

## 石狩湾新港北防波堤周辺における海浜地形変化に関する考察

### Consideration on Changes of Seashore Geographical Feature on the Periphery of North Breakwater in the Ishikari Bay New Port

戸巻 昭三\*・佐藤 寿彦\*\*・竹沢 三雄\*\*\*・後藤 浩\*\*\*\*  
Shozo TOMAKI, Tosihiko SATO, Mitsuo TAKEZAWA and Hiroshi GOTOH

**要旨**：北海道日本海沿岸の石狩湾新港西側海岸における現地観測データを用いて、防波堤遮蔽域内での汀線の侵食と堆積の境界点を中心とした範囲の海浜地形変化について考察した。その結果、①海底断面地形の形態は、流速係数( $\phi$ )と無次元掃流力( $\tau_*$ )の相互関係が形成条件となっており、②海浜地形変化に影響をおよぼす潜在因子について、戻り流れ、無次元海浜地形パラメータ、無次元掃流力、沿岸流速、流速係数の5変数によって因子分析し、因子1は戻り流れ(大・小)、因子2は沿岸流速(大・小)であることを明らかにした。

**キーワード**：現地データ、侵食・堆積、海底断面地形変化、因子分析

#### 1. はじめに

大規模港湾周辺で発生している海岸侵食について、田中<sup>1)</sup>は航空写真の資料を通じて全国の港湾周辺の地形変化を解析し、港湾近傍における侵食と堆積の境界は、北防波堤先端部を基点とする卓越波向が20~30°の線と汀線の交点であり、また侵食が最も顕著となるのは卓越波向が40~50°の線と汀線の交点であることを明らかにした。

また坂下ら<sup>2)</sup>は、移動床模型実験と数値計算により、大規模沿岸構造物による汀線が侵食する影響範囲を定量的に検討している。

しかし、これらの研究は主として大規模港湾周辺における汀線変化の境界地点や、影響範囲に関するものであって、波浪の変形とそれに伴う海浜流の形成により漂砂系を乱し、汀線の侵食とその前面の海底地形変化<sup>3)4)</sup>を生じるが、この関連性

について十分解明がなされていない。

このような観点から、石狩湾新港西側海岸における底質移動によって形成する地形変化を評価することを目的に、汀線位置の変動、barの形成・移動、海浜流と海浜地形の変動、海底地形の流れの抵抗、土砂移動機構と断面勾配の変化などについて検討を行った。

そこで本論文は、石狩湾新港の北防波堤遮蔽域内での汀線の侵食と堆積の境界点を中心とした範囲の海浜地形変化について、海底断面地形の形成条件と海浜地形変化に影響をおよぼす潜在因子を因子分析によって考察した。

#### 2. 石狩海岸の概要と現地調査

##### 2.1 石狩海岸の地形

北海道の日本海に面する石狩湾新港は、石狩湾

\* 正会員 株式会社クマシロシステム設計,  
\*\*\* フェロー 日本大学 名誉教授,

\*\* 正会員 株式会社クマシロシステム設計,  
\*\*\*\* 正会員 日本大学准教授 理工学部まちづくり工学科

最奥に位置している。この石狩湾新港周辺の石狩海岸の特徴は、石狩川からの流出土砂が長い年月を経て堆積して平野部となっている。石狩湾の海底勾配は著しく緩やかで、しかも開口部はNW方向である。

図1は、石狩海岸における石狩湾新港の概略である。

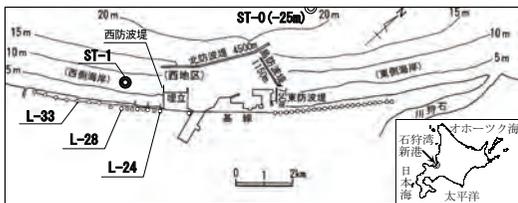


図1 石狩湾新港の位置図

## 2.2 深淺測量

2003年8月から2009年12月までの7年間(うち2004年は除く)に、測線間隔200m(L-24~L-28)と400m(L-28~L-33)の各測線について、沿岸延長2,800m, 岸沖方向2,000mの範囲を実測した。

## 2.3 波浪観測

石狩海岸の波浪は、図1に示すように石狩湾新港沖合の水深-25m地点(ST-0)において北海道開発局により観測<sup>5)</sup>されている。図2は、観測より得られた2002年~2003年までの波向別波高ランク別エネルギー・フラックスである。

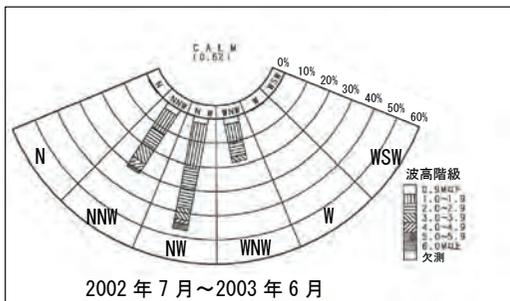


図2 波向別波高ランク別エネルギー・フラックス

図2から、エネルギー・フラックスは波向でNW46.9%を占めており、次いでNNW31.0%, WNW18.3%となっており、この3波向で96.2%である。

## 2.4 港内(ST-1)地点の海象

図3は、図1に示す測線L-28より沖合い500m, 水深-6.0mのST-1において、2003年11月28日~12月28日まで観測された波高とメモリー電磁流速計を設置し海底面上0.7mの流況観測を行った流れの記録<sup>6)</sup>である。

図3から、ST-0における波高( $H_{1/3}$ )とST-1の波高が3.0mまでは殆んど同じであるが、ST-0で波高が4.8mに達した時はST-1で3.4mになるなど、西側海岸に高波浪が来襲していることがわかる。また、海底の平均流速は4~100cm/sである。

