

新石川浄水場原水調整池の工事報告

伊藤 朋紀*1・下川 浩*2・菅原 伸*3

新石川浄水場の原水調整池は、内径 80.0 m、有効水深 10.5 m、有効容量 50 000 m³ × 2 基の PC タンクで、同種工事では大型の部類に入る。大容量の貯水構造物であることからマスコンクリート対策や工程管理が重要な課題となり、建設地点が沖縄県であることから、暑中コンクリートの対策が必要となった。とくにタンクの側壁は底版や下段の側壁の拘束による温度ひび割れの発生確率が高いため、施工前に実物大試験や温度応力解析によりひび割れ対策を検討した。本構造物は大型で工期も長いいため、安定した品質が得られ、工期が短縮できる PCa 部材が多く採用されており、これらの施工が本工事の特長となっている。一方、工事当初に基礎地盤に軟弱箇所があることが確認され、以降の工程に遅延が予想されたため、工期短縮のために各工程において、平行作業を行うなどの対策を検討し実施した。本稿ではこれらの施工を行った結果を報告する。

キーワード：マスコンクリート、暑中コンクリート、プレキャスト工事、工程管理

1. はじめに

沖縄県企業局発注の新石川浄水場は、現在使用中の石川浄水場（昭和 42 年建設）の老朽化と、将来予測される水需要の増加に伴い、沖縄県うるま市石川東恩納崎地内の埋立地内に 165 600 m³/日の施設能力を持つ浄水場として、平成 13 年 3 月に埋立工事が着手され、現在まで建設が進んでいる。本稿は、新石川浄水場（写真 - 1）の関連施設である原水調整池 2 基の施工報告を行うものである。

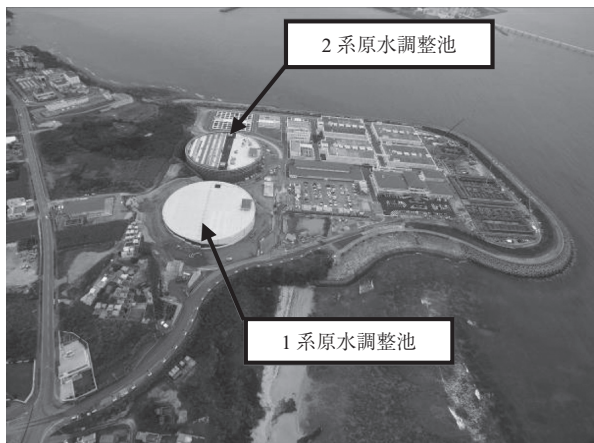


写真 - 1 新石川浄水場

2. 工事概要

本工事の工事概要を以下に示す。

工事名：新石川浄水場 1 系原水調整池建設工事

発注者：沖縄県企業局

工事場所：沖縄県うるま市石川東恩納崎地内

工期：平成 21 年 7 月 1 日～平成 23 年 3 月 31 日

構造形式：水道用半地下式 PC 円筒形タンク

基礎形式：直接基礎

工事規模：有効容量 $V_e = 50\,000\text{ m}^3$ 、

有効水深 $H_e = 10.500\text{ m}$

鉛直 PC 鋼材：PC 鋼棒 SBPR930/1080, $\phi 32$,

$N = 2\,200\text{ 本}$

円周 PC 鋼材：PC 鋼より線 SWPR7BL, 12S15.2,

$N = 170\text{ 本}$

工事名：新石川浄水場 2 系原水調整池建設工事

発注者、工事場所、構造形式、基礎形式、規模、使用鋼材は 1 系工事と同じ

工期：平成 21 年 10 月 29 日～平成 24 年 1 月 31 日

3. タンクの特長

本件は、内径 80.0 m、有効水深 10.5 m、有効容量 50 000 m³ × 2 基の上水道用 PC タンクの築造工事であり、同種工事としては大型工事の部類に入る。タンク本体は、底版、側壁、柱、屋根で構成されている。タンクの概要図を図 - 1 に、断面詳細図を図 - 2、平面図を図 - 3 に示す。底版部は RC 構造、側壁部は PC 構造で 10 箇所の定着柱を有している。屋根部は、梁とスラブからなり、梁はプレキャスト（以下 PCa と略す）製品、スラブは屋根内側が PCa 製の PC 版、側壁との接続部が場所打ちである。屋根を支持する柱にも PCa 部材が採用されている。すべての PCa 部材は沖縄県内の工場で作成・防食塗装した後、現場に搬入し組立作業が行われた。

*1 Tomoki ITO：(株)安部日鋼工業 技術工務本部 技術開発部

*2 Hiroshi SHIMOKAWA：(株)安部日鋼工業 九州支店 技術工務部

*3 Shin SUGAWARA：(株)安部日鋼工業 九州支店 技術工務部

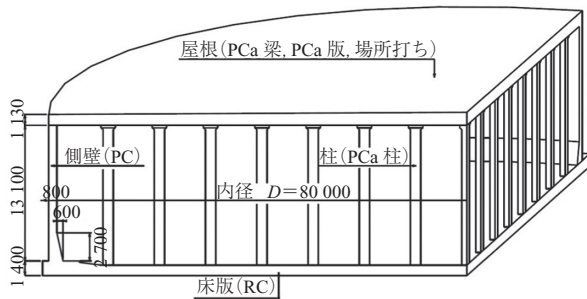


図 - 1 タンク概要図 (単位 : mm)



