

## 第2回 富山湾における「うねり性波浪」対策検討技術委員会

### 議 事 次 第

開催日時： 平成20年3月27日（木）13：15～15：00

開催場所： ボルファート富山 4階 翡翠の間

#### 1. 開 会

#### 2. 挨 拶

- |               |         |
|---------------|---------|
| ・北陸地方整備局湾空港部長 | 大脇 崇    |
| ・富山県土木部長      | 埴生 雅章   |
| （代理 土木部次長     | 井波 久治 ） |

#### 3. 議 事

##### （1）委員長挨拶

（独）港湾空港技術研究所研究主監 高橋 重雄

##### （2）報告事項

- ① 第1回委員会での課題等ほか報告【資料－1】
- ② 「寄り回り波」による過去の港湾施設被害例と過去の検討事例について  
【資料－2】
- ③ 今回の「うねり性波浪」の特性について【資料－3、4】
- ④ 今回の「うねり性波浪」による被災の要因とメカニズム【資料－5①～③】

##### （3）意見交換

##### （4）その他

#### 4. 閉 会

# 富山湾における「うねり性波浪」対策検討技術委員会

## 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1500mのうち約800m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と富山県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。

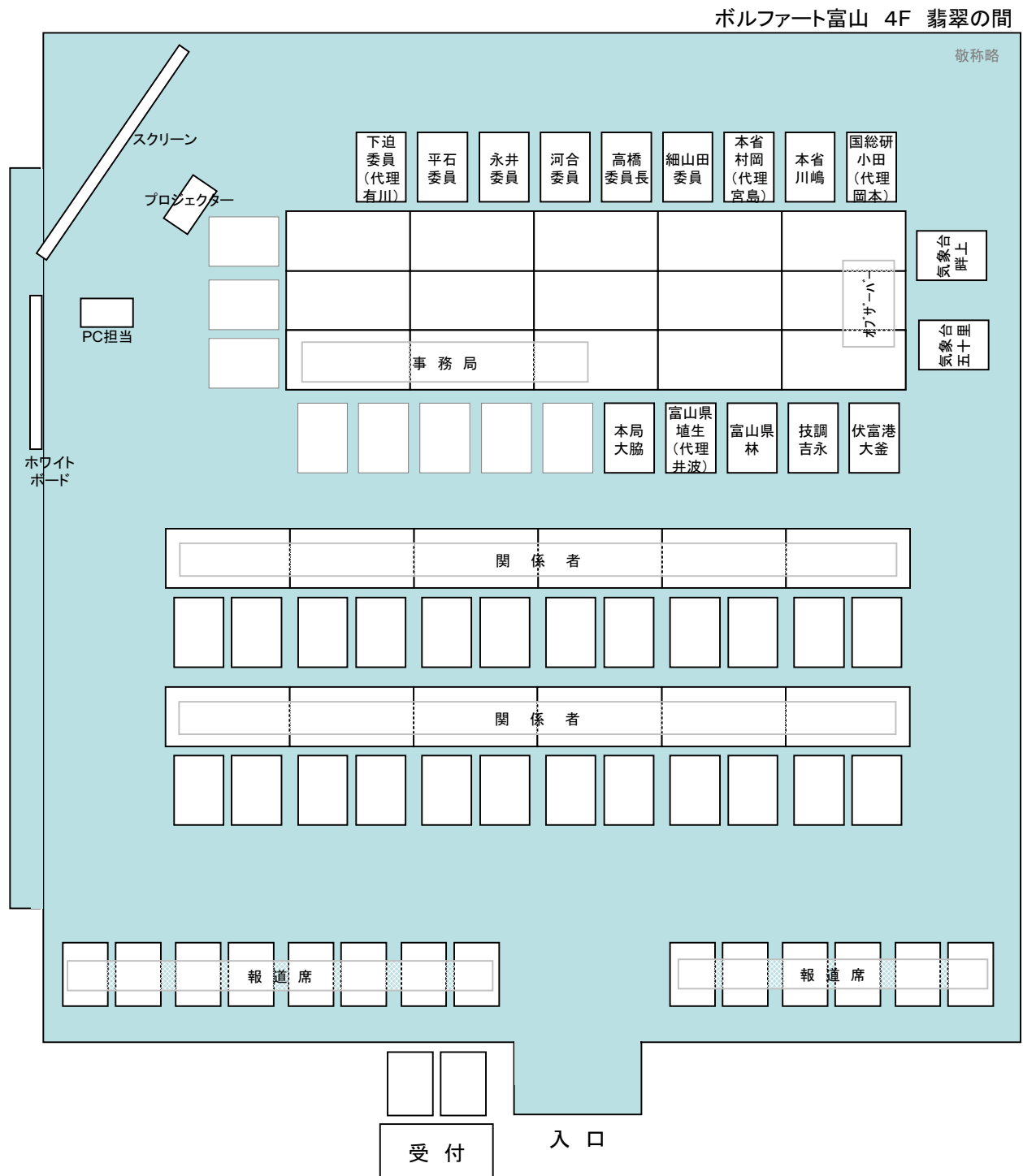
## 第2回 富山湾における「うねり性波浪」対策検討技術委員会 出席者

日時：平成20年3月27日13:15～15:00

場所：ポルファート富山4F 翡翠の間

|        | 氏名                    | 役職                                                    | 摘要  |
|--------|-----------------------|-------------------------------------------------------|-----|
| 委 員    | ほそやまだ とくぞう<br>細山田 得三  | 長岡技術科学大学 水工・防災設計工学准教授                                 |     |
| 委 員    | かわい まさし<br>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                               |     |
| 委員長    | たかはし しげお<br>高橋 重雄     | (独)港湾空港技術研究所 研究主監                                     |     |
| 委 員    | ながい のりひこ<br>永井 紀彦     | (独)港湾空港技術研究所 海洋・水工部長                                  |     |
| 委 員    | ひらいし てつや<br>平石 哲也     | (独)港湾空港技術研究所 波浪研究室長                                   |     |
| 委 員    | しもさこ けんいちろう<br>下迫 健一郎 | (独)港湾空港技術研究所 耐波研究室長(代理 <small>ありかわ</small> 有川主任研究官)   |     |
| 関係者    | むらおか たけし<br>村岡 猛      | 国土交通省港湾局 技術企画課 技術基準審査官(代理 <small>みやじま</small> 宮島課長補佐) |     |
| 関係者    | かわしま なおき<br>川嶋 直樹     | 国土交通省港湾局 海岸・防災課 災害対策室長                                |     |
| 関係者    | おだ かつや<br>小田 勝也       | 国土技術政策総合研究所 沿岸防災研究室長(代理 <small>おかもと</small> 岡本主任研究官)  |     |
| 関係者    | ながお たけし<br>長尾 毅       | 国土技術政策総合研究所 港湾施設研究室長                                  | ご欠席 |
| 関係者    | はにゅう まさあき<br>埴生 雅章    | 富山県土木部長(代理 次長 <small>いなみ ひさはる</small> 井波 久治)          |     |
| 関係者    | おおわき たかし<br>大脇 崇      | 国土交通省北陸地方整備局 港湾空港部長                                   |     |
| 関係者    | はしづめ ともよし<br>橋詰 知喜    | 国土交通省北陸地方整備局 港湾空港部 港湾空港企画官                            |     |
| 関係者    | よしなが ひろし<br>吉永 宙司     | 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長                           |     |
| 関係者    | おおかま たつお<br>大釜 達夫     | 国土交通省北陸地方整備局 伏木富山港湾事務所長                               |     |
| オブザーバー | あぜかみ みよし<br>畔上 三代守    | 国土交通省新潟地方気象台 防災業務課長                                   |     |
| オブザーバー | いかり はやと<br>五十里 勇人     | 国土交通省富山地方気象台技術課 予報官                                   |     |

## 第2回 富山湾における「うねり性波浪」対策検討技術委員会 座席図





# 富山湾における「うねり性波浪」 対策検討技術委員会 検討フロー(案)

## <委員会検討内容>

第1回；赤文字、第2回；青文字、第3回；緑文字

### 1. ナウファス観測データ等を用いた「うねり性波浪」の特性把握(原因究明)

- ① 被害状況の整理
- ② 「寄り回り波」の現象(特性)の整理
- ③ ナウファス観測データの整理
- ④ 「寄り回り波」による過去の港湾施設被災事例の整理
- ⑤ 「寄り回り波」に関する過去の検討事例の整理
- ⑥ 全国のナウファス観測データによる現象分析
- ⑦ 海底地形を考慮した再現シミュレーションによる「うねり性波浪」の特性把握

### 2. 港湾施設の被災メカニズムの把握と今後の対応策(伏木防波堤等)

- ① 海底地形図、海図、深浅図の収集
- ② 1-⑥⑦を用いた時刻別の波圧計算
- ③ 2-②に基づく被災メカニズムの把握
- ④ 今後の対応策、設計手法等への反映

## <委員会検討スケジュール(案)>

### 第1回委員会

|         |                                                                                                                          |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 年 月 日   | 08/03/06                                                                                                                 |
| 検討内容    | 1-①～③と2-①について検討                                                                                                          |
| 報告・検討事項 | (1) 今回の「うねり性波浪」による被害について<br>(2) 「寄り回り波」について<br>(3) 今回の「うねり性波浪」に関する波浪状況等について<br>(4) ナウファスに関する情報について<br>(5) 今後の検討方針(案)について |

### 第2回委員会

|         |                                                                                                                                                             |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 年 月 日   | 08/03/27                                                                                                                                                    |
| 検討内容    | 1-④～⑦と2-②～③について検討                                                                                                                                           |
| 報告・検討事項 | (1) 第1回委員会での課題報告<br>(2) 「寄り回り波」による過去の港湾施設被災事例の整理<br>(3) 「寄り回り波」に関する過去の検討事例の整理<br>(4) 「うねり性波浪」の特性解明について<br>(5) 伏木地区港湾施設の被災要因について<br>(6) 伏木地区港湾施設の被災メカニズムについて |

### 第3回委員会

|         |                                         |
|---------|-----------------------------------------|
| 年 月 日   | 08/04/下                                 |
| 検討内容    | 2-④について検討                               |
| 報告・検討事項 | (1) 第2回委員会での課題報告<br>(2) 「うねり性波浪」の対策について |

検討結果の公表

# 第一回の議事の概要

| 議事                       | 報告および説明内容                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 今回の「うねり性波浪」による被害について     | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 富山湾の被害状況全般、および伏木富山港の被害状況 1 3 件について報告された。</li><li>・ 港湾の被害については、伏木地区と新湊地区で発生し、富山地区で発生していないことが報告された。</li><li>・ 伏木地区北防波堤の被害についての詳細が報告された。</li></ul>                                   |
| 「寄り回り波」について              | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 「寄り回り波」の定義や特性等について報告</li><li>・ 「寄り回り波」には、北北東、北東の2方向があることが報告された。</li></ul>                                                                                                         |
| 今回の「うねり性波浪」に関する波浪状況等について | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 伏木富山港の波浪観測結果の説明があり、伏木地区では周期が、富山地区では波高・周期共に過去最高であったことが報告された。</li><li>・ 周期による波圧との関係および富山湾の海底地形等について説明が行われた。</li></ul>                                                               |
| ナウファスに関する情報について          | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 日本海側観測地点のナウファスデータを示し、今回の波浪が、富山、輪島、柴山で既往最大観測値を記録したことが報告された。</li><li>・ 日本海側観測地点のデータから、日本海沿岸を南下するにつれ、波高・周期が増大したことが報告された。</li><li>・ 富山湾内の2つの観測点（富山、伏木）では波高に大きな差があることが報告された。</li></ul> |

# 第一回の議事の概要

| 議事                       | 意見および今後の課題等                                                                                                                                                                         |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 「寄り回り波」について              | <ul style="list-style-type: none"><li>・「寄り回り波」の予測や通報システムの必要性、可能性について議論された。</li></ul>                                                                                                |
| 今回の「うねり性波浪」に関する波浪状況等について | <ul style="list-style-type: none"><li>・防波堤の被災メカニズムについては、今後詳細な検討が必要との意見が交わされた。</li><li>・また、万葉ふ頭緑地の被災についても今後詳細な検討が必要との意見が交わされた。</li></ul>                                             |
| ナウファスに関する情報について          | <ul style="list-style-type: none"><li>・今回の波浪が過去の「寄り回り波」に比べ大きいことを確認した。</li><li>・湾内で波高が大小分布することから、富山湾の複雑な海底地形の影響を受け、局所的に波エネルギーの集中が発生した可能性が指摘され、今後数値シミュレーション等で検証を行うことが提案された。</li></ul> |
| 今後の検討方針（案）について           | <ul style="list-style-type: none"><li>・委員会のスケジュールが示され、3回の委員会を4月下旬まで開催し、検討結果をまとめるものとされた。</li><li>・各委員会での検討結果によっては（委員会の回数等について）柔軟に対応することも必要とされた。</li></ul>                            |

## 高波発生メカニズム共有に関するWGの設立について

### 1. WGの目的

高波に関するそれぞれの技術情報を持ち寄り共有するとともに、専門的見地からの意見交換を行うため、関係部局が連携して「高波発生メカニズム共有に関するワーキンググループ」を設置する。

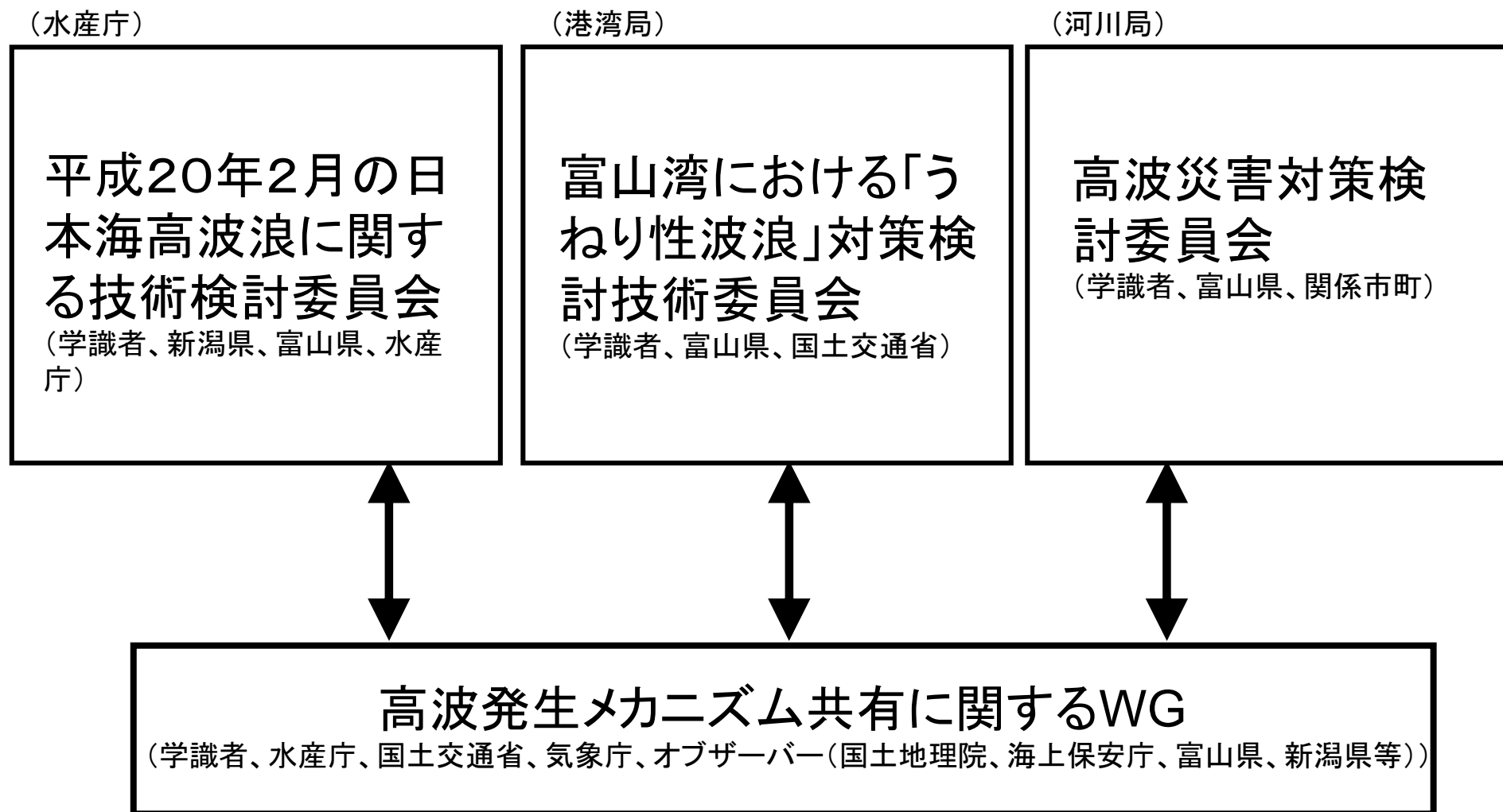
### 2. WGの構成

座 長 佐藤 慎司 （東京大学大学院工学系研究科教授）  
高野 洋雄 （気象庁地球環境・海洋部海洋気象情報室調査官（気象研究所併任））  
中山 哲厳 （独立行政法人水産総合研究センター水産工学研究所  
水理研究室長）  
平石 哲也 （独立行政法人港湾空港技術研究所海洋・水工部波浪研究室  
長）  
福濱 方哉 （国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室長）  
水産庁 整備課  
水産庁 防災漁村課  
河川局 海岸室  
港湾局 海岸・防災課  
港湾局 技術監理室  
気象庁 企画課  
北陸地方整備局 河川部  
北陸地方整備局 港湾空港部

※敬称略、順不同

（オブザーバー） 国土地理院  
海上保安庁  
富山県  
新潟県等

## 低気圧による高波に係る関係省庁等の連携について



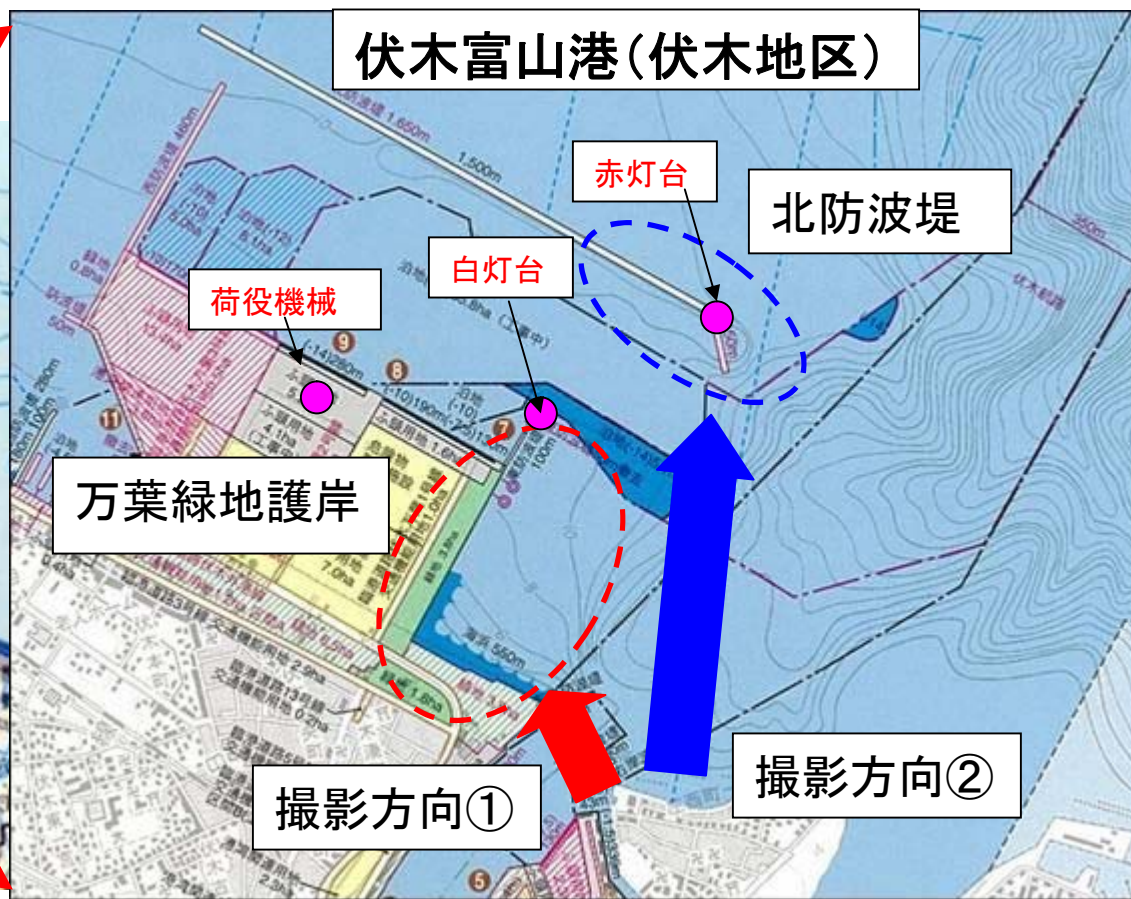


# 高波ビデオ映像

伏木富山港位置図



伏木富山港(伏木地区)



撮影日時  
平成20年2月24日(日)9:30頃

撮影方向①: 万葉緑地護岸付近(赤線丸部分)  
撮影方向②: 北防波堤の赤灯台付近(青線丸部分)

第2回 富山湾における『うねり性波浪』  
対策検討技術委員会 資料

「うねり性波浪」による  
過去の港湾施設被災事例等の整理

平成 20 年 3 月 27 日

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

## 第2回 富山湾における「うねり性波浪」対策検討技術委員会 資料

### 「うねり性波浪」による過去の港湾施設被災事例等の整理

#### ～ 目 次 ～

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 「うねり性波浪」による過去の港湾施設被災事例等の整理　まとめ | 1  |
| 1. 「寄り回り波」による過去の被災事例の整理        | 3  |
| 1.1 収集資料一覧                     | 3  |
| 1.2 被災事例一覧                     | 3  |
| 1.3 出現月の頻度                     | 7  |
| 1.4 寄り回り波による被災地の分析             | 8  |
| 1.5 寄り廻り波による被災の種類分析            | 9  |
| 1.6 近年の代表的な被災事例                | 10 |
| 2. 「寄り回り波」による過去の検討事例の整理        | 15 |
| 2.1 収集資料（文献）一覧                 | 15 |
| 2.2 各種資料の概要                    | 15 |
| （参考1）既往文献一覧                    | 20 |
| （参考2）海岸の被災事例（本間仁著：「海岸防災」より）    | 27 |



## 「うねり性波浪」による過去の港湾施設被災事例等の整理 まとめ

### ○「寄り回り波」による過去の被災事例の整理

今回発生した寄り回り波による被災が、過去の事例と比較してどのようなものであったのかを明らかにする目的で、富山県内における高波による被災事例を収集した。その中から、寄り回り波によると思われるものを抽出し、発生時期、被災施設、被災場所について取りまとめた。

#### 被災事例から判ったこと

- ① 寄り回り波による被災は、10月～3月に多く発生している。
- ② 寄り回り波によって被災した施設は、護岸と堤防が多い。
- ③ 寄り回り波による被災がよく発生する場所は以下の通りである。  
下新川郡、滑川市、射水市

### ○「寄り回り波」による過去の検討事例の整理

文献を整理して、判ったことと今後の課題を以下に示す。また、寄り回り波に関するまとめを表 A に示す。

#### 文献から判ったこと

- ① 日本海を低気圧が通過して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。
- ② このとき日本海では、北西の季節風と北海道からの寄り回り波が同時に来襲している。
- ③ 寄り回り波の出現頻度は年3回程度で、10月～3月に多く発生する。特に12月、1月、3月に多く発生している。12月、1月は、西高東低の冬型気圧配置による。3月は、東シナ海で発生した低気圧が発達し、日本海を通過した後、北海道の東側で停滞することによる。
- ④ 寄り回り波発生時には、波の発生海域である北海道西方では、北寄りの風速が20m/s以上となり、これが10時間以上吹き続けている。
- ⑤ これが12時間～24時間かけて富山湾に伝搬して来ると、波高3～5m、周期10～12秒のうねりが観測される。
- ⑥ 寄り回り波は富山湾内のどこでも見られる訳ではなく、氷見、新湊、滑川、入善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。

## 今後の課題

将来的に、地形を考慮した波浪予測を行い、富山湾内各地点の寄り回り波の発生場所、時刻、波高等を正確に予測することが強く望まれている。

(文献 11, 12)

表 A 寄り回り波に関するまとめ

| 寄り回り波：富山湾固有の波（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 → 1日程度                | 富山湾                  |
| 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              |                      |
|                         |        | 海象         | 静か                                | 風速小さい<br>波浪小さい               |                      |
|                         | 海象     | 侵入波        | 日本海を南下してきた伝播波                     | 富山湾湾口より入射（波向：N～NE）           |                      |
|                         |        | 地形の影響      | 湾内の水深が深い                          | 深海波の性質                       |                      |
|                         |        |            | 複雑な地形による局所的な高波                    | エネルギー損失少の伝播に格好の条件            |                      |
|                         |        |            |                                   | 深海域から浅海域への侵入 → 複雑な等深線による屈折 → | 波高の増加<br>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<br>周期：10～12s程度          |                              |                      |
|                         |        |            |                                   |                              |                      |
|                         | 主な発生場所 |            | 氷見，新湊，入善，滑川<br>庄川，神通川，常願寺川河口近くの沿岸 |                              |                      |

## 1. 「寄り回り波」による過去の被災事例の整理

### 1. 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した。収集した資料を表 1.1-1 に示す。

表 1.1-1 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<br>富山県 | 1984 | 局地波浪分析調査 報告書            |            |
| 2  |                             |      | 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      |
|    |                             |      |                         | 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   |

### 1. 2 被災事例一覧

1.1 で収集した資料から、1864 年～2006 年の間に富山県で発生した過去の災害をまとめた。結果を表 1.2-1 に示す。表中で気象要因の欄に付けた○は、資料に記載された記事に依る。

表 1.2-1(1) 富山県内で過去に発生した被災

| 番<br>号 | 被害発生期間     | 気象要因                  |                       | 備考        | 主な被災地域                | 被害施設（港湾、海岸の施設等）  | 船、家屋（損壊、浸水）等   |
|--------|------------|-----------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|------------------|----------------|
|        |            | 寄<br>り<br>回<br>り<br>波 | 低<br>気<br>圧<br>台<br>風 |           |                       |                  |                |
| 1      | 1154/8/10  | ～                     |                       |           | 新湊村一円                 |                  |                |
| 2      | 1488/9/9   | ～                     |                       |           | 魚津、伏木                 |                  | 家屋             |
| 3      | 1542       | ～                     |                       |           | 越中一帯                  |                  | 家屋             |
| 4      | 1655       | ～                     |                       |           |                       |                  | 家屋             |
| 5      | 1749       | ～                     |                       |           | 放生津                   |                  | 家屋             |
| 6      | 1792       | ～                     |                       |           | 放生津                   |                  | 家屋             |
| 7      | 1805/2/9   | ～                     |                       |           | 生田                    |                  |                |
| 8      | 1845/12/23 | ～                     |                       |           | 新川、滑川                 |                  | 家屋             |
| 9      | 1856/9/3   | ～                     |                       |           | 放生津                   |                  | 家屋             |
| 10     | 1864/8/9   | ～                     |                       |           | 伏木方面沿岸一帯              |                  |                |
| 11     | 1865/4/8   | ～                     | ○                     |           | 伏木方面沿岸一帯              |                  |                |
| 12     | 1880/11/27 | ～                     | ○                     | 南西の暴風     | 滑川、東水橋沿岸              |                  | 家屋、漁船破滅        |
| 13     | 1883/10/14 | ～                     | ○                     |           | 伏木方面沿岸一帯              |                  |                |
| 14     | 1883/11/18 | ～                     | ○                     |           | 滑川、水橋、早月、加積沿岸         | 堤防決壊             | 家屋             |
| 15     | 1896/1/1   | ～                     | ○                     |           | 伏木方面沿岸一帯              |                  |                |
| 16     | 1896/8/2   | ～                     |                       | 暴風雨       | 新湊                    |                  | 家屋             |
| 17     | 1905/7/29  | ～                     |                       |           |                       |                  | 漁船遭難           |
| 18     | 1914/8/29  | ～                     |                       | ○ 台風      | 海老江海岸、新湊、四方海岸         | 防波堤の破損、道路欠陥、堤防崩壊 | 家屋、漁船遭難        |
| 19     | 1915/7/9   | ～                     | ○                     |           | 滑川方面沿岸一帯、海老江海岸        | 堤防破滅             | 家屋             |
| 20     | 1915/7/14  | ～                     |                       |           | 滑川                    |                  |                |
| 21     | 1915/1/29  | ～                     |                       |           | 新湊                    |                  |                |
| 22     | 1915/9/4   | ～                     |                       | ○ 台風      | 放生津                   | 波除堤破滅            | 漁船遭難           |
| 23     | 1915/10/4  | ～                     |                       |           | 滑川                    |                  | 漁船遭難           |
| 24     | 1915/12/15 | ～                     |                       |           | 下新川、滑川                |                  |                |
| 25     | 1916/7/19  | ～                     |                       |           | 高月海岸、伏木港              | 石堤欠陥             |                |
| 26     | 1916/2/11  | ～                     |                       |           | 高月海岸                  | 石堤損破滅、護岸破損       |                |
| 27     | 1916/2/13  | ～                     |                       |           | 水橋                    | 石堤破滅             |                |
| 28     | 1916/3/4   | ～                     |                       |           |                       |                  |                |
| 29     | 1916/12/29 | ～                     |                       | 発達した高気圧   | 富山湾一帯                 | 護岸決壊             | 漁船遭難           |
| 30     | 1919/2/15  | ～                     |                       | 低気圧       | 富山湾一帯                 | 護岸、突堤決壊          | 家屋             |
| 31     | 1920/8/4   | ～                     |                       | ○ 台風      | 富山湾一帯、射水              |                  |                |
| 32     | 1920/10/31 | ～                     |                       |           | 打出沖                   |                  |                |
| 33     | 1920/11/12 | ～                     | ○                     |           | 新湊方面沿岸一帯、射水、放生津       | 波除石破滅            | 漁船遭難           |
| 34     | 1920/12/7  | ～                     |                       |           | 伏木                    |                  |                |
| 35     | 1921/4/3   | ～                     |                       |           | 伏木港、水橋                | 波除堤破滅            |                |
| 36     | 1921/9/26  | ～                     |                       | ○ 台風2110号 | 富山湾一帯                 |                  | 家屋、漁船遭難、工場、学校等 |
| 37     | 1922/3/15  | ～                     |                       |           | 富山湾内                  |                  | 漁船遭難           |
| 38     | 1926/11/20 | ～                     | ○                     |           | 滑川、新湊、水見、伏木、堀岡、海老江海岸  | 護岸破滅、堤防欠陥        |                |
| 39     | 1926/12/19 | ～                     |                       |           | 伏木、新湊、国分、堀岡、海老江、滑川、水橋 | 護岸欠陥、堤防破滅        | 家屋             |
| 40     | 1927/12/24 | ～                     | ○                     |           | 堀岡、滑川、富山、高月、水橋、打出浪    | 道路欠陥             | 家屋             |
| 41     | 1927/12/28 | ～                     |                       |           |                       |                  | 漁船遭難           |
| 42     | 1928/10/18 | ～                     |                       |           | 富山湾沿岸                 |                  | 漁船遭難           |
| 43     | 1928/11/21 | ～                     |                       |           | 富山湾沿岸、魚津              |                  | 漁船遭難           |
| 44     | 1929/1/2   | ～                     | ○                     |           | 入善、滑川、水橋、下新川沿岸        | 護岸堤防欠陥           | 家屋             |
| 45     | 1929/3/14  | ～                     |                       | 発達した高気圧   | 富山湾沿岸                 |                  |                |
| 46     | 1929/4/22  | ～                     | ○                     |           | 伏木沿岸、新湊、海老江           | 防波堤欠陥、道路欠陥       | 家屋             |
| 47     | 1930/2/13  | ～                     |                       |           | 射水                    |                  |                |
| 48     | 1930/2/26  | ～                     |                       |           | 新湊                    |                  |                |
| 49     | 1930/3/31  | ～                     |                       |           | 伏木港、海老江、              | 海岸線欠陥            | 家屋             |
| 50     | 1930/10/20 | ～                     |                       |           |                       | 防波堤欠陥、石堤破滅、護岸破滅  |                |

■は資料中に「寄り回り波」が原因と標記されているもの。

■は天気図を見て、より回り波の可能性が高いと判断。

2004/2/23～24の被災時の観測周期：伏木富山13.6秒、富山13.9秒

2006/10/6～8の被災時の観測周期：伏木富山11.8秒、富山12.79秒

表 1.2-1(2) 富山県内で過去に発生した被災

| 番号  | 被害発生期間     | 気象要因 |     | 備考         | 主な被災地域                   | 被害施設（港湾、海岸の施設等）           | 船、家屋（損壊、浸水）等 |
|-----|------------|------|-----|------------|--------------------------|---------------------------|--------------|
|     |            | 寄り回り | 低気圧 |            |                          |                           |              |
| 51  | 1930/10/31 | ～    |     |            | 新湊、伏木、米見                 |                           |              |
| 52  | 1931/1/10  | ○    |     |            | 生現、滑川、新湊、魚津、水橋沿岸         | 防波堤欠陥、石堀欠陥、護岸亀裂、突堤流出、堤防崩壊 | 家屋、漁船遭難      |
| 53  | 1932/11/14 | ○    |     |            | 新湊、滑川、伏木方面沿岸             |                           | 船座船破砕        |
| 54  | 1933/9/5   | ○    |     | 台風3307号    | 四方、伏木、新湊、滑川、下新川          | 防波堤欠陥、道路欠陥                |              |
| 55  | 1935/6/2   |      |     |            | 注、飯野、滑川、吉原               | 堤防破堤                      |              |
| 56  | 1935/6/17  |      |     |            | 越の瀬海岸                    |                           |              |
| 57  | 1935/11/12 | ○    |     |            | 滑川、水橋、新湊、四方、倉垣、伏木沿岸      | 防波堤崩壊                     | 家屋           |
| 58  | 1936/2/1   |      |     |            | 滑川                       |                           |              |
| 59  | 1936/4/5   | ○    |     |            | 滑川、高月沿岸                  |                           | 家屋           |
| 60  | 1936/10/5  |      |     | 台風3614号    | 滑川、水橋                    |                           |              |
| 61  | 1937/3/17  |      |     | 風害         | 県内                       |                           | 家屋、漁船破損      |
| 62  | 1937/9/11  |      |     | 台風3711号    | 県内                       | 道路欠陥                      | 家屋、漁船        |
| 63  | 1937/12/2  |      |     |            | 滑川                       |                           |              |
| 64  | 1938/2/9   |      |     |            | 新湊                       | 防波堤欠陥                     |              |
| 65  | 1938/12/22 |      |     |            | 富山湾一帯                    |                           | 漁船遭難         |
| 66  | 1939/1/5   | ○    |     | 1938/12/23 | 新湊沿岸一帯、高月海岸              | 堤防破堤                      |              |
| 67  | 1949/2/15  | ○    |     | 1939/1/6   | 富山湾沿岸                    | 砂防突堤欠陥、荷揚場沈下、護岸捨石流出       | 家屋           |
| 68  | 1951/11/27 | ○    |     | 1949/2/16  | 滑川、早月、新湊、水見沿岸            | 堤防欠陥、湖除堤流出                | 家屋           |
| 69  | 1954/9/26  | ○    |     | 1951/11/28 | 富山湾東岸                    | 護岸堤防欠陥                    | 家屋           |
| 70  | 1954/12/23 | ○    |     |            | 下新川、朝日、滑川沿岸              | 護岸堤欠陥                     |              |
| 71  | 1955/1/11  | ○    |     |            | 新湊、伏木、堀岡、越の瀬、海老江         | 道路一部崩壊                    | 家屋           |
| 72  | 1955/2/20  | ○    |     |            | 吉崎、境、沼、入善、吉原、八幡、黒部、滑川、新湊 | 堤防欠陥                      | 家屋           |
| 73  | 1955/10/8  | ○    |     | 1955/10/9  | 下新川、入善、朝日                |                           |              |
| 74  | 1956/2/11  | ○    |     | 1956/2/12  | 下新川、滑川                   | 堤防欠陥                      | 家屋、漁船大破      |
| 75  | 1961/1/26  | ○    |     | 1961/1/27  | 滑川、魚津、朝日、新湊              | 堤防欠陥                      | 家屋、漁船破損      |
| 76  | 1962/1/3   | ○    |     | 三つ毛低気圧     | 下新川                      | 堤防欠陥                      | 家屋           |
| 77  | 1962/1/22  | ○    |     | 1962/1/23  | 入善、吉原沿岸                  | 護岸欠陥                      |              |
| 78  | 1963/1/7   | ○    |     | 1963/1/8   | 海老江、堀岡、入善海岸、下新川、新湊沿岸     | 堤防                        | 家屋           |
| 79  | 1964/1/20  | ○    |     |            | 入善沿岸一帯                   |                           |              |
| 80  | 1964/2/2   | ○    |     |            | 入善沿岸一帯                   |                           |              |
| 81  | 1965/1/3   | ○    |     |            | 水橋東部沿岸                   |                           |              |
| 82  | 1965/12/18 | ○    |     |            | 新湊沿岸一帯                   |                           |              |
| 83  | 1966/2/23  | ○    |     |            | 朝日、入善沿岸                  |                           |              |
| 84  | 1966/8/1   | ○    |     |            | 入善、朝日                    |                           | 漁船流出、大破      |
| 85  | 1970/1/31  | ○    |     | 1970/2/2   | 朝日、入善、魚津、滑川の各沿岸          | 護岸欠陥                      | 家屋           |
| 86  | 1970/3/17  | ○    |     | 1970/3/18  | 高月                       |                           | 家屋           |
| 87  | 1970/7/17  | ○    |     | 台風9号       | 高月海岸                     |                           |              |
| 88  | 1970/11/12 | ○    |     | 1970/12/14 | 高月海岸                     | 護岸、防波堤一部陥落                | 家屋           |
| 89  | 1970/12/13 | ○    |     |            | 入善、吉原                    | 護岸決壊                      |              |
| 90  | 1970/12/18 | ○    |     |            | 入善、滑川                    | 護岸決壊                      |              |
| 91  | 1970/12/26 | ○    |     |            | 四方漁港                     | 護岸決壊                      |              |
| 92  | 1971/1/4   | ○    |     | 1971/1/6   | 滑川海岸、下新川、高月、入善           | 護岸堤防欠陥                    | 家屋、漁船破損      |
| 93  | 1971/2/28  | ○    |     | 1971/3/1   | 入善                       | 護岸決壊                      |              |
| 94  | 1972/2/28  | ○    |     | 1972/2/29  | 滑川海岸                     | 護岸決壊                      |              |
| 95  | 1972/4/1   | ○    |     | 1972/4/2   | 滑川海岸                     | 護岸決壊                      | 家屋           |
| 96  | 1972/9/16  | ○    |     | 1972/9/19  | 高岡、米見、新湊、朝日、入善、滑川沿岸一帯    | 護岸決壊                      | 漁船破損、家屋      |
| 97  | 1972/12/2  | ○    |     | 1972/12/3  | 滑川、入善、高月、朝日沿岸            |                           |              |
| 98  | 1974/1/24  | ○    |     |            | 新湊、米見                    |                           | 漁船破損         |
| 99  | 1974/2/9   | ○    |     |            | 黒部、米見                    |                           | 漁船破損         |
| 100 | 1974/10/23 | ○    |     | 1974/10/25 | 米見                       |                           | 漁船破損         |

■は資料中に「寄り回り波」が原因と標記されているもの。  
 ○は天気図を見て、より回り波の可能性が高いと判断。  
 2004/2/23～24の被災時の観測周期：伏木富山13.6秒、富山13.9秒  
 2006/10/6～8の被災時の観測周期：伏木富山11.8秒、富山12.79秒

表 1.2-1(3) 富山県内で過去に発生した被災

| 番号  | 被害発生期間     | 気象要因 |            | 備考 | 主な被災地域                 | 被害施設（港湾、海岸の施設等）                  | 船、家屋（損壊、浸水）等 |
|-----|------------|------|------------|----|------------------------|----------------------------------|--------------|
|     |            | 寄り回り | 低気圧        |    |                        |                                  |              |
| 101 | 1974/11/18 | ～    | 1974/11/19 |    | 滑川、黒部海岸                |                                  |              |
| 102 | 1975/8/23  | ～    | 1975/8/24  | ○  | 奥部、朝日、吉浦、高月、富山海岸       | ブロック堤、突堤、離岸堤、護岸                  |              |
| 103 | 1975/12/17 | ～    | 1975/12/18 | ○  | 米見                     |                                  | 漁船破損         |
| 104 | 1976/11/15 | ～    | 1976/11/16 | ○  | 米見                     |                                  | 漁船破損         |
| 106 | 1976/12/27 | ～    | 1976/12/30 | ○  | 米見、宮崎                  |                                  | 漁船破損         |
| 108 | 1977/12/21 | ～    | 1977/12/23 | ○  | 米見                     |                                  | 漁船破損         |
| 107 | 1978/1/22  | ～    | 1978/1/24  | ○  | 入新、新湊                  |                                  | 漁船破損         |
| 108 | 1978/3/1   | ～    | 1978/3/2   | ○  | 境、大屋、滑川、富山、小境、宮崎、吉原    | 根固工、消波工、離岸堤、護岸                   | 漁船破損         |
| 109 | 1978/12/20 | ～    |            |    | 富山                     | 物揚場決壊                            |              |
| 110 | 1979/2/1   | ～    | 1979/2/3   | ○  | 大屋、滑川、藤田、富山、入新、奥東部海岸一帯 | 離岸堤                              |              |
| 111 | 1979/3/31  | ～    | 1979/4/1   | ○  | 滑川、入新、奥部、富山、奥東部海岸一帯    | 離岸堤、防砂堤、堤防                       | 漁船破損         |
| 112 | 1979/10/19 | ～    | 1979/10/20 | ○  | 新湊、富山、滑川、下新川海岸         | 護岸                               |              |
| 113 | 1980/1/16  | ～    | 1980/1/19  | ○  | 米見                     |                                  | 漁船破損         |
| 114 | 1980/7/21  | ～    | 1980/7/22  | ○  | 米見                     |                                  | 漁船破損         |
| 115 | 1980/8/12  | ～    | 1980/8/13  | ○  | 宮崎                     |                                  | 漁船破損         |
| 116 | 1980/10/25 | ～    | 1980/10/28 | ○  | 滑川、富山海岸                |                                  | 漁船破損         |
| 117 | 1980/12/24 | ～    | 1980/12/25 | ○  | 朝日、高岡、大屋海岸、宮崎、滑川、入新漁港  | 離岸堤                              |              |
| 118 | 1980/12/29 | ～    | 1980/12/31 | ○  | 米見                     | 副離岸堤、航路変遷、東防波堤、防砂堤、道路に流木、堆砂      | 漁船破損         |
| 119 | 1981/1/10  | ～    | 1981/1/11  | ○  | 新湊海岸、高岡、富山、海老江         | 航路変遷、物揚場、護岸、突波工、突堤               |              |
| 120 | 1981/2/24  | ～    | 1981/2/27  | ○  | 滑川（笠木）海岸               | 護岸                               |              |
| 121 | 1981/3/16  | ～    | 1981/3/18  | ○  | 米見、富山                  |                                  | 漁船破損         |
| 122 | 1981/12/2  | ～    | 1981/12/3  | ○  | 魚津、滑川                  |                                  | 漁船破損         |
| 123 | 1981/12/14 | ～    | 1981/12/16 | ○  | 米見                     |                                  | 漁船破損         |
| 124 | 1982/1/28  | ～    | 1982/1/30  | ○  | 富山海岸、滑川漁港、水橋           | 副離岸堤、離岸堤、護岸、航路変遷、護岸根固、消波堤        |              |
| 125 | 1982/3/24  | ～    | 1982/3/26  | ○  | 米見                     |                                  | 漁船破損         |
| 126 | 1982/4/10  | ～    | 1982/4/11  | ○  | 泊、境                    |                                  | 漁船破損         |
| 127 | 1982/9/22  | ～    | 1982/9/24  | ○  | 泊、境                    |                                  | 漁船破損         |
| 128 | 1982/10/25 | ～    | 1982/10/26 | ○  | 泊                      |                                  | 漁船破損         |
| 129 | 1983/3/17  | ～    | 1983/3/18  | ○  | 富山海岸                   |                                  | 漁船破損         |
| 130 | 1983/3/18  | ～    | 1983/3/19  | ○  | 新湊                     |                                  | 漁船破損         |
| 131 | 1983/12/12 | ～    | 1983/12/13 | ○  |                        |                                  |              |
| 132 | 1984/1/30  | ～    | 1984/2/1   | ○  | 大屋、中田海岸                |                                  | 漁船破損         |
| 133 | 1987/1/1   | ○    |            | ○  | 富山、四方                  | 岸壁、突堤損傷                          |              |
| 134 | 1988/10/1  | ○    |            | ○  | 魚津                     | 船揚場、防波堤、離岸堤消波ブロック沈下              |              |
| 135 | 1988/10/29 | ○    |            | ○  | 境、吉浦海岸                 |                                  |              |
| 136 | 1989/4/27  | ○    |            | ○  | 境海岸                    |                                  |              |
| 137 | 1989/10/17 | ○    |            | ○  | 富山海岸                   |                                  |              |
| 138 | 1989/11/1  | ○    |            | ○  | 境海岸                    |                                  |              |
| 139 | 1990/9/1   |      |            | ○  | 伏木、富山                  | 道路歩道沈下、岸壁、船揚場基礎沈陥、防波堤消波ブロック沈下    |              |
| 140 | 1990/9/19  |      |            |    | 物揚場、波除堤（消波ブロック）        |                                  |              |
| 141 | 1991/2/15  |      |            |    | 伏木富山                   | 波除堤（消波ブロック）、岸壁崩壊、離岸堤沈下、根固散乱、護岸破損 |              |
| 142 | 1995/7/7   |      |            |    | 豪雨、梅雨前線豪雨              |                                  |              |
| 143 | 1997/1/6   | ○    |            | ○  | 伏木富山、魚津                | 護岸欠壊、離岸堤消波ブロック沈下                 |              |
| 144 | 1997/6/28  |      |            | ○  | 伏木富山                   | 護岸消波ブロック沈下                       |              |
| 145 | 2004/2/23  | ○    |            | ○  | 魚津港、新湊、高岡              | 護岸（根固ブロック飛散）、防波堤破損、物揚場           |              |
| 146 | 2004/10/20 | ○    |            | ○  | 富山                     | 緑地施設、防舷材破損、エブロン沈下、護岸崩壊           |              |
| 147 | 2006/10/6  | ○    |            | ○  | 伏木、新湊                  | 岸壁（防舷材脱落）、岸壁破損、波除堤損傷、護岸陥没        |              |

■は資料中に「寄り回り波」が原因と標記されているもの。  
 ■は天気図を見て、より回り波の可能性が高いと判断。  
 2004/2/23～24の被災時の観測周期：伏木富山13.6秒、富山13.9秒  
 2006/10/6～8の被災時の観測周期：伏木富山11.8秒、富山12.79秒  
 緑地施設には、塗装工、縁石工、擁壁工、転落防止、ベンチ工、植栽工、衣土工を含む

### 1. 3 出現月の頻度

収集した資料から、1154 年～2006 年までに発生した被災の月別件数を図 1.3-1 に示す。ここでは、表 1.2-1 に示した 147 件のうち、発生月が不明な 4 件を除いた 143 件を対象とした。図から、厳冬期や台風時期に被災が多くなっていることがわかる。

さらに、「寄り回り波」が原因となった被災の月別件数（総件数は表 1.2-1 で黄と水色に塗りつぶした 87 件）を図 1.3-2 に示す。被災全般とほぼ同様の傾向である。

