

2011年東北地方太平洋沖地震に伴い発生した 北海道十勝川河川津波の観測

OBSERVATION OF THE TSUNAMI RUNUP IN THE HOKKAIDO TOKACHI-RIVER
DUE TO THE 2011 OFF THE PACIFIC COAST OF TOHOKU EARTHQUAKE

松川 優一¹・荒 繁彦³・加藤 三明³・油川 曜佑⁵・渡邊 幸一⁴
長岡 宏樹⁴・山口 甲²

Yuuichi MATSUKAWA, Shigehiko ARA, Mitsuaki KATO, Yousuke ABURAKAWA
Kouichi WATANABE, Hiroki NAGAOKA and Hajime YAMAGUCHI

¹正会員 株式会社北開水工コンサルタント 技術企画部 (〒080-0314 北海道河東郡音更町共栄台西11-1)

²正会員 工博 株式会社北開水工コンサルタント (〒080-0314 北海道河東郡音更町共栄台西11-1)

³非会員 株式会社北開水工コンサルタント 技術企画部 (〒080-0314 北海道河東郡音更町共栄台西11-1)

⁴非会員 株式会社北開水工コンサルタント 防災環境部 (〒080-0314 北海道河東郡音更町共栄台西11-1)

⁵非会員 修士 (地球環境科学) 株式会社北開水工コンサルタント 防災環境部
(〒080-0314 北海道河東郡音更町共栄台西11-1)

The 2011 Tohoku earthquake triggered a series of devastating tsunamis mainly along the Pacific coast of Japan. The tsunami waves also attacked coastlines of Hokkaido Island, and were propagated to upstream in the Tokachi River. We caught the tsunamis by our video cameras from 2 places between 16:00 and 17:50 on March 11. Based on the recorded images, movies and water levels at some gauge stations, the celerity of tsunami waves was estimated between 4.1 and 5.8 m/s. The maximum wave height was observed around 22:08 (seventh wave). Finally, characteristics of the tsunami waves were also discussed in comparison with the cases of the 2006 Kuril Islands earthquake. Our results would provide physical characteristics of tsunami waves in rivers to prevent future disasters.

Key Words : river tsunami, The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Tokachi-river tsunami runup, water level fluctuation, analysis of water level records

1. はじめに

2011年3月11日14:46頃、東北地方三陸沖を震源とするマグニチュード9.0 (暫定値) という日本における観測至上最大となる地震が発生し、宮城県栗原市で最大震度7を記録。北海道では最大震度4を記録した。

この地震により日本の沿岸には津波が襲来し、北海道十勝港では2.8m以上 (測定範囲を超過) の津波を観測、気象庁機動調査班による津波調査では十勝川河口に位置する豊頃町大津漁港で最大4.4m程度の痕跡を確認¹⁾。北海道大学の研究班による調査では豊頃町大津長節湖岸で5.98mの遡上高を確認した²⁾。

北海道開発局帯広開発建設部の発表資料によると、痕跡調査の結果、十勝川ではKP13.2まで津波が遡上し

ていたことが確認された³⁾ (現在の十勝川河口はKP2.4である)。

十勝川においては、2003年十勝沖地震の際にソリトン波を伴った河川津波が陸上自衛隊によって撮影され、その映像がテレビで放映された^{4) 5)}。これによって河川津波は専門家以外にも広く知られることになった。

千島海溝に面した北海道東部の地域は、マグニチュード7~8クラスの高海溝型地震が起きた場合、巨大津波の発生が心配されている⁶⁾。北海道は冬季、河川が結氷しているため、河川津波で流された氷塊によって、河川内だけではなく近傍の構造物へも影響を及ぼすことが想定されるため、その観測による実態把握は急務といえる。

しかしながら、地震や津波により水位計などの現地観測機器に異常が生じたり、地震発生直後の情報の少

ない中現地に急行し、安全に現地観測をすることは容易ではないことから、河川津波の実態解明に十分な観測データが蓄積されていないのが現状である。

著者ら調査チームは、この度の地震発生直後、十勝川及び浦幌十勝川下流部へ向かい、河川津波の状況を現地観測すると共に動画記録し、さらに後日、追加調査によって動画と写真に記録された範囲や距離の確認を行い、河川津波の実態を把握することができた。

