

Disaster prediction for upright seawall using characteristics of wave history

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/46787

波浪の履歴特性を取り入れた直立護岸の被災発生予測に関する研究

斎藤 武久¹・松原 卓也²

¹正会員 金沢大学教授 環境デザイン学系 (〒920-1192 金沢市角間町)

E-mail:saitoh@se.kanazawa-u.ac.jp

²前田建設工業株式会社 (〒102-8151 東京都千代田区富士見二丁目10-2)

本研究では、繰り返しの暴浪の来襲で海岸構造物が経年的に設計強度を失う可能性に着目し、来襲波浪の履歴を考慮して海岸構造物の被災発生予測を試みた著者らの前報に続き、波浪履歴を考慮する期間をさらに長期間とした場合の被災発生指標の導出を試みた。この際、前報では考慮していなかった潮位変動データを取り込み、NOWPHASの波浪データから暴浪をモデル化した場合、さらに、2時間毎の波浪データを直接用いた場合を対象に被災発生指標の推定を試みている。

解析の結果、波浪データとして2時間毎のNOWPHASの波浪データを直接使用し、潮位変動を考慮した越波流量を用いた場合、3年間の波浪履歴を考慮することで直立堤の被災発生指標を推定できる事が明らかになった。

Key Words : wave history, upright seawall, disaster prediction

1. 結論

直立堤や緩傾斜護岸にみられる海岸護岸の被災は高波浪来襲時に発生するとの見方が一般的で、海岸構造部の被災は被災時の海象条件から分析される。しかしながら、現象は砂や砂利さらにコンクリートからなる複合構造と波浪との相互干渉問題となるためそのメカニズムを施設構造の詳細と結びつけて解釈することは必ずしも容易ではない。

一方、図-1に示す石川海岸小松・片山津工区では、1980年から2007年までの間に被災発生が報告されている43件の被災事例に対して、多くの場合当該直轄海岸での海岸堤防および護岸への既往最大波高および計画沖波波高に満たない波浪の来襲で被災が発生していることが報告されている¹⁾²⁾。

これに関して、著者ら³⁾は暴浪の繰り返しの来襲で海岸構造物が経年的に設計強度を失う可能性に着目した場合、来襲波浪の履歴特性を考慮することで被災の発生予測を議論できる可能性に言及し、従来の設計波⁴⁾を用いた構造安定解析に基づく被災発生判断とは別に、来襲波浪の履歴特性を組み入れて被災発生指標を導出する新たな被災発生予測手法を提案している。この際、波浪データはNOWPHASの波浪データを間瀬ら⁵⁾に倣って暴浪のモデル化を行い、潮位にはその変動を考慮することなく一様にHWLを用いていた。また、波浪履歴としては



図-1 石川海岸小松・片山津工区の概要¹⁾

被災時点から直近の冬期暴浪を遡るに留まっていた。この場合、被災指標値を推定することは可能となるもの考慮する履歴期間が極めて短く経年的な構造物周辺の変化を捉えているとは言い難い。さらに、将来的な被災をこの指標値を用いて予測する場合、予測する暴浪期間の最大波高を捕えなければならず常に予測される時期への誤差が広がり危険側の予測になる可能性がある。

