

## PC製円筒形タンクの側壁下端弾性固定度に関する現場計測結果

(株) 安部工業所 岐阜本社 技術開発部 正会員 ○足立 真康  
 (株) 安部工業所 岐阜本社 技術開発部 正会員 堅田 茂昌  
 (株) 安部工業所 東京支店 工務部 正会員 河西 信二  
 (株) 安部工業所 中部支店 技術部 正会員 渡辺 学

### 1. はじめに

水道用プレストレストコンクリートタンク (以下、「PCタンク」と略す) の設計は一般に「水道用プレストレストコンクリートタンク設計施工指針・解説, 1998 (社) 日本水道協会<sup>1)</sup>」 (以下、「PCタンク指針」と略す) に基づき行われる。PCタンク指針には、側壁下端に関して「固定支持のタンクでは、支持部における底版の剛性が側壁の剛性に比べて著しく大きな場合は、完全固定に近い挙動を示し、底版の剛性が側壁の剛性と余り変わらない場合は弾性固定の挙動を示す。後者の場合の側壁下端に生じる曲げモーメントは、前者のそれよりも小さいものとなる。」と記述されている。また、側壁下端弾性固定度の影響を示す係数として ( $k_{\alpha} \cdot k_{\beta}$ ) が示されており、底版と側壁の剛性および地盤の状態をパラメーターとして定義されている。しかしながら、実構造物において弾性固定度を示す係数を検証した事例は少ない。前回の報告<sup>2)</sup>において、杭基礎形式の実構造物での弾性固定度を検証した。今回、直接基礎形式において、弾性固定度の影響を検証する目的で現場計測を実施する機会を得たので、本計測結果について以下に報告する。

### 2. タンクの諸元および計測方法

#### 2.1 計測タンクの諸元

計測の対象としたのは、平成17年3月に富山県南砺市にて防火用貯水施設として建設されたもので、内径 50.4m、側壁高 10.7m、全水深 10.2m、有効貯水量 19900m<sup>3</sup> のPC製円筒形タンクである。側壁と底版との結合は、剛結構造である。各部材のコンクリート設計基準強度は、底版 30N/mm<sup>2</sup>、側壁 36N/mm<sup>2</sup>、歩廊 24N/mm<sup>2</sup> である。基礎地盤は、消石灰による表層地盤改良 (平均改良深さ2m) を行った。計測タンクの断面図を図-1に示す。

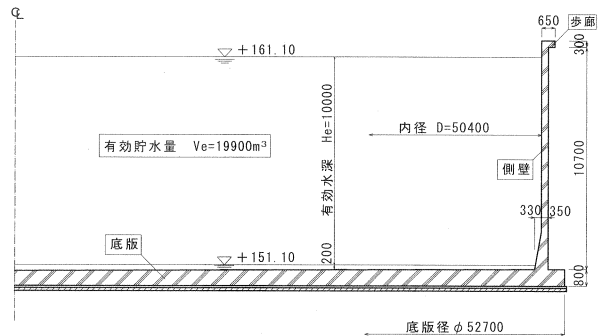


図-1 計測タンク断面図 (単位: mm)

#### 2.2 計測位置

計測は、鉄筋計を使用し、側壁について行った。計測平面位置を図-2に、鉄筋計埋設位置を図-3に示す。鉄筋計は、側壁鉛直方向の内側鉄筋および外側鉄筋に設置した。側壁の鉄筋かぶり厚は、50mmである。

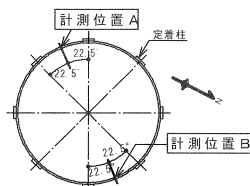


図-2 計測平面位置

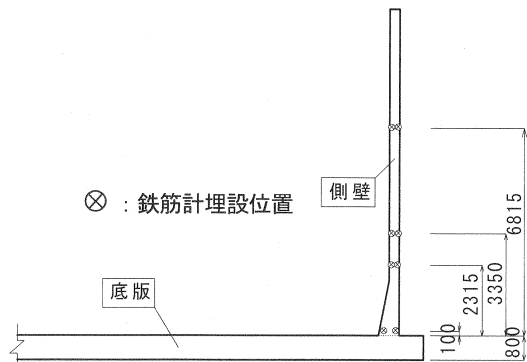


図-3 鉄筋計埋設位置 (単位: mm)

