

苫小牧港西港区外港航路における漂砂機構の検討について

室蘭開発建設部 苫小牧港湾事務所 計画課
(一社) 寒地港湾技術研究センター

○近藤 栞
大西 文雄
橋本 茂樹

苫小牧港西港区では、近年、漂砂による外港航路の一部水深減少が確認されており、今後航行船舶への支障となることが懸念されている。過年度の報文では、平成25年度までの調査結果により土砂流入のメカニズムについて報告した。その後、効果的な対策の検討が必要となる再現性の高い漂砂モデルの構築に向けて現地観測、漂砂解析を行っているところである。本報文では、その漂砂モデルの検討状況と今後の課題について報告する。

キーワード：漂砂、浮遊砂

1. はじめに

苫小牧港西港区では、近年、漂砂による外港航路の一部水深減少が確認されており、今後航行船舶への支障となることが懸念されている。

平成26年度の報文¹⁾(以降、過年度報文という。)では、平成25年度までの現地観測結果から、土砂流入のメカニズムについて、砕波帯で発生した浮遊砂が沿岸流や吹送流によって航路周辺に移流し、波高の減衰に伴い水深が深い航路周辺で流速が弱まり粒径の細かい土砂が堆積すると推察した。

これまでの計算モデルでは、恒流を用いた平均的な流況によるもの、吹送流と海浜流を用いた流況によるもので検討したが、十分な地形変化の再現性は得られなかった。このため、漂砂計算モデルの再現性向上が課題となっており、これら課題の解決のため、過年度報文にてその影響が示唆された吹送流条件の深化、底質の移流状況を詳細に把握するための現地観測を行い、これら観測結果、検討結果を用いて漂砂計算モデルの再現性の向上に取り組んでいる。本論文では、平成27年度までの漂砂計算モデル検討状況について報告する。

2. 航路の土砂堆積状況

図-1に西港区外港航路の地形変化分布を示す。

平成20年7月から平成24年12月の地形変化として、航路内の港口付近で堆積傾向が見られる。

平成24年12月から平成25年9月の地形変化としては、港口に近い航路西側で明確な堆積が見られる。また、平成20年7月から平成24年12月の地形変化との違いとしては、土砂処分場前面の広範囲な侵食が挙げられる。

Shiori Kondo, Fumio Oonishi, Shigeki Hashimoto

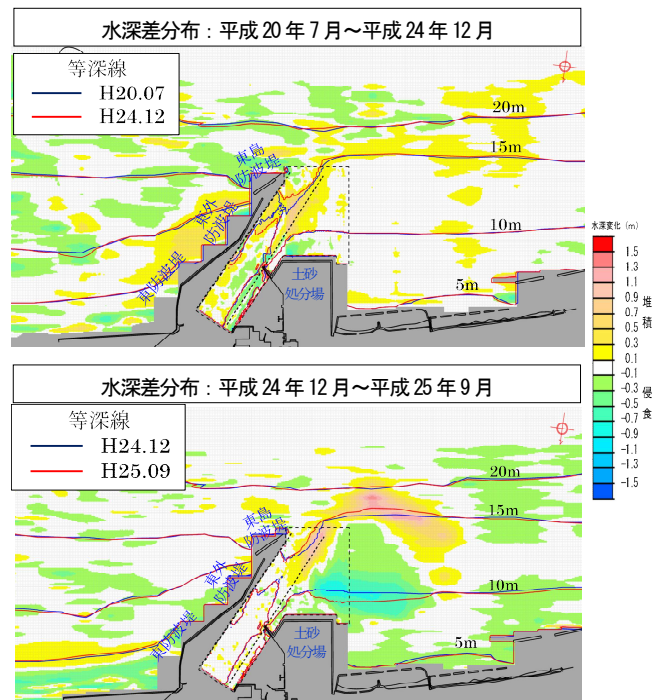


図-1 地形変化分布

3. 現地観測の概要

外港航路及び周辺の土砂移動状況を把握するため、また、漂砂計算モデルの計算条件の検討のため、これまで流況、濁度、砂面変動、底質調査について行ってきた。平成27年度からは、過年度調査内容に加え、浮遊砂の粒径を把握するため粒径・粒度分布計(LISST)による浮遊砂粒径観測を行った。

