

# 河川津波発生時の弾力的な樋門操作による 内水氾濫抑止対策に関する検討

## INVESTIGATION ON THE CONTROL MEASURE FOR INSIDE-LEVEE INUNDATION BY FLEXIBLE SLUICE OPERATION IN THE EVENT OF RIVER TSUNAMI

阿部 孝章<sup>1</sup>・佐藤 好茂<sup>2</sup>・船木 淳悟<sup>3</sup>・柿沼 孝治<sup>4</sup>・吉川 泰弘<sup>5</sup>  
Takaaki ABE, Yoshishige SATO, Jungo FUNAKI, Takaharu KAKINUMA  
and Yasuhiro YOSHIKAWA

<sup>1</sup>正会員 博 (工) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地水圏研究グループ (〒 062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3-1-34)

<sup>2</sup>正会員 国土交通省 北海道開発局 帯広河川事務所 (〒 089-0536 北海道中川郡幕別町札内西町 73-6)

<sup>3</sup>正会員 土木研究所 寒地土木研究所 寒地水圏研究グループ (〒 062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3-1-34)

<sup>4</sup>正会員 博 (工) 国土交通省 北海道開発局 旭川河川事務所 (〒 079-8411 旭川市永山 1 条 21-3-21)

<sup>5</sup>正会員 博 (工) 北見工業大学 社会環境工学科 (〒 090-8507 北見市公園町 165)

The main aim of this report is to investigate the measure for controlling inside-levee inundation by flexible sluice gate operation in the event of tsunami in rivers. In order to prove the validation of our two-dimensional model, it is first applied to the simulation of the flood inundation in the Shiribetsu River by the 1993 Earthquake Tsunami off the Southwest coast of Hokkaido. Then it is used for predictions of tsunami run-up and subsequent inundation in both varying tsunami height and gate openness. It is shown that complete gate closure can increase the inundation risk of residential area particularly in the flooding time. A new sluice operation, namely, keeping a loophole of inside-levee discharge is proposed to resolve this problem. Numerical experiments in the targeted river sluice gate show the effectiveness of the measure for a key solution for inhibiting flooding for a certain period of time.

**Key Words :** *Tsunami in Rivers, Sluice Gate, Inundation Analysis, Numerical Simulation*

### 1. はじめに

日本は春夏秋冬の四季に恵まれ、国土の約 3 分の 2 が森林地帯であり世界でも屈指の急流河川の多い国である。その反面、日本列島を構成する地形は環太平洋造山帯に属しており、国内に多くの火山が存在する。同時に地震多発国でもあり、近海で地震が発生し津波が発生するたび沿岸域には多くの被害もたらされてきた。そのため津波防災対策に関する研究は古くからなされ、数値予測技術はかなりの程度まで確立されており、津波伝播などの特性も非常に精度良く予測することが可能である。

一般的に、津波が沿岸域に到達すると、海に開けた河口を持つ河川で津波の遡上が発生する。河川を遡上する津波の研究も、津波現象という大枠の一部をなす要素としてかなり古く 1960 年代から検討が行われてきた(例えば<sup>1)</sup>)。しかし、2011 年東北地方太平洋沖地震津波では大規模な津波のために河川域でも甚大な被災が発生したことから、津波が河川管理上の問題としてより一層具体的に位置づけられた。その外力を河川施設設計へ反映することが定められるなど、その対策が進められている。また、積雪寒冷地域で発生する津波特有の問題として、河川結氷の存在が挙げられる。津波由来の水による河道

閉塞の検討<sup>2)</sup>や氷板を混合した津波が構造物に及ぼす影響の評価<sup>3)</sup>などの取り組みが存在し、徐々にではあるがその知見が蓄積されてきている。

さて、2014 年 4 月 2 日午前 8:46 頃 (JST)、チリ北部イキケ沖で地震が発生し、この津波は日本沿岸域にも到達が確認された。この時北海道太平洋沿岸部には 4 月 3 日午前 3:00 に津波注意報が発表され、道東地方の河川で 4 月 3 日 12:00 頃から水位変動が確認された<sup>4)</sup>。一般に、このような遠地で発生する津波の場合には到達までにある程度の時間差がある。そのため津波対策として仮に樋門ゲートを全閉した場合には、到達までの時間で内水氾濫の危険性が高まってしまうという懸念があり、操作方法について未だ議論の途上であるという段階である。

そこで本研究ではまず、河川津波発生時の樋門操作を考えるにあたって、実際の想定を考慮可能なモデル開発を行った。第一段階としてモデルの適用性を検証するために 1993 年南西沖地震時の尻別川 (図-1) における津波遡上再現計算を行い、その上で、実際の検討を行う対象として写真-1 の新釧路川昭和樋門を選定し、樋門ゲートの開度、津波波高、流量を変化させると堤内側の浸水傾向がどのように変化するか検討を行った。最終的に流量、開度、波高と浸水面積の関係について議論を

