

八戸港内の埋没実態と予測モデルの構築

Sedimentation in Hachinohe Port and its Numerical Reproduction Model

片寄 誠¹・村上敏幸²・山田貴裕³・原 信彦⁴

Makoto KATAYORI, Toshiyuki MURAKAMI, Takahiro YAMADA, Nobuhiko HARA

In Hachinohe Port, sedimentation in channels and anchorages has been an issue. Settling mud from Mabechi River that directly connects to the port mainly causes the sedimentation. In this study, features of the sedimentation have been examined by analyzing data of sounding surveys and sediment properties. As the result, relation among the sedimentation in Hachinohe Port, river flow, and wave has been clarified. Also, a technique of numerical reproduction was developed to describe the sedimentation processes. By introducing the ratio between mud and sand in the calculation model of sediment transport due to current and wave, the sedimentation in Hachinohe Port has been successfully reproduced.

1. はじめに

八戸港では、馬淵川河口域の延長上に航路と泊地が存在するため (図-2(a)), 馬淵川からの流送土砂が河口域だけでなく航路・泊地にも沈降・堆積し、計画水深維持に苦慮する問題が生じた。航路泊地への土砂流入を阻止するため、河口域と航路泊地の境界に潜堤を設置する対策が実施されたが、砂州の前進などにより十分な効果をうるまでに至っていない。年間の航路泊地の維持浚渫費は、数億円にも及び、今後も維持浚渫を継続すれば財政負担に加えて、浚渫土砂処分場の確保など新たな問題も発生する。本研究では、既往の深淺測量結果と底質採取結果を整理し、港内埋没に対する河川流と波浪の影響を検討して、近年の堆積状況とその要因について調べた。また維持浚渫に頼らない抜本的な対策を検討するためのツールとして航路・泊地内の堆積底質の含泥率を考慮した底泥の移流拡散を再現する計算モデルを構築し、その有効性を検証した。

2. 八戸港の埋没実態

(1) 地形変化特性

八戸港では、1996年に航路拡幅のため大規模な浚渫工事が実施された。浚渫工事後の港内の埋没実態を把握するため、1996年以降の深淺測量結果を解析した。

図-1に、1996～2005年にかけて生じた港内地形変化を示す。図より、顕著な土砂堆積が生じた領域は、河口域とその周辺の航路泊地であり、その他の領域に0.5m以上の堆積は認められない。図-2は、河口域と航路泊地について、深淺測量データより堆積土砂量の経年変化

を調べた結果である。図-2(b)より、測量期間毎の堆積量は $-5 \sim 75 \text{ m}^3/\text{年}$ と大きく変化するが、平均的に年間 35 m^3 の土砂堆積が生じていることが確認される。

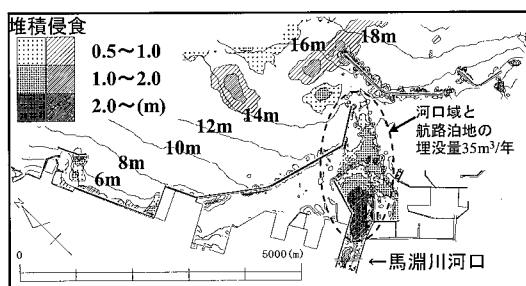


図-1 港内地形変化 (1996～2005年)

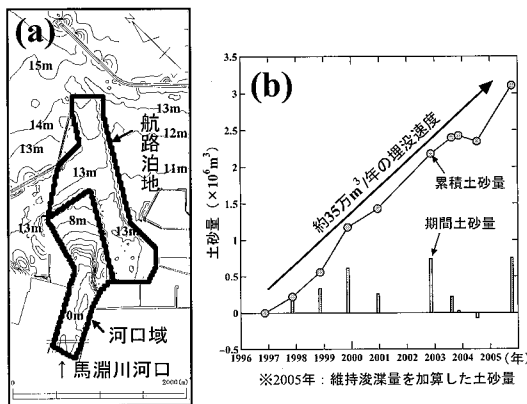


図-2 領域図と土砂量の経年変化図

(2) 底質分布特性

図-3に、2005年11月に八戸港内で採取された底質の組成とその中央粒径を示す。水深10m以浅の河口域 (Nos.1～3) では、砂分の含有率が高く、泥分 (シルト・粘土) の含有率が低い。一方、水深が急激に増大す

