河川技術論文集, 第21巻, 2015年6月

# 河川津波を対象とした樋門ゲート前面における結氷抑制対策の提案

# A PROPOSAL OF ICE CONTROL MEASURES FOR SLUICE GATE FRONT AGAINST RIVER TSUNAMI


佐藤好茂[1]・阿部孝章[2]・稲垣尚人[3]・吉川泰弘[4]・船木淳悟[5]
Yoshishige SATO, Takaaki ABE, Naoto INAGAKI, Yasuhiro YOSHIKAWA and Jyungo FUNAKI

[1]正会員　国土交通省北海道開発局 帯広開発建設部帯広河川事務所(〒089-0536 北海道中川郡幕別町札内西町73)
(前 土木研究所 寒地土木研究所 道東支所)
[2]正会員　博(工)　土木研究所 寒地土木研究所 寒地河川チーム(〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1-3)
[3]非会員　国土交通省北海道開発局 釧路開発建設部釧路河川事務所(〒088-0613 北海道釧路郡釧路町若葉1)
[4]正会員　博(工)　北見工業大学 社会環境工学科 (〒090-8507 北海道北見市公園町165)
[5]正会員　土木研究所 寒地土木研究所 寒地河川チーム (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1-3)



When the river tsunami occurs in the winter period, the operation of the gutter sluice gate can be prohibited by the influence of the drifting and jamming of ice floes, increasing the inundation risk inside the levee. Therefore, secure sluice gate operations are required against tsunami run-up during the ice-covered period. In this paper, demonstration experiments are performed in the Aikoku sluice gate of the Shinkushiro-river, showing the effectiveness of ice control measures using submerged pumps. The field test presented that submerged pumps inhibited ice formation within a radius of about 2~2.5 meters around the installation location. In addition, numerical ice-thickness estimation showed that the method guaranteed the ice control effect up to the thickness of 0.63 m. Based on these results, the applicability of the method is further investigated in other rivers around the coast of eastern Hokkaido. This paper succeeded in showing the effectiveness of our novel ice control measure for actual rivers.



***Key Words :*** *Tsunami in rivers, ice-covered river, ice control measures, submerged pump, sluice gate*


## 1. はじめに

2011年3月，三陸沖を震源とした東北地方太平洋沖地震により発生した津波は，東北地方を中心とした太平洋沿岸地域に未曾有の被害をもたらした．この津波は北海道にも到達し，複数河川で遡上が確認され[1]，河川内の氷板は破壊され漂流した．その痕跡は，本川のみならず樋門ゲート周辺や吐口水路にも多数残されている[2]．今次津波発生後の新釧路川における現地調査では，樋門ゲートから堤内地へと逆流した津波痕跡[3]も確認されている．この現象については，一つの要因として漂流氷板がゲート下部に堆積し，ゲートの不完全閉塞が要因として推定された．一方で，北海道内河川の樋門は，設計から冬期間の操作を想定しておらずゲート周辺は，毎年，氷板が形成され結氷する．

結氷に関する既往知見としては，解氷期に流下する氷板の挙動[4]や河氷の融解現象に関する研究[5]があり，吉川ら[6]は数値計算によりアイスジャム発生時の挙動を明らかにしている．また，結氷河川における津波遡上時の構造物へ作用する影響に関する研究[7), 8)]が進められており，減災に向けた知見は少しずつではあるが着実に蓄積されている．非出水期における樋門の状況について，冬期間のゲート開閉調査時[9]には，結氷及び積雪の影響により全閉することができずに開口部が生じた事例が報告されている．しかしながら，現状では結氷河川の津波遡上を想定した樋門操作の検討は実施されておらず，津波遡上時の樋門ゲートに作用する波力を低減させる検討[10]は行われているものの，水位上昇による氷板輸送を抑制する手法は確立されてはいない．

