

国土強靱化に資するための下水道施設の合理的な耐震補強設計手法

－汚泥濃縮タンクの非線形有限要素解析－



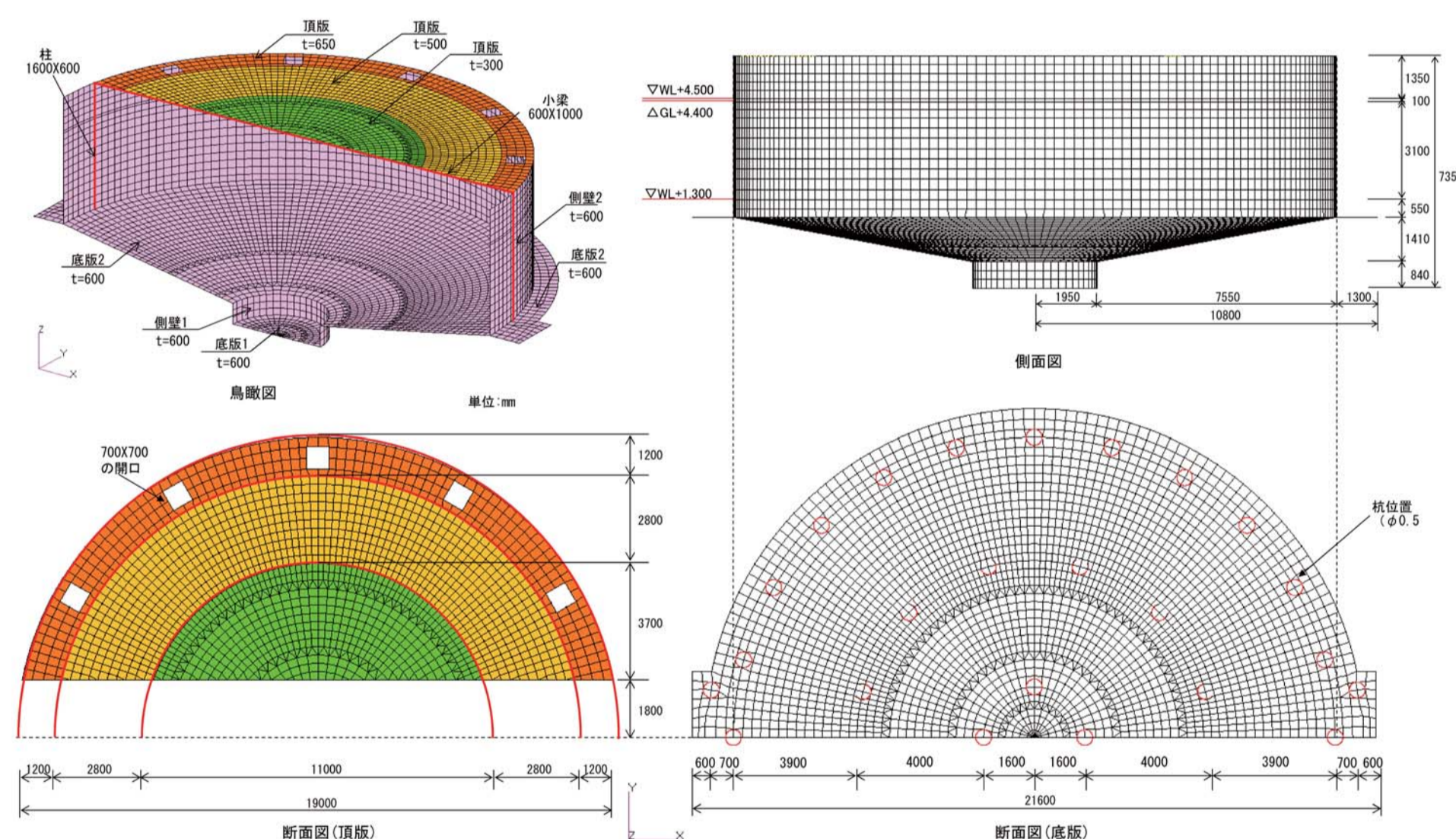
概要

現在、南海トラフ地震や首都直下地震などの大規模地震発生の切迫性が指摘され、これらの地震による被害の防止、軽減は、我が国の喫緊の課題となっている。

将来の地震に備えるにあたり、下水道施設などの社会資本は、既存ストックの有効活用という観点から、可能な限り既存施設を耐震補強して利用していく必要がある。従来の線形解析による照査では、補強箇所が多くなり、経済性との関係で補強工事ができない事例も見受けられるようになった。このような事態を避けるためには、より合理的な設計手法により補強箇所、補強量を減らし、実現可能な耐震補強を行う必要がある。シェル要素でモデル化する構造物に対して合理性を追求するためには、材料非線形を取り入れた有限要素解析を導入して、構造物のより正確な挙動を照査に用いることが有効と考えられる。

