広域港湾BCPのための 大規模地震・津波後の代替港湾の推計

赤倉 康寛¹・小野 憲司²・渡部 富博³・川村 浩⁴

¹ 正会員 京都大学准教授 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)
E-mail: akakura.yasuhiro.6n@kyoto-u.ac.jp

² 正会員 京都大学教授 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)
E-mail: ono.kenji.5z@kyoto-u.ac.jp

³ 正会員 国土技術政策総合研究所室長 港湾システム研究室 (〒239-0831 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1)
E-mail: watanabe-t2w3@mlit.go.jp

⁴ 正会員 東北地方整備局沿岸域管理官 港湾空港部 (〒980-0013 宮城県仙台市花京院 1-1-20)
E-mail: kawamura-h82ab@pa.thr.mlit.go.jp

大規模地震・津波後に、国民生活を維持し、産業を継続させるためには、被災港湾の機能代替が不可欠である。東日本大震災では東京湾や日本海側の港湾が、阪神・淡路大震災では大阪港を始めとする主要港湾が、代替港湾として機能した。これらの代替港湾では、取扱能力が限界に達した例が見られた。以上の状況を踏まえ、本研究では、i) 外貿コンテナ輸送を対象に、港湾の取扱能力制約を考慮した大規模地震・津波後の代替港湾の推計手法を構築し、ii) 東北広域港湾BCPにおいて、シナリオ地震・津波後の代替港湾を推計した。その結果、多くの代替港湾にて能力が限界に達し、他の港湾を使用せざるを得なくなる可能性が危惧された。今後、各港湾にて、代替港湾としての能力・体制の拡充を進めていく。

Key Words : large-scale disaster, port-BCP, container cargo, alternative port, handling capacity

1. 序論

2011年の東日本大震災においては、東日本の太平洋側港湾が大きな被害を受け、東京湾や日本海側の港湾が、その機能を代替した。1995年の阪神・淡路大震災においても、壊滅した神戸港の機能を、大阪港を始めとする主要港湾が代替した。四面環海のが国において、国民生活を維持し、産業を継続させるためには、被災港湾の機能代替は不可欠である。一方で、代替港湾では、平常時を大きく上回る貨物が集中するため、能力の限界に達する場合がある。その場合、さらに、他の港湾での機能代替が必要となる。ヒアリングによれば、東日本大震災では、秋田、酒田、新潟港では、概ね取扱能力の限界に達していた。以上の状況を踏まえ、本研究は、外貿コンテナ輸送を対象に、港湾の取扱能力制約を考慮した代替港湾の推計手法を構築し、東北広域港湾BCPにおいて、シナリオ地震・津波後の代替港湾を推計することにより、もって港湾の広域連携を推進させることを目的としたものである。以下、2.で代替港湾の推計手法、3.で東北広域港湾BCPにおけるシナリオ推計について述べ、4.でとりまとめる。

2. 代替港湾の推計手法

(1) 既往の研究

APEC (Asia-Pacific Economic Cooperation) は、2006 年より、主にテロを対象として貿易の早期復旧を図る Trade Recovery Program の策定・高度化を進めている¹⁾。その中では、各国内の対策は対象外である。

安部²⁾は、大規模地震後の業種別の輸送ニーズを定式化し、代替港湾利用についても分析している。Trepte and Rice³⁾は、米国の主要港湾の機能が停止した場合に、同国内の他港での代替可能性の分析を行っている。しかし、いずれも、代替港湾を推計する手法は示されていない。

(2) 推計手順

代替港湾の推計フローを、図-1 に示す。基礎となるのは、都道府県等の地震・津波被害想定であり、各地域の震度及び津波浸水深のデータから、被災地域の輸送需要及び被災港湾の取扱能力を設定する。これらは、推計時点(被災何ヶ月後か)により変化する。地域設定は、全国幹線旅客純流動調査(国土交通省)の207生活圏としている。さらに、代替港湾の取扱能力を設定した上で、港湾選択モデルによって、代替港湾を推計する。

