

地震津波に対する脆弱性評価手法の検討

Study of Fragility Assessment Method for Tsunami Disaster

安藤誠*・小田勝也**・岡本修***・熊谷兼太郎****

ANDO Makoto, ODA Katsuya, OKAMOTO Osamu and KUMAGAI Kentarou

* (財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

** 国土交通省 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋研究部 沿岸防災研究室長

*** 国土交通省 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋研究部 沿岸防災研究室 主任研究員

**** 国土交通省 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋研究部 沿岸防災研究室 研究員

Recently, though tsunami damage prediction by the numerical simulation is widely carried out, it is little implemented to assess the decline of port functions by considering the indirect damage. In this study, as an example of the fragility assessment method for port areas, we examined a series of fragility assessments for the direct damage as well as the indirect damage based on the results of tsunami numerical simulations.

Key Words : tsunami , direct and indirect damages , fragility assessment technique

1. はじめに

近い将来、発生することが懸念されている海溝型地震に対して、津波による被害予測が各港湾を対象に検討されている。これらの検討は、主に津波数値シミュレーションにより行われ、浸水範囲、最大浸水深、津波到達時間、最大流速等を把握するものである。一般的に被害予測は浸水の状況から、構造物等の浸水被害、貨物・船舶等の流出被害等を把握する方法がとられているが、港湾の脆弱性を評価する方法の検討はあまり実施されていないのが現状である。

一方、港湾施設の主な津波被害項目については、港湾施設ごとに類型化した研究が行われており^{1),2),3)}、津波による被害項目、被害形態、被害メカニズムを把握することにより、どの港湾施設にどのような被害が生じる可能性があるか、という津波に対する脆弱性評価手法の開発の必要性が指摘されている。

本稿は、港湾の脆弱性評価手法開発の一例として、平面二次元津波数値シミュレーション結果に基づいた被害予測手法の検討を行ったものである。特に、漂流物の衝突による構造物の被害、道路交通網等アクセス手段の途絶について検討を行い、港湾全体における脆弱性評価手法の検討を行った。

なお、検討は南海地震津波による被害を想定して高知港を対象とした。

2. 被害予測ケーススタディ

2.1 津波シミュレーション

地震調査研究推進本部の海溝型地震の長期評価によれ

ば、今後 50 年以内に東南海地震が発生する確率は 90% 程度、地震規模はマグニチュード 8.1 前後とされている。

また、南海地震の場合は発生確率が 80~90%、地震規模はマグニチュード 8.4 前後とみられている。

図-1 に想定地震を安政南海地震クラス (M8.4) とした場合の津波数値シミュレーション結果 (浸水範囲、最大浸水深) を示す。計算は被害が最も大きくなると考えられる H.W.L. 時、陸開開放状態で行った。図に示される通り、湾外側での浸水が顕著であり、深いところでは最大で約 6m の浸水深となった。また、湾奥でも高知市中心部を含めて浸水することが予想され、浸水深は小さいものの広範囲にわたって浸水する状況が分かる。

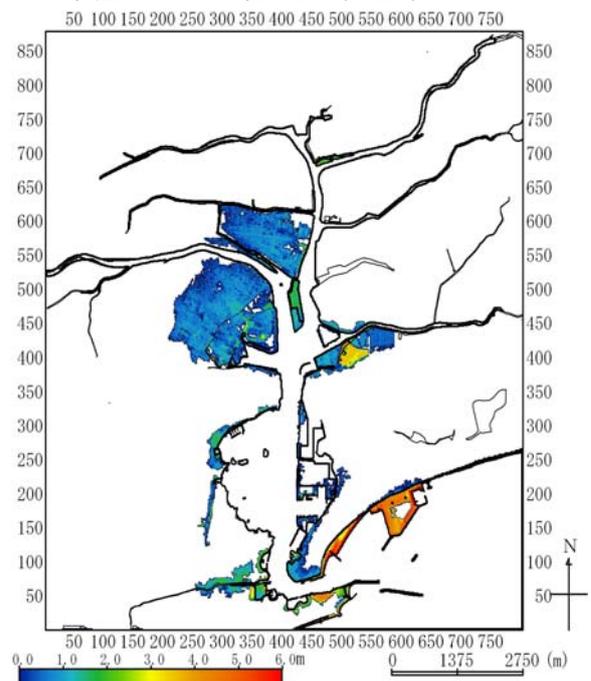


図-1 高知港の最大浸水深分布 (H.W.L. 時 陸開開放)

