

加振角度を変えた矩形型貯槽の寸法比と水深比による液面揺動に関する研究

愛知工業大学 学生会員 ○則竹一輝 愛知工業大学 正会員 鈴木森晶
愛知工業大学 学生会員(研究当時) 田中直貴 愛知工業大学 正会員 青木徹彦

1. 序論

2007年に新潟県中越沖を震源とするM6.8の地震が発生した。その結果、矩形型使用済み燃料プールにスロッシング現象が発生し、内容液が溢流するという事故が起こった。これまで、液面揺動を抑えるために、矩形貯槽に金網を設置する研究などが行われている¹⁾。しかし、円形型貯槽と違い、地震による加振方向角や貯槽の寸法比により、液面揺動に変化が生じると推測される。過去に筆者らは、加振方向角と矩形型貯槽の寸法比を変えた場合に、液面揺動がどのように変化するかを調査しており、縦横寸法比が1:1の場合には、液面揺動の最大波高が最も高くなるという結果を得た²⁾。本研究では、幅、奥行き寸法比が1:1に近い状態から奥行きだけを变化させ、液面揺動がどのように変化するかについて検討することを目的とする。



写真-1 アクリル貯槽

表-1 実験を行った寸法比

寸法比: 奥行き/幅 D/L	幅:L (幅:D) (cm)	奥行き:D (奥行き:L) (cm)	固有振動 数の差 Δf (Hz)
1.09 (0.92)	90	98	0.04
1.04 (0.96)	90	93.8	0.02
1.02 (0.98)	90	91.8	0.01
1.01 (0.99)	90	91	0.005
1.00	90	90	0

2. 実験概要

2.1 矩形型貯槽

実験に用いる貯槽は、写真-1に示すようなアクリル製の矩形貯槽で、幅L=90.0cm、奥行きD=100.0cm、高さh=75.0cmである。このアクリル貯槽に幅90.0cm、厚さ1.0cmのアクリル板を入れ、左右に移動させることにより、奥行きDの長さを変化させ、寸法比(奥行き/幅)を変化させる。加振時には、板が動かないように固定した。実験を行った寸法比を表-1に示す。また、寸法比1.00以外は、幅をD、奥行きをLとみなすことで、同時に2種類の寸法比の実験を行った。

2.2 実験方法

加振実験の模式図を図-1に示す。振動台の上にアクリル貯槽を載せ、油圧サーボ型試験機で正弦波を入力し実験を行う。水深をH、加振したときの最大波高を ΔH とし、振動台の上で貯槽を回転させながら、加振角度 θ を $0^\circ \sim 90^\circ$ まで徐々に変化させながら、 $\Delta H/H$ を測定した。また、水深Hは $H/L=0.094, 0.20, 0.54$ の3種類で行った。

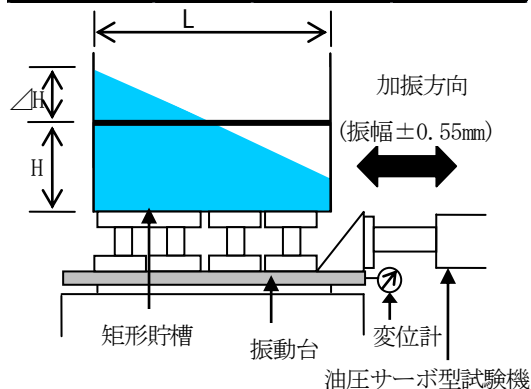
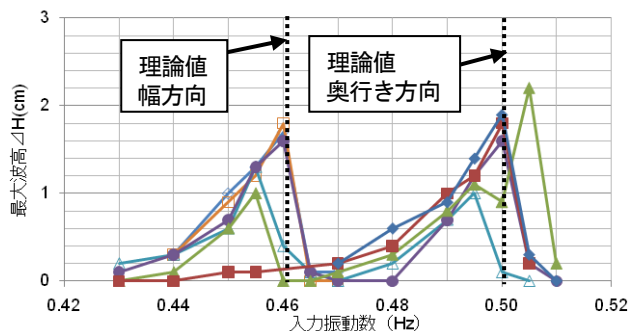
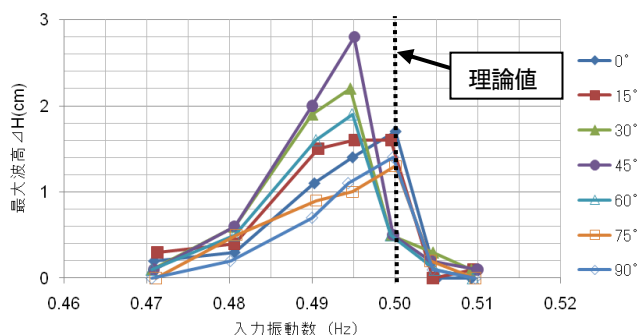


