

締切堤の建設が沿岸の干潟の消長に及ぼす影響

野口 正人*・西田 渉*

Effects of Construction of Sea Dyke on the Tidal Flat

by

Masato NOGUCHI* and Wataru NISHIDA*

For achieving the sustainable development, it is significant to mitigate the human impact over time by preservation and maintenance work around the developed area. At Isahaya bay, Nagasaki, the reclamation project is proceeding now, and Isahaya bay has been separated from original sea. Thus, it is considered that the spatial distribution of tidal flat in this bay will change near future.

In this study, in order to investigate the impact of the construction of sea dyke on the tidal flat, numerical simulations were carried out. Calculated results show that the area of tidal flat becomes small as the decrease of tidal range inside the sea dyke. Furthermore, because of the decreased velocity of current, deposition is occurred in front of the dyke and near the northern shoreline. These results imply that the possibility of an appearance of tidal flat around the Isahaya bay. Otherwise, these areas are affected by the control of gates, the enough attentions are required to maintain and create the tidal flat.

1. はじめに

水域における社会基盤整備が自然環境に十分配慮して進められるためには、事前評価が適切な時空間スケールで行われるとともに、事後においても、好ましい環境を創造するための対策が継続的に実施されねばならない。

長崎県の東岸に広がる諫早湾では、諫早湾干拓事業が進められているが、1997年4月に湾奥部を最終的に締切するための潮止め工事が実施されたことで、当水域の水環境は、今後、急速に変化すると考えられる。諫早湾では、潮止め工事以前に湾奥で干潟がみられたが、現在でも湾の北岸と南岸には干潟が現れる。一般に、干潟では、物理学的、化学的、生物学的作用をとおして水質が浄化されることが知られており、浄化機構や浄化能力に関する研究がされると同時に、沿岸域の環境創造の一環として、人工干潟の造成も各地で試みられてきている。諫早湾においても、現存する干潟をいかに位置づけて、環境管理を進めるかが今後の課題と

いえる。著者らは、これまでも干拓事業が諫早湾の流れや水質に与える影響について検討してきたが¹⁻³⁾、本研究では、水域の物質輸送に関する数値モデルの予測精度の向上を図るとともに、締切堤の建設過程を考慮した数値解析を行うことで、締切堤の建設が諫早湾沿岸の干潟に及ぼす影響を予測、評価することにした。

2. 流れと干潟の変化の予測モデル

諫早湾での物質の流送過程を評価するには、諫早湾とそれに隣接する水域との物質収支が適切に考慮されねばならない。これまで、河道（本明川）には1次元解析法を、海域（諫早湾、島原湾）には2次元解析法を、それぞれ採用したモデルを構築し、現地へ適用することで、その有用性を示したが²⁾、ここでは、海域に対して3次元解析法を適用することで、諫早湾の湾口部での物質輸送に関する予測精度の向上が図られた。干潟については、締切堤の建設によって汀線と流

平成11年4月23日受理

*社会開発工学科 (Department of Civil Engineering)

送土砂量が変化することで、発達、消滅することが予想される。ここでは、堆積土粒子の巻き上げと懸濁土粒子の沈降・堆積とを考慮した土粒子の流送モデルが構築されている。基礎方程式は、流れの連続方程式と運動方程式であり、懸濁物質、塩分、堆積土粒子の各収支式、である。なお、干潟での流れは、水深が極めて浅い場合に越流公式で評価されるが、運動方程式から越流公式への移行については、水深が0.01 m以上の時には、移流、コリオリ、拡散の各項を省いた運動方程式が解かれている。土粒子の巻き上げ量は、pick-up rate を用いて評価されており、懸濁物質の沈降量は、流速が速くなるにつれて、減少するものとした²⁾。