以上の経緯を踏まえて、本研究では潮位変動を考慮して、NOWPHASの2時間毎の波浪データから暴浪をモ

表-1 最近の石川海岸小松・片山津工区における海岸保全施設の被災発生箇所、発生日および被災形態³⁾

No	発生年月日	発生場所(小松市)	構造形態	被災	被災形態
<1>	2004 8/19	安宅新町地先(A区間)	緩傾斜護岸	56.4	被覆ブロックの散乱・(破壊) 後背砂の流出
		安宅新町地先(B区間)	緩傾斜護岸	40.5	被覆ブロックの散乱・(破壊) 後背砂の流出
<2>	2005 2/21	日末地先 安宅新地先	直立護岸 消波工	125	護岸本体の倒壊(破壊)・天端陥没 後背砂の流出・消波ブロックの散乱
		浜佐美地先	直立護岸 消波工	20	天端陥没・後背砂の流出 消波ブロックの散乱
<3>	2005 11/30	安宅新地先	直立護岸 消波工	200	護岸本体の倒壊(破壊)・天端陥没 後背砂の流出・消波ブロックの散乱
<4>	2006 1/23 3/31	浜佐美地先 同地点増破	直立護岸	120	護岸本体の倒壊(破壊)・天端陥没 後背砂の流出・消波ブロックの散乱
		1/7 2/15			
<5>	2007 2/15	同地点増破	直立護岸	228	護岸本体の倒壊(破壊)・天端陥没 消波工の沈下・後背砂の流出
<6>	2007 10/20	安宅新地先	緩傾斜護岸	36.4	左:護岸前面の洗掘・被覆ブロックの沈下(中・下部被災) 右:空洞発生・フン電との間に空洞
<7>	2007 11/12	加賀市篠原地先	緩傾斜護岸	143	天端陥没・空洞発生・被覆ブロックの沈下(上部被災) 2か所・基礎の沈下
<8>	2010 1/4	安宅新地先	直立護岸 消波工	64	天端陥没・後背砂の流出・消波工の沈下 直立堤底版下の土砂の吸出し

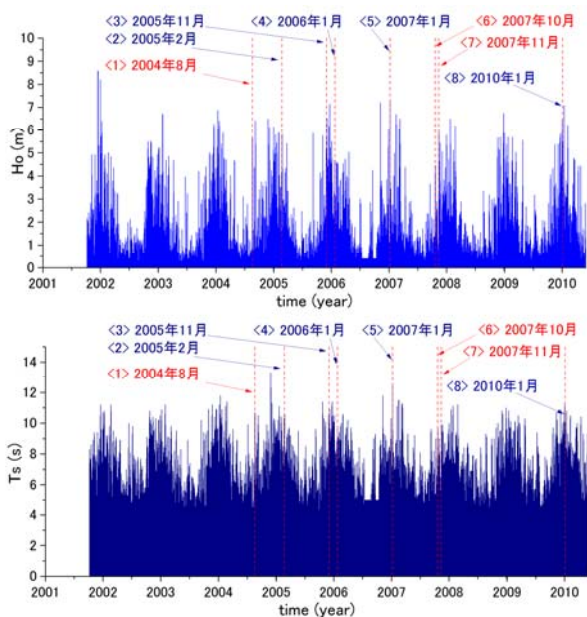
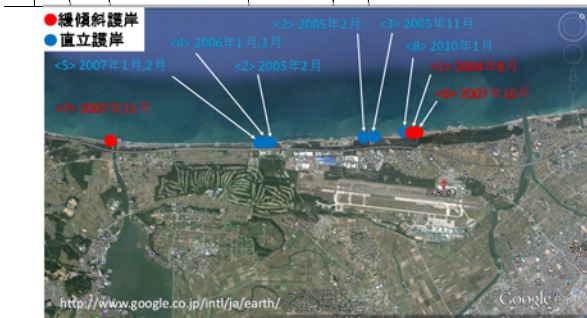


図-2 NOWPHAS金沢港観測地点で観測された有義波高(上段)と有義周期(下段)および2004年から2010年までの石川海岸小松・片山津工区での被災発生状況³⁾

デル化した場合、さらに2時間毎の波浪データを直接用いた場合の越波流量を用い、さらに履歴参照期間を複数年として被災発生指標の推定を試みる。なお、対象海岸の概要を図-1に示し、海岸保全施設の被災特性を表-1に示す。また、図-2に2004年から2010年までに観測された有義波高および有義周期の時系列、さらに図-3に間瀬⁹⁾の方法で暴浪をモデル化(図-4参照)した場合の波高、