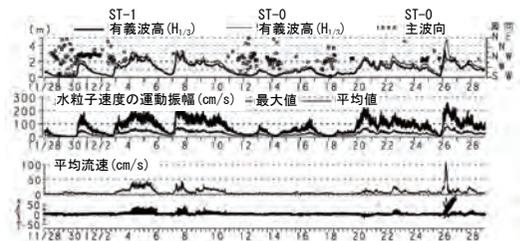


図3 ST-1地点の波高・流れの観測値

## 3. 西側海岸の海浜地形の特徴

石狩湾新港の港湾建設によって変化した、西側海岸のマクロ的な海浜地形変化の特徴について考

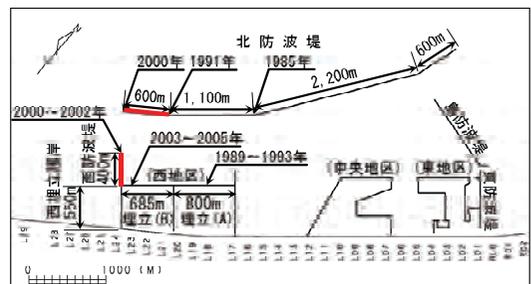


図4 石狩湾新港西地区の建設過程

察する。図4は、石狩湾新港西地区の港湾建設過程である。

図5は、西側海岸の測線L-24から測線L-34-1まで3,468m(=1,200m×2+1,068m)を3分割し、さらに岸沖方向1,250m(=250m×5)を5分割した平面図である。これらの分割による名称を、岸沖方向の区分を区域、沿岸方向の区分を領域と呼称する。

図6は、隣接する各領域の1996年～2003年までの7ヶ年間における1年ごとの平均土量変化の比較である。なお、図6の(a)線は、北防波堤 $\ell=600\text{m}$ 、(b)線は西防波堤400mがそれぞれ完成した時点を示したものである。

図6から、後述する図7に示す西側海岸の侵食・堆積の境界点を考慮し、北および西防波堤の建設過程における2001年～2003年までの2年間に限って領域4と領域5の平均土量変化を比較した。その結果、領域4と領域5における2000年の北防波堤600m完成時点の(a)から、2002年西防波堤完成後の(b)に移行するに伴う2002年～2003年の1年間の平均土量変化(■部分)と、2001年～2002年の平均土量変化(■部分)との差はさらに大きくなることが認められた。

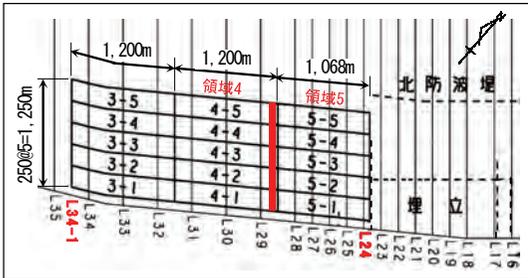
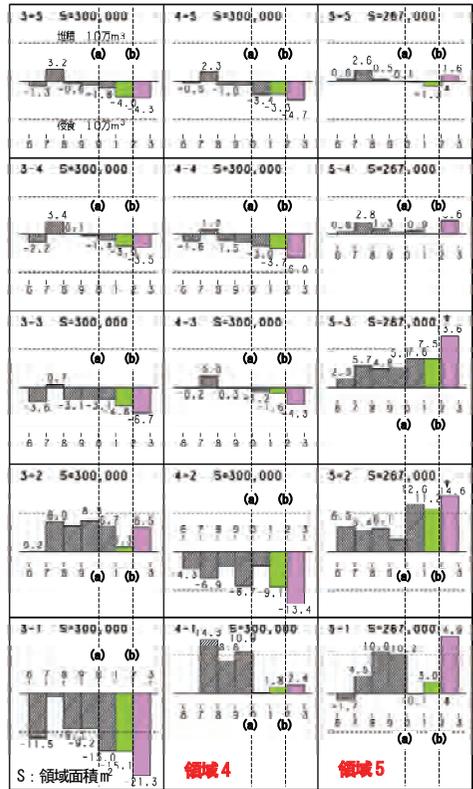


図5 平均土量変化算出対象区域分割平面図

#### 4. 防波堤周辺の地形変化

石狩湾新港の北防波堤の建設に伴って西側海岸において堆積領域と侵食領域となる境界の汀線とその前面の海底断面地形に、どのような現象が生

じているのかについて考察する。



調査年：1996(6)、1997(7)、1998(8)、1999(9)、2000(0)、2001(1)、2002(2)、2003(3)

図6 領域における1年間ごとの土量変化の比較

#### 4.1 汀線の侵食・堆積の境界地点

田中にならって石狩湾新港西側海岸における侵食と堆積の境界点を求めたのが図7である。

図7から、卓越波向NWに対する角度 $\alpha_1(=20^\circ \sim 30^\circ)$ と汀線との交点はL-26とL-27までの範囲であり、角度 $\alpha_2(=40^\circ \sim 50^\circ)$ と汀線との交点はL-28-1からL-29-1までの範囲である。

図6において、隣接する領域4と領域5における土量変化の境界が、図7に示す汀線の侵食が最も顕著となる地点、すなわち卓越波向に対する40度と汀線との交点が一致することが認められた。

これらのことから、汀線の侵食が最も顕著となる測線L-28～L-29付近の海底地形は、土量変化が

激しい場所となっていることが明らかとなった。

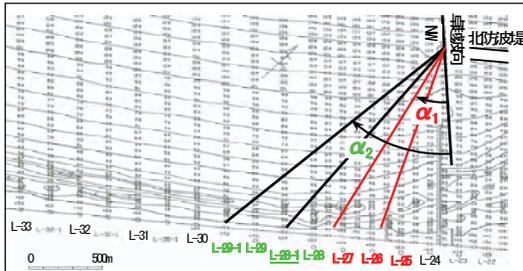


図7 西側海岸の浸食・堆積性の境界点

### 4.2 汀線位置の変動

図8は、7年間分(2003年～2009年のうち、2004年を除く)の基点から汀線までの位置を重ね合わせたものである。細線はそれぞれ各年の変動を示し、太線はその平均値である。

