

# PC タンクの設計と施工

## 〔PC 卵形消化タンクの設計と施工 (2)〕

竹 田 哲 夫\*  
 百 合 山 哲 三\*\*  
 吉 岡 民 夫\*\*\*

### 3

### 構造設計

構造設計について述べるに当たり、PC 卵形消化タンク各部の名称を、リング基礎タイプおよび支え壁タイプについて図-5 に示す。

#### 3.1 設計概念

消化タンクの構造設計に当たっては、安全性・耐久

性・施工性・経済性のほか、液密性・気密性・耐食性・維持管理の容易さなどを満足させるように考慮する必要がある。

PC 構造では、液圧により発生する引張力に対処するよう PC 鋼材を配置することにより、満液時でも圧縮応力状態に保つことが可能であり、液密性・気密性が向上する。また、タンク内面にタールエポなどによるコーティングを施し、鉄筋・PC 鋼材の防食効果をさらに向

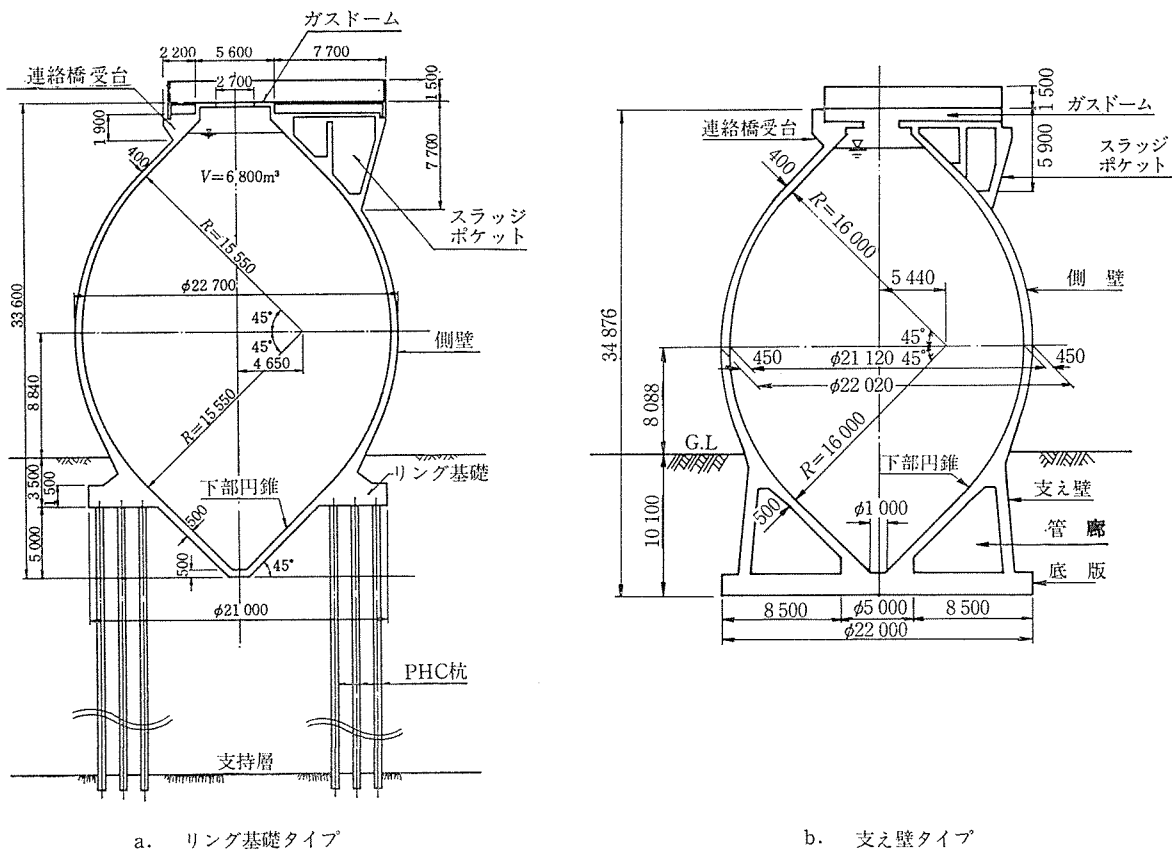


図-5 PC 卵形消化タンク各部の名称

\* 鹿島建設(株)技術研究所(元:土木設計本部)  
 \*\* (株)銭高組土木本部 PC 部  
 \*\*\* オリエンタルコンクリート(株)技術部

上させることにより、耐食性（汚泥の弱酸性および硫化水素）が増し、維持管理が非常に容易となる。

このような PC 卵形消化タンクを専門的に取り扱った規準・指針類が現在のところないので、既存の下水道関連規準および PC 関連基準をもとに構造設計を行っている。具体的には日本下水道協会「下水道施設設計指針と解説」（1984 年）、「下水道施設地震対策指針と解説」（1981 年）を基本とし、これらに明示されていない PC 構造に関する部分については、土木学会「コンクリート標準示方書」（1986 年）、日本水道協会「水道用プレストレストコンクリートタンク標準仕様書」（1980 年）などに準拠している。

また、耐震性に関する動液圧の考え方や温度荷重に対する考え方など、PC 卵形消化タンク特有の問題については初期の設計で数値解析や確認実験などにより検討されており、設計法が提示されている<sup>13)~15)</sup>。

したがって、部分的には過去の設計例ごとで異なるところもあるが、一般的に PC 卵形消化タンクは、次の基本方針に基づき、図-6 のフローに従って設計されて

いる例が多い。

