水道施設（鉄筋コンクリート池状構造物）の耐震解析
－三次元効果の考慮方法について－

日中コンサルタント株式会社

概要

水道施設の池状構造物は、三次元解析での照査が望ましいが、実業務においては二次元解析で照査するケースも多くある。その理由としては、モデル化に高度な技術が必要なこと、解析時間と費用がかかること、版状構造物の照査方法が確立されていないことなどが挙げられる。また、地方においては技術者不足も相まって、三次元解析の定着がなかなか進まずにいる。そこで、三次元解析の挙動を二次元解析で、できるだけ忠実に表現できないかという研究が各団体（水道協会、下水道協会、国交省河川課等）で行われている。本検討では、その中から２つの手法を選定し、応答値を比較し、三次元効果が解析結果に与える影響を検討する。

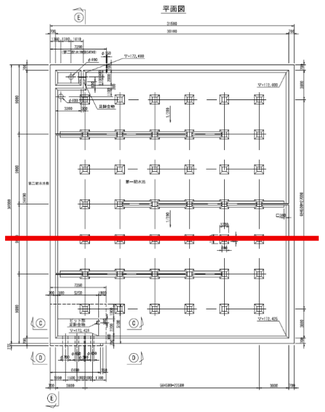
水道施設耐震工法指針・解説より仮想妻壁を設置する方法と、下水道施設の耐震対策指針と解説よりブレース置換法とを比較する。尚、仮想妻壁は中間柱で分割しない１枚壁と、中間柱で分割する７枚壁の２ケースを実施する。以上、３ケースで比較を実施した。

この検討で二次元解析の業務精度が少しでも向上し、管轄内の施設状況を速やかに把握できれば、対策や維持管理の効率も向上し国土強靭化へ向けた取り組みになることを狙いとしている。

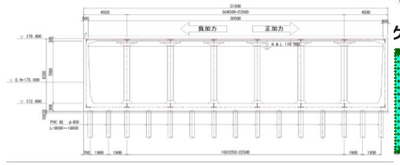
モデル図

対象となる水道施設の池状構造物の平面図、切断位置の断面図、二次元モデルの図を示す。
三次元効果の考慮方法を前述の通り３通り変更したケースを作成し、それぞれケース１～ケース３と呼称する。

【水道施設全体平面図】

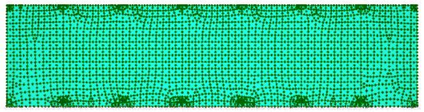


【対象断面図】

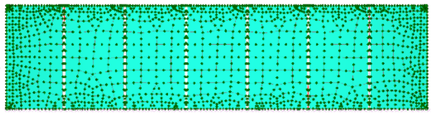


二次元モデル

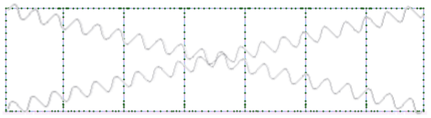
【ケース１】仮想妻壁モデル（柱と仮想妻壁との隙間なし）



ケース２】仮想妻壁モデル（柱と仮想妻壁との隙間あり）



【ケース３】ブレース置換モデル



解析条件

対象断面は柱列体の位置であり、解析モデルの奥行幅は柱間距離の 4.5m とした。

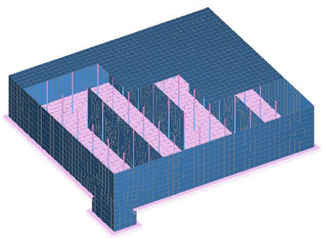
解析手法は、頂版部に水平力 10 kN/m^2 を左→右方向に漸増載荷させた静的解析とした。

三次元効果を表す仮想妻壁またはブレースの剛性は、平板要素を用いて同様の荷重を載荷した三次元モデルと、側壁の変位分布が一致するように求めた。

その他の解析条件は以下とした。

・材料強度：コンクリート σ_{ck}=24N/mm^2、鉄筋 SD295
・単位体積重量：鉄筋コンクリート 24.5kN/m^3
・梁要素モデル：非線形Ｍ－φ モデル（トリリニア非対称）

