

釧路港における漂砂対策について

釧路開発建設部 釧路港湾事務所 第1工事課 ○丸山 修治
石山 祐司
飯田 誠

近年釧路港では、西港区の港口付近において、著しい漂砂堆積現象が発生し、港湾機能の維持が課題となっている。このため、現地調査及び室内実験の実施により、漂砂の発生・輸送・堆積のメカニズムを解明するとともに、堆積現象を再現・予測する数値シミュレーションを構築し、適切な埋没対策案について検討を行った。その結果、抜本的な対策は港内静穏度対策を兼ねた防波堤（新西）の整備であることが結論として得られた。

キーワード：漂砂、埋没、数値シミュレーション、防波堤（新西）

1. はじめに

釧路港は、北海道東部太平洋側に位置する重要港湾であり、新釧路川を挟んでわが国有数の漁業基地である東港区と、貨物の取り扱いが主である西港区を有している東北道の物流拠点港である。

近年釧路港では、西港区の港口付近を中心とする航路(-15m)・泊地(-14m)において、漂砂による顕著な堆積現象が発生し、港湾機能の維持が課題となっている。このため釧路開発建設部釧路港湾事務所では、平成12年度以降、「釧路港漂砂対策検討会」を組織して、現地調査及び室内実験の結果から、漂砂の発生・輸送・堆積のメカニズムを解明するとともに、堆積現象を再現・予測する数値シミュレーションを構築し、適切な埋没対策案について検討を実施してきた。

その結果、抜本的な対策は港内静穏度対策を兼ねた防波堤（新西）1,800mの整備であること、また、防波堤（新西）完成までの数年間は、当該箇所の浚渫により港湾機能を維持し、抜本対策の早期着手・完成を図ることが結論として得られた。

本報文では、釧路港で発生している航路(-15m)・泊地(-14m)の漂砂埋没の現状を整理し、数値シミュレーションを活用した漂砂対策について報告する。

2. 釧路港における漂砂埋没現象

(1) 漂砂による埋没の状況

釧路港の整備は、昭和44年から新釧路川（1級河川）と阿寒川（2級河川）に挟まれた砂浜海岸である西港区へ展開している。西港区では、平成13年度以降港内埋没

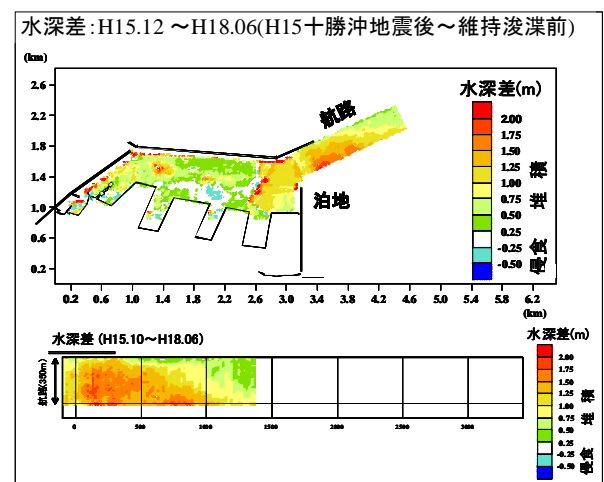


図-1 西港区の水深変化

が報告されていたが、港口付近の航路(-15m)・泊地(-14m)において、特に十勝沖地震（平成15年発生）後、細粒分の堆積による著しい埋没現象が発生し、平成18年6月（浚渫開始前）までに1~2m堆積している（図-1）。このため、岸壁(-14m)を利用する貨物船のうち5000DWT級は、航路部入港に際して吃水調整や潮待ち制限を余儀なくされていた。

(2) 現地調査・室内実験

釧路港西港区の航路(-15m)・泊地(-14m)における細粒底質の発生、輸送、堆積のメカニズムを解明するに際し、基礎資料入手を目的として平成13~17年度に現地調査及び室内実験を実施した（深淺測量は昭和59年~平成20年度に実施）。

