

# 2008年2月日本海高波浪による漁港・海岸の 被災分析と復旧について

ANALYSIS ON FISHING PORT FACILITIES AND COASTAL PROTECTION  
FACILITIES DAMAGED BY HIGH WAVES WITH SWELL IN THE JAPAN SEA  
IN FEBRUARY, 2008 AND THEIR RECOVERY FOR DISASTER

中泉昌光<sup>1</sup>・中村克彦<sup>2</sup>・黒澤馨<sup>2</sup>・水上秀樹<sup>3</sup>・窪野修<sup>4</sup>・齋藤正文<sup>5</sup>  
Masamitsu NAKAIZUMI, Katsuhiko NAKAMURA, Kaoru KUROSAWA,  
Hideki MIZUKAMI, Osamu KUBONO and Masafumi SAITO

<sup>1</sup>正会員 工博 社団法人水産土木建設技術センター (〒104-0045 東京都中央区築地2-14-5)

<sup>2</sup>水産庁漁港漁場整備部 (〒100-8907 東京都千代田区霞ヶ関1-2-1)

<sup>3</sup>新潟県農林水産部 (〒950-8570 新潟県新潟市中央区新光町4-1)

<sup>4</sup>富山県入善町 (〒939-0693 富山県下新川郡入善町入膳3255)

<sup>5</sup>正会員 財団法人漁港漁場漁村技術研究所 (〒101-0047 東京都千代田区内神田1-14-10)

The high waves with swell, which occurred in February 2008, inflicted serious damage on the fishing ports of the Sado Island, and the village as well as coastal protection facilities in Nyuzen. The authors have studied on the mechanism of disaster and the methods for disaster recovery. The results are as follows: 1) The northeast waves reached the fishing ports of Sado keeping their wave height, and generated a shock pressure acting on the breakwaters. A steep sea bed slope of the Nyuzen coast brought about wave convergence and wave setup, resulting in extraordinary run-up and wave overtopping. 2) Under the newly-set design waves, it was determined to cover the upright wall with dissipating concrete blocks, to make concrete blocks heavier and to raise its crown height of sea wall. 3) The fail safe method was introduced into design for the recovery to avoid suffering a second disaster.

**Key Words :** *High waves, swell, fishing port, disaster recovery, fail safe*

## 1. はじめに

2008年2月23日から24日にかけて日本海側に向ねり性の強い高波浪が発生し、新潟県佐渡島の鷲崎漁港等や富山県入善漁港海岸では死者・負傷者が出るとともに、漁港施設や海岸保全施設、漁船・漁具等、背後の家屋に甚大な被害が発生した。今回の災害は、富山などで「寄り回り波」とも言われる、通常とは違った複雑な高波浪が発生したことによるものと考えられた。そこで被害規模の大きかった佐渡島の鷲崎、北小浦、水津の3漁港と入善漁港海岸について、高波浪の特性と漁港施設等の被災メカニズムを明らかにし、再度災害防止と迅速な復旧を行うこととした。本研究は、高波浪の特性<sup>1)</sup>を踏まえ、漁港、海岸の被災分析と復旧方法の検討を行った成果、及び今後の漁港施設等の設計上の課題について報告するものである。

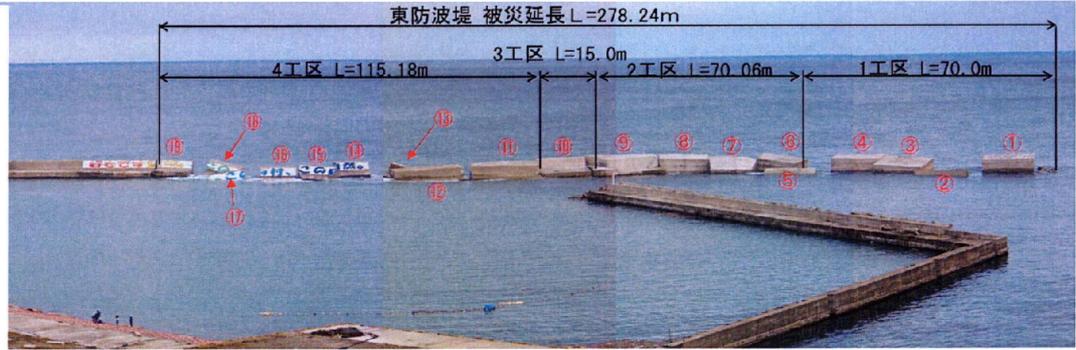
## 2. 研究の内容

本研究では、①被災状況の測量結果や数値計算手法を用いた解析等により被災メカニズムを明らかにするとともに、②工法や構造など復旧方法の検討・立案、③その後の復旧の進捗と迅速な復旧に至った要因、防災・減災上の課題など災害復旧の評価、漁港施設等の設計上の課題について検討を行った。

