

津波被害による北海道太平洋沿岸の港湾の
経済的リスク

Economic Risk from Tsunami Damage at Ports on the Pacific
Coast of Hokkaido

川村 壮¹⁾、竹内 慎一²⁾
Takeshi Kawamura¹⁾, Shinichi Takeuchi²⁾

地方独立行政法人北海道立総合研究機構
建築研究本部
北方建築総合研究所

Northern Regional Building Research Institute
Building Research Department

Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization

¹⁾ 地域研究部環境防災グループ研究職員 ²⁾ 同主査

¹⁾ Researcher of Prevention and Environment Group ²⁾ Chief of Prevention and Environment Group

概要 Abstract

津波被害による北海道太平洋沿岸の港湾の経済的リスク Economic Risk from Tsunami Damage at Ports on the Pacific Coast of Hokkaido

川村 壮¹⁾、竹内 慎一²⁾
Takeshi Kawamura¹⁾, Shinichi Takeuchi²⁾

キーワード : 津波、港湾、経済的被害、空間分析
Keywords : *Tsunami, Port, Economic Damage, Spatial analysis*

1. 研究概要

1) 研究の背景

- ・港湾機能の低下により、貨物取扱量の減少等の直接的被害の他、物流の停滞等の間接的な影響が想定される。
- ・既存の港湾 BCP の多くは空間解析による被害想定が実施されていないため、本研究での実施が必要である。

2) 研究の目的

本研究では、津波による深刻な被害が想定される苫小牧市と室蘭市、釧路市を対象に、港湾の津波被害を物的被害と経済的影響の両面から明らかにし、港湾機能復旧における各施設の重要性を検討する。

2. 研究内容

1) 北海道内の港湾の現状について調査・分析 (R1～R2 年度)

- ・ねらい：港湾統計等により、対象都市内の港湾の現状（入港船舶、取扱貨物量等）について調査・分析を行う。また、都市計画基礎調査等により港湾や周囲の建築物の空間的立地状況を把握する。
- ・試験項目等：統計資料の調査、GIS を用いた空間解析、ヒアリング調査、現地視察等

2) 津波による港湾の物的被害の推計 (R1～R2 年度)

- ・ねらい：研究項目 1 において整備した港湾の地理空間情報と津波シミュレーションデータの統合分析により、津波発生時に想定される港湾の物的被害（土木施設、建築物、機械）の程度と量を推計する。
- ・試験項目等：GIS を用いた空間解析、事例調査、現地視察等

3) 港湾の物的被害額および港湾機能の低下による経済的影響の明確化 (R1～R2 年度)

- ・ねらい：津波による港湾の物的被害を直接的被害額として推計し可視化する。さらに、港湾機能低下により経済活動に与える間接的影響（物流の停滞による経済活動への影響等）を、生産関数による推計や過去の港湾被害の分析事例等を参考に明らかにする。この際、推計手法を北海道の港湾の実態にあったものに改良する。
- ・試験項目等：GIS を用いた分析および可視化、統計資料の分析、事例調査、推計手法改良等

¹⁾ 北方建築総合研究所地域研究部環境防災グループ研究職員 ²⁾ 同主査

¹⁾ Researcher of Prevention and Environment Group ²⁾ Chief of Prevention and Environment Group

- 4) 経済的被害推計を基にした各港湾の復旧時における港湾機能を担う各施設の重要性の検討 (R2 年度)
- ・ねらい：港湾管理者が作成する港湾 BCP と自治体が作成する地域防災計画を経済的被害という共通指標で分析し、経済的影響の大きいボトルネックを抽出することにより、各港湾の復旧時における港湾機能を担う各施設の重要性を経済的視点から検討する。
 - ・試験項目等：港湾 BCP・地域防災計画の分析、経済的被害に基づく港湾機能の重要性の検討

3. 研究成果

1) 北海道内の港湾の現状について調査・分析

- ・対象港湾（苫小牧・室蘭・釧路）が担う機能を確認するため取扱品目とその量を港湾統計により把握した。
- ・2)～4)での津波被害の空間的分布の推計や港湾機能低下状況の検討のため、都市計画基礎調査データへの情報追加や港湾計画図等の紙地図の GIS 化により港湾の空間データを構築した。

2) 津波による港湾の物的被害の推計

- ・港湾施設および建物の物的被害推計のため、実際の被害事例として東日本大震災で被災した港湾施設（施設数：約 400）の空間データを作成して津波浸水深と重ねるとともに、建物の被害状況（建物数：約 90）の情報を収集し、津波浸水深と被害の関係を提示した（表 1・表 2）。
- ・北海道危機対策課が公表している津波浸水想定（H24 太平洋沿岸）と上記の津波浸水深と被害の関係を基に、各港湾の建物等の被害を推計した（図 1）。
- ・同一港湾内部でも津波浸水深や被害の状況が場所により異なることが明らかとなった。

3) 港湾の物的被害額および港湾機能の低下による経済的影響の明確化

- ・内閣府の被害額推計手法を基に、建物や償却・在庫資産の被害額（表 3）とその空間的分布（図 2）を明らかにした。ただし、港湾施設（外郭施設・係留施設）は単価の算出が困難であったため、全道値を基にした推計により被害額を算出した。
- ・間接的被害については、被害を受ける建物の機能等から定性的に整理するとともに、生産関数を用いた生産額への影響の検討、道内の地域別産業連関表による影響力係数・感応度係数の算出を行った。
- ・釧路港における飼料の荷役や苫小牧港におけるコンテナ輸送といった、被害を受けることで港湾の背後地の経済に大きな間接的影響を与える可能性がある港湾機能の存在が明らかとなった。

4) 経済的被害推計を基にした各港湾の復旧時における港湾機能を担う各施設の重要性の検討

- ・2)、3)の分析や各港湾管理者へのヒアリングの結果等から、港湾機能を担う建物や港湾施設の重要性および被災時のボトルネックを検討し、津波被害の事前・事後において考えられる対応について整理した。
- ・東日本大震災の事例や本研究の分析から、建物等の機能が維持される港湾では荷役機械がボトルネックとなる可能性が示唆された。
- ・償却・在庫資産の保管場所の工夫による被害軽減や、耐震強化岸壁等における港湾機能の代替可能性について検討した。

< 具体的データ >

表 1 建物被害と津波浸水深の関係

建物構造	階数	倒壊	躯体被害	非難避難	床上浸水
木造	—	2m 以上	2m 以上	2m 以上	0.45m 以上
非木造	4 階以下	6m 以上	4m 以上	2m 以上	0.45m 以上
	5 階以上	—	4m 以上	2m 以上	0.45m 以上

表 2 港湾施設と津波浸水深の関係

大分類	小分類	被害発生基準
外郭施設	防波堤	津波の越流
	岸壁・棧橋等（非耐震）	震度 6 弱以上の揺れ
係留施設	耐震強化岸壁	—
	ガントリークレーン アンローダー等	震度 6 弱以上の揺れ または津波浸水深 6m 以上
貯油施設	石油タンク ガスタンク等	津波浸水深 9m 以上

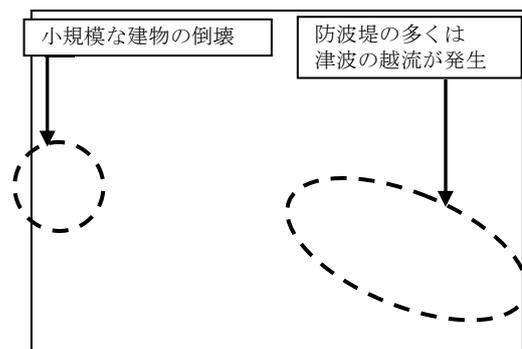


図 1 港湾の物的被害推計(苫小牧港)

表 3 各港湾の被害額(億円)

苦小牧港	資産額	被害額	被害率
建物	2,958	834	28%
償却・在庫資産	1,432	690	48%
外郭施設	4,122	4,122	100%
係留施設	2,618	829	32%
室蘭港	資産額	被害額	被害率
建物	2,126	1,407	66%
償却・在庫資産	917	602	66%
外郭施設	1,294	1,042	81%
係留施設	822	343	42%
釧路港	資産額	被害額	被害率
建物	1,180	1,180	100%
償却・在庫資産	240	234	98%
外郭施設	1,266	1,266	100%
係留施設	804	788	98%

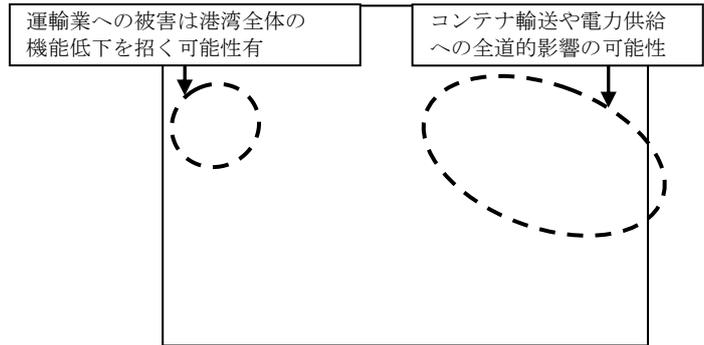


図 2 港湾の償却・在庫資産被害分布 (苦小牧港)

4. 今後の見通し

1) 成果の活用面と留意点

- ・本研究で用いた推計手法の道の被害想定・減災目標設定への適用
- ・港湾間のバックアップの検討に向けた全道的な津波災害リスクの把握
- ・港湾立地自治体の経済的影響の検討に向けた都市構造研究への取り組み

目 次

1. 研究の背景と目的	1
(1) 背景.....	1
(2) 目的.....	1
2. 北海道内の港湾の現状	1
(1) 北海道内の港湾立地状況.....	1
(2) 研究対象港湾の貨物取扱量等の現況.....	1
(3) 港湾の空間データベースの作成	2
3. 津波による港湾の物的被害の推計	4
(1) 使用データと分析手法.....	4
(2) 東日本大震災における建物や港湾施設の被害	4
(3) 本研究における建物や港湾施設の被害の基準	6
(4) 研究対象港湾の物的被害の推計	7
4. 津波による港湾の経済的被害の推計	11
(1) 使用データと分析手法.....	11
(2) 研究対象港湾のストック被害の推計	12
(3) 研究対象港湾のフロー被害の推計	15
5. 港湾機能低下の要因やその影響の定性的検討と対応策	17
6. まとめ.....	18

1. 研究の背景と目的

(1) 背景

東日本大震災では、東北地方太平洋沿岸の港湾が津波による大きな被害を受けた。北海道においても大規模な津波が発生した場合、港湾施設に物的被害が生じるとともに、港湾機能の低下により物流の停滞等の間接的影響が発生することが予想される。

また、既存の港湾BCPの多くは空間分析による被害想定までは実施されていない。しかし、同一港湾内部でも場所によって想定される津波浸水深や立地する施設が異なり、発生する被害も様々であることが予想される。そこで、被害の空間的差異を明らかにすることで、港湾内部の機能や被害状況の違いに応じた対策を検討できるようになると考えられる。

こうした物的被害や間接的影響はともに経済的被害として把握することができる。しかし、津波被害に関して同一港湾内部レベルの空間的差異を明らかにした研究は、物的被害や人的被害に関する研究が中心であり、経済的被害の空間的差異を明らかにした研究は少ない。

津波による港湾の被害としては、物的被害や人的被害だけでなく経済的被害も重要であり、周辺の地域に与える影響も大きいと考えられることから、経済的被害の解明が必要である。

(2) 目的

本研究では、津波による深刻な被害が想定される苦小牧市と室蘭市、釧路市を対象に、各港湾の津波被害を物的被害と経済的被害の両面から明らかにすることを目的とする。また、これらの分析結果を基に、港湾機能の復旧時のボトルネックや各施設の重要性を検討する。

2. 北海道内の港湾の現状

(1) 北海道内の港湾立地状況

国土交通省港湾局の港湾管理者一覧表（令和2年4月1日現在）によれば、北海道内には41の港湾が立地している。そのうち港湾法上の国際拠点港湾が2港、重要港湾が10港、地方港湾が23港、56条港湾が6港である。これらの港湾のうち、国際拠点港湾と重要港湾の立地状況を図1に示す。

このうち本研究では、北海道内に2つある国際拠点港湾である苦小牧港と室蘭港、重要港湾である釧路港を対象とする。なお、釧路港は北海道で唯一、国土交通大臣による国際バルク戦略港湾の指定を受けている。各港湾の管理者は、苦小牧港が苦小牧港管理組合、室蘭港は室蘭市、釧路港は釧路市である。

