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

メタデータ	言語: Japanese
	出版者:
	公開日: 2017-10-03
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 斎藤, 武久, 松原, 卓也
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/41408

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

Disaster Occurrence Prediction for Coastal Structures using Characteristics of Wave history

斎藤武久[1]・松原卓也[2]

Takehisa SAITOH and Takuya MATSUBARA

A method to predict disaster occurrence of costal structures is examined by refereeing the repeat disaster occurrences of coastal structures at locations close to each other. Significant wave height data from NOWPHAS is used to make a model of wave history, then maximum wave height during each storm, duration of storm and the flow rate of wave overtopping at the maximum wave height are used as key factors and the time function is also introduced to reduce wave energy and flow rate of wave overtopping at the time retroactive from the moment of disaster occurrence. The accumulation value of the wave energy and the flow rate of wave overtopping with the time function are carried out to judge of disaster occurrence of seawalls in Ishikawa coast, and the possibility of the index to explain the disaster occurrence is discussed.

1. はじめに

海岸堤防・海岸護岸などの海岸保全施設は，背後域の生活や産業の拠点への要として，その整備が継続的に行われてきている．ただし，施設の構造は例えば緩傾斜護岸や直立護岸に見られるように，構造体の海側部が砂や砂利，さらにその上がコンクリート構造となる複合構造となり，波浪との相互干渉問題，特に砂や砂利の移動特性の把握は極めて重要な課題と言える．

これに関連して，例えば，大河原ら（1983）および加藤ら（2011）は，海岸堤防・護岸の被災事例に関する実態調査を行い被災機構の検討を行っている．さらに，山本ら（2005，2009，2011）は海岸施設の破壊機構について分析し構造物前面での洗掘や吸出しに関連する外力要素の組み合わせにより破堤限界値として越波流量と前面地盤のせん断抵抗力の関係を提案している．一方で，実務的には，砂や砂利などの安定解析を個別に行った実験結果より援用しているのが現状と言える．

ところで，海岸保全施設に一旦被災が発生した場合，多くの場合原型復旧が基本であり再度繰り返し被災が発生しているケースは少なくない．例えば，**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 43 件の被災発生が報告されている（北陸地方整備局事業評価監視委員会，2014）．海岸構造部の被災は被災時の海象条件から分析されるが，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．ただし，多くの場合設計波高に満たない波浪の来襲で被災が発生していること，さらに，暴浪の繰り返しの来襲で経年的に施設が強度を失う可能性があることに着目した場合，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がある．本研究では，従来の設計波を用いた構造安定解析に基づく被災発生の判断とは別に，来襲波浪の履歴特性を組み入れて被災発生指標を導出した新たな被災発生予測手法を提案することを目的とする．

図−1　実石川海岸小松・片山津工区の概要
（北陸地方整備局事業評価監視委員会，2014）

2. 対象領域

(1) 対象海岸の概要

本研究では，繰り返し海岸構造物の被災報告されている石川海岸の小松・片山津工区を対象海岸とする．石川海岸は**図−1** に示すように，金沢市の西方に位置し，南西の尼御前岬から北東の白山市と金沢市の市境までに渡る直線的な砂浜海岸であり加賀沿岸の一部をなしている．石川海岸の背後には北陸自動車道や石川の産業を支える

