

PC製円筒形タンクの側壁下端弾性固定度に関する現場測定結果

(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	河西 信二
(株) 安部工業所	東京支店	工務部	正会員	井上 浩之
(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¹⁾」(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。そして、側壁下端弾性固定度の影響を示す係数として($k\alpha \cdot k\beta$)が示されている。しかし、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。さらに、PCタンク指針では杭基礎の場合には弾性固定に関して適用外とされていることより、一般に完全固定すなわち($k\alpha \cdot k\beta$)=1.0が採用されている。

今回、杭基礎形式の実構造物において、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、本測定結果について以下に報告する。

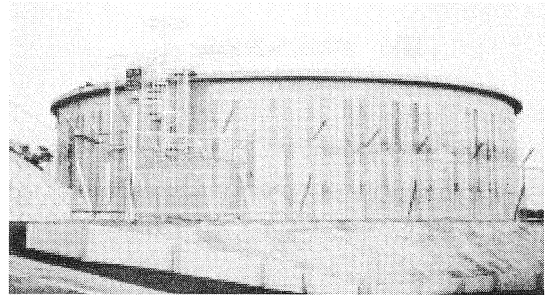


写真-1 測定PCタンク

2. タンクの諸元および測定方法

2.1 測定タンクの諸元

測定の対象としたのは、平成14年に静岡県小笠郡浜岡町に農業用水施設として建設されたもので、内径24.0m、側壁高8.05m、有効水深7.6m、有効貯水量3400tのPC製円筒形タンク(写真-1)である。側壁と底版の結合は、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/mm²、側壁36N/mm²、歩廊24N/mm²である。測定タンクの断面図を図-1、杭伏図を図-2に示す。

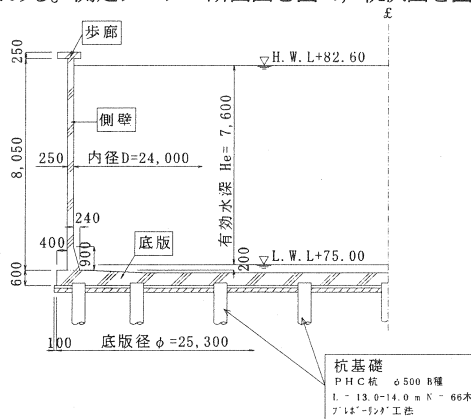


図-1 タンク断面図

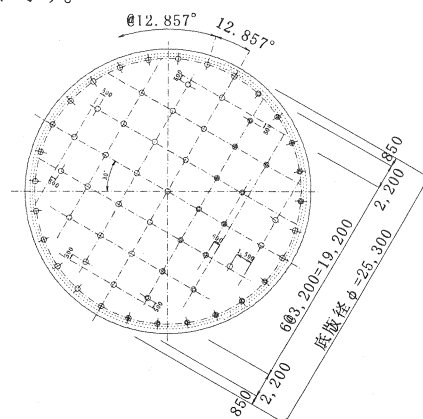


図-2 タンク杭伏図

2. 2 測定位置

測定は、鉄筋計を使用し、底版と側壁の結合部で側壁側（側壁下端）と底版側（底版付根）の2ヶ所について行った。鉄筋計埋設位置および測定位置を図-3、4に示す。鉄筋計は、側壁の鉛直方向の内側鉄筋および外側鉄筋、底版の放射方向の上側鉄筋および下側鉄筋に設置した。

