

T L D 内容液のスロッシング波形

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
九州共立大学 工学部 正員 成富 勝
九州工業大学 工学部 峯崎晃洋

1. まえがき 現在までに、制振装置として同調液体ダンパー (T L D) を設置した構造物がいくつか建設されている。当該構造物が地震や台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。内容液の非線形なスロッシング振動によって生ずる壁面動水圧の大きさを的確に見積もって、それをT L Dの設計に生かすことは、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。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、内容液の非線形な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る方法について述べ、次に、ブジネスク方程式を用いた有限要素解析法によってスロッシング現象のシミュレーションを行い、加振実験の結果と計算結果とを比較することによって、計算法の有用性を示した。

2. ビデオ装置による記録と画像処理 実験に用いた模型は厚さ3mmの透明なアクリル樹脂製で、大きさは内法が $20 \times 8 \times 20$ cm (長辺×短辺×高さ)の直方体である。内容液としては水を用いた。鮮明なビデオ画像を得るために、この水に少量の蛍光染料 (フルオレセインナトリウム) を加えた。水深が3.03cmになるように水を満たした模型を振動台 (IMV kk製 バイプロベットPET-0A) 上に設置し、発振器 (NF社製 1930A) の振動数を模型の長辺方向のスロッシングの1次の固有振動数1.31Hzに設定して、長辺方向に加振した。加振加速度は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1cmの高さの位置に水圧計 (共和電業製 PGM-02KG) を取り付けて壁面動水圧を計測した。振動台上には加速度計 (共和電業製 AS-2GB) とタイマを設置して台加速度及び時刻を計測した。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 (ソニー製CCDカメラ、SSC-C350) とビデオデッキ (ソニー製、SV0-260) を用いて記録した。この装置によって得られたV T Rの画像は1/30秒に1枚の割合で記録される。さて、V T Rの画像は次に述べるような手順でコンピューター (POWER MAC 7100) 処理を行った後、1/30秒毎の内容液の自由表面形状がデジタル記録として得られることになる。(i) V T R画像を画像データ取り込みプログラム (VIDEO SHOP) で画像として取り込む。(ii) プログラムSUPER PAINTを用いて(i)の画像上に座標軸を設定した後、この画像中に写っている内容液の自由表面波形をその画像上でトレースすることによって、この波形のみを残す。(iii) プログラムIMAGEを使って(ii)でトレースした波形の座標値をデジタル変換して記録する。また、波高の時刻歴応答値については、模型の短辺側の中心を通る鉛直軸上の自由表面の位置を、上記と同様な方法を用いて1/30秒毎のデジタル記録として得た。さらに、振動台加速度と壁面動水圧については、アナライジングレコーダ (横河電機製、AR1600) を用いて0.005秒毎の値としてデジタル量に変換して記録した。

3. 実験結果 振動台加速度の一例を図-1に示す。入力電圧は0の状態から徐々に大きくしていき、あらかじめ定めた振動台加速度に達した後、一定値に保った。同図から判るように、振動台の性能上の制約 (加振力が小さく最大3kgfである) のため、目的とする1.31Hzの他に6.58Hzの高次振動が混入している。実験結果の一例を図-2, 3(a), 4(a)に示す。図-2の実線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ある。このとき波高 w と水深 H の比は $w/H=0.77$ である。図-3(a)は模型の短辺側の中央の鉛直線上の壁面波高の時刻歴応答を、図-4(a)は同じ線上で底面から1cmの位置における壁面動水圧のそれを示している。

4. 有限要素法による計算結果並びに考察 上記の実験を、著者等が前論¹⁾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、数値解析的にシミュレートした。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 $\Delta t = 0.00025$ 秒、混合係数は $c = 0.95$ 、減衰係数は $c = 0.05 \text{ s}^{-1}$ 、とした。計算結果を図-2、図-3(b)、図-4(b)に示す。実験結果と計算結果を比較すると、(i)自由表面波形については、壁面付近を除いて実験値と理論値とは良く一致している。壁面付近において両者に差が生じた原因は、理論値において、水の表面張力を考慮していないこと及び3角形要素の大きさ（一辺の長さ5mm）が大きいためであると考えられる。(ii)壁面波高については、実験値の方が多少大きい、時刻歴応答の傾向については両者は良く一致しているといえる。(iii)壁面動水圧については、両者は大きさ及び時刻歴応答の傾向とも良く一致しているといえる。上記のことから $w/H = 0.77$ 程度の非線形性の場合には計算結果は実験結果と良く一致しているといえよう。

1)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、西部支部発表会、1995.3.

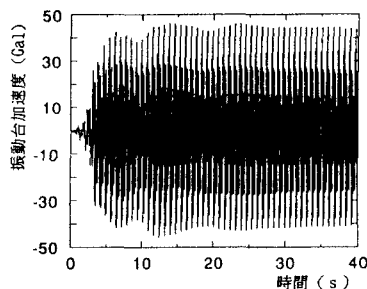


図-1 振動台加速度

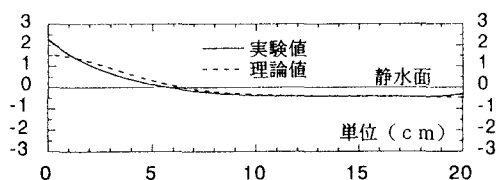
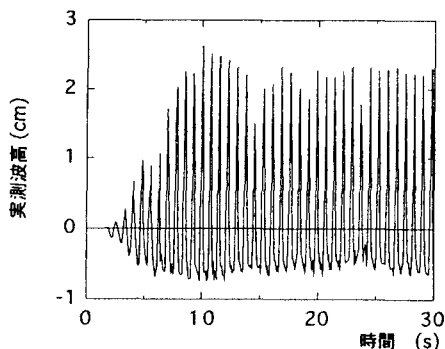
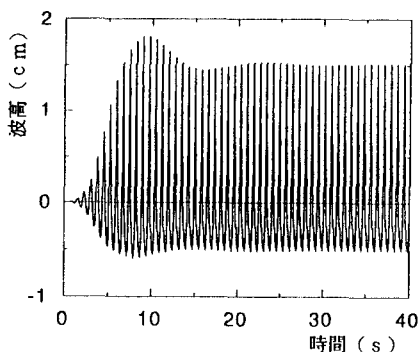


図-2 壁面波高最大時の自由表面波形

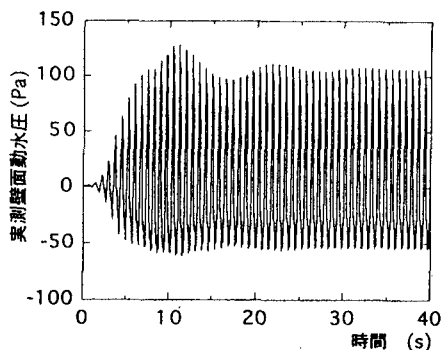


(a) 実験値

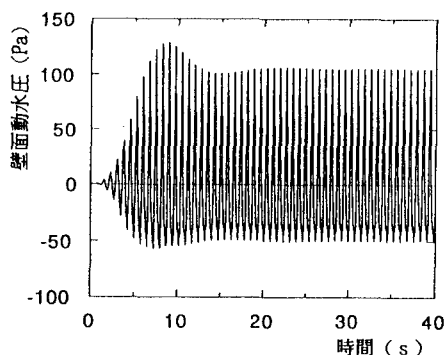


(b) 理論値

図-3 壁面波高の時刻歴応答



(a) 実験値



(b) 理論値

図-4 壁面動水圧の時刻歴応答