

◆ 特集：PC建築 ◆

—設計報告・工事報告・研究報告—

プレストレストコンクリート壁式構造による礼拝堂

畝 博志*1・松井 英治*2・貞永 誠*3・太田 義弘*4

1. はじめに

対象とする建物の用途は礼拝堂である。

写真-1に建物の模型写真を示す。

外観は、手を合わせて合掌する姿をイメージし、3次曲面の2枚の壁から構成されている。

内観は、壁と天井とが滑らかに繋がった曲面として、できるだけその存在感を消し、祭壇を背後のスリットから差し込む光によって浮かび上がらせている。

曲面形状の2枚の壁および屋根により構成されるシェル構造として考えることにより、柱・梁型をなくして意匠の形態そのままを構造体として表現した。

また、壁にはプレストレスを導入することにより、コンクリートのひび割れ発生を低減し、左官仕上げである内部空間を一つの曲面として成立させている。

本報告は、対象とする礼拝堂の基本計画および設計概要、施工計画について紹介するものである。

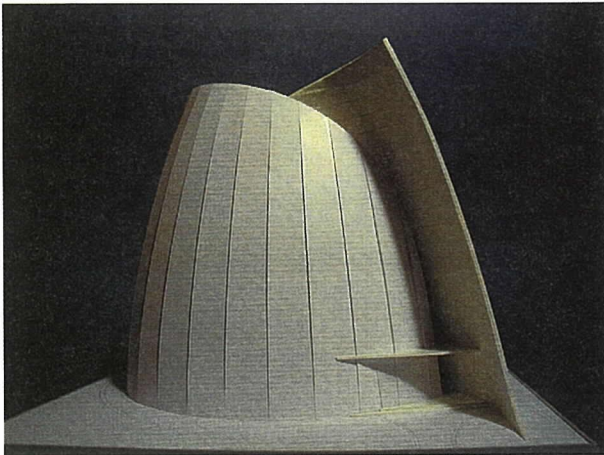


写真-1 模型写真

2. 建物概要

建物用途：礼拝堂

建築地：山口県

設計施工：(株)竹中工務店

PC工事：オリエンタル建設(株)

建築面積：160.54 m²

延床面積：148.68 m²

建物高さ：19.70 m

階数：地上1階建て

工期：平成12年12月～平成13年10月

構造種別：地業 既製コンクリート杭 (PHC杭)

地下 鉄筋コンクリート造

地上 鉄筋コンクリート造

3. 設計計画概要

本建物の配置図および1階平面図を図-1に、平面図 (GL +8 000) を図-2に、断面図を図-3に、立面図を図-4にそれぞれ示す。

半径約11.5mの2枚の壁は、長さ約30m、高さ約20mあり、それらを繋ぐ屋根とともに、天井高さ約14mの内部空間を構成している。

外壁仕上げは、萩焼きをイメージしたタイルを使用している。

内壁仕上げは、骨材を混合した無機質超軽量モルタルを使用している。土壁調の質感を表現するとともに、調湿機能などを持ち、軽量なことから左官作業性が良く、高耐久・高性能な土壁調仕上げである。

