

高濃度浮泥の挙動特性を踏まえた新たな航路管理の有効性に関する検討について

北九州港湾・空港整備事務所 第一工務課 ◎田代益庸
 第二工務課 ○吉村香菜美
 第一工務課 ●民部久雄

1, はじめに

北九州港の東部に位置する新門司地区では、航行船舶の増加及び大型化への対応として、航路及び泊地の増深・拡幅工事を進めている。これに伴い、航路及び泊地では「シルテーション」による埋没が懸念されている。本論文は、埋没メカニズムの解明と浮泥の沈降圧密に着目した航路管理の有効性について、検討した結果を報告するものである。

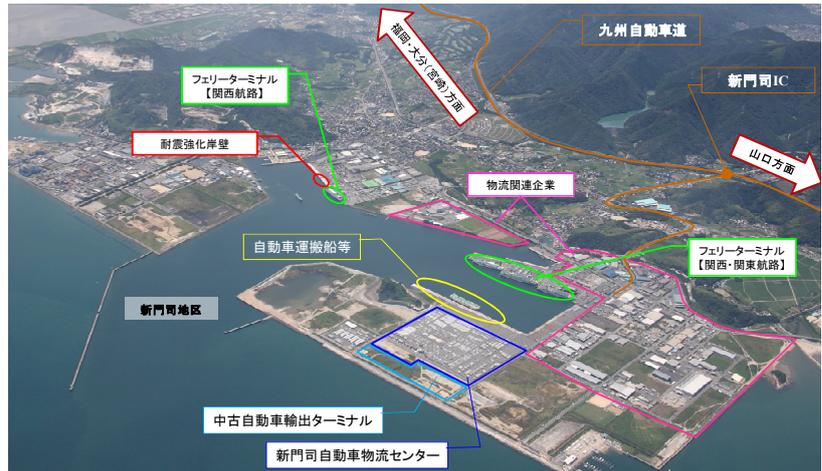


写真-1 北九州港（新門司地区）位置図

2, 航路埋没対策検討の必要性

新門司地区は、九州自動車道の新門司 IC に近接し、陸・海の物流ネットワークの結節点としての地理的優位性を活かし、長距離フェリー、完成自動車等を輸送する自動車運搬船及び RORO 船が就航する重要な国内物流拠点の一つとなっている。【写真-1】

当地区は、底質がシルト・粘土が主体の周防灘海域に面しており、波・流れによってシルト・粘土が移動・堆積する「シルテーション」が発生しやすい環境にある。このため、航路及び泊地内に土砂が流入する埋没現象が生じている。【図-1・図-2】

