

室蘭市における津波による浸水被害予測に関する研究

Research on Estimation of Inundation Damage Due to Tsunami in Muroran City

室蘭工業大学 ○学生員 鹿戸 光 (Hikaru Shikato)
 室蘭工業大学 正 員 中津川 誠 (Makoto Nakatsugawa)
 室蘭工業大学 学生員 内海 誠治 (Seiji Uchiumi)
 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、室蘭市・伊達市には避難勧告、登別市には避難指示が発令され、室蘭市に位置する知利別川において津波遡上の痕跡が確認された(写真-1)。これを受けて上記の3市を対象とした東北地方太平洋沖地震時の避難行動についてのアンケート調査結果¹⁾が報告されている。このような背景から、今後は室蘭市を含めた様々な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。この際には、多くの地域や施設で浸水被害が発生することが予想されるため、このような被害を事前に想定し、対策を検討し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でき、津波氾濫解析を行うことのでき

るフリーソフトウェアiRIC2.0²⁾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³⁾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、室蘭市における津波の被害想定を試みた。

2. 室蘭市の概要

室蘭市は太平洋と内浦湾(噴火湾)の境に突き出した絵鞆半島を中心に市域が広がっており、三方を海に囲まれた地形である(図-1参照)。半島付け根の砂州と室蘭港に面した埋立地には平地があるものの、市域の大部分が山地であり、市街地の多くは沢に沿って形成されている。このような地形の特徴を有している室蘭市では、イタンキ浜に面した方向から襲来する津波が、後に室蘭港に回折してくるような地形になっているため、津波に対して脆弱な地域である。そのため、適切な避難場所や避難経路を検討しておく必要がある。

3. 室蘭市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)したものを用いる。



写真-1 知利別川における津波遡上の痕跡

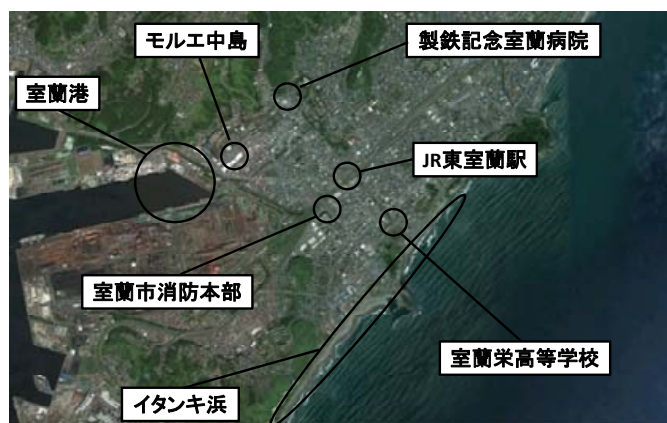


図-1 室蘭市周辺図

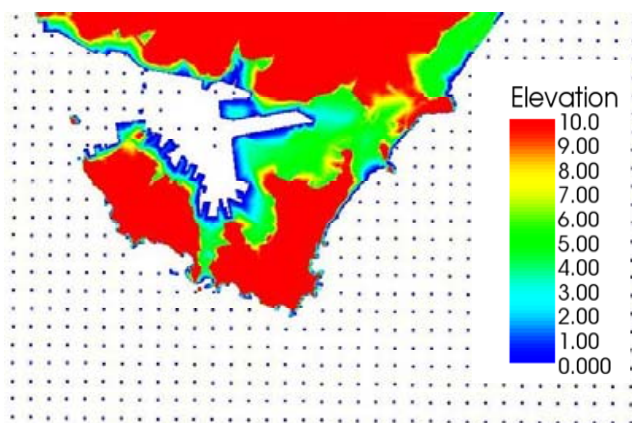


図-2 iRIC2.0に用いた地形データ

[連続式]

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

[運動方程式]

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

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

ただし

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

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

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

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⁴⁾ (5mDEM)、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-2 参照)。