また，2007年から2014年の8年間に気象庁[11]から北海道太平洋沿岸東部へ発令された津波注意報 (警報・大津

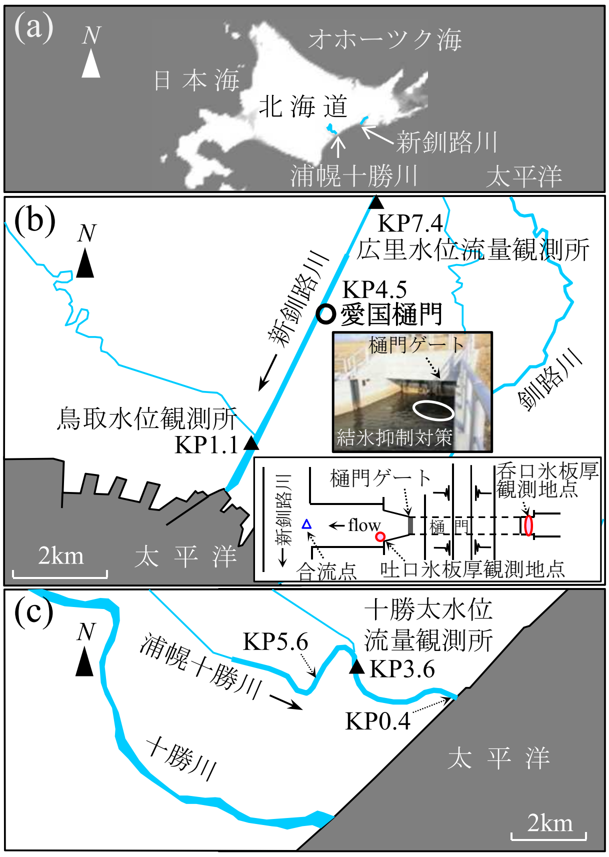



図-1　調査対象河川

波警報含む）は，合計9回である．この内，河川結氷期の12月から3月にかけて発令された回数は合計5回となっており，対象期間内における発生件数の半数を超えている．このため現場では，冬期間の河川津波発生時における氷板の樋門ゲートへの衝突・堆積の具体的な対策が強く望まれている．

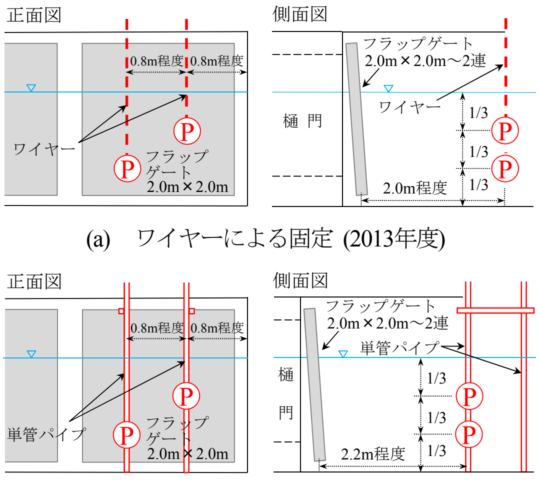
本稿では，コスト面に配慮した樋門ゲート部の結氷抑制対策を提案し，図-1 に示した北海道太平洋沿岸東部に位置する新釧路川を対象とした実証試験を行い，実河川における効果を検証した．また，実証試験結果を基に，浦幌十勝川における適用性の検討を行った．

## 2．研究手法

### (1) 結氷抑制対策の現地観測

著者らの知見では樋門ゲート部の結氷対策として実績の存在しない，水中ポンプを用いた結氷抑制対策の現地観測を実施することとした．本稿において実験対象とした水中ポンプ方式は，ポンプ下部から吸い上げた水を機器上部より排水し，上下層を循環させることにより結氷を防止するものである．

調査対象箇所は，図-1(b)に示した新釧路川の河口から4.5km上流左岸に位置する愛国樋門とし，樋門断面は2.0m×2.0mの2連，ゲート形式は水位変動に追従する自動フラップゲート方式となっている．結氷抑制対策実施期間は冬期間の2013年12月から2014年2月，2015年1月から2015年3月までとし，2カ年度に渡り実施した．また，実施箇所の結氷厚観測については，2014年度対策実施前となる2014年12月から2015年3月まで実施している．




(a)　ワイヤーによる固定 (2013年度)

(b)　単管パイプによる固定 (2014年度)

図-2　機器設置概要 (図中のPは水中ポンプを示す)