図-1 貯槽の加振方法

3. 実験結果

3.1 入力振動数-最大波高の関係

図-2にスイープ試験により得られたデータから、入力振動数-最大波高の関係を示す。理論値の固有振動数付近でスイープ試験を行った結果、加振角度 θ が 0° のときは理論値と一致したが、 θ を変化させたときの固有振動数は、加振角度 $\theta=0^\circ$ の場合と

(a) $H/L=0.094$ $D/L=0.92$ 貯槽の入力振動数- ΔH の関係(b) $H/L=0.094$ $D/L=1.00$ 貯槽の入力振動数- ΔH の関係図-2 各寸法比の貯槽における入力振動数- ΔH の関係

キーワード スロッシング 矩形貯槽 寸法比 加振方向

連絡先: 〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247 TEL: 0565-48-8121, FAX: 0565-48-0030

比べて0.005Hz程度変化した。この傾向は、 D/L の値によらず見られ、図2(a)のように、幅方向とそれに直交する奥行き方向の固有振動数が0.04Hz異なる場合には、明確な2つのピークが見られた。

3.2 加振角度-最大波高/Hの関係

図-3に水深比 $H/L=0.094$ 、図-4に水深比 $H/L=0.20$ の場合の各寸法比 D/L における最大波高 $\angle H$ の変化の様子を示す。縦軸は理論値付近の最大波高 $\angle H$ を水深 H で無次元化し、さらに $\theta=0^\circ$ 時の $\angle H/H$ が1となるように正規化した。横軸は加振角度 θ とした。参考として余弦曲線($\cos\theta$)を示す。

図から、寸法比 D/L が1.00および0.99の場合には、加振角度を 0° から 90° まで変えていくと、 0° 時に比べて最大波高が2倍近くになる可能性がある。一方で、寸法比 D/L を約4%以上変化させたケースでは、 $\angle H/H$ は1を大きく上回ることにはなかった。また、このケースの特徴として、 θ が $0^\circ\sim 30^\circ$ までは $\angle H/H=1$ 付近の値であるが、 $30^\circ\sim 60^\circ$ の間で波高が急激に減少する傾向が見られた。

ところで、実際の地震動はさまざまな振動数を含んでいるため、理論上の固有振動数とは異なる振動数で加振されることは十分に考えられる。言い換えると、液面揺動が最大となる振動数で加振される可能性がある。そのため、理論値の振動数に限定せず、スイープ試験での最大波高の変化に着目した。図-5、6には、各固有振動数差 $\angle f$ における各加振角度での最大波高をプロットした。

図より、最大波高の変化は幅と奥行きの固有振動数差 $\angle f$ が0.01以内(D/L が2%以内)の場合には、加振角度 $\theta=45^\circ$ を中心に、 0° のときよりも波高が高くなる可能性があることが分かる。しかし、固有振動数差 $\angle f$ が0.01を超えると、加振角度を変えても波高は著しく高くなり、 $30^\circ\sim 60^\circ$ の間では 0° のときと比べると、低い波高を示す場合もある。

以上より、寸法比 D/L が0.98~1.02の間で、 θ が $30^\circ\sim 60^\circ$ の間で $\angle H/H$ が最大で1.8倍程度となる可能性があることが分かった。

4. 結論

本研究では、矩形型貯槽の寸法比と水深比と加振角度を変えて加振したとき、液面揺動がどのように変化するかについて実験を行った。本研究の結果を以下に示す。

- 1) 幅方向と奥行き方向の固有振動数差が0.01以内(D/L が0.98~1.02)の場合には、 θ が $30^\circ\sim 60^\circ$ の間で $\angle H/H$ が最大で約1.8倍となる可能性がある。
- 2) 幅と奥行きの寸法比を4%以上変化させることにより、加振角度を変化させても、 0° 時の波高を大きく上回ることにはない。
- 3) スイープ試験の結果より、最大波高は理論値と異なる振動数のときに出現することがあり、最大で1.8倍程度となった。

