

下水道センター汚泥処理施設工事報告

— PC 卵形消化槽の施工 —

織田 智*1・鈴木 俊史*2・真水 英和*3

PC 卵形消化槽は、ドイツのディビダーク社 (Dyckerhoff & WidmannAG) が開発し、1954 年に世界で初めて、容量 2 500 m³ のものが建設され、ドイツを中心にヨーロッパ各地で実績を上げてきている。日本では、1983 年に横浜市で国内初の PC 卵形消化槽が採用されて以来、現在までに 80 数カ所の処理場で採用されている。PC 卵形消化槽は、文字どおり形状が卵の形をしており、汚泥の混合性がよく、保温性に優れ、維持管理が容易であるという利点がある。

本稿では、新潟県上越市の下水道処理センター内に建設される汚泥処理槽として建設される PC 卵形消化槽の施工について報告するものである。

キーワード：PC 卵形消化槽、円錐型枠ガーダー、側壁ガーダー、寒中施工

1. はじめに

上越市には、上越市下水道センター・浦川原浄化センター・柿崎浄化センター・大潟浄化センター・中郷浄化センター・板倉浄化センター・名立浄化センターの7つの下水道施設がある。上越市は、昭和 54 年 12 月から下水道事業を開始した。平成元年の3月に直江津地区の一部(約 90 ha)の汚水処理をしたことに始まり、それ以降、毎年整備を行ってきており平成 15 年度末には普及率が 40.0 % となった。また、市町村合併をして新しい上越市となり、平成 16 年度末の普及率は 36.1 % (上越処理区では 43.4 %) となった。平成 19 年度末の普及率は、44.4 % (上越処理区では 50.8 %) となっている。

本工事は、平成 21 年度に発注された汚泥処理施設工事でセンター内 2 基目の PC 卵形消化槽の施工について報告する。

上越市内の下水道処理施設の位置を図 - 1 に、本工事 PC 卵形処理槽の施工位置を図 - 2 に示す。

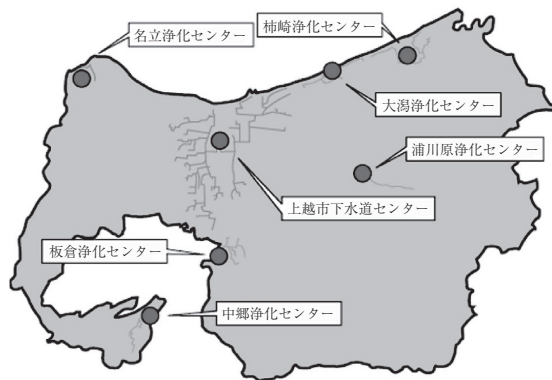


図 - 1 上越市下水道処理施設位置図

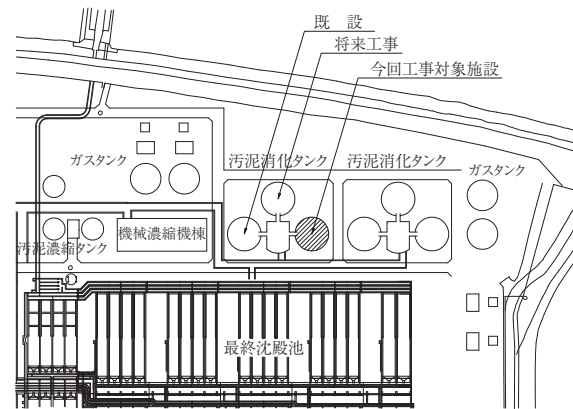


図 - 2 下水センター消化槽位置図

2. 概要

2.1 上越市下水道処理センターの概要

本報告の上越市下水道処理センターの概要は、以下のとおりである。

- 住 所：新潟県上越市大字藤野新田 255-1
- 事業許可：昭和 54 年 12 月 (第 1 期事業着手)
- 建設着手：昭和 59 年
- 供用開始：平成元年 3 月 25 日
- 排除方式：分流式 (家庭排水と雨水をそれぞれべつの管で分けて排水する)
- 処理方式：標準活性汚泥法 (空気を送り微生物の働きで水をきれいにする)
- 施設処理能力：
 - 全体計画：124 200 m³/日
 - 既 設：33 300 m³/日
 - 工 事 中：44 400 m³/日 (本工事)

*1 Satoshi ODA : (株) 安部日鋼工業 東京支店 技術工務部
 *2 Satoshi SUZUKI : (株) 安部日鋼工業 東京支店 技術工務部
 *3 Hidekazu SHIMIZU : (株) 安部日鋼工業 東京支店 技術工務部

