

平成23年度

2011年東北地方太平洋沖地震における十勝川の 河川津波について

帯広開発建設部 治水課 ○公平 圭亮
桑村 貴志
河合 崇

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、観測史上最大となるマグニチュード9.0の巨大地震であり、津波の発生により甚大な被害をもたらした。十勝管内においても震度4を観測し、豊頃町大津漁港では最大4.4mとなる津波が襲来したほか十勝川において河川津波が確認されている。

本研究では、十勝川における河川津波の痕跡調査や河川水位データ等から津波の遡上に関する分析を行うほか、過去に発生した津波との比較検証等を行うことにより、十勝川における河川津波の遡上特性を明らかにするものである。

キーワード：地震、津波、自然災害

1. 背景

十勝川では、大きな地震が発生した際に、津波が河口から侵入して川を遡上する現象、いわゆる河川津波が発生している。河川津波が発生した場合には堤内地への浸水を防止するための樋門操作や、近隣の危険箇所巡視などを行う必要があるため、河川津波の遡上特性を把握しておく必要がある。しかしながら、これまでにおいて河川津波に対して十分なデータの解析がなされていないのが現状である。

本報告は、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震で観測された河川津波の観測結果を分析するとともに、過去の河川津波のデータ解析を行った結果から明らかになった十勝川、及び浦幌十勝川における河川津波の遡上特性について報告を行うものである。



写真-1 十勝川河口から上流を望む

2. 十勝川下流部の特徴

(1) 河川・流域概要

十勝川の下流部は堤間平均900m～1,000mと非常に広く、低水路幅は平均250mとなっている。河床勾配は1/2,750～1/5,000程度の緩勾配となっている。浦幌十勝川は堤間約400mと広く、低水路幅は約100mであり、河床勾配は1/5,850と緩勾配となっている。

河口部は標高10m以下の低平地が広がっており、津波が襲来すると広く浸水する可能性がある。

(2) 想定されている地震・津波

表-1は、これまで津波が北海道沿岸で観測された主な地震をとりまとめたものである。各地震において十勝地方でも津波が観測されており、2003年、2006年、2007年、2010年の地震などで十勝川への河川津波が確認されている。

また、日本の太平洋の沖合では、度々日本海溝・千島海溝周辺のプレート境界付近でマグニチュード7や8クラスの海溝型巨大地震が発生し数多くの被害が起きている。このことから、十勝管内の全市町村は、「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る地震防災対策に関する特別措置法」による「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震防災対策推進地域」に指定されている。また、文部科学省の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%となっている。

