

プレキャスト組立建築における埋込み柱脚の試験と実例

長木 敏明*1・岡本 周治*2・木村 義男*3

はじめに

近年、コンクリート構造物の建設現場では、深刻化する労務事情と建設工期の安定化のため、部分的なプレキャスト部材化、もしくは、建物全体をプレキャスト化する例が多くなっている。

プレキャスト建築物における構造部材本体は、工場製作であり、品質および精度は、十分に信頼できるものであるが、各々を接合することと、接合目地に多少の不満があり、その採用をためらうこともある。しかし、プレストレストコンクリート構造（以下 PC 構造）では長期および地震時の応力に対し、十分な部材耐力の確保と併せ、部材相互の接合手段として、PC 構造が得意とする圧着工法が古くから存在している。

したがって、プレストレストプレキャスト建築物では、部材の耐力確保とは別に目地部の耐力確保の目的から圧着工法によって、別々に製作された部材を接続し、フレームを構成させている。

しかし、目地部は、耐力的に満足されても、部材耐力と比較すると、PC 鋼材による耐力だけの目地部と部材端部の鉄筋等が付加される部材の耐力が大きくなり、目地位置の決定には十分な配慮が必要であろう。

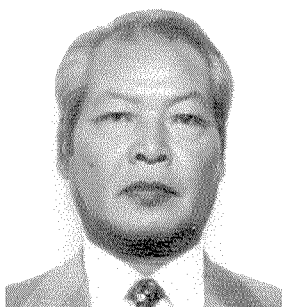
プレキャスト建築物の計画では形状や敷地の条件を考慮して、可能な限り接合部の少ない建物を造る目的から

柱を1本化することが要求されている。柱の目地を少なくするため長尺化は止む得ないものの、近年は揚重機能力向上により、架設作業には不都合はない。ただし、運搬時には長さおよび重量等の制限があるため、現在では、3~4層の20m程度までの建物に限られ採用されている。

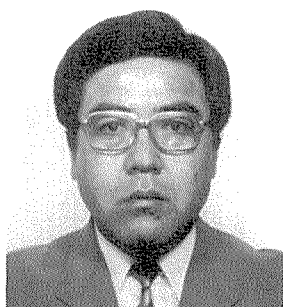
このような1本柱では、柱の自立をも含め、地中梁との接合方法として柱を外側から包み込む形状の埋込み柱脚が使用されている。

1. 柱脚の埋込み試験

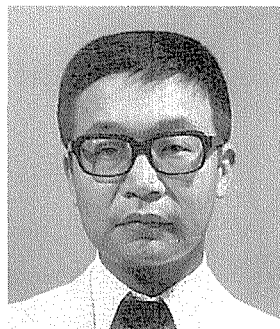
この「埋込み柱脚（掘建て柱脚）」については、古くから採用されているにもかかわらず、日本建築学会「プレキャスト鉄筋コンクリート造の設計と施工」の中に柱の埋込み長さを柱径の1.5倍とすれば、剛接合になるとの記述は示されているが、その設計方法等は定かではなく、日本建築学会「鋼管構造設計施工指針」の「埋込み柱脚」を参考にしている。しかし、柱本体を鉄筋コンクリート構造にできること、そして柱脚部の施工性の良さ等利点が多く捨て難い接合方法である。その柱脚設計方法の確立のため、(社)日本建築振興協会に依頼し、「プレキャスト柱、埋込柱脚部の性能に関する委員会」を設置し、埋込み長さの確認と効果的で安全な補強筋の配置方法等を確立する目的から試験を行った。その詳細



*1 Toshiaki NAGAKI
オリエンタル建設(株)
建築支店営業部長



*2 Shuuji OKAMOTO
オリエンタル建設(株)
建築支店プレハブ部工務
チーム担当



*3 Yoshio KIMURA :
オリエンタル建設(株)
建築支店工務部技術チー
ム担当

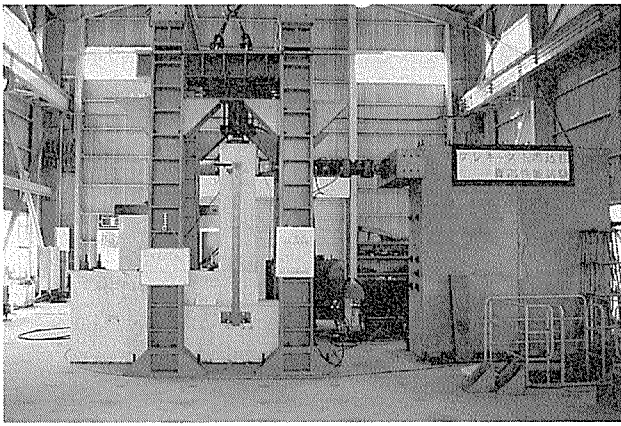


写真-1

については、JCI および学会等にて別途発表する予定になっている。今回はその試験方法の概要を述べる。

試験は、図-1 に示す中柱と側柱の2タイプの試験体とし、中柱は、主に埋込み長さの確認を目的に長さの違う3種類と比較用の一体打ちについて行った。側柱は中柱の結果を考慮して、埋込み長さとしりあきが違う6種類と一体打ちについて、柱に一定軸力を載荷しながら、段階的に $R=1/50$ まで横力を繰り返し加力した。その結果は、

