

PCa PC部材を用いた構造設計 2題

—県立ぐんま天文台・なら100年会館—

川口 衛*1・高橋 裕二*2・山崎 亨*3・佐藤 卓夫*4

1. はじめに

プレキャストプレストレストコンクリート（以下、PCa PCと示す）部材は、長い距離を架け渡す能力という点において、鉄骨部材と相互に匹敵する部材である。自重が大きいという点では、PC部材は鉄骨に劣るが、耐火、耐久性、メンテナンスフリーの点では、はるかに鉄骨に優る性能を有している。

さらにPCa PC部材は、屋根面、壁面、床面など、建築の外皮機能と本来の構造材としての機能を併せもつように設計することができるという点で、鉄骨にはない特長をもっている。とくに、工場において高度の品質管理下で製造されたPCa PC部材は、精度もよく、遮音、断熱等の外皮機能の信頼性も高い。ここでは、筆者等の設計により、最近竣工した建物の中から、このような性格の作品例2題をとりあげて、その概要を述べることにする。

2. 高精度の外皮曲面パネルの実現 —ぐんま天文台の例—

•ぐんま天文台概要

名称：県立ぐんま天文台
 所在地：群馬県吾妻郡高山村大字中山字追廻シ6860-86
 建築主：群馬県教育委員会 教育長 関根正喜
 用途：天文台
 設計監理：構 造 川口衛構造設計事務所 担当/阿藤有士、高橋裕二
 建 築 磯崎新アトリエ
 施 工：建 築 池原・津久井JV
 PCa PC部 フドウ建研(株)
 規 模：敷地面積 69 625 m²
 建築面積 1 743.38 m²
 延床面積 3 346.15 m²

階 数 本館棟 地上3階
 11mドーム棟 地下1階、地上3階
 7mドーム棟 地下1階、地上3階
 観望棟 地下1階、地上1階

工 期：1997年9月～1999年2月

構 造：基 礎 杭基礎

主体構造 鉄筋コンクリート (RC) 造
 一部構造 PCa PC造

2.1 建築概要

群馬県の子持山山頂に建つ県立の天文台である。大小2つの観測棟を有し、その管理施設部分（本館棟）は、展示室・映像観察室・研究室・事務室等からなり、一般の人の利用も可能な施設である。その構造形態は、下部構造がRC造で、その上部の壁・屋根部にPCa PC部材を用いている。

2.2 PCa PC部材の選択

屋根部はスパンL=13mであるため、鉄骨造またはプレストレストコンクリート (PC) 造が適当な規模である(図-1, 2)。また、壁面は平面・立面ともに曲率をもっており、屋根面も平面形は扇形状をしている。一方、建物の平面形状を考慮すると、平面上の円中心を通る線で等角度に分割することにより、同形状の部材が形成できる。よって、工

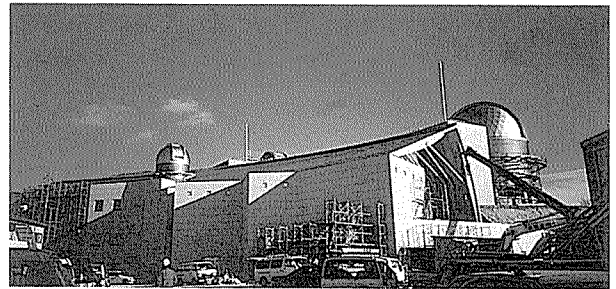
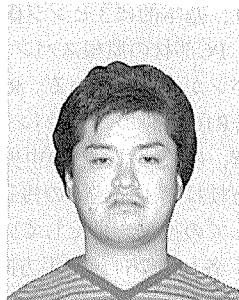


写真-1 ぐんま天文台全景



*1 Mamoru KAWAGUCHI

(株)川口衛構造設計事務所
 法政大学 工学部 教授



*2 Yuji TAKAHASHI

(株)川口衛構造設計事務所



*3 Toru YAMAZAKI

山崎亨構造設計事務所



*4 Takuo SATO

フドウ建研(株)