図8から、汀線が変動する岸沖方向位置は、年ごとにばらついており、その差の最大は125mで西埋立護岸基部付近の測線L-24であり、最少の25mは測線L-29である。

さらに、汀線位置の標準偏差を比較してみると、基点から最短距離の測線L-29を中心として、上手方向の標準偏差に大きな差は認められず、ほぼ一定である。

一方、下手方向では西埋立護岸に近い測線ほど、年ごとに漂砂が堆積し標準偏差が大きくなっている。しかしながら、汀線位置の各年変動は概ね同一の傾向を示していることが分かる。

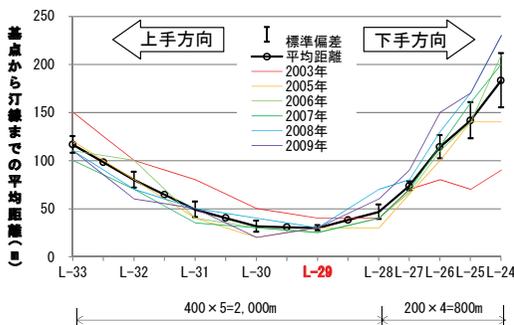


図8 平均汀線位置と標準偏差の関係

### 4.3 海底断面地形の変動

図9は、2003年8月実測の各測点から汀線およびbarまでの距離をプロットしたものである。

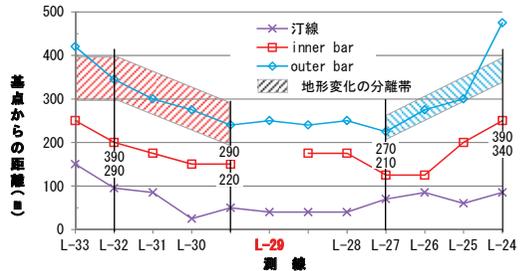


図9 基点から汀線及びbarまでの距離(2003年8月実測)

図9から、海浜地形には岸沖方向の長周期波重複波によって形成<sup>7)</sup>された多段バーが存在する。そのうち、測線L-29より下手側のL-28～L-25の約600m区間では汀線が沖方向へ前進するとインナー・バーやアウター・バーが岸方向へ移動するrhythmic shoreline<sup>8)</sup>を形成しているのが認められる。また、測点L-29の沖合いではインナー・バーが幅400m区間だけ消滅している。

rhythmic・パターン現象が発生するのは、潮差が少なく、海底勾配が比較的緩いこと、漂砂の供給が比較的豊富であり、汀線に対し正面から入射する波が多いこと、そして海浜流のパターンとも関連が深いことなどが要因である。

加藤<sup>7)</sup>は、インナー・バーやアウター・バーの位置は、反射定常波の位置(流速0の位置)に存在することを明らかにしている。

また、インナー・バーの消滅区間では、荒天時の碎波帯内で、波、流れによって浮遊した底質が強い戻り流れによって運びさられたからと推測される。

Miller<sup>9)</sup>は、インナー・バーとアウター・バーが形成されている海岸で荒天時に沿岸流速と沿岸漂砂量の岸沖分布を観測し、沿岸流速はインナ

一・バーとアウター・バーとの間で大きくなるのに対して、沿岸漂砂量は両方の bar の頂部付近で大きくなる結果を得たと述べている。

したがって、図9に示す基点から約200m沖合の砕波帯では、大きな沿岸流速が生じているものと考えられる。

#### 4.4 海浜流

石狩湾新港西側海岸の砕波帯で発生する浮遊砂が、重要な外力の一つである海浜流に伴って移動し海底断面地形に及ぼす影響を海浜流シミュレーションによって予測した。

##### 4.4.1 海浜流計算<sup>6)</sup>

海浜流計算に必要な外力は、表1に示す代表波浪を用い、Radiation stress の項<sup>10)</sup>を含む海浜流方程式によって計算を行った。なお、表1は、波浪観測値から3波向別に得られた波高と周期の回帰式に、代表波高(2m, 3m, 4m)を代入し算定した周期の平均値である。また、海底摩擦係数は0.01、渦動粘性係数  $A$  は(1)式を用いた。

$$A = N \cdot x \cdot \sqrt{g \cdot h} \quad (\text{Longuet-Higgins の式}) \quad (1)$$

ここで、 $N=0.016$ ,  $g=9.8\text{m/s}^2$ ,  $h$ =水深(m),  $x$ は海岸からの距離で、 $x$ を砕波帯まで増加させ、その沖側は一定とした。

表1 代表波浪

波向	波浪諸元		
	$2.0\text{m} \leq H_{1/3} < 3.0\text{m}$	$3.0\text{m} \leq H_{1/3} < 4.0\text{m}$	$H_{1/3} > 4.0\text{m}$
WNW	$H=2.0\text{m}$	$H=3.0\text{m}$	$H=4.0\text{m}$
NW	$T_{1/3}=7.0\text{s}$	$T_{1/3}=8.0\text{s}$	$T_{1/3}=9.0\text{s}$
NNW			

##### 4.4.2 海浜流と海浜地形

図10は、海浜流の波向・流速ベクトルを外力の波高(3m)に対して、図2に示す3波向(WNW, NW, NNW)ごとに示した。

図10から、西側海岸における海浜流は、西埋立護岸から1,000mの範囲(測点L-29付近)では、WNW, NW 波向の入射波高に対して常に一定の東向きの沿岸方向の流れが生じている。さらに、北防波堤の遮蔽域によって形成される西埋立護岸付近の海域では、3波向による流れは反時計廻りの循環流となり西防波堤に沿う沖向きの流れになっていることが認められる。

また、WNWとNWの波向による東向きの沿岸流は、西側海岸における侵食性の海浜地形を形成する要因になっているものと考えられる。しかし、波向きが NNW 方向の外力の場合だけ、測点 L-27(西埋立護岸より600mの位置)付近から、砕波帯では西方向への流れであることが認められる。

