

地震動を受けるステンレス鋼製矩形水槽の動水圧に関する解析的研究 (その3, 大型水槽での修正震度法を用いた動水圧の検討)

森松工業株式会社 正会員 ○増井 龍也, 青木 大祐, 行田 聡
森松工業株式会社 非会員 林 健太郎

1. はじめに

配水池や浄水池などの水道施設は、水道施設耐震工法指針・解説(2009年版)の耐震性能に基づいた地震動を設定し、修正震度法による計算を行っている。ステンレス鋼板製水槽などの弾性体の場合、地震時に側壁と水の連成振動による変形を伴う動水圧の影響を受けると考えられ、前報¹⁾では、「変形圧を考慮した動水圧式(以下「 P_{nij} 式」とよぶ)²⁾を提案した。また、小型のパネルタンクを対象として、時刻歴応答解析と P_{nij} 式から求めた動水圧分布を比較した結果、 P_{nij} 式の有効性が認められた。そこで本研究では、大型の厚板矩形タンク(40 m × 17 m × 3.7 m)を対象として、時刻歴応答解析と P_{nij} 式から求めた動水圧分布を比較検討した。

2. 解析条件

解析モデルには、波板構造形式のステンレス鋼製矩形水槽を用い、固有値解析および時刻歴応答解析を実施し、側壁に生ずる動水圧を算出した。

図-1 に解析モデルを、以下に解析条件を示す。

- ① 解析モデル寸法：40 m × 17 m × 3.7 m (水深：3.2 m)
- ② 解析コード：3次元有限要素解析ソフト ADINA
- ③ 水槽材料：SUS304, SUS329J4L：2.0～6.0 mm
(SUS304:密度 7,930 kg/m³, 弾性係数 1.93×10⁵ MPa, ポアソン比 0.3, 0.2%オフセット耐力 341 N/mm²)
(SUS329J4L:密度 7,800 kg/m³, 弾性係数 1.96×10⁵ MPa, ポアソン比 0.3, 0.2%オフセット耐力 750 N/mm²)
- ④ 要素:内容水:ポテンシャル要素(密度 1,000 kg/m³)
屋根板・側壁・アニュラ板・底板・横材:シェル要素, 内部補強材:梁要素, 基礎:ソリッド要素
- ⑤ 全要素数:231,515
- ⑥ 計算ステップ:0.01 s
- ⑦ 拘束条件:水槽外周:水平方向固定, 鉛直方向自由かつ回転自由, アニュラ板と基礎スラブ:接触定義, 底板:全面固定, 基礎と地盤:バネ拘束
- ⑧ 入力:レベル2地震動を想定して, 最大加速度 15 m/s² を超える短周期型の強震波形を用いた。