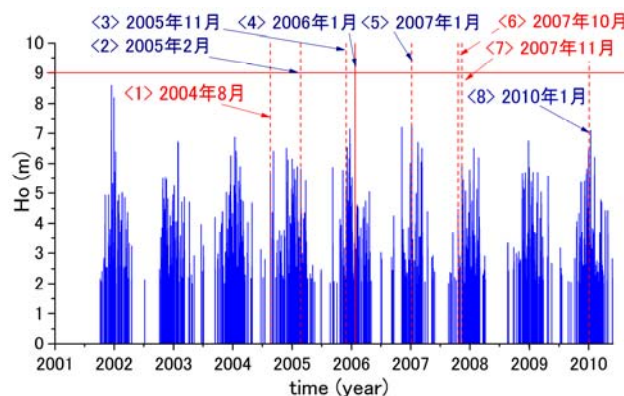


図-3 NOWPHAS金沢港観測地点での波浪データに対する暴浪のモデル化³⁾

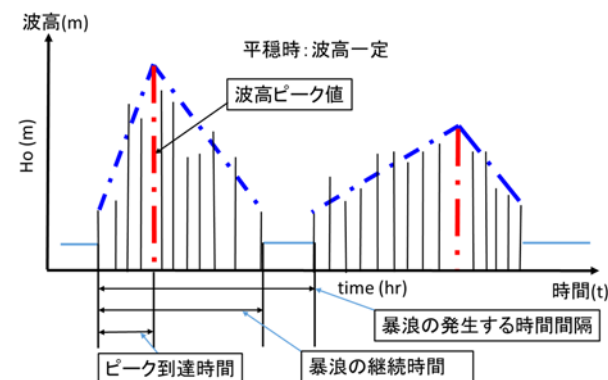


図-4 間瀬らによる暴浪のモデル化⁹⁾

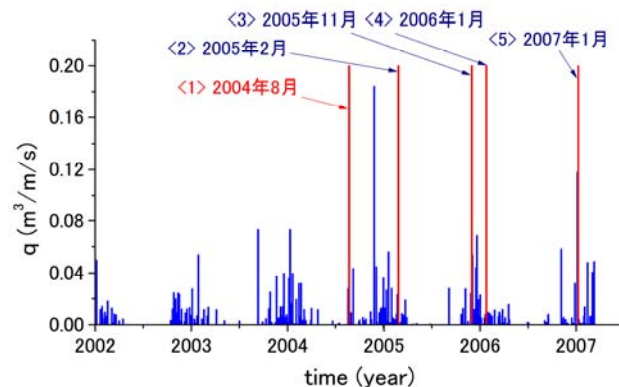


図-5 暴浪時最大波高に基づいた越波流量 q (合田の越波流量図⁹⁾より)と2004年から2007年までの石川海岸小松・片山津工区での被災発生状況

図-5に暴浪時ピーク波高から対象構造物への越波流量 q を朔望満潮位を用いて合田ら⁹⁾の越波流量算定図より求めた結果を示す。図中の点線は表-1に対応した被災発生年月日を示している。図より、直立堤の被災が例えば設計波高を上回るような大きな波高の来襲直後には発生していない。また、越波による被災指標としては合田ら⁹⁾による $q=0.2\text{m}^3/\text{s}$ が知られているが、対象期間においては越波流量の値がこの指標値を下回っている状況で被災が発生していることが分かる。なお、海象特性および構造物の被災特性の詳細は前報³⁾を参照されたい。