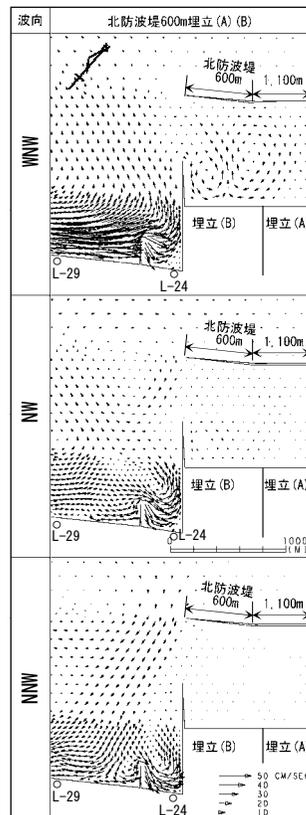


図10 海浜流の流向・流速ベクトル図(波高3m)

この結果、後述する西側海岸の海底断面地形形態の形成は、3波向の波高によるそれぞれの流れが西側海岸に強く影響し、砕波帯の浮遊砂を移動させることによるものと考えられる。

#### 4.5 海底地形の流れの抵抗

河川における河床形態が、どのような水理条件に対応して形成したのかという観点から、海岸の海底地形変化の形態について検討する。

岸・黒木<sup>11)</sup>は、河川における河床形態について、砂堆から反砂堆までの掃流力と有効掃流力の関係を検討し、流速係数と無次元掃流力の関係を図11のように示した。

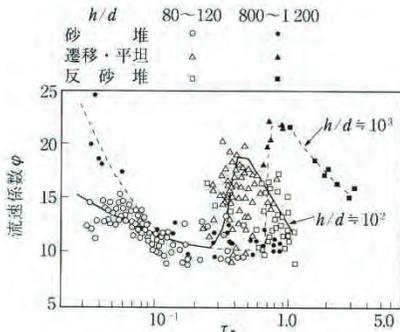


図11 流速係数  $\phi$  と無次元掃流力  $\tau_*$  の関係<sup>11)</sup>

そこで石狩湾新港西側海岸の測線 L-24~L-33 における海底地形の形態を、図9に示すインナー・バーと OUTER・バーの中間すなわち、基点より200m沖合の砕波帯における(2)式で定義される流速係数  $\phi$  と(6)式で定義される無次元掃流力  $\tau_*$  との関係によって考察する。

ここで、 $V$  は砕波帯における沿岸流速で、Longuet-Higgins<sup>12)</sup>の式(7)から算出した。 $u_b$  は海底面での流速振幅、 $u_*$  は底面摩擦速度、 $f_\omega$  は底面摩擦係数0.015を用いた。水深  $h$  は図9に示す測点より水平距離200m沖合地点の水深に潮位 ( $\bar{\eta}$ ) 0.3mを加えた水深 ( $h+\bar{\eta}$ )、 $H$  は砕波後の波高

( $H = \gamma \times h$ )で、 $\gamma$  は波高水深比で0.80を用いた。海底勾配  $\tan \beta'$  は  $(dh+\eta)/dx$ 、 $\tan \theta_b$  は砕波点での入射角、 $S$  は  $(\sigma/\rho - 1)$  底質の水中比重、 $g$  は重力加速度、 $d$  は底質の中央粒径0.16mmで一定とした。

$$\phi = V/u_* \tag{2}$$

$$u_b = \frac{\pi H}{T \cdot \sinh(2\pi h/L)} \tag{3}$$

$$u_* = \sqrt{\tau/\rho} = \sqrt{f_\omega/z} \cdot u_b \tag{4}$$

$$\tau = \frac{1}{2} f_\omega \cdot \rho \cdot u_b^2 \tag{5}$$

$$\tau_* = u_*^2 / sgd \tag{6}$$

$$V = \frac{5}{16} \cdot \frac{\pi \gamma}{f_\omega} \cdot \frac{g(h+\bar{\eta})}{\sqrt{g(h+\bar{\eta})}} \cdot \tan \beta' \cdot \tan \theta_b \tag{7}$$

図12は、西側海岸の各測点における海底断面地形形態の形成条件を、流速係数  $\phi$  と無次元掃流力  $\tau_*$  の関係によって表したものである。

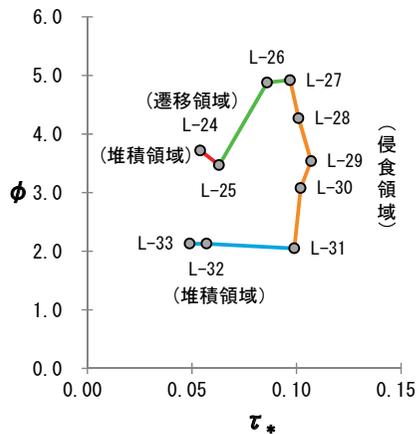


図12  $\phi$  と  $\tau_*$  の関係

図6および図9と図12から、西側海岸の海浜地形の形態のうち、測線L-24~L-25は図6から堆積領域に相当し、この領域では  $\tau_*$  が増加するとともに  $\phi$  は減少する。

次に測線 L-25~L-27 は遷移領域に移行する領

域に相当し、この領域は  $\tau_*$  の増加とともに  $\phi$  が増大し、漂砂移動の激しい海浜地形となる。この領域は、図 7 に示す卓越波向 NW に対する角度  $\alpha_1 (=20\sim 30^\circ)$  の範囲、すなわち、汀線における堆積から侵食に移行する範囲に相当している。

さらに測線 L-27~L-31 の海浜地形になると、汀線付近が最も侵食している領域であり、 $\tau_*$  がほとんど一定であるのに対して  $\phi$  が急激に減少する。これにより、海浜の侵食地形の形成は、 $\phi$  の変化が大きく影響することが明らかになった。