① 目的としていた埋込み長さについて

$P_t=1\%$ 、 $N/A=60\text{ kg/cm}^2$ の柱曲げ破壊耐力に対して、中柱では、 $1.0\sim 1.5 D$ 、側柱 $1.25\sim 1.5 D$ の埋

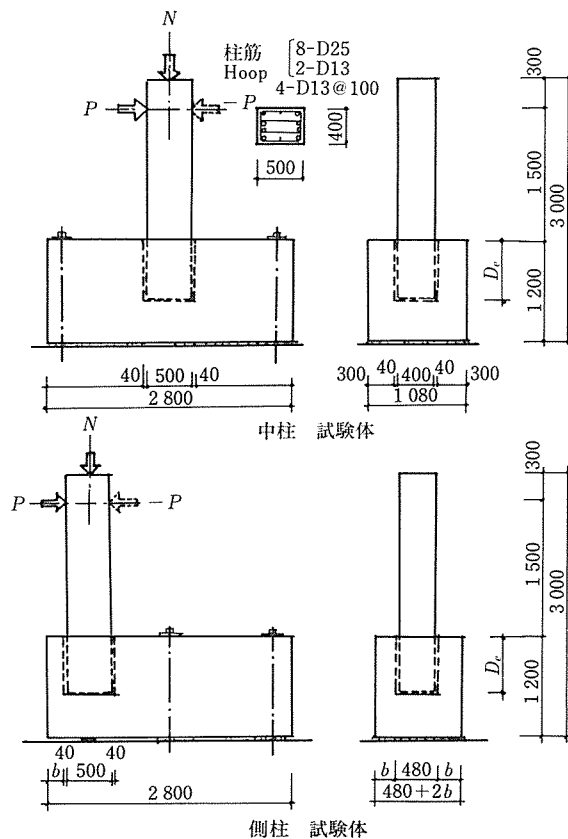


図-1 試験体形状図

込み長さで、一体打ち柱と同様な安定した挙動を示していた。

② 側柱のへりあきと補強筋

側柱では、埋込み長さを十分に取っておけば、へりあき厚さよりも補強鉄筋の量によって、その挙動が大きく左右されることが確認できた。

とりあえずの設計では、埋込み長さの違いはあるものの補強鉄筋の配置と形状および量について「鋼管構造設計施工指針」埋込み柱脚に準じた設計をしておけば、十分に安全であることが確認された。さらに、 $1.5 D$ の埋込み長さ合ったコンクリート柱の算定方法の確立が待たれる。

2. 実施例

このような埋込み柱脚を使用した例として中部電力(株)一の宮営業所(プレストレストコンクリート Vol. 13, No. 2, 1971), コクヨ(株)府中配送センター(同上 Vol. 16, No. 6, 1974) 小松製作所平塚工場(コンクリート工学 Vol. 29, No. 5, 1991)等の発表物件以外にも存在しているが、今回埋込み柱脚を用いて、平面が円形の構造物を全面プレキャスト化したゴルフ場のクラブハウスの製作と架設について紹介する。

2.1 建物概要

当建物は、札幌から東へ道央自動車岩見沢 I・C 経由で約 45 分の北海道空知郡栗沢町に平成 4 年 6 月オープンを予定しているエムズゴルフクラブ(18 ホール, 6 868 y, パー 72)のクラブハウスである。

当ゴルフクラブは、ゴルフ場の中央に位置し、ローマの円形コロシウムをイメージした半円形の建物で、基礎地中梁を除く躯体(柱, 梁, 床, 屋根, 外壁)をすべてプレキャスト化した建物である。

建築面積: $2\ 607\text{ m}^2$

延床面積: $4\ 897\text{ m}^2$

構造形式: プレキャスト・PC 造

基礎形式: 直接基礎

規 模: 地下 1, 地上 1

工 期: 平成 3 年 4 月 1 日～平成 4 年 5 月 31 日

プレキャスト躯体:

平成 3 年 7 月 10 日～平成 3 年 11 月 30 日

施 工: 三井建設, 三井不動産建設 JV

プレキャスト施工:

オリエンタル建設(株)建築支店

2.2 構造概要

本建物は、図-2, 3 に示す半径約 50 m の円を 210° の角度に切り取った半ドーナツ形の平面プランをした地下 1 階地上 1 階の 2 層の建物である。基本的には、半径 23.0 m, 32.4 m, 45.7 m, 50.5 m の半円と円周方向の

210°を28等分した7.5°の交点に配置された柱と各階を支える大梁によって構成された純フレーム構造である。半径方向は、9.4 m+13.3 mの2スパン2層のフレームが主であり、13.3 mの屋根梁は、積雪を考慮した4寸勾配を越える斜め梁となった変形フレームと、陸

屋根の組合せである。円周方向は、曲率の異なる円形フレーム構造となっている。建物が傾斜地に位置するため、地下1階となっているが、建物の一方は土に接しているものの反対側は地上に位置している。このため、片土圧を受けるフレームとなるが、土圧はすべて、擁壁に