本報では、我々の観測・記録に加え、過去の河川津波の記録解析も行った結果から明らかとなった十勝川における河川津波の特徴について述べる。

2. 北海道十勝川河口部の概要

北海道の東部に位置する十勝川は、大雪山系の十勝岳を源に、広大な畑作地帯の広がる十勝平野を多くの支川を合わせながら流れ、太平洋に注ぐ幹川流路延長156km、流域面積9,010km²の一级河川である。浦幌十勝川は、下頃辺川の途中から浦幌十勝川に名前を変え、浦幌川や浦幌十勝導水路による十勝川からの導水などを合わせて太平洋に注ぐ河川で、幹川流路延長36km（下頃辺川を含む）、流域面積610km²の河川である。

十勝川下流部（河口から29km上流まで）の河床勾配は約1/3000～1/5000であり、浦幌十勝川の河床勾配は約1/6000である⁷⁾。

十勝川の注ぎ込んでいる太平洋十勝沖の海底には、海岸線とほぼ平行に、幅が約30km、深さ平均140mの緩やかな傾斜で海洋底へ伸びる大陸棚があり、その先は急斜面となって千島・カムチャツカ海溝へ延びている⁸⁾。（図-1）

千島・カムチャツカ海溝は日本海溝とともにマグニチュード7～8クラスの高震型巨大地震が発生しており、地震調査研究推進本部によると、日高・十勝地域および周辺の海溝で、今後30年以内にマグニチュード7.1程度の地震が発生する確率は80～90%程度と高くなっており、中央防災会議の日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震対策の津波被害想定によると、マグニチュード8.6程度の500年間隔地震が発生した場合、十勝川河口付近には最大で10～15mの津波が押し寄せると考えられている。

3. 2011年東北地方太平洋沖地震による十勝川

河川津波の観測結果記録

(1) 観測地点

2011年3月11日の津波発生時の現地観測と動画記録は、

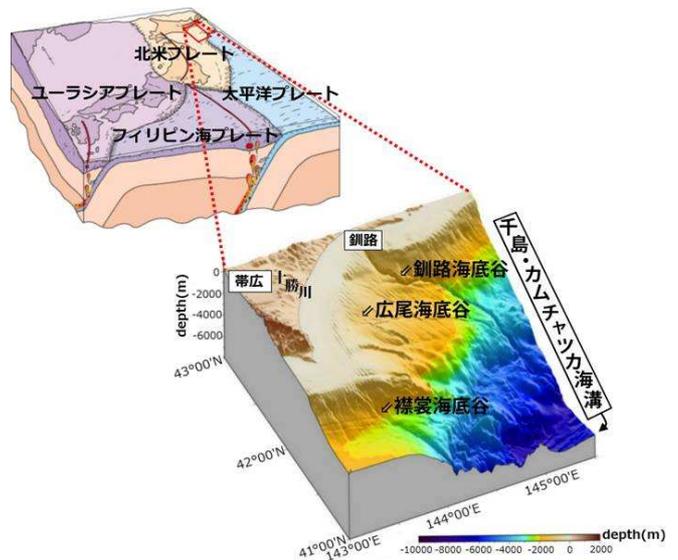


図-1 十勝・釧路沖海底地形



図-2 十勝川・浦幌十勝川下流部水位観測所、撮影位置

十勝川十勝河口橋（KP5.682）と浦幌十勝川浦幌大橋（KP3.058）で行った（図-2）。

水位観測所は十勝川では、河口より上流に向かって大津（KP3.2）、旅来（KP9.3）、浦幌十勝導水路（KP10.8）、茂岩（KP21.0）に浦幌十勝川では十勝太（KP3.6）に設置されており、2003年の十勝沖地震時には10分毎、その後2005年からは1分毎に水位が記録されている（図-2）。

(2) 河川水位記録

津波が発生した当時、大津及び旅来観測所についてはIPテレメータによって10秒毎に、導水路観測所についてはデータロガーによって1分毎に河川水位が記録されていた（河川水位の基準高さはT.P（東京湾平均海面）である）。

ここでは、この水位観測所の記録データを解析した結果判明した河川津波の概要を述べる。

地震発生後の河川水位は、河川津波の第1波と考えられる水位上昇が大津観測所で15:47（地震発生から約60分後）に見られ、その後の12時間（3月12日3:00迄）で

