

プレストレストコンクリート製サージタンクの地震応答解析

大規模地震を想定したサージタンクの耐震性照査

Earthquake Response Analysis for Prestressed Concrete Surge Tanks

Seismic Performance Evaluation for surge tanks assuming a large-scale earthquake

(電力技術研究所 土木技術G 構築T)

(Construction Team, Civil Engineering Group, Electric Power Research and Development Center)

水力発電用構造物であるプレストレストコンクリート(PC)*製サージタンクに対し、大規模地震を想定してひび割れ発生以降の塑性領域を考慮した耐震性照査の実施事例はこれまでに示されていない。そこで、PCを考慮しつつ塑性領域においても安定した解析を行うことができる解析コードの選定と選定したコードを用いての耐震性照査を実施した。

There are no practical cases of seismic performance evaluations considering plastic regions after cracks occur due to a large-scale earthquake for surge tanks made of prestressed concrete (PC)*, which is a structure for hydroelectric power station. Therefore, we selected an analysis code that can perform stable analysis even for plastic regions taking PC into consideration, and conducted an seismic performance evaluation using the selected code.

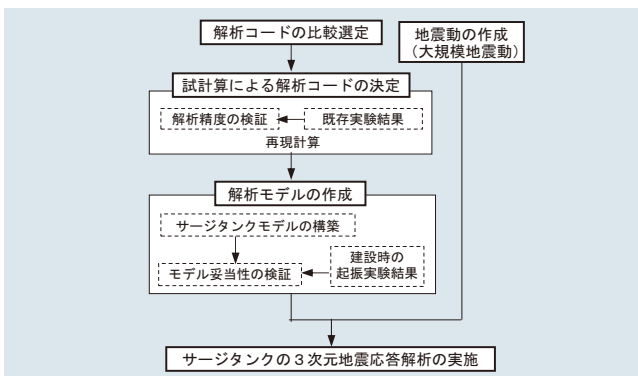
1 背景・目的

これまでサージタンクの耐震性照査は弾性領域での許容応力度法により構造物に損傷が発生しないことを確認してきたが、南海トラフ地震のような大規模地震を想定した場合には、構造物にひび割れ等の損傷が発生することが予想されるため、損傷状態を適切に評価することができる塑性領域を考慮した解析が必要である。しかし、大規模地震のような大きな繰返し荷重に対して安定した解析結果が得られる解析コードに関する知見が少なく、かつ、PC製サージタンクの解析事例はこれまでに示されていない。

そこで、市販の解析コードを用いて、コンクリート等の材料特性を弾塑性でモデル化した3次元解析を行い、解析の安定性を確認するとともに、ひび割れ発生後の挙動を適切に表現できる解析コードを見出すこととした。

2 概要

実施フローを第1図に示す。市販の解析コードの中からサージタンクの耐震性評価に活用する解析コードを見出すとともに、モデル構造物を選定して3次元地震応答解析を実施し、適用性を検証した。



第1図 実施フロー

(1) 解析コードに関する検討

サージタンクは、水路内の急激な圧力変動を抑える目的で、水力発電所導水路の末端付近に設置される設備であり、内部に貯水を有するため、地震時には水が構造物に与える影響も考慮する必要がある。そこで、構造物と水との連成機能を有する市販の解析コードの機能を比較した結果、適用可能な解析コードの数は限定されることがわかった。

適用可能な解析コードから数種類を選定して、ひび割れ発生等の塑性領域での挙動を適切に表現できるかを確認するための試算を行った。試算では、ひび割れ発生から破壊までを捉えた梁部材の載荷実験事例を文献等から3種類選出し、実験の再現計算を行った。その結果、サージタンクの解析には「DIANA」を用いることとした。

(2) 構造物の解析モデル

解析対象として、中部電力所有のサージタンクの中から、規模が大きく(地上高46.0m、外径18.8m)、地震の影響を受けやすいと考えられるサージタンクを選定した。

選定したサージタンクはPC鋼材の他にプレストレスを導入していない鉄筋も配置されている。サージタンクの外観を第2図に示す。



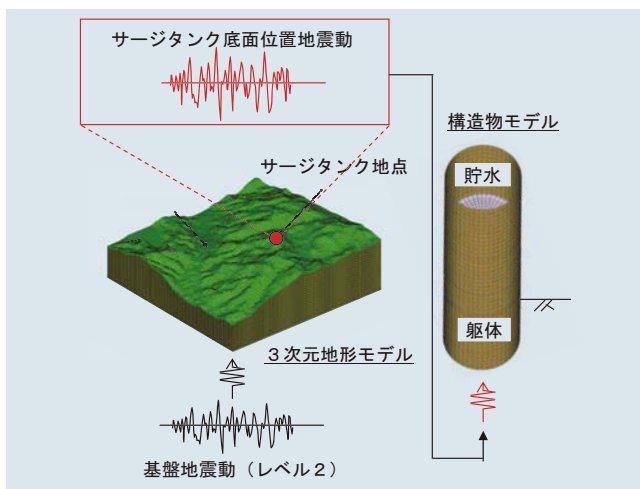
第2図 サージタンクの外観

コンクリートとコンクリート内部の鋼材(PC鋼材、鉄筋)をそれぞれ弾塑性材料としてモデル化するとともに、内部の水も流体としてモデル化した(外階段等の付属構造物は省略)。また、PC鋼材は1本ごとにプレストレスを設定してモデル化した。なお、構造物は地中部(高さ29.2m)も含めてモデル化した。作成した解析モデルの妥当性は、固有値解析を行って得られた固有振動数が、

