

釧路市街地域における河川津波遡上・氾濫の 減災支援に関する提案

阿部 孝章¹・佐藤 好茂²・船木 淳悟³・吉川 泰弘⁴・中津川 誠⁵

¹正会員 農修 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丁目)
E-mail: abe-t@ceri.go.jp

²正会員 寒地土木研究所 道東支所 (〒085-0014 釧路市末広町10丁目)

³正会員 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丁目)

⁴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)

⁵正会員 博(工) 室蘭工業大学大学院 くらし環境系領域 (〒050-8585 室蘭市水元町27-1)

本稿では北海道でも人口が低平地に密集する釧路市を対象地域とし、河川周辺域における自治体等行政の減災対策を支援する手法の開発を目的として検討を実施した。まず、波源域から河道域までの津波解析を簡易に実施可能な一連のモデル開発を行い、実際に発生した津波波源モデルのパラメータ及び河川流量を変化させた解析を行い、各構造物が受ける津波外力を評価した。次に、北海道庁により検討が行われた最大クラスの津波のデータを用いて地盤沈下量を変化させた解析を行い、上水道や下水処理施設等に対する津波外力を評価した。その結果、津波の規模と河川流量、地盤変化量の条件次第では、施設の被災可能性は変化する可能性がある事が分かった。複数の津波想定を事前に行っておくことで河川管理者や自治体の減災支援となる可能性が示された。

Key Words: Kushiro City, Tsunami run-up in rivers, Inundation area, Water and sewerage systems, Disaster reduction support

1. はじめに

我が国は春夏秋冬の四季と自然に恵まれ、梅雨期や秋の台風の時期など、降雨が要因となり発生する土砂災害等の発生頻度が非常に高い。そればかりか、気候変動等の影響のため局地的な豪雨災害等が増加しつつあり、2013年から2014年にかけては洪水災害や土砂災害が多い年となっている。一方、日本は環太平洋造山帯に属しており、国土の7割近くが急峻な山地部からなっており、活火山は全国的に分布し、活断層にも取り囲まれている。そのため地震災害の発生も非常に多く、それに伴う津波災害はこれまでも日本国内で数々の被害をもたらしてきた。

2011年3月11日午後2時46分頃、宮城県沖を震源として発生した東北地方太平洋沖地震によって、全国的に津波遡上が発生し、岩手県大船渡市綾里湾においては、国内で観測史上最大となる40mを超える遡上高が確認された¹⁾。更にこの津波は全国的に河川へと遡上したことが確認されている。東北地方沿岸域・河川には10mを超える津波が来襲し、堤防の縦断的な破壊、樋門構造物周辺の洗掘、水門の破壊等、河川構造物に深刻な被害をもたらした。こうした河川域の災害を低減するために施設によって財産を保護するためのL1クラスの津波と人命を最優先で保護するL2クラスの津波とに分けて対策を実施することが国土交通省により提

言された。

さて、日本周辺はプレート境界域が位置しており、様々な場所で地震が発生する可能性がある。上記のような最大クラスの津波と言っても一つの最大クラスの想定に縛られることなく、地震規模の不確実性を踏まえた、津波遡上のリスク評価の重要性が安田ら²⁾によって指摘されている。彼らによって、南海トラフで将来発生しうる大規模地震による和歌山県全域の浸水危険度評価²⁾がなされた。同じく安田³⁾による高知市における検討では、地震規模・潮位・地盤沈下量次第では排水機場といった重要施設の被災危険度が変化することが指摘されている。

南海トラフだけでなく、例えば北海道太平洋岸地域では、千島列島沖・釧路沖地震による被害想定が活発に行われている。特に本稿の検討対象である釧路市は津波常襲地帯であり、低標高地域に18万人の人口が密集しているため、住民の津波に対する防災意識は北海道の中でも特に高いとされている。釧路市のほぼ中央を釧路湿原から流れる新釧路川が流れており、釧路港から太平洋に注いでいるが、この河川は過去に幾度も河川遡上が発生しており、L1クラスやL2クラス、それらに準じた津波予測をする際には河川遡上をも考慮した上で検討を行うことが望ましいと考えられる。

