

# 国立組踊劇場の設計・施工

井上 誠\*1 小栗 新\*2 池田 龍基\*3 毛利 浩\*4

## 1. はじめに

「堅牢で彫りの深い、かつ呼吸するような建築」、設計を始めた当初から漠然ともっていた建築のイメージである。琉球王国時代の民家の特徴に、長大な庇が深い日陰をつくる「雨端（あまはじ）」とよばれる軒下空間や、格子状や網代状に竹を編み込んだ「チニブ」とよばれる外壁がある。沖縄はアジア太平洋圏でも独特の島嶼（とうしょ）性を帯びた亜熱帯気候で、その厳しい気候風土との共生の中から伝統的建築様式が生まれてきた。現代では材料はコンクリートにかわったが、花ブロックやPCa ルーバーとして受け継がれている。陽射しを和らげたり、風を通したり、視線を通したり、厳しい気候や環境をただ遮断するのではなく呼吸するような建築である。

計画地是那覇新港に隣接した区域で、とくに高い耐候性が求められる。また劇場ということから、20 mを越える長

スパン、遮音性能の確保、屋根から重量物を吊下げるなどの理由で、構造はSRC造+S造、またはRC造+PC造のいずれかの選択になる。現在の日本では工業化が進んだ結果、コンクリートは構造材、仕上材に対する下地材として使うか、合板パネルによる打放し仕上げとして使うかのいずれかが多く、材料が本来もつ可塑性という特長があまり生かされていない。鋼製型枠を使った場合にはいわゆるブルータルなコンクリート表現とは逆になるが、型枠の形状によっていかような形状にもなりうるというコンクリートの材料としての美質が引き出せればと考えた。

外壁は単一のシステムにより意匠的なモチーフを連続するという手法を取った。単調なデザインが想像されるが、長大な面においては、彫塑的かつ精緻なモチーフを正確に連続することが造形的な表情を生むことにつながる。たとえばミス・ファン・デル・ローエのシーグラムビルに見られる効果である。



写真 - 1 建物全景



\*1 Makoto INOUE

(株)高松建築設計事務所  
設計長



\*2 Arata OGURI

Arup Japan  
シニア アソシエイト



\*3 Ryuki IKEDA

(株)ピーエス三菱 九州支店  
PC 建築事業部 工事部



\*4 Hiroshi MOURI

(株)ピーエス三菱 九州支店  
PC 建築事業部 工事部

構造はRC造として、外壁、庇、そして劇場やロビーの大空間の屋根をPC造とした。PC造の部分は現場打ちとPCaコンクリートを併用している。外壁や庇については基本的にPCa材とし、コンクリート打放しにガラス質の保護剤を塗布したり、仕上材を打込んで使用した。

## 2. 工事概要

### 2.1 建築概要

工事名：国立組踊劇場(仮称)建築工事  
 発注者：内閣府沖繩総合事務局開発建設部  
 設計監理：(株)高松建築設計事務所  
 建築施工：大成・戸田・仲本工業特定建設工事共同企業体  
 PC施工：(株)ピーエス三菱九州支店 PC建築事業部  
 建築面積：7 136.85 m<sup>2</sup>  
 延床面積：14 591.84 m<sup>2</sup>  
 階数：地下1階 地上3階建  
 軒高：GL + 23.7 m (1FL + 22.2 m)  
 最高高さ：GL + 24.3 m (1FL + 22.8 m)  
 構造：鉄筋コンクリート造、一部プレストレストコンクリート造  
 メインホール客席数：626席  
 研修ホール客席数：251席

### 2.2 PC工事概要

表-1に使用材料、図-1に躯体区分図、表-2にPC工事数量を、表-3に工程表を示す。

躯体区分図(図-1)内の青色がPCaPC梁、赤色が場所打ちPC梁、水色がPCa雨樋梁、建物外周部にPCa外壁版を示す。

表-1 使用材料

コンクリート	
場所打ち躯体	30 N/mm <sup>2</sup>
PCa 梁	50 N/mm <sup>2</sup>
PCa 外壁版	40 N/mm <sup>2</sup>
PCaPC 床版	40 N/mm <sup>2</sup>
PCF 壁版	30 N/mm <sup>2</sup>
PC 鋼材	
PC 鋼より線	SWPR 7 BL, SWPR 19 L
PC 鋼棒	SBPR 930 / 1080
鉄筋	
D 29 ~ D 32	SD 390
D 19 ~ D 25	SD 390
D 16 以下	SD 295 A

表-2 PC部材数量表

部材名/使用箇所	部材重量 (t)	面積 (m <sup>2</sup> )	製作数 (P)	1次PC重量(t)	2次PC重量(t)	製作場所
PCF 壁版	696.4	3224.1	530	—	—	工場
PCa 外壁版	3105.0	—	166	14.6	14.3	現場ヤード
エントランス柱部材	16.2	—	4	—	—	工場
梁部材	3 F	—	—	4.2	—	工場
	RF	1437.0	—	170	7.9	工場
	PHF	358.2	—	16	3.0	工場
床部材	3 F 合成床版	145.8	—	58	—	工場
	穴あきPC版 t120	427.1	2135.5	459	—	工場
	穴あきPC版 t150	74.2	311.6	120	—	工場
化粧部材	PK(疵)版	473.6	—	174	—	工場
	PL(頂部)版	163.7	—	150	—	工場

