矩形水槽へのハンマリング試験とバルジング現象の関連性の検証

○中央大学 学生員 志賀典親 中央大学 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

加速度計a

1. はじめに

東日本大震災では,貯水タンクの破損により避難 所での水の供給が困難になる事例が発生した. 熊本 地震でも同様の被害が発生しており, 地震時の貯水 タンクの損傷を防ぐ対策が必要である.タンクの破 損は,主にタンクの天井や上部を損傷するスロッシ ング現象と、タンク中央部以下の壁面や隅角部を損 傷するバルジング現象の二つの現象によるものと考 えられる.前者は液面揺動による挙動で,固有の振動 数で地震が発生した際に挙動が大きくなる.後者は タンクの壁面と液体が連成して振動する挙動である. 我々の研究グループでは今までにスロッシング現象 の動的解析 1)や減衰装置の開発などを行ってきた.ま た,バルジング現象に関しては,塩野谷の研究2)で,剛 性の低いFRP 製タンクや SUS 製タンクはバルジング の発生周波数が低く,通常の地震でも発生する可能 性が高いことや,バルジング現象が発生する周波数 に幅があること等を明らかにしている.しかし,未だ 具体的な解決策が見つかっていない.

そこで本研究では、板厚 3mm のアクリル製矩形 水槽模型を用い,バルジング現象の基本的なメカニ ズムの解明を目的とした振動実験を行う.また,振動 実験に加え,共振周波数を測定するためのハンマリ ング試験を行う.

2. ハンマリング試験の概要

水槽の壁面の共振周波数を測定することを目的と し,プラスチックハンマーを用いたハンマリング試 験を行う.水槽のアクリル板の板厚は最大で 0.3mm 程の誤差を許容しているので,打撃加振する面を変 えることで共振周波数が異なる可能性がある.その ため水槽の全ての面に対し打撃加振を行う.図-1(a) の矢印の加振位置①-④に水槽半分の高さで打撃加 振し,面1と面2の中心位置に加速度計 a,b を設置す る. また, 図-1(b) に水槽の加振位置と各面の位置関 係の定義を示す.例を挙げると,加振位置③の場合に は面1が背面,面3が正面,面2と面4が側面となる. なお,水槽の固定条件は振動実験と同様である.

正確な共振振動数を求めるため一回の計測におい て3回の打撃加振を行い、得られた加速度データに対 してパワースペクトル解析を行う.また,解析結果は 図-2 の通り,加振位置に対して正面または背面のデ ータは実線,側面のデータは破線で示す.

振動実験の概要

振動実験では壁面変位の測定にレーザー変位計 (以下,変位計)を二台使用する.振動実験の状況は写 真-1に示す.図-3の通り,変位計は二台とも振動台の

加 速 背面 度計 面1 b 面2 面4 (____(4) 側 側 面 (2)□ 面 面3 正面 水槽 11 水槽 (a) 打擊加振位置 (b) 各面の位置関係の定義 図-1 ハンマリング試験の位置関係の上面図 加 加速度計a 加 加速度計a 速 度 速 計 度 b 計 b =4 2 水槽 3 水槽 (a) 加振位置①③の場合 (b) 加振位置②④の場合 図-2 ハンマリング試験の結果の見方



表-1 実験条件

アクリル水槽	外寸[mm]	$450\!\times\!450\!\times\!450$
	厚み[mm]	3
	水位[mm]	405
振動台	入力加速度[m/s²]	3.5
	入力波数[波]	50
	入力波形	正弦波
	入力振動数[Hz]	$7 \sim \! 15$
レーザー変位計	サンプリング周波数[Hz]	1000
	測定単位[mm]	0.08

外に取り付け、それぞれ振動台と壁面の変位を測定 する.壁面の応答値と振動台の応答値の差で,壁面の 変形量を求める. 振動実験の実験条件を表-1 にまと める.変位は,壁面外側方向を正,内側方向を負とす る.また,壁面の最大変位を集計する際には,水を入 れる前の状態を 0.00mm の基準とし、加振前の状態 で静水圧により壁面が膨らむ分の+5.51mm を最大変 位の値に含める補正を行う.

キーワード: バルジング,ハンマリング試験,貯水タンク,アクリル製矩形水槽 連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学 TEL03-3817-1816

写真-1 振動実験の状況

4. 実験結果

4.1 ハンマリング試験の結果

ハンマリング試験による加振位置③の3波分の時 刻歴応答加速度は、図-4(a)のようになる.このとき の背面の加速度データのみをパワースペクトル解析 した結果が図-4(b)である.これによると図中の矢印 で示した 10-17Hz 付近でスペクトルに幅を持ってい ることがわかる.

図-5 には,全ての加振位置のスペクトル解析結果 を示す.各加振位置の解析結果の右上の図は,加振位 置と加速度計の位置関係を示している.図-5 におけ る特徴は、どの加振位置の結果においても、12.5Hz付 近と14.7Hz付近に二つのピークを持っている点であ る.また,破線で示す側面の加速度データのスペクト ルでは、12.5Hz 付近のピークに比べて 14.7Hz 付近の ピークがより大きくなるという傾向がある.

4.2 振動実験の結果

振動実験において,12Hz 付近でバルジング現象と 思われる挙動を示している.図-6(a)は、12Hzの強制 加振による壁面と振動台の時刻歴応答変位であり, 二つの変位の差により壁面の板厚方向の変形量を求 めたものが図-6(b)である. 振動数ごとの壁面の最大 変位を求めたものを図-7に示す.ここで,壁面の変形 量は振動開始直後と終了直前で値が過度に増幅する ことがあったため,初めと終わりの 10 波を除いた変 形量の最大値と最小値を,壁面変位の最大値とする. 図-7 において最大変位の差が大きい 10-14Hz の振動 数帯を矢印で強調した.

4.3 考察

塩野谷らの実機貯水槽を用いた研究 2)によりバル ジング現象は、発生周波数に幅を持つことが指摘さ れている、アクリル水槽を用いた模型実験である本 研究においても,図-7の矢印の範囲で振幅が明らか に増幅しているため、この周波数帯付近でバルジン グ現象が発生したと推測できる.また,図-4(b)の矢 印は、ハンマリング試験の共振周波数がバルジング 現象と同じく周波数に幅を持つことを示している. ここで, 図-4(b)と図-7の矢印により, ハンマリング 試験の共振周波数を振動実験の結果と比較すると. やや高周波側まで及んでいるが,バルジング周波数 帯に近いことが確認できる.

5.おわりに

本研究により矩形水槽のバルジング周波数を概算 する上で,ハンマリング試験が有効である可能性が 高いことが示唆される.しかし,模型実験での結果で あるため,ハンマーでの振動が伝わりにくい実機で の試験が有効であるか定かではなく、試験方法に工 夫が要されることが予想される.

また,ハンマリング試験では,スペクトルに二つの ピークを持つこと,側面のデータでは二つのピーク のうちの高周波側のピークがより大きなものとなる ことが判明した.この特徴と傾向の原因を今後検討 していく.



- 参考文献
- 1) 因和樹:数値流体解析による FRP 製貯水タンクにお けるスロッシング解析,第43回土木学会関東支部 論文集,2016.3.
- 2) 塩野谷遼:実機貯水槽を用いてのバルジング振動に 関する振動実験,第36回地震工学研究発表会, 2016.10.