表-1 津波が北海道沿岸で観測された主な地震

地震発生日	地震・津波名	震源地・マグニチュード	最大震度	津波高の最大(m)
1952/3/4	昭和27年十勝沖地震	十勝沖 8.2	5:浦河町、帯広市 他	6.5:仙居趾 2.5:岩手県種市 他
1958/11/7	-	択捉島南東沖 8.1	5:釧路市	0.51:青森県八戸 1.0:霧多布
1963/10/13	-	択捉島南東沖 8.1	4:浦河町、帯広市	2.02:岩手岩泉(※最大全振幅) 1.30:花咲(※最大全振幅)
1968/5/16	昭和43年十勝沖地震	青森県東方沖 7.9	5:函館市、浦河町 他	5.7:釧路湾付近 4.3:様似
1980/8/12	-	北海道東方沖 7.8	4:広尾町、釧路市、根室市	2.53:花咲(※最大全振幅)
1973/6/17	昭和48年根室半島沖地震	根室半島南東 7.4	5:釧路市、根室市	1.5以上:花咲(観測所最大) 0.5:八戸(観測所最大)
1973/6/24	昭和48年根室半島沖地震(余震)	根室半島南東沖 7.1	5:釧路市	0.63:花咲(観測所最大) 0.15:久慈(観測所最大)
1975/6/10	-	北海道東方沖 7	1:網走市、釧路市、根室市、浦河町	0.8:落石 0.5:父島(※最大全振幅)
1982/3/21	昭和57年浦河沖地震	浦河沖 7.1	6:浦河町	1.35:浦河(※最大全振幅)
1994/10/4	平成6年北海道東方沖地震	北海道東方沖 8.1	6:釧路市、厚岸町	5.03:宮古市堀内漁港 0.5:父島(※最大全振幅)
1994/12/28	平成6年三陸はるか沖地震	三陸沖 7.5	6:八戸市	1.7:久慈市(※最大全振幅) 1.45以上:鹿野(※最大全振幅)
2003/9/26	平成15年十勝沖地震	釧路沖 8	6弱:厚岸町・新ひだか町・幕別町・豊頃町 他	4.0:百人浜 1.75:大津漁港津波高
2006/11/15	-	千島列島シムシル島東方沖 7.9	2:浦幌町・大樹町・白糠町・厚岸町 他	0.59:浦河(観測所最大) 0.84:三宅島(観測所最大) 0.49m:大津漁港津波高
2007/1/13	-	千島列島シムシル島東方沖 8.2	3:釧路市・函館市・八戸市・東原市 他	0.18:浦河(観測所最大) 0.43:三宅島(観測所最大)
2010/2/27	平成22年予り地震津波	予り中部沿岸 8.8	-	1.1:花咲(痕跡高) 1.9:陸前高田市両替漁港(痕跡高) 1.86:大津漁港津波高

3. 2011年東北地方太平洋沖地震の河川津波

(1) 地震の規模

2011年3月11日14時46分頃、三陸沖を震源とする日本の観測史上最大のマグニチュード9.0(暫定値)の巨大地震が発生し、日本の広い範囲で震度7~1を観測した。この地震により、東北地方から関東にかけて地滑りや液状化現象、地盤沈下などの被害が発生した。道内では震度4~1を観測し、十勝管内では震度4~2を観測した。帯広では14:48頃から3~4分程揺れが続いた。図-2は北海道内での震度観測値である。

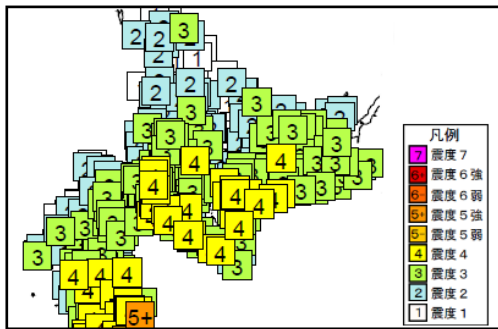


図-2 2011年東北地方太平洋沖地震 震度分布 (出典：気象庁 東北地方太平洋沖地震の概要)



写真-2 2011年東北地方太平洋沖地震による大津漁港の被害状況(出典：十勝毎日新聞)

全国で発生した被害の多くは、地震に伴い発生した津波によるものであり、北海道では1名が死亡、3名が負傷した。十勝川河口の大津漁港でも漁船の転覆や漂流などが起きている(写真-2)。

(2) 沿岸に押し寄せた津波

図-3は北海道沿岸で観測された津波高の最大を表したものである。この地震による津波について、北海道内で第1波が最も早く到達したのは、えりも町庶野と浦河の11日15時20分で、地震発生34分後であった。十勝管内では十勝港で津波の第1波を15時27分(地震発生41分後)に観測し、気象庁機動調査班による津波調査では豊頃町大津漁港で最大4.4mの痕跡を確認した。

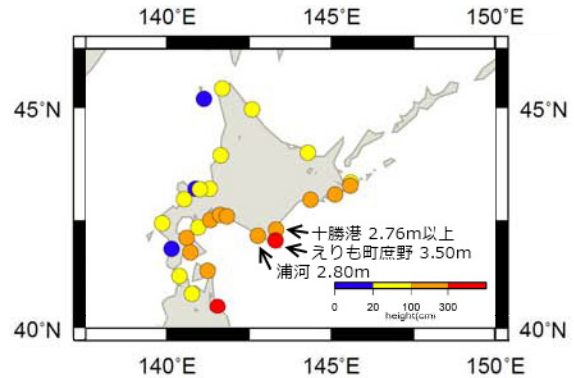


図-3 2011年東北地方太平洋沖地震による津波の最大波 (出典：気象庁 災害時地震・津波速報)

