

寒冷地河川域の津波痕跡調査マニュアル(案)

平成25年3月

(独)土木研究所 寒地土木研究所

寒地水圏研究グループ 寒地河川チーム

寒地技術推進室 道東支所

はじめに

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震津波は北海道にも到達し、特に北海道太平洋岸において様々な現象を引き起こした。例えば河道内における氷板の散乱、樋門吐口における氷板の集積、樋門ゲートの氷による閉塞、低水路におけるアイスジャムの発生などである。このような積雪寒冷地の河川域における津波遡上の痕跡調査事例は非常に少なく、報告された例もほとんどない。これは、これまで津波遡上痕跡調査は海岸線沿いに実施すれば充分という認識があったことや、河川域における河川津波調査手法が確立されていなかったことが原因と考えられる。しかし、東北地方太平洋沖地震津波で顕在化した様々な結氷時の河川津波遡上の現象は河川管理上重要なものが多く、今後の地震津波発生時も同様の現象が発生する可能性がある。

本マニュアルは、現在までに得られている結氷時の河川津波遡上の知見・データを元にして、その調査を実施するにあたっての留意点を詳細に述べた。本現象については未解明な点も多く、完全に対応することが可能となるものではないが、実際に行った調査時の経験を踏まえ、調査時に発生しえる曖昧な点を可能な限り減らすために、寒地土木研究所が現段階の案を示すものである。

今後、本マニュアル(案)に基づく調査事例が増加し、更に基礎データや結氷時の河川津波遡上に関する知見が積み重ねられ、防災・減災対策の立案に資することを切望する。

目次

1. 全般的な注意事項.....	5
2. 安全管理責任者の行動	6
3. 調査範囲の設定	7
4. 津波痕跡の判定方法	8
5. 調査項目	9
6. 河川津波に遭遇した場合	11
7. 携行品	12
8. その他の留意事項	13
参考文献	14
巻末資料	15
資料-1 北海道太平洋岸地域における河川津波の痕跡調査	16
資料-2 北海道東部太平洋沿岸における津波痕跡の調査	24
資料-3 北海道太平洋岸地域の河川結氷状況調査 ～2011年3月及び2012年3月の比較を通じた検討～	32

1. 全般的な注意事項

本マニュアルは、調査者が安全に調査を実施することを第一目的として構成されている。これを達成するため、基本的な調査実施体制の考え方を下記に示している。

【解説】

安全第一が最優先であり、大津波警報及び津波警報発令中は河川に近づかない。調査の実施については河川管理者の指示に従うこと。

津波注意報解除後、安全を確認してから河岸付近まで調査をおこなう。また大地震発生後、調査時に余震が多い場合は、運転手を1名車内に残し、ラジオ等で最新の情報を得ておく。現地調査担当者と防災携帯等で常に連絡を取れるようにしておき、車からあまり離れないようにする。

車両が進入不可能な箇所、やむを得ず車から離れる場合は、調査担当者も携帯ラジオ等により情報を把握すること。また安全を優先し、その時間は必要最小限とする。運転手は直ちに河川領域から離れられるよう事前に避難経路を把握しておく。特に降雪・積雪時は十分な時間的余裕を確保できるよう配慮すること。

事前に通行止めや通行規制区間等の道路状況を把握し、調査経路の確認をおこなうこと。調査の安全面から車両はRV(4WD)車で班体制は運転手1名、現地調査2名の1班3名以上が望ましい。

安全のため、夜間については調査をおこなわないこととする。

2. 安全管理責任者の行動

調査の安全性をより確固たるものとするため、調査時には調査者と安全管理責任者とで分かれて各々行動することとする。

【解説】

安全管理者は安全な場所で待機する。災害発生時には行政等の依頼元に対策本部が設置されることが想定される。そのため、安全管理責任者は依頼元等からの情報を逐次調査者に伝達することとする。調査者は、ある河川の調査が終了した場合等、適時安全管理責任者に報告を行う。非常時にも対応できるように、安全管理責任者は現地調査班と常に連絡を取れるようにしておく。

連絡方法は事前に決定し周知すること。例：連絡方法は携帯電話とするが、防災携帯以外では不通の場合も想定される。その際には、災害伝言ダイヤルを活用し、1時間毎に伝言をチェックする。

3. 調査範囲の設定

調査範囲の設定にあたっては、各機関との連絡調整が必要となる。また、地震直後先行的に行われた調査結果を踏まえて、最も合理的な調査範囲を設定するものとする。

【解説】

津波の痕跡は時間の経過と共に不明瞭となる。特に降雨や降雪時には迅速な対応が必要となり、短期間で効率的な調査を実施するには、他機関との調査の重複を避け事前に調査範囲を明確にする必要がある。特に国が管理する河川では津波痕跡調査が予想されるため、調査前に連絡調整をおこなうこととする。また、必要に応じて自治体との連絡調整もおこなうこと。

津波襲来時の航空写真及び防災ヘリによる画像が入手可能な場合は、平常時の写真等と比較し調査範囲決定時の参考とすることが有効である。

これらの情報を加味した上で、調査範囲の設定を行うこととする。

4. 津波痕跡の判定方法

津波痕跡の判定にあたっては、洪水痕跡調査と共通する部分がある。積雪寒冷地においては、雪や氷が痕跡となることが多く、この点に留意する必要がある。

【解説】

痕跡の判定はなるべく泥の付着によるものとする。

ゴミで判断する場合、測定点周辺の付着状況を予め観測し、他の場所に比べて低いところに付着した場所は測定対象からはずす(他の点と比べ低いところにゴミが付着している場所はゴミがずり落ちている可能性が高いと推測されるので、この点を測定対象から除く。残った点を包絡する線を想定し、その高さを測定する)。

※以上、河川砂防基準(案)同解説(調査編)P.147[参考 6.31]痕跡水位の測定法より抜粋

積雪寒冷地域においては積雪の浸水痕跡や泥の付着痕跡が顕著となる場合があり、これらを痕跡と判定するのが有効である。しかし、積雪や氷は時間の経過と共に降雪のため不明瞭となったり融解を起こしたりすることが考えられるため、護岸やピアなど、位置関係の変化しない構造物との相対関係を写真等により記録することとする(阿部ら, 2012a; 鈴木ら, 2011)。

5. 調査項目

調査項目は大きく分けて浸水範囲等の平面的な情報、痕跡標高等の高さに関する情報、ガレキ・氷板漂流物等津波に輸送された物体に関する情報などがある。調査時はこれらをそれぞれ評価・計測する必要がある。

【解説】

河川津波による浸水範囲等の平面的な情報、水位変動量・痕跡標高等の高さに関する情報、ガレキ・氷板漂流物等津波に輸送された物体に関する情報などは未解明な点が多く、これらの調査資料は研究の推進に必要不可欠なものである。調査時の評価・計測方法について以下に述べる。

調査経路は、GPSを班別に所持し計測を行うこと。各河川の遡上上限や特徴的な現象が確認された場所について記録を行うこと。リアルタイムの調査情報は、調査後のデータ解析時に補正を行うこと。

河川施設・構造物の破損・被災状況を写真撮影すること。写真は施設の全景と破損した箇所拡大写真を撮影し、施設名を控えること。写真整理時や資料としての使用も考慮して、黒板有り・無しの場合をそれぞれ撮影することが望ましい。

痕跡標高を直ちに計測するため、樋門・水位計等の量水標に付着した痕跡(泥等)から痕跡標高を読み取ること。量水標を直接読み取る事ができない時には、後日、標高を確認することが可能となる様に、対象物と周囲の高さがわかる箇所等を比較できるように写真撮影すること。

河川結氷時は、積雪への浸水状況、氷板痕跡の散乱状況を写真撮影・把握しておくこと。氷板漂流物により構造物の破損を起こしている可能性があるため、その状況が確認できれば地点を記録すること。また、東北地方太平洋沖地震津波の際には河道内樹木の幹に氷板漂流物によるキズが付いていたことが確認されたため、この点も留意しつつ調査を実施すること。

氷板のサイズを計測すること。1 調査地点につき、目安として 10 枚の氷板を無作為に抽出する。それぞれの氷板について、長辺・短辺・厚さを計測する(迅速な調査実施のため、メジャーやピンポール等をあてて写真撮影を行うなど工夫すること)。

遡上上限付近では低水路にしか痕跡が確認されない可能性がある。砂州や(結氷期の場合は)積雪への浸水痕跡を特に入念に確認すること。GPS及び図面等で地点を記録。これらの情報は

後で河口からの距離を算出することに使用する。

降雨など天候が左右されない箇所(橋桁の下など)で堆積土砂を採取し、塩分濃度を測定すること。

沼(海跡湖)については、沼への津波浸入を確認するため沼と海との間の状況を目視観察し、痕跡や漂流物を確認すること(必要に応じて水の塩分濃度測定を実施すること)。結氷への亀裂が生じていないか、また亀裂は地震によるものか(周囲に浸水痕跡がある場合では)津波遡上によるものかなどを確認すること。特に沼が砂州で海と隔たれている箇所は、沼上の痕跡が発見困難なため、注意が必要である(宮本ら, 2012b)。

収集したデータの確認のため、データ津波痕跡調査後、観測所水位と痕跡水位を比較し大きな違いがないか確認すること。

6. 河川津波に遭遇した場合

調査中に近海で地震が発生した場合は、河川津波に遭遇する危険性がある。こうした場合の対処法について述べる。

【解説】

安全のため避難を最優先とする。十分な安全が確保できた場合に限り、以下の観察を行う。

水位上昇の様子、結氷期は漂流する氷板・氷塊等を、開水時は漂流する流木やガレキ等をビデオカメラで撮影する。

津波フロントの形態を観察し、可能であればビデオカメラで撮影を行う。河川のような水深の浅い領域を遡上する津波フロントは砕波段波状、波状段波状等になることが考えられる(安田ら, 2004)。

7. 携行品

携行品は基本的に出水調査時と同様であるが、冬期間調査の場合ないし津波痕跡特有の海岸土砂採取等を実施する場合には、追加で必要となる携行品があることに留意すること。

【携行品リスト】

- ・GPS
- ・河川の地図・図面
- ・デジカメ、ビデオカメラ(生活防水程度の防水機能を有するものが望ましい)
- ・メジャー、(コンベックス、ピンポール、エスロンテープ、スタッフ、リボンロッド)
- ・スプレー(赤、白)
- ・黒板・チョーク(または A3 バインダー・紙・マジック)
- ・レーザーロケータ
- ・携帯無線(トランシーバー)・携帯ラジオ これは非常時や場所によっては携帯電話の通話規制や使用不可の場合を想定したものである。
- ・ロープ
- ・スノーシュー(かんじき)
- ・インターネットが可能なパソコン
- ・堆積土砂採取・採水容器(スコップ、ビニール袋、採水容器等)
- ・リュック等の入れ物(携帯品を持ち運ぶため)

