特集 2 ・ 最新設の卵形下水汚泥消化槽の現状報告

横浜市のPC卵形消化タンクの施工

久保田 宗 孝*・野 永 健 二**

1. はじめに

PC（プレストレストコンクリート）卵形消化タンクは、1954年にディビダーク社によって世界で初めて建設されて以来、維持管理の容易さ、攪拌効率の良さ、エネルギーの有効利用の面などから、ヨーロッパ（特に西ドイツ）を中心に数多く採用され、実績をあげている。

我が国では、横浜市が北部第二下水処理場の汚泥処理センターで1983年に初めて卵形消化タンク（6800 m³/基×12基）を採用し、建設に着手した。続いて翌年、同市金沢下水処理場の汚泥処理センターでは、日本下水道事業団の監理のもとで卵形消化タンク（6400 m³/基×6基）の建設が開始された。

現在、北部第二下水処理場では写真1-1に示すように、先行の6基は工事が終了しており、残りの6基も完成に近づいている。一方、金沢下水処理場では写真

1-2に示すような状態からさらにクライミングフォーム工法による側壁工事が進んでいる。

本文では、両処理場における卵形消化タンクの施工について紹介する。

2. 北部第二下水処理場

2.1 工事概要

本工事は、横浜市北部第二下水処理場（以下「北二」と略す）にPC卵形消化タンク12基を築造するものであり、Ⅰ期工事の6基は既に軀体構築工が完了しており、Ⅱ期工事の6基も昭和62年3月には完成する予定である。

当処理場における工事の概要は以下に示すとおりである。

工 事 名：北部第二下水処理場汚泥消化タンク築造工事

企 業 者：横浜市下水道局

写真1-1 北部第二下水処理場PC卵形消化タンク工事全景

*ディビダーク協会 Munetaka KUBOTA
Kenji NONAGA

写真1-2 金沢下水処理場PC卵形消化タンク工事全景

工事場所：横浜市鶴見区末広町1-6

工事規模：Ⅰ期工事 容量6800m³/基×6基

Ⅱ期工事 容量6800m³/基×6基

工 期：Ⅰ期工事 1983年12月～1986年3月

Ⅱ期工事 1984年11月～1987年3月

規 模：容量 6800m³/基

全高 33.6 m

最大外径 22.7 m

壁厚 350mm～500mm(ハンチ部は除く)

形 式：本体 PC構造

基礎 リング基礎を介して支持する

杭基礎 PHC 杭φ600 96本/基

2.2 施工概要

本工事の施工順序は、図2-2に示すように杭基礎工、土工、底版工、リング基礎工、側壁工、頂部工、内外装工に分けられる。

(1) 施工の特徴

本タンクの躯体工事には、従来の円筒形タンクと異なった次のような特徴がある。

- ① 底版円錐部にはヘリカル(らせん)状にPC鋼材を配置する。
- ② 側壁部円周方向プレストレスとしてPC鋼棒を用い、特殊なアンカープレート(リブ付アンカープレート)、箱抜き型枠(舟型)、ジャッキ等を用い、ピラスターのない構造とする。
- ③ 側壁部の施工は、日本で初めてディビダーク式ライミング工法を用いて、躯体をリングセグメントに分割して行う。

(2) 杭基礎工及び土工

杭基礎は、中掘工法によりφ600mm PHC 杭を施工する。(写真2-1)

土工は、施工ヤードの土留め(鋼矢板、タイロッド)実施後、地盤改良(深層混合攪拌工法)を行い、底版

図2-1 一般構造図

図2-2 施工順序図

写真2-1 基礎工事

写真2-3 底版部PC鋼より線配置工事

写真2-2 土木工

部部分を1次、2次の2段階に分けて掘削する。なお、掘削終了後、のり面防護及び底版部の外型枠を兼ねるための吹付けコンクリートを施工する。(写真2-2)

(3) 底版部(下部円錐部)工

底版部は壁厚50cmの円錐形をしており、吹付けコンクリートを外型枠として以下の手順で施工する。

- ① 底版底部に鉄筋籠及び底版部型枠ガーダー用のアンカーボルトをセットし、コンクリートを打設する。
- ② 吹付けコンクリート上に鉄筋、PC鋼より線(ヘリカル)70本、モノストランド8本を配置する、(写真2-3)
- ③ 放射状の型枠ガーダーとリングビームより構成された鋼製枠を組立て、木製パネルをはめ込み固定し、内型枠とする。
- ④ コンクリート($\sigma_{ck}=400\text{kg/cm}^2$)を打設し、コンクリートの必要強度発生後、モノストランドを緊張す

写真2-4 底版部コンクリート工事

写真2-5 リング基礎工事

る。(写真2-4)