写真 - 2 基礎の置換コンクリート施工状況

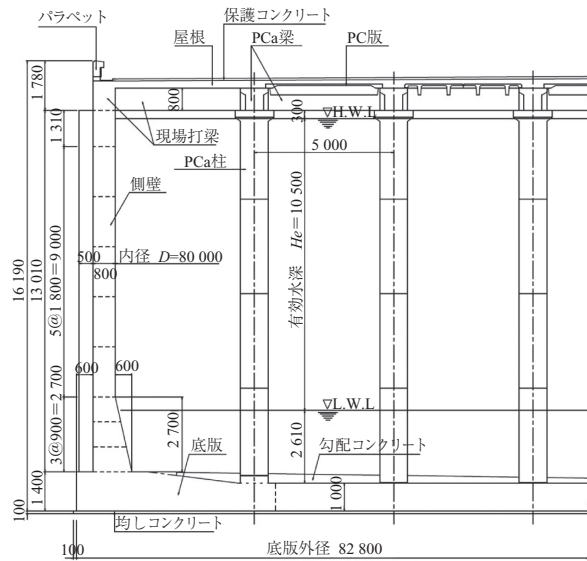


図 - 2 断面詳細図 (単位 : mm)

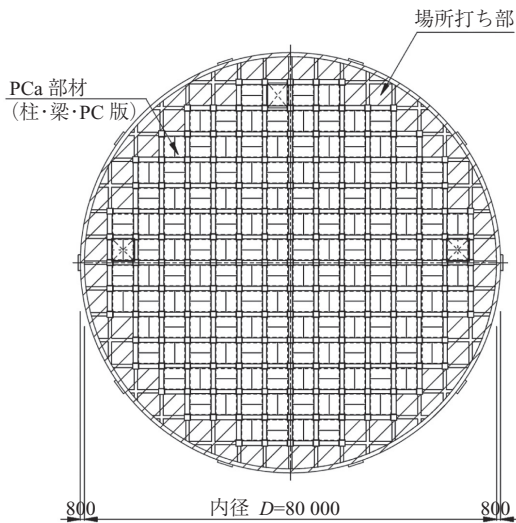


図 - 3 平面図 (単位 : mm)

が発生したため、計画工程より2ヵ月の遅延となることが分かった。以降の工程で工期短縮が課題となった。工程の短縮については「9. 工程管理」にて詳述する。

5. 底版工事

底版の部材厚は100～140 cmでコンクリート標準示方書〔施工編〕¹⁾によればマスコンクリートに分類され、温度ひび割れの発生が課題となった。そのため底版は、22ブロック(図-4)の分割施工で、外円部および間詰め部は膨張コンクリートで計画された。コンクリートの配合計画にあたっては、設計基準強度30 N/mm²で所要のワーカビリティが確保される範囲内で、単位セメント量ができるだけ少なくなるよう、試験練りを繰り返し行い、表-1に示す配合に決定した。また、施工においては、生コン車待機場への遮光ネットの設置やドラムクーリングカバーの

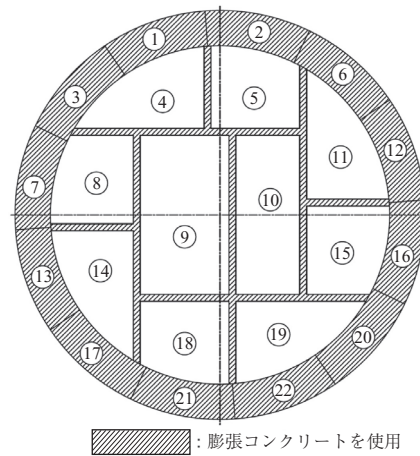


図 - 4 底版の分割

表 - 1 底版コンクリートの配合表

| | セメント | 膨張材 | 水 | 細骨材① | 細骨材② | 粗骨材 | 混和剤 |
|-------------|------|-----|-----|------|------|-----|------|
| 内円部 | 313 | - | 156 | 633 | 271 | 967 | 2.27 |
| 外円部 間詰め部 | 293 | 20 | 156 | 633 | 271 | 967 | 2.27 |

セメント：普通ポルトランドセメント（張家港海螺セメント有限公司）
 細骨材：① 砕砂（山城鉦山），② 海砂（東村沖）
 粗骨材：砕石（山城鉦山）
 混和剤：高性能 AE 減水剤

4. 基礎工事

基礎工事は、当初3ヵ月を予定していたが、基礎地盤に軟弱箇所があり、追加での置換コンクリート施工工事（写真-2、1系工事がV=3 800 m³、2系工事がV=4 700 m³）

