

数値シミュレーションによる津波の河川遡上と堆積物に関する検討*

秋田大学 林 直幸・齋藤憲寿・鎌滝孝信・渡辺一也

東北大學 田中 仁

1. はじめに

2011年3月11日に三陸沖を震源に地震が発生し、東日本の各地で大きな揺れを観測するとともに、沿岸を襲った津波により多くの命が失われた。さらに沿岸のみならず、河川を遡上した津波が河川堤防を越えて沿川に甚大な被害をもたらした。そのため、沿川における津波防災を考える上で、津波の河川遡上への対策が重要である。

一方、日本海側では活断層が陸地に近く、地震発生から津波到達までの時間が短い傾向にあるにも関わらず、実際に発生地震や津波の件数が少ないことが原因で、日本海側での津波の記録は少ない。

そこで、本研究では日本海側、特に秋田県北部を対象に津波発生時の数値シミュレーションを行った。はじめに米代川を対象として検討を行い、過去の津波痕跡¹⁾と比較することで再現性を確認した。そして、同様の方法で竹生川についての数値シミュレーションを行い、過去の津波で形成された堆積物の分布状況との関係性を検討した。

2. 対象河川

図-1に本研究の対象領域である米代川及び竹生川を示す。

米代川は秋田県北部に位置し、流域面積4100 km²、流路延長136 kmの一級河川である。日本海中部地震時には河口より7 km地点にまで津波が遡上し、左岸では遡上した津波が家屋密集地にまで達し多大な浸水被害をもたらした¹⁾。

一方、竹生川は米代川と同じく秋田県北部に位置する二級河川で流域面積が34.7 km²、流路延長は12.8 kmである。日本海中部地震時の津波は竹生川流域についても被害をもたらしている²⁾。来襲した津波は、河口から1100 mの川沿いにある水田へ侵入したのみでなく、さらに上流の1800 m地点まで遡上したとされている²⁾。

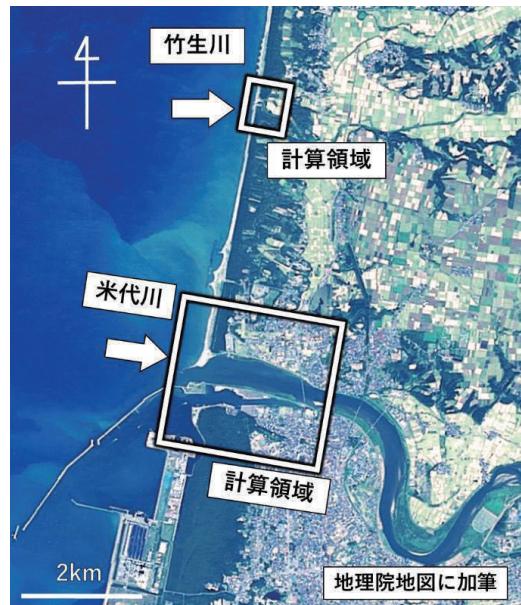


図-1 対象領域

*Study on River run-up of tsunami and their deposits by numerical simulation. by Naoyuki HAYASHI, Noritoshi SAITO, Takanobu KAMATAKI, Kazuya WATANABE and Hitoshi TANAKA

3. 計算手法

本研究では、津波の数値計算に iRIC の非定常平面 2 次元流計算による氾濫流解析用ソルバである Nays2DFlood を使用した。基礎方程式を式(1)~(6)に示す。

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

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

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

ただし、

$$\frac{\tau_x}{\rho} = C_f u \sqrt{u^2 + v^2} \quad \frac{\tau_y}{\rho} = C_f v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (4)$$

$$D^x = \frac{\partial}{\partial x} \left[V_t \frac{\partial(uh)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[V_t \frac{\partial(uh)}{\partial y} \right] \quad (5)$$

$$D^y = \frac{\partial}{\partial x} \left[V_t \frac{\partial(vh)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[V_t \frac{\partial(vh)}{\partial y} \right] \quad (6)$$

