

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 306

June 2006

港湾と背後地域における間接被害を含めた津波被害波及過程及び その評価方法

岡本 修・小田 勝也・熊谷 兼太郎

A Tsunami damage Influence Process including the indirect damage and the evaluation
method in port and harbor and rear area

Osamu OKAMOTO, Katsuya ODA and Kentaro KUMAGAI

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

港湾と背後地域における間接被害を含めた津波被害波及過程及び その評価方法

岡本 修* ・小田勝也** ・熊谷兼太郎***

要 旨

大規模地震・津波発生の切迫性が指摘されており、特に港湾においては海岸保全施設の防護ラインの外側に位置することから、これまで十分な津波対策を行っていないことによる問題が顕在化してきている。

そこで、本研究では、港湾における津波防災について、過去に港湾で発生した津波による被害をまとめ、津波被害波及過程図を作成した。また、モデル港湾を対象とした浸水・漂流シミュレーション及び直接・間接被害を含めた津波被害額の推計を行うとともに、今後講じていくべき津波対策の方向性について検討を行った。

これらの結果は、今後、港湾管理者や国の直轄組織、及び港湾に関係した全ての者が津波対策を検討していく際の基礎資料となるものである。

キーワード：津波，被害波及過程，直接・間接被害

*沿岸海洋研究部沿岸防災研究室主任研究官

**沿岸海洋研究部沿岸防災研究室長

***沿岸海洋研究部沿岸防災研究室研究官

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所

電話：0468-44-5024 Fax：0468-44-5068 e-mail: okamoto-o2ms@ysk.nilim.go.jp

A Tsunami damage Influence Process including the indirect damage and the evaluation method in port and harbor and rear area

Osamu OKAMOTO *
Katsuya ODA **
Kentaro KUMAGAI ***

Synopsis

Outbreak of a large-scale earthquake and tsunami is pointed out, particularly port and harbors are located in the outside of the shore protection facilities, not doing enough tsunami measures now become urgent problem.

Therefore in this study, about tsunami measures in port and harbor, we compiled the tsunami damage that occurred in port and harbor in the past, and we made the figure of tsunami damage influence process. We also calculated the inundation areas and behavior of drifting debris for several harbors, estimated the direct damages and the indirect damage which caused by harbor facility damages, examined directionality of the tsunami measure which we should have taken in future.

The results become basics document of case examining an anti-tsunami measure by harbor managers and the government and all subject who were related to port and harbor.

Key Words : tsunami, damage influence process, direct and indirect damages

* Senior Researcher of Costal Disaster Prevention Division, Coastal and Marine Department

** Head of Costal Disaster Prevention Division, Coastal and Marine Department

*** Researcher of Costal Disaster Prevention Division, Coastal and Marine Department

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-468-44-5024 Fax : +81-468-44-5086 e-mail:okamoto-o2ms@ysk.nilim.go.jp

目 次

1. はじめに	1
2. 港湾における津波被害の実態と復旧	1
2.1 津波被害の実態	1
2.2 津波被害の復旧対応	5
3. 港湾における津波被害波及過程の検討	6
3.1 津波被害・復旧事例の整理	6
3.2 津波被害の波及過程図	7
4. モデル港湾を対象とした津波被害の検討	7
4.1 直接被害の把握（津波浸水域の予測）	9
4.2 波及過程の把握（津波被害の波及過程図の追跡）	11
5. 津波対策の基本的な方向性についての考察	15
6. まとめ	16
7. おわりに	16
謝辞	17
参考文献	17
付録	18

1. はじめに

これまで、港湾における津波対策については、堤防などの海岸保全施設の整備により港湾背後地の人命や財産の防護を行ってきたものの、港湾の円滑な利用を重視していることから、ふ頭や水域などにおける対策を十分に行っていないのが現状で、港湾は津波に対し脆弱な状態にある。

東海地震、東南海・南海地震など、我が国の沿岸域で津波の発生を伴う大規模な海溝型の地震が切迫するなか、津波の来襲から港湾労働者や来訪者の安全、港湾機能の確保を図る津波対策の推進が重要な課題となっている。

平成16年12月末に発生したインド洋大津波による被害は、我が国における津波対策の重要性を再認識させたところである。これを受け、国土交通省においては、有識者等からなる津波対策検討委員会が設置され、平成17年3月16日に提言が取りまとめられた。提言においては、今後の津波対策の基本的方向として、投資規模や対応期間が限られている中で、できるだけ早期に地域の安全度を高め、津波被害全体を最小化する活動を戦略的に推進することが基本命題とされ、ハード整備とソフト対策を一体的に行う総合的な減災対策を戦略的かつ強力に推進することが必要とされている。

さらに、同月22日には、今後の港湾における大規模地震・津波対策の基本的な方針を示した「地震に強い港湾のあり方」が交通政策審議会より答申され、港湾労働者・来訪者の避難や港湾機能の防護等のための必要な施策がまとめられたところである。

港湾では、従来から施設の耐震性強化や液状化対策等の地震対策を行ってきたが、上記のように津波対策についての対応が重要になってきている。

そのため本研究では、津波のみを対象として、津波の来襲により港湾で発生する被害についての事例、被害の波及過程を整理し、モデル港湾における被害を定量化することを試みるとともに、津波対策の基本的な方向性を整理することにより、国及び港湾管理者等の港湾に関係する者が津波対策を講ずるに当たっての基礎資料とすることを目的としている。本資料の構成を以下に示す。

2章では、港湾における津波被害及び復旧に関する資料収集・整理を行い、港湾における津波の被害及び復旧に関する実態をまとめる。

3章では、津波による施設被災等の直接被害が港湾機能の低下を経て経済的ダメージ等の間接被害に及ぶフローをまとめ、津波被害の波及過程図を示す。

4章では、モデル港湾を対象とした津波被害の検討を

行い、浸水シミュレーションと漂流シミュレーションを実施することにより被害の想定を行うとともに、津波による直接被害と間接被害とを定量的に把握することを試みる。

5章では、以上の検討によって得られた結果から、今後の津波対策のあり方について簡単に考察を加え、その方向性を示す。

2. 港湾における津波被害の実態と復旧

2.1 津波被害の実態

我が国で過去に港湾において津波被害が発生した地震として昭和南海地震（1946年12月21日）、新潟地震（1964年6月16日）、日本海中部地震（1983年5月26日）、北海道南西沖地震（1993年7月12日）、十勝沖地震（2003年9月26日）が主なものとしてあげられる。港湾地域における津波被害としては、浸水による被害、流出による被害、津波波力による被害があり、港湾背後地域における被害としては、浸水による被害、流出による被害がある。以下に写真を示しながら説明したい。

(1) 浸水による被害

まず港湾区域における被害として、浸水による被害があるが、写真-1は北海道南西沖地震の際奥尻港フェリーターミナル施設が損壊したものである。このフェリーターミナルでは1階の部分が津波によって破壊され、旅客取り扱い業務の処理に支障を来すという被害が生じている。写真-2も浸水による被害が十勝沖地震の際十勝港のフェリーターミナルで生じているという事例である。



写真-1 奥尻港フェリーターミナル施設の損壊
(1階部分が破壊され、流出：北海道南西沖地震)



写真-2 十勝港フェリーターミナル施設の浸水
(十勝沖地震)

写真-3, 写真-4は, 津波による倉庫や上屋の浸水により, 施設内の貨物等に被害が発生したものであり, 写真-3の新潟地震による事例は, 倉庫内の塩, 飼肥料, 食料品, セメント及び電気製品などに被害が発生し, 約20億円近い保管商品のうち, 80%が浸水, 破損したものである.

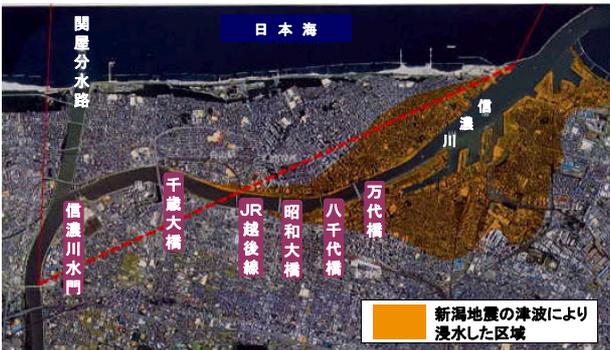


写真-3 新潟港の浸水範囲
(港湾地域はほとんどが浸水した: 新潟地震)

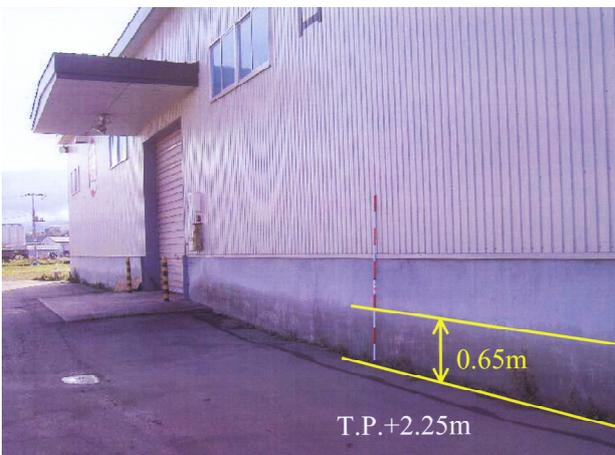


写真-4 十勝港日通倉庫における津波の痕跡
(十勝沖地震)

図-1, 図-2は浸水により荷役機械等に被害が生じたもので, 十勝沖地震の際, 十勝港においてセメント荷役施設が浸水被害を受けた. 具体的には, 小型のバン等の車両やフォークリフトについて, エンジン部への海水の浸入によりオーバーホールが必要となった. なお, フォークリフト1基のオーバーホールにかかる費用は約100万円とのことである. また, セメント荷役に用いた地中に設置したベルトコンベア内への海水の浸入によって機械が使用不可となっており, このため, 十勝管内へのセメントの供給について3ヶ月間は釧路港からの輸送で対応するとともに, 地上式のベルトコンベアを新設している.

