

平成29年度

# 苫前漁港西外護岸における 越波・飛砂対策の検討について

留萌開発建設部 留萌港湾事務所 第2工務課

○本田 達也  
本山 賢司  
西村 裕毅

苫前漁港では、冬季における西外護岸からの越波や護岸背後の土砂の堆積によって、荒天時の港内利用に支障をきたしているが、被害メカニズムを予測するための越波状況の基礎資料が不足していた。そこで、本報告ではWEBカメラによる越波観測と飛砂調査を行い、これらのメカニズムを明らかにするとともに、西外護岸の越波・飛砂対策方法に関する検討結果について述べる。

キーワード：越波対策、自然災害、維持管理

## 1. はじめに

苫前漁港は、北海道日本海側に位置する第3種漁港である(図-1)。本漁港は、季節風の影響を受ける海域特性から、冬季において、西外護岸における越波・越流が激しく、護岸背後の土地利用や漁船係留に支障をきたしている。特に2014年11月から12月にかけて冬型の気圧配置により大時化となり、用地に大量の土砂が流入し、漁業活動に甚大な被害を与えた(写真-1)。さらに、このような土砂流入を伴う被害を繰り返したため、越波・飛砂対策が急務となっているが、被害メカニズムを予測するための越波状況の基礎資料が不足していた。そのため、現地観測により越波・飛砂の状況を把握するとともに、発生要因や適切な解析・評価方法について検討したものである。



図-1 苫前漁港位置図

## 2. 現地観測

越波・飛砂対策を検討するためには、越波高や飛沫の飛散距離等の越波発生時の状況、土砂流入及び飛砂のメカニズムを想定することが重要となる。苫前漁港において越波状況の基礎資料が不足していた要因として、越波が発生する気象海象条件が明らかでないこと、越波時に被害箇所へ近づくことが困難であること、現地で越波状況を目視するために約1時間の移動時間を要することが挙げられる。このような課題に対して、Webカメラを用いることで、越波の状況を連続観測でき、常時観測可能な体制を構築した。さらに、飛砂状況を把握するために、風況観測と捕砂器による飛砂調査を実施した。



写真-1 2014年11月5日 被害状況

## (1) 越波観測

Web カメラは、西外護岸基部の既設電柱、高さ 5m の位置に固定し、基部から沖合を望む護岸法線方向を撮影した(図-2)。観測期間は、2016年 11月 1日～2017年 1月 20日の 81日間で、可視可能な時間帯 7:00～16:00 に実施した。観測の内容は、越波高、飛散範囲、海側・遡上状況、堆砂状況及び波浪遡上状況の 5項目を実施した。

観測の結果、波の作用を確認できたデータ数は 2,359 個であり、このうち 16%となる 373 個で越波を確認した。図-3 に越波観測結果の一例を示す。Web カメラを用いた越波観測は、従来のビデオカメラによる観測と比較して、現地に移動せずに記録を開始出来る点、長時間の記録が可能で数多くのサンプルを得ることが出来る点で優位性が認められる。これにより、越波が発生しないケースも含めた外力条件との関係分析や越波の発生形態の確認が可能となった。

一方、護岸基部の海岸を遡上した波の越流を予想していたところ、観測期間中には確認できなかった。越流が発生しなかった要因として、越流を生じるような波浪の小さかった可能性は否定できないものの、2015 年に設置した 2段積みの土のうにより、越流が抑えられていた可能性も考えられる。