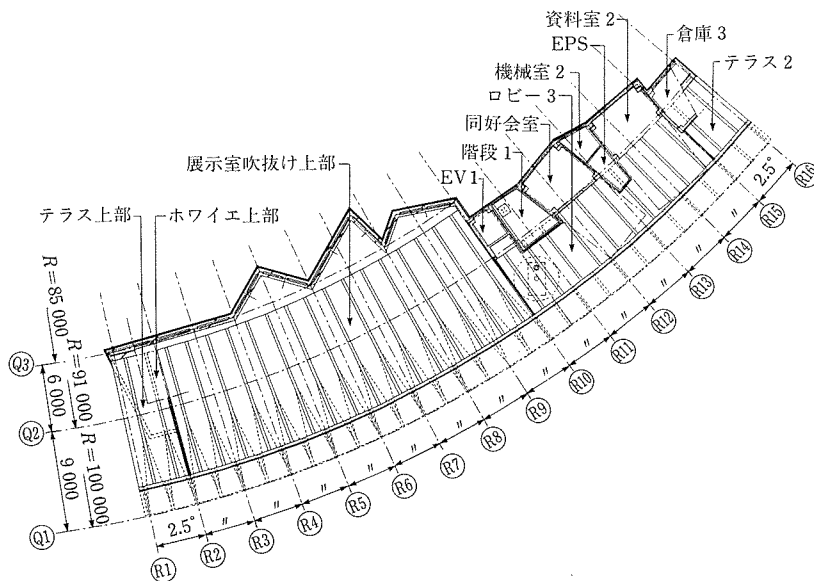


図-1 平面図

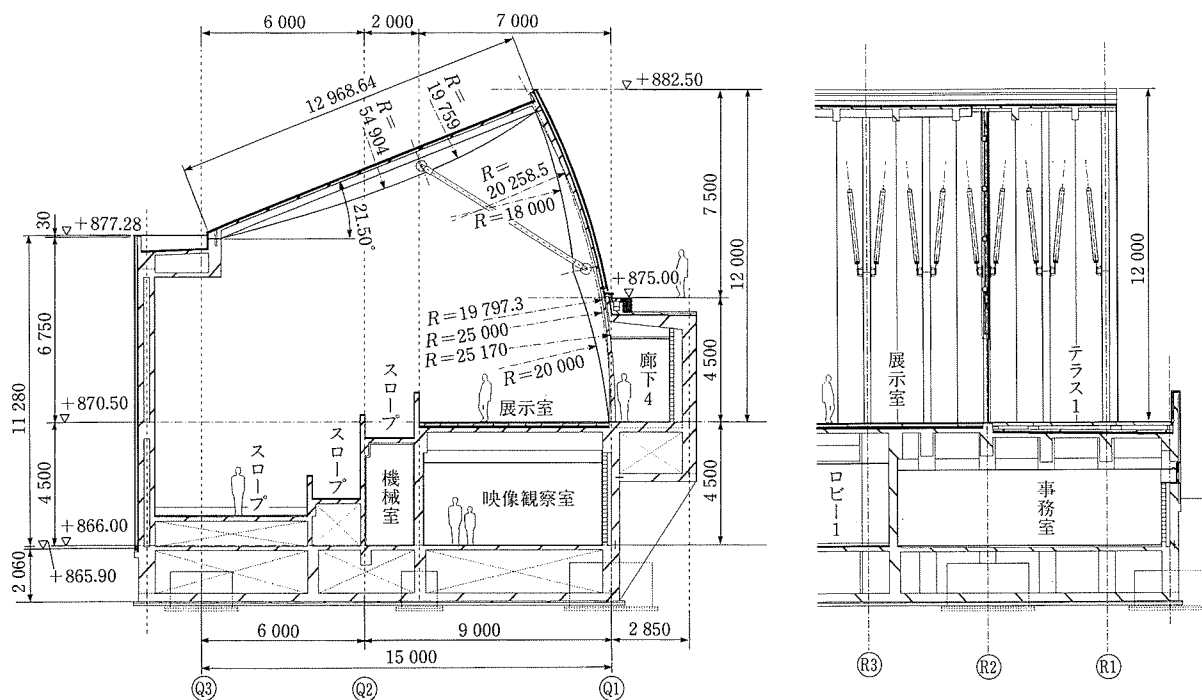


図-2 断面図, 立面図

場において製作した品質の高い部材を建設場所へ運搬し、組み立てるプレファブ리케이션が望ましいという判断から、屋根および上部の壁には、PCa PC部材を採用することとした。

2.3 構造概要

本館棟の構造形式は、主架構がRC造で、一部PC造である。RC造の上に、PC部材の壁および屋根が覆い被さり、大きな内部空間を作り出している。

図-1に示すように、建物の規模は平面的に、およそ15m×60mで、長手方向に曲率がついている。3階建てで、外周部分には壁が配置されており、開口の少ない構造となっている。

RC部分の下部構造の、その2階レベルと屋根レベルを結

ぶように、PCの壁・屋根が取り付けられる。RC躯体とPC部材、PC部材どうしの各仕口部分は、ピン接合となっており、基本的に3ヒンジ構造となっている(図-2)。

PC部材の屋根スパンは、建物中央部のR10通りを境にスパンが異なっている。R1-R10間は、スパンL≒13m、R10-R16通り間は、スパンL≒7mであり、長スパンの方では、壁、屋根それぞれの中央部分を方杖(鋼管)で繋いでいる。方杖は、主に建物の短辺方向の水平力に対する抵抗要素としての役割を果たしている(写真-2)。

各パネルは、水平方向に緊結し、全体が一枚の板として働くように、一体化している。

また、壁部材リブの中間に、屋根部材リブが位置し、それぞれの部材の芯が半グリッドずれた架構となっている。

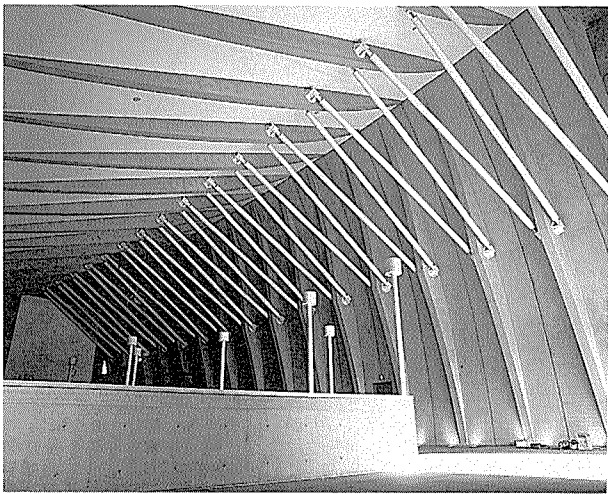


写真-2 内観, PC部材と方杖

2.4 各部材形状

各パネル部材は、およそ2m幅である。

リップの形状は、意匠上の要求、構造上の合理性、製作時の脱型性能を考慮した形状とした(図-3, 4)。また、壁部材・屋根部材ともに長期荷重の曲げにより、引張力の作用する側にPC鋼材を配置した。

壁部材は3つの円弧を、屋根部材は直線と円弧とを組み合わせた形状であり、壁部材・屋根部材ともに断面を応力(長期、短期とも)に伴い変化させている(図-5)。

また、脱型性能の向上からフランジ側のリップ幅を大きくしている。

各パネルの端部は、接合部を単純化できるように、ピン接合としている。また、力の伝達・仕口の納まりの両面から、屋根パネルにおいては、その両端部分には、リップと直角方向に梁型を作り、壁パネルにおいては、そのフランジ部分を、両端部(25cm)から、中央部(8cm)に向かうに従い、薄くなる形状とした。