1 仙台港湾空港技術調査事務所長
2 (財)沿岸技術研究センター調査部主任研究員
3 正会員 (株)エコー調査解析部主任
4 正会員 修(工) (株)エコー環境水工部長

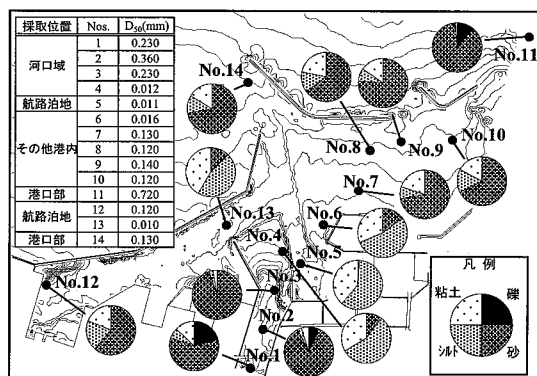


図-3 港内の底質組成と中央粒径 (2005年11月)

る航路泊地 (Nos. 4, 5, 6, 13) では泥分の含有率が高く、河口域の底質と大きく異なる。その他の領域は、泥分が30%以下であり、砂分の含有率が高い。中央粒径についても河口域で0.2 mm以上、航路泊地では0.01 mm程度と細かく、その他の領域は0.1 mm程度である。

(3) 埋没要因

a) 外力と埋没量

1996年以降の河口域と航路泊地の総埋没量について、馬淵川からの出水や高波浪の来襲との関連性について検討した。

図-4(a)は、河口から7 km上流の尻内橋観測所における毎時流量の期間最大値と河口域と航路泊地の総埋没量の関係を示したものである。相関係数が0.92と高く、馬淵川からの出水が埋没量に大きく寄与することが確認される。また75万 m³もの堆積が生じた期間には、10年確率流量相当の1,365 m³/s (2002年7月)と1,490 m³/s (2004年9月)の大出水が発生していた。

図-4(b)は、八戸港沖 (NOWPHAS)で観測された有義波高の期間最大値と航路泊地の埋没量と総埋没量の比の関係を示す。図より、波高5 m以上の高波浪来襲時に、総埋没量に占める航路泊地の埋没量が增大する傾向が認められる。これは、高波浪の来襲により、河口部の堆積土砂が浮遊・拡散し、航路泊地へ運ばれるといった現象が生じていることを示唆している。

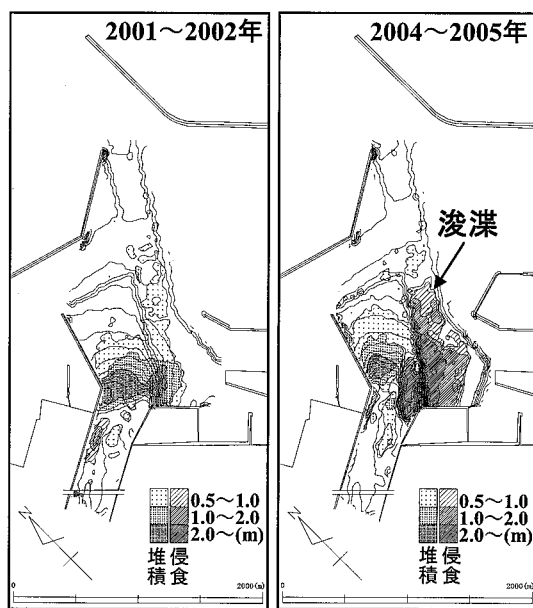


図-5 河川流による地形の変化

このように、八戸港の航路泊地周辺の地形変化は、河川流と高波浪の2つの要因により生じると考えられる。以下にそれぞれの特徴を例示する。

b) 河川流による地形の変化

図-5は、10年確率流量相当の大出水が生じた2期間 (2002年7月と2004年9月)を挟む深浅データの差分図である。2004～2005年に発生した航路泊地の侵食は、水深維持のために行なった浚渫工事 (浚渫量100万 m³)による変化である。

