

## OpenFOAM のスロッシング解析への適用

大成建設 技術センター 社会基盤技術研究部 正会員 ○小俣 哲平, 本田 隆英

### 1. 目的

オープンソースの流体解析コードである OpenFOAM を用いてスロッシング解析を実施する場合、流体に働く重力加速度を仮想的に変化させる方法が一般的である。しかしこの手法では、重力が変動するという実現象とことなる条件のため、構造物の条件等により解析に不具合が生じる可能性がある。一方、OpenFOAM には近年移動格子を用いた解析手法が導入され、構造物自体を振動させ、スロッシング現象が解析できるようになった。そこで、本検討では、移動格子を使用したスロッシング解析を行い、その精度を理論式と比較検証した後、従来の加速度による解析結果と比較し、水面変動および圧力分布の違いを検証した。

### 2. 解析条件

解析には、OpenFOAM の移動格子に対応した VOF 法に基づく非圧縮性気液二層流ソルバーである interFoam を使用した。解析は、長さ 25m、水深 2m の矩形水槽を基本モデルとし、図 1 のようにモデル化した。上面は大気圧開放とし、溢水がないように十分な高さとしている。解析は 2 次元で実施し、解析格子サイズは  $dx=0.5m$ 、 $dz=0.1m$ 、最大時間刻み幅は 0.01 秒とした。加震は水平方向のみとし、使用した地震動は図 2 に示す防災科学技術研究所が公開する K-NET（全国強震観測網）および KiKnet（基盤強震観測網）による 2 種類の加速度時系列データおよび加速度の積分から算出した変位時系列データを入力とした。

### 3. 解析結果と理論式の比較

変位入力による解析精度検証のための比較には Housner 理論による壁面での最大スロッシング高を用いた。Housner 理論では、水面変動に微小振幅を仮定し、水槽の固有周期に対応する地震動の応答速度から、最大スロッシング高が算出される。精度検証のケースは図 1 のモデルを基本に、水槽の長さを 5m～25m、水深を 1m～13m の幅で変更し、組み合わせた 10 ケースを対象に解析を実施し、壁面での水位変動の最大変位を比較した。入力した地震動は図 2 に示した EQ1 を使用した。図 3 に解析で得られた最大スロッシング高と Housner 理論による理論値との比較結果を示す。図より、変位入力による解析結果は理論値と概ね良好な一致を示していることが分かる。入力した地震動 EQ1 は、加速度が比較的小さく、Housner 理論の仮定するように水面変動が微小振幅を大きく逸脱しないため、良好に一致したと考えられるが、最大の誤差は 30%程度あり、壁面の摩擦や壁関数に関するパラメータ、水平方向の格子サイズについて詳細な検討が必要である。

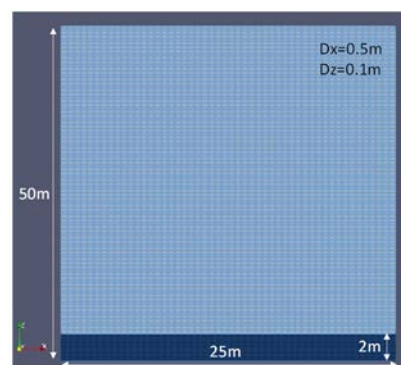


図 1 解析モデル

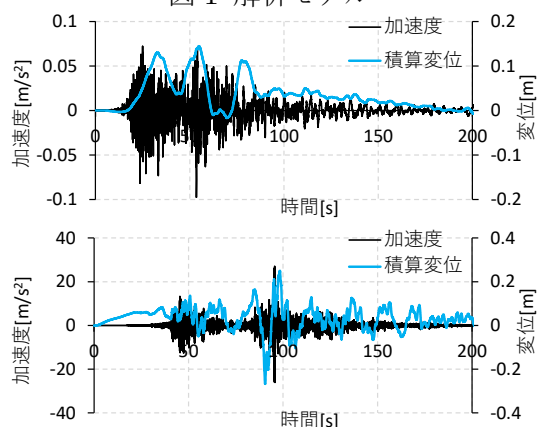


図 2 入力加速度及び変位  
(上: EQ1 下: EQ2)

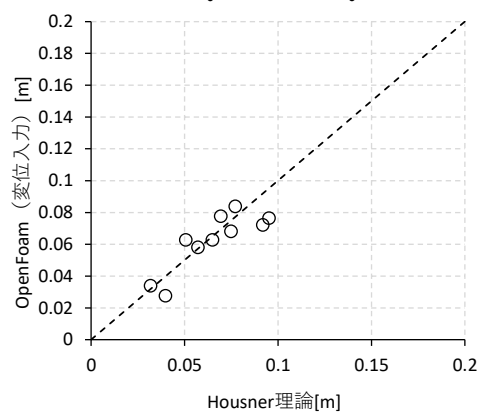


図 3 理論値との比較

キーワード スロッシング現象, OpenFOAM, 数値解析, 動水圧, 地震動

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設 技術センター社会基盤技術研究部 TEL080-1305-7437