本稿では、安田らによる想定地震規模や地形条件に幅を持たせる考え方を基本的な検討方法として採用し、

更に河川遡上や河川施設への津波影響評価を考慮した上で、対象地域である釧路市及び釧路川周辺の津波検討を実施したものを報告する。検討実施にあたっては汎用インターフェイスを用いることで津波遡上解析の煩雑さを極力排除し、自治体の担当者レベルでも同種の検討が可能となるような手法として提案することとする。単一の想定ではなく、津波規模に一定の幅を持たせた事前検討を行うことで、河川管理者や自治体の緊急時の判断を支援することを最終的な目的としている。

所謂 L1 クラス津波については、検討を行うための指標として、モーメントマグニチュード (M_w) の変化と、河川流量の変化について着目した検討を行った。L2 クラス津波については、北海道庁により最大クラスの津波想定として釧路港に到達する津波波形が一般向けに公開されている。本稿ではこの波形を用い、一つの指標として地盤沈下量の変化に着目した検討を行うこととした。

2. 手法

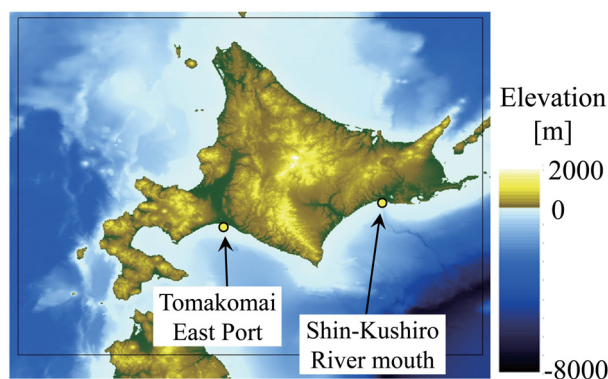
本稿で最初に目的とするのは、波源域からの津波伝播を踏まえた上で簡易に河川津波遡上や市街地への遡上を検討可能なモデルを構築することである。ここでは、無償で公開されている iRIC ソフトウェア⁴⁾に含まれる広域津波計算モデル ELIMO、氾濫解析モデル Nays2D Flood を用いることとした。そして無償提供されている地形データ（国土地理院基盤地図情報⁵⁾、J-EGG500⁶⁾、SRTM データ⁷⁾）を利用し、データの加工にあたっては無償の GIS ソフトである QGIS を用いた。本稿では、上記 2 種類のモデルを併用しつつ次のような手順で検討を進めることとした。

L1 クラスの津波想定にあたっては、ELIMO モデルの計算結果を Nays2D Flood モデルに接続して与える。ELIMO モデルによる計算対象領域は図-1 (a1) に示した範囲全体である。まず、ELIMO モデルによって 2003 年十勝沖地震津波の実測データと計算結果を比較することによりモデルの妥当性を検証したのち、想定津波高の変化による河川遡上を検討するため、前述の安田ら²⁾の考え方をういて滑り量 S （すなわち地震モーメント M_o ）を変化させることで地震規模を表すモーメントマグニチュード M_w を変化させた。以下にその概略を示す。 M_o 、 M_w は次式で表される関係を持つ。

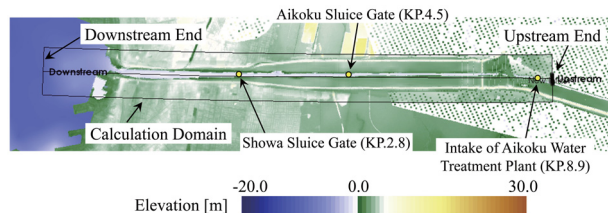
$$M_o = \mu DS \quad (1)$$

$$M_w = (\log_{10} M_o - 9.1)/1.5 \quad (2)$$

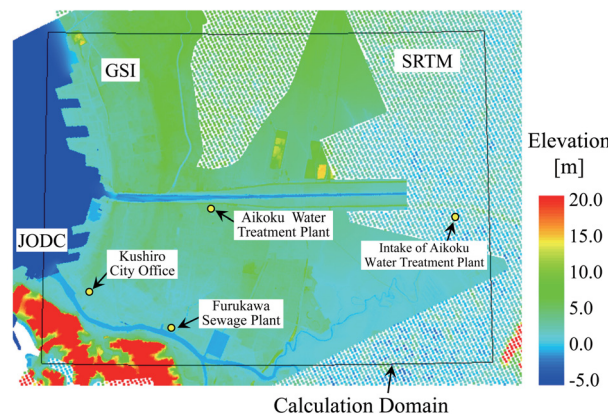
但し、 μ は剛性率、 D は震源断層面積である。 M_w を変化させた上で河川への津波遡上解析を行い、河川構造物である樋門と浄水場取水口地点での水位変動を把



