

# PC卵形 消化タンク



オリエンタル白石株式会社

# 新世紀を開拓する **ORIKEN**

豊かな経験と技術で新時代にチャレンジします。



横浜市北部第二下水処理場 一期工事 6,800m<sup>3</sup> 6基 二期工事 6,800m<sup>3</sup> 6基

## はじめに

弊社は、早くからプレストレストコンクリート(PC)卵形消化タンクの研究に積極的に取り組み、卵形消化タンクが数多く建設されている西ドイツに技術者を派遣して実際に建設技術を学ぶと同時に、地震国である我が国の立地条件に適合した耐震構造の研究を進め、また、我が国の実情に合った施工法を確立するために実験、研究を重ねて参りました。その結果、御蔭様で昭和58年に我が国最初のPC卵形消化タンクを横浜市から受注し、その後、昭和59年にその二期工事、更には昭和60年に北九州市からの受注にいたしました。

弊社は、これらの施行実績を踏まえ、卵形消化タンクのより合理的な設計・施工法の確立のために研究を重ねると同時に、単に卵形消化タンクの構造に止まらず、汚泥処理システムにおける卵形消化タンクの位置づけや役割、更にはその全体的な機能性や経済性追求の研究を進め、嫌気性消化システムをトータルにエンジニアリングできる活動を目指しております。

PC卵形消化タンクの建設は、豊かな経験と技術を有する弊社に是非御用命下さい。



北九州市壱后橋下水処理場 4,000m<sup>3</sup> 2基



京都府洛南浄化センター 4,000m<sup>3</sup> 1基

# 堅牢、安全、完璧なまでの効率

西ドイツ30年の歴史を、今、**ORIKEN**が日本に再現しました。

昭和58年に横浜市が我が国最初のPC卵形消化タンクを発注して以来、数にして56基、総容量にして28万m<sup>3</sup>を超える卵形消化タンクが現在(平成6年10月)建設中かもしくは既に完成いたしました。(当社の実績は図1、表1、参照)ところで西ドイツでは数にして百数十基、総容量にして100万m<sup>3</sup>に及ぶ卵形消化タンクが、1950年代から建設されています。それでは西ドイツでは30年も前から建設されていた卵形消化タンクが、なぜ今になって我が国で建設されることとなったのでしょうか。

先ず、我が国の下水道の歴史から見ることができます。下水道の普及と処理の向上につれて下水汚泥は日々増大しているにもかかわらず、その処分地確保が日増しに困難となり、水処理に代って下水汚泥の処理処分が下水道事業にとって最も重要かつ緊急の課題となって参りました。



図1 当社の卵形消化タンクの実績

次に21世紀に向けて取り組むこれからの汚泥処理処分は、汚泥の性状に適した効率的、或いは資源エネルギーを考えたトータルシステムとして完成する必要があります。これまでエネルギー消費型であった汚泥処理を省・創エネルギー型へ転換する要望が高まり、嫌気性消化プロセスから得られる消化ガスが注目されることになりました。

ところが我が国の汚泥処理の主流のひとつである嫌気性消化プロセスは、汚泥濃度の低下による消化効率の悪化、消化タンク底に堆積する砂のために容量が漸減することによる消化日数不足、不完全消化のためにその脱離液の水処理系への高負荷などと、その処理機能の根底にかかわる問題をかかえています。

そこで嫌気性消化プロセス全般の見直しが行われ、その中で消化タンクの形状にも注意が払われ、西ドイツで多く建設されている卵形消化タンクが注目されるにいたりました。

それは卵形消化タンクが次のようなメリットを有し、上述の諸問題も解決されると考えられたからです。

## 1. 砂が堆積しない

卵形消化タンクは槽底部が急傾斜であるために、砂が底まで自然沈降し、消化汚泥の引抜きと同時に槽外に排出され、容量が漸減することがないので常に消化日数を確保でき、また、しゅんせつ費用を必要としません。

## 2. スカムの除去が容易である

卵形消化タンクの形状特性から汚泥液面も効率よく攪拌され、スカムが発生しにくく、また発生しても汚泥液面が小さいた

表1 当社の卵形消化タンクの実績

平成6年10月現在

発注年月	処 理 場 名	規 模
S 58.12	横浜市北部第二下水処理場(一期)	6,800m <sup>3</sup> ×6
S 59.12	横浜市北部第二下水処理場(二期)	6,800m <sup>3</sup> ×6
S 60.12	北九州市皇后崎処理場	4,000m <sup>3</sup> ×2
S 62.11	山口県周南流域下水道浄化センター(二期)	3,000m <sup>3</sup> ×1
H 3.6	下関市山陰終末処理場	3,000m <sup>3</sup> ×1
H 5.2	京都府洛南浄化センター	4,000m <sup>3</sup> ×1
H 5.8	熊本市西部浄化センター	1,900m <sup>3</sup> ×2
H 6.8	福岡県御笠川・那珂川流域下水道事業	9,000m <sup>3</sup> ×1

めに容易に除去することができます。特に卵形消化タンクでは機械攪拌を有効に利用でき、スカムの破碎・除去に効果的です。

## 3. 攪拌効率がよい

消化効率を高めるための重要なファクターのひとつは高濃度消化ですが、汚泥濃度が上昇するとその粘性も急激に増大し、通常の消化タンク形状や攪拌方式では攪拌が非常に困難となるかもしくは攪拌消費動力が急激に増大してしまいます。一方、卵形消化タンクはタンク内部が滑らかな曲面構造のため死角が存在しないという形状特性から、高濃度汚泥でも低い消費動力で効率的に攪拌することができます。また、スカム破碎に効果的で攪拌エネルギーの伝播が直接的・効率的な機械攪拌を採用することができます。

#### 4. 消化タンクの容量を小さく出来ます

現在の汚泥処理の最大の問題のひとつは汚泥の濃度が低いことです。その改善のために遠心濃縮などの機械濃縮を導入すれば、高濃度消化が可能となります。高濃度でも攪拌に心配のない卵形消化タンクなら投入汚泥量が減少し消化タンクの容量が小さくなります。その結果建設コストが低減でき、汚泥の加温コストが下がります。