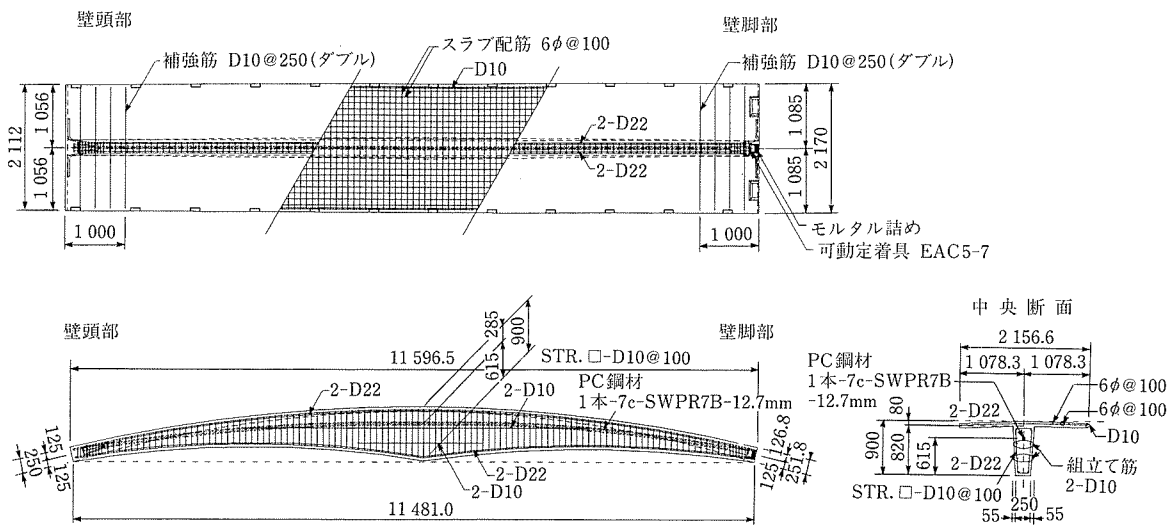


図-3 壁部材の形状・配筋図

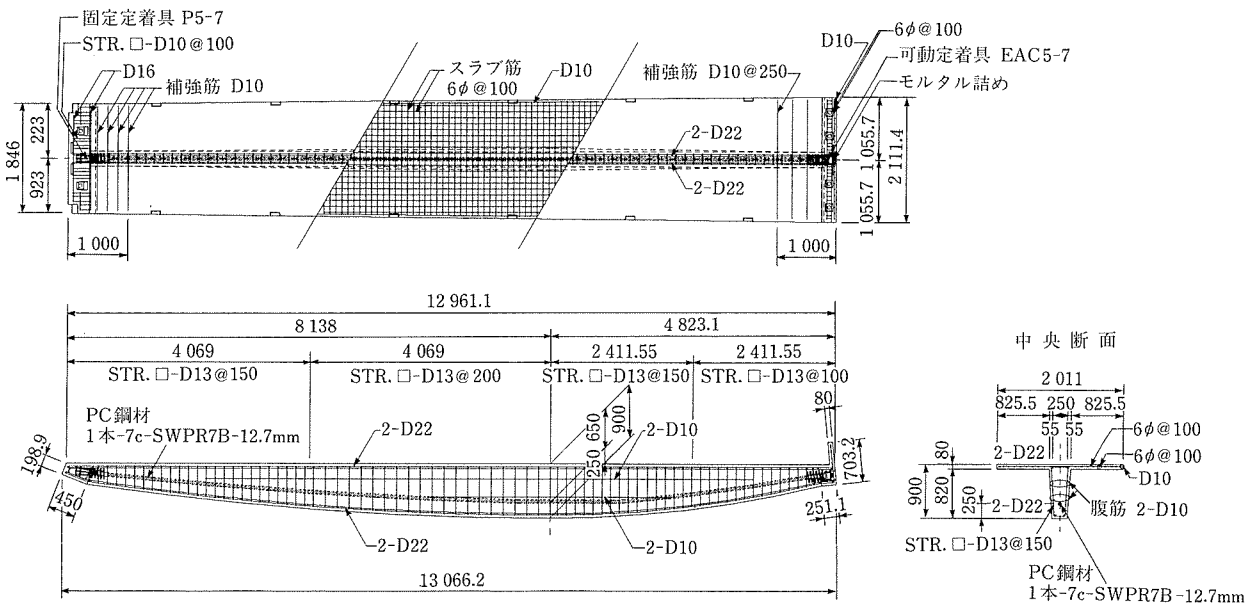


図-4 屋根部材の形状・配筋図

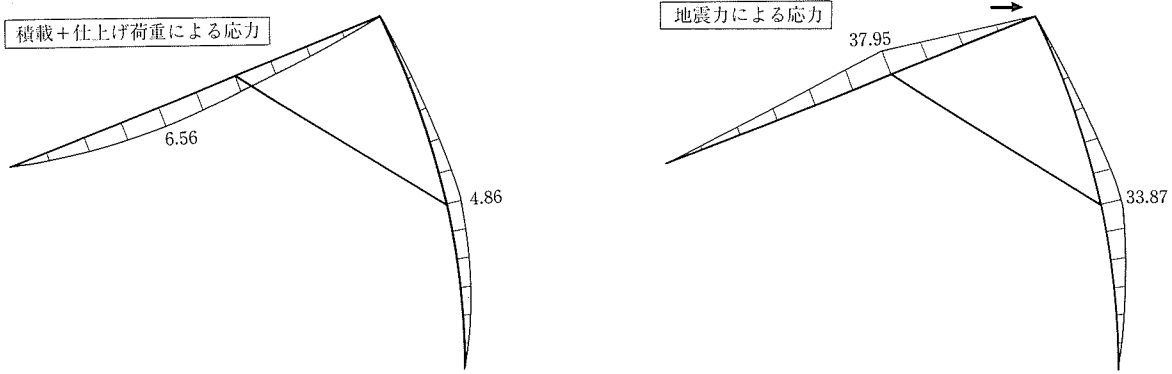


図-5 応力図

2.5 各部詳細

接合方法は、図-6に示すように、壁部材とRC接合部(図-6㉔部)では、RC部分に前もって設置しておいたアンカーボルト付き金物にボルトにより締付けを行う。屋根部材とRCとの接合部(図-6㉕部)では、RC部分に前もって設置しておいたアンカーボルトを、屋根部材の受け穴部分に挿入し、ナットにより締付け後グラウト材を注入する。屋根部材と壁部材との接合部(図-6㉖部)では、壁部材に設置しておいたアンカーボルトを、屋根部材の受け穴部分に挿入し、ナットにより締付け後グラウト材を注入する。そして、壁部材どうし、屋根部材どうしの接合は、プレートを溶接することにより行う。

方杖は、壁部材および屋根部材に設置したインサートを用いてボルトを締め、接合する(写真-3、図-6㉗部)

2.6 PCa PC部材の製造・建方

使用するPCa PC部材は、構造体であり、同時に仕上げ材という特徴をもっている。室内側の壁面と天井部の仕上げ仕様は、打放しコンクリート素地仕上げ、入隅・出隅はピン角仕上げである。展示室内の照明は、フットライトを壁面に当てる間接照明で設計されている。仰角で照明された壁面に、PCa PC部材の鋼製型枠の継目、凹凸、埋込み金物の補修跡が陰影として生じないように、パネル表面の寸法精度、平滑度について、意匠上、高いレベルの管理が要求された。また、壁部材、屋根部材のリブの中央を繋ぐ鋼管方杖の取付け金具の設置についても、高い精度が必要であった。

型枠は、鋼製型枠を使用し、滑らかな曲面を作るため、表面が平滑なコイル材の6mm板をレーザーカットし曲げ加工した。ピン角がくずれの原因は、型枠の組合せ面からのノロ漏れが原因であるため、型枠はリブとスラブ(または壁)を一体成型した。スラブの側枠を組み立てる接合面にはガスケットを入れるディテールとした(写真-4)。

製造は、蒸気養生によって強度促進させ、翌日にプレストレス導入、脱型した。設計基準強度50N/mm²、スランプ8cmのコンクリートをバケツ打ちし、型枠バイブレーターと棒状バイブレーターを併用し、ピンホールの入らないように締め固めた。プレストレスの導入は、VSL工法を使用した。壁部材の1体に対する導入力は89.0t、屋根部材の1体に対する導入力は89.0tであり、鋼材はSWPR7B 12.7を

