

雪氷期の津波沿岸防災対策検討会 第1回検討会

議 事 次 第

日時：平成24年10月18日（木）

9：30～11：30

場所：札幌第1合同庁舎4階

北海道開発局 災害対策本部室

- 1 開会
- 2 検討会メンバー紹介
- 3 検討会趣旨説明
- 4 検討事項
 - (1) 雪氷期の津波発生時に想定される物理現象について
 - (2) 雪氷期の津波災害シナリオ及びリスクの検討と課題抽出
- 5 その他
- 6 閉会

雪氷期の津波沿岸防災対策検討会

第1回 検討会資料

日時：平成24年10月18日(木) 9:30～11:30

場所：北海道開発局本局4F 災害対策本部室



目次



1.雪氷期の津波沿岸防災対策検討会の検討内容	2
(1)検討会設立の背景	3
(2)検討会の目的、メンバー(学識経験者)	6
(3)検討会の検討項目及びスケジュール	7
2.雪氷期の津波発生時に想定される物理現象	8
(1)北海道の雪氷現象の特性	9
(2)雪氷期の津波による被害事例	15
(3)雪氷現象による被害の事例	22
(4)北海道の雪氷現象から想定される津波発生時の物理現象	30
3.雪氷期の津波災害シナリオ及びリスクの検討と課題抽出	43
(1)北海道の地形的特徴	44
(2)津波に対する脆弱性	47
(3)津波災害シナリオ及びリスクの検討	51

1.雪氷期の津波沿岸防災対策検討会 の検討内容

- (1)検討会設立の背景
- (2)検討会の目的、メンバー(学識経験者)
- (3)検討会の検討項目及びスケジュール

(1) 検討会設立の背景:北海道開発局における津波対策検討経緯

平成22年11月	第1回	北海道開発局	津波対策検討委員会	施設管理の現状把握
平成23年1月	第2回	北海道開発局	津波対策検討委員会	<ul style="list-style-type: none"> ・2010チリ地震津波対応時の課題把握 有識者からの課題の追加指摘 ・津波対策に関する基本方針案の確認 ・モデル地区における課題整理
平成23年2月	第3回	北海道開発局	津波対策検討委員会	<ul style="list-style-type: none"> 各課題への取り組み方針(案)の確認 ・平成22年度津波対策検討委員会報告書の承認 ・津波対応チェックリスト(案)の方針確認

東日本大震災発生

平成23年9月	第4回	北海道開発局	津波対策検討委員会	<ul style="list-style-type: none"> ※想定を大きく超える大震災の教訓を踏まえて、地震・津波対策の抜本の見直しが求められたため、検討内容を修正 開発局の災害対応(施設、情報、体制)における課題の整理 ・開発局としての対応における問題点について ・国と地域の連携の方向性について
平成24年3月	第5回	北海道開発局	津波対策検討委員会	<ul style="list-style-type: none"> 北海道の地域特性を反映した津波対策 ・北海道の地域特性を反映した津波対策のあり方について ・提言書のとりまとめ

「津波対策に関する提言書」を受け、津波対策の強化に向けた各種取組を推進

【取組例】

○防災トップセミナーの開催等による地方自治体との防災連携の推進

○各事業における地震・津波対策の検討及び実施

○雪氷期の津波対策の検討

(今回の取組)

1. 東日本大震災により明らかになった地震・津波対策上の課題

1.1. 北海道内において明らかになった課題の整理

1.1.1. 交通ネットワークに関する課題

・冬期の吹雪や雪崩といった厳しい気象環境が交通ネットワーク機能を低下させ、緊急物資輸送等の活動に支障をきたす恐れがある。

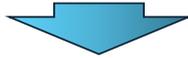
1.1.2. 地域防災力に関する課題

・避難手段の基本は徒歩であるが、冬期の厳しい気象環境や広域分散型社会に起因する長距離避難、さらには住民の高齢化を踏まえると、車による避難行動を許容せざるを得ない実情がある。また、避難路の積雪や凍結も課題としてある。

1.1.3. 施設整備に関する課題

・(河川遡上による浸水を低減するためには、水門、樋門等の開口部を確実に閉扉することが有効であるが、500年間隔地震等の近地津波については来襲までに閉扉操作を完了することは困難である。)更に、冬期においては結氷による操作障害や、積雪による施設へのアクセス不能により、閉扉作業は更に困難となる。

・1952(昭和27)年の十勝沖地震津波の際に発生したように、流水が漂流物となり、被害を拡大することが懸念される。今回の震災においても、氷塊が施設を直撃した事例が報告されている。



3. 津波対策ビジョン ～安全・安心で活力ある地域の創出～

3.3. 《ビジョン3》粘り強く信頼性の高い施設

東日本大震災では結氷した河川を津波が遡上し、氷が破碎され津波と共に河道を遡上した。その結果、アイスジャムの発生や樋門への氷塊の浸入が確認されている。また、昭和27年の十勝沖地震では霧多布に津波と共に流水が押し寄せ被害を増大させた。流水の漂流物化による防潮施設等への影響など、積雪寒冷地である北海道の特有の課題についても調査を進める必要がある。

■北海道特有の河川結氷や海水対策

5. 災害に強い地域づくり

■住民の防災意識を高める啓発活動、防災訓練の実施

・冬期における道路凍結、積雪等による避難路の課題を明らかにした上で、避難における留意事項等を網羅した住民向け津波ハザードマップの活用など、住民に迅速な避難に必要な自治体が行う取り組みを積極的に支援する。

6. 粘り強く信頼性の高い施設

■樋門・水門の遠隔操作化、自動化の推進

・積雪寒冷地である北海道においては、冬期における積雪や凍結がその困難性を増大させることから、門扉のオートゲート化、遠隔・自動操作化を推進し、安全で確実な閉扉操作を実施する。

■北海道特有の河川結氷や海水対策

・従来の漂流物対策に加え、積雪寒冷地である北海道の特有の河川結氷や流水などの津波被害要因について、調査・研究をする。

※「津波対策に関する提言書」(北海道開発局 津波対策検討委員会、平成24年3月)を基に作成

◆実際に、北海道やその周辺地域においては雪氷期に津波が来襲し、流水や河川結氷による被害を受けた事例がある。このため、積雪寒冷地特有の津波対策における諸課題を早急に解決することが重要である。

雪氷期の津波発生の実例

地震名	状況
1894年3月 根室沖地震	国後島で流水を伴った津波の遡上により、家屋の倒壊3棟、船の破損5隻
1923年2月 カムチャッカ地震	カムチャッカ半島で波に押し流された氷塊によって魚缶詰工場が破壊
1952年3月 十勝沖地震	浜中町霧多布で流水を伴った津波の遡上により家屋が多数全壊
2011年3月 東北地方太平洋沖地震	道内の河川で河川結氷が漂流し、鶴川ではアイスジャムが発生



1952年 十勝沖地震: 浜中町霧多布

※旧根室測候所HPより



2011年 東北地方太平洋沖地震: 十勝川

※阿部ら、「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

2.雪氷期の津波発生時に想定される物理現象

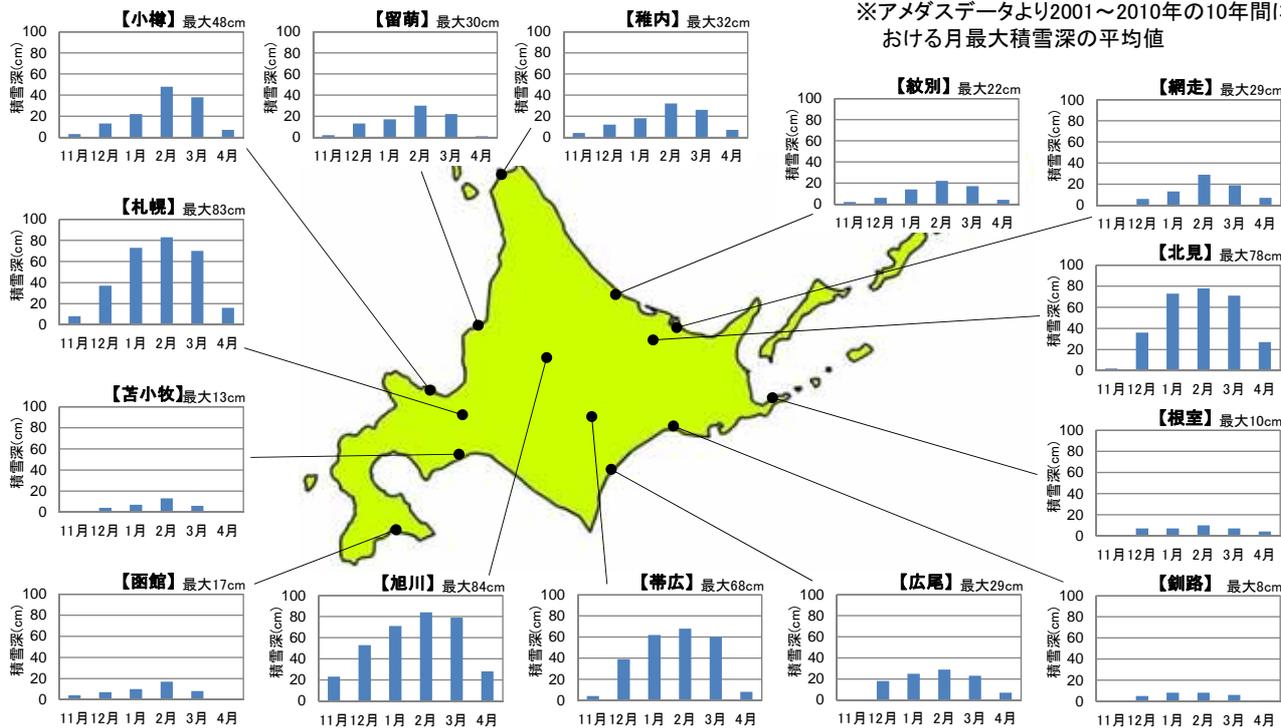
- (1)北海道の雪氷現象の特性
- (2)雪氷期の津波による被害事例
- (3)雪氷現象による被害の事例
- (4)北海道の雪氷現象から想定される津波発生時の物理現象

