

微動計測装置を用いた現地計測での貯水槽のバルジング固有振動数の推定

中央大学大学院 学生会員 ○齊藤 崇 (株) エヌ・ワイ・ケイ 正会員 小野 泰介
中央大学 正会員 平野 廣和 中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

2022年4月に改訂された水道施設耐震指針・解説2022年版(日本水道協会)で、バルジング現象について新たに設計指針として規定が追加された。これを受けて早急にバルジング現象の発生の有無に関して検討を行い、貯水槽の耐震安全性を向上させる必要がある。

本研究は、バルジング固有振動数を推定するため、微動計測装置を用いて簡易的に測定できる方法を提案する。具体的には、貯水槽の天板部に高精度のサーボ型加速度計を用いた微動計測装置を設置し、貯水槽壁面部分をプラスチックハンマーで軽く叩くことにより加速度を計測するものである。この手法の妥当性を裏付けるため、通常用いられるひずみゲージ型加速度計(以下、加速度計)を壁面に設置して加速度を同時に計測し、両者を比較する。これにより、微動計測の有用性の検討を行うものである。

2. 計測方法

2.1 計測用貯水槽

本研究において使用する水槽は、写真-1に示すステンレス製一体型水槽である。この水槽は板厚2.0mmであり壁面はコルゲート構造を有している。材質はSUS444(高純度フェライト系ステンレス鋼)を使用しており、水深1740mmまで注水して計測を行う。ステンレス製一体型水槽の諸元を表-1に示す。

2.2 微動計測装置

微動計測には、白山工業(株)製のDATAMARK JU410の一体型微動計測装置(以下、微動計)を用いる。これは高精度のサーボ型加速度計を内蔵した軽量(約3kg)の一体型であり、バッテリー駆動のため機動性を要求される計測を円滑に行うことができる。

2.2 加速度計

微動計測の妥当性を確認するため、加速度計を貯水槽壁面に取り付けての計測も同時に行う。加速度計は、(株)共和電業製の小型低容量加速度センサ変換器AS-5GBを用いる。

2.3 計測位置

微動計は、図-1(a)に示す通り貯水槽天板の中心部分(■印に示す位置)に設置する。

加速度計は、図-1(b), (c)に示す通り長辺壁面、短辺壁面の受台上から高さ900mmの位置に加速度計を1ヶ所ずつ設置し、それぞれ微動計と同時に計測する。長辺壁面の●印はy軸方向の加速度、短辺壁面の▲印はx軸方向の加速度をそれぞれ計測することを示している。また加速度計の感度方向は、貯水槽の膨らむ方向を正(+), 凹む方向を負(-)とする。

2.4 計測内容

本計測では、貯水槽の常時微動計測の他、プラスチックハンマーで貯水槽の長辺壁面、短辺壁面をそれぞれ小さく叩いたときの計測も行う。微動計および加速度



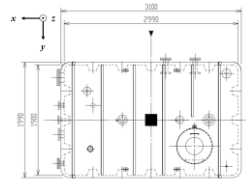
写真-1 ステンレス製一体型水槽

表-1 貯水槽諸元

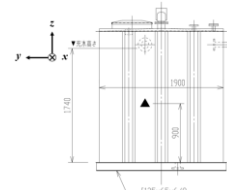
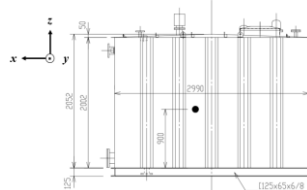
材質	SUS444
幅(mm)	1900
長さ(mm)	2990
高さ(mm)	2000
有効容量(m ³)	9.5
水位(mm)	1740
屋根板厚(mm)	2.0
側板厚(mm)	2.0
底板厚(mm)	2.0

表-2 計測条件

Test1	常時微動計測
Test2	長辺壁面を叩いた微動計測
Test3	短辺壁面を叩いた微動計測



(a) 天板(平面図)



(b) 長辺壁面(正面図) (c) 短辺壁面(右側面図)

図-1 微動計及び加速度計設置位置

計のサンプリング周波数は1000Hzとする。ここで、貯水槽の長辺方向をx軸、短辺方向をy軸、鉛直方向をz軸とし、x, y, zの加速度を計測する。微動計を天板に置いた状態で、表-2に示す3種類の計測を行う。Test1は常時微動計測、Test2は長辺壁面を軽く叩いた時の微動計測、Test3は短辺壁面を軽く叩いた時の微動計測を行う。