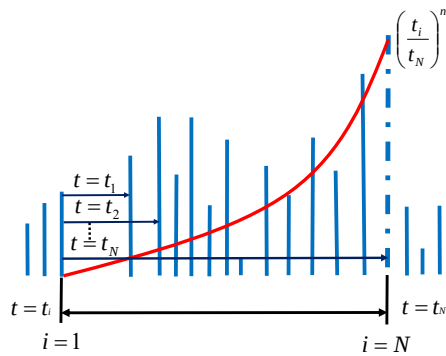


図-6 連続的な暴浪の発生から当該の対象時間の経過に対応して減少する影響関数

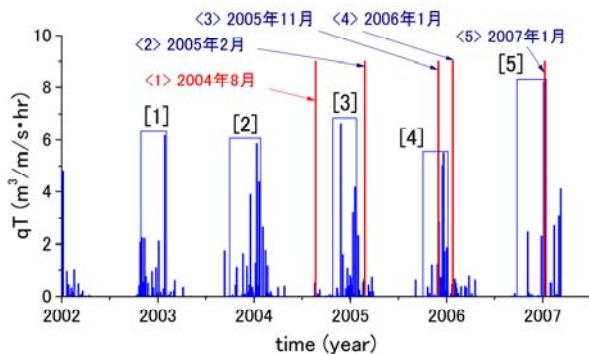


図-7 各暴浪期間の越波量 q_T (合田の越波流量図⁹⁾と2004年から2007年までの石川海岸小松・片山津工区での被災発生状況³⁾

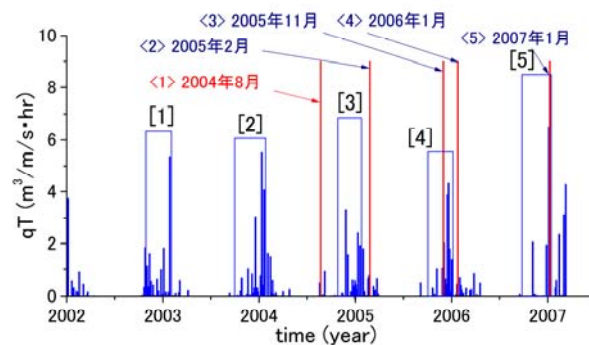


図-8 各暴浪期間の越波量 q_T (高山ら¹⁰⁾の算定法より)と2004年から2007年までの石川海岸小松・片山津工区での被災発生状況

2. 解析方法

上述のように堤体の被災は設計波高を下回る場合や被災指標となる特定の越波流量を超えない場合にも発生している。特定の海象条件と堤体の被災が一对一の対応関係となる場合は、設計波高等をベースとした堤体の設計方法⁹⁾が有効となる。しかしながら、一对一の関係とは言い難い。この理由の一つとして、砂や砂利、さらにコンクリートの複合構造となる堤体と来襲する波浪との相互干渉により、前浜の変形、さらに堤体の材料境界が有する脆弱性などに起因した構造断面の変化など施工当初からの経年変化が考えられる。これに対して、堤体周辺

地盤の特性および来襲波浪の特性を時々刻々とモニタリングし、例えば破堤限界値⁹⁾に至る状況を被災特性に応じて予測⁹⁾することも被災発生予測として有効と考えられるが、堤体の規模およびその延伸距離を考えた場合には現実的とは言い難い。以上を踏まえて、本研究では、来襲波による経年的な施設への影響を波浪の履歴特性から考慮して今後の被災の発生予測を実現しようとするものである。確かに、上述のように海岸護岸などの施設の被災は来襲波浪の護岸への直接的な作用や護岸からの越波に加えて、護岸前面における前浜の動態が要因となる。このため、護岸前面の前浜の動態に関しても短期的および長期的な侵食傾向を考慮することは重要となるが、本研究では、波浪の履歴特性から海岸構造物の被災予測をおこなう第一段階として波浪のみに着目する。このことは、被災形態とその被災の主要因に関わらず被災を後述する越波の履歴特性に置き換えることを意味している。来襲波浪に対応した前浜の侵食特性を解析に組み込むことは今後の課題としたい。

解析の方針は前報³⁾と同様で、来襲波による越波流量が被災時までどの程度累積されていたかを計算し、被災発生目安となる累積指標値の推定を試みる。その際に、NOWPHASによって取得された有義波高データを1) 間瀬ら⁹⁾の暴浪のモデルに倣って整理し、暴浪時のピーク波高に対応した潮位データを用いて高山ら¹⁰⁾の算定法で越波流量を求める場合、2) 暴浪のモデル化を行うことなく2時間毎の波高および潮位データを用いて高山ら¹⁰⁾の算定法で越波流量を求める場合の2つの方法で検討を行う。1)の場合、暴浪時ピーク波高 H に応じた越波流量 q と暴浪継続時間 T との積から暴浪期間の総越波流量 q_T を算定する。一方、2)の場合は2時間毎の越波流量を累積することになる。ただし、このような単純な越波流量の重ね合わせだけでは被災発生指標を見出すことができないことから図-6に示すような履歴の影響が過去に遡って減衰する特性を導入する³⁾。具体的には過去のある時点 t_{i0} から被災発生直後までの時間 t_{iN} ($i=0,1,\dots,N$; i はモデル化された各暴浪の発生順、あるいは2時間毎のデータ順を表す) に過去から遡って蓄積される各暴浪期間中の総越波流量 Q_T は、 t_0 からの時間の経過 t の増加に伴って蓄積量の要素としての影響が減衰するものとして、時間影響関数 (t/t_N) のべき乗を導入して波浪の履歴特性を考慮する。なお、冬期間の暴浪のみを対象期間とした前報³⁾ではこのべき乗に4乗を用いることで被災予測指標を見出すことに成功している。