各基礎式は、陽形式の有限差分法を適用して離散化された。予測計算では、これまでと同様に、海域に同時型の粗細格子法を適用して計算領域を広げることとし、Fig. 1 に示す領域が対象領域とされた。空間差分間隔は、河道で52~147mとされ、海域では、水平方向に200, 400, 800, 1600 mの格子で覆われ、鉛直方向には、表層を-4.0 m以浅として、層厚10.0 mで等分割された。時間差分間隔は、計算の安定条件であるC. F. L 条件と土粒子の水底からの離脱の時間スケールを考慮して、1.0sec とされた。境界条件は、諫早湾への代表的な流入河川である本明川とその支川の上流端で、流量、懸濁物質濃度、塩分濃度を与え、開境界は、早崎瀬戸、黒ノ瀬戸、長島海峡とする。土粒子は、粒径50.0 μ m、比重2.60の球体として取り扱われた。以下の計算では、水平方向の渦動粘性係数を定数：250.0m²/sec とし、鉛直方向の渦動粘性係数はRichardson の関数としたうえで、中立状態の値を0.001m²/sec とした。

3. モデルの適用性の検討

ここでは、開境界に M 2 分潮を与えて流れの再現性を検討するとともに、推算天文潮位を与えた計算を行い、観測結果と計算結果とを比較することで、流況だけでなく塩化物イオン濃度 (Cl⁻)、懸濁物質濃度についても再現性を検討する。

3.1 M 2 分潮による流れの再現性

潮差と潮時差の計算値を文献値⁴⁾と比較すると、Table 1 のとおりである。潮差については、島原港で両者の違いが大きく、0.23 mであったが、それ以外では0.1±0.05 m程度であり、相対的な差は10%未満である。潮時差については、計算では文献値に比べて全体的に十数分の違いがあるが、島原湾の中央部の港湾で潮位変化がほぼ同時に起こること、住ノ江港での変

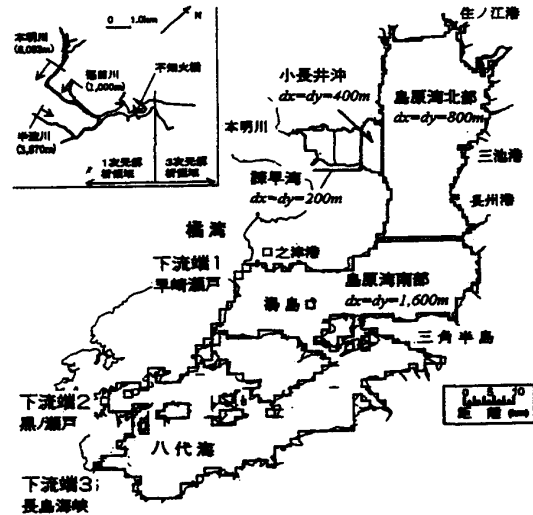


Fig. 1 The calculated area.

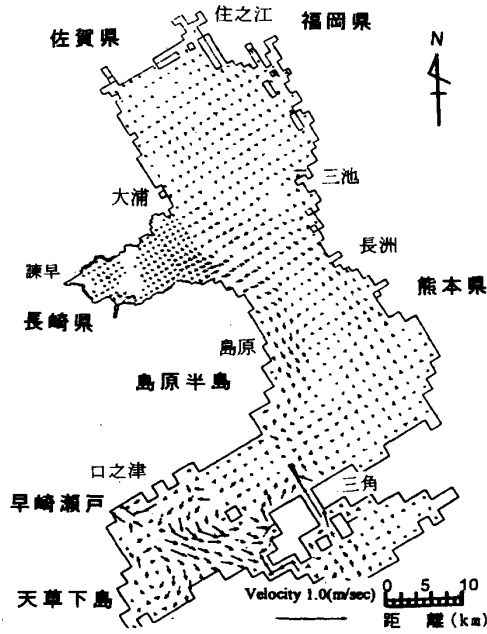
Table 1 Tidal range and difference in time at each port.

