

## 洛南浄化センターの設計と施工

高宮 正英\*1・高町 佳武\*2・斉藤 勉\*3・堀口 政一\*4

### 1. はじめに

洛南浄化センターは、京都府南部、木津川と宇治川の合流点近くの八幡市八幡地内に設置される、木津川流域下水道の終末処理場である。

終末処理場の建設工事は、昭和 57 年に着手され、昭和 61 年 3 月から、全体計画の 16 分の 1 にあたる、1 日当り 24 000 m<sup>3</sup> の処理能力をもつ施設が供用を開始している。

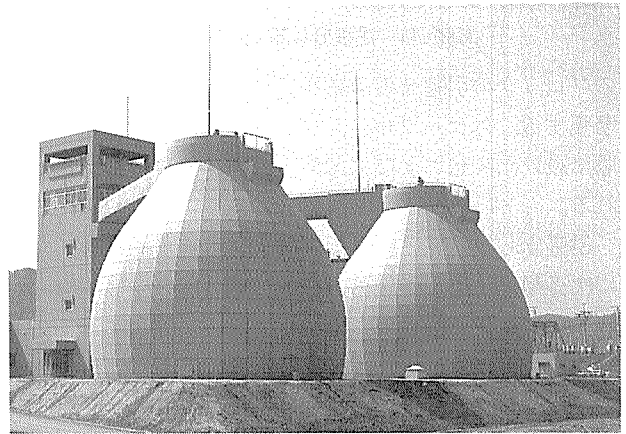


写真-1 卵形消化槽全景

下水処理の過程で多量に発生する汚泥の処理は、埋立処分地確保の困難や、処理・処分の経費の高騰などの面から、重要な課題となっている。このような情勢にあって、汚泥の嫌気性消化方式は、発生汚泥を減量化し、回収した消化ガスをエネルギーとして再利用できるなど、有効な処理方法であり、より効率化が求められている。

そのため、洛南浄化センターでは、機能および維持管理面で優れた特長をもっている PC 卵形消化槽が採用された。

本稿では、その設計と施工について報告する。

### 2. 工事概要と主要工事数量

#### 2.1 工事概要

工事名称：木津川流域下水道洛南浄化センター建設工事その 18, 19

施工場所：京都府八幡市八幡地内

事業主体：京都府

発注者：日本下水道事業団

設計者：三水・京都水道コンサルタント共同企業体

施工者：大成・古瀬建設共同企業体

工期：昭和 63 年 12 月 1 日～平成 2 年 12 月 20 日

構造形式：PC 卵形消化槽

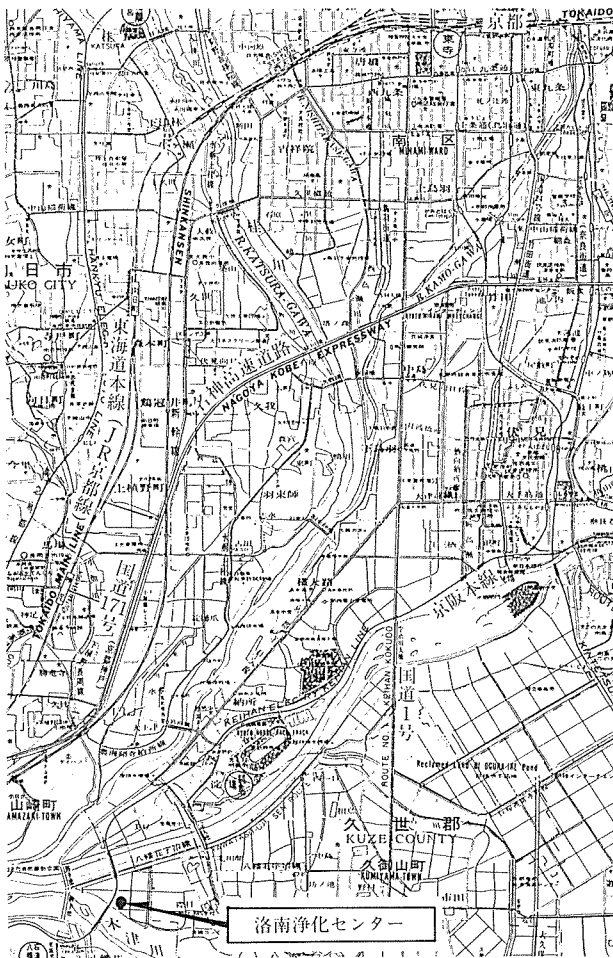


図-1 位置図

\*1 Masahide TAKAMIYA：大成建設(株)土木設計部室長

\*2 Yoshitake TAKAMACHI：大成建設(株)、大成・古瀬建設共同企業体副課長

\*3 Tsutomu SAITOU：大成建設(株)土木設計部係長

\*4 Masakazu HORIGUCHI：大成建設(株)土木設計部主任

規 模：容量 4 000 m<sup>3</sup>×2 基  
 PC 工法：VSL 工法, FAB 工法  
 基礎形式：杭基礎 (PHC 杭, φ600, B 種)