1　正会員　　博（工）　金沢大学教授　環境デザイン学系
2　　金沢大学大学院　環境デザイン学専攻

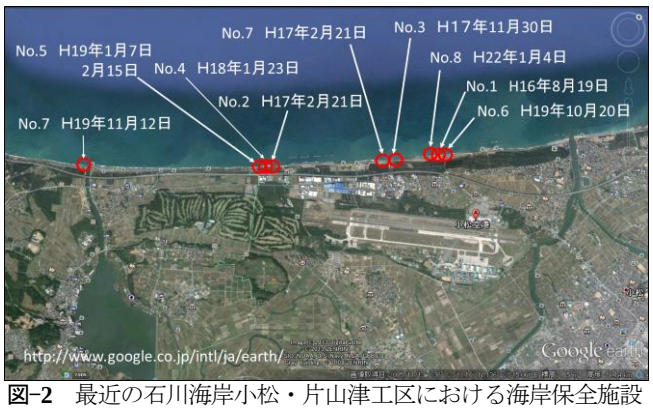


図-2　最近の石川海岸小松・片山津工区における海岸保全施設の被災発生箇所と発生日

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

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)		40.5	被覆ブロックの散乱・(破壊) 後背砂の流出
2	2005	2/21	①日末地先 安宅新地先	直立堤 消波工	125	直立堤本体の倒壊(破壊)・天端陥没 後背砂の流出・消波ブロックの散乱
			②浜佐美地先	直立堤 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	直立堤 消波工	200	直立堤本体の倒壊(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	浜佐美地先	直立堤	120	直立堤本体の倒壊(破壊)・天端陥没 後背砂の流出・消波ブロックの散乱
		3/31	同地点増破			
5	2007	1/7	浜佐美地先	直立堤	227.8	直立堤本体の倒壊(破壊)・天端陥没 消波工の沈下・後背砂の流出
		2/15	同地点増破			
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・フトン篭との間に空洞
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	直立堤 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

多くの企業が立地する地理的条件にあり，古くから離岸堤，直立堤あるいは緩傾斜護岸などによる海岸保全が行われてきている．しかし，夏季における台風や冬季における日本海の厳しい高波浪により，海岸構造物が繰り返し被災している状況で，現在も片山津海岸保全対策技術検討会（北陸地方整備局事業評価監視委員会，2014）のもと，海岸保全対策が議論されている．

(2) 海岸保全施設の被災特性

石川海岸小松・片山津工区における 2004 年から 2010 年までに発生した主要な被災について，被災調査報告書（北陸地方整備局金沢河川国道事務所，2013）を参照して，発生地点と発生日をさらに海岸構造物の構造形態，被災延長，被災形態などを整理した結果を**図-2** および**表-1** 示す．この間に発生した被災件数は合計 9 件で，直立堤の被災が 6 件，その内消波工が堤体前面で機能していると考えられる事例（表中の構造形態に消波工と記載）は 4 件で，消波工が施工されていないもしくは沈下散乱によって機能しているとは考えられない事例は 2 件であった．なお，被災が発生した後復旧作業が完了する前に再び波浪によって被災し，被災延長が増大した事例も確認されている．上述の 4 件の消波工を伴わない直立提の場合，来襲波浪の作用下で構造部前面の前浜が消失し，

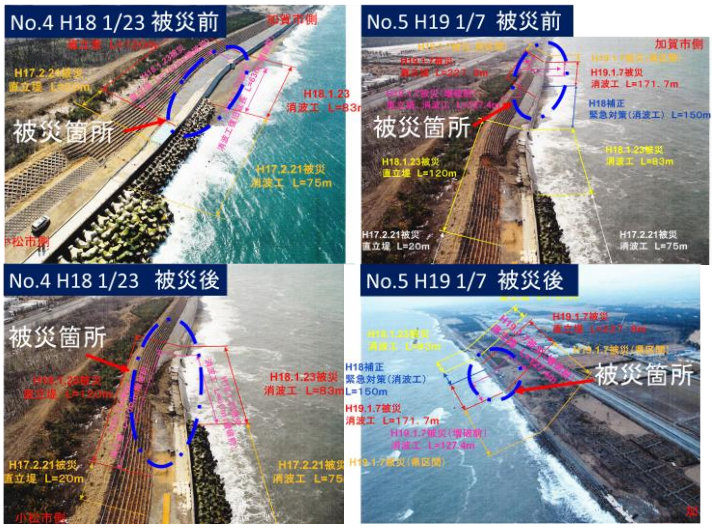


図-3　直立提の被災状況（表-1 中の No.4 および No.5 の場合）（北陸地方整備局金沢河川国道事務所，2013）

堤体を越流する越波流量の影響に伴う堤体背後域からの背後砂の流失に伴うと思われる被災機構で堤体の天端陥没や決壊等に至っているようである．**図-3** に**表-1** 中の No.4 および No.5 の直立提の場合における被災前および被災後の周辺状況の様子を示すが，来襲波浪が直接的に堤体へ作用している状況下での堤体決壊に至る被災が確認できる．

(3) 海象特性

対象海岸に近接した現地海象計測地点のデータとして，本研究では NOWPHAS 金沢港観測地点での波浪データを用いる．なお，石川海岸の沖合における波の主方向は NNW から W であり，年最大有義波高は 5～8m 程度に達し，通年の沿岸漂砂の卓越方向は西向き（**図-2** で右から左）である（田中ら，1997）．**図-4** に 2004 年から 2010