- a) 側壁と下部円錐部は PC 部材として、リング基礎や支え壁などその他の部材は RC 部材として、許容応力度法で断面設計を行う。
- b) 内容液と接する側壁と下部円錐部は、常時満液時で全断面圧縮応力状態とすることとし、地震荷重を考慮した場合でも全断面引張応力状態の発生は避けることを基本とする。
- c) 側壁・下部円錐部および支え壁は薄肉部材であるため、構造解析ではシェル構造として取り扱い、マッシブなリング基礎や底版と一体としてモデル化する。
- d) 加温された内容液によりタンク躯体に生じる温度の影響を主荷重と考える。ただし、この場合の断面剛性はコンクリートのクリープの影響を考慮して低減させてもよい。
- e) 耐震設計法は震度法を基本とし、内容液は固定水として取り扱ってもよい。
- f) 側壁の部材厚は、円周方向 PC 鋼材定着用の切欠き部で、通常の水タンク同様、最小壁厚（200 mm）を確保したほうがよい。

### 3.2 荷重と荷重組合せ

卵形消化タンクの設計に際しては、以下の荷重を考慮し、満液時、空液時および地震時について応力度を照査するのが一般的である。そのときの荷重組合せおよび許容応力度の割増し係数の一例を表-2 に示す。

- a) 死荷重…タンク躯体自重、スラッジポケットなどの頂部付属物、保温材、内部機器などの重量、あるいは連絡橋重量など。
- b) 液圧…消化タンク内容液（汚泥）による静液圧。
- c) 消化ガス圧…汚泥の消化に伴って発生する消化ガ

表-2 荷重の種類、組合せおよび許容応力度の割増し係数

荷重の種類	荷重の状態		常時			地震時			備考
	満液	空液	常時		地震時		増し係数		
			冬	夏	冬	夏			
荷死重	○	○	○	○	○	○	○	頂部付属物、保温材、内部機器の重量含む  0.4 tf/m <sup>2</sup> 有効係数 η=0.85 外気温 0°C(液温35°C) 外気温 30°C (々)	
静液圧	○	○			○	○			
消化ガス圧	○	○			○	○			
プレストレス力	○	○			○	○			
温度	冬	○			○			}	
	夏		○			○			
浮力	○	○	○	○	○	○	○	}	
土圧	○	○	○	○	○	○	○		
地震の影響					○	○	○	{ k <sub>H</sub> =0.2 k <sub>V</sub> =0	
荷重組合せによる許容応力度の増し係数	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5			