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、 q は単位面積当たりのカルバード・樋門・ポンプによる流入量、 r は雨量、 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、 ρ は水の密度、 C_f は河床せん断係数、 V_t は渦動粘性係数である。

米代川と竹生川を対象とした再現計算について共通する計算条件を表-1、2、図-2 に示す。

表-1 使用データ

名称	データ内容
地形データ	5 m メッシュデータ
計算タイムステップ ³⁾	0.1 s
潮位 ⁴⁾	T.P.+0.24 m

表-2 粗度係数⁵⁾

地形	粗度係数
陸地	0.03
海域	0.025
河川	0.025

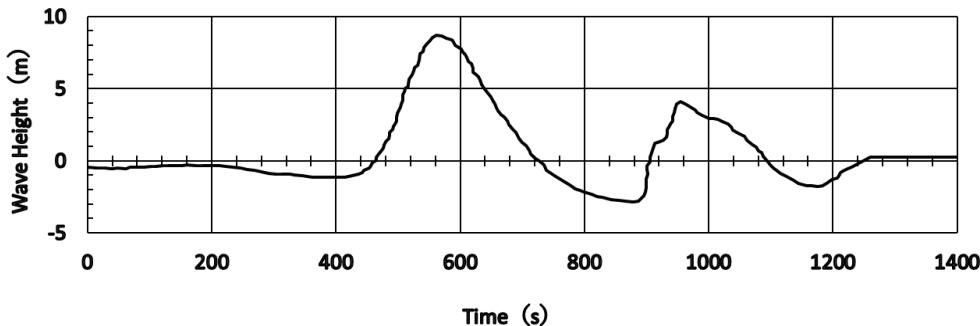


図-2 津波の入力波形

表-1 の計算タイムステップに関しては、式(7)の CFL 条件を満たすように設定した³⁾。潮位は能代港での験潮記録より、津波発生直前の潮位とした⁴⁾。なお、計算中の潮位変動は考慮していない。表-2 は既往研究⁵⁾で用いられている粗度係数を参考にして設定した。

図-2 の入力津波は、日本海中部地震時の能代港での験潮記録には欠けている部分があり計算に使用できなかったため、既往研究⁶⁾により計算された能代港の沿岸約 100 m 地点での波形を使用した。

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{\sqrt{2gh_{max}}} \quad (7)$$

ここで、 Δt は計算タイムステップ、 Δx は格子間隔、 g は重力加速度、 h_{max} は最大水深である。

表-3 米代川及び竹生川の計算条件

		米代川	竹生川
河川流量		151.8 m ³ /s ⁴⁾	0 m ³ /s
格子状	全長	約 3700 m	約 1000 m
形	流れ方向の分割数	100	22
状	全幅	2000 m	1000 m
	流れと垂直方向の分割数	200	200

表-3 の各河川の流量について、米代川は津波発生時の記録がないため、河口から 20 km に位置する富根観測所の流量と、富根から下流で流入している久喜沢川及び常盤川の流量の合計流量として設定した。竹生川については、流量が小さいため、0 m³/s とした。

米代川における再現計算の結果を過去の津波痕跡¹⁾と比較し、河川遡上の傾向を再現できることを確認した。

4. 計算結果

図-3 は計算領域である竹生川流域の標高を示しており、P1 は河口部分、P2 は津波堆積物が確認されている水田地域、P3 は竹生川の河道である。また、本研究では、図-3 中左側の黒線の位置からの津波計算を行った。

竹生川流域の地形的特徴としては、河口の両側に位置する砂丘と、標高の高い地域に囲まれた水田が挙げられる。この水田は、河川に近づくにつれて徐々に標高が下がっている。また、河川は大きく蛇行していることが確認できる。