2.2 工事概要

工事名：下水道センター汚泥処理施設（その22）工事

発注者：上越市

工事場所：新潟県上越市大字藤野新田 255-1

工期：平成 21 年 6 月 16 日～平成 22 年 9 月 23 日

工事内容：

構造物の分類：土木構造物 I・2 類（円筒形水槽）

構造形式：PC 卵形消化槽

有効容量： $V = 3\,000\text{ t}$

最大液深： $H = 22.8\text{ m}$

最大内径： $\phi = 16.7\text{ m}$

基礎形式：杭基礎 PHC + SC 杭 24 セット

土工：掘削 $V = 2\,600\text{ m}^3$ 他

仮設工：鋼矢板 $L = 9.5\text{ m}$ $N = 172$ 枚

付帯工：保温・外装工 $A = 734\text{ m}^2$

防食塗装工 $A = 1\,157\text{ m}^2$

連絡橋工： $L = 4.2\text{ m}$ $B = 2.1\text{ m}$

本 PC 卵形消化槽の一般構造図を図 - 3、主要工事数量を表 - 1 に示す。

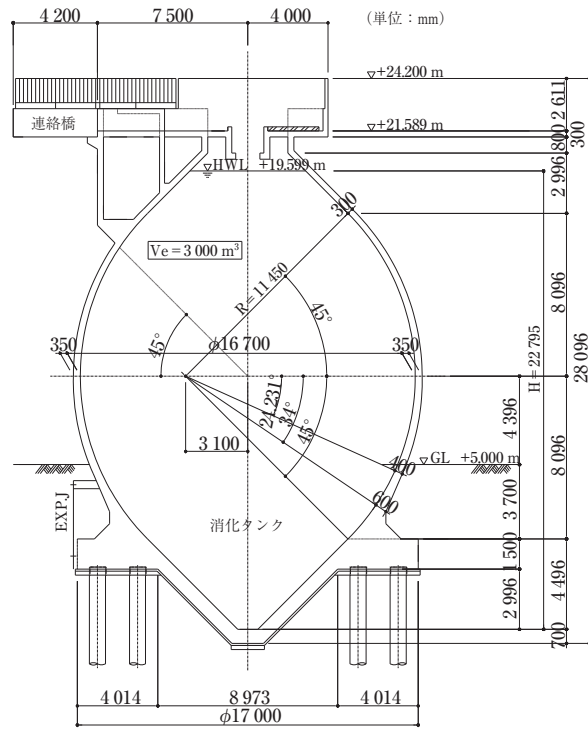


図 - 3 一般構造図

2.3 設計概要

(1) 解析モデル

応力解析は、汚泥消化タンク本体の基礎リングをソリッド要素、側壁と頂部を薄肉シェル要素にモデル化し、杭をバネで評価した 3 次元有限要素解析法により解析している。

モデル化は中央で境界条件を設定した 1/2 軸対称モデル（左右対称）としている。

表 - 1 主要工事数量

	規格	数量
コンクリート	$\sigma_{ck} = 36\text{ N/mm}^2$	702 m ³
鉄筋	SD345	62 t
PC 鋼材	SWPR7BL 12S15.2B	4 t
	SBPR 930/1180 $\phi 32$	7 t
	SWPR19L 1S21.8	11 t
型枠		2 069 m ²
杭	SC 杭 $\phi 800$, $L = 6\text{ m}$, $t = 9\text{ mm}$	23 本
	SC 杭 $\phi 800$, $L = 8\text{ m}$, $t = 9\text{ mm}$	1 本 ^{注)}
	PHC 杭 $\phi 800$, $L = 12\text{ m}$ (B 種)	24 本
	PHC 杭 $\phi 800$, $L = 15\text{ m}$ (A 種)	24 本

注)：試験杭

(2) 各部位の設計方法

各部位の安全性の検討は、各荷重状態において部材断面に生じるコンクリート応力度が、許容応力度以下であることを照査している。許容応力度については、PC 構造は「水道用プレストレストコンクリートタンク設計施工指針・解説」²⁾を、RC 構造は「下水道施設耐震設計例－処理場・ポンプ場編－」³⁾を適用している。

PC 卵形消化槽躯体本体の構造は、原則として PC 構造であるが、斜底板および頂部は半径が小さく PC 鋼材の最小曲げ半径以下となるため、円周方向は RC 構造としている。

各部位の名称と構造区分を図 - 4 に示す。

(3) PC 鋼材配置

PC 卵形消化槽の側壁には液圧などの荷重によって、主に円周方向には軸力が、経線方向には曲げモーメントがそれぞれ生じる。円周方向軸引張力に対しては円周方向プレストレス、経線方向曲げモーメントに対しては経線方向プレストレスを導入している。

円周方向プレストレスは、4 ヲ所の定着部により緊張するが、平面の 180° に対し 1 本使用し、次段の PC 鋼材とは

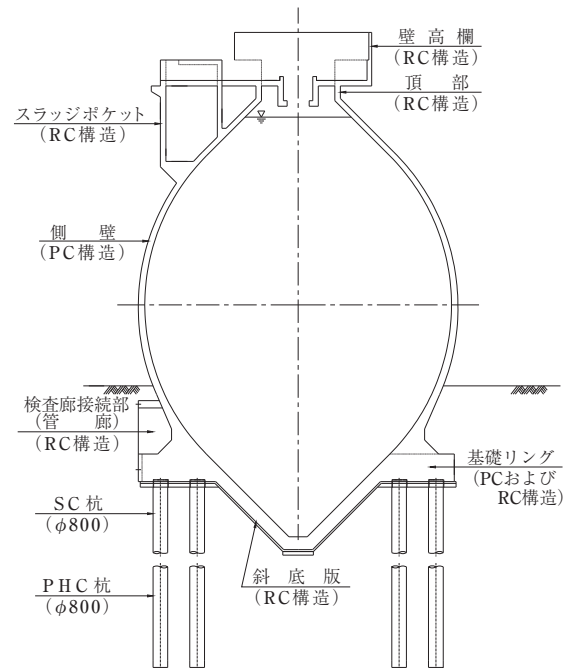


図 - 4 各部位の名称と構造区分

○ 工事報告 ○

90°ずらし交互に定着するように配置されている。また、プレストレス量は、常時満液時に躯体の応力度を50 N/mm²程度の圧縮応力状態となるように設定されている。

基礎リングは卵形消化槽を支持し、荷重を地盤あるいは杭に伝えるよう十分な剛性をもたなければならない。また、円周方向には、汚泥およびガス圧により引張力が生じるため、この引張力に対して、PC鋼材を配置している。