(a1) 北海道周辺地形



(a2) 新釧路川周辺地形



(b) 釧路市街地域の地形

図-1 本稿における津波遡上の検討対象領域

握した。河道の津波遡上解析には図-1 (a2) のような地形データを用い、黒枠で囲まれた領域について解析を行った。メッシュのサイズは約 20 m 四方とした。

L2(最大) クラス津波の検討にあたっては、公開されている新釧路川河口部での最大クラス津波想定波形を下流端境界水位として与えることとした。筆者らのグループが先行して行った内海ら⁸⁾の検討と同様の、図-1 (b) に示した地形データを用いた。市街地は密にデータが存在する国土地理院基盤地図情報（図中の GSI）、湿原域を含むばらばらな標高データは SRTM データ、海域は J-EGG500（図中の JODC）データから構成されている。黒枠で囲まれた領域について解析を行い、メッシュのサイズは約 30 m 四方とした。まず、本計算領域において北海道により公開されている L2 クラスの浸水想定

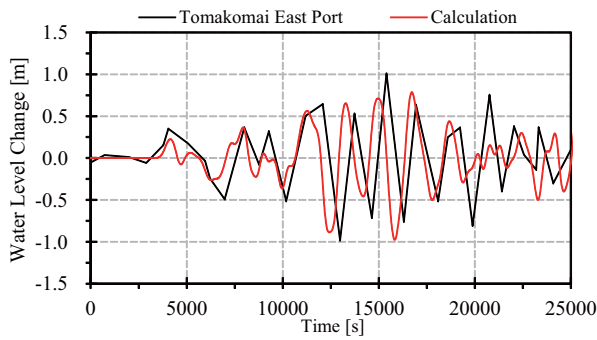


図-2 苫小牧東港地点における水位変動の再現計算結果と計測値⁹⁾との比較

計算結果とを比較することによりモデルの妥当性を検証した。その後 (b) の地形データにおいて地盤沈下量を 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 m と変化させて同一の波形を与え、浸水範囲の変化及び重要施設について検討を行った。

3. 結果及び考察

(1) L1 クラス津波の河川遡上に関する検討

本節ではまずモデルの妥当性検証から述べることにする。図-2 に示したのは、2003 十勝沖地震について推定されている断層パラメータ¹⁰⁾を入力し、図-1 (a1) の領域で再現計算を実施した結果である。尚、苫小牧東港の位置は同図 (a1) に示した。苫小牧東港の実測潮位と ELIMO の計算結果の比較から、本モデルによる計算値は第 1 波の到達時刻や押し波、引き波による水位変動をある程度再現することに成功している。但し波の形状が異なっていたり、 $t = 10,000 \sim 17,000$ s で位相がずれるなどの事象が確認された。

この問題の解決のためにはより高精度な地形データの活用が有効であると考えられるが、高精度な地形データを用いると誤データの処理や補正など解析上の煩雑さが増すため、本節の議論の中では割愛する。そのため、本モデルの予測値はあくまで、水位変動のみを把握する目的のみに留めておくべきと考えられる。この ELIMO による計算結果を、Nays2D Flood モデルの下流端水位境界条件として与え、津波を入射させた。この理由は、他の再現計算においても、2011 年東北地方太平洋沖地震津波発生時の釧路市⁸⁾及び厚岸町¹¹⁾の浸水範囲や新釧路川における河道内の時系列水位¹²⁾がある程度良好に再現されることが既に確認されているためである。

次に、同じ十勝沖地震津波の断層パラメータにおいて、滑り量 S のみを変更して M_w を変化させた。南海トラフ地震の M_w を 8.7 から 9.0 まで 0.1 ずつ漸増させ