2.2 漂流シミュレーション

漂流物の陸域・海域への散乱状況については、津波シミュレーションの結果を基に漂流シミュレーションを実施して予測した。図-2に漂流物の散乱状況を示す。漂流物の拡散範囲等の予測は、各漂流物を粒子に置き換えてモンテカルロ法により簡易的に行った。この結果は、津波襲来後180分経過した状態でのものである。対象漂流物は、高知港に存在する船舶、空コンテナ、車両、木材等である。シミュレーションの結果から、主に係留船舶が湾口および湾外に広がり、航路をふさぐ状況となる可能性があることが分かる。

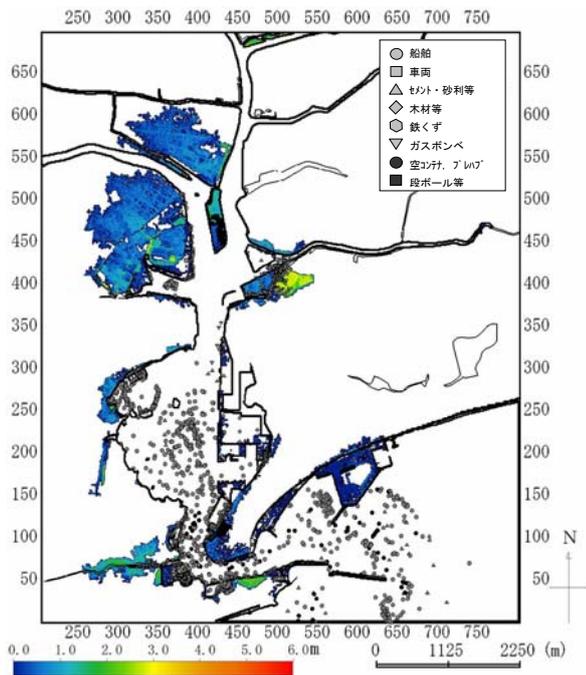


図-2 高知港の地震発生から180分後の漂流物位置 (H. W. L. 時 陸開開放)

2.3 水際線に位置する荷役施設の被害

前述のシミュレーション結果を用いて、高知港に存在する荷役施設・海岸施設について、漂流物の衝突等による被害を検討した。被害評価対象施設は荷役施設としてクレーン及び倉庫(上屋)を、海岸施設として防潮堤及び水門を選んだ。漂流物の衝突力については、様々な既往研究の提案式が存在することから、これら各種算定方法について衝突力を試算し、平均的な値を示す算定方法を採用するものとした。なお、厳密には、漂流物それぞれの形状が異なることを考慮して、漂流物に作用する抗力及び慣性力の評価を行う等、詳細な検討が必要である。しかし、本検討では簡易的な試算の一例として、シミュレーション結果から求めた津波流速を漂流物の漂流速度とみなし、この流速値をパラメータとして、これを変化させていながら、漂流物の衝突力に対する各種構造

物の安全性を照査し、構造物が損壊する時の流速値がどの程度の大きさになるかを構造物ごとに整理した。

表-1は各施設が漂流物の衝突に耐える許容漂流速度を示したものである。例えば最上段の車両に着目すると、クレーンに衝突する車両の漂流速度が4.8m/sを超えた場合、部材の許容応力度を超えることを示している。

表-1 各施設の許容漂流速度

選定式	対象施設		
	クレーン	水門	倉庫
車両	陸上遡上津波と漂流物の衝突力に関する実験的研究 ⁴⁾ 4.8 m/s	1.5 m/s	1.5 m/s
コンテナ	20ft 陸上遡上津波と漂流物の衝突力に関する実験的研究 ⁴⁾ 4.9 m/s	1.5 m/s	1.5 m/s
	40ft 陸上遡上津波と漂流物の衝突力に関する実験的研究 ⁴⁾ 4.7 m/s	1.5 m/s	1.5 m/s
船舶	小型 衝突荷重(道路橋示方書) 5.0m/s超	5.0m/s超	5.0m/s超
	大型 衝突荷重(道路橋示方書) 5.0m/s超	1.8 m/s	1.8 m/s
木材	陸上遡上津波と漂流物の衝突力に関する実験的研究 ⁴⁾ 5.0m/s超	1.7 m/s	1.7 m/s

これら許容漂流速度を指標に各施設の耐力照査を行った。シミュレーション結果からどの漂流物がどの地点に到達するか類推することは可能である。例えばコンテナが多く漂流すると予想される場所にクレーンがある場合、コンテナの漂流速度と表-1の許容漂流速度を比較することで脆弱性評価を行うことができる。許容応力度を超えると判定される場合には、その対策工として漂流物の衝突防止フェンスを設ける等、その脆弱性に応じた対策工を施すことで、効率的な被害軽減化対策を講じることができる。