地形の変化は、河道左岸側で河道侵食が発生し、その下流側で1 m以上の堆積が生じている。この堆積域は主に河口域であり、一部航路泊地まで達している。

この堆積域の底質は泥分が多いため、流下土砂に含まれるシルトと粘土の沈降・堆積による変化であると考えられる。また2期間ともに大出水後の来襲波浪の波高が小さかったことから、波浪の影響は少なかったと考えられる。

c) 波浪による地形の変化

図-6(a)は、2002～2004年の地形変化である。この期間の最大流量は融雪期の338 m³/sであり、来襲した高波浪は年最大波高相当となる6.0 mである。地形の変化は、河口部の左岸側で侵食し隣接する航路泊地で堆積している。これは、河口域での泥が波の作用で再浮遊し、航路泊地に移流した地形の変化と考えられる。

3. 浮遊泥の移流・拡散シミュレーション

航路泊地の埋没に寄与する主要起因が、河川流と波浪

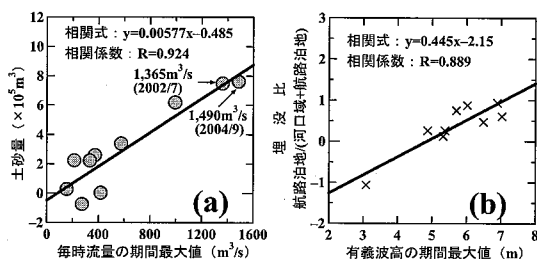


図-4 港内埋没量と高水量、入射波高の相関

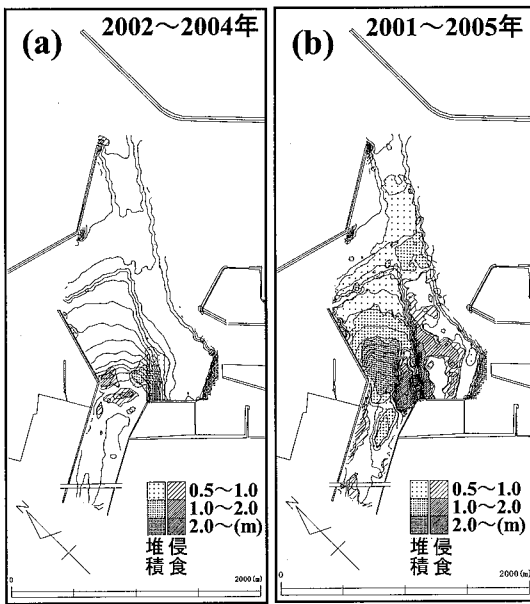


図-6 波浪による地形の変化と再現対象地形

であることに着目して、港内地形変化を数値計算で再現する。

(1) 再現対象地形

2章に説明したように、現地で生じた地形の変化は、大出水時の流下土砂が河口部と航路泊地に堆積し、その後、来襲する波浪の作用で、河口部に堆積した土砂の一部が航路泊地に再配置することで説明される。そこで再現対象地形は、上記の特徴的な地形変化が合成されている2001～2005年の地形変化とした(図-6(b))。この期間、10年確率流量相当の大出水が2回、その間に高波浪が1回来襲している。そこで、①河川流(2001～2002年)、②波浪(2002～2004年)、③河川流(2004～2005年)を外力条件とする地形変化計算を順に行い、現地で生じた地形と含泥率の変化の追算を試みる。

なお、再現対象地形は、深浅測量範囲が狭いことや航路泊地で大規模な浚渫工事の影響が残るものの、流下土砂の堆積域を網羅していること、浚渫位置とその量を把握していることから、予測モデルの現地適用性の検証に十分であると判断した。

