

実機貯水槽を対象としてのバルジング固有振動数の推定方法

中央大学大学院 学生会員 ○平井 秀 (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

地震時における貯水槽の被害の一つに、バルジング¹⁾が挙げられる。バルジングとは、短周期からやや短周期の地震動による貯水槽の壁面構造体と内容液との連成振動である。この現象により壁面下部や隅角部に損傷被害が生じ、場合によっては破損に至ることがある。しかし、バルジングに関する設計基準は、2022年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)で新たに設計基準として規定が追加されたばかりである。一方、耐震設計上必要な既存の貯水槽のバルジング固有振動数を把握する方法は、室内実験段階²⁾で微動計測装置を用い、簡易的に測定する方法で有効性が示されている。具体的には、貯水槽の天井部に微動計測装置を設置し、壁面部分を軽く叩くことで振動を計測するものである。

そこで本論は、実機ステンレス製パネルタンクを取り上げ、現地計測と有限要素解析から得られる壁面の固有振動数を算出し、両者の比較を行いバルジング固有振動数把握の有効性と汎用性を示す。そして既存貯水槽の耐震性能に関する調査や点検への適用を目指す。

2. 現地計測

2.1 対象の貯水槽

本研究は、実際に配水池に使用されているステンレス製パネルタンクを対象とする。本貯水槽は図-1に示すように中心部に仕切り板のある二槽一体型の貯水槽である。貯水槽の諸元を表-1に示す。

2.2 微動計測装置

微動計測には、(株)白山工業製の DATAMARK JU410 の一体型微動計測装置(以下、微動計)を用いる。ここでは微動計を天井に設置し、常時微動計測を行う。また、壁面をプラスチックハンマーで軽く叩き、振動を発生させたときの計測も同様に行う。これらの計測により壁面のバルジング固有振動数が求められることが示されている²⁾。

3. 微動計観測

3.1 計測位置

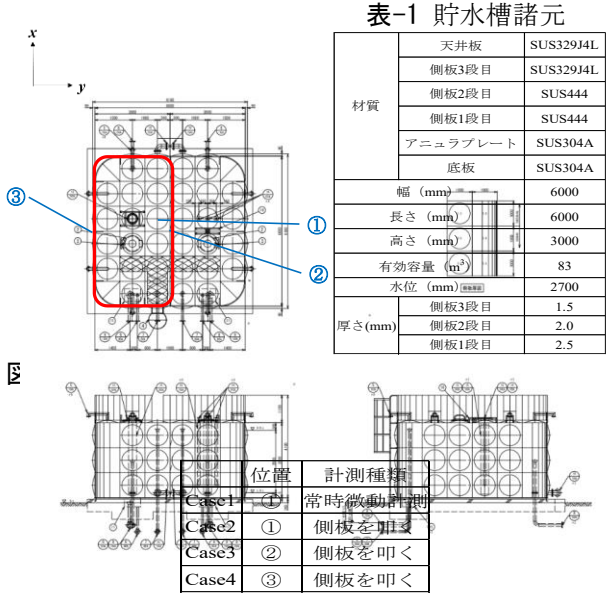
微動計設置位置は図-1に示す様に貯水槽天井の①～③の3箇所に設置する。

3.2 計測内容

本研究では貯水槽の常時微動計測に加えて、貯水槽の長辺、短辺の壁面をプラスチックハンマーで小さく叩いたときの計測も行う。微動計のサンプリング周波数は1000Hzとする。ここで貯水槽の短辺方向をx軸、長辺方向をy軸、鉛直方向をz軸とし、x、y、zの加速度を測定する。また、本研究は表-2に示す4つの条件でそれぞれ行う。

3.3 計測データの分析方法

Case2, 3, 4では計測開始後壁面を軽く叩いているた



め、一定の減衰状態に移行したと判断できる所からスペクトル解析を行う。

ところで、自然界での地震の振動数は概ね10Hz以下であり、それ以上となった場合も地震としてのエネルギーは小さいとされている³⁾。これよりバルジング固有振動数の範囲を10Hzの2倍である0~20Hzと仮定し、20Hzのローパスフィルタ処理を施し、20Hz以上は解析の対象外としている。