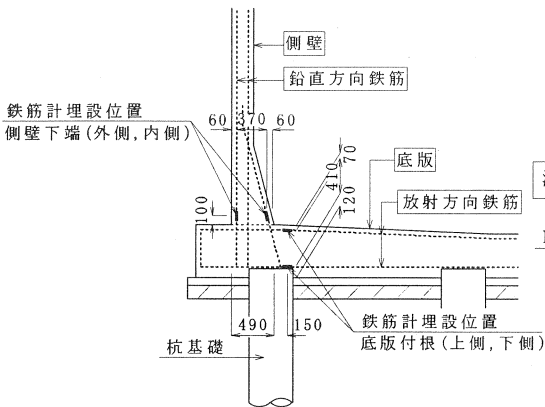


図-3 鉄筋計埋設位置

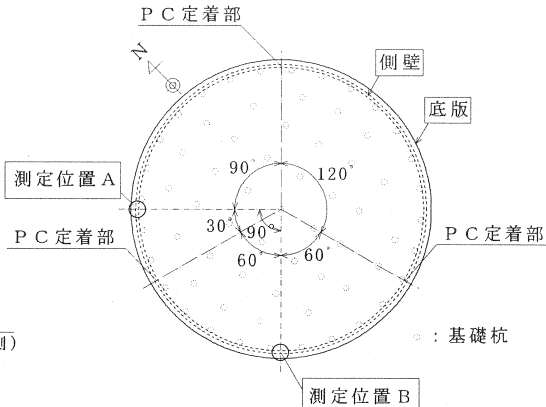


図-4 測定位置平面図

2. 3 測定段階

測定は、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。鉛直方向プレストレスは、側壁下端弾性固定度と無関係であるが、鉛直方向プレストレスにより側壁下端および底版付根に発生する断面力を確認するために行った。

3. 解析

鉛直方向プレストレス導入時、円周方向プレストレスの導入時および静水圧作用時（満水時）（図-5 参照）の側壁下端、底版付根の断面力を、図-6に示す杭のバネを考慮した底版・側壁一体モデルでFEM解析（軸対称シェル要素）により算出した。杭のバネ値は、道路橋示方書²⁾の杭のバネ定数算出式より求め、解析モデルが軸対称であることより、杭列において円周方向に連続するバネとした。また、杭のバネは上向きの変位にも抵抗するものとした。側壁下端固定の場合の解析は、側壁下端（図-6、節点A）を完全拘束とした解析モデルにより求めた。

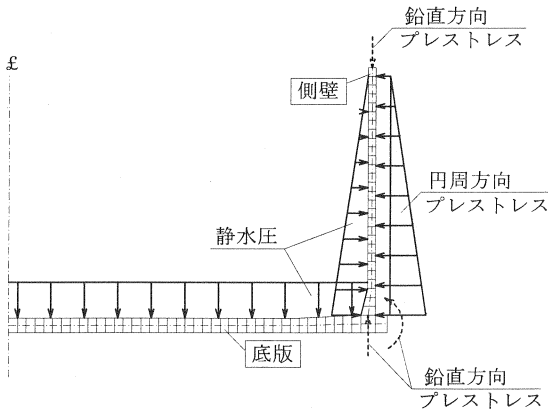


図-5 測定荷重作用図

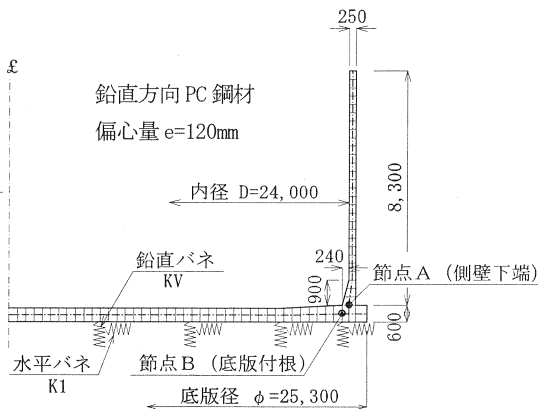


図-6 底版・側壁一体モデル

4. 解析値と実測値の比較 その1 (測定荷重: 円周方向プレストレス・静水圧)

4. 1 側壁下端

解析値と実測値の側壁下端の曲げモーメントの比較を表-1に示す。実測値の曲げモーメントはコンクリートに埋設した2本の鉄筋計で測定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。

実測値は、円周方向プレストレスの導入時および静水圧作用時(満水時)ともに底版・側壁一体モデルの解析値にはほぼ一致し、杭基礎の場合においても弾性固定の挙動を示した。また、表-2に(1)式で求められる側壁下端の弾性固定度($k\alpha \cdot k\beta$)を示す。実測値($k\alpha \cdot k\beta$)は、円周方向プレストレスの導入時と、静水圧作用時(満水時)では異なり、静水圧作用時(満水時)の方が高い値となった。これは、静水圧の場合、底版および側壁の両方に荷重が作用するため、側壁のみに荷重が作用する円周方向プレストレスに比べ、側壁下端の曲げモーメントが大きくなるものと考えられる。

$$k\alpha \cdot k\beta = \frac{M_{of}}{M_{oh}} \quad \begin{array}{l} M_{of}: \text{側壁下端弾性固定支持の場合の側壁下端の鉛直方向曲げモーメント} \\ M_{oh}: \text{側壁下端固定支持の場合の側壁下端の鉛直方向曲げモーメント} \end{array} \quad \dots (1) \text{式}$$