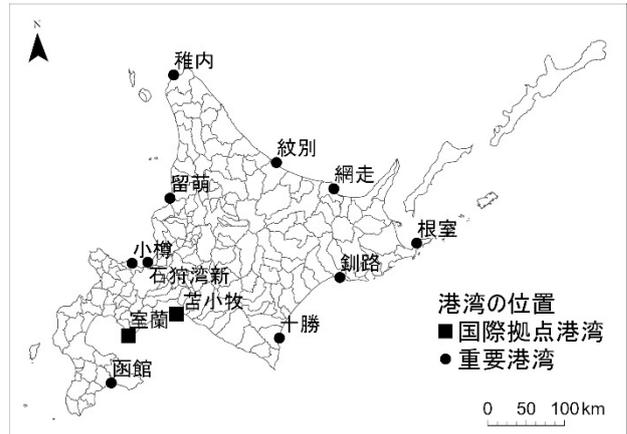


図1 北海道内の港湾立地状況
(国土数値情報により作成)

(2) 研究対象港湾の貨物取扱量等の現況

まず、北海道港湾統計（2019年版）により全道の港湾の貨物取扱量およびコンテナ取扱量を把握する（図2・図3）。

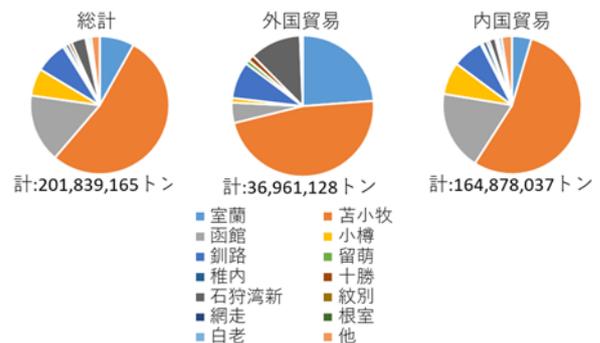


図2 北海道内の港湾の貨物取扱量

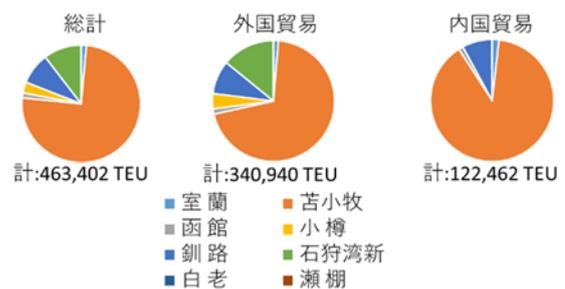


図3 北海道内の港湾のコンテナ取扱量

貨物取扱量は、国内貿易、外国貿易ともに苦小牧港が第1位であり、全体の約半数を占める。第2位以下は、外国貿易では室蘭港、石狩湾新港、釧路港の順だが、国内貿易では函館港、小樽港、釧路港の順である。総計では、苦小牧港、函館港、室蘭港、釧路港の順となる。貨物取扱量が上位の港湾のうち、苦小牧港、函館港、小樽港、釧路港は国内貿易の割

合が大きく、室蘭港と石狩湾新港は外国貿易の方が多。北海道内の港湾の合計では内国貿易の方が多。これは、外国貿易の方が多京浜・阪神の港湾とは異なる傾向である。

個数ベースでのコンテナの取扱量は、外国貿易と内国貿易を合わせた総計では苫小牧港が全道の75%程度のシェアを占めており、続いて石狩湾新港、釧路港の順で多い。この3港湾で全道の94%を占めている。内国貿易は外国貿易と比べさらに苫小牧港の全道シェアが高く、89%程度を占める。次に多い釧路港が約8%であり、この2港で約97%を占める。

続いて、研究対象港湾である苫小牧港、室蘭港、釧路港の港湾統計（2019年版）により、各港湾の品別貨物取扱状況を把握する（図4）。

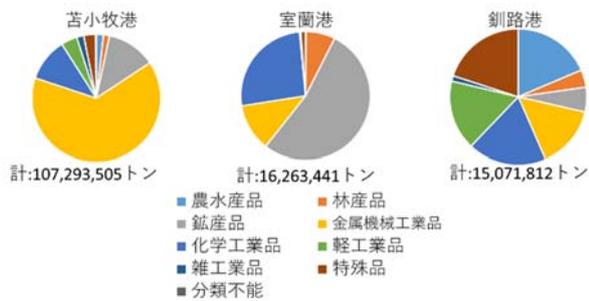


図4 研究対象港湾の品別貨物取扱量

①苫小牧港

苫小牧港は金属機械工業品が取扱量の半数以上を占める。その多くが完成自動車の移出入である。次に多いのが鉱産品であり、その内訳は石炭や原油の輸入が大半である。その次に多いのは化学工業品であり、内訳としては重油や揮発油（ガソリン等）その他の石油（灯油、軽油等）の移出入が比較的多い。他の品種も割合は小さいが、道内の他の港湾と比べ絶対量が大きい品種が多い。研究対象の3港湾の中では、釧路港の農水産品の取扱量は苫小牧港より多いが、それ以外の品種の取扱量は全て苫小牧港が最大である。また、コンテナの取扱量のシェアについても特に内国貿易で高い。

以上から、苫小牧港は大部分の取扱品種において北海道の主要な物流機能を担っており、中でも原油の輸入は道内では苫小牧港に集中しており、北海道のエネルギー供給において極めて重要な機能である。

②室蘭港

室蘭港は鉱産品が取扱量の半数程度を占めるが、その内訳は主に石炭、鉄鉱石の輸入である。次に化学工業品の取扱が多いが、これは主にセメントの移出や重油やその他の石油の移出入である。その次に

金属機械工業品が多い。これは大部分が鋼材の移出である。

大まかには、石炭や鉄鉱石を輸入して鋼材を生産・移出する工業港的役割が室蘭港の主要な機能といえることができる。なお、北海道内の国際拠点港湾と重要港湾で内国貿易より外国貿易の方が多なのは2港のみであり、室蘭港はその一つである点も特徴的である。

③釧路港

釧路港は、特殊品、化学工業品、農水産品、軽工業品、金属機械工業品が同程度の取扱量であり、特に農水産品の取扱量が比較的多いことは他の研究対象港湾とは異なる特徴である。特殊品の内訳は輸送用容器の移入と、動植物性製造飼肥料の輸入・移入が多い。化学工業品の内訳は、その他の石油の移入が多い。金属機械工業品の内訳は、その他の輸送用車両が多い。農水産品の内訳は、とうもろこしの輸入とその他の畜産品の移出が多い。水産品は全国的には大きなシェアを占めるが、釧路港での取扱絶対量は畜産品や野菜・果物に比べ少ない。

以上から釧路港は、畜産用飼料を輸入して道東地域の畜産業に供給し、そこで生産された農業・畜産物を移出するとともに、道東地域に燃料を供給する役割を担っている。

（3）港湾の空間データベースの作成

研究対象港湾の物的被害および経済的被害を空間的に明らかにするため、GIS上に建物および港湾施設の空間データベースを作成する。空間データベース作成の範囲は、各港湾の臨港地区内とする。

ただし、経済被害の分析で使用する経済センサスの小地域は、一部に臨港地区内外にまたがるものが存在する。このため経済被害の分析では、臨港地区内外にまたがる小地域の全範囲を分析対象とする（図5・図6・図7）。

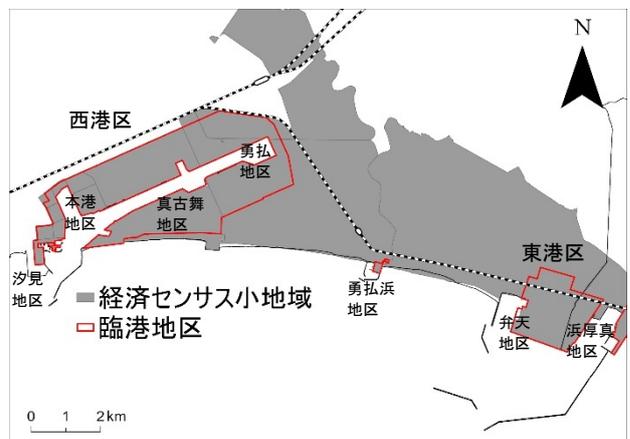


図5 苫小牧港の分析対象範囲

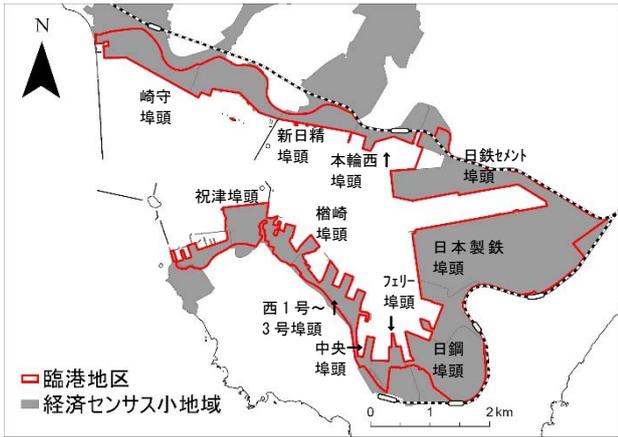


図6 室蘭港の分析対象範囲

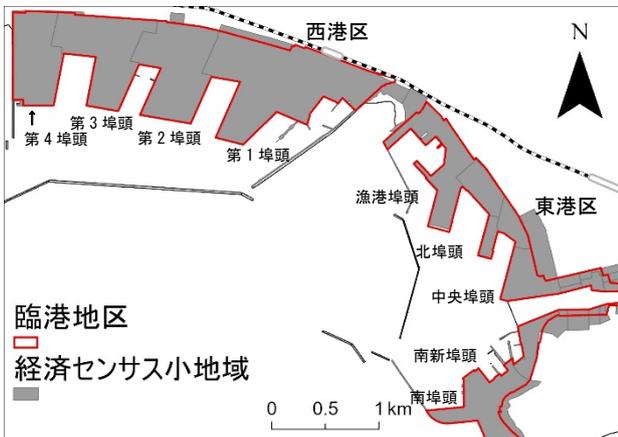


図7 釧路港の分析対象範囲

本研究ではこの臨港地区もしくは経済センサス小地域の範囲内を港湾内部として定義する。また、本研究では分析結果の説明に港湾の地区名や埠頭名を使用するため、この図にそれらの名称を記載する。ただし、全ての地区名や埠頭名を記載しているわけではない。

①建物データ

建物データとして北海道建設部都市計画課より提供を受けた平成27年版都市計画基礎調査を用いる。このデータは予めGISデータとして整備されているものであり、属性データとして建物用途、建物構造、建築年等が記録されている。

ただし、これらの情報が不明な建物もある。特に建物構造の情報は、第3章における港湾の物的被害の分析に際して木造か非木造かの判定に使用しており、同程度の津波であれば木造の方が被害が大きくなる。本研究では、建物構造が不明なものは安全側に考え木造と見なすこととする。

②港湾施設データ

港湾施設は予めGIS化されたデータは存在しない

ことから、新たにGISデータを作成する。本研究においては、防波堤等の外郭施設、岸壁や物揚場等の係留施設、ガントリークレーン等の荷役機械、石油タンク等の貯油施設を港湾施設としてGISデータに反映する。

外郭施設と係留施設は港湾管理者が公表している港湾計画図を基にGISデータ化する。各施設の延長は港湾計画図に記載されているが、外郭施設の天端高は港湾計画図では不明のため、基盤地図情報の数値標高モデルの標高値を使用する。具体的には、外郭施設の周囲に20mのバッファを生成し、その範囲内にある標高ポイントのうち最も高いものを当該外郭施設の天端高とする。

荷役機械や貯油施設は港湾計画図には記載されていないため、主要な施設を航空写真等から位置を読み取りGISデータ化する。ただし、一部の貯油施設は都市計画基礎調査に掲載されている。都市計画基礎調査に掲載されている貯油施設は建物と見なして分析する。