現地調査は、波高・流速・濁度（SS濃度で評価）の現地観測と深淺測量を実施した。また、堆積物及び浮遊粒子の基本的な物性を把握するため、堆積物はコア採取、

浮遊粒子は捕砂調査を実施した（図-2, 図-3, 表-1）。

室内実験は、波浪時の底質巻き上げ特性を把握するため、振動流実験装置を用いて、現地採取した細粒底質の巻き上がりによるSS濃度を測定した。また、細粒底質の発生源は、河川から供給される懸濁粒子の海水混合による凝集が考えられる。さらに、西港区周辺に流れ込む工場排水による凝集の促進も考えられる。これらのことから、西港区周辺の新釧路川及び阿寒川から採取した懸濁粒子と、星が浦川の河川水に含まれる工場排水（水質基準を満足：釧路市環境白書に記載）を用いた凝集実験を実施した。

主要な現地調査結果を①～④に、主要な室内実験結果を⑤～⑥に記載する。

- ①航路(-15m)・泊地(-14m)の堆積傾向は港形変化がない限り恒常的な現象であり、その堆積量は侵食傾向を示す西港区内の泊地（第1～第3埠頭前面泊地）の侵食量と比較して非常に大きい。
- ②航路(-15m)・泊地(-14m)の堆積物は主成分が細粒分であり（比重1.2程度、含水比が150～300%、強熱減量大）、西港区内の底質の主成分である細砂と異なっている。
- ③西防波堤外側浅海域周辺における底面近傍の高濃度SSは、卓越している西防波堤外側浅海域から航路(-15m)・泊地(-14m)方向への流れ（海浜流、潮汐流）により移流している（静穏時、波浪時）。
- ④浮遊粒子の粒度組成は、航路(-15m)・泊地(-14m)も西防波堤外側浅海域も細粒分であり、また、西防波堤外側浅海域周辺の底質（細砂）の粒度組成とは異なり、沈降速度が小さく、移流・拡散しやすい。
- ⑤新釧路川及び阿寒川の懸濁粒子は、海水との混合で凝集が始まり、更に工場排水との混合により促進される。また、工場排水の添加量が大きいほど中央粒径も増加し、沈降速度も増加する。
- ⑥航路(-15m)・泊地(-14m)で採取した細粒底質の巻き上がり特性（流速振幅13.7cm/sでSS濃度が上昇）は、現地観測による巻き上がり特性（流速振幅15cm/sで巻き上がる）と概ね一致する。

(3) 漂砂埋没のメカニズム

現地調査及び室内実験などを基に、平澤ら¹⁾が解明した航路(-15m)・泊地(-14m)における漂砂埋没のメカニズムを下記①～④に記載する（図-4）。

- ①新釧路川（上流には釧路湿原）及び阿寒川（上流には阿寒湖）から供給される懸濁粒子は、海水や工場排水との混合により凝集し、西防波堤外側などの浅海域に堆積する。
- ②波浪時は、浅海域に堆積した細粒分が、砕波や強い海浜流によって底質である細砂とともに巻き上げられ、細砂よりも相対的に沈降速度の小さな細粒分が、海浜流によって航路(-15m)・泊地(-14m)方向へ輸送され

