

松山市総合コミュニティセンター体育館の設計と施工

萩	坂	詳*
木	村	文**
田	辺	恵 †

1. はじめに

温暖な気候風土に恵まれた愛媛県松山市に、市民文化の創造と生涯教育の拠点として総合コミュニティセンターの建設が、昭和 58 年 3 月より進められ、本センター大体育館は 59 年 10 月に完成された。また、図書館、文化ホール、子供館、コミュニティプラザ等も続いて同年 11 月に着工され、現在建設中である。コミュニティセンター内には、2 か所に公園が配置され、敷地面積 (27 000 m²) の 4 分の 1 が緑地となる予定で、緑と健康と文化を調和させたコミュニティづくりが期待されている。

本センター体育館は、多目的な用途を満足する機能を持ち、多種目の国際競技も開催できる施設である。計画上の基本方針としては、近年のスポーツ意識の高揚、スポーツ形態の変化に対応し、市民が自由に参加でき、快適に楽しめるスポーツ、レクリエーションの高い魅力あふれる施設計画を意図している。

2. 概要

2.1 建物概要

本建物は地下 2 階、地上 3 階建であり、地下 1 階～1 階にかけて温水プール、サブアリーナ、トレーニングルーム、ラケットボールコート、1 階はロビー、スポーツプラザを、2～3 階にメインアリーナ、観覧席を配置

している。

地下駐車場部分は地下 1～2 階ともアリーナ本体地下部分とエキスパンションで分割せずに一体で設計している。建物平面図を図-1、断面図を図-2 に示す。

敷地面積：8 901.87 m²

建築面積：4 146.63 m²

延床面積：13 979.99 m²

2.2 工事概要

工事名称：松山市総合コミュニティセンター体育館

工事場所：松山市千舟町 7 丁目 4 番地

設計：日本設計・佐藤武夫設計共同企業体

監理：同上

施工：清水建設(株)・大成建設(株)共同企業体

PC 施工：黒沢建設(株)

PC 定着工法；VSL 工法

PC 鋼材重量；130.9 t

土留施工：黒沢建設(株)

PC 定着工法；KTB 工法

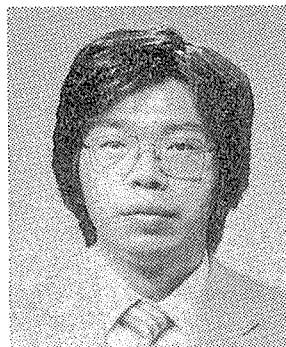
PC 鋼材重量；5.1 t

2.3 構造概要

本建物は、GL-7.1 m の基礎底面において *N* 値 30 以上の砂礫層となり比較的良い地盤であり、この砂礫層を支持地盤としている。地下階の平面の大きさが 73.1 m×85.4 m もあり、この地下部分に温水プール、サブアリーナ、駐車場等が配置され、大空間を必要とするこ