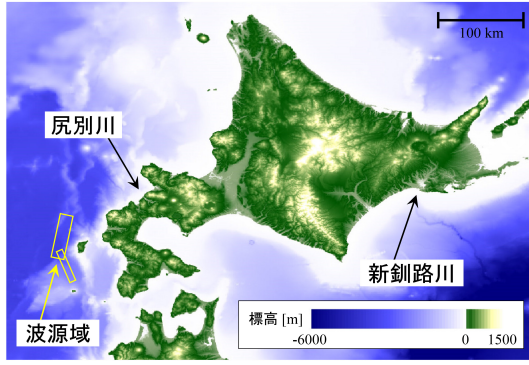


図-1 対象河川の河口位置図と 1993 年北海道南西沖地震津波時の波源域

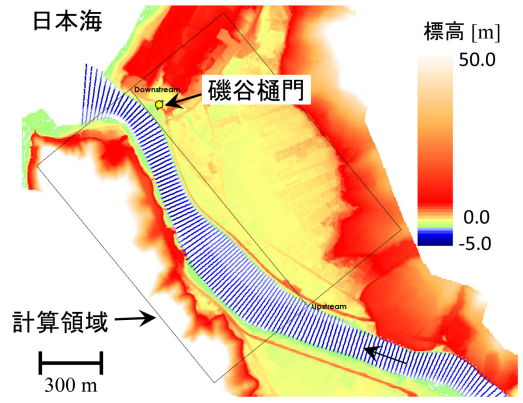


図-2 尻別川河口の周辺及び河床地形



写真-1 昭和樋門の現況 (2015 年 3 月撮影)

行うこととした。

## 2. 検討手法

まず、計算手法について概説する。津波侵入の再現・予測計算にあたっては、平面 2 次元の氾濫解析ソフト (iRIC ソフトウェア<sup>5)</sup>・Nays2D Flood Ver 5.0β) を用い検討を実施した。計算モデルに用いられている基礎方程式は以下の連続式 (1) 及び運動方程式 (2), (3) である。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho} \quad (2)$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho} \quad (3)$$

ここで、 $h$  は水深、 $t$  は時間、 $u, v$  はそれぞれ  $x, y$  方向の流速、 $\tau_x = \rho C_f u \sqrt{u^2 + v^2}$ 、 $\tau_y = \rho C_f v \sqrt{u^2 + v^2}$  はそれぞれ  $x, y$  方向の河床剪断力、 $g$  は重力加速度、 $H$  は水位、 $C_f$  は摩擦抵抗係数で後述の Manning 粗度係数  $n$  を使って  $C_f = gn^2/h^{1/3}$  と表され、 $\rho$  は水の密度である。地上部の地形データは国土地理院基盤地図情報 5 m メッシュ標高データ<sup>6)</sup>及び SRTM データ、河道内の河床高については横断測量データ、釧路港周辺の海底地形については日本海洋データセンターより公開されている 500 m メッシュ水深データ (J-EGG500) から GIS ソフト上で

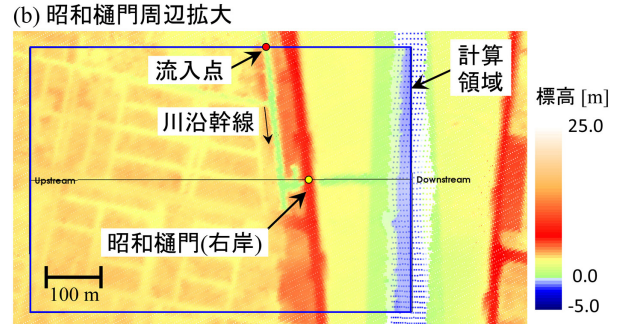
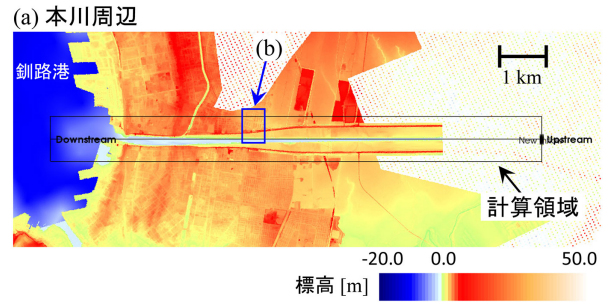