		住之江	竹崎港	三池港	長州港	島原港	須川港
潮差 (m)	計算	3.35	3.29	3.30	3.07	2.94	0.38
	文献	3.44	3.16	3.11	2.95	2.71	—
潮時差 (min)	計算	45	35	35	25	25	20
	文献	34	18	16	16	13	10

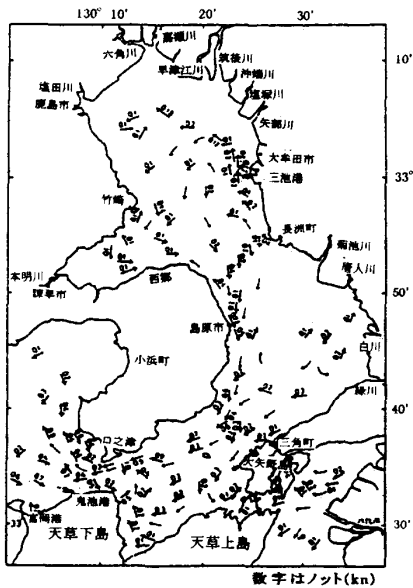
化は他の港湾よりも遅れて生じることが表現されている。

ここでは、紙面の都合上、上げ潮時と下げ潮時での流速ベクトルの空間分布を示さないが、計算結果から、島原湾での流れは、早崎瀬戸での潮汐の影響を強く受けており、上げ潮時と下げ潮時には、島原半島に沿った流れが現れる。流速は、島原湾の南部水域で速く、湾奥に近づくにつれて遅くなる。諫早湾では、島原湾の潮汐変化に伴って、湾口の南部から水塊が流出入することが示されている。

つぎに、潮汐残差流の結果は、Fig. 2 とおりである。流速の算出値は、全体的に文献値⁵⁾よりも遅いが、島原湾の北部水域での反時計回りの環流、島原半島の東岸の速い南下流、熊本県の沿岸を北上する流れ、などで文献と一致している。また、諫早湾の湾口部では、水塊が北部から流入し、南部から流出することが計算で再現されている。これらの流れは、2次元平面モデルによる解析では再現されておらず、水平環流を生じる複雑な流れを解析するには、3次元解析手法が必要であることがわかる。計算結果は、島原湾の南部水域で文献値との相違があるものの、諫早湾ならびに島原湾の北部水域での流れをほぼ再現しており、本モデルは、ここで必要とされる諫早湾周辺での流れを十分に再現していると考えられる。



(a) Calculated result



(b) Observed value⁵⁾

Fig. 2 The residual current at Shimabara bay.

3.2 Cl⁻と懸濁物質の再現性

開境界に推算天文潮位を与えた時の計算結果はFig. 3のとおりである。計算では、潮位表⁶⁾を参考に、1996年12月5日から10日までの潮位変化を与えた。図には、観測が行われた1996年12月9日の計算結果と観測結果とが示されている。なお、観測では懸濁物質としてSS値を測定した。

計算から得られた水位の変化は、全体的に実測値よりも約30分程早い、その違いを考慮すれば、当日の潮差や潮汐に伴う水位の時間変化を再現している。ま

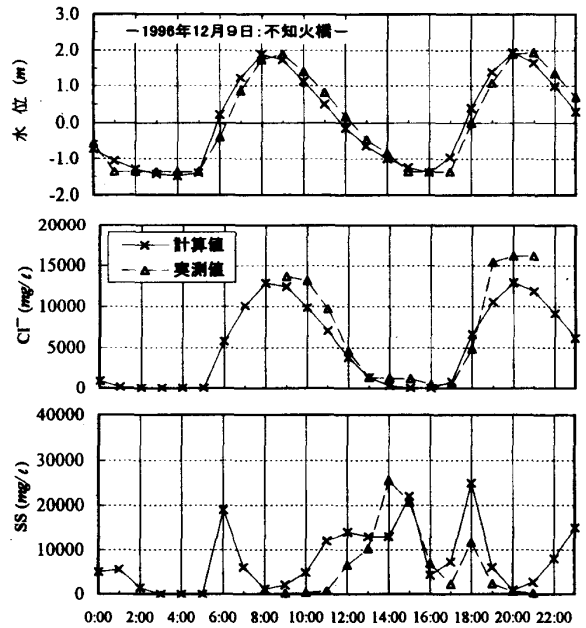


Fig. 3 Calculated results and observed value.