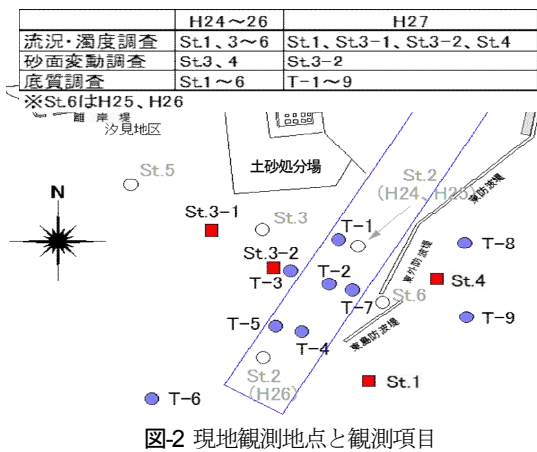
現地観測の観測期間は、平成27年10月23日から平成28年1月30日の90昼夜とした。観測地点及び観測

項目を図-2に示す。

今回は、流況調査結果から、漂砂移動に寄与する航路周辺の流れと、漂砂計算モデルの計算条件を設定する際に考慮する流れの外的要因について検討を行った。濁度調査結果からは、どのような波浪条件において浮遊砂が発生するかを検討した。また、浮遊砂粒径調査結果及び底質調査結果からは、漂砂計算モデルの計算条件として用いる浮遊砂の粒径や組成比を検討した。

なお、現地観測結果は、観測結果の特徴を示す代表的な期間を示した。

また、土砂移動の外力となる波浪については、苫小牧港の勇払沖で常時観測している波高計の観測記録を用いた。

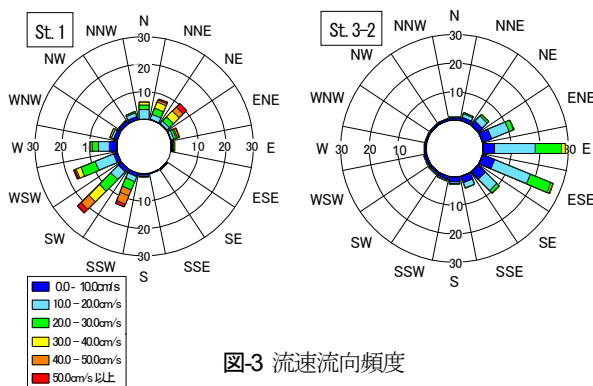


4. 現地観測結果

(1) 流況特性

a) 航路・航路周辺の流況

平成27年12月23日から平成28年1月30日の代表的な地点の流速流向頻度を図-3に示す。



St.1ではSSW~SW方向の出現頻度が多いほか、N~NE方向の流れも出現しており、東島防波堤など構造物に沿うような流れが確認された。St.4においてもSt.1と同様の傾向が見られた。

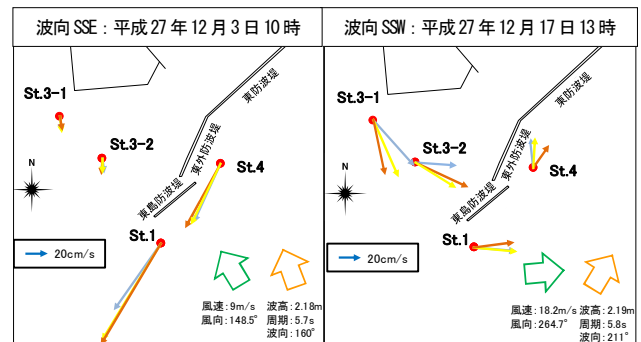
St.3-2ではE~ESE方向の出現頻度が多く、港口へ向かうE方向の流れが卓越していることが確認された。St.3-1においてもSt.3-2と同様の傾向が見られた。

b) 高波高時の流況

図-4に代表的な高波高時の流況を示す。

波向SSE時は、航路東側で南西方向に強い流れが生じており、特にSt.1の流速が大きい傾向にある。全層で同じ方向に流れが生じており、流速の差は小さい。土砂処分場前面 (St.3-1、St.3-2) の流速は、航路東側に比べて小さい。

波向SSW時は、土砂処分場前面 (St.3-1、St.3-2) ではE~SE方向の航路側に流れが生じている。航路東側 (St.1、St.4) では、NE~ESE方向に流れが生じているが流速は小さい。