4. 構造計画概要

4.1 壁式構造

手を合わせて合掌する姿をイメージした3次曲面の2枚



*1 Hiroshi UNE

(株)竹中工務店
広島支店 設計部



*2 Eiji MATSUI

(株)竹中工務店
広島支店 設計部



*3 Makoto SADANAGA

(株)竹中工務店
広島支店 技術部



*4 Yoshihiro OHTA

(株)竹中工務店 技術研究所
建設技術開発部

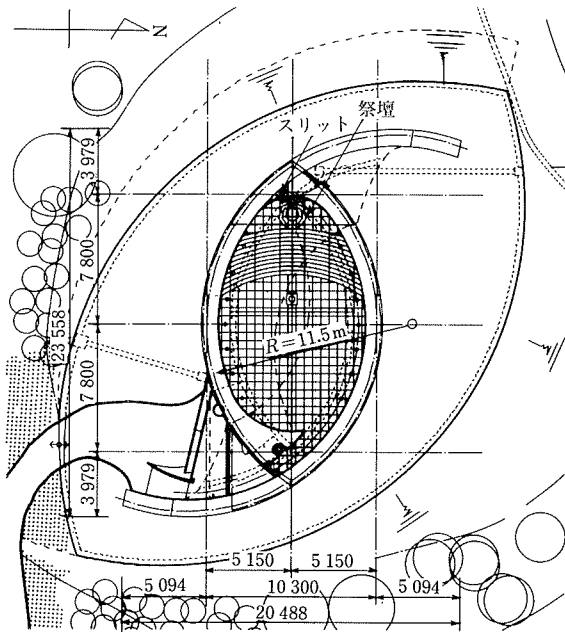


図-1 配置図および1階平面図

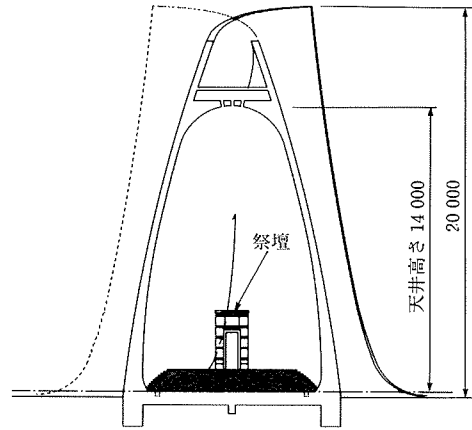


図-3 断面図

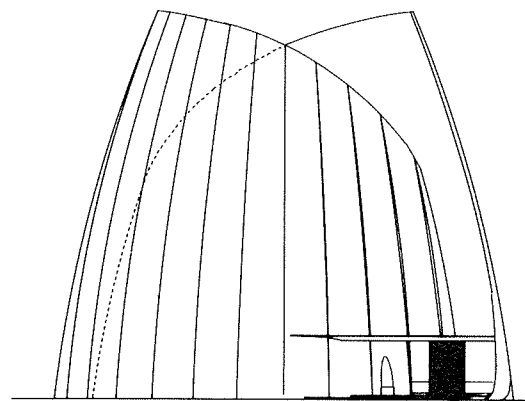


図-4 立面図

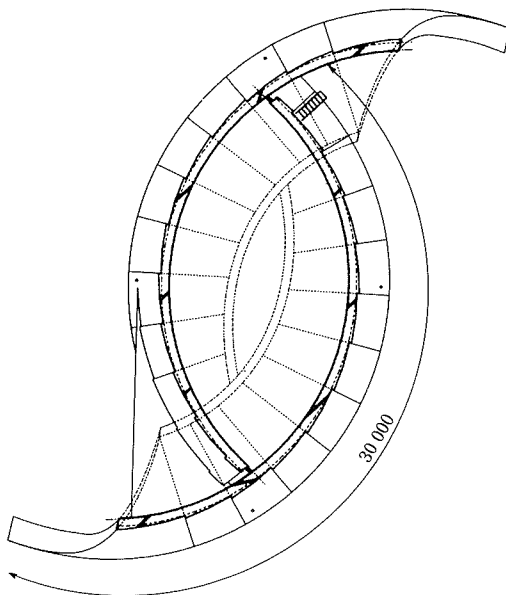


図-2 平面図 (GL+8 000)

の壁と、ドーム状の天井とが滑らかに繋がるデザインを構造的に再現するために、柱・梁型をなくしたシェルによる壁式構造を計画した。

4.2 耐久性の向上

建物用途が礼拝堂であることから、建物に対してはとくに耐久性が要求される。また3次曲面の2枚の壁に対しては、デザイン的に目地は水平打継目地のみとされている。

そこで、ひび割れ低減を目的としてプレストレスを導入したPRC構造とした。また鉄筋に対するコンクリートのかぶり厚さおよび鉄筋の応力度、コンクリートの仕様を以下のように設定し、建物への耐久性の向上を図った。

(1) プレストレス

本建物は壁式構造であり、壁を拘束する柱・梁を設けて

いない。PC鋼材によるプレストレスをコンクリートに導入することにより、ひび割れの低減を図った。

PC鋼材配置図および平断面図を図-5に示す。壁の縦方向に対しては自重による圧縮応力が期待できるが、横方向に対しては縦ひび割れが懸念された。そこで2枚の壁に対して、PC鋼材はそれぞれ縦(鉛直)方向は2m間隔で、横(水平)方向は1m間隔で配置した。なお縦方向のPC鋼材は、6.施工計画に示す施工手順を考慮して、配置および長さを設定した。