図-3 新釧路川河口の周辺及び河床地形

補間を行い、10 m 間隔の標高データを作成した。本稿では特に断りの無い限り単位 [m] は [T.P.m] を表す。

前半の検討対象である尻別川河口部の周辺及び河床地形、逆流を想定した磯谷樋門の位置を図-2 に、新釧路川河口部の周辺及び河床地形を図-3 に示した。新釧路川は釧路港から本川河道にかけて (図-3 (a)) と、昭和樋門周辺 (図-3 (b)) とに分けて計算を行った。昭和樋門周辺の津波逆流を想定した計算にあたり、新釧路川右岸築堤堤内排水路 (図-3 (b) 中央上部、以下川沿幹線と表記) は基盤地図情報の 5 m メッシュデータでも十分に解像できず地形が不明瞭であり、堤内水路の流れを考慮することが困難であった。そのため昭和樋門の平成 12 年度工事図面を参考に川沿幹線の水路床高として 0.22 m を与えることとした。

これらの処理を施したデータに基づき、本川の計算メッシュは流下方向、横断方向共に 20 m のサイズでメッシュを作成し、昭和樋門周辺の計算については 5 m メッシュを作成して標高を付加した。Manning の粗度係数については水域について  $0.025 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$  を設定した。初期条件



として尻別川の初期水面勾配は0，新釧路本川の初期水面勾配は0.0001，昭和樋門周辺の解析時は初期水面勾配0を設定した．境界条件の設定方法は3章にて述べる．

津波が樋門を透過・逆流する流量の計算にあたっては，樋門を挟んで堤外側に流入メッシュ，堤内側に流出メッシュを指定し，水位，地盤高，樋門の敷高を元に算定した．具体的には，河川砂防技術基準<sup>7)</sup>を参考に，樋門を挟んで高い方の水深を  $h_1$ ，低い方の水深を  $h_2$ ，樋門の内法高を  $H_a$  として，通過流量  $Q$  を以下の式

$$Q = C_1 B H_a \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (h_2 \geq H_a \text{ の場合}) \quad (4)$$

$$Q = C_2 B H_a \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (h_2 < H_a \text{ の場合}) \quad (5)$$

で算出した． $B$  は内法幅である．流量係数は  $C_1 = 0.75$ ,  $C_2 = 0.79$  を標準値<sup>7)</sup>と考えて用いた．前半部再現計算の節において，樋門台帳より，磯谷樋門では  $H_a = B = 1.2$ ，後半部の昭和樋門では  $H_a = 2.5$ ,  $B = 3.5$ ，写真-1に見られるような2連構造とした．

本研究では，第一段階として尻別川で発生した津波遡上時の樋門を逆流した再現計算を実施しモデルの妥当性を検証したのち，第二段階として新釧路川の樋門を対象として樋門開度を变化させた検討を行い，逆流に伴う浸水範囲の変化について検討を行うこととした．

### 3. 数値計算の結果及び考察

#### (1) 1993年北海道南西沖地震時に尻別川で発生した河川津波による内水氾濫再現

本節ではモデル構築の第一段階として，1993年7月に発生した北海道南西沖地震津波発生時の再現計算を行い，モデルの適用性について検討を行う．対象としたのは尻別川河口 KP.0.3 付近右岸磯谷樋門で，尻別川河口に到達した津波が樋門を逆流して内水氾濫を起こした事例である．本再現計算にあたっては，河口に到達した津波の境界条件が必要である．尻別川河口から北東約18 km に岩内港があり，南西沖地震時の検潮記録が残されている<sup>8)</sup>．しかしながらこの波形（波高として約1.4 m）を尻別川河口に与えたところ磯谷樋門を逆流しての浸水は発生しなかった．この原因として岩内港が尻別川河口に比べ震源から離れている（図-1）ことや，開けた沿岸に位置しているために津波水位を適切に表現できていないことが考えられた．もう一つの情報として，国土交通省北海道開発局小樽開発建設部<sup>9)</sup>による記録誌で尻別川河口部で3.17 m という痕跡水位がある．但しこれは聞き取り調査によるもので厳密な数値ではないことに留意する必要がある．これに基づき本研究では尻別川河口境界に与える波形として，津波到達直前の尻別河口観測所における時刻水位0.19 m から3.17 m まで上昇し，一定の振幅  $A_0$  で変動する  $\sin$  波の波形を与えることとした．これは時刻を  $t$  として

