

第3回 富山湾における「うねり性波浪」対策検討技術委員会

日時： 平成20年6月19日 13:15～15:00

場所： オークスカナルパークホテル富山 2F 鳳凰西の間

議事次第

1. 開会

2. 委員紹介

3. 議事

(1) 委員長挨拶

(2) 報告事項

第2回委員会での指摘事項(確認) 【資料-1】

被災の特徴

- 1 「うねり性波浪」の特性解明 【資料-2】

- 2 万葉緑地の越波状況の再現 【資料-3】

今後の対応策

- 1 今回の被災を踏まえた設計波の考え方 【資料-4】

- 2 被災施設の対応(防波堤、万葉緑地) 【資料-5】

(5.1, 5.2)

- 3 寄り回り波のリアルタイム予測について 【資料-6】

その他

- 1 寄り回り波とその対策 【資料-7】

(3) とりまとめ(骨子案) 【資料-8】

4. 閉会

閉会挨拶

- ・国土交通省 北陸地方整備局 大脇港湾空港部長
- ・富山県 牧田土木部次長(土木部長代理)

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3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6月19日(木)13:15~15:00

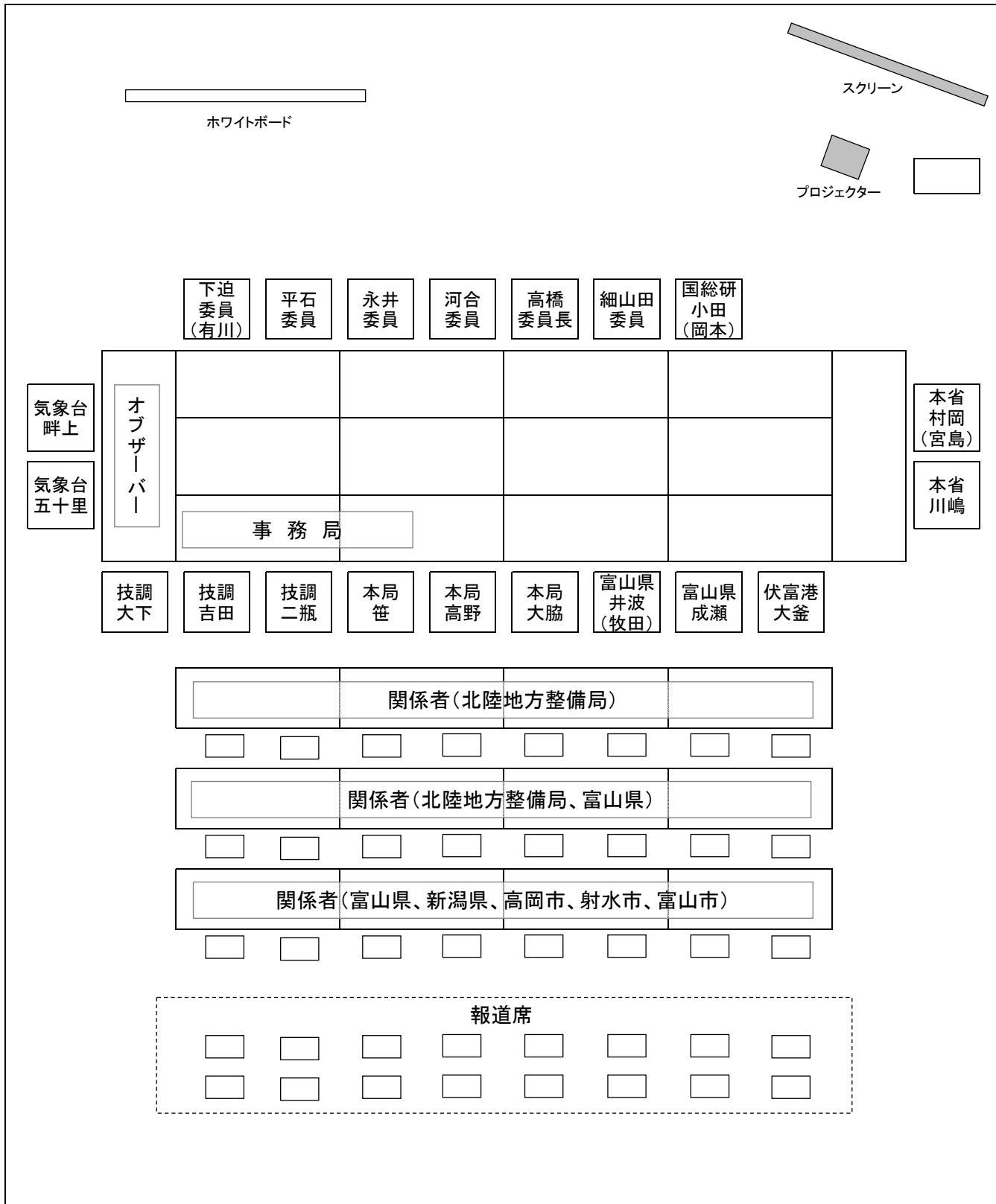
場所:オークスカナルパーク富山
2F 鳳凰西の間

| | 氏名 | 役職 | 摘要 |
|--------|-----------------------|---|-----|
| 委員 | ほそやまだ とくぞう 細山田 得三 | 長岡技術科学大学 水工・防災設計工学准教授 | |
| 委員 | かわい まさし 河合 雅司 | 富山商船高等専門学校 商船学科航海コース准教授 | |
| 委員長 | たかはし しげお 高橋 重雄 | (独)港湾空港技術研究所 研究主監 | |
| 委員 | ながい のりひこ 永井 紀彦 | (独)港湾空港技術研究所 統括研究官 | |
| 委員 | ひらいし てつや 平石 哲也 | (独)港湾空港技術研究所 海洋・水工部長 | |
| 委員 | しもさこ けんいちろう 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 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 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 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 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 | いなみ ひさはる 井波 久治 | 富山県土木部長(代理 次長 <small>まきた きよし</small> 牧田 潔) | |
| 関係者 | おおわき たかし 大脇 崇 | 国土交通省北陸地方整備局 港湾空港部長 | |
| 関係者 | にへい あきら 二瓶 章 | 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 大金 達夫 | 国土交通省北陸地方整備局 伏木富山港湾事務所長 | |
| 事務局 | たかの せいき 高野 誠紀 | 国土交通省北陸地方整備局 港湾空港部 港湾空港企画官 | |
| オブザーバー | あぜかみ みよし 畔上 三代守 | 国土交通省新潟地方気象台 気象防災情報調整官 | |
| オブザーバー | いかり はやと 五十里 勇人 | 国土交通省富山地方気象台技術課 予報官 | |

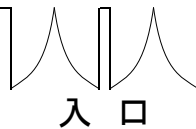
第3回 富山湾における「うねり性波浪」対策検討技術委員会 座席図

日時:平成20年6月19日(木) 13:15~15:00

場所:オクスカナルパークホテル富山 2F 鳳凰西の間



受付



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)

＜検討内容＞

＜検討スケジュール(案)＞

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、深淺図の収集
- 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
- ⑤ 「寄り回り波」の予測

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 (2) 「寄り回り波」について (3) 今回の「うねり性波浪」に関する波浪状況等について (4) ナウファスに関する情報について (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 (2) 「寄り回り波」による過去の港湾施設被災事例の整理 (3) 「寄り回り波」に関する過去の検討事例の整理 (4) 「うねり性波浪」の特性解明について (5) 伏木地区港湾施設の被災要因について (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 | 08/06/19 |
| 検討内容 | 2-④、⑤について検討 |
| 報告・検討事項 | (1) 「うねり性波浪」特性解明 (2) 今後の対応策 (3) 「寄り回り波」の予測 |

検討結果の公表

① 第2回「うねり性波浪」委員会(3/27開催)の主な指摘事項とその対応

| | 指摘事項 | 対応内容 |
|--------------|---|--|
| 潮位と周期の影響 | <ul style="list-style-type: none"> ・寄り回り波が来るときは、潮位変動(1～2分程度)が生じるので、構造物の安定性や被災のメカニズムに影響する。今後検討が必要である。 | <ul style="list-style-type: none"> ・寄り回り波の来襲に加え、潮位上昇も判明していることから、解析条件を決め、詳細に検討。 【資料－2】 |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・長周期の成分については、波高や周期がどうなっており、どういう場所で発生しているのか等について検討が必要。 | <ul style="list-style-type: none"> ・詳細な海底地形データ(「沿岸の海の基本図」(財)日本水路協会;平成14年発刊)を用い、①富山湾全体の波浪再現計算(エネルギー方程式)②スペクトルを考慮した伏木地区の波浪変形計算(ブシネスク方程式)を実施。 【資料－2】 |
| 海底地形の影響 | <ul style="list-style-type: none"> ・波長300mのうねりが来ており、水深150m位から海底地形の影響を受けるので、詳しく計算する必要がある。 | |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・複雑な海底地形やうねりのスペクトル形状も考慮した検討が必要。 | |
| 消波ブロックの沈下の影響 | <ul style="list-style-type: none"> ・防波堤の消波ブロックが沈下しているので、衝撃的な波が発生する。こういう不完全消波の場合の安定性のチェックが必要。 | <ul style="list-style-type: none"> ・消波ブロックの沈下を考慮した構造物安定計算の実施。 【資料－2】 |

② 第2回WG(4/17開催)の課題

| | 課題 | 対応内容 |
|--|---|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> ・今回の高波に関する各省庁の委員会資料をデータベース化して公開する。 ・海底地形と沿岸の地形の取り扱いには注意が必要である。 | <ul style="list-style-type: none"> ・北陸地整港湾空港部では5月12日対応済。 ・対応済。 |

第3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」の特性解明

平成20年6月19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

目 次

| | |
|-------------------------|----|
| 1. 長周期波による水位上昇量の推定..... | 1 |
| 1-1. 水位上昇量の推定..... | 1 |
| 2. 富山湾における波浪特性..... | 3 |
| 2-1. 検討の目的..... | 3 |
| 2-2. 波浪特性の解明..... | 4 |
| 3. 伏木地区における波浪特性..... | 10 |
| 3-1. 波浪特性の検討結果..... | 10 |
| 3-2. 伏木地区における被災の概要..... | 11 |
| 3-3. 第2回委員会での検討課題..... | 13 |
| 3-4. 検討課題への対応..... | 14 |
| 3-5. 波浪特性の解明..... | 16 |
| 4. 被災要因とメカニズム..... | 19 |
| 4-1. 被災要因の検討..... | 19 |
| 4-2. 被災メカニズム..... | 21 |
| 参考資料..... | 22 |

1. 長周期波による水位上昇量の推定

1-1. 水位上昇量の推定

伏木富山港における水位上昇量推定の基本的考え方

- 伏木富山の潮位計のデータを用いることを基本にし、潮位 21cm は第 2 回委員会での値をそのまま用いる。
- 但し、潮位計は導水管の影響で短周期成分が減衰している。
- この減衰分は富山の波高計のデータを用いて補正する。
- 波高から最大水位上昇量を推定する際にも富山の波高計のデータを用いる。

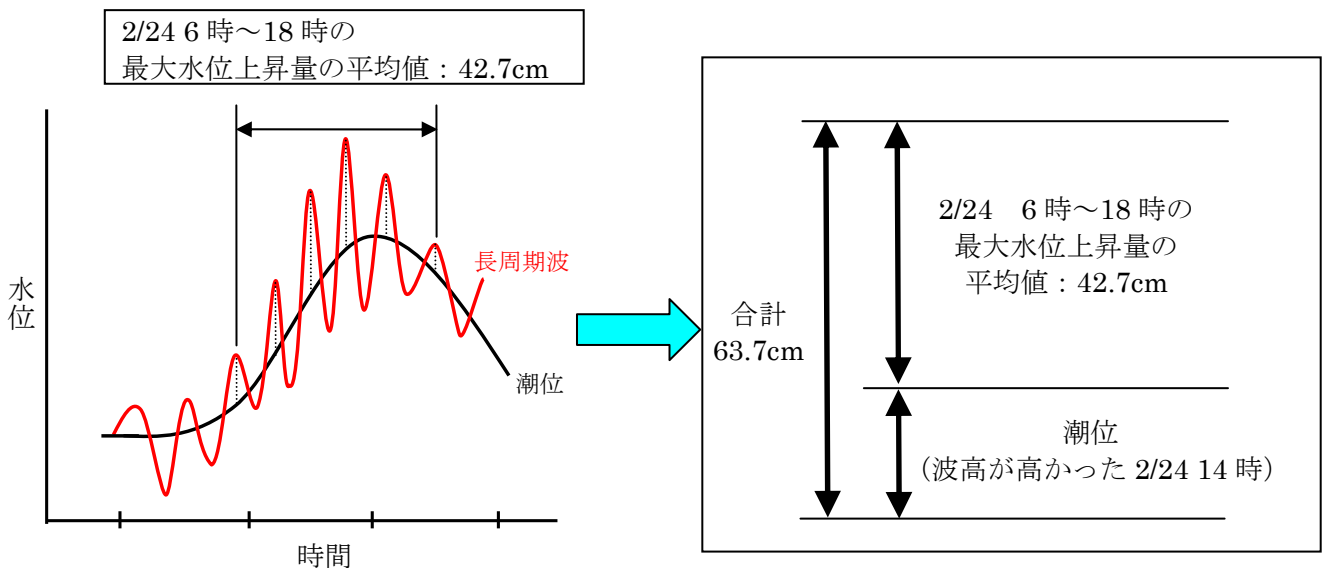
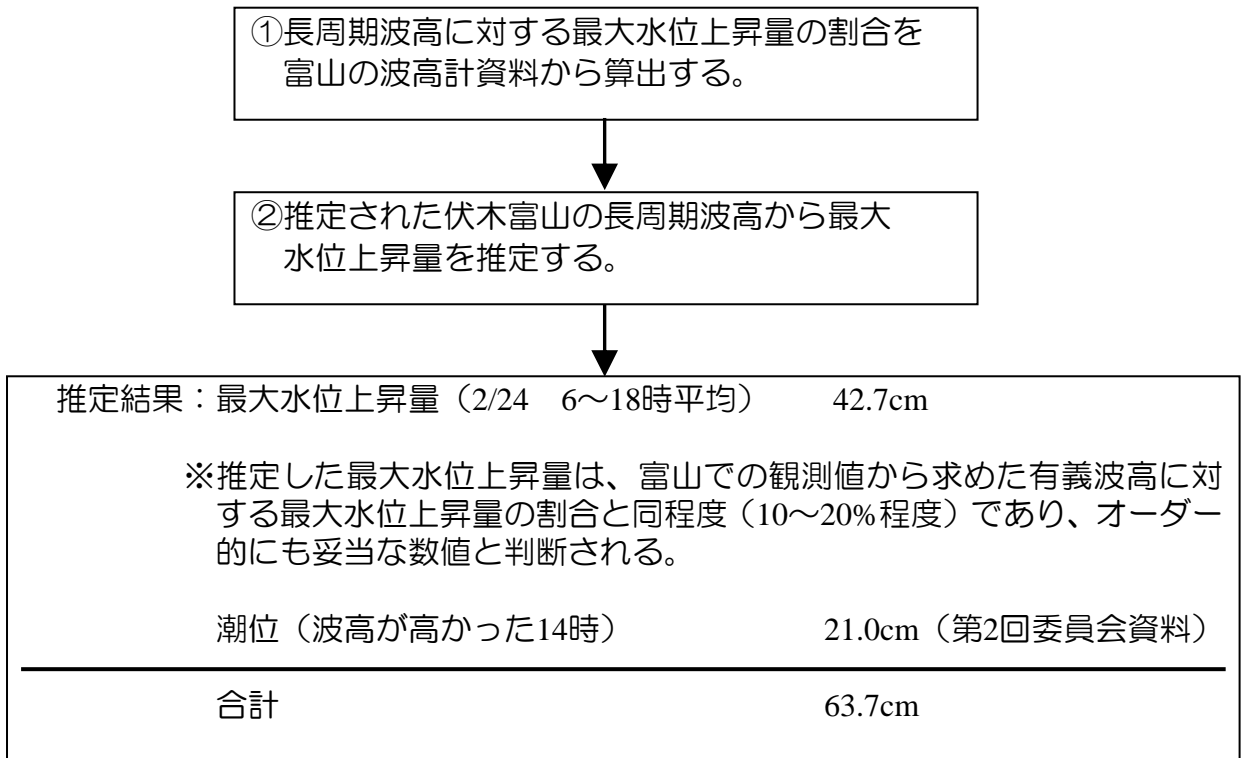
第2回委員会の考え方との違い

- デジタルデータを用いた処理をしている。
- 金沢ではなく、伏木富山の観測資料を用いることを基本にしている。
- 最大水位上昇量も観測資料に基づいて推定している。

最大水位上昇量推定の方針（手順）

- 伏木富山港検潮所の資料を用いることを基本にする。
- しかし、周期300s程度以下の成分は減衰した形で観測されている（導水管の影響）ので、全周期帯で減衰なく観測されている富山の波高計の資料を参考にして、伏木富山における長周期波高（周期30s以上）を推定する。

以下に、フロー図を示す。



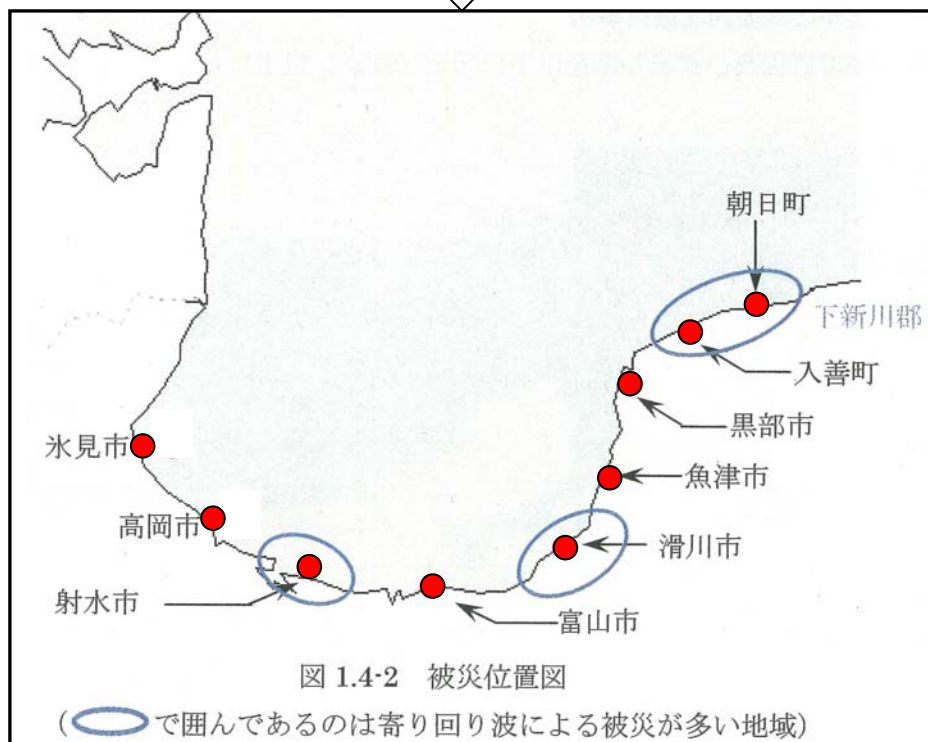
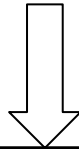
潮位に長周期波が重なった場合の水位上昇のイメージ図

2. 富山湾における波浪特性

2-1. 検討の目的

第2回委員会

- 過去に発生した『うねり性波浪（寄り回り波）』による被災状況が整理され、その結果、富山湾の特定地域（伏木富山港（伏木地区）、滑川、入善）において被災が多いことが確認された。



検討の目的

- 本検討は、上記の『うねり性波浪（寄り回り波）』について、エネルギー平衡方程式による波浪変形計算を実施し、以下の項目について把握するものである。
 - ・ 富山湾全体としての寄り回り波の特性と地域特性

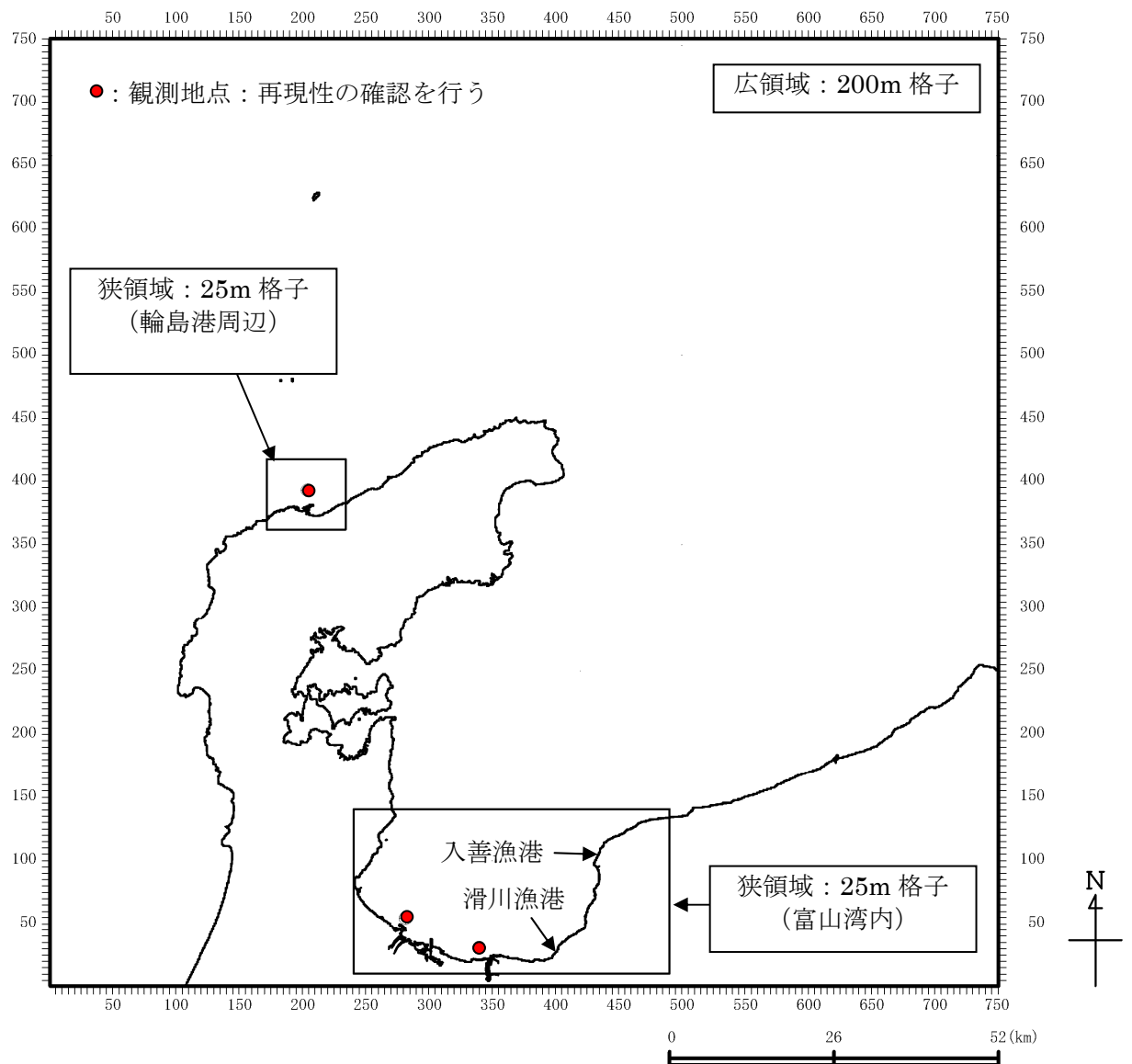
2-2. 波浪特性の解明

【再現目標の設定】

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

- ①輪島 : $H_{1/3}=6.22\text{m}$, $T_{1/3}=13.3\text{s}$ (2/24 14時)
- ②伏木富山 : $H_{1/3}=4.04\text{m}$, $T_{1/3}=14.2\text{s}$ (2/24 16時)
- ③富山 : $H_{1/3}=9.92\text{m}$, $T_{1/3}=16.2\text{s}$ (2/24 16時)

【計算領域図】



【計算モデル】

波の回折を考慮したエネルギー平衡方程式により波浪変形計算を実施する。

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

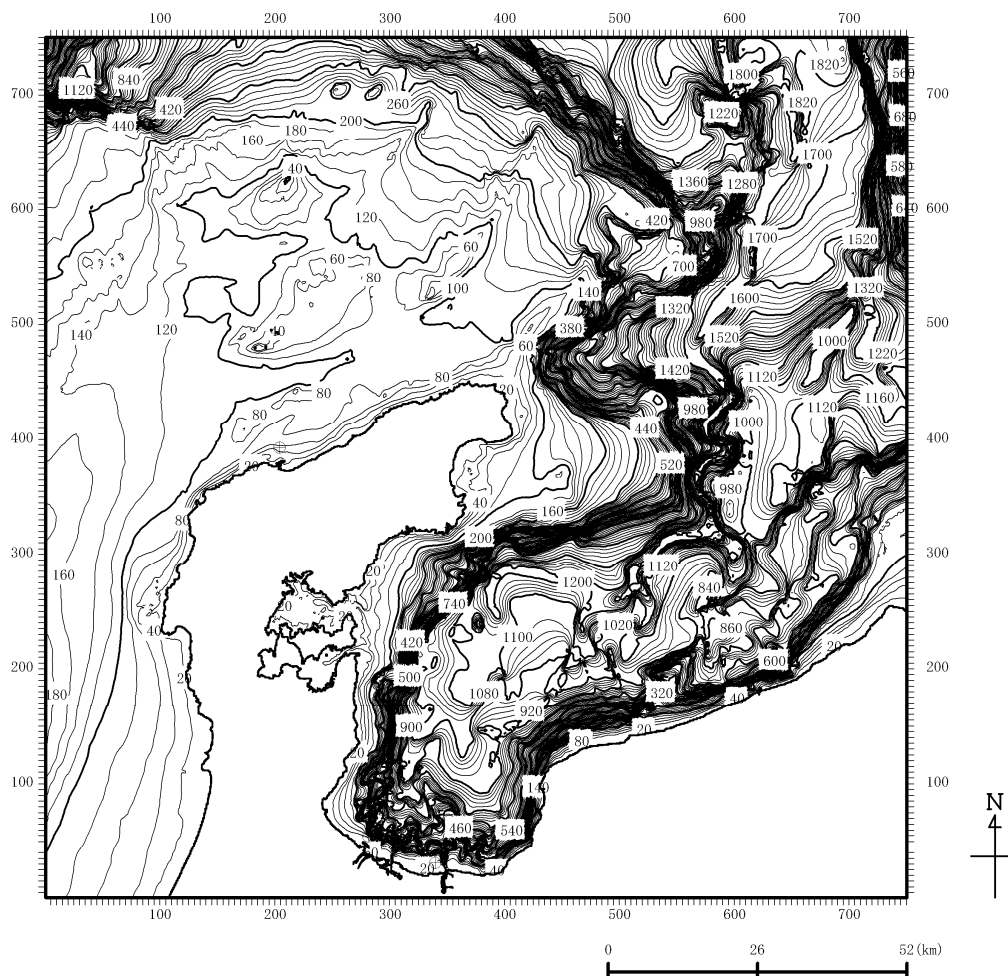
*「波の回折を考慮した多方向不規則波の変形モデルに関する研究」,

土木学会論文集No.628 II-48, 1998年, 間瀬肇・高山知司・国富將嗣・三島豊秋

【計算水深図】

計算水深は、以下の資料より作成した。

- ・海の基本図 (6312, 6331~6335)
- ・海図 (1162A, 1183)
- ・伏木富山港 (伏木地区) 深浅測量結果
- ・伏木富山港 (富山地区) 深浅測量結果
- ・港湾計画図



【波浪条件】

試行計算の結果、再現性の高い波浪条件は、以下のとおりである。

| 波浪条件 | |
|--------|------------------------|
| 波高 | $H_{1/3}=6.9\text{m}$ |
| 周期 | $T_{1/3}=14.5\text{s}$ |
| Smax | Smax=75 |
| 波向 | N21° E |
| 潮位 | 潮位=D.L+0.64m |
| スペクトル形 | BSスペクトル |

潮位条件は、DL+0.0m～DL+0.64mと変化させて実施した結果、最大で波高5cm程度しか差がないことを確認している。

【再現性の確認】

上記の波浪条件で波浪変形計算を実施した。以下に、観測値と計算値の比較表を示す。

| 項目 | 輪島 | | | 伏木富山 | | | 富山 | | |
|-----|------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|
| | H13 (m) | T13 (s) | 波向 (°) | H13 (m) | T13 (s) | 波向 (°) | H13 (m) | T13 (s) | 波向 (°) |
| 観測値 | 6.22 | 13.3 | - | 4.04 | 14.2 | - | 9.92 | 16.2 | - |
| 計算値 | 6.01 | 14.1 | 19.5 | 4.14 | 13.8 | 31.5 | 7.71 | 16.1 | 18.6 |

- ・ 輪島と伏木富山は、波高・周期ともに比較的良好一致している。
- ・ 富山は、周期の再現性は高いが、波高については、計算値の方が2.2m程度低い。
- ・ 3地点の観測値の波高・周期の傾向は、計算値に表れており、富山湾全体の再現性の確認ができた。