2.3 計測段階

計測は、側壁の鉛直方向プレストレス導入時、円周方向プレストレス導入時および静水圧作用時(満水時)に行った。なお、鉛直方向プレストレス導入時の計測は、側壁に発生する断面力を確認するために行った。

3. 解析

3.1 解析モデル

鉛直方向プレストレス導入時(緊張作業直後の緊張力 585kN)、円周方向プレストレス導入時(緊張作業直後の緊張力 703kN) および静水圧作用時(満水時)(図-4参照)の側壁および底版の断面力を、図-5に示す地盤バネを考慮した底版・側壁一体モデルと側壁下端固定モデルを用いてFEM解析(軸対称シェル要素)により算出した。

3.2 地盤バネ

底版・側壁一体モデルにおける鉛直方向の地盤バネは、地盤の特性から定まる鉛直方向地盤反力係数  $k_v$  として評価し、地盤バネ値の大きさによる影響を検討するため、表-1に示す解析ケース1~3の地盤バネを使用した。解析ケース1は、土の一軸圧縮試験結果から求めた変形係数より道路橋示方書<sup>3)</sup>の地盤反力係数算出式を用い、解析ケース2および3は、PCタンク指針に示されている普通地盤および堅固な地盤の地盤反力係数を用いた。水平方向の地盤バネは、地盤の特性から定まる水平方向地盤反力係数  $k_s$  として評価し、鉛直方向地盤反力係数  $k_v$  の1/3とした<sup>1,3)</sup>。

表-1 解析モデル

解析ケース	解析モデル	地盤反力係数算出方法	地盤反力係数 $k_v$ (kN/m <sup>3</sup> )
解析ケース1	底版・側壁一体	道路橋示方書	8,730
解析ケース2	"	PCタンク指針の普通地盤	100,000
解析ケース3	"	PCタンク指針の堅固な地盤	1,000,000
解析ケース4	側壁下端固定	-	-

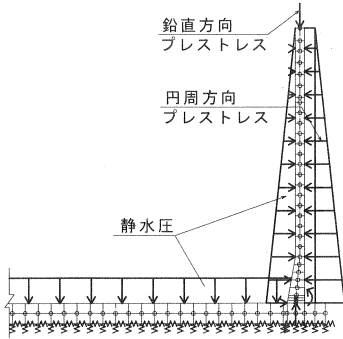


図-4 計測荷重作用図

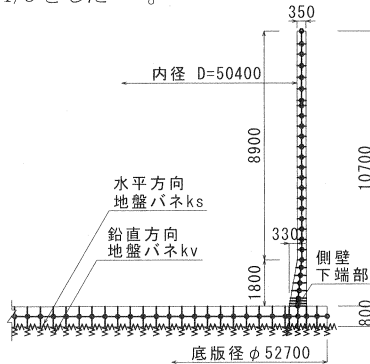


図-5 底版・側壁一体モデル (単位: mm)

4. 解析値と計測値との比較 その1 (計測荷重: 鉛直方向プレストレス)

計測値の曲げモーメントはコンクリートに埋設した2本の鉄筋計により計測した応力より単位幅当たりのコンクリートの内外縁応力( $f_1, f_2$ )を算出し、 $(f_1 - f_2) \cdot (Z/2)$  (Z:単位幅当たりの断面係数)より算定した。

4.1 側壁の鉛直方向曲げモーメント

鉛直方向プレストレス導入時における側壁鉛直方向曲げモーメント(ハンチの影響による偏心モーメント)の比較を図-6に示す。計測値と解析値は、ほぼ同じ傾向を示した。また、

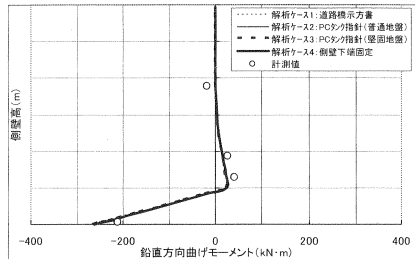


図-6 鉛直方向プレストレスによる側壁の鉛直方向曲げモーメント

鉛直方向プレストレスによる曲げモーメントは、地盤バネの影響を受けないものと考えられる。

5. 解析値と計測値との比較 その2 (計測荷重：円周方向プレストレス，静水圧)