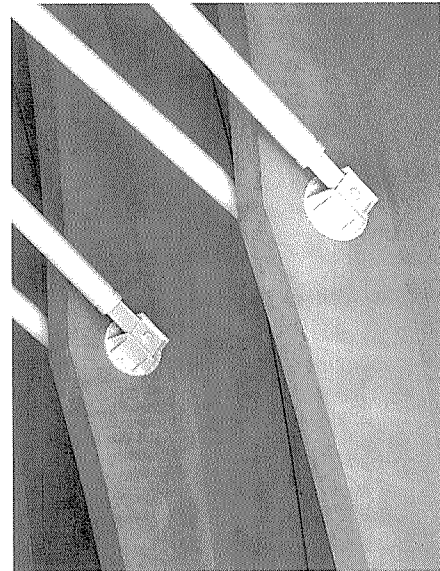


写真-3 方杖端部

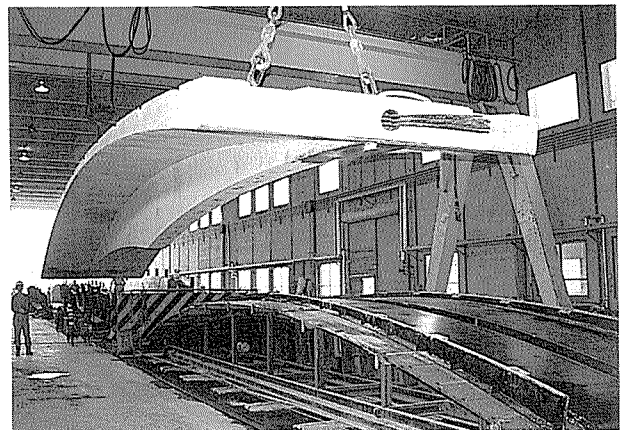
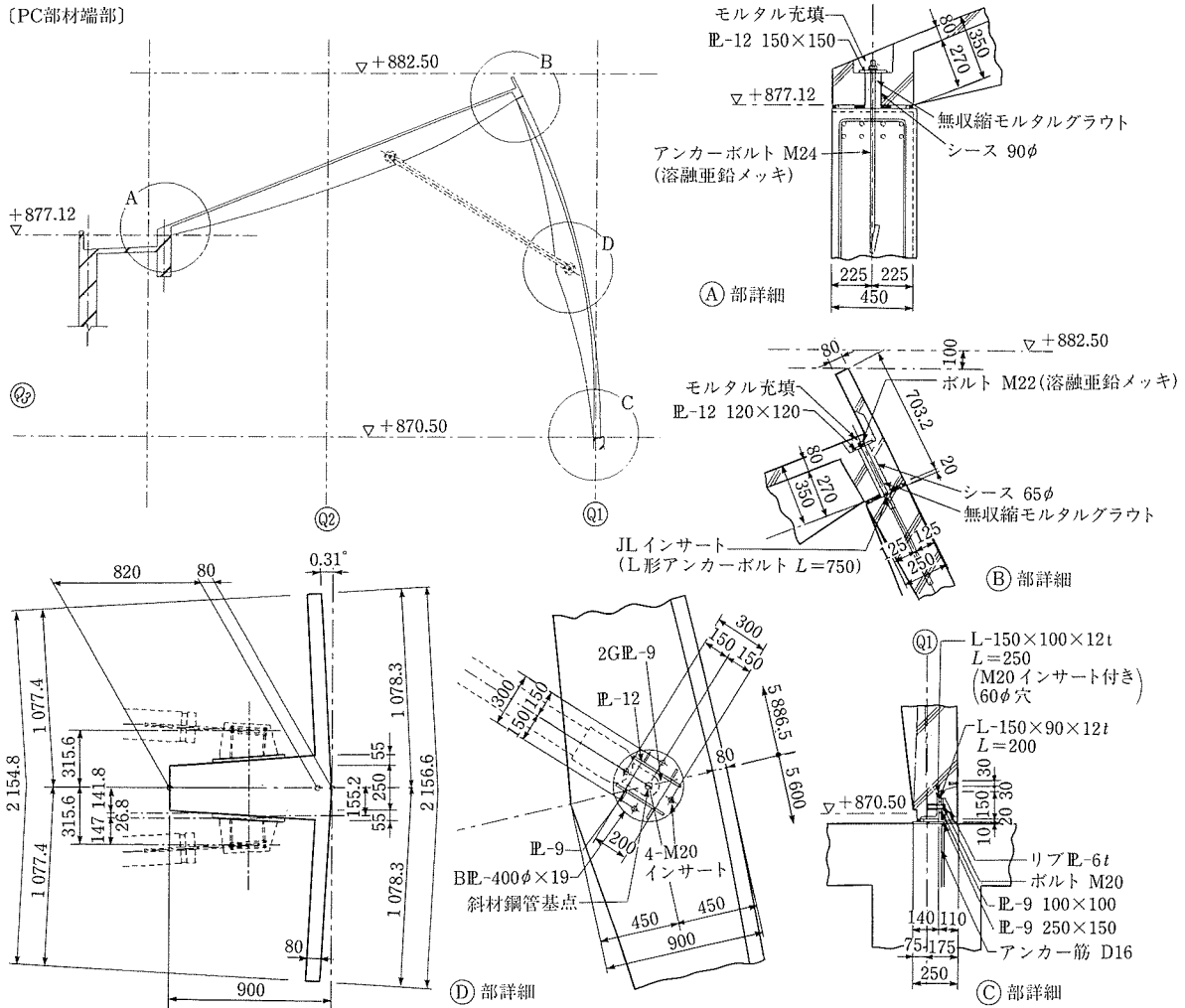


写真-4 壁部材の脱型

を使用した。プレストレス導入前の部材寸法は、プレストレスによって発生する弾性縮みとクリープ縮みを考慮して設定した。プレストレストコンクリート製品JISダブルTスラブでは、寸法許容差は、長さ方向±10mm、反り(部材長8m以上の場合)上方±15mm、下方-10mmと規定されている。出荷時の製品寸法精度は、設計寸法に比して辺長で±4.0mm、むくり±3.0mm以内の精度であった。また、壁部

[PC部材端部]



[方杖端部]