実験に使用した機器は，一般工事排水用の2インチ水中ポンプHS2.4S((株)鶴見製作所)である．図-2に示した水中ポンプ設置概要について，水中ポンプの設置位置は，樋門ゲート前面に2台使用して水深1/3毎に設置した．なお，扉門数2門の内，1門側のみに水中ポンプを設置しているのは，気象や水理量等について同一条件で比較を行うことができ，水中ポンプの有無による効果が視覚的にも容易に判断可能と考えたためである．

結氷抑制対策による変化の把握について，2013年度は写真撮影により水中ポンプによる効果の確認を行った．この結果を踏まえ2014年度調査時には，氷板厚・水位・流速・水温・気温の現地観測を実施した．これらの観測結果を用いて，水中ポンプによる結氷抑制対策について，結氷状況の変化を把握し実河川における効果の検証を行った．

### (2) 結氷抑制対策機器設置方法の検討

水中ポンプの設置箇所となる樋門ゲート前面においては，矢野ら [9] の樋門調査において報告されている樋門ゲート前面や翼壁付近の積雪が予想される．降雪による付属機器への影響を最小限とするため，積雪が軽減される設置方法を検討した．

機器の設置について，図-2(a)に示した2013年度はワイヤーによる固定方法，図-2(b)の2014年度は単管パイプによる固定方法とし，設置方法の違いによる特徴を把握することとした．なお，各ケース結氷抑制対策機器が流水の影響や不測の事態，例えば津波遡上により水位変動が生じた際にも，設置した機器が樋門ゲートに接触する事で開閉操作の支障とならないよう配慮している．

### (3) 結氷抑制対策の有無による氷板厚の変化

#### a) 樋門ゲート前面における結氷状況変化の把握

結氷抑制対策実施箇所の結氷状況を推定するにあたり，フリーソフトのiRIC 2.3 ソフトウェア [12] に含まれている，1次元不定流計算モデルCERI 1Dソルバによる検討を実施することとした．このモデルは河川の流れや河氷の変動を計算することが可能である．

計算に用いられている基礎方程式について，河氷を考慮した河川水に関する連続式(1)及び運動方程式(2)，河氷に関する連続式(3)及び運動方程式(4)，氷板形成融解式(5)は以下の通りである．

$$\frac{\partial A_w}{\partial t}+\frac{\partial Q_w}{\partial x}+\frac{\rho_i}{\rho_w}\frac{\partial A_{is}}{\partial t}=0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial Q_w}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q_w^2}{A_w}\right)+gA_w\frac{\partial}{\partial x}\left(z+h_w+\frac{\rho_i}{\rho_w}\left(h_{is}+h_{if}\right)\right)+\frac{gn_b^2u_w^2S_w}{R_w^{1/3}}+\frac{\rho_i}{\rho_w}\frac{gn_i^2u_i^2S_i}{R_i^{1/3}}=0 \tag{2}$$

$$\frac{\partial A_{if}}{\partial t}+\frac{\partial Q_{if}}{\partial x}-\frac{\partial A_{is}}{\partial t}=0 \tag{3}$$

$$\frac{\partial Q_{if}}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q_{if}^2}{A_{if}}\right)+gA_{if}\frac{\partial}{\partial x}\left(z+h_w+h_{is}+h_{if}\right)-\frac{gn_i^2u_i^2S_i}{R_i^{1/3}}=0 \tag{4}$$

$$h_{is}=h_{is}'-\left(\frac{65.2}{10^5}\right)\alpha\frac{T_a}{h_{is}'}-\left(\frac{45.8}{10^2}\right)\beta^{4/5}T_wh_w^{1/3} \tag{5}$$

