# 砕波段波状の河川遡上津波の数値計算に関する考察

国立研究開発法人土木研究所水工研究グループ 正会員 〇中西 哲 国立研究開発法人土木研究所水工研究グループ 正会員 石神 孝之

#### 1. 目的

東日本大震災では,河川遡上津波によりシェル構 造ゲートが浮き上がり,一時操作不能になる等の被 災を受けた.シェル構造ゲートは流水機能の確保の ために,ボトムプレートを下流側に切り上げた構造 となっている.この部分に砕波段波が直接作用する 条件での水理模型実験による検討では<sup>1)</sup>,シェル構 造ゲートに大きな上向きの力が作用を示し,また既 存の波圧算定式である榊山の式よりも大きな値にな ることを示唆した.以上より河川遡上津波の河川構 造物への影響を考慮する際に,砕波段波の水理学的 機構およびその構造物への作用が重要になると考え られる.

一方砕波を伴う津波の数値計算は、その気液混相 流の複雑なプロセスを有しており、再現することは それ自体大きなチャレンジである.本研究ではシェ ル構造ゲートに作用する砕波を伴う河川遡上津波の 水理実験の数値計算による再現性を検討した.

#### 2. 検討方法

水理模型実験に用いた水路は図-1に示すように、 水路幅 1.5m、水路長 51mの二次元水路部分とゲー トによって仕切られた貯水槽部分(幅 1.5m、長さ 15m)からなるコンクリート製である.実験装置の 詳細は本山ら<sup>20</sup>による.ゲート直下位置で水位が 0 cmとなるように、初期水位は 24 cmとし、ゲート上 流側は、天端まで満水状態とした.また貯水槽に 24 cm +20 cm (dh=0.2m)の水をため、ゲート引き上げ方式 により、遡上津波を発生させた.ゲートに作用する 津波の衝撃圧は、ひずみゲージ式圧力センサーによ り計測を行った. 圧力センサーの設置箇所は横山ら 3)と同様である.また水路内には容量式波高計を設 置し、波高を計測した.

数値計算には、オープンソースの流体解析ライブ ラリである OpenFOAM(OpenFOAM+v1812)を使用した.



表-1 計算ケース

No.	表記	内容
実験	Exp	水理模型実験
計算	interFoam	標準 interFoam
計算	isoFoam	isoAdvector を考慮した
		interIsoFoam

表-2 計算の基本設定

1 2 11	+
Adjusttimestep	True
maxCo	0.15
maxAlphaCo	0.25
fvScheme	
ddt	CrankNicolson 0.5
grad	cellLimited fourth 1
div(rhoPhi,U)	Gauss limitedLinearV 1
laplacian	Gauss linear corrected
interpolationSchemes	Gauss linear corrected
snGrad	corrected
fvSolution	
p* (solver, prec,	GAMG, DIC, 1e-7, 0
tol, relTol)	
U*(solver, prec,	PBiCG, DILU, 1e-9, 0
tol, relTol)	
momentumPredictor	Yes
nOuterCorrectors	1
nCorrectors	3
n Non Orthogonal Correctors	1

使用したソルバはソルバは interFoam および interIsoFoam<sup>3),4)</sup>である.interFoam は,気液の界 面追跡に標準の VOF (Volume of Fluid)法を採用し ている.VOF は気液界面等の補足手法として一般的で あるが,その特性上気液界面が不明瞭になってしま う.一方 interIsoFoam では isoAdvector を採用し, 明瞭な気液境界を表現することが可能である.本研 究ではこのふたつの気液境界表現手法違いを比較し た.

キーワード 津波, 遡上, シェル構造ゲート, 数値計算, VOF 法, isoAdvector 連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (国研)土木研究所水理チーム TEL:029-879-6783 水理模型実験の再現のため、実験計測最下流端水 位を流入境界条件として与えた.その際に水位の時 間変化にフーリエ変換(離散コサイン変換)を行い、 そのスペクトル上位約 100 個の線形波を重ね合わせ た.なお境界での入射波の取扱に、waves2Foam ライ ブラリ<sup>5)</sup>を使用した.計算ケースを表-1 に、計算条 件を表-2 に示す.

# 3. 結果

図-2に各ケースにおける, 遡上津波のゲート衝突 直前の水面形を示す.水理模型実験では砕波段波の 先端の鋭角の波先がゲート下面に流れ込んでいる. isoAdvectorを用いた isoFoamでは, ゲート下面への 潜り込みを表現できているが, interFoamでは潜り込 みが表現できず, ゲート前面から上部へと伝播して いることがわかる.また, interFoamでは砕波段波後 方の水面形の微小なゆらぎが見られたが, isoFoam では見られなかった.

図-3 にゲート下面に設置した圧力センサーの実験計測値および計算値の結果を示す.interFoamでは ピークが表現できていない.一方 isoFoam 衝突時間 が 0.6 秒ほど速くなっているものの, ピークはほぼ







同一の結果となった.

以上より、ゲート下面に侵入するような段波を数 値計算で再現するためには、明瞭な気液境界を表現 できる isoAdvector を導入するほうが有利である.

# 4. まとめ

砕波段波を伴う河川遡上津波の数値計算の再現性 検討のため,isoAdvectorを効果について検証した. 水理模型実験との比較により,明瞭な気液境界を表 現することができるisoAdvectorを採用した手法の 方が,高い精度で再現可能である.

#### 参考文献

 本山健士、中西哲、石神孝之:河川津波によるシ ェル構造ゲートの浮き上がりに関する実験的検討、 土木学会第73回年次学術講演会(平成30年9月)
横山慎、中西哲、石神孝之:ドライ条件下におけ る河川津波によるシェル構造ゲートの浮き上がりに 関する実験的検討、土木学会第74回年次学術講演会、 2020.

 Roenby, J., Bredmose, H., & Jasak, H. (2016). A Computational Method for Sharp Interface Advection. Royal Society Open Science, 3(11).

4) Larsen, B. E., Fuhrman, D. R., & Roenby, J. (2019). Performance of interFoam on the simulation of progressive waves. Coastal Engineering Journal, 61(3), 380–400.

5) Jacobsen, N. G., Fuhrman, D. R., & Fredsøe, J. : A wave generation toolbox for the open-source CFD library: OpenFoam International Journal for Numerical Methods in Fluids, 70(9), pp.1073–1088, 2012.



