

3次元数値流体解析と構造解析による防潮水門施設の耐津波性に関する研究

名古屋工業大学大学院 学生会員 ○吉次佑介, 正会員 野中哲也
 (株) 地震工学研究開発センター 正会員 坂本佳子
 (株) ハイドロ総合技術研究所 正会員 川崎浩司

1. まえがき

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震を契機に、地震・津波の想定が大きく見直された。各自治体では、南海トラフ巨大地震に備え、既存の沿岸構造物に対して補強工事を行っている。沿岸構造物を対象とした津波 - 構造解析に関する研究は行われつつあるが、水門を対象とする例は少なく、求められた防災・減災機能を十分に発揮できるかを検討することは重要である。

そこで著者らがこれまで文献1)に示すように、実際の防潮水門を対象にして、流体解析および構造解析の連成解析であるFSI解析 (Fluid-Structure Interaction) を行うことによって、防潮水門の門扉の開閉状態による津波浸水状態の予測や防潮水門の挙動の確認等を行ってきた。本研究では、さらにこのFSI解析の性能を向上させて、対象の防潮水門施設の耐津波性について詳細に検討する。

2. 解析ステップ

一連の流体 - 構造解析を行う場合に、複数の計算モデルを組み合わせる手法がある。その一例として、非線形長波理論モデル・OpenFOAM・SeanFEMの3つの計算モデルを組み合わせた場合の接続手法を以下に示す。

- ① 津波波源から沿岸域までの平面2次元解析を行う。
 ネスティング計算を実施することで、広範囲な領域を扱いつつ、沿岸域で詳細な解析を行うことが可能となる。計算結果から、沿岸域における水位と流速の時系列変化が得られる。
- ② ①で得られた水面変動から対象とする時刻を決め、流速の時系列変化を3次元流体解析の流入条件として用いる。また同様に初期場を決定する。
- ③ 津波の遡上や構造物背後への回り込みなどの3次元

性の強い現象を、空間解像度の高い計算領域を用いて、OpenFOAMによる3次元流体解析を行う。

- ④ ③の計算結果から、津波の伝搬、浸水過程、構造物に作用する圧力が得られる。
- ⑤ ④で得られた圧力を外力として用いた、SeanFEMによる構造解析を行う。
- ⑥ ⑤の計算結果から津波による構造物の変位、変形が得られる。

上記の接続手法によって津波の発生から構造物の挙動までの一連の津波 - 構造解析が可能となる。本検討では③から⑥までのモデルの接続を行った。

3. 3次元流体解析

3次元流体解析の計算領域を図1に示す。本領域は、名古屋港の奥部に位置する堀川と山崎川の河口部にあたる700m×700mの領域である。地形データは、内閣府による10mメッシュのデータと国土地理院による航空レーザ測量データを用いて作成した。

図2に計算モデルを示す。同図の流入境界には、平面2次元解析で得られた流速の時系列変化を与えることで、津波の流入を再現している。同図の流出境界には、計算領域に対する影響ができるだけ小さくなるよう、透過境界を与えている。地表面及び海底面についてはslip条件としている。その他の計算条件は表1に示すとおりである。

解析対象の防潮水門は、高潮対策として建設されたため、引き波のような海側の水位が大きく低下した状態での開閉を想定していない。そのため、引き波後に押し寄せる津波に対して水門の門扉が完全に閉じることができない可能性がある。よって、図3に示すように、水門の



図1 計算領域

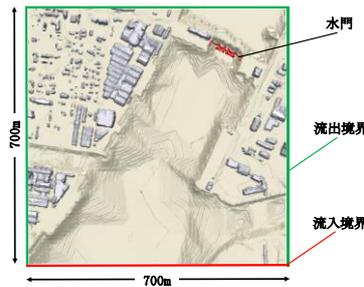


図2 計算モデル

表1 計算条件

計算ツール	OpenFOAM	
計算ソルバ	interFoam	
界面追跡手法	VOF法	
計算格子間隔	$\Delta x, \Delta y$	0.3 - 1.3m
	Δz	0.3 - 1.0m
総格子数	約800万	
計算時間間隔	自動調整 (最大クラン数0.5)	
計算時間	地震発生から105-112分後の7分間	
乱流モデル	laminar	
境界条件	造波境界	流速の時系列変化
	壁面	slip条件

キーワード 3次元流体解析 津波 構造解析

連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 TEL:052-735-5563

門扉が全閉状態の場合 (Case1) と門扉が半開状態の場合 (Case2) の2つのケースを対象として検討を行った。

図4に各解析ケースにおける時刻 $t=420s$ での結果を示す。ここで時刻 t は地震発生 105 分後を $t=0s$ としている。Case1 では水門によって河川遡上を妨げられた津波が、水門両脇から上流へと流れ込む様子が見られる。市街地へ遡上していく津波の流速、また遡上範囲も大きいことがわかる。Case2 では半開状態のため、津波が水門を通過する様子が見られるが、Case1 と同様に土地の低い水門両脇から津波が流れ込むことがわかる。遡上する津波の流速は最大で $5m/s$ である。