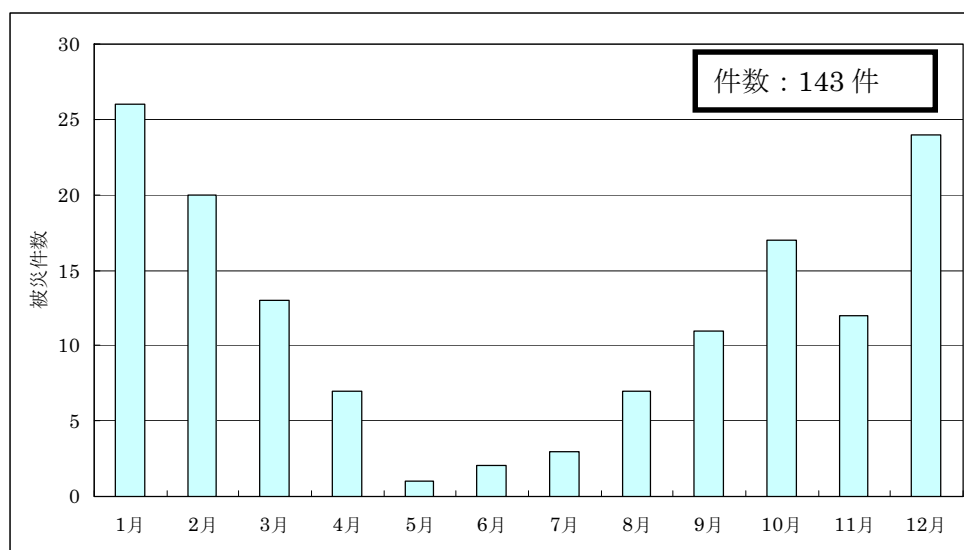


図 1.3-1 被災の月別件数

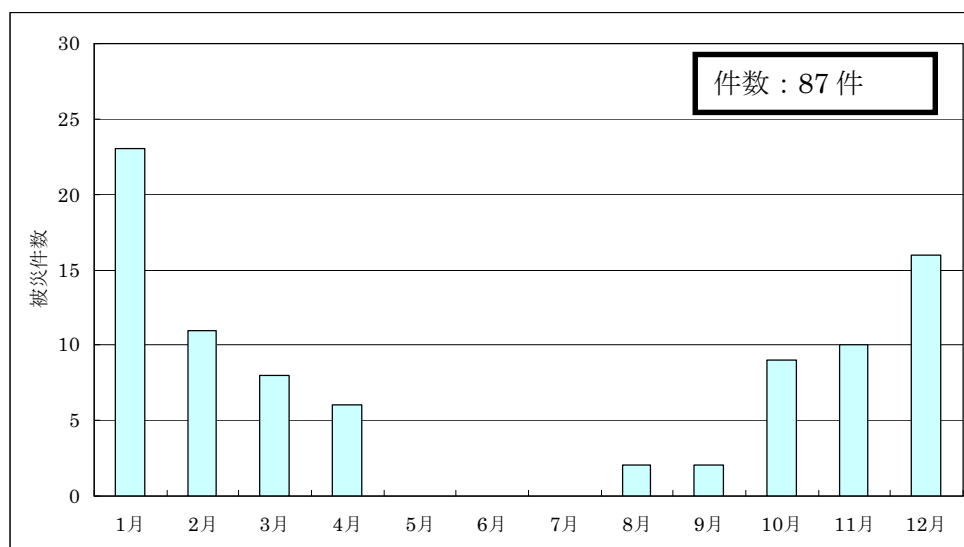


図 1.3-2 寄り回り波による被災の月別件数

#### 1. 4 寄り回り波による被災地の分析

表 1.2-1 を元に、被災した地域を表 1.4-1 に示す行政区分に従って分類すると、図 1.4-1 に示すような分布になる。行政区分に従って分類するに際しては、地域名が明確なものを件数に加えた。例えば、伏木方面沿岸一帯は伏木と判断し高岡市に加算した。一方で、越中一帯、富山湾一帯など地域を特定できない被災の場合には、どの地域にも属さないようにしている。この様な考えに従って被災地を分類すると、延べ 210 箇所となった。

下新川郡、滑川市での被災が多くなっている。各行政区分の位置を図 1.4-2 に示す。

表 1.4-1 行政区分一覧

| 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 |
| 黒部市  | 黒部, 新川, 生地                            |
| 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                    |
| 射水市  | 射水, 新湊, 放生津, 海老江, 堀岡, 越の潟             |
| 高岡市  | 高岡, 伏木, 伏木富山, 国分                      |
| 氷見市  | 氷見, 中田, 小境                            |

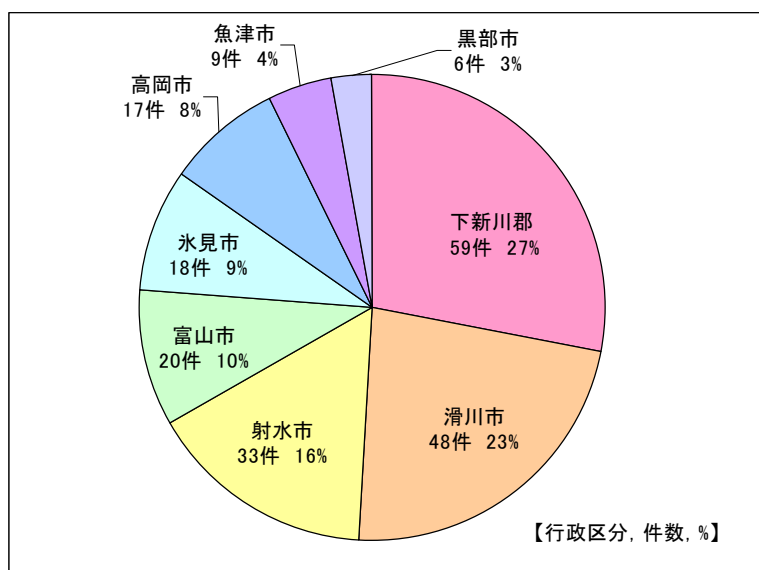


図 1.4-1 被災地域分布



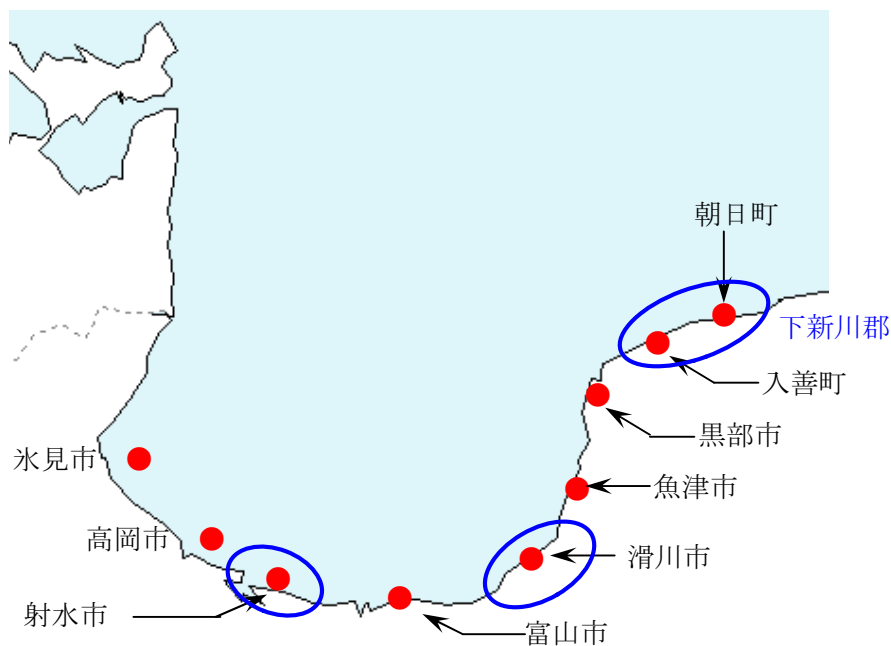


図 1.4-2 被災位置図

( で囲んであるのは寄り回り波による被災が多い地域)

### 1. 5 寄り回り波による被災の種類の分析

表 1.2-1 を元にそれぞれの被災事例で被害を受けた施設を、表 1.5-1 に示す分類に従って累計した。「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。この考え方に従って集計すると、被災した施設は、延べ 83 となる。

被災した施設毎の被災頻度は図 1.5-1 に示す通りである。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判る。

表 1.5-1 被災施設分類

| 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       |

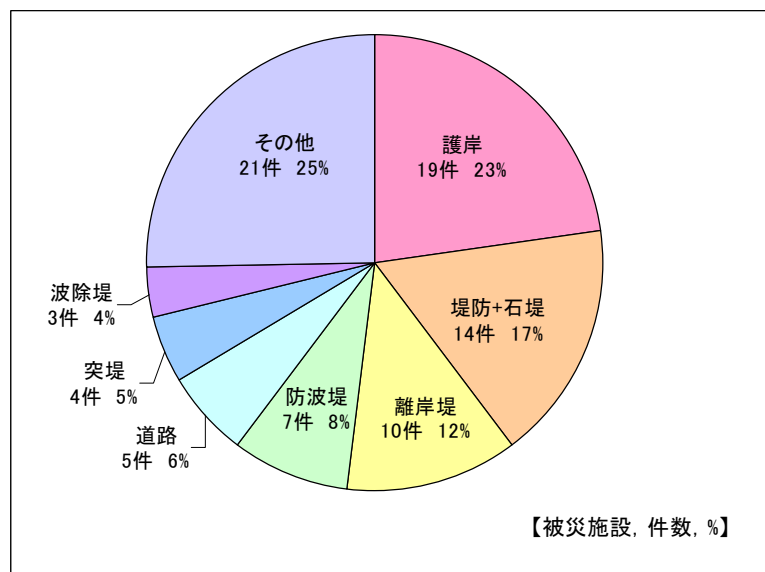


図 1.5-1 被災した施設

## 1. 6 近年の代表的な被災事例

被災地位置図及び状況写真を以下に示す。なお、以下に示す事例は港湾施設のみである。

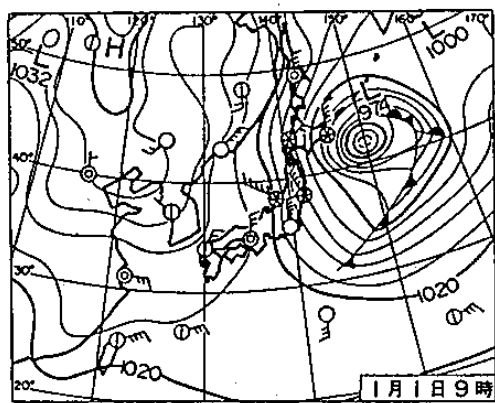
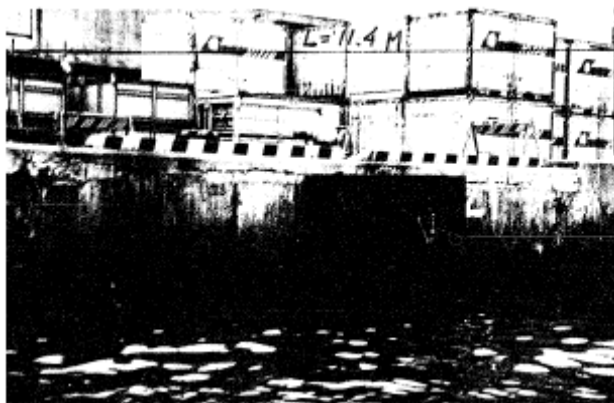


図 1.6-1(1) 被災地位置図（伏木富山港）



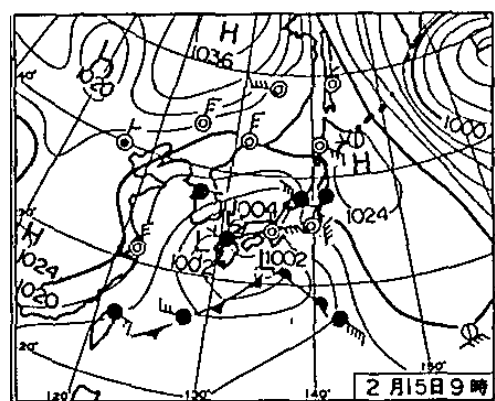
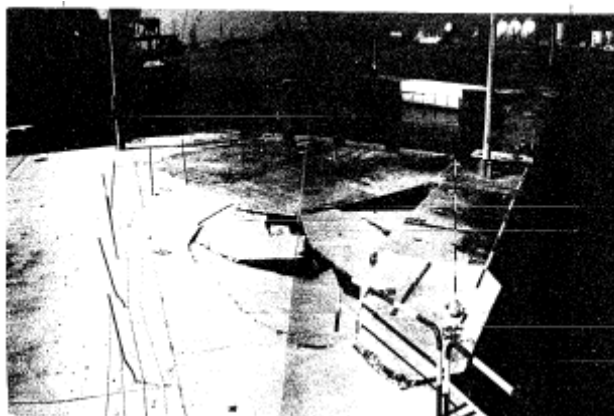
図 1.6-1(2) 被災地位置図（魚津港）

【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



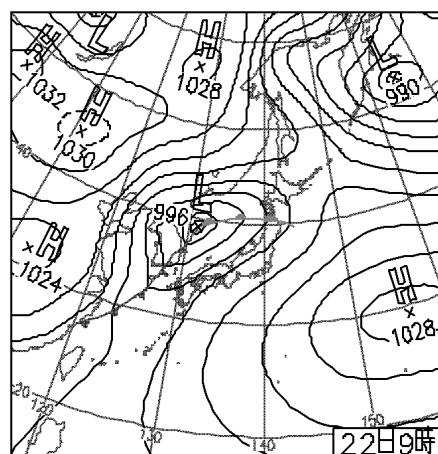
気象年鑑より

【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

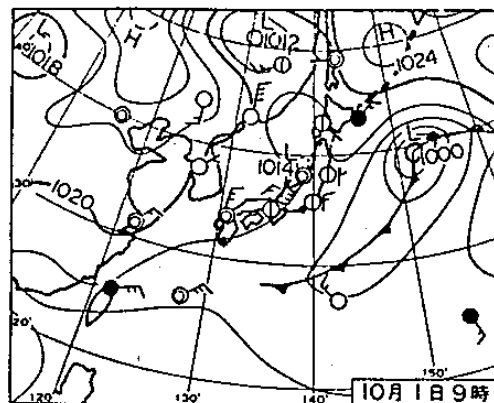


気象庁 HP より

国土交通省北陸地方整備局  
伏木富山港湾事務所 提供

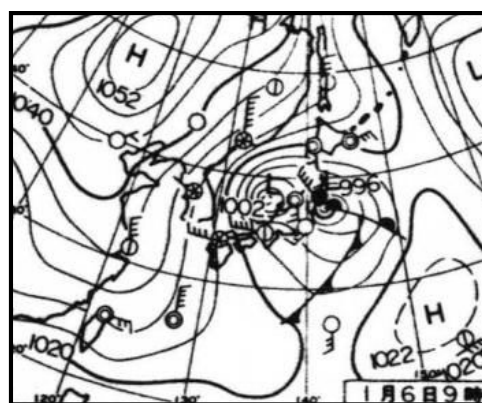


【④護岸消波工の消波ブロックの沈下例①】 昭和 63 年 10 月 1 日 魚津



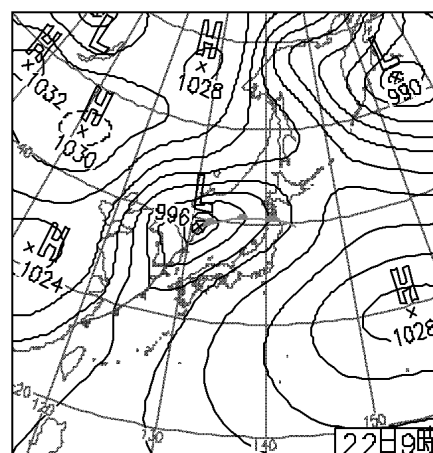
気象年鑑より

【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

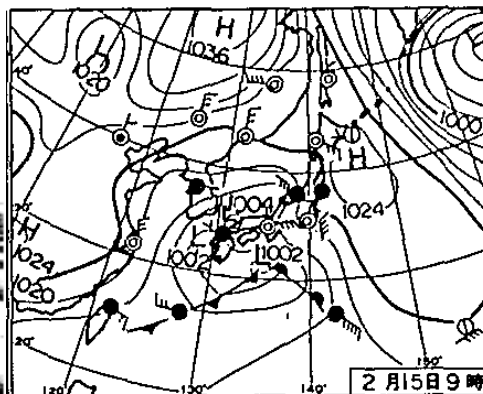
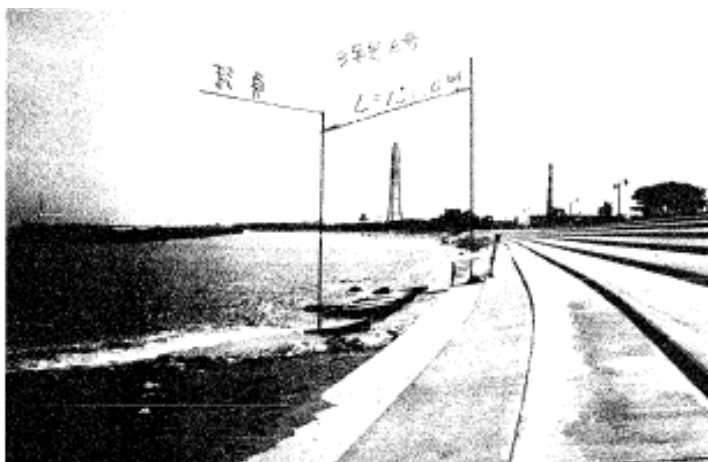
【⑥護岸消波工の消波ブロックの沈下例③】 平成 16 年 2 月 22 日 新湊



気象庁 HP より

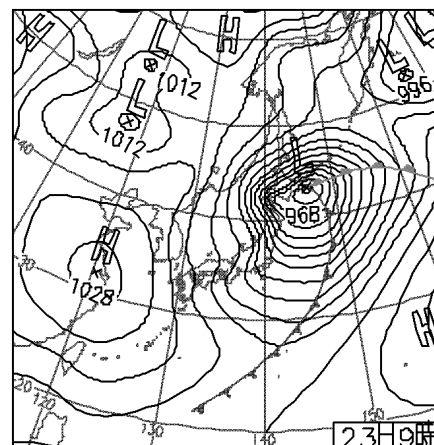
国土交通省北陸地方整備局  
伏木富山港湾事務所 提供

【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



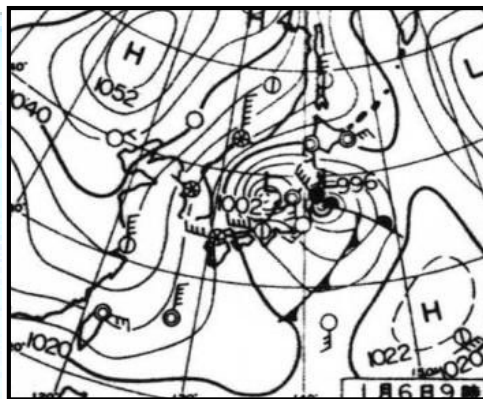
気象年鑑より

【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



気象庁 HP より

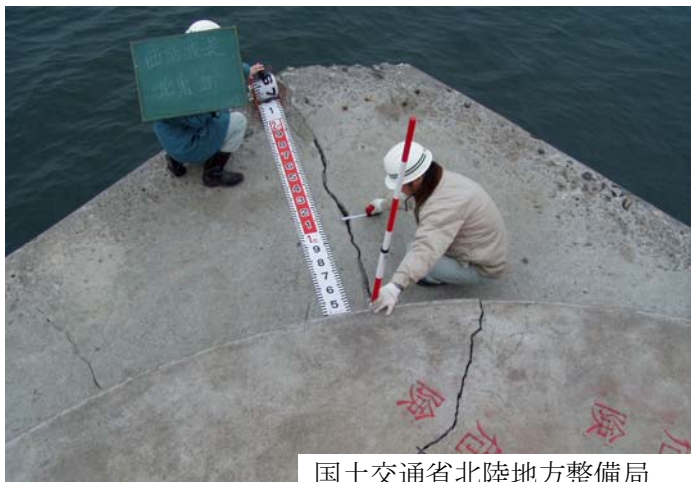
【⑨離岸堤の消波ブロックが散乱、沈下した例】平成9年1月6日 四方



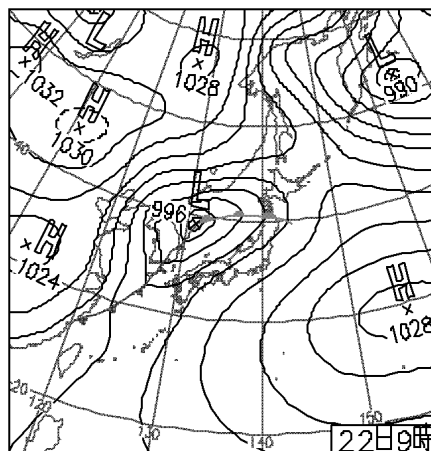
ウィンドサーフィン気象情報  
HP より



【⑩灯台にヒビが入った例】平成 16 年 2 月 22 日 新湊

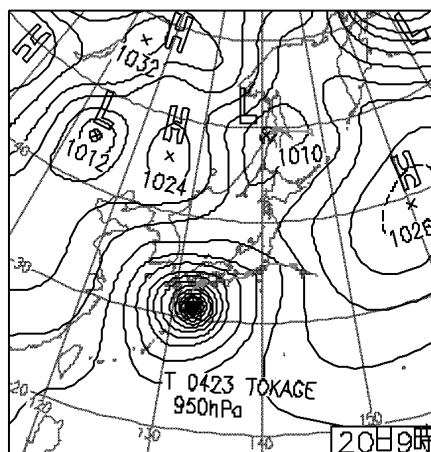


国土交通省北陸地方整備局  
伏木富山港湾事務所 提供



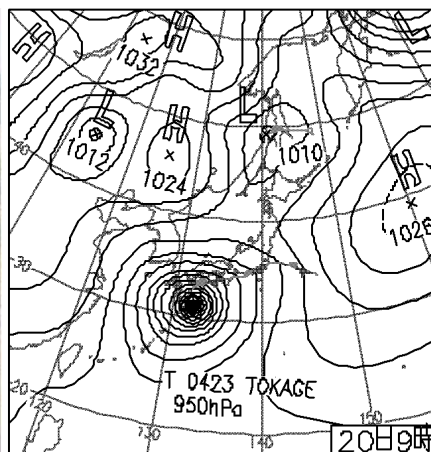
気象庁 HP より

【⑪岸壁の防舷材が破損した例】平成 16 年 10 月 20 日 伏木富山 中央 1 号岸壁  
(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

【⑫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

## 2. 「寄り回り波」による過去の検討事例の整理

### 2. 1 収集資料（文献）一覧

表 2.1-1 収集した文献一覧

| 番号 | 著者                            | 発行年  | 文献名                                | 雑誌、発行所等                      |
|----|-------------------------------|------|------------------------------------|------------------------------|
| 1  | 磯崎一郎                          |      | 波浪学入門                              | 財団法人日本船舶職員養成協会               |
| 2  | 本間仁 編                         |      | 海岸防災                               | 共立出版株式会社                     |
| 3  | 磯崎一郎                          | 1971 | 富山湾の沿岸波浪の特性（第1報）                   | 防災科学技術総合研究報告，第25号            |
| 4  | 磯崎一郎・太田芳夫                     | 1972 | 富山湾の沿岸波浪の特性（第2報）                   | 防災科学技術総合研究報告，第28号            |
| 5  | 土屋義人・山口正隆・芝野照夫・矢下忠彦           | 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               |
| 6  | 吉田清三                          | 1987 | 富山湾の海難と寄り回り波                       | 海難防止資料                       |
| 7  | 財団法人日本気象協会                    | 1989 | 気象海象要覧<br>日本海 主として北陸海域             | 財団法人日本気象協会                   |
| 8  | 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                   |
| 9  | 国土交通省北陸地方整備局                  | 1997 |                                    | けんせつほくりく，No336，<br>1997年12月号 |
| 10 | 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<br>性状に関する研究        | 土木学会第54回年次学術講演会<br>論文集       |
| 11 | 畑田佳男・山口正隆                     | 1998 | 富山湾における特異波浪「寄り回り<br>波」の予測に関する予備的検討 | 愛媛大学工学部紀要，第17巻               |
| 12 | 国土交通省北陸地方整備局<br>新潟港湾空港技術調査事務所 | 2005 | 平成16年度沿岸波浪算定調査報告書                  |                              |

### 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。

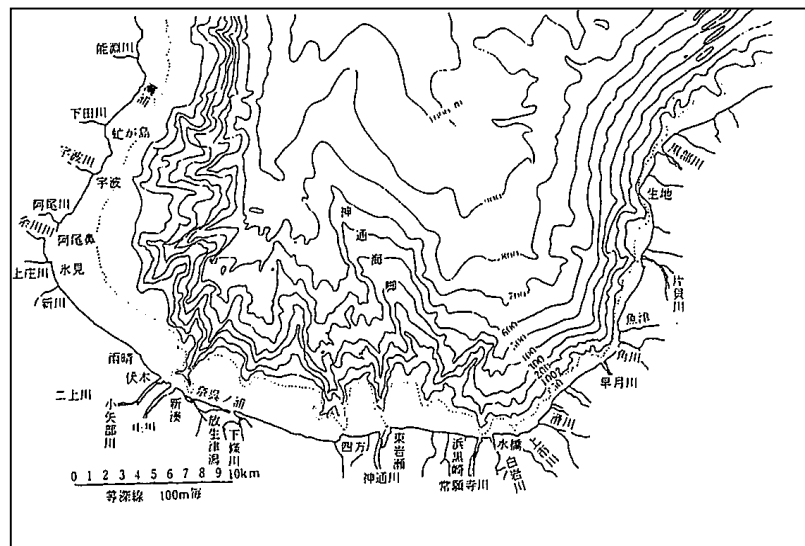


図 2.2-1 富山湾南部の等深線図

- 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。

#### 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搬の様子を観察し、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。

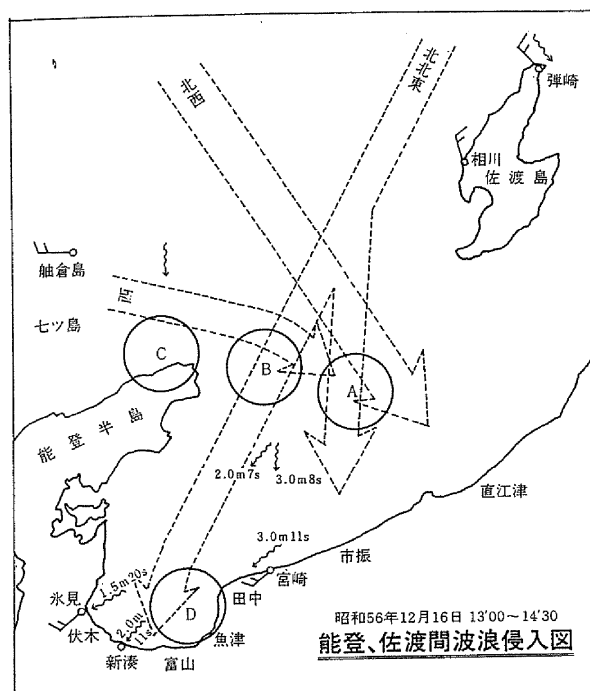


図 2.2-2 風波とうねりが同時に来襲する様子

#### 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樣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。

表 2.2-1 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】

- 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、波は屈性、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。

#### 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。

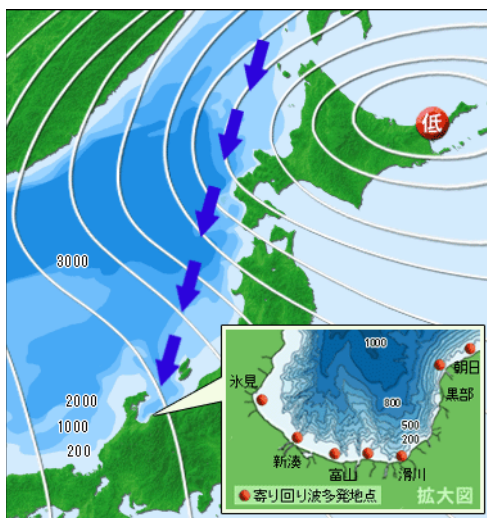


図 2.2-3 寄り回り波発生時の気圧配置

●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。

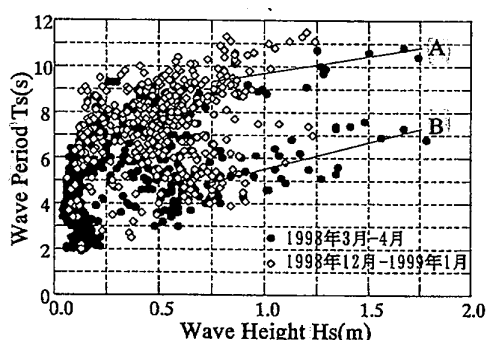
#### 文献 9 国土交通省北陸地方整備局「けんせつほくりく」

●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」

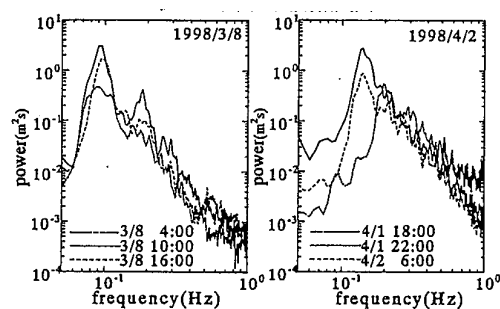
●外洋から侵入してきたうねりと富山湾付近で発生した風波では、それぞれ波高・周期の結合分布が異なる。

●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。



【土木学会第 54 回年次講演会 p. 73 より抜粋】

図 2.2-4 波高・周期相関図



【土木学会第 54 回年次講演会 p. 73 より抜粋】

図 2.2-5 波数スペクトル経時変化(3/8vs4/2)

#### 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 12 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判った.

(参考1) 既往文献一覧

表 1.1-2 の資料 1, 資料 4 の中では「寄り回り波」に関する既往文献が紹介されている。  
 参表 1-1, 参表 1-2(1)~(6)にその一覧を示す。

参表 1-1 資料 1 の中で収集された文献一覧

| No. | 文 献 名                                                    | 著 者 名    | 発刊年度 |
|-----|----------------------------------------------------------|----------|------|
| 1   | 寄り回り波の機巧と予知、中央気象台海洋報告2 P.419~P.445                       | 北 出 正 清  | 1952 |
| 2   | 富山湾の波浪について、海と空 第44巻第4号 P.120~P.128                       | 原 見 敬 二  | 1969 |
| 3   | 富山湾の沿岸浪害と「寄り回り」波の実態、富山高専校紀要2号 P.20~P.33                  | 吉 田 清 三  | 1970 |
| 4   | 富山湾の波浪統計的調査、富山湾の波浪の総観解析 P.1~P.18                         | 加 藤 進 一  | 1971 |
| 5   | 伏木新湊の風浪について、富山湾の波浪の総観解析 P.19~P.23                        | 日 原 達 彦  | 1971 |
| 6   | 富山湾の高波に関するケーススタディ、富山湾の波浪の総観解析 P.24~P.28                  | 吉 田 忠 孝  | 1971 |
| 7   | 富山県の浪害とその予想について、富山湾の波浪の総観解析 P.29~P.38                    | 舟 田 久 之  | 1971 |
| 8   | いわゆる“より廻り波”の天気図パターンと波高計算について<br>富山湾の波浪の総観解析 P.39~P.46    | 佐 藤 正 夫  | 1971 |
| 9   | 波浪と脈動の関係について、富山湾の波浪の総観解析 P.39~P.46                       | 森 田 茂    | 1971 |
| 10  | 富山湾の波浪と脈動について、富山湾の波浪の総観解析 P.50~P.55                      | 権 藤 光 宏  | 1971 |
| 11  | 富山湾の沿岸波浪の特性(第1報)<br>防災科学技術総合研究報告25号 P.3~P.15             | 磯 崎 一 郎  | 1971 |
| 12  | 富山湾の沿岸波浪の特性(第2報)<br>防災科学技術総合研究報告25号 P.3~P.17             | 磯 崎 一 郎  | 1971 |
| 13  | 冬の富山湾に発生する高波 「寄り回り波」 気象 P4624                            | 佐 藤 正 夫  | 1976 |
| 13  | 第拾魚水丸遭難現場付近の風浪状況について、<br>富山商船校集録第15号 P.15 P.22           | 石 森 繁 樹  | 1982 |
| 14  | 日本海における季節風時の波浪予知(1)海上風推定、<br>京大防災研年報26号 B-2 P.587~P.598  | 光田、藤井、塚本 | 1983 |
| 15  | 日本海における季節風時の波浪予知(2)波浪の数値予知<br>京大防災研年報26号 B-2 P.599~P.635 | 土屋、山口、平口 | 1983 |
| 16  | 寄り回り波、日本気象学会中部支部だより大16号 P.2~P.5                          | 石 森 繁 樹  | 1983 |
| 17  | 創立百年誌、伏木測候所                                              |          |      |
| 18  | 富山県気象災異誌、富山地方気象台                                         |          |      |

参表 1-2(1) 資料4で紹介されている文献一覧

| No. | 著 者 名                 | 文 献 名                                        | 発刊年、発刊機関、書名等               |
|-----|-----------------------|----------------------------------------------|----------------------------|
| 1   | 伏 木 測 候 所             | 気象雑篇（第一巻）                                    | (1919)伏木測候所                |
| 2   | 伏 木 測 候 所             | 気象日用便覧                                       | (1924)伏木測候所                |
| 3   | 川 上 宣 孝               | 日本海の副振動について                                  | (1927)海と空 7(4)             |
| 4   | 田 口 龍 雄               | 伏木海岸の磯波に就いて<br>(第1報、第2報)                     | (1943)海と空23(1)             |
| 5   | 田 口 龍 雄               | 富山湾海洋誌                                       | (1947)北陸地方気象研究会誌 2(4)      |
| 6   | 田 口 龍 雄               | 富山湾の浪害に関する研究                                 | (1949)北陸地方気象研究会論文集         |
| 7   | 小 林 清 次               | 富山湾の浪害と気象状況について                              | (1949)北陸地方気象研究会論文集         |
| 8   | 田 口 龍 雄               | 富山湾浪害資料                                      | (1950)富山県海岸対策協議会           |
| 9   | 小 林 清 次               | 昭和24年11月23日夜から<br>24日朝にかけての高岡市、新湊<br>の浪害について | (1950)北陸地方気象研究会論文集         |
| 10  | 富 山 測 候 所             | 「寄り回り波」現地調査報告                                | (1951)富山測候所                |
| 11  | 北 出 正 清               | 「寄廻り」波の機巧と予知                                 | (1952)北陸地方研究会誌海洋報告<br>2(4) |
| 12  | 田 口 龍 雄               | 伏木沿岸の波浪について                                  | (1954)北陸東西両地区合同研究会<br>論文集  |
| 13  | 伏 木 測 候 所             | 伏木気象累年報（1886～1950）                           | (1954)伏木測候所                |
| 14  | 波 多 正 二               | 日本海を通る台風による地盤の脈<br>動と富山港の波浪について              | (1956)秋季北陸西部地区気象研究会<br>論文集 |
| 15  | 久 保 時 夫 共訳<br>磯 崎 一 郎 | 新しい波浪予報報とその実際的手<br>順                         | (1958)東京管区気象台              |
| 16  | 波 多 正 二               | 富山湾の波浪予報                                     | (1958)北陸東西地方合同研究会誌         |
| 17  | 田 口 龍 雄               | 日本海の波浪について                                   | (1958)北陸地方予報ノート 6          |
| 18  | 田 中 忠 雄               | 寿都地方の強風について(第1報)                             | (1958)研究時報10               |

参表 1-2(2) 資料4で紹介されている文献一覧

| No. | 著 者 名           | 文 献 名                                              | 発刊年、発刊機関、書名等          |
|-----|-----------------|----------------------------------------------------|-----------------------|
| 19  | 富山県、<br>富山地方気象台 | 富山湾波浪観測報告(Ⅲ)<br>昭32~34                             | (1960)富山県、富山地方気象台     |
| 20  | 宇 野 木 早 苗       | 波浪と波候                                              | (1960)科学技術庁資源局        |
| 21  | 安 田 浩           | 駿河湾の波について                                          | (1962)海と空38(1)        |
| 22  | 日本海区水産研究所       | 1961年の5月、7月、11月に<br>おける富山湾の沿岸域の流動と定<br>置網の漁況に関する考察 | (1962)富山県、水産庁         |
| 23  | 浅 井 俊 夫         | 北陸沿岸の高波                                            | (1963)研究時報15          |
| 24  | 浅 井 俊 夫         | 磯波帯の波浪予報                                           | (1963)北陸地方予報ノート       |
| 25  | 重 田 貞 久         | 佐渡沿海における波浪について                                     | (1963)北陸地方気象研究会誌      |
| 26  | 瀬 下 伸 二         | 史料から見た佐渡の気象災害と異<br>常気象(第2報)海難                      | (1964)北陸地方気象研究会誌      |
| 27  | 伏木富山港工事事務所      | 富山新港の自然条件について<br>(昭和38年度)                          | (1964)富山新港資料調査編1 V-1  |
| 28  | 伏木富山港工事事務所      | 富山湾海岸侵食調査報告                                        | (1964)第一港湾建設局         |
| 29  | 奈須紀幸、本座栄一       | 富山湾海岸侵食調査報告                                        | (1966)富山県             |
| 30  | 富 山 地 方 気 象 台   | 富山県の風に関する調査報告                                      | (1967)気象庁技術報告58       |
| 31  | 浅 井 俊 夫         | 沿岸波浪予報のための基礎調査                                     | (1967)研究時報19(7)       |
| 32  | 原 見 敬 二         | 富山湾の波浪について                                         | (1967)海と空44-4         |
| 33  | 黒 部 工 事 事 務 所   | 富山湾沿岸下新川海岸調査報告書                                    | (1967)建設省北陸地方建設局      |
| 34  | 土 木 部 河 川 課     | 富山県の海岸                                             | (1968)富山県             |
| 35  | 井 上 篤 次 郎       | 波浪予報と航海                                            | (1968)日本航海学会誌39       |
| 36  | 伏 木 測 候 所       | 富山地方の北東強風について                                      | (1968)東京管区気象台研究会誌1・53 |
| 37  | 浅 井 俊 夫         | 高波による異常振動について                                      | (1968)研究時報19(10)      |
| 38  | 浅 井 俊 夫         | 冬期日本海の総観波浪図解析                                      | (1968)研究時報20(12)      |
| 39  | 岩 崎 雄 一 他       | 大湊海岸における波浪の変計につ<br>いて                              | (1969)海岸工学講演会講演集16    |
| 40  | 吉 田 清 三         | 富山湾の沿岸浪害と「寄回り」波                                    | (1970)商船高等専門学校紀要20類   |

参表 1-2(3) 資料 4 で紹介されている文献一覧

| No. | 著 者 名                      | 文 献 名                                    | 発刊年、発刊機関、書名等              |
|-----|----------------------------|------------------------------------------|---------------------------|
| 41  | 磯 崎 一 郎 他                  | 富山湾の沿岸波浪の特性(その1)                         | (1971)防災科学研究報告25          |
| 42  | 磯 崎 一 郎 他                  | 富山湾の沿岸波浪の特性(その2)                         | (1971)防災科学研究報告28          |
| 43  | 新潟調査設計事務所                  | 昭和45年冬季異常波浪について<br>(昭和44年11月～昭和45年3月)    | (1971)第一港湾建設局             |
| 44  | 富 山 地 方 気 象 台              | 富山湾の波浪の総観解析                              | (1971)日本気象協会富山支部          |
| 45  | 富 山 地 方 気 象 台              | 富山県気象災異誌                                 | (1971)日本気象協会富山支部          |
| 46  | 佐 藤 昭 二 他                  | 富山海岸湾奥部の海岸侵食について                         | (1971)第18回海岸工学講演会論文集、土木学会 |
| 47  | 瀧内俊郎、荒木 甫                  | 富山湾における海岸侵食および海岸構造物の経年変化に関する調査報告         | (1971)防災科学技術総合研究報告25      |
| 48  | 瀧内俊郎、荒木 甫                  | 富山湾における海岸侵食および海岸構造物の経年変化に関する調査報告<br>(抜粋) | (1971)富山県土木部              |
| 49  | 瀧内俊郎、荒木 甫                  | 富山湾における海岸侵食および海岸構造物の経年変化に関する調査報告         | (1972)防災科学技術総合研究報告28      |
| 50  | 原 見 敬 二                    | 日本海の波浪について                               | (1972)海の気象18(2)           |
| 51  | 堀 口 善 一                    | 海洋気象パイロボット資料による<br>冬季日本海の海上風について         | (1973)研究時報25              |
| 52  | 富 山 地 方 気 象 台<br>北陸電力技術研究所 | 富山地方の海陸風について                             | (1973)富山地方気象台、北陸電力        |
| 53  | 川 鍋 安 次                    | 日本海の季節風と波                                | (1973)気象研究ノート115          |
| 54  | 權 藤 光 宏                    | 北陸沿岸の波浪と脈動について                           | (1973)東京管区地方気象研究会誌 6      |
| 55  | 舟 田 久 之                    | 富山県の海陸風について<br>(第1報～第5報)                 | (1970～1974)東京管区地方気象研究会誌 6 |
| 56  | 藤 井 昭 二                    | 富山湾                                      | (1974)富山文庫3、巧玄出版          |



参表 1-2(4) 資料 4 で紹介されている文献一覧

| No. | 著 者 名          | 文 献 名                             | 発刊年、発刊機関、書名等                |
|-----|----------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 57  | 新潟調査設計事務所      | 越波に関する模型実験報告書<br>(伏木富山港新湊区)       | (1974)第一港湾建設局               |
| 58  | 山下 旭           | 沖波と沿岸波の関連性について                    | (1975)船と海上気象19(2)           |
| 59  | 浅井 俊夫          | 外洋波浪図の利用と石川県沿岸の<br>波浪の特性          | (1975)研究時報27                |
| 60  | 土屋義人、山口正隆<br>他 | 海岸波浪の変形に伴う波浪の地域<br>分布特性           | (1976)第23回海岸工学講演論文集<br>土木学会 |
| 61  | 吉田 忠孝          | 石川県沿岸の波浪予報                        | (1976)東京管区技術コース43           |
| 62  | 藤井 昭二 他        | 富山湾東部海岸における海岸侵食                   | (1977)自然災害資料解析 4            |
| 63  | 藤井 昭二 他        | 富山湾西部海岸における海岸侵食                   | (1978)自然と社会44               |
| 64  | 北陸電力株式会社       | 富山新港および周辺海域における<br>海域調査報告書        | (1978)北陸電力株式会社              |
| 65  | 新日本気象海洋㈱       | 伏木富山港流況解析報告書                      | (1978)新日本気象海洋株式会社           |
| 66  | 矢吹 文太郎         | 能登半島西方海域および佐渡海峡<br>における沿岸波浪について   | (1979)研究時報31                |
| 67  | 日本気象協会         | 新しいモデルによる波浪予測手法<br>の実用化試験の開発研究報告書 | (1980)日本気象協会                |
| 68  | 富 山 県          | 富山県の海岸                            | (1980)富山県                   |
| 69  | 沢田 久蔵          | 日本海の波について                         | (1980)海の気象26(1、2)           |
| 70  | 吉田 清三          | 富山湾の特異波浪－俗にいう「寄<br>り回り波」について      | (1981)中部日本海海難防止協定会報<br>17   |
| 71  | 土屋義人、山口正隆<br>他 | 日本海沿岸における異常波浪の数<br>値予知            | (1982)第29回海岸工学講演論文集<br>1～5  |
| 72  | 吉田 清三          | 寄り回り波の航空機観測                       | (1982)富山商船高等専門学校研究集<br>録15  |
| 73  | 吉田 清三          | 上空より見た「寄り回り波」につ<br>いて             | (1982)中部日本海海難防止協定会報<br>15   |

参表 1-2(5) 資料4で紹介されている文献一覧

| No. | 著 者 名          | 文 献 名                           | 発刊年、発刊機関、書名等                     |
|-----|----------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 74  | 石 森 繁 樹        | 第10魚水丸遭難現場付近の風浪<br>状況について       | (1982)富山商船高等専門学校研究集<br>録15       |
| 75  | 石 森 繁 樹        | 寄り回り波                           | (1983)日本気象学会中部支部だより<br>16        |
| 76  | 光 田、藤 井、塚 本    | 日本海における季節風時の波浪予<br>知 (1)海上風推定   | (1983)京都大学防災研究所<br>年報26号B-2      |
| 77  | 土屋義人、山口正隆<br>他 | 日本海における季節風時の波浪予<br>知 (2)波浪の数値予知 | (1983)京都大学防災研究所<br>年報26号B-2      |
| 78  | 新潟調査設計事務所      | 日本海波浪相関分析調査報告書                  | (1983)第一港湾建設局                    |
| 79  | 伏木富山港工事事務所     | 富山湾の波について(寄り回り波)                | (1983)第一港湾建設局                    |
| 80  | 神戸調査設計事務所      | 美保湾の波浪特性調査報告書                   | (1984)第三港湾建設局                    |
| 81  | 山 口 正 隆        | 波浪推算法とその適用性                     | (1985)土木学会水理委員会<br>水工学シリーズ85-B-2 |
| 82  | 吉 田 清 三        | 富山湾海難史年表 古代～近代                  | (1985)富山商船高等専門学校                 |
| 83  | 吉田清三、石森、加藤     | 寄り回り波と海難                        | (1986)航海87、日本航海学会                |
| 84  | 吉 田 清 三        | 富山湾海難史年表(1946～1983)             | (1986)富山商船高等専門学校                 |
| 85  | 新潟調査設計事務所      | 局地波浪分析調査                        | (1986)第一港湾建設局                    |
| 86  | 新潟調査設計事務所      | 日本海波浪相関分析調査報告書                  | (1987)第一港湾建設局                    |
| 87  | 吉 田 清 三        | 富山湾災害総覧                         | (1987)富山商船高等専門学校                 |

参表 1-2(6) 資料4の中で収集された文献一覧

| No. | 著 者 名               | 文 献 名                           | 発行年, 発行機関、書名等                           |
|-----|---------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|
| 1   | 北出正清                | “寄廻り”波の機巧と予知                    | (1952): 中央気象台海洋報 2 (4)、419-445          |
| 2   | 小林清久                | 富山湾の沿岸風、波浪、ウネリの観測及び浪害状況         | (1952): 富山湾海岸浸蝕調査報告書、富山県海岸対策協議会、265-298 |
| 3   | 原見敬二                | 富山湾の波浪について                      | (1968): 海と空 第44巻 第4号、19-27              |
| 4   | 吉田清三                | 富山湾の沿岸浪害と「寄回り」波の実態              | (1970): 商船高等専門学校紀要 2 (1)、20-33          |
| 5   | 富山地方気象台             | 富山湾の波浪の総観解析                     | (1971): 55                              |
| 6   | 磯崎一郎                | 富山湾の沿岸波浪の特性(第1報)                | (1971): 防災科学技術総合研究報告 第25号、3-15          |
| 7   | 磯崎一郎、太田芳夫           | 富山湾の沿岸波浪の特性(第2報)                | (1972): 防災科学技術総合研究報告第28号、13-17          |
| 8   | 浅井俊夫                | 日本海の波浪                          | (1972): 天気19 (8)、408-413                |
| 9   | 舞鶴海洋気象台海上気象課        | 日本海の海上気象                        | (1972): 気象庁技術報告、第80号 91                 |
| 10  | 土屋義人、山口正隆、芝野照夫、矢下忠彦 | 海岸波浪の変形に伴う波浪の地域分布特性             | (1976): 第23回海岸工学講演会論文集、296-301          |
| 11  | 石森繁樹 (富山商船高等専門学校)   | 第拾魚水丸遭難現場付近の風浪状況について、           | (1982): 富山商船高等専門学校研究集録 No15、15-22       |
| 12  | 吉田清三 (富山商船高等専門学校)   | 寄り回り波の航空機観測                     | (1982): 富山商船高等専門学校研究集録、No15、1-13        |
| 13  | 土屋義人、山口正隆、平口博丸      | 日本海沿岸における異常波浪の数値予測              | (1982): 第29回河岸工学講演会論文集、1-5              |
| 14  | 須山洋、山本鶴松 (北陸地方建設局)  | 下新川海岸の侵食の状況とその対策について            | (1983): 海岸 No23、41-55                   |
| 15  | 石森繁樹 (富山商船高等専門学校)   | 富山湾の海上気象、                       | (1984): 富山商船高等専門学校研究集録 No17、135-148     |
| 16  | 笹川栄志 (富山県庁)         | 特集 海岸問題 自治体行政の展開 安全な海辺と快適な浜辺を育成 | (1985): 河川レビュー 124-127                  |

(参考2) 海岸の被災事例 (本間仁著:「海岸防災」より)

横尾海岸

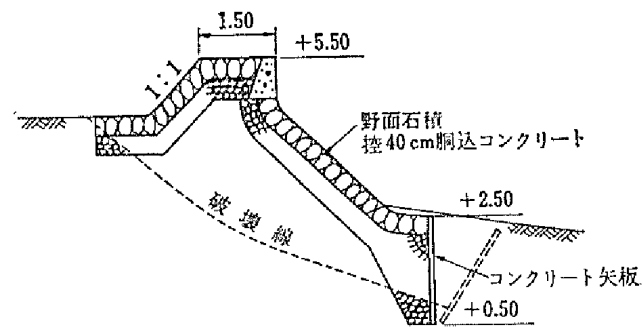
横尾海岸は富山県の東端、泊町の前面に当たり、昔から浸食被害を受けている箇所である。横尾海岸における護岸築造と被災の経緯を示す。

参表 2-1 横尾海岸における護岸築造と被災の経緯

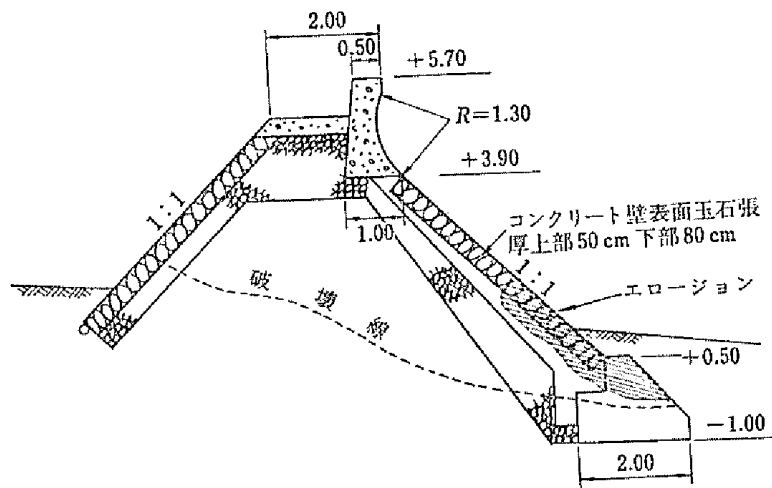
| 年         | 月  | 日  | 記 事                                                                                                                      |
|-----------|----|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 昭和11～15   |    |    | 野面石積護岸を築造。                                                                                                               |
| 昭和26年度    |    |    | 東方約1500mの宮崎漁港の防波堤が伸張するに従い、汀線が急速に後退。                                                                                      |
| 昭和29      | 3  | 1  | 冬季風浪により、護岸中央部が100m決壊。その後も決壊が続く。                                                                                          |
| 昭和29      | 8  |    | 被災部分を復旧。                                                                                                                 |
| 昭和29      | 9  | 27 | 洞爺丸台風の日本海通過に伴う寄り回り波来襲。波高3mの波が、復旧部の左右の護岸を決壊させ、復旧部は孤立。                                                                     |
| 昭和29      | 12 | 23 | 季節風に伴ううねり (2.5m～3m) により、大部分が決壊。                                                                                          |
| 昭和30      | 2  | 21 | (護岸の浸食とそれに伴う脱石が原因)                                                                                                       |
| 昭和30      | 9  |    | 復旧工事がほぼ完成 (突堤の一部以外)。護岸125m。                                                                                              |
| 昭和30      | 10 | 9  | 低気圧に伴ううねり (4～5m) によって、東側45mを除く75mが決壊。激浪によって前面が洗掘され、基礎ブロックが沈下・移動したため。また、隔壁前面に石張りが施していなかったため、この部分が激しい浸食を受けて破壊され、ここから被害が伝搬。 |
| 昭和31～32年度 |    |    | 残存部分は前面ブロック投入で補強。他の部分は構造を変更し、法線も20m後退させ、無底ケーソン主体とした突堤を30m間隔に設置。                                                          |
| 昭和33年     | 1  | 18 | 3.5m程度のうねりによって、昭和30年度施工の残存45mの護岸決壊。                                                                                      |
| 昭和33年     | 2  | 14 | 2.5m程度のうねりによって、昭和31年度施工箇所の波切小段の下をえぐり取られ、中詰を流失して空洞状態。                                                                     |
| 昭和33年度    |    |    | 護岸前面にテトラポッドを設置して、構造物に当たる波力を減殺する工法に変更して復旧。                                                                                |

表に示すように、復旧と被災が交互に繰り返されている。横尾海岸の構造物の被害が多い理由として以下のものが挙げられる。

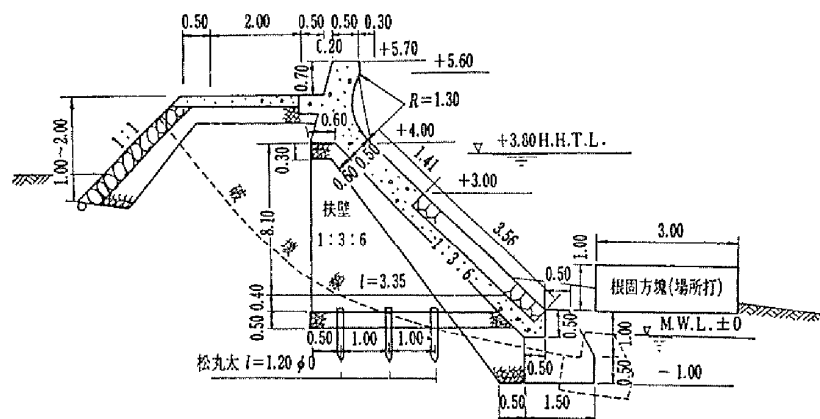
- ① 比較的高い波が頻繁に来襲すること
- ② 富山湾沿岸が沈降海岸で、急激に深くなっており、横尾海岸での海底勾配が 1/8 もあること
- ③ 海浜が主に礫、砂利で構成されており、摩耗作用が著しいこと。



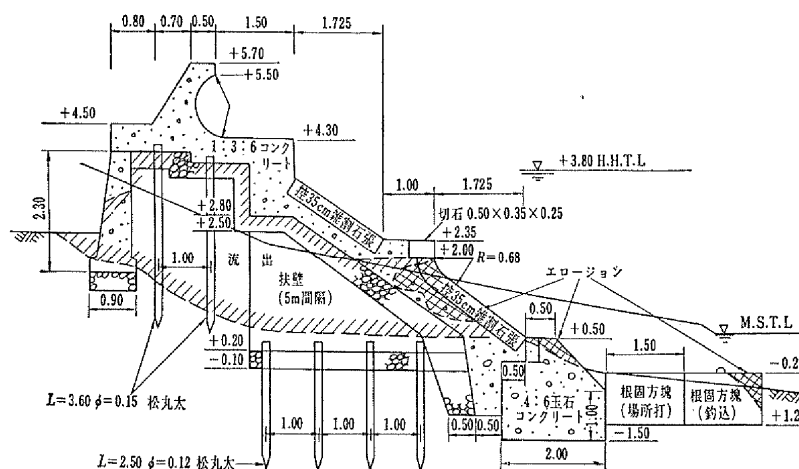
参図 2-1 横尾海岸構造図 (昭和 11~15 年)



参図 2-2 横尾海岸構造図 (昭和 29 年 8 月)



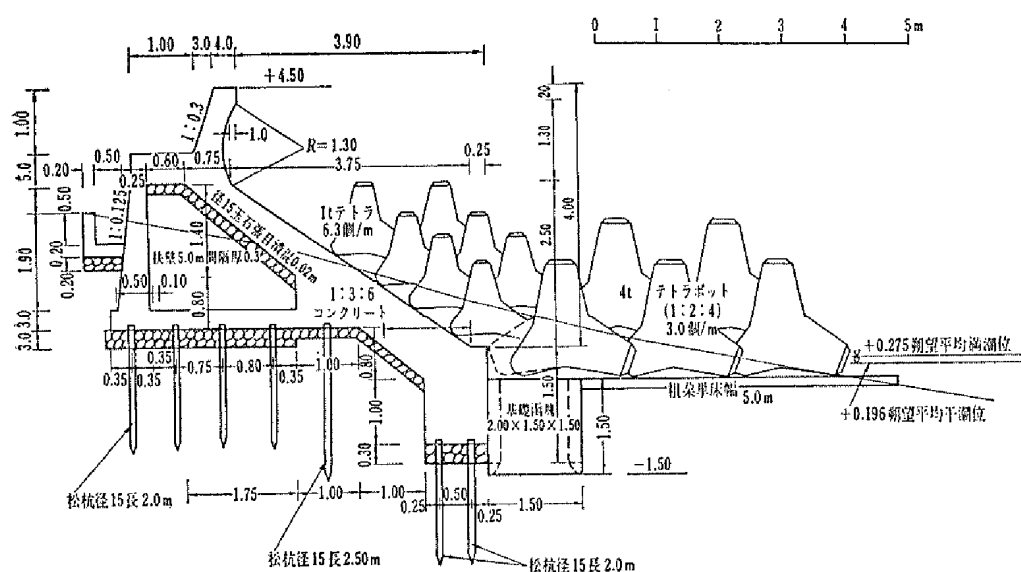
参図 2-3 横尾海岸構造図 (昭和 30 年 9 月)



伏木富山港放生津海岸

昭和 34~35 年度に施工.