* Akira HAGISAKA
佐藤武夫設計事務所構造部
主任



** Masahumi KIMURA
佐藤武夫設計事務所構造部



† Keizo TANABE
黒沢建設(株)設計部長

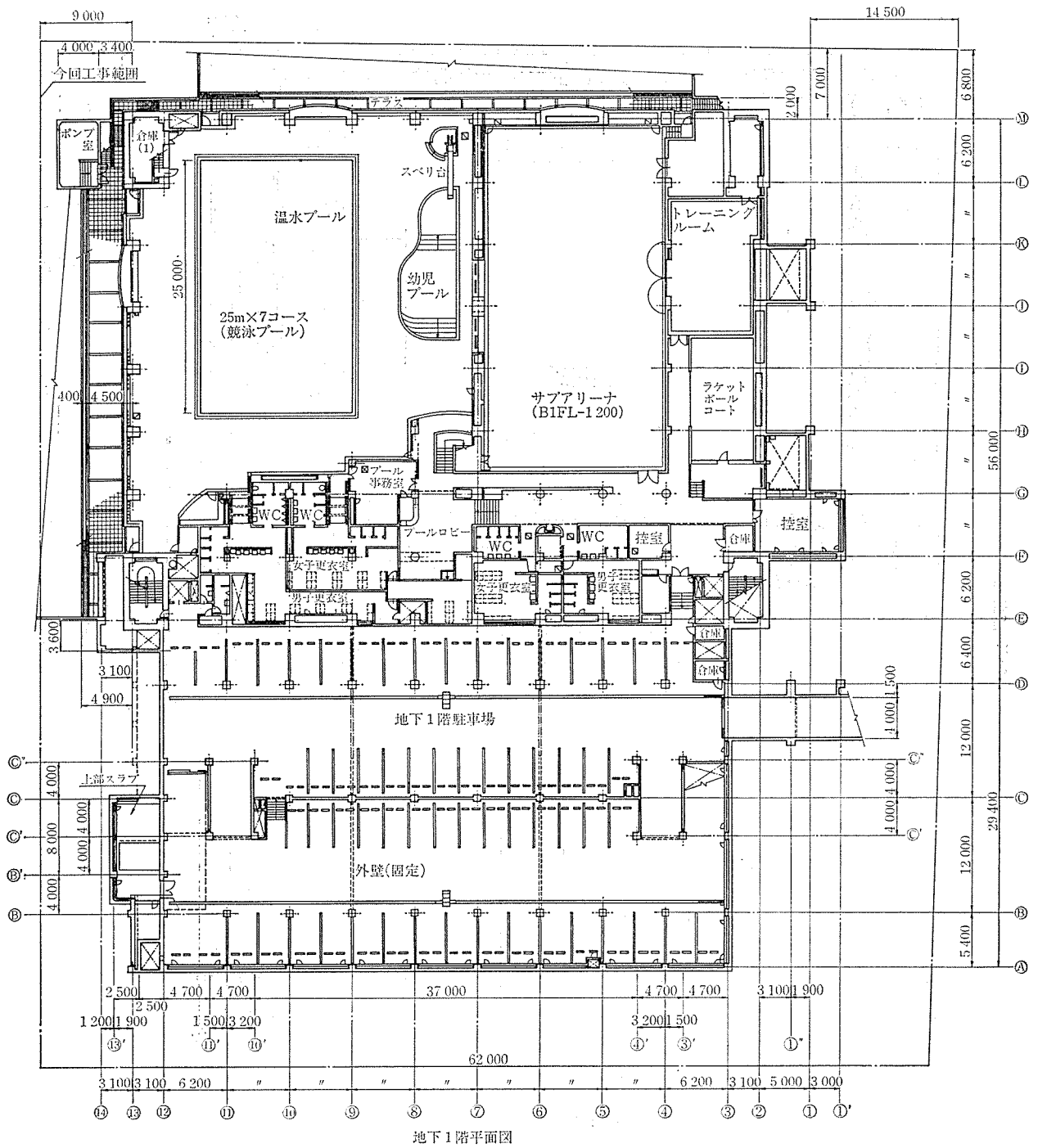
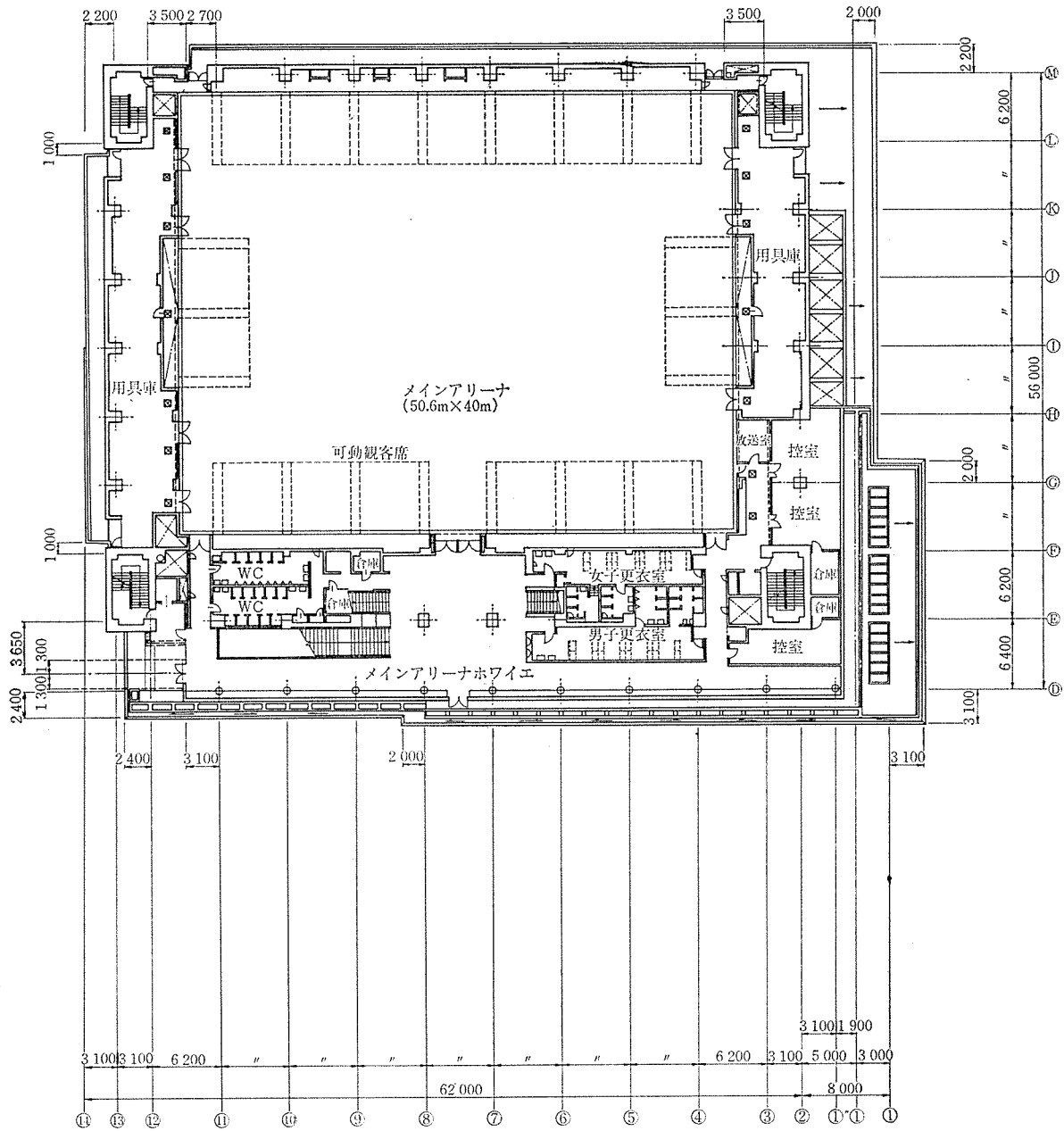
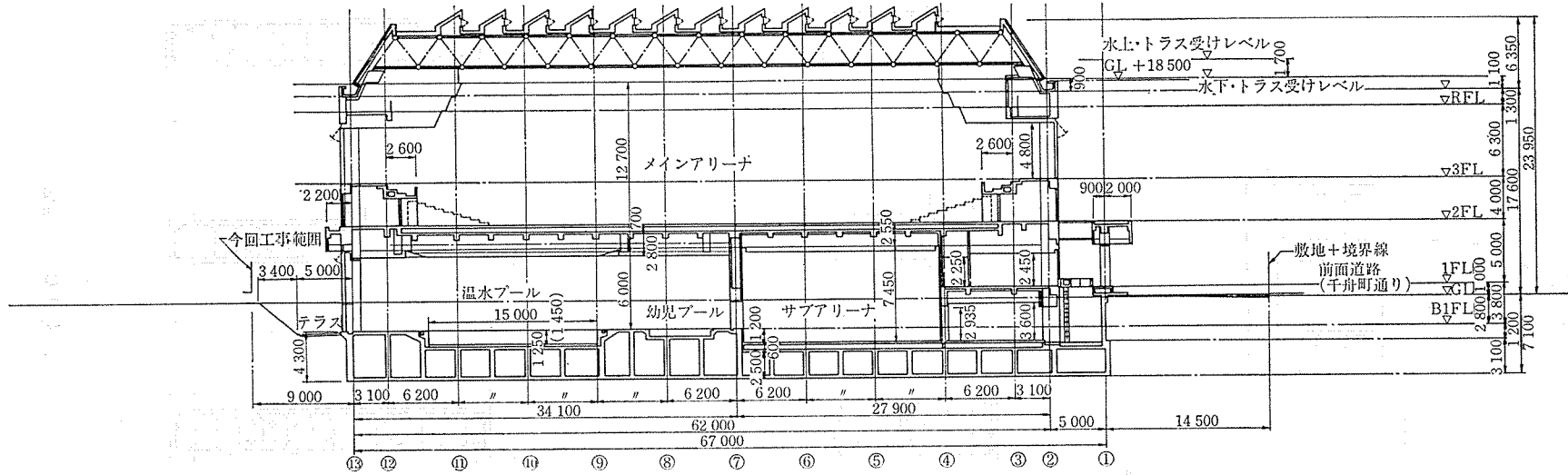


