

平成20年2月の日本海高波浪に関する技術検討委員会

平成20年2月23日から24日にかけて、強い冬型の低気圧により北日本から西日本にかけての日本海側に激しい高波浪が発生し、特に、新潟県及び富山県で漁港施設・漁港海岸保全施設の被災や越波等による漁船や背後の家屋の被災、死者・負傷者が生じる惨事となった。今回の災害は、北海道西方沖で低気圧が停滞し、長時間にわたって強い風が吹き続けたことなどの特殊な気象条件により、富山などでは「寄り回り波」ともいわれるうねり性の波浪が卓越し通常とは違った複雑な高波浪が発生したことに起因すると考えられている。

今回の高波浪の特性や漁港施設等の被災原因を明らかにすることにより、今後の適切な災害復旧及び漁港施設等の整備に反映させることを目的に、水産庁、新潟県及び富山県が合同で、「平成20年2月の日本海高波浪に関する技術検討委員会」を設置した。

技術検討委員会の委員

- ・佐藤 慎司(委員長)
 東京大学大学院工学研究科社会基盤学専攻教授
- ・泉宮 尊司 新潟大学工学部建設学科教授
- ・千葉 元 国立富山商船高等専門学校商船学科准教授
- ・中山 哲巖 (独)水産総合研究センター水産工学研究所
 水産土木工学部開発システム研究室長
- ・鈴木 靖 (財)日本気象協会営業統括本部市場開発部長
- ・橋本 牧 水産庁漁港漁場整備部長
- ・高倉 信幸 新潟県農林水産部漁港課長
- ・佐伯 宗茂 富山県農林水産部水産漁港課長

注) 技術検討委員会には関係者として気象庁担当官等も参加した。

これまでの経緯

- 災害発生:平成20年2月24日(日)
- 水産庁災害担当職員による被害状況調査:2月25日～27日
- 本技術検討委員会の設置:2月29日
- 水産工学研究所専門家等の被災状況調査:3月5日～7日
- 第1回技術検討委員会(3月17日、東京三番町)
- 委員長等現地調査:3月31日～4月1日
- 第2回技術検討委員会(4月10日、東京農林水産省)
- 技術検討委員会中間とりまとめ:5月7日
- 第3回技術検討委員会(6月20日、東京農林水産省)
- 技術検討委員会とりまとめ:平成20年9月30日

注)平成20年3月21日、4月17日及び8月29日に河川局、港湾局、気象庁及び水産庁の関係部局が技術情報を共有し意見交換を行う「高波発生メカニズム共有に関するWG」が開催された。

2月23日から24日に発生した低気圧による日本海高波の被害状況とその対応について

被害状況

新潟県及び富山県を中心に日本海沿海14県の30漁港、6漁港海岸において、防波堤、岸壁、護岸等が被災。漁港施設等の被害報告額は255億円。

富山県の被害

富山県では、人的被害の他、4漁港、2漁港海岸、漁船66隻などに被害。

特に、入善漁港海岸の護岸被害が大きく、背後集落も浸水。



護岸からの越流(入善漁港海岸)



背後集落の被害(入善漁港海岸)



護岸の被覆ブロックの飛散(入善漁港海岸)



りっこう もんぴ
陸間の門扉の飛散(入善漁港海岸)



りっこう
陸間の応急工事(入善漁港海岸)

新潟県の被害

新潟県では、佐渡市を中心に9漁港、1漁港海岸、漁船266隻などに被害。
特に、水津、鷲崎、北小浦漁港では、防波堤が滑動・転倒し、他の漁港施設にも甚大な被害が発生。



防波堤の滑動・転倒(水津漁港)



岸壁の破損(水津漁港)



防波堤の滑動・転倒(北小浦漁港)

対応状況

- ・新潟県と富山県の被災地へ、災害が発生した翌日から水産庁担当官らを派遣し、被災状況の把握、技術的助言、寄り回り波に関する現地調査等を実施。
- ・地元漁業者や地域住民の意向等を踏まえ、早期漁業活動の再開、背後地への被害拡大防止及び早期災害復旧のため、査定前に着工できる応急工事を実施。
- ・波の特性や漁港施設等の被災原因を明らかにするため、学識経験者等から構成される「日本海高波浪に関する技術検討委員会」を設置。委員会による提言(中間取りまとめ)を踏まえ、災害復旧事業の内容を決定。
- ・現地災害査定は、6月4日までに全て完了。被害額が4億円を越える水津、鷲崎、北小浦漁港の4施設(防波堤)については、6月30日に財務省と保留協議を終了。
- ・発注準備が整ったところから、本格的な復旧工事を実施。

委員会とりまとめ骨子

冬季の日本海側の沿岸では、主に北西風による高波浪が卓越するが、このような高波浪の際には、富山湾や佐渡の本土側の漁港等では、能登半島や佐渡島の遮蔽効果によって一般に静穏状態が保たれている。一方、昔から富山などの沿岸では「寄り回り波」と呼ばれているうねり性波浪が来襲し、漁船被害や浸水被害等をもたらすことが知られている。

今回発生した高波浪は、これまでも頻繁に来襲してきた一般的なうねり性波浪ではあまり見られない特異な高波浪により特に新潟の佐渡沿岸及び富山の入善漁港海岸等において甚大な被害をもたらしたことから、技術検討委員会においては、これらの地域を中心に高波浪発生メカニズムや被災要因に関する検討を進めてきたところである。

これまで3回の技術検討委員会を開催し、被災状況の分析を始め、様々な気象・海象データの分析や数値シミュレーションを用いた解析等により、今回のうねり性高波浪の特徴や漁港施設等の被災要因について詳細にわたり明らかになってきたところである。

具体的に、波浪に関しては、北海道西方海上の低気圧によって形成された強風によって発生した波浪が日本海を長軸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、日本海北部では北から北東よりの強風が23日から24日にかけて長時間継続し、長い吹送距離と吹送時間により、長い周期のうねりとなってさらに発達したこと、また日本海を発達しながら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て高波浪が形成されたことが、佐渡や富山湾等に周期が長いうねり性高波浪をもたらした要因であったことがほぼ解明されつつある。

さらに、高潮や水位の長周期変動が認められ、新潟の佐渡を始め富山湾でもそれらが合わさって潮位が高かったことや、富山湾内や佐渡の複雑な地形特性や前浜の急な海底勾配等による波の収斂や波高の増大さらには水位の上昇等が起こり、これらも被害を増幅させた要因であることもわかってきたところである。

被害の大きかった入善漁港海岸の前浜は、隣接する下新川海岸の中でも特に急勾配な海岸(1:4)地形となっており、屈折による波の収斂や前浜での水位の上昇(Wave Setup等)のみならず急勾配による打上高さが増幅されることにより、甚大な越流被害をもたらしたものと推定される。

また、同様に被害の大きかった佐渡の鷲崎漁港、水津漁港等でも、高潮等による水位の上昇とともに北東寄りになった波向きの変化も被災に大きな影響を及ぼしており、漁港の防波堤前面まで高い波高を維持して来襲するとともに、衝撃砕波によるケーソンの被災等が確認されている。

今回の高波浪は、沖合での波浪特性から見ると必ずしも過去数十年の間に来襲した最大波高を上回るものではないが、吹送距離及び吹送時間が長かったことから、既往の最大周期を超えるレベルの長い周期のものであったこと、またより北から北東よりの波向であったことが特徴である。また、このような周期の長い高波浪が、能登半島や佐渡の遮蔽の影響の少ない波向から来襲したことにより、先に掲げた入善漁港海岸や佐渡の鷲崎漁港等における波高の増大や被害の増大を助長するメカニズムについても今回の検討を通じて分かってきたところである。

また、いわゆる「寄り回り波」をもたらす今回と似た気圧配置のパターンはこれまでも毎年数度発生している。それによる漁港施設や漁船等の被害は、規模の大小はあるが数年に一度程度起こっている。しかしながら、これだけ日本海広域にわたって周期の長い高波浪が長時間継続して来襲し、かつ大きな被害があったケースは数少ない。

今後進められる復旧に際しては、本技術検討委員会の中で議論されてきたように、入善漁港海岸においては、うねり性の高波浪による被害を考慮した対策が必要であり、具体的には越波対策等として二次災害を最小限にとどめるフェールセーフの視点の重要性、ブロックの安定重量の確保等の留意点も踏まえ、適切な復旧に努めていくことが重要である。

また佐渡の鷲崎漁港等においては、北西風による風波と南下してきたうねりが重なったこと、さらに従来想定していなかった遮蔽の影響を受けない波向から高波浪が来襲したため防波堤に高波が到達し、地形の影響等で衝撃砕波が発生した。復旧に際しては、衝撃的な波圧を軽減するための消波工の設置や既設消波工の安定重量の確保等の留意点を踏まえ、適切な復旧に努めていくことが重要である。

また、このような周期の長い波浪の発達・伝播メカニズムの解明を通じて得られた知見をもとに、今後の漁港施設の設計等にどのように活かしていくことができるか、引き続き検討を進めていくことも重要である。

平成20年2月の日本海高波浪に関する
委員会とりまとめ

平成20年9月

平成20年2月の日本海高波浪に関する技術検討委員会

TABLE OF CONTENTS

はじめに	1
I 委員会とりまとめ骨子.....	3
II 漁業地域における被害状況について.....	5
1 全国の水産関係被害状況(水産庁調べ)	5
2 富山県及び新潟県の水産関係被害状況	7
(1) 富山県	7
(2) 新潟県	8
3 富山及び新潟の漁港施設等の被災状況	9
(1) 被害の大きかった漁港及び海岸	9
(2) 入善漁港海岸の被災状況(写真は富山県・入善町提供)	9
(3) 新潟県の鷺崎漁港等の被災状況(写真は新潟県提供)	13
III 今回の気象及び高波浪の特性について.....	18
1 災害をもたらした気象擾乱(風域場等)の状況	18
(1) 気象観測データの整理	18
(2) 風域場の推算結果	22
2 潮位等の状況	25
(1) 潮位と潮位偏差	25
(2) 潮位変動	29
(3) 富山湾内の流れ	34
3 富山及び新潟での高波浪の形成状況	35
(1) 波浪観測データの整理	35
(2) 波浪推算による波浪再現	37
(3) 過去の寄り回り波の特徴	41
(4) 漁港別の被災沖波の推算結果	44
(5) 被災波の再現性について	47
(6) 富山湾全域の寄り回り波の来襲特性について	52

IV 漁港施設等の被災要因について……………	59
1 入善漁港	59
(1) 浅海域での波浪変形特性	59
(2) 緩傾斜護岸の打上高の推定	62
(3) 被災発生メカニズム	67
2 鷺崎漁港、水津漁港等	70
(1) 浅海域での波浪変形特性	70
(2) 被災防波堤の滑動特性	78
(3) 被災発生メカニズム	79
V 漁港施設等の復旧や今後の整備に向けて……………	81
1 漁港施設等の復旧に向けて	81
(1) 富山県入善漁港海岸	83
(2) 新潟県鷺崎漁港、水津漁港及び北小浦漁港	87
2 今後の漁港施設等の設計上の主な課題	95
(1) 漁港施設の設計潮位について	95
(2) 波浪推算について	96
(3) 防波堤に作用する波圧について	97
(4) 衝撃碎波について	97
(5) 長周期波浪とブロックの安定について	98
(6) フェール・セーフの考え方を取り入れた漁港施設等の設計について	99
I 技術検討委員会の設置目的	100
II 技術検討委員会の委員	100
III これまでの主な被害状況調査及び技術検討委員会開催状況	101

はじめに

平成20年2月23日から24日にかけて、強い冬型の低気圧により北日本から西日本にかけての日本海側に激しい高波浪が発生し、特に、新潟県及び富山県で漁港施設・漁港海岸保全施設の被災や越波等による漁船や背後の家屋の被災、死者・負傷者が生じる惨事となった。

今回の災害は、北海道西方沖で低気圧が停滞し、長時間にわたって強い風が吹き続けたことなどの特殊な気象条件により、富山などでは「寄り回り波」ともいわれるうねり性の波浪が卓越し通常とは違った複雑な高波浪が発生したことに起因すると考えられている。

今回の高波浪の特性や漁港施設等の被災原因を明らかにすることにより、今後の適切な災害復旧及び漁港施設等の整備に反映させることを目的に、水産庁、新潟県及び富山県が合同で、「平成20年2月の日本海高波浪に関する技術検討委員会」を設置した。

これまで4カ月の間で、3回にわたり「平成20年2月の日本海高波浪に関する技術検討委員会」(以下「技術検討委員会」という。)を都内で開催し、主に漁業地域における被害状況、今回の気象及び高波浪の特性、高波浪発生及び漁港施設等の被災要因について検討を行ってきた。

これら技術検討委員会での検討を通じて、被災状況の分析を始め、気象・海象データの分析や数値シミュレーション等により、今回のうねり性高波浪の特徴や漁港施設等の被災要因についてかなり詳細にわかってきたところである。また、今回の高波浪の特徴や漁港施設等の被災要因を踏まえた今後の災害復旧等への提言などが委員会の中で議論されてきた。

このため技術検討委員会では、これまでの検討結果について委員会取りまとめとしてその概要をまとめることとした。

甚大な被害が生じた漁港施設等の復旧には多くの時間を要し大変なことと承知しているが、可能な限り一日も早くこれらの漁業地域に住んでいる方々が安心して暮らせるように、漁港施設等の迅速な復旧に努めていただけるように願っている。

なお、本技術検討委員会での検討と平行して、河川局、港湾局、気象庁及び水産庁の関係部局が今回の高波浪に関するそれぞれの技術情報を共有し意見交換を行う「高波発生メカニズム共有に関するWG」が開催されている。

その中で共有された観測データや気象・海象に関する有意義な分析結果も検討等の際して貴重な材料となっていることをここに記す。

平成20年8月

技術検討委員会委員長
佐藤 慎 司

I 委員会とりまとめ骨子

冬季の日本海側の沿岸では、主に北西風による高波浪が卓越するが、このような高波浪の際には、富山湾や佐渡の本土側の漁港等では、能登半島や佐渡島の遮蔽効果によって一般に静穏状態が保たれている。一方、昔から富山などの沿岸では「寄り回り波」と呼ばれているうねり性波浪が来襲し、漁船被害や浸水被害等をもたらすことが知られている。

今回発生した高波浪は、これまでも頻繁に来襲してきた一般的なうねり性波浪ではあまり見られない特異な高波浪により特に新潟の佐渡沿岸及び富山の入善漁港海岸等において甚大な被害をもたらしたことから、技術検討委員会においては、これらの地域を中心に高波浪発生のメカニズムや被災要因に関する検討を進めてきたところである。

これまで3回の技術検討委員会を開催し、被災状況の分析を始め、様々な気象・海象データの分析や数値シミュレーションを用いた解析等により、今回のうねり性高波浪の特徴や漁港施設等の被災要因について詳細にわたり明らかになってきたところである。

具体的に、波浪に関しては、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長軸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、日本海北部では北から北東よりの強風が23日から24日にかけて長時間継続し、長い吹送距離と吹送時間により、長い周期のうねりとなってさらに発達したこと、また日本海を発達しながら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て高波浪が形成されたことが、佐渡や富山湾等に周期が長いうねり性高波浪をもたらした要因であったことがほぼ解明されつつある。

さらに、高潮や水位の長周期変動が認められ、新潟の佐渡を始め富山湾でもそれらが合わさって潮位が高かったことや、富山湾内や佐渡の複雑な地形特性や前浜の急な海底勾配等による波の収斂や波高の増大さらには水位の上昇等が起こり、これらも被害を増幅させた要因であることもわかってきたところである。

被害の大きかった入善漁港海岸の前浜は、隣接する下新川海岸の中でも特に急勾配な海岸(1:4)地形となっており、屈折による波の収斂や前浜での水位の上昇(Wave Setup 等)のみならず急勾配による打上高さが増幅されることにより、甚大な越流被害をもたらしたものと推定される。

また、同様に被害の大きかった佐渡の鷲崎漁港、水津漁港等でも、高潮等による

水位の上昇とともに北東寄りになった波向きの変化も被災に大きな影響を及ぼしており、漁港の防波堤前面まで高い波高を維持して来襲するとともに、衝撃砕波によるケーソンの被災等が確認されている。

今回の高波浪は、沖合の波候から見ると必ずしも過去数十年の間に来襲した最大波高を上回るものではないが、吹送距離及び吹送時間が長かったことから、既往の最大周期を超えるレベルの長い周期のものであったこと、またより北から北東よりの波向であったことが特徴である。また、このような周期の長い高波浪が、能登半島や佐渡の遮蔽の影響の少ない波向から来襲したことにより、先に掲げた入善漁港海岸や佐渡の鷺崎漁港等における波高の増大や被害の増大を助長するメカニズムについても今回の検討を通じて分かってきたところである。

また、いわゆる「寄り回り波」をもたらす今回と似た気圧配置のパターンはこれまでも毎年数度発生している。それによる漁港施設や漁船等の被害は、規模の大小はあるが数年に一度程度起こっている。しかしながら、これだけ日本海広域にわたって周期の長い高波浪が長時間継続して来襲し、かつ大きな被害があったケースは数少ない。

今後進められる復旧に際しては、本技術検討委員会の中で議論されてきたように、入善漁港海岸においては、うねり性の高波浪による被害を考慮した対策が必要であり、具体的には越波対策等として二次災害を最小限にとどめるフェールセーフの視点の重要性、ブロックの安定重量の確保等の留意点を踏まえ、適切な復旧に努めていくことが重要である。

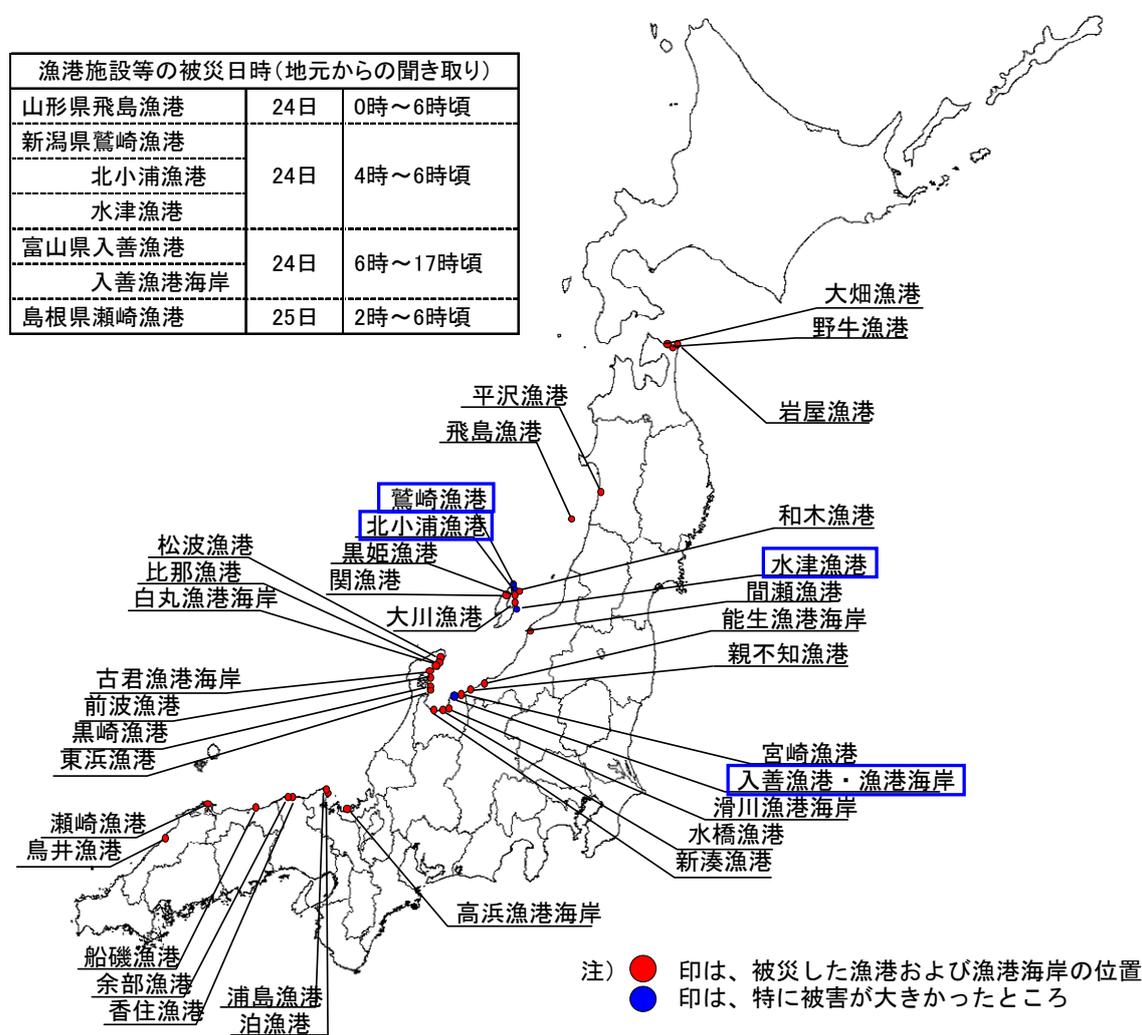
また佐渡の鷺崎漁港等においては、北西風による風波と南下してきたうねりが重なったこと、さらに従来想定していなかった遮蔽の影響を受けない波向から高波浪が来襲したため防波堤に高波が到達し、地形の影響等で衝撃砕波が発生した。復旧に際しては、衝撃的な波圧を軽減するための消波工の設置や既設消波工の安定重量の確保等の留意点を踏まえ、適切な復旧に努めていくことが重要である。

また、このような周期の長い波浪の発達・伝播メカニズムの解明を通じて得られた知見をもとに、今後の漁港施設の設計等にどのように活かしていくことができるか、引き続き検討を進めていくことも重要である。

Ⅱ 漁業地域における被害状況について

1 全国の水産関係被害状況(水産庁取りまとめ)

2月23日から24日にかけて発達した低気圧の影響で高波が発生し、新潟県と富山県を中心に日本海沿海14県において人的被害や家屋被害の他、30漁港、6漁港海岸、漁業用施設、共同利用施設、漁業集落環境施設、並びに漁船・漁具等が被災し、水産関係で267億円の被害報告があった。



図Ⅱ-1-1 被災した漁港及び漁港海岸の位置図

今回の高波浪による被害のほとんどは新潟県と富山県に集中しており、新潟県では9漁港、1漁港海岸、漁船266隻などの被害が発生し、水産関係の被害額は197億円であった。特に佐渡島の本土側に位置する鷲崎漁港、北小浦漁港及び水津漁港では、防波堤は相当延長にわたり被災し、県下の被害のほとんどを占めることとなった。また、富山県では4漁港、2漁港海岸、漁船66隻などに被害が発生し、水産関係の被害報告額は48億円であり、そのほとんどは、入善漁港海岸の離岸堤、潜堤及び階段式護岸の損壊であった。

表Ⅱ-1-1 主な被災施設と地域

主な被害	被害地域
漁港等の防波堤・護岸線の損壊	北海道、青森県、 岩手県、秋田県、 山形県、新潟県、 富山県、石川県、 福井県、京都府、 兵庫県、和歌山県、 鳥取県、島根県
36漁港・漁港	
81箇所	
1施設	
海岸	
漁業用施設	
36施設	
共同利用施設	
3施設	
漁業集落環境施設	
451隻	
漁船の転覆・破損	
43ヶ統	
等	
51経営体	
漁具（定置網）	
水産物	
その他	

表Ⅱ-1-2 主な被災施設等と被害額

主な被害の内訳 (金額単位:百万円)

県別	漁港	漁港海岸	漁業用施設	共同利用施設	集落環境施設	漁船	漁具(定置網)	水産物	被害額
北海道				3		3		1	26
青森県	3					7			451
岩手県				1					9
秋田県	1								52
山形県	1			3		13			379
新潟県	9	1		21		266	16	50	19,680
富山県	4	2		1	3	66	15		4,751
石川県	5	2	1	1		51	4		241
福井県		1				3			70
静岡県						1			0
京都府	2			4		8	5		73
兵庫県	2								393
和歌山県				2					4
鳥取県	1								150
島根県	2					29			413
山口県						4	3		1
計	30漁港	6海岸	1施設	36施設	3施設	451隻	43ヶ統	51経営体	26,692

注) 漁港及び漁港海岸の被害は災害復旧事業として復旧するもののみを計上

2 富山県及び新潟県の水産関係被害状況

(1) 富山県

表Ⅱ-2-1 富山県の水産関係被害(富山県水産漁港課調べ)

			内 容		応急対策	
漁 港	県 営	宮崎	漁港内道路	道路損壊 L=200m	堆積土除去し、通行確保（応急本工事）	
			滑川	離岸堤		消波ブロック沈下 L=500m
		緩傾斜護岸		陸側歩道舗装面隆起 L=20m		
		新湊	防波堤A	堤防損壊 L=50m		
			防波堤A	消波ブロック沈下 L=70m		
			防波堤	消波ブロック沈下 L=400m		
	市町営	入善	緩傾斜護岸	護岸損壊 L=660m	護岸開口部に土のうとコンクリートブロックを設置	
			離岸堤・潜堤	消波ブロック沈下 L=770m	ブロック製作ヤード造成	
			防波堤	消波ブロック沈下 L=50m		
			集落排水施設	排水管損壊 L=70m 排水管閉塞 L=2000m	応急本工事	
			集落環境施設	公園、防火水槽等 破損		
臨港道路			舗装はく離 L=20m	応急本工事		
泊地、航路			土砂堆積	応急本工事		
水橋	護岸	護岸ブロック沈下等 L=80m				
水 産 施 設	朝日町	個人用船小屋 全壊 3件 一部損壊 11件（船揚げ機等破損 3件）				
	入善町	個人用漁具倉庫 全壊 3件				
	黒部市	民間水産会社漁具倉庫壁損壊・海水土砂流入 1件				
	富山市	焼却施設(使用停止中)シャッター破損 1件				
	高岡市	個人用漁具倉庫 全壊 5件 半壊 5件				
	射水市	養殖施設取水管取水障害 1件				
漁 船	破損60隻、転覆6隻 計66隻					
漁 網	定置網	全損4件、一部損壊11件 計15件				
	刺網等	流失 計45件				

(2) 新潟県

表Ⅱ-2-2 新潟県の水産関係被害(新潟県漁港課・水産課調べ)

		内 容		応急対策	
漁 港	県 営	鷺崎	東防波堤	防波堤損壊 L=280m	東防波堤前面に消波堤を設置 仮消波堤及び仮堤防設置
			船揚場	船揚場損壊 L=100m	
			-3.0m岸壁	エプロン損壊 L=9m	
		水津	北防波堤	防波堤損壊 L=285m	北防波堤前面に消波堤を設置 仮防波堤及び仮堤防設置
			第2沖防波堤	防波堤損壊 L=85m	
			船揚場	ブロック移動 L=90m	L=30mを応急本工事
			-3.0m岸壁	エプロン沈下 L=45m	応急本工事
			-2.0m物揚場	エプロン沈下 L=95m	
			-3.0m泊地	漁網等による泊地埋塞	応急本工事
		間瀬	西防波堤	消波ブロック沈下 L=15m	
		能生	突堤	捨石飛散 L=20m	
		市町村営	北小浦	北防波堤	防波堤損壊 L=220m
	臨港道路			舗装、側溝損壊 L=23m	応急本工事
	臨港道路			側溝損壊 L=26m	
	-3.0m岸壁			エプロン損壊 L=50m	
	-3.0m泊地			漁網等による泊地埋塞	応急本工事
	標識灯			簡易標識飛散 N=1基	
	関		-2.5m物揚場	エプロン沈下 L=30m	
			臨港道路	路肩欠壊 L=50m	
	黒姫		標識灯	簡易標識飛散 N=1基	
釜谷	標識灯		簡易標識飛散 N=1基		
水 産 施 設 等	漁船破損、流失 266隻以上				
	漁協施設等 40件以上				
	漁具等 60経営体以上				
	養殖施設 50経営体以上				

3 富山及び新潟の漁港施設等の被災状況

(1) 被害の大きかった漁港及び海岸



図Ⅱ-2-1 被害の大きかった漁港及び海岸の位置図

(2) 入善漁港海岸の被災状況(写真は富山県・入善町提供)



(読売新聞社提供)

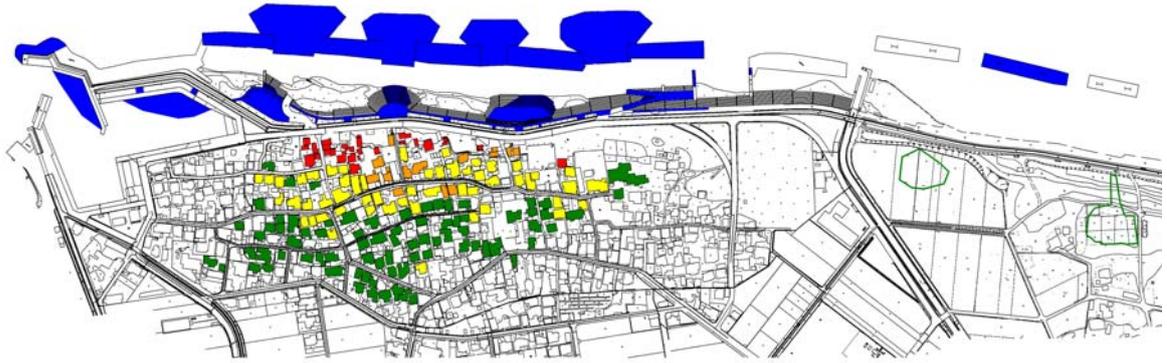
写真Ⅱ-2-1 護岸を超えて背後集落へ押し寄せる高波



写真Ⅱ-2-2 海岸への高波の来襲状況



写真Ⅱ-2-3 海岸背後への高波の来襲状況



凡 例		
被災箇所	■	
集落被害	全壊	■
	半壊	■
	一部損壊	■
	床下浸水	■
	浸水エリア	—

図Ⅱ-2-2 被災マップ



写真Ⅱ-2-4 海岸保全施設の整備状況



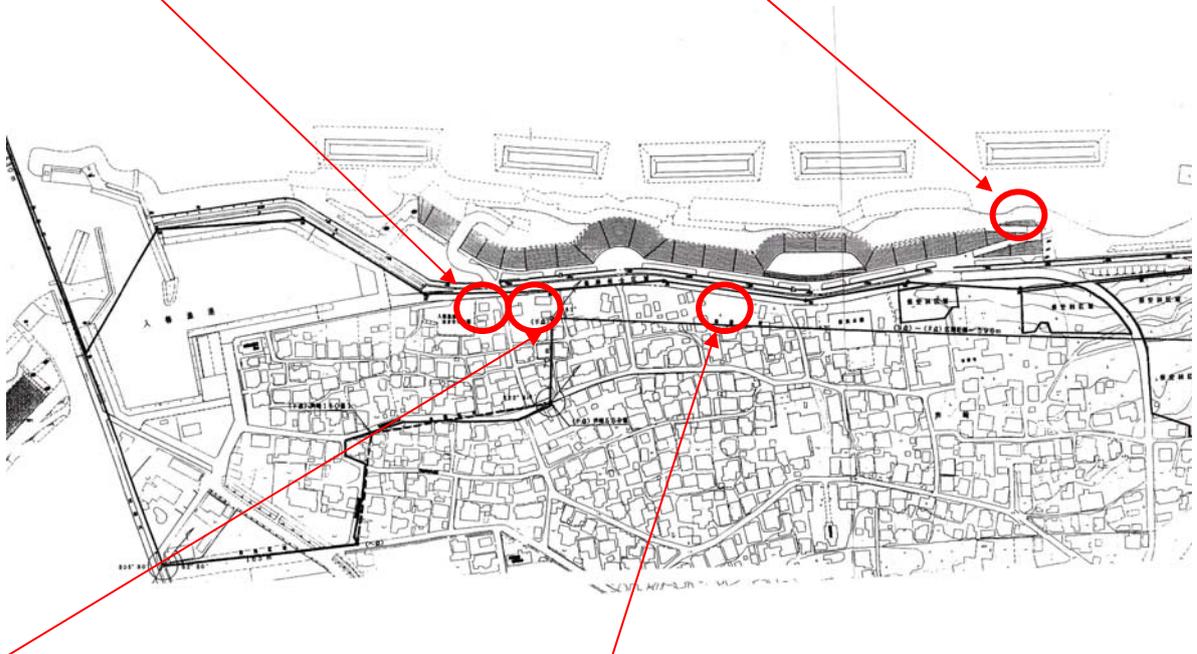
写真Ⅱ-2-5 海岸保全施設の被災状況



陸閘(りっこう)の飛散



緩傾斜護岸のブロックの散壊



建物・家屋の損壊



建物・家屋の損壊

図Ⅱ-2-3 海岸保全施設及び背後の建物・家屋の被災状況

(3) 新潟県の鷺崎漁港等の被災状況(写真は新潟県提供)



写真Ⅱ-2-6 鷺崎漁港の高波の状況



写真Ⅱ-2-7 北小浦漁港の高波の状況



写真Ⅱ-2-8 水津漁港の漁協脇に打ち上げられた漁船



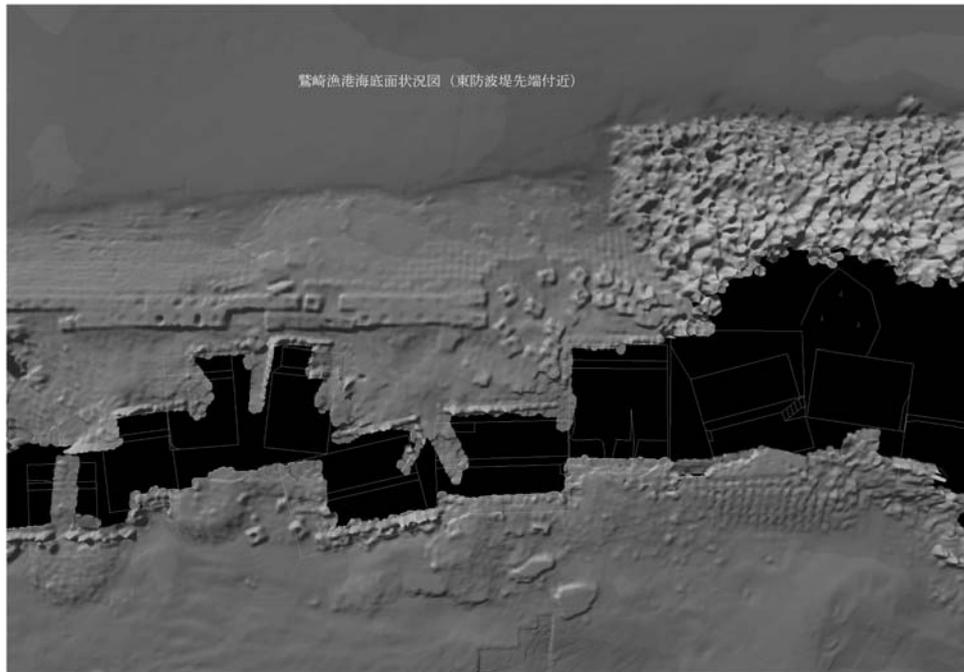
写真Ⅱ-2-9 鷺崎漁港の防波堤の被災状況



写真Ⅱ-2-10 北小浦漁港の防波堤の被災状況



写真Ⅱ-2-11 水津漁港の防波堤の被災状況



図Ⅱ-2-4 鷺崎漁港防波堤周辺の測量結果(ケーソンの滑動等)



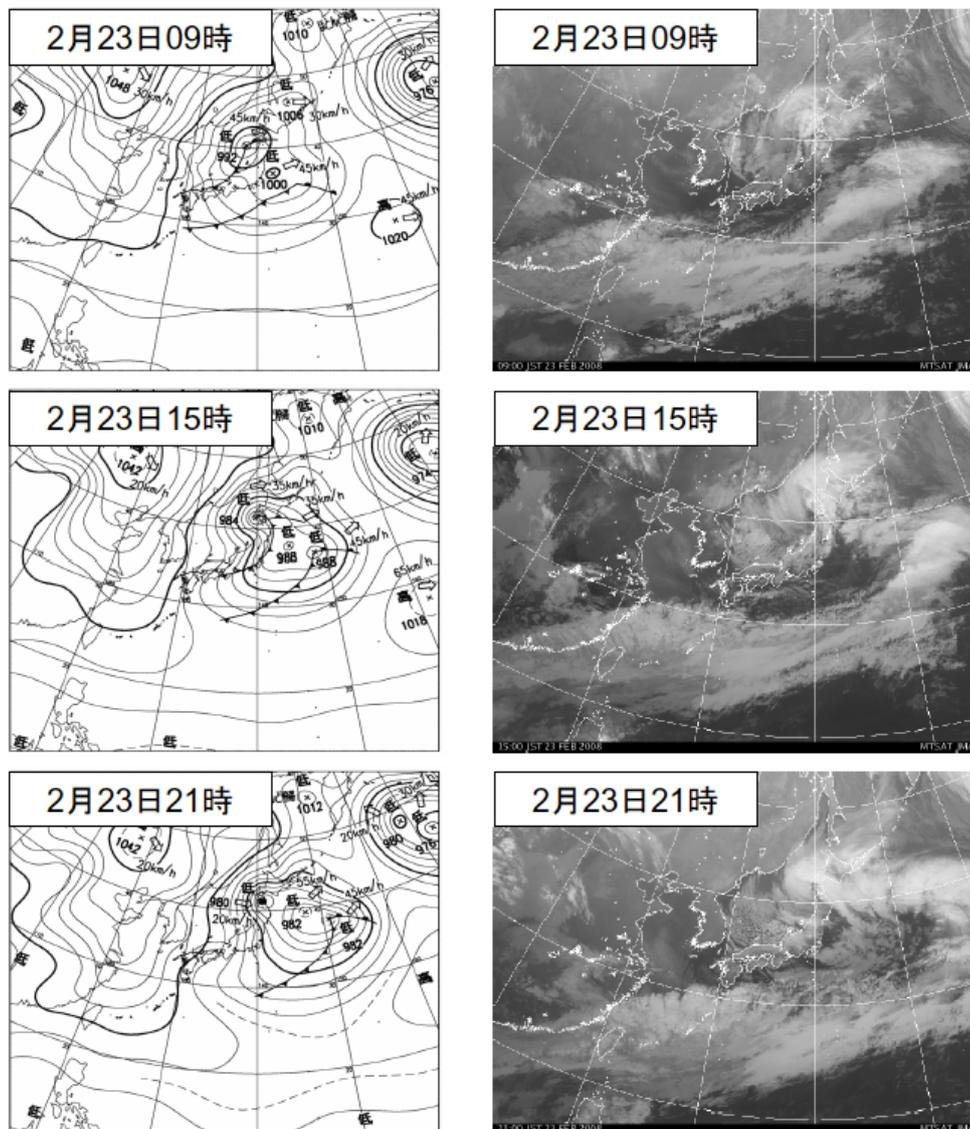
図Ⅱ-2-5 水津漁港防波堤周辺の測量結果(ケーソンの滑動等)

