

遊水地による河川津波の減災対策 に関する一提案

A PROPOSAL ON RETARDING BASIN USAGE AS A DISASTER MITIGATION MEASURE FOR RIVER TSUNAMI PROPAGATION

佐藤 好茂¹・阿部 孝章²・吉川 泰弘³・柿沼 孝治²・伊藤 丹²

Yoshishige SATOU, Takaaki ABE, Yasuhiro YOSHIKAWA, Takaharu KAKINUMA and Akashi ITOU

¹正会員 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 道東支所 (〒085-0014 北海道釧路市末広町10丁目)

²正会員 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地河川チーム (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目)

³正会員 博(工) 北見工業大学助教 社会環境工学科 (〒090-8507 北海道北見市公園町165番地)

When large-scale tsunamis propagate into rivers, situations such as inundation inside levees due to bank overtopping and/or emergency stoppage of intake at water supply facilities to prevent salinity intrusion can be expected. With a main focus on the topographical conditions of Kushiro Marsh upstream of the Shin Kushiro River to the north of urban Kushiro, this paper proposes a disaster mitigation measure involving the installation of a retarding basing with a storage capacity of approximately two million cubic meters downstream of the marsh. Numerical analysis was conducted to determine the impact of this measure on a tsunami propagating up the river. It was found that the water level would be reduced by up to 0.74 m for a 3.4-m-high tsunami (approximately 42% of the water level rise) upstream of the urban area compared to a situation with no retarding basin. Results also indicating a reduction in the volume of flooding and the distance of propagation further highlighted the potential for disaster mitigation based the use of local topographical characteristics.

Key Words : *Tsunami run-up, Retarding basin, Disaster mitigation measure*

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、引き起こされた津波の影響で、東北地方を中心とした太平洋沿岸地域で壊滅的な被害が生じた。この時発生した津波は、海岸域のみならず、河川を遡上した津波が河川堤防を越えて甚大な被害をもたらしたという例も報告されている¹⁾。北海道東部に位置する釧路市においても、釧路港では最大2.1mの津波²⁾が観測され、国道や市街地、観光施設が冠水した。具体例としては、一般国道44号旭アンダーパス、観光並びに商業施設となっている、フィッシャーマンズワーフMOOが冠水する等の被害が発生した。また、屈斜路湖から流下し釧路湿原を下り、釧路市を貫流し太平洋へ注ぐ一級河川の新釧路川(図-1)では、河口から上流約11kmまで津波が遡上した³⁾。この区間では、河口部から上流約4kmまでの間には市街地が栄えており、河口から7.5kmに洪水調節機能を有した横堤が存在し、河口から8.7kmには、釧路市の全水源となる上水道取水口が存在する。今後、大規模津波が襲来した

場合、海岸付近の住民が避難する際に河川を遡上した津波が上流部で越水すると、避難経路を失い挟み撃ちとなり被害が拡大することや、取水施設等のライフラインが被災する恐れがある。既往研究⁴⁾においても、河川津波の塩水遡上による上水道取水口への塩水流入の危険性が指摘されており、人命を守ることは元より、ライフラインの被災を防ぐことは、その後の住民生活の基盤を守る上でも重要な課題である。

大規模津波に対して、沿岸部では減災農地による減災システムの効果を水理実験で検証し、内陸部への津波の到達遅延効果が報告されている⁵⁾。河川域としては、遊水地による河川津波への影響は、既往の実験により津波最高水位の低減効果が報告されている⁶⁾。しかし、これは1次元の実験であり、国内の実河川を対象に遊水地を減災対策に活用するための検討は実施されていないのが現状である。また、被害を最小限とするには、津波が河川を遡上する距離を短くする、すなわち遡上時の流量を貯留することが考えられ、この効果を検証することは有益な知見となる。そのため本研究では、図-1に示した釧路市の市街地上流が釧路湿原という地形条件に着目し、

