

PC 卵形消化槽の設計と施工について

(松本市宮渚浄化センター)

安 藤 保 雄*
 松 村 勉**
 中 房 悟**
 寺 澤 正 人**
 石 塚 健 一**

1. はじめに

松本市は本州長野県のほぼ中央に位置し、北アルプス連峰と美ヶ原高原など雄大で美しい自然に囲まれた、国宝松本城を中心とした古い城下町で、近代化しつつある街並みと田園の広がりとは調和しながら発展している。

本市の下水道は、このような豊かな自然と、快適な生活環境を守りながら近代都市をめざすため、昭和 25 年に事業認可を受け、以降処理区域の拡大とともに整備が進められてきた。

松本市宮渚浄化センターは、市域北部の宮渚処理区を対象としており、昭和 61 年度から汚泥処理施設の増設に

着手した。その施設のうち汚泥消化槽として、PC 卵形消化槽が採用され、平成元年に供用すべく、日本下水道事業団監理のもとで建設された。図-1 に位置図を示す。

本稿は、この PC 卵形消化槽の設計のうち、特に耐震検討と、施工法として我が国で初めての一括施工方式を採用したので、これらを中心にその概要を紹介するものである。

2. 工事概要と主要工事数量

2.1 工事概要

事業主体：松本市

発注者：日本下水道事業団

工事名：松本市宮渚浄化センター建設工事(その 2)

工事場所：松本市宮渚本村 8-1

工事範囲：PC 卵形消化槽 2000 m³×2 基

管路工一式 ポイラー室棟工

工期：自昭和 62 年 7 月 至昭和 63 年 10 月

施工者：飛島・松本土建建設共同企業体

施工法：総足場

PC 工法：VSL 工法 FAB 工法

基礎形式：直接基礎

形状：全 高 $H=22.65$ m

最大径 $D=15.18$ m

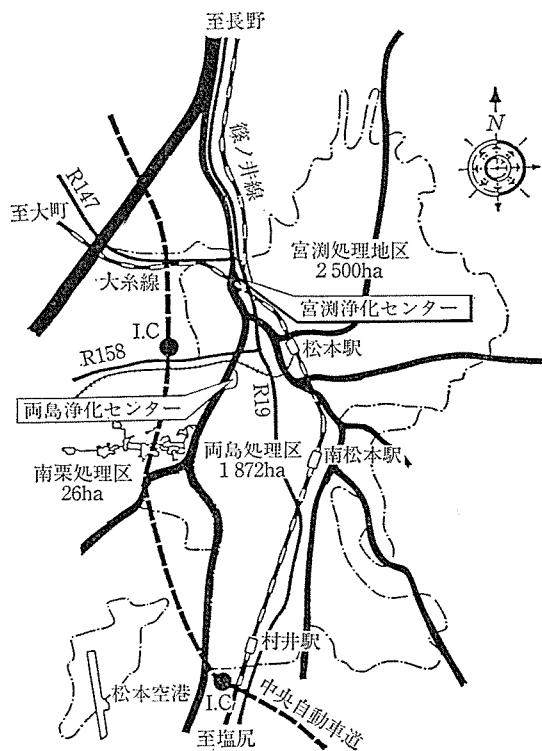


図-1 位置図

* 飛島・松本土建建設共同企業体所長

** 飛島建設(株) エンジニアリング事業部技術部

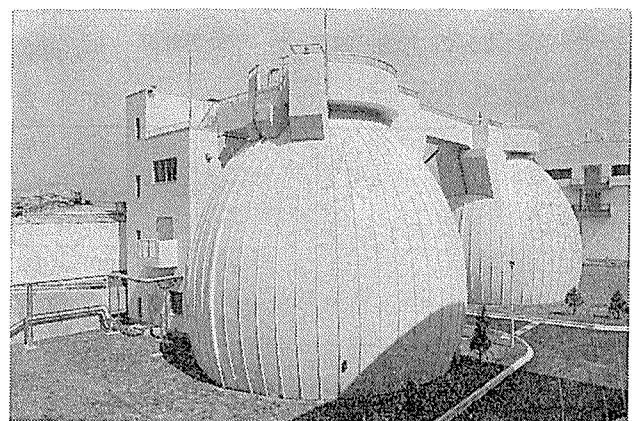


写真-1 消化槽全景

◇工事報告◇

側壁曲率 $R=10.70\text{ m}$

標準壁厚 $t=0.35\text{ m}$

図-2 に構造一般図, ケーブル配置図を示す。

2.2 主要工事数量

PC 卵形消化槽の主要工事数量を表-1 に示す。

3. 設 計

3.1 設計条件

消化槽の消化条件を表-2 に示す。

設計条件:

コンクリート

消化槽本体 $\sigma_{ck}=350\text{ kg/cm}^2$

スラッジポケット等 $\sigma_{ck}=240\text{ kg/cm}^2$

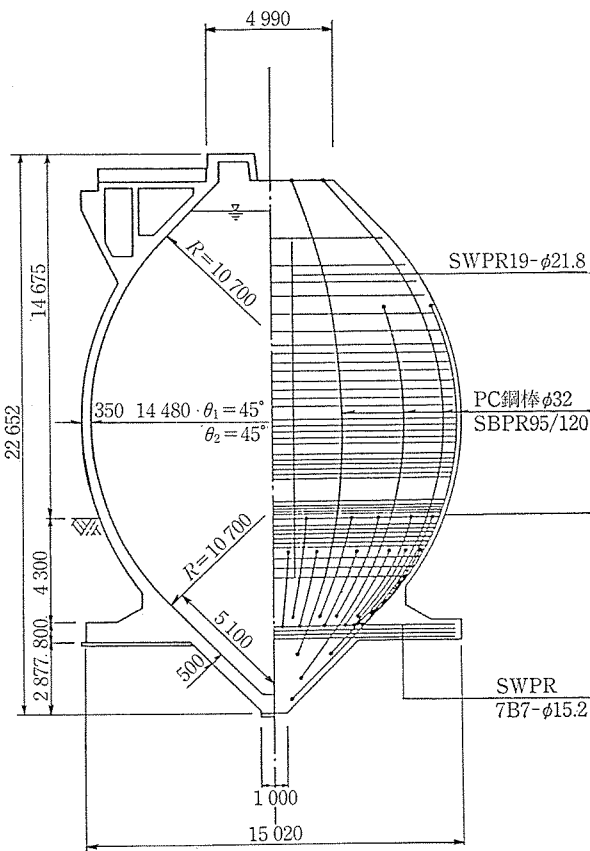


図-2 構造一般図, ケーブル配置図

表-2 消化条件

容 量		
消化条件	消化方式	嫌気性加温式2段消化 (1次タンク:2次タンク=2:1)
	消化温度	35°C
	消化日数	30日

鉄筋	SD 30	
PC 鋼材	リング部	SWPR 7 B 7-φ 15.2
	円周方向	SWPR 19 1-φ 21.2
	経線方向	SBPR 95/120 φ 32
コンクリートの線膨張係数	1.0×10^{-5}	
コンクリートの熱伝導率	$2.0\text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$	
コンクリートの比熱	$0.2\text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$	
汚泥の単位体積重量	1.05 t/m^3	
ガス圧	0.5 t/m^2	
地震の影響	$K_h=0.2$	
風荷重	160 kg/m^2	
雪荷重	200 kg/m^2	
土の単位体積重量	1.8 t/m^3	
温度の影響	汚泥	38°C
	外気温	$-1\sim 24^\circ\text{C}$
	地中	15°C

3.2 設計概要

(1) 設計方針

各部材の安全性は、「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、各荷重の組合せによる応力度が、プレストレスによって許容応力度内であることを確認した。また同仕様書により、終局時の検討は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て検討したが、さらに安全性を確認するため動的解析を実施した。

設計のフローを図-3 に示す。

(2) 構造解析

躯体の断面力は、側壁等をシェル要素、リング基礎部をソリッド要素として、軸対称シェル・ソリッド混合による有限要素法にて算出した。検討は、供用時、水張試験時、空液時および施工時（各施工途中段階）について

表-1 主要工事数量

	規 格	工 法	数 量
コンクリート	$350\text{ kg/cm}^2, 350\text{ kg/cm}^2$ 早強, ほか		1090 m^3
鉄 筋	SD 30 A		135 t
PC 鋼 材	PC 鋼 棒 SBPR 95/120 φ 32	FAB	7.0 t
	鋼 線 SWPR 19 φ 21.8	VSL	10.3 t
	鋼より線 SWPR 7 B 7 φ 15.2	VSL	3.3 t
型枠 (支保工)		H形鋼製ガーダータイプ	2810 m^2
内部防食工	タールエポキシ樹脂		1795 m^2
外 装 工			1100 m^2