5.1 側壁の鉛直方向曲げモーメント

(1) 円周方向プレストレスによる鉛直方向曲げモーメント

円周方向プレストレス導入時の側壁鉛直方向曲げモーメントの比較を図-7に示す。解析値より、側壁下端は地盤バネの影響を受けやすく、地盤バネ値が小さいほど、側壁下端の曲げモーメントが小さくなる傾向となった。計測値より、側壁下端は弾性固定の挙動を示し、曲げモーメントは、解析ケース2 (PCタンク指針：普通地盤) と解析ケース3 (PCタンク指針：堅固地盤) の中間値となった。また、側壁中間においては、計測値は、底版・側壁一体モデルに近い傾向となった。

(2) 静水圧による鉛直方向曲げモーメント

静水圧作用時 (満水時) の側壁鉛直曲げモーメントの比較を図-8に示す。解析値より、側壁下端は、円周方向プレストレス導入時とは異なり、地盤バネの影響を受けにくい傾向を示した。計測値より、側壁下端は、弾性固定の挙動を示し、曲げモーメントは、底版・側壁一体モデルに近い値となった。側壁中間は、側壁下端固定モデルと底版・側壁一体モデル共に同じ傾向を示し、計測値においても、近い傾向となった。

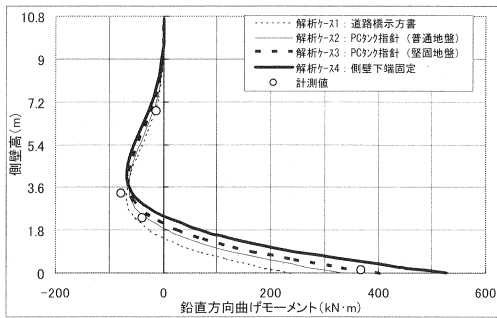


図-7 円周方向プレストレスによる側壁の鉛直方向曲げモーメント

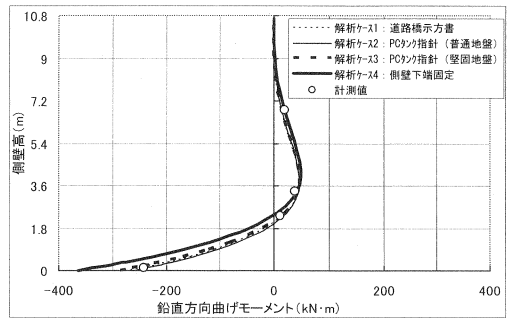


図-8 静水圧による側壁の鉛直方向曲げモーメント

5.2 弾性固定度 ( $k_\alpha \cdot k_\beta$ )

弾性固定度 ( $k_\alpha \cdot k_\beta$ ) は、(1)式で求められ、弾性固定モデルの側壁下端の曲げモーメントを完全固定モデルの側壁下端の曲げモーメントで除すことにより算出できる。PCタンク指針では、底版と側壁の剛性および地盤の状態をパラメーターとして表-2のように示されている。これによると、計測タンクの弾性固定度 ( $k_\alpha \cdot k_\beta$ ) は、0.83となる。

表-3に、解析値、計測値およびPCタンク指針による弾性固定度 ( $k_\alpha \cdot k_\beta$ ) を示す。計測値の ( $k_\alpha \cdot k_\beta$ ) は、円周方向プレストレス導入時が0.70、静水圧作用時 (満水時) が0.66となり、荷重による差異は少ない。また、PCタンク指針の ( $k_\alpha \cdot k_\beta$ ) と比較すると、若干低い値となるが、PCタンク指針の地盤バネを用いた底版・側壁一体モデルの ( $k_\alpha \cdot k_\beta$ ) に近い値となった。