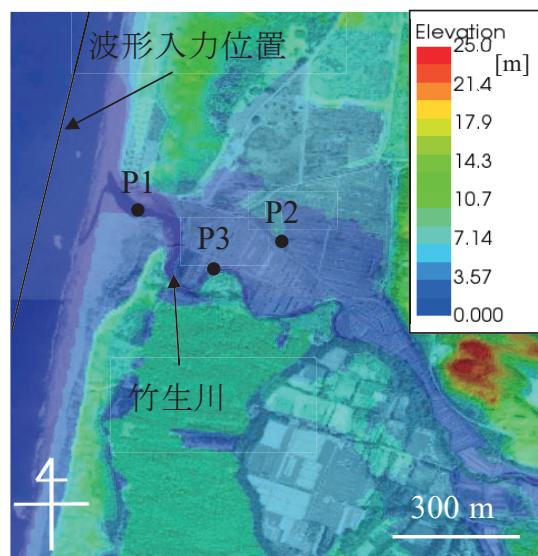


図-3 竹生川流域の標高

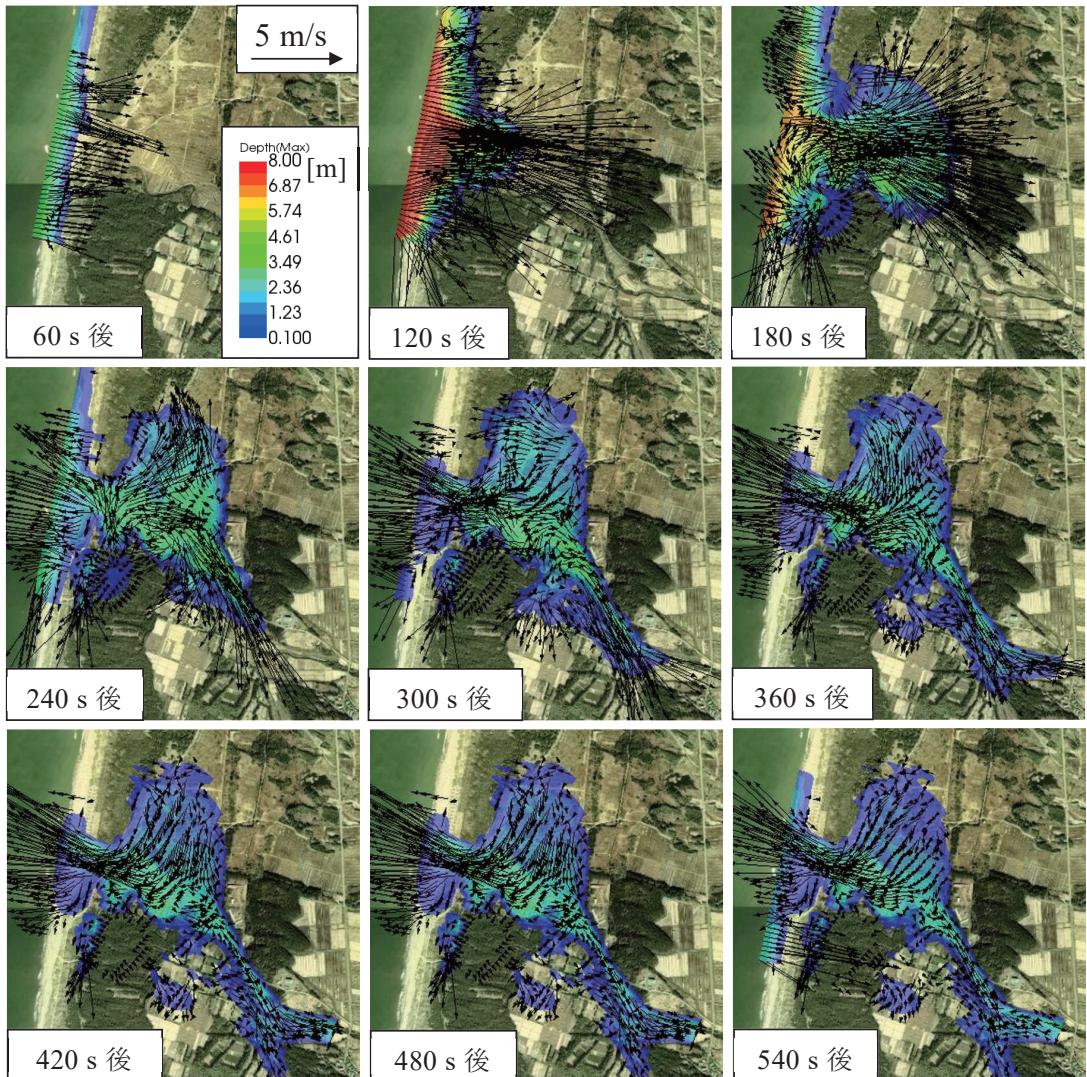


図-4 淹水深と流速ベクトル

図-4は浸水深の経時変化を示しており、矢印は長さが流速の大きさと、方向が流れの進行方向と対応している。また、この図では津波が図-3中の波形入力位置に到達した時を0sとして、その時間変化を示している。

図-4から、海岸に到達した津波は砂丘に阻まれて河口付近から陸地に侵入し、竹生川の北側にある水田部分に広がっていく様子が分かる。第一波来襲時の津波は河川への遡上も見られるが、海側から水田へと直接流れ込んでいることが確認できた。水田は標高の高い地域に囲まれており、侵入した津波は240s後には水田の東側で、南北に分かれしていく。南側に分かれた津波は河川を遡上する津波とともにさらに上流へ進行した。その後引き波に変わった水流は、再

び河口付近の砂丘間へと戻っていく過程で、河川の蛇行部（図-3 の P3）へと集まる傾向が見られた。