(1)北海道の雪氷現象の特性

1)積雪

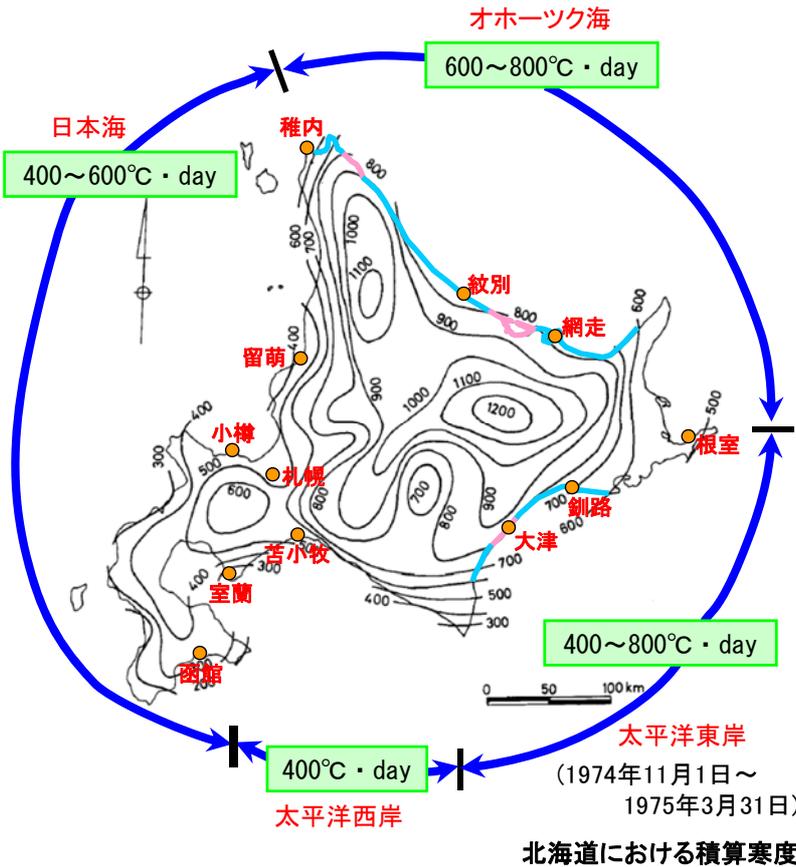
◆積雪深は、オホーツク海側では20～80cm、太平洋側では10cm、日本海では30～80cm程度である。

※アメダスデータより2001～2010年の10年間に
おける月最大積雪深の平均値



北海道における年間の積雪深

2)気温(積算寒度)

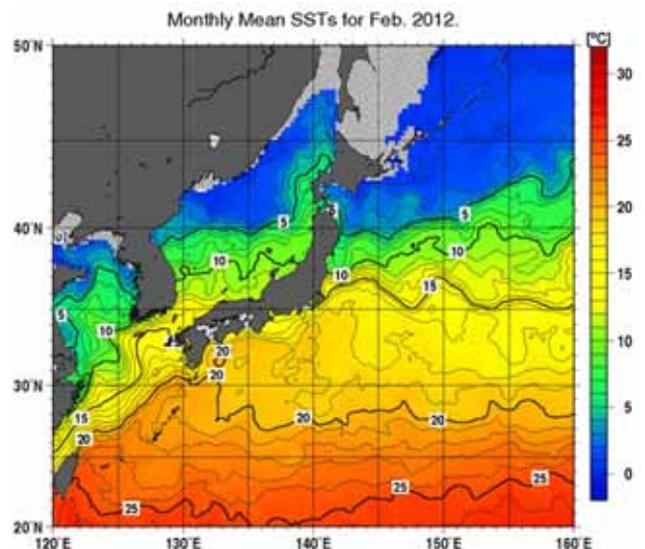
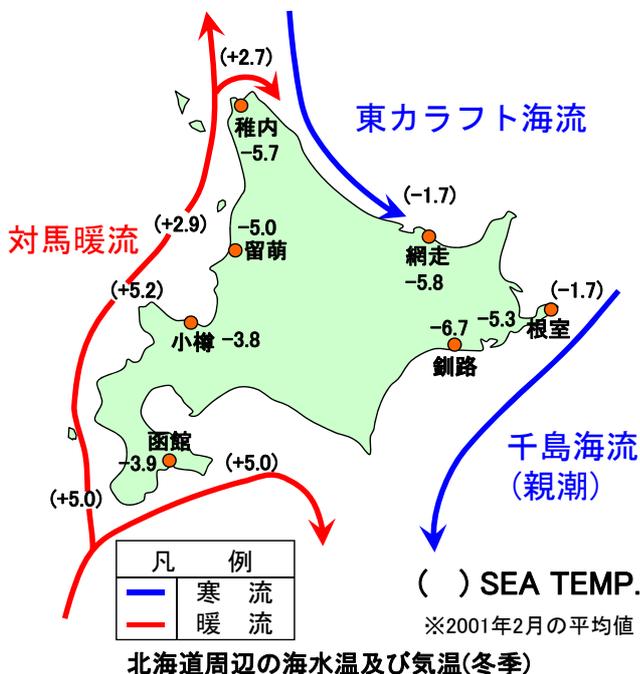


- ◆積算寒度は、0°C以下(あるいは海水などの結氷温度以下)の日平均気温を積算した温度
- ◆積算寒度は氷厚、土の凍結深等の指標として使用される
- ◆北海道ではオホーツク海と太平洋東岸(特に十勝)での積算寒度が大きい
- ◆積算寒度が800°C・day以上の地域においては、港内結氷が発生する可能性が高い

※出典: 福田、武田、「北海道における昭和49~50年冬の積算寒度の分布」、低温科学物理篇資料集

3)海水温

- ◆北海道ではオホーツク海と太平洋東岸の冬季の海水温がマイナス
- ◆特にオホーツク海では海水の結氷温度と同等の-1.7°C程度
- ◆上記の特徴は、東カラフト海流・千島海流(いずれも寒流)と関連

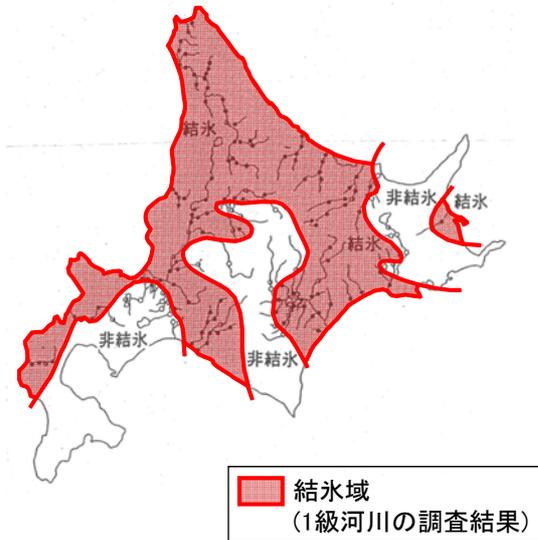


2012年2月の月平均海面水温分布 (グレーは海水等による欠測)

※出典: 気象庁HP 海面水温分布図より作成

4)河川結氷

- ◆道南・道央の太平洋側を除き、北海道のほぼ全域で河川が結氷している。
(1級河川のための調査結果であり、実際には全道的に河川結氷が生じている)



北海道の河川結氷図(1986年度)

※出典:山下ら、「北海道における河川結氷について」、第9回 寒地技術シンポジウム、1993年



北海道の河川結氷図 (2008年2月)

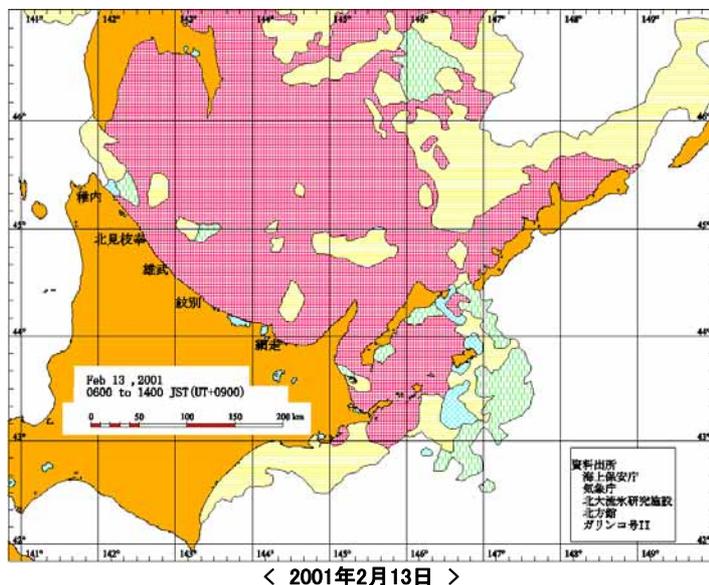
※出典:「河川結氷時の流量推定手法マニュアル(案)」、寒地土木研究所、寒地河川チーム、2012年3月

5)流水①

- ◆第1管区海上保安本部・海水情報センターの海水速報による2000年以降の海水分布(各年の最大)
- ◆流水は年によっては根室半島を超え、十勝沿岸まで到達する。

凡例 (Legend)

- 1-3 (Blue checkered pattern)
- 4-6 (White checkered pattern)
- 7-8 (Yellow checkered pattern)
- 9-10 (Red checkered pattern)
- レーダー (RADAR ECHO) (Grey checkered pattern)
- 雲 (Cloud) (Wavy line)



