

微動計測装置を用いて 10Hz 以下に着目した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工法指針・解説 2022 年版 (日本水道協会) ¹⁾ で、バルジング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。このような状況において著者らの既往の研究 ²⁾ では、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した。しかしここでは、広範囲な振動数域を扱ったためバルジング固有振動数を把握のためには、固有振動数解析などで結果を補完する必要があると結論付けている。そのため微動計測装置による単独での計測手法の確立には至っていない。

そこで本報では、計測手法の構築のために材質の異なる 2 つの貯水槽を用いてバルジング固有振動数を推定する。ここで、地震動の高振動数成分、特に 10Hz を超える成分については、構造物の損傷に与える影響が少ない³⁾ことから、10Hz以下の固有振動数に着目して本報の評価対象とする。そのため貯水槽壁面の固有振動数が 10Hz 以下となる大きさの試験用貯水槽を製作する。

具体的な計測は、貯水槽天板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、貯水槽の壁面をプラスチックハンマーで軽く叩くことによって加速度を計測するものである。これにより、材質の異なる貯水槽において、バルジング固有振動数の推定における微動計測の有用性の検討を行うものである。

2. 計測概要

2.1 計測用貯水槽

本報で使用する 2 つの貯水槽は、写真-1 に示すステンレス製一体型水槽 (以下、SUS 貯水槽) と写真-2 に示す鋼板製一体型水槽 (以下、SS400 貯水槽) である。

SUS 貯水槽は、側板厚 2.0mm であり壁面はコルゲート構造を有している。材質は SUS304 を使用しており、水深 2200mm まで注入して計測を行う。SUS 貯水槽の諸元を表-1 に示す。SS400 貯水槽は、側板厚 9.0mm である。材質は SS400 を使用しており、水深 2200mm まで注入して計測を行う。SS400 貯水槽の諸元を表-2 に示す。なお、どちらの貯水槽も、短辺方向を x 軸、長辺方向を y 軸、鉛直方向を z 軸とする。

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、高精度サーボ型加速度計を内蔵した軽量 (約 3kg) の一体型である。バッテリー駆動かつ Wi-Fi で遠隔操作が可能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。

微動計は、図-1、2 に示す通り貯水槽天板の中央付近 (■印に示す位置) に設置し、それぞれの貯水槽と同様の座標系をとり、x、y、z の加速度を計測する。また、微動計のサンプリング周波数は 1000Hz とする。



写真-1 SUS 貯水槽



写真-2 SS400 貯水槽

表-1 SUS 貯水槽諸元

材質	SUS304
幅(mm)	2000
長さ(mm)	2500
高さ(mm)	2500
有効容量(m ³)	10.5
水位(mm)	2200
天板厚(mm)	2.0
側板厚(mm)	2.0
底板厚(mm)	4.0

表-2 SS400 貯水槽諸元

材質	SS400
幅(mm)	2000
長さ(mm)	2500
高さ(mm)	2500
有効容量(m ³)	11.0
水位(mm)	2200
天板厚(mm)	3.2
側板厚(mm)	9.0
底板厚(mm)	9.0

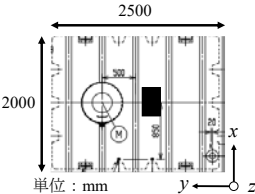


図-1 微動計設置位置 (SUS)

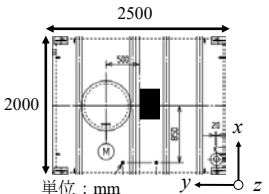


図-2 微動計設置位置 (SS400)

表-3 計測条件

Case1	常時微動計測
Case2	長辺壁面を叩いた微動計測
Case3	短辺壁面を叩いた微動計測

2.3 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それぞれの貯水槽の長辺壁面、短辺壁面を小さく叩いた時の計測も行う。微動計を天板の中央付近に設置した状態で各貯水槽に対して、表-3 に示す 3 種類の計測を行う。Case1 は常時微動計測、Case2 は長辺壁面を軽く叩いた時の微動計測、Case3 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

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、SUS 貯水槽のスペクトル解析結果を 3 種類の計測ケース毎に図-3、4、5 に示す。また、SS400 貯水槽のスペクトル解析結果を図-6、7、8 に示す。ここで、バルジング固有振動数を推定する場合、鉛直方向は壁面が膨らむ方向ではないため、z 方向のスペクトル解析結果は検討対象外とする。また、計測者が長辺壁面、短辺壁面をプラスチックハンマーで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。なお、本解析では 20Hz 以下のローパスフィルタを施している。

キーワード 微動計測, バルジング, 固有振動数, 貯水槽

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL. 03-3817-1816 Fax. 03-3817-1803

3.1 SUS 貯水槽のスペクトル解析結果

(1) x 方向

図-3(a), 4(a), 5(a)からいずれの計測でも 6.53Hz でスペクトルが卓越している。

(2) y 方向

図-3(b), 4(b), 5(b)からいずれの計測でも 5.80Hz でスペクトルが卓越している。また、図-4(b)から長辺壁面をプラスチックハンマーで軽く叩くと、9.40Hz にも卓越振動数が存在している。

(3) バルジング固有振動数

Case1～Case3 の計測結果から、SUS 貯水槽の長辺壁面のバルジング固有振動数は、6.50Hz 付近、短辺壁面のバルジング固有振動数は、5.80Hz 付近に存在していると推定できる。