2.2 主要工事数量

当 PC 卵形消化槽の主要工事数量を表-1 に示す。

表-1 主要工事数量

(1 基当り)			
	規 格	工 法	数 量
コンクリート	$\sigma_{rk}=350 \text{ kg/cm}^2$ (高炉, 早強)		870 m <sup>3</sup>
鉄 筋	SD 30		90 t
PC 鋼 材	PC 鋼棒 SBPR 95/120 φ32	FAB	11 t
	PC 鋼より線 SWPR 19-φ21.8	VSL (E 9-1)	11 t
	” SWPR 7 B 9-φ15.2	VSL (E 6-9)	3 t
型 枠	木製 曲面型枠		2 500 m <sup>2</sup>
内部防食工	タールエポキシ樹脂		1 370 m <sup>2</sup>
杭	PHC φ600, l=14 m		72 本

3. 設 計

3.1 設計条件

3.1.1 主要構造寸法

本消化槽の主要構造寸法は以下のとおりである。また、構造一般図を図-2 に、ケーブル配置図を図-3 に示す。

全 高：28.550 m

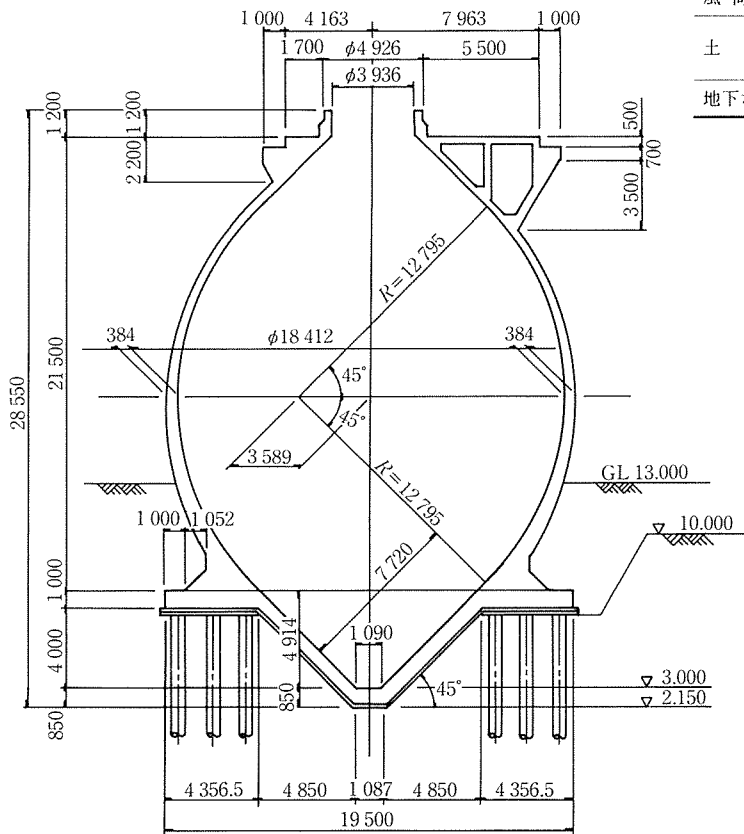


図-2 構造一般図

最大内径：18.412 m  
 最大水深：25.500 m  
 側壁曲率：12.795 m  
 壁 厚：0.350 m~0.800 m

3.1.2 設計条件

本消化槽の消化条件を表-2 に示す。また、設計にあ

表-2 消化条件

消 化 条 件	消 化 条 件	嫌気性加温二段消化方式
	消 化 温 度	35℃
	消 化 日 数	30 日

表-3 荷重条件

荷 重	摘 要	
固定荷重	躯体重量 (側壁, 杭頭リング, 下部円錐部) コンクリートの単位体積重量 ( $\gamma=2.50 \text{ tf/m}^3$ )	$W=2 196.6 \text{ tf}$
	上載荷重 (スラッジポケット, ガスドーム, 連絡橋反力等)	$W=286.1 \text{ tf}$
	保温材, ライニング	$q=0.05 \text{ tf/m}^2$
載荷荷重	群集荷重	$q=0.50 \text{ tf/m}^2$
	群集荷重 (地震時)	$q'=0.30 \text{ tf/m}^2$
液 圧	汚泥の単位体積重量	$\gamma=1.05 \text{ tf/m}^3$
ガ ス 圧	消化ガス圧	$q=0.50 \text{ tf/m}^3$
地震荷重	躯体慣性力	
	地震時土圧	$K_h=0.20$
	地震時動液圧	$K_v=0$
温度荷重	汚泥温度 38℃ 外気温 冬 4℃	
	地表面 冬 5℃ 地 中 (GL-5.0 m 以下) 15℃	
風 荷 重		$q=0.16 \text{ tf/m}^2$
土 圧	土の単位体積重量	$\gamma=1.8 \text{ tf/m}^3$
	静止土圧係数	$K_a=0.5$
地下水位	地下水位	GL-1.5 m

