

# 重回帰分析による苫小牧海岸の海浜断面変化に関する考察

## Considerations on Changes of Beach Profiles at Tomakomai Coast by Multiple Regression Analysis

戸巻 昭三\*・竹沢 三雄\*\*・後藤 浩\*\*\*

Shozo TOMAKI and Mitsuo TAKEZAWA and Hiroshi GOTOH

**要旨:**近年,各地の海岸域で深浅測量が定期的に行われており,それらのデータが蓄積されつつあるが,海岸侵食・堆積など,海浜断面変化の原因解明に十分活用されていないのが現状である。そこで本研究は,苫小牧港東港区東防波堤建設前と建設後における東防波堤の西側海岸と東側海岸における深浅測量データにもとづいて,海浜断面変化に影響を及ぼすと考えられる因子を重回帰分析することにより,東防波堤の西側および東側海岸の海浜断面の変化について考察した。

**キーワード:** 深浅測量, 海岸域, 海浜断面, 前浜勾配, 主成分分析, 重回帰分析

### 1. はじめに

近年各地の海域で深浅測量が定期的に行われており,それらのデータが蓄積されつつあるが,海岸の侵食・堆積などへ影響を及ぼすと考えられる因子の係わりに十分活用されていないのが現状である。そこで本論文は,苫小牧港東港区東防波堤を中心に,東防波堤建設前・後の西側海岸と東側海岸で砕波帯やその周辺の波や流れによって比較的短期間に生じた海浜断面変化の深浅測量データを解析することにより,波打帯における斜面勾配や反射率,汀線変化,砕波帯における戻り流れと底質の巻上げ量,bar 頂部の位置と高さの変化などを求め,それらの変数が相互に関連性を持ちながら,海浜断面の形成に寄与していることを重回帰分析によって考察した。

### 2. 苫小牧海岸の調査範囲と波浪

#### 2.1 苫小牧海岸の概要

現地調査地点の苫小牧海岸は,図1に示すように北海道の太平洋に面し,襟裳岬から地球岬(室蘭)までの日高・胆振海岸のうち,日高海岸の平均走行  $N-122^{\circ}-S$  と,胆振海岸の平均走行  $N-52^{\circ}-S$  が,約  $110^{\circ}$  の角度で交差し,これらの両者を円弧で接続する弧状の約  $44\text{km}$  の範囲である。

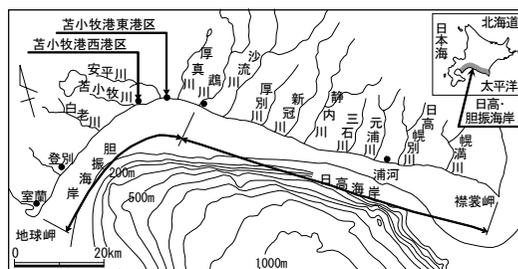


図1 北海道における日高・胆振海岸

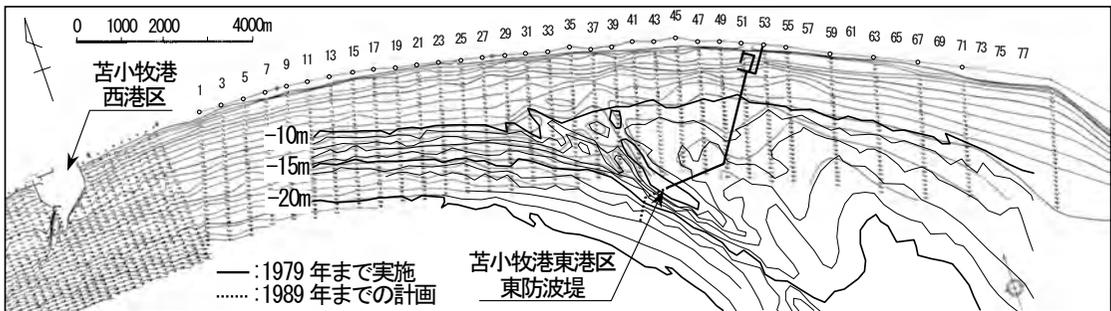


図2 苦小牧海岸

苦小牧海岸の海底地形は、図2に示すように、等深線が港奥地形にほぼ平行し、その海底勾配は1/100~1/200の遠浅海岸である。しかし、苦小牧港東港区東防波堤の先端部分(-18m付近)には南東~北西方向に数kmに亘って比高4.0m以上もある巨大なsand ridgeが存在する。

