

下水処理におけるPCタンク

山 田 雅 雄*

1. はじめに

近年生活環境の整備および保全の必要性が叫ばれ、とりわけ下水道は公共用水域の汚濁が進行するにしたいが、その重要性に対する認識が深まり、公共投資部門の中においても大きなウエイトを占めてきている。

この下水道における建設事業は、主として公道に埋設される管渠とそれによって集水された下水を処理する終末処理場の建設工事に区分されるが、PC工法ならびにPC製品との関連が深いのは特に後者の方であろう。たとえば図-1のフローシート中に表わされている沈砂池やエアレーションタンクなどを悪臭対策と美観上の目的で覆蓋する時の長大スパン用PC梁をはじめとし、基礎構造のPC杭、開孔部の蓋としてのPSコンクリート板、沈殿池の集水装置であるPCトラフなど利用範囲は広い。これらは主として構造的な点に注目しているわけだが、今回はほぼ同じ理由で終末処理場における汚泥処理の一プロセスである汚泥消化タンクにPC構造を採用したのでここに報告する。このタンクを設置したのは当市の山崎下水処理場で、すでにRC構造の汚泥消化タンクが稼働しており、本工事は増設工事にあたる。

なお汚泥消化タンクによく類似した構造物である水道の配水タンクではPC構造は多く当然実績もかなりあるが、山崎下水処理場のPCタンク設計時点では汚泥消化タンクでの工事実績は全くなかった。

2. 山崎下水処理場の概要

最初に名古屋の下水道について簡単に述べておく。次に示すのは昭和52年度末の概要である。

普及面積	15,600 ha
面積普及率	51%
処理人口	1,515 千人
人口普及率	73%
管渠延長	4,000 km
処理能力	1,444 千m ³ /日
処理場数	15 箇所

(汚泥は4箇所で集約処理)

* 名古屋市下水道局建設部施設課

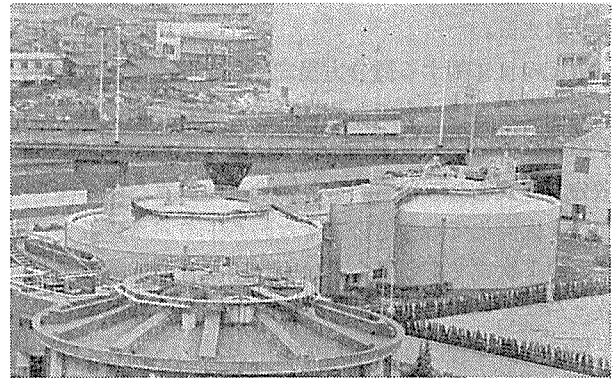


写真-1 (手前に見えるタンクは既設RCタンク)

山崎下水処理場は名古屋市南部に位置し、千種・昭和・瑞穂・南・港区の各一部合計1,255 haを処理区域とし、計画処理人口23万6千人、計画処理水量12万m³/日で、処理方式は活性汚泥法である。

水処理施設に併設されている汚泥処理施設は、他の処理場で発生した汚泥も対象としている。水処理および汚泥処理のフローシートは図-1に示すとおりである。

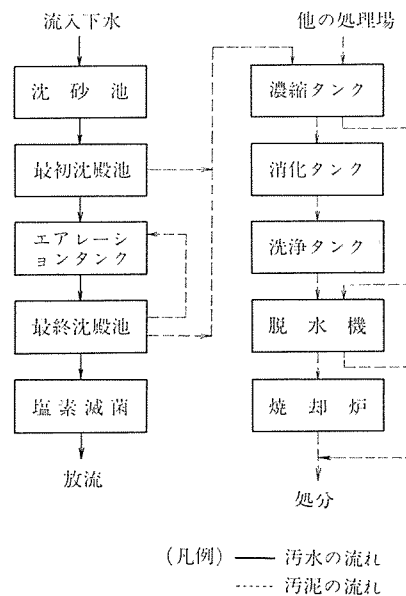


図-1 フローシート

今回の増設以前にあった汚泥消化タンクは1系列で増設されて合計2系列となった。

次に汚泥消化タンクの概要を示す。

(1) 形状・寸法

φ20 m×側深 10 m~2 槽 (新系列)

φ20 m×側深 9.4 m~2 槽 (既系列)

(2) 消化方式

高率2段消化方式

(1次・2次タンクに互換性を持たせるために同構造とする)