マニングの粗度係数については航空写真をもとに土地利用を判別した上で、水理公式集⁶⁾を参考に設定し、水域を $0.025\text{m}^{-1/3}\text{s}$ 、住宅街を $0.05\text{m}^{-1/3}\text{s}$ 、森林を $0.03\text{m}^{-1/3}\text{s}$ とした。また、iRIC2.0 を用いた計算を行う上では流量データを設定する必要があるが、本研究における解析対象範囲内には流量の大きな河川は存在しないことから、微小な値として $0.05\text{m}^3/\text{s}$ を与えた。

計算対象範囲について、本研究では太平洋側から津波が襲来するケース (以下、ケース A) と室蘭港側から津波が襲来するケース (以下、ケース B) の2ケースを考えて計算を行った。それぞれのケースにおける計算対象範囲を図-3に示す。なお、メッシュ間隔は約 50m とした。

津波の波形は次式で与え、想定波高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。計算時間はおおよそ津波の1周期分である 3,600s とした。なお、ケース A の

計算格子の海側末端部に津波の第一波が到達するのは地震発生から 48 分後、ケース B の計算格子の海側末端部に津波の第一波が到達するのは地震発生から 86 分後 (後述) である。そのため、ケース A とケース B の計算開始時間はそれぞれ地震発生後から 48 分後と 86 分後である。

3.2 計算精度の検証

北海道³⁾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、北海道に津波被害をもたらす想定地震の再検討のためのワーキンググループによる報告書が 2012 年 6 月に発表された。この報告書によると、津波波源を生成する断層として、沈み込む太平洋プレートと陸側プレートの境界に、幅 140km、長さ 420km の矩形断層を設定し、北海道沿岸側の断層面上に 30m、海溝側の断層面上に 35m の一様なすべり量を与えた。そして、以上のような条件を与えた地震による津波が発生した時の室蘭市における津波浸水予測図を図-4に示す。図-4によると、イタンキ浜の沖合 200m~300m の地点に地震発生からの第1波が 48 分後に到達し、最大水位 7.4m の津波が押し寄せるという想定となっている。また、室蘭港には最大水位 2.3m の第1波が 86 分後に到達する。以上を踏まえ本研究では、ケース A では最大水位 7.4m、ケース B では最大水位 2.3m を想定波高として津波氾濫解析を行った。

ケース A における津波氾濫解析の結果を図-5、ケース B における津波氾濫解析の結果を図-6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-4、図-5、図-6を比較すると、太平洋側の海岸部で最大浸水深がやや過大である傾向はあるものの、全体を俯瞰的に比較すると 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 施設別の被害想定

前節で iRIC2.0 を用いた計算の妥当性が検証されたが、本節では室蘭市において災害時に特に重要になると考えられる施設として、室蘭栄高等学校、室蘭市消防本部、JR 東室蘭駅、モルエ中島、製鉄記念室蘭病院を抽出して考察を行う。なお、表-1 は各施設での北海道想定、ケース A、ケース B それぞれの津波氾濫解析における最大浸水深を示したものであり、図-7 は各施設における最大浸水深をも

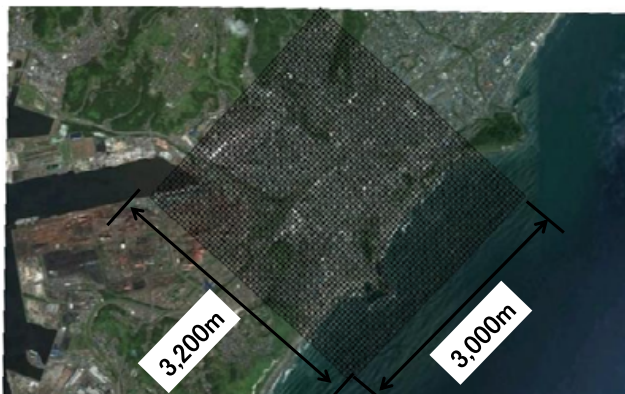


図-3 計算対象範囲 (左: ケース A, 右: ケース B)