以上により決定されたPC鋼材配置を図-5に示す。

3. 施 工

3.1 施工順序および工程

実施工程表を図-6、施工ステップを図-7に示す。

3.2 土工および基礎工

(1) 杭 工 事

本工事では、近隣への振動・騒音対策として、中掘拡大根固め工法（STJ工法）により杭の施工を行った。設計支

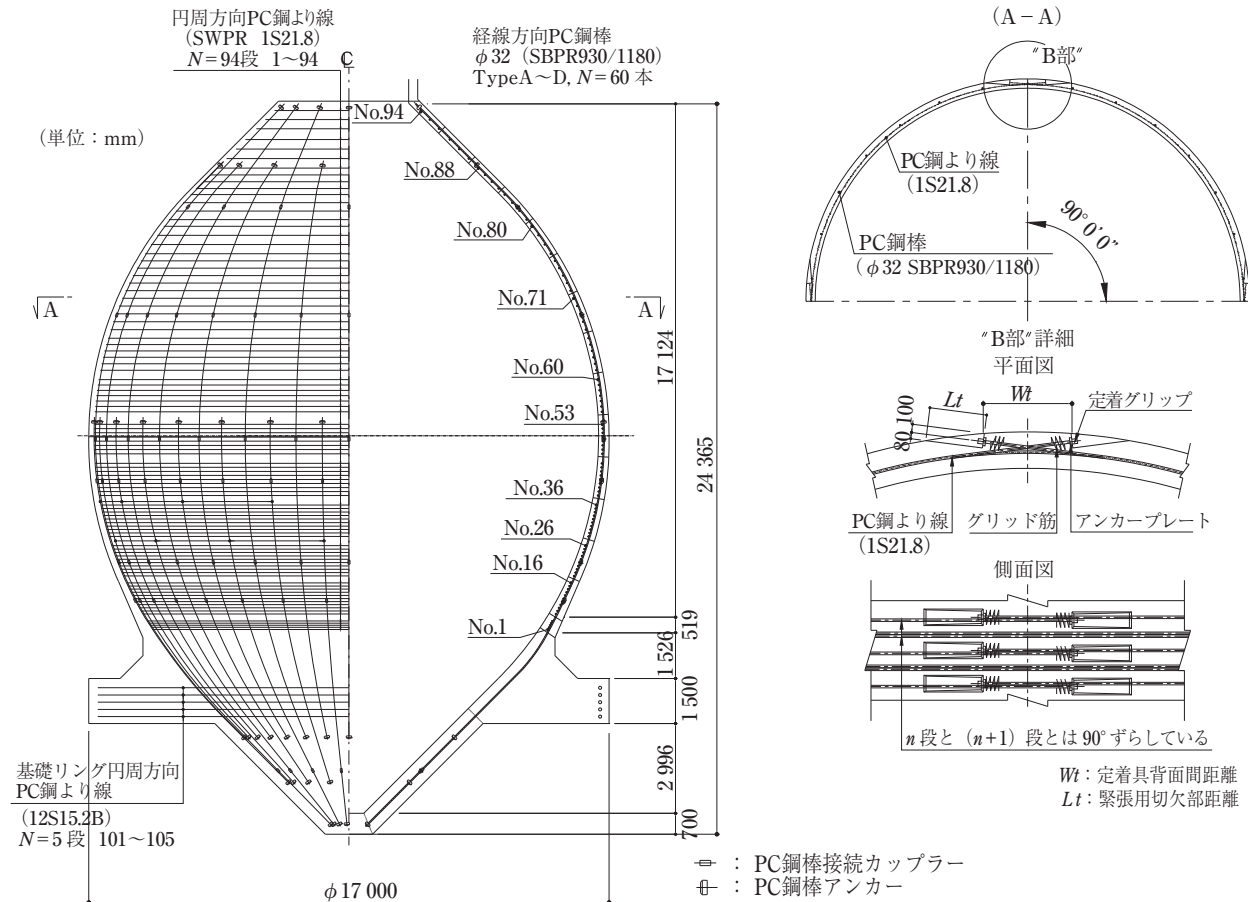


図 - 5 PC 鋼材配置

種 別	年 月	平成 21 年												平成 22 年				
		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	
準備工		—																
仮設工事			鋼矢板打込み		薬液注入			水替え					鋼矢板引抜き					
杭工事																		
土工																		
基礎工事																		
円錐部・基礎リング工事																		
側壁工事																		
PC 工事																		
頂部工事																		
連絡橋工事																		
管廊工事																		
保温外装工事																		
防食塗装工事																		
付帯工事																		