## 3. 漁港施設及び海岸保全施設の被害特性

### (1) 鷲崎、北小浦及び水津漁港（佐渡島の3漁港）

通常の冬季風浪の卓越方向はNW方向であり、新潟県佐渡島の本土側に位置する鷲崎漁港、北小浦漁港や水津漁港には大きな波浪が来襲することはなかったが、2008年2月の高波浪では、これら漁港の防波堤に大きな被害を受けた。図-1に鷲崎漁港の被災状況を示すが、延長約278mにわたり混成堤の堤体部が基礎マウンド肩から大きく滑動及び転倒するとともに、堤体ケーソン函には衝撃砕波によると見られる



ケートン函No. 12  
前壁（縦3m×幅2m）損壊

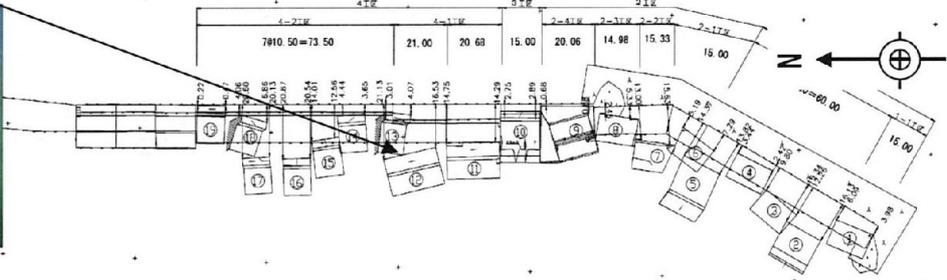


図-1 鷲崎漁港東防波堤の滑動、転倒及び損壊状況

損壊が発生し、鉄筋が露出していた。3漁港の被災した防波堤について、構造形式、築造時の設計条件、被災波の諸元、堤体部の滑動量等を表-1に示す。北小浦漁港の北防波堤250m、水津漁港の北防波堤201mと第2沖防波堤91mが被災し、堤体部には鷲崎漁港と同様の滑動、転倒及び損壊が発生していた。

消波ブロック、緩傾斜護岸の張ブロック及び潜堤の被覆ブロックの飛散・損壊等が生じた。なお、護岸直立部にある開口部まで波の打上高は到達しないものと設計されていたが、安全上設置していた陸閘（りっこう）の鉄製ゲートは飛散していた。

## (2) 入善漁港海岸

入善漁港海岸は、侵食海岸であり、海底斜面は約1/4と急勾配である。1960年ごろから侵食対策として直立護岸とその前面に消波堤の整備が行われた。1990年に「さわやか漁村海岸」に指定され、離岸堤、潜堤、緩傾斜護岸、砂浜等を組み合わせた面的防護方式で整備され、安全で親水性の高い海岸空間の創出が図られてきた。図-2に漁港海岸の被災状況を示す。緩傾斜護岸直立部に設けられた開口部からの海水侵入や護岸直立部からの越波・越流による背後集落への浸水が著しく、背後の家屋の6割近くに損壊などが生じた。海岸保全施設については、離岸堤の

## 4. 被災メカニズム

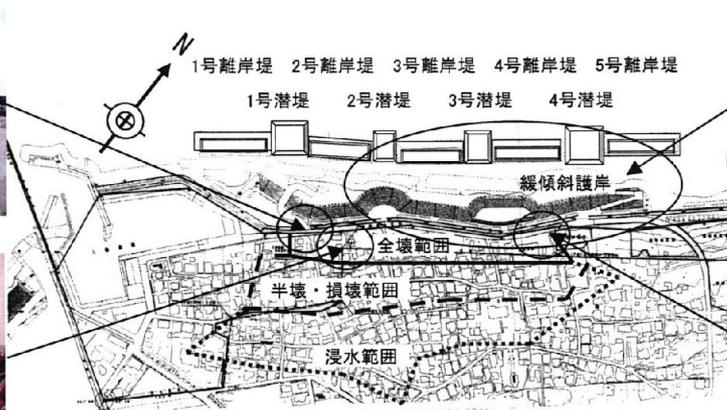
今回の高波浪は、北海道西方海上の低気圧による強風によって発生した波浪が日本海を南方向に伝播する際に、日本の東海上に抜けた複数の低気圧が停滞し冬型気圧配置が強まったことにより北から北東よりの強風が長時間継続し、長い周期のうねりとなってさらに発達したこと、日本海を移動した低気圧による北西からの風波とうねりの相互作用も重なったことから、周期の長いうねり性の強い高波浪になった<sup>1)</sup>ものと考えられる。