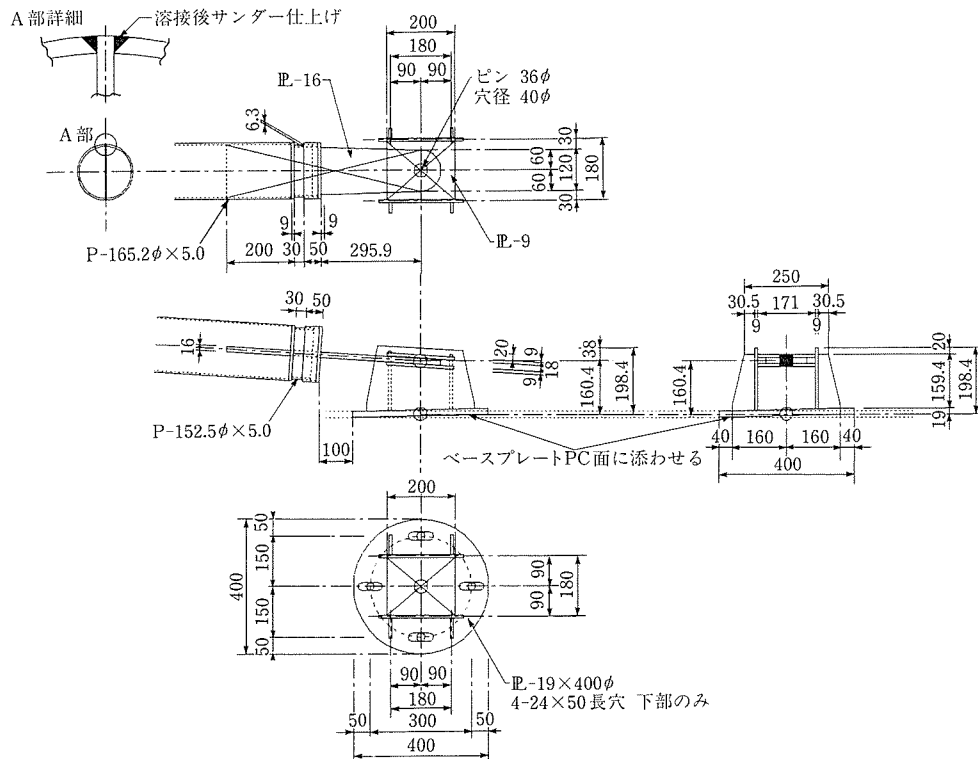


図-6 PC部材端部詳細図, 方杖端部詳細図

材には部材の軸心に対して、非対称な大開口部を有する部材もある。この壁部材にプレストレスを導入すると、壁部材は弓形に面内変形を生じる。対策として、PC鋼材を図芯に近く配置させるとともに、クリープ変形防止のため、壁に軸鉄筋を補強した。その結果、面内方向への変形は、4mmに制御できた。

壁部材の長さは12mである。建方は、200tトラッククレーンで壁部材(12.0t)を吊り込み、室内側に壁頂部が約2.5m傾斜した状態で脚部をピン接合し、頂部を室外側から仮設ワイヤーによって引き込み、建込み寸法を調整した。その調整にあたっては、屋根部材(11.0t)架設後のワイヤーの伸びを考慮して5mm引き込んだ状態で建て込んだ。壁部材を先行して架設後、屋根部材の両端を壁部材の頂部と場所打ち鉄筋コンクリート梁に架け、ピン接合した(写真-5~7)。

屋根部材架設後の建込み施工精度は、XYZ方向とも±2mm~3mmであった。壁部材と屋根部材を建込み後、方杖(鋼管)を取り付けた。

3. プレキャスト部材による初めてのパンタドーム構法の採用

—なら100年会館の例—

•なら100年会館概要

名 称：なら100年会館
 所 在 地：奈良県奈良市三条宮前町
 建 築 主：奈良市長 大川靖則
 用 途：多目的ホール、コンサートホール
 設計監理：構 造：川口衛構造設計事務所 担当/阿藤 有士、山崎 亨
 建 築：磯崎新アトリエ
 施 工：建 築：大林組・鴻池組・大日本土木・森本組・浅川組・尾田組・中村建設・木村建設・ホクシンJV

PCa PC部：フドウ建研(株)

規 模：敷地面積：16 061.76 m²
 建築面積：6 416.01 m²
 延床面積：22 682.26 m²

階 数：地下1階、地上5階

工 期：1996年4月~1998年10月

構 造：基 礎：べた基礎・杭基礎

主要構造：コンクリート補強鋼板シェル構造(外殻)、鉄骨造(屋根)、鉄骨鉄筋コンクリート造(中央コア)、鉄筋コンクリート造(一般部)、鉄骨浮床構造(中ホール)

3.1 建築的概要

「なら100年会館」は、JR奈良駅周辺に新たな都市拠点を形成すべく計画された「シルクロードタウン21」と呼ばれる再開発事業の基幹施設として位置づけられた多目的ホールである。瓦で覆われた柔らかな曲線の外皮構造の内部に、大中小の3つのホールが納められている(写真-8)。

外皮構造は、鋼板で補強されたプレキャストコンクリート板で構成され、パンタドーム構法によって施工された。

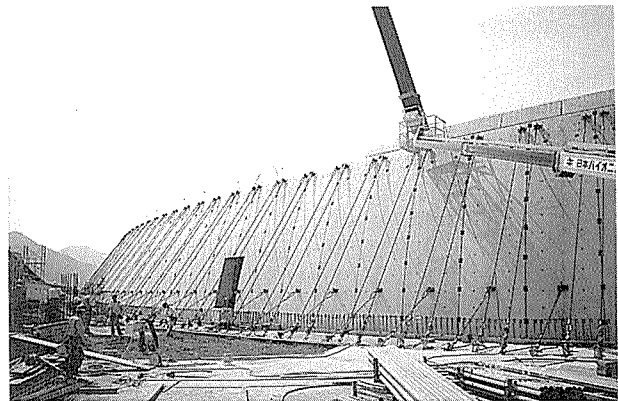


写真-5 建方、外観

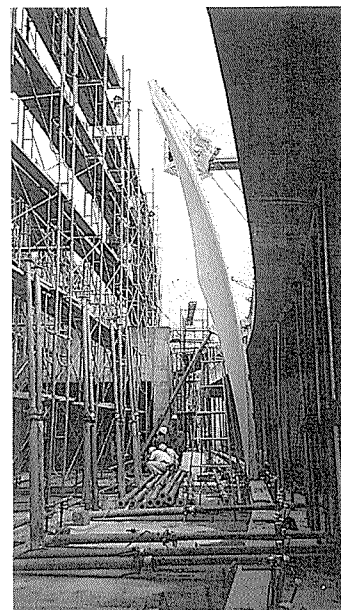


写真-6 壁部材の建込み、内観

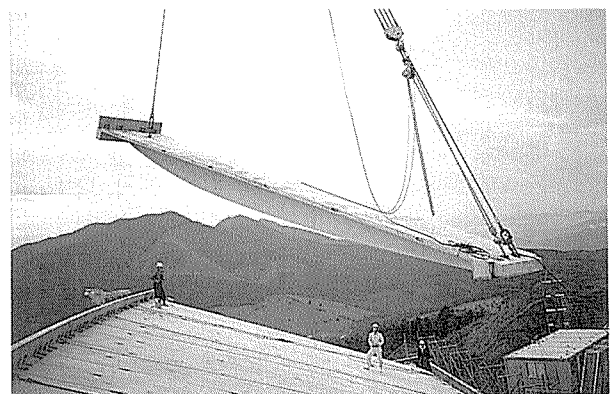


写真-7 屋根部材の建込み

この部分にコンクリートが使用された理由は、遮音と意匠面からの要求による。高さのある壁面を施工するのはプレキャストコンクリート板が適当であり、また、その重いPC板の建方では、パンタドーム構法が、適当であった。ここでは、この外皮構造の設計、工場製作、現場建方工事の概要を述べるものとする。

