

# 2011 年東北地方太平洋沖地震に伴い発生した 津波の北海道内における河川遡上

TSUNAMI PROPAGATION UP RIVERS IN HOKKAIDO  
CAUSED BY 2011 TOHOKU PACIFIC COAST EARTHQUAKE

阿部 孝章<sup>1</sup>・吉川 泰弘<sup>2</sup>・安田 浩保<sup>3</sup>・平井 康幸<sup>1</sup>

Takaaki ABE, Yasuhiro YOSHIKAWA, Hiroyasu YASUDA and Yasuyuki HIRAI

<sup>1</sup> 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 1 番 34 号)

<sup>2</sup> 正会員 博 (工) 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 1 番 34 号)

<sup>3</sup> 正会員 博 (工) 新潟大学准教授 災害復興科学研究所 (〒950-2181 新潟市西区五十嵐 2 の町 8050 番地)

The propagation of the tsunami into rivers in Hokkaido, generated by the 2011 Tohoku Pacific Coast Earthquake, is described using data from water level gauges in rivers. The tsunami first struck the Ohtsu (Tokachi River) and the Tottori (Shin-Kushiro River) gauge stations at the same time around 15:47 (UTC+09:00). The tsunami also intruded other six Class-1 rivers in Hokkaido. Detided water levels, recorded at the stations within these rivers, show the tsunami intruded several times, not once. Then a one-dimensional numerical method is applied to the simulation of the tsunami propagation up Tokachi River and Shin-Kushiro River in order to investigate the spatial waveforms and wave dispersion phenomena. The water levels estimated by the present method agreed well with those observed in both rivers, and significant differences were found in dispersive wave trains at the wave fronts in each river.

**Key Words:** Earthquake, Tsunami, Hokkaido, Water level, DFT analysis, Undular bore, Numerical simulation

## 1. はじめに

2011 年 3 月 11 日 14:46 (UTC+09:00), Mw 9.0 の東北地方太平洋沖地震が三陸沖を震源として発生した。この地震により発生した大津波は東北の太平洋岸に押し寄せ、未曾有の大災害をもたらした。更に、海岸線からの遡上津波が到達していない範囲でも、河川から遡上した津波が堤防を越え、内水氾濫を引き起こした例も報告されている<sup>1)</sup>。本地震津波により、岩手県・宮城県各河川に設置されていた水位計は損壊し、津波による水位変動を定量的に評価することは難しい。

一方、地震による津波が到達したのは北海道も例外ではない。北海道に襲った津波は東北地方に襲ったものより小規模であり、道内河川に設置された水位計にはほとんど欠測することなく津波による水位変動が記録された。北海道の 1 級河川を対象に水位記録を分析したところ、河川津波によると考えられる水位変化は、表-1、図-1 に示す計 8 河川において確認された。

本研究では、詳細な水位記録が入手できた北海道の河川を対象として、今次津波による河川津波の遡上特性・侵入状況を明らかにすることを目的とした。そのため、水位記録に基づく分析を行い、道内の河川で河川津波の遡上状況を整理した。更に、既往の数値計算モデルによる再現計算を 10 秒ないし 1 分間隔という詳

表-1 各河川水位観測所の一覧。2 列目は河川名と設置箇所の KP、3 列目は地震発生時刻から第一波による水位変化が現れるまでの時間 (Hours:Minutes)。

水位観測所名	設置箇所	伝播時間 (計測間隔 [sec])
鳥取	新釧路川 KP.1.1	01:01 (10)
広里 (ひろさと)	新釧路川 KP.7.4	01:29 (10)
岩保木 (いわぼつき)	新釧路川 KP.11.0	01:53 (10)
大津 (おおつ)	十勝川 KP.3.2	01:01 (10)
旅来 (たびこらい)	十勝川 KP.9.3	01:30 (10)
石狩河口	石狩川 KP.3.0	03:50 (600)
篠路 (しのろ)	石狩川 KP.15.0	06:30 (600)
石狩大橋	石狩川 KP.26.6	04:50 (600)
東光 (とうこう)	千歳川 KP.2.3	05:10 (600)
豊幌 (とよほろ)	幌向川 KP.3.4	10:00 (600)
鶴川 (つかわ)	鶴川 KP.2.6	01:40 (600)
富川 (とみかわ)	沙流川 KP.2.7	01:30 (600)
留萌河口 (るもい -)	留萌川 KP.2.8	06:10 (600)
天塩河口 (てしお -)	天塩川 KP.1.4	04:10 (600)
天塩大橋	天塩川 KP.18.6	03:10 (600)
大曲 (おおまがり)	網走川 KP.6.6	02:50 (600)