壁断面内での平面位置は、縦方向PC鋼材は壁厚の中心に、横方向PC鋼材は縦方向PC鋼材に対して外部側に配置した。これは横方向プレストレス導入によって壁断面の外部側により圧縮力が加わり、壁外部側に発生する引張応力を低減させることを目的としたためである。

(2) かぶり厚さおよび鉄筋の応力度

コンクリート表面から進行する中性化領域が鉄筋位置に達すると、コンクリートのアルカリ性が失われ、鉄筋が発錆する可能性が高くなるために、壁および屋根における鉄筋に対するコンクリートの設計かぶり厚さを50mmと設定した。

また、コンクリートのひび割れを低減し鉄筋やPC鋼材の腐食を避けるために、長期と同様に、中規模の地震時においても鉄筋の応力度が 145 N/mm^2 以下となるように設計を行った。

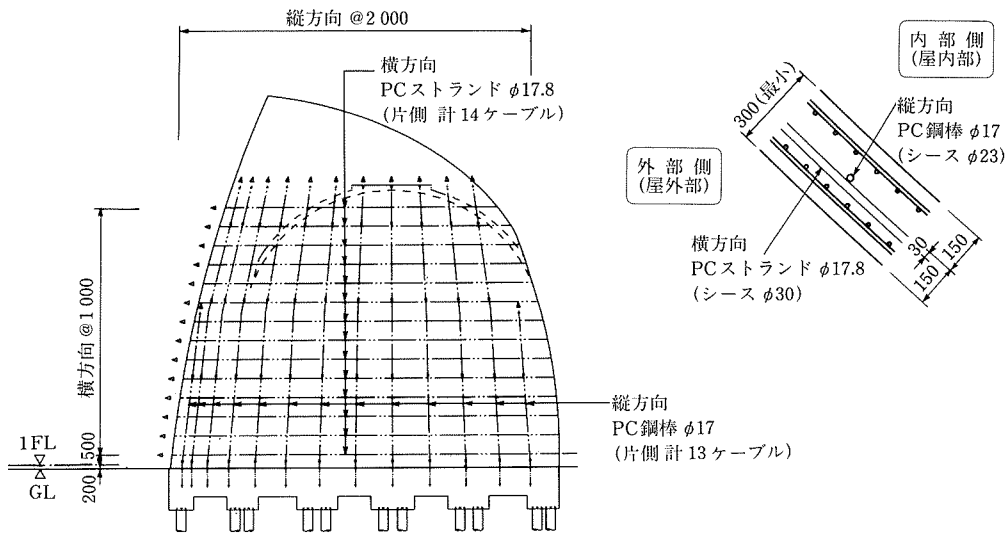


図-5 PC鋼材配置図および平断面図

(3) コンクリート

建物の計画供用期間を長期と設定し、コンクリートの耐久設計基準強度を $F_c 30$ 、単位水量を 175 kg/m^3 以下、スランプを 15 cm 以下と設定した。

4.3 PC鋼材およびPC工法

PC鋼材の仕様を表-1に示す。

プレストレス導入時のコンクリート圧縮強度は、コンクリートの設計基準強度 $F_c 30$ に対して、 20 N/mm^2 以上とした。

PC工法は、壁が耐震要素であることからボンド工法とした。

表-1 PC鋼材の仕様

	横方向	縦方向
使用鋼材	SWPR 19 φ 17.8	SBPR 1 080/1 230 φ 17
引張荷重	387.00 kN	279.21 kN
降伏荷重	330.00 kN	245.16 kN
導入時引張力	264.00 kN	195.45 kN
導入時許容引張力	280.50 kN	208.39 kN

5. 構造設計概要

5.1 構造解析モデル

解析はMSC/NASTRAN FOR WINDOWSを使用した。

図-6に解析モデルを示す。建物は庇を除いて軸対称形ではあるが、 x 方向、 y 方向への水平荷重を想定しているために、全体モデルとした。要素は3節点三角形および4節点四角形の板要素である。

なお、プレストレス導入時の解析モデルは、6. 施工計画に示す施工手順を考慮して、4層目のコンクリート打設後の壁形状とした。

5.2 設計荷重

設計荷重としては、長期荷重、地震荷重に加えて、温度荷重、プレストレス力を考慮した。なお、風荷重は省略した。

温度荷重は、コンクリート打設時のコンクリート温度を 30°C とし、冬期におけるコンクリート温度が 5°C まで低下する場合と、夏期におけるコンクリート温度が 55°C まで上昇する場合を想定し、温度差 $\pm 25^\circ\text{C}$ と設定した。