(陸閘飛散)



(家屋等損壊)



(ブロック散壊)



(護岸越流)

図-2 入善漁港海岸の海岸保全施設及び背後集落の被災状況

表-1 鷺崎、北小浦及び水津漁港の被災防波堤の構造形式、築造時の設計波、被災波及び被災状況等

漁港・施設	工区	函番号	構造形式	築造時の設計波			被災時の波		復旧に用いる波		マウンド上水深/築造時堤前波高	マウンド上水深/被災時堤前波高	堤体移動量/マウンド後幅幅	復旧におけるケーソン函の新設・再利用			
				沖波	堤前波	沖波の推算方法	沖波	堤前波	沖波	堤前波							
鷺崎漁港東防波堤	1工区	No. 1~5	消波工被覆混成堤	NNW 8.1m 12.3s	5.0m 12.3s	2004年被災波(新潟沖観測値より推算)	NNE 9.9m 13.2s	7.3m 13.2s	N 10.7m 13.3s	2.06	1.41	1.68	8函のうち6函新設				
	2工区	No. 6~8	混成堤(水中コンケーソン)	ENE 5.5m 8.0m	4.7m 8.0s									7.4m 13.2s	7.0m 13.3s		
	3工区	No. 9															
	4工区	No. 11~19															
北小浦漁港北防波堤	1工区	No. 1~23	混成堤(水中コンの単塊)	NE 4.4m 10.0s	3.5m 10.0s	1958年狩野川台風の風配録より推算(SMB法)	NNE 9.9m 13.2s	8.5m 13.2s	N 10.7m 13.3s	1.80	0.74	2.05	水中コンの単塊が被災したため、ケーソン函を新設				
	2工区	No. 24~30	混成堤	NNE 7.6m 11.6s	4.5m 11.6s									1987年沖波(スペクトル法, SMB法)	7.6m 13.3s	2.07	1.09
水津漁港北防波堤	1工区	No. 1~4	混成堤	ENE 4.0m 7.0s	3.6m 8.4s	1979年沖波(SMB法)	NNE 8.5m 13.6s	9.6m 13.6s	N 10.2m 13.1s	3.14	1.18	0.25	(全4函を再据付け)				
	2工区	No. 5~13	混成堤											4.7m 7.2s	8.0m 13.6s	7.9m 13.6s	7.0m 13.1s
	3工区	No. 14~18	消波工被覆混成堤														
水津漁港第2沖防波堤	No. 1~5	混成堤	N 10.2m 13.2s	6.7m 13.2s	2006年新沖波(WAM)	NNE 8.5m 13.6s	7.4m 13.6s	N 10.2m 13.2s	2.28	2.07	3.85	(全5函を再据付け)					

被災時の波	沖波の波浪推算法(WW3), 潮位DL+0.25m 波浪変形(広領域: エネルギー平衡方程式, 狭領域: プシネスク方程式), DL+0.50m
復旧に用いる波(2006年新沖波)	沖波の波浪推算法(WAM), 潮位DL+0.18m 波浪変形(エネルギー平衡方程式), DL+0.41m

表-2 入善漁港海岸に係る築造時の設計波及び被災波

施設・構造	築造時の設計波			被災時の波		復旧に用いる波	
	沖波	堤前波	沖波の推算方法	沖波	堤前波	沖波	堤前波
離岸堤(消波ブロック式)	NNW 6.2m 10.7s	7.3m 10.7s	1986年沖波(スペクトル法により推算)	N 6.7m 13.8s	8.3m 13.8s	N 6.5m 12.0s	8.0m 12.0s
埋堤(被覆ブロック式)							
護岸(直立式・緩傾斜式)							
被災時の波	沖波の波浪推算法(WW3), 潮位DL+0.25m 波浪変形(広領域: エネルギー平衡方程式, 狭領域: プシネスク方程式), DL+0.85m						
復旧に用いる波(2008年新沖波)	沖波の波浪推算法(WAM), 潮位DL+0.25m, 波浪推算対象期間1963年~2008年 波浪変形(広領域: エネルギー平衡方程式, 狭領域: プシネスク方程式), DL+1.00m						