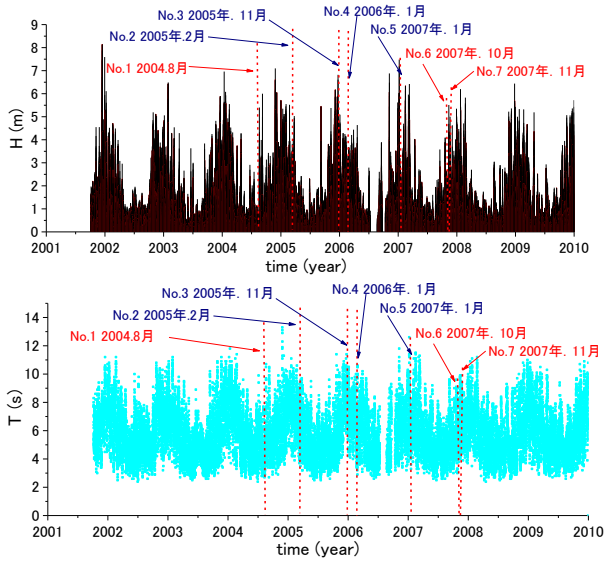


図-4　NOWPHAS 金沢港観測地点で観測された有義波高（上段）と有義周期（下段）および 2004 年から 2010 年までの石川海岸小松・片山津工区での被災発生状況

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−2** および**表−1** に対応した被災発生状況（図中の点線は被災発生年月日を表す）を示す．図より，冬期における高波浪の来襲が顕著であることが確認できるが，堤体の被災は暴浪期間の最大波高が来襲した直後に発生しているとは限らないことも確認できる．

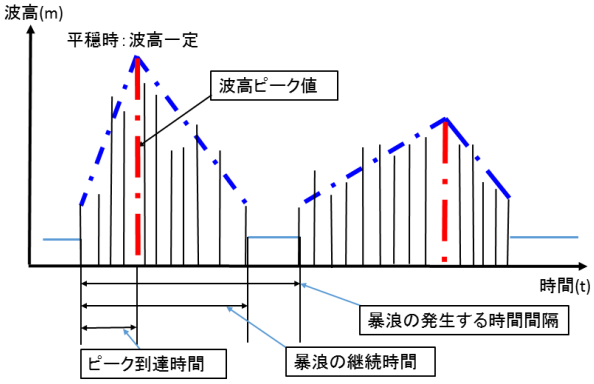
3. 解析方法

上述のように，近接した地点で繰り返し海岸構造物の被災発生が確認された時と来襲する波浪の海象特性を比較した場合，堤体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．両者に一対一の対応関係がある場合は，設計波高をベースとした堤体の設計方法（合田，2008）は有効となるが，設計上力学的な安定性が崩れる破壊状態と実際に発生する被災との対応の相関は良好とは言えず，設計波を下回る波浪の来襲で被災が発生していることが分かる．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（山本ら，2005）に至る状況を予測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．

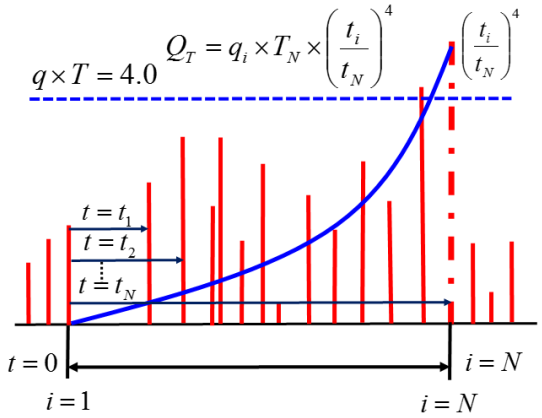
本研究では，近接する海岸構造物が繰り返し被災を受けている海岸において，来襲波による経年的な施設への影響を波浪の履歴特性から考慮して今後の被災の発生予測を実現しようとするものである．解析手法の方針は，来襲波のエネルギーや越波流量が被災時までにどの程度累積されていたかを来襲波については波高の自乗値と暴浪の継続時間との積による蓄積量，越波流量についても同様な積により計算し，被災発生の目安となる累積指標値の推定を試みる．具体的には以下のようである．