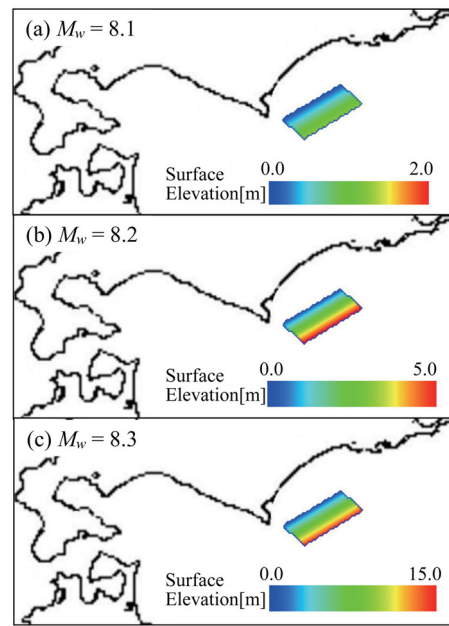


図-3 各 M_w に対する十勝沖地震津波の初期水位分布

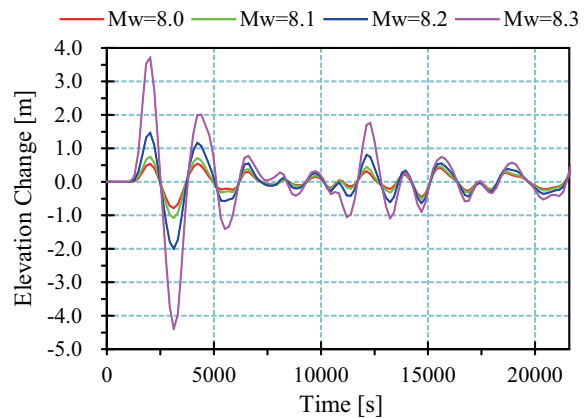


図-4 各 M_w に対する新釧路川河口における水位変動

た安田ら²⁾の議論に倣う形で、気象庁¹⁰⁾から発表されている 2003 年十勝沖地震の $M_w = 8.0$ から 0.1 ずつ増やすこととした。図-3 には、各 M_w に対する初期水位分布を示した。各 M_w について、初期水位は $M_w = 8.1$ で最大 1 m 程度、 $M_w = 8.2$ で最大 5 m 程度、 $M_w = 8.3$ で最大 15 m 程度となった。尚、図-4 に、各 M_w の十勝沖地震において予測される、釧路港地点の時系列水位変化を示した。この図が示すように、 M_w が変化しても、到達時刻や波の周期に顕著な違いは見られず、波高・振幅のみが変化する結果となった。同様の傾向は、安田ら²⁾による和歌山県沿岸部の検討でも確認されている。これは断層領域を同一としたためと考えられ、結果として新釧路川河口部付近への津波の到達時刻に大きな変化は無いものと推測される。

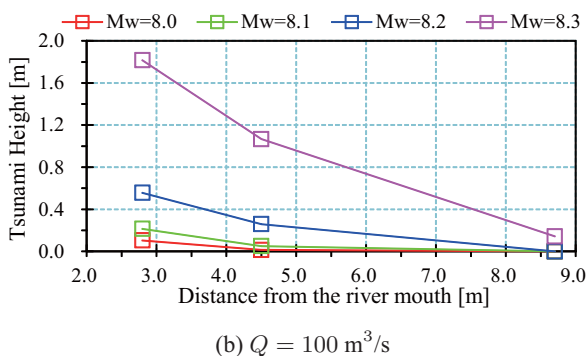
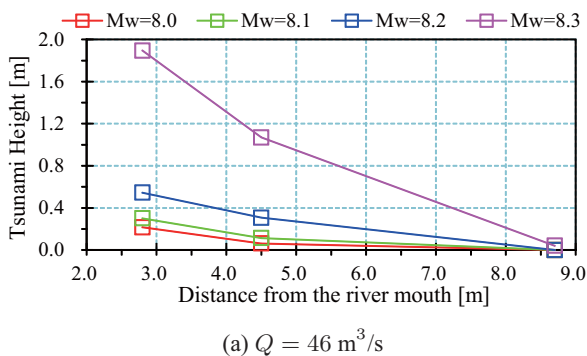