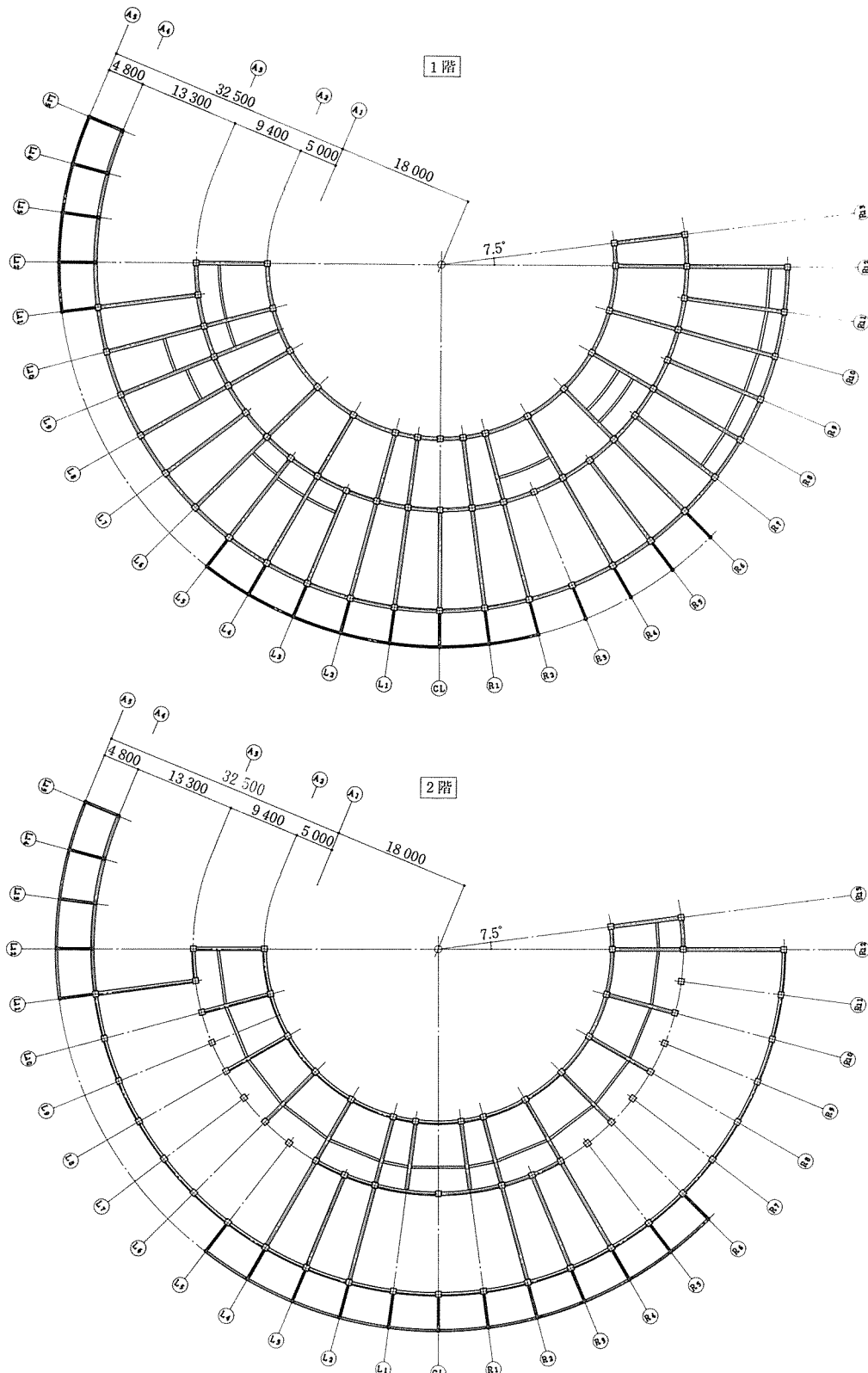


図-2 梁伏図

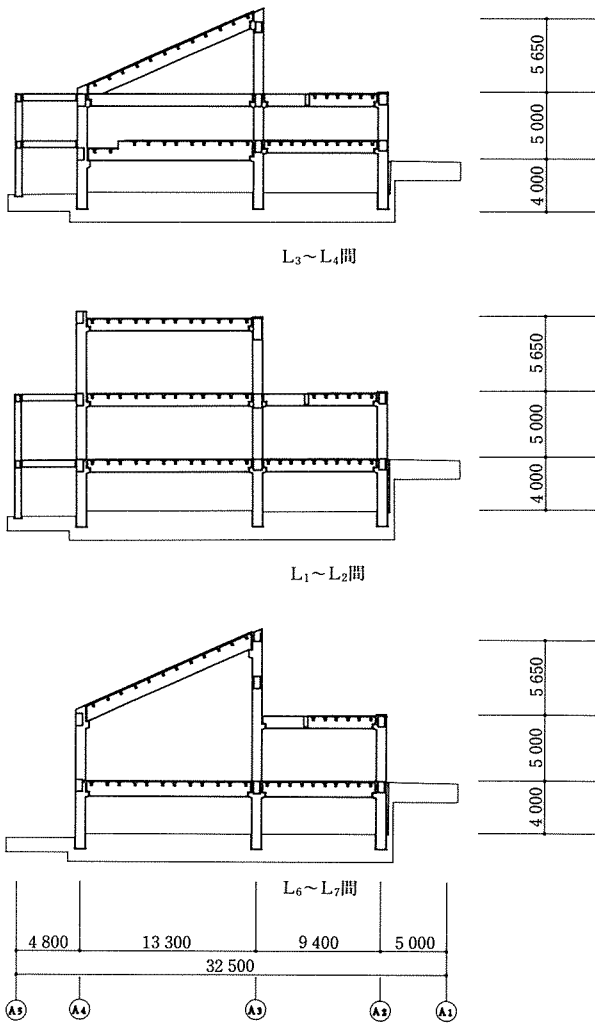


図-3 断面図

よって処理され、構造上は地上2層の建物となっている。

2.3 PC業者から見たプレストレストプレキャストの採用理由

プレストレストプレキャスト工法を採用する場合、その工法の様々な利点を在来工法と比較し、その有利性と社会的背景をも考慮しながら採用されている。今回の建物では、近年数多くなっている倉庫、工場、駐車場等のプレキャスト化への採用理由となっている同一部材の多量生産、工期短縮、高品質の確保、仮設材の省略と省力化と同時に、「高難度高精度の部材」の要求が今回の採用理由の主因である。