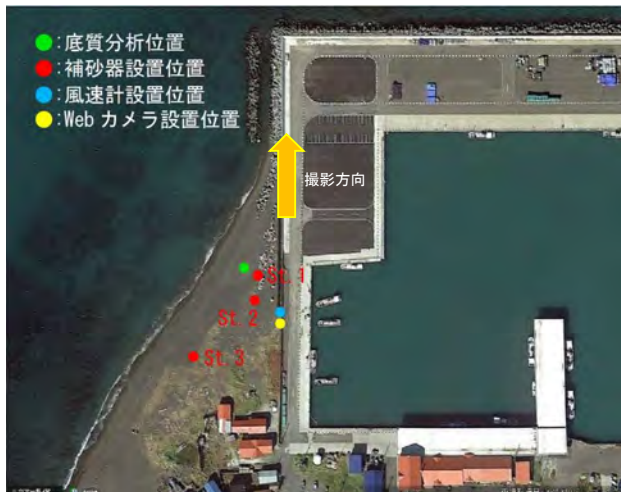


図-2 現地観測機器等位置図

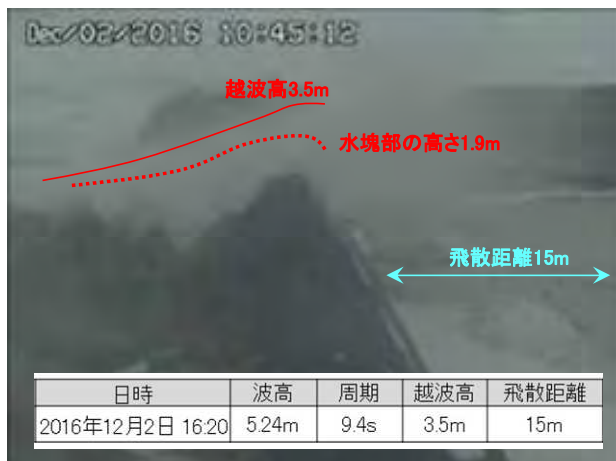


図-3 現地観測結果

## (2) 飛砂調査

飛砂調査は、図-2 に示す St.1～St.3 の 3箇所に捕砂器を設置し、強風の発生が見込まれる 2016年 11月 16日 と 11月 17日の 2日間で実施した。捕砂器の仕様を表-1 に示す。捕砂器は、単管で組み上げた枠に、80 $\mu$  のネットを 5段階に取り付け、1時間毎の飛砂量を計測した。

飛砂試料の計量結果を表-2 に示す。この結果、100 cm に設置したネットで捕砂が無かったことから、現地の飛砂高は 100cm未満であったことが確認できた。なお、飛砂試料については、11.9g という少量につき、試験を実施できなかった。

次に、捕砂器を設置した海岸の砂の粒度・密度試験結果を図-4 に示す。底質分析の結果、捕砂器前面の砂浜での中央粒径(D50)は 0.98 mm、10%粒径(D10)は 0.46 mm、土粒子の密度は 2.697g/c m<sup>3</sup>であった。

表-1 捕砂器の仕様

	St.1	St.2	St.3
補砂時間	60分/1回 × 5回		
補砂器	吹き流し式		
開口部	30cm × 10cm		
ネット長	60cm		
ネット目合	80 $\mu$ (プランクトンネット)		
設置高	地上から5cm、25cm、50cm、75cm、100cm		
採泥	1地点1回		
底質分析項目	粒度・密度試験		

表-2 飛砂試料の計量結果

11月16日		No.1					No.2					No.3					単位:g
回	時間	5cm	25cm	50cm	75cm	100cm	5cm	25cm	50cm	75cm	100cm	5cm	25cm	50cm	75cm	100cm	
1	8:00~9:00	0.3206					0.0072					0.5776					
2	9:30~10:30	0.1048	0.0615				0.0240	0.0046				0.5494	0.0790				
3	11:00~12:00	0.9364	0.1950	0.0281			0.2195	0.0035				0.5052	0.0441				
4	12:30~13:30	0.7689	0.1147	0.0224			0.0985	0.0227	0.0080			0.1688	0.0479	0.0314			
5	14:00~15:00	1.3255	0.1829	0.0452	0.0348		0.3946	0.0139	0.0108	0.0110		1.8763	0.0776	0.0469	0.0676		

11月17日		No.1					No.2					No.3					単位:g
回	時間	5cm	25cm	50cm	75cm	100cm	5cm	25cm	50cm	75cm	100cm	5cm	25cm	50cm	75cm	100cm	
1	9:00~10:00											0.0665					
2	10:30~11:30	0.0312	0.0123				0.0130					0.0327	0.0222				
3	12:00~13:00	0.0302	0.0156				0.0094					0.8100	0.0627				
4	13:30~14:30	0.0929					0.0146					0.2233	0.0404				
5	15:00~16:00	0.2597	0.0798	0.0315	0.0655		0.0146	0.0150				0.8590	0.0482	0.0337	0.0501		

