

大型PCタンクにおける底版・側壁一体モデルの適用性の検証

(株) 安部日鋼工業 岐阜本社 技術部 正会員 ○鈴木 将
 (株) 安部日鋼工業 岐阜本社 技術部 正会員 堅田 茂昌
 (株) 安部日鋼工業 岐阜本社 技術部 正会員 伊藤 朋紀
 (株) ウィル 設計部 正会員 足立 真康

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、底版と側壁の剛性の違いが側壁下端の挙動に与える影響について記述されている。また、側壁下端弾性固定度の影響を示す係数として($k_a \cdot k_b$)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。著者らはこれまで、大型PCタンクに対して、膨張材を使用したひび割れ防止対策を行い、対策効果の有効性を確認した²⁾ほか、杭基礎形式および直接基礎形式における弾性固定度の影響を検証してきた^{3),4)}。本報告は、それらに続くもので、側壁下端弾性固定度および円周方向プレストレスの影響を底版・側壁一体モデルで評価し、計測結果と比較検証した。

2. PCタンクの諸元および計測方法

2.1 PCタンクの諸元

計測の対象は、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、内径50.4m、側壁高10.7m、全水深10.2m、有効貯水量1990m³のPC製円筒形タンクである。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。断面図を図-1に示す。

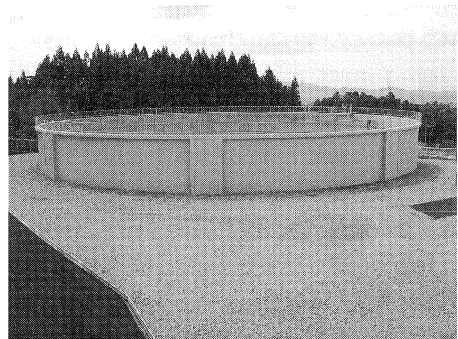


写真-1 完成写真

2.2 計測位置

鉄筋計および埋込型ひずみ計の埋設位置を図-2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。側壁の鉄筋かぶりは、50mmである。

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。

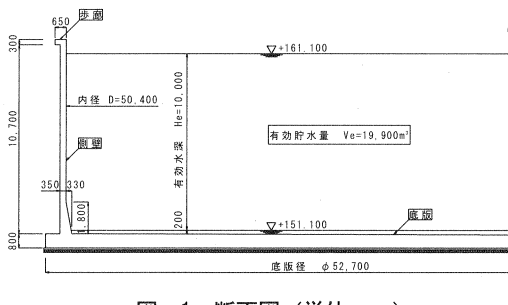


図-1 断面図 (単位: mm)

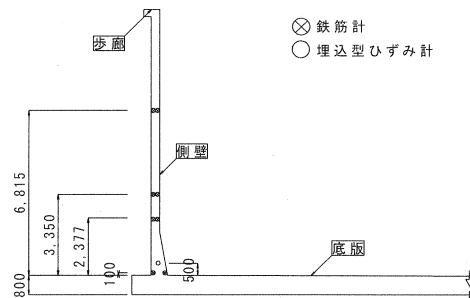


図-2 鉄筋計および埋込型ひずみ計埋設位置 (単位: mm)

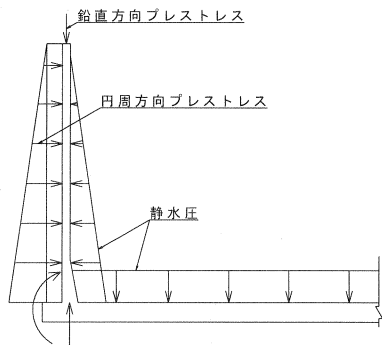


図-3 荷重作用図

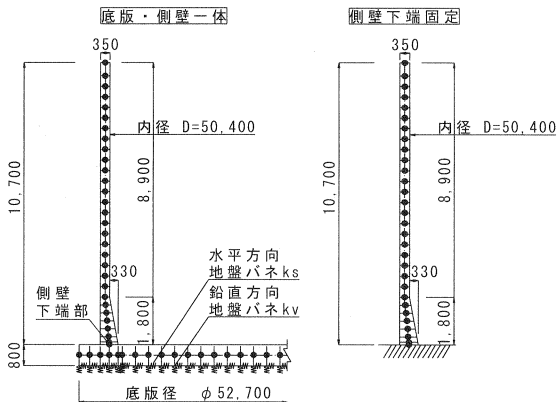


図-4 解析モデル (単位 : mm)

3. 側壁下端弾性固定度の検討

3.1 解析モデル

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）（図-3 参照）の側壁および底版の断面力を、図-4 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⁵⁾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^{1,5)}。

3.3 解析値と計測値との比較

計測値の曲げモーメントは、コンクリートに埋設した 2 本の鉄筋計の計測結果より得られる応力から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。

(1) 鉛直方向プレストレスによる側壁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-5 に示す。計測値と解析値は、ほぼ同じ傾向を示した。また、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。

(2) 円周方向プレストレスによる側壁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-6 に示す。図-6 の解析値より、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

表-1 解析ケース

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^3)
解析ケース 1		道路橋示方書	8,730
解析ケース 2	側壁・底版一体	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	—	—