注) ただし、風荷重の影響は地震の影響よりも小さいので除外した。

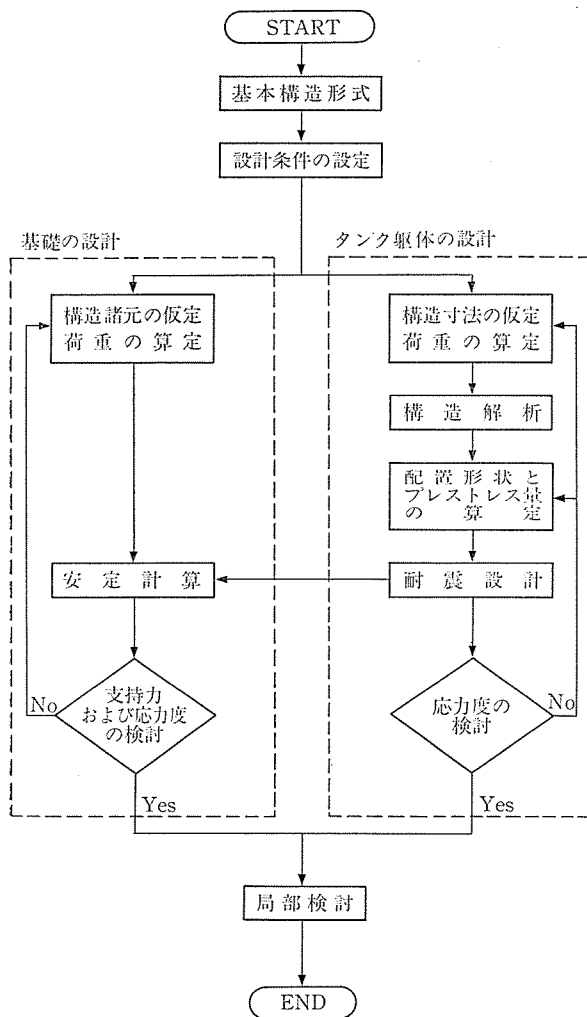


図-6 PC 卵形消化タンクの構造設計フロー

ス圧。

- d) プレストレス力
- e) 温度の影響…内容液と外気および地中の温度差。
- f) 浮力
- g) 土圧
- h) 地震の影響…死荷重に基づく慣性力と内容液に基づく動液圧。
- i) 風荷重

### 3.3 基礎の設計

我が国における PC 卵形消化タンクの基礎形式としては、リング基礎や底版を、基礎地盤で直接支持する方式と杭で支持する方式が採用されている。いずれの場合にしても、その設計法は従来のものと同様である。すなわち、直接基礎の場合は地盤の支持力、滑動、転倒および変位量について照査し、杭基礎の場合は杭の支持力と応力度および変位量について照査している。

ただし、リング基礎タイプで杭基礎を採用する場合、地震時の安定に対してはリング基礎外側に多くの杭を配置したほうが有利となるが、杭群の図心が外側になるほど常時におけるリング基礎の回転量が増し、側壁の局部応力に与える影響が大きくなるので注意を要する。

### 3.4 タンク躯体の設計

#### (1) 解析モデル<sup>16)</sup>

「水道用 プレストレストコンクリートタンク 標準仕様書」によると、タンク躯体の断面力は薄肉シェル構造として求めることを原則としている。

したがって、卵形消化タンクの構造解析には軸対称シェル有限要素法が多く用いられており、スラッジポケット等の頂部付属物も軸対称荷重に換算している。この場合、側壁と下部円錐部はシェル要素としてモデル化できるが、リング基礎や底版はマッシブな構造であるので、シェル要素でモデル化するのは難しく、ソリッド要素でモデル化するほうが合理的である。また、杭や基礎地盤などは、リング基礎や底版を支える等価なバネとして評価している。

ここで重要なことは、側壁・下部円錐部・リング基礎・底版・杭などを一体化した全体モデルで同時に解析することであり、そのモデルの一例を 図-7 に示す。

例えば、側壁をリング基礎部で固定支持された部材として解析した場合と、上記のように一体化したモデルで同時に解析した場合の断面力の比較を示すと 表-3 のとおりであり、かなり異なっている。これは固定支持とした場合は、リング基礎の変形や回転が側壁に与える影響を評価できないからである。