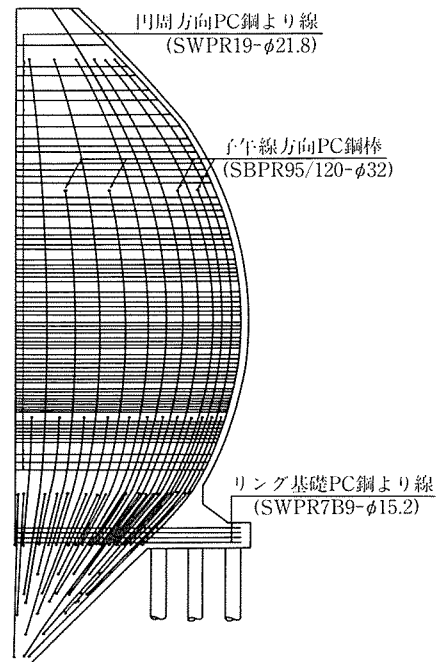


図-3 PC 鋼材配置図

表-4 材料の仕様および許容応力度

種別	仕 様	応 力 度 の 状 態		許容応力度 (kgf/cm <sup>2</sup> )		
コンクリート	$\sigma_{ck} = 350$ kgf/cm <sup>2</sup>	P	曲げ圧縮 応力	プレストレッシング直後	170	
			使用状態	135		
		C	軸圧縮応力度	プレストレッシング直後	132.5	
				使用状態	105	
		部材	曲げ引張 応力	せん断応力度	プレストレッシング直後	13.5
					使用状態	7
				満液時	温度荷重用時	18.5
					風荷重用時	23.5
				空液時	地震時	23.5
					地震時	23.5
RC部材	$\sigma_{ck} = 210$ kgf/cm <sup>2</sup>	曲げ圧縮応力度	70			
		軸圧縮応力度	55			
		せん断応力度	ス ラ ブ 8.5			
鋼材	PC鋼より線 SWPR 19 1 T 21.8 mm	プレストレッシング中	14 400			
		プレストレッシング直後	12 950			
		使用状態	11 100			
	PC鋼より線 SWPR 7 B 9-15.2 mm	プレストレッシング中	14 400			
		プレストレッシング直後	13 300			
		使用状態	11 400			
	PC鋼棒 SBPR 95/120 -φ32 mm	プレストレッシング中	8 550			
		プレストレッシング直後	8 070			
鉄筋	SD 30	一般の部材	1 800			
		水に接している部材	1 000			
		鉄筋の重ね継手長あるいは定着長を算出するとき	1 800			

たって考慮した荷重条件を表-3に、使用した材料およびその許容応力度を表-4に示す。

### 3.2 設計概要

#### 3.2.1 設計方針

「水道用プレストレストコンクリートタンク標準仕様書」等に基づき、各部材の安全性は、各荷重の組合せにより部材断面に生じる応力度に、プレストレスによる応力度を考慮して、許容応力度内にあることを確認した。また、同仕様書に従って、終局状態での検討は原則として行わないものとした。

耐震設計については、原則として震度法によって検討し、動液圧の算定に当たっては、スロッシングおよびバルジングの影響を無視するものとしたが、さらに安全性を確認するために、動的解析を実施した。

#### 3.2.2 構造解析

軸対称荷重が作用する軸対称構造物は、弾性床上の平面骨組問題に置換することができるが、本消化槽のように変断面であり2曲率タンクである場合、ばね定数が連

続的に変化する。したがって、この定数が連続的に変化するばねを、適切な数の集中ばねに置換し、ばね支承上の平面骨組問題として扱った。すなわち、壁および下部円錐部のモデル化は以下に行った。

- 1) 構造の全高にわたって、角度1ラジアン当りのスライスを取り出し、適切な数に分割する。分割点(節点)を直線で結び、この部材に子午線方向の軸力および曲げモーメントを負担させる。
- 2) 構造の円周方向剛性を表現するばね定数を決定する。構造の半径方向変位はこのばねによって制御される。このばね定数に匹敵する断面を有する、両端ピン結合の半径方向部材を、分割された子午線方向部材を接合する節点に設ける。

次に、リング基礎部のモデル化は、以下のとおりである。

- 1) リングの重心、リングと壁の接合点およびリングと下部円錐部の接合点に節点を設ける。
- 2) 上記3節点を子午線方向部材で結合する。
- 3) 杭頭に3つの節点を設け、リング重心の節点と結合する。
- 4) リングは剛で、リング自体は曲げ変形を起こさないと仮定して、以上の子午線方向部材には高い剛性を与える。
- 5) 杭頭リングと同じ断面性能を有する半径方向部材を、リング重心節点の位置に設ける。

