

関門航路埋没予測モデルの再現性向上と効果的な浚渫深さの検討

田中 真史*・大村 厚夫**・小野 信幸***・成毛 辰徳****
水野 博史*****・松永 康司*****・宮崎 啓司*****・吉本 幸太*****

* 前（一財）沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員
**（一財）沿岸技術研究センター 調査役
***（株）エコー 防災系事業部 防災解析部 環境解析室長
**** いであ（株）沿岸・海岸事業部 沿岸解析部 主査研究員
***** いであ（株）中国支店 沿岸・港湾部 主査研究員
***** 前 国土交通省 九州地方整備局 関門航路事務所長
***** 前 国土交通省 九州地方整備局 関門航路事務所 企画調整課長
***** 国土交通省 九州地方整備局 関門航路事務所 企画調整課 企画調整係長

関門航路において、シルテーションおよびサンドウェーブによる航路埋没が生じている。これまで維持浚渫により航路水深の確保を図ってきたが、より効率的な航路保全のため、埋没予測に基づく効果的な対策や維持管理計画の立案が求められている。

本稿では、埋没予測モデルに最新の現地調査結果を反映し、シミュレーションの再現性を向上した。初期の浚渫土量と、目標水深を一定の年数維持したときの維持浚渫量を踏まえ、構築した予測モデルを用いて効果的な浚渫深さについて検討した。

キーワード：航路埋没、埋没予測シミュレーション、シルテーション、サンドウェーブ

1. はじめに

関門航路東部の南東水道において、シルテーションによる航路埋没が生じている。また、西部の田野浦地区や笠瀬地区等においてはサンドウェーブが形成・発達し、しばしば浅所が形成される。このような状況を踏まえ、国土交通省九州地方整備局関門航路事務所は、維持浚渫による航路水深の確保に努めてきたが、より効率的な航路保全のため、埋没予測に基づく効果的な対策や水深の維持管理計画の立案が求められてきた。同事務所は平成26年度にこれらの立案に資する埋没予測モデルの検討に着手し、翌27年度に一定の再現性を持つモデルを開発した。しかしながら、この精度は必ずしも十分でない上、今般、新たな現地調査データが

得られたことから、予測モデルの再現性のさらなる向上を図ることとした。

図-1に、関門航路の平面図を示す。本稿では、関門航路の埋没予測について、対象海域を堆積土砂の種類ごとに区分してそれぞれ検討を進めた。すなわち、主にシルト・粘土が堆積する航路東部の南東水道（以下、シルテーション地区という）および主に砂・礫が堆積する航路西部海域（以下、サンドウェーブ地区という）である。まず、関門航路および周辺海域における最新の現地調査データ（関門航路事務所および北九州港湾・空港整備事務所より提供）を解析し、これに基づいて埋没予測モデルの再現性の向上を図った。その上で、水深の維持管理にあたり効果的な浚渫深さについて検討した。