図-1 (a) 地下1階平面図

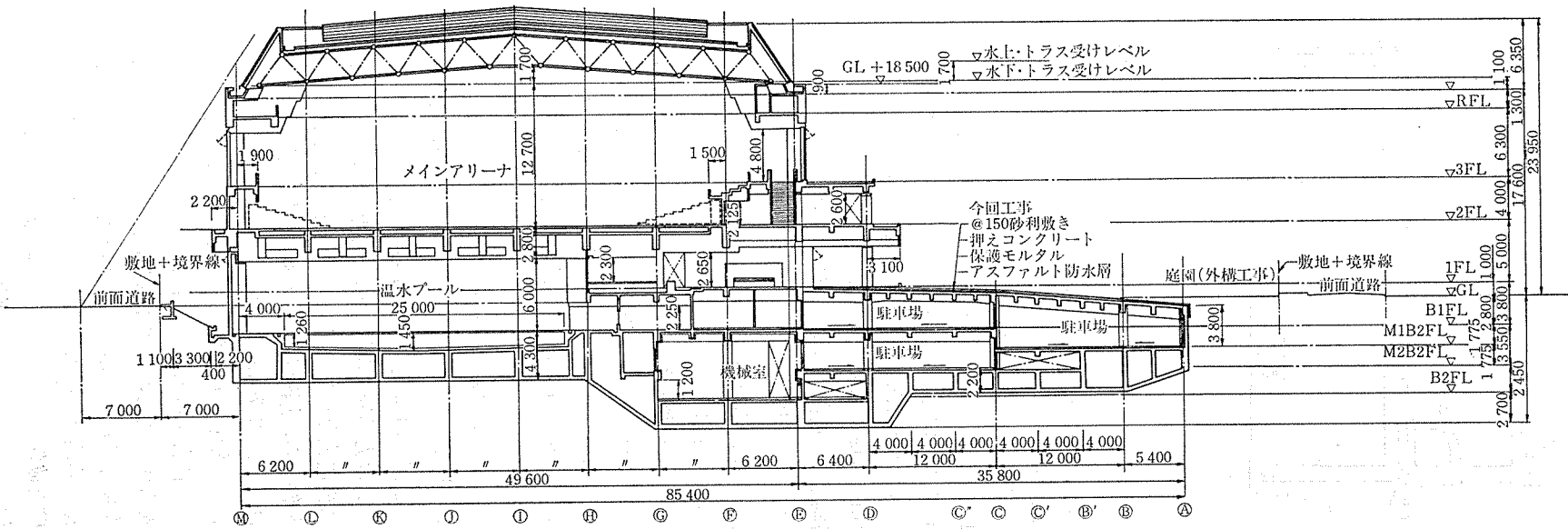


2階平面図

図-1 (b) 2階平面図



断面図 (1)