このようにして作成した港湾の空間データベースが図8、図9、図10である。

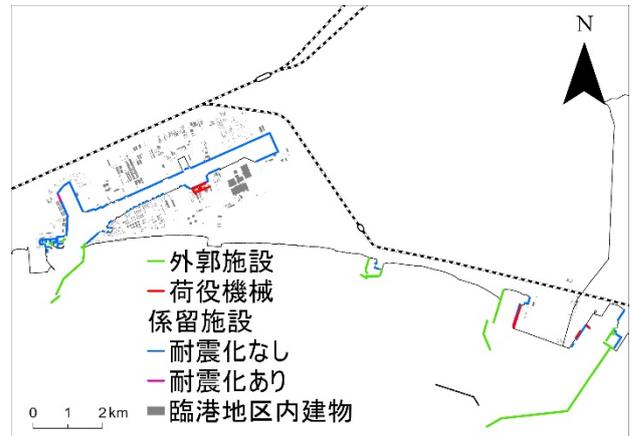


図8 苫小牧港の空間データベース

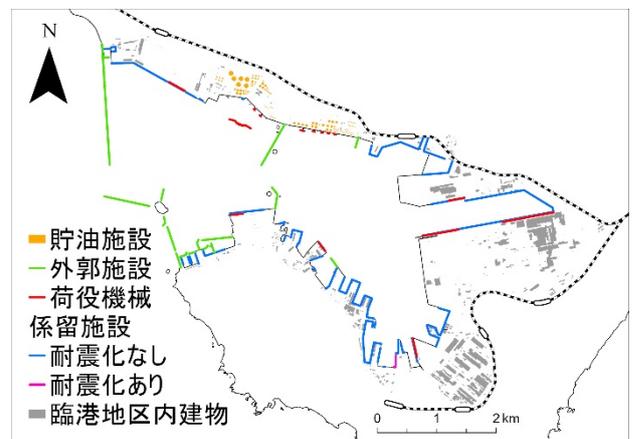


図9 室蘭港の空間データベース

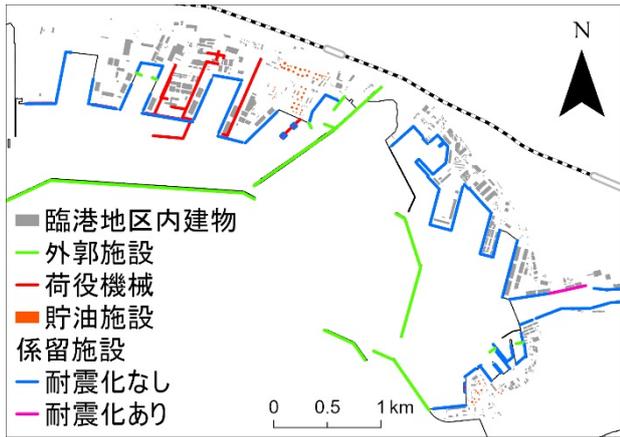


図 10 鉏路港の空間データベース

なお、以上のような作成方法のため、港湾施設についてはその全てを網羅的にデータ化しているわけではないことに留意する必要がある。

3. 津波による港湾の物的被害の推計

(1) 使用データと分析手法

東日本大震災の建物や港湾施設の被害の事例から津波浸水深と被害の関係を確認し、GIS 上に作成した空間データベースを用いて研究対象港湾における個別の建物や港湾施設の被害を推計する。

①東日本大震災の建物被害

建築研究所の『平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震調査研究（速報）』第 6 章に掲載されている調査建築物データベースにより、建物の被害状況を確認する。この資料には、建物の構造、階数、被災状況、推定浸水深が掲載されているので、データ化して各要素の関係性を確認する。

②東日本大震災の港湾施設の被害

港湾施設の被害を確認する対象は、東日本大震災で被害を受けた八戸港から茨城港までの 13 港湾である（図 11）。なお、これらの港湾のうち仙台塩釜港、石巻港、松島港は 2012 年に統合された。

港湾施設の位置と種類については、各港湾管理者が公開している港湾計画図等を用いて港湾施設の GIS データを作成する。

施設の被害や復旧状況は、国土技術政策総合研究所・港湾空港技術研究所⁶⁾、国土技術政策総合研究所^{7),8)}、日本港湾協会⁹⁾、国土交通省^{10),11)}、港湾空港技術研究所¹²⁾の各港湾の被災状況の記録により確認し、港湾施設の GIS データに属性データとして付加する。

津波浸水深のデータは、国土交通省都市局の復興支援調査アーカイブを使用する。港湾施設の GIS デ

ータと津波浸水深のデータを重ね合わせるにより、東日本大震災における港湾施設の被害の状況と津波浸水深との関係を確認する。

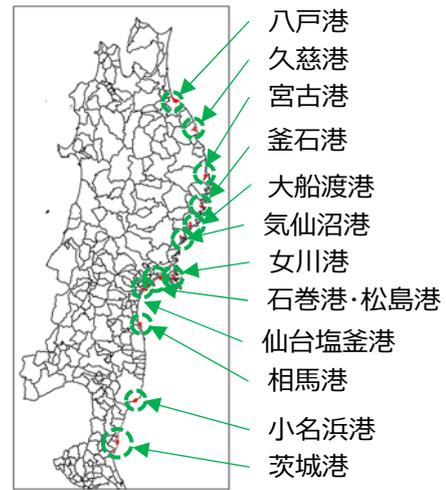


図 11 東日本大震災の被害事例調査対象港湾

③港湾の物的被害の推計手法

続いて、第 2 章（3）で作成した研究対象港湾の空間データベースに津波浸水深や地震動のデータを重ね合わせるにより、建物や港湾施設の物的被害の推計を行う。津波浸水深のデータとしては、北海道総務部危機対策課が公表している『津波浸水結果 GIS データ (H24 太平洋沿岸)』を用いる。これは、現在想定される最大限の津波浸水深を表すデータである。地震動のデータとしては、北海道立総合研究機構の平成 28 年度地震被害想定等調査研究業務¹³⁾において作成した地震動の想定のうち、海溝型地震で想定される最大の震度を用いる。

これにより、研究対象港湾の各建物・各港湾施設の最大想定津波浸水深と最大想定震度が明らかとなる。本研究では原則として津波浸水深から被害を推計するが、一部の港湾施設については東日本大震災の被害の事例調査において津波浸水深と被害の关系到明確な傾向が認められなかったことから、震度についても考慮する。

(2) 東日本大震災における建物や港湾施設の被害

①建物被害

東日本大震災の建物被害の事例調査の結果について、木造建物と非木造建物に分けて示す。

木造建物は、建築研究所⁵⁾における東日本大震災の建物被害の調査では、平屋もしくは 2 階建の建物について、津波浸水深が 2 階軒高さ以上となる場合は残存しているものは少ない。一方で、浸水深が 1 階腰壁高さ程度以下の場合には多くの建物が残存して

いたことが報告されている。浸水深がこの中間程度の場合、津波の作用方向に対し大規模建築物の背後に立地する場合等、少数の例ではあるものの残存する建物がみられたとのことである。

非木造建物については、建築研究所⁵⁾の調査建築物データベースから、RC造、S造、CB造の建物85棟を抽出した。浸水深と被害の様相の關係に注目すると、浸水深2m以下の建物では建物の移動や転倒はみられず、躯体や非構造部材への被害もみられなかった。浸水深2m以上ではほとんどの建物で非構造部材への被害があり、浸水深4m以上では躯体の被害が多くなる。浸水深6m以上では倒壊がみられるが、全体の半数を超えることはなかった。また、5階建て以上の建物では倒壊はみられなかった。非木造建物の被害に関する具体的な数値は表1および表2のとおりである。

表1 東日本大震災での非木造建物の被害と津波浸水深の關係

津波浸水深	棟数				割合		
	合計	倒壊	躯体被害	非構造部材被害	倒壊	躯体被害	非構造部材被害
0m～2m未満	2	0	0	0	0%	0%	0%
2m～4m未満	1	0	0	1	0%	0%	100%
4m～6m未満	10	0	4	10	0%	40%	100%
6m～8m未満	17	5	9	17	29%	53%	100%
8m～10m未満	19	4	8	19	21%	42%	100%
10m以上	20	2	8	20	10%	40%	100%

表2 東日本大震災での非木造建物の被害と建物の階数の關係

建物階数	棟数				割合		
	合計	倒壊	躯体被害	非構造部材被害	倒壊	躯体被害	非構造部材被害
1～2階	47	10	27	45	21%	57%	96%
3～4階	35	5	11	34	14%	31%	97%
5階以上	3	0	1	3	0%	33%	100%

②外郭施設の被害

ここでは港湾施設として、防波堤や護岸等の外郭施設、岸壁や物揚場等の係留施設、ガントリークレーンやアンローダー等の荷役機械、石油備蓄施設等の貯油施設について扱う。

外郭施設については、各港湾管理者が公開している港湾計画図等から場所が特定できた177の外郭施設をGISデータ化し、復興支援アーカイブの津波データを重ね合わせ、各外郭施設に押し寄せた津波の高さを推計した。ここでは、被害の状況と越流の有無に着目することとした。第3章(1)で示した資料に記載されている外郭施設の天端高が、当該外郭施設に重なるメッシュのうち最も高い津波高より低いか、または重なるメッシュが無い場合は最近接メッシュの津波高より低い場合、越流が発生したものとみなした。

結果、越流が発生した場合は6割程度の外郭施設が倒壊や流失等の全面的破壊が発生したのに対し、越流が発生しない場合はこうした被害は3割程度にとどまることがわかった(表3)。

表3 外郭施設の津波の越流と被害の關係

	合計施設数	目立つ破損なし	沈下・冠水等の軽微な被害	倒壊・流失等の全面的破損	不明	全面的破損割合
越流なし	16	0	10	5	1	33%
越流あり	86	2	31	51	2	61%

③係留施設の被害

係留施設については、場所が特定できた171箇所の被害状況を調べたところ、津波浸水深と被害状況との明確な關係は認められなかった。中央防災会議¹⁴⁾では、震度6強以上のエリアにおいて耐震強化岸壁以外の岸壁の機能が停止するものとしていることから、係留施設については被害状況と震度の關係に着目することとする。なお、GISで利用可能な東日本大震災における詳細な震度データは入手できなかったことから、ここでは市町村ごとの震度を各港湾にあてはめている。

以上から、主な港湾の地震動によると推定される被害の状況を国土技術政策総合研究所・港湾空港技術研究所⁶⁾の報告を基に表4のとおりまとめた。震度5強までであれば一部施設の沈下等の軽微な被害に留まるものの、震度6弱以上では倒壊等の深刻な被害や、当該港湾の係留施設の全面的な被害により施設利用に支障が発生する傾向があった。

表 4 係留施設の被害と震度の関係

港湾名	震度	港湾全体の状況	係留施設被害
久慈港	5 弱		沈下・陥没が発生した施設有
八戸港	5 強		最大 1.56m の沈下が発生した施設有
宮古港	5 強		沈下が発生した施設有
茨城港 (大洗港区)	5 強	岸壁の損壊・液状化による埠頭用地の陥没	複数の施設で 5cm～30cm 程度の段差が発生
釜石港	6 弱	埠頭全体が大きく地盤沈下・応急復旧した公共埠頭に利用が集中し輻輳	最大 127.8cm の沈下が発生した施設有
大船渡港	6 弱	広域的に 80cm 程度沈下（発災当時の県担当者へのヒアリングによる）	73cm 程度の沈下が発生した施設有
石巻港	6 弱		最大 1.7m の沈下が発生した施設有
相馬港	6 弱	一部岸壁でエプロン部陥没や倒壊	最大 72.5cm の空洞が発生した施設有
小名浜港	6 弱	津波より地震の被害大・港湾一帯が 50cm 程度沈下	複数の施設で 0.2～0.9m 程度の沈下・最大 1.56m の沈下・はらみ出しの発生
茨城港 (常陸那珂港区)	6 弱	岸壁の沈下やはらみ出し・液状化による埠頭用地や道路の陥没	複数の施設で 40cm 程度の段差
仙台塩釜港 (塩釜港区)	6 強		複数の施設で 60cm 程度の沈下
仙台塩釜港 (仙台区)	6 強	一部の埠頭でエプロン部 1m 沈下・法線はらみ出し	複数の施設で 60cm 程度の沈下・最大で 148cm の沈下
茨城港 (日立港区)	6 強	岸壁の損壊・液状化による埠頭用地の陥没	複数の施設で 50cm～60cm の沈下・舗装の散乱

④ 荷役機械の被害

荷役機械については、本研究では岸壁等に固定されているか、クレーン用レール等により一定範囲を移動するものを対象とする。具体的にはコンテナ用のガントリークレーン、穀物や石炭等のばら積み貨物用のアンローダー、石油等の液体用のローディングアーム、多目的クレーン等を対象とし、移動式クレーンは対象に含まない。

東日本大震災の事例として 17 箇所の荷役機械の被害状況を第 3 章（1）で示した資料により確認したところ、目立つ被害が無かったものが 1 箇所、冠水や機械的な故障といった軽微な被害にとどまったものが 3 箇所、レールや本体の破損・倒壊といった大きな被害に至ったものが 12 箇所、被害の様相が不明なものが 1 箇所であった。被害が無かった荷役機械については今回調査対象とした資料で触れられていないと考えられることから、これが東日本大震災の被害を網羅的に示しているものではない。