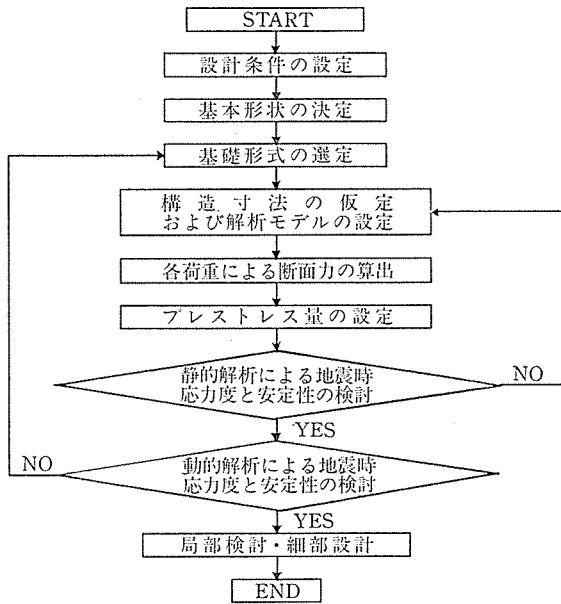


図-3 設計のフロー図

行った。

温度の影響については、別途熱伝導解析により各部材の温度分布状態を把握し検討した。

境界条件は、リング基礎下面以下の地盤で支えられているものとし、地盤を等価なバネ支承に置換した。

バネ支承は、地震荷重を除くすべての荷重に対しては地盤のクリープ等を考慮し、せん断バネを無視した。

3.3 耐震検討

当消化槽の耐震設計は、基本的に「下水道施設地震対策指針と解説」に基づき、震度法（静的解析）により構造形式の検討および部材の設計を行ったが、消化槽形状の特殊性を考え、耐震性の照査を行うことを目的とし動的解析を実施した。

今回行った動的解析のフローを 図-4 に示す。

(1) 地震危険度解析

震度法で用いた設計水平震度は、規準によって $K_h = 0.2$ （加速度で約 200 gal）としたが、動的解析にあたっては、地震危険度解析を行い、耐用年数（50 年間で想定）の間に、この 200 gal 以上の地震動が生起する確率を求めた。

解析条件は以下のとおりとした。

(i) 地震カタログ

- ・宇佐見カタログ（679～1884 年）
- ・宇津カタログ（1885～1925 年）
- ・気象庁カタログ（1926～1985 年）

(ii) 対象地震規模

マグニチュード 5 以上の地震

(iii) 地表加速度予測式

建設省土木研究所土研資料第 1864 号掲載式

$$\alpha_{\max} = 1073.0 \times 10^{0.221M} \times (d+30)^{-1.251}$$

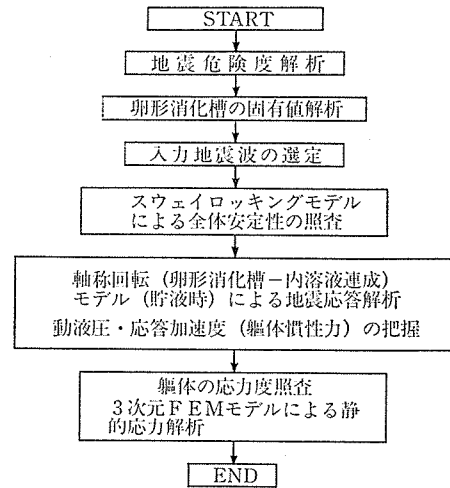


図-4 動的解析検討フロー図

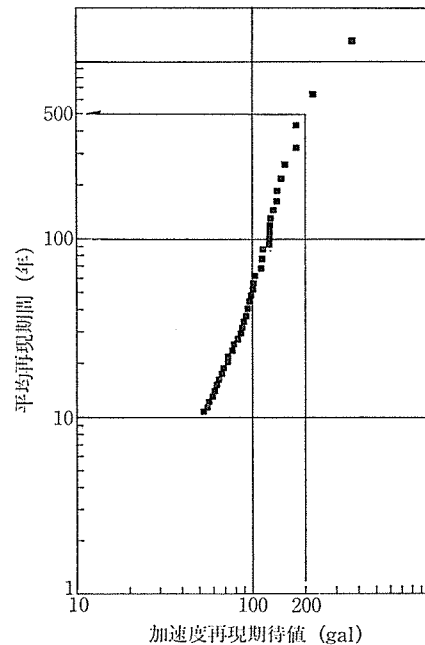


図-5 平均再現期間と加速度再現期待値

α_{\max} : 地表最大加速度 (gal)

M : マグニチュード

d : 震央距離 (km)