表-1を活用して高知港の港湾施設の被害判定を行った結果を表-2に示す。また、高知港に存在する各施設的位置を図-3に示す。

例えば表-2最上段に着目すると、Aの施設は水門であることを意味し、位置は図-3の通りである。この箇所は最大漂流速度0.5m/s、漂流物として小型船舶・大型船舶の衝突が予想され、木材・コンテナは漂流してこないと考えられる。また、船舶が衝突しても水門は破壊されないこと(OK)を示している。なお、表中のNGの記号は、漂流物が衝突した場合に施設が破壊される可能性のあることを示している。

このように各構造物に全ての漂流物が衝突するわけではない。また、衝突した場合でも漂流速度が小さければ安全は確保されると考えられる。問題はNGが並ぶ構造物であり、漂流物の衝突により損壊に至る可能性が高いと考えられる。

これらの情報を利用して、高知港における津波に対して脆弱な部分を抽出し、事前に防護するためのハード対策等を施すことにより、港湾全体の津波防護効果を効率的に高めることが可能となる。

表-2 各施設の耐力照査結果

	対象施設						
	施設種別	作用流速	判定				
			コンテナ		船舶		木材
		20ft	40ft	小型	大型		
A	水門	0.5 m/s	—	—	OK	OK	—
B	倉庫	1.0 m/s	—	—	OK	OK	—
C	水門	1.0 m/s	—	—	—	—	—
D	倉庫	1.0 m/s	—	—	—	—	—
E	水門	0.5 m/s	—	—	OK	OK	—
F	倉庫	1.0 m/s	—	—	OK	OK	—
G	水門	1.0 m/s	—	—	OK	OK	—
H	倉庫	2.5 m/s	NG	NG	OK	NG	—
I	倉庫	1.5 m/s	—	—	—	—	—
J	水門	0.5 m/s	—	—	—	—	OK
K	倉庫	1.0 m/s	—	—	OK	OK	OK
L	クレーン	3.5 m/s	OK	OK	OK	OK	—
M	倉庫	2.5 m/s	NG	NG	OK	NG	—

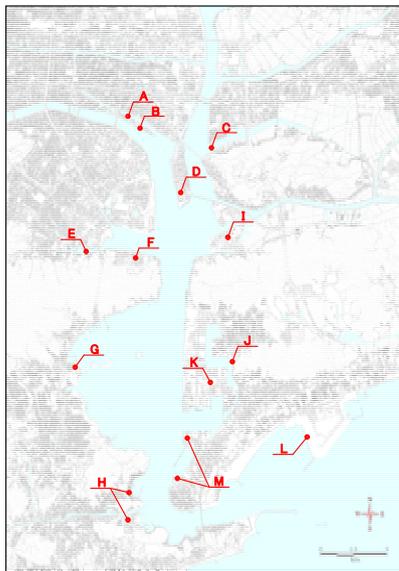


図-3 高知港の荷役施設・倉庫・水門位置 (アルファベットは表-2に対応)

2.4 港湾と背後地域を結ぶアクセス途絶の可能性

高知港の周辺では、高知市の市街地を中心に国道 32 号、国道 33 号、国道 56 号、国道 195 号などが東西方向に走っており、海岸線には県道 14 号(春野赤岡線)がある。

また、海岸線と市街地の南北方向には、県道 34 号(桂浜はりまや線)、県道 35 号(桂浜宝永線)、臨港道路新港 1 号などがあり、これらの道路が高知港と背後地を結ぶアクセス道路として重要な役割を担っている。

図-4 および図-5 は津波シミュレーション結果による浸水域を高知市中心部の主要道路網に示したものである。

陸開開放時では市中心部の幹線道路である国道 32 号まで浸水が生じており、県道 34 号も広範囲に浸水することが分かる。特にこの地域は港湾中心部に当たり、高知港年間貨物量の約 73%を取り扱う地区となっている。一

方、陸開閉鎖時においては国道 32 号が被害から免れることや多くの迂回路が確保されることから、陸開の閉鎖により津波の影響を大きく低減できることが分かる⁵⁾。



図-4 津波により影響のある道路区間 (陸開開放時)



図-5 津波により影響のある道路区間 (陸開閉鎖時)

2.5 アクセス道路の脆弱性評価

ここでは、アクセス道路の津波被害の度合いを示す指標として、被災により交通障害が生じる道路の距離とその区間の走行車両台数の積を用いた。また、脆弱性の指標として、被災した経路を迂回することにより増加する距離×迂回車両台数を試算した⁵⁾。