しかし、少なくとも 12 箇所の荷役機械で大きな被害が発生していることは確実である。これらは全て震度 6 弱以上の揺れに見舞われたと推測されるとともに、小名浜港の 3 箇所を除き浸水深 6m 以上の津波が襲来したものと考えられる。反対に、軽微な被害に留まった 3 箇所の荷役機械はいずれも八戸港に立地するが、震度は 5 強、浸水深は 6m 未満であったと推定される。なお、仙台塩釜港の一本松地区ローディングアームは、震度 6 強の揺れおよび 1.9m の津波浸水深があったと考えられるが、目立つ被害が無かったとされる。

⑤ 貯油施設の被害

貯油施設について、東日本大震災の被害事例として 32 の施設の被害状況を第 3 章（1）で示した資料により確認したところ、軽微な冠水のみで点検終了後に速やかに再開した施設がある一方で、倒壊や漂流、火災の発生といった被害が生じた施設もあった。

津波浸水深が 2m 以下の施設ではいずれも軽微な被害にとどまるが、浸水深が 2.8m と推測される久慈港の諏訪下地区オイルタンクは倒壊が発生している。一方で、浸水深 8m と推測される岩手県オイルターミナルは浸水したものの中の石油は利用可能な状態であり、被害は軽微であったと考えられる。浸水深 9m 以上の施設では、調べた限りでは全ての施設で主要設備の破損や倒壊、火災といった大きな被害が発生していた。

（3）本研究における建物や港湾施設の被害の基準

東日本大震災の被害の事例調査および既往の研究の結果から、本研究における建物や港湾施設の被害の基準（震度津波浸水深と被害程度の関係）を示す。

① 建物被害と津波浸水深の関係

木造・非木造に関わらず津波による建物被害の様相として、被害の程度が大きいものから「倒壊」（流失し建物の原型をとどめないものや、移動や転倒により原位置に残留していないもの）、「構造躯体被害」、

「非構造部材被害」、「床上浸水」の4段階に分類する。ここで、国土交通省¹⁵⁾では、洪水では45cm以上の浸水深で建物に対する床上浸水が発生するものとしていることから、本研究においても津波浸水深が45cm以上の場合は床上浸水が発生するものとして取り扱う。

木造建物については、首藤（1993）では津波波高2m程度で全面的な破壊に至るものとされているほか、南海トラフの巨大地震モデル検討会（2012）では、浸水深2m以上で木造家屋の半数が、3m以上でほとんどが全壊するものとされている。東日本大震災の被害の事例調査の結果でも津波浸水深が2階軒高さ以上となる場合は残存している建物は少ないことが分かっている。

以上から、木造建物は浸水深が2m以上の津波で倒壊に至るものが多くなり、3m以上になるとほとんどが倒壊するのが実態であると考えられるが、本研究では浸水深2m以上で倒壊するものと定める。

非木造建物については東日本大震災の被害の事例調査の結果、同程度の津波浸水深でも階数により被害の様相の一部に異なる傾向が見られた。この結果から、本研究では、4階以下の非木造建物は浸水深2m以上で非構造部材被害、浸水深4m以上で躯体被害が発生し、6m以上で倒壊に至るものとする。5階以上の建物については非構造部材被害と躯体被害については4階以下の建物と同様だが、倒壊は発生しないものとする。これらの結果をまとめたものが表5である。

表5 建物被害と津波浸水深の関係

建物構造	階数	倒壊	躯体被害	非構造部材被害	床上浸水
木造	—	2m以上	2m以上	2m以上	0.45m以上
非木造	4階以下	6m以上	4m以上	2m以上	0.45m以上
	5階以上	—	4m以上	2m以上	0.45m以上

②港湾施設被害と津波浸水深の関係

港湾施設については、被害の有無のみを判定する。本研究における被害は復旧工事が必要となり概ね1か月以上使用不能となるような被害を想定することとする。使用に大きな支障の無い軽微なひび割れ等の被害や、数日から数週間程度で対処可能と考えられる漂流物散乱等の被害は含まない。

外郭施設は天端高より津波浸水深が高く越流するものは、倒壊等の深刻な被害が発生するものとする。

係留施設は、津波浸水深と被害の関係は明確ではないことから、震度により被害の有無を判定することとする。中央防災会議¹⁴⁾では、震度6強以上のエリアにおいて岸壁の機能が停止するものとされているが、表6の結果からは震度6弱でも広域的な沈下等の被害が発生している港湾もある。実際には被害の有無は震度だけでなく地盤や岸壁の構造等が関係すると考えられるが、本研究では安全側にみて震度6弱以上で被害が発生するものとする。ただし、耐震強化岸壁には被害は発生しないものとする。

荷役機械は、本研究における東日本大震災の被害の事例調査の結果から、震度6弱以上の揺れ、または津波浸水深6m以上の場合に被害が発生するものとする。

貯油施設は、本研究における東日本大震災の被害の事例調査の結果から、津波浸水深が9m以上の場合に被害が発生するものとする。

これらの被害と津波浸水深および震度の関係をまとめたものが表6である。

表6 港湾施設の被害と津波浸水深・震度の関係

大分類	小分類	被害発生基準
外郭施設	防波堤・護岸等	津波の越流
係留施設	岸壁・棧橋等（非耐震）	震度6弱以上
係留施設	耐震化岸壁	—
荷役機械	ガントリークレーン・アンローダー等	震度6弱以上 または 津波浸水深6m以上
貯油施設	石油タンク・ガスタンク等	津波浸水深9m以上

（4）研究対象港湾の物的被害の推計

表5および表6の基準（津波浸水深・震度と被害の関係）により、研究対象港湾における建物および港湾施設の物的被害を推計する。

①苫小牧港の物的被害の推計

苫小牧港周辺で想定される津波浸水深を示したものが図12である。建物等の浸水深は、当該建物等と津波浸水深のメッシュデータを重ね合わせたときに、最も大きな浸水深の数値を採用している。同一港湾の内部でも場所により浸水深は大きく異なり、掘込港湾の内部に位置する勇払地区の周辺ではあまり浸

水が無い一方で、太平洋に面した東港区や汐見地区では4m以上の浸水深が想定される。

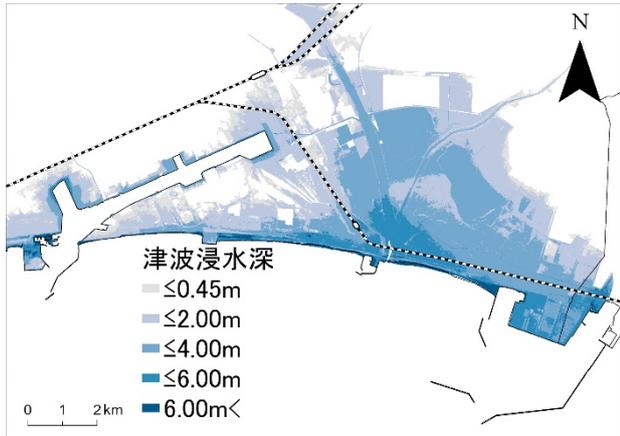


図12 苫小牧港周辺の想定最大津波浸水深

続いて、苫小牧港周辺において海溝型地震で想定される最大の震度を示したものが図13である。西港区の南側や東港区で震度6弱が想定される。

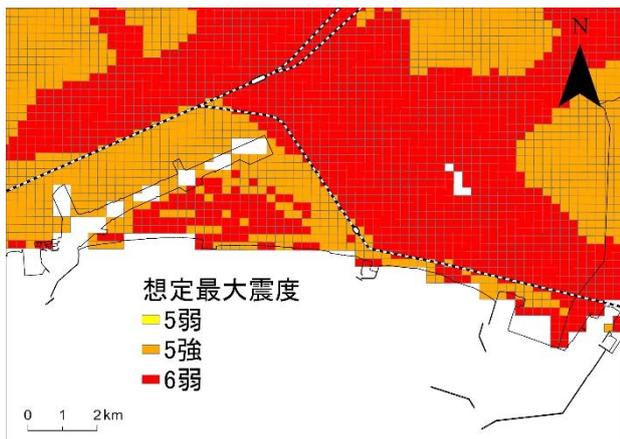


図13 苫小牧港周辺の想定最大震度

これらの想定浸水深および想定震度を踏まえ、苫小牧港の建物および港湾施設の被害推計を示したものが図14である。

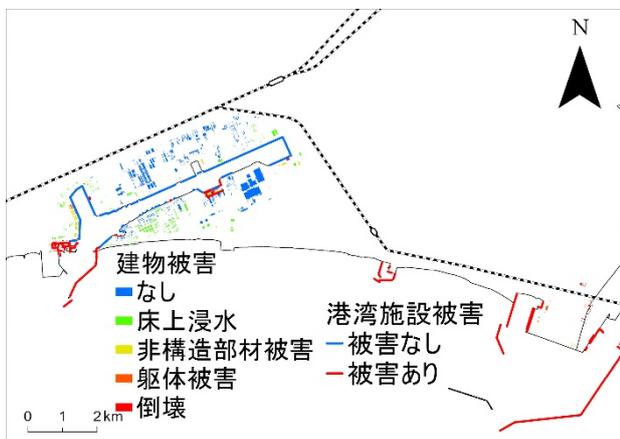


図14 苫小牧港の物的被害推計

比較的津波浸水深が浅い勇払地区周辺は建物被害が無いが床上浸水と軽微であり、浸水深が深い東港区周辺では躯体被害が想定される建物がみられる。このように、場所による浸水深の違いや立地する建物の規模や構造の違いが被害の違いにつながっている。港湾施設については、ほぼ全ての外郭施設で越流が発生する一方、係留施設や荷役機械の被害は一部にとどまることが想定される。

②室蘭港の物的被害の推計

室蘭港の津波浸水深を示したものが図15である。全般的に4m以下程度のさほど大きくない津波浸水深が想定されるが、日本製鉄埠頭の周辺では係留施設や建物に6m程度のやや高い津波が想定される箇所もある。

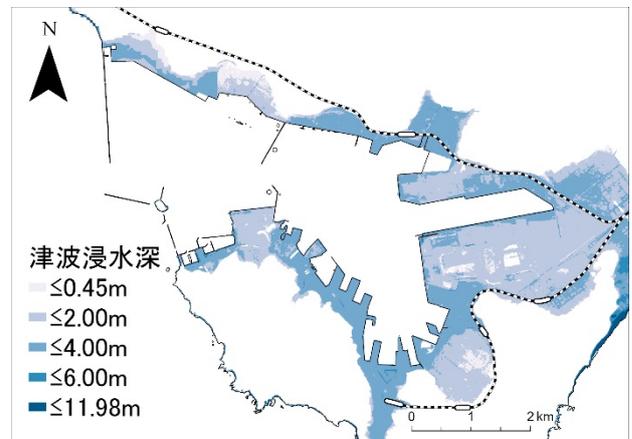


図15 室蘭港周辺の想定最大津波浸水深

続いて、室蘭港周辺において海溝型地震で想定される最大の震度を示したものが図16である。東室蘭駅周辺および海岸の一部で震度6弱が想定されるが、多くの地域では震度5強以下である。

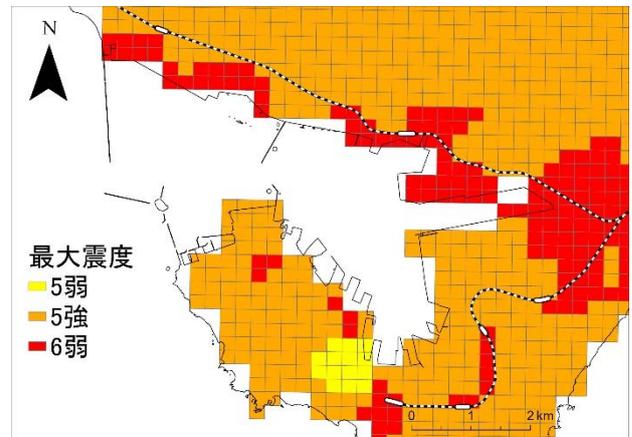


図16 室蘭港周辺の想定最大震度

これらの想定浸水深および想定震度を踏まえ、室蘭港の建物および港湾施設の被害推計を示したものが

が図 17 である。

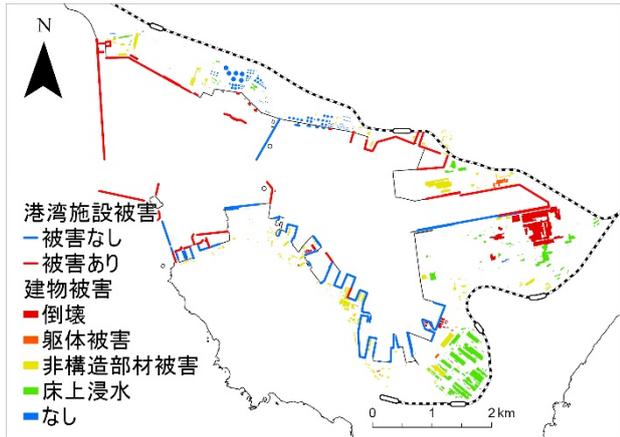


図 17 室蘭港の物的被害推計

海岸付近の建物では非構造部材の被害が発生する建物が点在するほか、日本製鉄埠頭周辺の建物では倒壊が想定されるものもある。しかし、これらの建物の中には都市計画基礎調査において建物構造が不明となっていることから木造建物と同等の扱いとなっているものがあることに注意が必要である。都市計画基礎調査の正確性の限界から、被害が過大に推定される可能性がある。港湾施設については多くの外郭施設で越流が発生することに比べ、係留施設や荷役機械の被害は一部にとどまる。