(3) 河川に遡上した津波

十勝川下流域における水位観測地点を図-4に示す。



図-4 十勝川下流域 水位観測所位置図

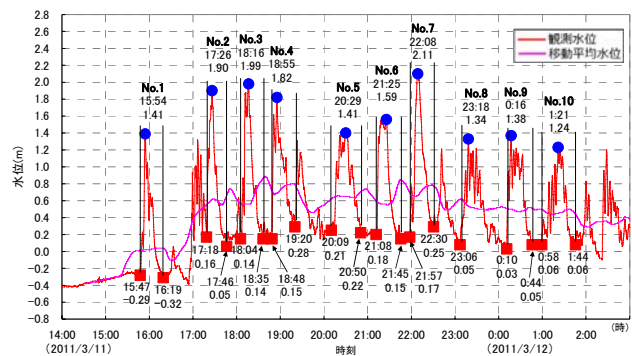


図-5 2011年3月11~12日 大津水位観測所 水位図

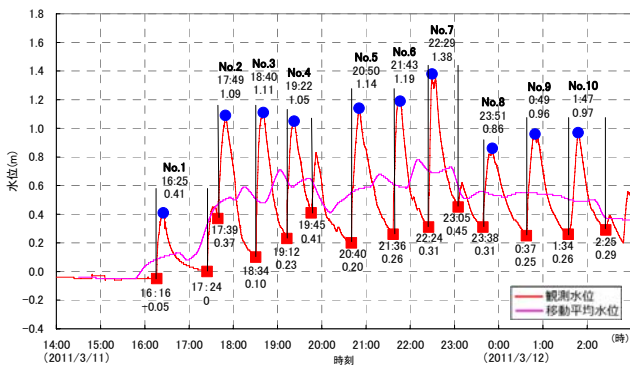


図-6 2011年3月11~12日 旅来水位観測所 水位図

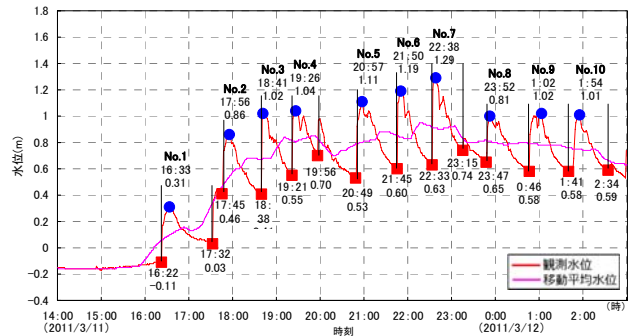


図-7 2011年3月11~12日 浦幌十勝導水路水位観測所水位図

表-2 2011年東北地方太平洋沖地震 波形分析表

観測所	No	観測時間				観測水位 (m)	波高 (m)	移動平均		伝播速度 (m/s)
		はじめ	最高水位	おわり	周期 (min)			水位 (m)	水深 (m)	
大津 KP3.2	1	15:47	15:54	16:19	32	1.41	1.73	0.02	2.87	大津・ 旅来
	2	17:18	17:26	17:46	27	1.9	1.85	0.61	3.46	
	3	18:04	18:16	18:35	31	1.99	1.85	0.56	3.41	
	4	18:48	18:55	19:20	32	1.82	1.54	0.69	3.54	
	5	20:09	20:29	20:50	41	1.41	1.19	0.65	3.5	
	6	21:08	21:25	21:45	37	1.59	1.44	0.56	3.41	
	7	21:57	22:08	22:30	32	2.11	1.86	0.66	3.51	
	8	23:06	23:18	0:10	64	1.34	1.31	0.54	3.39	
	9	0:10	0:16	0:44	34	1.38	1.33	0.5	3.35	
	10	0:58	1:21	1:44	45	1.24	1.18	0.45	3.3	
旅来 KP9.3	1	16:16	16:25	17:24	68	0.41	0.41	0.1	0.9	大津・ 旅来
	2	17:39	17:49	18:34	55	1.09	0.99	0.5	1.3	
	3	18:30	18:40	19:12	42	1.11	0.88	0.48	1.28	
	4	19:12	19:22	19:45	33	1.05	0.64	0.6	1.4	
	5	20:40	20:50	21:36	56	1.14	0.88	0.58	1.38	
	6	21:36	21:43	22:24	48	1.19	0.88	0.6	1.4	
	7	22:24	22:29	23:05	40	1.38	0.93	0.69	1.49	
	8	23:38	23:51	0:37	59	0.86	0.61	0.54	1.34	
	9	0:37	0:49	1:34	56	0.96	0.7	0.55	1.35	