陸開の開放と閉鎖の場合を比較すると、陸開の閉鎖により「直接的に被害が発生する道路区間延長」は、陸開開放時の約 0.45 倍に減少することとなる(図-6)。高知

港の陸間は、交通量の多い国道32号などを津波の影響から回避することができるため、被害指標 (=影響を受ける車両×走行距離) でみると、陸間閉鎖により津波の影響度は0.28の水準にまで低下する (図-7)。

一方、「経路途絶による迂回距離 (ここでは、津波被害により経路が途絶する道路区間の両端間を当該経路以外の最短経路を利用して移動する距離とした) ×走行台数 =脆弱性指標」とした場合の脆弱性の低減は0.61にとどまっている (図-8)。これは、例えば市街中心部の道路 (例: 国道32号など) は、並行する道路が多数あるため迂回が容易である (脆弱性が低い) が、湾口部の道路 (例: 県道14号など) の場合は長距離の迂回が必要となる (脆弱性が高い) ためと考えられる。この場合、陸間閉鎖により脆弱性の低い道路 (例: 国道32号) は被害が回避されるものの、脆弱性の高い道路 (例: 県道14号など) は被害が避けられないためである。

このように、単純に浸水道路区間延長を算出するだけでは被害の一面しか捉えられない。今回は道路利用率の高低に着目し、脆弱性指標として「経路途絶による迂回距離×走行台数」を用いたが、他に貨物車両で考えた場合、「迂回による増加する距離×輸送貨物量」を指標として脆弱性評価を行うことも可能である。港湾アクセスの実態を考察することによって、現実的な総合的な評価が可能になるものと考えられる。

ただし、道路が浸水した場合の通行可能な限界浸水深の考慮や、今回用いた走行台数の測定値は平常時の一般車両を含めた走行台数であり、港湾発着の物流・人流以外のものも含んでいること、災害時の走行台数の変化を考慮すること等が課題である⁵⁾。

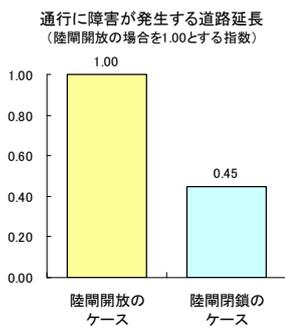


図-6 直接的に被害が発生する道路区間延長比較

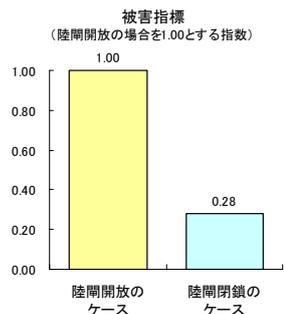


図-7 影響を受ける車両×走行距離比較

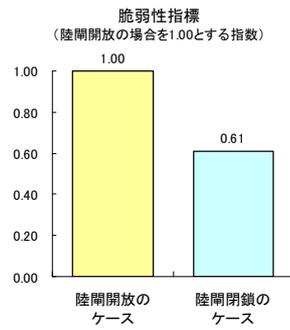


図-8 経路途絶による迂回距離×走行台数比較

3. おわりに

本検討では、港湾における津波被害を把握するために、一例として港湾施設の被災可能性、アクセス手段の途絶可能性の検討を行った。

今後は港湾機能を様々な側面から、より詳細に把握し、津波による被災から復旧に至るまでの被害形態、被害メカニズムを明らかにすることで、津波に対する脆弱性評価手法を用いることにより、効果的な減災対策が可能になるものと考えられる。また、より多くのケーススタディ、過去の被災事例の検証を通じ、脆弱性評価手法を確立することによって、各港湾の重要度に応じた津波防災対策の効率的な検討が可能になるものと考えられる。

参考文献

- 1) 岡本修・小田勝也・熊谷兼太郎; 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, 国土技術政策総合研究所資料, No.306, 2006.
- 2) 熊谷兼太郎・小田勝也; 港湾及び背後地域における津波被害の波及過程に係る検討, 第60回年次学術講演会, 土木学会, 2-177, pp. 353-354, 2005.
- 3) 大下英治・小田勝也; 大規模地震津波対策に関する考察, 沿岸センター論文集, No.5, pp. 13-16, 2005.
- 4) 池野正明・田中寛好; 陸上遡上津波と漂流物の衝突力に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 721-725, 2003.
- 5) 熊谷兼太郎・岡本修・小田勝也; 港湾と背後地域とを結ぶ物流・人流ルートへの津波に対する脆弱性の評価手法, 土木計画学研究・講演集, 土木学会, No.300, 2006