

簡易モデルによる津波遡上計算法の検証とその活用方法の提案

Computations on Tsunami runup using a simple 2D model

北海道大学工学部	環境社会工学科国土政策学コース	○学生員	堀内孝輔	(Kosuke Horiuchi)
北海道大学	工学研究院環境フィールド工学部門	正 員	木村一郎	(Ichiro Kimura)
北海道大学	工学研究院環境フィールド工学部門	正 員	山口里実	(Satomi Yamaguchi)
北海道大学	工学院環境フィールド工学部門	学生員	岩崎理樹	(Toshiki Iwasaki)
北海道大学	工学研究院環境フィールド工学部門	フェロー	清水康行	(Yasuyuki Shimizu)

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災は大きな被害をもたらした。人的被害に着目すると、死者 15839 名、行方不明者 3641 名と戦後最大規模となった。この災害で特に大きな被害を招いたのは、1000 年に一度と言われる大津波である。しかしここまで被害が大きくなったのは、この大津波を想定した対応をしていなかったことが一因である。従って、今後は想定する津波規模を引き上げるとともに、津波予測や対策について全般的な見直しが必要となる。しかし津波の予測での再現計算は高度な技術や設備が必要であるため、一般の人は扱うことが難しく、また設備の費用もかかる。これは地方自治体等にとっては負担が大きいが予想される。このため、誰でも簡単に扱えてかつ安価（できればフリーウェア）なシュミレーションソフトの開発が望まれる。

本研究ではフリーソフトでかつ操作が容易な iRIC2.0 を用いた津波遡上計算について検討する。iRIC2.0 は本来河川流や河床変動の解析を目的として開発されたものであるが、氾濫を取り扱うこともできることから、津波遡上計算への適用も可能と考えられる。まず、陸上での津波遡上の再現精度について検証するとともに、津波の波形や河川流量が津波遡上に及ぼす影響について考察する。さらに、本簡易計算法の津波対策への活用方法について提案を行う。

2. 津波遡上の再現計算

2.1 津波遡上計算法

数値計算で使用したソルバーは、iRIC2.0 Nays2D Flood¹⁾である。iRIC2.0 Nay2D Flood の特徴は、計算領域の下流側の 1 つの側面から水位を与えることができ、また下流側を除く 3 方向の側面の任意の場所から流量を与える事が出来る点である。従って津波計算では、境界条件として海側の計算格子 1 方向から水位差(波高データ)を時系列的に与え、加えて上流側の任意の地点から流量を時系列的に与えた。計算に用いるマニングの粗度係数は航空写真をもとに土地利用を判別し、小谷ら²⁾を参考に表-1 のように与えた。地形データは国土地理院

表-1 マニング粗度係数

区分	設置粗度
高密度住宅地	0.080
中密度住宅地	0.060
低密度住宅地	0.040
森林	0.030
田畑域	0.020
海域・河川域	0.025



図-1 釜石港周辺

³⁾を参照した。

2.2 対象地域

再現計算の対象地域は、今回の震災で大きな津波被害を受けるとともに、過去に何度も津波被害を受けてきた釜石港周辺とする。計算領域の航空写真を図-1 に示す。写真を横断するように流れている河川は、甲子川である。甲子川の流量は計算領域と甲子川の交わる地点から与えた。今回、洪水時の甲子川の周辺を比較するために、釜石駅付近を上流点、大渡橋付近を中流点、矢の裏橋付近を下流部と設定した。一つの計算格子の大きさは一辺 12.5m の正方形であり、格子数は 161×217 とした。

2.3 東日本大震災の津波遡上の再現

(1)計算条件

まず東日本大震災に伴う大津波の津波遡上を再現する。波高の時系列は、実際の沿岸部の津波波高変化を考慮し、かつ波形を単純化した次式(1)で与える。

$$\begin{aligned} h(t) &= -7\sin(2\pi/1800)t \quad (0 \leq t \leq 1800) \\ h(t) &= 0 \quad (1800 < t \leq 3600) \end{aligned} \quad (1)$$