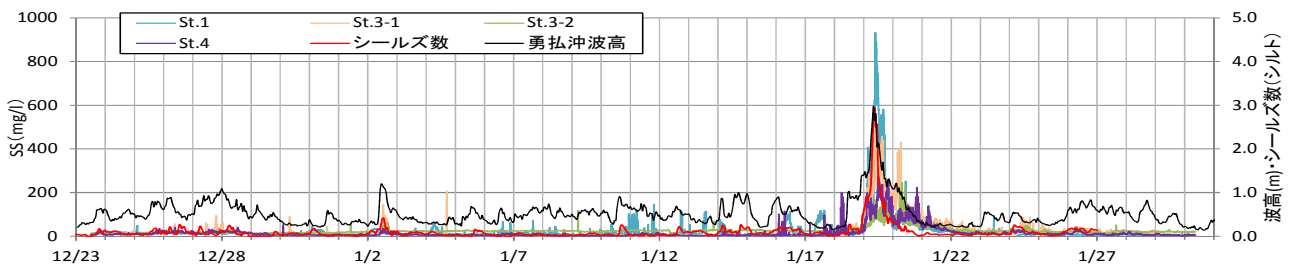


(2) 濁度特性

平成27年12月23日から平成28年1月30日の濁度経時変化を図-5に示す。シールス数は底質の移動しやすさを示す指標で、海底面に作用するせん断力と底質の静的なせん断抵抗の比で定義される。シールス数が大きいということは、底質の抵抗力に対して作用する外力が大きいことを意味する。観測結果から、過年度報文と同様、濁度は波高発達時に上昇することが多い傾向が確認できた。また、浮遊砂の発生はシールス数と同傾向で変動するケースが多いことがわかった。

(3) 浮遊砂粒径特性

精度の良い漂砂計算モデルを構築するにあたっては浮



遊砂の粒径を精度良く設定する必要があるため、粒径・粒度分布計 (LISST) による浮遊砂粒径観測を行った。

a) 浮遊砂粒径経時変化

航路西側St.3-2及び航路東側St.1の浮遊砂粒径経時変化 (SS) 及び浮遊砂粒径経時変化 (粒度組成) を図-6 に示す。

St.3-2では、波高発達時にSSが高くなる傾向がみられたが、波高の大小に関わらずSSが変動している状況も見受けられる。

St.1ではSSは1月19日の高波浪時に高くなっており、特にシルト・粘土の割合が上昇している。波高が減少してもSSは高い状態が長時間継続する。

St.1とSt.3-2のどちらにおいても、粒度組成の割合の変化は、シルトの割合が多く50%前後で推移しているが、30%前後となる期間もある。St.1では高波高時の前後に見受けられ、砂の割合が増加するとシルトの割合が減少する傾向がみられる。