Ⅲ 今回の気象及び高波浪の特性について

1 災害をもたらした気象擾乱(風域場等)の状況

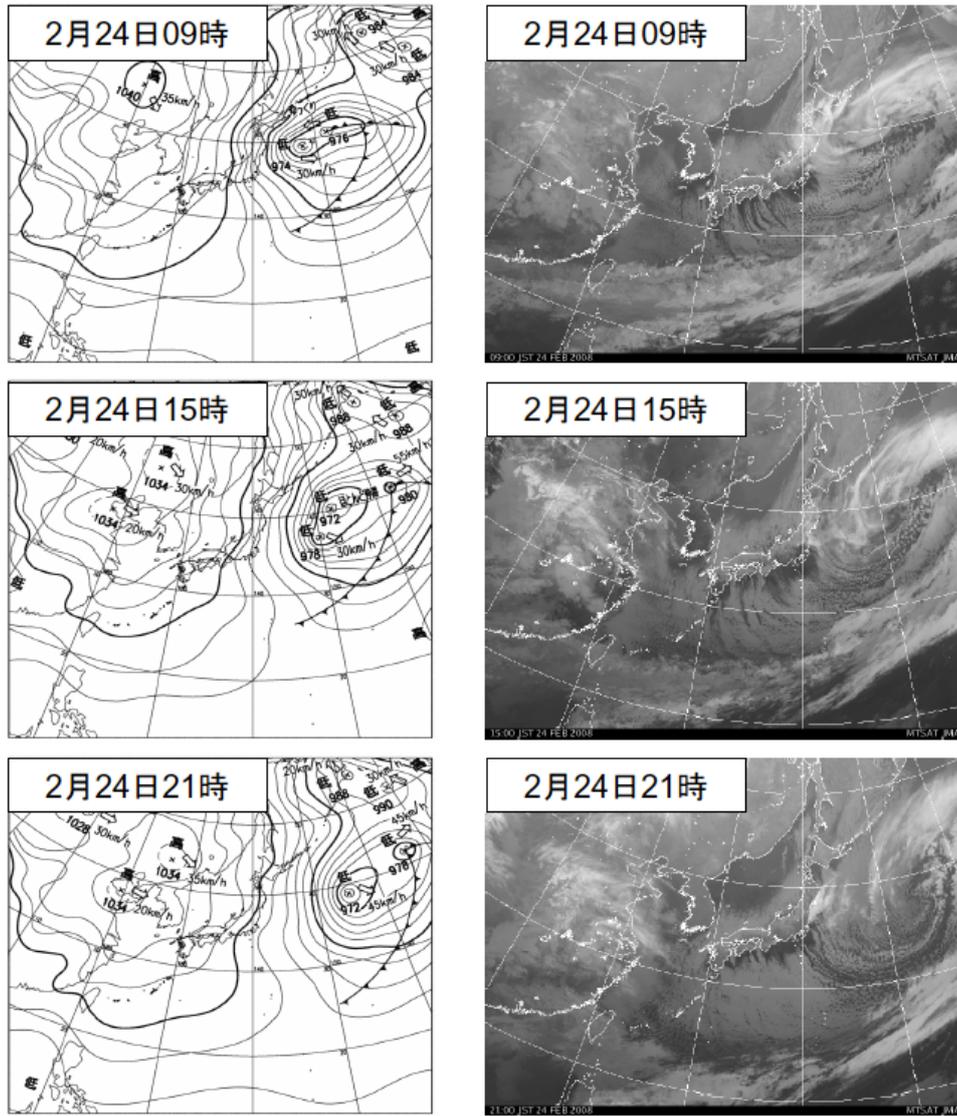
(1) 気象観測データの整理

2月23日～24日にかけて、日本近海を複数の低気圧が発達しながら東進し、日本の東海上で停滞したため冬型気圧配置が強まり、強い寒気の流入により一部で大雪となるなど大荒れの天気となった。津軽海峡付近に停滞した低気圧の影響により、日本海北部で北寄りの強風が継続した。また、23日に関東では春一番が観測されたほか、北日本や西日本では陸上で20～25m/s、海上で25～28m/sの暴風となり、一部では最大瞬間風速が30m/sを超えたところもあった。



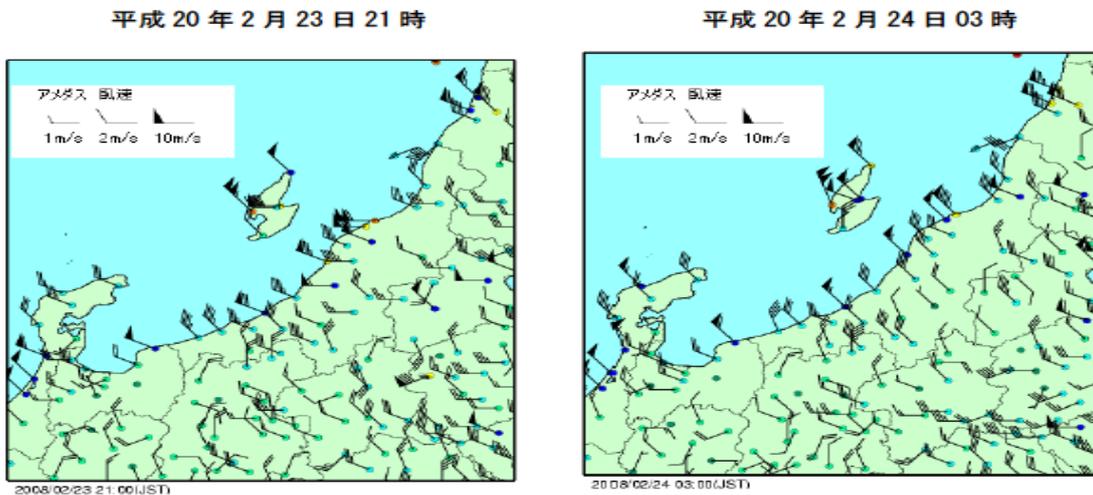
(1)23日の天気図と雲画像

図Ⅲ-1-1 地上天気図と気象衛星(ひまわり6号)による雲画像(気象庁)



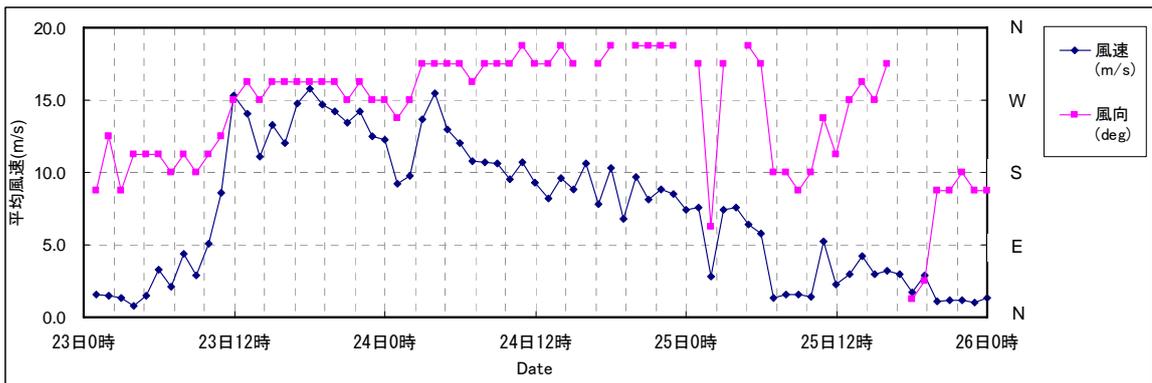
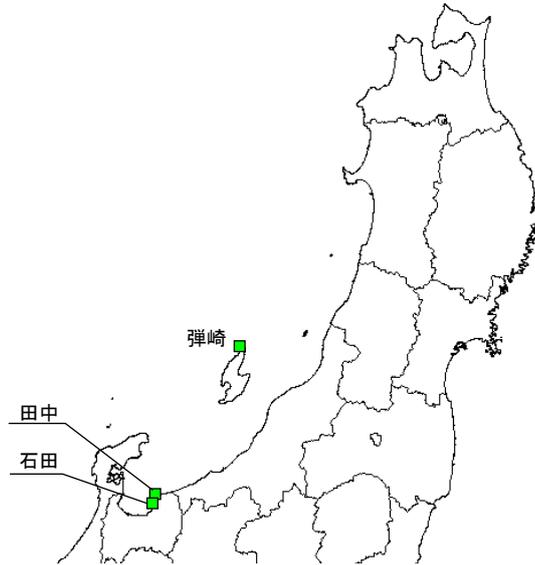
(2) 24日の天気図と雲画像

図Ⅲ-1-1 地上天気図と気象衛星(ひまわり6号)による雲画像(気象庁)

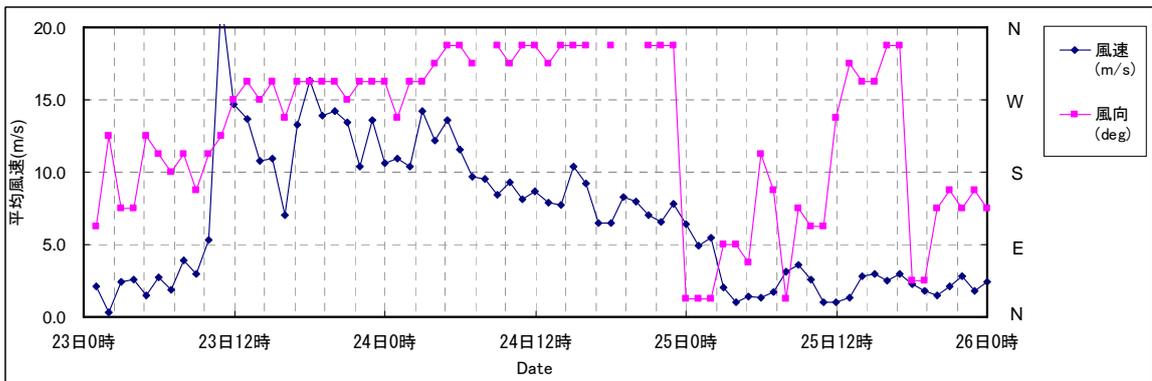


図Ⅲ-1-2 2月23日及び24日の風速・風向分布(気象庁)

また、甚大な被害があった漁港等の近隣の風の観測データとして、以下に富山県の田中及び石田の観測データ(河川局)、新潟県佐渡の弾崎の観測データ(気象庁)から風速及び風向の時系列データを示す。いずれの地点もピーク時には 15～20m/s 程度の風が吹いていたことがわかる。

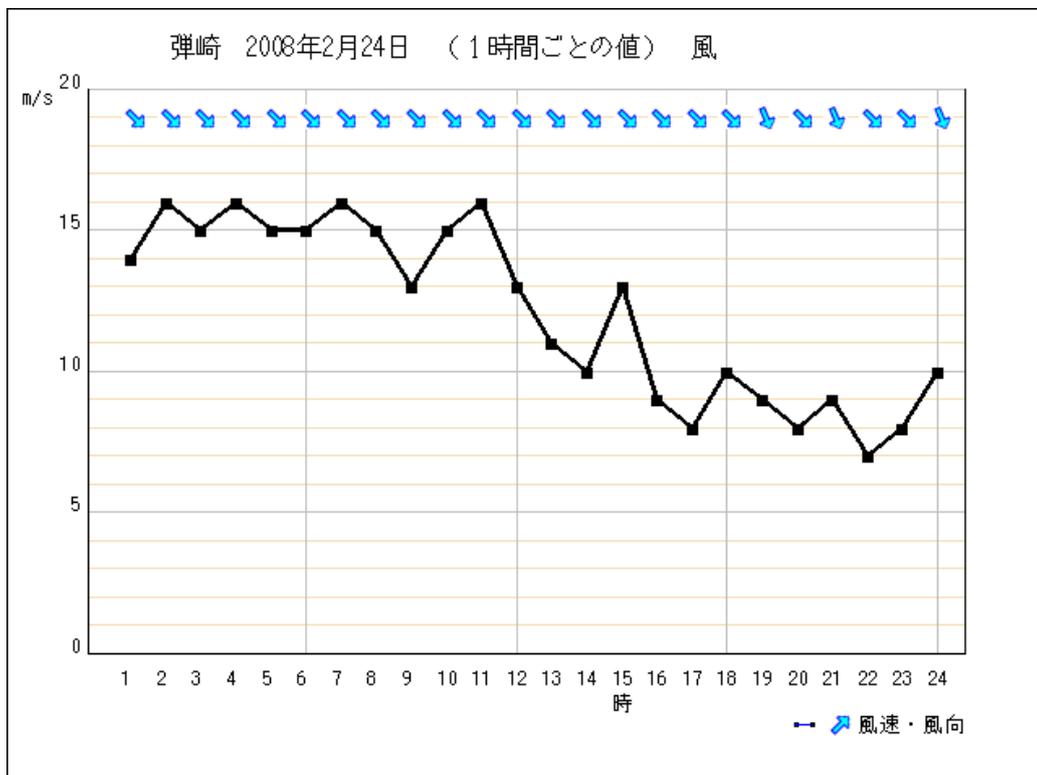
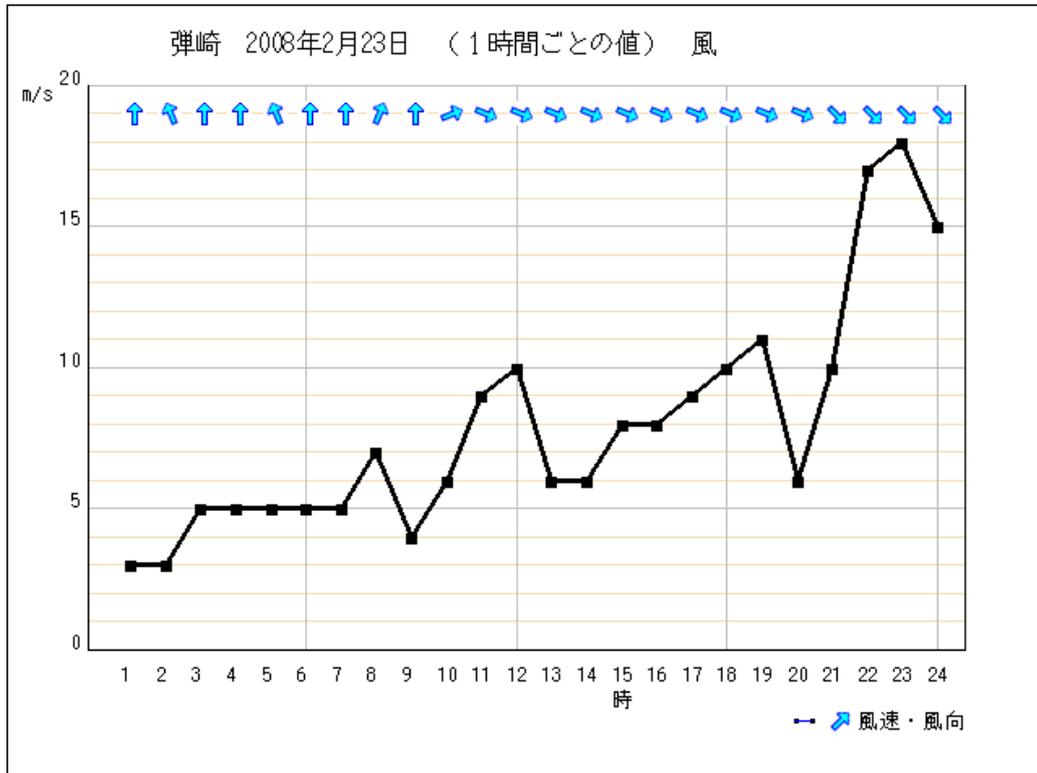


(1) 田中観測データ



(2) 石田観測データ

図Ⅲ-1-3 富山県の田中及び石田における風速・風向変化図(河川局)

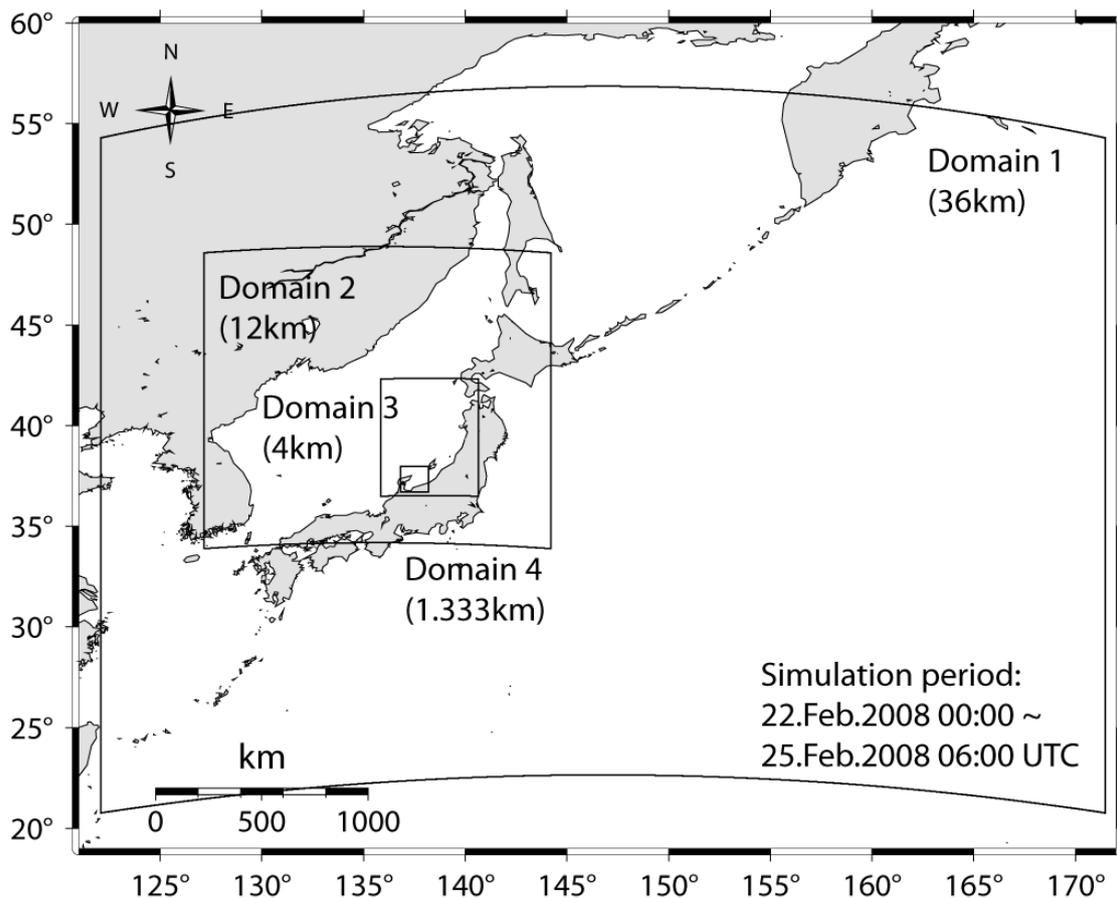


図Ⅲ-1-4 新潟県佐渡の弾崎における風速・風向変化図(気象庁)

(2) 風域場の推算結果

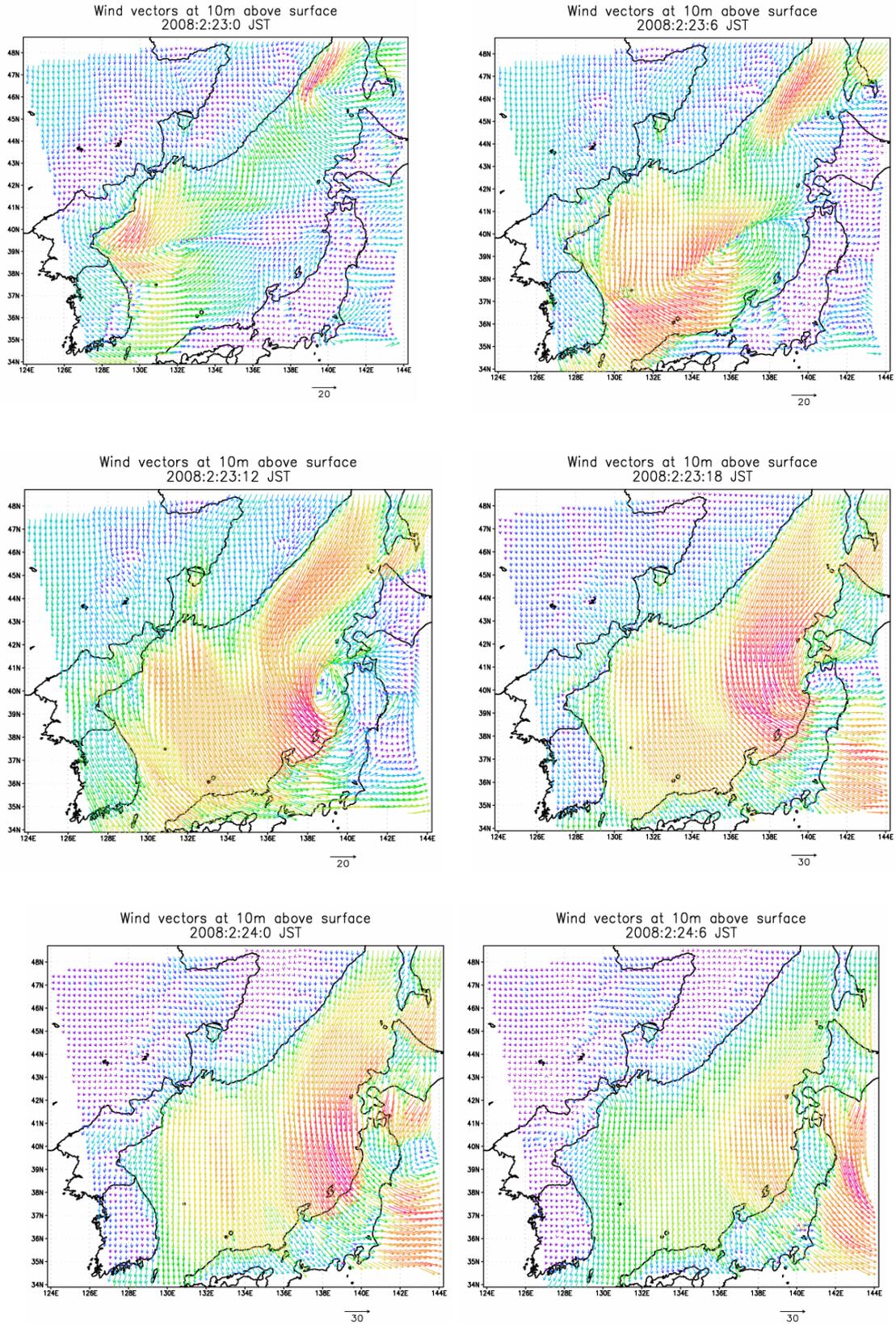
今回、気象擾乱の特徴や寄り回り波の特徴の把握のために、日本海を中心とした風域場の推算を行った。今回のよう広範囲にわたる気象や風の様子を精度よく再現し、また能登半島や佐渡島の遮蔽効果等海域や陸域の地形の影響をできるだけ考慮するために、メソ気象モデルであるMM5 (NCAR/PSU Fifth-Generation Mesoscale Model) モデル(境界用の客観解析データを低気圧ボースで修正する手法を適用)を用いた。

今回MM5による気象シミュレーションでは、Domain1 (空間刻み 36km)、Domain2 (12km)、Domain3 (4km) 及び Domain4 (1.3km) のネスティング計算を行った。気象場のバックグラウンドデータ、境界条件、4次元データ同化には米国環境予測センター(NCEP)の全球解析値を用いた。



図Ⅲ-1-5 今回の風域場等の推算の対象領域

以下に23日0時から24日6時にかけて6時間ごとの風域場の推算結果を示す。なお、ベクトルの色は風の強弱を示す(赤は強く、黄、緑、青等の順に弱くなる)。



図Ⅲ-1-6 風域場の推算結果(風向、風速)

(参考)新潟県内の代表的な地点での最大風速及び最大瞬間風速(気象庁)

・気象官署等における日最大風速、日最大瞬間風速

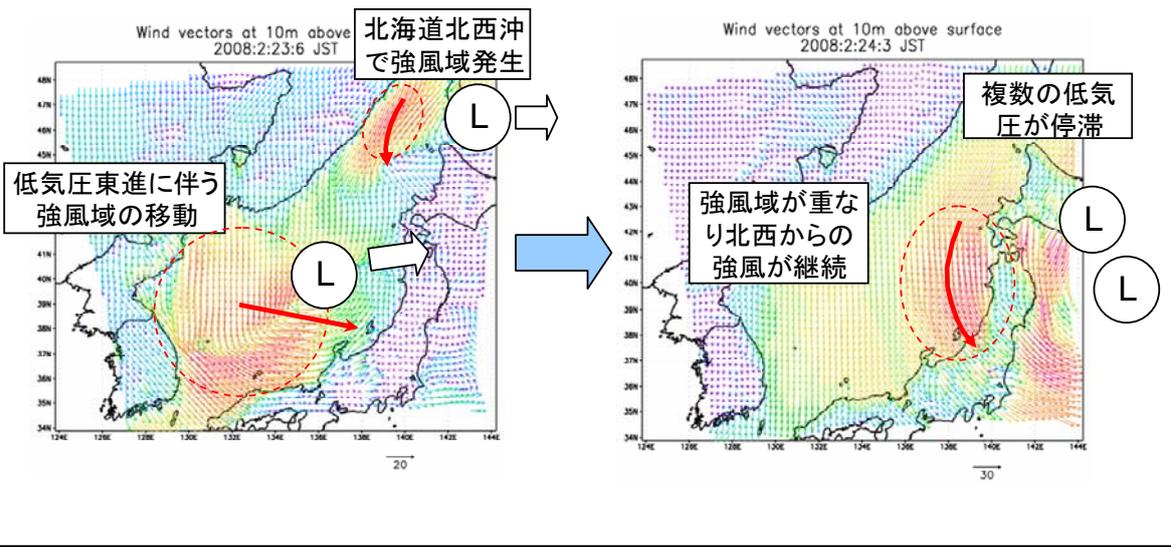
	23日				24日			
	最大風速		最大瞬間風速		最大風速		最大瞬間風速	
	風速(m/s)	風向	風速(m/s)	風向	風速(m/s)	風向	風速(m/s)	風向
新潟	15.0	西	25.2	西	13.2	北西	24.1	北西
高田	9.0	西北西	23.5	西	7.9	西北西	20.4	西
相川	22.9	西北西	29.9	北西	22.2	北北西	29.0	北北西

発生時刻 新潟 23日 最大風速 21:00 最大瞬間 20:46 24日 最大風速 1:10 最大瞬間 0:10
 高田 23日 最大風速 21:10 最大瞬間 18:57 24日 最大風速 2:00 最大瞬間 2:01
 相川 23日 最大風速 19:40 最大瞬間 20:37 24日 最大風速 5:50 最大瞬間 5:14

【気象・海象特性1(気象)】

気象観測値や本推算結果から、23日に大陸から低気圧が東進するにともなう、日本海西部海域から日本海の中中部沿岸へ移動した強風域と、北海道の西側海域から南西方向へ発達し継続した強風域が、ともに合わさるように新潟・佐渡地方へ移動したことがわかる。

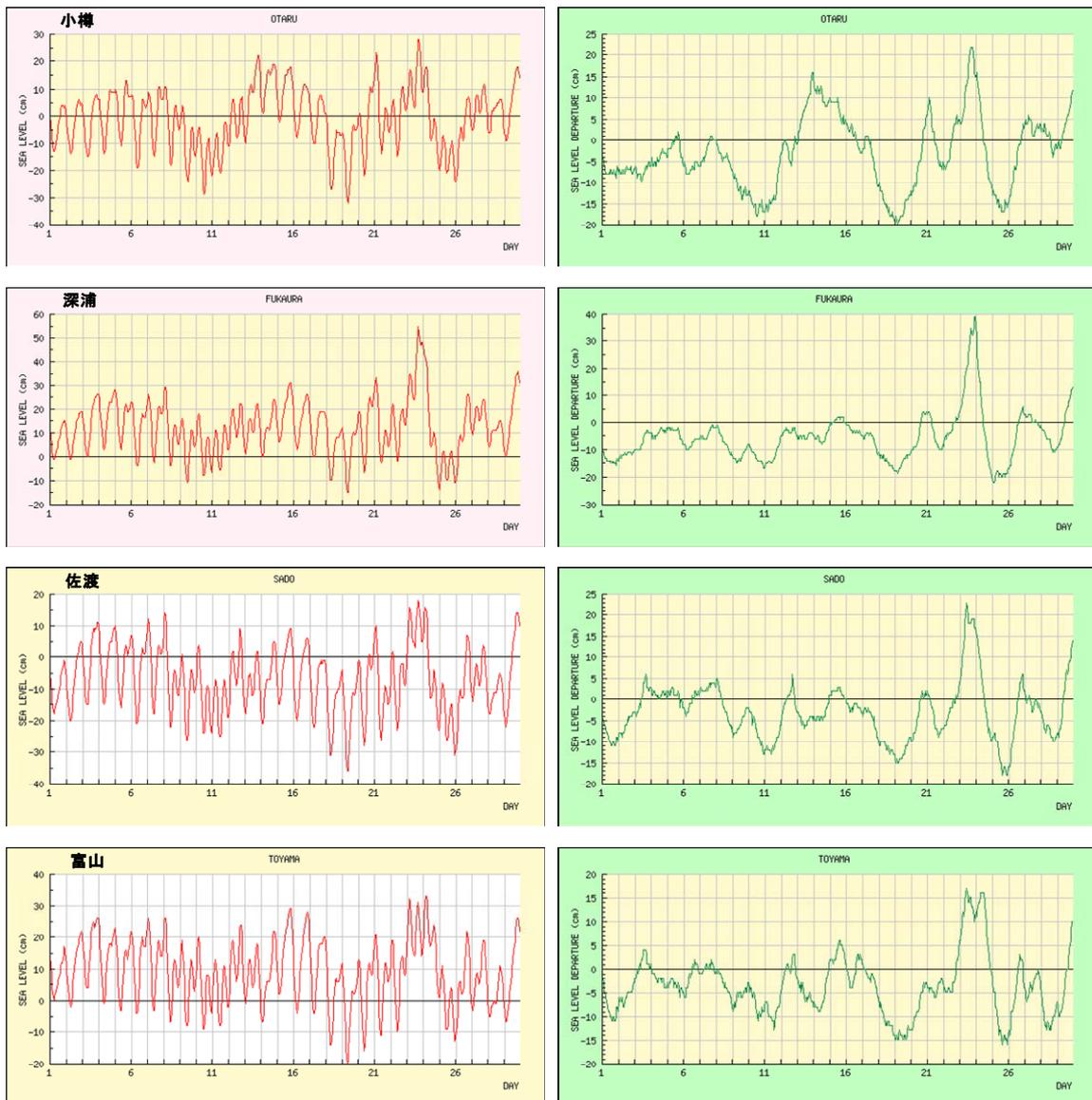
さらに、24日には北海道の東方海上で停滞した低気圧の影響によって、新潟・富山沿岸の海域では北～北西方向からの強風域が継続している特徴も推算結果で確認できた。



2 潮位等の状況

(1) 潮位と潮位偏差

以下に、日本海沿岸の小樽、深浦、佐渡、富山の4地点の2月の観測潮位と潮位偏差を整理した。2月24日未明は、大潮で特に新潟では満潮時により近い時間帯で潮位が高かった状況の中、さらに日本海の広範囲にわたり潮位偏差が 20cm～30cm 程度あり、特に秋田から佐渡周辺にかけて高潮による影響と推定される高い潮位偏差が観測された。



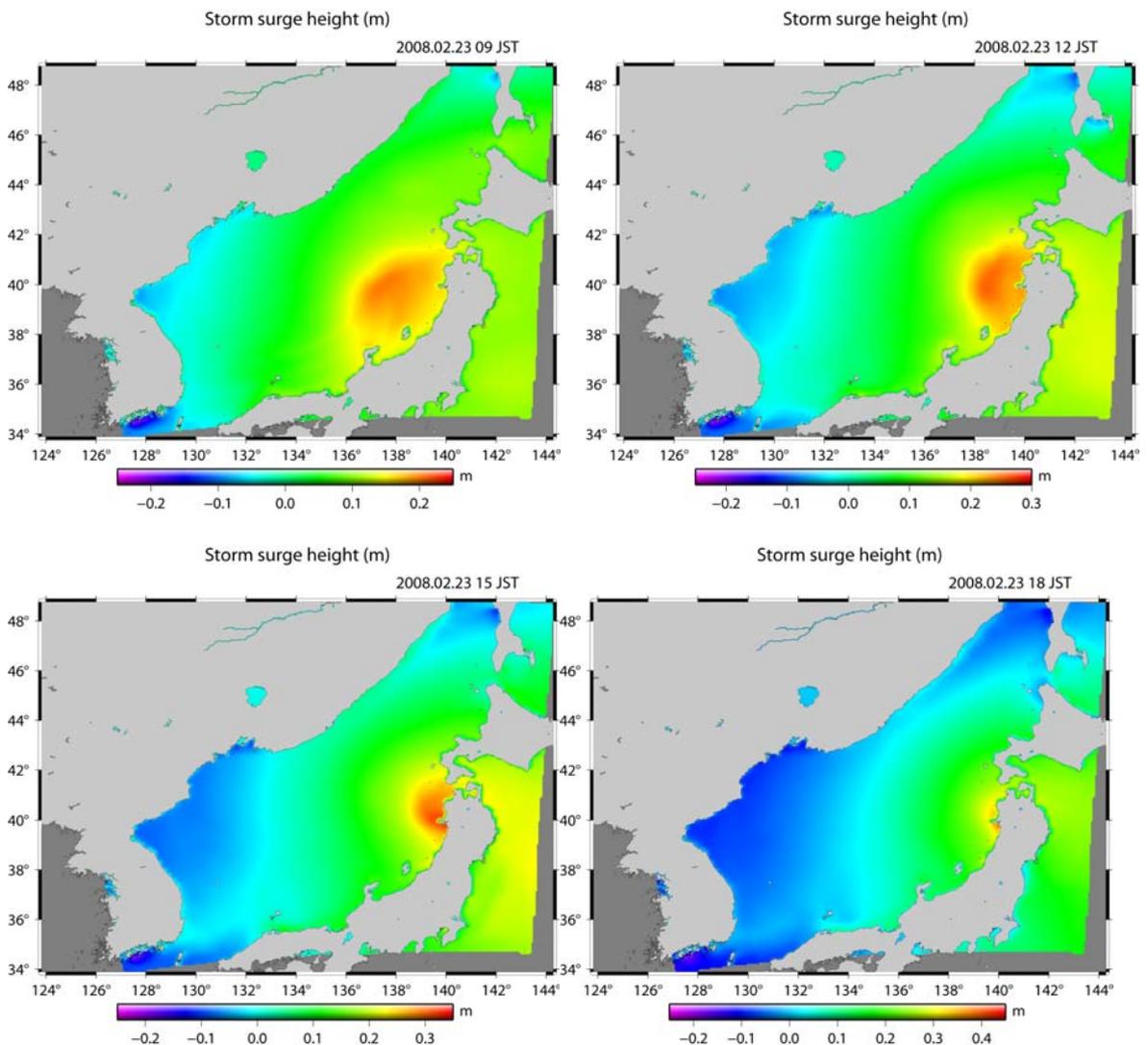
(1) 2月の観測潮位

(2) 2月の潮位偏差

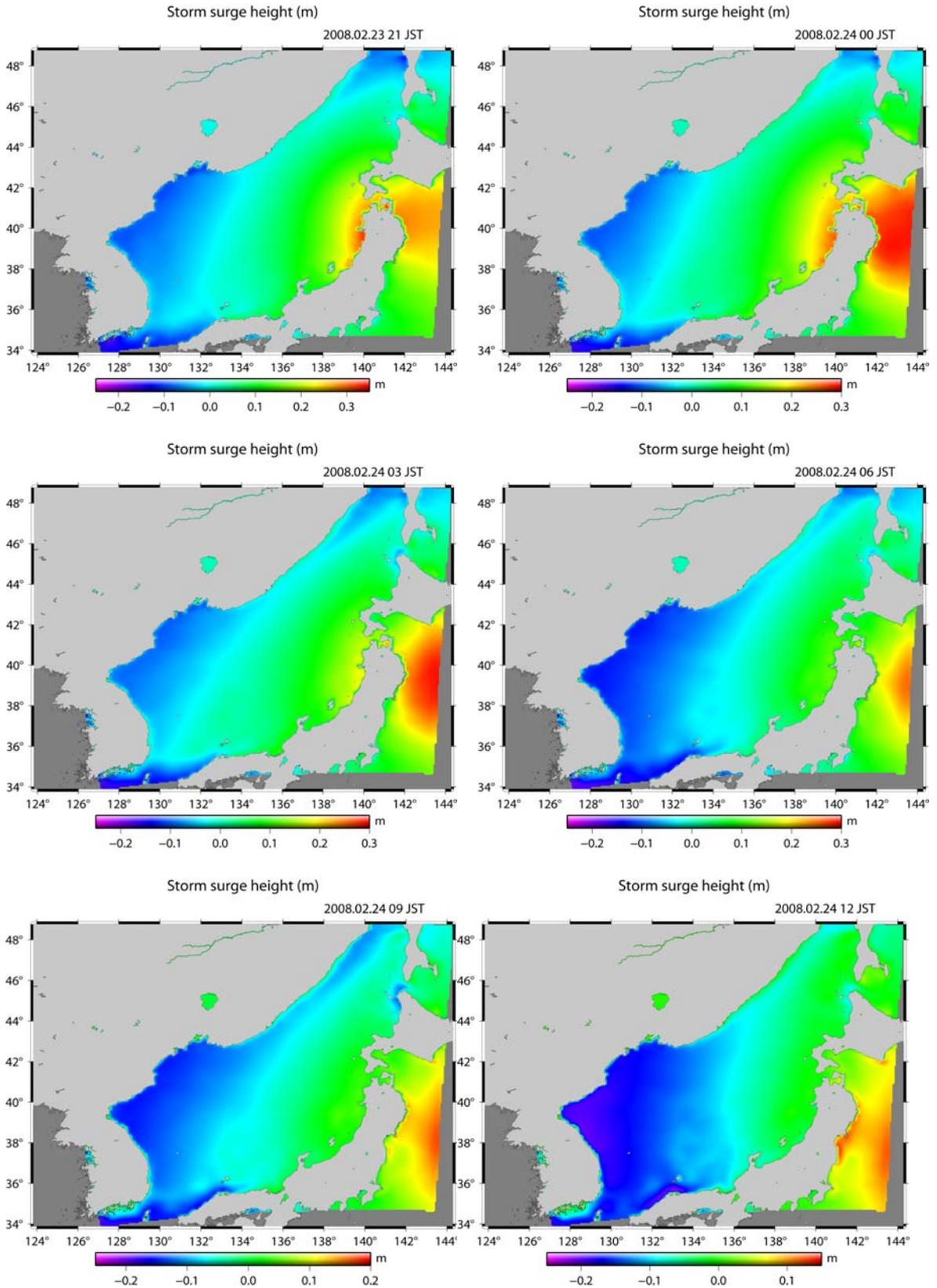
図Ⅲ-2-1 日本海沿岸の観測潮位及び潮位偏差(気象庁)

また観測された潮位偏差の発生要因を把握するため、大気・海洋・波浪結合モデルによる高潮推算を行った。海上風の推算モデルとしてMM5モデルを、波浪の推算モデルとしてはSWANを、水面変動の推算にはPOM(プリンストン大学のPrinceton Ocean Model)を用いて高潮推算を行った。計算は4領域(格子間隔36km、12km、4km、1.3km)で行い、Domain4(1.3km メッシュ)ではSWANの碎波せん断応力を介して、極浅海域でのWave-Setupの効果が再現できるようにした。

以下に平成20年(2008年)2月23日12時から24日3時までの3時間ごとの高潮の推算結果を示す。低気圧が日本海の中央をゆっくりと横切ったために富山湾のほぼ全域で風による吹き寄せ効果による高潮が発生・継続しており、秋田から佐渡にかけて最大30~40cmの高潮が発生している様子がわかる。