図 - 6 実施工程表

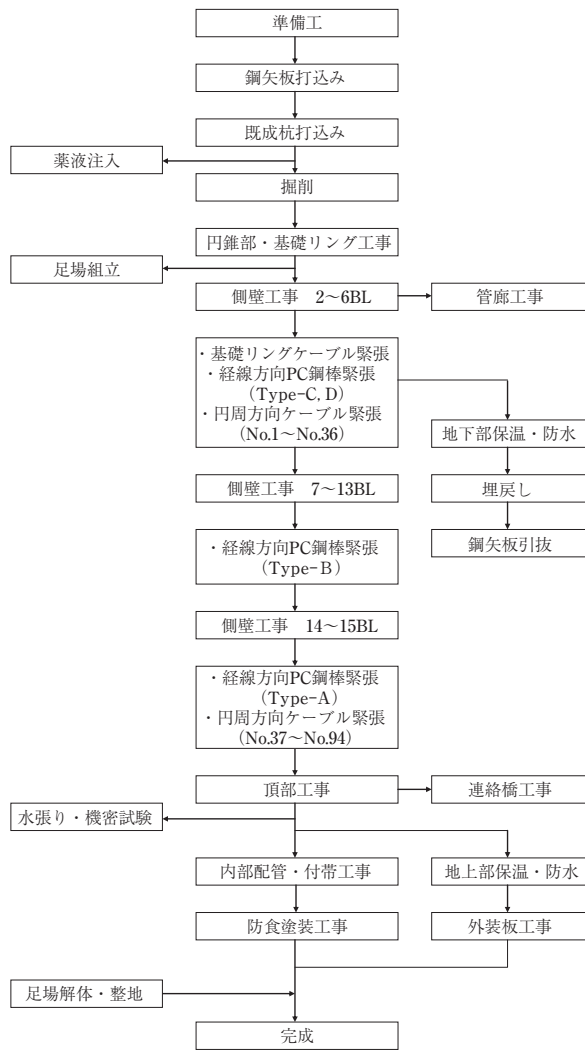


図 - 7 施工ステップ

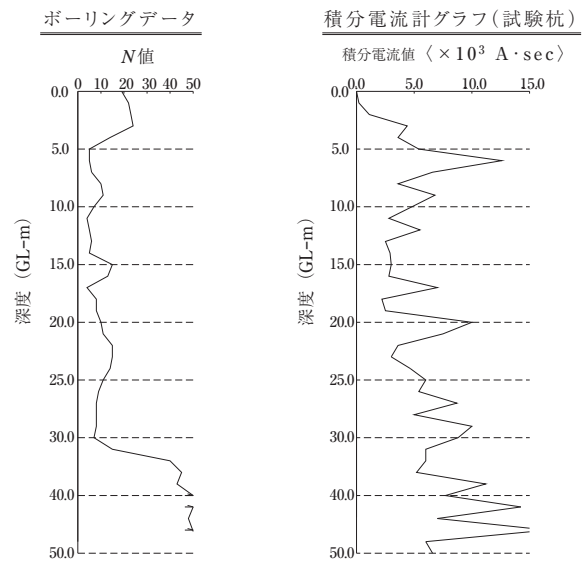


図 - 8 試験杭積分電流計グラフ

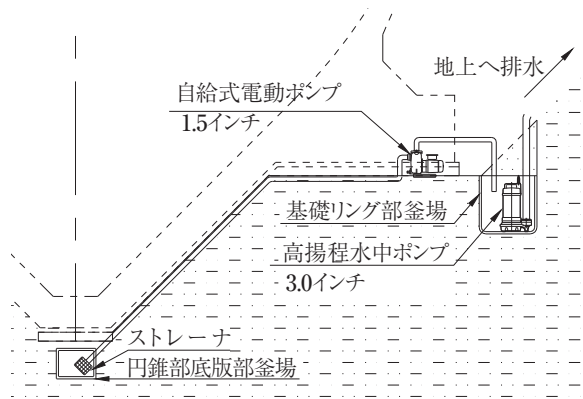


図 - 9 水処理概要図

持力 (2 710 kN/本) は支持力算定式⁴⁾より求め、算定式で求めた支持層に達したかについては、土質柱状図とオーガ掘削時の電流値との比較およびSTJビットに附着した土質の確認にて行った。本工事のボーリングデータと試験杭の積分電流計グラフを図-8に示す。

(2) 自給式電動ポンプの設置

円錐部コンクリート打設にあたり、円錐部底部に釜場を設けて直接水中ポンプで排水すると、底部均しコンクリート打設後に水中ポンプを撤去することができずに埋殺しとなってしまう。そのため、斜底版の円錐部掘削後から、コンクリート打設完了までの間、円錐部底版下の水替を水中ポンプで行うのは困難であった。そこで、底版下に設けた釜場に1.5インチ(呼び径)の自給式電動ポンプを設置し、一度基礎リング部の釜場に排水し、その後3インチの高揚程水中ポンプにて地上に排水した。また、円錐部吹付けモルタル着工から基礎リングコンクリート打設完了までの間、簡易ウェルと併用して水替えを行い、ドライな状態で均しコンクリート打設を行えるようにした。水処理概要図を図-9に示す。

3.3 円錐部および基礎リング

3.3.1 配筋

円錐部配筋は、吹付けモルタルの出来形に左右される。そこで、吹付けモルタル面に差し筋としてエポキシ鉄筋を配置し、その差し筋に段取り筋の配置を行った。これにより、吹付けモルタルの出来形に影響を受けることなく正規の位置に配筋することができた。円錐部配筋状況を写真-1に示す。