昭和 38 年 1 月 6 日～7 日朝に日本海を通過した低気圧によって、7 日 17 時頃、波高 4.9m、周期 13 秒（富山新港）の寄り回り波が押し寄せ、背後地に越波による浸水、家屋損壊被害を生じた。このため、富山湾沿岸の海岸保全施設の計画は、このときの波浪諸元を対象とすることに改定された。



参图 2-5 伏木富山港放生津海岸堤防標準断面図 (昭和 34~35 年)

2008.03.26.

# 寄り回り波

富山商船高等専門学校  
河合雅司

## 1. 寄り回り波の定義

富山湾沿岸に災害を及ぼす恐れのあるうねり性の大波

☆発生時期 12月～4月

有義周期：10～12秒程度、有義波高：3～5m程度（資料2参照）

（「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）

波の周期・波高については、田中海岸沖水深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。

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。

☆資料1（必読 北陸の海難に学ぶ）の寄り回り波発生一覧（1885年～1996年）により、寄り回り波が発生した日の波浪観測データを集めて、寄り回り波を定量的に定義する必要がある。又、1997年以降については、波浪観測データから、有義周期10秒以上、有義波高3m以上になった日を調べて、その日の気象データや新聞記事から寄り回り波であるかどうかや被災状況について調査する必要がある。

## 2. 寄り回り波のメカニズム

一般に、北海道西側海域で発生したうねりが、2方向（約10°と約40°）から富山湾に侵入していると思われる。又、約40°方向からのうねりの方が約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：267m、15°方向からのうねり：229m（資料3参照）>

富山湾から40°の方向へ真っ直ぐ進むと秋田湾に行き着き、40°方向からのうねりは秋田湾からきているということになってしまうが、秋田湾から大きなうねりがくることはあり得ないので、北海道西側海域で発生したうねりは、対馬暖流を横断するとき右へ屈折（カーブ）して富山湾に侵入してくると考える必要がある。

北海道から富山湾までのうねり性波浪伝搬経路を図1に示す。



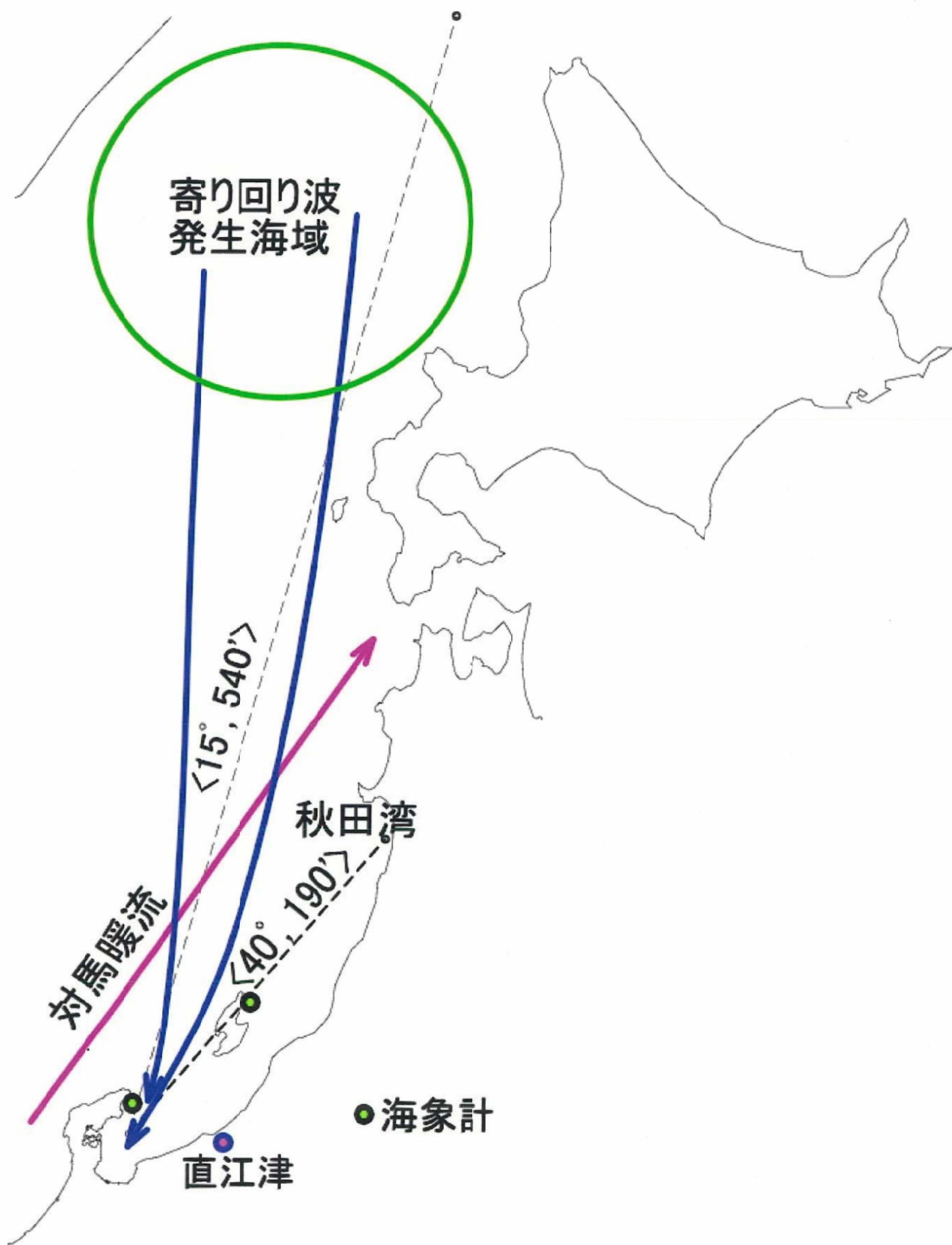


図1 北海道から富山湾までのうねり性波浪伝搬経路

### 3. 寄り回り波の予報

能登半島先端や佐渡島に波浪計を設置し、波浪の観測態勢を強化し、潮位計データや波浪の数値予報データ等を用いて総合的に判断することにより、寄り回り波の富山湾への来襲を数時間前に予知することは可能である。

富山商船高等専門学校臨海実習場に設置された潮位計に寄り回り波の前兆現象が記録されているので紹介する。図2～図4は、2008年2月23日から24日にかけての富山新港内の臨海実習場における潮位データである。

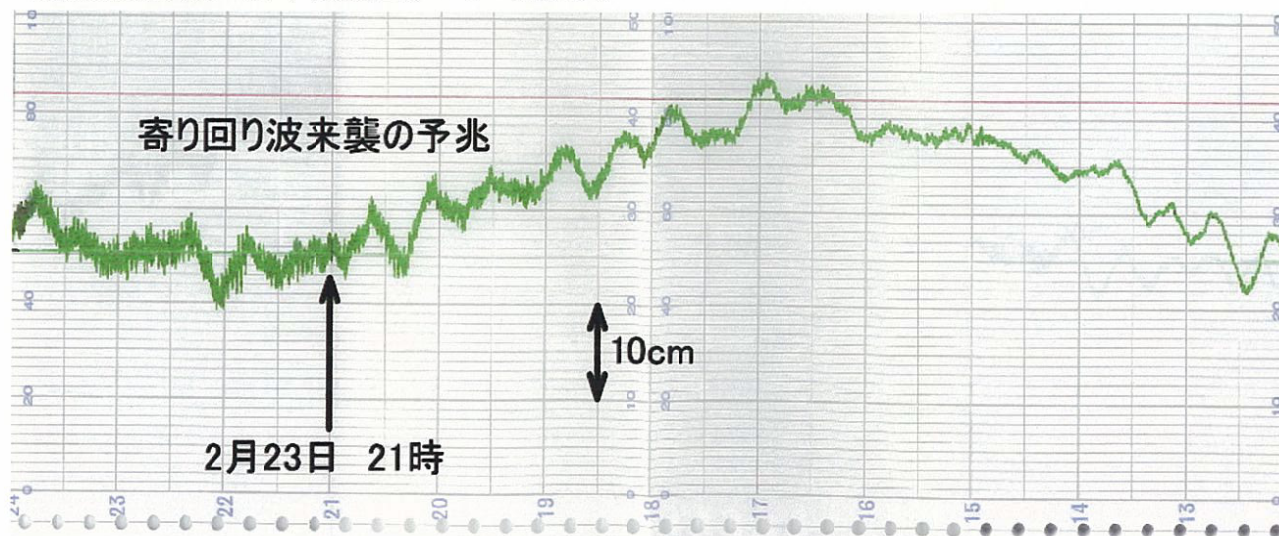


図2 富山商船高等専門学校臨海実習場の潮位計データ (23日12時～24日0時)

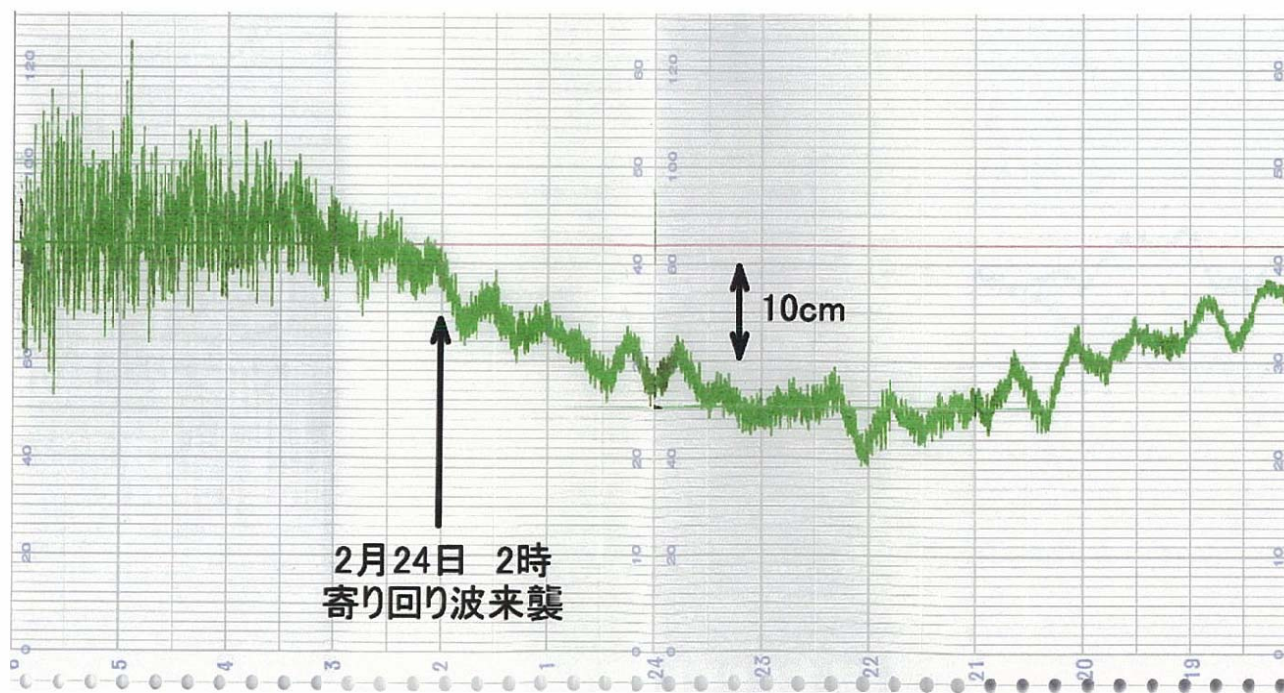


図3 富山商船高等専門学校臨海実習場の潮位計データ (23日18時～24日6時)



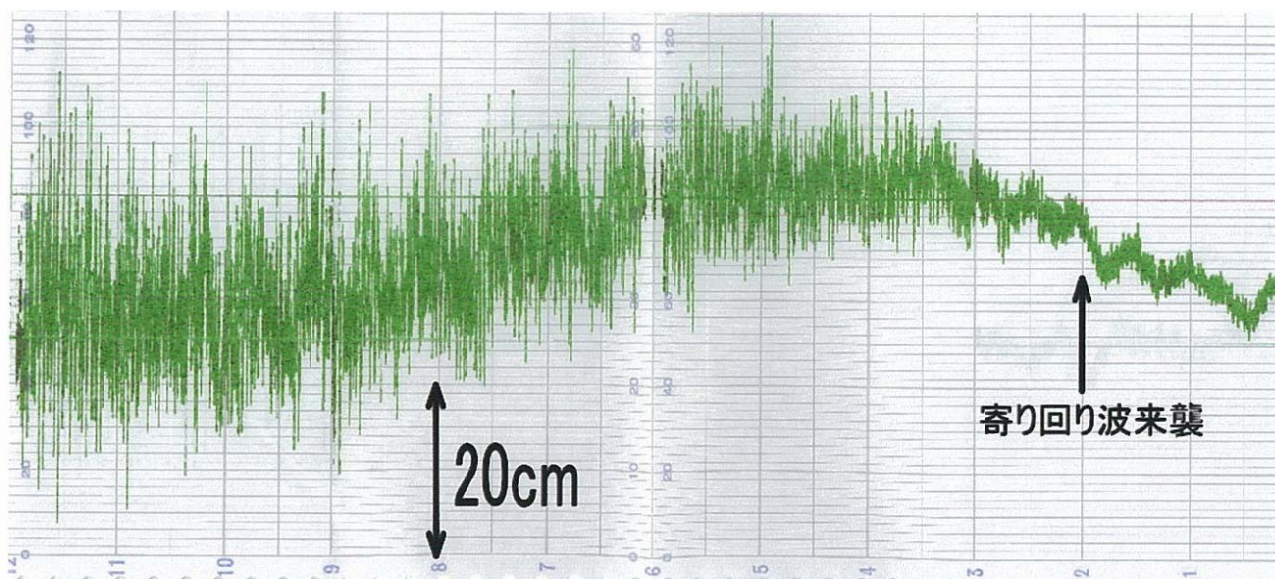


図4 富山商船高等専門学校臨海実習場の潮位計データ(24日 0時～24日12時)

#### 4. まとめ

- ・ 寄り回り波の定量的定義の確立
- ・ 寄り回り波予報通報システムの確立
  - 波浪計(海象計)・潮位計等を新たに設置し、複数の観測機器の観測データをリアルタイムで収集して監視する体制を構築
  - 最新の情報伝送手段を用いて、寄り回り波情報を提供する
  - 例：ワンセグリアルタイムデータ放送による緊急寄り回り波情報の提供
- ・ 寄り回り波との共存

必読 北陸の海難に学ぶ, 吉田清三著, 平成11年(1999年)5月

## 「寄り回り波」発生状況一覧表 (1885~1996)

| 発生年(西暦) 月日         | 記事 | 発生年(西暦) 月日         | 記事 | 発生年(西暦) 月日        | 記事 |
|--------------------|----|--------------------|----|-------------------|----|
| 明治18年(1885) 11月25日 | 被災 | 大正 6年(1917) 1月 9日  |    | 昭和 3年(1928) 3月 4日 |    |
| " 20年(1887) 11月18日 | "  | 20日                |    | 8日                |    |
| " 23年(1890) 11月14日 |    | 25日                | 被災 | 4月24日             |    |
| 12月25日             |    | 26日                | "  | " 4年(1929) 1月 2日  | 被災 |
| 26日                |    | 11月28日             | "  | 3日                |    |
| " 24年(1891) 1月 3日  |    | 12月19日             |    | 17日               |    |
| 27日                |    | 20日                |    | 3月15日             |    |
| 2月11日              |    | 21日                |    | 4月23日             |    |
| " 24年(1892) 2月29日  |    | " 7年(1918) 1月 4日   |    | " 5年(1930) 2月13日  | 被災 |
| 3月15日              |    | 5日                 | 被災 | 14日               | "  |
| 4月11日              |    | 9日                 |    | " 6年(1931) 3月25日  |    |
| " 26年(1893) 12月26日 |    | 10日                |    | 11月12日            |    |
| " 28年(1895) 2月 4日  |    | 11日                |    | " 7年(1932) 2月25日  |    |
| " 29年(1896) 1月12日  |    | 3月23日              |    | 28日               |    |
| 2月12日              |    | 24日                |    | 3月 2日             |    |
| 12月 2日             |    | " 8年(1919) 4月13日   |    | " 8年(1933) 11月17日 | 被災 |
| " 31年(1898) 1月20日  |    | 11月26日             |    | " 9年(1934) 1月13日  |    |
| " 32年(1899) 11月14日 |    | 12月11日             | 被災 | 14日               |    |
| 23日                |    | " 9年(1920) 1月23日   | "  | 15日               |    |
| " 33年(1900) 1月22日  |    | 24日                | "  | 3月23日             |    |
| 3月13日              |    | 2月 4日              |    | 11月29日            |    |
| " 34年(1901) 2月10日  |    | 3月18日              |    | " 10年(1935) 2月 8日 |    |
| 3月 2日              |    | 12月30日             |    | 3月27日             |    |
| 11月26日             | 被災 | " 10年(1921) 1月22日  |    | 11月12日            |    |
| " 35年(1902) 1月10日  |    | " 11年(1922) 2月 5日  |    | 13日               |    |
| " 41年(1908) 11月28日 | 被災 | 12月 7日             |    | " 11年(1936) 1月28日 |    |
| " 42年(1909) 1月31日  |    | " 12年(1923) 1月 2日  | 被災 | 2月 1日             | 被災 |
| " 43年(1910) 2月12日  |    | 17日                |    | 4月 5日             | "  |
| 28日                |    | 4月14日              | 被災 | 10月 5日            | "  |
| " 44年(1911) 1月 7日  |    | " 13年(1924) 2月 4日  |    | 24日               |    |
| " 45年(1912) 1月 8日  |    | 12月 1日             | 被災 | 28日               |    |
| 9日                 |    | 13日                | "  | " 12年(1937) 1月14日 |    |
| 2月19日              |    | 14日                |    | 2月 4日             |    |
| 3月19日              | 被災 | " 14年(1925) 1月14日  |    | 3月 6日             |    |
| 20日                |    | 15日                |    | " 13年(1938) 1月27日 |    |
| 大正 2年(1913) 1月31日  |    | 19日                |    | " 14年(1939) 1月10日 |    |
| 12月15日             | 被災 | 3月19日              |    | 28日               |    |
| " 4年(1915) 1月15日   | "  | 12月 1日             | 被災 | 2月27日             |    |
| 2月25日              | "  | 12日                |    | 28日               |    |
| " 5年(1916) 1月 6日   |    | 23日                | 被災 | " 15年(1940) 3月18日 |    |
| 2月13日              |    | " 15年(1926) 1月22日  |    | " 19年(1944) 2月26日 |    |
| 3月25日              |    | 3月28日              |    | " 20年(1945) 2月 4日 |    |
| 12月28日             |    | 11月29日             |    | 5日                |    |
| 29日                | 被災 | 12月20日             |    | 11日               |    |
| 30日                |    | 昭和 2年(1927) 12月25日 | 被災 | 12日               |    |
| 31日                |    | " 3年(1928) 1月31日   |    | 12月19日            | 被災 |

判定基準 ①  $T_m = 13\text{sec}$ 以上 ②  $T_m = 12\text{sec}$ 以上の場合  $V_{\max} 25\text{m/s}$ 以上

| 発生年(西暦) 月日         | 記事 | 発生年(西暦) 月日         | 記事 | 発生年(西暦) 月日         | 記事 |
|--------------------|----|--------------------|----|--------------------|----|
| 昭和20年(1945) 12月20日 |    | 昭和35年(1960) 1月17日  | 被災 | 昭和56年(1981) 3月16日  | 被災 |
| " 21年(1946) 3月 8日  | 被災 | 18日                |    | 27日                | "  |
| 9日                 |    | 25日                |    | 12月16日             | "  |
| " 22年(1947) 4月23日  |    | 12月19日             |    | " 57年(1982) 10月25日 |    |
| " 23年(1948) 1月 9日  | 被災 | 27日                |    | " 58年(1983) 12月13日 |    |
| 3月 9日              |    | " 37年(1962) 1月 3日  | 被災 | 平成 3年(1991) 2月17日  |    |
| 12月 8日             |    | 4日                 |    | 12月30日             |    |
| " 24年(1949) 2月15日  | 被災 | 21日                |    | " 5年(1993) 1月30日   |    |
| 16日                | "  | 22日                | 被災 | 10月26日             |    |
| 17日                |    | 2月12日              |    | " 6年(1994) 2月23日   |    |
| 3月 1日              |    | " 38年(1963) 1月 7日  | 被災 | " 7年(1995) 2月 1日   |    |
| 20日                |    | 8日                 | "  | 11月 9日             |    |
| 10月31日             |    | 9日                 |    | 12月25日             |    |
| " 25年(1950) 1月16日  |    | " 40年(1965) 1月 3日  | 被災 | " 8年(1996) 1月11日   |    |
| 2月 1日              |    | 5日                 |    | 12月 7日             |    |
| 28日                |    | 10日                |    |                    |    |
| " 26年(1951) 1月 1日  |    | 11日                | 被災 |                    |    |
| 2日                 |    | 12月16日             |    |                    |    |
| 2月 4日              |    | 17日                | 被災 |                    |    |
| 5日                 |    | 18日                |    |                    |    |
| 11月27日             | 被災 | " 41年(1966) 1月16日  |    |                    |    |
| 28日                | "  | 3月 6日              |    |                    |    |
| " 27年(1952) 11月 2日 |    | " 44年(1969) 2月 6日  |    |                    |    |
| 13日                |    | 7日                 |    |                    |    |
| " 28年(1953) 1月 7日  |    | 11月26日             |    |                    |    |
| 3月28日              |    | " 45年(1970) 2月 1日  | 被災 |                    |    |
| 11月24日             |    | 2日                 | "  |                    |    |
| " 29年(1954) 1月31日  |    | 3日                 |    |                    |    |
| 12月23日             | 被災 | 3月18日              |    |                    |    |
| 24日                | "  | " 47年(1972) 12月 2日 | 被災 |                    |    |
| 25日                |    | 3日                 | "  |                    |    |
| " 30年(1955) 1月 7日  |    | " 48年(1973) 3月26日  | "  |                    |    |
| 8日                 |    | " 49年(1974) 1月10日  | "  |                    |    |
| 11日                | 被災 | 15日                |    |                    |    |
| 12日                |    | 26日                |    |                    |    |
| 2月22日              |    | " 50年(1975) 11月 8日 | 被災 |                    |    |
| " 31年(1956) 1月16日  |    | 9日                 |    |                    |    |
| 2月11日              | 被災 | " 51年(1976) 10月12日 | 被災 |                    |    |
| 12日                | "  | 12月28日             | "  |                    |    |
| " 32年(1957) 3月13日  |    | " 53年(1978) 1月23日  | "  |                    |    |
| 11月 9日             |    | 3月 2日              | "  |                    |    |
| 12月10日             |    | " 54年(1979) 2月 2日  | "  |                    |    |
| " 33年(1958) 1月 4日  |    | 3月12日              |    |                    |    |
| 19日                |    | 31日                | 被災 | 平成17年(2005) 11月30日 |    |
| 2月15日              |    | 4月 1日              | "  | 平成20年(2008) 2月24日  |    |
| " 34年(1959) 2月 1日  |    | " 55年(1980) 1月18日  |    |                    |    |

③ 以上によらない場合天気図や被災状況より

# 寄り回り波と海難

吉田清三\*・石森繁樹\*・加藤雅司\*

On the Study of "Yorimawari Nami" and Disasters at Sea

Seizo YOSHIDA, Shigeki ISHIMORI and Masashi KATO

## 1. 緒言

富山湾は、西方に能登半島を控えた袋状の湾になっており、この地形が、冬季季節風による北西からの波浪を遮断しているために、他の日本海沿岸に比べて、波も少なく概して平穏な海域になっている。ところが、北～北東の方向から侵入してくる波浪に対しては、逆に地形的条件が悪く高波が発生する原因となっている。

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治まり、海面も静かになった頃に突如として周期10～12秒、波高3～5m程度のうねり性の大波が沿岸を襲い、海難や海岸侵食のみならず海岸災害の主要因になっている。そして、富山湾におけるこのうねり性の大波を寄り回り波と呼んでいる。

寄り回り波は、時間遅れの異常波浪として考えられる。富山湾以外の日本海沿岸でも時間遅れの波は存在するが、一般に冬季は常に海が荒れていて、大きな波浪が沿岸に押し寄せているために、富山湾のように、静かな沿岸に急に大きなうねりが押し寄せると言った顕著な現象はあまり見られないようである。その意味において、寄り回り波は富山湾固有の波とも考えられる。

## 2. 寄り回り波発生状況

富山湾では、入善と新湊で、それぞれ超音波式波高計により、2時間毎に波浪観測を行っている。本来ならばこれらの観測データに基づいて、寄り回り波発生状況を調査すべきであるが、寄り回り波の定量的定義は、未だ為されていない。そこで、天気図、波浪観測データ、文献<sup>①</sup>等により調査し

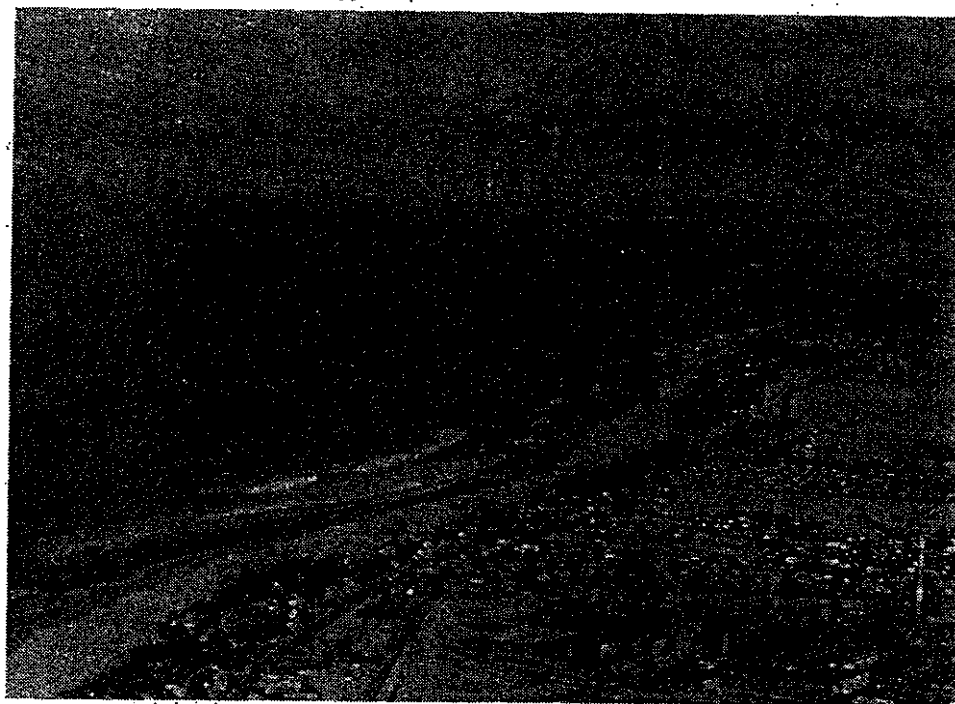


図1 寄り回り波 撮影 1981年12月16日富山上空高度300M

\* 正会員 富山商船高等専門学校 (富山県新湊市海老江練合 1の2)

表1 最近10年間に於ける寄り回り波発生一覧表

| 発生年月日              | 主な被災地域   | 主な被災状況  |
|--------------------|----------|---------|
| 1974年 1月24日        | 新湊・氷見    | 漁船 5隻破損 |
| 2月 9日～2月11日        | 黒部・氷見    | 漁船 4隻破損 |
| 10月23日～10月25日      | 氷見       | 漁船 1隻破損 |
| 11月18日～11月19日      | 黒部       |         |
| 1975年12月17日～12月18日 | 氷見       | 漁船 1隻破損 |
| 1976年11月15日～11月16日 | 氷見       | 漁船 1隻破損 |
| 12月27日～12月30日      | 氷見・宮崎    | 漁船 2隻破損 |
| 1977年12月21日～12月23日 | 氷見       | 漁船 1隻破損 |
| 1978年 1月22日～1月24日  | 入善・新湊    | 漁船 2隻破損 |
| 3月 1日～3月 2日        | 宮崎・吉原・境  | 漁船13隻破損 |
| 1979年 2月 1日～2月 3日  | 入善・滑川    |         |
| 3月31日～4月 1日        | 黒部・滑川・富山 | 漁船24隻破損 |
| 10月19日～10月21日      | 芦崎・泊・新湊  | 漁船 4隻破損 |
| 1980年 1月16日～1月19日  | 氷見       | 漁船 2隻破損 |
| 1月21日～1月22日        | 氷見       | 漁船 3隻破損 |
| 3月12日～3月13日        | 宮崎       | 漁船 1隻破損 |
| 12月29日～12月31日      | 氷見       | 漁船 1隻破損 |
| 1981年 3月16日～3月18日  | 氷見・富山    | 漁船 4隻破損 |
| 12月 2日～12月 3日      | 魚津・滑川    | 漁船 3隻破損 |
| 12月14日～12月16日      | 氷見       | 漁船 3隻破損 |
| 1982年 1月29日～1月30日  |          |         |
| 3月24日～3月26日        | 氷見       | 漁船 1隻破損 |
| 4月10日～4月11日        | 泊・境      | 漁船 3隻破損 |
| 9月22日～9月24日        | 泊・境      | 漁船 4隻破損 |
| 10月25日～10月26日      | 泊        | 漁船 1隻破損 |
| 1983年 3月18日～3月19日  |          |         |
| 12月12日～12月13日      | 新湊       | 漁船 1隻破損 |

表2 寄り回り波月別発生状況

| 月      | 1    | 2   | 3    | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10   | 11  | 12   |
|--------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|
| 発生回数   | 5    | 2   | 6    | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 3    | 2   | 7    |
| 発生率(%) | 18.5 | 7.4 | 22.2 | 3.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.7 | 11.1 | 7.4 | 25.9 |

た昭和49年以後における寄り回り波発生一覧表を表1に示す。寄り回り波は、過去10年間に於いて、年に約3回の割合で発生しており、その度に、富山湾沿岸で、漁船の転覆、沿岸構造物の破壊等の災害をもたらしている。又、月別にみると表2に示すように9月から4月にかけて発生しており、特に12月、1月、3月に多く発生している。12月、1月に多いのは、西高東低型の気圧配置によるものと考えられる。又、3月に多いのは台湾坊主等の発達した低気圧が日本海を通過し、北海道の東側付近で停滞することによるものと考えられる。そして、主たる海難発生地区が、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ことから、寄り回り波が富山湾沿岸に一樣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と言う性質があることが分かる。

最近の寄り回り波による災害例を次に上げる。

(1) 昭和54年3月31日：滑川市で離岸堤に取残された釣り人を救助しようとした警察官が殉職。経田、滑川、富山で漁船24隻が破損。

(2) 昭和56年12月14日～16日：氷見市で漁船3隻が破損。青海町において線路が高波をかぶり、15日～16日にかけて北陸本線が上下線共不通となる。

このように寄り回り波は、海難のみならず色々な被害を引き起こしているのである。寄り回り波が多く被害を引き起こす理由は、寄り回り波が、風や風浪が治まり海面が穏やかになった時に突如として来襲する性格をもっている点にある。特に、漁船等は全く無警戒の状態で大波に襲われ、転覆、破損等の海難に結び付いていると考えられる。

最近では、消波ブロック等による護岸対策が行き届いてきたために寄り回り波による海岸災害は減少しつつあるが、釣り人や漁船等に

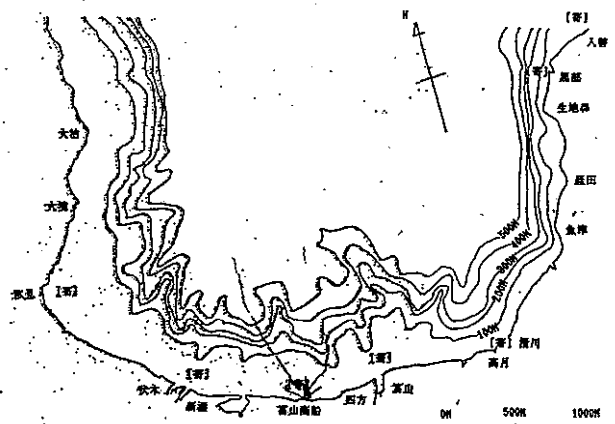


図2 寄り回り波の地域特性

〔寄〕：顕著な寄り回り波が来襲する地域

としては、今後とも大きな脅威である。被害をより少なくするためには、その発生機構を解明し、予報を行い、特に漁船や釣り人等は、寄り回り波に対して十分に注意することが重要である。

### 3. 寄り回り波発生機構

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) 初冬から春先にかけて、日本付近は西高東低型の気圧配置となる。そして、低気圧が日本海を通過して、北海道東方海上で発達停滞した時、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吹続する。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。

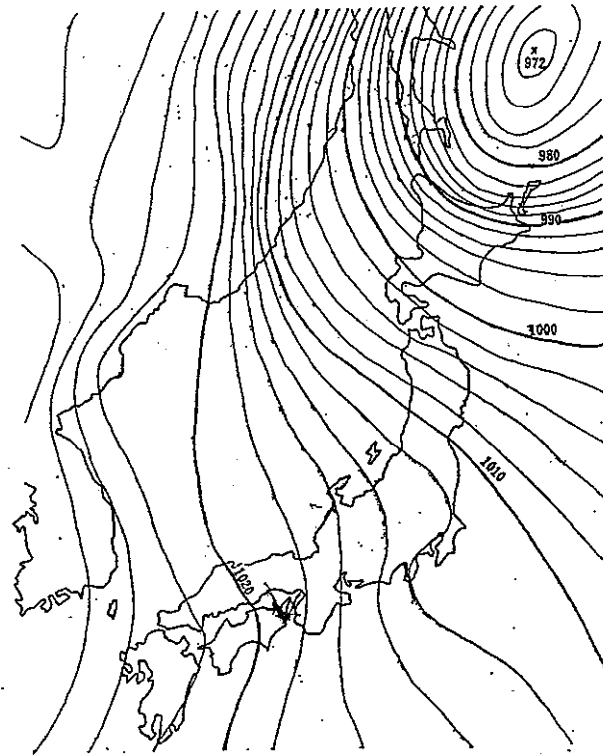


図3 寄り回り波発生時の天気図  
昭和59年1月16日21時

(2) 冬期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) 低気圧性気象擾乱の通過に伴う広範囲の海面隆起により、日本海規模の海面振動が生じ、この影響で富山湾に高波が発生する。  
(4) 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、波は変形して波高を増す(Shoaring 効果)が、これが局地的な高波である

寄り回り波の原因である。

(5) 海岸付近の海底地形は大陸棚の発達が貧弱で、特に富山湾の東側においては大陸棚が狭い。この狭い大陸棚を縁取る大陸斜面には、大小多数の海底谷が発達し、深い湾床まで急傾斜となっている場合が多い。富山湾に侵入する波がこのような海岸に近づくと屈折、回折、反射、干渉、碎波等種々の変形を受ける。発現場所に強い地域性を持つ寄り回り波は、この海岸過程による高波である。

(図2参照)

以上のような種々の要因により、寄り回り波が発生すると考えられるが、寄り回り波は年に数回程度しか発生せず、観測データも少ないことから、その発生機構については、十分に解明されていない点も多い。次に、(1)の考え方に着目し、天気図から風向、風速を計算し、波浪モデルにより寄り回り波の数値シミュレーションを行った結果<sup>(2)</sup>を紹介する。

### 4. 波浪モデル

本研究で用いた波浪モデルを次に示す。

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} S(f, \theta, \vec{x}, t) + \vec{C}_g \cdot \Delta S(f, \theta, \vec{x}, t) \\ = (A(f, u) \cdot G(\theta') + B(f, u_*) \cdot S) \\ \cdot \{1 - [S / (S_* \cdot G(\theta'))]^2\} \end{aligned} \quad \text{.....(1)}$$

at  $\theta' \leq 90^\circ$  and  $S \leq S_* \cdot G(\theta')$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} S(f, \theta, \vec{x}, t) + \vec{C}_g \cdot \Delta S(f, \theta, \vec{x}, t) \\ = -D \cdot f^4 [S - S_* \cdot G(\theta')] \end{aligned} \quad \text{.....(2)}$$

at  $\theta' \leq 90^\circ$  and  $S > S_* \cdot G(\theta')$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} S(f, \theta, \vec{x}, t) + \vec{C}_g \cdot \Delta S(f, \theta, \vec{x}, t) \\ = -(B + D \cdot f^4) \cdot S \end{aligned} \quad \text{.....(3)}$$

at  $\theta' > 90^\circ$

$$\begin{aligned} S_*(f, u) = 2 \cdot \pi \cdot \alpha \cdot g^2 / (2 \cdot \pi \cdot f)^5 \\ \cdot \exp\{-\beta \cdot [g / (2 \cdot \pi \cdot f \cdot u)]^4\} \end{aligned} \quad \text{.....(4)}$$

$$u_* = 0.041 \cdot u \cdot \cos \theta' \quad \text{.....(5)}$$

ここで、

$S(f, \theta, \vec{x}, t)$  or  $S$ : 時間  $t$  に位置  $\vec{x}$  に存在する

周波数  $f$ , 波向  $\theta$  の成分波スペクトル

$\vec{C}_g$ : 周波数  $f$ , 波向  $\theta$  の成分波の群速度ベクトル

$f$ : 成分波の周波数

$\theta$ : 成分波の波向

$\theta'$ : 波向と風向のなす角

$S_*$  or  $S_*(f, u)$ : Pierson & Moskowitz 型の成熟波スペクトル



$g$  : 重力加速度 (9.8m/s)

$\alpha = 0.0081$

$\beta = 0.74$

$D$  : 内部摩擦による減衰率 ( $D=100$ )

$A(f, u)$  : Phillips の共振理論による項

$B(f, u_*)$  : Miles の不安定理論による項

$G(\theta')$  : 方向分布関数

$u$  : 風速 (海上19.5mにおける値) [m/s]

(1)式のA項については、原式を直接計算せず、  
次のような略算式を使用した。

$$A(f, u) = C_1 \cdot \{1/[2 \cdot C_2 \cdot (C_3 + (K - \omega/u)^2) + 1/[2 \cdot (C_2 + K^2) \cdot (C_3 + (\omega/u)^2)] + \sum_{i=1}^2 1/[C_2 + (K \cdot \sin(\pi/6 \cdot i))^2] / [C_2 + (K \cdot \cos(\pi/6 \cdot i) - \omega/u)^2]\} \quad \dots\dots(6)$$

ここで、

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$K = \omega^2 / 9.8$$

$$C_1 = 2.2 \cdot 10^{-11} \cdot \omega^{5.25} \cdot u^{2.25} \cdot \pi / 3$$

$$C_2 = 0.25 \cdot (\omega/u)^2$$

$$C_3 = (\omega/u)^{2.5} / 9$$

又、B項は次式で表現される。

$$B(f, u_*) = \{5 \cdot \exp[-7000 \cdot (C_w - 0.031)^2] + 2612 \cdot C_w^2 \cdot \exp(-0.0004/C_w^2)\} \cdot f \quad \dots\dots(7)$$

ここで、

$$C_w = u_*/C$$

$$C = 9.8 / (2 \cdot \pi \cdot f)$$

方向分布関数  $G(\theta')$  は、次式を使用した。

$$G(\theta') = 1/\pi \cdot (1/\theta' + \cos 2\theta' \cdot \sin 2\theta') \quad \dots\dots(8)$$

$$-\pi/2 \leq \theta' \leq \pi/2$$

本研究では  $\Delta\theta' = 10^\circ$  とした。

## 5. 風向・風速計算

風のデータを得る方法は色々あるが、ここでは、  
風を地衡風で近似して次式で求める。

$$u_x = -0.7(\rho \cdot f) \cdot p/y \quad \dots\dots(9)$$

$$u_y = 0.7(\rho \cdot f) \cdot p/x \quad \dots\dots(10)$$

$$u = (u_x^2 + u_y^2)^{1/2}$$

$$\theta_u = 90^\circ - \tan^{-1}(u_y/u_x) \quad u_x < 0$$

$$\theta_u = 270^\circ - \tan^{-1}(u_y/u_x) \quad u_x > 0$$

$$\theta_u = 0^\circ \quad u_x = 0 \text{ and } u_y < 0$$

$$\theta_u = 180^\circ \quad u_x = 0 \text{ and } u_y > 0$$

ここで、

$u_x$  : 風速の  $x$  成分

$u_y$  : 風速の  $y$  成分

$f$  : コリオリの係数 ( $14.54 \times 10^{-5} \cdot \sin\phi$ )

$\phi$  : 緯度

$p$  : 気圧 [mb]

$\rho$  : 空気密度 [ $1.25 \text{ kg/m}^3$ ]

$u$  : 風速 [m/sec]

$\theta_u$  : 風向 [deg]

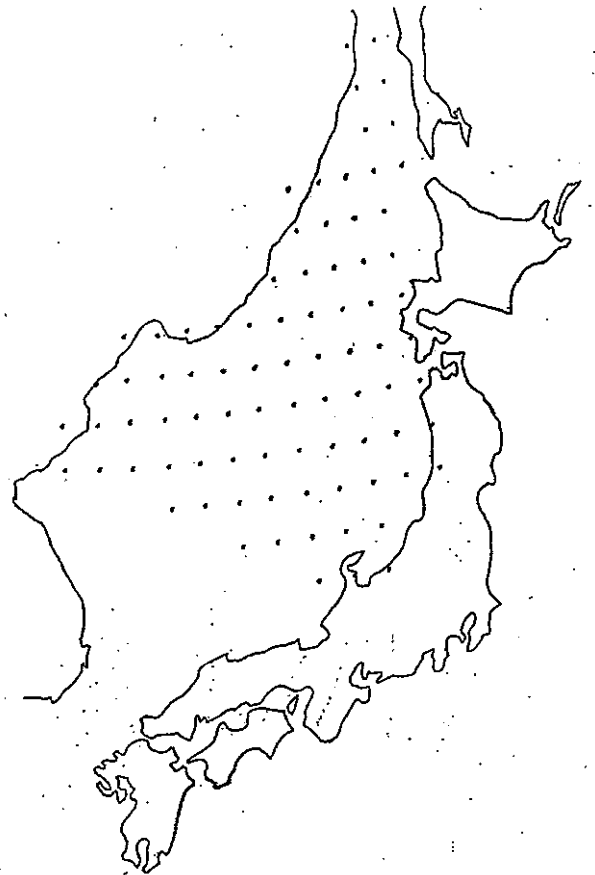


図4 風場計算の格子点

図4に示すように、日本海に格子点を設定して、  
天気図より各格子点における気圧を読み取り、各  
領域における風向、風速を計算した。なお、図4  
の格子点は  $1^\circ$  毎の緯度線と経度線の交点として  
設定されている。