10回の上昇が認められた(図-3)。同様の水位変動は上流の旅来・導水路観測所でも確認されたが、茂岩観測所では有意な変化は見られなかった。

波形解析結果によると、11日15:00から12日3:00迄の12時間に記録された大津の津波波高は1.18mから1.86mで、最大波は地震発生7時間後の21:57に水位上昇が見られた第7波(水位2.11m、波高1.86m)であった(表-1)。さらに、地震発生後1週間にわたり微小な振幅が記録されていた。

地震発生直前の11日14:00の各観測所水位は、河口に近い大津で-0.41m、茂岩で1.66mであり、暫定H-Q式か

ら求めた河川流量は109.4m³/s、1次元の不等流計算から算出された大津-浦幌十勝導水路間の平均流速は0.28m/sであった。

なお、河川津波は河川の流量や潮位の変化を受けやすいため、津波の影響が無い場合の感潮区間の水位を、河口近傍の驗潮所で評価されている天文潮位から求めるには疑問が残る、それを説明することができない。そのため、本報での河川津波の波高については、観測された波の頂上から谷間までの高さの差を用いて算出し、津波の周期を、微小な振幅を考慮しない波の谷間から次の谷間が来るまでの時間とした。

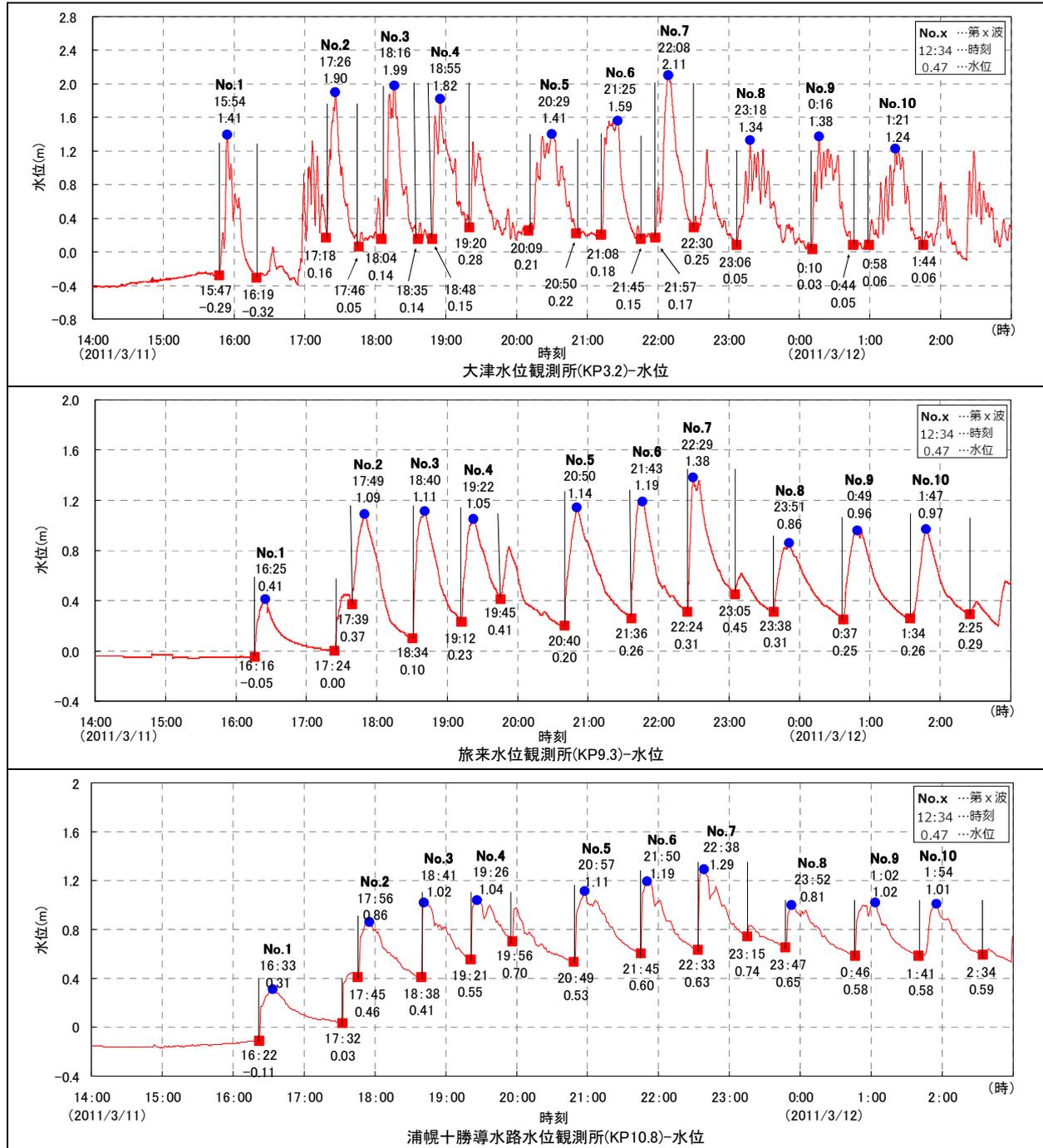


図-3 2011年東北地方太平洋沖地震による十勝川河川水位の変動

表-1 2011年東北地方太平洋沖地震による十勝川河川津波の波形解析結果

観測所	No	観測時間				観測水位(m)	波高(m)	伝播速度(m/s)
		はじめ	最高水位	おわり	周期(分)			
大津 KP3.2	1	15:47	15:54	16:19	32	1.41	1.73	3.39
	2	17:18	17:26	17:46	27	1.90	1.85	4.42
	3	18:04	18:16	18:35	31	1.99	1.85	4.24
	4	18:48	18:55	19:20	32	1.82	1.54	3.77
	5	20:09	20:29	20:50	41	1.41	1.19	4.84
	6	21:08	21:25	21:45	37	1.59	1.44	5.65
	7	21:57	22:08	22:30	32	2.11	1.86	4.84
	8	23:06	23:18	0:10	64	1.34	1.31	3.08
	9	0:10	0:16	0:44	34	1.38	1.33	3.18
	10	0:58	1:21	1:44	45	1.24	1.18	3.91
旅来 KP9.3	1	16:16	16:25	17:24	68	0.41	0.41	4.29
	2	17:39	17:49	18:34	55	1.09	0.99	5.72