図-5 に平均再現期間と加速度再現期待値の関係を示す。これによれば、地表最大加速度 200 gal に対応する平均再現期間は、500 年と読み取ることができる。

耐用年数の間に再現期待値以上の地震動が生起する確率は、一般に次式により計算される。

$$P = 1 - \exp(-N/T)$$

P : 生起確率

N : 耐用年数

T : 平均再現期間

上式によれば、耐用年数 50 年間に 200 gal 以上の地震動が生起する確率は、 $P = 10\%$ となる。

◇工事報告◇

以上より、入力最大加速度 200 gal (水平震度 0.2) を用いることに問題はないと判断し、以後の解析においては本最大加速度を用いることとした。

(2) 固有値解析

当消化槽の振動特性を知るために、固有値解析を実施した。解析は躯体と内容液との連成を考慮できる軸対称回転モデルにより、空液時と貯液時の両者について行った。

図-6 に解析モデルを、表-3 に固有値解析結果一覧を示す。

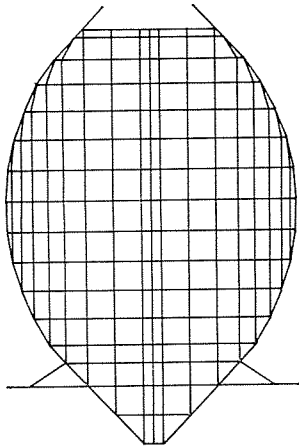


図-6 解析モデル

表-3 固有値解析結果一覧

空 液 時			貯 液 時		
ケ ー ス	T(sec)	f(Hz)	ケ ー ス	T(sec)	f(Hz)
—	—	—	スロッシング1次	2.38	0.42
—	—	—	スロッシング2次	1.67	0.60
バルジング1次	0.08	11.90	バルジング1次	0.15	6.80
バルジング2次	0.02	62.50	バルジング2次	0.03	31.25

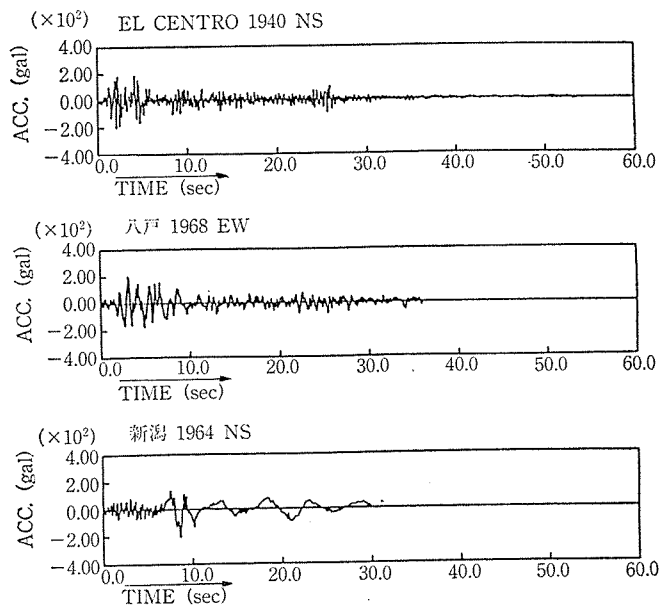
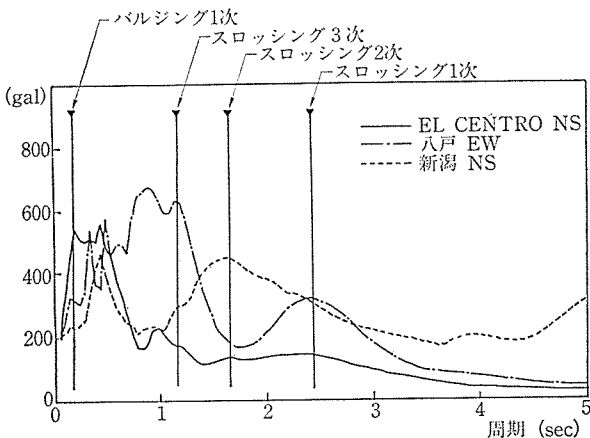


図-7 解析用入力地震波の加速度応答スペクトルと時刻歴波形

(3) 解析用入力地震波の選定

動的解析用入力地震波としては、消化槽のバルジングモードおよびスロッシングモードに対応でき、かつ代表的なものとして、以下の3観測地震波を選定した。

- ① EL CENTRO 1940 NS (短周期卓越波)
- ② 八戸 1968 EW (やや長周期卓越波)
- ③ 新潟 1964 NS (長周期卓越波)

解析に用いる地震波は、地震観測地点の地盤等の地域特性の影響を取り除くため、観測波を観測地点の地震基盤にもどす逆応答解析を行い、その得られた観測地点基盤入射波を消化槽建設地点の基盤面に作用させた。