(3) 消化日数

20日

(4) 消化温度

35°C

(5) 攪拌方式

ガス攪拌方式

(6) 加温方式

蒸気直接吹込方式

なお濃縮は重力式 (一部浮上式), 消化汚泥の洗浄は向流2段式, 脱水は真空ろ過式, 焼却は堅型多段炉によるものである。

3. 汚泥消化とPCタンク

汚泥消化タンクは, 汚泥中に含まれている有機物をメタン発酵菌などにより, 嫌氣的にメタンガス, 炭酸ガス・水などに分解し, 汚泥の安定化および減量化を図る装置である。つまり安定化とは滅菌効果による衛生面における改良および脱水性の向上など後続プロセスでのハンドリングの良さをいい, 減量化とは有機物の分解による後続プロセスの汚泥処理処分対象量の減少化をいう。また汚泥消化は汚泥の最終処分が脱水ケーキの埋立てである場合は非常に有効な方法である。

メタン発酵菌など嫌気性菌は, pH・温度などによりその活動が大きく影響を受ける。消化の生物化学的な反応における中間生成物と最終生成物は表-1に示すとおりである。消化温度は一般に 30°C~40°C で制御される場合が多く (この領域の嫌気性菌を中温性菌と呼ぶ), 夏期以外は加温する必要がある。pH は正常な運転条件

表-1 汚泥消化での生成物

原料	中間生成物	最終生成物
炭水化物	炭酸ガス・水素 アルコール類 脂肪酸類 その他の酸 (乳酸・こはく酸など)	炭酸ガス メタン
脂肪	炭酸ガス・水素酸類 (ギ酸, 酢酸, プロピオン酸, 酪酸, 乳酸, こはく 酸など) アルコール類	炭酸ガス メタン
たんぱく質	アンモニア, 炭酸ガス, 硫化水素 (鉄と結合) アミノ酸 脂肪酸	炭酸ガス メタン アンモニア

下においては制御の必要はない。

以上汚泥消化について簡単に説明したが, このような汚泥消化の機能から見た構造上の特徴について, PC・RC構造の比較も混じえて以下に述べる。

(1) 保温性と温度応力

消化タンク加温用熱源は消化プロセスから生ずる消化ガス (主としてメタンガス) を有効に利用している。一般には冬期においても消化ガスだけで消化温度を 30°C~35°C に保持できるといわれている。また消化ガスは焼却炉の補助燃料や処理場での他の熱源や動力としても有効であるので, 消化タンクの保温性をたかめ, 消化ガスの発生を促進し燃料として積極的に利用する場合もある。

保温性に関してのPC・RC構造の相違点は側壁の厚みにある。

今仮にPC構造で 30 cm, RC構造で 60 cm の壁厚を設定し, 後述の本タンクにおける保温設備についての放散熱量を計算してみると, その比は RC:PC=1.0:1.1 であった。これはスタイロフォーム (断熱材) の保温効果が顕著で, 壁厚の差による影響が小さいことを物語っている。側壁表面積がタンク全体の約 50% であることも考慮に入れば, PC構造で壁厚を 30 cm としても問題ない。

次に保温性とは逆の観点から壁内外面の温度差による応力について述べる。

温度応力は壁内外面の温度差に比例し, 温度差と壁厚がほぼ比例するので, 温度応力はほぼ壁厚に比例することとなる。試算によれば温度応力の比は RC:PC=1.0:0.6 であった。PC構造において温度応力は応力度全体のほぼ 25% であるので, このウェイトを考慮すれば温度応力による応力度全体に対する影響は, RC構造の 75% 程度にすぎない。保温性の項に比べてその差異は大きい。

費用の点では, 保温性はランニングコスト, 温度応力はイニシャルコストに影響を与えるが, 各々顕著なものでなく, 結局ここでは壁内外面の温度差による応力からみて, ややPC構造が有利であると思われる。

(2) 耐食性

表-1 に示されているように汚泥の消化プロセスにはコンクリートおよび鉄筋に有害な物質が発生する。有機酸類・糖類・炭酸ガスと水である。そのため一般にはコンクリート表面に耐食性の材料をコーティングするが, 本タンクにおいてはタールエポキシ樹脂系塗料をガラスクロスベースにして塗布した。ガラスクロスは剝離防止とコーティング厚の確保のために使用したが, コーティングが充分でない場合, 例えばムラ・キズの可能性も