図-1 代替港湾の推計フロー

(3) 港湾選択モデル

港湾選択モデルとは、国内各地域の輸出入コンテナ貨物が、どの港湾を利用するのかを推計するモデルである。本研究では、井山ら⁴⁾の犠牲量モデルを採用した。同モデルでは、2008年全国輸出入コンテナ流動調査（国土交通省）をベースとして、世界の11の国・地域（北米・欧州の2地域及び東南・東アジアを分割）別に、輸出入別に推計を行う。国内利用港湾は、35港（三大湾、北部九州及び各都道府県に1港）が設定されている。国内の地域区分は、小規模港湾での精度向上のため、47都道府県から207生活圏に分割した。

犠牲量モデルの概念図を、図-2に示す。全てのコンテナ貨物は総犠牲量（輸送費用＋輸送時間×時間価値）が最小の経路で輸送されるとの仮定であり、時間価値により選択される経路は異なる（図-2 上半分）。その選択確率は、時間価値の確率密度分布における面積比で求められる（図-2 下半分）。モデルの再現精度（平常時）を、図-3に示す。詳細については、文献4)を参照されたい。

(4) 輸送需要の推計

大規模地震・津波後のコンテナ貨物の輸送需要は、荷主企業等の被災により、一旦減少し、その後回復していく。そこで、震災前を100%とした輸送需要の回復割合を、東日本大震災についての事業所アンケートにより、ゴンペルツ曲線を用いてモデル化した⁵⁾（式(1)）。

$$f(x) = a \cdot b^{\exp(-c \cdot x)} \quad (1)$$

ここに、 x ：発災後日数、 a, b, c ：推定パラメータである。

図-4に回復曲線を、表-1にパラメータを示す。この復旧曲線の精度については、被災各県の鉱工業生産指数及び米国輸出入貨物データ PIERS（Port Import/Export Reporting Service）により妥当性を確認している⁵⁾。207生活圏での津波浸水深・震度の想定結果に対して、この復旧曲線を適用することにより、各生活圏からの、推計時点におけるコンテナ貨物の輸送需要が定量化できる。

また、大規模地震・津波後には、復旧に関連した貨物の輸入が発生する場合がある。東日本大震災の場合、米国より、平常時には輸入の無かった冷凍野菜や水、断熱

図-2 犠牲量モデルの概念図

図-3 本研究の犠牲量モデルの再現精度（平常時）

図-4 発災後のコンテナ輸送需要の復旧曲線

表-1 復旧曲線のパラメータ

津波浸水	$\geq 2m$	$< 2m$	浸水なし	
地震動	全て		7	6強
a	60.6	90.5	75.0	88.3
b	0.000121	0.0652	0.0150	0.112
c	0.0194		0.0463	

津波浸水	浸水なし			
地震動	6弱	5強	5弱	4
a	91.4	100	100	100
b	0.125	0.247	0.495	0.539
c	0.0463			

材の原料（仮設住宅用と推察される）の輸入が確認された。そのコンテナ貨物量は、平時被災港湾の取扱量に対して、発災後4～7週：約10%，8～17週：約25%であった⁶⁾。このような輸入需要も見込むことが必要である。

(5) 代替港湾の取扱能力の推計

東日本大震災における日本海側港湾でのヒアリング結果と、阪神・淡路大震災についての文献調査より、代替港湾の取扱能力は、i) 蔵置能力及び ii) 港湾運送業の対応能力のいずれか小さい方により定まる⁷⁾。このうち、i) 蔵置能力 N (TEU) に基づく取扱能力 C (TEU/年) は、式(2)となる⁸⁾。