## 6. 波浪モデルの計算法

図5に示すように、富山湾沖 ( $37^\circ 30' \text{ N}$ ,  $137^\circ 30' \text{ E}$ ) を中心に、 $300^\circ \sim 30^\circ$  まで  $10^\circ$  毎に、  
合計100個の格子点を放射状に設定する。ただし、  
格子点間隔は40海里である。(1)~(3)式を計算する  
ことにより各格子点における波のスペクトルを求  
めるのであるが、具体的には、まず次式を数値積  
分する。

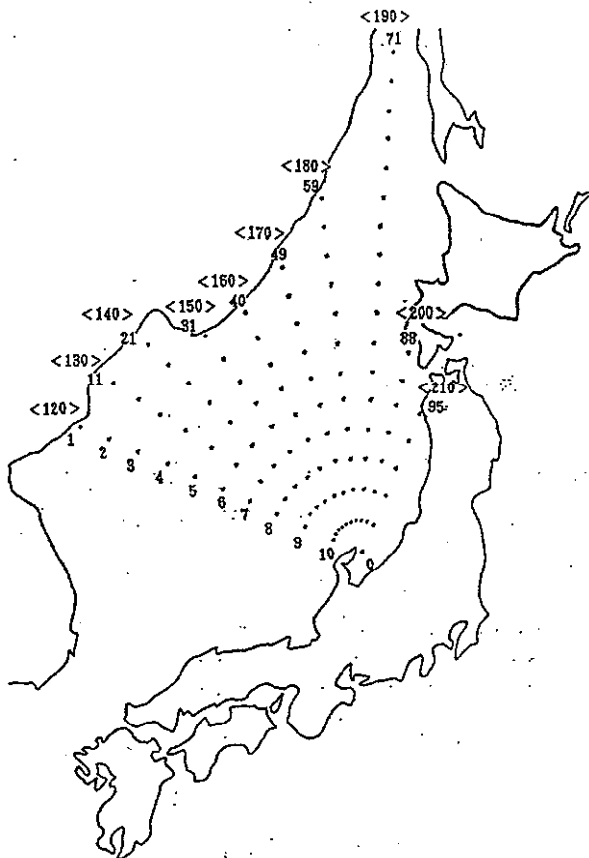


図5 波浪のスペクトル計算のための格子点  
0番の格子点の緯度、経度 (37°30'N, 137°30'E)  
格子点間隔 40哩

$$dS/dt = (A(f, u) \cdot G(\theta') + B(f, u_*) \cdot S) \cdot \{1 - [S/(S_* \cdot G(\theta'))]^2\} \quad \text{.....(1)}$$

at  $\theta' \leq 90^\circ$  and  $S \leq S_* \cdot G(\theta')$

$$dS/dt = -D \cdot f^4 [S - S_* \cdot G(\theta')] \quad \text{.....(2)}$$

at  $\theta' \leq 90^\circ$  and  $S > S_* \cdot G(\theta')$

$$dS/dt = -(B + D \cdot f^4) \cdot S \quad \text{.....(3)}$$

at  $\theta' > 90^\circ$

本研究では、各格子点におけるスペクトルの初期

表3 周波数の離散化  $f_i$  (Hz)

| NO           | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7     | 8    | 9    | 10   | 11    |
|--------------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|
| $f_i$        | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.10  | 0.12 | 0.14 | 0.16 | 0.20  |
| $\Delta f_i$ | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.015 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.045 |
| NO           | 12   | 13   |      |      |      |      |       |      |      |      |       |
| $f_i$        | 0.25 | 0.3  |      |      |      |      |       |      |      |      |       |
| $\Delta f_i$ | 0.05 | 0.05 |      |      |      |      |       |      |      |      |       |

表4 波向  $\theta$  (DEG.)

| NO         | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $\theta_i$ | 300 | 310 | 320 | 330 | 340 | 350 | 000 | 010 | 020 | 030 |

値は0とし、境界値として、1, 11, 21, 31, 40, 49, 59, 71, 88, 95番の各格子点で、 $S_*/8$ を与えた。この条件のもとに、(1)~(3)式をルンゲ・クッタ・ギル法により、数値積分し、各格子点において、1時間後のスペクトルを計算する。実際の波のスペクトルは、成長又は減衰しながら移動しているので、今求めたスペクトルを、波向と群速度で伝播させてやり1ステップの計算を終了する。

ここでは、ジャンプ法によりスペクトルの伝播を行った。この場合に、格子点間隔  $d$  は、非常に重要であり、次の関係を満足する必要がある。

$$d > C_{gmax} \cdot \Delta t \quad \text{.....(4)}$$

ここで、

$C_{gmax}$ : 最も速く伝播する成分波の群速度

$\Delta t$ : 1ステップの時間 [hour]

本研究では、 $C_{gmax} = 37.898$  [knots],  $\Delta t = 1$  [hour],  $d = 40$  [Miles] とした。

次に、(1)~(3)式の波浪スペクトル  $S$  は、波の周波数  $f$  と波向  $\theta$  の関数である。これを数値積分するために、 $f, \theta$  を表3, 表4のように離散化した。 $f$  については、0.04Hz~0.3Hz までの13成分を考えた。

$\theta$  については、 $\theta_i$  を中心とし、 $\theta_i - 5^\circ \sim \theta_i + 5^\circ$  の方向帯を持つ10成分を考えた。(実際に波が進む方向は  $\theta_i$  の反方位方向である。) 従って0番以外の格子点では、波向は1つに限定されるので、13個の成分波について、スペクトルを計算し、0番の格子点では、130個の成分波についてスペクトルを計算することになる。

## 7. 有義波高・有義周期の計算

0番の格子点では、方向スペクトルが得られる

ので、次式を用いて、有義波高  $H_{1/3}$ , 有義周期  $T_{1/3}$  を計算する。

$$H_{1/3} = 2.83 \cdot \left[ 2 \cdot \sum_{i=1}^{13} \sum_{j=1}^{10} S(f_i, \theta_j) \cdot \Delta f_i \right]^{1/2} \quad \text{.....(5)}$$

$$T_{1/3} = 1.22 \cdot \left\{ \left[ \sum_{i=1}^{13} \sum_{j=1}^{10} S(f_i, \theta_j) \cdot \Delta f_i \right] / \left[ \sum_{i=1}^{13} \sum_{j=1}^{10} f_i^2 \cdot S(f_i, \theta_j) \cdot \Delta f_i \right] \right\}^{1/2} \quad \text{.....(6)}$$

## 8. 計算結果

昭和59年1月1日0時~1月18日21時までの3時間毎(0時, 3

時、6時、9時、12時、15時、18時、21時)の日本海天気図を用い、富山湾沖(37°30'N, 137°30'E)の波浪(有義波高、有義周期)を昭和59年1月1日0時~1月18日22時まで1時間毎に計算した。又風は、3時間毎の天気図しかないので、天気図から得られる風のデータも3時間毎であるが、単に比例配分することにより、1時間毎の風のデータを作った。その計算結果を図6、図7に示す。破線は、富山県下新川郡入善町の田中海岸沖500m、水深15mの所に設置された超音波式波高計による観測値であり、実線は波浪モデルによる富山湾沖での計算値である。波浪モデルにより

得られる有義波高、有義周期は、水深による影響等は全く考慮されていない。そして、波浪の観測値は、水深15mの所のものであり、水深の影響を受けて、富山湾沖の波よりも波高は増大し、周期は短くなっていると考えられる。そこで、計算値を観測値に合わせるために、有義波高には1.5、有義周期には1/1.5を乗じた。

図6において、10日から12日において、観測値と計算値との差が大きくなっている。これは、天気図から地衡風近似して求めた風と実際の風(船舶から報告された風)とが相当異なっているためである。著者らは、海老江海岸(富山商船高等専

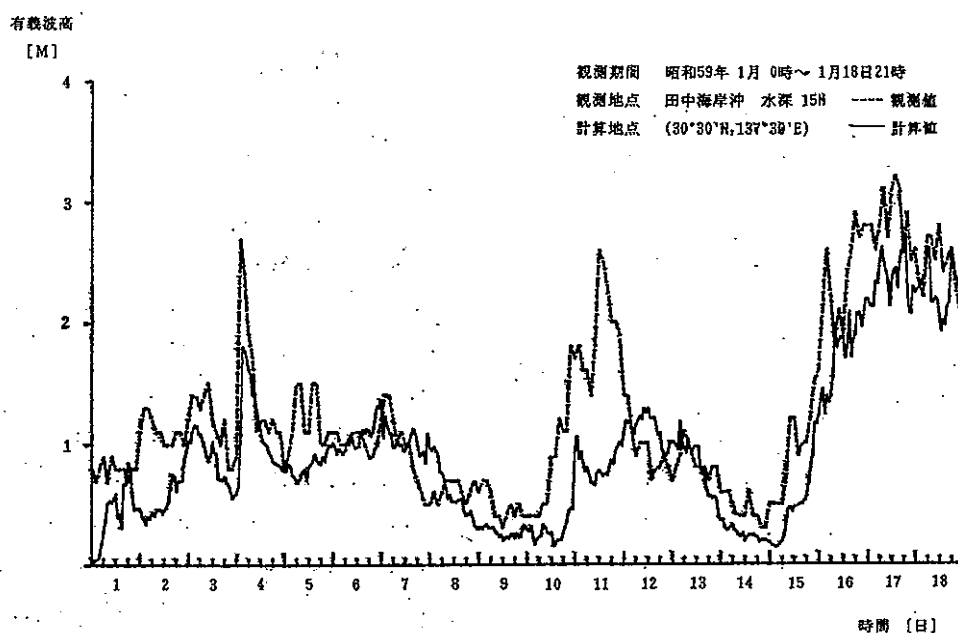


図6 観測値と計算値の比較(有義波高)

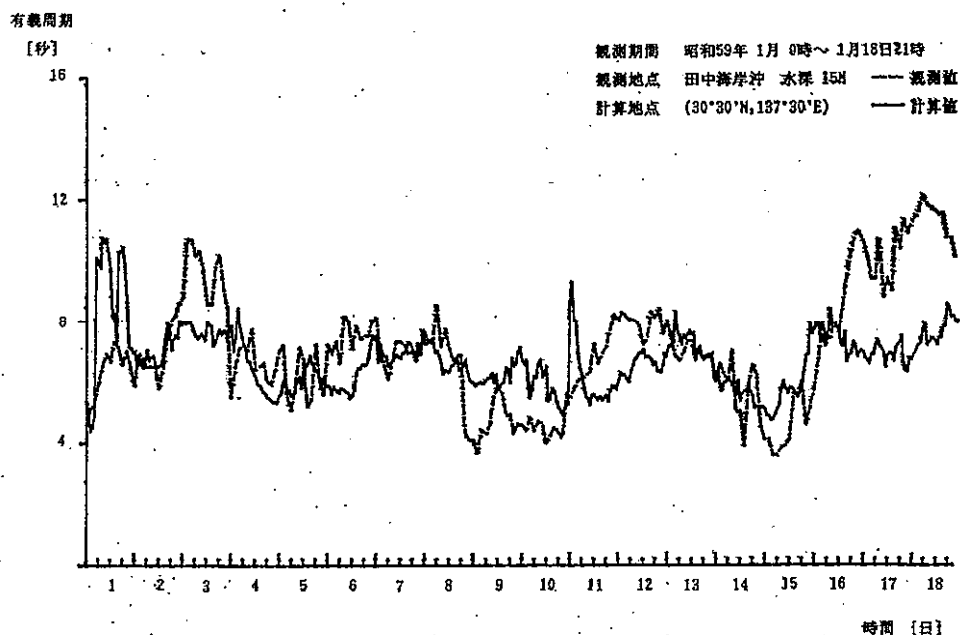


図7 観測値と計算値の比較(有義周期)

門学校)において、寄り回り波の観測を続けている。この時、海老江海岸に周期10秒以上の大きなうねりが押し寄せたのは17, 18日であり、又計算結果もこの日に有義波高が大きくなっている。このように、日本海に放射状に格子点を設定した簡単なシミュレーションである程度の寄り回り波の予知は可能であると思われる。次に図7の有義周期であるが、寄り回り波が来襲した16日以降、計算値が観測値に追従しておらず、不本意な結果に終わっている。この点に関する原因説明は今後の課題である。

## 9. 結言

寄り回り波の特徴を整理すると次のようになる。

- (1) 低気圧が通過し、風や風浪が治まった頃に突如として来襲する。
- (2) 富山湾沿岸に一樣に来襲するのではなく、地域性がある。(限定された海岸に大きな波が押し寄せる。)

本論文は、このような特徴を持ち富山湾沿岸で色々な被害を引き起こしている異常波浪“寄り回り波”について、文献等による過去の発生状況の調査、計算機による数値シミュレーションの結果等を報告したものである。

寄り回り波発生一覧表については、他にも幾つか発表されている<sup>3)</sup>が、寄り回り波の定義が異なる、調査が十分でない等の理由によりそれぞれ若干異なっている。そこで、より信頼のおける一覧表を作るために著者らは調査を続けている。

寄り回り波の数値シミュレーションについては、気象庁の磯崎<sup>4)</sup>(1972年)、京都大学の土屋<sup>5)</sup>ら(1983年)が行い、寄り回り波の数値予知は可能であるとしている。著者らは、日本海に放射状に格子点を設定することにより数値シミュレーションを行った。図7の有義周期の計算値が観測値に十分追従していない点に問題はあるが、全体とし

ては良好な結果を得た。そして、このような簡単な方法でも寄り回り波の数値予知は可能であることを確認した。有義周期について、計算値が観測値に十分追従していない点の原因説明は、今後の研究課題である。

次に、寄り回り波の地域性を解明するためには、波浪モデルによる数値シミュレーション以外に、海底地形等を考慮した寄り回り波の沿岸過程に関する研究を行う必要がある。これについては1971年に気象庁の磯崎<sup>6)</sup>が、富山湾沿岸の波の屈折図を作ることにより行っているが、現在のところこの種の研究に関する論文は少ない。寄り回り波の沿岸過程の解明は今後の研究課題である。

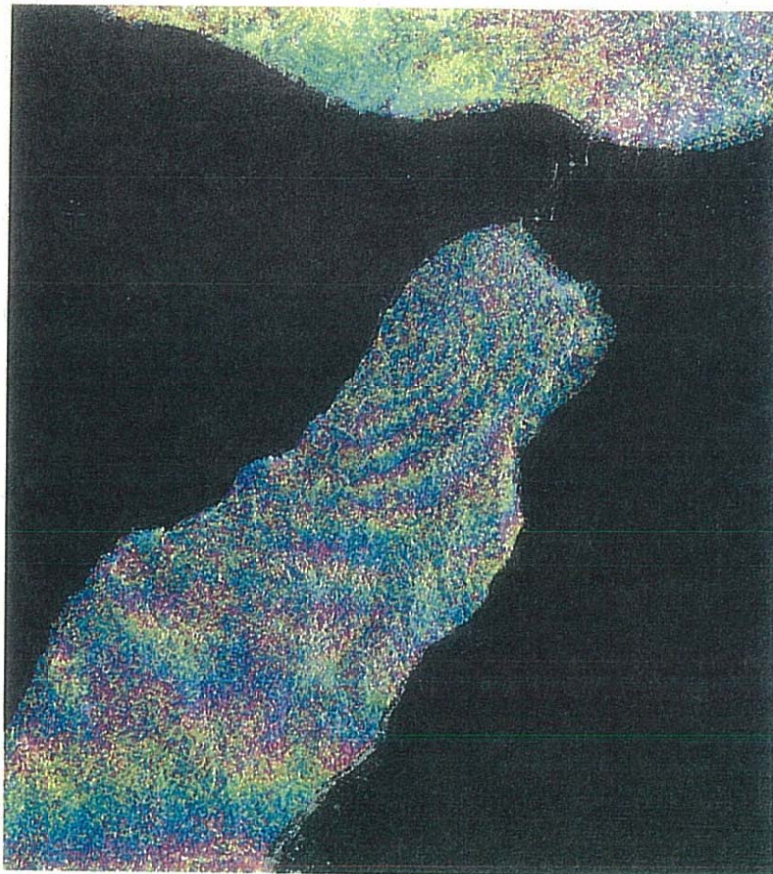
最後に、本研究は、著者らが神戸商船大学の井上・石田・久保と共に行っている科学研究費自然災害特別研究(No. 60020034)の成果の一部であることを明記する。又、寄り回り波発生一覧表を作成するにあたり、貴重な海難資料を提供して頂いた海上保安庁伏木海上保安部に深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- (1) 伏木海上保安部：過去10年間の要救助海難の統計、1982年
- (2) 吉田清三・石森繁樹・加藤雅司：波浪モデルによる寄り回り波の研究、富山商船高等専門学校研究集録、第18号、1985年
- (3) 第一港湾建設局伏木富山港工事事務所：富山湾の波について(寄り回り波)、1983年
- (4) 磯崎一郎・太田芳夫：富山湾の沿岸波浪の特性(第2報)、防災科学技術総合研究報告、第28号、1972年
- (5) 土屋義人・山口正隆・平口博丸：日本海沿岸における異常波浪の数値予知、第29回海岸工学講演会論文集、1982年
- (6) 磯崎一郎：富山湾の沿岸波浪の特性(第1報)、防災科学技術総合研究報告、第25号、1971年

FINAL REPORT OF  
JERS-1/ERS-1 SYSTEM VERIFICATION  
PROGRAM

VOLUME II



March 1995

Ministry of International Trade and Industry  
National Space Development Agency of Japan

## 合成開口レーダ画像による〈寄り回り波〉

石森繁樹<sup>1</sup>、河合雅司<sup>1</sup>、上林徳久<sup>2</sup>、近藤昭彦<sup>3</sup>、土井捷三郎<sup>4</sup>、  
若林洋<sup>4</sup>、岡田敏美<sup>5</sup>、藤井昭二<sup>6</sup>、井上篤次郎<sup>7</sup>、町村尚<sup>8</sup>

- |              |                   |
|--------------|-------------------|
| 1 富山商船高等専門学校 | 2 リモートセンシング技術センター |
| 3 筑波大学       | 4 富山県水産試験場        |
| 5 富山県立大学     | 6 藤井地質環境研究所       |
| 7 神戸商船大学     | 8 北海道大学           |

### 要旨

ERS-1応用検証実験の一環として合成開口レーダ(SAR)による富山湾の特異波浪〈寄り回り波〉観測を実施した。1993年3月18日にERS-1と同期させ二隻の船を動員して海上照合調査(Sea Truth)を行った。〈寄り回り波〉は日本海北部で冬季の季節風により発生した風浪がうねりとして南下し富山湾で高波となるものと考えられている。発達した低気圧が通過して天気が回復したあと、風がなく風いだ海に突然来襲するという特徴があり、海岸浸食や海難を引き起こし昔から沿岸住民に恐れられている異常波浪である。湾内には実験前日から周期約11秒のうねりが長期にわたり来襲していた。衛星通過時は風は無いが、あっても非常に弱く観測船周辺の海面にはさざなみがある程度で、ところによっては鏡のような海面が散見された。神通川河口3海里の船上から見ると砕波域が東部から西部へ移動するのが認められた。

この海面模様を捉えたSAR画像には〈寄り回り波〉に関するいくつかの特徴がみられる。

- (1) 富山湾に向かって10度と45度の二方向からうねりが進入している。うねりはさざ波により可視化されたと考えられ、整然とした波の峰線で識別できる。60km×60km程度の海面を有する富山湾を大泊と生地鼻を結ぶ線で二分した湾奥には無風のためか海面散乱が小さく暗い部分が存在し、波の映像はない。外海ではつねにある程度の風が存在するため、短重力波によりうねりが判読できる可能性は高い。
- (2) 北から進入してくるうねりは東部の黒部海岸をまっすぐ南下している。海岸から200mの深さまで1/3～1/6の急勾配の海岸では波が海底摩擦の影響を受けにくいことを示している。この結果うねりは滑川の海岸に到達し漸次西へまわる。
- (3) 大陸棚の発達がみられる西部海岸では浅海効果が認められる。
- (4) 入り江の七尾湾にはうねりが進入していない。明るい画面は風力階級3の海面を示す。
- (5) 富山湾の複雑な海底地形により特定の海岸で高波高になることが知られている。新湊海老江沖はそのひとつであり、うねりが四方海谷で屈折するためと考えられていた。画像解析の結果はこれが事実であることを示している。

## 1 まえがき

富山湾は能登半島に抱かれた静穏な海である。湾奥部の伏木港沖に設置された波浪計の測得波浪12974件(1990～1992)のうち有義波高1.51メートル、有義周期10.1秒以上の波浪は25件であり、大きな波が全体に占める割合は0.19%である(日本海海難防止協会、1994)。富山湾の高波は北よりの強風による風浪と外海から進入してくる北からのうねりに分類できる。日本海で強い冬の季節風が連吹するとフェッチの制限内で風浪は十分に発達する。富山湾は北ないし北北東に開口した深い湾で、深海波の波長と同程度の水深において海底地形が複雑である。分散性の風浪がうねりとして長距離を伝搬してくるとき富山湾ではしばしば異常な高波が継続する。これにはいくつかの特徴がある。風が凪いだ海に突然来襲する、特定の海岸で顕著な高波となる、高波の終期である砕波が東から西へ漸次時間差をもって生起する、10分のオーダーで到来波の強さが変動するなどである。沿岸の住民は海岸浸食、海難や人命の喪失などを引き起こす恐ろしい異常波浪を<寄り回り波>と呼んでいる。本波浪については多くの研究がなされてきた。<寄り回り波>の発生地は北海道西方海上であり、冬型の急峻な西高東低の気圧配置のときに発生し、富山湾には30時間ないし36時間で到達する。したがって北海道西方海上で20メートル以上の北風を確認して半日以上前に予知が可能であるとされた(北出、1952)。特定の海岸で高波になることに関しては富山湾の形と特異な海底地形が沖合いから進入してくる波を変形させる結果であることが示され(磯崎、1971)、<寄り回り波>の発生メカニズムについては低気圧の極度の発達に伴う発生可能性が指摘された(土屋、山口、平口、1983)。また、うねりが佐渡島西方海上を南下する現場が航空機で観測された(吉田、1982)。北出論文に準拠した予報法に限界があるように本波浪の実体その他についてはなお検討を要する問題が残されている(石森、1983)。

ERS-1搭載の合成開口レーダ(SAR)は30メートルの高分解能で100キロ四方の海面波浪状況を瞬時に観測する。今回の検証実験で取得されたSAR画像から一般的な波浪情報のほかに<寄り回り波>の特徴を示すいくつかの情報が得られた。

## 2 観測と資料

1992年に打ち上げられた極軌道衛星ERS-1は高度785kmから映像レーダ(SAR)による地球観測を実施している。SARは能動型マイクロ波センサーで全天候型観測が可能である。レーダ送信周波数5.3GHz(Cバンド)、入射角23度、走査幅100kmで地上解像度30mの地表面画像を取得する。SARの海面波浪画像からは波長、波向きに関する2次元スペクトル情報が得られる。その原理はマイクロ波が海面のさざなみにより共鳴散乱(Bragg散乱)をうけることである。

1993年3月18日にERS-1のSARによる富山湾の特異波浪<寄り回り波>観測を実施した。衛星観測と同期させ二隻の船を動員して得た実験海面のデータを表1に示す。

衛星通過時刻(地方時10時30分)の天候は穏やかであった(図1)が、神通川河口3海里沖の実験海面には北から中位のやや高いうねりがあり、ゆったりと間断なく上下する海面にはさざなみのできた部分と鏡のように滑らかな部分が見られた。3月15日、発達した低気圧が本州南岸を通過し冬型の気圧配置となったため、日本海には15日から17日にかけて北よりの強風が吹いた。



日本海沿岸各地で観測された波浪の時系列（図2）が示すように高波が山形、新潟、富山の順序で生起している。波浪図（図3）では富山湾に進入したうねりが周期7～8秒の波として解析されているが、湾内で実測された波浪は伏木において周期10.9秒、波高1.44メートル（運輸省富山伏木港工事事務所波浪計）、入善において周期11.1秒、波高1.86メートル（建設省黒部工事事務所波浪計）と周期の長い波であった。

表1 ERS-1観測時の観測海域海面状況

| 観測船  | 期日                 | 場所                    | 天気 | 気温    | 水温   | 風速   | 風向 | うねり | 風浪 | 流向           |
|------|--------------------|-----------------------|----|-------|------|------|----|-----|----|--------------|
| はやつき | 1993年<br>3月<br>18日 | 36°50' N<br>137°14' E | 晴れ | 11.0° | 9.9° | 2m/s | NW | 4   | 1  | —            |
| 若潮丸  |                    | 36°49' N<br>137°14' E | 晴れ | 5.3°  | 9.6° | Calm | —  | 4   | なし | 260°<br>-20m |



図1 海上照合調査を行う「若潮丸」  
（神通川河口沖3海里、Mar. 18, 1993）

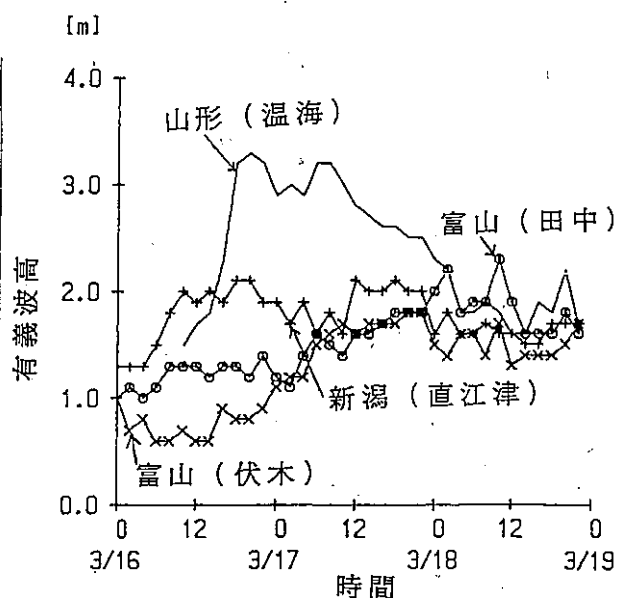


図2 日本海沿岸波浪観測所における波高経時変化  
（Mar. 16-19, 1993）

### 3 画像処理

#### 3.1 波の方向スペクトル

SAR映像データ（処理レベル2.1、ピクセルスペーシング12.5m）の2次元フーリエ変換により波浪の方向スペクトル $G(l, m)$ を求め、テスト領域（128×128画素）の代表的な波向きと波長を定めた。波向きは2次元スペクトル上の波数ベクトルの方向からもとめ、波長は次式から計算した。

$$L = \frac{2\pi}{\sqrt{l^2 + m^2}}$$

### 3.2 画像と海底数値情報の重ね合わせ

浅海域における波浪の変形過程を検討するためにSAR画像の上に沿岸海域地形図(国土地理院魚津、1:25,000)の等深線を重ね合わせた。図4に四方海底谷付近のオーバーレイ画像を掲げる。画像には数値的な処理で50m毎の等深線が描いてある。



図4 ERS-1のSAR画像—数値は等深線—  
(新湊海岸、Mar. 18, 1993)

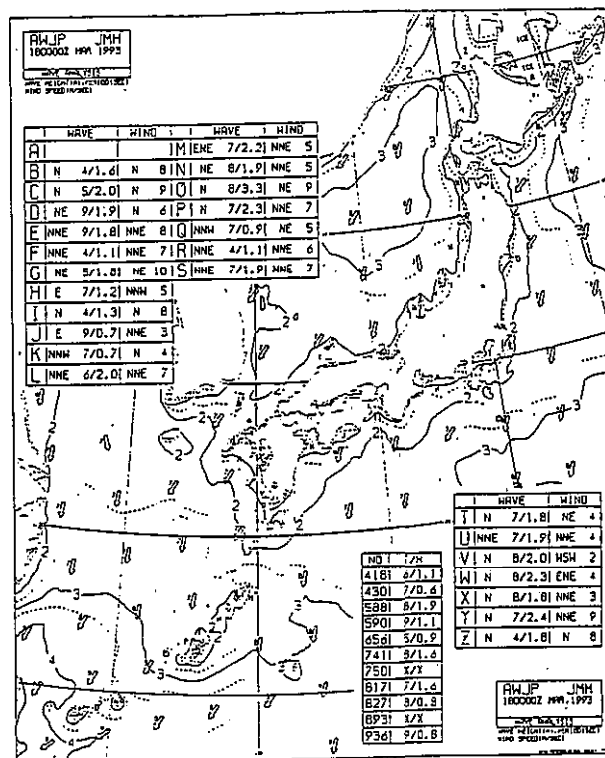


図3 沿岸波浪実況図(気象庁、1993年3月18日09時)

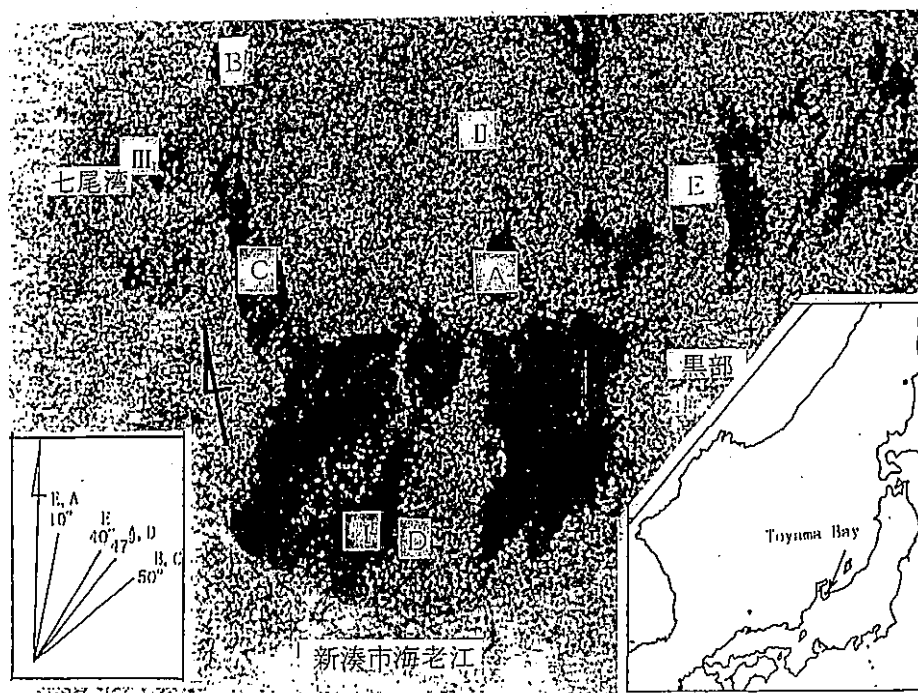


図5 ERS-1のSAR画像(富山湾、Mar. 18, 1993)

## 4 結果

### 4.1 うねりと風浪

富山湾全体のSAR画像（図5）をⅠ、Ⅱ、Ⅲに分割して波浪画像の特徴を述べる。

領域Ⅰは湾を2分する大泊と生地鼻を結ぶ線の内側（20km×30km）に相当する。画像は暗い部分と明るい部分に分かれ明るいところには波の峰線がはっきり現れている。明暗は風の有無あるいは強弱を反映したものと考えられる。湾奥であるから風の非常に弱い海面が存在したのであろう。北から進入するうねりおよび波の沿岸における変形が明確に判読できる。

領域Ⅱは湾の外側に当たる。外海の海上風により全体に散乱が強く明るい画面であるが、うねりの波列は判読できる。図中点Aと点Eでは10度と45度の2方向から来る長周期重力波が明確に読みとれるが、うねりが交差する状況は湾中央部全体でひろく認められる。

領域Ⅲは七尾北湾である。うねりのような大きな波が入らない湾は風力階級3の風により画面は一様に明るい。波浪の情報は得られない。

### 4.2 うねりの波長と波向き

沖合いの波浪を深海波と仮定すれば波長は $L = \frac{gT^2}{2\pi}$ で求められる。周期 $T$ の実測値は湾内2

点で得られていて前述のように有義波の周期にして10.9秒と11.1秒であった。したがって深い富山湾には190m程度の大きなうねりが卓越していたと考えてよい。深海波が水深の浅い海域に入ると摩擦の影響で波長が縮小し波向きは変化するのがふつうである。

湾東部の黒部海岸は200m深までの海底勾配が1/3～1/6と大変急峻である。これは海岸近くでも波の進行方向が変化しにくいことを意味する。この状況を反映して、SAR画像上の波峰線も黒部の海岸線と直交して通過しているし、滑川沖の方向スペクトル（図6）も229mの大きな波が変形することなく直進できることを示している。うねりはまず滑川海岸を直撃し、高波として西へ伝播するように進む。これは実験海域からも砕波帯の移動で確認されたが、＜寄り回り波＞の言葉の由来に関係することかもしれない。

湾北西部では距岸5～9kmまで大陸棚の発達が見られる。図5左下に湾内5地点における波向きを示した。水深の浅い点Bや点Cでは波向に変化がみられるほか、波長も若干短くなっている。

スペクトル解析で求めた湾内7地点における卓越波の波長と波向を表2に掲げる。沖合いと沿岸部における波長の顕著な変化と2点で有義波を越す大きな波浪が解析されたことに注意したい。

### 4.3 波の屈折

深海波が水深の浅い海に入ると屈折現象がおきる。富山湾の湾奥部は、海岸線は単調でも海底地形は複雑であり、陸棚を刻む多数の海谷が波浪を変形させるとの指摘がある。新湊市海老江沖は顕著なく寄り回り波＞が発生する場所のひとつであるが、屈折図を作成して検討した結

表2 スペクトル解析による波長，波向

| 海域 | 新湊沖  |      | 新湊沿岸 |      |      |      | 滑川沖  |
|----|------|------|------|------|------|------|------|
| 番号 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
| 波長 | 187m | 267m | 160m | 144m | 153m | 187m | 229m |
| 波向 | 40°  | 38°  | 57°  | 11°  | 57°  | 38°  | 15°  |

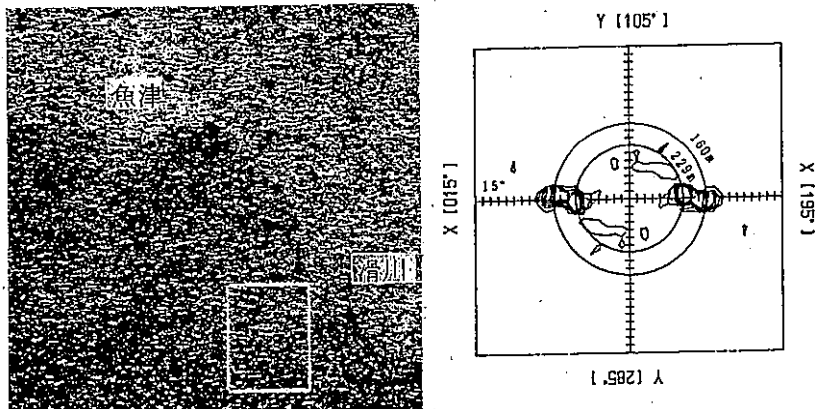


図6 ERS-1のSARスペクトル（滑川沖）

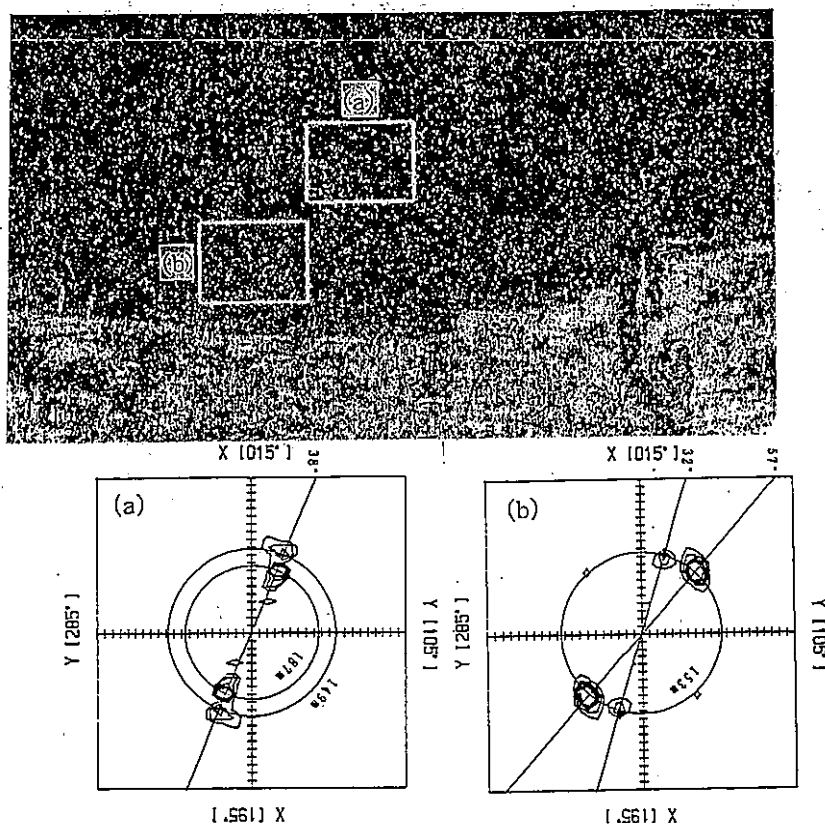


図7 ERS-1のSARスペクトル（新湊市海老江沖）

—波は(a)から(b)に進行、波線の方角19度変化—

果周期10秒の波が北北東から進入してくる場合、四方海谷南東部に波線が収束する（磯崎、1971）。海老江沖のSAR画像（図4）の上に矢印で示した海域で波峰線が方向を変えているのが認められるが、この場所が上記の波線収束域に良く対応している。図7の方向スペクトルから判断すると波向きは角度にして19度変化している。

## 5 おわりに

今回の検証実験では高波高出現地として知られる入善海岸、滑川海岸の波浪が把握できなかった。海上照合実験においてはさざなみあるいは短周期の重力-表面張力波の測定を実施すべきであった。

合成開口レーダの海洋波浪映像化メカニズムについては何も議論していないので画像判読について思わぬ勘違いをしているかもしれない。しかし、SAR画像が風の弱い海面のうねりについて妥当な映像を取得したことは間違いなく、したがって今度の＜寄り回り波＞SAR画像は貴重な記録となって残るだろう。

## 6 謝辞

海上同期実験は富山商船高等専門学校練習船「若潮丸」と富山県水産試験場調査船「はやつき」を動員して実施された。大きくうねる海域で30時間の気象・海象観測に協力された船長はじめ乗組員、富山商船高等専門学校の教官、技官および卒業研究学生の諸氏に心から感謝申し上げる。金沢工業大学川田剛之教授には穴水自然学苑の風資料を提供していただいた。厚く御礼申しあげる。

## 7 参考文献

- 1 日本海海難防止協会、日本海中部主要港湾における船舶交通安全対策に関する調査研究報告書（伏木港）、1993
- 2 北出正清、「寄り廻り」波の機巧と予知、中央気象台海洋報告、第2巻、第4号、419-445、1952
- 3 磯崎一郎、富山湾の沿岸波浪の特性（第1報）、防災科学技術総合研究報告、第25号、3-15、1971
- 4 土屋義人、山口正隆、平口博丸、日本海における季節風時の波浪予知(2)、京都大学防災研究所年報、第26号B-2、599-635、1983
- 5 吉田清三、上空より見た「寄り回り波」について、中部日本海海難防止協会会報、第20号、5-19、1982
- 6 石森繁樹、寄り回り波、日本気象学会中部支部だより、第16号、2-5、1983



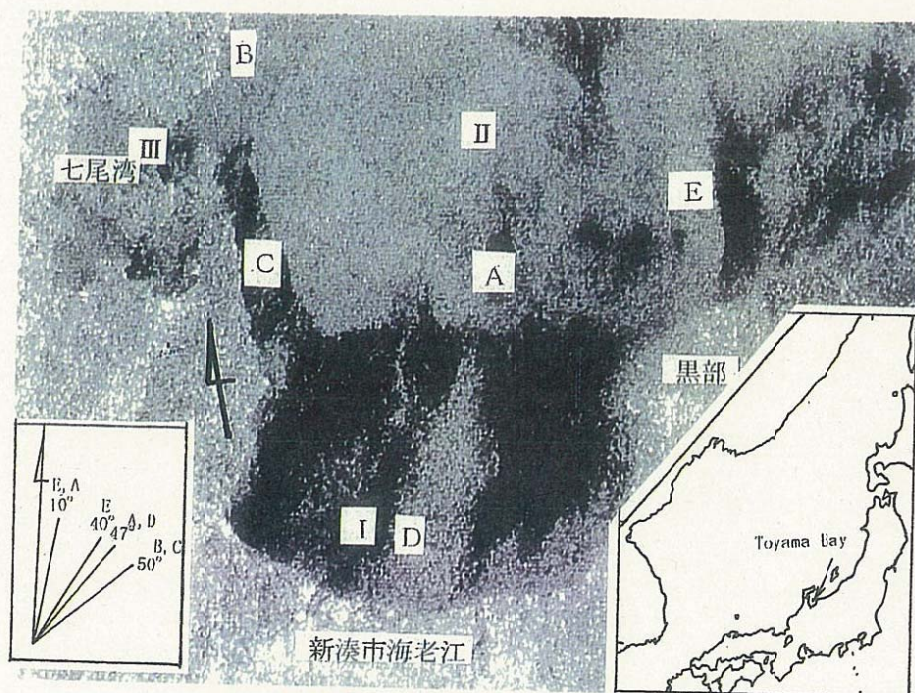


Fig.1 ERS-1 SAR image of Toyama Bay,  
showing direction at points A-E  
in boxed area left below.  
( Mar. 18, 1993)



Fig.2 Sea state around the test site and  
T/S Wakashiomaru off the mouth of  
Zinzu River. Mar. 18, 1993

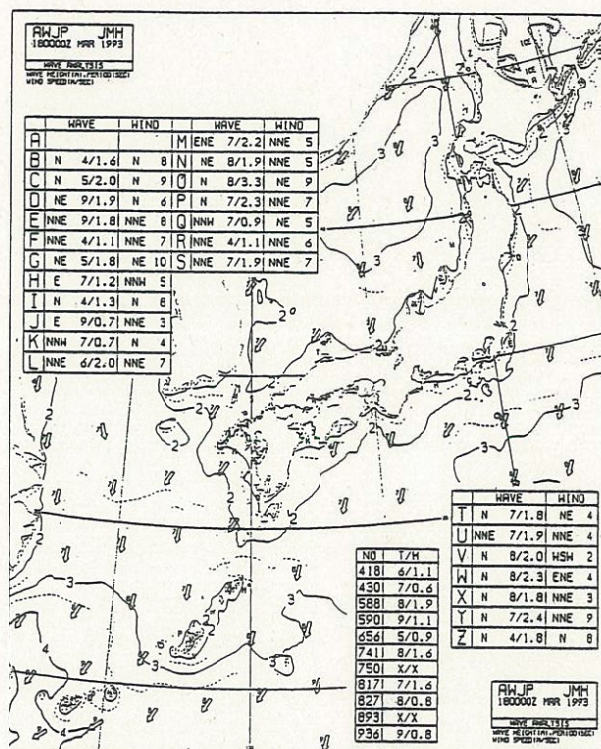


Fig.3 Ocean wave analysis chart  
(JMA, 1993 3 18 09JST)





Fig. 5 Enlarged section, showing wave refraction  
( off Ebie, Shinminato coast )

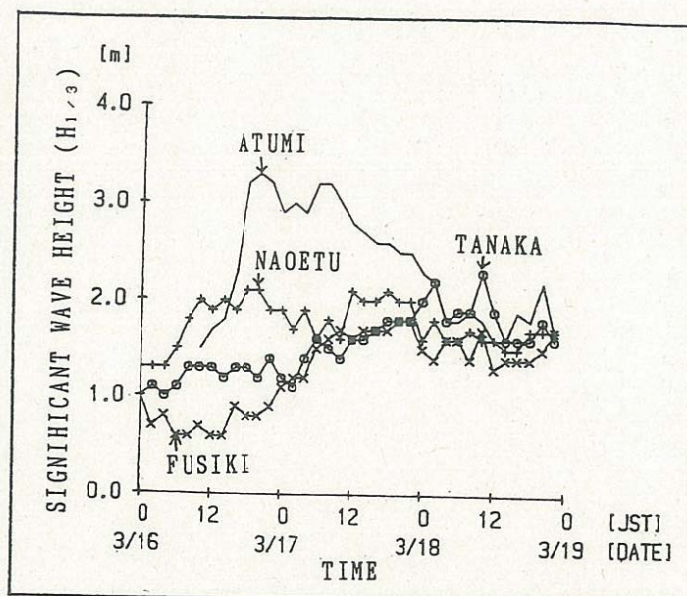


Fig. 4 Time series of wave height along  
the Japan Sea (Mar. 16-19, 1993)

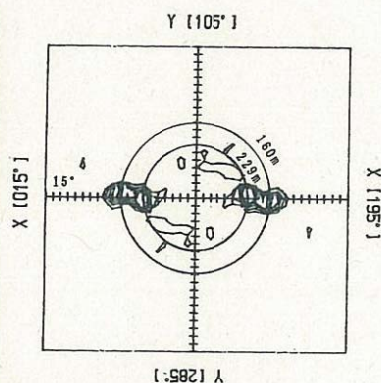
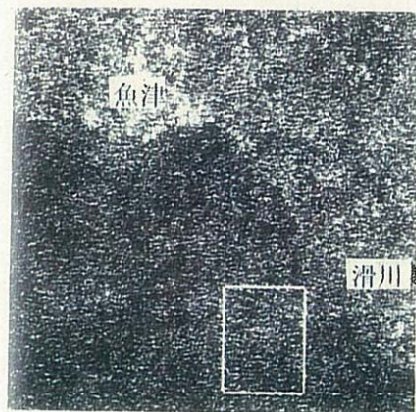


Fig. 6 Wave spectra, off Namerikawa coast

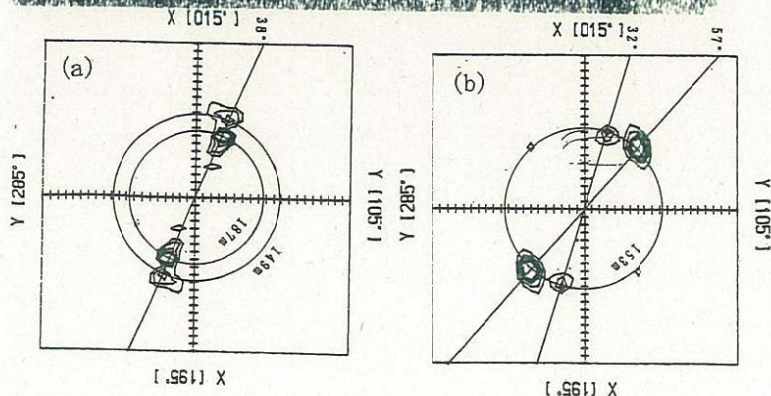
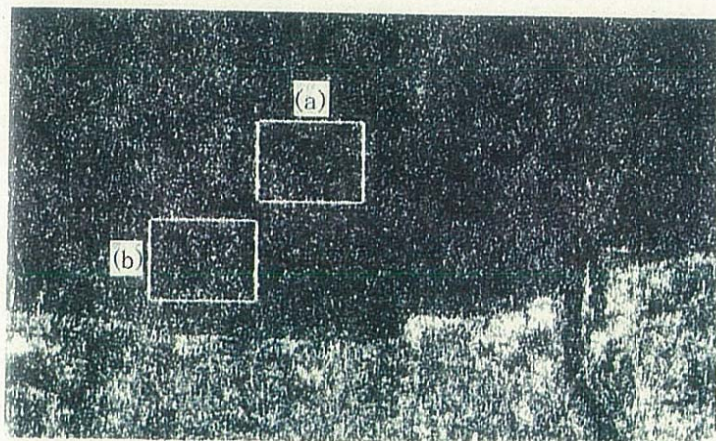


Fig. 7 Wave spectra, off Ebie coast.  
Swells proceeding from (a) to (b)





图1 ERS-1 SAR 画像 富士湾 ( 1993 3 18 )



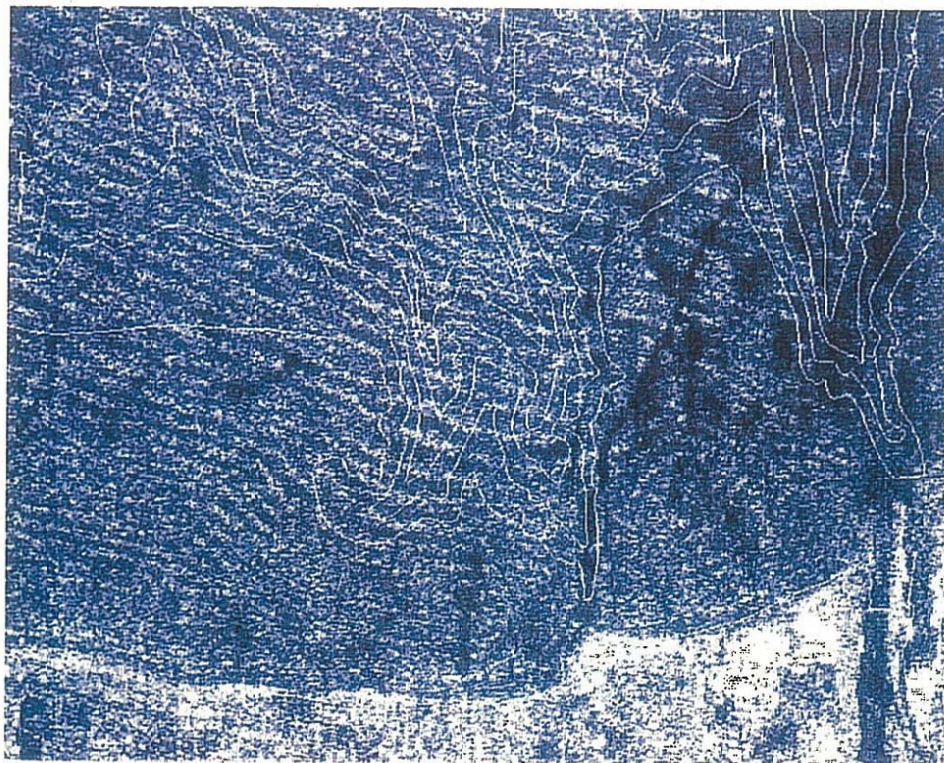


図2 ERS-1 SAR 画像 新日本沖  
白線は等深線 (1993 3 18)