※富山の波高は、計算値の方が2.2m程度低い結果となった。
その要因は以下のことが挙げられる。

①水深データの精度の問題

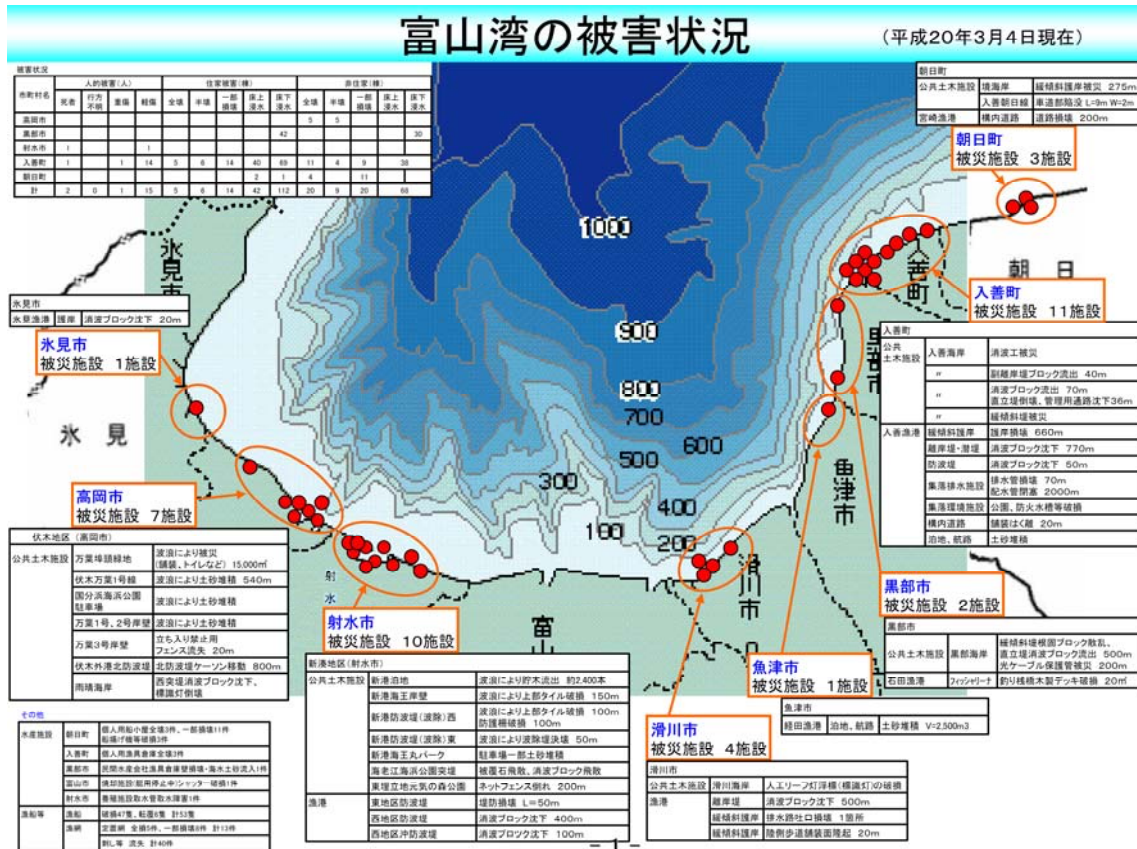
伏木富山港周辺の水深データは、深浅測量データを用いている。深浅測量データの測量間隔は、沿岸方向100m、岸沖方向50mを基本として測量されている。また、海底勾配の急峻な部分は、岸沖方向25mで測量されている。

深浅測量の範囲以外は、海の基本図等を用いているため、あいがめ地形周辺の水深データの精度が高くなれば、富山の再現性が向上する可能性がある。

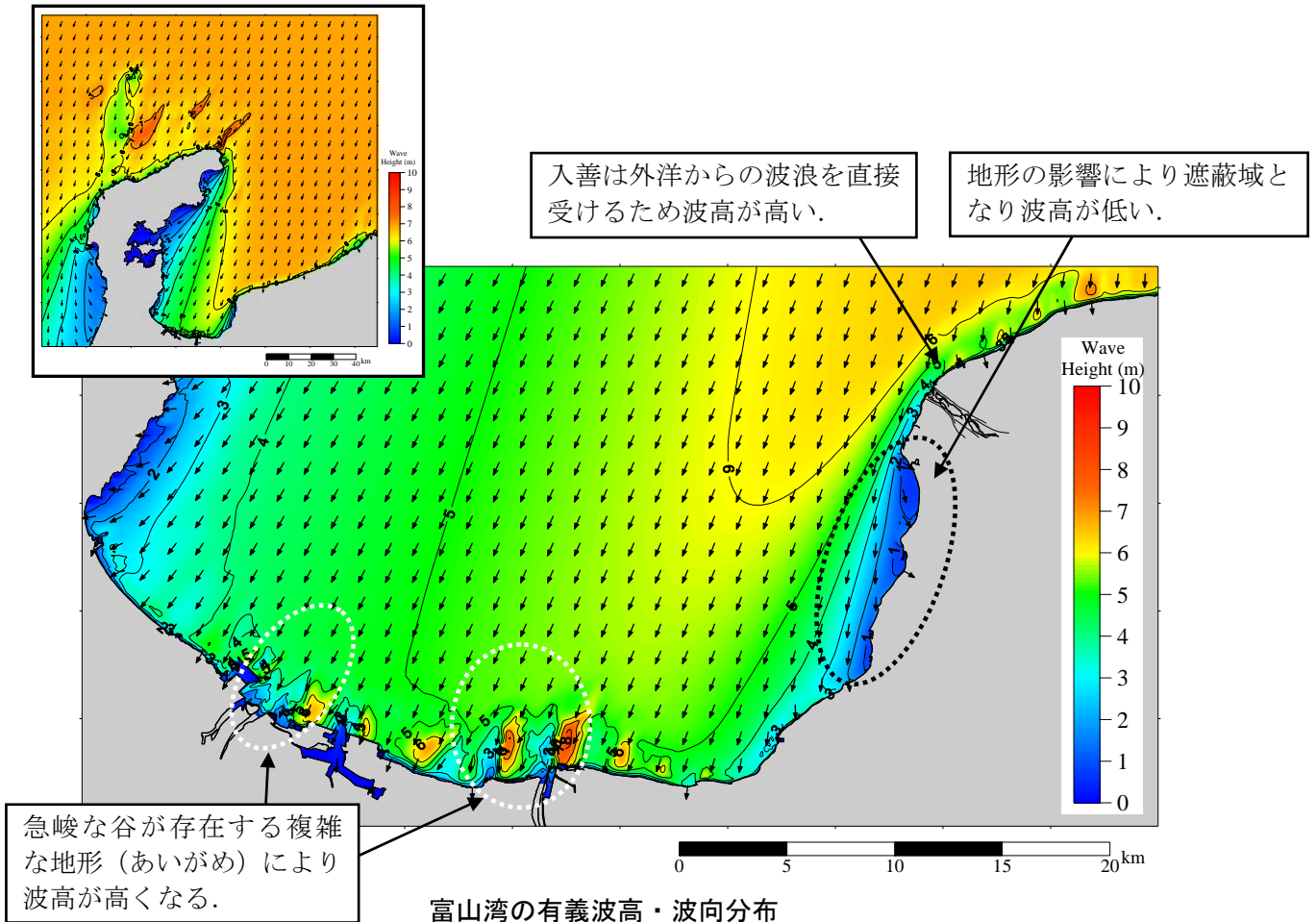
②計算手法の問題

本検討では、エネルギー平衡方程式により波浪変形計算を実施しており、波の非線形性については考慮されていない。富山の観測地点のような複雑な海底地形では、局所的に波の非線形効果により波高が大きくなると考えられる。

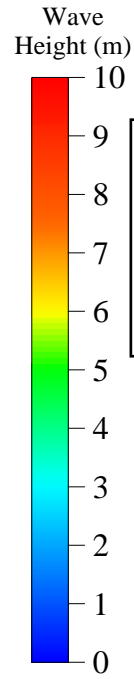
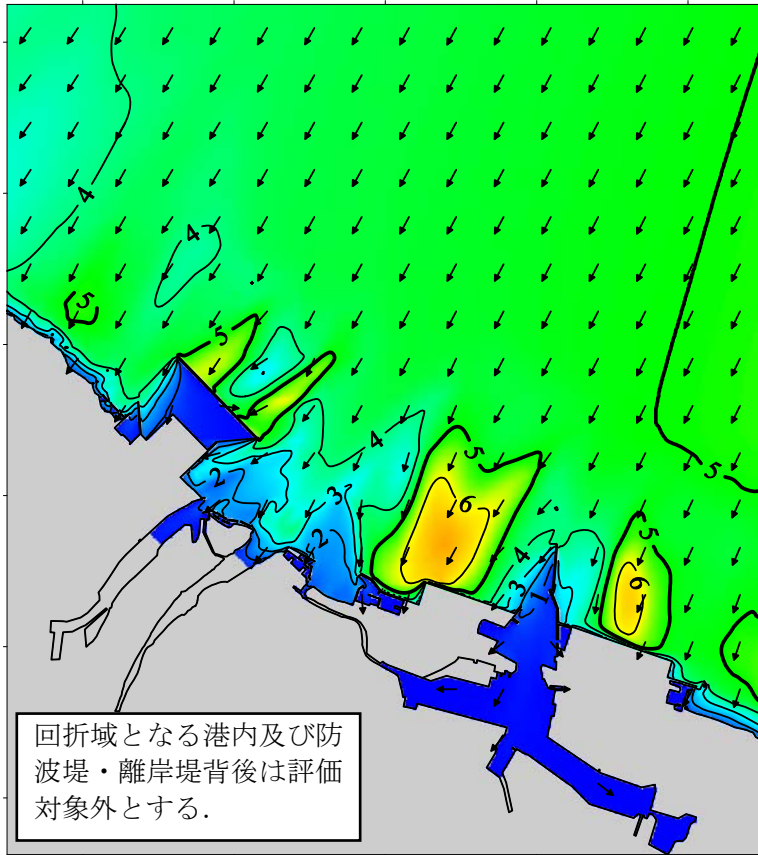
【富山湾の波浪特性（富山湾全体）】



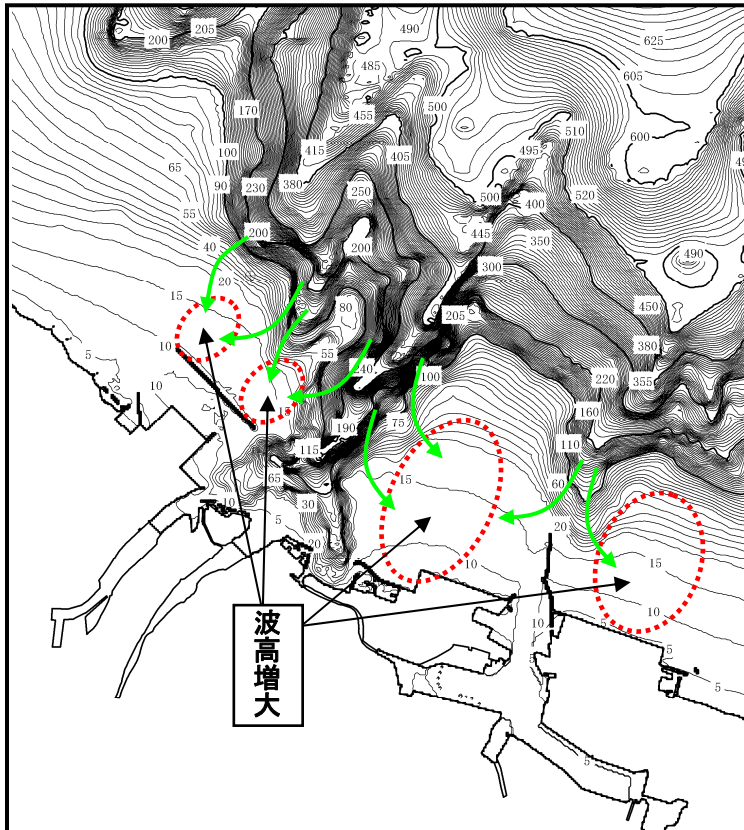
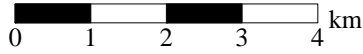
富山湾の被災地区（平成20年2月の被災，第1回委員会資料より抜粋）



【富山湾の波浪特性（伏木地区、新湊地区）】

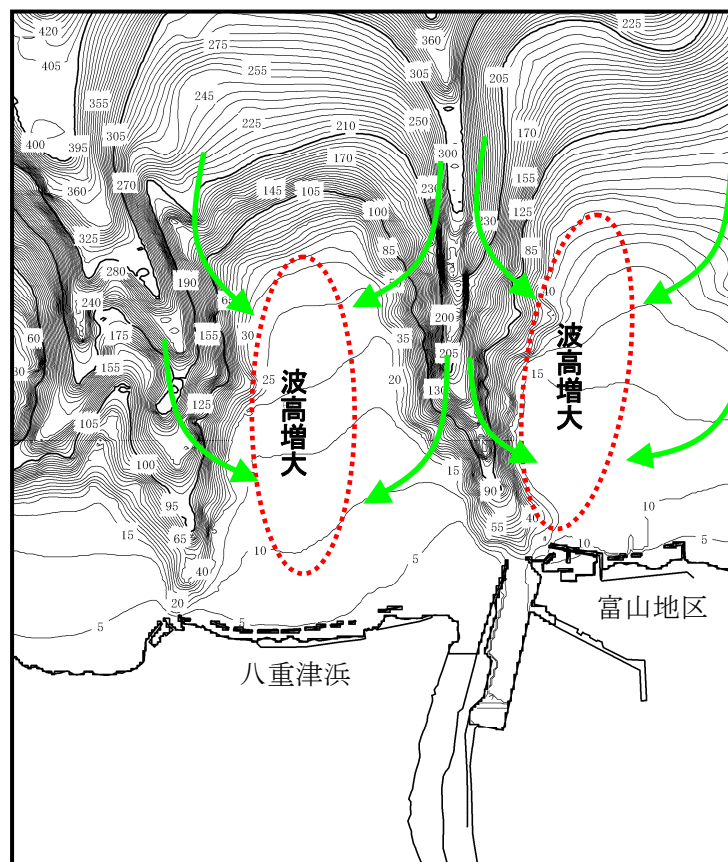
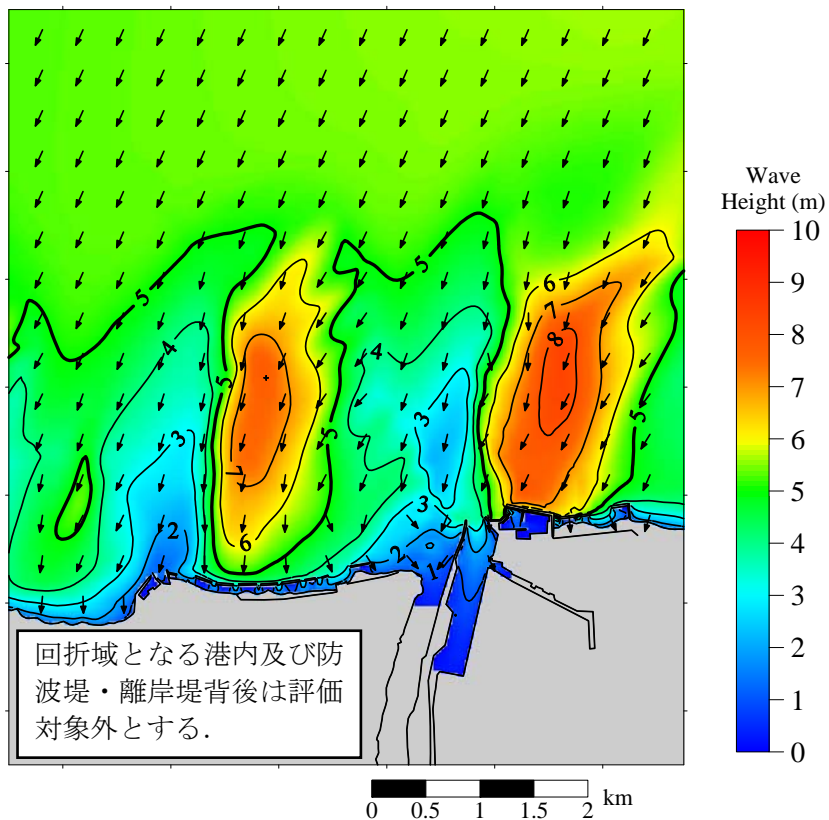


- ・被害箇所では、波高が高くなっている。
- ・港前面の複雑な海底地形（あいがめ）により屈折現象、浅水変形で波高が集中している。



- ・海底地形は20m～100mを境に急峻な谷の地形を形成している（あいがめ）。
- ・岬のような地形では、屈折現象により波が集中して波高が大きくなる。

【富山湾の波浪特性（富山地区）】

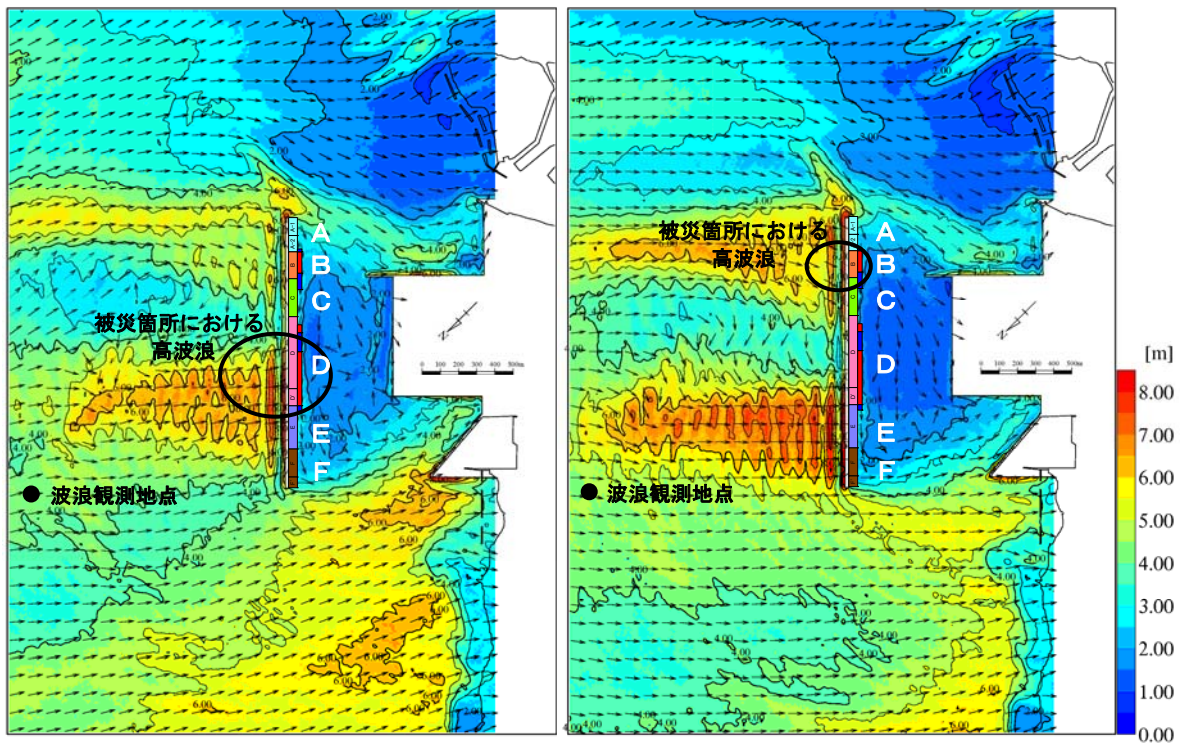


3. 伏木地区における波浪特性

3-1. 波浪特性の検討結果

【検討のまとめ】

- ① 第2回委員会の指摘事項を踏まえ、ブシネスクモデルの計算領域等の設定を見直し、より精度の高い波浪変形計算を実施した。
- ② 波浪変形計算における入射波浪は、港外波浪観測地点における波高の再現計算を実施することにより設定した。
- ③ 波浪変形計算の結果、高波浪箇所が被災箇所とおおむね一致していることが確認された。この結果を踏まえて、被災要因の検討のための進行波の検討を実施する。



(波向 22.5° , $\gamma=3.3$)

(波向 40.0° , $\gamma=3.3$)

■ は被災(大)あり
■ は被災(小)あり

図 3-1 ブシネスクモデルによる波浪計算結果 (反射あり)

3-2. 伏木地区における被災の概要

【波浪状況】

- ・ 被災時には、有義波高 3.0m以上の高波浪が 18 時間（24 日 6 時～24 時）にわたって継続しており、有義波周期はおおむね 13.0 秒以上であった。
- ・ 特に、24 日 14 時～18 時にかけては、波高 4.0m以上、周期 14.0 秒以上となっており、この期間に被災した可能性が高い。
- ・ 被災時の最大有義波高は 24 日 14 時の波高 4.22m、周期 14.2 秒であった（図 3-2）。

【被災状況】

- ・ 北防波堤では、B 区間およびD・D'区間においてケーソンの顕著な滑動および被覆消波ブロックの沈下が認められる（図 3-3）。

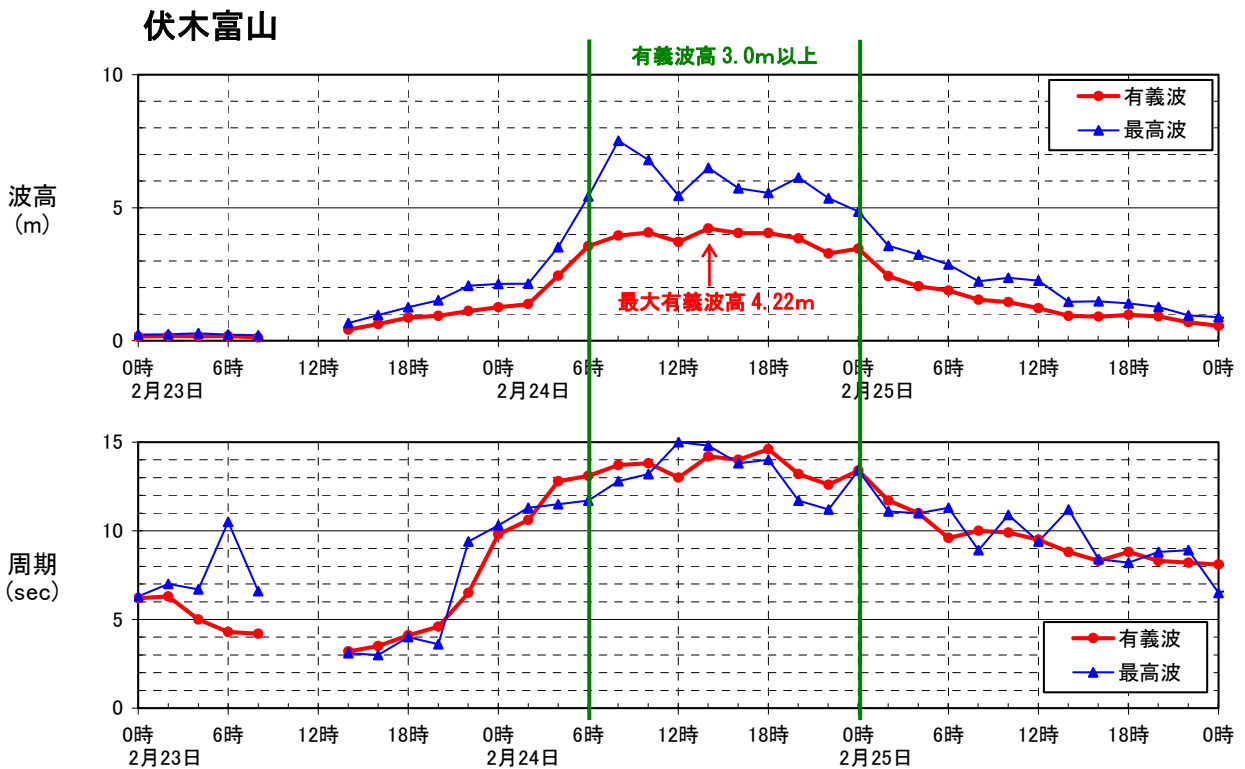
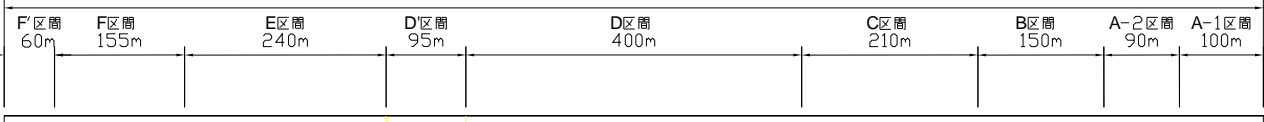


図 3-2 有義波と最高波の時系列図

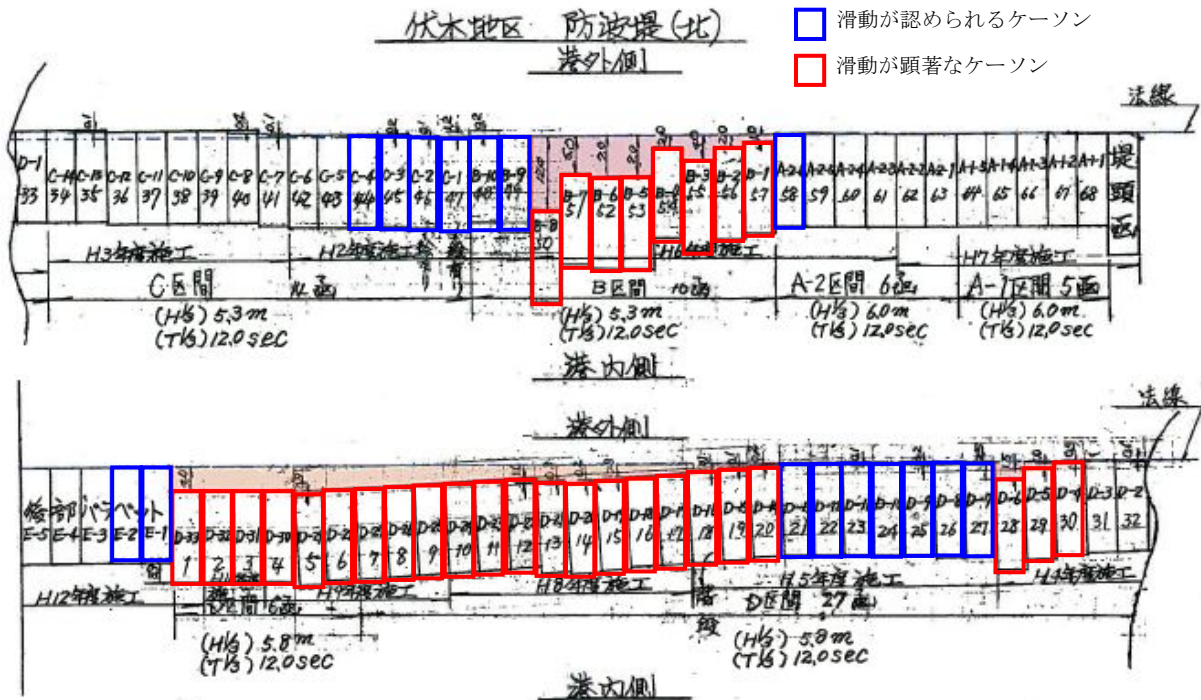
伏木富山港(伏木地区)冬期風浪(H20.2.24)被災箇所



伏木(北)防波堤 1,500m



1) 北防波堤の設計区間の区割り (平面図)



2) 北防波堤ケーソンの滑動状況



3) 北防波堤の被災状況 (D'、D、B、区間)

図 3-3 伏木富山港(伏木地区)における主な被災箇所

3-3. 第2回委員会での検討課題

第2回委員会における指摘等にもとづき、次の検討を実施する。

- (1) 計算範囲の拡大（被災時の波浪の屈折現象が十分に表現できる水深 150mまで）
- (2) 波浪観測結果にもとづいた入射波スペクトルのパラメータ γ の設定
- (3) 波浪観測地点における波高の現況再現

今回の検討を第2回委員会における検討と比較したフロー図を図 3-4 に示す。

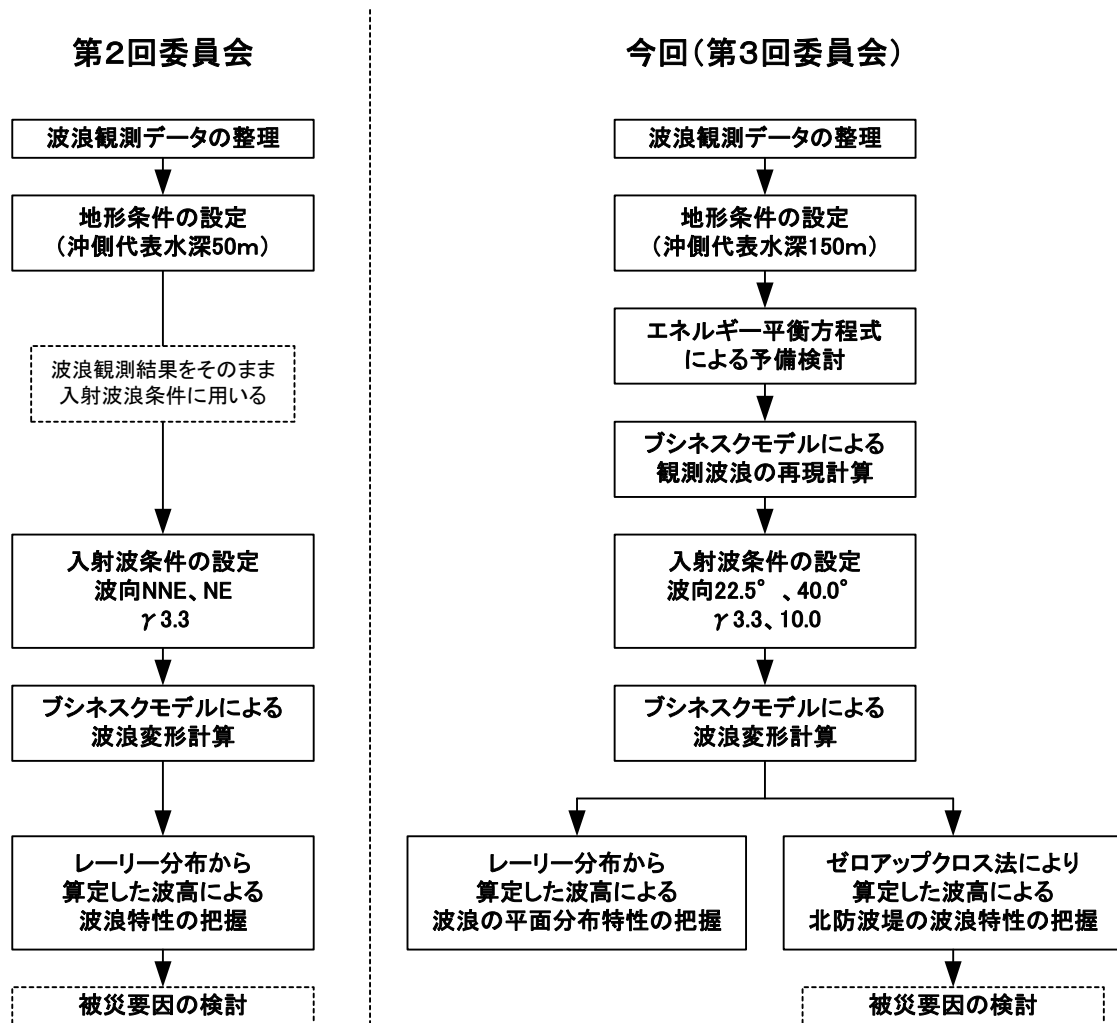


図 3-4 波浪特性の検討フロー

3-4. 検討課題への対応

(1) 計算範囲の拡大と観測波浪の再現

- ・ 被災時の波浪の屈折現象が十分に表現できる水深 150mまで計算範囲を拡大した。
- ・ 波浪観測地点における波浪の再現計算を実施し、波高については±6cm、波向については±2°の精度で再現することができた。再現計算の結果、伏木地区の波浪観測地点は北防波堤による反射波の影響を受けることが明らかとなった。