プレストレス力は、PC鋼材引張力の摩擦損失およびセット損失を考慮し、断面設計に用いる応力にはプレストレス力有効率を考慮した。また、横方向PC鋼材の偏心の影響を考慮した。

5.3 解析結果

図-7, 8に長期荷重時の面内応力 F_x および F_y を、図-

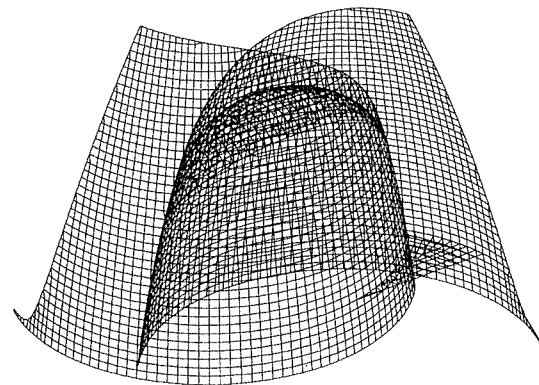


図-6 解析モデル

9, 10にプレストレス導入時の面内応力 F_x および F_y を、図-11, 12に長期荷重時およびプレストレス導入時の曲げ応力 M_x を代表的に示す。

長期荷重時の面内応力 F_x および F_y (図-7, 8) は、自重等によって圧縮応力が支配的となるが、プレストレス導入時の面内応力 F_x および F_y (図-9, 10) によって圧縮応力が増加する。

プレストレス導入時の面内応力 F_x (図-9) は、横方向プレストレス力により発生する圧縮応力と、縦方向プレストレス力により発生する引張応力との合力となり、約 1500 N/cm である。また面内応力 F_y (図-10) は、縦方向プレストレス力により発生する圧縮応力と、横方向プレストレス力により発生する引張応力との合力となり、約 800 N/cm である。なお、プレストレス導入による壁の変形量は約 0.05 cm である。

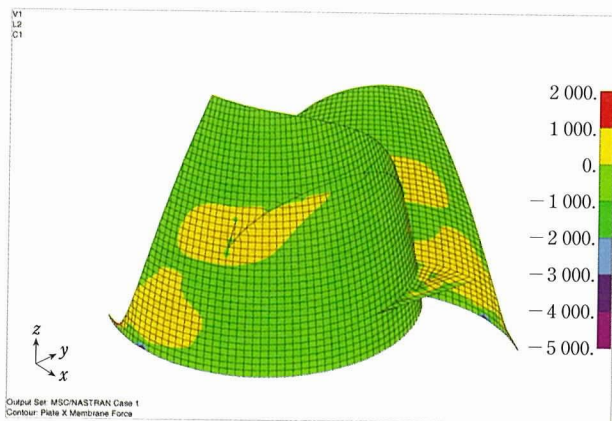


図-7 長期荷重時の面内応力 F_x (N/cm)

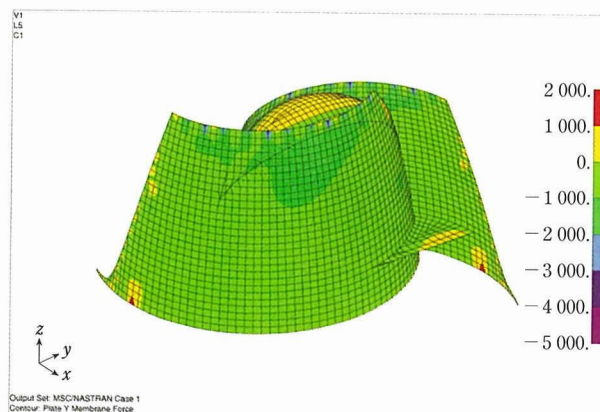


図-10 プレストレス導入時の面内応力 F_y (N/cm)

