

大規模地震津波対策に関する考察

Damage Classification and Forecasting of Port Structures Caused by Large-scale Earthquakes and Associated Tsunamis

大下英治*・小田勝也**
OSHITA Eiji and ODA Katsuya

* (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

The possibility of realizing large-scale earthquakes along the eastern to western coast of Japan was increased. It is important to make preparations for earthquakes and especially for simultaneous tsunamis. The present paper describes the damage classification of port structures by shaking and tsunamis, and damage forecasting techniques from the existing publications to prepare the concrete countermeasure plans

Key Words : tsunami, earthquake, port structures, damage forecasting

1. はじめに

中央防災会議によると、東海地震については、「いつ発生してもおかしくない」また、東南海・南海地震については「今世紀前半での発生が懸念される」と発表されている。さらに地震調査研究推進本部（地震防災対策特別措置法に基づき文部科学省に設置）の「南海トラフの地震の長期評価について」では、東南海地震は「30年以内50%程度」南海地震は「30年以内40%程度」の確率で発生すると長期評価を発表している。

平成7年の阪神淡路大震災は、死者約6,400名、全壊した建物10万棟を超える戦後最大の被害をもたらした。この地震による被害の総額は、間接・直接被害を合わせておよそ10兆円ともいわれており、経済的な損失はもとより、市民生活や社会全体に大きく影響を及ぼした。

今後発生が予想される東海、東南海、南海地震は、過去の震災を上回る被害が予想されている。中央防災会議の発表によると、被害総額の概算は東海、東南海、南海地震が3連発で起きる最悪の場合53~81兆円となっている。

港湾について、これまでの被害予測手法は、範囲が海岸保全施設の背後、つまり陸側の浸水域に対してであり、海岸保全施設の外側に位置する港湾における埠頭等の港湾施設や港湾活動等について統一的な手法が存在していない。

本調査では、それらの課題を解決する手法を開発するために、現況把握等基礎的な調査を行った。具体的には、港湾施設の被害の類型化を行い、既存の計測手法や被害予測の考え方を論文ベースで収集整理し、今後の研究課題の抽出を行った。

2. 津波被害形態

2.1 資料収集

既存資料の収集により、被害形態の類型化や被害予測手法の開発に向けての課題のとりまとめを行った。対象とする港湾施設は、外郭施設・係留施設、上屋、荷役機械等の公共施設を中心とするが、これ以外に、民有の港湾施設、水門や防潮堤等の防災上重要な海岸保全施設も対象とする。資料収集については、地震・津波被害に関する既往の文献や論文、報告書等の資料、被害事例、最新の研究成果を収集・整理する。

収集方法は、「港湾」「津波」「地震」をキーワードにJOIS(JST Online Information System)や土木学会の論文データベース検索、国会図書館の文献検索、インターネットによる検索などを行った。収集範囲は1990年以降を対象とした。収集資料結果は表-1に示すとおりで合計273文献について整理を行った。

表-1 収集項目別文献数

分類	項目	文献数
A	港湾技研資料	21
B	土木学会論文集	8
C	海岸工学論文集	54
D	土木学会誌	18
E	港湾	20
G	海洋開発論文集	4
H	土木学会年次学術講演会講演概要集	94
I	土木計画学研究・講演集	5
J	海岸	10
K	土と基礎	11
L	津波工学研究報告	7
F	その他の文献	23
	合計	273

2.2 港湾施設の被害

(1) 被害事例

表-2は過去の地震とそれらがもたらした被害例を整理したものである。この表より以下のことがわかる。

①港湾施設の被害は、地震動によるものと津波によるものとに分類できる。

②地震動による港湾施設の被害は、地震規模が小さくても直下型地震では数多く発生している。津波による港湾施設の被害は、地震規模の大きいプレート境界型地震で発生するケースが多い。また、マグニチュードが概ね7.0を超える大地震では、ほとんどの場合、地震動に起因する港湾施設の被害が発生する。