$$C = N \cdot \frac{g \cdot e}{f} \quad (2)$$

ここに、 g ：有効係数、 e ：年間回転数（＝年作業日数/平均蔵置日数）、 f ：ピーク係数である。代替港湾は、臨時蔵置スペースの確保により蔵置能力の増加を図る一方、ドレージ能力の不足や空コンテナの引き取り遅れ等により平均蔵置日数が増加し、取扱能力が減少する。

ii) 港湾運送業は、平常時に想定される以上の機材や人員を余分に抱えることはない。そのため、急激なコンテナ取扱量の増加への対応には、自ずと限界がある。東日本大震災や阪神・淡路大震災では、被災港湾からの応援があった。すなわち、港湾運送業の対応能力は、過去（例えば一年間）の最大取扱量実績を基本とし、これに応援による増加をある程度見込むことができる。

(6) 取扱能力制約及び臨時増便の考慮

港湾選択モデルにおいて、取扱能力の制約を考慮するためには、繰り返し計算が必要となる。その算定フローを、図-5に示す。前述したとおり、犠牲量モデルは、世界の11の国・地域別、輸出入別で計22に分かれており、これらを合計すると各港の取扱量推計値となる。この推計値が、取扱能力を超過した場合、当該港湾を利用港湾の候補から外した上で、超過分を再算定する。この過程を、超過が無くなるまで実施する。

さらに、代替港湾においては、取扱量の増加に応じて、臨時増便が行われる。東日本大震災における秋田・酒田・新潟港での、コンテナ取扱量と便数の増加割合の関係を示したのが図-6であるが、両者はほぼ同じレベルと見ることができる。そこで、代替港湾の推計では、一度、平常時の便数で推計を行った後、再度、取扱量の増加に応じて便数を増加させ、再計算を行う。なお、便数を増加させる最低のコンテナ取扱量増加割合は、東日本大震災の実績から、1.15と設定できる。

(7) 推計精度

以上の推計手法を、東日本大震災において検証した結

図-5 取扱能力制約の考慮のための繰り返し算定

図-6 代替港湾におけるコンテナ取扱量と便数の関係

果が、図-7である。平常時に対する、発災後1ヶ月のコンテナ取扱量の増減値での比較である。実績値は、港湾統計（国土交通省）を基に、2010年3・4月平均のコンテナ取扱量に、2011年1・2月の対前年伸び率を掛け合わせた値を平常時とし、これに対する実際の2011年3・4月平均の変化量を整理した。推計では、八戸港～茨城港は機能停止とし、代替港湾の便数は、東京湾での風評被害による抜港を踏まえ、実際の便数増減値を与条件とした。また、発災直後のコンテナ貨物の時間価値の上昇に対しては、外貿コンテナ貨物のトン当たり価格の上昇率を適用した⁷⁾。なお、道路の被災による輸送時間の変化はモデル上考慮できていないが、被災地域全体の道路混雑では、港湾選択結果に大きな影響は想定されない。

コンテナ取扱量に変化のあった三大湾及び苫小牧～新潟港について、実績値と推計値との決定係数は0.966であり、全般的には良い精度が確保出来ているが、伊勢湾では乖離があった。これは、震災後に中部地方の自動車生産が停滞したのに対し、推計ではこの状況を考慮できていないことが原因と考えられる。

以上より、都道府県等の被害想定結果を基にして、将来発生し得る大規模地震・津波に対しての代替港湾推計手法が構築できた。

図-7 東日本大震災における代替港湾の推計精度

3. 東北広域港湾 BCP におけるシナリオ推計

(1) 東北広域港湾 BCP の概要

東北の港湾では、港湾 BCP の策定が進んでいる。重要港湾以上の全 14 港湾のうち、7 港湾で既に策定済みで、2 港湾が 2014 年度末までに策定予定である（全国目標は、2016 年度末に策定完了）。しかし、大規模地震・津波においては、各港湾がどれだけ対策を充実させたとしても、地震・津波被害を皆無にはできず、復旧中の被災港湾では、輸送需要に対して取扱能力が不足する。