	10	1:34	1:47	2:25	51	0.97	0.68	0.49	1.29	
浦幌十勝導水路 KP10.8	1	16:22	16:33	17:32	70	0.31	0.28	0.1	0.54	旅来・ 浦幌十勝導水路
	2	17:45	17:56	18:38	53	0.86	0.45	0.54	0.98	
	3	18:38	18:41	19:21	43	1.02	0.47	0.68	1.12	
	4	19:21	19:26	19:56	35	1.04	0.34	0.8	1.24	
	5	20:49	20:57	21:45	56	1.11	0.51	0.8	1.24	
	6	21:45	21:50	22:33	48	1.19	0.56	0.84	1.28	
	7	22:33	22:37	23:15	42	1.29	0.55	0.91	1.35	
	8	23:47	23:52	0:46	59	1	0.42	0.81	1.25	
	9	0:46	1:02	1:41	55	1.02	0.44	0.79	1.23	
	10	1:41	1:54	2:34	53	1.01	0.42	0.75	1.19	

図-5~7に、大津・旅来・浦幌十勝導水路の各水位観測所において観測された河川水位と観測時刻を表す。また、表-2は、3月11日14:00~12日3時まで確認された特筆すべき10波において、観測された河川津波をもとに波高、周期、伝播速度を示したものである。旅来

~浦幌十勝導水路間のNo.3、No.4、及びNo.8の伝播速度は、観測されたピーク時刻に差が見られなかったことを考慮し、異常値と判断した。ここで、表中の周期とは波の谷間から次の波の谷間がくるまでの時間。波高とは、観測された波の頂上から谷間までの高さの差。移動平均水位とは、津波周期を考慮した観測水位の前後60分を平均したものである。

地震発生時の河川水位は大津観測所では15時47分(地震発生後約61分)に第1波の水位上昇が見られた(図-5)。その津波は上流の旅来・浦幌十勝導水路観測所まで遡上しているが、茂岩観測所では大きな水位変化は見られなかった。

十勝川で観測された河川津波は、約1時間に1回の間隔で押し寄せ、11日15時から12日3時までに観測された10波の中で、観測水位が最も高かったのは、各観測所ともに第7波目(大津:2.11m、旅来:1.38m、浦幌十勝導水路:1.29m)であり、最大波高は、大津では第7波目(1.86m)、旅来では第2波目(0.99m)、浦幌十勝導水路では第6波目(0.56m)となっており、大津-旅来間、旅来-浦幌十勝導水路間それぞれでほぼ半減していることがわかった(表-2)。

各波の上昇期(谷から山)の経過時間を見ると、上昇期は大津では平均12.5分、旅来では平均9.9分、浦幌十勝導水路では8.1分となっており、周期は大津で平均38分、旅来・浦幌十勝導水路では平均51分となっていた。