③地震動による港湾施設の被害は、護岸・防波堤・防潮堤・クレーンに数多く見られ、特に岸壁の被害が多い。

④津波による港湾施設の被害は、船舶や木材、養殖いかだ等の漂流によるものが多いが、津波の波力や流れにより護岸や防波堤が損傷した事例も見られる。

表-2 地震・津波による港湾施設の被害例

地震名	発生日	規模	港湾施設の被害	
			地震動	津波
安政東海地震	1854.12.23	M 8.4		
安政南海地震	1854.12.24	M 8.4		船舶が河川橋梁を破壊
濃尾地震	1891.10.28	M 8.0		
明治三陸地震	1896.06.15	M 8.5		
関東大地震	1923.09.01	M 7.9		
北丹後地震	1927.03.07	M 7.3		
昭和三陸地震	1933.03.03	M 8.1	堤防の決壊	
福島県東方沖地震	1938.11.05	M 7.5		
鳥取地震	1943.09.10	M 7.2		
東南海地震	1944.12.07	M 7.9		
三河地震	1945.01.13	M 6.8		
南海地震	1946.12.21	M 8.0		
福井地震	1948.06.28	M 7.1		
1952年十勝沖地震	1952.03.04	M 8.2		流氷が家屋を破壊
チリ地震	1960.05.23	M 8.5		
新潟地震	1964.06.16	M 7.5		
1968年十勝沖地震	1968.05.16	M 7.9		
宮城県沖地震	1978.06.12	M 7.4	岸壁・防潮堤	
浦賀沖地震	1982.03.21	M 7.1	岸壁・防波堤	
日本海中部地震	1983.05.26	M 7.7	岸壁・護岸・防波堤・コンテナクレーン	消波工の散乱・木材の流出・漁船の転覆・揚陸
千葉県東方沖地震	1987.12.17	M 6.7		
釧路沖地震	1993.01.15	M 7.8	岸壁・荷役施設	
北海道南西沖地震	1993.07.12	M 7.8	岸壁・護岸・防波堤	岸壁・護岸・防波堤
北海道東方沖地震	1994.10.04	M 8.1	岸壁・護岸	養殖いかだ
三陸はるか沖地震	1994.12.28	M 7.5	岸壁・護岸	
兵庫県南部地震	1995.01.17	M 7.2	岸壁・防波堤・コンテナクレーンなど	
イリアンジャヤ地震	1996.10.10	M 8.1		係留船舶の流出・転覆、養殖施設の被害、係留ロープの切断、波除堤基部の洗掘

(2) 港湾施設の被害メカニズム

表-3は、地震による被害の内容および、それらがどういったアプローチで研究されているかを整理したものである。この表より以下のことがわかる。

①港湾施設に関する被害メカニズムに関する調査・研究項目は、津波被害、地震・液状化被害、浸水・漂流・衝突被害に分類することができる。

②津波被害のメカニズムに関しては、解析的なアプローチによる、津波挙動特性の解明及びシミュレーション手法の確立を目指したものが多く、また、設計に供するための津波外力の設定についての研究も多い。

③地震・液状化被害のメカニズムに関しては、岸壁・護岸を対象とした解析的アプローチによる研究が多い。

④浸水・漂流・衝突被害のメカニズムに関しては、流木・流氷、船舶を対象とした研究がある。

表-3 津波による港湾施設の被害メカニズム

被害メカニズムに関する調査・研究項目		調査・研究のアプローチ手法(編数)		
		実験	解析	実態調査
津波被害	津波挙動特性(海側)	2	5	1
	津波挙動特性(陸側)	4	9	5
	津波シミュレーション手法	1	7	-
	津波挙動観測	-	1	-
	津波外力による施設被害	-	2	2
	津波外力の設定	2	3	1
	ハード対策	2	1	1
	ソフト対策	-	4	4
地震・液状化被害	岸壁・護岸の被害メカニズム	2	13	4
	防波堤の被害メカニズム	-	1	-
	クレーンの被害メカニズム	1	-	-
	耐震設計法	-	1	1
浸水・漂流・衝突被害	流木	2	1	-
	流氷	2	-	-
	船舶・浮体構造物	-	2	-