第2回 富山湾における『うねり性波浪』  
対策検討技術委員会 資料

「うねり性波浪」の特性について

平成 20 年 3 月 27 日

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

## 第2回 富山湾における「うねり性波浪」対策検討技術委員会 資料

### 「うねり性波浪」の特性について

#### ～ 目 次 ～

|                      |    |
|----------------------|----|
| 1. 波の解析について.....     | 1  |
| 2. 被災の概要.....        | 2  |
| 2.1 北防波堤の被災状況.....   | 2  |
| 2.2 万葉埠頭緑地の被災状況..... | 4  |
| 3. 被災時の気象・海象状況.....  | 5  |
| 3.1 気圧配置.....        | 5  |
| 3.2 風、波浪の状況.....     | 6  |
| 3.3 潮位、長周期波の状況.....  | 8  |
| 4. 伏木地区における波浪特性..... | 10 |
| 4.1 波浪計算手法.....      | 10 |
| 4.2 計算条件.....        | 12 |
| 4.3 波浪特性の検討.....     | 14 |

## 1. 波の解析について

今回の被災を受けて実施する「うねり性波浪」（寄り回り波）の解析では、浅海域（図 1-1 の“B”の範囲）を対象として、伏木地区の波浪観測地点（マフコタワー）の波浪観測情報を利用し、ブシネスクモデルにより「寄り回り波」の性状を詳細に解析した。

北海道から日本海を通過し発達しながら富山湾に侵入する発達メカニズム（図 1-1 の“A”の範囲）については未解明な部分の多い分野であり、今後の研究が待たれるところである。

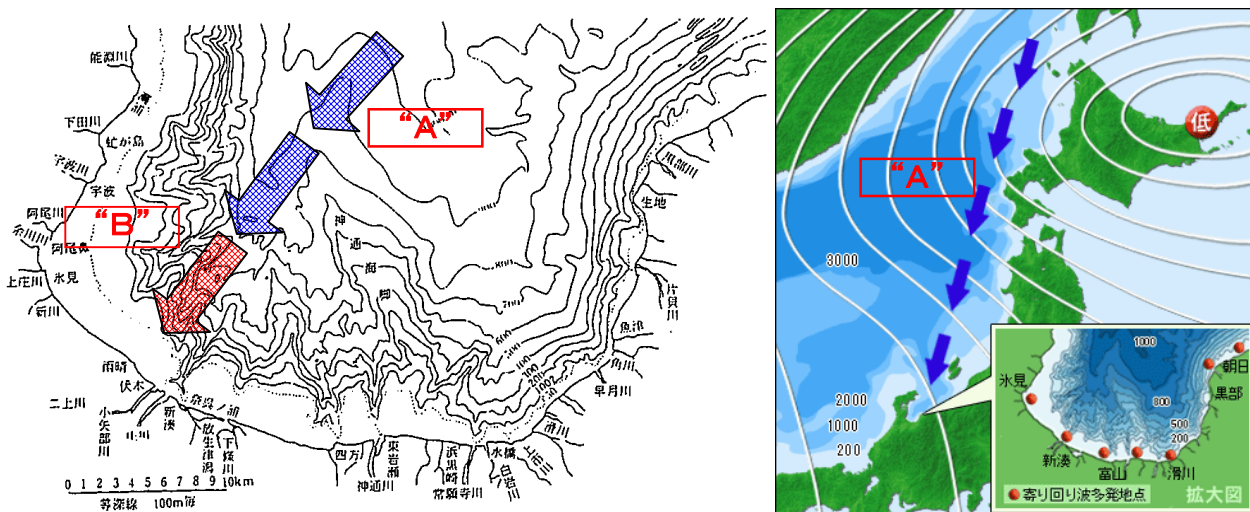


図 1-1 「うねり性波浪」（寄り回り波）の解析範囲

ブシネスクモデルは、従来の浅海域の計算手法では、得られなかった海浜流や水位上昇等を含め全体で10項目あまりの波浪変形の同時計算が可能で、非線形性<sup>1</sup>を考慮してより実現象に忠実な表現が得られる、最新の高機能解析プログラムである。

### 【検討のまとめ】

- ① 被災時の北防波堤前面の波浪は非線形性が卓越する状況にあり、非線形効果により設計時に考えられていた波浪よりも高い波浪が出現していたと考えられる。
- ② 非線形性が卓越する波浪は従来の計算手法では予測が困難なため、被災メカニズムの解析においても非線形性の波を考慮できるブシネスクモデルで検討を実施した。
- ③ ブシネスクモデルにより再現した北防波堤前面の被災時の波浪は、高波浪箇所と被災箇所がよく一致しており、計算手法の有効性が確認された。
- ④ 今後の課題は、「うねり性波浪」について、波の発生から日本海を通過して富山湾内に到達するまでの、精度の高い予測が望まれる。

<sup>1</sup> 波の非線形性：従来の解析法（海の波を正弦波の重ね合わせで表現する方法）では表現しきれない複雑な現象。詳細については、資料末の参考説明を参照。



## 2. 被災の概要

「うねり性波浪」の特性を解析するにあたり、伏木富山港（伏木地区）の被災の概要を整理する。主な被災箇所を図 2-1 に示す。



図 2-1 伏木富山港（伏木地区）における主な被災箇所

### 2.1 北防波堤の被災状況

北防波堤の被災状況を図 2-1～図 2-5 に示す。北防波堤では、ケーソンの滑動および被覆消波ブロックの沈下が認められる。



図 2-2 北防波堤の被災状況（全体図）





図 2-3 北防波堤の設計区間の区割り (平面図)

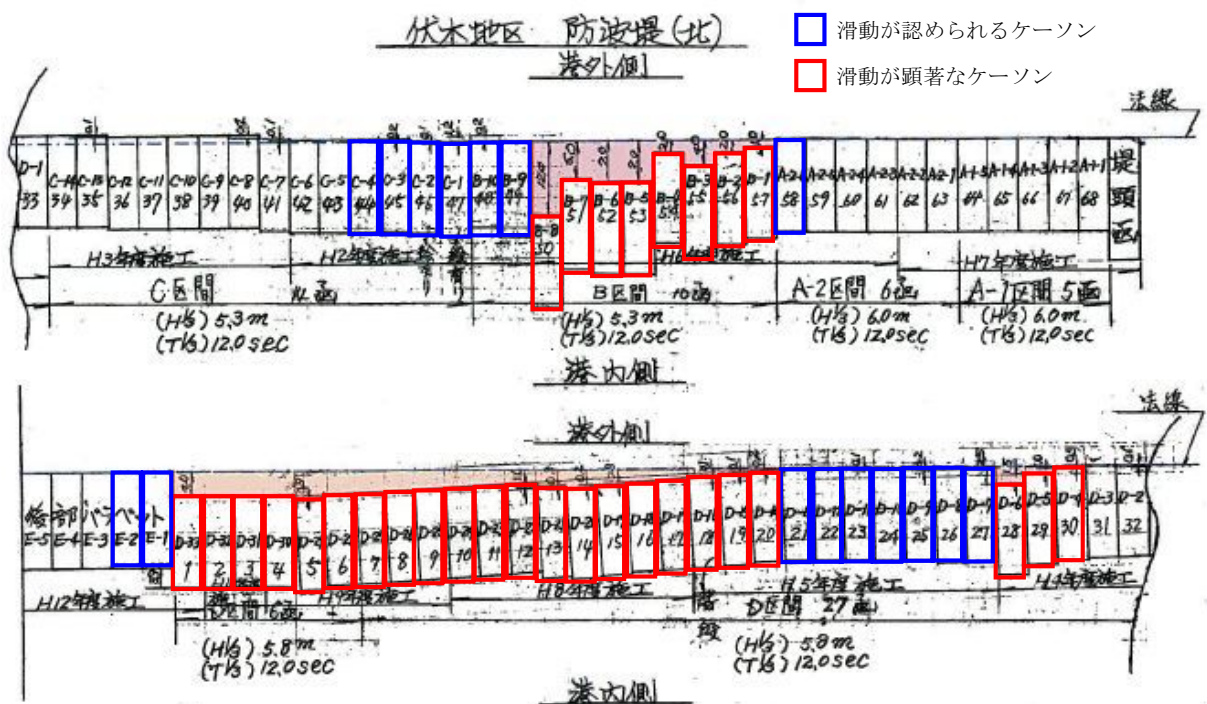


図 2-4 北防波堤ケーソンの滑動状況



図 2-5 北防波堤の被災状況 (D'、D、B、区間)

## 2.2 万葉埠頭緑地の被災状況

万葉埠頭緑地の被災状況を図 2-6、図 2-7 に示す。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認められる。

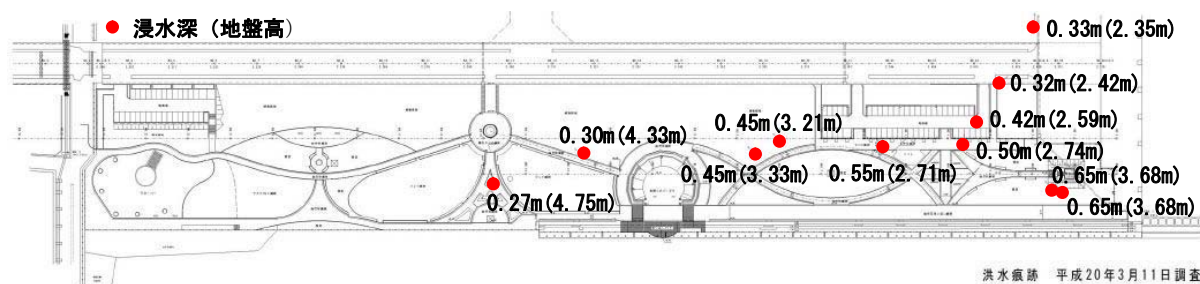


図 2-6 万葉埠頭緑地の浸水痕跡調査結果



図 2-7 万葉埠頭緑地の被災状況



### 3. 被災時の気象・海象状況

#### 3.1 気圧配置

被災前後の気圧配置を図 3-1 に、被災時の気圧配置と寄り回り波発生時の典型的な気圧配置の比較を図 3-2 に示す。2008 年 2 月 24 日 15 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。

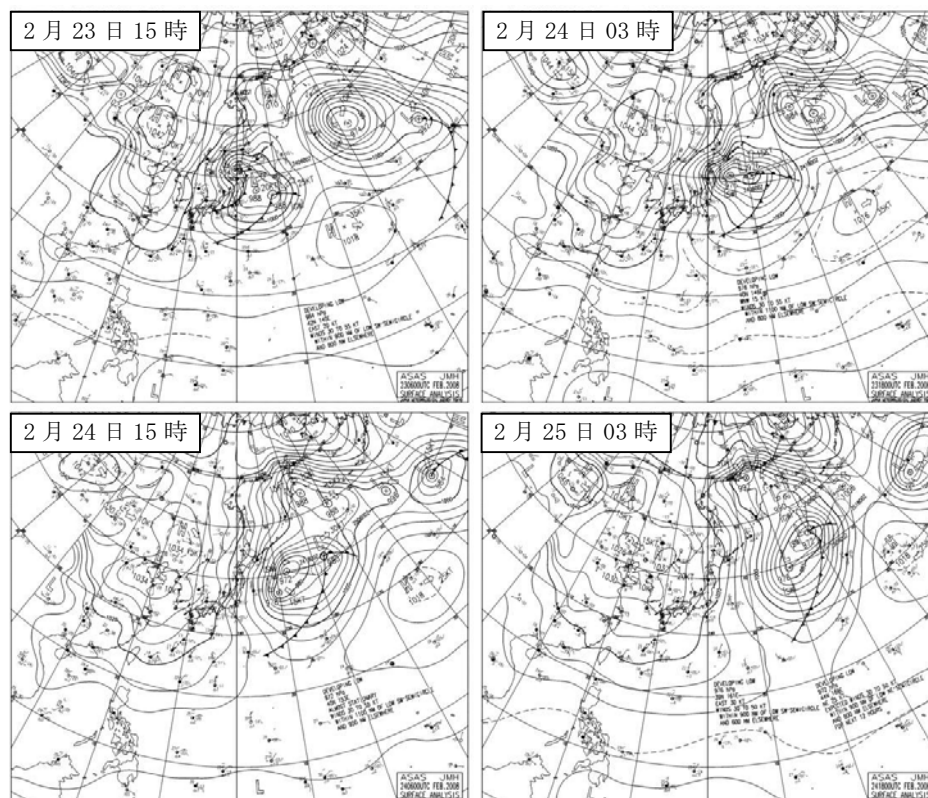


図 3-1 被災前後の気圧配置

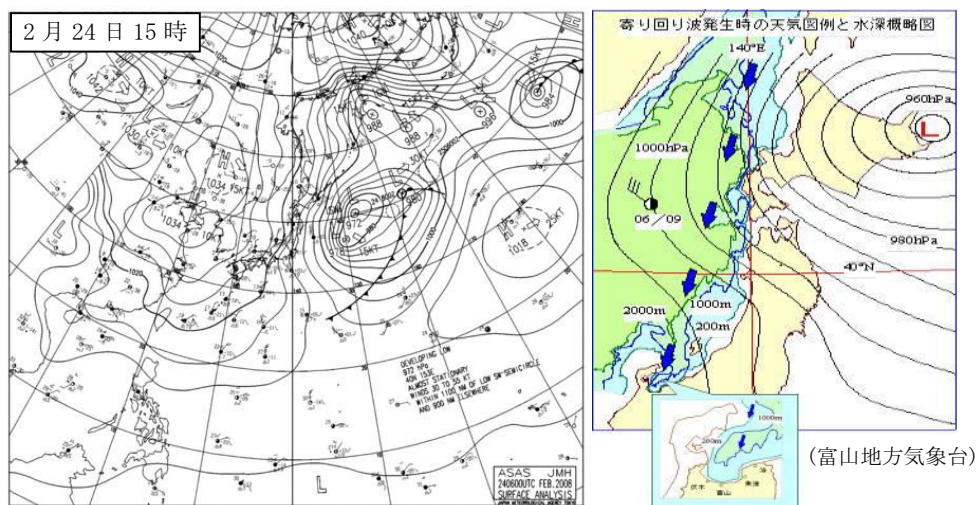


図 3-2 被災時の気圧配置と「寄り回り波」が発生時の典型的な気圧配置の比較

### 3.2 風、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3-3に、有義波と最高波の時系列図を図3-4に示す。

伏木富山および新湊において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。

期間最大の有義波高は伏木富山では24日14時に、富山では24日16時に観測され、富山の有義波高9.92mは既往最大値を超える波高であった。周期は24日0時から25日12時にかけて10secを超え、24日午後には14sec～15secに達した。

周期が長く、近傍の風との対応がみられないことから、24日の高波がうねり性であったことがわかる。

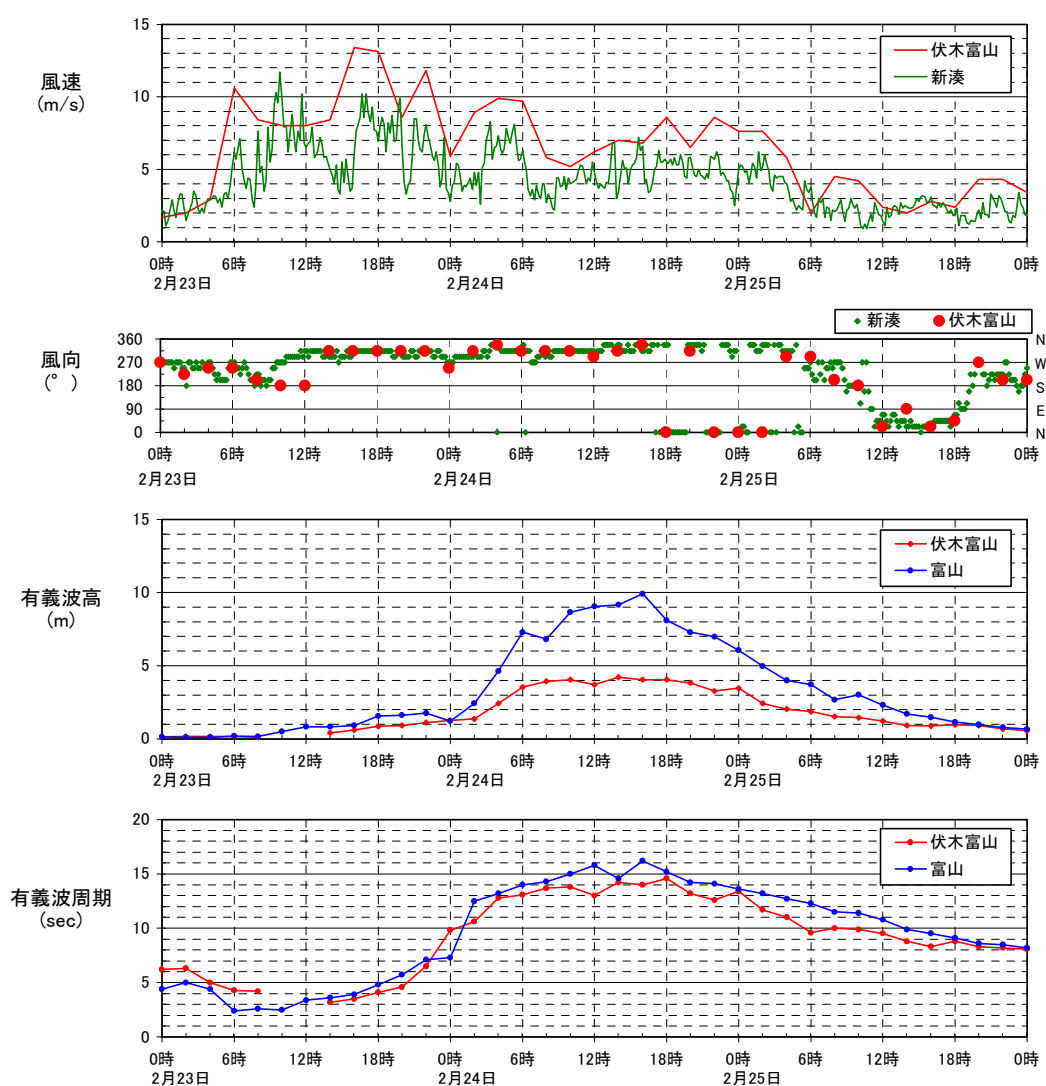


図 3-3 風と波浪の状況

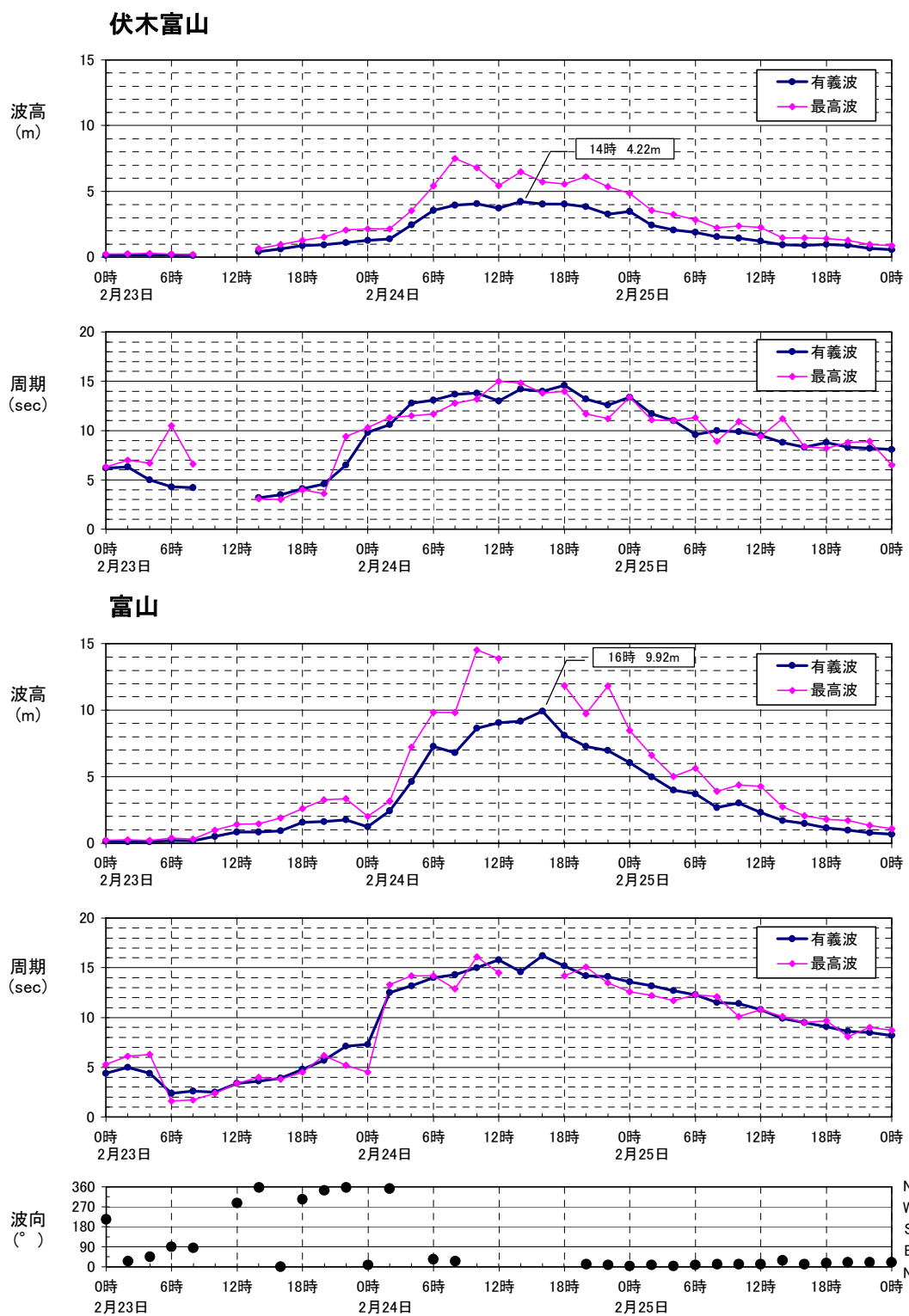


図 3-4 有義波と最高波の時系列図

備考) ・伏木富山の波向は全欠測であった

・富山の 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



### 3.3 潮位、長周期波の状況

#### (1) 潮位

伏木富山の潮位記録の推移を図 3-5 に示す。伏木富山の潮位観測施設は、応答性能から長周期波高成分を正確に捕らえておらず、詳細解析には様々な検討が必要で時間を要するため、ここでは概略的に検討する。

最大波高を記録した 2 月 24 日 14 時の潮位は 21cm であった。その前後のアナログ潮位記録（図 3-6）を注意深く見ると、長周期波高の影響と考えられる周期 300sec 程度の潮位の変動が感じ取れる。

このピーク値を参考に、被災時の検討を実施する際の基準の潮位を 34cm とする。

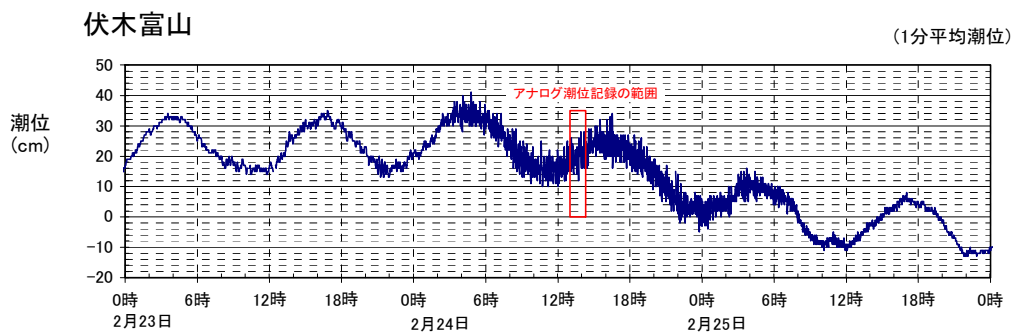


図 3-5 伏木富山の潮位の推移

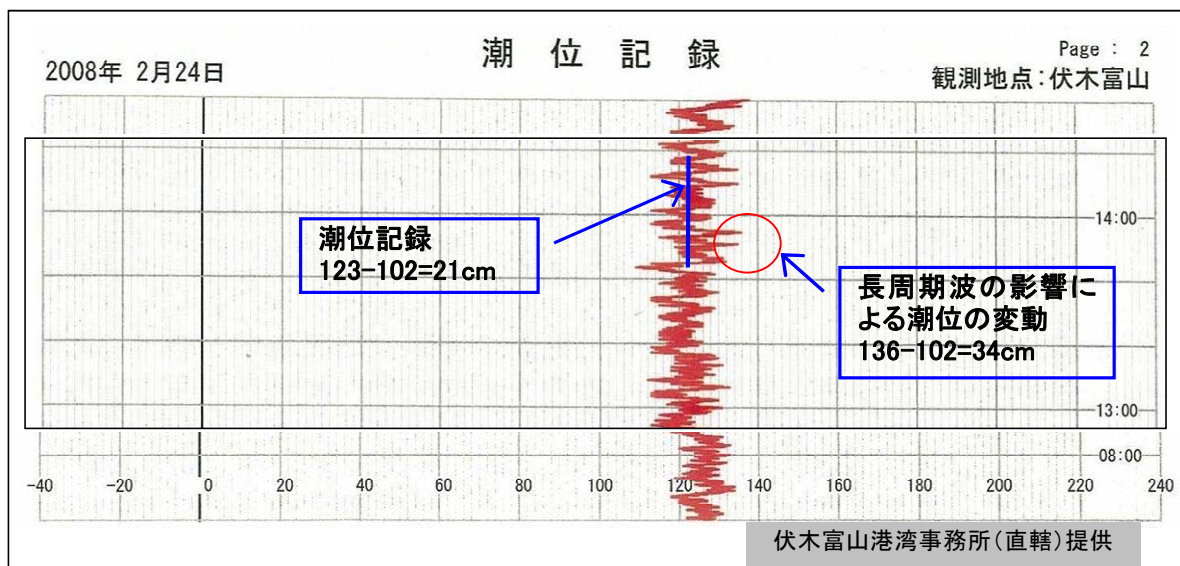


図 3-6 伏木富山のアナログデータ（2 月 24 日 13～14 時）

## (2) 長周期波に伴う水位上昇量

長周期波に伴う水位上昇量は、カムインズ波浪周期別情報により推定する。解析対象地点は、伏木地区、富山地区は連続観測が実施されないことから、周辺で実施されている金沢港・輪島港・直江津港のなかで、被災時の観測記録が保持されている金沢港とする。

カムインズの波浪周期別情報で金沢港の 2 月 23～24 日の波高データから、スペクトル解析による長周期波高（30～300sec）成分を取り出した結果を図 3-7 に示す。

伏木富山で最大波高を記録した 24 日 14 時前後の推定値は以下のとおりである。

- ・長周期波高（30～60sec）＝30cm
- ・長周期波高（60～300sec）＝30cm （周期帯のエネルギーを有義波高 H1/3 に換算）

金沢港と伏木富山の同時時間帯の有義波高がともに 4.2m 程度であったことから、伏木地区への割増率を 1.0 とし、長周期最高波高 Hmax を  $H1/3 \times 1.6$  とすると、長周期波による水位上昇量は以下のとおり求まる。

$$\text{長周期波による水位上昇量} = 1/2 \times 1.6 \times \sqrt{30^2 + 30^2} = 34\text{cm}$$

したがって、

$$\text{被災時概略水位高} = \text{ベースの潮位 } 34\text{cm} + \text{長周期波上昇量 } 34\text{cm} = 68\text{cm} \div 70\text{cm}$$

となることから、被災時の設計条件等の検討を実施する際には、危険側に見積もった潮位条件として D.L.+0.7m を考慮する。

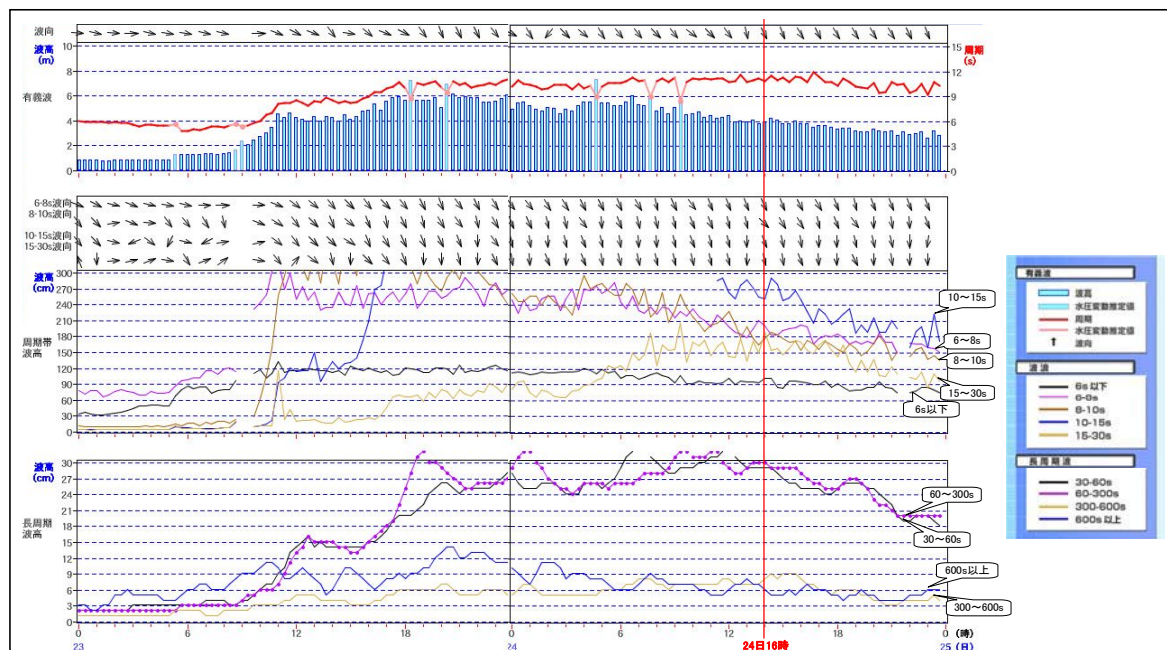


図 3-7 カムインズの波浪周期別情報

#### 4. 伏木地区における波浪特性

伏木富山港（伏木地区）における被災波と設計波についてビジネスモデルによる波浪変形計算を実施し、波浪特性を把握する。

##### 4.1 波浪計算手法

伏木地区における波浪特性の検討には、(独)港湾空港技術研究所が開発しているビジネスモデル(NOWT-PARI ver.4.6c5a(2008 年最新版))を用いる。

###### (1) ビジネスモデルの概要

ビジネスモデルは、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ビジネスモデルは、NOWT-PARI ver4.6β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。ビジネスモデルと他の波浪計算手法との適用範囲の比較を表4-1に示す。

表 4-1 波浪変形計算法（計算モデルの基礎方程式）の適用範囲<sup>2</sup>

| 分類     | 波浪変形計算手法          | 水深変化 | 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             | ○    | ○  | ○    | ×  | ×  | ×  | ×   | ×    | ×     | ×   | ×    |
|        | ②エネルギー平衡方程式       | ○    | ○  | ○    | ○  | △  | ○  | ×   | ×    | ×     | ×   | ○    |
| 回折系    | ③ゾンマーフェルト解による解析解法 | ×    | ×  | ×    | ×  | ○  | ○  | ×   | ×    | ×     | ×   | ○    |
|        | ④ヘルムホルツ方程式        | ×    | ×  | ×    | ×  | ○  | ○  | ×   | ×    | ×     | ×   | ○    |
|        | ⑤高山法              | ×    | ×  | ×    | ×  | ○  | ○  | ×   | ×    | ×     | ×   | ○    |
| 屈折・回折系 | ⑥数値波動解析法          | ○    | ○  | ○    | ×  | ○  | ○  | ×   | ×    | ×     | ×   | ×    |
|        | ⑦ビジネス方程式          | ○    | ○  | ○    | ○  | ○  | △  | ○   | ○    | ○     | ○   | ○    |

（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

<sup>2</sup> 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.

## (2) ブシネスクモデルの特徴

ブシネスクモデルの最大の特徴は、屈折と回折を同時に考慮できること、および非線形性（有限振幅性）を考慮できることである。

### 1) 屈折・回折を同時に考慮できることの利点

従来の手法では、水深変化による屈折の影響が大きく遮蔽物による回折のない港外を屈折系のモデルで、水深変化による屈折の影響が少なく遮蔽物による回折の影響が大きい港内を回折系のモデルで別々に計算することが多かった。

ブシネスクモデルは、屈折・回折を同時に計算できることから、港内と港外で別々の計算をする必要がない。また、港内でも屈折と回折の両方を考慮できることから、港内の水深変化が大きい場合でも、従来の回折のみを考慮する手法と比較して計算精度向上する。

### 2) 非線形性が考慮できることの利点

ブシネスクモデルでは、非線形性が考慮できることにより高波浪時（波形勾配が大きい場合）や浅海域（水深波長比が小さい場合）の計算精度が向上する。

非線形性が計算精度に影響する例として、浅水係数の算定図を図 4-1 に示す。非線形性を考慮しない場合、実現象（非線形性を考慮する場合）と比較して浅水係数（波高）が低く見積もられる。したがって、ブシネスクモデルは従来法と比較して、実現象をより忠実に表現したモデルであるといえる。

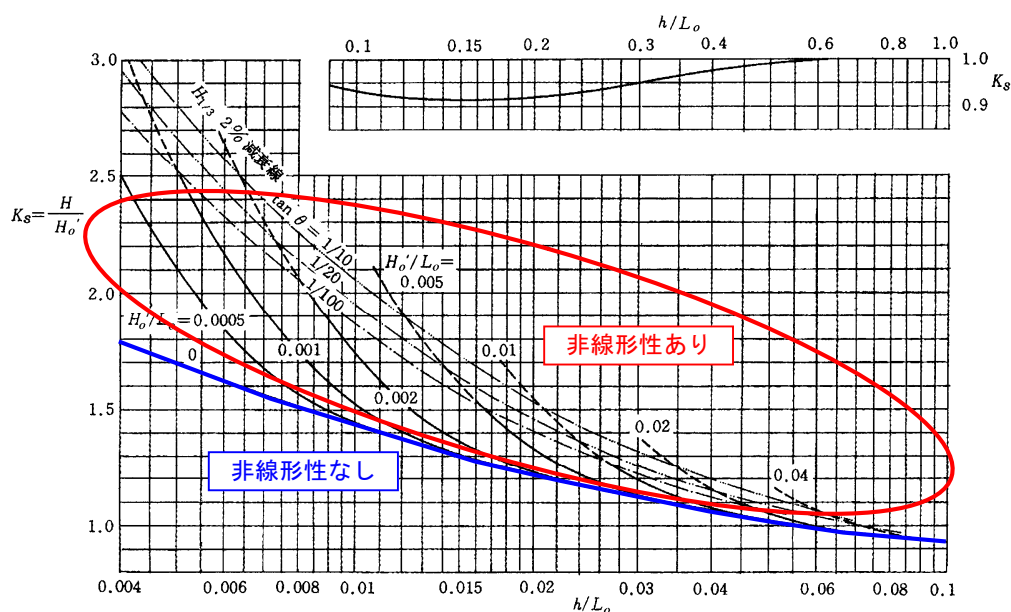


図 4-1 浅水係数の算定図（非線形性の例として）

## 4.2 計算条件

### (1) 波浪条件

検討波浪は、被災時の最大波浪（港外波浪観測地点における観測値）と、今回の被災で最も被害が大きかった北防波堤のB区間における設計沖波の2ケースとする。波向は、伏木地区における波浪特性から波向 **NNE** と **NE** の2ケースとする（被災時の波向は不明）。方向集中度パラメータ **Smax** は波形勾配から算定する。波浪条件のまとめを表 4-2 に示す。

表 4-2 波浪条件のまとめ（入射波）

| 波浪条件                     | 波高(m) | 周期(秒) | 波向        | Smax |
|--------------------------|-------|-------|-----------|------|
| 被災波<br>(2008年2月24日14:00) | 4.22  | 14.2  | NNE<br>NE | 75   |
| 設計波<br>(B区間における設計沖波)     | 4.80  | 12.0  | NNE<br>NE | 25   |

### (2) 地形条件

今回の検討は、被災の再現が目的であることから、地形条件は現況地形とする。地形条件および構造物の反射率の設定を図 4-2 に示す。

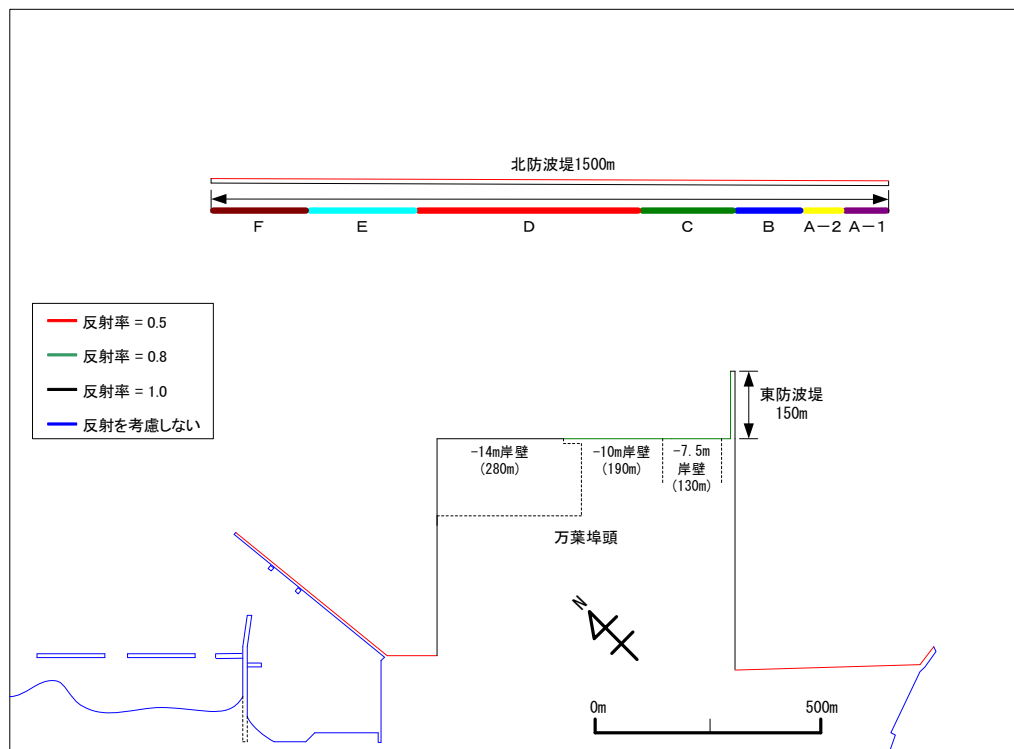


図 4-2 港湾構造物条件設定図（現況：構造物による反射あり）



### (3) 主な計算条件

主な計算条件を表 4-3 に示す。

表 4-3 主な計算条件

| 項 目    | 計 算 条 件                                     | 備 考             |
|--------|---------------------------------------------|-----------------|
| 計算対象域  | 伏木外港の港外および港内                                | 図 4-3 参照        |
| 沖側境界条件 | 修正 JONSWAP 型スペクトル ( $\gamma=3.3$ )          |                 |
| 港内反射率  | 直立壁 : 1.0<br>スリットケーソン : 0.8<br>消波ブロック : 0.5 | 図 4-2 参照        |
| 計算格子間隔 | 10m                                         |                 |
| 計算時間間隔 | 0.02 秒                                      |                 |
| 積分時間   | $100T_{1/3}$                                |                 |
| 沖側最大水深 | 50m                                         | 港外波浪観測地点(46m)付近 |
| 最低水深   | 5.0m (万葉埠頭緑地の進行波計算は 2.0m)                   |                 |
| 計算潮位   | M.S.L.=D.L+0.2m                             |                 |

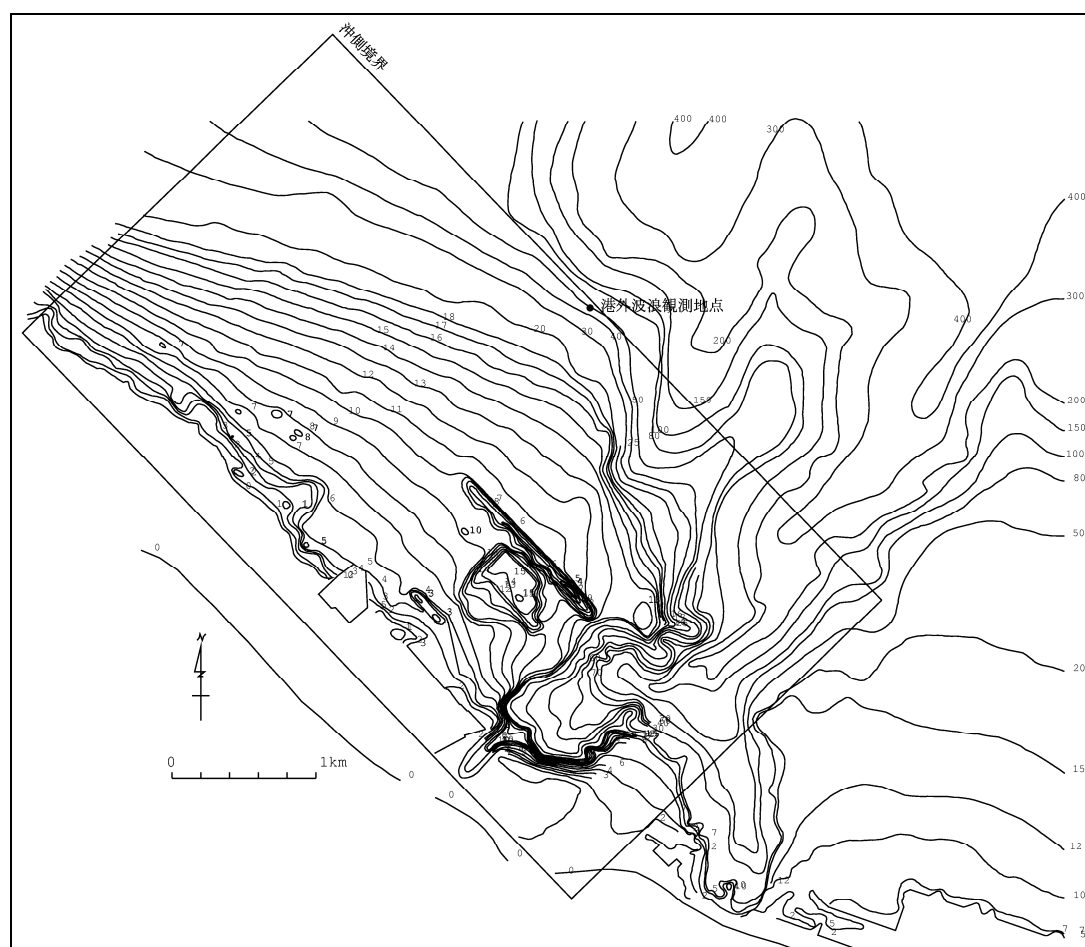


図 4-3 計算領域の設定図 (数値は水深(m))

### 4.3 波浪特性の検討

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）に波浪変形計算を実施し、波浪分布を把握する。また、同一の条件で設計波についても検討を行う。

ここでは、“北防波堤の反射あり”の条件での計算結果をもとに、北防波堤前面で実際に起こっている現象を正確に把握することとする。

#### (1) 被災波の波浪変形計算

伏木富山港（伏木地区）港外波浪観測地点（マフコタワー）における被災時の最大波高（波高 4.22m、周期 14.2 秒）を入射波条件として、ブシネスクモデルによる波浪変形計算を実施する。波向は NNE および NE の 2 ケースとする。波浪計算結果を図 4-4 および図 4-5 に示す。

被災波の波浪計算結果（平面分布）から次のことがいえる（表 4-4）。

- ・ 北防波堤の B 区間は、波向 NNE ではあまり波高が高くない。波向 NE では波浪の収束域となるため、高波浪となる。
- ・ 北防波堤の C 区間は、波向 NNE では波浪の拡散域となり、波高が高くない。波向 NE では、東端で波高が高くなる。
- ・ 北防波堤の D 区間は、波向 NNE では全域で波高が高くなる。波向 NE では、西側のみ高波浪となる。
- ・ 万葉埠頭緑地では、波向 NNE で波高が高くなる。波向 NE では、波浪の収束域が北防波堤に遮蔽されるため、波高は高くない。
- ・ 波向 NE においては、B 区間と C 区間の境界付近や、D 区間の西端の被災箇所と高波浪の分布がよく一致している。

表 4-4 被災波の波浪特性

| 波向     | 北防波堤   |        |      | 万葉埠頭緑地 |
|--------|--------|--------|------|--------|
|        | D 区間   | C 区間   | B 区間 |        |
| 波向 NNE | 高い（全域） | 低い     | 低い   | 高い     |
| 波向 NE  | 高い（西側） | 高い（東端） | 高い   | 低い     |

は危険な波向



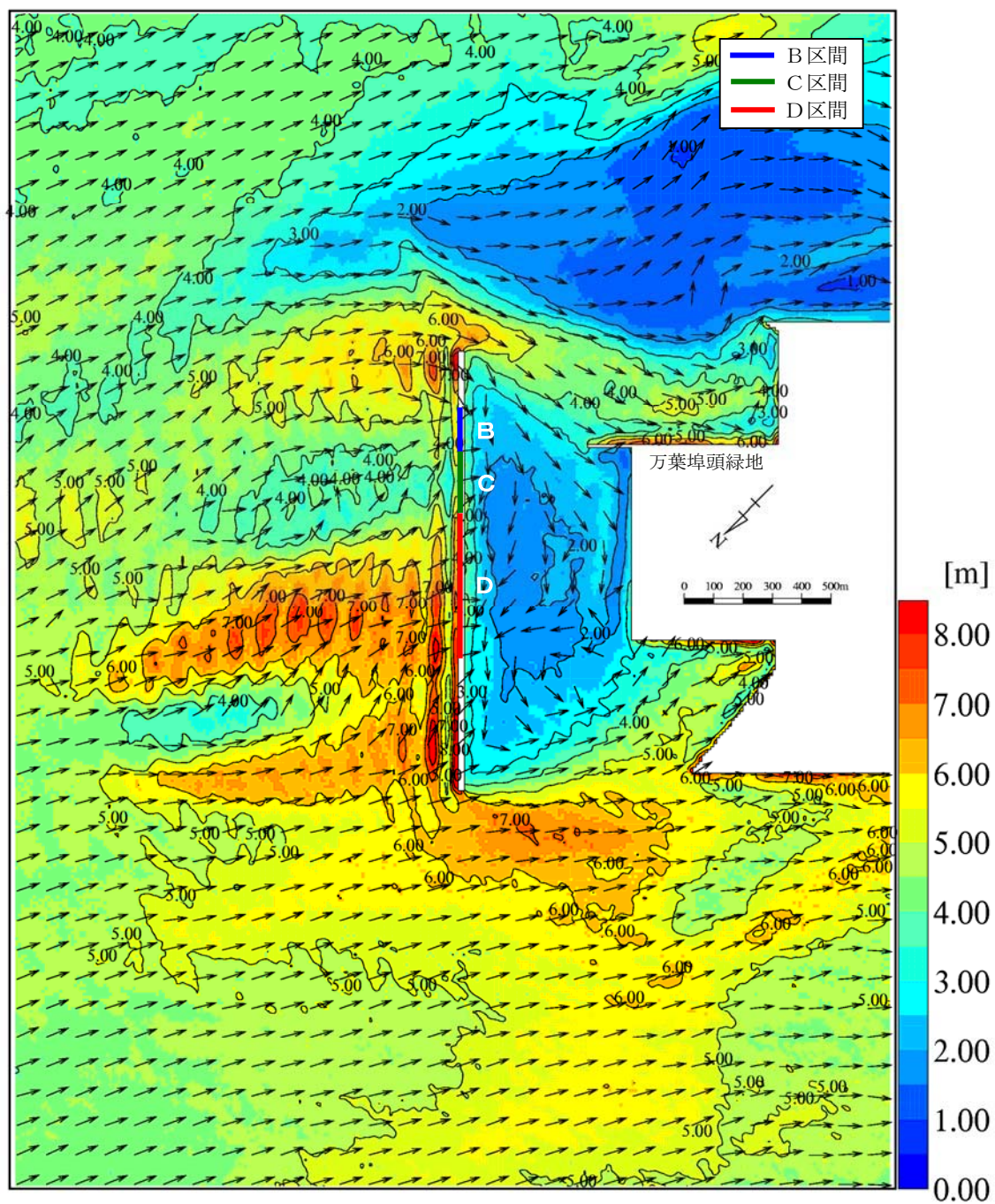


図 4-4 被災波の波浪計算結果（波向 NNE）  
（構造物による遮蔽・反射あり）



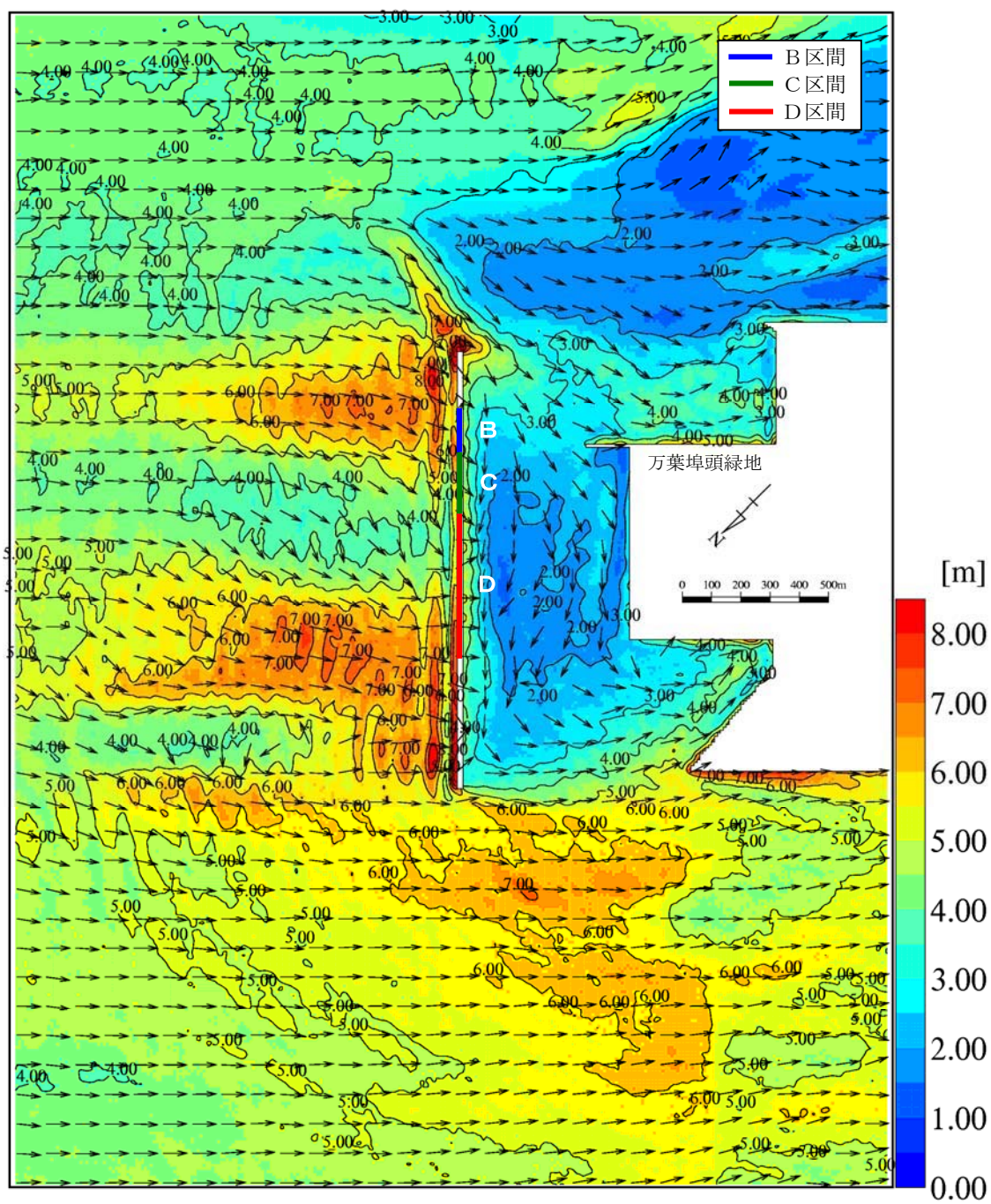


図 4-5 被災波の波浪計算結果 (波向 NE)  
(構造物による遮蔽・反射あり)