あり、対策の必要性が認められた。また炭酸ガスなどを含んだ雨水の影響の可能性もあるので、特に腐食の激しい鉄筋等を保護するため構造物のクラック対策が不可欠であり、この点がPC構造を採用する最大の要因であった。RC構造においてもコンクリートの引張応力度の許容限度を認め、鉄筋の許容引張応力度を一般構造の場合の約半分におさえ、引張応力に対して鉄筋とコンクリートで持たせようとする考え方があがるが、コンクリートと鉄筋の許容引張応力度の数値に統一性がなく、各国によっても異なり、本タンクではこの考え方を採用できなかった。

PC構造ではコンクリートの引張応力が発生しないようにプレストレスングするが、本タンクにおいては荷重時（満水時）に残留応力が 8 kg/cm^2 するように設計した。

(3) 気密性

タンク内部にはメタンガス・炭酸ガスなどが発生し、貯留されるので、気密性が要求され、それが壁体部にPC構造を、天蓋部にドーム構造を採用した一要因となっている。これは耐食性でも述べたようにクラックを防止するためである。

設備的には、タンクの中の機械室にある誘引ブロワーでタンク気相部（液面上部）のガスを吸引し、大気圧より小さくなるようにシーケンスが組まれ、消化ガスが外部に漏れないようにしている。

(4) 配管設備

水道における配水タンクでは配管の種類が少なく側壁PC構造部の配管貫通は数少ないが、汚泥消化タンクはその機能はかなり複雑であるので、側壁に数多くの貫通配管がある。それに加えて、これら貫通配管は両タンク

の間にある機械室の複雑な配管部に接合しなければならず、PC構造を採用する場合には問題となる。RC構造なら配管時に壁体を研り込むという作業も容易であるが、PC構造ではそれが不可能であるので、タンク設計時に配管図を十分に検討し、誤り・変更のないよう努めた。そのうえで側壁貫通部の位置を決定し、PC鋼材および鉄筋の配置を考慮しながら構造の整合性を確認した結果、貫通配管の管径は200mm以下で後述のようにスリーブを入れても300mm程度でおさまるので、PC鋼材をずらすことで解決できた。そして機械室内での配管に融通性がないので少し配管の余裕をとる理由から、貫通部の処理はステンレス管のスリーブとし、配管後にエポキシ樹脂を圧入し開孔部の充填工とした。参考までにスリーブ数は $\phi 300$ が8本、 $\phi 150$ が2本であった。

(5) すり鉢状の底版

2段消化方式では汚泥消化を効率的にする目的で、1次タンクに汚泥の攪拌混合のための工夫が必要である。図-2に見られるようにタンク中心部にあるチューブに攪拌装置を設置し、循環を効率的にする目的で底版に約 20°C の傾斜をつけ、すり鉢状としている。また1次タンクから2次タンクへの汚泥の移送、2次タンクでの汚泥引抜をスムーズにする目的も合わせ持っている。これらは配水タンクとは異なる点である。