まず，波浪の履歴特性を抽出するにあたって，NOWPHAS によって取得された有義波高データを**図−5** に示すように間瀬ら(2008)の暴浪のモデル化に倣って整理する．このとき，暴浪は有義波高が 2m を超える場合と定義し，各暴浪中の最大波高 H と暴浪継続時間 T を抽出する．来襲波浪の波高履歴特性として，波エネルギーに比例する H^2 と暴浪継続時間 T との積により暴浪期間の総波エネルギー量を H^2T によって定義して算定する．この場合，暴浪期間の波高の変動を最大波高によって代表させるため安全側に立った設定となっている．

一方，堤体の被災発生に起因する要因として，来襲波浪の大きさのみならずそれに伴う堤体背後への越流水量が関連していることに鑑み，暴浪時ピーク波高に応じた



図−5　2 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（間瀬ら，2008）



図−6　連続的な暴浪の発生時から当該の対象時間の経過に反比例して減少する影響関数の導入

対象構造物への越波流量 q を合田ら(1975)および高山ら(1982)の算定法で抽出し，暴浪継続時間 T との積から暴浪期間の総越波流量 qT を算定した．この場合も，波高の場合と同様に安全側の設定になる．

さらに，**図−6** に示すように，過去のある時点 $t_{i=0}$ から被災発生直後までの時間 $t_{i=N}$ (i=0,1…N ; i はモデル化された各暴浪の発生順を表し，t は各暴浪での最大波高の発生時間に対応する)に過去から遡って蓄積される各暴浪期間中の総波エネルギー量 W_T あるいは総越波流量 Q_T は，t_0 からの時間の経過 t_i 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_i/t_N）のべき乗を導入して波浪の履歴特性を考慮した．このべき乗については後述するように，試行計算からその値を同定している．

なお，対象海岸の面的な広がりに伴う海象条件の変化，場所による断面および材料特性の変化，さらに暴浪期間中の波浪および越波流量の変化などの詳細な条件の取り込みについては今後検討を進めたい．

