00	1	265	310	324	335	345	479
		2	259	298	315	322	336	442
		3	262	311	338	356	360	446
	平均	262	306	326	338	347	456	
	P.M. 3.00	1	278	320	340	355	367	484
		2	251	284	297	314	324	482
		3	259	298	315	322	338	446
平均	263	300	317	330	343	471		
標 準 養 生	1		358		412		453	526
	2		340		400		428	506
	3		326		410		441	525
	平均		341		407		441	519

コンクリート打設日 2月28日

b) 強度 PG では強度確認のための供試体 ($\phi 10 \times 20$ cm) は鉄製型わくの外側を布きれでつつみ、最も条件の悪いと思われる PC ばりスパン中央部付近に置いて、はり本体とともに打込み後 2 日間ビニールおおい内で養生し、3 日目より現場の小屋内(暖房なし)に空中放置した。強度試験結果は 表-6, 7 に示すとおりで大体当初の目的を達成し得た。供試体の温度履歴と PC ばり本体の温度履歴が異なるが、これはコンクリートの発熱によるもので、PC ばり本体のコンクリート強度は十分供試体の、それ以上になっているものと思われる。

PG では強度確認のための供試体 ($\phi 10 \times 20$ cm) は鉄製型わくの外側を布きれでつつみ、現場の小屋内に最初空中放置しキャッピング後は木箱におがくずとともに入れ戸外放置養生とした。供試体のコンクリート温度測定用のものは鉄製型わくを布きれで十分おおい、本体 PC ばりの側に放置して温度測定を行なった。これでも P

C ばり本体のコンクリート温度履歴が供試体のそれをはるかに上まわっている。この結果から考えて PC ばり本体のコンクリート強度は供試体の標準養生のそれをも上まわっているものと推定される。

(6) グラウト

グラウトの調査は 表-10 に示すとおりとした。1 バッチセメント 1 袋練りとし、混練りには、水、ポゾリス No. 8 溶液、セメントの順序でミキサに投入しアルミ粉末はセメント投入時にセメントにあらかじめ混ぜて投入した。練り混ぜ終了後、ミキサより取り出すときに 0.6 mm 目のふるいでろ過してグラウトした。

グラウトミルクの各種試験結果の例をあげると、表-11 のとおりである。

5. おわりに

以上本工事の設計施工についての概要を記述してきたが、PC 建築構造物を計画する場合の参考となれば幸いに思う。設計に関しては屋根を構成するはりをヒンジ支承としたこと以外、特殊と思われる点はないが、施工に関してはかなりの配慮が加えられているのではないかとと思う。諸賢の御批判が仰げれば幸いである。

表-10 グラウトミルク調査

種別	普通ポルトランドセメント (kg)	水 (kg)	水セメント比 W/C (°/wt)	ポゾリス No. 8 (C×0.25%) (g)	アルミ粉末 (C×0.006%) (g)
数量	50	22.5	45	125	3

表-11 グラウトミルク試験結果

流下時間 (sec)	グラウト体積 V _{cc}	3 時間経過		20 時間以上経過			
		フリージングによる水 B _{cc}	フリージング率 B/V×100%	フリージングによる水 B' _{cc}	最終フリージング率 B'/V×100%	グラウト体積 V' _{cc}	膨張率 $\frac{V'-V}{V} \times 100\%$
9.0	395	3.4	0.86	0	0	405	2.53
9.0	395	3.4	0.86	0	0	403	2.02
9.0	395	2.5	0.63	0	0	400	1.26

表-12 グラウトミルク圧縮強度試験結果

1 週強度: F ₇		4 週強度: F ₂₈	
kg/cm ²	平均 (kg/cm ²)	kg/cm ²	平均 (kg/cm ²)
224.2	198.6	300.6	285.3
193.4		285.3	
178.3		270.1	

1967.5.31・受付

会員増加についてお願い

会員の数はその協会活動に反映するもので、増加すればそれだけ多くの便益が保証されています。現在の会員数は創立当時に比較すると約 6 倍の 1 480 名ですが、まだまだ開拓すべき分野が残されております。お知合いの方を一人でも余計ご紹介下さい。事務局へお申し出で下されば 入会申込書 はすぐお送りいたします。