8. その他の留意事項

以上に述べられていない事項で、調査前に調査者が認識しておくべき事項について述べることとする。

【解説】

東北地方太平洋沖地震津波発生時は、結氷期における痕跡調査であり前例が非常に少なかったため、調査者によって調査の観点が異なるといった事態が発生した。また、特に結氷の破壊について、1級河川と2級河川では異なる形態が確認されたため、今後結氷期に津波遡上が発生した場合にはこの点に特に留意する必要がある。

【留意事項】

- ・右岸、左岸別で2班体制以上にすると迅速に調査を実施することが可能である。
- ・樋門・樋管、水門では津波の堤内側への浸入状況や氷等漂流物によるゲートの閉塞状況の有無を調査する(宮本ら, 2012a: 矢野ら, 2011)。
- ・1級河川では、1地点 20～30 分で調査を行うことが望ましい。複数の重要調査箇所を迅速に調査する必要が想定されるためである。
- ・2級河川は遡上上限を把握(GPS により地点を記録する)。2級河川は1級河川より河床勾配が大きい場合が多く、遡上距離が短くなるが多いためである(例えば、鈴木ら, 2011)。
- ・2級河川は、1級河川とは異なる氷板破壊及び漂流が発生することが考えられる。結氷期には氷板破壊形態に特に着目することとする(宮本ら, 2012b)。氷板の諸元は漂流物としての実態把握、引いては河川構造物への外力評価に直結するためである。
- ・厚い結氷に覆われ、かつ河積の小さい中小河川では、氷の下を圧力のみが伝わる現象も考えられることから(渡邊ら, 2011)、下からの圧力によって氷が破壊された箇所の存在を確認する。これは亀裂の入った盛り上がり、結氷の一部に穴が開いている様子などから判断することが可能である。このように氷の上から判断しただけでは分からない遡上が発生する可能性がある。そのような箇所を発見した時には、発生位置(GPS、河川横断面)氷の形状と氷板厚を測定する。

参考文献

- 阿部孝章, 吉川泰弘, 矢野雅昭, 永多朋紀, 稲垣達弘, 桃枝英幸, 村上泰啓, 平井康幸: 2011年東北地方太平洋沖地震により発生した津波の結氷河川における遡上状況及び氷板痕跡調査, 寒地土木研究所月報, 第705号, pp. 20-30, 2012a.
- 阿部孝章, 吉川泰弘, 安田浩保, 平井康幸, 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, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.68(4), pp.L1525-L1530, 土木学会, 2012b.
- 鈴木英一, 木村一郎, 田中岳, 阿部孝章, 丸山政浩, 畠昌樹: 土木学会調査団報告, 日高方面, URL: <http://rde.nhdr.niigata-u.ac.jp/jsce/>, 2011.
- 宮本修司, 角張章, 平吉昭: 浜中町(霧多布地区)における津波対策施設の効果, 寒地土木研究所月報, 東北地方太平洋沖地震被害調査報告特集号, pp. 23-28, 2012a.
- 宮本修司, 阿部孝章, 佐藤博知, 角張章, 佐藤好茂, 北海道東部太平洋沿岸の氷結河川における津波の痕跡調査, 北海道の雪氷, No.31, pp.167-170, 日本雪氷学会北海道支部, 2012b.
- 安田浩保, 渡辺康玄, 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, pp. 209-218, 2004.
- 矢野雅昭, 吉川泰弘, 石谷隆始, 高橋一浩: 2010年2月28日に発生したチリ沖地震津波の結氷河川における河川遡上に関する現地観測, 寒地土木研究所月報第693号, pp. 14-26, 2011.
- 渡邊康玄, 西田正実, 木村祐輔, 小松佑輔: 土木学会調査団報告、釧路管内2級河川津波遡上調査, URL: <http://rde.nhdr.niigata-u.ac.jp/jsce/>, 2011.

卷末資料

北海道太平洋岸地域における河川津波の痕跡調査

阿部孝章* 吉川泰弘** 平井康幸***

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沿岸域・河川域に押し寄せ、未曾有の大災害をもたらした。一方、この地震による津波が到達したのは北海道も例外ではない。著者ら¹⁾の実施した水位記録分析により、北海道の1級河川では、津波侵入は計9河川において確認された。しかし、現状では、実現象に基づいた今回の河川津波の考察は充分になされてはいない。

現地における津波痕跡調査は通常、海岸線に沿って行われるが、積雪や河川結氷などの寒冷地特性を踏まえた河川津波の調査報告は、矢野ら²⁾のものがあるものの、現象を解明し得るだけの十分な観測資料は残っていない。そこで本稿では、東北地方太平洋沖地震津波が河川結氷期に発生したことに着目し、河道内の現地調査結果に基づき、河道内を伝播した津波の規模と、津波と河川結氷との相互作用を明らかにすることを目的とした。

本稿では、太平洋岸に河口を持つ5河川を対象に、氷板痕跡に着眼点を置いた痕跡調査結果を示し、寒冷地特有の現象とも言える、結氷時河川津波による氷板輸送形態に関する考察について取りまとめた。

2. 現地調査及び分析手法

著者らは、津波注意報が解除された後、3月13日～14日にかけて、**図-1**に示した十勝川(河口からKP.5.60付近まで)、浦幌十勝川(河口からKP.4.20付近まで)、新釧路川(河口からKP.5.20付近まで)、鶴川(河口からKP.3.00付近まで)、沙流川(河口からKP.4.00付近まで)において現地痕跡調査を実施した(但し、KP.に続く数値は河口からの距離[km]を表す)。この調査時、余震が頻発する中で避難経路を確保しつつ、迅速かつ安全に調査を行うため、痕跡写真の撮影のみ実施した。更に、津波痕跡の標高を測量することを目的に、7



図-1 本研究で検討対象とした5河川の位置と、北海道開発局調査³⁾により確認された遡上距離

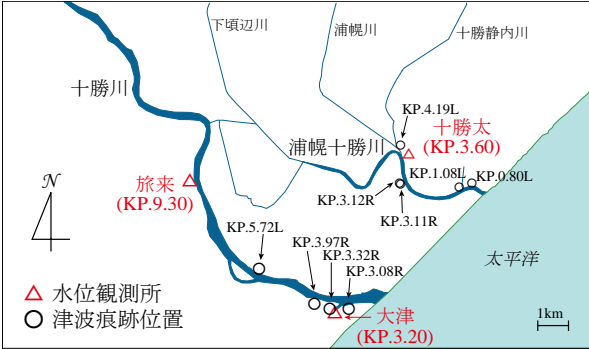


図-2 十勝川下流域とその支川の概況、水位観測所の位置

月19日～21日の日程で追加調査を行った。痕跡標高には、3月調査時と7月調査時との比較を基に、信頼度の高い順にA, B, Cを付した。その基準については土木学会⁴⁾になっており、別報⁵⁾で詳しく述べているのでここでは省略する。

3. 結果

3.1 十勝川とその支川

図-2に、十勝川及び支川浦幌十勝川下流域の概況を示した。赤の△で水位観測所の位置、黒の○で発見された津波痕跡の位置を示した。また、本稿で KP.の



写真-1 大津水位観測所付近における津波痕跡 (KP.3.20 R)



写真-2 十勝川 T₁ 樋門における氷板痕跡 (KP. 3. 30 R)

数値に続く L,R は左岸、右岸をそれぞれ表す (水位観測点など、左右岸の区別の無いものには付していない)。

3. 1. 1 十勝川の現地調査結果

写真-1 に示したのは、KP.3.20 大津水位観測所付近の旧川跡 (本川右岸側) における津波痕跡である。なお、本稿の写真中で白または黒の矢印は河川の流下方向を表す。河川津波はこれらの矢印と逆向きに遡上したものと推定することができる。現地では河川津波により漂流物化したと考えられる、5 m を超える大きさのボートや氷板が打ち上げられているのが確認できた。また、水面近傍の結氷の断面は新しく、津波侵入に伴い水位が上昇して結氷が破壊され、この地点から漂流氷板が発生したと推察された。



写真-3 十勝川 T₂ 橋梁より撮影した高水敷の冠水状況 (KP. 5. 72L)

写真-2 (1) は、KP.3.30 R 地点 T₁ 樋門で樋門から吐き口方向を撮影したもの、写真-2 (2) はゲート近傍の様子である。なお、本稿の写真中で黄色の破線は、現地で確認された浸水痕跡を示す。写真-2 (1) では、人の大きさに近い氷板が袖壁の入り口に閉塞して残っている。また、それより小さい氷板が樋門ゲート直下部にまで侵入し、樋門動作に影響を与えかねない状態で、重なるように堆積していた。ゲート部直下まで氷板が侵入していたことから、河川津波の侵入時、ゲート内で吐き口から堤内方向へ流速が発生しており、流水により輸送された氷板がこの地点で捕捉された可能性が大きい。

なお、このゲートの横幅は氷板堆積部で約 2 m、最上段の氷板の厚さは厚いところで約 80 cm、薄いところで 40 cm であった。3 月調査時の吐き口水路の水深は深いところでも 20 cm 前後と小さく (写真-2 (1))、厚さ 80 cm の結氷が生じていたとは考えがたい。そのためこれらの巨大氷板は、本川から侵入してきたと推定できる。

写真-3 は十勝川 T₂ 橋梁より上流側を撮影したものである。但し、本稿で写真内に示した色付きの破線は津波による痕跡線を示している。高水敷上の植生部分で標高が低くなっており、そこで広範囲に冠水した形跡が認められた。また写真右奥にも高水敷上に冠水部分が見られ、少なくとも KP.6.00 付近までは高水敷の冠水が調査写真より確認された。

表-1 に河川縦断的に測量した痕跡標高と痕跡物証を示した。図-3 には、水位観測所での初期水位と最大水位 (△で表示) 及び表-1 の津波痕跡の標高 (○で表示) を比較したものを示した。なお、最深河床高及び、不等流計算により求めた初期水面形状も参考値として表示している。また図の上部に水位観測所名とその位置を赤色の点で示した。