基礎部と側壁部の構造の縁を切るため2重構造とし、空水時に上部底版の地下水圧による影響が予想され、それを防止するため両者の外周接合部に止水板を配置した。

底版の構造は、杭を支点とする連続梁による解法を採用したが、すり鉢状であるため水圧の分力である水平力がかかり、底版に円周方向の引張応力が生ずるので注意

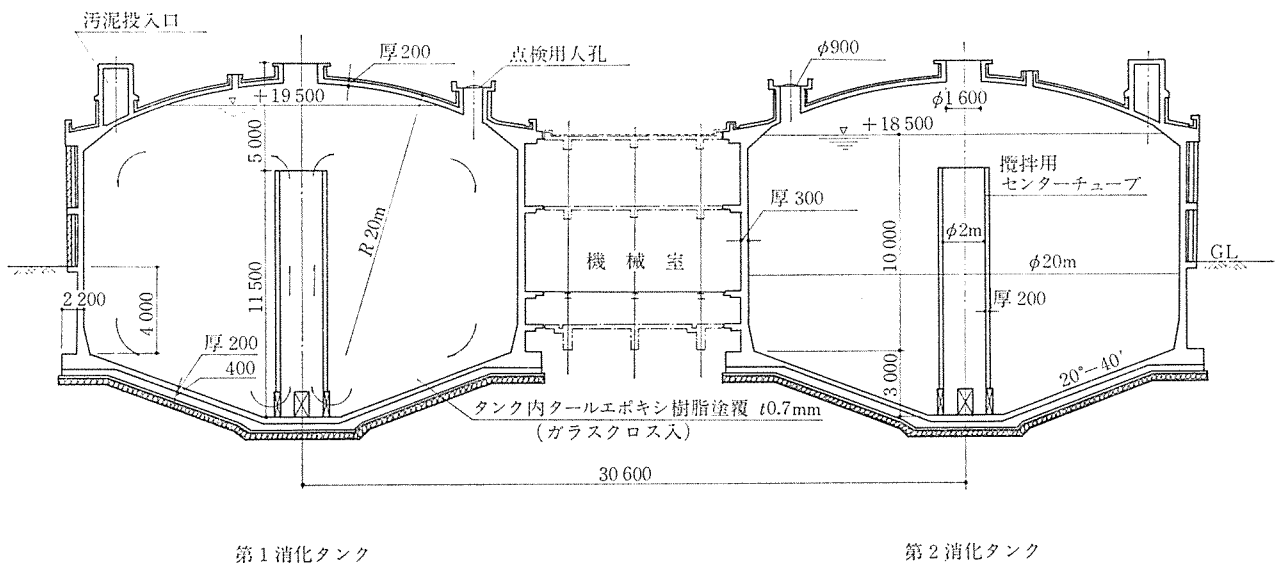


図-2 消化タンク概要図

が必要である。本タンクでは主として円周方向の鉄筋で対処している。すり鉢状の構造は円錐シェルの解法があり、本設計でも検討した。円錐シェルについては各種文献があるが、本タンクは支点が多く弾性床の上の条件に類似しており、これについては能町・斉木らの「弾性床上の円錐シェル」(土木学会年次学術講演会昭和 52 年度)に詳述されている。ここでは詳細に触れる余裕がないので結果のみを述べる。底版と水平面のなす角度を θ とすると、等分布荷重での端部曲げモーメントは弾性床上の円板のその $\cos \theta$ 倍、円周方向の応力は弾性条件のない円錐シェルの円周方向応力の $\sin \theta$ 倍程度であった。

4. 構造概要

すでに述べたようにクラック防止を主目的として P C 構造を採用したが、その概要は以下のようである。

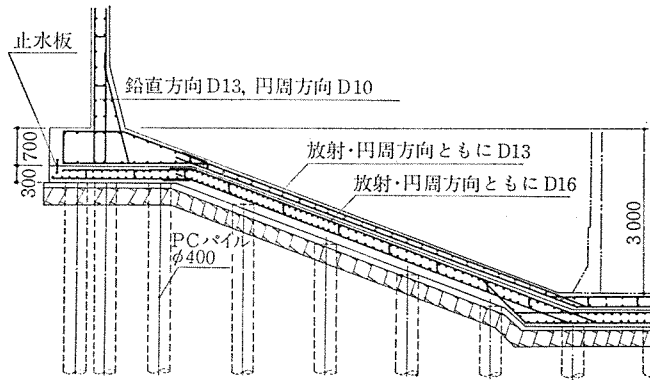


図-3 基礎・底版

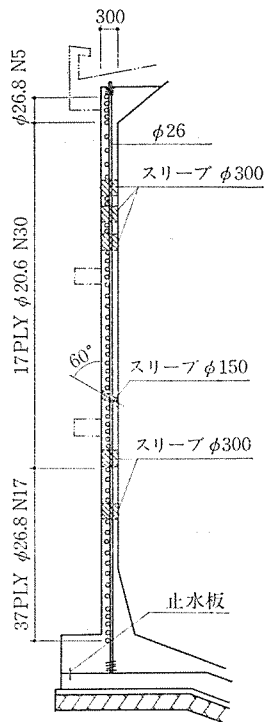


図-4 P C 鋼材配置図

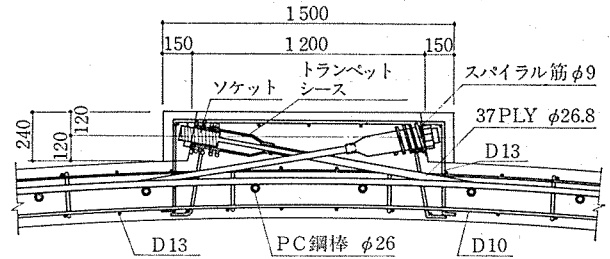


図-5 定着部詳細図

- (1) 基礎・底版 (図-3 参照)
 - 杭基礎: P C 杭 A 種 φ400
 - 底版: R C 構造 厚 200 mm, 400 mm (2 重)
- (2) 側壁 (図-4, 図-5 参照)
 - P C 構造: 厚 300 mm
 - P C 鋼材:
 - 縦方向 P C 鋼棒 φ26
 - 円周方向 P C 鋼より線 19 PLY φ20.6
 - P C 鋼より線 37 PLY φ26.8
 - 定着法 亜鉛定着法
- (3) ドーム
 - 起拱部の角度: 30° 弦 20 m 半弦 10 m
 - 厚: 20 cm
 - リングビーム部:
 - P C 鋼より線 37 PLY φ26.8