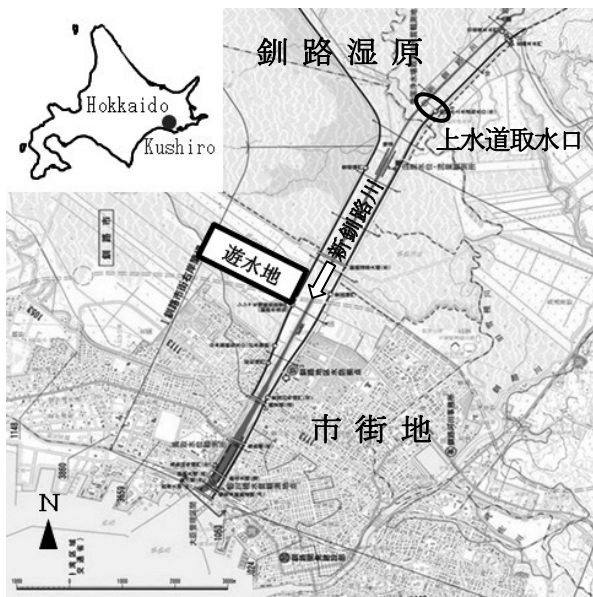


図-1 対象箇所図

上水道取水口に河川津波を遡上させないこと、河川津波の氾濫を抑制することを意図して釧路湿原下流部に遊水地を設けた減災対策を提案し、氾濫解析手法を用いて遊水地による河川津波への影響を検討した。

2. 研究手法

新釧路川流域を対象に、遊水地による大規模河川津波の影響を検討する手法として、既存の河川計算フリーソフトウェアイRIC2.0のNays2DFloodソルバー⁷⁾を用いて、平面2次元計算による検討を行った。

(1) 計算モデルの検証

検討手法の妥当性を確認するにあたり、河川域での津波遡上による流況変化を、2011年3月11日東北地方太平洋沖地震津波発生時の釧路港観測潮位を用いて再現計算を実施し、新釧路川鳥取水観測所における観測値と計算値を比較することにより、津波発生時の実現現象と計算結果の整合性を検証した。また、2012年6月に北海道より発表⁸⁾された、最大津波高さ10.8mでの再現計算を実施した。この結果を基に、津波浸水予想図⁸⁾との津波遡上範囲・浸水深を比較し、精度を検証することとした。

(2) 氾濫解析による遊水地の効果検証

河川を遡上する津波に対し、遊水地の効果を検証するにあたり、現況河道での計算と新釧路川の河口から約4.5km上流右岸側に、図-2に示す遊水地を想定した計算を実施した。計算条件として、氾濫解析範囲は新釧路川を中心に、横断方向は左右岸合わせて3.4km、縦断方向は海域1.5km、河川域9.1kmの計10.6km、計算格子については、縦断方向約40m、横断方向約20mとした。

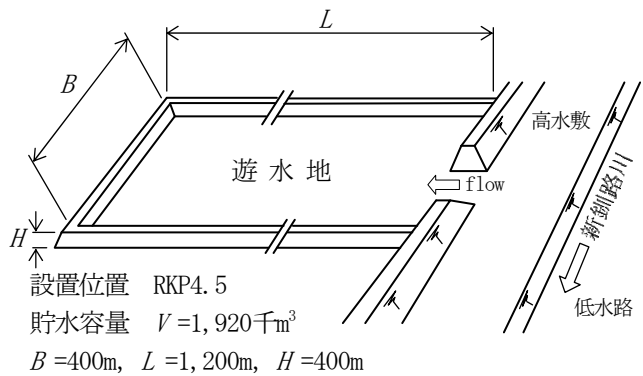


図-2 遊水地概要

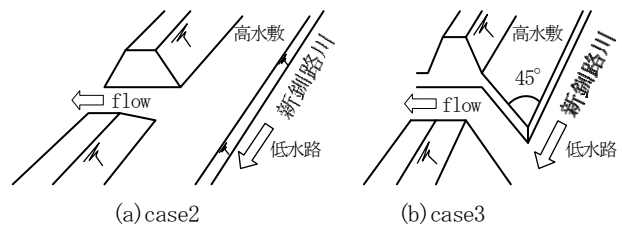


図-3 遊水地流入部形状

マンニングの粗度係数は、小谷ら⁹⁾による海域・河川域は $0.025\text{m}^{-1/3}\text{s}$ 、市街地を $0.06\text{m}^{-1/3}\text{s}$ 、湿原域については名久井ら¹⁰⁾の $0.0425\text{m}^{-1/3}\text{s}$ を与えた。

使用した地形データは、海域をJODC 500m DEM¹¹⁾、河川域のKP-0.2からKP9.0までは河川横断測量データ、市街地等は基盤地図情報 5m DEM¹²⁾、その他の箇所はSRTM 90m DEM¹³⁾を使用した。なお KP (キロポスト) とは、河口からの距離を表し、単位はkmである。