3.2 SS400 貯水槽のスペクトル解析結果

(1) x 方向

図-6(a)から 5.13Hz で、図-7(a)から 4.70Hz, 5.19Hz で、図-8(a)から 4.70Hz, 5.13Hz, 9.83Hz でスペクトルが卓越しており、いずれの計測でも 5.10Hz 付近で卓越している。また、図-7(a), 8(a)から長辺壁面、短辺壁面それぞれをプラスチックハンマーで軽く叩くと、4.70Hz にも卓越振動数が存在している。

(2) y 方向

図-6(b)から 4.70Hz, 5.13Hz, 5.62Hz, 9.34Hz で、図-7(b)から 4.70Hz, 5.62Hz, 9.28Hz で、図-8(b)から 4.70Hz, 5.62Hz, 9.28Hz でスペクトルが卓越しており、いずれの計測でも 4.70Hz, 5.62Hz, 9.30Hz 付近で卓越している。

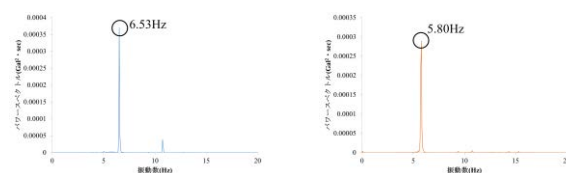
(3) バルジング固有振動数

Case1～Case3 の計測結果から、SS400 貯水槽の長辺壁面のバルジング固有振動数は、5.10Hz 付近、短辺壁面のバルジング固有振動数は、5.60Hz 付近に存在していると推定できる。また、Case2, Case3 の長辺壁面、短辺壁面それぞれをプラスチックハンマーで軽く叩くと、x 方向, y 方向どちらにも 4.70Hz に卓越振動数が存在している。これは一体型水槽のため、貯水槽全体の固有振動数である可能性が考えられる。さらに、y 方向ではすべての計測結果で 9.30Hz 付近に卓越振動数が存在している。これは 4.70Hz のほぼ 2 倍の振動数であることから倍振動数の影響を受けているものと考えられる。

4. おわりに

本報では、SUS 貯水槽と SS400 貯水槽を用いて貯水槽壁面の 10Hz 以下に着目した固有振動数を求めることで、バルジング固有振動数推定のため微動計での計測方法の有用性を評価した。これにより、形状や材質の異なる貯水槽を対象とした場合にも、既往の研究²⁾で提案した貯水槽天板の中心付近に微動計を設置し、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ることが確認できた。したがって、微動計による単独の計測手法の確立に向け、有益な結果を得た。

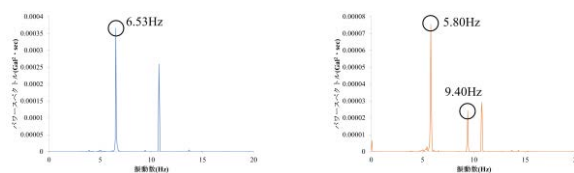
また、本報で使用した 2 種類の貯水槽のバルジング固有振動数は、長辺壁面、短辺壁面いずれも 10Hz 以下に存在している。前述の様に構造物の耐震性を扱う場合、一般に地震動の揺れは 10Hz 以下を検討する必要がある³⁾。そこで本報で使用した 2 種類の貯水槽は、バルジングを考慮する必要のある振動数域にあるので、制



(a) x 方向

(b) y 方向

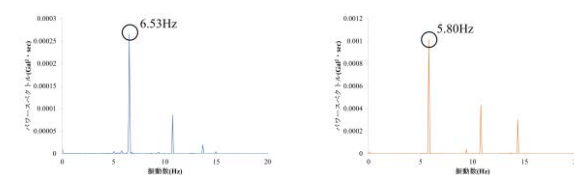
図-3 Case1 SUS 貯水槽パワースペクトル



(a) x 方向

(b) y 方向

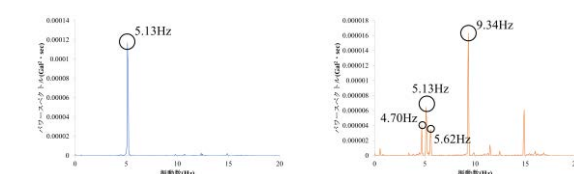
図-4 Case2 SUS 貯水槽パワースペクトル



(a) x 方向

(b) y 方向

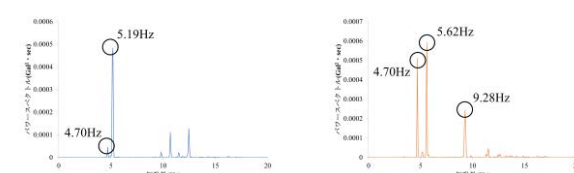
図-5 Case3 SUS 貯水槽パワースペクトル



(a) x 方向

(b) y 方向

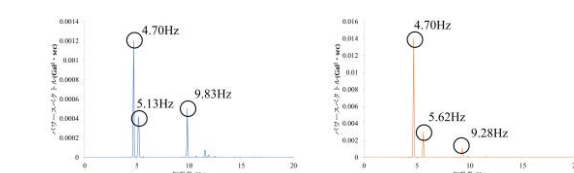
図-6 Case1 SS400 貯水槽パワースペクトル



(a) x 方向

(b) y 方向

図-7 Case2 SS400 貯水槽パワースペクトル



(a) x 方向

(b) y 方向

図-8 Case3 SS400 貯水槽パワースペクトル

振装置の取り付け等を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説 2022 年版，2022。
- 2) 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 構造工学論文集 Vol. 69A 2023。
- 3) 落合兼寛：原子力発電所の耐震性能を知る-地震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。