

地震時における水道用PCタンクの杭基礎に 作用する荷重のモデル化

東北大学 学生員 ○野口文孝, 小林寛明 (株) 安部工業所 正会員 西尾浩志
東北大学 正会員 秋山充良 東北大学 フェロー 鈴木基行

1. はじめに

著者らは、水道用PCタンクの側壁、内容液および屋根を一体化したタンク躯体を対象に、レベル2地震動に相当する強震記録を用いた動的解析を行い、その耐震安全性を評価してきた¹⁾。その結果、タンク躯体は、非常に高い剛性と耐力を有し、地震時にほぼ弾性応答することを明らかにした。一方、タンク杭基礎の耐震設計に関しては、レベル1地震動に対して、杭体の許容応力設計と基礎の安定計算のみが行われており、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、その耐震安全性を照査した例は報告されていない。また、レベル1地震動に対する設計法も、道路橋示方書²⁾に準じたものであり、構造の形状や底版の特性を反映してタンク躯体からの作用荷重をモデル化しているとは言えない。そこで、本研究では、タンク杭基礎の合理的な耐震設計法を構築するための基礎的研究として、タンク躯体から杭基礎に作用する地震荷重のモデル化とその載荷法を検討したので、結果を報告する。

2. 解析概要

解析対象は、容量10,000m³、内径と水深の比が3.5のタンク躯体と、道路橋示方書に準じて耐震設計された杭基礎（PHC杭（φ800、B種）、杭長14m）である。地盤は、N値9の様なモデルを仮定した。本研究では、タンク躯体および杭基礎—地盤系を完全に一体化した3次元解析モデル（以下、完全3次元モデル）に対して、後述する手順で、自重、動水圧および慣性力を作用させることで得られる杭頭反力を目標値として設定した。そして、杭基礎—地盤系のみを考慮する3次元解析モデル（以下、簡易3次元モデル）に対し、完全3次元モデルと同等の杭頭反力を与える自重、動水圧および慣性力の荷重モデルとその載荷法を検討する。なお、3次元解析では、対称性を考慮し、全体の1/2を対象とする。

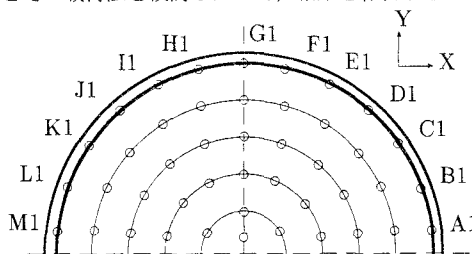


図-1 解析対象PCタンクの杭の配列図

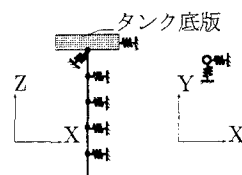


図-2 地盤バネのモデル図

図-1には、杭の配列図を示した。図中の太線のやや内側にタンク側壁は位置する。杭基礎のモデル化に際し、図-2の杭軸方向と杭軸直角方向の地盤抵抗は、道路橋示方書²⁾により評価した。なお、底版側面には、ケーソン基礎の設計に用いる水平方向地盤反力²⁾に相当するバネを付加した。また、杭体は、はり要素でモデル化し、底版は、剛体とせず、コンクリートの剛性を与えたシェル要素にてモデル化した。完全3次元モデルのタンク側壁と屋根にも、シェル要素を用いた。本研究では、タンクの3次元的な形状を考慮し、タンク躯体から杭基礎に作用する荷重のモデル化に着目するため、全ての解析は、弾性解析により行う。

3. 荷重のモデル化

完全3次元モデルにおいて、常時荷重として考慮したのは、自重のみである。慣性力は、想定水平震度 に比例した分布荷重を地震動入力方向に作用させる。なお、地震動入力方向は、図-1において、X軸の正方向であり、この方向からの角度を θ とする。動水圧は、速度ポテンシャル法³⁾により求め、側壁に対して垂直に作用させる。一方、簡易3次元モデルでは、側壁と屋根の自重を側壁と接する底版位置で分布荷重として与える。また、屋根と側壁を介して底版に伝達されることになる慣性力と動水圧の影響のうち、鉛直方