そのため、東北広域港湾防災対策協議会（座長：小野憲司京都大学教授）は、平成 27 年 2 月 27 日に、東北広域港湾 BCP をとりまとめた。同 BCP では、以下の 2 つの広域連携が大きな柱となっている。

- i) 港湾機能の早期復旧に向けた広域連携：航路啓開のための作業船や資機材の広域調達と荷役機能復旧のための荷役機械等の広域調達
- ii) コンテナ貨物の代替輸送の広域連携：被災したコンテナ港湾の取扱能力が復旧するまでの間、代替港湾においてコンテナ取扱能力を補完

広域港湾 BCP では、これらの広域連携について、事前の準備と発災後の行動とが整理されている。

(2) 推計シナリオの設定

コンテナ貨物の代替輸送の広域連携のための事前準備を進めるためには、代替港湾にて受け入れが想定されるコンテナ貨物量の目安が必要となる。そこで、前章で構築した推計手法を用いて、代替港湾の推計を行った。そのシナリオ地震・津波を、表-2 に示す。太平洋側被災シナリオにおいては、宮城・福島県が東日本大震災後に想定地震を替えてなく、岩手県は東日本大震災の再来を想定していることから、本研究でも、東日本大震災の再来とした。日本海側被災シナリオについては、秋田・山形・新潟県の地震・津波被害想定^{9)~11)}で採用されている最大規模の地震・津波とした（3 地震の震源は山形県～新潟県沖で、ほぼ同一）。推計時点は発災後 3 ヶ月、ペー

表-2 シナリオ地震・津波

シナリオ	被災港湾	想定地震・津波
太平洋側被災	八戸港 大船渡港 仙台塩釜港 小名浜港 (茨城港)	東北地方太平洋沖地震 (M9.0)
日本海側被災	秋田港 酒田港 (新潟港)	秋田県：海域 A+B+C 連動 (M8.7) 山形県：佐渡島北方沖地震 (M8.5) 新潟県：佐渡北方沖地震 B (M7.8)

スとなる平常時のコンテナ貨物取扱量は、2013 年の月別平均値とした。また、東日本大震災後に、仙台塩釜港高砂コンテナターミナルが 3 ヶ月間機能しなかったことを踏まえ、最悪の状態として、全被災港湾が機能停止とした。一方、代替港湾については、純粹に各港湾の輸送需要を確認するために取扱能力を設定しないケース（以下、「需要ケース」と、実際の状況として東北地方の代替港湾にて取扱能力を設定したケース（以下、「現実ケース」）の 2 ケースを設定した。代替港湾における臨時ヤードの蔵置能力については、東日本大震災及び阪神・淡路大震災の主要港湾の実績を踏まえて、平常時の 4 割を確保するものとした。ただし、ターミナル後背地に土地のない仙台塩釜港だけは、臨時ヤードが確保出来ないとした。

(3) 推計結果

太平洋側被災シナリオの推計結果を、図-8 に示す。各港別の棒グラフは、平常時と震災後のコンテナ取扱量である。酒田港では、需要ケースでは 7.1 万 t/月の需要があったが、取扱能力が 1.5 万 t/月のため、残りは他港湾利用を余儀なくされた。秋田港では、需要ケースの 6.9 万 t/月に対して、現実ケースでは酒田港の能力超過分の一部が追加され 7.2 万 t/月となり、取扱能力近くまで達していた。この結果からは、酒田港は、太平洋側港湾が完全に機能停止した場合の代替港湾としては、能力が大きく不足していた。東北最大の仙台塩釜港から最も近い代替港湾であることが、この大きな要因である。

一方、現実ケースにおいて、平常時に東北の被災港湾で取り扱われていたコンテナ貨物が、どの港湾にシフトしたのかを示したのが円グラフである。航路数・便数が多い東京湾が過半数を占め、新潟港も含めると東北以外の港湾が約 3/4 を担っている。できるかぎり距離の近い東北内の港湾で代替輸送を提供するとの観点からも、やはり酒田港の代替港湾としての能力不足は否めない。