表-3 工程表

年度	平成12年	平成13年												平成14年												平成15年										
	月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月		
建築工事	仮設工事			準備工事			磁気探査																													
	既設解体撤去工事			既設基礎・杭解体																																
	杭工事						PHC 既設杭(中掘)																													
	躯体工事										土工事																									
	仕上工事																																			
PC工事	架設工程																																			
	PCa 外壁版																																			
	PCa 梁																																			
	PCF 壁版																																			
	製作工程																																			
PCa 外壁版																																				
PCa 梁																																				
PCF 壁版																																				

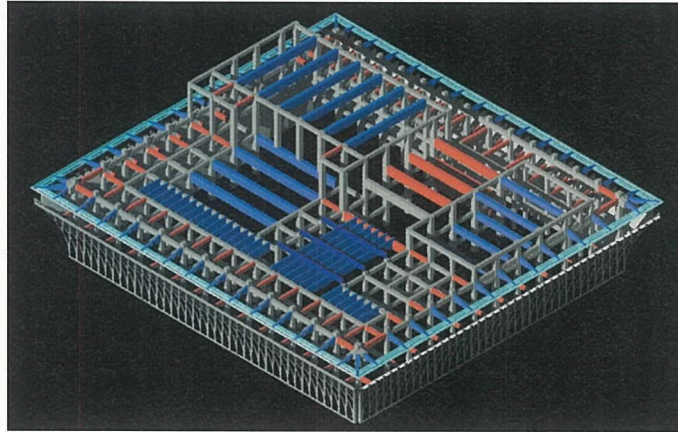


図 - 1 躯体区分図

### 3. PCa 外壁版の設計

#### 3.1 設計概要

図 - 2 に PCa 外壁版の割付図を示す。建物の 4 周を囲む外壁をプレキャスト部材により構成する。2 方向に交差する斜めのリブを骨組として見せ、リブに囲まれる菱形部はコンクリートの壁、ガラス、開口などとして表現される。また、断面の曲率と立面のリブの曲率を一致させることにより、45 度で迫り出す出隅部まで統一的に納めることに成功している。

4 つの隅角部でエキスパンションジョイントをとり、4 つの面をそれぞれ独立した構造とした。また、下部支点が 1 階と 2 階の 2 段にまたがる面では外壁面内にエキスパンションジョイントを設けた。外壁は下部では 1 階または 2 階の梁により鉛直方向および水平 2 方向にピン支持され、上部では 3 階テラス先端で水平面外方向のみに支持される。外壁は非構造部材として扱い、本体建物の外壁面外方向の

変形に対しては下部支点を中心に回転して追随する。外壁面内方向には本体建物から縁を切る機構により、自重による慣性力のみを負担することとした。

#### 3.2 プレキャスト部材の設計

現場サイトでの製作が可能なプレキャスト部材とするために、一方向のリブを幅方向で 2 分割し、その 2 本で挟まれる範囲を 1 ユニットとした。各ユニット側面のリブには 1 次 PC ケーブルを配置し、緊張力を導入する。ユニット同士を貫く方向のリブには、建て方後に 2 次 PC ケーブルを通線し、現場で緊張力を導入する。これにより両方向に曲げ剛性の連続性が確保されることになる。3 階レベル下では水平方向にも PC 鋼線を通すことで、ひとつの面のユニット全てが圧着され、外壁全体が面として外力に抵抗することが可能となる。(図 - 3)

