

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。

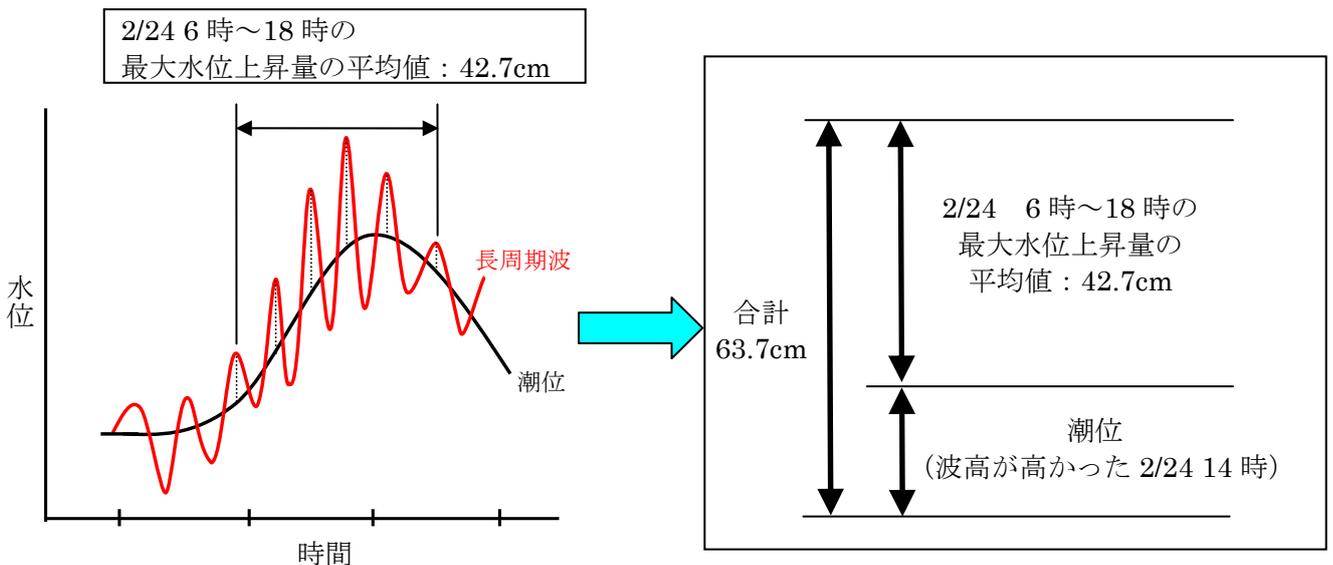
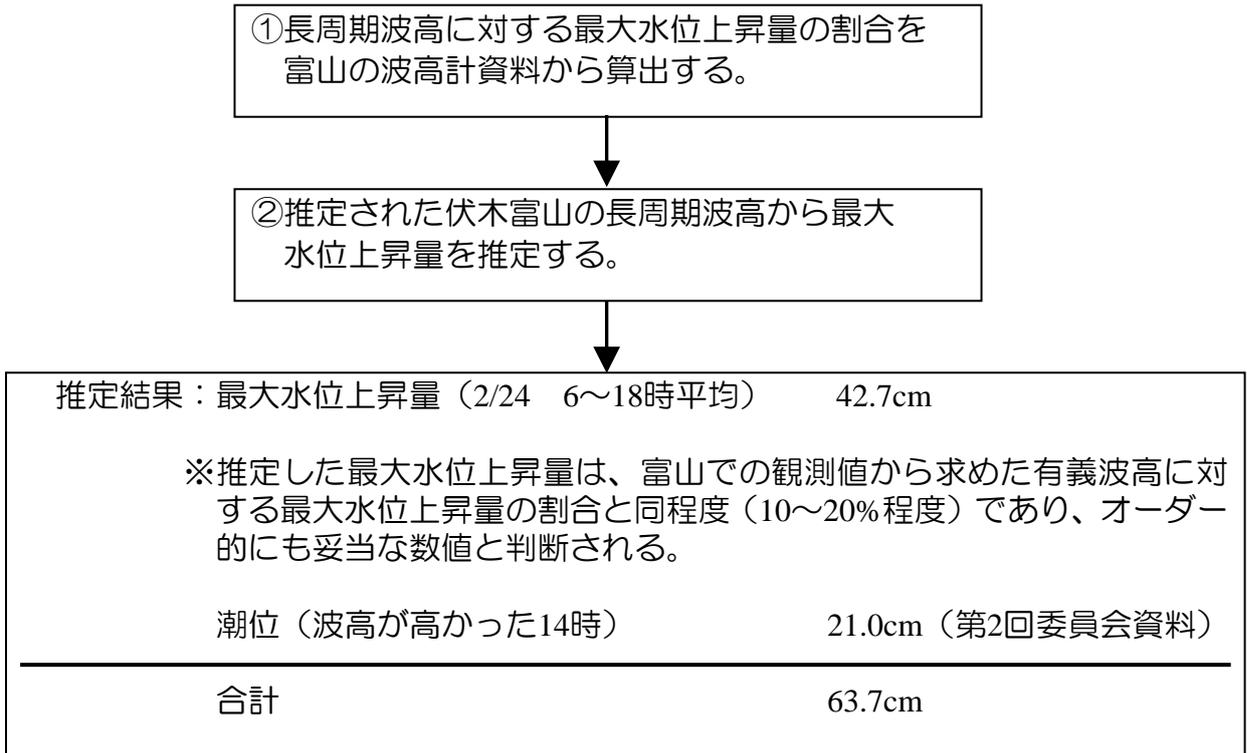
第2回委員会の考え方との違い

- 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。



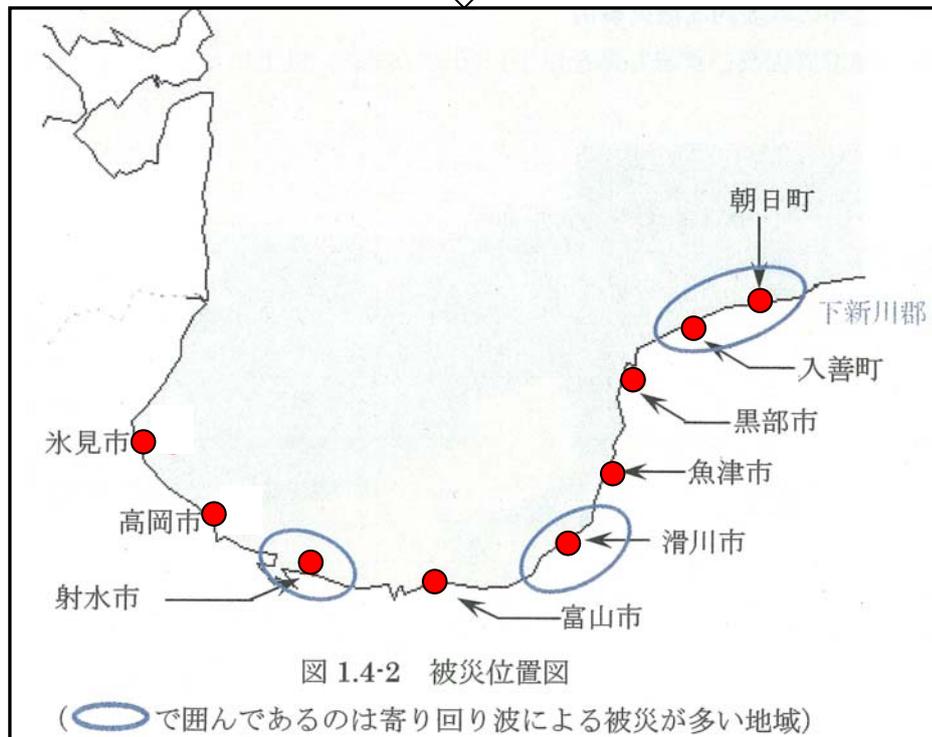
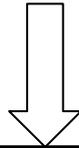
潮位に長周期波が重なった場合の水位上昇のイメージ図