#### 5. 保温性に優れている

卵形消化タンクは、容量に対する表面積がその理想である球に近く、そのために従来型消化タンクに比べて表面積が小さく、放熱エネルギーが減少し加温コストを低減できます。

さて、卵形消化タンクの普及で見落せない要素のひとつに、近年の汚泥基質の変化があります。即ち、有機質分の増加などのために汚泥の濃縮性が悪化し、重力濃縮だけでは十分な濃度を得られなくなっています。そこで効率的な機械濃縮の導入が計られてきましたが、問題は高濃度消化でした。そこで高濃度でも効率的に攪拌できる卵形消化タンクが注目されたわけです。

一方、建設技術上からの要素もありました。西ドイツでは当

初卵形消化タンクを縦に5~6分割し順次建設してゆく工法(縦割りのセグメント工法)で施工していましたが、施工時に不安定そうに見えました。ところが1970年代に入って急速に発達した足場・型枠の機械化は、その適用が困難と思われた卵形消化タンクにおいてもデヒダーク社によって実現され、1970年代後半からはクライミングフォーム工法を用いて卵形消化タンクを横に分割してリング状に施工する工法(横割りのリングセグメント工法)へと移行しました。この技術開発により施工性が著しく改善され、それまでの縦割りのセグメント工法では避けられなかった施工時の不安定感も一掃され、西ドイツでこの工法による最初の卵形消化タンクが建設されて僅か6年後には、屈指の地震国である我が国でも最初の卵形消化タンクが実現するに到ったのです。

また、耐震設計技術の向上も見逃すことができません。近年のめざましいコンピュータの発達は、それまで不可能とされてきた構造解析や振動解析を可能とし、この一見複雑そうに見える卵形消化タンクの耐震設計を十分信頼できる確かで行えるようになってきました。また、強震地域であるロサンゼルスに卵形消化タンクが実現したことも側面からの支援となりました。

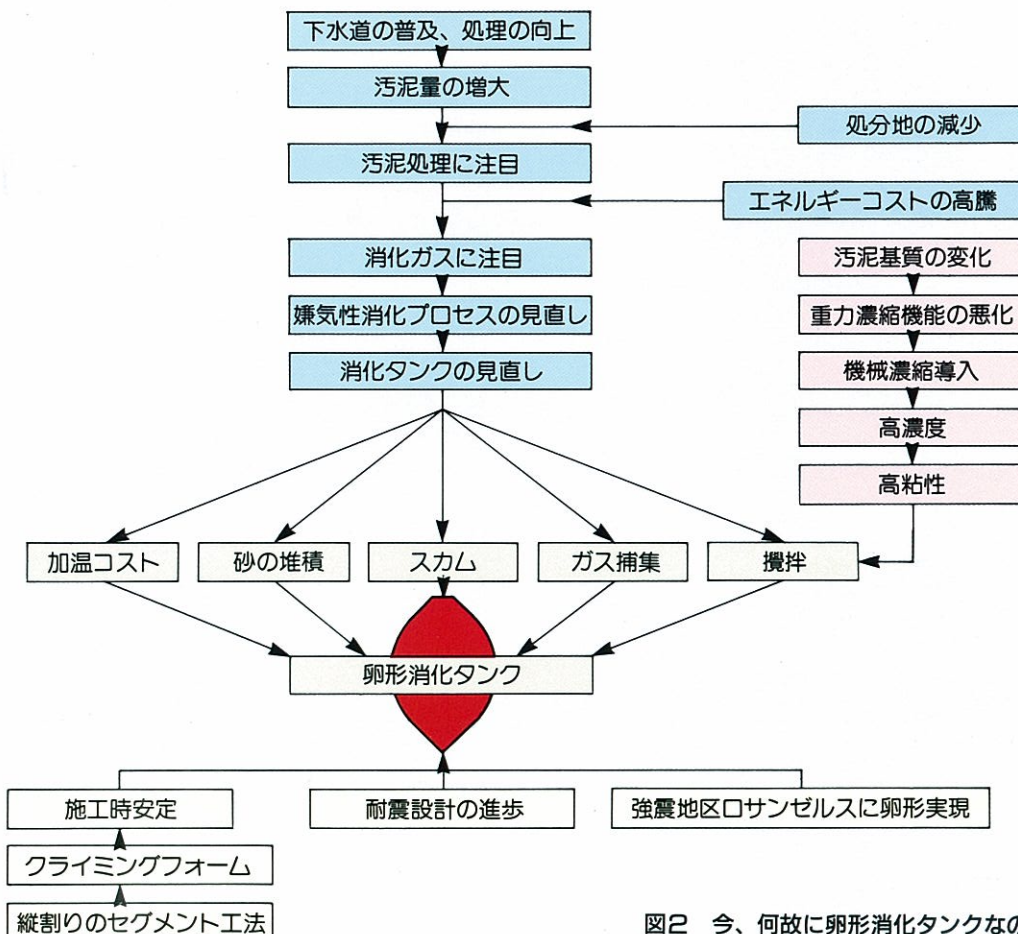


図2 今、何故に卵形消化タンクなのか

# 総合的経済性が未来を拓く

トータルで考慮すれば、卵形消化タンクは経済的に優位です。

汚泥処理の目的は汚泥の減量化と安定化ですが、それを達成するためのシステムを選定する基準は、すべての処理処分を含めたトータルな経済性であるといえます。

消化タンク運転上多くの特長を有する卵形消化タンクですが、これを屈指の地震国で、埋立地のような軟弱な地盤に建設する場合、その建設費は同容量の従来型タンクと比べて上昇するといわれています。しかし、卵形消化タンクの特長が発揮されると、高濃度消化により消化タンク容量が減じ初期

建設コストを低減することができ、また運転維持管理費をも含めると長期的にも卵形消化タンクを用いたほうが有利に成ることが期待されます。

では、卵形消化タンクを用いるとどの程度有利と成るのでしょうか。そこで、卵形消化タンクおよび従来型消化タンクの経済比較を以下のシステムについて行ってみましょう。

SYSTEM 1 混合汚泥の重力濃縮+従来型消化タンク

SYSTEM 2 " +卵形消化タンク

SYSTEM 3 初沈汚泥の重力濃縮、余剰汚泥の機械濃縮+卵形消化タンク

この組み合わせは、投入汚泥濃度を同じとした場合の卵形および従来型消化タンクの比較、さらには、機械濃縮された高濃度汚泥では卵形消化タンクのみが効率的かつ経済的に攪拌できるという前提で、高濃度消化の卵形および従来型消化タンクの比較を目的としたものです。