(3) 津波被害の体系的整理

図-1は津波によるインパクトフローを表したものである。第一次分類として津波による被害を受ける地域・地区別に防護ラインの内側・外側に分類した。第二次分類として各施設・活動ごとに整理した。さらに、おのおの詳細な項目に分類整理した。

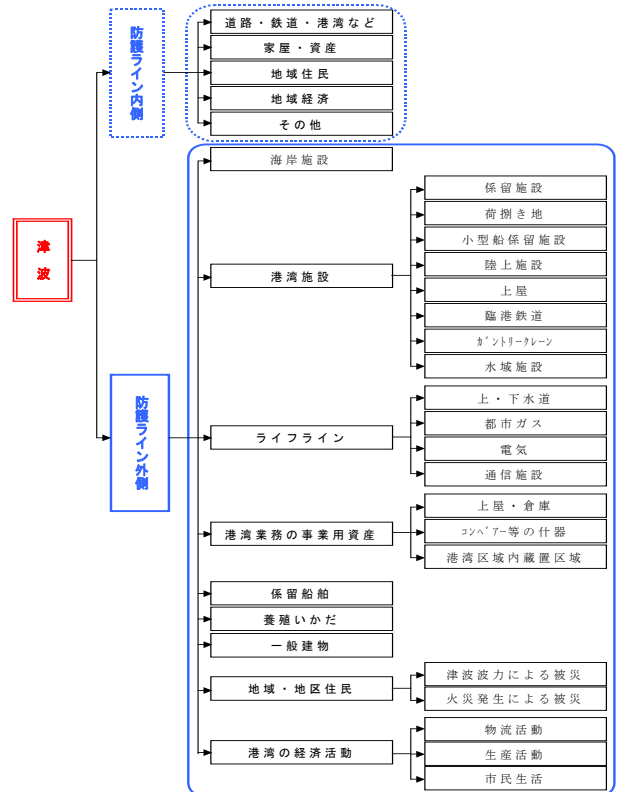


図-1 津波により被害を受ける施設

3 被害予測手法の検討

3.1 被害予測手法の検討

既存資料の収集解析結果に基づき、外郭・係留施設、防護ラインの外側に立地する施設と蔵置貨物を検討対象として、地震・津波に対する既存の被害予測手法を整理するとともに、既存手法の課題を抽出した。既存手法については「海岸事業の費用対効果分析マニュアル」（運輸省港湾局 平成10年6月）、「港湾投資の評価に関するガイドライン1999」（編集：港湾投資の社会経済効果に関する調査委員会 発行：財）港湾空間高度化環境研究センター 平成11年4月）を参照した。これらによると、各施設や蔵置貨物等の原単位と浸水深より、被害額を算出することができる。防護ライン外側の港湾埠頭用地等における被害額予測項目は、概ね表-4に示すとおりである。

表-4 被害額予測項目

被害予測項目	
人的被害	
港湾施設	施設機能障害
	土砂、ゴミ流出
	時間損失
海岸施設	施設機能障害
	防災機能障害
蔵置貨物	流出貨物回収
	商品損失
上屋、倉庫	時間損失
	資産の被害
	商品損失
インフラ	時間損失
	交通インフラ機能障害
資産、間接被害	ライフライン機能障害
	インフラ資産被害
資産、間接被害	家屋・事業所資産の被害
	間接被害
資産、間接被害	地下空間被害

3.2 被害予測手法の研究・開発状況

表-5は港湾施設の要因別被害形態と被害事例である。被害を及ぼす要因を大きく地震と津波に分類し、さらにおのおのを地震動や、波力等に再分類したものである。この表より以下のことがわかる。