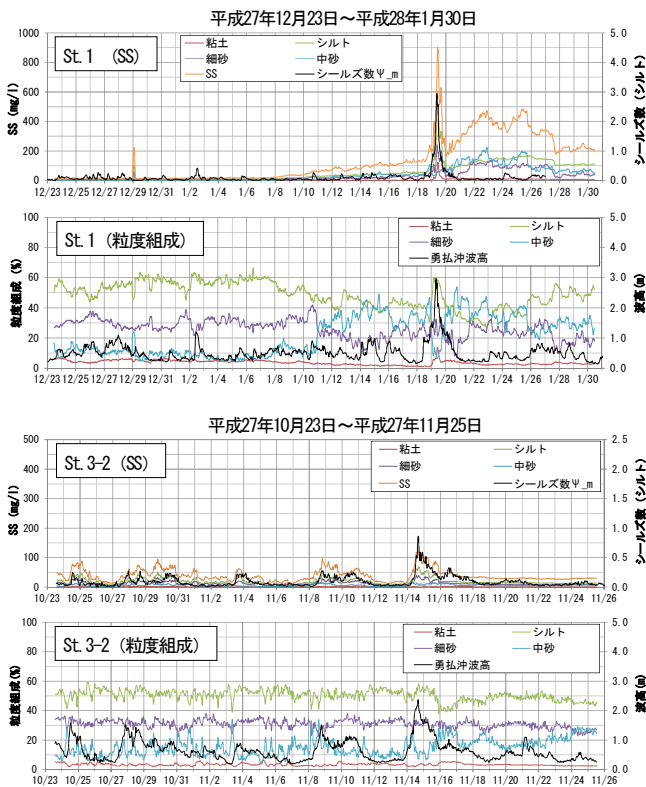


図-6 浮遊砂粒径経時変化

b) 高波高時の代表粒径

高波高時に巻き上げられた底質の代表粒径を把握するため、浮遊砂粒径観測結果のうち勇払沖波高2.0m以上を対象として粒度組成を抽出したものを図-7 に示す。ここでは、例としてSt.3-2における粒径の分布をみると、いずれの底質も粒径が均等に分布していないことがみてとれる。他地点についても、同様の結果となった。このため、底質毎の分布の加重平均を代表粒径として考えた。

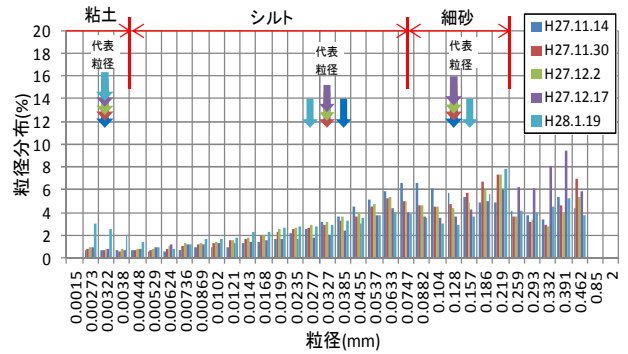


図-7 高波高時の粒度組成 (St. 3-2)

(4) 底質特性

航路内外の底質の粒径を把握するため、底質調査を行った。底質の粒度組成を図-8 に示す。なお、底質はコアサンプラーにより柱状に採取した。航路周辺の工事等の影響が少ないと考えられるT-3、T-6、T-8、T-9は比較的細砂が多い。航路内のT-1、T-2、T-7はシルト・粘土が多い。航路内でも、T-4、T-5は細砂が多くなっており、浚渫などの影響が考えられる。

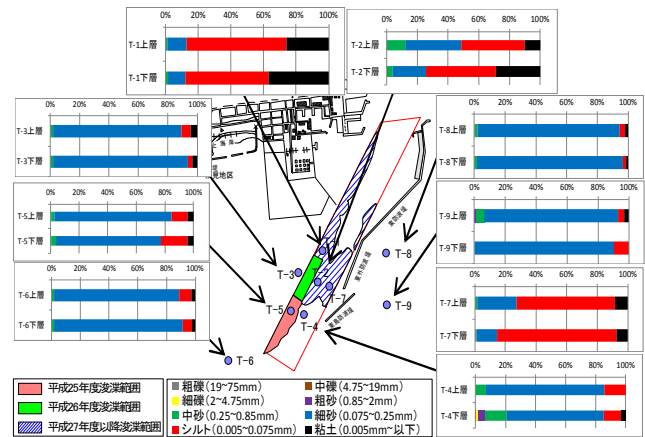


図-8 底質の粒度組成

5. 現地観測結果の分析

(1) 流れの外的要因の分析

過年度報文中で、漂砂移動に強風により発生する吹送流の寄与が示唆されている。過年度はアメダス苦小牧の風速を用いて吹送流の検討を行った。吹送流は海域での風速が影響していると想定されるため、今回は、気象庁配信の沿岸波浪数値予報モデルのGPV風況 (以降、GPV風況という。) を使用して吹送流の検討を行った。

風による影響をより明確に把握するため、現地観測結果から、同一風向が1日以上継続したケースに着目し各地点の風速・流速のスカラ値の相関を図-9 に整理した。防波堤など構造物の影響を受けないSt.3-1、St.3-2ではともに、東西いずれの風向においても風速が大きくなると流速が発達する傾向がみられる。