測線 L-31~L-33 の海浜地形は、 $\phi$  が 2.0 前後で一定となる堆積領域に相当するが、測線 L-24~L-25 に比して堆積量が少ないのは、 $\phi$  が小さく、その値がほぼ一定であるのに対して  $\tau_*$  が順次減少することが要因と考えられる。

以上から、図 12 に示す西側海岸の海底地形変化を  $\tau_*$  と  $\phi$  で表した関係図と、岸・黒木が示した図 11 を比較すると、 $\phi$  と  $\tau_*$  の変化に応じて海底断面地形が形成されていくことが推察された。

#### 4.6 地形変化と戻り流れ

海浜地形の出現を、堀川らの砕波帯内の波と底質の相互作用を表わす無次元海浜地形パラメータ ( $K_*$ )<sup>13)</sup> の (8) 式と、砕波帯における戻り流れ ( $U$ )<sup>14)</sup> の (9) 式の関連性から考察する。

$$K_* = \frac{(\overline{H}_b)^2}{\overline{T}^2 \cdot g \cdot d} \quad (8)$$

$$U = -22 \frac{H_{1/3}^2}{h \cdot T_{1/3}} \cdot \xi_b \quad (9)$$

$$\xi_b = \tan \beta / \sqrt{H_b/L} \quad (10)$$

ここで、 $\overline{H}_b$  および  $\overline{T}$  は、それぞれ日平均の砕波波高および周期で  $H_{1/3} = 1.6\overline{H}$ 、 $T_{1/3} = 1.2\overline{T}$  とした。 $g$  は重力加速度、 $d$  は底質粒径 (0.16mm) 一定とした。 $\xi_b$  は surf similarity パラメータで、 $\xi_b$  の波高

は砕波波高 ( $H_b$ )、波長  $L$  は  $T=7s$  として浅海波波長を用いた。また  $\tan \beta$  は砕波点から基点までの斜面勾配で実測図から求めた。

図 13 から、現地データによる  $U$  と  $K_*$  の相関係数は  $\gamma=0.9448$  と非常に高く、測線 L-24~L-29 では戻り流れ  $U$  が増加すると無次元海浜地形パラメータ  $K_*$  も増加する。しかし、測線 L-30~L-33 では  $U$  が減少すると  $K_*$  も減少する。

一方、図 14 の戻り流れ  $U$  と沿岸流速  $V$  の関係において、相関係数は  $\gamma=0.6684$  と低いが、図 13 に示す  $U$  と  $K_*$  の関係と同様な現象が見られた。

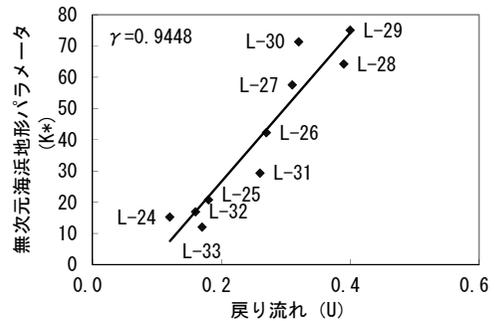


図 13  $K_*$  と  $U$  の関係

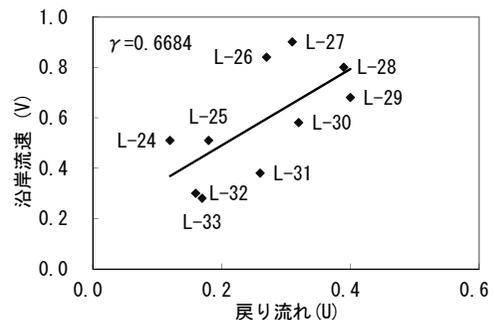


図 14  $V$  と  $U$  の関係

これらのことから、増加と減少の関係が重なり合うということは、変数の変化に対応して海浜地形の変形機構が極めて複雑に変形しているからで、その海浜地形変化の潜在的な要因を具体的に示すため、因子分析などから検討する。

## 4.7 土砂移動機構と断面勾配の変化

### 4.7.1 土砂移動機構

Mahmood ら<sup>15)</sup>は、波打帯の地形変化は碎波帯の地形変化と密接に関連しており、両者を統合的・連続的に取扱う必要があると述べている。

そこで、図 12 に示す  $\phi$  と  $\tau_*$  の関係図において、ある領域の起点と終点における測線の海底断面地形がどのような土砂移動機構によって形成したものであるかを比較するため、海底断面地形を重ね合わせたのが図 15 である。

図 15 から、沖浜海浜の断面地形には殆ど変化は見られず、地形変化はほぼ断面形の平行移動で生じているのに対し、bar より岸側の断面形には上手側になるにつれて海岸の地形変化が著しい。

一般に沿岸漂砂による海浜地形変化は断面の平行移動として現れることを考えると、沖浜地形には沿岸漂砂による地形変化が卓越していたが、bar より岸側では岸沖変化が卓越するようになり、この土砂移動機構の変化が前浜の急勾配化となって現れたと考えられる。

また図 15 から、重ね合わせた断面地形図には沖側の bar とトラフによって囲まれて菱形形状が生じ、その菱形形状は堆積性の下手側では侵食性となり、一方、侵食性の上手側では堆積性となっている。その菱形形状を図 9 に配置してみると、アウター・バーを覆うように断面地形変化の分離帯を形成している。

加藤<sup>16)</sup>は、前浜の侵食は、沖波は極大に達していないものの、汀線近傍で発達する長周期波(周期 100s 程度)が原因であると述べている。

また、加藤<sup>17)</sup>は、前浜侵食の原因となっている汀線近傍における長周期波の発達は、海底勾配の影響を大きく受け、海底勾配が 1/100 程度より急な場合には、勾配が急になるほど汀線における長周期波の振幅は小さくなる。その結果、急勾配の海岸では、荒天時の前浜侵食に対して長周期波よ