(2) 計算方法

a) 河川流計算

河川流計算は、浅水長波の連続式・運動方程式を基礎方程式とし、空間差分にスタッガード格子を、時間差分にリープ・フロッグ法を用いた。また河口域の急な海底勾配に対応するため、3層レベルモデルにより行ない、層分割は、表層が海面～5m、中層が5～10m、底層が10m以深とした。移流項は、風上差分を用いた。

b) 海浜流計算

波浪を外力とした海浜流計算も、3層レベルモデルを用いた。基礎方程式は、潮流計算に用いられる浅水方程式であり、層毎のradiation応力は、エネルギー平衡方程式から求めた波浪場から、Longuet-Higgins・Stewart(1964)にならい、鉛直分布式を層毎に積分することにより評価した。なお、河川流量は、平水流量25m³/sのみを考慮した。

c) 地形変化計算

地形変化計算は、浮遊泥の巻上げ量 Q_m と移流拡散方程式による泥の底面濃度 C_{bm} から算定した沈降量 D_m 、更にBrown式による掃流砂量 q_{bx} 、 q_{by} を別途計算し、各々の変化量を合成する底質の連続方程式で定義した。

$$\frac{\partial z}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_m}(r_m Q_m - D_m) - \frac{1}{1-\lambda} \left[\frac{\partial(r_s q_{bx})}{\partial x} + \frac{\partial(r_s q_{by})}{\partial y} \right] \dots \dots \dots (1)$$

$$Q_m = \begin{cases} 0 & (\tau_m \leq \tau_c) \\ M(\tau_m/\tau_c - 1) & (\tau_m > \tau_c) \end{cases} \dots \dots \dots (2)$$

$$D_m = w_{mf} C_{bm} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 ρ_m :泥の密度、 M :経験定数(0.18kg・min/m²)、 τ_m :底面せん断力、 τ_c :泥の巻上げ限界せん断力、 w_{mf} :Rubey(1933)の式による泥の沈降速度である。

一方、含泥率 r_m は、砂の含有率 r_s と次の関係にあり、泥の巻上げ量、掃流砂量に乘じることにより、正味の変化量を計算する。

$$r_m = 1 - r_s \dots \dots \dots (4)$$

ここで、泥と砂の含有率の変化は、次式で表現される。

$$\frac{\partial r_m}{\partial t} = -\frac{1}{a \rho_m}(r_m Q_m - D_m) - \frac{r_m^*}{a} \frac{\partial z}{\partial t} \dots \dots \dots (5)$$

$$\frac{\partial r_s}{\partial t} = -\frac{1}{a(1-\lambda)} \left[\frac{\partial(r_s q_{bx})}{\partial x} + \frac{\partial(r_s q_{by})}{\partial y} \right] - \frac{r_s^*}{a} \frac{\partial z}{\partial t} \dots \dots \dots (6)$$

ここに、 a :混合層厚(0.2m)である。式(5)、(6)により、初期の泥と砂の含有率(r_m^* 、 r_s^*)が与えられ、外力の作用に応じた泥と砂の変化量が時々刻々計算され、これにより、水深と含泥率の変化が計算される。

(3) 計算条件

a) 河川条件

河口部において、河川流量 Q を境界条件として与え、ここでは、期間最大値を含む72時間の毎時流量を時系列で与えた。河川からの流下土砂量 Q_s は、土木学会(2003)のWash loadの式(7)により河川流量から推定した。ここで、流砂量係数 K は、 $K=3.1 \times 10^{-6}$ とした。

$$Q_s = KQ^2 \dots \dots \dots (7)$$

b) 波浪条件

波浪は、再現対象期間の2002～2004年に来襲した最大波を採用する。最大波の波浪諸元は、波高6.02m、周期13.5s、波向ENEである。波高は、年最大波に相当する高波浪で、波向は、波高4m以上の高波浪の出現率が最も高い方向である。波の作用時間は24時間とし、計算開始から12時間で0.0～6.02mまで増大し、その後12時間で0.0mまで低下する波浪の発達・最盛・減衰過程を採用した。

c) 底質条件

底質条件は、1996、2000年の底質採取結果を勘案して、泥と砂の粒径を0.02mmと0.1mmとした。再現対象初期の2001年の初期含泥率は、過去の底質採取結果を参考にして与えた。泥の巻上げ限界せん断力は鶴谷ら(1990)にならない0.1N/m²とした。

