

円筒型タンクの固定屋根に液面が衝突する場合の底面せん断力に関する振動台実験

京都大学工学研究科 学生員 ○重富 祐 京都大学工学研究科 正会員 五十嵐 晃
 日本技術開発株式会社 正会員 藤田 亮一 京都大学工学研究科 フェロー 家村 浩和

1. はじめに

高架水槽の耐震設計においては、負荷質量による慣性力に加えて非満水時の貯蔵水の運動により生じる動水圧に起因する水平力が、支柱に作用する地震荷重として考慮される。現在の高架水槽の各種設計指針等¹⁾では、貯蔵液体のタンクに及ぼす地震時動水圧の影響は Housner の方法に基づいて考慮されているが、レベル2地震において大振幅の貯蔵水の揺動が生じ、固定屋根に衝突するような場合については、実際の水平力はこうした設計上の評価とは異なることが考えられる。そこで本研究では、そこで本研究では振動台実験を行い、ベースシアに着目することで固定屋根式タンクの液面が屋根に衝突することによる内容液の非線形性の影響について検討した。また、内容液を線形1自由度モデルでモデル化し、等価線形解析を行うことで、加振振幅による固有振動数及び等価減衰定数の変化を求めた。

2. 実験概要

本実験では、アクリル製の円筒型タンク模型を用いた。タンク本体の外径は600mm、厚みは6mm、高さは500mmであり、屋根の厚さは10mmである。なお、水深は200mmとした。振動台テーブルの上に荷重動力計を設置し、その上に取付用鋼板を用いてタンク模型を固定した(Fig.1)。振動台は、変位制御にて水平1方向に正弦波加振し、荷重動力計によりベースシアを計測する。荷重動力計で計測されるベースシアに関しては、タンク本体などにかかる慣性力を取り除き、内容液の運動のみによるベースシアを計測している。

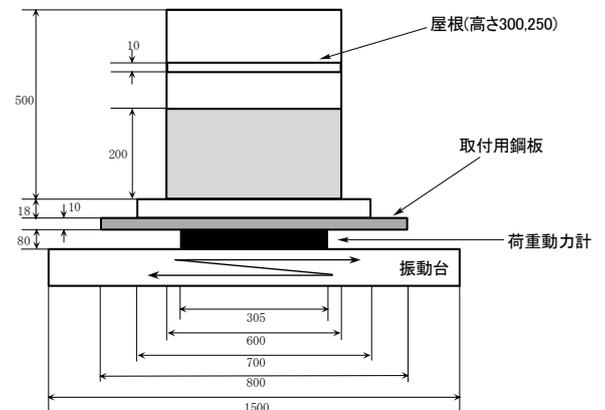


Fig.1 : 供試体

3. Housner モデルと実験値の比較

Housner のモデルは、タンク内の液体をスロッシングを行う自由水と、タンクと一体となって運動する固定水の2質点の振動で表現する(Fig.2)。図中の数値は今回の実験条件における各パラメータの値である。自由振動試験より求めた固有振動数1.14Hz、振幅4mmの正弦波を入力し、ベースシアの時刻暦を実験値とHousnerのモデルを用いた解析値で比較した(Fig.3)。実線が実験値で点線が解析値である。屋根が無いケースでは、解析値と実験値はほぼ一致しているが、Housnerのモデルは屋根を考慮していないため、屋根があるケースでは屋根が低いほど実験値とは一致していない。屋根高25cmのケースではその違いが顕著である。

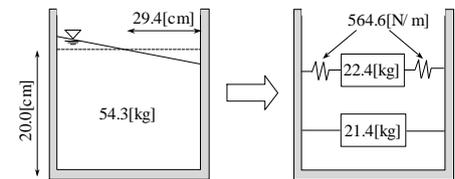


Fig.2 : Housner のモデル

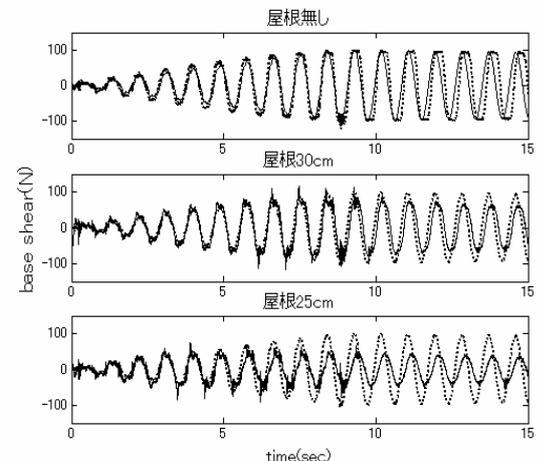


Fig.3 : 実験値・解析値の比較

4. ベースシア応答倍率

荷重動力計で計測されるベースシアを F 、全液体の質量を m 、振動台の水平変位を z とし、ベースシア応答倍率を式(1)で定義する。式(1)を用いて、実験結果を振動台の加振振幅をパラメータとして整理した(Fig.4)。全体的に屋根高25cmのケースよりも30cm

キーワード 液体貯蔵タンク、固定屋根、振動台実験、ベースシア、応答倍率

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学大学院構造ダイナミクス分野 TEL:075-383-3244

$$\text{ベースシア応答倍率} = \left| \frac{F}{m \cdot \ddot{z}} \right| \quad (1)$$

のケースの方が大きな応答倍率が得られている。また、固有振動数に大きな変化はないことが確認できる。ここで、ベースシア応答倍率のピーク値の加振振幅による変化をより詳細に確認するために、自由振動試験から求めた固有振動数 1.14Hz で加振した場合の応答倍率を、横軸に振動台の加振振幅を取りプロットした(Fig.5)。屋根高 30cm のケース、25cm のケースともに加振振幅が増加するに従って応答倍率が減少していることが確認できる。液面が屋根に衝突し波が崩れることで、見かけの減衰が増加していると推測できる。