(1) 躯体精度の要求

建物の形状と仕上げの状態（コンクリート打放しおよび吹付け）から建物を構成する柱、梁部材の形状からは寸法の精度が必要である。特に、円周方向大梁は円弧状に加え、打放し部分が多く、意匠との関係から部材に細工が必要であり製作の難しさはあるが、全体のピース数も相当数あり、工場製品化されることによって、部材の

精度、性能が十分期待できる。

(2) 工期の短縮と安定性

ゴルフクラブのオープンが決まっていることと、場所柄、コンクリート打設が限定されているため、特に、躯体工事の短縮を必要とした。建物の形状と層数から見て、多数の熟練工を集めることが可能であれば、在来の現場打ち工法でも十分に施工が可能な建物である。しかし現状の労務事情からは、工期的に無理があり、コスト面でも不安が残る要素がある。

(3) 仮設工事の省力化と労務管理の簡素化

1層の面積が大きいことと円形フレームに加え、階高が9mを超える斜め梁を含んだフレーム等、在来工法では多量の仮設材が必要である。また、その搬入出と組立に加え型枠工、鉄筋工等の多量の人々が現場内にて作業をしなければならず、足場の林立した中での労務管理と安全等にかなりの労力を必要とする。反面プレキャスト化することによって、仮設工事の省力化と、作業者の少ない現場運営が可能となり、目に見えないコスト低減に寄与できると思われる。

2.4 部材の形状と製作

総部材数、1 007 ピース (2 245 m³) の製作については、受注から部材製作までの時間が短く、さらに架設までの工期も短い。部材の種類が多く、オリエンタル建設(株)、北海道工場と札幌工場の2工場に分けて、製作しなければならなかった。その内訳は、表-1、2に示す。

表-1 使用材料一覧

種別	仕様	備考
コンクリート	$\sigma_{ck}=500 \text{ kgf/cm}^2$	大梁部材 床版部材
	$\sigma_{ck}=300 \text{ kgf/cm}^2$	柱部材 カーテンウォール 目地、TOPコンクリート
P C 鋼材	9-9.3φ SWPR 7A	本体大梁の圧着 (OBC工法)
	1 T-17.8φ SWPR 19	飾り梁の圧着 (CCL工法)
	17φ SBPR 95/110	飾り柱の圧着
	12.4φ SWPR 7A	半径方向大梁 (プレテン) 床版 (プレテン)

(ただし、部材はすべて 500 kg/cm² として製作)

表-2 部材表

部材	ピース数	V (m ³)	寸法
			D × D × L
柱 (本体)	67	558	780 × 780 × 16 800 ~ 5 200
(飾り柱)	42	40	580φ × 4 500 ~ 3 000
半径方向大梁	118	476	450 × 900 × 12 400 ~ 8 400
円周方向大梁	193	396	450 × 800 × 7 400 ~ 2 000
小梁	29	38	300 × 700 × 7 200 ~ 3 000
CST版	271	261	1 720 × 350 × 7 400 ~ 2 500
屋根版	105	144	2 260 × 350 × 5 400 ~ 3 700
カーテンウォール	182	332	2 930 × 5 380 厚さ: 180
	1 007	2 245	

(1) 柱 部 材

(i) 本体柱 (A₂~A₄ 通間) は鉄筋コンクリート構造の B₁ 階・1 階までの継ぎ目のないブラケット付きの 1 本部材となっている。また、鉄筋コンクリート構造柱のため柱脚は、埋込み工法となっている。円形プランに加え斜め屋根と陸屋根が混ざり合っているため、柱長さおよび仕口部の違いから、38 タイプ、62 本と種類が多く、型枠の有効転用に配慮したが、断面および配筋の統一等の考慮がされていたのが救いであった。

製作では、長さ 17 m、重量 27 t の大型部材に加えコンクリート表面が意匠的に打放しとなる部分が多く、場内での運搬、ストック等に気を払わなければならなかった。コンクリート打設では、部材の種類と数量とを比較し、型枠を各パーツの組合せタイプとせざるを得ず、型枠相互の継ぎ目からのペースト漏れに注意を要した。

(ii) 建物外周の化粧柱は、意匠的に打放し部材で目地位置の制約等があり、柱を 1 本部材とすることが難しく、1 層ずつの柱の間に柱型付き梁をはさみ込む方法が取られた。その相互の接合には、基礎地中梁との接合をも含め、PC 鋼棒による圧着工法を採用している。部材は径 530 mm の丸柱で長さは 4.5 m 程度で