○ 工事報告 ○

使用により、打設コンクリート温度を下げ、農業用灌水チューブを使用した散水養生を行った。底版コンクリートの打設状況を写真 - 3 に示す。



写真 - 3 底版コンクリート施工状況

6. 側壁工事

側壁高さ 13.01 m のうち、下端から 2.7 m はハンチ部で壁厚が 140 cm から 80 cm へ変化し、3 分割して高さ 0.9 m ごとに打設される。それ以上は 80 cm の等厚部で、6 分割して高さ 1.8 m ごとに打設される。側壁は PC 構造で設計基準強度は 36 N/mm² である。大型 PC タンクの側壁は底版や下段の側壁の拘束による温度ひび割れの発生確率が高く、とくに 1 系工事では側壁コンクリートの施工時期が、沖縄県の夏期という酷暑条件下での施工のため、温度ひび割れ対策を検討する必要がある。

温度応力解析に用いるコンクリートの特性値は、コンクリート標準示方書 [設計編]²⁾ やマスコンクリートのひび割れ制御指針³⁾ に標準値が記載されているが、本工事では現地生コンプラントの諸事情により中国産のセメントを使用するため、コンクリートの発熱特性を実物大試験により把握した。その試験結果を踏まえた 3 次元 FEM 温度応力解析を実施し、解析により算定したひび割れ幅をもとに温度ひび割れ対策を検討した。

6.1 実物大試験

側壁コンクリートの発熱特性を把握するために、側壁等厚部を想定した 80 × 100 × 120 cm の実物試験体 (図 - 5、

写真 - 4) を作成し、コンクリートの温度履歴を熱電対により測定した。試験により計測された温度履歴を解析で再現できるように、コンクリートの発熱特性に関わる諸係数を逆解析により求めた。解析のモデルと境界条件を図 - 6 に示す。図 - 7 に試験体コンクリートの打設面の熱電対 1、内部の熱電対 3、型枠面の熱電対 5 および外気温の実測温度履歴と解析により得られた同位置の温度履歴を示す。

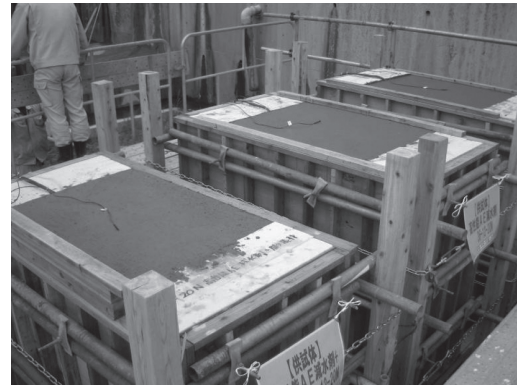


写真 - 4 実物大試験体

6.2 温度応力解析とひび割れ幅の目標値

実物大試験で得られた強度特性値および熱物性値を用いて、発注図書の条件で施工した場合の側壁のひび割れ指数を算出した。解析モデルを図 - 8 に、最小ひび割れ指数分布図を図 - 9 に示す。1 系工事ではひび割れ指数は、ハンチ部で 0.41、等厚部下部で 0.52、等厚部上部で 0.46 となった。ハンチ部の鉄筋比は 1.33%、等厚部の鉄筋比は 0.36% であり、ひび割れ制御指針の温度ひび割れ指数とひび割れ幅の関係式より、ひび割れ幅はハンチ部で 0.09 mm、側壁等厚部下部で 0.30 mm、側壁上部で 0.31 mm と算定された。

ひび割れ制御の目標ひび割れ幅は鋼材の腐食と水密性を考慮して設定する必要がある。貯水用円筒形 PC タンク設計施工規準⁴⁾ によれば、本タンクは側壁内面に防食塗装、外面に防水塗装を施すので、鋼材腐食に対する環境条件は一般の環境に区分される。側壁のかぶり厚は 70 mm であるため、鋼材の腐食に対するひび割れ幅の限界値は、0.005 C