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

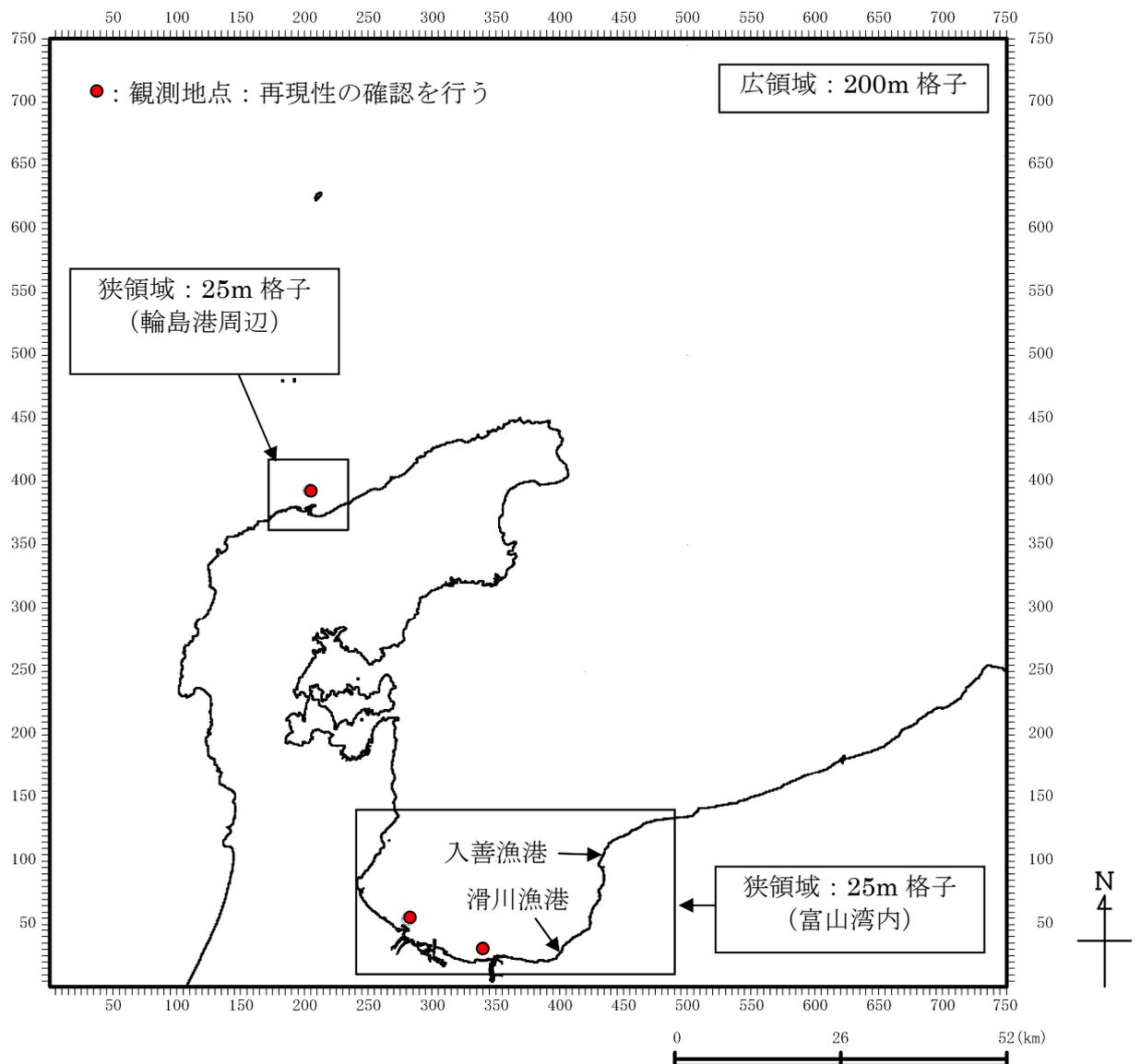
2-2. 波浪特性の解明

【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

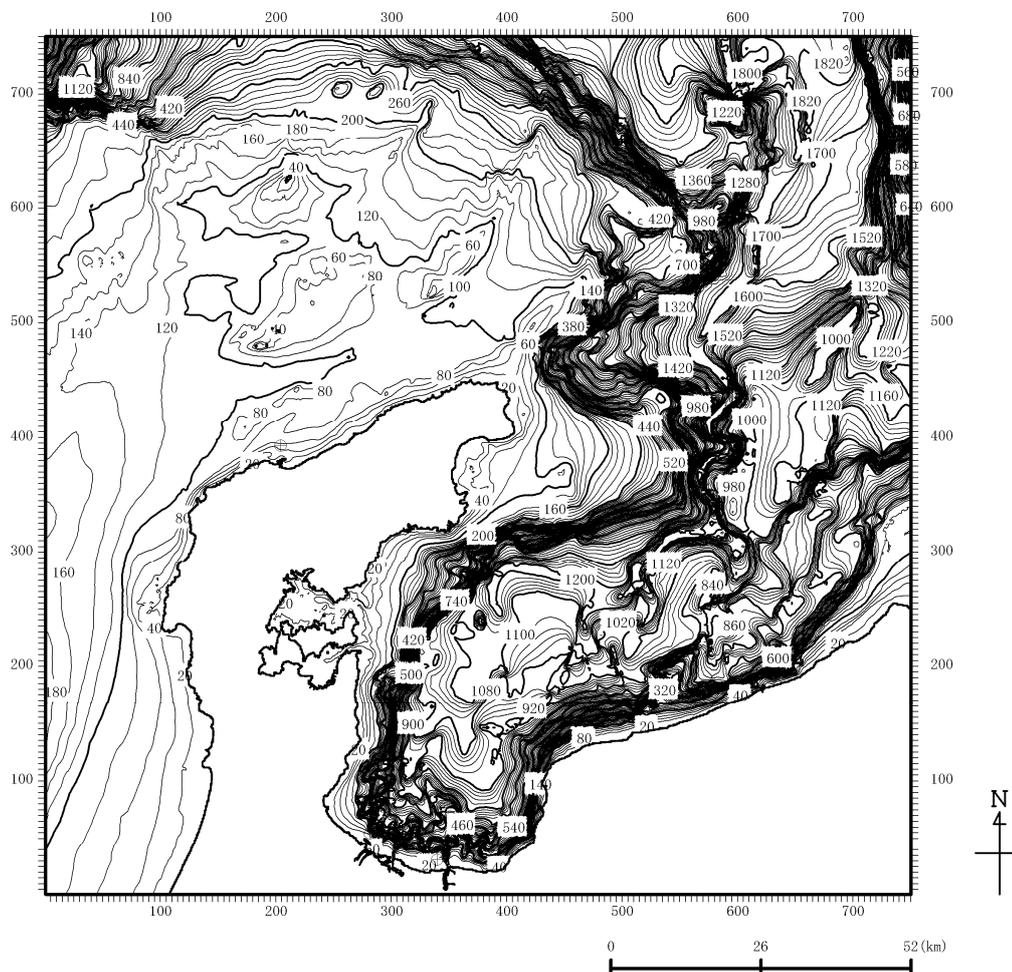
*「波の回折を考慮した多方向不規則波の変形モデルに関する研究」,

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

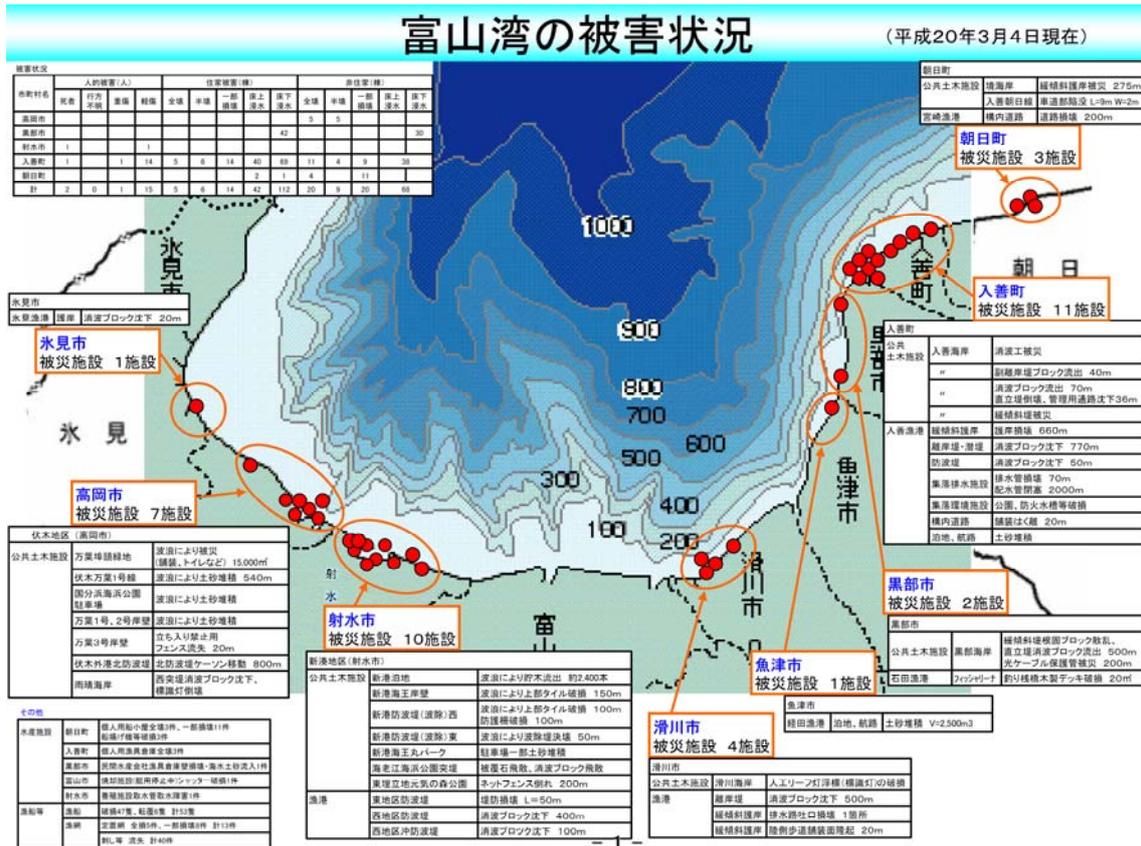
伏木富山港周辺の水深データは、深浅測量データを用いている。深浅測量データの測量間隔は、沿岸方向100m、岸沖方向50mを基本として測量されている。また、海底勾配の急峻な部分は、岸沖方向25mで測量されている。