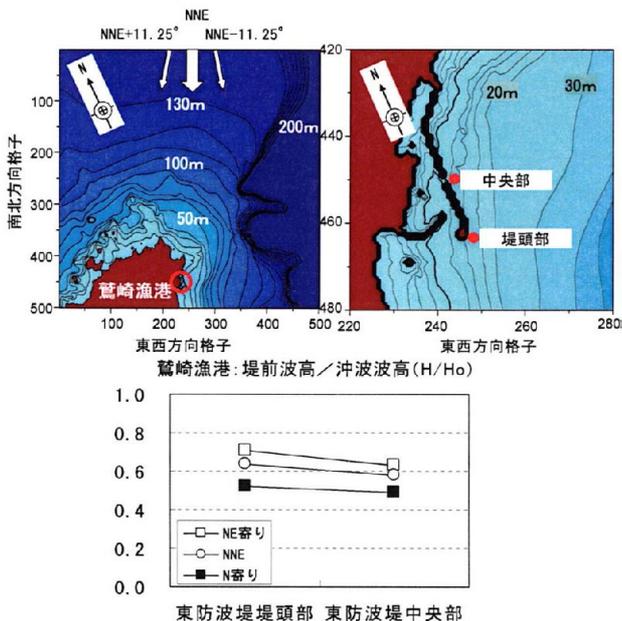


図-3 波向変化による波高減衰の差違(鷺崎漁港)

(1) 鷺崎、北小浦及び水津漁港の被災メカニズム

被災した佐渡の3漁港は、佐渡島の本土側に位置し、防波堤の法線直角方向は東方向である。沖波の波向については、2004年以降整備している鷺崎漁港東防波堤1,2工区のNNW、水津漁港第2沖防波堤のN以外は、NNE~ENEである。沖波としては前者の方向が大きいが、佐渡島の遮蔽の影響が大きいため、漁港付近では波高が大きく減衰する。後者の方向の沖波

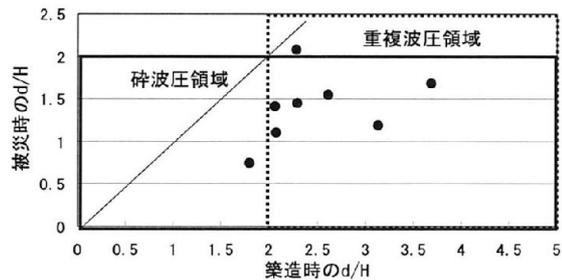


図-4 マウンド上水深d/堤前波高Hによる波圧領域

は、佐渡島の遮蔽の影響が小さいが、吹送距離が短いことから、その波高と周期は小さい。今回の高波浪の最大有義波高の波向きはNNE<sup>1)</sup>となっており、これまでのN方向等から来襲した最大波を超えるものではないが、NNE方向としては波高が大きく、かつ周期の長いのが特徴である。こうしたNNE方向の波は、佐渡島の遮蔽の影響が小さく、波高が大きく減衰することなく漁港に来襲することから、被害の発生、拡大の大きな要因となったものと想定される。

そこで、浅海域での波浪変形特性を明らかにする。被災波に対し漁港周辺の狭領域について波の浅水、屈折、回折、反射だけでなく、水位上昇や海浜流、有限振幅性等を同時に評価できるプシネスク方程式による波浪変形計算を行った。潮位は、被災時の佐渡の潮位(約20cm)と高潮(約20~30cm)を考慮してDL+0.5mとした。計算結果では、防波堤付近の水深が深いこともあり、Wave-setup等による水位上昇や長周期水位の上昇は見られなかった。次に、波向による岬の遮蔽効果を検討するため、屈折、浅水砕波変形と回折変形を考慮した波浪変形計算を実施した。鷺崎漁港の計算結果を図-3に示す。被災時の沖波波向NNEからN寄り側とNE寄り側では、防波堤中央部で沖波波高に対する波高比が0.1程度、堤頭部で波高比が約0.2の差異があり、被災時の沖波9.92mに対して約1m~2mの違いをもたらすことになる。水津漁港