た、Cl⁻についても諫早湾と本明川との水塊の流出入による変化を良好な精度で再現しているといえる。SSについては、観測結果と同様に、水位の下降時と上昇時に濃度が高くなることが示されている。開境界での水位条件を考慮すれば、潮差がしだいに大きくなることで諫早湾から本明川へ流送される懸濁物質量が増えることがわかる。ただし、計算結果では水位の下降時に濃度が高くなる時間が長く、最大値は水位が上昇する時に現れるといった相違点があり、観測手法とともに、土粒子の挙動に関する変数や、初期堆積量とその空間分布について検討せねばならない。

4. 締切堤の建設に関する計算条件

社会基盤の整備に関する環境影響評価は、適切な時空間スケールで実施されねばならないが、締切堤の建設については、その着工から潮止め工事までに約7年間が経過しており、工事の進捗に応じて湾内の物質の流送過程が変化したものと察せられる。ここでは、締切堤に関する条件として、締切堤の建設以前の状態（建設前：1989年以前）と2つの締切堤の建設状態（4,000mが建設された状態（建設中Ⅰ：1996年末）、潮止め予定区間のみが未完成区間の状態（建設中Ⅱ：1997年末））、さらに、排水門操作に関する2つの条件（調整池の水位をT.P.-1.00mとなるよう排水門が操作されている条件（建設後）、北部・南部排水門が常に開けられている状態（排水門開放））を取り上げて、流れと干潟の空間分布に与える影響を評価した。境界条件は、開境界でM2分潮に相当する水位変化を与え

ている。計算は、建設前、建設中Ⅰ、建設中Ⅱ、建設後、排水門開放の順に行い、各計算で10潮汐分の助走計算を行った。また、土粒子の初期堆積量は、各計算条件の前段階での算出量を用いて評価された。次章では、おもに、建設前、建設中Ⅱ、建設後、排水門開放の計算結果をもとに考察する。

5. 諫早湾における流れと干潟の変化

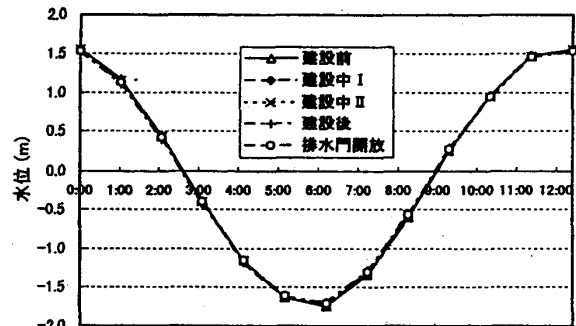
5.1 湾内の流れの変化

諫早湾での3地点（締切堤から湾口へ300 m (St. 1) の地点、湾奥へ300 m (St. 2) の地点）での水位変化は、Fig. 4のとおりである。

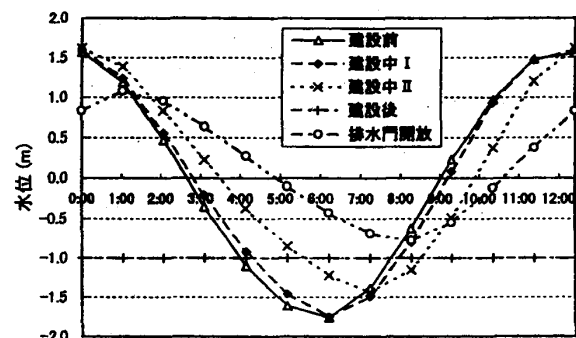
建設前の水位変化は、St. 2での干潮の時刻が湾口付近に比べて数分ほど遅れ、さらにSt. 2よりも湾奥では、浅海潮の発達による水位波形の歪みも現れるが、湾内の水位は、全域ではほぼ同時に変化するようである。締切堤の建設の影響は、St. 1において、あまり大きくはないが、St. 2の結果から、締切堤の建設が進むにつれて、潮汐波が湾奥へ伝播する時間が長くなることわかる。とくに建設中Ⅱでは、水位波形の歪みが大きく、水位変化の遅れと最低水位の上昇を生じている。排水門開放では、St. 2で、顕著な最低水位の上昇と、最高水位の低下、などが現れ、一潮汐間の平均水位は、建設前に比べて約0.2 m上昇する。これら湾奥での潮差の減少が湾内の水位に与える影響は、締切堤から離れるにつれて小さくなるが、排水門開放の結果では、締切堤から約300 mまでの範囲で顕著に現われる。