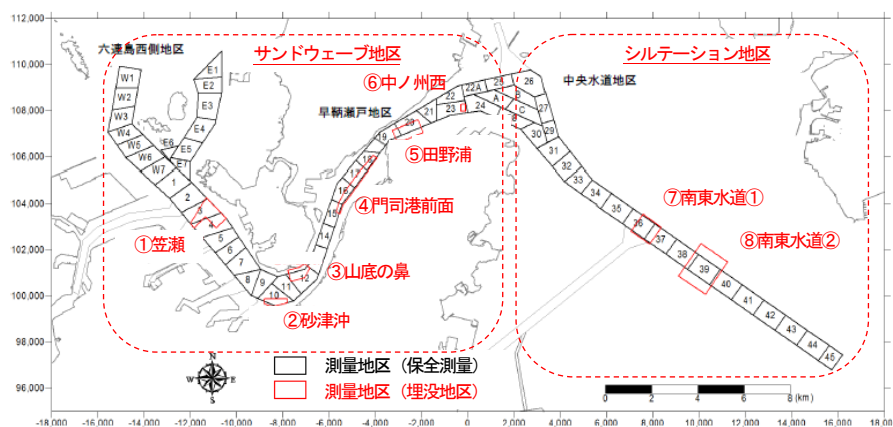


図-1 関門航路平面図

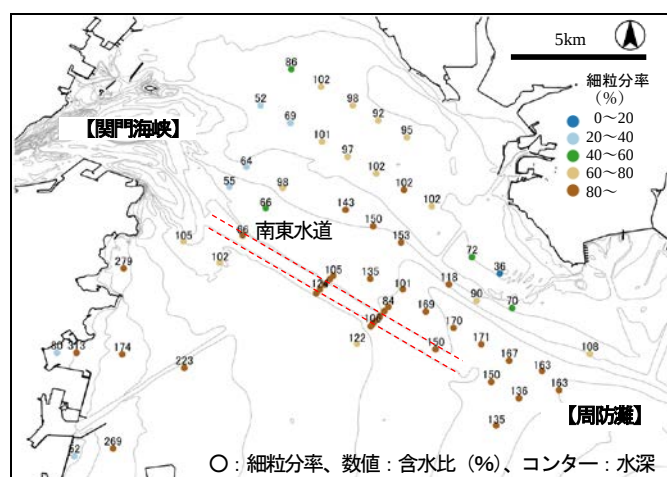


図-2 底質（細粒分率と含水比）の空間分布

表-1 平成27年度モデルからの主な変更内容

項 目	平成27年度	平成28年度 (今回変更)
ベースモデル	平成27年10月版	平成28年3月版
細粒分率	地質図等	実測データ
鉛直方向分割数	3層	4層
その他 調整パラメータ	巻き上げ係数、巻き上げ限界せん断応力、 沈降限界せん断応力、沈降濃度層厚、沈 降濃度係数	

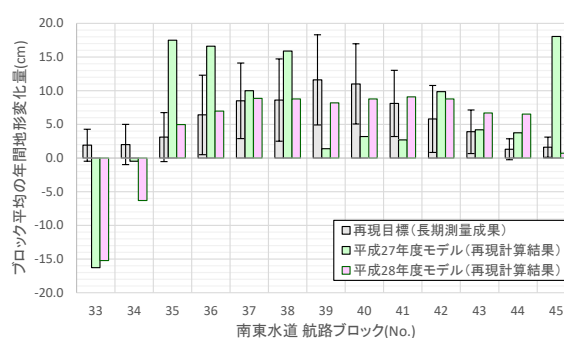


図-3 年間地形変化量の再現性

2. シルテーション地区における埋没予測

2.1 埋没の現状

関門海峡から南東水道にかかる広範囲の海域において実施された底質調査結果について、これまで蓄積されてきたデータと統合して解析を行った。

図-2に、エクスマンバージ式採泥器を用いて採取された底質の空間分布を示す。細粒分率（シルト粘土含有率）は各地点の色により区分した。数値は含水比である。関門海峡端部近傍および北側沿岸域の底質は、細粒分率および含水比の比較的低い砂泥質であった。一方、南東水道近傍以南の海域については、細粒分率80%、含水比100%を超える泥質であった。これは、関門海峡の潮流が速いため、関門海峡および海峡端部近傍においては細粒土砂が巻き上げられ、南東水道方向への流れが卓越する下げ潮時に、この細粒土砂が南東水道および近傍海域に堆積するためと考えられる。

2.2 埋没予測モデルの再現性向上

埋没予測シミュレーションは、鶴谷ら¹⁾のモデルをベースに下関港湾空港技術調査事務所が開発したシルテーションによる埋没予測モデル（平成28年3月版）を用いて行った。入力条件およびパラメータ設定にあ

たり、深浅測量成果および前節で述べたような最新の現地調査データの解析結果を新たに反映する等して、当該海域における埋没予測モデルを構築した。表-1に、平成27年度モデルからの主な変更内容を示す。

図-3に、南東水道におけるブロックごとの年間地形変化量を示す。再現目標は1997～2015年の測量成果から整理された各ブロックの平均年間埋没速度とした。再現計算の結果、関門海峡側のブロック No. 33 および No. 34 における再現性には改善の余地があるものの、No. 35～No. 45 においては、平成27年度モデルと比べて総じて再現性が高くなった。なお、No. 33 および No. 34 は細粒分率が実態を反映できていないため、計算上過剰な侵食傾向となって再現性が低下したと考えられる。