遊水地の効果を検証するため、case0, case1, case2, case3の4ケースの数値計算を実施した。case0は、現況河道の平常時の流況で津波無しとして、各ケースを評価するための基準とした。case1は、現況河道の平常時の流況で津波を発生させた。case0とcase1は、遊水地無しの条件である。case2は遊水地を設けた条件とし、遊水地の流入部は、図-3(a)に示す高水敷高とした。case3は遊水地を設けた条件とし、遊水地の流入部は、図-3(b)に示す低水路とした。case2とcase3では、遊水地の流入部の形状が異なり、遊水地への氾濫形態の変化を比較した。なお、case3の遊水地の流入部から低水路へと接続する水路は、河川の流下方向に対し約45度下流へ向いている。これらのケースは平常時の流況であるが、出水時の流況も合わせて計算した。想定した津波高については、2013年2月に北海道¹⁴⁾より発表された、海岸保全施設等の設計に用いる津波の水位 (L1) 3.4mとした。また、大規模津波として、この水位を上回る津波高5.4mでの検討についても実施した。これらのケースについて、河川流量は岩保木水位流量観測所の値を用いて、平常時の流量を2006年から2010年までの5ヶ年平均流量 $Q=46\text{m}^3/\text{s}$ 、出水時として2006年4月24日の流量 $Q=100\text{m}^3/\text{s}$ を用いて計算を実施し、流量の違いによる津波遡上時の影響を把握することとした。

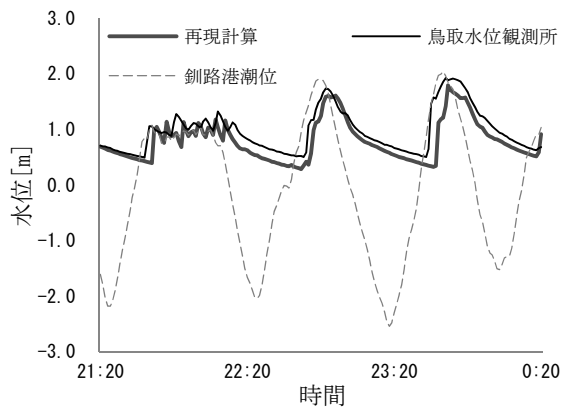
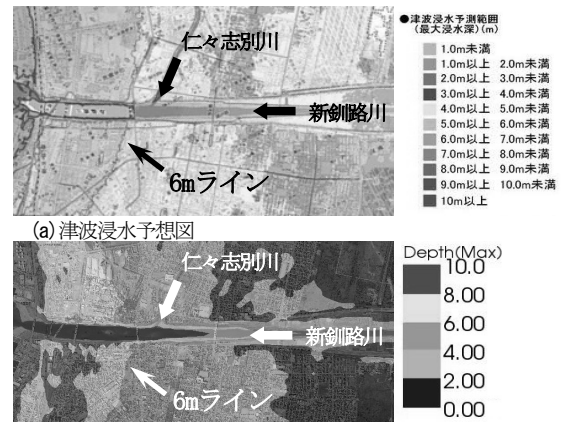


図-4 再現計算結果 (2011. 3. 11)



(a) 津波浸水予想図
(b) 再現計算結果
図-5 津波浸水予想図⁹⁾との比較 (津波高10. 8m)