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。

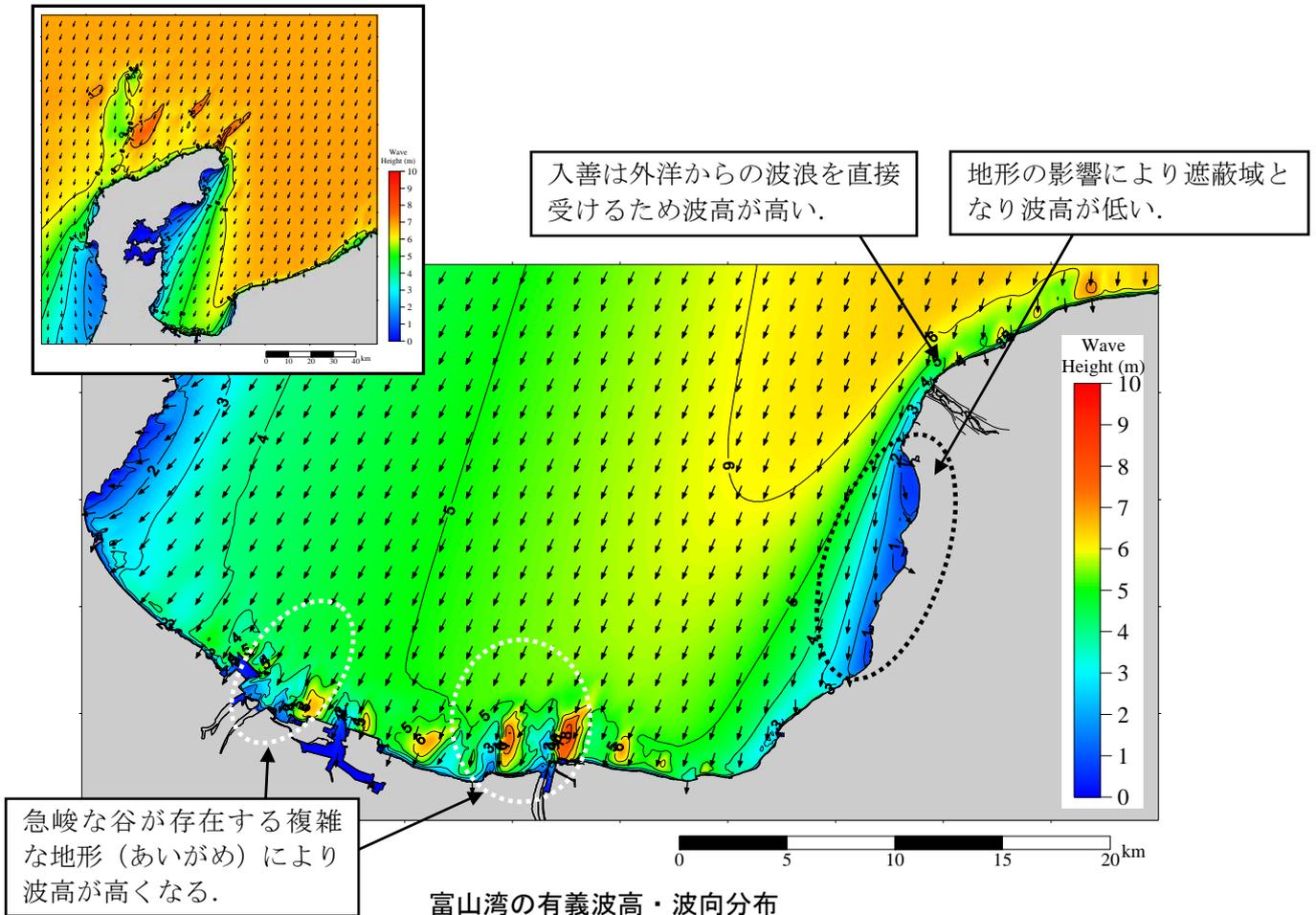
②計算手法の問題

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。

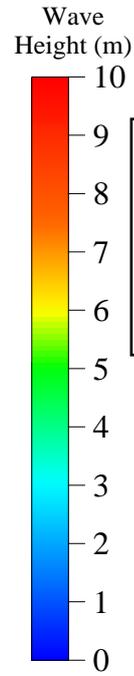
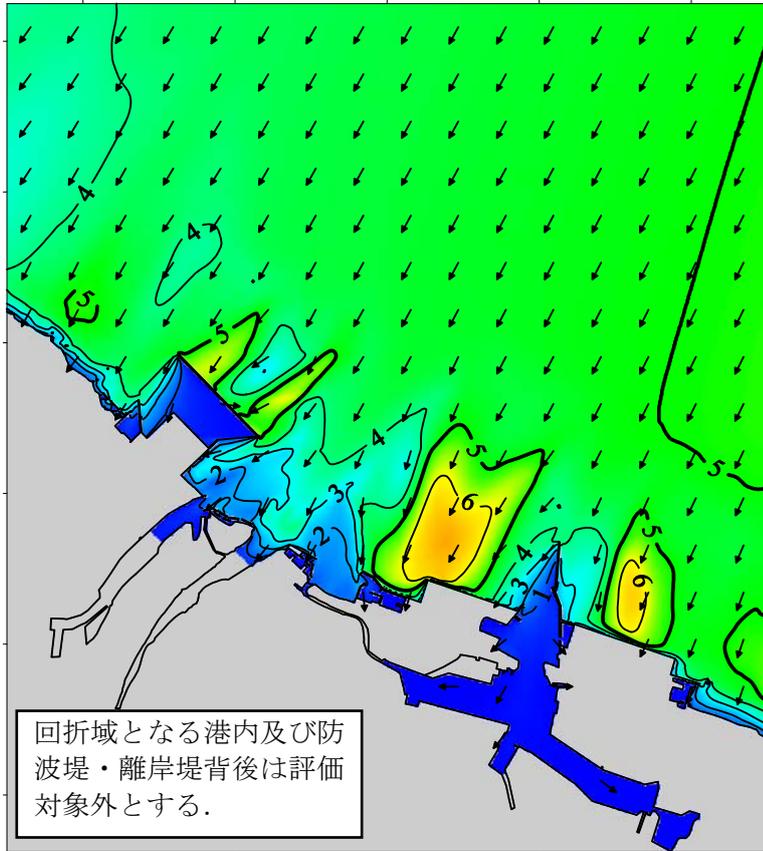
【富山湾の波浪特性（富山湾全体）】



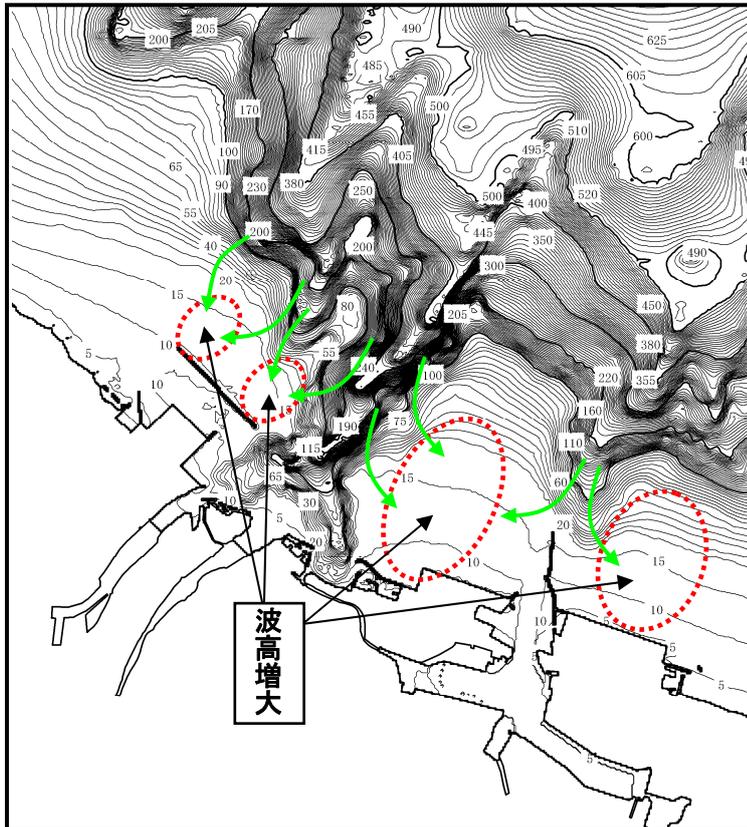
富山湾の被災地区（平成20年2月の被災，第1回委員会資料より抜粋）



【富山湾の波浪特性（伏木地区，新湊地区）】

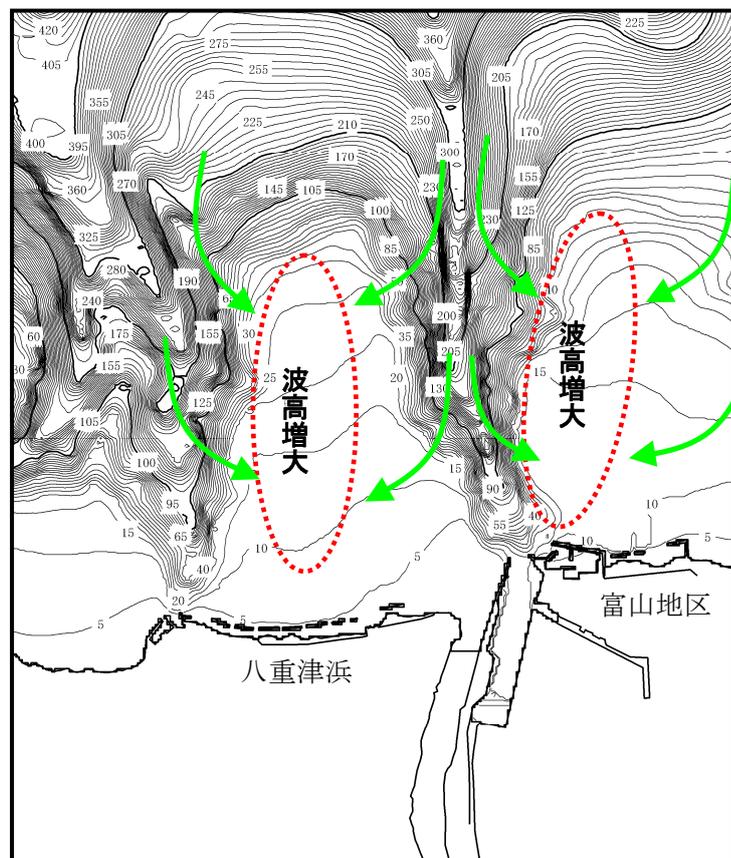
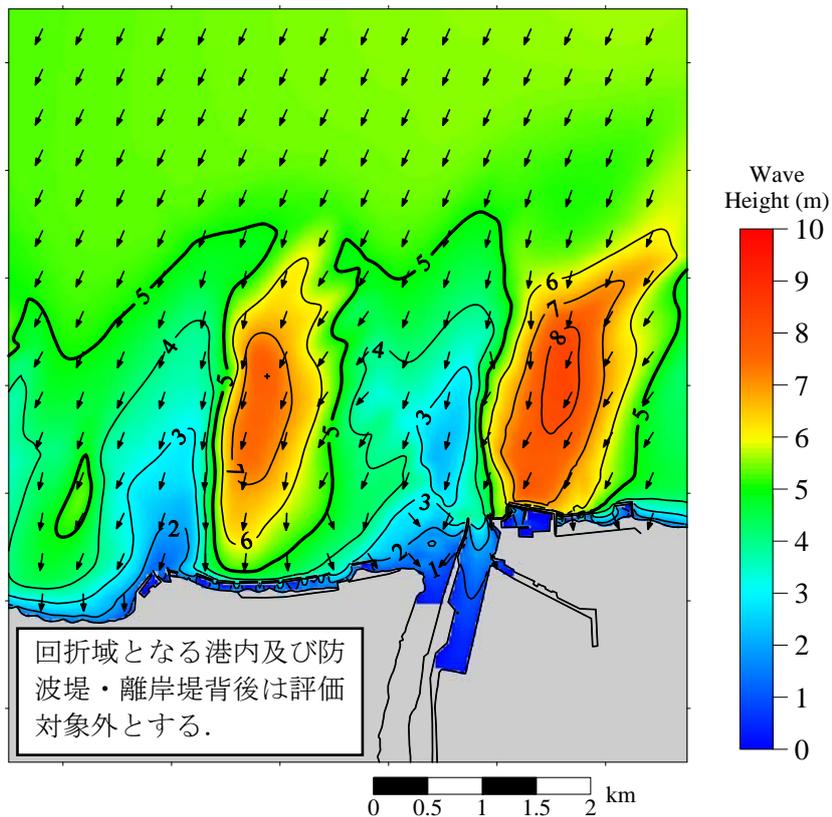