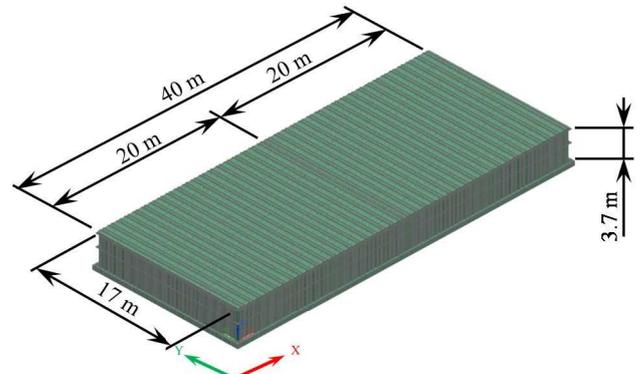


図-1 解析モデル

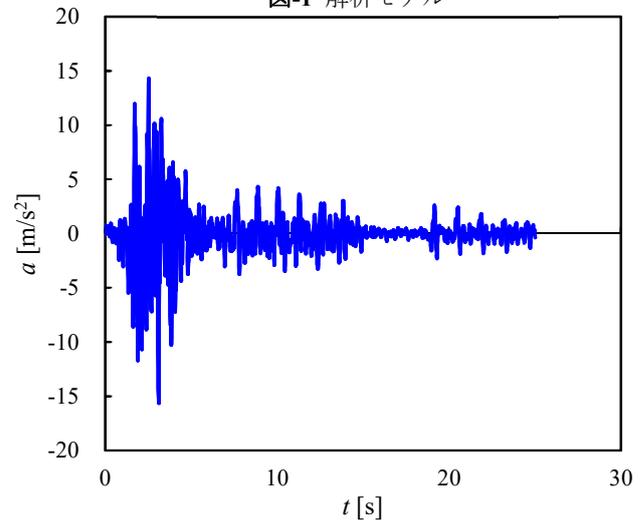


図-2 入力波形

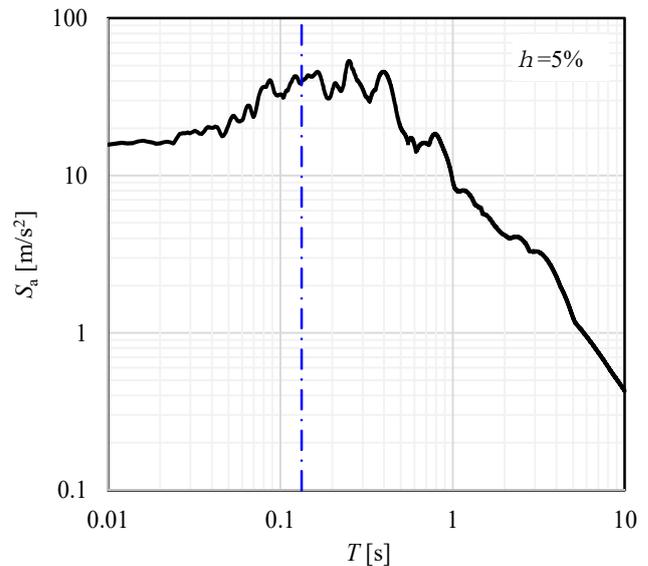


図-3 加速度応答スペクトル

図-2 に、時刻歴応答解析に用いる入力波形および図-3 に、その加速度応答スペクトルを示す。なお、加速度応答スペクトルには、後述する本解析モデルの固有周期を二点鎖線で付記した。

3. 解析結果

図-4 に、固有値解析により求めた本解析モデルのバルジング固有振動モードを示す。X 方向と Y 方向のバルジング固有振動数はそれぞれ、 $f_{nx}=7.51$ Hz (0.133 s) と $f_{ny}=7.55$ Hz (0.132 s) であり、本振動モードでの刺激係数が最も高くなる。X, Y 両方向ともに振動方向に対して水槽側壁の中央付近が外側に変形し、対称面の側壁が内側に変形するバルジング振動モードが確認される。なお、スロッシング固有振動モードは $f_{nx}=0.14$ Hz と $f_{ny}=0.16$ Hz に現れ、スロッシング固有振動数の理論解³⁾とはほぼ一致した。

固有値解析結果におけるバルジング固有振動数と加速度応答スペクトル(図-3)を照合すると応答加速度は 39.6 m/s^2 となる。修正震度法に対してはこの値を用いた。

図-5 に、X方向地震動によって側壁に加わるY方向側壁の動水圧分布について、 P_{nij} 式、Housner⁴⁾⁵⁾、時刻歴応答解析の3者の比較を示す。 P_{nij} 式から求めた動水圧分布は、Housnerの近似式から求めた動水圧分布よりも時刻歴応答解析結果の動水圧分布に近い分布となる。また、Housnerの近似式から求めた動水圧分布では、底面で最大となるが、 P_{nij} 式から求めた動水圧分布では、時刻歴応答解析で見られるバルジング固有振動モードの特徴(中央よりやや低い位置で最大水圧が現れる)を良好に再現している。以上の事から、大型ステンレス鋼製矩形水槽においても P_{nij} 式を適用できると思われる。