	3	18:30	18:40	19:12	42	1.11	0.88	-
	4	19:12	19:22	19:45	33	1.05	0.64	11.44
	5	20:40	20:50	21:36	56	1.14	0.88	5.72
	6	21:36	21:43	22:24	48	1.19	0.88	5.72
	7	22:24	22:29	23:05	40	1.38	0.93	4.90
	8	23:38	23:51	0:37	59	0.86	0.61	-
	9	0:37	0:49	1:34	56	0.96	0.70	2.64
	10	1:34	1:47	2:25	51	0.97	0.68	5.72
浦幌十勝 導水路 KP10.8	1	16:22	16:33	17:32	70	0.31	0.28	
	2	17:45	17:56	18:38	53	0.86	0.45	
	3	18:38	18:41	19:21	43	1.02	0.47	
	4	19:21	19:26	19:56	35	1.04	0.34	
	5	20:49	20:57	21:45	56	1.11	0.51	
	6	21:45	21:50	22:33	48	1.19	0.56	
	7	22:33	22:37	23:15	42	1.29	0.55	
	8	23:47	23:52	0:46	59	1.00	0.42	
	9	0:46	1:02	1:41	55	1.02	0.44	
	10	1:41	1:54	2:34	53	1.01	0.42	

(3) 現地観測結果

次に、地震発生後の3月11日16:00頃から日没まで十勝川と浦幌十勝川で行った現地観測の結果から、特記すべき現象について記述する。

a) 十勝川（十勝河口橋 KP5.682）

記録時刻と大津の水位から、3月11日17:05頃から津波に起因すると考えられる水位上昇が始まり、17:26に水位ピークに達した後、最低水位となった17:45頃まで逆流していることが分かった（図-4）。

KP5.0付近で発生した河川津波の先頭は9分40秒後にはKP7.0付近に達したことから、これらの区間2,867mにおける津波の伝播速度は約5.0m/sと算定される（写真-1）。

十勝河口橋橋脚直下流で河床が浅くなっている砂州地点では、砕波が確認された（写真-2）。河道内での砕波は、2003年十勝沖地震による河川津波においても確認されていたが、今回確認された地点はKP5.4付近であった。

表面波の先頭が十勝河口橋を通過した後には逆流が始まる様子が確認された（写真-2）。この現象を記録した17:21頃の橋下流側の動画画面内で設定した45m区間を氷塊が遡上する平均流速は約0.8m/sであった。ただし、この調査では、地震前に設定した

