

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

Research on Analysis of Flooding and Estimation of Damage Due to Tsunami in the Urban Area of Kushiro City

室蘭工業大学 ○学生員 内海 誠治 (Seiji Uchiumi)
 室蘭工業大学 正員 中津川 誠 (Makoto Nakatsugawa)
 (独) 土木研究所寒地土木研究所 正員 阿部 孝章 (Takaaki Abe)
 北見工業大学 正員 吉川 泰弘 (Yasuhiro Yoshikawa)
 室蘭工業大学 学生員 工藤 俊 (Shun Kudo)

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による大津波により広い地域で被害が発生し、北海道の太平洋沿岸部にも大津波警報が発令され、釧路市でも新釧路川の河口部両岸地域港湾施設などで被害が発生した。このような背景から、今後は釧路市を含めた津波の被害が予想される地域で、大津波が襲来しこれまでの被害想定よりもさらに深刻な被害をもたらすことが考えられる。災害初期においては飲料水の確保などが優先課題であることから上下水道などの機能が失われると、人命に関わる事態を招く。以上のことから、これらの施設の被害を事前に想定し、対策を考えておくことが重要である。

しかしながら、津波被害の想定には高度な技術や設備の準備など多くの労力と資金が必要である。そこで本研究では誰でも簡単に入手し、津波氾濫解析を行うことのできるフリーソフトウェア iRIC2.0¹⁾を用いて検討を行うことを試みた。具体的には、まず2012年6月に北海道²⁾が発表した津波浸水予測図と、iRIC2.0を用いて計算された津波浸水予測図との比較を行い、iRIC2.0を用いた計算の精度を検証した上で、想定波高を変化させた津波氾濫解析を行い、釧路市街地における津波の被害想定を試みた。

2. 釧路市街地の概要

釧路市街地は、釧路市の中心に位置し人工的に作られた直線河川である新釧路川と釧路市の東側に位置する蛇行河川である釧路川の周辺に広がっている。新釧路川は堤防や河川敷などの河川整備が行われている河川であるのに対して、釧路川は河川水位が地盤高近くにあり、かつ新釧路川に比べて河川整備があまり行われていないという特徴を有する。したがって、同じ市内でも面している河川によって津波の被害が偏りやすく東北地方太平洋沖地震の

際には、発生した津波によってフィッシャーマンズワープMOOや旭アンダーパスなど、釧路川沿いにある施設が大きな浸水被害を受けた。また、市街地内での標高差が大きいため、海岸部近くでも場所によって津波の被害が異なるという地形特性を有する。釧路市では人口約18万人に対して、北海道が発表した津波浸水予測図による浸水範囲内において約12万人が被災する可能性がある。

3. 釧路市街地における津波氾濫解析と被害想定

3.1 iRIC2.0 Nays2D Floodについて

iRIC2.0ソフトウェアに含まれる Nays2D Flood は地形、河川データ、河川の流入量、粗度のデータ等を入力し、氾濫流解析を行うソフトウェアである。

直交座標系における流れの基礎方程式を次式に示す。なお、Nays2D Floodでは直交座標系(x,y)を一般曲線座標系に変換(写像)したものをを用いる。

[連続式]

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

[運動方程式]

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

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

ただし

$$\frac{\tau_x}{\rho} = C_f u \sqrt{u^2 + v^2} \quad \frac{\tau_y}{\rho} = C_f v \sqrt{u^2 + v^2}$$

$$D^x = \frac{\partial}{\partial x} \left[v_t \frac{\partial(hu)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[v_t \frac{\partial(hu)}{\partial y} \right]$$

$$D^y = \frac{\partial}{\partial x} \left[v_t \frac{\partial(hv)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[v_t \frac{\partial(hv)}{\partial y} \right]$$