これは単波のみを考慮しており、最初の1800秒で振幅7m、周期1800秒の正弦波で与えている。1800秒以降の波高は0とした。今回の津波は引き波から始まっているため、波高変化も最初は引き波から始まるように設定した。なお今回の津波波高については東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ⁴⁾と港湾空港技術研究所⁵⁾らが報告した値を参考にして決定した。

計算で用いた格子はcase1、case2の二種類であり、いずれも250mメッシュの数値地図をベースとしている。case1は、数値地図のデータのうち、海域だけ補正したものである。すなわち、数値地図では海域の標高がすべて0となっているため、この値を計算領域の海の平均水深である-7mに置き換えた。さらにcase2では、河川の地形を考慮するため、甲子川の河床を全体的に下げ、堤防高(5.5m)を考慮して堤防部分の地盤を引き上げた。図-2(a)はcase1の地形データ、図-2(b)はcase2の地形データを示している。なお計算格子の空間解像度が粗いためcase1、case2のいずれも防波堤防潮堤の影響は考慮されていない。

(2)計算結果と比較

case1とcase2の格子を用いた再現計算における津波の浸水域を実際の浸水域と比較し、両者の結果の整合性を検証する。またcase1とcase2を比較することによって、津波の遡上と河川との関係を明らかにする。

図-3(a)はcase1、図-3(b)はcase2の最大浸水域と最大浸水深をそれぞれ斜線部の東日本大震災に伴う津波の浸水域を組み合わせたものである。case2の結果では河川を津波が遡上する様子が見て取れるが、case1の結果にはこの現象はみられない。また、case1では河川の左岸側まで若干浸水域が及んでいるが、case2では河川による左岸への遡上が阻害されている。case1、case2と実際の浸水域⁶⁾を比べると、case2の方が河川周辺の浸水域の再現性においては良好である。また、津波の遡上では遡上流量の一部を河川が受け持つことにより、陸地での津波の遡上を抑制することが指摘されているが、今回case2では河川の標高を下げたために、全体的に最大浸水深がcase1と比べ深くなったと思われる。数値解析結果(特にcase2)は概ね実際の遡上域を再現できることがわかったが、若干の差異も認められる。計算結果と実測結果の遡上域の不一致の原因としては、使用した地形データの精度が悪いこと、平らな地形と山地の地形の境界が十分な精度で考慮できていないこと、防潮堤などの津波の勢いを抑制することを考慮していないことなどが考えられる。津波の遡上域をより正確に再現するためには、正確で解像度の大きい地形データを用意するとともに、防潮堤や堤防などを考慮できる細かな計算メッシュが必要といえよう。