断面図 (2)

図-2 断面図

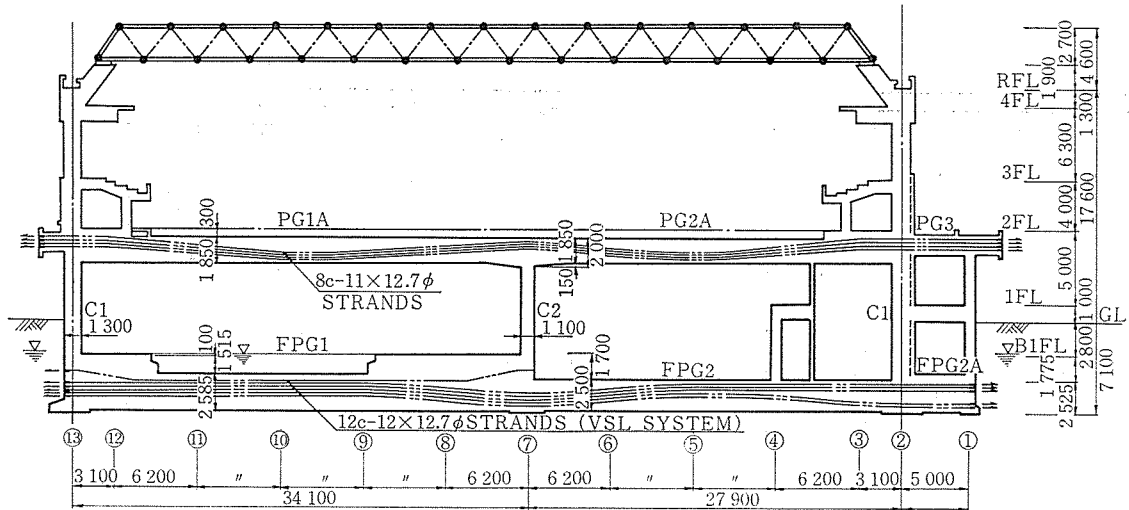


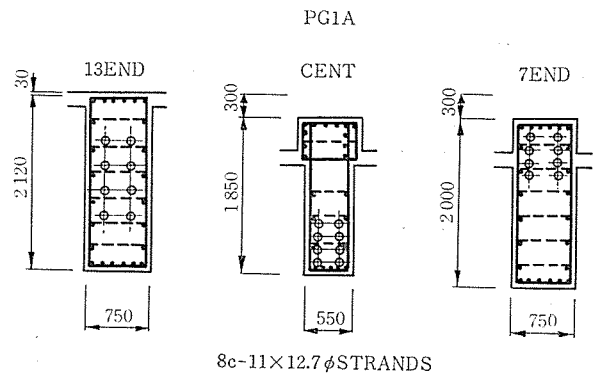
図-3 PC フレーム図

と、地下水位 GL-2.55 m と高いことから、鉄筋コンクリート造の基礎梁では不可能であるため、現場打ちプレストレストコンクリート構造 (PC 構造) を適用している。地下駐車場部 (A~D 通り間) は、機能上 6.2 m × 12.0 m のスパン割りを必要とした。この駐車場の屋上は、約 2.0 m の土盛りを行って庭園とすること、耐圧版に作用する地下水圧荷重の処理のために、12.0 m 方向の基礎梁、B1階、1階の大梁はすべて現場打ち PC 構造に計画した。結果としては、メインアリーナ部分の地下構造と建物全体が一体となるようにバランス良いプレストレス導入計画をとることができた。

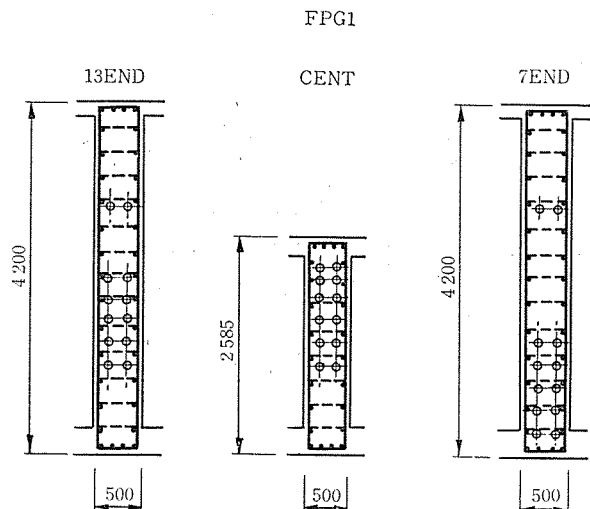
PC フレーム図 (図-3) からわかるように、地上2階はメインアリーナ大空間 (61.9 m + 49.6 m) となっている。桁行方向は 6.2 m × 8 スパンで、X 方向の PC フレームは、34.0 m + 27.9 m の2径間連続 PC 構造で計画している。

