

津波により取放水路天端に作用する圧力の再現解析

大成建設(株)

正会員 ○高島 知行
正会員 伊藤 一教

正会員 織田 幸伸
正会員 本田 隆英

1. 研究の目的

臨海の発電所では取放水路に津波が流入すると水路内の水位が上昇し、水路の天端（天井）部分に圧力が作用する。この圧力は天端蓋を飛散させ、新たな溢水箇所を生じさせる危険性があるなど津波対策上重要であるが、評価手法は十分に検討されていない。この圧力を評価する手法の一つとして数値解析による評価が挙げられる。OpenFOAM¹⁾ はオープンソースの数値流体解析ツールであり、近年では水理・海岸工学分野において適用が広がっている（例えば、川崎ら²⁾）。水路天端に作用する圧力についても、OpenFOAM を用いて評価できることが期待できる。そこで本稿では、津波により取水路天端に作用する圧力の計測実験を対象に、OpenFOAM を用いて再現計算を実施し、OpenFOAM の適用性について検証した。

2. 対象水路

解析は、図-1 に示す取水路ポンプ室天端に対する津波波力実験を対象とした。実験ではチャンバー式津波造波装置により津波を造波させ、防潮壁前面（H1）およびポンプ室開口部（H2）の水位時系列、ポンプ室天端（P1～P6）に働く圧力を計測した（計測時間間隔：0.001s）。解析では初期水位を 0.63m（水路内初期水深 0.17m）、非砕波形状の津波を入射させた場合を再現対

象とした。なお、計測される衝撃圧にばらつきが生じることを考慮し、実験では同条件で繰り返し 5 回計測を行った。

OpenFOAM は燃焼、圧縮性／非圧縮性流体、混相流など様々な解析ソルバを有するが、ここでは等温・非圧縮・不混和の気液二相流を対象とした解析ソルバを用いた。基礎方程式は連続式と Navier-Stokes 方程式である。基礎方程式の離散化には有限体積法が、自由表面の解析には VOF 法が用いられる。解析格子間隔は $dx=5\text{mm}\sim 50\text{mm}$, $dy=10\text{mm}\sim 20\text{mm}$, $dz=0.5\text{mm}\sim 20\text{mm}$ とし、ポンプ室天端近傍で細分化した。その他の解析条件を、表-1 にまとめて示す。なお、解析に用いた津波は解析モデル左端に設置した造波境界から流速時系列を与えることで再現した。

3. 実験結果と解析結果の比較

OpenFOAM によるポンプ室内の水位変化の様子を図-2 に示す。津波の流入によりポンプ室内の水位が上昇している様子が確認できる。

図-3 に、実験と OpenFOAM による水位時系列結果の比較を示す。ここでは、実験結果を黒線で、解析結果を赤線で示す。防潮壁前面については、短周期の水位変化に実験と解析で違いはあるが、全体的な水位上昇の傾向は概ね良好に再現できている。ポンプ室開口部の水位変化については、実験と解析でよく一致している。ただし、最大水位については解析がやや過大評価している。これは開口部天端周辺の鉛直方向格子間隔が粗いため（10～30mm）、水位が同地点まで達すると解析の再現性が低下することが一つの要因と考えられる。

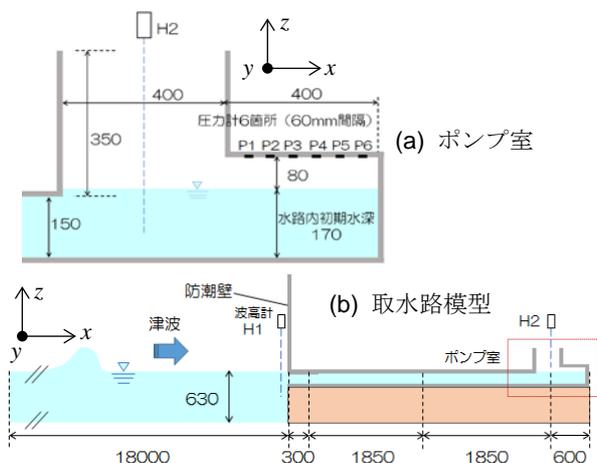


図-1 津波造波実験の模式図 (単位: mm)

表-1 解析条件

計算時間間隔	動粘性係数 ν		密度 ρ	
	水	空気	水	空気
0.001s	$1.00 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$1.48 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	1000 kg/m^3	1 kg/m^3
乱流モデル	境界条件			
	上端	壁面		
標準k- ϵ モデル	開境界条件	slip条件		