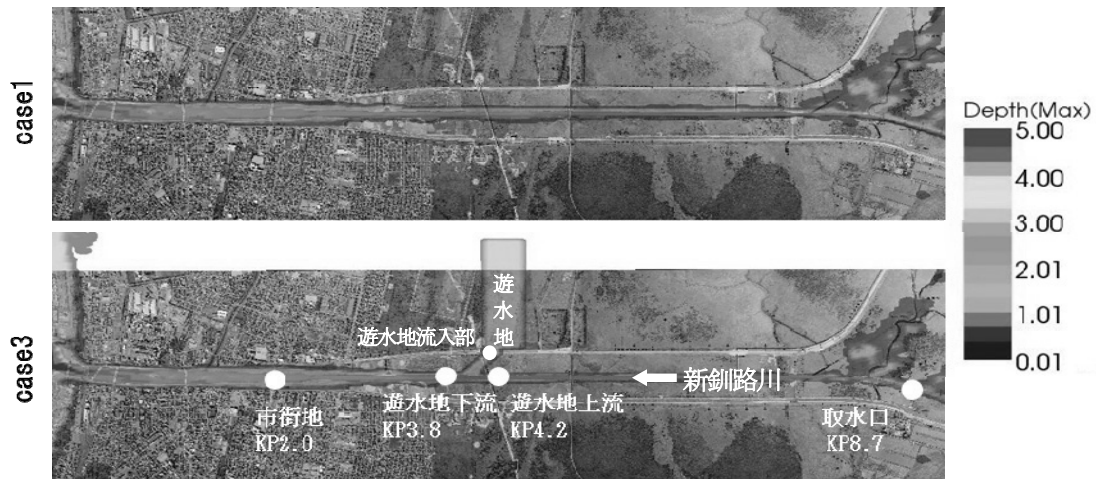


図-6 津波発生時の流況 (津波高3. 4m)

図-2へ示す想定した遊水地の諸元については、各ケースで同様とし流入部の水路幅 $b=40\text{m}$ 、遊水地は $B=400\text{m}$ 、 $L=1,200\text{m}$ 、 $H=4.0\text{m}$ 、勾配=LEVEL、貯水容量 $1,920\text{千}\text{m}^3$ とした。貯水容量の設定方法は、津波の1周期を60分とし、津波が上昇する期間を半周期の30分と仮定し、遊水地に新釧路川の計画高水流量¹⁵⁾ $1,200\text{m}^3/\text{s}$ を、津波が上昇する30分間に流入する量として設定した。また、津波の波形は次式により与えた。

$$h(t) = H \sin(2\pi / 3600 t) \quad (1)$$

但し、 h :波高[m]、 t :計算時間[sec]、 H :想定波高[m]である。

遊水地の想定位置については、市街地より上流部にあり現状では宅地等の土地利用がおこなわれていない、直轄河川防御対象氾濫区域に設置した。ここは釧路湿原域の下流部でもあり、土地の改変行為を最小限とすることで、環境面での影響にも配慮した。

3. 結果と考察

(1) 計算モデルの検証結果

計算モデルの検証について、東北地方太平洋沖地震津

波発生時の鳥取水位観測所での観測値と計算値を図-4に示す。最高水位の発生時期及び水位の変動量は同様の傾向を示している。なお、潮位及び河川流量については再現対象とした時間の前に、通常の河川状況の再現を目的として、一定値を与えた。また、最大津波高10. 8mでの津波浸水予想図⁹⁾と再現計算結果を図-5に示す。図-5の浸水深コンターでは、新釧路川と仁々志別川合流点下流となる浸水深6mラインは、ほぼ同様の範囲となっていることがわかる。全体の浸水範囲でも、計算結果と津波浸水予想図⁹⁾は同様の傾向を示す結果となった。

これらのことから、iRIC2. 0のNays2DFloodソルバー⁷⁾を使用した今回の計算モデルは、良好な妥当性を有していることが確認された。

(2) 現況河道での河川津波による影響

各ケースでの計算結果を図-6、図-7に示す。図-7のKP3. 8、KP4. 2、KP8. 7では、水位上昇期においてcase1に比べて遊水地が存在するcase3の水位が低減している。一方で、図-7のKP2. 0では、水位下降期においてcase1に比べてcase3の水位が低減している。なお、図-7のcase3の初期水位が他ケースより低い理由は、津波発生直前に河川水が一部遊水地水路へ流入したためである。

水位上昇期の遊水地の効果を見るために、地点毎に、

case1とcase3の最大水位の値からcase0の値を差引いた値(最大水位の上昇量)、この値においてcase1からcase3を差引いた値(水位差)、この水位差をcase1の最大水位の上昇量で除した値(低減率)を表-1に示す。

水位下降期の遊水地の効果をみるために、地点毎に、case1の水位とcase3の水位の差を求め、この差が最大になる時期のcase1とcase3の水位の値からcase0の値を差引いた値(水位差の最大値)、この値においてcase1からcase3を差引いた値(水位差)、この水位差をcase1の水位差の最大値で除した値(低減率)を表-2に示す。なお、case1, case3は平常時流量 $Q=46\text{m}^3/\text{s}$ の結果を示し、case1_f, case3_fは出水時流量 $Q=100\text{m}^3/\text{s}$ の結果を示している。