## (2) 設計波（B区間）の波浪変形計算

被災波と設計波の波浪特性の違いを確認するために、最も被害が大きかったB区間の設計沖波（波高 4.8m、周期 12 秒、SMB 法）を入射波条件として、ブシネスクモデルによる波浪変形計算を実施する。波向は NNE および NE の 2 ケースとする。波浪計算結果を図 4-6 および図 4-7 に示す。

被災波の波浪計算結果（平面分布）から次のことがいえる（表 4-5）。

- ・ 北防波堤の前面では、全般に波向 NNE よりも波向 NE のほうが波高は高い。
- ・ 北防波堤のB区間は、波向 NNE ではあまり波高が高くない。波向 NE では東側が波浪の収束域となり、高波浪となる。
- ・ 北防波堤のC区間は、波向 NNE、NE とともに波浪の拡散域となるため、波高は高くない。
- ・ 北防波堤のD区間は、波向 NNE、NE とともに波浪の収束域となり、波高が高くなる。万葉埠頭緑地では、波向 NNE で波高が高くなる。波向 NE では、波浪の収束域が北防波堤に遮蔽されるため、比較的低くなる。

表 4-5 B区間の設計波の波浪特性

| 波向     | 北防波堤   |      |        | 万葉埠頭緑地 |
|--------|--------|------|--------|--------|
|        | D区間    | C区間  | B区間    |        |
| 波向 NNE | 高い（西側） | 低い   | 低い     | 高い     |
| 波向 NE  | 高い（西側） | やや低い | 高い（東側） | 低い     |

は危険な波向





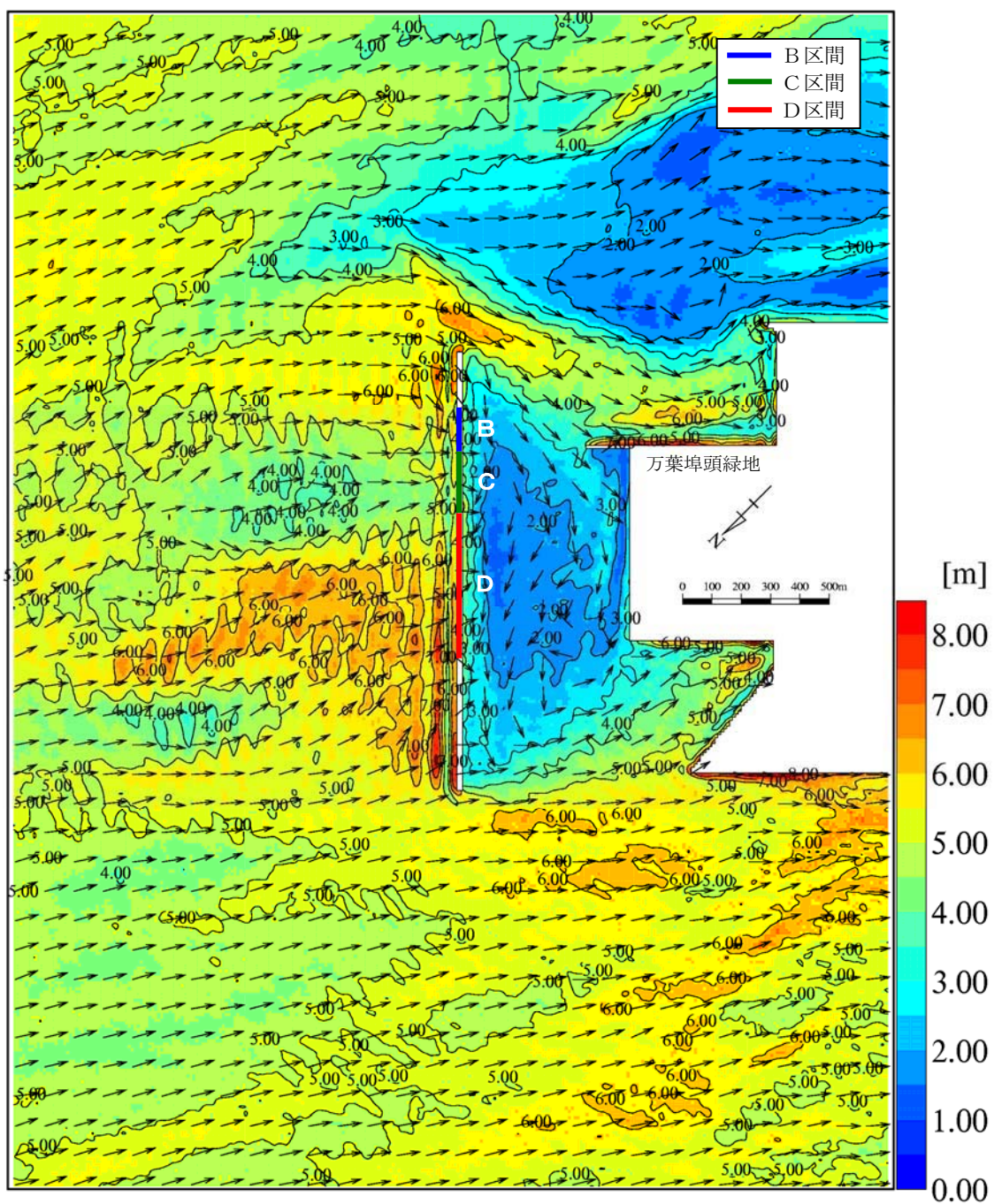


図 4-6 設計波(B 区間)の波浪計算結果 (波向 NNE)  
(構造物による遮蔽・反射あり)

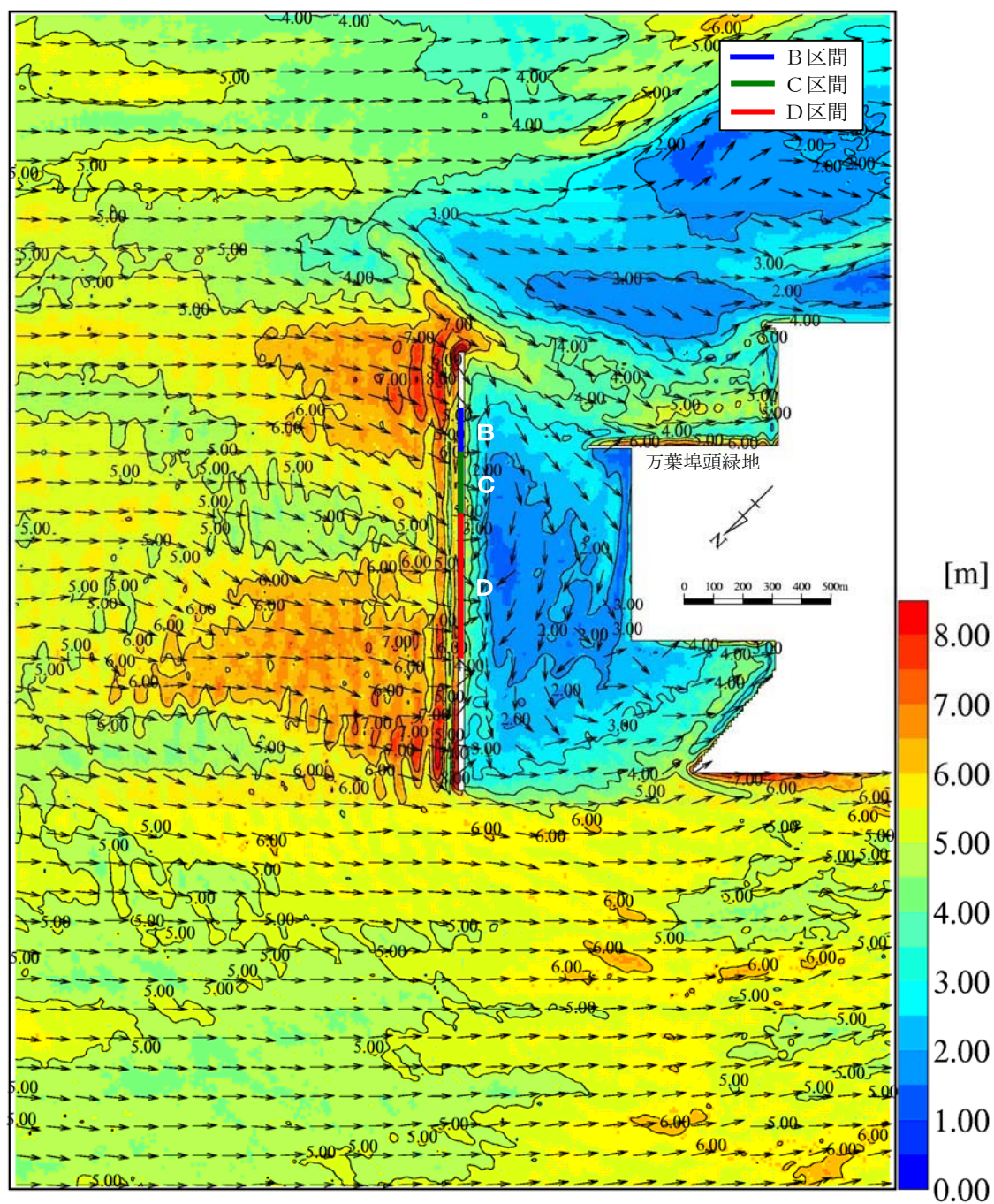


図 4-7 設計波(B 区間)の波浪計算結果 (波向 NE)  
(構造物による遮蔽・反射あり)



### (3) 北防波堤前面の波高分布特性

北防波堤前面(30mの最大値)の波高分布特性を図 4-8 に示す。

#### 1) 被災波

北防波堤前面の波高分布特性から、被災波について次のことがいえる。

- ・ B・C区間の波高は、全般に波向 NNE よりも波向 NE のほうが高い。特に、波向 NE では被災箇所の波高が高くなっている。
- ・ D区間の波高は、全般に波向 NE よりも波向 NNE のほうが高い。区間内では、被害の大きかった西側の波高が高い傾向にある。

#### 2) 設計波

北防波堤前面の波高分布特性から、設計波について次のことがいえる。

- ・ B・C区間の波高は、全般に波向 NNE よりも波向 NE のほうが高い。
- ・ D区間の波高は、波向 NE と NNE では同程度である。

#### 3) 被災波と設計波の比較

北防波堤前面の波高分布特性から、被災波と設計波の違いについて、次のことがいえる。

- ・ 被災波の入射波高(4.22m)は設計波の入射波高(4.8m)よりもより波高が低い、北防波堤前面では被災波の波高のほうが高い場所が多くみられる。
- ・ 被災波は、設計波よりも場所的な波高の変化が大きい。
- ・ これらの現象は、設計波の周期(12秒)よりも被災波の周期(14.2秒)のほうが長いため、屈折による波浪の収束・発散や浅水変形の効果が大きいため生じると考えられる。

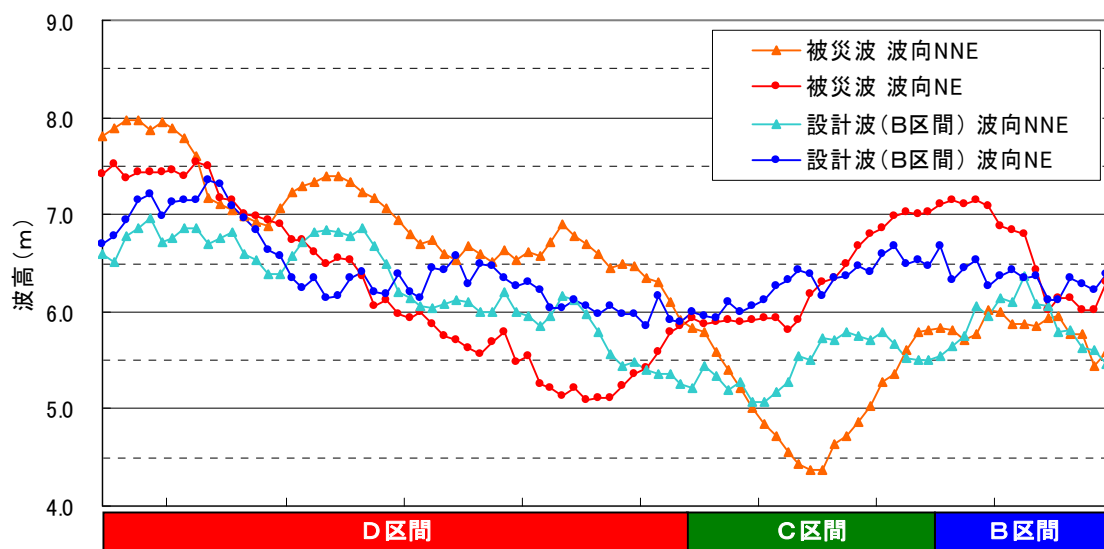


図 4-8 北防波堤前面の波高分布特性（反射あり）

#### (4) 北防波堤前面の波形特性

被災波の波向 NE の波浪計算結果を例にとり、北防波堤前面における被災時の波浪の波形特性について検討する。北防波堤前面における被災波の空間波形特性を図 4-9 に、時系列波形特性を図 4-10 に示す。

空間波形では、波の山が前傾した波形となっている。また、空間波形・時系列波形ともに波の山と谷の形が非対称で、波の山は尖り、谷は平坦な波形である。これらの特徴は、非線形性の強い波浪に特有のものであり、今回の被災波浪が強い非線形性をもっていたことがわかる。

非線形性の強い波は、従来の波浪予測手法では予測が困難であり、複雑な海底地形条件など「うねり性波浪」の影響を受ける場所等では、これからの港湾の設計では、非線形性等も考慮した設計手法を採用することが求められる。

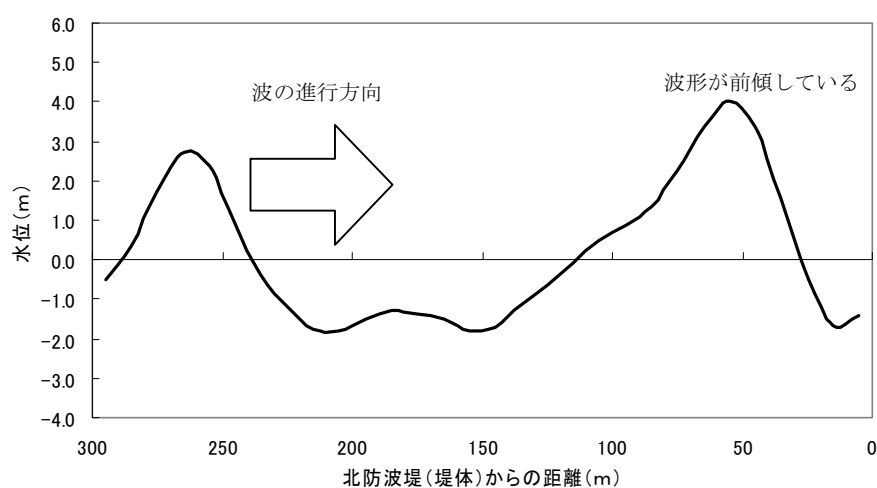


図 4-9 北防波堤前面の空間波形特性 (B 区間、計算時刻 : 2150 秒)

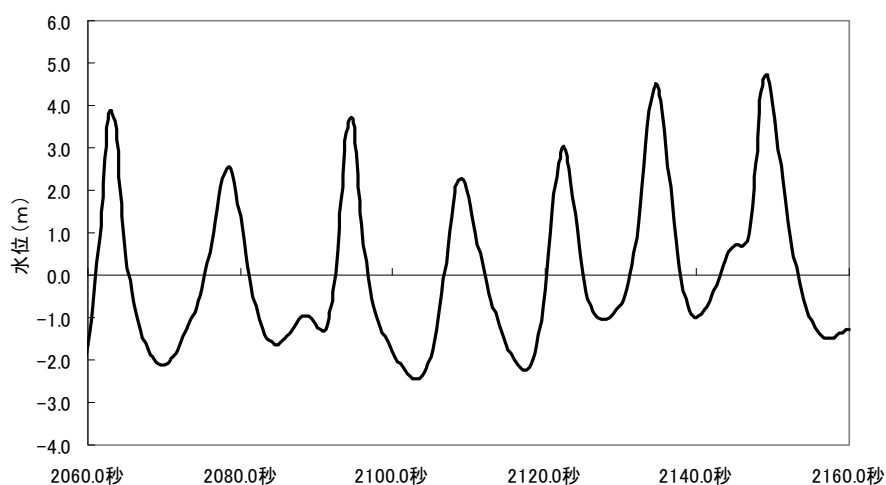


図 4-10 北防波堤前面(50m)における時系列波形特性 (B 区間)

## 【参考説明】“波の非線形効果”について

### ●波の伝播過程における非線形効果

波浪は、伝播する過程において次のような3つの現象とそれに伴う効果を呈することが知られている。

1. 深海で発生した波浪は、線形の分散波として浅海域へと進行する。
2. 波浪が波高水深比が大きくなる海域（浅海域）に進行すると非線形効果（波の上部では波速が大きくなり、波の下部では波速が小さくなり波が前に傾く）があらわれ、波の峰が高くなるとともに波前面勾配が急峻となる。
3. さらに水深波高比が大きい遠浅の海域へ波浪が進行すると、波形や水深等の条件によっては非線形効果に分散現象が加わってソリトン分裂（一つの波峰が多数の波に分裂する現象）のような波状段波を形成することもある。

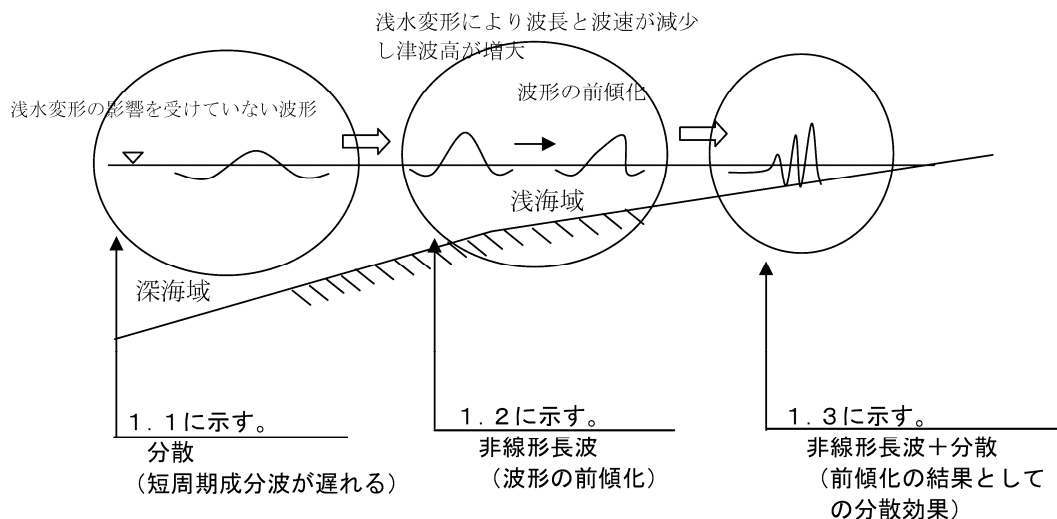


図 4.3-11 波浪の伝播過程における諸効果の模式図<sup>3</sup>

線形長波理論式で表現出来る現象

：波は浅海域では、水深が浅い場所では波速は小さく、水深が深い場所では波速が大きい。

その結果、伝播過程で波長は次第に短くなり水位は高くなる（波速= $\sqrt{gh}$ ）。

非線形長波理論式で表現できる現象

：線形長波理論式で表現できる現象に加え、波の前方傾化を表現可能（波速= $\sqrt{g(h+\eta)}$ ）。

（ここに、 $g$  は重力加速度、 $h$  は平均水深、 $\eta$  は平均水深からの水位変動量である。）

<sup>3</sup> (財)国土技術研究センター(2007)：津波河川遡上解析の手引き(案)を改変。



● “波の非線形効果” の具体例

波浪は浅海域において、波高水深比が深海域に比べて大きくなるため、水深の変化に伴う浅水変形によって波長、波速が減少するとともに波高が高くなる。浅水変形によって波高が高くなり、水位の高い部分と水位の低い部分との移動速度差が大きくなることで波の峰が前に傾くことを非線形効果という。このような現象は、非線形長波理論によって表現することができる。

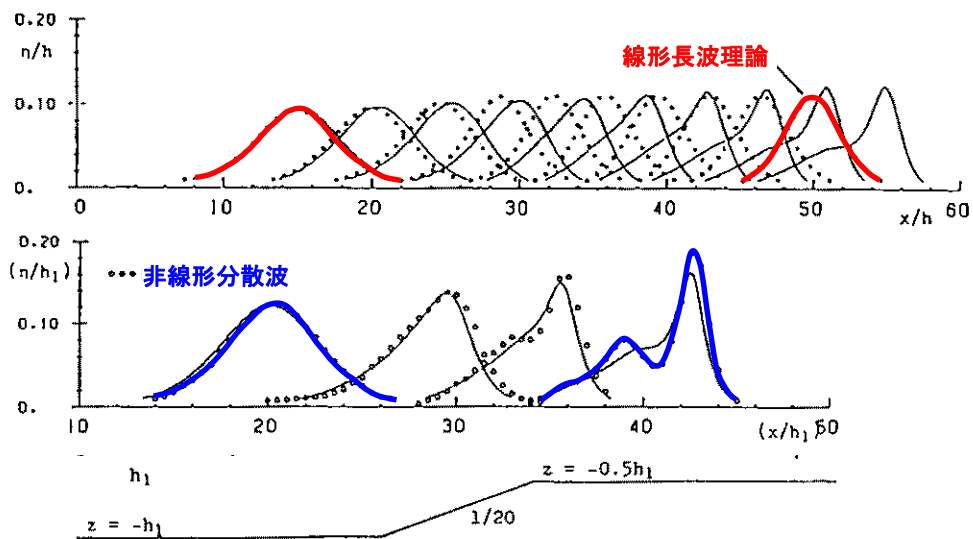


図 4.3-12 線形長波と非線形分散波（ブシネスク）との比較<sup>4</sup>

<sup>4</sup> 土木学会 海岸工学委員会 研究現況レビュー小委員会(1994)：海岸波動, pp. 230 を改変.

## 波浪観測網が捉えた 2008 年 2 月 24 日の日本海沿岸高波の特性

**1. 研究の目的** 2008 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、日本海全域に長時間にわたって気圧勾配が急な NNE-SSW 方向の平行等圧線気圧配置を継続したため、日本海中部から南部海域にかけて、非常に発達した周期の長い波浪の来襲をもたらした。特に富山湾では、顕著な寄り回り波が発生し、沿岸に多大な被害を発生させた。本稿は、日本海沿岸の波浪観測網が捉えた記録をとりまとめ、この高波の発生・伝播・増幅の特性を実証的に考察したものであり、今後の日本海沿岸域、特に富山湾沿岸域における減災に資することを目的とした緊急研究の成果をとりまとめたものである。

**2. 研究内容** 日本海沿岸 18 観測点で得られた波浪観測記録をとりまとめた。気泡等の混入によって超音波センサーが海表面を定義できなかった場合は、海底における水圧変動記録をもとに表面波形を推定し有義波高と周期を推定した。スペクトル解析も実施し、周波数スペクトルおよび方向スペクトル解析結果を部分積分してとりまとめた周期帯毎の波高・波向情報として観測結果を整理した。また、日本海全域を対象とした波浪推算(WAM法)や、海底地形の影響による浅水変形や屈折などの波浪変形計算を並行実施した。添付図面として、図-1 に主要波浪観測点の有義波高(細線)・周期(破線)および周期 10-30s 周期帯波高(太線)と波向(矢印)の経時変化を、図-2 に観測波形記録から得られた方向スペクトルの一例を、図-3 に気象擾乱期間中の最大有義波高推算結果を、それぞれ示す。

**3. 主要な結論** ①本気象擾乱によって既往最大観測有義波高を更新した観測点は、18 観測 3 点(輪島(水深 52m, 1979 年以降)・富山(水深 20m, 2002 年以降)・柴山(水深 41m, 2000 年以降))であった。特に、富山では、24 日 14:00 に有義波高 9.92m、有義波周期 16.2s というこれまでの既往最大観測有義波である 2004 年台風 23 号に伴う有義波高 6.75m、有義波周期 8.3s を大きく上回る波浪を観測した。②図-1 および図-3 からわかるように、能登半島以東の沿岸では、南下するほど波浪が発達しており、波高や周期が大きくなっている。これに対して、能登半島以西の沿岸では、西に行くほど最大有義波高が相対的に低くなる。これは、冬型気圧配置に伴う北風は、日本海の東側ほど強かったためであろう。③富山湾内を除く日本海全域において、23 日夕刻頃に急激な波浪の発達が見られた。23 日深夜までは、図-1 のいずれの観測点でも、太線に示す周期 10-30s のうねり成分波高は全周期帯を意味する細線の有義波高よりもかなり低く、かつ時間の経過とともに破線で示す有義波周期が時間とともに増加しており、強風による波浪の発達過程であったものと推定される。高波浪状態は、24 日まで継続するが、その継続時間は南西側の観測点ほど長く、留萌では 24 日午前中には低波浪状態に戻ったのに対して、玄界灘では 25 日になっても高波浪状態が継続していた。このことは、能登半島以西では、近傍で発達した風波来襲の後に、北から伝わってきたうねりが続けて来襲したためであると推定される。④富山湾内観測点である富山と伏木富山では、能登半島による遮蔽によるためと推定されるが、23 日の風浪の発達は見られず、24 日になってから波浪が発達した。高波浪期間中を通じて、有義波高と周期 10-30s の周期帯波高がほぼ等しく、周期 10s 以下の風浪成分はほとんど見られなかった。富山湾内両観測点は 10km 強しか隔たっていないにもかかわらず、観測最大有義波高に大きな相違があったことは、富山湾内の複雑な海底地形によって富山湾内の波浪は屈折し、平面的に大きな変動が見られたことを意味している。⑤図-2 の輪島と富山の方向スペクトルを見ると、ともにピーク周波数は 0.06Hz(周期 16s 程度)であり、富山湾近傍海域には非常に発達したうねりが来襲したことがわかる。

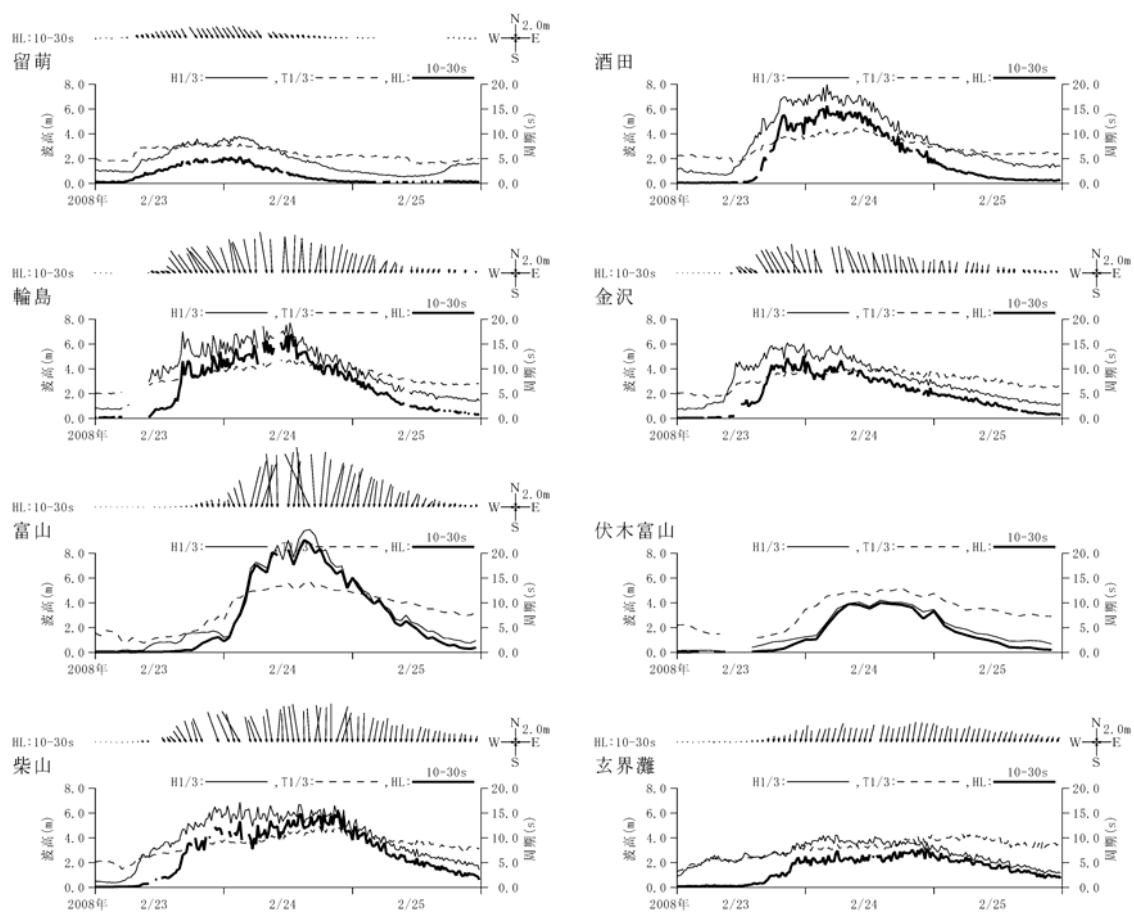


図-1 主要な日本海沿岸観測点の有義波高（細線）・周期（破線）および  
周期 10-30s 周期帯波高（太線）と波向（矢印）

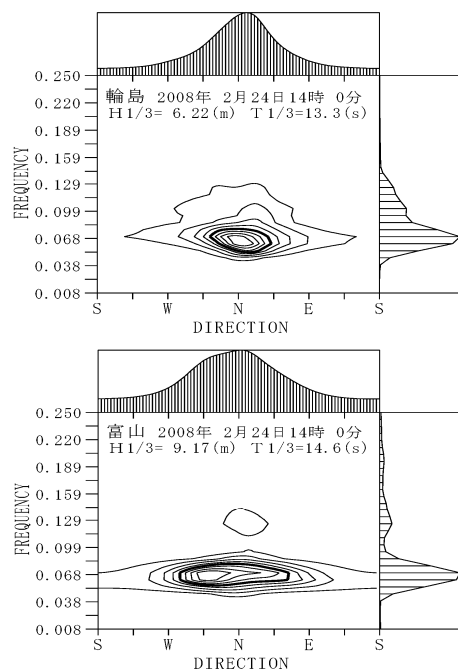


図-2 実測方向スペクトル（24日 14:00，輪島・富山）

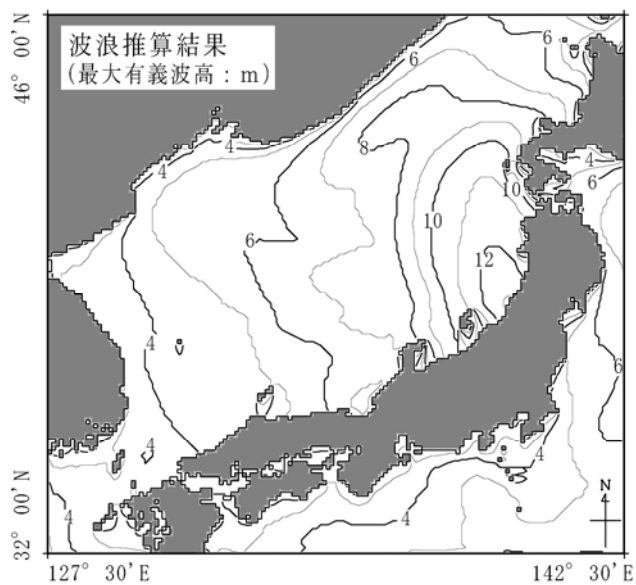


図-3 波浪推算（WAMモデル）による  
最大有義波高の分布

第2回 富山湾における『うねり性波浪』  
対策検討技術委員会 資料

「うねり性波浪」による  
被災要因とメカニズムについて

平成20年3月27日

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

## 第2回 富山湾における「うねり性波浪」対策検討技術委員会 資料

### 「うねり性波浪」による被災要因とメカニズムについて

#### ～ 目 次 ～

|                     |    |
|---------------------|----|
| 1. 北防波堤の被災メカニズムの検討  | 1  |
| 1.1 まとめ             | 1  |
| 1.2 現設計の考え方         | 2  |
| 1.3 被災波の検討および設計波の検証 | 6  |
| 1.4 消波ブロックの安定性の検討   | 12 |
| 1.5 堤体の安定性の検討       | 13 |
| 1.6 北防波堤の被災メカニズム    | 15 |



## 1. 北防波堤の被災メカニズムの検討

### 1.1 まとめ

平成 19 年 2 月 23～24 日に来襲した波浪（以下、被災波）に対して、

- ①被災メカニズムのイメージは、図 1.1-1 に示すとおりと想定できる。
- ②B,D 区間では、消波ブロック重量のランクアップが必要である。
- ③B,C,D 区間すべて滑動安全率を確保するための対策（例：捨石ストッパー）が必要である。

北防波堤の被災メカニズムのイメージ図

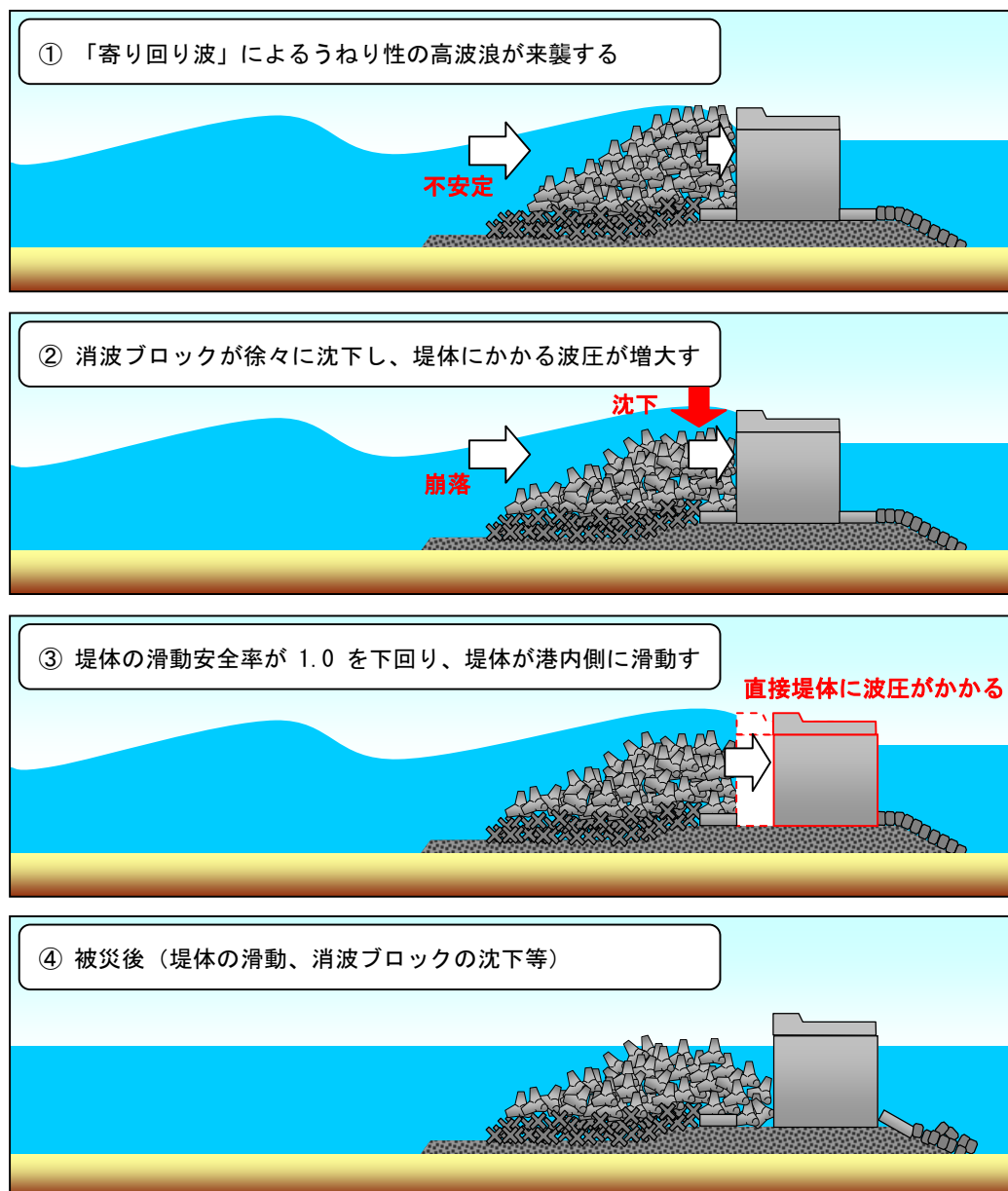


図 1.1-1 北防波堤の被災メカニズム（イメージ図）

## 1.2 現設計の考え方

北防波堤の被災要因を検討するにあたり、現設計の考え方について整理した。

### (1) 北防波堤の設計区間

被災のあった B～D・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 1.2-1 に示す。また、区間割り平面図を図 1.2-1 に、B～D 区間の構造断面を図 1.2-2 に示す。

表 1.2-1 設計条件一覧

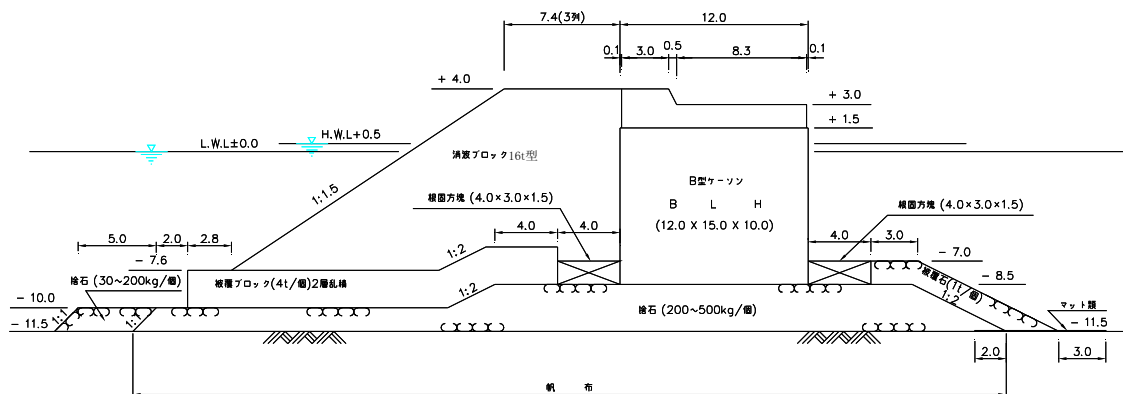
| 区 間                  | E           | D                | C                | B                 | A-2         | A-1         |
|----------------------|-------------|------------------|------------------|-------------------|-------------|-------------|
| 区間延長(m)              | 240         | 495              | 210              | 150               | 90          | 100         |
| 設計波高 $H_{1/3}$ (m)   | 6.4         | 5.8              | 5.3              | 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 $\beta$ (°)      | 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        |
| 上部工構造                | 後部<br>パラペット | 前面<br>パラペット      | 前面<br>パラペット      | 前面<br>パラペット       | 前面<br>パラペット | 前面<br>パラペット |
| 消波工構造(t/個)           | 32          | 25               | 20               | 20                | 25          | 25          |
| 設計年月                 | H9.3        | H2.3             | S63.11           |                   | H4.10       |             |
| 被災状況                 | なし          | あり<br>(最大4.0m滑動) | あり<br>(最大1.2m滑動) | あり<br>(最大12.0m滑動) | なし          | なし          |



図 1.2-1 北防波堤の設計区間の区割り（平面図）

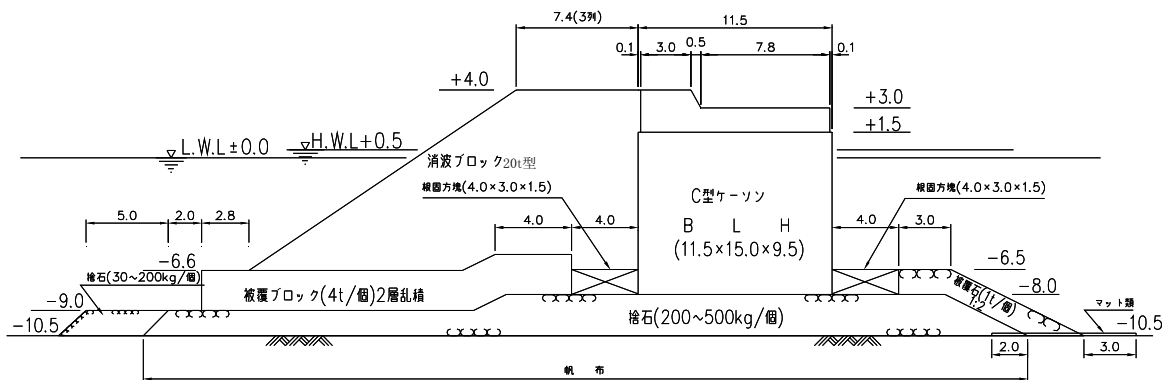
## B区間

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

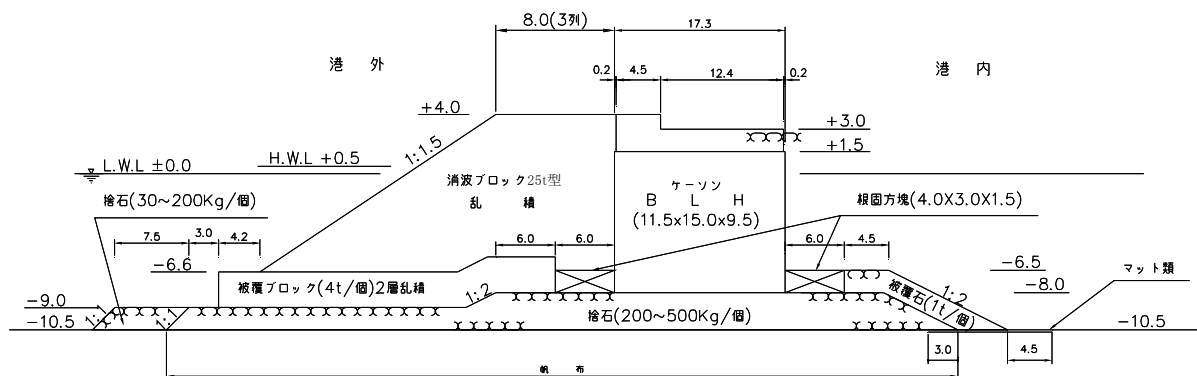


図 1.2-2 構造断面図 (B~D区間)

## (2) B・C区間の波浪条件

B・C区間の波浪条件は「あいがめ」の影響を考慮し、図 1.2-3 のフローに基づいて設計波を決定した。なお、推算波は沖波を湾内発生波に換算し、それを湾内発生波にプラスして算出した。

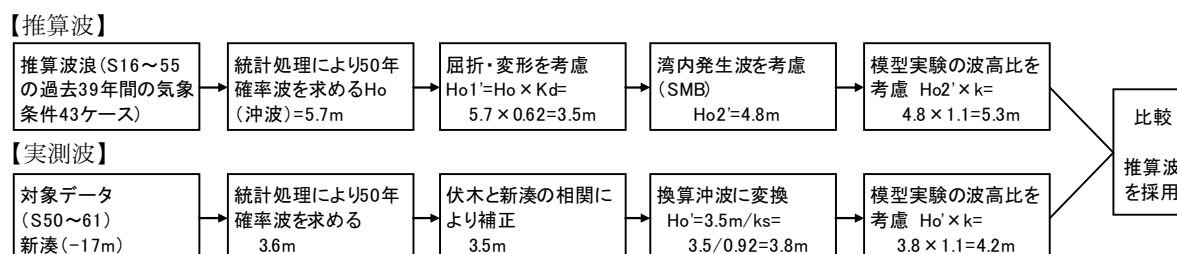


図 1.2-3 B・C区間の設計波の算定フロー

## (3) D区間の波浪条件

D区間の波浪条件は「あいがめ」の影響を考慮し、B・C区間と同様に図 1.2-4 のフローに基づき設計波を決定した。なお、推算波は、推算による沖波と湾内発生波をエネルギー合成して算出した。

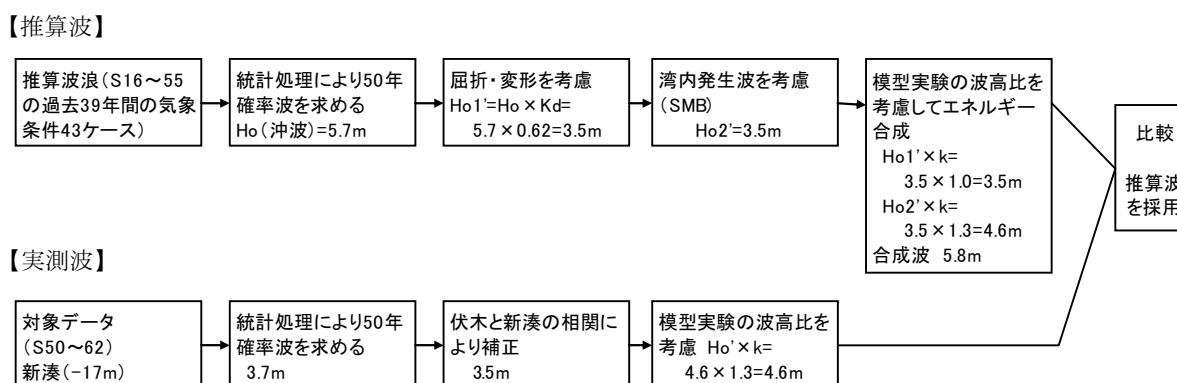


図 1.2-4 D区間の設計波の算定フロー

## (4) 寄り回り波の現設計への考慮

次の4点により寄り回り波を現設計に考慮している。

- ① 寄り回り波が発生した時の気象条件も含めて、波浪推算を実施した。
- ② ①をもとにした波浪諸元により水理模型実験を実施した。設計に用いた波高比 (k) は、長周期波 (12,14sec) の実験ケースの結果を含めて算出した。
- ③ 設計に用いる周期を長周期波も考慮して 12sec とした。
- ④ 統計処理した実測波には、寄り回り波も含まれている。