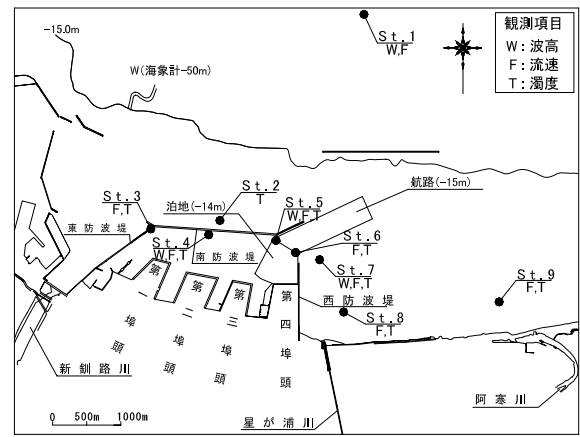


図-2 現地調査箇所（波高、流速、濁度）

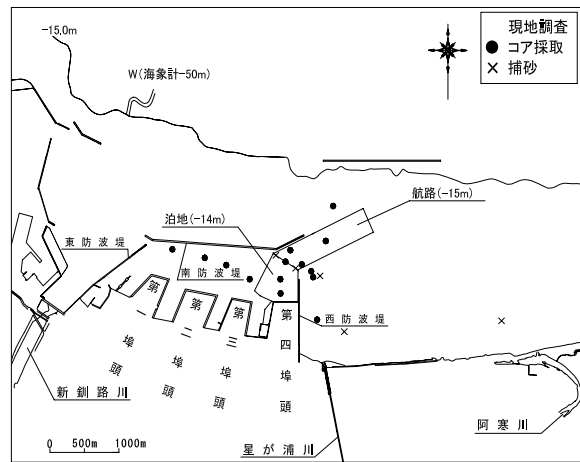


図-3 現地調査箇所（堆積物コア採取、浮遊粒子の捕砂）

表-1 現地調査概要

項目	観測・調査内容	調査箇所数	観測水深区分
海象	波高	5箇所	水深-10m～-50m
流況	流速、流向	10箇所	中層(1/2水深) 下層(海底面上0.8m)
濁度	SS濃度	11箇所	上層(海水面下1.0m) 中層(1/2水深) 下層(海底面上0.5m)
深淺	海底地盤高	航路・泊地	—
堆積物の物性	粒度組成、中央粒径、含水比、強熱減量	15箇所	—
浮遊粒子の物性	〃	5箇所	中層(1/2水深) 下層(海底面上0.5m)

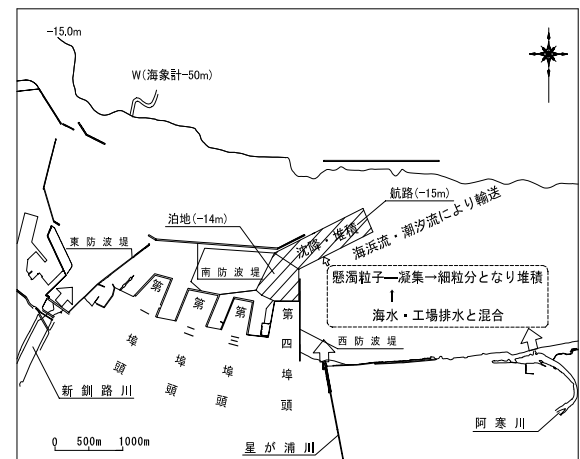


図-4 航路(-15m)・泊地(-14m)漂砂埋没メカニズム

る。

- ③ 静穏時は、上げ潮時に発生する航路(-15m)・泊地(-14m)方向への卓越した潮汐流により、徐々に細粒分が輸送される。
- ④ 航路(-15m)・泊地(-14m)周辺では、水深の増大に伴い流速が急激に小さくなることから、輸送された細粒分は沈降・堆積する。

3. 数値シミュレーションの構築

(1) 概要

漂砂埋没に対する適切な漂砂対策の立案に際しては、現地調査・室内実験を基に漂砂埋没のメカニズムを解明した上で、埋没現象を再現・予測する数値シミュレーションモデルを活用することが重要である。

しかし、数値シミュレーションモデルは、開かれた砂浜海岸において底質が比較的粒径の粗い細砂を主成分とする条件下では多数開発されているが、釧路港のように底質が細砂とシルト・粘土などの細粒分が混在する条件下では開発・研究が進んでいない。

そこで、対策方法立案のための評価手法の確立を目的に、釧路港の現地条件である混合底質、浮泥の再浮上、河川からのSS供給について考慮可能な数値シミュレーションモデルを開発し、妥当性の検証により構築した。

(2) シミュレーションモデルの開発

地形変化量 Δ (g/m²/s) は、発生量P(g/m²/s)と沈降量D(g/m²/s)の差により算定することとした。発生量、沈降量、沈降・堆積した細粒分の巻き上げ量の算定にあたっては、細粒分は底泥を対象とした実海域での数値計算によく用いられている中川ら²⁾の考え方、細砂は榎木ら³⁾・⁴⁾の考え方を用いて、定式化及びモデル化した。細粒分と細砂シミュレーションモデルの概念を図-5に示す。

