

## 溢流を伴う矩形タンクのスロッシング画像計測

電中研 正会員 ○酒井 理哉  
電力計算センター 山崎 健一

### 1. はじめに

巨大地震が発生した場合、減衰の小さい長周期地震動は広い範囲に伝播し、共振周波数の帯域が一致する石油タンクなどでスロッシングと呼ばれる液面の揺動が生じる可能性がある。共振時のスロッシングでは、強い非線形性を伴う液面揺動が生じ、この現象の解明と評価法の高度化が求められている<sup>1)</sup>。本論では、非線形スロッシング時の現象把握を目的とし、従来の波高計による計測では限られた点でしか測定できなかった液面の画像計測方法について述べる。

### 2. 矩形タンクの振動台実験の概要

図1に示す2重構造の矩形水槽（外側部：4m×2m×0.5m、内側部：2m×1.5m×0.5m）を用いたスロッシング実験を行った。内側水槽に上端から50mmまで水を満たし、水槽全体を水平方向に地震波加振することによりスロッシングを生じさせ、外側水槽に溢れる状況の評価する。主な計測項目は、スロッシング波高（3箇所）、隔壁に作用する動水圧（3箇所）、振動台および水槽の応答加速度で、アンプを介しデジタル収録装置を用いて動的計測を行った。

### 3. 画像計測方法

右側隔壁の上部にアクリル窓（1m×1m）を設け、高速ビデオカメラを用いてスロッシングによる波の溢流状況を撮影し、画像処理により波面形状の分析を行った。高速ビデオカメラは振動台上に固定し、デジタル収録装置と同期するトリガー信号でスタートし、0.01秒刻みでカメラのメモリ上に15秒間撮影した。撮影後記録データはTiffデータに変換して画像処理を行った。高速ビデオカメラは撮影感度が低いためタンク内部は照明し、また水は着色剤を用いて後述する画像処理のため緑色系の蛍光色にした。また、キャリブレーション用に0.8m×0.6mのマークを撮影した画像を記録し、スケール変換を行った。

水面形状の輪郭抽出のためには、最終的に水とそれ以外の領域（背景）を分離した白黒画像を生成する。この白黒画像を2値化画像といい、画像内の各ピクセルの色や明るさなどをもとに白か黒を分類する。

液面形状の画像処理については、撮影した画像の輝度情報からしきい値で2値化する方法などがよく使われるが、画像中の波高の移動量が大きく水面の明るさの変動が激しいため、単純な2値化では水領域の認識が難しい。このため、カラー画像をRGBに色分解して領域を演算して抽出する手法を用いた。水領域はグリ

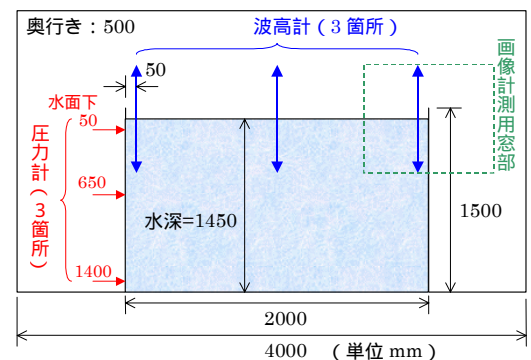


図1 タンク模型の形状とセンサー配置図

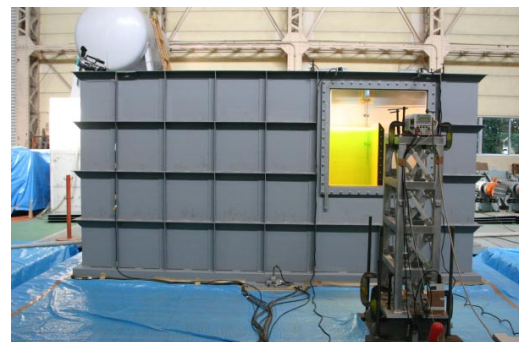


図2 タンク模型の概観とカメラ設置状況

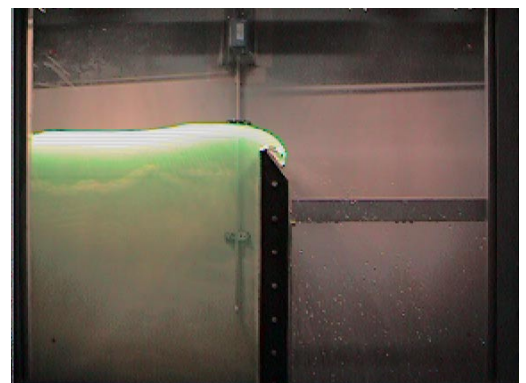


図3 撮影した液面形状画像

キーワード スロッシング、画像計測、長周期地震動、溢流

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646 (財)電力中央研究所 構造工学領域 TEL: 04-7182-1181

ーン系であることから、カラー画像を RGB に色分解し、グリーンチャンネルを用いて抽出しようとしたが、全体的に彩度が低く、単色チャンネルを用いて2値化処理で分離することは困難であった。そこで、水領域の RGB のヒストグラムを確認したところ、グリーンとそれ以外のチャンネルに差が生じていることに着目し、G チャンネルと R チャンネルの差分 ( $G-R$ ) と G チャンネルと B チャンネルの差分 ( $G-B$ ) を生成した (図 4-a、b)。水領域と背景をよく分離した状況となっている。この差分画像を2値化し、水領域はこの二つの差分領域を同時に満たす領域であるため、交差領域の2値化画像を生成した (図 4-c)。