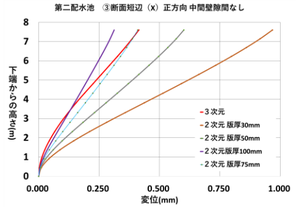
【三次元モデル】
※頂版は一部を非表示としている



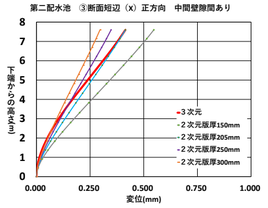
検討結果

はじめに、三次元効果を表す仮想妻壁またはブレースの剛性を算出した結果を示す。下図で赤線と最も近かった結果を採用している。

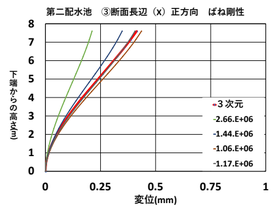
【ケース１】仮想妻壁モデル（柱と仮想妻壁との隙間なし）



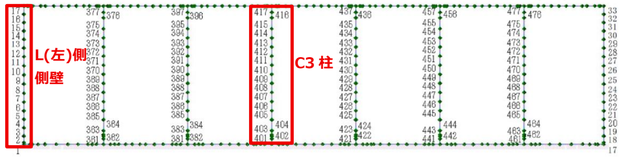
【ケース２】仮想妻壁モデル（柱と仮想妻壁との隙間あり）

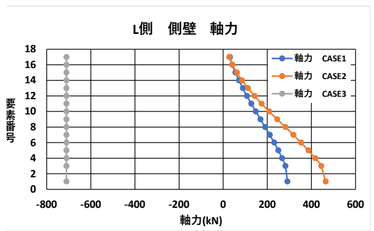


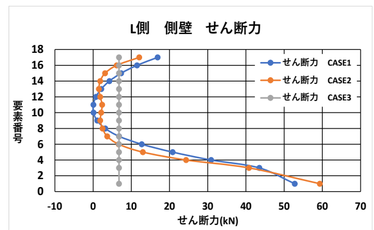
【ケース３】：ブレースモデル

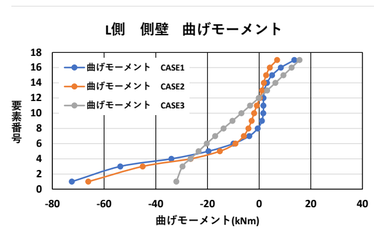


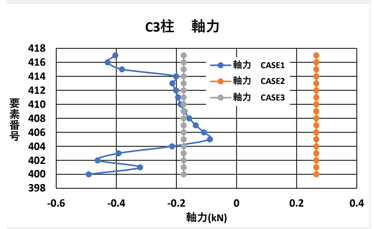
次に、各ケースの断面力の比較を示す。比較する部材は下図に示す L(左)側側壁と C3 柱の２部材とした（下図赤枠部）

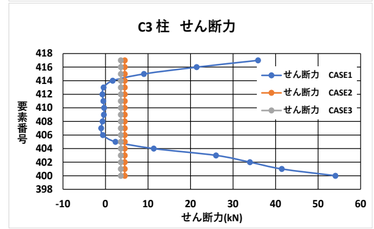


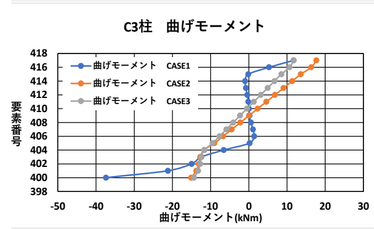












考察

仮想部材（妻壁、ブレース）の設定方法により、側壁や柱への応答値の違いが以下のように確認できた。

・①左側壁の軸力は、ケース 3 で引張力が発生しておりケース 1、2 とは傾向が大きく異なる。理由として、荷重載荷時にブレース材が引っ張られ、その引張力が側壁にそのまま伝達されていることが考えられる。
・②C3 柱のせん断力は、ケース 2 とケース 3 の値がよく合っている。理由として、ケース 2 と 3 は、妻壁と柱との相互作用がないことが考えられる。ケース 1 は妻壁と柱が拘束されており、そこでせん断力が伝達されるモデルとなっている。
・③C3 柱の曲げモーメントは、ケース 1 は他ケースと傾向が異なる。②と同様の理由で曲げモーメントの応答値が異なる結果となった。

剛性の設定方法により応答値は変化するが、それ以上に仮想部材のモデル化が影響していることがわかった。本手法は全て実業務で使用されているものであり、今後は適切なモデル化をするための検証が必要となることがわかった。検証においては、三次元動的解析結果と三次元効果を考慮した二次元動的解析との比較を提案する。その際、水道施設特有の導壁やピット（池内の深い部分）についてどのように扱うか、今後の課題として、引き続き検証を続けたい。