3.3.2 円錐型枠ガーダーの配置

本工事において、基礎版下部の斜底版の型枠となる円錐型枠ガーダーの設置角度を決定するうえで考慮した点は、以下のとおりである。

(1) 埋込み配管と円錐型枠ガーダーの干渉

管廊部の埋込み配管とガーダーが干渉していないか検討する。

(2) 側壁の型枠を支えるガーダーと円錐型枠ガーダーの位置関係の確認

側壁施工時のガーダーアンカーは、基礎リング施工時に埋め込まなくてはならない。そのため、円錐型枠ガーダー

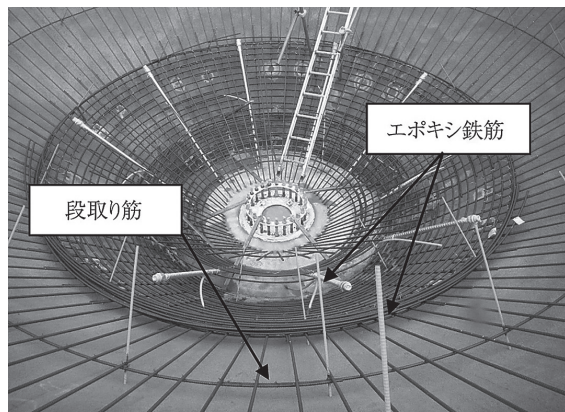


写真 - 1 円錐部配筋状況

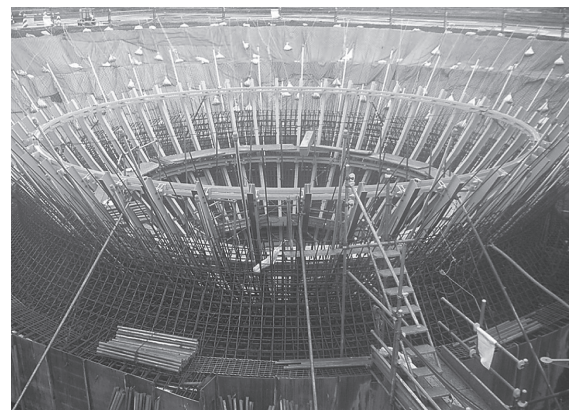


写真 - 2 円錐型枠ガーダー設置状況

と側壁ガーダーを平面上の同じ位置に配置するとアンカーが設置できなくなる。

本工事においては円錐型枠ガーダーは48本に対して、側壁ガーダーは60本であったため、この条件を完全に満たすことができなかった。したがって、側壁ガーダーと干渉してアンカーが正規の位置に設置できない箇所に関しては、側壁施工時に段階的に軌道修正を行うことで対応した。ガーダーアンカー軌道修正概要図を図 - 10、円錐型枠ガーダー設置状況を写真 - 2 に示す。

3.3.3 下部円錐部および基礎リングコンクリート打設

円錐部と基礎リングは、一体でコンクリートを打設する必要がある。円錐部はガーダー間の型枠パネルを1つ間隔程度で外しておき、コンクリートポンプ筒先が順次打設窓を回りながら打設を進め、打設が完了した窓から順次型枠を閉めていった。狭小部で傾斜面の打設という施工条件も重なり、コンクリートポンプ車は1台での打設となった。このため8m³/h程度の打込みしかできず、円錐部のコンクリート数量は約45m³だが、円錐部だけで約5時間半の打設時間を要した。

基礎リングは約250m³であるが円錐部と違い、大きく開いたスペースでコンクリートポンプ車2台での打設が可

能であったため、40m³/h程度の打込みができた。コンクリート打設状況を写真 - 3 に示す。



写真 - 3 円錐部コンクリート打設状況

3.4 側壁工

3.4.1 側壁ガーダーの配置

本工事において、側壁ガーダーの設置角度を決定するうえで考慮した点は、以下のとおりである。

(1) 埋込み管との干渉

管廊部およびスラッジポケット部の配管と干渉しない角度を検討する。

(2) 円錐型枠ガーダーとの位置関係

3.3.2 (2) と同様の理由による。

(3) マンホールとの位置関係

マンホールはφ750を超える大口径であり、側壁ガーダー配置を決定するうえでもっとも影響するものである。そのため、マンホールの位置を変更することも検討する必要がある。

(4) 経線方向 PC 鋼棒との位置関係

側壁ガーダーアンカーと鉛直方向の経線 PC 鋼棒が干渉しないように配置角度を検討する。

本工事では、(1)～(4)の条件を同時に満たすことができずマンホール部はガーダーを使用することができなかったため、外周足場を利用して型枠の固定を行った。

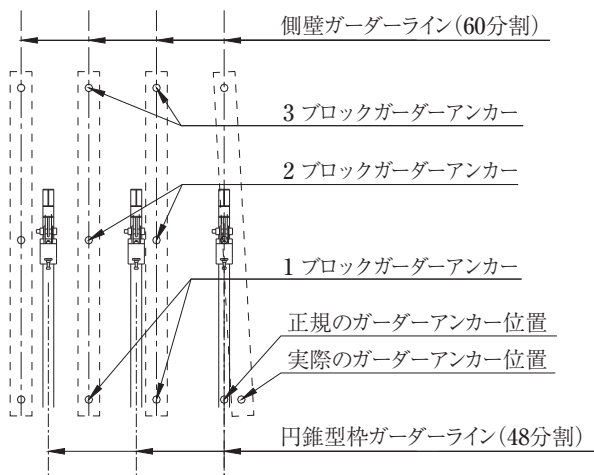


図 - 10 ガーダーアンカー軌道修正概要図

3.4.2 円周方向ケーブルの定着位置の検討

円周方向ケーブルの定着位置は、施工段階での変更ができないため、事前に十分検討する必要がある。本工事において検討した点は、以下のとおりである。

(1) 埋込み配管との干渉

管廊部、スラッジポケット部の埋込み配管およびマンホールが干渉していないか。また、配管を避けるために円周方向ケーブルの高さが変化している場合は、ケーブル変化区間に定着位置がないか検討する。