ただし、解析用入力地震波の入力基盤面は消化槽の基礎支持層が N 値 50 以上の砂礫層で、その層厚も厚いことから消化槽基礎支持面とした。

図-7 に解析用入力地震波の加速度応答スペクトルと時刻歴波形を示す。

(4) 安定性照査

安定性の照査は、構造物をスウェイロッキングモデルによってモデル化し、滑動水平力、転倒モーメントを算定し、地震時許容値と比較を行った。

(i) モデル化の要点

内容液の影響に関しては、小坪・鳥野らの研究成果¹⁾の中で提案している「壁面衝撃圧の簡易計算図表」を用いて、付加水質量、付加水回転慣性およびその作用位置を考慮した。

スウェイおよびロッキングバネ定数ならびに逸散減衰に関しては、田治見の振動アドミッタンス理論²⁾を適用し、周辺地盤有効質量は Mindlin II 解を用い杉村らの方法³⁾に準じた。

解析モデルを図-8 に示す。

(ii) 解析結果

解析結果を表-4に示すが、震度法により算定した値と比較して、動的解析の応答値は3地震波とも大きい値となった。しかし、いずれも許容値(安全率)以下であり、当消化槽の安定性は確保されている。

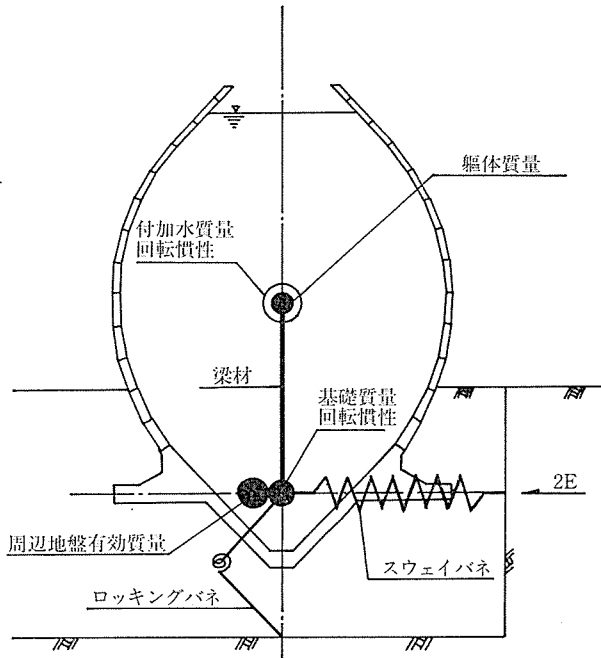


図-8 解析モデル

(5) 軸対称回転モデルによる地震応答解析

躯体と内容液の連成を考慮できる軸対称回転モデルを用いて地震応答解析を行い、躯体の安全性照査において重要となる地震荷重(動液圧、応答加速度)を求めた。

図-9に動液圧と加速度の最大応答値分布を示す。

いずれも震度法(静的解析)にて用いた地震荷重よりも大きい値を示している。特に EL CENTRO 波によるものが一番大きな応答値を示しているが、これは地震波のもつ卓越周期と消化槽の1次のバルジングモードの周期が接近しているために生じた現象と判断された。

(6) 地震時躯体応力度の照査

震度法で設定した地震荷重と比較して、動的解析により得られた値が大きな応答値を示したため、(5)で得られた最大応答値(EL CENTRO NS 波による)を用いて応力度の照査を行った。

