

上下水道施設の新たな耐震診断

地盤変位に着目した地下構造物の耐震診断手法

● 現行指針の解析手法

「水道施設耐震工法指針・解説 2022年版」(公益社団法人日本水道協会)が2022年6月に改訂され、動的解析や非線形解析がより一層求められる内容となりました。池状構造物では、小規模な施設であれば静的解析も適用できるとありますが、従来のように構造物特性係数Csを0.45とせず、3次元性を考慮してCs=1.00とするか、プッシュオーバー解析により個別にCsを設定するなどは、構造物の変形特性を設計者に判断させる内容となっています。

下水道施設については「下水道施設の耐震対策指針と解説」(公益社団法人日本下水道協会)が2025年8月に改定され、新設構造物は従来どおり震度法による静的線形解析が基本となっていますが、既設構造物の耐震診断や耐震補強設計では、特定の計算法を標準に指定せず、適切な解析手法を選択することが可能となりました。これにより、実現象に近い応答を再現するために、サイト特性を考慮した動的解析や3次元解析等、高度な解析事例が増える傾向にあると考えております。

● 地下構造物の地震時挙動

構造物の構造解析は、想定される地震動を受けた際にどのような挙動となるのかを、より実現象に近い形で再現できることが望ましいと当社は考えております。公共性の高い上下水道施設の構造物は、安全であることが第一ではありますが、オーバースペックな安全すぎる構造物を作る必要はありませんし、実現象を捉えることによって適切な補強量・補強箇所を選定することで、危機耐性の配慮にも展開できると考えております。

上下水道施設には、地下階を有するポンプ施設や、水槽部分が地下に埋まっている池状構造物が多くあります。これらの地下構造物は、2次元のフレームモデル(輪切り)を震度法で解析されたものが大半です。しかし、地下部は慣性力作用よりも地盤変位による影響の方が大きいことが知られています。また、震度法の設計水平震度は、工学的基盤面から地表面までの地層構成や液状化の有無によって異なるはずです。

当社では、①当該地点におけるサイト波の影響、②液状化の進展に伴う地盤剛性の変化、③地盤変位による土圧の増減、④構造物の3次元性等を適切に評価し、構造物の設計・耐震診断等に結び付けるようにしています。

● 解析事例

地盤、構造物、護岸等の地震時挙動と構造物の3次元性を考慮した解析事例(神戸市東灘処理場第3工区ポンプ室)を紹介します。当処理場は、兵庫県南部地震の際に側方流動が発生し、導水路や水処理施設に大きな被害が生じた履歴があります。構造物(RC壁式構造)は大半が地下に埋設されているため、慣性力作用よりも地盤の挙動が支配的となり、応答変位法の適用が有効と考えられます。しかし、地盤の液状化や側方流動といった大きな地盤変位(ひずみ)が懸念され、一般的な応答変位法を適用するのは困難です。

そこで、2次元FEM動的非線形有効応力解析と3次元FEM静的形解析を組み合わせることにより、地盤-構造物-護岸の動的相互作用と、構造物の3次元効果(妻壁等による変形抑制)を考慮した耐震性能評価を行っております。