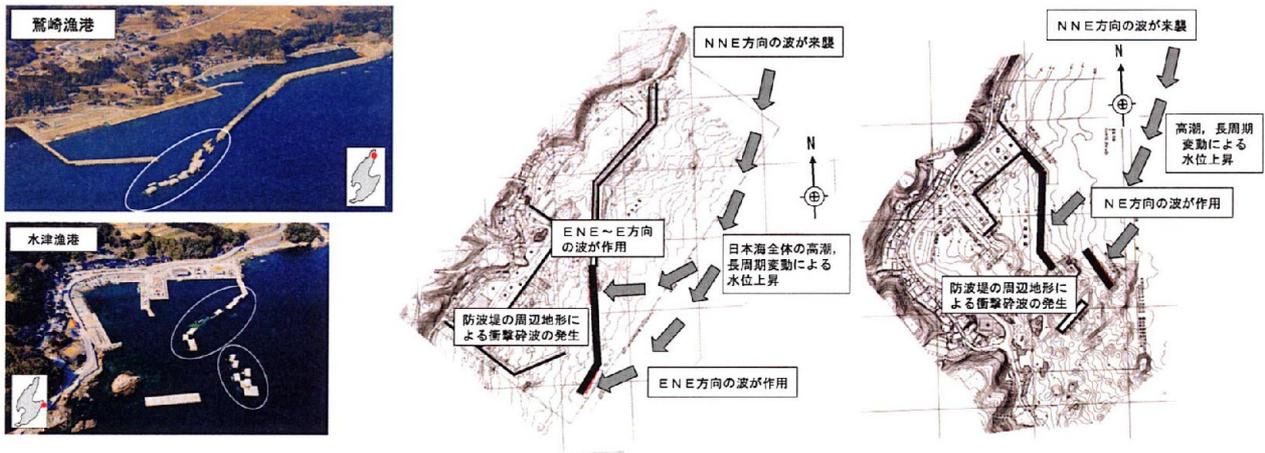


図-5 鷺崎漁港及び水津漁港（防波堤）の被災メカニズム

については、波高比が0.1～0.35もあり、堤前波高で1m～3.5mの違いが生じることになる。

安定性に関して、漁港構造物の設計基準では、堤体直立部に作用する波圧算定式はマウンド上水深/堤前波高 $d/H$ によって異なる。表-1に掲げる3漁港の防波堤について工区別に築造時及び被災時の $d/H$ に対する波圧領域を比較したのが図-4である。築造時に重複波圧領域で設計した堤体に対し、被災時には碎波圧領域の波圧に変化していることがわかる。

以上より、被災メカニズムについて鷺崎漁港、水津漁港を例に図-5に示す。来襲波としては従来想定されていない、遮蔽効果による減衰が比較的小さいNNE方向から波高が大きく周期の長い波が佐渡北端の浅瀬の影響を受けながら回り込むように3漁港へ来襲した。堤体付近では築造時の設計波以上の波高になり、さらに日本海で発生した高潮、長周期波の影響による高潮位が重なり、設計時の波力を上回る波力が防波堤に作用し被災したものと考えられる。

## (2) 入善漁港海岸の被災メカニズム

被災波に対し入善漁港海岸周辺の狭領域について、ブシネスク方程式を用いて波浪変形計算を行った。潮位は被災時の観測潮位 $TP+0.31m$ に長周期波成分としてサーフビートの振幅 $0.25m$ の2倍(合田(1975))を加えて $DL+0.85m$ とした。図-6より、入善漁港寄りの海底地形は急勾配であり、第1,2号離岸堤と第1,2号潜堤の背後には $80cm$ を越える水位上昇が見られ、これら離岸堤、潜堤の前面には $7, 8m$ を越える波高が出現していた。次に被害規模の大きかった第1号潜堤を含む岸沖方向について緩傾斜護岸からの越波、越流状況を検討するため、不規則波による数値波動水槽CADMAS-SURFによる数値計算を行い、一樣水深部と緩傾斜護岸法先等の水位及び移動平均水位、並びに護岸直立部上の水位および流速より護岸背後への越波流量の時系列変化を調べた。図-7より、緩傾斜護岸法先の平均水位は $+1m \sim 3m$ の範囲で $2 \sim 3$ 分間隔の周期で変動している。図-8より、平均水位がピ