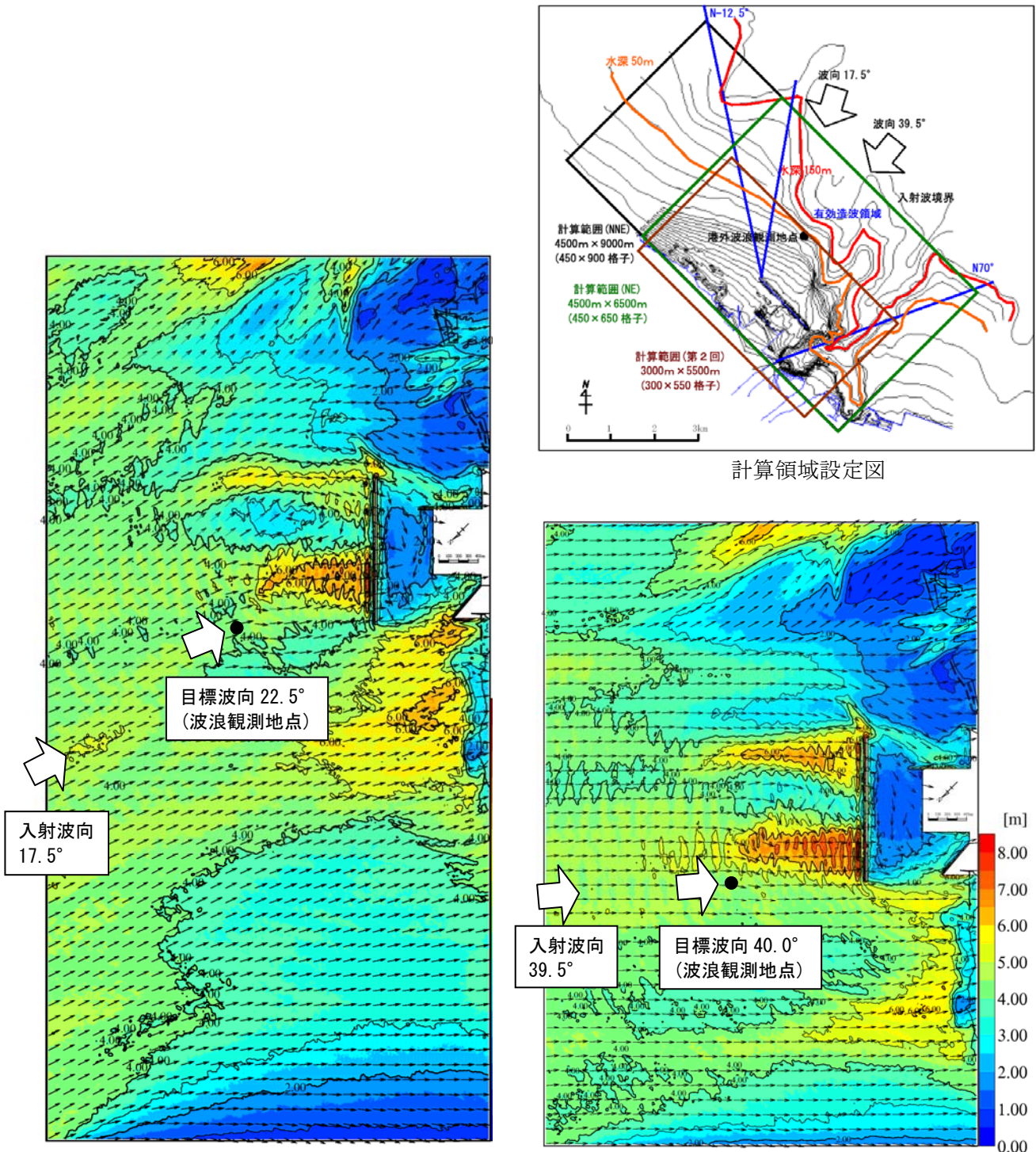


図 3-5 計算領域設定図と波浪変形計算結果例 (γ 3.3、反射あり)

(2) 波浪観測結果にもとづいた入射波スペクトルのパラメータ γ の設定

- 入射波浪の JONSWAP スペクトルのパラメータ γ を設定するために、観測波浪のスペクトル解析を実施した。被災擾乱の波高 3.0m以上の高波浪期間（2月24日6時～24時）の解析結果から代表的なスペクトルを図3-6に示す。
- 本検討では JONSWAP スペクトルのパラメータ γ として、被災時（14時～18時）の観測スペクトルから $\gamma=3.3$ を用いる。
- 被災擾乱の高波浪期間は長く、その間に JONSWAP スペクトルのパラメータ γ が変化していることも考えられることから、 γ が変化した場合の波浪特性を確認するために、高波浪期間の γ の最大値である $\gamma=10.0$ の検討も実施する。

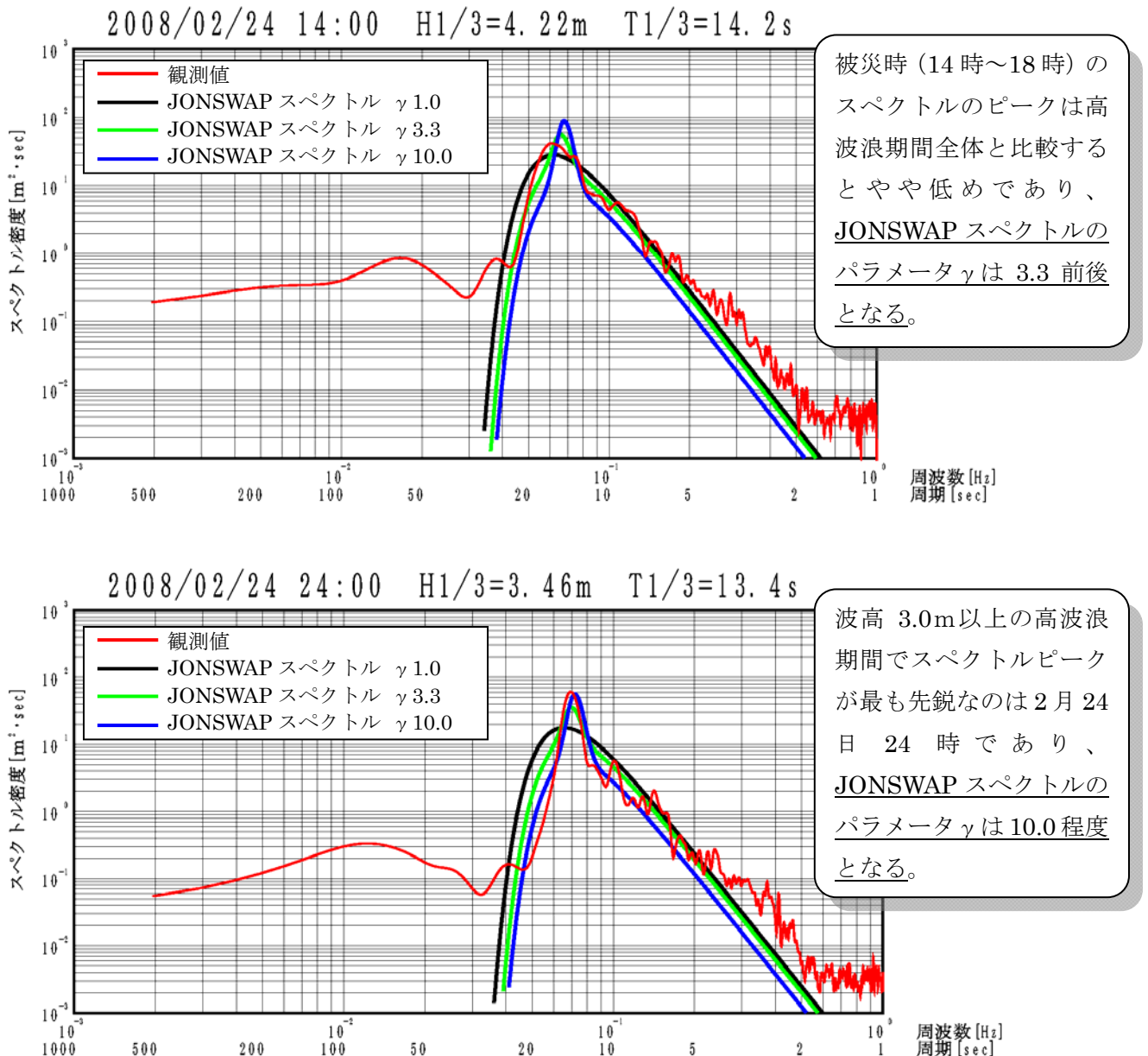


図 3-6 観測波浪のスペクトルと標準スペクトル（抜粋）

3-5. 波浪特性の解明

(1) 主な計算条件

- 被災時の状況を把握するために、ブシネスクモデルにより伏木富山港（伏木地区）における波浪変形計算を実施した。
- 各種計算条件は、計算領域の拡大に対応して適宜変更した。
- 計算潮位は、水位上昇量の検討結果から D.L.+0.637m とした。

表 3-1 主な計算条件（ブシネスクモデル）

| 項目 | 計算条件 |
|--------|---|
| 計算対象域 | 伏木外港の港外および港内 |
| 沖側境界条件 | 修正 JONSWAP 型スペクトル |
| 港内反射率 | 直立壁 : 1.0 スリットケーソン : 0.8 消波ブロック : 0.5 |
| 計算格子間隔 | 10m |
| 計算時間間隔 | 0.02 秒 |
| 積分時間 | 100T _{1/3} |
| 沖側最大水深 | 150m |
| 最低水深 | 2.0m |
| 計算潮位 | D.L.+0.637m |

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）を再現できる入射波浪条件を、2 波向（波浪観測地点で N22.5° E および N40° E）、2 スペクトル型（JONSWAP 型 $\gamma = 3.3$ および $\gamma = 10.0$ ）で設定した。

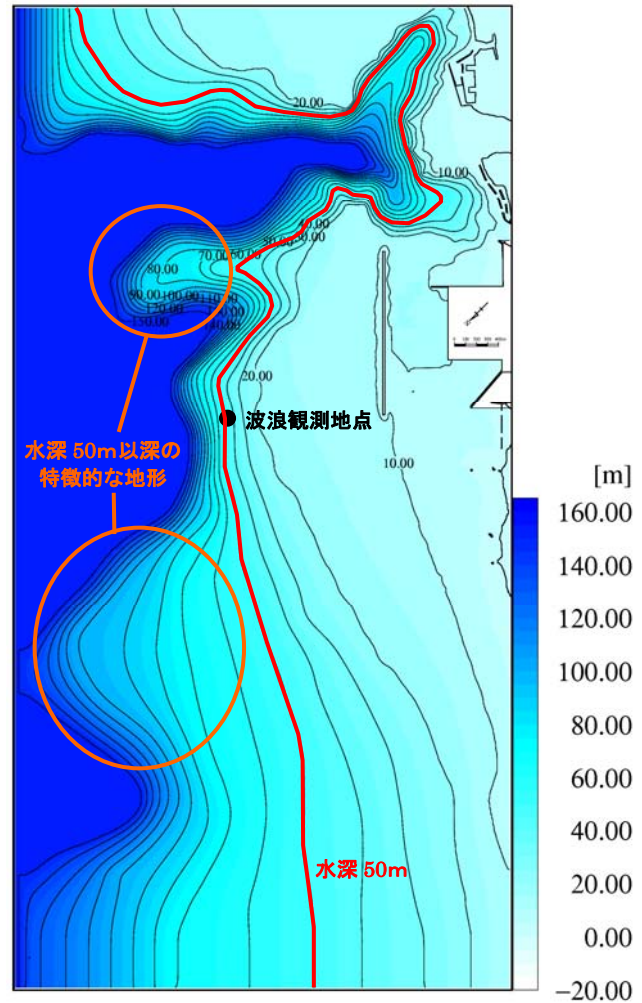


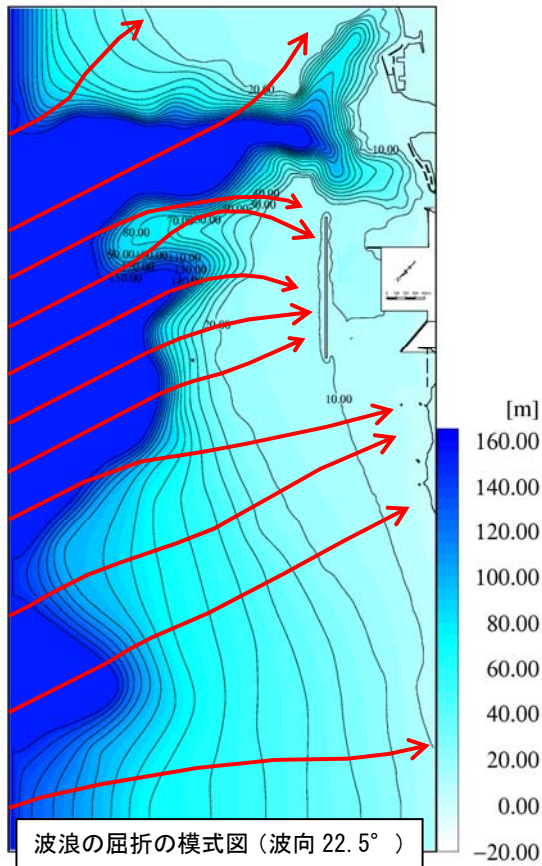
図 3-7 計算水深図

表 3-2 入射波条件一覧（被災時：2月24日 14:00）

| 計算ケース | 入射波条件 | | | | |
|-------------------------|--------|--------|--------|------|----------|
| | 波高 (m) | 周期 (秒) | 波向 (°) | Smax | γ |
| 波向 22.5°, γ 3.3 | 4.42 | 14.2 | N17.5 | 75 | 3.3 |
| 波向 22.5°, γ 10.0 | 4.53 | 14.2 | N17.5 | 75 | 10.0 |
| 波向 40.0°, γ 3.3 | 4.08 | 14.2 | N39.5 | 75 | 3.3 |
| 波向 40.0°, γ 10.0 | 4.02 | 14.2 | N39.5 | 75 | 10.0 |

深浅測量データ等から作成した水深メッシュデータをもとに、計算の安定性確保のために沖側境界の摺り付け(1:5 勾配)と水深 20 m 以上のスムージングを実施して、計算水深を作成した。

(2) 波浪特性の検討



【波浪特性 (波向 22.5°)】

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

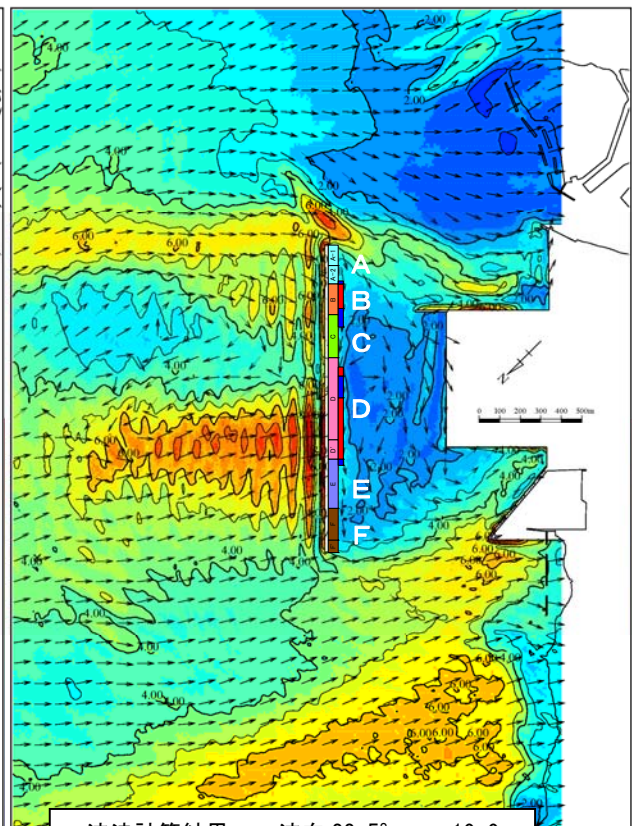
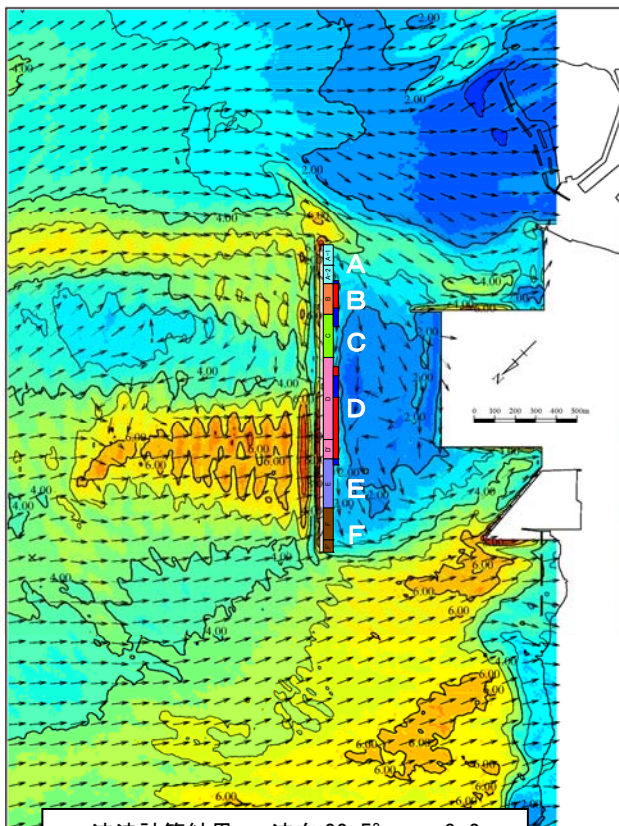
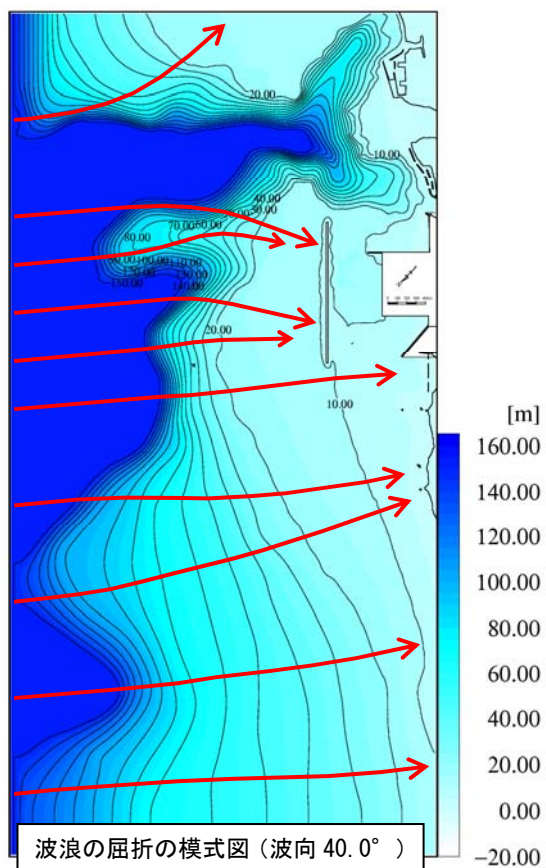


図 3-8(1) 被災波の波浪計算結果 (反射あり)



【波浪特性（波向 40.0°）】

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

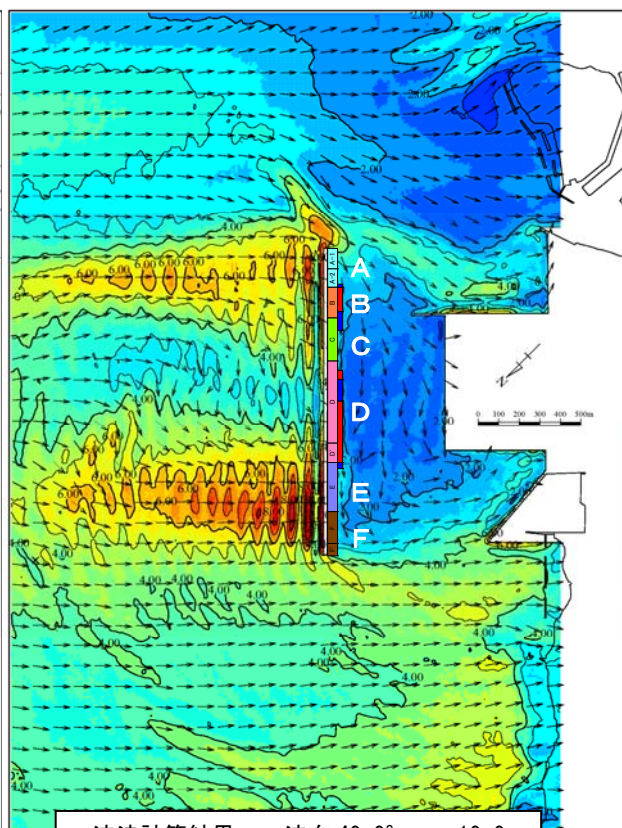
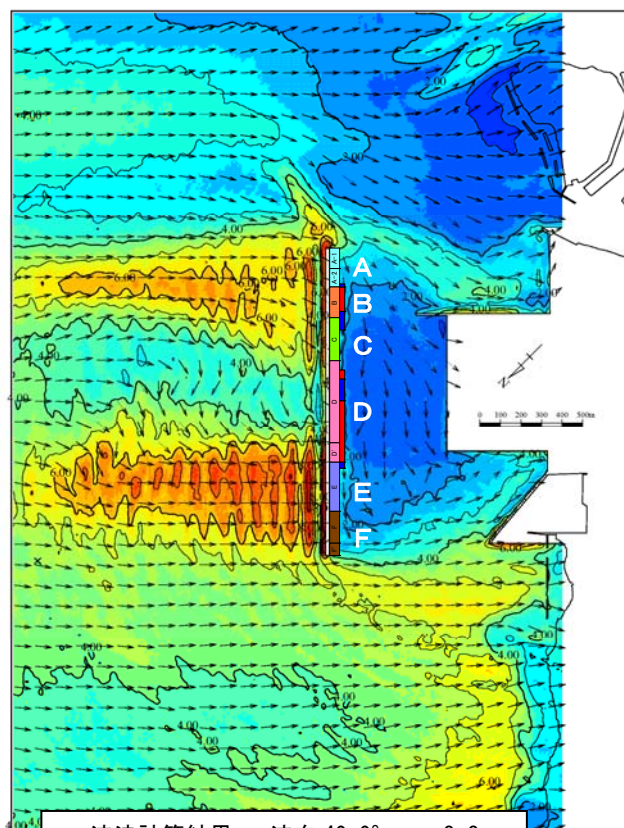


図 3-8(2) 被災波の波浪計算結果（反射あり）

4. 被災要因とメカニズム

4-1. 被災要因の検討

(1) 進行波の波浪変形計算

- ・ 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波高（進行波）を算定した。
- ・ 北防波堤前面の波高は、波浪観測地点よりもかなり大きくなる。
- ・ B区間の被災箇所は、波向 40.0° で比較的波高が高くなる。
- ・ D区間の被災箇所は、波向 22.5° の高波浪箇所とよく一致している。

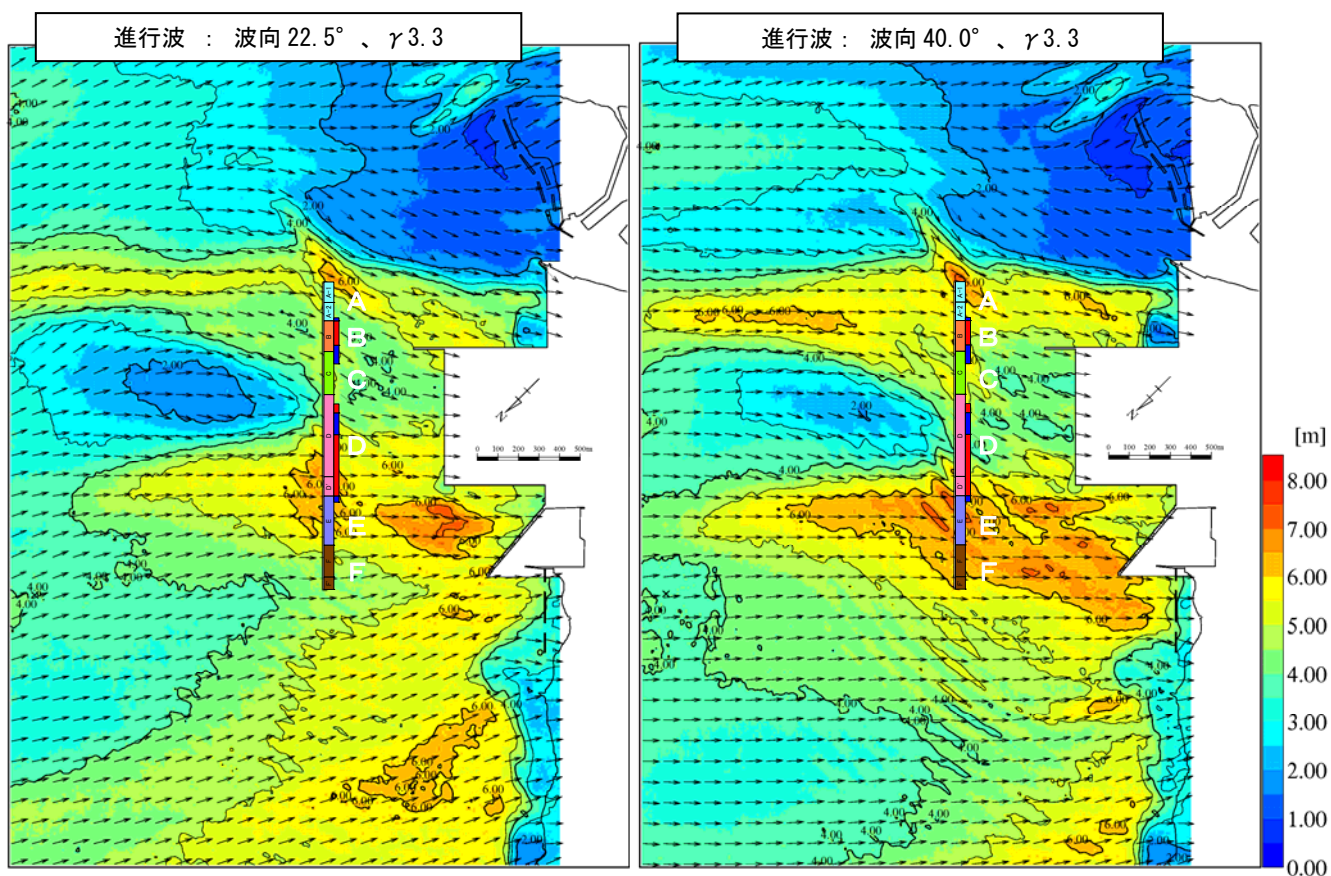


図 4-1 被災波の波浪計算結果例（反射なし、構造物は完全透過）

(2) 北防波堤前面の波高分布特性（設計波との比較）

- B区間は、波向 40.0° で波高が設計波を上回る。被災時の波高はA区間と同程度であるが、B区間の設計波高のほうが低いため、B区間で被災が顕著であったものと考えられる。
- D区間の西側は、波向 22.5° のケースで波高が高くなる。被害が大きい区間と被災時の波高が設計波を超えた区間はよく一致している。
- D区間の東側では 22.5° 、 40.0° の波向でも波高は比較的低く、被災状況の再現に課題が残る。