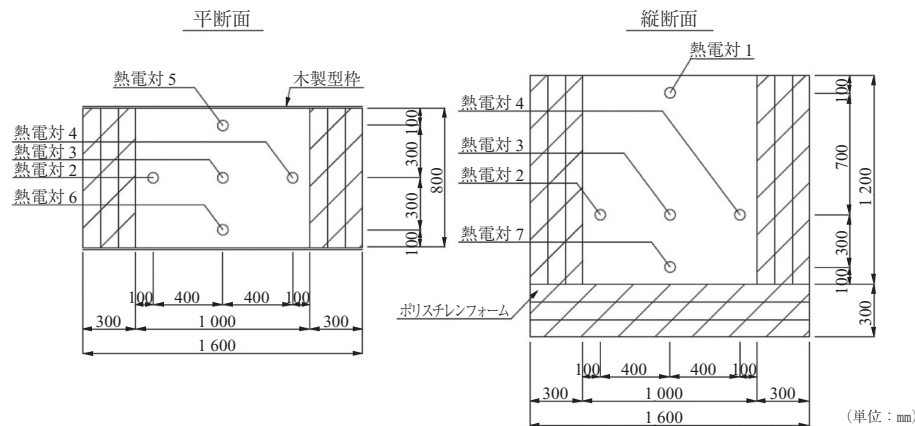


図 - 5 試験体の寸法と温度測定位置

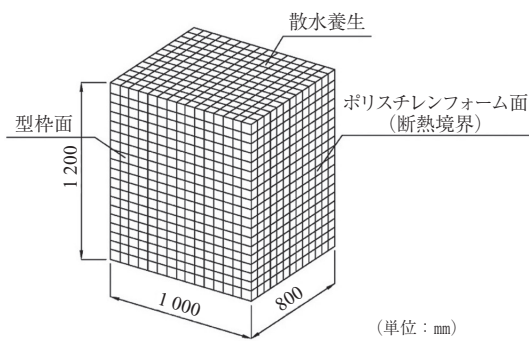


図 - 6 実物大試験解析モデル

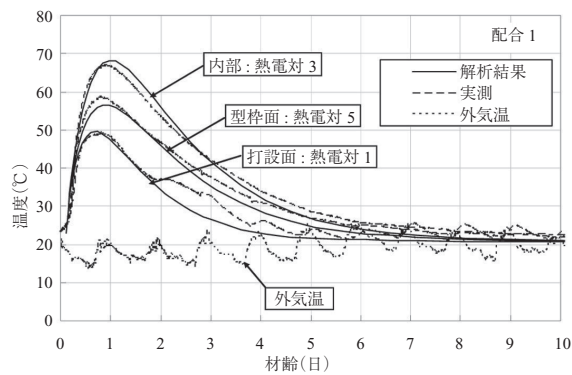


図 - 7 実物大試験の実測と解析結果の温度履歴

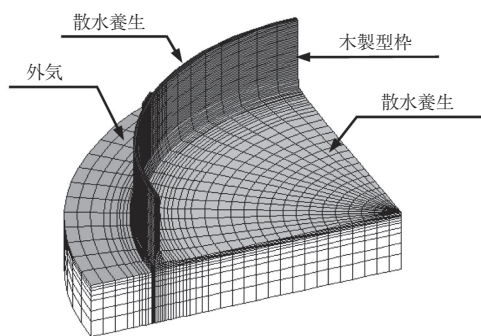


図 - 8 解析モデル

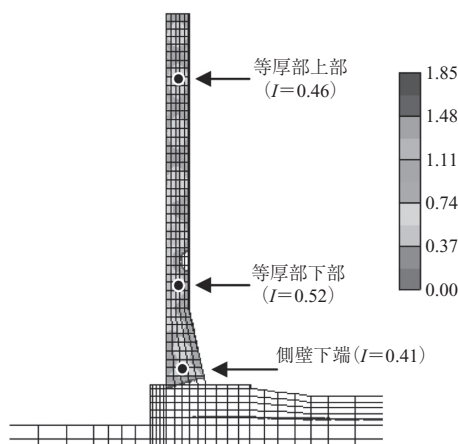


図 - 9 最小ひび割れ指数分布図

(Cはかぶり)より算定でき、0.35 mmとなる。一方、本タンクの側壁はPC構造であり、プレストレスを導入することにより満水時においても側壁には1.0 N/mm²以上の圧縮力が確保されるよう設計されている。その後、側壁の内外面には防水処理を施すので、水密性は確実に確保される仕様である。したがって、プレストレス導入前のひび割れを制御することとし、ひび割れ幅の目標値は、コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針 - 2009 - 5)を参考に、補修が不要とされるひび割れ幅の0.2 mm以下とした。

ひび割れ幅の目標値を0.2 mm以下とすると、側壁等厚部は、ひび割れ対策を行う必要があった。

6.3 ひび割れ対策の検討

ひび割れの改善を目的として、表 - 2 に示す対策について検討した。ここで、対策7は水セメント比を現設計と同じとし、セメントの種類のみ低熱ポルトランドセメントに変更した解析結果で参考値である。各検討を行った場合を想定した温度応力解析により算出されたひび割れ指数およびひび割れ幅を表 - 2 に示す。