2.3 効果的な浚渫深さの検討

構築した埋没予測モデルを用いて、航路水深を10年間維持したときの埋没対策の効果的な浚渫深さについて検討した。

図-4に、検討対象海域および選定した対策案を示す。対象海域は、緑色枠囲みで示すブロック No. 33 から No. 38 の中央付近（以下、No. 38W という）までとした。この海域は、実績に基づき、南東水道を浚渫時期ごとに3区分した内の1区分である。対策案として、航路縦断トレンチ、航路横断トレンチおよび潜堤に大別さ

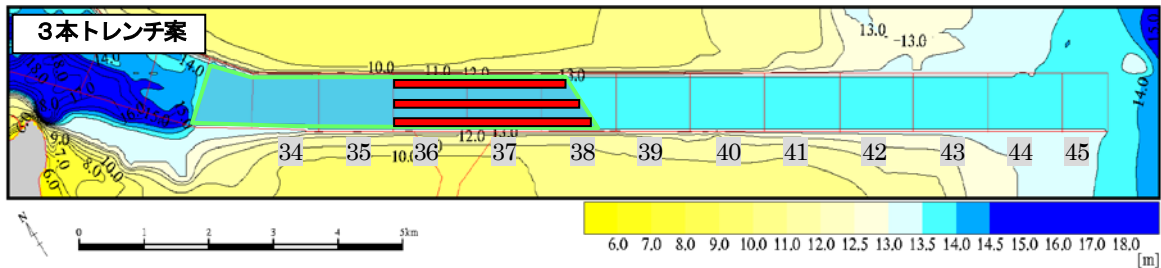


図-4 検討対象海域および選定した対策案

表-2 検討ケース

Case	埋没対策（トレンチ）の浚渫深さ
1	0.0m（対策なし）＋航路維持浚渫
2	1.0m＋航路維持浚渫
3	3.1m
4	2.0m＋航路余掘り厚増加

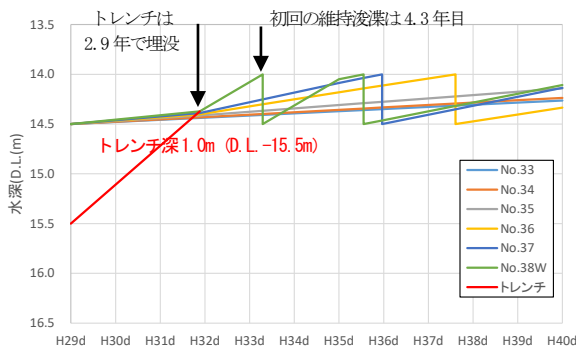


図-5 平均水深の経年変化（ケース2）

れる複数案について埋没予測シミュレーションを実施し、航路縦断方向の3本トレンチ案を選定した。トレンチの延長はNo. 36からNo. 38Wまでとし、北側からそれぞれ2,650m、2,900mおよび3,125mとした。トレンチ幅は全て100mとした。検討ケースを表-2に示す。ケース1はトレンチを掘らず航路の維持浚渫のみにより水深を確保する案、ケース2は1.0mのトレンチ浚渫と維持浚渫による案、ケース3は当初のトレンチ浚渫のみで水深を10年間維持する案である。また、ケース4は、上記ケースの中間的なトレンチ浚渫深さとしたときに、航路維持浚渫が不要となるように余掘り厚を増加した案である。初期水深は0.5mの余掘りを含めD.L. -14.5mとし、水深がD.L. -14.0m（計画水深）より浅くなった場合に0.5mの維持浚渫を行うこととした。

図-5に、ケース2におけるブロックNo. 38Wごとの平均水深の経年変化を例示する。横軸は開始を平成29年度とした年度表示である。トレンチは2.9年程度で埋没し、その後、No. 38Wにおける堆積が急増して4.3年程度で計画水深に到達した。また、水深を10年間維持するためには、数回の維持浚渫が必要となった。図-6は、このような平均水深の計算結果から算定した各ケースの浚渫土量の経年変化である。10年間の浚渫土量が最も少ないのはケース1であったが、1.9年程度で維持浚渫

