

I-B 28

長方形 T L D における波高と壁面動水圧の動特性

九州工業大学 工学部 正員 高西照彦
 九州工業大学 工学部 正員 多田 浩
 九州工業大学 工学部 正員 峯崎晃洋
 九州共立大学 工学部 正員 成富 勝

1. まえがき 同調液体ダンパー（T L D）を設置した構造物が大きな地震や強い風をうけて振動するとき、T L D 内容液のスロッシング振動は大きくなり、非線形な振動領域に入ることが予想される。このとき発生する T L D の壁面動水圧の大きさ及びその振動特性を定量的に明らかにすることは、T L D の制振性を考える上で重要なことであると思われる。このことに関しては既に藤野らによってすぐれた研究がなされている^{1)・2)}。本論では、まず、振動台上に長方形 T L D の小型模型を設置して加振を行い、このときの T L D 内容液のスロッシング振動をビデオ装置を用いて撮影し、パソコンによる画像処理を行うことによって、容易に波形解析のための基礎資料を得た。また同時に、水圧計を用いて T L D の壁面動水圧を計測した。次に、ブジネスク方程式を用いた有限要素法によって T L D 内容液の奥行き方向を考慮したスロッシング現象の 3 次元シミュレーションを行い、加振実験の結果と理論計算の結果を比較することによって、計算法の有用性を示し、さらにその適用限界について述べた。

2. 模型 T L D の加振実験 実験に用いた模型は、厚さ 3mm の透明なアクリル樹脂板で作成した大きさが内法 $20 \times 8 \times 20$ cm（長辺×短辺×高さ）の直方体である。内容液には水を用い、鮮明なビデオ画像を得るために、水に少量の青インクを混入した。水深を 3 cm に選び、模型を振動台上に設置して、模型の長辺方向に加振した。加振加速度及び加振振動数をいろいろ変えて実験を行った。模型の短辺側の側面上に底面から 1 cm の高さの位置に水圧計を取り付けて壁面動水圧を計測した。また、振動台上には加速度計とタイマを設置して台加速度と時刻を計測した。さらに、スロッシング振動を行う内容液の自由表面の形状をビデオカメラを用いて、1/30 秒毎の映像として記録した。そしてこの映像をコンピュータ処理することによって、内容液の自由表面波形のデジタル記録を得た。

3. 有限要素法による計算 上記の実験を、前論³⁾で示したブジネスク方程式を利用した非線形有限要素法を用いて、数値解析によってシミュレートした。要素は 3 角形要素で、要素数は 1280、節点数は 697 である。数値積分の時間刻みは 0.00025 秒、混合係数は 0.95、水粒子速度に比例する減衰係数は 0.05 s^{-1} とした。

4. 実験結果と計算結果の比較及び考察 図-1 は壁面波高が最大値に達した時刻における自由表面形状を示したもので、実線が実験結果を、点線が計算結果を示す。このときの波高 η と水深 H との比は $\eta/H = 0.77$ である。実験結果については、両壁面近傍で波高の顕著な上昇がみられ

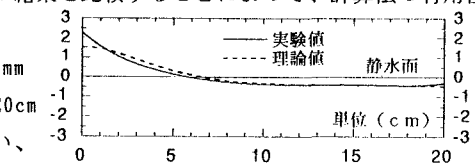


図-1 壁面波高最大時の自由表面波形

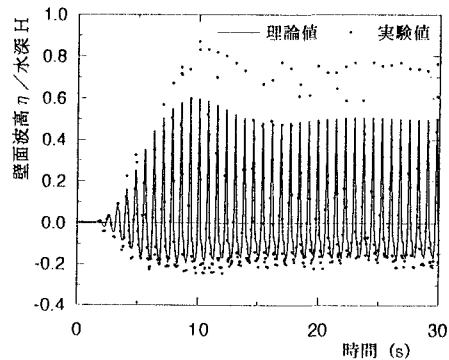


図-2 壁面波高の時刻歴応答

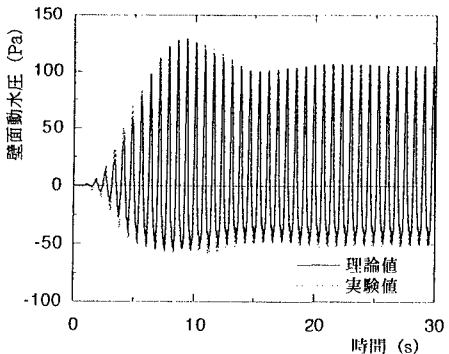


図-3 壁面動水圧（短辺側底面から 1 cm の位置）

るが、これは模型が小さいため水の表面張力の影響が相対的に大きく表れたためであろうと考えられる。また、波高の+側で両者の波形の曲率の符号が逆になっていることが注目される。それは、数値計算においては分割が荒いため、1つの要素の大きさ（5mm）が大き過ぎるのがそのような結果が得られた原因の一つではないかと考えられるが、この点については現在検討中である。加振加速度6.5Gal、加振振動数1.31Hz（内容液の1次の固有振動数 f_1 ）で加振した場合の壁面波高の時刻歴応答を図-2に、壁面動水圧（短辺側底面より1cmの位置）のそれを図-3に示す。実線が計算値を、