表-1 十勝川で確認された津波痕跡の標高及び痕跡物証

地点	痕跡標高 [m]	痕跡物証(信頼度)
KP.3.08 R	1.80	積雪の浸水・泥(A)
KP.3.32 R	1.68	ゲート部で集積した氷板(A)
KP.3.32* R	1.08	呑み口水路の変色(B)
KP.3.97 R	0.80	樋門ゲートの浸水(A)
KP.3.97 R	0.81	樋門ゲートの浸水(A)
KP.5.72 L	0.88	積雪の浸水(A)

KP.に*を付した地点は堤内側の痕跡を示す(以下同様)。

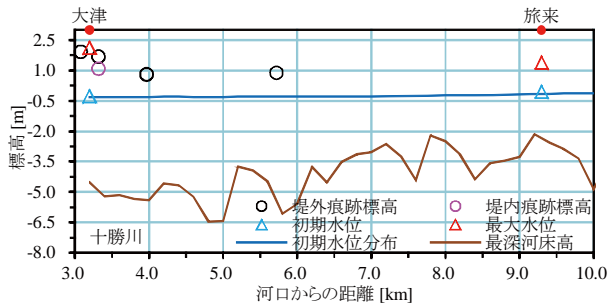


図-3 十勝川における堤外・堤内痕跡標高
水位観測所における初期水位と津波による最大水位、
初期水面形状と最深河床高の関係



写真-4 浦幌十勝川 U₁ 水門における津波痕跡 (KP. 1. 10 L)

KP.3.20 大津水位観測所付近では、痕跡水位と水位計の水位は概ね同水準である。KP.3.97 より上流の2箇所では痕跡標高が0.8 m~0.9 m前後であるが、KP.9.30の旅来水位観測所では1.38 mを記録している。これらの地点は本川右岸側の旧川沿いに位置しているため、本川河道で生じていた水位変動より減衰していたものと考えられる。

3. 1. 2 浦幌十勝川の現地調査結果

写真-4に、浦幌十勝川 KP. 1. 10 L 付近 U₁ 水門近傍の津波痕跡の様子を示した。水門出口の水路沿いのフェンスが折れ曲がり、また何らかの衝撃で破壊された安全柵の部品が漂流氷板とともに散乱していることが確認された。また、この近傍で一部に護岸の破損も見られた。この付近の積雪に付着した泥から、図中黄波線の部分まで水位が上昇したと推定され、漂流物の衝突により、これらの破損が生じたと推定された。

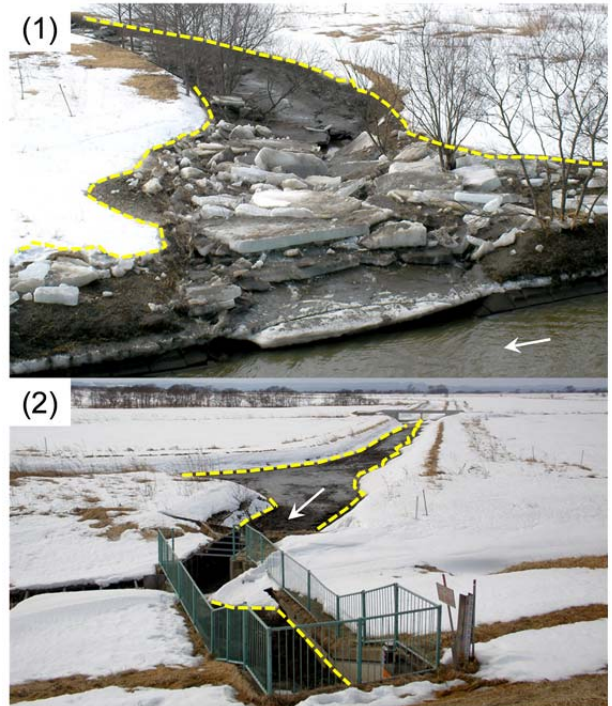


写真-5 浦幌十勝川 U₂ 樋門における津波痕跡 (KP.3.11 R)



写真-6 浦幌十勝川 U₃ 樋門における氷板痕跡 (KP.4.20 L)

写真-5 (1)に、浦幌十勝川 U₂ 樋門 (KP. 3. 10 R 地点) 吐き口水路の様子を示した。水路内に氷板が散乱し、本川との合流部で多量の氷板が折り重なるように堆積している。また、河岸沿いに結氷が折られた跡が見られ、津波侵入前はこの付近で河岸に結氷が付着していた可能性が高い。写真-5 (2)に示した呑み口水路・堤内水路においても、積雪に泥が付着し明瞭な痕跡となっていた(黄色の破線部)。従ってこの地点では、河川津波の影響は無視できない規模で堤内側にも及んでいたことが推察される。

KP.4.20 L 地点 U₃ 樋門吐き口水路の様子を写真-6に示した。ゲート付近から本川方向を撮影したものである。樋門の吐き口水路には、大小様々な大きさの氷板が密集した状態で堆積していた。吐き口水路両側の

表-2 浦幌十勝川で確認された津波痕跡の標高及び痕跡物証

地点	痕跡標高 [m]	痕跡物証(信頼度)
KP.0.80 L	1.33	量水標に付着した泥(A)
KP.1.08 L	2.19	護岸破損部(A)
KP.1.08 L	1.93	フェンス破損部(A)
KP.1.09* L	1.66	積雪の浸水(B)
KP.3.11 R	1.16	積雪の浸水(B)
KP.3.11 R	1.58	積雪の浸水(A)
KP.3.12* R	1.67	積雪の浸水(B)
KP.4.19 L	1.50	立木下部の氷板痕跡(A)

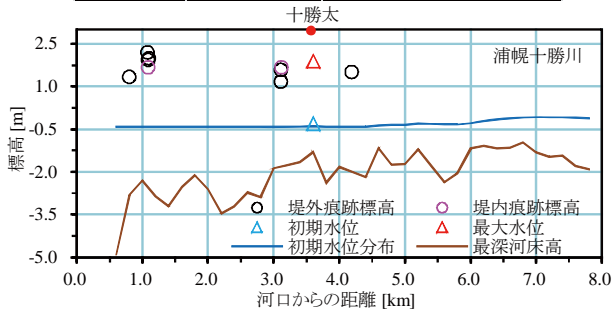


図-4 浦幌十勝川における堤外・堤内痕跡標高水位観測所における初期水位と津波による最大水位、初期水面形状と最深河床高の関係

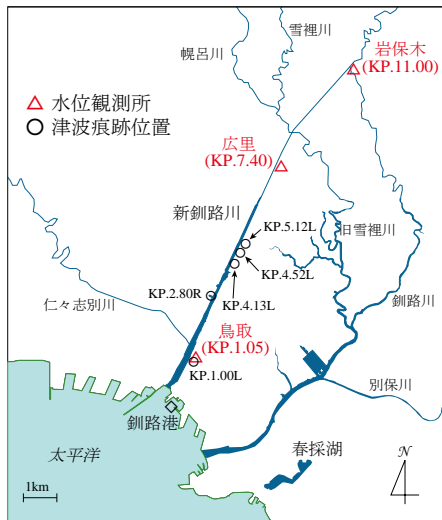


図-5 釧路川下流域とその支川の概況、水位観測所の位置

積雪に、津波痕跡の泥が付着しており（写真中の黄色の破線部）、津波来襲時は高水敷高さ付近まで水位が上昇し、多量の氷板を堆積させたと推定される。つまり、高水敷が冠水するまで水位が上昇していなくとも、氷板は河川津波の作用により吐き口水路内に多量に侵入する可能性があることが明らかとなった。

表-2 に浦幌十勝川における津波痕跡の標高と痕跡物証、図-4 に表-2 の痕跡標高を比較したものを示した。痕跡標高はばらつきを持って 1.16 m から 2.19 m の間に分布するが、十勝太水位観測所で観測された最大水位の 1.87 m を著しく超えるものではない。また、堤内痕跡の測量結果は 2 箇所とも堤外側に近い値とな



写真-7 新釧路川 K₁ 樋門 (KP. 2.80 R) における浸水痕跡



写真-8 新釧路川 K₂ 樋門 (KP. 4.50 L) における氷板痕跡

っており、堤内側にも河川津波の影響が及んだものと推定される。

3. 2 新釧路川

釧路川下流域の概況と本調査で確認された縦断的な津波痕跡位置を図-5 に示した。

3. 2. 1 新釧路川の現地調査結果

写真-7 に示したのは、新釧路川の KP.2.80 R 地点 K₁ 樋門からその吐き口水路方向を撮影したものである。水路河岸の積雪には津波による痕跡ライン（黄色の破線）が見られた。痕跡ラインは積雪の変色と微量の泥の付着により判断を行った。この時、吐き口水路河床からの高さで 2 m 程度の水位上昇が生じていたことがわかった。

写真-8 に示したのは、KP.4.50 L 地点 K₂ 樋門吐き口水路を樋門付近から撮影した写真である。新釧路川で大きさ 5 m 以上の氷板が痕跡として確認されたのはこの地点のみである。袖壁部の氷板（最手前）の横幅は 7.5 m 程度である。吐き口水路と本川の接続部にピアを持つ歩道橋があり、本川から侵入してきた可能性は小さい。この点で、本稿の他の吐き口水路の氷板痕跡と異なっている。元々吐き口水路に形成されていた

表-3 新釧路川で確認された津波痕跡の標高及び痕跡物証

地点	痕跡標高 [m]	痕跡物証(信頼度)
KP.1.00 L	1.97	積雪の浸水(B)
KP.2.80 R	1.73	積雪の浸水(B)
KP.4.13 R	1.62	倒伏した植生群(B)
KP.4.52 L	1.72	積雪に付着した泥(A)
KP.5.12 L	1.69	積雪の浸水(A)