細な水位記録に基づいて実施し、再現性の確認と、その上で河川縦断的な津波波形について検討を行った。

## 2. 河道内水位記録に基づく津波遡上の分析

本研究ではまず、表-1 の河川において得られた水位記録から津波成分を抽出し、第 1 の波峰及び最大波高の波峰について到達時刻、波高、そして水位変動量を

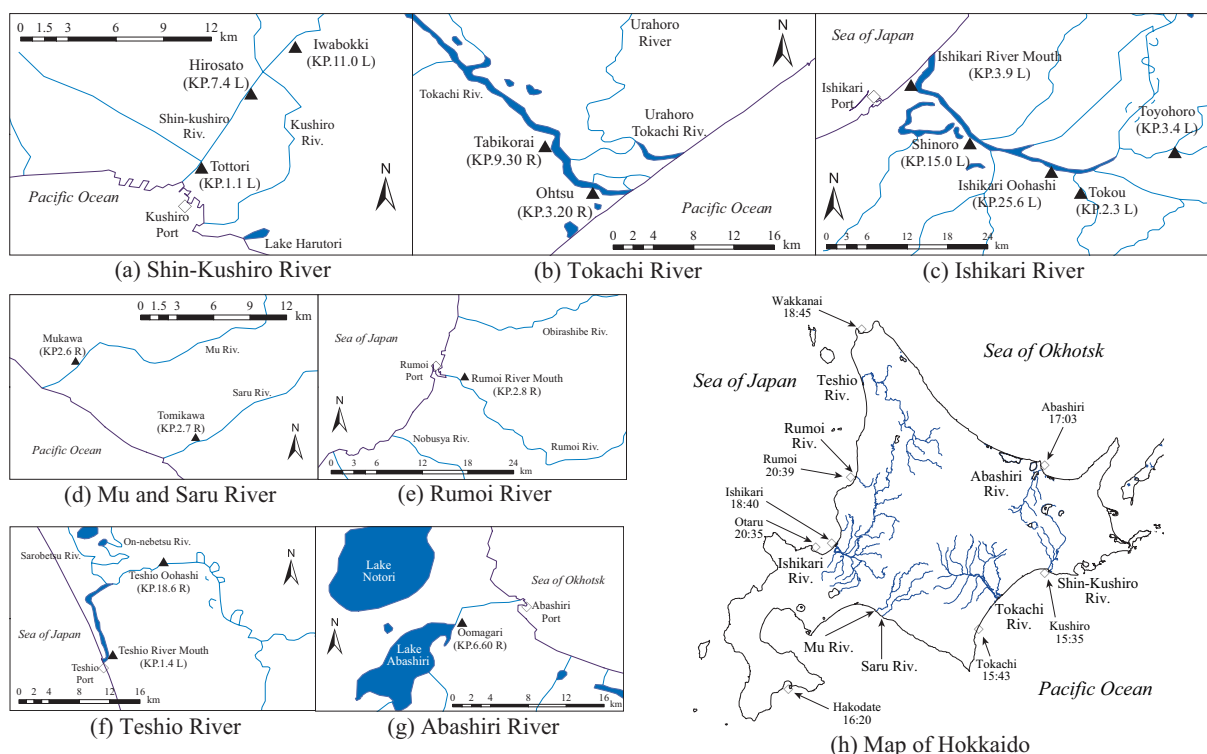


図-1 各河川の地図 (a)～(h) では、下流域とその支川の概況、水位観測所名及び位置 ( で表示) と距離標 (KP.) を示した。また北海道の地図 (g) では、検討対象とした河川流域の概況と、潮位観測所の位置 ( で表示) 及び参考値として津波第一波の到達時刻 (3/11) を示した (海洋気象台または北海道開発局所管潮位観測所)。

求めた。更に、海洋の潮位変動の影響にも着目しつつ、河道内の津波遡上による変動の継続時間にも着目し整理・検討を行った。

### (1) 新釧路川

釧路川は湿原地帯を蛇行しながら南下し、岩保木において新釧路川と（旧）釧路川に分流する。新釧路川からは久著呂川、雪裡川が合流し、河口近くで更に仁々志別川が合流し太平洋に注ぐ（図-1(a)）。河床勾配は、釧路湿原から新釧路川河口部までが  $1/8,000 \sim 1/3,000$  程度である。

