

池状構造物の2次元モデルを用いた3次元効果に関する解析的検討

(株) 日中構造研究所

正会員 ○梁 生鈿

正会員 松原勝己

日中コンサルタント(株)

正会員 吉山 博

1. はじめに

水道施設の1つである池状構造物の耐震診断では、2次元モデルに基づいた検討が多い。検討断面の奥行方向にある側壁や隔壁による変形の拘束効果(以下、3次元効果と呼ぶ)を考慮し、構造物の3次元力学特性を正確に評価するために、図-1に示すモデル化手法が提示されている¹⁾。しかし、諸モデル化手法が3次元モデルに比べて不明確な一面もあるため、実務への適用には、技術者の慎重かつ適切な判断が必要であると考えられる。

本報告では、池状構造物の2次元モデルを用いて、3次元効果をより明確に表現することを目的として、バネ要素を用いて3次元効果を考慮する2次元モデル(以下提案2次元モデルと呼ぶ)を提案し、3次元モデルとの変位量と断面力の比較により、モデル化の妥当性を検討した。なお、解析には汎用FEM解析ソフトDIANA9.6²⁾を用いた。

2. 解析モデル

想定解析対象は図-2に示す池状構造物で、検討断面は奥行方向の中心位置とし、頂版がなし、ありの2ケースを計画した。図-3、図-4に解析モデルを示す。3次元モデルでは、壁と床版はシェル要素を使用した。一方、2次元モデルでは、検討断面内にある壁(以下対象壁と呼ぶ)と床版は線材の梁要素を、奥行方向の側壁はシェル要素を用いた。側壁による3次元効果について、力の伝達をより明確にシミュレートするために、梁要素とシェル要素の間にバネ要素を設けて、水平・鉛直両方向の拘束効果を考慮した。境界条件には、簡略化のため、ピン支持とした。荷重として、慣性力のみを考慮し、検討断面の水平方向に1Gの震度を与えた。部材の材料特性は、線形弾性と仮定した。バネの値は検討断面の変形が3次元モデルと一致するように調整した。

3. 解析結果および考察

図-5に頂版なしの場合の対象壁の面外変形状況を示す。比較により、2次元モデルはバネ値を調整すること

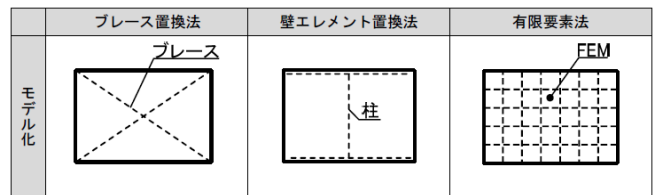
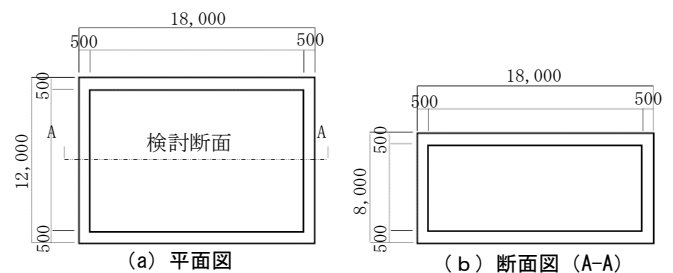
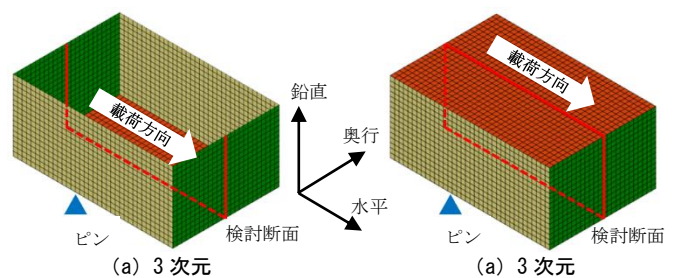
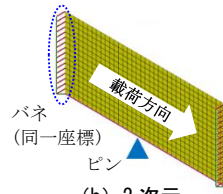
図-1 2次元モデルにおける3次元効果の考慮方法¹⁾