< 2001年2月13日 >

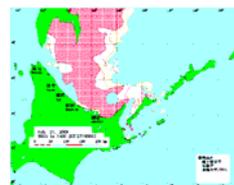
海水分布



< 2007年2月13日 >



< 2008年3月7日 >



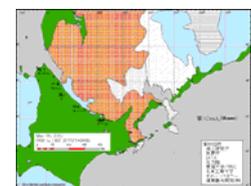
< 2009年2月27日 >



< 2010年2月19日 >



< 2011年2月22日 >

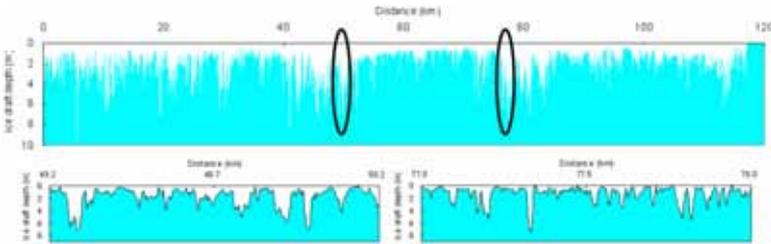


< 2012年3月6日 >

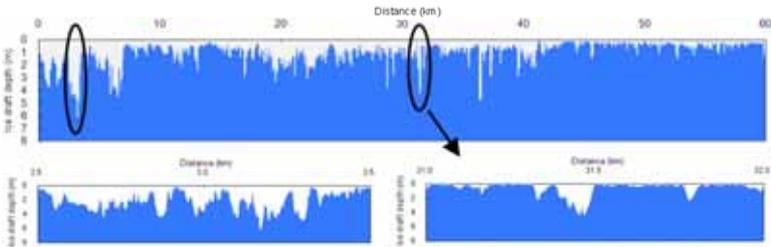
※第1管区海上保安本部・海水情報センターHP

5)流氷②

- ◆オホーツク海の流氷の氷厚は最大で7m以上に達する
- ◆流氷の平均喫水は0.61m
- ◆流氷の漂流スピードは平均0.2m/s程度

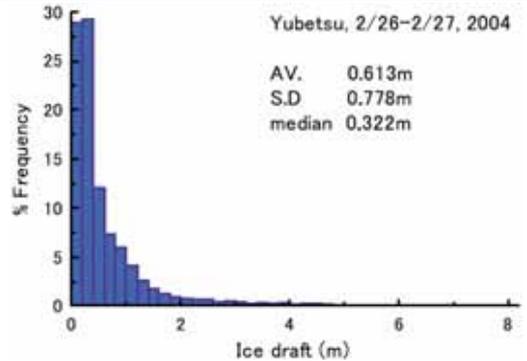


< Jan.28 - Feb. 11, 2008 >



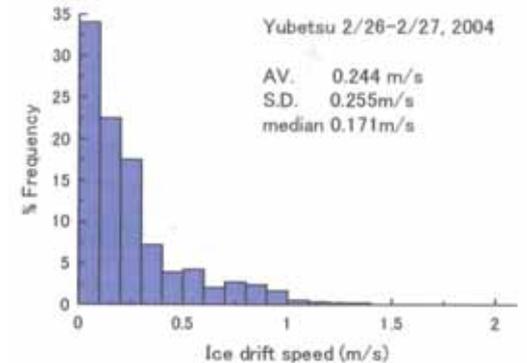
< Feb.5 - and 19, 2010 >

流氷下面形状の例



海氷喫水の頻度分布(2004年)

※出典: 木岡ら、「北海道オホーツク海沿岸における海氷の喫水深と下面形状-2004年観測結果-」、北海道開発土木研究所月報No.630、2005年11月



流氷の移動速度の頻度分布(2004年)

※(独)出典: 寒地土木研究所「オホーツク海沿岸の流氷の観測」

(2)雪氷期の津波による被害事例

1)1952(昭和27)年 十勝沖地震① 概要

- ◆1952(昭和27)年 十勝沖地震においては、霧多布地区で流氷が市街地に遡上して大きな被害をもたらした。

1952年十勝沖地震の概要

項目	内容
発生日時 震央地名	1952(昭和27)年3月4日10時23分、十勝沖
震源・規模	北緯41度48分、東経144度08分、震源の深さ: 0km、M: 8.2
断層 パラメータ	モデル1: 笠原(1975) 右巻参照 モデル2: Aida(1978)
地震・津波 の概要	北海道南東沖で発生した太平洋プレート沈み込みによるプレート間巨大地震であり、十勝地方その他の泥炭地に被害が大きく、震源に近い広尾町はほとんど被害が無かった。釧路では炭坑のズリ山が崩れ死者8名などの被害を出し、煉瓦下部構造の鉄道端の被害が顕著だったほか、貨車の脱線転覆もあった。また、北海道ではサイロの被害が多かった。 津波は北海道沿岸に震後10~30分で到達し、浜中村霧多布では約3mの津波により流氷が割れて押し寄せ、家が破壊された。この津波の最大の高さ(最高潮位)は厚岸の6.5mであった。
震度分布	気象官署での最大震度は、浦河、帯広、釧路、広尾での5であった。

出典:「環境・災害・事故の事典」、丸善株式会社



市街地に打ち上げられた流氷



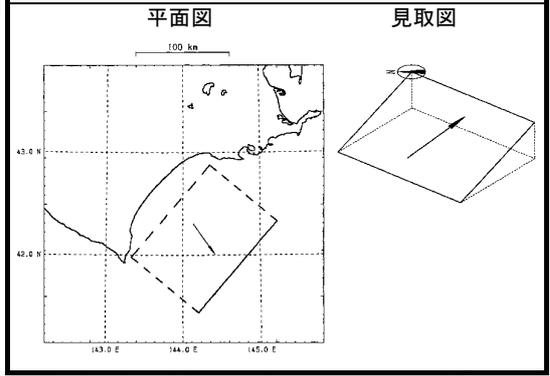
市街地に打ち上げられた漁船

出典:根室測候所HP

1952年十勝沖地震の被災状況写真(浜中町霧多布)

1952年十勝沖地震の断層パラメータ(モデル1)

1952年3月4日 十勝沖地震(モデル1)	
震源要素	昭和27年3月4日10:22 41.80° N、144.13° E、H=0km、M=8.2
出典	笠原(1975)、地震学会講演予稿集、No. 2、90
静的断層パラメータリスト	
$N(^{\circ}N)$	$E(^{\circ}E)$
$d(km)$	$\theta(^{\circ})$
$\delta(^{\circ})$	$\lambda(^{\circ})$
$L(km)$	$W(km)$
$U(cm)$	
42.33 ⁷⁴ 145.22 ⁷⁴ 0 ⁷⁴ 220 20 76 ⁷¹ 130 100 400	
*1 スリップ方位N35° Wより計算	
*2 Moの値より逆算	
*3 $\Delta\sigma$ の値より計算式を推定	
*4 第2図より読み取り	



出典:「日本の地震断層パラメータ・ハンドブック」佐藤良輔編著、鹿島出版会(第3刷)、1997年

1)1952(昭和27)年 十勝沖地震② 霧多布地区の被害の概要

- ◆地震発生は10:23であり、第1波は10:55、第2波は11:30、第3波は11:50、第4波は12:30頃に霧多布地区に到達(地震発生後、第1波は32分後に到達)
- ◆第4波が最大で、第3波で壊れた家屋を押し流し、琵琶瀬湾から浜中湾に津波が通過
- ◆霧多布地区の家屋被害が甚大であり、海水の影響が大きい
- ◆地震の約1週間前に流氷が到達し、琵琶瀬湾に残存しており、大きさは2m平方・厚さ0.6m程度が多く、5m平方・厚さ1.3mのものもあった。



霧多布地区における津波による被害状況

※出典:「昭和27年3月4日 十勝沖地震調査報告」(北海道大学理学部、昭和27年9月)

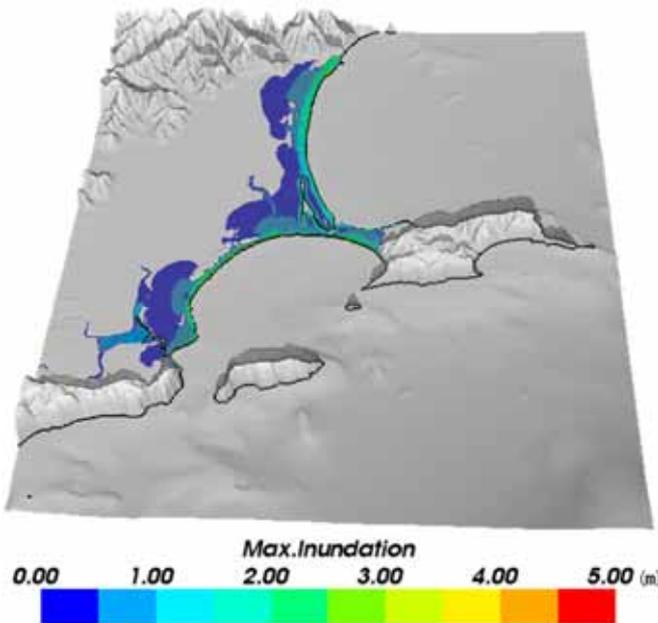


霧多布地区における津波の来襲状況

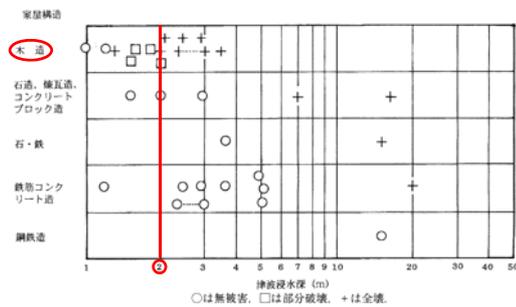
※出典:「十勝沖地震調査報告 昭和27年3月4日」(十勝沖地震調査委員会、1954年)

1)1952(昭和27)年 十勝沖地震③ 霧多布地区の被害についての考察

- ◆霧多布地区の浸水は2m以下のレベルであったが、家屋の倒壊・流出が多数生じた。
- ◆「浸水深と家屋破壊程度」のグラフによると、木造家屋の全壊は浸水深で2m以上で生じることから、霧多布の事例は流氷が漂流物となったことで、被害を拡大させた可能性がある。(東北地方大震災においても、浸水深2m以上で建物被害が増大)

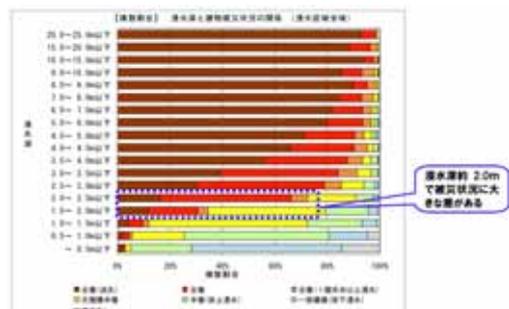


津波シミュレーション結果(最大浸水深)



浸水深と家屋破壊程度

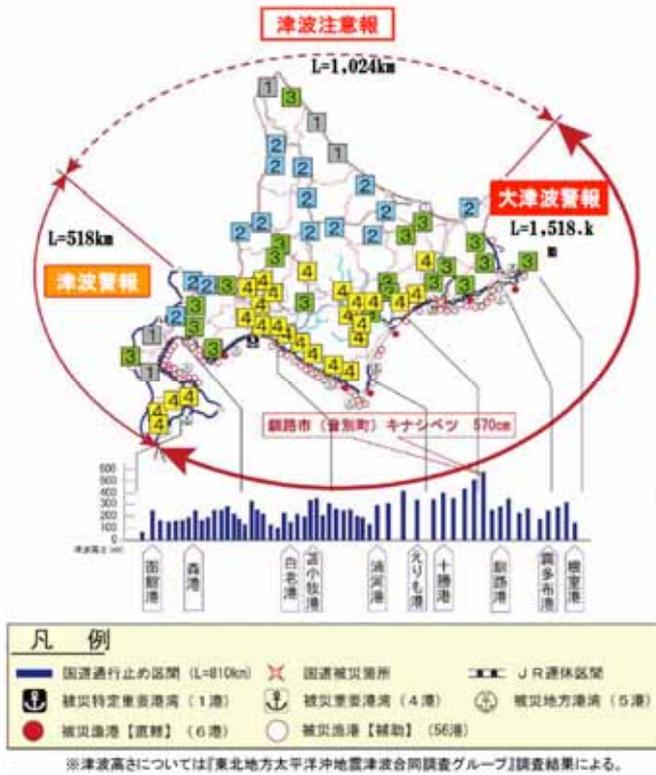
※出典: 松富・首藤(1994)、「津波の浸水深、流速と被害」、海岸工学論文集、第41巻