表 - 2 側壁等厚部の温度ひび割れ対策と解析結果

| 対策 | 着目位置 | ひび割れ指数 | 鉄筋比 | 推定ひび割れ幅 |
|----------------------------|------|--------|------|---------|
| 原設計 | 側壁下部 | 0.52 | 0.36 | 0.30 |
| | 側壁上部 | 0.46 | 0.36 | 0.31 |
| 1 リフトの打設高さを0.9mとする。 | 側壁下部 | 0.44 | 0.36 | 0.32 |
| | 側壁上部 | 0.40 | 0.36 | 0.32 |
| 2 コンクリートの打込み温度を外気温まで下げる。 | 側壁下部 | 0.56 | 0.36 | 0.29 |
| | 側壁上部 | 0.49 | 0.36 | 0.31 |
| 3 側壁すべてに高性能 AE 減水剤を使用。 | 側壁下部 | 0.60 | 0.36 | 0.28 |
| | 側壁上部 | 0.52 | 0.36 | 0.30 |
| 4 側壁すべてに膨張材を使用。 | 側壁下部 | 0.49 | 0.36 | 0.31 |
| | 側壁上部 | 0.47 | 0.36 | 0.31 |
| 5 側壁すべてに高性能 AE 減水剤と膨張材を使用。 | 側壁下部 | 0.56 | 0.36 | 0.29 |
| | 側壁上部 | 0.54 | 0.36 | 0.30 |
| 6 シースを用いたエアークーリングを行う。 | 側壁下部 | 0.56 | 0.36 | 0.29 |
| | 側壁上部 | 0.46 | 0.36 | 0.31 |
| 7 低熱ポルトランドセメントを使用。 | 側壁下部 | 1.29 | 0.36 | 0.15 |
| | 側壁上部 | 0.80 | 0.36 | 0.24 |

低熱ポルトランドセメントを用いた場合、側壁下端のひび割れの改善効果がみられたが、そのほかの対策を施しても、ひび割れが発生する確率が高い。また、算定されるひび割れ幅は目標値0.2 mm以下を満足しない。そのため、経済性も考慮して、鉄筋を追加(鉄筋比を0.36%から0.61%まで増加)して、ひび割れ幅を0.2 mm以下に制御することを基本とし、ハンチ部および側壁等厚部1段目(1~4段目)は高性能 AE 減水剤と膨張材の併用、それ以上の段(5~9段目)は高性能 AE 減水剤を使用することとした。決定した側壁コンクリートの配合を表 - 3 に示す。また、コンクリートの打込み温度を極力下げるために、骨材への散水によるプレクーリング、生コン車ドラムクーリングカバーの使用および生コン車待機場所の遮光ネット設置などの対策を実施した。側壁コンクリートの施工状況を写真 - 5、6 に示す。

6.4 施工結果

6月に施工した1系工事の側壁等厚部下部の施工結果を述べる。打設時の外気温は約29℃で、骨材のプレクーリ

○ 工事報告 ○

表 - 3 側壁コンクリートの配合表

| | セメント | 膨張材 | 水 | 細骨材① | 細骨材② | 粗骨材 | 混和剤 |
|---------------|------|-----|-----|------|------|-----|------|
| 1 段目～ 4 段目 | 337 | 20 | 157 | 173 | 701 | 953 | 2.56 |
| 5 段目～ 9 段目 | 357 | - | 157 | 173 | 701 | 953 | 2.56 |

セメント：普通ポルトランドセメント（張家港海螺セメント有限公司）
 細骨材：① 砕砂（山城鉱山），② 海砂（東村沖）
 粗骨材：碎石（山城鉱山）
 混和剤：高性能 AE 減水剤



写真 - 5 側壁コンクリートの温度ひび割れ対策



写真 - 6 側壁コンクリート施工状況

ングや生コン車の日射対策の結果、コンクリートの打込み時の温度は、外気温+2℃程度となった。コンクリート打設の20日後に型枠を取り外したところ、型枠取外し直後に、円周方向に約8m間隔で側壁鉛直方向に伸びる貫通ひび割れが確認された。そのほとんどがひび割れ幅0.1mm以下で、最大ひび割れ幅は0.15mmであった。当初の目標どおりひび割れ幅を0.2mm以下に押さえることができた。なお、これらのひび割れは、PC鋼材緊張後には約半数がひび割れ幅を確認できなくなり、最大でも0.08mm以下となった。

一方、1月に施工した2系工事では、発生したひび割れは10本程度で、ひび割れ幅は平均0.06mm、最大で0.1mmであった。本数が少ない理由として、コンクリートの打込み温度が1系工事と比べ10℃ほど低かったことが考えられる。

7. プレキャスト柱工事

屋根を支持する柱は、4本のPCa柱を積み上げた構造で、合計708本のPCa柱が使用された。1本のPCa柱の重量は約8.5tonで、1本ごとに順に下から組み上げていく。PCa柱の製作時には、組立て用にPCa柱の上面に10ton吊り用のリフトアンカーを2箇所、PCa柱の移動のために柱の横1面にM24のインサートを4箇所、転倒防止サポート取付け用に柱の横4面にM16のインサートを8箇所埋め込んだ。さらに、PCa柱の上下面に後述する高さ調整ボルト用のM20のインサートと支圧板を4箇所埋め込んだ（図 - 10）。また、接続部を除いた部分の内面塗装をPCa製作工場で施した（写真 - 7）。