りも風波の影響の方が相対的に大きくなると述べている。

そこで、図 15 の海底断面の重ね合わせに、基点から 1/100 勾配の線を引いてみると、測線 L-25 と L-27 の重ね図から上手側海浜断面の前浜勾配は急になるのが認められる。

なお、同じ測線には同一記号で表示した。

以上から、西側海岸の測点 L-24~L-27 の範囲と測点 L-27~L-35 の範囲の地形は、それぞれ異なる波浪条件の影響を受けて断面地形が形成していることが明らかになった。

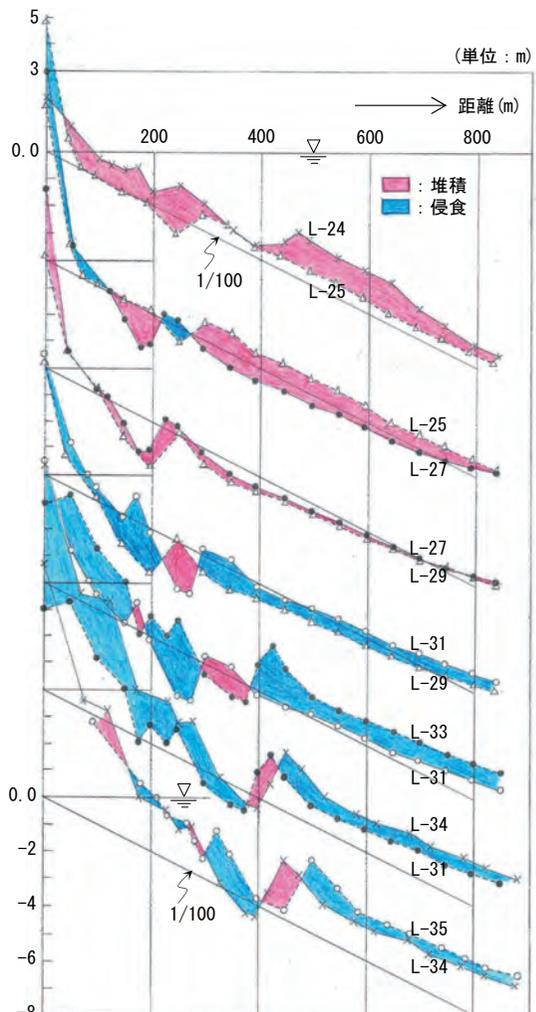


図 15 隣接海底断面の重ね合わせ図

#### 4.7.2 断面勾配の変化

実際の海浜では、岸沖漂砂と同時に沿岸漂砂も生ずるため、海浜地形はさらに複雑になる。

そこで、この複雑な海浜地形において図 15 に示す海底断面図の前浜勾配と沖浜勾配を最小二乗法により直線近似して求め、さらに bar 頂部勾配(基点を中心に水平線と bar 頂部を結んで得られた勾配)などから、各測線の断面地形の関連性について考察する。

図 16 は、測線 L-24 から測線 L-35 までの前浜勾配、bar 頂部勾配、沖浜勾配などの断面地形勾配を図示したものである。

図 16 から、前浜勾配は測線 L-24 の 1/50 の勾配から測線 L-35 まで順次 1/30 の急勾配へと変化し一定値となり、逆に沖浜勾配は 1/80 の勾配から順次 1/120 の緩勾配の一定値へと変化する。しかし、bar 頂部勾配は、測線 L-27 付近で強い戻り流れによって浮遊砂を沖方向へ移動して bar 頂部が低くなるため、bar 頂部勾配は 1/75 の急勾配の極小値から 1/130 の緩勾配へと変化している。

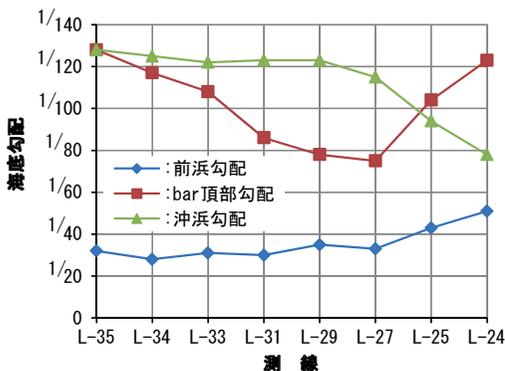


図 16 各測線における海浜断面の海底勾配の関係

以上から、西側海岸のそれぞれ特徴ある 3 種類の勾配によって構成する断面地形は、波の作用によって生ずる地形変化の差が、砕波位置のずれにより複雑な断面地形となることから、bar 頂部勾配は断面地形の特性に重要な影響をもたらすこと

になる。

そこで、3 種類の断面勾配から各測線の断面地形の特徴をみると、堆積性の測線 L-24 から最大侵食の測線 L-27 へ移行途中の測線 L-25 と、測線 L-27 から次第に安定形状に移行する測線 L-35 の 2 つの断面地形は、いずれも bar 頂部勾配と沖浜勾配の値が殆ど一致している。しかも、測線 L-25 の前浜勾配は安定状態となろうとしており、一方、測線 L-35 はすでに安定状態に達している。

以上から、この 2 つの測線 L-25 と測線 L-35 の断面地形は安定断面、すなわち平衡断面の特性に近づいた状態であると考えられる。

### 5. 因子分析などによる海底断面地形変化の考察

今まで述べた石狩湾新港西側海岸の海底断面地形変化に影響を及ぼすと考えられる重要な変数は、現地データの解析から戻り流れ  $U$ 、無次元海浜地形パラメータ  $K_b$ 、無次元掃流力  $\tau_*$ 、沿岸流速  $V$ 、流速係数  $\phi$  の 5 項目とした。これらの変数を用いて、変数の持っている情報を少数個の潜在因子によって説明するため因子分析を行った。