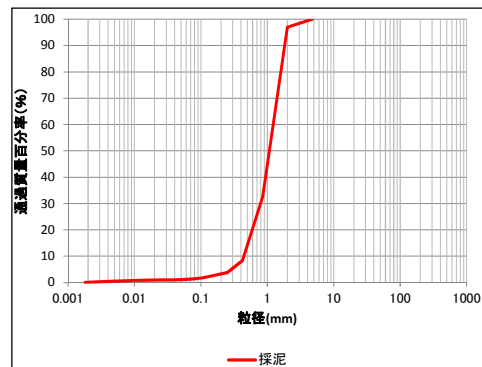


図-4 粒度加積曲線

### (3) 風況観測

風況観測は、図-2 に示す箇所に地上より 5.0m の高さ  
に風向・風速計を設置し、越波観測と同じ期間実施した。  
1 秒毎の瞬間値を連続観測し、10 分間平均風速および 10  
分間平均風向、最大瞬間風速および最大瞬間風向に統計  
処理をした。

観測結果による 10 分間平均風速および最大瞬間風速  
について、期間内の最大値と出現頻度図を表-3 と図-5  
にそれぞれ示す。

観測期間中の 10 分間平均風速の最大値は 20.4 m/s  
(2016 年 11 月 18 日 22:00)、最大瞬間風速の最大値は 28.8  
m/s (2016 年 11 月 18 日 21:52)であった。また、卓越風向  
は海側からの西外護岸正面方向となる WSW 方向および  
W 方向であった。

表-3 観測期間内の最大値一覧

	10分間平均風速			最大瞬間風速		
	起時	最大値	風向	起時	最大値	風向
全期間	2016/11/18 22:00	20.4m/s	WSW	2016/11/18 21:52	28.8m/s	WSW
10月	2016/10/30 22:30	14.2m/s	WSW	2016/10/29 17:20	20.5m/s	W
11月	2016/11/18 22:00	20.4m/s	WSW	2016/11/18 21:52	28.8m/s	WSW
12月	2016/12/18 09:00	19.1m/s	WSW	2016/12/01 19:23	25.6m/s	SW
01月	2017/01/12 08:50	17.1m/s	WSW	2017/01/12 08:47	26.2m/s	W

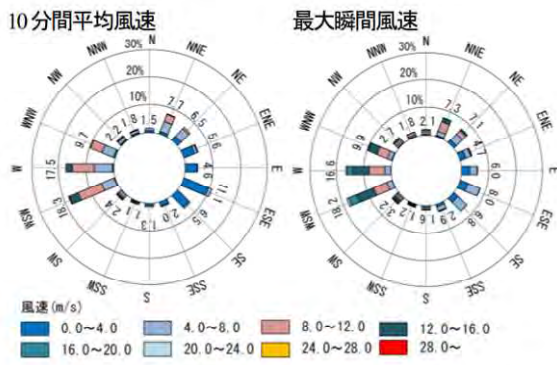


図-5 風向別風速出現頻度図

### 3. 越波特性の解明

越波発生状況と外力の関係について、護岸前面におけ  
る換算沖波波高  $H_0'$ 、有義波周期  $T_{1/3}$  (Nowphas 留萌  
波浪観測値を基に算定 (以下、波高、周期と称す))、  
潮位  $h$  (留萌港潮位観測値、気象庁)、平均風速  $u$  (現  
地観測結果より地上 10m 風に補正 (以下、風速と称  
す)) をパラメータに、越波高  $he$  および飛散距離  $l$  との  
相関を分析した。

各パラメータと越波高、飛散距離の相関図をまとめた  
ものを図-6、図-7に示す。

相関が高いとは言えないものの、越波高と波高、飛散  
距離と風速の相関については、もっとも高かった。また、  
越波高は、波高 3m 程度の事象時にバラツキが多いもの  
の、波高が高くなるにつれて、バラツキが少なくなる傾  
向にあった。なお、周期や潮位と越波高・飛散距離には  
明確な関係性がみられなかった。

波高・波向と越波高の関係を見るため、波向別にマー

カーの色を変えたが、明確な関係は見られなかった (図  
-8)。相関が最も高かった波向は、WSW であった。

今度は、波高・潮位と越波高の関係を見るため、潮位  
別にマーカーの色を変えたが、こちらも明確な関係は見  
られなかった。ただし、潮位が高いほど相関が高くなる  
傾向にあった (図-9)。