この比較では濃縮および消化プロセスのみを対象とし、以下のファクターを考慮します。

- 1) 濃縮プロセス
  - a) 土木建設費および機械設備費 (機械設備の耐用年数=15年)
  - b) 運転維持費
- 2) 消化プロセス
  - a) 土木建設費
  - b) 攪拌動力費
  - c) エネルギー費 (ガス発電として収支計算)
  - d) しゅんせつ費

計算例として対象処理人口を150,000人とします。消化タンク容量計算のフローを図3に、消化タンクの形状を図4に、また各システムの容量、表面積および建設費の比較を表2に示します。これらの結果より、高濃度消化では消化タンクの容量を大幅に削減できることがわかり、また同容量でも卵形のほうが従来型より表面積が約15%少なくなることが分ります。

	SYSTEM 1	SYSTEM 2	SYSTEM 3
容量	1.0	1.0	0.63
表面積	1.0	0.84	0.61
建設費	1.0	1.34	0.97

表2 容量と建設費の比較

図3 消化タンクの容量計算

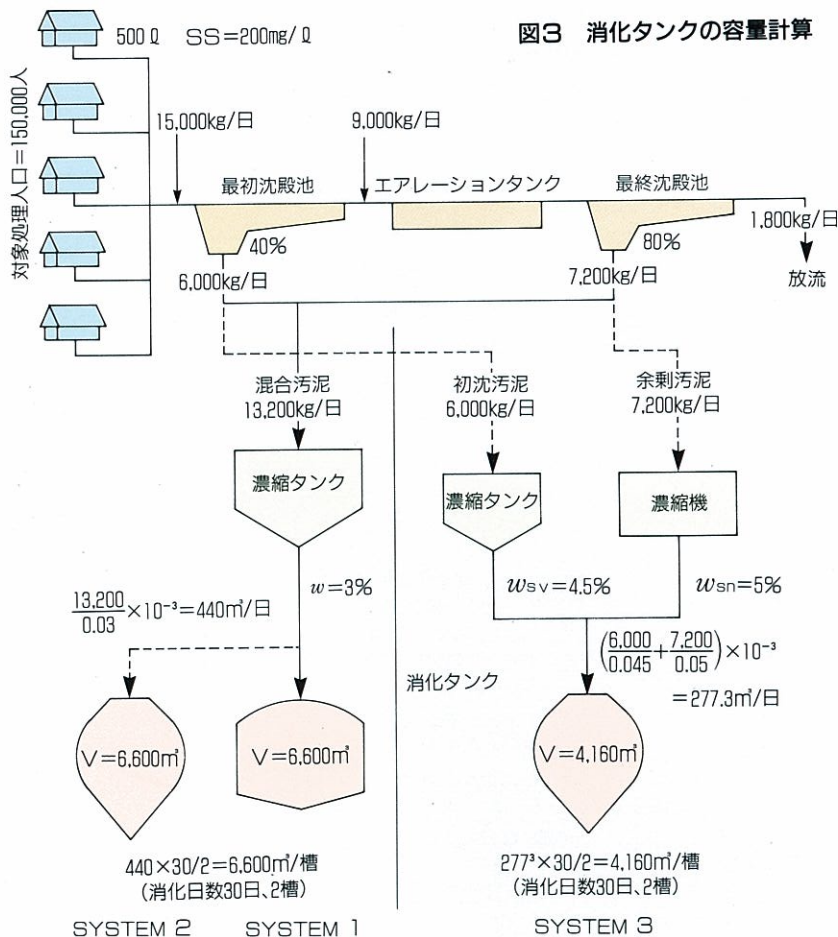
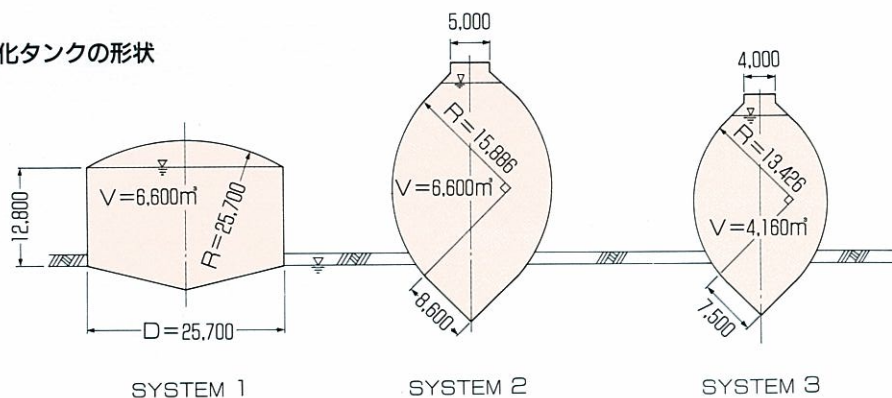


図4 消化タンクの形状



次に消化タンクの運転コストの比較を見てみましょう。表3には考慮した項目の運転費用をまとめてあります。

表中のエネルギー費とは、放熱、加温および図5に示すガス発電システムでのエネルギー収支を考慮したものです。この結果、従来型では終始運転費用がかさむのに対し、卵形では収益となり、卵形消化タンクの運転上の特長がよく発揮されています。

最後にすべての要素を加えて投入資金量としたグラフを、従来型消化タンクを用いるSYSTEM 1の初期建設費(濃縮+消化プロセス)を1.0とした比率で図6に示します。この結果、卵形消化タンクを用いるシステムでは従来型消化タンクの場合と比べて初期建設コストが10~25%上昇しますが、最終的な投入資金総額は約1/2にまで減少し、卵形消化タンクの経済性が明確に示されています。

なお、この計算のためのプログラムが準備されていますので、お気軽にお申しつけ下さい。

単位 百万円

	SYSTEM 1	SYSTEM 2	SYSTEM 3
しゅんせつ費(10年当り)	47.5	0	0
攪拌動力費(1年当り)	7.52	1.83	1.15
エネルギー費(1年当り)	1.37	-6.65*	-18.9*