図-2 に、新釧路川における 1 分間隔水位記録から離散 Fourier 変換 (DFT) を利用して抽出した津波成分による水位変動量を示した (縦軸のスケールとして 1 m の長さを図中に示した)。但し、 $WL$  は河川水位、 $H$  は着目した時刻における波峰とその後現れる波谷との水位差、 $\eta$  は津波侵入前水位からの水位変動量を表す (全て単位は [m])。また本稿及び図中で、 $FW$ ,  $Max$  は、各水位観測所での津波による水位変動に関して、1 度目の波峰、 $H$  が最大の波峰をそれぞれ表す (沿岸部で記録される津波本体の第一波、最大波と必ずしも一致しないことに留意されたい)。赤線は本地震の発生時刻を表す。グラフ近傍に示した各  $f_l$  値は、 $\pm f_l$  [Hz] を境界として津波成分・潮位成分を分離したことを示す。但し  $f_l$  は、各成分を分離した際に潮位成分が滑らかに潮位を表せるように試行を繰り返しつつ、決定した。

鳥取では 15:59 に FW による極大水位 1.08 m を記録し、その後 FW は広里を 16:21 に、岩保木を 16:45 にそれぞれ通過したものと推測される。Max は 23:40 に

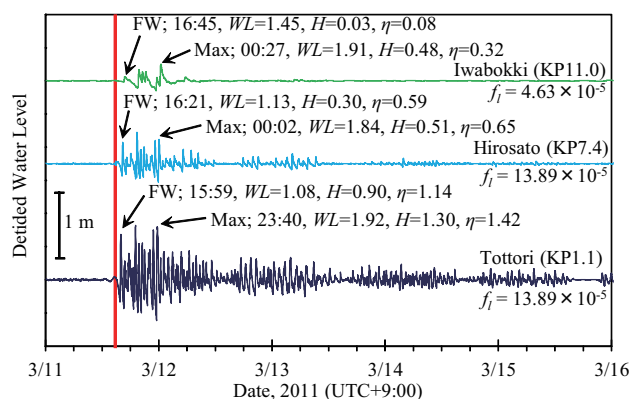


図-2 新釧路川本川に設置されている水位観測所（鳥取，広里，岩保木）の1分間隔の水位記録からDFT解析を利用して抽出した津波成分（3/11 0:00～3/16 0:00）。

鳥取, 12 日 00:02 に広里, 00:27 に岩保木を通過しており, 遡上速度は FW とほとんど変化していないと言える. また, 鳥取及び広里の水位記録において, 津波による変動が大きい時間帯と小さい時間帯が存在することが確認できる. これは田中ら<sup>2)</sup>の指摘にもあるように, 満潮時と干潮時で, 河川津波の遡上距離が変化することに由来すると推察された. 本稿では紙面の制約上掲載を割愛するが, 満潮・干潮時と河道内の水位変動量大・小の時間帯はそれぞれ一致することが別途確認された.

(2) 十勝川

十勝川は沖積平野を緩やかに蛇行した後太平洋に注ぐ河川であり(図-1(b)), 下流部河床勾配は約  $1/4,500 \sim 1/3,000$  である。今回検討対象とした河川の中で、最

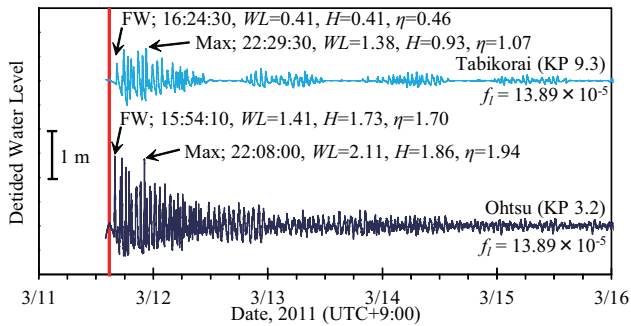


図-3 十勝川本川に設置されている水位観測所の 10 秒間隔水位記録から DFT 解析を利用して抽出した津波成分 (3/11 14:00 ~ 3/16 0:00, 時刻は時:分:秒で表示)。

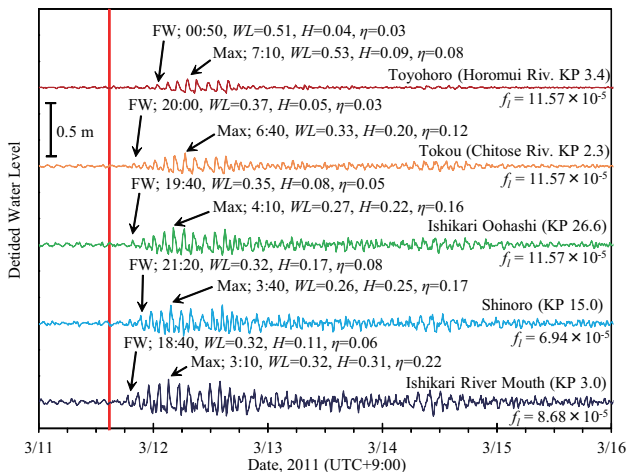


図-4 石狩川本川・支川に設置されている水位観測所の 10 分間隔の水位記録から DFT 解析を利用して抽出した津波成分 (3/11 0:00 ~ 3/16 0:00)。