浸水深約 2.0m で被災状況に大きな差がある

※出典:「東日本大震災における被災現況調査結果について(第1次報告)」、国土交通省都市局、平成23年8月

2)2011(平成23)年 東北地方太平洋沖地震① 北海道での被災概要



○被災の概要

【道路】

①国道：14路線32区間（約L=810km）で11日15:30から通行止めを実施し、多くの区間がほぼ1日通行止めとなった。冠水したR44については約46時間に及んだ。また、札幌～函館間はJRも運休していたことから約24時間陸上交通が断たれ流通などに大きな影響をあたえた。

施設の被害は、R44釧路市旭町アンダーパス冠水、電気設備浸水、R38釧路市幣舞橋電気室浸水。

②道道：23路線27区間（L=205.7km）で11日15:05より通行止めを開始し、通行止解除までに最長で91時間を要した。

【港湾】 35港のうち10港が損傷

【漁港】 282漁港のうち62漁港が損傷（うち直轄 6/38）

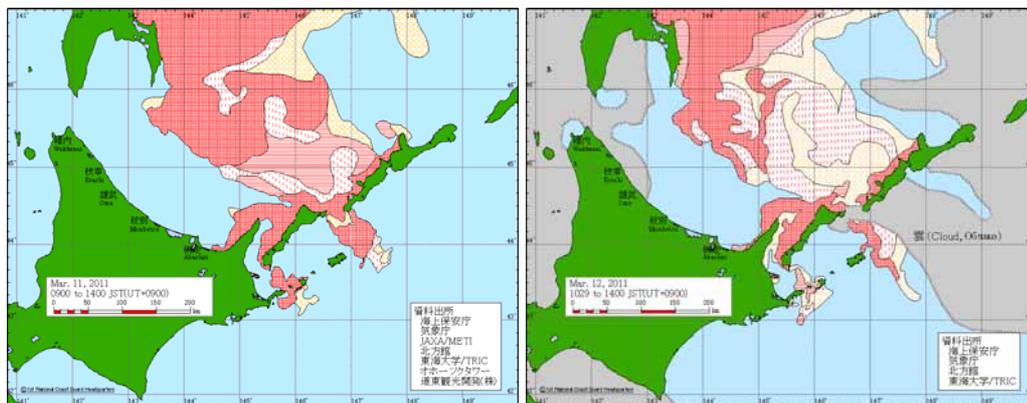
※出典：「北海道開発局の危機管理と今後の地震・津波対策について」、国土交通省北海道開発局 平成24年1月

2)2011(平成23)年 東北地方太平洋沖地震② 海水分布と被害状況

- ◆地震発生時及び翌日の流水分布は下図のとおりであり、津波による大きな移動は認められていない。
- ◆沿岸部の流水が、漁港内や海岸に遡上する事象が認められた。

凡例 (Legend)

1-3 4-6 7-8 9-10 レーダー (RADAR ECHO) 雲 (Cloud)



< 3月11日 >

地震発生時の海水分布

< 3月12日 >



< 友知漁港付近 >



< 沖根婦漁港 >

被害調査結果

※第1管区海上保安本部・海水情報センターHP

※「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・漁港被害調査速報」、(独)寒地土木研究所

2)2011(平成23)年 東北地方太平洋沖地震③ 河川結氷による被害の状況

- ◆津波で破壊された結氷が氷版の形で輸送され、河道内での滞留、高水敷上・樋門吐き口水路・樋門ゲート近傍への堆積の他、アイスジャムの発生が確認された。



鶴川において河川津波に誘発されたと考えられるアイスジャムの概要(3/13 16時頃撮影)



十勝川T,樋門における氷板痕跡(KP.3.30R)



新釧路川K,樋門 (KP.4.50L)における浸水・氷板痕跡及び、ゲート近傍の浮遊氷板(右上)

※出典: 阿部ら(2012)、「北海道河川における2011年東北地方太平洋沖地震津波の痕跡調査、第55回(平成23年度)北海道開発局技術研究発表会論文

2)2011(平成23)年 東北地方太平洋沖地震④ 国後島、色丹島の被害状況

- ◆国後島や色丹島においても、海氷・河氷が河川を遡上したり、海岸や港湾に打上げられる事例が認められた。
- ◆色丹島のクラバザヴォーツク港では、遡上した海氷により、燃料パイプが切断されたとの報告もある。



国後島のセレビヤンカ川に遡上した海氷



色丹島のマロークリリスク湾の海岸に打上げられた海氷

※出典: VICTOR KAISTRENKOら、「Manifestation of the 2011 Great Tohoku Tsunami on the Coast of the Kuril Islands : A Tsunami with Ice」,Pure and Applied Geophysics,2012

1) 国外での被害事例①

- ◆ 石油掘削用プラットフォーム[Bo-hai Gulf Jacket Platform]の崩壊(中国渤海湾)
 - ・ 1969年、多脚構造物間のジャミング形成にともなう氷力増大によって、No.2プラットフォームが崩壊



※出典: Wang, Q.J., 1983

- ◆ 石油掘削用着定式氷海構造物[Molikpaq]の振動(Beaufort SeaのAmauligak I-65 鉱区)

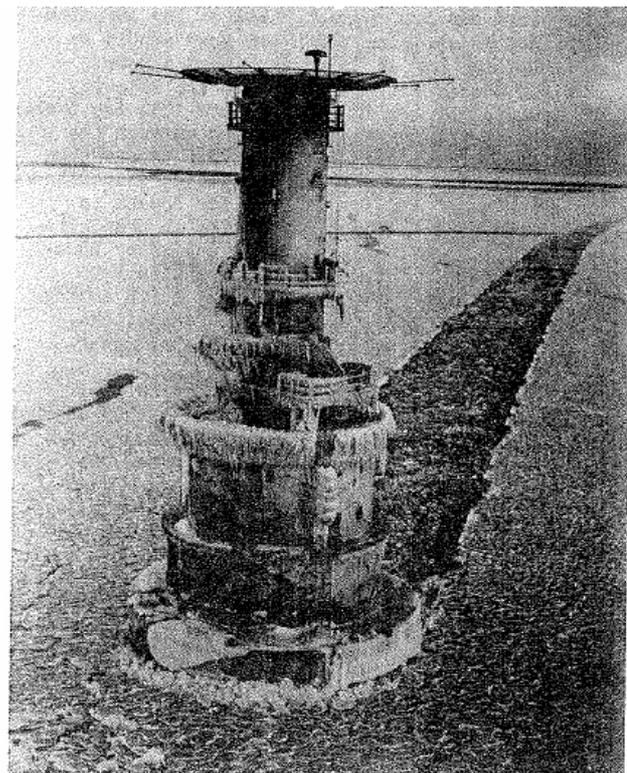
- ・ 1986年、海氷作用の振動によるケーソン内部の埋戻し砂の液状化で崩壊寸前崩壊こそ免れたが、氷工学において、歴史的に有名なイベント



※出典: e.x. G.W.Timco et al., 2005

1) 国外での被害事例②

- ◆ 海中灯台の倒壊
 - ・ ボスニア湾の海中灯台(single-pile, 規模は大きくない)が海氷による静的あるいは動的(振動)荷重を受けて損壊



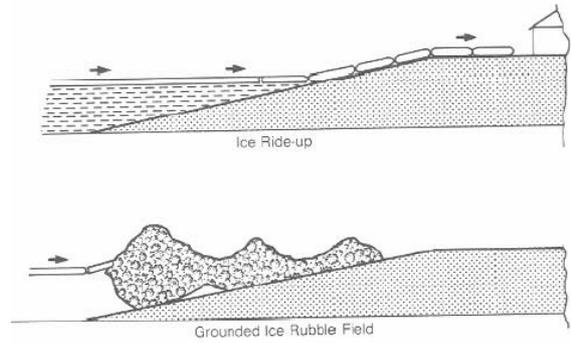
The Grundkallen lighthouse forced through a big moving ice sheet(photo TJ/TIOFOTO).

※出典: Engelbrektsen, 1977

1) 国外での被害事例③

◆ 海岸侵食

- ・ 氷遡上による道路の閉鎖、構造物・家屋の損壊



Ice pile-up in Stonehaven Harbour, Canada.

※出典: Timco, 2002



Ice Related Damage on Golden Lakes

※出典: Comfort, 2006

1) 国外での被害事例④

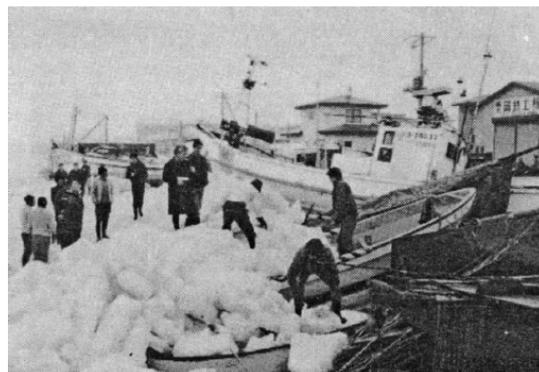
◆ 橋の崩壊(Honeymoon Bridge in Niagara Falls, Ontario, Canada)

- ・ 1938年2月、Ice Jam (最大で15mパイルアップ) 形成による崩壊



2)国内での被害事例①

◆沿岸構造物等の被害



氷塊のride/pile-upによる漁船の破損
(厚岸漁港)[時川ら、1995]

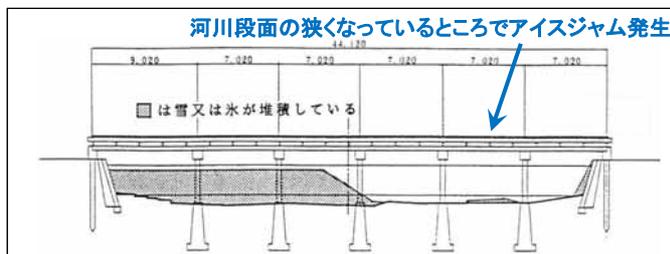


越氷による被害(1991年、網走港南防波堤)