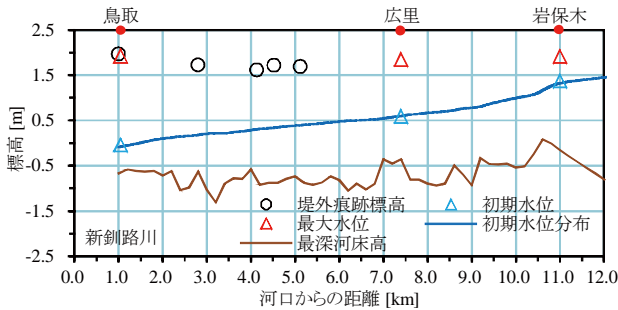


図-6 新釧路川における痕跡標高
水位観測所における初期水位と津波による最大水位、初期水面形状と最深河床高の関係

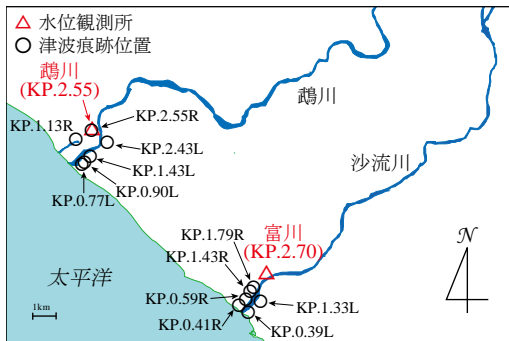


図-7 鶴川・沙流川下流域の概況、水位観測所の位置

結氷が河川津波の侵入で破壊され、滞留、あるいは法肩部に沿って斜めに堆積している様子が確認された。この吐き口水路の天端間の幅は約 18 m、水面幅は約 13 m であった。

表-3 に新釧路川における痕跡標高と痕跡物証 (信頼度)、図-6 に表-3 の数値を比較したものを示した。新釧路川では、水位観測所の最大水位は3地点でほぼ同水準 (概ね 1.8 m~1.9 m 前後) で、痕跡標高もややばらつきはあるものの、概ね 1.5 m から 1.8 m の間であった。十勝川では多数の氷板が確認されたが、新釧路川では K₂ 樋門付近を除き、主として積雪への浸水痕跡や泥の付着が確認された。これは、津波侵入前の結氷量の違い、すなわち水理・気象条件の違いによるものと推定された。

3. 3 鶴川・沙流川

鶴川・沙流川における縦断的な津波痕跡位置を図-7 に示した。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

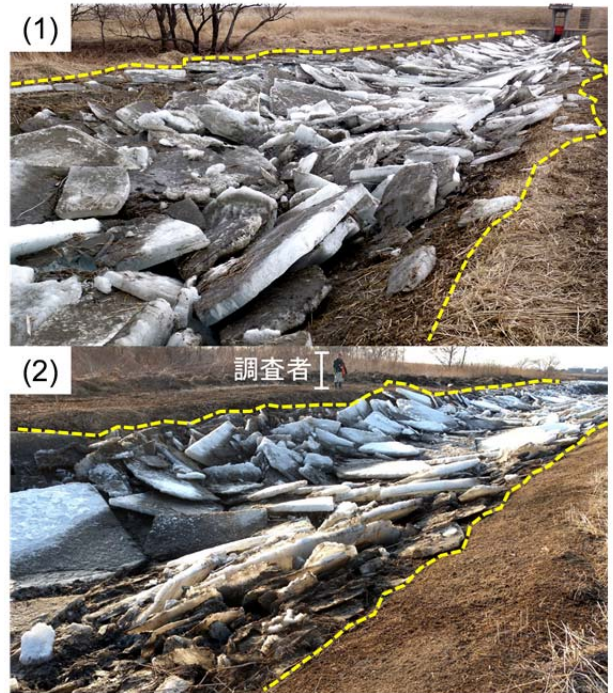


写真-9 鶴川 M₁ 樋門における氷板痕跡 (KP.0.90 L)



写真-10 旧川跡を横切る管理用道路に打ち上げられた巨大氷板 (KP. 1. 13 R)

でも比較的急勾配と言え、津波侵入距離も短い。

3. 3. 1 鶴川・沙流川の現地調査結果

鶴川河口付近の M₁ 樋門における氷板痕跡を写真-9 (1), (2) に示した。吐き口水路内には写真のように多量の氷板が密集して堆積している様子が確認された。氷板集積状況は、写真-6 の浦幌十勝川 U₃ 樋門の吐き口水路のそれと類似している。写真-9 (2) 上部中央に、スケールを比較するため調査者の大きさを示したが、氷板の大きさは概ね数十 cm から 3 m 程度までであった。これらの氷板は写真-9 (1) 左下手前の本川から侵入してきたと考えられ、この付近より下流では本川の結氷が確認されなかったことから、上流より漂流氷板が流されてきた結果、吐き口水路に堆積したと考えられた。氷板が侵入した時間帯などは未だ不明で、氷板侵入のメカニズムについて引き続き検討していくこととしたい。



写真-11 砂州上の無数の氷板痕跡 (KP. 2. 20 R 付近)



写真-12 水位観測所付近の痕跡状況 (KP. 2. 55 R 付近)

河口付近右岸、旧川跡での氷板痕跡を写真-10 に示した。管理用道路の上に大きさ 5 m を超える氷板が折り重なるように打ち上げられており、また、この周囲において旧川の水面近傍にも顕著な氷板堆積物が別途確認されている。

KP. 2. 20 R 付近から撮影した写真を写真-11 (1)、(2) に示した。鷓川ではこの付近の右岸に砂州が発達しているが、この近辺で砂州上に無数の氷板が堆積して



写真-13 沙流川 S₁ 樋門における痕跡 (KP. 0. 40 L)



写真-14 沙流川 S₂ 樋門における氷板痕跡 (KP. 0. 60 R)

いることが確認された。ところが流水部分では、滞留氷板はほとんど確認されなかった。

KP. 2. 60 の鷓川橋より撮影した水位観測所近傍の様子を写真-12 (1) に、水位観測所付近で河岸に打ち上げられた氷板の様子を写真-12 (2) に示した。鷓川では、KP. 2. 40 付近の水面幅が縮小している部分で氷板が集中的に堆積して河道を閉塞している様子が確認された。本稿では紙面の制約上掲載を割愛するが、鷓川水位観測所における水位記録分析から、アイスジャム付録⁽¹⁾の発生が示唆された。分析結果や発生要因の考察については別報⁵⁾で詳しく論じているためここでは省略する。また、写真-12 (1) における滞留氷板の大きさは数十 cm から 15 m 程度にも及ぶことが確認された。

一方、沙流川では津波痕跡の形態は鷓川とは大きく異なり、氷板堆積物は低水路にはほとんど見られなかった。写真-13 は沙流川 KP. 0. 40 L 地点 S₁ 樋門付近の痕跡付着状況である。他地点よりも高い位置に、津波漂流物であったと考えられるゴミが付着していた。この付近は海岸線に近く、遡上津波が顕著に這い上がった結果、この地点のみ痕跡が高い位置に付着したと推定される。

写真-14 は KP. 0. 60 R 付近 S₂ 樋門から吐き口水路方向を撮影したものである。氷板は吐き口水路を遡上して、引き波の際に堤防近くのみ堆積したものと思われる。スケールを比較するために調査者の大きさを

表-4 鵜川・沙流川で確認された津波痕跡の標高及び痕跡物証

(a) 鵜川		
地点	痕跡標高 [m]	痕跡物証(信頼度)
KP.0.77 L	1.32	堆積氷板(A)
KP.0.90 L	1.69	量水標に付着した泥(A)
KP.1.13 R	1.65	堆積氷板(A)
KP.1.43 L	1.70	河岸の浸水(A)
KP.2.43 L	1.90	河岸・積雪の浸水(A)
KP.2.55 R	1.87	低水護岸上の堆積氷板(A)

(b) 沙流川		
地点	痕跡標高 [m]	痕跡物証(信頼度)
KP.0.39 L	4.06	堤防の法面のゴミ(C)
KP.0.41 R	1.28	高水敷の浸水(B)
KP.0.59 R	1.49	高水敷の浸水(B)
KP.1.33 L	2.24	量水標に付着した泥(A)
KP.1.43 R	2.04	積雪の浸水(A)
KP.1.79 R	1.69	低水護岸の浸水(A)

同写真内に示している。氷板の大きさは数十 cm から概ね 6 m 程度のもので確認された。なお、吐き口水路内には氷板痕跡は見られなかった。

表-4 に鵜川・沙流川における津波痕跡の標高と痕跡物証、図-8 に表-4 の痕跡標高を比較したものを示した。但し、鵜川は元々津波侵入区間に結氷を生じていたと考えられるため、不等流計算による初期水位の再現性は低い。図-8 (a) より、鵜川において痕跡標高は鵜川水位観測所の最大水位とほぼ同水準であることがわかる。すなわち、鵜川水位観測所の最大水位 1.75 m に対し、痕跡標高は KP.0.77 L を除き、1.6 m ~ 1.9 m となっている。そのため、この地点より上流まで河川津波が侵入し、結氷の破壊が生じた可能性が高い。

また、図-8 (b) より、先述のように沙流川の最下流 KP.0.39 L 地点(写真-13) は痕跡標高 4.06 m と非常に高くなっている。この地点には本稿で唯一信頼度 C を付した。それより上流の 4 箇所では、概ね標高 1.5 m 前後以上の痕跡高であり、富川水位観測所の最大水位 1.76 m と整合していると言える。

4. まとめ

本報告では、太平洋岸に河口を持つ 5 河川を対象に、寒冷地特有の積雪や氷板痕跡に着眼点を置いた痕跡調査を実施した。地震発生時、これらの河川は結氷を生じており、いずれにおいても津波で破壊された結氷が氷板漂流物として輸送され、河道内での滞留あるいは高水敷上や樋門吐き口水路、樋門ゲート近傍に堆積している様子が確認された。少なくとも氷板堆積地点と河口までの間では氷板漂流が生じていた可能性が大きい。

また、追加調査として 7 月に痕跡標高の測量を実施

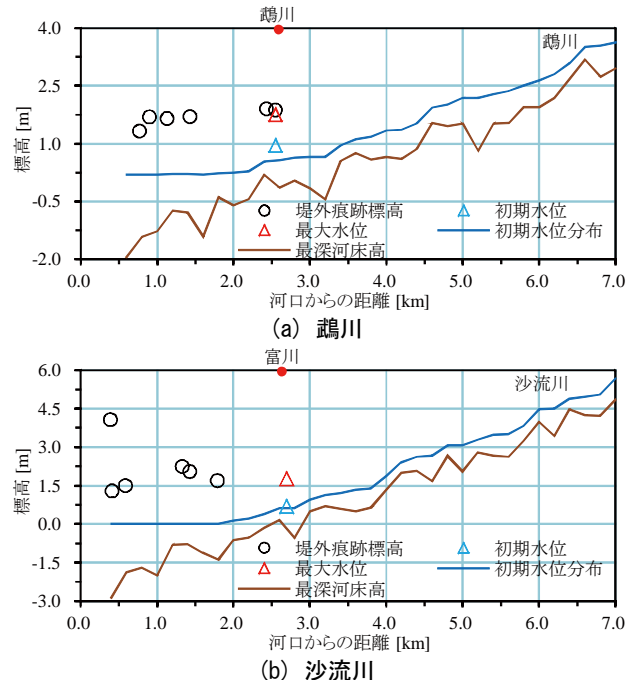


図-8 鵜川・沙流川における堤外痕跡標高
水位観測所における初期水位と津波による最大水位、初期水面形状と最深河床高の関係

した。痕跡測量には信頼度を付し、対象の 5 河川において河道内を伝播した津波の規模を縦断的に明らかにした。今後、各河川において津波対策施設計画を立案する場合には数値シミュレーション手法の活用が想定される。本研究の結果は、その際必要となる河川津波の再現計算や、計算精度の検証にあたって重要なデータとなる。