沖縄の海岸近くに建設される建築物という特殊性から、高い耐久性が要されたため、長期荷重に対して断面に引張応力が生じないようにフルプレストレスによる設計とした。

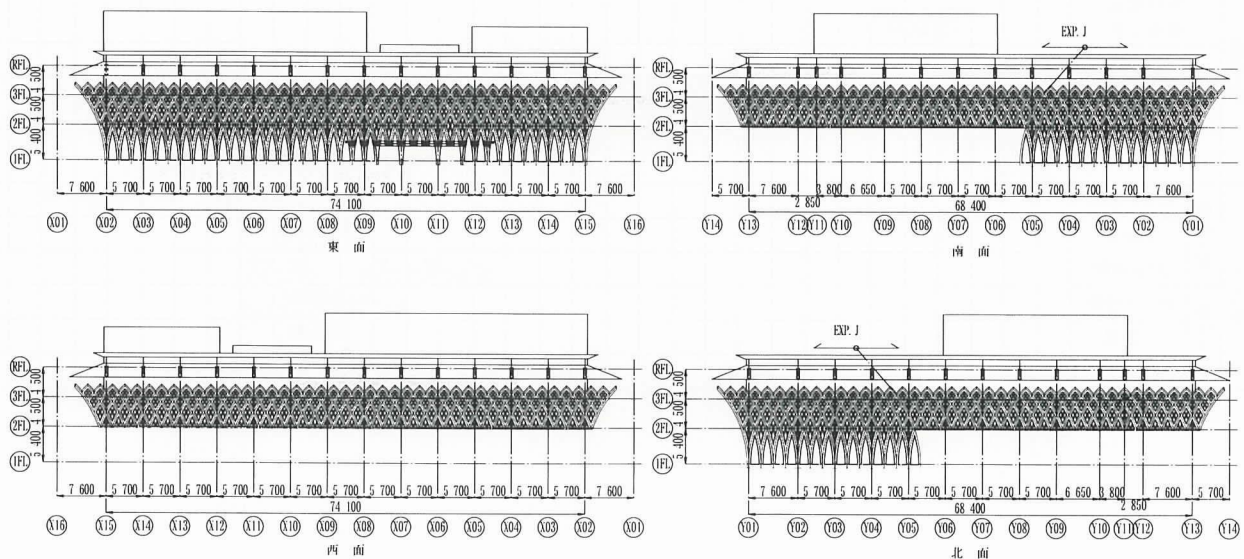


図 - 2 PCa 外壁版割付図

また、地震力に対しては曲げ破壊が生じないように設計し、かつ断面の緑応力度はコンクリートの曲げ引張強度以下とした。

### 3.3 部材形状の実現

PCa 外壁版の形状は、面外、面内方向ともに3次元のねじれた曲面により構成される。モックアップ製作前に、3次元 CAD でソリッドモデルを作成し、形状を確認した。また、このモデルは架設計画に必要な部材の重心位置、重量の算出にも活用された。鋼製型枠製作時には、ワイヤースタンプを作成し、構成面をすべて2次元の平面に展開し、型枠加工の基本データとした。(図-4・5)

## 4. 施 工

### 4.1 PCa 外壁版の製作

#### (1) ヤード設備計画

PCa 外壁版は非常に不安定な形状の部材であるため、運

搬等の問題により現場ヤード内で製作した。製作設備は、主として製作ベッド、鉄筋先組設備、脱枠緊張架台、蒸気養生システム、型枠クーリング設備、仮置き設備で、揚重およびセグメント運搬に150tクローラクレーン1台、25tラフタークレーン2台、25t高床トレーラー2台を使用した。図-6にヤード計画図を示す。

製作ベッドは各セグメントの外部見付け面の製作精度を統一化するため15.0m×23.0mのかまぼこ状の鋼製ロングベッドとし、約30回転の転用に耐えうる構造とした(写真-2)。

写真-3に製作ヤード全景を示す。

#### (2) モックアップ

PCa 外壁版は、標準部材で1セグメントあたり  $W = 1.9$  m,  $L = 13.3$  m, 重量 = 25.0 t (面内  $R = 17.39$  m, 面外  $R = 17.39$  m) で、見付け面にはユニットパターンとして中空タイプ、壁タイプ、開口部タイプが配置された複雑な形