図-5 流量別の各施設地点における第1波の波高

新釧路川における平水流量（約 $Q = 46 \text{ m}^3/\text{s}$ ）の場合と出水時の流量（約 $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ ）とそれぞれ設定した場合に河川施設や浄水場取水口地点への到達有無を把握するため、図-5 に各地点で推定された第1波の波高をプロットした。図中では各施設の河口からの距離と波高との関係を示している。河口から近い順に昭和樋門 (KP.2.8)、愛国樋門 (KP.4.5)、愛国浄水場取水口 (KP.8.7) 地点に対応しており、KP. (キロポスト) は河口からの距離 [km] を表す。図-4 より、 $M_w = 8.0, 8.1, 8.2, 8.3$ について第1波の波高は約 0.5, 0.7, 1.5, 3.5 m と推測された。図-5 を見ると最下流の昭和樋門地点で波高は半分程度まで減衰している。これは、図-1 (a2) 河口部に見られるように新釧路川は河口部で閉塞を起こしており、津波が遡上しづらい状況となっている¹³⁾ ことに起因していると考えられる。上流の愛国樋門地点から取水口地点にかけ、いずれのケースにおいてもほぼ線形に波高は減衰している様子が見られる。特に、最上流の取水口地点では、 $M_w = 8.3$ のケースでさえも微弱な津波しか到達しない予測となっている。ところが取水口地点における (a), (b) の比較より、 $Q = 46 \text{ m}^3/\text{s}$ の際 4 cm 程度、 $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ では 14 cm 程度の津波が到達しており、後者のケースでは更に上流まで到達していた可能性がある。

吉川ら¹⁴⁾の検討によれば、基本的には河川流量が大きいほど津波遡上距離は短くなるが、流量の条件次第では逆に長くなることもなることが既に指摘されてお

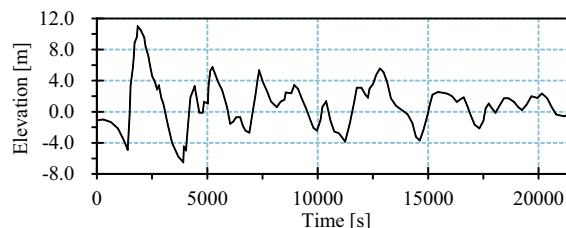


図-6 北海道庁想定による新釧路川河口部の L2 クラス津波波形

り、本稿のケースもこの事例に該当すると考えられた。即ち、河川津波を議論する場合には津波規模のみで遡上距離や遡上高を一義的に推定することはできないと言える。

注意すべきことのう 1 点として、本稿で対象としている 2003 年十勝沖地震の発生域と、安田ら²⁾の検討した発生域とでは面積が大きく異なる。彼らの検討における南海トラフ地震からの和歌山県や高知市の遡上事例では M_w は 8.7~9.0 を想定しており、本稿の条件では高々 M_w は 8.3 である。滑り量 S をパラメータとして津波規模を変化させるという手法は未だ十分に確立されているとは言い難く、適用範囲について、同一地域の異なる地震での再現計算などを通じて精度の検証を行うことが望ましいと考えられる。

(2) L2 クラス津波の河川遡上及び氾濫に関する検討

図-6 は北海道庁により公開¹⁵⁾されている最大クラス津波の想定の内、釧路川河口部の時系列的な予測水位をプロットしたものである。図より、引き波から始まる第1波で、最大水位が約 11 m まで上昇している。本節ではこの波形データを、図-1 (b) の釧路市街地にとった平面的な計算領域の下流端境界条件として与え、更に地盤沈下量を変化させる検討を行う。図-7 は公開されている最大クラス津波の浸水想定と本稿による計算結果との比較である。両者の平面的な浸水深の分布は類似しており、大きな矛盾も無い。流速データは公開されていないが、水位のみを境界条件として与えることによっても、概ね近い浸水予測結果が得られるものと考えられる。この事例は最大クラス津波の予測結果との比較であるが、前述の通り、本モデルが 2011 年太平洋沖地震津波の浸水範囲を概ね良好に再現することは確認済みである⁸⁾¹²⁾。勿論、水位情報のみの接続では、第1章の冒頭で示したような段波津波のせり上がりによる浸水¹⁾には直ちに適用することは困難と考えられる。現行で広く用いられている、国土技術開発センターの手引き案¹⁹⁾に示されている通り、水位及び流速（接続境