図-2 想定対象構造物

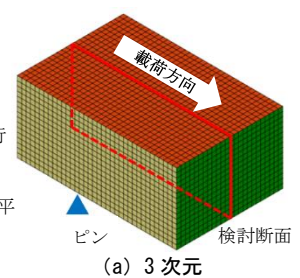


(a) 3次元

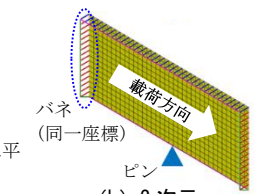


(b) 2次元

図-3 頂版なしモデル



(a) 3次元



(b) 2次元

図-4 頂版ありモデル

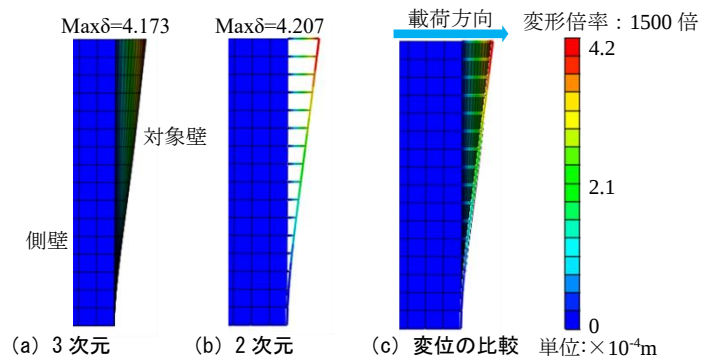


図-5 池状構造物の面外変形状況(頂版なし)

で、検討断面の変形を表現できることがわかる。また、この時点のバネ値として、水平方向は $2.2 \times 10^4 \text{ kN/m}$ 、鉛直方向は $2.0 \times 10^6 \text{ kN/m}$ であることが判明した。

キーワード 池状構造物, 耐震診断, 2次元モデル, 3次元効果, 静的解析

連絡先 〒134-0086 東京都江戸川区臨海町3-6-3 日中ビル TEL 03-3687-8945 FAX 03-3687-8977

図-6に頂版なしの場合の対象壁に対する単位奥行幅当たりの鉛直曲げモーメントの分布状況を示す。3次元モデルでは、検討断面の壁根元部に生じた最大応答曲げモーメントは $10.2\text{kN}\cdot\text{m/m}$ である。これに対して、提案2次元モデルでは、壁根元部の最大応答曲げモーメントは $9.8\text{kN}\cdot\text{m/m}$ であり、5%の誤差で一致していることがわかる。

図-7に頂版ありの場合の対象壁と頂版の面外変形状況の比較を示す。図より、頂版ありの場合においても、提案2次元モデルは3次元モデルの検討断面の変形と整合させることが可能である。適合バネ値として、対象壁部では水平方向は $2.2\times 10^4\text{kN/m}$ 、鉛直方向は $2.0\times 10^6\text{kN/m}$ であり、頂版部では水平方向は $2.0\times 10^6\text{kN/m}$ 、鉛直方向は $4.4\times 10^4\text{kN/m}$ である。

図-8に頂版ありの場合の対象壁に対する鉛直曲げモーメントの比較を示す。3次元モデルでは、検討断面の壁根元部に生じた最大応答曲げモーメントは $5.7\text{kN}\cdot\text{m/m}$ である。一方、提案2次元モデルでは、壁根元部の単位奥行幅当たりの最大応答曲げモーメントは $7.2\text{kN}\cdot\text{m/m}$ であり、約1.3倍の大きさ目の評価となっている。

以上の検討より、バネによって3次元効果を考慮する提案2次元モデルは、池状構造物の検討断面最大断面力を精度良く評価することが可能であると言える。

側壁などによる3次元拘束効果は、池状構造物の奥行方向長さの幅に対する比率（以下奥行幅比と呼ぶ）が大きいほど小さくなると考えられる。ここでは、どれぐらいの比率で、3次元拘束効果を見捨てるかの検討を試みる。本報告の頂版ありモデルを基本モデルとし、幅18mを一定にして、奥行長さを6m、18m、27m、36mに変更した3次元モデル及び提案2次元モデルの解析を行った。両モデルの変位量を合わせることで得たバネ値を表-1に示す。奥行長さの括弧内の値は奥行幅比である。より直観的に理解するため、対象壁水平バネと奥行幅比の関係を図-9に示す。図より、対象壁の面外変形に対する3次元拘束効果は、奥行長さが幅の約2倍程度以上になると、非常に小さくなり、考慮しなくても良いと推察される。