国土交通省による「河川への遡上津波対策に関する緊急提言」⁶⁾では、河川施設の設計に際しては河川津波の流体力を考慮することとされている。しかし上述の結果より、寒冷地においては、河川津波の作用に加え、漂流物化した氷板の衝突による外力をも、考慮する必要性が示唆された。

また、本稿では詳しくは触れなかったが、河川津波による氷板破壊のメカニズム及び発生する漂流氷板の大きさも構造物への衝突力評価時に重要な情報となる。これらの点に関して今後より一層の研究を進める必要がある。

謝辞：本稿を取りまとめるにあたり、国土交通省北海道開発局帯広・釧路・室蘭の各開発建設部からは河道諸元に関するデータ等を提供して頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 阿部孝章, 吉川泰弘, 安田浩保, 平井康幸: 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, 水工学論文集, 第 56 巻, pp.1525-1530, 2012.
- 2) 矢野雅昭, 吉川泰弘, 石谷隆始, 高橋一浩: 2010 年 2 月 28 日に発生したチリ沖地震津波の結氷河川における河川遡上に関する現地観測, 寒地土木研究所月報, 第 693 号, pp.14-26, 2011.
- 3) 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) 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附属編-1, p.15, 2002.
- 5) 阿部孝章, 吉川泰弘, 矢野雅昭, 永多朋紀, 稲垣達弘, 桃枝英幸, 村上泰啓, 平井康幸: 2011 年東北地

方太平洋沖地震により発生した津波の北海道内河川における遡上状況及び痕跡調査, 寒地土木研究所月報, 第 705 号, pp.20-30, 2012.

- 6) 国土交通省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, 報道発表資料, 2011 年 8 月.

付録 語句の説明**(1) アイスジャム**

春先に河川結氷が融解して氷塊が下流へと流れて行き、狭窄部・蛇行部等で氷により河道が閉塞し、上流側の水位が急に上昇する現象のこと。寒冷地河川における中・上流部では良く見られる現象で氾濫被害も報告されるが、本稿のように河口付近で、河川津波に誘発されたのは世界的に見ても非常に珍しい現象である。

北海道東部太平洋沿岸における津波痕跡の調査

宮本 修司* 佐藤 博知** 葛西 隆廣***

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震によって発生した大津波は、北海道にも到達し、様々な被害と痕跡を残した。北海道内における津波の痕跡については、当所の寒地水圏研究グループ^{1) 2)}や土木学会の調査団^{3) 4)}によって、詳しい調査・報告が行われている。

北海道の東部地域においては、大津波の痕跡が比較的長い時間残ったが、天候条件などによっては短期間で消失することも考えられる。

寒地土木研究所道東支所では、釧路に支所が存在している利点を生かし、管内の津波痕跡が明確に残っている時点でいち早く自主調査を行った。本文は、その概要についてとりまとめたものである。

2. 調査概要

道東支所では、1級河川の調査を行う班、港湾関係の調査を行う班、2級河川や海岸などの津波痕跡をいち早くかつ広範囲に調査する班の3班に分かれて管内の状況を緊急に調査した。

1級河川の調査については、当所の寒地河川チームが中心となって、港湾関係の調査については、当所の寒冷沿岸域チームと水産土木チームが中心となって詳しい報告が行われている^{1) 2)}ため、ここでは管内の状況を広範囲に調査した結果（本文中においては、単に調査と記す）を報告する。

2. 1 調査対象

調査対象は、釧路開発建設部と帯広開発建設部の太平洋沿岸地域とした。図-1に調査箇所のおおよその位置を示す。

2. 2 調査内容

調査は機動性を最優先に、河川と海岸の津波痕跡の確認と、津波によって運ばれた可能性が考えられる土砂を採取し、必要に応じて塩分含有量や土砂の粒度分布や土砂の由来を推定するための特徴的な成分の含有量を測定した。



図-1 調査箇所（道東支所管内広域図）



図-2 調査箇所（釧路市内拡大）

3. 調査結果

3. 1 釧路市内

釧路市内における調査対象箇所を図-2に示す。報告で使用した写真は、図中赤矢印の先の位置で撮影したものである。

3. 1. 1 釧路川下流地域

釧路川下流地域の状況を図-3に示す。この図は釧路市の津波ハザードマップ⁵⁾に、各調査地点の状況写真を貼りつけたものである。赤い線は3m未満の津波発生時における避難勧告対象区域、青色は5mの津波



図-3 釧路川下流地域の状況（釧路市の津波ハザードマップに記入）

で2 m以上の浸水、緑色は1 m以上の浸水、黄色は1 m未満の浸水が予想される区域を表している。

①と②は津波によって運ばれた土砂が堆積していた状況である。調査では①と②に示す様な土砂の堆積範囲を徒歩や車上から確認した。土砂の堆積範囲は、釧路市の津波ハザードマップが示す青色の箇所とほぼ一致していた。

①の箇所から採取した土砂には、高い濃度の塩化物イオン（1.2% Cl⁻）が含まれ、付近の建物には津波の痕跡が残っていた。

③は下流左岸に設置されている津波スクリーンである。津波スクリーンとは「津波漂流物対策施設」の通称で、津波来襲時に車両等が漂流物となって港内に流入することや、係留している小型船舶が市街地に流出することを防止する設備である。津波スクリーンの基本構造は、支柱と捕捉スクリーン（ワイヤーロープ）から成り、これらが津波漂流物のエネルギーを吸収しつつ漂流物を捕捉する⁶⁾。図-3の③に示す通り、津波スクリーン前の積雪には、明確な津波の痕跡が残っていた。痕跡の高さは、地面から約80cmであった。

④は上流の貯木場から流出した材木を舟で集めている状況である。釧路川には、多くの材木や船舶が流出し漂流したが、市街地に侵入した形跡はなかった。今回の調査では、津波スクリーンが船舶や材木を捕捉した痕跡は発見できなかった。しかし国土交通省北海道開発局の調査では、釧路港を初め道内各地の港湾

に設置されている津波スクリーンが有効に機能し、減災に大きく寄与したことが報告されている⁷⁾。この箇所についても、積雪に付いていた津波痕跡の高さは捕捉スクリーンよりも低く、しかも釧路川には多数の漂流物が漂流していたことから、津波スクリーンが減災と防災に有効な施設であることが示唆された。

⑤は津波災害避難路の状況である。釧路市内には、この他にも階段やスロープとなっている歩行者専用の避難路も設置されている。写真の箇所は津波浸水想定区域外であるが、この他の箇所も含めて今回の災害では、災害避難路の破損などは確認されなかった。

3. 1. 2 星ガ浦川、阿雪裡川、仁々志別川

写真-1に星ガ浦川、写真-2に阿雪裡川、写真-3に仁々志別川の状況をそれぞれ示す。写真中に示す赤色の破線は、堆積していた土砂や積雪に残された痕跡から推定した津波の高さである。赤矢印は河川の流下方向を示している。写真からも確認できるとおり、津波による痕跡が明確に残っていた。

星ガ浦川では、堆積していた土砂を採取し塩化物イオン濃度を測定した。土砂の採取は、降雪の影響を最小限にするため、国道38号に架かる橋梁の下から行った。測定の結果、採取した土砂には高い濃度で塩化物イオンが含まれていた（0.16% Cl⁻）ことから、土砂は津波によって運ばれたものと言える。



写真-1 星ガ浦川津波痕跡



写真-2 阿雪裡川津波痕跡



写真-3 仁々志別川津波痕跡



図-4 調査箇所（根室方面）



写真-4 温根沼津波痕跡

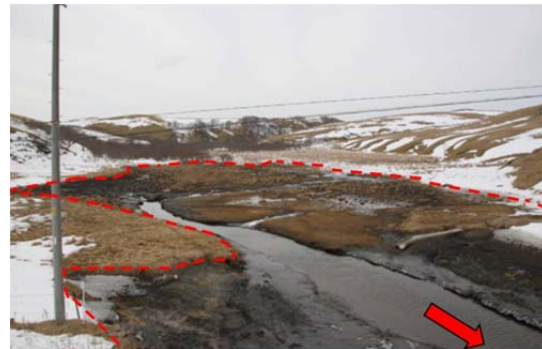


写真-5 恵茶人沼津波痕跡



写真-6 幌戸沼津波痕跡

3. 2 根室方面

根室方面の調査箇所を図-4に示す。報告で使用した写真は、図中赤矢印の先の位置で撮影したものである。

なお、幌戸沼の状況を確認した時点で日没となり、調査を終了した。

3. 2. 1 温根沼

温根沼は根室半島の付け根にある海跡湖で、国道44温根沼大橋を境に根室湾に繋がる汽水湖でもある⁸⁾。

写真-4は温根沼大橋付近の状況であるが、結氷が津波によって破壊されていた。破壊されていた氷片には上部に土砂が堆積していた氷片と、土砂が堆積して

いなかった氷片があった。これは津波で破壊されて漂流した氷片と、破壊されずにそのまま残り、上部に津波で運ばれた土砂が堆積し、その後の津波で破壊された氷片があったとことによると推測される。

温根沼の出口は太平洋ではなく根室湾側に向いていることから、津波は回折して半島の反対側にも達したと思われる。

3. 2. 2 恵茶人沼、幌戸沼

これらの沼は、太平洋に面した海跡湖の汽水湖であり、ラムサール条約登録湿地の一部となっている⁹⁾。

写真-5に恵茶人沼、写真-6に幌戸沼の津波痕跡を示す。これらの沼では、土砂が津波によって湿地に堆積していた。これらの沼はラムサール条約登録湿地であるため、沼への立ち入りは困難と考え、遠方からの目視調査のみを行った。