PCタンク指針では、側壁下端固定モデルにて側壁下端の曲げモーメントを算出し、その曲げモーメント

$$(k_\alpha \cdot k_\beta) = M_{of} / M_{oh} \dots (1)$$

ここに、  
 $M_{of}$  : 側壁下端弾性固定支持の場合の側壁下端の鉛直方向曲げモーメント  
 $M_{oh}$  : 側壁下端固定支持の場合の側壁下端の鉛直方向曲げモーメント

表-2 PCタンク指針の弾性固定度 ( $k_\alpha \cdot k_\beta$ )

	$t_b = t_h$	$t_b = 1.5t_h$	$t_b = 2.0t_h$
普通地盤	0.75	0.9	0.95
堅固な地盤	0.80	0.90	0.95

ここに、 $t_b$  : 底版最大厚さ  $t_h$  : 側壁下端厚

に  $(k_{\alpha} \cdot k_{\beta})$  を乗ずることにより弾性固定の影響を考慮する方法が示されているが、本計測より、適切な地盤バネを考慮した底版・側壁一体モデルでの解析により、実際の挙動をより正確に評価することができるものと考えられる。なお、既往の研究<sup>4)</sup>より道路橋示方書<sup>3)</sup>の剛体フーチングを前提とした地盤反力係数の算出式は、底版の直径が大きいPCタンクに適用するのは適切でない場合があると報告されている。本検討においても、計測値との差が大きいことを確認した。したがって、PCタンクにおいては、PCタンク指針の地盤反力係数を用いることが妥当であると考えられる。

表-3 弾性固定度  $(k_{\alpha} \cdot k_{\beta})$  の比較

		弾性固定度 $(k_{\alpha} \cdot k_{\beta})$	
		円周方向プレストレス	静水圧
PCタンク指針		0.83	0.83
解析値	底版・側壁一体モデル (道路橋示方書)	0.45	0.73
	底版・側壁一体モデル (PCタンク指針:普通地盤)	0.63	0.71
	底版・側壁一体モデル (PCタンク指針:堅固地盤)	0.77	0.79
計測値		0.70	0.66

### 6. まとめ

直接基礎形式の実構造物PC製円筒形タンクにおいて、側壁下端の弾性固定度に関する現場計測を行い、以下に示すことが確認できた。

- 1) 直接基礎形式において、側壁下端は弾性固定の挙動を示す。
- 2) 弾性固定度  $(k_{\alpha} \cdot k_{\beta})$  は、円周方向プレストレスに対して0.70、静水圧に対して0.66となり、荷重による相違は少ない。また、PCタンク指針に示される  $(k_{\alpha} \cdot k_{\beta})$  と比較すると、若干低い値となった。
- 3) 適切な地盤バネを考慮した底版・側壁一体モデルでの解析により、実際の側壁下端の挙動をより正確に評価できるものと考えられる。
- 4) 本計測結果と、PCタンク指針に示されている地盤反力係数を用いた底版・側壁一体モデルによる結果とがほぼ一致した。

### 7. あとがき

今回の計測により、直接基礎におけるPC製円筒形タンクの側壁下端の弾性固定度に関する貴重なデータを得ることができた。前回の報告<sup>2)</sup>より、杭基礎の場合においても、側壁下端は、弾性固定度の挙動を示し、杭をバネとして評価した底版・側壁一体モデルによるFEM解析により、側壁と底版の曲げモーメントを推定できることを確認した。本計測結果も踏まえ、PCタンクの構造解析は、地盤もしくは杭をバネ要素として用いた底版・側壁一体解析により、実構造物の側壁下端の挙動をより正確に評価できるものとする。今後、本計測結果を活かし、合理的な設計手法の確立を行いたい。本計測を行うにあたり、富山県南砺市建設部の関係者各位に、多大なご指導ご協力をいただいたことを付記し謝意を表します。

### 参考文献

- 1) (社)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設計施工指針・解説，1998
- 2) 足立，河西，井上，渡辺：PC製円筒形タンクの側壁下端弾性固定に関する現場測定結果，第13回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，プレストレストコンクリート技術協会，pp109-112，2004
- 3) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV下部構造編，平成14年3月
- 4) 村井，井上，今尾，西尾：PC製円筒タンクの側壁下端弾性固定の影響を考慮した断面力算定方法，第8回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，プレストレストコンクリート技術協会，pp383-388，1998