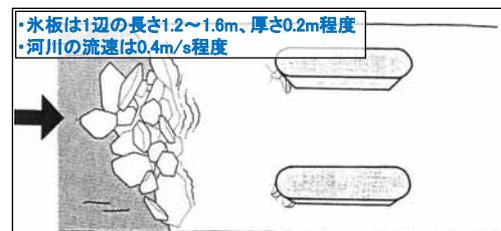
2)国内での被害事例②

◆河川におけるアイスジャムの発生

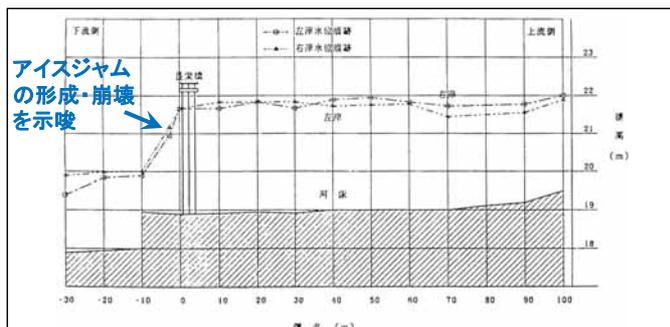
・1994年2月、札幌市内の琴似発寒川において、長栄橋付近でアイスジャムが発生し、流下してくる氷盤や雪をせき止めた後、アイスジャムが崩壊して泥流が一気に流下し、河道内で魚道工事をしていた作業員がショベルドーザーごと流される事故が発生



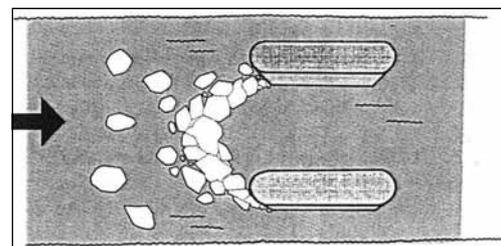
長栄橋構造図



＜定着氷を橋脚が支持した状態でのアイスジャムの発生＞



最高水位痕跡調査結果



＜氷盤による橋脚一でのアーチ形成が起因となるアイスジャムの発生＞
アイスジャムの形成過程

※出典:原 文宏、「結氷河川に建設される橋脚の設計法に関する研究」

2)国内での被害事例③

◆雪泥流(スラッシュフロー)の発生

- ・雪崩、吹雪、雪捨て等により河川内が雪により閉塞(「雪ダム」)し、そこに融雪水と雨水が出水することにより雪が水で飽和して雪ダムが決壊、流動する現象

日本における雪泥流災害一覧(富士山を除く) (1980年以降)



1997年2月26日 新潟県南魚沼郡水無川で発生した雪泥流

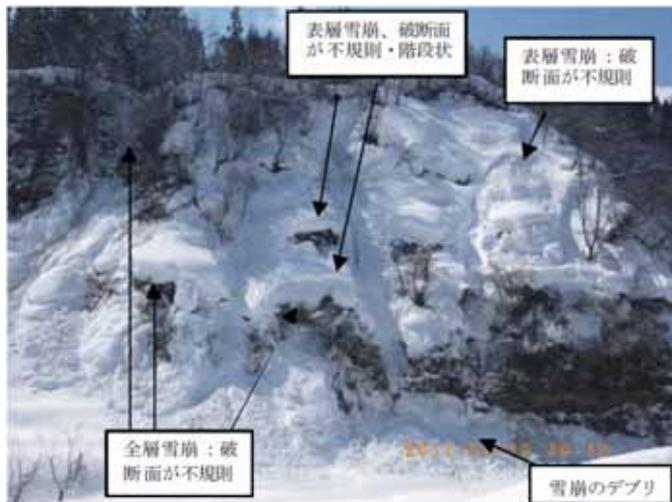
年月日	場所・河川	原因	被害状況
1981/3/14	新潟県牧村棚広・飯田川	雪崩・雪捨て・雪の堆積	死者1名、重傷1名、建物破損5棟
1982/11/30	群馬県水上町谷川岳・一の倉沢	雪の堆積	被害無
1985/2/9	新潟県塩沢町吉里・鎌倉沢川	雪の堆積・雪捨て	床上1戸、床下2戸、県道冠水
1990/2/11	長野県小谷村柵池高原スキー場・から沢	雪の堆積	死者2名
1990/2/27	新潟県湯沢町三俣・水無川	吹き溜まり	被害無
1990/12/4	岩手県松尾村赤川山林・赤川	吹き溜まり	死者2名
1991/2/16	宮城県宮城町関山峠・風倉沢	雪崩・雪の堆積	国道通行止
1992/2/29	新潟県新発田市湯ノ平温泉・加地川	雪崩	露天風呂全壊
1992/3/1	富山県宇奈月町仙人谷ダム・黒部川	雪崩	死者1名・重傷1名
1997/2/26	新潟県塩沢町・鎌倉沢川	雪の堆積	送水管の変形
1997/2/26	新潟県六日町君帰・近尾川	雪捨て	浸水1棟
1997/2/26	新潟県大和町・水無川	雪の堆積	被害無

※出典：小林ら、「雪泥流(slushflow)の特性に関する研究」、第15回 寒地技術シンポジウム、1999年11月

2)国内での被害事例④

◆地震による雪崩の発生

- ・2011年3月12日3時59分に長野県北部を震源としたM6.7の地震が発生
- ・地震によって表層雪崩、全層雪崩、土砂雪崩に伴う雪崩が発生し、道路や建物に被害をもたらした。



地震による雪崩の典型的な発生状況(十日町市)



地震によって発生した表層雪崩、段丘崖の斜面で多発(新潟県十日町市)



地震による斜面崩壊と雪崩、流動性が高く道路まで到達(新潟県十日町市)

※出典：上石ら、「積雪期の地震被害について」、平成23年度 北陸地方整備局管内技術発表会論文集

1)雪氷期の津波来襲時に生じる物理現象の想定

雪氷期の特性

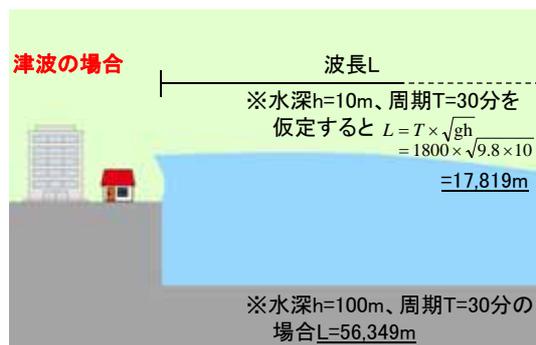
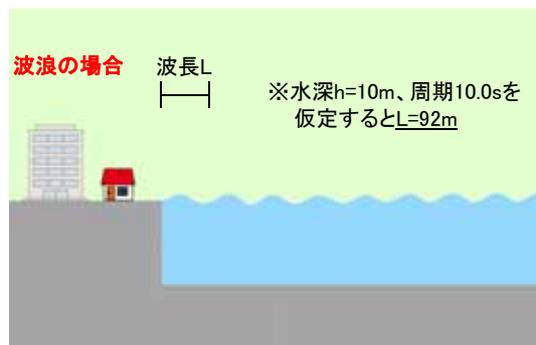
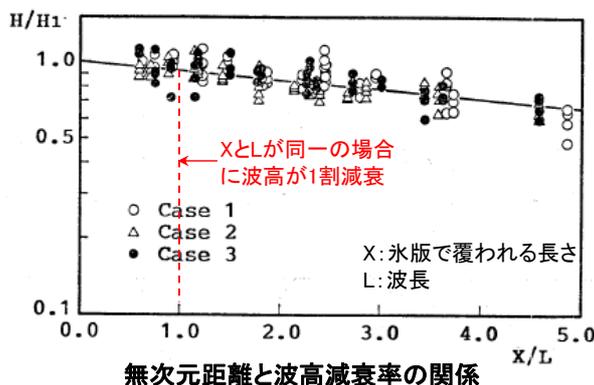
事象	特性
積雪	・オホーツク海側で20~80cm、太平洋側で10cm、日本海側で30~80cm
流水	・年によっては根室半島を超え、十勝沿岸まで到達
港内結氷	・オホーツク海~十勝沿岸の港湾・漁港で結氷
河川結氷	・北海道のほぼ全域で河川が結氷

物理現象

- ◆ 流水及び港内結氷(海水)
 - ・流水下での津波の伝播
 - ・密接度に応じた漂流
 - ・陸域や河川(オープンな状態)への遡上
 - ・パイルアップやアイスジャム等の発生
- ◆ 河川結氷
 - ・結氷状況による遡上状態の変化
 - ・氷盤の漂流や遡上
 - ・アイスジャムの発生
- ◆ 積雪・凍結・低温等
 - ・避難行動の阻害
 - ・避難時の生存率への影響
 - ・積雪・雪山の雪泥流化

2)流水及び港内結氷 ①海水下の津波の伝播

- ◆ 海水で海域が覆われている状況で津波が発生した場合、海水下を津波が伝播する。
- ◆ 海水下で波浪が伝播する場合、波長が数100mのオーダーのため、下図のとおり波長は減衰する。(※さらに、波浪は風によって発生するため、海水下では発達しない)
- ◆ しかし、津波は波長が数km~数百kmのオーダーであり、海水による減衰は少ない。



< 波浪と津波の伝播 >

※出典: 塚ら、「氷版による波浪変形に関する研究」、海工学論文集、第39巻、1992年

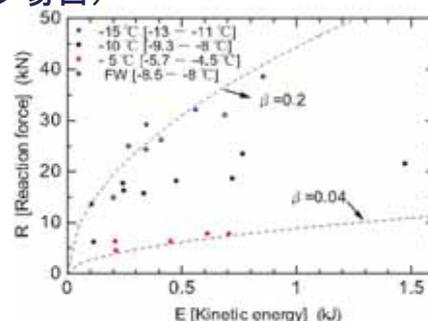
2)流水及び港内結氷 ②密接度に応じた漂流(疎の場合)

- ◆海水が漂流する場合、「衝突」が支配的な現象
- ◆木岡ら(2009)の実験結果によると、海水の衝突力は木材の1オーダー下となっており、他の漂流物と比較して影響は軽微(ただし、数が多いことは問題)

