

CS-29

流体スロッシングの画像計測

住友建設 正会員 内堀裕之
 東京大学 正会員 阿部雅人
 東京大学 フェロー 藤野陽三

1. はじめに 大型構造物の風や交通による振動を制御する装置として同調液体ダンパーがある。同調液体ダンパーは流体のスロッシング現象が動作原理であるが、流体の動きや減衰を正確に把握するのは難しい。それにもかかわらず、スロッシング現象において内部の流速場と自由表面の形状の変化を計測した研究はない。一方、近年では画像計測技術が発展してきており、流速場の計測などに応用されている。そこで、本研究では流体のスロッシング現象を可視化することで画像計測技術を用いた計測システムと手法を構築し、力学的エネルギーをもとに流体のスロッシング現象の特徴を探索。

2. 可視化実験と画像計測手法 流体のスロッシング現象を可視化するために図1のようなシステムを作った。振動台の上に矩形の容器とデジタルビデオカメラを固定し、容器内に流体と流体の動きに追従する粒子（トレーサー）を入れた。シート状の光源を容器上部から振動台の加振方向と平行に設置し、ビデオカメラに2次元的な動きが記録されるようにした。この結果流体の自由表面形状と内部の動きを同時に可視化することが出来た。

次に、デジタルビデオカメラに記録された画像をコンピューターに読み込み、画像解析を行い定量化した。デジタルビデオのノンインターレース機能を利用し、30枚/秒の画像データから明るさの程度を示す輝度値のみを利用し画像解析を行った。

自由表面部は輝度値が高いため自由表面形状は1本の曲線のように記録されている。この曲線の位置と形状を画像毎に計測し、自由表面形状の変化を計測した。しかし、全ての画像で曲線が記録されているとは限らず、曲線の一部が欠落するような場合がある。このような場合はエルミート補完を利用して欠落部を補った。その結果、時刻毎の体積変化も少なく精度良く計測することが出来た。

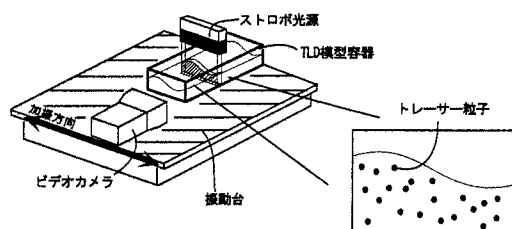


図1 可視化実験システム

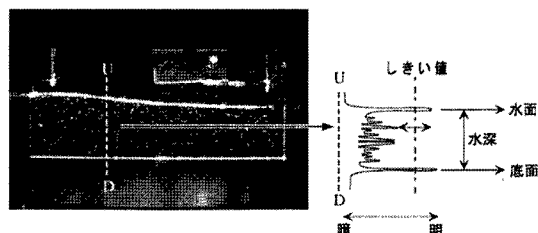


図2 自由表面形状の計測

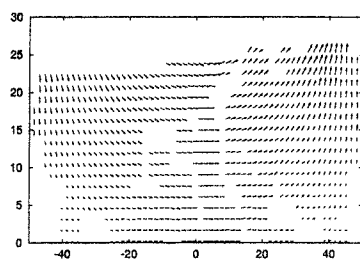


図3 流速分布（修復前）

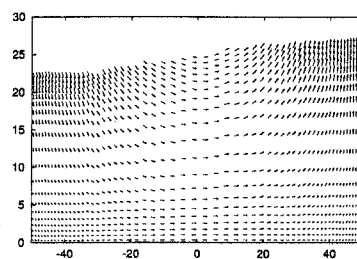


図4 流速分布（修復後）

流速分布の計測には、粒子画像流速測定法（Particle Image Velocimetry, PIV）という粒子パターンを追跡して流速を定量化する計測手法を用いた。すべての点では流速ベクトルを計測できなかったが、これは部分

キーワード：画像計測、流体スロッシング、可視化

東京都文京区本郷 7-3-1

的にトレーサー量が不足していたため計測できていなかったり、明らかに誤りである流速ベクトルを除去したためである。そこで、流速ベクトルの欠落を補うために連続式を利用して修復した。補完する点の近傍の点数に対して差分化した連続式の誤差が最小となるように流速ベクトルを求めた。