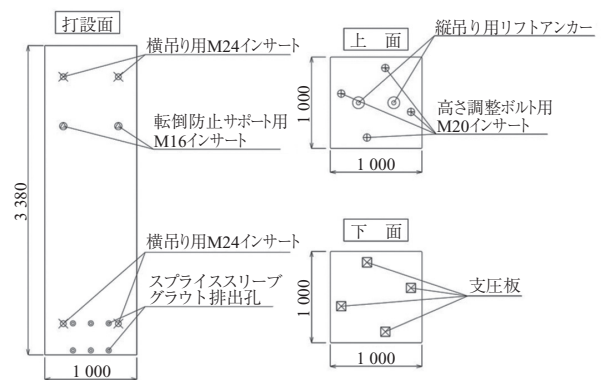


図 - 10 PCa柱製作概要図



写真 - 7 PCa部材製作完了状況

PCa柱はタンク外部に設置した200tクレーンでタンク内に搬入し、1系工事では自走台車と35tクレーンで底版上を移動させた。2系工事では施工性を改善し、復工板を拡幅し、復工板上でフォークリフトを用いて移動させた。組立てには、100tクレーンと移動足場を用いた。施工状況を写真 - 8、9に示す。

柱の施工精度が次工程の屋根工事に大きな影響を及ぼすので、出来形管理が課題となった。柱の水平位置の精度は、鉄筋を継手に差し込み、柱の4面を合わせることで確保される。鉛直度は、柱の上面に埋め込んだ4個の高さ調整ボルト（写真 - 10）を回転させて、柱4箇所の高さを微調整しながら、下げ振りとトランシットで垂直度の確認を行った。施工精度を確保した後に、転倒防止のためのサ



写真 - 8 1系工事 PCa 柱タンク内運搬状況

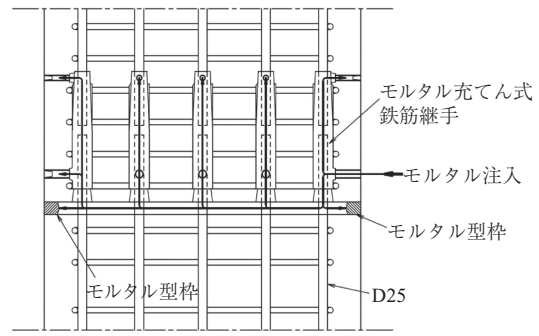


図 - 11 柱間詰め部の施工

柱と同様に PCa 梁と PC 版にも吊上げ用のリフトアンカーを埋め込んでいる。架設状況を写真 - 11 ~ 15 に示す。PCa 部材の架設完了後、PCa 柱、PCa 梁、PC 版の接合部の隙間に止水処理を施した。その後、場所打ちコンクリート部の配筋を行い、屋根コンクリートを一度に打設した。



写真 - 9 PCa 柱施工状況



写真 - 11 屋根部材施工状況

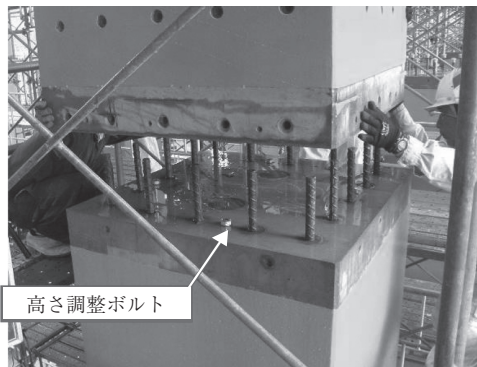


写真 - 10 PCa 柱接続部施工状況

ポートを取り付け、底版および柱同士を接続した。

柱の接続部は、モルタル充てん式鉄筋継手である。柱を積み重ねた後、間詰め部に型枠となる硬練りのモルタルを挿入し、一箇所の注入口からモルタルを注入すれば、接続部すべての鉄筋継手内部と間詰め部にモルタルが行き渡る構造となっている（図 - 11）。1系工事では手動のポンプによりモルタルを注入したが、2系工事では作業効率を上げるため電動ポンプを用いた。

8. 屋根工事

屋根は、324本のPCa梁と294枚のPCa製PC版からなり、側壁との接続部が場所打ちである。PCa梁とPC版の架設に使用した重機や足場はPCa柱と同じである。PCa