3. 3 白糠・十勝方面

白糠・十勝方面の調査箇所を図-5に示す。報告で使用した写真は、図中赤矢印の先の位置で撮影したものである。

ワッカリベツ川と広尾川については、河川敷地内に周囲とは明らかに粒度が異なる細かい土砂が堆積していた。しかし土砂を採取して分析したところ、土砂中に塩化物イオンがほとんど含まれていなかった。このため、堆積していた土砂が、今回の津波によって運ばれた土砂であるか、過去の増水等で堆積した土砂であるか判断できなかつたため本報告から除外した。

3. 3. 1 コイトイ川、庶路川、茶路川

庶路川は、幹川流路延長 67km、流域面積 328km²の2級河川で、コイトイ川はその支流である。両河川は、河口付近で合流している。茶路川は幹川流路延長 71 km、流域面積 354 km²の2級河川である。写真-7にコイトイ川、写真-8に庶路川、写真-9に茶路川の津波痕跡を示す。これらの川では、河川敷の植生や礫の上に土砂が堆積していた。

コイトイ川と庶路川では、雨や雪などの天候の影響を避けるため国道橋の下から採取した。茶路川については、橋梁の下に土砂が堆積していなかったので、写真-9に示す箇所から採取した。

表-1は、堆積していた土砂の成分と粒度である。土砂には塩化物イオンが含まれており、津波によって



図-5 速報調査箇所（白糠・十勝方面）



写真-7 コイトイ川津波痕跡



写真-8 庶路川津波痕跡



写真-9 茶路川津波痕跡

運ばれて、打ち上げられたものであると考えられる。塩化物イオン濃度は、コイトイ川から採取した土砂のものが最も高かった。塩化物イオン濃度に違いが生じた理由は不明であるが、流速が遅いコイトイ川を津波が遡上するときには、海水は河川水との混合による塩分希釈の影響が小さく、流速の早い茶路川では河川水と海水が混合しつつ遡上した可能性が考えられる。

塩化物イオン以外の成分を見ると、コイトイ川的全窒素の含有量が他の川と比較して特になくなっていった。一方、鉄、マンガン、リンについては突出した違いはなかった。

粒度分布については、コイトイ川から採取した土砂は細粒分が多く、逆に庶路川から採取した土砂は粒度の粗い砂分などの割合が高かった。

コイトイ川は庶路川の支流であるので、両河川の河口は共通である。茶路川についてもこれらの河川から距離的に大きく離れていない。堆積土砂の多くが海に由来するものであれば、成分や粒度分布にするとはいえない。

コイトイ川の上流は、酪農用のため池や湿地帯を通過している。このためコイトイ川から採取した堆積土砂には、酪農に由来する窒素と湿地帯に堆積している細粒分が多くなった可能性が考えられる。

一方、庶路川と茶路川から採取した土砂については各成分や粒度分布に大きな違いがない。庶路川と茶路川は流域面積、幹川流路延長にほとんど違いがなく、共に白糠町の山間部を水源にしているため、採取した土砂の粒度や成分に大きな違いが生じなかったと考えられる。

以上のことから、河川敷に堆積していた土砂は、津波の押し波によって海から運ばれたものではなく、引き波によって上流から運ばれたものであると推察される。

3. 3. 2 和天別川

和天別川は茶路川の支流で、河口付近で茶路川と合流している。写真-10 から写真-13 は、和天別川の地点①から地点④までの津波痕跡である。

地点①では、結氷が津波によって破壊されていた。この地点の氷片には、ゴミや土砂が付着していなかった。

地点②では、結氷が破壊されていなかった。結氷上には津波によって打ち上げられたと思われるゴミや土砂が堆積していた。また、高水敷にも津波によって運ばれたと思われる土砂やゴミが堆積していた。

表-1 採取した土砂の分析結果
(コイトイ川、庶路川、茶路川)

分析項目		分析結果 (%)		
		コイトイ川	庶路川	茶路川
成分	水分	54.0	15.3	34.0
	塩化物イオン (Cl ⁻)	1.4	0.4	0.1
	鉄	3.4	2.6	3.3
	マンガン	0.026	0.042	0.046
	全窒素	0.21	0.033	0.045
	全リン	0.38	0.19	0.24
粒度	石分 (75mm以上)	0.0	0.0	0.0
	礫分 (2~75mm)	0.0	2.7	0.0
	砂分 (0.075~2mm)	58.8	84.4	75.9
	シルト分 (0.005~0.075mm)	29.9	9.3	16.2
	粘土分 (0.005mm未満)	11.3	3.6	7.9



写真-10 和天別川津波痕跡 (地点①)
(氷片上にゴミや土砂が見られない)



写真-11 和天別川津波痕跡 (地点②)
(結氷上に土砂やゴミが見られる)



写真-12 和天別川津波痕跡 (地点③)

③の箇所では、川の途中まで結氷が破壊されていた。破壊された氷片は、上流部の結氷上に散乱しており、特に結氷が破壊されていた箇所と破壊されていない箇所の境界付近には、氷片が二重三重に折り重なるように堆積していた。

④の箇所では、割れた氷片が河道内ばかりではなく、河川敷地周辺の広い範囲に散乱していた。氷片の厚さは約 30cm 程度で、上に土砂が付着していた氷片と、付着していない氷片があった。

以上のことから、

- ・ 結氷の上を遡上（流下）し、土砂やゴミを結氷上に残した波
- ・ 結氷の下を遡上（流下）し、結氷を破碎した波
- ・ 結氷を破壊しつつ地点③まで達し、破壊後の氷片を結氷上に押し上げた波

など、河川内に侵入した津波は、複雑な動きをしつつ、様々な異なる経路を通っていた可能性が示唆された。

3. 3. 3 ウツナイ川

ウツナイ川は十勝川の支流で、河口付近で十勝川と合流している。ウツナイ川の位置と周辺の状況は図-5 に示した通りである。

ウツナイ川は、下流部分で十勝川と合流している。川の周囲は牧草地や畑作地帯で、農業用排水路が多数接続し、夏期には農業排水が流入する河川である。

写真-14 はウツナイ川の津波痕跡である。河道内における結氷の破碎が確認できた。氷片の上には土砂やゴミなどが堆積していなかったことから、津波は結氷の下を通過した可能性が高い。また周囲の土地利用状況より、十勝川を遡上した津波がウツナイ川を經由して、農業用排水路や農地に侵入する可能性も認められた。

4. 今後の課題

道東支所では、釧路に支所が存在している利点を生かし津波痕跡をいち早く調査することができた。今回の災害では、津波痕跡が比較的長い時間残っていたが、天候の悪化などによって短い時間で痕跡が消失することもある。このような事態に備えて、津波の痕跡をいち早く調査することは有意義なことである。

しかし今回の災害状況調査では、様々な課題が残った。以下、今回行った調査の課題を述べる。



写真-13 和天別川津波痕跡（地点④）
（上に土砂が付着している氷片と、
付着していない氷片が見られる）



写真-14 ウツナイ川津波痕跡

4. 1 他機関との連携と調査目的・内容の整理

地震津波は広い範囲に影響が及び、津波の痕跡は時間と共に消失するものが多いことから、調査を行う際には関係する各機関が協力し、計画的かつ合理的に行うことが重要である。

今回の津波災害では、寒地土木研究所以外にも様々な機関で津波痕跡調査を実施した。しかし各機関の役割分担や連携が十分ではなかった。

役割分担や連携が十分ではなかった理由として、津波は予測ができないものであり、関係する各機関は情報収集や現場対応のため多忙を極めるため、調査実施のための事前準備や調整を行うことが困難であることが挙げられる。

この問題に対処し合理的かつ効果的に調査を行うためには、関係機関との役割分担と必要なデータを平常時から整理しておくことが重要である。津波痕跡調査では、時間と共に消失しやすい痕跡を優先的に調査することや、災害発生直後に行った調査の結果を、後に行う各関係機関が行う詳細な調査に生かすことができ

る様、GPS による位置確認や痕跡確認箇所のマーキングを行うなど、各機関の連携も考慮した調査を行うことも重要である。

4. 2 津波痕跡の信頼性向上

津波痕跡の信頼度については、1960 年チリ沖地震津波後の津波波高評価で痕跡の明確度と測定誤差の大小によってデータ分類がなされ、その後の調査もこの分類に従ってデータが整理されている¹⁰⁾。この中では、痕跡が明確であれば信頼度大としているが、台風や高潮などの影響と痕跡が重複する場合には信頼度極小としている。

報告で述べた津波痕跡は、データ分類で信頼度大と言える箇所であるが、その他にも津波の痕跡である可能性が高いものが多数あった。例えば、写真-15 は十勝方面のワッカリベツ川、写真-16 は広尾川の土砂堆積状況である。これらの河川では、低水路の近くに細かい土砂が堆積していた。しかし、土砂中に含まれる塩化物イオンが非常に少なかったため、津波の痕跡であるか、過去の増水などによるものか判断できなかった。

津波で運ばれた土砂に塩分が多く含まれていても、降雨や降雪により塩分が流出し、塩分は希釈されることが考えられる。また、津波が川を遡上する場合、海水の直接遡上ばかりではなく、圧力伝搬の形で伝わることも考えられる。この場合、伝わった波や運ばれた土砂には塩分が混入しない。すなわち、塩分がほとんど含まれていなかった土砂についても、津波によって運ばれた可能性がある。

これらの課題に対処するため、後で通常時の状況を確認すること、橋梁下など降雨や降雪の影響が少ない場所から試料を採取すること、簡易式塩分濃度計を用いて多くの試料を現地で確認すること、地域住民、河川管理者、地方自治体等を対象にヒアリング調査を行うことなどが考えられる。

5. おわりに

様々な災害が発生した直後の状況を調査することは、災害の発生原因を特定し、有効な対策を策定するための重要な資料となる。特に積雪寒冷地域では、降雪や雪氷の融解と共に災害の痕跡が短時間で消失することも多い。今回の調査は有意義であったと言えるが、同時に多くの課題があった。

本報告では津波痕跡の調査を報告したが、雪害や洪



写真-15 ワッカリベツ川土砂堆積状況
(土砂中の塩化物イオンは 0.0039% Cl⁻)



写真-16 広尾川土砂堆積状況
(土砂中の塩化物イオンは 0.01% Cl⁻)

水など津波以外の災害についても災害の発生直後に現地の状況を確認することは、津波痕跡の調査と同様に重要なことである。

さらに、実際に災害を経験した地域住民、自治体、道路・河川・港湾などの管理者、復旧作業に携わった建設業者などの方々の意見と実態を把握することも支所の重要な役割であると考えている。

