

円筒タンク模型のスロッシング波高低減に関する一方法

九州産業大学 学生会員 ○菅付紘一
新日鐵(株) 正会員 川口周作

九州産業大学 フェロー 水田洋司
九州産業大学 正会員 白地哲也

1. 序論

十勝沖地震以降、円筒タンクの耐震化が要求され、様々な耐震補強法が提案されてきた¹⁾。しかし、実機で効果的な成果をあげている方法は無く、簡易で実用的かつ経済的な補強法が求められている。本論文では円筒タンク模型実験で得られたスロッシング特性と支柱・平板を組み合わせたスロッシング波高低減法の波高低減効果について述べている。まず、円筒タンク模型を用いて振動台実験を行い、スロッシング時の波高、波圧を調べ、次に波高低減法を用いた時の波高・波圧を計測し、両者を比較検討した。また、数値解析においても実験と同一条件でスロッシング波高を計算し、数値解析の妥当性についても検討した。

2. 円筒タンク模型と低減法

実験に使用した円筒タンク模型(以下模型)はアクリル樹脂製で外径 60cm、高さ 80cm、厚さ 1cm である。模型と振動台(IMV社: DS-2000-15L)を写真-1に示す。模型は振動台にボルトとナットで固定されている²⁾。低減法に用いている支柱には、材質が軟鋼で長さ 50cm、直径φが 3, 4, 5, 8, 10mmの5種類の鋼棒を使用した。図-1に示すように支柱の根元は完全固定としている。平板の材質は塩化ビニルで、直径φは 34.5cm である。平板の上下からナットとワッシャーで挟んで支柱に固定している。模型と低減法治具の詳細を図-1に示す。

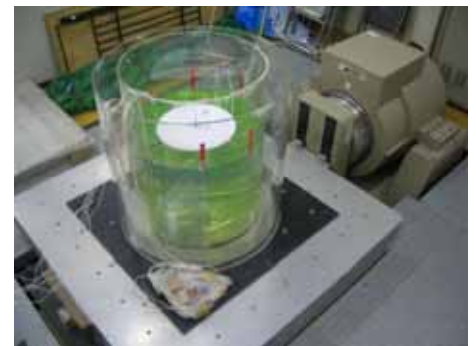


写真-1 模型と振動台

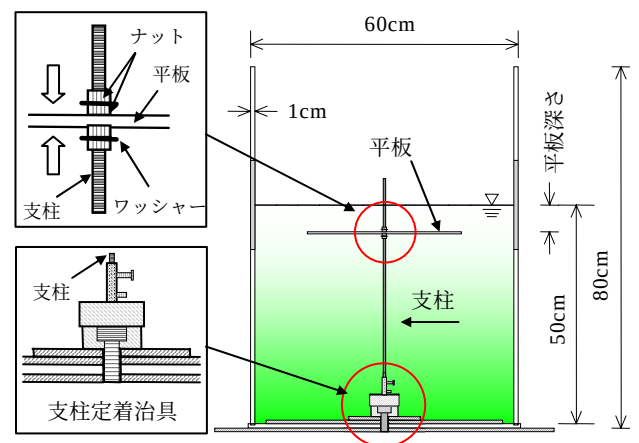


図-1 模型と低減法治具

3. 振動台実験

実験では、タンクの高さ 50cm まで内溶液を入れて振動台による加振を行い、波高と波圧を計測した。波高は 5mm 間隔の計測メジャーから読み取り、波圧は加振方向に模型壁面に設置した水圧計(PSS-02KDF, 共和電業)を用いて計測した。図-2に水圧計の設置位置を示す。振動台の加振は、正弦波加振によるスイープ加振を行い、加振振動数範囲で 0.01Hz 刻みとした。さらに、ピークの振動数と波高を明確にするため、共振振動数付近では 0.001Hz 刻みのスポット加振を行った。加振加速度は、共振時の水面挙動が線形性を保つように 2gal とした。

