

水道用 PC タンク杭基礎の耐震性能照査法に関する基礎的研究

東北大学大学院 学生員 ○野口文孝 日本鉄道建設公団 正会員 小林寛明
 (株) 安部工業所 正会員 西尾浩志 東北大学大学院 学生員 江角真也
 東北大学大学院 正会員 秋山充良 東北大学大学院 フェロー 鈴木基行

1. はじめに

現在、PC タンクは、兵庫県南部地震後に改訂された「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」¹⁾に基づいて耐震設計されている。側壁、内容液および屋根を一体化したタンク躯体については、既往の研究²⁾により、レベル2 地震動に相当する強震動に対しても、ほぼ弾性応答を示し、非常に高い耐震性能を保有していることが確認されている。一方、PC タンク杭基礎は、通常、震度法でのみ耐震設計がなされており、レベル2 地震動を受けたタンク躯体の弾性応答の結果として生じる大きな水平力の作用に対して、その耐震安全性を検証した例は報告されていない。

そこで本研究では、PC タンク杭基礎—地盤系を2次元のラーメン構造にモデル化（以下、2次元骨組モデル）し、これに対応した荷重の载荷法を提案した。そして、提案したモデルを基に荷重漸増解析を行い、レベル2 地震動作用時のタンク杭基礎の非線形挙動の可能性を検証した。

2. PC タンク杭基礎の地震時挙動

(1) 2次元解析モデルの妥当性の検討

a) 解析概要

解析対象は、容量10,000m³、D/H=3.5のタンク躯体と、道路橋示方書³⁾に準じて震度法により耐震設計された杭基礎（PHC 杭（φ800、B種）、杭長14m）である。地盤は、平均N値が9の一般的なモデルを仮定した。図-1には、杭の配列を示した。図中の太線のやや内側にタンク側壁は位置する。なお、地震動入力方向はX軸の正方向である。

2次元骨組モデルは、図-1の点線部に示されるように、底版をくさび形に切り出したはりに、各周毎に1本の杭を剛結させた図-2のモデルである。

地震荷重のうち、側壁に作用する動水圧および躯体慣性力の影響は、これにより生じる側壁下端位置の曲げモーメントおよび鉛直方向軸力を求め、それらをくさび形の部分に作用する荷重に換算して、側壁と底版の接合部に与えた（図-2のa,b）。衝撃圧に寄与する固定水重量による水平力の総和は、杭が等分配して受け持つものと仮定した（図-2のc）。また、底版に作用する鉛直方向動水圧も考慮した（図-2のd）。

地盤抵抗は、道路橋示方書³⁾に従い算出した杭軸方向および杭軸直角方向バネにより考慮した。

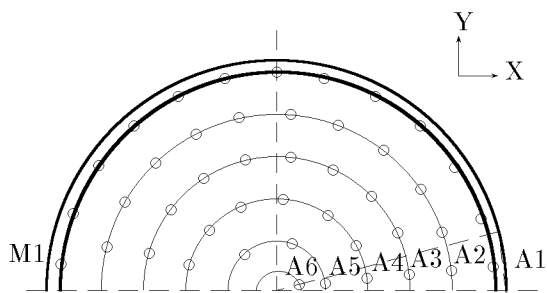
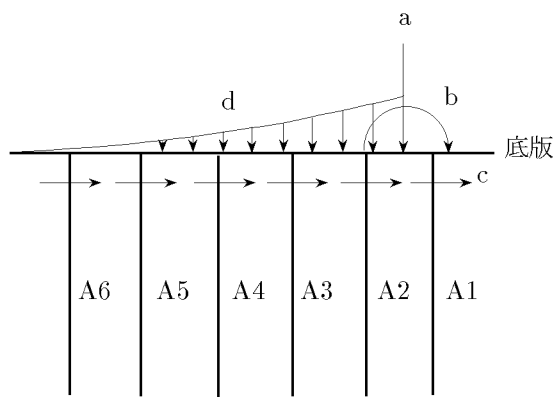


図-1 解析対象 PC タンクの杭の配列



- a: 側壁に作用する動水圧および慣性力による軸力
- b: 側壁に作用する動水圧および慣性力によるモーメント
- c: 水平力
- d: 底版に作用する動水圧

図-2 2次元解析モデルの概略

Key Words: PC タンク杭基礎、耐震性能照査、動水圧、慣性力

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06 TEL 022(217)7449 FAX 022(217)7448

b) 2次元解析モデルと3次元解析モデルの比較

2次元骨組モデルから得られる基礎の応答値の精度を検証するため、屋根、側壁、底版および杭基礎を一体化した3次元解析モデル（以下、完全3次元モデル）に $k_h=1.0$ の水平震度を载荷した弾性解析結果との比較を行った。図-1に示される点線部のくさび形（A1～A6杭）を対象に、杭頭位置の応答値を比較した結果を図-3に示す。杭位置により、精度のばらつきが見られるが、最も大きな応答が生じるA6杭で10%程度の誤差であり、提示した2次元骨組モデルにより、十分、完全3次元モデルから得られる弾性解析結果を再現できる。