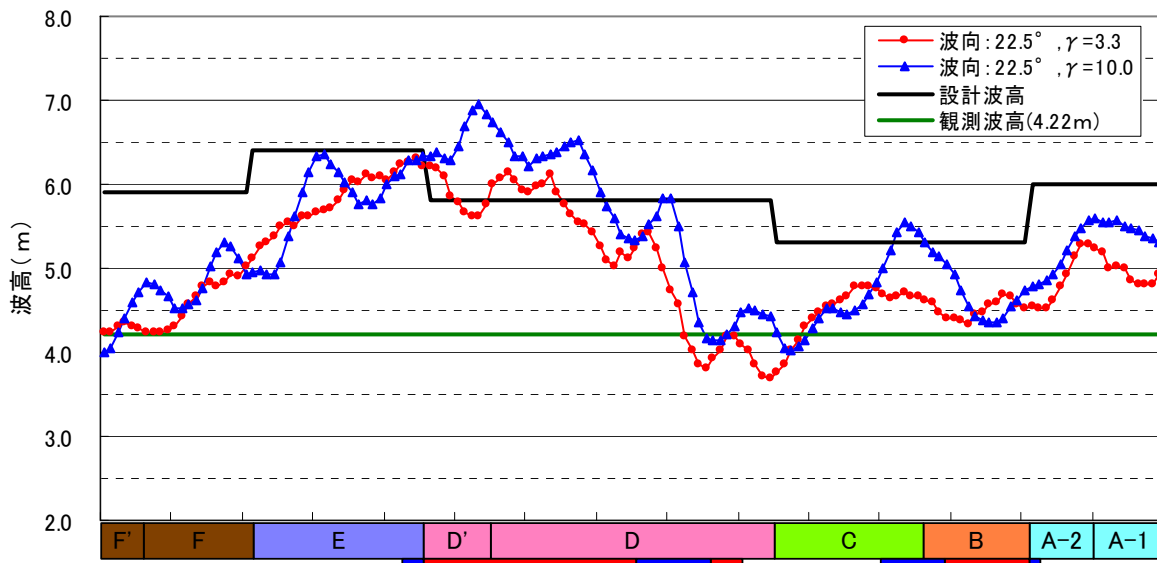


図 4-2(1) 北防波堤前面の波高分布（波向 22.5° 、堤体前面 25m地点、進行波）

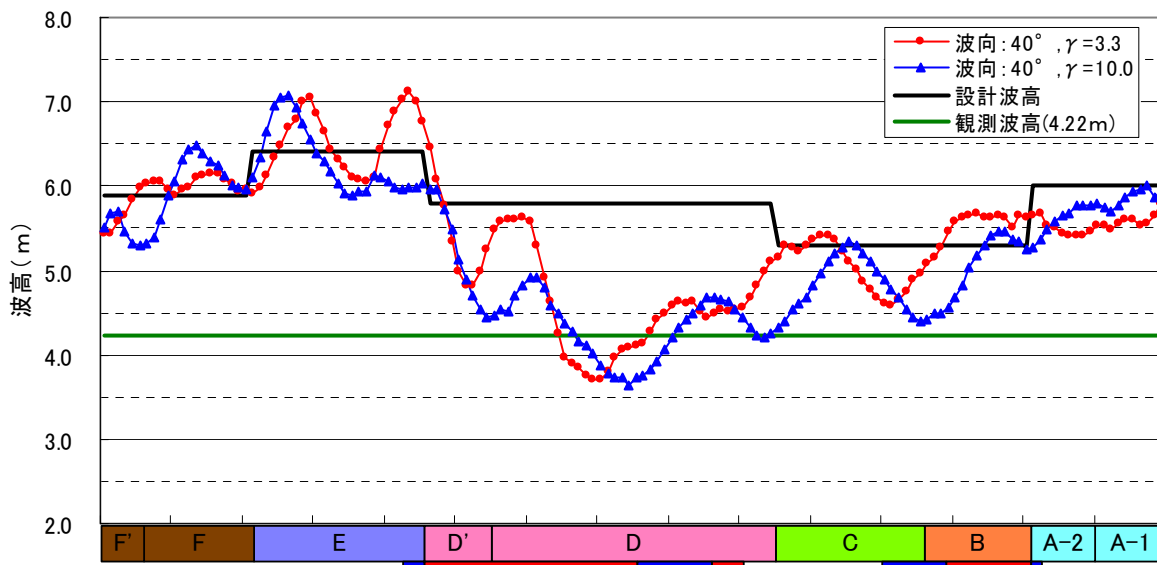


図 4-2(2) 北防波堤前面の波高分布（波向 40.0° 、堤体前面 25m地点、進行波）

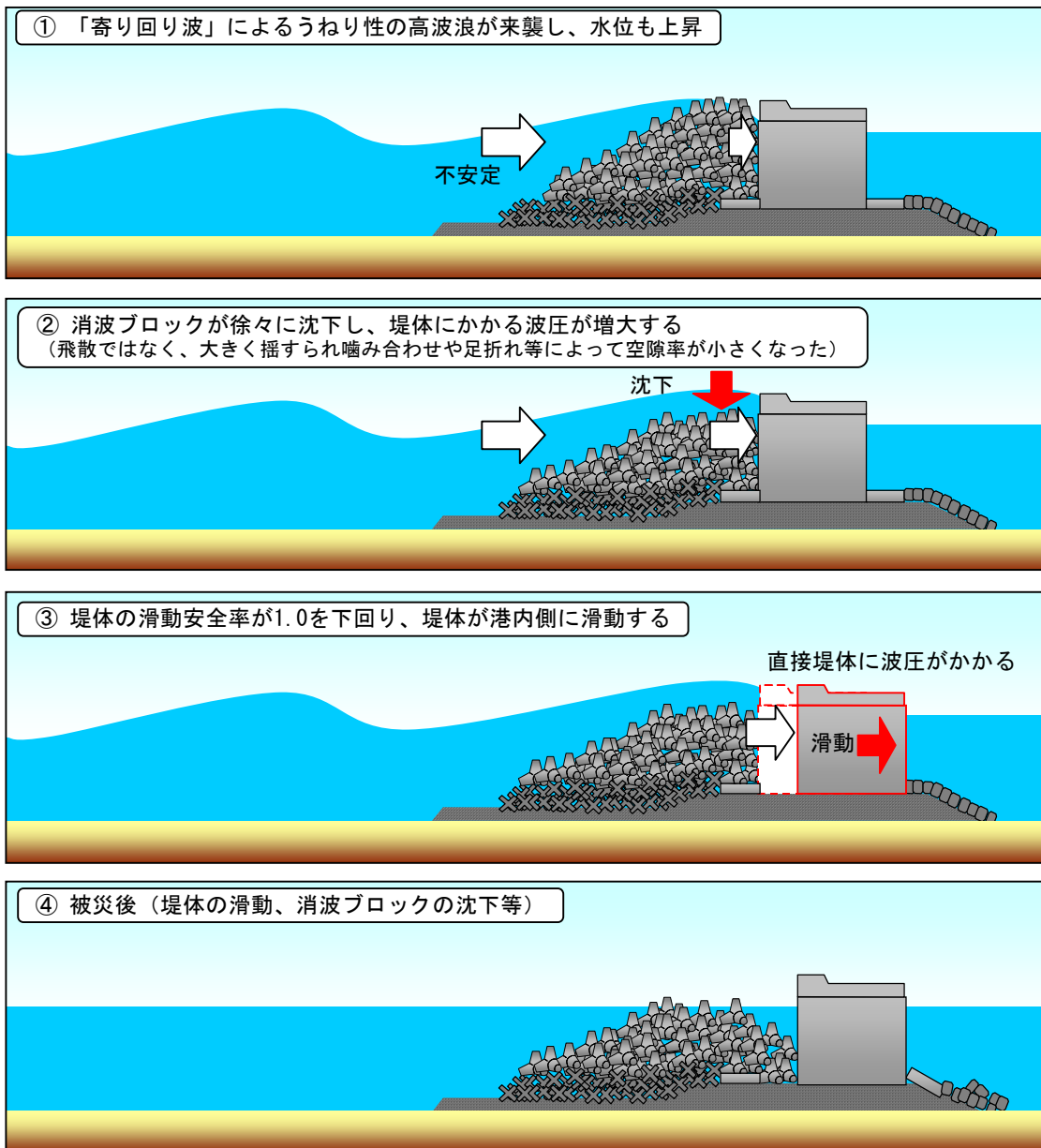
- は被災(大)あり
- は被災(小)あり

4-2. 被災メカニズム

【被災メカニズムのまとめ】

- ① 第2回委員会の指摘を反映し、深浅データと入力波を精査し精度の高い波浪計算を実施した。
- ② B区間およびD区間においては、被災時に設計波を超える波浪が来襲していたことが明らかとなった。
- ③ 北防波堤は、設計波を超える波によりブロックの沈下から被災したと思われる。

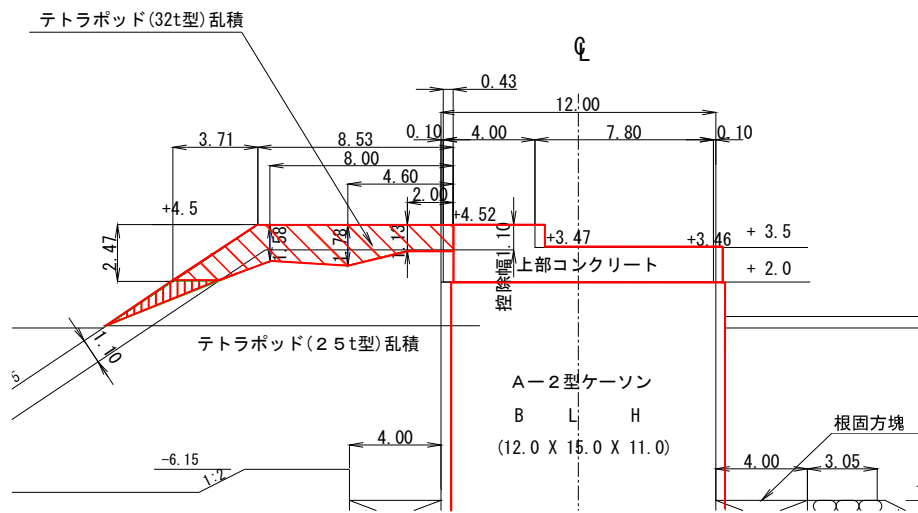
北防波堤の被災メカニズムのイメージ図



【参考資料】

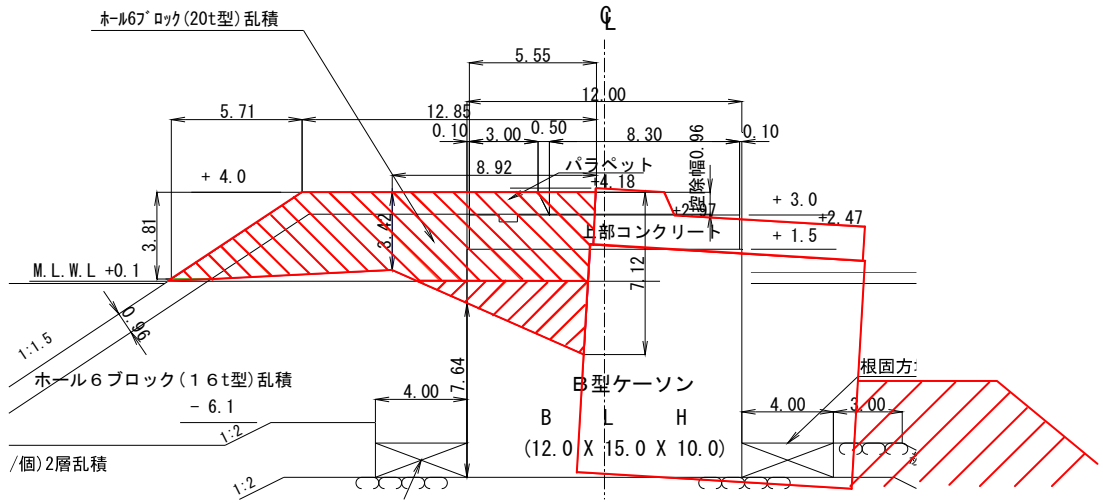
A-2区間の消波ブロック沈下状況

断面図 (A-2区間)

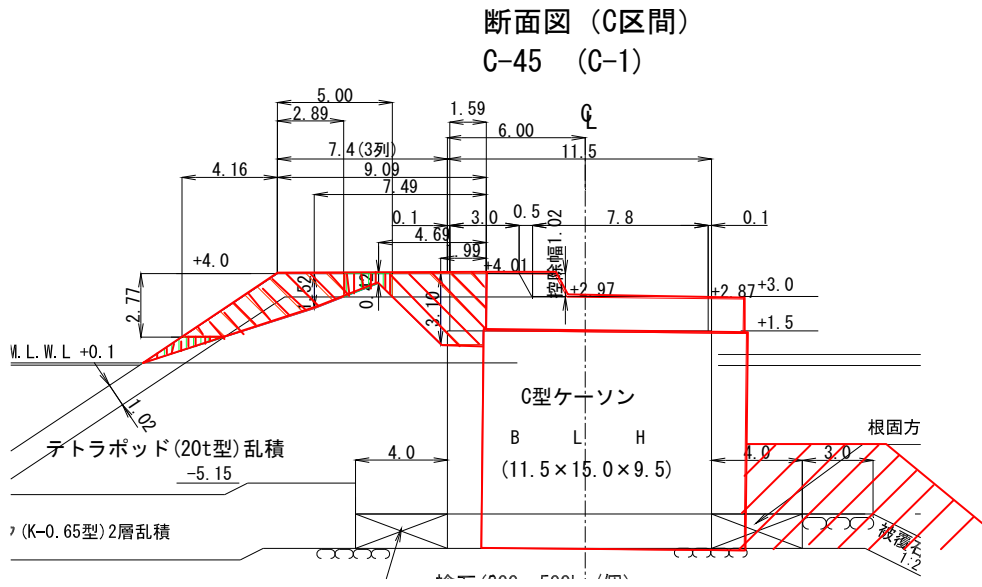


B区間の消波ブロック沈下状況

断面図 (B区間)
B-105m (B-3)

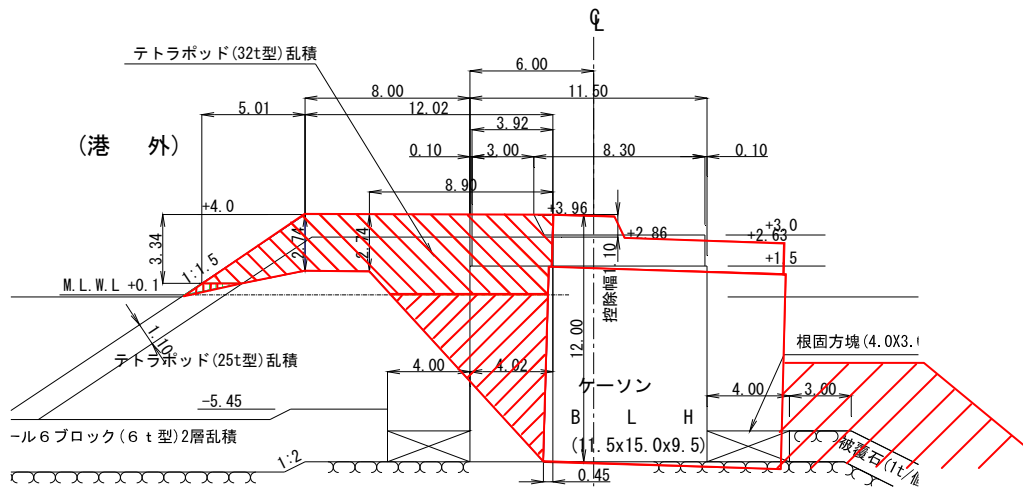


C区間の消波ブロック沈下状況



D区間の消波ブロック沈下状況

断面図 (D' 区間) D-100m (D-27)



消波ブロックによるケーソンの傷

E区間（被害なし）の消波ブロック状況



万葉緑地の越波状況の再現

伏木富山港における万葉緑地における護岸越波・浸水についての数値計算

北陸地方整備局 新潟技術調査事務所
港湾空港技術研究所

1. 検討目的および被害状況

1.1 検討目的

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(CADMAS-SURF/3D, 有川ら(2007))を用いて計算を行う。

1.2 被害写真等からの被害場所の推定

北陸地方整備局が、3月1日に被害を調べた際の写真ならびに、その後の現地見学などから推定される被害場所と被害状況を写真 1.1 に示す。写真などから推定したものであるから正確さには欠けるが、おおよその範囲を知ることはできる。

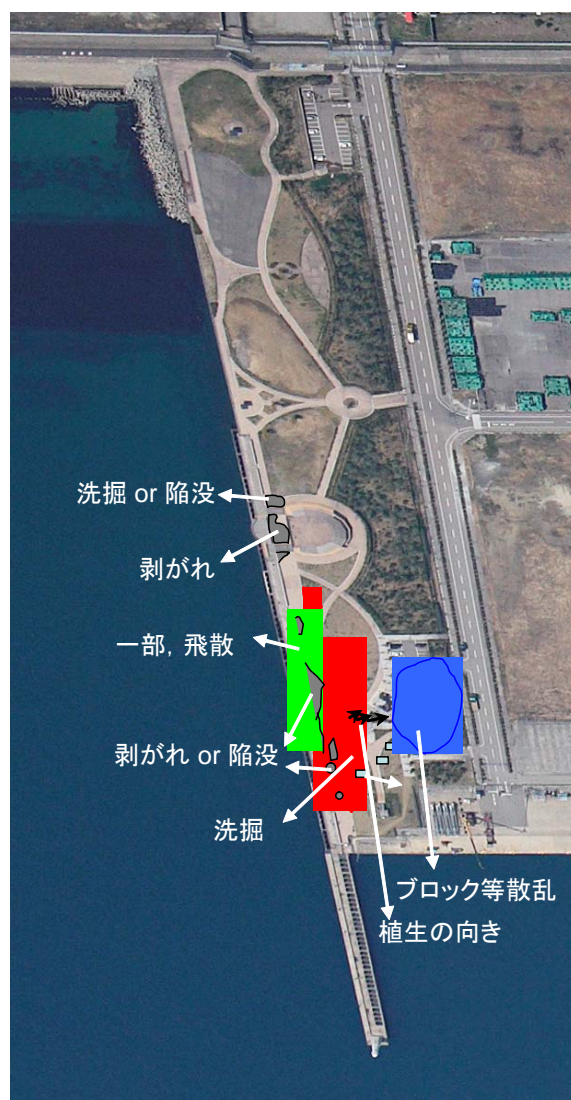


写真 1.1 被害写真から推定した被害場所と被害状況（航空写真：北陸地整）

1.3 植生と植生付近の流れの向き

被災後に現地で撮影された植生の被害を写真 1.2 に示す。見てわかるとおり、護岸に対

しては、ほぼ直角より若干建物方向よりであることがわかる。これは建物の影響もあると考えられる。



写真 1.2 被災時の写真（右図は左図の赤丸の拡大図）

1.4 ブロックの散乱

護岸沿いに沿った歩道と、芝生の間においてある置き石（30cm×30cm×80cm 程度）のものが**写真 1.2** に示す通りかなり広範囲にわたって散乱している。仮に上記の大きさ程度であれば、水中重量で約 100kg 程度と思われる。物体の抗力は、

$$D = C_D A \frac{\rho U^2}{2}$$

で与えられるとする。ここで、抗力係数 $C_D = 1.0$ ，流れ方向の投影面積 $A = 0.3 \times 0.8 = 0.24 \text{ m}^2$ とすると、流速が 5m/s で、3kN（約 0.3 トン）の力が作用することになる。

2. 数値波動水槽による計算

2.1 解析領域

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、砕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 2.1 に示す通りである。解析領域は、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。格子数の合計は約 690 万格子である。

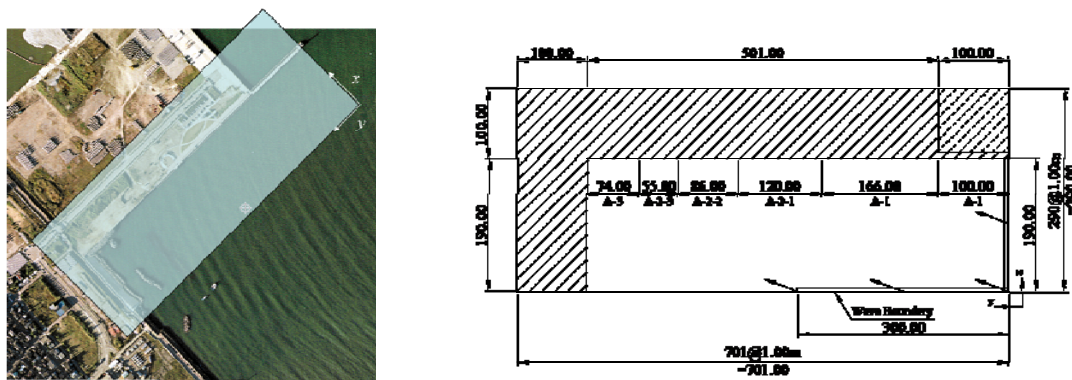


図 2.1 解析領域

斜線部には、A-1～A-3 までの断面を設置した（図 2.2）。斜線部が陸域となる。点線斜線部は、海とした。透過構造物としては、消波ブロックを設置した。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。

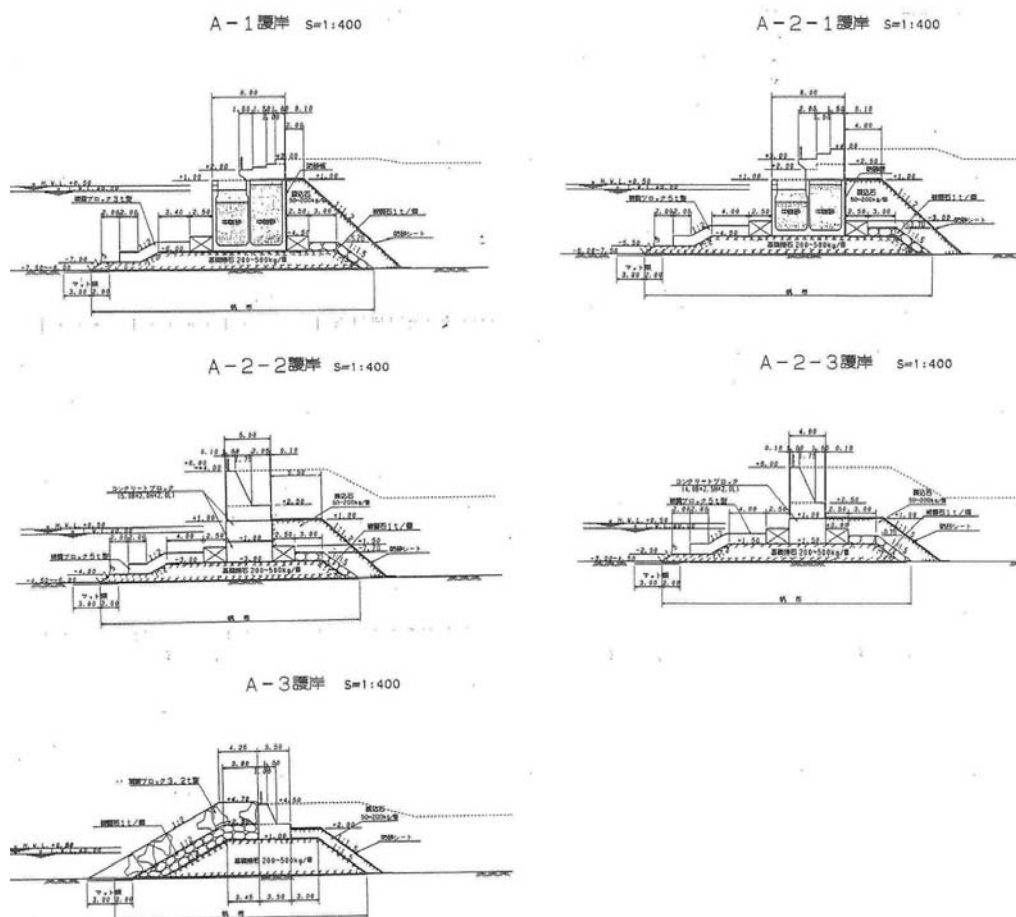


図 2.2 各護岸の断面図

2.2 計算条件

潮位は H.W.L+0.70m とした。周期は一定とし 14.2s, 入射波高, 入射角度については、表 2.1 に示す。

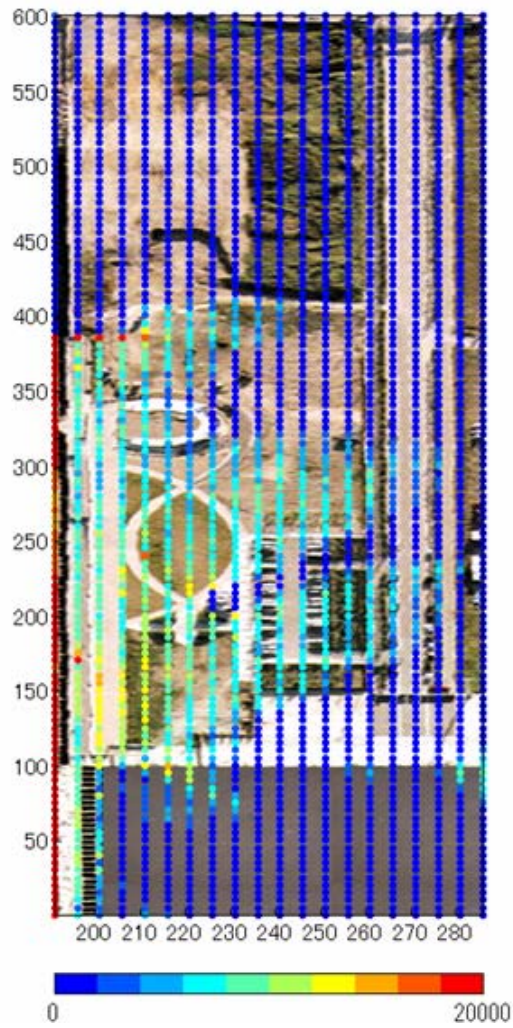
表 2.1 計算条件

| 入射波高 | 入射角度 |
|------|------------------------|
| 4.0m | 27 度 |
| 5.0m | 35 度, 27 度, 20 度, 15 度 |
| 6.0m | 35 度, 27 度 |

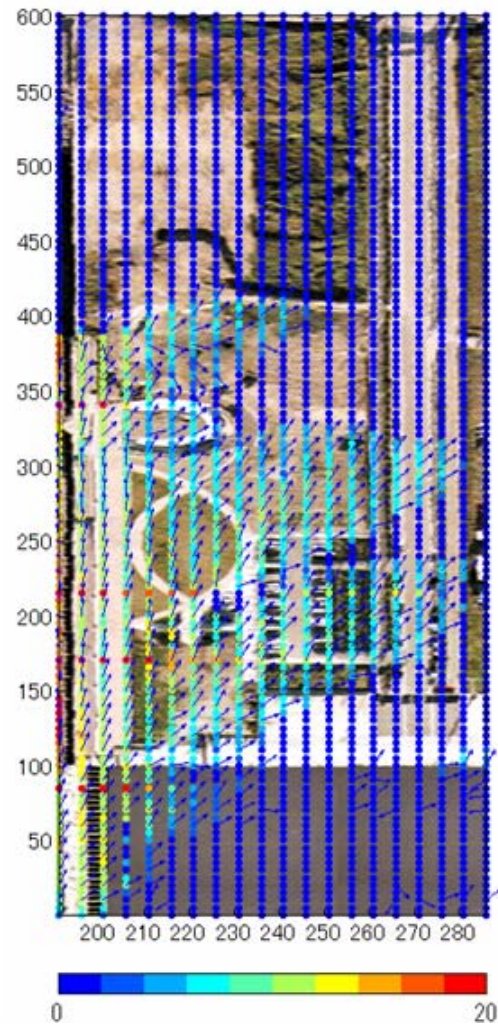
2.3 計算結果の比較

2.3.1. 入射角度による違い

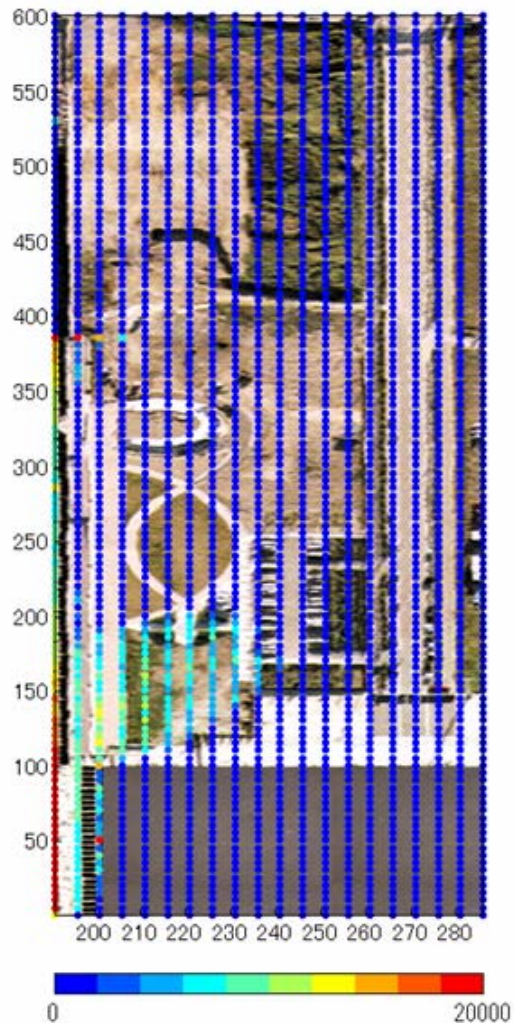
波高 5.0m のケースにおいて入射角度の違いによる，陸上部における波圧，最大流速，ならびに最大流速時における流れの向きを示す．



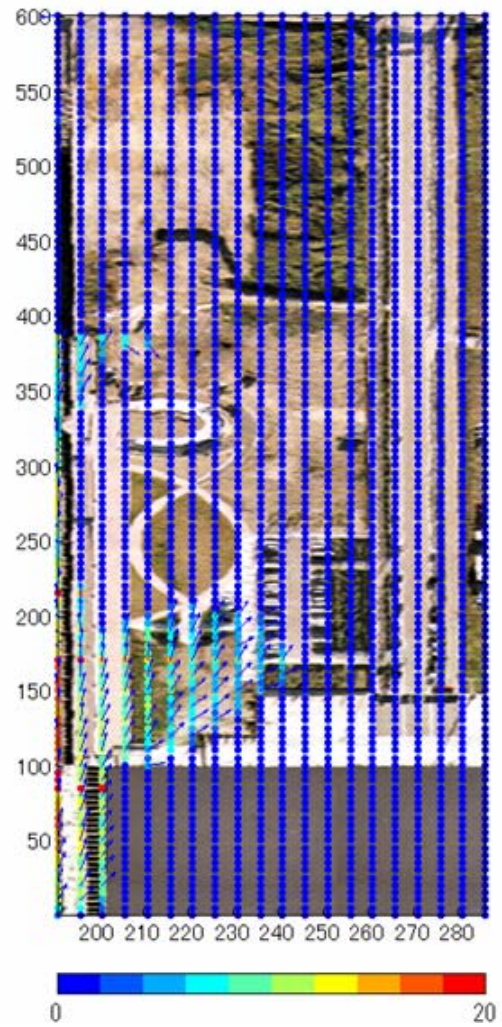
最大波圧(N/m²) (波高 5.0m, 角度 35 度)



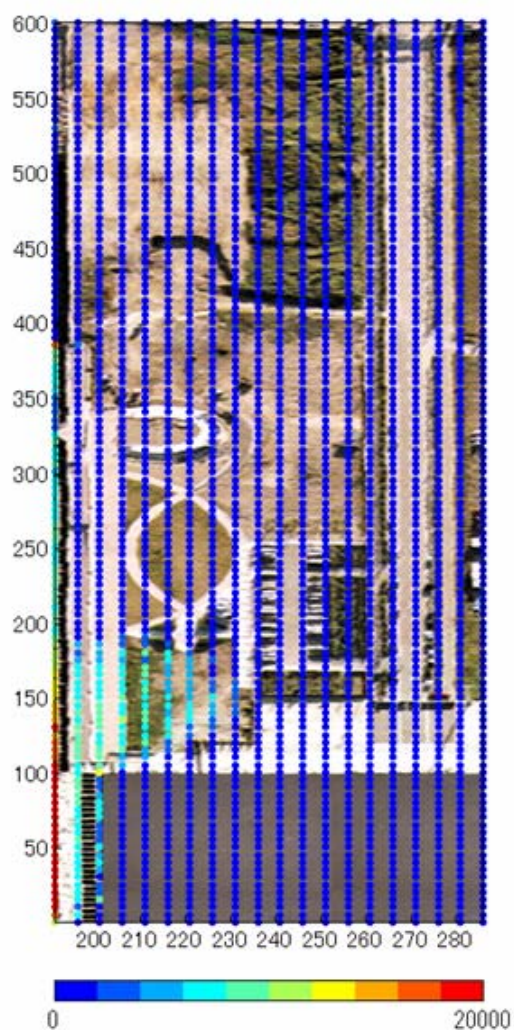
最大流速・向(m/s) (波高 5.0m, 角度 35 度)



