

東南海・南海地震発生時の港湾機能を活用した緊急輸送戦略

A Study on Emergency Relief Transport Utilizing Port Function for To-nankai and Nankai Earthquake

河田恵昭¹・小鯛航太²・鈴木進吾³

Yoshiaki KAWATA, Kota KODAI, Shingo SUZUKI

The disaster reduction facilitating emergency relief transport is one of the important tasks to manage the extensive disaster that caused by To-nankai and Nankai earthquake. Marine transport plays important roles in such disaster management because of its massiveness of transportation capacity. Especially preparing for the case that tsunami debris close port facilities, it is necessary to develop the framework for efficient transport. With this purpose in mind, this paper compiles the estimation methods on the amount of debris for the removal planning, and quantifies the effect of early opening of port using the network analysis method. As the result of the test estimation in Wakayama prefecture, amount of debris, removal workload and the efficiency of marine transport on emergency were quantified.

1. 序 論

東南海・南海地震の発生は東海から四国までの広い範囲にかけて甚大な被害をもたらした。その後の災害対応においては、広域かつ大量に発生する物資需要に対し、その迅速な確保、配分調整および効率的な輸送が求められるだろう。しかし、その想定被災域の大部分を占める中山間地域においては、震度 6 弱以上の強い揺れに見舞われ、多数の地点で道路被害や土砂災害を発生させ、物資輸送に必要な交通路が寸断される。さらに、太平洋沿岸に展開する漁業・林業等によって形成される地域においては軒並み津波が来襲し、沿岸を走る道路に被害をもたらす。それらの結果、陸上交通網の冗長性が確保されていない集落や中小都市までもが大量に孤立し、災害発生後に必要となる生活物資の供給が滞り、二次被害が拡大し、災害が長期化することが懸念される。

このような状況を鑑みると、輸送容量の大きな海上輸送を活用することによって、緊急時輸送を迅速・効率化し、その信頼性を向上させることが課題となるであろう。1995 年に発生し未曾有の被害をもたらした阪神・淡路大震災では、地震による路面破壊、建物倒壊、高架構造物倒壊および交通渋滞等により陸路の脆弱性が露呈し（例えば吉川，2000），その後、災害時の救援物資等の海上輸送、およびそれを担う基盤としての緊急輸送拠点としての港湾整備の重要性が改めて認識されることとなった。現在、東南海・南海地震防災対策推進地域内の主要港湾において、この教訓から耐震強化岸壁の整備が

進められている。しかしながら、東南海・南海地震の際には、港湾区域およびその周辺地域において地震と津波によって発生した瓦礫が津波により流出して港湾海域を閉鎖するため、緊急輸送の拠点として港湾を活用するためには、これらを迅速に除去しなければならない。そのためには、まず、除去対象となる瓦礫がどの程度発生するのかを定量的に検討し、その結果を前提条件とし、各地域への港湾を利用した輸送システムの構築、災害時港湾の早期啓開のための流出防止策の実施、資機材の配備等を行っていかなければならない。

このような問題意識に立脚して、本研究では、港湾機能を活用した緊急時輸送の検討と、その実現のための東南海・南海地震津波災害時の各港湾における瓦礫の除去体制の広域的整備に資することを目的として、港湾海域に発生する瓦礫量とその除去作業量を評価する手法について研究し、緊急輸送に港湾を活用することによる効率化の度合いを定量的に評価する手法を開発した。

2. 津波による海面浮遊物発生量の推定

津波により、海上の漁船・船舶、海面利用諸施設、陸上の家屋、自動車、港湾施設等への被害が生じ、それらの瓦礫や内容物は津波の収束後、陸域に残るか、津波の流れにより海面に流出・浮遊し、その中の一部は時間の経過とともに沈降する。ここで、陸上に残ったものは地震時と同様に処理可能であることを考えると、緊急時海上輸送に大きな影響を与えるのは、輸送に際して航路を閉塞し障害物となる津波来襲直後の海面浮遊物である。

国土交通省・近畿地方整備局（2005）は、近畿地方の主要港湾において漂流物に特化した被災シナリオを作成し、その中で津波により海面に流出し船舶の接岸を妨げるものとして船舶、コンテナ、木材、自動車等をあげて