## 2.2 現地調査の範囲<sup>1)</sup>

本研究の調査範囲は、図2に示す苦小牧港西港区の東防波堤基部より東側に10km離れた測点25よりさらに東方向へ沿岸距離11.25kmの測点70までの区間であり、東港区東防波堤建設前の1975年11月と建設後の1979年11月に各測点から沖方向550mの範囲を測線間隔250mで深淺測量したデータを解析したものである。

すなわち苦小牧港東港区東防波堤西側海岸の測点25~44の20測線、東側海岸の測点55~70の16測線、合計36測線を調査研究の対象とした。

## 2.3 波浪条件

苦小牧海岸の波浪は、苦小牧港東港区の沖合水深-24.5mで北海道開発局により観測されている。

図3は、北海道開発局苦小牧港湾建設事務所で作成された苦小牧港調査報告書(1980年発行)による1978年1月~12月の1ヶ年の波向別波高出現回数<sup>2)</sup>である。図3から通年の最多回数の波向Sは、苦小牧海岸に対しほぼ直角で、その出現率は約42%、次いでSSE方向27%、SSW方向22%となっている。

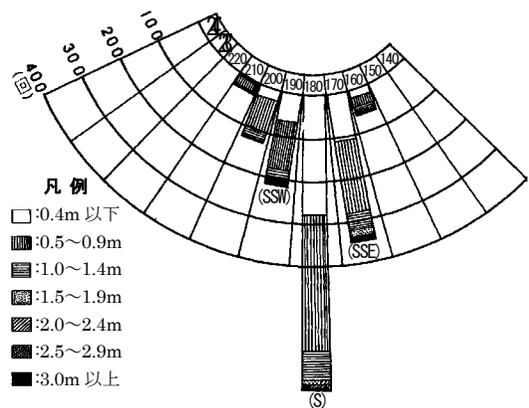


図3 波向別波高出現回数図

また、図4は、単位巾当りの波向別エネルギーで、SSE方向のエネルギーはS方向の54%、SSW方向は41%となっている。

加藤ら<sup>3)</sup>は、現地海岸の調査から高波浪後において、汀線が元の位置に回復するのに2~3週間程度要していると述べている。そこで、現地の地域性も異なることから、汀線の回復を2~3週間の約2倍の2ヶ月間とし、また一般に現地波浪観測から短期的に海浜地形に作用する波の諸元は、深淺測量実測から2ヶ月前において、平均2日間連続して生じた高波浪時の最大有義波浪( $H_{1/3}$ ,  $T_{1/3}$ )に起因するものとし、その波浪を波浪観測台帳から求めたのが表1である。

単位巾当りの波向別エネルギー表

波向 (度)	昭和53年1月~12月	
	回数	$E = KH^2 \cdot T^2$ $K = \frac{\rho g^2}{16\pi}$
160	50	1703
170	315	17592
180	633	32536
190	207	13451
200	126	3918
210	29	501
$\Sigma E$	1360	69701