$$H_{\text{down}} = A_0 \sin(2\pi t/T) \quad (6)$$

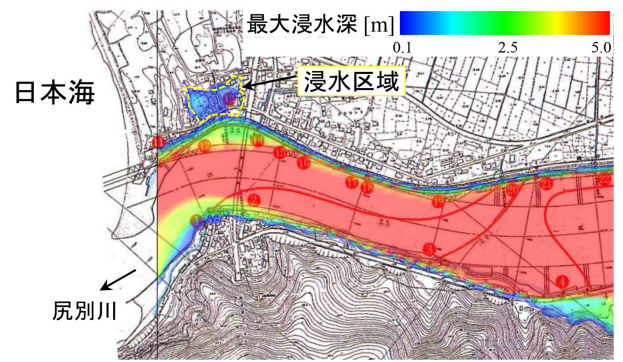


図-4 再現計算結果と浸水痕跡範囲<sup>9)</sup>との比較

で表される．但しこの場合  $A_0 = 2.98$ ,  $T$  は周期である． $T$  は岩内港で観測された津波波形の第1波～10波までの周期を平均して  $T = 1,363$  s ( $\approx 22.7$  分) と設定した．

以上の条件で1時間の計算を行い，尻別川周辺での最大浸水深を可視化したのが図-4である．浸水深は0.1 m以上を示しており，左部の黒実線が下流端境界である．漂流物の付着高や聞き取り調査により判定した浸水区域を図中左上の黄色破線領域で示した．この浸水区域と計算結果の最大浸水深の境界を比較すると領域としては概ね一致している．但し浸水区域の右側では現地と計算では異なり計算の方がやや浸水範囲が小さい．この原因は様々に考えられるが，当時と河口部の地形が変化している可能性があり，完全な再現は今後も精緻な地形データを用意することができない限り困難であると思われる．よって本研究での位置づけとしては，本モデルによって，下流端境界から入射させた津波が樋門を逆流して浸水をきたす現象にも，ある程度適用可能であることを確認できたと考えるのが妥当である．勿論，1993年以降の津波や2011年の東北地方太平洋沖地震津波の再現計算を通じて適用例を今後も増やしていき，信頼性を高めることが必要であることは言うまでもない．

#### (2) モデル河川における樋門逆流による内水氾濫想定

前節における検討から，本モデルの妥当性がある程度確認できた．この当時の地震は観測記録があまり残っておらず，津波侵入時の時系列的な検討は困難である．2011年東北地方太平洋沖地震津波では多くの観測データが蓄積されたので，モデルの信憑性や有効性を示すことが今後の津波対策計画にあたって非常に重要となってくるだろう．尚，佐藤ら<sup>10)</sup>は既に新釧路川での再現計算を実施しており，水位観測所の到達波高，到達時刻を良好に再現できることは確認済みである．そのため本節ではより実際の想定を踏まえた検討を行う．

対象は図-3の新釧路川で，想定の一例として平水時は流量  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ ，川沿幹線の流量  $0.7 \text{ m}^3/\text{s}$ ，出水時は流量  $166 \text{ m}^3/\text{s}$ ，川沿幹線の流量  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  とした．釧路港での朔望平均満潮位0.6 m とし，釧路港での波高  $H_t$  として1, 3, 5 m の津波が到達した場合に新釧路川を津波が遡上するというものである．そのような下流端境界条