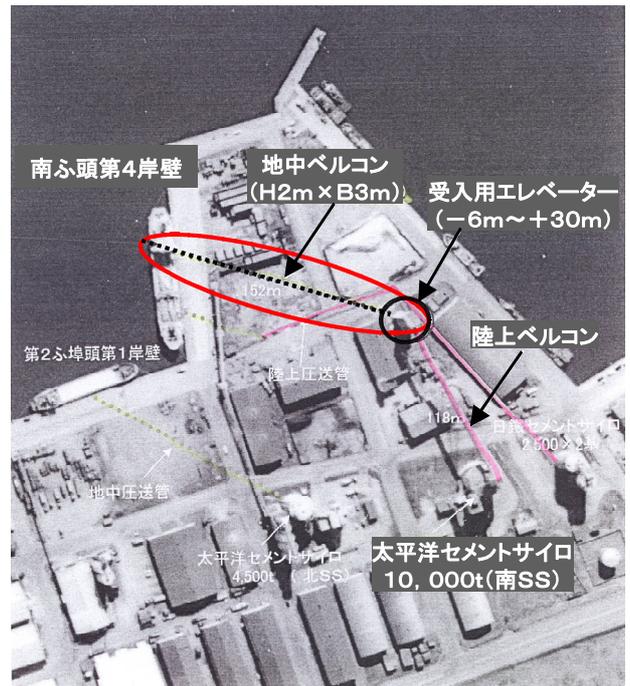


図-1 十勝港において浸水被害を受けたセメント荷役施設 (十勝沖地震)

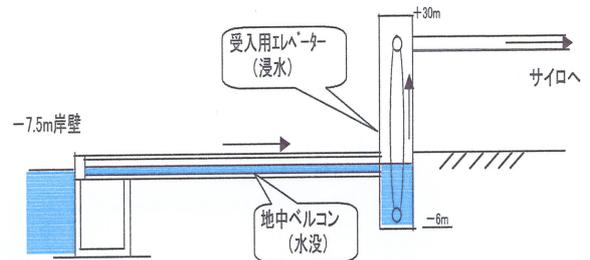


図-2 セメント輸送設備の浸水状況 (十勝港)

写真-5は北海道南西沖地震での様子であり, 岸壁に係留された漁船5隻が炎上し, さらに, 自動車から漏れたガソリンに引火し, 背後の住宅地への火災へと広がった事例である.



写真-5 炎上する青苗地区と崩壊した青苗岬灯台
(北海道南西沖地震)

また日本海中部地震では、港湾等において、工事作業員37名をはじめ、遠足に来ていた小学生13名など、55名の命が失われたという被害が起こっている。

(2)流出による被害

次に流出による被害であるが、写真-6、写真-7、写真-8、写真-9にその様子を示す。これらは車両、原木、コンテナ、船舶、瓦礫などが港内へ流出したものであり、津波の引き波時に、ふ頭における自動車、貨物や空コンテナ、水面貯木場の原木の流出により、港内の船舶の航行が規制されたというものである。



写真-6 奥尻港内へ転落した車両の引き上げ作業
(北海道南西沖地震)



写真-7 秋田港の貯木場から流出した原木
(日本海中部地震)



写真-8 十勝港内に流出した空コンテナ
(十勝沖地震)



写真-9 青苗漁港内に流出した瓦礫の処理及び行方不明者搜索の様子
(北海道南西沖地震)

写真-10、写真-11は津波により船舶が岸壁へ打ち上げられたり、転覆したりしたものであり、岸壁や泊地の利用に支障を来したものである。写真-10の北海道南西沖地震では、奥尻港において漁船や養殖施設が津波の被災を受け、檜山管内で約92億円の水産被害が生じており、写真-11の十勝沖地震では、十勝港において津波によって岸壁に漁船が打ち上げられたり、ゴミなどが散乱したりしたため、イワシの好漁期に、被災船舶の処理やゴミ清掃などによって、1週間程度、定置網などの漁労活動が停止している。



写真-10 奥尻港で打ち上げ、転覆した漁船
(北海道南西沖地震)



写真-11 十勝港で岸壁に打ち上げられた漁船
(十勝沖地震)

(3)津波波力による被害

津波波力による被害の様子を図-4、写真-12に示す。北海道南西沖地震の際、奥尻港では津波により北防波堤ケーソンの滑動・転倒が生じ、外郭施設としての機能が失われている。

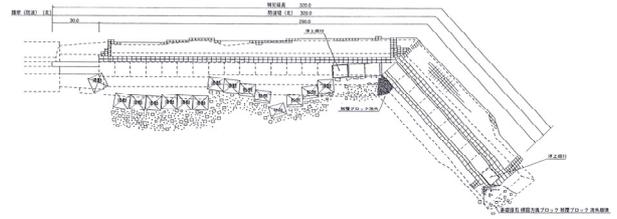


図-4 奥尻港北防波堤ケーソンの被災状況
(ケーソンが大きく滑動して、港内側に最大30m
滑動・転倒：北海道南西沖地震)



写真-12 奥尻港北防波堤ケーソンの滑動・転倒
(北海道南西沖地震)

(4)港湾の背後地域における被害

次に港湾の背後地域における被害の事例を示す。写真-13、写真-14、図-5は、津波による産業活動停止の事例であり、写真-13の新潟地震では、新潟市内において信濃川を遡上した津波が越流して港湾背後の市街地にまで浸水が及び、長期にわたる浸水により、商工業関係の事業所において経済的な被害が生じている。また写真-14、図-5の日本海中部地震では、能代市において港奥部に向かう水域を津波が遡上し、奥部から陸上に越流して工場地帯が浸水している。



写真-13 地震直後60cm程度浸水した新潟市の
明石通り (新潟地震)



写真-14 能代港内を遡上する津波
(数波目の津波で、既に対岸に漁船が打ち上げられている：日本海中部地震)

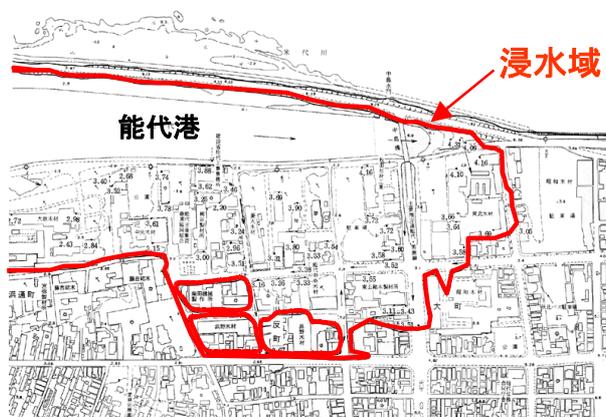


図-5 能代港奥部における浸水域
(日本海中部地震)

写真-15, 写真-16は漁船などの流出物による家屋の損壊の様子で、昭和南海地震や北海道南西沖地震で津波によって漁船などが港湾背後地域に流出し、家屋等に被害を与えている。



写真-15 和歌山県海南市において津波により
打ち上げられた漁船
(昭和南海地震)



写真-16 奥尻港において民家の庭先にまで流出した
漁船
(北海道南西沖地震)

写真-17は、石油の流出による火災被害の様子である。新潟地震（M7.5）で、新潟港に立地する昭和石油製油所の石油タンクが出火し、タンク計149基が炎上した。さらに、地震後の津波のため油が流出し、臨港町等付近の民家290棟も延焼したというものである。



写真-17 新潟地震における石油タンク火災

2.2 津波被害の復旧対応

2.1で被害実態を示した津波のうち、昭和南海地震津波以外については、復旧に関する資料が残されている。ここでは津波被害への復旧対応について、浸水被害、流出被害それぞれへの対応に分けて概説する。

(1)新潟地震（昭和39年6月16日13:01発生）

・浸水被害に対する復旧

地震の発生後、数回にわたる津波の来襲により、新潟港から背後の市街地へ通ずる幹線道路は一面に浸水し、木材や魚箱が夥しく散乱したため、港が完全に孤立状態に陥った。そのため、24日、海上自衛隊は港と市街地の

交通確保のため、新潟港～万代橋間の水上輸送を開始した。運航期間は6月24日～7月3日までで、輸送人員は延べ14,902人であった。

・流出被害に対する復旧

流木等の港内障害物、油類の流出による火災発生のおそれなどから、16日13:25に新潟港長より入港禁止措置が執られた。その後、海上保安庁の巡視船により、翌17日朝から航路の深浅測量及び港内障害物の処理が進められ、18日12時から、救援物資輸送の船舶に限り高校制限を解除した。24日の12時から、一般船舶についても全面的に制限が解除された（発震後8日目）。

(2)日本海中部地震（昭和58年5月26日12:00発生）

・流出被害に対する復旧

地震直後からの断続的な津波による水位変化が続いて速い流れと渦流が生じ、港奥部の水面貯木場から、約23,000本の原木が港内に流出し、そのため、港長より入港禁止措置がとられた。流木の回収作業が断続的に行われ、31日までにほとんどの流木が回収されて、入港禁止措置は解除された（発震後5日目）。

(3)北海道南西沖地震（平成5年7月12日22:17発生）

・流出被害に対する復旧

被災直後、港内には瓦礫や車、漁船など、様々な障害物や浮遊物が散乱した。そのため、障害物状況調査を実施し、処理を行った。フェリーは、15日午後瀬棚～奥尻間が、16日午後江差～奥尻間が本格的に運航を開始した。

(4)十勝沖地震（平成15年9月26日4:50発生）

・浸水被害に対する復旧

家畜の飼料倉庫の浸水に対して、浸入水の排出、水漏れした貨物の片づけ、数揃え、詰め直し等の応急対応をし1週間後に最低限の機能が回復した。エンジンに海水が浸入したフォークリフト（2台）や床上浸水したバン（3台）の復旧として、オーバーホールや買い換えで対応したが、資金調達の問題から2ヶ月を要した。

・流出被害に対する復旧

港内に流出した空コンテナに関しては、タグボートにより回収した。水没する前に回収しなければならなかったことから、当日中に対応した。

3. 港湾における津波被害波及過程の検討

前章で見てきた、津波による被害の実態などから、ここでは、津波被害の波及過程を一枚の図にまとめることを試みている。まずは前章の津波被害、復旧事例を整理する。

3.1 津波被害・復旧事例の整理

2章で見てきたとおり、港湾において津波の来襲があった場合には、港湾だけでなく、背後地域を含めた幅広い被害が生じることがわかった。またプレジャーボートに関する被害事例はなかったが、近年高潮発生の際に生じた被害実態を考慮し、今後津波による被害が起こりうるものとして記載した。以下に港湾、及び背後地域別に、浸水・流出・津波波力といった分類を行い、被害のまとめを示す。

(1)港湾地域における被害

①浸水による被害

- ・フェリーターミナル施設の浸水や損壊
- ・倉庫・上屋などの浸水による貨物被害
- ・浸水による荷役機械等の被害
- ・船舶の火災
- ・港湾工事従事者や港湾来訪者などの人命の喪失

②流出による被害

- ・車両、原木、コンテナ、船舶、瓦礫などの港内への流出
- ・船舶の岸壁への打ち上げ・転覆など
- ・プレジャーボートの流出

③津波波力による被害

- ・防波堤等の外郭施設の被災
- ・プレジャーボート係留施設の損壊

(2)背後地域への被害

①浸水による被害

- ・津波の浸入による産業活動の停止
- ・排水ポンプ場の被災による浸水の長期化

②流出による被害

- ・漁船などの流出物による家屋の損壊
- ・石油の流出による火災被害

また津波による直接被害から派生する間接被害の拡大を抑えるためには、迅速な応急復旧が不可欠であり、この観点から過去の復旧対応事例に基づき復旧事例を整理すると以下ようになる。

①新潟地震

- ・発震後3日目まで入港禁止措置
- ・3日目まで航路の深浅測量及び港内障害物の処理
- ・3日目以降、救援物資船舶に限り航行制限解除
- ・9日目以降、一般船舶についても全面的に制限解除

