

論文 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

小林 寛明*1 ・ 西尾 浩志*2 ・ 秋山 充良*3 ・ 鈴木 基行*4

要旨: 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(PCタンク)の時刻歴地震応答解析を行い、その耐震安全性を評価した。また、PCタンクの主たる地震荷重である動水圧による影響と等価な慣性力を与える付加質量を用いてモデル化した動的解析結果、およびエネルギー一定則に基づき簡易的に算定した円周方向応答ひずみと流体要素を用いて内容液との連成を考慮した弾塑性地震応答解析結果を比較することで、PCタンクの耐震性能照査法に関する一考察を行った。

キーワード: プレストレストコンクリート製タンク, 耐震設計, 地震応答解析, 動水圧

1. はじめに

水道用プレストレストコンクリート製タンク(以下、PCタンク)は、兵庫県南部地震後に改定された「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。このPCタンク設計施工指針では、地震動レベル2に対して、「人命に重大な被害を与えない」、および地震後の「機能保持が可能」を保有すべき耐震性能として規定している。そして、前者に対しては、円周方向の軸引張力と鉛直方向の曲げモーメントが、部材の設計断面耐力よりも小さいこと、また後者に対しては、液密性への配慮から、円周方向応答ひずみが許容残留ひび割れ幅を満足するに十分小さいことを確認する(通常は鉄筋が降伏していないことを確認)することで、その耐震性能が照査される。しかし、このように耐震設計されたPCタンクの地震応答性状に関しては、未解明な部分が多く、設計地震力、もしくはそれ以上の過大地震力が作用した場合の地震時挙動を把握しておく必要がある。なおPCタンクでは、側壁に作用する動水圧が主たる地震荷重となるため、その地震応答性

状を検討する中では、内容液と側壁の連成を反映できる解析モデルを用いなければならない。

そこで本研究ではまず、流体要素を用いることで、内容液と側壁の連成を考慮した弾塑性地震応答解析を行い、設計地震力以上の強震動を受けるPCタンクの耐震安全性を検討した。また、PCタンクの簡便な耐震性能照査法の検討として、動水圧の効果を付加質量に置換した動的解析から得られる応答値、およびエネルギー一定則に基づき算定される円周方向応答ひずみと流体要素を用いた動的解析結果を比較することで、各手法の妥当性を検証した。

2. PCタンクの非線形動的解析

2.1 解析対象PCタンク

本解析では、側壁下端が固定支持された円筒形PCタンクを対象として、その耐震安全性および耐震性能照査法に関する検討を行う。解析対象は、水道用PCタンクとして比較的規模の大きい容量10000m³を有するものであり、その概略図を図-1に示した。また、表-1には、その構造諸元を示した。表-1に示されるように、解析対象PCタンクは、(内径D) / (水深H)が3.5と大きく、また、側壁厚さがタンク内

*1 東北大学 大学院工学研究科土木工学専攻 (正会員)

*2 (株)安部工業所 東北支店長 工修(正会員)

*3 東北大学助手 大学院工学研究科土木工学専攻 工修(正会員)

*4 東北大学教授 大学院工学研究科土木工学専攻 工博(正会員)

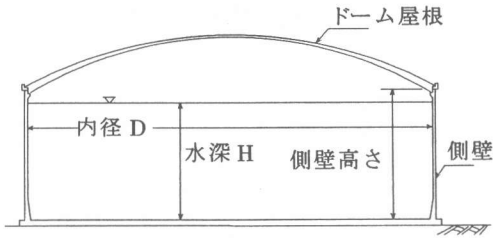


図-1 解析対称PCタンク

表-1 タンクの諸元寸法

内径	側壁高さ	D/H	容量	壁厚
35.5m	10.2m	3.5	10000m ³	0.25m

径に比べ十分に薄くなっている。このような形状を持つPCタンクは、ほぼ剛体として挙動し、地震時に作用する荷重としては、躯体慣性力よりも動水圧の荷重が支配的となることが知られている²⁾。

なお、PCタンクの側壁およびドームリングはプレストレストコンクリート構造であり、ドームリングには円周方向に、側壁には鉛直方向、円周方向ともにプレストレスが導入されている。また、屋根は鉄筋コンクリート構造である。

2.2 解析モデル

数値解析には、有限要素法を用いた。モデル化は、対称条件より、PCタンクの1/2を対象とし、側壁下端部は固定条件とした。側壁部および屋根部は、シェル要素にてモデル化し、ドーム屋根と側壁は一体化した。鉄筋およびPC鋼材は、格子状に密に配筋されていることから、有限要素モデルの中では、鉄筋およびPC鋼材ともに要素の中で平均化された鉄筋比としてモデル化した。また内容液は、流体要素によりモデル化した。なお、内容液と側壁の接触面には、自由度が相違する要素間の力の伝達を行うために、接触要素を設けている。

解析に用いたコンクリートの応力-ひずみ関係を図-2に示した。図-2に示す圧縮強度 f_{ck} は、一般的なPCタンクの設計で考慮される材

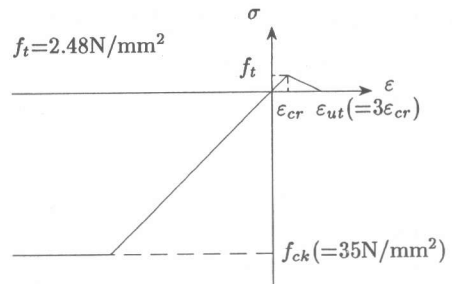


図-2 コンクリートの応力-ひずみ関係

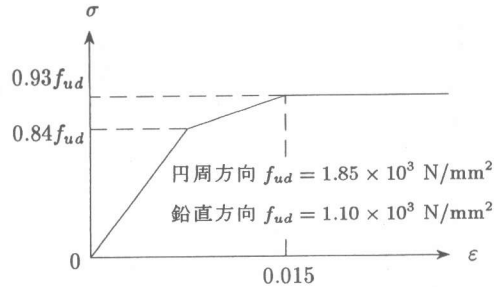


図-3 PC鋼材の応力-ひずみ関係

料強度から35 N/mm²とし、引張強度 f_t は2.48 N/mm²とした。降伏条件にはDrucker-Pragerの条件を用いた。また、コンクリートのひび割れは、主引張応力が引張強度に達した時に主引張応力方向と直角方向に一樣なひび割れが要素内に分布するものとする分布ひび割れモデルを採用している。ひび割れ後はtension stiffeningを考慮して、図-2に示されるように、ひずみ ϵ_{ut} ($=3\epsilon_{cr}$, ϵ_{cr} :引張強度に対応するひずみ)まで直線的に減少させた。なお除荷剛性は、圧縮側が初期剛性、引張側は原点指向で与えられる。

鉄筋は完全弾塑性型とし、降伏強度 f_{yd} は 3.0×10^2 N/mm²とした。また、図-3に示されるPC鋼材の応力-ひずみ関係では、引張強度 f_{ud} は円周方向 1.85×10^3 N/mm²、鉛直方向 1.10×10^3 N/mm²とし、降伏強度は $0.84 f_{ud}$ を用いた。降伏条件には鉄筋およびPC鋼材ともに、Von-Misesの条件を用いた。その他、ヤング係数などは、表-2の各値を用いた。

2.3 解析条件と入力地震波

動的解析は、直接積分による時刻歴応答解析であり、数値積分法にはNewmarkの β 法($\beta = 1/4$)