但し，$A$ (m$^2$)は 河川水の流積，流れている河氷面積及び氷板面積，$Q$ (m$^3$/s)は流量及び河氷流量，$z$ (m)は河床高，$h$ (m)は厚さ，$n$ (s/m$^{1/3}$)はManningの粗度係数，$u$ (m/s)は河川縦断方向の速さ，$S$ (m)は潤辺，$R$ (m)は径深，$\rho_w$ (kg/m$^3$) は水の密度，$\rho_i$ (kg/m$^3$)は氷の密度，$t$ (sec)は時間，$x$ (m)は上流端からの距離，$g$ (m/s$^2$)は重力加速度である．添え字の$w$ は河川水に関する値，$is$ は氷板に関する値，$if$ は流れている河氷に関する値， $i$ は河氷に関する値で $h_i = h_{is} + h_{if}$ ，$h'_{is}$ (m)は$\Delta t$ 前の氷板厚，$T_a$ (℃)は気温，$\alpha$ (無次元数)は気温に対する氷板形成の程度を表し $\alpha = 0.906 - 2.770\ \frac{I_b B}{h_w}$ ，$I_b$(無次元数)は河床勾配，$B$ (m)は川幅，$\beta$ (m$^{1/3}$/s)は水温と有効水深に対する氷板融解の程度を表し $\beta=\frac{u_w}{h_w^{2/3}}$ である．

ここで，水の密度$\rho_w$=999.8kg/m$^3$，氷の密度$\rho_i$=917.4 kg/m$^3$，Manningの粗度係数$n_b$=0.029 s/m$^{1/3}$を与えている．

始めに計算モデルの妥当性を確認するため，図-1(b)に示した新釧路川KP1.1~KP7.4の範囲について，東北地方太平洋沖地震津波発生前までとなる2010年度冬期間の再現計算を実施した．なお，KP(キロポスト)は河口からの距離を示し，単位はkmである．計算対象期間は，2011年2月20日から地震津波到達直前の3月11日までである．計算により得られた氷板厚と，今次津波発生後の愛国樋門吐口水路における氷板痕跡値を比較し，精度を検証することとした．

次に2013年度結氷抑制対策実施箇所における氷板厚の経時変化を推定するため，まずは新釧路川と愛国樋門吐口水路の合流点水位を算出する．水理量は2013年12月20日から2014年2月28日までを対象とし，地形条件は河川横断測量データを与えている．境界条件として，流入量は広里水位流量観測所(KP7.4)，下流端水位は鳥取水位観測所(KP1.1)の観測値をそれぞれ用いて計算を行った．なお，2014年度調査時には，合流点における水位の連続観測を実施しており，この値と観測期間内の計算結果を比較することで，水位の再現性についても検証した．

図-1(b)に示した樋門ゲート前面の氷板厚算出にあたり，地形は愛国樋門ゲート前面から新釧路川合流部までの樋門吐口水路を再現した．境界条件として，下流端水位は前述の計算により得られた合流点水位，樋門呑口からの流入量は$Q$=0.05m$^3$/s，気温については気象庁[11] が公開している釧路地方時間ごとの値，水温については一律0℃を与えている．これらの計算により，調査対象期間内における氷板厚の経時変化を推定し，結氷対策の有無による効果を検証した．

また，2014年度調査時には愛国樋門吐口において水理諸量と気温の現地観測を実施している．図-1(b)に示した呑口氷板厚の観測は横断方向，吐口氷板厚の観測は結氷抑制対策の影響を受けない翼壁付近で実施した．

これらの値を用いて，実施した計算結果と観測した氷板厚を比較し，再現性を確認する事ができれば，本稿における2013年度の氷板厚再現計算が妥当性を有していると考えられる．すなわち再現計算が結氷抑制対策により有効となる氷板厚の範囲と推定することができる．

#### b) 北海道太平洋沿岸東部の河川における適用性

図-1(c)に示した浦幌十勝川について，既往研究 [3] による氷板厚計測値とCERI 1Dによる数値計算の比較を行い，実現象との関連性を検証することとした．

ここでは再現計算により，2011年東北地方太平洋沖地震津波到達前までの観測所水位との比較を行う．対象期間については，前節の新釧路川再現計算と同様の2011年2月20日から3月11日までとした．浦幌十勝川の計算範囲はKP0.4~KP5.6であり，KP3.6の十勝太水位流量観測所を比較対象とした．再現計算結果の水位変動量が観測値と同様の傾向を示していれば，現地における気温等の諸量を与えることで河氷の形成についても，ある程度の相関を有していることが仮定できると考えた．ゆえに，浦幌十勝川の観測水位と再現計算水位及び氷板痕跡の氷板厚と氷板厚再現計算結果が一致すれば，新釧路川における再現計算結果の妥当性についても裏付けることが可能と考えられるためである．