さらに、基礎杭については、杭頭の結合条件をヒンジとし、軸方向および軸直角方向をばねに置換した。

また、地震時の非軸対称荷重を取り扱うために、回転シェル有限要素法を用いた。この時、平面骨組解析と等価な構造モデルとなるように、モデル化した。

### 3.3 耐震検討

本消化槽の耐震設計に当たっては、「下水道施設地震対策指針と解説」に基づき、原則的に震度法(静的解析)により設計を行ったが、消化槽形状の特殊性を考慮して、動液圧の大きさの算定および消化槽の耐震性の照査を目的とし動的解析を行った。

#### 3.3.1 解析モデル

解析モデルは、躯体、内容液ともに軸対称要素として取り扱い、側壁はシェル要素、リング基礎部はソリッド要素として評価し、地盤については鉛直方向の支持力は杭に比較して殆ど期待できないと考えられるので、解析モデルには考慮していない。また、内容液については、速度ポテンシャル理論に基づく運動をするものと仮定してモデル化を行った。図-4に解析モデルを示す。

#### 3.3.2 入力地震波の選定

動的解析入力地震波としては、建設地点の地盤の特性を考慮することができ、地震動の平均的な特性を表現

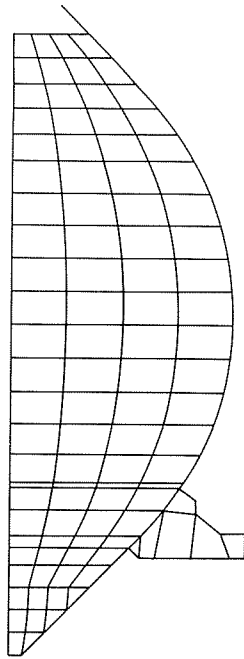


図-4 解析モデル

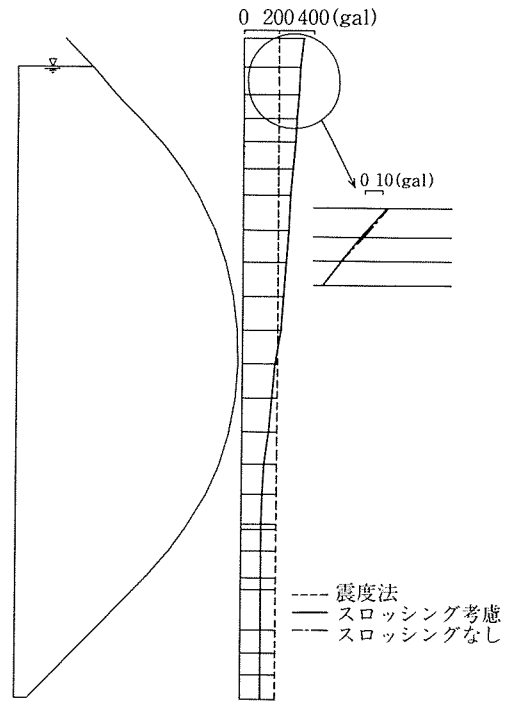


図-5 加速度の最大応答値分布

することができるものとして、道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編（平成2年2月）に掲載されている時刻歴応答解析用標準波形を選定した。

3.3.3 解析手法

解析に当たっては、躯体と内容液との連成振動を考慮することができ、さらに、スロッシングの影響を考慮することができるものとして、当社保有プログラム（FDAPⅡ）を使用し、周波数領域における複素応答解析法を用いて計算した。なお、入力地震波は、リング基礎下面に作用させた。

3.3.4 解析結果

本消化槽の建設地点におけるボーリング柱状図より、地盤の特性値を基にして耐震設計上の地盤種別を判定すると、Ⅱ種地盤と判断される。したがって、Ⅱ種地盤用の標準波形を入力し、スロッシングの影響を考慮した場合および考慮しない場合の側壁の応答加速度および動液圧を求めた。その結果を図-5および図-6に示す。この結果より、スロッシングの影響については全く考慮する必要がないものと判断された。また、動液圧の分布形状についても、震度法によるものと動的解析によるものとの、良い対応を示しており、設計的には、動液圧は今回用いた分布形状および大きさで十分であると考えられる。なお、参考として、スロッシングを考慮した場合の最大応答波高を図-7に示す。

次に、地震時における躯体安全度の照査として、Ⅱ種地盤用の標準波形を入力した場合の躯体断面力の最大応答値を用いて、応力度の照査を行った。その結果、経線方向、円周方向ともに地震時許容応力度以下であり、本