1 フェロー 工博 京都大学教授 防災研究所
2 修(情) (株)NTTドコモ関西 (元京都大学大学院 情報学研究科)
3 正 会 員 博(情) 京都大学助教 防災研究所

表-1 一般船舶の流出条件

重量総トン数 (DWT)	津波高 (m)	津波最大流速 (m/s)	重量総トン数 (DWT)	津波高 (m)	津波最大流速 (m/s)
500	5.53	6.04	10,000	12.26	4.10
700	5.25	5.74	12,000	12.72	4.21
1,000	8.16	4.96	15,000	13.31	4.23
1,200	8.39	4.89	20,000	14.13	4.16
1,500	8.69	4.75	25,000	14.81	4.13
2,000	9.12	4.50	30,000	15.40	4.17
2,500	9.47	4.35	40,000	16.39	5.46
3,000	9.78	4.22	50,000	17.22	5.42
4,000	10.29	4.32	60,000	17.94	5.41
5,000	10.73	4.23	70,000	18.57	5.32
6,000	11.10	4.26	80,000	19.14	5.27
8,000	11.73	4.25	100,000	20.14	5.01

表-2 小型船舶の流出条件

	保管状況	流出条件
流速(海上)	係留が弱い場合	2.0m/s
	係留方法を改善した場合	4.0m/s
浸水深	陸上の小型船舶	1.5m

いる。また、過去の事例を見ると、1964年新潟地震時の新潟港、1983年日本海中部地震時の秋田港では水面貯木された木材が、1993年北海道南西沖地震時の奥尻港・青苗漁港では木造家屋残骸物、自動車や漁船、2003年十勝沖地震時の十勝港では空コンテナがそれぞれ流出し、入港禁止措置や回収作業が実施されている。本研究では、船舶（漁船・プレジャーボートを含む）、コンテナ、木材、自動車、家屋残骸物（木造家屋、家財）の5つを主要な津波による海面浮遊物として流出対象量を推定する。

(1) 船 舶

船舶は津波来襲時に、座礁・乗上げ等の被害を受け、オイルの流出、船体の衝突による建造物の破壊等が二次災害の要因になり得る。このような船舶が航路閉塞物として緊急輸送に障害を与える被災形態としては、係留索の切断による係船・制御の損失があげられる。船舶は海上に存在し、係留索切断時に海面浮遊物となるが、その条件として、船舶法に定める総トン数20t以上の一般船舶に関しては河田ら（2004）が水位上昇や流速等の外力と重量総トン数で代表される船舶諸元による条件を算出している。漁船やプレジャーボート、総トン数20t未満の小型船舶（以下、小型船舶）に関しては、水産庁（2006）が、海上係留については流速、陸上保管については浸水深による流出条件をまとめている。本研究ではこれらの評価方法を使用し、重量総トン数、係留・保管場所に作用する津波高および最大流速から、条件を満たしたものが流出すると設定する。貨物船の流出条件を表-1、小型船舶の流出条件を表-2に示す。

(2) コンテナ

海運で取り扱われるコンテナ貨物量は近年も増加傾向

にあり、港湾内のコンテナヤードに野積みされたコンテナに津波が来襲した場合、流出する可能性がある。海面に流出したコンテナは航行障害となり、水没すると回収には多大な労力が必要となるため、浮遊している状態での迅速な回収が必要となる。津波によって漂流するコンテナの挙動特性については水谷ら（2005）の水理実験や、熊谷ら（2006）の漂流シミュレーションにより漂流開始条件としてコンテナのエプロン上での浮上、コンテナのへ作用する津波力が挙げられている。大規模地震津波対策検討調査報告書（沿岸開発技術研究センター、2004）では、貨物流出の経済損失を求めるために、コンテナ諸元、1個あたりの平均積載重量、浮力等から漂流を開始する浸水深を設定している。本研究では大規模地震津波対策検討調査報告書の方法を利用し、空コンテナについて、その蔵置場所での浸水深による流出判定を行う。

(3) 木 材

港湾施設で保管される木材は、水上にワイヤー等で係留する水面貯木と、陸上に野積みする陸上貯木があり、いずれも大量の木材が保管されているため、津波によって係留策切断あるいは陸上浸水が発生すると、大量の流木が発生し、その除去に時間がかかる。後藤（1983）は陸上貯木に関しては浸水深が木材の直径以上になった場合、水面貯木に関しては掃流力が係留索強度を超える場合流出するとして数値解析を行っている。本研究ではこの方法を用いて流出対象量を推定する。