つぎに、流速ベクトルの空間分布と汀線の位置は、Fig. 5のとおりである。

締切堤の建設前には、島原湾の水位が上昇するにつれて、島原半島の沿岸から諫早湾へ向かう流れが現れる。その後、満潮に近づくと諫早湾湾口に反時計回りの水平環流が形成され、下げ潮時には、島原湾を南進する流れに連行されるようにして、湾口の南側から島原湾へと流出する。湾奥部では、本明川の河口付近での流速が上げ潮時と下げ潮時に速く、河口の滞筋は、潮汐変化に伴う諫早湾と本明川との水の流入入によって形成されたものと推察される。締切堤の建設中には、一潮汐間をとおして未完成区間での流速が速く、その影響は諫早湾の湾口付近にも現れる。干潮時には、湾奥部での水位が建設前よりも高くなるために、潮止め予定区間では、依然として湾口へ向かう比較的速度い流れが現われており、締切堤の湾口側では、湾奥からの流れと北部沿岸の流れによって、反時計回りの水平環流が形成される。締切堤の建設後には、湾口部では、



(a) St. 1



(b) St. 2

Fig. 4 Temporal change of water stage.

建設前の状態と同様の流れとなるが、上げ潮時と下げ潮時の流速は、諫早湾のほぼ全域で遅くなる。排水門開放の条件では、北部・南部排水門の周辺で流速が速く、湾内の流れは、これら二つの排水門からの流入入水の影響を強く受けている。これは、Fig. 4に示されたように、湾奥部の潮差が小さくなり、一潮汐間をとおして締切堤の湾奥側と湾口側との水位差が大きくなるためである。

5.2 汀線の分布と干潟の面積

締切堤の建設に伴う流況の変化は、汀線や堆積厚さの分布を変化させ、諫早湾内の干潟の空間分布に影響を与えると考えられる。そこで、まず、満潮時と干潮時の汀線の結果から干潟の面積を算出すると、建設前：25.44km²、建設中Ⅱ：18.60km²、建設後：3.12km²、排水門開放：11.24km²、である。建設前の条件では、諫早湾では、湾奥部と北岸、南岸に干潟が現れているが、建設中Ⅱでは、一潮汐間に常に干出もしくは水面下に没する面積が広がるために、干潟の面積は建設前の約73%となる。建設後においても締切堤の湾口側の北岸と南岸で干潟が現れるが、これらは、締切堤の完成後の流れの変化で生じた干潟ではなく、いずれの計算条件にも現れている。排水門開放の結果では、湾奥部での潮差が減少するために、干潟の面積は建設前の半以下である。また、内部堤防の建設が進むと面