なお、室蘭市には追直漁港とイタンキ漁港が立地する。本研究では漁港の詳細な被害分析は実施しないが、漁港施設および漁港周辺の想定浸水深を図 18 と図 19 に示す。いずれも海岸付近で 6m 程度の津波が想定され、漂流物等の被害が懸念される。

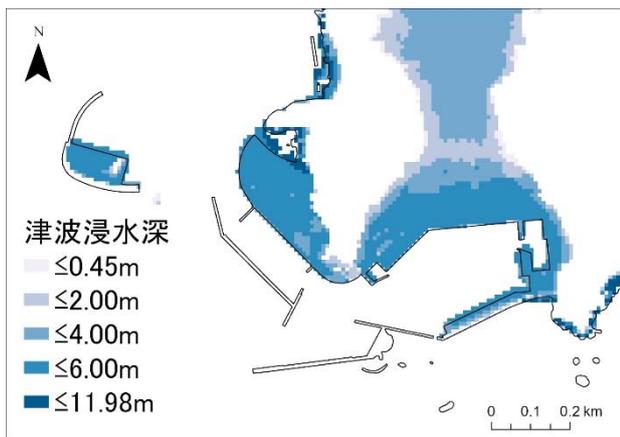


図 18 追直漁港周辺の想定最大浸水深

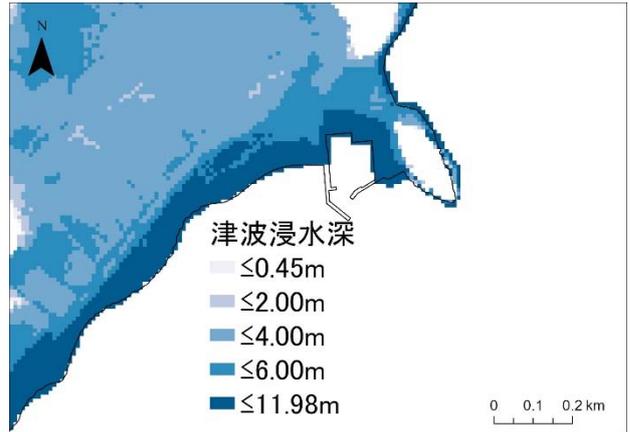


図 19 イタンキ漁港周辺の想定最大浸水深

③ 釧路港の物的被害の推計

釧路港周辺で想定される津波浸水深を示したものが図 20 である。釧路港周辺ではほとんどの埠頭で 6m 以上の高い津波が想定されている。また、内陸まで高い津波が到達することから、西港区・東港区間を結ぶ道路への瓦礫の散乱も想定される。

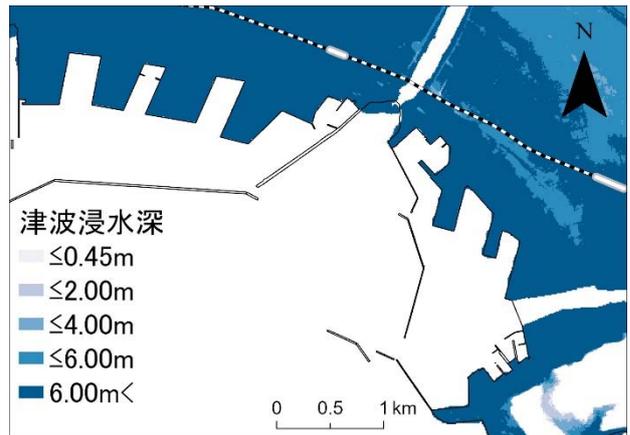


図 20 釧路港周辺の想定最大津波浸水深

続いて、釧路港周辺において海溝型地震で想定される最大の震度を示したものが図 21 である。苫小牧港、室蘭港と異なり、海溝型地震であっても海岸付近では震度 6 強が想定される箇所があるほか、それ以外にも臨港地区内はほぼ全て震度 6 弱が想定される。

これらの想定浸水深および想定震度を踏まえ、釧路港の建物および港湾施設の被害推計を示したものが図 22 である。

大きな津波が想定されることから多くの建物で倒壊の可能性があるほか、海岸付近の多くの地域で震度 6 強が想定されることから、ほとんどの港湾施設で大きな被害が予想される。しかし、東港区には耐震強化岸壁があり、周辺には津波スクリーンも設置

されていることから、応急的な物資輸送機能は維持できる可能性がある。釧路港では主要な港湾機能は西港区に立地していることから、東港区の耐震強化岸壁を活用するためには西港区との輸送経路を確保する必要がある。

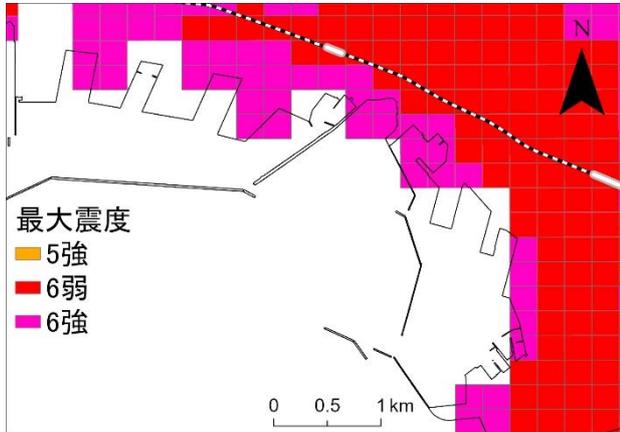


図 21 釧路港周辺の想定最大震度

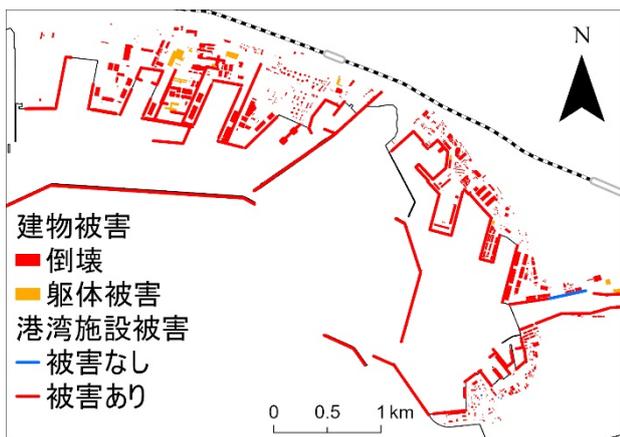


図 22 釧路港の物的被害推計

なお、釧路市には千代ノ浦漁港と桂恋漁港が立地する。本研究では漁港の詳細な被害分析は実施しないが、漁港周辺の想定浸水深を図 23 と図 24 に示す。いずれも広範に 6m 以上の高い津波が想定され、漂流物等の被害が懸念される。

④ 港湾の物的被害のまとめ

以上のとおり、苫小牧港、室蘭港、釧路港について、臨港地区内の建物および港湾施設の物的被害の推計を実施した。このように個別の建物や港湾施設の被害を把握することで、各建物や施設が担う港湾機能の重要性を検討する基礎資料として活用できると考えられる。

ただし、これらの結果は表 5 および表 6 の基準と各建物および港湾施設で想定される津波浸水深・震度を基に機械的に算出したものである。特に港湾施

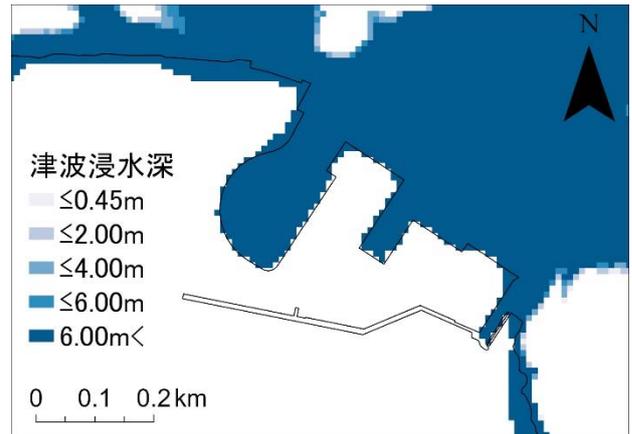


図 23 千代ノ浦漁港周辺の想定最大浸水深

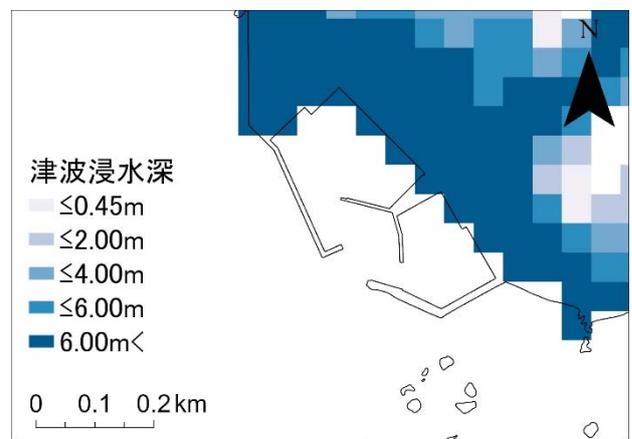


図 24 桂恋漁港周辺の想定最大浸水深

設については単純化して被害の有無のみを示しており、大規模な修復工事や再建を行わなければ機能が回復できないような場合は被害あり、それ以外の場合は被害なしとしている。

しかし、例えば外郭施設は越流すると被害が発生すると判定しているが、東日本大震災の事例では表 3 のとおり越流なしでも 3 割程度の被害があり、反対に越流があっても 6 割程度の被害にとどまる等、一定の傾向はみられるものの必ずしも越流の有無のみで被害が定まるとはいえない。

このように、実際には中間的な様々な被害状況があり、被害発生条件にも各施設の構造や立地箇所の地盤、津波の波力等の複雑な要素が関係すると考えられる。しかし、本研究で対象とするような多数の港湾施設に対し、個別の施設ごとにこれらの条件を考慮した分析を実施することは困難であることから、単純化した手法による被害推計を行った。このため、推計結果の精度には一定の限界があることに注意する必要がある。

また、建物や港湾施設への直接の物的被害だけで

なく、航路あるいは係留施設、道路などへの漂流物の散乱による港湾機能の低下も想定される。建物や係留施設そのものへの物的被害と比べ、漂流物による機能低下は短期的に解消できると考えられるが、利用率の高い箇所の場合は短期間であっても港湾機能低下による影響が大きいことが考えられる。こうした港湾機能低下の影響に関する定性的な検討は第5章で行う。

4. 津波による港湾の経済的被害の推計

(1) 使用データと分析手法

災害による経済的被害は、建物や資産の滅失によるストック被害と、それにより経済活動が停滞することにより発生するフロー被害に大別される。

① ストック被害額の算出手法

本研究では、ストック被害額を建物被害額、償却・在庫資産被害額、港湾施設被害額に分類して算出する。なお、建物被害額および償却・在庫資産被害額は、経済センサス（平成26年度版）の小地域ごとに算出し、それを合計することで港湾全体の被害額を算出する。建物被害額および償却・在庫資産被害額は、中央防災会議¹⁸⁾の手法を用いて、被害量に単価を乗ずることで算出する。

一方で、港湾施設被害額は土木施設の単価を算出できるような公開データが無いことから、このような手法による算出は困難である。そこで本研究では、岩城（2011）を参考に北海道全体の港湾資産額を按分して各港湾の資産額を算出し、被害率を乗ずることで被害額を算出する手法を用いる。なお、本研究での被害額は建物・港湾施設ともに再建費用とし、経年による価値の低下は考慮しない。