- ・被害箇所では，波高が高くなっている。
- ・港前面の複雑な海底地形（あいがめ）により屈折現象，浅水変形で波高が集中している。



- ・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）】



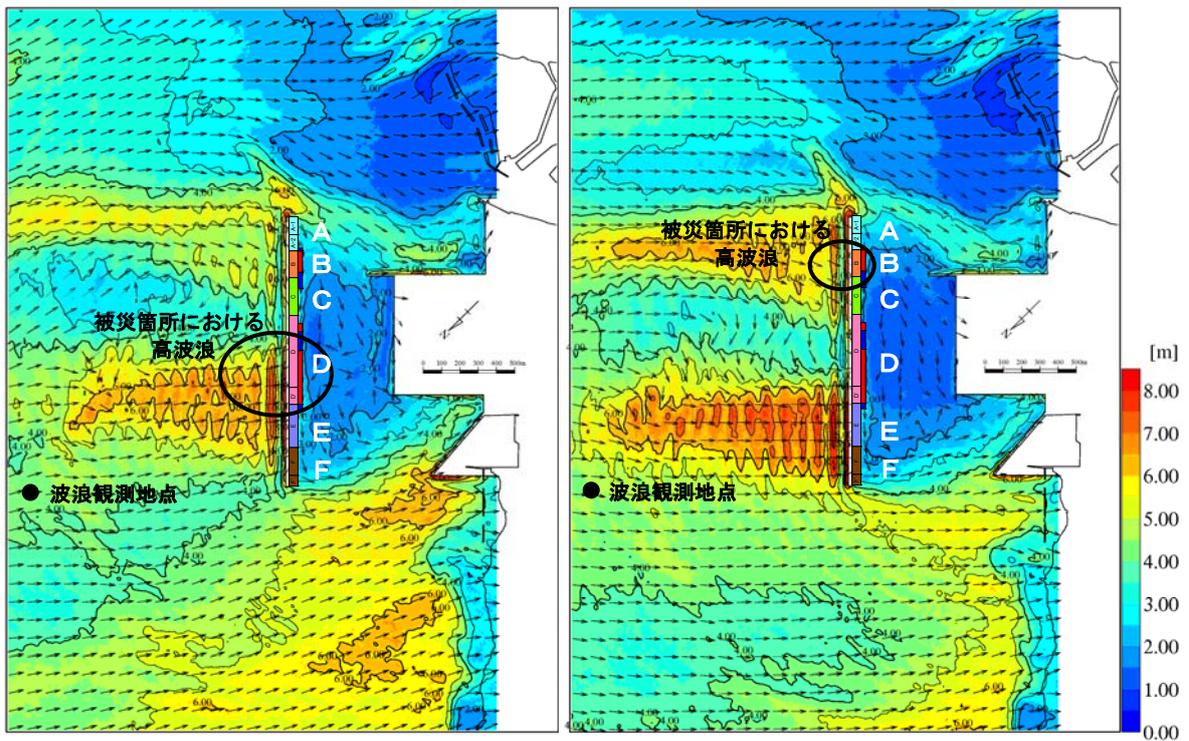
- ・八重津浜前面の複雑な海底地形（あいがめ）により屈折現象，浅水変形で波高が集中している。
- ・港前面の複雑な海底地形（あいがめ）により屈折現象，浅水変形で波高が集中している。