実構造物で実際に行われた振動実験（起振実験）で得られた値と良く一致していることをもとに確認した。

(3) 入力地震動

サージタンクの地震応答解析では、構造物の解析モデルの地中部から地震動を入力する。入力する地震動は構造物の立地地点において最大級の強さを持つ地震動（レベル2地震動）であるが、サージタンクは尾根上に設置されることが多いため、地形により地震動が増幅される懸念がある。そこで、モデル構造物周辺の地形を模擬した3次元地盤応答解析を行い、サージタンク底面位置での地震動を抽出して、構造物解析用の入力地震動とした（第3図）。

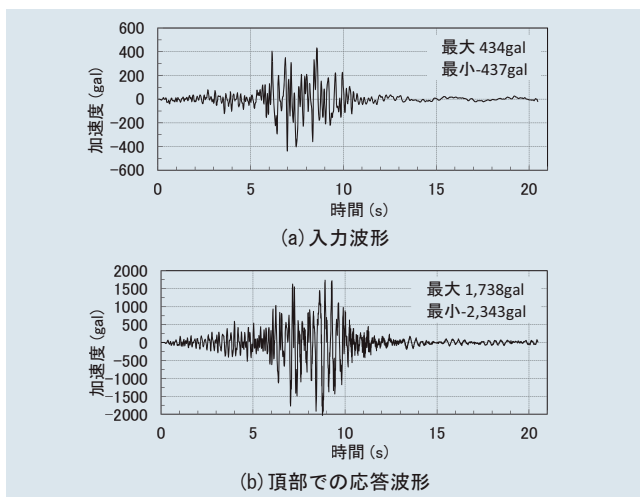


第3図 地震動のイメージ図

(4) サージタンクの3次元地震応答解析

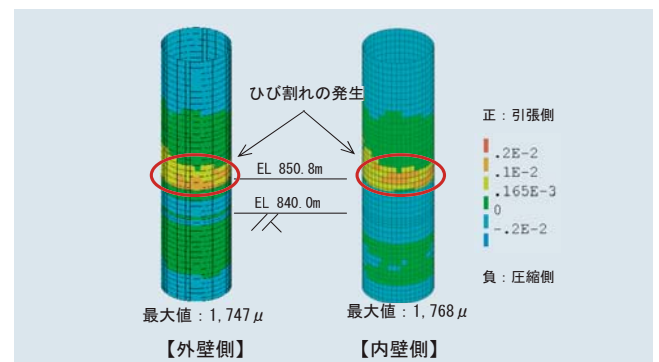
作成した解析モデルと入力地震動を用いて、サージタンクの3次元地震応答解析を実施した。

解析結果の一例として、サージタンク頂部における水平（東西）方向の応答加速度の時刻歴波形を、入力地震動の時刻歴波形と併せて第4図に示す。応答加速度の絶対値の最大は2,343galとなり、入力地震動に対して5.4倍の応答であった。

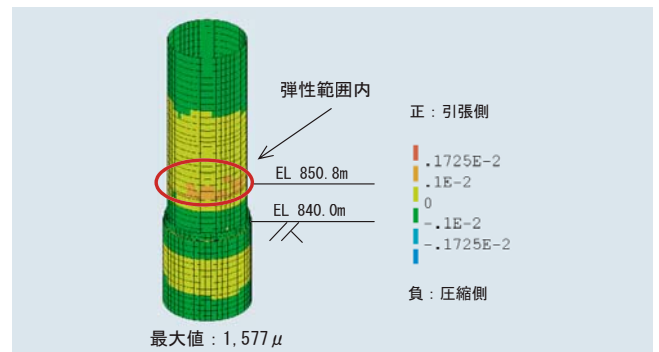


第4図 水平（東西）方向の加速度時刻歴波形

各要素で発生するひずみは、円周方向に比べて鉛直方向の方が大きい。各要素で発生するひずみの最大値（発生時刻は異なる）のうち、コンクリートの鉛直方向ひずみ分布を第5図に、鉄筋の鉛直方向ひずみ分布を第6図に示す。コンクリートの外壁側と内壁側のひずみをそれぞれ求めることができるモデルとしているため、壁厚方向のひび割れ進行状況を評価することができる。第5図より、外壁側と内壁側の両側でひび割れが発生する限界ひずみ（ 165μ ）を超過しており、側壁を貫通するひび割れが発生したといえる。一方、第6図より、鉄筋は弾性範囲内（ $1,725\mu$ 以下）にとどまっており、鋼材としての機能は維持されるといえる。また、図は省略するが、PC鋼材に発生する応力は弾性範囲内の値であった。



第5図 コンクリートの鉛直方向ひずみ分布



第6図 鉄筋の鉛直方向ひずみ分布

3 まとめ

今回、PC製サージタンクの地震応答解析に取り組み、大規模地震のような大きな繰返し荷重に対しても、安定した解析を行うことができた。ひび割れの発生や破壊に至る挙動を評価できることから、今後、同様な構造物に対する大規模地震を想定した耐震性照査への活用が期待される。

※プレストレストコンクリート（PC）

コンクリートは圧縮力には強いが引張力には弱いという特徴がある。そこで、引張力によるひび割れが発生しにくくなるように、PC鋼材等によってあらかじめ圧縮力（プレストレス）を与えたコンクリートをプレストレストコンクリートという。



執筆者／加藤誠司