(2) 経線方向 PC 鋼棒定着部との位置関係

経線方向 PC 鋼棒の定着部の真下に、円周方向ケーブル定着切欠部が存在していないか検討する。

(3) 経線方向 PC 鋼棒との干渉

側壁は上階層になるにしたがい壁厚が薄くなる。このため、壁の中心部を通る経線方向 PC 鋼棒が円周方向ケーブル定着切欠部と干渉していないか検討する。

2.3 (3) にも記したように、円周方向ケーブルは次段の PC 鋼材とは交互に定着するように配置されている。したがって、定着位置の変更を行う際は、 n 段目 (n : 任意の奇数) のケーブルと $n + 1$ 段目のケーブルをペアとして配置変更する必要が出てくる。定着位置変更状況を写真 - 4 に示す。

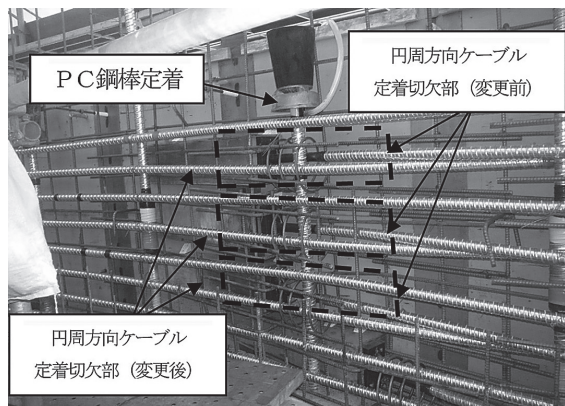


写真 - 4 定着位置変更状況

3.4.3 2ブロックガーダー設置

側壁ガーダーは原則、直前ブロックからアンカーを取り外して次ブロックに張り出すが、2ブロックに関しては外側のガーダーは1ブロックの形状により干渉してしまい正規の位置に設置できなかった。そこで、外側のガーダーを3ブロックまで立ち上げ表裏反対向きにした。また、張出し部のアンカーが確保できない上端部は、外周足場よりジャッキにて固定した。施工図を図 - 11 に示す。

3.4.4 ブロック打継部の締固め

各ブロックの打継部は設計図面上では傾斜しており、水平な打設天端ではない。傾斜のあるコンクリート天端を作るのは施工上困難であった。そこで、側壁工序盤や終盤の比較的傾斜の大きい打継部の場合、ラス網（金網の一種）を用いて壁外側と壁内側の高さを水平に打ち継いで施工を行った。側壁頂部のような壁厚が薄くなる箇所につい

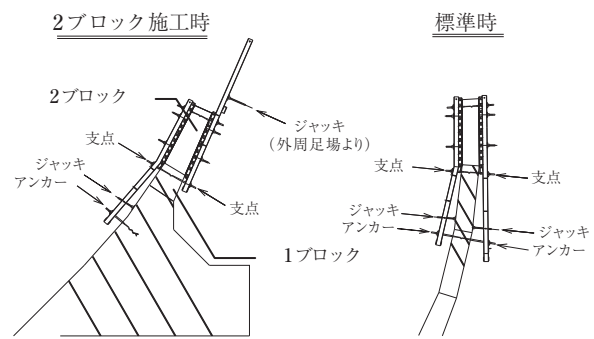


図 - 11 2ブロック施工時ガーダー設置図

ては、高い側の天端が締固め不足にならないように、軽便ヘラ型バイブレーターなどで入念に締固めを行った。ブロック打継部施工図を図 - 12 に示す。

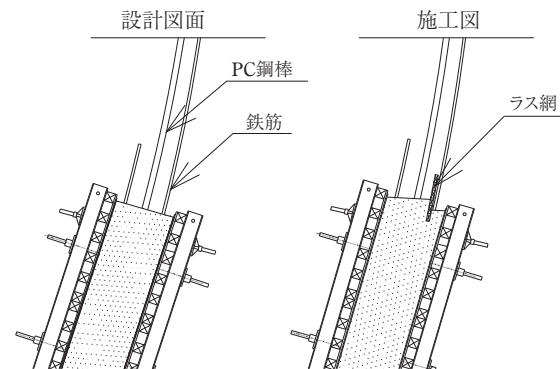


図 - 12 ブロック打継部施工図

3.4.5 仮設屋根設置内での施工

側壁施工時期は、1月から5月にかけての施工であり、地下部分の施工は真冬の降雪時期の寒中施工となった。そこで、降雪対策としてトタン板による仮設屋根を設置して作業を行った。また、足場外周は暖気養生および風対策として防災シートで覆い、内部よりベニヤ板で補強した。コンクリート打設時は、ポンプ車の筒先をシートの隙間から差し込み、内部でフレキシブルホースを動かして打設を行った（写真 - 5）。

側壁ガーダー組立ては、普通であればクレーンでの設置



写真 - 5 側壁コンクリート打設状況

○ 工事報告 ○

となるが、仮設屋根によりクレーンによる側壁ガーダーの吊込みができない。そこで、天井にR加工を施したH鋼を設置し、手動トロリのベビーウィンチを使用してガーダーの設置を行った。屋根施工図を図 - 13、側壁ガーダー設置状況を写真 - 6 に示す。