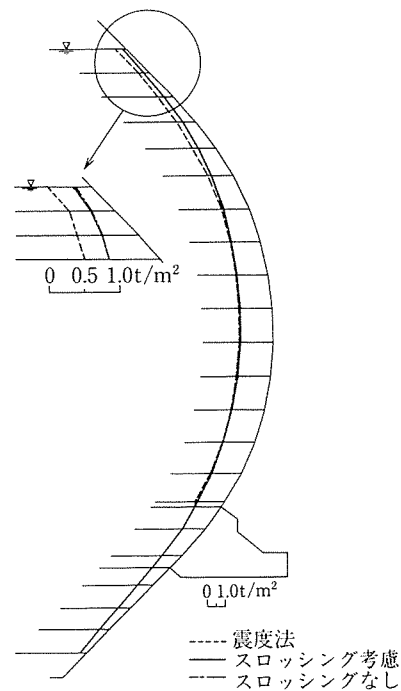


図-6 動液圧の最大応答値分布

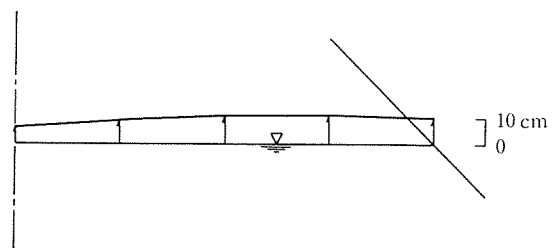


図-7 最大応答波高

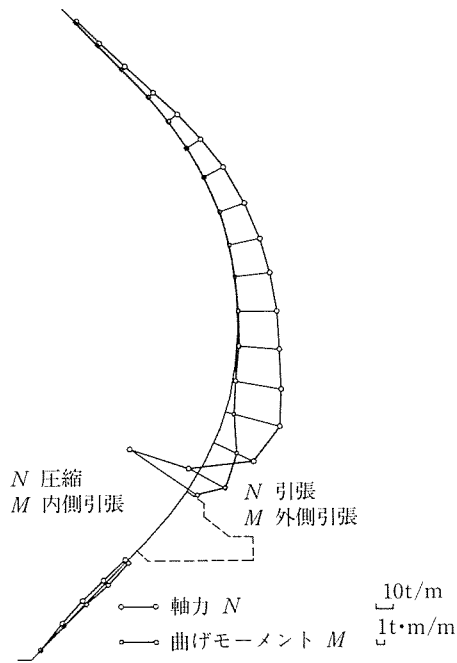


図-8 円周方向最大断面力

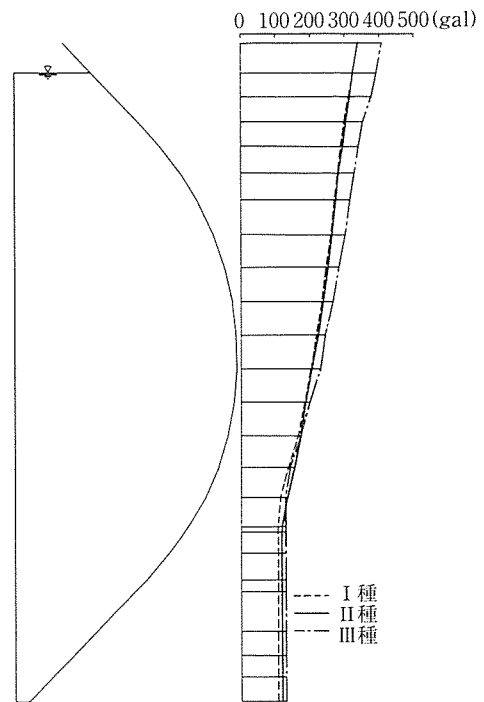


図-10 加速度の最大応答値分布

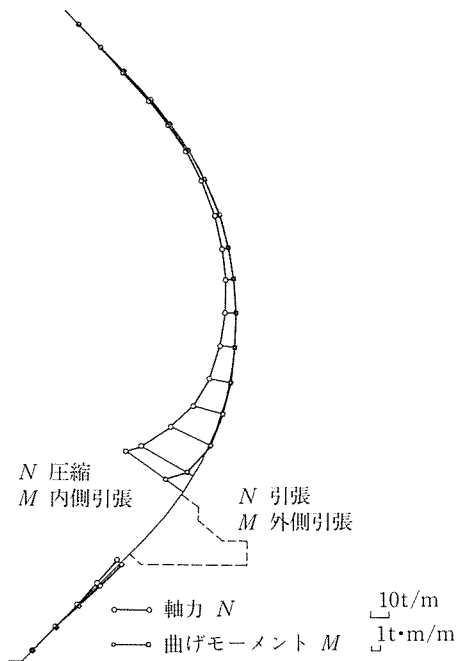


図-9 経線方向最大断面力

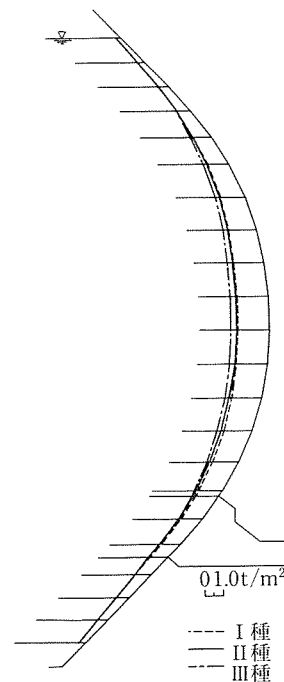


図-11 動液圧の最大応答値分布

消化槽の安全性を確認することができた。なお、図-8 および図-9 に躯体断面力の最大応答値を示す。

また、本消化槽が、地盤条件の異なる箇所に建設された場合の耐震性を評価するために、I種およびIII種地盤用の標準波形を入力して検討を行った。結果として得られた応答加速度および動液圧を、図-10, 11 に示す。これらによれば、地盤種別の相違に対して、応答加速度および動液圧に極端な差は見られず、卵形という形が有している耐震性能の良さを確認することができた。

## 4. 施 工

### 4.1 施工概要

当消化槽の構造形式は、杭基礎をベースとし、円周方向および子午線方向共に PC 鋼材を配置した、PC 卵形消化槽である。躯体の施工には、卵形の形に沿った曲面の木製型枠を製作し使用した。また、足場は、内外共に総足場とした。さらに特筆すべき点は、タンクの外装工

として、日本で初めて、汚泥処理で発生した焼却灰を一部混入したタイルを埋め込んだプレキャストによるパネル（以下、PC タイル版と呼ぶ）を使用したことが挙げられ、その概観の美しさが好評を得た。

4.2 施工方法

本工事の施工方法を、図-12 に示す。

(1) 土工事、杭基礎

現地盤より約 3 m の一次掘削後、地下水位低下のために、ディープウェルを行った。この掘削盤にてタンク

の支持基礎杭として、PHC 杭、B 種、 $\phi 600$  mm、杭長 14 m をプレボーリング+直打ち工法で打設を行った。杭打ち後、所定の位置に RC リングを施工し、逆円錐部の 2 次掘削および整形を行った。

