

北海道日本海沿岸の遠別漁港内の漂砂現象への長周期波の影響

三 船 修 司* ・ 松 本 英 明** ・ 金 澤 正 志***
荒 井 直 人**** ・ 山 下 俊 彦*****

北海道日本海沿岸に位置する遠別漁港では港内への漂砂流入が大きな問題である。漁港周辺の波浪調査結果によると有義波高の大きな時に約 90 秒をピークに持つ長周期波が発達している。本研究ではこの長周期波が漂砂移動に寄与しているのではないかと考え、漁港内漂砂現象の把握を目的として波浪・濁度・砂面変動等の現地調査を行った。その結果、遠別漁港では長周期波による浮遊砂の移動が港内堆砂現象に大きな寄与を及ぼしていると判明したため、長周期波の流況と浮遊砂による漂砂の移動を組み入れた漂砂モデルを構築し現地へ適用した。モデルは港内の漂砂流入を精度良く再現することができた。

1. はじめに

遠別漁港は北海道日本海沿岸に位置し (図-1)、建設当初より漂砂流入による航路埋没の現象に悩まされてきた。外郭施設の整備とともに、漁港北側からの漂砂流入をくい止められ、港内中央部 (図-2 領域 A) の水深はほぼ横ばいとなったが、港奥部 (図-2 領域 B) の堆積傾向は一向に続いていた。

そこで平成 12 年度に、波浪・流況・濁度・砂面に関する現地調査が行われた。

その結果、三船ら (2001) は遠別海岸周辺では 90 s をピークとする長周期波が出現することを解明した。この長周期波は、沖での波高が大きいときに発達する特性を

持ち、港内に侵入した長周期波流動は海浜流と同等以上の規模であった。そのため松岡ら (1991) の指摘のように、この長周期波は漂砂現象に対しても大きな寄与を及ぼしているものと考えられた。

また多くの中小規模漁港と同様に、遠別漁港では港口部が砕波帯近傍にあるため、漁港内外の浮遊砂の発生量が砕波点の位置に大きく依存する。三船ら (2001) は、遠別漁港内の地形変化が、波高が小さい期間には侵食、大きい期間には堆積となった理由を、砕波点が港外にある大きな波の来襲時には、港外で高濃度となる浮遊砂が港内へと流入して堆積傾向となり、逆に砕波点が港内にある小さな波が続く時には、港内で高濃度となる浮遊砂が港外へと流出し、侵食傾向になると説明した。

本研究は以上の結果を踏まえ、遠別漁港内外で新たに現地調査を行い、遠別漁港の漂砂特性について更に検証を進めるとともに、漂砂現象を計算する数値モデルを構築し、その検討を行ったものである。数値モデルでは現地の特性を反映させるため、浮遊砂の移動と長周期波流動の効果を組み入れた。

2. 現 地 調 査

(1) 調 査 内 容

現地観測は平成 13 年 10 月 9 日～11 月 18 日に行った。調査位置を図-3 に、調査項目と調査モードを表-1 に示した。

浮遊砂の移動状況を把握するため、濁度計は St.1, St.2, St.4, St.5 の 4 測点に設置した。また多層での観測とし、St.1, St.4, St.5 では下層 (海面上 0.5 m) ・中層の 2 点、St.2 (水深 3.5～4.0 m) では均等幅に 3 層観測した。

また港奥部への波の伝搬及び地形変化を観測するため、波浪・砂面観測は 5 測点全てで行った。

ADCP による流況調査は St.1, St.2 の 2 測点とした。

(2) 調 査 結 果

図-4 に港外波高 $H_{1/3}=2.3$ m の時の港外と港口の波高スペクトルを掲載した。港外では 9 s 程度の波が卓越しているが、90 s 付近にもう一つのピークがある。港口では 90 s 付近のピークが更に増幅されている。

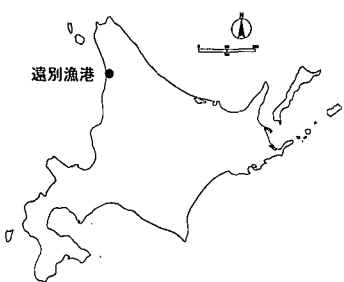


図-1 遠別漁港位置図

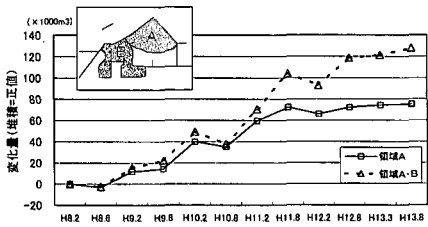
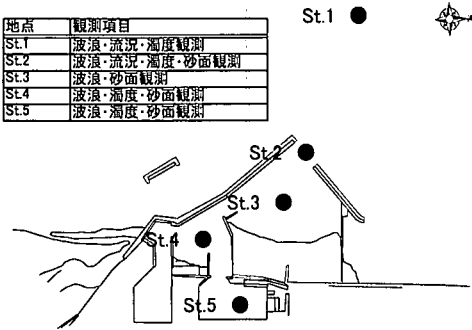