キーワード 津波, 津波波力, OpenFOAM, 数値解析, 取放水路, 混相流モデル

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター 土木技術研究所 TEL045-814-7234

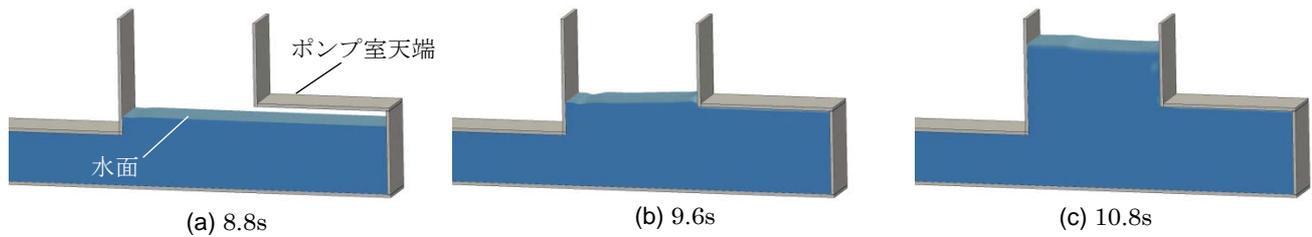


図-2 OpenFOAM による解析結果

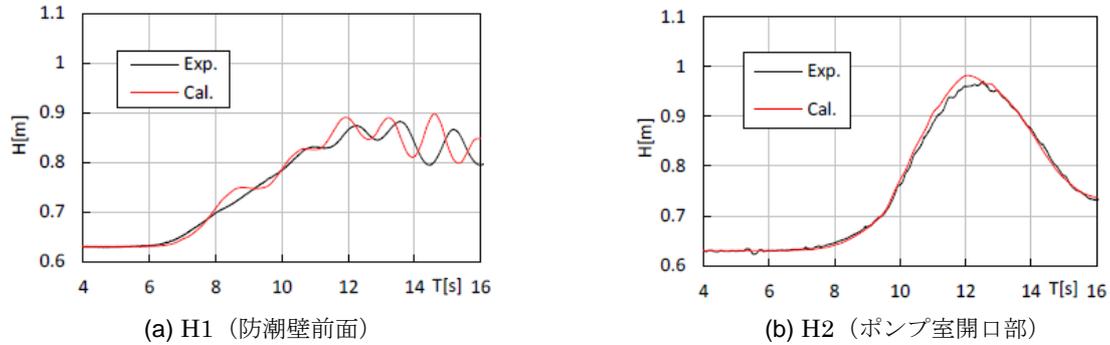


図-3 水位時系列の比較 (計測 3 回目)

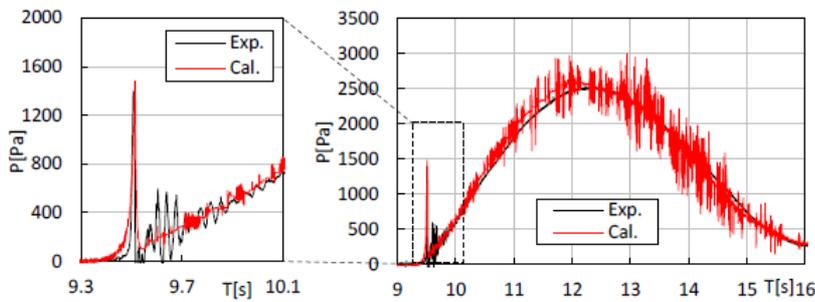


図-4 圧力時系列の比較 (P3, 計測 3 回目)

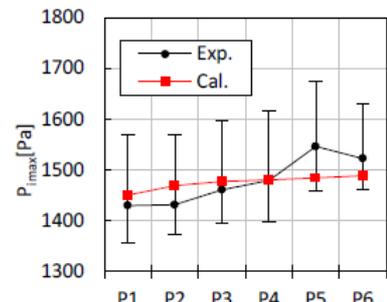


図-5 最大衝撃圧(P_{max})の比較

図-4 に圧力時系列結果の比較を示す。実験では 9.5s 付近で衝撃的な圧力が生じ、その後はポンプ室内の水位変動に応じて圧力が変化している。解析でもほぼ同様の時刻に衝撃圧が発生し、大きさも概ね一致している。10s 以降についても、解析では時間間隔の短い振動成分が見られるものの、全体の傾向は精度よく再現できている。また、実験では衝撃圧の発生直後(9.5~9.7s)に解析結果にはない圧力振動が見られる。これは水面が天端に着水した際、水面と天端の間に閉じ込められた薄い空気層が圧縮されたことにより生じていると推察される。解析では非圧縮性のソルバを用いているため、圧縮に伴う変動が再現できなかったと考えられる。

図-5 に計測地点ごとの最大衝撃圧の比較を示す。実験結果については 5 回計測の平均値をプロットし、最大・最小値を変動幅として示している。同図から解析結果は実験の平均値に概ね一致し、また全ての計測点で解析結果が実験結果の最大・最小の範囲内に収まることが確認できる。ただし、実験では水路奥に行くにつれて (P1→P6) 圧力が大きくなる傾向があるが、解

析ではそれほど顕著ではなく、場所によらずほぼ一定の値となった。理由の詳細は検討中であるが、トラップされる空気層の厚さが天端位置により僅かに異なるため、実験では僅かな空気圧縮の影響の違いが圧力の空間分布の違いとして現れている可能性が考えられる。

4. 結論

津波により取水路天端に作用する圧力計測実験を対象に、OpenFOAM を用いた再現計算を実施した。その結果、水位時系列、圧力時系列、衝撃圧の最大値について概ね良好に再現できることが確認できた。ただし、解析の圧力時系列に振動が見られるなど、課題も見つかった。今後は圧縮性を考慮した解析を行うなど、更に検討していく予定である。

参考文献

- 1) OpenFOAM : <http://www.openfoam.com/>, 参照 2013-06-20.
- 2) 川崎浩司, 松野哲弥, 坂谷太基, 有光剛 (2013) : オイラー表記に基づく自由表面単相流・多相流解析モデルの比較検討, 土木学会論文集 B2 (海岸工学) Vol.69, No.2, pp.026-030.