3. モデル化された暴浪データおよび暴浪ピーク波高時の潮位データを用いた場合

前報³⁾では暴浪ピーク波高時の越波流量を朔望平均満

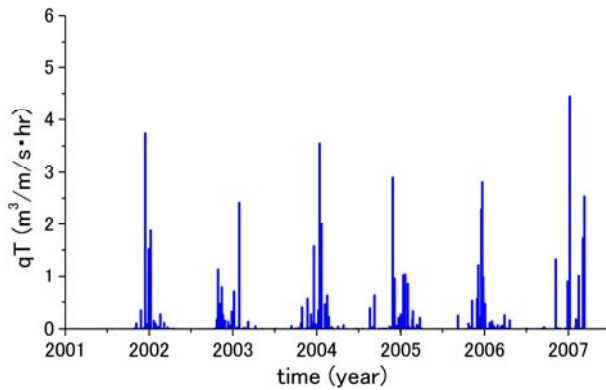


図-9 月平均潮位を導入して算定した越波量 q_T (高山ら¹⁰⁾の算定法より)

表-2 潮位変化を考慮した場合の被災発生指標

No	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
$Q_T(\text{m}^3/\text{m/s} \cdot \text{hr})$	2.8	5.8	2.8	5.9	5.2

潮位を基準に求め暴浪継続時間を掛け合わせて暴浪期間の越波流量を代表させるため過度に安全側の被災予測流量を推定していたことになる。そこで、ここでは月平均の潮位変動を考慮して暴浪ピーク波高時の越波流量を求め暴浪継続時間を掛け合わせて暴浪期間を代表する越波流量の算定を試みた。なお、金沢観測点での潮位データが欠損している場合、金沢観測点での潮位データと高い相関を示す輪島観測点での潮位データを用いて補間した。

図-7 および図-8 に朔望満潮位を用いて合田の越波流量図⁹および高山の算定法¹⁰より求めた越波流量に暴浪継続時間を掛け合わせた越波量 q_T を示す。さらに、月平均潮位を用いて算定法¹⁰より求めた越波量を図-9に示し、この値を用いた場合の冬期暴浪を対象期間とした被災発生指標を表-2示す。図および表より、暴浪をモデル化し潮位変動を考慮した場合でも、前報³⁾と同様に期間[4]で被災発生指標が最大となることが分かった。なお、被災発生指標そのもので両者の誤差の詳細を議論すべきだが、今回の手法では被災発生指標が前報に比べ格段に小さくなるためここでは言及を避けるが、モデル化された暴浪波浪ピークと朔望平均満潮位を用いて越波量を合田の越波算定図⁹から求めた図-7の場合と高山らの算定方法¹⁰で求めた図-8の場合の結果には格段の差異は見られない。このことは、越波流量の算定に際して潮位が重要なファクターとなることを示すものである。

4. 2時間毎の波浪データおよび潮位データを直接用いた場合

上述のように、暴浪をモデル化し暴浪波浪ピーク時の越波流量から被災発生指標を算定する場合、対象期間から将来に向けて被災発生時期を予測する際、暴浪継続時間、暴浪波浪ピーク波高およびその発生時間の3つが変

