

卵型消化槽内壁に対するスロッシング圧の共振曲線

九州大学 工学部 正 員 小坪 清真
 九州工業大学 正 員 高西 照彦
 九州工業大学 学生員 ○木下 貴夫
 九州工業大学 学生員 田中 英紀

1. まえがき 卵型消化槽は、従来の消化タンクに比べ、機能性などが良く、ヨーロッパ諸国で使用されており、注目を集めている。日本においてもすでに横浜市で建設されている。しかし、卵型消化槽の耐震性の検討は、まだ十分になされているとはいえないのが現状である。タンクの耐震設計を考える上で解決すべき重要な問題点として次の2つが挙げられる。(1) 内容液による地震時動水圧の予測 (2) 地震時のスロッシング波高の予測。さらに(1)の問題は、(a) 地震の短周期成分に応答する衝撃圧¹⁾ (b) 地震の長周期成分に応答する振動圧(スロッシング圧)に分類できる。また、卵型という特殊な形なので、円筒タンクと比べ波高及び壁面動水圧に対してその非線形性が著しいと考えられる。そこで本研究では、(1)の(b)のスロッシング圧と(2)の問題を取り上げ、卵型模型を用いて振動実験をおこなったので、その概要を報告する。

2. 実験方法 <実験装置> 卵型模型の形状・寸法を図-1に示す。

この模型の特徴は、実物の1/30の大きさで、材質は厚さ15mmのアクリル樹脂製、満水時内容量は123ℓである。模型を振動台の上にしっかりと固定させた。模型には、水圧計が取り付けられるように11個の測点がある。本実験では、それぞれ図-1の各測点に水圧計(共和電業製、PGM-02KG 容量 0.2kg/cm^2)を、振動台上に加速度計(共和電業製、AS-2C 容量2G)を取り付けている。内容液として水を用い水深を81.4cm一定にした。また振動中に静水面位置を記録するために図-2に示すような白金電極を有するセンサー(以下で静水面計と呼ぶ)を模型に取り付けた。センサーには常に一定の電圧を加えており、水位が上昇した場合に電流が流れて、パルスとして電磁オシログラフ上に記録され、水位が静水面位置より下がると電流が流れなくなる。電導性を良くするために、内容液に塩化ナトリウムを少量加えた。スロッシング波高は、ビデオカメラを用いて読み取った。²⁾

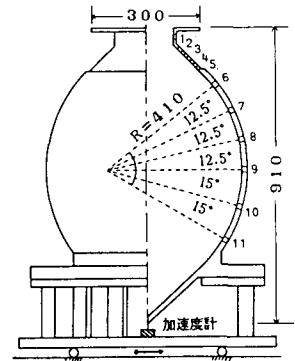


図-1 卵型消化槽模型 単位(mm)

<振動実験> スロッシングの共振振動数が、約2.5

Hzであるから、入力振動数は2~3Hzとした。入力加速度は、1~10GALの間で行った。実験を行った振動数と入力加速度の範囲内では、模型は剛であり、その弾性変形は無視できる。実験は、(1)入力振動数を2 Hz付近からほぼ同じ間隔で3 Hzまで順次上げていった(2)同様に、今度は逆に入力振動数を順次下げていった。

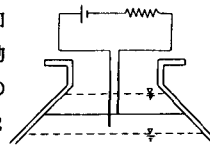


図-2 静水面計の概略図

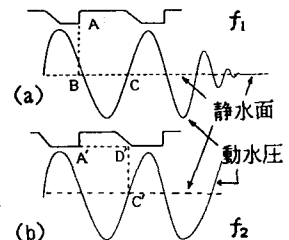


図-3 静水面位置の決定法

(3)特に共振振動数付近では振動数を約0.01Hz単位で2往復 Up, Downさせたこれにより、正確な共振振動数が明らかになるようにした。入力振動数において、現象が十分定常状態になるまで待って、壁面動水圧を電磁オシログラフに、波形をビデオカメラに記録した。本実験では、静水面からの最大及び最小波形ならびに最大及び最小スロッシング圧を求めるのが目的であるので、静水面を常に知る必要がある。静水面位置を定めるために、図-3(a)に示すように、ある振動数 f_1 で振動実験を行い、動水圧を電磁オシログラフ上に記録し、続いて急に