以上の解析結果から、波高、風速、潮位を説明変数と  
する越波高 (胸壁からの高さ)、飛散距離の重回帰式を  
求めた (式 1、式 2)。

$$h = 0.4362H + 0.0497u \quad (\text{式1})$$

$$l = -4.1795 + 1.5923H + 0.6957u \quad (\text{式2})$$

$h$ : 越波高 (m)、 $l$ : 飛散距離 (m)

$H$ : 波高 (m)、 $u$ : 風速 (m/s)

飛散量についても解析を行ったが、年間飛砂量が最大  
値で  $0.00206 \text{ m}^3/\text{m}$  という結果になり、漁港内に流入す  
る砂のほとんどは越波・越流に伴い流入したものであり、  
風による直接的な飛砂の影響は少ないものと推定される。

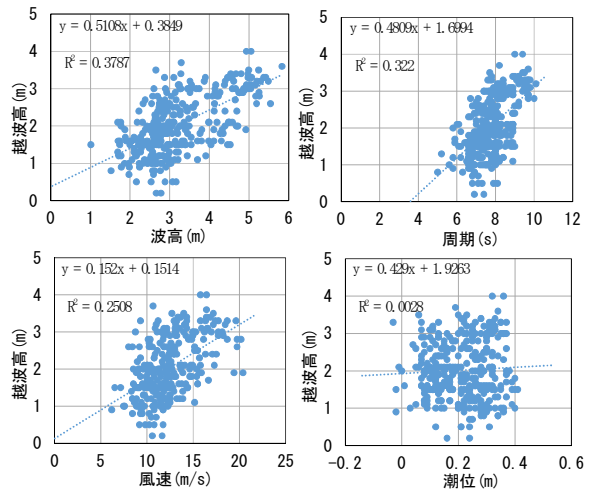


図-6 波高・周期・風速・潮位と越波高の相関図

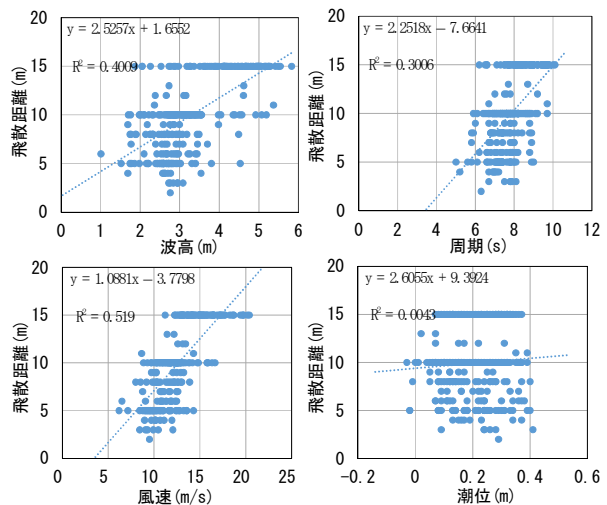


図-7 波高・周期・風速・潮位と飛散距離の相関図

越波特性として、以下の事項が確認された(図-10)。

- ①波高 2m 以上、風速 7.5m/s 以上、波高 WSW~NW、風向 WSW~W で越波の発生が顕在化する。
- ②波高 3m 程度で越波高 1~3m 程度の発生頻度が最も大きく、波高 5m 程度の高波浪時に越波高越波高 3~4m の頻度が大きくなる。
- ③風速 12.5m/s 以上になると、飛散距離 15m 程度の越波の発生が増加する。

- ④越波高は波高、飛散距離は風速との相関が比較的高くなった。
- ⑤飛砂高は 1m 以下である。
- ⑥風による飛砂量は微小、越波・越流による土砂流入が主である。

