

レベル2地震動を受ける水道用プレストレスト コンクリート製タンク・杭基礎系の耐震設計法

東北大学大学院 学生員 ○野口文孝, 正会員 秋山充良, フェロー 鈴木基行
(株)安部工業所 正会員 今尾勝治, 大村一馬 鹿島建設(株) 正会員 江角真也

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）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⁾（以下、PCタンク設計施工指針）に基づき耐震設計されている。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、PCタンク設計施工指針に規定されるレベル2地震動を上回る強震動の作用に対しても、ほぼ弾性応答を示し、所定の耐震性能を十分に保持できることが確認されている²⁾。一方、PCタンク杭基礎は、通常、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する耐震性能照査は行われていない。PCタンク・杭基礎系では、主たる塑性化の発生位置がタンク躯体の容量により変化し、容量が大きい場合にはタンク側壁を対象に、小さい場合にはタンク杭基礎を対象に耐震性能照査を行うことにより、系全体の地震時安全性を確保することができると思われる。そこで本研究では、まず、容量を変化させたPCタンク・杭基礎系のプッシュオーバー解析を実施し、タンク躯体と杭基礎間の耐力格差を検討した。次いで、杭基礎に主たる塑性化が生じるPCタンク・杭基礎系を主な対象に、地盤抵抗の非線形性や杭体の曲げ剛性の変化を考慮した解析モデルを構築し、これを用いた耐震性能照査フローを提案する。

2. PCタンク・杭基礎系のプッシュオーバー解析

(1) 解析概要

解析対象は、容量 616m^3 、 $4,000\text{m}^3$ 、 $10,000\text{m}^3$ 、（内径 D /水深 H ） $=3.5$ の形状を有する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（ $\phi 700$ ，B種），杭長10m）を想定した。地盤は平均N値が9の一様なモデルを仮定している。

タンク躯体はシェル要素、杭体はファイバー要素にてモデル化した。地盤抵抗は、道示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。

常時荷重として考慮したのは、自重と静水圧である。地震荷重のうち、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、また、動水圧は、速度ポテンシャル法¹⁾により求め、側壁および底版に対して垂直に作用させる。

(2) 解析結果

図-1に示す水平震度 K_h と水平変位 δ の関係を図-2に示す。ここで、PHC杭の降伏は、最外縁のPC鋼線の降伏とする。なお、図-2に示す容量 616m^3 のタンク側壁では、 $K_h=2.0$ に達してもひび割れは生じず、弾性応答を示している。この結果、タンク容量が小さいと、タンク・杭基礎系における主たる塑性化の発生部位は杭基礎となり、逆にタンク容量が大きいと、タンク側壁の塑性化が支配的になる。これは、 D/H が3.5で容

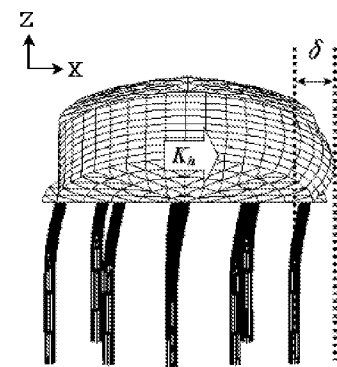
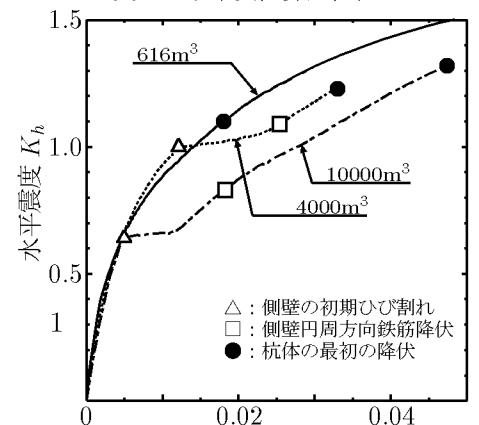


図-1 水平変位算定位置



タンク側壁中央位置の水平変位量 δ (m)

図-2 K_h - δ 関係

量が6,000～7,000m³より小さいタンクでは、側壁厚さが施工性などの要件から一定の最小厚さとなるため、側壁の耐震安全性がより高くなることに起因し、一方、それ以上の大規模タンクでは、側壁厚さが力学的な要件から決定されるため、容量の増加とともに、タンク躯体と杭基礎の耐力差が相対的に大きくなるためである。