水領域の表面近くは、ライティングにより白に近いハイライト領域となっているため、このハイライト部分を別途抽出し、前述の水領域との和をとることとした。抽出方法は、R チャンネルおよび G チャンネルが同時に高い値を持つ領域とし、2値化を行った (図 4-d)。水領域とハイライト領域との和を取って水面形状全体をカバーした。

2値化画像はノイズ成分も含まれているため、領域の小さい部分を面積によりフィルターし、ノイズを除外した。さらに領域内部に抜けが生じているため、膨張縮退処理を行い、水領域の塊として認識した (図 4-e)。最終的に、水の領域の輪郭を抽出し、座標値を数値化した (図 4-f)。

#### 4. 画像計測結果

波高計による水位計測位置と同じ箇所における画像計測値を求め、時刻歴波形で比較した結果を図 5 に示す。両者は非常によく一致しており、計測精度が検証できた。波高計による計測は測定点が限られるため、液面形状変動の激しいスロッシング応答を捉えることは難しいが、画像計測を用いることにより面的に形状を評価することができ、溢流を伴う非線形性の強い現象の把握に有効であると言える。

#### 5. まとめ

溢流を伴う非線形性の強いスロッシング現象の解明のため、画像処理を用いて液面形状を認識する計測手法を開発した。波高計との比較により計測精度を確認し、複雑な液面揺動の計測を可能とした。

#### 参考文献

- 1) 酒井、東、佐藤、田中：「溢流を伴う矩形水槽の非線形スロッシング評価」、構造工学論文集 Vol.53A, 2007.3, pp.597-604

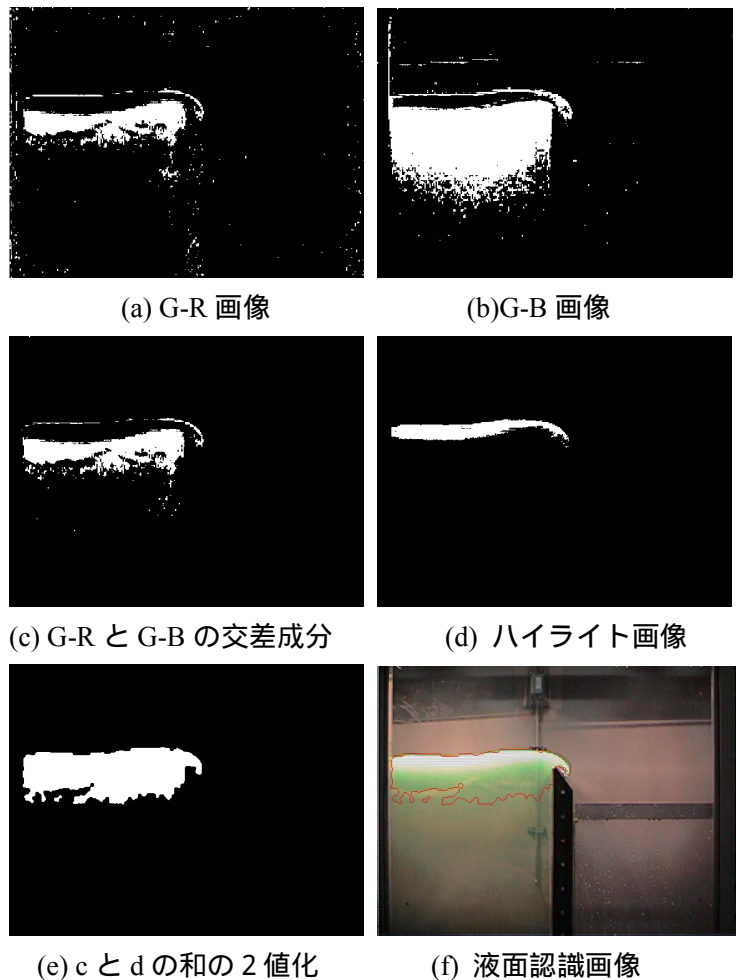


図 4 画像処理手順

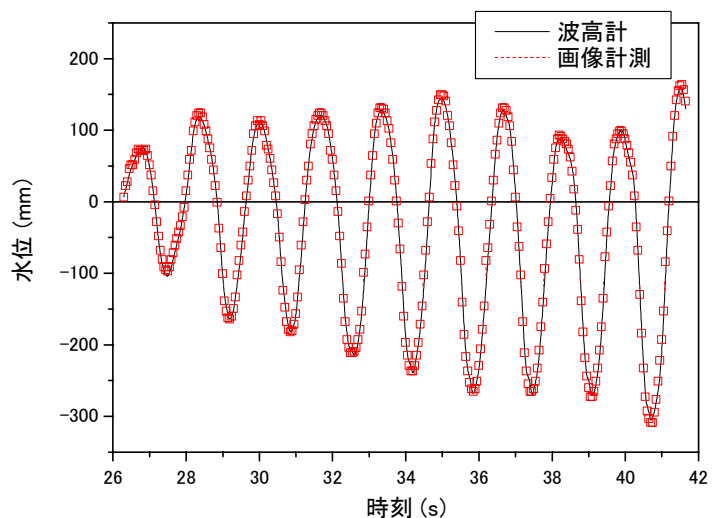


図 5 波高計と画像計測による水位の比較