次いで、この変数の中から、海底断面地形変化に最も大きな影響を与えると考えられる戻り流れを目的変数とし、他の変数を説明変数としてとき、その説明変数がどのように目的変数を予測するのに重要と判断できるのかを、多重共線性を考慮し重回帰分析によって考察する。

#### 5.1 因子分析による因子負荷と因子得点

図 17(a) は、5 変数  $U$ 、 $K_b$ 、 $\tau_*$ 、 $V$ 、 $\phi$  のデータを用いて因子分析を行い、変数に影響を与えている因子負荷から得られたバリマックス回転後の因子負荷散布図<sup>18)</sup>である。また、図 17(b) は、各測線ごとの変数が各因子に対してどれ位の重みを持っているのかを表わした因子得点の散布図である。

表 2 から、いずれの変数も共通性が 0.9003～0.9959 と大きいので、採用した共通因子で説明される割合が大きいことを意味している。

また、因子数は、相関行列の固有値の中で 1 より大きい固有値の数から 2 とした。

以上の因子分析の結果、図 17(a), (b)における因子の軸は、図 13 および図 14 などと対比し、因子 1(横軸)は汀線変化に影響をおよぼす戻り流れ(大・小)であり、因子 2(縦軸)は漂砂移動量に影響をおよぼす沿岸流速(大・小)を表す軸であると解釈できる。さらに、表 2 から因子 1 の観測変数に対する寄与率は 58.3%, 因子 2 では 41.7%と高い寄与率が得られた。また、図 17(b)に示す各測線ごとの因子得点の散布図は、図 12 に示す  $\phi$  と  $\tau_s$  の散布図と同じ傾向であることが認められた。

表 2 バリマックス回転後の因子負荷量と共通性

因子番号	1	2	3	共通性
固有値	3.7750	1.0744	0.0099	
バリマックス回転後の因子負荷量				
沿岸流速	0.4511	0.8902		0.9959
無次元海浜地形パラメータ	0.8907	0.3464		0.9133
流速係数	0.1530	0.9849		0.9934
無次元掃流力	0.9331	0.1723		0.9003
戻り流れ	0.9400	0.2751		0.9593
寄与量				
寄与率	2.7745	1.9878		
	58.3%	41.7%		

## 5.2 重回帰分析と海底断面地形との関係

砕波による戻り流れ  $U$  を目的変数とし、無次元海浜地形パラメータ  $K_s$ 、無次元掃流力  $\tau_s$ 、沿岸流速  $V$  として、これらが偏重回帰係数と単相関係数の符号(+, -)の一致をもって多重共線性がないものとし、重回帰分析によって戻り流れ  $U$  の重要度を予測した。

菅<sup>19)</sup>が示した重回帰係数を標準誤差で割った  $t$  値を用いて重要度順位の判定にない作成したのが表 3 である。なお、表 3 には重相関係数と  $F$  検定結果も付記した。

表 3 から、回帰による分散比を  $F(0.01)$  で検定した結果、石狩湾新港西側海岸では仮説は危険率 1%で棄却され、説明変数は目的変数の予測に役立つことが明らかになった。

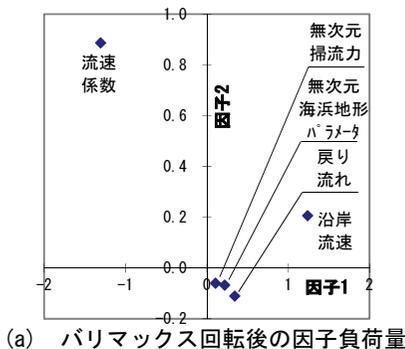
表 3  $t$  値による目的変数に対する説明変数

事項	沿岸流速	無次元海浜地形パラメータ	無次元掃流力	重相関係数	$F(0.01)$ 検定
石狩(西側海岸)	(0.668) 0.013 ③	(0.944) 2.066 ①	(0.926) 1.576 ②	0.961 2	$F=24.28 > F_5^3(0.01)=9.78$

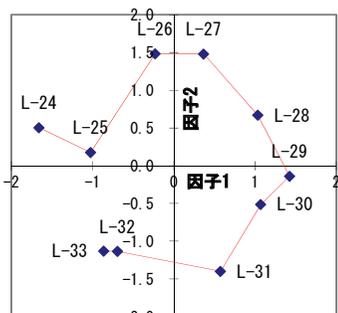
注-1 上段( )は、沿岸流速に対する単相関係数

注-2 中段は、沿岸流速に対する  $t$  値

注-3 枠内の数字①, ②などは、目的係数に対し(+ )に働く重要度の順位



(a) バリマックス回転後の因子負荷量



(b) 因子 1, 2 の因子得点の散布図

図 17 バリマックス回転後の因子負荷量と因子得点の散布図

## 6. 結び

防波堤の遮蔽域内での海浜地形は、汀線位置や

その沖側に生じる bar の形成や移動と関係があることについて岸沖方向と沿岸方向についてそれぞれ 1 次元で解析してきたが<sup>6)</sup>、本報告ではさらに 2 次元的に海浜流のシミュレーションを行って、防波堤の遮蔽域内での海浜地形の変化について検討を行った。そして基本的には、入射波向によって汀線に最大侵食分岐点が生じ、この分岐点を挟んでトラフ地形における海浜流流速分布に伴う底質移動は、異なる海浜地形形態を形成することを明らかにした。

本考察によって得られた結論は以下のとおりである。

①図 12 に示す流速係数( $\phi$ )と無次元掃流力( $\tau_*$ )の関係は、図 17(b)の因子分析の得点散布図と同じ傾向であることが認められた。これにより、流れの抵抗による各側線における海底断面地形形態の形成条件は、 $\phi$  と  $\tau_*$ の相互関係から説明できた。

②因子分析から、石狩湾新港西側海岸における海浜地形変化に影響をおよぼす潜在因子のうち、因子 1 は戻り流れ(大・小)、因子 2 は沿岸流速(大・小)を表す軸であり、因子 1 の変数に対する寄与率は 58.3%、因子 2 では 41.7%と評価できた。