(2) 吹付けコンクリート

逆円錐部の全面に金網を配置後、厚さ  $t=100$  のモルタルを 2 度に分けて、吹付け工法にて行った。

(3) 逆円錐部、リング基礎部

まず、底版の鉄筋および PC 鋼棒を配置した後、コー

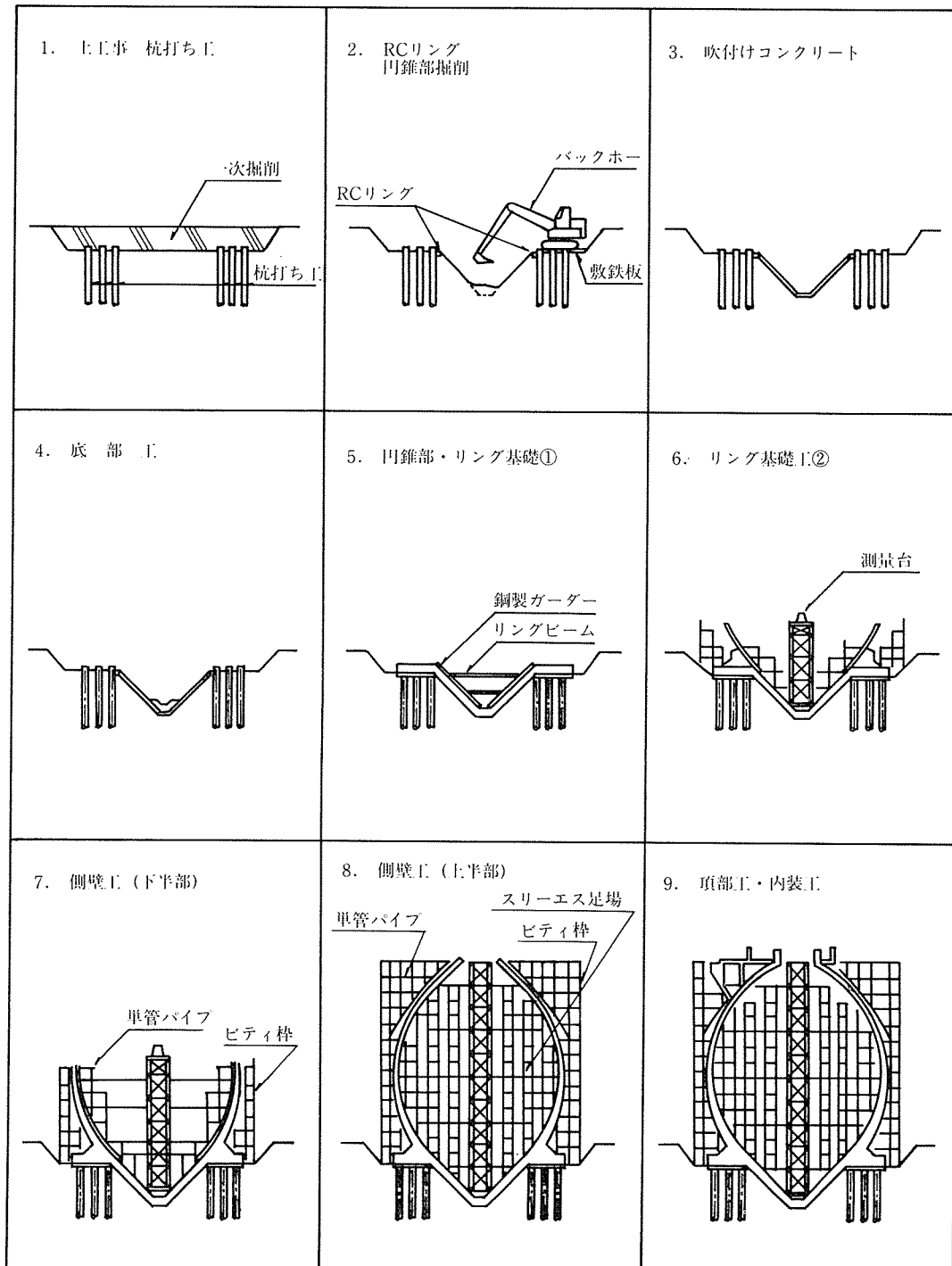


図-12 施工方法

◇工事報告◇

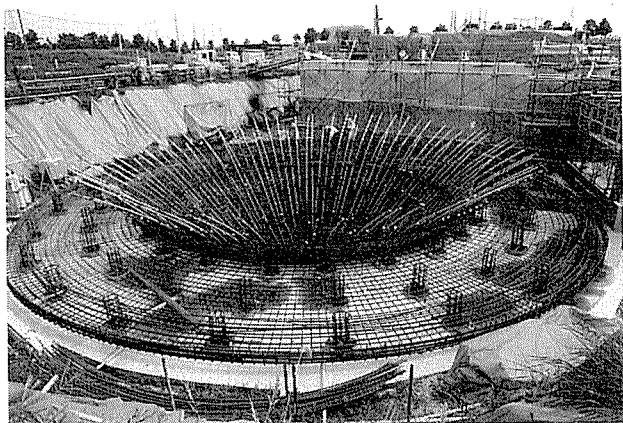


写真-2 逆円錐部施工状況



写真-4 外型枠施工状況