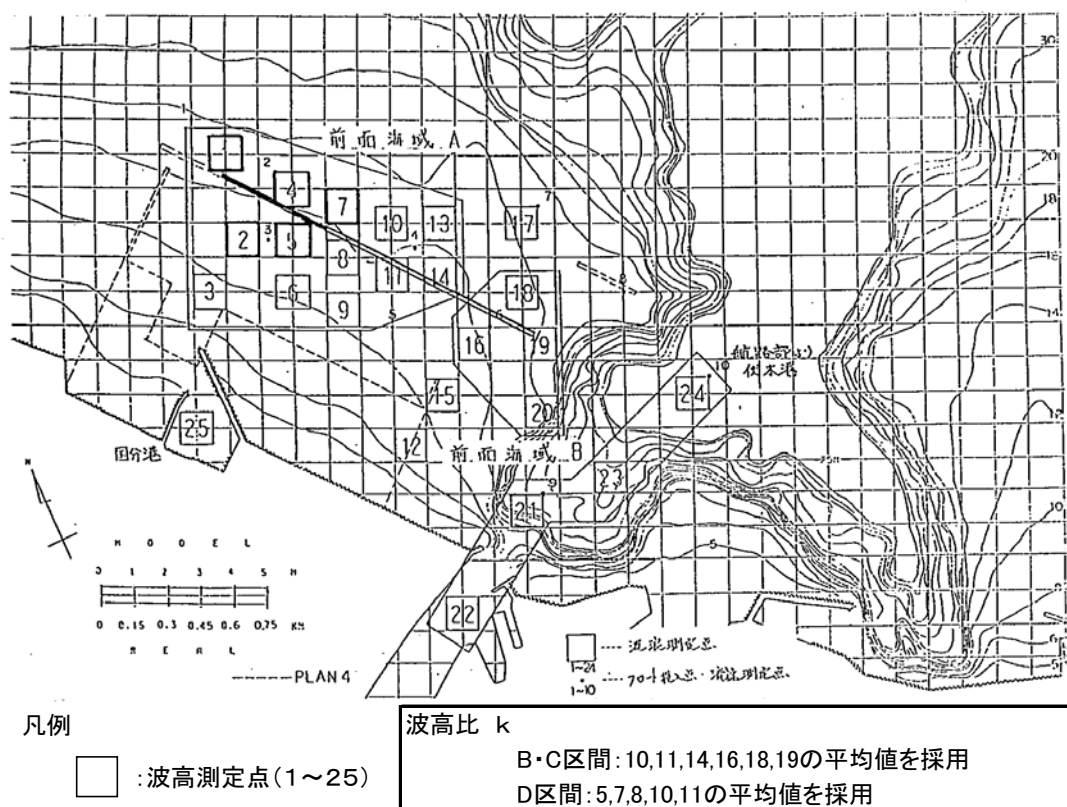


図 1.1-5 昭和 60 年度 伏木地区港内静穏度水理模型実験 メッシュ図

#### (5) B～D区間の設計条件のまとめ

B～D区間の現設計の設計条件は、表 1.2-2 のとおりである。

表 1.2-2 北防波堤の設計条件のまとめ (B～D区間)

| 設計区間               | B区間    | C区間   | D区間       | 備考             |
|--------------------|--------|-------|-----------|----------------|
| 設計年月               | S63.11 |       | H2.3      |                |
| (沖波)波高 $H_o$ (m)   | 4.8    |       | 3.5       |                |
| 波高比 $k$            | 1.1    |       | 1.0 & 1.3 |                |
| 水理実験区域             | ⑩⑪⑭⑯⑰⑱ |       | ⑦⑩⑮⑧⑪     | 図 1.1-5 参照     |
| 設計波高 $H_{1/3}$ (m) | 5.3    |       | 5.8       | $H_o \times k$ |
| 最大波高 $H_{max}$ (m) | 9.1    | 8.6   | 8.7       | 波圧算定用          |
| 設計周期 $T_{1/3}$ (s) | 12.0   |       | 12.0      |                |
| 波圧算定方法             | 合田式    |       |           |                |
| 設計潮位 (m)           | +0.5   |       | +0.5      |                |
| 滑動安全率              | 1.21   |       | 1.20      |                |
| 入射角 $\beta$ (°)    | 0      |       | 0         |                |
| 区間延長 (m)           | 150    | 210   | 495       |                |
| 設計水深 (m)           | -11.5  | -10.5 | -10.5     |                |
| マウンド水深 (m)         | -8.5   | -8.0  | -8.0      |                |
| 設計天端高 (m)          | +4.0   | +4.0  | +4.0      |                |
| 消波天端高 (m)          | +4.0   | +4.0  | +4.0      |                |
| 堤体幅 (m)            | 12.0   | 11.5  | 17.3      |                |



### 1.3 被災波の検討および設計波の検証

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北防波堤前面における被災波の安定計算に用いる波高（進行波）を算定した。また、同一の条件で設計波についても算定を行った。

#### (1) 被災波の波浪変形計算

伏木富山港（伏木地区）港外波浪観測地点（マフコタワー）における被災時の最大波高（波高 4.22m、周期 14.2 秒）を入射波条件として、ブシネスクモデルによる波浪変形計算を実施した。その結果を図 1.3-2 及び図 1.3-3 に示す。

#### (2) 設計波の波浪変形計算

被災波と同様の計算をした場合の北防波堤前面の設計波高を確認するために、最も被害が大きかった B 区間の設計沖波（波高 4.8m、周期 12 秒、SMB 法）を入射波条件として、ブシネスクモデルによる波浪変形計算を実施した。その結果を図 1.3-4 及び図 1.3-5 に示す。

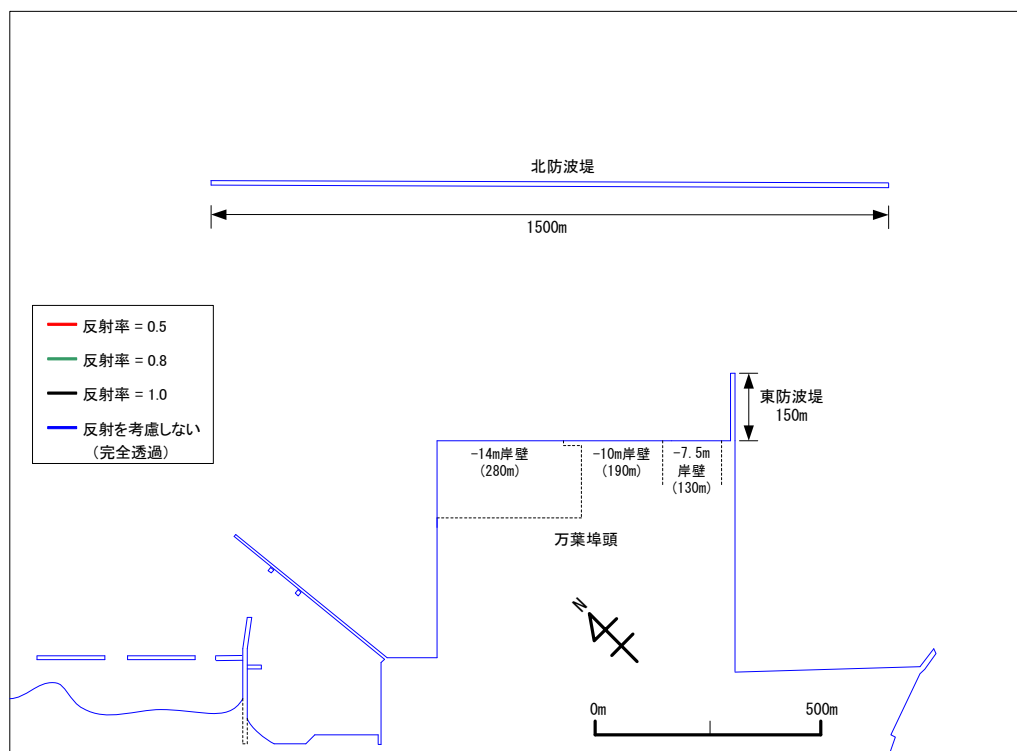


図 1.3-1 港湾構造物条件設定図（北防波堤前面の進行波の算定）

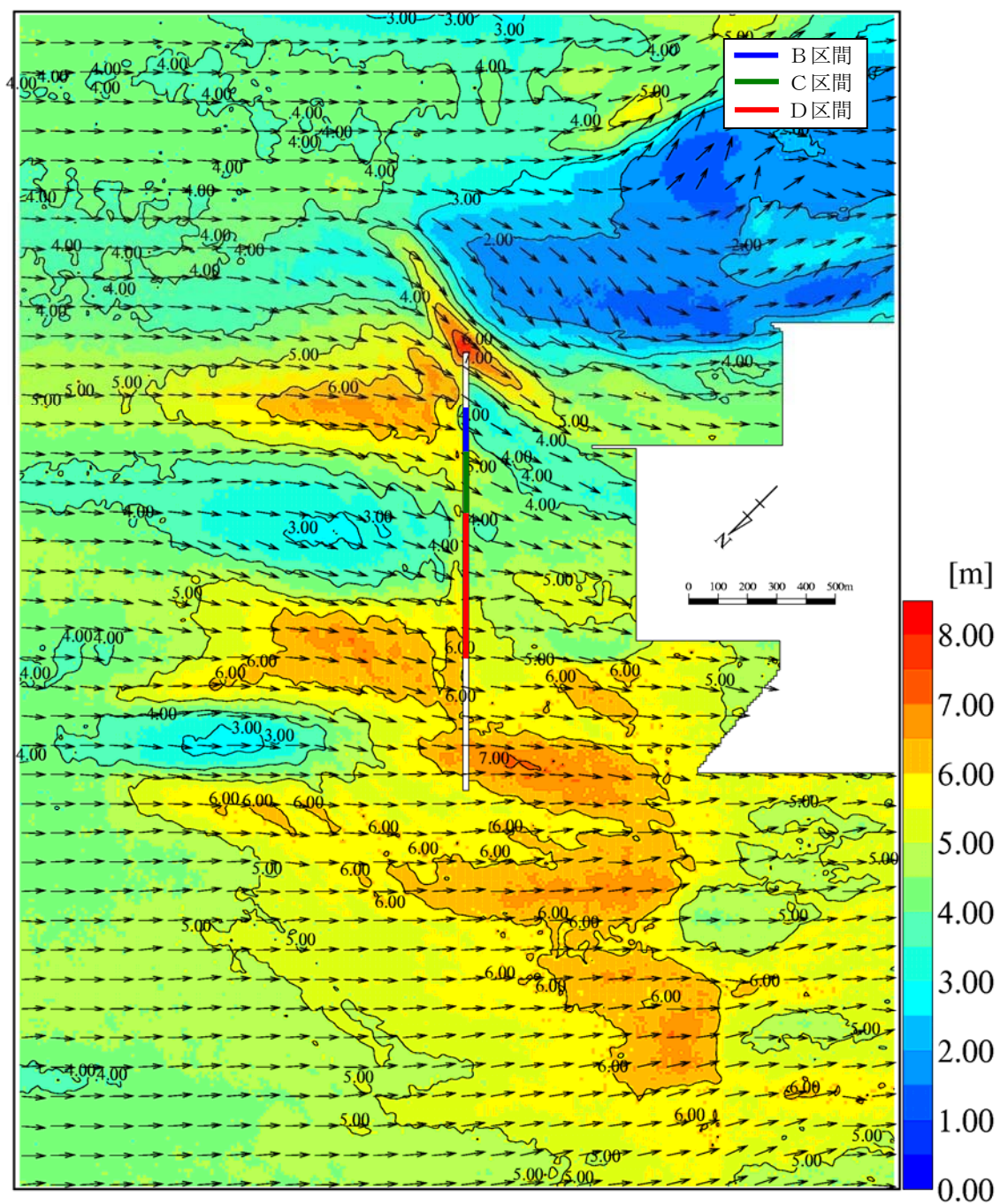


図 1.3-2 被災波の進行波の波浪計算結果（波向 NE）  
（構造物は全て完全透過）

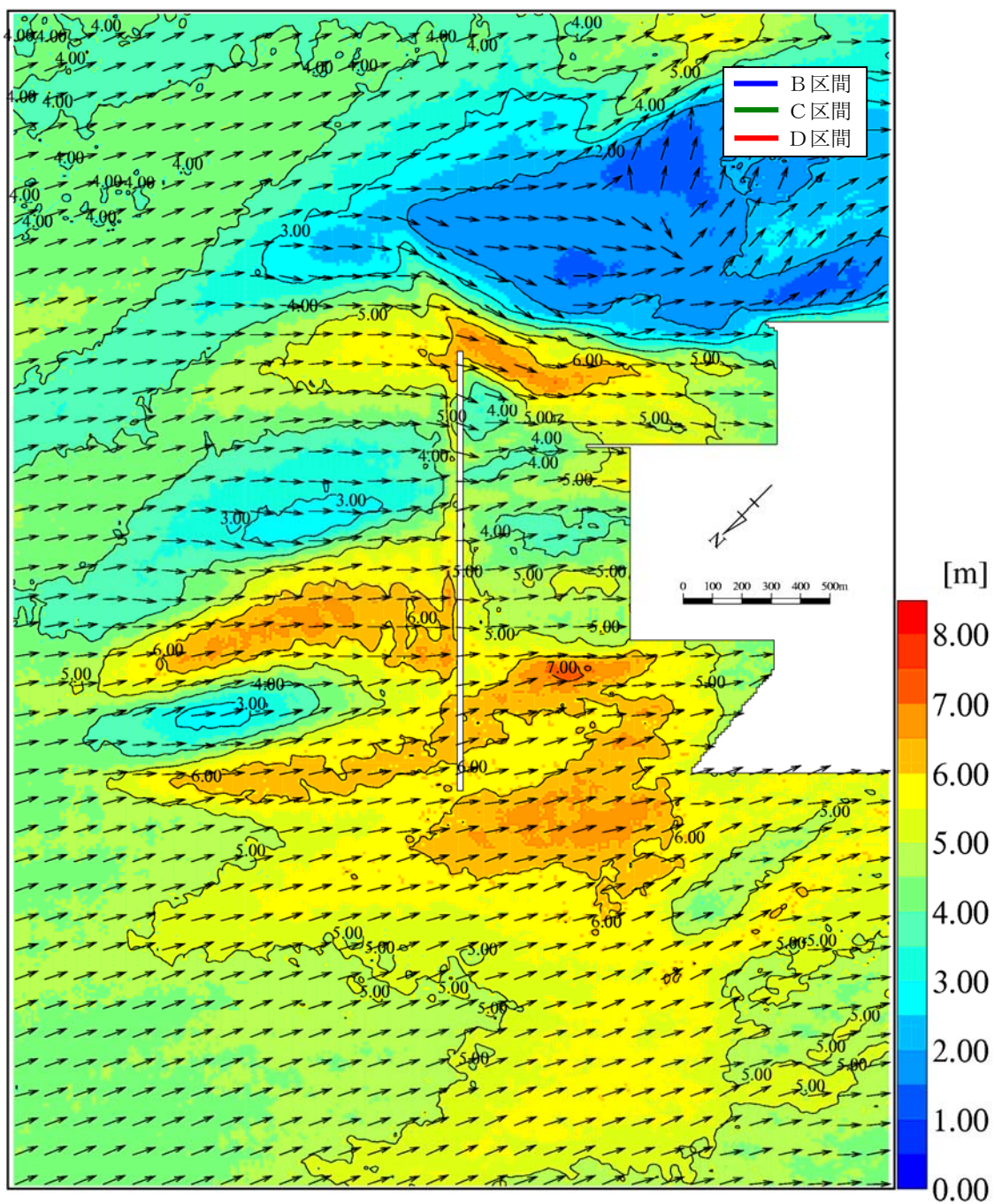


図 1.3-3 被災波の進行波の波浪計算結果（波向 NNE）  
（構造物は全て完全透過）



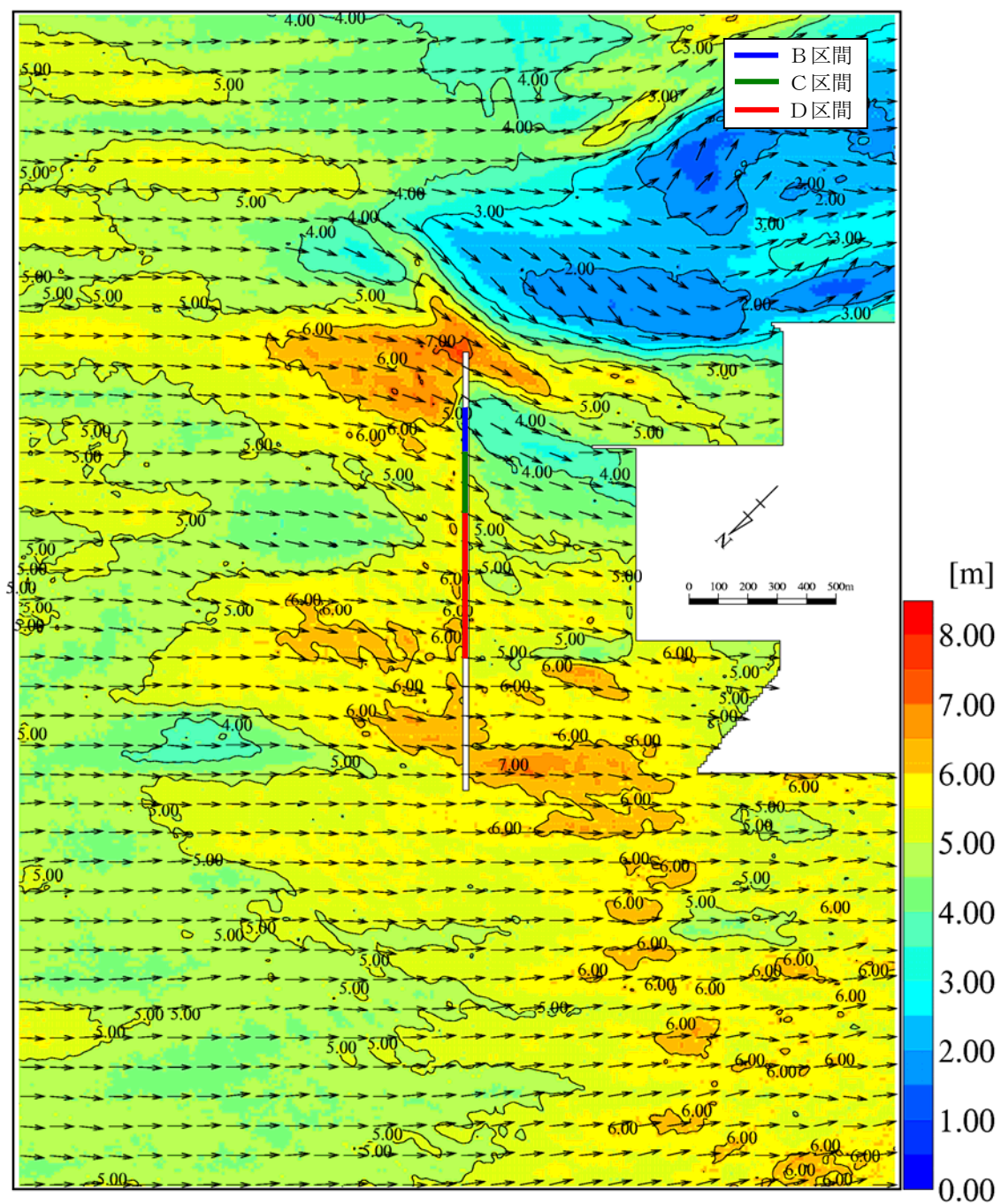


図 1.3-4 設計波(B 区間)の進行波の波浪計算結果 (波向 NE)  
(構造物は全て完全透過)

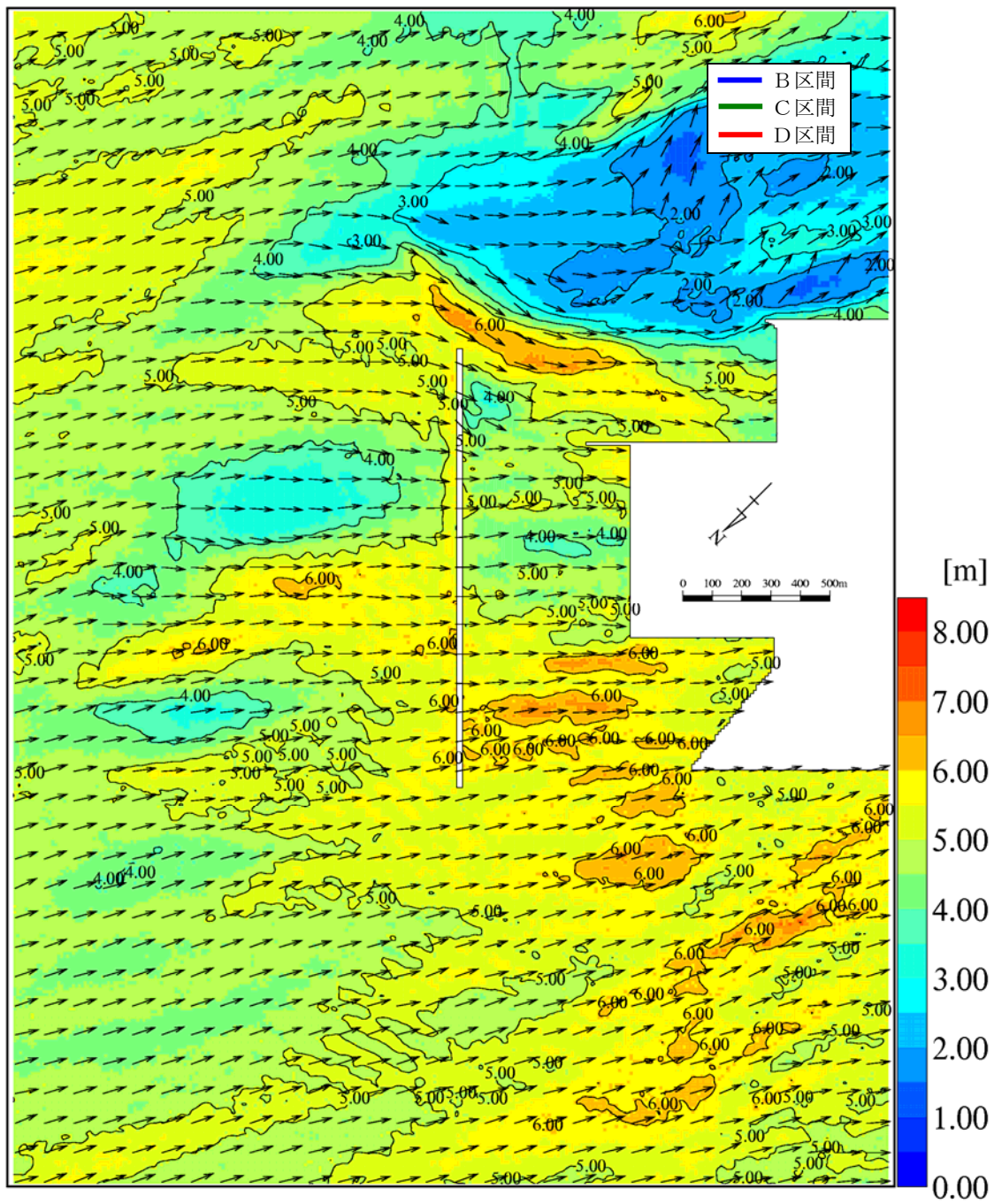


図 1.3-5 設計波(B 区間)の進行波の波浪計算結果 (波向 NNE)  
(構造物は全て完全透過)



### (3) 波浪計算結果の整理

被災波およびB区間の設計波の入射波諸元を表 1.3-1 に示す。また、設計区間別の平均有義波高の算定結果を表 1.3-2 に、最大波高比の算定結果を表 1.3-3 に示す。

被災波およびB区間の設計波の波浪計算結果から次のことがいえる。

- ・ ブシネスクモデルによる波浪計算結果によると、設計波（周期 12 秒）の波高比が 1.3 前後であるのに対して、被災波（周期 14.2 秒）の波高比は 1.43～1.53 と非常に高い。これは、周期の違いによる屈折および浅水変形の効果によるものと考えられる。
- ・ 北防波堤前面の被災波の波高は、設計波(現設計)の波高を上回っている。したがって、設計波（現設計）を上回る波浪が来襲したことが被災要因のひとつであるといえる。
- ・ 北防波堤前面における現設計（水理模型実験）の波高比は、B・C区間では 1.1、D区間では 1.0 と 1.3 を採用している。一方、B区間の設計波（ブシネスクモデル）の波高比は 1.3 前後であった。

表 1.3-1 入射波の沖波諸元

|          | 波 高   | 周 期    | 波 向 | Smax |
|----------|-------|--------|-----|------|
| 被災波      | 4.22m | 14.2 秒 | NE  | 75   |
| 設計波(B区間) | 4.80m | 12.0 秒 | NE  | 25   |

表 1.3-2 設計区間別の平均有義波高  $H_{1/3}$ （進行波、NE と NNE の大きい方）

|            | B区間   | C区間   | D区間   |
|------------|-------|-------|-------|
| 被災波(ブシネスク) | 5.84m | 5.45m | 6.17m |
| 設計波(ブシネスク) | 5.67m | 5.84m | 6.09m |
| 設計波(現設計)   | 5.30m | 5.30m | 5.80m |

表 1.3-3 設計区間別の平均波高比（進行波、入射波を 1 とする）

|              | B区間  | C区間  | D区間         |
|--------------|------|------|-------------|
| 被災波(ブシネスク)   | 1.38 | 1.29 | 1.46        |
| 設計波(ブシネスク)   | 1.18 | 1.22 | 1.27        |
| 設計波(現設計)(実験) | 1.10 | 1.10 | 1.00 & 1.30 |

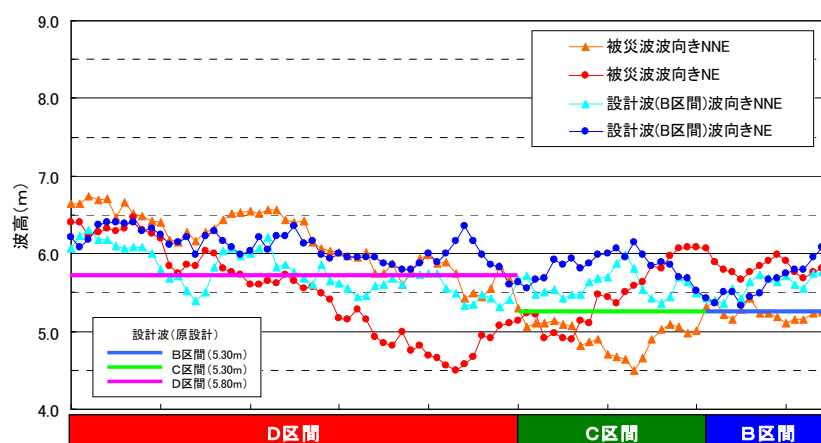


図 1.3-6 北防波堤前面の波高分布特性（通過波）

#### 1.4 消波ブロックの安定性の検討

被災時における北防波堤の消波ブロックの状況を把握するために、設計波（現設計）に対する消波ブロックの所要重量と被災波に対する消波ブロックの所要重量をハドソン式により算定し、消波ブロックの安定性を検討した。設計波（現設計）と被災波に対する所要重量を表 1.4-1 に示す。

表 1.4-1 ハドソン式による消波ブロックの所要重量（B～D 区間）

| 設計区間                         |               | B区間  | C区間  | D区間  |
|------------------------------|---------------|------|------|------|
| コンクリート密度(g/cm <sup>3</sup> ) | $\gamma_c$    | 2.30 | 2.30 | 2.30 |
| 海水密度(g/cm <sup>3</sup> )     | $\gamma_w$    | 1.03 | 1.03 | 1.03 |
| 法面勾配                         | $\cot \theta$ | 1.5  | 1.5  | 1.5  |
| Kd値                          | $K_d$         | 8.5  | 8.3  | 8.3  |
| 被災波(ブジネスク)(m)                | H             | 5.84 | 5.45 | 6.17 |
| 設計波(ブジネスク)(m)                | H             | 5.67 | 5.84 | 6.09 |
| 設計波(現設計)(m)                  | H             | 5.30 | 5.30 | 5.80 |
| 被災波(ブジネスク)に対する所要重量(t)        |               | 19.2 | 16.0 | 23.2 |
| 設計波(ブジネスク) "                 |               | 17.5 | 19.6 | 22.3 |
| 設計波(現設計) "                   |               | 14.3 | 14.7 | 19.2 |

##### (1) B区間

B区間における現設計の消波ブロック所要重量は 14.3t で、現在 16t 型（実重量 15.77t）が使用されている。一方、設計波（ブジネスク）では、消波ブロックの所要重量は 17.5t、被災波では、消波ブロックの所要重量は 19.2t となり、設計波（ブジネスク）及び被災波とも重量が不足するので、ランクアップが必要である。

##### (2) C区間

C区間における現設計の消波ブロック所要重量は 14.7t であり、現在 20t 型（実重量 18.40t）が使用されている。一方、設計波（ブジネスク）では、消波ブロックの所要重量は 19.6t、被災波では、消波ブロックの所要重量は 16.0t となり、被災波では現行の 20t 型（実重量 18.40t）で重量が満足するが、設計波（ブジネスク）では、重量が不足するので、ランクアップが必要である。

##### (3) D区間

D区間における現設計の消波ブロック所要重量は 19.2t であり、現在 25t 型（実重量 23.00t）が使用されている。一方、設計波（ブジネスク）では、消波ブロックの所要重量は 22.3t、被災波では、消波ブロックの所要重量は 23.2t となり、設計波（ブジネスク）では、現行の 25t 型（実重量 23.00t）で重量が満足するが、被災波では、重量が不足するので、ランクアップが必要である。

## 1.5 堤体の安定性の検討

被災時における北防波堤の堤体の状況を把握するために、北防波堤前面の被災波の波高を用いて、堤体の安定計算を実施し、消波ブロックの状況別に堤体の安定性を検討した。

### (1) 消波ブロックが安定している場合

#### 1) 検討ケース

【計算潮位】 2 ケース

現設計の計算潮位である D.L.+0.5m

今回の潮位偏差の最大値である D.L.+0.7m

【消波ブロックの状況】 1 ケース

消波ブロックが安定して機能している場合

#### 2) 検討結果

ブシネスクモデルにより算定した北防波堤前面の被災波の波高を用いて、設計区間ごとに堤体の安定計算を実施した。その計算結果を表 1.5-1 に示す。

消波ブロックが安定して機能している場合であっても、被災波に対する滑動安全率は 1.2 を下回っており、いつ滑動してもおかしくない状況であるといえる。

なお、転倒および基礎の支持力の安全率は十分に高く、堤体の転倒や基礎の被災の恐れは少ないと考えられる。

よって、被災波に対しては、滑動安全率を確保するための対策（例えば捨石ストッパー）が必要である。

表 1.5-1 北防波堤の設計区間ごとの安全率（消波ブロックあり）

|                            | B区間     |          | C区間     |          | D区間     |          |
|----------------------------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
|                            | 潮位+0.5m | 潮位+0.70m | 潮位+0.5m | 潮位+0.70m | 潮位+0.5m | 潮位+0.70m |
| 設計条件                       |         |          |         |          |         |          |
| 設計波高 $H_{1/3}$ (m)         | 5.84    | 5.84     | 5.45    | 5.45     | 6.17    | 6.17     |
| 最大波高 $H_{max}$ (m)         | 9.40    | 9.54     | 8.66    | 8.79     | 8.83    | 8.96     |
| 設計周期 $T_{1/3}$ (s)         | 14.2    | 14.2     | 14.2    | 14.2     | 14.2    | 14.2     |
| 安全率(消波あり)                  |         |          |         |          |         |          |
| 【滑動】 $F_s \geq 1.2$        | 1.088   | 1.051    | 1.145   | 1.103    | 1.112   | 1.072    |
| 【転倒】 $F_s \geq 1.2$        | 1.683   | 1.615    | 1.789   | 1.711    | 1.729   | 1.654    |
| 【基礎の支持力】<br>$F_s \geq 1.0$ | 1.118   | 1.083    | 1.193   | 1.156    | 1.160   | 1.121    |

## (2) 消波ブロックが沈下した場合

今回の被災においては、被災波に対して消波ブロックの所要重量が足りず、不安定であったことが明らかになっている。被災後の調査でも消波ブロックが沈下していることが確認されており、堤体の滑動よりも先に消波ブロックが沈下した可能性も考えられる。

そこで、最も被害が大きかったB区間について、堤体の滑動よりも先に消波ブロックが沈下した場合を想定した堤体の安全率を検討した。

### 1) 検討ケース

#### 【計算潮位】 2 ケース

- ・ 現設計の計算潮位である D.L.+0.5m
- ・ 今回の潮位偏差の最大値である D.L.+0.7m

#### 【消波ブロックの状況】 2 ケース

- ・ 消波ブロックが沈下し、水面下のみ消波ブロックがある状態
- ・ 消波ブロックが完全に飛散して消失した状況

消波ブロックが沈下して水面下のみ消波ブロックがある状態の検討は、水面下の部分を消波あり、水面上の部分を消波なしとして各々の波圧を算出し、それを合計して算定した（揚圧力は、消波ありとして算出）。

### 2) 検討結果

消波ブロックが沈下した場合の B 区間の安定計算結果を表 1.5-2 に示す。

水面上の消波ブロックが水面まで沈下した場合には、安全率は 1.0 を下回り、被災波により容易に滑動する状態になる。

表 1.5-2 B区間における安全率（消波ブロックが沈下した場合）

|                    | B区間     |          |
|--------------------|---------|----------|
|                    | 潮位+0.5m | 潮位+0.70m |
| 設計条件               |         |          |
| 設計波高 $H_{1/3}$ (m) | 5.84    | 5.84     |
| 最大波高 $H_{max}$ (m) | 9.40    | 9.54     |
| 設計周期 $T_{1/3}$ (s) | 14.2    | 14.2     |
| 安全率(水面上の消波なし)      |         |          |
| 【滑動】               | 0.888   | 0.857    |
| 参考 安全率(消波なし)       |         |          |
| 【滑動】               | 0.600   | 0.584    |

## 1.6 北防波堤の被災メカニズム

これまでの検討から、北防波堤の被災について次のようなメカニズムが考えられる。北防波堤の被災メカニズムのイメージを図 1.6-2 に示す。

### 【北防波堤被災のメカニズム】

- 「寄り回り波」によるうねり性の高波浪が伏木富山港（伏木地区）に來襲する。
- 周期の長い「うねり性波浪」特有の現象により北防波堤前面の波高が高くなる。
- 北防波堤前面で設計波を超える高波浪が発生し、消波ブロックが不安定になる。
- 設計波を超える高波浪が長時間継続し、消波ブロックが徐々に沈下する（図 1.6-1）。
- 消波ブロックの沈下が進むにつれて消波機能が低減し、堤体にかかる波圧が増大する。
- 消波ブロックの沈下がある程度まで進むと堤体の滑動安全率が 1.0 を下回り、堤体が港内側に滑動する。

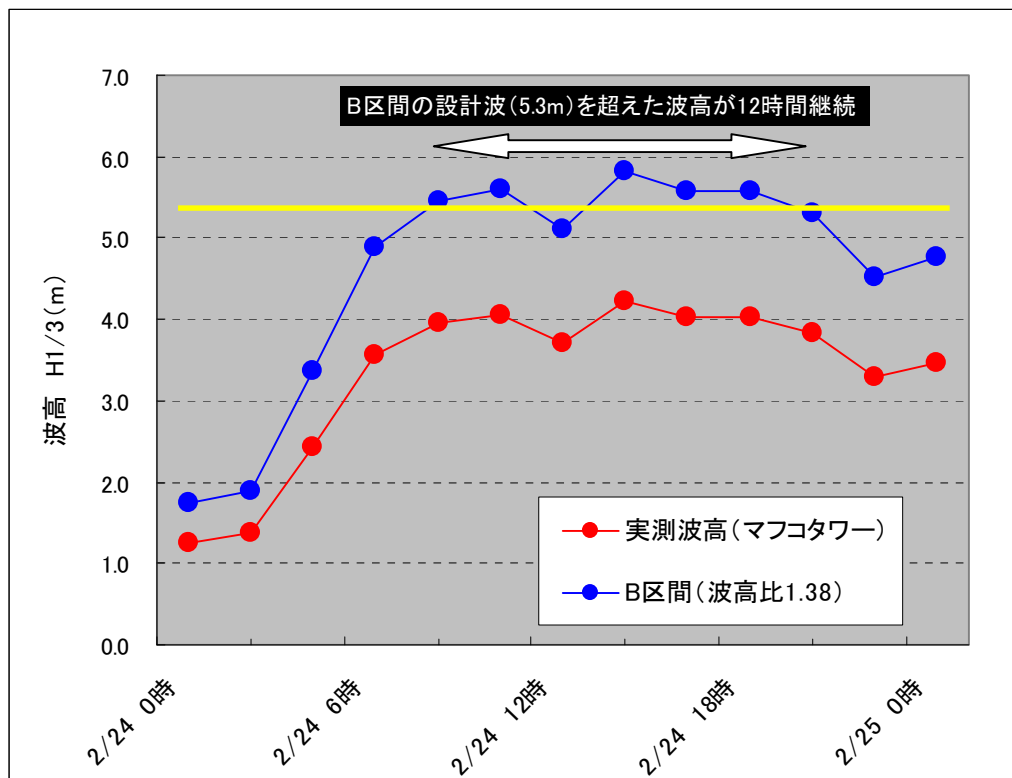


図 1.6-1 マフコタワーおよびB区間前面の波高（波高比 1.43 の場合）



第2回 富山湾における「うねり性波浪」対策検討技術委員会 (H20.3.27)

## 万葉ふ頭緑地護岸被災時の越波状況に関する基礎検討

独立行政法人 港湾空港技術研究所  
耐波研究室 主任研究官 有川 太郎

### 本調査におけるまとめ

・ Stem 波の非線形挙動に関する知見から、護岸の開始点から 357.5m～536.3m で最大波高が入射波高の 2.4 倍程度となる。

・ ブシネスクの計算結果から護岸付近の波高は 3.0m 程度と考えられることから、天端の低い場所では 2m 程度の越波は十分あったのではないかと考えられる。

・ それらの検証が妥当であるかどうかを確認するため、砕波・越波が考慮できる 3 次元数値波動水槽を用いて数値実験を行ったが、まだ計算時間が十分ではないため、越波・圧力は十分に再現できていない。ただし、ある程度の波浪変形の状況は把握できる。

・ 今回の考察から、以下の点を特に現地調査で調べたい。

- ・ 越波の最大浸水範囲
- ・ 護岸形状の詳細
- ・ 破壊した地点
- ・ 越波の最大高さ

これらの痕跡等から波高の最大値、数値計算の改良および妥当性の確認を行い、被災メカニズムの解明を行うことに資する。

## 1. 計算条件および計算ケース

### 1. 1 計算目的

伏木富山港における万葉ふ頭緑地における被災時の越流状況を確認するために、3次元数値波動水槽(有川ら,2007)を用いて計算を行う。



図1 万葉ふ頭航空写真（出展：Yahoo, 上が北）

### 1. 2 既存の研究による検討

今回の護岸の配置、周期の長さ、入射角度等を考慮すると、Stem波が発生している可能性がある。Stem波の波高は、壁に対する入射角度で変化するが、非線形性の強いStem波を非線形緩勾配方程式を用いて計算すると図2のようになる(有川・磯部, 1999)。横軸は壁面に沿った軸（無次元軸）であり、縦軸は入射波高比を表す。横軸の $k$ は波数( $2\pi/L$ )、 $x$ は壁面の開始点からの距離、 $\theta$ は壁面に対する角度を表す。

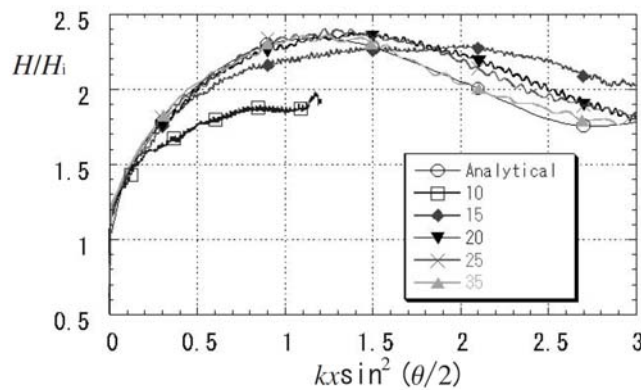


図2 Stem波の壁面沿いの波高と壁面距離の関係

これを見ると、入射角度が20度から25度の間であるときには、 $kx \sin^2(\theta/2)$ が1から1.5程度で最大波高になることがわかる。またその波高は入射波高の2.4倍程度であることがわかる。また、最大波高と入射角度の関係を図3に示す。これから、入射角度が20度から30度の付近でもっとも波高が大きくなることがわかる。

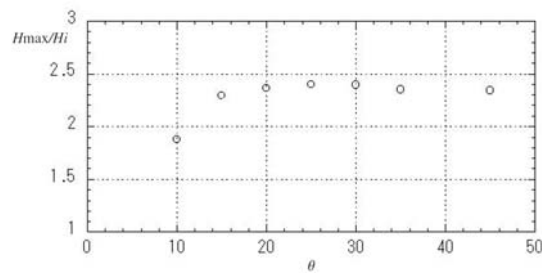


図 3 入射角度と最大波高の関係

これらのことから、入射角度が 20 度から 30 度の間で、 $kx \sin^2(\theta/2)=1\sim 1.5$  で、護岸沿いの波高がもっとも大きくなり、それは入射波高の 2.4 倍程度となることがわかる。

護岸前の水深は、8.0m から 3.0m まで約 500m で浅くなっており、その間の波数  $k$  は、0.052～0.084 と変化する。そこで平均的な水深として 6.0m を選び入射角度を 25 度として計算をすると  $kx \sin^2(\theta/2)=1\sim 1.5$  となる場所は、壁面の開始から 357.5m～536.3m となる。これは後述する図 4 から考えると A・2・1 以降の断面で最大波高となる。また、波高比が 2.0 を越える場所は、 $kx \sin^2(\theta/2)=0.5$  であるが、壁面の開始から 178.8m の場所であることがわかる。天端高が A・1 は +2.0m、A・2・1 が +4.0m であることを考えるとおと、A・1 と A・2・1 の接続部付近がもっとも越波の大きくなりそうな場所であることがわかる。ただし、この結果は碎波・越波を考慮していない結果であるため、それを考慮する必要がある。

### 1. 3 数値波動水槽による計算

#### 1.3.1 解析領域

次に上記の考察を検討し、また越波等の状況を再現するために数値波動水槽を用いて数値実験する。数値波動水槽は、碎波等複雑な変形も考慮して計算することができる。解析領域は図 4 に示す通りである。解析領域の大きさは、x 方向 290m、y 方向 701m、z 方向 16m であり、x 方向、y 方向にはそれぞれ 1m 格子幅、z 方向には 50cm 格子幅とした。

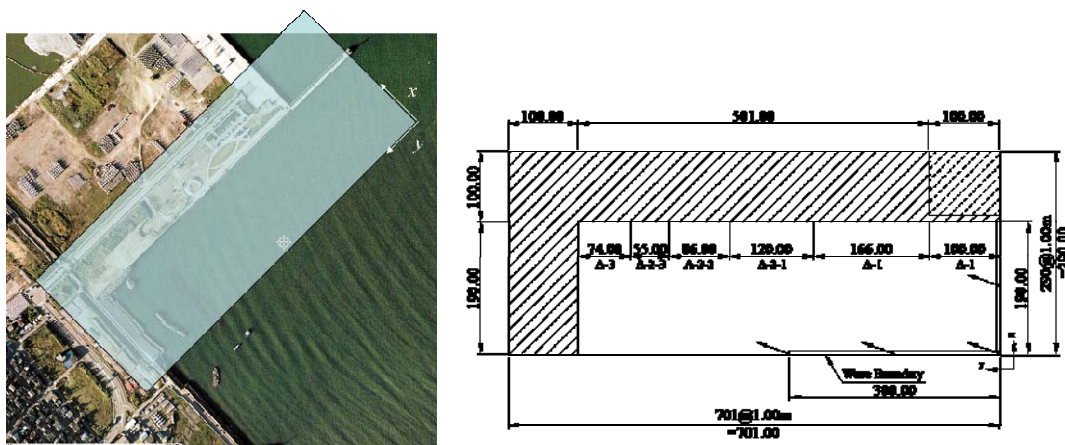


図 4 解析領域

斜線部には、A-1～A-3 までの断面を設置した (図 5)。斜線部が陸域となる。点線斜線部は、海であるが、今回は、計算に関係しないため陸域とした。今回は試算のため透過構造物は消波ブロック以外は設置しないものとする。また、護岸前面の水深は、断面図から読みとり、ほぼ 1/100 の斜面地形となっている。

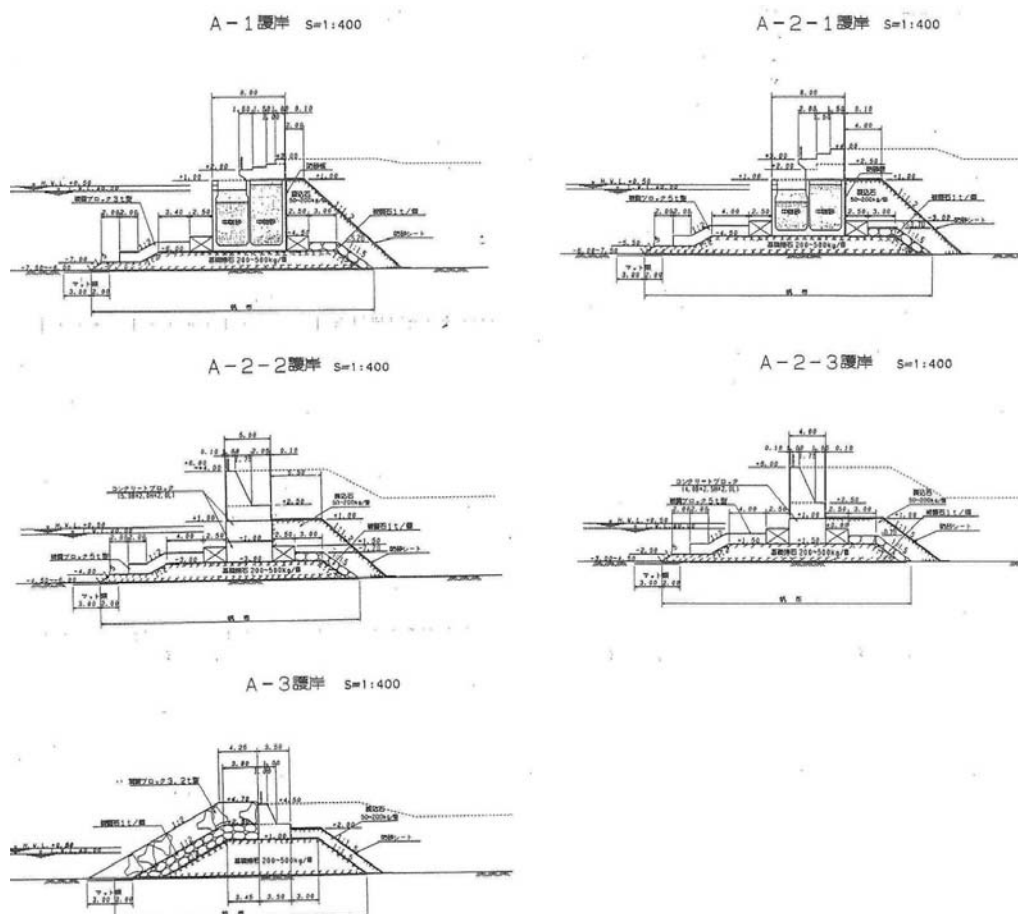


図 5 各護岸の断面図

### 1.3.2 波浪条件

NOWTPARI の計算結果から潮位は H.W.L+0.20m, 入射波高 3.0m, 周期 14.2s とする。図 2 の解析領域に示す場所から造波し、壁面に対して入射角度は 27 度とした。これは防波堤からの回折効果を航空写真から読み取り、おおざっぱに入れたものである。ここについては、防波堤まで計算領域をとることも考えられるが、今回は時間の都合から試算であることから、取り急ぎ、この条件で計算した。今後は、入射波高、入射角度をいろいろと変化させて計算することとしたい。

### 1.3.3 計算結果

計算は現在 60 秒まで計算できたため、護岸前面 (図 4 における  $x=190.0\text{m}$  のライン) お

よび 10m 背後における最大波高の結果を図 6 に示す。まだ、波としては 3～4 波入っている程度であることから、定常状態になっておらず、波高としても入射波高程度の波であることがわかる。参考までに背後地 10m( $x=191\text{m}\sim 200\text{m}$ )までの最大圧力分布を示す。まだ、歩道までに大きな圧力が作用していない。また、参考までに空間波浪変形の時刻歴を示す。