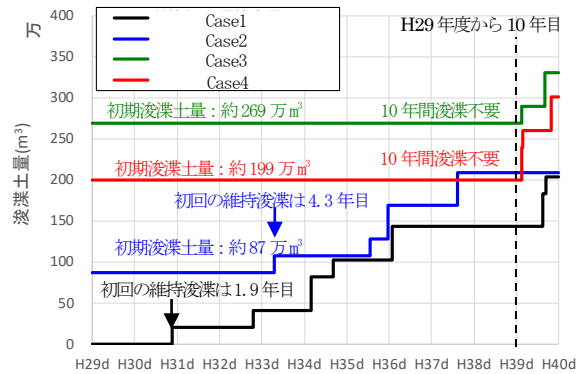


図-6 浚渫土量の経年変化

の必要が生じ、最終的な回数は最も多かった。一方、ケース4は上述のとおり維持浚渫の必要がなく、結果として浚渫土量は2番目に少なかった。このように、構築した埋没予測モデルを適用することで、効果的な浚渫方法について検討することが可能となった。

3. サンドウェーブ地区における埋没予測

3.1 埋没予測モデルの再現性向上

サンドウェーブ形成域は、水深として平均水深および最浅水深が定義される。平均水深のシミュレーションは水深変化モデル²⁾を用いて行い、最浅水深については、これに中村モデル³⁾による予測結果を足し合わせて算定した。水深変化モデルはメッシュサイズを50mから25mに変更するとともに、-19m以深は岩礁化しているものと仮定して浸食が生じないようにすることで再現性の向上を図った。また、これまで、中村モデルの入力条件の一つとなる底質粒径のデータが得られなかったが、平成28年9月に実施された現地調査により、これが地区別に明らかにされた。そこで、中村モデルに底質粒径の実測値を入力して再現性を確認した。

図-7に、水深変化モデルを用いた田野浦地区における地形変化シミュレーション結果を示し、図-8に、再現目標として深浅測量の結果を示す。図-7上図は、水深があっても岩礁化しているとは見なさず浸食が生じる条件、下図は岩礁化を仮定した条件である。堆積域と浸食域を繰り返すサンドウェーブの傾向は両者ともによく再現された一方、下図には過剰な地形変化が生じておらず、上図に比較して総じて再現性が向上した。

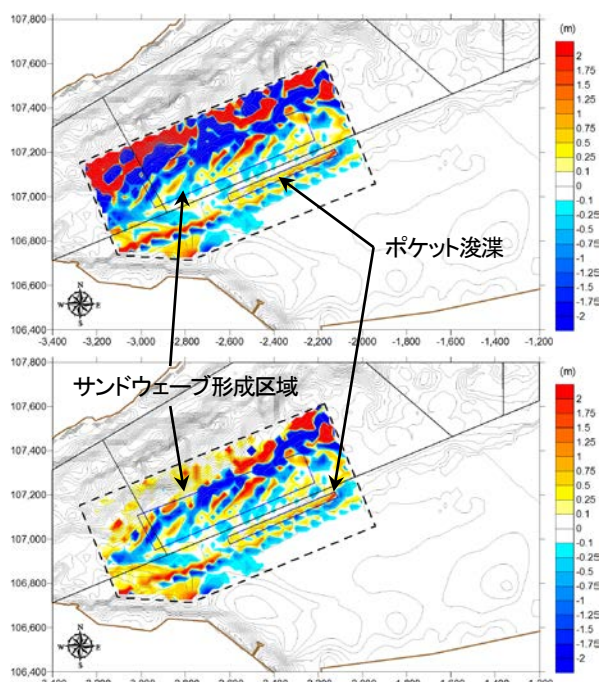


図-7 水深変化モデルによる田野浦地区の計算結果
(上図：岩礁化条件なし，下図：岩礁化条件あり)