なお、上記のように軸対称シェル有限要素法を用いる以外にも、円周方向の剛性をバネで評価したフレーム解

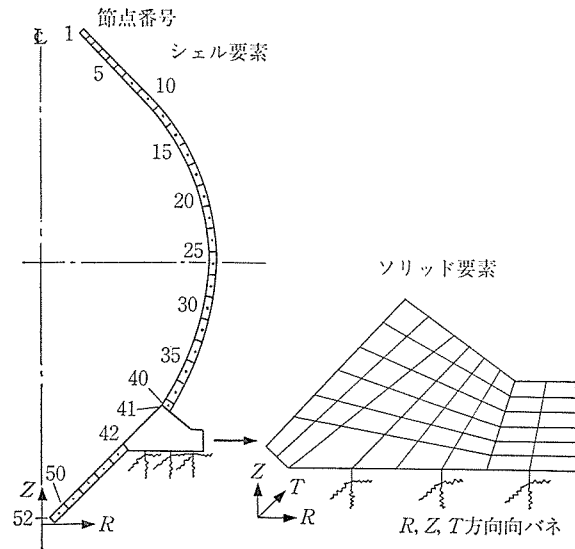


図-7 一体化した構造解析モデル

表-3 側壁および下部円錐部のリング基礎との接合条件による断面力の比較

位置・モデル		子午線方向断面力		円周方向断面力	
		$N_Z$ (t/m)	$M_Z$ (tm/m)	$N_T$ (t/m)	$M_T$ (tm/m)
側壁接合部	一体化モデル	-11.5	-48.0	-17.8	-7.9
	固定モデル	-12.7	-44.5	-3.7	-7.5
下部円錐部接合部	一体化モデル	72.0	2.2	68.2	1.2
	固定モデル	54.5	-13.4	4.9	-2.0

注)  $N$  - ; 圧縮, + ; 引張  
 $M$  - ; 内引張, + ; 外引張

析等による方法もある<sup>17)</sup>。

また、杭基礎を有するリング基礎タイプで、圧密沈下が予測される場合、下部円錐部は地盤反力を期待しないで設計されることが多い。

#### (2) PC 鋼材配置

前項で述べた解析モデルを用いて算定した断面力に対してプレストレスを導入する。PC 鋼材配置図の一例を 図-8 に示すが、原則的には、通常の PC 水タンク（円筒形）と同様に、円周方向と子午線方向に PC 鋼材を配置する。ここでは、PC 卵形消化タンクで特に留意すべき点について述べる。

- a) リング基礎タイプの場合は、下部円錐部が地中に位置することから、緊張端をタンク躯体外側に設置することは困難である。その対策としては、ヘリカル（螺旋）状に PC 鋼材を設置し、円周方向と子午線方向の両方向に同時にプレストレスを導入できるようにする方法がある。