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）。

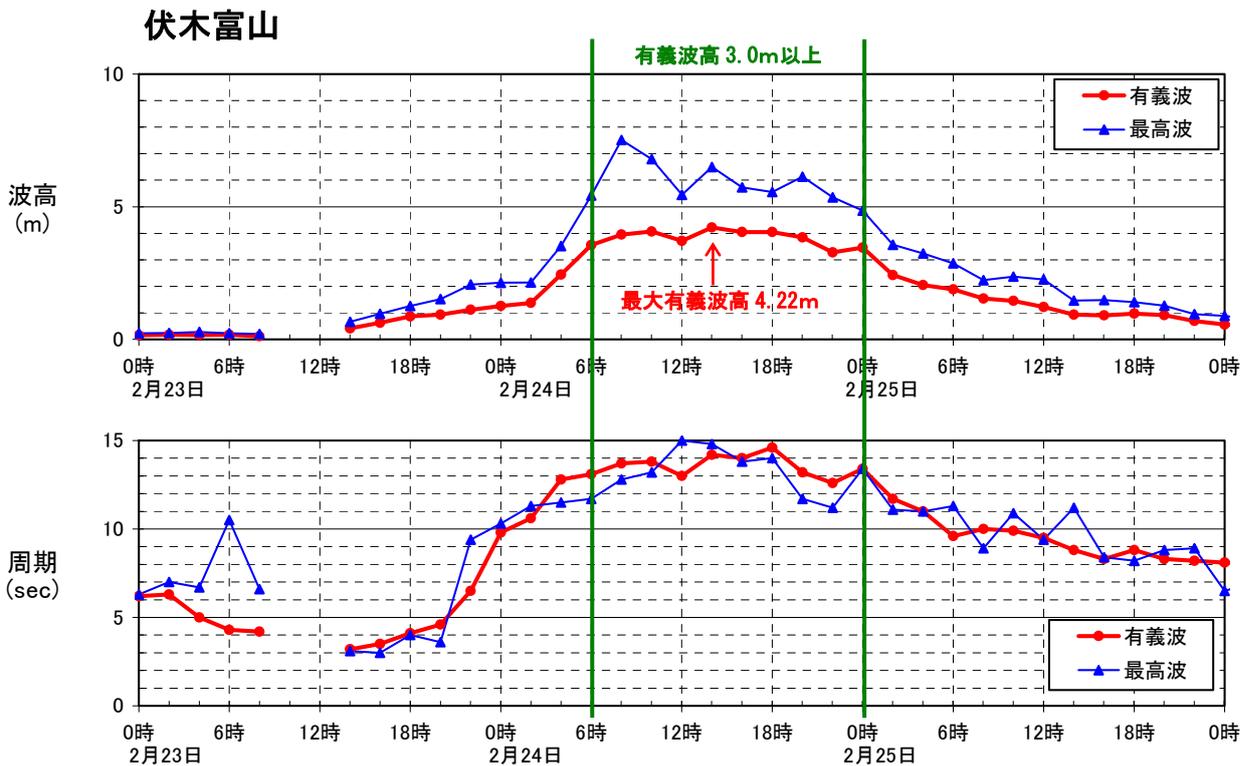


図 3-2 有義波と最高波の時系列図

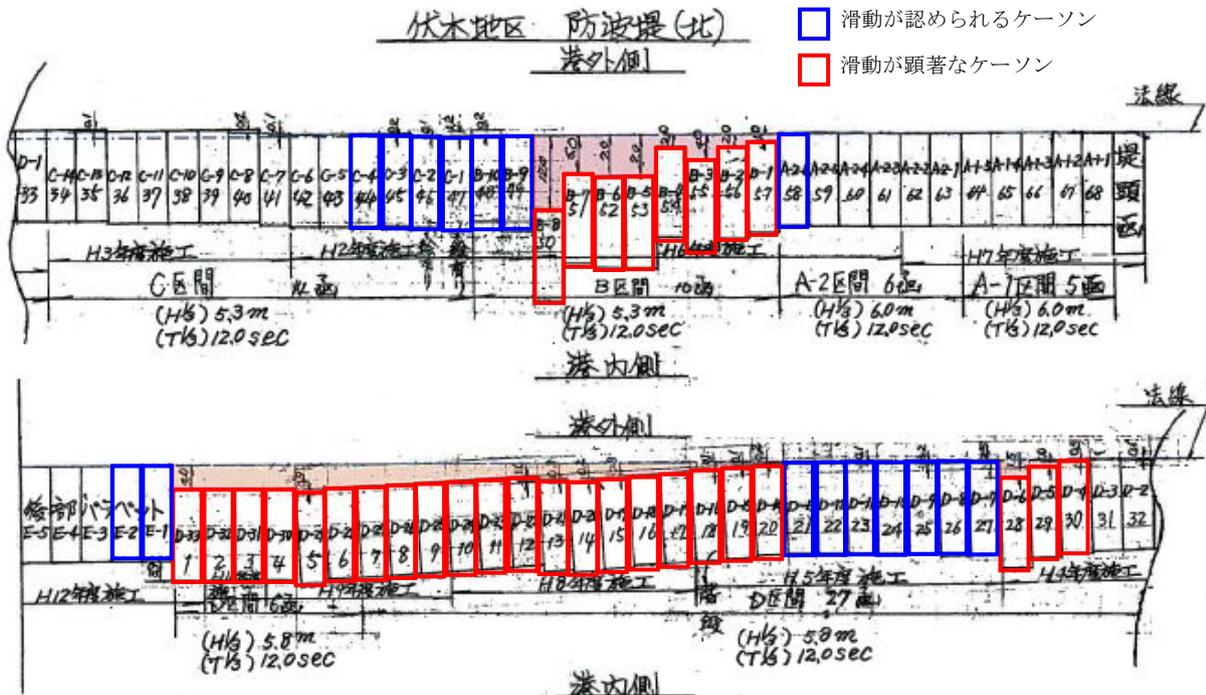
伏木富山港(伏木地区)冬期風浪(H20.2.24)被災箇所



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。

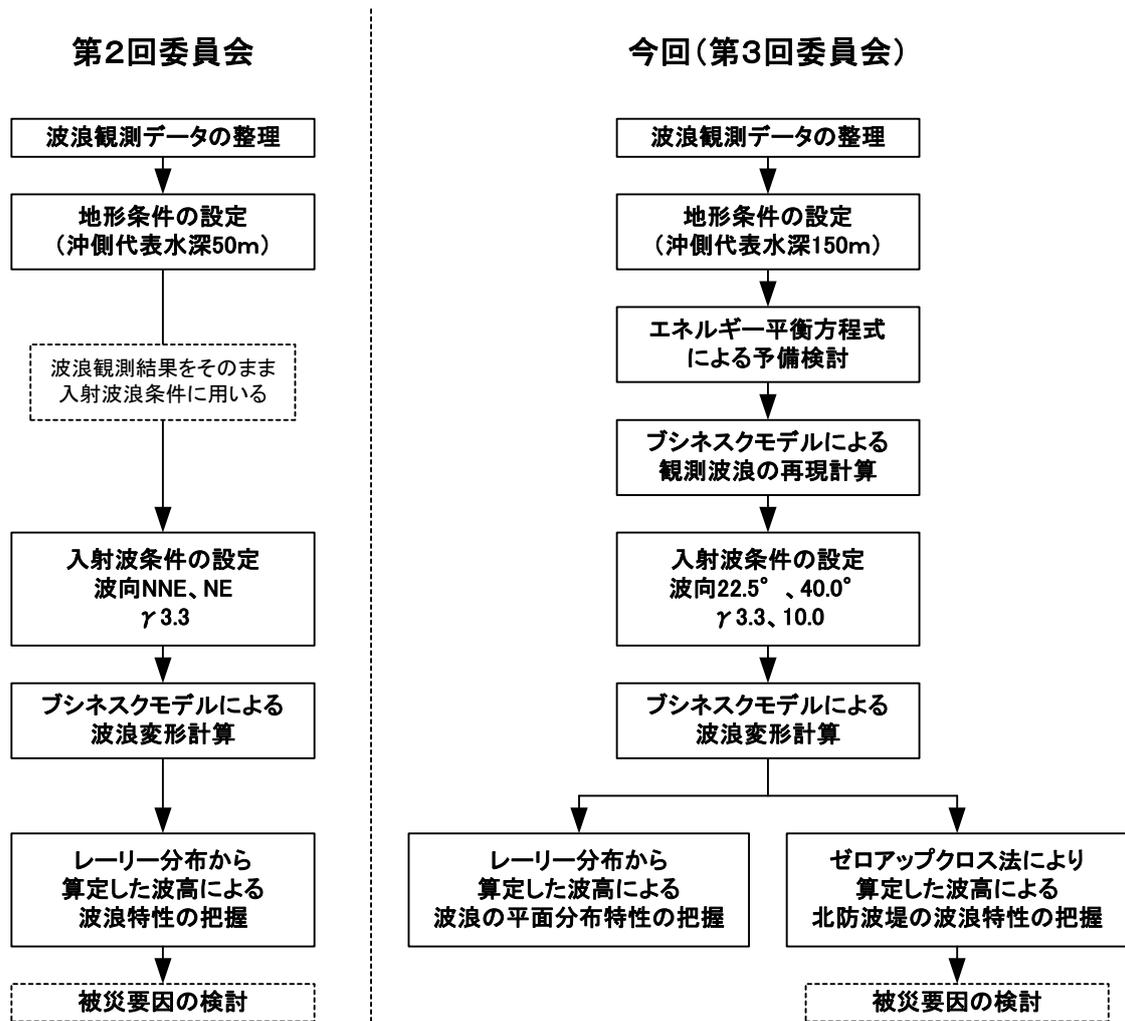


図 3-4 波浪特性の検討フロー

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 $\pm 6\text{cm}$ 、波向については $\pm 2^\circ$ 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。

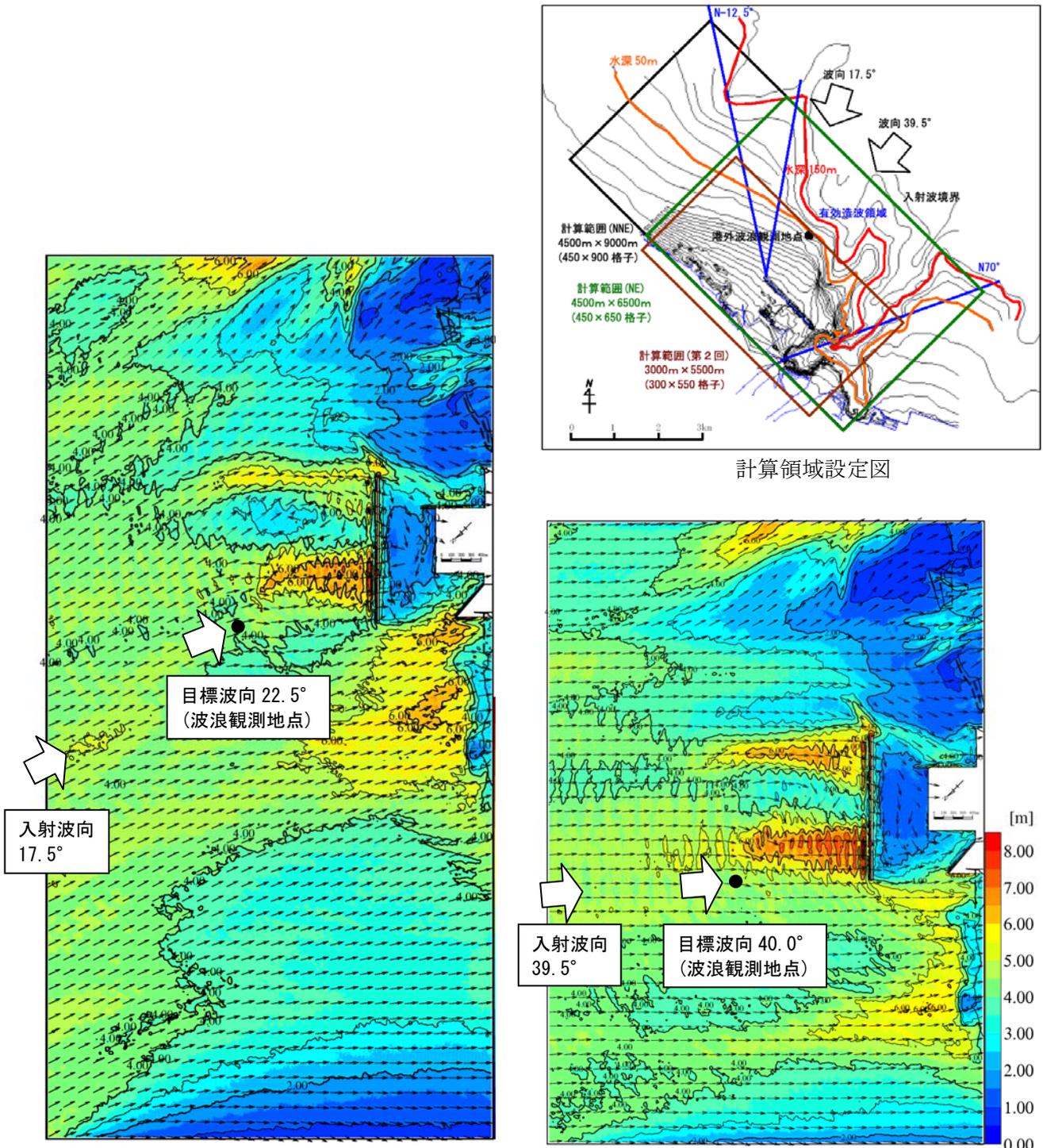


図 3-5 計算領域設定図と波浪変形計算結果例 (γ 3.3、反射あり)