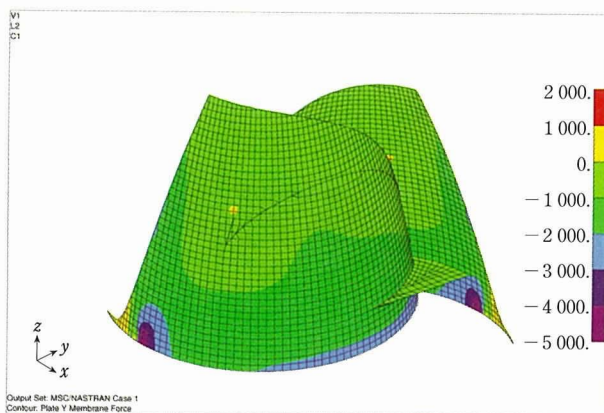


図-8 長期荷重時の面内応力 F_y (N/cm)

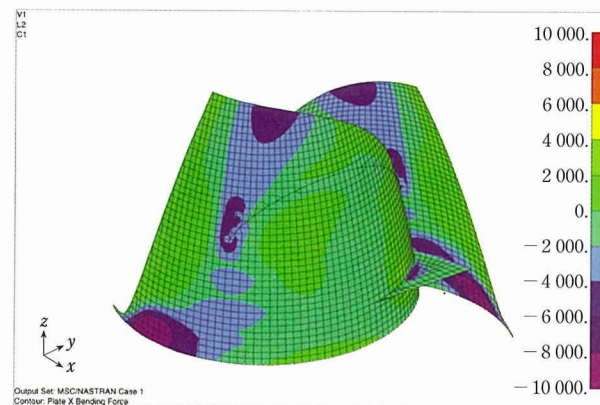


図-11 長期荷重時の曲げ応力 M_x (N・cm/cm)

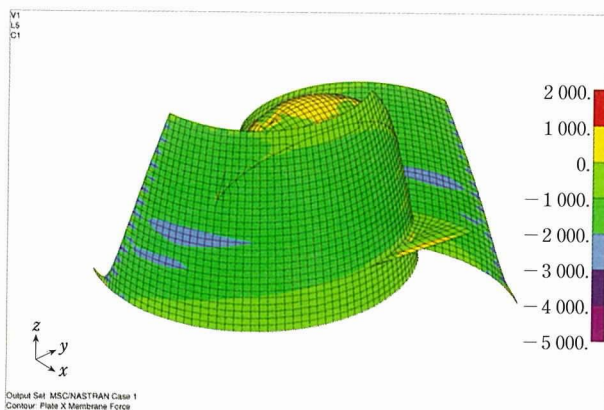


図-9 プレストレス導入時の面内応力 F_x (N/cm)

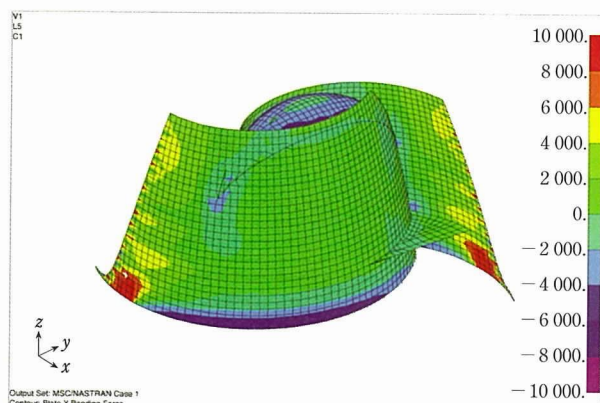


図-12 プレストレス導入時の曲げ応力 M_x (N・cm/cm)

長期荷重時の曲げ応力 M_x (図-11) は、プレストレス導入時の曲げ応力 M_x (図-12) によって全体的に低減されている。

5.4 断面設計

解析結果による各応力を用いて、「コンクリート構造物の設計にFEM解析を適用するためのガイドライン」(日本コンクリート工学協会, 1989)に基づく応力の組合せを行い、断面設計を行った。モーメントによる影響については外層に作用する面内力に置き換えて検討した。

断面詳細図を図-13に示す。基礎の拘束があり、壁厚が最も厚い壁脚部については、横方向壁筋を D16@100とした。

6. 施工計画

鉄筋およびPC鋼材の組立て、コンクリート打設、プレストレス緊張の施工手順を以下のように計画した。その概要を図-14に示す。

- ① 基礎部鉄筋組立てと同時にPC鋼棒(縦方向)定着具を組み立てる。
- ② 基礎部コンクリートを打設する。
- ③ 1層目の鉄筋と同時にPC鋼棒(縦方向)・PCストランド(横方向)を組み立てる。
- ④ 1層目のコンクリートを打設する。
- ⑤ 2層目の鉄筋と同時にPC鋼棒(縦方向)・PCストランド(横方向)を組み立てる。