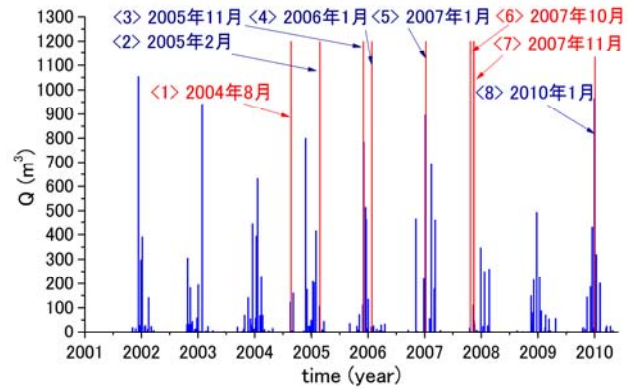


図-10 2h 毎の波浪・潮位データを用いて算定した越波量と2004年から2010年までの石川海岸小松・片山津工区での被災発生状況

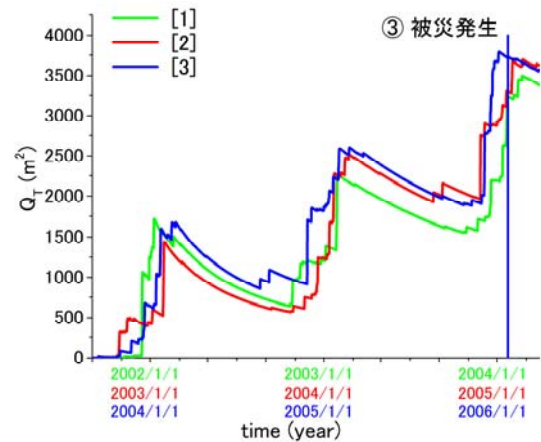


図-11 2h 毎の波浪・潮位データを用いて算定した越波量と2004年から2010年までの石川海岸小松・片山津工区での被災発生状況

表-3 3年累積期間内での最大累積越波量(被災発生指標)および日時

No	[3-1]	[3-2]	[3-3]	[3-4]
日	2004/2/24	2005/2/3	2006/1/5	2007/3/13
$Q_T(\text{m}^3)$	2266	2288	2410	2839

No	[3-5]	[3-6]
日	2007/3/14	2009/3/15
$Q_T(\text{m}^3)$	3151	2405

数となり、被災発生時期の予測が極めて複雑になる。そこで時間に関して波浪計測時間間隔の2時間に固定すれば、過去に遡った累積越波流量の算定がシステマティックになることに加えて、将来的な被災予測に関して波高のみが変数となり被災発生指標を用いた被災予測の時期の推定が極めて容易になる。そこで、ここでは履歴による影響期間をさらに延長して被災予測指標の算定を試みた。

図-9に2時間毎の波浪データに潮位変動を考慮して高山の算定法¹⁰で算定した越波流量から2時間毎の越波量 $Q \text{ m}^3$ を求めた結果を示す。さらに、波高2mを超える時化期間内でこの越波量 q の総和 Q を q_T の場合と同様に暴浪ピーク波高時で表示した結果を図-10に示す。なお、暴浪ピーク波高時で表示することなく2時間毎に越波量

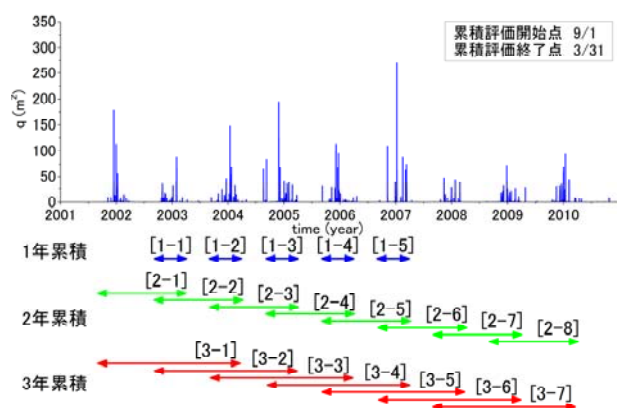


図-12 累積越波量の評価期間図

q を加算しながら総和 Q を継続的に算定することが後述する積越波流量 Q_T の解析精度を上げ、将来的な被災予測を波高のみを変数として行う事が可能となる。本研究では、その第一段階として、既に明らかになっている暴浪ピーク波高の発生した日時を利用している。計算量が増えるものの、本研究で提示している手法で暴浪ピーク波高の発生した日時を利用することなく被災予測指標の推定は可能となる。その算定値に関しては今回対象とした最大履歴評価期間の3年を超える場合を含めて今の課題とする。