3. PC タンク 杭基礎の耐震性能照査

(1) PC タンク 杭基礎の耐震性能照査フロー

以上の検討を基に、PC タンク 杭基礎の耐震性能照査法として、**図-3**のフローを提案する。本手法では、降伏水平震度を2次元骨組モデルのプッシュオーバー解析により算出する。ここで、2次元骨組モデルとは**図-4**に示すように、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モデルで、PC タンク 杭基礎のレベル2地震動に対する限界状態を、杭体の最初の降伏が生じる点と定義する限りにおいて有用である⁴⁾。また、作用震度の算定は、地盤を支持バネに置換したタンク躯体の線形動的解析から算出する。これは、動的解析から得られる側壁の最大応答加速度は、1自由度系の加速度応答スペクトルと全周期帯で一致しないこと²⁾、およびタンク躯体の固有周期は0.1秒程度と非常に短く、この周期帯では動的解析より得られる応答加速度の上昇域にあるため、支持バネを付加することによる長周期化がタンク躯体への作用水平震度を大きく評価する側に働く、との理由からである。

(2) 震度法に基づく PC タンク 杭基礎の耐震安全性

図-3の耐震性能照査フローを適用し、各タンク 杭基礎のプッシュオーバー解析から得られた降伏水平震度 K_{hy} とタンク躯体の動的解析から得られる作用震度 K_{hr} の関係を**図-5**に示した。この結果、タンク 杭基礎はレベル2地震動の作用に対して、前記した杭基礎の限界状態点に達することはなかった。

4. まとめ

従来、震度法でのみ耐震設計されていたタンク 杭基礎に対し、地盤や杭体の非線形性を考慮した解析モデルを基にするPCタンク・杭基礎系の耐震性能照査フローを提示した。

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) 西尾浩志，横山博司，秋山充良，小野雄司，江角真也，鈴木基行：プレストレストコンクリート製タンク側壁のレベル2地震動に対する耐震性能照査，土木学会論文集，Vol.725/V-58，pp.85-100，2003.2
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編，2002。
- 4) 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，Vol.25(投稿中)

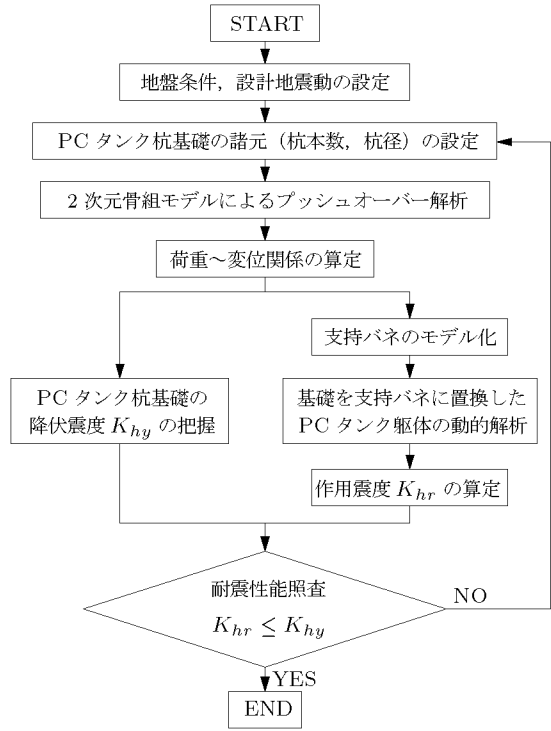
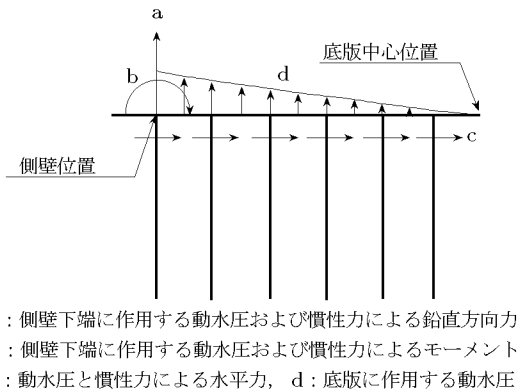


図-3 PC タンク 杭基礎の耐震性能照査フロー



a: 側壁下端に作用する動水圧および慣性力による鉛直方向力
 b: 側壁下端に作用する動水圧および慣性力によるモーメント
 c: 動水圧と慣性力による水平力， d: 底版に作用する動水圧

図-4 2次元骨組モデル

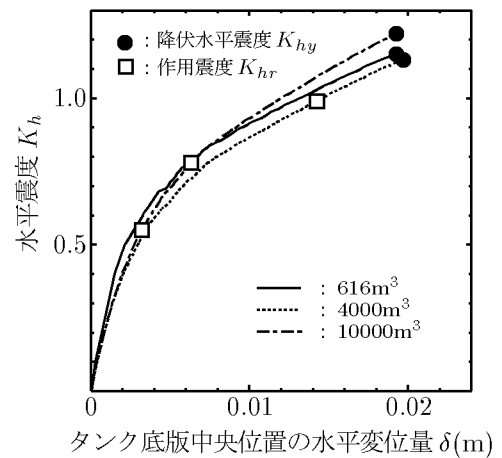


図-5 底版中心位置の K_h - δ 関係