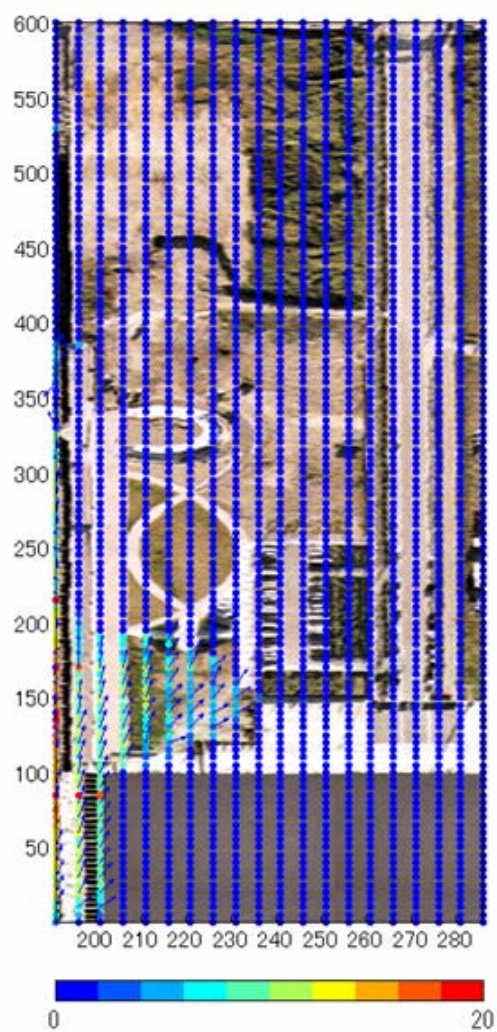
最大波压(N/m²) (波高 5.0m, 角度 20 度)



最大流速·向(m/s) (波高 5.0m, 角度 20 度)



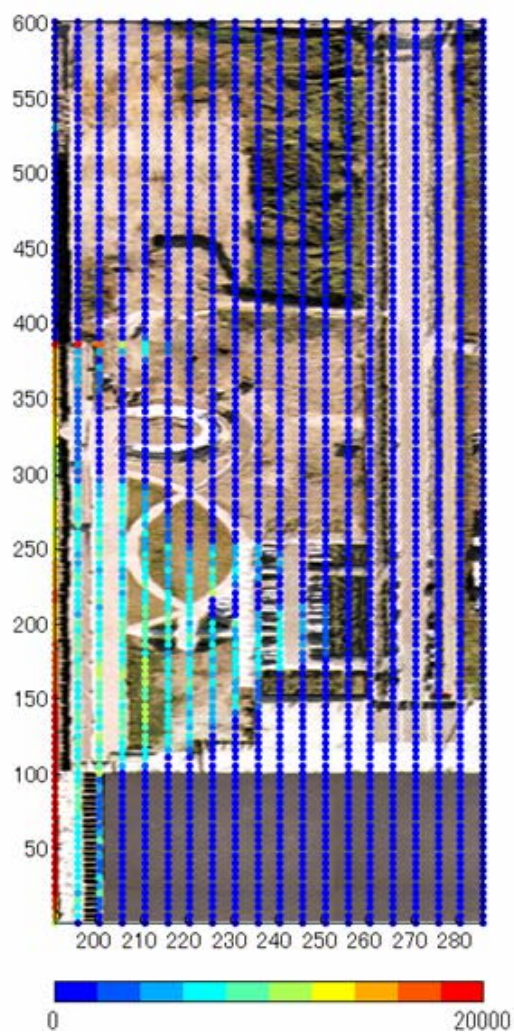
最大波圧(N/m²) (波高 5.0m, 角度 15 度)



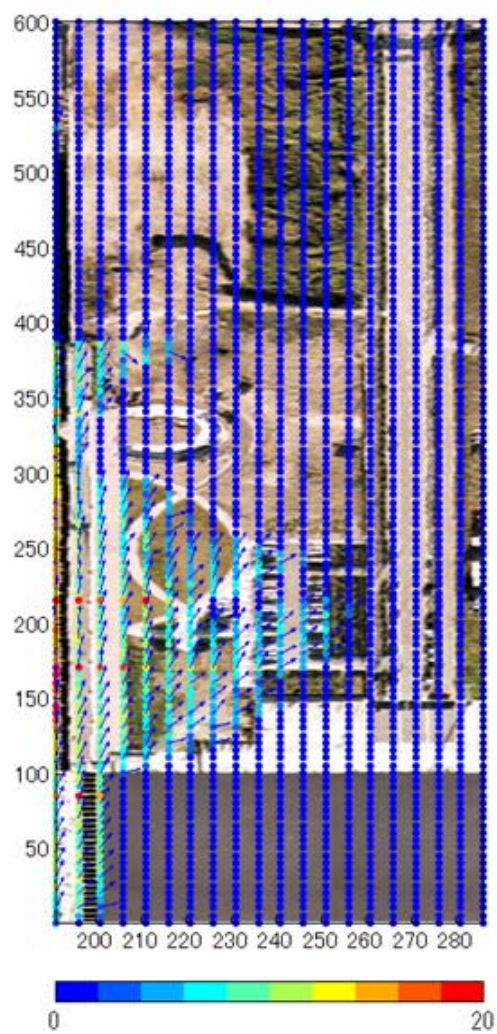
最大流速・向(m/s) (波高 5.0m, 角度 15 度)

2.3.2. 入射波高による違い

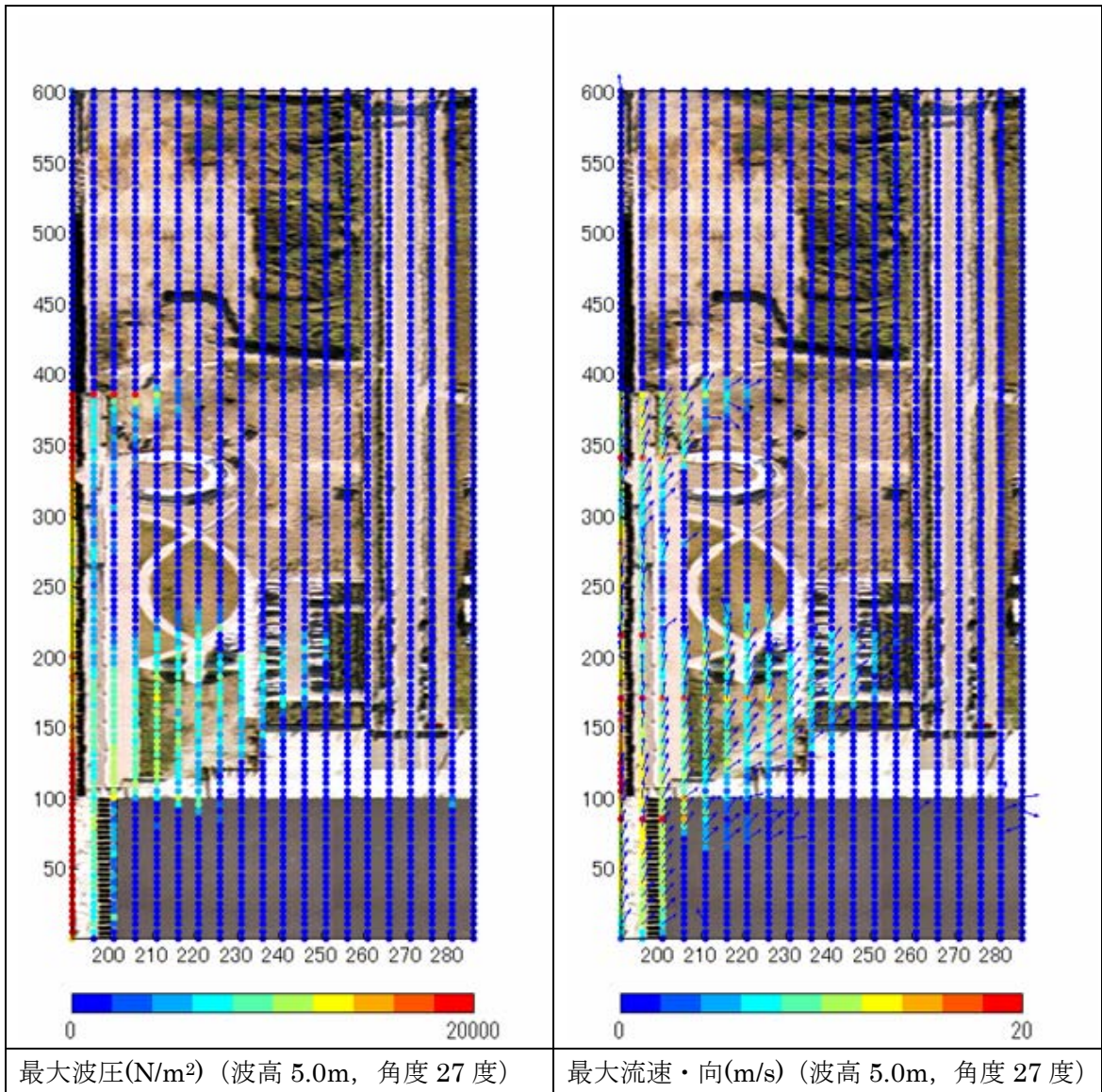
波高 4.0m, 5.0m, 6.0m, 入射角度 23 度のケースの違いについて示す.

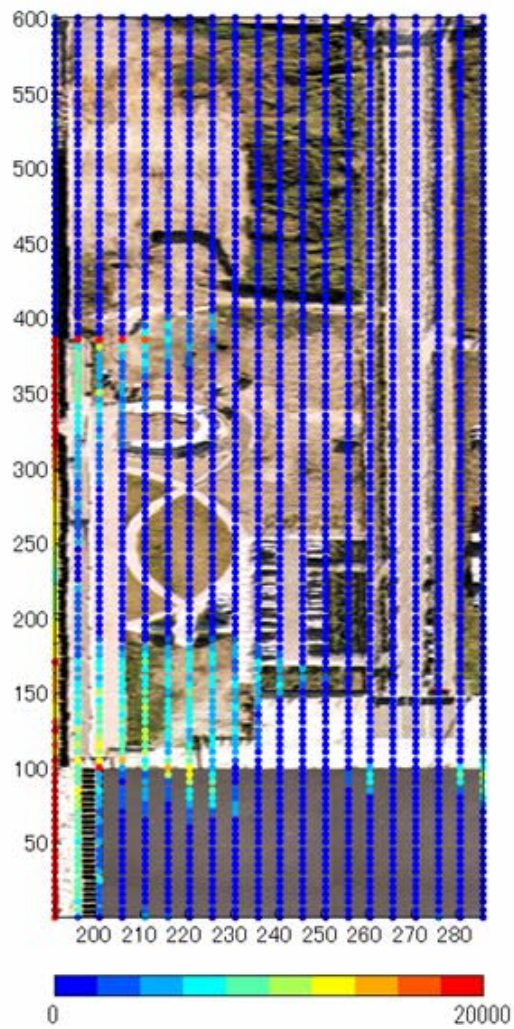


最大波压(N/m²) (波高 4.0m, 角度 27 度)

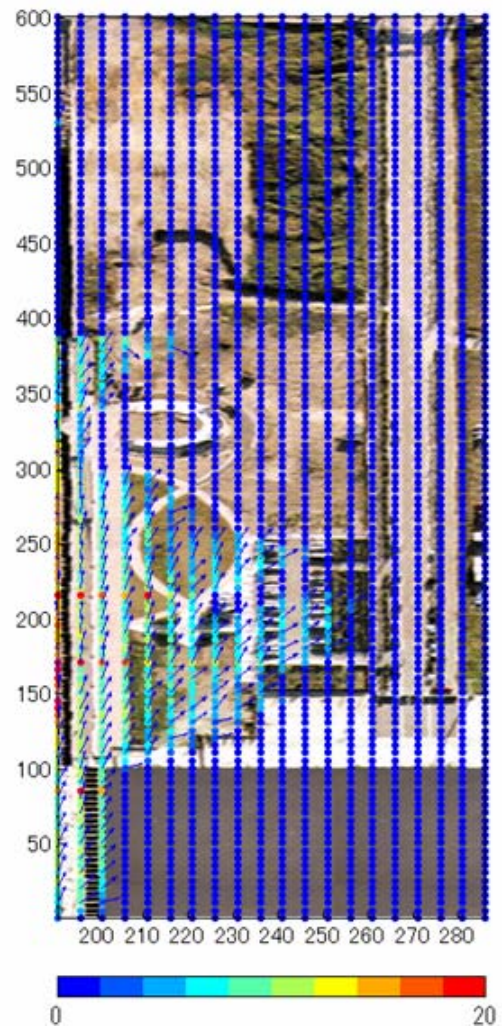


最大流速·向(m/s) (波高 4.0m, 角度 27 度)





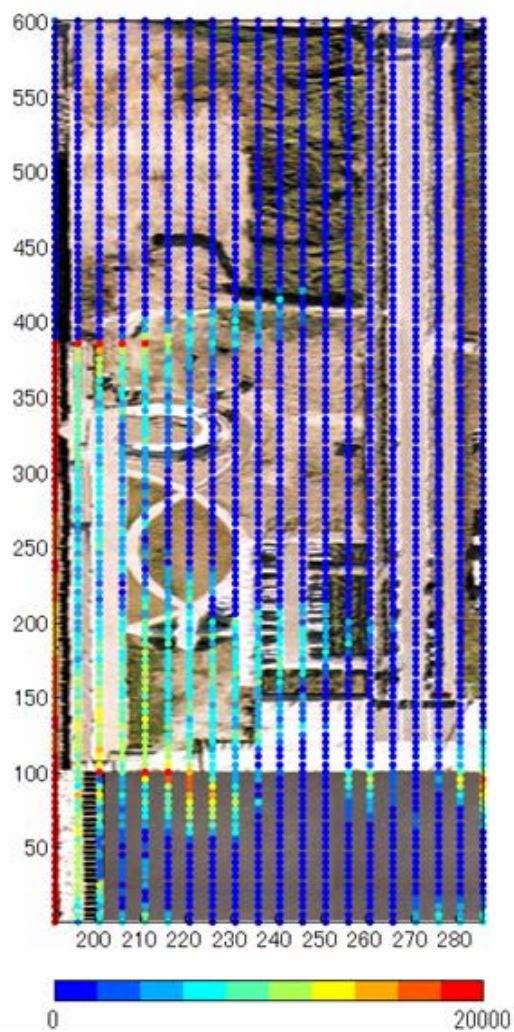
最大波压(N/m²) (波高 6.0m, 角度 27 度)



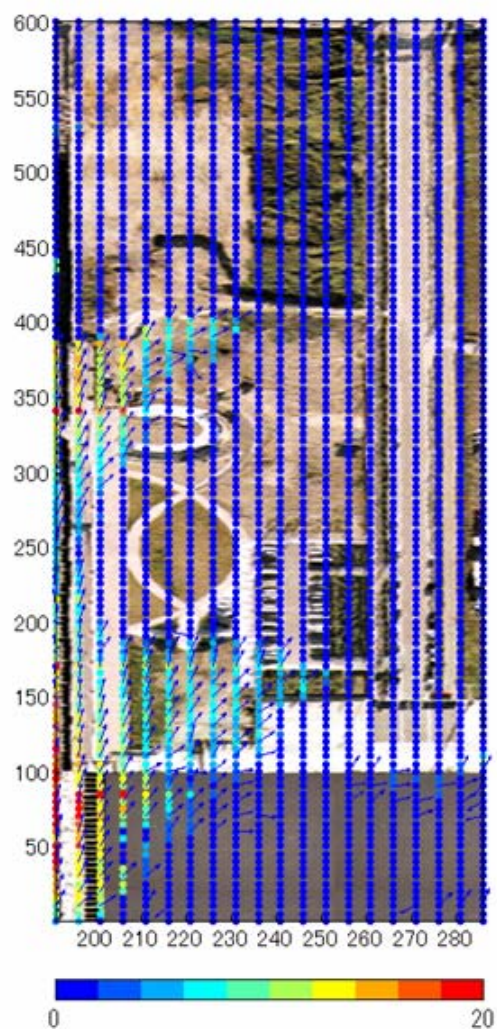
最大流速·向(m/s) (波高 6.0m, 角度 27 度)

2.3.3. 波高 6.0m, 波向 35 度のケース

今回のケースでは、もっとも大きい波と角度を持ったケースの最大波圧と流速・波向きを示す。かなり奥まで越波しているものの、歩道の破壊部での波圧の大きさはそれほど変化はない。



最大波圧(N/m²) (波高 6.0m, 角度 35 度)



最大流速・向(m/s) (波高 6.0m, 角度 35 度)

2.3.4. 波圧の時系列

入射波高 5.0m, 入射角度 27 度のケースについて, 比較的波圧が大きい場所についての時系列結果を図 2.3 に示す. x, y の表記は最大分布図の軸と一致している.

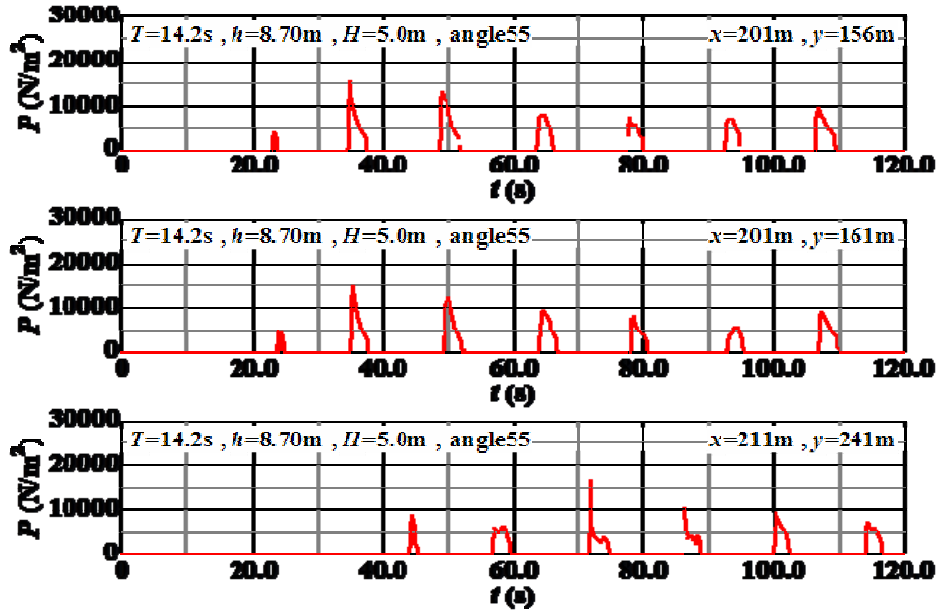
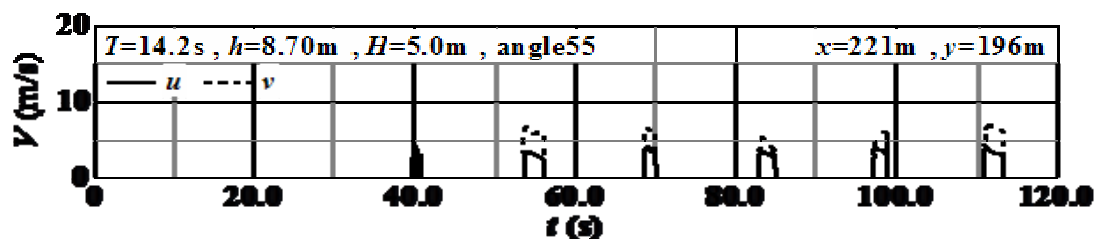
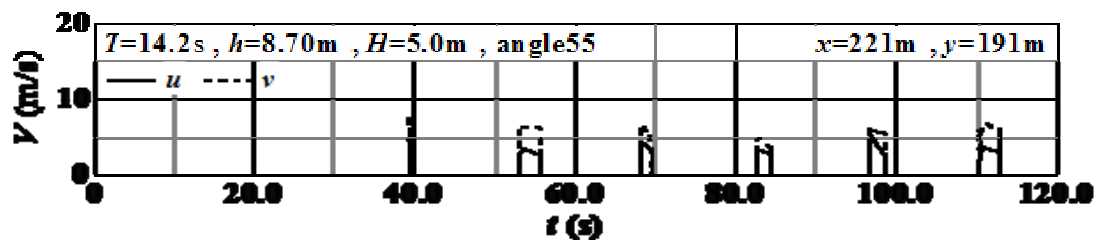
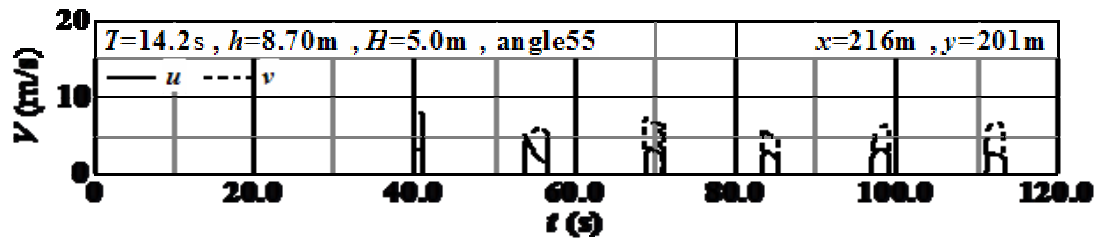
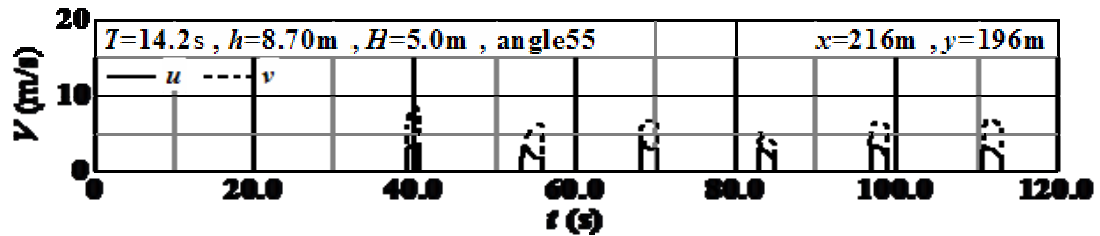
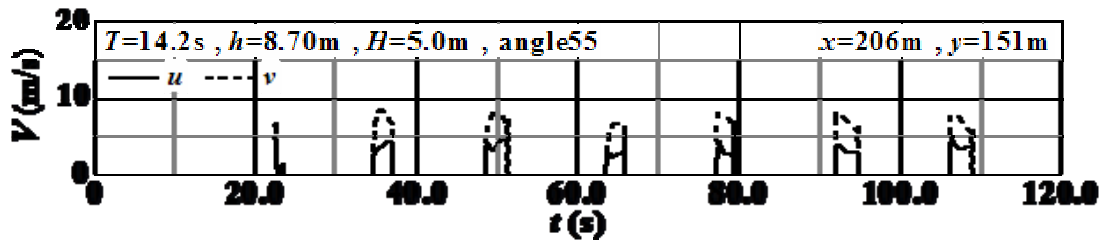
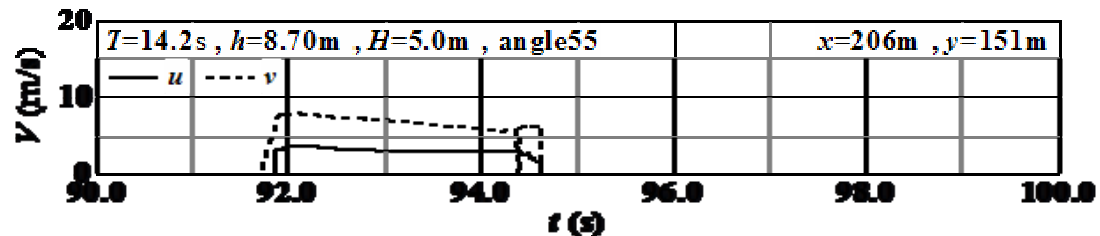
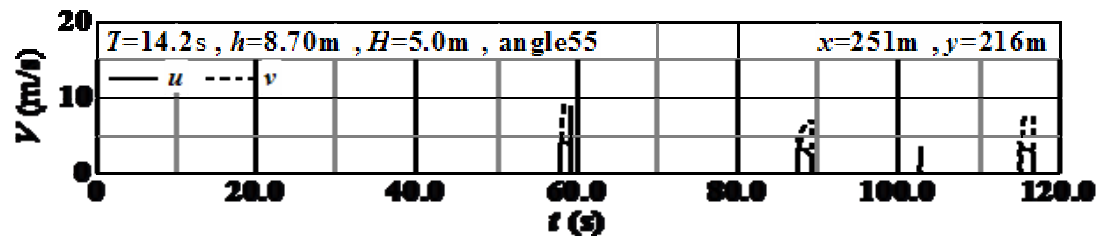
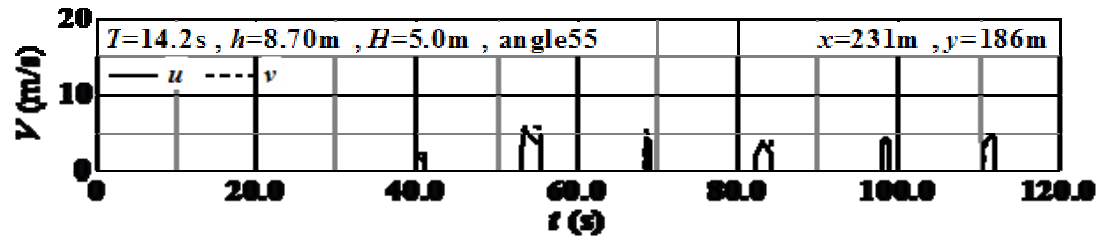
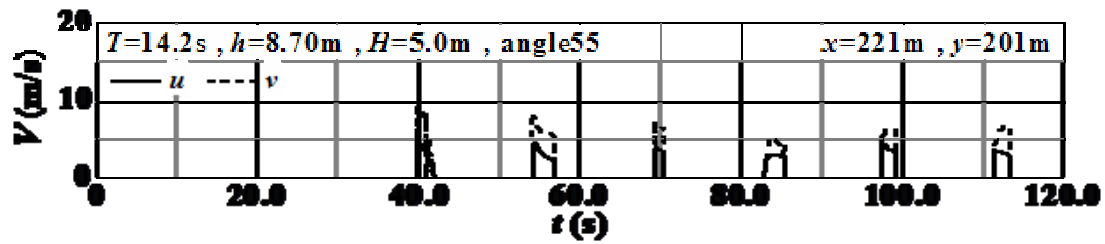


図 2.3 波圧の時系列結果

2.3.5. 流速の時系列

入射波高 5.0m, 入射角度 27 度のケースについて, 植生付近とブロックが散乱していた付近の流速の時系列を示す. ここでは, プラスしか示していない. また, 最後に $x=206\text{m}$, $y=151\text{m}$ についての拡大図を示す. これをみると, 格子間隔が 50cm では先端流速が捉え切れていないことが推測される.