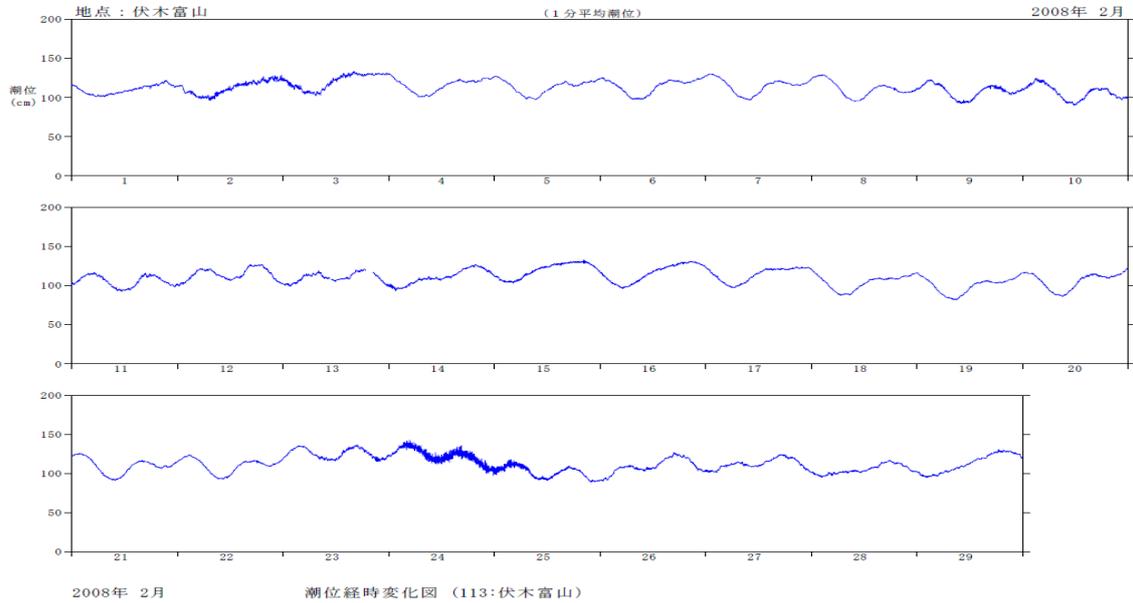
図Ⅲ-2-2(a) 高潮偏差の推算結果(平成20年2月23日~24日)



図Ⅲ-2-2(b) 高潮偏差の推算結果(平成20年2月23日~24日)

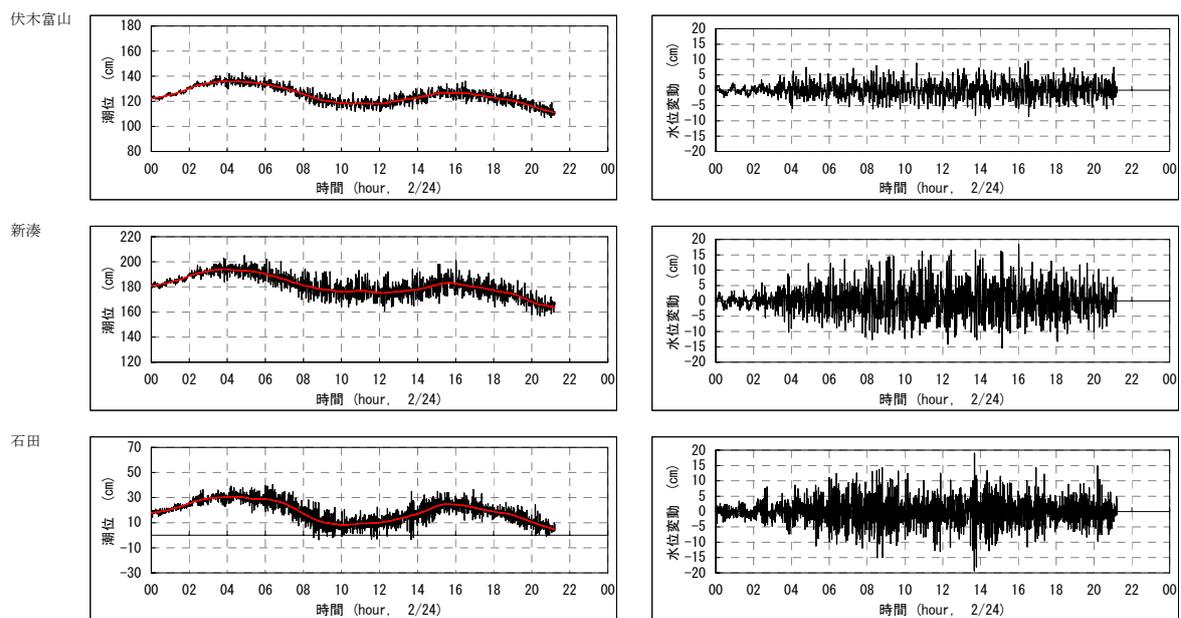
(2) 潮位変動

潮位観測の記録から、高潮位に加え、23日から24日にかけて特に長周期の水位変動成分の卓越が観測されている。

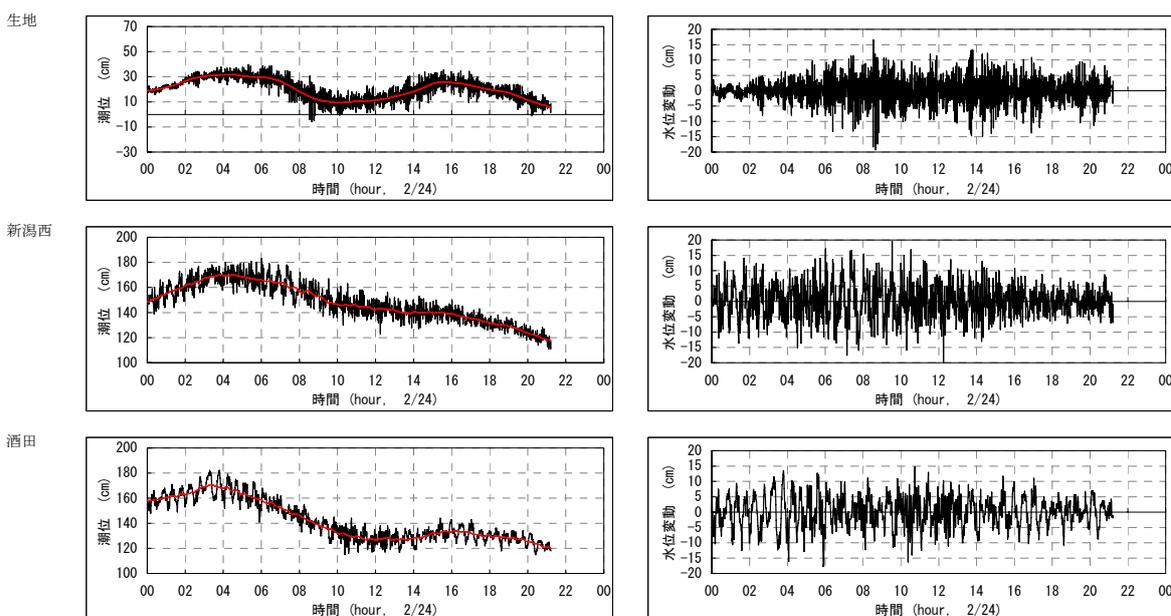


図Ⅲ-2-3 伏木富山における2月観測潮位の時系列データ(港湾局)

以下にNOWPHAS(全国港湾海洋波浪情報網)の伏木富山、新湊、新潟西、酒田(港湾局提供)の4地点および石田、生地(河川局より提供)の観測潮位の時系列データと1日移動平均潮位を除いた偏差時系列データを示す。内湾に比較して、外洋に面する新潟西、酒田では周期の長い様子が現れている

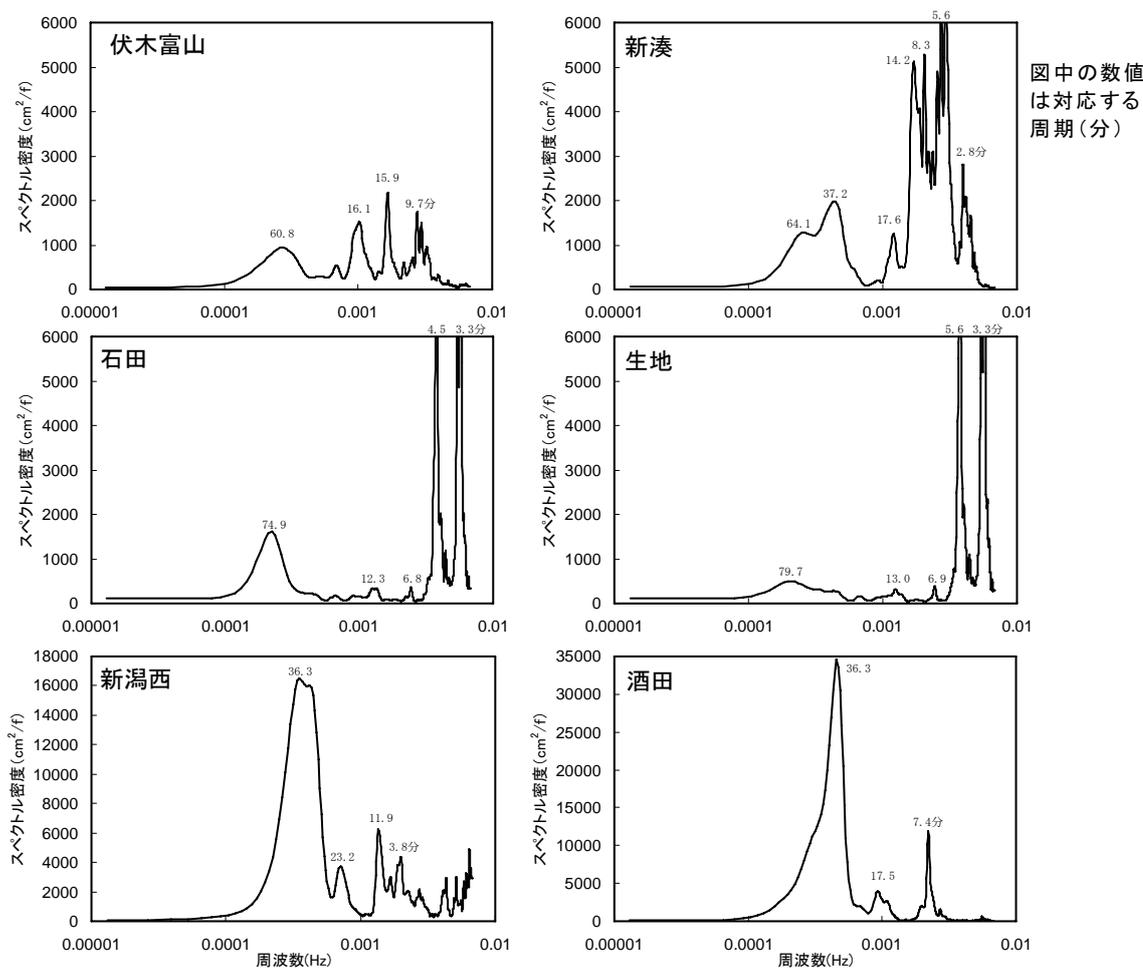


図Ⅲ-2-4(a) 24日の6地点の観測潮位及び偏差の時系列データ



図Ⅲ-2-4(b) 24日の6地点の観測潮位及び偏差の時系列データ

これら6地点の観測潮位偏差時系列データを用いて、潮位変動成分の解析を行った。以下にスペクトル解析の結果(パワースペクトル)を示す。



図Ⅲ-2-5 24日の6地点のパワースペクトル

スペクトル解析結果をみると、数分から数十分の長周期波が発現していたことがわかる。有義波高換算した値は、富山湾内(伏木富山、新湊)では 30cm 程度、新潟西、酒田は 40cm 程度と、外洋に面した地点の方が大きかった。

周波数に着目すると、酒田、新潟西で約 36 分の周期のエネルギー密度が最も大きくなっている。新湊では同じ周期のエネルギー密度にピークをもつが、湾奥の伏木富山では周期約 60 分のエネルギー密度が高いため、36 分は外洋で発現する長周期波、60 分は湾水振動等湾内で発現する長周期波と推定される。なお、石田、生地では長周期側のピークが 70~80 分と外洋地点よりやや長く、また短周期成分でエネルギーが大きくなっているのが特長であるが、これは他の4地点に比べ検潮位置の水深が浅いため、汀線際の影響を受けているためと思われる。

長周期成分エネルギーの有義波高換算値 ($H_{1/3} = 4.01\sqrt{m_o}$)

	伏木富山	新湊	新潟西	酒田
有義波高換算値 (cm)	29.0	31.1	37.3	42.3

潮位データに含まれていた長周期成分には、富山湾の湾水振動も含まれている可能性が高い。地形の影響により励起される副振動の周期は、一様水深を仮定すると、Merian の式により概算することができる。

$$T_m = \begin{cases} \frac{2l}{m\sqrt{gh}} & \text{: 両端自由} \\ \frac{4l}{(2m-1)\sqrt{gh}} & \text{: 片側自由} \end{cases}$$

ここに、 T_m : 副振動の周期、 l : 長さ、 h : 水深、 g : 重力加速度、 m : モード(-1,2,3...)である。また各モードは次のようになる。

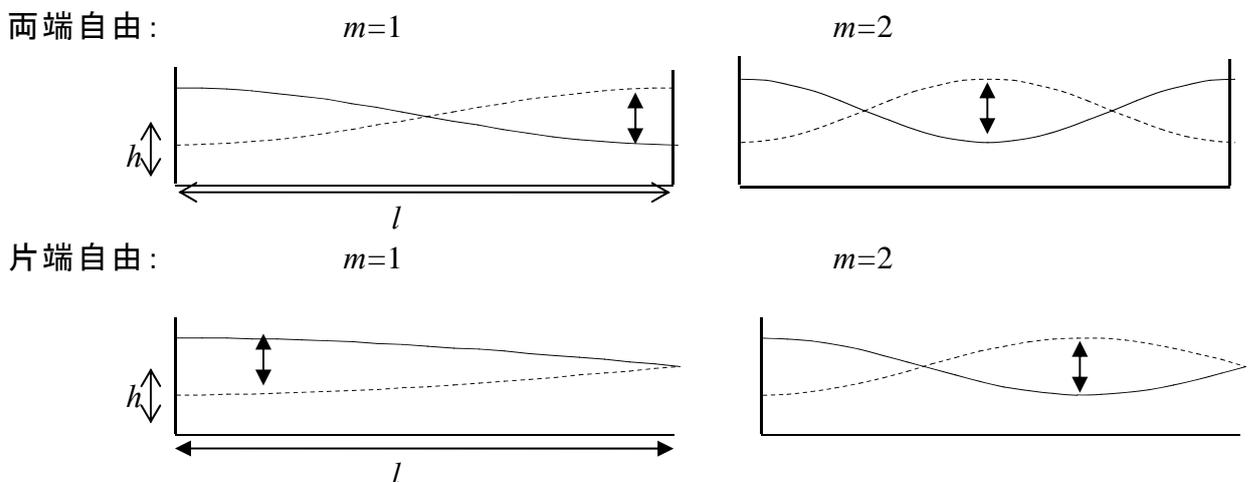


図 III-2-6 副振動のモード

また、同様に佐渡島沿岸の陸棚を一樣勾配と仮定すると、次式で表される陸棚エッジ波として表すことができる。

$$\sigma_n^2 = (2\pi f_n)^2 = gk(2n+1)S \quad (n = 0,1,2,\dots)$$

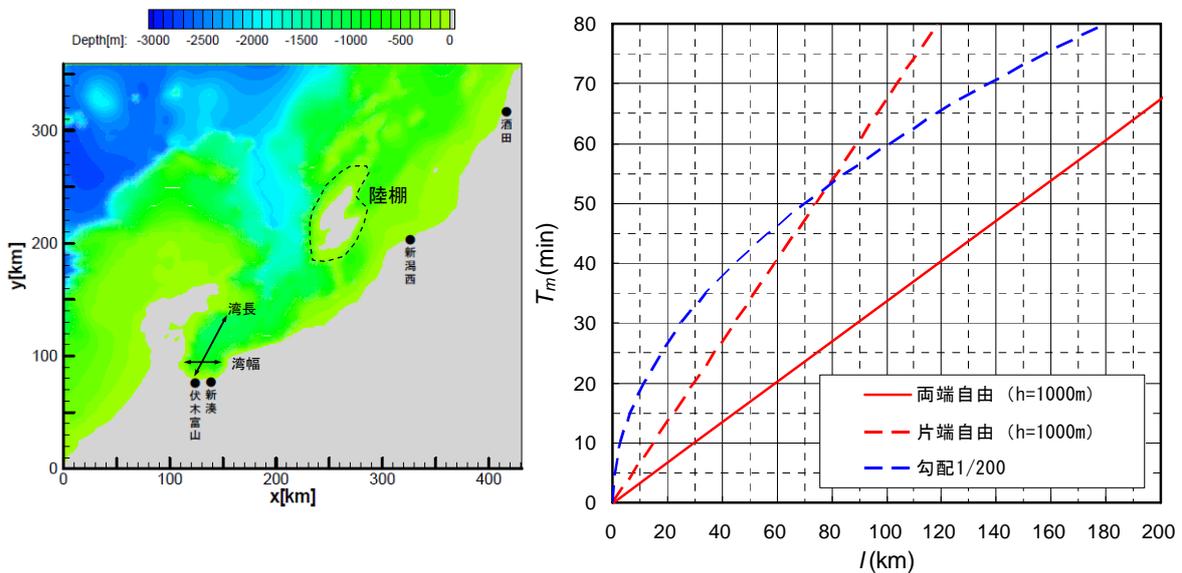
ここで、 $\sigma_n=2\pi/T_m$ ：各周波数、 f_n ：陸棚エッジ波の周波数、 g ：重力加速度、 $k=2\pi/L$ ：波数、 n ：モード数、 S ：海底勾配、である。

$m=1$ に対する水深 1000m(一樣水深とする)のときの長さとの関係、および $n=1$ に対して佐渡北側の陸棚の概略の海底勾配を 1/200 とした場合の周期と長さの関係を示す。

富山湾の水深は 1000m 程度あり、湾幅に対する振動は両端自由であることから、10~20 分の周期に対応する湾幅は 30~60km となる。周期 5 分に対応する湾幅は 15km 程度であるが、 $m=2$ に対してはその倍の 30km 程度になる。これらは富山湾の湾奥から湾口にかけての湾幅にほぼ対応する。また、湾長に対する振動は片端自由であり、60 分の周期に対する湾長は 90km となる。これは富山湾の湾長にほぼ対応する。

新潟沿岸には水深 100~200m 程度の陸棚がある。陸棚での振動を一樣海底勾配上のエッジ波とすると、このときの 36~37 分の周期に対応する陸棚の幅は 35km 程度となる。これは酒田付近での陸棚幅にほぼ対応している。

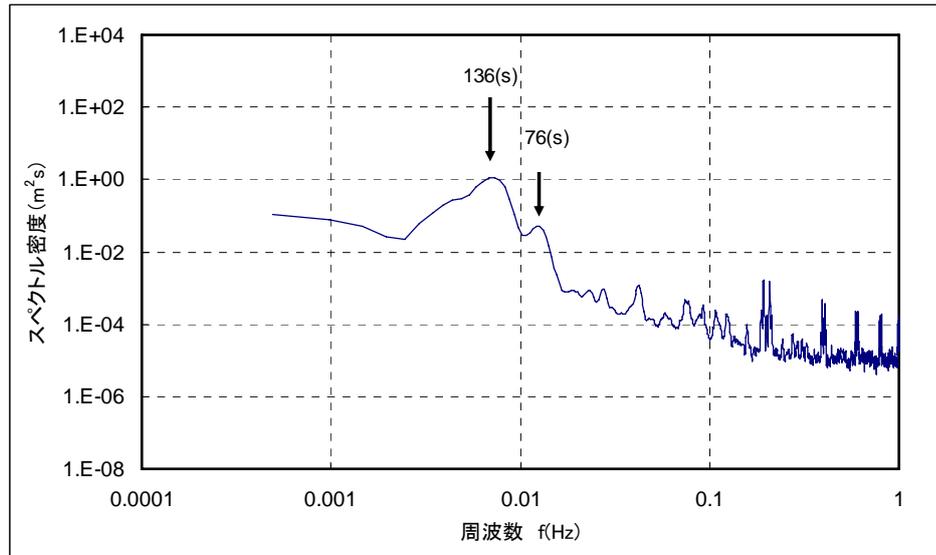
これらより、被災時の海域は、富山湾内の地形の影響や新潟沿岸の陸棚によって励起される長周期振動が発生していた可能性が高いことがわかった。



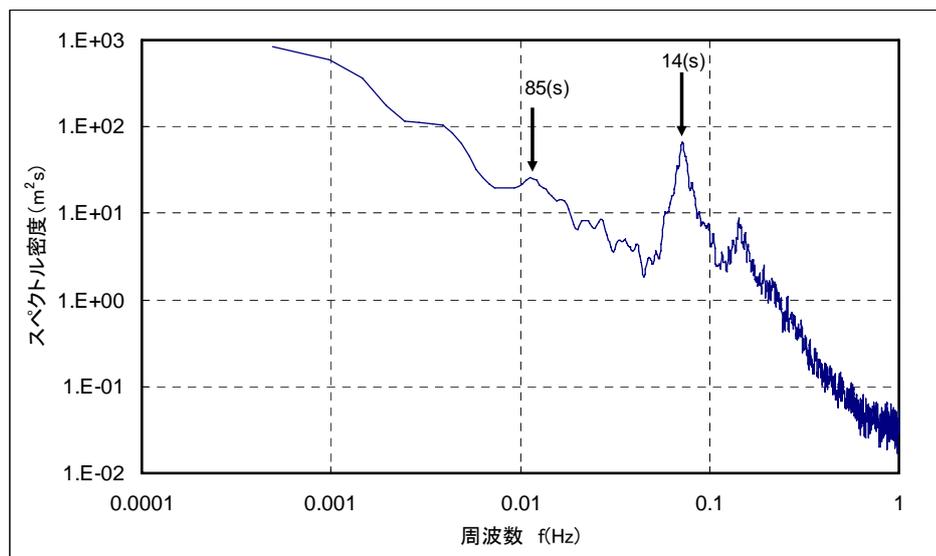
図Ⅲ-2-7 副振動の長さとの関係

さらに、より短い周期の変動成分の寄与を把握するため、田中観測所の観測データのうち、生地（観測潮位データ）と田中（観測水位データ）の観測データ（河川局提供）について、高波浪が来襲していた2月24日5:10～6:10の1時間の観測データ（0.5s 毎の観測データ）を用いて解析を行った。

生地、田中のデータを解析したところ、80s 程度と 140s 程度という、通常の波浪より長く、先の潮位変動より短い変動が生じていることがわかった。これらを区間統計で有義波高さに換算すると、約十数cm程度に相当する。



(1) 生地潮位のパワースペクトル

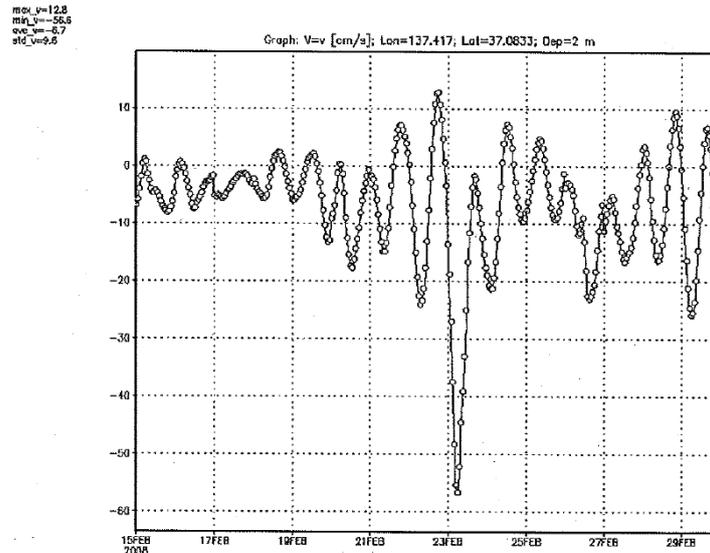


(2) 田中水位のパワースペクトル

図Ⅲ-2-8 生地と田中のパワースペクトル

(3) 富山湾内の流れ

富山湾内では、台風や発達した低気圧により度々強い海流が発生することが報告されている。2月23日から24日にかけても、九州大学応用力学研究所が開発した海洋循環モデルRIAMOM(日本海海況予報実験：<http://jes.riam.kyushu-u.ac.jp/vwp/>)による同研究所の計算によると、富山湾中央部で 60cm/s にも達する南向きの流れが発生していたと考えられる。



図Ⅲ-2-9 富山湾中央部における海洋表面の海流の南北成分
(九州大学応用力学研究所による日本海海況予報実験より)

【気象・海象特性2(潮位及び潮位変動)】

今回潮位は、気圧低下、吹き寄せに伴う高潮の発生により日本海全域で高い状況にあった。特に佐渡の北側海域では漁港が被災した時刻が大潮の満潮時に近かったこともあり、潮位の影響を大きく受けたことも考えられる。

また、23日から24日にかけて通常にはない激しい潮位の変動が起こっていることが観測データからわかるが、分析したところ数十分から数分単位の長周期の変動が加わっており、これら長周期変動は有義波高換算では数十cmに相当しており、高い潮位にこれらの潮位変動が周期的に加わり、高い水位が形成されたことが推測される。

3 富山及び新潟での高波浪の形成状況

(1) 波浪観測データの整理

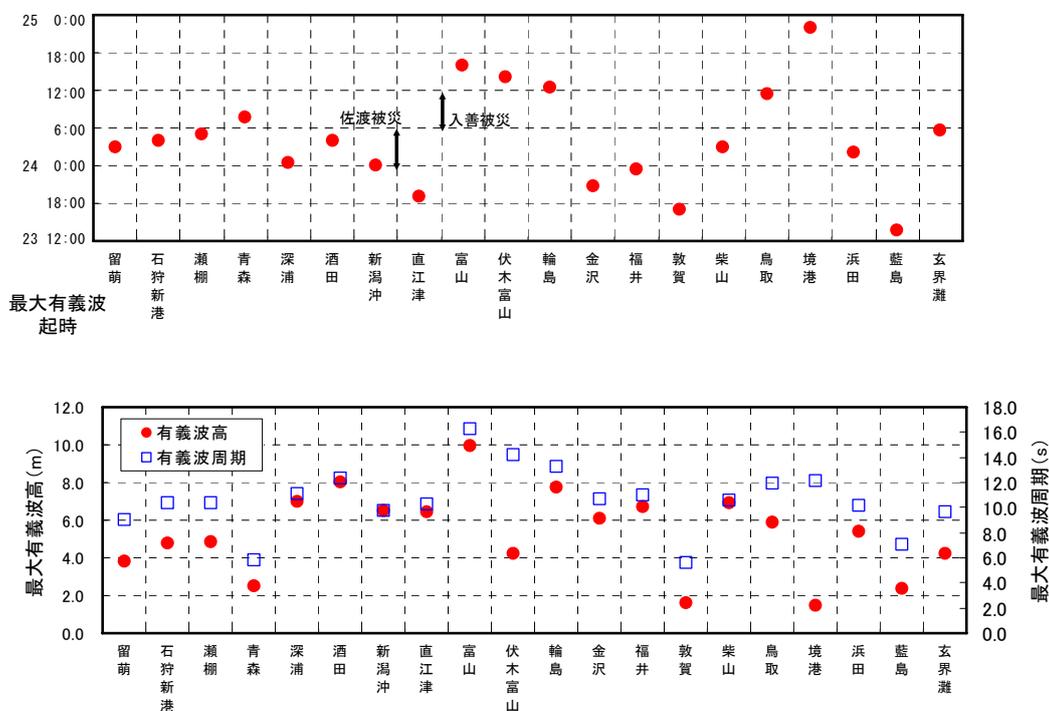
NOWPHASの波浪観測では、富山、輪島等で観測以来の既往最大有義波高を超えた波浪が観測された。特に周期については、新潟沖、富山、伏木富山、輪島等多くの観測地点で、既往最大有義波周期を超えた長周期の波浪が来襲したのが特徴として見る事ができる(港湾局提供)。

解析期間：平成20年(2008年)2月20日～26日 ※ 波高暫定確定値(平成20年3月10日時点)

CODE	地点名	最大有義波および対応最高波						既往最大有義波および対応最高波(平成18年(2006年)まで)					
		起時	H1/3(m)	T1/3(s)	Hmax(m)	Tmax(s)	波向(°)	H1/3(m)	T1/3(s)	Hmax(m)	Tmax(s)	起時	発生要因
1	604 留萌	24日 3時 0分	3.80	9.0	7.32	8.3	335	7.83	10.6	—	—	04年 9月 8日 14時	台風0418号
2	611 石狩新港	24日 4時 0分	4.78	10.3	6.89	8.8	335	6.00	10.8	7.82	11.7	04年12月17日 4時20	冬型気圧配置
3	603 瀬棚	24日 5時 0分	4.83	10.3	7.39	9.9	316	9.43	12.9	15.46	13.2	95年11月 9日 8時	冬型気圧配置
4	220 青森	24日 7時40分	2.45	5.8	5.35	5.8	—	2.64	5.8	4.31	5.3	06年10月 7日 16時40	南岸低気圧
5	201 深浦	24日 0時20分	6.96	11.1	9.49	9.4	—	10.36	14.5	14.53	13.5	04年11月27日 6時	冬型気圧配置
6	102 酒田	24日 4時 0分	7.99	12.3	10.57	14.7	欠測	10.65	13.8	13.92	13.2	04年11月27日 6時	冬型気圧配置
7	112 新潟沖	24日 0時	6.46	9.7	10.20	10.4	欠測	8.48	7.9	—	—	05年12月22日 12時	冬型気圧配置
8	114 直江津	23日19時 0分	6.40	10.2	8.23	10.9	欠測	9.24	12.6	12.93	11.5	03年12月20日 16時	冬型気圧配置
9	115 富山	24日16時	9.92	16.2	—	—	欠測	6.75	8.3	—	—	04年10月20日 22時	台風0423号
10	113 伏木富山	24日14時	4.22	14.2	6.49	14.8	欠測	6.53	8.4	—	—	04年10月20日 22時	台風0423号
11	105 輪島	24日12時20分	7.73	13.2	—	—	欠測	7.62	12.0	12.49	11.9	03年12月20日 18時	冬型気圧配置
12	106 金沢	23日20時40分	6.10	10.7	9.23	11.0	323	8.14	10.3	—	—	01年12月15日 6時	冬型気圧配置
13	117 福井	23日23時20分	6.70	11.0	10.92	11.3	0	7.79	13.2	10.10	11.8	81年12月 2日 6時	冬型気圧配置
14	116 敦賀	23日17時 0分	1.61	5.6	2.60	7.7	—	1.62	5.8	2.26	4.2	06年12月29日 5時20	冬型気圧配置
15	310 柴山	24日 3時 0分	6.88	10.6	12.16	10.8	344	6.77	11.5	10.34	12.7	05年12月 6日 12時	冬型気圧配置
16	313 柴山(港内)	24日14時	2.15	12.1	3.51	15.2	—	2.60	9.4	—	—	04年10月20日 18時	台風0423号
17	304 鳥取	24日11時20分	5.89	11.9	11.15	13.4	348	7.54	11.3	10.18	12.3	90年12月11日 22時	日本海低気圧及び冬型気圧配置
18	312 境港	24日22時	1.48	12.1	2.00	12.1	—	3.22	10.8	4.06	10.1	04年10月21日 0時	台風0423号
19	305 浜田	24日 2時	5.39	10.1	7.79	10.0	4	7.93	11.2	12.31	12.5	90年12月11日 18時	日本海低気圧及び冬型気圧配置
20	406 藍島	23日13時40分	2.37	7.0	3.83	8.2	323	5.61	12.1	9.39	14.4	87年 2月 3日 18時	二つ玉低気圧及び冬型気圧配置
21	405 玄界灘	24日 5時40分	4.24	9.6	6.21	8.8	12	8.03	9.7	—	—	04年 8月30日 18時	台風0416号

注1) 秋田は、全欠測。

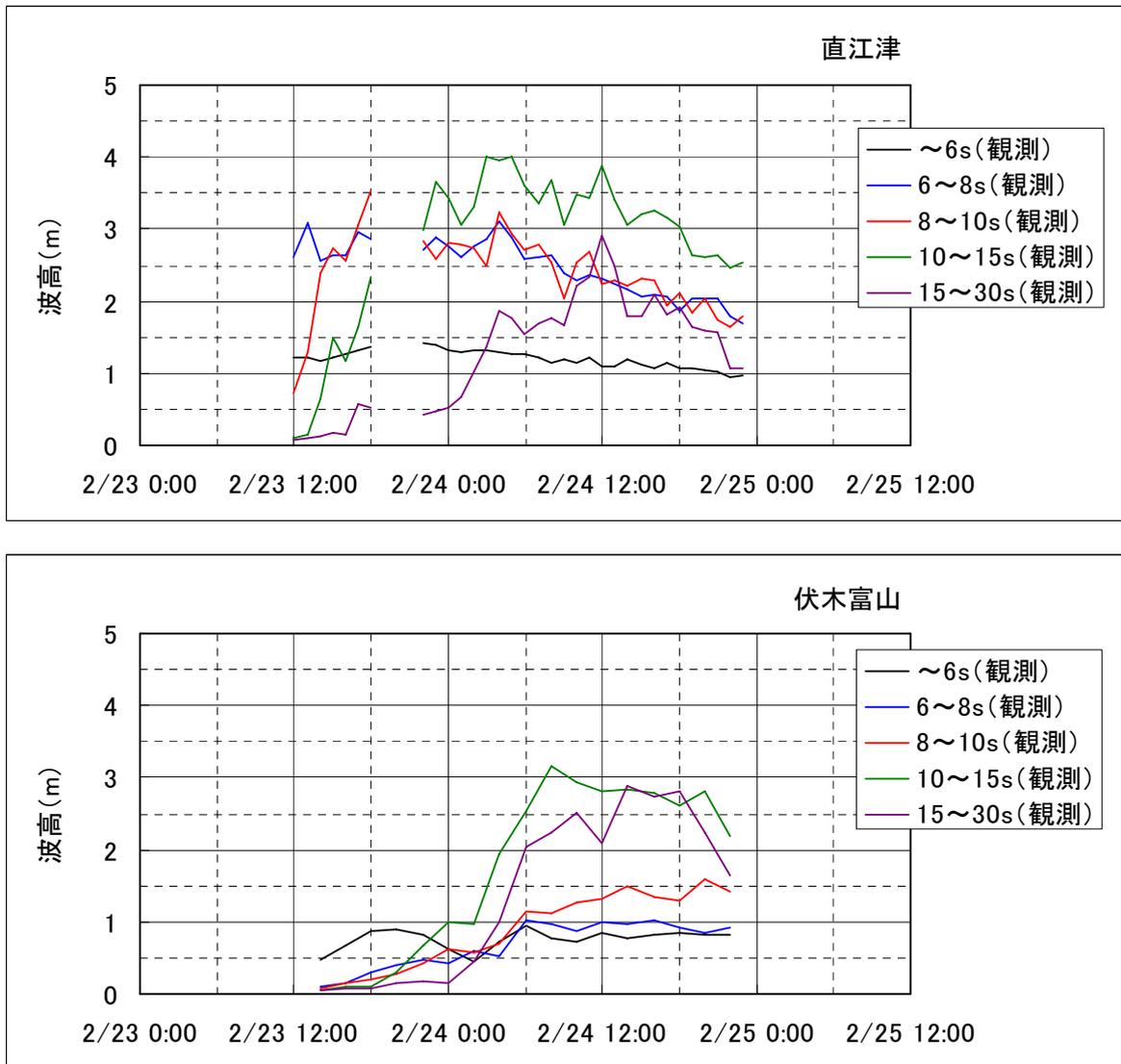
注2) 色付け部分は、今回、波高、周期の最大値を更新した地点。



図Ⅲ-3-1 日本海各地点におけるピーク高波浪の位相と波浪・周期の分布

日本海の各観測地点におけるピーク高波浪の発生時間を見ると、うねり性の周期の長い波浪が北から伝わってくる様子が一部見られるが、新潟沖や直江津では酒田より早い時間にピーク波高が発生しており、これらの地点では主に北西からの風波の影響が早い時間帯に卓越していたと考えられる。

直江津と伏木富山のNOWPHASで観測された周期帯毎の波高の経時変化（速報値）からもうねり性波浪の影響が推測される。直江津では、初期は短周期成分の波高が支配的だが、2月24日0時過ぎから長周期成分波高が卓越してきており、風波とうねり性波浪の来襲に位相差があることがわかる。また伏木富山ではうねり性波浪が強く影響していることがわかる。



図Ⅲ-3-2 直江津及び伏木富山の周波数帯別波高の変化図

(2) 波浪推算による波浪再現

このようなうねり性波浪と風波の影響等を把握するため、波浪推算を行った。波浪推算に当たっての海上風の推算モデルは先のMM5を用いた。また、波浪推算にはWW3(Wave Watch III)を用いた。

波浪推算はMM5による海上風の計算領域と同じ以下の条件で実施した。

計算格子：

Domain1: 36km 格子

Domain2: 12km 格子

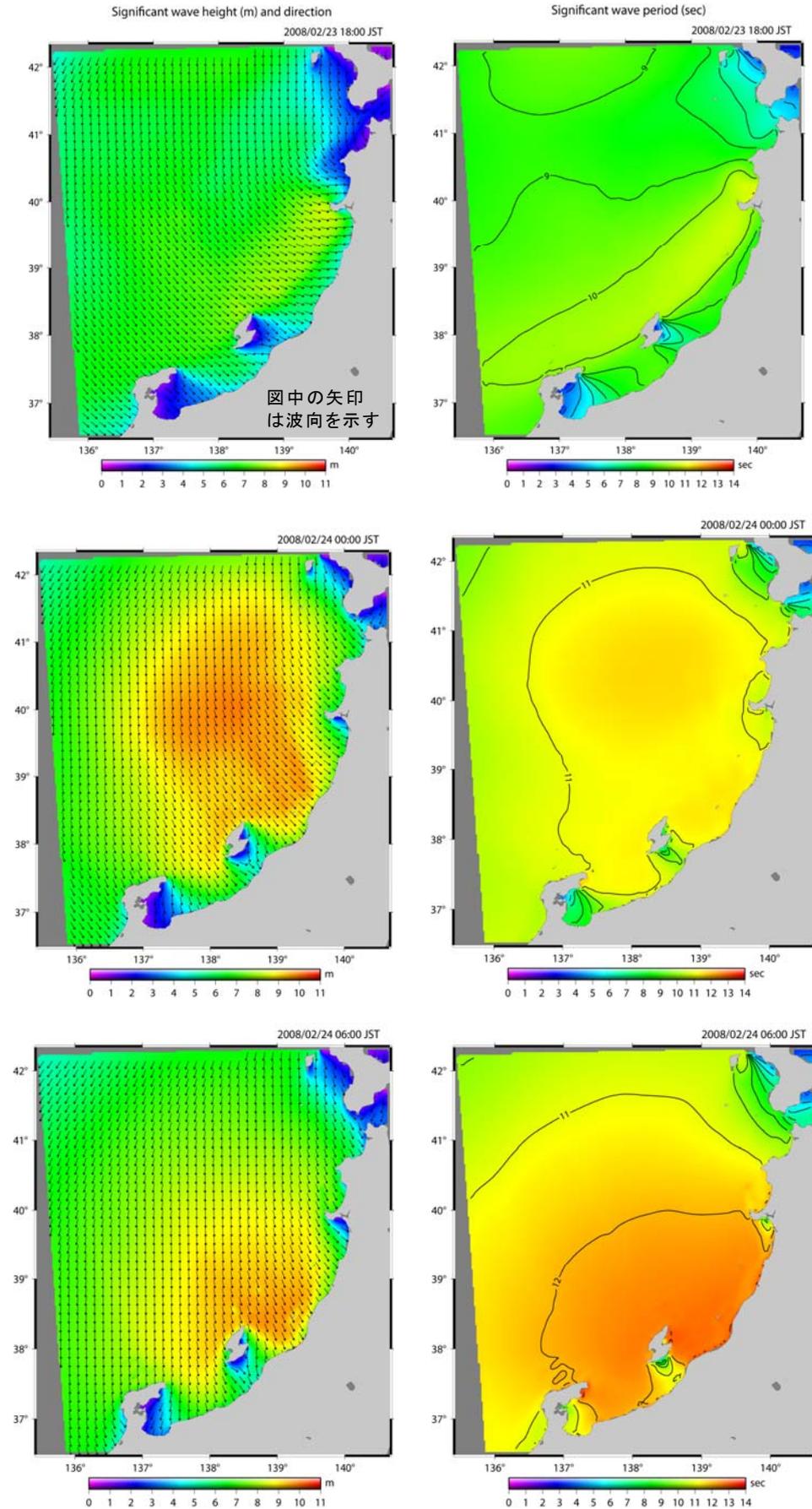
Domain3: 4km 格子

Domain4: 1.3km 格子

今回の計算においては、風域場では、日本海沿岸のアメダスの観測地点から近隣の4地点(秋田、酒田、新潟、金沢)を選定し推算精度の検証を行うとともに、波浪推算の検証は、近隣のNOWPHAS波浪観測である4地点(酒田、直江津、伏木富山、輪島)で行ったが、いずれも良好な結果が得られている。