日本海側被災シナリオの推計結果を、図-9 に示す。各港別には、仙台塩釜・八戸・小名浜港のいずれも似た状況で、需要ケースの取扱量が取扱能力を超え、現実ケースでは超過分が他港湾利用を余儀なくされていた。

現実ケースにおける、東北港湾の代替港湾では、八戸

図-8 太平洋側被災シナリオの推計結果

図-9 日本海側被災シナリオの推計結果

港が半分弱、仙台塩釜港も約2割を担っていた。これは、被災した東北港湾が秋田・酒田港であり、両港湾の荷主は、地理的に東京湾が遠いこと、八戸港や仙台塩釜港は秋田・酒田港より取扱能力が高いことが挙げられる。その意味では、東北内の港湾である程度代替できてはいるが、八戸・仙台塩釜港共に能力限界に達しており、最寄りの代替港湾を使用できずに東京湾等を利用せざるを得ない荷主が一定程度存在することから、代替港湾としての能力拡充が必要な状況にあると言える。

両シナリオにおいて、平常時に被災港湾を利用していたコンテナ貨物の陸上輸送コストの変化を、図-10に示す。代替港湾の利用により大幅に陸上輸送コストが増加していること（平常→震災・需要）に加え、最寄りの代替港湾を使用できないことによる輸送コストの追加状況（震災・需要→震災・現実）が確認できた。

(4) 広域連携に向けて

シナリオ推計に基づき、今後、各港湾においては、港湾BCPの一環として、事前対策を行っていくこととなる。表-3に、対策内容を示す。代替港湾としての取扱能力の確保は、①蔵置能力増加のための臨時ヤード想定と、②港湾運送業の対応能力増加のための上屋の増加やゲート・荷役の時間延長等である。①臨時ヤードは、専用施

図-10 陸上輸送コストの変化

表-3 代替輸送の広域連携のための事前準備

対策	内容	関係機関
取扱能力の確保	臨時ヤードの想定、仮設上屋の設置、作業時間の延長等	港湾管理者 ターミナル管理者 港湾運送事業者
貿易手続体制の確認	大量貨物の取扱や、通常時に扱っていない品目の流入に備え、貿易手続体制を確認	植物防疫所 動物検疫所
大規模地震対策施設の整備	大規模地震対策施設の整備を着実に進める	国土交通省 港湾管理者
情報発信	予め情報発信すべき事項について整理し、情報発信体制を整備	国土交通省 (整備局・保安庁) 港湾管理者

設を整備するものではなく、一時的に空いているスペースを活用するものとなる。②港湾運送業の対応能力については、発災後に、被災港湾からのトレーラ・シャーシや人材の応援を考慮することができる。貿易手続き体制については、東日本大震災において、平常時に代替港湾では取扱のなかった動植物検疫貨物の取扱のため、出張検査が必要となったことを踏まえている。大規模地震対策施設の整備は、被災港湾の能力低下をできる限り防ぐことによって、代替港湾の負担軽減を図るものである。情報発信については、各機関の発災後の行動として、発信すべき情報が整理されている。

事前準備を十分に行っておくことにより、代替港湾利用における混乱を未然に防ぐことが可能となる。これは、各港湾が単独でどれだけ地震・津波対策を推し進めたとしても物流機能の停滞は避けることができないため、東北全体として、効率的かつ効果的な対策であると言える。