②日本海中部地震

- ・発震後6日目まで入港禁止措置
- ・6日目まで流木の回収作業
- ・7日目以降、入港禁止措置解除

③北海道南西沖地震

- ・ 発災後4日目まで入港禁止措置
- ・ 2日目以降，障害物状況調査及び障害物の処理
- ・ 4日目に瀬棚～奥尻間のフェリー航路が再開
- ・ 5日目に江差～奥尻間のフェリー航路が再開

3.2 津波被害の波及過程図

これまでに紹介してきた各種の事例をもとにすると，津波の来襲によって港湾地域においては，港湾施設の「浸水被害」や貨物などの「流出被害」といった直接被害が発生し，港湾機能が低下することが明らかになった。これにより，港湾地域及び背後地域における港湾関連産業や港湾依存産業の活動に間接被害をもたらすこともわかった。さらに，背後地域においては，港湾からの流出物による直接被害も発生することがわかっている。

これを概念的に示すと，図-7のとおり，港湾地域・背後地域別に，浸水被害・流出被害からなる直接被害が港湾機能の低下を経て間接被害に至る過程として整理することができる。この過程をコンテナターミナル，マリーナ等の港湾に所在する施設及びその機能ごとに詳細に整理すると，図-8に示す津波被害波及過程図として取りまとめることができる。同図は，被害項目等を網羅的に取り込んだものであり，一般図としての性格を有するものである。したがって，それぞれの港湾に関する波及過程図は，一般図を基本としながらも，当該港湾が有する機能や被害の内容等により，当該港湾に即した波及過程図として作成され，被害想定の実施や対策の充実に向けて活用されるべきものである。

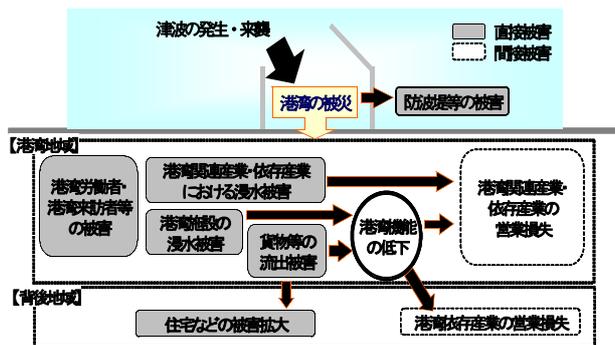


図-7 津波被害の波及イメージ

4. モデル港湾を対象とした津波被害の検討

ここでは，モデル港湾を対象に，津波シミュレーション，漂流シミュレーションによる浸水，及び流出被害を検討するとともに，先に述べた直接被害と間接被害がどの程度の額になるのかを試算する。

モデル港湾としては，地震による津波被害が大きく，検討に必要な被害想定が可能であること，コンテナ，木材等様々な貨物を扱っており港湾の諸機能が存在していることなどから，清水港を選定した。

清水港は静岡県沿岸部のほぼ中央に位置し，東海地域を中心とする市民の暮らしと，自動車産業，木材産業，非鉄金属製造業，製紙業，水産業等の産業活動を支えている。特に，近年では，国際海上コンテナ輸送の拠点としての役割が増し，平成16年実績で外内貿含めてコンテナ取り扱い個数が約52万TEUとなっている。

清水港を含む東海地方は，近い将来に東海地震の影響を受けることが想定されており，地震被害及び津波被害対策が急務となっている。想定東海地震については，内閣府の調査会である中央防災会議「東海地震に関する専門調査会」，及び文部科学省の地震調査研究推進本部での震源域に関する検討がなされており，プレート境界型地震により発生することが予想される津波の予測により清水港の津波被害について検討する。

清水港の各地区の状況は以下の通りである。

- ①新興津地区
新たなコンテナターミナルを中心とする物流ゾーン
- ②興津地区
コンテナターミナル，公共上屋等が立地する物流ゾーン
- ③袖師地区
コンテナターミナルを中心に，原木，チップ等を扱う物流ゾーン
- ④江尻地区
魚市場や冷蔵施設等の立地する水産ゾーン
- ⑤日の出地区
エスパルスドリームプラザや清水マリンターミナル等の交流ゾーン
- ⑥富士見地区
民間倉庫，チップヤード等の立地する物流ゾーン
- ⑦折戸地区
水面貯木場を中心とする木材関連産業の立地ゾーン
- ⑧塚間地区
JFE（旧日本鋼管），カナサシ重工等臨海工業の立

津波の発生・来襲

港湾の被災

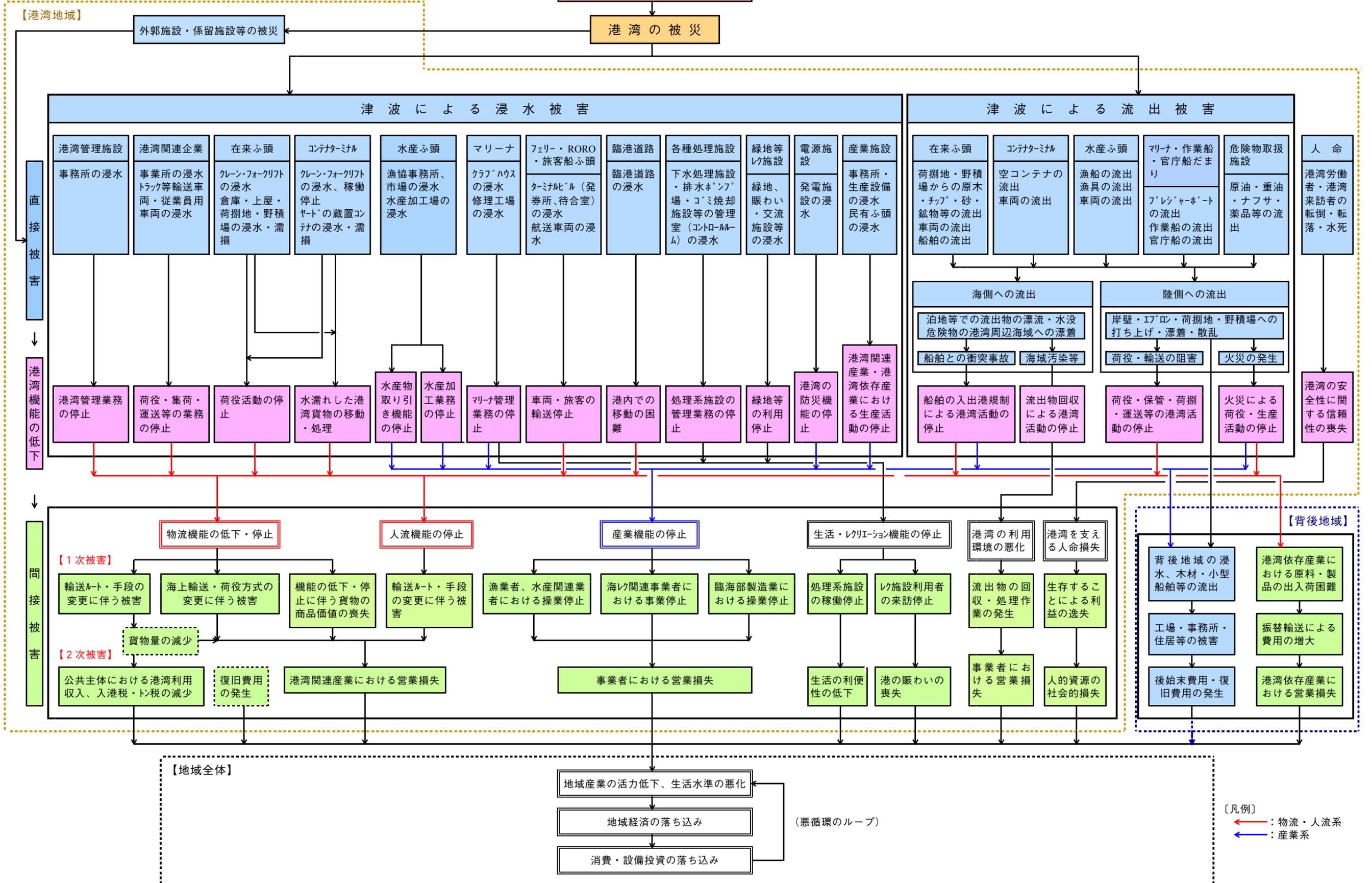


図-8 津波被害の波及過程図

地ゾーン

⑨三保地区

三保ランドや三保海水浴場等のレクリエーションゾーン

⑩貝島地区

日本軽金属、三保造船等、臨海工業の立地ゾーン

4.1 直接被害の把握（津波浸水域の予測）

(1)津波による浸水被害の推計

ここでは、津波浸水による被害がどのような形で発生するかを推定するため、浸水シミュレーションを行っている。津波シミュレーションの前提条件を表-1に示す。

表-1 津波シミュレーションの前提条件

項目	条件
対象地震	想定東海地震
地盤の隆起	考慮しない
海岸保全施設等の考慮	考慮する（天端高データで考慮）
基礎方程式	非線形長波理論式
津波越流の評価	本間の式
海底摩擦（粗度）	海域：マニング粗度係数 $n=0.025(m-1/3s)$ 陸域：土地利用粗度データを考慮
計算格子間隔	最小12.5m×12.5m
潮位条件	H. W. L(T. P. +0.86m)
計算時間	地震発生後180分

なお、想定地震は、中央防災会議「東海地震に関する専門調査会(第11回)」資料における検討3ケースのうち、清水港で津波被害が最も大きくなる「想定震源域+ABD」を対象地震とした。津波シミュレーションでは、地震学的に推定された断層パラメーターから海底地殻変動を計算し、それを初期条件として津波の伝播を計算、沿岸での波高や浸水域を推定している。津波を起こすような大地震の断層の大きさは数十km以上であり、広い範囲にわたって地殻変動が海底に生じる。その広がりや水深（深海でもせいぜい数km）に比べてずっと大きいので、このような波を長波としてモデル化することが妥当であると考えられる。また運動方程式を考慮するに当たり、海岸付近で津波の遡上を計算する場合には非線形性や海底摩擦を考慮した式を用いることとなる。そこでモデル化に当たって非線形長波理論を用いたものである。数値シミュレーションでは、運動方程式と連続の式を、実際の海底地形（水深）を与えて、差分法で解いている。計算格子については波源から陸上に近づくに連れて格子間隔

を小さくしていき、最大で1,350m×1,350m、陸上では12.5m×12.5mとしている。この際、津波によって防波堤・堤防が転倒することはなく、天端を越えた場合の越流量を考慮している。

津波による陸上での浸水深を平面分布で示したのが図-9であり、これによると、新興津地区、興津地区、貝島地区では1.0m以下となっているが、高いところでは2mの浸水が生じる箇所もある。この図は同時に、浸水域の範囲を示しているが、巴川（日の出地区と富士見地区の境界付近を流れている河川）からの津波の遡上が見られるのも特筆すべき点である。