以下に波浪推算結果の一例を示す。次の図は、波浪推算で得られた23日18時、24日0時、24日6時の波高及び周期の平面分布を示す。

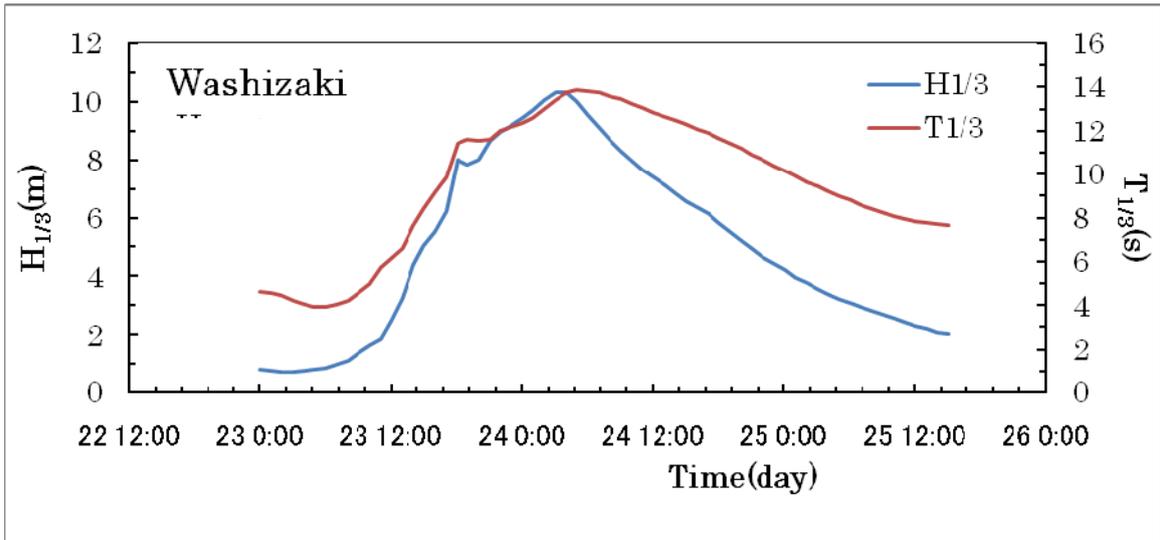
再現結果では、23日北西からの風波の影響が顕著であったが、24日0時頃には、南下したうねり性波浪と風波が重なる等の影響で佐渡の北沖では波高及び周期が増大し、時間の経過とともに富山湾に向けて周期の長い波浪がさらに南下した状況がわかる。



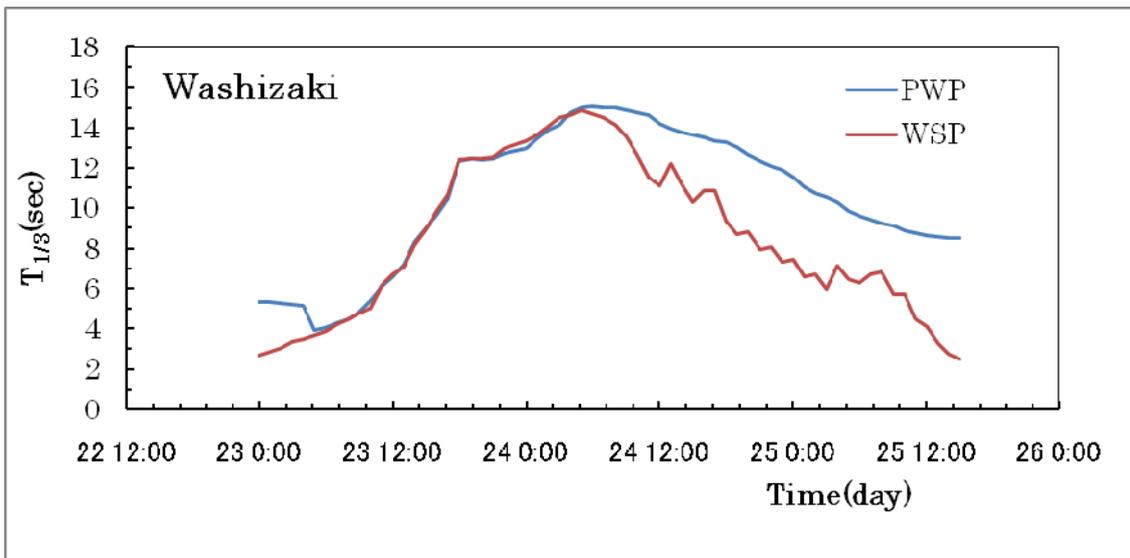
図Ⅲ-3-3 波浪推算で得られた波高及び周期の平面分布

今回の波浪推算に用いたWW3は、推算された波浪に対して、風から波が受ける影響の大きさを考慮して、風波とうねりの2つの状態に分離し、それぞれの状態のエネルギーピークに対応する周波数を推定することが可能である。

そこで、鷺崎漁港及び入善漁港の近傍での、1)波浪の有義波高と有義波周期と、2)風波のエネルギー成分のピーク(WSP)及びうねりのエネルギー成分のピーク(PWP)に対応した周期成分の、それぞれ時系列分布を示す。

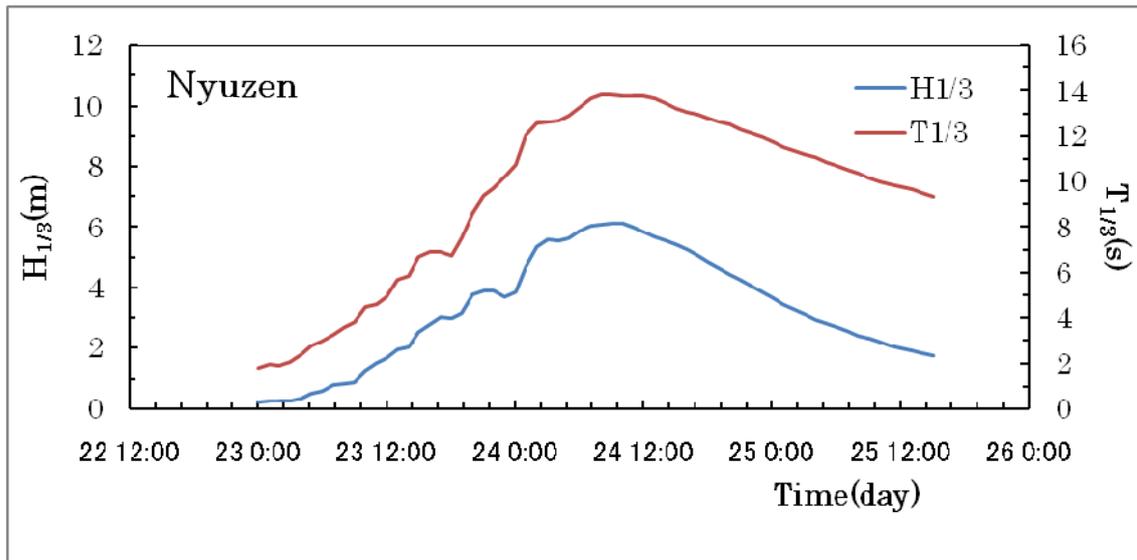


(1) 波浪の有義波高 ($H_{1/3}$) と有義周期 ($T_{1/3}$) の時系列分布

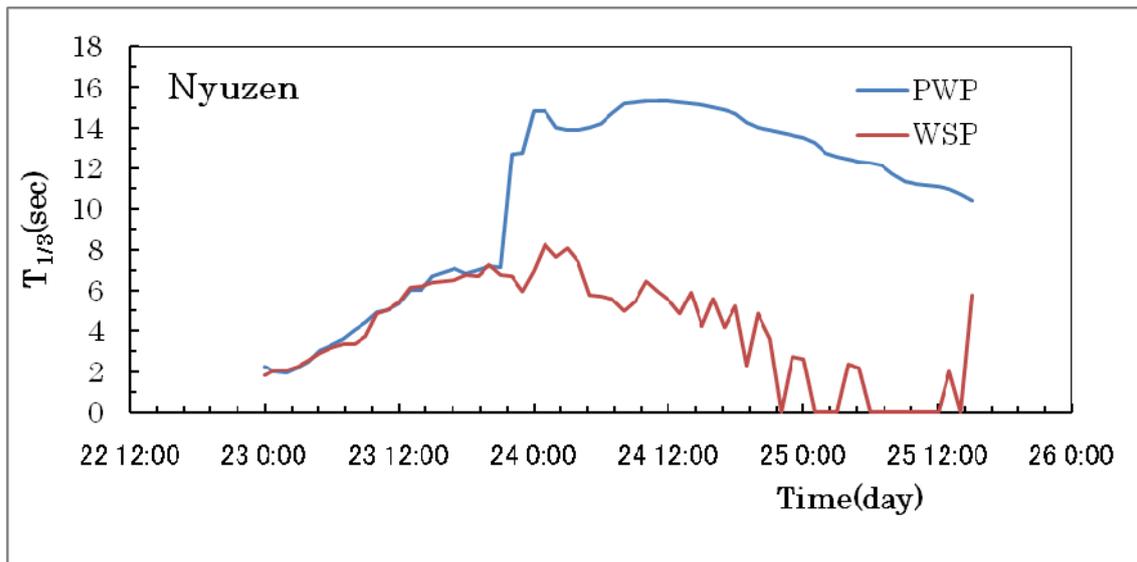


(2) 風波(WSP)とうねり(PWP)の波浪特性の時系列分布

図Ⅲ-3-4 鷺崎漁港の波浪特性の時系列分布



(1) 波浪の有義波高 ($H_{1/3}$) と有義周期 ($T_{1/3}$) の時系列分布



(2) 風波 (WSP) とうねり (PWP) の波浪特性の時系列分布

図Ⅲ-3-5 入善漁港の波浪特性の時系列分布

これらの図から、鷺崎漁港では、波浪の発達に対して風波とうねりのピークが一致しており、北西の風による風波と南下してきたうねりが重なって波浪エネルギーは高くなっている一方、入善漁港では、24日頃からうねり成分が支配的になっており、うねりが卓越していたことがわかる。

(3) 過去の寄り回り波の特徴

① 一般的な特徴

下表は、既往の文献や報告書等から寄り回り波等の特性(発生機構及び性質)についてまとめているものである。

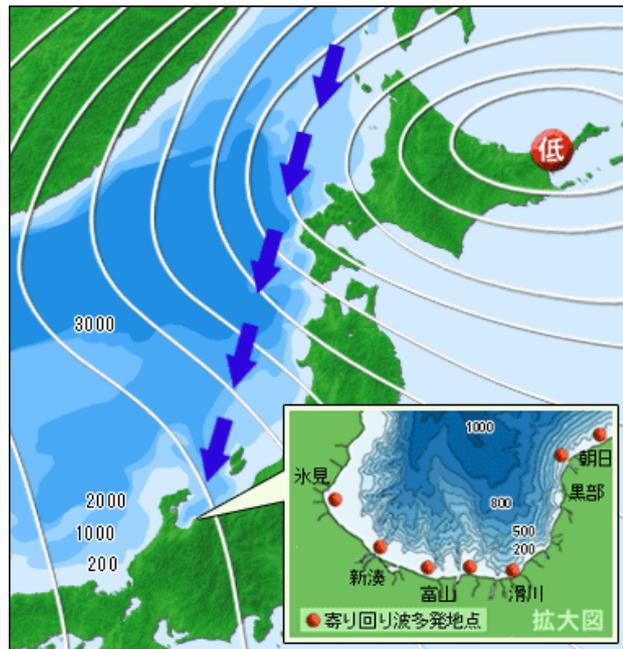
表Ⅲ-3-1 寄り回り波等の特性

寄り回り波:富山湾他で発生する波(時間遅れの異常波)				
発生時期		9月～4月		
発生回数		年に約3回程度		
発生頻度		12～3月に多く発生		
発生源	海域		間宮海峡から北海道西方海上	
	気象	気圧配置	西高東低(冬型気圧配置)	
		風	北ないし北東の強風	
	海象	発生波	風波	北海道西方海上の強風域で発生
伝播波		うねり	日本海を南下 → 富山湾他 1日程度	
湾内特性	発生時	気象	穏やか	低気圧通過後, 半日から1日遅れ 風速小さい
		海象	静か	波浪小さい
	海象	進入波	日本海を南下してきた伝播波	富山湾湾口等より入射(波向:N~NE)
		地形の影響	湾内の水深が深い	深海波の性質 エネルギー損失少の伝播に格好の条件
			複雑な地形による局所的な高波	深海域から浅海域への侵入 → 波高の増加 複雑な等深線による屈折 → 波エネルギー収束, 発散
	発生波	うねり性の大波	波高: 3~5m程度 周期: 10~12s程度	
主な発生場所		氷見, 新湊, 入善, 滑川 庄川, 神通川, 常願寺川河口近くの沿岸		

- (1) 財団法人日本気象協会(1989): 気象海象要覧 日本海 主として北陸海域
- (2) 磯崎一郎(発行年不明): 波浪学入門, 財団法人日本船舶職員養成協会
- (3) 磯崎一郎・齋藤勝也(1991): 日本海の波浪特性, 財団法人日本気象協会
- (4) 内藤信二・歌川紀之・西村仁嗣・武若聡(1999): 日本海沿岸における寄り回り波の性状に関する研究, 土木学会誌 54 回年次学術講演会論文集
- (5) 国土交通省北陸地方整備局(1997): けんせつほくりく, No336, 1997 年 12 月号
- (6) 富山地方気象台の資料

取りまとめ結果によると、一般的な寄り回り波の周期は 10~12 秒程度であるが、今回来襲した寄り回り波の周期は富山で 16.2 秒と非常に長い。このことから、今回の寄り回り波が、従来の寄り回り波と比較しても特に周期が長い寄り回り波による現象であった。

富山湾の入善漁港海岸等で寄り回り波による甚大な被害をもたらした例として、昭和45年(1970年)1月末の寄り回りによる被害事例がある。



(出典:富山地方気象台より)

② 既往災害との比較

特に富山湾に浸水被害等をもたらす寄り回り波は、低気圧による強風が収まった頃に、突然にうねりとして来襲するために、不意をつかれた格好での被害も多く、今回の気象擾乱はそういう観点からも特異な面もある。

そこで、日本海中部地域(新潟・富山)沿岸で災害をともなう高波をもたらした既往の災害事例(過去の寄り回り波の場合、通常の冬季風浪の場合)について波浪推算を行い、既往災害に対する波浪推算結果と今回の高波(平成20年2月23～24日)と波浪推算結果について比較を行うことにより、この今回のうねり性の高波浪の気象・波浪特性を把握することとした。

(比較気象擾乱の概要)

○ケース1:うねり性が発達した波浪が来襲したケース

(推算期間:平成3年(1991年)2月14日～16日)の概要

2月14日頃に東シナ海で発生した低気圧は、14日～16日に急速に発達しながら本州の南岸沿いを北東進し、同時期に日本海に発生した低気圧を併合して17日には千島の東海上で中心示度が960hPaになるまで猛烈に発達した。この後、この低気圧は17日～20日にかけて北海道東方海上で停滞し、強い冬型気圧配置となった。日本海および本州南岸を移動・停滞した2つの低気圧による強風が継続したため、日本海中部および太平洋東部の沿岸部を中心に高波浪が来襲した。

→波浪推算結果の概要:当初東シナ海で発生した低気圧の影響で日本海を西からの波浪が卓越したが、強い冬型気圧配置になることに伴い、日本海北部では北から北東よりの強風が継続し、秋田沖から高波浪領域がうねり性波浪となって南下した状況等を再現・確認した。

○ケース2:北西風による風波が発達して来襲したケース

(推算期間:平成15年(2003年)12月18日～22日)の概要

日本付近は大きな気圧の谷の中に入り、17日～20日にかけてゆっくりと日本海を通過した低気圧が日本の東海上で20日に急速に発達したために冬型が強まり、日本海沿岸を中心に海上は強風が継続し荒れ模様となった。この低気圧による強風によって新潟県の沿岸を中心に発達した高波浪が来襲した。

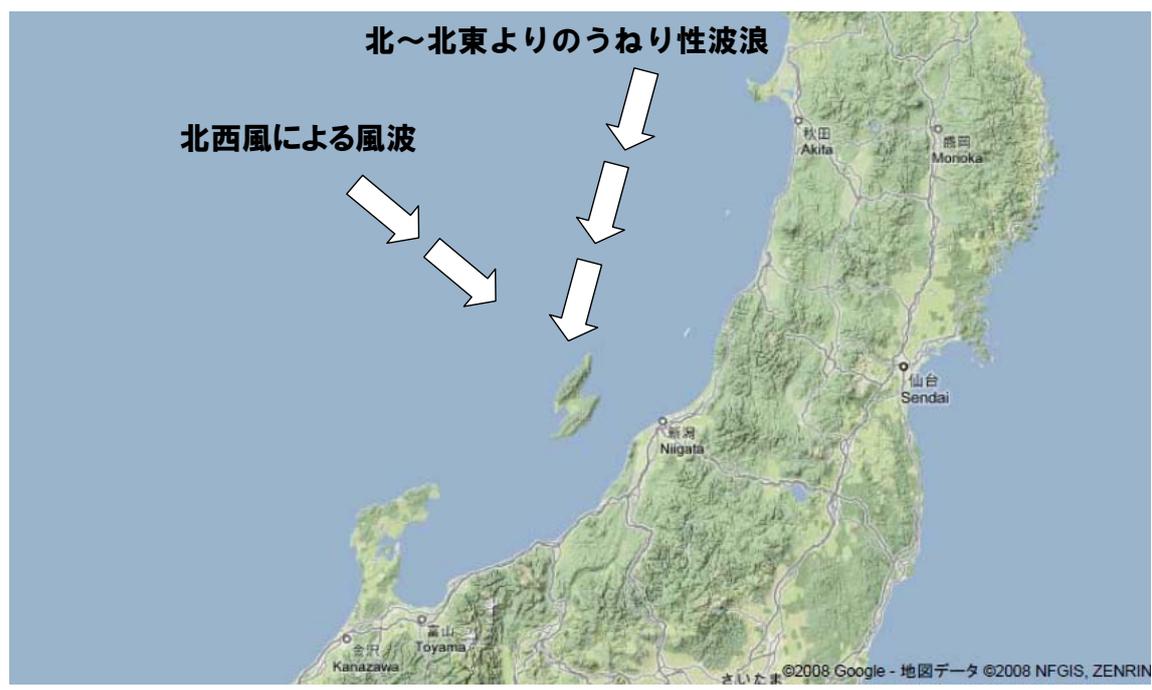
→波浪推算結果の概要:急速に発達した冬型低気圧により北西からの強風が継続したため、北西からの高波浪が日本海に来襲したが、

能登半島や佐渡の遮蔽効果により、今回被災した鷺崎漁港、入善漁港等では、大きな波浪の来襲はなかった状況等を再現・確認した。

今回のうねり性高波浪の観測データや数値シミュレーションによる分析や過去の寄り回り波や通常の冬季波浪等との比較から、今回のうねり性高波浪の特徴を整理すると以下のように考えられる。

【気象・海象特性3(高波浪特性)】

- ・ 日本海をゆっくりと低気圧が発達しながら通過し、北方からのうねり性の長周期の波浪が来襲しない場合には、日本海沿岸海域で高波が来襲するが、富山湾や佐渡の本土側は半島や佐渡の遮蔽効果で波浪はあまり発達しない。
- ・ 今回の波浪に関しては、北海道西方海上の低気圧によって形成された強風によって発生した波浪が日本海を長軸方向に伝播する際に、日本海や太平洋を東進した複数の低気圧が周辺の高気圧に囲まれ太平洋側北部で停滞し冬型気圧配置が強まったことにより、日本海北部では北から北東よりの強風が23日から24日にかけて長時間継続し、長い吹送距離と吹送時間により、長い周期のうねりとなってさらに発達するとともに、うねりと風波の相互作用も重なって高波浪が形成されたことが、佐渡や富山湾に周期が長いうねり性高波浪をもたらした要因であったことが推定される。



(4) 漁港別の被災沖波の推算結果

今回の波浪推算により推算した新潟県及び富山県内での被災した主な漁港の沖波の推算結果は以下のとおりである。

表Ⅲ-3-2 新潟県における被災沖波の推算結果

漁港名	出力地点	波向	N	NNE	最大値の発生時刻	
鷺崎	20	H(m)	6.85	9.92	2月24日	3:00
		T(s)	12.62	13.23		
北小浦	20	H(m)	6.85	9.92	2月24日	3:00
		T(s)	12.62	13.23		
水津	M	H(m)	6.14	8.5	2月24日	4:00
		T(s)	12.66	13.64		

表Ⅲ-3-3 富山県における被災沖波の推算結果

漁港名	出力地点	波向	NNW	N	最大値の発生時刻	
入善	7	H(m)		6.20	2月24日	10:00
		T(s)		13.78		
滑川	6	H(m)	5.50		2月24日	10:00
		T(s)	13.89			
宮崎	9	H(m)		7.36	2月24日	7:00
		T(s)		13.71		

また、最大有義波高発生時刻が、推算結果では、佐渡では午前3時頃、富山では午前10時頃となっている。次頁からの表は入善漁港海岸及び水津漁港における来襲した高波浪や被災状況等について聞き取りした結果である。被災時刻を推定するまでにはいかないが、おおむね最大有義波高が発生した時刻近くで大きな波浪が来襲し、被災を受けたものと思われる。

【推定される被災のメカニズム1(長周期の波浪の影響)】

新潟県佐渡の鷺崎漁港、北小浦漁港、水津漁港では、南下したうねり性高波浪の最大有義波高の波向きが北北東となっている。今回の高波浪は、沖波として過去の北方向等から来襲した最大波を越えるものではないが、北北東方向としては大きく、特に周期が長いのが特徴となっている。北北東等の方向成分により佐渡の遮蔽の影響が少なかったこと、今回波浪の周期が長かったこと等によりそれぞれの漁港まで波高が大きく減衰せずに漁港施設等に被害をもたらした大きな要因のひとつと考えられる。

また、富山湾の波浪は方向集中度の高い、うねり成分が卓越したものとなっており、入善漁港等でも波高としても、現行の設計沖波と同程度ぐらいであるが、周期については設計沖波を越えており、周期の長い波浪の影響により波高の減衰は小さく、被害を助長した要因のひとつと想定される。

表Ⅲ-3-4 富山県入善漁港海岸における被災状況履歴

(1) 入善海岸越波状況

平成20年2月23日(土)		
17:00	海岸での風速が次第に強さを増す。	入善町風力発電施設 20.3m/s 国土交通省田中観測所 風速 WNW14.8m/s
平成20年2月24日(日)		
2:00頃	海岸からの波が強くなり、海水が集落内に進入し始める。	国土交通省田中観測所 最大波高 4.6m 風速 W9.8m/s
4:00	大波が押し寄せるようになる。	国土交通省田中観測所 最大波高 7.5m 風速 NW15.5m/s
6:30	海岸管理用道路を走行中の海岸パトロール中の車両が、堤防を越波した高波により浸水し走行が不能となる	
	海岸管理用道路を通行止めとして、一般車両の通行を規制する。	
8:00～	大波(目視 10m)が頻繁に押し寄せて、堤防を乗り越える。	国土交通省田中観測所 最高波高 9.5m 風速 NW10.7m/s
9:50	災害対策本部に「防波扉が破損した」との通報が入る。	「防波扉」:鋼製護岸ゲート
	大波が押し寄せ堤防を越えて、海水が集落内に進入する。	
17:00		国土交通省田中観測所 最高波高 7.1m 風速 NW7.8m/s
平成20年2月25日(月)		
6:00	目視 1.5mの波となり、海岸に打ち寄せる。	国土交通省田中観測所 最高波高 3.9m 風速 NW5.8m/s

(入善町より提供)

表Ⅲ-3-5 新潟県水津漁港における被災状況履歴

(2) 水津漁港高波災害経過

平成20年2月23日(土)		
20:00頃	停電(長い)	
23:30頃	最停電、一晩中地鳴り(波の打ち寄せ、風は無し、雷あり)	港湾局新潟沖 24:00 最大波高 10.2m
平成20年2月24日(日)		
1:30頃	組合員が天候の急変に気付き見回り	
3:00頃	船主数名が荒天準備に取り掛かる	
3:30頃	北防波堤一部決壊か?	
4:00頃	波がさらに高さを増してくる	海上保安庁弾崎 4:25 風速 30m/s
4:30頃	南側船揚場の小型船・近隣車両に被害	
5:00頃	警戒態勢(組合員、区民)	
6:00頃	片野尾ー水津函で岩石等障害物と高波で移動困難。北港内では、漁船同士の接触、ロープ切断などの被害	海上保安庁弾崎 5:55 風速 29m/s
7:14頃	高波最大、漁協1階事務所に大波が打ち込む(負傷者あり)、南側船揚場でも全小型船が流出、波と流出物によりウインチ小屋5ヶ所のうち、4ヶ所が流出	
10:30頃	第18 広俊丸の錨が高波により切断に北港内で動き出す	
17:00頃	ピーク時に比べれば波は収まるが、時折大波が来襲	海上保安庁弾崎 16:55 風速 17m/s

注)新潟沖は、2/24は2時~22時まで欠測

(新潟県より提供)

(5) 被災波の再現性について

漁港施設の復旧や今後の整備の検討に先立ち、今回の被災波浪がどの程度の頻度で来襲するものなのか、観測値や波浪推算値から評価を試みた。

① 観測値を用いた評価

観測値を用いた評価については、伏木富山、直江津、新潟沖のNOWPHASデータ(港湾局より提供)を用いて解析を行った。データの間隔は2時間である。

上記のデータからNOWPHASの基準に従って高波期間を抽出し、最大有義波高出現時の波高、周期、波向を抽出した。NOWPHASの基準とは、波高の極大値が基準波高である上限値を超える場合をひとつの擾乱と見なし、下限値を上回っている期間を擾乱期間とするという考え方である。各観測地点における資料の期間および上限値、下限値は以下の通りである。

表Ⅲ-3-6 対象データ期間と高波抽出の基準値

地点	対象期間	高波抽出基準	
		上限値(m)	下限値(m)
伏木富山	平成11年～平成20年2月 (1999年～2008年2月)	1.5m	1.0m
直江津		3.0m	2.0m
新潟沖	平成2年～平成20年2月 (1990年～2008年2月)	3.0m	2.0m

風波とうねりの出現状況を把握するため、ここでは波形勾配が0.025以上のものを風波、0.025未満のものをうねりとし、波高と周期の散布図を作成した。なお、欠測が存在する場合、前後の資料から可能な限りスプライン補間により2時間毎のデータを作成し極大波高を推定している。

伏木富山の波高と周期の関係図では、過去10年程度の観測期間ではあるが、高波浪の中でうねりで見なされる擾乱もかなり多いという特徴を有することが分かる。今回の被災波(波高4.22m、周期14.2s)もうねりに分類され、観測期間中最大のものであった。

直江津及び新潟沖の波高と周期の関係図については、波形勾配が0.025未満のものをうねりと考えた場合、全体の中でうねりの占める割合はかなり小さくなる。直江津、新潟沖で観測された今回の波浪も風波の領域に属している。新潟県の本土側は主にNW、NNW等からの風波が卓越しており、先の伏木富山港における波高と周期の関係図は、直江津、新潟沖等のそれと異なった状況を呈していることがわかる。

このようなことから、伏木富山における最大有義波高出現時の波高の中から、今回の高波浪と同様なうねり性（波形勾配が 0.025 未満）のものだけを抽出し、参考までに今回の被災波浪を含めた極値統計解析を行ったところ、おおむね25年強の再現期間となった。しかしながら、観測期間が10年不足であるとともにサンプル数が少ないことなどから、推定精度が十分とはいえない面がある。

このため、入善漁港海岸および佐渡の鷺崎漁港等に来襲した被災波の再現性について、過去50年を越える期間に来襲した異常気象を対象とした波浪推算データによる検討を行った。

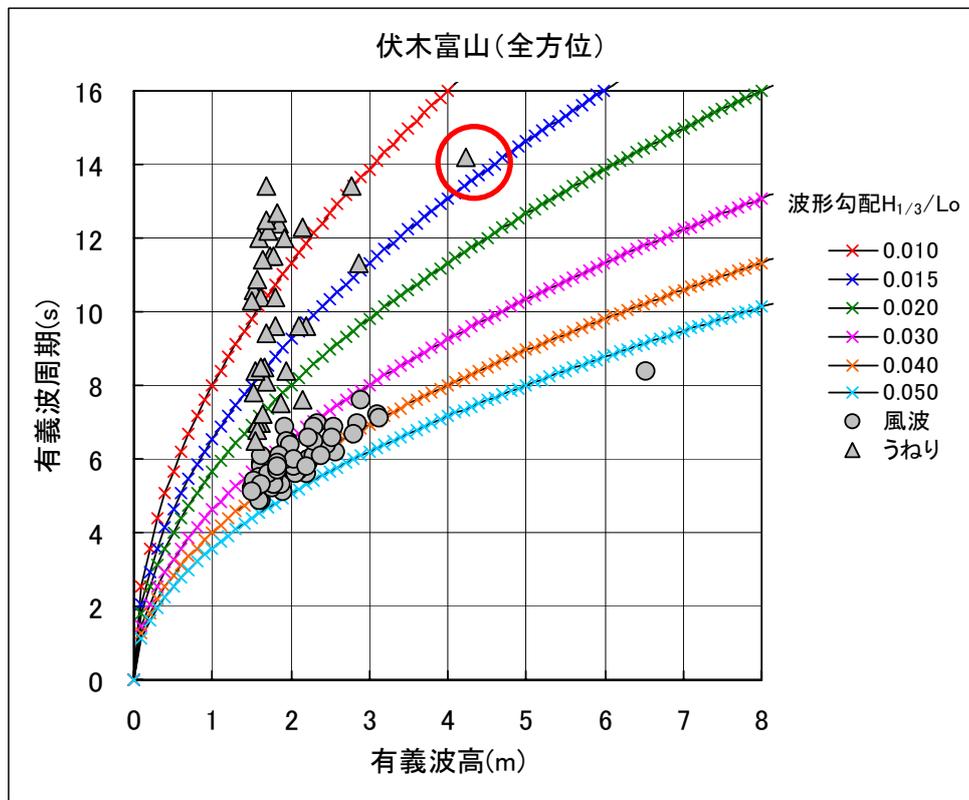
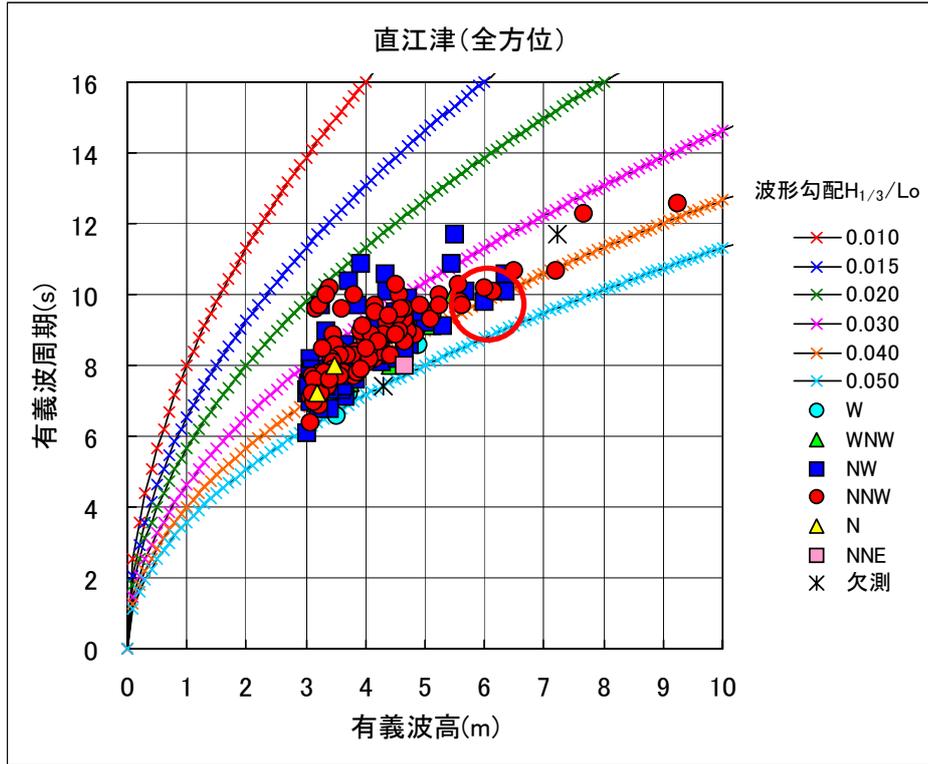
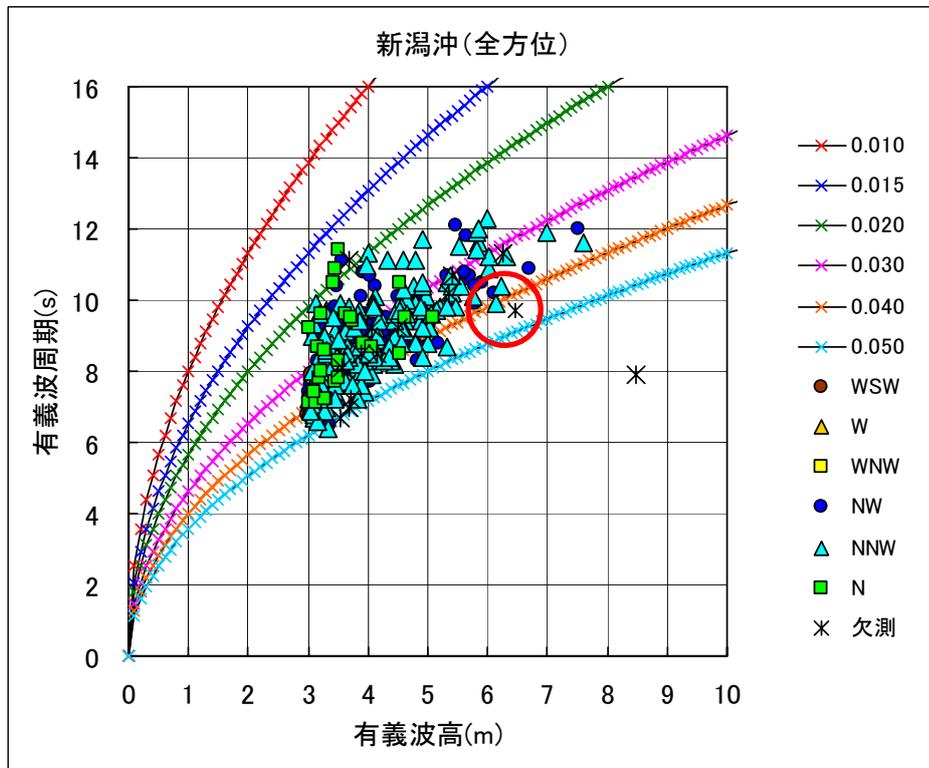


図 III-3-6 伏木富山における観測波高と周期の関係
 (○は今回の波浪; 波高 4.22m、周期 14.2s)



図Ⅲ-3-7 直江津における観測波高と周期の関係
 (○は今回の波浪; 波高 6.00m、周期 10.2s)



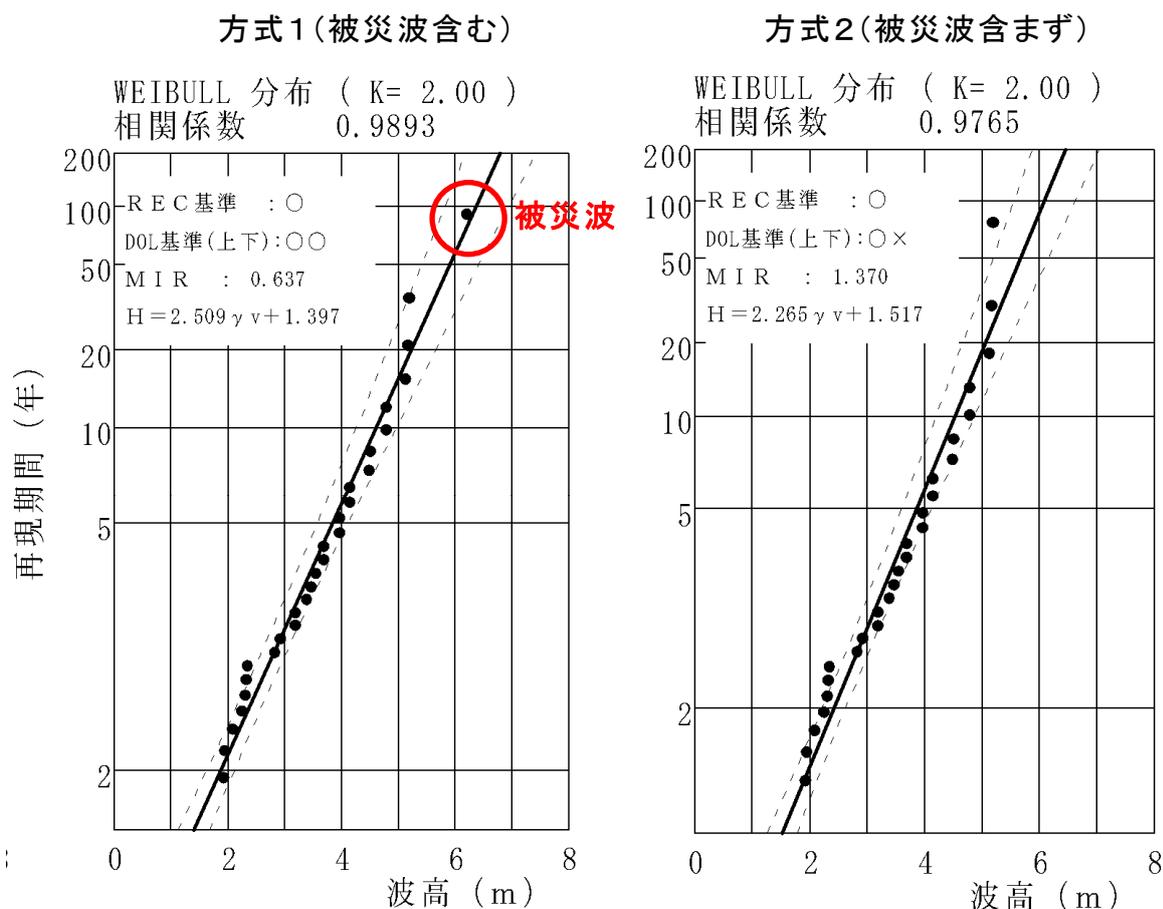
図Ⅲ-3-8 新潟沖における観測波高と周期の関係
 (○は今回の波浪; 波高 6.46m、周期 9.7s)