\* (-)記号は収益を示す。

表3 消化タンクの運転費

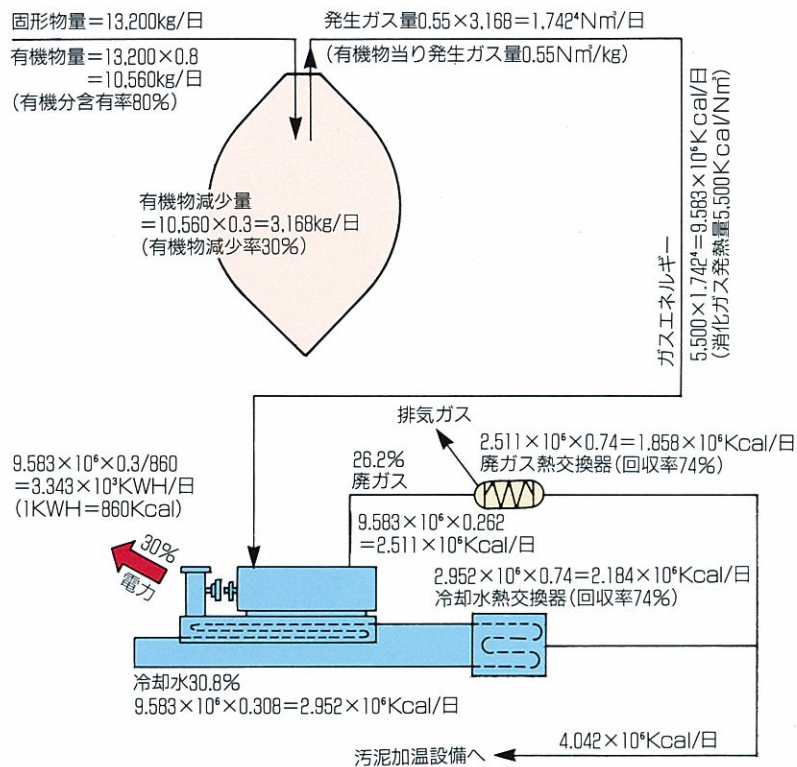


図5 消化ガス発電システムにおけるエネルギー収支

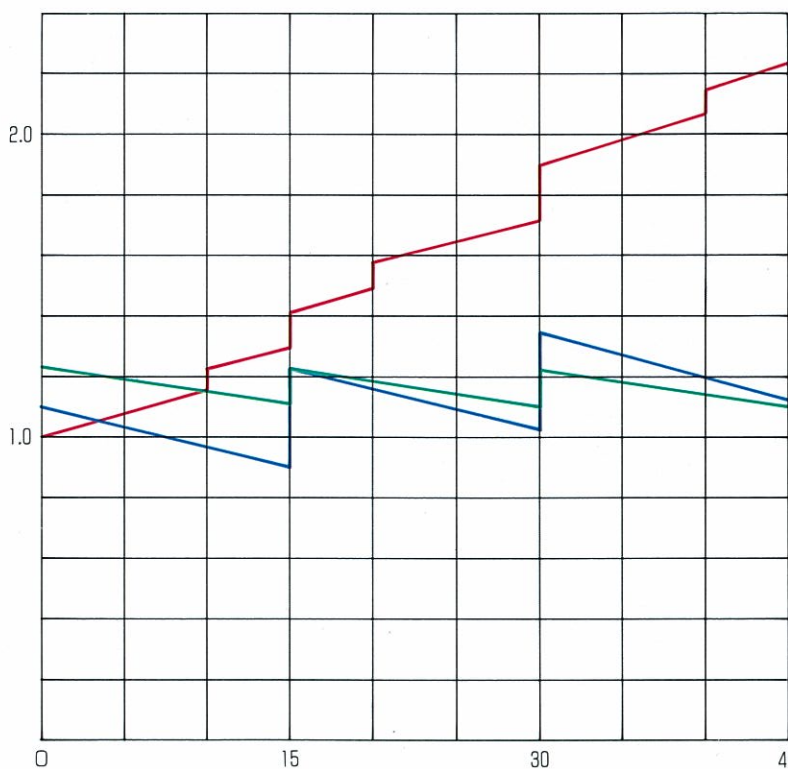


図6 投入資金量

- 従来型 SYSTEM 1
- 卵形 SYSTEM 2
- 卵形 SYSTEM 3

グラフの直線の不連続部は、濃縮機械取り替えのための機械設備費(15年毎)、および従来型消化タンクの場合のしゅんせつ費で(10年毎)。

# ORIKENの技術努力が開発を進める

限りないテーマに挑むのは、最先端を行く技術集団です。

多くの特長を有する卵形消化タンクですが、なぜ西ドイツを中心に普及したのでしょうか。

それには多くの理由が考えられますが、そのひとつにデビダーク社のたゆまぬ技術開発とコストダウンを上げることができ、この複雑な形状のタンクを安全確実にかつ経済的に建設することが、卵形消化タンクを含むシステムが他のシステムより総合的に見て経済的と成りうる大前提です。

弊社は卵形消化タンクの研究に初期の段階から参画し、我が国への導入からその後の普及へと常に業界のリーダーとして活動して参りました。西ドイツで実際に設計施工法を学び多くの処理場で卵形消化タンクの現況を調査し、それを実現するために多くの実験や研究を重ねて参りました。その中で主要な研究を紹介いたします。

## 1) 施工実験

デビダーク式クライミングフォーム工法の導入にあたり、いくつかの解決しなくてはならない問題がありました。そこで弊社は既に昭和58年1月に実物大の施工実験を行い、施工上の問題解決の糸口を探りました。この実験を通じデビダーク式クライミングフォーム工法の導入を確実にものにすると同時に、保温材および外表材の施工方法などで独自の経済的な方法を生み出しました。



## 2) 振動実験

卵形消化タンクを我が国へ導入するに当たっての最も重要な課題のひとつは耐震設計でした。卵形消化タンクの耐震設計で最も重要な要素のひとつは、地震時動液圧を正しく把握することです。当初は卵形消化タンクのような複雑な形状の動液圧を理論的に求める方法が提案されていなかったため、アクリル製模型を作り、振動台を用いて振動実験を行いました。それと平行して当時球形タンクのスロッシング解析として得られていた理論を基にし、一部境界条件を変更し、卵形消化タンクの衝撃圧算定理論へと拡張しました。この理論解と実験で得られた測定値は図7に示すように非常に一致しています。