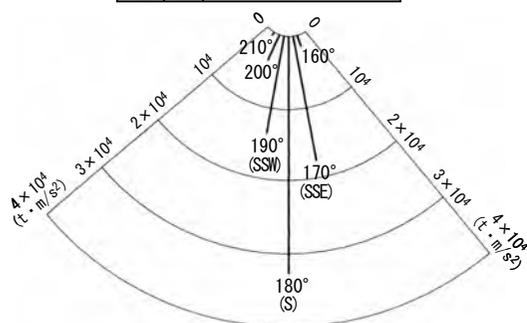


図4 単位巾当りの波向別エネルギー

表1 深浅測量実施2ヶ月前の最大有義波浪

深浅測量日	波浪台帳から抽出した年月	最大有義波浪	
		$H_{1/3}$	$T_{1/3}$
1975年11月	1975年10~11月	2.6m	9.3s
1979年11月	1979年10~11月	3.5m	11.4s

## 2.4 屈折図

苫小牧海岸への来襲波の波向が、図2の苫小牧海岸の平面図に示されるように、東防波堤沖合に存在する旧汀線に発達した浜堤が、洪積世末から始まった海水準上昇の過程のある時期に、こうした地形が発達したと推論される巨大な sand ridge<sup>4)</sup>によって、いかなる変化をするかを屈折図

によって検討した。

屈折図作成に必要な波浪条件<sup>5)</sup>は、苫小牧港において1964~1991年までに観測された異常時の最大有義波浪と波向から、10年確率波高、周期を表2のように決定した。図5(a), (b), (c)は各波向 SSE, S, SSW に対する屈折図である。

なお、図5(a), (b), (c)に示す屈折図は、1975年11月の東港区東防波堤建設前の自然海浜における深浅測量図から得られたものである。

表2 屈折図作成のための波浪条件と波向線

波向	SSE	S	SSW
汀線に対する波向	47.5度	70度	92.5度
周期	9.3s	11.6s	6.6s
波高	3.6m	3.9m	2.9m

図5(a), (b), (c)から、調査対象区間の中央部には、巨大な sand ridge が存在し、それを挟んで東側海岸の等深線は、水深-10m 以深からの等深線間隔が沖方向に広がり、かつ湾曲しているため、沖側の海底地形が緩勾配になっている。一方、西側海岸では、海岸の測線38~44は sand ridge の遮蔽域内にあり、また水深-5m 以浅の等深線はほぼ汀線に平行している。また、測線31の沖合い約2km 付近まで sand ridge の影響による広間隔の等深線が形成しているが、その西側海岸の等深線間隔が狭く、なおかつ汀線にほぼ平行している。

このような海底地形のため、図5(a), (b)の東側海岸における SSE と S 方向の波向線が汀線付近

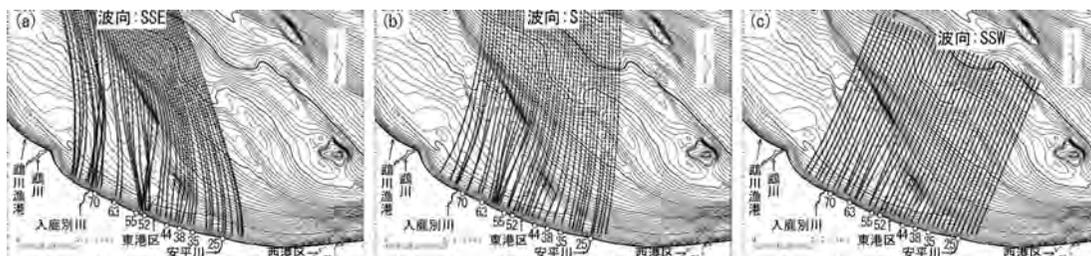


図5 各波向に対する屈折図

で狭まり波が収束し、焦線が発生するなど波高が局部的に増大するものと考えられる。

しかし、西側海岸における屈折図の波向線は、汀線付近で広がり発散するものと思われる。

また、図 5(c)の波向 SSW は汀線に対しほぼ直角に入射し、波向線は西側海岸の汀線付近でやや広がり、東側海岸の汀線付近で波が収束する傾向がみられる。

### 3. 波打帯近傍の斜面勾配と汀線変化

#### 3.1 波打帯近傍の斜面勾配の定義

図 6 は、苫小牧海岸の東港区東防波堤建設前の 1975 年 11 月に実測した測線 36 断面の海浜地形について、干潮時の汀線を 0 点とし重ね合わせた結果である。図 6 の 0 点から岸・沖方向の水平距離 20m 地点が海浜断面の変曲点となっている場合が多く、前浜が侵食されているために汀線付近