向力と曲げモーメントに関しては、 $\theta = 0^\circ$ 位置の側壁下端に生じる値を参考文献³⁾に基づき算出し、これを θ の値に応じて変化させた。水平方向力に関しては、側壁と屋根の躯体慣性力を側壁と接する底版位置で与え、さらに、内容液のうち衝撃圧に寄与する固定水重量を算定³⁾し、これと想定水平震度の積を底版上に分布荷重として与える。その他の荷重は、完全3次元モデルと同一に与えている。図-3に簡易3次元モデルに作用させた荷重モデルの概略を示す。水平震度は、全荷重に占める地震荷重の割合を変化させるため、 $k_h = 0.2$ と $k_h = 1.0$ の2つの震度を想定した。

以降では、上記の荷重を載荷した完全3次元モデルと簡易3次元モデルから得られる杭頭反力を比較することで、図-3の荷重モデルの妥当性を検証する。

4. 解析結果

完全3次元モデルと簡易3次元モデルを用いて計算した図-1の太線上にある各杭の杭頭軸力と杭頭曲げモーメントを比較した結果を図-4に示す。図-4に示されるように、 $\theta = 0^\circ$ と $\theta = 180^\circ$ 付近で得られる両者の杭頭曲げモーメントは、 k_h の値に関わらずほぼ一致している。一方、 $\theta = 90^\circ$ 付近では、簡易3次元モデルは、完全3次元モデルから得られる応答値を過小評価している。この原因は、簡易3次元モデルで与える $\theta = 0^\circ$ 位置の曲げモーメントと軸力の算定に際し、動水圧および慣性力は、側壁に対して垂直かつ等圧に作用する条件を仮定しているが、実際には、円周方向でその値は変化しており、慣性力は、地震動入力方向に対して一定の大きさで生じる。完全3次元モデルの単純化を図るために設けたこのような仮定が、図-4に示される誤差を生む原因になったと考える。しかし、誤差が最大の $\theta = 90^\circ$ 付近でも、その値は6%程度であり、簡易3次元モデルでも、図-3の荷重モデルを載荷することで、十分に完全3次元モデルから得られる杭頭曲げモーメントを再現できる。

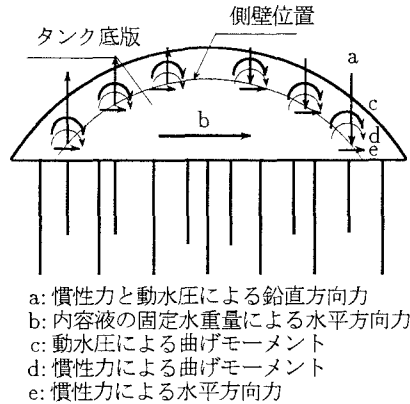
一方、杭頭軸力については、 $k_h = 1.0$ において、杭位置K1において最大10%程度の誤差が生じている。しかし、杭位置K1で生じる軸力は、全杭で生じる軸力の最大値の5%しかなく、他の杭の応答値の整合からも、杭基礎の耐震設計を行う上で、この程度の誤差が問題になることはないと考えられる。

5. まとめ

PCタンク底版に伝達される慣性力と動水圧のモデル化を行った。そして、この荷重モデルをタンク底版と杭基礎を一体化した簡易モデルに載荷することで得られる杭体の応答値の精度を検証し、その妥当性を示した。今後は、杭体や地盤の非線形性を考慮した解析やタンク杭基礎を2次元のラーメン構造にまで単純化し、それに対応した荷重のモデル化とその載荷法を検討する予定である。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編, 1996.
- 3) 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.



a: 慣性力と動水圧による鉛直方向力
b: 内容液の固定水重量による水平方向力
c: 動水圧による曲げモーメント
d: 慣性力による曲げモーメント
e: 慣性力による水平方向力

図-3 地震荷重のモデル化

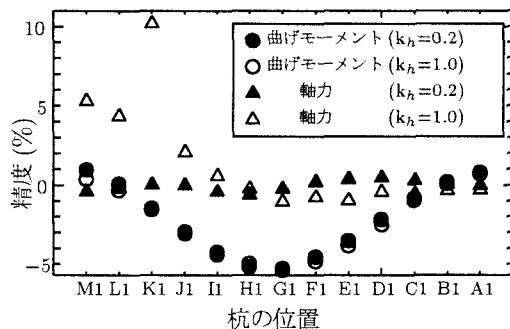


図-4 簡易3次元モデルから得られる杭頭反力の精度検証