3. 計測結果

3.1 微動計のスペクトル解析結果

貯水槽天板の中心部に設置した微動計から得られた各計測のx, y方向の応答加速度について、スペクトル解析した結果を3種類の計測ケース毎に図-2, 3, 4に示す。ここで、計測者が貯水槽天板を歩行した振動や長辺壁面、短辺壁面を軽く叩いたことを考慮し、一定の減衰状態に移行したと判断されるところから、スペクトル解析を行っている。また、地震動の高振動数成分、特に10Hz以上の成分については、構造物の損傷に与える影響が少ないとされている²⁾ことから、本解析では20Hz以下のローパスフィルタを施している。

(1) x方向

図-2(a)から5.98Hz, 11.11Hz, 14.56Hz, 17.88Hzで、図-3(a)から14.53Hz, 17.40Hz, 18.98Hzで、図-4(a)から14.56Hz, 18.98Hzでスペクトルが卓越していることが

わかる。

いずれの計測でも 14.5Hz 付近で卓越している。また図-3(a), 4(a)から長辺壁面, 短辺壁面それぞれを軽くプラスチックハンマーで叩くと, 19.0Hz 付近にも卓越振動数が存在していることが確認できる。

(2) y 方向

図-2(b)から 8.42Hz, 14.56Hz で, 図-3(b)から 8.36Hz, 11.72Hz, 14.53Hz, 18.98Hz で, 図-4(b)から 14.56Hz, 18.98Hz でスペクトルが卓越していることがわかる。

x 方向と同様, いずれの計測でも 14.5Hz 付近で卓越している。また図-3(b), 4(b)から長辺壁面, 短辺壁面それぞれを軽くプラスチックハンマーで叩くと, 19.0Hz 付近にも卓越していることが確認できる。

3.2 加速度計のスペクトル解析結果

短辺壁面と長辺壁面に設置された加速度計から得られた計測ケース毎の応答加速度をスペクトル解析した結果を図-5, 6, 7 に示す。なお, 加速度計から得られた応答加速度は, 計測者が貯水槽天板の方向が終了し, 十分に貯水槽の振動が収まってから計測し始めているため, 加速度波形の切り取りを行わず, そのままスペクトル解析を行っている。また微動計と同様, 加速度計も 20Hz 以下のローパスフィルタを施している。

(1) 短辺壁面 (x 方向)

図-5(a)から 11.72Hz, 14.50Hz, 17.36Hz, 19.16Hz で, 図-6(a)から 11.72Hz, 14.47Hz, 17.36Hz, 18.98Hz で, 図-7(a)から 17.36Hz, 18.98Hz でスペクトルが卓越していることがわかる。

いずれの計測でも 17.3Hz 付近, 19.0Hz 付近で卓越している。また図-5(a), 6(a)から 11.7Hz 付近, 14.5Hz 付近にも卓越していることがわかる。

(2) 長辺壁面 (y 方向)

図-5(b)から 11.72Hz, 14.56Hz, 17.36Hz, 18.98Hz で, 図-6(b)から 11.72Hz, 13.82Hz, 14.56Hz, 17.36Hz, 18.98Hz で, 図-7(b)から 14.56Hz, 18.98Hz でスペクトルが卓越していることがわかる。

いずれの計測でも 14.5Hz 付近, 19.0Hz 付近で卓越している。また図-5(b), 6(b)から 11.7Hz 付近にも卓越していることがわかる。

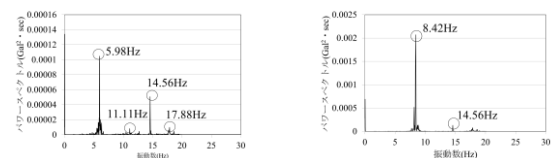
4. 微動計と加速度計による計測結果の比較

微動計と加速度計の 2 つの計測結果から, x 方向, y 方向ともに 11.7Hz 付近, 14.5Hz 付近ならびに 19.0Hz 付近に卓越振動数が存在している。これらのことから, 微動計を貯水槽天板の中心付近に設置することで, 簡易的に貯水槽の壁面の固有振動数を把握できたと考える。これにより貯水槽のバルジング固有振動数を算出できると考えられる。

