

# 氷板群を伴う遡上津波が河川構造物に及ぼすリスクに関する 数値解析的検討

Numerical investigation on the risk of tsunami run-up with ice floes on river structures

阿部孝章\*・吉川泰弘\*\*・佐藤好茂\*\*\*・伊藤丹\*\*\*\*

Takaaki ABE, Yasuhiro YOSHIKAWA, Yoshishige SATOH and Akashi ITOH

\*農修 (独)土木研究所寒地土木研究所研究員 寒地水圏研究グループ (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

\*\* 工博 北見工業大学助教 工学部社会環境工学科 (〒090-8507 北見市公園町165)

\*\*\* (独)土木研究所寒地土木研究所研究員 道東支所 (〒085-0014 釧路市末広町10-1-6)

\*\*\*\* 工修 (独)土木研究所寒地土木研究所上席研究員 寒地水圏研究グループ (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

**Key Words:** river tsunami, ice floe, river structures, numerical simulation, particle method

## 1. 緒言

北海道のような積雪寒冷地において雪氷期に河川を遡上する津波が発生すると、河道内に生じていた結氷が破壊され多数の氷板群、即ち漂流物群となり河道内を漂流する<sup>1)</sup>。その結果治水施設を初めとする河川構造物に衝突が発生し、損傷や破壊の発生が懸念されている。2011年東北地方太平洋沖地震津波を受け、河川構造物の設計にあたり津波荷重を考慮することが指針上明記されたが、上記のような雪氷期における結氷時特有の現象は未だ十分に考慮されず河川構造物はほぼ未対策のまま供用されているのが現状である。沿岸域の海水害に関する既往研究で幾つかの検討がなされており、多数の氷塊によるパイルアップやアイスジャムの発生が指摘されている<sup>2)</sup>。しかし河川域や河川構造物周辺の氷板群を伴う局所的な津波挙動は当該地震津波で新たに認識されたものであり(例えば**Photo.1**)、実態はほとんど明らかになっていないのが現状である。本稿ではこうした背景に鑑み、氷板群を伴う河川津波と構造物との相互作用と津波挙動の変化を明らかにすることを目的とし、数値解析的検討を行ったものを報告する。

## 2. 研究方法

本稿では、河川構造物のような複雑形状の境界条件の下、

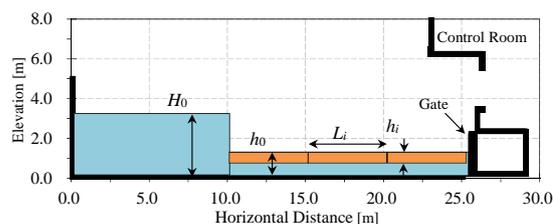


**Photo.1** 樋門吐口周辺で確認された巨大氷板群

激しい自由水面変化と漂流物輸送の連成解析を容易に実施可能な MPS 法<sup>3)</sup>を基本的な数値解析手法として採用した。用いられる基礎式は連続式及び運動方程式であり、独自の粒子間相互作用モデルを用いて離散化が行われる。標準の MPS 法は流れ場内部で顕著な圧力解の振動が報告されているが、圧力解の安定化を図るため高精度 MPS 法のスキーム: CMPS-HS-HL-ECS 法<sup>4)</sup>を適用した。漂流物群の追跡には Koshizuka ら<sup>3)</sup>による簡易な弱連成モデルを用いた。解析領域を **Fig.1** に示した。右側が治水施設を模した境界形状であり、施設操作台とゲート形状を再現した。ダムブレイクにより造波し、波と漂流物群を施設に衝突させた。ダム側の初期水深  $H_0 = 1, 2, 3$  m, 吐口水路初期水深  $h_0 = 0.3, 0.5, 1$  m, 氷板厚  $h_i = 0.1, 0.3$  m, 水平方向の氷板延長  $L_i = 1, 3, 5$  m と変化させた数値実験を行い、氷板のサイズにより施設に接近する津波の伝播形態と氷板群の漂流過程の変化について検討を行った。氷板比重は 0.9 とした。

## 3. 結果及び考察

**Fig.2** に一例として示したのは(a)氷板群の無い開水時の波の伝播の様子と、(b)~(d)は氷板の長さを変更した場合の氷板の漂流過程と戻り流れとなるまでの様子である。図中の黒い部分が構造物の一部、水色の部分が氷粒子、茶色が氷板を構成する粒子群を表し、 $t$  はダムブレイク後の経過時間を表す。(a)より氷板が存在しない場合は巻き波型の