津波遡上の伝播速度は大津-旅来間で3.2~5.7m/s、旅来-浦幌十勝導水路間で2.6~5.7m/sであった。

(4) 河川津波痕跡調査

津波警報、注意報が解除された後の3月15日に十勝川、浦幌十勝川、浦幌川において河川津波の痕跡調査を行った。図-8は調査地点における標高を示したものである。調査の結果、十勝川ではKP14.2付近、浦幌十勝川ではKP6.0付近、浦幌川ではKP1.4(浦幌十勝川河口から約5.6km)付近まで痕跡を確認した。

痕跡調査時には、氷塊が高水敷に打ち上げられていたり、樋門・樋管の吐口水路部分に進入し堆積している様子が確認できた(写真-3)。

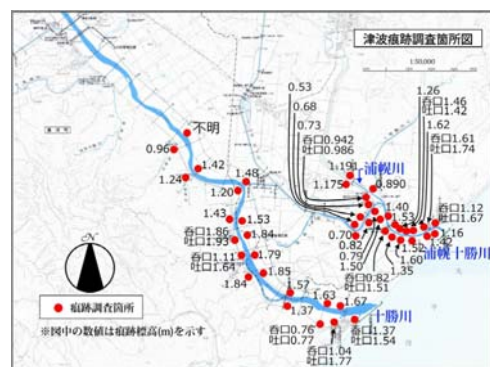


図-8 河川津波痕跡調査箇所



写真-3 河川津波痕跡調査 状況写真

4. 過去の河川津波との比較検証

過去の地震の中でも最も観測データが充実している2006年千島列島沖地震と2011年東北地方太平洋沖地震の河川津波について比較を行った。

(1) 波高

図-9は各地震で観測された河川津波の最大波高を示したものである。2006年地震に比べ、2011年地震の波高がより高いことがわかる。特徴として、ともに最大波高は第1波目ではなく、第1波を観測してから後半において観測されており（2006年地震は第6波目、2011年地震は第7波目）、特に2011年地震においては、第5波目において波高の低い河川津波が観測されたあとに最大波高津波を観測している。

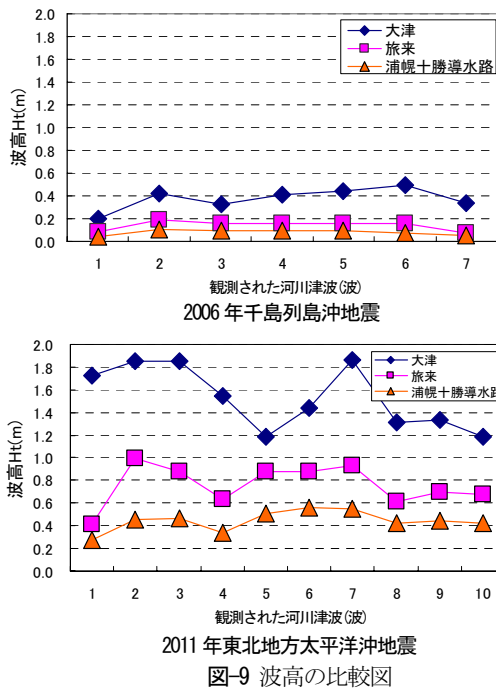


図-9 波高の比較図

(2) 周期

図-10は各地震において観測した河川津波の周期を示したものである。2011年地震の際は、大津で平均38分、旅来・浦幌十勝導水路地点では平均51分の周期となっており、2006年地震の際は3観測所ともに60分前後で河道を遡上している。2011年地震において、大津観測所地点における周期が特に早いことがわかる。