図-2 遠別漁港内の漂砂堆積

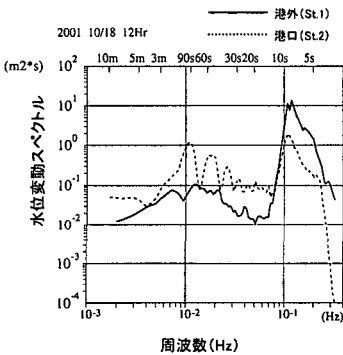
* 正会員 理修 日本データサービス(株)
** 理修 日本データサービス(株)
*** 国土交通省北海道開発局留萌開発建設部羽幌港湾建設事業所
**** 国土交通省北海道開発局留萌開発建設部
***** 正会員 工博 北海道大学助教授 大学院工学研究科

表一 観測項目と測定モード

地点	観測項目	測定モード
St.1	波浪	連続観測, 0.5 秒間隔
	流況	20 分毎 1 分間, 1.0 秒間隔
	濁度 (2 層)	60 分毎, 1.0 秒間隔
	砂面	20 分毎, 5 発振 1 回観測
St.2	波浪	連続観測, 0.5 秒間隔
	流況	20 分毎 1 分間, 1.0 秒間隔
	濁度 (3 層)	60 分毎, 1.0 秒間隔
	砂面	20 分毎, 5 発振 1 回観測
St.3	波浪	連続観測, 0.5 秒間隔
	砂面	20 分毎, 5 発振 1 回観測
St.4	波浪	連続観測, 0.5 秒間隔
	濁度 (2 層)	60 分毎, 1.0 秒間隔
	砂面	20 分毎, 5 発振 1 回観測
St.5	波浪	連続観測, 0.5 秒間隔
	濁度 (2 層)	60 分毎, 1.0 秒間隔
	砂面	20 分毎, 5 発振 1 回観測



図一三 調査位置



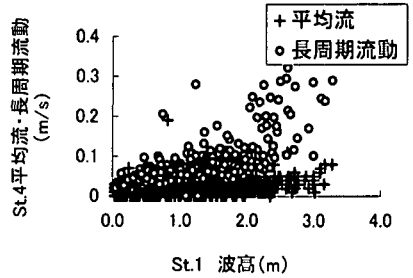
図一四 港内港外波高スペクトル

ピークを上手く分割する周波数範囲として 1/30 s~1/10 min の成分と長周期波と定義した。この範囲は前年の調査解析 (三船ら, 2001) と同様である。

各調査結果を比較検討し, 今回の現地調査で明らかとなった特性ををまとめると次の通りとなった。

a) 港内流動における長周期波

図一五 は各測点における 2 時間平均流と長周期波の比である。港奥部では, 2 時間平均流より長周期波の方が



図一五 平均流と長周期波流速

規模が大きく, 底質輸送を生み出す外力の中でも, 港内では長周期波が重要であることが示された。

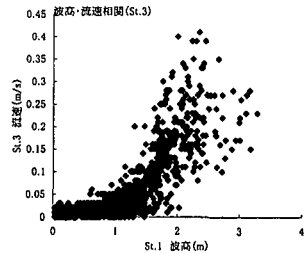
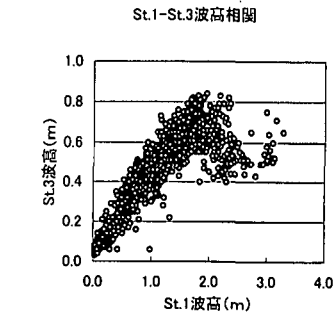
b) 砕波点による港内流況の違い

図一六 は港外 (St.1) の波高と港内 (St.3) の波高 (上図) および 2 時間平均流速 (下図) とをプロットしたものである。

両図とも St.1 の波高が小さい間は直線的な関係を示すが, St.1 の波高 1.5~2.0 m を境としてその関係が崩れ, 流速は急に上昇し波高は低くばらついた。これは砕波の影響によるものと考えられる。

c) 粒径分布

図一七 に各測点における中央粒径を示した。中央粒径は港奥部に入るほど小さくなり, St.5 付近 (0.0083 mm) では St.2 付近 (0.34 mm) の約 1/40 となった。これは港内へ流入した浮遊砂のうち粒径の小さいものほど沈降せず長く水中を輸送され静穏な港奥部で堆積したものと考えられる。



