

沖縄県立博物館 美術館の設計・施工

能勢 修治 *1・早野 雄治 *2・吉永 健治 *3・大城 勝彦 *4

1. はじめに

沖縄の建築の特徴はコンクリートの普及率が高いことである。一般住宅においても鉄筋コンクリート造が普及しており、街中から郊外まで沖縄の風景に見られる建物は必ずといって良いほどコンクリートにペンキ塗である。沖縄県は決して日本のなかで裕福な県ではないが台風とシロアリの被害が多いため、必要に迫られ住宅にも鉄筋コンクリート造が普及した。沖縄で鉄筋コンクリート造が普及することになったきっかけは第二次大戦後の米軍の占領下における米軍住宅の建設である。鉄筋コンクリート造でルーフはパラペットの無いフラットなスラブとなっており、まさにコルビュジェのドミノタイプのような建築である。壁にはアメリカから持ち込まれた製造機によるコンクリートブロックが使われた。沖縄独特の「花ブロック」：穴の開いたコンクリートブロックも同様である。業務ビルにおいても日除けルーバー・手摺などの外部部材はほとんどコンクリートで作られる。台風時などの空気中の海塩粒子の濃度が高く、紫外線の照射量が多いため、金属にはとくに厳しい環境であることが原因である。

沖縄県立博物館・美術館ではそのような沖縄の建築特性を踏まえ、コンクリートの使用を徹底した。外部にはフッ素樹脂塗装のサッシ以外の金属は使用していない。外壁を二重とし、PCaPC製の外側の外壁を暴風時のバリアーや日除けスクリーンとしての機能をもたせている。PCaは琉球石灰岩の材質感を出すためにホワイトセメント、粗骨材：琉球石灰岩、細骨材：海砂で作ったコンクリートを削りだしている。

日除けスクリーンとなっている穴あきPCaPCパネルは、花ブロックの日除けスクリーンからの引用である。開口率を確保するためプレストレスを導入した。開口部底辺を中

央部が下がった谷の形状にするなどの工夫によって穴の抱き部分からの汚垂を最小限に留めている。

2. 工事概要

建設地：沖縄県那覇市おもろまち3丁目1番

発注者：沖縄県教育庁文化施設建設室

設計監理：(株)石本建築事務所・(有)二基建築設計室 JV

施工：上門工業(株)・(有)大協建設・(株)町田組 特定JV
(株)大米建設・(株)東江建設・(株)富士建設 特定JV
金秀建設(株)・(株)沖創建設・(株)野原建設 特定JV