2.4 津波波形の周期性と遡上特性の関係

津波は周期によって特性が大きく変わる⁷⁾。典型例として岩手県宮古湾では、波長の短い近地津波であった昭和

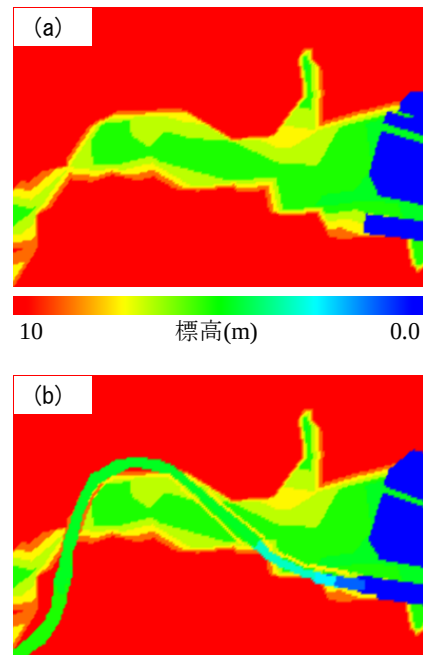


図-2 計算で用いた地形データ (a)case1、(b)case2

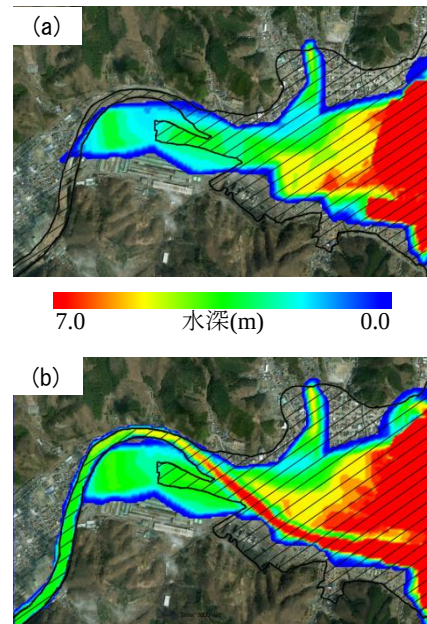


図-3 最大浸水域と最大浸水深 (a)case1、(b)case2

三陸大津波では、湾口近辺で大きな津波高となり、湾奥に進むにつれ小さくなった。逆に周期が長いチリ地震津波では、津波の共鳴により湾奥ほど大きくなった。このように津波は周期などによって遡上形態などが変化する。また津波波形は周期だけでなく単一波と連続波の場合など、種々の状況が考えられる。津波の周期的な特徴や到達回数が津波遡上に及ぼす影響を検証する。

(1) 計算条件

入力波形としてcase3、case4と二つの条件を設定した。case3は周期が1800秒で振幅が7mの波を5400秒(3周期分)与え、そのあとは水位を0とする。case4はcase2の周期だけを3倍にしたもの(周期5400秒)を単一波として与え、そのあとは水差を0とする。case3の波形は式(2)、case4の波形は式(3)で与えられる。

$$\begin{aligned}
 h(t) &= -7\sin(2\pi/1800)t & (0 \leq t \leq 5400) \\
 h(t) &= 0 & (5400 < t \leq 7200) \\
 h(t) &= -7\sin(2\pi/5400)t & (0 \leq t \leq 5400) \\
 h(t) &= 0 & (5400 < t \leq 7200)
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

波形以外の計算条件はcase3、case4ともcase2のものをを用いる。

(2) 計算結果

図-4 (a) (b)の図は、それぞれcase3、case4の最大浸水域と最大浸水深を表したものである。case3とcase4の結果はいずれも、case2の最大浸水域より最大浸水域が大きく、最大浸水深も深いことが分かる。浸水深についてcase4はcase2と比べ、上流側で津波による水深は深くなり、下流側でも水深は浅くなったが、顕著な差は見られなかった。case3は第一波で遡上域は最大浸水域まで及ばず、津波到達回数を重ねる度に浸水域を広げていった。

このことから、津波の遡上計算における入力波形としては津波の高さだけでなく、その周期や到達回数も考慮する必要があると言える。

また津波の周期の関係をより詳細に検証するためには計算領域を入り江の外側に広げて取る必要があると思われる。

2.5 洪水時の河川が津波遡上に及ぼす影響

(1) 計算条件

河川流量が津波遡上に及ぼす影響を検討するため、河川に洪水時の流量と河川流量無しの場合を想定し、津波の遡上特性を比較する。洪水時の流量は、計算格子上流部付近の甲子川礼ヶ口地点の実測値データ参考にした。甲子川礼ヶ口地点の2002年から2009年における洪水時のピーク流量の最小は220.5(m³/s)である。このことから甲子川流量は200(m³/s)が洪水時の目安となる流量と言える。そこで、case5では計算領域上流の甲子川に200(m³/s)の流量を与えた。河川流量無しの場合の比較にはcase2の結果を用いる。河川の流入部勾配は、実地形を元に0.00345と設定した。case5の河川流量以外の計算条件はcase2と同じとする。

津波の再現計算に先立って、津波の無い条件で想定洪水流量200(m³/s)を甲子川に流した場合の流況計算を実施し、甲子川から水があふれないことを確認した。したがって、以下の津波遡上計算における陸地の浸水はすべて津波遡上によってもたらされたとみなすことができる。

(2) 計算結果と考察

図-5 (a) (b)は、それぞれcase5 (洪水時) とcase2 (流量無し) の津波開始から時間変化と、図-1で与えた甲子川の上流点、中流点、下流点の水深を示したものである。図-5から津波の到達時間は洪水時、平水時とも同じでことが分かる。水深は、上流、中流、下流とも洪水時の方が明らかに水深が深いことが見て取れる。これは津波に洪水が加わったことで水深が増加したと考えられる。また図-6にcase5の最大浸水域と最大浸水深を示す。図-6と図-3 (b) の比較から、最大浸水域と最大浸水深も、いずれも全体的に洪水時の方が大きいことが分かった。