(4) 自 動 車

港湾はヒト、モノの輸送拠点であり、港湾労働者にとっては職場であるため、多くの自動車が存在する。自動車もコンテナと同様、流出し海上を漂流すれば、あるいは航路に水没すれば、航行を阻害する要因になる。須賀（1995）は1982年長崎水害の事例をもとに、自動車の被災状況をその浸水深によって示し、自動車の流出する条件を設定している。本研究ではこの条件を参照し、0.7mの浸水で流出するとし、港湾区域内は自動車数の調査を行い、港湾区域外は統計を用い、メッシュ内の世帯

表-3 津波による家屋残骸物の流出率

浸水深 H(m)	流出率
$0.0 \leq H < 0.5$	0.00
$0.5 \leq H < 1.0$	0.25
$1.0 \leq H < 1.5$	0.50
$1.5 \leq H < 2.0$	0.75
$2.0 \leq H$	1.00

数と都道府県別人口・世帯比別車両数を用いて推計する。

(5) 家 屋

地震や津波によって木造家屋が破壊された際の木質建材瓦礫および家財道具は津波の引き波によって海域へ運ばれ港を閉塞する原因となる。その量は地震動の強さおよび津波外力による家屋の被害量に依存し、また、海岸付近まで山が迫り家屋が海岸付近に立地するような地域等においては海域へ瓦礫が流れやすくなる。

流出対象物の元になる被害について、山口ら (2000) は 1995 年兵庫県南部地震の事例から地震動に関する被害関数を構築している。首藤 (1988) は津波浸水深と被害区分の関係を導いている。これらの被害区分と損壊量の関係は、自治体における被害判定で用いられる被災度別判定基準 (内閣府, 2001) に、「住家の損壊, 消失, 若しくは流出した部分の床面積が, その住家の延床面積の 70% 以上のものを全壊, 20% 以上 70% 未満のものを半壊」としていることから, それぞれの被災度別に被害を受けた住家の損壊割合が均等に分布していると仮定し, 全壊家屋はその床面積の 85%, 半壊家屋は 45% が瓦礫となると設定する。さらに, 中央防災会議 (2003) は木造家屋の面積当たり瓦礫重量を 0.6 t/m^2 , 1 棟あたりの津波水害ゴミを 15 m^3 としており, これらを用いて, 瓦礫発生量推定式は次式のように表される。

$$\text{家屋瓦礫発生量}(\text{m}^3) = (0.85 \times \text{全壊棟数} + 0.45 \times \text{半壊棟数}) \times 1 \text{ 棟あたり床面積} \times 0.6 \times 1.9 + (\text{全壊棟数} + \text{半壊棟数}) \times 15.0$$

ただし, 全壊棟数および半壊棟数には地震動と津波による被害の重複処理を行ったもの, 重量から体積への変換については木造家屋の場合の $1.9 \text{ m}^3/\text{t}$ を用いる。

発生した瓦礫が流出するための条件について, 現状では明確な手法が確立されていない。しかし, 流出する家屋残骸物として木質瓦礫を考えているので, 陸上に野積みされた木材の流出条件である浸水深 0.5 m を流出開始, 津波による家屋全壊が生じる浸水深 2.0 m を全量流出とし, その間を浸水深に比例させて流出率を設定した。設定した流出率を表-3 に示す。