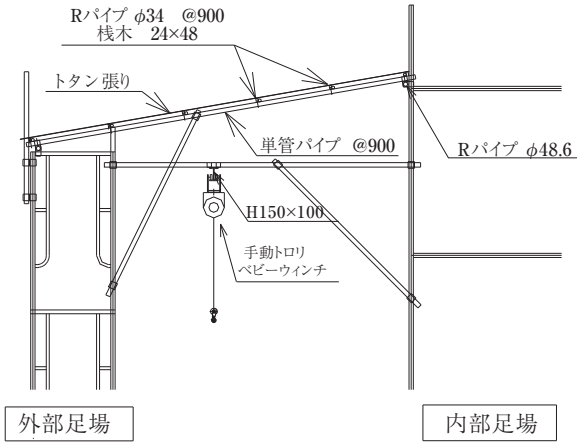


図 - 13 仮設屋根詳細図

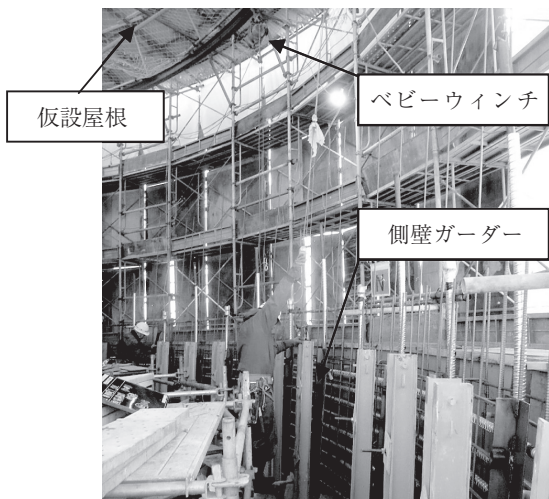


写真 - 6 側壁ガーダー設置状況

(6) 寒中コンクリートの暖気養生

地下部分の施工は寒中施工であり、コンクリートの養生に十分注意した。側壁工事の脱型強度は 14 N/mm^2 としていた。本工事における工程管理では、材齢1日での強度発現を想定していた。そこで、熱交換式温風器による暖気養生を行いコンクリートの強度発現の促進を行った。また、コンクリート表面付近に自記温度計を設置し、温度管理を行った。暖気養生概要図を図 - 14 に、温度管理の一例を図 - 15 に示す。

(7) 吊足場による施工

通常では、作業性および安全性の点から地下部の施工完了後に外周足場を解体し、埋戻しを行ってから再度地上に外周足場を組み立て、地上部の施工を行う。本工事では仮設屋根などの寒中施工対策に時間を費やし、工程に遅れが

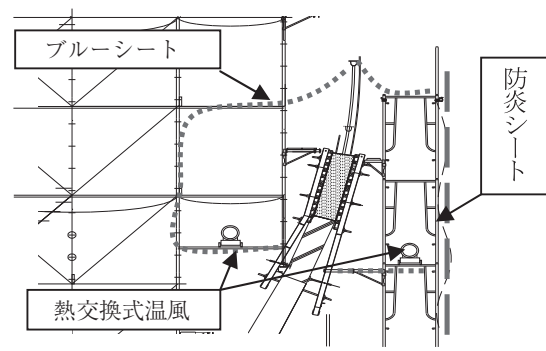


図 - 14 暖気養生概要図

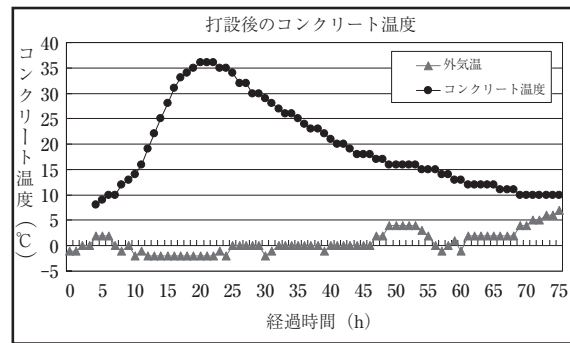


図 - 15 コンクリート温度管理

生じてしまった。そこで、地下部足場をすべて解体せずに、改造して吊足場を組み立て、埋戻し完了後地上部に接地させた。吊足場詳細図を図 - 16、吊足場設置状況を写真 - 7 に示す。

3.5 保温・外装の施工

消化槽外面は、ポリウレタンフォーム吹付けによる保温処置後、地下部は超速硬化ウレタン吹付け ($t = 3 \text{ mm}$) による防水、地上部はゴム系防水 ($t = 2 \text{ mm}$) を行う計画であった。本工事においては施工性を考慮し、地下部、地上部ともに超速硬化ウレタン吹付けによる防水を行った。