メインアリーナ大屋根は 58.0 m × 45.6 m という大空間であり、周辺は 6.2 m 間隔に設けられた鉄骨鉄筋コンクリート構造 (SRC 造) 柱によって支持されている。屋根フレームは力学的に明快に単純支持させ、下から見上げた時に構造美を感じさせ、かつ、軽量化が図れることなどの条件から、鋼管立体トラス構造を採用した。立体トラスは高さが 2.70 m の四角錐ユニットですべて構成されている。鋼管の接合部は鋼球を用いて、鋼管をボルトによって接合する工法を採用した。

大空間を有する建物の耐震性能を確保するため、四隅の階段室を壁厚 30 cm のボックス耐震壁にし、大空間外周部を支える外周フレームには、可能な限り、バランス良く耐震壁を確保するとともに、2階床平面において、周辺の剛体フレーム (ボックス耐震壁フレーム) も含め、建物全体を X, Y 方向とも、格子状にプレストレス導入



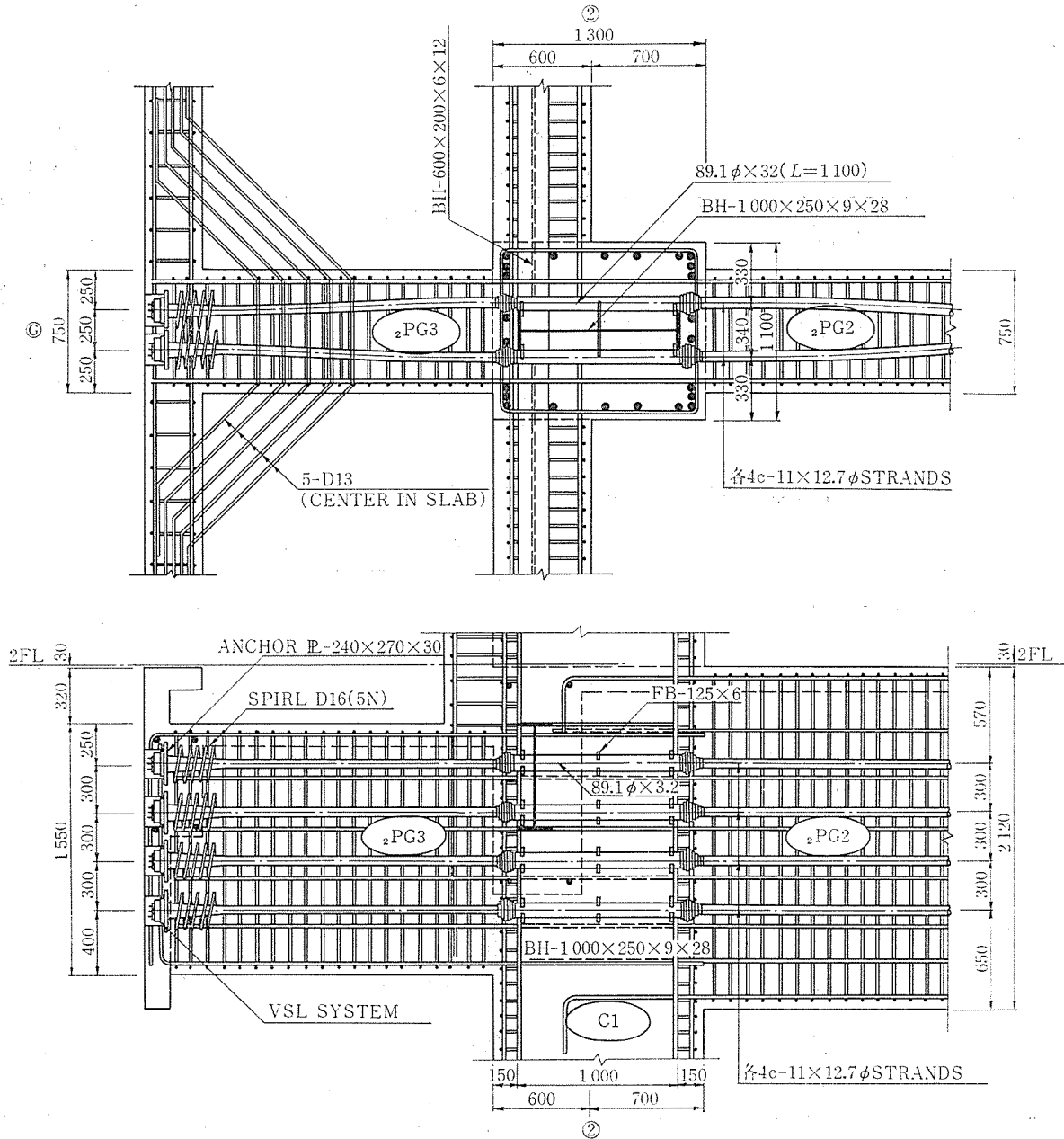
8c-11×12.7φ STRANDS



12c-10×12.7φ STRANDS

図-4 PC 大梁断面図

を行うことによって、水平保有耐力および建物全体の地震時のねじれ抵抗を確保できるようにつとめている。



図—6 2階 PC 大梁端部詳細図

高強度コンクリート ($F_c=350 \text{ kg/cm}^2$) は高流動化剤を使用により、施工中のスランプは、約 18 cm 程度にしてコンクリート打設を行っている。