図-11に図-10の結果を用い、減衰関数として図-6の影響関数のべき数が1となる線形関数で3年間の累積越波流量 Q_T の時間変化を例示する。図中の[1], [2]および[3]はそれぞれ2001年から2004年、2002年から2005年および2003年から2006年の9月1日から3月31日までの累積期間とした場合を示している。被災は表-1の④が対象である。なお、表-1中には2007年1月および2月における直立堤の被災⑤が挙げられているが、この被災は波浪の履歴特性とは別に、設計波高は越えないものの極端に大きな波浪の来襲に伴って被災に至っていることが分かっている³⁾。なお、累積越波流量の評価期間を1年、2年および3年とした場合におけるそれぞれの期間の詳細を図-12示す。図-11より2003年から2006年の3年間を評価期間とした場合に被災発生直前で累積越波流量 Q_T が最大となっており、このときの Q_T が被災発生指標となり得ることが予想される。これらの累積越波流量 Q_T がピークとなる日時を整理した結果を表-3に例示する。3年累積期間の場合、履歴とは別に極端な波浪の来襲による被災と考えられる[3-4]の場合を除いて、すべての累積期間で表-1の④が対象となる[3-3]の場合が最大となっておりこの値が当該海岸での被災予測指標となり得ることが確認できる。なお、評価期間を1年、2年および3年として影響関数のべき乗を変化させた場合の Q_T を表-4に示すが(表-1の④の場合を表中に朱書き)、べき数が1の場合に表-1の④を対象とした被災直前で(a)

表-4 影響関数のべき乗 n の違いによる1年、2年および3年累積期間内での最大累積越波量(被災予測指標)および日時

(a) 累積期間1年の場合 $Q_T(m^2)$

No	[1-1]	[1-2]	[1-3]	[1-4]
n べき乗	1	2002/1/9 1721	2003/1/30 1443	2004/2/24 1678
	2	2002/1/9 1510	2003/1/30 1233	2004/1/24 1399
	3	2002/1/9 1339	2003/1/30 1122	2004/1/24 1256
	4	2002/1/9 1198	2003/1/31 1057	2004/1/24 1149

No	[1-5]	[1-6]
n べき乗	1	2006/1/5 1734
	2	2005/12/27 1488
	3	2005/12/27 1317
	4	2005/12/23 1194

(b) 累積期間2年の場合 $Q_T(m^2)$

No	[2-1]	[2-2]	[2-3]	[2-4]
n べき乗	1	2003/1/31 2266	2004/2/24 2518	2005/2/24 2605
	2	2003/1/30 1765	2004/2/24 2022	2005/2/3 1968
	3	2003/1/30 1580	2004/2/16 1790	2005/2/2 1695
				2006/1/5 1896

No	[2-5]	[2-6]
n べき乗	1	2007/3/14 3151
	2	2007/3/13 2555
	3	2007/3/13 2278
		2007/3/13 1419

(c) 累積期間3年の場合 $Q_T(m^2)$

No		[3-1]	[3-2]	[3-3]	[3-4]
n べき乗	1	2004/2/24	2005/2/24	2006/1/5	2007/3/14
		3498	3697	3792	4288
	2	2004/2/24	2005/2/3	2006/1/5	2007/3/14
		2657	2752	2842	3310
	3	2004/2/24	2005/2/3	2006/1/5	2007/3/13
		2266	2288	2410	2839
No		[3-5]	[3-6]		
n べき乗	1	2007/3/14	2009/3/15		
		3151	2405		
	2	2007/3/13	2007/3/13		
		2555	1709		
	3	2007/3/13	2007/3/13		
		2278	1419		