も大きな水位変動を記録したのが十勝川である。図-3 に十勝川本川における津波成分の記録 (10 秒間隔記録から抽出) を示した。大津水位観測所では、地震発生から約 1 時間 8 分後、15:54:10 に FW が捕捉されており、その水位変化  $\eta$  は 1.70 m と北海道内で見られた河川津波では最大の変動を記録している。その約 30 分後、旅来に FW が来襲したが  $\eta$  は 0.46 m と、大きく減衰したことがわかる。

Max については、大津では 22:08:00 に、旅来では 22:29:30 に極大水位を記録し、 $\eta$  はそれぞれ 1.94 m、1.07 m であった。両観測所において、複数回の津波侵入が記録されているが、その周期  $T_t$  は 30 分 ~ 1 時間程度までばらつきが見られた。また旅来における水位記録の振動は 3/12 の 11:00 頃一度消失したが、18:00 以降再び周期 1 時間程度の水位変動が観測され始め、3/13 の 11 時前後まで継続した。その後また水位変動が消失し、同日の夕方から再び変動が現れた。この変動特性は、新釧路川の観測所と同様、潮位変動の状態によっては津波が旅来まで伝播しないためと考えられた。

### (3) 石狩川

石狩川は石狩岳に源を発し、石狩平野にて多数の支川を合流させつつ南下し、東から幌向 (ほろむい) 川、

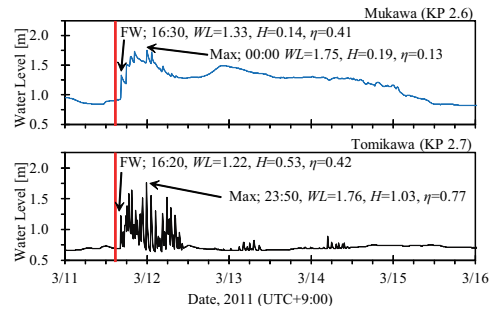


図-5 鶴川・沙流川本川水位観測所の 10 分間隔水位記録 (鶴川が上段、富川が下段、3/11 0:00 ~ 3/16 0:00)。

千歳川を合流する江別 (えべつ) 市付近で流れを大きく北西に変え日本海に注ぐ (図-1(c))。途中、人口約 190 万人を抱える札幌市内を流下するため、津波遡上の検討を行う上で重要度は非常に高いと言える。

今回の津波で遡上距離が最も長かったと考えられるのは石狩川である。図-4 では本川・支川それぞれの水位記録から抽出した津波成分を、河口からの距離順に示している。河口から離れるにつれて減衰効果が顕著となっているものの、5 地点の抽出成分の波形は周期及び振幅の変化傾向の点で類似している。本川沿いの 3 地点に関しては、FW は 8 cm 以上の波高を保って遡上しており、12 日 03:10 以降、河口から順に Max が通過している。また、13 日に一度水位変動が減衰するものの、14 日の午前から再び水位振動が観測された。東光では 12 日 06:40 に Max による 10 cm を超える急激な水位変動が観測され、本川の観測所同様、14 日に 5 cm 前後の水位変動が再び観測された。豊幌の水位変動は他地点よりは小さいものの、12 日 07:10 に 10 cm 近い水位変動が記録された。

なお、本川河口部からの距離で東光は約 29 km、豊幌は約 36 km 地点にある。石狩川のように勾配が小さい流域の河川では、津波による水位変動は非常に長距離にわたり伝播し、支川内にも例外なく侵入したことが以上のデータから明らかとなった。

### (4) 鶴川・沙流川

鶴川は狩振岳 (標高 1,323 m) に源を発しむかわ町にて太平洋に注ぎ、沙流川は日高地方の最西端を流れ、南西に向かって太平洋に注ぐ河川である (図-1(d))。鶴川下流部は河床勾配が約 1/1,000、沙流川下流部では 1/700 程度であり、両者は 1 級河川の中でも比較的急勾配と言える。安田ら<sup>3)</sup>は、鶴川や沙流川のような下流部でも  $Fr$  数の比較的大きい河川における津波遡上では、河川津波の内部に不安定構造が発現することを実験的に示し、水位上昇量に関して鋭敏な初期値依存性を有する可能性を指摘した。しかし今回取得した記録では、他の河川と比較して波高が急激もしくは顕著に上昇している様子は確認されなかった。

図-5 に示したのは鶴川・沙流川における 10 分間隔の水位記録である。水位観測所設置位置はそれぞれ KP.2.6 (鶴川)、KP.2.7 (富川) と、河口からの距離がほぼ等