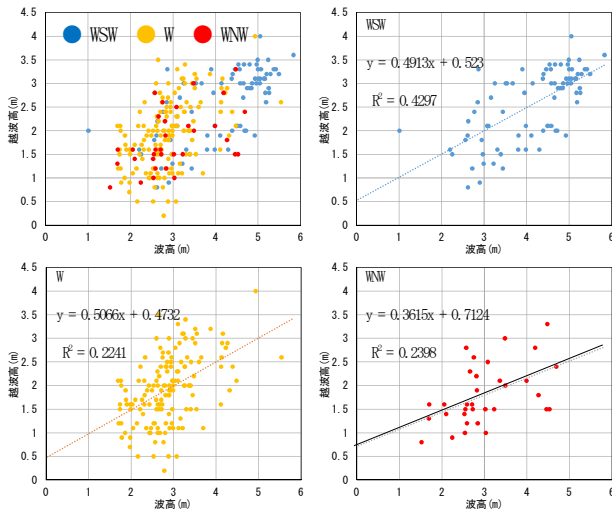


図-8 波高・越波高の波向別相関図(波向き別マーカー)

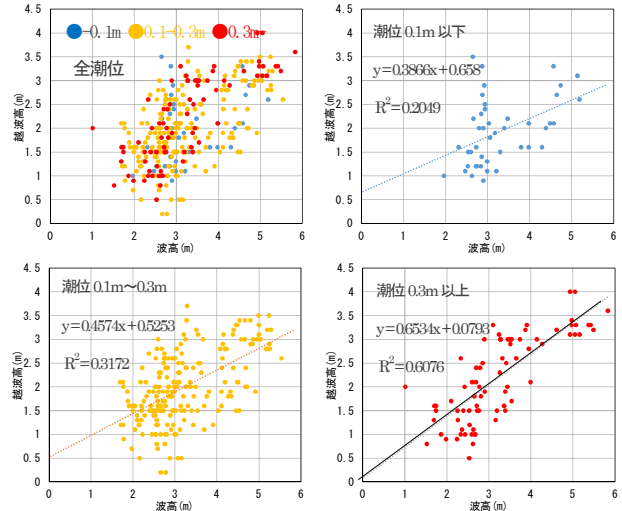


図-9 波高・越波高の波向別相関図(潮位別マーカー)

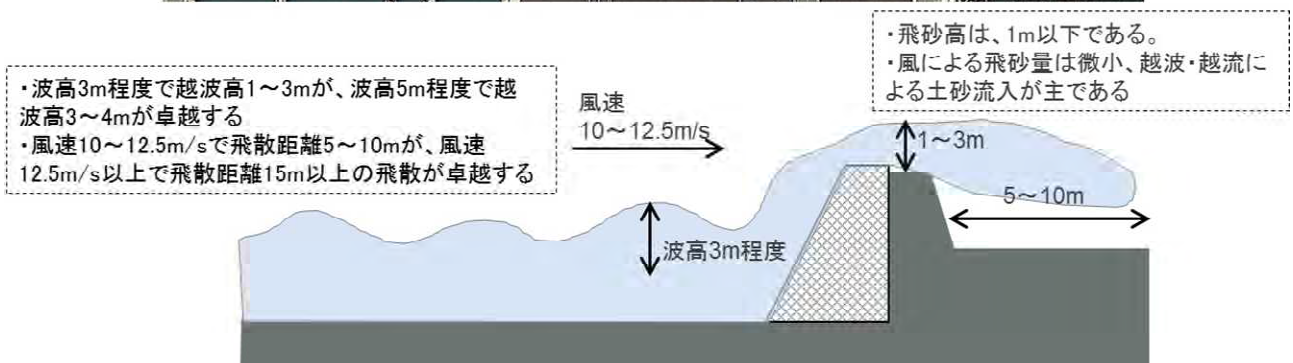


図-10 越波・飛砂発生メカニズム

#### 4. 対策工検討

西外護岸の対策工検討にあたり、対策区間を4つ分類した(図-11、図-12)