①港湾施設の被害は、地震(地震動、液状化)と津波(波力、浸水、漂流・衝突)を要因として発生する。また、各要因により被害の形態は異なる。

②津波による被害形態としては、船舶や漂流物の被害の事例が多い。

③また、波力により構造物が活動・転倒した例も多く見られる。

④航路や蔵置貨物の被害事例を記載した既存文献は少ない。

表-5 港湾施設の要因別被害形態

施設	要因別被害形態				
	地震		津波		
	地震動	液状化	波力	浸水	漂流・衝突
護岸・岸壁	滑動・転倒	滑動・転倒・沈下	転倒・損壊	-	損壊
防波堤	滑動・転倒	滑動・転倒・沈下	滑動・転倒・損壊・洗掘	-	損壊
防潮堤・水門	滑動・転倒	滑動・転倒・沈下	転倒・損壊	内水排除不能	損壊
荷役施設	転倒	転倒・沈下	転倒・損壊	荷役不能	転倒・損壊
立地施設(倉庫、工場、家屋等)	損壊	損壊	損壊・流出	稼働不能	損壊
養殖場	-	-	-	-	損壊
航路	埋没	埋没	-	-	-
蔵置貨物	荷崩	荷崩	荷崩	漂流	損壊
船舶・漂流物	-	-	転覆・損壊	漂流・流出	損壊

表-6は既往の地震津波による被害予測の研究内容を整理したものである。この表より以下のことがわかる。

①施設別に見た場合、研究・開発の数多く進められている施設は護岸、岸壁である。また、陸域の浸水に対する研究も数多く実施されている。

②漂流物、蔵置貨物を対象とした研究は少ない。

③防災対策に関しては、護岸・岸壁・防波堤に対するハード的な対策についての研究・開発と浸水に対するソフト的な研究・開発が多い。

④被害予測手法に関しては、護岸・岸壁を対象とした研究・開発が多い。

⑤構造物の被害規模予測としては、岸壁の被災変形量の予測手法が提案されている。また、人的被害や家屋被害の予測手法も提案されている。

表-6 地震・津波による港湾施設被害予測の研究内容

施設	形態	防災対策		被害予測手法・投資効果	文献数
		ハード(ソフト)	マイクロ(マクロ)		
護岸・岸壁	活動等	・現行設計法の検討	・耐震性能照査型設計	・重力式岸壁変形量予測	12
		・被災構造物の残存耐力	・被災変形量と被害額の関係	・津波防波堤の整備効果	
		・耐震安定性検討	・液状化対応力解析	・(維持補修モデル)	
防波堤	損壊等	・越波	・津波力実験・シミュレーション	・(死亡者数許容リスク)	4
		・越流・氾濫シミュレーション	・洗掘	・湾口防波堤の効果	5
立地施設(倉庫、家屋等)	浸水等	・地下空間	・(ハザードマップ)	・流速による家屋被害	18
		・(浸水シミュレーション・簡易推定)	・(防災意識・避難行動)	・(人的被害予測)	
		・(情報伝達システム)	・(ナウフラス)	・(港湾貨物の保険)	
船舶・漂流物	流出等	・船舶の転覆	・浮体式構造物	・流木の衝撃力	3
		・津波力実験・シミュレーション	・津波力実験・シミュレーション	・流水の衝撃力	5
その他	・(港湾施設の混乱)	-	-	-	2

この列()内はソフト対策 この列()内はマクロ効果

3.3 港湾に立地する施設や貨物の被害予測手法

防護ラインの外に立地する施設や港湾に蔵置された貨物の津波による既往の被害予測手法について整理した。検討対象範囲としては図-2に示すとおり、国土保全上の

防護ラインの外側に立地する倉庫・上屋や臨海工場等に加えて、防護ライン外側に蔵置された貨物や荷役設備（クレーン等）とした。なお、貨物については、コンテナ貨物を主とした。

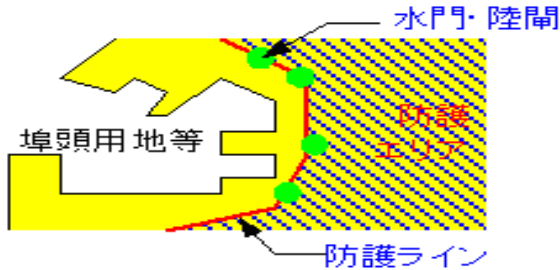


図-2 防護ラインモデル図

港湾に立地する施設の被害形態について表-7に示す。被害要因は地震(地震動、液状化)によるものと津波(波力、漂流・衝突)によるものとに分類でき、被害形態は被害要因と密接に関連している。

