

加振方向角の違いが貯水槽のバルジング振動に及ぼす影響について

○中央大学 学生会員 白井 航太 中央大学大学院 学生会員 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

矩形水槽は、短周期地震動により貯水槽壁面構造体と内部の流体の連成振動である。バルジング現象が発生し、様々な被害が生じている。このような被害を防ぐためにも、バルジングに対する設計基準の確立が求められている。

ところで振動台を用いての振動実験は、準備や計測に大きな時間と費用が必要であることから、できる限り短時間、低費用で行える数値解析が希求されている。渡邊ら¹⁾の縮小モデルによる振動実験と数値解析の研究では、矩形水槽を対角方向加振した時にバルジング振動にとって最も厳しい条件となると論じている。しかし、この論文では実際の変位がどの程度生じるかに関しては記されていない。そこで本報では、加振方向角を加振軸とタンク壁面が直角である場合の 0° を基本加振とし、対角方向まで 15° 毎にここで時刻歴応答解析を行う。これにより貯水槽の壁面に及ぼす流体からの影響を検討する。

2. 解析方法

本解析では、汎用有限要素法プログラム ADINA を用いて時刻歴応答解析を行う。ADINA は構造解析のみならず、構造問題や流体問題を一つのマトリクスで解く構造-流体連成解析が可能である。今回の解析対象である容器は、流体部と構造部が相互に影響するため、連成解析が可能なこのプログラムを使用する。

解析対象の貯水槽は $3000 \times 3000 \times 3000 \text{mm}$ の写真-1 に示す通りのステンレス製パネルタンク(以下 SUS タンク)である。このタンクは、土木学会地震工学委員会水循環 NW 災害軽減対策研究小委員会 TF(2013~2017 年度設置、主査:坂井藤一氏)(以下、TF とする)の活動において日本ステンレス工業会から図面が提示された。これを基に TF で検討されると共に、佐久間ら²⁾が振動実験を行ったものである。なお、このタンクは通常市販されているものと比べ板厚が全て一段階厚くなっている。内部構造は、タンク内部に SUS 製の形鋼で補強材が構成されたジャングルジムのように入り組んだ構造となっている。ここで特筆すべきことは、壁面の板厚が薄いのでこの部分の剛性が低いことから補強材との間で大きな剛性差を有すること、さらに全溶接構造なので溶接長が長いなどの特徴を有している。以上のタンクの諸元を表-1 に示す。

3. 時刻歴応答解析

解析手順は、竹本³⁾らの研究を基に次の様に行う。

- ① 固有値解析を行い、固有振動数の推定を行う。
 - ② 水を入れた状態における静的解析を実施する。
- ここでは構造-流体の連成解析を行う場合、自重の釣り合い計算を行い、この結果を時刻歴応答解析の初期条件とする。
- ③ 動的解析を実施する。



写真-1 解析対象 SUS タンク

表-1 SUS タンクの諸元

材質		SUS304	
高さH[mm]		3000	
幅L[mm]		3000	
奥行きD[mm]		3000	
水位[mm]		2700	
板厚[mm]	側板	1段目	2.5
		2段目	2.0
		3段目	1.5
	天井版		1.5
	底板		3.0

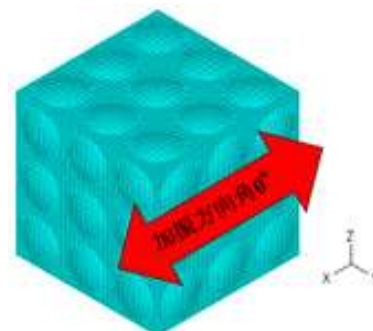


図-1 加振方向(方向角 0° 時)

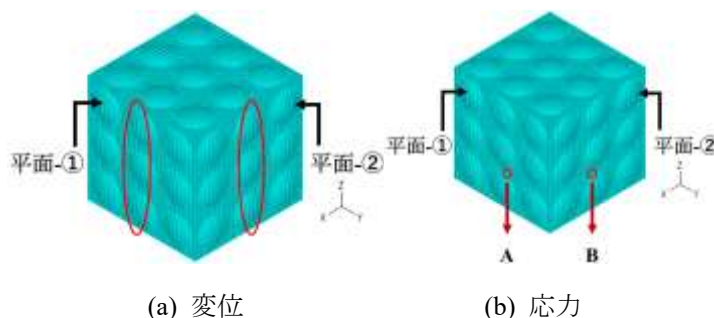


図-2 各項目の測定位置

キーワード: SUS タンク バルジング 加振方向角

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

時刻歴応答解析では、外力として加速度を入力することにより、変位を算出する。境界条件として、水槽底部 4 辺の変位・回転を拘束し、流体の水面を自由水面とする。またメッシュを作成する際は、タンクと流体との接点接合を行わないことにより、滑らかに液面挙動が起こるように配慮する。本研究では固有振動数解析により得られた、本 SUS タンクのバルジング固有振動数である、4.77Hz の正弦波を振幅 3.9mm、波数 20 波を入力加速度として加振する。なおこの加速度は 350gal 程度であり、震度 6 弱相当である。

加振方向角は x 軸正方向を 0° とし $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ の 4 方向に分けて解析を行う。図-1 に作成したモデルと共に加振方向角 0° 時の加振方向を示す。また、タンク部に非線形問題に適用しやすいとされる Rayleigh 減衰 C を付加することで、減衰を付与している。