## 3) 攪拌実験

卵形消化タンクの最大の特長は攪拌効率です。そこでアクリル製模型に機械攪拌装置を取付け、銀箔を入れたグリセリン溶液で攪拌実験を行い、短時間にタンク内が完全混合状態となり、死角が生じないことを確認しました。

## 4) 卵形消化タンクを含む嫌気性消化システム

弊社は更に卵形消化タンクの特長を生かすためにはどのようなシステムがよいかの研究を進めて参りました。図8に消化ガス発電を含むシステムフロー図をひとつの例として示します。

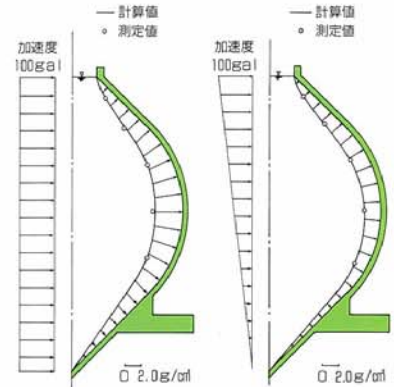
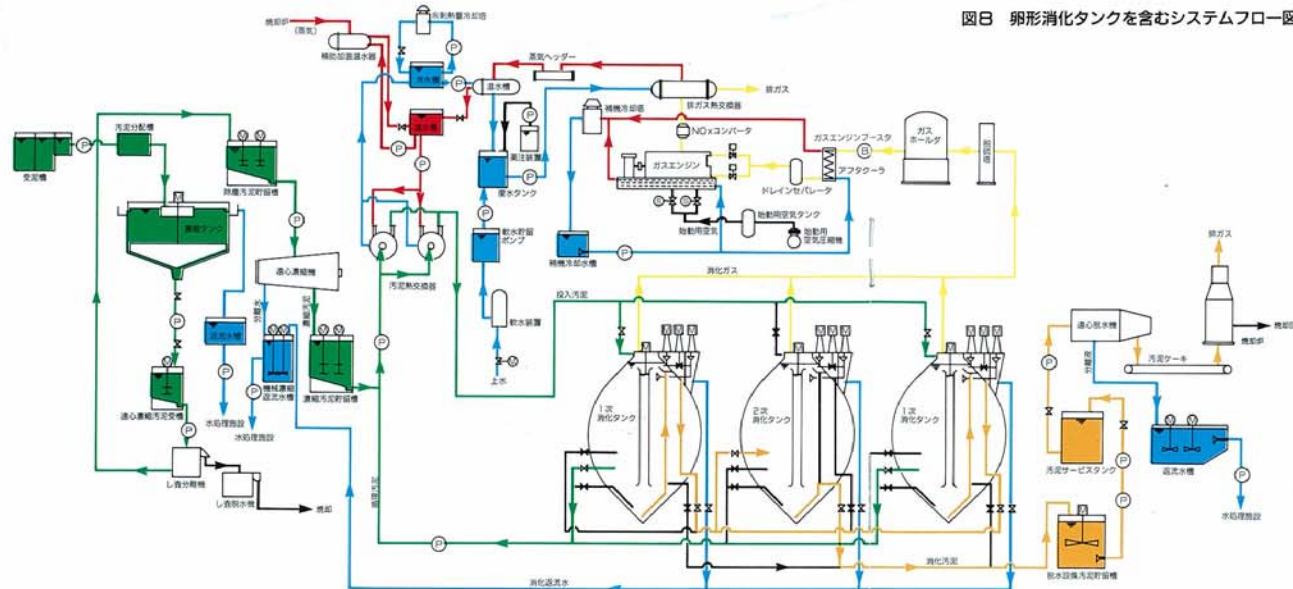


図7 地震時動液圧



図8 卵形消化タンクを含むシステムフロー図



# 設計の基本はあくなき追求です

卵形という最適形状は、徹底した設計思想から生まれました。

## 1) 卵形消化タンクの形状決定

卵形消化タンクの形状を決定するに当たって、以下の点を考慮しなくてはなりません。

- 消化汚泥および細砂が自然沈降によりタンク最下端の汚泥引出し口まで達するように、タンク底部は水平に対して45°の傾斜とする(下部円錐部)。
- スカムの発生を抑え、また、スカムが生じた場合には速やかに除去できるように、タンク上部がすばまっている必要があるため、タンク上部は水平に対して45°の傾斜とする(上部円錐部)。
- 表面積を小さくするため、上部および下部円錐部の間はひとつの曲率を有する円で結合する(中間円形壁部)。
- 上部開口部は攪拌装置の据えつけ、施工中タンク内で用いた機材の搬出などを考慮して決定する。

以上の条件を満足する形状は次式で表されます。

$$(5/3 - \pi/2) \cdot R^3 + (\pi/2 - 1) \cdot L \cdot R^2 + L^2 \cdot R - (\sqrt{2}/\pi) (V - V_{UT} - V_{LT}) = 0$$

ここに R=中間円形壁部の半径

L=下部円錐部の母線長

V=全容量

$V_{LT}$ =下部円錐部の容量= $\pi/3 \cdot (L/\sqrt{2})^3$

$V_{UT}$ =上部円錐部の容量

$$= \pi/3 \cdot (L/\sqrt{2} - SR) \cdot [(L/\sqrt{2})^2 + (L/\sqrt{2}) \cdot SR + SR^2]$$

SR=液面の半径

しかしこの式ではまだLとRの2つが未知数です。ところでペーペルは卵形消化タンクの最適形状として、全高/赤道最大径 $\approx 1.45$ を与えています。そこで、この比を約1.5とした場合のV-L-Rの関係を図9に示します。

## 2) 卵形消化タンクの基礎

卵形消化タンクの基礎は、支持地盤の位置や立地条件に応じて、直接基礎、くい基礎、ケーソン基礎などが選択できます。図10に我が国および西ドイツで実績のある基礎の例を示します。