3.2 構造概要

このホールは、長径138m、短径42mの楕円形のプラン

をもち、クロソイド曲線を描く断面形状の外壁に囲まれ、これに基部より一回り小さな楕円形状の屋根が架けられている。屋根の高さは24.8mである。エントランスホール部分は、外皮構造の曲面の一部分を回転させてできた曲面を独立壁とし、これと本体との間に屋根を架けた空間に設けられている。全体として、昆虫が片側の羽を広げたような外観となっている(図-7)。

楕円外皮構造は、部材製作のための諸条件を満たし、滑

らかな曲面に感じられるように、大小240枚のパネルに分割されている。平面上では、曲率半径の大きい部分においては2種類(TYPE-C, D) 曲率半径の小さい部分においては2種類のパネル(TYPE-A, B)によって構成される。高さ方向は、約12.5mの長さで上段、下段に2分割されている。すなわち、平面方向の4種類と高さ方向の2種類をかけ合わせて全部で8種類のパネルによって構成されている(図-8, 9)。

エントランス独立壁は、外皮構造の曲率半径が大きな2種

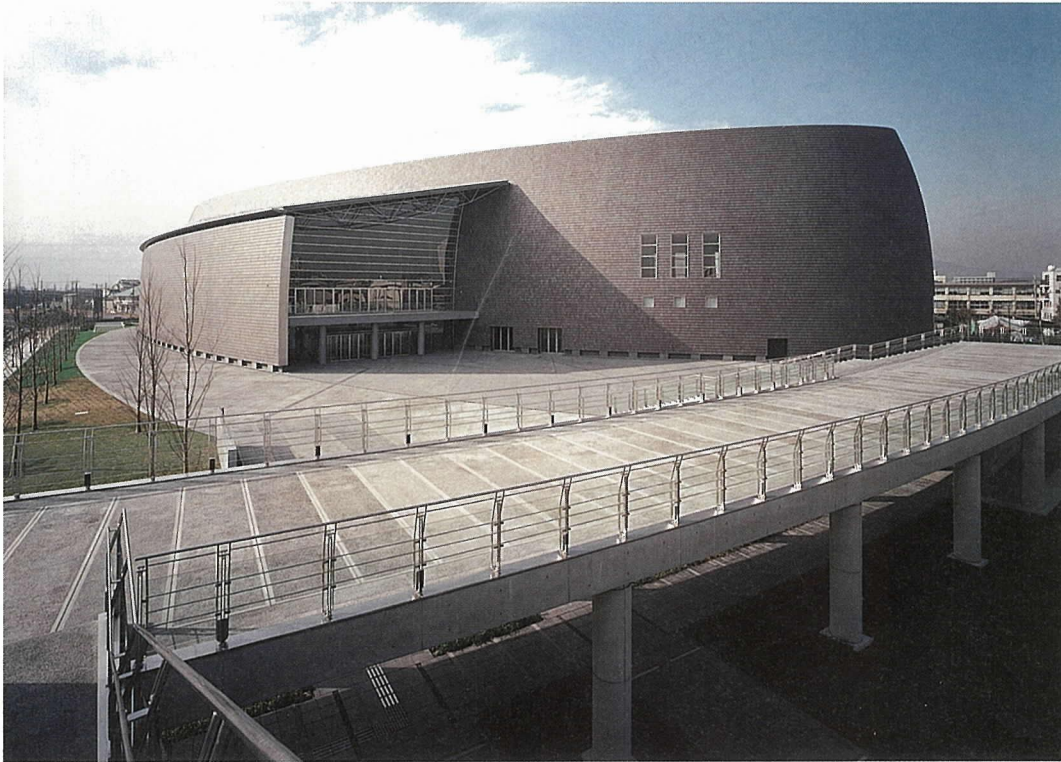


写真-8 なら100年会館全景

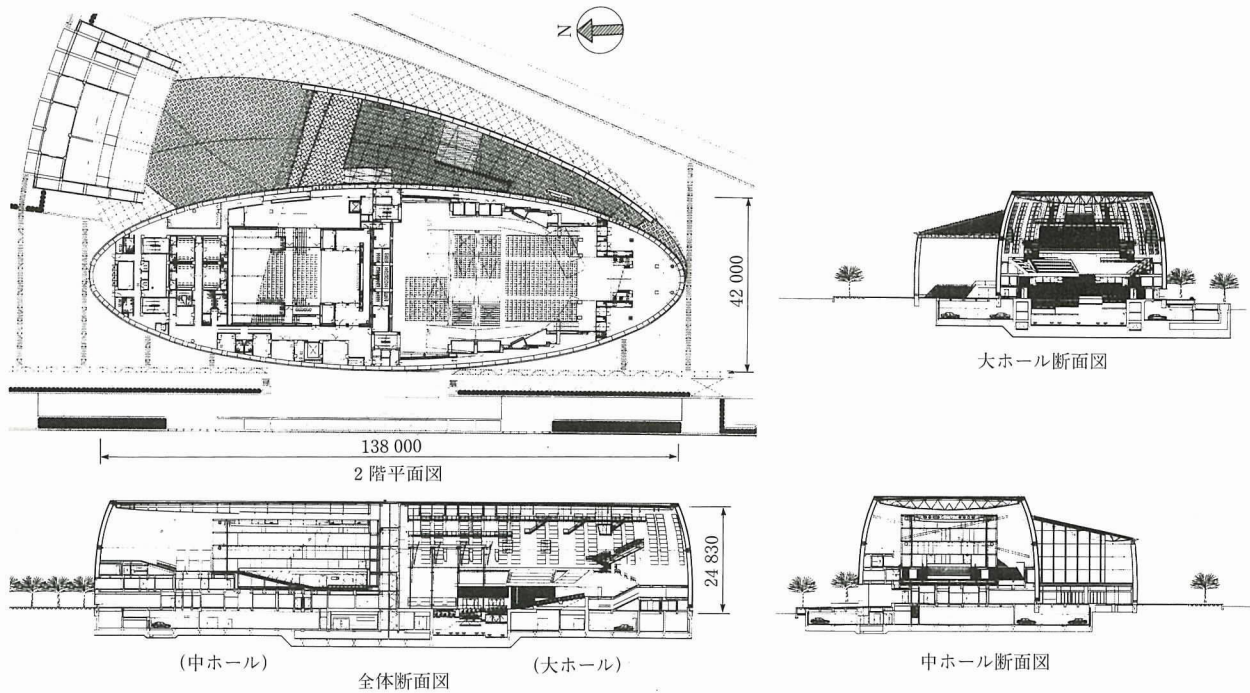


図-7 建築図

類のパネルと同じ形状をしており、高さ方向には分割のない29枚のパネル (TYPE-E, F) で構成される。

これらのパネルは、構造体であるとともに、室内側のコンクリート面を化粧打放し仕上げとし、外部を瓦貼り仕上げとしてデザイン的にも重要な要素となっている。

屋根架構は、ホール、エントランスともに、弓形の鉄骨トラス梁としている。

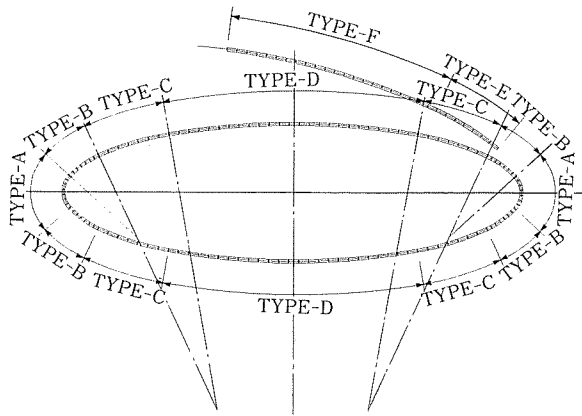


図-8 パネル分割図 (平面)

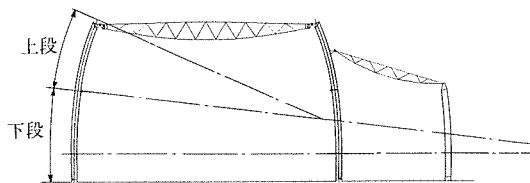


図-9 パネル分割図 (断面)

3.3 プレキャストコンクリートパネルの設計

(1) 外皮構造

外皮構造のパネルは、鋼板によって補強したコンクリートと面外補強のためのCT形鋼で構成される (以下、鋼板補強PC板と示す)。鉛直荷重は、主として鋼板補強PC板の面内力により伝達され、CT形鋼のリップはPC板の座屈防止と面外力の処理を受け持つ。また、地震力に対しては、これらのパネルを一体化した構造体が耐震壁として機能する。パネルに生じる面内のせん断応力は、補強鋼板が負担し、強度、じん性とも非常に高い構造体とした。コンクリートと鋼板は、スタットボルトで密に緊結されており、鋼板の座屈の恐れはない。パネルどうしは、所定のクリアランスを確保し、ボルトまたは溶接により緊結される (図-10)。

(2) エントランス独立壁

エントランス独立壁 (写真-9) は、面外方向には、屋根のトラス梁に、ピン柱状によりかかり、安定している。このため構造体は軽量化する必要があり、鋼板補強をせずに、しかも厚みも薄く設計された。PC板の薄型化のため、鉄筋補強をしなくても曲げ強度の高い炭素繊維補強コンクリート (CFRC) の採用を考えていたが、打上りの色の問題および経済性より、最終的にはビニロン繊維補強コンクリートを採用した。

3.4 工場製作

個々のパネルは、鉄骨ファブrikレーターにおいて製作さ

れた補強鉄骨をPC工場に運搬し製作した。PC工場では、ホール内面の仕上げライン (写真-10) であるクロソイド曲線上に上を凸の形状でねかせた型枠ベッドを設け、リップ付きの鋼板を上からのせ固定する。コンクリートは、鋼板面に1パネルに対して6カ所の孔をあけ、そこから打設した。

パンタドーム構法による建方時において、プッシュアップ前、鋼板補強PC板の下段・上段のコンクリート面はそれぞれ上向き、下向きとなり、プッシュアップ後は、下段・上段ともコンクリート面は屋内側を向くことになる。