② 波浪推算値を用いた評価

i) 入善漁港海岸

富山県においては、今回の被災を踏まえ、平成20年度に入善漁港海岸をはじめとして、県内の各漁港において、設計沖波の見直し作業に着手したところである。波浪推算としてはWAMを用い、昭和30年(1955年)から平成20年(2008年)までを対象期間として波浪推算(全擾乱数:158擾乱)を行っている。波浪推算の結果として、入善漁港海岸も、伏木富山の観測値と同様、うねり(波形勾配 0.025 未満のもの)と風波が混在している。

推算結果のうち、うねり(波形勾配 0.025 未満)のものだけを抽出して、今回の高波浪がどのような位置づけになるかを把握するため極値統計解析を行った結果を示す。被災波(波高 6.2m、周期 13.8s、波向N)を含む場合の今回の再現期間は約75年程度相当となっている。なお、今回の被災波を含まない場合は100年強相当となるが、これはうねり波浪だけを取り出した場合、主に被災波の波高が推算対象期間の中で既往最大であることに起因する。



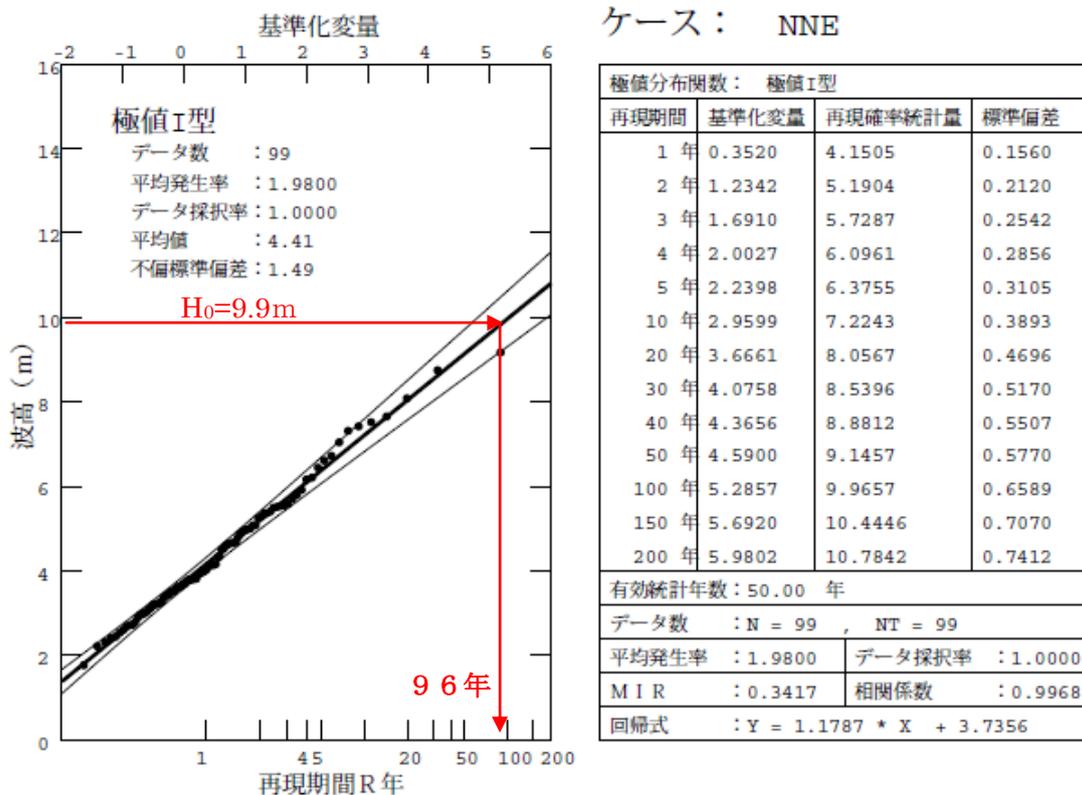
図Ⅲ-3-9 うねりの確率波高算定結果
(入善漁港海岸、波向:N、波形勾配 0.025 未満)

ii) 鷺崎漁港

今回の鷺崎漁港の被害では、一つには波向きが被害に大きく影響を及ぼしていることがわかった。新潟県においては、平成18年度に県内の漁港について設計沖波の見直しを行っており、波浪推算としてはWAMを用い、1955年から2004年までの50年間を対象期間として波浪推算を行っている。今回の鷺崎漁港の被災波浪(波高 9.9m、周期 13.2s、波向 NNE)は、波向NNEとしては、最も高い波浪であった。今回の被災波を極値分布にあてはめると、96年程度の再現期間に相当する。なお、新潟沖の波浪データの特性から、ここではうねりと風波は分離していない。

また今回来襲した高波浪の特徴としては、波向きとともに、周期が長いのが特徴であったが、周期についても、波向NNEとしては、現行の設計沖波の周期 12.2s に比べ、被災波浪の沖波周期は 13.2s と大きくなっており、既往最大の周期となっている。

このように、新潟県佐渡の本土側の漁港では、北～北東よりの波向きに対して比較的低頻度の発生確率であるが、うねり性の強い波浪が来襲する可能性がある。



図Ⅲ-3-10 確率波高算定結果
 (鷺崎漁港、波向:NNE、風波とうねりを対象)

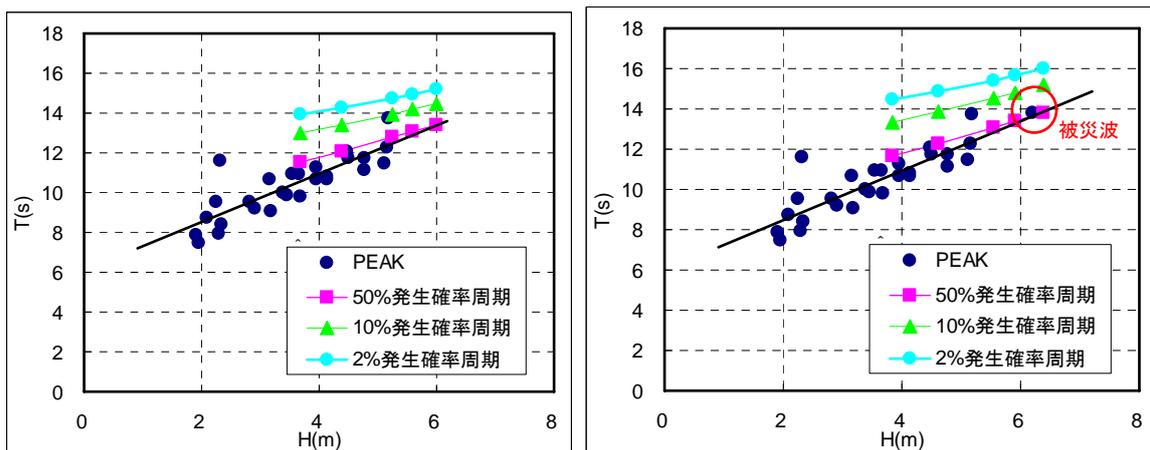
(参考)波高と周期の相関を考慮した確率周期の試算

今回の入善漁港海岸の被災波(波高 6.2m、周期 13.8s、波向N)は周期が長いことが特長であったが、富山湾では、寄り回り波に代表されるうねり性の波浪と風波では波高と周期の相関が異なる。従来は、設計に用いる周期は波高と周期の相関から決めることが多いが、今回の周期の特長を把握するために、2次元ワイブル分布を用いた確率周期の試算を行った。

波高の周辺分布には極値統計解析手法(合田の方法)に基づいて選定された確率密度関数を用い、周期については最尤法を用いて3母数ワイブル分布にあてはめ、周辺分布を決定した。また、これらの結果と波高と周期の相関係数に関するパラメタから2次元ワイブル分布により極大波高発生時の確率周期を算定した。ここで、ある波高が生起したときの条件付き確率として周期の出現特性が表される。すなわち、ある波高に対して周期がワイブル分布を持ってばらつくと考える。この時の周期の発生確率 $n\%$ を用い、 $n\%$ 発生確率周期とする。

検討に用いたデータは、先の入善漁港海岸に対する沖波波浪推算値(1955年~2008年)のうち、波形勾配で判定($H/L_0 < 0.025$)したうねり性の推算値とした。

結果をみると、被災波を含めない場合及び被災波を含める場合とも、周期についてはいずれも発生確率は50%(50%発生確率周期)内に入る結果となった。すなわち、うねり性の波浪のみを抽出して波高と周期の相関を見ると、今回の被災波浪の周期については、波高の再現期間とほぼ同程度の再現期間となる。



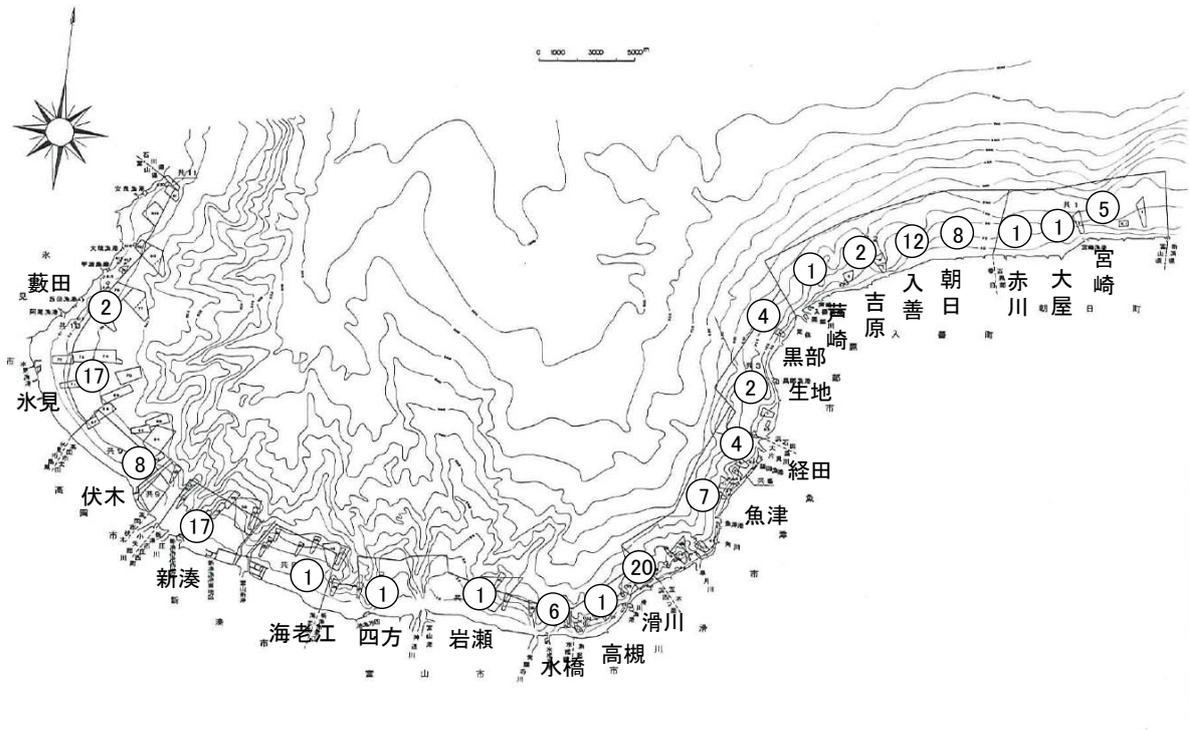
参考図 波高と周期の相関を考慮した確率周期分布
(左:被災波を含めない場合、右:被災波を含めた場合)

(6) 富山湾全域の寄り回り波の来襲特性について

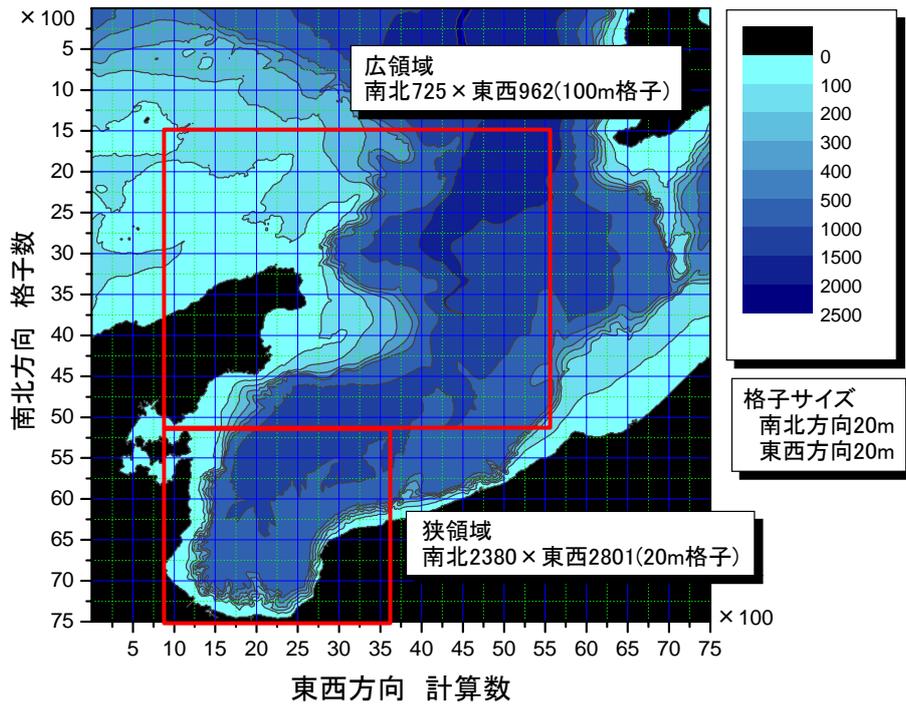
富山湾内周辺における寄り回り波の被害について過去の報告等を調べると、被害が頻繁に生じている場所(入善、滑川、新湊、氷見など)と、頻繁には生じない場所とに分類される。この相違の要因を調査するため、富山湾全域のエネルギー平衡方程式による波浪変形計算を行った。

富山湾全域では計算領域が広いため、100m 格子間隔の広領域と、20m 格子間隔の狭領域の2領域のスペクトル接続による計算を行った。

入射波浪条件は、寄り回り波の特性である周期の長い影響を見るため、被災時の周期相当の 15s とし、沖波向は富山湾内の代表的波向であるN、波高は単位波高として、計算結果は波高比として評価した。潮位は、富山湾周辺の被災時の観測潮位(約 30cm)と高潮推算結果(約 20~30cm)を考慮し、DL+0.6m と設定した。



図Ⅲ-3-11 富山湾の漁港と過去の寄り回り波による被害回数
(被害回数は畑田・山口(1998)より)



図Ⅲ-3-12 富山湾全域の波浪変形計算領域

表Ⅲ-3-7 富山湾全域の波浪変形計算の計算条件

(1) 広領域

項目	諸元
格子間隔	南北方向:100m, 東西方向:100m
格子数	南北方向 725×東西方向 962
計算範囲	沿岸方向 72.4km×岸沖方向 96.1km
入射波諸元	波高 1m、周期 15s、N
潮位	D.L.+0.6m

(2) 狭領域

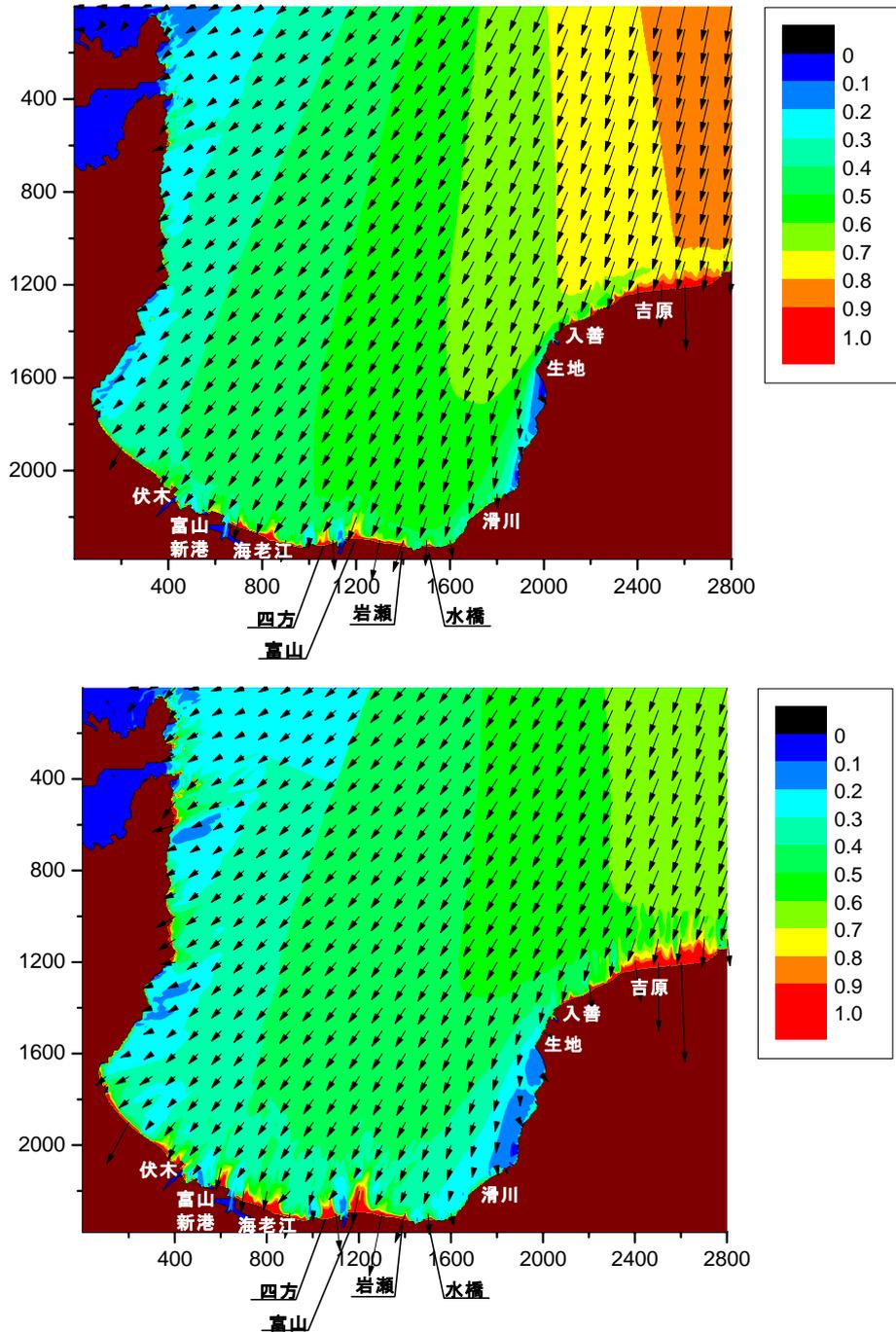
項目	諸元
格子間隔	南北方向:20m, 東西方向:20m
格子数	南北方向 2380×東西方向 2801
計算範囲	南北方向 47.58km×東西方向 56.0km
入射波諸元	広領域接続部にてスペクトル接続
潮位	D.L.+0.6m

波高分布の計算結果について、狭領域の全領域について 40m メッシュデータでコンター図を作成したものと、20m メッシュで沿岸域のみ作成したものを示した。

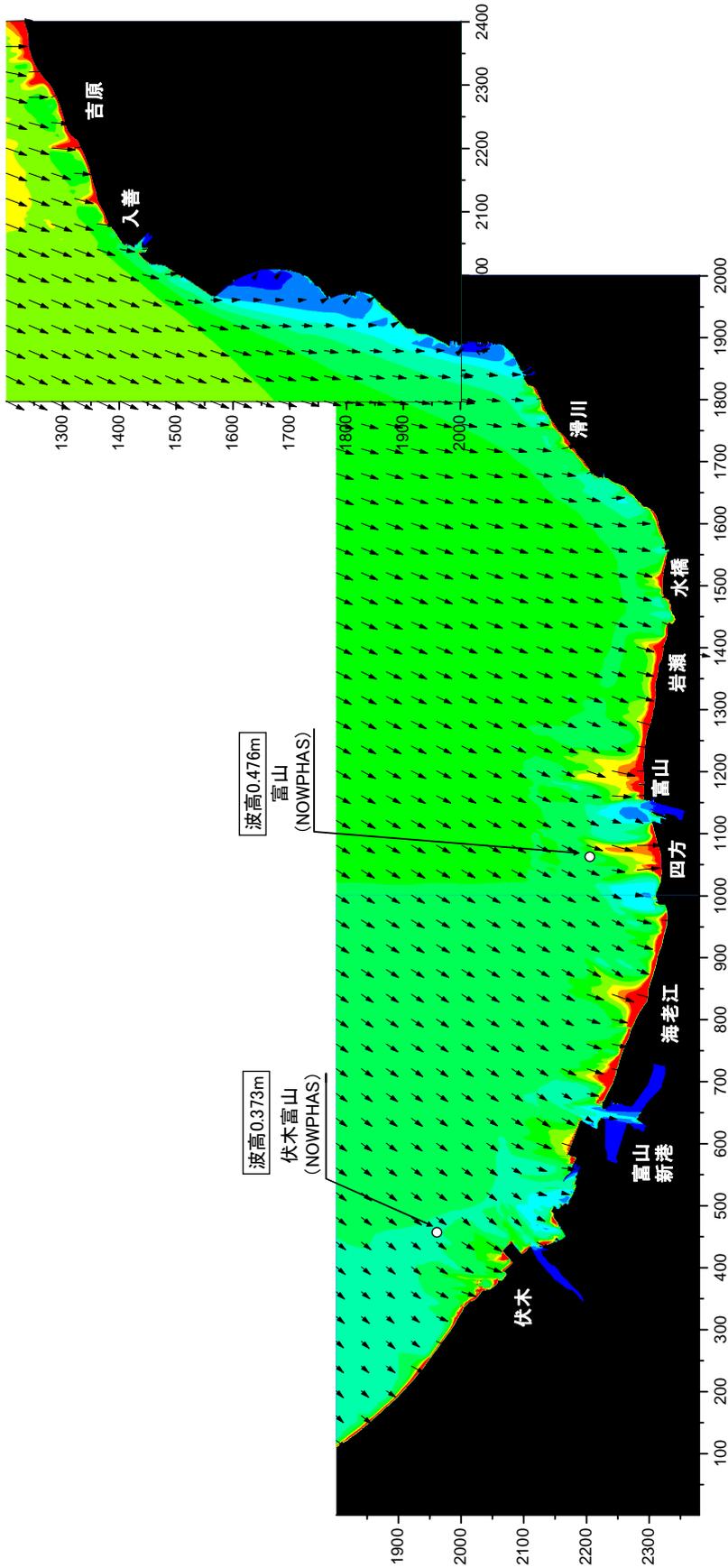
海底谷の影響で波高が大きくなると見られるのは下新川海岸の吉原地区や水橋、岩瀬、富山港、四方、海老江、富山新港などで顕著である(図中の赤～黄色の部分)。また、これらの地点ほどは顕著ではないが、汀線際で急激に波が大きくなる傾向が黒部から滑川以北の領域を除いた全域で見られる(図中の陸地際の赤色部分)。また、周期が長いほど、波高増大の程度が大きくなっていることがわかる。

入善、滑川では過去に寄り回り波の被害が頻繁に生じているが、これらの結果からは海底谷による波の収斂による影響は少なく、直前の地形による波高増大のメカニズムが支配的であると推定される。入善、滑川の漁港周辺の海底地形図をみると、直前の急勾配と入り組んだ複雑な地形をしており、今回実施した 20m メッシュの地形データでは完全には再現出来ない地形の影響が存在する。この直前の地形の影響と、さらに寄り回り波のような周期の長い波が来襲すると、より来襲波が大きくなると推定される。

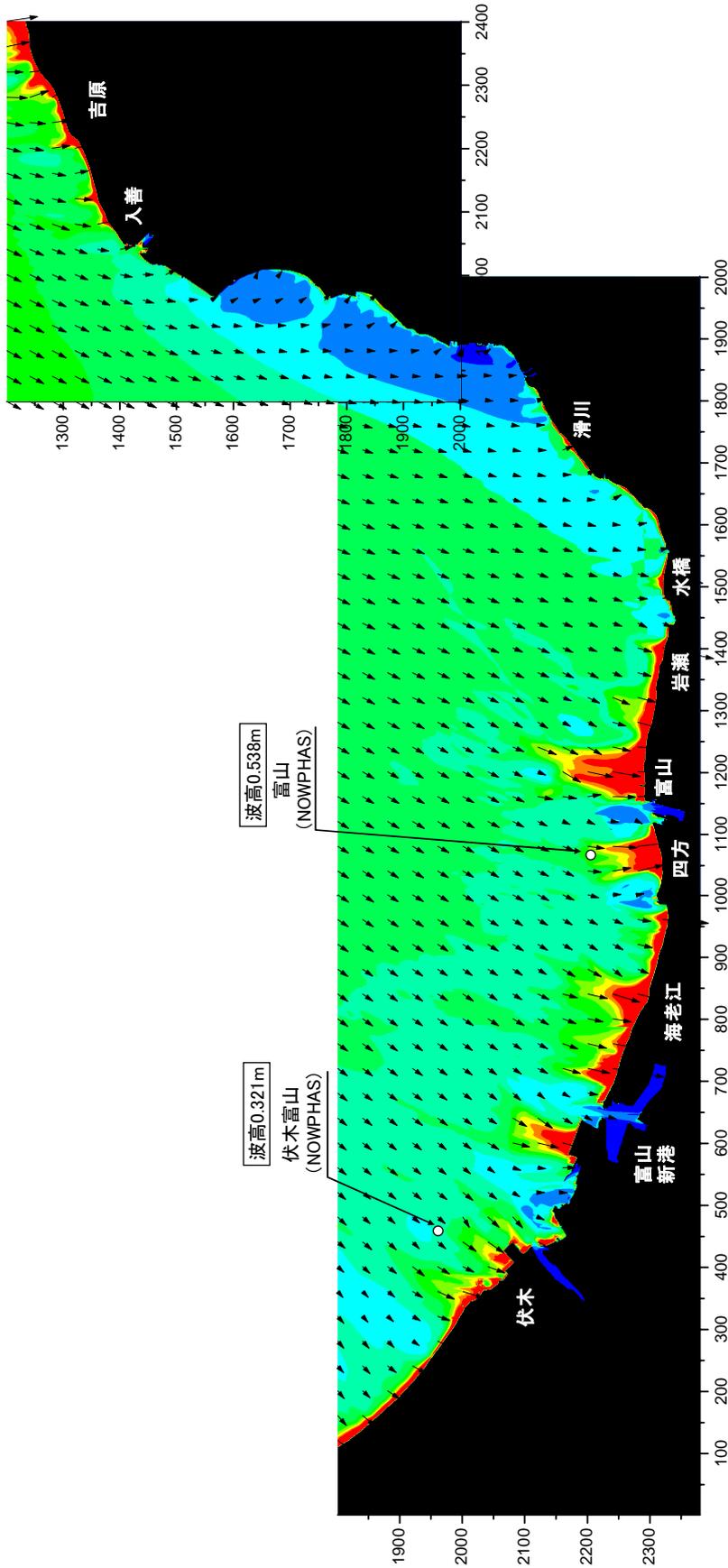
また、図中には富山湾内のNOWPHAS観測地点である伏木富山(水深 46m)と富山(水深 20m)の観測位置およびそれぞれの位置の計算波高を示した。水深が 20m より深いため汀線際や海底谷の部分程は顕著な波高の増大は見られないが、計算結果の波高を比べると周期 15s では $0.476(\text{富山})/0.373(\text{伏木})=1.3$ 倍、周期 30s では $0.538(\text{富山})/0.321(\text{伏木})=1.7$ 倍と、富山の方が大きくなることがわかった。



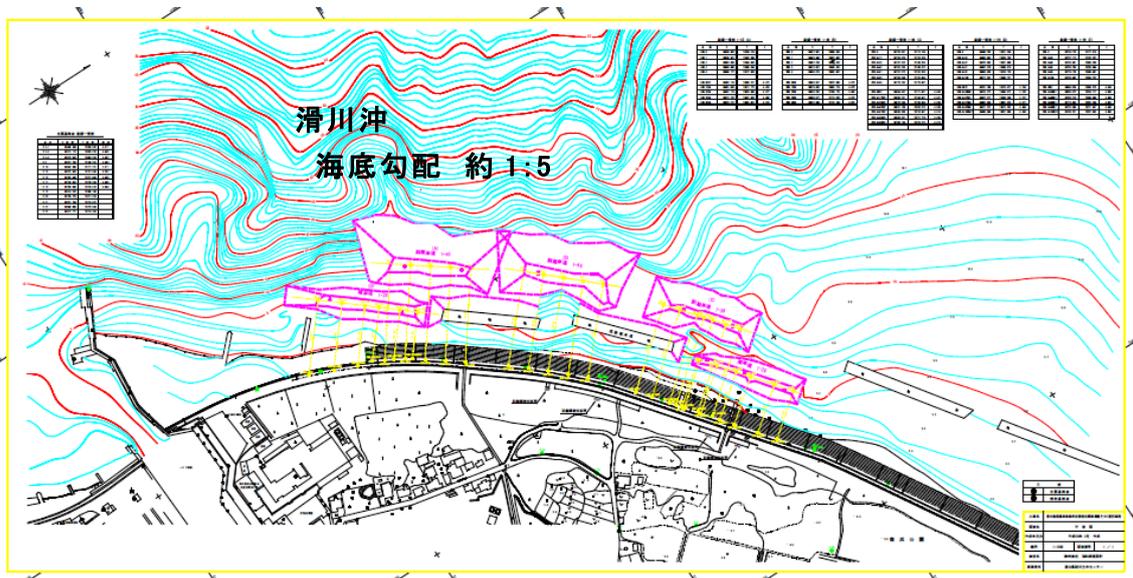
図Ⅲ-3-13 波高平面分布(狭領域、40mメッシュデータから図化)
(上段:周期 15s、下段:周期 30s)



図Ⅲ-3-14 波高平面分布(周期 15s、狭領域、20m メッシュデータから図化)



図Ⅲ-3-15 波高平面分布(周期 30s、狭領域、20m メッシュデータから図化)



図Ⅲ-3-16 入善漁港海岸、滑川漁港海岸の海底地形
(上段:入善漁港海岸、下段:滑川漁港海岸)

IV 漁港施設等の被災要因について

特に甚大な被害が生じた富山県入善漁港海岸及び新潟県鷺崎漁港等において漁港施設の被災要因の検討を行った。その結果の概要は以下のとおりである。

1 入善漁港海岸

(1) 浅海域での波浪変形特性

沖合での来襲波浪が、富山湾内の地形や水深等の影響を受けて、入善漁港海岸各施設へ到達する有義波の特性を把握するために、波浪変形計算を実施し、波高等を試算した。試算に当たっては、沖波の推算ポイントからの入善漁港海岸地点までを広領域と狭領域(入善漁港海岸の各施設周辺)の2つの領域を設定し、広領域の計算については、簡便な波浪変形計算手法として広く用いられているエネルギー平衡方程式にて計算を行い、狭領域の入射境界の条件を設定した。狭領域の波浪変形計算には、波の浅水、屈折、回折、反射だけでなく、水位上昇、海浜流、有限振幅性等を同時に評価できる数値モデルであるブシネスク方程式を用いた。

表IV-1-1 計算条件

(1) 広領域

項目	緒元
格子間隔	沿岸方向:5.0m、岸沖方向:5m
格子数	沿岸方向 800×岸沖方向 400
計算範囲	沿岸方向 3995m×岸沖方向 1995m
入射波緒元	被災波:波高 6.2m、周期 13.8s、N
検討潮位	D.L.+0.85m

(2) 狭領域

項目	緒元
格子間隔	沿岸方向:5.0m、岸沖方向:5m
格子数	沿岸方向 400×岸沖方向 200
計算範囲	沿岸方向 1995m×岸沖方向 995m
入射波緒元	広領域接続部の計算波高を入射
検討潮位	広領域と同じ

なお、検討潮位は被災時の実測潮位に長周期波成分を考慮して以下のように設定した。すなわち、生地の観測潮位 TP+0.31m に長周期波成分としてサーフビートの振幅 ζ_{rms} 0.25m の 2 倍(1/20 最大振幅に相当する)とした。

以上より、 $(+0.31)+(0.25 \times 2)=0.31+0.50=0.81$ より DL+0.85m とした。なお、サーフビートの振幅は、合田(1975)より以下の式で表される。

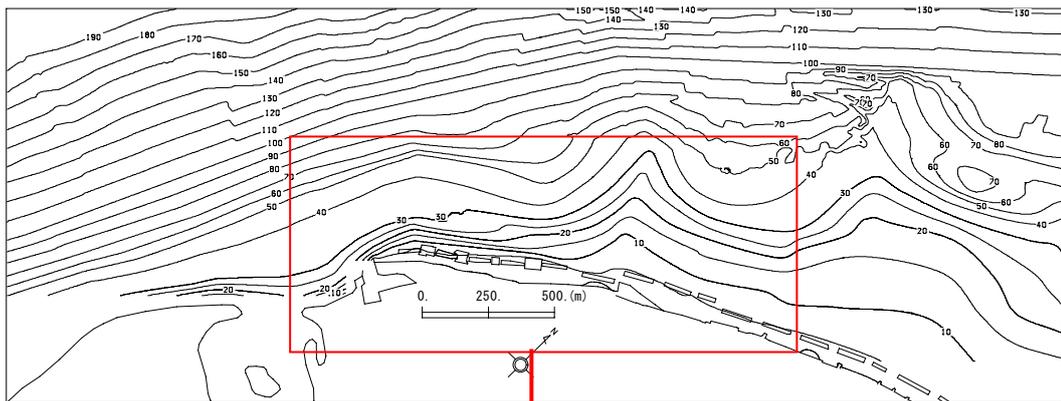
$$\zeta_{rms} = \frac{0.01H_0'}{\sqrt{H_0'/L_0 \left(1 + h/H_0'\right)}}$$

この式において、

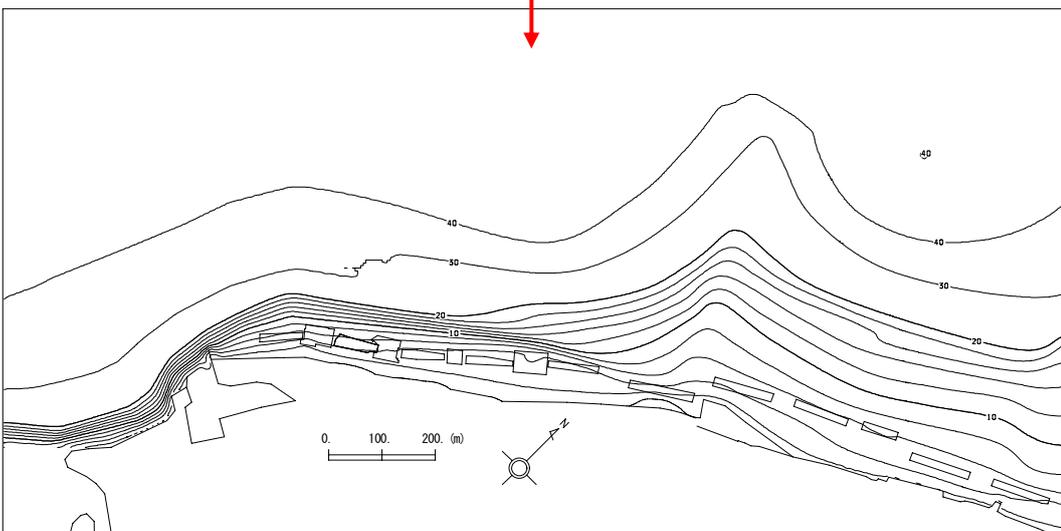
- ・換算沖波波高 $H_0' = 5.33\text{m}$ (エネルギー平衡方程式の波浪変形計算より)、
 - ・沖波波長 $L_0 = 296.2\text{m}$ 、
 - ・水深 $h = 8.3\text{m}$ (1~3号、4号、6号、9号副離岸堤、1~4号潜堤、5、6号潜堤各施設の設置水深の平均より)、
- を代入して以下のように 0.25m となる。

$$\zeta_{rms} = \frac{0.01H_0'}{\sqrt{H_0'/L_0 \left(1 + h/H_0'\right)}} = \frac{0.01 \times 5.33}{\sqrt{5.33/296.2 \left(1 + 8.3/5.33\right)}} = 0.25$$

入善海岸計算領域全体

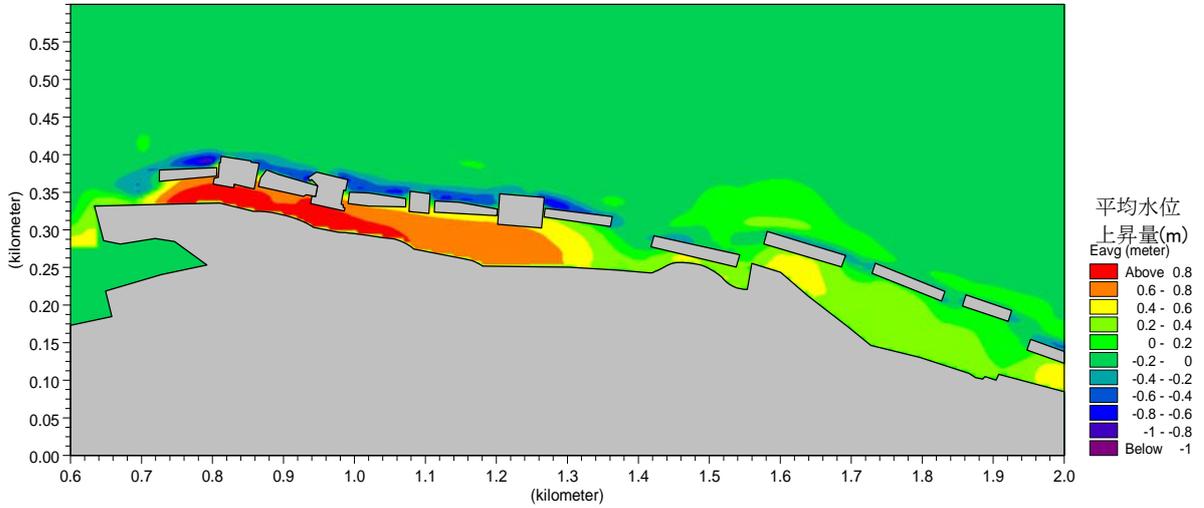


入善海岸対象領域

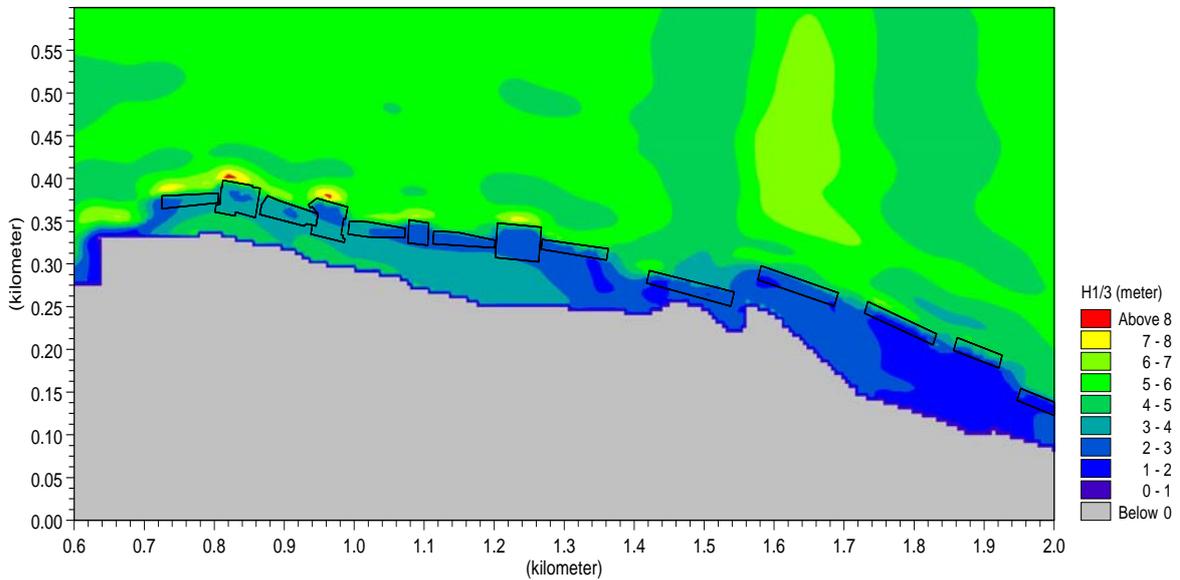


図IV-1-1 計算領域(狭領域)