3.4 固有振動数の推定方法

スペクトル解析の結果からバルジング固有振動数を推定する。推定方法は以下に示す手順で行う。

- (1) Case1の計測から得られたパワースペクトルの内、最も卓越している振動数を確認する。この時、内部に配置されている補強材等の固有振動数となっている可能性があることに留意する。
- (2) Case2~4のパワースペクトル、卓越振動数をx、y方向でそれぞれ確認する。
- (3) (1)での卓越振動数と一致したものを抽出する。

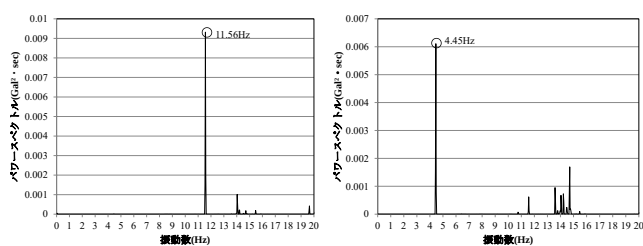
3.5 固有振動数の測定結果

計測データから算出したパワースペクトルを図-2～図-5に示す。図-2(a)より常時微動計測であるCase1よりx方向で最も卓越したのは11.56Hzである。図-3～5(a)より壁面を叩いたCase2~4においてx方向でそれぞれ共通して卓越したのは11.56Hz、11.78Hzである。

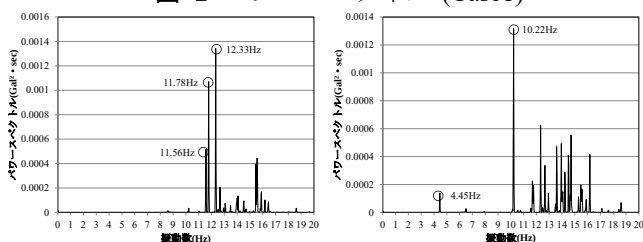
次に、図-2(b)より常時微動計測であるCase1よりy方向で卓越したのは4.45Hzである。図-3～5(b)より壁面を叩いたCase2~4においてy方向でそれぞれ共通して卓越したのは4.45Hzである。よって、短辺壁面は11~12Hz、長辺壁面は4.45Hzが固有振動数であると考えられる。

キーワード：バルジング、現地計測、固有振動数解析、微動計測、有限要素法

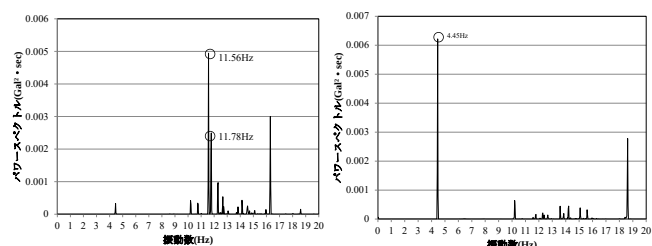
連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL. 03-3817-1816 Fax. 03-3817-1803 E-mail : a19.43mm@g.chuo-u.ac.jp



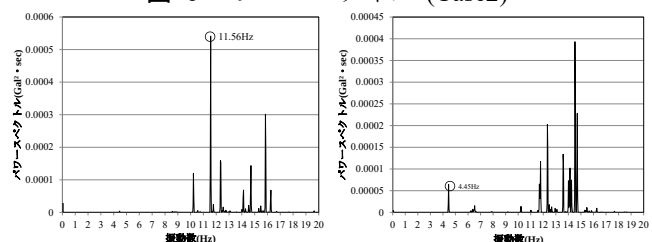
(a) x 方向 (b) y 方向
図-2 パワースペクトル (Case1)



(a) x 方向 (b) y 方向
図-4 パワースペクトル (Case3)



(a) x 方向 (b) y 方向
図-3 パワースペクトル (Case2)



(a) x 方向 (b) y 方向
図-5 パワースペクトル (Case4)