(2) PCタンク杭基礎の荷重漸増解析

a) 荷重载荷法

2次元骨組モデルを基に、荷重漸増解析を行い、レベル2地震動作用時のPCタンク杭基礎の非線形挙動の可能性を検証する。荷重は、常時荷重を载荷した後、作用水平震度の増分 Δk_h に応じた図-2の各荷重を段階的に载荷する。

b) 解析結果

図-4に、底版中央位置における水平震度－変位関係を示した。図-5には、杭の降伏が生じる水平震度 $k_h=0.94$ におけるA1杭とM1杭の曲げモーメント分布を示す。A1杭とM1杭は、それぞれ押し込み力および引抜き力が最大となる杭である。最大の引抜き力が作用し、全杭の中で最小の降伏モーメントを有するM1杭が最初に降伏点に達する。このときの降伏震度 $k_y=0.94$ は、レベル2地震動に相当する既往の強震動を用いたタンク躯体の非線形動的解析時に側壁に生じた応答加速度に比べて大幅に小さい値である²⁾。

このように、タンク躯体の耐力が非常に大きい結果、レベル2地震動作用時には、タンク杭基礎は非線形化する可能性が示された。

3. まとめ

一般的な形状を有するPCタンク杭基礎の耐震安全性を検証した結果、レベル2地震動作用時にタンク杭基礎は、非線形化する可能性が示された。しかし、提案した2次元解析モデルは、これ以上の杭の降伏の進展過程を追跡できないため、今後、3次元的な杭の非線形挙動が考慮できる解析モデルの構築が必要である。

参考文献

- 1) 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) 小林寛明，西尾浩志，秋山充良，鈴木基行：レベル2地震動を考慮したプレストレストコンクリート製タンクの耐震安全性評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.3，pp.1147-1152，2001。
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編，1996。

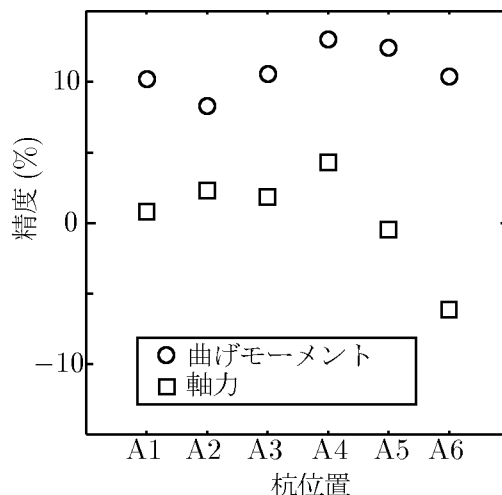


図-3 2次元解析におけるモデル化の精度

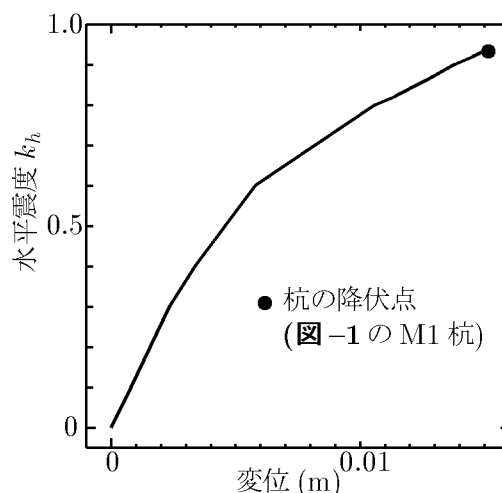


図-4 水平震度－変位関係

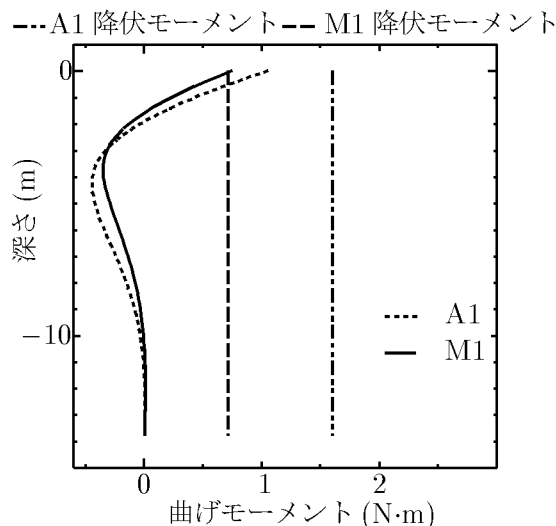


図-5 $k_h=0.94$ における曲げモーメント分布