埋没現象が生じると、船舶の航行障害及び港湾物流機能の低下を招く恐れがあることから、効果的な埋没対策が求められている。

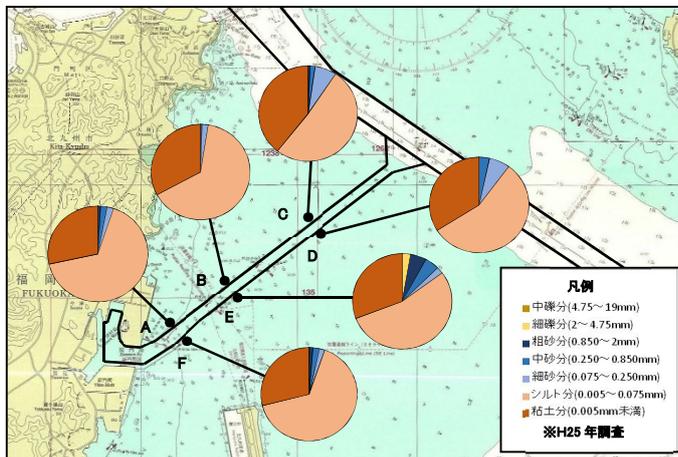


図-1 新門司地区の底質条件

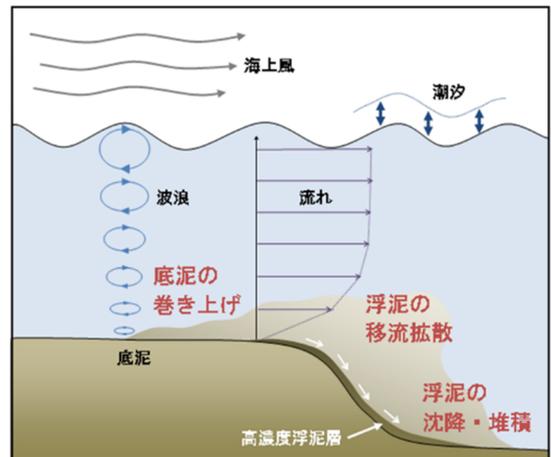


図-2 航路埋没現象のイメージ図

3、航路埋没特性を踏まえた維持管理

3. 1、高濃度浮泥の挙動特性について

航路及び泊地の埋没対策を効果的に実施するためには、土砂が「いつ」・「どこから」・「どこに」・「どれくらいの量」移動しているかを面的に把握する必要がある。

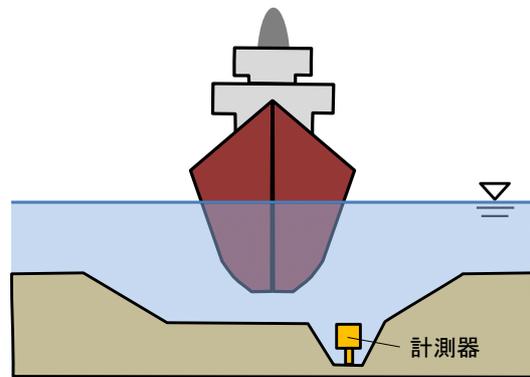
特に、高波浪時における航路内の土砂移動（高濃度浮泥の挙動）を捉えることは、埋没現象のメカニズムを解明するうえで重要な要素である。

しかしながら、航路及び泊地内は船舶が常時航行しているため、計測器を継続的に設置して観測することは困難である。このため、全国的に供用中の航路及び泊地内において、海底面付近の高濃度浮泥が観測された事例は少ない。

そこで、当地区では航路埋没対策の一環として、深掘（トレンチ）部を試験的に施工し、航路埋没対策の効果検証を図るとともに、台風期を含めた航路内外における海底土砂の挙動を把握するために現地調査を実施した。【図－3・図－4】