(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。

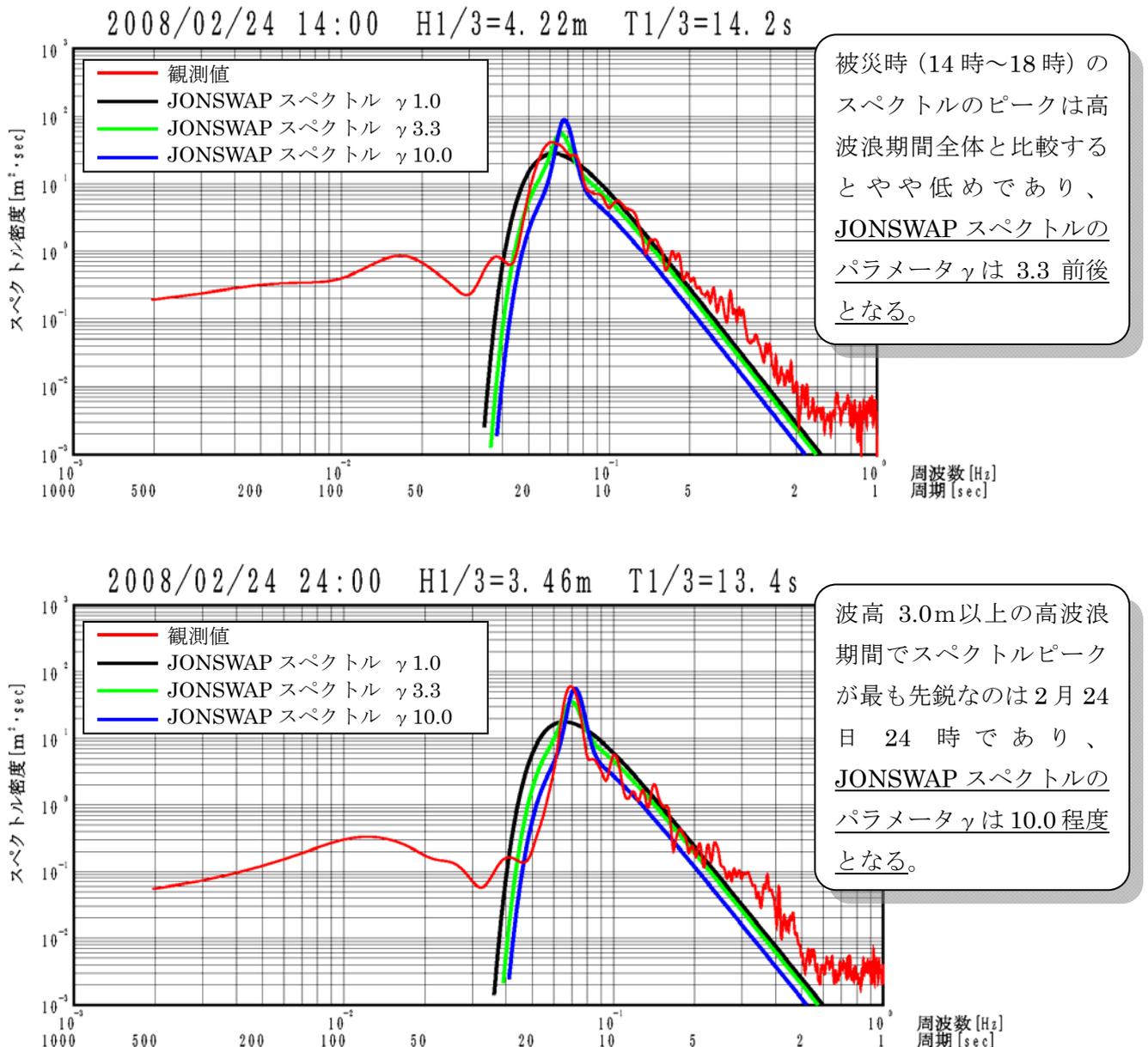


図 3-6 観測波浪のスペクトルと標準スペクトル（抜粋）

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。

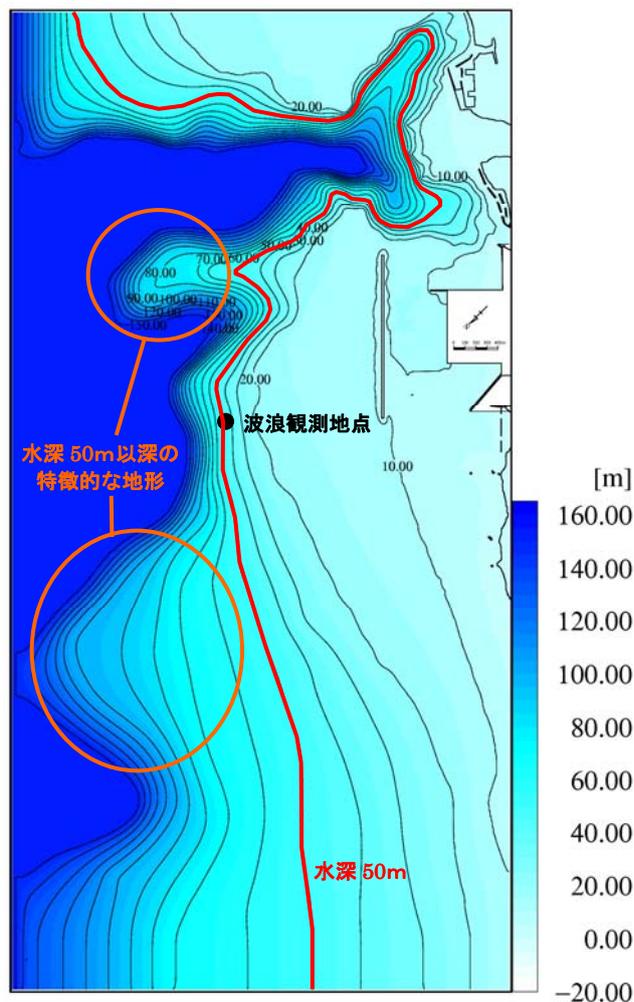


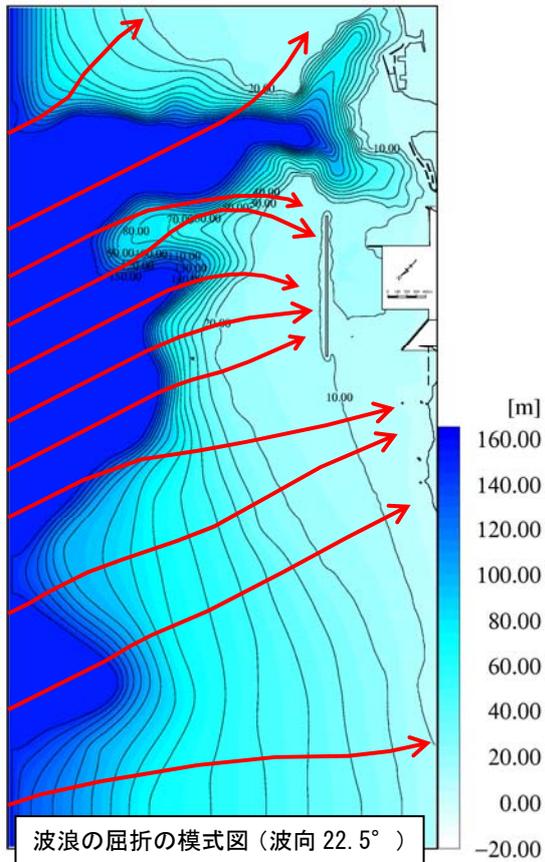
図 3-7 計算水深図

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。

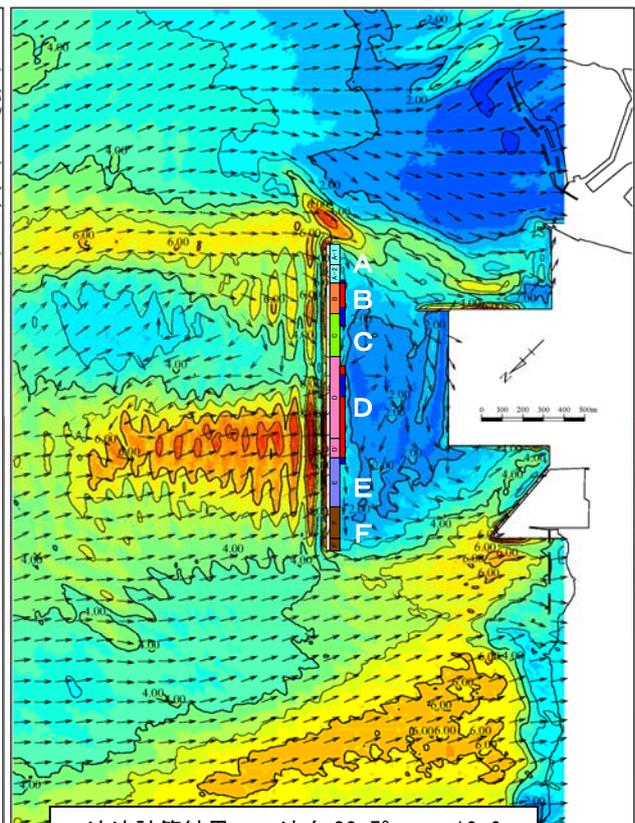
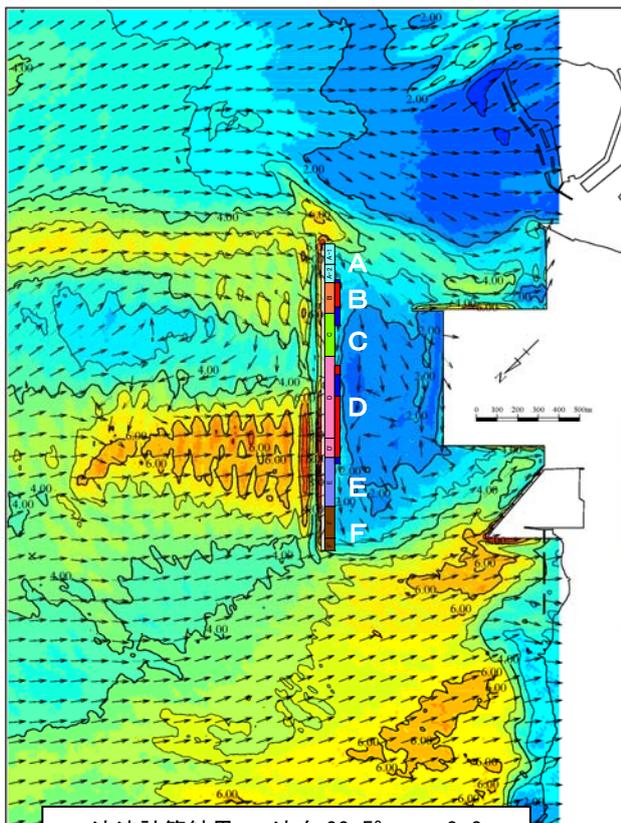
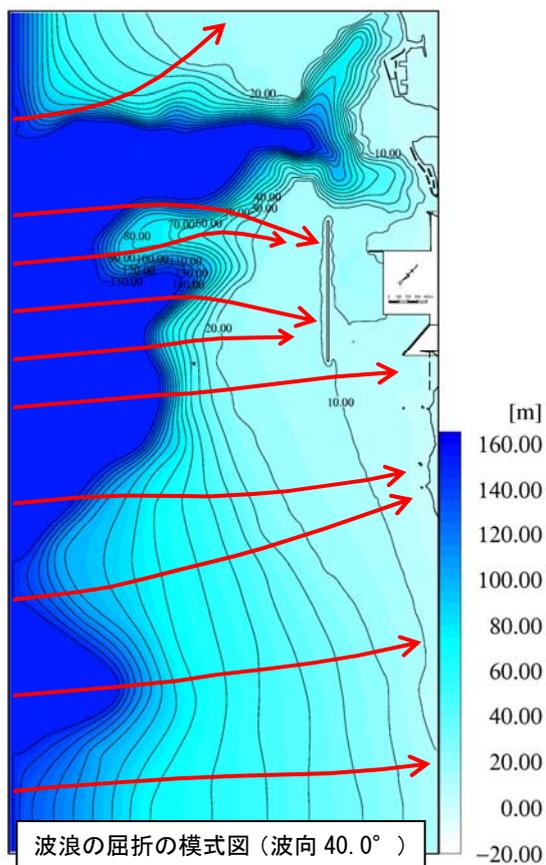


図 3-8(1) 被災波の波浪計算結果 (反射あり)



- 【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。

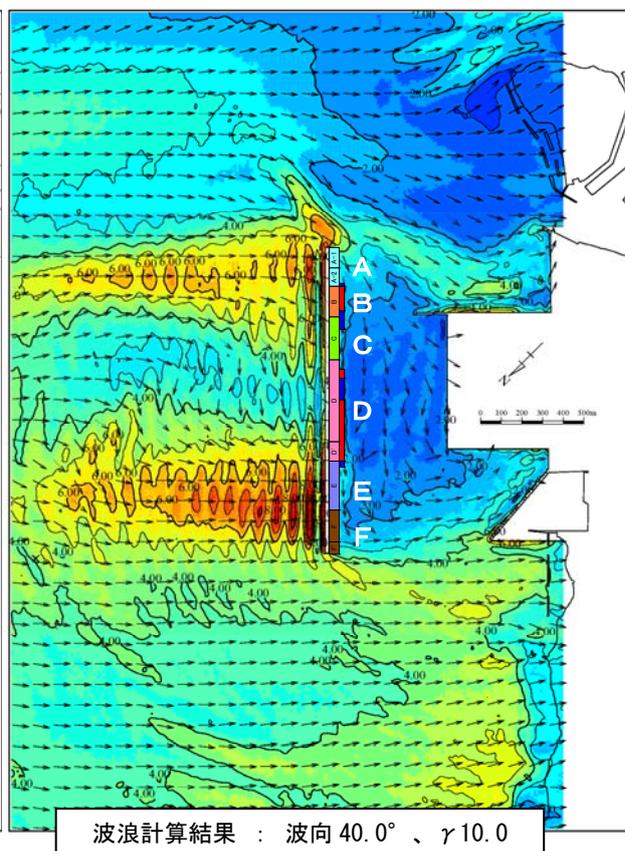
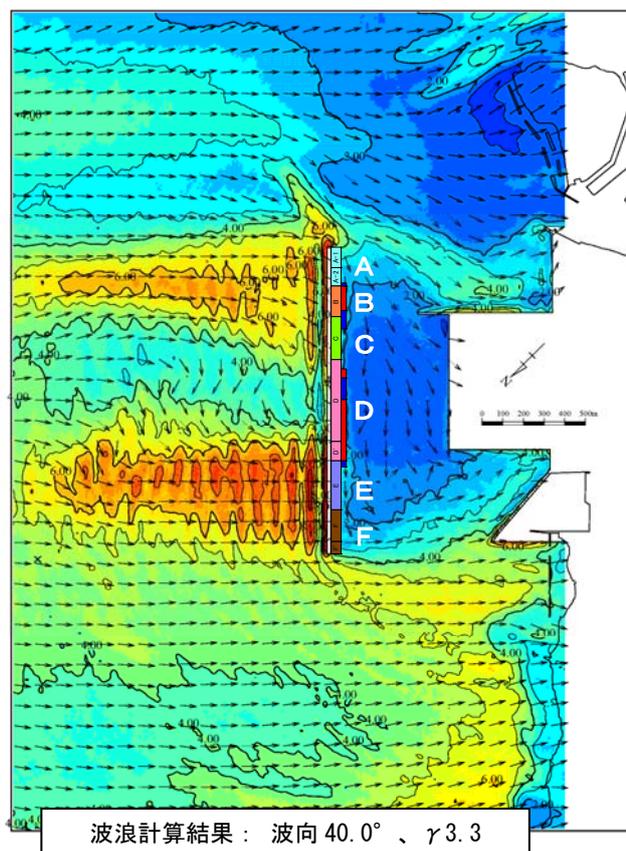


