富山湾における

「うねり性波浪」対策検討技術委員会

報告書概要版







平成20年10月

国土交通省 北陸地方整備局

はじめに

平成20年2月23日から24日にかけて、発達した低気圧の影響により北日本の日本海側地域を中心に、高波や暴風による被害が相次いだ。富山県内でも、人的な被害を含めて沿岸部では海岸や漁港、そして港湾にも大きな被害が発生した。伏木富山港では、伏木地区の北防波堤が全長1,500mのうち約800mにわたって消波ブロックの散乱や防波堤ケーソンの滑動による被害を受けたほか、万葉埠頭緑地等においても被害を受けている。

北陸地方整備局は、被災直後から富山県や(独)港湾空港技術研究所の協力を得てその被害の実態や原因の調査を開始した。3月からは富山湾における「うねり性波浪」対策検討技術委員会を組織し、特に伏木富山港を対象に今後の対応策を含めて本格的な検討を行っている。委員会は、3月6日(第一回)、3月27日(第二回)および6月19日(第三回)に開催されており、本資料は、その委員会での検討結果を報告するものである。

本委員会での検討結果の概要は以下のとおりである。

- ① 富山湾に被害をもたらした今回の波浪は、地元で「寄り回り波」と呼ばれている「うねり性波浪」であり、日本海北部の暴風域で発生・成長した風波が、長い距離を伝播して「うねり」として富山湾へ到達するものである。今回の寄り回り波は、これまで記録されている寄り回り波より波高も大きく周期も長いものであり、国土交通省港湾局の全国波浪観測情報網(ナウファス)の観測データと数値計算結果との比較から、富山湾への入り口で有義波高 6.9m、有義波周期 14.5 秒と考えられる。
- ② 富山湾の海は「藍瓶:あいがめ」とよばれ、いっきに深くなる海底谷のために、波が収斂し波高が増大する場所ができる。うねり性波浪は周期が長いためにそうした効果が非常に大きく、今回の寄り回り波でもそうした特性が顕著に認められる。波浪の伝播計算結果でも同様な特性が現れており、例えば、北防波堤の最も入射波高が大きかったところでは有義波高が7m程度に達していたと推定され、これは設計条件を上回っている。
- ③ 北防波堤の被災は、こうした設計条件を上回る波が長時間作用することによって消波ブロックの散乱・沈下や防波堤のケーソンの滑動に至ったと考えられる。万葉埠頭緑地についても、このうねり性波浪によって大きな越波となり、護岸背後が被災したと考えられる。
- ④ 北防波堤や万葉埠頭緑地の復旧は、この被災時のうねり性の波を対象に設計・施工を実施する。万葉埠頭緑地については、将来、北防波堤が東側に150m延伸することが予定されており、それによって越波はかなり低減すると期待される。
- ⑤ 寄り回り波の災害の防止、特に人的な被害の防止には、寄り回り波の予測が有効である。 現在ある波浪予測システム(沿岸気象情報配信システム(COMEINS))の精度を、ナウファ スの観測データを用いて同化(修正)することによって高めるとともに、あいがめなどの複 雑な海底地形を考慮した波浪の伝播計算を用いて各地点の波浪予測を行う必要がある。

富山湾における「うねり性波浪」対策検討技術委員会

目 次

はじめに

1	被災の概要	. 1
	1.1 被災状況	. 1
	1.2 被災時の気象海象状況	. 4
2	2. 既往災害の整理	. 5
	2.1 「うねり性波浪」の特性	. 5
	2.2 既往災害の記録と分析	. 5
3	3. 「寄り回り波」の特性解明と被災メカニズム	. 6
	3.1 富山湾における波浪の再現	. 6
	3.2 伏木地区における波浪の再現	. 7
	3.3 北防波堤の被災メカニズム	. 8
	3.4 万葉埠頭緑地の被災メカニズム	. 9
4	4. 今後の対応策	10
	4.1 設計波浪の考え方	10
	4.2 被災施設の復旧	11
5	5. 「寄り回り波」の予測	12
	5.1 波浪観測等の状況	12
	5.2 波浪予測の課題と対応	14
	5.3 今後の進め方	14
おね	わりに	
【 <i>*</i>	参考】	
	対策検討技術委員会の概要	16
	1 委員会の設置目的	16
	2 委員会の構成	16
	3 委員会の検討フロー	17

1. 被災の概要

1.1 被災状況

平成20年2月24日に発生した「寄り回り波」により、伏木富山港の伏木地区と新湊地区では大きな被害を受けた。被災状況を図1.1.1および図1.1.2に示す。



図 1.1.1 伏木富山港の被災状況



※⑭新湊漁港 防波堤ケーソン滑動・傾斜

図 1.1.2 伏木富山港の被災の概要

(1) 北防波堤の被災状況

B区間およびD・D'区間において、ケーソンの滑動および消波ブロックの沈下が認められる。北防波堤の被災状況を図 1.1.3~図 1.1.4 に示す。

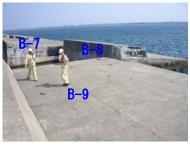


-1
2区間 A-1区間 10m 100m

図 1.1.3 北防波堤の設計区間の区割り (平面図)



図 1.1.4 北防波堤の被災状況



B-9 ケーソンより A 区間方向をのぞむ

(2) 万葉埠頭緑地の被災状況

万葉埠頭緑地では、越波による浸水、陥没、ブロック片の散乱等の被害が認められる。 伏木地区の万葉埠頭緑地の被災状況を図 1.1.5 および図 1.1.6 に示す。

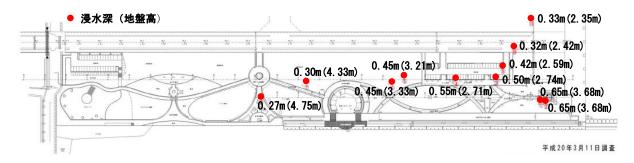


図 1.1.5 万葉埠頭緑地の浸水痕跡調査結果



緑地全景 (展望台より)

護岸背後の洗掘



1 m以上の陥没

ブロック破片の散乱

図 1.1.6 万葉埠頭緑地の被災状況

1.2 被災時の気象海象状況

被災擾乱の期間 (2月23日0時~25日24時) における最大有義波高は、伏木地区で 4.22m (24日14時)、富山地区では 9.92m (24日16時)であり、富山地区においては 既往最大波高を超える波高となった。潮位記録には長周期の影響による変動が認められ、「寄り回り波」襲来時の最高水位は、ベースとなる潮位 D.L.+0.21m に加えて長周期波の影響による水位上昇 (0.427m) が加わった D.L.+0.637m と推定された。伏木富山港における 2月23日0時~25日24時の波浪、風、および潮位の状況を図 <math>1.2.1 に示す。

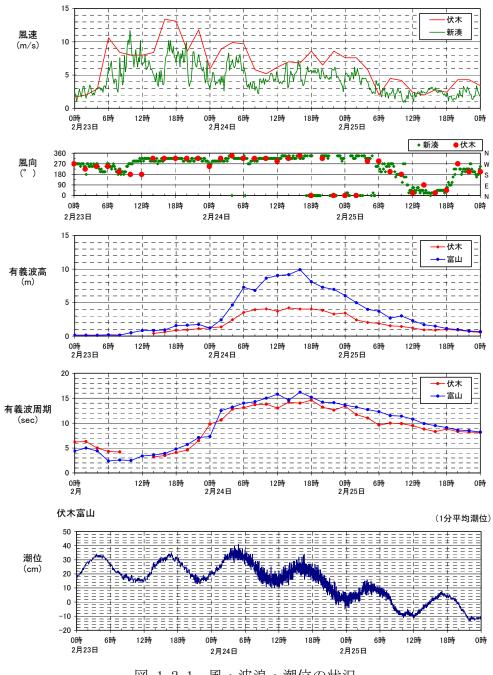


図 1.2.1 風・波浪・潮位の状況

2. 既往災害の整理

2.1 「うねり性波浪」の特性

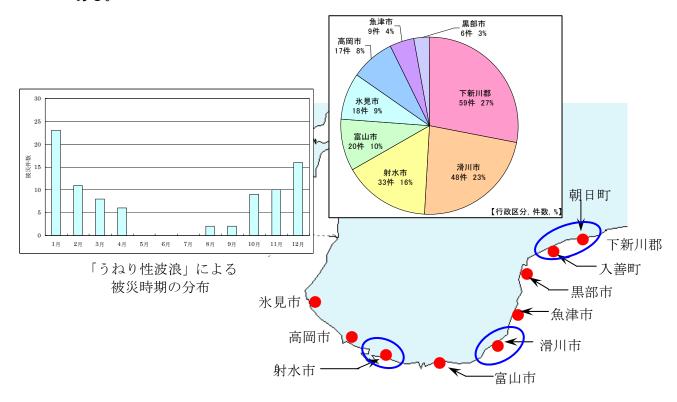
「うねり性波浪」の特性について、既往文献等から次のことがわかった。

- 北海道付近に発達した低気圧が進行することにより、間宮海峡から北海道西方海上にかけて気圧傾度が異常に強まり、北ないし北東の強風が連吹するとき、この強風により発生した風浪がうねりとなって日本海を南下し、富山湾に入って「寄り回り波」となる。
- ・ 「寄り回り波」は富山湾内のどこでも見られる訳ではなく、入善、滑川、新湊(射水市)、伏木(高岡市)、氷見等特定の海域で見られる。これは富山湾内の複雑な 海底地形によって波が変形するためである。

2.2 既往災害の記録と分析

既往災害の記録を解析することにより、次のことがわかった。

- ・ 「寄り回り波」による被災は、10月~3月に多く発生する。
- ・ 「寄り回り波」による被災がよく発生する場所は、下新川郡、滑川市、射水市である。



(で囲んであるのは「寄り回り波」による被災が多い地域) 「うねり性波浪」による被災地域の分布

図 2.2.1 「うねり性波浪」による被災の分析

3. 「寄り回り波」の特性解明と被災メカニズム

3.1 富山湾における波浪の再現

エネルギー平衡方程式により、被災時の富山湾全体の波浪状況を再現した。その結果、 富山湾の湾奥では、複雑な海底地形の影響で局地的な波高の増大が生じること等を確認 できた。

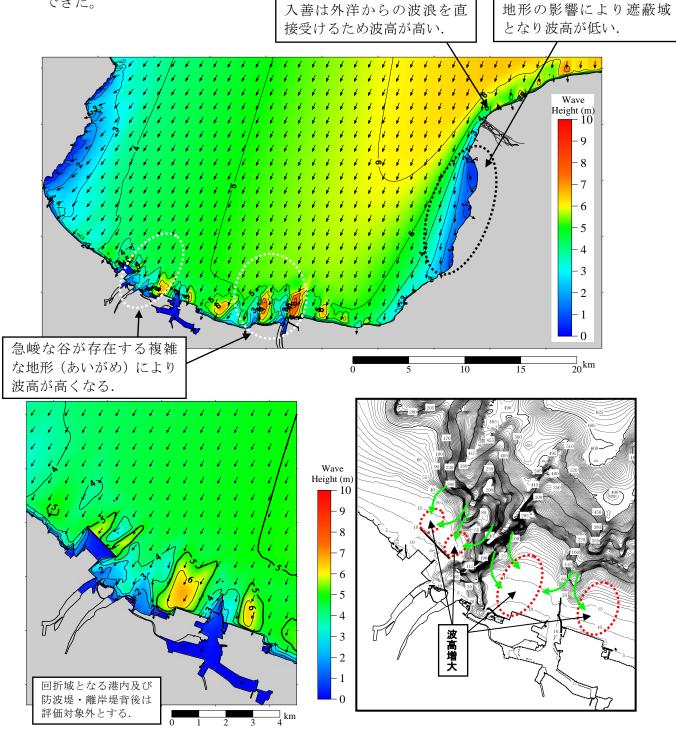


図 3.1.1 富山湾における有義波高・波向分布

3.2 伏木地区における波浪の再現

伏木地区における被災時の状況を把握するために、ブシネスクモデルにより伏木富山港(伏木地区)における波浪変形計算を実施した。波浪変形計算結果を図 3.2.1 に示す。

北防波堤の被災時の波浪状況は次のとおりであったと推定される。

- ・ 波向 22.5° のときには、北防波堤の東端のA区間および西側のD区間(西側)~E 区間で波高が高くなり、特に被害が大きかったD区間の西側では波高が非常に高くなる。
- ・ 波向 40.0° では、北防波堤の東端の $A \sim B$ 区間および西端の $E \sim F$ 区間で波高が高くなる。被災しているB区間前面の波高は、波向 22.5° よりも波向 40.0° のほうが高い。

伏木地区の北防波堤前面において、高波浪箇所と被災箇所がおおむね一致していることが確認されたことから、この結果を踏まえて被災メカニズムの検討を実施した。

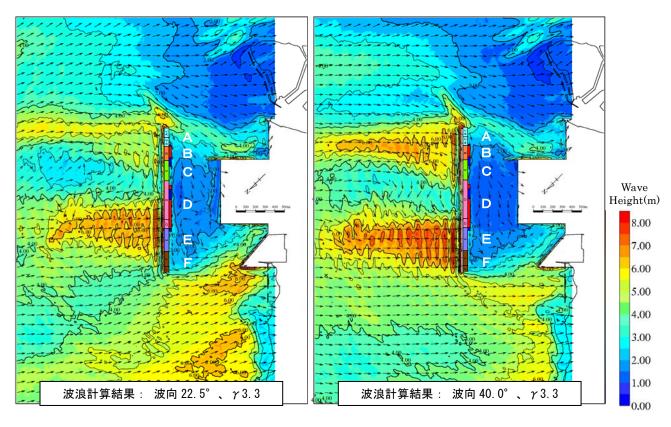


図 3.2.1 被災波の波浪計算結果(波向 22.5°40.0°、反射あり)

3.3 北防波堤の被災メカニズム

(1) 被災波浪と設計波 (現設計) の比較

ブシネスクモデルによる波浪計算結果によると、北防波堤前面の被災波の波高は、現 設計の設計波の波高を上回っている。したがって、これが被災要因のひとつであるとい える。

(2) 北防波堤の被災メカニズム

検討結果から、北防波堤の被災メカニズムは次のように考えられる。

北防波堤の被災メカニズムのイメージ図

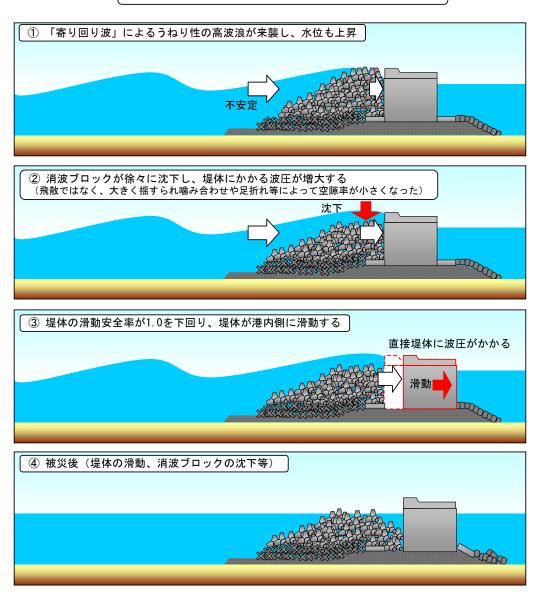


図 3.3.1 北防波堤の被災メカニズム (イメージ図)

3.4 万葉埠頭緑地の被災メカニズム

(1) 被災メカニズム

護岸背後の被災状況から越波した波による越流時および打込み時の波圧により堤体背後が被災したと考えられる。また、被災時の波による護岸越波量を算定すると A-1 区間、A-2-1 区間において許容越波量($q=0.05m3/m\cdot sec$)以上であった。

(2) 北防波堤の整備による効果

北防波堤は、伏木地区の港内静穏度を確保するために設置されている。現在、これを 東側に 150m延伸し、静穏度をより高める計画がある。その副次的効果として、護岸前 面の波高を現況(北防波堤が 1500mのとき)に比べ各区間の最大有義波高を 4~5 割程 度減少することができると考えられる。

