

関門航路のサンドウェーブに関する数値シミュレーション

九州大学大学院工学府 学生会員 ○八尋蓮

北九州市 相原佑紀

九州大学 正会員 山城賢 平澤充成

フェロー 橋本典明

九州産業大学 正会員 横田雅紀

国土交通省 関門航路事務所 企画調整課 宮崎啓司

国土交通省 下関港湾空港技術調査事務所 環境課 的野一郎

1. まえがき

関門海峡を通じて日本海と瀬戸内海を結ぶ関門航路では、海峡部でサンドウェーブが発生し、特に図-1 に示す4箇所ではサンドウェーブに伴う局所的浅所が船舶の航行に支障をきたすことが懸念されている。

本研究では、関門航路の効率的な維持管理に資することを目的に、サンドウェーブの発生・発達について、数値シミュレーションによる再現を試みた。

2. 数値シミュレーション

2.1 数値シミュレーションモデル

Massachusetts Dartmouth 大学の C.Chen と H.Liu により開発された三次元有限体積法を用いた海洋流動モデル FVCOM(Finite Volume Coastal Ocean Model)¹⁾を用いた。このモデルは、非構造格子と σ 座標系を用いることで複雑な海岸線や海底地形をより精度よく表現できる。また、FVCOM は、オプションで選択できる波浪、氷塊、水質などを取り扱うモジュールを実装しており、本研究では底質移動を計算する Sediment モジュールを使用した。Sediment モジュールでは底層における流速をもとに掃流砂と浮遊砂の移動を計算する。

2.2 計算条件

計算領域は、関門航路全体を含む響灘から周防灘の図-2 に示す範囲とした。計算格子は、港湾構造物を含む比較的新しい海岸線データである国土交通省の国土数値情報データ、日本水路協会の水深データおよび関門航路事務所による深浅測量データをもとに作成した。これまでの検討²⁾³⁾から、関門航路内で発達するサンドウェーブの波長は100～300m程度であることが分かっている。そこで、潮流の再現性とサンドウェーブに対する空間解像度を考慮し、図-1 に示すサンドウェーブ発生箇所にて詳細な格子を設定した計算格子を作成した。図-3 に田野浦における計算格子を示す。格子幅は開境界を最大の3,000mとし、海峡に近づくにつれ小さくし、海峡内では基本的に50m程度、サンドウェーブ発生箇所は30m程度とした。開境界では図-2 に●で示す



図-1 サンドウェーブによる浅所の発生箇所

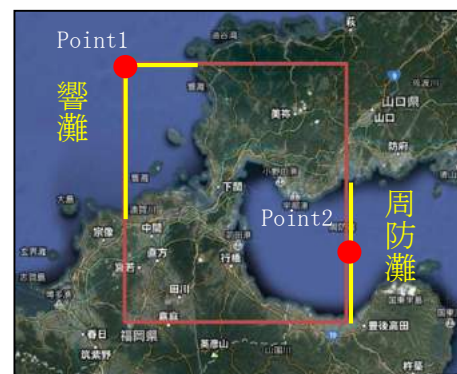


図-2 計算領域

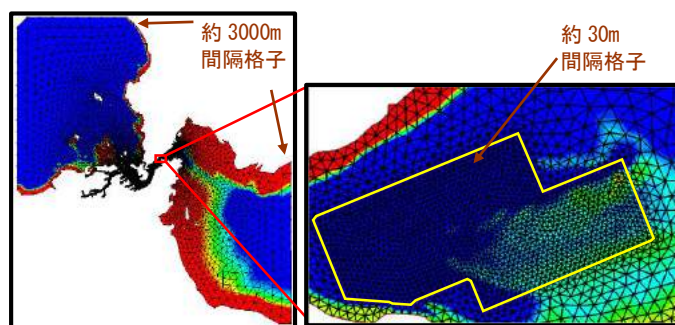


図-3 計算格子 (田野浦地区)

キーワード 関門航路 サンドウェーブ 数値シミュレーション

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 ウエスト 2 号館 1003 号室 沿岸海洋工学研究室 TEL 092-802-3415

地点において NAO.99Jb⁴⁾を用いて求めた潮位変化をそれぞれの境界(図中の黄色のライン)で一律に与えた。計算期間は国土交通省による過去の観測結果と比較できるよう 2010 年 11 月 2 日 0 時~2010 年 11 月 16 日 23 時までの 15 日間を対象とし、これに 24 時間の前駆計算を加えた。計算時間間隔は外部モードを 0.5 秒、内部モードを 1.5 秒とした。

2.3 底質パラメーターの検討

表-1 に底質移動の計算で設定した底質パラメーターを示す。沈降速度は沈降法、侵食速度は Ariathurai と Arulanandan の式⁵⁾、侵食限界応力は岩垣の式⁶⁾を用いて算出した。その他、粒径、乾燥密度は関門航路事務所による調査結果⁷⁾を参考とした。現地観測より得られなかった空隙率および計算に大きく影響すると思われる粒径を、それぞれ 3 パターン設定し、計 9 パターンの計算により感度分析を行った。計算結果を比較し、侵食や堆積の状況から最終的に粒径 50%, 空隙率 0.45 に設定した。