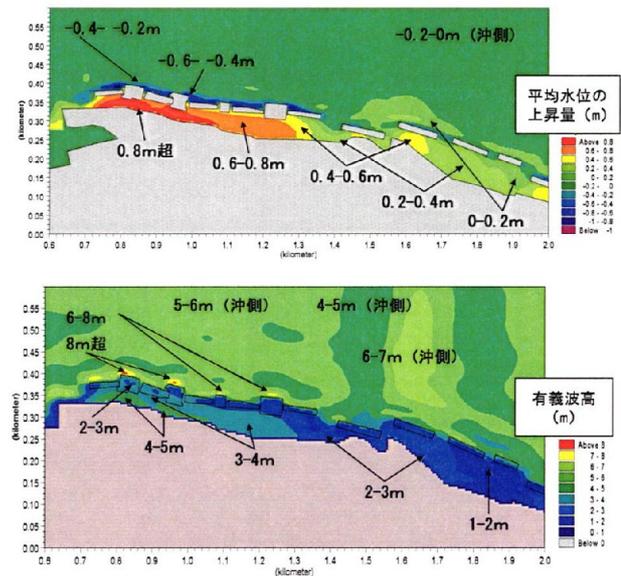


図-6 被災波に対する平均水位上昇量と波高の分布

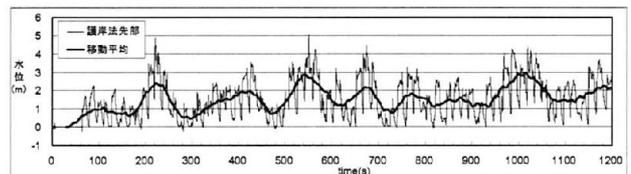


図-7 護岸法先における水位変動

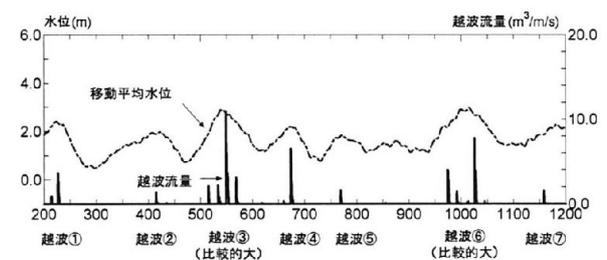


図-8 緩傾斜護岸からの越波流量と法先の移動平均水位

ークに達する時に越波が発生し、3分に1回程度の頻度(1200s/7回)、うち10分に1回程度(1200s/2回)は比較的大きな越波となっており、これは現地

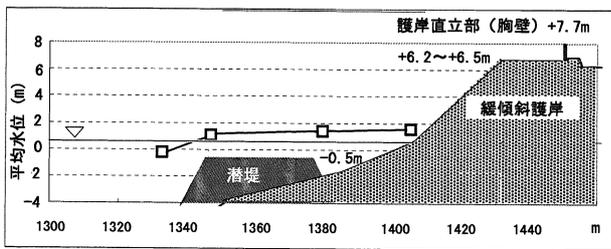


図-9 潜堤から緩傾斜護岸法先部の平均水位

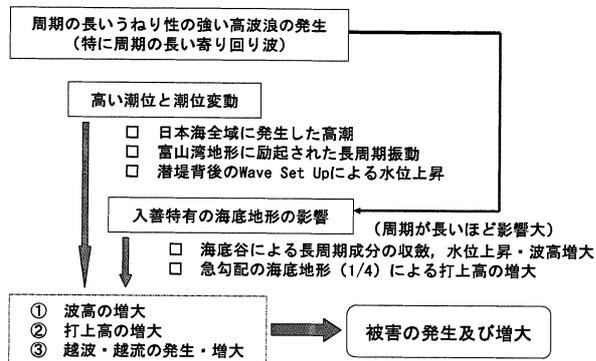


図-10 入善漁港海岸の被災メカニズム

観測した越波状況ビデオ等から得られた越波頻度とも一致している。これより、潜堤による平均水位の上昇は越波の発生や増大の要因の一つと考えられる。

緩傾斜護岸への打上高を算定し、天端高との比較を行った。潮位は、観測潮位+30cmに湾内の数十分の長周期波による上昇30cmと数十秒から数分の長周期波による上昇40cmを考慮してDL+1.0m (HHWLに相当)とした。潜堤前面の波高8.30mに対して、潜堤を透過した後の波高と平均水位上昇量は、中山式<sup>2)</sup>により各々 $8.3 \times 0.43 = 3.57\text{m}$ 、 $1.0\text{m}$ と算定した。透過後の周期は同じとしてサビールの仮想勾配法により打上高は $2.68 \times 3.18 = 8.52\text{m}$ と算定した。よって、潮位と潜堤背後の平均水位上昇量を考慮した打上高は $8.52 + 1.00 + 1.00 = 10.5\text{m}$  (DL上)になる。これは護岸天端高DL+7.7mを2.8mも上回るものである。