参考文献

- 1) 阿部孝章、吉川泰弘、矢野雅昭、永多朋紀、稲垣達弘、桃枝英幸、村上泰啓、平井康幸：2011 年東北地方太平洋沖地震により発生した津波の結氷河川における遡上状況及び氷板痕跡調査、寒地土木研究所月報 No. 705 2012 年 2 月
- 2) 寒冷沿岸域チーム、水産土木チーム、道南、道央、道東支所：平成 23 年東北地方太平洋沖地震による北

- 海道沿岸の港湾・漁港等調査速報、寒地土木研究所ホームページ、
<http://cecore.ceri.go.jp/pdf/H23higaityousa01.pdf>
- 3) 土木学会水工学委員会 東北関東大震災調査団報告：2011年7月
<http://rde.nhdr.niigata-u.ac.jp/jsce/>
- 4) 渡邊康玄、川村里実：北海道内津波河川遡上調査、東北地方太平洋沖地震津波・北海道津波合同調査報告会概要、(社)寒地港湾技術研究センター、2011年8月
http://www.kanchi.or.jp/pdf/tsunami_resume.pdf
- 5) 釧路市津波ハザードマップ：釧路市ホームページ
<http://www.city.kushiro.hokkaido.jp/icity/browser?ActionCode=content&ContentID=1141823239893&SiteID=0>
- 6) 国土交通省北海道開発局釧路開発建設部釧路港湾事務所ホームページ：津波漂流物対策施設（通称：津波スクリーン）の概要、
<http://www.ks.hkd.mlit.go.jp/kouwan/port/kushi>
- <ro/images/saigaitaisaku/tsunami.pdf>
- 7) 国土交通省北海道開発局ホームページ：平成23年度港湾防災策会議 資料2-1)、平成23年8月1日
http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z_kowan/jishintsunami/pdf/110801_2_1.pdf
- 8) 国土地理院：湖沼湿原調査「風蓮湖周辺及び温根沼地区」の成果の概要、国土地理院時報 2011 No121
- 9) 環境省ホームページ：日本の重要湿地 500、
<http://www.sizenken.biodic.go.jp/wetland/26/26.html>
- 10) 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 付属編（資料編）p15
<http://committees.jsce.or.jp/ceofnp/system/files/TA-MENU-J-02.pdf>
- 11) 国土交通省 水管理・国土保全局 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」について、平成23年8月22日
http://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo03_hh_000376.html
-

北海道太平洋岸地域の河川結氷状況調査 ～2011年3月及び2012年3月の比較を通じた検討～

阿部 孝章* 宮本 修司** 吉川 泰弘***
佐藤 博知**** 稲垣 達弘***** 平 吉昭*****

1. はじめに

寒地河川チーム及び道東支所においては、これまで2011年東北地方太平洋沖地震津波により北海道で確認された「河川津波」の痕跡調査に関する報告を行ってきたところです^{1), 2)}。この災害が発生した当時の3月は、北海道における河川結氷期間です。そのため、これらの河川津波は多くの河川で氷を破壊した痕跡を残しました(例えば、写真-1)。しかし、河口付近の高水敷上で散乱した氷板や樋門吐き口水路への氷の進入は、春先の解氷で、中上流域から流下した氷でも起こりえるものかもしれません。そこで本報告では、そのような現象が通常起こりえるものなのかどうかを明らかにすることを目的としました。そこで、東北地方太平洋沖地震のちょうど1年後の春先の時期に、現地において河川結氷状況の調査を実施し、河川結氷量や結氷の状態、解氷により流下している氷板に着目した現地調査を実施しました。

2. 調査概要

本報告では、太平洋岸で河川津波の進入が確認された河川において、東北地方太平洋沖地震直後との相違点に着目し、以下に示す2回の現地調査を実施しました。



写真-1 鶴川低水路部の砂州を埋め尽くす氷板痕跡

第1回現地調査

日程：平成24年3月12日(月)～15日(木)

対象：十勝川・浦幌十勝川・音別川・和天別川・茶路川・庶路川・コイトイ川・阿寒川・星が浦川・春採川・春採湖・チョロベツ川・阿雪裡川・新釧路川・仁々志別川

調査者：道東支所(平・宮本・佐藤・稲垣)、寒地河川チーム(阿部)

第2回現地調査

日程：平成24年3月21日(水)

対象：厚真川・鶴川

調査者：寒地河川チーム(吉川・阿部)

本報告では、2011年3月に特徴的な河川津波痕跡が確認された地点における調査写真の比較と、河口部における結氷状況に着目して報告します。

ここで、2011年と2012年における気象条件の違いを示しておきます。図-1のように2011～2012年冬期は、気象庁のアメダス観測所である鶴川(鶴川流域)、大津(十勝川流域)、釧路(釧路川流域)いずれにおいても平均気温が低く、河水が発達しやすい条件であったと推定されます。そのため、現地調査時は、2011年には見られなかった高水敷への積雪が多かったことを付け加えておきます。結氷状況が異なっていたことが

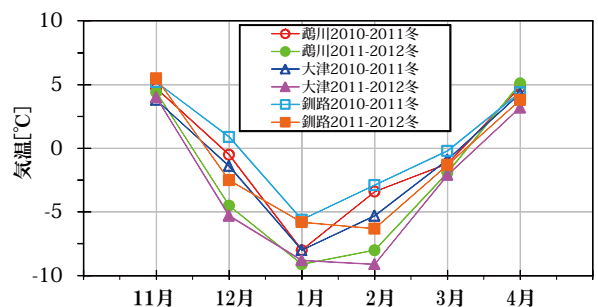


図-1 主要な地域で冬期間における月毎の平均気温の推移



写真-2 十勝川 KP.4.0 地点 T₁ 樋門ゲート



写真-4 浦幌十勝川 KP.1.1 地点 U₁ 水門



(a) 吐き口側を撮影



(b) ゲート側を撮影

写真-3 十勝川 KP.3.3 地点 T₂ 樋門吐口



写真-5 浦幌十勝川 KP.3.0 浦幌大橋より上流

想定されます。

3. 調査結果

3.1 十勝川・浦幌十勝川

写真-2に示したのは、十勝川 KP.4.0 付近 T₁ 樋門ゲート部分の様子です。本報告では、写真の左側に 2011 年の調査時の写真、右側に 2012 年調査時の写真を示しています。両方の写真について、ゲート前の積雪の量は同程度に見受けられます。左側の写真を見ると、河川津波による水位上昇の影響により、積雪に微細な泥が付着しています。泥の痕跡から、津波による水位上昇はゲート内部まで侵入したと考えられます。しかし、右側の写真には泥の付着は見られません。

写真-3に示したのは、十勝川 KP.3.3 付近の T₂ 樋門吐口水路の様子です。2011 年の写真では、吐口水路内に水が流れ、氷板痕跡が点在していること、ゲート内部まで侵入していることが確認できます。しかし、

2012 年では水路・ゲート前面も積雪で覆われています。現地で調査したところ、積雪下の氷の厚さは 50cm 以上にも及んでいることが確認されました。

写真-4に示したのは、浦幌十勝川 KP.1.1 地点の U₁ 水門の吐口部分です。2011 年の写真については、高水敷上、本川合流部の水深の浅い部分に氷板の堆積が確認されました。一方で 2012 年の写真では、2011 年の調査時よりも大きな氷板が合流部に堆積・滞留しています。この大きな氷板は、支川の約 100m 上流から流下して堆積しているようでした。この地点は感潮区間であるため、2012 年の写真でも、高水敷の高さ付近まで浸水している痕跡が見られます。また、河川津波後の 2011 年の痕跡に見られるように氷板サイズが 2012 年のものより小さいのは、河川津波には氷板を小さく破砕する作用があったためと考えられます。実際に、松川ら³⁾による河川津波のビデオ観測では、KP.3.0 浦幌大橋の橋脚で、遡上する巨大氷板が小さく破砕されたと報告されています。

写真-5に示したのは、浦幌大橋から上流を写したものです。2011 年の写真では、低水路内に結氷は見られませんが、明瞭な破断面が上流に向かって続いています。一方で、2012 年調査時は全面結氷しています。2012 年の調査時は、人間が上に乗っても壊れない程度の厚さの結氷が存在していました。少なくとも 2011 年当時にも河川結氷は縦断的に生じており、それが河川津波の作用で河岸から剥がされた³⁾ものと推定されます。その後、多量の氷板が漂流・流下したと推定されます。



写真一六 浦幌十勝川 KP.4.2 地点 U₃ 樋門吐口



写真一八 鷓川 KP.2.6 鷓川橋より下流



写真一七 新釧路川 KP.4.5 地点 S₁ 樋門吐口



写真一九 鷓川 KP.0.9 地点 M₁ 樋門吐口

写真一六に示したのは、浦幌十勝川の KP.4.2 地点の U₃ 樋門の吐口水路の様子です。左の写真では多数の氷板が痕跡として確認されました。これらの氷板には、顕著に泥が付着していました。また、高水敷の上まで水位は上昇していないのにも関わらず、吐口水路を埋め尽くすほど多量の氷板侵入が生じています。一方で、2012 年の調査時、積雪への泥の付着や、氷の侵入は見られません。写真奥側の本川部にも、泥の付着は見られず、結氷の上に積雪があるのみでした。そのため、2011 年の調査時の大量の氷板痕跡は、本川で破壊された氷が津波によって輸送されて、吐口水路で堆積したものと推察されます。このように大量の氷板侵入が確認された樋門吐口は、浦幌十勝川と後の 3. 3 節で紹介する鷓川でのみ、確認されています。全面結氷している河川に津波が侵入すると、このような吐口の閉塞が発生する可能性があると言えます。

3. 2 新釧路川

2011 年 3 月当時の新釧路川では、KP.4.5 地点の S₁ 樋門地点でのみ顕著な氷板痕跡が確認されました（写真一七）。この地点でも、吐口に水位上昇の泥の痕跡と、氷板痕跡がありますが、浦幌十勝川とは異なり、何層にも堆積している様子ではありません。これは、もともと新釧路川に結氷が少ないことと、吐口と本川の間に入道橋があり、それが氷の侵入・流出を防ぐ効果があったものと推定されます。右側の 2012 年の写真では、結氷の上を堤内からの排水が流れている様子が確認さ