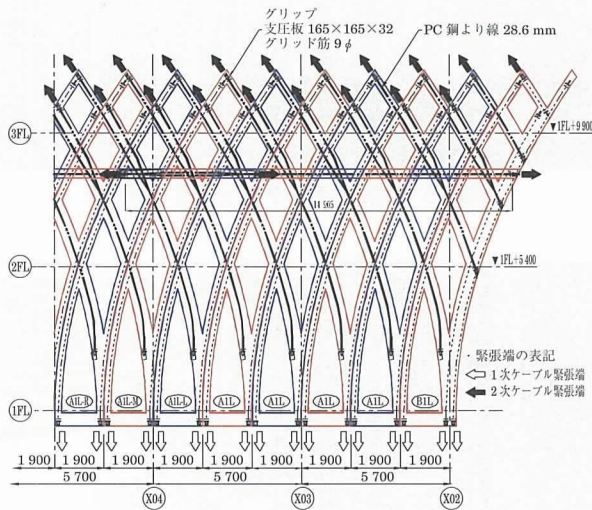


図-3 PC配線図



図-4 ソリッドモデル

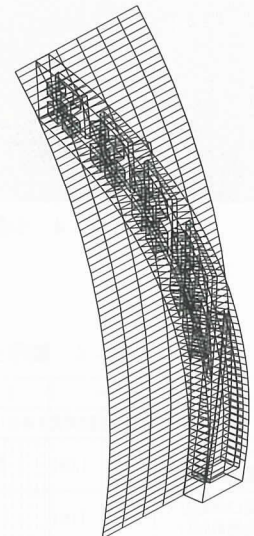


図-5 ワイヤースタンプ

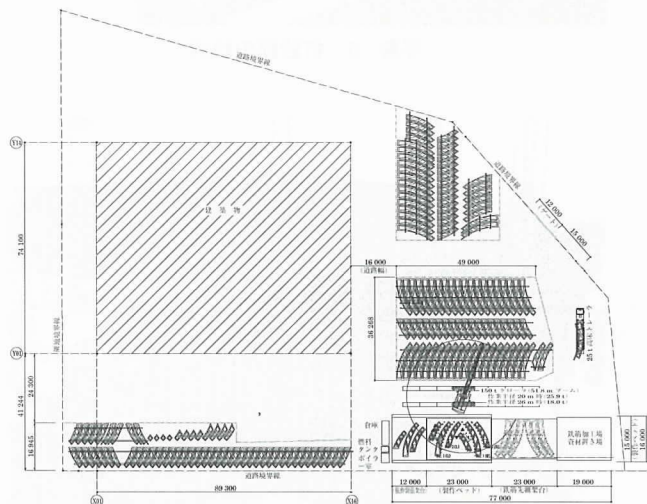


図-6 ヤード計画図

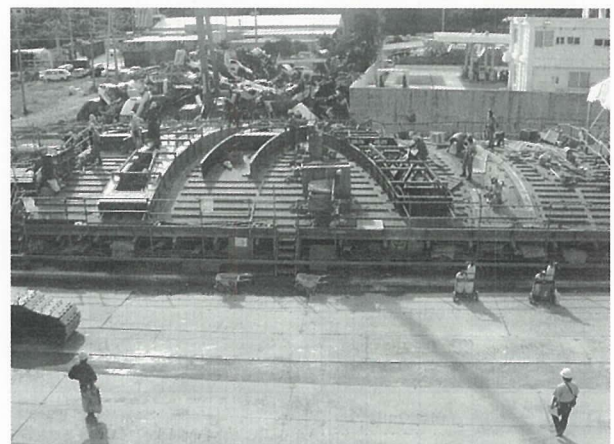


写真-2 鋼製型枠

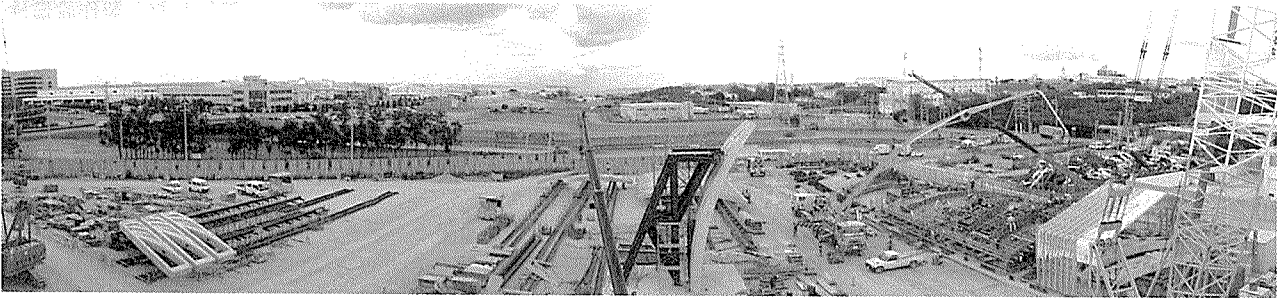


写真-3 製作ヤード全景

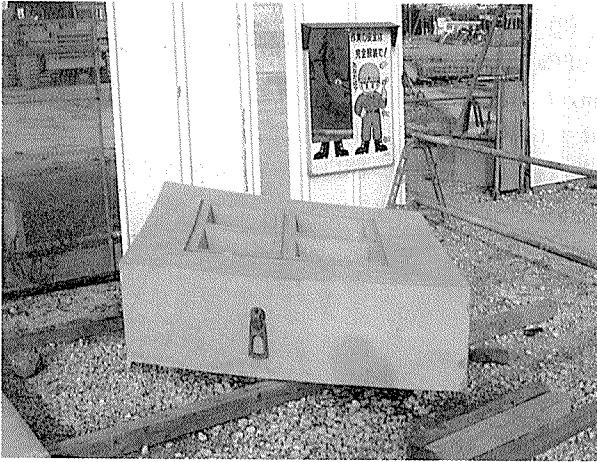


写真-4 小型モックアップ



写真-5 実物大モックアップ建て方状況

表-4 製作タイムサイクル

手順	タイムサイクル		1日目					2日目					3日目														
	作業内容	作業時間	累計時間	8	10	12	14	16	18	20	22	8	10	12	14	16	18	20	22	8	10	12	14	16	18	20	22
1	ベッド清掃, 墨だし	1.0H	1.0H																								
2	開口枠組立て, 金物取付け	2.0H	3.0H																								
3	鉄筋, PC 配置, 金物取付け	2.0H	4.0H																								
4	止め枠組立て, 金物取付け	2.5H	6.5H																								
5	PC 定着体取付け, ケーブル挿入	1.0H	6.5H																								
6	浮き枠組立て, 打設前清掃	2.0H	8.5H																								
7	配筋, 型枠検査	—	—																								
8	コンクリート打設	3.0H	11.5H																								
9	打設面仕上げ	4.0H	13.5H																								
10	蒸気養生 (自動制御)	12.0H	—																								
11	止め枠解体	1.5H	15.0H																								
12	製品取出し, 脱枠台へ移動	2.0H	17.0H																								
13	開口枠解体, 補修, 1次緊張	2.0H	19.0H																								
14	製品積み込み, 仮置き場へ移送	3.0H	22.0H																								