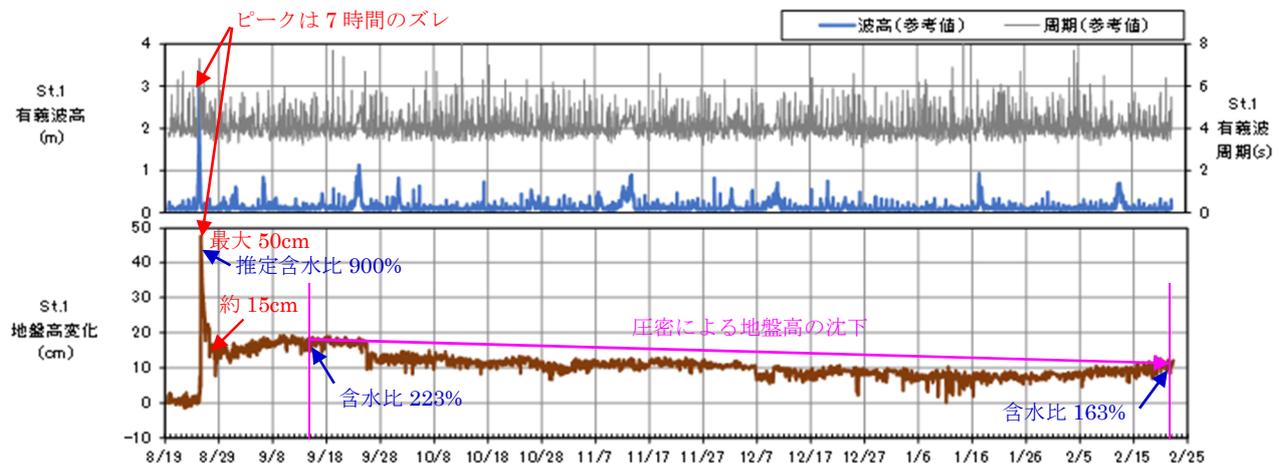
図－3 調査位置図



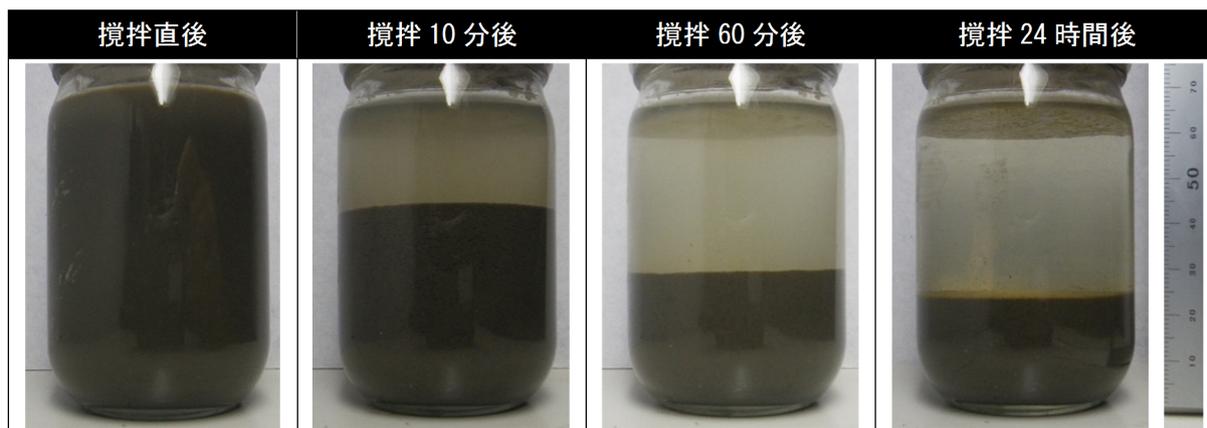
図－4 トレンチ部 (St.1) の計測器

調査期間中に St. 1（航路内）において砂面計により取得された波高と地盤高変化の関係を図－5に示す。砂面計による地盤高観測値は、台風 15 号来襲時（平成 27 年度 8 月 25 日）の最大有義波高（波高＝約 3m）発生時刻から 7 時間遅れて約 50 cm 上昇し、その後 2 日間で約 15 cm まで低下している。

これは、航路内への高濃度浮泥の堆積と、沈降による高濃度浮泥の境界面の低下を測定したものと考えられる。【写真－2】



図－5 有義波高と地盤高変化の関係



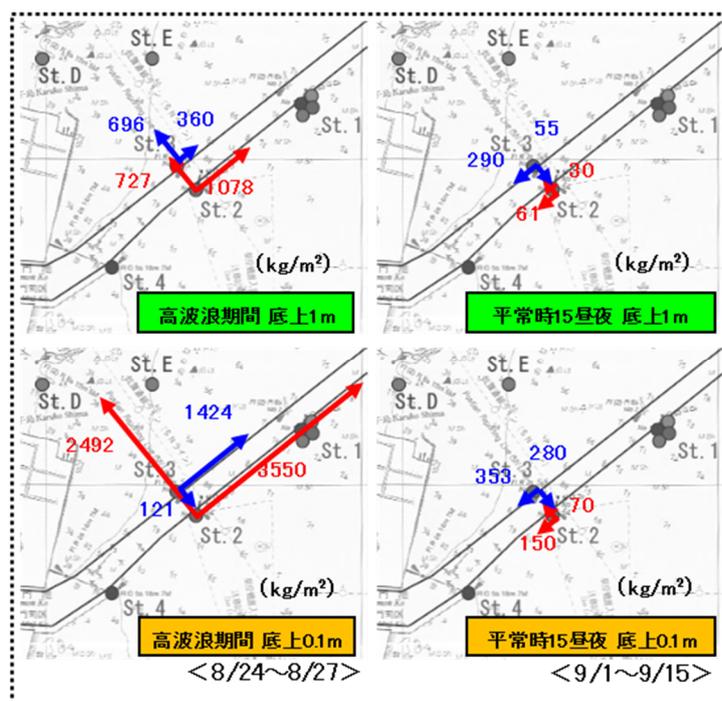
写真－2 高濃度浮泥の境界面

また、St. 1（航路内）の底泥の採泥・分析結果より、平成 27 年 9 月 15 日には 223% だった含水比が平成 28 年 2 月 22 日には 163% に低下している。このことから、平成 27 年 9 月以降の半年間の緩やかな地盤高の低下は、航路からの浮泥の流出ではなく、圧密によるものと考えられる。【図－5】