あるため、縦打ちとしている。

(2) 梁 部 材

(i) 半径方向大梁は、スパン 9.3 m と 13.3 m と比較的長く荷重状態も一方向版を受ける方式となっているため、柱との剛接合までの期間、施工時荷重 (CST 版+場所打ちコンクリート+作業荷重) に対し、単純支持状態となり、梁中央下端の応力が大きく、プレストレス導入の必要性からプレテンション部材となっている。また、柱との剛接合のための PC ケーブル用シースを配置した部材でもある。

(ii) 円周方向大梁は、4種類の曲率を持つ矩形とスラブ付きの T 形梁である。スパンおよび荷重の状態から応力は、自重と地震力で決まり、架設までは、鉄筋コンクリート構造としても十分であり、柱との接合用シースを配置した部材となっている。また、打放しになる部分やサッシュおよびカーテンウォールの取合い金物の打込み等、かなりの精度を要求される部材であり、円周方向は、全長が長い連続フレームで、均一なプレストレスが必要である。その導入のためフレームの数箇所緊張が可能とした梁や柱抜けにより半径方向を直接受ける大きな梁等、多種類であった。

(3) 版 部 材

1 階および R 階の陸屋根部分は、合成床版 (CST 版

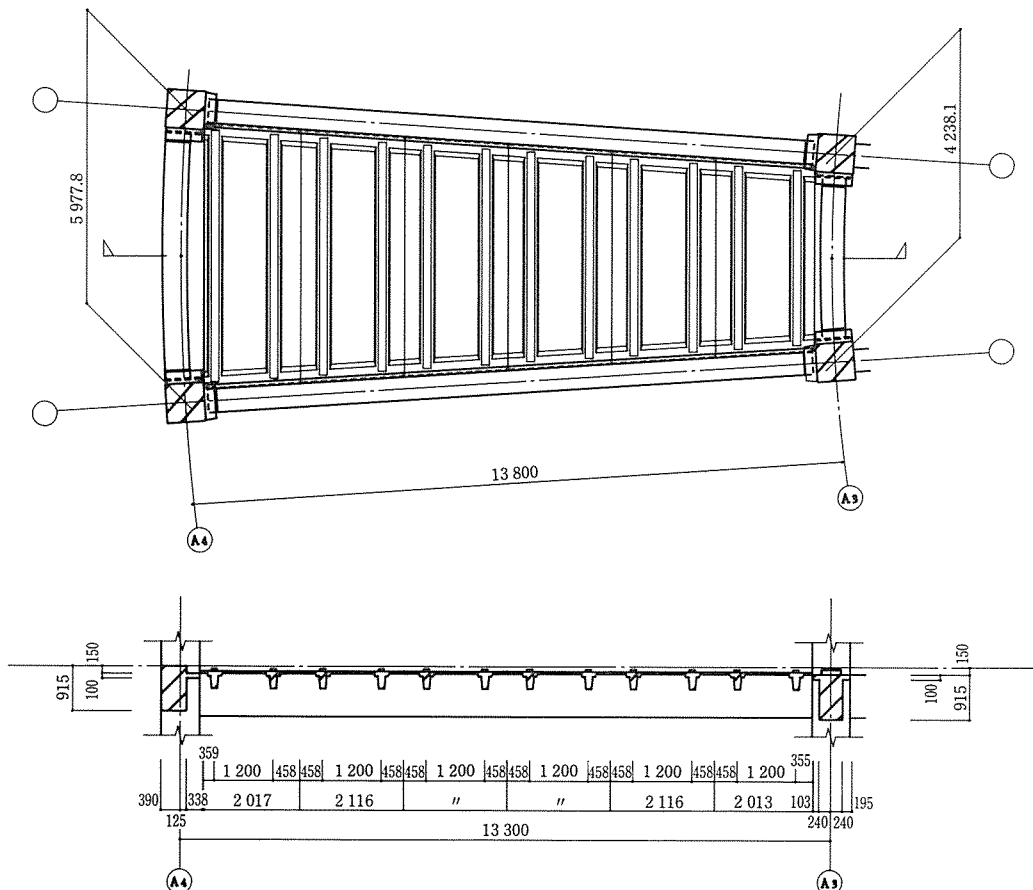


図-4 版割付け図

ダブルタイプ)を使用し、コンクリート打設が困難な斜め屋根部にはDTスラブを敷設している。末広りの梁空間に敷設する版のため(図-4)、版はすべて台形となりリブ方向に長さが増減したプレテンション部材である。斜め屋根部には、場所打ちコンクリートがないため、版相互、版と梁とを緊結するため版の周辺に取合い金物を打ち込んだ部材である。

(4) カーテンウォール

建物の外周部は、A₃通りのガラス面を除き、すべてコンクリートのカーテンウォールを使用している。A₂、A₃通りは、半円形であるが、トップライトおよびサッシの納まりから、各スパンを2つ割りにした直線部材の連続である。仕上げ面は、ゴム型枠を使用し、架設後に吹付けを行っている。特にA₃通りは、柱をはさんで両面カーテンウォールとなり、最端部分のL₁₂、R₁₃通りのカーテンウォール相互の張出しの納まりには一考を要した。

2.5 架設工事

建方方法は、地形と建物配置から主体構造部を4工区に別け、奥のR₁₃通りから中央に向かって行った。柱が2層分を1本部材にしている関係から、①柱の建方、

表-3 製作、架設工程表

部材	月	4	5	6	7	8	9	10	11	12
柱(本体)										
半径方向大梁										
円周方向大梁										
小梁										
床・屋根版										
カーテンウォール										
飾りフレーム										
目地処理、緊張										