写真-1 鷗川において津波遡上に誘発されたと考えられるアイスジャムの概況。無数の滞留氷板（左，KP2.6 付近鷗川橋から下流方向を撮影），アイスジャムフロント部の氷板による河道閉塞状況（右，右岸 KP.2.3 付近より撮影）。

しく，また下流部での流向も類似している。鷗川・沙流川では，ほぼ同じ時刻に FW による水位変動を記録している。ところが水位変動の過程は両者で大きく異なり，鷗川で一度 1.75 m まで上昇した水位は緩やかに減少し 12 日の正午頃に極小値を記録し，再び上昇を始め，12 日の 22 時頃に第二のピークが現れた。その時点から初期水位より 50 cm 程度高い水位が暫く継続し，16 日までにかけ，ゆっくりと水位が低下している。このような水位変化はアイスジャムの解氷に由来する<sup>4)</sup>と推測され，本現象は現地踏査による水位観測所付近の状況からも確認された（写真-1）。元々全面結氷していたと考えられる鷗川に津波が来襲し結氷が破壊され，無数の浮遊氷板が発生し，引き波によって水深の浅い，あるいは川幅の狭い地点に堆積し，上流側の水位を上昇させたものと推測される。

筆者ら<sup>5)</sup>は，冬期間に津波が北海道の河川を遡上した場合に，結氷が破壊され，かつ津波先頭部での急峻な水面勾配が氷板を大きく加速する現象の危険性を実験的に示している。上記のアイスジャム発生直前には津波による氷板輸送が生じていたと考えられ，氷板輸送のみならず，河道内でアイスジャムが現実発生したことは，冬期間の津波防災計画を立案する上で重要な知見と言えよう。

#### (5) その他の北海道内 1 級河川

留萌川（図-1(e)）においては KP.0.0～KP.5.0 の下流部は激特事業が実施され全面的に改修が完了している。河道内に樹木は見られず，河川敷幅は狭く高水敷はほとんど無い。河床勾配は 1/5,000～1/2,500 と非常に小さく，感潮区間となっている。河床材料は KP.2.0 まではシルト・細砂が多い。天塩川は天塩岳から北流し，日本海岸砂丘に突き当たり流向を 90 度近く変え海岸沿いに約 10 km 南下し，天塩港から日本海に注ぐ（図-1(f)）。下流部においては海岸沿いを流れるため河床はほぼ水平である。網走川は女満別町において網走湖に接続し，更に網走市を 7 km 北流してオホーツク海に注ぐ（図-1(g)）。河口から KP.7.2 程度までが感潮区間である。網走漁港のある河口から網走湖までは 1/5,000 程度と河床勾配は小さいが，砂州の発生等は見られず河口閉塞も発生していない。

図-6 に上記 3 河川の水位記録から抽出した津波成分を示した。留萌河口では 11 日の 21:00 に FW が通過し

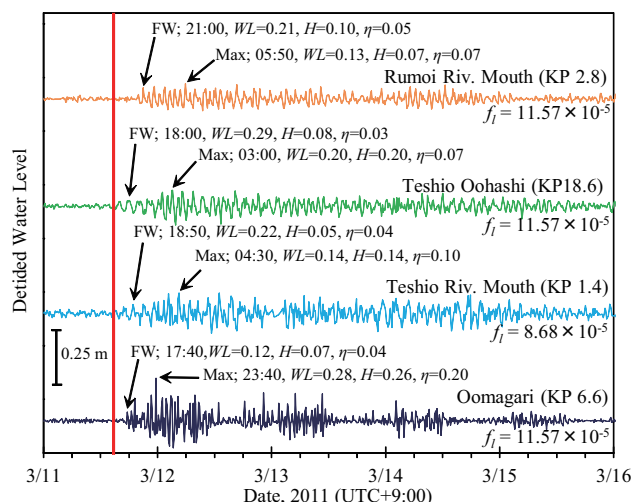


図-6 留萌川・天塩川・網走川に設置されている水位観測所の 10 分間隔水位記録から DFT 解析を利用して抽出した津波成分（3/11 0:00～3/16 0:00）。

て以降，14 日の夕方頃まで継続的に 5 cm 前後の水位変動が確認された。上述のようにこの観測所は感潮区間であり，海面の水位変動の影響が鋭敏に現れていると推測される。

同図 2, 3 段目に天塩河口，天塩大橋で記録された津波成分をそれぞれ示した。風波成分等のノイズによる水位変動が存在するため，FW として抽出できたのは天塩河口で 18:50，天塩大橋で 18:00 であった。12 日中の変動成分は 2 地点で同程度であるが，13 日以降は天塩河口の方が水位変動の振幅がやや大きい状態で継続している。少なくとも，天塩川において津波は河口から 18.6 km 地点まで遡上したことが明らかとなった。