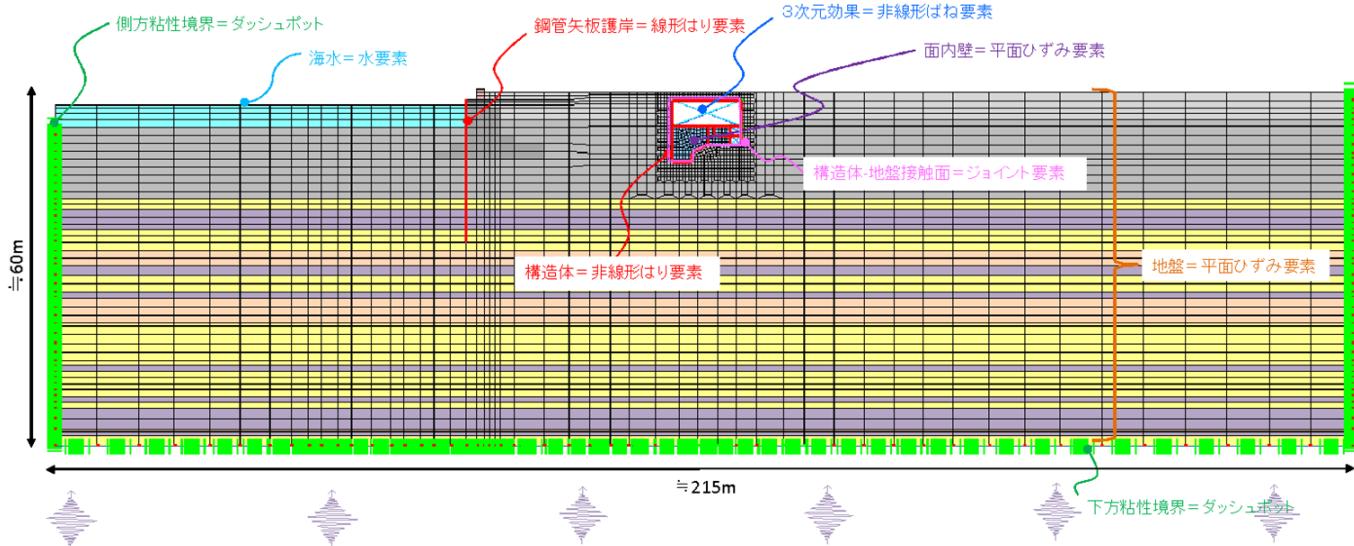


図1 2次元動的解析モデル

2次元動的解析

作成した2次元FEMモデルを図1に示します。モデル化で特徴的なのは、構造体と地盤の接触面にジョイント要素を設けていることです。ジョイント要素に生じる垂直応力は地震時土圧、せん断応力は周面摩擦力となります。ここでいう地震時土圧は、有効応力解析を用いることにより、「液状化の進展に伴う過剰間隙水圧が加算された動土圧」として抽出されます。また、構造物の加速度応答より慣性力を算出します。

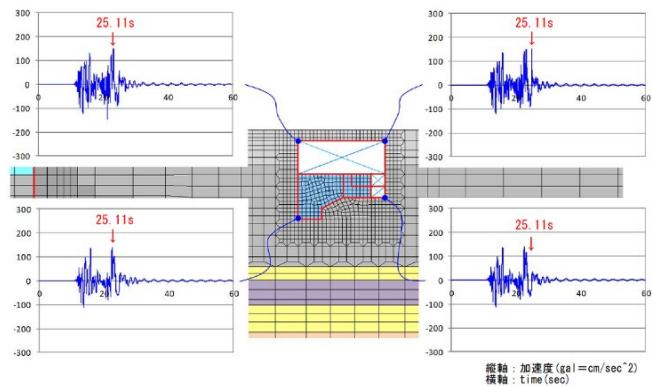


図2 応答速度時刻歴波形

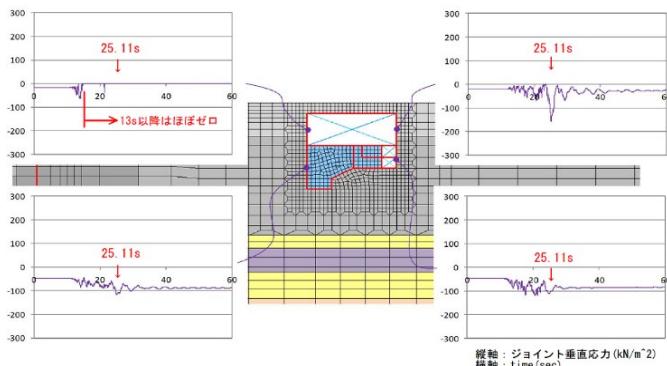


図3 ジョイント要素垂直応力時刻歴波形

3次元静的解析

2次元動的解析結果より、構造物への影響が最も大きい時刻(25.11秒)のジョイント要素応力と慣性力に加え、構造物重量、静水圧を3次元モデルに作用させます。3次元モデルは先にブッシュオーバー解析を実施しており、構造物特性係数Csは1.00相当と判断したため、線形解析を行っております。

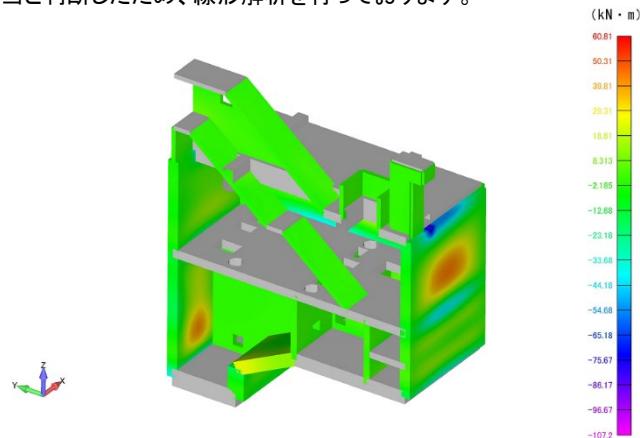


図4 3次元モデル曲げモーメントコンター図

診断結果及び解析の評価

通常の2次元静的線形解析では、本構造物にはNG部材が多数あるという評価でしたが、2次元動的解析+3次元静的解析の結果では、すべての部材が所要の耐震性を有することが確認されました(壁の下端の一部はディープビーム式を適用)。

震度法や応答変位法では、過剰間隙水圧の上昇による地震時外力や地盤剛性の軟化について評価困難ですが、本手法のように2次元動的解析と3次元静的解析を組み合わせることで、地震時の挙動を実現象に近い形で再現することができます。

このように、2次元動的解析の時刻歴の最大値や最も不利な条件を3次元モデルに静的に与え、動的相互作用と3次元効果の両方を考慮する一種の【サブストラクチャー法】といえる方法は、地下部を有し、さらに地盤変位が大きくなると想定される上下水道施設において、非常に有効な手段であると考えております。

業務実績

受注年度	発注者	業務名称
2020	佐賀県唐津市水道局	唐水浄委第7号 九里第2浄水場耐震診断業務
2020	兵庫県神戸市建設局	東灘処理場第3工区ポンプ室耐震診断業務(土木)
2021	滋賀県南部流域下水道事務所	湖西浄化センター側方流動解析業務委託
2024	愛知県西三河水道事務所	幸田浄水場構造物耐震補強(その4)設計業務委託

その他 多数の業務実績あり