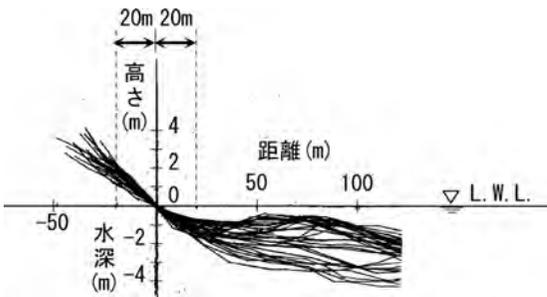


図 6 陸上部と水中部の斜面勾配

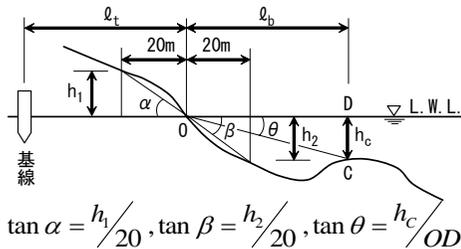


図 7 海浜断面模式図

の海浜断面が緩勾配化している。以上の結果、図 7 に示すように波打帯近傍の陸上部の斜面勾配を  $\tan \alpha$ 、水中部を  $\tan \beta$  と定義した。

#### 3.2 東・西側海岸における斜面勾配

波打帯や磯波帯における汀線近傍の海浜断面は、汀線の前進・後退あるいは前浜地形を考える場合に最も重要な領域である。

すなわち、波打帯や磯波帯における汀線近傍での斜面勾配  $\tan \alpha$ 、 $\tan \beta$  は、すでに形成されている bar と碎波点の位置関係、berm などの前浜地形と汀線の位置関係などとの関連性が強い。

そこで、図 6 に示す 1975 年 11 月の東・西側海岸における海浜断面の特性を知るため、図 8(a), (b)の斜面勾配比  $\tan \alpha/\tan \beta$  のヒストグラムを作成した。表 3 は、苫小牧港東港区東・西側海岸の斜面勾配  $\tan \alpha$ 、 $\tan \beta$ 、斜面勾配比  $\tan \alpha/\tan \beta$  の平均値、標準偏差、変動係数である。

表 3 東・西海岸の  $\tan \alpha$ 、 $\tan \beta$ 、 $\tan \alpha/\tan \beta$  の比較

	東側海岸			西側海岸		
	$\tan \alpha$	$\tan \beta$	$\tan \alpha/\tan \beta$	$\tan \alpha$	$\tan \beta$	$\tan \alpha/\tan \beta$
平均値	0.091	0.060	1.638	0.083	0.044	2.072
標準偏差	0.014	0.015	0.640	0.018	0.014	0.792
変動係数	0.153	0.250	0.390	0.216	0.318	0.382

図 8 より、東・西側海岸の斜面勾配比が、ともに低い側に歪んだ分布を形成しているのは、島田<sup>6)</sup>らが現地データを用いて、「汀線付近の侵食は、重複波となる長周期波成分によってもたらされ、遡上域でエネルギーを失う短周期波は堆積に寄与するものと推測される」と述べているように、苫小牧港東港区における斜面勾配比が  $\tan \alpha/\tan \beta=1.0$  になる頻度は、西側海岸では 10%、東側海岸では 37.5%と差があるためである。このように、水際線近傍における海浜断面の斜面勾配比が 1.0 という実態は非常に少ないものと考えられる。