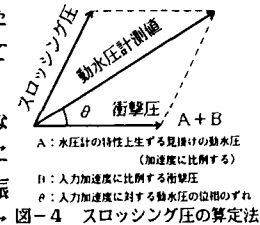


図-4 スロッシング圧の算定法

入力加速度を0にして、動水圧が0になった時の記録位置を描きこれを静水面位置とした。この静水面位置を水平に延長すれば、上記の動水圧に対する静水面位置を図-3(a)のように描くことができ点Cが求められる。一方、静水面計の記録からその立ち上がり位置A点が定まる。これにより動水圧の位相遅れ $BC(=\tilde{\alpha}_0)$ が求められる。 $\tilde{\alpha}_0$ は、静水面計自身の出力の時間遅れ α_0 と測定に用いたローパスフィルターの位相遅れ α_1 の和から成り立っている。 α_1 は、フィルターの特性曲線から算出することができるので、 α_0 は $\alpha_0 = \tilde{\alpha}_0 - \alpha_1$ によって求めることができる実験時の加振振動数 f_2 に対して、図-3(b)のような記録が得られた時、静水面の位置は次のようにして求めることができる。静水面計の立ち上がり点Aを定める。一方、フィルターの特性曲線から f_2 に対する位相遅れ α_2 を算出する。点Aから水平に $\tilde{\alpha}_2 = \alpha_0 + \alpha_2 (= \tilde{\alpha}_0 + \alpha_2 - \alpha_1)$ だけ遅れた点D'を求め、この点から垂線を下し動水圧の記録との交点C'を求める。C'を通る水平線が求める静水面位置である。最大及び最小波形時のスロッシング圧は図-4に示すようなベクトル的な関係により求めた。

3. 実験結果及び考察 一例として、入力加速度 2 GAL に対する測点 3,4,5でのスロッシング圧の共振曲線を図-5に 9GAL に対するスロッシング波高の共振曲線を図-6に示す。同図で、HIGHは波形最大値時、LOWは最小値時である。図から以下のようなことがわかった。1)2GALという低い入力加速度においてもすでに非線形性が認められる。2)波形については、下降量に比べ上昇量の方が大きい。3)スロッシング圧について最大波形に対する動水圧は、最小波形に対する動水圧の絶対値よりわずかに小さい。この傾向は、同程度の波高をもつ円筒模型の場合と異なっており、卵型という特殊な形状のためにこのような結果になると考えられる。以上の実験結果から、卵型消化槽は従来の円筒タンクと比べ、2,3 の異なる結果が得られ興味深いものとなっている。現在、Navier-Stokes の方程式を直接解くことによって、上述の諸現象を理論的に裏付ける研究を行っている。

<参考文献>

- [1] 小坪清真他：卵型消化槽に対する内容液の地震時衝撃圧の算定について，土木学会第39回講演概要集 I
- [2] 小坪清真他：調和加振をうける卵型消化槽内の表面波高応答，土木学会西部支部講演概要集，1985,2

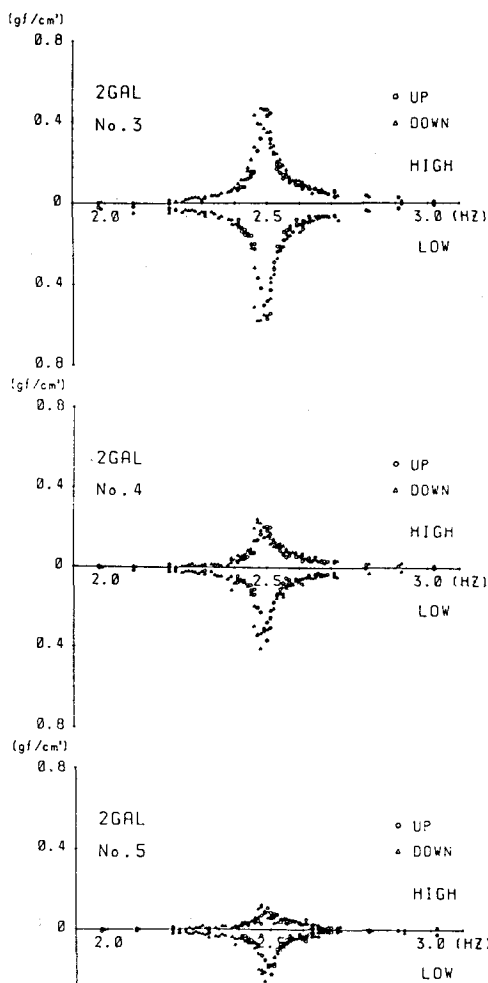


図-5 スロッシング圧の共振曲線

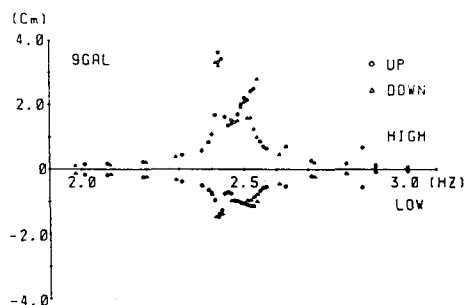


図-6 スロッシング波高の共振曲線