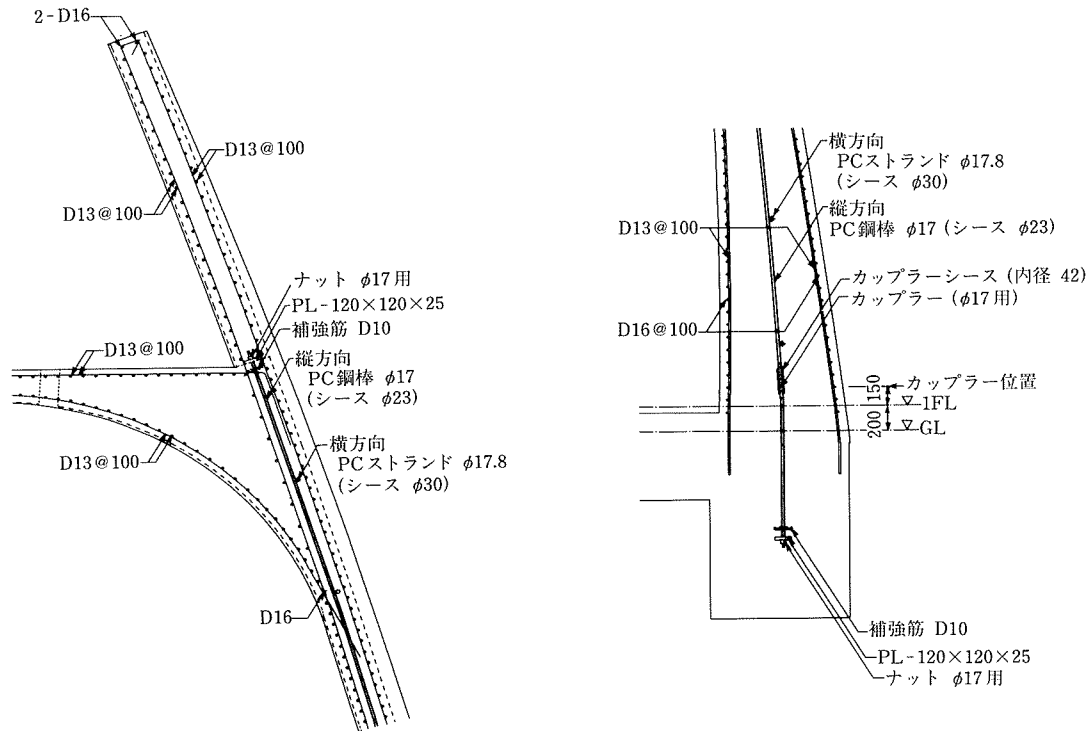


図-13 断面詳細図

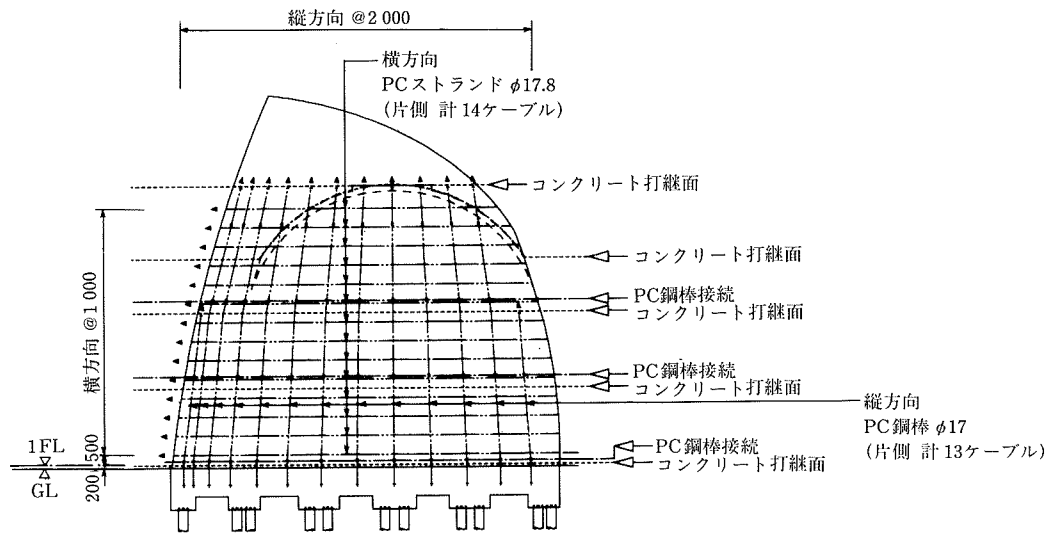


図-14 コンクリート打設とPC鋼材の配置

- ⑥ 2層目のコンクリートを打設する。
- ⑦ コンクリートの強度を確認後、PC鋼棒（片側壁の縦方向両端2本）を緊張する。
- ⑧ 3層目の鉄筋と同時にPC鋼棒（縦方向）・PCストランド（横方向）を組み立てる。
- ⑨ 3層目のコンクリートを打設する。
- ⑩ 4層目の鉄筋と同時にPC鋼棒（縦方向）・PCストランド（横方向）を組み立てる。
- ⑪ 4層目のコンクリートを打設する。
- ⑫ コンクリートの強度を確認後、残りのPC鋼棒（縦方向）・PCストランド（横方向）を緊張する。
- ⑬ 5層目の鉄筋を組み立てる。

- ⑭ 5層目のコンクリートを打設する。
 コンクリート打設は、1回で打設する壁高さおよび屋根形状を考慮して、5層に分ける計画とした。なお、型枠は3次曲面型枠を製作し、2枚の壁が対称であることから、転用を行うこととした。
 壁脚部のコンクリートについては、壁厚さが約1mあるために、コンクリート打設が4月ではあるが、マスコンクリートの対策が必要であると判断した。そこで、コンクリート試し練りに基づく温度応力解析を行って、ひび割れ指数とひび割れ幅との関係から壁筋量を確認した。また、セメントの水和熱による内外温度差の発生の抑制、風や直射日光による急激な乾燥の防止等のために、コンクリート

打設後の十分な養生を計画した。

プレストレス緊張は、片側壁の縦方向PC鋼材の両端2本は、2層目コンクリート天端に緊張端があることから、2層目のコンクリートを打設して強度を確認後、緊張を行う。残りのPC鋼材は4層目のコンクリートを打設して強度を確認後、緊張を行う。

横方向PC鋼材については、3層目のコンクリート打継面が、屋根形状に合わせて曲面であるため、PC鋼材が3層目と4層目に跨る配置となり、3層目のコンクリート打設前にシース管のみを配置する。