建物被害額は、建物種類別被害延床面積に建物種類別延床面積あたり単価を乗ずることで算出する。建物種類別被害延床面積は、都市計画基礎調査データと津波浸水想定との重ね合わせにより各建物の浸水深を計測した上で、中央防災会議²⁰⁾で用いられている被害率曲線（津波浸水深ごとの建物被害率）により全壊延床面積と半壊延床面積を算出し、全壊延床面積と半壊延床面積の1/2を合計し算出する。

建物種類別延床面積あたり単価は、建設物価調査会²¹⁾の値を用いる。なお、都市計画基礎調査の建物分類と建築統計の年間動向の建物分類は異なる。本研究では表7のとおり対応表を作成し、この単価により被害額を算出することとする。

償却・在庫資産被害額は、産業分類別従業者数に建物被害率と産業分類別1人あたり資産評価額を乗

表7 都市計画基礎調査と建築統計の年間動向の対応と建物単価（万円/㎡）

都市計画基礎調査の分類	建築統計の年間動向の分類	木造建物延床面積単価	非木造建物延床面積単価
官公署施設	Q. 公務用建築物	18	35
専用商業施設	E. 33 建設業用+G. 電気・ガス・熱供給・水道業用建築物+H. 情報通信業用建築物+J. 卸売業、小売業用建築物+K. 金融業、保険業用建築物+L. 不動産業用建築物+M. 宿泊業、飲食サービス業用建築物+P. 61 学術・開発研究機関用等+P. 65 その他のサービス業用	16	24
娯楽施設	P. 63 娯楽業用	12	22
店舗施設	J. 卸売業、小売業用建築物+M. 宿泊業、飲食サービス業用建築物	16	22
住宅	A. 居住専用住宅+B. 居住専用準住宅	17	24
併用住宅	C. 居住産業併用建築物	18	28
文教施設	N. 教育、学習支援業用建築物+P. 61 学術・開発研究機関用等	21	30
厚生施設	O. 医療、福祉用建築物	20	29
工場施設	E. 32 鉱業、採石業、砂利採取業用+F. 製造業用建築物	14	20
都市運営施設	H. 情報通信業用建築物+I. 運輸業用建築物+P. 60 郵便局用	15	17
農業・漁業施設	D. 農林水産業用建築物	8	12

表8 業種別1人あたり資産額（千円/人）

産業名	令和元年評価額（償却資産）	令和元年評価額（在庫資産）
鉱業、採石業、砂利採取業	16,503	2,801
建設業	1,538	3,164
製造業	5,194	4,662
電気・ガス・熱供給・水道業	125,442	4,406
情報通信業	5,345	761
運輸業、郵便業	6,349	957
卸売業、小売業	2,283	2,534
金融業、保険業	907	220
不動産業、物品賃貸業	22,647	7,773
学術研究、専門・技術サービス業	2,234	483
宿泊業、飲食サービス業	1,780	102
生活関連サービス業、娯楽業	3,190	188
教育、学習支援業	1,575	146
医療、福祉	1,153	109
複合サービス業	907	220
サービス業	907	220
公務	907	220

ずることによって算出する。小地域別産業分類従業者数は、経済センサス（平成26年度版）の小地域ごと・産業分類ごとの従業者数を用いる。建物被害率は建物被害の推計と同様の手法で小地域ごとの被害延床面積を算出し、それを小地域ごとの合計延床面積で除することによって算出する。産業分類別1人あたり資産評価額は、国土交通省¹⁵⁾により示されている数値を用いる（表8）。なお、農林漁業のみ1戸あたりの単価を用いる（表9）。

表9 農漁家1戸あたり資産額（千円/戸）

産業名	令和元年評価額 (償却資産)	令和元年評価額 (在庫資産)
農林漁業	2,019	895

次に、内閣府の『日本の社会資本2017』に示されている「港湾部門の平均耐用年数の算定表の施設区分別事業費」の各年の施設区分別事業費を合計し、全国の港湾の各施設の資産の比率を算出する（表10）。この比率が研究対象港湾においても同一と仮定し、各港湾の港湾施設資産額のうち外郭施設と係留施設の金額を推計する（表11）。

表10 港湾の各施設の資産比率の推計

	水域 施設	外郭 施設	係留 施設	臨港交通 施設	環境 整備	その他 施設
割合	12.7%	34.5%	21.9%	14.0%	11.8%	5.0%

表11 研究対象港湾の資産の推計（億円）

	合計	外郭施設	係留施設
苫小牧港	11,944	4,122	2,618
室蘭港	3,749	1,294	822
釧路港	3,667	1,266	804

次に、外郭施設および係留施設の総延長を被害延長で除することで被害率を算出し、これを外郭施設・係留施設の金額に乗ずることによって、被害額を推計する。なお、外郭施設・係留施設以外は定量的な被害率の算出が困難であったため、被害額の推計は行わない。よって、本研究で得られた港湾施設被害額は、港湾の社会資本の被害額を網羅的に推計したものではないことに注意が必要である。

②フロー被害の推計手法

精度の高いフロー被害の推計は困難であるが、ここでは産業連関表を用いた産業間の影響の推計と、生産関数を用いた生産量に対する資産被害や労働力被害の影響の推計を実施する。

まず産業連関表による産業間の影響の推計にあたっては、北海道開発局の産業連関表²⁴⁾を使用して、他産業に影響を与えやすい産業や、反対に他産業から影響を受けやすい産業を分類する。当該資料では、北海道内を道央、道南、道北、オホーツク、十勝、釧路・根室の6地域に分割し、それぞれの産業連関表が作成されているが、本研究では同一地域内における産業間の影響を検討する。苫小牧港と室蘭港は道央の産業連関表を使用し、釧路港は釧路・根室の産業連関表を使用する。よって、臨港地区内のみを対象としたものではないことに注意が必要である。

また、本研究で算出した港湾の資産額を基に、生産関数を用いて資産への被害や労働力への被害が生産量にどのような影響を及ぼすのか推計する。生産関数とは、ある経済主体が原材料や機材といった資本と、労働力を使って生産活動を行うことを考えたとき、1年間の資本と労働力の投入量とその結果得られる生産量の関係を示すものである。これについては、臨港地区に位置する経済センサス小地域を対象範囲とする。

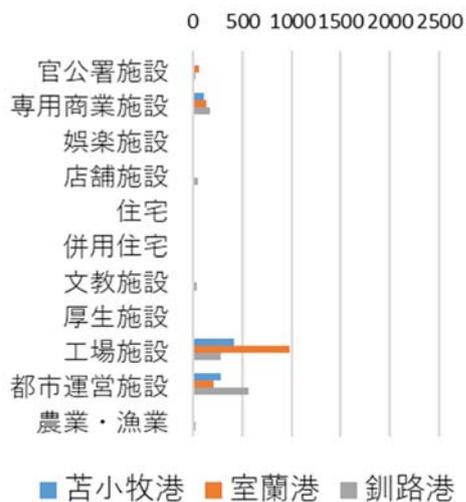
(2) 研究対象港湾のストック被害の推計

まず、研究対象港湾の建物種類別の資産額、および中央防災会議²⁰⁾の被害率曲線を基に算出した被害額を図25に示す。工場施設、都市運営施設が建物資産額・建物被害額ともに多い。また、専用商業施設にも一定の被害が生ずる。続いて、業種別の償却・在庫資産額および被害額を図26に示す。製造業、運輸業が資産額・被害額ともに大きい。港湾に立地する運輸業は港湾と背後地の間の陸上輸送を担っていることから、運輸業の被害の拡大は港湾全体の機能低下をもたらすと考えられる。なお、苫小牧港では電力関係の被害も大きい。これは大部分が苫東厚真発電所およびその関係の被害と考えられる。北海道電力のホームページ²³⁾によれば、苫東厚真発電所の出力は北海道電力の発電所の総出力の約2割に相当することから、電力供給への全道的影響が懸念される。

続いて、各港湾の被害額および被害の空間的特徴を確認する。ここで、被害の空間的把握においては、各港湾の建物被害および業種別の償却・在庫資産被害を小地域別に示す。業種別の被害は全ての業種を示すと種類が多くわかりにくくなるため、「鉱業、採石業、砂利採取業」から「学術研究、専門・技術サービス業」までは個別に示し、「農林漁業」および「医療、福祉」から「公務」までは「それ以外」としてひとまとめにして示す。



建物資産額



建物被害額

■ 苫小牧港 ■ 室蘭港 ■ 釧路港

図 25 建物資産額と被害額 (億円)



償却・在庫資産額



償却・在庫資産被害額

■ 苫小牧港 ■ 室蘭港 ■ 釧路港

図 26 償却・在庫資産額と被害額 (億円)

① 苫小牧港のストック被害額の推計結果

苫小牧港のストック被害額の推計結果を表 12 に示す。外郭施設は被害額が大きく被害率も高い。これは後述の室蘭港、釧路港も同様である。外郭施設は元々の資産額が大きいことに加えて、あくまで港湾の静穏性を保つ目的で設置されているものであり、想定される最大の津波に対してはほとんど越流を防ぐことができないためである。

表 12 苫小牧港のストック被害額の推計結果(億円)

	資産額	被害額	被害率
建物	2,958	834	28%
償却・在庫資産	1,432	690	48%
外郭施設	4,122	4,122	100%
係留施設	2,618	829	32%

しかし、本研究では越流の発生により外郭施設が全て破壊されるものとして推計したが、東日本大震災の事例では表 3 のとおり越流が発生しても全面的破壊に至るものは 6 割程度であった。研究対象港湾においても、実際には全ての外郭施設が全面的な倒壊には至らないことも考えられる。仮に苫小牧港において外郭施設の被害額が表 12 の数値の 6 割にとどまるとした場合、被害額は 2,473 億円となる。

また、係留施設については表 12 は震度 6 弱以上で被害を受けるとした場合の被害額を示すが、中央防災会議¹⁴⁾の基準に従い震度 6 強以上でなければ被害は発生しないものとする、被害を受ける係留施設は無く被害額は 0 となる。

なお、建物および償却・在庫資産の被害については、被害率曲線を用いて被害率を算出しているため、

被害の有無のみで推計している港湾施設の被害額と比べると精度が高いと考えられる。このように、項目ごとに被害額の算出方法や精度が異なるため、これらの数値を単純に比較して外郭施設の被害が大きいということとはできない。

次に、苫小牧港における経済的被害の空間的特徴をみる。建物被害の分布を表したものが図 27 である。勇払地区や真古舞地区の周辺には多くの大型建物が立地しているため被害額が大きくなるが、被害割合は当該小地域の建物資産額の 3 割～5 割程度にとどまる。

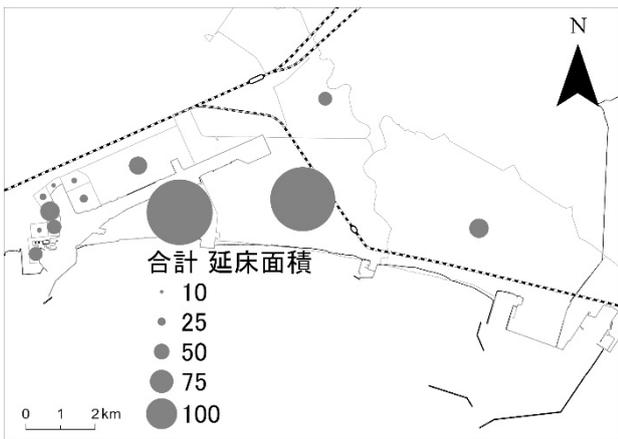


図 27 苫小牧港の建物被害の分布 (億円)

続いて、苫小牧港の業種別の償却・在庫資産被害額の分布を表したものが図 28 である。償却・在庫資産被害額は従業者数に単価を乗ずることで算出しているため、多数の従業者を抱える事業所が立地している場合、従業者数がどの小地域に登録されるかが小地域ごとの被害額に大きな影響を与えることに注意する必要がある。

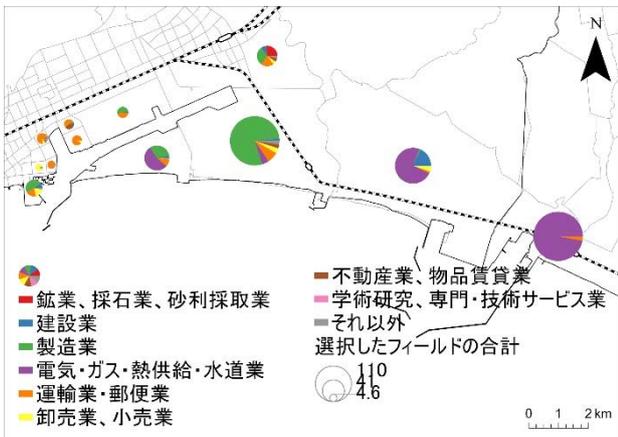


図 28 苫小牧港の業種別資産被害の分布 (億円)