(4) 再現計算結果

a) 河川流による計算

図-7に流量最盛期の表層流速ベクトルと底面せん断力の分布(単位: N/m²)を示す。河口域の流れは、水深5m以浅で流速2m/s以上となるが、水深が増大する航路泊地で急激に流速が低下している。底面せん断力については、泥の巻上げ限界0.1N/m²を超える範囲が河口域のみに発生している。したがって、出水期に流下した土砂の多くは、流速が減衰する航路泊地に沈降し、航路泊地に沈降した泥は河川流の影響だけでは再浮遊しないことがわかる。

b) 波浪による計算

図-8は、波浪最盛期の波高分布と表層流速ベクトルである。港内の波浪は、防波堤により遮蔽されているため、河口域の波高は1mを超える程度である。海浜流による流速は、港外の防波堤近傍で0.4m/s程度であるのに対し、航路泊地の流速は、0.05m/s以下と遅い。また河口部の最大流速も、0.1m/sと遅い。

図-9は、波浪最盛期の底面せん断力と表層浮遊泥濃度分布である。波浪による底面せん断力は、河川流によるものと比較して、10倍程度大きく、泥の巻上げ限界を超える領域も拡大していることが確認される。また浮遊泥濃度は、含泥率の低い河口付近で5kg/m³を越える程度である。波浪最盛期の流速が、河口部で最大0.1m/s程度であることを勘案すると、港内に沈降している泥は、高波浪の影響で浮遊するものの、その量は少なく、移流範囲も狭いものと予想される。