照査は、前記 3.2 に示した方法に従い、応答値を静的荷重に換算し行った。解析モデルを図-10に示す。

図-11に照査の結果を示すが、経線方向、円周方向とも地震時許容応力度以下であり、安全性が確認された。

4. 施 工

4.1 施工概要

当消化槽の施工に関しては、形状が赤道を中心として

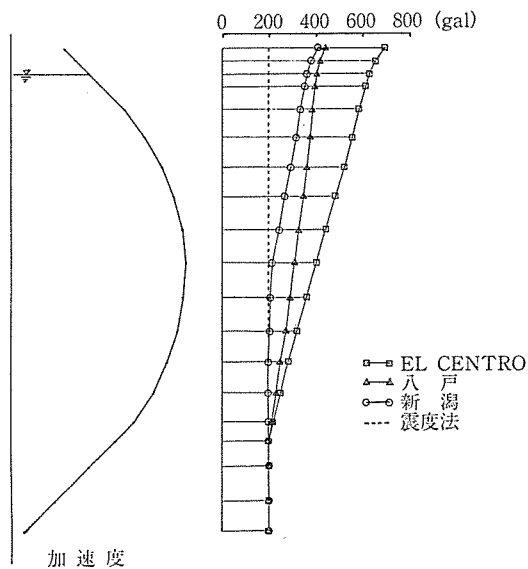


図-9 動液圧と加速度の最大応答値分布

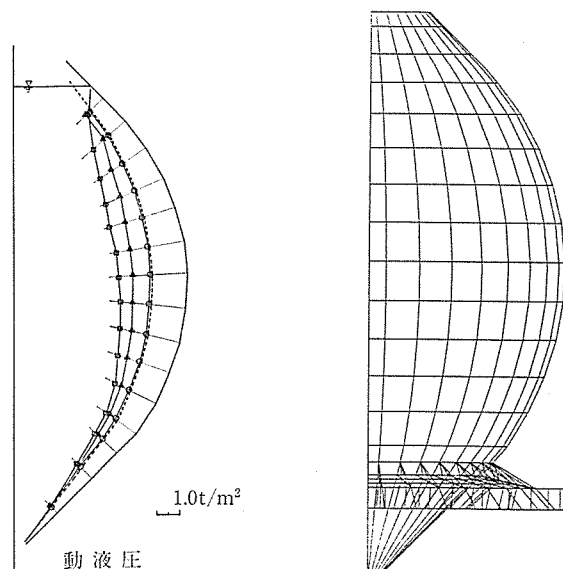


図-10 応力度照査用解析モデル

表-4 安定性解析結果

	許 容 値 (必要安全率)	震 度 法	地 震 応 答 解 析		
		原 設 計 値	EL CENTRO NS	HACHINOHE EW	NIIGATA NS
滑 動 水 平 力 (t) (安 全 率)	2908 (1.20)	907 (3.21)	1868 (1.56)	1239 (2.35)	1010 (2.88)
転倒モーメント (t・m) (安 全 率)	25046 (1.20)	6510 (3.85)	14600 (1.72)	8468 (2.96)	6303 (3.97)

◇工事報告◇

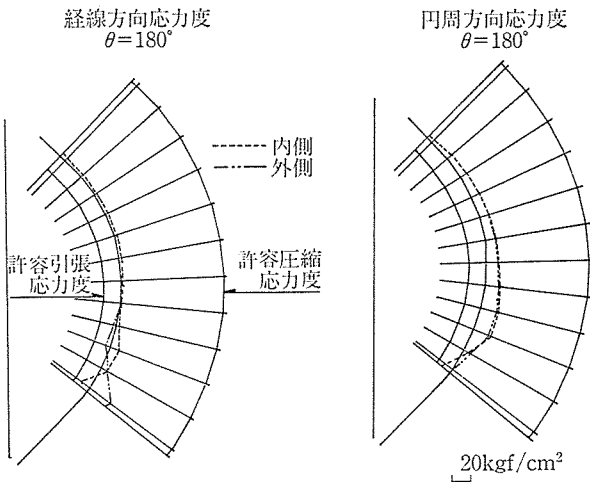


図-11 躯体発生応力度分布

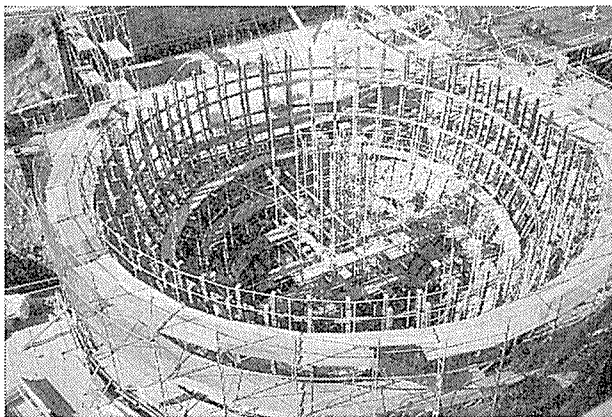


写真-2 下半部施工状況



写真-3 上半部施工状況

対称となっているところに着目し、鋼製型枠ガーダーを下半部のみ製作し、上半部に転用したことに特徴がある。これは従来我が国で建設されてきた方法（約 1.5m リフトのブロック施工）とは全く異なるものである。