以下に、平均水位上昇量分布、有義波高分布等結果の一例を示す。特に入善漁港側では、80cm を越える水位上昇となる計算結果となった。また有義波高としては、漁港側の潜堤、副離岸堤前面で7m を越える波高が出現する結果となった。



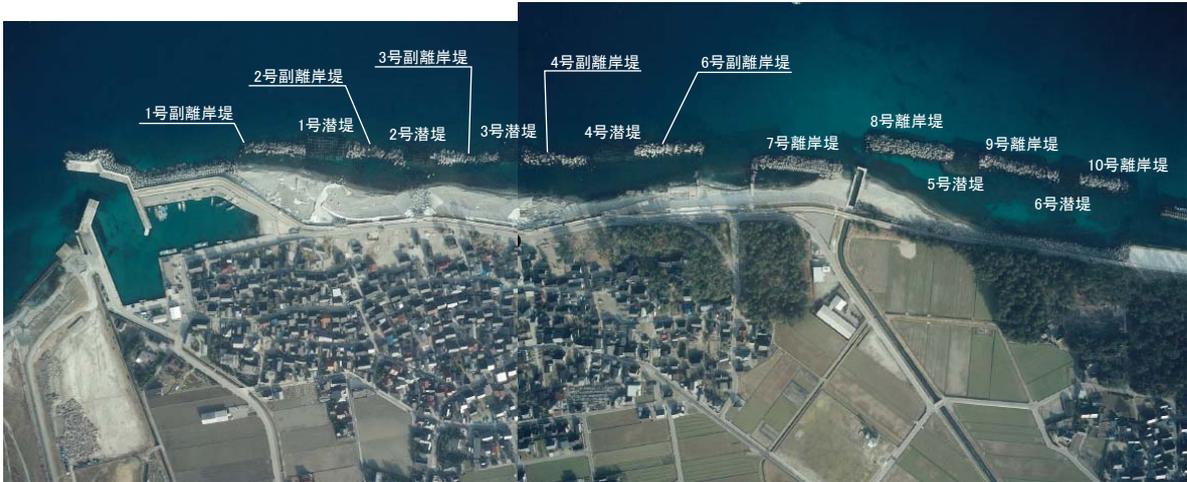
図IV-1-2 被災波浪による平均水位上昇量分布図



図IV-1-3 被災波浪による波高分布図

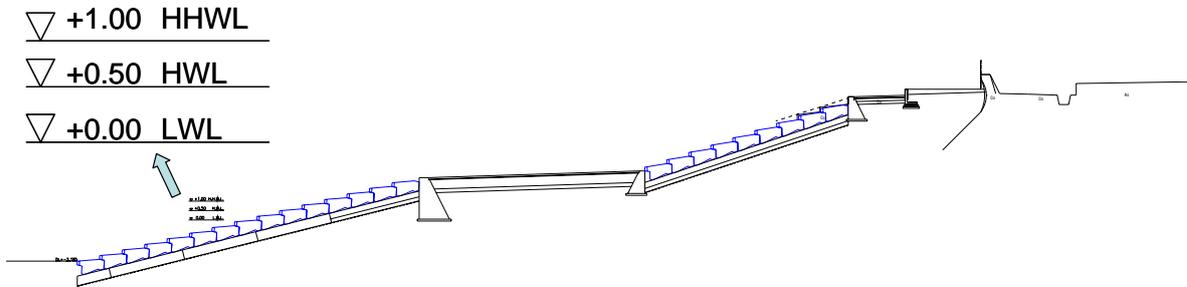
(2) 緩傾斜護岸の打上高の推定

① 仮想勾配法による打上高の推定



図IV-1-4 入善漁港海岸および海岸構造物位置図

潜堤の背後の緩傾斜護岸について被災波による打上高さを試算し、現行天端高さとの比較を行った。設置地盤高さは-2.2m、検討潮位は、「生地の観測潮位+30cm」に、「湾内数十分の長周期波による上昇 30cm(観測潮位スペクトル解析結果より)」と、「数十秒から数分の長周期波による上昇 40cm(波浪変形計算結果より)」を考慮してDL+1.0mとした。この値はHHWLに相当する。



図IV-1-5 緩傾斜護岸断面図

まず、緩傾斜護岸の沖側に位置する潜堤を透過した後の波浪諸元と平均水位上昇量を算定した。潜堤前面の波高 $H=8.30\text{m}$ (1号潜堤前面における計算波高)を対象とした。

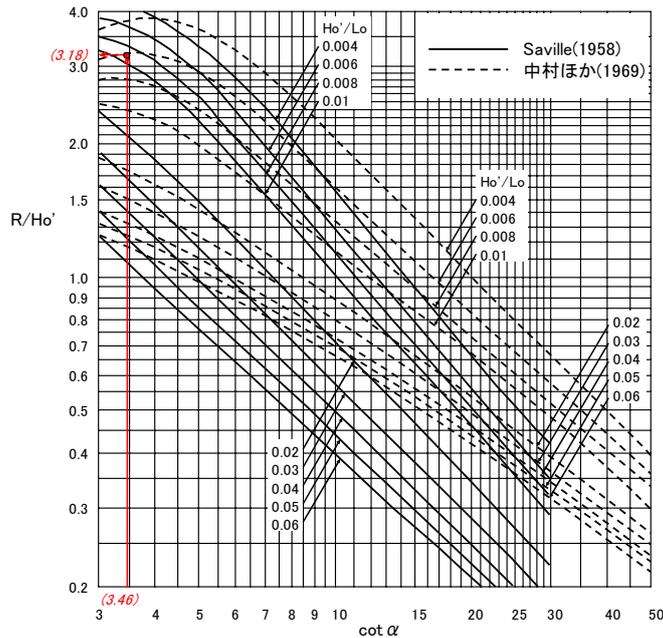
中山式(「漁港・漁場の施設の設計の手引 2003 年版」、全国漁港漁場協会、p52)より透過率 $K_t=0.43$ となり、透過波高 $H_t=8.3 \times 0.43=3.57\text{(m)}$ と算定される。また、潜堤背後の平均水位上昇量は中山(1993、水工研技報、水産土木 16)の実験結果を用いて 1.0mと推定した。

潜堤背後の護岸への打上高の算定は、通常、潜堤上で入射波浪に比べて周期の短い波に分散するとして周期を減少させて行うが、被災時には長周期波の影響

により水位が上昇し、通常の潜堤上の分散は少なかったと考えられるので、被災時の打上高の推定には入射波の周期をそのまま使用することとした。

透過波高を潜堤背後の平均水位上昇量を考慮した水深での浅水係数 $K_s=1.33$ より割り戻すと、透過波高に相当する換算沖波波高は $Ho'=3.57/1.33=2.68(m)$ 、 $Ho'/Lo=0.009$ となる。

次に、求められた潜堤背後の波浪諸元よりサビールの仮想勾配法を用いて遡上高さを算定した。算定された仮想勾配($\cot \alpha=3.46$)と Ho'/Lo より、 $R/Ho'=3.18$ (算定図より)となり、よって遡上高さ $R=2.68 \times 3.18=8.52(m)$ と推定される。

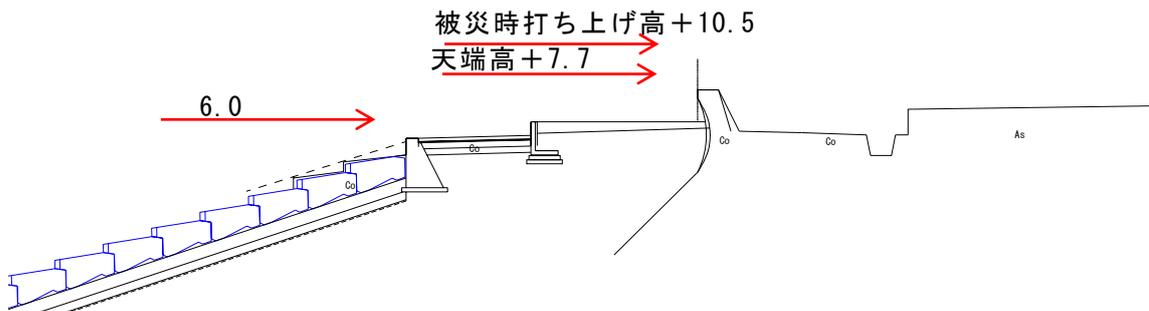


図IV-1-6 仮想勾配法(サビール)による打上高さ算定図

潮位、潜堤背後の平均水位上昇量を考慮した打上高は、

$$\text{打ち上げ高} = \text{遡上高} + \text{平均水位上昇量} + \text{潮位} = 8.52 + 1.00 + 1.00 = 10.5(m)$$

と推定され、護岸天端高 7.7mを 2.8m 以上上回る結果となった。以下に被災時の打ち上げ高さ と護岸天端高さを示す。

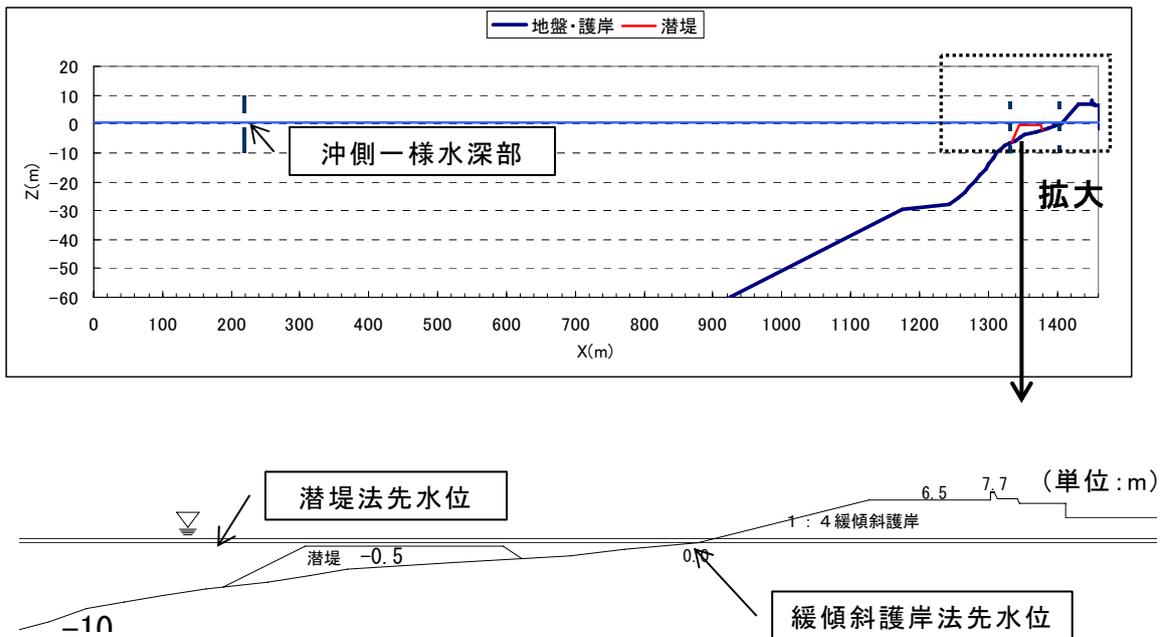


図IV-1-7 被災時の打ち上げ高さ と護岸天端高の関係模式図

② 数値波動水槽による護岸越波の検討

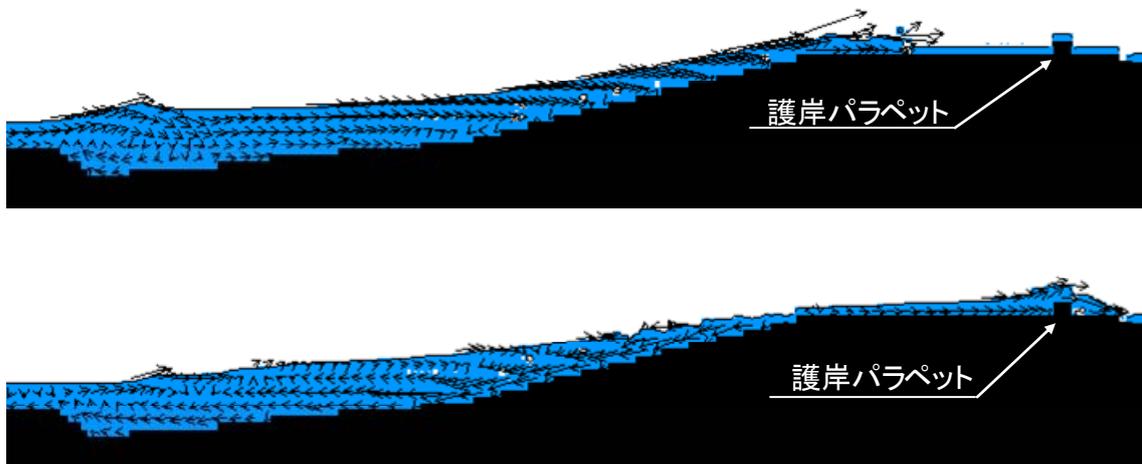
入善漁港海岸の被災について、護岸背後への越波・越流の状況を検討するため不規則波による数値波動水槽(CADMAS-SURF)による数値計算を行った。

検討断面は、被害の規模が大きかった2号潜堤から6号護岸を含むような測線とした。検討潮位は DL+0.85m、検討波浪は H=6.2m、T=13.8s とした。



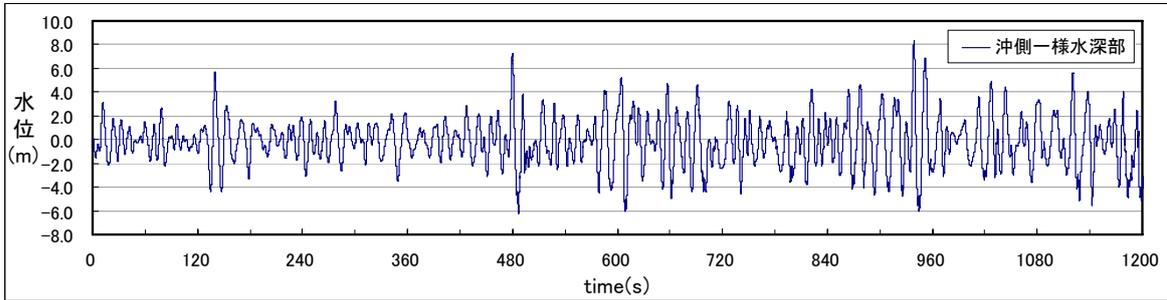
図IV-1-8 検討断面図

計算結果から、一様水深部、緩傾斜護岸法先等の水位を出力し、護岸パラペット上の水位および流速より護岸背後への越波流量を求めた。緩傾斜護岸を遡上し、背後へ越波する状況の一例を以下に示した。



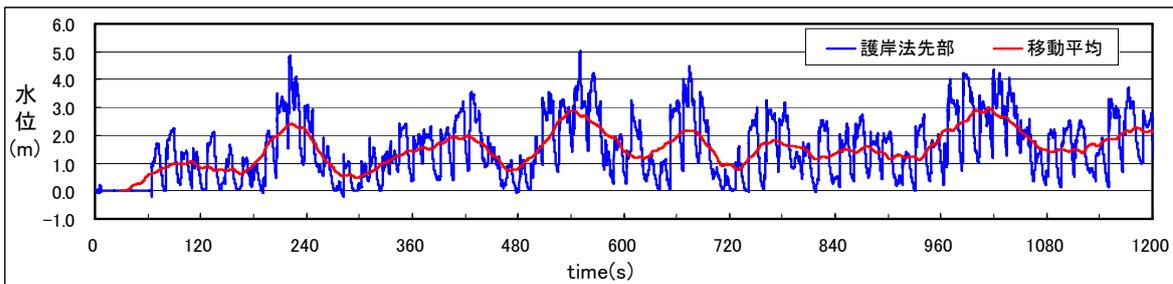
図IV-1-9 越波状況(計算結果)

沖側一様水深部、および緩傾斜護岸法先部のそれぞれの位置における時系列の水位、さらに護岸背後への越波流量、越波の発生するタイミングを示した。



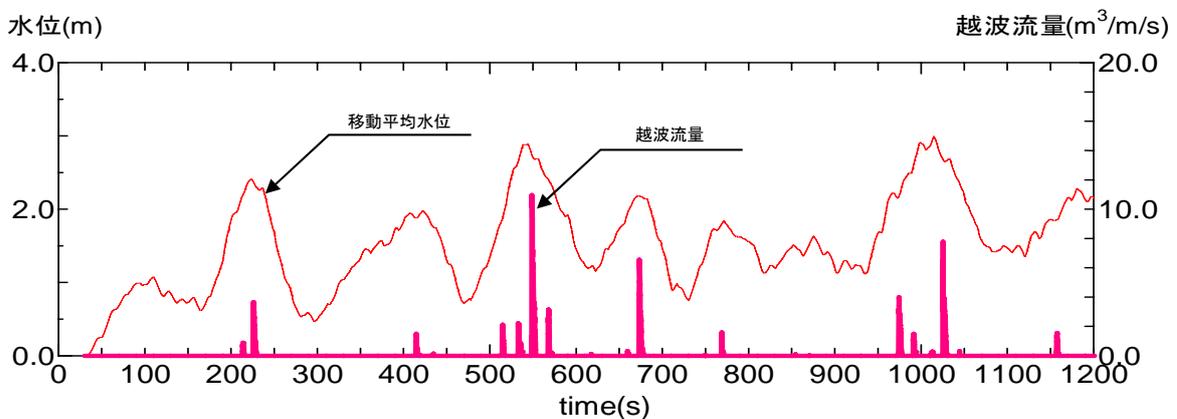
図IV-1-10 沖側一様水深部における水位(不規則入射波形)

次に、緩傾斜護岸法先位置における水位および 60s 間移動平均水位を示した。移動平均水位は+1m~3m の範囲で 2~3 分間隔の周期で変動している。



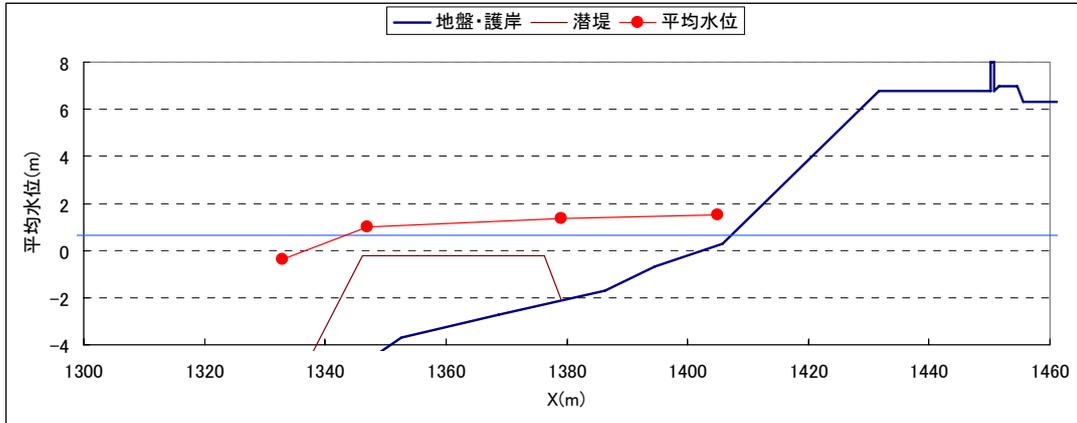
図IV-1-11 緩傾斜護岸法先における水位と 60s 間移動平均水位

また、越波流量と移動平均水位を示した。これより、移動平均水位がピークに達するようなタイミングで越波が発生していることがわかる。また、3分に1回程度の頻度で越波が発生し、さらに10分に1回程度は比較的大きな越波が発生しており、この割合は、現地の越波状況ビデオ等からの越波の発生した割合と概ね一致している。



図IV-1-12 越波流量と緩傾斜護岸法先における移動平均水位

次に、岸沖方向の平均水位の分布を示した。潜堤の天端部から背後、緩傾斜護岸法先部においては平均水位が上昇していることから、潜堤による平均水位の上昇が越波の発生する要因の一つと考えられる。



図IV-1-13 潜堤から緩傾斜護岸法先部の平均水位分布

このように、数値波動水槽の検討により緩傾斜護岸法先部で、2～3分の変動で水位が上昇し、不規則波の波群の中の大きな波が重なり合ったときに越波が発生している状況を概ね再現できた。

(3) 被災発生メカニズム

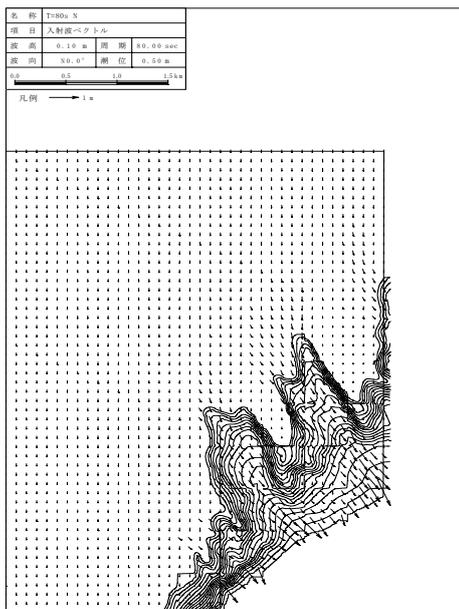
入善漁港海岸の沖側海底勾配は約1:4と非常に急勾配である。このような海底地形の影響により、沖合からの波浪は急勾配の斜面上で急激に立ち上がるように発達し、離岸堤や潜堤に作用する。

今回の被災では、来襲波浪の周期が長いことだけでなく、通常の波浪成分よりも長い長周期波浪成分が発達したことや、水位上昇量が大きかったことなどが特徴として挙げられる。ブシネスク方程式の波浪変形計算からも1号～4号の離岸堤背後では水位上昇量が大きくなっており、被災箇所と一致している。これらの長周期の水位変動にさらに高波浪がのるような形で来襲したことにより、現行の設計波高を上回る波高となって被災が発生したと推察できる。

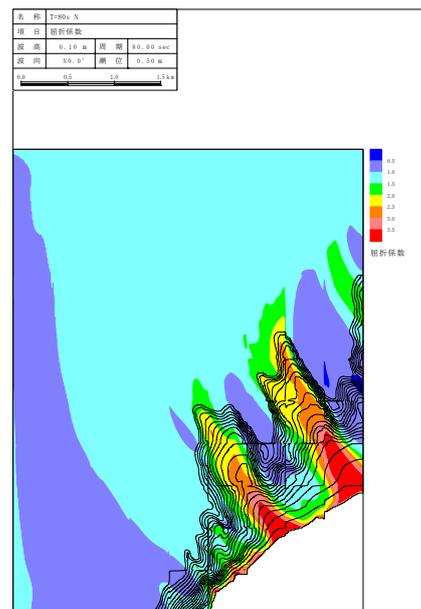
特に①長周期波成分による影響、②前浜の急勾配な地形の影響について簡潔に考察を加える。

① 長周期波成分の地形による屈折特性

田中観測データ等から、被災時に長周期波が来襲していた可能性があることがわかった。この長周期波は、周期(波長)が長いため、通常の周期では影響を受けない海底谷などの地形の影響を受けて変形する可能性がある。このことを確認するため、エネルギー平衡方程式による屈折計算を行った。その結果このような長周期波は、通常周期成分では見られない海底谷による波の収斂効果が高いことがわかった。また、入善漁港前面でも地形の影響により、長周期波ほど波高が増大することがわかった。下記の図は周期 $T=80s$ の計算結果を示している。



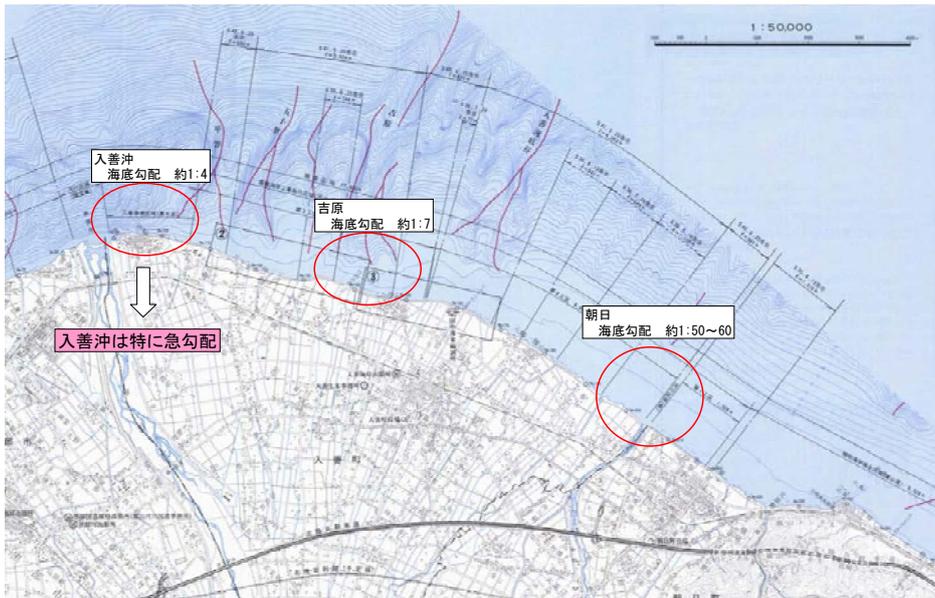
図IV-1-14 波向ベクトル図



図IV-1-15 屈折係数コンター図

② 急勾配海岸における打上高さの特性

入善海岸前は、下新川海岸の中でも有数の急勾配海岸(1:4)である。入善以東の海岸をみても、吉原では1:7程度、朝日では1:50~1:60程度であり、入善海岸がいかに急な勾配であるかわかる。下図の打上高さからわかるように、汀線近傍の海底勾配が急なほど打上高さが大きくなる。また、波形勾配が小さいほど、言い換えると周期が長いほど打上高さが大きくなることになる。入善漁港海岸が、昔から寄り回り波の来襲のたびに被害を受けてきた理由の一つに、直前の急勾配による打上高さの増幅機構があるものと推定される。



図IV-1-16 入善および周辺の海底地形

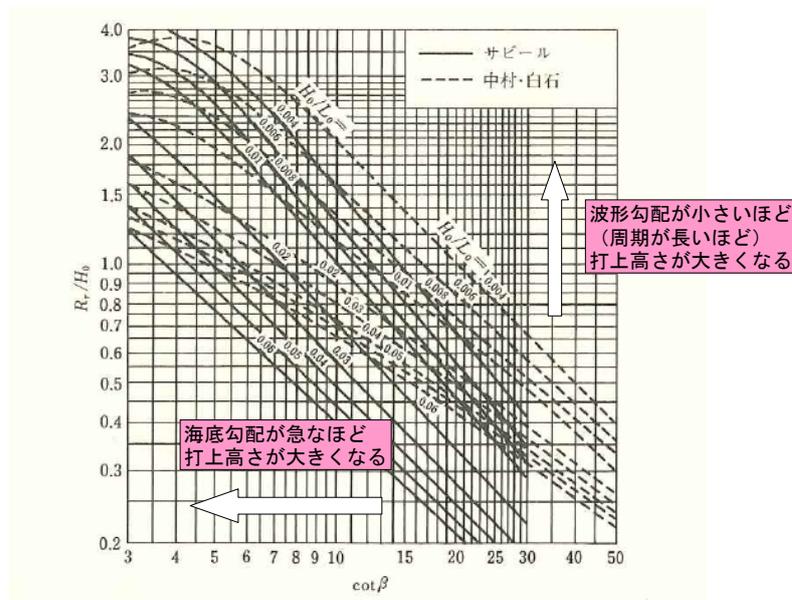


図 3.20 仮想勾配法による打上げ高さ算定図 (海岸保全施設築造基準解説より)²¹⁾

図IV-1-17 打上高さに及ぼす海底地形・周期の影響

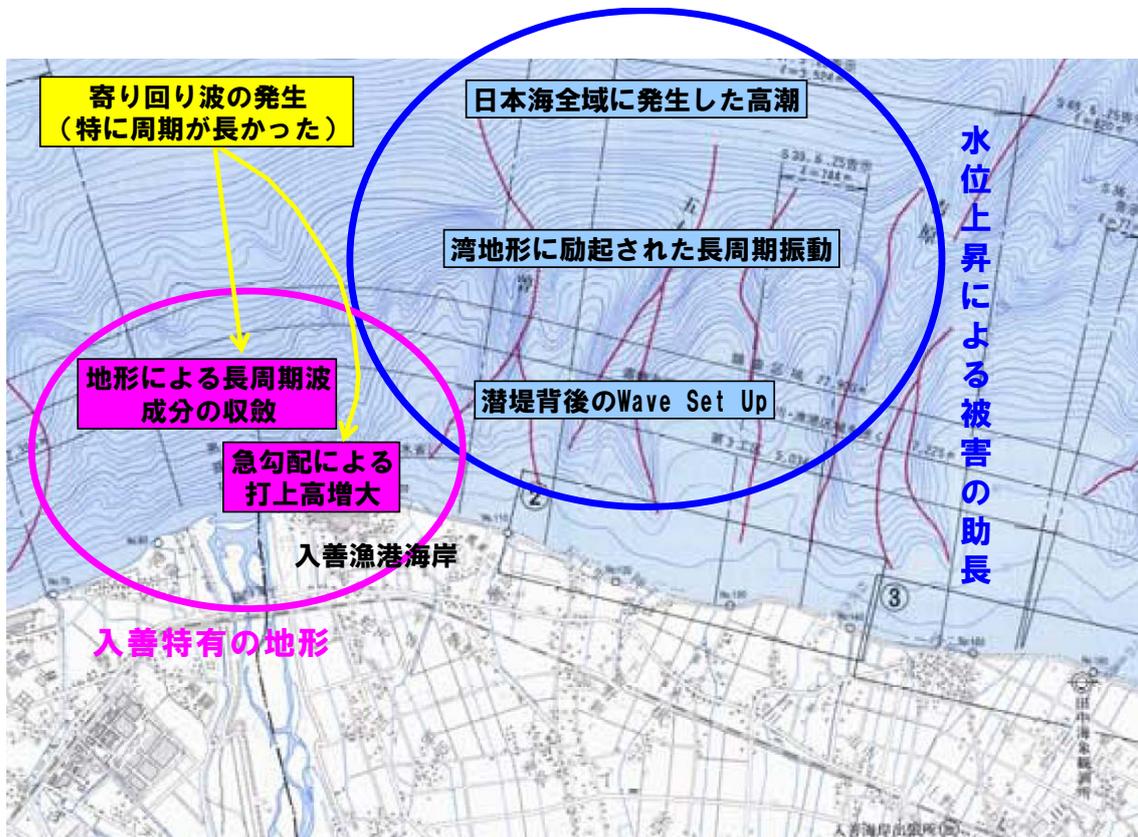
【推定される被災のメカニズム2(入善漁港海岸)】

① 入善特有の海底地形の影響

- ・ 直前の急勾配斜面による打上高の増長
 - ・ 長周期波の収斂による水位上昇
- ← 周期が長いほど影響大
(周期の長い寄り回り波)

② 高い潮位と潮位変動

- ・ 日本海全域に発生した高潮
 - ・ 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
- } 到達波の増大・打上高の増大

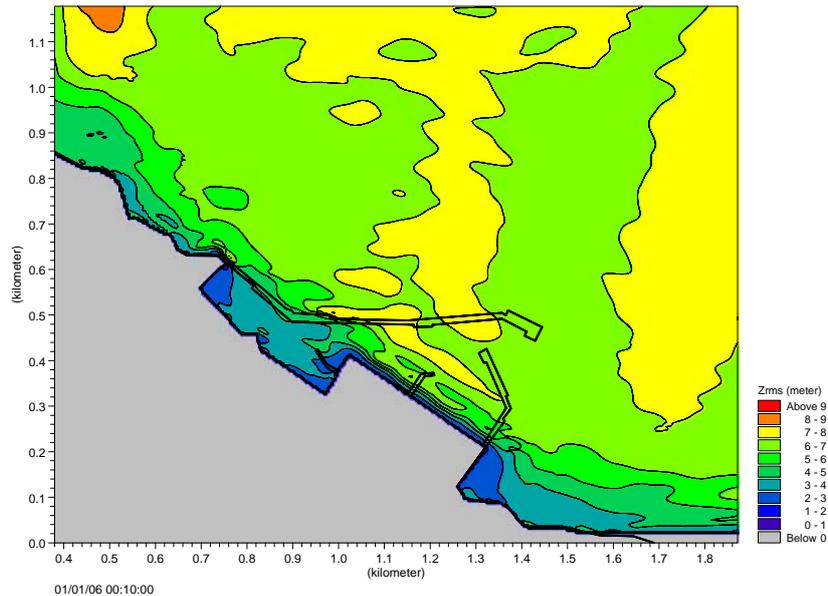


2 鷺崎漁港、水津漁港等

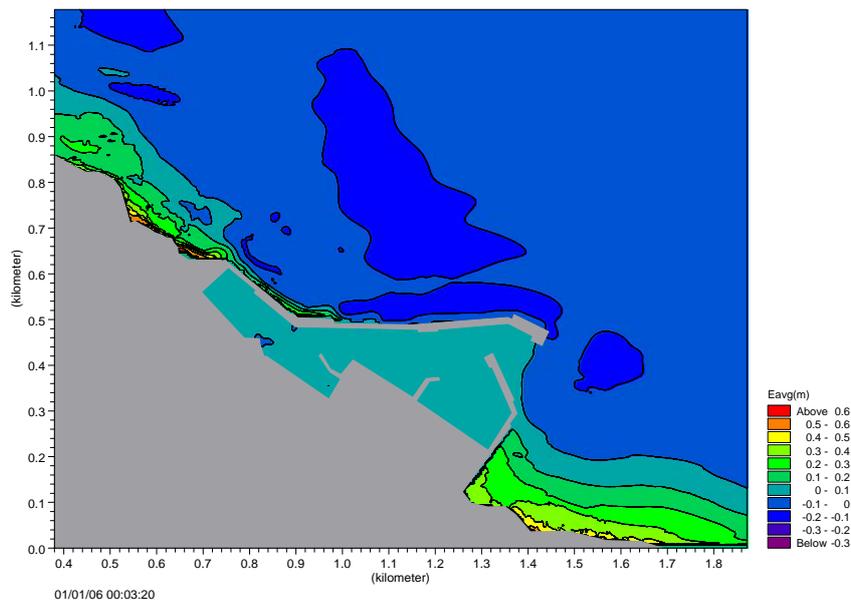
(1) 浅海域での波浪変形特性

入善漁港海岸の場合と同様に、エネルギー平衡方程式により広領域計算で算定された波浪諸元を沖側の境界条件として鷺崎漁港周辺の狭領域についてブシネスク方程式による波浪変形計算を行なった。

計算結果の一例として、鷺崎漁港周辺の波高分布図と水位上昇量分布図を示す。ブシネスク方程式の計算結果では、砕波による Wave-setup 等による水位上昇、または長周期水位の上昇は見られなかった。



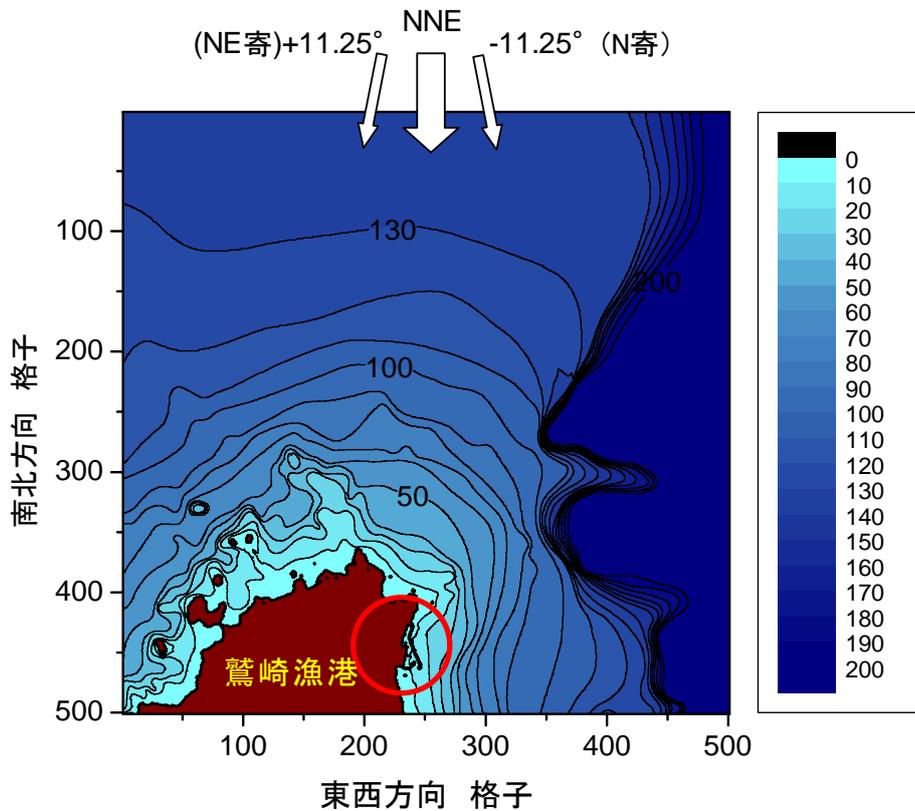
図IV-2-1 鷺崎漁港の波高分布図



図IV-2-2 鷺崎漁港の水位上昇量分布図

鷺崎漁港、水津漁港周辺では、被災防波堤などの設置水深が深いこともあり、被災時は砕波による Wave-setup などは顕著ではないと推定された。そこで、設計波の波向がNであるのに対して被災波の波向がNNEと東寄りであったため被害が増大したことに着目し、波向きによる岬の遮蔽効果を検討するため、屈折と浅水砕波変形に加え回折変形を考慮した波浪変形計算を実施した。

計算範囲と検討条件を以下に示す。波向の特性を把握するため、被災時の波向NNEに対して $\pm 11.25^\circ$ の2ケースを追加した計3ケースの計算を行った。また、計算潮位については、被災時の佐渡の潮位(約 20cm、気象庁)と、当時の日本海全域で発生していた高潮(約 20~30cm)を考慮して D.L.+0.5m とした。