PC施工：(株)ピーエス三菱

部材製作：(株)技建

構造：鉄筋コンクリート造一部鉄骨造

敷地面積：31,287.44 m²

建築面積：13,483.95 m²

延床面積：23,602.23 m²

全体パースを図-1に、建物全景を写真-1示す。

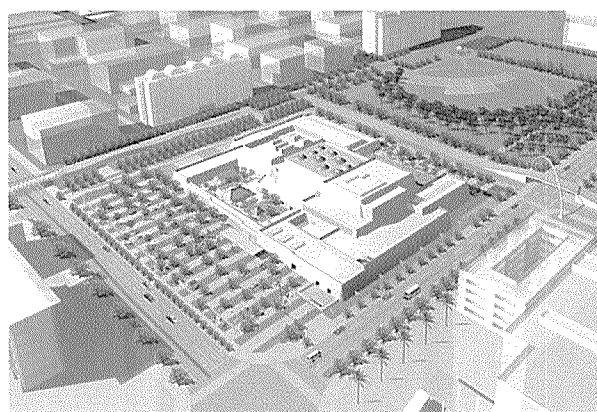


図-1 全体パース



*1 Syuji NOSE

(株)石本建築事務所
プロジェクト推進室



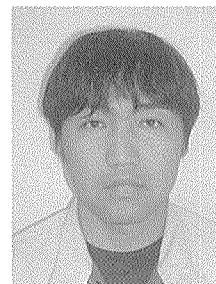
*2 Yuji HAYANO

(株)ピーエス三菱 西日本支社
建築部



*3 Kenji YOSHINAGA

(株)ピーエス三菱 西日本支社
建築部



*4 Katsuhiko OOSHIRO

(株)技建 製造部



写真-1 建物全景

3. 構造概要

PCaPC 外壁版は 1 : 4 の傾斜で、RC 躯体壁の外側に配置されるダブルスキンの構造で建物全体を覆っている。総重量は 5 045 t ・ 775 枚あり、その長さに応じ短部材は RC 造、最大で 13.5 m の高さになる長部材は PC 造となっている。

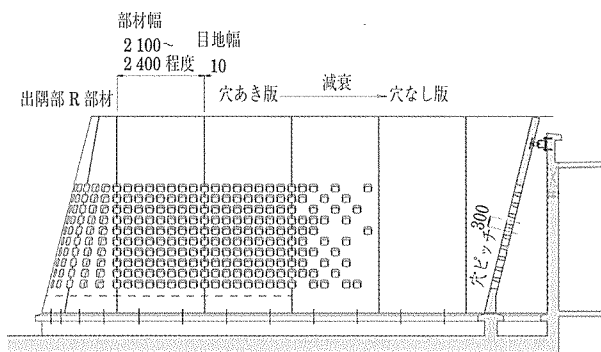


図-2 PCaPC 外壁版の構成概要

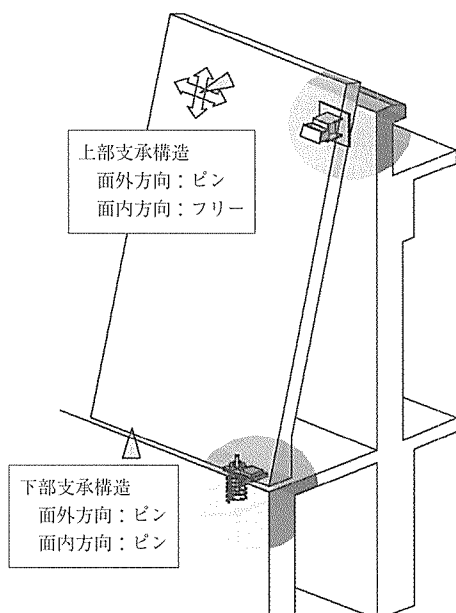


図-3 PCaPC 外壁版の構成概要

る。部材厚さは 200 mm で、200 角の穴が開いた穴あき版と穴のない穴なし版から構成される。部材の構成概要を図-2 に示す。

PCaPC 外壁版の構造は、面外方向の変形に対して下部支点を中心に回転して追従し、面内方向には本体建物から縁を切り、自重による慣性力以外を負担しない非構造部材として設計した。したがって下部支承はアンカーバーにより水平 2 方向のピン支持とし、上部支承は受け金物により水平面外方向のみ支持する機構とした (図-3)。

また、部材の面内方向の回転には、溶接接合により一体化された複数の部材の自重により抵抗する構造である。

部材脱枠・架設時の施工時応力、地震時慣性力または風圧力による短期応力に対し、PC 鋼より線 12.7 mm を複数本導入したプレテンション方式の部材で、プレストレスト鉄筋コンクリート (Ⅲ tb) の設計とした。

4. 使用材料

PCaPC 外壁版は「グスク」を模したもので、琉球石灰岩の淡い灰白色の色を出すために白色ポルトランドセメント・琉球石灰岩砕石・白色海砂を使用した。また、琉球石灰岩の質感を出すために押さえ面 (打設面) を切削処理する仕上げとした。PCaPC 外壁版に用いた白色コンクリートの使用材料一覧を表-1 に示す。また、粗骨材と細骨材を写真-2 に示す。