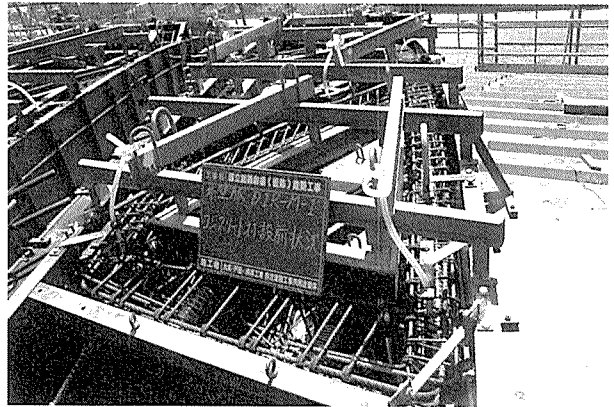


写真-6 打設前の状況

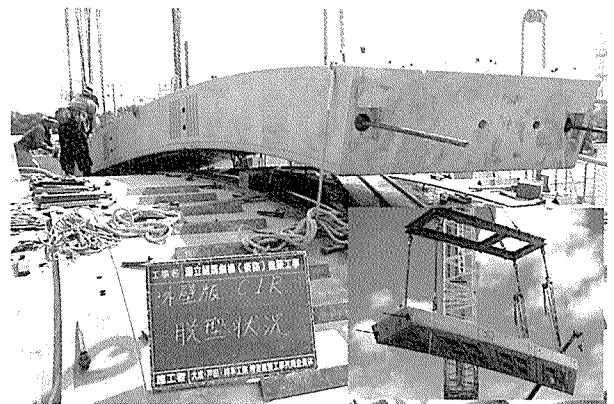


写真-7 セグメント脱枠状況

状である。本製作時に不具合が生じないように、小型および実物大モックアップにより本部材製作時の型枠構造、寸法精度の管理方法、製作タイムサイクルの把握および建て方等の問題点を洗い出し、計画の再検討を行った。写真 - 4 に小型モックアップ、写真 - 5 に実物大モックアップ° 建て方状況を示す。

(3) 製作

製作は、L・Rセグメントおのおの3枠を使用し、1サイクル2日で行った。表 - 4 に製作タイムサイクルを示す。製作ベッド上の作業と平行し、1次・2次シースを仮配置した先組鉄筋の組立てを行い、ベッド上の清掃が完了するとともに先組鉄筋を移動、鉄筋位置およびPC鋼材位置の補正、1次PC鋼材の入線定着体取付け、側枠浮き枠のセット、打設前清掃、配筋検査を経て、コンクリート打設を行った。PC鋼材位置、打込み金物位置、止め枠等の位置は、あらかじめ製作ベッドにXY方向にけがかれた20cm間隔の座標からの寸法管理を行い製作図との整合を計った。写真 - 6 に打設前の状況を示す。

コンクリートはポンプ車を用い、棒状バイブレーターによる内部振動にて入念な締固めを行った。表 - 5 にコンクリート配合および試験結果、蒸気養生管理データを示す。セグメントには、脱枠時および建て方時の耐力を確保するために1次PC鋼材(PC鋼より線28.6φ)が配置されている。設計基準強度40N/mm<sup>2</sup>に対し、打設17時間後には、1次プレストレス導入時強度27N/mm<sup>2</sup>を発現させるべく通常の同強度のコンクリートより富配合とし蒸気養生を行った。なお、コンクリート配合は数度の実機試験練りにより決定した。蒸気養生は、コンクリート養生管理システム