表-1 曲げモーメントの比較 (側壁下端)

Case		荷重	曲げモーメント (kN・m)	
			円周方向プレストレス	静水圧 (満水時)
解析値	側壁下端完全固定モデル	M_{oh}	119.0	-98.3
	底版・側壁一体モデル	M_{of}	50.8	-83.3
		実測値	M_{of}	55.6
				-85.6

表-2 弾性固定度の比較 (側壁下端)

Case		固定度	弾性固定度 $K\alpha \cdot K\beta$	
			円周方向プレストレス	静水圧 (満水時)
解析値	側壁下端完全固定モデル		1.00	1.00
	底版・側壁一体モデル		0.43	0.85
		実測値	0.47	0.87

4. 2 底版付根

解析値と実測値の底版付根の曲げモーメントの比較を表-3、側壁下端完全固定モデルの曲げモーメントを基準とした比率の比較を表-4に示す。側壁下端完全固定モデルの曲げモーメントは、側壁下端の曲げモーメントが底版付根に伝達されるものとした。

底版・側壁一体モデルの底版付根の曲げモーメントは、側壁下端と同様な理由により円周方向プレストレスの導入時よりも静水圧作用時(満水時)による場合の方が大きくなった。しかし、実測値は両者共に同等な値を示した。静水圧作用時の実測値と解析値との差が大きいことに関する原因は不確定であり、今後、解析モデルを含めて検討が必要である。本要因の1つとして、静水圧の場合、荷重が下向きに作用することにより、杭と底版の接合部(図3、図6参照)において、杭の配置、杭径等を実際に合わせてモデル化をしていない影響および地盤の影響があるものと考えられる。

表-3 曲げモーメントの比較 (底版付根)

Case		荷重	曲げモーメント (kN・m)	
			円周方向プレストレス	静水圧 (満水時)
解析値	側壁下端完全固定モデル		119.0	-98.3
	底版・側壁一体モデル		76.3	-119.0
		実測値	66.3	-66.3

表-4 曲げモーメントの比率の比較 (底版付根)

Case		比率	
		側壁下端完全固定モデルの曲げモーメントを基準とした比率	
		円周方向プレストレス	静水圧 (満水時)
解析値	側壁下端完全固定モデル	1.00	1.00
	底版・側壁一体モデル	0.64	1.21
実測値		0.56	0.67

5. 解析値と実測値の比較 その2 (測定荷重: 鉛直方向プレストレス)

解析値と実測値の側壁下端および底版付根の曲げモーメントの比較を表-5, 6に示す。実測値は、側壁下端については、側壁下端完全固定モデルよりも底版・側壁一体モデルの解析値に近い値であった。また、底版付根の曲げモーメントは、側壁下端に発生する曲げモーメントの10%程度である結果となった。解析値と実測値の結果より、鉛直方向プレストレスによる曲げモーメントは側壁下端に作用し、底版には、ほとんど伝達されないと考えられる。

表-5 曲げモーメントの比較 (側壁下端)

Case		荷重	曲げモーメント (kN・m)
			鉛直方向プレストレス
解析値	側壁下端完全固定モデル		-50.33
	底版・側壁一体モデル		-46.82
実測値			-43.44

表-6 曲げモーメントの比較 (底版付根)

Case		荷重	曲げモーメント (kN・m)
			鉛直方向プレストレス
解析値	側壁下端完全固定モデル		-50.33
	底版・側壁一体モデル		4.54
実測値			2.40

6. まとめ

杭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) 杭基礎形式であっても、側壁下端は弾性固定の挙動を示す。
- 2) 本計測により、円周方向プレストレス、静水圧および、鉛直方向プレストレスにより発生する曲げモーメントは、杭をバネとして評価した底版・側壁一体モデルによるFEM解析により推定できることが確認できた。
- 3) 静水圧による底版付根の曲げモーメントに関しては、解析値と実測値の差が大きい。これは、杭のバネモデル化および地盤の影響と考えられ、今後の課題である。

7. あとがき

今回の測定により、杭基礎における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。今後、実構造物に対して実測データの収集を重ね、側壁下端弾性固定度の挙動を把握し、実状にあった合理的な設計手法の確立を行いたい。本測定を行うにあたり、静岡県牧の原農業用水建設事務所の関係者各位に、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) (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
- 3) 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