表-1 白色コンクリートの使用材料一覧

	種類
セメント	白色ポルトランドセメント
水	工業用水
粗骨材	琉球石灰岩砕石
細骨材	白色海砂 (ビーチコーラル)
混和剤	高性能減水剤標準形
	顔料



写真-2 粗骨材 (左) と細骨材 (右)

4.1 粗骨材として用いた琉球石灰岩砕石

沖縄県で通常使用される粗骨材は本部石灰岩砕石で、比重が大きく緻密な骨材である。これに対し今回採用された沖縄本島南部で採取される琉球石灰岩砕石は、比重が小さくポーラスな骨材である。この琉球石灰岩砕石は一般にコンクリート用骨材としては使用されておらず、路盤材とし

て需要がある。今回の工事にあたってはクラッシャー設備を部材製作工場内に設け、市販されている路盤材用の琉球石灰岩砕石（粒径 40 mm）を最大粒径 20 mm に砕いてコンクリート用骨材として使用した。

4.1.1 琉球石灰岩の性質

沖縄本島南部で採取される琉球石灰岩を岩質で区分すると大きく 3 種類に分けられる。琉球石灰岩の主体となる珊瑚・石灰藻石灰岩は珊瑚礁や化石が緻密に濃縮されたものでトラバーチンと呼ばれている。また碎屑性石灰岩は碎屑物（砂や礫）の周りを炭酸カルシウムで固められたもので、前者に比べ固結度は低い。

この 2 者の境界は漸移的に変化しており、採掘時に区別することは実質的に不可能である。琉球石灰岩の分布状態を図 - 4 に示す。その他、琉球層群基底部に位置する赤色石灰岩があるが、前述の 2 者とは堆積年代も異なり、明らかな境界面で区別でき、今回の工事では使用していない。

4.1.2 琉球石灰岩の色調

石灰岩の主成分は炭酸カルシウムであり、光の屈折により灰白色に見える。この灰白色が主となって形成されている岩を灰白色系石灰岩とすると、それとはべつに、主体の部分は灰白色であるが、表面に赤褐色シルトが沈着して、骨材全体が茶褐色を呈しているように見えている茶褐色系石灰岩があり、色調としては大きくこの 2 系統に分けられる（図 - 4）。

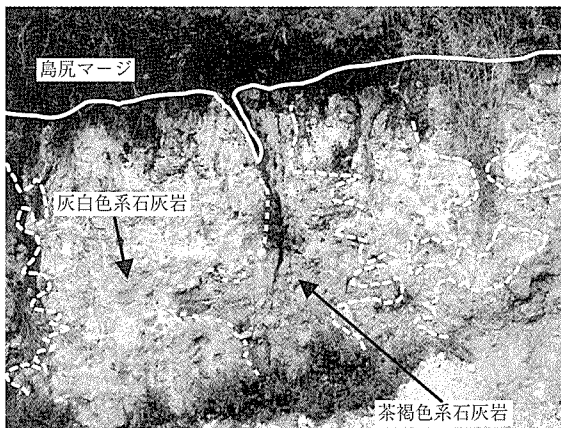


図 - 4 琉球石灰岩の分布状態

4.1.3 骨材としての特徴

現在、コンクリート用骨材として使用されていない本島南部産の琉球石灰岩も、沖縄復帰頃にはコンクリート用骨材として使用されており、1976 年にはその骨材の特性が報告されている。報告によれば、琉球石灰岩砕石は比重が小さく吸水量が多く、フレッシュコンクリートの性質としては粗骨材の粒形が悪いためワーカビリティが悪く、コンクリート強度が低いことが指摘されている。

使用に際しては、導入強度 30 N/mm²・設計基準強度 40 N/mm²を満たす単位セメント量および水セメント比の設定、骨材吸水量が多く一定でないことに対する水セメント比の安定化。また、ワーカビリティ確保を目的とした細骨材