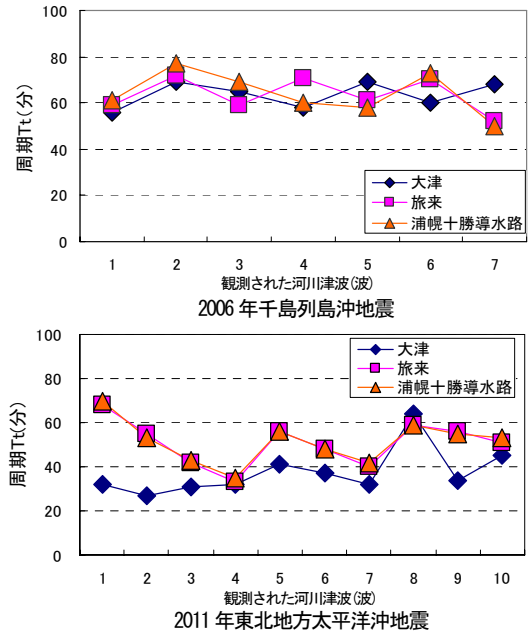


図-10 周期の比較図

(3) 伝播速度

図-11は各地震で観測した河川津波の観測所到達時刻を元に算出した伝播速度を示したものである。2011年地震の際は、大津・旅来間は平均4.1m/s、旅来・浦幌十勝導水路は平均5.0m/sとなっており、2006年地震の際は、大津・旅来間は平均3.2m/s、旅来・浦幌十勝導水路間は平均5.1m/sであった。平均値で見ると大きな差はみられないものの、2011年地震は2006年地震に比べやや伝播速度が速いことがわかる。

各地震とも河道内の伝播速度について、大津・旅来間は各津波ともに大きな違いは見られず一定値を示しているが、旅来・浦幌十勝導水路間の変動は大きくなっている。

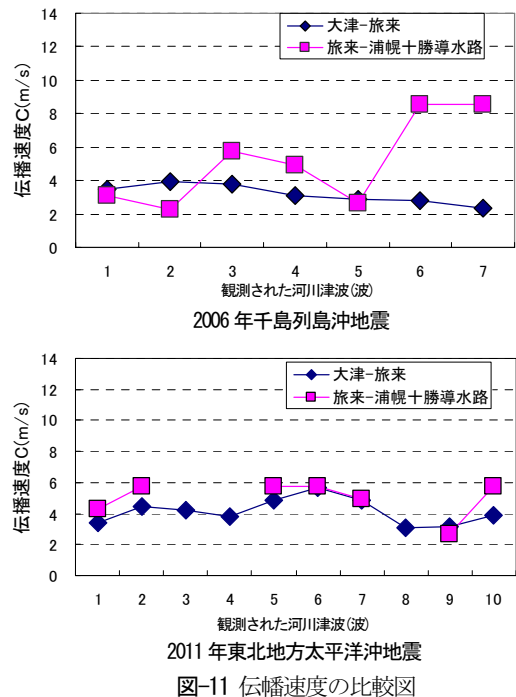


図-11 伝播速度の比較図

図-12 は各地震の大津観測所から、旅来、浦幌十勝導水路までの河川津波到達時間を示したものである。

津波が大津に到達してから上流へ遡上する到達時間を見ると、導水路観測所までの8,159mを2011年地震は平均約30分、2006年地震は平均約40分であり、2011年地震は2006年地震に対し、より早く上流へ到達していたことが確認できる。