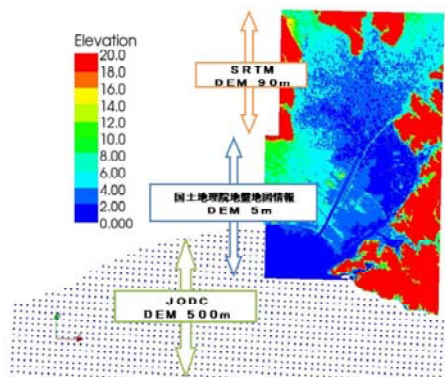


図-1 使用した地形データ

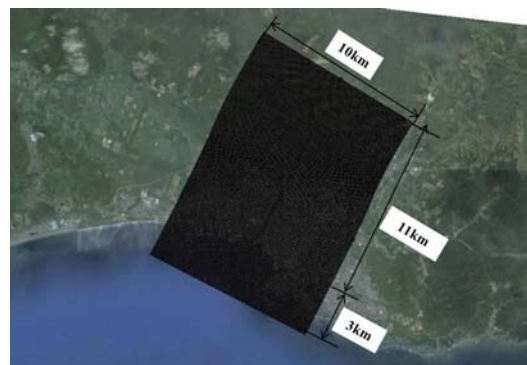


図-2 解析対象範囲

ここで、 h は水深、 t は時間、 u は x 方向の流速、 v は y 方向の流速、 g は重力加速度、 H は水位、 τ_x は x 方向の河床せん断力、 τ_y は y 方向の河床せん断力、 C_f は河床せん断係数、 ν_t は渦動粘性係数、 ρ は水の密度である。

iRIC2.0 では、上式を一般曲線座標系における基礎式に変換したものをを用いて計算を行う。

使用したデータについて、地形データは国土地理院基盤地図情報³⁾(5mDEM)、SRTM⁴⁾(スペースシャトル立体地形データ)、JODC⁵⁾(海洋地形データ)をiRIC2.0地形データに変換して使用した(図-1参照)。マニングの粗度係数については航空写真をもとにした土地利用を判別した上で、水理公式集⁶⁾、名久井ら⁷⁾が推定した値を参考と与え、市街地を $0.06\text{m}^{-1/3}\text{s}$ 、水域を $0.025\text{m}^{-1/3}\text{s}$ 、湿原域を $0.045\text{m}^{-1/3}\text{s}$ として与えた。新釧路川と釧路川の流量は、新釧路川の年平均流量である $30\text{m}^3/\text{s}$ を与えた。

計算範囲は新釧路川を中心に、河口から上流へ11km、海岸部へ3km、横断方向に10kmを計算領域として約50mメッシュを設定し作成した(図-2参照)。

津波の波形は次式で与え、想定波高別毎に津波の高さを変更できるようにした。

$$h(t) = (\text{想定波高}) \times \sin(2\pi/360)t \quad (4)$$

ここで、 h は波高、 t は計算時間である。

想定波高は2012年6月に北海道が発表した津波浸水予測図の最大水位である10.8m、同様に2006年に発表した最大水位6.6m、さらに東北地方太平洋沖地震で発生した津波の最大水位2.1mを考え、想定波高計算ではこれらに加えて5m、10m、15mにおいても津波氾濫解析を行った。計算時間はおおよそ津波の1周期分である3,600sとした。

3.2 計算精度の検証

北海道²⁾では、東北地方太平洋沖地震の発生を踏まえて北海道沿岸における津波想定の見直しを行い、被害想定再検討のための津波浸水予測図が2012年6月に発表された(図-3参照)。図-3によると、新釧路川河口部から沖合2~3kmの地点に津波の第1波が地震発生から31分後に到達し、最大水位が10.8mの津波が押し寄せるといった想定となっていることから、本節ではこの最高水位を想定波高として津波氾濫解析を行った。北海道想定津波浸水予測図とiRIC2.0を用いて計算を行った最大浸水深予測図(図-4参照)を比較し、解析精度の検証を行う。

