

## 2次元矩形タンクにおけるスロッシング衝撃特性の再現性に関する研究

岐阜工業高等専門学校 正会員 ○渡邊 尚彦  
(独) 海上技術安全研究所 田中義照, 安藤孝弘, 穴井陽祐

## 1. はじめに

近年, 地震時スロッシングによる貯水槽の破損等の被害が報告されている. 一方で各種タンク設計基準において衝撃圧を考慮する項目が追加されつつある. 実タンクにおけるスロッシング衝撃荷重推定のために模型タンクによる試験が実施されることが多いが, そこで得られる衝撃圧データの再現性, 相似性については不明な点が多い. 本研究は独立行政法人海上技術安全研究所において実施された, 相似な2次元矩形タンクのスロッシング実験データを用い, 特に気体の捕獲形式等の衝撃パターンを分類し, 現象の再現性の観点からスロッシング衝撃特性について考察した.

## 2. 試験概要

実施された実験は, 2次元的に相似な2つのタンクを対象に高液位条件で正弦波により並進加振したものであり, 各液位加振条件で400回加振中の内容液の天板衝撃時の様子を計測した. 2体のタンク寸法は, 標準タンク:  $1200 \times 600 \times 200$  [mm], 1.5倍サイズタンク:  $1800 \times 900 \times 200$  [mm]であり, 振幅はそれぞれ30 [mm]と45 [mm]とした. 各液位加振条件は表1に示すように2次元矩形タンクに関する理論同調周期  $T_n$  との比を揃えて設定した. 測定項目として図に示すようにタンク角部に5箇所設置された小型圧力センサ

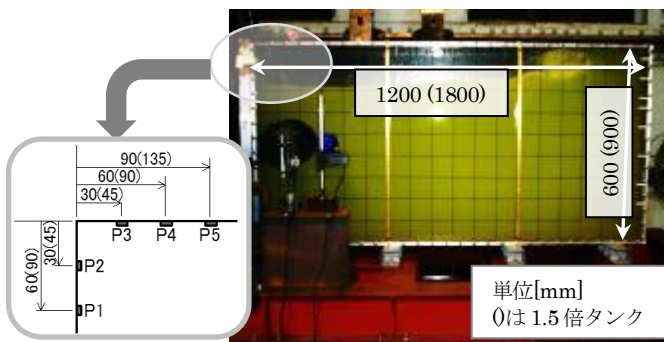


図1 タンク寸法及び圧力センサー貼付位置

表1 加振条件

|       | 液位(%) | $T/T_n$ | $T$ [s] (標準タンク) | $T$ [s] (1.5倍サイズタンク) |
|-------|-------|---------|-----------------|----------------------|
| case1 | 60    | 1.00    | 1.45            | 1.78                 |
| case2 | 70    | 1.00    | 1.39            | 1.70                 |
| case3 | 70    | 1.07    | 1.48            | 1.81                 |
| case4 | 75    | 1.03    | 1.41            | 1.73                 |
| case5 | 75    | 1.11    | 1.52            | 1.86                 |
| case6 | 85    | 1.00    | 1.33            | 1.63                 |
| case7 | 85    | 1.05    | 1.40            | 1.71                 |

(共和電業製 PS-05KD, サンプリング周波数 1[kHz]) によって圧力時刻歴を測定し, また天板への衝撃の状況を高速カメラによって 1/600 [s] 間隔で撮影した.

## 3. 実験結果

## 3-1 衝撃パターンの分類

動画データから各ケース3回ずつサンプリングした衝撃時のキャプチャ画像と圧力波形から, 衝撃パターンの現れ方は次の3つに分類することができた. 各衝撃パターン模式図と圧力波形とを図4に示す.

a. 液位 60%(case1): 空気を巻込まない Wagner 型衝撃であり, 圧力波形に振動が見られない. (図4-I)

b. 液位 70%-75%(case2-5): 衝撃パターンが混在する. 空気巻込みの有無も毎回の衝撃ごとに異なり再現性がない. (図4-II, III)

c. 液位 85%(case6,7): 衝撃水面が天板と平行に衝突し, 圧力波形も振動がほぼ見られず flip through impact の特徴である単一で鋭いピーク圧を示す. (図4-IV)

空気巻込み衝撃を示した Case2~7 の圧力振動周波数に着目すると (図2), ばらつきを持ちながらも標準タンクがより高周波数特性を示すという点で全ケース共通していたが, 差の大きさは異なって見られた.