前述した地盤高の変化要因を解明するために、航路外（St. 2・St. 3）における平常時と高波浪時の SS フラックス（SS 濃度×流速）を航路横断方向にて算出した結果を図－6 に示す。

St. 2 における SS フラックスは、高波浪時に底上 0.1m で 2492kg/m²、底上 1.0m で 727kg/m² が航路方向にて確認された。これは全観測期間の約 80% の量に相当する。

また、底上 0.1m は底上 1m の約 3 倍の SS フラックスが確認されたことから、高波浪時における海底面直上の高濃度浮泥が航路埋没へ大きく影響していると考えられる。



図－6 SS フラックスの分布図

さらに、深浅測量から算定した面的な地盤変化についても、平常時はほとんど埋没が認められないのに対して、高波浪時には岸側(0-4000m)で埋没が確認されており、高波浪時の埋没が顕著であることが確認できた。【図－7】

なお、図－8 は新門司地区の深浅図と航跡図を示したものであり、4,000m～5,000m 付近の航路南側海域において深場が確認された。これは、低密度の海底土砂が航行船舶の水流によって、船舶航行区域外へ移動したものと考えられる。よって、当海域の高濃度浮泥の挙動には、航行船舶の影響も比較的大きいことが分かった。

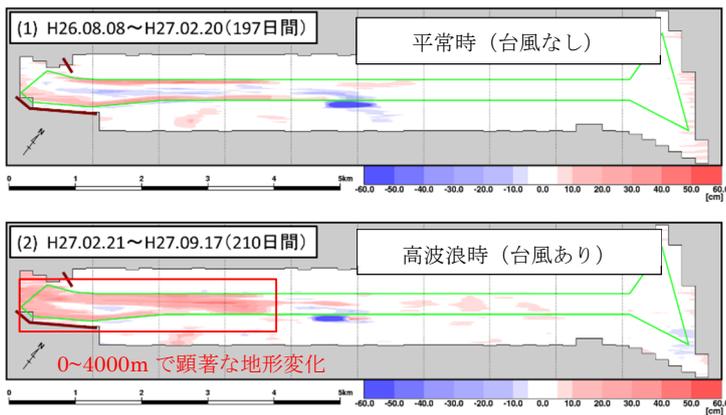


図-7 台風通過の有無による水深変化の違い

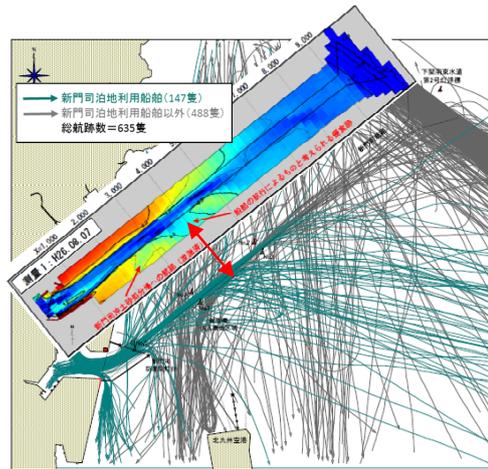


図-8 航行船舶の水流による海底地盤の攪乱

3. 2, 底泥移動シミュレーション予測モデルの改良について

底泥移動シミュレーション予測モデルとは、対象港湾を含む周辺海域を格子状に細かく区分し、各計算格子における海水と泥の挙動を空間的・時間的に連続計算するものであり、埋没対策工の効果を検証するために有効なツールの一つである。【図-9】