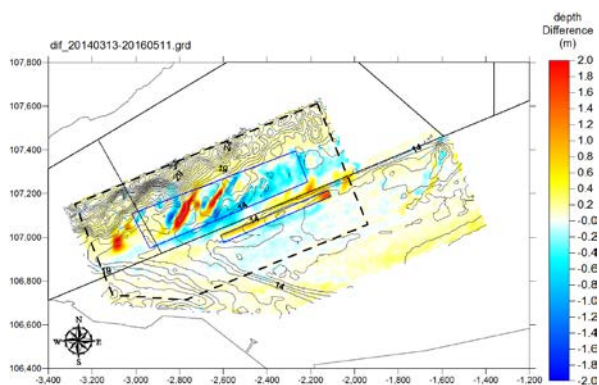


図-8 深浅測量結果

3.2 効果的な浚渫深さの検討

水深変化モデルおよび中村モデルを用いて、笠瀬地区を例にして、効果的な目標水深について検討する。

初期水深は目標水深に余掘り厚0.4mを加えた水深とし、目標水深より浅い箇所が発生した場合には、初期水深まで維持浚渫を行うものとした。底質粒径は実測値を用い、浚渫による水深増加によらず一定とした。潮流速は増深に伴って低下するものとし、サンドウェーブの発達が抑制される条件とした。また、平均水深変化速度は増深の前後で変化しないものとした。

図-9に、サンドウェーブ頂部の水深の経年変化を目標水深（括弧内は初期水深）別に示す。図中のプロットは水深13.3mのときの実測値である。初期水深13.4mの計算値は実測値と概ね一致し、モデルの再現性が確認された。また、目標水深の小さい方がサンドウェーブの発達が速く、余掘り分が埋没するまでの期間が短かった。図-10に、50年間の浚渫土量を目標水深ごと

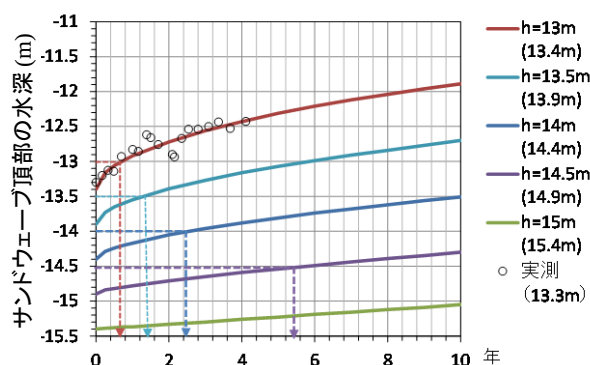


図-9 サンドウェーブ頂部の水深の経年変化

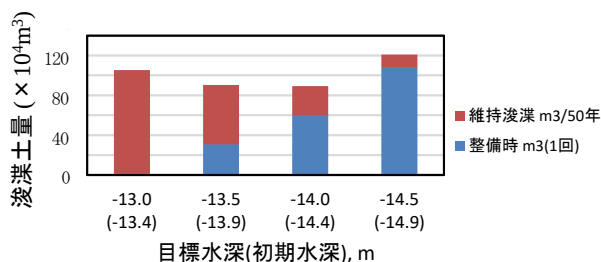


図-10 50年間の浚渫土量

に示す。土量は、現状の水深から余掘りを含む初期水深まで整備したときの浚渫分と、50年間の維持浚渫分の和とした。目標水深が小さい場合、整備時の浚渫土量は減少するが維持浚渫土量が増加する。一方、目標水深が大きい場合はこれらの大小関係が逆転する。計算の結果、浚渫土量はこの水深帯において極小値を含み、目標水深14.0mのケースで最も少なかった。

4. まとめ

本稿では、関門航路の埋没予測モデルの再現性を向上し、効果的な浚渫深さについて検討した。

なお、本稿は、国土交通省九州地方整備局関門航路事務所発注の関門航路埋没対策検討業務(平成28年度)の成果の一部を取りまとめたものである。

謝辞

検討にあたり、関門航路埋没対策検討会（座長：九州大学大学院 橋本典明教授）において、重要なご指摘を頂いた。ここに記し、謝意を表する。

参考文献

- 1) 鶴谷広一・村上和男・入江功・笹嶋博・糸井正夫 (1994) : Fluid mud を考慮した三次元シルテーション予測モデルについて, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 1011-1015.
- 2) 堀池昌生・山口正高・江口秀人・八尋明彦・伊東啓勝・小野信幸 (2013) : 田子の浦港港口部での航路埋没とポケット浚渫の効果, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 69, No. 2, pp. I-601-I-605.
- 3) 中村聡志 (2015) : サンドウェーブ地形の発達予測計算モデルの開発, 港湾空港技術研究所資料, No. 1297, pp. 3-14.