これらの検討を基に，北海道太平洋沿岸東部の1級河川浦幌十勝川における結氷抑制対策について，効果の適用性を検証した．


(a) 水中ポンプ設置時
(2013年12月20日撮影)
(b) 水中ポンプ設置後約１週間
(2013年12月26日撮影)
(c) 水中ポンプ設置後約１ヶ月
(2014年1月22日撮影)
(d) 水中ポンプ設置後約２ヶ月
(2014年2月28日撮影)

**図-3**　ワイヤー固定による結氷対策実施状況 (2013年度)


(a) 水中ポンプ設置時
(2015年1月15日撮影)
(b) 水中ポンプ設置後約1週間
(2015年1月21日撮影)
(c) 水中ポンプ設置後約1ヶ月
(2015年2月13日撮影)
(d) 水中ポンプ設置後約2ヶ月
(2015年3月13日撮影)

**図-4**　単管パイプ固定による結氷対策実施状況 (2014年度)

## ３．結果と考察

### (1) 結氷抑制対策の現地観測結果

現地観測結果について，2013年度の状況は**図-3**(a)に示した水中ポンプ設置時に水面の凍結は見られていない．設置後約1週間となる**図-3**(b)について，水路の状況では本川側の水面凍結が確認されているが，ゲート前面の結氷は生じていない．本対策による効果と推測されるが，この段階では断定することができなかった．**図-3**(c)に示した設置後約1ヶ月の状況は水中ポンプ周辺のみ結氷しておらず，**図-3**(d)の調査終了時まで結氷抑制対策実施箇所の凍結は確認されなかった．なお，**図-3**(d)の水中ポンプ上方向に筒状の結氷が生じているのは，排水による水しぶきが凍結した影響によるものと考えられた．

2014年度の状況では，**図-4**(a)左上に示したように水中ポンプ設置時にはすでに結氷が生じていた．このため，機器の設置にあたっては氷を除去してから行っており，結氷抑制対策箇所周辺は開水面となっている．調査箇所の状況は，**図-4**(b)～(c)のように割氷範囲よりも本川側の結氷は発達しているが，全体を通してみると極端な開水面の減少は発生しておらず，**図-4**(d)に示した約2ヶ月後まで対策箇所付近の結氷が生じることはなかった．

**図-5**は調査対象期間内における年度別旬ごとの気温[11)]を示す．各年度の状況より，1月からは氷点下が続いている様子が窺える．本稿の対象となる2013年度の値をみると，12月中旬から下旬にかけては比較的温暖であるが，それ以降は他年度と比べると平均的な値を示しており，特筆する点は見当たらない．この結果からは当該年度が特異な状況とはなっていない．2014年度は，他年度と比較すると1月上旬までは平均的な値を示していた．その後，1月中旬を過ぎたあたりからは温暖な傾向が続き，3月上旬以降はプラスの気温となっている．ゆえに2014年度は比較的温暖である事が示されていた．

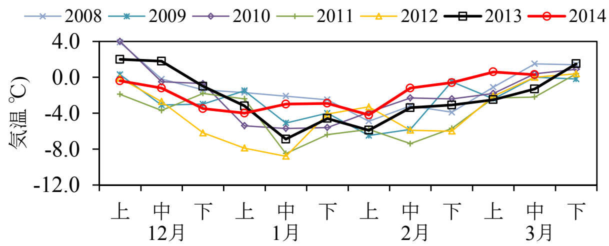



**図-5**　調査対象年度及び過去5カ年の旬ごとの気温[11)]

気象条件は年度により多少のばらつきは生じているが，河川結氷前から水中ポンプを可動させた2013年度，河川結氷後に割氷を行い水中ポンプを可動させた2014年度共に，結氷抑制対策の効果は発現される結果となった．本対策による効果の範囲は，樋門ゲートと水中ポンプの設置位置から推察すると，半径約2～2.5mである．