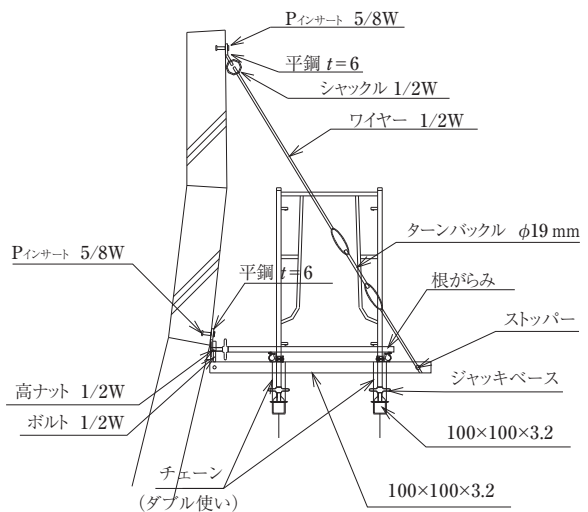


図 - 16 吊足場詳細図

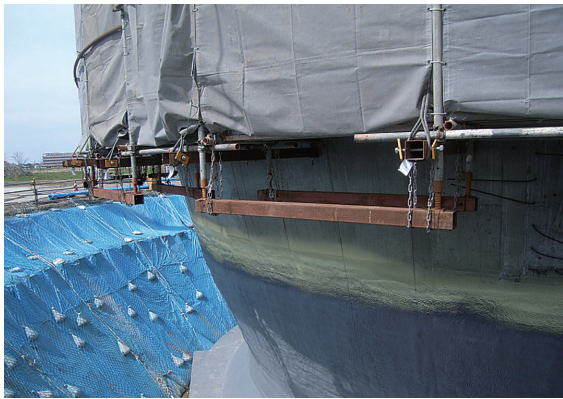


写真 - 7 吊り足場設置状況

本工事に用いたポリウレタンフォームの発砲ガスは、オゾン層を破壊する有害物質を使用しないハイドロフロオロカーボン（以下 HFC）、または、フロンを一切使用せずに水を発泡剤に使用したフロンフリー発泡システム（以下 FF）の 2 種類あった。仕上り表面は、FF タイプの場合滑らかとなるが、HFC タイプの場合は粗い仕上りとなる。表面防水はポリウレタンフォームの上に直接行うため、仕上り面の滑らかな FF タイプの方が適している。しかし FF タイプは HFC タイプよりも熱伝導率が大きく、設計厚さ 40 mm に対して 54 mm の厚さが必要となった。そこで外装板の干渉しない地下部に関しては、超速硬化ウレタンの下地に FF タイプを使用し、地上部は HFC タイプを使用した。保温材の表面状況を写真 - 8、保温防水施工図を 図 - 17 に示す。

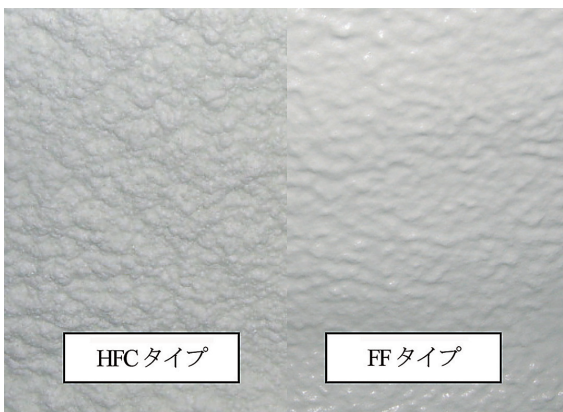


写真 - 8 保温材表面状況

3.6 内面防食の施工

内面防食塗装には、特殊ポリエチレン系エマルジョンの水性タイプの防食材を使用した。コンプレッサーによる吹付け施工が可能で、ガラスクロスによる補強もなく、1 液性のため取扱いが容易で施工性がよい。また、揮発性有機化合物を含まないため安全性が高く、環境ホルモンフリーであり環境にもやさしいという利点がある。

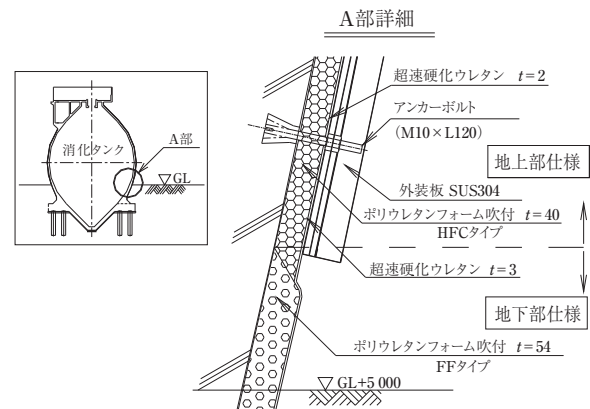


図 - 17 保温防水施工図

4. おわりに

本稿では、その独特なフォルムを構築するまでの施工中における留意点と対策について報告を行った。本文で報告した以外にも多くの検討・対策を行っている。紙面上の都合で割愛したが、その多くが卵形という形状に関するものであり、配置技術者の施工経験や技術力、作業員の熟練度が大きく影響する工事だと考える。

平成 22 年 9 月に無事完成した（写真 - 9）。本報告が、今後卵形消化タンクを施工するうえで少しでも参考になれば幸いである。



写真 - 9 完成写真

参考文献

- 1) デイビダーク協会：デイビダーク式 PC 卵形消化槽設計施工マニュアル、平成 7 年 5 月
- 2) ㈱日本水道協会：水道用プレストレストコンクリートタンク設計施工指針・解説、1998 年版
- 3) ㈱日本下水道協会：下水道施設耐震設計例－処理場・ポンプ場編－、2002 年版
- 4) ㈱コンクリートパイル建設技術協会：COPITA、2010 年 4 月、No.43
- 5) 上越市公共下水道ホームページ

【2010 年 10 月 26 日受付】