現況河道で津波を発生させたcase1では、河川津波による影響の水位上昇が上水道取水口(KP8.7)まで到達しており、表-1に示した津波高(L1)3.4m発生時には、2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の津波発生時と同様に、取水を停止⁴⁾する必要があることがわかった。

(3) 遊水地越流部の違いによる水位の比較

a) 津波高3.4mでの計算結果

case2の結果は、河川津波の影響は遊水地地点の高水敷上では水位上昇は確認されていない。その理由としては、遊水地付近の高水敷地盤高約3.2mに対し、図-7では遊水地下流地点の最高水位は約2.4mとなっており、越流部を高水敷に設けたcase2では、今回想定した津波高3.4mでの遊水地による河川津波への影響は現れない結果となり、図-7、表-1、表-2ではcase2の表示を省略している。case3では、図-6に示すように、河川遡上した津波の一部は遊水地へ流入することが確認された。

表-1に示す最高水位低減率では、各地点共に出水時は平常時よりも水位低減の差が大きい。この水位の変化を地点毎に見ると、取水口(KP8.7)での最大水位の低減は、表-1に示した平常時は85.7%となる0.12m、表-1に示した出水時は水位上昇のほぼ100%となる0.07mの水位低減が確認された。最大水位差の低減率でも表-2に示した平常時は65%となる0.13m、表-2に示した出水時は60%となる0.09mの水位低減となった。この地点では最大水位の低減が著しいため、津波の遡上形態にもよるが、取水の停止⁴⁾を回避できる可能性が示唆された。表-1、表-2を見ると、遊水地上流(KP4.2)並びに遊水地下流(KP3.8)でも同様の傾向を示しており、遊水地による水位の低減効果が発現されていると考えられた。これについては、既往の水理実験⁶⁾においても、遊水地上流で、津波遡上時の最高水位に低減が確認されており、今回の計算でも同様の効果が現れ、矢野ら⁶⁾の知見を裏付ける結果となった。

一方、市街地(KP2.0)では表-1に示す最大水位の低減効果は平常時・出水時共に、その効果は僅かである。しかし、最大水位差の発生時には、表-2に示した平常時は200%となる0.40m、表-2に示した出水時は181.8%となる

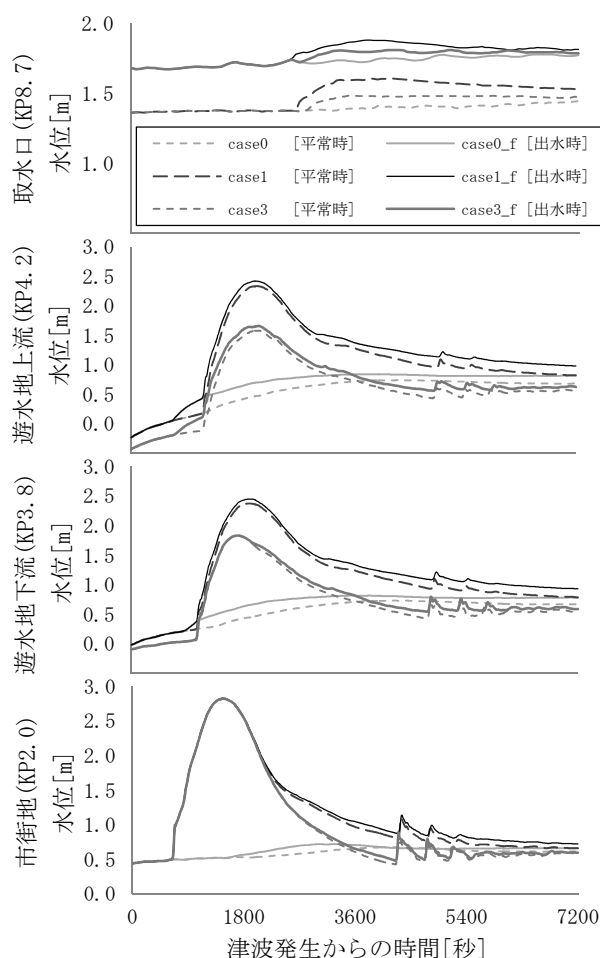


図-7 河川津波発生時の地点別水位変化(津波高3.4m)

表-1 最大水位の上昇量と遊水地による低減率(津波高3.4m)