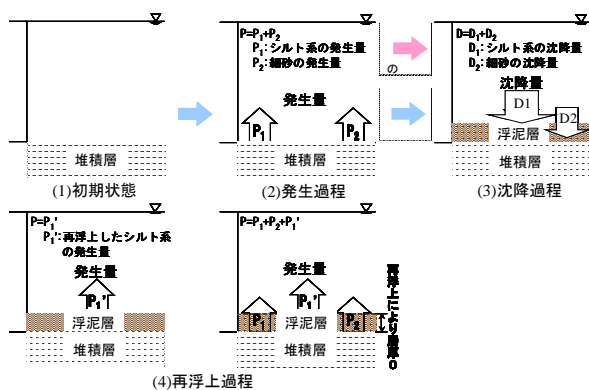


図-5 数値シミュレーションモデルの概念

発生量Pの算定は、海底底質の初期状態を細粒分(調査結果から代表粒径として0.02mmに設定)と細砂(調査結果から代表粒径として0.14mmに設定)が混在する堆積状態に設定したのち、細粒分の発生量(P1)と細砂の発生量(P2)の総量として次式で算定した。

$$P = P1 + P2 \quad (1)$$

$$P1 = pm \times M (\tau b / \tau e - 1) \quad (\tau b \geq \tau e) \quad (2)$$

$$P1 = 0 \quad (\tau b < \tau e) \quad (3)$$

$$P2 = ps \times Ws \times Cbe \quad (\phi \geq \phi c) \quad (4)$$

ここに、pm:底質中の細粒分の比率、ps:底質中の細砂の比率、M:侵食速度係数、 τb :底面せん断応力、 τe :限界せん断応力、Ws:細砂の沈降速度、Cbe:細砂の基準点濃度、 ϕ :シールズ数、 ϕc :限界シールズ数、である。

沈降量Dの算定は、海底底質から巻き上げられた細粒分と細砂は、波浪や流れの外力により移流拡散した後、海底面へと沈降・堆積するものとして次式で算定した。

$$D1 = Wm \times P \times Cbm \quad (\tau b \leq \tau d) \quad (5)$$

$$D1 = 0 \quad (\tau b > \tau d) \quad (6)$$

$$D2 = Ws \times Cbs \quad (7)$$

ここに、D1:細粒分の沈降量、D2:細砂の沈降量、 τd :沈降限界せん断応力、Wm:細粒底質の沈降速度、Cbm:細粒分の底面濃度、Cbs:細砂分の底面濃度、p:沈降確率、である。

また、沈降・堆積した細粒分の巻き上げ量(P1')を次式で算定した。

$$P1' = pm \times M' (\tau b / \tau e' - 1) \quad (\tau b \geq \tau e') \quad (8)$$

ここに、 $\tau e'$:再浮上限界せん断応力、M':再浮上侵食速度係数、である。

なお、SS濃度は、海底面からの発生量と、黒木ら⁵⁾の非平衡浮遊砂濃度分布式により求めることとした。

(3) 妥当性の検証

開発した数値シミュレーションの妥当性の検証は、短期予測及び長期予測の再現性評価によることとした。

外力の設定は、波浪・海浜流・潮汐流とし、波浪は期間内の最大波高、波向きを基に緩勾配方程式を有限要素法で解く手法により算定、海浜流は波浪計算結果を基に算定、潮汐流は観測値から求めた調和分析結果により主要4分潮の潮流計算から算定した。なお、外力の設定値は現地観測値との比較により再現性を確認した。また、初期SS濃度はこれまでの観測結果を基に設定し、周辺河川などからの流量・細粒分の供給は流量観測値などを基

に境界条件として与えた。

再現性評価における計算対象期間は、短期予測は平成16年度の9月の連続6日間、長期予測は航路(-15m)・泊地(-14m)の埋没現象が顕著だった平成15年12月～平成17年1月までの約1年間に設定した。

数値シミュレーション計算(SS濃度分布(短期予測)、地形変化量(短期予測、長期予測)は、短期予測はSS濃度分布と地形変化量、長期予測は地形変化量が現地観測値と概ね一致した結果が得られ再現性を確認した。

4. 漂砂対策

各検討ケースの数値シミュレーション結果について、地形変化分布を図-6に、地形変化量を図-7に示す。

(1) 抜本対策の検討

釧路港西港区の整備計画は、近年の取扱貨物量の増大に対応するため、整備済みの第1～第4埠頭に加えて第5埠頭を整備し、港内の利用率は防波堤(島)2,500m(平成19年度末本体工1,564m施工済み)と防波堤(新西)1,800mの整備により確保する計画である。また、第5埠頭の整備着手時期を考慮し、当面の期間は暫定港形として、防波堤(島)1,700mと防波堤(新西)1,800mの整備により、港内利用率を確保する計画である。このような整備計画が策定されていることから、漂砂対策は、本整備計画を考慮して検討することとした。