同図 4 段目は網走川大曲における水位変動の記録である。11 日 17:40 に明瞭な FW の侵入が認められ，同日 23:40 に  $H = 0.26$  の Max を記録した。大曲についても，水位変動の振幅が大きい時間帯と，振幅が小さい時間帯に分かれ，これが潮汐の影響であることが別途確かめられた。また，津波成分の抽出精度に限界はあるものの，少なくとも 15 日までは津波によると考えられる水位変動が現れている。

### 3. 詳細な水位記録及び数値解析に基づく河川津波の検討

本章では，数値解析による水位データと水位観測所の記録とを比較することで精度の検証を行った後，水位観測所地点での水位や空間波形を算出して検討を行った。

#### (1) 数値解析モデルと解析条件

本節では，24 時間以上にわたって 1 分間隔の水位記録が入手できた新釧路川，10 秒間隔記録が入手できた十勝川を対象に河川津波の 1 次元再現計算を行う。連続の式は式 (1) を，運動方程式は式 (2) を用いた。今回の津波では，新釧路川において分散波列が確認されたこと<sup>6)</sup>，また 2003 年十勝沖地震では十勝川で分散

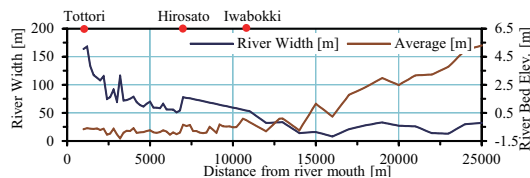


図-7 新釧路川の縦断形状（KP.7.4 広里地点より下流の平均河床高は 2004 年度測量，KP.7.4 より上流は 2001 年度の横断測量成果に基づき決定した．KP.11.2 より下流は 200 m ピッチデータであるが，KP.12.0 より上流では 1 km ピッチデータを用いた）．

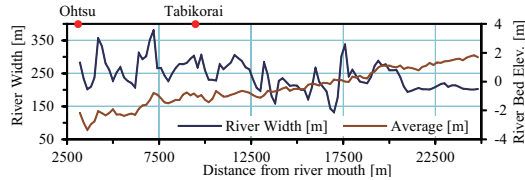


図-8 十勝川の縦断形状（2010 年 11 月～12 月実施の測量に基づく）．

波列が確認されたこと<sup>7)</sup>から，式(2)の右辺第一項で非線形分散波理論式を考慮することとした．この項は，Yasuda<sup>7)</sup>により提案された Peregrine の式<sup>8)</sup>を一般河道断面へ拡張したものである．

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial(z+h)}{\partial x} + \frac{g n^2 u^2 S}{R^{1/3}} = \frac{R^2}{3} \frac{\partial^3 Q}{\partial t \partial x^2} \quad (2)$$

但し， $A$ :流積[m<sup>2</sup>]， $Q$ :流量[m<sup>3</sup>/s]， $t$ :時間[s]， $x$ :距離[m]， $z$ :河床高[m]， $h$ :水深[m]， $n$ :マンニングの粗度係数[s/m<sup>1/3</sup>]， $u$ :流速[m/s]， $R$ :径深[m]， $S$ :潤辺である[m]．計算方法は，従属変数を空間的に千鳥状(staggered)に配置し時間的に蛙飛び(leap-frog)に進める差分式で行った．非線形分散波理論式については，2段階混合差分法<sup>9)</sup>を適用し陰的に解いた．

新釧路川における計算対象区間は KP.1.0 から KP.25.0 の 24.0 km とし，2011 年 3 月 11 日 12 時から 12 日 12 時の計 24 時間を対象とした．十勝川における計算区間は KP.3.2 から KP.24.8 の 21.6 km とし，3 月 11 日 14 時から 12 日 12 時の計 22 時間を対象とした．河道条件は，川幅を水面幅，河床高を平均河床高として図-7，8 に示す値とした．全ケースで計算時間間隔  $\Delta t$  は 0.05 秒，計算格子間隔  $\Delta x$  は 1 m とした．

上流の境界条件に関しては次のように決定した．地震発生時から，対象流域における降雨が観測されていないことから定常状態を仮定し，新釧路川については広里，十勝川については旅来の水位記録が最も適切に再現されるように流量を変化させる不等流計算を行うことにより推定した．その結果，新釧路川では 34 m<sup>3</sup>/s，十勝川では 100 m<sup>3</sup>/s とした時に最も良く観測地点の値と計算水位が一致したのでこれらの値を用いた．計算上，下流端の境界条件は新釧路川では 1 分毎の鳥取地点水位，十勝川では 10 秒毎の大津地点水位を与えた．