加えて、常時観測地点においても傾向をみるため、GPV風況と勇払沖流速の相関を図-10 に示す。

前述と同様に風の影響を受けている傾向がみられる。

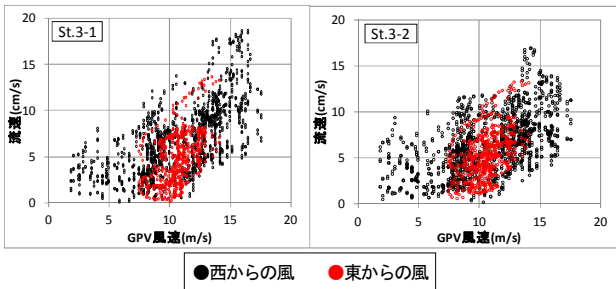


図-9 GPV風況の風速と移流流速の相関

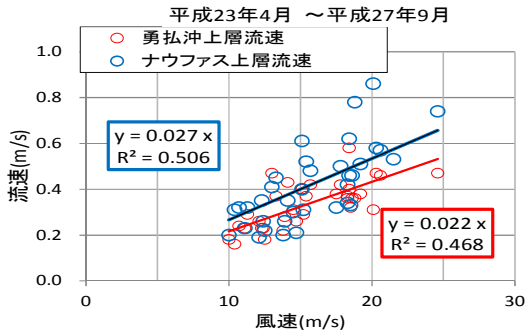


図-10 GPV風況の風速と勇払沖上層流速の相関

前述より、現地観測地点及び常時観測地点のどちらにおいても風速の増加とともに流速が発達する傾向がみられることから、強風時の流況は吹送流の影響を受けていると推測される。このことから、漂砂計算モデルについても吹送流の影響を考慮する必要があると考えられる。

(2) 風と流速・波高の分析

GPV風況と勇払沖の波高、流動の応答関係を把握し、漂砂に寄与する風速を検討する。

波向SW及び波向Sについての代表的な波高最大時のGPV風況と勇払沖の波高を図-11に示す。風速が大きくなると波高も大きくなる傾向がある。

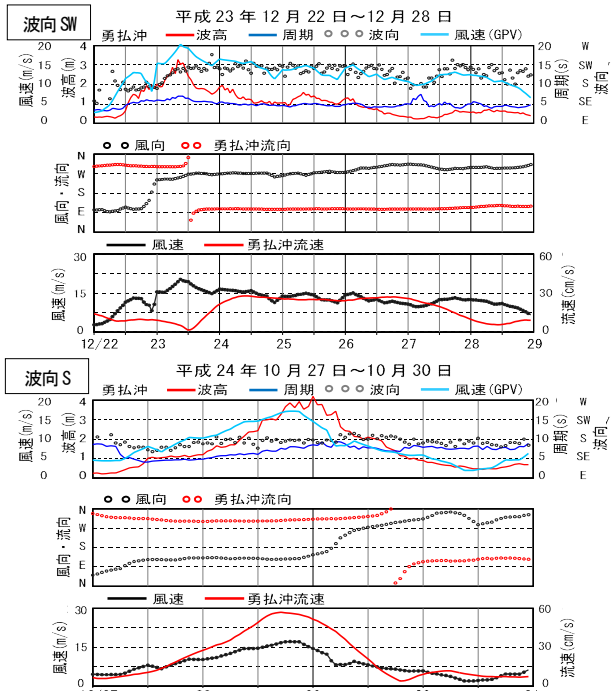


図-11 高波浪前後の風況と流況

これらの常時観測結果から図-12に風速と波高の相関関係を整理した。なお、瞬間的な高波高の影響を避けるため波高1.5m以上が6時間以上継続した期間に着目して整理を行った。常時観測地点においても、風速の増加とともに、波高が増加する傾向となっており高い相関が見られる。

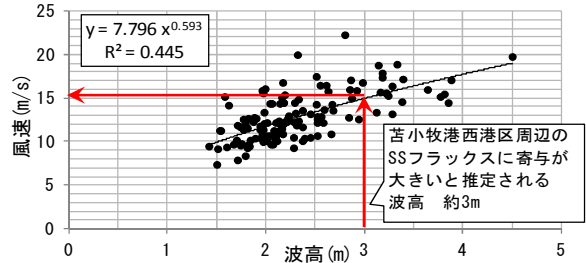


図-12 勇払沖波高とGPV風況の風速の相関

(3) 波高とSSフラックスの分析

ここでは、通年の漂砂量及び漂砂に大きく寄与する波高を推定する。手順は、濁度・流速観測結果及び勇払沖波浪より波浪エネルギーフラックスと浮遊土砂量を示すSSフラックスの相関式を求め、その相関式を用いて通年の波高別SSフラックスを推定する。この手順により求めた平成20年7月から平成26年9月における波高別SSフラックスを図-13に示す。