## 3-2 確率密度曲線

ばらつきの少ない case1 を除き, 各圧力センサにおける400回ピーク衝撃圧について得られた確率密度曲線を最尤法により3パラメータワイブル分布でフィッ

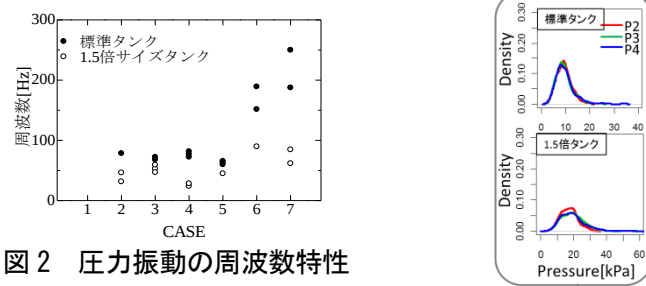


図2 圧力振動の周波数特性

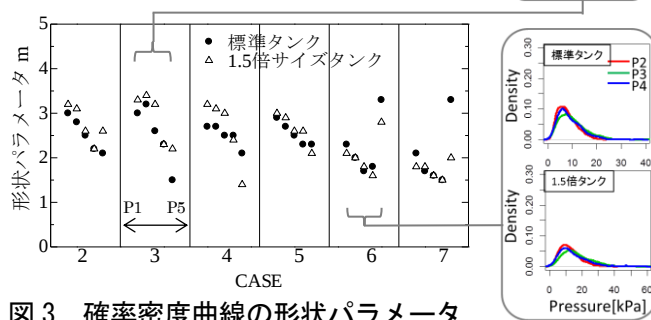


図3 確率密度曲線の形状パラメータ

キーワード スロッシング, 矩形タンク, 相似則, ワイブル分布

連絡先

〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑 2236-2

岐阜工業高等専門学校 TEL 058-320-1402

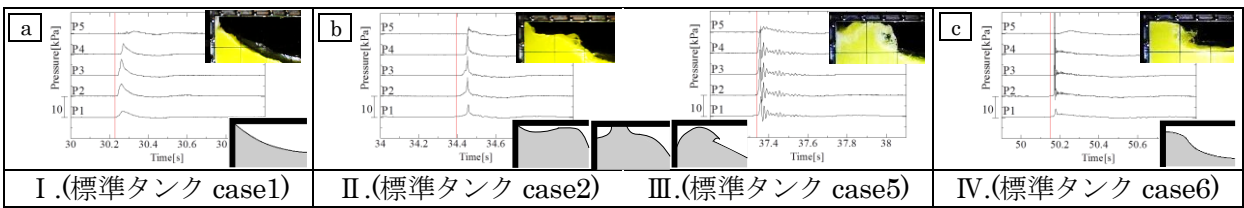


図 4 圧力波形と衝撃パターン

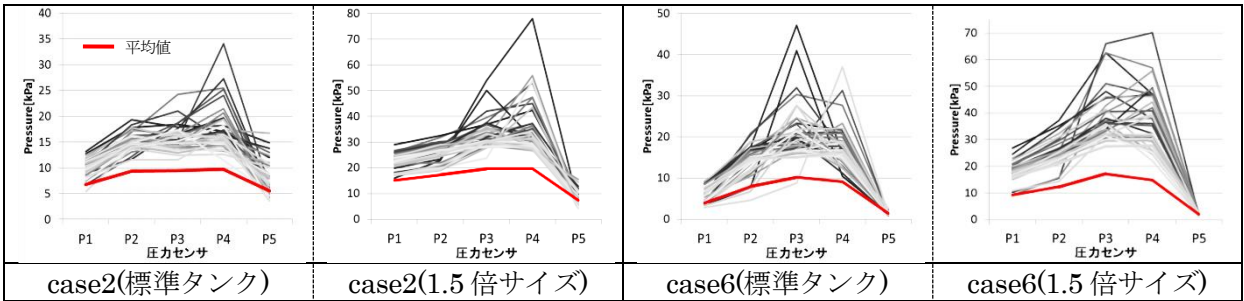


図 5 全圧力センサの合計ピーク衝撃圧の上位 10%の圧力分布

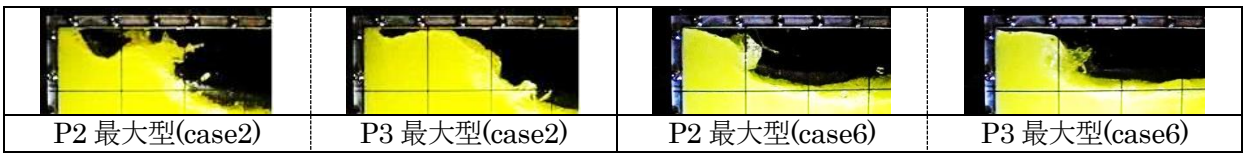


図 6 最大衝撃値を示す圧力センサごとの衝撃パターン

ティングした際の形状パラメータ値の結果を図 3 に示す。ケースによって  $m=1$  (指数分布型) ~3 (正規分布型) と異なるが、相似なタンク同士ではほぼ同一の頻度分布形状を示している。

