

## 液状化地盤にある浄水処理施設の耐震補強設計法

— 水道施設耐震設計における動的有効応力解析の導入例 —

大阪市水道局 正会員 ○吉澤源太郎 山野一弥 岩田晴之  
 (株)日水コン 正会員 宮本勝利 綱村篤士

## 1. はじめに

大阪市水道局では、アセットマネジメント<sup>1)</sup>に基づく経年施設の更新・耐震化を進めており、順次、既存構造物を有効活用した合理的な耐震補強整備を推進しているところである。その際、大阪市における浄水施設等の基幹施設の多くは地下水位が高く液状化しやすい軟弱地盤に構築されているため、液状化対策についても併せて講じていくことが重要な課題となっている。本稿は、こうした地盤に構築された経年施設の耐震補強手法のひとつとして、地盤の液状化による変位を一定範囲まで許容する合理的な考え方を反映した既存水道施設の耐震補強設計例を報告するものである。

## 2. 対象施設と基礎地盤

□施設概要 表-1：大阪市水道局の浄水処理施設（昭和32～34年築造）

□地盤概要 図-1：砂層(A,C,D層)・シルト質砂層(B層)と軟弱粘土層の互層

表-1 対象概要

| 対象    | 構造形態                                    |                 |                 | 水処理性能                   |                 |
|-------|-----------------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
|       | 形状寸法(外寸)                                | 構造              | 基礎形式            | 機能                      | 仕様              |
| 凝集沈澱池 | 長126m 幅97m 深6m<br>(長125m 幅22m 深6m 4池)   | RC造池状構造<br>半地下式 | 直接基礎            | 細かいフロックを薬品により凝集させ、沈澱させる | 上下迂流式<br>横流式沈澱池 |
| 砂ろ過池  | 長114m 幅37m 深5～8m<br>(長14m 幅10m 深5m 20池) | RC造池状構造<br>半地下式 | 杭基礎<br>(ヘデスタル杭) | 砂の層でろ過する                | 急速ろ過方式          |

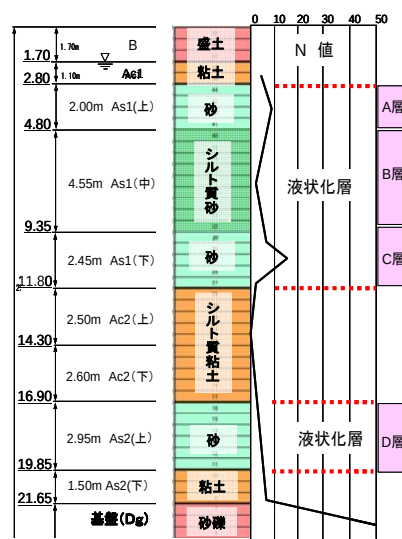


図-1 基礎地盤

## 3. 耐震補強設計に向けた解析方法

今回採用した耐震補強解析手法は図-2のとおりであり、以下のポイントからなる。

- ① 基礎地盤の液状化強度や変形特性を詳細に評価するため、各砂層に対し繰返し非排水三軸試験を行う。実験で得られた「応力-ひずみ曲線」、「有効応力経路」、「ひずみ時刻歴」が最大限再現で

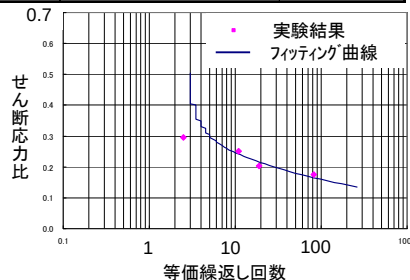


図-3 液状化強度曲線(例:B層)

きる液状化強度曲線(例:図-3)を探索し、フィッティングしたパラメータセットを用いる。

- ② 液状化による影響を解析的に把握し、地盤-構造物の相互からみた合理的な補強工法を選定していく。  
 ③ ②の適用により、地震時における地盤-構造物の塑性変形に伴う残留変位を的確に予測することが重要となることから、有効応力解析(非線形動的解析)を導入する。本設計では、液状化解析プログラムとしてLIQCA<sup>2)</sup>を使用する。

