漂流物群を伴う遡上津波が河川構造物に及ぼす外力に関する数値解析的検討

寒地土木研究所　正会員　○阿部　孝章
北見工業大学　正会員　吉川　泰弘
寒地土木研究所　正会員　矢部　浩規

１．はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震津波は東北地方の沿岸域において甚大な被害をもたらしたが，この津波の特徴の一つとして大量の漂流物が発生したことが挙げられる．加えて，積雪寒冷地域である北海道においては，流氷や河川結氷が津波によって大量の津波漂流物と化し，写真-1 のように，河川構造物周辺に押し寄せたことが確認された．河道域における被災事例を受け，河川構造物の設計にあたり津波外力を考慮することが設計基準にも定められたが，そのための設計及び検討法は充分に確立されていないのが現状である．

写真-1 津波発生後の樋門吐口周辺の氷板堆積状況（鵡川・2011/3/14）

本稿では，河川構造物等の複雑形状の構造物周辺での流体及び剛体連成解析が容易な粒子法の一つ MPS 法に着目し，本手法により河川構造物に対する，津波漂流物を伴う時の外力を数値解析的に検討することとした．

２．計算モデル

本稿では Koshizuka ら [1)]により提案された粒子法の一つ MPS 法を基本的な解析手法として採用することとした．支配方程式は連続式と Navier-Stokes の運動方程式であり，運動方程式中の微分演算子を含む圧力勾配項，粘性項が MPS 法独自の粒子間相互作用モデルにより離散化される．標準の MPS 法は圧力解に非物理的な振動が発生することが指摘されていたため，Khayyer ら [2)]による安定化された MPS 法の一つ CMPS-HS-HL 法を用いた．氷板群を模擬するために，Koshizuka ら [2)]による簡易剛体モデルによって，剛体を計算粒子の集合体として見なした．

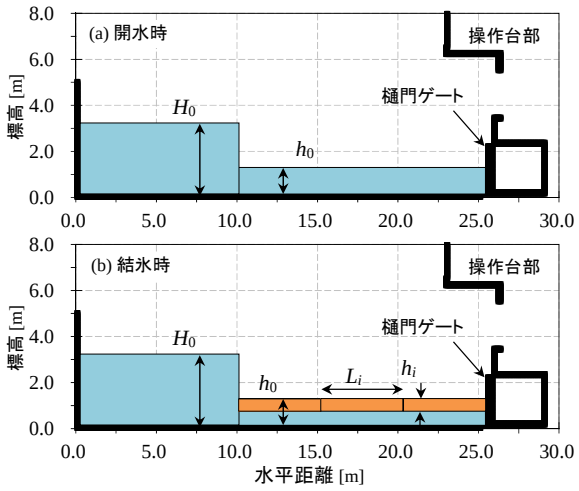

図-1　モデルとした解析対象領域の概念図

津波外力を検討するため，鉛直 2 次元におけるモデル解析領域を作成した．現地の河川構造物スケールを想定し，**図-1** のように，計算粒子径 d_0 = 5 cm とし，河川構造物は樋門操作台，樋門ゲートまでをモデル化した．ダムブレークにより段波を発生させるため，下流 10 m 区間のダム部水深 H_0 = 3 m，吐口水路部初期水深 h_0 = 1 m とした．**図-1** (a)の開水時の場合は氷板無しとし，**図-1** (b)氷板ありの場合は図中の氷板長 L_i = 1m と 3 m に設定して，段波遡上時の開水時との流況比較を行った．構造物に対する外力をモデル内で測定するため，ゲート部分を構成する固定境界壁粒子を，加速度は発生するが変位はしない粒子と定め，時系列的な加速度変化にゲートの質量を仮想的に掛けることで，ゲートに作用する波力を間接的に推定するという処理を行った．ゲートの質量は，正面から見て幅 2 m，高さ 2 m，厚さ 0.3 m の鋼製ゲートを想定し，約 9.3 t とした．計算領域を構成する粒子数は約 23,000 個，造波後のシミュレーション時間を 10 秒間とした．計算には一般的なデスクトップ PC で 1 ケースあたり 1 時間ほどを要した．

キーワード　津波漂流物，氷板漂流物，MPS 法，波力評価
連絡先　〒062-8602　札幌市豊平区平岸 1 条 3-1-34（国研）土木研究所寒地土木研究所　TEL: 011-841-1639

３．結果

図-2 に示したのは，開水時と氷板が存在する場合における流況の比較である．t はダムブレークの拘束を解いて以後の経過時間である．(a)の開水時を見ると，ダムブレーク開始後「マッシュルーム型」のジェットとなった段波が次第にゲートへ向かって接近し，t = 3 s 以降ゲートへ衝突し，t = 4 s ではゲート上部で飛沫を上げながら衝突を起こしている．