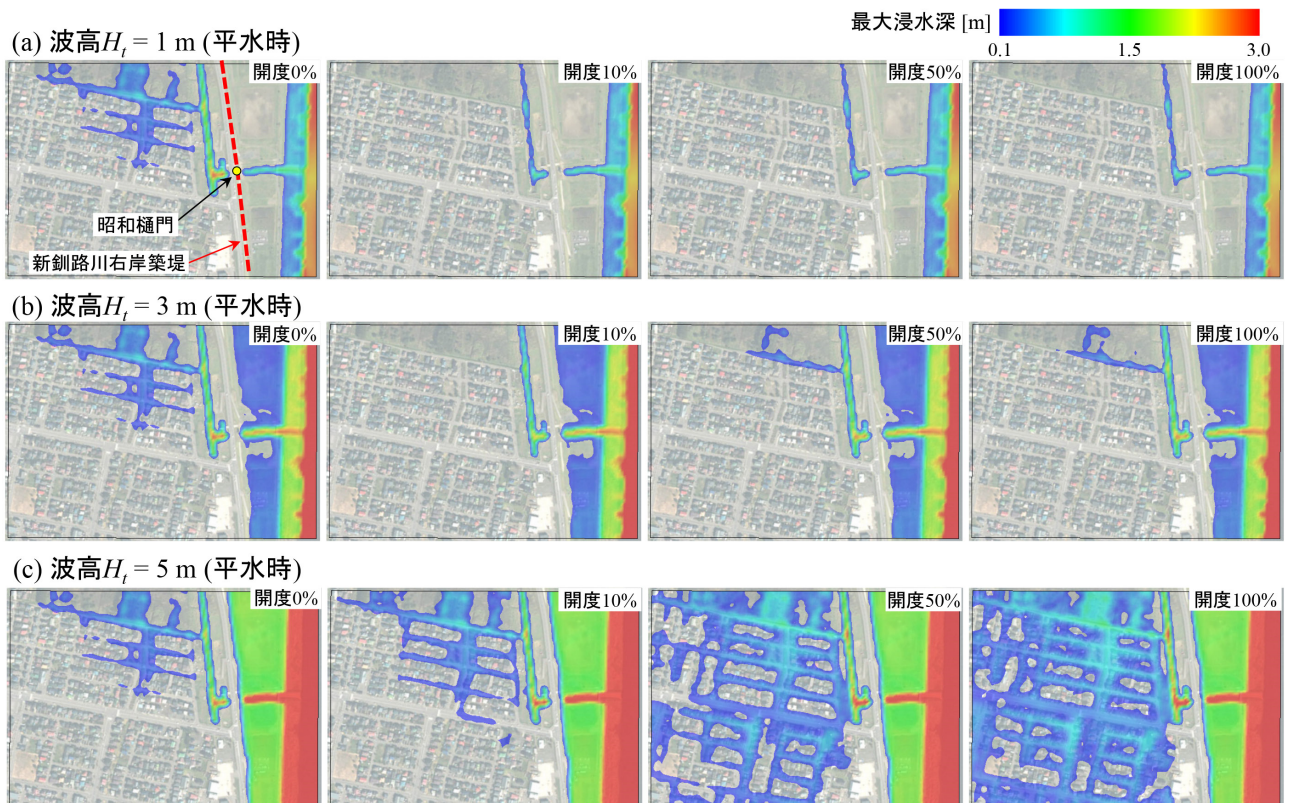


図-6 平水時における波高と開度別の浸水面積の変化（全て最終時刻  $t = 21,600$  s の段階、空中写真は国土地理院による）

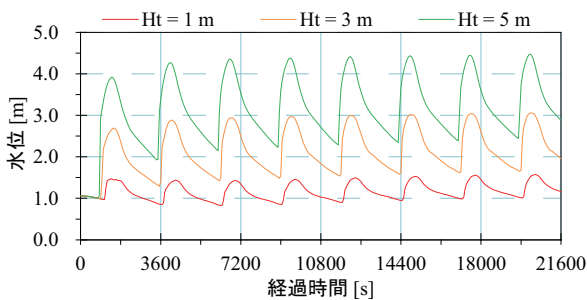


図-5 昭和樋門吐口・本川合流部地点での予測水位

件は式 (6) で  $A_0 = H_t$  として  $H_{\text{down}}$  に 0.6 を加えると表現できる。周期  $T$  は次のように設定した。釧路港で発生した既往の津波周期において、2003 年十勝沖地震<sup>11)</sup>、2010 年チリ沖地震<sup>12)</sup>、2011 年東北地方太平洋沖地震<sup>11)</sup>いずれも 40 分程度、平成 24 年度北海道庁による最大クラスの予測結果<sup>13)</sup>においてばらつきは認められたものの 60 分程度であったことから、比較的蓋然性が高いと考えられる周期として  $T = 2,700$  s (=45 分) を設定した。尚、Watanabe ら<sup>11)</sup>の考察では 2003 年十勝沖地震、2011 年東北地方太平洋沖地震で釧路港にて観測されたような津波の周期は主として海底地形によって決まり、津波規模には依存しないとされている。

図-5 に示したのは、昭和樋門吐口と本川合流部地点での波高別の水位変化である。赤線で示される 1 m のケースでは初期水位から波高 0.5 m 程度分上昇している。橙線の 3 m のケースでは 1.5 m 程度の波高、緑線 5 m のケースでは 3 m 程度の波高となっている。結果と

してこのように、いずれのケースでも河川津波は昭和樋門地点まで到達することが予想された。

ここで、波形に着目すると 3 m 以上のケースでは波形の前傾化が発生し、短い時間内に 1 m 以上もの急激な水位上昇が発生している。また、一般に水深が大きい程波速は大きくなるが、合流部への到達時刻も波高が大きい程早くなる結果となった（図中で  $t = 900 \sim 1,000$  s 前後）。この波高が大きい程到達時刻が早くなるという点は、河川津波対策上留意すべき事項と考えられる。以降の検討ではこの水位を昭和樋門周辺計算領域（図-3 下段）の下流端境界条件として与え計算を行っている。本事例（図-5）や 2011 年東北地方太平洋沖地震津波発生時に見られるように河川津波は複数回来襲するのが通常であるし、第 1 波が最大波とも限らない。第 1 波が引き波であることもあるし<sup>8)</sup>、最大波となることもある。樋門操作の運用を考えるに当たってもこれらの事実には留意する必要があると考えられる。