下段パネルは、工事現場ではコンクリート面を上向きにセットするため、パネルの反転装置を用い、反転させてか

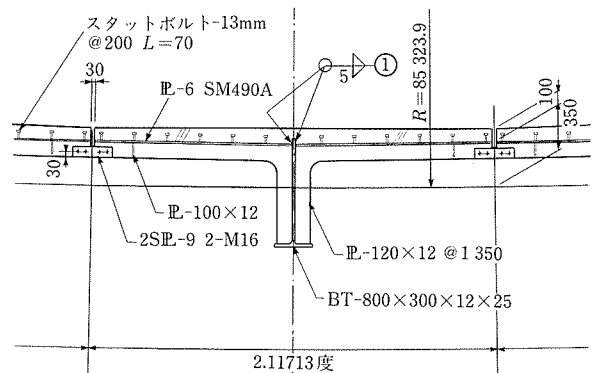


図-10 鋼板補強PC板詳細図 TYPE-C

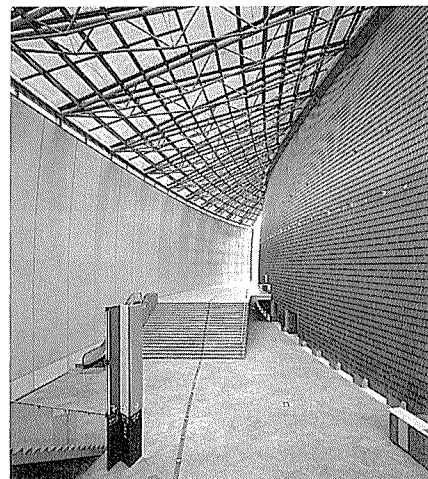


写真-9 エントランスホール内観



写真-10 中ホール内観

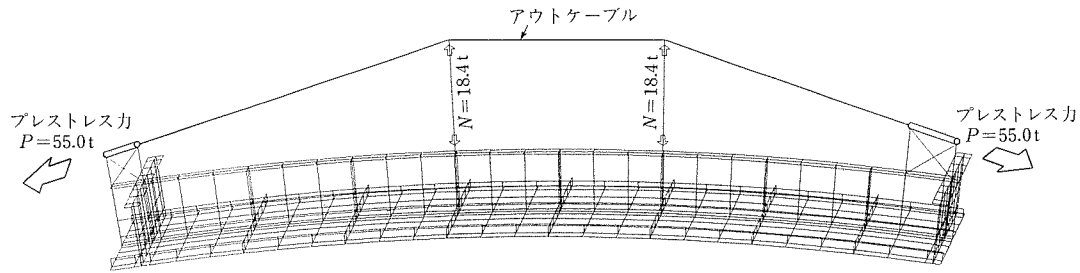


図-11 プレベンディング工法 概念図

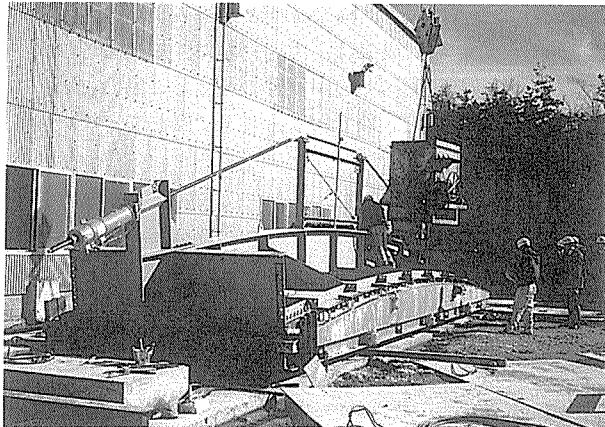


写真-11 プレベンディング工法

ら運搬した。

上段パネルは、工事現場でコンクリート面を下向きにしてセットするため、コンクリートに曲げ引張応力が付加される。この応力によりコンクリートにひび割れが発生することが懸念された。そこで、このパネルが、鉄骨との合成構造であることを利用してプレストレスを導入することにした。この方法(プレベンディング工法)は、鉄骨背面にアウトケーブルを配置し、これに軸力を導入し鉄骨にたわみを与え、そのまま型枠ベッドにセットする。この状態で、コンクリートを打設し強度の発生後、たわみを解除するとコンクリートにプレストレスが導入される。プレストレス力は、55tとし、これによりコンクリート部分に27 kg/cm²の圧縮応力が発生するように設計した(実測値は、32 kg/cm²であった)(写真-11、図-11)。

3.5 現場建方

外皮構造建方は、パンタドーム構法(図-12)を用いた。この建方方法は従来ドーム状の鉄骨建物に多く用いられてきたが、今回のような壁状のプレキャストコンクリート建物に用いるのは初めての試みであった。パネルを2枚~4枚を一組とし、それぞれをヒンジで緊結し、全パネルを設置後プッシュアップした。プッシュアップは、プッシュアップ量の不均等により、部分的に力が作用し、コンクリートにひび割れが発生することを懸念して、制御のしやすいジャッキシステムが採用された。