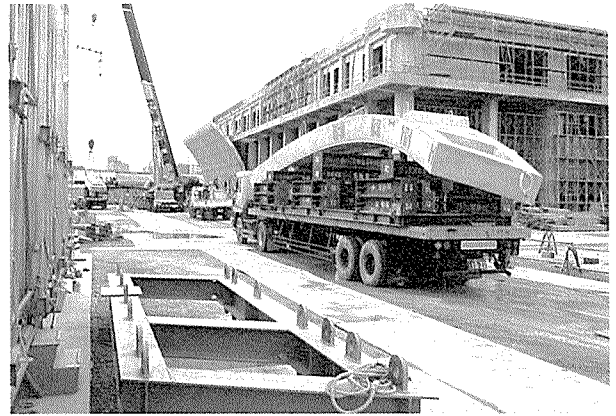


写真 - 8 セグメント場内運搬状況

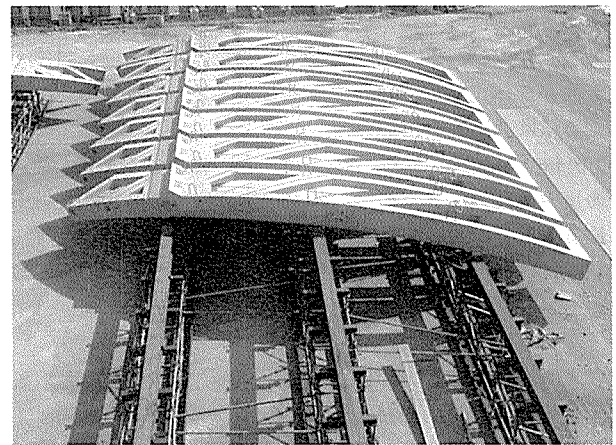


写真 - 9 仮置き状況

表 - 5 コンクリート配合および試験結果

		配合表 (kg / m <sup>3</sup> ) w / c = 34 % 細骨材料 = 41.2 %																						
		セメント量		顔料		水		細骨材		粗骨材		混和剤		備考										
		①	②	①	②			①	②	①	②	①	②											
		465	—	—	—	158	—	456	250	1031	—	4.185	—	混和剤① 高性能 AE 減水剤 ターレックス スーパー 100PHX										
		圧縮強度試験結果 (N/mm <sup>2</sup> )								外気温℃	21.0													
		材齢 17h(蒸気/標準)		材齢 7日(蒸気/標準)		材齢 28日(蒸気/標準)		CON 温度℃		28.0														
打設日: 平成 14 年 11 月 4 日		平成 14 年 11 月 5 日		平成 14 年 11 月 11 日		平成 14 年 12 月 2 日		スランプ (cm)		13.5														
	1	29.2	—	1	45.8	—	1	57.3	—	塩化物 (kg/m <sup>3</sup> )	0.052													
	2	31.1	—	2	46.6	—	2	63.4	—	空気量 (%)	3.6	蒸気温度℃	60.0											
	3	29.6	—	3	44.3	—	3	61.6	—			昇温時間(h)	2.0											
	平均	30.0	—	平均	45.6	—	平均	60.8	—			継続時間(h)	6.0											
		平成 14 年 11 月 4 日						平成 14 年 11 月 5 日																
工程		採取	前置	昇温	蒸気継続 蒸気継続 : 60℃ 17時間			降 温	蒸気継続			圧縮試験												
時間		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

を使用し温度センサーを介した自動制御による管理を行った。脱枠時のセグメント表面温度は45～50℃にのぼる。鋼製型枠を使用しているためとくにユニットパターン枠（五面がコンクリートに密着）は熱膨張により脱枠が困難な状況であったが、散水クーリングにより改善した。写真-7にセグメント脱枠状況、写真-8にセグメント場内運搬状況、写真-9に仮置き状況を示す。

#### 4.2 PCa 外壁版の建て方

##### (1) 建て方

図-7に建て方手順図を示す。建て方計画に際し、精度の高いCADを使用しセグメントの重心位置を的確に捉え、各Stepごとの吊り治具が負担する荷重計算を行うことにより吊り治具を決定した。

建て方は200t・120t油圧クレーン各1台と高所作業車1台を使用し、1日に3セグメントの取付けを行った。各セグメントは外方向に転倒しようとするため、面外方向に最大6.7tの水平反力が発生する。また、建て方時にはまだ壁面が一体化されておらず、各セグメントを単体で自立させるには、面内方向にも最大2.3tの水平反力が必要となる。2次PC鋼材の緊張が完了して壁面が一体化するまで、前述の反力を負担するために、各支点位置に仮設金物を配置し位置固定・微調整を行った。写真-10に地切状況、写真-11に建て方状況、写真-12に仮設金物、写真-13に本設支承金物を示す。

##### (2) 目地処理、2次PC緊張

各セグメントは目地巾20mmで配置され、目地に無収縮モルタル充填後、2次PC鋼材(28.6φ)を通線・緊張する

ことにより、不安定な形状のセグメント単体がすべて圧着され、安定した外壁面が構築される。(図-8)2次緊張による圧着部の目地数は約700箇所へのぼったが、無収縮モルタル充填用の目地型枠、および目地部のシーシ孔形成用にゴムチューブを用いることにより、作業の効率化を図った。(図-9・写真-14)全166ピースを25の施工ブロックに分割し、1つの施工ブロックの2次緊張が完了して外壁面が一体化された後、次の施工ブロックへ移行する施工順序とした。2次PC鋼材は圧着目地に対して斜角をもつため、プレストレス力によるすべりが生じないように、目地部にコッターを配置し緊張順序にも留意した。(図-10、写真-15)