このため、従来の方法より、経線方向の PC 鋼棒の緊張定着もしくは接続以外では、リフト高さを高くでき、工期を短縮することができた。

実施工では、消化槽が 2 基であるため型枠ガーダーを

4 回転用した。

4.2 施工方法

図-12 に施工手順を示す。

(1) 土工事

一次掘削後、逆円錐部の二次掘削を行った。

(2) 均しコンクリート、吹付けコンクリート

リング基礎部の均しコンクリートと逆円錐部の吹付けコンクリートを施工した。

(3) 底版部 1ブロック

底版、逆円錐部の鉄筋、PC 鋼材を配置後、コーン型浮型枠を均しコンクリートからアンカーボルトで固定し、底版上 50 cm まで施工した。

(4) 逆円錐部、リング基礎部 2ブロック

逆円錐部およびリング基礎部は、前記底版立上げ部に配置したアンカーボルトと、上部に配置したリングビームにて型枠ガーダーを固定し、この型枠ガーダーに型枠パネルを挿入し施工した。なお外型枠はリング基礎の PC 鋼材の定着がピラスターであったため、この部分を木製型枠とし、その他は鋼製型枠とした。コンクリートはこの部分を 1 回で施工した。

(5) リング基礎ハンチ 3ブロック

ハンチ部は、上記逆円錐部型枠ガーダーを撤去、リング部に配置したアンカーボルトに側壁用型枠ガーダーを固定した。外型枠は木製型枠を用いた。

(6) 側壁部 4, 5 ブロック

前記内型枠ガーダーと、3ブロックに配置したアンカーボルトで、外型枠ガーダーを固定し施工した。なお4ブロック、5ブロックには、経線方向の PC 鋼棒の緊張定着端と緊張接続があったため、リフト高は小さくなっている。