特に、表 3 に示すように東・西海岸における斜

面勾配比の標準偏差や変動係数はほぼ等しいが、平均値が異なるのは、水中部勾配の  $\tan \beta$  が大きく影響していることが考えられる。

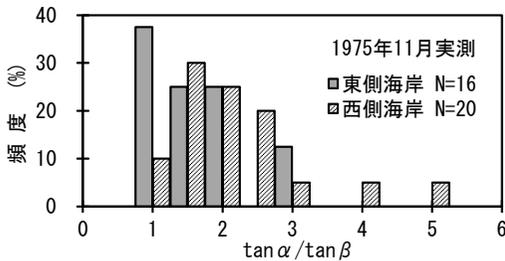


図8  $\tan \alpha / \tan \beta$  のヒストグラム

### 3.3 苫小牧港東港区の東防波堤の建設過程

苫小牧港西港区東防波堤より東側 16.75km の測点 52 を基準として苫小牧港東港区東防波堤の延長 5370m が 1986 年度までに完成した。その建設過程は図 9 に示すとおりである。

なお本研究の現地調査は、東防波堤建設前の自然海浜であった 1975 年 11 月と、東防波堤を 4323m(堤頭水深-18m)まで伸長した 1979 年 11 月に行った深浅測量の海浜断面に関するものである。

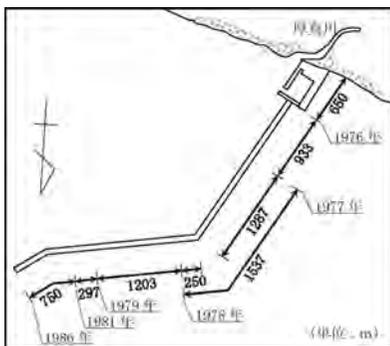


図9 苫小牧港東港区東防波堤建設過程

### 3.4 苫小牧海岸の汀線変化

図 10 は 1972 年 3 月から 1981 年 11 月までの苫小牧海岸における汀線変化で、実測した深浅測

量の基線から汀線までの距離  $lt$  を抽出したものである。

その汀線変化として第 1 に、図 10 より 1972 年 3 月と 1973 年 2 月の実測汀線は、測点 45~55 付近の約 2.5km 区間が他の地点より 120m ほど突出した汀線を形成している。

この汀線変化は、図 2 に示す苫小牧海岸の平面図から判断すると水深-10m~-15m 付近に広がる巨大な sand ridge の遮蔽域内にあるため、汀線とその sand ridge の間に発生するトンボロ現象によって汀線が前進したものと考えられる。つぎに、西側海岸の測点 25~28 区間の汀線が前進しているのは、測線 25 が安平川(計画高水流量 570m<sup>3</sup>/s, 流域面積 561.1km<sup>2</sup>)の左岸河口付近であるため、安平川からの流出土砂の影響によるものと考えられる。また、東側海岸の測点 69 付近から測点 72 へと汀線が前進しているのは、この測点の間にある入鹿別川(計画高水流量 160m<sup>3</sup>/s, 流域面積 50.9km<sup>2</sup>)からの流出土砂の影響によるものと考えられる。

さらに東・西側海岸の汀線変化の大きな違いは、まず東港区東防波堤の西側海岸では、図 2 および図 10 に示すように東防波堤の延伸に伴って東側海岸から西側海岸へ移動する沿岸漂砂が阻止され、しかも測点 25 より西方向へ 10km に位置する西港区東防波堤先端は汀線より 1500m 沖合で、水深-15m のため西側海岸からの沿岸漂砂は西港区東防波堤によって捕捉される。そのため、苫小牧港東港区と西港区間の沿岸漂砂は両港区間だけの移動になり、この区間では沿岸漂砂の捕捉がなく、沿岸漂砂が沖方向へ流出したため汀線がやや後退したものと考えられる。一方、東港区東防波堤の東側海岸の汀線が、1975 年の東防波堤建設後から測線 62~71 区間において後退しているが、これは測線 72 より東方向へ 6.5km に位置する鶴川漁港建設<sup>7)</sup>に伴って苫小牧港東港区へ移動する沿