表-7 港湾に立地する施設の被害形態と被害項目

被害要因		被害形態		被害内容	
地震動・液状化	施設の倒壊	人的被害	避難必要	人的被害	
		資産被害	復旧による費用発生 営業停止、荷役停止	経済損失 "	
津波	浸水	人的被害	避難必要	人的被害	
		資産被害	復旧による費用発生 営業停止、荷役停止	経済損失 "	
	船舶・漂流物・衝突	施設の倒壊	人的被害	避難必要	人的被害
		資産被害	復旧による費用発生 営業停止、荷役停止	経済損失 "	
荷役設備の倒壊	資産被害	復旧による費用発生	"		
		荷役停止	物流遅延(時間損失)	"	

3.4 津波浸水による船舶・貨物流出の被害形態

図-3に津波に起因する船舶・貨物の被害形態を整理した。この図より以下のことがわかる。

- ①船舶・貨物等が津波の流速により衝突して、施設が破壊・倒壊する。
- ②航路や泊地などの水域に沈没物や浮遊物があると、衝突の危険が生ずる。
- ③流出物・沈没物・浮遊物には回収コストが発生する。
- ④養殖いかだ等の水産施設が津波波力や漂流物・沈没物により被害を受ける。

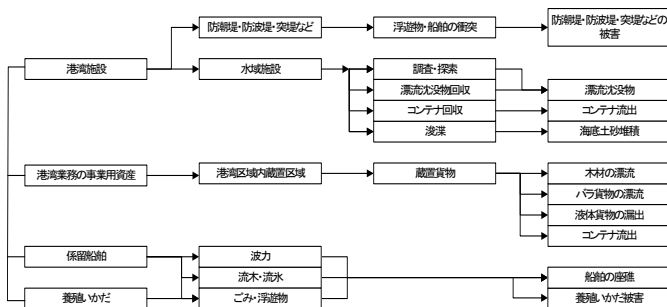


図-3 漂流・衝突に関する被害形態

4 まとめ

4.1 港湾施設の被害形態

①港湾施設の主として津波被害項目について各施設ごとに類型化することができた。これらの被害項目には、複雑な相関関係があり、その素因や誘因も密接に関連している。今後さらに被害項目の相関関係を体系化する必要がある。この体系化により、どの素因や誘因を解決すれば被害規模や被害額が小さくできるかを検討することが可能となり、効果的な防災対策を計画しやすくなる。

②津波による被害項目、被害形態、被害メカニズムが把握できれば、被害の地域的な特性も考察できる。どの地域のどの港湾が津波に弱いのか、その時、何に対して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解析手法の開発が必要である。

③既設構造物の有効活用と耐震化に関する新技術の開発が望まれている。東海地震、東南海地震、南海地震等への対応を迫られる太平洋側には、数多くの港湾施設・海岸保全施設の既存ストックや沿岸域への多様な機能集積がある。地震・津波による被害形態、地域の社会経済に対する影響から見た計画論、計画手法の確立、技術開発の方向性について模索する段階にある。

4.2 港湾施設や蔵置貨物の被害予測手法

①現状において確立された港湾施設や蔵置貨物の被害予測手法はない。被害の伝搬過程を考慮して予測すべき項目の優先順位を明らかにし、港湾施設、蔵置貨物等の被害予測手法を確立する必要がある。

②蔵置貨物、小型船等の漂流、流出予測手法や漂流物の衝突による被害予測手法に関する体系的な調査研究はほとんど行われていないのが現状であることから、今後これらの手法を確立する必要がある。

③港湾施設や海岸保全施設の耐震性は、津波来襲時の沿岸地域の浸水被害規模に影響を及ぼす。地震動については、東海地震・東南海地震等のシナリオ地震による地震動を含め精度の高い予測が可能になりつつある。また、港湾施設や海岸保全施設の被害予測を行う必要がある。

④津波ハザードマップや情報伝達体制の整備等ソフト対策が進められている。これは、海岸保全施設により防御されている地域が中心である。海岸保全区域の外側である港湾においてもソフト対策とハード対策の複合的な対策計画を立案する手法について検討する必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：平成15年度 大規模地震津波対策検討調査(報告書)，総92P，2004.3.