

東北地方太平洋沖地震に伴う津波による港湾構造物の被災に関する検討

○中央大学 学生員 阿久津 絢子
中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分 18 秒、宮城県牡鹿半島の東南東沖 130km の海底を震源とする東北地方太平洋沖地震が発生した。この地震は、太平洋プレートと北アメリカプレートの境界域における海溝型地震で震源域は、岩手県沖から茨城県沖と広範囲に亘り、マグニチュード 9.0、最大震度は宮城県北部で震度 7 と日本における観測史上最大規模の地震となった。この地震により、最大で海岸から 6km 内陸まで浸水し、波高 10m 以上、最大遡上高 40.1m に上る大津波が発生し、震源域に近い東北地方の太平洋岸では、津波により壊滅的な被害を受けた。

今回の津波による防波堤を始めとする港湾構造物の破壊メカニズムには、大きく分けて津波波力型・越流洗掘型・堤頭部洗掘型・引波水位差型の 4 つがあったと報告されている。しかし、その発生条件等はまだ解明されていないのが現状である。そこで本研究では、4 つの破壊メカニズムを検討し、津波による港湾構造物の破壊条件を整理していくことを目的とする。また、メカニズムだけでなく実際の津波による港湾構造物の被災の状況や被災の程度、津波高や越流水深などの外力のデータを用いて、港湾構造物の破壊条件について確率論的な見方から検討していくことも併せて目的とする。

2. 対象港湾・港湾構造物について

本研究では、東北地方太平洋沖地震において津波による被害の大きかった太平洋側の青森県・岩手県・宮城県・福島県の 4 県の特定重要港湾・重要港湾である八戸港・釜石港・宮古港・久慈港・大船渡港・石巻港・仙台塩釜港・相馬港・小名浜港の 9 港を対象港湾とする。

また、港湾構造物として、防波堤・防潮堤・胸壁・波除堤・導流堤・離岸堤・突堤・潜堤の全 68 基を対象港湾構造物とする。

3. 被災の程度と各パラメータについて

3.1 被災の程度

表-1 に一例として、宮古港の港湾構造物の被災状況をまとめたものを示す。表-1 のように、各湾の港湾構造物、その被災の有無・被災状況等を調べ、以下に示す 4 段階の被災度を設定し、各被災状況から考察し、分類した。

- (1)被災度 0：無被害(特に目立った異常が報告されていない)
- (2)被災度 1：被害はあるが、港湾構造物としての機能はほとんど失われていない
- (3)被災度 2：被害はあるが、港湾構造物としての機能を半分程度維持している

表-1 宮古港の港湾構造物の被災状況

地区	構造物名	被災状況	全長	被災度	被災形態
鉾ヶ崎	防潮堤	ケーソンヤード背後洗掘	100	1	越流洗掘
高浜	防潮堤	目立った損傷なし・陸欄(1基損傷)	368	0	-
出崎	出崎防波堤	220m流出水没	378	3	津波波力
藤原・神林	磯鶏防波堤	防波堤水没	262	1	津波波力
藤原・神林	藤原防波堤	先端部洗掘・20mケーソン水没	282	1	堤頭部洗掘
藤原・神林	神林北防波堤	300m崩壊・水没	418	3	津波波力
藤原・神林	防潮堤	50m転倒・陸欄(1基損傷)	1190	1	越流洗掘
竜神崎	竜神崎防波堤	西側・東側2箇水没・洗掘	400	1	堤頭部洗掘

表-2 被災有り(被災度 0～3)の港湾構造物と各被災度に属する港湾構造物の割合

	総数	被災有り	%	0	%	1	%	2	%	3	%
岩手県	34	21	61.8	13	38.2	12	35.3	1	2.9	8	23.5
青森県	6	5	83.3	1	16.7	4	66.7	0	0.0	1	16.7
宮城県	18	16	88.9	2	11.1	11	61.1	3	16.7	2	11.1
福島県	10	5	50.0	5	50.0	2	20.0	3	30.0	0	0.0
合計	68	47	69.1	21	30.9	29	42.6	7	10.3	11	16.2