ただし、中小規模のタンクでは子午線方向にのみプレストレスを導入し、円周方向には十分な鉄筋を配置することにより RC 構造として設計している例もある。

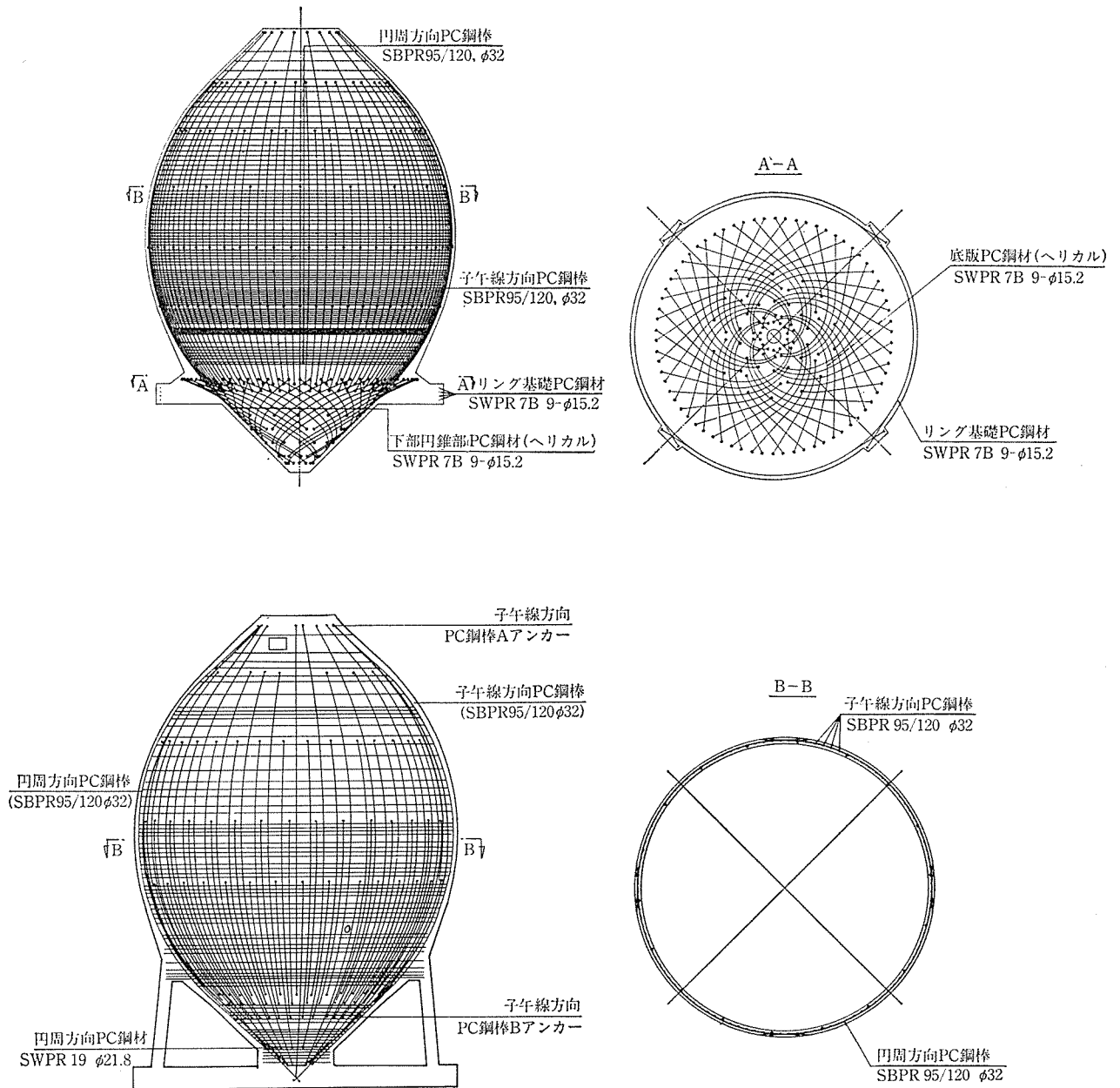


図-8 PC 鋼材全体配置図

- b) ヘリカル状に PC 鋼材を配置する場合は、それをリング基礎部において定着するので、下部円錐部、リング基礎および側壁が一体化するように、側壁子午線方向の PC 鋼材と十分な長さにわたり交差させる必要がある。
- c) タンク上部および支え壁タイプの場合の下部円錐部は、円周方向 PC 鋼材の曲げ半径が小さくなることから、これに対応できるような PC 鋼材を選択する必要がある。
- d) 一般に、リング基礎タイプの場合は、側壁とリング基礎との接合部に局部応力が発生する。その対策としては、接合部にハンチを設け、子午線方向 PC

鋼材を偏心させて配置する方法が用いられる。また、リング基礎に円周方向 PC 鋼材を配置することも効果大きい。

なお、下部円錐部のリング基礎との接合部についても同様な対策が有効である。

- e) 円周方向 PC 鋼材の定着は、通常の円筒形タンクの場合ピラスターを用いて行われる。しかし、PC 卵形消化タンクでは、ピラスターを設置することは、二方向に曲面を有するシェル構造の特長を妨げるだけでなく、局部応力、断熱材の設置、また美観上からも好ましくない。そこで、PC 卵形消化タンクでは 図-9 に示すような切欠き定着を採用し

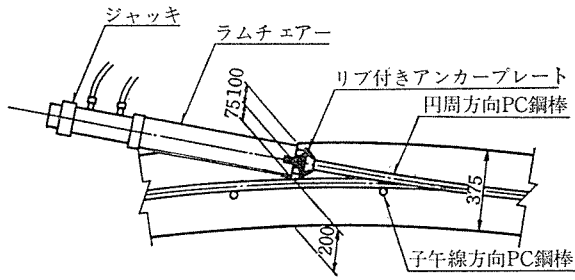


図-9 側壁円周方向 PC 鋼材定着部

ているのが一般的である。

(3) 部材の設計

1) 側壁と下部円錐部

側壁と下部円錐部は、常時ではプレストレスにより全断面圧縮応力状態に保たれている。したがって、解析で断面剛性を全断面有効と仮定して求めたシェル部の応力度をそのまま設計に用いることができる。