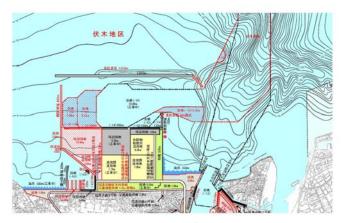


図 3.4.1 港湾計画図

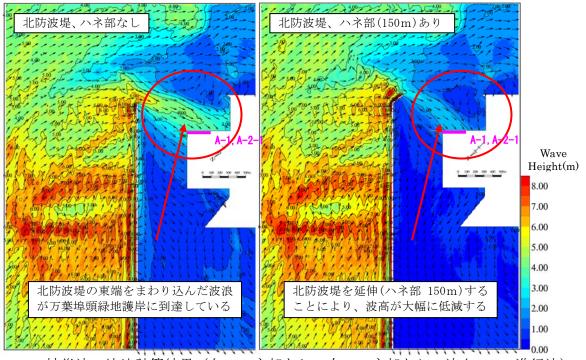


図 3.4.2 被災波の波浪計算結果(左:ハネ部なし、右:ハネ部あり、波向 NNE、進行波)

4. 今後の対応策

4.1 設計波浪の考え方

再度災害を防止する観点から図 4.1.1 に示すとおり、従来の 50 年確率波と今回の被 災波を比較検討して設計する。また、被災時の潮位も考慮する。

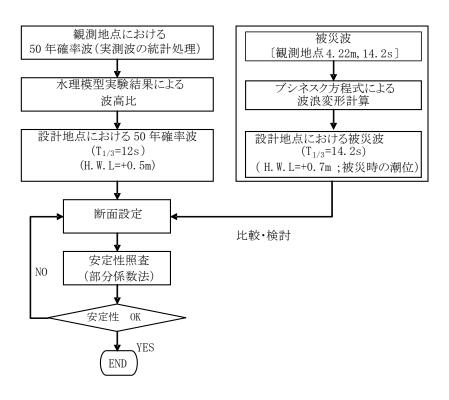


図 4.1.1 安定性の照査フロー

4.2 被災施設の復旧

4.2.1 北防波堤の復旧方法

再度災害防止の観点から以下の対応とした。

- ① 消波ブロックの沈下が消波ブロック高さの 1/3~2/3 程度以上認められる範囲 →消波ブロックのランクアップによる対応
- ② ケーソンが港内側へ滑動し、基礎捨石から外れ、据え直しが必要な範囲 →ケーソンを据え直し、滑動安全率を確保するため港内側を捨石で補強することに よる対応
- ③ ケーソン本体が損傷した箇所 (ケーソン側壁、中詰工) →原形復旧
- ④ パラペットが損傷した範囲
 - →原形復旧

4.2.2 万葉埠頭緑地の復旧方法

北防波堤と同様に、再度災害防止の観点から以下の対応とした。

- ① 設計地点における被災波(設計波)をブシネスク方程式による波浪変形計算により算出し、越波量を算出すると、許容越波量 0.05m3/m・sec 以上となるため、護岸の背後の嵩上げによる対応。
- ② 許容越波量以下の流入量は、水路を設置し排水による対応。
- ③ 許容越波量を超える範囲を、水叩きを含めコンクリート舗装で強化することによる対応。

5. 「寄り回り波」の予測

富山湾における「寄り回り波」災害に関しては、港湾・海岸施設の補強(ハード面) に併せて、事前に情報を把握し対処する(ソフト面)ことが有効と考えられる。そこで、 「寄り回り波」の予測に関して検証を実施する。

5.1 波浪観測等の状況

港湾工事の安全や沿岸防災、設計等に必要な気象、海象の基礎データの観測・配信システムは次のとおりである。

(1) NOWPHAS (ナウファス:全国港湾海洋波浪情報網)

我が国沿岸の波浪観測および情報ネットワークであり、全国60地点において、36 5日24時間連続リアルタイムで波高、周期、波向などの観測を実施している。

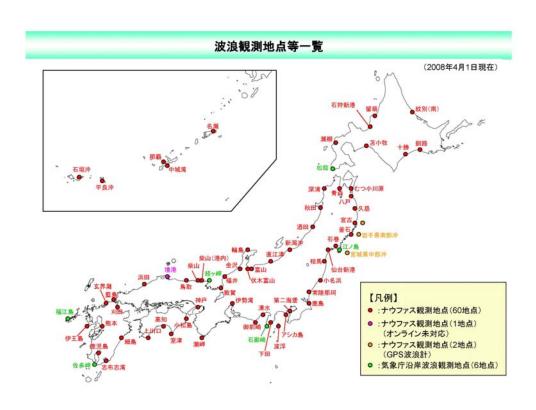


図 5.1 NOWPHAS による波浪観測地点

(2) COMEINS (カムインズ:沿岸気象海象情報配信システム)

ナウファス情報ならびに気象情報を用いて、次の情報を配信している。

• 基本情報 : 海上風、ナウファス観測点での波浪予測

・ オプション情報 : 波浪ポイント予測、台風高波予測、潮位予報等

5.2 波浪予測の課題と対応

寄り回り波の特性を踏まえ、予測においては次の3点の課題が考えられる。

1) 観測地点における波浪予測の精度向上

→ 当該地点周辺の観測値(ナウファス)をもとにデータ同化(補正)することにより 精度の高い長周期波の予測値を算出

(観測点が比較的浅い場合は、沖側の水深が大きい地点を仮想点として予測)

2) あいがめ等複雑な地形の効果を反映させる

→ 複雑な海底地形を考慮するため、より精度の高い浅海効果を算出

3) うねりの伝播経路における「うねり性波浪」の監視

(北海道西方海上で発達した「うねり成分」の監視)

→ 他地点のナウファスデータを監視することにより、富山湾への「寄り回り波」を事前に把握

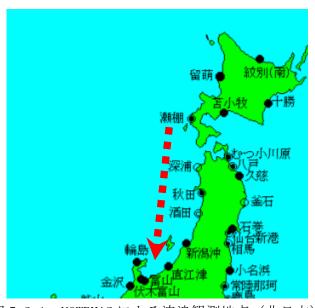


図 5.2.1 NOWPHAS による波浪観測地点(北日本)

「寄り回り波」の予測方法(案)について次のフローに示す。

「寄り回り波」予測フロー(案)

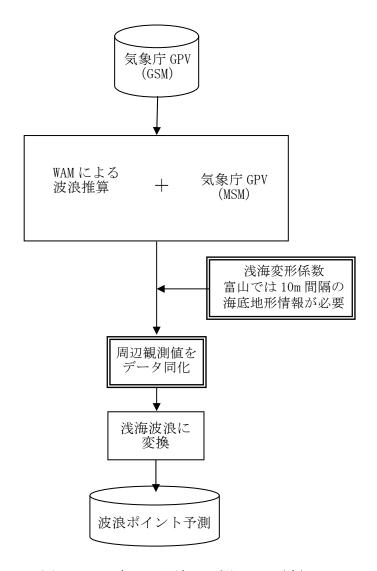


図 5.2.2 寄り回り波の予測フロー(案)

5.3 今後の進め方

COMEINS の改良により、ナウファス観測点以外でも同等の精度で波浪予測ができるようになる。精度を見極めたうえで浅海係数を算定し、予測精度向上を目指す。

おわりに

平成20年2月23日から24日にかけて日本海で発達した低気圧により、富山湾沿岸では高波が発生し港湾施設等に大きな被害をもたらした。本報告書は、この災害に対応するために設置した富山湾における「うねり性波浪」対策検討技術委員会の成果をとりまとめたものである。

本委員会では、伏木富山港伏木地区における被害の実態を把握するとともに、国土交通省の波浪観測データや数値計算結果などから、その原因が「寄り回り波」といわれる「うねり性波浪」によるものであり、これまでにない大きな波高と長い周期の「寄り回り波」によることを明らかにした。また復旧対策を示すとともに、寄り回り波の予測の精度向上についても検討を行っている。

北陸地方整備局では、今回の委員会の検討結果を踏まえて、「うねり性波浪」を設計に反映させていく予定である。またうねり性波浪による災害の防止、特に人的な災害の防止に資することを目的に、うねり性波浪の来襲を精度よく予測するシステムの構築を図るとともに、予測情報の提供についても関係省庁、県、市町村などと連携して早期の実現を図る予定である。

近年、地球温暖化に伴う気候変動によるさまざまな分野・多くの地域への影響が指摘されており、今回の大きな寄り回り波もその影響が疑われる。今後は、大きな寄り回り波の詳細な発生メカニズムやその発生確率について検討を深める必要がある。また、こうした大きな寄り回り波への対策についても検討をさらに深める必要がある。

最後に、本報告書が今後の「寄り回り波」に対する防災に資することを強く願うものである。また、本報告書は、多くの委員や関係者の努力の成果であることを記し、ここに謝意を表する。

【参考】

対策検討技術委員会の概要

1. 委員会の設置目的

本委員会は、港湾施設等に多大な被害を与えた「うねり性波浪」の対策を北陸地方整備局港湾空港部、富山県、港湾空港技術研究所が共同で検討するものであり、今回の被災状況および波浪等の気象海象を取りまとめ整理するとともに、観測データの解析等を通じて富山湾における「うねり性波浪」の特性把握と港湾施設被災のメカニズムを明らかにし、今後の対応策について技術的な検討を行うことを目的として設置するものである。

2. 委員会の構成

富山湾における「うねり性波浪」対策検討技術委員会の委員名簿、関係者およびオブザーバーを示す。

委員名簿

	氏 名	役職(平成20年6月現在)		
委員	かわい まさし 河合 雅司	富山商船高等専門学校 商船学科航海コース准教授		
委員	下迫 健一郎	(独)港湾空港技術研究所 耐波研究室長		
委員長	たかはし しげお 高橋 重雄	(独)港湾空港技術研究所 研究主監		
委員	水井 紀彦	(独)港湾空港技術研究所 統括研究官		
委員	平石 哲也	(独)港湾空港技術研究所 海洋・水工部長		
委員	ほそやまだ とくぞう 細山田 得三	長岡技術科学大学 水工・防災設計工学准教授		

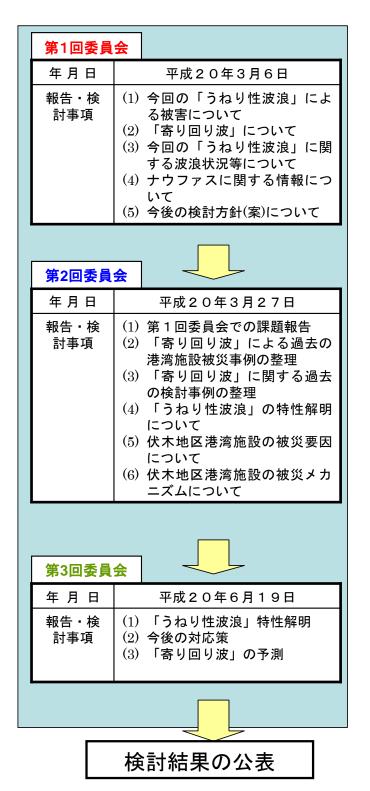
※敬称略、五十音順

関係者およびオブザーバー

	部 局
関係者	国土交通省 港湾局 技術企画課 技術監理室
関係者	国土交通省 港湾局 海岸・防災課
関係者	国土技術政策総合研究所 沿岸防災研究室
関係者	国土技術政策総合研究所 港湾施設研究室
関係者	富山県 土木部 港湾空港課
関係者	国土交通省 北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所
関係者	国土交通省 北陸地方整備局 伏木富山港湾事務所
事務局	国土交通省 北陸地方整備局 港湾空港部 海洋環境·技術課
オブザーバー	国土交通省 新潟地方気象台
オブザーバー	国土交通省 富山地方気象台

3. 委員会の検討フロー

富山湾における「うねり性波浪」対策検討技術委員会の検討フローを示す。



委員会の検討フロー

富山湾における 「うねり性波浪」対策検討技術委員会

報告書

平成20年10月

国土交通省 北陸地方整備局

はじめに

平成20年2月23日から24日にかけて、発達した低気圧の影響により北日本の日本海側地域を中心に、高波や暴風による被害が相次いだ。富山県内でも、人的な被害を含めて沿岸部では海岸や漁港、そして港湾にも大きな被害が発生した。伏木富山港では、伏木地区の北防波堤が全長1,500mのうち約800mにわたって消波ブロックの散乱や防波堤ケーソンの滑動による被害を受けたほか、万葉埠頭緑地等においても被害を受けている。

北陸地方整備局は、被災直後から富山県や(独)港湾空港技術研究所の協力を得てその被害の実態や原因の調査を開始した。3月からは富山湾における「うねり性波浪」対策検討技術委員会を組織し、特に伏木富山港を対象に今後の対応策を含めて本格的な検討を行っている。委員会は、3月6日(第一回)、3月27日(第二回)および6月19日(第三回)に開催されており、本資料は、その委員会での検討結果を報告するものである。

本委員会での検討結果の概要は以下のとおりである。

- ① 富山湾に被害をもたらした今回の波浪は、地元で「寄り回り波」と呼ばれている「うねり性波浪」であり、日本海北部の暴風域で発生・成長した風波が、長い距離を伝播して「うねり」として富山湾へ到達するものである。今回の寄り回り波は、これまで記録されている寄り回り波より波高も大きく周期も長いものであり、国土交通省港湾局の全国波浪観測情報網(ナウファス)の観測データと数値計算結果との比較から、富山湾への入り口で有義波高 6.9m、有義波周期 14.5 秒と考えられる。
- ② 富山湾の海は「藍瓶:あいがめ」とよばれ、いっきに深くなる海底谷のために、波が収斂し波高が増大する場所ができる。うねり性波浪は周期が長いためにそうした効果が非常に大きく、今回の寄り回り波でもそうした特性が顕著に認められる。波浪の伝播計算結果でも同様な特性が現れており、例えば、北防波堤の最も入射波高が大きかったところでは有義波高が7m程度に達していたと推定され、これは設計条件を上回っている。
- ③ 北防波堤の被災は、こうした設計条件を上回る波が長時間作用することによって消波ブロックの散乱・沈下や防波堤のケーソンの滑動に至ったと考えられる。万葉埠頭緑地についても、このうねり性波浪によって大きな越波となり、護岸背後が被災したと考えられる。
- ④ 北防波堤や万葉埠頭緑地の復旧は、この被災時のうねり性の波を対象に設計・施工を実施する。万葉埠頭緑地については、将来、北防波堤が東側に150m延伸することが予定されており、それによって越波はかなり低減すると期待される。
- ⑤ 寄り回り波の災害の防止、特に人的な災害の防止には、寄り回り波の予測が有効である。 現在ある波浪予測システム(沿岸気象情報配信システム(COMEINS))の精度を、ナウファ スの観測データを用いて同化(修正)することによって高めるとともに、あいがめなどの複 雑な海底地形を考慮した波浪の伝播計算を用いて各地点の波浪予測を行う必要がある。

富山湾における「うねり性波浪」対策検討技術委員会

目 次

はじめに

1.	被犯	災の概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
	1.1	被災状況	2
	1.2	被災時の気象海象状況・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	6
2.	既征	往災害の整理・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	11
	2.1	「うねり性波浪」の特性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	12
	2.2	既往災害の記録と分析・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	13
3.	Γą	寄り回り波」の特性解明と被災メカニズム・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	17
	3. 1	長周期波による水位上昇量・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	19
	3.2	富山湾における波浪の再現・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	20
	3.3	伏木地区における波浪の再現・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	25
	3.4	北防波堤の被災メカニズム・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	30
	3.5	万葉埠頭緑地の被災メカニズム・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	34
4.	今往	後の対応策	41
	4. 1	設計波浪の考え方・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	41
	4.2	被災施設の復旧・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	42
5.	寄り	り回り波の予測・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	46
	5. 1	波浪観測等の状況・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	46
	5.2	波浪予測の課題と対応・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	49
	5.3	今後の進め方・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	49

おわりに

巻末資料

1. 被災の概要

平成20年2月23日から24日にかけて発達した強い冬型気圧配置は、日本海全域を長時間にわたって気圧勾配の急な平行等圧線で覆い、日本海中部から南部海域に非常に発達した長い周期の波浪を発生させた。富山湾には顕著な「寄り回り波」が発生し、沿岸に多大な被害が生じた。