5.2 コンクリートの配合

コンクリートは高強度コンクリート 350 kg/cm^2 を使用している。粗骨剤は砕石、細骨剤が山砂と海砂を使用

しているため、細骨材の塩分が 0.036% と高い。したがって、単位水量には防錆剤を入れると同時にできるだけ水量を少なくするため、AE 減水剤、高流動化剤により低スランプで計画している。このコンクリート配合を表—1 に示す。

表—1 コンクリートの配合表

設計基準強度 (kg/cm^2)	セメント の種類	水セメント 比 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	砂 率 (%)	単位水量 (kg/m^3)	セメント (kg/m^3)	細骨剤 (kg/m^3)	粗骨材 (kg/m^3)	混和剤 (kg/m^3)	細骨材 の 塩分 (%)
350	普通	42.0	12±2.5	4.0	45.0	181	431	741	910	2.31	0.036

混和剤：AE 減水剤 (ボゾリス No. 8) + 高流動化剤 (マイティ), 流動化後スランプ 20 cm

表—2— プレストレスによる強制水平変位量と柱の不静定モーメント

スパン数	外側柱の強制水平変位量				柱の不静定モーメント (両端固定)				
	全長 l (m)	σ_c (kg/cm ²)	E_{pc} (kg/cm ²)	δ_{II} (cm)	E_c (kg/cm ²)	B (cm)	D (cm)	H (cm)	M_{II} (t·m)
1 ス パ ン	10	50	2.70×10^5	0.093	2.15×10^5	70	70	500	9.6
	15	50	"	0.139	"	70	80	"	21.4
	20	50	"	0.185	"	80	90	"	46.4
	25	50	"	0.231	"	90	120	"	154.5
	30	50	"	0.278	"	100	130	"	262.6
	35	50	"	0.324	"	120	130	"	367.3
2 ス パ ン	40	50	"	0.370	"	80	90	"	92.8
	45	50	"	0.417	"	80	90	"	104.6
	50	50	"	0.463	"	90	120	"	309.6
	55	50	"	0.509	"	90	120	"	340.4
	60	50	"	0.556	"	100	130	"	526.3
	65	50	"	0.602	"	120	130	"	682.5

$$\delta_{II} = \frac{\sigma_c \cdot l}{2 E_{pc}}, M_{II} = 6 EKR = \frac{E_c \cdot B \cdot D^3 \cdot \delta_{II}}{2 I^2}$$

6. 上下階同時緊張方法

6.1 上下階同時緊張方法の利点

通常の大スパン PC 構造による不静定ラーメン構造物の全長は、40m~50m ぐらいまでが限界であった。この理由は、PC 大梁のプレストレス導入によって、弾性収縮による材長短縮が生じるためである。この材長短縮は PC 大梁全長に比例して大きくなるため、柱の不静定曲げモーメントが過大となり、曲げおよびせん断クラックを柱に生じさせることになるからである (表—2 参照)。したがって、PC フレーム全長が 50m を超える不静定ラーメン構造物の柱は、2階 PC 大梁と基礎梁とを同時に、しかも同一材長短縮量に近づければ、柱に働く強制水平変位は 0 となり、プレストレスによる柱に働く不静定応力は、大梁断面の PC ケーブル偏心によって生ずる拘束モーメントのみにすることができる。本建物における材長短縮量を計算してみると、

2階 PC 大梁の材長短縮量 (δ_2)

$$\delta_2 = \frac{\sigma_c \cdot l}{E_{pc}} = \frac{59.1 \times 67.0 \times 10^2}{2.70 \times 10^5} = 1.47 \text{ cm}$$

B1 階基礎梁の材長短縮量 (δ_{B1})

$$\delta_{B1} = \frac{\sigma_c \cdot l}{E_{pc}} = \frac{37.7 \times 67 \times 10^2}{2.55 \times 10^5} = 0.99 \text{ cm}$$

よって、プレストレスによる材長短縮から外側柱の強制水平変位量は

$$\delta = \frac{1}{2}(\delta_2 - \delta_{B1}) = \frac{1}{2}(1.47 - 0.99) = 0.24 \text{ cm}$$

表—3— コンクリートの設計条件

	2階大梁 (kg/cm ²)	基礎梁 (kg/cm ²)
導入時コンクリート圧縮強度 (F_c)	300	270
コンクリートのヤング係数 (E_{pc})	2.7×10^5	2.55×10^5
導入時平均軸圧縮応力度 (σ_c)	59.1	37.7