(4) リング基礎工

タンクの基礎となる高さ 1.5 m、外径 21 m のリング基礎部は、以下の手順で施工する。

- ① 基礎部分の鉄筋を組立て、この後を追う形で外周に配置する PC 鋼より線用のシースを配置し、メタルフォームを組立てる。
- ② 内側のクライミング足場の取付け、外周のビティ足場の組立てを行う。
- ③ 側壁立上り部分の鉄筋組立て、子午線方向 PC 鋼棒固定側アンカーのセット、底版部 PC 鋼より線（ヘリカル）用箱抜き型枠及び内型枠を組立てる。
- ④ コンクリート（ $\sigma_{ck}=400\text{kg/cm}^2$ ）を打設し、ヘリカルの緊張を行う。なお、リング基礎外周の PC 鋼より線は、コンクリート打設後挿入し、両引きで緊張する。(写真2-5)

(5) 側壁工

側壁は、高さ 1.45 m の 19 段のリングセグメント状のブロックに分割し、ディビダーク式クライミング工法により施工する。この工法は、互いに独立したクライミング足場とクライミング型枠から成り、2 方向に曲面を有する薄肉のコンクリート壁体を連続的に施工しながら上昇していく。本タンクにおいては、1 タンク当り 24 組（48 基）のクライミング足場と、72 組（144 本）の型枠ガーダーを用いている。

側壁 7 ブロックまでの 1 サイクルの作業手順は以下に示すとおりである。

- ① 外側の型枠パネルを解体し、ガーダー上昇後、再び組立てる。
- ② 外側クライミング足場を上昇させる。
- ③ 鉄筋、PC 鋼材を組立てる。
- ④ 内側の型枠パネルを解体し、ガーダー上昇後組立てる。
- ⑤ ③④の作業と同時に外側クライミング足場の中、下段で円周方向 PC 鋼棒の緊張、グラウト及び緊張端の跡埋め作業を行う。
- ⑥ 内側のクライミング足場を上昇させる。
- ⑦ 早強コンクリートを打設する。

8 ブロック以降は内側を先行させて上昇する。

なお、PC 鋼材の緊張は全て施工時応力度検討で定めた緊張順序に従っている。(写真2-6)

(6) 頂部工

側壁を施工した後、タンク頂部にスラッジポケット、ガスドーム、連絡橋アバット等を構築する。これらは、クライミング足場解体後、外部にブラケット足場、内部には測量架台を利用して作業足場を設置し、施工する。(写真2-7)

(7) 内外装工（内面ライニング工、外面断熱工）

ライニング材は、汚泥による消化タンク躯体内面の防水、防食のために設けるものであり、タンク内面に

写真2-6 側壁工事

タールエポキシ樹脂の塗付が行われる。ライニング材の施工は、センターマストをガイドとし、上下しながら360°回転できる内部回転足場により行う。この内部回転足場は、高さにより内径が変化する側壁に対応するため作業床が伸縮できる構造となっている。

写真2-7 頂部工事

図2-3 断熱材構造図

写真2-8 内外装工事

図3-1 一般構造図

① 基礎工

② 土工

掘削は土留（鋼矢板、タイロッド、アースアンカー）と切ばりを併用して施工する。

③ 底板・支壁工

掘削床付後、底板を施工して切ばりを撤去してから支壁を施工する。

内面ライニング工終了後、外面断熱工を行う。

断熱材は、加温された消化タンク内の汚泥の保温と、タンク内外の温度差による躯体コンクリートの温度応力の低減を図るためのもので、当処理場では現場発泡の硬質ポリウレタンフォーム（厚さ30mm）が採用され、図2-3に示すように断熱材の外側には、断熱材の耐水性、耐候性のために防水材とフッ素樹脂鋼板による板金材を設ける。断熱材の施工は、センターマストを中心として施行できる吊足場（外部回転足場）を使用して進められる。（写真2-8）

3. 金沢下水処理場

3.1 工事概要

本工事は、横浜市金沢下水処理場の汚泥処理センターにおいてP C 卵形消化タンク 6 基を築造するもので

ある。昭和59年 9 月に着工し、昭和62年度に完成する予定である。

当処理場における工事の概要は以下に示すとおりである。

工 事 名：横浜市金沢下水処理場汚泥処理施設建設工事

事業主体(設計)：横浜市下水道局

発 注 者：日本下水道事業団

工事場所：横浜市金沢区幸浦 1 — 9

工事規模：容量 6,400 m^3 /基 $\times$ 6 基

工 期：(その 1 ～その 3 工事)1984 年 9 月～1986 年10月（既発注分）

規 模：容量 6,400 m^3 /基

全高 34,876m

最大外径 22,020m

④下部円錐工

下部円錐はリングビーム式鋼製ガーダと鋼製支保工を用いて施工する。

⑤側壁工

側壁は内側クライミング、足場、外側枠組足場を用いて 4 ブロックまで施工する。

⑥側壁工

側壁 5 ブロックから18ブロックまでは、内外側共クライミング足場を用いて行う。側壁は高さ1.45m、18段に分割し連続的に施工する。

⑦頂部工

ブラケット足場とセンター架台を用いてスラッジポケット、ガスドームを施工する。

図3-2 施工順序図

壁厚	350～500mm（ハンチ部は除く）		
形式：本体	PC 構造		
基礎	支え壁式基礎	3 基	
	支え壁式基礎を介して支持する杭基礎		
	鋼管杭 $\phi 700$	118本/基	
	$\ell = 5 \text{ m} 500 \sim 24 \text{ m} 500$		