(4) 保温設備

- ドーム部:
 - パーライトコンクリート 厚 60 mm
 - モルタル 厚 30 mm × 2 層
 - スタイロフォーム 厚 25 mm × 2 層
- 側壁部:
 - スタイロフォーム 厚 25 mm × 2 層
 - 空気層 厚 240 mm
 - コンクリート空洞ブロック 厚 200 mm
 - モルタル 厚 25 mm

なお既設の汚泥消化タンクは昭和 38 年に築造したもので、柱・梁で解いた R C 構造物であることを参考までに述べておく。

5. 施工について

工事施工に際しては種々留意すべき問題点が見受けられたが、P C 工法については配水タンクなどと同じであるので、ここでは底版・機械室に関連した事項について述べる。

(1) 基礎杭

直径 22 m の円内に φ400 の P C パイル 183 本を打込んだ。1 本当りの占有面積は約 2 m² でかなり密である

報 告

ため中心部から着手しても外周部に近づくにつれて地盤の締りのために杭芯のずれのおそれがあるので注意を要する。この場合に問題となるのは底版がすり鉢状であるために中心部はヤットコ打ちになり、その分だけ余計に杭芯のずれの可能性がある。対策として設計時にずれの検討ないしは杭支持力の低減などあらかじめ考慮しておく必要がある。

(2) 底版部のコンクリート打設

すり鉢状にコンクリートを打設するため仕上げの良さや防水性とが競合的な関係になり、本タンクでは底版が二重であるので余計に問題が大きいと予想し、対策として低スランプのコンクリートを使用し、十分な仕上げをするため左官工の配置を多くした。スランプはコンクリートポンプ車で打設する限界と思われる 8 cm とした。

(8) 内部支保工・足場工

側壁築造のための足場工およびドームのための支保工の高さは 10 m を超え、底版が水平でないために支保等の下部構造には十分な補強工夫が必要である。施工に際しては鉄筋 D 22 を 1.8 m ピッチに補強材として、底版部コンクリート打設時に円周方向にサシ筋をしたが、施工中にさらに一部補強材を追加した。

杭打ち・コンクリート打設の見地からも、底版の形状に一考を要するといえる。

(4) 機械室の施工

消化タンク機械室はタンクに付随ないし、接近して築造されるのが一般的であり、本タンクにおいても写真に見られるように一次・二次タンクの間にある。そのためタンクの外部足場などの施工は機械室との施工と重複し、繁雑になるので施工時期をずらして工程を組む必要がある。

6. おわりに

本タンクは昭和 51 年 9 月に工事を開始し、翌年 12 月には試運転を終了し、本運転に入った。

汚泥消化タンクに P C 構造を採用すべきかどうかという検討の中で感じられたことは、下水処理の直接的な構造物、つまり下水や汚泥を処理するための構造物に P C 構造を採用した実績がなく、補助的な構造物にはその実績があるとはいえ、主として R C 構造で手慣れてきたせいもあって、設計側の頭の切り替えがスムーズにいかなかったことである。これは下水処理に独特な面であるかもしれないが、こういう未熟さに対する啓蒙に P C 工法を専門にされている方々の努力の場が残されていると思われるし、そのためにもこの報告が役に立てばと思う次第である。

◀刊行物案内▶

プレストレストコンクリート構造物設計・施工の基本

本書は第 6 回 PC 技術講習会に使用されたテキストであります。その内容は PC 構造物の設計・施工に関する基本的な考え方と設計計算例と施工について、それぞれの権威者によりわかりやすく記述され、PC に取組まれようとする方々には最適の参考図書であります。希望者は代金を添えプレストレストコンクリート技術協会にお申し込みください。

体 裁：A 4 判 112 頁

定 価：3000 円 送料 400 円

内 容：(A) PC 構造物の設計・施工に関する基本的考え方 (その 1)——プレストレストコンクリート曲げに関する簡易計算法——(B)同 (その 2)——耐震設計の動向——(C)設計計算例と施工 [鉄道橋 (ポストテンション方式 PC 単純桁)]——プレストレッシングについて——(D)設計計算例と施工 [道路橋 (ポストテンション方式 PC 単純合成桁)]——道路橋 (PC 合成けた)——(E)設計計算例と施工 [不静定構造物 (プレストレストコンクリート不静定構造物の力学)]——プレストレス導入と弾性設計の基本的考え方——