③重回帰分析から、目的変数である戻り流れを予測する説明変数の重要度の順位は、無次元海浜地形パラメータ、無次元掃流力、沿岸流速の順であると判定された。

今後、海底断面地形の平衡断面の形成条件について調査検討したい。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、北海道開発局小樽港湾事務所より貴重な資料の提供を頂いたことを記して謝意を表します。

## 引用・参考文献

- 1) 田中則男:日本沿岸の漂砂特性と沿岸構造物築造に伴う地形変化に関する研究, 港湾技術資料, No. 453, 148p, 1983
- 2) 坂下大輝・佐藤慎司・田島芳満:大規模沿岸構造物周辺における海浜変形の影響範囲に関する研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), No. 66, pp. 501-505, 2010
- 3) 土屋義人・山下隆男・都丸徳治:大規模海岸構造物による海岸侵食の機構, 第 38 回海岸工学論文集, pp. 436-440, 1991
- 4) 宇多高明:日本の海岸侵食, 水工学に関する夏期研修会講義集, pp. B-3-1-B-3-20, 1993
- 5) 石狩湾新港港湾管理者:石狩湾新港港湾計画書資料編, 2003
- 6) 戸巻昭三・佐藤寿彦・竹沢三雄・後藤浩:石狩湾新港の港内漂砂流入防止に関する考察, 海洋開発論文, NO. 33, pp. 441-445, 2012
- 7) 加藤一正:長周期波と多段砂州の成因について, 第 31 回海岸工学論文集, pp. 441-445, 1984
- 8) 佐々木民雄:海浜変形予測手法の研究 現地調査報告書, 海岸環境工学研究センター, pp. 23-26, 1976
- 9) Miller, H. C. : Comparison on storm longshore transport rates to predictions, Proc. 26 th Int. Cofe. on Coastal Eng. pp. 30-31, 2006
- 10) 堀川清司編:流れの場の計算, 海岸環境工学, 東大出版会, pp. 249-271, 1985
- 11) 岸力. 黒木幹男:移動床域における河床形状と流体抵抗(I), 北大工学部研究報告, 第 67 号, pp. 1-12, 1952
- 12) Longuet-Higgins, M. S. :Longshore currents generated by obliquely incident sea waves, 1&2, Jour. Geophys. Res., Vol. 75, No. 33,

- pp. 6778-6780, pp. 6790-6801, 1970
- 13) 前出 10) : 海浜変形モデル, pp. 133-136, 1985
- 14) 佐藤慎司・島谷 学・志村豊彦: 不規則砕波帯における浮遊砂輸送量の解析法, 第 40 回海岸工学論文集, pp. 321-325, 1993
- 15) Mahmood R. Akbarpour Jannat , 浅野敏之: 波群性風波とそれに伴う長周期波の作用下における底質移動外力の評価, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp. 411-415, 2005
- 16) 加藤一正・柳嶋慎一: 長周期波によるバームの侵食, 土木学会論文集, No. 452/II-20, pp. 41-50, 1992
- 17) 加藤一正: 緩勾配海岸と急勾配海岸の前浜に作用する外力の違い, 海岸工学論文集, 第 40 巻, pp. 421-425, 1993
- 18) 小椋将弘: Excel で簡単多変量解析, 講談社, pp. 97-134, 2008
- 19) 菅 民郎: Excel 学ぶ多変量統計解析入門, (株)オーム社, pp. 110-153, 2001

## 著者紹介

### 戸巻 昭三(正会員)

(株)クマシロシステム設計(札幌市中央区南 1 条西 18 丁目), 昭和 3 年生まれ, 昭和 28 年 3 月日本大学工学部土木工学科卒業, 昭和 28 年 5 月北海道土木部勤務, 昭和 56 年 4 月退職, 技術士, 博士(工学), 土木学会会員。

E-mail:tomaki@ksfnet.co.jp

### 佐藤 寿彦(非会員)

(株)クマシロシステム設計(札幌市中央区南 1 条西 18 丁目), 昭和 30 年生まれ, 昭和 53 年 3 月北海道工業大学工学部土木工学科卒業, 昭和 56 年 5 月(株)クマシロシステム設計勤務, 土木学会会員。

### 竹沢 三雄(正会員)

日本大学理工学部土木工学科(東京都千代田区神田駿河台 1-8)昭和 13 年生まれ, 昭和 40 年 3 月日本大学大学院理工学研究科建設工学専攻修士課程終了, 昭和 40 年 4 月日本大学理工学部勤務, 現在同大学名誉教授, 工学博士, 土木学会, フェロー。

### 後藤 浩(正会員)

日本大学理工学部土木工学科(東京都千代田区神田駿河台 1-8)昭和 45 年生まれ, 平成 7 年 3 月日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻博士課程終了, 平成 7 年 4 月日本大学理工学部勤務, 現在同大学准教授, 博士(工学), 土木学会会員, 日本流体力学学会会員, 国際水理学会会員。

## Consideration on Changes of Seashore Geographical Features on the periphery of North Breakwater in the Ishikari Bay New Port

Shozo TOMAKI, Tosihiko SATO, Mitsuo TAKEZAWA and Hiroshi GOTOH

**ABSTRACT** : The changes of seashore geographical features on the periphery of the Ishikari Bay New Port along the coast in Hokkaido of Japan was considered by field in this paper. It emerged that the seashore geographical feature was formed by the flow velocity coefficient  $\phi$  and the non-dimensional tractive force  $\tau_*$ , and moreover, that the factor 1 was return flow (large and small), and the factor 2 was the coast flow velocity (large and small) as results in the factor analysis of 5 factors, consisted of return flow, non-dimensional parameter of geographical feature, non-dimensional tractive force, coast flow velocity and coefficient of velocity.

**KEYWORDS** : local dater, erosion and deposition, geographical feature change of the submarine section, factor analysis