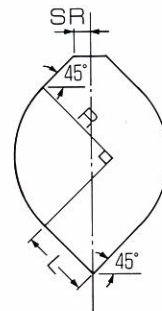


図9 卵形消化タンクの形状

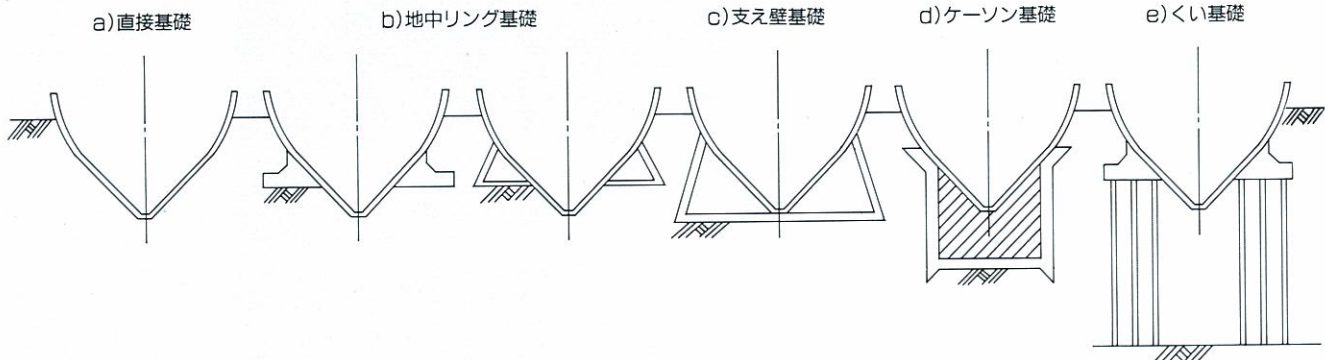
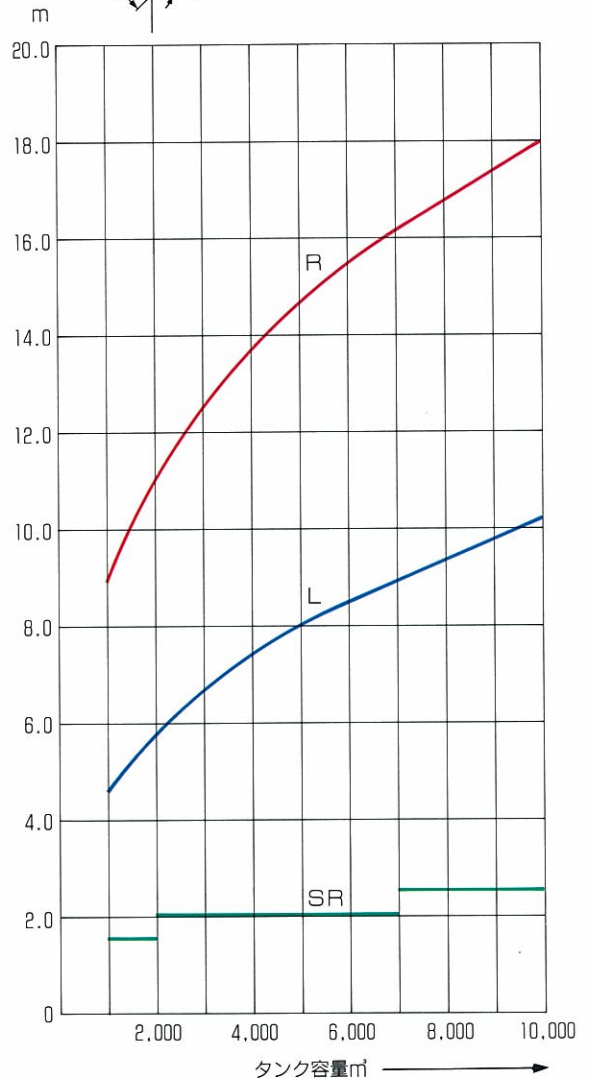


図10 卵形消化タンクの基礎



### 3) 構造解析・自動設計

卵形消化タンクの断面力は有限要素法(F.E.M.)やその他の方法で簡単かつ正確に求めることができます。弊社はどの方法にも対応できるよう準備してありますが、特別な制限がない場合には、マッシュアップなリング要素や地盤のパネを従来の概念に従って合理的にモデル化できる平面骨組解析プログラムを用いたシステムを開発いたしました。これはテイビダーク社の設計手法に習ったもので、パーソナルコンピュータとメインフレーム(大型高速コンピュータ)を有効に利用し、正確、迅速かつ経済的に設計を行うことができます。よって、初期の計画段階でも、実績の少ないPC卵形消化タンクの正確な見積りを迅速にお出しすることができます。

### 4) 耐震設計

液体容器の耐震設計で最も重要な要素のひとつは、地震時動液圧を正しく評価することです。実験や理論解を通して今や簡単かつ正確にそれを求めることができるようになり、その結果、少ない費用で正確な耐震設計が行えるように成りました。さらに、動的解析を行う必要のある場合に、自由度を大幅に減らすことができるように、内容液を付加質量として評価する実際的な方法を導きだし、大幅に計算に要する費用を低減することができます。

その例として、サブストラクチャ法により地盤—基礎—上部工の連成応答解析を行ったときの上部工モデル、入力地震波およびタンク重心位置での加速度応答波形を図11に示します。