3. 和歌山県主要港湾における流出対象量推定

前章でまとめた推定手法を和歌山県に適用し流出可能

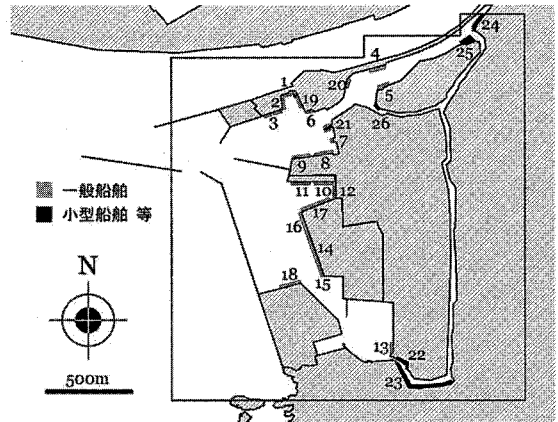


図-1 船舶の係留場所

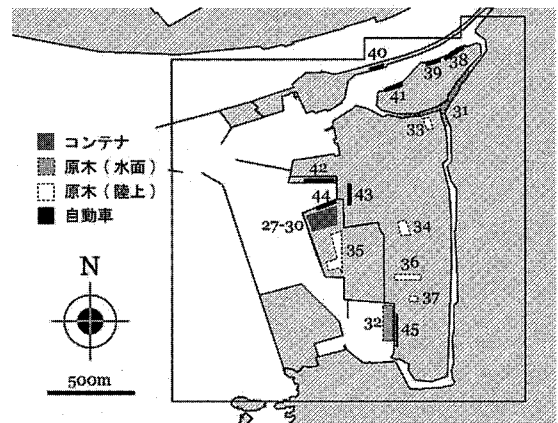


図-2 コンテナ, 原木, 自動車の存在場所

性のある対象物量の推定を行った。和歌山県では山地が海岸付近まで迫り, 主要な陸路が海岸線にそって走らざるを得ない状況であり, 地震による斜面崩壊や津波による浸水の影響を受けやすく, 各地域への物資輸送を初めとして港湾に求められる役割は大きい。対象とした港湾は, 災害時に緊急輸送を初めとした災害対応の拠点としての機能が求められており, かつ耐震強化岸壁を有する港湾の中から和歌山下津港本港区, 日高港, 文里港, 新宮港と設定した。

始めに, 各港湾について, 海域は港湾区域内, 陸域は津波浸水予測図から津波浸水区域を手法の適用範囲として設定した。次に, 適用範囲内の海域および陸域における流出対象物の量および存在箇所を一般船舶については和歌山県港湾統計等により, コンテナ・原木・小型船舶・港湾施設内の自動車については現地調査や衛星写真による視認結果より, 家屋については $500, 250 \text{ m}$ メッシュ木造家屋数を和歌山県より供与をうけ, それぞれ設定した。これと浸水深分布および最大流速分布を GIS を用いて重ね合わせ, 前章で設定した流出条件を満たす

表-4 流出対象物の流出量計算例（和歌山下津港本港区の一部）

地点番号(図-1, 2 参照) またはメッシュコード	対象物	量*	流出条件**	作用**	流出量*
18	一般船舶 (平均 DWT=2271t)	1	高: 9.47 m 流: 4.35 m/s	高: 3.72 m 流: 4.719 m/s	1
21	一般船舶 (平均 DWT=4163t)	2	高: 10.29 m 流: 4.32 m/s	高: 3.85 m 流: 8.831 m/s	2
22	小型船舶	20	流: 2.0 m/s	0.9615	19.23
27	コンテナ	17	浸: 0.2 m	0.1153	1.96
31	原木(水面)	3200	流: 4.45 m/s	0.0490	156.25
41	自動車(港湾区域内)	75	浸: 0.7 m	0.6053	45.39
513521312	家屋残骸物	1096.82	(表-3 参照)	0.1774	194.69
	自動車(地域区域外)	55.62	浸: 0.7 m	0.4000	22.25

* それぞれの単位は船舶が隻, コンテナが個, 原木, 家屋残骸物は m^3 , 自動車は台である。

** 高: 津波高, 流: 流速, 浸: 浸水深, 無印: 設置面積に対する流出条件を超えた面積の割合である。

表-5 海面浮遊物の発生量

	本港区	日高港	文里港	新宮港
船舶(隻)	3	97	11	103
コンテナ(個)	2	—	—	—
原木(本)	300	—	—	3515
自動車(台)	71	544	898	228
家屋残骸物(m^3)	388.5	44268.8	70406.1	7159.7

表-6 海面浮遊物の除去能力

流出対象物	除去方法	除去能力
船舶	タグボート等による曳航	1 隻 / 50 分 1 隻
コンテナ	起重機船による引き上げ	1 個 / 1 時間 1 隻
原木	作業船による陸揚げ	10 本 / 1 時間 1 隻
自動車	起重機船による引き上げ	1 台 / 1 時間 1 隻
家屋残骸物	作業船による陸揚げ	75 m^3 / 1 時間 2 隻