フラックスの算定位置は下層とし、単位海水体積当たりとした。波浪エネルギーフラックスは波高との相関式から推定した。

推定結果をみてみると、St1では、波当たりが強く流速も大きくなるため、他の地点よりもSSフラックスが増大する。移動方向は、南西方向と推定される。St3では航路方向、St4では東島防波堤方向で、St3のSSフラックスはSt4の約60%であった。St6では、波高3.5m以上のSSフラックスが増大した。

これらの結果からSSフラックスへの波高のランク別の寄与度を推定するため、地点毎に波高2.5m以下のしめる割合をみてみると、St1～St5が約20%程度、St6が約5%であったことから、主要な漂砂現象は概ね3.0m以上の波高で発生していると推定される。

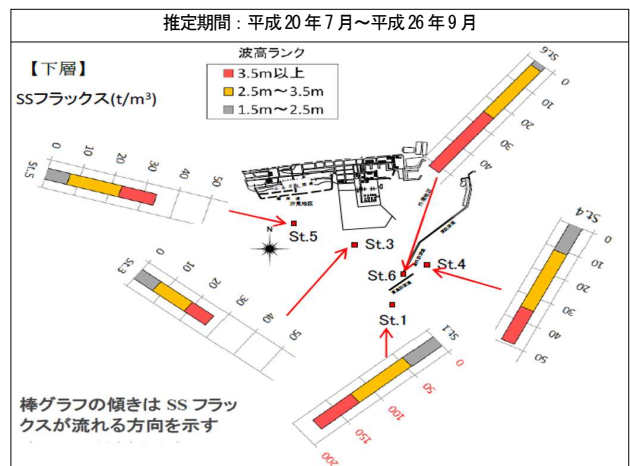


図-13 単位海水体積あたりのSSフラックス

6. 漂砂機構

前項までに述べた現地調査結果、分析結果から、漂砂の移動に寄与していると考えられる高波高時の波向き別流況をまとめたものを図-14に示す。

波向SSEの高波高時に、東防波堤から東島防波堤に沿う強い流れが生じる。土砂処分場前での流れは弱くなっている。波向SSWでは、土砂処分場から航路に向かう流れが発生し、土砂を航路に運搬していると考えられる。

過年度報文において推察された、航路東側での東島防波堤と東外防波堤の間から航路への土砂の移流に加えて、今回の観測結果からは、東島防波堤の沖側において高波浪時に濁度の上昇が確認されていることから、東島防波堤の沖側からも浮遊砂が回り込んでいることが推察される。

また、航路に堆積している底質については、調査結果から粘土、シルトが占めており、航路は水深が-15.0mと深く砕波帯から距離があることから、比較的沈降が遅い粘土とシルトが選択的に輸送され、航路に堆積していると推察される。

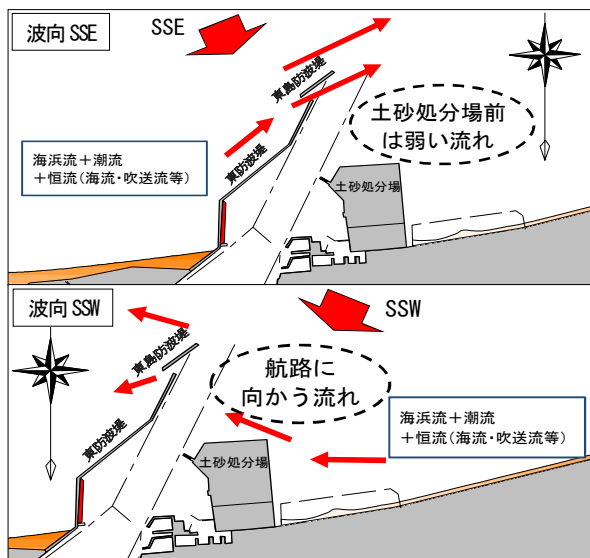


図-14 高波高時の波向き別流況

7. 漂砂解析

現地観測で得られた結果を計算条件に取り入れ、数値解析を行うための漂砂計算モデルを構築する。地形変化の計算結果より、推測した漂砂機構の妥当性を検証した。

(1) 漂砂計算モデルの概要

平成27年度漂砂計算モデルのフローチャートを図-15に示す。浮遊砂を発生させ、航路へと移動させる流れの条件を波高分布計算、海浜流計算、潮流計算及び吹送流計算により計算する。それらのサブモデルをもとに地形変化計算を行う。