**Fig.1** 樋門付近の鉛直 2 次元解析領域の概念図

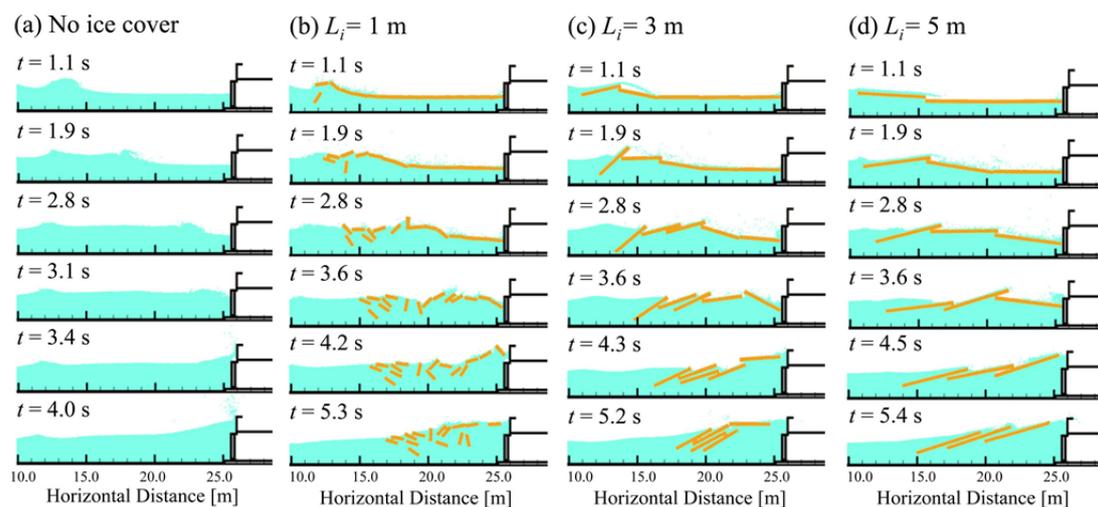


Fig.2 開水時及び長さの異なる氷板群を伴う津波が構造物に接近する様子の比較 ( $H_0 = 3\text{ m}$ ,  $h_0 = 1\text{ m}$ ,  $h_i = 0.3\text{ m}$ )

砕波がゲートに接近したが、(b)~(d)はいずれも波の形状は不明瞭となり、尚かつ氷板は群体としてゲート部に接近する結果となった。また(b)~(d)の比較から相対的に長い氷板ほど水平位置の移動が少ない。これは氷板の自重による慣性の影響と考えられたが、言い換えれば小さい氷板ほど漂流物として波への追従性が良く、施設へ衝突する場合に大きな衝突力が発生すると考えられた。

Fig.3 に示したのは水平距離 ( $x=$ ) 14, 18, 22 m 地点で計測された時系列の水位変動である。Fig.3 (a)より氷板の無い場合は段波状の波形が確認できるが、 $L_i = 1, 3\text{ m}$  の場合には約 0.2 m 高い波高となって接近している。これは前述の指摘の通り氷板の波への追従性が良いために Fig.2 (b) のような津波フロント内部での氷板の回転や重量が発生し水位をやや上昇させたものと考えられた。 $L_i = 5\text{ m}$  の場合は氷板の存在によりフロント波面勾配が他ケースに比較して緩やかになる効果が生じている。更に波高を低下させる効果も見られた。Fig.3 (b) は 18 m 地点のものである。氷板サイズ 3 m のケースにおいて振動が見られるのは Fig.2 のように水面から飛び出した氷板で水位を検出したためと考えられた。それを除けば概略的な傾向として開水時に比較するとフロントの波面勾配は小さくなっているが、本

体部分 ( $t = 2 \sim 3\text{ s}$ ) はやや波高が上がっている。Fig.3 (c) は 22 m 地点の水位変動であるが、若干の波形変化を生じているものの概略的な傾向について見れば大きな変化は見られない。しかし、 $L_i = 1, 3\text{ m}$  で二山型の波形となっているのは、Fig.2 (b)  $t = 4.2\text{ s}$ , Fig.2 (c)  $t = 4.3\text{ s}$  のように水面近傍の氷板の影響によるものと考えられた。このように浮遊する氷板群は遡上する津波波形・波高を変化させるだけでなく、津波侵入を受けると同時にフロント付近に集積し、特に強い相互作用を生じることがわかった。

#### 4. 結論

本稿では河川構造物周辺で津波が氷板群を伴う場合に生じる挙動の変化に関し数値解析的検討を実施した。その結果氷板群は津波波形や波高を変化させるだけでなくその諸元によっては群体として、津波フロント付近に集積しつつ施設近傍に接近することが本検討から判明した。将来的には結氷の破壊過程や氷板と構造物の衝撃作用までを含めた数値モデルに発展させることで、より実用的な解析ツールとして活用されることが期待される。

#### 参考文献

- 1) 松川優一, 荒繁彦, 加藤三明, 油川曜佑, 渡邊幸一, 長岡宏樹, 山口甲: 2011 年東北地方太平洋沖地震に伴い発生した北海道十勝川河川津波の観測, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.68(4), pp. I\_1513-I\_1518, 2012.
- 2) 木岡信治, 竹内貴弘, 蟹江俊仁: 海氷の杭構造物への衝突破壊特性に関する実験的及び数値的検討, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.69, 2013 (印刷中).
- 3) Koshizuka, S., Nobe, A., Oka, Y.: Numerical analysis of breaking waves using the moving particle semi-implicit method, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 26, 751-769, 1998.
- 4) Khayyer, A. and Gotoh, H.: Enhancement of stability and accuracy of the moving particle semi-implicit method, *Journal of Computational Physics*, Vol.230, No.8, pp. 3093-3118, 2011.

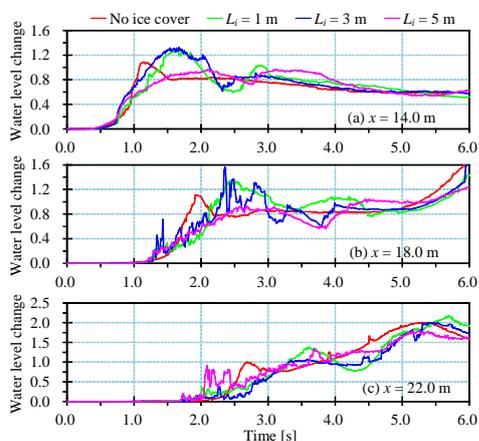


Fig.3 2 地点における水位変動の時系列変化