とにした浸水状況を表した合成写真と浸水深の時間的変化（以下、浸水深変化図）を表す。その際、表-1 に着目すると製鉄記念室蘭病院ではケース A、ケース B ともに浸水しない結果となったため、図-7 は製鉄記念室蘭病院を除いた 4 施設について示している。なお、合成写真の黒い線より下部は浸水深を表している。また、表-1 によると各施設における最大浸水深はケース A によるものが大部分を占めることから、図-7 の浸水深変化図はケース A のものを示している。

図-7 について詳しく見ていくと、室蘭栄高等学校（図-7, a）は、計算開始時間からおおよそ 7 分（420s）、地震発生から 55 分（3,300s）程で津波が到達し、浸水深変化図に着目すると複数の波が次々に到達し、最大浸水深は約

3.6m になることがわかる。これは、室蘭栄高等学校は太平洋沿岸に近いために他の施設に比べて津波到達が早く、最大浸水深も深くなることを表していると考えられる。

室蘭市消防本部（図-7, b）は、計算開始時間からおおよそ 16 分（960s）、地震発生からは 64 分（3,840s）程で津波が到達し、最大浸水深は約 2.1m である。また、浸水深変化図に着目すると計算終了時（計算開始後 3,600s）でも 1m 程浸水しており水が引くのが遅いことがわかる。これは、室蘭市消防本部が位置する箇所は周囲と比べて標高が低いことが理由として挙げられる。

JR 東室蘭駅（図-7, c）は、計算開始時間からおおよそ 14 分（840s）、地震発生からは 62 分（3,720s）程で津波が到達し、浸水深変化図に着目すると、第 2 波が到達したときに最大浸水深となり、約 2.4m 浸水するという結果となった。浸水深変化状況としては、室蘭市消防本部と概ね同じような浸水深の変化となり、計算終了時（計算開始後 3,600s）でも 1m 程浸水して水が引くのが遅いことがわかる。これについても室蘭市消防本部についての考察と同様に周囲と比べて標高が低いことが原因と考えられる。

モルエ中島（図-7, d）は、太平洋沿岸からは離れているために、他の施設と比べて津波到達までの時間が長く、計算開始時間からおおよそ 30 分（1,800s）、地震発生からは 78 分（4,680s）程で津波が到達し、最大浸水深は約 1.6m という結果となった。しかしながら、モルエ中島は室蘭港に近いために室蘭港側からも津波が到達し、津波到達予想時間は計算開始時間からおおよそ 16 分（960s）、地震発生からは 102 分（6,120s）程であり、このときの浸水深は 0.6 m 程度となる。単純に 2 つの浸水深を合計すると、約 2.2m 浸水するという結果となった。

最後に、各施設の損壊についての被害程度を確認する。本研究では、気象庁⁷⁾の資料（表-2）を参考に各施設の被害想定を行う。表-2 は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。なお、本研究において抽出した施設は、全て表-2 の鉄筋コンクリートビルに分類される。表-1 を確認すると、今回抽出した施設の中で最大浸水深が最も高くなる施設は室蘭栄高等学校であり、最大浸水深は 3.6m である。この値を踏まえて表-2 を確認すると、建物が損壊する可能性は低いことがわかった。

3.4 避難経路の策定に向けて

iRIC2.0 を用いた津波氾濫解析により、図-5、図-6 の矢印に示したように津波が遡上するという結果を得た。また、モルエ中島のように、中島地区では太平洋側からの津波だけでなく、絵鞆半島に沿って回折してきた室蘭港側から