製作
 架設

②円周方向梁架設および2次ケーブルの通線、目地処理、③半径方向梁の架設および2ケーブルの通線、④スラブ版の敷設、⑤場所打ちコンクリート打設、⑥半径方向2次ケーブル(柱梁剛接用)の緊張、⑦カーテンウォールの取付けの順で行った。

① 柱 建 方

柱は、A₂、A₃、A₅通りとそれぞれの長さが異なり、特にA₃通り柱は、17.0m、重さ27.0tと大きいため100tクロラクレーンと60tの補助用トラッククレーンで相吊りし、先施工の地中梁に設けられたホゾ穴(940角、H=1200)へ落ち込み、柱4面に埋め込まれた8本のボルトで建入れの調整を行い、建方を終了した(図-

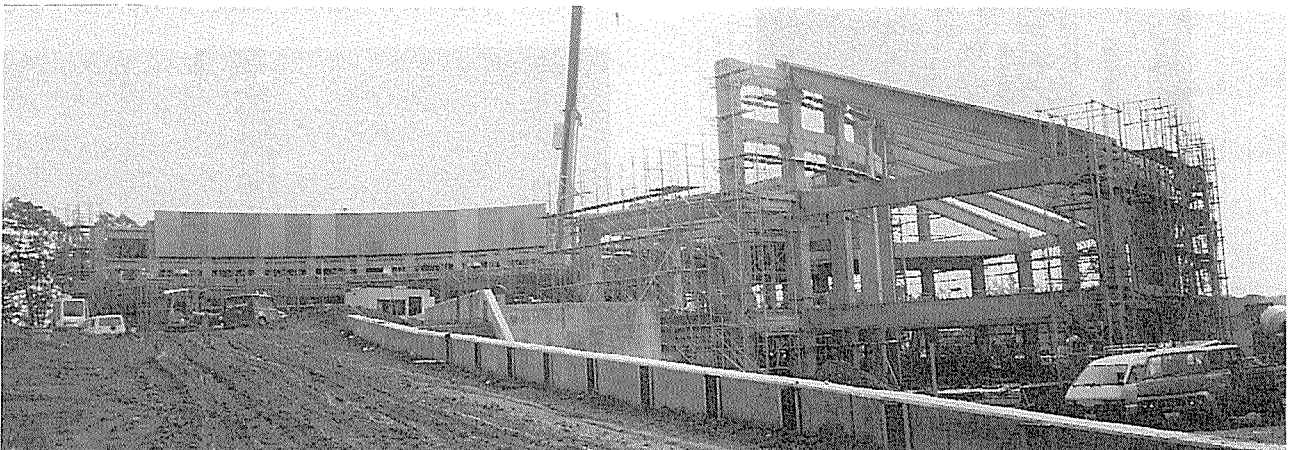


写真-2 正面サイドから

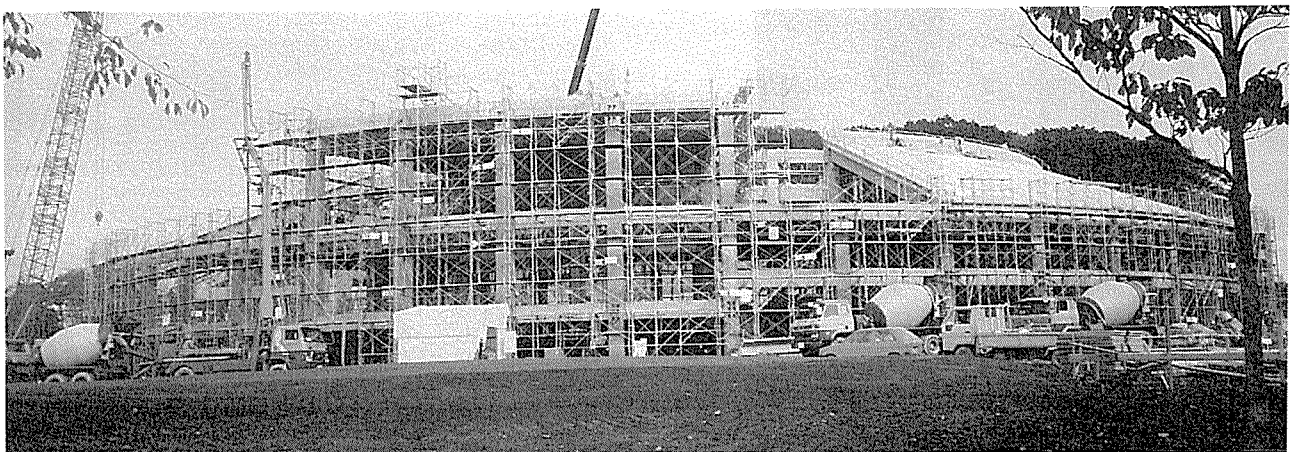


写真-3

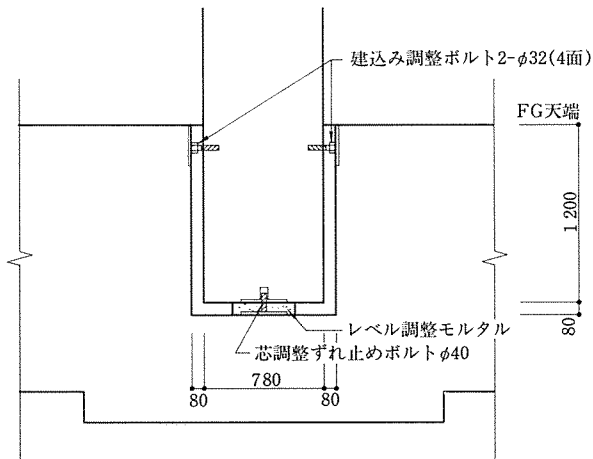


図-5 埋込み柱脚納まり図

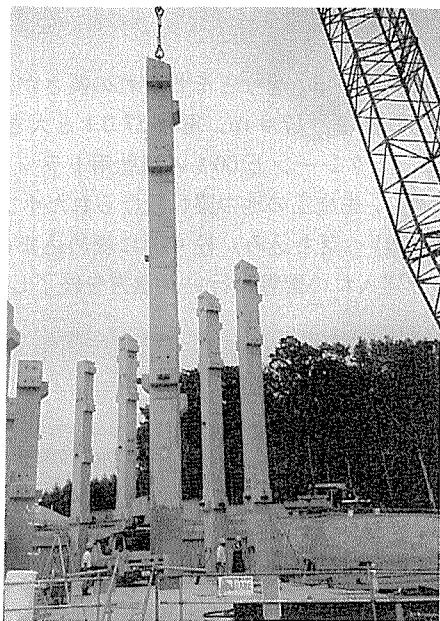


写真-4 柱建方



写真-5 柱脚部 (埋込み形式)

5)。1日6本程度を建方し、その日のうちに目地部に早強性のある高強度、無収縮コンクリートを充填する手順とした。また、他部材架設の基本であり、建物精度を決める柱部材の建方には十分な精度が要求された。今建物で採用されている埋込み柱脚では先施工（元請工事）の基礎地中梁とプレキャスト柱との接合部の間に平面的調整が可能である目地の存在が、要求条件を満たすうえで施工上有効であった。

② 円周方向梁

鉄筋コンクリート造の梁を現場搬入後仮置場で作業足場を取り付け、柱に一体成形されたブラケット上に架設した。柱と梁とに貫通されているシース相互を結合の後、1工区ごとにPCケーブルを通線、目地コンクリートの打設を行った。強度 ($F_p=270 \text{ kg/cm}^2$) の発生を確認後、工区ごとにプレストレスを導入し、フレームを完成させた。

③ 半径方向梁と床、屋根

柱、および円周方向梁の建方後であるため、揚重機の動きが制限された。A₃～A₅間に重機を設置し、A₂～A₃間9.3m、A₃～A₅間13.3mの大梁をR₁₃通りから順次、柱付きブラケット上に架設した。合成床版(CST版)と屋根版も梁越えの架設となるため並行して