図 3-8(2) 被災波の波浪計算結果 (反射あり)

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。

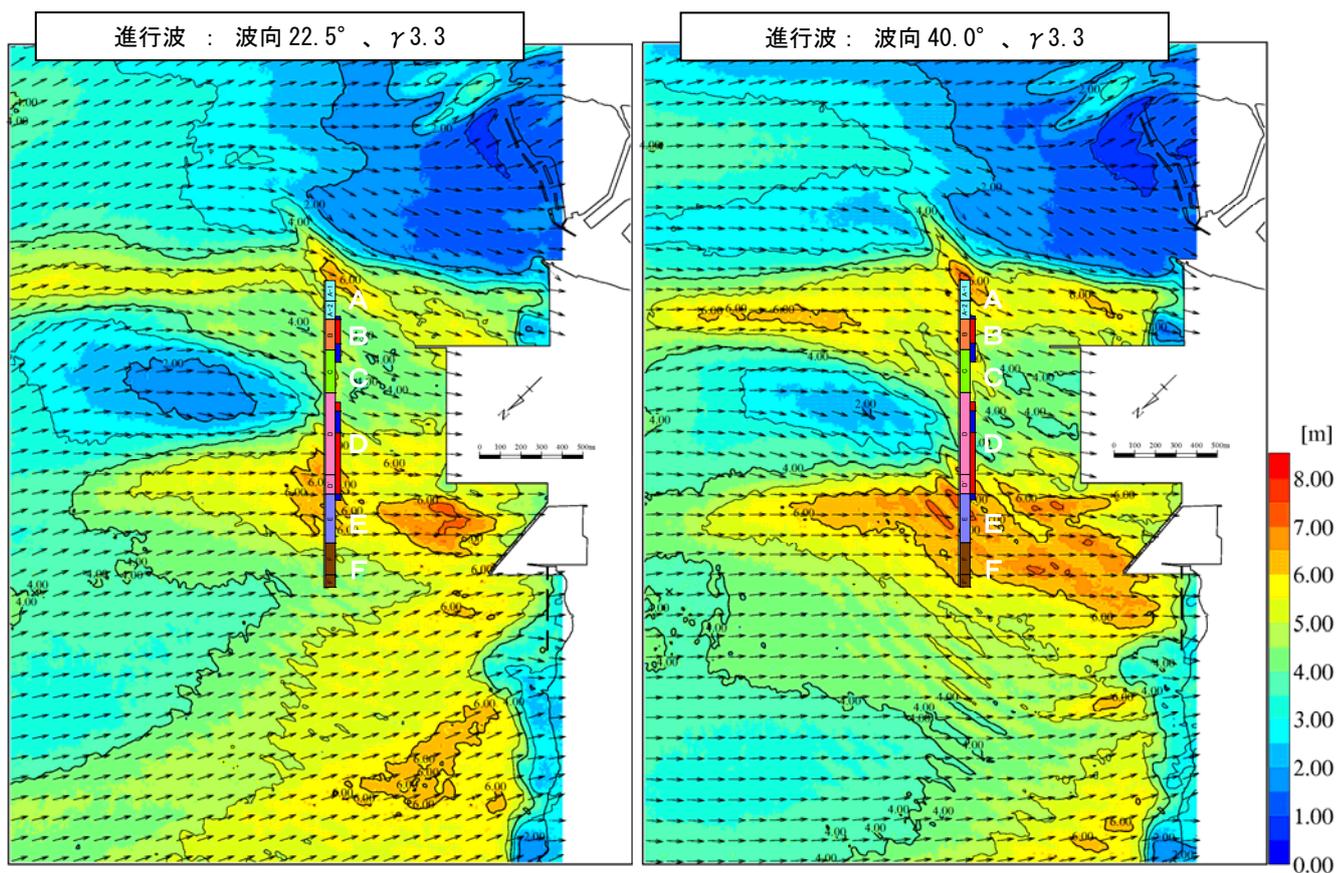


図 4-1 被災波の波浪計算結果例（反射なし、構造物は完全透過）

(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。

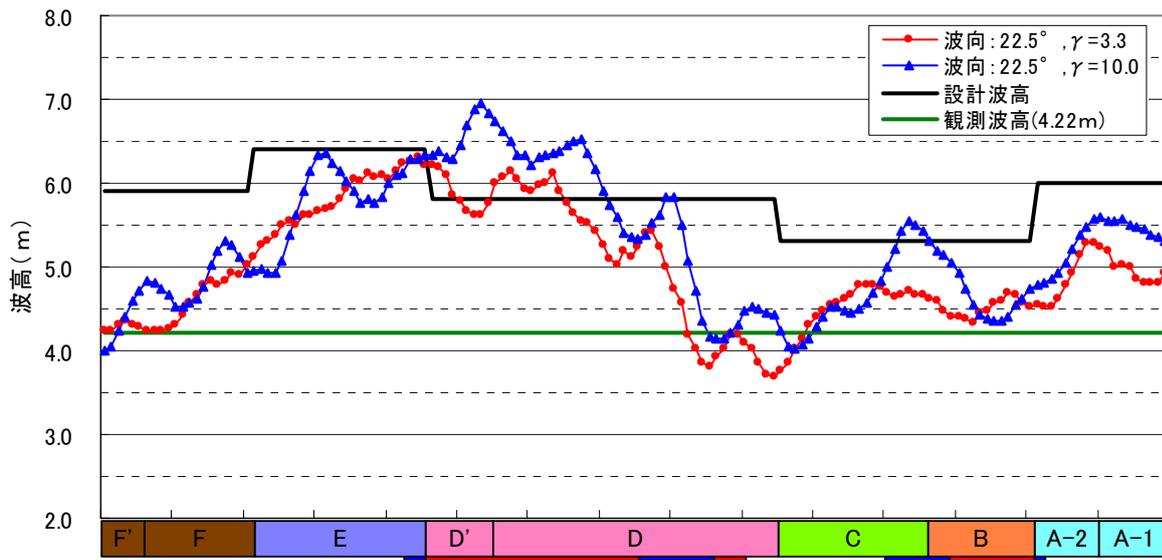


図 4-2(1) 北防波堤前面の波高分布（波向 22.5° 、堤体前面 25m地点、進行波）

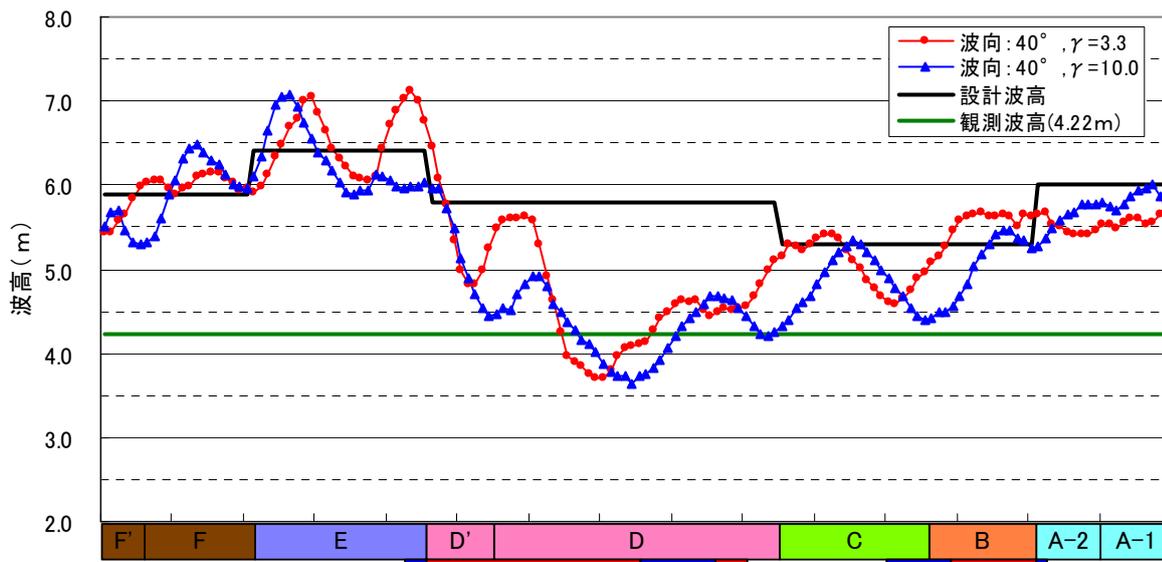


図 4-2(2) 北防波堤前面の波高分布（波向 40.0° 、堤体前面 25m地点、進行波）

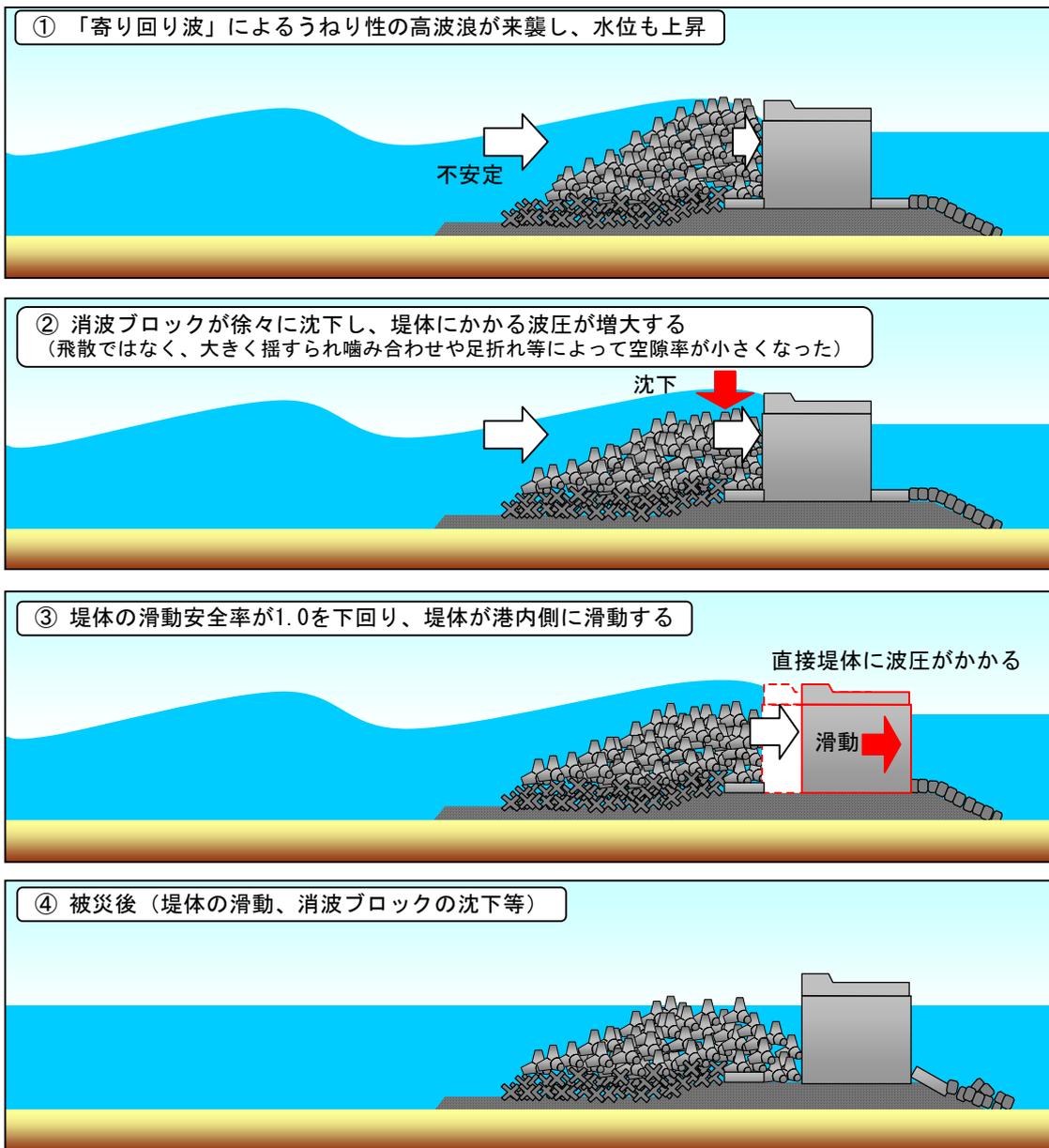