3.2 施工順序

本工事の施工は、図3-1に示すとおり杭基礎工，土工，底版・支壁工，下部円錐工，側壁工，頂部工の順序で進められる。（図3-2）

(1) 施工の特徴

本工事の躯体工事の特徴は、次のとおりである。

- ① 支持地盤の状況により、直接基礎と杭基礎のどちらにも適用できる構造となっている。
- ② 側壁と剛結された支壁により基礎底版に荷重を伝える構造となっており、地下の下部円錐部と支壁の間は管廊として使えるようになっている。
- ③ 側壁のプレストレスは「北二」の消化タンクと同じであるが、下部円錐部は、ヘリカル（らせん）状のPC鋼材配置ではなく、側壁と同様の配置となっており、下端付近の円周径の小さいところだけシングルストランドを配置し、管廊側に設けたピラスターで定着している。
- ④ 側壁部の施工は、「北二」と同様ディビダーク式クライミング工法を用いて躯体をリングセグメントに

分割して行う。

(2) 杭基礎工事及び土工

杭基礎は6基のうち3基だけであるが、支持地盤が急傾斜しており、1本づつ杭の長さが変わるため、杭打設にあたっては、全部の杭について支持地盤の深さを測りながら施工する。杭は $\phi 700 \text{ mm}$ の鋼管杭で、山留掘削の前に施工するため、やっところを使って地下10mのところに杭頭が位置するように打ち込む。

土工事は、軟弱層を10m掘削する工事であるが、6基の消化タンクの外側を鋼矢板とアースアンカー、タイロッド、切梁等で土留めして、約42,000 m^3 の土を掘削する。仮設に用いた鋼材は約2,800 tである。（写真3-1）

(3) 底版・支壁工事

土工事の床付けが終了した後、基礎底版の施工を行う。底版厚1 m 500、コンクリート数量約3,400 m^3 （6基分）、コンクリート強度（ $\sigma_{\text{ck}} = 300 \text{ kg/cm}^2$ ）の底版を施工する。

底版工事終了後、底版の周辺にコンクリートのスラブ状の捨て梁を施工して、山留の切梁を下から2段はずして支壁及び下部円錐躯体の施工に移る。

支壁はRC構造で、下部円錐より先に2ロットに分けて施工する。（写真3-2）

(4) 下部円錐工事及び下部側壁（支壁交差部）工事

下部円錐部は、下側の管廊部にリング状の鋼製支保工を組立て、上側には、放射状の型枠ガーダーとリン

写真3-1 山留め及び土工事

写真3-2 下部円錐部施工状況

グベームにより構成された鋼製枠を組立て、木製パネルをはめ込み固定し、円型枠として施工する。下部円錐工事にはパレーターのような貫通材は使わないようにする。下部円錐部はPC部材なので $\sigma_{CK} = 400 \text{ kg/cm}^2$ のコンクリートを施工する。(写真3-3, 3-4)

写真3-3 下部円錐部型枠ガーダー施工状況

写真3-4 下部円錐部PC鋼材配置施工状況

下部側壁工事は、支壁と下部円錐部との交差結合する重要な部分である。鉄筋とPC鋼材が複雑に配置されており、形状も外側と内側で違ってくるため、その型枠はセパレーター使用の複雑さと貫通による弱点をきらって、外・内それぞれ独立したものとしている。

(5) 側壁工事

側壁部は、G. L. から上部約23mを1段の高さ約1.45mのリングセグメント状のブロック18段に分割して、ディビダーク式クライミング工法を用いて施工する。クライミング足場は、高さによる周長の変化に対応出来るように個々に独立したフレームを内・外それぞれ24組づつ配置して使用する。足場は集中制御により油圧装置で同時に上昇出来るようになっている。また、クライミング型枠は、鋼製ガーダーと隣り合うガーダーの間に落とし込む型枠パネルとからなっており、各ブロック毎の周長の変化にはガーダーと型枠パネルの重ねしろで調節できるようにして、全ブロックに対して内・外各々いくつかの異なった種類のパネルを用意して対応する。(図3-3)

側壁の子午線方向及び円周方向のPC鋼材にはともにディビダーク鋼棒 $\phi 32 \text{ mm}$ (SBPR95/120)を使用し、プレストレスは、クライミング足場の上昇に伴って下方より導入していくが、その順序は軀体に不利な応力が発生しないように綿密な施工時応力度検討を行って定めている。側壁の施工手順については、「北二」の工事と同じである。(写真3-5)

図3-3 ディビダーク式クライミングフォーム及びクライミング足場説明図

写真3-5 側壁施工状況

(6) 頂部工事

側壁工事後に施工するスラッジポケット、ガスドーム、連絡橋アバット等は「北二」の卵形タンクと同様の手順で施工する。

4. おわりに

PC 卵形消化タンクは、横浜市が初めて採用して以来、現在までに施工中のものを含めて我が国でも23基を数えるようになった。

日本への適用に際し議論のあった耐震設計法、施工技术等の問題は既に解決されており、今後さらにPC 卵形消化タンクが普及、発展することが期待される。