平常時				
地点名	case1(m)	case3(m)	水位差(m)	低減率(%)
取水口	0.14	0.02	0.12	85.7%
遊水地上流	1.59	0.84	0.75	47.2%
遊水地下流	1.64	1.10	0.54	32.9%
市街地	2.15	2.15	0.00	0.0%
出水時				
地点名	case1_f(m)	case3_f(m)	水位差(m)	低減率(%)
取水口	0.07	0.00	0.07	100.0%
遊水地上流	1.58	0.82	0.76	48.1%
遊水地下流	1.63	1.01	0.62	38.0%
市街地	2.11	2.11	0.00	0.0%

表-2 水位差の最大値と遊水地による低減率(津波高3.4m)

平常時				
地点名	case1(m)	case3(m)	水位差(m)	低減率(%)
取水口	0.20	0.07	0.13	65.0%
遊水地上流	1.87	1.11	0.76	40.6%
遊水地下流	1.87	1.42	0.45	24.1%
市街地	0.20	-0.20	0.40	200.0%
出水時				
地点名	case1_f(m)	case3_f(m)	水位差(m)	低減率(%)
取水口	0.15	0.06	0.09	60.0%
遊水地上流	1.73	0.95	0.78	45.1%
遊水地下流	1.75	1.01	0.74	42.3%
市街地	0.22	-0.18	0.40	181.8%

0.4mの水位軽減が確認され、case0の水位を下回っていた。

b) 津波高5.4mでの計算結果

津波高3.4mでの結果を踏まえ、さらに大規模津波発生時の影響を評価するため、津波高5.4mでの検討を実施した結果を図-8に示す。表-3、表-4に示したものは、前項の表-1、表-2の内容を津波高5.4mでの値として、内容にcase2を加えている。case2の結果は、遊水地上流での効果が確認されている。しかし、その差は僅であるため、図-8ではcase2の表示は省略している。

表-3に示した最大水位低減率では、津波高3.4mと同様に各地点で、出水時は平常時よりも水位低減の差が大きい。水位の変化を地点毎に見ると、取水口(KP8.7)での最大水位の低減は、表-3に示した平常時は53.8%となる0.28m、表-3に示した出水時は61%となる0.25mの水位低減が確認された。最大水位差の低減率でも表-4に示した平常時は50%となる0.29m、表-4に示した出水時は62.5%となる0.30mの水位低減となった。表-3、表-4を見ると、遊水地上流(KP4.2)並びに遊水地下流(KP3.8)でも、水位低下の傾向を示している。前項の結果と比較すると、低減割合はやや下がっているが、遊水地による水位の低減効果は発現されていると考えられた。最大水位差発生時の水位差では、平常時・出水時共に、遊水地上流(KP4.2)並びに遊水地下流(KP3.8)の低減割合が大きい。これは、波高が上昇することにより増加した流量が遊水地により貯水されているものと推測された。

今回想定した2ケースの津波高では、平常時・出水時共に、発現された効果に差はあるものの、遊水地による水位低減効果は同様に確認することができた。河川を遡上する津波の形態による違いも考えられるが、河川上流の遊水地での水位低減効果により河川堤防越流の抑制に繋がること示唆された。津波の発生時には海岸部付近から河川上流部へ避難途中の住民が、上流部で河川堤防から越流した津波と挟み撃ちとなる被害の減災対策に繋がる可能性が示された。

(4) 遊水地による貯水効果の検証

津波高5.4m、case3_fでの遊水地の流入状況を図-9に示す。凡例は水位を表し、単位はmとしている。また、遊水地上流地点と遊水地流入部の水位変化を図-10に示す。

図-10を見ると、津波発生後に最大水位が発生したのは、遊水地上流地点(case3_f)は約1,920秒後、遊水地流入部は約4,980秒後となった。しかし、この段階では遊水地内の貯水容量は増加傾向にあり、図-9の右図に示す最大貯水容量発生は約8,860秒後、この時の貯水容量は、総貯水容量1,920千 m^3 に対し60%となる約1,150千 m^3 となり、図-10に示した最大水位発生時期との間には時差が生じていた。これは河川を遡上した津波による最大水位の発生後も、遊水地による貯水効果は継続し、その効果が河川水位の減水期まで発現されたものと考えられた。