このような背景を踏まえ、下水道施設のハード対策としての「耐震補強設計」に着目し、国土強靱化に資するための下水道施設の合理的な耐震補強設計について紹介する。

検討Case



● 目的

下水道処理場内の汚泥濃縮タンクを例に取り、解析手法として非線形有限要素解析を適用することにより、耐震補強設計の合理化を図る。

● 検討内容

- Engineer's Studio® (以下、ES と言う) を用いて、非線形有限要素解析を行い、耐震性の照査を行う。
- 解析結果の妥当性確認の観点から、他の解析コード (DIANA) での結果との比較検証を行う。
- 従来の線形解析での照査との比較検証を行う。

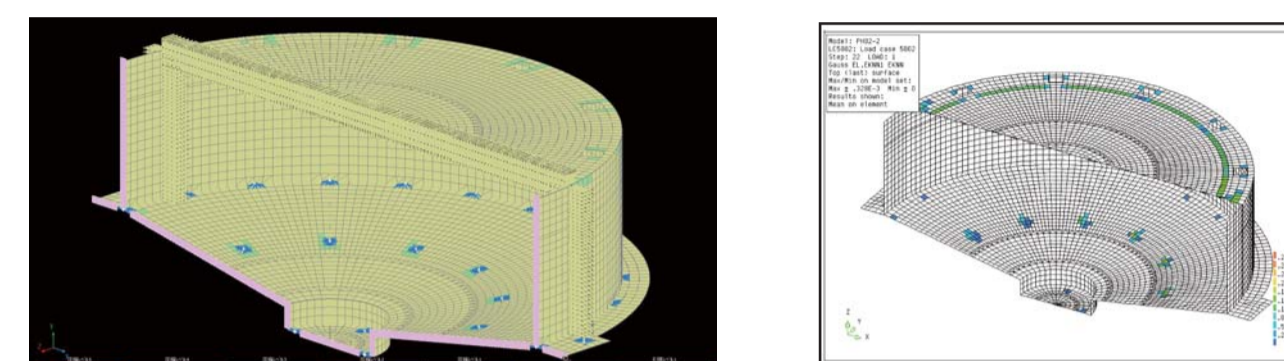
● 検討条件

- 構造：鉄筋コンクリート造
- 材料強度：コンクリート $\sigma_{ck}=21.0\text{N/mm}^2$ 、鉄筋 SD295A
- 地盤種別：II種地盤
- 解析ケース：レベル2 地震時・満水
- 設計水平震度：khf-2=0.600(地表面)
- 荷重：自重、慣性力、土圧、水圧、杭頭モーメント
- 解析手法：静的非線形解析 (プッシュオーバー解析)
- 解析モデル：頂版、壁、底版→シェル要素
柱、梁→梁要素
- 構成則：前川鉄筋コンクリート構成則