現況(防波堤(島)1,690m)及び暫定港形(防波堤(島)1,690m+防波堤(新西)1,800m)について数値シミュレーション計算を行った。その結果、暫定港形(ケース2)は現況(ケース1)と比較して、航路(-15m)・泊地(-14m)における堆積量が減少し、約52%(堆積量の合計値による比較)の堆積削減効果が期待できる結果となった。これは、防波堤(新西)の西側に堆積傾向が見られ、また、東側の海浜部では堆積傾向が見られなくなっ

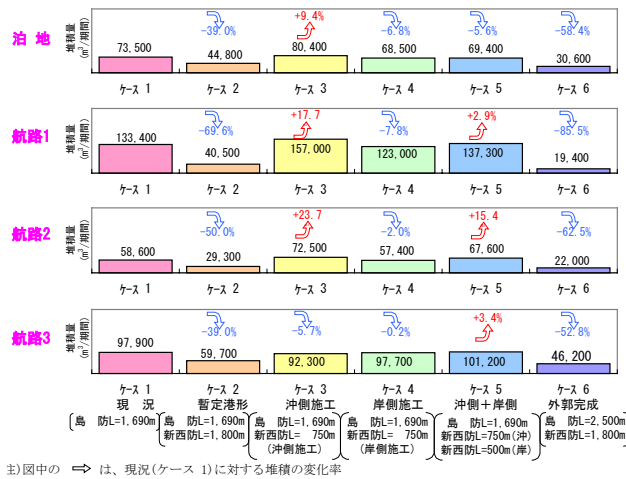


図-7 地形変化量

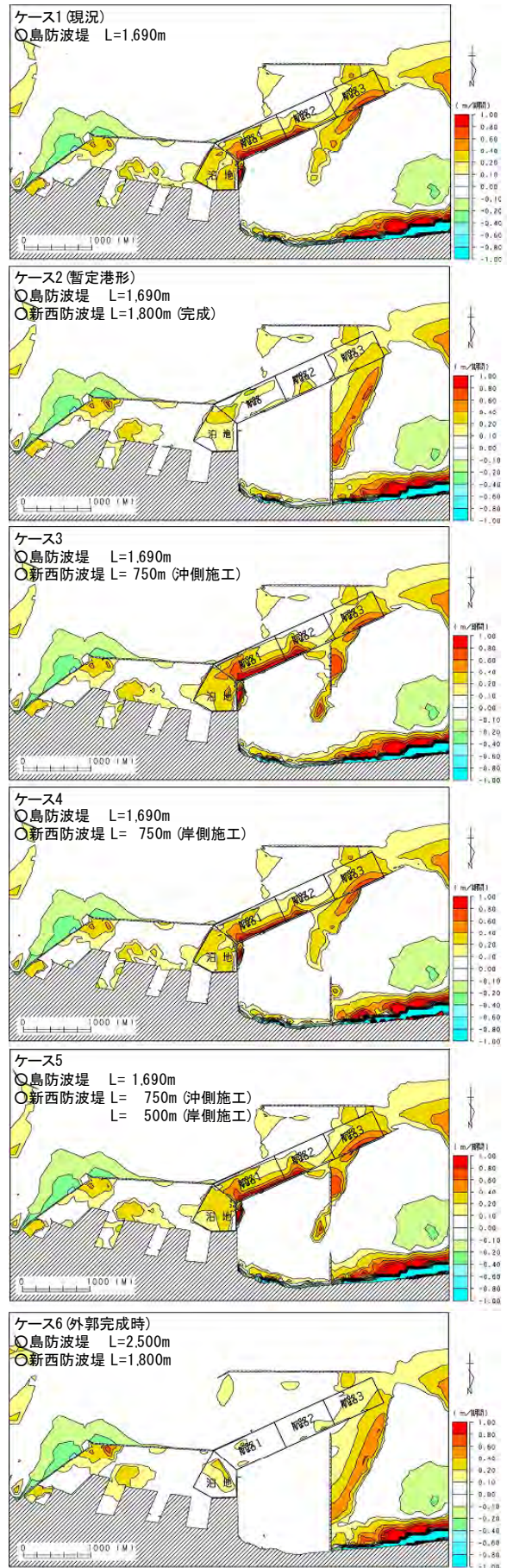


図-6 地形変化分布

たことから、防波堤（新西）が、西防波堤外側などの浅海域で発生した漂砂の航路(-15m)・泊地(-14m)への移流を抑制した結果と判断した。以上より、釧路港西港区の整備計画を考慮した場合、防波堤（新西）の整備が抜本的対策として有効であると結論づけた。