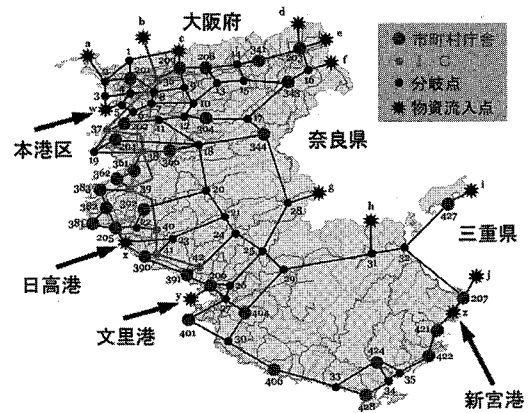
表-7 3 日間で除去するために必要な船舶数

船舶種	本港区	日高港	文里港	新宮港
タグボート	1	2	1	2
作業船	2	18	28	9
起重機船	2	8	13	4

(単位: 隻)

対象物量を集計した。例として和歌山下津港本港区の流出対象物配置図および流出量の計算例をそれぞれ図-1, 図-2, 表-4 に示す。結果として得られた対象 4 港湾の海面浮遊物の発生量をまとめて表-5 に示す。以上の結果から主要 4 港湾における流出可能性のある対象物量が明らかとなった。

静岡県清水港管理局 (2002) では東海地震によって発生する漂流物について, 処理に必要な機材とその回収能力を漂流物の種類ごとに想定している。ここで, これを基本として表-6 のように海面浮遊物の除去能力原単位を設定し, 発災後 3 日間で除去することを目標とした場合の必要船舶数を計算すると表-7 のようになる。輸送のための港湾啓開策を考える上で, 膨大な量の資機材が必要となり, 流出させない対策の必要性がうかがえる。



(見易さを考慮しているため, 実際の位置とは異なる。)

図-3 緊急輸送ネットワークモデル

4. 港湾機能を活用した場合の輸送効率

限られた資源の中で対策戦略を立てる際に, 各々の港湾啓開の効果を測定することが必要となる。そこで, 港湾が災害時の緊急輸送に与える効果について, 被災地への救援物資の到達時間を比較することによって評価する。

和歌山県 (2005) では地域防災計画において, 緊急輸送道路, 防災上の拠点施設および輸送拠点を指定して緊急輸送ネットワークの形成を図っている (図-3)。このネットワークを用い, 支援物資が陸路では大阪府, 奈良県, 三重県から, 海路では本研究で検討した 4 港湾から流入するとして, 各市町村庁舎までの輸送時間を用いて評価する。ネットワークモデルの各リンクの輸送時間はその距離および道路交通センサスの混雑時平均旅行速度から算出した。そして, 陸路のリンクが全て使える状態で陸路側からのみ流入させる場合の各市町村庁舎までの最短経路の所要時間を標準値として, 表-8 の各ケース

表-8 計算ケース

4 港湾が使用できない場合
被災 2 日目から 4 港湾が利用できる場合
被災 4 日目から 4 港湾が利用できる場合
4 港湾が使用できず三重県からの支援も見込めない場合

における最短経路所要時間を計算し、その値で標準値を除いた値を輸送効率として評価した。所要時間が短縮される程、輸送効率は上昇する。各ケースの所要時間算出においては、陸路のリンクでは土砂災害により通行不能となることを考慮し、和歌山県被害想定調査 (2006) より対象区間の道路被災箇所数を算出し、被災箇所 1 カ所あたりの復旧日数を 1 日として計算し、被災後 7 日間の所要時間を平均して評価した。また、7 日以内に到達できない場合、輸送効率を 0 とする。

図-4 に計算された輸送効率を示す。図より和歌山県中部に位置する市町村を中心に海路輸送の効果がみられる。また、南部の新宮市周辺の町村においても輸送時間の短縮が期待され、それらが量的に示された。