の1年累積、(b)の2年累積の場合でも直立堤の被災⑤の場合を除いて Q_T が最大となっている。しかし、(c)の3年累積に比べて(a)の1年累積および(b)の2年の累積では、例えば(a)の場合の[1-1]と[1-5]、(b)の場合の[2-2]と[2-4]のように Q_T が極めて近い値を示しており、影響関数のべき数を1乗とした3年累積の場合の Q_T の最大値が今回対象とした期間の被災発生指標として最も適切になっていると考えられる。

5. 結論

本研究では、設計波を下回る海象条件下で繰り返し海岸保全施設の被災の発生が確認されている石川海岸小

松・片山津工区を対象として、波浪の履歴特性を取り入れた被災の発生予測モデルの構築を試みた。以下に本研究で得られた結論を述べる。

石川海岸小松・片山津工区では強い冬季波浪によって海岸構造物の被災が繰り返し発生しているが、波浪観測データを分析した結果、設計波高以下の波浪によって、これらの海岸構造物は被災に至っていることが分かった。

越波量の算定に合田らの越波流量算定図⁹⁾を用いる場合と高山らの算定方法¹⁰⁾を用いた場合で越波流量に格段の差異はみられず、対象海岸では越波量の算定に潮位変動が重要なファクターとなることが分かった。

2時間毎の越波量を用いて波浪の履歴特性を取り入れた被災予測モデルの構築を試み、結果として3年累積で影響関数としてべき乗として1乗の線形関数を用いることで、被災発生指標を推定できることが分かった。

参考文献

- 1) 北陸地方整備局事業評価監視委員会：海岸事業の再評価説明資料 [石川海岸 直轄海岸保全施設整備事業] 平成 25 年 11 月 (オンライン)
http://www.hrr.mlit.go.jp/johokokai/hyouka/hy-ouka01/h25/h25_3/shiryu/05.pdf, 参照 2015-05-20.
- 2) 北陸地方整備局：北陸地方建設局設計要領 第Ⅱ海岸編 (オンライン)
http://www.hrr.mlit.go.jp/gi-jyutu/kaitei/sek_riv/data/004_kaigan.pdf, 参照 2015-05-20.
- 3) 斎藤武久, 松原卓也：波浪の履歴特性を取り入れた海岸構造物の被災発生予測に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.70, No.2, pp. I_1026 -I_1030, 2014.
- 4) 合田良実：耐波工学 港湾・海岸構造物の耐波設計, 鹿島出版会, 430p. 2008.
- 5) 間瀬 肇, 安田誠宏, 勝井伸悟：海浜変形評価に供する長期間の波浪・風時系列のモデル化—上越地域海岸を対象として—, 海岸工学論文集, Vol. 55, pp.426-430, 2008.
- 6) 合田良実：防波護岸の越波流量に関する研究, 港湾技術研究報告, Vol.9, No.4, pp.3-41, 1970.
- 7) 合田良実・岸良安治・神山豊：不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究, 港湾技術研究報告, Vol.14, No.4, pp.3-44, 1975.
- 8) 山本吉道, 川島 理, 諏訪義雄：高波と津波による海岸施設の破壊機構と破壊限界値の現地海岸適用, 海岸工学論文集, Vol. 52, pp. 1281-1285, 2005.
- 9) 山本吉道, 南 宣孝：高波による海岸堤防破壊メカニズムの実験的研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 65, No. 1, pp. 901-905, 2009.
- 10) 高山知司, 永井紀彦, 西田彦一：各種消波工による越波流量の減少効果, 港湾技術研究所報告, Vol.21, No.2, pp.151-205, 1982.

(2016.3.16 受付)

DISASTER PREDICTION FOR UPRIGHT SEAWALL USING CHARACTERISTICS OF WAVE HISTORY

Takehisa SAITOH and Takuya MATSUBARA

Disaster prediction for upright seawall is examined subsequently to previous our research work in order to provide the possibility of index to explain the disaster occurrence. In this method, tidal variation is newly included and the significant wave height data from NOWPHAS each 2 hour is used to predict the flow rate of wave overtopping from the upright seawall. The accumulation value of the flow rate of wave overtopping with the time function are also carried out to judge of disaster.

As a result, it makes clear that wave history duration is possible to expand 3 years and the power of the time function is enough 1.