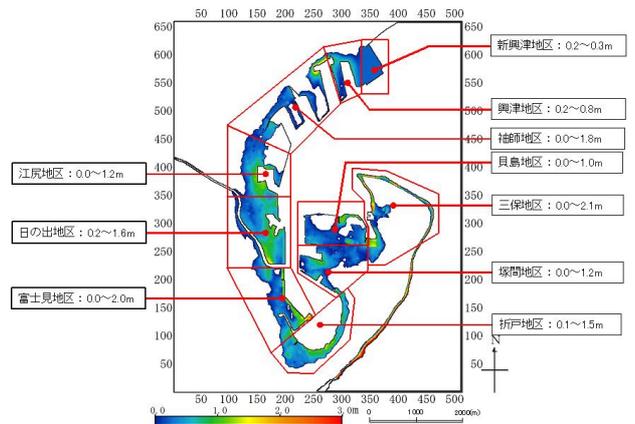


図-9 浸水深の平面分布

最大浸水高の発生時間については、早いところで6分、遅いところで12分程度となっているが、津波注意報・警報が発令される早さが地震発生後3~5分であることを考えれば、かなり迅速な避難が要求される結果となっている。

津波最大流速の平面分布を図-10に示す。ほとんどの地区において、浸水流速1.3m/sを超える流速が発生しており、「地下空間における浸水対策ガイドライン同解説」（国土交通省河川局）を参考にし、身長170cmの成人が避難できる限界が水深50cmの際に流速1.3m/sであることを考えると、人命におよぼす危険が極めて大きい

地区が存在するという結果となっている。

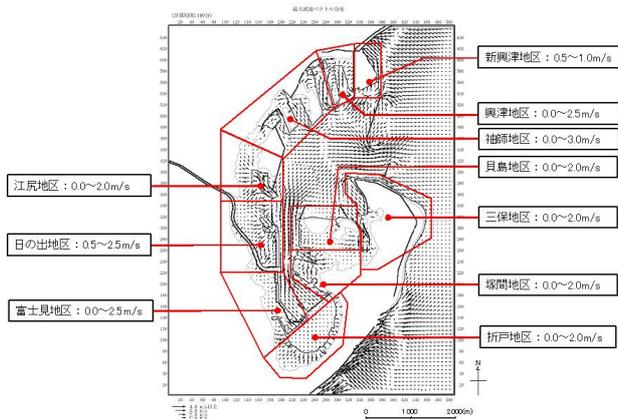


図-10 津波最大流速の平面分布

浸水開始時間についても、データをとった地点によって最大浸水高の発生時間との差はあるものの、早いところで約9分後、遅いところでも約18分後となっており、迅速な避難が求められるという結果となっている（図-11）。

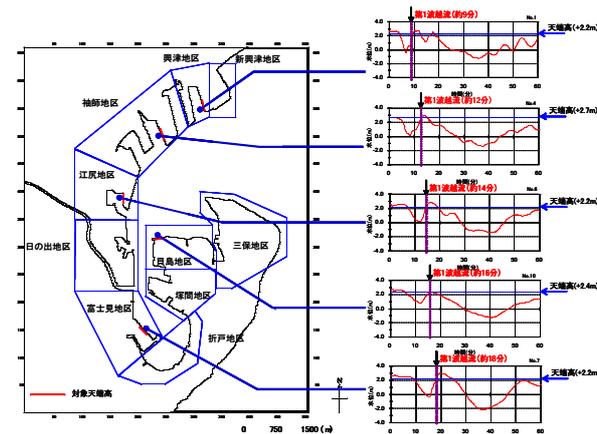


図-11 各地点における浸水開始時間

以下に浸水シミュレーション結果による浸水等の特徴をまとめる。

①港内水域の津波高

- ・港内水域の津波高については、港口付近が最も高くなっている。
- ・港奥部でもふ頭間のコの字型の部分において、エネルギーの集中により津波高が大きくなる場合がある（興津、袖師地区）。
- ・波除堤等により、継続して水位が高い場合がある。

②陸域への浸水

- ・小型船だまり等、岸壁の天端が低い箇所が越流しやすい。
- ・海岸保全施設が整備されていない箇所においては、背後の住宅地等へと浸水する（江尻、日の出、富士見、

折戸、塚間、三保の各地区）。

・河川を遡上した津波が堤防を越え浸水する場合がある（庵原川河口付近）。

・港湾区域における浸水高及び流速については、場所ごとで大きな差がある。

・浸水高とともに、流速が大きくなっている。

・港湾のほぼ全域で2.0m/sを越える流速が発生する箇所がある。

・最大流速の方向は、浸水しやすい箇所の位置によって決定される。

・各地区における津波第1波の到達時刻は、港奥部ほど遅れる（新興津地区9分、折戸地区20分）。

(2)津波による流出被害に関する検討

ここでは、モンテカルロ法を用いた拡散計算により、質量のない粒子がどのような挙動を示すかについての検討を行い、陸上にあるコンテナ、木材、チップ、海上にある木材、船舶がどのような挙動を示すかについての検討の参考としている。この漂流シミュレーションの前提条件を表-2に挙げる。

表-2 漂流シミュレーションの前提条件

計算方法	モンテカルロ法を用いた拡散計算 (確率論的手法)
計算範囲	津波シミュレーションと同じ
粒子投入数	100~500個 (対象地点:陸上14,海上13)
計算時間	陸上:120分,海上:180分

また、流出の可能性のある貨物等の分布を図-12に示す。

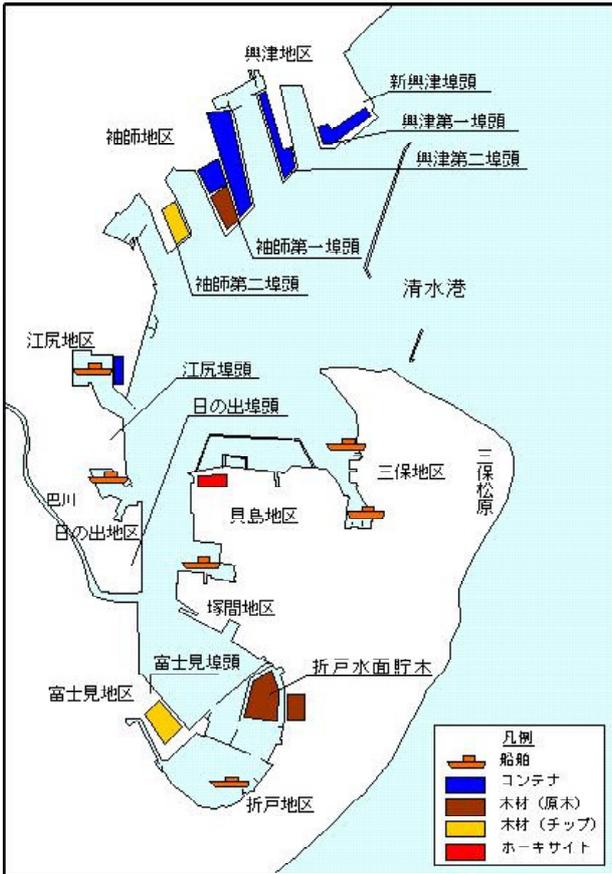


図-12 流出の可能性のある貨物等の分布

次に各粒子の漂流状況を図-13に示す。これによると、陸上投入点が陸域に漂流しているケースと、海域に漂流しているケースとの両方が見られる。また海上投入点については、沖側へ漂流しているケースが多い。これらの結果をまとめると以下のようになる。

①陸域部の漂流

- ・陸域部の流出物は押し波時に、陸上部に拡散する。
- ・拡散した流出物の一部は、港内水域に転落し、港内を漂流する。

②海域部の漂流

- ・地区によっては、引き波時の流速により、航路に流出する場合がある（興津、江尻、塚間地区）。

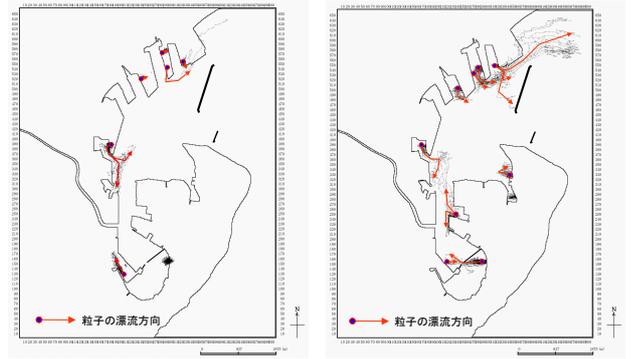


図-13 各粒子の漂流状況（左：陸上，右：海上）

4.2 波及過程の把握

3.2で述べたとおり、津波による被害には、主に物理的現象による直接被害と、経済的ダメージ等による間接被害があるが、ここでは、被害波及過程図を用いながら、清水港等で想定される被害を直接被害、間接被害ごとに試算した。

(1)直接被害に関する検討

まず、清水港にどの程度の試算が存在するかを明らかにするため、港湾計画で土地利用を定める範囲内にある資産を対象として、港湾資産額の試算を行った。対象施設と試算方法を以下に示す。

公共部門については、以下の通りである。

①家屋資産

- ・荷さばき施設、旅客施設、港湾厚生施設、港湾管理施設、休憩所、廃棄物処理施設、CIQ施設、海保施設、三セク施設（FAZ）：

施設面積×建設単価×残存価格率

②償却資産

- ・防波堤等外郭施設、岸壁等係留施設及び臨港道路：

建設費×残存価格率

- ・係留施設、荷役施設、港湾管理用移動施設、船舶業務用施設、監視艇、巡視艇：

施設数（隻数）×1施設（隻）当たり単価×残存価格率

- ・旅客施設、灯台：

建設費×残存価格率

- ・三セク施設(FAZ)の設備：

従業員数×1人当たり償却資産額

民間部門については、以下の通りである。

①家屋資産

- ・漁業、製造業、倉庫業、小売業、マリナー業等の家屋資産：

延床面積×家屋評価単価

②償却資産・在庫資産

・漁業（漁家，漁船）：

漁家数×1戸当たり償却・在庫資産額

漁船数×中古漁船1隻当たり価格

・建設業，製造業，電気・ガス水道・熱供給業，運輸通信業，卸小売業，サービス業，公務：

従業員数×1人当たり償却・在庫資産額

・貨物（屋内貨物，実入りコンテナ，木材，チップ，砂，砂利，空コンテナ）：

取扱貨物量×1トン当たり価格

・プレジャーボート：

保管数×中古艇1隻当たり価格

・在港一般船舶，作業船：

隻数×船価×残存価格率

・ふ頭駐車場内自動車：

駐車台数×1台当たり残存価格

・家庭用品（港湾地域内住民の家具・家電等）：

世帯数×家庭用品評価額

なお，資料として，治水経済マニュアル（平成12年），港湾施設台帳データベース（平成11年），港湾統計年報（平成12年），平成15年延床面積100mメッシュデータ，関税統計（平成12年）を使用している。