率の調整等が課題となった。

4.2 細骨材として用いた白色海砂

細骨材として使用した白色海砂は、ビーチコーラルと呼ばれ、沖縄の海岸から得られる珊瑚礁の層が主体の海砂である。琉球石灰岩と同様、復帰頃にはコンクリート用骨材として用いられたが、現在では左官工用として流通している。珊瑚礁の層、貝殻片が多く含まれ、比重が小さく吸水量が大きいのが特徴で、上記報告によると、モルタル強度が低い。粗骨材と同様に強度およびワーカビリティの確保が課題となった。

5. コンクリート配合

5.1 コンクリート配合決定までの流れ

コンクリート配合の決定までには、図 - 6 に示す色調に関する検討および配合に関する検討を行い、STEP 1 から部材製作開始までに約 5 カ月をかけ配合を決定した。過去に例のない材料を用いるため多くの課題・疑問があり、その性質を確認して配合を決定するために幾度となく試験練りを行った。

5.2 配合上の問題点

使用した骨材では強度が低くなること、さらに、当初の配合においてはスランプの経時変化が大きく、ワーカビリティの確保が重大な課題となった。その一つの要因として、骨材の吸水率が高く、一定でないことがあげられた。また貧配合のコンクリートであり、材料分離の傾向が見られたこと等が問題となった。

5.3 配合計画

配合計画では、はじめに所定の強度を得るための単位セメント量、水セメント比を決定した。ここでは、良質な骨材使用が望めないため単位セメント量を増やす必要があった。また水セメント比を管理するにあたって、骨材の吸水率が高く、一定でないことから、その影響を減らすため骨材は湿潤状態で管理することにした。

次に、粒度分布が悪く材料分離の傾向があったため、それを抑えるために細骨材率を決定、同時に初期スランプが確保できる混和剤量を決定した。この時点でワーカビリティも多少改善されていたが、練上がり 20 分程度までしか良好な施工性は期待できなかった。この要因としては、上記、骨材の湿潤状態管理の難しさからきているものであった。粗骨材においては比較的湿潤な状態を保つことができ