この方法は、ジャッキ全数が変位管理値(2mmで実施)分だけ進むと次のステップがスタートとする、ステップ・バイ・ステップ方式である。また、壁状の構造体にパンタドーム構法を用いる場合に特有な状態であるが、プッシュアップ過程において一時的に支柱に負の反力(図-13)がかかり、形態が不安定状態にな

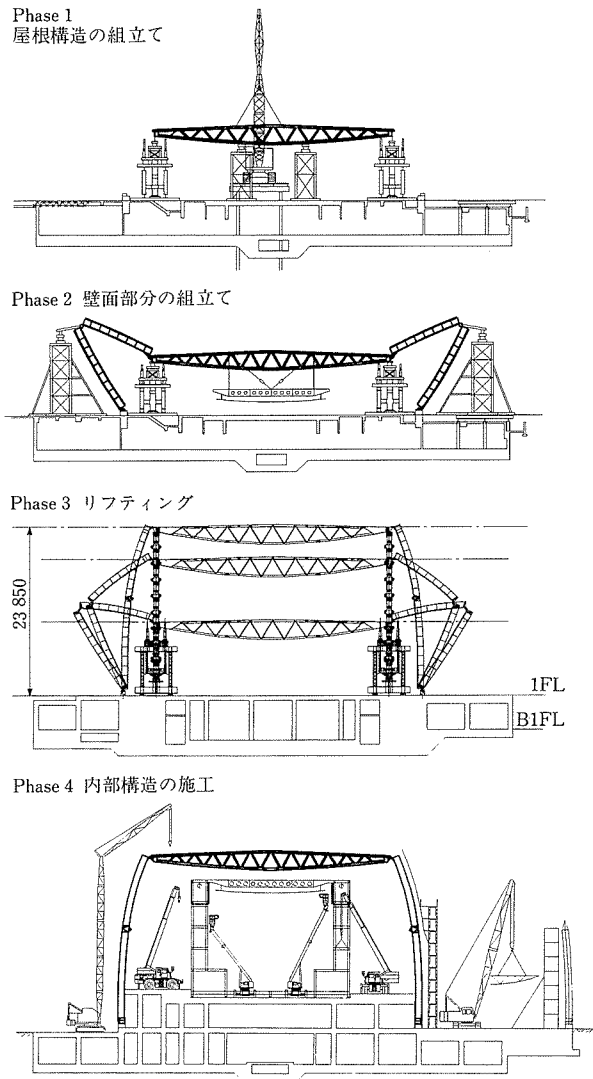
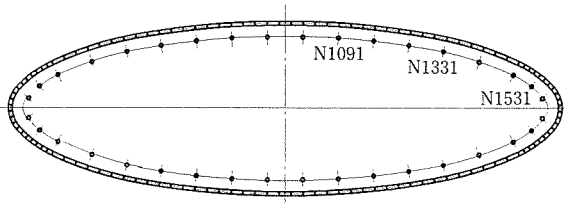


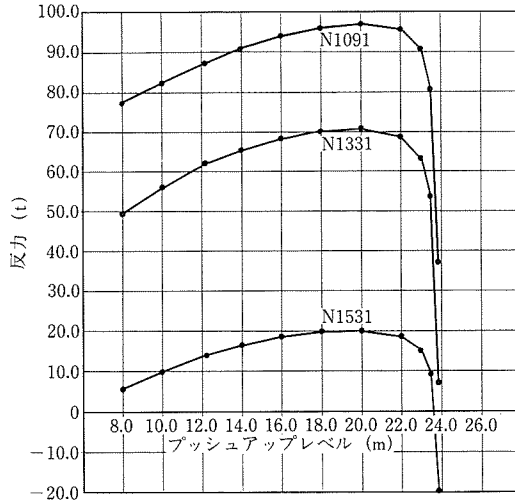
図-12 パンタドーム構法

る可能性のあることは、事前の解析で予想された。これを防ぐため、最下部の第3ヒンジに一定荷重保持機能をもった油圧ジャッキを設置し対処した。

プッシュアップ終了後、仕上げ面の出入りの調整を行った。最上部の第1ヒンジのプッシュアップレベルは、かなりの精度で制御が可能である。しかし、第1ヒンジのレベルに誤差が生じた場合、中間部の第2ヒンジの面外の出入りは、幾何学的におよそ10倍に増幅される。この誤差は、第3ヒンジのレベルをわずかに上下することにより調整可能であり、この方法を用いて最終調整を行った。



プッシュアップ支柱キープラン



施工時支柱反力

図-13 プッシュアップ支柱反力

4. おわりに

以上、最近竣工したPCa PC部材による建物2例について、その概要を述べた。

「ぐんま天文台」では、PCパネルの内部形状および鋼管方杖の配置形状から、構造の成立ちを感じることができる。また、「なら100年会館」の場合には、パンタドーム構法において使用された鋼製ヒンジが、そのままデザイン的に表現され、やはり建物の内部にしながら、建設の経緯を推察できる設計になっており、構造機能と建築表現の融合が図られている。これらの成果は、設計、製作、施工の各段階で建設に携わった、すべての関係者の誠意とご協力によってはじめて達成されたものであり、竣工に際して、深い謝意を表するものである。

【1999年4月28日受付】