(1)被災状況

平成20年2月24日の「寄り回り波」による被災の状況は次のとおりである。

- ・ 富山湾東部の入善町では被害が大きく、人的被害も発生した。
- 伏木富山港においては、伏木地区と新湊地区で港湾施設に大きな被害があった。
- ・ 伏木地区の北防波堤では、ケーソンの滑動および消波ブロックの沈下が発生した。
- ・ 伏木地区の万葉埠頭緑地では、浸水・陥没・ブロック片の散乱等の被害が発生した。

(2) 被災時の気象海象状況

被災時の気象海象状況は次のとおりである。

- 被災時の気圧配置は、「寄り回り波」が発生する典型的な気圧配置であった。
- ・ 日本海では3地点(輪島、富山、柴山(兵庫県))で既往最大波浪を観測した。
- ・ 伏木地区では、2月24日14時に継続時間の長い擾乱における最大有義波高(波高 4.22m、周期14.2秒)を記録した。
- ・ 伏木地区において最大波高を記録した 2月24日14時の潮位は D.L.+0.21mであった。

1.1 被災状況

富山県内の被害は高岡、射水、滑川及び入善に集中し、入善で人的被害が発生したほか、港湾施設や漁港施設、海岸施設に大きな被害が発生した。平成20年2月24日に発生した「寄り回り波」による被災の状況をとりまとめる。

1.1.1 富山湾の被災状況

富山湾全体の被災状況を図 1.1.1 に示す。富山湾東部の入善町で特に被害が大きく、 人的被害も発生した。

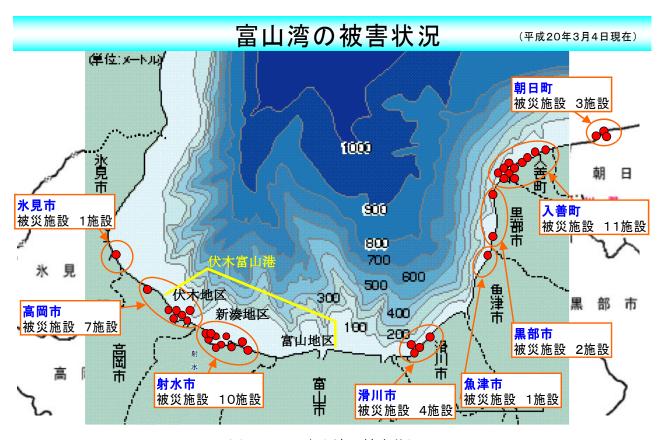


図 1.1.1 富山湾の被害状況

1.1.2 伏木富山港の被災状況

伏木富山港における被災状況を図 1.1.2 に示す。伏木富山港においては、伏木地区と 新湊地区で港湾施設に大きな被害があった(図 1.1.3)。一方、富山地区では顕著な被害 はなかった。



伏木富山港の被災状況 図 1.1.2



※⑪新湊漁港 防波堤ケーソン滑動・傾斜

図 1.1.3 伏木富山港の被災の概要

1.1.3 伏木地区の被災状況

(1) 北防波堤の被災状況

北防波堤の被災状況を図 1.1.4~図 1.1.5 に示す。B 区間およびD・D'区間において、ケーソンの滑動および消波ブロックの沈下が認められる。



図 1.1.4 北防波堤の設計区間の区割り (平面図)



図 1.1.5 北防波堤の被災状況



B-9 ケーソンより A 区間方向をのぞむ

(2) 万葉埠頭緑地の被災状況

万葉埠頭緑地の被災状況を図 1.1.6 および図 1.1.7 に示す。万葉埠頭緑地では、越波による浸水、陥没、ブロック片の散乱等の被害が認められる。

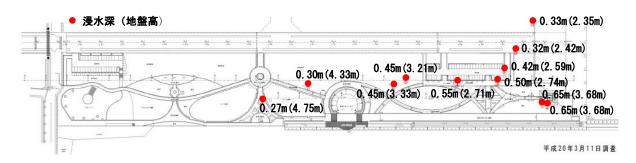


図 1.1.6 万葉埠頭緑地の浸水痕跡調査結果



緑地全景 (展望台より)

護岸背後の洗掘



1 m以上の陥没

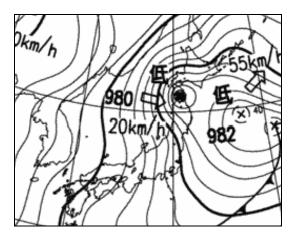
ブロック破片の散乱

図 1.1.7 万葉埠頭緑地の被災状況

1.2 被災時の気象海象状況

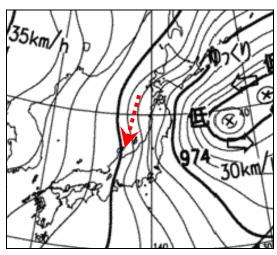
1.2.1 気圧配置

「寄り回り波」発生時の気圧配置を図 1.2.1 に示す。平成 20 年 2 月 24 日 9 時の気圧配置は、「寄り回り波」が発生しやすい、典型的な気圧配置である。



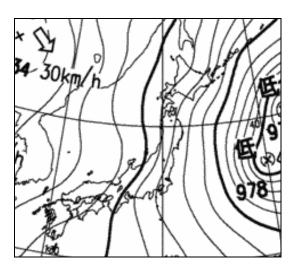
低気圧が日本海中部を発達しながら東北東に 進んだ。

(平成20年2月23日21時)



低気圧が三陸沖を抜けた後停滞し、日本付近で は冬型の気圧配置が強まった。

(平成20年2月24日9時)



(平成20年2月24日15時)

図 1.2.1 気圧配置 (富山地方気象台 気象速報より)

1.2.2 日本海沿岸の波浪状況

国土交通省港湾局の全国波浪観測情報網(ナウファス)による被災前後の日本海沿岸の波浪状況を図 1.2.2 に示す。日本海沿岸の波浪状況から次のことがいえる。

- ・ この気象擾乱において既往最大観測有義波高を更新した観測地点は3地点(輪島、富山、柴山)であった。輪島と富山のスペクトルのピーク周期は16秒であり、非常に発達したうねりが来襲していた。
- ・ 能登半島以東の沿岸では、南下するほど波浪が発達している。一方、能登半島以 西の沿岸では、西側ほど波高が低くなっている。これは、日本海の東側ほど冬型 の気圧配置に伴う北風が強かったためだと考えられる。
- ・ 富山湾内を除く日本海全域において、23日の夕方に急激な波浪の発達がみられた。 富山湾内では、23日に風浪の発達はみられず、24日になってから「うねり性波浪」 が発達した。これは、能登半島による遮蔽の影響によるものと推定される。

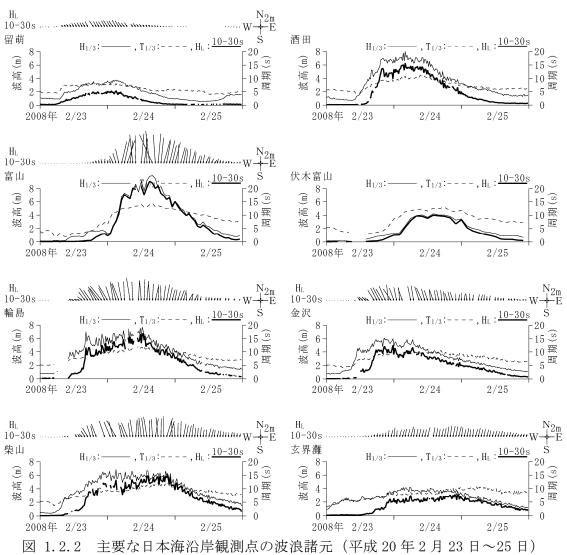


図 1.2.2 主要な日本海沿岸観測点の波浪諸元(平成 20 年 2 月 23 日~25 日 (波高:細線、周期:破線、周期 10-30 秒の周期帯波高:太線、波向:矢印)

1.2.3 伏木富山港における風および波浪の状況

2月23日0時~25日24時の風と波浪の状況を図 1.2.3に、有義波と最高波の時系列 図を図 1.2.4に示す。

伏木地区および新湊地区において 10m/s を超える風速が 23 日に観測されたが、24 日 以降は弱まった。風向は 23 日から 24 日にかけては北西が卓越した。

被災擾乱の期間 (2 月 23 日 0 時 ~ 25 日 24 時)における最大有義波高は、伏木地区で 4.22 m (24 日 14 時)、富山地区では 9.92 m (24 日 16 時)であり、富山地区においては 既往最大波高を超える波高となった。周期は 24 日 0 時から 25 日 12 時にかけて 10 sec を超え、24 日午後には 14 sec ~ 15 sec に達した。

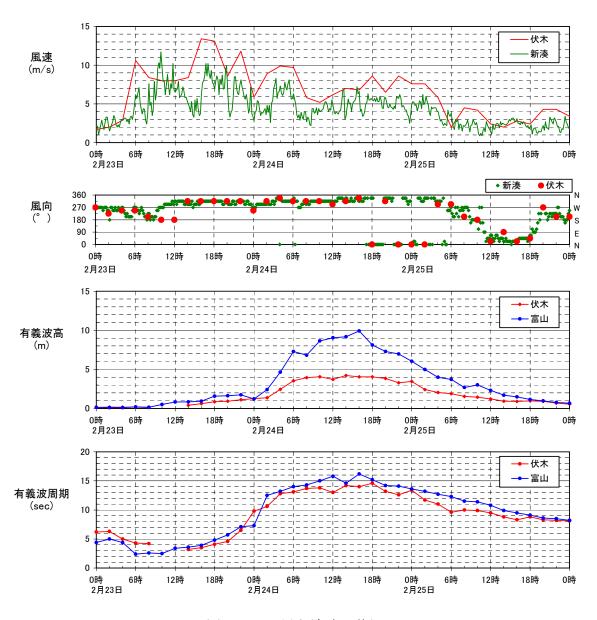


図 1.2.3 風と波浪の状況

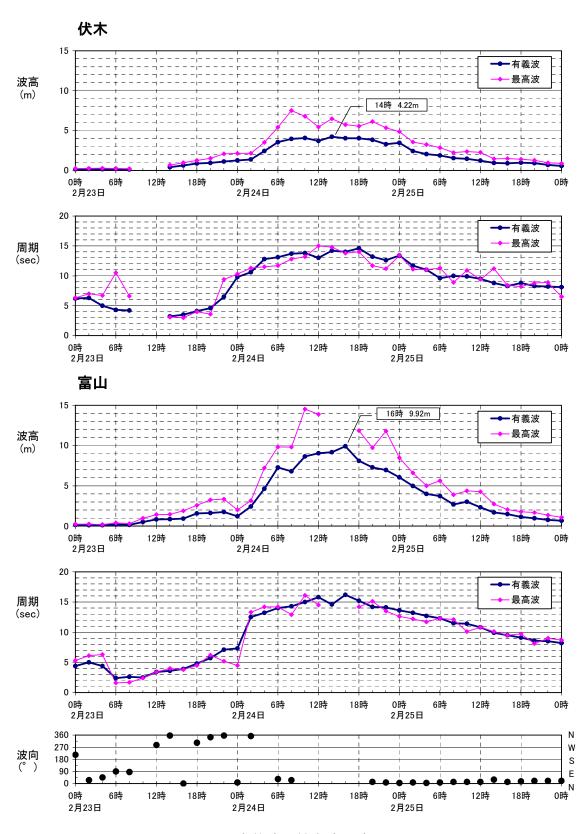


図 1.2.4 有義波と最高波の時系列図

備考)・伏木地区の波向は全欠測であった

・富山地区の24日14時,16時は水圧波形データからの補足値のため有義波諸元のみを表示

1.2.4 伏木地区における潮位の状況

伏木地区の潮位記録の推移を図 1.2.5 に示す。伏木地区における最大波高を記録した 2月24日14時の潮位は D.L.+0.21mであった。

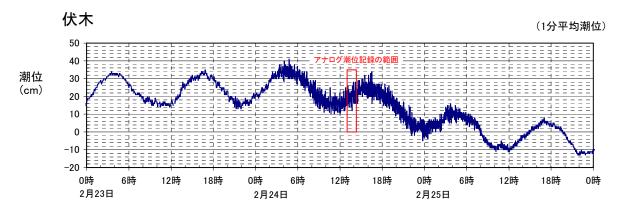


図 1.2.5 伏木地区の潮位の推移

2. 既往災害の整理

(1) 「うねり性波浪」の特性

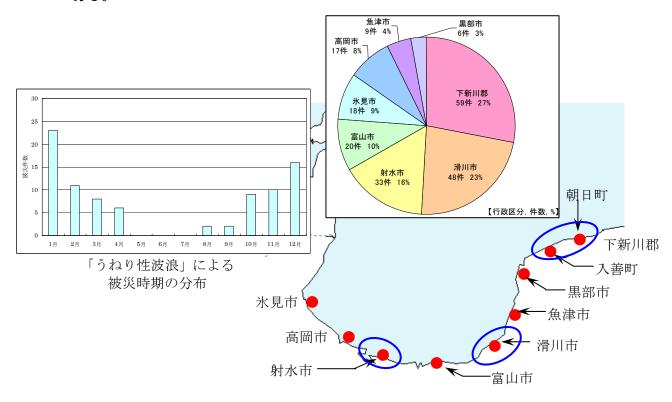
「うねり性波浪」の特性について、既往文献等から次のことがわかった。

- 北海道付近に発達した低気圧が進行することにより、間宮海峡から北海道西方海上にかけて気圧傾度が異常に強まり、北ないし北東の強風が連吹するとき、この強風により発生した風浪がうねりとなって日本海を南下し、富山湾に入って「寄り回り波」となる。
- ・ 「寄り回り波」は富山湾内のどこでも見られる訳ではなく、入善、滑川、新湊(射水市)、伏木(高岡市)、氷見等特定の海域で見られる。これは富山湾内の複雑な 海底地形によって波が変形するためである。

(2) 既往災害の記録と分析

既往災害の記録を解析することにより、次のことがわかった。

- ・ 「寄り回り波」による被災は、10月~3月に多く発生する。
- ・ 「寄り回り波」による被災がよく発生する場所は、下新川郡、滑川市、射水市である。



(で囲んであるのは「寄り回り波」による被災が多い地域) 「うねり性波浪」による被災地域の分布

図 1.2.1 「うねり性波浪」による被災の分析

2.1 「うねり性波浪」の特性

2.1.1 「寄り回り波」の定義

「寄り回り波」は富山湾とその周辺でみられる「うねり性波浪」で以下のような特徴 を持つものである。

【発生時期】10月~3月

【有義波高】3~5m程度

【有義周期】10~12 秒程度

(「寄り回り波と海難」,吉田・石森・加藤(河合),日本航海学会誌航海第87号,1986年) この知見における波の波高・周期については田中海岸沖(入善町)水深15mの地点に 設置された超音波式波高計による観測値に基づいているが、波高計の設置場所(設置水 深)により有義波高等の値は相当変化するので注意が必要である。

2.1.2 既往文献による「うねり性波浪」の特性の整理

寄り回り波に関する論文、報告書、資料を整理する。

(1) 収集資料(文献)一覧

収集した文献の一覧を表 2.1.1 に示す。

文献名 著者 雑誌、発行所等 1 磯崎一郎 財団法人日本船舶職員養成協会 波浪学入門 2 本間仁 編 3 磯崎一郎 海岸防災 1971 富山湾の沿岸波浪特性(第1報) 1972 富山湾の沿岸波浪特性(第2報) 共立出版株式会社 防災科学技術総合研究報告,第25号 防災科学技術総合研究報告,第28号 4 磯崎一郎·太田芳夫 5 土屋義人·山口正隆·芝野照夫·矢 1976 海岸波浪の変形に伴う波浪の地域分布特性 第23回海岸工学講演会論文集 1987 富山湾の海難と寄り回り波 6 吉田清 海難防止資料 1989 日本海 主として北陸海域 7 財団法人日本気象協会 財団法人日本気象協会 8 磯崎一郎・齋藤勝也 財団法人日本気象協会 1991 日本海の波浪特性 9 国土交通省北陸地方整備局 10 内藤信二·歌川紀之·西村仁嗣·武若聡 けんせつほくりく、No336、1997年12月号 土木学会第54回年次学術講演会論文集 1997年12月号 1997 1999 日本海の沿岸における寄り回り波の性状に関する研 1998 富山湾における特異波浪「寄り回り波」の予測に関す 11 畑田佳男・山口正隆 1998 愛媛大学工学部紀要, 第17巻 切れ目のない連続観測とスペクトル周期帯表示によ 12 永井紀彦・額田恭史・岩崎峯夫・久高将信 2002 土木学会海洋開発論文集 第18巻 13 国土交通省北陸地方整備局新潟港湾技術調査事務所 平成16年度沿岸波浪算定調査報告書 FINAL REPORT OF JERS-1/ERS-1 SYSTEM On the Image of the 'Yorimawari-nami' by Synthetic 14 Shigeki Ishimori, Masashi Kawai and etc 1995 VERIFICATION PROGRAM, Vol.2, pp.216-225 Aperture Radar ウム 富山湾の環境をくはかる> 15 石森繁樹 2000 宇宙から富山湾の波をくはかる> 料集, 富山技術開発財団