となる。この変位量は表—2 から約 25m スパンの PC 構造物と同等になり、柱の不静定モーメントは解決できる範囲内であることがわかる。

特にアリーナ部の四隅部階段室は剛性の高いボックスコアであり、B1 階に耐震壁、地下壁、間仕切壁等が多く、従来行われてきたプレストレス導入後、コンクリート壁を後打ち施工で行うことは難しく一体で同時施工をとらねばならなかった。しかしながら、プレストレス導入によって生ずる弾性収縮の影響を受け、コンクリート壁体に生ずるクラック、および PC フレーム内端に有効なプレストレス力の付加が難しい等の問題があった。この解決策としては、前に計算によって明らかなように、できるだけ上下階の弾性収縮量 (材長短縮量) の差を小さくすることが必要で、この方法として基礎梁と 2階大梁のプレストレス導入時期を同一とする同時緊張方法をとることが最も良い解決策であると判断した。材長短縮量の値は、より正確に評価するため、基礎梁においては、柱軸力によって生ずる底面の摩擦力のロス ($\mu=0.3$ と仮定) を考慮して、有効プレストレスを算定し設計を行っている。

6.2 上下階同時緊張の実測結果

B1 階基礎地中梁、2階大梁に同時にプレストレス導入を行った場合の外側 SRC 柱 (2, 13 通り柱) の相対水平移動量の実測結果によると、2通り柱 -1.7 mm 、13通り柱 -2.7 mm の値が得られた。これから 2~13 通り間の上下階の短縮量の差は 4.4 mm 程度であることがわかった。前項において計算で示したようにこれに相等する短縮量値は $1.47 - 0.99 = 0.48 \text{ cm}$ であり、実測結果とほぼ同一な値が得られたことから、設計段階での計算仮定方針および同時緊張による正当性を確認することができた。

7. PC 大梁のむくり量と振動測定

7.1 PC 大梁のむくり量

2 スパン (34.1 m + 21.9 m) のむくり量を測定することによりプレストレス量, およびケーブル配線仮定が適当であったかどうかを確認するため, プレストレス導入時段階の 2 階 PC 大梁のたわみを計算で求めてみる。

(1) 躯体荷重によるたわみ (δ_d)

躯体荷重時鉛直応力図 (図-5 (c)) より次のモーメント図が得られる。

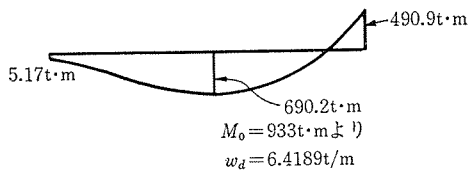


図-7

$$\begin{aligned} \delta_d &= \frac{5 \times 64.189 \times (34.1)^4 \times 10^8}{384 \times 2.95 \times 10^5 \times 3.91537 \times 10^7} \\ &\quad - \frac{490.9 \times 10^5 \times (34.1)^2 \times 10^4}{16 \times 2.95 \times 10^5 \times 3.9137 \times 10^7} \\ &= 9.784 - 3.090 \\ &= 6.694 \text{ cm} \downarrow \end{aligned}$$

(2) プレストレス力による撓み (δ_p)

ケーブル配線図から近似したケーブル偏心モーメント分布図を求める。

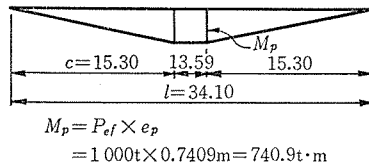


図-8

$$\begin{aligned} \delta_p &= \frac{M_p \cdot l^2}{8 \left[1 - \frac{4}{3} \left(\frac{c}{l} \right)^2 \right] \cdot EI} \\ &= \frac{740.9 \times 10^5 \times (34.1)^2 \times 10^4}{10.936 \times 2.95 \times 10^5 \times 3.9137 \times 10^7} \\ &= 6.823 \text{ cm} \uparrow \end{aligned}$$

よって, 中央部のむくり量は躯体荷重によるたわみ (δ_d) とプレストレス力によるたわみ (δ_p) との合成で得られる。

$$\delta = \delta_p - \delta_d = 6.823 - 6.694 = 0.129 \text{ cm}$$

J 通り 2 階 7~13 通り間中央部のむくり量の実測値は 0.59 cm であった。計算結果との誤差 ($d = 0.461 \text{ cm}$) は, 外端柱 (13 通り) の桁行方向耐震壁の剛性の影響と思われる。