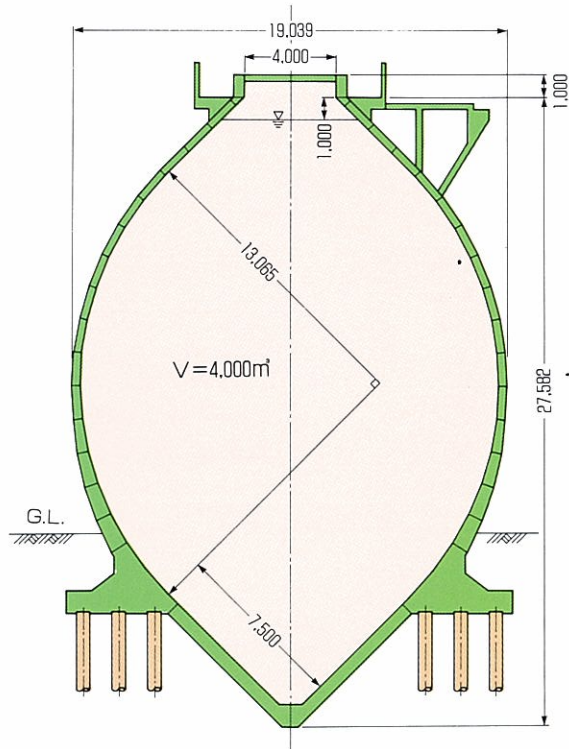
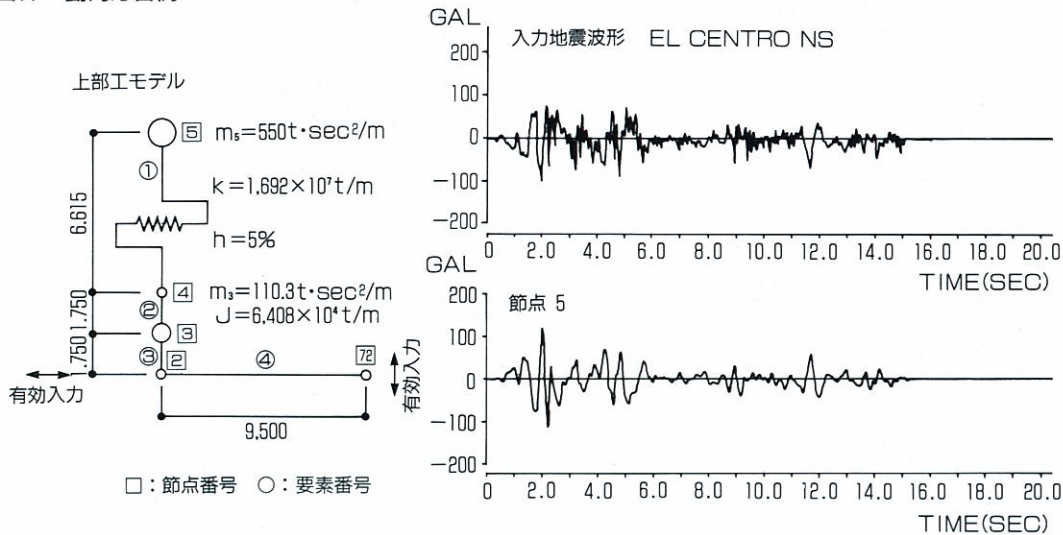


図11 動的応答例

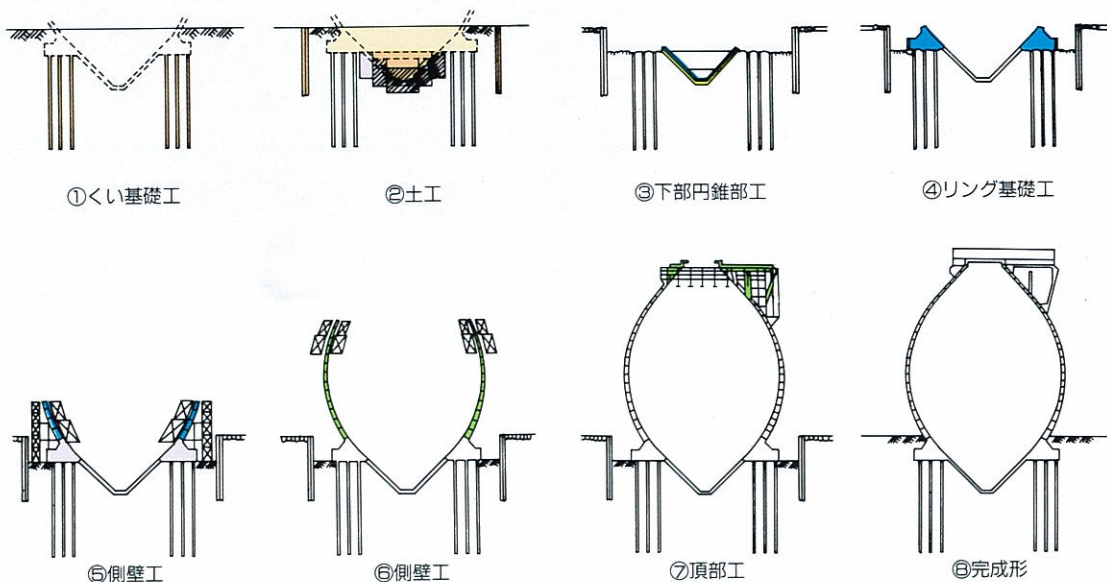


# 無駄を省いた合理的施工

複雑な構造を構築する施工の特長は、独特の型枠・足場に見られます。



施工順序を横浜市北部第二下水処理場での例で示します。



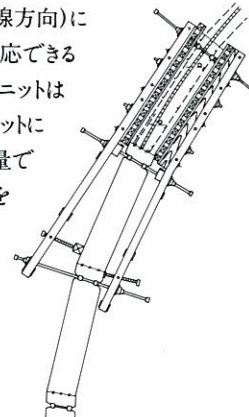
### 1) 下部円錐部の型枠

下部円錐部では、場合によっては地盤改良を施した後に円錐状に掘削し、コンクリートを吹き付けて法面を保護すると同時に、これがこの部分の型枠がわりとなります。次に写真に示すようなH型鋼の骨組を組みこのすき間に木製の型枠パネルを挿入して型枠を形成します。この場合、セパレータが使えないので、圧縮リングによってコンクリートの側圧に抵抗します。



### 2) 円形壁部の型枠

デビダーク式クライミング型枠を使用します。これは既に硬化したコンクリートにアンカーされた鋼製型枠ガードに木製型枠パネルを差し込んで型枠を形成するものです。1回の打設高さは約1.5mで、これは使用する足場、作業性、曲面構造の正確な近似などの要素を総合的に検討して決定されます。通常の機械化されたクライミングフォーム工法では型枠は一般に足場に固定されていますが、このシステムでは完全に分離され2方向(円周および経線方向)に曲率を有するこの複雑な構造に対応できるように配慮されています。また、各ユニットは完全に独立しているため、隣のユニットに影響を与えることなく、簡単な測量で正確かつ迅速にこの複雑な構造を構築することができます。



### 3) 円形壁部の足場

容量が5,000~6,000m<sup>3</sup>以下の場合で、円形壁部の半径R(“卵形消化タンクの形状決定”の項参照)が約15m以下の場合、通常の総足場を用い、それ以上ではデビダーク式クライミング足場を用います。