波高分布計算には、任意水深、屈折、回折、砕波現象を取り扱える非定常緩勾配不規則波動法²⁾を用いた。

海浜流計算には、Longuet_Higginsが提案した概念に基づく海浜流モデル³⁾を用いた。

潮流計算、吹送流計算及び地形変化計算はMulti Level Modelで行った。このうち、吹送流は、表層において風と海面との摩擦応力で計算した。

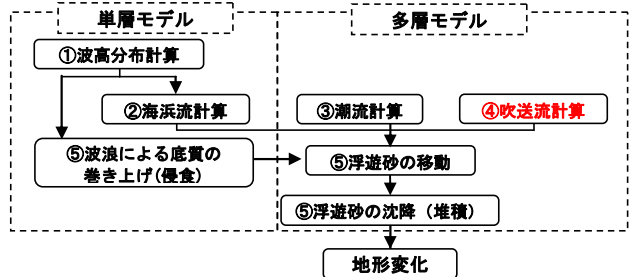


図-15 平成27年度漂砂計算モデル

(2) 計算条件

濁度調査の結果、シーلز数が大きくなる高波浪時に浮遊砂が発生する傾向がわかったため、波高の与え方については、2mの低波高からピークの高波高まで上昇させたのちに、2mの低波高に減少させる時化モデルを設定した。また、主要な漂砂現象は概ね3.0m以上の波高で発生していることがSSフラックスの算定結果より推定できたため、ピーク波高は3m以上を対象とし、過去に発生した波高の観測結果より、最大のピーク波高は4mに設定した。時化モデルの例を図-16に示す。

流況調査の結果、航路周辺の流れは吹送流の影響を受けていることが示唆されたため、漂砂計算モデルは吹送流を考慮することとした。風況条件は、風況データとしてGPV風況を用い、波向き別・波高別の風速・風向から設定した。時化モデルの波高に対応する風速は、図-12の相関式より、波高3mの場合は風速15m/s、波高4mの場合は風速18m/sに設定した。また、図-11のように、勇払沖の波高及び流速は、各波向とも風速の発達から数時間遅れて発達する傾向がみられたため、波向ごとの時間差の平均値を算定し、時化モデルの風速変化は波高変化の3時間前に作用させることとした。

再現底質については、底質調査の結果から細砂、シルト及び粘土の3粒径を対象とし、代表粒径は、浮遊砂粒径調査及び底質調査結果の粒径の平均とした。底質の巻き上げ量は、底質調査結果の組成比を用いた。

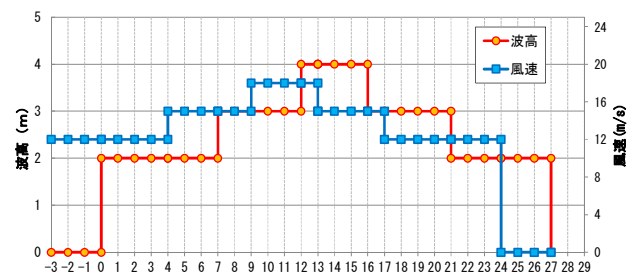


図-16 時化モデルの例 (波向SSW、波高ランク4.0m)

領域ごとの粒径及び組成比を表-1に示す。

地形変化の再現目標は、過年度の深淺測量を対象に数パターンの計算を行っている。平成27年度は、図-1に示した地形変化2パターンを再現目標とした。ここでは、代表として平成24年12月～平成25年9月の地形変化を示すこととする。

表-1 領域ごとの粒径および組成比

領域	細砂		シルト		粘土		設定方法
	代表粒径 (mm)	組成比 (%)	代表粒径 (mm)	組成比 (%)	代表粒径 (mm)	組成比 (%)	
航路・港内	0.155	44	0.045	45	0.003	11	T1,T2,T4,T7 (未浚渫域)の平均
港外		91		6		3	T3,T6,T8,T9表層の平均