次に、逆流による浸水範囲の傾向を概括するために、波高  $H_t$  を 1, 3, 5 m と変化させ、樋門開度を变化させた時の最大浸水深を図-6 に示した。これは計算終了時  $t = 21,600$  s (6 時間後) の時点である。各ケース開度を左から 0% (全閉)、10%、50% (半開)、100% (全開) 毎に示している。ここでの開度とは函数断面積  $B \times H_a$  を基準にしたものである。まず、(a) の 1 m のケースを見ると、全閉した場合（開度 0%）は津波の逆流ではなく、全閉により川沿幹線の排水が遮断されたことによる水位上昇が起こり、更に上流側の水路にも流入が発生し



一部市街地の道路部に沿って浸水が発生している．しかしながら開度を 10% 以上とした場合には川沿幹線の流量は昭和樋門を通過し、堤内地の浸水も見られなかった．流況からも津波の逆流は呑口から川沿幹線の約 100 m 程度で発生しているのみであることが別途確認された．

次に 3 m のケース (b) であるが、全閉のケースでは (a) と同様に水路から水が溢れ浸水が発生している．しかし開度 10% のケースでは浸水が見られない．開度 50%、100% では津波遡上により逆流が発生したが、その逆流は水路の支川内部で収まっており市街地での浸水は確認できなかった．尚このケース (b) では本川側において高水敷までの浸水が発生している様子が確認できる．

最後に波高 5 m のケースであるが、全閉 0% の場合では堤内地の浸水範囲は (a)、(b) と同様である．その要因も同様であると考えられる．最右段の全開 100% の場合では大規模な浸水が発生しているが、開度 50% とすると僅かに浸水が抑制され、更に 10% まで開度を小さくすると、それに応じて浸水範囲は小さくなるという結果となった．

これらの結果に基づく一つの類推ではあるが、波高、開度と浸水範囲の関係は以下になるだろう．すなわち、(a)、(b) のように波高が比較的小さく、堤内排水路に十分な許容量がありさえすれば、樋門を一部開放することで堤内排水を流下させつつ、内水氾濫を抑制することが可能である．この時津波は小さいので堤内排水路を逆流するのみとなり、大規模な浸水には繋がらない．但し留意すべきなのは図-6 (b)、特に右側のケースで明らかのように、開度が大きいほど長距離にわたって水路を遡上することが想定されることである．次に (c) のような大規模津波の発生時には、樋門を僅かでも開放しておくことが堤内の浸水に直結すると予測される．しかし開度を全開より狭めていくことで、一定程度浸水を抑制する効果を期待できそうである．また、図-6 は 6 時間という限定された計算期間の結果であるが、各ケース最左段の時刻の後、更に長時間全閉しておけば、より浸水範囲は大きくなることが想定される．

次に、生起確率としては上述の想定内容よりはるかに小さいものの、より深刻な事態が発生し得る、出水時の津波遡上の予測結果について述べる．出水時には樋門を全閉とすると内水氾濫の危険性が著しく増加してしまうため、開放操作を前提とした．図-7 に示したのは、例として 10% 開放の場合、全開の場合の 6 時間後の最大浸水深を (a)  $H_t = 1$ 、(b)  $H_t = 3$ 、(c)  $H_t = 5$  m の場合に示したものである．図-6 との比較より、大きく異なるのは開度 10% の時に大規模な堤内浸水が発生している点である．しかし全開としておくことで、 $H_t = 1$  の場合には逆流の発生は水路内のみで、 $H_t = 3$  の時には浸水はごく一部となった．(c)  $H_t = 5$  の場合では堤内排水と樋門からの逆流の影響で浸水面積・浸水深とも大きい、全開とした方が引き波時に本川側へ水が排出さ