こうして試算された清水港の港湾資産額を示すと表-3のようになる。

表-3 清水港の港湾資産額の試算結果

資産算出分野		資産額
公共部門	家屋資産	1 0 4 億円
	償却・在庫資産	5 7 億円
		1 6 1 億円
民間部門	家屋資産	8 4 8 億円
	償却・在庫資産	2, 6 6 4 億円
		3, 5 1 2 億円
合 計		3, 6 7 3 億円

また，港湾労働者・来訪者数は港湾管理者へのヒアリングによって把握し，約2.9万人と試算された。

公共部門の資産の分布状況としては，家屋資産については，上屋，倉庫が集中する興津地区，袖師地区，日の出地区，富士見地区において資産額が高くなっており，償却資産については，荷役機械がある新興津地区，袖師地区，富士見地区の各ふ頭，旅客乗降用施設等がある富士見地区に分布している。また民間部門の資産の分布状況としては，港湾域全体に分布しており，特に臨海部工場及び倉庫が集積している江尻地区，日の出地区，塚間地区に集中している。

被害額の試算については，浸水被害が想定される資産

と，流出被害が想定される資産とに分類し，それぞれについて被害額を計上し，合計金額を直接被害額としている。

浸水被害については，計算条件を単純化することから防波堤等外郭施設及び岸壁等係留施設は被害を受けないものとした。その他の公共資産（家屋資産，荷役機械，三セク施設等）と民間資産（家屋資産，漁家，各業種の償却・在庫資産，上屋内貨物，実入りコンテナ，家庭用品）については，浸水高2m未満で浸水被害率0.5（半壊），浸水高2m以上で浸水被害率1.0（全壊）とした。また計算の際には，浸水シミュレーションでは12.5mメッシュで算定しているが，被害額は100mメッシュで計算している。この際には，12.5mごとの浸水深に対し，浸水高2.0m以上のメッシュについて被害率1.0，浸水高2.0m以下の浸水が生じているメッシュについて被害率0.5，浸水の無いメッシュについては被害率0として100mメッシュに存在する64個についての平均被害率をそのメッシュの被害率として，平均被害率に資産額を乗じ，100mメッシュの被害額とした。

流出被害については，公共資産と民間資産のうち漁船，プレジャーボート，在港一般船舶，作業船に関する流出被害率は，港内最高水位により被害率が異なっていることから港内水位上昇ごとに設定し，民間資産のうちの木材・チップ，砂・砂利は浸水高0m超で流出被害率1.0（全損），空コンテナは浸水高0.8m超で流出被害率1.0（全損），港内駐車場内自動車は浸水高0.5m以上で流出被害率1.0（全損）とした。こうして清水港での直接被害額を算出した結果が表-4である。

表-4 清水港における直接被害の試算結果

区 分		被害額
公共部門	家屋資産	3 8 億円
	償却・在庫資産	1 1 億円
		4 9 億円
民間部門	家屋資産	2 6 7 億円
	償却・在庫資産	7 8 3 億円
		1, 0 5 0 億円
合 計		1, 0 9 9 億円

また浸水被害，流出被害別に試算結果を示すと表-5のようになる。

表-5 浸水・流出別の被害額試算結果

区 分		浸水被害額	流出被害額
公共 部門	家屋資産	38億円	—
	償却・在庫資産	11億円	0億円
		49億円	0億円
民間 部門	家屋資産	267億円	—
	償却・在庫資産	756億円	27億円
		1,023億円	27億円
合 計		1,072億円	27億円

この試算結果を地区ごとに見るため、清水港の図面に落としたものを図-14に示す。概観すると、日の出地区の賑わい空間に関する部分や、江尻地区の背後に関する部分、興津地区の荷役機械等の被害額が比較的大きく出ていると言える。

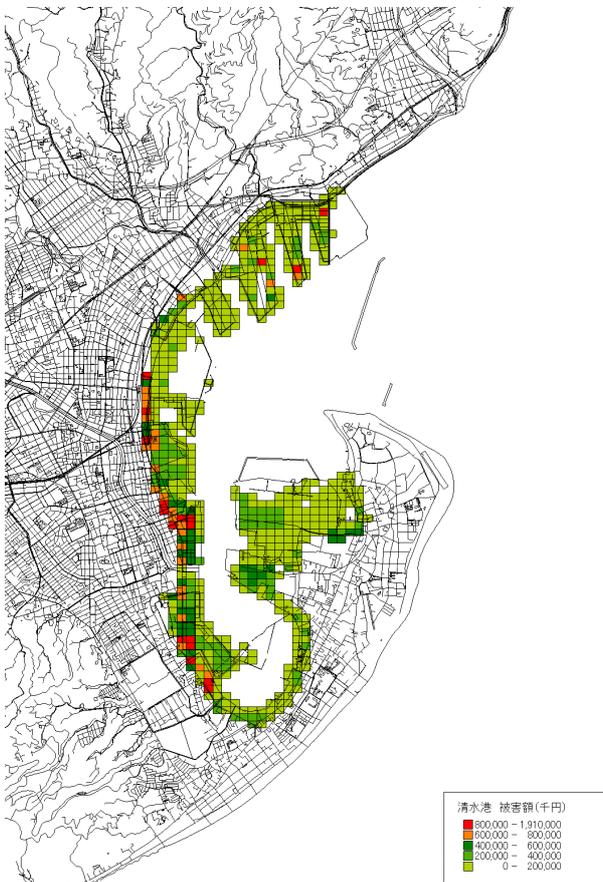


図-14 直接被害額の地区別試算結果

(2)間接被害に関する検討

間接被害の試算項目と試算方法は次の通りである。

- ①物流機能の低下・停止（輸送ルートの変更等に伴う被害、コンテナに限定）
 - ・代替港湾を横浜港に設定し、荷主が広域にわたるコンテナ貨物について、ヤード内滞留コンテナも含め、発災後数日間における陸上での振替輸送費の増加分を算定

- ②人流機能の低下・停止（輸送ルートの変更等に伴う被害、フェリーに限定）
 - ・発災後数日間における、既往の海上ルートと、振り替える陸上ルートの輸送費用の差から算定
- ③産業機能の停止（漁業操業停止被害）
 - ・漁家所得と休漁日数等に基づき算定
- ④産業機能の停止（第2次・3次産業における操業停止被害）
 - ・業種別従業員1人当たり付加価値額と操業停止日数等に基づき算定
- ⑤産業機能の停止（第2次・3次産業における、飲料水等代替品の購入のための代替活動費等）
 - ・浸水深別事業所当たり被害単価及び事業所数に基づき算定
- ⑥生活・レクリエーション機能の停止（レク施設利用者の来訪停止に伴う被害）
 - ・中核的賑わい施設における来訪者当たりの消費額と付加価値率に基づき算定
- ⑦港湾の利用環境の悪化（空コンテナの回収費用）
 - ・阪神・淡路大震災の事例より回収費用単価を設定、流出個数に基づき算定
- ⑧港湾の利用環境の悪化（原木・チップの回収費用）
 - ・回収作業に従事する作業船等の損料、港運業者等の従業員の付加価値額、作業日数に基づき算定
- ⑨港湾の利用環境の悪化（漁船・プレジャーボートの回収費用）
 - ・船長当たりの単価と平均船長、流出隻数に基づき算定
- ⑩港湾の利用環境の悪化（漂流ゴミ等の回収）
 - ・日当たり労働単価、回収日数、従事者数に基づき算定

また清水港のコンテナ岸壁が被害により使用できず横浜港を使用する期間は、流出した空コンテナの回収作業期間からコンテナターミナルの機能停止期間を設定することにより12日、流出したチップ等の回収に要する期間は、清水港での回収に関わる機材の調達状況等から20日とし、この間他の港湾機能（人流等）が停止することとしている。

上記の算定方法により試算した清水港の想定間接被害額を表-6に示す。

表-6 清水港の想定間接被害額

間接被害の項目	被害額(百万円)
輸送ルート・手段の変更に伴う被害(コンテナ)	1,595百万円
輸送ルート・手段の変更に伴う被害(人流)	14百万円
漁業者における操業停止	22百万円
第2次・第3次産業における操業停止	3,296百万円
第2次・第3次産業における代替活動費等	4,626百万円
レクリエーション施設利用者の来訪停止に伴う被害	482百万円
空コンテナの回収費用	7百万円
打ち上げ・転覆・沈没した漁船の回収費用	1百万円
打ち上げ・転覆・沈没したプレジャーボートの処理費用	4百万円
水域における漂流ゴミ等の回収・処理	35百万円
合計	10,173百万円

以上の結果を踏まえて直接・間接被害の試算結果による被害の特徴をまとめると、以下の通りとなる。

①浸水被害

- ・直接被害については、各地区によって浸水被害が大きく異なっており、資産が集中し、浸水高が大きいほど、被害が大きくなっている(日の出地区)。
- ・間接被害については、産業の操業停止に伴う被害が大きくなっている。

②流出被害

- ・港内水域にコンテナやシャーシが流出し、水没した場合には、その撤去コストが比較的高い。

③人命被害

- ・清水港においては、約3,700人の港湾就労者及び日平均15,000人の来訪者がおり、津波の来襲により大きな人命被害が発生する可能性がある。
- ・港湾労働者については、各ふ頭とも多くなっているものの、観光客等が集まる施設については日の出地区に集中している。

このほかにも、高知港、八戸港で同様の手順で検討を行っており、その結果についても簡単に記載しておく。

まず高知港における港湾資産額についての試算結果を表-7に示す。

表-7 高知港における港湾資産額の試算結果

資産産出分野		資産額
公共部門	家屋資産	39.4億円
	償却資産	8.6億円
小計		48.0億円
民間部門	家屋資産	209.8億円
	償却資産	621.8億円
小計		831.6億円
合計		879.6億円
港湾労働者数		5,747人

また津波シミュレーションにおいては、最大計算格子間隔を3,600m×3,600mとし、中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」の想定地震を用いている。その他は清水港と同じ条件である。

清水港と同様の手順で求めた直接被害額の試算結果を表-8に示す。

表-8 津波による直接被害額の試算結果

資産の分類		浸水被害額	流出被害額
公共部門	家屋資産	24.2億円	0.0億円
	償却資産	0.0億円	3.8億円
小計		24.2億円	3.8億円
民間部門	家屋資産	112.2億円	0.0億円
	償却資産	303.3億円	16.8億円
小計		415.5億円	16.8億円
合計		439.7億円	20.6億円

高知港周辺の経済活動の規模等から、清水港に比較して小さめの数字が出ている。

次に八戸港での結果を示す。まず清水港と同様に八戸港での資産額を把握したものを表-9に示す。

表-9 八戸港における港湾資産額の試算結果

資産産出分野		資産額
公共部門	家屋資産	13億円
	償却資産	24億円
小計		37億円
民間部門	家屋資産	105億円
	償却資産	529億円
小計		634億円
合計		671億円

また八戸港においては、津波シミュレーションでの想定地震を明治三陸地震としている。最大格子間隔は5,400m×5,400m、他の条件は清水港と同様である。以下に直接被害額の試算結果を示す。