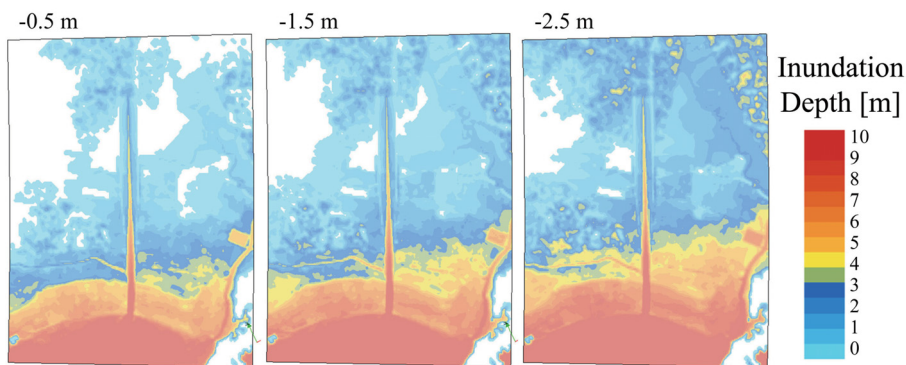


図-8 地盤沈下量別の浸水深の予測結果

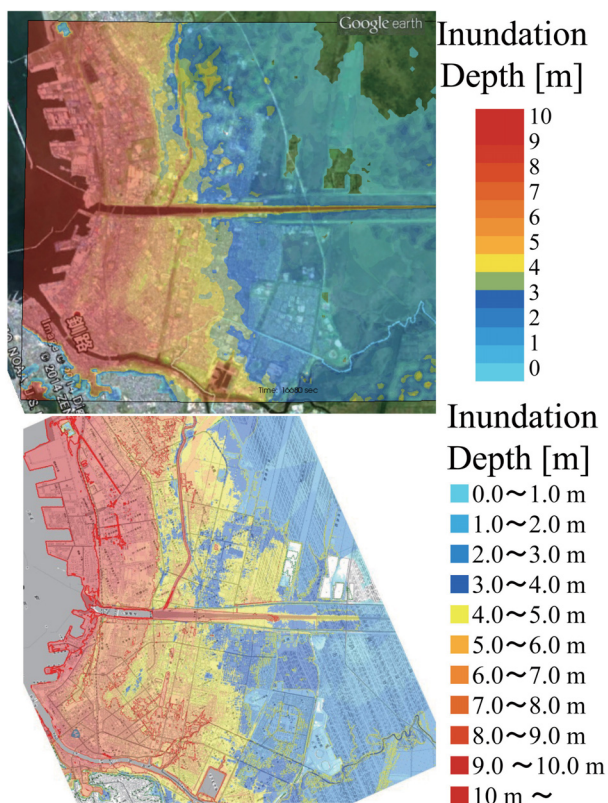


図-7 最大浸水深予測の比較。上段が Nays2D Flood モデル，下段が北海道庁による想定¹⁵⁾

界における通過流量)を受け渡すことが望ましいのであるが、浸水範囲の予測という目的に絞れば、ある程度の適用可能性を有すると考えられる。

以上より、無償公開されているソフトウェアでも、浸水範囲についてはある程度の再現性を有していると考えられた。そのため、本稿ではこのモデルをベースに以降の検討を進めることとした。図-8 は地盤沈下量 0.5, 1.5, 2.5 m のケースについて、 $t = 21600$ s における最大浸水深予測結果を比較して示したものである。白く表