参考文献

- 1) 池田達哉, 平野廣和, 井田剛史, 佐藤尚次: 矩形断面容器におけるスロッシング対策に関する一提案, 土木学会第64回年次学術講演会, I-269, pp537-538, 平成21年9月
- 2) 鈴木森晶, 奥村哲夫: 加振方向角を変えた矩形型貯槽のスロッシング現象に関する基礎的実験, 土木学会第65回年次学術講演会, I-646, pp1291-1292, 平成22年9月

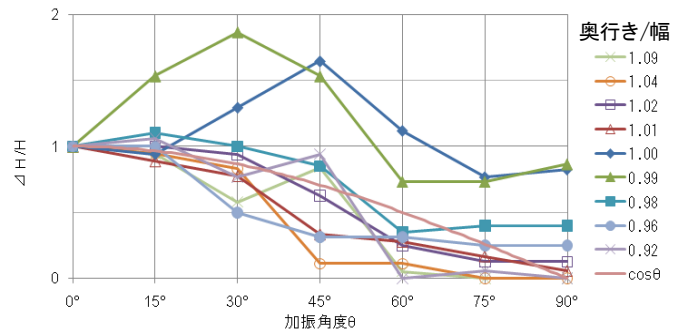


図-3 正規化した加振角度- $\angle H/H$ の関係 ($H/L=0.094$)

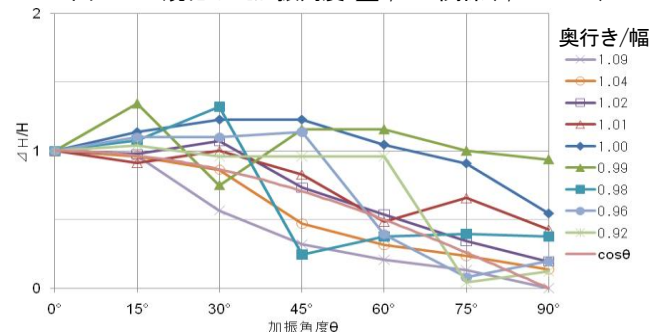


図-4 正規化した加振角度- $\angle H/H$ の関係 ($H/L=0.20$)

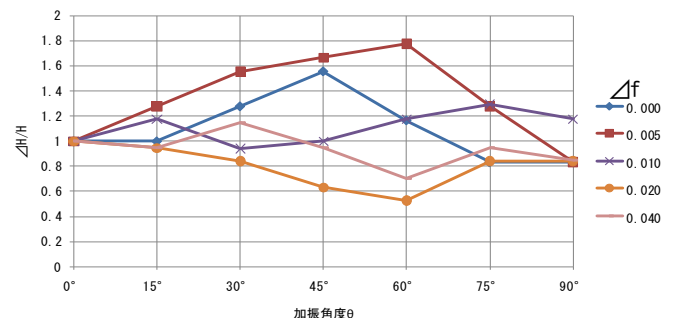


図-5 各角度の最大波高-加振角度の関係 ($H/L=0.094$)

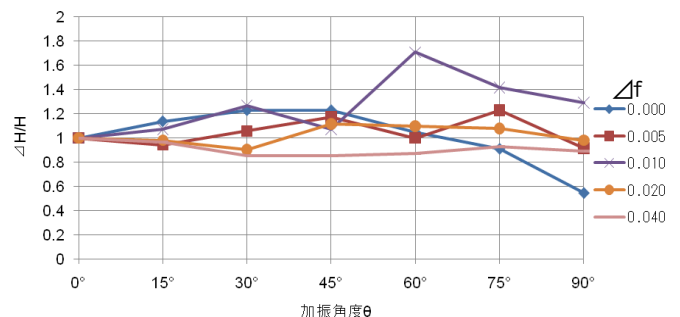


図-6 各角度の最大波高-加振角度の関係 ($H/L=0.20$)