表-10 八戸港における直接被害額の試算結果

資産の分類		浸水被害額	流出被害額
公共部門	家屋資産	1億円	0億円
	償却資産	5億円	0億円
小計		6億円	0億円
民間部門	家屋資産	1.8億円	0億円
	償却資産	6.9億円	2.4億円
小計		8.7億円	2.4億円
合計		9.3億円	2.4億円

また八戸港においては清水港と同様な手順で間接被害額も算出しており、結果を表-11に示す。

表-11 八戸港の想定間接被害額

間接被害の項目	被害額(百万円)
輸送ルート・手段の変更に伴う被害(コンテナ)	0百万円
輸送ルート・手段の変更に伴う被害(人流)	0百万円
漁業者における操業停止	9百万円
第2次・第3次産業における操業停止	2,409百万円
第2次・第3次産業における代替活動費等	2,107百万円
空コンテナの回収費用	0百万円
打ち上げ・転覆・沈没した漁船の回収費用	4百万円
打ち上げ・転覆・沈没したプレジャーボートの処理費用	0.4百万円
水域における漂流ゴミ等の回収・処理	2百万円
合計	4,531百万円

以上のように、間接被害額はおよそ45億円となることがわかった。

参考までに、過去の地震における経済被害額を示すと、日本海中部地震(1983年)での秋田県における直接被害額が約1,482億円(秋田県総合防災課ホームページ参照)とあり、何らかの目安にはなるものと考えられる。

5. 津波対策の基本的な方向性に関する考察

これまでの津波による港湾における被害の状況や、津波被害波及過程図、モデル港湾における被害の特徴などから、今後の津波対策についての方向性を考察した。

まず、津波の浸入については、モデル港湾での試算結

果にもあるとおり、ふ頭間奥部及び港奥部からの海水の越流、天端高の低い船だまりからの越流、河川堤防(巴川)からの海水越流、防潮堤未整備地区での港湾背後地域への浸水がみられた。すなわち、港湾地域内のほぼ全域で被害が発生することがわかった。これらの事態に対しては、まず予防対策として津波の防護、エネルギーの低減に資する施策を実施するとともに、港湾及び背後地域への直接被害のみならず間接被害を減少させることを目指す必要がある。そのため復旧対策として、優先的に復旧すべき機能を選定し、重点的に資機材の投入を行うなどといった効果的・効率的な応急復旧作業を講じる必要がある。

浸水被害については、コンテナヤード、ふ頭の浸水による貨物の水ぬれ、倉庫、上屋等の浸水による貨物の水ぬれ、事務所、集客施設等への浸水、電源施設の水ぬれが起こりうることがわかった。また、津波被害波及過程図や、直接・間接被害の試算結果などを参考にすれば、被害の中でも浸水被害が大部分を占めることが見てとれる。これらの被害に対しては、先にも述べた津波防護対策と応急復旧対策を充実させるだけでなく、事前に陸域での対策を講じることによる被害の防止軽減策をとるとともに、関係者への津波に対する防災意識の向上を図る必要性があると考えられる。

流出被害については、コンテナ、原木、チップ等の散乱及び流出・漂流、また小型船の流出、漂流が起こりうるものと考えられる。これらの被害に対しては、前に述べた対策の方向性に加え、流出の可能性のある貨物・船舶等の移動防止策をハード・ソフト含めて講じておくことが必要となってくると考えられる。

人命被害については、港湾就労者、市民、観光客等の人命の危険性、沿道建物の倒壊、成人男性の避難限界を超える箇所が各地で見られるなどの事態が想定される。これらに対しては、津波に対する危機管理意識の向上などもさることながら、適切な情報や安全な避難による人命防護策を講じることが必要になるものと考えられる。

以上の議論を総合し、津波対策の方向性を箇条書きで示すと以下ようになる。

- ・ 海域、水際線での津波エネルギー低減
- ・ 効率的な応急復旧作業
- ・ 陸域での対策による被害の防止軽減
- ・ 流出の可能性のある貨物・船舶等の移動防止
- ・ 津波の低減、適切な情報、安全な避難による人命防護
- ・ 津波に対する危機管理意識の向上

このように津波対策に関する基本的な方向性について

述べたが、港湾においては、国、港湾管理者、民間事業者などの様々な主体が活動しており、事前対策から応急復旧に至るまで、各主体が自助、共助、公助の考え方を十分に認識し、更には各主体が相互に連携し、役割分担をしながらの対策構築が求められるものと考えられる。

また、ハードに関する対策を講じるに当たっては、昨今の厳しい財政事情などにより進捗に限界があることから、想定される被害の大きさや地域的な危険性あるいは脆弱性の度合い、物流ネットワーク維持などの防護すべき港湾機能を考慮して整備の優先順位を地区ごとに立てていくといった具合に、重点的・緊急的に防護する機能や区域を選定し、限られた予算の範囲内で効果的・効率的な投資を行うような工夫が必要になると考えられる。

さらにいえば、近年では、これまでに想定していなかった規模の災害が頻発しているため、港湾及び背後地域についても、避難対策をはじめとするソフト対策の充実がこれまで以上に求められている。場合によっては、損害保険等の手段も含めた対策を各自において検討することも必要になってくるものと考えられる。

6. まとめ

本研究では、国内の津波被害に関する資料収集にはじまり、津波被害の検討を行い、港湾において必要な津波対策についての基本的な方向性を検討した。

これにより、以下の結果を得ることができた。

(1) 我が国において近年発生した港湾及び背後地域における津波被害の概要を整理した。それによると、被害は「浸水被害」と「流出被害」などに分けられることがわかった。

(2) 施設の被害等の直接被害から、港湾機能の低下を経て間接被害にいたる様子を、港湾及び背後地域における津波被害の波及過程図として整理した。今後、各港湾において、本研究においてまとめた津波被害の波及過程図を用いながら津波被害の想定及び津波対策の検討を進めていく必要がある。

(3) 清水港等において間接被害も含めた津波被害の試算、津波被害の評価手法の検討を行った。その結果、広大な敷地に生産施設を持つ重厚長大産業の集積地である港湾における資産は、これまでの港湾整備により相当額を上るとともに、津波来襲による資産被害額も直接被害・間接被害を含めて相当程度の金額になることがわかった。

(4) 港湾及び背後地域における津波対策の基本的な考

え方について検討を行った。津波対策は、予防対策と復旧対策に分けられ、まず第一に、人命の損失を防ぐ手だてをとることが必要であり、復旧対策においては、港湾機能の早期回復を目指した対応を関係者間で事前に協議して決めておくことが必要であることがわかった。

本研究の成果は、港湾を抱える各地域で、今後の大規模地震による津波対策を検討する際、直接・間接被害による被害額の推計から事業評価に至るプロセスにおいて有効に活用されるものと考えている。同時に、直接被害・間接被害額の評価手法については、算定の前提条件等にさらなる精緻化が求められるところであり、この点については今後鋭意取り組んでいく考えである。また津波対策として必要な具体的施策については、国土交通省港湾局と連携しより具体的な施策としてとりまとめることとしている。

7. おわりに

以上のような流れを俯瞰すると、現在の津波対策は、過去に被害を受けた地域においては重点的に行われているが、過去に港湾における被害の少なかった地域においては、必ずしも充実した対策がとられているとは言い難い状況であることがわかった。

これは、海岸保全施設が建設された当時に比べ、その前面に埋立が行われ、港湾を中心とする産業活動が活発に行われてきたこととの関係が無縁ではないと言える。すなわち、海岸保全施設建設時における海岸線よりも地域の経済活動が臨海部へ徐々に展開してきていることがあるのではないかと考えられる。

また、過去に津波が来襲した時点と現在とを比較すれば、港湾での取扱貨物量も相当増加しており、マリネレジャーも急速に普及してきており、さらにはコンテナ輸送も活発化し続けていることなどから、津波来襲によってコンテナ、プレジャーボート等の流出被害など過去の被害形態とは異なった、いわば新しいタイプの被害が起こることが想定される。このため、津波対策の検討に当たって、本研究において検討してきた手法が十分参考になるものと考えられ、こういった対策の中で、例えば人的被害を最小化する施策を優先するなどの重みを付けて行うことも必要であると考えられる。

今回の資料では触れていないが、津波により土砂が運搬されることにより航路の埋没等が起こりうること、またライフラインが被災することにより経済活動のみなら

ず各方面での被害も予測される。そうした意味で、津波被害波及過程図のブラッシュアップなど今後対処すべき研究課題も残っているといえる。

具体的な津波対策は、あくまで港湾を抱える地域において行われるべきものであり、また行政だけで対応できるものと考えべきものではない。そのためにも各地域において、港湾に存在している様々な関係者からなる津波対策協議会を早急に組織し（既存の災害対策協議会がある場合にはそれを活用しても構わない）、港湾管理者、海上保安部、関係企業などの役割分担を定め、万全を期すことが望まれる。

また、今回は検討対象としなかった港湾背後地域における津波対策についても、関係自治体等による対策は不可欠であり、そのことを認識していただくことも重要である。ハザードマップの整備率は依然として低い状況にあるが、まずは各地域において地域住民を交え津波対策を関係者間で議論する場を設けるなどの取り組みから始めることが肝要である。

津波という現象は、言うまでもなく自然の脅威を思い知らされるものである。まず、そのことを関係者に認識していただくことが最大の課題である。その上で津波対策を進めていくということも今後必要となってくるものと考えている。

(2006年2月15日受付)

謝辞

最後に、本研究に当たっては、(財)沿岸技術研究センターはじめ多くの方々のご協力を得ることによってとりまとめることが出来た。ここに深く感謝の意を表する次第である。

なお津波波及過程図や直接・間接被害額の試算といった本研究の結果については、国土交通省港湾局が平成16年3月に設置した「新たな津波防災検討委員会」（委員長：京都大学高山教授）に提案し、様々な議論をいただいているものであり、委員の先生方をはじめ関係者にも感謝の意を表したい。

参考文献

- 北海道新聞社(1993)：1993年7月12日北海道南西沖地震全記録
海南市(2004)：市制施行70周年記念誌「写真で綴る海南市の歩み」
建設省河川局(2000)：治水経済調査マニュアル(案)

中央防災会議(2001)：東海地震に関する専門調査会報告書

国土交通省河川局(2001)：地下空間における浸水対策ガイドライン同解説(技術資料)