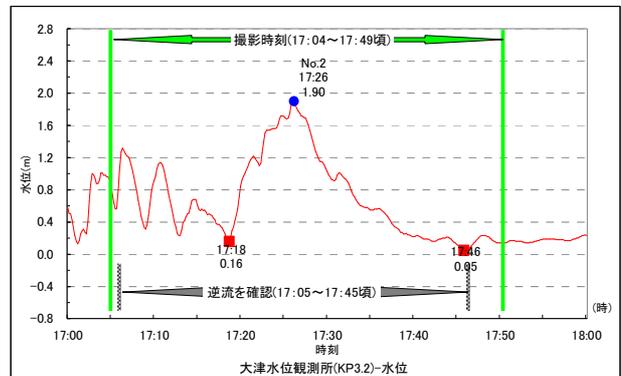


図-4 大津観測所水位記録と撮影時刻（2011/3/11 17:00～18:00）



写真-1 十勝河口橋上下流の河川津波（2011/3/11 17:05～17:14）

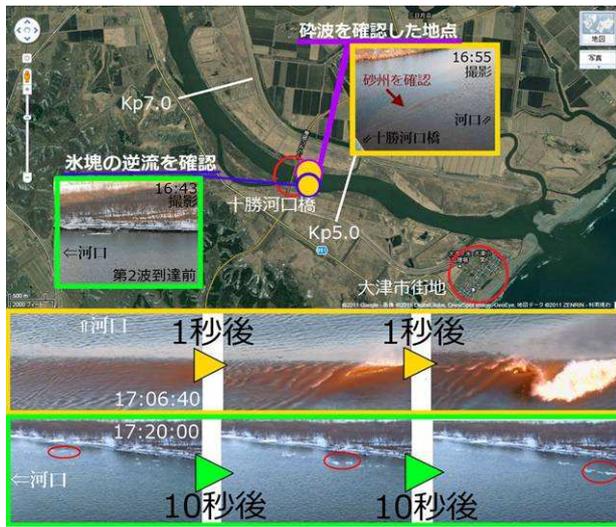


写真-2 十勝河口橋下流の砕波状況（17:06頃）と氷塊の遡上状況（17:20頃）

観測地点や目標物ではなく、後日の追加調査により動画に記録されていた護岸や河畔林などの測量した成果を用いたため、津波の流速は参考値に止めるべきと考えられる。

b) 浦幌十勝川（浦幌大橋 KP3.058）

記録時刻と十勝太の水位から、河川津波で砕けた河水は水位上昇期には河口から上流に向かって流れ、水位下降期には上流から河口へ流れた。動画記録では16:05頃に浦幌大橋下流側約100～200m地点（写真-3河水移動境界ライン）よりも上流の河水が割れ、氷塊となって橋の上流側へ遡上した。この氷塊はその後、16:11頃から一旦下流方向に戻り始めたが、17:05頃に再び上流方向へ遡上した（写真-3）。この現象は日没により写真記録を終えた17:42まで継続した。浦幌大橋の橋脚によって細かく割れつつ遡上した氷塊は、十勝太水位観測所よりも上流側にある浦幌川の合流点付近に滞留しているように見受けられる。この氷塊滞留地点は、浦幌十勝川は導水路方向から内角40度となっている湾曲部に、川幅が狭い浦幌川がほぼ直線的に合流している部分である。

4. 過去の地震で発生した河川津波の比較

2006年11月15日に千島列島沖で発生した地震（以下2006年千島列島沖地震）においても十勝川で河川津波が観測されているため、2011年東北地方太平洋沖地震による河川津波と波高、周期、伝播速度について比較する。

(1) 波高

2006年千島列島沖地震の河川津波は、全観測所で第1波が最も小さく、旅来・導水路では第2波、大津では第6波が最も大きかった（図-6）。2011年東北地方太平洋沖地震では、大津観測所では第5波、旅来、導水路観測所では第1波が小さく、大津では