表 2.1.1 収集した文献一覧

(2)各資料の概要 【巻末資料】

各資料の概要は巻末資料に示す。

なお、巻末資料には日本航海学会に投稿予定の「寄り回り波とその対策」(河合雅司) の概要についても記載している。

2.2 既往災害の記録と分析

過去に発生した施設被災関連の資料をもとに、「寄り回り波」が原因で港湾施設、海岸施設等に被災が発生したと考えられる事例を分析・抽出して整理する。

2.2.1 収集資料一覧

富山湾沿岸で発生した過去の災害に関する資料を収集する。収集する資料を表 2.2.1 に示す。

表 2.2.1 収集資料一覧表

番号	著者	発行年	文献名	備考,発行所等
1	運輸省第一港湾建設局 新潟調査設計事務所	1984	局地波浪分析調査 報告書	
	富山県		港湾・海岸構造物被災施設に関する調査票	昭和62年災
				昭和63年災
				平成2年災
2				平成3年災
				平成7年災
				平成9年災
				平成16年災
3	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	財団法人日本気象協会
4	運輸省第一港湾建設局 新潟調査設計事務所	1998	平成9年度富山湾波浪特性分析調査 報告書	
5	国土交通省北陸地方整備局		平成16年発生伏木富山港直轄港湾災害の概要	平成16年災
6	富山県	2004	災害報告 (No. 2) 変更, 気象状況調書	
7	富山県	2006	災害速報 (No. 2) , 気象状況調書	
8	本間仁		海岸防災	共立出版株式会社

2.2.2 被災出現月の整理

収集した資料から、1954年~2006年までに発生した波浪・高潮による被災の月別件数を図 2.2.1に示す。そのうち、「うねり性波浪」が原因となった被災の月別件数を図 2.2.2に示す。

波浪・高潮による被災は厳冬期や台風時期に多く、「うねり性波浪」が原因となったものは厳冬期に多いことがわかる。以下、台風などによる「うねり性波浪」を含め、「寄り回り波」と呼ぶ。

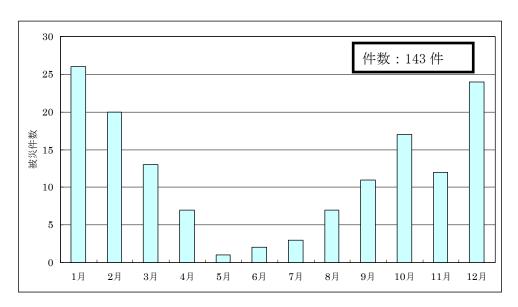


図 2.2.1 被災の月別件数

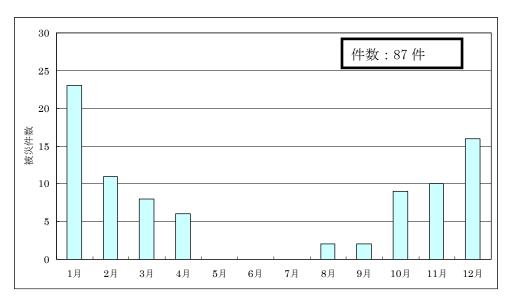


図 2.2.2 「うねり性波浪」による被災の月別件数

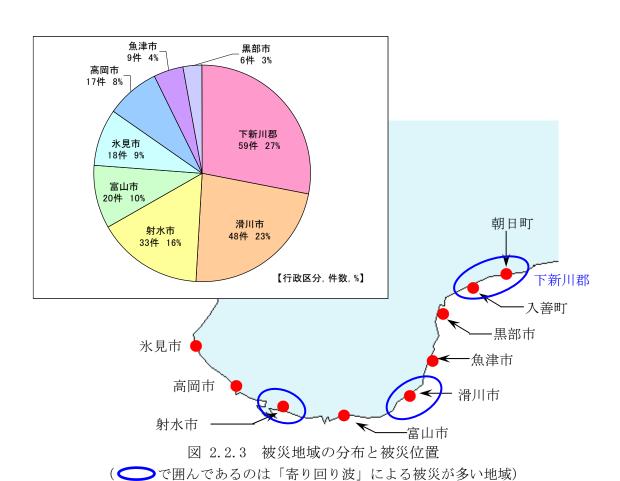
2.2.3 「寄り回り波」による被災地域の分析

「寄り回り波」により被災した地域を表 2.2.2 に示す行政区分に従って分類した結果 を図 2.2.3 に示す。行政区分に従った分類の際に、地域名が明確なもののみを件数に加える(例えば、「伏木方面沿岸一帯」は伏木と判断し高岡市に加算、「越中一帯」や「富山湾一帯」など地域を特定できない被災の場合は除外、延べ 210 箇所)。

地域別では、下新川郡、滑川市での被災が多くなっている。

行政区分 地域分類 下新川郡 下新川, 入善, 朝日, 宮崎, 泊, 飯野, 大屋, 吉原, 境, 八幡 黒部,新川,生地 黒部市 魚津市 魚津,加積,経田 滑川市 滑川,水橋,高月,吉浦 富山市 富山, 早月, 四方, 打出, 倉垣 射水, 新湊,放生津, 海老江, 堀岡, 越の潟 射水市 高岡市 高岡, 伏木, 伏木富山, 国分 氷見,中田,小境 氷見市

表 2.2.2 行政区分一覧



2.2.4 「寄り回り波」による被災の種類の分析

「寄り回り波」により被害を受けた施設を表 2.2.3 の分類にしたがって累計する。「その他」には、物揚場、船揚場、防砂堤の破損や被災後に航路の浚渫を行った事例等が含まれる(延べ83件)。

被災した施設毎の被災頻度は図 2.2.4 に示すとおりである。護岸、堤防での被災が多く、被害が広範囲の海岸に及んでいることがわかる。

被災施設分類 護岸 堤防(石堤) 防波堤 離岸堤(副離岸堤) 道路 突堤 波除堤 その他

表 2.2.3 被災施設分類

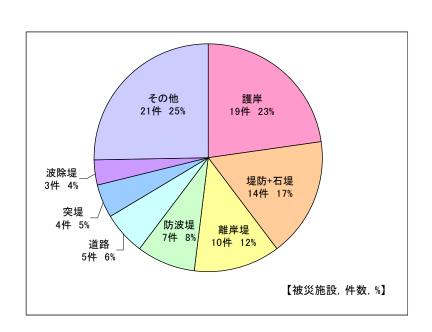


図 2.2.4 被災施設

2.2.5 近年の代表的な被災事例(昭和62年以降)

【巻末資料】

近年の代表的な被災事例について、被災地位置図及び状況写真を巻末資料に示す。

3. 「寄り回り波」の特性解明と被災メカニズム

平成20年2月24日に富山湾に大きな被害をもたらした「寄り回り波」について、その波浪を再現し、伏木富山港(伏木地区)における被災のメカニズムを解明する。

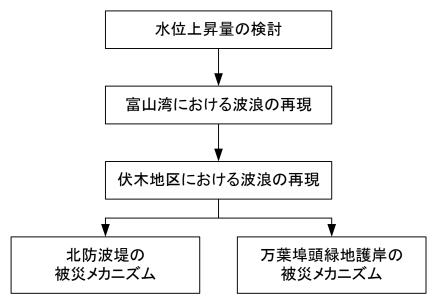


図 2.2.1 「寄り回り波」の特性解明の検討フロー

(1) 長周期波による水位上昇量

波高および潮位の観測結果の解析により、次のことがわかった。

・伏木地区における被災時の最高水位は、ベースとなる潮位 D. L. +0. 21mに長周期波高 0. 427mが加わった D. L. +0. 637mと推定できる。

(2) 富山湾における波浪の再現

富山湾における波浪の再現計算により、次のことが明らかとなった。

- ・被害の大きかった入善町では、外洋からの波浪の影響を直接受けるため、波高が高くなる。
- ・富山湾の湾奥部では、「あいがめ」等の複雑な海底地形の影響により、局地的に波高 が高くなる場所がある。

(3) 伏木地区における波浪再現

伏木地区における波浪の再現計算により、次のことを確認できた。

- ・現況再現計算により、高波浪箇所と被災箇所(B区間およびD・D'区間)がおおむね一致することが確認できた。
- ・北防波堤前面の被災波の波高は、現設計の設計波の波高を上回っていたことが明ら かとなった。

(4) 北防波堤の被災メカニズム

北防波堤の被災メカニズムについて次のことがいえる。

- ・被災波の波高が設計波(現設計)の波高を上回ったことが、主な被災原因であると考えられる。
- ・被災は、(1) 想定を超える高波浪の来襲(水位も上昇)、(2) 消波ブロックが徐々に沈下し、堤体にかかる波圧が増大、(3) 堤体の滑動安全率が 1.0 を下回り、堤体が港内側に滑動、というメカニズムで生じたと推定される。

(5) 万葉埠頭緑地の被災メカニズム

万葉埠頭緑地の被災メカニズムについて次のことがいえる。

- ・護岸背後の被災状況から、越波した波および被災当日の打込み波圧と水位上昇によって堤体背後が被災したと考えられる。
- ・北防波堤を 150m延伸することにより、護岸前面の各区間の最大有義波高を現況(北 防波堤が 1,500mのとき)と比べて 4割~5割程度減少することができると考えら れる。

3.1 長周期波による水位上昇量

被災時の伏木地区の水位は、潮位に長周期波による水位上昇が加わることにより、通常よりも高くなっていたと推定される。そこで、伏木富山港検潮所の潮位観測結果と富山地区および伏木地区の波浪観測データを用いて、伏木地区における長周期波による最大水位上昇量を算定する。長周期波による水位上昇量の算定フローを図 3.1.1 に示す。

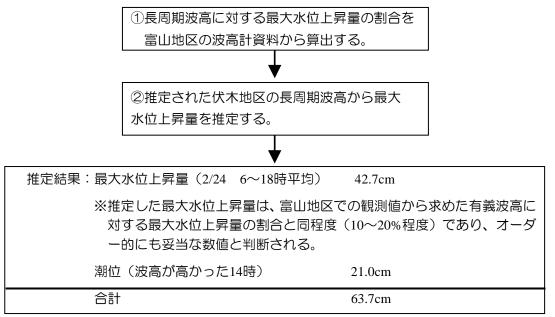


図 3.1.1 長周期波による水位上昇量の検討フロー

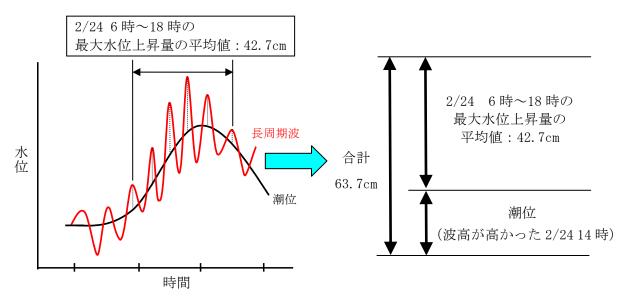


図 3.1.2 潮位と長周期波による水位上昇のイメージ

3.2 富山湾における波浪の再現

エネルギー平衡方程式により富山湾全体の波浪変形計算を実施し、富山湾における寄り回り波の地域特性を把握する。

3.2.1 再現目標の設定

再現目標は、富山湾内で最大有義波高を観測した平成20年2月24日16時の波浪とする。ただし、輪島と富山湾内では、伝播距離が異なるので輪島についてはタイムラグを 考慮して2時間前の平成20年2月24日14時を対象とする。

(1) 輪 島 : H_{1/3}=6.22m、T_{1/3}=13.3s (2/24 14 時)

(2) 伏 木 : H_{1/3}=4.04m、T_{1/3}=14.2s (2/24 16 時)

(3) 富 山 : H_{1/3}=9.92m、T_{1/3}=16.2s (2/24 16 時)

3.2.2 計算条件

(1) 計算モデル

波浪変形計算は、富山湾のような広い範囲の計算に適した「波の回折を考慮したエネルギー平衡方程式」により実施する。

領域項目	能登半島を含む富山湾
計算格子間隔	広領域(能登半島を含む富山湾):200m 狭領域(輪島港周辺,富山湾内): 25m
基礎方程式	波の回折を考慮したエネルキ [*] -平衡方程式 ^{**} (回折影響係数 κ =2.5)
周波数分割	10 分割
方向分割	36 分割

表 3.2.1 計算条件一覧

※「波の回折を考慮した多方向不規則波の変形モデルに関する研究」, 土木学会論文集No.628 Ⅱ-48, 1998年, 間瀬肇・高山知司・国富將嗣・三島豊秋

(2) 計算領域

計算領域を図 3.2.1 に、計算水深を図 3.2.2 に示す。計算水深は次の資料をもとに作成した。

- 海の基本図(6312(昭和55年)、6331(昭和45年)、6332(昭和46年)、6333(昭和45年)、6334(昭和45年)、6335(昭和49年))
- 海図(1162A(昭和39年および平成15年)、1183(平成13年))
- 伏木地区深浅測量結果(平成15年)、富山地区深浅測量結果(平成15年)
- · 港湾計画図(平成17年)

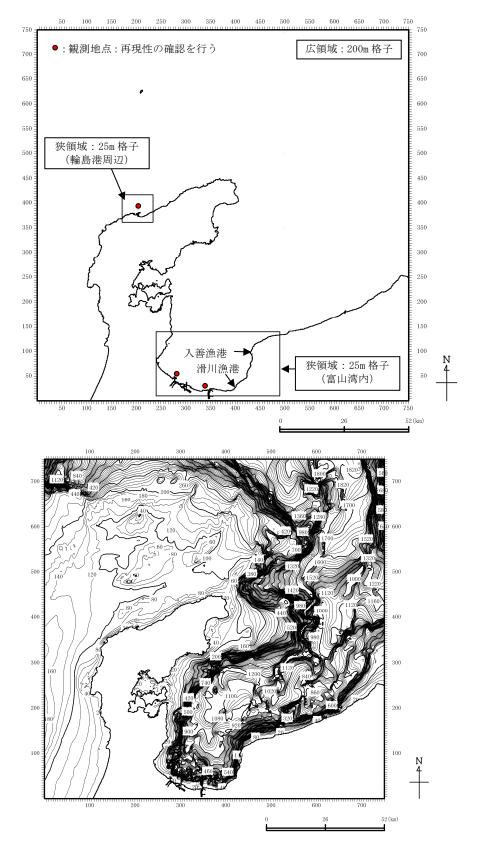


図 3.2.2 計算水深図

3.2.3 再現計算

(1) 波浪条件

再現計算の結果、再現性の高い波浪条件は表 3.2.2 に示すとおりである。潮位については、 $D.L.+0.0m\sim D.L.+0.64m$ で感度分析計算を実施し、最大で波高 5cm 程度の差であることを確認している。

表 3.2.2 推定される沖波条件

(2) 再現性の確認

最も再現性が高い波浪条件(表 3.2.2)における波浪変形計算結果を表 3.2.3に示す。 再現性について次のことがいえる。

- ・ 輪島と伏木地区は、波高・周期ともに比較的よく一致している。
- ・ 富山地区は、周期の再現性は高いが、波高については計算値の方が 2.2m 程度低い。 その原因としては、他地区より水深が浅いことが推測され、さらに水深データの 精度により結果が大きく異なることが考えられる。
- ・ 3地点の観測値の波高・周期の傾向は計算値にあらわれており、富山湾全体の再現性の確認ができた。