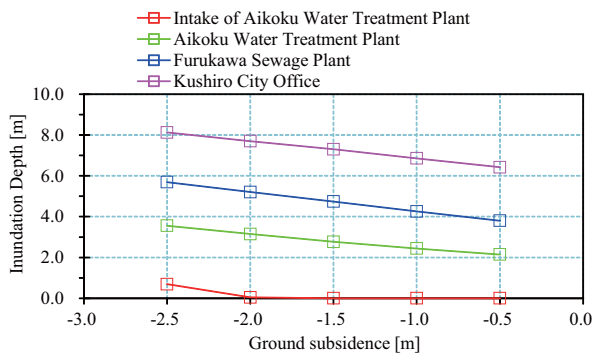


図-9 地盤沈下量別の重要施設地点の浸水深予測結果

示されている部分はこの時刻まで浸水が発生しなかった地点である。沈下量が 1 m ずつ増加するにつれ、特に上流側の湿原域で浸水域が広がっているが、地域的な特性として釧路湿原地域は元来標高が低く、沈下による浸水の影響を受けやすいためと考えられた。また、新釧路川右岸側 KP.1.2 地点で合流する仁々志別川付近で、沈下量 1.5 m 以上のケースで 4 m 以上の浸水域が広がっていることが読み取れる。国土地理院による高解像度の地形データで支川の地形までも考慮したために、このように支川に遡上してその周辺域で氾濫する状況まで予測することが可能となったと考えられる。図-9 は本稿で注目した 4 施設（位置は図-1 (b) 参照）における、地盤沈下量別の浸水深を示したものである。4 箇所とも、沈下量が減少するごとに、浸水深も線形に減少しており、図-5 と同様な傾向であった。最上流の取水口地点では、沈下量が 2.5 m の時にのみ 1 m 弱の浸水が発生し、それ以下の沈下量では浸水しない予測結果となった。愛国浄水場では沈下量が 2.5 m から 0.5 m になった場合に、浸水深が 3.6 m から 2.1 m へ、古川下水処理場、釧路市役所でも、概ね 1.5 m から 2.0 m 程度、浸水深が小さくなる推定結果が得られた。

即ち、一口に 10 m 強の津波が来襲するといっても、地盤沈下の影響だけでも浸水深は大きく異なる。そのため、単一の最大クラス想定をあらゆる判断の根拠とするのではなく、津波は元来このように、条件によって浸水範囲も浸水深も変化するような性質を持つ災害であることを考慮し、減災対策の指針を策定していくべきと考えられる。

4. まとめと今後の課題

本稿では、L1 クラス津波については波源域から河川周辺域まで考慮した一連の津波解析モデルを構築し、L2 クラス津波については公開情報を境界条件として与え、実際の津波想定を用いた各種の検討を行った。その結果、津波規模の条件と河川流量の条件によっては、河道内の河川施設に到達する津波波高が変化することが確認された。また、L2 クラス津波の検討においては、地盤沈下量の条件によっては浸水範囲が大きく異なり、上下水道などのライフラインを構成する重要施設地点における浸水深も大きく変化する予測結果が得られた。また、本稿のモデルの最大の特徴は、主として無償公開されているモデルや地形データを基にした検討ということである。数値解析に習熟した技術者でなくとも、PC 上で簡易に操作可能なインターフェイスを用い、同種の解析が可能である。そのため、自治体や河川管理者が主体的に、事前に複数の想定を行い結果を整理しておくことで、津波来襲前、来襲後の減災対策に迅速に取りかかることができるようになる。

但し、本稿で構築した一連のモデルの計算は個別に行っており、水位変動のみを考慮し解析の接続を行っている。今後水位の他に流速の情報を受け渡し可能なモデルの改良が望まれる。

また、北海道特有の問題として、直轄河川では結氷が生じるため、津波発生時には氷の漂流物を考慮することが望ましい。氷板漂流物がゲートに挟まり動作を阻害する可能性も指摘されている。著者ら¹⁶⁾は、漂流物の影響を考慮した河川施設周辺のシミュレーションにも着手しているところであり、こうしたモデルも組み合わせれば、より現実に近い想定が可能となることが期待される。今後、こうした最新の数値解析技術も併用しつつ、河川周辺域の津波影響評価手法としてモデル構築を継続していく予定である。本稿では触れていないものの、河口潮位を変化させた検討、津波遡上時における河口閉塞の影響、河床変動計算を用いた河口砂州のフラッシュを考慮することが可能となれば、より現実的な想定として、用途が拡大できるものと考えられる。