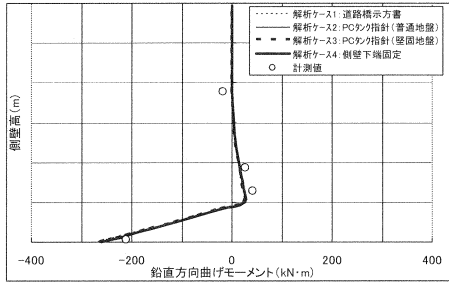


図-5 鉛直方向プレストレスによる側壁の鉛直方向曲げモーメント

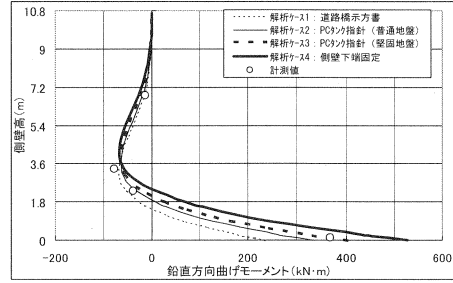


図-6 円周方向プレストレスによる側壁の鉛直方向曲げモーメント

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。

3. 4 弾性固定度 ($k_\alpha \cdot k_\beta$)

PCタンク指針では、弾性固定度 ($k_\alpha \cdot k_\beta$) は、(1)式で求められ、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。

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

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-3 に、PCタンク指針、解析値および計測値による弾性固定度 ($k_\alpha \cdot k_\beta$) を示す。計測値から求められる

($k_\alpha \cdot k_\beta$) 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。計測値とPCタンク指針の ($k_\alpha \cdot k_\beta$) を比較すると、PCタンク指針が若干大きくなる。また、解析値と比較すると、PCタンク指針の地盤バネを用いた底版・側壁一体モデルの解析結果から得られる ($k_\alpha \cdot k_\beta$) 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、本検討の結果、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⁶⁾より道路橋示方書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おり、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。

4. 円周方向プレストレスの影響

側壁下端弾性固定度の検討より、底版・側壁一体モデルは適切な地盤バネを考慮することで側壁下端における弾性固定度の影響をより正確に評価することが可能であることが確認できた。そこで、ここでは下端弾性固定度の検討で使用した底版・側壁一体モデルが円周方向プレストレスによる円周方向の挙動を再現可能か検討した。図-7に各ケースにおける円周方向応力の比較を示す。また、本報告で計測したPCタンクと

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

t_b : 底版最大厚さ t_h : 側壁下端厚さ

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

は別の大型PCタンク(内径67.0m, 側壁高10.7m, 全水深6.70m, 有効貯水量23000m³)の比較を図-8に示す。解析値より, 側壁下端付近の円周方向に生じるコンクリート応力は地盤バネ値が小さいほど大きくなる傾向となった。また, 図-8より底版の拘束が上部ほど緩和されるため, 上部ほどプレストレスによる圧縮力が大きく導入されている。計測値と解析値は同様な傾向を示しており, 適切な地盤バネを用いた底版・側壁一体モデルにより評価することができるものと考えられる。

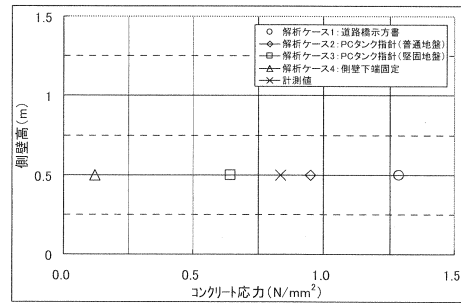


図-7 円周方向応力の比較 (その1)

5. まとめ

大型PCタンクの側壁下端における弾性固定度および円周方向プレストレスの影響について現場計測を行い, 以下のことが確認できた。

- 1) 適切な地盤バネを考慮した底版・側壁一体モデルを用いることで, 側壁下端の挙動をより正確に評価できる。
- 2) 計測値から求められる弾性固定度 ($k_{\alpha} \cdot k_{\beta}$) は, 荷重による相違は小さく, 計測値と比較し, PCタンク指針に示される ($k_{\alpha} \cdot k_{\beta}$) は, 若干大きい値となることを確認した。
- 3) 円周方向プレストレスにより, 側壁円周方向に生じるコンクリートのひずみおよび応力を底版・側壁一体モデルで再現可能である。

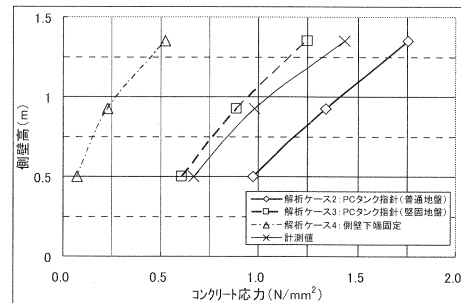


図-8 円周方向応力の比較 (その2)

6. 今後の課題

静水圧が円周方向におよぼす影響を適切に評価するため, 今後さらにデータを蓄積し, 本検討の妥当性を確認することが課題である。

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, 堅田, 保利, 吉澤: PCタンク側壁下端への膨張材適用, コンクリート工学年次論文集, Vol. 27, No. 1, pp229-234, 2005
- 3) 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度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
- 4) 足立, 堅田, 河西, 渡辺: 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, 第14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, pp295-298, 2005
- 5) (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
- 6) 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会, pp383-388, 1998