4. まとめ

提案2次元モデルは、3次元効果をバネで表現することで、部材間の力の伝達メカニズムが明確となり、池状構造物の検討断面における最大断面力を精度良く評価

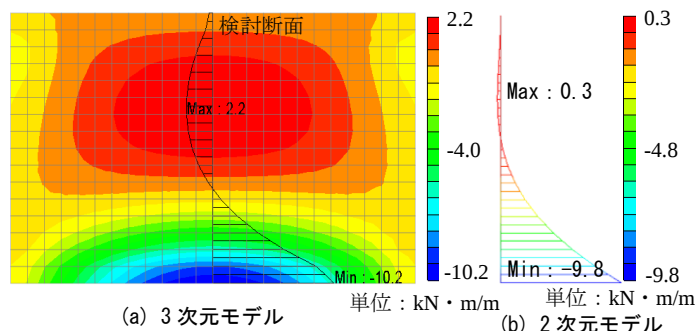


図-6 対象壁の鉛直曲げモーメント分布（頂版なし）

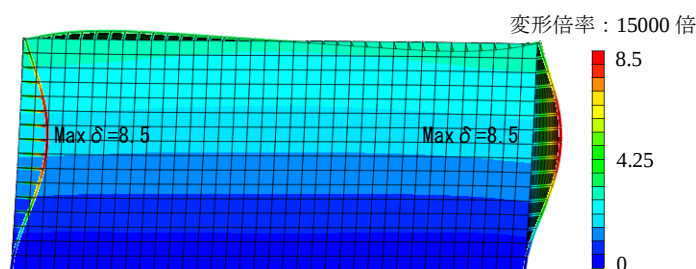


図-7 池状構造物の面外変形状況（頂版あり） 単位： $\times 10^{-5}\text{m}$

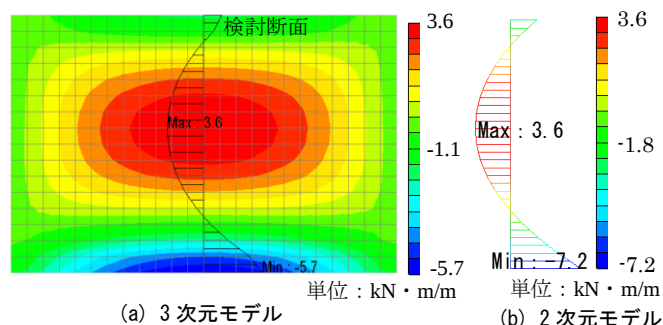


図-8 対象壁の鉛直曲げモーメント分布（頂版あり）

表-1 奥行長さを変更したバネ値（単位： kN/m ）

奥行長さ (m)	対象壁 水平バネ	対象壁 鉛直バネ	頂版 水平バネ	頂版 鉛直バネ
6 (0.33)	1.5×10^5	5.0×10^6	5.0×10^6	3.0×10^5
12 (0.67)	2.2×10^4	2.0×10^6	2.0×10^6	4.4×10^4
18 (1.0)	5.0×10^3	1.0×10^6	1.0×10^6	1.0×10^4
27 (1.5)	1.0×10^3	5.0×10^5	5.0×10^5	2.0×10^3
36 (2.0)	1.0×10^2	3.5×10^5	3.5×10^5	2.0×10^2

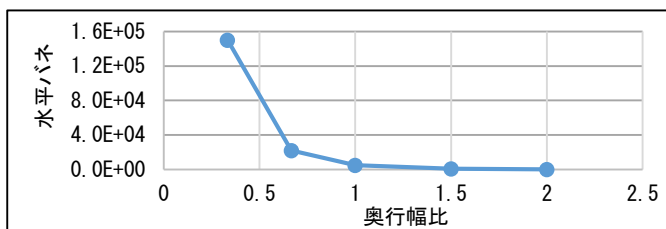


図-9 対象壁水平バネー奥行幅比の関係

することが可能である。また、奥行長さが幅の約2倍程度以上であれば、3次元拘束効果の影響が小さくなることがわかった。

参考文献

- 1) 水道施設の耐震設計入門、公益社団法人日本水道協会、平成26年12月
- 2) DIANA Foundation Expertise Center for Computational Mechanics: DIANA Finite Element Analysis User's Manual, TNO Building and Construction Research, 2014