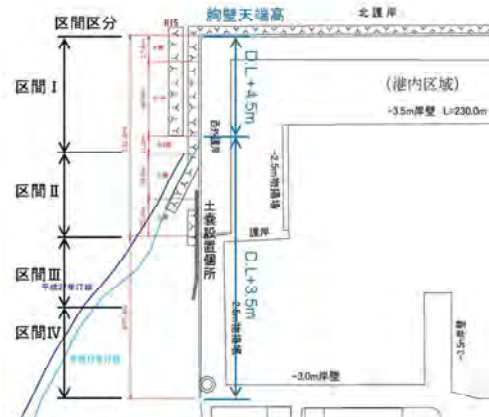


図-11 対策区間設定平面図

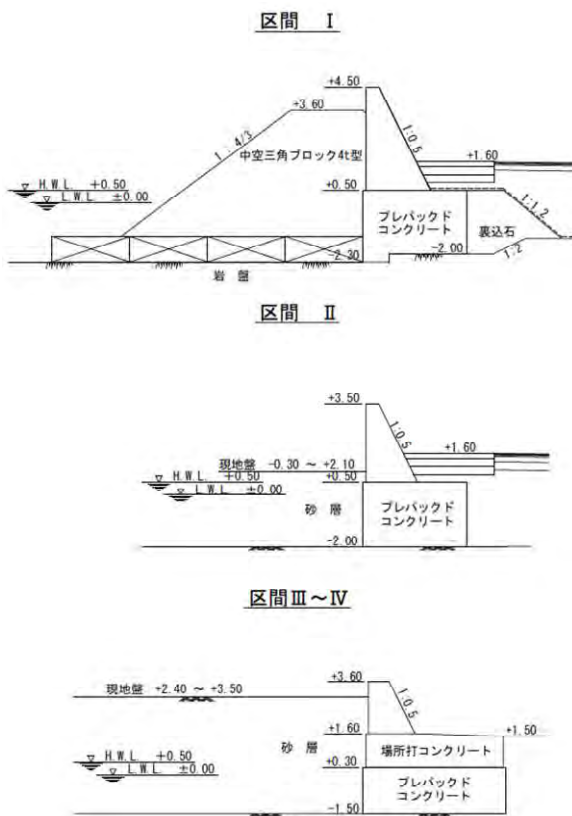


図-12 対策区間現況断面図

対策区間の区分の考え方を以下に示す。

- 区間 I : 堤脚が水中部で、水深変化が少ない
- 区間 II : 堤脚が静水面付近で、水深が変化  
主に越波が発生する
- 区間 III : 堤脚が陸上部、主に越流が発生する
- 区間 IV : 区間 III のうち、越流が発生しない

許容越波流量は、荒天時にも背後道路の利用が可能と

なるように $2 \times 10^4$ と設定した。また、区間 III と区間 IV は堤脚水深が DL ±0.0m より高い箇所にあるため、従来の設計手法である合田<sup>1)</sup>の越波流量推定図は適用範囲外となり、所定の越波流量を算定できないことから、越波の検討に実績がある数値波動水路 (CADMAS-SURF)<sup>2)</sup>を用いて、不規則波の越波流量を解析をした。なお、現地観測結果と CADMAS-SURF の相関については、水戸<sup>3)</sup>によって検証されている。これにより、透過性消波構造物や沖側の地形を考慮した解析が可能となり、碎波、越波、波の遡上など実現象に近い解析ができた。

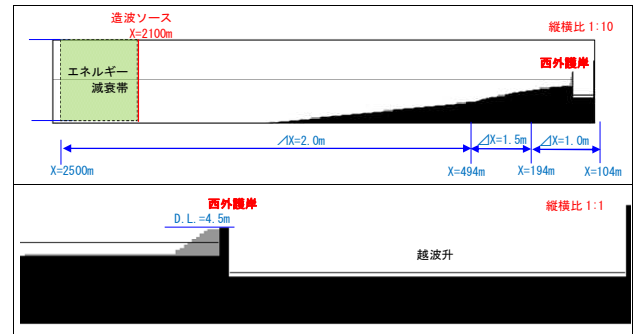


図-13 計算領域

計算モデルは、CADMAS-SURF Ver.5.1を使用した。

計算領域を図-13に示す。検討断面は、図-11に示す西外護岸へ入射角 $20^\circ$ の断面とし、堤脚地盤高は DL ±0.0 m、護岸天端高は区間毎に設定した (DL +4.5 m、DL +3.5 m)。また、水深は護岸から 450 m までは深淺測量結果に基づき作成し、それ以降は 1/100 の一様勾配として設定した。領域サイズは、現地スケールで造波ソースから護岸前面までの水平距離を 2,100 m 鉛直方向の高さを 40 m とし、造波位置での水深は 20 m とした。