なお、波浪の発達、最盛、減衰過程の浮遊泥濃度分布を確認したが、0.5kg/m³以上の浮遊泥濃度は、防波堤に囲まれた港内に分布し、河口域以外の浮遊泥濃度分布

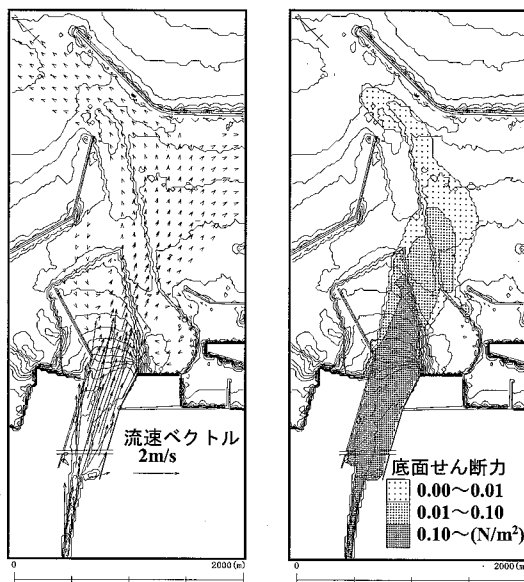


図-7 河川流の流速ベクトルと底面せん断力

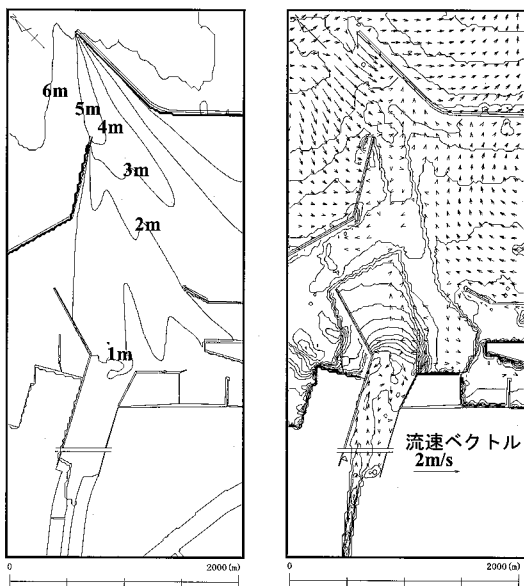


図-8 波高分布と海浜流の流速ベクトル

は、相対的に低い。このため、波の作用で発生する浮遊泥の発生源は、河口域であり、港外への流出効率が低いことがわかる。

(5) 再現性の検証

a) 地形変化

図-10は、実測の地形変化と計算結果を比較したものである。計算結果は、河道内で侵食と堆積が交互に現れている点で、実測値と異なるものの、河口域から航路泊

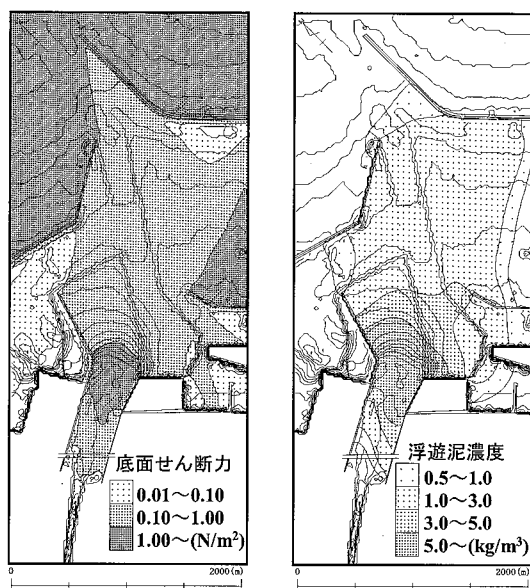


図-9 底面せん断力と浮遊泥濃度分布

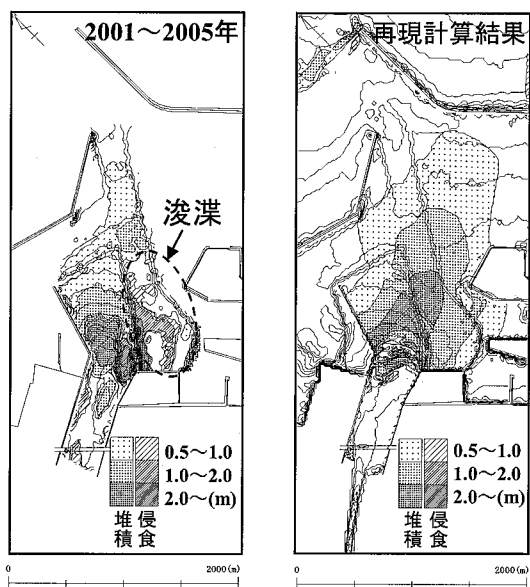


図-10 実測値と計算値の地形変化

地にかけての堆積厚分布は浚渫された部分を除き概ね再現している。

b) 含 泥 率

含泥率について、実測値と計算値で比較した結果を図-11に示す。含泥率の比較は、初期値として過去の底

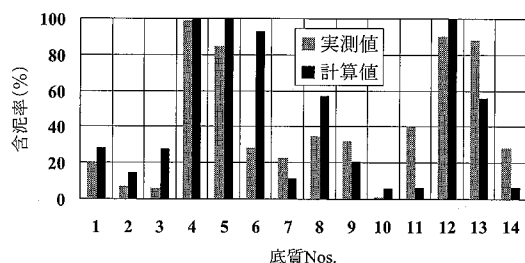


図-11 実測値と計算値の含泥率

質採取結果を与えて計算した結果と2005年の採取結果を比較したものである。また、図中の底質Nos.は、図-3の底質採取地点に一致する。地形変化と同様に、含泥率についても計算値は、実測値の傾向を概ね再現していることが確認される。

4. おわりに

本研究では、八戸港内の埋没要因について、既往資料を収集し、整理した。その結果、馬淵川河口域から航路泊地の埋没には、河川からの出水により河口域にシルト・粘土分が堆積し、高波浪の来襲により再浮遊して航路泊地へと拡散していく過程が確認された。

この埋没現象を数値計算で再現するため、波浪や河川流による漂砂量を砂分と泥分についてそれぞれ算定し、含泥率に応じて合成する方法で地形変化を計算した。また、含泥率そのものも時間発展的に計算した。

計算結果は、地形変化と含泥率の両者を良く再現しており、本モデルが砂質と泥質の両者を含む八戸港内の埋没予測に適用可能なことが確認された。

謝辞：国土交通省 東北地方整備局 八戸港湾・空港整備事務所から貴重なデータを提供して頂きましたことをここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 鶴谷広一・村上和男・入江 功(1990)：多層レベルモデルによる港湾埋没の数値計算モデルの開発－熊本港への適用例－，港湾技術研究所報告，第29巻，第1号，pp. 3-51.
- 土木学会(2003)：水理公式集，pp. 170-171.
- Longuet-Higgins, M.S. and R.W. Stewart (1964)：Radiation stresses in water waves: A physical discussion with applications, Deep-Sea Res., Vol. 11, pp. 529-562.
- Rubey, W. W. (1933)：Settling velocities of gravels, sand and silt particles, American J. of Science, Vol. 25, pp. 325-338.