(3) 計算結果

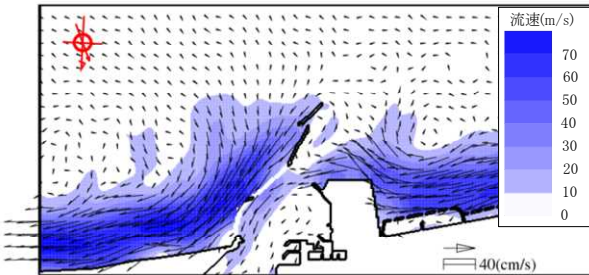
再現目標の地形変化及び流速ベクトル分布の計算結果をそれぞれ図-17、18に示す。

地形変化計算結果をみると、航路の堆積は、土砂処分場に近い箇所が多く、また西側沖合で堆積がみられる。



図-17 地形変化計算結果

海浜流ベクトル：波向SSW 波高4m



吹送流ベクトル：風向SW 風速18m/s

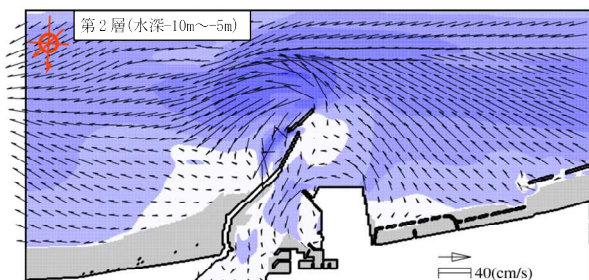
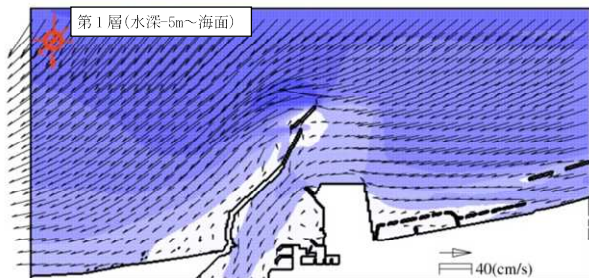


図-18 流速ベクトル分布計算結果

再現目標（図-1 下図）と比較すると、航路沖側の堆積傾向が再現できている。また、航路沖側から西方向の沖合にかけての堆積傾向、土砂処分場前面の侵食傾向についてもおおむね再現されている。

この堆積状況と西側の流速ベクトルより、東向きの海浜流で土砂処分場前面近くを移動する浮遊砂が航路に堆積すると考えられるほか、吹送流により下層で生じる沖向きの流れで、浮遊砂が航路内外に移動・沈降したと推定される。

8. まとめ

現地観測及び分析から、以下の結果が得られた。

- ・高波高時に濁度が上昇する傾向に加え、浮遊砂の発生はシールズ数と同傾向で変動することが多い。
- ・浮遊砂の粒度組成はシルトの割合が多く推移している。高波高時の前後では、砂の割合が増加するとシルトの割合が減少する傾向がみられる。
- ・現地観測地点及び常時観測地点どちらについても、強風時の流況は吹送流の影響を受けており、漂砂計算モデルの計算条件設定においては風の影響を考慮する必要がある。

また、漂砂計算モデルによる漂砂解析から、以下の結果が得られた。

- ・高波浪、強風時の吹送流を考慮したモデルにより、航路への堆積が再現できた。土砂処分場前面の侵食、航路に漂砂が堆積する地形変化についても、おおむね再現できた。

9. おわりに

過年度までに現地観測の結果から推測した航路への土砂流入メカニズムについて、漂砂計算モデルを構築しメカニズムを検証した。海浜流、潮流だけでなく風による吹送流の影響を考慮したところ、航路及び航路周辺の地形変化分布の計算値を実測値に近づけることができた。

現在、吹送流の条件設定など、更なる漂砂計算モデルの再現性向上を検討しているところである。今後は、漂砂計算モデルの再現性向上とともに、効果的な漂砂対策についても検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 小葉松・城・先川(2014)：苫小牧港西港区外港航路における土砂の流入とメカニズムについて、開発局技術研究発表会 第58回
- 2) 磯部(1993)：有理式近似に基づく非定常緩勾配不規則波動方程式、第40回海岸工学講演会論文 pp26～pp30
- 3) Longuet-Higgins, M.S. (1970): Longshore current generated by obliquely incident sea waves, 1 & 2, J. Geophys. Res., 75(33), pp.6779-6801