以上より、洪水流が津波遡上に及ぼす影響は浸水深を

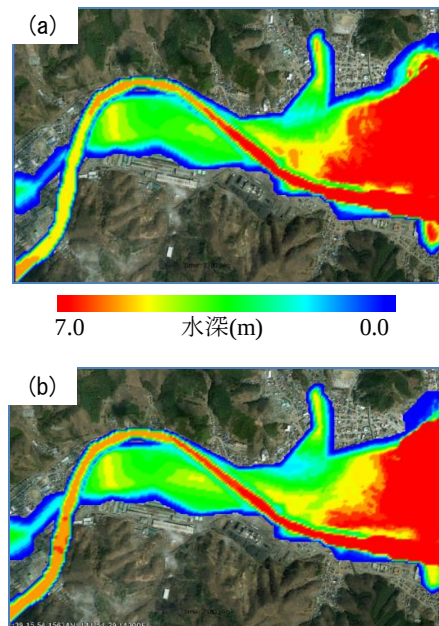


図-4 最大浸水域と最大浸水深(a)case3、(b)case4

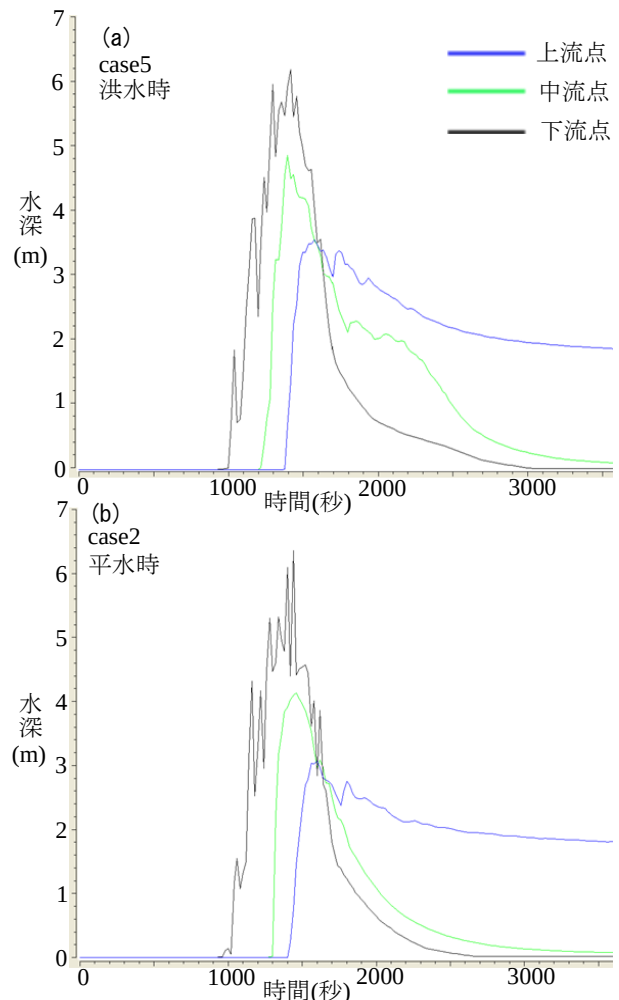


図-5 各点における水深と時間変化(a)case5、(b)case2

大きくし、浸水域も拡大することが分かった。これより洪水時に大津波が到達する場合も想定した対策が必要となってくるといえる。

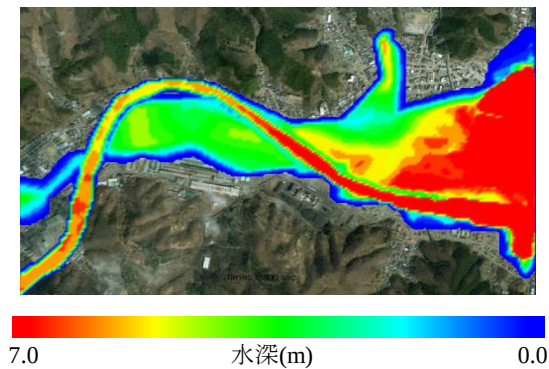


図-6 case5 の最大浸水域と最大浸水深

3. 津波遡上簡易計算法を活用した防災対策の提案

津波対策の代表格はハザードマップであるが、ハザードマップによる対策があまり進んでいない自治体が多い。今回提案したフリーソフトによる遡上解析は、特別な専門知識や設備を必要とすることなく遡上現象の検討が可能であり、実用的なハザードマップを経済的かつ迅速に構築する上で威力を発揮すると思われる。

一方、従来のハザードマップには不備があることも指摘されている。本間ら⁹⁾によると、現在のハザードマップは既往最大規模の災害しか想定されておらず、想定を超える災害などに対してどのような対応が必要かという点については十分に検討されていない。重要なことは、既往最大を超える場合を含む、より多くの条件を想定したハザードマップを構築することである。この目的に関しても、近年のパーソナルコンピュータの発達と低価格化の恩恵とともに、今回用いたフリーソフトによる簡易解析手法を有効に活用すれば、これらの目的を容易に達成できるものと考えられる。

東日本大震災では想定を超える津波で逃げ遅れて犠牲になられた方が多い。地震発生から津波到達までの時間が短い津波は、その場合津波の襲来までに間に合わず、逃げ遅れることが多い。津波の遡上経路をあらかじめ予測し、効率的な避難経路をハザードマップに描き加える事がこの問題解決の一つであると考えられる。図-7⁹⁾は実際のハザードマップに津波の遡上経路と避難経路を矢印で表したものである。この矢印はイメージであるが、このような矢印は今回使用したモデルを用いて計算をし、結果をベクトル表示もしくは浸水深を時系列の動画で見ることによって簡単に描くことが出来る。提案したハザードマップを用いることで津波が襲来した時に、より迅速かつ適切な避難行動が可能であると考えられる。