4. 来襲波浪の波高履歴特性を用いた被災予測

図−4 の有義波高データを間瀬ら(2008)の暴浪のモデル化に倣って整理し，各暴浪時の最大波高 H，さらに暴浪

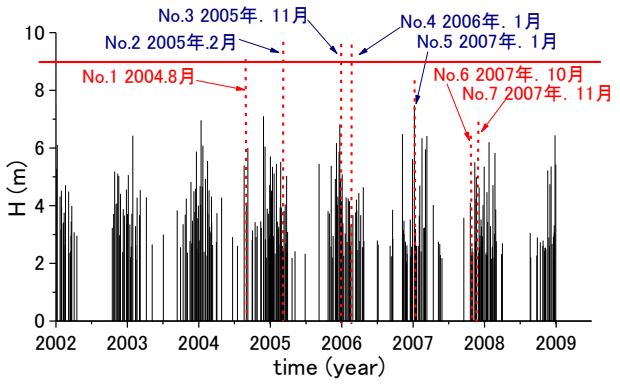


図-7　モデル化された暴浪時最大波高と 2004 年から 2010 年までの石川海岸小松・片山津工区での被災発生状況

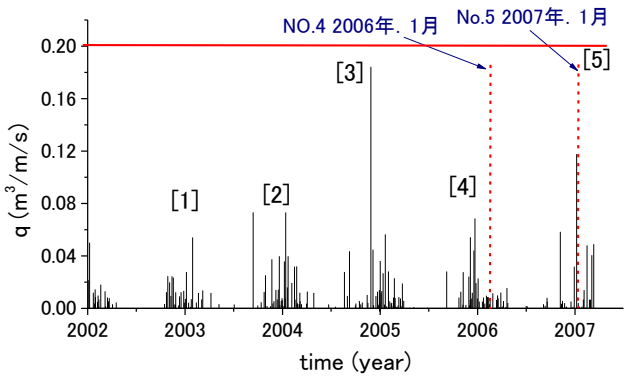


図-10　暴浪時最大波高に基づいた越波流量と 2004 年から 2010 年までの石川海岸小松・片山津工区での被災発生状況

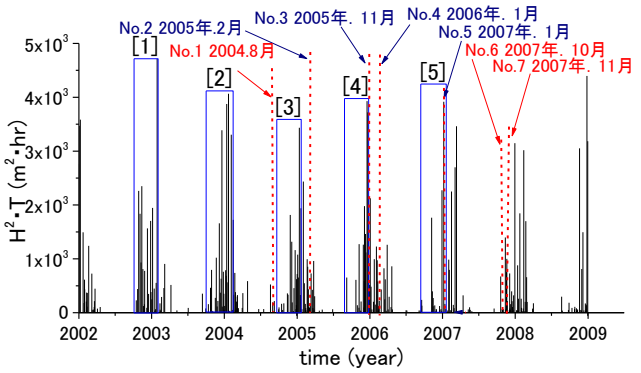


図-8　各暴浪期間の波エネルギー量と 2004 年から 2010 年までの石川海岸小松・片山津工区での被災発生状況

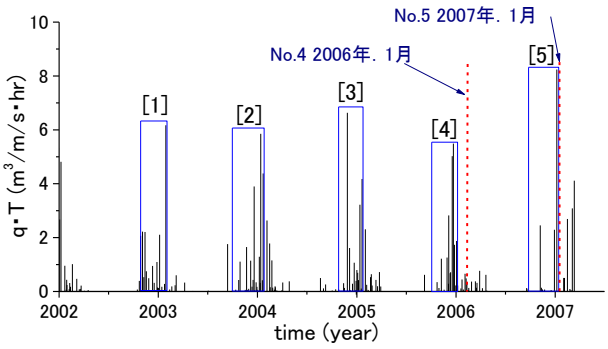


図-11　各暴浪期間の総越波流量と 2004 年から 2010 年までの石川海岸小松・片山津工区での被災発生状況

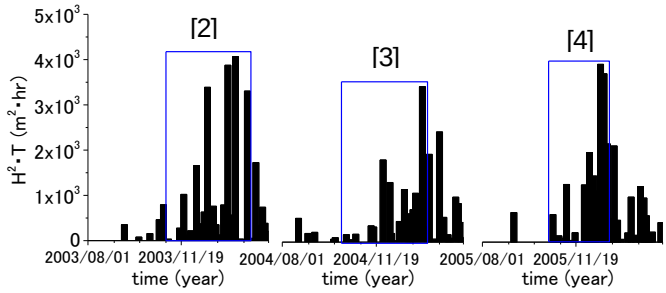


図-9　影響時間係数の対象範囲

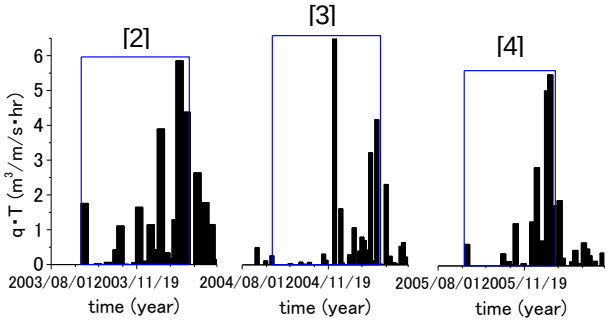


図-12　影響時間係数の対象範囲

表-2　各波高履歴に基づいた被災指標設定の試み

No	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
W_T (m²・hr)	6998	10986	7332	10739	5957

表-3　越波流量履歴に基づいた被災指標設定の試み

No	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Q_T (m³/m/s・hr)	7.8	12.4	9.8	12.9	10.1

継続時間 T を用いて算定した各暴浪期間の総波エネルギー量 H^2T と**図-2** および**表-1** に対応した被災発生状況を同時に図示した結果を**図-7** に**図-8** に示す. 当然ではあるが, **図-7** に示した波高と被災発生状況との間には, **図-4** の場合にそうであったように, 堤体の被災と暴浪期間の最大波高の来襲との間に優位な相関関係は見出し難い.

各暴浪期間の波エネルギー量を対象とした**図-8** の場合でも, 個々の H^2T の値で, 例えば非常に大きな H^2T の発生の直後に被災が発生するといった両者との間に優位な相関は見られない.

後述する越波流量の履歴特性を用いた被災予測でも述べるが, 本研究では近接地点に繰り返し被災の発生例では, **図-9** に　W_T の説明図として, **表-1** 中の No.4 および

No.5 の消波工を伴わない直立提を対象として予測指標の同定を試みるが，被災直後から過去の暴浪発生までに遡って時間影響関数を取り入れた被災指標の同定を試みたが，いずれの時間影響関数のべき乗の値の場合でも，被災と非被災を識別できる指標の同定には至らなかった.

5. 来襲波浪の越波流量履歴特性を用いた被災予測

波高の特性を用いた越波流量は堤体前面に消波工が設置される場合されない場合で算定指標が異なる. 本研究では，比較的短い期間で近接箇所における被災が確認されている**表−3** 中の No.4 および No.5 の消波工の設置を伴わない，もしくはその効果が期待できない場合を対象として，来襲波浪に伴う越波流量を整理する.