れました。結氷の厚さは、約 50 cm で、2011 年の調査時の厚さも同程度であったことが確認されています。2011 年当時の写真における、氷板の破壊及び吐口水路法面上部への泥の付着は、河川津波による水位上昇のみで発生したと推察されます。

3. 3 鷓川

写真一八に示したのは、鷓川 KP.2.6 鷓川橋から下流を撮影したものです。2011 年の調査時は、この地点で、氷による河道閉塞が生じていました。これは、河川津波により大量の氷板が輸送され、狭窄部で氷が河道閉塞を起こし、上流側の水位を上昇させていた現象です。これは、写真右側に写っている鷓川水位観測所の水位記録分析から確認されています。

1 年後の調査では、取り外された鷓川水位観測所管理橋の周辺で開水面が見られました。この部分で流速が速くなっていたためと考えられます。結氷の状態もまだらで、この時確認された結氷は非常に薄いものでした。

次に、写真一九に示したのは、鷓川 KP.0.9 地点の M₁ 樋門吐口水路です。この地点では 2011 年の調査時、吐口水路内で氷板の集積が確認されました。これらの氷板には、泥の付着が確認され、写真一六の U₃ 樋門と非常に近い状態であったと言えます。この氷板痕跡も、本川から侵入したと考えられています。2012 年の調査写真では、吐口水路内に排水が流れ、一部に結氷も見られます。しかし、泥の付いた氷板の侵入は確認され



写真-10 厚真川 KP.1.7 地点臨港大橋

左写真は厚真町教育委員会乾哲也氏より提供を受けた。

ませんでした。そのため、左写真に見られるような氷板の多数の侵入と堆積は、河川津波によるものだったと推定されます。

3. 4 二級河川・その他の河川

本節では、一級河川以外の結氷状況の比較について、主なものを紹介します。

3. 4. 1 道央の河川

写真-10 は苫小牧東港の東側に河口を持つ厚真川における調査写真です。厚真川は、道央地方では鶴川と並んで非常に多くの氷板痕跡が確認されました。厚真川は河口閉塞が著しく、毎年土砂の掘削が行われていますが、2011年の津波では河口砂州がフラッシュされていました。2012年の調査時には河口砂州が再生しており、河口域は非常に流速が遅く、氷板滞留が確認されました(右写真)。氷板を漂流物と見なすと、これらの氷板は津波による被害を増大させる可能性があります。河口閉塞が生じている河川では、閉塞によるこうした副次的な影響も、留意すべき事項と言えます。

3. 4. 2 道東の河川

写真-11 は、音別川の河口からほど近い砂州部分の河川の状態です。2011年の調査時には、河川津波により砂州が一部削られていたと報告されています⁴⁾。2011年当時は河川津波の影響で結氷が完全に無くなり、水面が露出しています。2012年においてもやはり河口閉塞が生じており、流速が小さく、結氷も生じやすい条件であると考えられます。河川結氷は海岸線付近まで存在していました。

写真-12 は和天別川 W₁ 樋門を左岸側から撮影したものです。左の写真は河川津波の痕跡としては特異と考えられる、氷板が浮き上がって河岸に乗りあがっている様子を写しています。この現象は、和天別川は氷の厚い河川ですが、そのため河川津波は氷を割る代わりに氷の下を伝播し、氷の弱いところで圧力解放が生じたのだと考えられています⁴⁾。2012年の調査でも厚



写真-11 音別川 KP.0.4 河口付近

左写真は北見工業大学渡邊康玄教授より提供を受けた。



写真-12 和天別川 KP.1.3 地点 W₁ 樋門

左写真は北見工業大学渡邊康玄教授より提供を受けた。

い結氷が確認され、積雪で覆われていました。また、和天別川では、鶴川のように水位記録が残っていないため断言は難しいのですが、W₁ 樋門より下流の狭窄部分で氷板による河道閉塞らしきものが確認されています²⁾。和天別川は海岸線の直近で茶路川と合流して海に注ぎますが、合流点まで完全結氷を生じていました。

3. 5 各河川における結氷状況の分類

本節では、河川津波の侵入を受けるという仮定で、河川結氷がどのような状態となるかの分類を試みます。図-2に示したタイプA, B, Cは、河川結氷の状態と、そこに施設設計上の津波が侵入した場合に想定される現象から、結氷状況を分類したものです。

タイプAは結氷が非常に厚く張る河川の場合です。河岸と密着した厚い結氷は、河川津波による水位上昇を抑える効果があります。そのため、河川が河川津波の逆流流量を飲み込めず、結氷が突発的に破壊される、あるいは津波が粗密波となって遡上する等の場合が考えられます。写真-12の和天別川で見られた特異な氷板痕跡はこの作用によると考えられています⁴⁾。

タイプBは、全面結氷はしているものの、潮汐によって氷は水位変動に追従するものです。この場合、タイプAのように津波を抑える効果は小さいので、津波は開水時とほぼ同じ速さで遡上しますが、氷が存在するために、波形勾配の急峻化は抑制されます。また、結氷と河岸との接続が弱い場合、河川津波の表面流速により巨大な氷板が遡上する現象³⁾も考えられます。

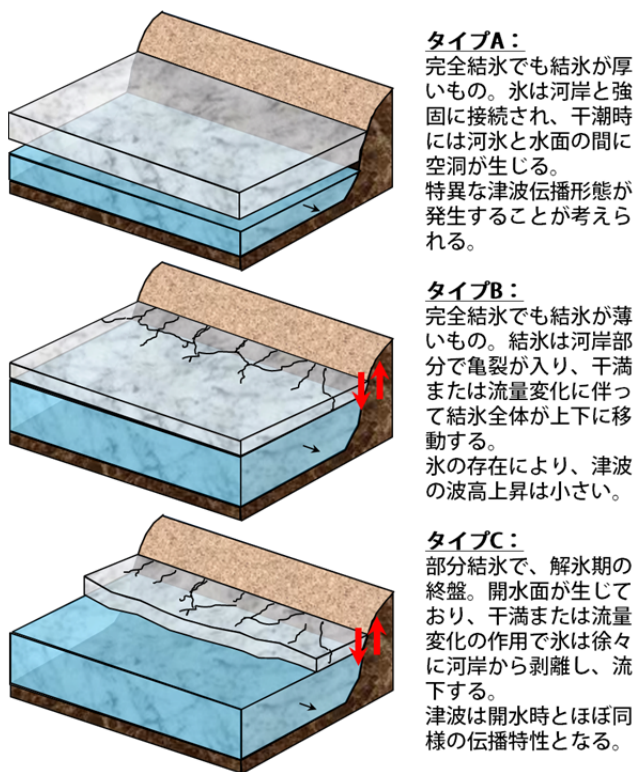


図-2 結氷状況別の津波伝播について

タイプCは、部分結氷で河岸に細長い氷板が付着しているケースです。通常の流下作用の下では、接続の弱い部分から徐々に河岸から剥離し、流下します。河川津波の侵入時はその逆に、剥離して遡上すると考えられます。2010年チリ沖地震津波の観測例⁵⁾において、このタイプの氷板遡上が確認されています。

本報告における2012年3月の調査結果より、主に河口付近について、全河川を図-2に従って分類すると、以下のようになりました。

タイプA:

音別川・和天別川・阿寒川

タイプB:

浦幌十勝川・コイトイ川・チョロベツ川・厚真川・鶴川

タイプC:

十勝川・茶路川・庶路川・新釧路川

但し、この分類は3月調査時のものですので、1、2月の厳冬期にはタイプC→B、タイプB→Aとなる可能性もあります。また、結氷が調査時に存在しなかった河川は除いています。

タイプAのケースでは氷板の突発的な破壊や浸水氾濫等の現象が考えられます。しかし、流速が小さく、水温も低い等いくつかの条件が重ならないと生じないタイプであるため、タイプAの遡上形態は一部の河川でしか生じないと考えられます。一級・二級河川を含め、1月～2月の厳寒期に北海道内で最も多いと考えられるのはタイプBです。このケースでは剥離した氷板の遡上による河川構造物の損傷等、具体的な被害が想定されます。

4. まとめ

今回の調査結果から、津波の侵入を受ける結氷河川における防災対策を考える上で、基礎的な知見が得られました。一つ目は、2011年の調査で明らかになった氷板痕跡は、河川津波で起こりえるものと通常の解氷現象として起こりえるものの二種類に分けられることが明らかになりました。また、施設計画上の津波（L1クラス津波）に対して、結氷河川において考慮すべき結氷状態・津波伝播形態の分類を明らかにしました。

今後は、寒冷地河川津波対策技術の確立に向け、今回明らかになった現象について水理実験等による検討を実施するとともに、特に河口域の結氷状況に関する現地観測に重点を置き、研究を進めていく予定です。

謝辞：北見工業大学 渡邊康玄教授、厚真町教育委員会 乾哲也氏には、資料として2011年3月調査時の貴重な写真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)阿部孝章, 吉川泰弘, 平井康幸, 北海道太平洋岸地域における河川津波の痕跡調査, 寒地土木研究所月報, 東北地方太平洋沖地震被害調査報告特集号, 2012年2月, pp. 29-36, 2012.
- 2)宮本修司, 佐藤博知, 葛西隆廣, 北海道東部太平洋沿岸における津波痕跡の調査, 寒地土木研究所月報, 東北地方太平洋沖地震被害調査報告特集号, 2012年2月, pp. 37-44, 2012.
- 3)松川優一, 荒繁彦, 加藤三明, 油川曜佑, 渡邊幸一, 長岡宏樹, 山口甲: 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, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.68, No.4, pp. I_1513-I_1518, 2012.
- 4)渡邊康玄, 西田正実, 木村祐輔, 小松佑輔, 釧路管内

2級河川津波遡上調査, URL: <http://rde.nhdr.niigata-u.ac.jp/jsce/> (参照日 2012/5/14).

5) 矢野雅昭, 吉川泰弘, 石谷隆始, 高橋一浩, 2010年2月28日に発生したチリ沖地震津波の結氷河川におけ

る河川遡上に関する現地観測, 寒地土木研究所月報, 第693号, pp.14-26, 2011.

寒冷地河川域の津波痕跡調査マニュアル(案)

平成 25 年 3 月

(独)土木研究所 寒地土木研究所

寒地水圏研究グループ 寒地河川チーム

寒地技術推進室 道東支所 道北支所

〒062-8602

札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1 番 34 号

独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所

TEL : 011-841-1639

FAX : 011-820-4246

E-mail : kasen@ceri.go.jp

WEB : <http://river.ceri.go.jp/>