また、流速ベクトルについて注目すると、右岸側に位置する水田では、河川を遡上した津波による影響は少なく、河口部を含む砂丘の間から流入した津波が直接流れ込んでいることがわかる。これは第二波以降も同様であり、河川を遡上する津波が北方向へ流れしていく様子は確認できなかった。

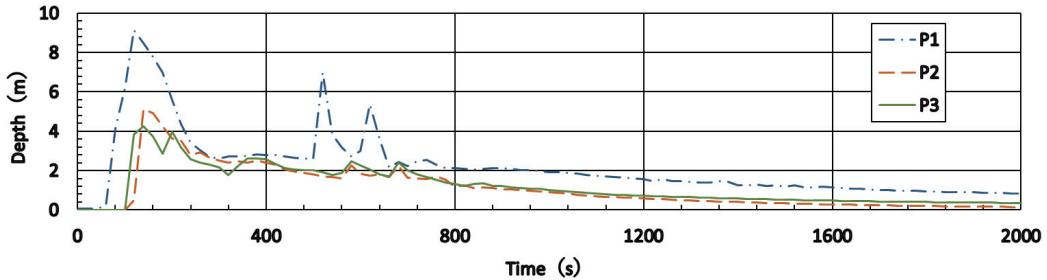


図-5 各地点の水深時間変化

図-5 は図-3 中の P1, P2, P3 における水深の時間変化を示したものである。

図-5 より、P1 は河口の点であるため津波を遮るものなく、海岸に近い位置であるため入力した津波とほぼ等しい最大値を記録し、約 500 s で第二波が到達した。水田地域に位置する

P2 は第一波到着後の大きな変化はなく、緩やかに水が引いていく様子を確認できた。600 s 迂りで僅かに第二波らしき様子も見られた。P3 は河道内であるが、4 m の浸水深を記録し、この津波が河川を遡上していることを確認できた。しかし、この水位は P2 の水位を下回っているため、河川からの氾濫があった可能性は低く、P2 への浸水は海から直接浸水したものが主であると考えられる。また、P3 の水深変化には第一波と第二波の間にも浸水深の上昇が見られた。