越流水深ヒストグラム(全体)

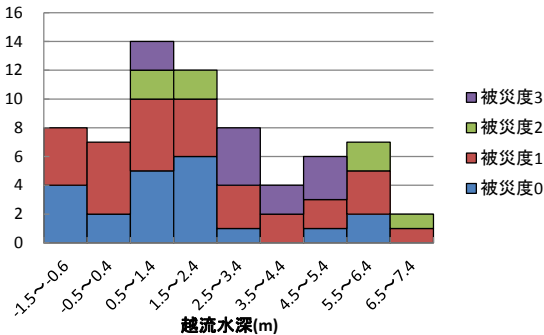


図-1 越流水深のヒストグラム

(4)被災度 3：被害があり、港湾構造物としての機能を失っている

このように分類することで、被災の割合を算出した。表-2 に被災有り(被災度 0～3)の港湾構造物と各被災度に属する港湾構造物の割合を示す。表-2 より 4 県全体の被災有りの構造物の割合は約 70%であり、かなり多くの港湾構造物が何らかの被害を受けたことがわかる。しかし、各被災度に着目してその割合を見ると、被災度 0 と 1 の割合が大きく、港湾構造物としての機能を失うほどの被害は全体の 30%程度に留まり、多くは発生していないことも同時にわかる。

3.2 各パラメータと被災度の関係

本研究では、特に被災度との関係が強くみられた越流水深、津波高、津波波力に着目した。図-1 に横軸に越流水深をとった被災度別のヒストグラムを示す。図-1 より、全体のヒストグラムの形と被災度 0、被災度 1 のヒストグラムの形には大きな変化はないように思われる。また、被災度 2、被災度 3 に関しては、どちらも分離して分布しているが、越流水深の高い所に多く分布する傾向が見られた。

津波の越流に伴う最大洗掘深に関して、越流水深が大きいほど洗掘深も大きくなるが、天端高が高いほど、裏法面の勾配が緩やかなほど洗掘深は小さくなることから実験によりわかっている。被災度2で越流水深が高い所に分布しているのは、これらのような要因が関わっているのではないかと考えられる。

津波高、津波波力に対しても同様の分析を行ったが、越流水深とほぼ同様の傾向が見られた。これらのことから、被災度0、1と被災度2、3の間には明確な差があるが、それぞれの間には大きな差はないのではないかと考えられる。そして、港湾構造物の被害に一つの説明変数のみで議論するのは厳しいと考えられる。

4 フラジリティ関数(被害関数)

津波による家屋被害や人的被害の程度を被害率として確率的に表現し、津波浸水深、波力などの津波の流体力学的諸量の関数で、フラジリティ曲線の形で表されている津波被害関数が構築されている。本研究では、その考え方を港湾構造物の破壊条件を確率論的な視点から検討するために応用することを考えた。

そこで、横軸に越流水深、津波高、津波波力を取り、縦軸にそれらの増加に伴う被害発生率の増加を示したフラジリティ曲線を再現することとした。フラジリティ曲線の再現には、フラジリティ曲線の特徴と似た曲線を描く、ロジスティック関数(式-1)を用いた。

$$N(X) = \frac{a}{1+b \cdot e^{-cX}} \quad (1)$$

図-2に横軸に津波高、縦軸に被害発生率をとったフラジリティ曲線を示す。本研究でのプロット点の回帰は、1本の曲線では難しく、誤差も大きくなってしまいうことから、2本の曲線による回帰が妥当であると考え、図-2のように、ある値で2つの関数に分けることで、フラジリティ曲線を再現した。このグラフは、緑色の曲線がフラジリティ曲線の上限、赤色の曲線が下限であると見ることができ、上限では津波高5m、下限では8mを超えると、被害発生率が80%を超え多くの港湾構造物が被害を受けていることが分かる。そして、この2本の曲線の間に実際の被害を表す曲線があると考えられる。しかし、ある値で2つに分けるという方法を用いているこの議論は、次で示す被災度推定の手法の方が良いと考えられる。