4. おわりに

本研究は津波遡上現象にフリーソフトを用いて簡易的に予測を行い検討したものである。解析結果より、高精度の地形データをもとに、十分な解像度の計算格子を確保することにより、実用上十分な精度で津波遡上範囲を予測できることを確認した。また、津波遡上範囲は周期などの波形に影響を受け、また河川が洪水時の津波遡上については、浸水深、浸水範囲が増大することなどが示された。



図-7 避難経路を描いたハザードマップの一例

謝辞

本研究に関して、岩手県県土整備部河川課から釜石市の甲子川の流量や勾配などのデータを頂いた。開発工営社の井上卓也氏には iRIC2.0、Nay2D Flood の開発に尽力して頂いた。本論文の作成にあたって北海道大学大学院学生の内田有吏子氏にはたくさんの助言を頂いた。ここに記して深甚なる謝辞を表す。

参考文献

- 1) iRIC Project <http://i-ric.org/> (2011年 12月7日)
- 2) 小谷美佐、今村文彦、首藤伸夫：GISを利用した津波遡上計算と被害予測、海岸工学論文集、pp.356-360、1998
- 3) 国土地理院世界測地系 1997年7月1日(第10版)
- 4) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ <http://www.coastal.jp/tjt/> (2011年 12月7日)
- 5) 港湾空港技術研究所 釜石港における津波被害の数値計算による再現結果別紙1 <http://www.pari.go.jp/files/items/3544/File/20110401-1.pdf>(2011年 12月7日)
- 6) 国土交通省東北地方整備局まちづくりサポートマップ釜石市 <http://www.thr.mlit.go.jp/>(2011年 8月25日時点)
- 7) 災害教訓の継承に関する専門調査会報告(1960 チリ地震津波)第3章 日本沿岸での地理津波
- 8) 本間基寛、片田敏孝：津波予報と連動した津波ハザードマップに関する研究、土木学会論文集B2(海岸工学論文集)、Vol.B2-65、No.1、pp1321-1325、2009
- 9) 様似町 防災マップ・津波ハザードマップ <http://www.hokkai.or.jp/samani/7sonota/bousai-map/samanihazado/index.html>(2011年 12月7日)