

I - 43

2次元フレーム解析によるPCタンク杭基礎の耐震性能照査

東北大学 学生会員 ○柁津知広
東北大学 学生会員 江角真也
東北大学 フェロー 鈴木基行

1. はじめに

水道用PCタンクの側壁、内容液および屋根から構成されるタンク躯体については、その耐震設計基準である「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⁾に規定されるレベル2地震動を上回る強震動に対しても、ほぼ弾性応答し、非常に高い耐震安全性を有していることが確認されている²⁾。一方、PCタンク杭基礎は、道路橋示方書³⁾(以下、道示)の震度法でのみ耐震設計がなされており、レベル2地震動を受ける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する耐震性能照査は行われていない。これは、タンク杭基礎の形状的な特徴や3次的に作用する地震荷重(躯体慣性力、動水圧)のモデル化の困難さのため、その耐震性能照査に用いる解析モデルが提示されていないことに起因する。

そこで著者らは、レベル2地震動を受けるPCタンク杭基礎の耐震性能照査法を構築するための基礎的研究として、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、そのブッシュオーバー解析に用いる地震荷重モデルを提案してきた。本研究では、提案モデルのうち、特に杭体の曲げ剛性の変化をファイバー解析にて考慮するモデルと、適当な軸力の大きさを仮定して計算した杭体のモーメント-曲率関係(M- ϕ)を基に考慮するモデルを用いたブッシュオーバー解析の結果を比較することにより、PCタンク杭基礎における杭体の曲げ剛性のモデル化について一提案を行うものである。

2. PCタンク杭基礎の2次元フレーム解析

(1) 2次元解析モデル

解析対象は、容量616m³、水深に対する内径の比が3.5のタンク躯体と、道示に準じて震度法により耐震設計された杭基礎(PHC杭(ϕ 700, B種)、杭長10m)である。地盤は、平均N値が9の一樣なモデルを仮定した。図-1に杭の配列を示す。図中の太線はタンク側壁位置を表しており、地震動入力方向はX軸の正方向である。

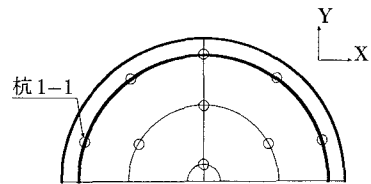
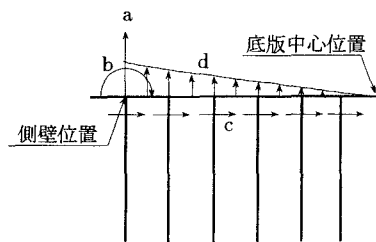


図-1 解析対象PCタンクの杭の配列

2次元骨組モデルは、底版をくさび形に切り出したはりに、各周毎に一本の杭を剛結させた図-2のモデルである。PCタンク杭基礎では、通常引抜き側の杭が最初に降伏するため、底版中心に位置する杭と引抜き側の最外周に位置する杭を含むようにモデル化した。地震荷重のうち、側壁に作用する動水圧及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及び鉛直方向力を求め、それらをくさび形の部分に作用する荷重に換算し、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¹⁾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ている(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)。



a: 側壁に作用する動水圧と慣性力による鉛直方向力, b: 側壁に作用する動水圧と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次元骨組モデルへの荷重載荷方法

杭基礎の地盤抵抗は、杭軸方向、杭軸直角方向の抵抗特性ともに、道示に示されるバイリニア型を仮定してモデル化した。

(2) 杭体の M- ϕ 関係による解析

PCタンク杭基礎では、荷重の増加とともに軸力変動が生じるため、本来的には逐次杭体の曲げ剛性の変化を作用軸力の大きさに合わせて変更する必要がある。一方で、設計実務への適用を考えると、現行の道示³⁾で採用されるように、杭群図心位置から押込み側の杭では死荷重が作用したときの杭頭反力を軸力として、引き抜き側の杭では、軸力0として杭体の M- ϕ 関係を定め、これにより杭体の曲げ剛性の変化を簡易的に表現する手法などが望ましい。そこで、前記した2次元骨組モデルと地震荷重モデルを用いたPCタンク杭基礎のプッシュオーバー解析では、杭体の曲げ剛性の変化を、i) ファイバー解析、ii) 軸力0で計算した杭体の M- ϕ 関係を用いるモデル、iii) 死荷重作用時の杭頭の軸力(670kN)で計算した杭体の M- ϕ 関係を用いるモデル、の3種の条件で考慮し、各解析から得られる(タンク躯体への作用水平震度 K_h)-(タンク底版中心位置の水平変位量 δ) の関係を比較した。