また、地震時や空液時に側壁とリング基礎の接合部等に発生する引張応力に対しては、その合力に見合う量の鉄筋を配置することにより対処している。

2) リング基礎

ソリッド要素として解析した結果から断面設計をする方法としては、例えば次のようなものがある。

- a) 要素応力度をある断面に沿って積分して得られる曲げモーメント、軸力およびせん断力を基に RC 部材として設計する方法。
- b) 要素面積と要素応力度から引張力を直接算出し、

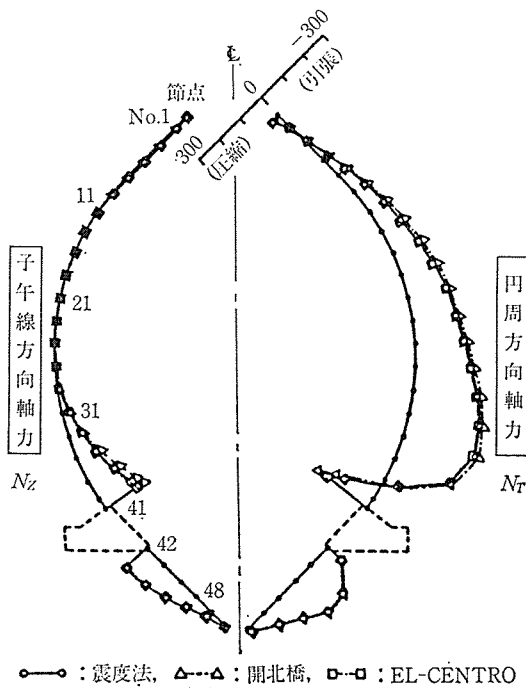


図-10 地震時断面力

それに見合う量の鉄筋を配置する方法。

リング基礎の場合、部材の高さが大きく、形状も複雑で、かつ PC 鋼材定着部などが多いため局部的な応力集中もある。そのようなことにより、引張応力が生じている部分に必要な鉄筋を配置する上記 b) の方法が多く用いられている。

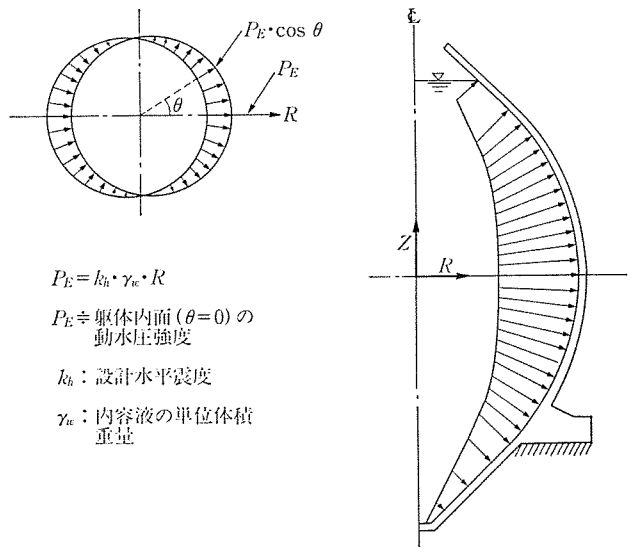
3) 支え壁および底版

支え壁タイプの場合の支え壁と底版は、RC 構造として設計される。

3.5 耐震設計<sup>18)・21)</sup>

PC 卵形消化タンクは、通常の円筒形タンクと同様構造物自体の固有周期が短く、比較的剛な構造物といえる。したがって、震度法による耐震設計が適用されている。図-10 に一例として、地震荷重を震度法で算定した場合と、躯体～内容液～地盤連成系による動的解析により地震時断面力を算定した場合の比較を示す。ただし、震度法では、自由液面が小さいので全内容液を固定水と見なし 図-11 に示すような動液圧分布を採用している注)。