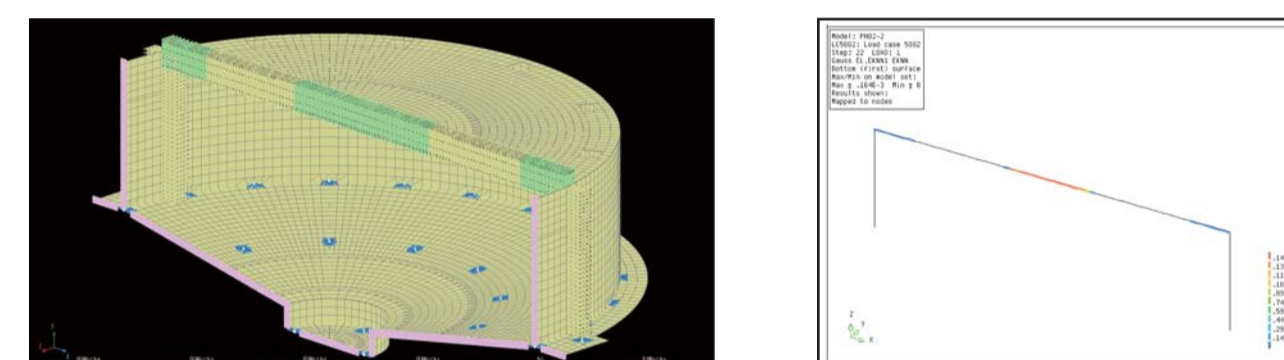
非線形解析結果

● ひずみのコンター図 (左 : ES、右 : DIANA)

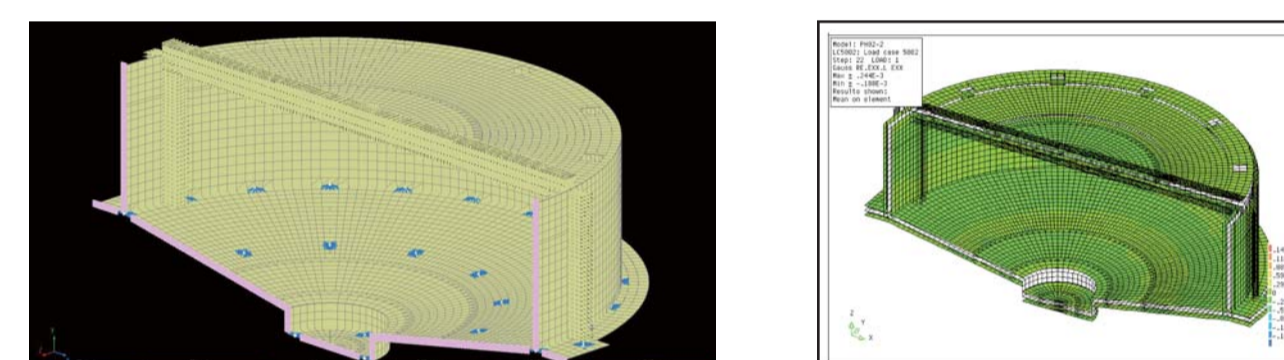
コンクリート (シェル要素)



コンクリート (梁要素)



鉄筋 (シェル要素及び梁要素)



*着色されているコンクリート要素は、ひび割れが発生している要素である。

線形解析結果

- 構造物特性係数 (Cs) を考慮し、レベル2 地震時・満水ケースに対して、限界状態設計法による耐震性の照査を行った。
- その結果、頂版、壁、底版において曲げ耐力不足及びせん断耐力不足の箇所があった。
- 梁においては、端部においてせん断破壊モードであった。
- 以上より、線形解析による照査では所要の耐震性を満足しておらず、補強が必要との判定であった。

考察

- 非線形解析において、コンクリートのひび割れは、杭と底版の結合部、頂版の開口部、及び梁の端部・中央部で発生している。
- DIANAでは頂版の剛性が変化する位置にもひび割れが生じているが、これは、解析コードの違いによる鉄筋のモデル化の影響が原因と考えられる。
- ひずみに着目すると、鉄筋の最大発生引張ひずみはESで229 μ 、DIANAで244 μ であり、鉄筋は降伏していない。
- コンクリートの最大発生圧縮ひずみは、ESで264 μ 、DIANAで265 μ であり、コンクリートのピークひずみである2000 μ に達していない。
- せん断の照査では、すべての部材の発生応力度は許容応力度以下であるため、所要の耐震性を満足している。
- ESとDIANAの結果はほぼ一致している。
- 線形解析での結果は、曲げ、せん断耐力不足及びせん断破壊モードであり、補強が必要との判定であった。
- 線形解析と非線形解析の結果の違いは、材料非線形におけるコンクリートの引張抵抗の寄与が大きいためと言える。

まとめ

- 非線形有限要素解析を適用することによって、補強量が減る可能性があり、合理的な耐震補強設計とすることができる。
- 非線形有限要素解析の結果の妥当性確認には、実験や他の解析コードの結果と比較検証を行うことが有効である。