●印又は点線が実験値である。波高については表面張力の影響もあって、その振幅は実験値の方が計算値より多少大きい。壁面動水圧については、両者の結果はよく一致しているといえる。加振加速度が3Galの場合の壁面波高の振動数特性を図-4に、壁面動水圧のそれを図-5に示す。●印は実験値を、○印は計算値を示す。なお、横軸は加振振動数 ω を内容液の1次の固有円振動数 n_1 （ $=2\pi f_1$ ）で基準化している。動水圧については両者の結果は比較的よく一致しているといえる。ここには結果の一例しか示さなかったが、今回行った実験の範囲内（波高と水深の比が $\eta/H \leq 0.8$ ）では壁面波高については、計算値の方が実験値よりも多少小さな値が得られるが、壁面動水圧については両者はよく一致するという結果が得られた。図-6は加振振動数を内容液の1次の固有振動数 $f_1=1.31\text{Hz}$ として、加振加速度をいろいろ変えた場合について、定常状態における壁面波高及び壁面動水圧を計算してその結果を示したもので、■印が最大波高の変化を、●印が全壁面動水圧の最大値を、○印が片壁面動水圧の最大値である。なお、波高は水深 H によって、動水圧は加振加速度 ϕ に比例する内容液の慣性力 $m_w \phi$ によってそれぞれ基準化している。同図から波高と片壁面動水圧は加振加速度の増加に伴って比較的単調に増大していることがわかる。全壁面動水圧については、加振加速度が小さく現象が線形の場合には、それは片壁面動水圧の2倍になるはずであり、計算結果もそのようになっているが、加振加速度が大きくなるにつれて、それは片壁面動水圧の2倍より急激に小さくなり、加振加速度がより大きくなって非線形性が強くなると、両者の差はずっと小さくなる。

1) 孫利民他：同調液体ダンパーに関する非線形波動シミュレーションとその応用—長方形容器の場合—、風工学シンポジウム、1988。 2) 藤野陽三他：同調液体ダンパーに関する非線形波動シミュレーションとその実験的検証—長方形容器の場合—、構造工学論文集、Vol. 35 A、1989. 3。 3) 小坪清真他：ブジネスク方程式による長方形貯槽内容液の非線形振動の解析、土木学会西部支部発表会、1995. 3。

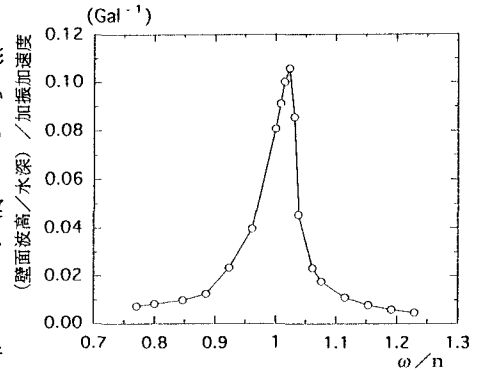


図-4 壁面波高の振動数特性（理論計算結果、加振加速度3Gal）

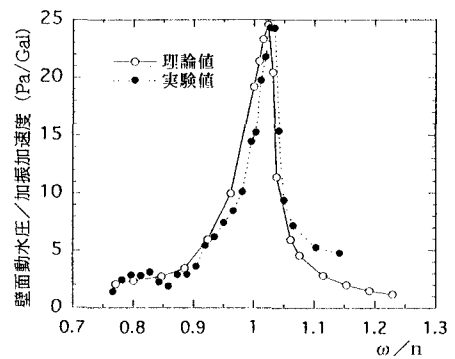


図-5 壁面動水圧の振動数特性（短辺側底面から1cm、加振加速度3Gal）

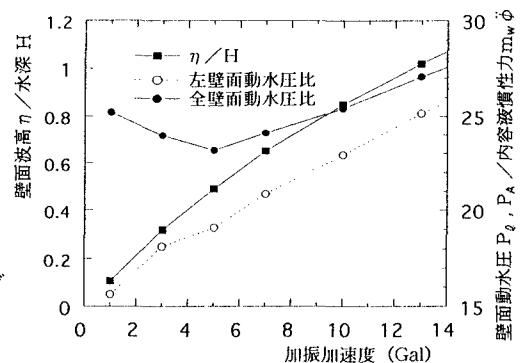


図-6 加振加速度と波高及び壁面動水圧の関係（理論計算結果）