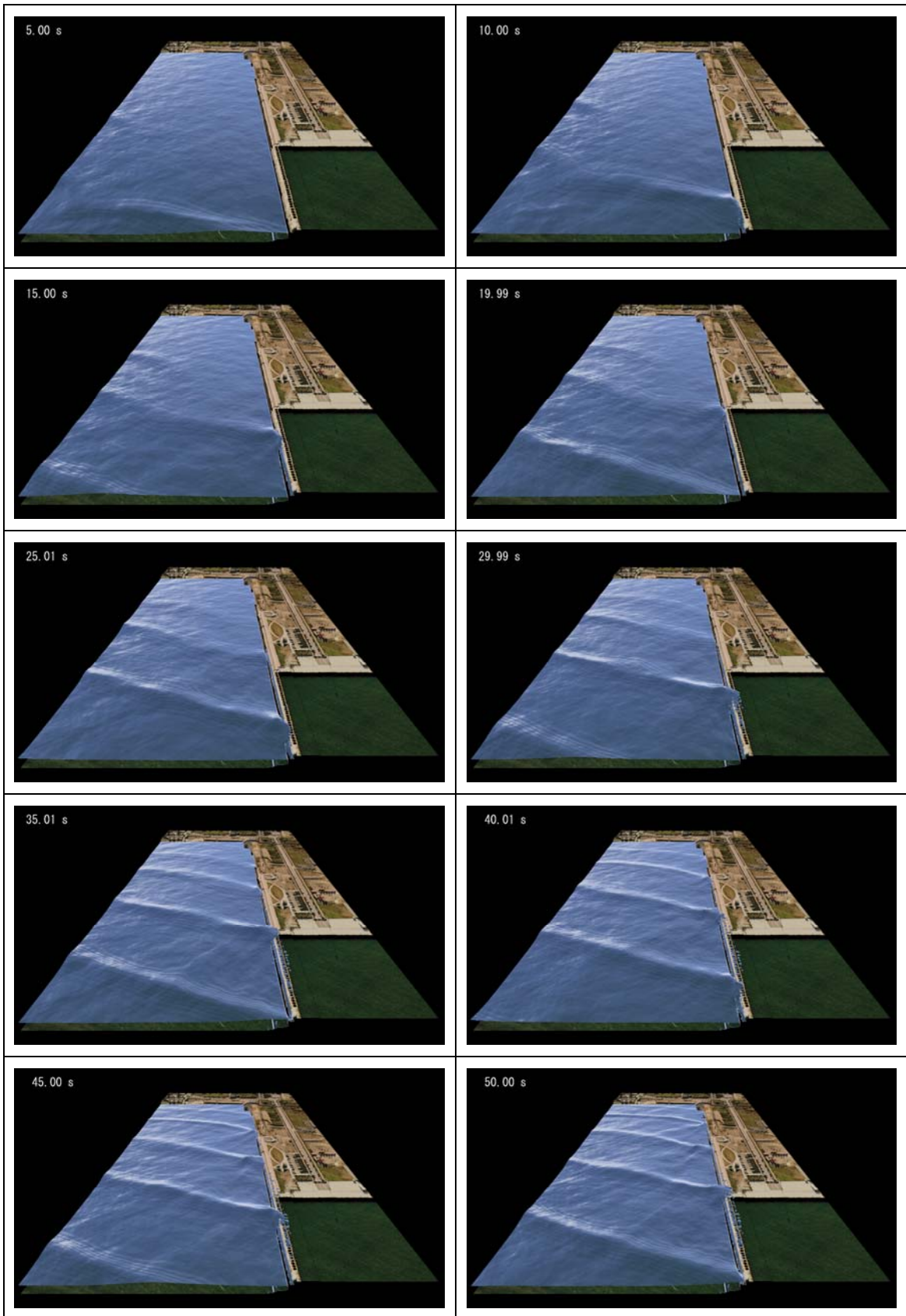
2.4 ここまでの考察

ここまで、波高 5.0m、入射角度 35 度であれば、被害推定場所がすっぽり入るくらい浸水することがわかった。防波堤の横から回り込んだ波の影響が大きい可能性があることを示している。また、陸地に浸水した水の流速は、最大値では、10m/s を越えるような波が来襲している。これは 1m 程度の浸水高さであるので、射流となった勢いのある流れが相当に流れてきていることとなる。また継続時間も 2.5s 程度と長い。仮に、10.0m/s を越えている時間が 2.5s 程度あると、被災場所にある 100kg のブロックの場合は、約 1.2 トンの力を 2.5s 程度受けることになる。つまり、加速度が 12m/s^2 となるため、一波で 37.5m 流される計算になる。仮に 5.0m/s であれば、 3m/s^2 となり、一波で 9.4m 流される。いずれにせよ、上記のような波が来た場合は、一端飛散したブロックが 100m 程度先に移動する可能性はあることになる。

今回の計算では越波力が 2 トン程度と小さい。衝撃的な波力も計算されているが、緩やかな全体荷重のほうが多い。よって、破壊形態も押抜きせん断破壊になるよりも全体的な曲げ破壊に近くなったと考えられる。ただし、スロープなど局所的な地形のでこぼこが反映されていないことや、格子が粗い影響による波圧の減衰は生じていると考えられるため、衝撃的な力はその数倍程度は作用している箇所が局所的にある可能性は十分に考えられる。

[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



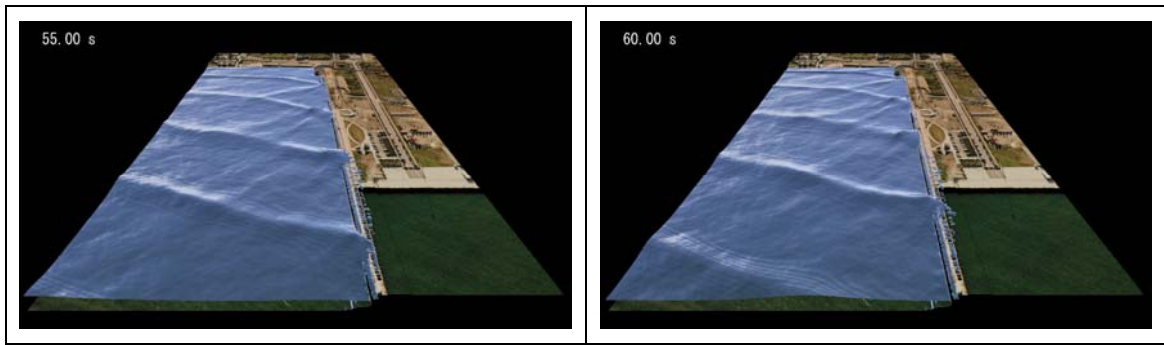


図 8 空間波浪変形 (60s まで, 波高 5.0m, 入射角度 27 度)

砕波する状況 (横位置)

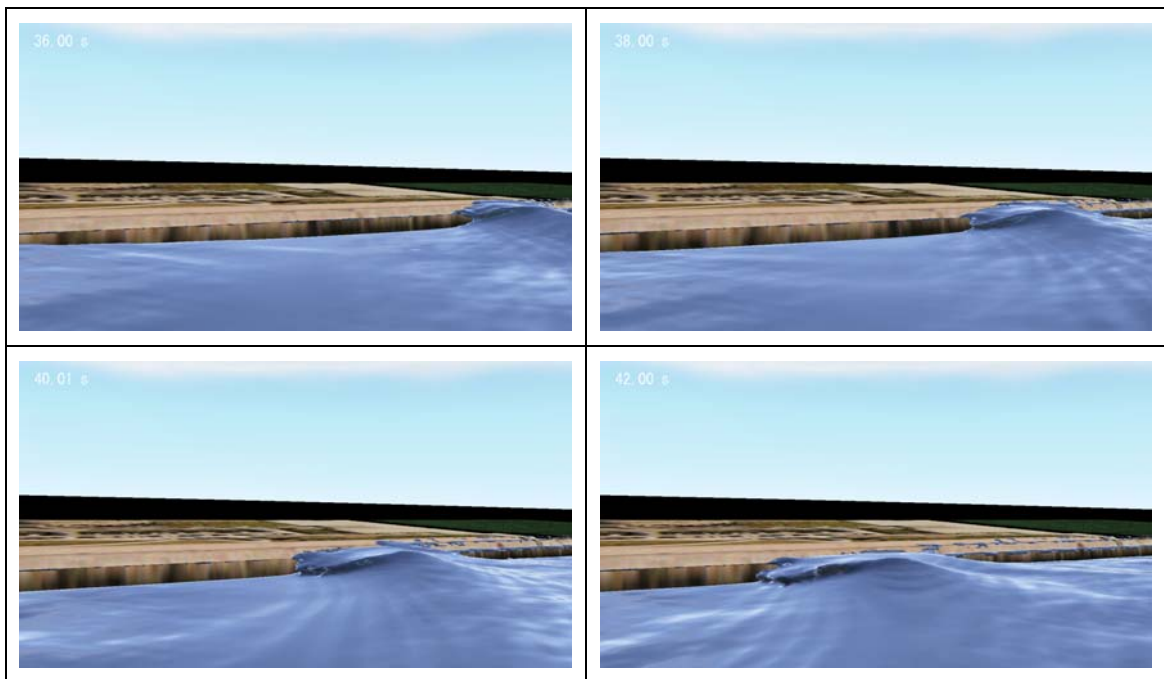
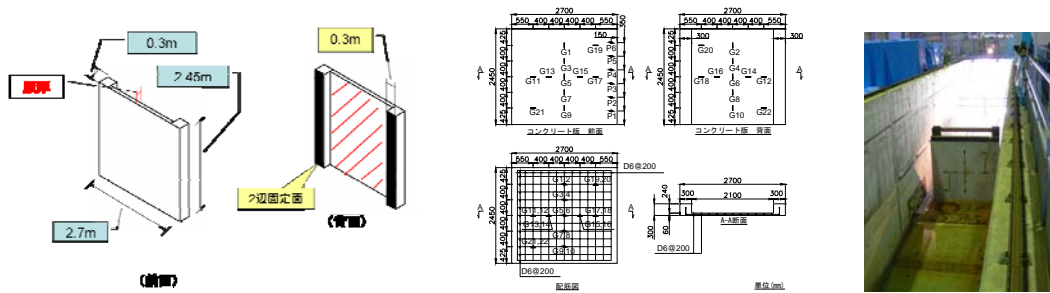


図 9 空間波浪変形 (砕波している様子, 波高 5.0m, 入射角度 27 度)

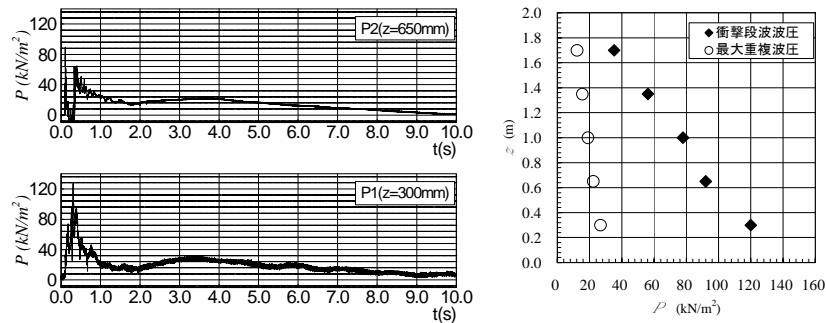
[参考資料]

・コンクリート版の破壊・変形に関する考察

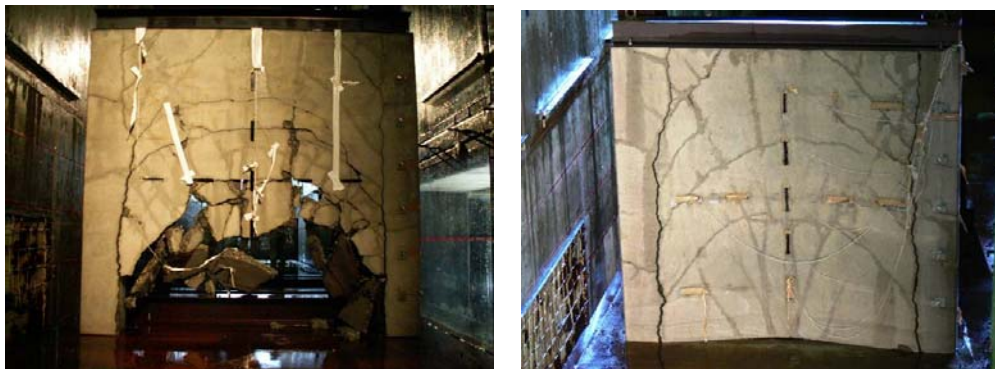
有川ら(2007)では、コンクリート版の破壊・変形に関して大規模な実験を行い、その報告をしている。それによると、図参1のようなコンクリート版を水路に設置し、図参2のような衝突力を持ち、最大圧力に関する鉛直分布を持つ波力を作用させた。そうしたところ版厚6cmでは完全な押抜きせん断破壊が生じ、10cmではヒビが入り全体破壊にいたった(図参3)。そのため、設計強度の4倍程度以上の衝撃波力が作用すると壊れる破壊に至ることがわかった。それらの一連の実験から、図参4のような破壊の違いが見て取れる。今回の歩道などの破壊の様子からどの程度の力が作用したかの参考になるかもしれない。ただし、歩道の下が空洞でないと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



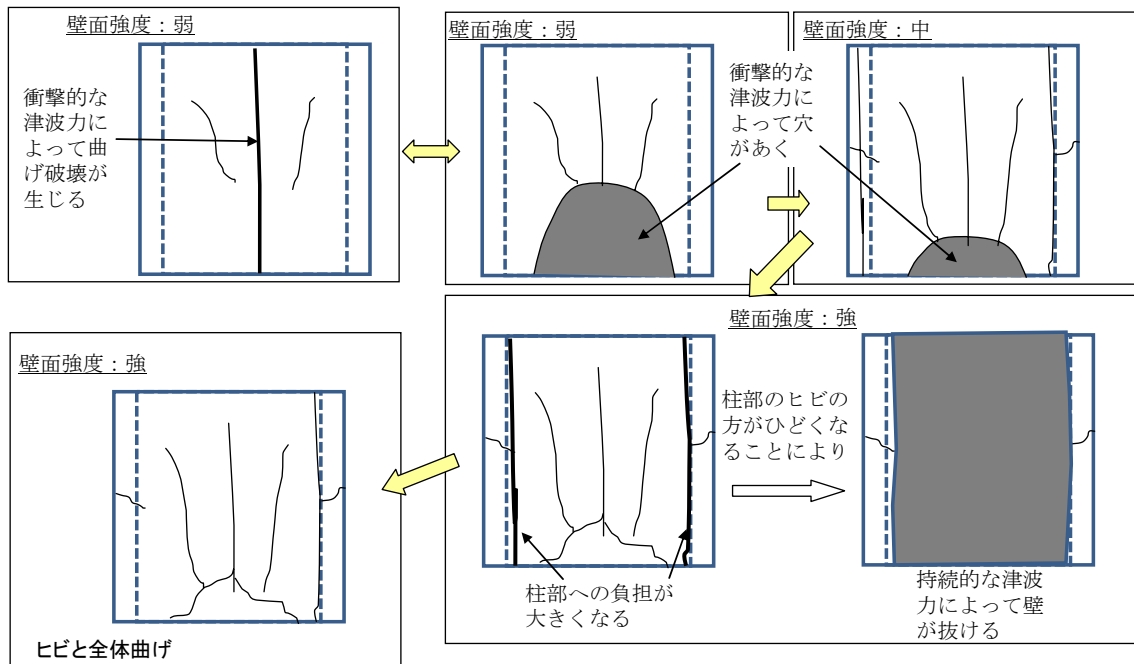
図参1 コンクリート版の図面・設置の様子



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

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

【資料-4】

第3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

今回の被災を踏まえた
設計波の考え方

平成20年6月19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

～ 目 次 ～

| | | |
|----------------------|-------|---|
| 1. 概 要 | ----- | 1 |
| 2. 伏木地区北防波堤の対応 | ----- | 1 |
| 2.1 設計波浪条件 | ----- | 1 |
| 2.2 安定性照査フロー | ----- | 1 |
| 2.3 消波ブロックの質量算定 | ----- | 2 |
| 2.4 防波堤天端高 | ----- | 2 |
| 3. 長周期うねりに対する今後の課題 | ----- | 2 |
| 4. 参考資料（省令・告示・基準の抜粋） | ----- | 3 |

1. 概要

伏木富山港（伏木地区）防波堤（北）（A-2～D'区間）で、平成20年2月に長周期うねりによる被害が生じたため、今後、以下の設計波で防波堤の設計を行うことを提案する。

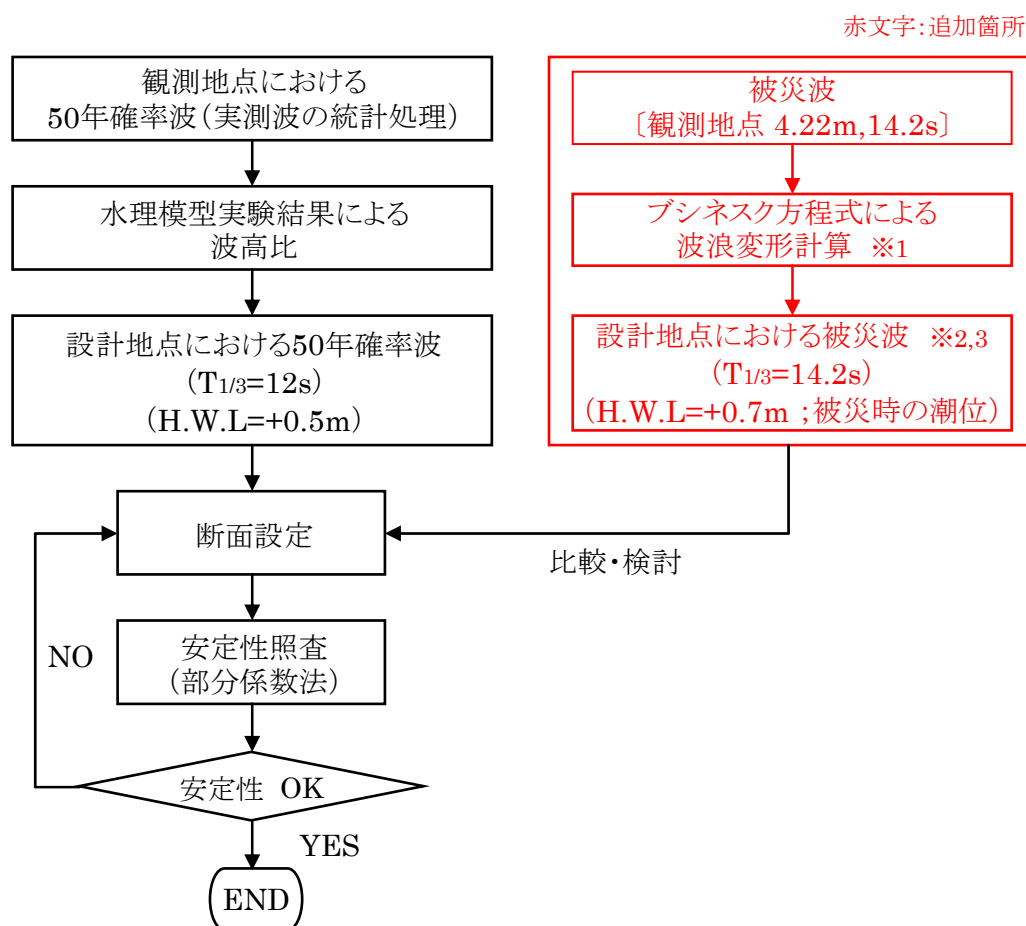
2. 伏木地区北防波堤の対応

2.1 設計波浪条件

伏木地区北防波堤では、再度災害を防止する観点から、図2-1に示すとおり、従来の50年確率波と今回の被災波を比較検討して設計する。また、被災時の潮位も考慮する。

なお、H19.4の省令・告示、技術基準の改訂では、防波堤の要求性能及び性能規定で、変動波浪（従来の設計波）に加え、偶発波浪（参考資料参照）の作用による規定が設けられたが、今回の被災波は、周期は長いが波高は高くない（20年確率波相当）ため、変動波浪としての取り扱いとする。

2.2 安定性照査フロー



※1 計算に用いるスペクトル形は、修正 JONSWAP 型スペクトル ($\gamma=3.3$) とし、沖側最大水深は、150m とする。

※2 波圧算定に用いる波高のため、設計対象の防波堤がない状態での「進行波（通過波）」とする。

※3 「堤体から 25m 地点」に波高算定地点を設定し、「ゼロアップ・クロス法」により有義波高を求めるとする。

図 2-1 安定照査のフロー

2.3 消波ブロックの質量算定（消波ブロック被覆堤）

消波ブロック被覆堤の消波ブロックは、波圧低減という重要な役目を果たしており、飛散等が生じた場合は、今回の被災のように、堤体の安定性が著しく損なわれるため、50年確率波と被災波を比較検討して所要質量を求める。

2.4 防波堤天端高

防波堤の天端高は、静穏度の確保が目的であることから、50年確率波により決定する。

3. 長周期うねりに対する今後の課題

日本各地で長周期うねりが観測されて来ていることから、長周期うねりが発生する可能性のある港湾に対しては、以下の課題が考えられる。

- ①風波と長周期うねりを区別した50年確率波高の算定
- ②合田式には、波浪による水位上昇が一定含まれているため、その取り扱い
- ③長周期を考慮した推算技術の向上
- ④その他

表 3-1 （参考）管内第1線防波堤の設計周期

| 港名 | 新潟東 | 新潟西 | 直江津 | 輪島 | 金沢 | 福井 | 敦賀 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| 周期(sec) | 14.6 | 14.0 | 12.1 | 12.8 | 12.7 | 13.1 | 13.0 |

定義

- うねり：周期 8s～20s（港湾によっては 8s～30s）の波浪
- 長周期うねり：周期 14s～20s の波浪（←被災波）
＝偶発波浪（省令・告示による定義等は、参考資料参照）
- 長周期波：周期 30s～300s（港湾によっては 20s～300s）の水面変動

8. 参考資料

○用語の定義（省令）

（用語の定義）

第一条 この省令において使用する用語は、港湾法（昭和二十五年法律第二百十八号）において使用する用語の例によるほか、次の各号に掲げる用語の定義は、それぞれ当該各号に定めるところによる。

- 一 要求性能 技術基準対象施設に必要とされる性能をいう。
- 二 変動波浪 技術基準対象施設を設置する地点において発生するものと想定される波浪のうち、当該施設の設計供用期間（技術基準対象施設の設計に当たって、当該施設の要求性能を満足し続けるものとして設定される期間をいう。以下同じ。）中に発生する可能性の高いものをいう。
- 三 偶発波浪 技術基準対象施設を設置する地点において発生するものと想定される波浪のうち、当該施設の設計供用期間中に発生する可能性が低く、かつ、当該施設に大きな影響を及ぼすものをいう。
- 四 レベル一地震動 技術基準対象施設を設置する地点において発生するものと想定される地震動のうち、地震動の再現期間と当該施設の設計供用期間との関係から当該施設の設計供用期間中に発生する可能性の高いものをいう。
- 五 レベル二地震動 技術基準対象施設を設置する地点において発生するものと想定される地震動のうち、最大規模の強さを有するものをいう。
- 六 耐震強化施設 港湾計画の基本的な事項に関する基準を定める省令（昭和四十九年運輸省令第三十五号）第十六条に定める大規模地震対策施設又は大規模な地震が発生した場合においてこれと同等の機能を有する必要がある施設であって、技術基準対象施設であるものをいう。

○偶発波浪の再現期間等（告示）

4 波浪

【告示】（波浪）

第八条 波浪については、性能規定及び性能照査で考慮する一の作用又は二以上の作用の組合せの状態に応じて、次の各号に定める方法により設定するものとする。

- 一 施設の安定性、構造部材の断面の破壊（疲労によるものを除く。）等の照査に用いる波浪については、長期間の実測値又は推算値をもとに、統計的解析等により再現期間に対応した波浪の波高、周期及び波向を適切に設定するものとする。
- 二 構造部材に関する施設の機能の確保及び疲労による断面の破壊の照査に用いる波浪については、長期間の実測値又は推算値をもとに、統計的解析により設計供用期間中に高頻度で発生する波浪の波高、周期、波向等を適切に設定するものとする。
- 三 静穏度の照査に用いる波浪については、長期間の実測値又は推算値をもとに、一定期間の波浪の波高、周期及び波向の相関頻度分布を適切に設定するものとする。

【解説】

（1）施設の安定性の照査及び構造部材の断面の破壊の照査等に用いる波浪

①変動波浪の再現期間

主たる作用が変動波浪の変動状態に対する使用性の照査において考慮する波浪の設定に当たっては、当該施設の目的や要求性能を満足するとともに、当該施設の設計供用期間及び重要度、並びに当該地点の自然状況等を適切に考慮して、波浪の再現期間を適切に設定する。

②偶発波浪の再現期間等

主たる作用が偶発波浪の偶発状態に対する照査において考慮する波浪の設定に当たっては、該当海域で発生しうる波の中で施設に最も厳しくなる波浪あるいは再現期間100年以上の波浪を適切に設定する。

③実測値又は推算値の期間

長期間の実測値又は推算値とは、30年以上を標準とする。

○防波堤の要求性能（省令・告示）

2 防波堤に共通する事項

【省令】（防波堤の要求性能）

第十四条 防波堤の要求性能は、港湾内の水域の静穏を維持することにより、船舶の安全な航行、停泊又は係留、貨物の円滑な荷役及び港湾内の建築物、工作物その他の施設の保全を図るものとして、構造形式に応じて、次の各号に定めるものとする。

一 港湾内に侵入する波浪を低減することができるよう、国土交通大臣が定める要件を満たしていること。

二 自重、変動波浪、レベル地震動等の作用による損傷等が、当該防波堤の機能を損なわず継続して使用することに影響を及ぼさないこと。

2 前項に規定するもののほか、次の各号に掲げる防波堤の要求性能にあつては、それぞれ当該各号に定めるものとする。

一 高潮又は津波から当該防波堤の背後地を防護する必要がある防波堤の要求性能 高潮又は津波による港湾内の水位の上昇及び流速を適切に抑制できるよう、国土交通大臣が定める要件を満たしていること。

二 不特定かつ多数の者の利用に供する防波堤の要求性能 当該防波堤の利用者の安全を確保できるよう、国土交通大臣が定める要件を満たしていること。

三 当該防波堤の被災に伴い、人命、財産又は社会経済活動に重大な影響を及ぼすおそれのある防波堤の要求性能 構造形式に応じて、津波、偶発波浪、レベル地震動等の作用による損傷等が、当該防波堤の機能が損なわれた場合であっても、当該防波堤の構造の安定に重大な影響を及ぼさないこと。ただし、津波から当該防波堤の背後地を防護する必要がある防波堤の要求性能にあつては、津波、レベル地震動等の作用による損傷等が、軽微な修復による当該防波堤の機能の回復に影響を及ぼさないこと。

【告示】（防波堤の性能規定）

第三十四条 防波堤に共通する性能規定は、次の各号に定めるものとする。

一 第三十一条第三号に規定する静穏度を満たすよう適切に配置され、かつ、許容される伝達波高以下となる所要の諸元を有すること。

二 消波構造を有する防波堤にあつては、所要の消波機能を発揮できる諸元を有すること。

2 前項に規定するもののほか、次の各号に掲げる防波堤の性能規定にあつては、それぞれ当該各号に定めるものとする。

一 高潮から背後地を防護する必要がある防波堤の性能規定 高潮による港湾内の水位の上昇及び流速を低減させるよう適切に配置され、かつ、所要の諸元を有すること。

二 津波から背後地を防護する必要がある防波堤の性能規定 津波による港湾内の水位の上昇及び流速を低減させるよう適切に配置され、かつ、所要の諸元を有すること。

三 不特定かつ多数の者の利用に供する防波堤の性能規定 当該施設が置かれる自然状況、利用状況等に応じて、利用者の安全を確保できるよう、所要の諸元を有すること。

四 当該施設の被災に伴い人命、財産又は社会経済活動に重大な影響を及ぼすおそれのある防波堤の性能規定 主たる作用が津波、偶発波浪又はレベル地震動である偶発状態に対して、要求性能に応じて、作用による損傷の程度が限界値以下であること。

【解説】

2.3 偶発対応施設の防波堤

偶発対応施設の防波堤については、以下の記述を参照のこと。

(1) 偶発対応施設の重力式防波堤

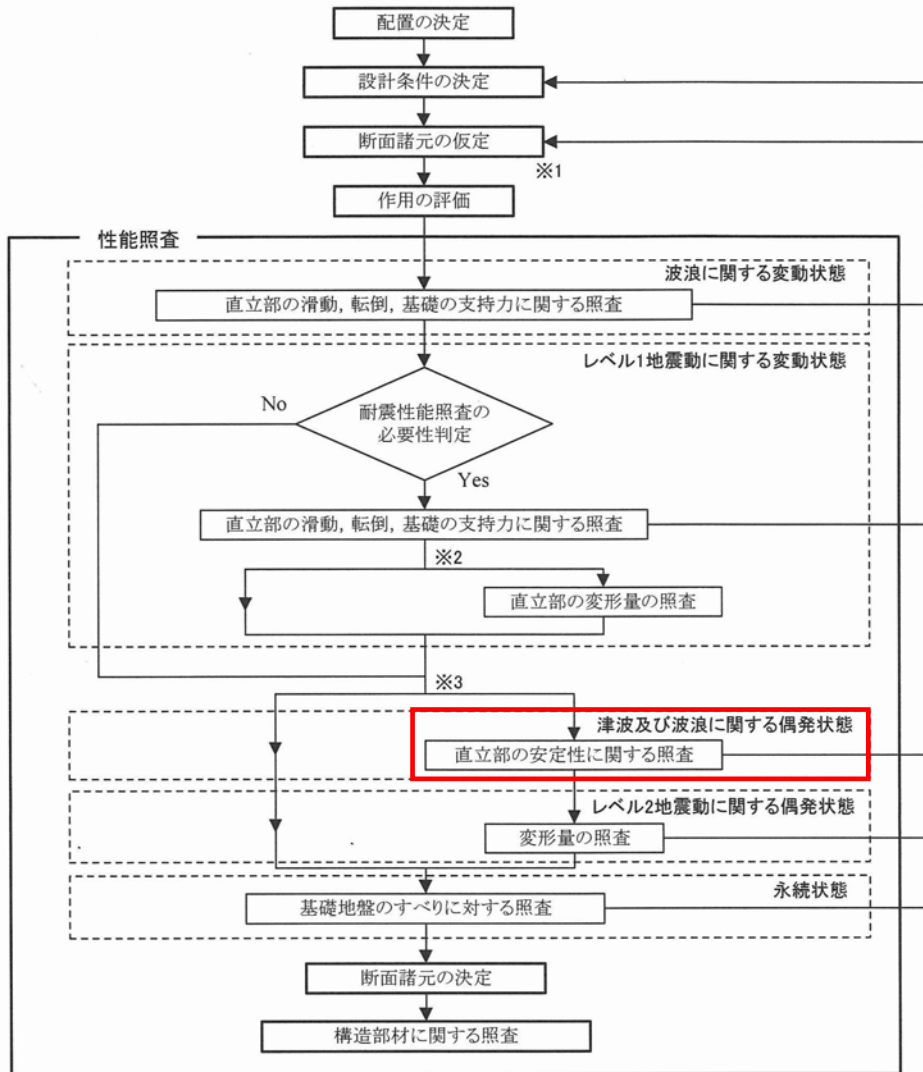
① 概説

偶発対応施設の重力式防波堤の性能規定及び設計状態（偶発状態に限る）に関する設定は表－2.2.1のとおりである。

表－2.2.1 偶発対応施設の重力式防波堤の性能規定及び設計状態（偶発状態に限る）に関する設定

| 省令 条：項：号 | 告示 条：項：号 | 要求性能 状態 | 設計状態 | | 照査項目 | 標準的な限界値の指標 |
|-------------|-------------|---------------|-------|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | | | 主たる作用 | 従たる作用 | | |
| 14：2：3 | 34：2：4 | 偶発 安全性・修復性 | L2地震動 | 自重、水圧 | 堤体の変形 | 残留変形量の限界値 |
| | | | 津波 | 自重、水圧、水の流れ | 堤体の滑動・転倒、基礎地盤の支持力 | 滑動に関する限界値 転倒に関する限界値 支持力に関する限界値 |
| | | 偶発波浪 | 自重、水圧 | 堤体の滑動・転倒、基礎地盤の支持力 | 滑動に関する限界値 転倒に関する限界値 支持力に関する限界値 | |

○性能照査順序の例（基準 下 P825）



- ※1：液状化及び沈下の影響の評価については表示していないため、別途考慮する必要がある。
- ※2：必要に応じて、レベル1地震動に対して動的解析による変形量の検討を行うことができる。なお、当該施設の被災により人命及び財産並びに社会活動に重大な影響を及ぼすと想定される施設にあっては、動的な検討により変形量の検討を行うことが望ましい。
- ※3：当該施設の被災により人命及び財産並びに社会活動に重大な影響を及ぼすと想定される施設は、必要に応じて偶発状態に対する照査を行うことが望ましい。なお、波浪に関する偶発状態の照査は、直背後に危険物を取り扱う施設等があり、当該施設の被災により甚大な影響が及ぶと想定される場合に行う。

図-3.1.1 混成堤の性能照査順序の例

第3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

被災施設の対応（防波堤）

平成20年6月19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

～ 目 次 ～

| | | |
|-------------------|-------|---|
| 1. 北防波堤の復旧断面 | ----- | 1 |
| 1.1 復旧の対象 | ----- | 1 |
| 1.2 復旧の方法 | ----- | 1 |
| 1.3 復旧安全率及び消波ブロック | ----- | 1 |
| 1.4 復旧断面 | ----- | 2 |

1. 北防波堤の復旧断面

1.1 復旧の対象

復旧の対象は、以下のとおりとした。

- ①消波ブロックの沈下が消波ブロック高さの 1/3～2/3 程度以上認められる範囲
- ②ケーソンが港内側へ滑動し、基礎捨石から外れ、据え直しが必要な範囲（4 函）
- ③ケーソン本体が損傷した箇所（ケーソン側壁、中詰工）
- ④パラペットが損傷した範囲

1.2 復旧の方法

再度災害防止の観点から、現在の防波堤断面と施工性を考慮し、ケーソンが基礎捨石から外れた区間の据え直し、消波ブロックのランクアップ（沈下範囲）、滑動安全率を確保するための港内側の捨石補強による対応とした。その他は、原形復旧とした。