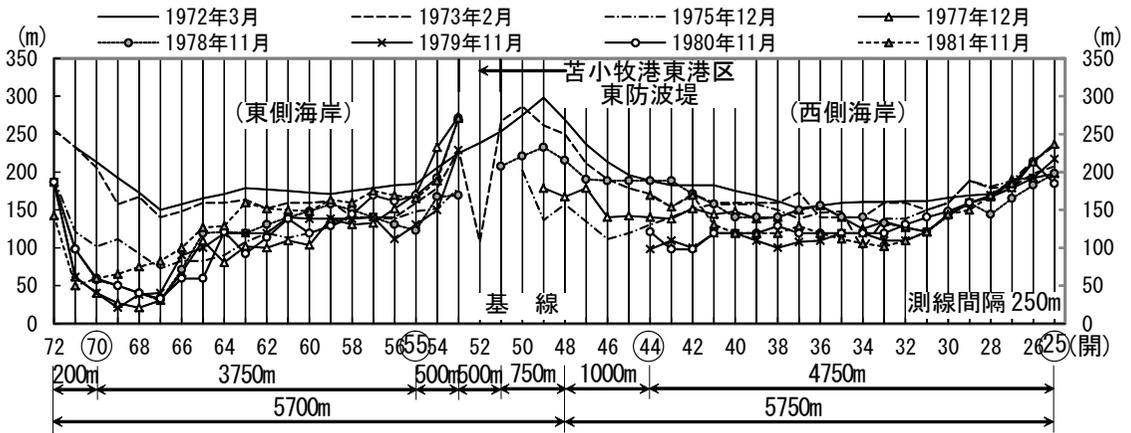


図 10 苦小牧海岸の汀線変化図

岸漂砂が捕捉されたことがその原因である。また、鵜川漁港より西方向 2km に位置する一級河川鵜川(流域面積 1270km<sup>2</sup>, 計画高水流量 3600m<sup>3</sup>/s)からの流出土砂が苦小牧港東港区東側海岸への供給源の一つであるが、西流する沿岸流よりも、東防波堤の伸長に伴う防波堤の下手側での波浪流<sup>8)</sup>が強く、東防波堤下手側の沿岸漂砂が沖方向に移動するために汀線の後退が次第に東へ移動したものと考えられる。

#### 4. 波打帯近傍の海浜変形に及ぼす因子間の関係

今まで述べた海浜断面変化に影響を及ぼすと考えられる因子間の関係を、重回帰分析によって考察してみる。

##### 4.1 斜面勾配と反射率

図 11(a), (b)は、Battjes<sup>9)</sup> の自然海浜における反射率 $\gamma$ と西側海岸 20 断面、東側海岸 16 断面の斜面勾配比  $\tan \alpha / \tan \beta$  の関係を東防波堤建設前・後の 1975 年 11 月と 1979 年 11 月に行った深淺測量から求め、東防波堤の東・西側海岸に区分して示したものである。ただし、陸上部勾配  $\tan \alpha$  はほぼ一定とみなし、水中部勾配  $\tan \beta$  のみに

よって反射率を算出した。

Battjes の式は

$$\gamma = 0.1 \tan^2 \beta / (H_{50} / L) \dots \dots \dots (1)$$

である。ただし、波高  $H_{50}$  は、汀線より 50m 沖合水深の波高であり、 $L$  はその地点の波長である。また  $\tan \beta$  は水中部の斜面勾配を用いた。