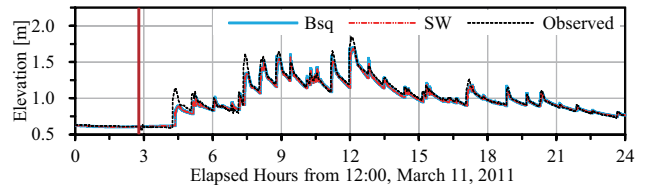


図-9 KP.7.4 広里における津波遡上の再現計算結果，計算と実測の水位比較．

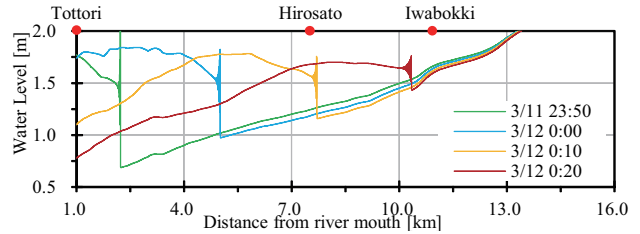


図-10 新釧路川における再現計算結果の空間波形．鳥取において Max 到達時間帯の水位分布（Bs のみ表示）

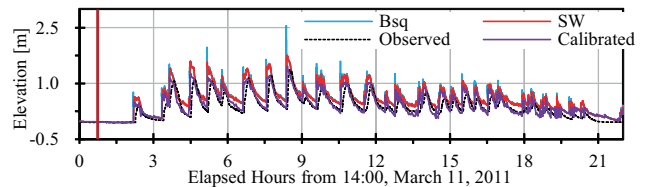


図-11 十勝川における津波遡上の再現計算結果，計算と実測の水位比較．

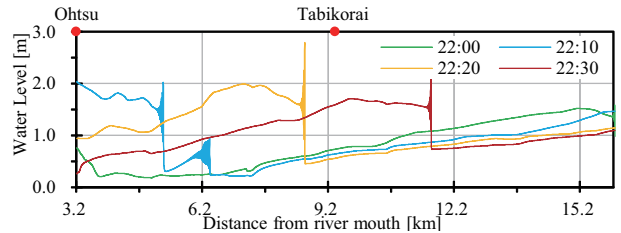


図-12 十勝川における再現計算結果の空間波形，大津において Max 到達時間帯の水位分布（Bs のみ表示）

## (2) 新釧路川における再現計算結果

新釧路川 KP.7.6 地点に位置する広里観測所において，1 分毎の観測水位と再現計算結果を図-9 に示す．但し，図中の Bs は Peregrine の式を考慮した場合，SW は Peregrine の式を無視した浅水理論式に基づく計算結果であることを示す．図より，第 1，6，12 の波峰水位を過小評価している点以外については水位変動を良好に再現しており，一定の妥当性を有していると考えられる．また本解析においては，Bs と SW による顕著な違いは見られなかった．図-10 において，Max の先頭部では分散波列が形成され水位が急激に上昇し，ほぼ等速度で遡上していることが分かる．同時に，分散波列は遡上に伴って減衰している様子が確認できる．

## (3) 十勝川における再現計算結果

十勝川 KP.9.3 地点に位置する旅来観測所において，10 秒毎の観測水位と再現計算結果を図-11 に示す．図より，新釧路川とは異なり，波峰のフロントにおいて Bs は明瞭な分散波列を形成し SW よりも大きな水位となった．しかし，Bs，SW 共に波峰・波谷いずれに



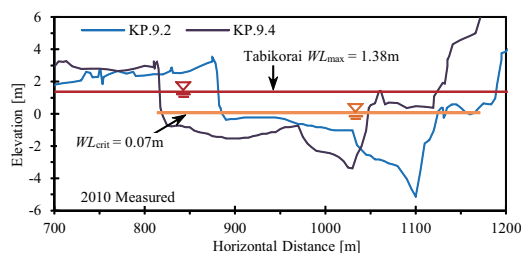


図-13 旅来付近の横断測量成果。WL<sub>max</sub> は最高水位，WL<sub>crit</sub> 超えた水位に関しては，WL-A 式に基づき算定する。

おいても観測データに比較して水位を過大評価する結果となった。図-12 より，十勝川では新釧路川に比して Max の先頭部で分散波列が大きく発達しているが，この時高水敷への乗り上げや砕波を起こしていた可能性が高い。現状で著者らは河道内に発生した分散波列の砕波限界に関し，十分な知見を持ち合わせていない。新釧路川では分散波列の第 1 波峰でわずかな砕波が確認されているが<sup>6)</sup>，十勝川で砕波を捉えた映像記録が存在しないことから，その発生有無について判断することは難しい。