3-3 衝撃時の圧力分布特性

混在する衝撃パターンから特徴的な衝撃を抜き出すために、衝撃パターンがほぼ固定している case1 を除いた case2 から case7 で、毎回衝撃時の P1 から P5 までのピーク圧力を合計し、降順で並び替えた。合計値の上位 10%と全 400 回平均のピーク衝撃圧分布特性グラフを図 5 に示す。また、計測された 400 回の衝撃中、各圧力センサがその衝撃で他の圧力センサに比べて最大値となった回数の出現割合を表 2 に示す。

表 2 各圧力センサ最大型の出現回数割合

|    | case1 |      | case2 |      | case3 |      | case4 |      | case5 |      | case6 |      | case7 |      |
|----|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
|    | 標準    | 1.5倍 | 標準    | 1.5倍 | 標準    | 1.5倍 | 標準    | 1.5倍 | 標準    | 1.5倍 | 標準    | 1.5倍 | 標準    | 1.5倍 |
| P1 | 0%    | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%   |
| P2 | 7%    | 1%   | 43%   | 4%   | 51%   | 2%   | 72%   | 0%   | 65%   | 2%   | 14%   | 0%   | 26%   | 1%   |
| P3 | 87%   | 99%  | 21%   | 43%  | 20%   | 43%  | 8%    | 12%  | 13%   | 31%  | 48%   | 66%  | 44%   | 67%  |
| P4 | 6%    | 0%   | 32%   | 51%  | 28%   | 54%  | 16%   | 83%  | 20%   | 64%  | 38%   | 34%  | 30%   | 33%  |
| P5 | 0%    | 0%   | 3%    | 2%   | 0%    | 0%   | 4%    | 4%   | 3%    | 2%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%   |

4. 考察

3-1 で分類した、[a]:case1, [b]:case2~case5, [c]:case6,case7 と 3 タイプに分け、それぞれの持つ同一タンクでの再現性, 相似タンクでの相似性を考える。

タイプ a は 3-1 で言及した Wagner 型衝撃であり再現性, 相似性ともに確認できた。

タイプ b は図 6 に示すようにエアポケットが大きい P2 最大型衝撃パターンとエアポケットが小さい P3 最

大型パターンが混在する。また表 2 に示す様に相似タンク同士で各位置の圧力最大型衝撃の出現割合が異なり再現性, 相似性がない衝撃パターンと言える。

タイプ c は、図 6 に示すように、衝撃形状については、圧力最大箇所が異なっても再現性, 相似性ともに観察されたが、P2 最大型衝撃頻度はタンクスケールにより異なることが表 2 から見られた。これは空気巻込み量の差と考えられる。タイプ b,c における相似タンク同士での差は、奥行き長さが相似でないことによると考えられ、別途実施した粒子法解析においても流速の奥行き方向分布の差が確認された。

5. 結論

1) 2 次元的に相似なタンクでも特に空気巻込み型衝撃は、奥行き方向の影響によって衝撃パターンや衝撃圧力値の相似性が失われる場合がある。

2) 空気巻込み型では同一タンクで衝撃圧にばらつきを持つが、相似タンクで衝撃パターン発生頻度が異なる場合と、パターンは同一でも空気巻込み量の差から圧力値に差が出る場合とで、相似性に差が存在する。

3) 衝撃圧力値の頻度分布性状について、液位条件により異なるが相似タンクでほぼ近い確率分布に従う。

謝辞 本研究は日本学術振興会科学研究費補助金・基盤研究 A (課題番号 21246131「タンク内スロッシング荷重による流弾性応答とその低減手法に関する研究」, 研究代表者: 田中義照) によって実施されたものであり、関係各位にお礼申し上げます。

参考文献 M.L.Kaminski, H.Bofaert, "Full Scale Sloshing Impact Tests", Proc. of 19<sup>th</sup> ISOPE, 2009