(財)沿岸開発技術研究センター(2004)：津波・高潮ハザードマップマニュアル

(財)港湾空間高度化センター(2004)：港湾投資の評価に関するガイドライン-2004-

(社)日本港湾協会(1999)：港湾の施設の技術上の基準・同解説（上巻・下巻）

森北出版(1987)：最新 海岸工学 岩垣雄一

(社)海洋調査協会(2005)：地質と調査2005年第4号、津波シミュレーションの現状 佐竹健治

(社)日本港湾協会(2005)：数字でみる港湾2005

付録1. 港湾における津波被害と港湾資産被害額

全国の港湾資産額と被害額を試算した結果を示す。

まず港湾資産を公共部門と民間部門に分類し、公共部門の資産対象施設に防波堤、岸壁及び護岸等を含む港湾公共施設、港湾整備事業、海岸整備事業等により整備した施設を計上している。算出はP I法により行っている。P I法とは施設の新設費用及び改良費用及び災害復旧費（デフレーターを考慮した実質値）に施設の平均耐用年数、被害発生年数を考慮してストック額を算出したもので、「日本の社会資本—21世紀へのストック」（経済企画庁総合計画局編）において、1993年までの港湾公共資産（ストック額）が算出されており、それに基づき、2003年までのストック額を再算出した。また新設改良費は港湾整備事業、海岸事業、港湾機能施設整備事業、港湾関係民活事業に係る費用を、災害復旧費は港湾関係災害復旧事業に係る費用を計上した。1952年以前の施設の新設改良費用及び災害復旧費用については、「港湾資産の推計」（昭和41年3月、運輸省港湾局計画課）により通常事業費（直轄＋地方）及び災害復旧事業費分を計上した。こうして、2003年（平成15年）時点の港湾公共資産（ストック額）を試算すると、約31.2兆円となる。

次に民間部門の資産額の試算方法を以下に示す。

①家屋資産

- ・漁業、製造業、倉庫業、小売業、マリナー業の家屋資産：

延床面積×建設単価×残存価格率（30%）

②償却・在庫資産

- ・漁業（漁家、漁船）：
漁家＝漁家数×1戸当たり償却・在庫資産額
漁船＝漁船数×中古漁船1隻当たり価格
- ・建設業、製造業、電気・ガス水道・熱供給業、運輸通信業、卸小売業、サービス業、公務：
従業員数×1人当たり償却・在庫資産額
- ・貨物：
取扱貨物量×1トン当たり価格
- ・プレジャーボート：
保管数×中古艇1隻当たり価格
- ・在港一般船舶、作業船：
隻数×船価×残存価格率（30%）

港湾労働者・来訪者等については、「臨海部産業動向調査」等各資料により集計した。

また算出に用いた資料は、港湾施設台帳データベース（平成11年）、国有資産一件別情報、港湾機能施設要覧（平成5～11年）、港湾統計年報（平成12年）、漁船統

計表（平成11年）、商業統計（平成6年）、工業統計（平成7年）、事業所統計（平成8年）、国勢調査（平成7年）、長期港湾政策策定調査（港湾管理者アンケート）等である。なお、算出対象とする資産は、港湾計画で土地利用計画を定めている範囲内にある資産である。

こうして港湾資産額を試算した結果を付表-1に示す。

付表-1 港湾資産額の試算結果

資産算出分野		資産額
公共部門	港湾整備事業による 港湾資産（P I法）	31.2兆円
	CIQ施設等その他施設	0.4兆円
	小計	31.6兆円
民間部門	家屋資産	9.0兆円
	償却・在庫資産	57.5兆円
	小計	66.5兆円
合計		98.1兆円
港湾労働者・来訪者等		760万人

この結果から、わが国の港湾における資産は約98兆円と推計され、その構成は民間部門が多く、全体の約68%を占めることがわかった。

津波による港湾被害額の試算については、津波被害の対象とする港湾資産額を以下の方法で計上した。

(1)公共部門

①家屋資産

- ・荷捌き施設、旅客施設、港湾厚生施設、港湾管理施設、廃棄物処理施設、CIQ施設、海保施設、三セク施設（交流施設、旅客ターミナル施設）、休憩所：
施設面積×建設単価×残存価格率（30%）

②償却資産

- ・係留施設、荷役施設、港湾管理用移動施設、船舶役務用施設、処理系施設、監視艇、巡視艇：
施設数（船舶の場合は隻数）×1施設当たり価格×残存価格率（30%）
- ・旅客施設、灯台：
建設費×残存価格率（30%）
- ・三セク施設（交流施設、旅客ターミナル施設）の設備：
三セク家屋資産×民間部門の償却・在庫資産／民間部門の家屋資産×一人当たりの償却資産／一人当たりの償却・在庫資産

(2)民間部門

①家屋資産

- ・漁業、製造業、倉庫業、小売業、マリナー業の家屋資産：

延床面積×建設単価×残存価格率（30%）

②償却・在庫資産

- ・ 漁業（漁家、漁船）：
 漁家＝漁家数×1戸当たり償却・在庫資産額
 漁船＝漁船数×中古漁船1隻当たり価格
- ・ 建設業，製造業，電気・ガス水道・熱供給業，運輸
 通信業，卸小売業，サービス業，公務：
 従業員数×1人当たり償却・在庫資産額
- ・ 貨物（バラ貨物、コンテナ等）：
 取扱貨物量×1トン当たり価格
- ・ プレジャーボート：
 保管数×中古艇1隻当たり価格
- ・ 在港一般船舶，作業船：
 隻数×船価×残存価格率（30%）

(3)港湾労働者・来訪者等：

「臨海部産業動向調査」等各資料により集計

想定津波の設定は、既往調査に示される津波高のうち、最大のものをとっているが、内容を以下に示す。

①想定地震津波計算値

地震名：日本海東縁部および太平洋沿岸における各想定津波ごとに算出した沿岸最大津波水位の市町村平均値が最も高い想定地震（例：G1-1等（地体構造区分による断層モデル名））

津波高①：想定地震波で生じた沿岸最大津波水位の市町村最大値

②既往地震津波計画値

地震名：各想定津波ごとに算定した沿岸最大津波水位の市町村平均値が最も高い想定地震（例：明治三陸地震等）

津波高②：想定地震波で生じた沿岸最大津波水位の市町村最大値

③既往地震津波実態調査

地震名：当該市町村での既往最大津波高とその原因となった地震（例：昭和三陸津波等）

津波高③：実態調査により得た平均値

④遠地（チリ）地震最大痕跡高（津波高④）

当該市町村で観測されたチリ地震津波による最大痕跡

⑤海岸データベース計画津波高

決定根拠：津波高を決定した根拠（例：痕跡，シミュレーション解析等）

津波高⑤：決定根拠による津波高

⑥東海地震最大津波高（津波高⑥）

中央防災会議資料に基づく最大津波高

⑦東南海+南海地震津波読取值（津波高⑦）

中央防災会議資料による海岸の津波の高さの市町村

最大値を港湾位置において読み取った値

これらの津波高のうち、想定津波被害判定に用いる津波高は、上記の①～⑦のうちの最大津波高とする。

津波による港湾被害額等の試算は、次の要領で行っている。

判定A：津波が海岸保全施設天端を越える場合

判定B：津波が埠頭天端高を越えるが海岸保全施設天端を越えない場合

判定C：津波が埠頭天端高を越えない場合

各港湾をこれら3つに分類し、各港での被害額は、「Tsunami＝三陸地震」（首藤伸夫）等を参考に、津波高2m未満の地域では資産額に0.5を乗じ、2m以上の地域では1.0を乗じ、重要港湾以上、地方港湾ごとに試算した。これらの試算結果を付表-2に示す。

付表-2 津波による港湾の被害額（単位：10億円）

項目	重要港湾以上	地方港湾
判定Aの港湾の被害額（試算）	19, 215	110
判定Bの港湾の被害額（試算）	13, 120	19
津波による港湾被害額の総計	32, 335	129
合計	32, 464	

結果、津波による港湾被害額の総計は約32.5兆円となる。

付録2. モデル港湾における津波対策のケーススタディ

ここでは、モデル港湾を対象として、どのような津波対策が必要となるかをケーススタディにより明らかにしている。内容的には、避難対策、流出対策、応急対策の3つについて検討を行っている。モデル港の抽出に際しては、

- ・ 津波を伴う大規模地震が切迫する地域の港湾
 - ・ 国内外の輸送拠点となる港湾
- ということを考慮し、清水港を抽出することとした。

(1)避難対策のケーススタディ

①津波によって被災する可能性のある労働者・来訪者数の推計

清水港での検討対象エリア内の民間企業労働者数と来訪者数を以下に示す。

- ・ 新興津地区（約306,000㎡）：民間企業労働者数165人
- ・ 興津地区（約443,000㎡）：民間企業労働者数1,268人
- ・ 袖師地区（約939,000㎡）：民間企業労働者数1,625人
- ・ 江尻地区（約659,000㎡）：民間企業労働者数2,275人

来訪者数40人

- ・日の出地区（約481,000㎡）：民間企業労働者数3,655人，来訪者数15,000人
- ・富士見地区（約614,000㎡）：民間企業労働者数1,911人
- ・折戸地区（約210,000㎡）：民間企業労働者数699人，来訪者数20人
- ・塚間地区（約596,000㎡）：民間企業労働者数1,506人
- ・貝島地区（約1,172,000㎡）：民間企業労働者数486人
- ・三保地区（約81,000㎡）：民間企業労働者数265人，来訪者数20人

ここで、港湾の労働者数は、総務省統計局の地域メッシュ統計「H13 事業所・企業統計調査」による産業分類別従業者メッシュデータを地区毎に抽出・整理したものであり、港湾の来訪者数は、港湾管理者ヒアリングによるものである。

安全避難困難区域の推計は、「地下空間における浸水対策ガイドライン同解説」に示される安全避難が困難となる領域に含まれる地域を「安全避難困難区域」としており、検討対象者は、港湾労働者を想定し、165cm（日本人成人の平均身長）としている。被災する可能性のある港湾労働者・来訪者数と津波到達時間を地区毎に整理したものを以下に示す。

- ・新興津地区
浸水域面積：306,000㎡（内安全避難困難区域0），被災する可能性のある港湾労働者・来訪者数：165人，津波到達時間：9分
- ・興津地区
浸水域面積：341,600㎡（内安全避難困難区域88,400㎡），被災する可能性のある港湾労働者・来訪者数：978人，津波到達時間：9分
- ・袖師地区
浸水域面積：422,000㎡（内安全避難困難区域104,800㎡），被災する可能性のある港湾労働者・来訪者数：731人，津波到達時間：12分
- ・江尻地区
浸水域面積：383,100㎡（内安全避難困難区域156,100㎡），被災する可能性のある港湾労働者・来訪者数：1,346人，津波到達時間：14分
- ・日の出地区
浸水域面積：451,900㎡（内安全避難困難区域214,400㎡），被災する可能性のある港湾労働者・来訪者数：17,526人，津波到達時間：14分
- ・富士見地区
浸水域面積：515,800㎡（内安全避難困難区域180,30

0㎡），被災する可能性のある港湾労働者・来訪者数：1,606人，津波到達時間：18分

- ・折戸地区
浸水域面積：208,900㎡（内安全避難困難区域137,000㎡），被災する可能性のある港湾労働者・来訪者数：716人，津波到達時間：20分
- ・塚間地区
浸水域面積：495,600㎡（内安全避難困難区域91,900㎡），被災する可能性のある港湾労働者・来訪者数：1,253人，津波到達時間：15分
- ・貝島地区
浸水域面積：573,900㎡（内安全避難困難区域80,600㎡），被災する可能性のある港湾労働者・来訪者数：238人，津波到達時間：14分
- ・三保地区
浸水域面積：71,700㎡（内安全避難困難区域41,700㎡），被災する可能性のある港湾労働者・来訪者数：253人，津波到達時間：14分