1.3 復旧安全率及び消波ブロック

表 1-1 に堤体の復旧前後の安全率、表 1-2 に復旧に使用する消波ブロックの質量を示す。

表 1-1 堤体の復旧前後の安全率

| 項 目 | B区間 | C区間 | D区間 |
|-------------------------|-------|-------|-------|
| 設計条件(被災波) | | | |
| 波高 $H_{1/3}$ (m) | 5.84 | 5.45 | 6.17 |
| 最大波高 H_{max} (m) | 9.54 | 8.79 | 8.96 |
| 周期 $T_{1/3}$ (s) | 14.2 | 14.2 | 14.2 |
| 潮位+0.70 (m) | | | |
| 被災後の安全率(区間最小) | | | |
| 【滑動】 $F_s \geq 1.2$ | 0.926 | 1.077 | 0.957 |
| 【転倒】 $F_s \geq 1.2$ | 1.049 | 1.667 | 1.462 |
| 【基礎の支持力】 $F_s \geq 1.0$ | 1.004 | 1.142 | 1.05 |
| 復旧後の安全率(区間最小) | | | |
| 【滑動】 $F_s \geq 1.2$ | 1.227 | 1.283 | 1.245 |
| 【基礎の支持力】 $F_s \geq 1.0$ | 1.080 | 1.227 | 1.093 |

表 1-2 復旧の消波ブロックの質量

ランクアップ

| 区 間 | A-2区間 | B区間 | C区間 | D区間 |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| ブロック種類 | テトラ | ホール | テトラ | テトラ |
| 設計波H(m) | 6.40 | 5.84 | 5.45 | 6.17 |
| コンクリート密度 ρ_r | 2.30 | 2.30 | 2.30 | 2.30 |
| 海水密度 ρ_w | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 |
| Sr | 2.23 | 2.23 | 2.23 | 2.23 |
| KD値 | 8.3 | 8.5 | 8.3 | 8.3 |
| $\cot \alpha$ | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 |
| 所要質量(t/個) | 25.83 | 19.17 | 15.95 | 23.15 |
| 公称規格 | 32t型 | 20t型 | 20t型 | 32t型 |
| 実質量(t/個) | 28.75 | 19.94 | 18.40 | 28.75 |
| 現 設 計 | | | | |
| 公称規格 | 25t型 | 16t型 | 20t型 | 25t型 |
| 実質量(t/個) | 23.00 | 15.77 | 18.40 | 23.00 |

1.4 復旧断面

図 1-1～4 に復旧断面を示す。

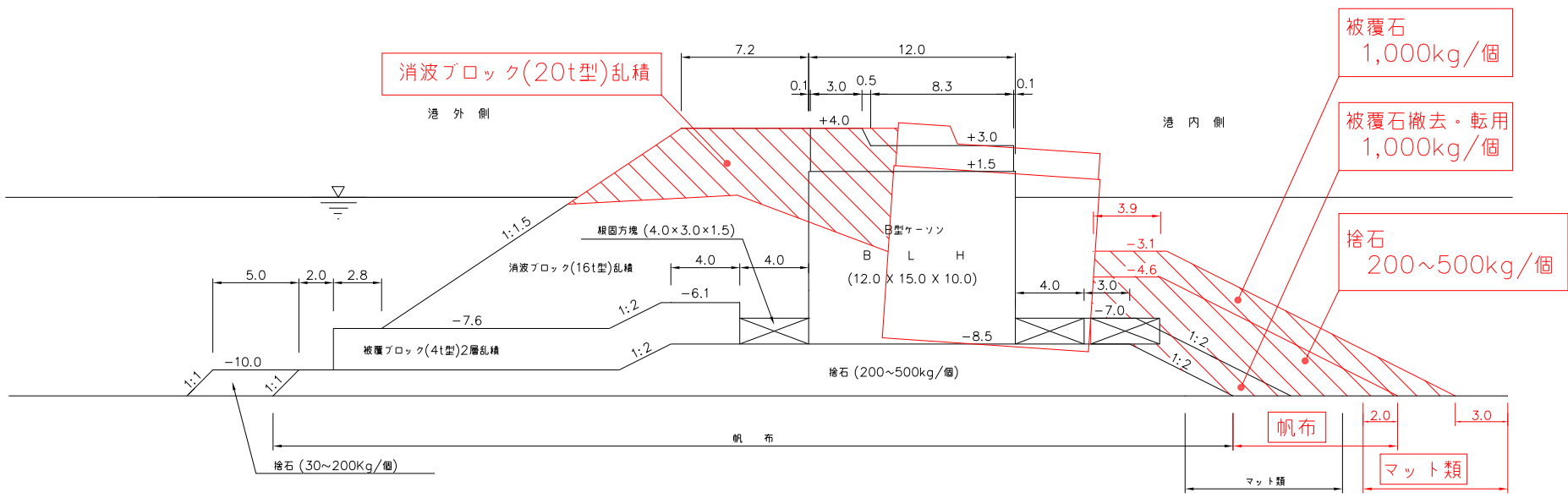
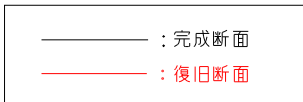


図 1-1 B 区間復旧断面図

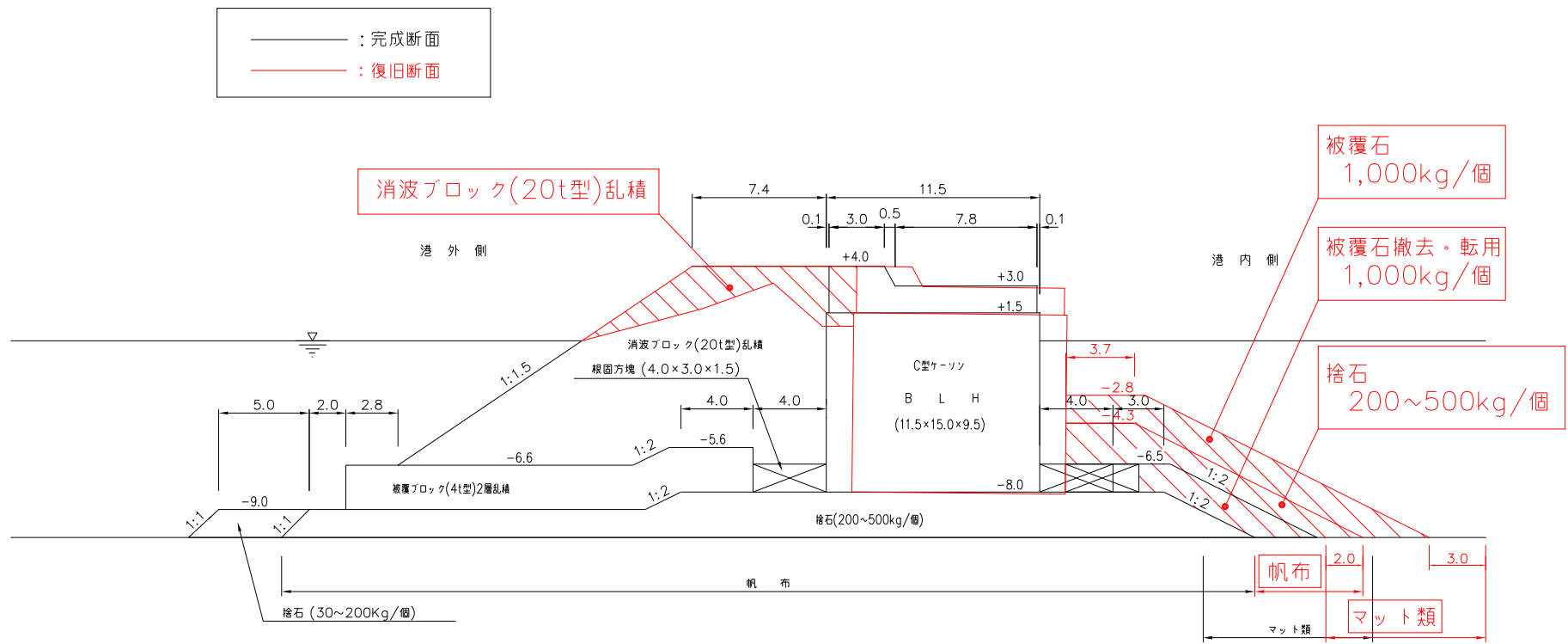


図 1-3 C 区間復旧断面図

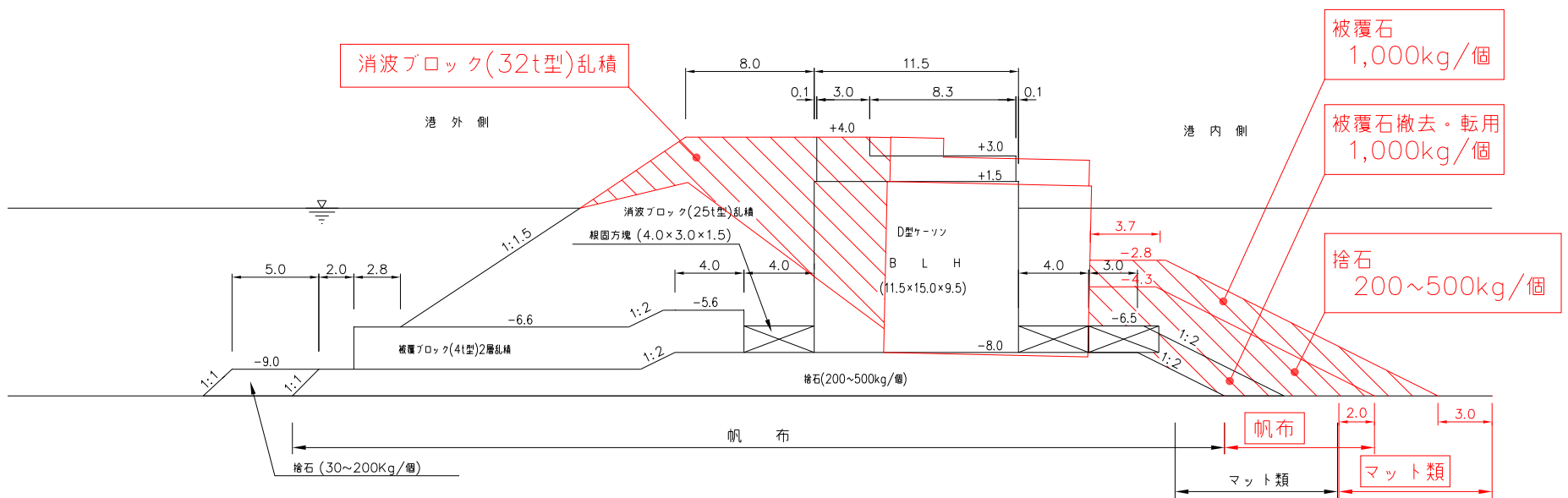
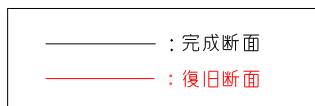


図 1-4 D 区間復旧断面図

第3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

被災施設の対応（万葉ふ頭緑地）

平成20年6月19日

富 山 県

1. 被災状況

護岸の越波量及び越波時間が長かったため、緑地内に大量の海水が流れ込んだことから、緑地が洗掘し、大きな被害を受けたと考えられる。

また、緑地背後の港湾関連用地へも浸水が広がった。



2. 復旧の方針

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

3. 復旧の方法

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

寄り回り波のリアルタイム予測について（案）

1．背景

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

2．波浪情報の現状

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

ナウファス（全国港湾海洋波浪情報網）

日本周辺海域の59箇所においてリアルタイム波浪観測、65港においてリアルタイム潮位観測を実施、WEBにて一般公開。

カムインズ（沿岸気象海象情報配信システム）

ナウファス情報ならびに気象情報を用いて、以下の情報を配信している。

- ・基本情報： 海上風、ナウファス観測点での波浪予測
- ・オプション情報： 波浪ポイント予測、台風高波予測、潮位予報等

3．課題と対応

寄り回り波の特性を踏まえ、予測においては次の3点の課題が考えられる。

観測地点における波浪予測の精度向上

当該地点周辺の観測値（ナウファス）をもとにデータ同化（補正）することにより精度の高い長周期波の予測値を算出
（観測点が比較的浅い場合は、沖側の水深が大きい地点を仮想点として予測）

あいがめ等複雑な地形の効果を反映させる

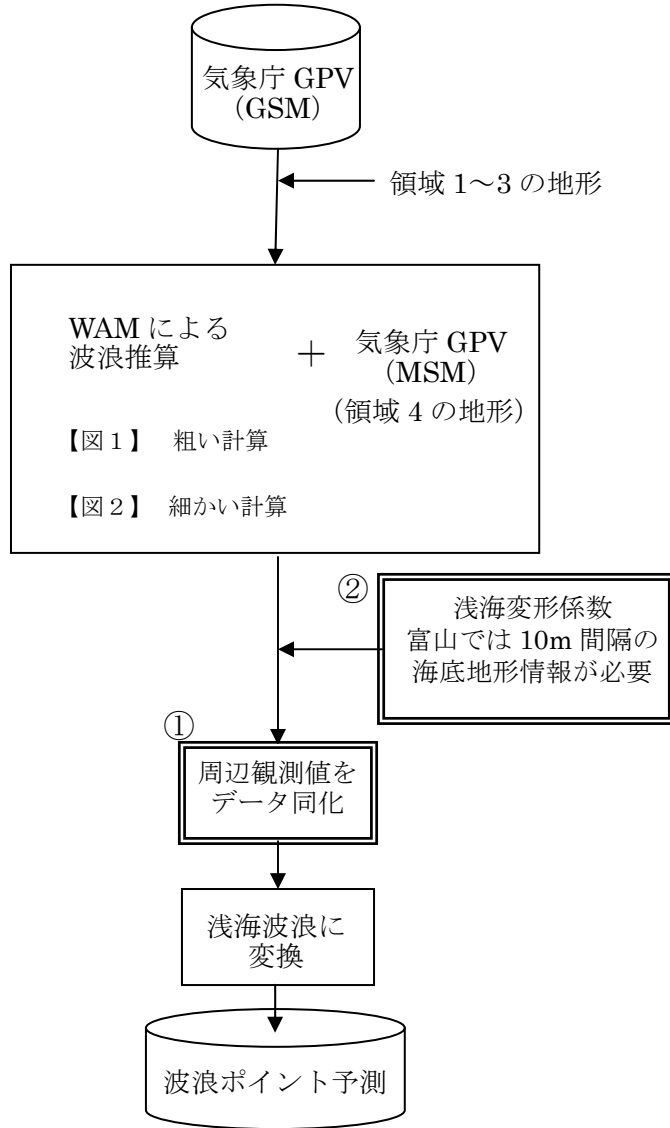
複雑な海底地形を考慮するため、ブシネスクモデルにより浅海効果を算出

うねりの伝播経路における「うねり性波浪」の監視

（北海道西方海上で発達した「うねり成分」の監視）

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

「寄り回り波」予測フロー（案）



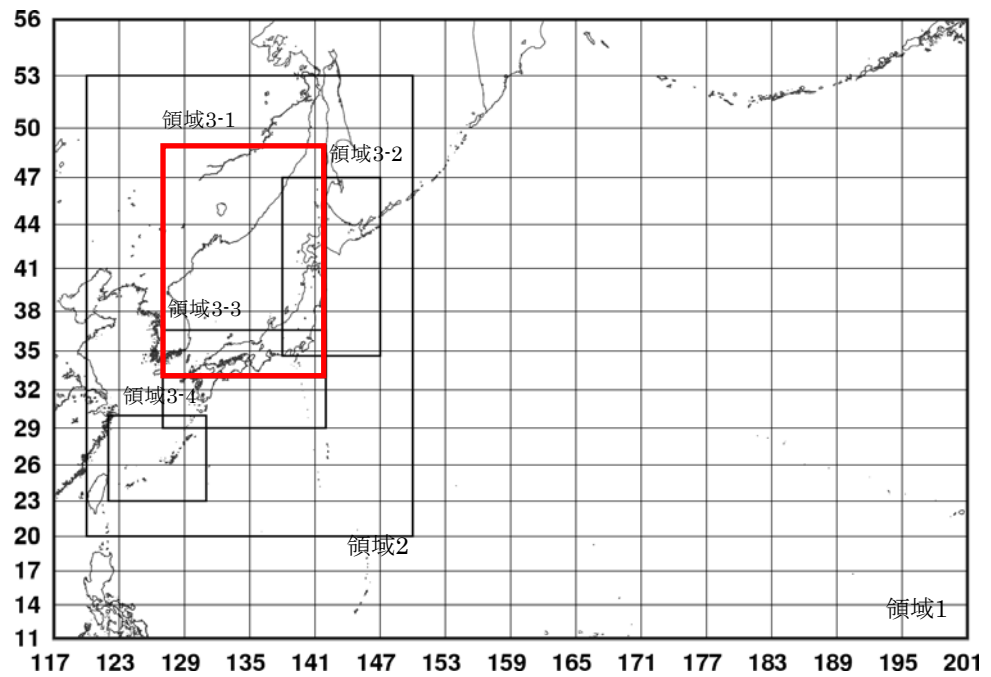


図1 波浪推算データベースの領域（領域1～3）

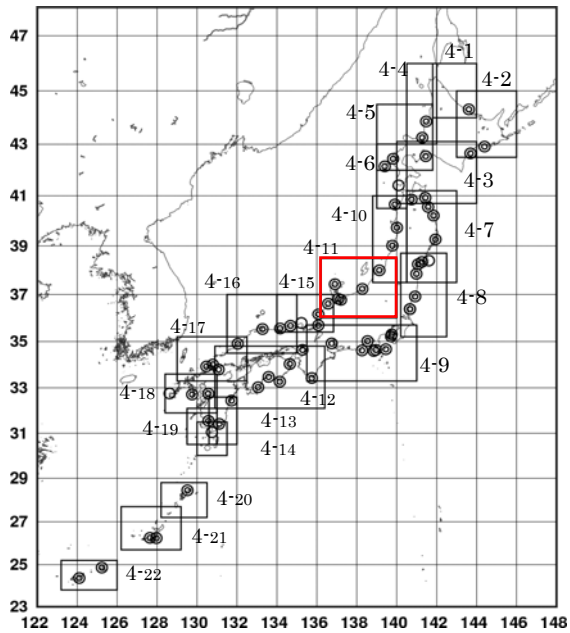


図2 領域4の分割とデータ同化地点

◎NOWPHAS, ○気象庁

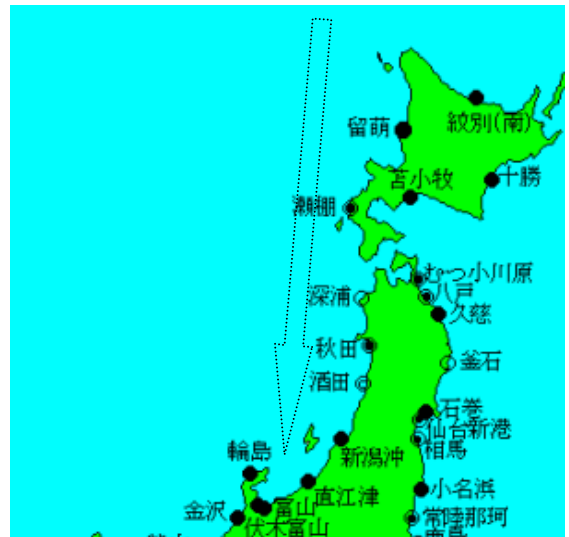


図3 NOWPHAS観測位置図

寄り回り波予測のイメージ

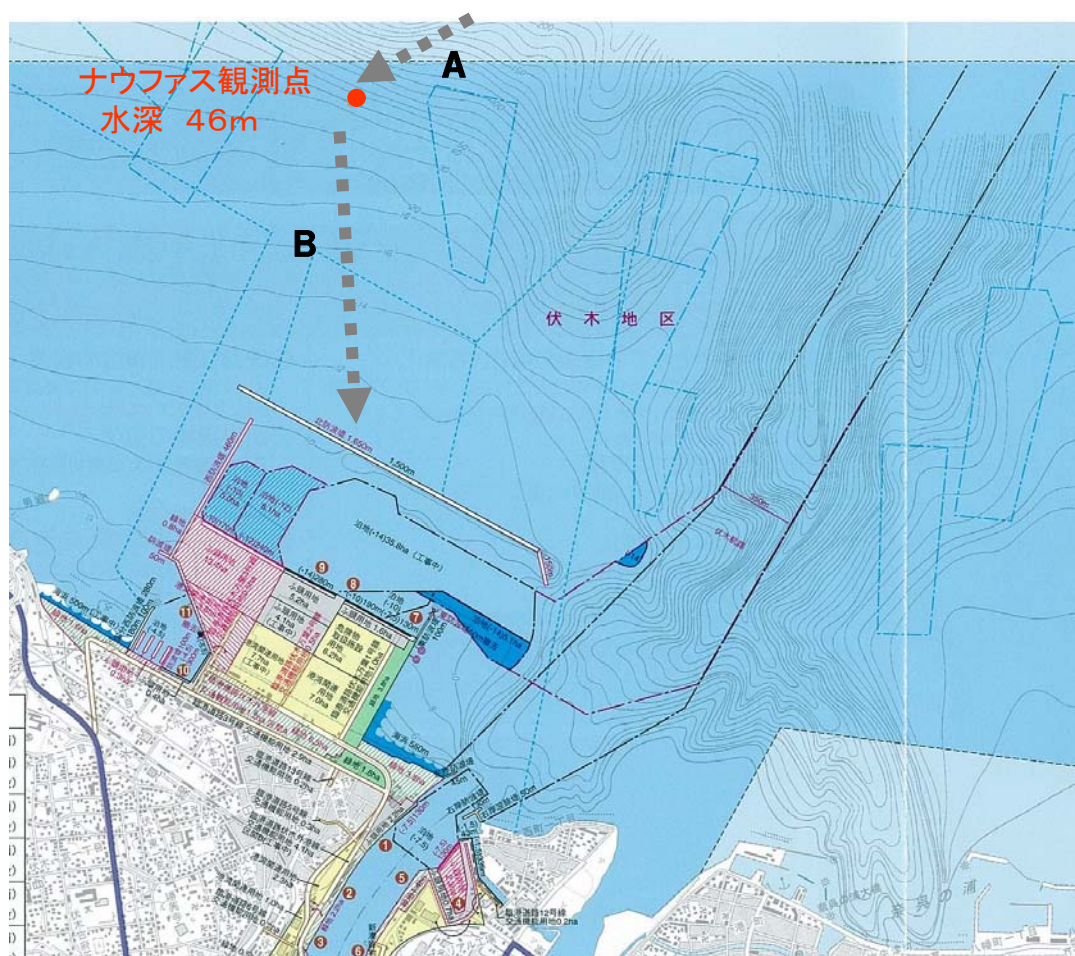
ナウファス観測点での予測値を活用する場合

経路A ; カムインズにより、ナウファス観測点で予測(データ同化)

経路B ; ナウファス観測点の予測値を用いて、任意点の波浪予測

- ①従来のピンポイント予測の場合、エネルギー平衡方程式を適用
- ②新規に、ブシネスクモデルにより海底地形の影響を考慮

富山湾の場合、あいがめ地形の影響から、②の信頼性が高い。



寄り回り波とその対策

河合雅司*

On Yorimawari Waves and Preventive Measures for Wave Disasters on the Coast of the Toyama Bay

Masashi KAWAI

Abstract

The Toyama Bay is a calm sea even if in winter, because it is protected from the northwest winter monsoon and waves generated by the monsoon by the Noto Peninsula. On the other hand wave disasters occur due to swells on the coast of Toyama Bay for the period from October to April. The swells are generated by winds due to developed low pressure stayed near Hokkaido in west sea area of Hokkaido, and propagate to the Toyama Bay. The swells which cause disasters in the Toyama Bay are called Yorimawari Waves. Yorimawari waves and invade Toyama Bay from the direction of north-northeast and northeast, deflecting to the right when they across the Tsushima Warm Current. Significant wave periods of the Yorimawari Waves are more than 10 seconds and Significant wave heights of them are more than one meter.

The records of wave disasters on the coast of the Toyama Bay, the mechanism of generating the Yorimawari Waves, and preventive measures for wave disasters are investigated here, and the results are reported in this paper.

Keywords: *Yorimawari Waves, Disasters, Toyama Bay*

キーワード: 寄り回り波, 災害, 富山湾

1. 緒言

富山湾は、能登半島により冬季季節風による北西からの波浪が遮断されているために他の日本海沿岸と比べて一般に冬でも波が少なく平穏な海域となっている。ところが北～北東方向からの波浪に対しては、これを遮るものがなく急深な沿岸となっているために地形的条件が悪く、毎年10月から4月にかけて周期10秒以上のうねり性波浪が侵入し、災害を引き起こしている。富山湾におけるこのうねり性波浪を寄り回り波⁽¹⁾と呼んでいる。

ここでは、寄り回り波を含む波浪による災害を防止するために過去の富山湾沿岸における波浪災害について調査し、寄り回り波に代表されるうねり性波浪が富山湾沿岸で大きな災害を引き起こす機構について考察するとともに、その対策について検討した。これらの結果について以下に報告する。

2. 富山湾沿岸における波浪災害

1970年から2008年までの間に、富山湾沿岸で発生した海難等、救助を必要とするような顕著な波浪災害について、吉田清三氏の海難調査資料⁽²⁾⁽³⁾、新聞記事、および伏木富山港湾事務所が新湊地区(水深:17m)、伏木地区(水深:50m、ただし1999年9月以降は水深46m)、富山地区(水深:20m)に設置した波浪計のデータに基づいて、その発生日、場所、災害内容、波浪の大きさ等について調べた結果を表1に示す。なお、寄り回り波について定量的に定義する必要があるが、富山や入善のように2方向からの寄り回り波が到達する沿岸の波浪計と伏木や新湊のように北東からの寄り回り波しか到達しない沿岸の波浪計では、その波高データに大きな違いがあることに注意する必要がある。ここでは、主として伏木及び新湊に設置された波浪計のデータに基づいて調査したため、寄り回り

* 富山商船高等専門学校(〒933-0293 新湊市海老江練合1-2)