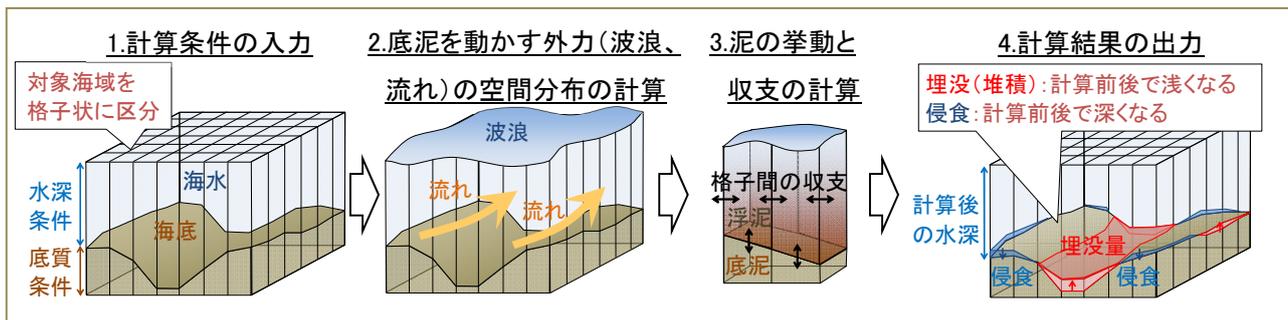


図-9 底泥移動シミュレーション予測モデル

今回の現地調査成果に基づき、底質条件（含水比・密度）、SSモデル（巻上・拡散・沈降）及び高濃度浮泥モデル（高濃度浮泥の濃度・沈降速度等）を調整し、台風15号来襲時の埋没現象を再現目標として、埋没予測計算を行った。

これまで、高濃度浮泥の直接的な現地観測成果はほとんど得られていなかった。このため、高濃度浮泥の挙動のシミュレーションは、実験室での実験結果から構築されたモデルおよび各種パラメータについて現地そのまま適用できると仮定して運用されてきた。今回、航路内の高濃度浮泥を観測できたことにより、モデルの裏付けを強化し、現地に合わせたパラメータを設定することが可能となった。

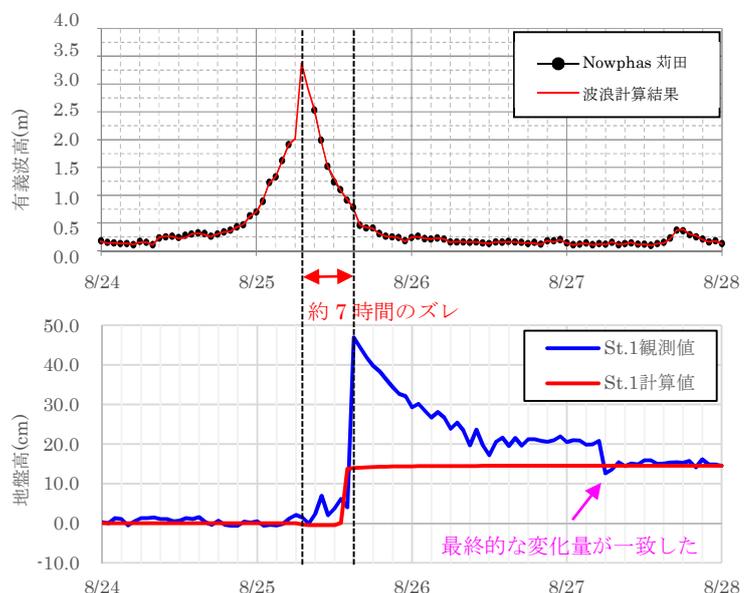


図-10 観測値と計算値の比較

その結果、地盤高の変化時刻が高波浪のピークから7時間程度遅れる現象および地盤高の最終的な変化量（地盤高観測結果）と、面的な埋没パターン（深淺測量成果）を再現することができた。【図-10・図-11】