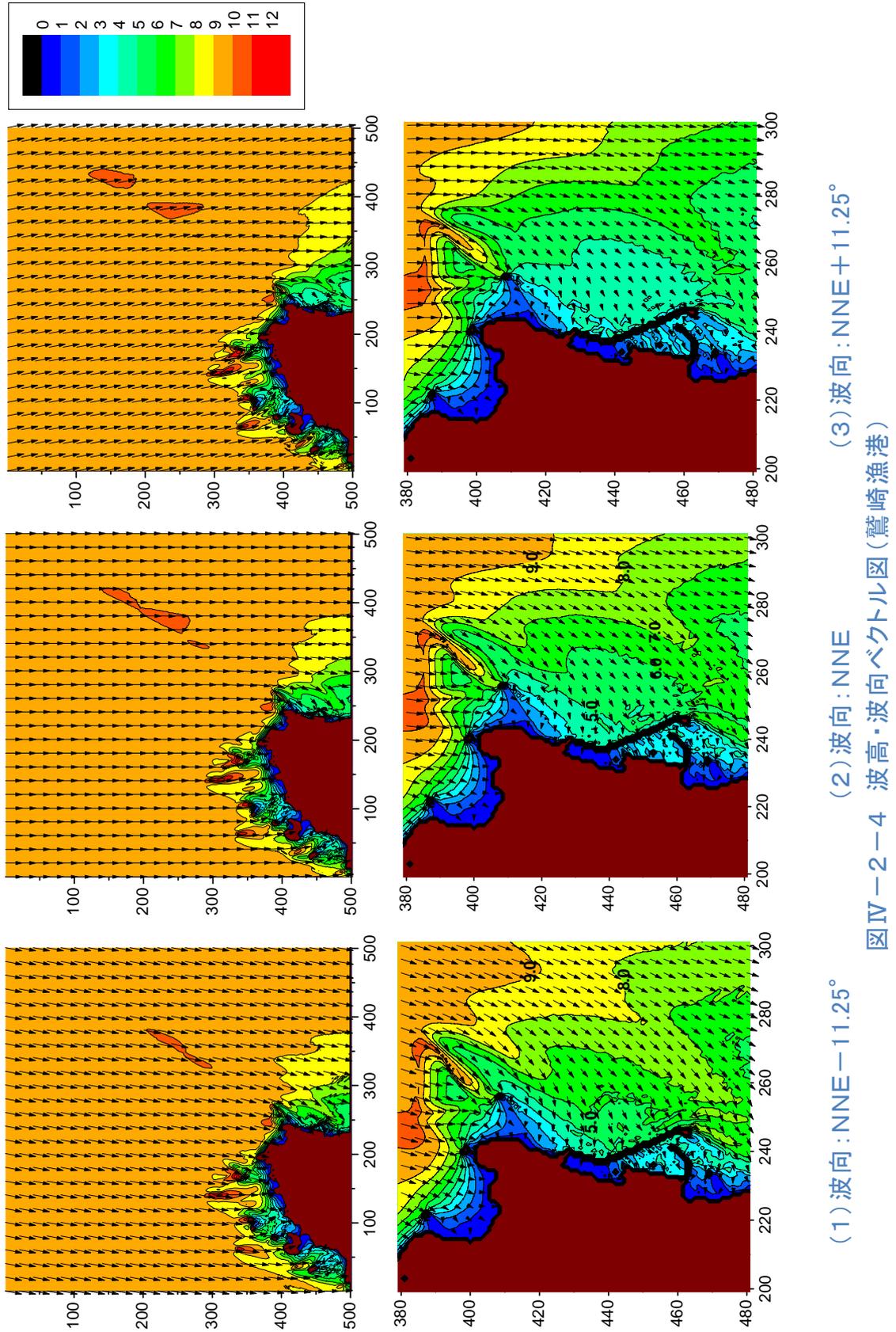


図IV-2-3 鷺崎漁港の波浪変形計算の計算領域

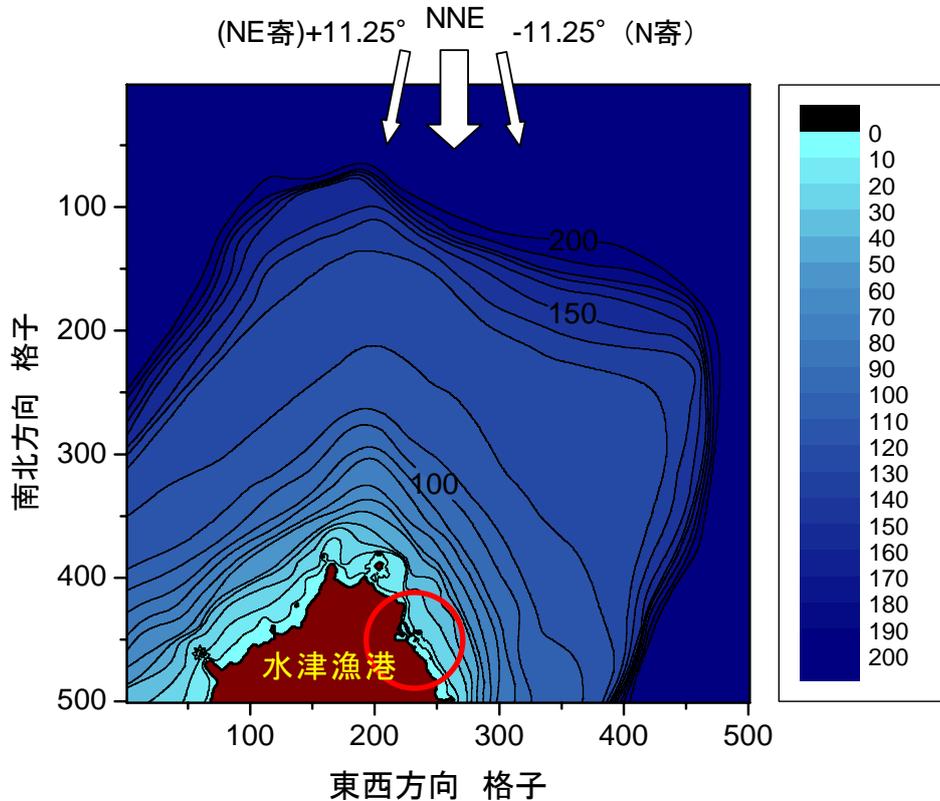
表IV-2-1 鷺崎漁港の波浪変形計算の計算条件

項目	諸元
格子間隔	沿岸方向:20m, 岸沖方向:20m
格子数	沿岸方向 501×岸沖方向 501
計算範囲	沿岸方向 10km×岸沖方向 10km
入射波諸元	被災波:9.92m、13.23s、NNE 波向はNNEとNNE $\pm 11.25^\circ$ の3ケース
潮位	D.L.+0.5m

計算結果の波高平面分布と平均波向ベクトル図を示す。なお、上段は計算全領域、下段は鷲崎漁港周辺を拡大したものである。



水津漁港についても、鷺崎漁港と同様に変形計算を行った。計算範囲と検討条件を以下に示す。なお、検討ケース、潮位条件は、鷺崎漁港と同様とした。

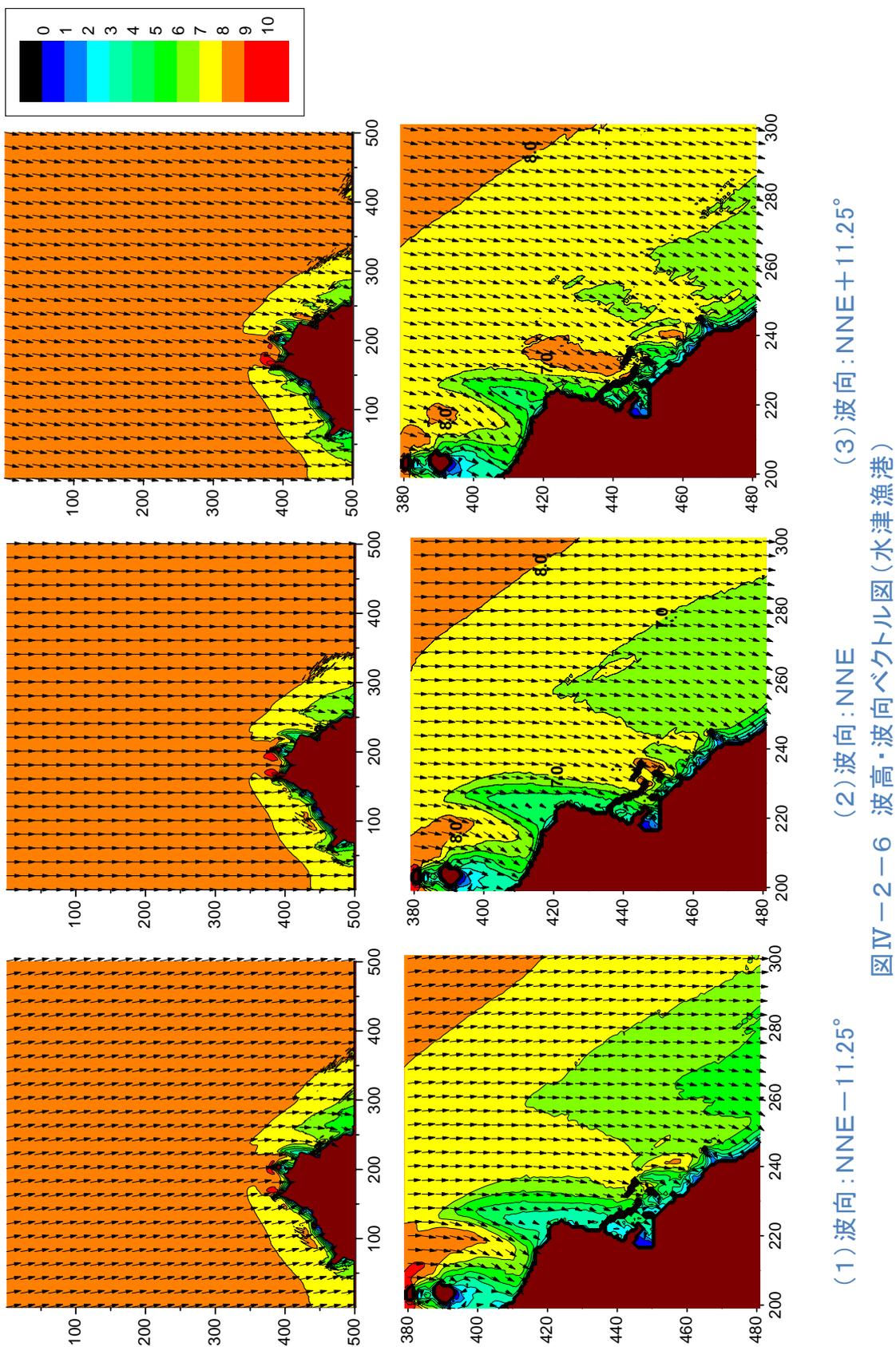


図Ⅳ-2-5 水津漁港の波浪変形計算の計算領域

表Ⅳ-2-2 水津漁港の波浪変形計算の計算条件

項目	諸元
格子間隔	沿岸方向:20m, 岸沖方向:20m
格子数	沿岸方向 501×岸沖方向 501
計算範囲	沿岸方向 10km×岸沖方向 10km
入射波諸元	被災波:8.5m、13.64s、NNE 波向はNNEとNNE±11.25° の3ケース
潮位	D.L.+0.5m

計算結果の波高平面分布と平均波向ベクトル図を示す。なお、上段は計算全領域、下段は水津漁港周辺を拡大したものである。



鷺崎漁港、水津漁港それぞれの計算結果について、沖波向によって被災防波堤部の波高、波向がどのように変化するかを調べた結果を示す。図中には、それぞれの漁港の被災防波堤の代表位置における波高(沖波波高による無次元表示)と波向を示している。これらの結果から以下のことが分かった。

鷺崎漁港については、防波堤先端に行くほど、沖波向の角度による相違が大きくなる。NNEの角度の範囲(北からの角度 11.25° ~ 33.75°)のN寄側とNE寄側では、堤幹中央部では沖波波高に対しての波高比で0.1程度の波高の幅であるのに対して、堤頭部では波高比で0.2と差異が大きくなる。即ち、被災時の沖波9.92mに対して約2mの違いをもたらす程、波向の影響が大きい。

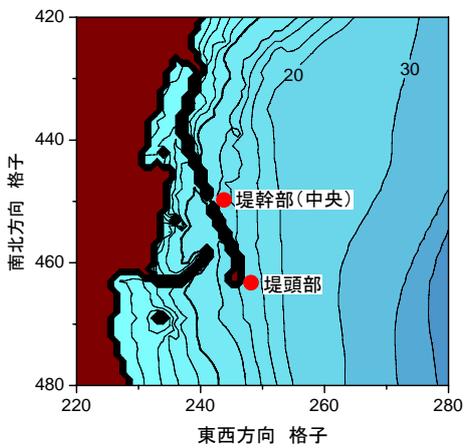
ただし、防波堤部の波向としては、場所によって屈折・回折の程度は異なるが、NNEの沖波向の範囲では防波堤位置の波向としては大きな差異はなくほぼ同程度となる。しかし東防波堤延長上では波向に大きな違いが見られ、堤頭部ではNE、堤幹部中央ではE~ENEの波向で来襲していたと推定される。

水津漁港については、第2沖防波堤においてNE寄側ほど波向の変化が大きくなっているにも関わらず、波高に関してはNNEが一番大きくなっている。これは、屈折・回折による波高減衰よりも、地形による波高変化の影響が大きいためであると推定される。

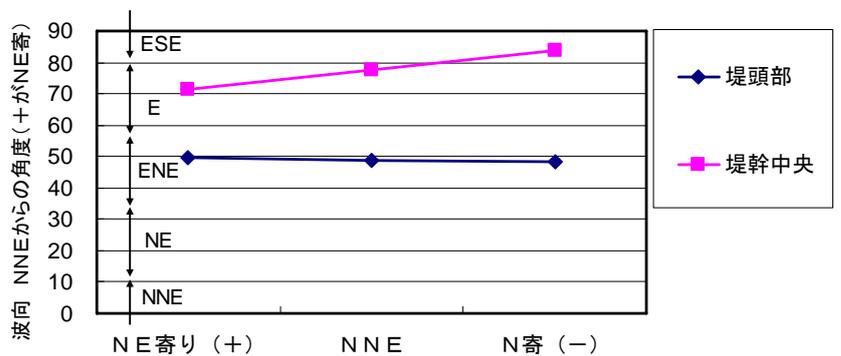
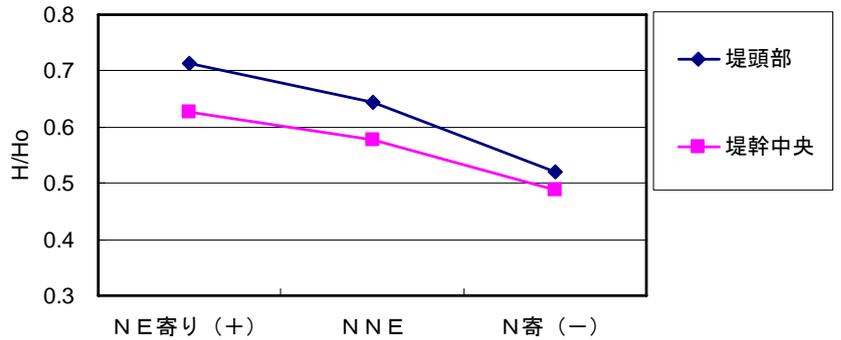
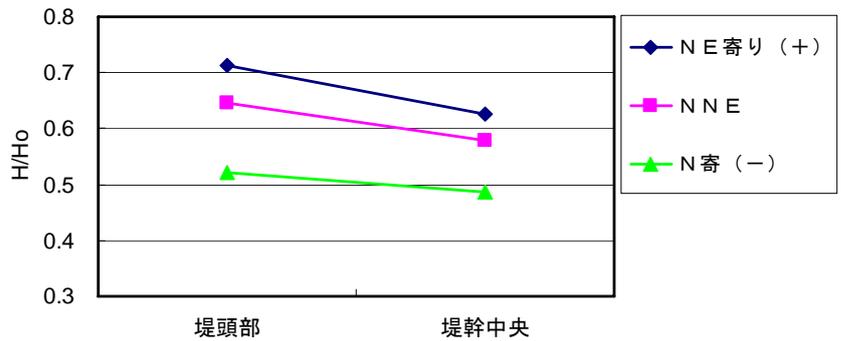
北防波堤(堤幹部)については、NNEが一番波向きの変化(屈折・回折)が小さいが、波高に関しては鷺崎と同様、NE寄側ほど大きくなっている。第2沖防波堤と若干傾向は違うが、北防波堤(堤幹部)も第2沖防波堤と同様、屈折・回折による波高減衰よりも地形による波高変化の影響が大きいものと推定される。また、第2沖防波堤、北防波堤に来襲した波向はNNE~NEであったと推定される。

表IV-2-3 鷺崎漁港の防波堤周辺の波高・波向の計算結果

抽出位置		沖波向	堤頭部(先端)	堤幹部(中央)
NNE+11.25° (NE 寄)	波高 H/Ho		0.713	0.626
	波向 (deg)		NNE+49.6(ENE)	NNE+71.6(E)
NNE	波高 H/Ho		0.645	0.578
	波向 (deg)		NNE+48.6(ENE)	NNE+77.5(E)
NNE-11.25° (N 寄)	波高 H/Ho		0.521	0.487
	波向 (deg)		NNE+48.5(ENE)	NNE+83.6(ESE)



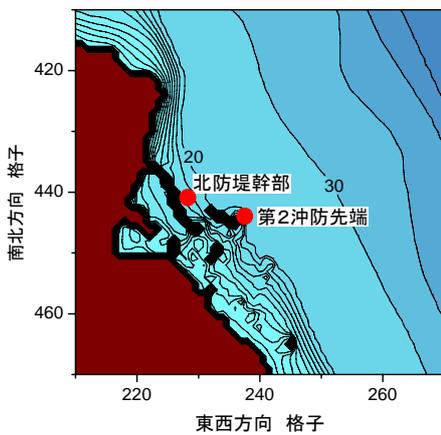
(抽出位置図)



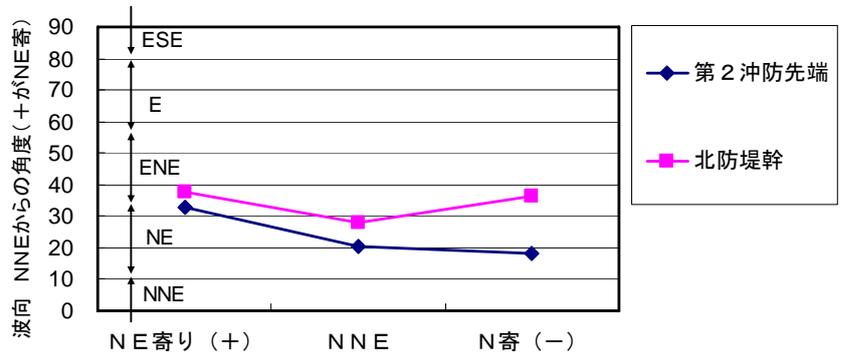
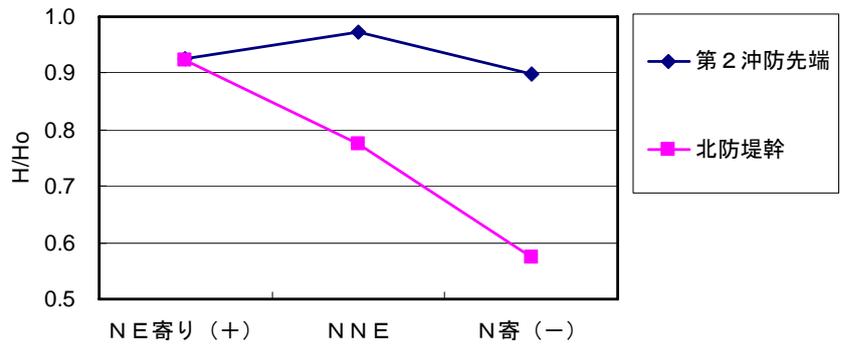
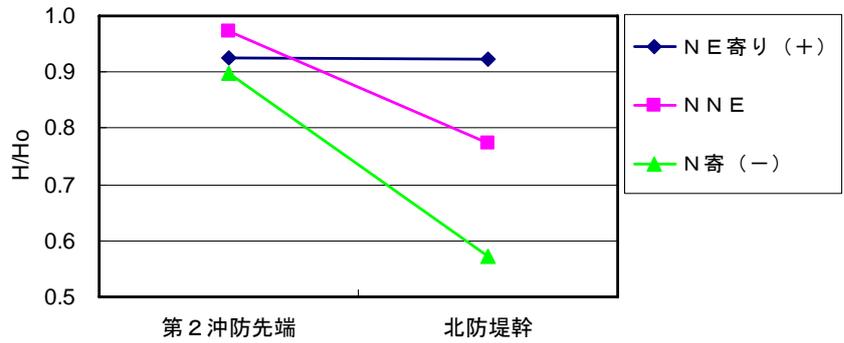
図IV-2-7 鷺崎漁港の防波堤周辺の波高・波向の計算結果

表IV-2-4 水津漁港の防波堤周辺の波高・波向の計算結果

抽出位置		沖波向	第2沖防(先端)	北防(堤幹部)
NNE+11.25° (NE 寄)	波高 H/Ho		0.925	0.923
	波向 (deg)		NNE+32.7(NE)	NNE+37.6(ENE)
NNE	波高 H/Ho		0.972	0.774
	波向 (deg)		NNE+20.5(NE)	NNE+28.1(NE)
NNE-11.25° (N 寄)	波高 H/Ho		0.898	0.573
	波向 (deg)		NNE+18.1(NE)	NNE+36.2(ENE)



(抽出位置図)

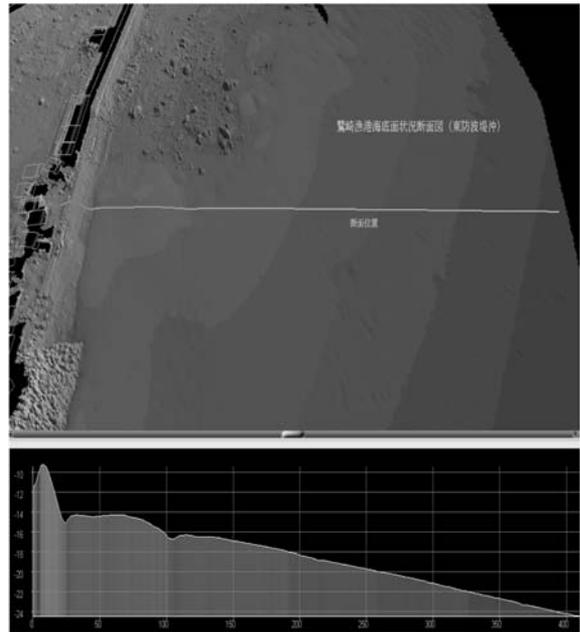


図IV-2-8 水津漁港の防波堤周辺の波高・波向の計算結果

(2) 被災防波堤の滑動特性

鷺崎漁港等のケーソン損傷状況から、堤体に衝撃砕波力が作用した可能性が高い。衝撃砕波力の発生については、様々な要因があり一般的に規定することは困難であるが、被災した防波堤のマウンドの形状や前面海底勾配などの条件が重なったことが衝撃砕波力の発生可能性をより高めた一因と考えられる。

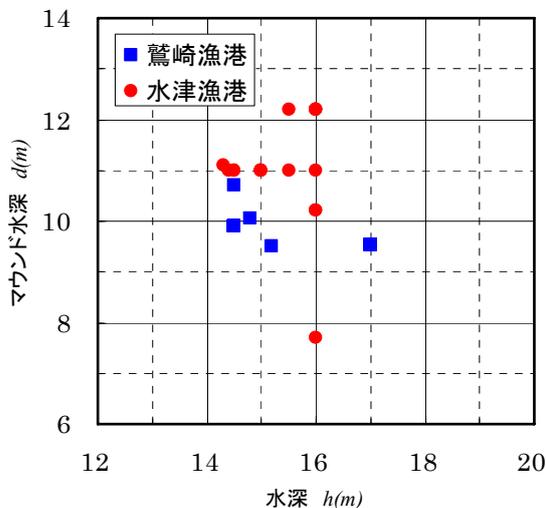
そこで、佐渡の漁港の被災要因として衝撃砕波の影響について検討するために、被災防波堤の水深、マウンド水深、滑動量等のデータ(新潟県から提供)の整理を行った。なお、被災時の水位はHWL相当(DL+0.5m)とした。



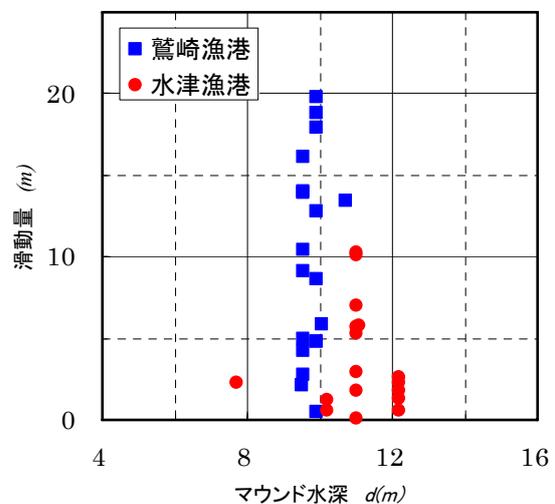
図IV-2-9 被災防波堤直前の海底地形の一例(鷺崎漁港周辺)

以下に、鷺崎漁港及び水津漁港の被災(滑動、転倒、沈下など)した防波堤の設置条件(設置水深、マウンド水深、防波堤法線方向)と滑動量の関係性を調べた結果を示した。これより、被災した防波堤の滑動量とマウンド水深の相関が高く、マウンド水深が約10mに近い条件で滑動量が大きくなっていることがわかった。

また一般的に、重複波圧は波向きによってあまり変わらないが、砕波圧は波向きの影響が大きい。鷺崎漁港、水津漁港における防波堤の被災は、波向きとマウンド水深の条件と大きく関係していることがわかった。



図IV-2-10 マウンド水深と設置水深



図IV-2-11 マウンド水深と滑動量

(3) 被災発生メカニズム

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NE方向の高波高かつ周期の長い波が佐渡島北端の浅瀬の影響を受けながら回り込むように鷺崎漁港あるいは水津漁港へ来襲した。被災時の到達波高は設計波高以上となり、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の条件と重なり、設計時の波力を上回る波力が防波堤に作用しケーソンの滑動などの被災が発生したものと推定される。さらに、被害状況等からも確認できるように、堤体位置での波高の増大と周辺の地形の影響などにより衝撃砕波力が発生した可能性が高い。

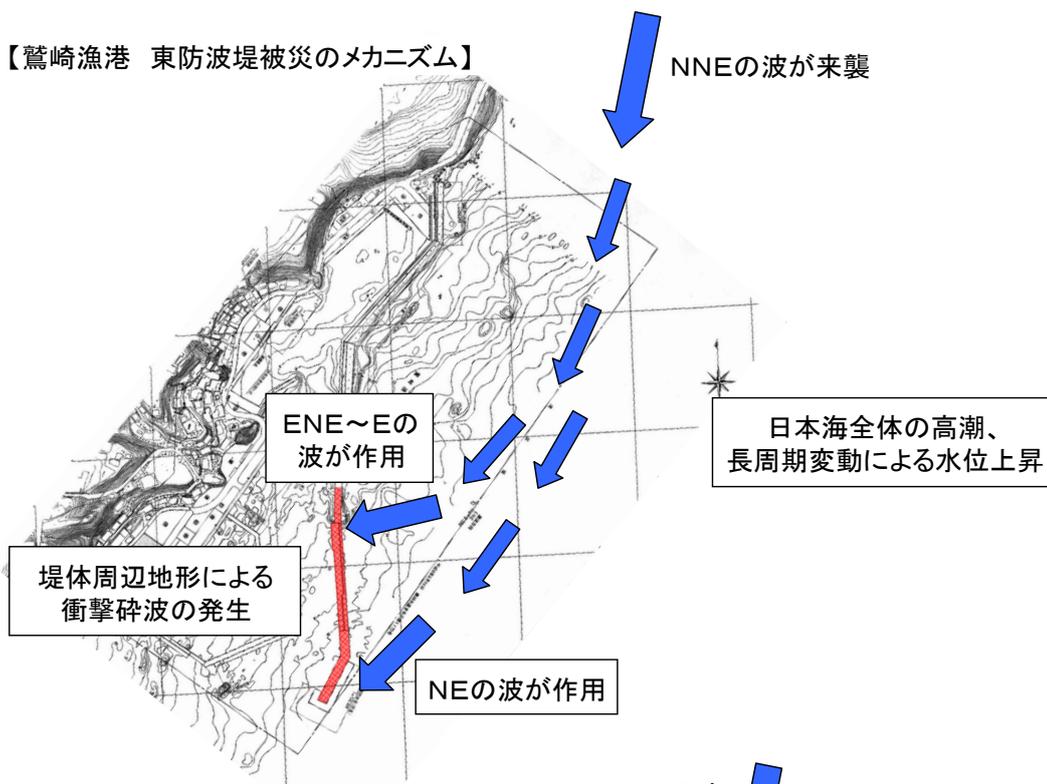
鷺崎漁港の東防波堤堤頭部では、沖波向が1方位異なると、例えば今回の被災波では到達波高が2mも異なっていたと推定されるほど波向の影響が大きい。また堤頭部と堤幹部はほぼ同じ波向で波が来襲するが、堤頭部ではNE、堤幹部中央ではE～ENEの波向で被災していたと推定される。また水津漁港では、沖波向が北東寄りとなったことで第2沖防波堤だけでなく北防波堤の先端まで高波高が来襲し、被災したものと推定される。

なお、鷺崎漁港の東防波堤先端部の消波工を有する区間の被災についても、現場の被災状況等から今回の高波浪に対してブロック重量が不足していたため消波工が飛散し、堤体の滑動、捨石マウンドが崩壊するという状況にあったと推定される。また、今回東防波堤の先端の方が全ての区間にわたり被災しているが、被災していない手前の区間の前面には浅瀬や岩礁があり、これら浅場の影響等も被害を免れた要因のひとつと思われる。

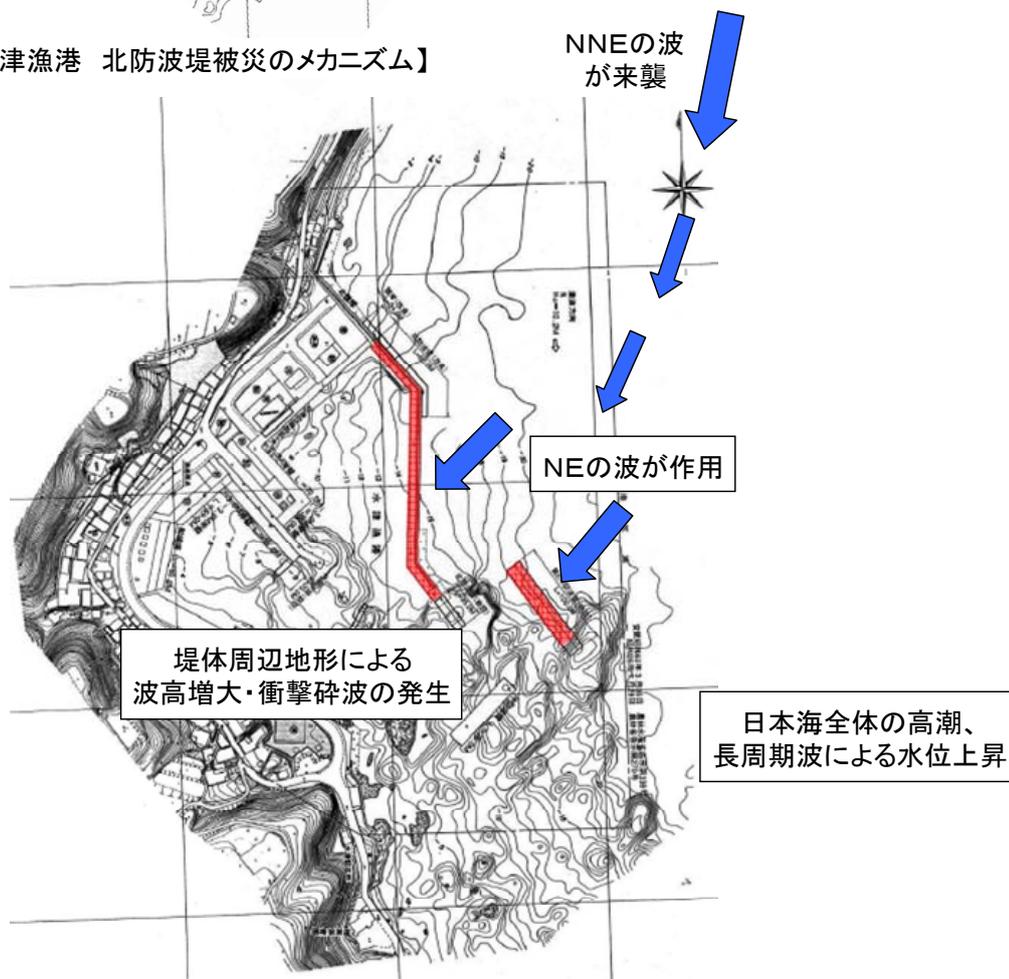
以上のような条件が重なり、今回のような被害になったと考えられる。鷺崎漁港および水津漁港における推定される被災メカニズムを整理した。

【推定される被災のメカニズム3(鷺崎漁港等)】

【鷺崎漁港 東防波堤被災のメカニズム】



【水津漁港 北防波堤被災のメカニズム】



V 漁港施設等の復旧や今後の整備に向けて

1 漁港施設等の復旧に向けて

今回の日本海高波浪は、沖合での波浪特性から見ると必ずしも過去数十年に來襲した最大波高を上回るものではないが、従来の「寄り回り波」とは異なり、うねり性波浪としては高波浪で長い周期のものであったこと、波向きも北から東よりであったこと等から、富山県の入善漁港海岸や新潟県の鷲崎漁港等においては甚大な被害となった。今回の波浪によって引き起こされた被害の甚大さを考慮するとともに、このような周期の長い高波浪は過去にも何回か発生しており、今後も起こりうることから、4月にとりまとめられた本技術検討委員会の「平成20年2月の日本海高波浪に関する中間とりまとめ」において、今後の復旧に向けた提言（以下、「委員会提言（中間とりまとめ）」という。）が下記のとおり盛り込まれた。

【委員会提言（中間とりまとめ）】

「今後進められる復旧に関しても、本技術検討委員会の中で様々な形で議論されたが、例えば、今回のようなうねり性の高波浪については、技術検討委員会の中で行ったいくつかの検証結果からもわかるように、長い周期の影響等で浅水変形段階での波高の増幅によって大きな被害をもたらすこと、このようなうねり性の波浪は過去に何回も起こっていること等から、このようなうねり性波浪による被害を考慮した対策が必要であろう。

特に今回の高波浪による漁港施設等の被害については、周期が長い波浪の特性及び地形特性についてかなり議論がかわされてきたところであるが、これらの波浪特性が、波高の収斂や急な海底勾配等による越波増大、衝撃的な波圧の発生等をもたらしている。特に越波対策等については、災害が起きた際の被害を最小限にとどめるようにいわゆるフェール・セーフの設計の考え方が重要であること、周期の長い高波浪で衝撃砕波が懸念される場合は消波工を設けることで衝撃砕波圧の発生が防げること等から、復旧にあたっては、越波対策等として二次災害を最小限にとどめるフェール・セーフの観点、衝撃的な波圧を軽減するための消波工の設置やブロックの安定重量の確保等、本技術検討委員会の中で検討されてきた留意点も踏まえ、適切な復旧に努めていただきたい。」

異常な天然現象により生じた公共土木施設の災害復旧（維持管理等は除く。）については、地方公共団体の財政力に適應するよう、国が費用の一定割合を負担する災害復旧事業（以下、「災害復旧事業」という。）があり、漁港施設や海岸保全施設の復旧は、この災害復旧事業により行われている。災害復旧事業の採択や復旧の工法・構造、並びにこれら復旧に要する工事費の決定のために、現地において財務省の立会の下、管理者である地方公共団体の申請に対して水産庁による災害査定が行われる。

富山県並びに新潟県下の現地災害査定は、5月12日から16日に実施されたが、鷺崎漁港（東防波堤）、水津漁港（北防波堤、第2沖防波堤）、北小浦漁港（北防波堤）は、復旧工事費が一定基準を超えるものであったことから水産庁と財務省との間で引き続き協議が行われ、6月末に全ての災害復旧事業の内容が決定された。被害の大きかった富山県の入善漁港海岸及び新潟県佐渡の3つの漁港の災害復旧については、委員会提言を踏まえ、事業制度の枠組みの中で最大限の措置が講じられることになっている。

(1) 富山県入善漁港海岸

① 被災要因

i) 強い冬型気圧配置

2月23日に日本海を低気圧が東進するにつれて、日本海西部から日本海中部の沿岸へ移動した強風域と、北海道西方海上から秋田沖へ継続した強風域がともにあわさるように新潟沿岸へ到達した。さらに24日には太平洋側の北部で停滞し冬型気圧配置が強まった影響によって、新潟・富山沿岸の海域では強風域が重なり北～北西方向からの強風が継続した。(以上、p.22「気象・海象特性1(気象)」を参照。)

ii) 高い潮位と潮位変動

気圧低下、吹き寄せにともなう高潮が発生し、潮位は日本海全域で高い状況にあった。また、富山湾の地形の影響によって励起される潮位変動が起こり、数十秒から数分単位の長周期の変動が加わったものと考えられる。これら長周期変動は有義波高換算では数十cmに相当しており、高潮状態に潮位変動が周期的に加わり、高い潮位が形成されたものと推測される。(以上、p.32「気象・海象特性2(潮位及び潮位変動)」を参照。)

iii) 周期の長いうねり性高波浪

北海道西方海上の低気圧によって形成された強風域により発生した波浪が日本海を長軸方向に伝播する際に、日本近海を東進した複数の低気圧が日本の東海上で停滞し冬型気圧配置が強まったことにより、日本海北部では北から北東よりの強風が長時間継続し、長い吹送距離と吹送時間により長い周期のうねりとなってさらに発達した。これに北西方向からの風波が重なり周期の長いうねり性高波浪が発生したものと推定される。(以上、p.41「気象・海象特性 3(高波浪特性)」を参照。)

iv) 周期の長い高波浪の影響

富山湾の波浪は、方向集中度の高い、うねり成分が卓越(長周期波浪成分が発達)したものとなっており、入善漁港海岸でも波高は設計沖波(昭和61年沖波)と同程度ぐらいであるが、周期については設計沖波を超えている。こうした周期の長い波浪の影響により波高が大きく減衰することなく漁港に來襲し、被害の発生及び拡大の大きな要因の一つになったものと考えられる。(以上、p.42「推定される被災のメカニズム1(長周期の波浪の影響)」を参照。)

v) 海底谷、急峻な海底勾配など入善特有の海底地形の影響

富山湾は海底谷など複雑な海底地形を有していること、入善漁港海岸は日本でも有数の侵食海岸であり、富山湾内でも特に急峻な海底勾配(1/4～1/6)であ

る。日本海全域に高潮が発生し富山湾の長周期の潮位変動が生じている状況において、このような地形的特性を有する海岸に長周期の波浪（波浪の周期が長いだけでなく、長周期成分が発達している。）が来襲したことにより、波が収斂して波高が増大する一方、潜堤上では周期の短い波への分散があまり起こらず、潜堤背後の平均水位の上昇の効果も重合して打ち上げ高の増大が生じたものと考えられる。（以上、p.65「推定される被災のメカニズム 2（入善漁港海岸）」を参照。）

vi) 海岸後背地の地形の影響

入善漁港海岸の背後集落への被害が増大した要因の一つに、海岸後背地の地形が挙げられる。入善漁港海岸の背後地域には集落が密居状態に形成されているが、地盤は陸側に行くにつれて低くなるという特殊な地形条件になっており、護岸を越流した水塊が一気に背後集落に流れ込んだものと見られる。