その上でこの結果を確認すると、勇払地区周辺では従業者数が多く資産額が大きいいため被害額も大き

くなるほか、東港区付近でも資産の被害額が大きくなっており、これは建物被害額の空間的分布とは異なる傾向である。業種別割合をみると、東港区付近は電気関係の割合が高いが、前述の理由により全道的影響が懸念される。本港地区周辺では運輸業の割合が高いが、これも前述の理由により港湾機能低下につながる可能性がある。

②室蘭港のストック被害額の推計結果

室蘭港のストック被害額の推計結果を表 13 に示す。苫小牧港の場合と同様に外郭施設の被害率が高いが、被害額が仮にこの表の金額の 6 割にとどまるとすると 625 億円となる。また、係留施設に関して、中央防災会議¹⁴⁾の基準に従い震度 6 強以上でなければ被害は発生しないものとする、被害を受ける係留施設は無く被害額は 0 となる。

表 13 室蘭港のストック被害額の推計結果(億円)

	資産額	被害額	被害率
建物	2,126	1,407	66%
償却・在庫資産	917	602	66%
外郭施設	1,294	1,042	81%
係留施設	822	343	42%

次に、室蘭港の被害状況の空間的特徴を確認する。建物被害の空間的分布を表したものが図 29 である。公共埠頭と比べ日本製鉄埠頭や日鋼埠頭といった民間埠頭周辺の被害が大きいが、これは大型の工場建築物の一部が都市計画基礎調査上構造不明のため木造扱いとなり、被害が大きく算出されていることも要因の一つである。これは安全側に考えるための措置だが、データの正確性の限界を念頭に置いた上で結果を解釈する必要がある。

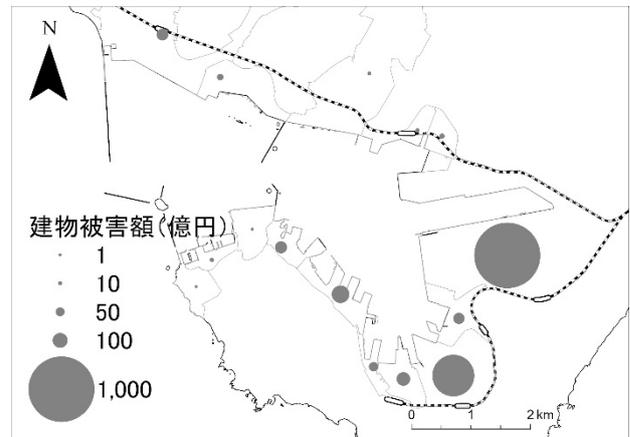


図 29 室蘭港の建物被害の分布 (億円)

続いて業種別の償却・在庫資産被害額の空間的分布を表したものが図 30 である。ここでも、日本製鉄

埠頭や日鋼埠頭周辺の被害が大きい。建物被害と同様に大型の建物が木造扱いとなり建物被害率が大きく算出されていることもあるが、従業員数が多いことから資産額が大きく算出されていることも被害額が大きくなっている原因である。こうした被害額の大きい小地域では、製造業の被害割合が高い。

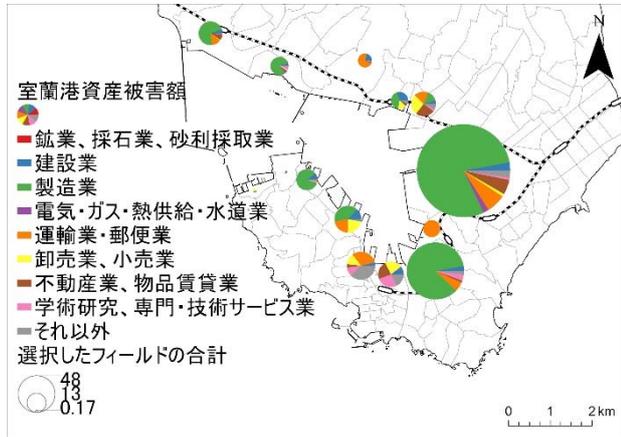


図 30 室蘭港の業種別資産被害の分布 (億円)

以上から室蘭港においては、公共埠頭と比べ民間埠頭の被害額が大きく、民間企業の管理地といえども市の経済への影響が大きいと考えられることから、将来的には公共・民間埠頭の経済的リスクの一体的把握が必要と考えられる。

③ 釧路港のストック被害額の推計結果

釧路港のストック被害額の推計結果を表 14 に示す。被害率は全般的に高いが、外郭施設の被害額が仮にこの表の金額の 6 割にとどまるとすると 760 億円となる。また係留施設に関して、中央防災会議¹⁴⁾の基準に従い震度 6 強以上でなければ被害は発生しないものとする、東港区の一部に被害を免れる係留施設があり、被害額は 725 億円となる。

表 14 釧路港のストック被害額の推計結果(億円)

	資産額	被害額	被害率
建物	1,180	1,180	100%
償却・在庫資産	240	234	98%
外郭施設	1,266	1,266	100%
係留施設	804	788	98%

次に、釧路港の被害状況の空間的特徴を確認する。建物被害の空間的分布を表したものが図 31 である。西港区第 1 埠頭と第 2 埠頭の被害が大きい。特に第 2 埠頭は飼料の輸入や生乳の移出を担っていることから、背後地の農業・畜産業の事業継続に影響すると考えられる。

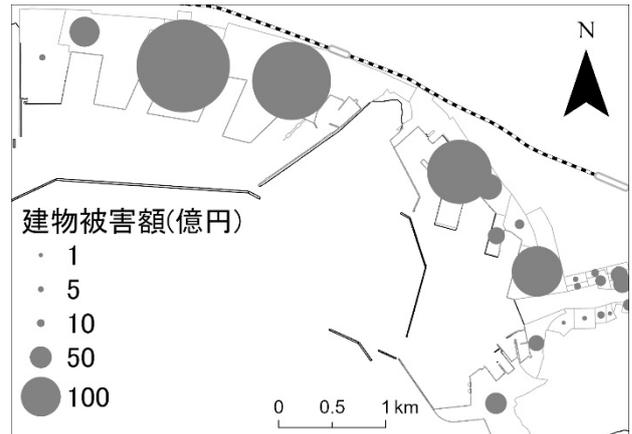


図 31 釧路港の建物被害の分布 (億円)

東港区の中では、漁港埠頭の被害が比較的大きい。水産品の貨物取引量は釧路港全体の 1.8%程度であり、シェアはさほど大きくない。しかし、他の港湾や漁港の水揚量との比較の観点からは、1991 年までは全国 1 位の水揚量があり、平成 30 年時点でも銚子港、焼津港に次ぐ全国 3 位、北海道では 1 位の水揚量があることから、漁業にとって重要性の高い港湾と考えられる。

続いて業種別の償却・在庫資産被害額の空間的分布を表したものが図 32 である。被害量の傾向は建物被害とあまり変わらない。業種別の被害割合は、西港区では運送業、東港区では製造業が高くなっている。釧路港では飼料を荷揚げするための設備が設置される等、特に西港区において各埠頭の専門性が高く埠頭間の機能代替が難しいと考えられる。東港区の耐震強化岸壁における機能代替や横持ちのための運送経路確保の方法について検討しておく必要がある。

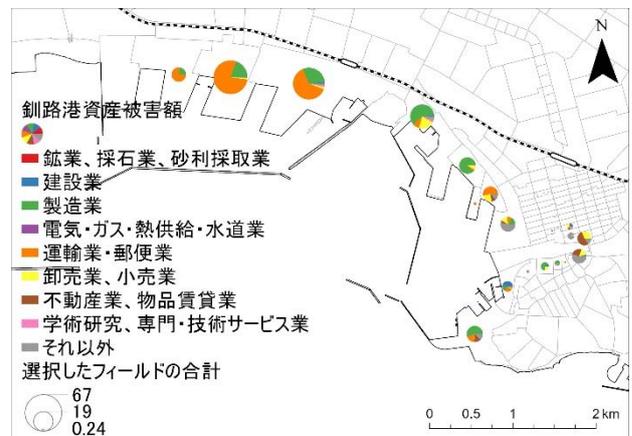


図 32 釧路港の業種別資産被害の分布 (億円)

(3) 研究対象港湾のフロー被害の推計

フロー被害の推計にあたっては様々な前提を設定

する必要があり精度の高い推計は困難であるが、ここでは産業連関表を用いた産業間の影響の推計と、生産関数を用いた生産量に対する資産や労働力の被害の影響の推計を実施する。

①産業連関表による産業間の影響の推計

産業連関表による産業間の影響の推計にあたっては、他産業に影響を与えやすい産業と他産業から影響を受けやすい産業を分類するため、北海道開発局の産業連関表¹⁴⁾を使用して、各産業の影響力係数と感応度係数を算出する。

影響力係数が高い産業は、当該産業が被害を受けた際に他の産業に影響が波及しやすい。一方で感応度係数が高い産業は、当該産業が直接被害を受けなくても、他の産業が受けた被害の影響を受けやすい。

影響力係数は、当該産業の逆行列係数の列和を逆行列係数の列和全体の平均値で割ることで算出できる。同様に感応度係数は、当該産業の逆行列係数の行和を逆行列係数の行和全体の平均値で割ることで算出できる。なお、本研究では33部門地域別逆行列係数表を用いる。このようにして算出した係数を散布図にしたものが図33と図34である。

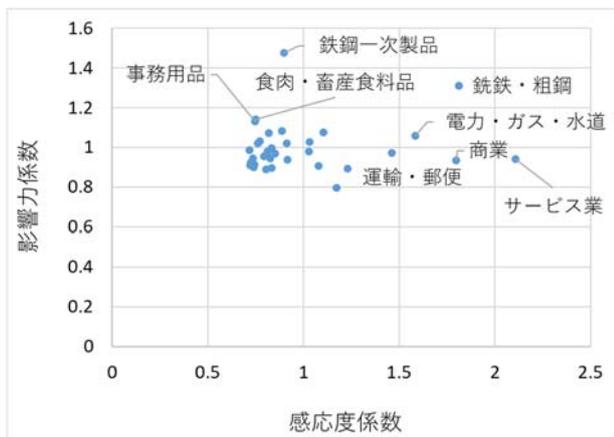


図33 影響力係数と感応度係数（道央地域）

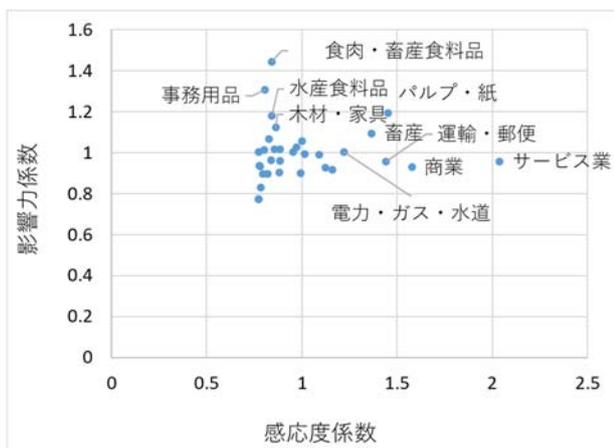


図34 影響力係数と感応度係数（釧路・根室地域）

感応度係数が高い産業は、道央も釧路・根室も概ね共通しており、サービス業、商業、運輸・郵便などである。

一方で影響力係数の高い産業には特徴があり、鉄鋼一次製品、銑鉄・粗鋼、食肉・畜産食料品、事務用品の順に高いが、食肉・畜産食料品、事務用品、パルプ・紙、水産食料品の順に高い。鉄鋼一次製品や銑鉄・粗鋼は他の製品の原料であり、影響力係数が高くなるのはある程度一般的なことといえるが、釧路・根室地域において食肉・畜産食料品や水産食料品が上位にあるのは、この地域の産業構造をよく表している。

それぞれの地域において影響力係数の高い産業の被害が拡大すると他の産業にも影響が広がり、地域経済への間接的影響が大きくなる可能性がある。

②生産関数を用いた推計

続いて、生産関数を用いて生産量に対する資産や労働力の影響の推計を行う。ここでは、以下のコブ・ダグラス生産関数を用いる（式1）。

$$Y = AKp^{(1-\alpha)} L^{\alpha} \quad (1)$$

各パラメーターの意味は次のとおりである。

Y：生産量

Kp：資本投入量（10億円）

L：労働投入量（万人）

A：全要素生産性

α ：労働分配率

$1-\alpha$ ：資本分配率

資本投入量は第3章（2）で求めた償却・在庫資産額とし、分析対象となる港湾の経済センサス小地域の業種別の金額を用いる。災害後は、被害額のみで資本投入量が減少すると考える。