### (2) 結氷抑制対策機器設置方法の比較結果

**図-3**はワイヤーによる固定，**図-4**は単管パイプによる固定の状況を示す．積雪については，**図-3**及び**図-4**の時系列的な状況を確認すると，設置方法の違いによる大きな変化は生じていなかった．また，積雪に対しては多少なりとも不利となる事が予想された単管パイプによる固定方法であったが，2015年2月12日に発生した12cm/日の降雪時[11)]においても，翌日に撮影した**図-4**(c)のように，付属機器に降雪や積雪の影響はみられなかった．このため本稿の条件により対象とした2つの機器設置方法について，降雪の影響による大きな違いは発生しない事

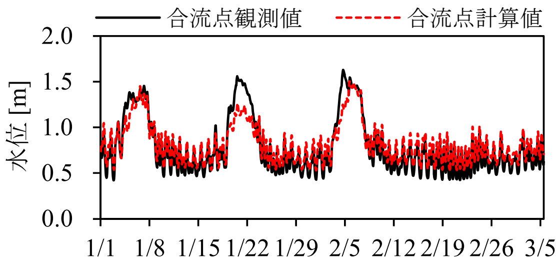


**図-6** 合流点水位の観測値と再現計算結果の比較

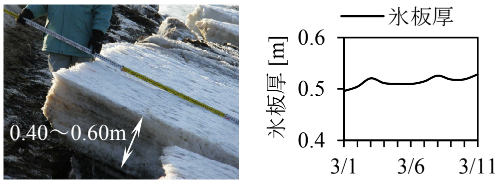


**図-7** 津波痕跡と再現計算による氷板厚 (左は津波痕跡の氷板厚計測値，右は再現計算による氷板厚計算結果を示す)

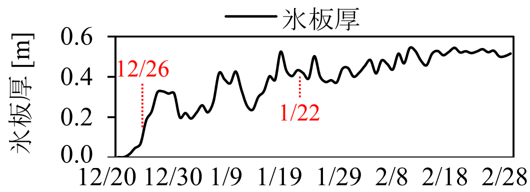


**図-8** 2013年度結氷抑制対策実施箇所の氷板厚計算結果

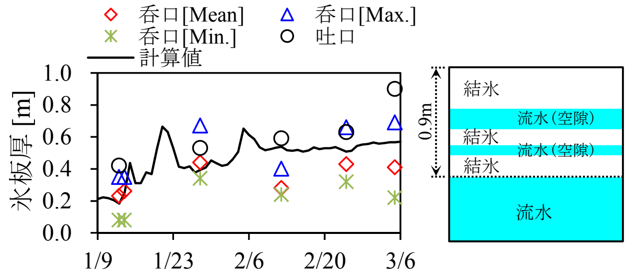


**図-9** 2014年度結氷抑制対策実施箇所の氷板厚観測値と再現計算結果の比較 (左は氷板厚の比較，右は3/5吐口氷板厚計測時における結氷形態の概略図を示す)

が確認された．

また，河川津波発生時の問題点として漂流氷板の衝突が挙げられる．具体的な機器の設置方法については，本稿で対象としたワイヤー固定のように柔的なものとして衝突力を軽減する構造とするか，単管固定のように氷板輸送の衝突に耐えうる剛構造とするのか，個々の樋門によりゲート前面や翼壁付近の構造及び水深，吐口部の氷板滞留や堤内からの氷板輸送など，現場条件により検討する必要がある．これらについては検討の余地があるので，今後も詳細な検討を進める予定である．

### (3) 結氷抑制対策の効果検証

#### a) 新釧路川における再現計算と現地観測結果の比較

計算モデルの精度検証について，**図-6**は合流点水位の比較結果を示す．観測値と再現計算結果は概ね一致しており，比較的良好な再現性が得られていた．

氷板厚について，**図-7**左に示した今次津波発生後の氷板厚痕跡値は$h_i$ =0.40m～0.60mであった．この計測値に対し，**図-7**右に示した津波到達前の氷板厚再現計算結果は$h_i$ =0.53mとなっており，再現計算結果は現地で確認された氷板痕跡値の範囲に含まれていた．このことから結氷厚の再現について，本ソルバの良好な妥当性が確認された．