これより、震度法と動的解析の軸力の差は、その最大の位置でも 4 tf/m であり、曲げモーメントを考慮した



$$P_E = k_h \cdot \gamma_w \cdot R$$

$P_E$  ≡ 躯体内面 ( $\theta=0$ ) の動水圧強度

$k_h$ : 設計水平震度

$\gamma_w$ : 内容液の単位体積重量

図-11 固定水としたときの動液圧分布

注) 震度法に基づく水平力

$$k_h \cdot W = P_E \int_0^{2\pi} \cos^2 \theta \cdot ds$$

ここに、 $k_h$ : 水平震度

$W$ : 内容液を高さ方向の微小区間 ( $dh$ ) に分割した場合の円板状内容液の全重量 ( $= \gamma_w \cdot \pi R^2 \cdot dh$ )

$\gamma_w$ : 内容液の単位体積重量

$R$ : 上記円板状内容液の半径

$ds$ : " の側面積 ( $= R d\theta \cdot dh$ )

$$k_h \cdot \gamma_w \cdot \pi R^2 \cdot dh = \int_0^{2\pi} P_E \cdot \cos^2 \theta \cdot R d\theta \cdot dh$$

$$\therefore P_E = k_h \cdot \gamma_w \cdot R$$

表—4 杭群に作用する荷重

荷 重	解析方法 震 度 法	動 的 解 析	
		開 北 橋	エルセントロ
鉛 直 力 $V(t)$	9 830	9 830	9 830
水 平 力 $H(t)$	2 150	1 730	1 680
モーメント $M(t \cdot m)$	24 000	23 600	21 720

うえでこれを応力度に換算しても  $2 \text{ kgf/cm}^2$  にしか達しない。また、杭群に作用する荷重も表—4 に示すとおり大きな差異は認められない。

このような検討結果を基に、一般には PC 卵形消化タンクの耐震設計は全内容液を固定水と見なした震度法で行われている。

## 参 考 文 献

- 13) 吉田他：横浜市における卵形消化タンク，プレストレストコンクリート，Vol. 26, No. 5, 1984 年
- 14) 安久津他：横浜市金沢下水処理場における PC 卵形消化槽の設計と施工，プレストレストコンクリート，Vol. 29, No. 4, 1987 年
- 15) 坂下他：岩見沢市における PC 卵形消化槽の設計・施工，プレストレストコンクリート，Vol. 27, No. 3, 1985 年
- 16) 鉄筋コンクリート構造の有限要素解析と設計法研究委員会：コンクリート構造物の設計に FEM 解析を適用するためのガイドライン，日本コンクリート工学協会，1989 年
- 17) 近藤他：西ドイツにおける PC 卵形消化槽の設計・施工，プレストレストコンクリート，Vol. 26, No. 5, 1984 年
- 18) 斎藤他：横浜市における PC 卵形消化タンクの建設，土木学会誌，Vol. 71, No. 3, 1986 年
- 19) 片桐他：PC 卵形消化タンクの耐震性の検討，第 40 土木学会年次講演会概要集
- 20) 小坪他：卵形消化槽中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/1-3, 1985 年
- 21) 藤井他：消化タンク基礎の地震応答解析，プレストレストコンクリート，Vol. 28, No. 4, 1986 年

## ◀刊行物案内▶

## P C 定 着 工 法

(1988 年版)

PC 定着工法については、1982 年に 19 工法をとり上げ刊行されましたが、6 年の歳月を経て、変化・改良されたものも多く、また新たな工法も登場してきましたため、この度、内容を一新し刊行した次第です。

今回は、我が国で用いられている定着工法の全容をできるだけ把握できるように配慮し編集しましたが、特に、機能・用途別のグループ分け、その各々についての総論の掲載等、わかりやすく充実した内容のものになったと思います。

設計・施工者の資料、教育用テキストとして最適と考えますので、ご利用ください。

体 裁：B 5 判 126 頁

頒布価格：3 300 円（会員特価 3 000 円）（送料 350 円）

内 容：PC 定着工法総論，一般ケーブル（総論，18 工法），斜張ケーブル（総論，8 工法），シングルストランドケーブル（総論，8 工法），アンボンドケーブル（総論，7 工法），アースアンカーケーブル（総論，10 工法），プレテンション工法総論，PC 定着工法の評定