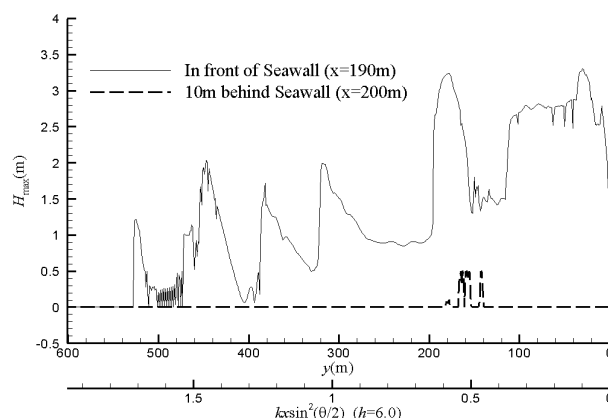


図 6  $y$  方向に沿った最大波高分布

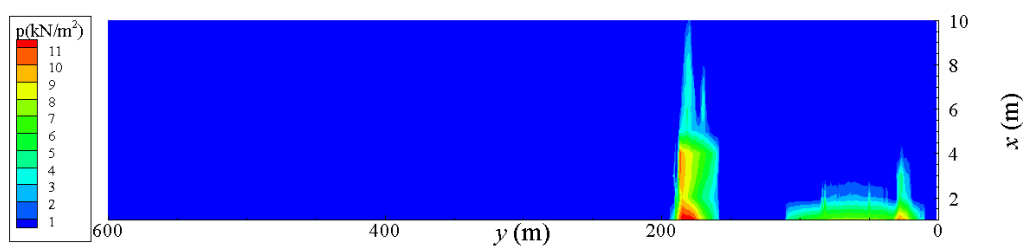


図 7 護岸天端における最大圧力分布

## 1. 5 現地調査に向けて

今回の検討から現地調査では、以下の点を調査したい

- ・越波の最大浸水範囲
- ・護岸形状の詳細
- ・破壊した地点
- ・越波の最大高さ

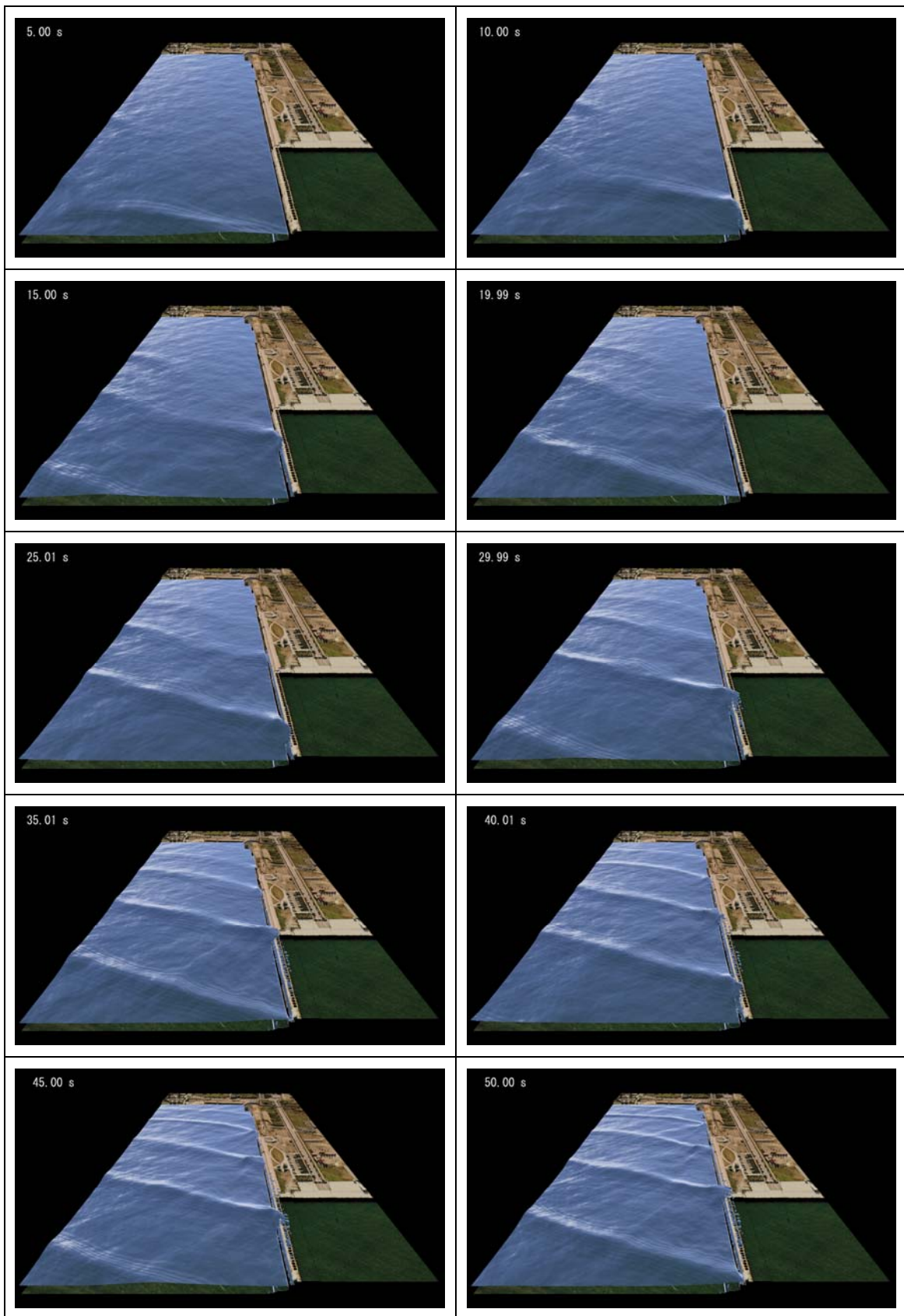
これらの痕跡等から波高の最大値、計算の妥当性・改良を行い、被災メカニズムの解明を行うことに資する。

### [参考文献]

有川太郎・山野貴司・秋山 実(2007)：数値波動水槽における砕波変形計算の高度化，海岸工学論文集，第 54 巻，pp.71-75

有川太郎・磯部雅彦(1999)：非線形緩勾配方程式を用いた任意反射率を持つ構造物周辺の入・反射波浪共存場の解析，第 46 巻，pp.56-60





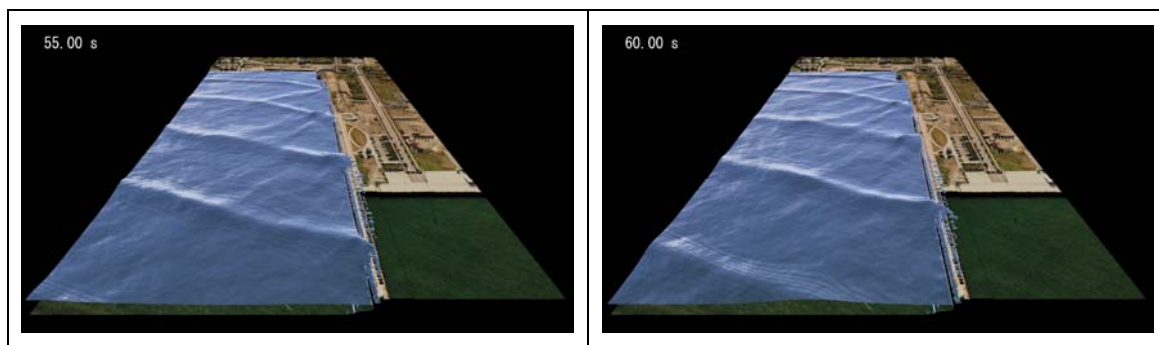


図 8 空間波浪変形 (60s まで)

砕波する状況 (横位置)

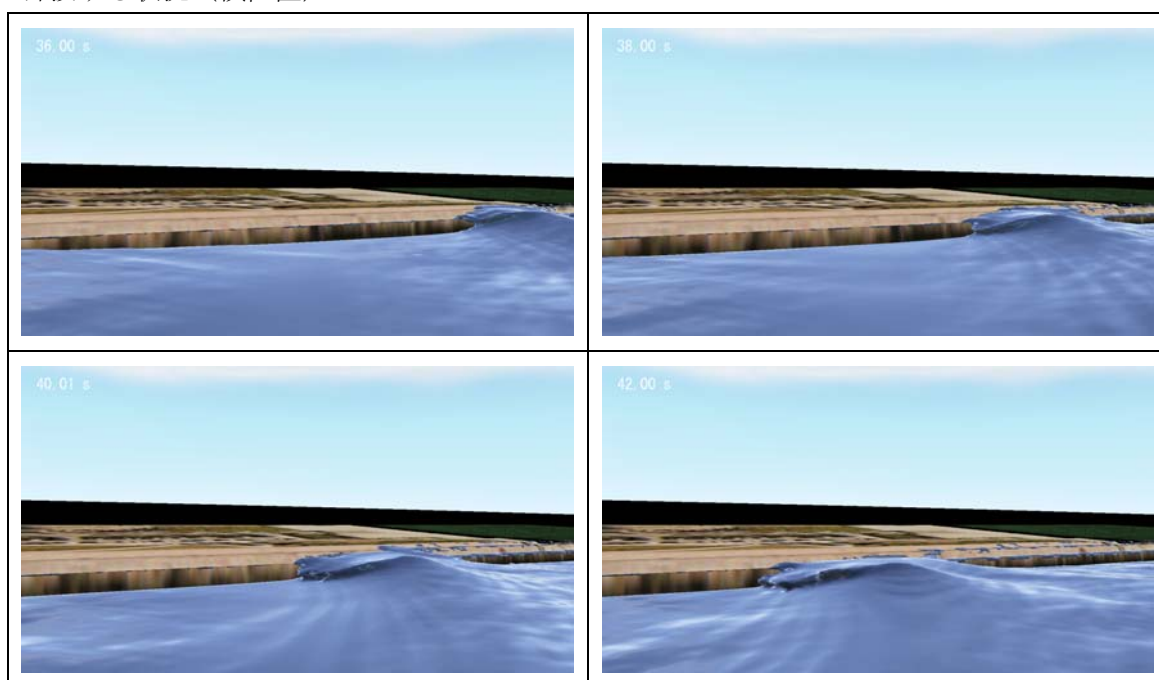
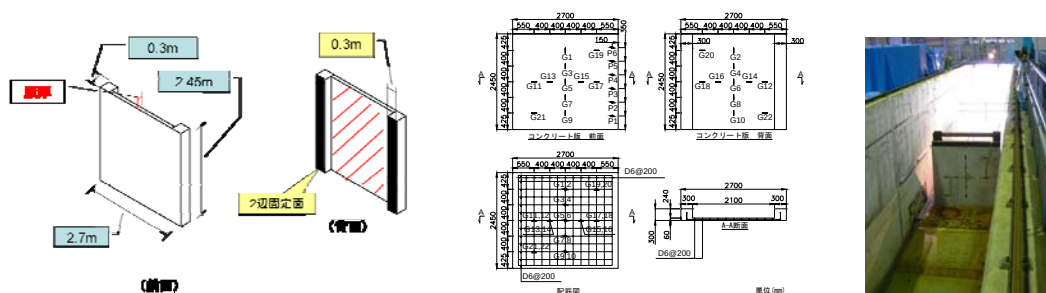


図 9 空間波浪変形 (砕波している様子)

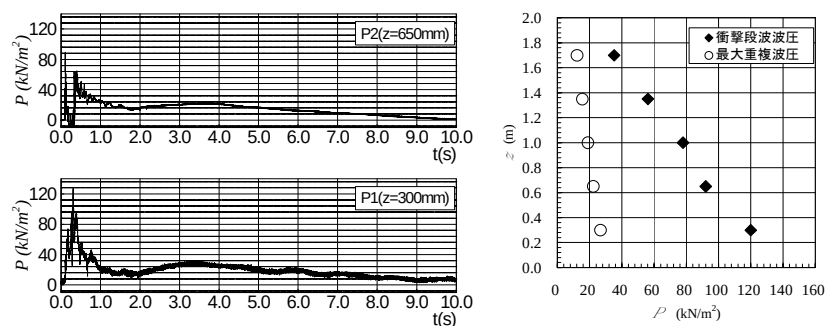
[参考資料]

・コンクリート版の破壊・変形に関する考察

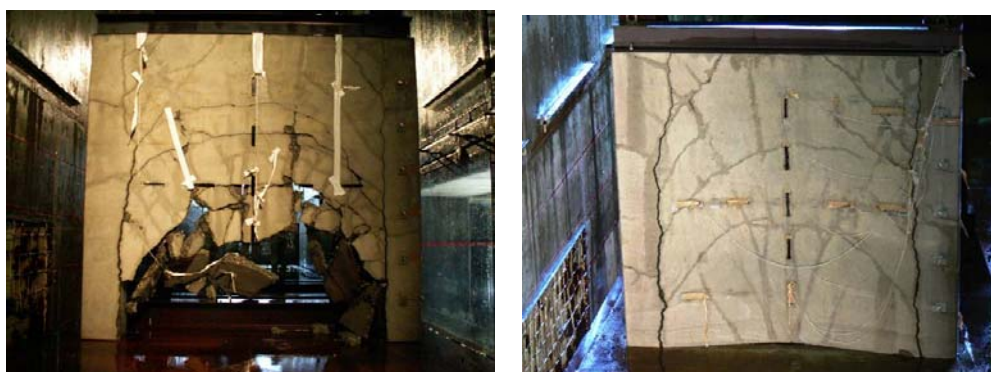
有川ら(2007)では、コンクリート版の破壊・変形に関して大規模な実験を行い、その報告をしている。それによると、図参 1 のようなコンクリート版を水路に設置し、図参 2 のような衝突力を持ち、最大圧力に関する鉛直分布を持つ波力を作用させた。そうしたところ版厚 6cm では完全な押抜きせん断破壊が生じ、10cm ではヒビが入り全体破壊にいたった(図参 3)。そのため、設計強度の 4 倍程度以上の衝撃波力が作用すると壊れる破壊に至ることがわかった。それらの一連の実験から、図参 4 のような破壊の違いが見て取れる。今回の歩道などの破壊の様子からどの程度の力が作用したかの参考になるかもしれない。ただし、歩道の下が空洞でないと成り立たない。



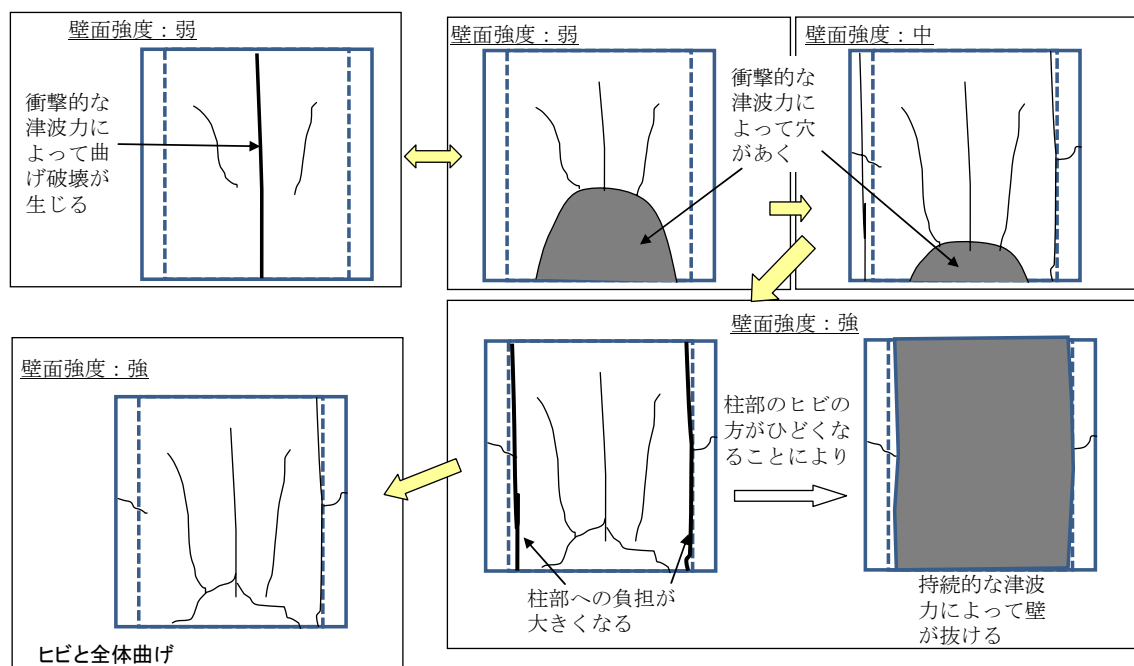
図参 1 コンクリート版の図面・設置の様子



図参 2 作用させた圧力分布



図参 3 版厚による破壊の違い (左 6cm, 右 10cm)



図参 4 壁面強度による衝撃力と破壊形態の違い

これらの結果から考えると、どの程度越波したか、なぜそのような越波が生じたか、越波後の波力がどの程度か、洗掘との関係（歩道が壊れる前から空洞が生じてはいなかったか？）などを現地調査から得られる知見がないか調べておきたい。

#### 参考文献

有川太郎・中野史丈・大坪大輔・下迫健一郎・石川信隆(2007)：遡上津波力による構造物の破壊・変形挙動の検討，海岸工学論文集，第 54 巻，pp.841-845

第2回 富山湾における『うねり性波浪』  
対策検討技術委員会 資料

「うねり性波浪」による  
被災要因とメカニズムについて  
〔万葉緑地護岸〕

平成 20 年 3 月 27 日

富 山 県



## 目 次

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 1. 概 要.....                  | 1  |
| 1.1 対象位置.....                | 1  |
| 1.2 施設概要.....                | 2  |
| 1.3 〇緑地護岸の被災状況.....          | 4  |
| 1.4 万葉埠頭緑地前面における被災波の算定.....  | 5  |
| (1) 計算方法.....                | 5  |
| (2) 波浪計算結果.....              | 5  |
| (3) 計算結果の整理.....             | 5  |
| 1.5 被災メカニズムの検討.....          | 8  |
| (1) 越波流量の算定.....             | 8  |
| (2) 越波水による打ち込み波圧と越流圧の検討..... | 9  |
| 1.6 北防波堤延伸（東側 150m）時の算定..... | 11 |
| 1.7 まとめ.....                 | 13 |

## 1. 概 要

万葉緑地護岸の被災原因を検討するため、平成 20 年 3 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する。

ブシネスクモデルで算定した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。

### 1.1 対象位置

対象位置(万葉埠頭緑地護岸)を図 1-1、縦断図を図 1-2 に示す。



図 1-1 対象位置図

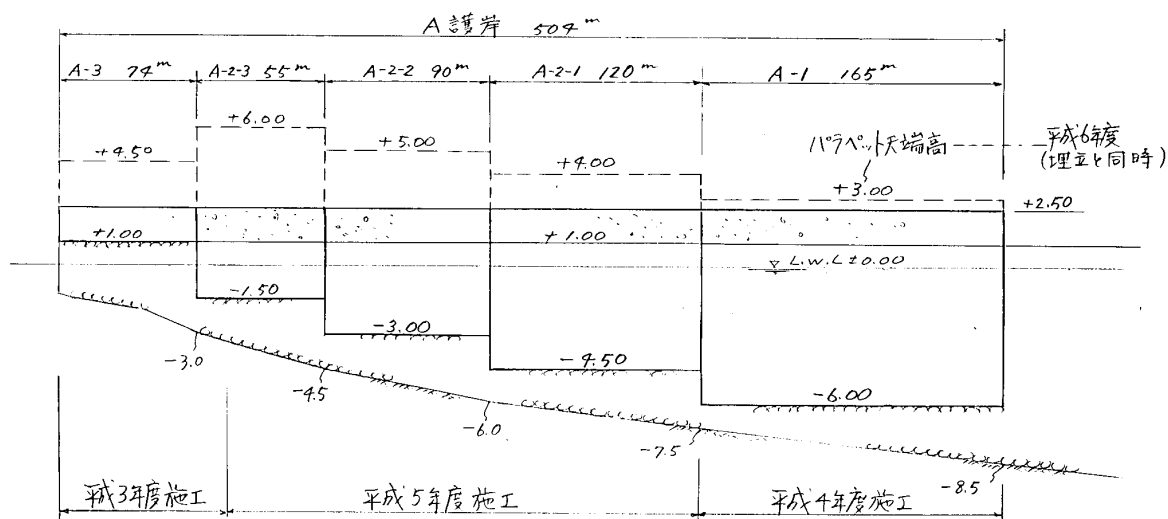


図 1-2 万葉埠頭緑地護岸縦断図

## 1.2 施設概要

万葉ふ頭緑地護岸は3区間5断面で施工されている。各工区の断面を図1-3～図1-6に示す。

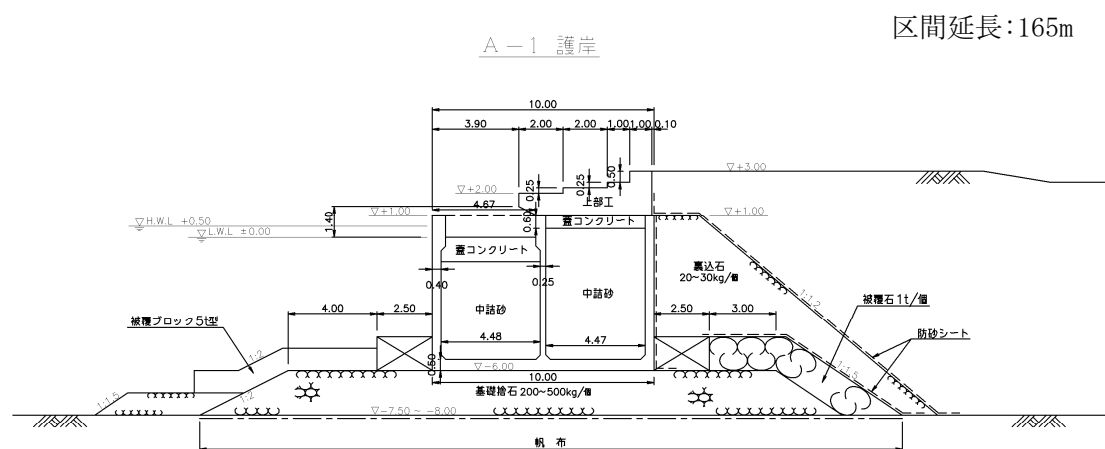


図1-3 緑地護岸標準断面(A-1)

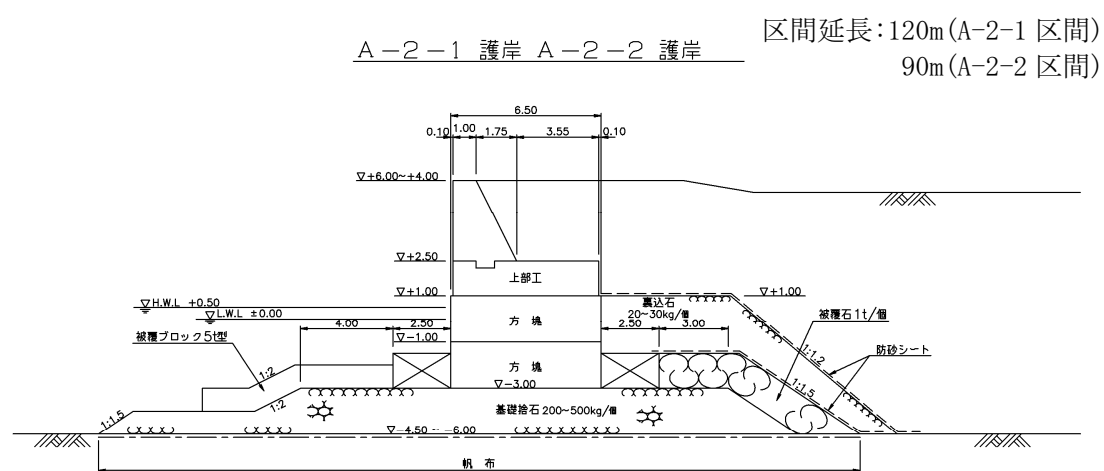


図1-4 緑地護岸標準断面(A-2-1, A-2-2)

区間延長:55m

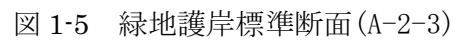
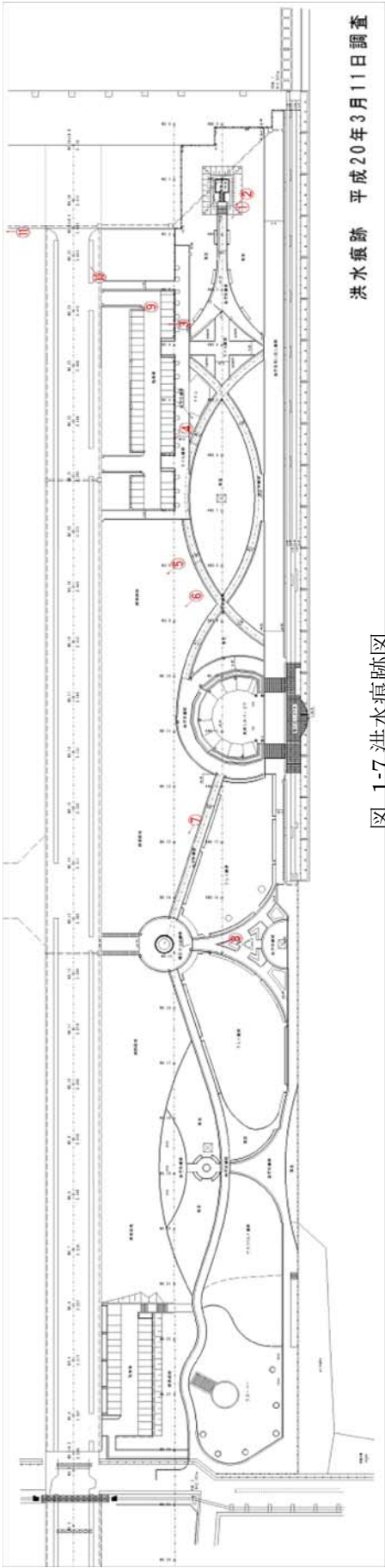
[illegible]

図 1-6 緑地護岸標準断面(A-3)

### 1.3 O 緑地護岸の被災状況

緑地護岸の被災状況（洪水痕跡）  
を図 1-7 に示す。



洪水痕跡 平成20年3月11日調査

図 1-7 洪水痕跡図



## 1.4 万葉埠頭緑地前面における被災波の算定

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万葉埠頭緑地前面における被災波の波高（進行波）を算定する。

### (1) 計算方法

伏木富山港（伏木地区）港外波浪観測地点（マフコタワー）における被災時の最大波高（波高 4.22m、周期 14.2 秒）を入射波条件として、ブシネスクモデルによる波浪変形計算を実施する。波向は、万葉埠頭緑地前面において波高が高くなる波向 **NNE** とする。

北防波堤の遮蔽の効果を考慮し、万葉埠頭の反射の影響を受けない進行波を算定するために、構造物条件は北防波堤あり（西側は半無限堤）、その他の構造物はなしとする。

### (2) 波浪計算結果

被災波の波浪変形計算結果を表 1-1～表 1-3 に、万葉埠頭緑地前面の波高分布（前面 30m の最大値）を表 1-4 に示す。

### (3) 計算結果の整理

被災波および A 区間の設計波の入射波諸元を表 1-1 に、設計区間別の最大有義波高の算定結果及を表 1-2 に、最大波高比の算定結果を表 1-3 に示す。

表 1-1 入射波の波浪諸元

|     | 波 高   | 周 期    | 波 向 | Smax |
|-----|-------|--------|-----|------|
| 被災波 | 4.22m | 14.2 秒 | NNE | 75   |

表 1-2 設計区間別の最大有義波高（進行波、波向 NNE）

| 設計区間 | A－1   | A 2－1 | A 2－2 | A 2－3 | A 3   |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 現 況  | 3.86m | 3.99m | 3.82m | 3.46m | 3.25m |

表 1-3 設計区間別の最大波高比（進行波、波向 NNE、入射波を 1 とする）

| 設計区間 | A－1  | A 2－1 | A 2－2 | A 2－3 | A 3  |
|------|------|-------|-------|-------|------|
| 現 況  | 0.91 | 0.95  | 0.91  | 0.82  | 0.77 |

※現況:北防波堤 1500m(現在延長)の時

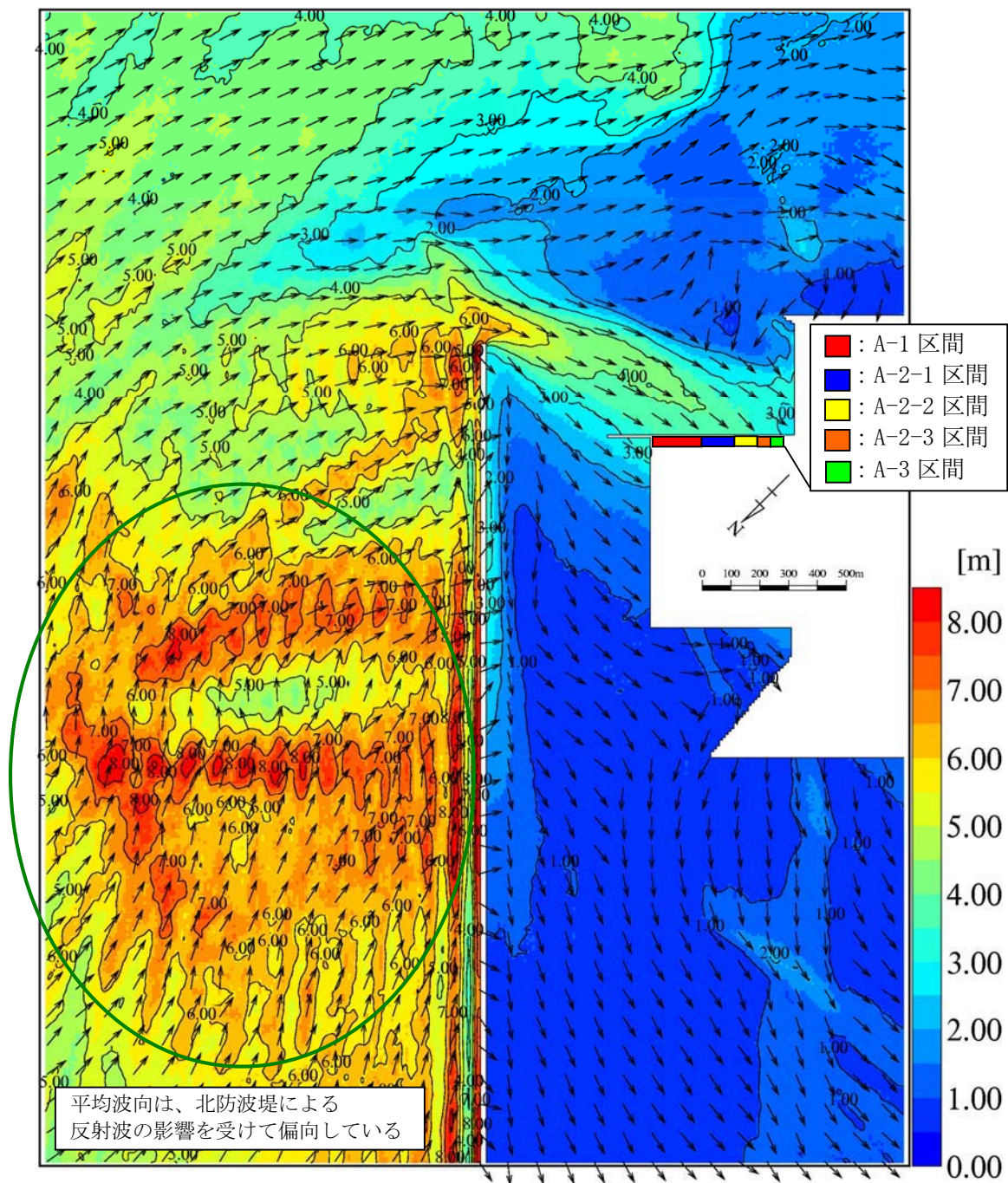


図 1-8 被災波の進行波の波浪計算結果（波向 NNE）  
（北防波堤（西側半無限）を考慮、その他の構造物は全て完全透過）

表 1-4 万葉埠頭緑地前面の波高分布（被災波、波向 NNE）

| 設計<br>区間 | 東防波堤    |     | 波高(m)(ブシネスクモデル) |       |
|----------|---------|-----|-----------------|-------|
|          | 基部から(m) |     | 地点別波高           | 区間最大値 |
| A-1      | 5       |     | 3.60            | 3.86  |
|          | 15      |     | 3.67            |       |
|          | 25      |     | 3.68            |       |
|          | 35      |     | 3.76            |       |
|          | 45      |     | 3.66            |       |
|          | 55      |     | 3.72            |       |
|          | 65      |     | 3.73            |       |
|          | 75      |     | 3.63            |       |
|          | 85      |     | 3.56            |       |
|          | 95      |     | 3.61            |       |
|          | 105     |     | 3.71            |       |
|          | 115     |     | 3.70            |       |
|          | 125     |     | 3.82            |       |
|          | 135     |     | 3.86            |       |
|          | 145     |     | 3.86            |       |
|          | 155     |     | 3.76            |       |
|          | 165     | 165 | 3.82            |       |
| A2-1     | 175     |     | 3.84            | 3.99  |
|          | 185     |     | 3.95            |       |
|          | 195     |     | 3.93            |       |
|          | 205     |     | 3.79            |       |
|          | 215     |     | 3.80            |       |
|          | 225     |     | 3.76            |       |
|          | 235     |     | 3.84            |       |
|          | 245     |     | 3.93            |       |
|          | 255     |     | 3.92            |       |
|          | 265     |     | 3.99            |       |
|          | 275     |     | 3.89            |       |
|          | 285     | 285 | 3.79            |       |
| A2-2     | 295     |     | 3.79            | 3.82  |
|          | 305     |     | 3.82            |       |
|          | 315     |     | 3.70            |       |
|          | 325     |     | 3.71            |       |
|          | 335     |     | 3.68            |       |
|          | 345     |     | 3.60            |       |
|          | 355     |     | 3.46            |       |
|          | 365     |     | 3.48            |       |
|          | 375     | 375 | 3.47            |       |

| 設計<br>区間 | 東防波堤    |  | 波高(m)(ブシネスクモデル) |       |
|----------|---------|--|-----------------|-------|
|          | 基部から(m) |  | 地点別波高           | 区間最大値 |
| A2-3     | 385     |  | 3.44            | 3.46  |
|          | 395     |  | 3.46            |       |
|          | 405     |  | 3.36            |       |
|          | 415     |  | 3.26            |       |
|          | 425     |  | 3.24            |       |
|          | 435     |  | 3.25            |       |
| A-3      | 445     |  | 3.08            | 3.25  |
|          | 455     |  | 2.99            |       |
|          | 465     |  | 2.98            |       |
|          | 475     |  | 2.94            |       |
|          | 485     |  | 2.99            |       |
|          | 495     |  | 2.75            |       |

参考 万葉埠頭緑地前面の波高（波向 NE は概略値）

| 設計区間 | 波向 NNE |       | 波向 NE（概略値） |       |
|------|--------|-------|------------|-------|
|      | 区間最大値  | 沖側先端部 | 区間最大値      | 沖側先端部 |
| A-1  | 3.86m  | 3.60m | 3.19m      | 2.73m |
| A2-1 | 3.99m  | 3.84m | 3.39m      | 3.07m |
| A2-2 | 3.82m  | 3.79m | 3.38m      | 3.20m |

## 1.5 被災メカニズムの検討

### (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、護岸の被災状況を把握する。

#### 1) 算定条件

#### ア. 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）P120 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  $40^\circ$  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。

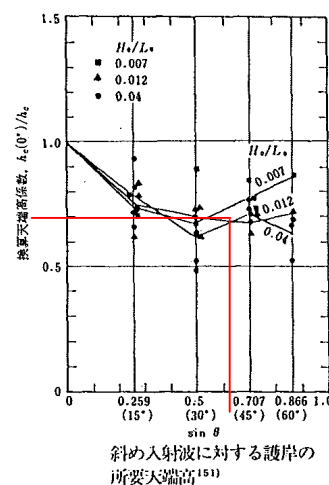
図より斜め入射による低減効果を、 $hc(0)'/hc=0.7$  とする。

#### イ. 潮 位

+0.70m

波が護岸に対して斜めに入射する場合、入射角を  $\theta$  とすると、越波量が直角入射の場合の  $(\cos \theta + 1)/2$  になると言われている。

本対象地点において NNE 方向から入射する波は、護岸に対して  $40^\circ$  程度で入射する。



「第 31 回海岸工学講演会論文集(1984) p542～546」

#### ウ. 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 ( $H_0'$ ) 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表 1-5 に示す。

表 1-5 換算沖波波高 ( $H_0'$ )

| 区 間   | 港 形 | 換算沖波波高 ( $H_0'$ )<br>(m) |
|-------|-----|--------------------------|
| A-1   | 現 況 | 3.18                     |
|       | 将 来 | 2.04                     |
| A-2-1 | 現 況 | 3.16                     |
|       | 将 来 | 1.94                     |
| A-2-2 | 現 況 | 3.02                     |
|       | 将 来 | 1.59                     |
| A-2-3 | 現 況 | 3.00                     |
|       | 将 来 | 1.15                     |
| A-3   | 現 況 | 4.20                     |
|       | 将 来 | 1.10                     |

#### エ. 海底勾配

海底勾配は、「水深換算沖波波高比  $h/H_0'$  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為、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  $0.05 (\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{s})$ 、設計時の許容越波流量を  $0.02 (\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{s})$  とする。

表一参4.6.2 被災限界の越波流量

| 種 別 | 被 覆 工      | 越波流量 ( $\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$ ) |
|-----|------------|---------------------------------------------|
| 護 岸 | 背後舗装済み     | 0.2                                         |
|     | 背後舗装なし     | 0.05                                        |
| 堤 防 | コンクリート三面巻き | 0.05                                        |
|     | 天端舗装・裏法未施工 | 0.02                                        |
|     | 天端舗装なし     | 0.005以下                                     |

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 1-6 に示す。

表 1-6 越波流量

| 区間    | 港湾<br>形状 | 潮位  | 沖波周期   | 換算沖波波高  | 越波流量                                       | 許容越波流量     |
|-------|----------|-----|--------|---------|--------------------------------------------|------------|
|       |          | (m) | T(sec) | Ho' (m) | q ( $\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$ ) | 0.05       |
| A-1   | 現況       | 0.7 | 14.2   | 3.18    | 0.0883<br>0.1336                           | OUT<br>OUT |
| A-2-1 | 現況       | 0.7 | 14.2   | 3.16    | 0.0585<br>0.0934                           | OUT<br>OUT |
| A-2-2 | 現況       | 0.7 | 14.2   | 3.02    | 0.0395<br>0.0163                           | OK<br>OK   |
| A-2-3 | 現況       | 0.7 | 14.2   | 3.00    | 0.0062<br>0.0008                           | OK<br>OK   |
| A-3   | 現況       | 0.7 | 14.2   | 4.20    | 0.0006<br>0.00004                          | OK<br>OK   |

## (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

計算結果を下表及び次頁に示す。

|       |       | 堤体背後に作用する波圧                |                            |       |
|-------|-------|----------------------------|----------------------------|-------|
|       |       | P1                         | P2                         | L     |
|       |       | ( $\text{kN}/\text{m}^2$ ) | ( $\text{kN}/\text{m}^2$ ) | (m)   |
| A-1   | 越流時   | 62.23                      | 24.89                      | 10.17 |
|       | 打ち込み時 | 0.00                       | 50.18                      | 12.22 |
| A-2-1 | 越流時   | 70.51                      | 28.21                      | 11.52 |
|       | 打ち込み時 | 0.00                       | 50.62                      | 13.61 |
| A-2-2 | 越流時   | 57.48                      | 22.99                      | 9.39  |
|       | 打ち込み時 | 0.00                       | 43.34                      | 13.50 |
| A-2-3 | 越流時   | 20.32                      | 8.13                       | 3.32  |
|       | 打ち込み時 | 0.00                       | 33.00                      | 11.87 |
| A-3   | 越流時   | 20.46                      | 8.19                       | 3.35  |
|       | 打ち込み時 | -                          | -                          | -     |



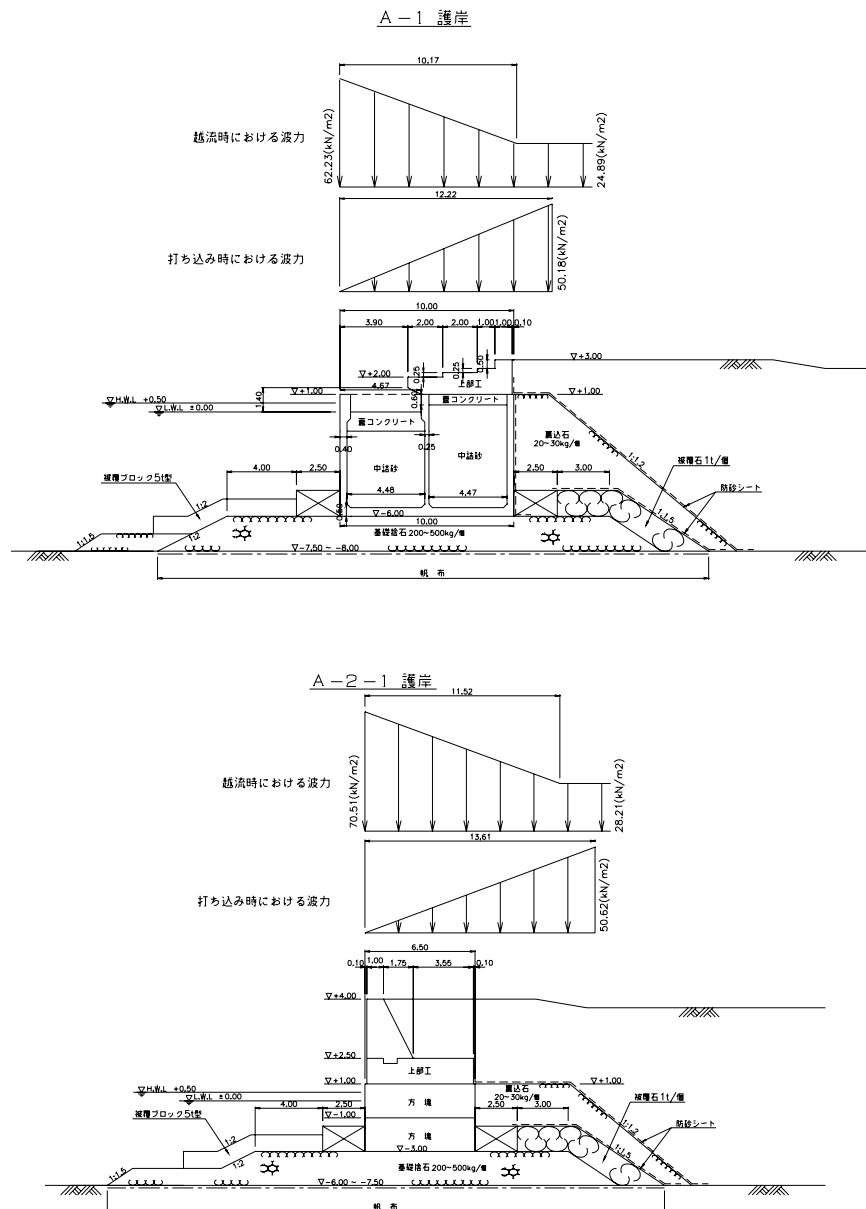


図 1-9 越波水による波圧(A-1 区間、A-2-1 区間)

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  $9\text{kN}\cdot\text{m}^2 \sim 70\text{ kN}\cdot\text{m}^2$  の大きな圧力が発生した。景観を重視した親水緑用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。

## 1.6 北防波堤延伸（東側ハネ部 150m）時の算定

被災波および A 区間の設計波の入射波諸元を表 1-7 に示す。

また、現況及び北防波堤延伸時の設計区間別の最大有義波高の算定結果を表 1-8 に、最大波高比の算定結果を表 1-9 に示す。また、堤体前面の換算沖波波高を表 1-10 に示す。

現況では、「あいがめ」により屈折した波浪が北防波堤の東側を回り込んで万葉埠頭緑地前面に來襲するため、波高 4m 近い高波浪となる。

北防波堤の東側を 150m 延伸するケースでは、防波堤の延伸部分が波浪の収束域を効率良く阻止するため、万葉埠頭緑地前面の有義波高は 2.5m 以下まで抑えられる。（有義波高を 2.5m 程度であれば、許容越波流量以下に抑えることが可能であると考えられる。（今回算定に使用した波形勾配( $H_0'/L_0$ )=0.012、勾配 1:30 の場合による））

表 1-7 入射波の波浪諸元

|     | 波 高   | 周 期    | 波 向 | Smax |
|-----|-------|--------|-----|------|
| 被災波 | 4.22m | 14.2 秒 | NNE | 75   |

表 1-8 設計区間別の最大有義波高（進行波、波向 NNE）

| 設計区間         | A－1   | A 2－1 | A 2－2 | A 2－3 | A 3   |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 現 況          | 3.86m | 3.99m | 3.82m | 3.46m | 3.25m |
| 北防波堤(150m)延伸 | 2.38m | 2.36m | 2.07m | 1.61m | 1.89m |

表 1-9 設計区間別の最大波高比（進行波、波向 NNE、入射波を 1 とする）

| 設計区間         | A－1  | A 2－1 | A 2－2 | A 2－3 | A 3  |
|--------------|------|-------|-------|-------|------|
| 現 況          | 0.91 | 0.95  | 0.91  | 0.82  | 0.77 |
| 北防波堤(150m)延伸 | 0.56 | 0.56  | 0.49  | 0.38  | 0.45 |

表 1-10 堤前における換算沖波( $H_0'$ )

| 設計区間         | A－1  | A 2－1 | A 2－2 | A 2－3 | A 3  |
|--------------|------|-------|-------|-------|------|
| 現 況          | 3.18 | 3.16  | 3.02  | 3.00  | 4.20 |
| 北防波堤(150m)延伸 | 2.04 | 1.94  | 1.59  | 1.15  | 1.10 |

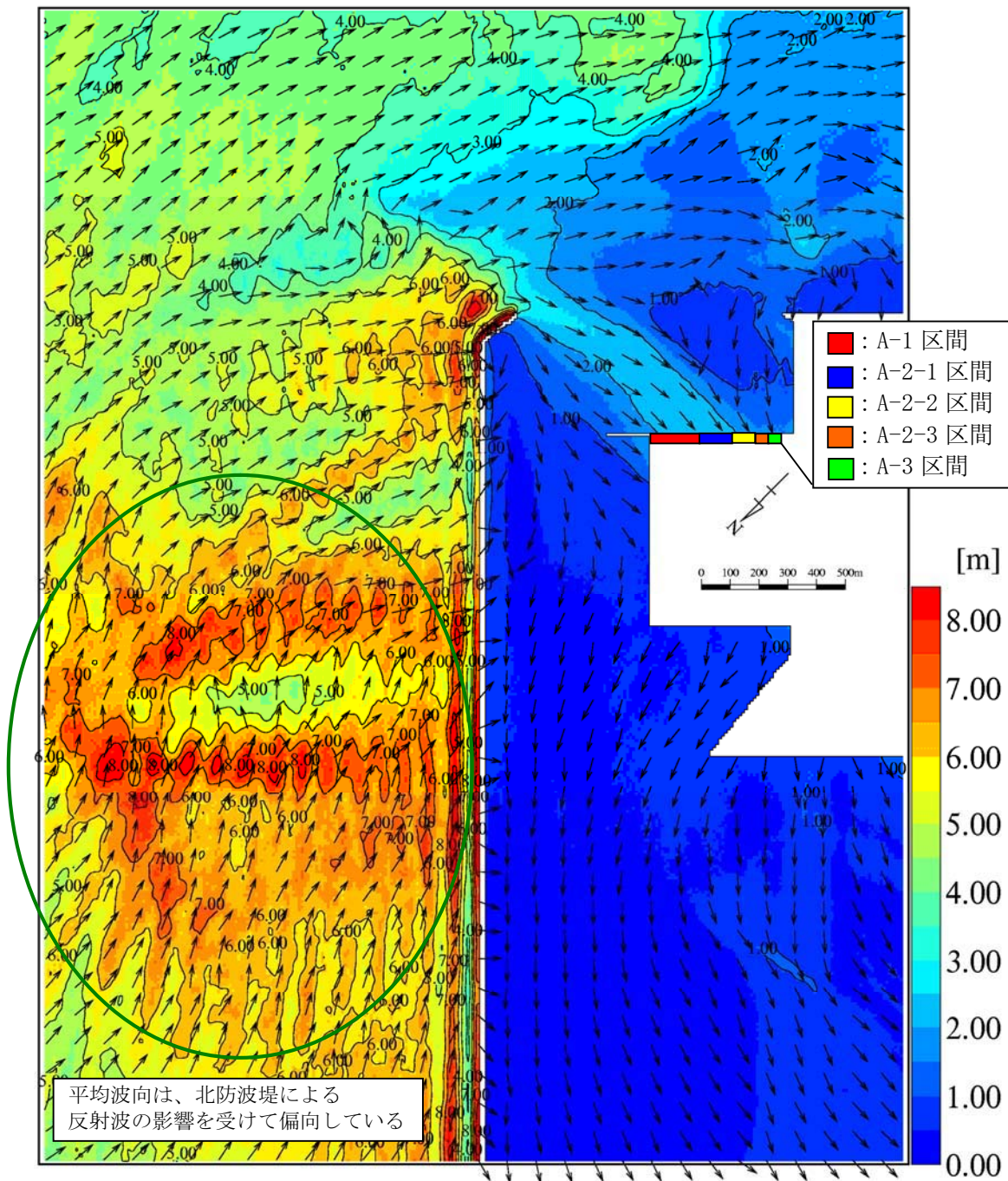


図 1-14 被災波の進行波の波浪計算結果（現況、波向 NNE）  
（北防波堤（西側半無限）を考慮、その他の構造物は全て完全透過）

## 1.7 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  $q=0.05\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$  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及および、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 延伸しすることにより、護岸前面の波高を現況（北防波堤が 1600m 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。
- ・ 今後、北防波堤の延伸（ハネ部 150m）の整備工程を踏まえて、緑地護岸の復旧工法を検討する。