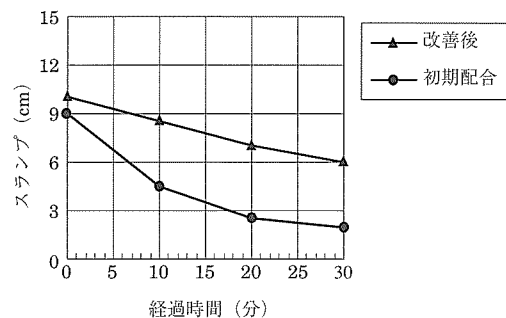


図 - 5 白色コンクリートのスランプ経時変化

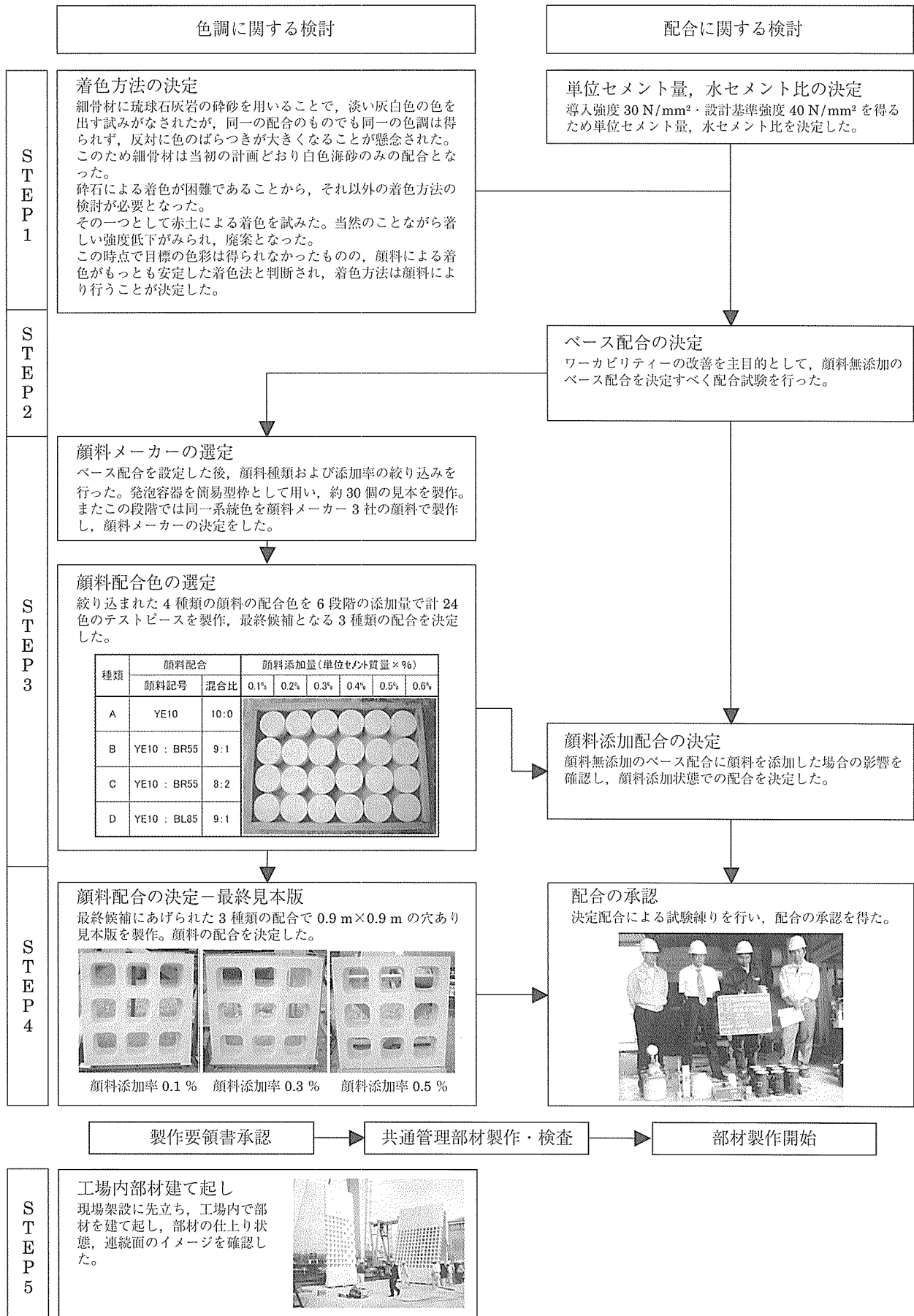


図 - 6 コンクリート配合決定までの流れ

るが、細骨材ではその状態を保持することが難しい。細骨材の吸水を防ぎ、この影響を取り除くために、練混ぜ順序の変更を行った。練混ぜ順序は研究論文²⁾を参考にセメント、粗骨材、水、混和剤を一次かくはん後、細骨材の投入、二次かくはんの順番とした。この練混ぜ順序の変更は、スランプの経時変化を大幅に改善した(図-5)。

5.4 コンクリートの色調

上記の配合試験練りと平行して、図-6で示すように以下の4段階に分けて色見本の製作を行った。

- ① 着色方法の選定, ② 顔料メーカーの選定, ③ 顔料配合色の選定, ④ 顔料配合の決定

これにより、最終的な顔料を選定し、製作部材の配合を決定した。

6. 部材の製作

部材製作のフローチャートを図-7に示す。表面切削～洗浄までの工程を除けば、通常のプレキャスト部材と同様のフローであるが、本工事においては、部材の製作に先立ち、製作設備を整える必要があった。

まず最初に白色コンクリートを製造する場合、普通コンクリートを打設するプラントと同じプラントを使用すれば、普通コンクリートの混入により白色コンクリートの色調が失われる可能性がある。打設量が少なければ休日のみ白色コンクリートを打設する等の対策が考えられるが、今回の

