

地震時における水道用プレストレストコンクリート製タンクの杭基礎に作用する荷重のモデル化

東北大学大学院 学生員 ○江角真也, 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 (株)安部工業所 大村一馬
 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

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，著者らの研究¹⁾により，レベル2地震動を上回る強震動に対しても，ほぼ弾性応答を示し，非常に高い耐震性能を有していることが確認されている．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，その耐震安全性評価が求められている．また，レベル1地震動に対する設計は，道路橋示方書²⁾に準じており，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提案した．また，提案したモデルを基に，道路橋示方書に示される変位法のPCタンク杭基礎への適用性について検討した．

2. 解析概要

解析対象は，容量約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，荷重のモデル化の妥当性を検討するために，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提案する．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に杭の配列を示した．図中の太い点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．

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に，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におけるX軸の正方向であり，この方向に対する角度を 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．

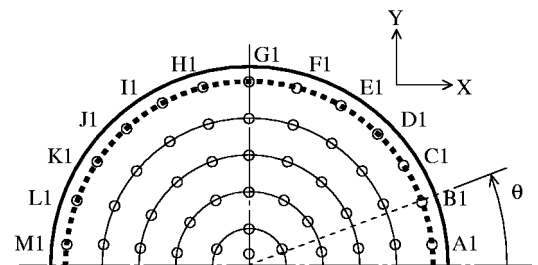


図-1 解析対象PCタンクの杭の配列

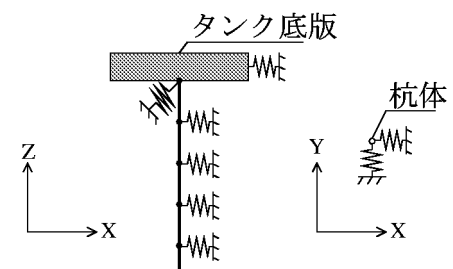
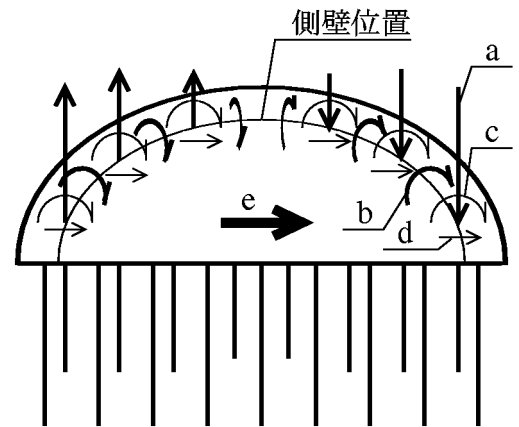


図-2 地盤バネのモデル

Key Words: プレストレストコンクリート製タンク，耐震設計，杭基礎，地震荷重のモデル化

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

一方、簡易3次元モデルでは、常時荷重として、側壁と屋根の自重を側壁と接する底板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板に伝達される慣性力と動水圧の影響のうち、鉛直方向力 (N') と曲げモーメント (M') 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、角度 θ の N' と M' はこれに $\cos \theta$ を乗じた値とした。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板位置で与え、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次元モデルと同様に与えている。図-3に簡易3次元モデルに作用させた荷重モデルの概念図を示す。



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

4. 解析結果

(1) 荷重モデルの妥当性の検討

完全3次元モデルおよび簡易3次元モデルより得られる図-1の太い点線上に位置する各杭頭の応答値の比較を図-4に示した。水平震度は、レベル1地震動に対応する $K_h=0.2$ と、全荷重に占める地震荷重の割合を変化させるため、 $K_h=1.0$ とした2つの震度を想定した。杭位置により、精度に多少ばらつきが見られるが、応答値が最大となる杭でも誤差は $\pm 6\%$ 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、完全3次元モデルから得られる応答値を十分に再現できる。

図-3 地震荷重のモデル化

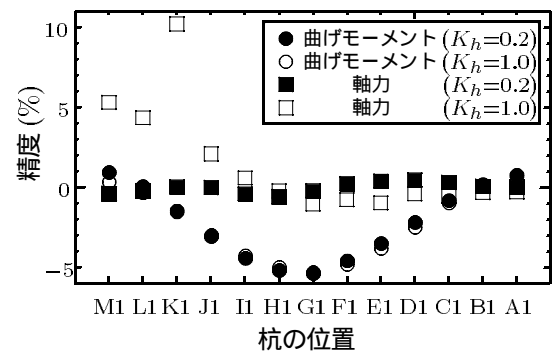


図-4 簡易3次元モデルから得られる杭頭反力の精度検証

(2) 変位法のPCタンク杭基礎への適用性の検討

道路橋示方書に示される変位法のPCタンク杭基礎への適用性を検討した。ここでは、地盤のN値を変化させ、水平方向地盤反力係数 k_{HN} の大きさ毎に、変位法と簡易3次元モデルから得られる杭頭反力を比較する。着目した杭は、押し込み力および引抜き力が最大となるM1杭およびA1杭である。N値9の水平方向地盤反力係数 k_{H9} と k_{HN} の比 ($=k_{HN}/k_{H9}$) 毎に、杭頭の曲げモーメントを比較した結果を図-5に示す。図-5に示されるように、変位法は、地盤種別がIII種地盤と分類される程度にまで地盤の剛性が小さくなると、簡易3次元モデルの応答値を著しく過大評価する。限られた解析モデルからの結果ではあるが、地盤の剛性により、変位法のPCタンク杭基礎への適用性の限界が示された。

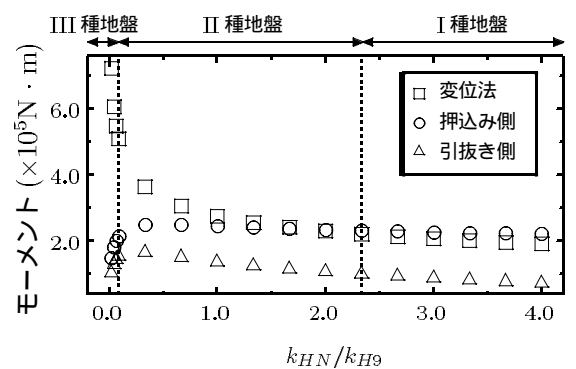


図-5 変位法と簡易3次元モデルから得られる杭頭曲げモーメントの比較

5. まとめ

地震時に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提案した。そして、この荷重モデルを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。さらに、提案したモデルを基に、変位法のPCタンク杭基礎への適用性を検討した。その結果、地盤の剛性により、変位法は、著しく過大な杭頭反力を算定する可能性が示唆された。

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, 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.