写真-6 円周方向梁架設

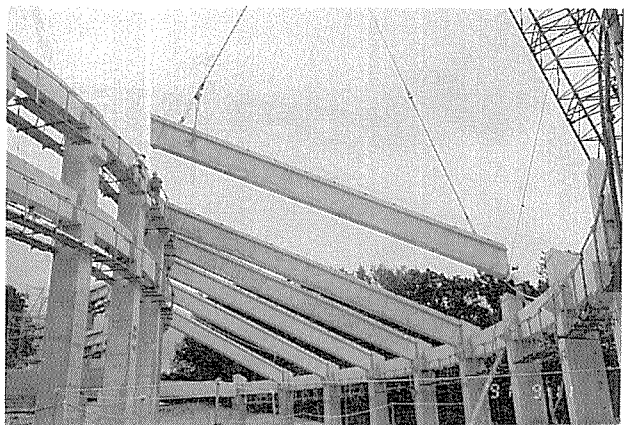


写真-7 半径方向梁架設



写真-8 屋根版架設

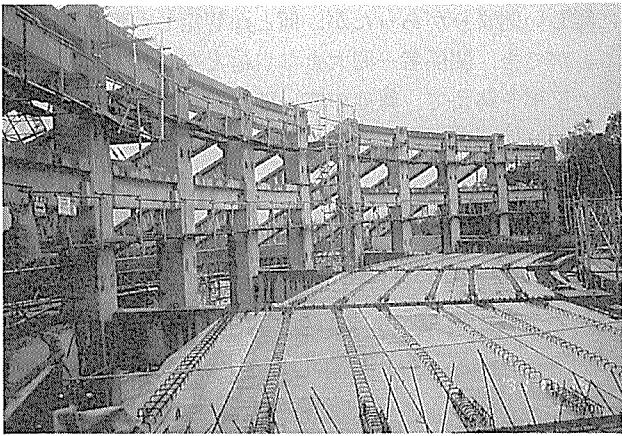


写真-9 CST 版敷設

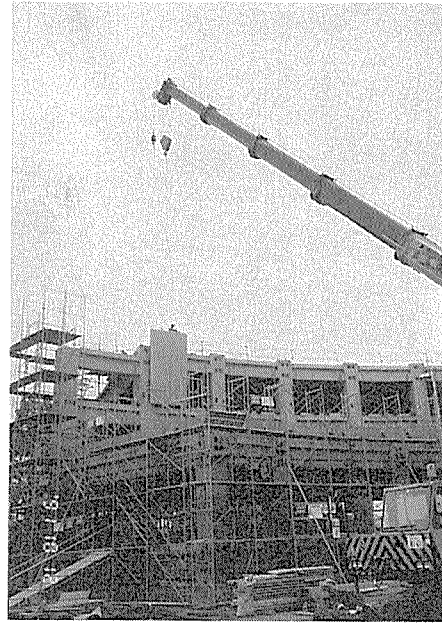


写真-10 カーテンウォール架設

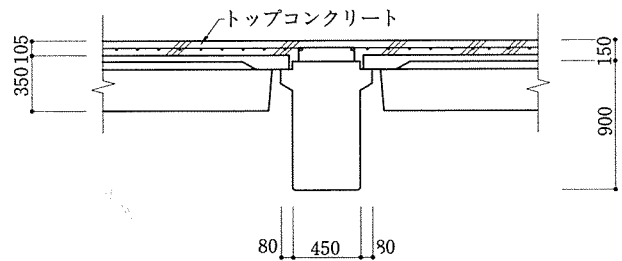


図-6 版・大梁取合い図

敷設を行った。また、逐次、梁端部の処理（円周方向梁と同様）、屋根版の版相互と版と大梁との溶接による接合も行っていった。

④ トップコンクリート打設および場所打ち半径方向 PC ケーブルの緊張

1 階と陸屋根に用いた合成床版と半径方向大梁の各々上部に厚さ 10.5 cm と 15 cm の場所打ちコンクリートを打設した（図-6）。また、同時に柱、大梁の目地部幅 7 cm にも目地コンクリートを打設し、強度の発生を持

ち、9-9.3φ PC ストランドケーブルによってプレストレスを導入し、半径方向のフレームを完成させた。

⑤ カーテンウォールの取付け

部材および躯体に埋め込まれた取付け金物にカーテンウォールを取り付ける手順で A₃ 通りの柱を挟んでの両面、陸屋根と斜め屋根部との三角部分および A₄ 通りのフレーム内へと種類と取付け方法もまちまちで、複雑な条件だったが、躯体精度が良好で、スムーズな取付け工



写真-11

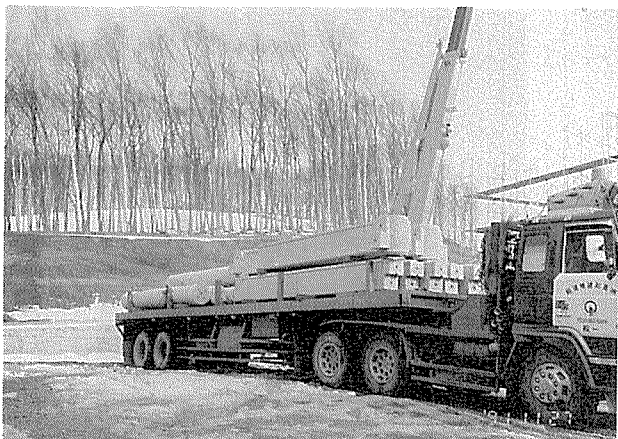


写真-12

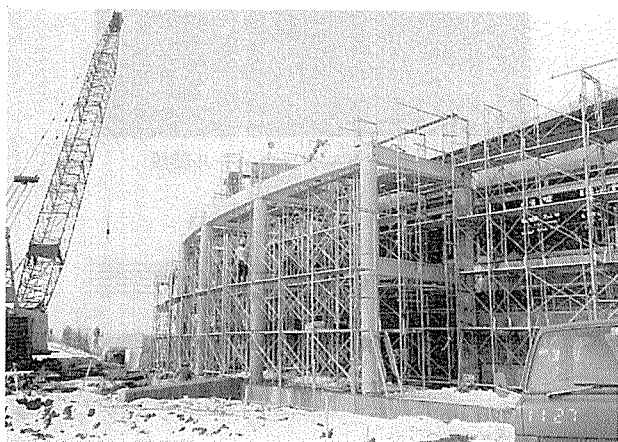


写真-13

事となった。