場合、普通コンクリートの練混ぜを止めることはできず、また工程上も不可能なため、白色コンクリート専用のプラントを設けることとした。

また普通コンクリートの混入に関しては、打設用ホッパー・バイブレーター等施工に使用する機器材すべてを普通コンクリート用と白色コンクリート用に分け、普通コンクリートの混入を防いだ。とくにバイブレーターに関しては使用確認実験を行い、使用品を限定し管理した。

次に、骨材のクラッシャー設備を含めた、各種ヤードの整備を行った。切削ヤードには、部材表面の切削をオートメーション化した切削機(写真-3)を導入した。

部材製作に入ると、標準形状のPC部材4枠、RC部材2枠、正R部材2枠、逆R部材2枠、楕円部材2枠の計12枠の型枠を使用し、標準部材は4ピース/日、R部材は1ピース/日のサイクルで、8ヵ月間製作を行った。穴あき版は、1枚あたり最多で140個の穴が開くのに対して、抜き型枠は320個製作し、部材製作工程では1日の穴の個数が増えるように計画・管理した。写真-4に抜き型枠のセット状況を示す。

コンクリートの打設は、硬化時間に注意を払った。部材の打設・脱枠後はヤードを移動し、切削を行った。切削においては、切削影が目立ちやすい部材縦方向の切削ムラを無くすため、まず部材縦方向に切削し、その後横方向に切

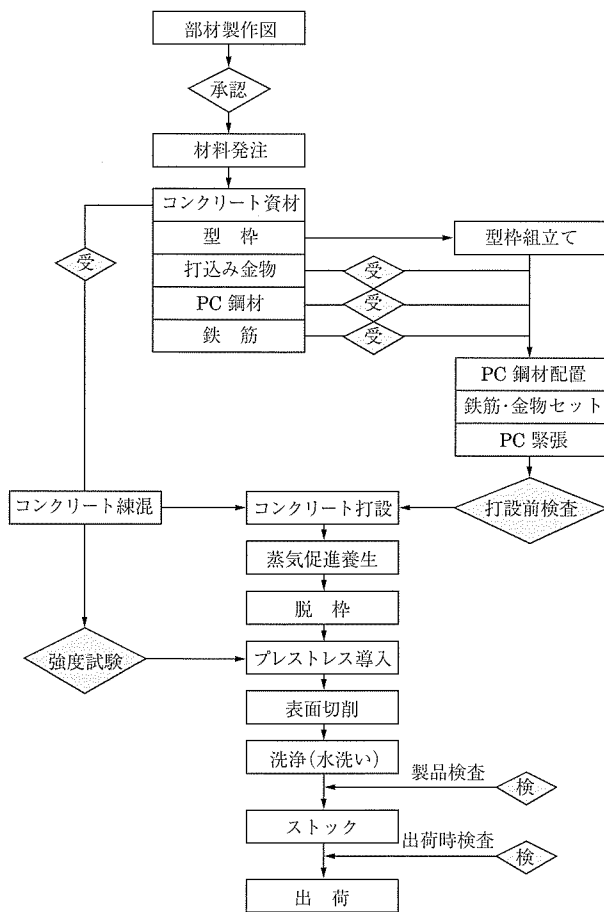


図-7 PCaPC 外壁版製作フローチャート



写真-3 PCaPC 外壁版表面切削機



写真-4 抜き型枠セット状況



写真 - 5 架設状況

削することで統一した。

7. 部材の架設

架設のポイントは、最長で 13 m を超える部材の連続する面や穴を目地幅 10 mm で、いかに精度よく納めるかであった。単一部材の高い製作精度および据付け精度はもちろん、面全体での見栄えを重視し架設を行った。また製作や架設時期の差によって色調に違いが生じないように連続面での製作および架設の時期を考慮した。架設状況を写真 - 5 に示す。