格子サイズについては、護岸近傍での越波状況を精度良く再現する必要があるため可変格子を採用して、水平方向は造波ソースから護岸前面まで 2.0 ~ 1.0 m と変化させ、鉛直方向は 0.5 m と設定した。数値波動水路の格子サイズについては一般的な推奨値が示されており、今回の検討での格子サイズはこの推奨値を満足する設定である。

入射波は、Bretschneider-光易型スペクトルを有する不規則波とし、以下の計算条件の造波信号を藤原<sup>4)</sup>の方法により作成した。

計算条件は表-4に示すとおりである。

表-4 計算条件一覧

	波高 $H_o'$	周期 $T_o$	波向	潮位
区間 I	8.22m	14.0s	WSW	D. L. +0.5m
区間 II, III, IV	6.34m	14.0s	WSW	D. L. +0.5m

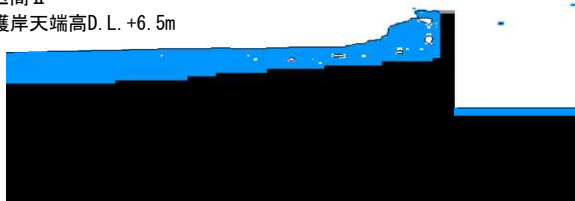
CADMAS-SURF による計算結果を踏まえた所要天端高さの算定結果を表-5に、計算課程における越波状況を図-14に示す。

区間Ⅰと区間Ⅱは合田の図による所要天端高では許容越波流量を満足することができず、計算結果より区間Ⅰで+9.0m、区間Ⅱで+6.5mを採用した。区間Ⅲの越波流量は合田の図では算定できない区間であり、許容越波流量の計算結果から+5.2mとなり、既設胸壁から1.7mの嵩上げが必要となった。なお、飛砂高さ100cm未満であることから、飛砂対策としても十分な高さであることがわかる。区間Ⅳは、越波が発生しない範囲であり、胸壁の嵩上げが不要となる。

区間Ⅰ  
護岸天端高D.L. +9.0m



区間Ⅱ  
護岸天端高D.L. +6.5m



区間Ⅲ  
護岸天端高D.L. +5.2m



図-14 対策断面の計算結果

表-5 所要天端高の算定結果

	護岸天端高 (D.L. m)	越波流量 ( $m^3/s/m$ )	合田の図による所要天端高 (D.L. m)
区間Ⅰ	+8.9	$2.33 \times 10^{-4}$	+8.5
	+9.0	$1.74 \times 10^{-4}$	
区間Ⅱ	+6.4	$5.26 \times 10^{-4}$	+6.2
	+6.5	$1.67 \times 10^{-4}$	
区間Ⅲ	+5.1	$3.46 \times 10^{-4}$	—
	+5.2	$1.70 \times 10^{-4}$	—
区間Ⅳ	+3.5	—	—

## 5. おわりに

今回の検討にて得た主要な結論を以下に示す。

- ①Webカメラを用いた現地観測は、数多くのサンプル数を得ることができ、動画で記録することで、越波の発生形態が確認できる。
- ②波高、周期、潮位、風速の外力条件と越波高、飛散距離との関係を分析した結果、有意な越波の発生条件（波浪・風況）が一義的に定められる。
- ③これらのデータを基準化し、同サイトでの波高・風速から越波高・飛散距離を算定する関係式を構築した。
- ④CADMAS-SURFにより、堤脚がD.L.±0.0mより高い箇所において、適切な越波流量の算定が行える。

## 参考文献

- 1)合田良実、岸良安治、神山 豊：不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究、港湾技術研究所報告、Vol.14、№4、pp3-44、1975.
- 2)沿岸技術研究センター：CADMAS-SURF実務計算事例集、沿岸開発技術ライブラリー、№30、2008.
- 3)水戸佳祐、八木澤一城、佐野朝昭、橋本孝治、本田達也、本山賢司、渡部靖憲：苫前漁港における越波発生特性の解明、土木学会論文集B2（海岸工学）、第73巻、pp.829-834、2017.
- 4)藤原隆一：数値波動水路内で線形理論を用いて発生させた不規則波の特性および適用限界に関する一考察、海岸工学論文集、第52巻、pp.41-45、2005.