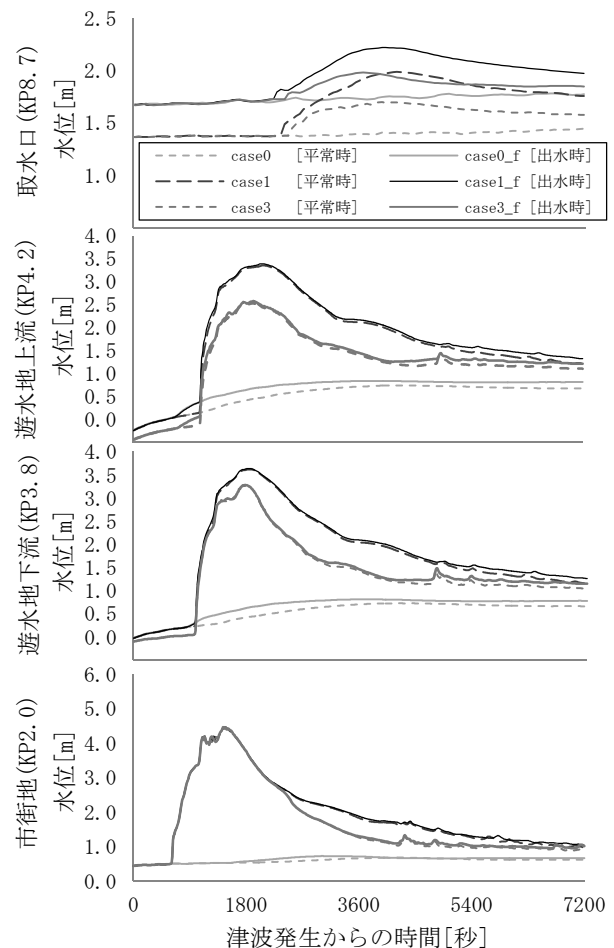


図-8 河川津波発生時の地点別水位変化(津波高5.4m)

表-3 最大水位の上昇量と遊水地による低減率(津波高5.4m)

平常時					
地点名	case1(m)	case2(m)	case3(m)	水位差(m)	低減率(%)
取水口	0.52	0.52	0.24	0.28	53.8%
遊水地上流	2.61	2.60	1.80	0.81	31.0%
遊水地下流	2.90	2.90	2.55	0.35	12.1%
市街地	3.76	3.76	3.76	0.00	0.0%
出水時					
地点名	case1_f(m)	case2_f(m)	case3_f(m)	水位差(m)	低減率(%)
取水口	0.41	0.41	0.16	0.25	61.0%
遊水地上流	2.55	2.54	1.74	0.81	31.8%
遊水地下流	2.83	2.83	2.47	0.36	12.7%
市街地	3.74	3.74	3.73	0.01	0.3%

表-4 水位差の最大値と遊水地による低減率(津波高5.4m)

平常時					
地点名	case1(m)	case2(m)	case3(m)	水位差(m)	低減率(%)
取水口	0.58	0.58	0.29	0.29	50.0%
遊水地上流	2.25	2.24	1.25	1.00	44.4%
遊水地下流	2.73	2.72	1.88	0.85	31.1%
市街地	0.99	0.98	0.37	0.62	62.6%
出水時					
地点名	case1_f(m)	case2_f(m)	case3_f(m)	水位差(m)	低減率(%)
取水口	0.48	0.48	0.18	0.30	62.5%
遊水地上流	2.67	2.66	1.85	0.82	30.7%
遊水地下流	2.87	2.87	2.27	0.60	20.9%
市街地	1.01	1.01	0.44	0.57	56.4%