労働投入量は分析対象となる港湾の経済センサス小地域の業種別従業者数を用いる。災害後にどの程度労働投入量が減少するかは、労働者本人の人的被害のみならず、本人や家族の負傷や避難による休職等の様々な要因が考えられる。本研究では、仮に労働力投入量に変化が無い場合、75%に減少した場合、50%に減少した場合の3つのパターンを考える。

労働分配率は、生み出した付加価値のうち労働者への給料として支払う比率のことであり、経済センサスの給与総額を付加価値額で割ることで求めることができる。市町村ごとの値を使用すると秘匿値があり労働分配率を算出できない業種があるため、ここでは経済センサス活動調査（平成28年版）を基に

計算した業種ごとの全道値を用いる。災害が発生した場合でも労働者の給料は短期的には大きく変化しないと考えられるので、労働分配率は災害の前後で変化しないものとする。資本分配率は労働分配率から自動的に求まる。

全要素生産性は、原材料や機材、労働力以外の生産量に関わる要素であり、技術力等が該当する。明らかになっている生産量に対し資産投入量と労働力投入量で説明できない分がここに入るが、今回は港湾の生産量が明らかではないため全要素生産性も不明である。現実的には生産性は業種間で差があると考えられるが、本研究では全ての産業で1であると仮定し計算を進める。

災害の前後で資本投入量や労働力投入量が増減し、その結果生産量が増減する。この生産量の変化が1年間のフロー被害であると考えられる。生産量とその変化は業種ごとに求めた後で合計する。以上の条件により計算した結果が表15、表16、表17である。

表15 苫小牧港のフロー被害推計

	災害前 生産量	災害後 被害量	被害率
資産被害のみ	86.37	27.83	32%
資産被害+ 労働力被害 25%	86.37	37.01	43%
資産被害+ 労働力被害 50%	86.37	47.45	55%

表16 室蘭港のフロー被害推計

	災害前 生産量	災害後 被害量	被害率
資産被害のみ	12.66	4.16	33%
資産被害+ 労働力被害 25%	12.66	5.55	44%
資産被害+ 労働力被害 50%	12.66	7.13	56%

表17 釧路港のフロー被害推計

	災害前 生産量	災害後 被害量	被害率
資産被害のみ	2.77	2.24	81%
資産被害+ 労働力被害 25%	2.77	2.34	84%
資産被害+ 労働力被害 50%	2.77	2.45	88%

ここでは全要素生産性が明らかではないため、絶対値がそのまま被害額を表すとはいえない。しかし、災害前後での資本投入量や労働力投入量の変化による生産量への影響を相対的に確認することはできる。ただし、業種ごとの生産性の差が考慮されていないことに注意が必要である。

その上でこの結果をみると、苫小牧港および室蘭港においては、資産被害のみの場合は生産量の減少は約3割であると推計される。労働力が25%減少のケースでは約4割、労働力が50%減少のケースでは約5割それぞれ生産量が減少する推計となる。釧路港の場合は、資産被害の影響が元々大きいことから、労働力の減少による差は苫小牧港や室蘭港ほどではない。いずれの港湾でも、人的被害の防止は経済的被害の軽減にもつながるといえることができる。

5. 港湾機能低下の要因やその影響の定性的検討と対応策

第3章および第4章では、建物や港湾施設における物的被害や経済的被害について、東日本大震災での被害の事例等から条件を設定し定量的な分析を実施した。しかし実際には、港湾機能が低下する要因とその影響には、これまでの分析で検討したこと以外にも様々なものがあると考えられる。そこで本章では、これらの定性的検討を行う。

まず港湾機能が低下する要因として、第3章では港湾施設の被害として大規模な復旧工事や再建が必要となるような物的被害を対象としたが、実際には航路や係留施設への漂流物の散乱や軽微な損傷等によっても、応急的対応ができるまでの数日から数週間程度の機能低下が発生することが想定される。例えば苫小牧港では本港地区に比較的貨物取扱量の多い係留施設が集中しているが、このような取扱量の多い航路や係留施設の場合、軽微な被害であっても港湾機能に与える影響が大きくなる可能性がある。

また、建物や港湾施設が被害を受けた場合の他施設での代替可能性によっても、港湾機能の低下や影響の大きさが左右される。同等の規模のものが多く存在する岸壁や物揚場等と比べ、その港湾に少数しか設置されていない水深の大きな岸壁の被害は影響が大きいと考えられる。特に荷役機械については、コンテナ用のガントリークレーンや穀物用のアンローダーといった専門性の高い施設は、他の施設での機能代替が難しく、当該施設の復旧まで港湾機能低下の影響を及ぼし続けると考えられる。

次に、被害を受けた場合に応急的な対応による機

能回復が困難で復旧に多くの日数を要する建物や港湾施設についても、ひとたび被害を受けた際には復旧時のボトルネックになる可能性を考慮する必要がある。本研究における東日本大震災の事例調査では、調査対象の17か所の荷役機械のうち10カ所が復旧に100日以上かかっており、係留施設に比べ長くかかる傾向にある。これは、荷役機械が港湾機能復旧のボトルネックとなる可能性を示唆している。

最後に被害を受ける業種による違いとして、図33や図34において影響力係数が高い業種に関する建物や係留施設、荷役機械は、被害を受けて機能が低下することで、当該港湾のみならず背後地の経済に大きな影響を与えることが考えられる。例えば釧路港の場合、食品関係の荷役機能が低下した場合、背後地の酪農や関係する工場が間接的な被害を受け、地域経済に影響を与えることが考えられる。また、影響力係数には表れない場合でも、陸上での物資輸送を担う運輸業、啓開作業や復旧工事を担う建設業の被害は、応急的対応を遅らせ影響拡大の要因となりうる。

このような港湾機能低下への事前対策には、ハード面の対策として各建物や施設の耐津波化・耐震化、ソフト面の対策として緊急時の啓開作業や復旧工事の体制構築等が挙げられるが、この他に実施可能な対応の一つとして、喪失を防ぐために資産を建物の上階にできるだけ移しておくことが考えられる。ここでは償却・在庫資産被害額について、全ての資産を最上階に移したと仮定し、表5の基準に照らして倒壊または躯体被害に至らず、かつ最上階が浸水しない建物の資産は守られるとして分析を実施した。結果、各港湾の償却・在庫資産被害額は表18のとおり推計された。

表18 資産を最上階に移した場合の被害推計(億円)

	償却・在庫資産被害額 (第4章の推計結果)	償却・在庫資産被害額 (資産を最上階に移した場合の推計結果)
苫小牧港	690	720
室蘭港	602	499
釧路港	234	231

苫小牧港ではこの手法による償却・在庫資産被害額は720億円と推計され、第4章での分析結果よりも多くなった。これは、階数が低く最上階まで浸水する建物が多いため、臨港地区内の建物について被害率曲線により算出した建物被害率よりも、最上階まで浸水する建物の比率の方が大きいためと考えら

れる。

一方で室蘭港および釧路港では、第4章での分析結果よりも償却・在庫資産被害額が少なくなった。全ての資産を最上階に移すことは現実的ではないが、可能な範囲で対応を実施することで減災効果を得られる可能性がある。

6. まとめ

本研究では、苫小牧港と室蘭港、釧路港を対象として、各港湾の津波被害を物的被害と経済的被害の推計を行うとともに、港湾機能低下の要因やその影響について定性的検討を行った。

物的被害については、東日本大震災の港湾被害の事例を基に被害発生基準を設定し、太平洋沿岸で想定される最大級の津波が発生した場合の個別の建物や港湾施設の被害を推計することができた。

経済的被害については、ストック被害とフロー被害に分けて推計を実施した。ストック被害についてはさらに建物被害、償却・在庫資産被害、港湾施設被害に分類して推計した。特に建物被害と償却・在庫資産被害については、経済センサスの小地域ごとのデータを用いることで、港湾内部の経済的被害の空間的特徴を明らかにした。

フロー被害については、産業連関表を用いて各産業の影響力係数と感応度係数を算出し、各産業を他の産業に影響を与える産業と影響を受けやすい産業に分類した。また、コブーダグラス生産関数を用いて、資産被害や労働力被害が生産量に及ぼす影響を推計した。

以上の物的被害や経済的被害の分析から、同一港湾の内部であっても想定される津波浸水深や立地している施設が場所によって様々であり、それに伴って場所により被害の程度や被害を受ける産業の構成が異なることが示された。また、酒井(2002)は、釧路港を対象に港湾の空間的特徴を調査し、船舶の大型化・専用船化に伴って埠頭の専門化が起こっていることを指摘している。このように港湾内部での機能分化が進んでいることは、被害箇所に対する機能代替の可能性を低下させると考えられる。

よって港湾BCP等においては、港湾内部の場所ごとの機能や被害状況の違いに応じた対策を検討する必要がある。本研究の成果は、このような港湾内部の災害リスクの空間的検討を行う際の基礎資料として活用できると考えられる。

他に本研究の活用として、物的被害に関して地震動による被害を反映した上で、経済的被害の推計手

法を臨港地区以外の建物や社会資本に対して用いることで、北海道の被害想定・減災目標設定に適用できると考えられる。

最後に今後検討すべき事項としては、港湾間のあるいは都市間のバックアップが挙げられる。本研究では全ての港湾において最大クラスの津波が発生するものとして分析を実施したが、実際には北海道内の全ての港湾や都市が同時に最大クラスの津波による被害を受けることは考えにくい。

よって、被害を受けた港湾に対し他の港湾が機能を補完することが考えられる。こうした検討に向けては、いくつかのケースに分けて被害の想定を行い、全道的な津波災害リスクを把握する必要がある。

また、港湾等の重要施設の立地は背後地の都市の内部構造や経済状況と密接に関係している。背後地の都市が被害を受けることで港湾の復旧に十分な対応ができなくなるケースや、反対に港湾機能の低下が都市の経済状況を悪化させるケースが想定される。よって、災害リスクと都市構造の関係を解明する研究も、今後取り組むべき重要な課題である。

[参考文献]

- 1) 北海道総合政策部交通政策局交通企画課：令和元年北海道港湾統計年報《概要版》，2021.1
- 2) 苫小牧港管理組合：苫小牧港統計年報（令和元年港湾統計），2020.8
- 3) 室蘭市港湾部：室蘭港統計年報（令和元年），2020.12
- 4) 釧路市水産港湾空港部：令和元年釧路港統計年報，2021.2
- 5) 建築研究所：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震調査研究（速報），2012.3
- 6) 国土技術政策総合研究所・港湾空港技術研究所：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震による港湾施設等被害報告，2015.9
- 7) 国土技術政策総合研究所：東日本大震災による沿岸都市の被害と復旧（中間報告），2011.9
- 8) 国土技術政策総合研究所：東日本大震災による港湾都市における産業・物流の被害・復旧状況，2012.3
- 9) 日本港湾協会：東日本大震災港湾被災状況現地調査（第1班・第2班・第3班），2011.4
- 10) 国土交通省：東日本大震災による各港湾の被災状況写真集，2011.12
- 11) 国土交通省：東日本大震災における港湾の被災から復興まで，2012.3
- 12) 港湾空港技術研究所：2011年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報，2011.4
- 13) 地方独立行政法人北海道立総合研究機構：平成28年度地震被害想定等調査研究業務報告書，2017.3
- 14) 中央防災会議：南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告），2013.5
- 15) 国土交通省：治水経済調査マニュアル（案），2020.4
- 16) 首藤伸夫：津波発生時及び来襲時の音響—その2 昭和三陸大津波による沿岸での音響発生条件—，北大学災害制御研究センター津波工学研究報，10号，1-12，1993.3
- 17) 南海トラフの巨大地震モデル検討会：津波断層モデルと津波高・浸水域等について，2012.8
- 18) 中央防災会議：南海トラフ巨大地震の被害想定項目及び手法の概要～ライフライン被害、交通施設被害、被害額など～，2013.3
- 19) 岩城秀裕，是川夕，権田直，増田幹人，伊藤久仁良：東日本大震災によるストック毀損額の推計方法について，経済財政分析ディスカッション・ペーパー，DP/11-1，2011.12
- 20) 中央防災会議：南海トラフの巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要，2012.8
- 21) 建設物価調査会，令和元年度版 建築統計の年間動向，2019.10
- 22) 内閣府：日本の社会資本2017，2018.3
- 23) 北海道電力：電源構成・発電設備（https://www.hepco.co.jp/corporate/company/ele_power.html）2021.3.19閲覧
- 24) 北海道開発局：北海道内地域間産業連関表（平成23年版），2018.3
- 25) 酒井多加志：釧路港における港湾空間の発達過程，地学雑誌，Vol.111，No.1，pp.100-117，2002.2