**図-8**に示した2013年度氷板厚計算結果では，水中ポンプ設置時となる12/20の結氷は確認されていない．設置から約1週間後(12/26)及び約1ヶ月後(1/22)，撤去時(2/28)には結氷が生じる結果となり，**図-3(a)～(d)**に示した水路部の結氷状況と一致している．このように，結氷抑制対策を実施していない場合は、設置から約1週間後の12/26以降は結氷が生じる結果となり，前節**図-3(b)**のゲート前面のみ結氷が生じていないのは，結氷抑制対策による効果が発現したためと考えられた．

**図-9**左に示した2014年度氷板厚観測値と計算結果について，呑口氷板厚の観測値と計算値を比較すると，平均値から最大値の間では概ね一致していた．吐口は計算値が観測値を若干下回る傾向にあり，特に3/5の値とは差異が生じている．3/5計測時の状況は，**図-9**右のように結氷が1枚の氷板ではなく，結氷の下には流水(空隙)と氷板とが幾重にも重なった状態となっていた．この要因として，感潮区間のため水位変動により水面低下時には氷板上を河川水が流れたことや，特に3月は温暖であり氷板上の流水は表面付近しか結氷せずに，この現象が繰り替えされたために生じた結氷形態と推測された．

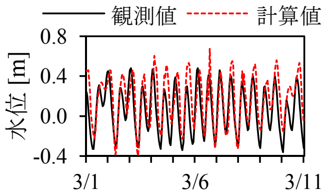
本稿の氷板厚は，上下面の差し引きにより算出しており，計測時には氷板中間部の空隙を考慮することが困難であり，このような開差が生じたと考えられた．ゆえに3/5の吐口氷板厚は評価対象として取り扱わず，この値を除いた現地観測値に対する再現計算の氷板厚は，観測結果の傾向が概ね捉えられていた．このことから前述の氷板厚再現計算についても，再現性はある程度確保されていると考えられる．

今後は，感潮域の凍結融解による空隙を考慮する氷板厚予測手法を構築する必要性が考えられた．

#### b) 浦幌十勝川における適用性

**図-10**は観測所の計測値と再現計算結果を示す．**図-10**左に示した水位状況では，変動量や周期が概ね一致しており良好な再現性が確認された．

**図-10**右に示した氷板厚計測値[2]と同地点の再現計算結果を比較すると，再現計算結果は観測値よりも下回る傾向にあったが，最小値については概ね一致していた．これは河氷の形成過程において河岸の死水域など流速が遅い箇所については，河道内での融解による影響が小さく氷板厚が発達した個体が存在していたことや，調査箇所の氷板痕跡は他の地点から輸送された物が混在している可能性があり，これらの要因が影響したと推測された．




| | 観測値[m] | 計算値[m] |
|---|---|---|
| Mean | 0.33 | 0.23 |
| Med. | 0.35 | 0.21 |
| Max. | 0.48 | 0.35 |
| Min. | 0.19 | 0.16 |

**図-10** 浦幌十勝川の水位と氷板厚観測値と再現計算結果の比較(左のグラフは水位，右の表は氷板厚の値を示す)

また，計算結果は格子上の値に依存する面もあり，上述のような詳細な変化まで再現されていないことが考えられた．

既往研究によると，氷板形成融解式(5)と観測値249データの比較では，86%が±10cmの誤差に入る結果となっている[13]．本稿の結果においても平均値は誤差内に含まれており，水位や氷板厚の再現性について本モデルの再現性は比較的良好であることが確認された．

今次津波発生後の北海道内における現地調査[2]において計測した氷板厚の最大値は，**図-10**右に示した浦幌十勝川は$h_{imax}$=0.48mであり，**図-9**の現地観測による氷板厚は吐口で約$h_{imax}$=0.63mであった．このため，今次津波において河川遡上が確認された北海道太平洋沿岸東部の河川についても氷板厚は適用範囲内となっており，結氷抑制対策の効果が期待できる．

## 4．まとめと今後の課題

本稿において新釧路川の愛国樋門を対象とした，樋門ゲート前面の結氷抑制対策の現地試験においては結氷が生じることはなかった．また，河川結氷前後によって実施時期が異なる場合や，機器の設置方法を変化させた状況のいずれにおいても，対策の効果は確認され，結氷抑制対策の有効性を示すことができた．