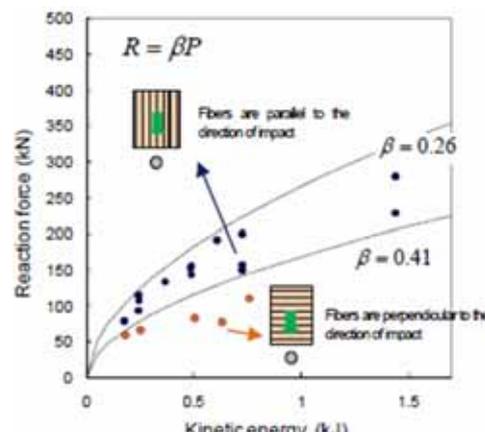


流水の漂流(疎の場合):サロマ湖第2湖口

※出典:「平成19年度 サロマ湖漁港施設整備検討業務」(網走開発建設部 網走港湾事務所)



合支点反力(最大値)と海水の運動エネルギーとの関係(FWは淡水を意味する)



海水以外(木材:カラマツ)の衝突力特性

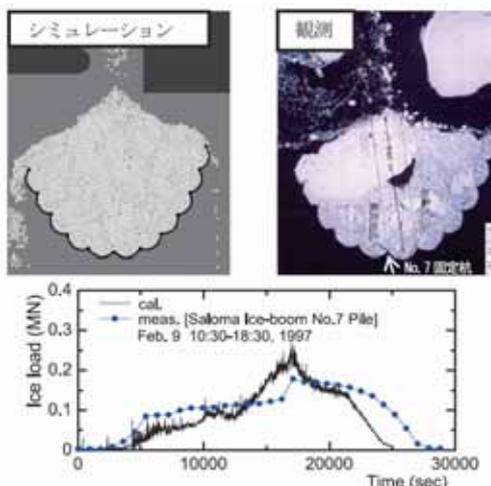
2)流水及び港内結氷 ②密接度に応じた漂流(密の場合)

- ◆密な状態での海水の漂流は、水平方向の氷加重の構造物への影響、及び後述するパイルアップやアイスジャムを引き起こす要因になることが問題となる。
- ◆海水が密な状態の場合、海水の流体力が海水を介して氷荷重として作用する。



流水の漂流(密の場合):サロマ湖第2湖口

※出典:「平成19年度 サロマ湖漁港施設整備検討業務」(網走開発建設部 網走港湾事務所)

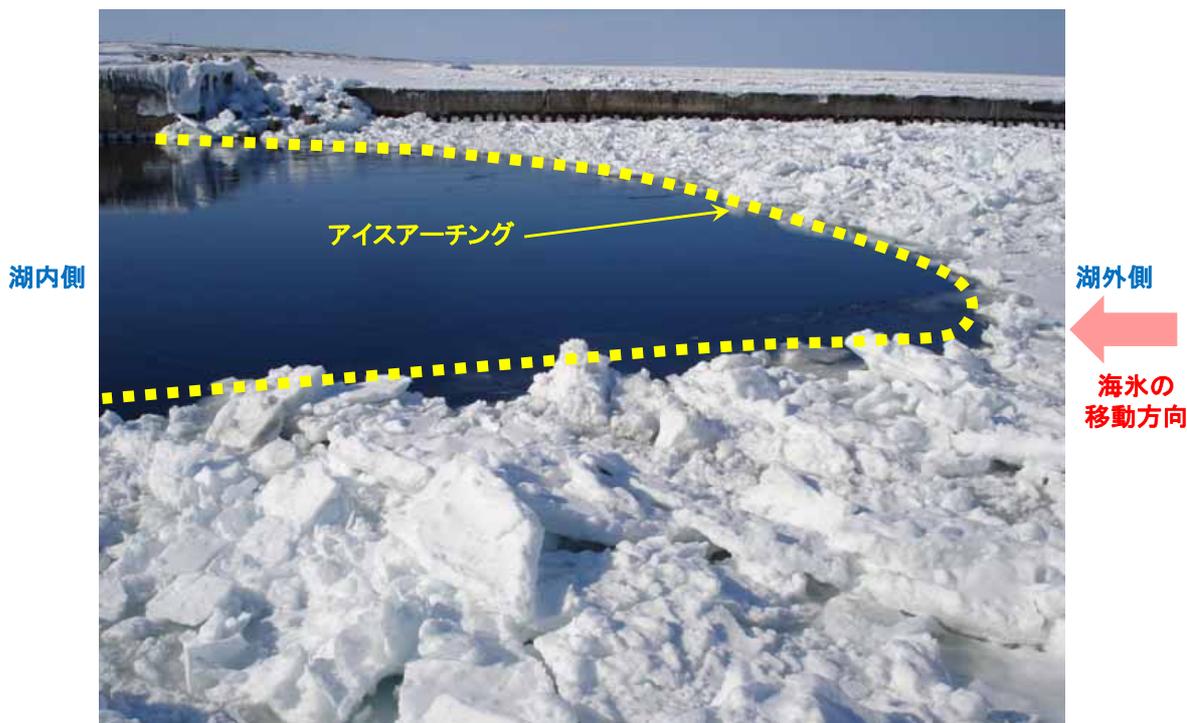


アイスブームに作用する氷荷重の実測値と計算値との比較

※出典:木岡ら、「サロマ第二湖口における流水挙動と水路護岸に作用する流水接触荷重の数値計算」、土木学会論文集B2(海岸工学)、Vol.66、No.1、2010年

2)流水及び港内結氷 ②密接度に応じた漂流(密の場合)

◆密な状態の海水の漂流においては、写真のようにアイスアーチングが形成され、アイスジャム化する。

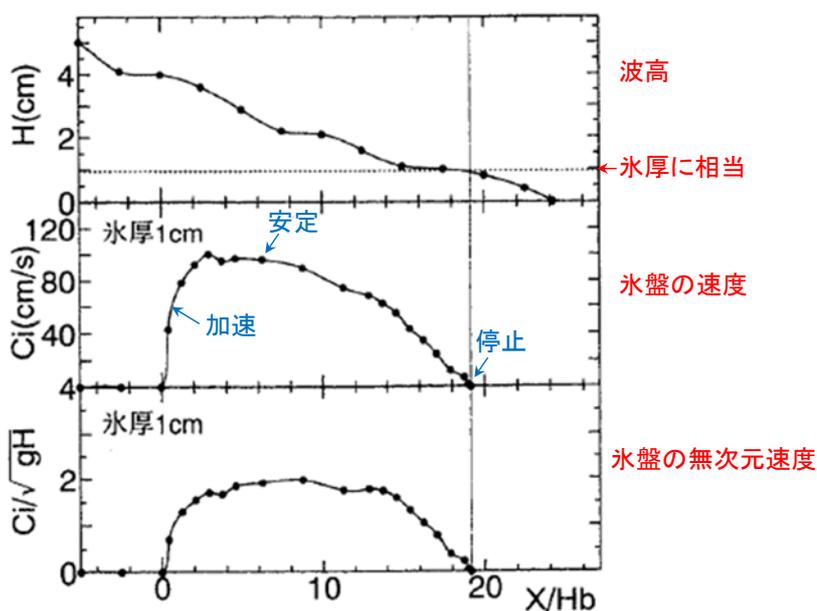


アイスアーチングの形成状況：サロマ湖第2湖口

2)流水及び港内結氷 ③陸域や河川への遡上

◆佐伯ら(1994)によると、氷盤が陸上に遡上する際、津波により輸送されつつ一定の速度となり、海水が地面接すると摩擦により停止する挙動を示すことが明らかになっている。

◆河川(オープンな状態)への遡上は、後述の河川結氷の遡上と同様に生じるものと考えられるが、河川の水深・水位や海水のサイズ等によって現象は異なるものと考えられる。



海水の遡上時の挙動

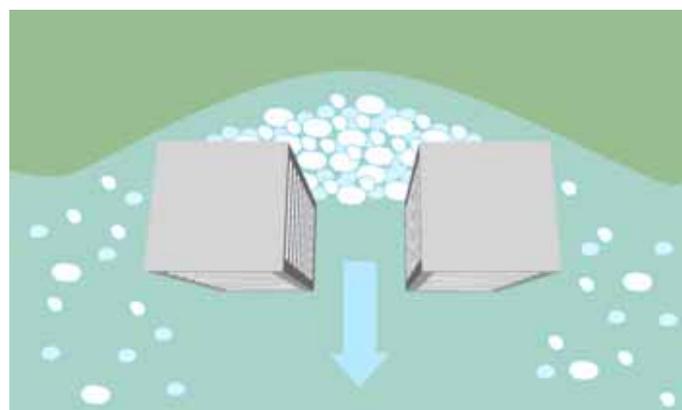
※出典：佐伯ら、「津波による海水盤の陸上への遡上機構に関する実験的研究」、海岸工学論文集 第41巻、1994年

2)流水及び港内結氷 ④パイルアップやアイスジャム等の発生

◆海氷が陸域に遡上した場合、海氷が密かつ大量であれば、建物等の位置・間隔や海水のサイズによって、パイルアップやアイスジャムが発生する。



< パイルアップのイメージ >



< アイスジャムのイメージ >

3)河川結氷 ①結氷状況による遡上状態の変化

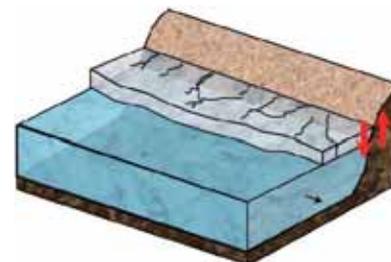
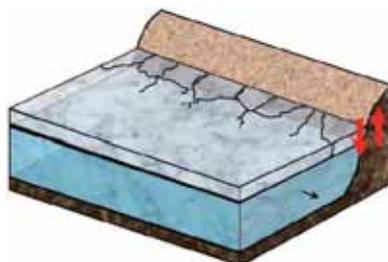
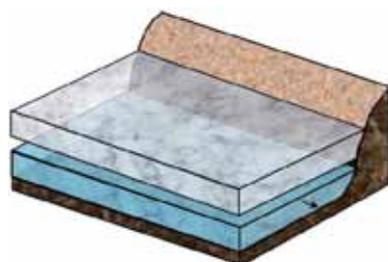
◆阿部ら(2012)は、河川結氷状況別の津波伝播について、下図のとおり3パターンに分類している。

◆この中で、一級・二級河川を含め、1~2月の厳冬期に北海道内で最も多いのはタイプBであり、剥離した氷版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ると指摘している。

タイプA：完全結氷でも結氷が厚いもの。氷は河岸と強固に接続され、干潮時に河水と水面の間に空洞が生じる。特異な津波伝播形態が発生することが考えられる。
(音別川、和天別川、阿寒川)

タイプB：完全結氷でも結氷が薄いもの。結氷は河岸部分で亀裂が入り、干満または流量変化に伴って結氷全体が上下に移動する。氷の存在により、津波の波高上昇は小さい。
(浦幌十勝川、コトイ川、チョロベツ川、厚真川、鶴川)