津波氾濫解析結果を図-4に示し北海道想定津波浸水予測図との比較を行うことで計算精度を検証する。図-3、図-4を比較すると、図-3では新釧路川において津波遡上が進行していくが、河道に侵入した津波の氾濫が止まり、河川からの津波の越流はほとんど見られないことが確認できるが、図-4でも同様の結果となっていることがわかる。次に、図-3では釧路川においては河川から右岸側へ津波が溢れ出し、右岸側の市街地に浸水が発生しているのがわかる。また、左岸側は浸水の様子が見られず、これは釧路川の左岸側には地盤高の高い地域が広がっているためであると考えられる。一方、図-4からも釧路川の右岸側が浸水している状況と、左岸側には浸水が広がっていない様子が確認できる。さらに、図-3と図-4の全体を俯瞰的に比較しても浸水状況のおおよその傾向を捉えていること

がわかる。以上のことから、iRIC2.0による計算結果は北海道想定津波浸水予測図における浸水範囲や最大浸水深を概ね良好に再現できていると判断でき、計算精度の検証がなされたといえる。

3.3 釧路市街地における各想定波高による被害想定

前節でiRIC2.0を用いた計算の妥当性が検証されたが、本節では想定波高別の津波氾濫解析および、市街地の中で災害時に特に重要になると考えられる施設として、釧路市役所、釧路駅、フィッシャーマンズワープMOOの3施設(図-5参照)を抽出し、最大浸水深と被害程度の分析を行った。各施設における想定波高別の最大浸水深を表-1に示す。また、被害程度の分析については気象庁⁸⁾による資料(表-2)を参考にして行った。表-2の津波波高は本論文における浸水深のことを表し、ある浸水深において建物にどのような被害が生じるかを表したものである。表-2によると鉄筋コンクリートビルでは被害の出る津波の浸水深は5~6m以上の時であり全面破壊は浸水深がおおよそ20m以上の時である。今回抽出した施設はすべて鉄筋コンクリートビルに該当することを踏まえた上で表-1、表-2を比較し、各施設での被害想定を行った。

まず釧路川沿いにあるフィッシャーマンズワープMOOと釧路市役所は図-5を見ると近い位置にあり、表-1の最大浸水深を見ても同様な結果を表している。この2施設で

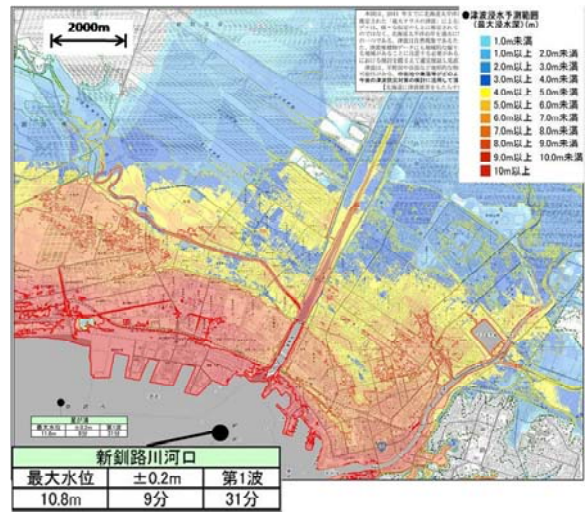


図-3 2012年北海道想定津波浸水予測図(北海道²⁾より)