3. 解析結果

杭体を上記の3種の条件でモデル化し、プッシュオーバー解析を行った。得られた K_h と δ の関係を図-3に示す。また、各条件で杭体に最初の降伏が生じた際のモーメント分布を図-4に示す。

ファイバー解析、軸力0の M- ϕ 関係、及び死荷重作用時の軸力の M- ϕ 関係から得られる杭体の降伏が最初に生じる水平震度 K_{hy} は、それぞれ1.14、1.07 および1.22である。図-4に示されるように、仮定した軸力の大きさによる降伏モーメントの差を反映し、 K_{hy} の大きさに差が生じている。しかし、モデル毎の K_{hy} の差は小さく、実務上の利便性を考慮し、道路橋基礎と同じく図-2の引抜き側にある杭体を全て軸力0で計算した M- ϕ 関係でモデル化しても、十分にその曲げ剛性の変化を考慮したPCタンク杭基礎のプッシュオーバー解析を実施できると考える。

なお、ここで提示したファイバー解析により、側壁をシェル要素にてモデル化し、図-1のY軸方向の地盤抵抗も考慮した3次元解析から得られる K_h - δ 関係を十分な精度で追従でき、また、レベル2地震動を受けるPCタンク杭基礎の限界状態は、杭体に最初の降伏が生じる水平震度 K_{hy} 以内とすることが望ましいことを別途確認している²⁾。

4. まとめ

軸力0を仮定した杭体の M- ϕ 関係を用いることにより、その曲げ剛性の変化を考慮したPCタンク杭基礎のプッシュオーバー解析を十分な精度で実施できることを確認した。

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) 野口文孝, 秋山充良, 西尾浩志, 鈴木基行: レベル2地震動を受ける水道用PCタンク杭基礎の耐震性能照査, コンクリート工学年次論文集, (投稿中)
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編, 2002

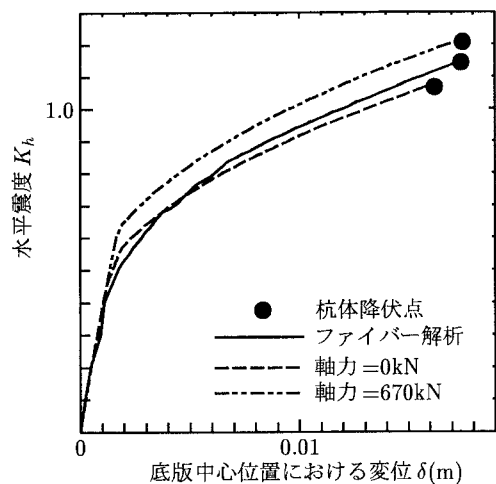


図-3 水平震度と水平変位の関係

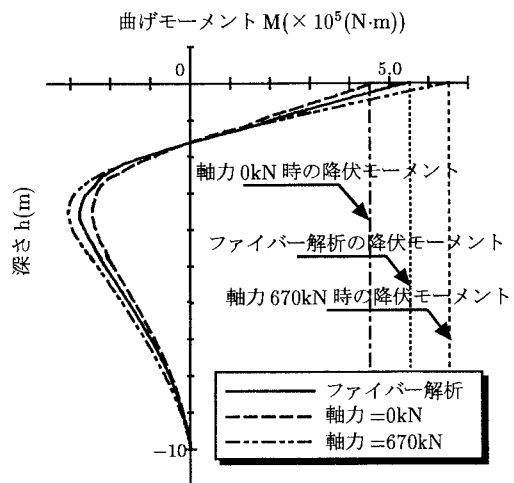


図-4 杭体降伏時の曲げモーメント分布