タイプC：部分結氷で、解氷期の終盤。開水面が生じており、干満または、流量変化の作用で氷は徐々に河岸から剥離し、流下する。津波は開水時とほぼ同様の伝播特性となる。
(十勝川、茶路川、庶路川、新釧路川)



< 結氷状況別の津波伝播について >

※出典：阿部ら、「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～」、寒地土木研究所日報第710号、2012年7月)

3)河川結氷 ②氷盤の漂流や遡上

◆津波により破壊された氷盤は漂流し、治水施設への衝突や堤外・道路等への遡上等が生じる。



(1) 十勝川T,樋門における氷板痕跡(KP.3.30 R) >



(2) 砂州上の無数の氷板痕跡(KP.2.20 R付近) >



< 浦幌十勝川U,水門における津波痕跡(KP.1.10 L) >

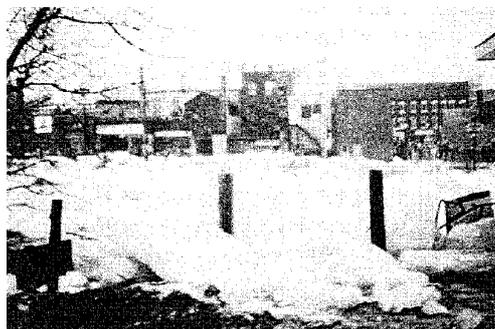


< 鶴川旧川跡を横切る管理用道路に打ち上げられた巨大氷板 (KP.1.13 R) >

※出典:阿部ら、「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

3)河川結氷 ③アイスジャムの発生

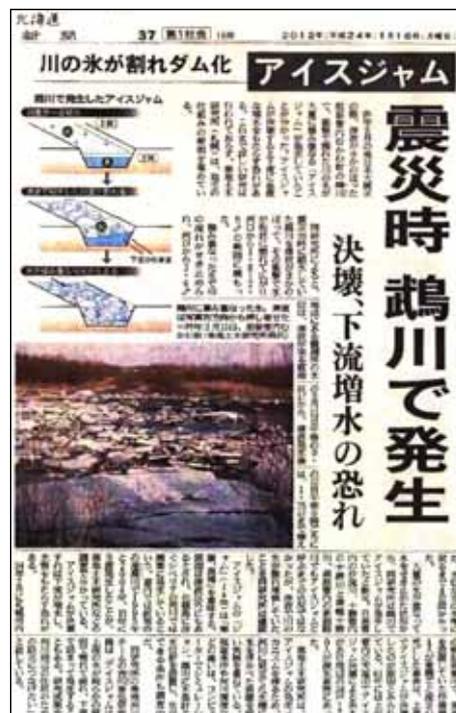
◆津波によって、漂流・遡上した氷盤は、引き波時に橋脚や狭窄部でアイスジャムが発生し、洪水の発生等の二次的な災害を引き起こす可能性がある。



< オンタリオ州、Moira Riverで発生したアイスジャムによる洪水 >



< St.John Riverにおいて発生したアイスジャムによる洪水 >



北海道新聞(2012年1月16日 朝刊)

4)積雪・凍結・低温等 ①避難行動の阻害

- ◆積雪による避難路・歩道等の歩行困難、吹雪による視界不良、雪崩による避難路・避難場所の機能不全等、避難行動が阻害される。
- ◆また、低温や吹雪等による避難行動の開始の遅れ(防寒準備や避難行動開始の躊躇等)が生じる。



平成24年1月の岩見沢市における豪雪の状況
※出典：北海道開発局提供



面発生乾雪表層雪崩の例



面発生湿雪全層雪崩の例

※出典：「雪氷現象の基礎に関する技術資料(案)」、(独)土木研究所 寒地土木研究所、平成23年3月

4)積雪・凍結・低温等 ②避難時の生存率への影響

- ◆避難行動中等に津波に巻き込まれた場合、多くは沖合へ漂流する。
- ◆過去の津波においては、漂流後、数日～2週間程度で漂流者が救出された事例もある。
- ◆しかし、雪氷期の津波の場合、生存率は著しく低下する。

漂流者の救出事例

○2011年東北地方太平洋沖地震

- ・海上自衛隊のイージス艦「ちよukai」が福島県双葉町の沖合5kmの海上で60才の男性を救出(2日後)
- ・航空自衛隊のCH47ヘリが漂流中の11人を救助(3時間半後)

○2004年スマトラ沖地震

- ・2週間漂流していた男性が救助(2005年1月11日)

海中転落時の生存時間(IMOの手引書)

- ・水温4℃～10℃ : 3時間以下
- ・水温2℃未満 : 45分以下



毎日新聞(2011年11月30日 朝刊)

4)積雪・凍結・低温等 ③雪泥流の発生

◆雪泥流の特性は以下のとおりであり、雪山等が津波によって浸水した場合、同様の現象が発生する可能性がある。

雪泥流の特性

○密度

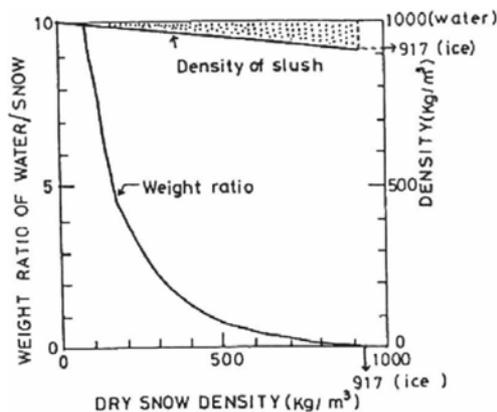
・氷粒と水の混合物のため、 $1,000\text{kg/m}^3 \sim 917\text{kg/m}^3$

○粘性

・非ニュートン粘性指数 n が $0 \leq n \leq 1$ の範囲であり、擬塑性流体

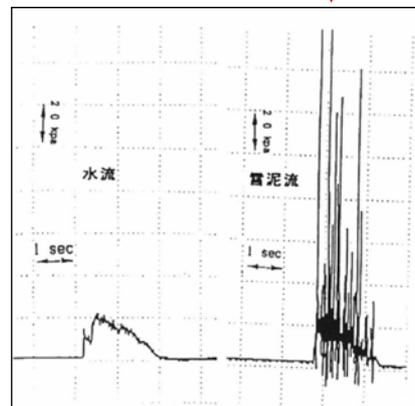
○衝撃力

・平均値は水と等しいが、瞬間的にパルス状の衝撃力が働く(雪泥の凝集構造による)



雪泥のとらうる密度範囲と積雪の乾き密度と積雪の空隙に水を満たした場合の水/雪の重量比の関係

雪泥流はパルス状の衝撃力が作用



水流と雪泥流の衝撃力の比較

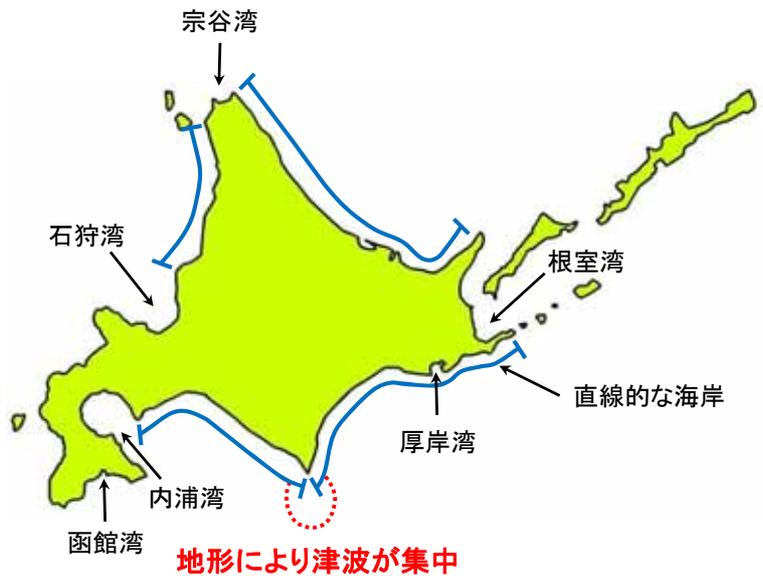
※出典：小林ら、「雪泥流(slushflow)の特性に関する研究」、第15回 寒地技術シンポジウム、1999年11月

3.雪氷期の津波災害シナリオ及び リスクの検討と課題抽出

- (1)北海道の地形的特徴
- (2)津波に対する脆弱性
- (3)津波災害シナリオ及びリスクの検討

1)海岸の特徴

- ◆東部・西部太平洋沿岸やオホーツク海沿岸、北部日本海沿岸の様に直線の海岸地形が主である。ただし、背後の地形条件(例えば東部太平洋沿岸は平野が主)は異なる。
→津波の遡上形態が異なる
- ◆襟裳岬のような急峻な海底地形を有する地域もある。
→津波が屈折により集中しやすい。
- ◆宗谷湾、石狩湾、函館湾、内浦湾、厚岸湾、根室湾等の湾状地形が多数ある。
→湾内で副振動が発生して増幅する可能性がある。



2)都市・集落の形成状況

- ◆河川の河口周辺には、港湾・漁港が立地し、その背後や河川に沿って市街地が形成されている。
→津波の河川の遡上、臨港地区内の漂流物(船舶、車両等)や危険物等の影響を受けやすい。
→海岸線付近の道路の浸水や橋の崩壊等により市街地が分断され、ライフラインへの影響もある。



< 網走市 >



< 釧路市 >



< 浦河町 >

2)都市・集落の形成状況

- ◆霧多布の様に砂洲型地形の場合、高台以外に避難する場所が無い。また、東部太平洋沿岸は平野部が多く、高台が存在しない地形も多数存在する。
→避難困難な地域がある。
- ◆都市間の距離が長く、主要な幹線道路が沿岸にあり、集落が点在している。
→発災後、孤立化する。