被災メカニズムを図-10に示す。①日本海全域に発生した高潮、富山湾内地形によって励起された長周期振動、潜堤背後のWave Set Upによる水位上昇など高い潮位と潮位変動、②急勾配の海底斜面による打上高の増大、海底谷による長周期波の収斂による水位上昇、波高の増大など入善特有の海底地形の影響により到達波高や打上高が増大し、離岸堤や潜堤、護岸のブロック等の飛散や損壊、護岸からの越波、越流による被害が生じたものと考えられる。

## 5. 漁港施設及び海岸保全施設の復旧方法

災害復旧事業は、被災施設の原形復旧が原則であるが、今回の災害では基本施設の被災や背後集落の

被害の甚大さに鑑み、再度災害がないよう、被災波を考慮して施設の安全性の確保を図るとともに、通常の漁港事業や海岸事業との連携により嵩上げなど漁港、海岸の機能を高めることとした。

### (1) 鷲崎、北小浦及び水津漁港の復旧

被災した施設の築造時の設計沖波は、20～50年前に設定されたものであり、現在県下の漁港施設の設計は2006年に見直した新沖波（2006年新沖波）を用いて行われている。2006年新沖波の各施設に対する沖波の主方向はNであるが、堤体付近での波向は、被災波とほぼ同じであったこと、堤体付近での波高と周期も被災波とほぼ同程度であったことから、復旧には2006年新沖波を用いることとした。防波堤の復旧工法及び構造として、鷲崎漁港の場合を例に図-11に示す。堤体部に作用する波圧が重複波圧領域から碎波圧領域になるとともに、衝撃碎波の発生を避けるため、災害復旧事業として堤体部の拡幅、消波工被覆の他、既設消波工のブロック重量を増すなど防波堤の安定性を確保することとした。併せて、漁港事業により防波堤天端の嵩上げや消波工の設置などの改良を行うこととした。施工においては、消波工の消波ブロックを応急的に堤体部から離し消波堤として設置することで、復旧工事の施工性を高め、同時に工事期間中の漁港利用に配慮することとした。

### (2) 入善漁港海岸の復旧

被災した施設の築造時の設計沖波は、1986年の沖波であり、今回の災害を踏まえてこれを見直すこととした。すなわち、従来の気象データに1986年以降の気象擾乱並びに今回の災害を与えた気象を加えて波浪推算を行い、設計沖波（2008年新沖波）を算定し、海岸保全施設の復旧に用いられることとした。復旧工法及び構造について図-12に示す。潮位はDL+1.00mとし、新沖波に対する離岸堤及び潜堤のブロックの所要重量や護岸への打ち上げ高を算出し、潜堤の離岸堤化、離岸堤の消波ブロックの重量の増大と護岸の嵩上げを行うこととした。護岸天端高は、

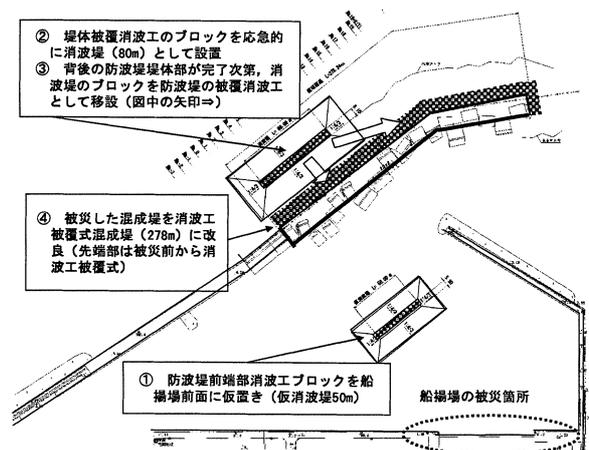


図-11 鷲崎漁港の復旧方法

	被災前断面	復旧の内容	復旧断面
離岸堤		<ul style="list-style-type: none"> <li>・天端高さ増(+2.0m)</li> <li>・天端幅増(+1.6m)</li> <li>・ブロック重量増(30t→50t)</li> </ul>	
潜堤		・潜堤の離岸堤化	
護岸		・護岸嵩上げ(+80cm)	