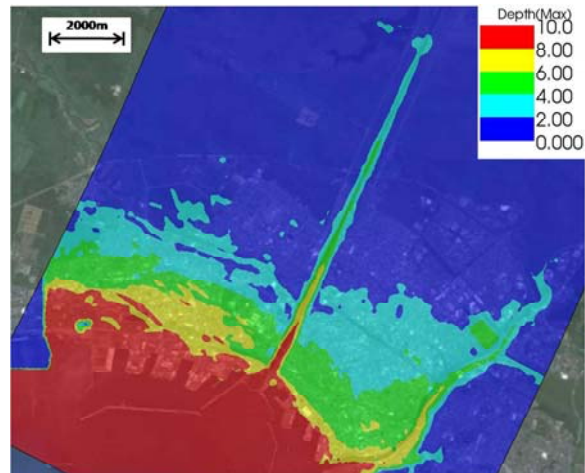


図-4 iRIC2.0による計算結果 最大浸水深予測図

は想定波高 6.6m では最大浸水深が 3.5m~3.8m となり表-2を確認すると建物は持ちこたえるが、想定波高 10.0m になると最大浸水深が 6.4m~6.6m となり建物に被害が発生する危険性があることが読み取れる。これらの施設では、海岸と釧路川の双方から押し寄せてくる津波によって最大浸水深が深くなり、被害が大きくなっていると考えられる。

釧路駅では想定波高 10.0m において最大浸水深が 5.0m となり、建物に被害が発生する危険性がある。また、最大浸水深が他の2施設に比べると浅くなっているが、建物に被害を与えるには十分な深さである。以上の検証をもとに、各施設において建物に被害が出始める想定波高を確認すると、3施設が想定波高 10.0m で建物に被害が生じている。

次に、北海道想定における新釧路川河口での最大水位である 10.8m の波高の津波が釧路市街地を襲った場合の市街地の様子を検証する。具体的には、iRIC2.0 による計算で得られた波高 10.8m の津波発生時のフィッシャーマンズワープ MOO、釧路駅の最大浸水深をもとに合成写真を作成し、浸水状況について検証する。各施設の浸水状況としては、フィッシャーマンズワープ MOO では、建物の高さが約 16.0m に対して最大浸水深が 6.5m、釧路駅では建物の高さが約 15.0m に対して最大浸水深が 5.5m であり、各施設の合成写真を図-6 に示す。なお、合成写真の黒い線より下部は浸水深を表している。

フィッシャーマンズワープ MOO (図-6, a) と釧路駅 (図-6, b) では、建物の外部及び入口や窓からの水の浸入により建物内部の破損などの被害が発生することが予想さ

れるため、この規模の津波によって発生する釧路市街地の被害は、甚大なものであることがわかる。

3.4 釧路市の水循環ネットワークの被害想定

東北地方太平洋沖地震においては、大きな地震と津波により建物の被害の他に上下水道、ガスなどのライフラインに甚大な被害が発生した。東日本における上下水道施設の主な被害は、津波により沿岸市町の水源に海水が浸入して塩分濃度が上昇し、それによる取水の停止や、水道管の破損による断水、さらに 120 箇所の下処理場が被災し、そのうちの 48 箇所が緊急停止となるなどの被害があった。釧路市では最大波高 2.1m の津波が押し寄せ、旭町ポンプ場では冠水のために停止し、水が逆流したことにより一部の雨水管から溢水した。また、愛国浄水場では水位の上昇のため通算で約 4 時間にわたって取水を停止した。以上の背景から市街地における水循環ネットワーク (上下水道) の被害想定をしておくことは、非常に重要である。

そこで本節では、釧路市内において被災後の避難生活や復旧作業などに影響を与えることが考えられる上下水道施設として、大楽毛終末処理場、釧路市上下水道部、古川下水終末処理場、愛国浄水場の 4 施設を抽出し (図-5 参照)、各施設における想定波高別の最大浸水深を表-3 に示して前節と同様に最大浸水深と被害程度の分析を行った。

まず、大楽毛終末処理場は想定波高 5.0m では最大浸水深が 3.6m あり建物は持ちこたえるものの、想定波高 6.6m になると最大浸水深が 5.3m となり建物に被害が発生する危険性がある。これは大楽毛終末処理場が海岸から近い位置にあるという地理的条件が理由として考えられる。

次に、釧路市上下水道部は想定波高 6.6m では最大浸水深が 4.4m となり建物は持ちこたえ、想定波高 10.0m になると最大浸水深が 7.1m となり建物に被害が発生する危険性がある。釧路市上下水道部は釧路川左岸側に位置する施設であるが、河川に近く周囲に比べて地盤高が低くなっている地域であるために、津波の被害が大きくなっていると考えられる。