		輪島			伏木		富山		
項目	H1/3 (m)	T1/3 (s)	波向 (°)	H1/3 (m)	T1/3 (s)	波向 (°)	H1/3 (m)	T1/3 (s)	波向 (°)
観測値	6.22	13.3	-	4.04	14.2	_	9.92	16.2	_
計算値	6.01	14.1	19.5	4.14	13.8	31.5	7.71	16.1	18.6

表 3.2.3 観測値と計算値の比較

3.2.4 富山湾における寄り回り波の特性

(1) 富山湾全域

富山湾全体の波高および波向分布を図 3.2.3 に示す。被害の大きかった入善町付近では、外洋からの波浪の影響を直接受けるため、波高が高くなっている。また、富山湾の湾奥部では、「あいがめ」等の複雑な海底地形の影響により、局地的に波高が高い場所がある。

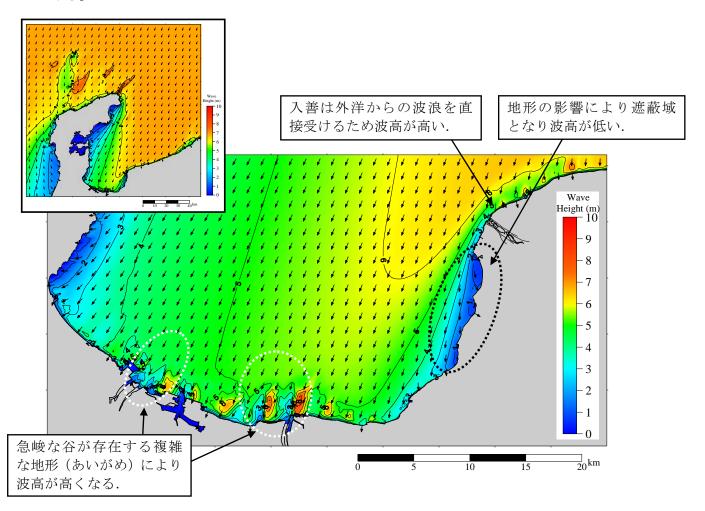


図 3.2.3 富山湾における有義波高・波向分布

(2) 伏木地区および富山地区

伏木地区〜新湊地区と伏木地区の波高、波向分布および水深図を図 3.2.4、図 3.2.5 に示す。伏木地区の被災箇所では波高が高くなっている。港湾の前面においては、20m~100mを境に「あいがめ」と呼ばれる急峻な谷の地形を形成している。岬状の海底地形の場所では、屈折・浅水変形の影響で波浪が集中している。

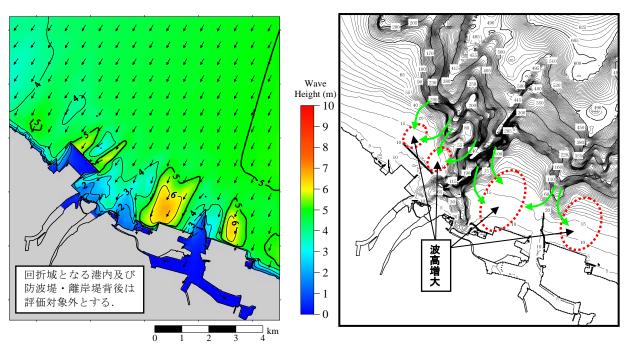


図 3.2.4 有義波高、波向分布図(左)および水深図(右)(伏木・新湊地区)

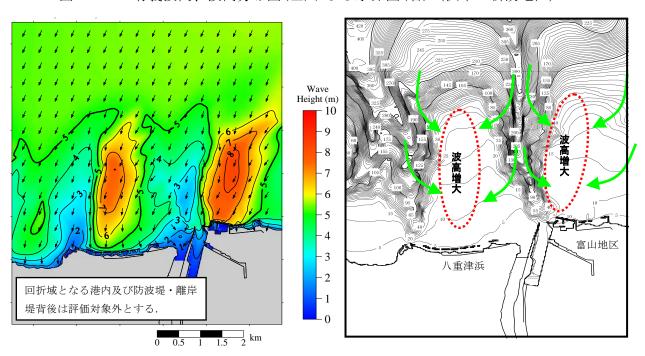


図 3.2.5 有義波高、波向分布図(左)および水深図(右)(富山地区)

3.3 伏木地区における波浪の再現

被災時の状況を把握するために、ブシネスクモデルにより伏木富山港(伏木地区)に おける波浪変形計算を実施する。

3.3.1 波浪計算手法

伏木地区における波浪の再現計算は、港湾周辺のような比較的狭い範囲の波浪を詳細に検討することができる、ブシネスクモデル ((独)港湾空港技術研究所が開発している NOWT-PARI ver. 4.6c5a(平成 20 年最新版)) を用いて実施する。

ブシネスクモデルは、港内外の波浪変形を同時にかつ高精度に算定する最新の計算手法として、近年、その有用性が広く注目されている波浪計算手法である。(独)港湾空港技術研究所によるブシネスクモデルは、NOWT-PARI ver4.6 β が 2001 年度から配布されており、伏木富山港(伏木地区)の港湾計画関連の波浪計算においても 2001 年度から順次導入されている。ブシネスクモデルと他の波浪計算手法との適用範囲の比較を表 3.3.1 に示す。

表 3.3.1 波浪変形計算法(計算モデルの基礎方程式)の適用範囲1

分類	波浪変形計算手法		屈折	浅水変形	砕波	回折	反射	海浜流	水位上昇	有限振幅性	分散性	多方向性
屈折系	①波向線法	0	0	0	×	×	×	×	×	×	×	×
出り不	②エネルギー平衡方程式	\circ	0	\bigcirc	0	\triangle	0	×	×	×	×	\circ
回折系	③ゾンマーフェルト解による 解析解法	×	×	×	×	0	0	×	×	×	×	0
凹切术	④ヘルムホルツ方程式	X	×	×	×	0	0	×	×	×	×	0
	⑤高山法		×	×	×	0	0	×	×	×	×	0
屈折・	⑥数值波動解析法	0	0	0	×	0	0	×	×	×	×	×
回折系	⑦ブシネスク方程式	0	0	0	0	0	\triangle	0	0	0	0	0

(砕波)②:砕波減衰項によって波高をエネルギー的に減衰させる

⑦:砕波減衰項によって運動流速を減衰させることにより波高を減衰させる

(回折)②:理論的な考慮はないが、数値分散により実用上問題のない結果が得られることが多い

(反射) ⑦:部分反射(完全反射と無反射の中間的な反射率を有する反射)の取り扱い方に改善が必要である

¹ 平山克也(2002): 非線形不規則波浪を用いた数値計算の港湾設計への活用に関する研究、港湾空港技術研究所資料 No. 1036.

3.3.2 計算条件

(1) 計算条件

本検討に用いる主な計算条件を表 3.3.2 に示す。また、計算水深を図 3.3.1 に示す。 伏木地区における波浪変形計算においては、「あいがめ」と呼ばれる複雑な海底地形を十 分に考慮できるように計算領域および水深を設定する。

表 3.3.2 主な計算条件

項目	計 算 条 件
計算対象域	伏木外港の港外および港内
沖側境界条件	修正 JONSWAP 型スペクトル
港内反射率	直立壁 : 1.0 スリットケーソン: 0.8 消波ブロック : 0.5
計算格子間隔	10 m
計算時間間隔	0.02 秒
積分時間	$100T_{1/3}$
沖側最大水深	150m
最低水深	2.0m
計算潮位	D. L. +0. 637 m

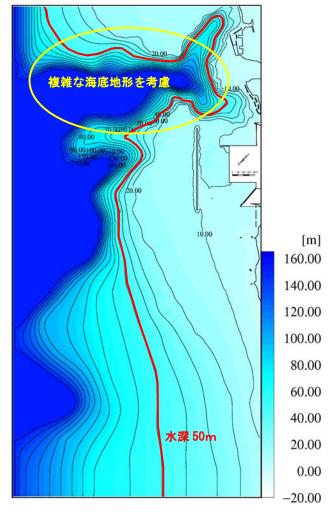


図 3.3.1 計算水深図

(2) 波浪条件

1) 波浪観測結果にもとづいた入射波スペクトルのパラメータッの設定

観測波浪のスペクトル解析を実施して、入射波浪の JONSWAP スペクトルのパラメータ γ を設定する。被災時(14 時~18 時)の JONSWAP スペクトルのパラメータ γ は 3. 3 前後 であったことから波浪計算に用いる γ は 3. 3 とする。また、高波浪期間の γ の最大値が 10. 0 程度であったことから、 γ =10. 0 についても検討を実施する。

2) 現況再現計算による入射波浪の設定

波浪観測地点の波高を再現するために、ブシネスクモデルによる現況再現計算を実施した。潮位条件は、仮の潮位として D. L. +0.7mを使用し、現況再現計算における波高の合わせ込みは2回実施し、2回目の合わせ込み時には反射なしの条件による波向の確認もあわせて実施した。現況再現計算結果(入射波浪条件)を表 3.3.3 に示す。

現況再現計算の結果、波浪観測地点の波浪を波高±0.1m、波向±2°程度の精度で表現することができた。

表 3.3.3 現況再現計算結果 (波高は反射あり、波向は反射なしの条件で算定)

計算ケース			-		波浪観測地点			
波浪諸元	合わせ込み	波高 (m)	周期 (秒)	波向 (°)	Smax	γ	波高 (m)	波向 (°)
波向 22.5°, γ 3.3	1回目	4. 42	14. 2	N17. 5	75	3. 3	4. 28	_
波向 22.5°, γ10.0	2回目	4. 53	14. 2	N17.5	75	10.0	4. 21	N22
波向 40.0°, γ 3.3	2回目	4.08	14. 2	N39. 5	75	3.3	4. 27	N38
波向 40.0°, γ 10.0	2回目	4. 02	14. 2	N39. 5	75	10.0	4. 23	N38

再現目標:波高 4.22m

3.3.3 伏木地区における「寄り回り波」の特性

伏木地区における被災時の波浪特性を把握するために、反射波を含めた被災時の波浪 の再現計算を実施した。伏木地区における被災時の波浪計算結果を図 3.3.2 に示す。

富山湾における波浪の再現計算の結果、伏木富山における波向は 31.5° であることから、伏木地区における計算波向は被災期間における波向の変化幅を考慮して 22.5° および 40.0° の 2 ケースとする。

(1) 波向 22.5°

- ・ 北防波堤の東端のA区間および西側のD区間(西側)~E区間で波高が高くなる傾向にある。
- 特に、被災しているD区間の西側では、波高が非常に高くなっている。
- ・ γ 10.0 は γ 3.3 よりも波浪の収束傾向が強まっており、反射波(重複波)の分布も強く出る傾向にある。

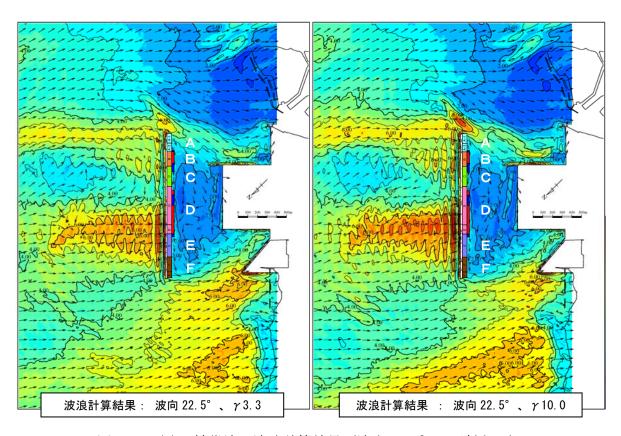


図 3.3.2(1) 被災波の波浪計算結果(波向 22.5°、反射あり)

(2) 波向 40.0°

- ・ 北防波堤の東端の $A \sim B$ 区間および西端の $E \sim F$ 区間で波高が高くなる傾向にある。
- ・ 被災しているB区間前面では、波向22.5°よりも波高が高い。
- ・ γ 10.0 は γ 3.3 よりも波浪の収束傾向が強まっており、反射波(重複波)の分布も強く出る傾向にある。

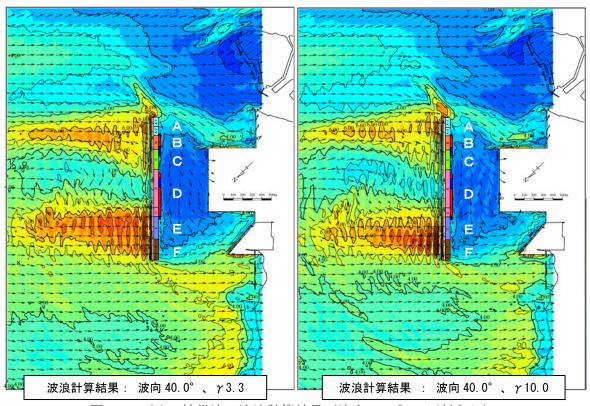


図 3.3.2(2) 被災波の波浪計算結果(波向 40.0°、反射あり)

(3) まとめ

波浪変形計算の結果、高波浪箇所が被災箇所とおおむね一致していることが確認された。この結果を踏まえて、被災要因の検討のための進行波の検討を実施する。

3.4 北防波堤の被災メカニズム

3.4.1 現設計の整理

北防波堤の被災要因を検討するにあたり、現設計について整理する。

被災のあった $B\sim D\cdot D$ '区間と被災のなかったその両隣のA, E区間の設計条件一覧を表 3.4.1 に示す。また、区間割り平面図を図 3.4.1 に、 $B\sim D$ 区間の構造断面を図 3.4.2 に示す。

区間 $D \cdot D'$ \mathbf{C} A-2 \mathbf{E} В A-1 区間延長(m) 240 495 210 150 90 100 設計波高 H1/3 (m) 6.4 5.85.3 5.3 6.0 6.0 設計周期 T_{1/3} (sec) 12.0 12.0 12.0 12.0 12.0 12.0 入射角 β (°) 0 0 0 0 0 0 設計水深(m) -10.5 -10.5 -10.5 -11.5 -12.0 -13.0 マウンド水深(m) -8.0 -8.0 -8.0 -8.5 -9.0 -10.0 設計天端高(m) +4.5+4.0 +4.0 +4.0+4.5+4.5後部 前面 前面 前面 前面 前面 上部工構造 パラペット パラペット パラペット パラペット パラペット パラペット 消波工構造(t/個) 16 25 20 25 3225設計年月 H9.3 H2.3 S63.11 H4.10 あり あり あり 被災状況 なし なし なし (最大1.2m滑動) (最大12.0m滑動) (最大4.0m滑動)

表 3.4.1 設計条件一覧

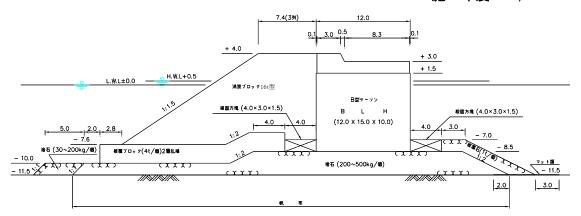


1					伏木(北)防波堤 1,500m				-1
	F'区間 60m	F区間 155m	E 区間 240m	D '区間 95m	D 区間 400m	C 区間 210m	B 区間 150m	A-2区間 90m	A-1区間 100m

図 3.4.1 北防波堤の設計区間の区割り (平面図)

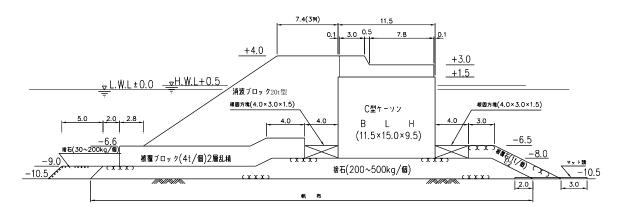
B区間

施工年度:H2, 6



C区間

施工年度:H2, 3



D·D' 区間

施工年度:H4, 5, 8, 9

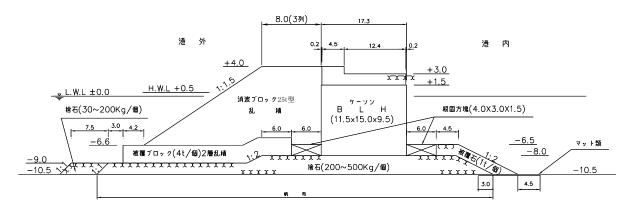


図 3.4.2 構造断面図 (B~D区間)