図-12 入善漁港海岸の復旧工法と構造

+7.7mから+8.5mに嵩上げされ、今回のような高波浪に対しては、復旧後の護岸天端+8.5mを1.0m程度超えるまでに打上高を低減できることになる。護岸直立部にある5カ所の開口部の内中央3箇所は、海へのアクセスを確保する階段工を設けて塞ぎ、両端2カ所は開口幅を15mから5mに狭めて陸閘を設置し、ゲートの設計には打上げによる波圧を考慮した。寄り回り波は事前予測が難しいこと、陸側が低いという背後地域の地形条件及び波の不規則性を勘案すると、今回のような高波浪や想定を超える護岸からの越波、越流が発生しても、背後集落への影響を最小限にとどめるフェール・セーフの観点から、災害復旧事業に併せて海岸事業（災害対策関係事業調整費）により被災した護岸背後の副堤整備（二重堤防方式）や東側の既設護岸の嵩上げを行うこととした。

## 6. 災害復旧の評価及び設計上の課題

### a) 災害復旧の進捗とその要因

入善漁港海岸については、発災からわずか1年で概ね復旧することができた。鷺崎漁港等については、被災防波堤前面に應急的に設置する消波堤の工事が昨年中に終了し、防波堤の取壊とケーソン製作が予定どおり進んでいる。冬季風浪が始まる今年11月までに、最も被災の大きかった工区の復旧を終了できるものとする。こうした迅速な復旧の要因として、①被災原因の解明のための技術検討委員会の設置や関係省庁WGによる情報の共有化、②早期復旧や再度災害防止に向けた地域住民や漁港利用者とのコミュニケーション、③応急工事を活用した消波ブロック製作、④通常の整備事業との連携などが挙げられる。

### b) 防災・減災上の課題

地元関係者からは、今までに経験したことのない津波のような高波であったこと、気象や海象の変化に通じた漁業者でさえ高波の来襲は予測できず、通常行っている漁船等の係留や上架、他港への避難、漁具等の保管など、十分に対応できなかったことが

指摘されている。そこで、①こうした災害の地域への周知、地域の危機管理体制につなげること、②うねり性の強い高波浪の発生と来襲の予測技術の向上、③波高の他、周期や波向も含めた詳細な気象情報・波浪情報の提供、活用が期待される。

### c) 漁港施設等の設計上の課題

今回の高波浪による被災分析から、漁港施設等の設計上の課題が明らかになった。

- ①潮位偏差記録等の検証を行い、必要に応じて設計潮位に反映していく。新しい気象擾乱を検証した沖波の見直しと、波浪のスペクトル特性、卓越周期の異なるうねりと風波の重畳効果等も必要に応じ検証していく。急勾配地形の影響が著しい浅海域においては、きめ細かい波浪変形計算を行う。
- ②周期の長い波浪による被災や、重複波圧領域で設計した防波堤に碎波圧領域の波圧や衝撃碎波力が作用して被災した事例が多く見られることから、事例を分析し、波圧や安定性について検討する。
- ③生命、財産等への影響を最小限となるよう、必要に応じフェール・セーフの考え方を導入する。

## 7. 最後に

- 1) 今回の被災は、①周期の長いうねり性の強い高波浪が発生し、高潮や水位の長周期変動が起こり、潮位が高かったことに加え、②佐渡島の3漁港では波向が北東寄りになり、防波堤付近まで大きい波高を維持して来襲し、碎波圧や衝撃碎波が発生したこと、③入善漁港海岸は、海底谷と急勾配という特有の海岸地形を有し、波の収斂による水位上昇や打上高の増大によるものと考えられる。
- 2) 鷺崎漁港等では、2006年新沖波に対して、堤体部拡幅、消波工被覆や既設消波ブロック重量の増大、嵩上げを行うこととした。入善漁港海岸では、今回の気象擾乱等を加えて波浪推算を行い、設計沖波とした。潜堤の離岸堤化、離岸堤のブロック重量の増大、護岸の嵩上げ等を行うとともに、フェール・セーフの観点から、護岸背後の副堤整備と隣接する既設護岸の嵩上げを行うこととした。
- 3) 今後の漁港施設等の設計について、新しい気象擾乱を検証した沖波の見直し、うねりと風波の重畳効果の検証、波圧や安定性の検証が求められる。

### 参考文献

- 1) 片山裕之、橋本牧、中泉昌光、野口博之、大塚浩二、駒口友章：2008年2月日本海高波浪による漁港・海岸災害の波浪特性について、土木学会海洋開発論文集、Vol. 25, 2009.
- 2) 中山哲蔵：人工リーフの水理特性及び被覆材の安定性に関する実験的研究（その2）、水産工学研究所技報水産土、Vol. 16, pp. 35-45, 1994.