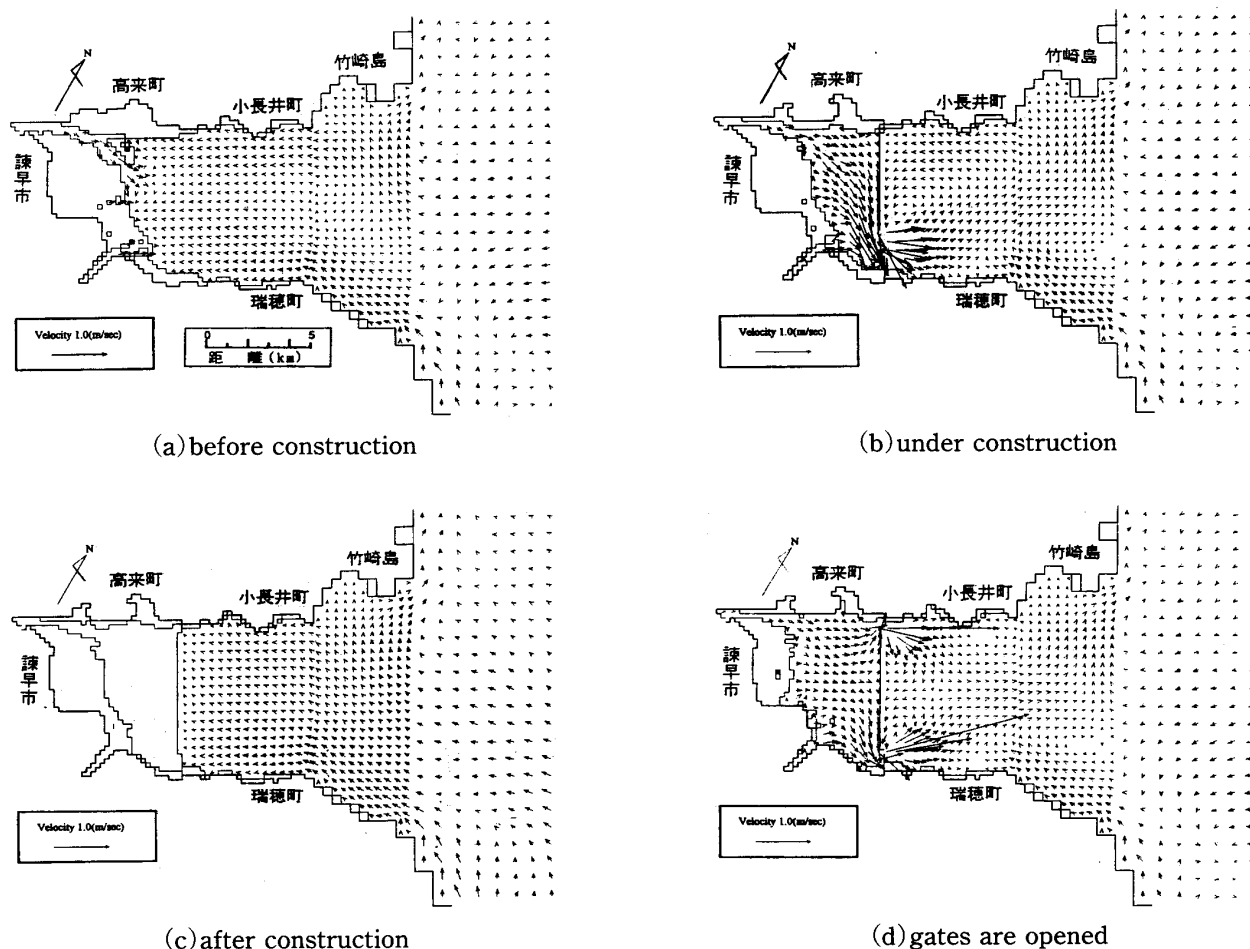


Fig. 5 Tidal stream in Isahaya bay at the ebb tide.