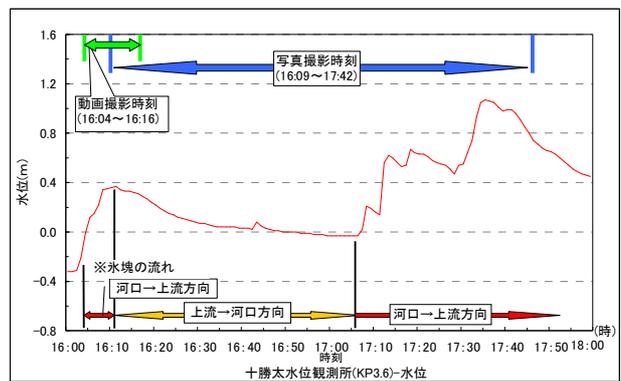


図-5 十勝太観測所水位記録と撮影時刻（2011/3/11 16:00～18:00）

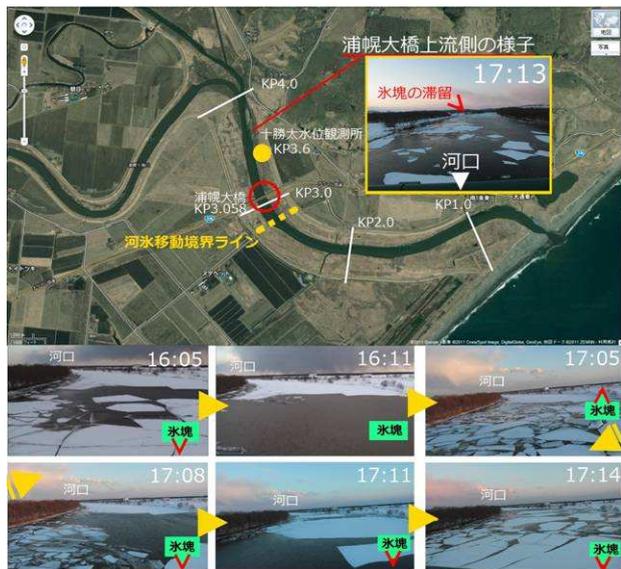


写真-3 浦幌大橋下流の氷塊移動状況（2011/3/11 16:05～17:14）

第7波、旅来では第2波、導水路では第6波が最も大きかった。両津波の特徴として、波高が一時低下傾向を示した後に、最大波もしくはそれに匹敵する大きな波が観測されたことが特記される。

(2) 周期

2006年千島列島沖地震での周期は平均63分、2011年東北地方太平洋沖地震では大津で平均38分、旅来・導水路地点で平均51分の周期であった（図-6）。

(3) 伝播速度

2006年千島列島沖地震での伝播速度は大津・旅来間で平均3.2m/s、旅来・導水路間で平均5.1m/sであった。2011年東北地方太平洋沖地震では大津・旅来間で平均4.1m/s、旅来・導水路で平均5.8m/sであった（図-6）。