5. 固有振動数及び減衰定数

実験で得られたベースシアの挙動の、全液体の質量を 1 質点とした線形 1 自由度モデルによる評価を試みた。内容液が屋根に衝突することによる影響を固有振動数及び等価減衰定数の変化として表現する。評価には式(2)を用いた。

$$\left| \frac{F}{m \cdot \ddot{z}} \right| = \left| \frac{\ddot{x} + \ddot{z}}{\ddot{z}} \right| = \sqrt{\frac{1 + 4h^2 \left(\frac{p}{\omega} \right)^2}{\left\{ 1 - \left(\frac{p}{\omega} \right)^2 \right\}^2 + 4h^2 \left(\frac{p}{\omega} \right)^2}} \quad (2)$$

ここに、 x : 1 自由度モデルの水平変位、 ω : 固有振動数、 h : 減衰定数、 p : 外力の振動数、である。なお、式(2)の右辺は加速度応答倍率の理論曲線である。

Fig.4 の応答倍率に対して式(2)の理論曲線を ω 及び h をパラメータとして最小二乗法を用いてフィッティングした(Fig.6,7)。固有振動数に関しては、屋根高 30cm、25cm のケースともにわずかに減少しているが、大きな変化はみられない。等価減衰に関しては、屋根高 30cm、25cm のケースともに加振振幅が増加するに従って増加している。液面が屋根に衝突することで、見かけの減衰が増加していることが確認できる。

6. 結論

- 1) 液面が屋根に衝突するような場合には、Housner のモデルを用いたベースシアは、実験値と一致しない。
- 2) スロッシングが大きくなり、液面が屋根に衝突すると、ベースシアの応答倍率のピーク値は減少する。
- 3) 液面が屋根に衝突し、波が崩れても固有振動数に大きな変化はみられない。
- 4) 振動台の加振振幅を増加させると、液面が屋根に衝突し、波が崩れることで見かけの減衰は増加する。また、減衰の大きさは、屋根が低いほど大きい。

参考文献

- 1) 日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説，第 2 章，1997 年

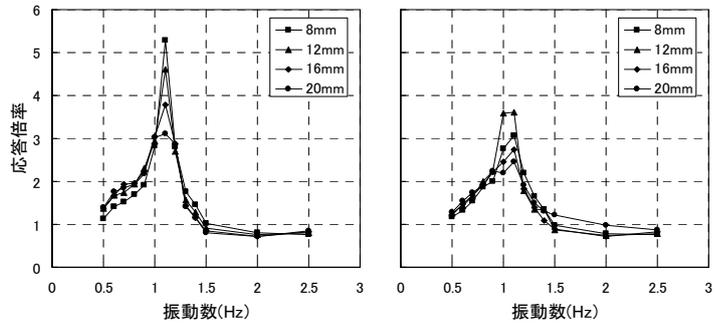


Fig.4 : ベースシア応答倍率

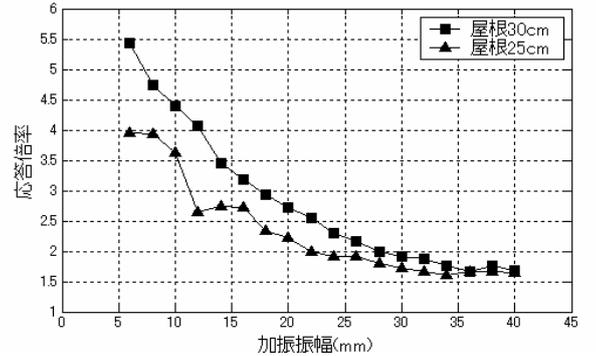


Fig.5 : ベースシア応答倍率(1.14Hz)

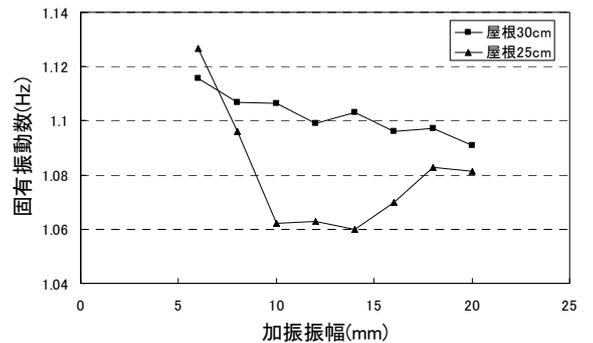


Fig.6 : 固有振動数

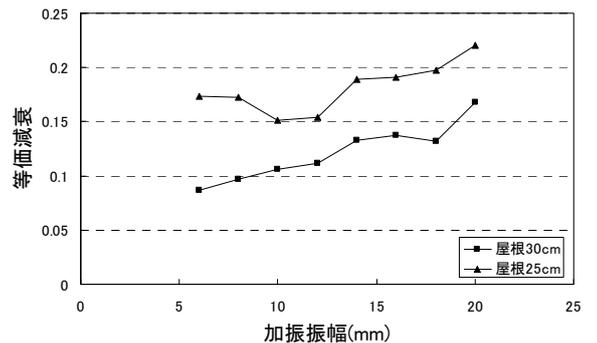


Fig.7 : 等価減衰定数