したがって、今回改良した数値シミュレーションについては、更なる改良の余地は残されているものの、埋没対策工の効果検証に用いることが可能と考えられる。

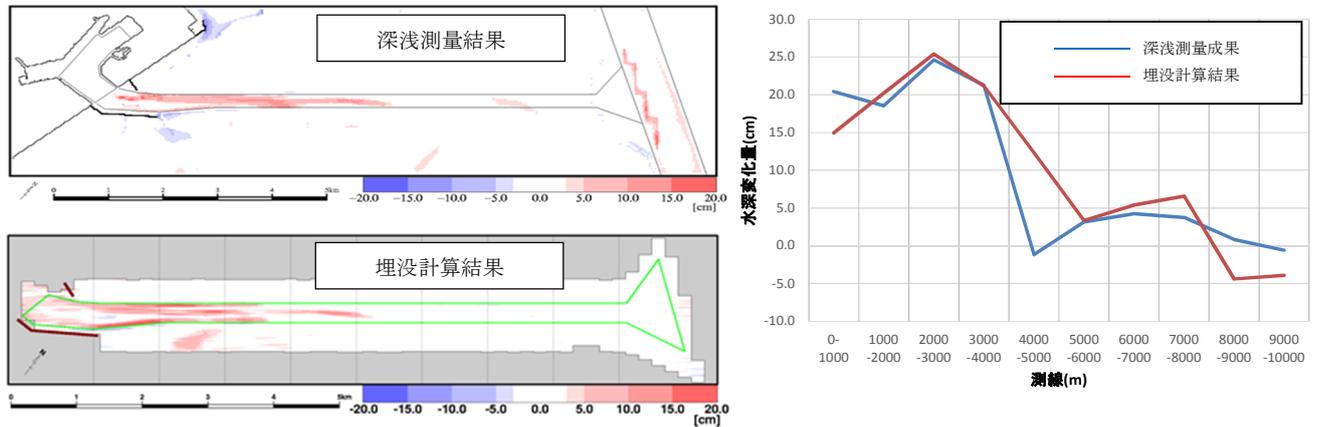


図-11 深淺測量結果と埋没計算結果の比較

3.3 ライフサイクルコスト等を考慮した埋没抑制対策と航路管理の方向性について

埋没対策工法の選定にあたっては、対象地区における浮泥の発生源、移動経路及び堆積域等を把握したうえで、港湾施設の利用状況及び経済性等を総合的に勘案して実施する必要がある。

主な埋没対策工法は、①巻き上げ抑制、②浮泥流動の制御、③堆積場所の制御、④事後対策に大別される。【図-12】

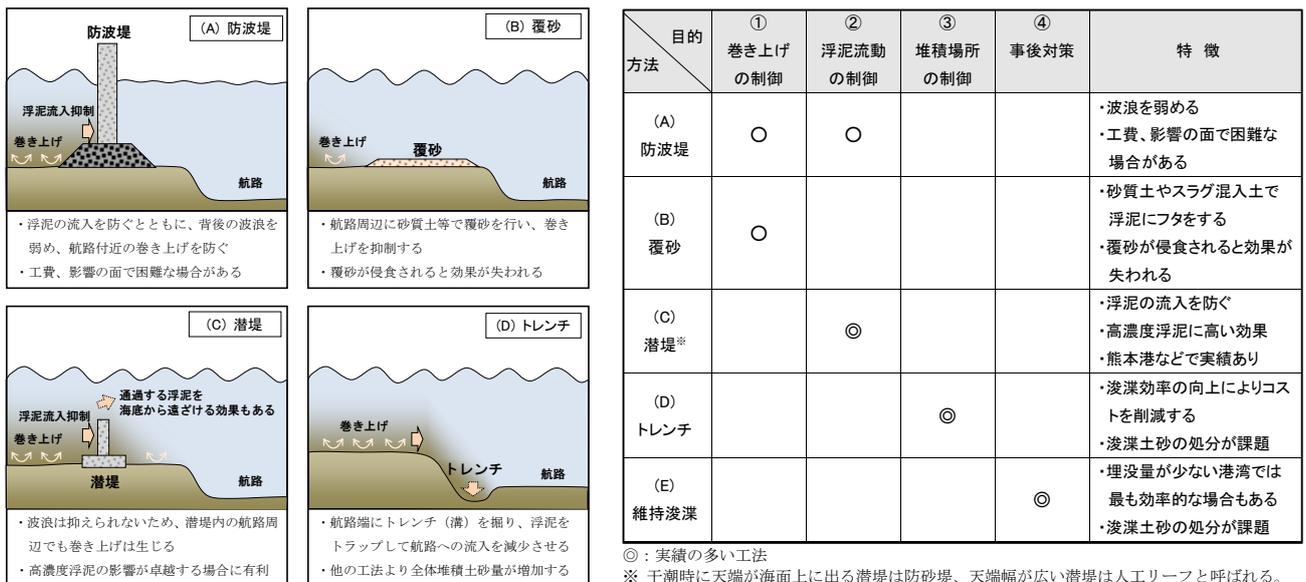


図-12 主な埋没対策工法

新門司地区においては、埋没が顕著であった航路の岸側（0m～4,000m）付近を対象に、高波浪時における海底面直上付近（0.1m）の高濃度浮泥の流入防止とともに、航路内へ流入した土砂を効率的かつ効果的に航路外に除去する方策を複合的に検討する必要がある。