図-5 釧路市の各施設の位置

表-1 釧路市街地の各施設の想定波高別の最大浸水深

	最大浸水深(m)				
	想定波高 5.0m	想定波高 6.6m	想定波高 10.0m	想定波高 10.8m	想定波高 15.0m
フィッシャーマンズワープMOO	3.3	3.8	6.6	6.5	10.5
釧路市役所	2.6	3.5	6.4	6.1	11.4
釧路駅	1.7	2.7	5.0	5.5	9.2

表-2 浸水深と被害程度 (気象庁⁸⁾より)

津波高さ	被害程度				
	1	2	4	8	16
木造家屋	部分的破壊	全面破壊			
石造家屋	持ちこたえる			全面破壊	
鉄筋コンクリートビル	持ちこたえる				全面破壊
漁船		被害発生	被害率50%	被害率100%	
防潮林	被害軽減	漂流物阻止	部分的被害	全面的被害	無効果
養殖筏	被害発生				
音			前面が45°以上傾くによる連続音 (騒音)	床で響いて増えた音による大音量 (騒音の音、遠方では認識されない)	奥に響く音、かなり遠くまで聞こえる

※津波波高(m)は、船舶、養殖筏など海上にあるものに対しては概ね海岸線における津波の高さ、家屋や防潮林など陸上にあるものに対しては地面から測った浸水深となっています。
 ※上表は津波の高さと被害の関係の一応の目安を示したもので、それぞれの沿岸の状況によっては、同じ津波の高さでも被害の状況が大きく異なることがあります。
 ※津波による音の発生については、周期5分~10分程度の近地津波に対してのみ適用可能です。



a) フィッシャーマンズワープ MOO



b) 釧路駅

図-6 釧路市街地の各施設の浸水想定

次に、古川下水終末処理場では、想定波高 10.8m では最大浸水深 3.6m となり建物は持ちこたえ、想定波高 15.0m になると最大浸水深 7.0m となり建物に被害が発生する危険性がある。それに対して、愛国浄水場では、表-3 の最大浸水深と表-2 を照らし合わせる限りでは建物に被害が発生しないことが読み取れる。この結果は、古川下水終末処理場は釧路川の近くに位置しているために河川からの津波の越流によって被害を受けるが、一方で愛国浄水場は河川整備が進んでいる新釧路川の近くに位置しているために、河川からの津波の越流による被害を受けにくいという特徴を表したものであると考えられる。

次に、前節と同様に北海道想定における新釧路川河口の最大水位である 10.8m の波高の津波が釧路市街地を襲った場合の上下水道施設の様子を合成写真を用いて検証する。各施設の浸水状況は、大楽毛終末処理場では、建物の高さが約 14.0m に対して最大浸水深が 9.6m、古川下水終末処理場では、建物の高さが約 17.4m に対して最大浸水深が 3.6m、愛国浄水場では建物の高さが約 3.5m に対して最大浸水深が 0.6m であり、各施設の合成写真を図-7 に示す。

まず、大楽毛終末処理場 (図-7, a) では建物の大部分が浸水し、建物内部および施設周辺へ深刻な被害が発生することは明らかであるため、迅速に機能を復旧させるための方策を検討しておくことが重要であると考えられる。

次に古川下水終末処理場 (図-7, b) では、河川からの津波の越流によって被害が発生すると考えられ、建物の1階の窓の上まで浸水していることを考慮すると、入口や窓からの水の浸入により、施設には重大な被害が発生することが考えられる。それに対して、愛国浄水場 (図-7, c) は、新釧路川沿いに位置する建物で地盤の高い場所に建てられており、0.6m という比較的浅い最大浸水深である。しかしながら、扉から水が浸入している様子がわかり、建物内部に水が浸入して被害が発生する可能性がある。