(7) 側壁部 6, 7 ブロック

6, 7ブロックは、内外型枠ガーダーをさらに延長し施工した。

(8) 側壁部 8~11 ブロック

下半部で使用した内外型枠ガーダーを天地逆にし、一挙に頂部まで組み立て、順次施工して行った。

なお頂部の直線部分の型枠ガーダーには、先の逆円錐部の型枠ガーダーを利用した。

(9) 頂部 スラッジポケット等

本体施工終了後、ブラケット、枠組支保工を使用して施工した。

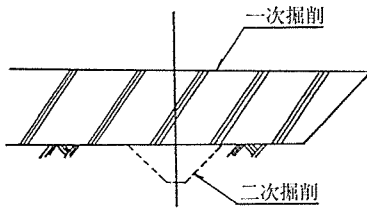
4.3 型 枠

型枠パネル取付け方法を 図-13 に示す。

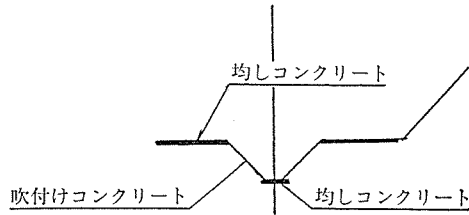
4.4 コンクリート

使用したコンクリートの配合表を 表-5 に示す。

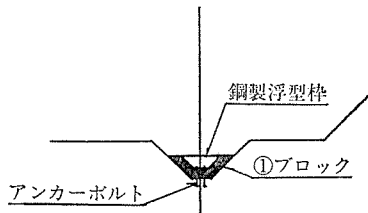
1. 土工事



2. 均しコンクリート、吹付けコンクリート

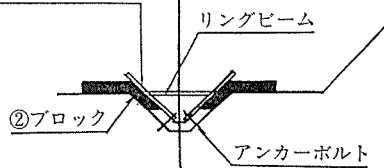


3. 底版部

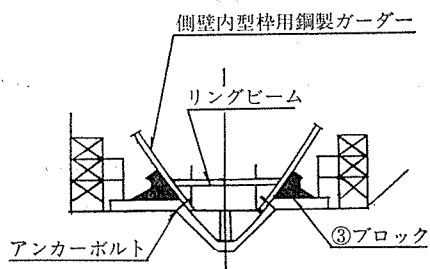


4. 逆円錐部リング基礎部

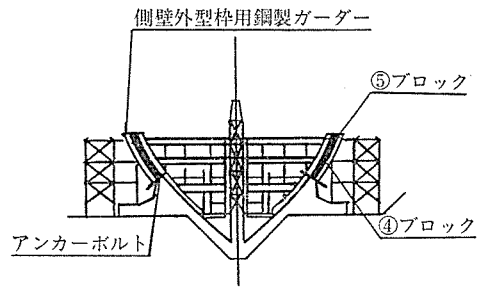
逆円錐部用鋼製ガーダー
施工後外し



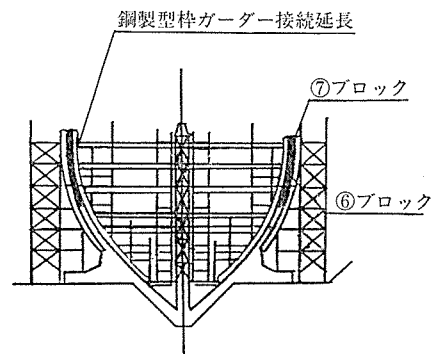
5. リング基礎パンチ部



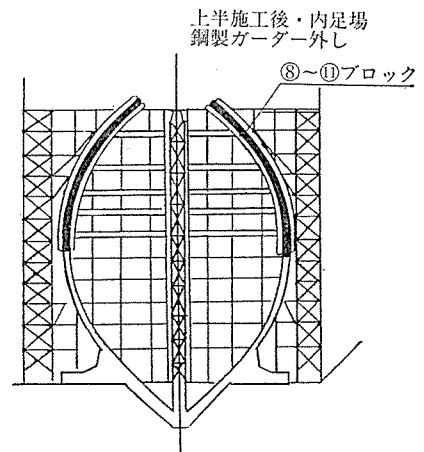
6. 側壁部



7. 側壁工(下半)



8. 側壁工(上半)



9. 頂部工

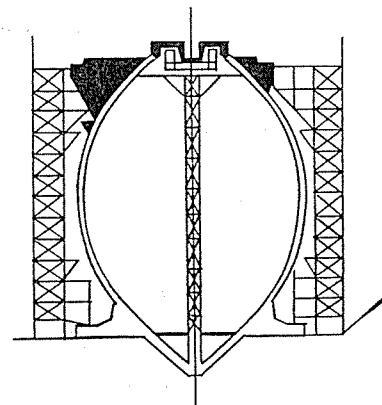


図-12 施工順序図

表-5 配 合 表

使用場所	配合条件				配合表 (kg/m ³)							
	σ_{ck}	スランプ	G_{max}	セメント	C	W	W/C	S	G	S/a	Add	
底版部~リング基礎ハンテ部	350 kg/cm ²	8 cm	25 mm	N	362	154	42.5	720	1086	40.3	0.905	AE 減水剤標準型
側壁部	350 "	8 "	25 "	H	381	158	41.5	684	1094	38.8	0.991	"

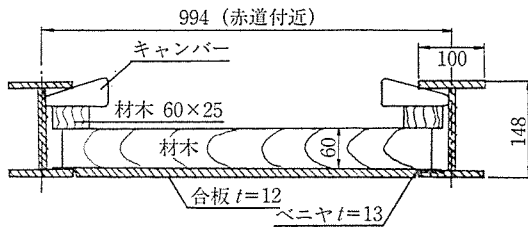


図-13 型枠パネル取付け図

表-6 工 程 表

年月	昭和62年				昭和63年									
	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
土工事														
No.1タンク														
底部工														
側壁工														
頂部工														
内外装工														
No.2タンク														
底部工														
側壁工														
頂部工														
内外装工														
連絡橋工														
管廊工														

4.5 実施工程

実施工程表を表-6に示す。

5. おわりに

本消化槽は無事完成し、平成元年より供用の運びとなった。現在、松本市民のライフラインとして、充分にその役割を果たしている。

今回、我が国で初めての施工法を採用したが、今後この方法に改良改善を加え、さらに工期短縮を図りたいと考えている。

最後に、耐震検討と施工にあたって御指導頂いた九州大学鳥野先生ならびに下水道事業団の皆様に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 小坪, 鳥野, 高西: 「卵形消化槽の内容液による地震時壁面衝撃圧の一解法」土木学会論文集, 第 356 号, 1985 年 4 月
- 2) 河村壮一: 「耐震設計の基礎」オーム社
- 3) 杉村義広: 「くい基礎に作用する地盤の有効質量に関する一考察」日本建築学会大会学術講演概要集, 1970

【1989 年 5 月 12 日受付】

◀刊行物案内▶

日本原子力発電敦賀 2 号機 PCCV

本書は、プレストレストコンクリート第 28 巻の特別号として発刊されたもので、我が国で初めて採用されたプレストレストコンクリート製原子炉格納容器（日本原子力発電(株)敦賀発電所 2 号機）に関して、その各種模型実験、設計・施工に至る各分野にわたり詳述した貴重な資料です。今後ますます多く採用されるであろう、この種 PCCV を取り扱う関係者にとって、必携の図書と確信します。

在庫限定につき、ご希望の方は代金を添え（現金書留かまたは郵便振替東京 7-62774）プレストレストコンクリート技術協会宛お申し込みください。

体 裁：B 5 判 128 頁

頒布価格：3 000 円（送料：150 円）