両津波で大津・旅来間で大きな違いは見られなかったが、旅来・導水路間では大きく異なった。

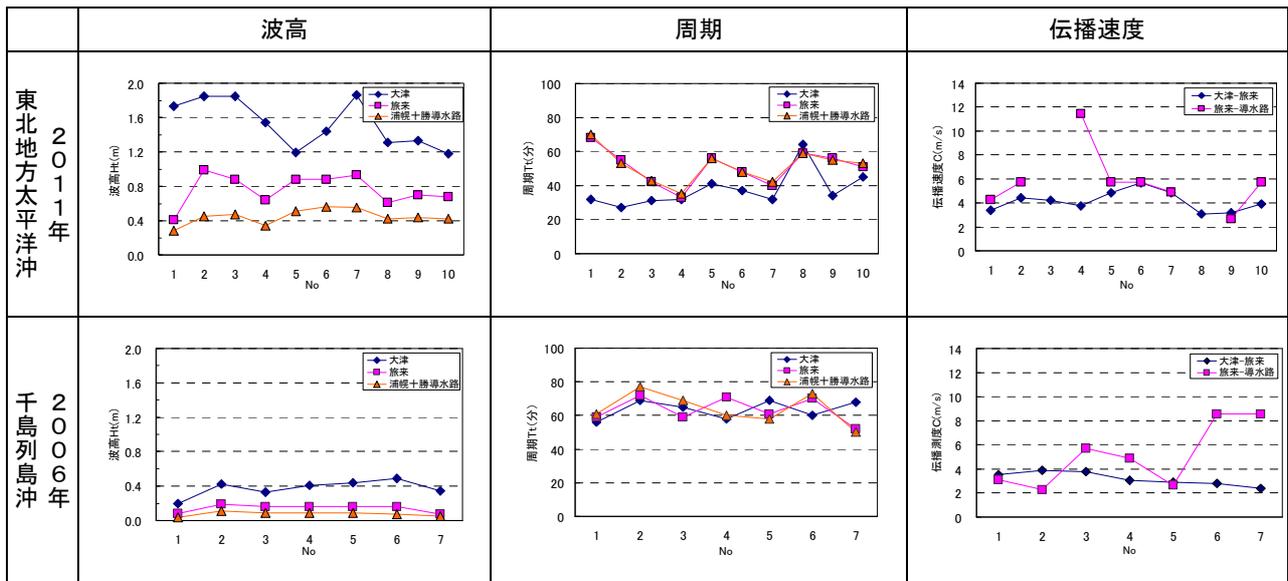


図-6 2006年千島列島沖地震と2011年東北地方太平洋沖地震による十勝川河川津波の比較

5. まとめ

2011年東北地方太平洋沖地震に伴って発生した十勝川河川津波について、十勝川及び浦幌十勝川河口付近の橋で行った観測と録画記録、および水位観測所の水位記録の解析から、以下のことが判明した。

水位観測所の記録によると、大津では 15:47 に河川津波の第 1 波の水位上昇が見られ、大津で 11 日 15 時から 12 日 3 時までの 12 時間の間に記録された波高は 1.18m から 1.86m で、最大波は地震発生 7 時間後に観測された第 7 波であった。同様の水位変動は上流の旅来・導水路では確認されたが、茂岩では有意な変化は見られなかった。さらに、地震発生後 1 週間にわたり微小な振幅が記録されている。十勝河口橋の動画から解析を行ったところ、KP5.0 付近で発生した河川津波の先頭は、9 分 40 秒後には KP7.0 付近に達したことから、これらの区間 2,867m における津波の伝播速度は約 5.0m/s と算定される。また、十勝河口橋橋脚直下流で河床が浅くなっている砂州地点では、砕波が確認された。表面波の先頭が十勝河口橋を通過した後に逆流が始まる様子が確認された。この現象を記録した 17:21 頃の橋下流側の動画画面内で設定した 45m 区間を氷塊が遡上する平均流速は約 0.8m/s であった。

浦幌大橋の動画から解析を行ったところ、河川津波で砕けた河氷は水位上昇期には河口から上流に向かって流れ、水位下降期には上流から河口へ流れた。浦幌大橋の橋脚によって細かく割れつつ遡上した氷塊は、十勝太水位観測所よりも上流側にある浦幌川の合流点付近に滞留しているように見受けられる。今回の観測では最大限安全には配慮しつつ、河川津波を撮影することができた。今後起こりうる巨大地震に対する防災対策の一つとして、各河川で河川津

波のデータ収集・解析を行い、従来希薄であった河川を遡上する津波対策の視点からも、河川防災をソフト・ハード両面から再検証していく必要があるのではないかと考える。

謝辞:本報の作成にあたり、国土交通省北海道開発局帯広開発建設部より、貴重な水位記録等をご提供いただいた。帯広開発建設部池田河川事務所には追加調査に際し特別に立ち入り、作業許可を頂いた。弊社先端技術開発センター長の長谷川和義氏をはじめ、関係各位からは有益なご助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 気象庁:災害時地震・津波速報, 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震, 2011.
- 2) 北海道津波合同調査団:東北地方太平洋沖地震津波・北海道津波合同調査報告会資料, 2011.
- 3) 北海道開発局:平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震災害対応について, 災害情報第12報, 2011.
- 4) 安田浩保, 渡邊康玄, 藤間功司:2003年9月の十勝沖地震に伴い発生した津波の河川遡上, 土木学会論文集 No.768/II-68, 209-218, 2004.
- 5) 藤間功司, 今村文彦, 高橋智幸, 谷岡勇市郎:2003年十勝沖地震により発生した津波の特性, 土木学会, 2003年十勝沖地震被害調査報告会調査報告書, 2003.
- 6) 内閣府:日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震対策, http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/taisaku_kaikou/kaikou_top.htm
- 7) 北海道開発局:十勝川水系河川整備計画, 2010.
- 8) (社)全国地質調査業協会連合会:

<http://www.zenchiren.or.jp/tikei/index.htm>

(2011. 9. 30受付)