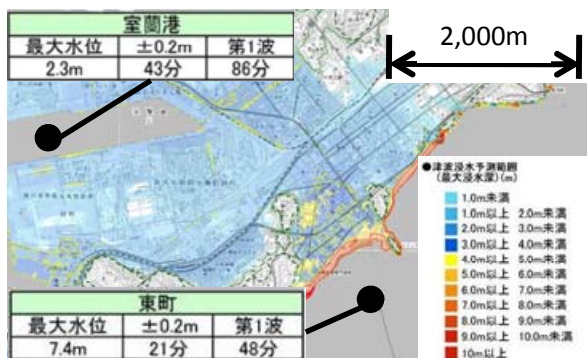


図-4 2012 年北海道想定津波浸水予測図（北海道³⁾より）

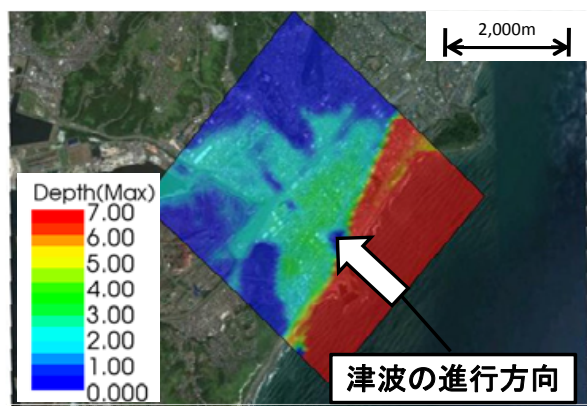


図-5 計算結果（ケース A における最大浸水深）

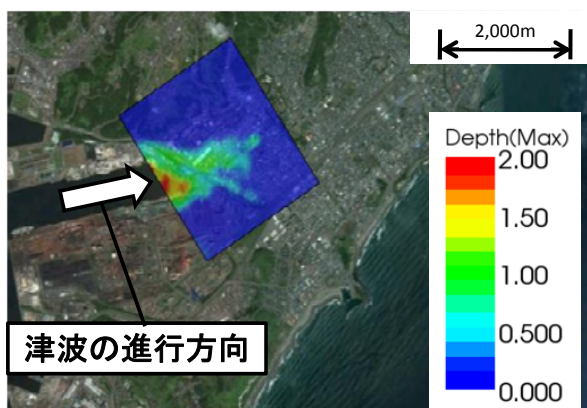


図-6 計算結果（ケース B における最大浸水深）

表-1 各施設の最大浸水深

	最大浸水深(m)		
	北海道想定	ケースA	ケースB
室蘭栄高等学校	3.0～4.0	3.6	0.0
室蘭市消防本部	2.0～3.0	2.1	0.0
JR東室蘭駅	2.0～3.0	2.4	0.0
モルエ中島	2.0～3.0	1.6	0.6
製鉄記念室蘭病院	0.0	0.0	0.0

の津波も襲来することが iRIC2.0 を用いた計算により明らかとなり、2 つの津波が中島地区に到達する時の時間差は 24 分 (1,440s) 程であるという結果も得ることができた。東北地方太平洋沖地震では、地震発生から津波到達までの時間が短かったために逃げ遅れた方が多い。しかし、室蘭市の場合は仮に津波到達時間が短い場合であっても標高が高い箇所が近くにあるため、津波遡上の経路をあらかじめ把握することにより、効率的に避難することが可能であると考えられる。例えば、モルエ中島の場合では最大浸水深が約 2.2m なので 2 階以上の鉄筋コンクリート構造物に避難することが対策の一つとして考えられる。そのため、iRIC2.0 を用いて得られた上記のような検討結果をハザードマップに反映させることで、安全かつ迅速な避難に役立たせることが期待できる。

4. まとめ

本研究で得られた成果を下記に記す。

- 1) iRIC2.0 を用いて室蘭市における津波氾濫解析を実施し、北海道想定津波浸水予測図とほぼ同じ結果を得ることができた。
- 2) iRIC2.0 による計算結果を用いることにより、施設別に最大浸水深と時系列の浸水深の変化を定量的に示すことができた。
- 3) iRIC2.0 による計算結果を踏まえ、室蘭市における津波浸水被害の特性や地理条件を考慮した避難経路策定の可能性を示した。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、iRIC2.0 を用いた計算を行う際に基礎知識・資料提供といった面でご協力して頂いた独立行政法人土木研究所寒地土木研究所の阿部孝章研究員を始めとする寒地河川チーム各位および、北見工業大学の吉川泰弘助教に謝意を表す。