4. 結論

本研究は、外貿コンテナ輸送を対象に、大規模地震・津波後の代替港湾の推計手法を構築し、東北の広域港湾BCPにおいて推計を行ったものである。推計手法については、港湾選択モデルに犠牲量モデルを採用し、都道府県の地震・津波被害想定を基礎データとして、輸送需要の回復曲線を適用した。さらに、代替港湾の取扱能力を推計して、繰り返し算定により能力超過を考慮した。東北広域港湾BCPでは、太平洋側と日本海側の想定最大地震・津波における代替港湾を推計し、日本海側では酒田港が、太平洋側では仙台塩釜・八戸・小名浜港が能力限界に達し、一部荷主が他の港湾を使用せざるを得なくなることが明らかになった。今後、各港湾では、広域連携のための事前準備を進めていく。

各港湾のBCPと広域港湾BCPの両者において、不断の見直しと改善を進めることにより、大規模地震・津波

に対応可能なレジリエントな港湾物流の実現に努めていきたい。

謝辞：本研究においては、一般財団法人みなと総合研究財団及び中央復建コンサルタンツ株式会社のご助力を頂きました。また、本研究はJSPS 科研費(25289165)の助成を受けました。ここに記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Asia-Pacific Economic Cooperation: APEC Trade Recovery Communication Mechanisms, First Sub-Committee on Customs and Procedures Meeting, Moscow, 2012.
- 2) 安部智久：事業継続支援のための国際インフラマネジメント方策に関する基礎的検討, 国土技術政策総合研究所資料, No.409, 2007.
- 3) Trepte, K. and Rice Jr, J. B., : An initial exploration of port capacity bottlenecks in the USA port system and the implications on resilience, International Journal Shipping and Transport Logistics, Vol. 6, No.3, pp.339-355, 2014.
- 4) 井山繁, 渡部富博, 後藤修一：犠牲量モデルを用いた国際海上コンテナ貨物流動分析モデルの構築, 土木学会論文集 B3, pp.I_1181-I_1186, 2012.
- 5) 赤倉康寛, 邊見充, 小野憲司, 石原正豊, 福元正武：海運依存産業における大規模地震・津波後のコンテナ貨物需要の復旧曲線, 土木学会論文集 D3, Vol.70, No.5, pp.I_689-I_699, 2014.
- 6) 赤倉康寛, 小野憲司, 岡村京子, 福元正武：大規模災害後の外貿コンテナ輸送量の需要復旧曲線の定量化, 沿岸域学会誌, Vol.26, No.1, pp.15-26, 2013.
- 7) 赤倉康寛, 慈道充, 丁子信, 川村浩, 渡部富博：代替港湾の取扱能力を踏まえた大規模災害後の港湾・経路選択モデルの開発, 土木計画学研究・講演集, 2014.
- 8) 高橋宏直：港湾計画段階におけるコンテナターミナルエリア規模推計モデル—コンテナターミナル諸元に関する計画基準(案)—, 国土技術政策総合研究所研究報告, No.10, 2003.
- 9) 秋田県：地震被害想定調査報告書, 2013.
- 10) 山形県：地域防災計画・津波浸水域予測図, 2012.
- 11) 新潟県：地域防災計画・津波浸水域想定図, 2014.

ESTIMATION OF ALTERNATIVE PORTS AFTER LARGE-SCALE EARTHQUAKES/TSUNAMIS FOR REGIONAL PORT-BCP

Yasuhiro AKAKURA, Kenji ONO, Tomihiro WATANABE and Hiroshi KAWAMURA

Alternative ports are necessary to continue the national and local economy after large-scale earthquakes/tsunamis. Aftermath of the Great East-Japan Earthquake, ports at Tokyo-Bay and on the Sea of Japan functioned as alternative ports. In that time, the capacities of many alternative ports reached the limit. Against this background, this study (1) developed the method for estimating alternative ports and (2) applied this method to estimating alternative ports of scenario earthquakes/tsunamis for Tohoku Regional Port-BCP. As a result, it was revealed that handling capacities at alternative ports in Tohoku region weren't enough after large-scale earthquakes/tsunami. Based on this estimation result, each port will make effort to increase its capacity as an alternative port.