吊具は各部材長ごとに運搬、仮置き、架設時に作用する応力を検討し、インサート位置の統一を考慮して決定した。

建て方は、最大角度 80° まで建て起こすため、反転機セフターンを使用、部材を地切りし吊り上げた状態で建て起こしを行った。

揚重機は各ブロックの施工範囲に応じて、それぞれ 65 t クローラー、500 t・360 t・200 t 油圧クレーン各 1 台、高所作業車 1 台を使用し、1 日平均 9 枚の取付けを行った。架設計画図を図 - 8 に示す。

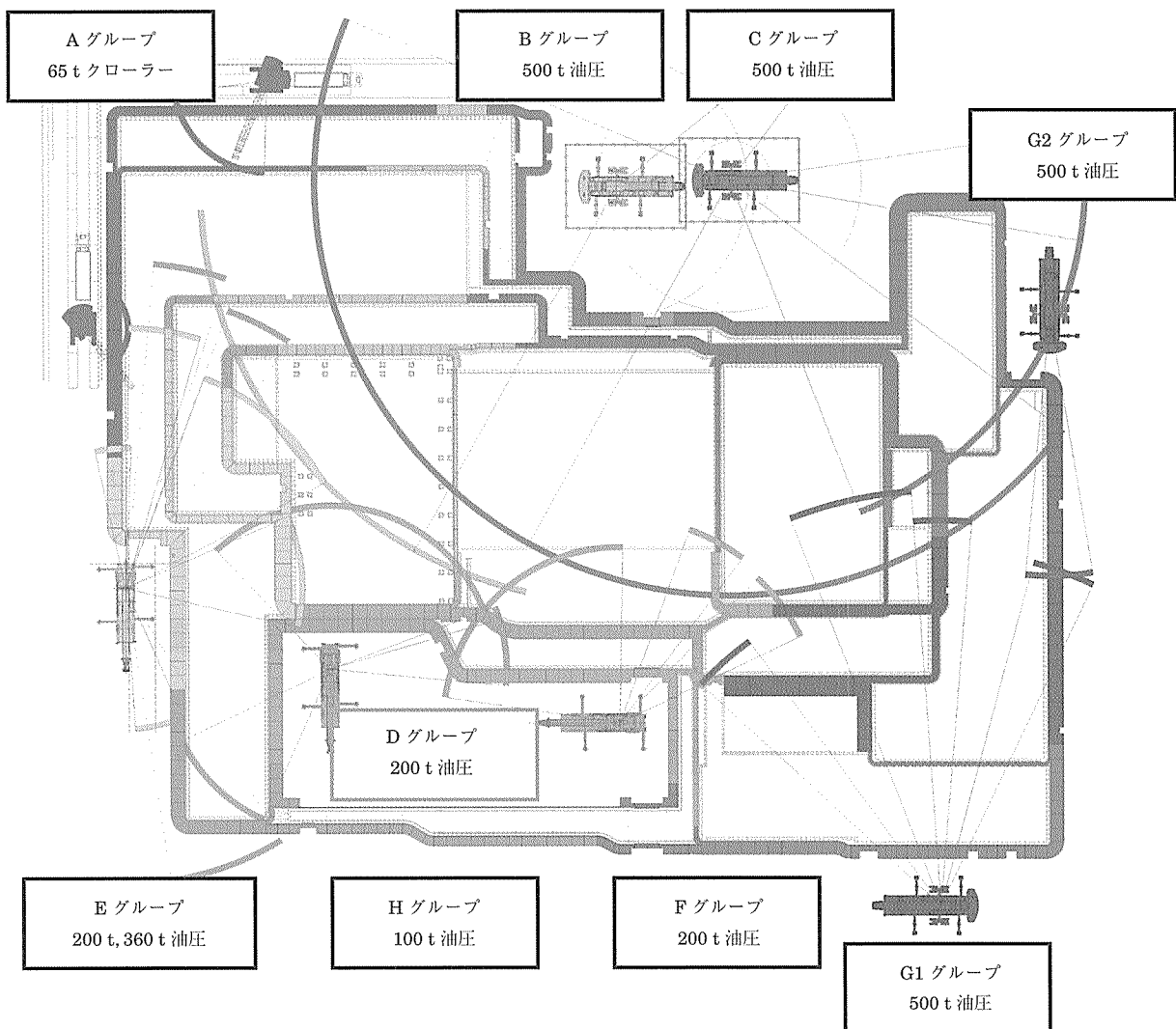


図 - 8 架設計画図

PCaPC 外壁版の架設は、部材製作と平行して行われ、脚部アンカーセットから1年3ヵ月をかけ完了した。完成後の状況を写真-6～8に示す。



写真-6 PCaPC 外壁版架設完了後

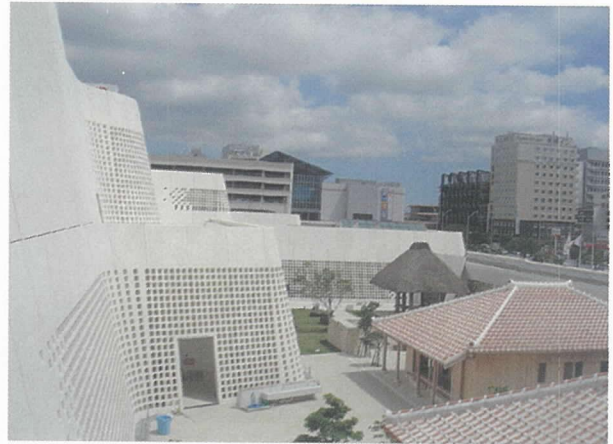


写真-8 PCaPC 外壁版の外観

8. おわりに

数百年前の「グスク」という古く風化したイメージの壁を、まったく新しい特殊な材料で創り出し、抽象的なイメージを形にすることは困難を極めた。外面はグスクを模しているながら、対照的に高い部材精度、色調の均一性が要求されるシャープで幾何学的な部材の複雑な連続面、また、未知の材料で配合されたコンクリートと切削された仕上げ面、これらが生み出す独特な質感の外壁は、PCaPCであったからこそ実現できた。