- は被災(大)あり
- は被災(小)あり

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。

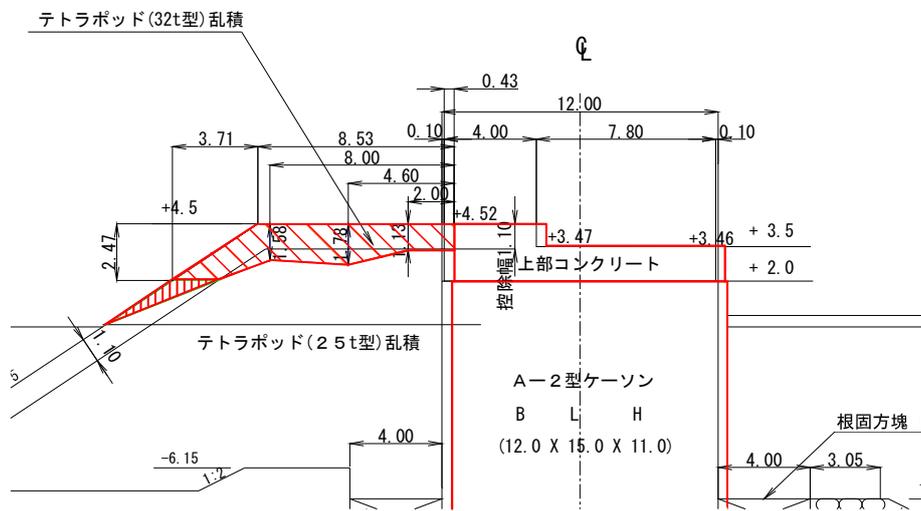
北防波堤の被災メカニズムのイメージ図



【参考資料】

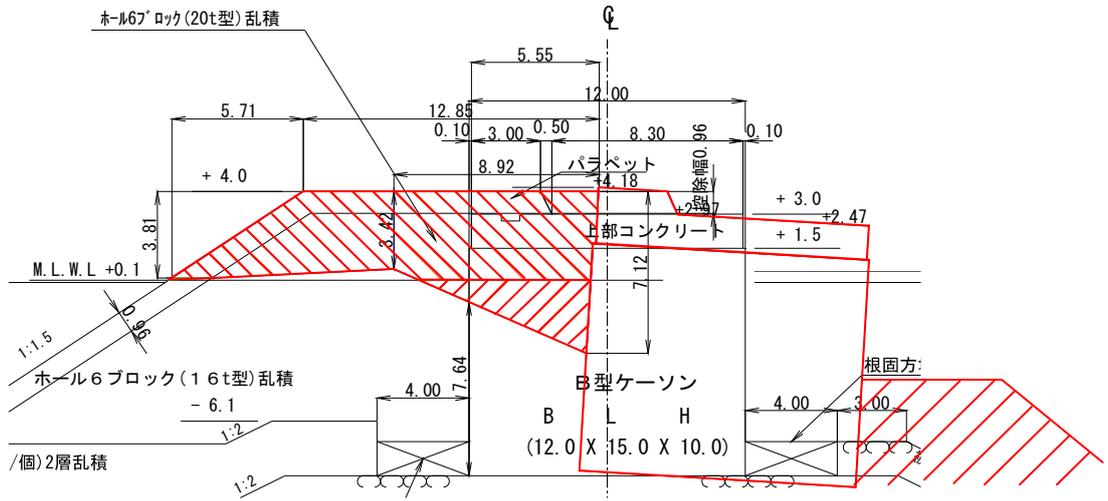
A-2区間の消波ブロック沈下状況

断面図 (A-2区間)

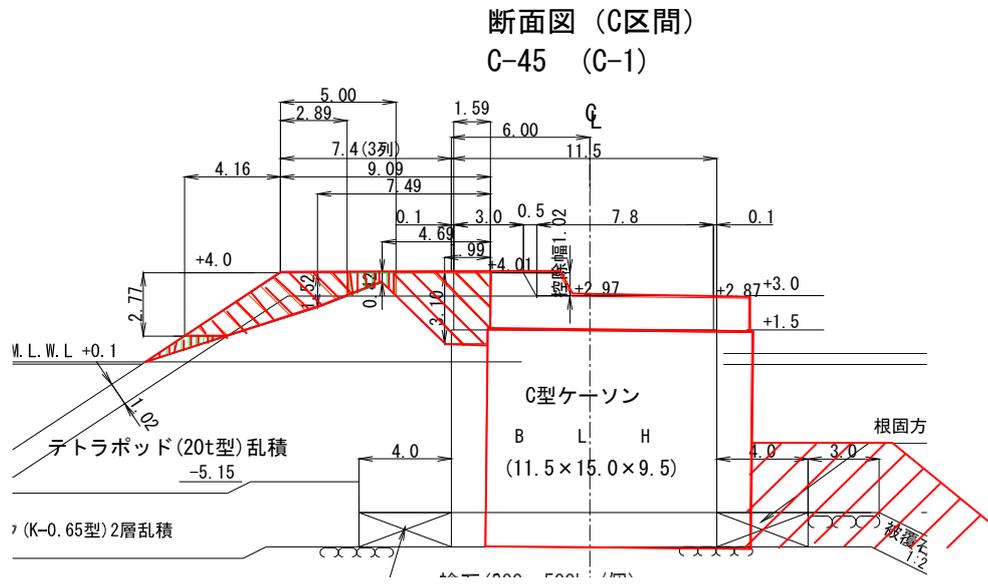


B区間の消波ブロック沈下状況

断面図 (B区間)
B-105m (B-3)

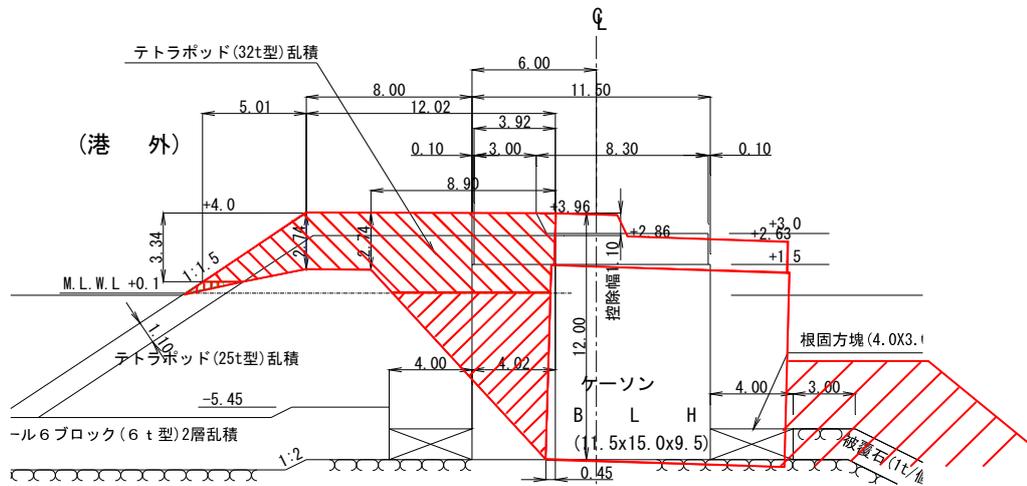


C区間の消波ブロック沈下状況



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