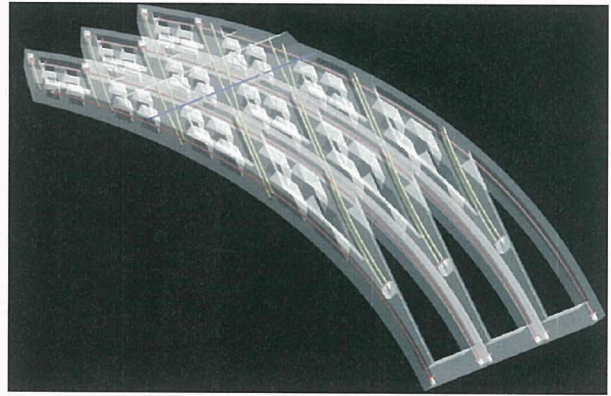
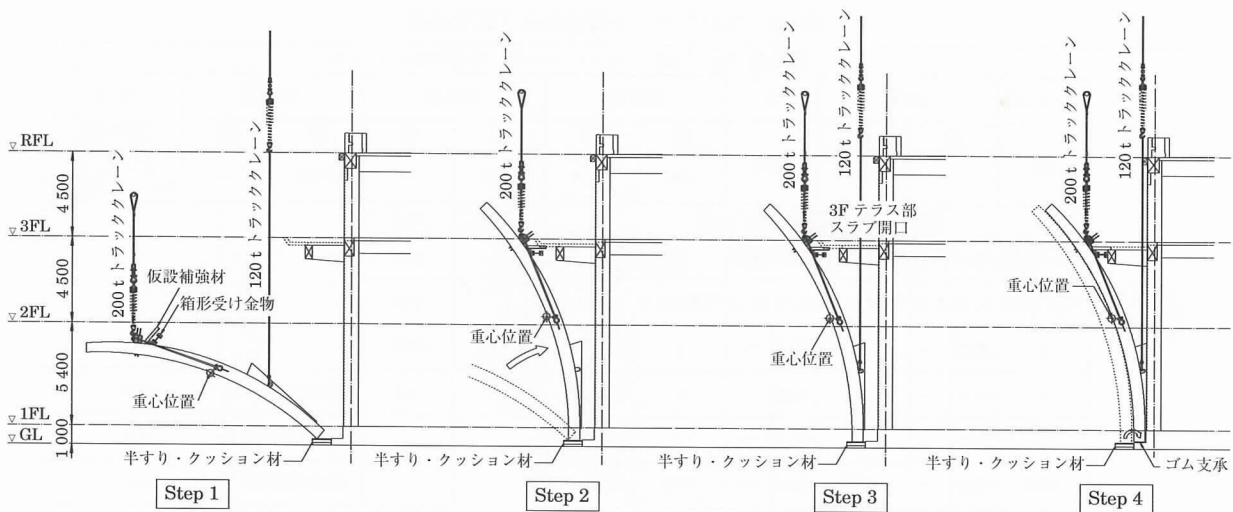


図-8 PC鋼材配置図



【外壁版建て方手順図】

- 【Step 1】 クレーン2台の相吊りにより地切り、目的位置へ旋回
- 【Step 2】 メインクレーンにより建て起こし
- 【Step 3】 3Fテラススラブ開口よりサブクレーン玉掛け
- 【Step 4】 クレーン2台の相吊りで正規位置へ建て方・調整