図−10 に, モデル化された暴浪時最大波高発生時の波高を用いて算出した越波流量の時間変化を示す．消波工を伴わない直立提構造の場合，越波による被災指標としては，合田ら（1970）による q=0.2m^2/s が知られているが，図より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．また，**図−7** および**図−8** の場合と同様に，大きな越波流量の発生直後に被災は必ずしも発生していない.

次に，各暴浪の継続時間 T を用いて各暴浪毎の越波総流量 qT を整理した結果を**図−11** に示す．図より，No.4 の場合は比較的大きな qT が連続して発生した後に，No.5 の場合は, 極端に大きな単発の qT の発生後に被災が発生していることが分かる. そこで, No.4 の被災に対しては，閾値として qT=4 を上回る値の発生時点から最初の暴浪発生までに遡って，越波流量履歴に基づく被災指標の計算を時間影響関数のべき乗を変化させて各年度（**図−12** に各年度における対象時間 t_N の範囲を拡大表示する）で行った．時間影響関数に 4 乗を用いた場合に，被災発生の有無を識別できる指標値が 12.9m^2/s・hr として算定された（**表−3** に被災が発生しなかった場合の計算値を示す）示す．なお，上述のような履歴に依存しない場合の被災指標値の同定については，他の構造形態の場合も含めて今後検討を進める.

6. 結　論

本研究では，設計波を下回るような来襲波の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海岸での被災事例を参照して，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要約する.

海岸構造物の被災の発生に対して，設計波高とは別に，新たに来襲波浪の暴浪時最大波高，暴浪継続時間，暴浪最大波高に対応した越波流量を用いた波エネルギーや越波流量の各暴浪期間での蓄積量，さらに被災発生から遡って初期の暴浪の開始時刻から時間経過と共に減衰する時間影響関数を導入して過去の波浪履歴を取り込んだ波エネルギーや越波流量の蓄積量を被災発生予測の指標とするモデルの構築を試みた.

対象とした石川海岸小松・片山津工区における直立堤の被災発生予測に対しては，越波流量の履歴特性を考慮したモデルによって被災発生の予測を可能とし得る指標を得ることができた．本研究で提案した被災発生予測モデルを用い，過去の波浪データを用いて被災発生の可能性に関する追算を行い，被災の発生に対応した波浪，越波流量およびその継続時間との関連性を明らかにすることへの応用が考えられる.

参　考　文　献

大河原満・橋本 宏・斉藤 雄三郎 (1983)：被災事例から見た海岸堤防・護岸に関する一考察，海岸工学講演会論文集，Vol. 30，p. 264-268.

加藤史訓・野口賢二・諏訪義雄 (2011)：海岸堤防・護岸の被災に関する実態調査, 土木学会論文集 B3（海洋開発）, Vol. 67, No. 2，pp. I_7-I_12.

合田良実 (1970)：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.

合田良実・岸良安治・神山豊 (1975)：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.

合田良実 (2008)：耐波工学　港湾・海岸構造物の耐波設計，鹿島出版会，430 p.

高山知司・永井紀彦・西田彦一 (1982)：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.

田中茂信・佐藤愼司・川岸眞一・石川俊之・山本吉道・浅野剛 (1997)：石川海岸における漂砂機構, 海岸工学論文集, Vol. 44, pp. 661-665.

北陸地方整備局事業評価監視員会：海岸事業の再評価資料，http://www.hrr.mlit.go.jp/johokokai/hyouka/hyouka_top.html（オンライン）参照 2014-05-14.

北陸地方整備局金沢河川国道事務所（2013）：石川海岸被災状況写真等資料.

間瀬　肇・安田誠宏・勝井伸悟 (2008)：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ー，海岸工学論文集，Vol. 55，pp. 426-430.

山本吉道・川島　理・諏訪義雄 (2005)：高波と津波による海岸施設の破壊機構と破堤限界値の現地海岸適用，海岸工学論文集，Vol. 52，pp. 1281-1285.

山本吉道・南 宣孝 (2009)：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.

山本吉道・成吉兼二・比嘉了規 (2011)：海岸堤防・護岸の被災限界の研究, 土木学会論文集 B3（海洋開発）, Vol. 67, No. 2, pp. I_100-I_105.