5. 結 論

本研究で得られた結論は以下の通りである。

海面浮遊物となりうるものに関する既存の研究を参考にして、簡便な海面浮遊物発生量を推定する手法を構築し、和歌山県の 4 港湾に対して適用し、各港湾における海面浮遊物の発生量を推定した。その結果、地震及び津波の外力が大きく、かつ居住地域が港湾に迫っているような場所では流出可能性のある自動車や木造家屋瓦礫が大量にあり、流出時の除去作業量が膨大となることが量的に明らかになった。

港湾を活用して海路と陸路から緊急輸送を行うことによる輸送効率を定量的に評価する手法を開発した。この手法の和歌山県への適用結果から、港湾活用の効果が顕著に現れる地域と、ほとんど現れず陸路の冗長性確保が優先される地域を量的に評価することができた。

本研究に使用したデータは、内閣府、和歌山県、静岡県より提供いただいた。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 沿岸開発技術センター (2004): 平成 15 年度大規模地震津波対策検討調査報告書, pp. 29-32.
- 河田恵昭・新名恭仁・原田賢治・鈴木進吾 (2004): 津波による船舶被害の評価手法の提案, 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp. 316-320.
- 熊谷兼太郎・小田勝也・藤井直樹 (2006): 津波によるコンテナの漂流挙動シミュレーションモデルの適用性, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp. 241-245.
- 国土交通省近畿地方整備局 (2005): 第 1 回津波対策専門部会資料—漂流物および底質移動の検討—, 港湾における東南

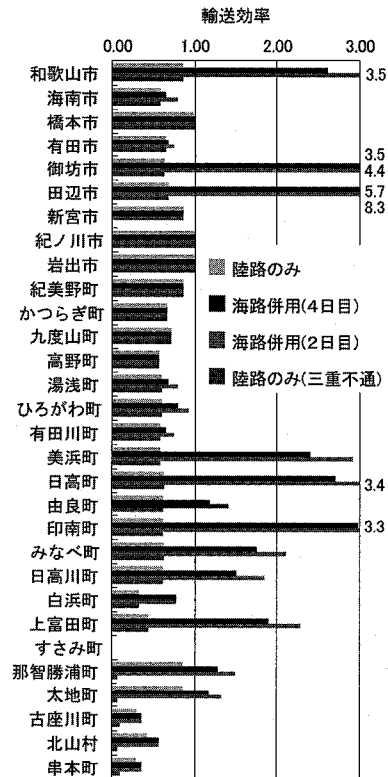


図-4 市町村別輸送効率 (被災後 7 日間平均輸送時間)

- 海・南海地震対策技術検討調査, pp. 1-13.
- 国土交通省道路局 (2006): 平成 17 年度道路交通センサス
- 後藤智明 (1983): 津波による木材の流出に関する計算, 第 30 回海講演文集, pp. 594-597.
- 首藤伸夫 (1988): 津波災害の変遷と対策上の問題点, 海岸工学論文集, 第 35 巻, pp. 237-241.
- 水産庁 (2006): 津波シミュレーションのガイドラインへの反映, 第 4 回漁業地域防災対策検討委員会資料 3, p. 20.
- 須賀亮三監修 (1995): 利根川の洪水 - 語り継ぐ流域の歴史 -, 利根川研究会編, 山海堂, pp. 106-109.
- 中央防災会議 (2003): 東南海・南海地震に係る被害想定手法について, 東南海・南海地震等に関する専門調査会 (第 10 回) 参考資料, pp. 1-40.
- 内閣府 (2001): 災害の被害認定基準について, 平成 13 年 6 月 28 日府政防第 518 号, 政策統括官 (防災担当) 通知
- 水谷法美・高木祐介・白石和陸・宮島正悟・富田孝史 (2005): エブロン上のコンテナに作用する津波力と漂流衝突力に関する研究, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp. 741-745.
- 山口直也・山崎文雄 (2000): 西宮市の被災度調査結果に基づく建物被害関数の構築, 地域安全学会論文集, No. 2, pp. 129-138.
- 吉川和広 (2000): 都市基盤の復興の課題とあり方, 兵庫県・震災対策国際総合検証会議, 阪神・淡路大震災 震災対策国際総合検証事業 検証報告, 第 5 巻, pp. 248-249.
- 和歌山県防災会議 (2005): 和歌山県地域防災計画震災対策計画編 (平成 17 年度修正), pp. 270-272.
- 和歌山県 (2006): 和歌山県地震被害想定調査報告書 (概要版), 108p.