図一六 港内と港外の波高比, 波高流速比

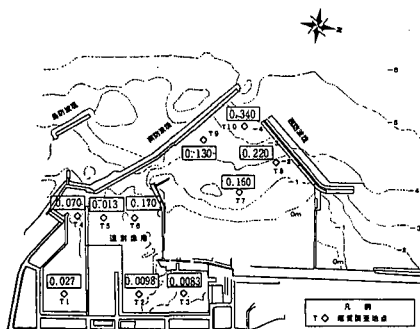


図-7 粒径分布

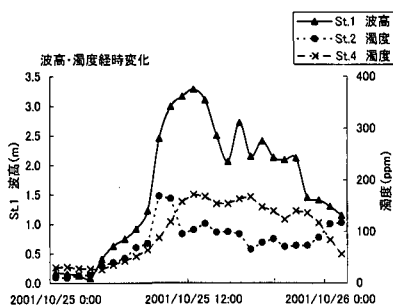


図-8 波高濁度の経時変化

d) 時化時における波高・濁度の経時変化

図-8は、今回の観測のうち平成13年10月25日の時化に注目し波高と濁度をプロットしたものである。この日の波向は西北西であった。

時化によって港外(St.1)波高が上昇すると、港口部(St.2)の濁度が上昇し、やがて港奥部(St.4)の濁度も上昇した。

St.2の濁度が最大となるのは港外波高が1.5~2.0mの時である。b)の結果よりこの波高は、砕波点がちょうど港口部にあたる波高であり、底質の巻き上げによる浮遊砂の発生が最も多く起こったものと考えられる。

St.4では底質粒径が非常に細かいが、この水域に運ばれる浮遊砂も同様の性質を持つと推測される。濁度値は粒径の細かい粒子ほど大きく反映される特性を持ち(横山, 2002), また細かいほど沈降堆積に時間を要する。St.4の濃度がピーク後なかなか低下しないのは以上の理由によるものと考えられる。

3. 数値モデル

(1) 概要

遠別漁港では、現地調査結果から明らかな通り、長周期波が港内における浮遊砂移動外力の大きな比重を占め、また濁度の時系列的変化からも浮遊砂の港内流入とその沈降・堆積は重要である。

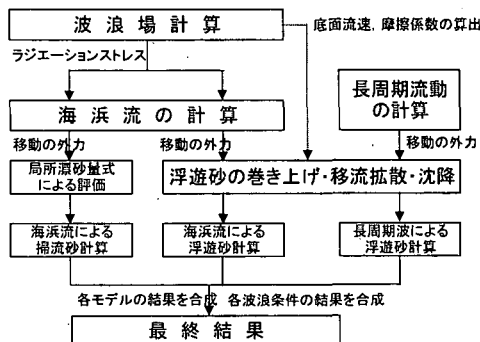


図-9 遠別漁港の漂砂モデル

従って、数値モデルは以下の3モデルより構成した。

①海浜流による掃流砂モデル

非定常緩勾配方程式による波浪場の計算、ラジエーションストレスによる海浜流場の計算、渡辺の式を局所漂砂量式とした地形変化量計算、の3つのサブモデルから成る、いわゆる3次元海浜変形モデルである。

②海浜流による浮遊砂モデル

波浪による底質の巻き上げと、海浜流を外力とした移流・拡散、および浮遊砂の沈降・堆積を計算する浮遊砂モデルによる計算を行った。

③長周期波による浮遊砂モデル

非線形長波式によって長周期波流況を求め、②の浮遊砂モデルにおける外力を長周期波に置き換えて計算した。

以上をまとめたフローは図-9の通りである。

(2) 浮遊砂モデル

以上のうち、海浜流の計算と掃流砂モデル及び長周期波の流況計算については一般的手法であるため省略し、底砂の巻き上げと移流拡散、沈降・堆積を記述する浮遊砂モデルについて概説する。本研究では、榊山ら(1990)の考え方をベースにモデルを構築した。

a) 底質の巻き上げ

波浪による底面の剪断応力 τ は、底面直上における流速振幅(U_b)により次のとおり求められる。

$$\tau = \frac{1}{2} \rho f_w U_b^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで ρ は海水密度、 f_w は摩擦係数である。摩擦係数の導出は田中・首藤(1980)の波と流れの共存場における式を用いた。