3. 力学的エネルギーの算出 自由表面形状と流速分布からそれぞれ位置エネルギーと運動エネルギーを算出した。図5は位置エネルギーと運動エネルギーの和である力学的エネルギーと加振加速度の時刻歴である。加振によるエネルギーの増加と加振停止後のエネルギーの減少は表現できている。しかし、容器内で定常波が生じている時間では本来エネルギー値は一定であると考えられるが、大きく振動しているという結果が得られた。ここで自由表面形状の同定データに高周波成分が認められたため、フーリエ変換を使って除去した結果に大きな違いは見られなかった。次に、位置エネルギーと運動エネルギーをそれぞれプロットした（図6）。位置エネルギーは定常時の振幅はほぼ同じであるのに対して、運動エネルギーでは1周期毎に大きい振幅と小さい振幅に交互に変化している。これを現象面から考えると、運動エネルギーのピークは自由表面形状が水平で内部の流体が右側か左側のどちらかに最大速度で動いているときであり、交互に振幅の大きさが変化するのはどちらか一方の流れのときに大きめに計測されているということである。これは空間解像度があまり高くないために流速の測定精度に問題があったと考えられる。次に、内部の流体の粘性を変化させて、定常時のエネルギー平均値をそれぞれプロットした（図7）。その結果、粘性が大きくなるにつれてエネルギー値が下がり、ピーク周波数が低周波側に移動していくという実際の現象の傾向を表現することが出来た。

表1 実験概要

容器幅	10cm
容器奥行き	20cm
水深	2.5cm
加振振動数	2.2 ~ 2.5Hz
動粘性係数	1.5 ~ 100.0mm ² /s

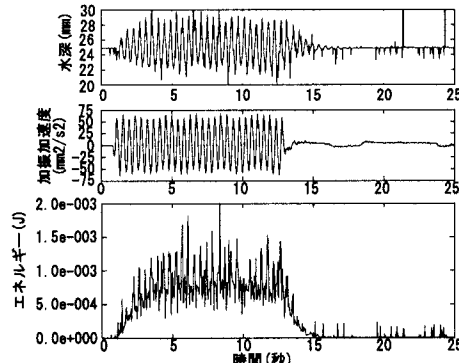


図5 力学的エネルギーの時刻歴

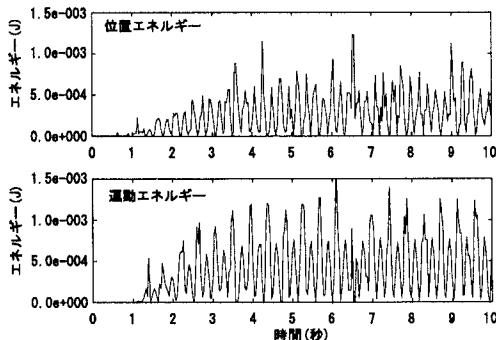


図6 位置エネルギーと運動エネルギー

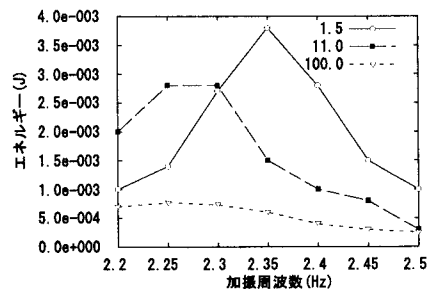


図7 定常時の平均エネルギー

4. まとめ 本研究では、流体のスロッシング現象の自由表面形状と内部流れを同時に可視化し、画像計測手法を利用し計測データの修復・補完方法を考案することで現象をほぼ再現することに成功した。また、内部流体の粘性の違いによるエネルギー値の変化の傾向を確認した。つまり、画像計測が流体のスロッシング現象を把握するための手法として利用できることを確認した。

参考文献

- 1) 内堀裕之：画像計測に基づく流体スロッシングの流速場の同定とエネルギー散逸の定量化，東京大学修士論文，1999
- 2) 木村周二：数値流体モデルによる同調液体ダンパーの減衰性能の予測，東京大学修士論文，1998