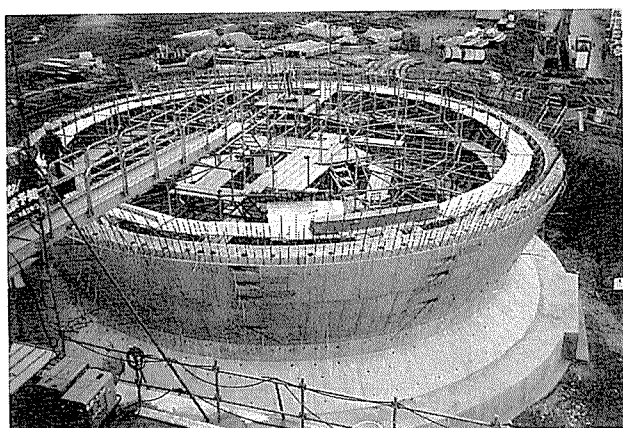


写真-3 下半部施工状況

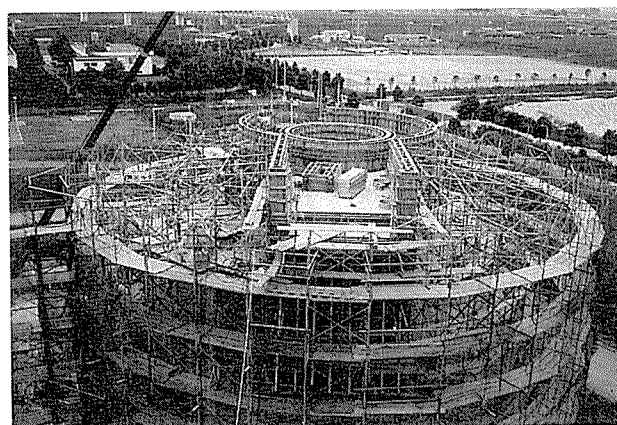


写真-5 頂部施工状況

ン型浮き型枠を、底部に埋め込んだアンカーボルトで固定し、底版上 50 cm までコンクリート打設を行った。次に立ち上がり円錐部の鉄筋、PC 鋼棒を配置し、曲面加工した木製型枠を組み立て、円周方向をベンディングパイプ、子午線方向を鋼製ガーダーで固定し、型枠の浮き上がり防止として下部のアンカーで捕強した。