先に緊張したプレストレス力が、後に緊張したプレストレス力によって減少する力は、緊張力によるPC鋼材の伸び量に対して、コンクリートの縮み量が非常に小さいために、設計・施工的に影響を考慮する必要はないと判断した。そこでプレストレス緊張の手順は、縦方向は端部から中央部に向けて、横方向は上部から下部に向けて、それぞれ自由端側から緊張することとした。

7. おわりに

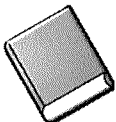
本建物は、6月に第1回目のプレストレス緊張、8月に第2回目のプレストレス緊張を行い、10月に竣工を迎える予定である。特徴ある建物の外観・内観デザインを実現し、礼拝堂としての安らぎある祈りの空間を提供したい。

最後に、当プロジェクトのPC設計および施工計画にあたり、多大なご協力をいただいたオリエンタル建設(株) 小林政則氏をはじめ、当社作業所、その他関連部署等、関係者の方々に深く感謝する次第である。

参考文献

- 1) 日本建築学会：プレストレスコンクリート設計施工規準・同解説，1998
- 2) 日本建築学会：プレストレス鉄筋コンクリート（Ⅲ種PC）構造設計・施工指針・同解説，1986
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造のひび割れ対策（設計・施工）指針・同解説，1990
- 4) 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の設計にFEM解析を適用するためのガイドライン，1989

【2001年4月27日受付】



刊行物案内

PC 定着工法 — 2000年版 —

2000年12月発行

頒布価格：4 000円（送料400円）
体 裁：B5判，220頁（無線綴じ製本）

最新の
「定着工法」を
掲載!!

発行・発売：社団法人 プレストレスコンクリート技術協会