4. 固有振動数解析

4.1 解析内容

計測結果との比較を行うため、貯水槽の固有振動数解析を行う。ここでは汎用有限要素解析ソフトADINAを用いる。ADINAは流体部のみの解析と流体問題と構造問題を連成させての解析が可能である。

本解析には図-6に示すモデルを用いる。ここで貯水槽の短辺方向をx軸、長辺方向をy軸、鉛直方向をz軸とする。解析条件は、水槽部をShell要素、補強材はBeam要素、流体水面は自由水面とし、基礎方程式はポテンシャルベース3次元流体方程式を用いることで解析を実施する。拘束条件は底面周りの辺の変位と回転を固定している。固有振動数解析の範囲は0~20Hzとし、算出された刺激係数と対応するモード図によりバルジング固有振動数を推定する。

4.2 解析結果

固有振動数解析により算出された固有振動数と刺激係数を表-3に示す。また、算出された刺激係数から算出した固有振動数とそのモード図を図-7に示す。図-7(a)より12.55Hzは短辺方向に顕著なモードが発生している。図-7(b)の4.91Hzは長辺壁面に顕著なモードが発生している。以上より壁面の固有振動数は、短辺壁面は12Hz代、長辺壁面は4Hz代である可能性が高いと考えられる。

5. 計測結果と固有振動数解析の比較

微動計の計測結果から長辺壁面は4.45Hz、短辺壁面は11~12Hzに卓越振動数が存在している。一方、固有振動数解析より長辺壁面は4.91Hz、短辺壁面は12.55Hzにおいて壁面にモードが発生している。これは、本研究を行うことで壁面の固有振動数を概ね把握できたと考える。よって、本論で用いた貯水槽のバルジング固有振動数は、長辺壁面は4~5Hz、短辺壁面は11~12Hzの範囲に存在する可能性が高いと考えられる。

6. おわりに

本論では、実機ステンレス製パネルタンクを用いて計測を行い、微動計から得られる加速度から壁面の固有振動数を算出した。また、貯水槽の固有振動数解析を行い、計測結果との比較を行った。計測結果と解析

結果から、微動計測から得られる値は、固有振動数解析から得られた値と概ね一致した。以上のことから、本論で示した手法はバルジングを捉えるための新たな手法として有効であり、実務への適用も可能であると考えられる。また、本研究で用いた貯水槽のバルジング固有振動数は、長辺方向は4~5Hz、短辺方向は11~12Hzであると推定される。よって、本研究で対象とした貯水槽はバルジング発生のある可能性があり、制振装置⁴⁾などの装着を検討すべきと考えられる。

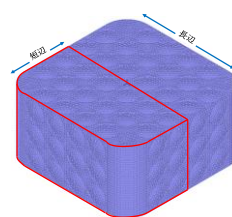
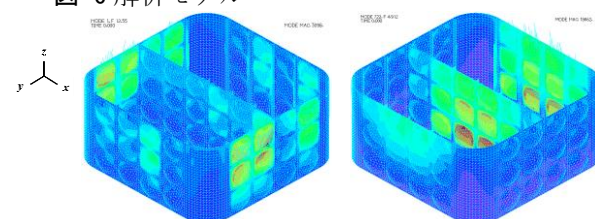


図-6 解析モデル

表-3 刺激係数

固有振動数(Hz)	刺激係数		
	x	y	z
...	...	...	...
4.82	5.18	2300.89	-19826.10
...	...	...	...
4.91	39.30	13518.40	-46.13
...	...	...	...
12.04	-116990.00	-369.68	134.99
...	...	...	...
12.55	6212510.00	768664.00	30554.30



(a) 短辺モード(12.55Hz) (b) 長辺モード(4.91Hz)

図-7 モード図

参考文献

- 1) 小野泰介:貯水槽における異なる振動現象の把握とその耐震設計に関する研究, 中央大学博士学位請求論文, 2022.3
- 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 Vol.69A 2023.3
- 3) 落合兼寛:原子力発電所の耐震性能を知る-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.1 2-16, 2014
- 4) 大野紗希他:非耐震仕様のFRP製貯水槽を用いてのバルジング特性の把握とその制振対策の検討, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.78, No.4, 2