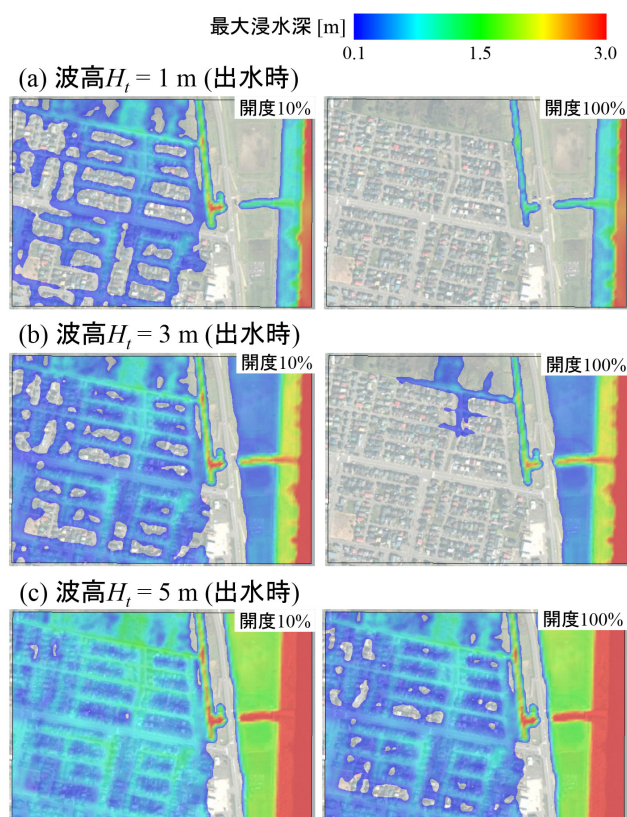


図-7 出水時を想定した場合の波高と開度別の浸水面積の変化（全て最終時刻  $t = 21,600$  s の段階、空中写真は国土地理院による）

れるため浸水深としてはやや小さくなる結果となった．

このような違いを定量的に把握するために、堤内側における浸水面積の時系列変化を波高・流量別に示したのが図-8 である．図-8 (a) の  $H_t = 1$  m の場合では、全閉とした時のみ内水氾濫のために浸水面積が増加するが、一部でも開放すれば排水は水路内を流れ面積はほぼ定常的となる．対照的に (b) の  $H_t = 5$  m のケースでは、樋門を一部開放すると逆流が発生し、浸水面積は増加・減少を繰り返しながら単調に増加していく．次に出水時の流況として (c) の  $H_t = 1$  m の場合、全閉とすると浸水面積が直ちに増加していく．10% の一部開放があっても浸水面積はやはり単調増加である．一方開度 50% 以上とすると、堤内排水は水路内を流れ、津波による逆流も水路内で収まるといふ予測結果となった．(d) の  $H_t = 5$  m では開度別のグラフがほぼ同程度に単調増加するが、開度の大きい 50%、100% のケースにおいては津波波形に追従する樋門からの逆流・流出に伴って、浸水面積の変動が現れている．

以上の結果を概括すると、平水時・出水時含め、津波来襲時の樋門操作を全閉とした場合には、その時間が長ければ長い程、堤内地の浸水リスクとしては危険側に作用する．逆に全開とした場合には、大規模津波発生時に樋門から逆流しやすい条件となり浸水の危険性を内包することとなる．これを例えば 10% 程度の一部開放操作とすると、特に平水時の場合堤内側の浸水を抑制する効果が期待できる．