Table 1. Wave disasters on the coast of the Toyama Bay from 1970 to 2008

| 年月日 (場所) | $H_{1/3}, T_{1/3}$ (時刻, 波浪計) | 波浪種類 | 災害内容 |
|--------------------------|---------------------------------|-------|--|
| 1970年 1月31日 (富山県東部) | データ無し (無し) | 寄り回り波 | 01月31日午後4時頃から富山県東部の海岸へ高波来襲。02月01日、入善町と滑川市に浪害対策本部を設置。入善、黒部、滑川、朝日町に被害(富山県東部に被害)、負傷者10名、家屋半壊22棟、床上浸水236棟。2月1日23時過ぎに峠を越し、2月2日午後に治まった。 |
| 1970年 3月17日 (滑川市) | データ無し (無し) | 寄り回り波 | 3月17日夜から18日朝にかけて、滑川市高月町に寄り回り波が押し寄せた。高月町の作業場1棟が倒壊、公民館も一部損壊。 |
| 1972年12月02日 (富山県東部) | データ無し (無し) | 寄り回り波 | 02日朝から03日未明にかけて寄り回り波が押し寄せた。死者1名、重軽傷10人、家屋は7棟が全壊、10棟が半壊、25棟が一部損壊、床上浸水18棟、床下浸水61棟、この他護岸堤・農道の決壊及び自動車の転覆等があり滑川市で50世帯が避難、滑川では戦後最大の浪害となった。朝日町と滑川市に浪害対策本部設置。 (死傷者11人、被害総額10億円の寄り回り波被害) |
| 1979年03月31日 (滑川市) | 1.7m, 13.5秒 (22時, 新湊) | 寄り回り波 | 31日22時50分頃、滑川市高月海岸の離岸堤に愛知県の釣り人4人が取り残され、滑川署が対策本部を設置して、救助にあたったが04月01日未明までに一人が死亡、二人が行方不明になり、釣り人1人が救助された。更に、救助にあたった富山県警機動隊員1人が死亡した。 |
| 1981年03月27日 (朝日町) | 1.5m, 8.9秒 (20時, 新湊) | 寄り回り波 | 27日18時15分頃、朝日町赤川小川河口の離岸堤で波遊びをしていた小学5年生が、高波にさらわれて海中へ転落したが、20分後に奇跡的に高波に押し戻されて救助された。事故当時現場は約10m/sの西風が吹き、高さ10m程度の高波が押し寄せた。 |
| 1981年12月15日 (富山県東部) | 1.19m, 13.3秒 (22時, 新湊) | 寄り回り波 | 15日15時30分頃、新潟県香海町の市振駆構内に高波が押し寄せ、北陸線が不通となる。北陸線は16日11時20分頃20時間ぶりに開通し、特急白山114号等計24本が全面又は区間運休し、17日未明までダイヤの混乱が続いた。 |
| 1982年10月25日 (佐渡沖等) | 1.03m, 10.4秒 (18時, 新湊) | 寄り回り波 | 24日～25日にかけて日本海で突風が吹き荒れ、海難事故が相次いだ。佐渡沖で漁船が転覆、1人死亡、1人行方不明。 |
| 1987年12月02日 (伏木) | 1.58m, 10.3秒 (02時, 伏木) | 寄り回り波 | 伏木沖沖合300mで貨物船(ブルーパイランド号, 696吨)が錨泊中、02日未明から荒れ出した波高05～06mの高波で走錨し、12月02日05時50分頃、伏木港石油基地護岸堤から約40m沖合で座礁した。(積荷全損、重油流出) |
| 1989年03月08日 (伏木富山港) | 2.63m, 6.3秒 (04時, 新湊) | 風浪 | 08日午前01時25分頃富山市岩瀬の富山港護岸堤防北側で、沖合約1.3kmに錨泊していたタンカー(999.77吨)が強風と高波に流されて走錨し、その後座礁横転した。(乗組員3名死亡、重傷1名)事故当時現場付近は10m以上の強風と高波で大荒れだった。現場付近には重油が流出。 |
| 1989年12月31日 (伏木富山港) | 0.56m, 9.6秒 (04時, 新湊) | うねり | 伏木富山港沖で、漁船員が風浪による船体動揺で海中に転落、行方不明。 |
| 1990年03月26日 (宮崎) | 1.65m, 8.1秒 (00時, 新湊) | うねり | 02:05頃、宮崎漁港で漁船がうねりに圧流されて座礁 |
| 1990年11月04日 (新湊) | 1.99m, 6.2秒 (14時, 新湊) | うねり | 13:00頃、新湊西防波堤で釣り人が高波により死亡 |
| 1991年02月17日 (富山県東部) | 3.16m, 11.0秒 (12時, 新湊) | 寄り回り波 | 台風並みに発達した低気圧の影響で高波が猛威をふるい、入善町で1名死亡、滑川市で重傷者1名及び灯台が倒壊する等の被害があり、1972年12月の被害に次ぐ、19年ぶりの大規模な寄り回り波被害となった。滑川市は住民に避難勧告を出し、1991年02月17日午後5時30分に滑川市長を本部長として災害対策本部を設置した。 |
| 1992年03月06日 (富山県東部) | 1.45m, 7.1秒 (04時, 伏木) | うねり | 07:05頃滑川漁港沖で高波のため漁船が転覆魚津では南の風2m/s程度 |
| 1992年10月10日 (伏木) | 0.69m, 8.6秒 (20時, 伏木) | うねり | 19:30頃伏木岩崎島沖で高波のためボートが転覆、伏木では南の風2m/s程度。 |
| 1993年01月17日 (伏木富山港) | 1.66m, 10.7秒 (18時, 伏木) | 寄り回り波 | 15:20頃、富山岩瀬漁港防波堤で釣り人が高波のため海中転落、その後救助された。富山では西よりの3m/s程度の風が吹いていた。 |
| 1993年01月30日 (新湊) | 1.34m, 13.3秒 (10時, 伏木) | 寄り回り波 | 30日午前07時30分頃、社員が富山新港東埋め立て地防波堤工事現場の下見に行き、高波に浸われて09時25分頃行方不明。 |
| 1993年03月17日 (伏木) | 1.74m, 11.1秒 (16時, 伏木) | 寄り回り波 | 17時頃、伏木国分港の防波堤先端で釣りをしていた女性が高波に浸われて転落し死亡。寄り回り波は18日の14時頃まで続いた。03月18日に欧州リモートセンシング衛星1号(ERS-1)が富山湾の寄り回り波を合成開口レーダー(SAR)で観測。 |
| 1993年10月02日 (水橋) | 1.01m, 11.0秒 (20時, 伏木) | 寄り回り波 | 10時頃、社員7名が水橋漁港の離岸堤で釣りをしていた高波のために戻れなくなり、救助を要請。11時20分頃、消防隊レスキュー隊員が全員を救助。 |
| 1995年04月20日 (高岡市雨晴) | 0.96m, 10.1秒 (20時, 伏木) | 寄り回り波 | 高岡市雨晴女岩付近の岩場で釣りをしていた2名が、波が高くなり19時頃救助要請。21日05時頃、ヘリコプターで救助。当時、波高3～4m、北西の風6～8m。 |
| 1996年02月18日 (富山市) | 1.54m, 5.7秒 (18時, 伏木) | 風浪 | 15時30分頃、富山市浜黒崎沖でプレジャーボートが大波を受けて転覆。18時40分頃消波ブロックに打ち上げられているのが発見された。波浪注意報が発令中で波は高かった。操縦者は行方不明。富山では、北の風6m/s程度。 |
| 1996年10月05日 (富山市) | 0.72m, 7.0秒 (22時, 伏木) | うねり | 23時頃、富山市四方港沖の離岸堤で釣りをしていた4名が波が高くなってきたために岸へ戻る際、ゴムボートが転覆。もう1隻のゴムボートに救助されて全員無事。富山では南西の風2.0m/s程度であった。 |
| 1997年03月02日 (富山市) | 0.82m, 8.3秒 (10時, 伏木) | うねり | 13時35分、富山市四方港沖の離岸堤で釣りをしていた2名が、13時頃から風波が強まり海岸に戻れなくなって救助要請。巡視艇の監視のもと自力で海岸に戻り無事であった。富山では西の風3m/s程度だった。 |
| 1997年12月08日 (生地島) | 0.24m, 4.5秒 (00時, 伏木) | うねり | 08時30分頃、生地島沖で漁船が横波を受けて転覆。魚津では南の風2m/s程度であった。北よりうねりが侵入したものである。 |
| 1998年11月24日 (入善) | 波浪データ欠損 (無し) | うねり | 17時頃、3人が吉原沖離岸堤で釣りをしていたが、風波が強まったために戻れなくなり入善消防署員が救助。泊では南西の風8m/s程度であった。 |
| 1999年03月06日 (富山市) | 波浪データ欠損 (無し) | 風浪 | 16時頃、2人が岩瀬漁港防波堤で釣りをしていたが、高波のために戻れなくなり消防署員が救助。富山では4m/s程度の北東の風が6時間程度吹いていた。 |
| 2000年09月03日 (水橋, 伏木) | 1.06m, 10.7秒 (08時, 伏木) | 寄り回り波 | 6時15分頃、水橋漁港沖離岸堤で釣人が高波にさらわれて行方不明。15時30分頃、伏木沖でプレジャーボートが横波を受けて転覆。巡視艇が2名を救助。伏木では、午後から5m/s程度の北北東の風が吹いていた。 |
| 2004年10月20日 (伏木富山港) | 6.53m, 8.4秒 (22時, 伏木) | 風浪 | 台風23号による強風と波浪で海王丸が富山港沖で走錨して座礁。20日19時40分走錨開始、22時47分座礁。 |
| 2005年03月25日 (入善町) | 1.46m, 9.8秒 (20時, 富山) | 寄り回り波 | 入善町吉原海岸で、17時以降に、女性が海に転落して死亡。24日の9時～17時の間には、入善で釣り人が海に転落して死亡している。24日から26日にかけて寄り回り波がきていた可能性が高い。 |
| 2008年02月24日 (入善, 伏木等) | 4.23m, 14.3秒 (14時, 伏木) | 寄り回り波 | 入善町芦崎地区と伏木富山港で大きな被害があり、入善町や黒部市等が災害対策本部を立ち上げた。寄り回り波による被害は死者2人、重傷1人、軽傷15人、建物住宅172棟、倉庫等283棟が損傷した。伏木富山港では、重さ2500吨のケーソンが10m程度移動した。被害総額は約80億円。被災地域の復旧や今後の対策及び寄り回り波のメカニズムの解明を行うために、国や県等による3つの検討委員会が設置された。 |

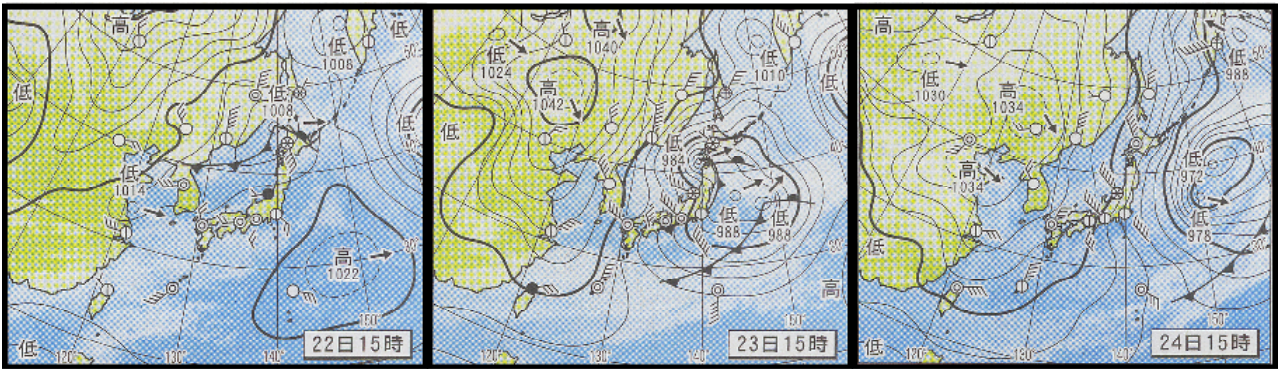


Figure 1. The weather maps for 22 to 24 Feb. 2008, when the Yorimawari Waves invaded the Toyama Bay

波を定量的に、「有義波高 1m 以上かつ有義周期 10 秒以上のうねり性波浪」として定義し、この条件を満たさない波浪については、単にうねり、または風浪とした。波浪の周期については、四捨五入により秒単位にまとめた値が 10 秒以上であれば寄り回り波とした。さらに、富山湾内での災害記録はみあたらないが、湾内に寄り回り波が侵入しており、かつ富山湾周辺海域で災害が多発している場合についても掲載したが、寄り回り波の条件を満たすうねり性波浪が富山湾に侵入しているにもかかわらず、特に顕著な災害がない場合や、漁船の損傷程度の被害の場合は紙面の都合上省略している。

3. 寄り回り波発生機構

寄り回り波の発生メカニズムは、次のように考えることができる。

(1) 発生海域

2008 年 2 月 24 日に富山湾に寄り回り波が来襲した時の 22 日から 24 日の天気図を図 1 に示す。図 1 から分かるように、低気圧が日本海を通過し北海道付近に半日以上停滞し、この低気圧により北海道西方海上で北よりの強風(20m/s 以上)が半日程度以上吹続することにより大きな風浪が発生する。この風浪がうねりとなって南下することにより寄り回り波となる。⁽⁴⁾

(2) 富山湾への伝搬経路

北海道西方海域からのうねりは対馬暖流を横切って南下し富山湾へ侵入する。また、1993 年 03 月 18 日に欧州リモートセンシング衛星 1 号(ERS-1)が合成開口レーダー(SAR)で観測した寄り回り波の画像データから、図 2 に示すように寄り回り波は北北東と北東の 2 方向から富山湾へ侵入することが明らかになっている。⁽⁵⁾そして、これらから寄り回り波はまっすぐに富山湾へ侵入するのではなく、対馬暖流

を横断する時に右へ約 30° 偏向(カーブ)して、2 方向から富山湾に侵入していることを意味している。

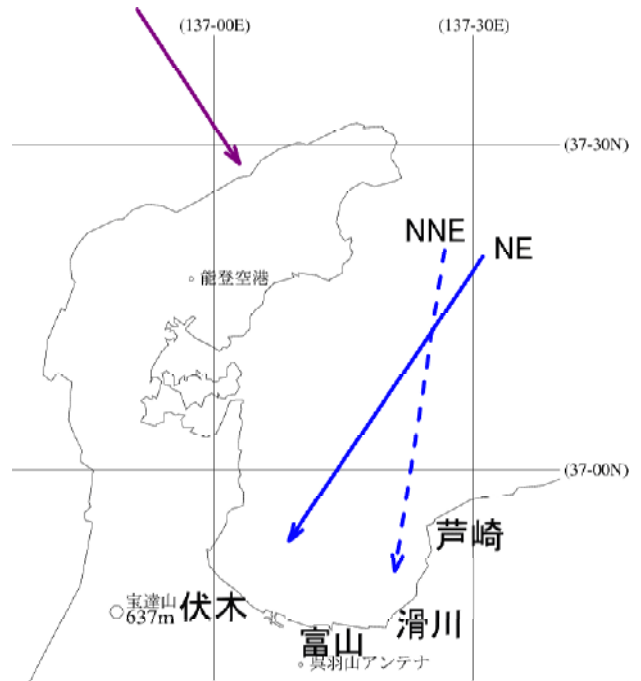


Figure 2. Invading paths of the Yorimawari Waves into the Toyama Bay

つまり、波浪が流れの中を伝搬する場合は波向が変化し、特にうねり性波浪の予測においてはこれを考慮することが重要である。北海道西方海域からくる寄り回り波の伝搬経路を図 3 に示す。

次に、寄り回り波が 2 方向から侵入していることを波浪データから検証してみる。表 2 は、2004 年 10 月 20 日に台風 23 号による北東からの強風が富山湾及びその周辺海域で長時間吹続したことにより生じた風浪の観測データであり、表 3 は、2005 年 3 月 25 日の寄り回り波の観測データである。ただし、富山の波高計設置水深は-20m、伏木の波高計設置水深は-46m である。表 2 の波は、北東からの風浪が富山と伏木に押し寄せており、波高計設置水深の違い

等により、富山の波高は海底の影響をより強く受けているため、伏木の波高よりも若干高くなっているが、富山の観測値と伏木の観測値はほぼ同じである。これに対して表3の寄り回り波の場合は、波の周期は表2の場合とほとんど同じであるが、波高については、富山の観測値が伏木の観測値の約2倍になっている。この波浪データは、寄り回り波が北北東と北東の2方向から富山湾に侵入しており、富山には両方のうねり（北北東と北東からのうねり）が到達するが、伏木には北北東のうねりは能登半島に遮断

されて到達できないので、その有義波高は富山の観測値の約半分になっていると考えることにより説明することができる。これは、表4に示される2008年2月24日の寄り回り波の場合も同様であり、富山湾への2方向からの侵入は、寄り回り波の特徴の一つであると考えられる。このように、リモートセンシングデータや波浪データから、一般的に寄り回り波は2方向（北北東と北東）から富山湾に侵入していることが分かる。そして、寄り回り波は富山湾の特定の海岸に押し寄せる特徴を持ってお

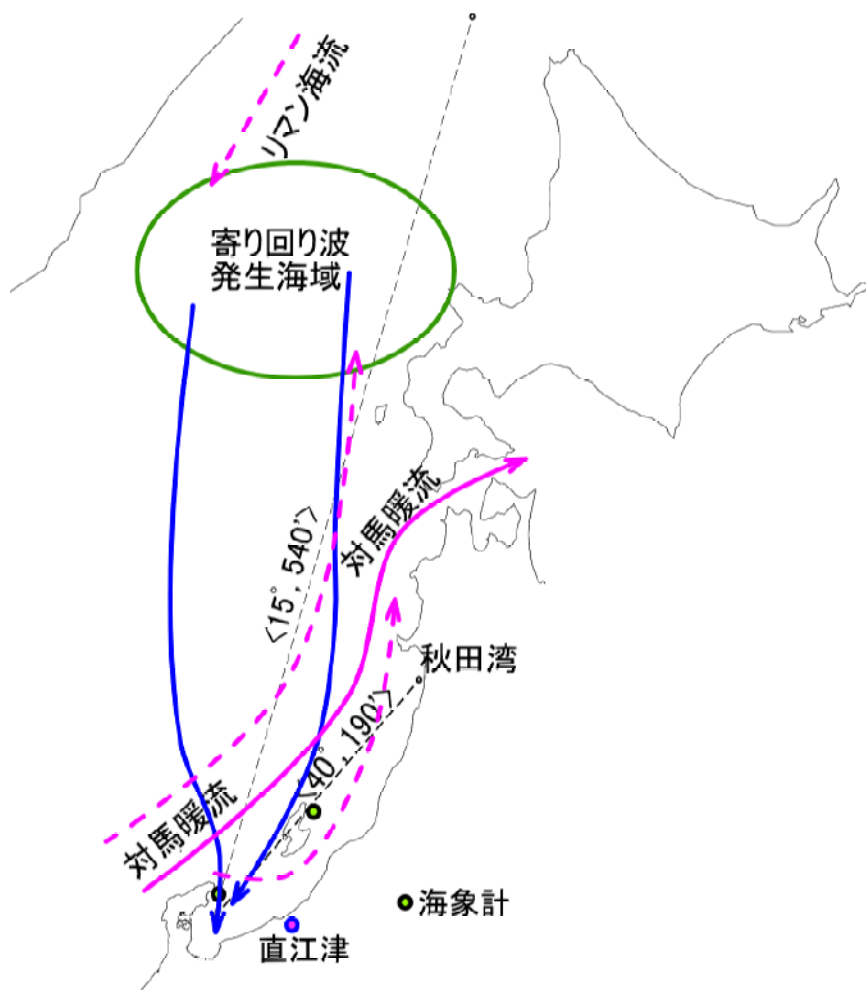


Figure 3. The propagation paths of the Yorimawari Waves from the west of Hokkaido to the Toyama Bay

Table 2. Wind waves due to the typhoon on 21 Oct. 2004

| | | 時間 | 0 | 2 | 4 | 6 |
|----|---------------|----|-----|-----|------|-----|
| 伏木 | $H_{1/3}$ [m] | | 5.7 | 4.9 | 4.60 | 3.7 |
| | $T_{1/3}$ [s] | | 9.4 | 9.2 | 9.0 | 9.0 |
| 富山 | $H_{1/3}$ [m] | | 5.8 | 4.9 | 6.4 | 4.0 |
| | $T_{1/3}$ [s] | | 9.0 | 9.2 | 8.9 | 8.5 |

Table 3. The Yorimawari Waves on 25 Mar. 2005

| | | 時間 | 16 | 18 | 20 | 22 |
|----|---------------|----|-----|-----|-----|-----|
| 伏木 | $H_{1/3}$ [m] | | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.5 |
| | $T_{1/3}$ [s] | | 9.5 | 9.4 | 9.1 | 8.8 |
| 富山 | $H_{1/3}$ [m] | | 1.6 | 1.7 | 1.5 | 1.6 |
| | $T_{1/3}$ [s] | | 9.4 | 9.7 | 9.8 | 9.5 |

Table 4. The Yorimawari Waves on 24 Feb. 2008

| 時間 | | 22 | 0 | 2 | 4 |
|----|---------------|-----|------|------|------|
| 伏木 | $H_{1/3}$ [m] | 1.1 | 1.3 | 1.4 | 2.5 |
| | $T_{1/3}$ [s] | 6.5 | 10.0 | 10.6 | 12.8 |
| 富山 | $H_{1/3}$ [m] | 1.8 | 1.2 | 2.4 | 4.6 |
| | $T_{1/3}$ [s] | 7.1 | 7.3 | 12.5 | 13.2 |

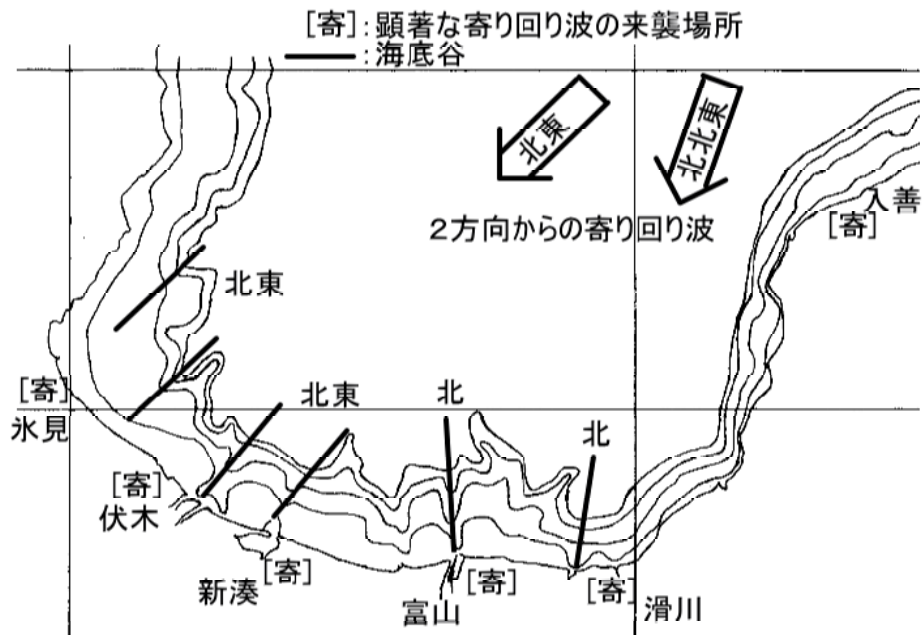


Figure 4. The relation between submarine canyons and the Yorimawari Waves in the Toyama Bay

り、大きな寄り回り波が押し寄せる沿岸には、北東のうねりが押し寄せる氷見、伏木、新湊沿岸、北北東のうねりが押し寄せる滑川沿岸、北東と北北東の両方のうねりが押し寄せる入善や富山沿岸等がある。

さらに、波の周期 T と波のエネルギーが伝搬する速度（群速度） C_g の間には、次の関係がある。

$$C_g = 0.78T \quad (1)$$

C_g : 波の群速度[m/s] T : 波の周期[s]

いま仮に、北東からの寄り回り波が滑川と伏木に到達すると仮定した場合、寄り回り波が滑川に到達までの距離と伏木に到達するまでの距離の差は約 13km である。周期 10 秒の波の群速度は 15.2km/時だから、うねりが滑川に到達してから伏木に到達するまでの時間差は約 50 分である。しかし、滑川に大きな寄り回り波が押し寄せる時刻と伏木に大きな

寄り回り波が押し寄せる時刻は、一般に数時間程度ずれていることが、「寄り回り波の時間差攻撃」としてよく知られている。⁽⁴⁾ 寄り回り波の時間差攻撃については、2方向から侵入する寄り回り波のエネルギーが最大になる時間が数時間程度ずれているために、北北東からの寄り回り波が到達する滑川と、北東からの寄り回り波が到達する新湊や伏木では、大きな寄り回り波が押し寄せる時間が数時間ずれていると考えることにより理解することができる。

(3) 地形の影響

富山湾は、急深で深い谷（海底谷）が沿岸付近までいくつも刻まれており、この海底谷の方向と寄り回り波の波向が一致する場合、寄り回り波は海底谷を通りほとんど減衰することなく沿岸に到達するため、特に大きな被害を及ぼす。富山湾の海底谷と顕著な寄り回り波が来襲する沿岸を図 4 に示す。

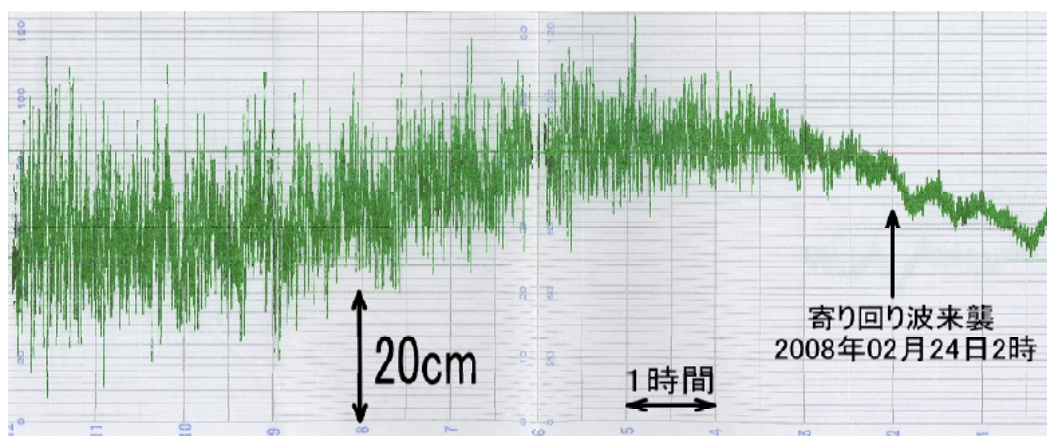


Figure 5. The tide gage data at Toyama New Port on 24 Feb. 2008

(4) その他の特徴

寄り回り波が来襲している時は、富山新港内の海面が1～2分程度の周期で数10cm程度変動している。富山新港内で2008年02月24日0時～12時に観測された潮位計データを図5に示す。

また、寄り回り波は、日本海を低気圧が通過し風がおさまり天候も回復した頃に押し寄せる特徴を持っているが、入善や滑川等では、北～北西の強風による風浪が重なりより大きな被害が発生する場合があることに注意する必要がある。

4. 今後の対策

寄り回り波による被害に対する対策として、次のようなことが考えられる。

(1) 波浪エネルギーが集中する地点の解明と公開

富山湾は、非常に急深であり海底谷がいくつも存在し、他の海域ではあまり例をみない特殊な海底地形となっている。この特殊な海底地形により、北北東または北東からうねり性波浪が伝搬してくる場合、海底地形による波浪の屈折により波浪のエネルギーが集中する特異点のような場所が沿岸に存在していると考えられる。波浪数値解析により、この特異点について調べ分りやすい形で一般に公開することは、今後の波浪災害を防止する上で重要である。

(2) 波浪の予報・通報システムの確立

次に、寄り回り波に代表される波浪の予報・通報システムの確立が考えられる。能登半島先端及び佐渡島に波浪計を設置するとともに、顕著な寄り回り波が来襲する沿岸にデジタル式潮位計を設置する。そして、これらのデータを1カ所リアルタイムに収集するシステムを構築することにより波浪観測態勢を強化し、これらの観測データと波浪の数値予報

データを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と思われる。寄り回り波を含む波浪の予報システムを確立し、ワンセグリアルタイムデータ放送等の最新の情報伝送技術を用いて、緊急寄り回り波情報等を提供することにより、波浪災害の防止に役立つものと思われる。

(3) メモリアル施設の設置

伏木港は、奈良時代の万葉歌人として有名な大伴家持が越中国守として赴任した頃からあり、その頃から人々は寄り回り波による被害に悩まされながらも、寄り回り波と共生してきた長い歴史がある。また、昔の人は寄り回り波を後生に伝えるために、これを絵馬にして神社に奉納したとされている。

そこで、万葉埠頭緑地に教育的な機能を持たせ、伏木富山港、寄り回り波及びそれによる災害の歴史（伏木富山港と寄り回り波の歴史）を後生に伝えるためのメモリアル公園として整備することを提案する。また、1個2500吨のケーソンがいくつも移動した北防波堤についてはそのまま残し、寄り回り波の力の大きさを学ぶための教材として利用することが適切であると思われる。

5. 結言

富山湾における1970年以降の波浪災害について調べてみると、寄り回り波により1970年1月、1972年12月、1991年2月、2008年2月と約20年間隔で、市や町による災害対策本部の設置を必要とするような大災害がもたらされている。また、死者及び行方不明者の数は寄り回り波によるものが、1970年以降12名、それ以外の波浪で6名、富山湾沿岸だけで合わせて18名が波浪により死

亡または行方不明になっている。この他にも重軽傷を負った人、寄り回り波に浚われながら幸運にも救助された人等多数の住民が波浪災害に巻き込まれている。さらに、伏木富山港では、貨物船、タンカー、航海訓練所練習船等が寄り回り波あるいは強風及びそれに伴う波浪の影響で走錨・座礁し大きな被害を被っている。

このような現状を考えると、寄り回り波のような特異波浪を予報し、通報するシステムの確立が重要であると思われる。また、船舶の海難においては、事故の責任は全て船長が負う形となっているが、寄り回り波の発生メカニズムや富山湾沿岸の特殊な海底地形が波浪に与える影響や特異点等について船長が入港前に習熟しておくことは、現状では困難である。港の管理責任者は、港内の特殊な事情について調査し、寄り回り波のような特異波浪の予報・通報システムの確立に向けて尽力する必要があると思われる。そして、入港船舶に対して錨地の指定をするだけでなく、寄り回り波等の危険が予測される場合は、指定された錨地に錨泊している船舶に対して、港則法第10条の規定に基づき避難勧告、避難命令、あるいは入出港禁止命令等をだす体制を確立する責任があるように思われる。

本研究において、図3に示された寄り回り波の伝搬経路は推測に基づく概略的なものであり、寄り回り波の予報をするためには、より正確な伝搬経路の推定が必要である。そして、伝搬経路は対馬暖流と

密接に係わっており、それをより正確に推定するためには、船舶搭載型流向流速計（Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP）等を用いて対馬暖流について詳しく調べる必要がある。対馬暖流の詳しい調査、及び寄り回り波予報精度の検証等については今後の課題である。

謝辞

本研究をまとめるにあたり貴重な波浪データを提供して頂いた国土交通省北陸地方整備局伏木富山港事務所に感謝の意を表します。

参考文献

- (1)吉田清三・石森繁樹・加藤雅司：寄り回り波と海難, 日本航海学会誌航海, 第87号, pp.55-61, 1986.03
- (2)吉田清三：北陸周辺海域の海難発生概要(平成元年より12年まで), 日本海難防止協会, 2002.07
- (3)久住吉雄：北陸周辺海域の海難発生概要(続編)(平成13年より17年まで), 2006.04
- (4)吉田清三：必読北陸の海難に学ぶ, 海難防止研修読本, 1999.05
- (5)Shigeki Ishimori, Masashi Kawai and etc.: "On the Image of the 'Yorimawari-nami' by Synthetic Aperture Radar", FINAL REPORT OF JERS-1/ERS-1 SYSTEM VERIFICATION PROGRAM, Vol.2, pp.216-225, 1995.03

「うねり性波浪」対策検討技術委員会 とりまとめ（骨子案）

1．既往災害の整理

（1）既往災害の記録と分析

- ・既往災害（1864年～2006年）の整理
 - ・被災は10月～3月に多く発生。
 - ・被災した施設は、護岸と堤防が多い。
 - ・被災の多発地域は下新川郡、滑川市、射水市である。

（2）うねり性波浪の特性

- ・既往文献の整理
 - ・気圧配置、強風の継続、半日かけての伝播など
 - ・2方向（約 10° と 40° ）から富山湾に侵入する。

2．寄り回り波の特性解明

- ・被災時の気象海象データの整理
 - ・被災時の伏木地区での最大波は波高4.22m、周期14.2s（2/24 14時）
 - ・富山湾内の振動の固有周期は30分程度。
 - ・周期300s程度の長周期波により43cm程度水位が上昇が確認されている。
 - ・「寄り回り波」が来るときは、潮位に1～2分程度の周期で変動が生じる。
- ・富山湾全体ならびに伏木地区での再現計算
 - ・エネルギー平衡方程式、ブシネスクモデルの特性
 - ・あいがめ地形とテラス状の浅瀬により、波の収斂箇所が分布
 - ・被災箇所との関連性
- ・波の越波、遡上経過のCG化
- ・被災のメカニズム
 - ・消波ブロックの沈下 堤体への波圧増大 堤体の滑動

3. 今後の対応策

(1) 設計条件の整理

- ・ 港湾の技術基準（改正）の考え方（偶発波浪と変動波浪）
 - ・ 50年確率波（実測波の統計処理）/被災波（波高4.22m、周期14.2s）の併用
 - ・ 被災時の潮位（H.W.L.=+0.637m）を考慮。

(2) 被災施設の復旧の考え方

防波堤

- ・ 消波ブロックの重量増、滑動防止の措置（カウンターウェイト）

万葉緑地

- ・ 護岸背後のかさ上げ（コンクリート舗装）、越流水の排水路
- ・ 防波堤（北）を早期延伸することによる遮蔽効果増進

4. 寄り回り波の予測と情報提供の考え方 【資料 - 6】

(1) 波浪観測等の状況

- ・ 現況観測
 - 全国周辺海域59箇所においてリアルタイム観測、WEBにて一般公開
- ・ 波浪予測システム
 - ナウファス情報と海上風情報による予測

(2) 課題と対応

- ・ 波浪予測の精度向上（広域的データ同化、気象GPV）
- ・ 複雑な浅海地形の影響把握（あいがめ地形の考慮など）
- ・ 広域観測状況の実況監視による事前把握

(3) 情報活用、共有の考え方

- ・ 海洋工事の安全確保、沿岸防災
- ・ 情報提供、WEBによる情報共有