4. 構造解析 (静的解析)

本検討では図3に示すように、排水水門に隣接する通行水門 1 基を対象とし、水門の門扉が全閉状態の場合 (Case1) と門扉が半開状態の場合 (Case2) の構造解析を行った。水門は高さが底面から $10.5m$ 、幅が $15.0m$ であり、門柱 (コンクリート)・門扉 (板厚 $20mm$ の鋼板)・フレーム・水平材・ブレース材から構成され、使用鋼材は $SS400$ であり、本検討のために設計したものである。構成部材には、両ケースともに、ファイバー要素・シェル要素・剛体要素を用いて、図5に示すようにモデル化を行った。また3次元流体解析で得られた、水門に作用する最大圧力値をシェル要素における面荷重として設定した。

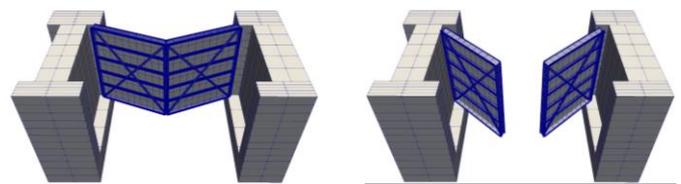
図6にCase1の水門の応力コンター図を示す。同図より津波波圧に対して鋼板での応力が微小であり、フレームと水平材に局部的に応力が集中していることがわかる。しかしいずれも塑性化には至っていない。

5. まとめと今後の課題

本研究では、津波 (流体) と水門 (構造) の相互作用を考慮した大規模な FSI 解析を実施した。しかし、この FSI 解析は、流体から構造への影響のみを考慮した一方方向の解析である。津波解析では広域の計算領域が必要で大規模な計算になることから、これまで一方方向の解析しか行われなかった。実際は水門が変形や移動すれば流れも変化するため、一方方向の解析では不十分な場合がある。よって、今後は、図7に示すように正確に相互作用を考慮した FSI 解析を実施する予定である。

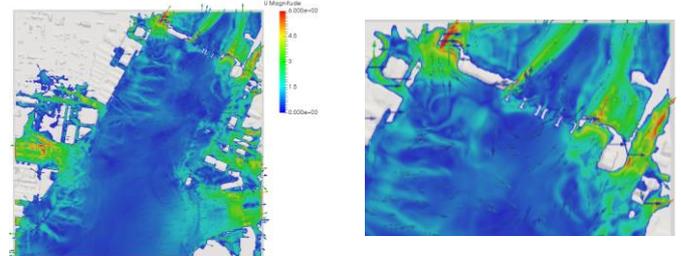
参考文献

1) 川崎浩司, 坂谷太基, 野中哲也: 京コンピューターを用いた名古屋港外郭施設の耐津波性に関する3次元数値解析

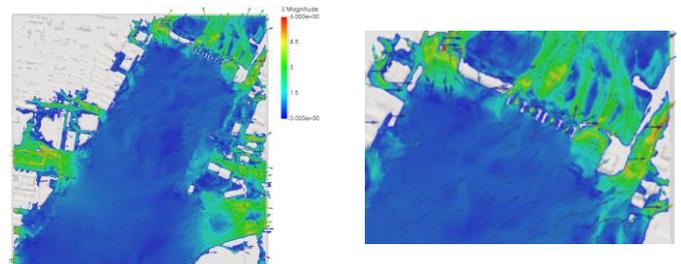


Case1 Case2

図3 解析ケース



Case1 (左:全体図 右:拡大図)



Case2 (左:全体図 右:拡大図)

図4 3次元流体解析結果 ($t=420s$)

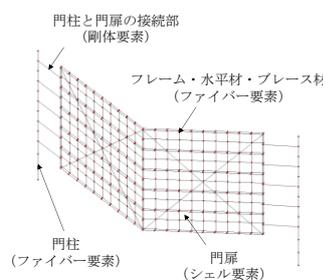


図5 防潮水門のモデル化

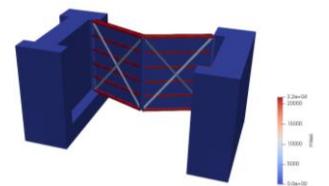


図6 応力コンター図

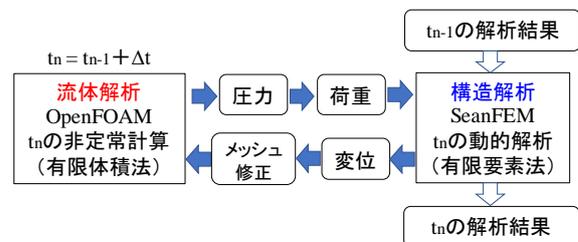


図7 正確な FSI 解析の方法