他方、海外の航路管理として、ヨーロッパのロッテルダム港において、浮泥層の密度管理によって維持浚渫費用を削減した事例がある。

ロッテルダム港は、背後に大都市をもち工業排水や生活廃水が流入し、海底に有機系の浮泥が堆積するため、維持浚渫費用が増大する問題を抱えていた。

そこで、航行船舶の利用実態と堆積浮泥層の密度分布を解析し、「船舶が航行可能な比重1.2以下の堆積土砂は浚渫不要」という新基準を設けて、コスト削減に成功している。

一連の検討結果を踏まえ、新門司地区を対象とした埋没対策の一つの方向性を以下のとおり整理した。【図-13】

- (1) 埋没傾向が顕著な航路の岸側（0m～4,000m）付近を対象に対策工を検討する。
- (2) 航路外の海底面直上付近（約0.1m）にて発生する高濃度浮泥の流入防止策として、潜堤等を航路外に設置し、航路内への土砂流入を防ぐ。【①巻き上げ抑制・②浮泥流動の制御】
- (3) 航行船舶により堆積土砂を浸食（攪乱）し、トレンチ（深掘）部に土砂を集積する。【③堆積場所の制御】
- (4) トレンチ（深掘）部に集積された土砂の自然圧密（圧密管理）を行ったうえで、定期的に維持浚渫を行う。【④事後対策】

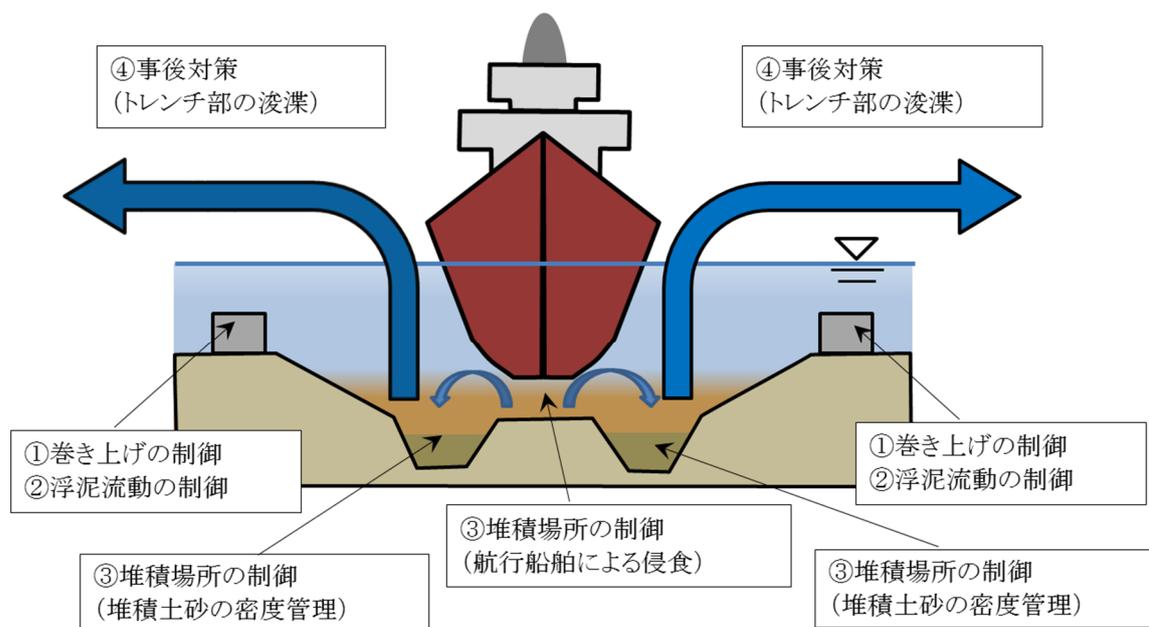


図-13 航路管理の考え方「イメージ」

4. おわりに

今回の調査により、観測が困難でこれまでほとんど観測事例がなかった航路内の高濃度浮泥を観測できた。また、この調査結果を埋没予測モデルに反映することにより、これまで多くの仮定に基づき計算していた現象を実態に近い形で再現することが可能となった。

さらに、航路管理の基本的なあり方について、航行船舶の安全性を踏まえ、海底土砂の堆積域、量及び密度に着目した対策工の可能性について整理した。

ただし、本調査で得られた知見は、航路内の一部で観測されたデータに基づく成果であるため、今後は多面的・継続的な観測を実施し、シミュレーションモデルの改良による再現性向上を通して、港湾全体の機能維持に資する対策検討を行いたいと考えている。