(2) 抜本対策の整備計画

防波堤（新西）の計画延長は 1,800m であり、そのうち沖側 750m の施工は、静穏度対策効果を早期に発現するために有効であることが数値解析結果から整理済みである。この場合の漂砂対策の効果を確認するため、沖側 750m 施工するケース（ケース 3）と岸側 750m 施工するケース（ケース 4）について数値シミュレーション計算した。その結果、静穏度対策に有利な沖側 750m 施工（ケース 3）は、岸側 750m 施工（ケース 4）と比較して約 15%（現況（ケース 1）との比較）も効果が低い結果となり、また、暫定港形（ケース 2）と比較して約 10% の堆積増加傾向になり逆効果の結果となった。

そこで、沖側 750m に岸側 500m を追加施工したケース（ケース 5）の数値シミュレーション計算を行い、現況（ケース 1）と概ね同等の堆積傾向となることを確認し、抜本対策である防波堤（新西）の整備は、静穏度対策に有利な沖側 750m から着手する計画とした。さらに、漂砂対策に有利な岸側の施工の早期着手、及び防波堤全体の早期完成を図る計画とした。

最後に外郭完成港形（防波堤（島）2,500m+防波堤（新西）1,800m：ケース6）では、航路(-15m)・泊地(-14m)全域において堆積削減効果が期待でき、さらに現況（ケース1）と比較して、各ケースの中で最も高い約 68%もの堆積削減効果が期待できる結果となった。

(3) 暫定対策の検討

抜本対策である防波堤（新西）の完成には、数年間の期間が必要なことから、暫定対策として航路(-15m)の岸側に潜堤（流用ブロックを活用）を1,000m配置した数値シミュレーション計算を行い、費用対効果を考慮して、暫定対策の実施を判断することとした（図-8）。

その結果、潜堤整備費、防波堤（新西）完成時の潜堤撤去費、及び潜堤岸側堆積砂の除去費など、事業費が大きく嵩む割には、約10%の堆積削減効果しか期待できない結果となったことから、有効ではないと判断した（図-9,表-2）。

以上より、暫定対策は、浚渫・潮待・深淺データ関係機関との情報共有などによる対応とし、抜本対策である防波堤（新西）の早期着手・完成を図ることとした（図-10）。なお、浚渫した土砂は、釧路港の整備に有効活用することとした。