4. 解析結果

時刻歴応答解析結果から変位、応力を算出し、測定位置を図-2 に示す。 x 軸方向に対して垂直な平面を平面-①、 y 軸方向に対して垂直な平面を平面-②とする。変位は、図-2(a)の図中に示した範囲において高さ 500mm, 1500mm, 2500mm の 3 点で求める。応力についてはミーゼス応力を採用する。平面-①で応力が最大値となる A 点で、平面-②で最大となる B 点で比較を行う。なお B 点は A 点と隅角部を挟んで対称の位置関係である。図-2(b)の図中に応力の取得位置を示す。

各平面での壁面最大応答変位を図-3, 4 に示す。図-3, 4 より加振方向角を大きくするにつれて平面-①では変位が小さくなっていくのに対し、平面-②では変位が大きくなっている。これは平面-①の変位が平面-②に分散されていると考えられる。また最も変位が大きくなったのは、加振方向角 0° 時の平面-①、高さ 1500mm の点である。これより変位量で比較した時、加振方向角 0° の時にバルジングによる影響が強く出ると考えられる。対角方向加振時が最も影響が出ると論じていた渡邊ら¹⁾の研究とは異なる結果が得られている。次に、壁面最大応力発生点を図-5 に示す。図-5 から加振方向角 0° 時に平面-①の A 点において、最も応力が大きくなり、変位と同様の結果が得られた。図-6 に加振方向角 0° 時の平面-①における応力コンター図を示す。

5. おわりに

本報では加振方向角を変えて時刻歴応答解析を行い各平面における変位と応力を確認した。加振方向角 0° の時に平面-①の変位、応力が最大値をとりバルジングによる影響が最も強く出た。以上のことからバルジングで最も厳しい条件となるのは加振方向角が 0° の時と考える。渡邊ら¹⁾の研究とは異なる結論が得られた。本報では正弦波を用いて時刻歴応答解析を実施したが、実際の地震波を用いて解析を行い比較・検討することを今後の研究課題とする。

参考文献

- 1) 渡邊尚彦他:加振方向角が矩形タンクバルジング応答に及ぼす影響に関する実験的研究 JSCE 令和 3 年度土木学会全国大会第 76 回年次学術講演会 I-271

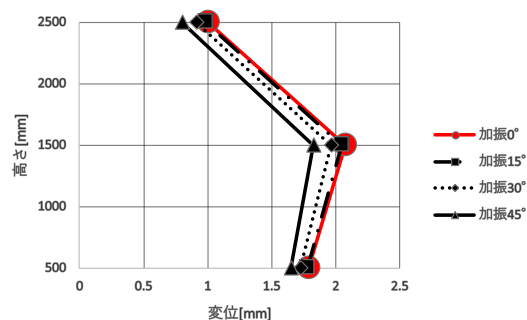


図-3 加振方向角別の壁面最大応答変位(平面-①)

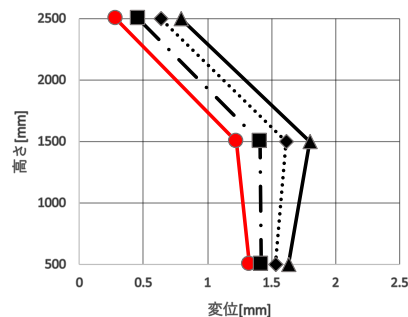


図-4 加振方向角別の壁面最大応答変位(平面-②)

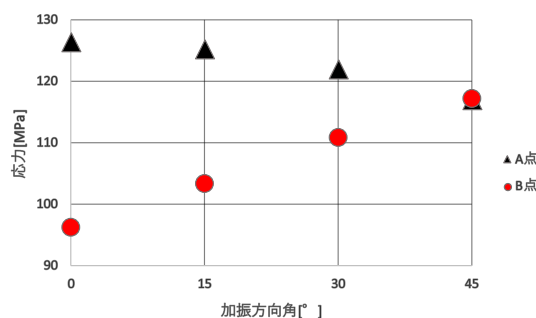


図-5 壁面最大応力発生点

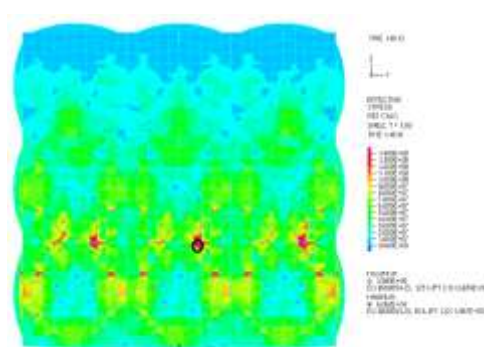


図-6 加振方向角 0° 時の平面-①における応力コンター図

- 2) 佐久間真輝他: パネル接合部の損傷に着目したステンレス鋼製パネルタンクの強度の検討 平成 30 年度土木学会中部支部研究発表会, 2019.3
- 3) 竹本純平他: ステンレス製パネルタンクの流体と構造を連成しての時刻歴応答解析 土木学会論文集 A2(応用力学) 2020 年 76 巻 2 号 p.I_153-I_162