以上のことから、津波被害発生後の避難生活、復旧作業時等で釧路市に大きな被害を与えることが想定されるが、現在の状況においては大きな規模の津波対策を実施している地方自治体は多くないのが現状である。しかしながら、iRIC2.0 を用いることで市街地の浸水深の分布や時系列の浸水深の計算を簡易的に行うことができ、津波の氾濫解析を用いた津波対策の検討を行うことが期待できる。

4. まとめ

本研究で得られた成果を下記に記す。

- 1) 北海道が2012年6月に発表した津波浸水予測図と同様の結果を iRIC2.0 を用いて再現でき、計算の妥当性を示すことができた。

- 2) 被災時において重要であると考えられる施設について、各想定波高別の最大浸水深と施設の被害の程度を整理して示した。
- 3) 想定波高 10.8m の津波における釧路市街地の各施設の浸水のイメージを、合成写真を用いて示すことができた。

本研究ではミレニアムクラスの津波に重点を置いて検討を行ったが、今後は1/500クラスについての検討もを行い、施設の防御計画やBCPの立案などに役立てていきたい。

謝辞

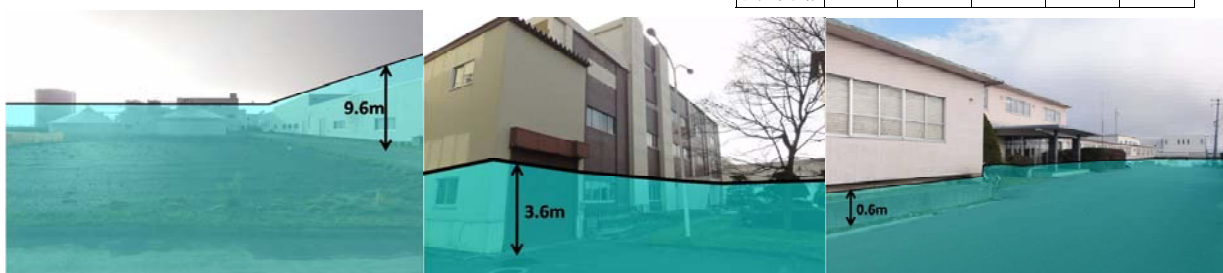
本研究を遂行するにあたり、釧路港潮位データを提供して頂いた気象庁函館海洋气象台および各種資料を提供していただいた釧路市総務部の佐々木主幹及び上下水道部の関係各位に対し、ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) iRIC Project ; 河川シミュレーションソフト iRIC : i-ric.org/ja
- 2) 北海道 HP ; 津波浸水予測図等について : <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sm/ktk/tunamisinnisuiyosokuzu.htm>
- 3) 国土地理院基盤地図情報 ; 基盤地図情報ダウンロードサービス : <http://fgd.gsi.go.jp/download/>
- 4) SRTM;SRTM Data Search: <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>
- 5) JODC ; 海洋データ・情報の閲覧・提供サービス : http://www.jodc.go.jp/service_j.htm
- 6) 土木学会 : 水理公式集 [平成 11 年度], 丸善 (株), pp.131-132, 1999.
- 7) 名久井孝史, 清水康行, SanitWongsa, 岩井聖 : 2 次元数値解析を用いた釧路湿原における土砂堆積と乾燥化現象の関連性に関する研究, 河川技術論文集, 第 8 巻, pp.395-400,2002.
- 8) 気象庁 HP ; 気象庁津波について : <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/faq/faq26.html>

表-3 上下水道施設における波高別の最大浸水深

	最大浸水深(m)				
	想定波高 5.0m	想定波高 6.6m	想定波高 10.0m	想定波高 10.8m	想定波高 15.0m
大楽毛 終末処理場	3.6	5.3	9.0	9.6	12.9
釧路市 上下水道部	3.6	4.4	7.1	7.2	11.4
古川下水 終末処理場	0.7	1.4	3.3	3.6	7.0
愛国浄水場	—	—	0.2	0.6	3.0



a) 大楽毛終末処理場 b) 古川下水終末処理場 c) 愛国浄水場

図-7 釧路市街地の上下水道施設の浸水想定