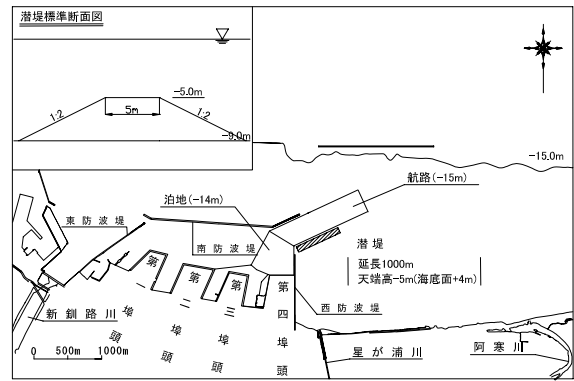


図-8 暫定対策（案）

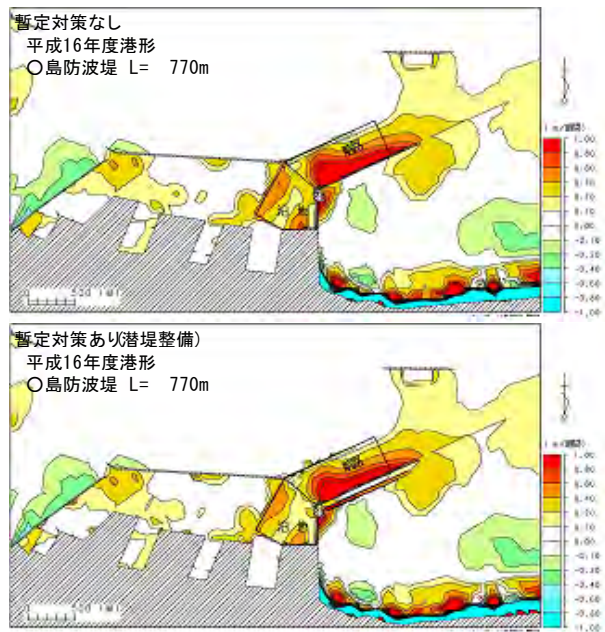


図-9 地形変化分布（暫定対策（案））

表-2 地形変化量の比較（暫定対策（案））

区域	地形変化量(m ³ /期間)		B/A*100 (%)
	暫定対策なし	暫定対策あり	
航路部	275,171	239,738	87.1
泊地部	94,041	81,054	86.2
合計	369,212	320,792	86.9

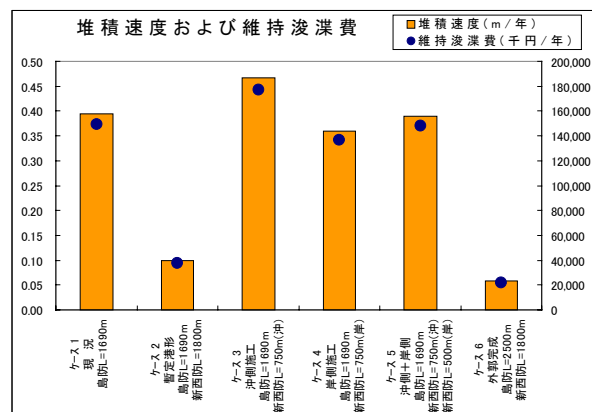


図-10 外郭整備による航路部の堆積速度及び維持浚渫費（概算）の比較

5. まとめ

近年釧路港西港区の港口付近を中心とする航路(-15m)・泊地(-14m)において発生している著しい漂砂堆積現象について、漂砂の発生・輸送・堆積のメカニズムを解明して、堆積現象を再現・予測する数値シミュレーションを活用した漂砂対策の検討を行った結果、以下の結論を得た。

- ①抜本対策は、防波堤（新西）の整備である。また、岸側からの施工が効果的である。
- ②抜本対策完成までの期間は、浚渫を基本とした対応とし、防波堤（新西）の早期完成を図ることとする。

6. おわりに

漂砂埋没対策は、平成19年度から浚渫工事に着手し、平成21年度には防波堤（新西）の整備に着手する予定である。なお、深淺測量などの現地調査、及び構築した数

値シミュレーションを活用した漂砂埋没対策に効果的な防波堤（新西）の整備スケジュールなどの検討を、今後とも継続していく予定である。

漂砂埋没のメカニズムの解明、数値シミュレーションの構築、漂砂対策の検討に際しては、平成12年度から「釧路港漂砂対策検討会」を開催し、多くの方々にご指導いただいた。ここに厚くお礼を申し上げる。

参考文献

- 1) 平澤充成, 金田充, 菅原吉浩, 川口勉, 阿部島直哉, 山下俊彦: 釧路港周辺における細粒底質移動特性について, 土木学会海岸工学論文集, 第53巻, pp. 461-465, 2006.
- 2) 中川康之, 吉田秀樹, 谷川晴一, 黒田祐一: 潮汐流による泥底の巻き上げ現象のモデル化と浮遊泥量変動の再現, 土木学会海岸工学論文集, 第52巻, pp. 441-445, 2005.
- 3) 榎木亨, 出口一郎, 小野正順, 裏基成: 浮遊漂砂の非平衡性に着目した航路埋没の数値計算について, 土木学会海洋開発論文集, Vol. 7, pp. 295-300, 1991.
- 4) 榎木亨, 出口一郎: 新編海岸工学, 共立出版株式会社, pp. 122, 1996.
- 5) 黒木幹男, 史亜傑, 岸力: 非平衡浮遊砂理論とその応用, 土木学会水理講演会論文集, 第32巻, pp. 407-412, 1988.