4. スロッシング波高低減効果

低減効果を比較するために低減法を用いない場合(以下ノーマル)のスロッシング波高と波圧を計測した。図-3に波高の共振曲線を示している。比較のために、水道施設耐震工法指針に用いられている速度ポテンシャル理論と Housner の理論からピークの波高と振動数を求め、図-3にプロットしている。図から、設計に用いられる式で求めたスロッシング波高・振動数が実験値に近い値であることが判る。図-4は平板φ34.5cm、支柱φ4mm、平板深さを 0~10cm に変えた時の波高とノーマル時の波高

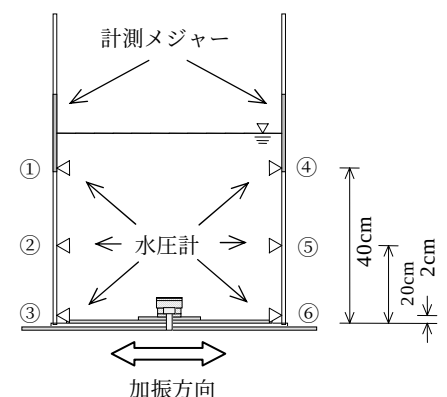


図-2 水圧計設置位置

を示している。図から平板設置深さ 0cm の最大波高はノーマル時の約 1/7 に減少しており低減効果が表れている。また、平板の設置位置が深くなるにつれ共振振動数はノーマル時に近付いている。図-5 は平板 $\phi 34.5\text{cm}$ 、支柱 $\phi 4\text{mm}$ 、平板深さをパラメータにした時の動水圧分布である。この図からもノーマル時に対して低減効果の表れていることが判る。図-6 から支柱 $\phi 3, 8, 10\text{mm}$ は設置深さ 2cm, $\phi 4$ は 0cm, $\phi 5$ は 6cm で最も低減効果が認められる。図-7 に実験から得られた減衰定数を記している。

5. 数値解析

数値解析では(株)アーク情報システム社製の TDAPIII を用いて FEM 解析を行った。入力の実験と同様に振幅 2gal の正弦波加速度とし、計算時間は応答が定常状態となるまでの時間を考慮して 240sec とした。図-8 に解析モデルを示す。減衰定数は実験で得られた 0.34% を用いた。図-9 は波高の共振曲線である。TDAPIII による解析と実験値がよく一致していることから、モデル化は妥当であると考えられる。今後、この解析手法を用いて波高低減の解析を行う予定である。

6. 結論

実験と解析から以下のことが明らかになった。

- ① 水道施設耐震工法指針の式で求めたスロッシング振動数、波高は実験値と一致する。
- ② 図-4, 5 から、提案する低減法は波高、波圧の低減に効果がある。
- ③ 低減効果は $\phi 5\text{mm}$ で平板深さ 6cm のときに最も高い。

参考文献

- 1) 坂井藤一：大型タンクのスロッシングに関する耐震・制振・免振等技術の現状と展望，大型タンクのスロッシングに関する耐震・制振・免振等技術のミニシンポジウム講演論文集，pp.1～9，2005 年 7 月。
- 2) 川口，水田，荒巻，北原：二重槽円筒タンク模型の振動特性，構造工学論文集，Vol.50A，pp.9～16，2004 年 3 月。

・ Housner の式

$$\eta = \frac{0.408R \cdot \coth(1.841 \frac{H}{R})}{\frac{g}{\omega^2 \cdot \theta_h \cdot R} - 1}$$

$$\theta_h = 1.531 \frac{S_v}{R \cdot \omega} \tanh(1.841 \frac{H}{R})$$

R：タンクの内半径，H：水面高さ，

g：重力加速度， ω ：水面動揺の固有円振動，

θ_h ：水面における自由振幅の最大角振幅，

S_v ：速度スペクトル

・ 速度ポテンシャル理論の式

$$\eta = 0.245T \cdot \tanh(1.841 \frac{H}{R}) S_v$$

T：一時固有周期

$$\omega = \sqrt{\frac{1.841g}{R} \tanh(1.841 \frac{H}{R})} \quad f = \frac{\omega}{2\pi}$$