ここで, 微動計の計測結果から 6Hz 付近や 8.4Hz 付近に卓越振動数が存在しているが, 加速度計ではこれらの値は存在していない。これは, 微動計を貯水槽天板に設置したため, 天板の固有振動数と考えられる。貯水槽天板を計測者が歩行した場合のスペクトル解析や有限要素解析を行った結果, 6Hz 付近や 8.4Hz 付近の振動数は天板の固有振動数であると推定されている³⁾。

5. おわりに

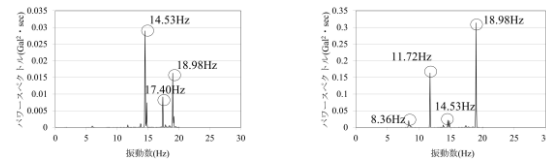
本研究では, ステンレス製一体型水槽を用いて, 貯水槽天板に設置した微動計ならびに長辺壁面, 短辺壁面にそれぞれ設置した加速度計から得られる加速度から



(a) x 方向

(b) y 方向

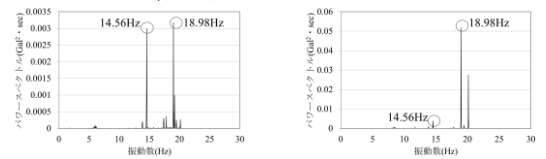
図-2 Test1 微動計によるパワースペクトル



(a) x 方向

(b) y 方向

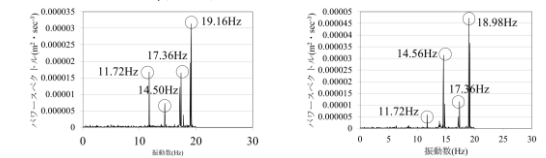
図-3 Test2 微動計によるパワースペクトル



(a) x 方向

(b) y 方向

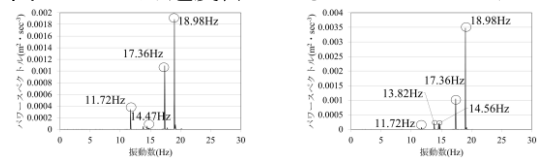
図-4 Test3 微動計によるパワースペクトル



(a) 短辺壁面 (x 方向)

(b) 長辺壁面 (y 方向)

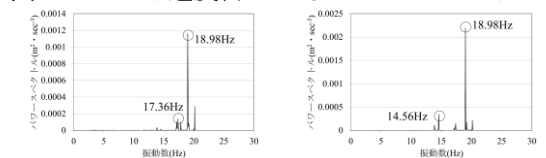
図-5 Test1 加速度計によるパワースペクトル



(a) 短辺壁面 (x 方向)

(b) 長辺壁面 (y 方向)

図-6 Test2 加速度計によるパワースペクトル



(a) 短辺壁面 (x 方向)

(b) 長辺壁面 (y 方向)

図-7 Test3 加速度計によるパワースペクトル

壁面の固有振動数を算出した。これらの計測結果の比較により, 微動計ならびに加速度計から得られる値はおおむね一致した。以上より, 本研究で提案した貯水槽の天板に微動計を設置し, プラスチックハンマーなどで壁面を軽く叩くなどの外乱を与えることで, 簡易的に貯水槽のバルジング固有振動数を求められることが確認できた。ここでの注意点は, 貯水槽天板の固有振動数を含む場合があるため, 天板に対しても外乱を与えて, 算出された値を除外してバルジング固有振動数を考える必要がある。また, 本研究で使用した貯水槽のバルジング固有振動数は, 11.7Hz 付近, 14.5Hz 付近, 19.0Hz 付近であることが確認された。

参考文献

- 1) 日本水道協会: 水道施設耐震工法・解説 2022 年版, 2022.
- 2) 落合兼寛: 原子力発電所の耐震性能を知る-震災発生後の電力安定供給のために, 日本原子力学会誌 Vol.56, No.2, pp.12-16, 2014.
- 3) 齊藤崇他: 微動計測装置を用いた貯水槽のバルジング固有振動数の推定, 土木学会 構造工学論文 Vol. 69A 2023.3 (投稿中)