②津波到達時間までの避難可能距離の推計

避難行動条件を以下のとおりとした。

- ・地震発生後の避難行動開始時間を5分とし、津波到達予想時間から5分を減じたものを避難港同時とする（中央防災会議「津波による死亡者の想定」）
- ・避難時の歩行速度：80m/分（不動産鑑定における歩行速度）

よって避難可能距離は

避難可能距離＝歩行速度×（津波到達予想時間－5分）である。

避難場所、避難ルートの指定については、以下のとおりとした。

避難施設の指定方法は

- ・検討対象エリア内における既存施設で避難施設としての機能を有するものに関しては、基本的に全て避難施設として指定する。
- ・浸水域から津波到達時間内に、避難施設としての機能を有する既存施設まで避難不可能な場合には、新たに避難施設を整備する。

とした。

避難ルートの指定方法については、

- ・安全避難困難区域から避難場所に至る場合を除き、避難ルート上の一部に安全避難困難区域を含むような避難ルートの設定は行わない。
- ・コンテナヤード内や野積み場内を通り避難せざるを得ない場合は、地震により貨物・コンテナ等の倒壊のおそれが極力少ないルートを設定する。

- ・建物等の倒壊のおそれがあるルートを設定する必要がある場合は、建物等の耐震化を行う。

とした。

以上の条件で、避難施設、避難ルートの指定を行った結果を付図-1、付図-2に示す。



付図-1 清水港北部の避難施設、避難ルートの指定結果



付図-2 清水港南部の避難施設、避難ルートの指定結果

これらの結果から、赤色で塗った安全避難困難区域を解消するには、赤色の丸で印を付けた避難施設を新たに整備する必要があることがみてとれる。

(2)流出対策のケーススタディ

ここでは、津波浸水により、流出する可能性のある貨物として、「空コンテナ」、「原木」及び「チップ」を想定し、流出対策の検討を行う。

まず清水港の施設ごとの「空コンテナ」、「原木」、「チップ」の数量を以下のように把握した。

- ・空コンテナ：港湾管理者ヒアリング
- ・原木、チップ：津波来襲時における取扱量を次式よ

り推計

$$\text{貨物取扱量} = \text{年間取扱貨物量} / \text{回転率 (回/年)}$$

ただし、回転率を10とする

地区別には以下のとおりである。

- ・興津第1ふ頭 (空コンテナ)
保管施設面積：33,000㎡，空コンテナ (20ft換算) 蔵置数：800個
- ・興津第2ふ頭 (空コンテナ)
保管施設面積：68,400㎡，空コンテナ (20ft換算) 蔵置数：3,000個
- ・袖師第1ふ頭 (空コンテナ)
保管施設面積：159,800㎡，空コンテナ (20ft換算) 蔵置数：3,400個 (原木)
保管施設面積：50,900㎡，原木蔵置量：8,100t
- ・袖師第2ふ頭 (チップ)
保管施設面積：55,500㎡，チップ蔵置量：48,700t
- ・富士見ふ頭 (チップ)
保管施設面積：95,000㎡，チップ蔵置量：83,400t
- ・折戸野積場1号 (原木)
保管施設面積：23,100㎡，原木蔵置量：3,700t
- ・折戸陸上貯木場 (原木)
保管施設面積：26,600㎡，原木蔵置量：4,200t
- ・折戸水面貯木場 (原木)
保管施設面積：90,200㎡，原木蔵置量：3,000t

流出貨物量の推計方法は、流出被害の対象とする貨物の種類により、流出被害の発生する浸水深を以下のように設定した。

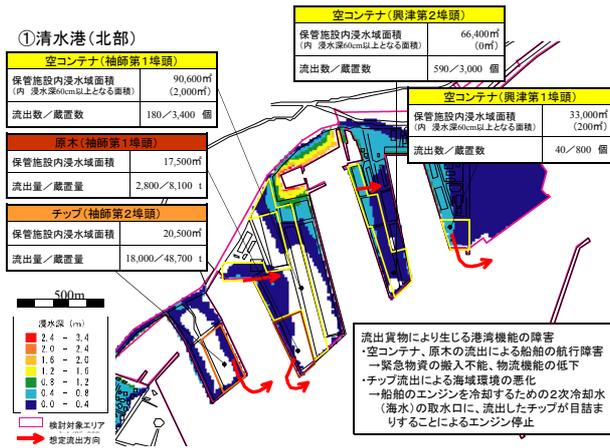
- ・空コンテナ
20フィートの空コンテナが流出する浸水深は3段積みを想定すると0.6mで流出するとされている。我が国の港湾における空コンテナの積み段数は3~5段が一般的であるため、ここでは危険側の3段積みを想定した。
- ・原木、チップ
原木、チップは、「浸水＝流出」するものと想定する。

流出貨物量の推計方法は、施設内において、流出被害の発生する浸水深以上となる面積の割合により、流出貨物量を推計した。すなわち

$$\text{流出貨物量} = (\text{流出被害発生浸水深以上となる区域の面積} / \text{施設面積}) \times \text{取扱数量}$$

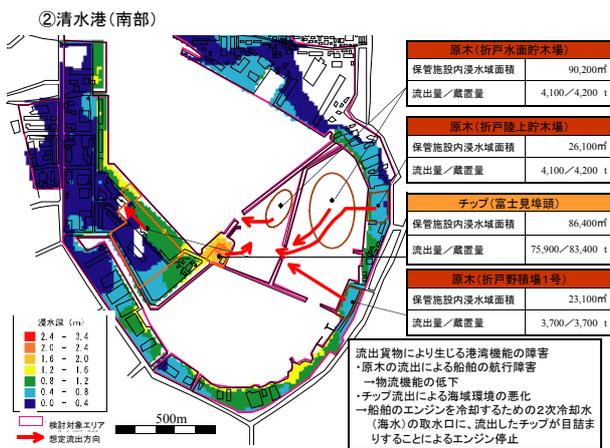
とした。

以上により算出した貨物の流出状況を付図-3、付図-4に示す。



付図-3 清水港北部における貨物の流出状況

付図-3からわかる流出貨物により生じる港湾機能の障害として、空コンテナ、原木の流出による船舶の航行障害があり、これにより緊急物資の搬入不能、物流機能の低下が起こる。またチップ流出による海域環境の悪化が発生し、船舶のエンジンを冷却するための2次冷却水(海水)の取水口に流出したチップが目詰まりすることによるエンジン停止が起こる。



付図-4 清水港南部における貨物の流出状況

また付図-4からは、原木の流出による船舶の航行障害が発生し、物流機能が低下することがわかる。またチップ流出による海域環境の悪化が発生し、船舶のエンジンを冷却するための2次冷却水(海水)の取水口に流出したチップが目詰まりすることによるエンジン停止が起こることがわかる。

これらの結果から考えられる貨物流出対策の案をまとめると、以下ようになる。

①空コンテナの流出対策

- ・蔵置面の嵩上げ
- ・ヤード周辺における流出防止施設の整備
- ・ヤード内の低浸水区域への蔵置

②原木の流出対策

- ・貯木場周辺における流出防止施設の整備
- ・陸上貯木場原木の固縛
- ・陸上貯木場内の低浸水区域での保管
- ・水面貯木場原木のワイヤー係留強化

③チップの流出対策

- ・野積み場周辺における流出拡散防止施設整備
- ・ネットによる被覆

(3)応急対策のケーススタディ

ここでは、津波被災後、港湾機能の低下要因として最も影響の大きいと考えられる流出物の回収に関して、清水港で策定されたマニュアル等を参考として示す。

まず「清水港地震災害対策マニュアル」の概要であるが、清水港においては、「清水港地震災害対策マニュアル(平成16年3月)」を策定し、行政と民間が相互に連携した迅速な対応業務の実施を図っている。このマニュアルの流れとしては、津波警報の発令後、

- ・船舶の港外退避(大型船の退避)
- ・木材チップ等の拡散防止措置(船舶の港外退避後、オイルフェンスを展張)
- ・木材の流出防止措置(野積み場の原木の固縛等)
- ・移動式荷役機械の避難(フォークリフト、クレーン等の避難)
- ・ふ頭内に駐車している車両の移動(各企業の従業員の自家用車の移動)
- ・プレジャーボート対策(放置艇対策の推進)
- ・上屋・倉庫内荷物の内陸への移動(緊急物資搬入スペースの確保)

のような地震に伴う津波来襲前の予防措置を講じ、発災後には、津波警報解除後、3日目までに港湾機能の応急復旧を図ることを目標として、応急復旧措置を講じている。応急復旧作業の優先順位としては、一番目には航路の啓開と耐震岸壁の使用可能化を挙げており、二番目には一般岸壁のうち、応急復旧可能な岸壁の使用可能化を挙げています。作業としては、深浅測量等を2日目までに終え、流出チップ回収を1日目に、流出木材回収、木質瓦礫の回収、沈没自動車等の引き上げ(耐震強化岸壁の周辺のみ)を3日目までに終了させ、緊急物資の搬入を30日目まで行い、本格復旧を図ることとしている。

深浅測量等港内調査の実施及び被災状況に関する情報収集についてであるが、清水港では、津波警報解除後の応急対策の第一として、行政機関においては、各自港内の調査を実施するとともに、民間においては、各企業→所属する業界団体→港湾管理者のルートで、被災状況を

調査・報告することになっている。

流出物回収体制については、行政から民間への協力要請に基づき早期に確保することとしている。具体的には、初動時の窓口を、行政は清水港管理局に、民間は清水建設業協会に、それぞれ一本化し、行政の協力要請に基づき、民間は早急に流出物の回収作業に関する体制を確保することとしている。

また流出物の回収作業を優先的に実施する箇所を決定し、民間の協力の下、迅速に回収作業を実施することにしており、まず最優先応急対策実施箇所を

- ①新興津・興津ふ頭の耐震強化岸壁周辺水域
- ②航路から①に至る水域
- ③日の出ふ頭の耐震強化岸壁に至る水域
- ④その他使用可能な岸壁に至る水域

の順で決定し、

・流出チップ回収については

石油災害防止会にオイルフェンスの要請→海上保安部の専用船及び曳船所有会社にオイルフェンスの展張及びチップの回収作業を要請→集めたチップを起重機により陸揚

・流出木材回収については

流出木材を作業船で水面貯木場まで曳航→それが困難な場合は、筏組して三保又は貝塚方面に曳航・係留

・木質瓦礫の回収については

除去要請→水域の状況・海底面の測量結果に関する情報入手→作業船2隻を1組とし、網・ワイヤー・ロープを引いて瓦礫を収集→集めた瓦礫を海洋土木会社の起重機船近くまで曳航→起重機により陸揚

・沈没自動車等の引き上げについては

クレーン船及び潜水士船による引き上げ

といった手順でそれぞれ実施することとしている。

流出物の回収後は、行政・民間の連携により、緊急物資の受け入れを迅速に実施することにしており、緊急物資輸送機能を確保することとしている。

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 306

June 2006

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5018