図-6 は本研究の計算結果と、日本海中部地震時の津波浸水域²⁾、津波堆積物分布⁷⁾を重ね合わせたものであり、実線部分が実際の津波浸水域を示し、斜線部分が約 5~15 cm の砂、泥が堆積

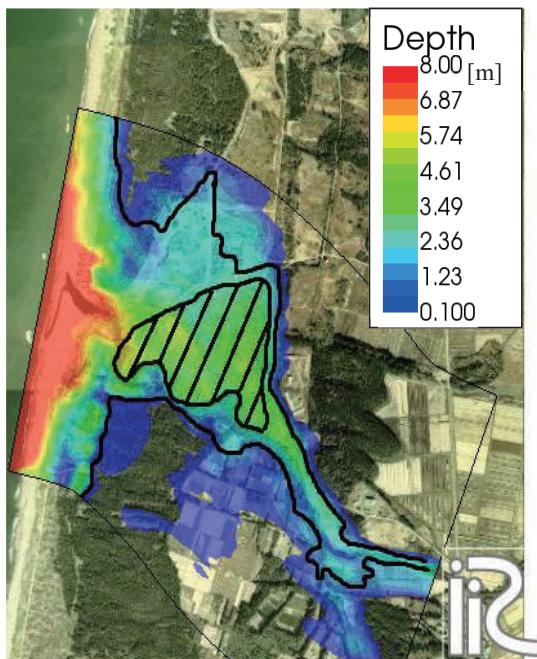


図-6 浸水域と堆積物分布

したとされている範囲を示している。

浸水域を見ると、本研究の計算結果の浸水深が2~3mの地点と実際の浸水域がおおよそ一致している。浸水範囲は全体的に大きくなっているものの、その傾向を把握することができた。浸水範囲が大きくなった原因としては、本研究における計算に土砂の混合が考慮されていないことが考えられる。

津波堆積物の分布範囲は、計算結果における浸水深が4~6mの範囲となっており、この範囲は計算領域内の比較的浸水深が大きい場所である。計算結果ではその他の地域においても浸水深4~6mを示している部分があり、津波堆積物と浸水深に相関がある場合、これらの地域にも堆積が見られる可能性がある。また、図-4、5から、この津波堆積物分布範囲への津波は海から直接流れ込んでおり、河川遡上によるものではないと考えられる。

5. おわりに

本研究では、米代川と竹生川について津波の河川遡上に関する検討を行ってきた。その結果、竹生川については津波浸水域が計算結果とおおよそ一致し、その範囲についてシミュレーション結果の浸水深が2~3mの範囲と一致するという傾向を把握した。さらに、日本海中部地震時の津波堆積物分布範囲への津波は海から直接流れ込んでおり、河川遡上によるものではないと確認した。

今後は日本海中部地震以前の津波についても数値シミュレーションによって波の挙動や浸水範囲を算定し、過去の津波痕跡や堆積物との比較を行う予定である。

謝辞

本研究の実施にあたり、大成学術財団の助成を受けた。ここに記して、謝意を表する。

参考文献

- 1)首藤伸夫, 卵花政孝: 1983年日本海中部地震津波の痕跡高, 東北大学工学部津波防災実験所研究報告, pp.88-267, 1983.
- 2)宇多高明: 津波, 土木研究所報告, 165, pp.17~54, 1985.
- 3)土木学会原子力土木委員会津波評価部会: 原子力発電所の津波評価技術, 59p., 2002.
- 4)(財) 国土技術研究センター: 津波の河川遡上解析の手引き(案), 105p., 2007.
- 5)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想定法, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.356-360, 1998.
- 6)相田勇: 1983年日本海中部地震津波の波源数値モデル, 地震研究所彙報, 第59号, pp.93-104, 1984.
- 7)三浦昌司, 児玉徹, 金田吉弘: 日本海中部地震による津波被害, 農業技術, 第39巻, 2月号, pp.49-52, 1984.