3.4.2 北防波堤前面の波高の算定

伏木地区の波浪特性の把握と同様の方法で、被災波の進行波の堤前波高を算定した。 北防波堤の波高分布特性を図 3.4.3 に示す。

北防波堤前面における被災波の波高は、現設計の設計波の波高を上回り周期も長くなっており、これが被災要因となったと考えられる。

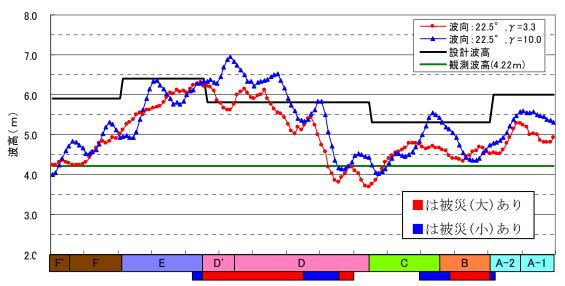


図 3.4.3(1) 北防波堤前面の波高分布(波向 22.5°、堤体前面 25m地点、進行波)

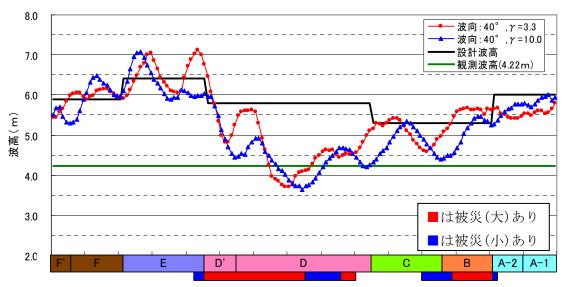


図 3.4.3(2) 北防波堤前面の波高分布(波向 40.0°、堤体前面 25m地点、進行波)

3.4.3 北防波堤の被災メカニズム

これまでの検討から、北防波堤の被災メカニズムは次のように考えられる。

北防波堤の被災メカニズムのイメージ図

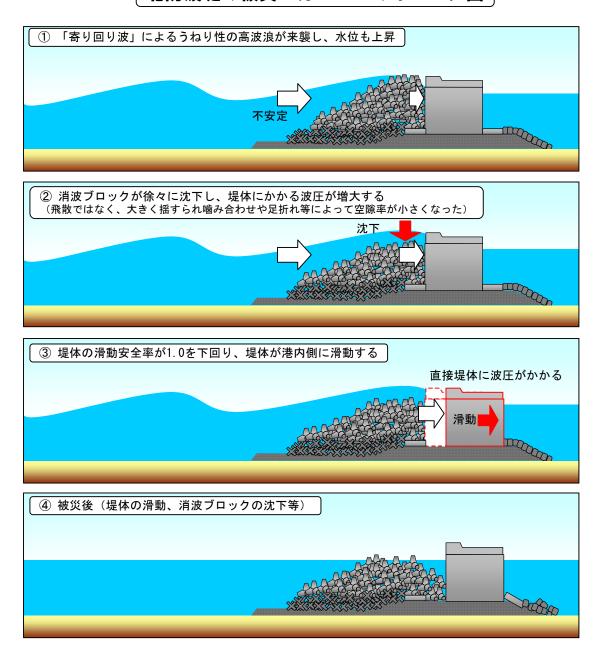


図 3.4.4 北防波堤の被災メカニズム (イメージ図)

3.5 万葉埠頭緑地の被災メカニズム

万葉埠頭緑地の被災原因を検討するため、平成20年2月24日に発生した被災時の波を沖波として用いて、ブシネスクモデルにより護岸への来襲波を算定し、その波高を用いて波高を用いて越波流量、越波水、吸い出しについて検討する。

3.5.1 対象位置

対象位置(万葉埠頭緑地)を図 3.5.1 に、縦断図を図 3.5.2 に示す。

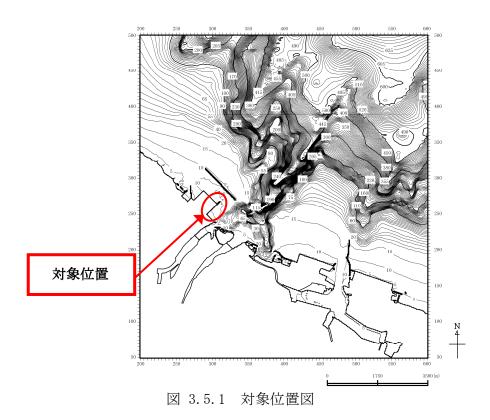


図 3.5.2 万葉埠頭緑地護岸縦断図

3.5.2 施設概要

万葉埠頭緑地護岸は3区間5断面で施工されている。1断面(A-1)を図 3.5.3に示す。 (【巻末資料】各工区 断面)

A-1 護岸

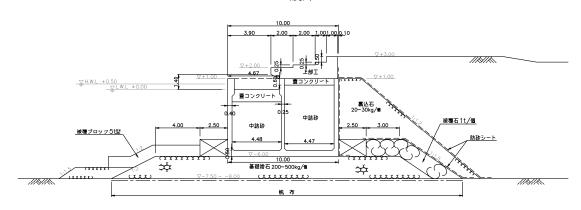


図 3.5.3 緑地護岸標準断面(A-1)

3.5.3 被災のメカニズムの検討

(1) 越波流量の算定

被災時における緑地護岸背後への越波量を算定し、緑地の被災状況を把握する。

1) 算定条件

【算定方法】

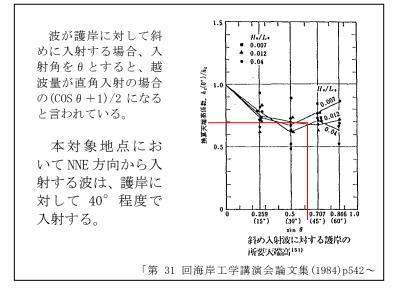
越波量は、不規則波実験に基づいて作成された越波流量曲線「港湾の施設の技術上の 基準・同解説(上巻)p.120港湾基準」により算定することとする。

また、ブシネスクモデルによる 波浪解析結果より、各護岸に入射 する波高は岸壁法線に対して 40° 程度傾いている。本検討では、右 図に示す斜め入射を考慮し越波流 量の算定を行うこととする。図よ り斜め入射による低減効果を、 hc(0)'/hc=0.7とする。

【潮位】

D. L. +0.7mとする。

【波高】



ブシネスクモデルの波浪推算結果より堤前における有義波高と設計水深から換算沖波 波高(Ho')を逆算し越波流量の計算に用いることとする。各区間の堤前における換算沖 波波高を右図に示す。

【海底勾配】

海底勾配は、「水深換算沖波波高比 h/H0'が 1.5~2.5 の範囲における平均海底勾配を用いることが適当である」「港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻) P120 港湾基準」より求めることとするが、A-1 区間~A-2-3 区間の前面は水深が深いことから、上記範囲により求めることができない。但し A-3 区間においては上記区間から 1/40 を算定することが可能である。また、越波流量を算定する際に用いる越波流量曲線は、1/10 または 1/30 グラフのどちらか一方を使用するため、本地点においては 1/30 のグラフを利用して許容越波流量を算定することとする。

【許容越波流量】

護岸背後の状況より、被災限界の越波流量を $0.05 (m^3/m \cdot s)$ 、設計時の許容越波流量を $0.02 (m^3/m \cdot s)$ とする。

表一参4.6.2 被災限界の越波流量

NO 20	被 覆 工	超波流量(m ¹ /m·s)
後岸	背後舗装済み 背後舗装なし	0.2 0.05
晁 防	コンクリート三面巻き 天曜舗装・裏法未施工 天曜舗装なし	0,05 0.02 0,005BF

港湾の施設の技術上の基準・同解説 (上巻) P120 港湾基準」

2) 算定結果

各施設の越波流量を表 3.5.1 に示す。

表 3.5.1 越波流量

	544- 5afs	潮位	沖波周期	換算沖波波高	越波流量	許容越波流量
区間	港湾形状	(m)	T(sec)	Ho'(m)	q(m³/m·sec)	0.05
A-1	現況	0. 7	14. 2	3. 18	0. 0883 0. 1336	設計値以上 設計値以上
A-2-1	現況	0. 7	14. 2	3. 16	0. 0585 0. 0934	設計値以上 設計値以上
A-2-2	現況	0. 7	14. 2	3. 02	0. 0395 0. 0163	設計値以下 設計値以下
A-2-3	現況	0. 7	14. 2	3.00	0. 0062 0. 0008	設計値以下 設計値以下
A-3	現況	0. 7	14. 2	4. 20	0.0006 0.00004	設計値以下 設計値以下

(2) 越波水による打ち込み波圧と越流圧の検討

越波水の検討被災時の波により、上部工上面やその背後舗装上面に作用した打ち込み 波圧と、越流により発生した圧力について試算する。

1) 算定条件

越波水の算定は、「混成防波堤上の越波水の運動と波力に関する実験的研究(港研報告 第31巻 第1号)」に記載の式を用いて算定することとする。

2) 計算結果

計算結果を表 3.5.2 および図 3.5.4 に示す。

表 3.5.2 堤体背後に作用する波圧

		- 211117	. , , , , , , , ,	.,			
		堤体背後に作用する波圧					
		P1	P2	L			
		(kN/m^2)	(kN/m^2)	(m)			
A-1	越流時	62. 23	24. 89	10. 17			
A-1	打ち込み時	0.00	50. 18	12. 22			
A-2-1	越流時	70. 51	28. 21	11. 52			
A-Z-1	打ち込み時	0.00	50.62	13. 61			
A-2-2	越流時	57. 48	22.99	9.39			
A 2 2	打ち込み時	0.00	43. 34	13. 50			
A-2-3	越流時	20. 32	8. 13	3. 32			
A 2 3	打ち込み時	0.00	33.00	11.87			
A-3	越流時	20.46	8. 19	3.35			
A-9	打ち込み時	_	-	_			

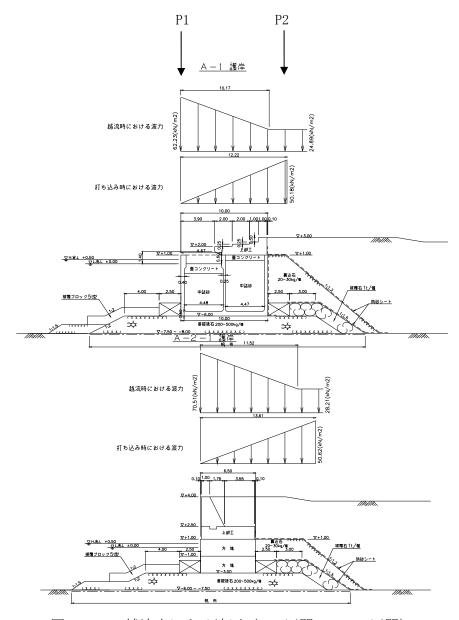


図 3.5.4 越波水による波圧 (A-1 区間、A-2-1 区間)

被災時の波による越流時及び打ち込み時の波圧は、堤体背後の舗装部まで作用している。この作用する波圧により舗装に $9kN\cdot m^2 \sim 70~kN\cdot m^2$ の大きな圧力が発生した。景観を重視した親水緑地のインターロッキング舗装などは、外力に対して抵抗力が小さいため、破壊したと考えられる。

作用する波圧に対する限界荷重以内にするため、水叩きコンクリート等にする必要があると考えられる。

3.5.4 北防波堤延伸(東側ハネ部 150m)の効果

北防波堤は、伏木地区の港内静穏度を確保するために設置されている。現在、これを 東側に 150m延伸し、静穏度をより高める計画がある。その副次的効果として、護岸前 面の波高を現況(北防波堤が 1500mのとき)に比べ各区間の最大有義波高を 4~5 割程 度減少することができると考えられる。

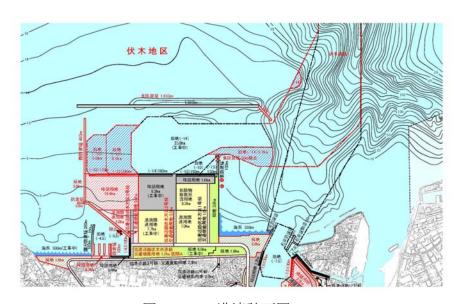


図 3.5.5 港湾計画図

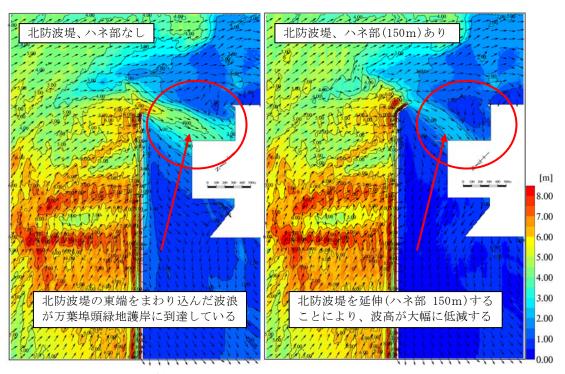


図 3.5.6 被災波の波浪計算結果 (左:ハネ部なし、右:ハネ部あり、波向 NNE、進行波)

3.5.5 まとめ

- 被災時の波による護岸越波量を算定すると A-1 区間、A-2-1 区間において許容越波 q=0.05m³/m·sec 以上の越波量となった。
- ・ 護岸背後の被災状況から越波した波による流れや打ち込み波圧と水位上昇によって堤体背後が被災したと考えられる。
- ・ 北防波堤を 150m 延伸することにより、護岸前面の波高を現況 (北防波堤が 1,600m の時) に比べ各区間の最大有義波高を 4~5 割程度減少することができる。

4. 今後の対応策

4.1 設計波浪の考え方

(1) 設計波浪条件

伏木地区北防波堤では、再度災害を防止する観点から、図 4.1.1 に示すとおり、従来 の 50 年確率波と今回の被災波を比較検討して設計する。また、被災時の潮位も考慮する。

(2) 安定性の照査フロー

北防波堤の設計における安定性の照査フローを図 4.1.1 に示す。

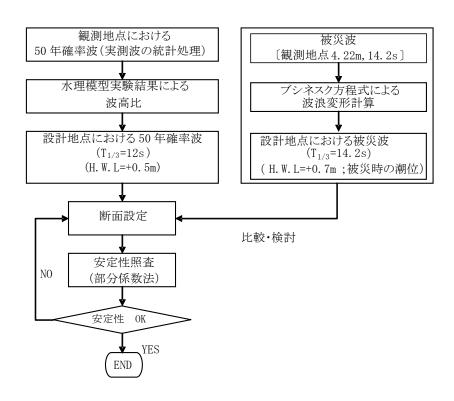


図 4.1.1 安定性の照査フロー

4.2 被災施設の復旧

4.2.1 北防波堤の復旧方法

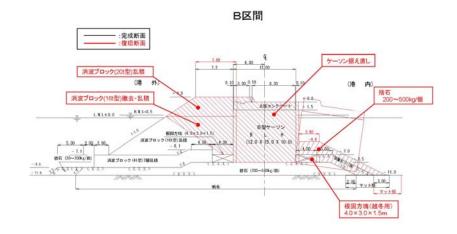
(1) 復旧の方法

再度災害防止の観点から以下の対応とした。

- ① 消波ブロックの沈下が消波ブロック高さの 1/3~2/3 程度以上認められる範囲 →消波ブロックのランクアップによる対応
- ② ケーソンが港内側へ滑動し、基礎捨石から外れ、据え直しが必要な範囲(4函) →ケーソンを据え直し、滑動安全率を確保するため港内側を捨石で補強することに よる対応
- ③ ケーソン本体が損傷した箇所 (ケーソン側壁、中詰工) →原形復旧
- ④ パラペットが損傷した範囲
 - →原形復旧