#### (4) 再現計算水位の断面形状を考慮した補正

計算水位が過大となるもう一つの要因として，現在用いている計算モデルでは，河道形状を平均河床高を河床とし所定の水面幅を持つ矩形水路と見なしていることが考えられる。旅来付近の実際の横断面を図-13 に示したが，実河川の河床には凹凸が存在する上，WL<sub>max</sub> の標高より，少なくとも旅来周辺地点で高水敷上まで到達していた可能性が高い。そこで，予め計算上の流積とその流積に対応する水位の関係を規定する WL-A 式を求めておき，便宜的ではあるが WL<sub>crit</sub> = 0.07 m を設定し，この閾値を超えた水位についてはこの WL-A 式に基づき水位を求めることとした。その結果が図-11 における紫のラインであり，波峰，波谷とも水位変動を良好に再現していると言える。但し，遡上津波フロントの波形勾配や，シミュレーション後半での水位の再現性は依然として低く，今後この原因について詳細な検討を加えていく予定である。

#### 4. まとめ

本稿では，北海道内の主要河川である計 8 河川において水位記録から津波成分を抽出し，河道内の津波遡上の分析を行った。更に，津波遡上の継続時間やその水位変動量に関して検討を加えた。また，新釧路川について 1 分間隔，十勝川について 10 秒間隔の水位データを使用した河川津波の 1 次元再現計算を行った。計算領域内に存在する水位観測所の記録と計算水位の比較を行い妥当性を検証した後，その空間波形や分散波列の発達に関する検討を行い，十勝川は釧路川に比較し分散波列が大きく発達するという結果が得られた。

本地震は道内で震源から最も近い沙流川河口付近でさえ 470 km 近く離れた三陸沖で発生した地震であり，

もし同規模の地震が十勝沖・釧路沖で発生した場合には今回の検討規模を遙かに上回る津波が来襲し，その後多数の河川から遡上することが予想される。近海の地震の場合は，地震での河川堤防の沈下・陥没による弱体化が懸念され，津波遡上により越水破堤が起こり，大規模な内水氾濫が発生する可能性がある。

河川津波の性質を理解するための研究は，以前から多くの試みがあるものの，河道内の分散波列の発達や砕波形態，高水敷上での挙動等は未だ十分に解明されているとは言い難い。そればかりか，今次津波のように，大規模津波侵入時の詳細な挙動や氾濫特性に関しては不明な点が数多く残されていると言える。今後河道内の津波伝播の性質に関して，水理学的な考察に基づいたより一層の理解と，大規模河川津波と河川構造物の相互干渉を考慮した，遡上及び氾濫特性を包括的に予測可能な手法の開発が期待される。これにより，河川周辺の地域では沿岸部の津波防災と連携し，より効果的で合理的な防災・減災対策立案が可能になると考えられる。

謝辞：本論文を取りまとめるにあたり，国土交通省北海道開発局 釧路・帯広・室蘭・稚内・小樽の各開発建設部からは水位・潮位記録などを，災害直後の繁忙期であったにも関わらず提供して頂きました。また気象庁からは海洋気象台における潮位観測資料をご提供頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 河川津波対策検討会：河川への遡上津波対策に関する緊急提言，国土交通省報道発表資料，p. 1，2011 年 8 月。
- 2) 田中 仁，Nguyen Xhuan 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・河口地形と遡上特性との関連 -，水工学論文集，第 55 巻，pp.1627-1632，2011。
- 3) 安田 浩保，大塚 淳一：流れを遡上する波状性長波の力オスの挙動とその流動の内部構造の特性，水工学論文集，第 54 巻，pp. 1003-1008，2010。
- 4) Jasek, M.: Ice jam release surges, ice runs, and breaking fronts: field measurements, physical descriptions, and research needs, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 30, pp. 113-127, 2003。
- 5) 阿部 孝章，吉川 泰弘，安田 浩保，平井 康幸：波状性津波による河道内の氷板輸送に関する研究，河川技術論文集，第 17 巻，pp. 359-364，2011。
- 6) 国土交通省北海道開発局釧路開発建設部：今次津波に伴い発生した新釧路川の津波遡上について，私信，2011。
- 7) Yasuda, H.: One-Dimensional Study on Propagation of Tsunami Wave in River Channels, *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 136, No. 2, pp. 93-105, 2010。
- 8) D.H. Peregrine: Long waves on a beach, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 27, Part 4, pp. 815-827, 1967。
- 9) 後藤 智明：2 段階混合差分法を用いた線形分散波方程式の数値計算における打ち切り誤差，津波工学研究報告，第 20 号，pp.13-22，2003。

(2011.9.30 受付)