f：固有振動数

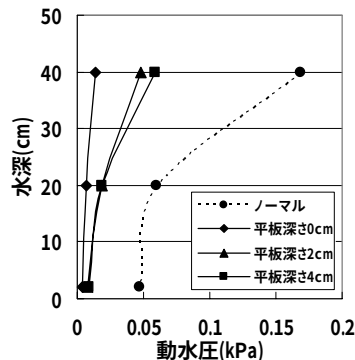


図-5 波圧の低減効果

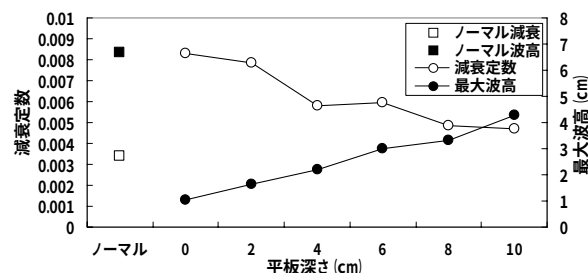


図-7 減衰定数と最大波高 ($\phi 4\text{mm}$)

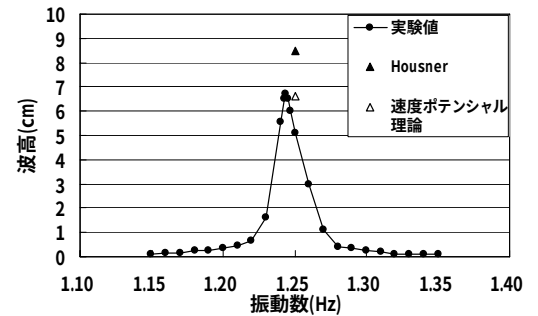


図-3 波高の共振曲線

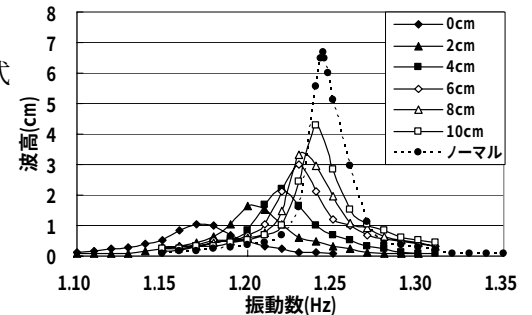


図-4 波高の低減効果

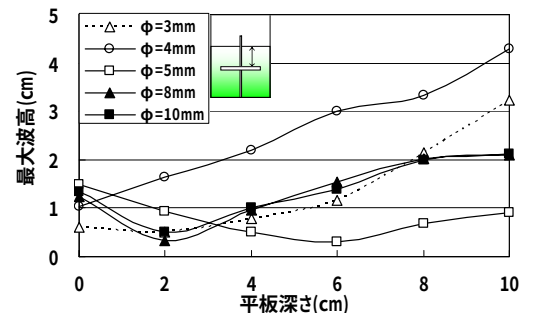


図-6 平板深さと波高

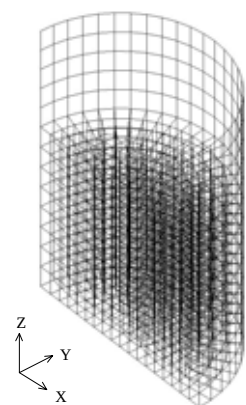


図-8 模型のモデル化

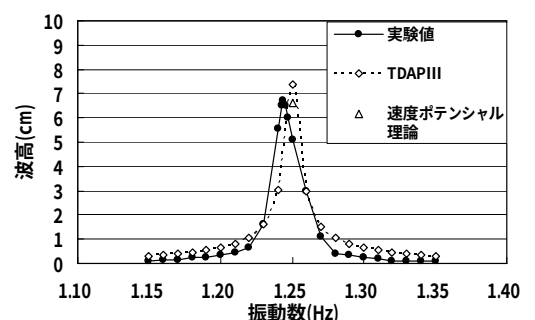


図-9 波高共振曲線の比較