⑥ 飾りフレームの取付け

躯体およびカーテンウォール等の取合いの関係から最後の仕事となり、雪に見舞われる中、基礎に埋め込まれたPC鋼棒(4-17φ)をカップラーで延長し、1階柱、

柱型付き梁の順に各々の設けられた4本の貫通孔に通し、最上部からプレストレスを導入し一体化をはかっている。部材間の目地部には、早強高強度モルタルを使用し、建入れを確認した後、各々を仮締めしながら上の部材を架設していった。目地モルタルおよびグラウトは、低温時期であるため、十分な注意が必要であった。

おわりに

円形フレームに加え、陸屋根と斜め屋根の組合せと平面的にも部分的に高低差がある等、かなり複雑なフレーム構成となり、各々の部材も種類が多く、精度も要求される建物であった。施工図の検討期間が短いうえ、寸法的には細かい数値と精度が要求される部材に加え、随所に難しい納まりがあったが、何とか想定した型に納めることができ、関係者一同大きな自信となった。また、今回の工事を終えて、難度の高い建築物へのプレキャスト化の可能性を再確認した。本工事の施工および、部材製作において積極的な助言を頂いた三井建設(株)渡辺所長、織田副所長はじめ御協力頂いた関係者各位に心から御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 日本建築学会：プレレストコンクリート設計施工基準・同解説
- 2) 同：鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説
- 3) 同：各種合成構造設計指針・同解説
- 4) 同：鋼管構造設計施工指針・同解説
- 5) 同：プレキャスト鉄筋コンクリート構造の設計と施工
- 6) 日本建築センター：プレレストコンクリート造設計施工指針

【1992年2月7日受付】