結氷抑制対策の適用性について，氷板厚現地観測結果より氷板厚約$h_i$=0.63mまで効果の発現が確認され，北海道太平洋沿岸東部の浦幌十勝川においても本対策の効果が期待できる．

本手法は，機器費用は安価であり設置も容易，特殊な設備等を必要としないことが利点となる．水中ポンプは汎用品を用いており，市場の流通性は高くリース品も多数存在し，故障の際にも代替機器の調達が容易である．今回，電源の供給方法については，実施箇所近傍の商用電力を使用している．実際の運用にあたっては，光ファイバ情報網が整備されている区間も多く[14]，これらを有効活用する事で，事業用地の確保や電源管理設など架設工事に要するコストの削減が期待できる．

今後は実用化に向け，現場条件による結氷抑制対策の設定方法を検討し，スライドゲート方式の樋門についても，結氷抑制対策の効果検証を実施する予定である．

**謝辞**：本研究の実施にあたり，国土交通省北海道開発局釧路開発建設部釧路河川事務所には貴重な資料の提供並びに有用な助言，帯広開発建設部治水課には貴重な資料の提供，（株）福田水文センターによる現地観測のご尽力を頂いた．ここに記して謝意を表します．

## 参考文献

1) 阿部孝章，吉川泰弘，安田浩保，平井康幸: 2011年東北地方太平洋沖地震に伴い発生した津波の北海道内における河川遡上，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.68，No.4，pp.I_1525 - I_1530, 2012.
2) 阿部孝章，吉川泰弘，平井康幸: 北海道太平洋岸地域で発生した河川津波に伴う漂流氷板の寸法計測，土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.68, No.2, pp. I_1436 - I_1440, 2012.
3) 阿部孝章，吉川泰弘，矢野雅昭，永多朋紀，稲垣達弘，桃枝英幸，村上泰啓，平井康幸: 2011年東北地方太平洋沖地震により発生した津波の結氷河川における遡上状況及び氷板痕跡調査，寒地土木研究所月報, No.705, pp. 20 - 30, 2012.
4) Jasek, M. : Ice jam release surges, ice runs, and breaking fronts: field measurements, physical descriptions and research needs, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol.30, pp.113- 127, 2003.
5) Shen, H. T. : Mathematical modeling of river ice processes, *Cold Regions Science and Technology*, Vol.62, pp.3 - 13, 2010.
6) 吉川泰弘，阿部孝章，平井康幸: 河川津波に伴い発生した北海道鵡川のアイスジャム再現計算，土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.68, No.2, pp. I_416 - I_420, 2012.
7) 阿部孝章，吉川泰弘，佐藤好茂，伊藤丹: 氷板群を伴う河川津波が治水施設に及ぼす影響に関する研究，土木学会北海道支部論文報告集，第70号, B - 32, 2014.
8) 佐藤好茂，阿部孝章，吉川泰弘，伊藤丹: 氷板混合津波が橋桁に及ぼす波力特性に関する実験的研究，土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.70, No.2, pp. I_851 - I_855, 2014.
9) 矢野雅昭，吉川泰弘，石谷隆始: 冬期間の河川における樋門の凍結状況について，第53回北海道開発技術研究発表会, AA-3, 2009.
10) 阿部孝章，吉川泰弘，佐藤好茂，伊藤丹: 樋門ゲートに対する河川津波波力減勢工の提案とその効果について，河川技術論文集，第19巻, pp. 381 - 386, 2013.
11) 気象庁, URL: http://www.jma.go.jp/jma/index.html (参照日2015年3月30日).
12) 河川シミュレーションソフトiRIC, URL: http://iric.org/ja/ (参照日2015年3月30日).
13) 吉川泰弘，渡邊康玄，早川博: 結氷河川における河氷形成と河道特性の関係に関する考察，第25回寒地技術シンポジウム, pp.190 - 195, 2009.
14) 国土交通省: 地域情報ネットワークプラン，光ファイバ開放状況，URL: http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/jouhou/indexhk.html(参照日2015年3月30日).

(2015. 4. 3受付)