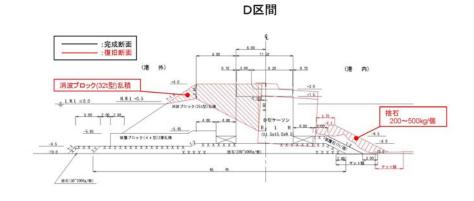
(2) 復旧断面

各設計区間の復旧断面を図 4.2.1~図 4.2.3 に示す。



C区間 消波ブロック(20t型)乱積 □ L W.L±0.0 □ H.W.L+0.5 消波ブロック(20t型)乱積 C型ケーソン B L H (11.5×15.0×9.5) 被覆ブロック(4t型)2層乱機 2.0 Ty his Ty his 抗石(200~500kg/個)

(30~200 k g/街)



4.2.2 万葉埠頭緑地の復旧方法

(1) 被災状況の整理

護岸の越波量及び越波時間が長かったため、緑地内に大量の海水が流れ込んだことから、緑地が洗掘して、大きな被害を受けたと考えられる。また、緑地背後の港湾関連用地へも浸水が拡がった。



図 4.2.4 万葉埠頭緑地の被災状況

(2) 復旧の方針

- (1) 再度災害防止の観点から、被災波(観測地点 4.22m、14.2 秒) を考慮する。
- (2) ブシネスク方程式による波浪変形計算により、設計地点における被災波(設計波) を算出する。
- (3) 越波で流入した海水を排水する。
- (4) 許容越波量を超える範囲を強化する。

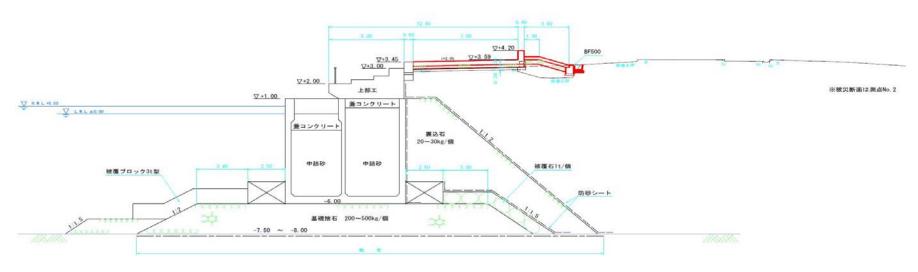
(3) 復旧の方法

- (1) 被災波でも越波量を抑えるために、護岸背後を嵩上げするとともに、許容越波量 を超える範囲は、コンクリート舗装で強化する。あわせて、コンクリート舗装は 海側へ勾配をつけ、すみやかに排水できるようにする。
- (2) 許容越波量以下の流入海水分は、水路で排水する。

(4) 復旧断面

万葉埠頭緑地の復旧断面を図 4.2.5 に示す。

A-1護岸



A-2-1護岸

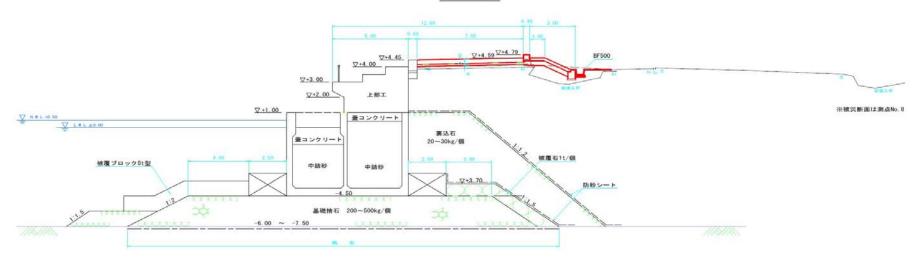


図 4.2.5 万葉埠頭緑地の復旧断面

5. 「寄り回り波」の予測

富山湾における「寄り回り波」災害に関しては、港湾・海岸施設の補強(ハード面) に併せて、事前に情報を把握し対処する(ソフト面)ことが有効と考えられる。そこで、 「寄り回り波」の予測に関して検証を実施する。

5.1 波浪観測等の状況

港湾工事の安全や沿岸防災、設計等に必要な気象、海象の基礎データの観測・配信システムは次のとおりである。

(1) NOWPHAS (ナウファス:全国港湾海洋波浪情報網)

NOWPHAS は我が国沿岸の波浪観測および情報ネットワークであり、全国約 60 地点において、365 日 24 時間連続リアルタイムで波高、周期、波向などの観測を実施している。



図 5.1.1 NOWPHAS による波浪観測地点

(2) COMEINS (カムインズ:沿岸気象海象情報配信システム)

ナウファス情報ならびに気象情報を用いて、次の情報を配信している。

・ 基本情報 : 海上風、ナウファス観測点での波浪予測

・ オプション情報 : 波浪ポイント予測、台風高波予測、潮位予報等

5.2波浪予測の課題と対応

寄り回り波の特性を踏まえ、予測においては次の3点の課題が考えられる。

1) 観測地点における波浪予測の精度向上

→ 当該地点周辺の観測値(ナウファス)をもとにデータ同化(補正)することにより 精度の高い長周期波の予測値を算出

(観測点が比較的浅い場合は、沖側の水深が大きい地点を仮想点として予測)

2) あいがめ等複雑な地形の効果を反映させる

→ 複雑な海底地形を考慮するため、より精度の高い浅海効果を算出

3) うねりの伝播経路における「うねり性波浪」の監視

(北海道西方海上で発達した「うねり成分」の監視)

→ 他地点のナウファスデータを監視することにより、富山湾への「寄り回り波」を事 前に把握



図 5.2 NOWPHAS による波浪観測地点(北日本)

「寄り回り波」の予測方法(案)について次のフローに示す。

「寄り回り波」予測フロー(案)

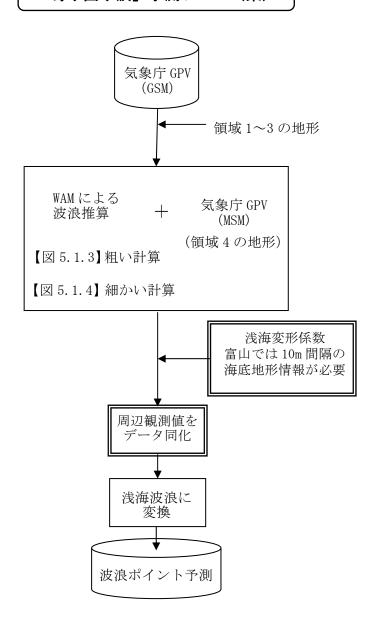


図 0.1 寄り回り波の予測フロー(案)

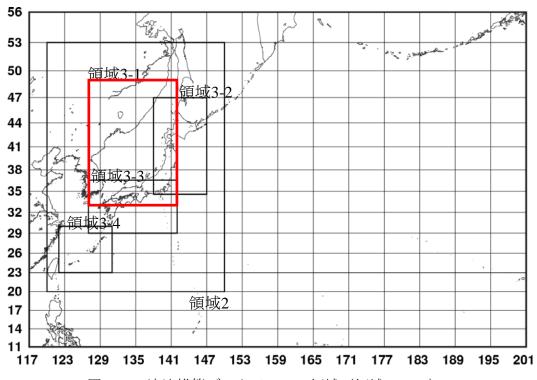


図 0.2 波浪推算データベースの領域 (領域1~3)

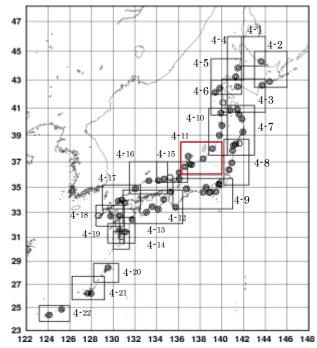


図 0.3 領域4の分割とデータ同化地点(◎NOWPHAS、○気象庁)

5.2 今後の進め方

COMEINS の改良により、ナウファス観測点以外でも同等の精度で波浪予測ができるようになる。精度を見極めたうえで浅海係数を算定し、予測精度向上を目指す。

おわりに

平成20年2月23日から24日にかけて日本海で発達した低気圧により、富山湾沿岸では高波が発生し港湾施設等に大きな被害をもたらした。本報告書は、この災害に対応するために設置した富山湾における「うねり性波浪」対策検討技術委員会の成果をとりまとめたものである。

本委員会では、伏木富山港伏木地区における被害の実態を把握するとともに、国土交通省の波浪観測データや数値計算結果などから、その原因が「寄り回り波」といわれる「うねり性波浪」によるものであり、これまでにない大きな波高と長い周期の「寄り回り波」によることを明らかにした。また復旧対策を示すとともに、寄り回り波の予測の精度向上についても検討を行っている。

北陸地方整備局では、今回の委員会の検討結果を踏まえて、「うねり性波浪」を設計に反映させていく予定である。またうねり性波浪による災害の防止、特に人的な災害の防止に資することを目的に、うねり性波浪の来襲を精度よく予測するシステムの構築を図るとともに、予測情報の提供についても関係省庁、県、市町村などと連携して早期の実現を図る予定である。

近年、地球温暖化に伴う気候変動によるさまざまな分野・多くの地域への影響が指摘されており、今回の大きな寄り回り波もその影響が疑われる。今後は、大きな寄り回り波の詳細な発生メカニズムやその発生確率について検討を深める必要がある。また、こうした大きな寄り回り波への対策についても検討をさらに深める必要がある。

最後に、本報告書が今後の「寄り回り波」に対する防災に資することを強く願うものである。また、本報告書は、多くの委員や関係者の努力の成果であることを記し、ここに謝意を表する。

巻 末 資 料

1. 対策検討技術委員会の概要

1.1 委員会の設置目的

平成20年2月23日から24日にかけて、発達した低気圧の影響により北日本の日本海側地域を中心に、高波や暴風による被害が相次いだ。

富山県内では、波に流されるなどして2人が死亡、家屋や倉庫等の損壊・浸水は約300 棟にのぼったほか、沿岸部では海岸や漁港、そして港湾施設にも大きな被害が発生した。

港湾施設については、伏木富山港の伏木地区の北防波堤で、全長 1,500mのうち約 800 mにわたって最大で 12 メートル陸地側へ押し込まれる被害を受けたほか、臨港道路や、港湾緑地で冠水による被害をうけるとともに、同港新湊地区においても防波堤が一部決壊したほか、岸壁・物揚場・護岸で上部工、車止めや防舷材等に、臨港道路や緑地で冠水による被害を受けた。

富山湾を襲い、港湾施設にも被害をもたらした今回の波浪は、国土交通省港湾局の全 国波浪観測情報網(ナウファス)の観測データによると、通常より長い周期を持つ「う ねり性波浪」であり、この波浪が断続的に来襲したことが確認されている。

この「うねり性波浪」は地元で「寄り回り波」と呼ばれている。「寄り回り波」は日本海北部の暴風域で発生・成長したうねりが、長い距離を伝播して富山湾へ到達するものであり、あたかも各地を寄って回るように来襲するため古くから「寄り回り波」と言われている。

本委員会は、港湾施設等に多大な被害を与えた「うねり性波浪」の対策を北陸地方整備局港湾空港部、富山県、港湾空港技術研究所が共同で検討するものであり、今回の被災状況および波浪等の気象海象を取りまとめ整理するとともに、観測データの解析等を通じて富山湾における「うねり性波浪」の特性把握と港湾施設被災のメカニズムを明らかにし、今後の対応策について技術的な検討を行うことを目的として設置するものである。

1.2 委員会の構成

富山湾における「うねり性波浪」対策検討技術委員会の委員名簿を表 1.2.1 に、関係者およびオブザーバーを表 1.2.2 に示す。

表 1.2.1 委員名簿

	氏 名	役 職 (平成 20 年 6 月現在)
委員	かわい まきし河合 雅司	富山商船高等専門学校 商船学科航海コース准教授
委員	下迫 健一郎	(独)港湾空港技術研究所 耐波研究室長
委員長	たかはし しげお 高橋 重雄	(独)港湾空港技術研究所 研究主監
委員	永井 紀彦	(独)港湾空港技術研究所 統括研究官
委員	ひらいし てった 平石 哲也	(独)港湾空港技術研究所 海洋・水工部長
委員	ほそやまだ とくぞう 細山田 得三	長岡技術科学大学 水工・防災設計工学准教授

※敬称略、五十音順

表 1.2.2 関係者およびオブザーバー

	部 局
関係者	国土交通省 港湾局 技術企画課 技術監理室
関係者	国土交通省 港湾局 海岸・防災課
関係者	国土技術政策総合研究所 沿岸防災研究室
関係者	国土技術政策総合研究所 港湾施設研究室
関係者	富山県 土木部 港湾空港課
関係者	国土交通省 北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所
関係者	国土交通省 北陸地方整備局 伏木富山港湾事務所
事務局	国土交通省 北陸地方整備局 港湾空港部 海洋環境・技術課
オブザーバー	国土交通省 新潟地方気象台
オブザーバー	国土交通省 富山地方気象台

1.3 委員会の検討フロー

富山湾における「うねり性波浪」対策検討技術委員会の検討フローを図 1.3.1 に示す。

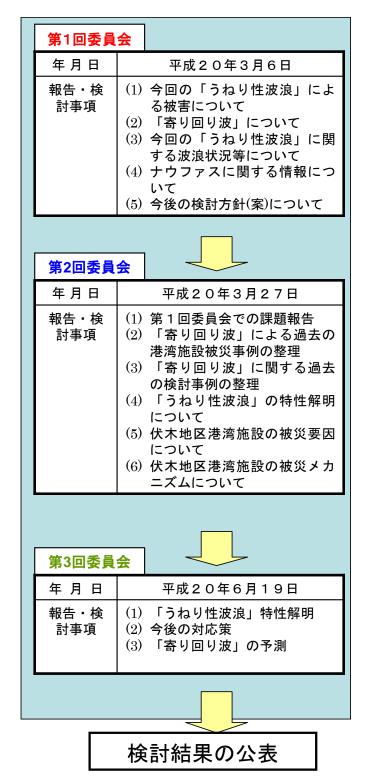


図 1.3.1 委員会の検討フロー

2. 既往文献による「うねり性波浪」の特性の整理 (本編 12p 2.1.2)

(2)各資料の概要

【文献1 磯崎「波浪学入門」】

- ●波は富山湾沿岸で一様に高まるのではなくて、特に氷見、新湊、入善、滑川など限定された海岸で高まる。
- ●湾が全体的に深いため、湾内に進入したうねりは海岸近くまで深海波の性質を持って接近し、岸から2~5kmの沿岸域内で複雑な等深線による屈折を起こし、結果的に波高の局所的分布が複雑になる。
- ●このように、波の進入方向や周期が変わると波エネルギーが収束する場所が変化するため,進入波の性質が時間的に変化する場合には高い波が出現する海岸も時間的に移動することがある。

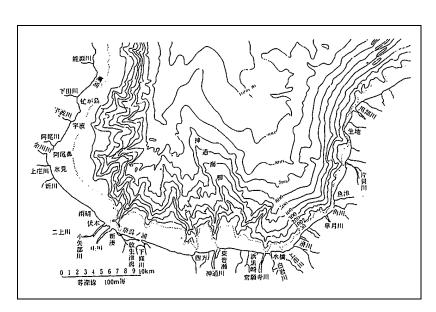


図 2 富山湾南部の等深線図

【文献 5 土屋ら「海岸波浪の変形に伴う波浪の地域分布特性」】

波浪変形計算手法を用いて、山形県酒田市から石川県江泊町に至る日本海沿岸の波浪分布を推定した。沖合に対する波高比が大きいところと、災害の発生頻度とは良く対応している。

【文献 6 吉田「富山湾の海難と寄り回り波」】

古い災害記録や新聞記事、写真、気象・波浪資料を整理して、寄り回り波が発生した時の状況を記述している。また、「寄り回り波」発生時に航空機から波の伝播の様子を観察し、風波とうねりが同時に来襲している様子を確認している。