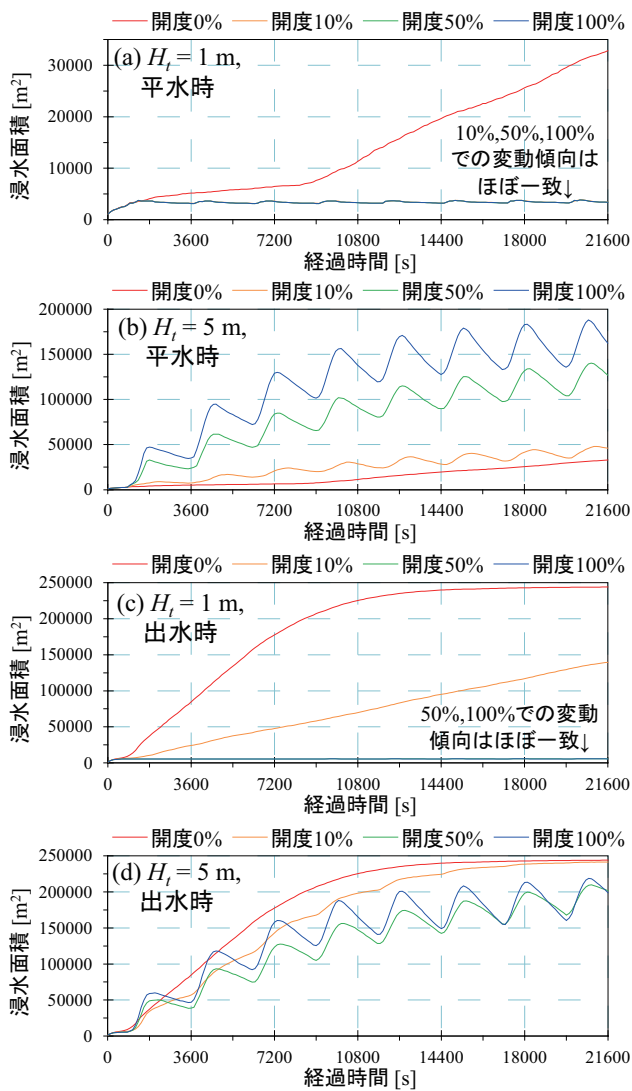


図-8 流量・波高・開度別浸水面積の時系列変化

但し、本節の検討ケースは昭和樋門周辺をモデル地形とした限定された条件のものであり、堤内・本川の流量が更に変化すれば当然結果も異なる性質のものである。また、2章に述べたように堤内排水路については情報が少なく、地形データにいくつかの処理や補間を施している。そのため必ずしも実際に同条件の津波で浸水範囲が同様の結果となるとは限らない。従ってこの結果のみでなく多種多様な河川や樋門、条件下でも同種の検討を今後実施することが望ましいと考えられる。

#### 4. まとめと今後の課題

本研究では、河川津波が樋門から逆流することを想定した氾濫解析モデルを構築し、まず1993年北海道南西沖地震津波時に尻別川で発生した内水氾濫の再現計算を行い妥当性の評価を行った。その上で、樋門開度や津波波高を変化させた時に氾濫範囲がどのように変化するかについて、数値実験を行った。その結果、本稿のモデルは実現象の再現計算にもある程度適用することが確認で

きた。また後半部のような波高・樋門開度を変更した整理を行えば、簡易な手法でありながら津波規模や河川の流況に幅を持たせた想定が可能であることが確認できた。

今後の課題としては、後半部の新釧路川のモデルでは本川部の計算と樋門周辺の計算を別途実施しており、境界条件として時系列水位のみ反映させている。昭和樋門吐口は本川に対してほぼ直角に合流するので大きな問題にはならないと考えているが、斜めに合流している場合は流速の $x, y$ 両成分を受け渡すことが望ましい。冒頭に述べたが北海道のような積雪寒冷地域では結氷の存在が重大な問題である。結氷時の樋門ゲート部の通過流量については更なる検討の余地があり、継続的な議論が望まれる。今後は本モデルを用いて堤内排水流量、本川流量、地盤沈下量などの河川津波に関する諸要素を更に変化させた検討を蓄積し、河川津波来襲時の施設操作基準について検討を進めて行く予定である。

謝辞：本研究の遂行に当たり北海道開発局本局河川管理課の関係各位にはご協力及び多数のご助言を頂きました。また、北海道開発局小樽開発建設部及び釧路開発建設部には検討のための河道諸元データ等のご提供・多くのご助言を頂きました。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 浜田徳一、堀口孝男、加藤始、金子正久：水路に侵入する津波の計算 - 高知港の場合 -，海岸工学講演集，第8巻，pp.30-35，1961。
- 2) 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鶴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(2)，pp.I.416-I.420，2012。
- 3) 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(2)，pp.I. 851-I. 855，2014。
- 4) 寒地土木研究所寒地河川チーム、道東支所：2014年チリ北部地震により発生した北海道内の津波観測状況について（第1報），URL: <http://river.ceri.go.jp/contents/disaster/2014Iquique.pdf>（参照日 2015年4月1日）。
- 5) 河川シミュレーションソフト iRIC：URL: <http://i-ric.org/ja/>（参照日 2015年4月1日）。
- 6) 国土地理院、基盤地図情報サイト：URL: <http://www.gsi.go.jp/kiban/>（参照日 2015年4月1日）。
- 7) 国土交通省水管理・国土保全局：河川砂防技術基準調査編平成24年6月版，735 p.，2012。
- 8) 寒地土木研究所港湾研究室、水産土木研究室：1993年北海道南西沖地震による津波に関する調査結果概要（速報），開発土木研究所月報，No.483，pp.70-81，1993。
- 9) 小樽開発建設部：尻別川地震災害復旧記録誌，108 p.，1996。
- 10) 佐藤好茂、阿部孝章、吉川泰弘、柿沼孝治、伊藤丹：遊水地による河川津波の減災対策に関する一提案，河川技術論文集，Vol.19，pp.369-374，2013。
- 11) Watanabe, Y., Mitobe, Y., Saruwatari, A., Yamada, T. and Niida, Y.: Evolution of the 2011 Tohoku Earthquake tsunami on the Pacific Coast of Hokkaido, Coastal Engineering Journal, Vol.54(1), 1250002, 2012。
- 12) 矢野雅昭、吉川泰弘、石谷隆始、高橋一浩：2010年2月28日に発生したチリ沖地震津波の結氷河川における河川遡上に関する現地観測，寒地土木研究所月報，No.693，pp.14-26，2011。
- 13) 北海道総務部危機対策局危機対策課：太平洋沿岸に係る津波浸水予測図作成業務報告書，2012。

(2015.4.3 受付)