写真 - 12 PCa 梁設置状況

9. 工程管理

9.1 工程管理上の課題

本工事を施工するにあたり、浄水場の一部供用開始時期が決まっており工期厳守が重要であったため、工程管理に留意した。工程管理上の課題について以下に述べる。

- ① 土工事において、基礎地盤に軟弱箇所があり、置換コ

○ 工事報告 ○



写真 - 13 PCa 製 PC 版設置状況

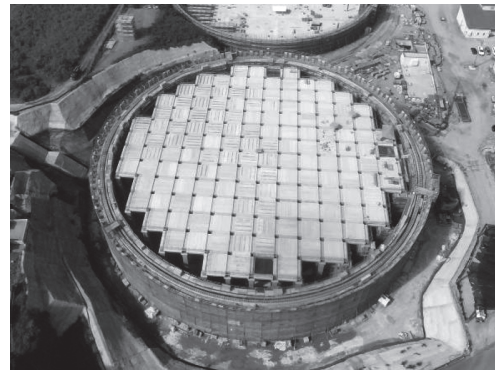


写真 - 15 PCa 部材組立て完了全景

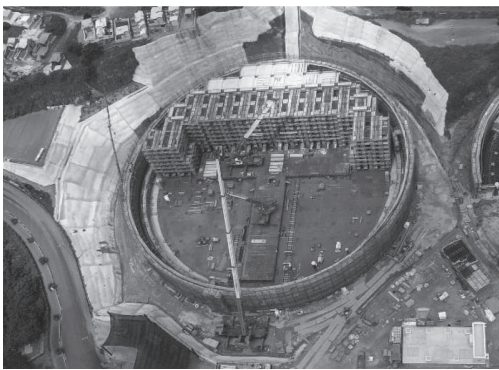


写真 - 14 PCa 部材組立て状況全景

ンクリート施工などの追加工事が発生したため、計画工程より2ヵ月程度の遅延が発生した。

- ② 工事全体の施工数量が大きく、各部材寸法や鋼材種別、鋼材配置、施工方法などが一般的なPCタンクとは異なる項目が多い。また、沖縄県は、初夏から秋にかけて発生する台風の影響や年度末の雨量が多く、工程に遅れが生じやすい。そのため、標準的な歩掛りおよび施工サイクルが当てはまらない。
- ③ 新石川浄水場内では、本工事のほかにも同時期に複数の工事が発注されており、単独工事とは異なり、業者同士の作業調整がつねに必要である。

9.2 課題への対応

「7.1 工程管理上の課題」であげた各課題について、以下のとおり対応した。

- ① 当初プレキャスト工事完了後に側壁工事を開始する計画であったが、プレキャスト工事と側壁工事を並行して作業することにより工期短縮を図った。当初および修正後の施工フロー図を図 - 12 に示す。当初、PCa部