施工方法は、逆円錐部とリング基礎天端までを 1 回で施工し、リング基礎ハンチ部と側壁のつけ根の部分までを 1 回で施工した（写真-2, 3）。

#### （4）側 壁

側壁は、できるだけ施工継目を少なくすることを考えて、8 ブロックに分割し施工した。卵形の形状を確保するために、木製型枠を両方向に曲げた型枠を製作し、それを現地で組み合わせることにより、なめらかな曲面を得た。施工手順は、まず内外の足場を組み上げ、外側の型枠を固定し、外鉄筋を配置後、PC 鋼材の配置、次に内鉄筋を組み、最後に内側の型枠を組み立て調整後に固定した。型枠の位置決めについては、中央の測量架台にある中心からの半径にて管理し、壁厚は内外型枠を継ぐセパにより確保した。これを各段で繰り返して 8 サイクルで完了した（写真-4）。

#### （5）頂部・スラッジポケット

本体施工終了後、外部足場の一部を組み替え、ブラケットおよび足場を利用した支保工を架設し、3 分割により施工した（写真-5）。

#### 4.3 型 枠

本工事では、卵形消化タンクの形状に沿った二重アールの木製型枠を採用した。型枠の組立は、縦方向には、曲げ加工された角管 (60×60) を使用し、横方向については、同じく曲げ加工された単管 ( $\phi 48.6$ ) を使用し、セパレーターにて壁厚を確保した。

型枠組立図を図-13 に示す。

#### 4.4 保温および外装工

消化タンクの保温は、外部全面に硬質ウレタンフォーム（現場発砲）を厚さ 30 mm で吹き付けた。また、外装工事として、PC パネルを全面に張り合わせる工法で行った。

この PC パネルは、汚泥の有効利用をはかるために、汚泥処理で発生した焼却灰を一部混入したタイルを埋め込み、コンクリートを打設したものである。大きさは、1.6 m×1.0 m、 $t=65$  mm で、1 基当たり 614 枚を使用した。取付け方法は、タンク外面に樹脂アンカーを打ち、L 形鋼およびボルトにて PC パネルに固定後、目地部をシーリングする施工で行った。

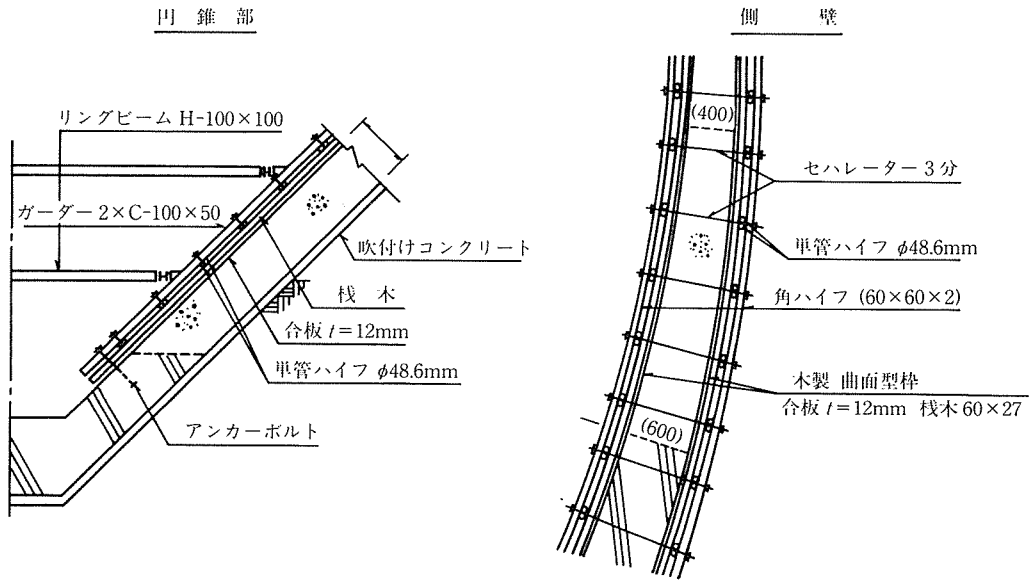


図-13 型枠組立図

表-5 実施工程表

工種	平成1年												平成2年												
	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
土工		■			■																				
杭打工			■	■																					
PCタンク(No.1)																									
底部、リング基礎					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
側壁工									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
頂部工																					■	■	■	■	■
内部防水工																					■	■	■	■	■
PCタンク(No.2)																									
底部、リング基礎								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
側壁工										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
頂部工																									
内部防水工																									
管廊工						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

4.5 実施行程

実施行程表を表-5 に示す。

5. おわりに

本消化槽は無事に完成し、現在、その機能を十分に果たしている。当洛南浄化センターでは、今後さらなる施設の整備を行い、最終的には、12基の消化槽を有する処理能力水量約 384 000 m<sup>3</sup> の規模となり、ますます増

大するであろう下水処理量に対して、その完成が期待されています。

最後に、本消化槽の計画・設計・施工にあたり御指導と御協力を頂いた京都府と日本下水道事業団の皆様方、ならびに、設計にあたって多大なる尽力をされた三水・京都水道コンサルタント共同企業体の皆様方に感謝の意を表します。

【1991年7月4日受付】