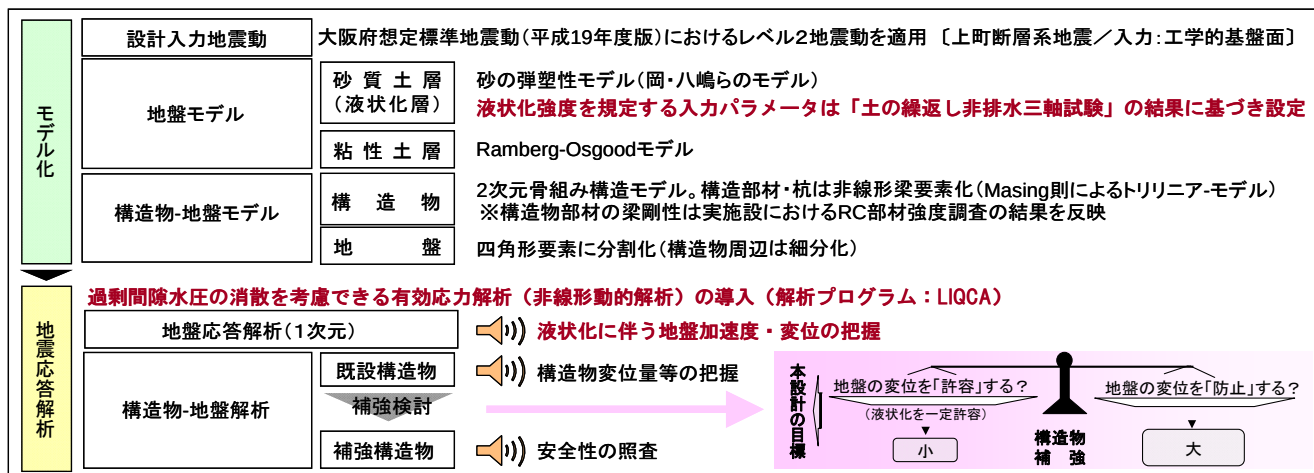


図-2 液状化地盤にある大阪市水道施設の耐震補強設計の進め方

キーワード 地盤液状化 地盤震動解析 浄水処理施設 地表付近の池状構造物 耐震補強設計  
 連絡先 〒559-8558 大阪市住之江区南港北 1-14-16 WTC ビル7階 TEL 06-6616-5522 FAX 06-6616-5529

#### 4. 耐震性能規定

耐震性能は表-2 のとおり規定した。

各構造物の連絡管に可とう性をもたせることなどで、構造物の水平変位はもとより垂直変位も一定許容することとした。

#### 5. 解析結果

##### (1) 地盤応答解析 (1 次元)

最大応答加速度が基盤面から地表付近に至るなかで半減し、最大応答値は 400～500gal 程度でとどまる結果となった。(図-4)

##### (2) 構造物-地盤の損傷・変位量の確認

既設部材の損傷範囲は、局所的にとどまる結果となった(図-5)。ろ過池においては、既設杭の破損により池部が沈下する一方で管廊部が浮上するため、周辺の土が基礎地盤中央に潜り込む現象が発生し、一定の垂直変位抑制策を講じる必要があることがわかった(図-6)。なお、本研究で用いた解析プログラムには、SRI(Selective Reduced Integration)機能がなかったため、1x1 のガウス積分を採用しており、図-6,7 に示すとおり、アワーグラスモードの発生が著しい。この点で、解析結果としては、課題を残す結果となったが、設計上安全側の誤差であると判断した。

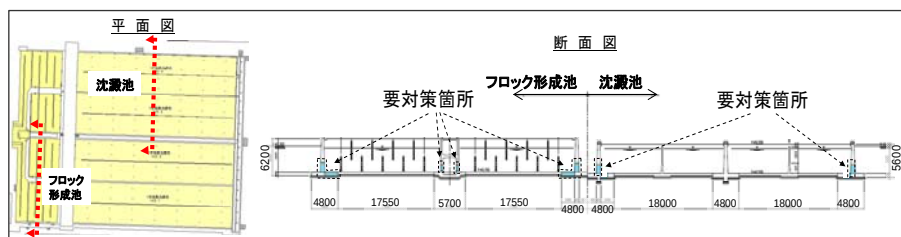


図-5 耐震診断結果例(凝集沈澱池の代表断面[短辺方向])