4. おわりに

本研究では、(その2)で提案した P_{nij} 式に対して、大型ステンレス鋼製矩形水槽にも適用可能と判断できたが、今後ケーススタディにより、 P_{nij} 式から求めた動水圧分布の傾向を把握したいと考えている。

謝辞

本研究を遂行するにあたり京都大学名誉教授・松久寛様、青山学院大学名誉教授・小林信之様、大阪府立大学名誉教授・伊藤智博様から貴重な助言をいただきました。ここに記して謝意を表します。

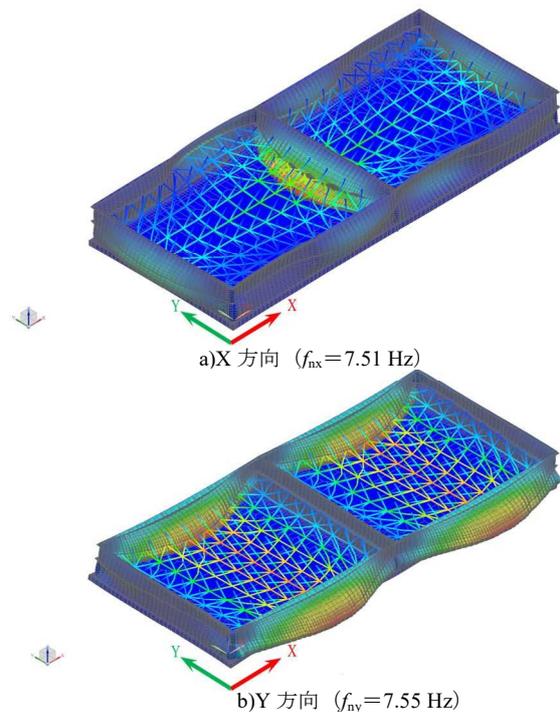


図-4 バルジング固有振動モード

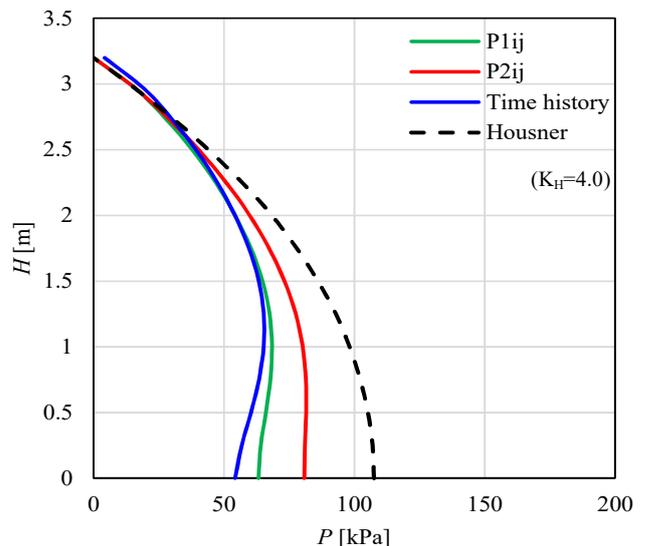


図-5 動水圧分布

参考文献

- 1) 行田聡, 増井龍也, 青木大祐: 地震動を受けるステンレス鋼製矩形水槽の動水圧に関する解析的研究(その2, 修正震度法を用いた動水圧の計算法の提案), 令和3年度土木学会中部支部研究発表会にて発表(2022年3月予定)
- 2) 小林信之, 大野卓志: 平底円筒タンクに作用する地震時動液圧の評価, 圧力技術 Vol. 59, No. 1, 15-23, 2021
- 3) 機械工学便覧 基礎編 P.α2-121 (日本機械学会)
- 4) W.Housner: Dynamic Pressures on Accelerated Fluid Containers, Bulletin of Seismological Society of America, Vol. 47, No.1, pp.15-35, 1957
- 5) G.W.Housner: The Dynamic Behavior of Water Tank, Bulletin of The Seismological Society of America, Vol. 53, No.2, pp.381-387, 1963.