図-7 建て方手順図



写真 - 10 地切状況



写真 - 11 建て方状況

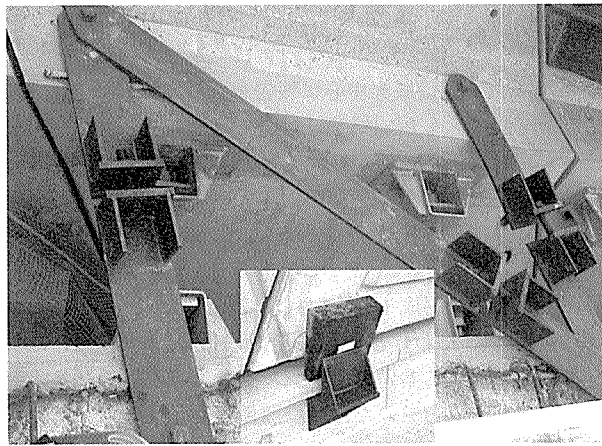


写真 - 12 仮設金物

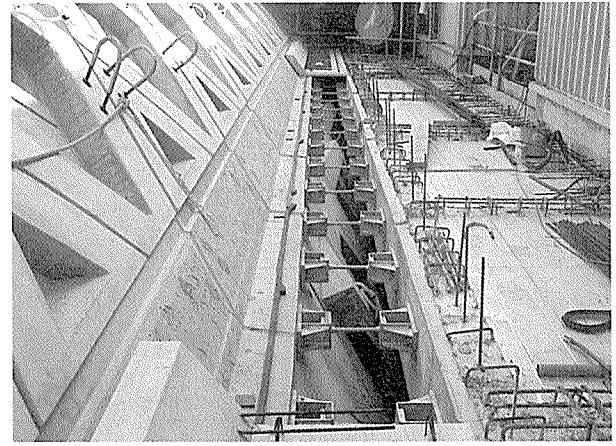


写真 - 13 本設支承金物

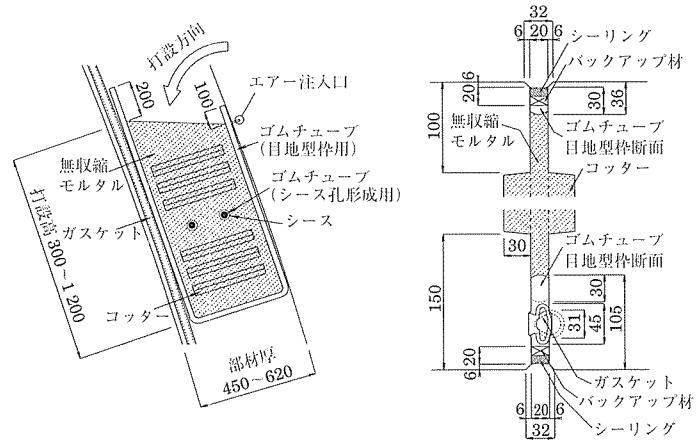


図 - 9 圧着目地詳細図



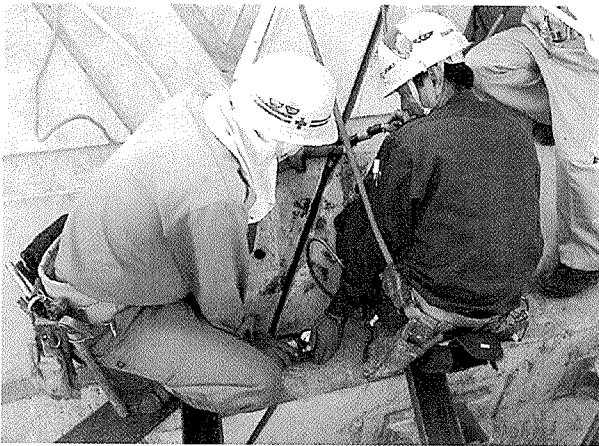


写真 - 14 ゴムチューブ目地型枠

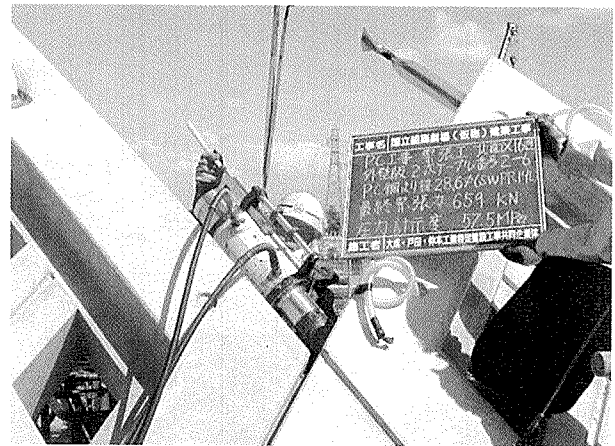


写真 - 15 2次 PC 緊張状況

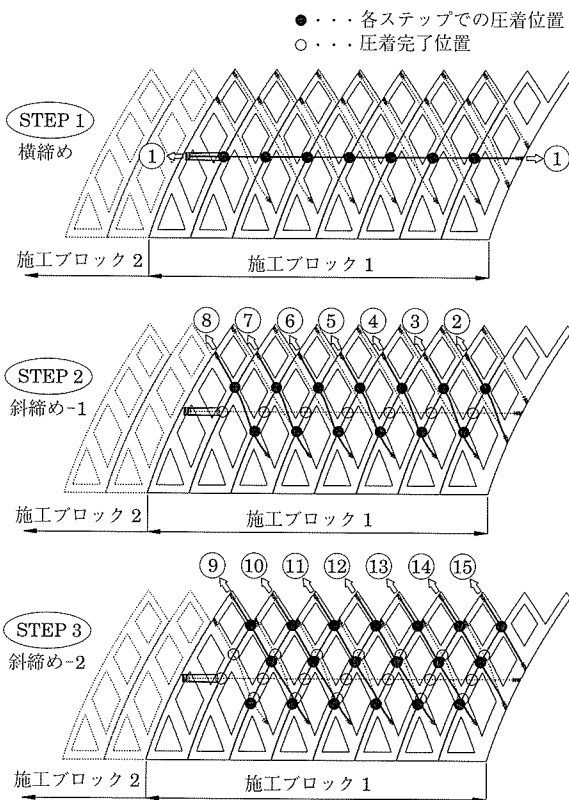


図 - 10 2次 PC 緊張順序

## 5. おわりに

今回はPCa外壁版を中心に報告を行った。3次元形状の複雑なデザインもPCaPC工法により実現可能となり、さらに、省力化による工期短縮、工場およびサイト工場での製作による品質の向上、廃材が生じず環境保全に貢献、などの点で、今後の多様化するデザインにも可能性がひらけたと考える。

建築工事は、平成15年7月に完了し、平成16年1月に『国立劇場おきなわ』として国内六つ目の国立劇場となる予定である。最後に本建物の計画・設計・施工にあたり多大なご指導とご協力をいただいた関係各位に心よりお礼申し上げます。

【2003年5月2日受付】