謝辞: 北海道開発局釧路開発建設部には河道形状に関する資料を提供頂きました。ここに記して各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ, URL: <http://www.coastal.jp/tjt/>, (参照日 2014 年 9 月 12 日).
- 2) 安田誠宏, 溝端祐哉, 奥村与志弘, 間瀬肇, 森信人, 島田広昭, 和歌山県における想定を超えた津波に対する浸水危険度の変化に関する研究, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.68(2), pp.1156-1161, 2012.
- 3) 安田誠宏, 単一の最大クラスシナリオは想定外を無くせるかー漸増津波氾濫解析による幅のある想定のお勧めー, 京都大学防災研究所公開講座第 25 回講演資料, URL: http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/web_j/kokai/potal/h26/h26_pt5.pdf, 2014 (参照日 2014 年 9 月 12 日).
- 4) 河川シミュレーションソフト iRIC, URL: <http://iric.org/ja/> (参照日 2014 年 9 月 12 日).
- 5) 国土地理院, 基盤地図情報サイト, URL: <http://www.gsi.go.jp/kiban/> (参照日 2014 年 9 月 12 日).
- 6) J-EGG500 (JODC-Expert Grid data for Geography-500m), URL: http://www.jodc.go.jp/data.set/jodc/jegg_intro_j.html (参照日 2014 年 9 月 12 日).
- 7) SRTM: Data Search, <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp> (参照日 2014 年 9 月 12 日).
- 8) 内海誠治, 中津川誠, 阿部孝章, 吉川泰弘, 工藤俊, 釧路市街地における津波氾濫解析と被害想定についての研究, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 69 号, B-32, 2012.
- 9) 安田浩保, 渡辺康玄, 藤間功司, 2003 年 9 月の十勝沖地震に伴い発生した津波の河川遡上, 土木学会論文集, No.768/II-68, pp.209-218, 2004.
- 10) 気象庁, 「平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震」について (第 28 報), URL: <http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/25b/kaisetsu201103251730.pdf> (参照日 2014 年 1 月 10 日).
- 11) 阿部孝章, 吉川泰弘, 佐藤好茂, 伊藤丹, 寒冷地の半閉鎖性水域における津波振動と結氷破壊特性に関する研究, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.69(2), pp.1455-1460, 2013.
- 12) 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, 土木学会, 2013.
- 13) 国土交通省北海道開発局釧路開発建設部: 新釧路川への津波遡上について, 私信, 2014.
- 14) 吉川泰弘, 阿部孝章, 平井康幸, 河川津波の一般断面 1 次元計算モデルの構築と実河川への適用に関する研究, 寒地土木研究所月報, Vol.713, pp.2-11, 2012.
- 15) 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.
- 16) 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.
- 17) 工藤健太郎, 玉田崇, 安田浩保, 急流河川を対象とした津波の河川遡上シミュレーション, 応用力学論文集, Vol.11, pp.577-586, 2008.
- 18) 田中仁, Nguyen Xuan Tinh, 盧敏, Nguyen Xuan Dao, 2010 年チリ地震津波の東北地方河川への遡上ー河口地形と遡上特性との関連ー, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.67(4), pp.11627-11632, 2011.
- 19) 国土技術研究センター: 津波の河川遡上解析の手引き (案), 20 p., 2007.

A PROPOSAL ON THE DISASTER REDUCTION SUPPORT AGAINST TSUNAMI RUN-UP AND FLOODING IN KUSHIRO CITY AREA

Takaaki ABE, Yoshishige SATOH, Jungo FUNAKI, Yasuhiro YOSHIKAWA and
Makoto NAKATSUGAWA

This report aims to develop a disaster reduction method around the river for supporting local government and river administrators. The target basin is Kushiro City, where densely populated in lower altitude areas. First, we simply modeled series of tsunami run-up into rivers from the wave source region and tsunami inundation around the city. With varying river hydraulic parameters and tsunami source determined by reference to the actual tsunami event, the authors investigated tsunami external force on river facilities. Next, analyses were performed on the external forces on water supply and sewerage systems of the target city using maximum class tsunami wave data made public by Hokkaido government. As a result, depending on the conditions in river discharge, scale of the tsunami, elevation change in the ground, the variations of the disaster potential of these facilities were confirmed. The disaster mitigation proposal shown here can help local government and river administrators plan measures for tsunami run-up and inundation in emergency situations.