積はさらに減少し、調整池の北岸と南岸の一部でのみ干潟が現れると考えられる。ただし、調整池での干潟の発達には、調整池の防災機能や内水の排除の効果を減少させると考えられ、例えば、環境補償の対策の一つとして排水門を常に開けておくことが有効であるかは、慎重に検討されねばならないと考えられる。

5.3 湾内の堆積厚さの変化

つづいて、湾内の堆積厚さの分布に与える影響を検討するが、さきに諫早湾湾口を通過する水量と懸濁物質質量について述べておく。

水の流出入区間は時間的に変わるが、一潮汐間の平均としては、上層では北側で諫早湾へ流入し、南側で流出しており、下層では全区間で流入する。また、縮切堤が水の流出入区間に与える影響は小さいようである。懸濁物質の流量は、表層では、水の分布と同様に、北側から流入し、南側から流出する。ただ、下層では湾口の南側から流出しており、その傾向は建設前の条件で最も強い。各条件から算出された懸濁物質の流出入量は、建設前：-8,423 t，建設中Ⅰ：+3,711 t，建設中Ⅱ：+3,774 t，建設後：+3,046 t，排水門開放：-434 tであり、懸濁物質は、建設前と排水

門開放で諫早湾から流出し、逆に、他の条件では流入する状態にある。

諫早湾での土粒子の堆積厚さの空間分布を示すと Fig. 6 のとおりである。

建設前の堆積厚さは、潮汐に伴う流速の空間分布に影響を受けて、諫早湾のほとんどの領域で初期厚さよりも減少するが、沿岸の一部では増加している。湾奥沿岸部で干潟となる領域では、上げ潮時の最大流速が下げ潮時よりも速く、上げ潮時に流送された土粒子が堆積したものと考えられる。建設中には、湾口部の堆積厚さの分布は、建設前の結果と似ているが、北部沿岸で堆積が進む範囲が広がる。建設中Ⅱでは、流速が低下する縮切堤付近で、堆積厚さが増加する傾向にあり、その範囲は縮切堤から諫早湾の北岸に沿うように分布している。この変化は、島原湾との懸濁物質の収支から、諫早湾内での懸濁物質の流送過程が変化したこと、島原湾から諫早湾へ流送されたことによると考えられる。建設後では、調整池での流速が極めて遅いために、湾奥部の堆積厚さの変化はほとんどない。縮切堤の湾口側では、北部沿岸でさらに堆積が進み、また、島原湾からの流送によって南部沿岸の堆積厚さも増加している。排水門開放では、湾口部で土粒子の