##### (3) 補強対策の検討

**構造** ■(2)により特定した要対策箇所：鉄筋コンクリート部材の増厚工、せん断補強筋の後打工を施す。

■既設の構造目地：剛結せず所定の伸縮継手を設置する。なお、継手性能は構造物各部材の応答変位結果に基づき選定する。

**地盤** ■沈澱池：対策の必要なし

■ろ過池：池周辺に鋼矢板等を打設する(図-7)。(液状化を一定許容)

■構造物と管渠の取り合い部：伸縮可とう管等を設置することで当該箇所の破損を回避させる。

上記工法の採用により、凝集沈澱池・砂ろ過池の土木施設改良費は、全面更新に比して約 1/2 程度のコスト縮減が図られた。

#### 6. おわりに

液状化地盤に構築された経年施設の更新・耐震化を合理的に進める設計手法として、地盤改良工法等のような液状化防止対策を用いることなく、一定範囲まで地盤変状による水道施設の変位を認めるなど、その発生を「許容」する水道施設耐震設計例を報告した。本手法の適用により、耐震化事業費の縮減にも寄与することも明らかとなった。今後は、本検討を基礎とし施工性・経済性を十分照査しながら実施設計を進めていく。

最後に、本検討を実施するにあたり、貴重なご意見をいただいた京都大学防災研究所 井合教授、三村准教授に深甚の謝意を表します。

**参考文献** 1) 北野ら：浄水施設整備へのアセットマネジメントの適用，全国大会第 64 回年次学術講演会，第VI部門  
2) 液状化解析手法 LIQCA 開発グループ (代表 岡二三生)：LIQCA2D07(2007 年公開版)資料，p. I -1- I -19, 2007.  
3) 社団法人日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説 (2009 年版)，I 総論 2.5

表-2 大阪市水道のレベル2地震における耐震性能

|               |              | 沈澱池                              | 砂ろ過池                             |
|---------------|--------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 部材損傷の<br>限界状態 | 水平方向         | 耐震性能 2 <sup>3)</sup><br>〔最大耐力以下〕 | 耐震性能 1 <sup>3)</sup><br>〔降伏耐力以下〕 |
|               | 垂直方向<br>(傾斜) | 一定許容する                           | 一定許容する                           |
| 池の変位          |              | d=50cm以下<br>(池の溢水限界)             | d=5cm以下<br>(ろ層の不陸限界)             |

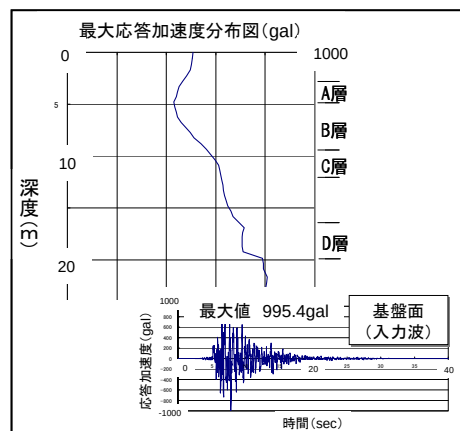
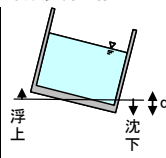


図-4 地盤応答(例:応答加速度)

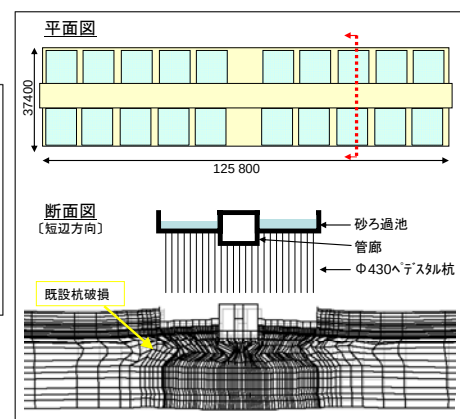


図-6 既設ろ過池の震動変形図

(上図は変形強調図であり変形量を約 15 倍で表現)

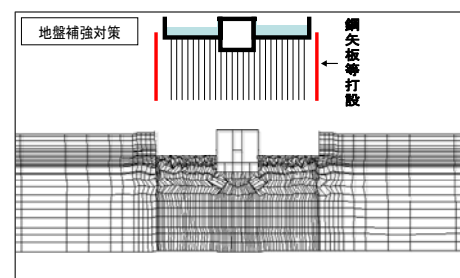


図-7 ろ過池の変位抑制策(例)

(上図は変形強調図であり変形量を約 15 倍で表現)