② 復旧方針（災害復旧事業）

災害復旧事業は、被災した施設を原形に復旧することが原則である。しかしながら、入善漁港海岸では海岸保全施設だけでなく背後地の集落の被害も甚大であったため、被災した施設を原形に復旧することが著しく不相当と判断され、災害を与えた波浪を考慮して必要最小限の復旧工事が行われることとなった。

i) 復旧に用いる波

富山県下の漁港施設及び海岸保全施設の設計に用いる波は、これまで昭和61年に見直しされた沖波（以下、「昭和61年沖波」という。）に基づいていたが、富山県は今回の災害を踏まえて、設計沖波を見直すこととした。すなわち、従来の気象データに昭和61年以降の気象擾乱並びに今回の災害を与えた波浪の要因となった気象を加えて波浪推算を行い、設計沖波（以下、「平成20年新沖波」という。）を算定し、これが被災した入善漁港海岸の海岸保全施設の復旧に用いられることとなった。

表 V-1-1 入善漁港海岸における波の諸元

漁港名	施設名	工区	諸元	築造時		被災時		復旧に用いる波※ 平成20年新沖波		築造時の沖波の推算方法	
				沖波	堤体付近	沖波	堤体付近	沖波	堤体付近		
入善漁港海岸	離岸堤 潜堤・護岸	全工区	波向	NNW	N	N	N	N		昭和61年沖波 (スペクトル法)	
			波高	6.2m	7.3m	6.2m	8.3m	6.5m	8.0m		
			周期	10.7秒	10.7秒	13.8秒	13.8秒	12.0秒	12.0秒		

被災時の波（今回の高波浪）
 沖波波浪推算法（WW3） 潮位DL+0.25（M.W.L）
 波浪変形・広領域（エネルギー平衡方程式） 潮位DL+0.85
 波浪変形・狭領域（ブシネスク方程式） 潮位DL+0.85

復旧に用いる波（平成20年新沖波）
 沖波波浪推算法（WAM） 潮位DL+0.25（M.W.L）
 波浪推算対象期間（1953～2008年：被災波を含む）
 波浪変形・広領域（エネルギー平衡方程式） 潮位
 波浪変形・狭領域（ブシネスク方程式） 潮位

ii) 復旧の工法・構造

被災した施設の復旧工法及び構造の検討において、潮位を DL+1.00m とし、平成20年新沖波に対する堤体(離岸堤及び潜堤)付近での換算沖波、入射波を算定し、ブロックの所要重量や打ち上げ高を算出した。これに基づき、潜堤の離岸堤化、離岸堤の消波ブロックの重量の増大と嵩上げ、既設護岸の嵩上げ等を行い、離岸堤の安定性や堤体の高さを確保することとなった。

ここで、平成20年新沖波に対する打ち上げ高は、潮位(+1.00m)と仮想勾配法で算定した遡上高(7.50m)を加えて、+8.5m と推定される。復旧ではこの打ち上げ高と海岸利用、環境等を考慮し、護岸の天端高さを+7.7m から+8.5m に嵩上げすることとした。今回の高波浪に対しては、打ち上げ高は、同様な算定方法によると+9.5m であり、既設護岸の天端高さ(+7.7m)を 1.8m 程度超える。しかし、潜堤の離岸堤化と護岸の嵩上げにより、仮に今回の高波浪が来襲しても、護岸の天端を超える打ち上げ高を 1.0m も大きく低減できるものと推定される。

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

図 V-1-1 入善漁港海岸における災害復旧事業の内容

入善漁港海岸は、昭和30年代から海岸事業(侵食対策)により直立護岸とその前面に消波堤の整備が行われた。その後、平成2年に「さわやか漁村海岸整備」に指定され、離岸堤、潜堤、緩傾斜護岸、砂浜、植栽等を組み合わせた面的な防護

方式により、安全で潤いのある海岸空間の創出が図られてきた。護岸には、海岸へのアクセスを確保するために5カ所に開口部が設けられているが、面的防護方式を採用したことにより昭和61年沖波に対する打ち上げは、護岸の開口部に到達しないものであった。しかしながら、今回の高波浪では開口部からの海水の侵入も著しかったことや平成20年新沖波に対しても所要の高さが必要であることから、中央の3カ所はコンクリートで塞ぎ(階段工を設けてアクセスは確保する。)、両端は現状の開口幅 15m から 5m に狭めて陸閘が設置されることとなっている。

復旧工事は、冬季風浪の始まる11月頃までに工事を終了させ、海岸の保全と背後集落の安全の確保を図ることとなっている。

③ 今後の課題

i) 海岸保全施設の整備

平成20年新沖波の算定においては今日に至るまでの過去50年を超える期間に来襲した異常気象を対象に波浪推算を行ったが、波浪推算結果のうちねりのものだけを抽出してみると、今回の高波浪は推算対象期間の中で既往最大であり、再現期間が75年程度相当であった。また、災害復旧事業では、新沖波で施設構造を改良することとしており、仮に今回の高波浪が来襲しても護岸を超える打ち上げ高さも大きく低減されるものと推定される。

しかしながら、「寄り回り波」は太平洋側の台風や日本海側の冬季風浪と異なり、事前に予測することが困難であることや入善漁港海岸の背後地域の特殊な地形条件、波の不規則性を勘案すると、今回のように特に周期の長い「寄り回り波」が来襲した場合には、背後集落への越流による被害が懸念される。今後の課題は、二次災害を最小限にとどめるフェール・セーフの観点からの越流対策であり、入善漁港海岸のケースでは、背後地の再度の被災を防止するため、災害復旧事業に併せて、西側護岸の背後の副堤整備や東側護岸の嵩上げによる越波対策を検討する必要がある。

ii) 水防活動の充実

今回の高波災害を踏まえ、入善町は本年度、町の「水防計画」を見直し、連絡体制を充実し、情報の一層の共有化を進めるとともに、巡視パトロール体制についても強化を図っていくこととしている。

現在、入善漁港海岸を含む下新川海岸において、水防法に基づく水防警報海岸の指定についての検討がなされていることから、今後、指定に向けた取り組みに加え、水防警報の発令基準や水防団等の活動などの具体的な内容について協議を進め、関係機関が連携し、効果的な水防活動を実現していくことが求められている。

(2)新潟県鷺崎漁港、水津漁港及び北小浦漁港

① 被災要因

i)強い冬型気圧配置

2月23日に日本海を低気圧が東進するにつれて、日本海西部から日本海中部の沿岸へ移動した強風域と、北海道西方海上から秋田沖へ継続した強風域がともにあわさるように新潟沿岸へ到達した。さらに24日には太平洋側の北部で停滞し冬型気圧配置が強まった影響によって、新潟・富山沿岸の海域では強風域が重なり北～北西方向からの強風が継続した。(以上、p.22「気象・海象特性1(気象)」を参照。)

ii)高い潮位と潮位変動

気圧低下、吹き寄せにともなう高潮が発生し、潮位は日本海全域で高い状況にあった。特に佐渡の北側海域では被災した時刻が大潮の満潮時に近かったこともあり、潮位の影響を大きく受けていたものと考えられる。また、新潟沿岸の陸棚によって励起される潮位変動が起こり、数十秒から数分単位の長周期の変動が加わっており、これら長周期変動は有義波高換算では数十cmに相当しており、高潮状態に潮位変動が周期的に加わり、高い潮位が形成されたものと推測される。(以上、p.32「気象・海象特性2(潮位及び潮位変動)」を参照。)

iii)周期の長いうねり性高波浪

北海道西方海上の低気圧によって形成された強風域により発生した波浪が日本海を長軸方向に伝播する際に、日本近海を東進した複数の低気圧が日本の東海上で停滞し冬型気圧配置が強まったことにより、日本海北部では北から北東よりの強風が長時間継続し、長い吹送距離と吹送時間により長い周期のうねりとなってさらに発達した。これに北西方向からの風波が重なり周期の長いうねり性高波浪が発生したものと推定される。(以上、p.41「気象・海象特性3(高波浪特性)」を参照。)

iv)周期の長い高波浪とその波向きの影響

新潟県佐渡の鷺崎漁港、北小浦漁港及び水津漁港は、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(NE～E～SE)に面している。被災した施設の築造時の設計沖波は、平成16年被災波を用いて整備した一部を除くと、昭和33年、昭和54年(いずれもSMB法)、昭和62年(スペクトル法)に設定したものであり、波向きについては鷺崎漁港東防波堤1,2工区がNNWである以外は、NNE～ENEであった。沖波としてはNNW、N方向が大きいのが、佐渡島の遮蔽の影響が大きく、漁港付近では波高が大きく減衰する。また、NNE、NE、ENE方向の沖波は、佐渡島の遮蔽の影響が小さいものの、吹送距離が短いことから、その波高、周期は小さかった。これに対して、その後の気象擾乱や災害等の発生を踏まえ、平成

19年に沖波の見直し(以下、「平成19年新沖波」という。)を行い、現在はこの新沖波を用いて漁港整備が行われているところである。

今回のうねり性高波浪の最大有義波高の波向きはNNE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、これらが被害の発生及び拡大の大きな要因の一つになったものと想定される。(以上、p.42「推定される被災のメカニズム 1(長周期の波浪の影響)」を参照。)

v) 堤体に来襲する波浪条件と堤体条件の影響(碎波圧及び衝撃碎波力の発生等)

日本海全域に高潮が発生し新潟沿岸の陸棚による長周期の潮位変動が生じている状況において、NNE方向の長周期の高波浪(波高 8.5~9.9m、周期 13.2s)は、NNW、N方向の波と異なり佐渡島の遮蔽の影響が小さく、佐渡島北端の浅瀬等の影響を受けながら回り込むように漁港に来襲した。堤体前面での波高は 7.3~9.6m(築造時 3.5~5.0m)に増大し、周期も 13.2s 秒(築造時の 7.0~12.3s)に増大していた。

被災した防波堤の構造は混成堤であり、堤体の設置水深 h は 13.5~16.5m、マウンド上水深 d は 4.5~11.7m である。防波堤の堤体部に作用する波圧について見てみると、築造時の設計波に対するマウンド上水深・波高比 d/H は 1.3~3.3 であり、ほとんどが重複波圧領域($d/H > 2.0$)であるが、今回の高波浪に対しては d/H が 0.6~1.7 となり、碎波圧領域($d/H \leq 2.0$)に変わる。さらに波浪特性と海底地形等の影響により衝撃碎波圧が発生したものと考えられる。

以上、設計波を上回る波高や周期の波の来襲、重複波圧領域から碎波圧領域の遷移や衝撃碎波圧の発生、高潮位による浮力の増大等により、設計を上回る波力が防波堤に作用し、防波堤堤体部の滑動や転倒、ケーソンの破損・破壊、消波ブロックや被覆ブロックの飛散、捨石マウンドの崩壊等が生じたものと考えられる。

② 復旧方針(災害復旧事業)

災害復旧事業は、被災した施設を原形に復旧することが原則である。しかしながら、鷺崎漁港の東防波堤、水津漁港の北防波堤、並びに北小浦漁港の北防波堤については、漁港の機能に著しく影響を及ぼす重要な基本施設が直接波浪により被災したものであり、原形に復旧することが著しく不相当と判断され、構造を改良して復旧が行われることとなった。

i) 復旧に用いる波

被災した施設の築造時の設計沖波は、今から20～50年前に設定されたものであり、また、新潟県下の漁港整備では平成19年新沖波を用いて設計が行われている。この平成19年新沖波の各施設に対する主方向はNであるが、堤体付近での波向きは、被災波(沖波の波向きNNE)とほぼ同じである。また、堤体付近での設計波の波高は6.9～8.0m、周期13.3sと被災波とほぼ同程度である。こうしたことから、被災した防波堤の復旧には、平成19年新沖波が用いられることとなった。

表V-1-2 鷺崎漁港等における波の諸元

漁港名	施設名	工区	マウンド水深d(m)	諸元	築造時		被災時		復旧に用いる波※ 平成19年新沖波		築造時の沖波の推算方法
					沖波	堤体付近	沖波	堤体付近	沖波	堤体付近	
鷺崎漁港	東防波堤	1工区	9.04	波向	NNW		NNE		N		平成16年被災波 (新潟沖の観測値より推算)
			～	波高	8.1m	5.0m	9.9m	7.3m	10.7m	6.9m	
		9.04	周期	12.3秒	12.3秒	13.2秒	13.2秒	13.3秒	13.3秒		
		2工区	9.04	波向	NNW		NNE		N		
			～	波高	8.1m	5.0m	9.9m	7.3m	10.7m	7.0m	
		9.54	周期	12.3秒	12.3秒	13.2秒	13.2秒	13.3秒	13.3秒		
		3工区	9	波向	ENE		NNE		N		
			～	波高	5.5m	4.7m	9.9m	7.3m	10.7m	7.0m	
9	周期	8.0秒	8.0秒	13.2秒	13.2秒	13.3秒	13.3秒				
4工区	9.4	波向	ENE		NNE		N				
	～	波高	5.5m	4.7m	9.9m	7.5m	10.7m	7.0m			
10.2	周期	8.0秒	8.0秒	13.2秒	13.2秒	13.3秒	13.3秒				
水津漁港	北防波堤	1工区	7.2	波向	ENE		NNE		N		昭和54年沖波 (SMB法)
			～	波高	4.0m	3.6m	8.5m	9.6m	10.2m	8.0m	
		10.5	周期	7.0秒	8.4秒	13.6秒	13.6秒	13.1秒	13.1秒		
		2工区	10.5	波向	ENE		NNE		N		
			～	波高	4.0m	3.6m	8.5m	7.9m	10.2m	7.0m	
		11.7	周期	7.0秒	8.4秒	13.6秒	13.6秒	13.1秒	13.1秒		
3工区	10.5	波向	ENE		NNE		N				
	～	波高	4.0m	4.7m	8.5m	8.0m	10.2m	7.3m			
10.6	周期	7.0秒	7.2秒	13.6秒	13.6秒	13.1秒	13.1秒				
北小浦漁港	北防波堤	1工区	4.5	波向	NE		NNE		N		昭和33年狩野川 台風の風記録から 推算(SMB法)
			～	波高	4.4m	3.5m	9.9m	8.5m	10.7m	7.8m	
		4.8	周期	10.0秒	10.0秒	13.2秒	13.2秒	13.3秒	13.3秒		
		2工区	7.3	波向	NNE		NNE		N		
			～	波高	7.6m	4.5m	9.9m	8.5m	10.7m	7.6m	
		7.8	周期	11.6秒	11.6秒	13.2秒	13.2秒	13.3秒	13.3秒		

被災時の波(今回の高波浪)
 沖波波浪推算法(WAM) 潮位DL+0.25(M.W.L.)
 波浪変形(エネルギー平衡方程式) 潮位DL+0.50
 復旧に用いる波(平成19年新沖波)
 沖波波浪推算法(WAM) 潮位DL+0.18(M.W.L.)
 波浪推算対象期間(1955～2004年)
 波浪変形(エネルギー平衡方程式) 潮位DL+0.41(H.W.L.)

ii) 復旧の工法・構造

被災した防波堤の復旧工法及び構造の検討において、潮位をDL+0.41mとし、平成19年新沖波に対する堤体付近での入射波を算定したところ、これまでの重複波圧領域から碎波圧領域に波圧が変わるとともに、衝撃碎波の発生の恐れがあることが明らかとなった。また、被災の程度が著しく、過去にも被災歴があり、社会通念上、原形復旧は不相当であると判断された。そこで、復旧断面を検討した結果、防波堤前面に消波工を設置するとともに、既設の消波工については消波ブロックの重量を増すなど防波堤の安定性を確保することとなった。このとき、漁港施設の中で最も重要な第1線防波堤が相当延長にわたって被災し、これを限られた期間(概ね3カ年)内に復旧しなければならないことから、一定区間の消波工を構成する表層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し、復旧工事の施工性を高めることとした。

消波堤の設置は、今年の冬季風浪の始まる頃までに終了させ、漁港施設や漁港利用の安全性を確保するとともに、平成22年度までには全ての工事を終了させ

る予定である。



図 V-1-2 新潟県鷺崎漁港の災害復旧事業の内容



図 V-1-3 新潟県水津漁港の災害復旧事業の内容

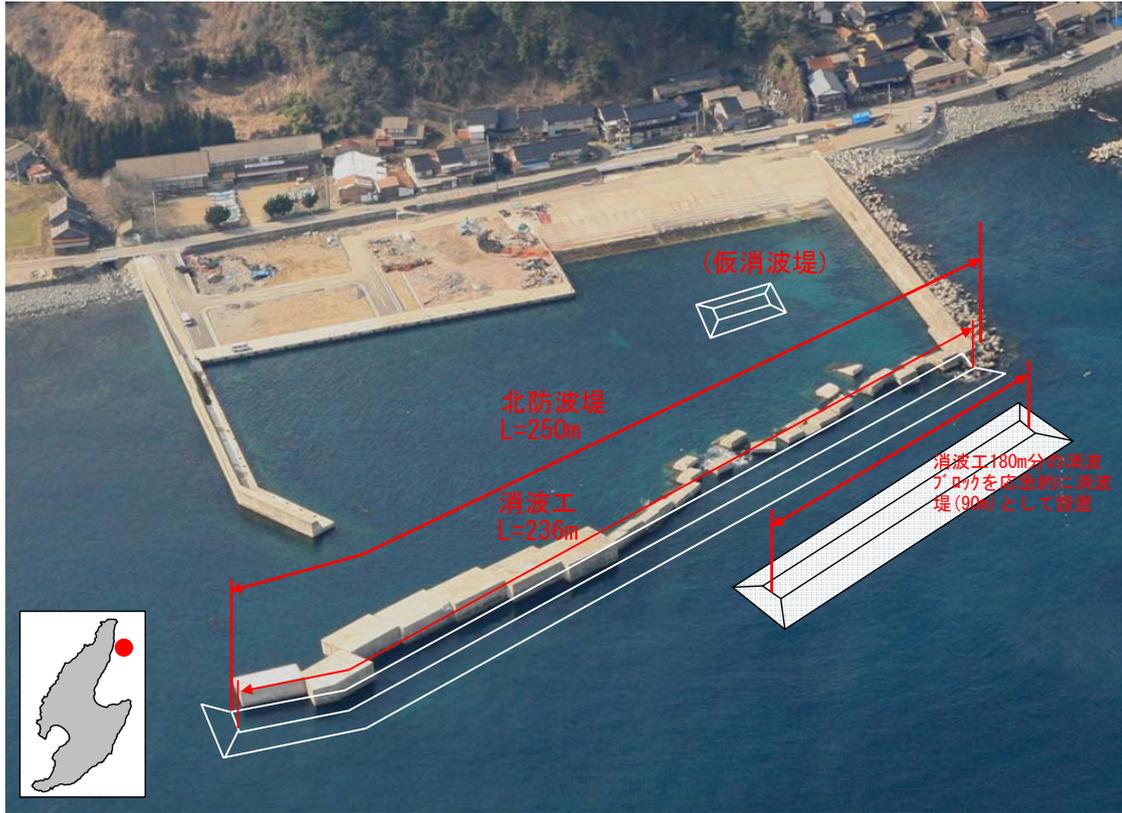
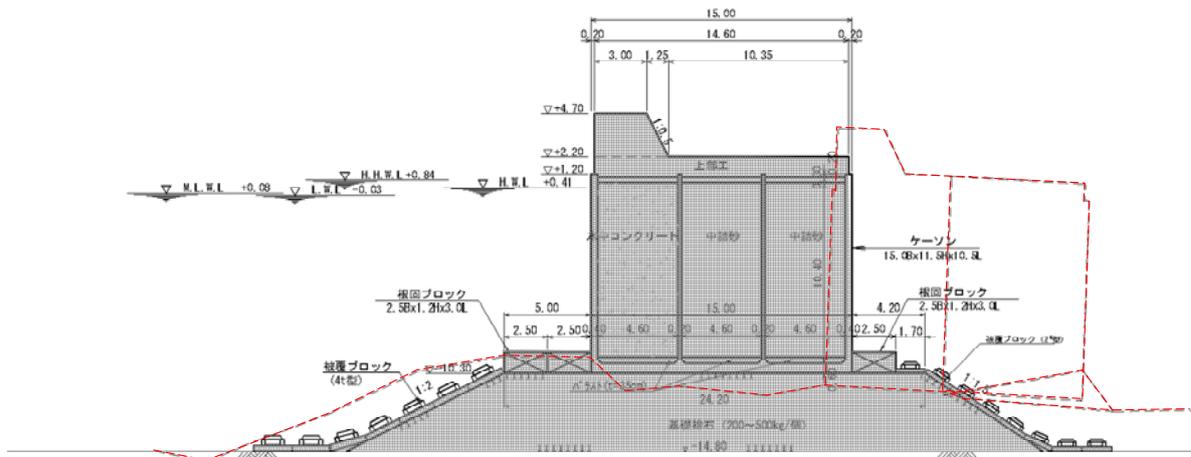
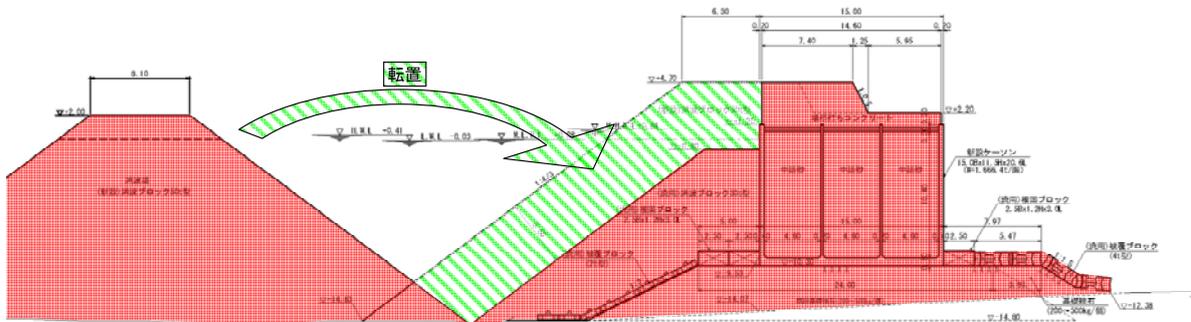


図 V-1-4 新潟県北小浦漁港の災害復旧事業の内容



被災前及び被災後



災害復旧事業による消波工の設置（応急的に表層の消波ブロックを消波堤として設置）

図 V-1-5 今後の防波堤改良（例：鷲崎漁港東防波堤）

③ 今後の課題

佐渡の本土側に位置する漁港は、通常の冬季風浪では島の遮蔽効果もあり大きな波浪が来襲することはなかった。しかし、今回のような北から東寄り（主方向NNE）の周期の長い高波浪や潮位、波向きの影響により、鷲崎、水津、北小浦の3漁港において大規模な施設被害が発生した。これらの3漁港については、委員会提言等を踏まえ、災害復旧事業により防波堤の構造を改良して復旧が行われることとなった。これと併せて、平成19年に見直した新潟県下の沖波（平成19年新沖波）に基づき防波堤の天端嵩上げや消波工設置など、必要な改良を行い、漁港の整備水準の向上を図っていくことが必要である。

そして、今回の冬季風浪により被災があった漁港について、平成19年新沖波に対して、安全性が確保されるのか緊急点検調査が必要である。その結果、何らか

の対策が必要な場合には、計画的に実施することが重要である。

こうした状況の中で、鷺崎、水津、北小浦の漁港については、委員会提言等を踏まえ、災害復旧事業により防波堤の構造を改良して復旧が行われることとなったが、これと併せて、平成19年新沖波に基づき防波堤の天端嵩上げや消波工設置など、必要な改良を行い、漁港の整備水準の向上を図っていくことが必要である。

被災漁港では、漁港施設の被害の他、人的被害や漁船、漁具等の被害も大きかった。漁業関係者からは、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、十分にできなかったことなどが指摘されている。今後は、委員会で明らかにされた今回の高波浪の特性や漁港施設等の被災原因の概要をまとめ、各地域に周知し、地域の危機管理体制整備につなげるとともに、周期の長いうねり性の高波浪の発生と来襲の予測技術の発展と波高に加えて、周期や波向も含めた詳細な気象情報・波浪情報の提供が期待される。

(参考)漁港施設等の被害報告と災害査定結果

1. 概要

- (1)平成20年2月23日から24日かけて発達した低気圧の影響で、北日本から西日本の日本海側で高波が発生。
- (2)水産関係では漁港施設等の被害がほとんどであり、新潟県と富山県を中心に14県において、およそ255億円の被害報告があった。
- (3)このうち漁港施設等に係わる災害復旧事業として申請のあったのは 176億円で、これに対して災害査定では139億円が決定された。

2. 被害報告

① 漁港施設及び漁港海岸施設

全国14県 36漁港・漁港海岸 81箇所
被害報告額:25,418百万円

うち新潟県 10漁港及び漁港海岸 23箇所
被害報告額:18,826百万円

富山県 6漁港及び漁港海岸 32箇所
被害報告額:4,429百万円

② 漁業用施設

石川県 1施設 被害報告額:10百万円

③ 水産業共同利用施設

全国8道府県 36施設 被害報告額:58百万円

④ 漁業集落環境施設

富山県 3施設 被害報告額:10百万円

3. 査定決定等

① 漁港施設及び漁港海岸施設

(百万円)

14県	被害報告		災害復旧申請		災害査定決定	
	箇所	被害額	箇所	工事費	箇所	工事費
	81	25,418	78	17,570	78	13,865

② 漁業用施設

(百万円)

石川県	被害報告		災害復旧申請		災害査定決定	
	箇所	被害額	箇所	工事費	箇所	工事費
	1	10	1	3	1	2

③ 水産業共同利用施設(申請無し)

④ 漁業集落環境施設

(百万円)

富山県	被害報告		災害復旧申請		災害査定決定	
	箇所	被害額	箇所	工事費	箇所	工事費
	3	10	3	9	3	9

2 今後の漁港施設等の設計上の主な課題

今回の高波浪は、沖合での波浪特性から見ると、北～北東からの周期が長いうねり性波浪が卓越していたことが特徴として挙げられる。また、このような周期の長い高波浪による、先に掲げた入善漁港海岸や佐渡の鷺崎漁港等における波高の増大や被害の増大を助長するメカニズムについても今回の検討を通じて分かってきたところである。

一方、現在の最新の技術を用いても十分な検証や数値モデルによる現象再現が困難な場合があることや、海域域での陸域による回折効果の影響の評価等の技術的な課題がいくつか残されていることも改めて確認することができた。

このため、これら技術的な課題を中心に漁港施設のより効果的な設計等に向けて、長期的及び短期的な課題も含めて、今後できるだけ検討を進めていくことが望ましいと考えられる主な課題について、以下に掲げる。

(1) 漁港施設の設計潮位について

漁港施設の設計潮位としては、既往の観測データや背後施設の重要度等を勘案して以下に示すものが挙げられる。

- ① 既往の最高潮位(H.H.W.L.)
- ② 朔望平均満潮位(H.W.L.)+最大潮位偏差
高潮又は砕波による水位上昇が推定される水域では必要に応じ適切な偏差を加える。
- ③ 朔望平均満潮位(H.W.L.)
- ④ 朔望平均干潮位(L.W.L.)

設計潮位は、対象とする構造物の目的によって異なる。また、目的を同じくする構造物においても、その施設の機能や構造安定の検討により設計潮位が異なる。

朔望平均満潮位(H.W.L.)等は、一般に天文潮や気象潮の過去の変動記録等からそれぞれ地域ごとあるいは漁港毎に定めている。また特に防波堤の安定計算等については、③朔望平均満潮位(H.W.L.)又は②朔望平均満潮位(H.W.L.)+最大潮位偏差がよく用いられている。また潮位偏差として砕波による水位上昇量等が用いられている。

一方、今回の日本海の高波浪の場合は、低気圧の低下に伴う高潮あるいは砕波による水位上昇の他に、富山湾の地形の影響や新潟沿岸の大陸棚の影響等により、周期が長い水位変動が起こっていたことが確認されている。

今後漁港施設の設計に当たって潮位を見直す等の検討に際して、周辺に既往

の検潮記録偏差等が長期にわたり観測されている場合には、これら潮位偏差記録等の検証も十分に行い、必要に応じて設計潮位に反映していくことも重要と考えられる。

(2) 波浪推算について

近年、地球規模の気象・海象変動の影響等もあり、これまでにあまり記録がない波向から高波浪が来襲するケースや、過去最大規模の高波浪が頻繁に起こるケース等も各地で報告されている。

今回の新潟県及び富山県における漁港の設計沖波としては、昭和61年度(1986年)実施した沖波調査結果が用いられてきた。しかしながら、先の沖波調査から20年以上がたち、また上記のような理由などから、新潟県については、平成18年度に県内の漁港について設計沖波を見直しており、また、富山県においても今回の被災を踏まえ、平成19年度に入善漁港海岸等をはじめとして、県内の各漁港において、設計沖波の見直し作業に着手したところである。このように、設計沖波については、大きな災害があった場合あるいは十数年に1回毎でも定期的に検証し、必要に応じて見直していくことが重要である。

現在の波浪推算としては、電子計算機の能力の向上、波浪推算プログラム手法の発展等により、WAM、SWAN等第3世代の最新の波浪モデルが用いられるようになってきている。今回委員会資料の中でも、第3世代のWW3、WAM等を使っており、今回来襲した高波浪等の特性を比較的精度よく再現することができている。これは、波浪モデルの精度とともに、波浪の推算に用いる海上風を比較的精度よく再現していることにも起因している。今回の海上風の推算にはMM5を用いているが、このように現在の波浪推算手法としてかなり精度よく現象を再現できるレベルとなっていることが改めて確認することができた。またNOWPHASの観測データ、風観測データ等も蓄積されてきており、波浪推算の検証等より精度の高い設計沖波の設定が可能となっている。

しかしながら、漁港等の多くは、島陰などにある良好な入り江に多く存在しており、いずれの波浪モデル手法も周辺地形の回折効果などを十分に評価できないことから、半島を回る波浪や島背後の波浪については多少過小評価する傾向がある等課題も残っている。そのため、特に波の収斂や急勾配地形の影響が著しい浅海域においては、浅海域での波浪変形の再現に当たっては、きめ細かい評価を行っていく必要がある。

さらに、今回新潟県の鷺崎漁港等では、卓越周期の異なる2種類の波群(風波とうねり)のピークがほぼ同時期に重畳したことがわかっている。しかしながら波向が異なるうねりと風波の二山型の波浪の重畳効果等については、これまでの漁港

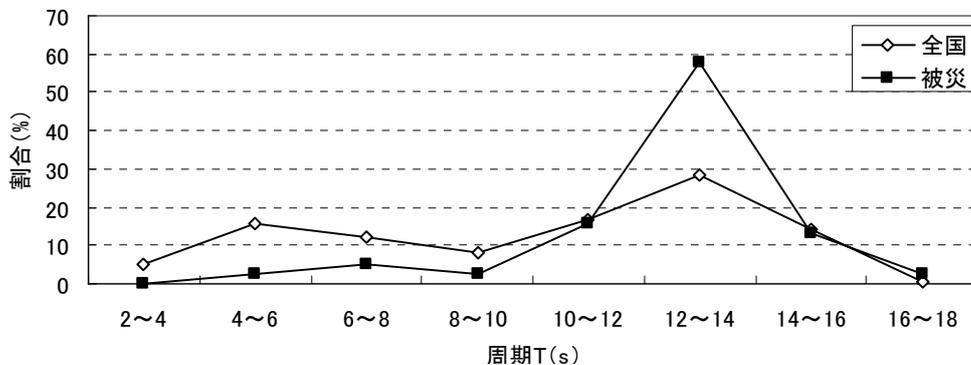
の設計において十分な知見がなかった面もあり、漁港施設の設計波高や波圧の算定等に際してはほとんど検討されてこなかった。これまでどちらかと言うと波高を中心に波浪推算の検証が行われてきたが、今後は、波浪のスペクトル特性、波高と周期の関係、波群の重畳効果等も必要に応じ検証していくことが重要である。

(3) 防波堤に作用する波圧について

今回の新潟県佐渡の漁港被害等も、想定外の周期の長い高波浪が来襲して起こった事例であるが、近年設計波以上の高波浪が来襲し、甚大な被害が生じたケースが起きている。

特に平成16年災や平成18年災は、多くの漁港で被害が生じており、第1線防波堤の被災、波力により堤体の転倒、滑動等甚大な被害も生じた施設も数多くあった。

図V-2-1は、平成16年災及び平成18年災において、第1線防波堤の被災又は波力により堤体の転倒・滑動が生じた被災の事例のうち、設計データ等の資料を入手した39施設について、周期別に被災割合を整理したものである。ここで、全国とあるものは、平成14～16年度に整備した重力式防波堤686施設の事例の周期別割合である。



図V-2-1 全国的な防波堤の設計周期別割合と被災事例の周期別割合

全般的な傾向から、これらの被災は設計波以上の高波浪の来襲が被災原因であると考えられるが、近年、周期の長い波浪(12～14秒程度の範囲)で被災した事例や、重複波領域において高波浪が来襲したため、碎波または衝撃碎波の発生により急激に安定性が低下した可能性し被災した事例等が比較的多い傾向にあることが見受けられる。

今回の新潟県佐渡の漁港被害等も同様な事例であるが、このような近年の被害状況等を踏まえ、防波堤に作用する波圧についても、実験や数値シミュレーション

等により検証を進め、それらの結果、何らかの見直しが必要と判断される場合には、防波堤に作用する波圧の考え方について見直していくことも重要である。

(4) 衝撃砕波について

高波浪により防波堤において、数十mにも及ぶ波しぶきがあがっている状況を見ることがあるが、特に巻き波状の砕波であると波面が防波堤の壁面に衝突するようになり衝撃的な砕波力が発生する現象がしばしば見受けられる。

しかしながら、実験等により、防波堤の前面に消波工が設けると、このような衝撃砕波力を著しく緩和できることがわかっている。

このため、衝撃砕波力の発生を防止するためには、まずは衝撃砕波が発生する恐れのある地点に構造物を設置することを避けるなどが必要であるが、施設の配置上やむを得ず衝撃砕波が発生する危険性のある地点に構造物を設置する場合は、消波工を設ける等の適切な対策を講じる必要がある。

特に、衝撃砕波力が発生する条件は、様々な要因がかかわってきており複雑なことから、必ずしも十分な推定方法はなく、また想定を越えた高波浪等が来襲し、衝撃砕波が起きる場合もあり、引き続き衝撃砕波力が発生する判定条件等についても、検討を進めることが重要である。

(5) 長周期波浪とブロックの安定について

今回の被災は、想定を越える周期の長い高波浪が来襲したことから、ブロック等が散乱したものと考えられる。また、防波堤は被害を受けなかったが被覆ブロックのみ被災する場合もしばしば見受けられる。

ブロックの安定に関しては、これまでハドソン式などにより適切に算定してきているところであるが、今回のような周期の長い高波浪という観点で改めて見ると、周期の影響については必ずしも十分な検討がなされてきていない面もあると思われる。

ブロックを安定性に関する模型実験の一例として、周期が現地換算で、12秒台から長周期の16秒台にあがると被災率が高まる傾向にあることが指摘されている。このように過去に行われてきたブロックの安定性に関する実験結果等から、ブロックの安定性は、多少なりとも波浪の周期にも影響している可能性がある。また、今回の被災事例のように、想定を越える高波浪の来襲に伴い、激しい砕波あるいは衝撃砕波の発生等によりブロックの安定性に影響を及ぼすこともある。

このようにブロックの安定重量に関しては、様々な要因も複雑に絡んでいること

から、その効果についての検証は困難な面があるが、先のフェール・セーフの観点からも被災事例の検証など、ブロックの安定重量の確保のための研究等を進めていくことが今後の課題である。

(6) フェール・セーフの考え方を取り入れた設計について

フェール・セーフは、例えば設計上の不具合などの障害が発生することをあらかじめ想定し、発生した被害を最小限にとどめるような工夫をしておくという設計思想であり、様々な分野でその考え方が用いられている。

この考え方を踏まえ、想定した波高、周期、波力等を有する来襲波に対して必要な性能が維持される損傷にとどまるように施設を計画・設計するだけでなく、例えば、海岸施設のように当該施設に背後施設がある場合、想定以上の来襲波に対して当該施設が損傷を受けた場合でも、背後施設の損傷等を最小限となるよう、施設の計画・設計の際に配慮することも重要である。

今回の入善漁港海岸は、背後集落にも甚大な被害をもたらしたが、そのことからフェール・セーフの重要性が認識されたところであり、例えば想定を越える高波浪に伴う越流被害等が最小限となるよう、施設の計画・設計において、必要に応じフェール・セーフの考え方を導入することも重要である。

I 技術検討委員会の設置目的

平成20年2月23日から24日にかけて、強い冬型の低気圧により北日本から西日本にかけての日本海側に激しい高波浪が発生し、特に、新潟県及び富山県で漁港施設・漁港海岸保全施設の被災や越波等による漁船や背後の家屋の被災、死者・負傷者が生じる惨事となった。

今回の災害は、北海道西方沖で低気圧が停滞し、長時間にわたって強い風が吹き続けたことなどの特殊な気象条件により、富山などでは「寄り回り波」ともいわれるうねり性の波浪が卓越し通常とは違った複雑な高波浪が発生したことに起因すると考えられている。

今回の高波浪の特性や漁港施設等の被災原因を明らかにすることにより、今後の適切な災害復旧及び漁港施設等の整備に反映させることを目的に、水産庁、新潟県及び富山県が合同で、「平成20年2月の日本海高波浪に関する技術検討委員会」を設置した。

II 技術検討委員会の委員

- ・佐藤 慎司 東京大学大学院工学研究科社会基盤学専攻教授(委員長)
- ・泉宮 尊司 新潟大学工学部建設学科教授
- ・千葉 元 国立富山商船高等専門学校商船学科准教授
- ・中山 哲巖 (独)水産総合研究センター水産工学研究所
水産土木工学部開発システム研究室長
- ・鈴木 靖 (財)日本気象協会 営業統括本部市場開発部長
- ・橋本 牧 水産庁漁港漁場整備部長
- ・高倉 信幸 新潟県農林水産部漁港課長
- ・佐伯 宗茂 富山県農林水産部水産漁港課長

Ⅲ これまでの主な被害状況調査及び技術検討委員会開催状況

○災害発生：平成20年2月24日(日)

○水産庁災害担当職員による被害状況調査(富山、新潟)：2月25日～27日

○本技術検討委員会の設置：平成20年2月29日(プレスリリース)

○水産工学研究所専門家等の被災状況調査(富山、新潟)：3月5日～7日

○第1回技術検討委員会

日時：平成20年3月17日(月)13:00～15:00

場所：三番町共用会議室(千代田区九段南2-1-5)

○委員長等現地調査(富山、新潟)：3月31日～4月1日

○第2回技術検討委員会

日時：平成20年4月10日(木)13:30～15:30

場所：農林水産省8階中央会議室(千代田区霞ヶ関1-2-1)

○第3回技術検討委員会

日時：平成20年6月20日(金)15:30～17:30

場所：農林水産省8階中央会議室(千代田区霞ヶ関1-2-1)

注1) 3月21日、4月17日及び8月29日に「高波発生メカニズム共有に関するWG」が開催された。

注2) 技術検討委員会には関係者として気象庁担当官等も参加した。