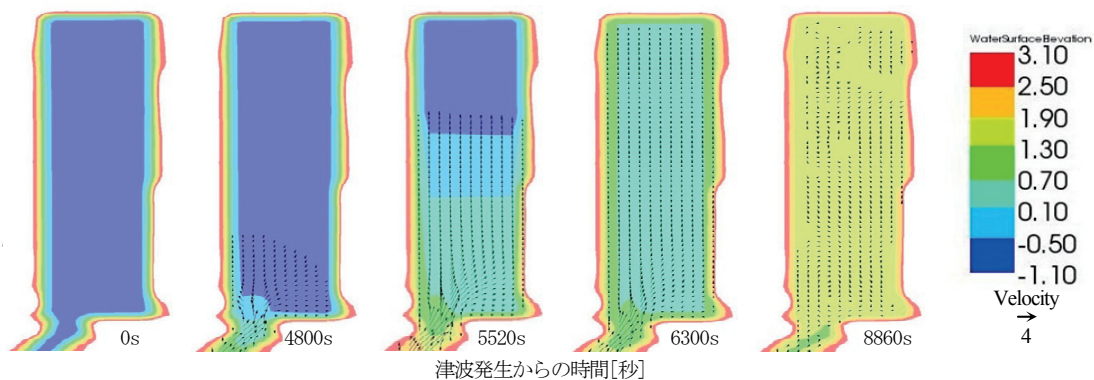


図-9 津波発生時の遊水地への流入状況（津波高5.4m）

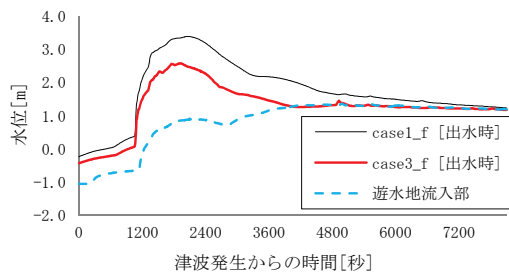


図-10 遊水地への流入状況

4. まとめと今後の課題

新釧路川を対象に遊水地を設けた減災対策を検討した結果、以下の知見を得ることができた。

流入部を低水路とした場合、取水口地点、遊水地上流並びに遊水地下流地点で最高水位の低減効果が確認され、特に津波高3.4mでは取水口地点の低減が著しく、津波の遡上形態にもよるが、取水の停止⁴⁾を回避できる可能性が示唆された。市街地地点では、最大水位発生後の水位低減が早まる結果となり、河川域での氾濫が抑制され河川堤防越流の被害軽減に繋がることが示唆された。津波遡上のような急激な水位上昇の場合、遊水地への流入部を低水路河道と接続し、津波の遡上初期から貯留することで、水位の低減効果がより発現されることがわかった。これらにより、現地の地形条件を活用した遊水地による減災手法の可能性を示すことができた。

なお、取水停止の回避には、水位上昇の他に塩水遡上の影響も考えられるので、鉛直2次元での数値計算を実施する必要がある。遊水地の容量や流入位置により発現する効果が異なること、遊水地の貯水効果を十分に発現させるには、平常時は河川水の流入を防ぎ空容量を確保するため、ゲート等付属施設の必要性が予想される。実施にあたっては詳細な検討が必要であり、今後進めていく予定である。

謝辞：本研究の実施にあたっては、国土交通省北海道開発局釧路開発建設部治水課には貴重な資料を提供して頂いた。ここに記して謝意を表する。

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) 国土交通省北海道開発局：平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震に関する災害情報(第10報)について，報道発表資料，p.1，2011年3月。
- 3) 国土交通省北海道開発局：平成23年東北地方太平洋沖地震により、津波が河川を遡上した痕跡について，報道発表資料，p.2，2011年3月。
- 4) 吉川泰弘，阿部孝章，中津川誠，渡邊康玄：河川津波による塩水遡上現象に関する一考察，土木学会北海道支部論文報告集，第69号，B-59，2012。
- 5) 桐博英，丹治肇，中矢哲朗：後背農地を活用したレベル2津波の浸水抑制効果の水理模型実験，土木学会論文集B2(海岸工学)，vol.68, No.2，pp.1311-1315，2012。
- 6) 矢野雅昭，吉川泰弘，平井康幸，田中茂信：遊水地による津波の河川遡上低減効果に関する水理実験，河川技術論文集，第17巻，pp.371-376，2011。
- 7) iRIC project：http://i-ric.org/ja/
- 8) 北海道防災会議地震火山対策部会地震専門委員会：北海道太平洋沿岸に係る津波浸水予測図，2012年6月。
- 9) 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推定法，海岸工学論文集，第45巻，pp.356-360，1998。
- 10) 名久井孝史，清水康行，SanitWongsa，岩井聖：2次元数値解析を用いた釧路湿原における土砂堆積と乾燥化現象の関連性に関する研究，河川技術論文集，第8巻，pp.395-400，2002。
- 11) 日本海洋データセンターHP：J-DOSS，
http://www.jodc.go.jp/service_j.htm
- 12) 国土地理院HP：基盤地図情報サイト，
http://www.gsi.go.jp/kiban/
- 13) SRTM：Data Search，
http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp
- 14) 北海道沿岸の設計津波水位検討委員会：太平洋沿岸における海岸保全施設等の設計に用いる津波の水位について，p.9，2013年2月。
- 15) 国土交通省：釧路川水系河川整備基本方針。

(2013.4.4 受付)