越流水深、津波波力でも同様のグラフを作成したが、ここでは津波高のみを示す。

5 被災度推定

図-3に被災度推定フロー図を示す。本研究で集めたすべてのデータを基に、データマイニングなどで文字列型の属性を扱うBONSAIの考え方をを用いて図-3のようなフロー図を作成した。条件の内容や順番を色々と変えて、分析を行い、該当率が一番高いものを選択した。図-3は約80%の該当率である。

被災度0と被災度1の間には、明確な差がなく、条件を細かくしても分けることは難しい。被災度1は、被害はあるが構造物の機能は失われていないもので、

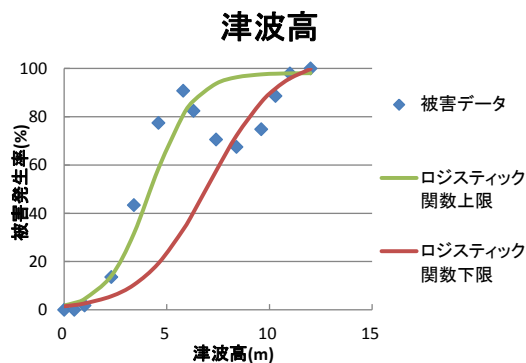


図-2 津波高のフラジリティ曲線

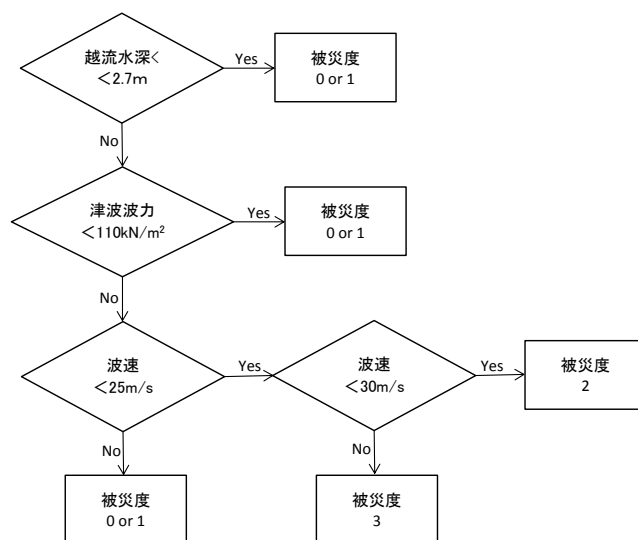


図-3 被災度推定フロー図

被災度0との差は大きくはないので、本研究では、被災度0と被災度1は同様の扱いとした。

6 おわりに

本研究では、対象港湾の港湾構造物を、4段階の被災度を設定し、各被災状況から分類することが出来た。また、各パラメータと被災度の関係に着目し、その関係を考察することから、フラジリティ曲線を再現することが出来た。更に、データマイニングの考え方を利用して、被災度推定フロー図を作成することが出来た。

今後は、2本のフラジリティ曲線の関係性を明確にし、より深く考察していく必要があると考えられる。また、被災度推定フローで、今回分けることの出来なかった被災度0と被災度1を分ける方法の検討が必要であると考えられる。

<参考文献>

- 1) 港湾空港技術研究所：釜石湾口防波堤の津波による被災メカニズムの検討 No.1251
- 2) 国土交通省港湾局：防波堤の対津波設計ガイドライン
- 3) 越村俊一：津波被害関数の構築 土木学会論文誌 B Vol.65 No.4,320-331,2009
- 4) 須山友太郎：雨発生時の列車運転規制決定方法の一考察 土木学会第38回関東技術研究発表会
- 5) 鳩貝聡：津波の越流による海岸堤防の裏法面の洗掘に関する推理模型実験 土木学会論文誌 B2 Vol.68, No.2, 891-895 2012
- 6) 港湾技術研究所：2011年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報 No.1231