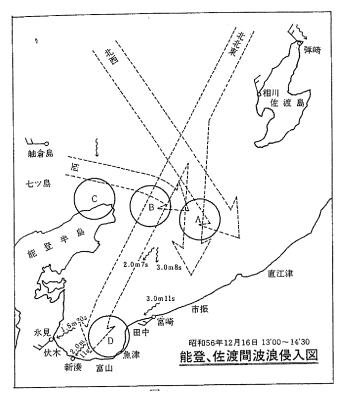


図 3 風波とうねりが同時に来襲する様子

【文献 7 財団法人日本気象協会「気象海象要覧 日本海 主として北陸海域」】

- ●富山湾では、毎年 12 月~4 月頃に、低気圧が通過して風や風浪が収まり、海面が静かになった頃に突如として周期 10~12 秒、波高 3~5m 程度の北~北東からのうねり性の大波が沿岸を襲い、海難や海岸浸食、漁船の転覆、沿岸構造物の破壊等の災害の主要因になっている。
- ●寄り回り波は、過去 10 年間において、年に約3回の割合で発生している。月別に見ると、表2.2-1 に示すように9月から4月にかけて、特に12月,1月,3月に多く発生している。
- ●主たる海難発生地区は、富山湾沿岸の中でも、氷見、新湊、入善、宮崎、滑川等に集中 している。寄り回り波が富山湾沿岸に一様に来襲するのではなく、限定された沿岸に大 きな波が押し寄せる。
- ●寄り回り波の発生機構に関しては、次のような考え方がある。
- ①間宮海峡から北海道西方海上にかけて気圧傾度が異常に強まり、北ないし北東の強風が連吹する。この強風により発生した風浪がうねりとなって日本海を南下し、富山湾に入って「寄り回り波」となる。
- ②冬季卓越する北西の季節風で生成された風浪が能登半島で回折して湾内に入り、これが①の北~北東のうねりと干渉して高波となる。

③富山湾に入るうねりは、湾が深いためエネルギーを失うことなく海岸に到達する。深水域から急に浅水域に入ると、波は屈折、回折、反射、浅水変形等により複雑に変形し、局地的に波が高まる海域がある。

表.1 寄り回り波月別発生状況

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
発生回数	5	2	6	1	0	0	0	0	1	3	2	7	27
発生年(%)	18.5	7.4	22.2	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	3. 7	11.1	7.4	25.9	100

【気象海象要覧 p. 236 より抜粋】

【文献 8 磯崎ら「日本海の波浪特性」】

- ●富山湾で「寄り回り波」が発生した時の約12時間前の天気図を調べると、いずれも顕著な冬型の気圧配置で、北海道あるいはその東に非常に発達した低気圧が存在し、大陸高気圧との間で気圧傾度が急峻になっている。
- ●しかもこの型が 12 時間以上継続し、間宮海峡から北海道の西の海上にかけて北ないし北東の強風が連吹している。
- ●磯崎ら(1971、1972) は波浪データのスペクトル解析により、「寄り回り波」と考えられるうねり性の波の存在を確認すると同時に、波浪の数値モデルを用いてシミュレーションを試みた。計算結果は観測値とかなりよく合っており、上に述べた「寄り回り波」の発生機構が合理的であることを述べている。

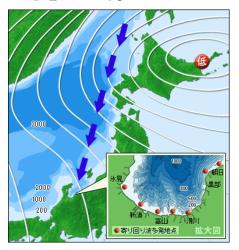


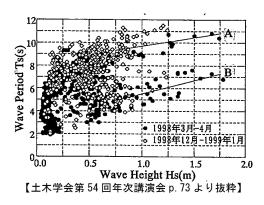
図 4 寄り回り波発生時の天気的な気圧配置

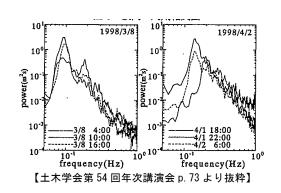
【文献 9 国土交通省北陸地方整備局「けんせつほくりく」】

●伏木測候所が昭和十年十一月富山日報に「富山湾の浪害は北海道の旋風次第で北海道の 激浪がうねって回って来たもので、池の波紋が意地悪く岸に届いた理屈である。」と、 極めて説得力のある表現で「浪源は能登北西ではなく北海道西方海上にある」ことを明 言している。

【文献 10 内藤ら「日本海沿岸における寄り回り波の性状に関する研究」】

- ●外から侵入してきたうねりと富山湾付近で発生した風波では、それぞれ波高・周期の結 合分布が異なる。
- ●3/8 のスペクトルはピークが 0.09Hz の位置に見られ、第 2 のピークが 0.18Hz に表れている。これはバンド幅の狭いスペクトルを持つうねりが入射したことにより形成された高調波であると考えられる。4/2 のスペクトルはピークが 4/1 18:00 から 4/1 22:00 にかけて成長、4/2 6:00 には減少しており、これは風波のスペクトルを表していると考えられる。





(左:波高と周期の相関、右:波数スペクトル経時変化(3/8vs4/2)) 図 5 うねりの性状

【文献 11 畑田ら「富山湾における特異波浪寄り回り波の予測に関する予備的検討」】

●浅海波浪モデルを用いて、「寄り回り波」の再現を行った。北陸沿岸から富山湾口部についての波は比較的精度良く再現できるが、湾内の波高、周期を過小評価する傾向がある。

【文献 13 国土交通省北陸地方整備局新潟港湾空港技術調査事務所

「平成 16 年度沿岸波浪算定調査報告書」】

- 既往の文献を整理して、その特徴をまとめるとともに、伏木富山の波浪観測資料を整理することによって、「寄り回り波」を抽出する目安として、伏木富山の観測周期が10秒以上になることという基準を提案した。
- 過去に「寄り回り波」が発生した擾乱を対象にして波浪推算を行ったが、周期の長い 成分を必ずしも精度良く再現できず、周波数帯別の波浪観測結果を用いて補正するの が有効であることがわかった。

【文献 14 Shigeki Ishimori, Masashi Kawai and etc:"On the Image of the 'Yorimawari-nami' by Synthetic Aperture Radar"】

富山湾における寄り回り波 (本編 12p 2.1「うねり性波浪」の特性)

衛星写真(図 6)の解析結果によると、富山湾における「寄り回り波」は、2 方向(約 10 ° と約 40 °)から富山湾に侵入していると考えられる。また、約 40 ° 方向からのうね 0 の方が約 10 ° 方向からのうねりよりも波長が長い(38 ° 方向からのうねり:267 m、15 ° 方向からのうねり:229 m)。

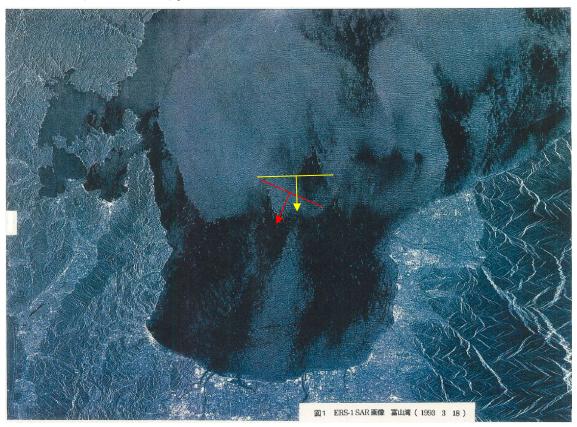


図 6 富山湾における「寄り回り波」の衛星写真(1993年3月18日、ERS1) (「宇宙から富山湾の波を<はかる>」参考)

【文献 河合雅司「寄り回り波とその対策」(2008 日本航海学会投稿論文)】 「うねり性波浪」の伝播経路 (本編 12p 2.1「うねり性波浪」の特性)

一般に、北海道西側海域で発生したうねりは、2方向(約10°と約40°)から富山湾に侵入していると考えられる。

富山湾から 40°の方向は秋田湾であるが、周期の長いうねりが来襲するには秋田湾は 近過ぎることから、北海道西側海域で発生したうねりが、対馬暖流を横断するときに右 方向に屈折(カーブ)して富山湾に侵入していると考えられる。

北海道西側海域から富山湾までの「うねり性波浪」の伝播経路を図7に示す。

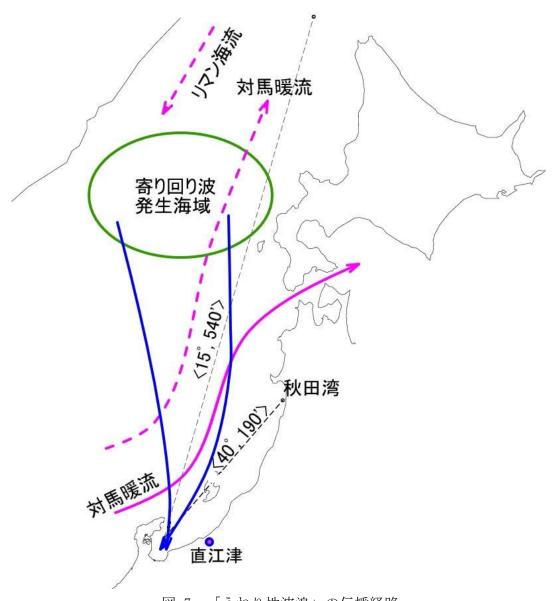


図 7 「うねり性波浪」の伝播経路

3. 近年の代表的な被災事例(昭和62年以降) (本編16p 2.2.5)

近年の代表的な被災事例について、被災地位置図及び状況写真を以下に示す。なお、 対象とする事例は港湾施設のみである。

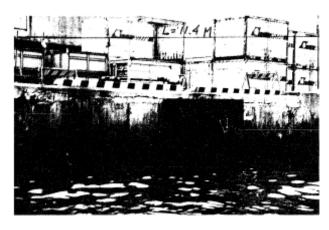


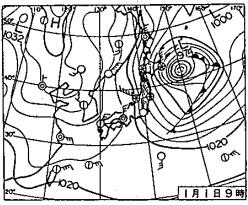
図 8(1) 被災地位置図(伏木富山港)



図 8(2) 被災地位置図 (魚津港)

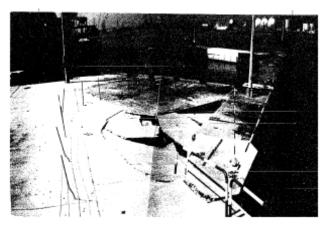
【①矢板が切断され、上部工が沈下した例】昭和62年1月1日 富山

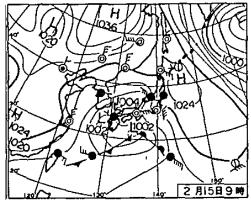




気象年鑑より

【②方塊ブロックが沈下し、エプロン舗装が崩壊した例】平成3年2月15日 富山



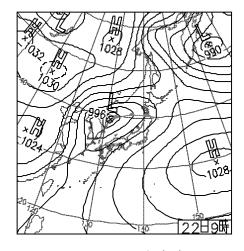


気象年鑑より

【③護岸の中詰めが吸い出された例】平成16年2月22日 新湊



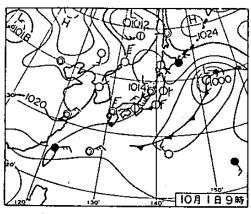
国土交通省北陸地方整備局 伏木富山港湾事務所 提供



気象庁 HP より

【④護岸消波工の消波ブロックの沈下例①】昭和63年10月1日 魚津

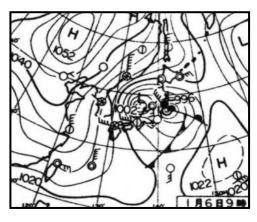




気象年鑑より

【⑤護岸消波工の消波ブロックの沈下例②】平成9年1月6日 新湊



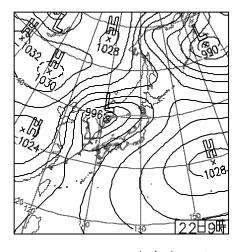


ウィンドサーフィン気象情報 HPより

【⑥護岸消波工の消波ブロックの沈下例③】平成16年2月22日 新湊

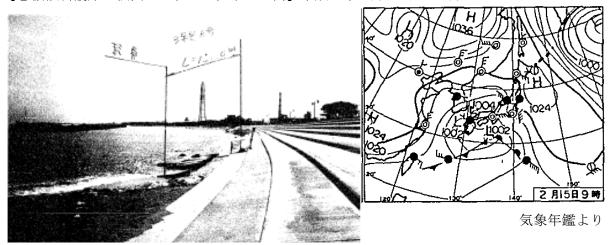


国土交通省北陸地方整備局 伏木富山港湾事務所 提供



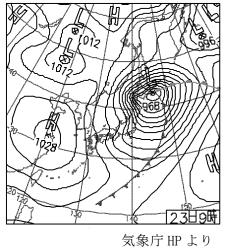
気象庁 HP より

【⑦緩傾斜護岸の根固ブロックが沈下した例】平成3年2月15日 四方



【⑧緩傾斜護岸の根固ブロックが飛散した例】平成16年2月23日 魚津

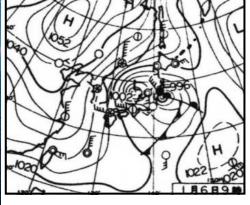




, **((-)** (,)

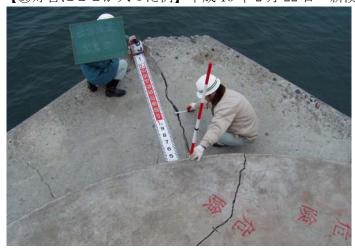
【⑨離岸堤の消波ブロックが散乱、沈下した例】平成9年1月6日 四方



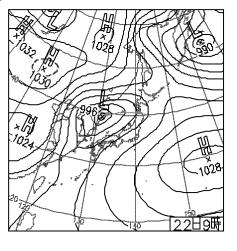


ウィンドサーフィン気象情報 HPより

【⑩灯台にヒビが入った例】平成16年2月22日 新湊



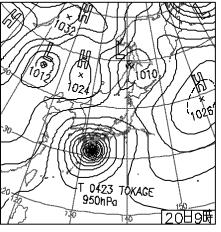
国土交通省北陸地方整備局 伏木富山港湾事務所 提供



気象庁 HP より

【⑪公園緑地が被災した例】平成16年10月20日 伏木富山 万葉ふ頭緑地 (「寄り回り波」ではないが、伏木富山において既往最大波高発生)





気象庁 HP より

4. 万葉埠頭緑地 施設概要 (本編 35p 3.5.2)

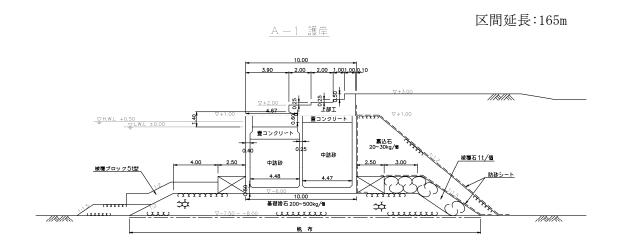


図 9 緑地護岸標準断面(A-1)

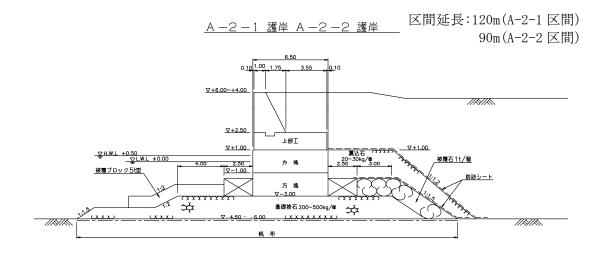


図 10 緑地護岸標準断面(A-2-1、A-2-2)

区間延長:55m

<u>A-2-3 護岸</u>

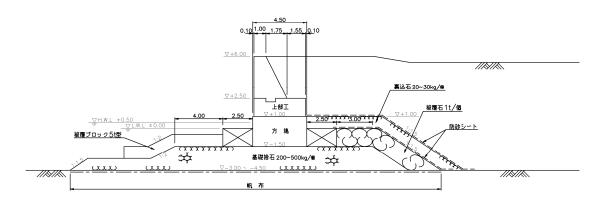


図 11 緑地護岸標準断面(A-2-3)

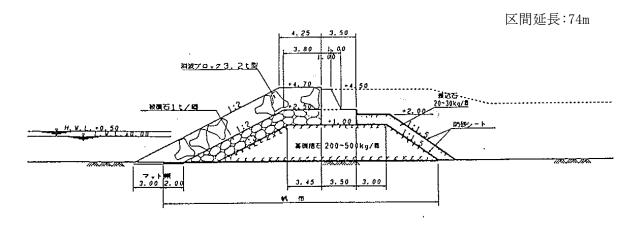


図 12 緑地護岸標準断面(A-3)