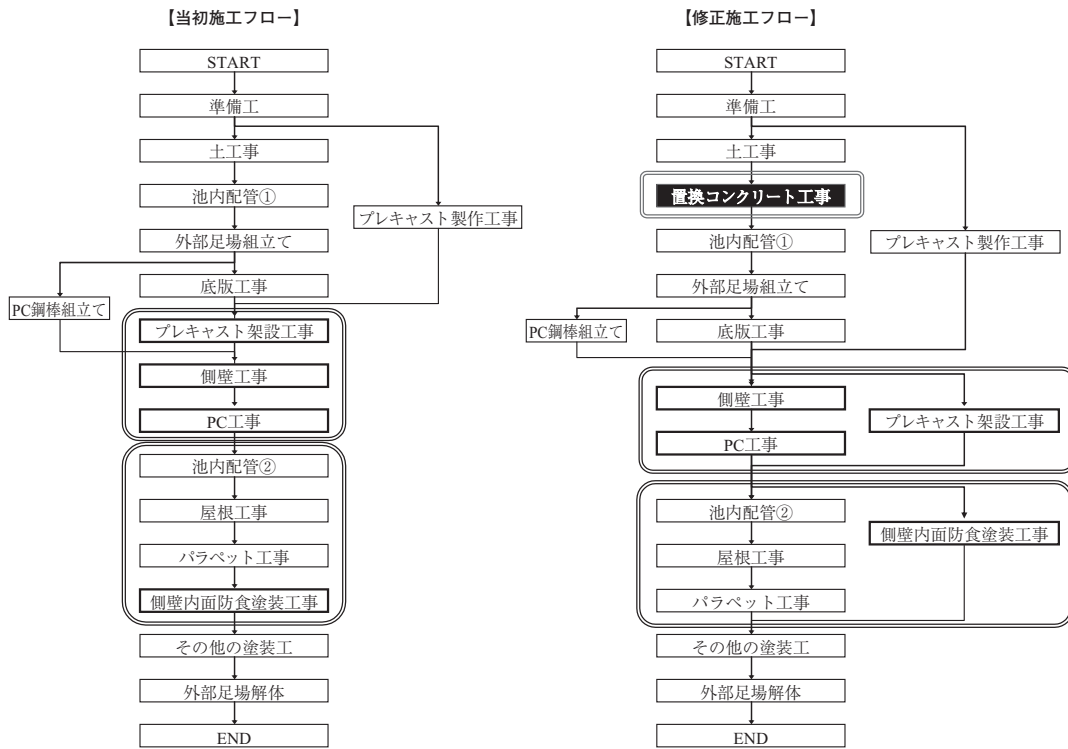


図 - 12 工事全体施工フロー図

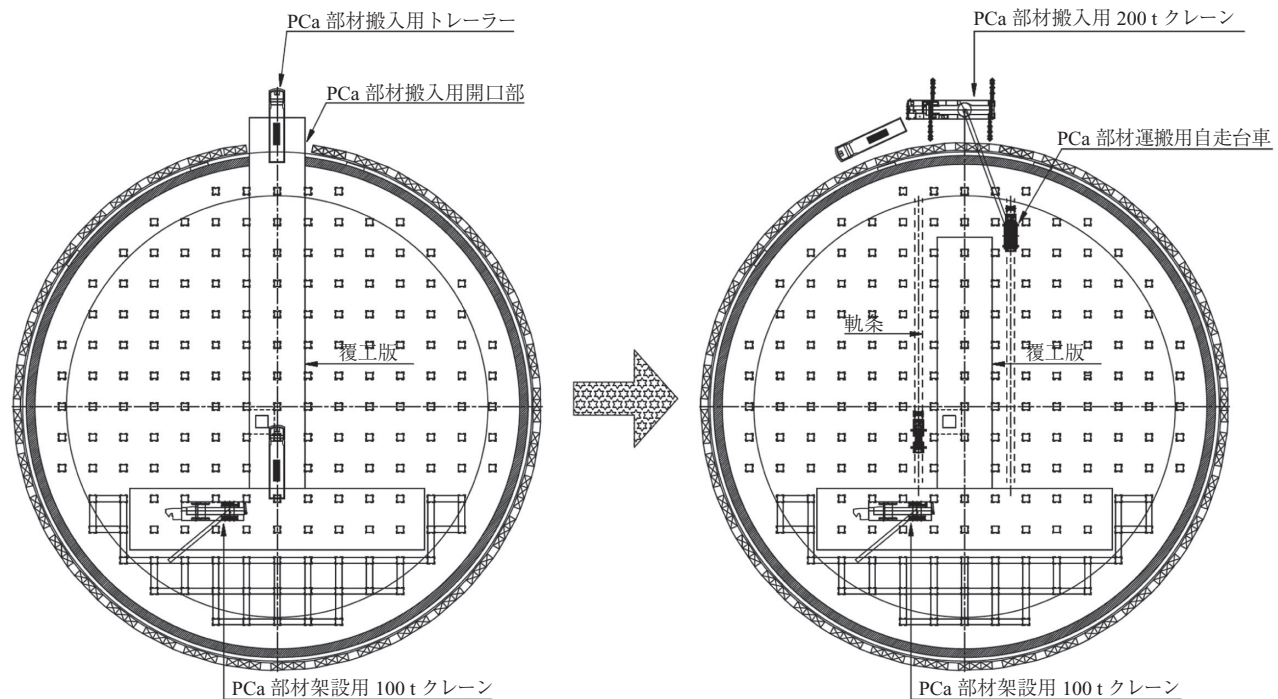


図 - 13 PCa 部材搬入方法の変更

材運搬車両をタンク内部に進入させ、架設用の 100 t クレーンで荷下ろし・架設する計画で、PCa 部材をすべて組み立てた後、側壁工事に移行する工程であった。工期短縮を検討した結果、タンク外部に PCa 部材搬入用の 200 t クレーンを別途用意し、PCa 部材を側壁越しにタンク内部に搬入する方法に変更した(図 - 13)。これによりプレキャスト工事と側壁工事を同時に施工することが可能になり、工期を 3 ヶ月短縮することができた。

また、塗装工事は天候の影響を受けるため、屋根工事完了後に側壁の内面防食塗装を開始する予定であったが、屋根工事完了前に天候を確認しながら先行して行った。屋根と底版は、屋根支保工が撤去され次第、着手可能な箇所から塗装を行うことで、そのほかの作業との平行作業を可能とし、工期を短縮した。

- ② 1 系工事では、日々の施工数量の見直しを行い、作業員数と施工班を増やし各工程が確実に進捗するよう努めた。2 系工事では、1 系工事から得た経験を元に、施工方法の改善と効率的な人員配置を行い作業を進めた。とくに PCa 工事では、PCa 部材の移動を自走台車からフォークリフトに変更し、柱接続部の間詰め mortar 注入を手動ポンプから電動ポンプに変更するなどの改善により 1 系工事より 1.5 ヶ月工期を短縮することができた。
- ③ 複数工事の業者全員参加の作業打合せを毎週 2 回（火曜と木曜）実施し、作業の調整を図った。

10. おわりに

本稿では、大容量の容器構造物を施工するにあたり、各工程ごとに課題となった事項についてその対策を述べた。とくにひび割れの発生が予想された側壁については、実物大試験と温度応力解析に基づくひび割れ対策を施し、良好な結果を得たことを報告した。今後の同種工事の参考となれば幸いである。

最後に、今回、無事故無災害で無事、工事を完了できました。本工事にあたりご指導、ご協力いただいた関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 土木学会, コンクリート標準示方書 [施工編], 2007
- 2) 日本コンクリート工学協会, マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008, 2008
- 3) 土木学会, コンクリート標準示方書 [設計編], 2007
- 4) プレストレストコンクリート技術協会, 貯水用円筒形 PC タンク設計施工規準, 2005
- 5) 日本コンクリート工学協会, コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針 - 2009 -, 2009
- 6) 下川 浩, 上村剛史, 伊東康夫, 高安 馨: 新石川浄水場 1 系原水調整池建設工事施工報告, 第 20 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2011.10
- 7) 伊藤朋紀, 片山 悟, 養毛 旭, 河合真樹: 酷暑地域における大型円筒形 PC タンク側壁の温度ひび割れ制御, 第 20 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2011.10

【2012 年 2 月 22 日受付】