7.2 PC 大梁振動性状の測定結果

一般に PC 部材は, RC 部材に比べ梁丈をスパンの

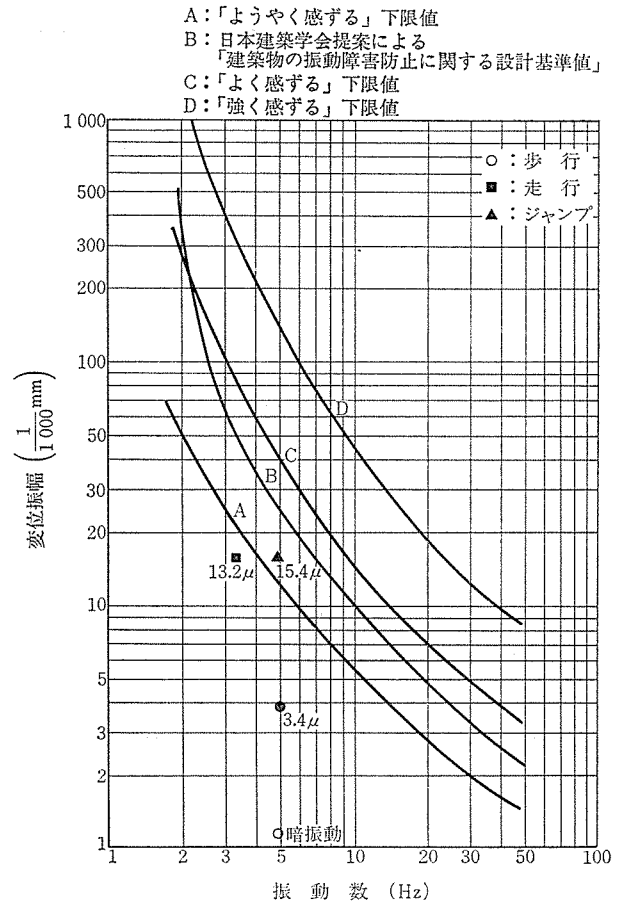


図-9 Meister の振動感覚曲線と日本建築学会の防振設計標準曲線 (変位振幅)

$l/25$ ぐらいに小さくできるので, 剛性が小さくなる。また, PC 部材自体が弾性的になり振動減衰性が小さいので, 鉄骨造と同様に梁丈の仮定を誤ると振動障害が生じやすい。しかし一般に現場打ち一体式 PC 造は, これまでのポーリング場, 体育館等の例から梁丈はスパンの $l/18 \sim l/20$ の範囲で設計され, 振動障害の実例は全く無い。しかしながら, 本建物のような長大スパン (34.1 m + 27.9 m) で, 大型総合体育館の実験例はあまり発表されていないゆえ, 振動性状の測定を試みた。工事が停止した静かな状態の常時微動, 砂袋の落下による自由振動試験, 人間の歩行, 走行, ジャンプによる測定の結果から Meister の振動感覚曲線にプロットした値を図-9 に示す。

これによると, 歩行時, 走行時は「ようやく感ずる」下限値を下回っており, ジャンプ時はこれをやや上回っている程度で, いずれの場合も, 日本建築学会提案による「建築物の振動障害防止に関する設計基準値を十分下回っている。また, 常時微動の測定結果から, 当体育館の振動環境は非常に静かで, 良好であることを確認している。

8. あとがき

最近、高スランプコンクリートによるクラック問題に加えて塩害やアルカリ反応問題まで話題になってきており、コンクリートの耐久性について一段と社会問題となってきた中で、単純なラーメン構造でなく、ボックス階段室、地下壁、複雑なコンクリート隔壁をたくさん

含んでいるこの大規模な体育館にひび割れ発生が殆んど確認できなかったことは、低スランプコンクリート使用によるプレストレストコンクリート構造を、基礎梁から2階大梁まで全面的に採用したことに加えて、適切なる構造計画および施工計画の結果によるものと確認できたことをうれしく思うと同時に、関係者一同の技術の結集によるものと感謝する次第です。

◀刊行物案内▶

プレストレストコンクリート建造物の設計・施工と最近の話題

本書は、全国七都市で開催された第13回PC技術講習会のテキストとして編纂されたもので、1984年8月カルガリーで行われたFIPシンポジウムのCommission WG報告をはじめ、近代技術にふさわしい施工法、工期の短縮および経済性を考慮した最近の実施例、30数年を経過したPC建造物の損傷事例をふまえての設計法、最近我が国でも急速に利用範囲の広まった海洋建造物へのPCの応用例等々、多岐にわたる内容を取り上げてのものです。PC関係の技術者には欠くことのできない貴重な資料と考えられます。

ご希望の方は、代金を添えて(社)PC技術協会宛お申し込みください。

体 裁：A4判 160頁

定 価：3,500円 送 料：450円

内 容：(A) 緊張材引張力と伸びとの関係——FIP Commission on Practical Construction WG報告から——引張力～伸び関係についての基本、設計上の観点、FIP Commissionの方法による μ 、 k 推定法、例題。(B) PC板埋設型枠の利用による構造の実例、PC板埋設型枠合成床版に関する実験的研究、同設計例、設計施工上の問題点と適用の実例。(C) 海洋建造物へのPCの応用、海洋PC建造物の現状、本四連絡橋工事用PCバージ、横浜港横断橋のPCバージ。(D) プレストレストコンクリート橋の施工について、まえがき、型枠支保工、コンクリート工、鉄筋工、プレストレッシング工、PCグラウト工、架設工。(E) 維持管理面よりみたプレストレストコンクリート建造物の細部設計、まえがき、損傷事例の調査、改善法の提案、あとがき。(F) 新幹線大宮—上野間のプレストレストコンクリート橋とその技術、まえがき、T形桁の標準設計、主なPC橋りょう、技術上の問題点。