砂の巻き上げ量 P を評価する式は、以下のShengの式を使用した。

$$P = \begin{cases} 0 & \tau_e > \tau \\ M(\tau/\tau_e - 1)^n & \tau_e < \tau \end{cases} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで M , n , τ_e は経験定数で、 τ_e は巻き上げ限界剪断応力である。

これらの数値のうち τ_e は試行計算によって設定したが、残り 2 定数については流況・濁度の調査結果から底面剪断力 τ と浮遊砂濃度 P の関係を再整理し、現場での特性を示す値として設定した。

図-10 底面剪断力と浮遊砂濃度の関係を示す。

c_{0b} は濁度、 w_{0b} は横山 (2002) による濁度と浮遊砂濃度の相関係数である。この関係から M 、 n を求め、Sheng 式のパラメータは表-2 通り決定した。

b) 移流拡散

浮遊砂の移流拡散は、一般的な移流拡散方程式に従って計算した。

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial x}(uS) - \frac{\partial}{\partial y}(vS) - \frac{\partial}{\partial z}(wS) \\ & + \frac{\partial}{\partial x}\left(D_x \frac{\partial S}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(D_y \frac{\partial S}{\partial y}\right) \\ & + \frac{\partial}{\partial z}\left(D_z \frac{\partial S}{\partial z}\right) + Q \end{aligned} \quad \cdots \cdots (3)$$

ここで S は浮遊砂濃度、 Q は生成・消滅項である (y 成分の式は省略)。

c) 沈降・堆積

沈降量 D は下式の通り評価した。

$$D = - \int_d^{d-wdt} C(z) dz \quad \cdots \cdots (4)$$

ここで、 d は水深、 w は沈降速度である。沈降速度の算定には Rubey 式を用いた。 $C(z)$ は浮遊砂濃度で、平沢ら (1988) にない鉛直方向に対して指数関数で近似した。沈降量はこの関数を用い、底層を通過する浮遊砂フラックスとして評価した。

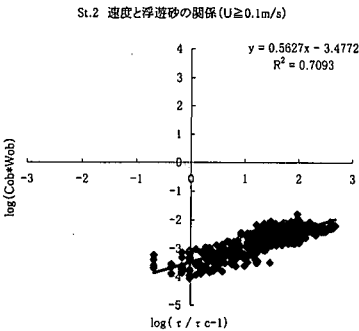


図-10 底面剪断力と浮遊砂濃度

表-2 Sheng 式のパラメータ設定

定数	設定値
M	$10^{-3.5}$
n	0.56
τ_e	0.2

(3) 計算条件

計算を行う上での諸条件は次の通り設定した。

現地調査結果より、遠別漁港では沖波の碎波点の位置によって、港内への波高伝達の仕方が異なる傾向を示した。従って数値計算を行う上でも、この 2 つの現象を別途取り扱う必要があると考え、港外で碎波する波高 (4.0 m) と港内で碎波する波高 (1.5 m) の 2 波高を設定した。

波向は卓越する 3 波向 (WSW, W, WNW) としたため、波浪条件は合計 6 条件である。各波浪条件の計算結果を再現期間の出現確率より重ね合わせた。

底質粒径は港内中央部の値で代表させ、全領域均一で 0.15 mm と設定した。

また、長周期波の周期は実測値と同様に 90 s とした。

(4) 計算結果と考察

平成 13 年 3 月～平成 13 年 8 月の約半年間の地形変化を対象に再現計算を行った。図-11 の A 水域 (港内中央部)、B 水域 (港奥部) における地形変化量を求め、実測値と比較した。地形変化の平面分布は図-12 に示した。

まず平面分布を検討する。西防波堤周辺の侵食・堆積傾向や、港口付近での堆積傾向、港内の弧形的侵食域などは定性的に一致していると言って良い。全体的な堆積傾向や島防波堤周辺では一致は悪いが、全体的には平面分布の再現性は良好であった。

領域別堆砂量では、港内全域で見ると堆砂の約 8 割は再現できており、港口からの土砂流入量は再現できたといえよう。一方で、水域 A/B の堆積量は実測と計算とで傾向が逆転している。港口から流入した浮遊砂が領域 B まで到達する前に領域 A で堆積したと言える。