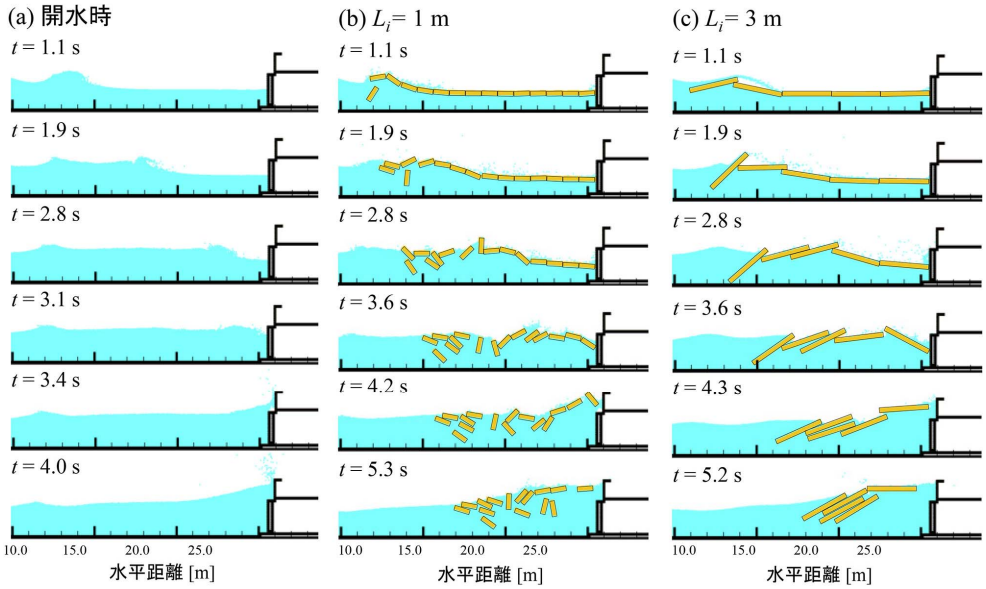

図-2 (a)開水時，(b) L_i = 1 m，(c) L_i = 3 m の場合における，樋門ゲート前の津波衝突及び氷板漂流状況

図-2 (b)には氷板サイズ 1 m を伴う場合を示した．橙色の粒子が氷板を構成する粒子を示しており，ひとまとまりの剛体を構成する粒子群については，黒実線で輪郭を示している．t = 1.1 s の段階で，氷板が段波に巻き込まれながら遡上を開始している．開水時とは段波形状も異なる．この時既に，下流側から次々と押された氷板が押し出され，ゲート直近の氷板はゲートに接触している．また，氷板は激しく回転を伴いながら津波に取り込まれており，群体として遡上している様子が確認された．t = 3.6 s～4.2 s にかけてゲートへの衝突が発生し，その後戻り流れとなった．

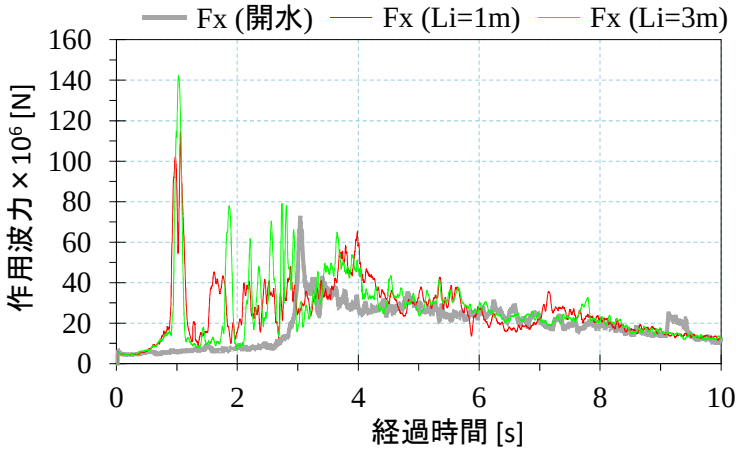

図-3 各ケースでの作用波力の時系列変化

次に(c)の 3 m の場合であるが，やはり t = 1.1 s の段階で，下流から押された氷板とゲートとの接触が発生しており，同時に段波が氷板を巻き込みながら遡上している．この時，氷板長が 1 m のケースに比較して，ほとんど回転を伴わず，水平に折り重なりながら，輸送されているのが特徴である．**図-3** に示したのは，ゲートに対する時系列作用波力の変化である．開水時は，段波が到達した約 3 秒後に波力最大値を示している．一方，氷板が存在する場合は，上で指摘したように，下流側から押し出された氷板が接触した時に，ピークの波力が作用していることがわかる．また，開水時とは異なり，複数のピークを持つ波力時系列となっているのが特徴的である．また，概ね 5 秒後以降は類似した波力時系列変化であった．

４．まとめと今後の課題

本稿では，粒子法を用いた漂流物群を伴う津波の河川構造物への外力評価を目的とした，数値解析検討を行った．その結果，氷が存在する場合，開水時とは波力ピークの発現時間，及び波力ピーク値も異なるという結果が得られた．固体混合を伴う津波波力の評価は通常困難であったが，本モデルの解析により，ピーク発現時刻とピーク値が異なる可能性が示された．

参考文献

1) Koshizuka, et al., International Journal for Numerical Methods in Fluids, Vol.26, 751-769, 1998.
2) Khayyer, et al., Journal of Computational Physics, Vol.230 (8), 3093-3118, 2011.