表-1 底質パラメーター

粒径	空隙率	最小密度 (kg/m ³)	平均粒径 (mm)	沈降速度 (mm/s)	侵食速度 (kg/(m ² ・s))	限界侵食応力 (N/m ²)	空隙率	乾燥密度 (kg/m ³)
30%粒径	0.30	1400	0.72	82.188	0.00130	0.04	0.30	1828.4
50%粒径		1400	1.34	128.070	0.01050	0.81	0.30	1828.4
70%粒径		1400	2.2	171.790	0.00730	1.63	0.30	1828.4
30%粒径	0.45	1100	0.72	82.188	0.00130	0.04	0.45	1436.6
50%粒径		1100	1.34	128.070	0.01050	0.81	0.45	1436.6
70%粒径		1100	2.2	171.790	0.00730	1.63	0.45	1436.6
30%粒径	0.60	800	0.72	82.188	0.00130	0.04	0.60	1044.8
50%粒径		800	1.34	128.070	0.01050	0.81	0.60	1044.8
70%粒径		800	2.2	171.790	0.00730	1.63	0.60	1044.8

2.4 シミュレーション結果

図-4 に田野浦地区、笠瀬地区における水深変化量の計算結果と、国土交通省関門航路事務所による深浅測量データから求めた水深変化量の標準偏差分布を示す。水深変化の標準偏差はサンドウェーブの発生個所で大きくなる。田野浦地区の計算結果をみると、縞模様の地形変化が発生しているが、実際のサンドウェーブに対応する地形変化はみられず、また現地のサンドウェーブは移動するが、その様子も再現できていない。笠瀬地区の計算結果では、侵食堆積量が過大であり、堆積、侵食の位置が逆になっているが、現地のサンドウェーブと同様な地形変化が計算されており、その範囲も概ね一致している。

3. あとがき

本研究では、海洋流動モデル FVCOM を用いて、関門海峡における詳細な地形変化シミュレーションを行った。その結果、底質条件の計算結果への影響の程度を把握し、改良の余地はあるものの、サンドウェーブの発生箇所では波状の海底地形が再現された。

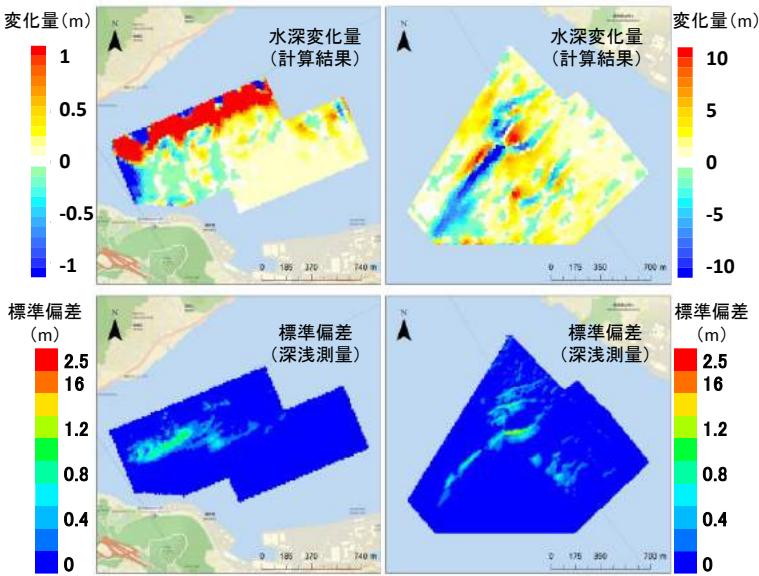


図-4 水深変化量の計算結果と深浅測量による水深変化の標準偏差分布 (左: 田野浦 右: 笠瀬)

参考文献

1) Chen, C. et al.(2003): An Unstructured Grid, Finite-Volume, Three-Dimensional, Primitive Equations Ocean Model: Application to Coastal Ocean and Estuaries, Journal of atmospheric and oceanic technology, Vol.20, pp159-186
2) 相原ら(2014): 関門航路におけるサンドウェーブの形成過程に関する研究, 土木学会論文集, B3(海洋開発), No.2, pp 1_654-1_659
3) 八尋ら(2015): 関門航路門司港地区におけるサンドウェーブの発達特性に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概論集, Vol.70, pp II-162
4) Tsumoto, K., T. Takanezawa, and M. Ooe(2000): Ocean Tide Models Developed by Assimilating TOPEX/POSEIDON Altimeter Data into Hydrodynamical Model: A Global Model and a Regional Model Around Japan, Journal of Oceanography, Vol.56, pp567-581
5) William P. Carey and Andrew Simon(1984): Physical basis and potential estimation techniques for soil erosion parameters in the precipitation-runoff modeling system(PRMS), pp14-24, Nashville,Tennessee
6) 岩垣ら(1956): 限界掃流力の流体力学的研究, 土木学会論文集, 41号, pp1-21
7) 国土交通省九州地方整備局関門航路事務所(2011): 平成22年度関門航路(早鞆瀬戸地区)流況調査業務 報告書