その原因としては粒径の違いが考えられる。本検討では底質の粒径は全領域均一として扱ったが、底質調査結果によると、遠別漁港内の平均粒径は地点によって大きく異なり、港奥部の最も細粒子成分が占めた測点では中央粒径が今回の計算条件の 1/40 程度であった。これが沈降速度、水中での滞留時間や拡散範囲の違いに反映し、



図-11 地形変化量算出区域

表-3 港内の地形変化量の比較

	計算	実測
港内中央部 (水域 A)	4800 m³	700 m³
港奥部 (水域 B)	300 m³	5900 m³
港内全域 (A+B)	5100 m³	6600 m³

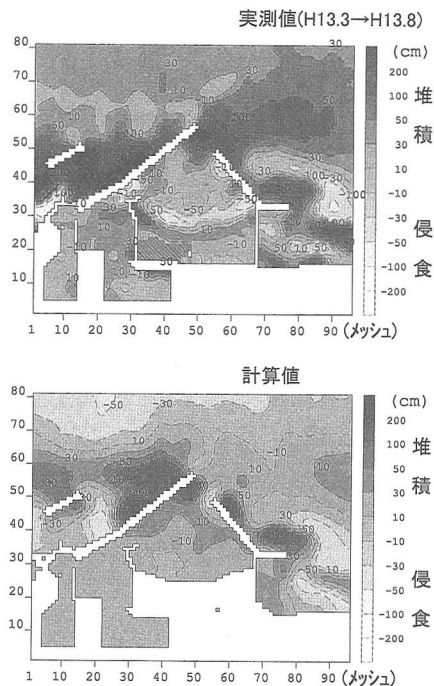


図-12 海底地形変化量(実測値と計算値)

再現性を悪化させた原因と考えている。

そのためモデルの発展を考えると、対象粒径を複数扱う、混合粒径の取り扱いをすることで、各水域に堆積するような粒子の移動を解析することが可能になると考えられる。

ところで、計算値の堆積量 5100 m^3 のうち、海浜流によるものは 400 m^3 、長周期波によるものは 4700 m^3 であった。従って、このモデルにおいては巻き上げられた土砂を港内に輸送する外力として、長周期波が大きな寄与を示していた。しかしこれはあくまで計算上の結果であるので、現地データの更なる検証が必要であると考えられる。

4. 結 論

以上、遠別漁港における現地調査および漂砂解析につ

いて次の結論が得られた。

(1) 波浪流況調査の結果、港奥部に於いては長周期波の流動が海浜流より大きく、特にその傾向は高波高時に顕著であった。

(2) 港内の波高分布は沖波波高によって異なる傾向を持ち、それは碎波点の位置が港内にある場合と港外にある場合とに分類された。

(3) 底質粒径は港口周辺では 0.3 mm 程度であったが、港内にいくほど細く、最も奥側では 0.0083 mm であった。これは港外からの浮遊砂の侵入を裏付けている。

(4) 以上の調査結果より、遠別漁港の漂砂現象をモデル化するに当たっては、長周期波の取り扱いと浮遊砂の取り扱いが必須であると考えられる。よって、この2要素を組み入れた数値モデルを構築した。

(5) 数値モデルはまだ問題を残すものの、再現計算の結果は良好で、実用面では有用と考えられる。

(6) 港奥部の再現性にはまだ改良の余地があるが、港奥の底質は港口周辺と比べ非常に粒径が細かいため、混合粒径の取り扱いを組み入れ、微細粒子の移動を考慮することで更に再現性を高めることが出来ると考えられる。

参 考 文 献

- 三船修司・川口 勉・松本英明・渡辺博美・荒井直人・山下俊彦 (2001): 北海道日本海沿岸の長周期波特性と漁港内の漂砂現象に関する現地報告, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 416-420.
- 松岡道男・木下勝尊・山本昌昭・森口朗彦 (1991): 長周期水理特性を考慮した港内堆砂モデルの適用性の検討, 海岸工学論文集, 第38巻, pp. 416-420.
- 田中 仁・首藤伸夫 (1980): 波・流れ共存時の底面摩擦に関する実験, 第27回海岸工学講演会論文集, pp. 163-167.
- 楠山 勉・長谷川寛 (1990): 沿岸海域における細粒子の移動に関する計算モデル, 電力中央研究所研究報告, U 90037, pp. 1-46.
- 平沢充成・水野雄三・角野 隆 (1988): 1層流拡散モデルによる3次元海浜変形予測について, 開発土木研究所月報, No. 427, pp. 18-30.
- 横山勝英 (2002): 濁度計の粒径依存特性と現地使用方法に関する考察, 土木学会論文集, No. 698/II-58, pp. 93-98.