この足場の特徴は各ユニットが完全に独立し、ユニット毎にジャッキおよびポンプが設置されているので、ユニット毎の移動が可能であることはもちろん、一斉に移動する場合にも上昇スピードやポンプ圧力が正確に管理でき迅速かつ安全に足場を上昇できます。



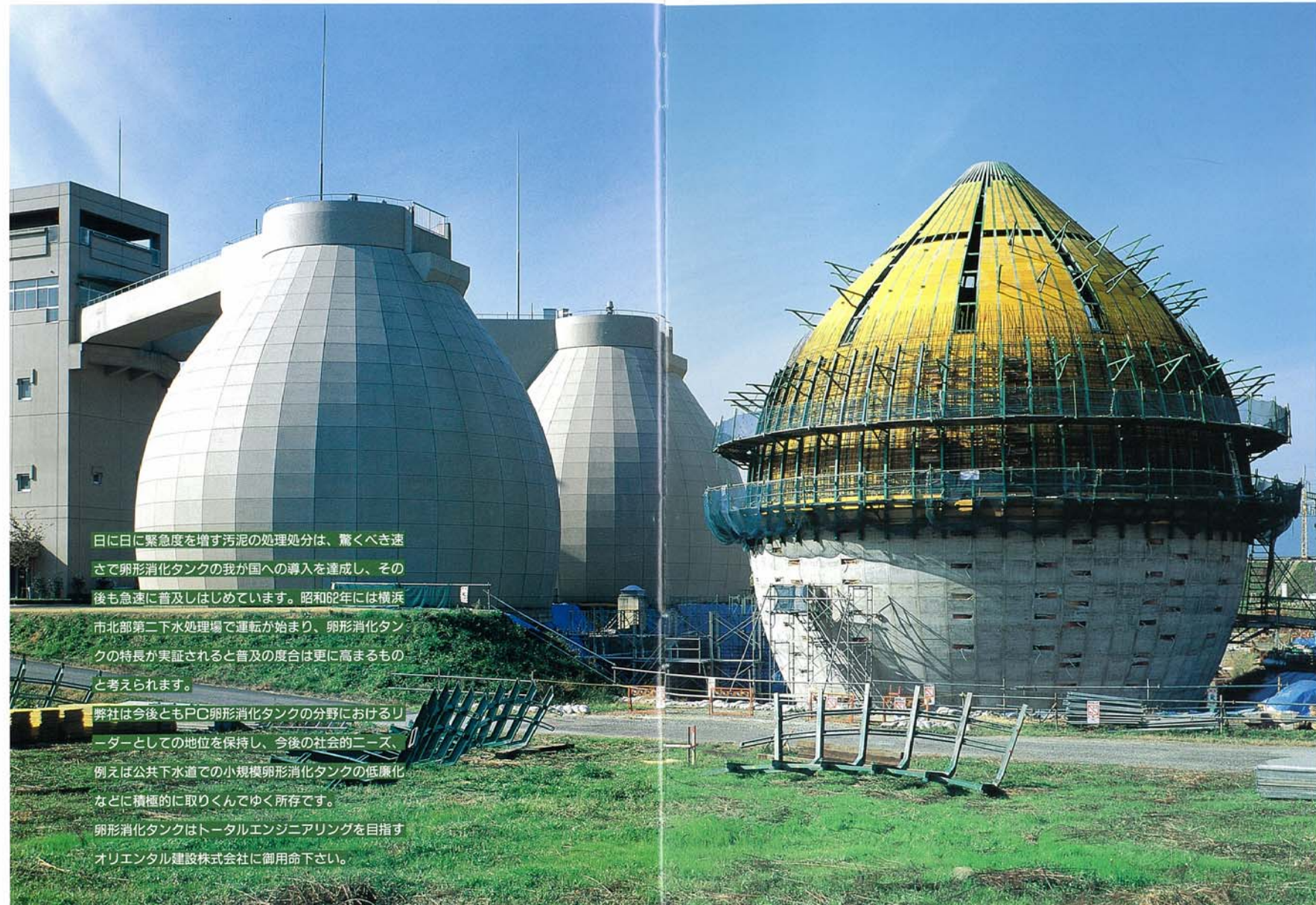
### 4) 保温材・外装材の施工

卵形消化タンクは2方向に曲率を有する構造であるために、保温材や外装材もそれに適合できるものでなくてはなりません。これまでの実績では、保温材としてウレタンフォームを現場発泡し、コンクリートにアンカーされた下地材に外装材としてフッ素樹脂加工鋼板やステンレス鋼板を取付けるのが一般的です。



# 新時代を拓く卵形消化タンク

社会的ニーズを的確に把握する、**ORIKEN**の技術にご期待下さい。



日に日に緊急度を増す汚泥の処理処分は、驚くべき速さで卵形消化タンクの我が国への導入を達成し、その後も急速に普及はじめています。昭和62年には横浜市北部第二下水処理場で運転が始まり、卵形消化タンクの特長が実証されると普及の度合は更に高まるものと考えられます。

弊社は今後ともPC卵形消化タンクの分野におけるリーダーとしての地位を保持し、今後の社会的ニーズ、例えば公共下水道での小規模卵形消化タンクの低廉化などに積極的に取り組んでゆく所存です。

卵形消化タンクはトータルエンジニアリングを目指すオリエンタル建設株式会社に御用命下さい。



## NETWORK

本 社	〒135-0061	東京都江東区豊洲 5-6-52 (NBF 豊洲キャナルフロント)	03-6220-0637	03-6220-0636
東北支店	〒980-0014	宮城県仙台市青葉区本町 2-16-10 (NBF 仙台本町ビル)	022-222-4691	022-266-4583
東京支店	〒135-0061	東京都江東区豊洲 5-6-52 (NBF 豊洲キャナルフロント)	03-6220-0650	03-6220-0651
名古屋支店	〒460-0003	愛知県名古屋市中区錦 1-5-13 (リック名古屋錦ビル)	052-202-3001	052-202-3008
大阪支店	〒550-0002	大阪府大阪市西区江戸堀 1-9-1 (肥後橋センタービル)	06-6446-0243	06-6446-2047
福岡支店	〒810-0001	福岡県福岡市中央区天神 4-2-31 (第2サウスビル)	092-761-6931	092-741-3651

---

工 場 関東・滋賀・福岡

<http://www.orsc.co.jp/>