### 4. 入力方法による結果の比較

地震動の変位入力と加速度入力による結果を比較するため、壁面での水位変動および壁面に作用する圧力の比較を行った。図4に水位の時系列比較の結果の一例を示す。同図は入力した加速度波形を併記し、最大加速度が含まれる時間付近を示している。同図より、水位の変化は地震加速度に応答しており、スロッシング現象が再現出来ていると考えられる。EQ1において最大加速度が発生する25秒付近において水面変動が見られないのは、入力した地震度の周期が水槽の固有周期からはずれているためと考えられる。2種類の地震動ともに、加速度入力と変位入力による水位変動の結果の差異はほとんど見られず、水位変動結果は入力手法に依存しないことが確認できた。

図5に、壁面の水深1.5m位置の圧力の時系列結果の比較を示した。水位の比較結果と同様に、地震動の最大加速度が発生する時刻付近を示している。同図より、2種類の地震動の圧力の解析結果は、両者とも加速度の時系列変化に応答して変化していることが確認できるが、変位入力の方が加速度入力に比較して若干小さくなっている。図6に、最大加速度発生時刻の壁面に作用する動水圧を示す。動水圧の理論値については、Westergaard式を使用して算出した。同図より、動水圧の鉛直分布傾向は両手法ともに理論値に類似しているが、加速度入力の解析結果の方が理論値に近く、変位入力の解析結果は過小評価となっている。変位入力での過小評価となる要因として、入力した変位時系列データを加速度の積分により算定した際の誤差と、壁面近傍での圧力算定手法が考えられる。前者については、入力変位データについては十分に精査したものの、計算時の時間刻みによっては入力となっている加速度が過少になっている可能性がある。また後者についても、解析手法の精査が今後必要である。

### 5. 結論

OpenFOAMを使用したスロッシング現象の解析を、加速度入力および変位入力により実施し比較した。両者の手法間で水位の解析結果に大きな違いはないものの、圧力については変位入力の場合に過小評価となる可能性がある。一方で、水域内に浮体がある場合など、従来の加速度入力では流体部以外に作用する重力まで変化させてしまうため、変位入力による手法に優位性があり、圧力算定における過小評価の要因解明と対策を今後検討する予定である。

### 参考文献

本田ら (2016) : 貯留堰を有する取水路を対象としたスロッシング解析, 土木学会年次学術講演会

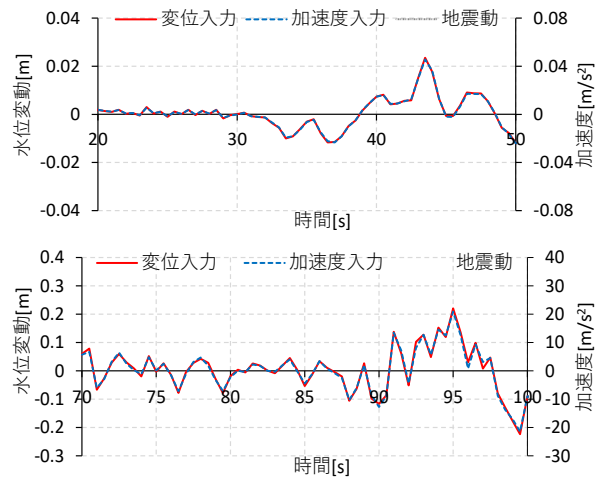


図4 水位時系列の比較  
(上: EQ1 下: EQ2)

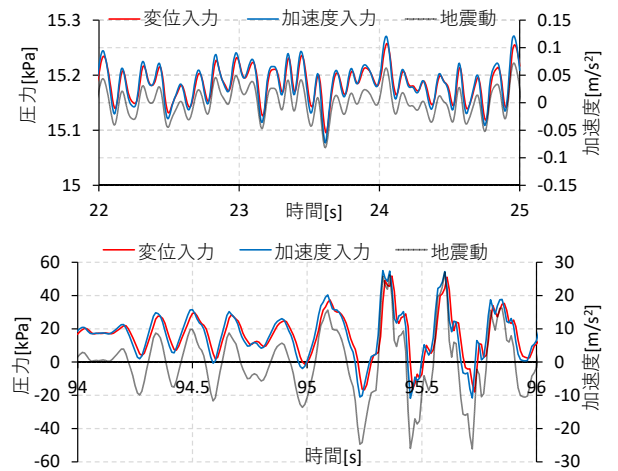


図5 圧力時系列の比較  
(上: EQ1 下: EQ2)

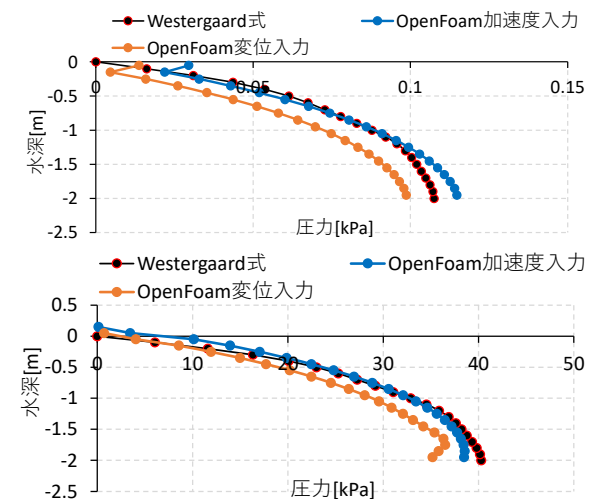


図6 動水圧分布の比較  
(上: EQ1 下: EQ2)