< 浜中町 霧多布 >



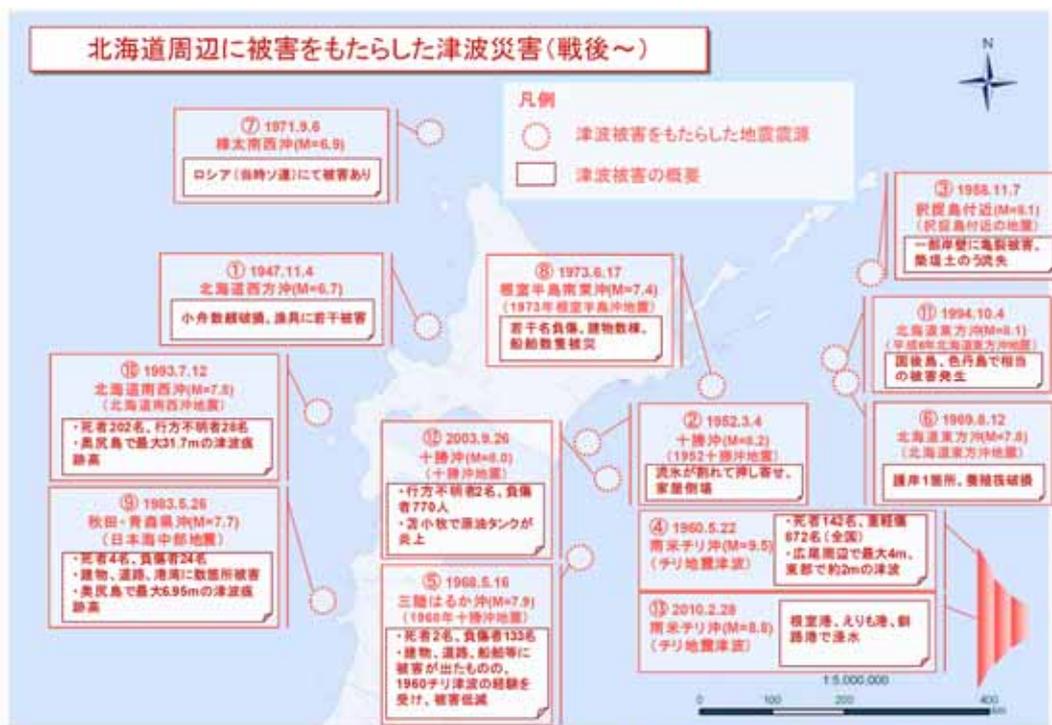
< 日高地域 >

※出典:(c) Esri Japan公共地図を基に作成

(2)津波に対する脆弱性

1)過去の津波被害

- ◆北海道は地震・津波の常襲地域であり、度重なる津波被害を受けている。



近年、北海道周辺に被害をもたらした津波被害

※出典:「津波対策に関する提言書」(平成24年3月、北海道開発局 津波対策検討委員会)

2)今後発生が想定される地震・津波

◆北海道周辺においては、今後、以下の断層領域で地震・津波の発生が懸念されている。

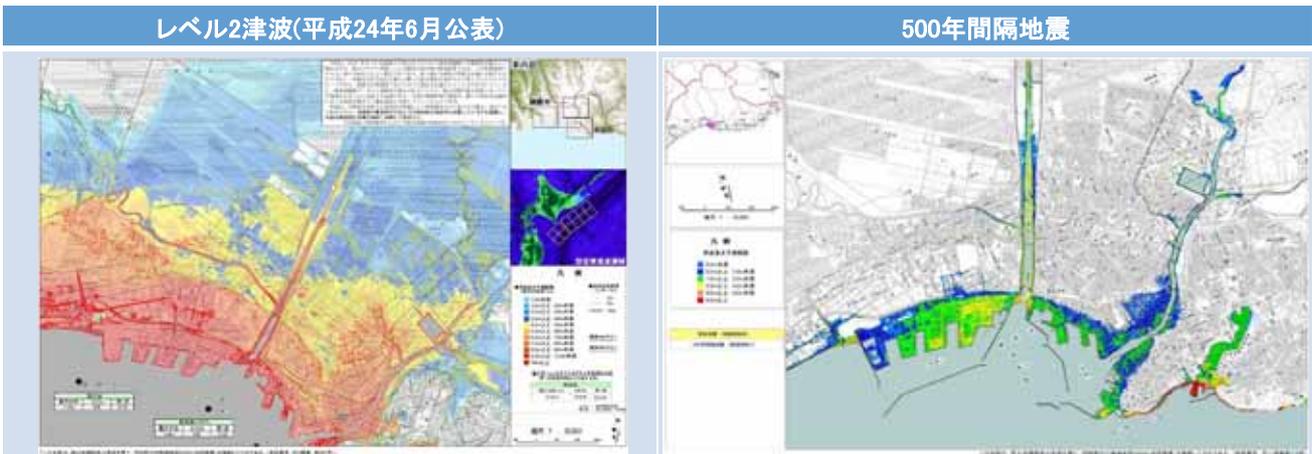


北海道周辺の主な断層領域

※出典:「津波対策に関する提言書」(平成24年3月、北海道開発局 津波対策検討委員会)

3)津波の規模 ①北海道の津波浸水予測結果

- ◆北海道庁の津波浸水予測結果によると、最大クラス(レベル2)の津波は甚大な被害をもたらす。
- ◆最大クラスの津波においては、各種雪氷現象の有無に関わらず、被害が生じる。
- ◆このため、1952(昭和27)年 十勝沖地震における霧多布の事例を踏まえ、本検討会においては「レベル1津波が雪氷期に来襲した際における、特有の物理現象により被害が増大する事象への対応」に主眼を置き、「レベル2津波に対しては雪氷期における避難の円滑化」について検討を進める。

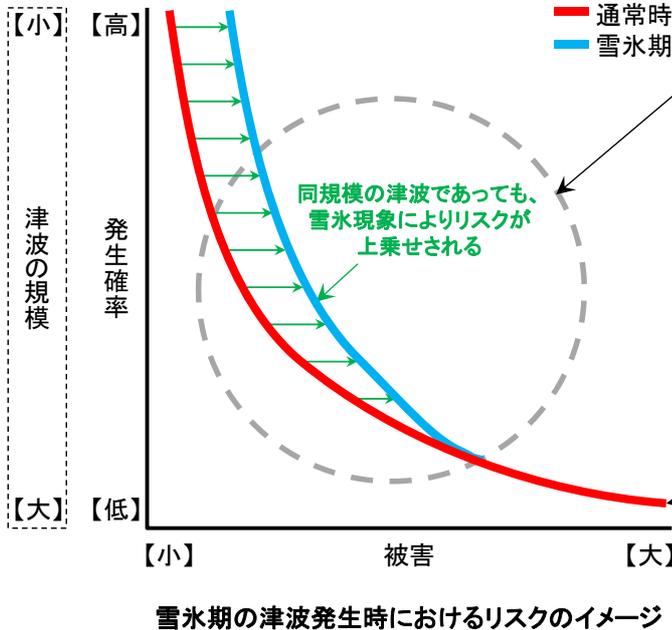


釧路市の浸水分布

※出典:北海道庁HP

3)津波の規模 ②被害シナリオ・リスクの検討対象

◆雪氷期の津波発生時においては、下図のとおり、各種雪氷現象によるリスクの上乗せが生じるものと想定され、この部分を本検討会では詳細に検討する。



繰り返し発生する一定規模の津波(レベル1~)

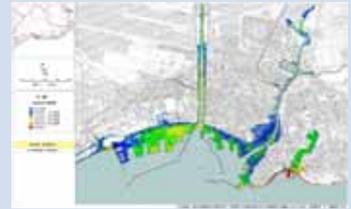


市街地に打ち上げられた流水



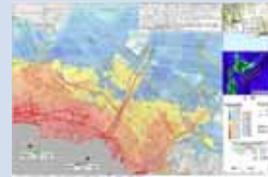
十勝川T,樋門における水板痕跡(KP.3.30R)

・雪氷現象によりリスクの上乗せが生じる



最大クラスの津波(レベル2)

・雪氷現象の有無に関わらず被害大



(3)津波災害シナリオ及びリスクの検討

1)流水・港内結氷・河川結氷

◆雪氷期の津波来襲時における物理現象の検討結果を踏まえ、現時点で想定される津波災害シナリオ及びリスクを以下のとおり整理した。

雪氷現象	物理現象	津波被害シナリオ	リスク
流水・港内結氷	海水が漂流して陸域に遡上	・港湾施設、漁港施設、建物等へ衝突 ・道路の閉塞	・車両、船舶等の漂流物よりは衝突力が小さく、リスクは小さい ・ただし、密の場合は多量の漂流物となり、リスクは増加する。
	流水が河川・湖沼を遡上、漂流(河川結氷なし)	・堤防、水門、樋門、取水施設等への衝突	・通常期には潜在的な漂流物が無いことから、リスクは増加する。
	パイルアップやアイスジャムの発生	・港湾施設、漁港施設、建物等の破壊や、建物内への海水の突入 ・橋の崩壊(陸上輸送機能の寸断、水道・ガス管等のライフラインの損傷) ・河川水位の上昇、氾濫による浸水深・範囲の増加	・通常期には起こらない現象であり、施設被害、人的被害、ライフライン被害等被害を拡大させるリスクがある。
河川結氷	津波が結氷河川・湖沼を遡上	・平坦氷が破壊、氷盤が漂流して堤防、水門、樋門、取水施設等への衝突	・通常期には潜在的な漂流物が無いことから、リスクは増加する。
	パイルアップやアイスジャムの発生	・橋の崩壊(陸上輸送機能の寸断、水道・ガス管等のライフラインの損傷) ・河川水位の上昇、氾濫による浸水深・範囲の増加	・通常期には起こらない現象であり、施設被害、人的被害、ライフライン被害等被害を拡大させるリスクがある。
	氷盤が市街地に遡上漂流	・建物等へ衝突 ・道路の閉塞	・氷盤が多量の場合は、リスクが増加する。

2)積雪・凍結・低温

雪氷現象	物理現象	津波被害シナリオ	リスク
積雪	路面の積雪	・避難時の歩行速度の低下 ・積雪による避難ルート制限	・人的被害が拡大するリスクがある。
	避難場所の積雪	・避難場所としての機能喪失	・人的被害が拡大するリスクがある。
	積雪の津波による輸送	・雪泥流の建物等への衝突 ・瓦礫の再凍結の促進	・被害が拡大するリスクがある。 ・復旧活動が遅延するリスクがある。
凍結	治水施設(水門、陸閘)が凍結により閉鎖不能	・浸水範囲の拡大	・被害が拡大するリスクがある。
	路面凍結	・避難時の歩行速度の低下 ・津波遡上時の摩擦の低減による浸水範囲の拡大	・被害が拡大するリスクがある。
	瓦礫の再凍結	・瓦礫の撤去作業の遅延や啓開作業の遅延による緊急輸送物資等の輸送ルートの確保が困難	・復旧活動が遅延するリスクがある。
低温	マイナス気温の継続	・避難場所での体力低下、凍死等 ・漂流者の生存時間の低下 ・初動の遅れ(防寒等の準備時間)	・人的被害が拡大するリスクがある。

3)第2回検討会に向けて

◆雪氷期の津波来襲時に生じる物理現象を踏まえ、リスクの上乗せについて数値シミュレーションを活用してモデルケースでの検討を進める。