参考文献

- 1) Takashi, I, Makoto, N and Akihiro, N. “Survey on Evacuation Behavior in Muroran City during the Tsunami of the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake”, Joint Seminar on Environmental Science and Disaster Mitigation Research 2012, pp.83-84, 2012.
- 2) iRIC Project ; 河川シミュレーションソフト iRIC: i-ric.org/ja/
- 3) 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>
- 4) 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/>
- 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) 気象庁 HP ; 気象庁津波について : <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/faq/faq26.html>

表-2 津波波高と被害程度の関係 (気象庁⁷⁾より)

津波波高(m)	1	2	4	6	10	32
本造家屋	部分的破壊	全面的破壊				
石造家屋	持ちこたえる			全面的破壊		
鉄筋コンクリートビル	持ちこたえる				全面的破壊	
漁船		被害発生	被害率50%	被害率100%		
防潮林	被害軽微	津波物阻止	部分的被害	全面的被害		
養殖筏	被害発生					
音			約10分以内の間に発生する津波音(海岸側、暴風雨の音)			
			浪で覆いつくされた面による音(海岸側、遠方では認識されない)			
			浪に衝突する音(海岸側、遠方では認識されない)			

※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例を示したもので、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。

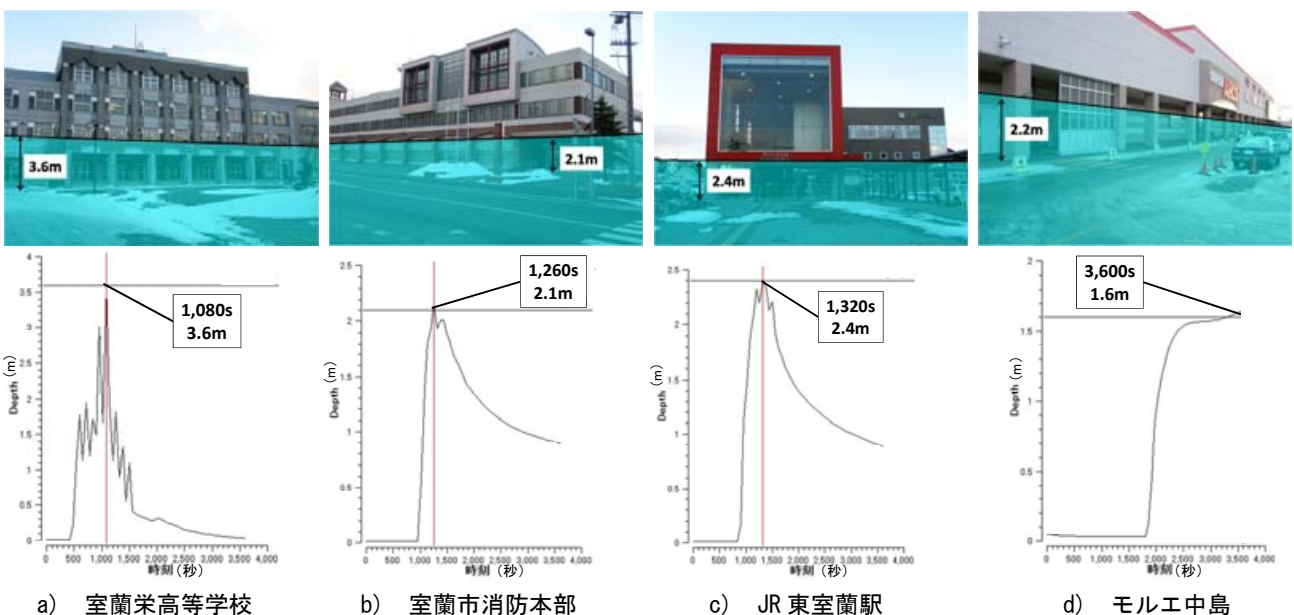


図-7 各施設における最大浸水深発生時の想定写真とケース A における浸水深の時間的変化 (時刻の原点は計算格子の海側末端部に津波第 1 波が到達した時間で、震源からの到達時間は 48 分 (2,880s))