

第 I 部門

固定屋根式円筒型タンクに生じる底面せん断力の振動台実験による検討

京都大学工学部 学生員 ○重富 祐 京都大学工学研究科 フェロー 家村 浩和
 京都大学工学研究科 正会員 五十嵐 晃 京都大学工学研究科 正会員 豊岡 亮洋

1. 概要

高架水槽の耐震設計を考える際、タンク内溶液の運動により下部構造物にかかる荷重の動的特性を把握する必要がある。現在の高架水槽の設計法は、微小振動に対して適用性の高い Housner の方法を用いているが、大規模地震時において、内容液が固定屋根に衝突するような非線形挙動を示す場合への適用性については疑問が残る。

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。このタンク本体の外径は 600mm、厚みは 6mm、高さは 500mm である。屋根は高さが可変で、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。

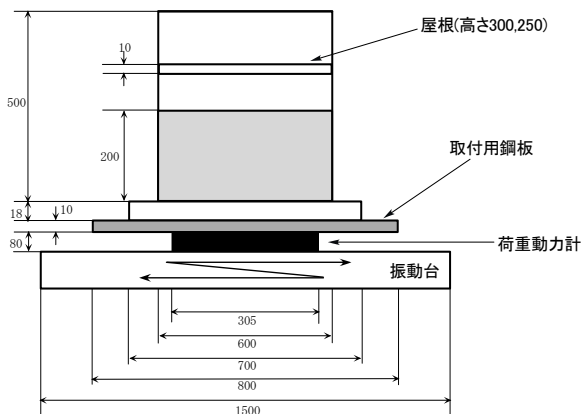


Fig.1 : 供試体

3. Housner モデルと実験値の比較

Housner のモデルは、タンク内の液体の運動をスロッピ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^[1](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。

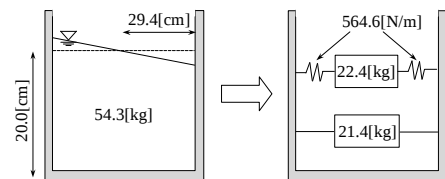


Fig.2 : Housner モデル

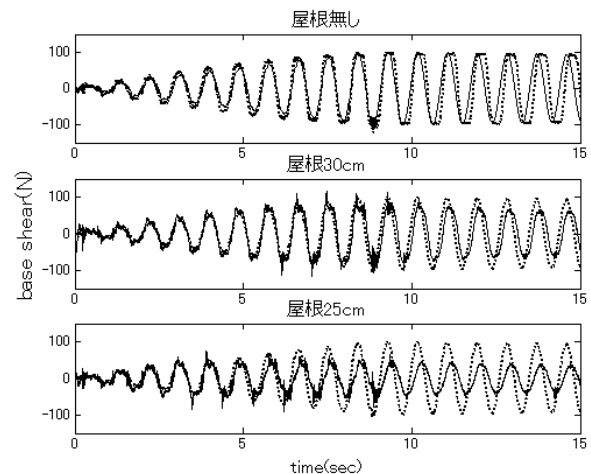


Fig.3 : Housner モデルとの比較

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)。

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

全体的に屋根高 25cm のケースよりも 30cm 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とりプロットした (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。屋根との相互作用により見かけの減衰が増加していると推測できる。

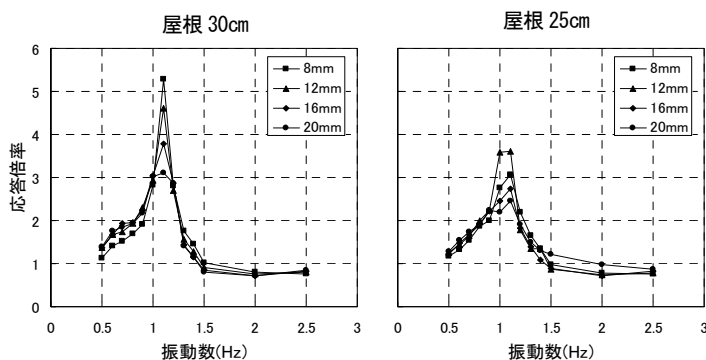


Fig.4 : ベースシア応答倍率

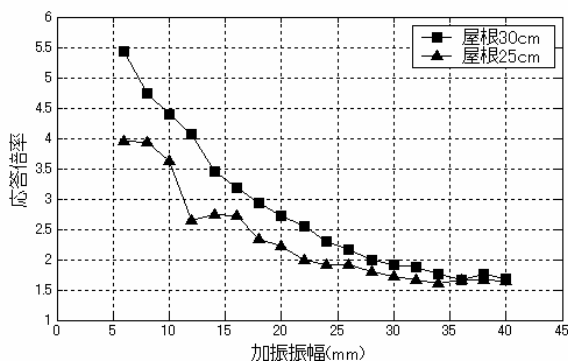


Fig.5 : ベースシア応答倍率

5. 固有振動数及び等価減衰定数

Fig.4 の挙動を、全液体の質量を 1 質点とした線形 1 自由度モデルを用いてモデル化することで、内容液が屋根に衝突することによる固有振動数及び等価減衰定数の変化を定量的に把握する。

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

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。屋根との相互作用により見かけの減衰が増加していることが確認できる。

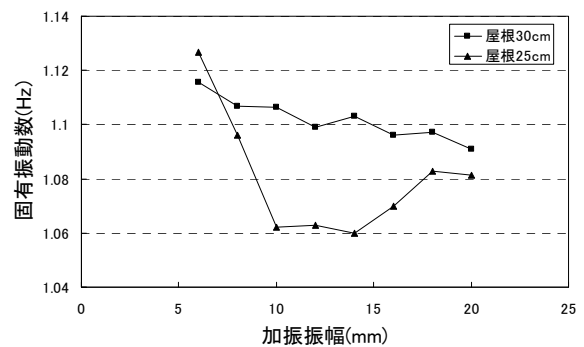


Fig.6 : 固有振動数

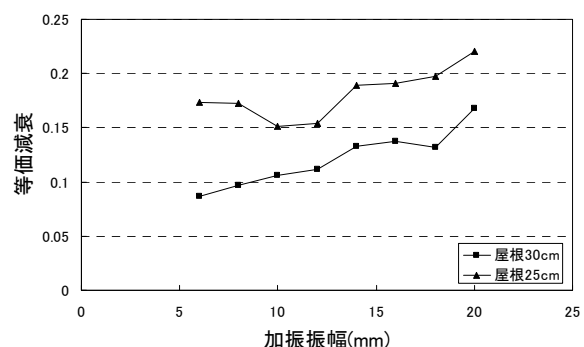


Fig.7 : 等価減衰

6. 結論

- 1) 液面が屋根に衝突するような場合には、Housner のモデルを用いた解析値は、実験値と一致しない。
- 2) 振動台の加振振幅を増加させると、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、屋根との相互作用により等価減衰は増加する。また、等価減衰の大きさは、屋根が低いほど大きい。