最後に、本建物の設計から施工に至るまでに、ご尽力いただいた関係各位の方々に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 大即信明・関博：コンクリート用材料としての沖縄産骨材の特性について，土木学会年次学術講演会講演概要集第5部，No.31，p74，1976
- 2) 竹内博幸・濱崎勝利・竜野三生：高流動コンクリートのフレッシュ性状に影響を及ぼす製造過程の変動要因に関する研究，土木学会コンクリート工学年次論文報告書，Vol.21，No.2，pp1124～1125，1995

【2008年5月14日受付】

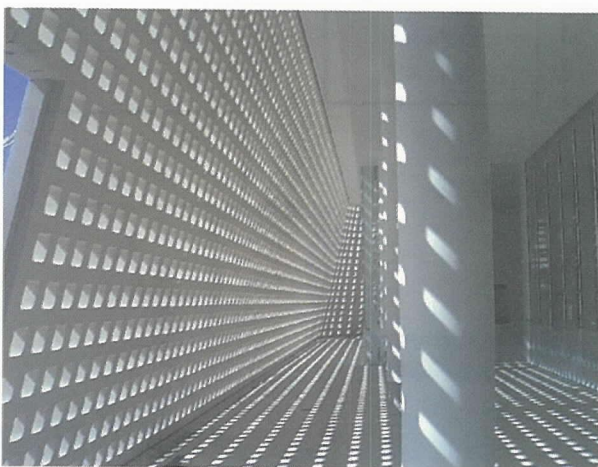


写真-7 PCaPC 外壁版の内面



図書案内

PC技術規準シリーズ

複合橋設計施工規準

頒布価格：会員特価 6,000 円（送料 500 円）

：非会員価格 6,825 円（送料 500 円）

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編
技報堂出版