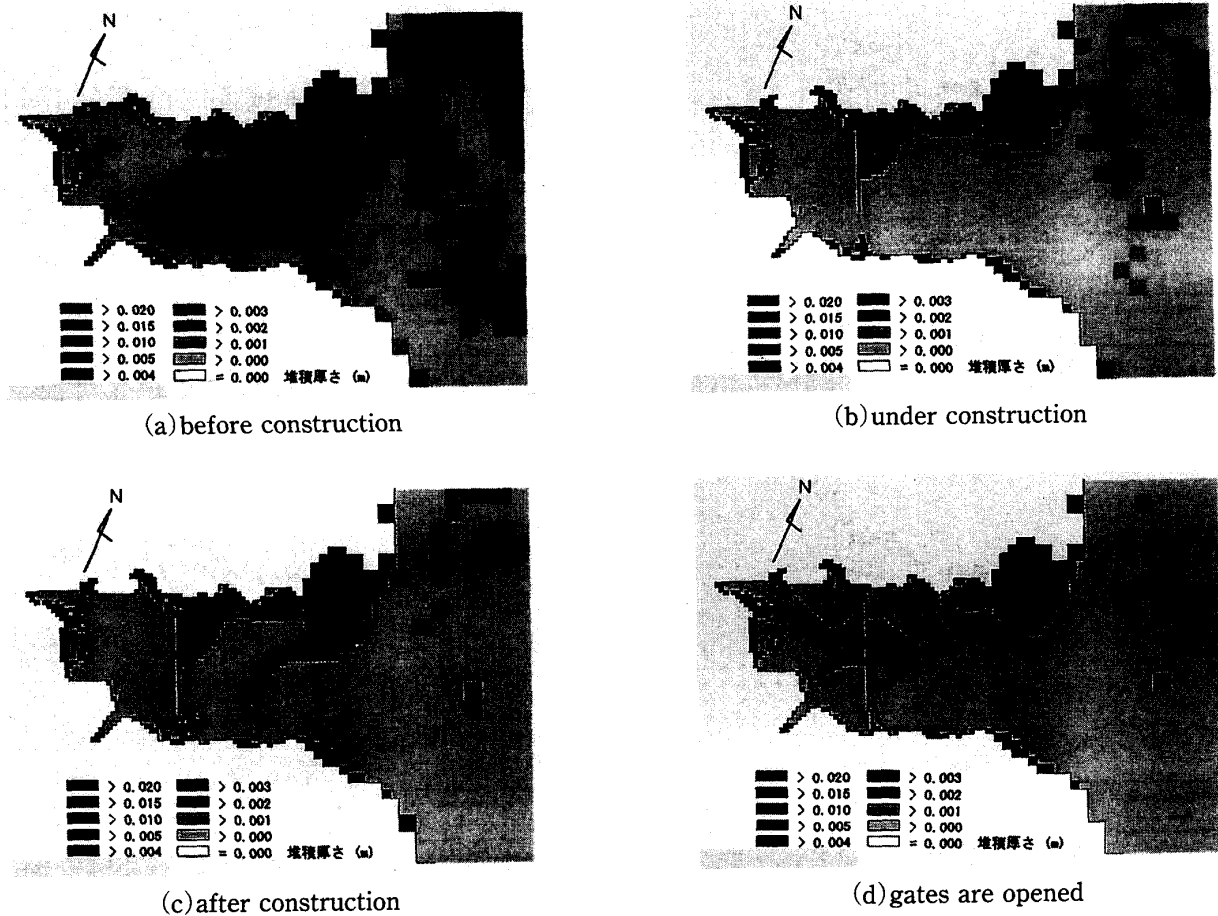


Fig. 6 Spatial distribution of the thickness of sediment.

堆積が進む範囲がさらに広がる。北部・南部排水門付近では、堆積厚さが減少する領域が、湾口側と湾奥側に放射線状に分布している。この条件では、懸濁物質が諫早湾から流出する状態にあることから、湾内で再懸濁した土粒子は、流速の遅い締切堤中央部周辺などに堆積したものと考えられる。

6. おわりに

目下のところ、北部・南部排水門は建設後の条件のとおり操作されており、島原湾や流入河川から十分な土砂の供給がある場合には、諫早湾の北部沿岸と締切堤の湾口側付近で干潟が発達するといえそうである。併せて、排水門の操作は、土粒子の堆積範囲を変化させる要因ともなることが予測されており、将来、諫早湾地域での環境管理を進める上で、その操作には慎重を期す必要があるといえる。ただし、干潟の長期的な変化を予測するには、M2分潮以外の潮汐の効果、流入河川や島原湾からの流送土砂、化学的、生物学的な懸濁物質の生成もまた無視できないと考えられることから、今後、現地観測などをとおして上述の課題を検討し、干潟の消長に関する予測精度の向上を目指したいと考えている。

謝辞

本研究は、平成10年度の文部省科学研究費奨励研究(A)(代表者：西田渉, No. 10750391)からの助成を受けて行われたことを記し、関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 西田 渉, 野口正人, 柳本 諭: “締切堤の建設に伴う湾内の水質変化予測”, 水工学論文集, 第41巻, pp.457-462, 1997.
- 2) 西田 渉, 野口正人, 柳本 諭: “締切堤の建設が河口部や沿岸域の干潟に及ぼす影響の予測”, 水工学論文集, 第43巻, pp.821-826, 1999.
- 3) 仁木将人, 西田 渉, 野口正人, 橋本篤史: “諫早調整池における水質変化の予測とその評価に関する研究”, 水工学論文集, 第43巻, pp.1007-1012, 1999.
- 4) 福岡県有明水産試験場: “有明海, 八代海海象調査報告書”, pp.77-78, 1991.
- 5) 海上保安庁水路部: “有明海, 八代海海象調査報告書”, pp.26, 1974.
- 6) 気象庁: “平成8年潮位表”, pp.246, 1996.