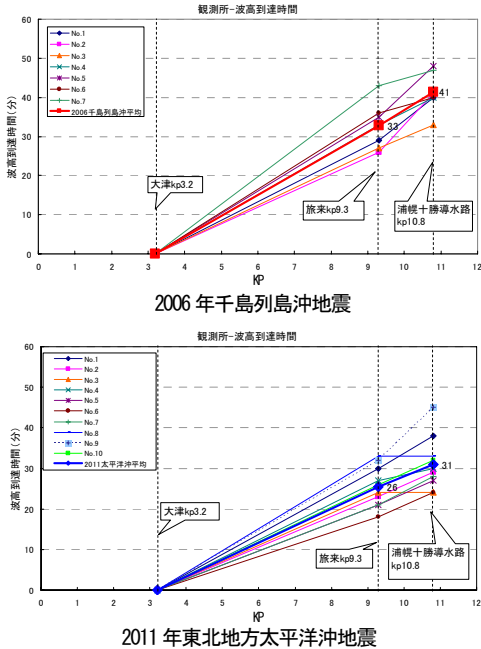


図-12 河川津波の到達時間比較図

5. 津波遡上シミュレーション結果との比較

2011年東北地方太平洋沖地震時において、河川津波の遡上範囲や、到達予定時刻を迅速に見積る手段がなかったことを踏まえ、地震時に気象庁で発表される予想津波高に対する河川津波の遡上距離や到達時間の予測を行うため(独)寒地土木研究所により開発された1次元不定流計算モデルを用いたシミュレーションを行った。

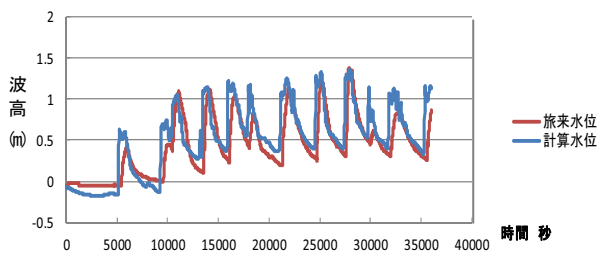


図-13 2011年東北地方太平洋沖地震観測値と計算値の再現結果

計算結果と、実際の観測値との再現性を確認するため、旅来水位観測所地点において2011年東北地方太平洋沖地震で観測された河川水位と計算値の比較を図-13に示した。津波波高、及び周期について概ね再現できていることがわかる。

図-14は津波観測以前の河川水位(3月11日14:00時点)と河川津波高を比較した図であり、河川津波遡上範囲を表しており、観測値とシミュレーション水位が概ね一致していることがわかる。

現地の水位観測は、旅来水位観測所までの遡上状況しか確認できていなく、河川津波痕跡調査においてもKP14.2付近まで遡上している状況がわかるのみであったが、シミュレーションを行うことで、河川津波はKP21.0付近まで遡上していることが推測される。計算を行うことによって遡上範囲や河川水位等を概ね再現することが可能であることがわかった。

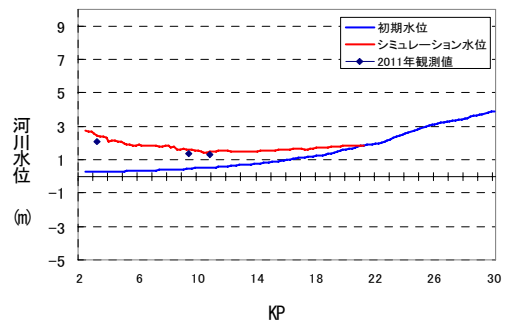


図-14 2011年東北地方太平洋沖地震のシミュレーション結果(最大波高確認時水位)

6. まとめ

(1) 2011年東北地方太平洋沖地震の河川津波特性

今回観測された河川津波の特性を以下にまとめる。

- ・河川津波第1波から10波の観測までに約9時間経過しており、大津地点における最大波高は1.86mであった。
- ・周期は大津地点において平均38分、伝播速度は大津～旅来の区間において平均4.1m/sとそれぞれ過去の地震に比べても速いことがわかった。
- ・津波遡上シミュレーション計算を行うことにより、河川津波がKP21.0付近まで遡上していることが推測される。

(2) 今後に向けて

河川津波をとらえた観測はこれまでも行われてきたものの、十分な分析がなされていない状況であったが、今回の河川津波観測データ、及び過去からのデータを含めた分析をすることによって、今回発生した十勝川における河川津波の遡上特性を把握することができた。

河川津波の観測データを今後も蓄積していき、得られた知見を河川津波の防災対策に活用していくことが重要である。

謝辞: 本研究における津波遡上シミュレーションを行うにあたっては、(独)寒地土木研究所寒地河川チームに御協力をいただきました。ここに謝意を表します。