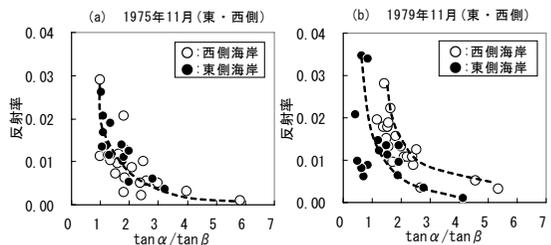


図 11  $\tan \alpha / \tan \beta$  と反射率の関係

図 11(a), (b)から、東防波堤建設前・後の斜面勾配比  $\tan \alpha / \tan \beta$  と反射率 $\gamma$ の関係は、いずれも斜面勾配比が大きくなれば反射率は小さくなり、斜面勾配比が小さくなれば反射率は大きくなる。

すなわち、陸上部勾配  $\tan \alpha$  に対して水中部勾配  $\tan \beta$  が小さくなると斜面勾配比  $\tan \alpha / \tan \beta$  が大きくなり、かつ反射率が小さくなるため水中部勾配  $\tan \beta$  が反射率に大きな影響を与える。

図 11(b)の東防波堤建設後では、同じ大きさの反射率 $\gamma$ に対する斜面勾配比  $\tan \alpha / \tan \beta$  が西側海岸の方が東側海岸より大きい。これは、図 10 に示すように 1979 年 11 月において東防波堤の東側海岸の汀線が侵食され、陸上部の土砂が流出し、図 12 に示すように陸上部の勾配  $\tan \alpha$  が西側海岸のほぼ 1/2 にまで減少したことによるものと推測される。

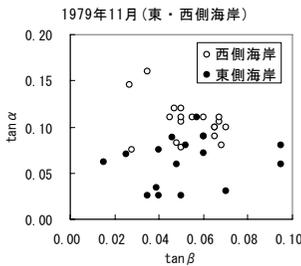


図 12  $\tan \alpha$  と  $\tan \beta$  の関係 (1979 年 11 月調査)

また、図 13(a), (b)は、水中部勾配  $\tan \beta$  と反射率 $\gamma$ の関係を、1975 年 11 月と 1979 年 11 月調査における東・西側海岸について比較したものである。

いずれの調査においても、各海浜の水中部斜面勾配  $\tan \beta$  が大きくなるにつれて反射率 $\gamma$ は増大する。

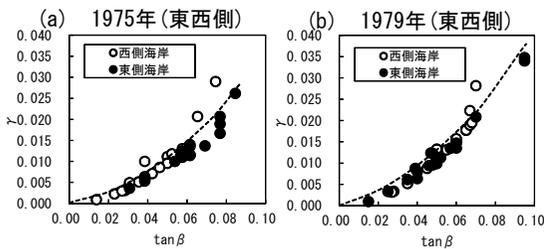


図 13  $\gamma$  と  $\tan \beta$  の関係

なお、図 13(a), (b)中の点線は式(1)において表 1 の波浪条件から

$$H_{1/3}/L_{1/3} \approx H_{50}/L = 2.6/116 = 3.5/153 = 0.022$$

とした場合の反射率 $\gamma$ と水中部斜面勾配  $\tan \beta$  の関係を示したものである。

#### 4.2 砕波帯における戻り流れと bar 頂部の移動

図 14(a), (b)は、bar 頂部の位置を示す  $\tan \theta$  (図 7 参照)と、汀線から沖合い 50m 地点の砕波帯内における戻り流れ  $U$  との関係である。なお、砕波帯内の戻り流れ  $U$  は、Svendsen<sup>10)</sup> の式(2)によって求められるものと仮定した。

$$U \approx U_{mean} = \left( C_A \cdot H^2 \cdot \frac{1}{T} \right) / d_{tr} \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 $U_{mean}$  : 平均流速、 $C_A$  : (定数=0.9)、 $T$  :  $T_{1/3}/1.2$ (浅海域)、 $d_{tr}$  : 波の谷から海底面までの深さ、波高  $H$  は、沖合 50m 地点の水深における波高で、表 1 の最大有義波から不規則波の浅水変形モデル<sup>11)</sup>により求めた。

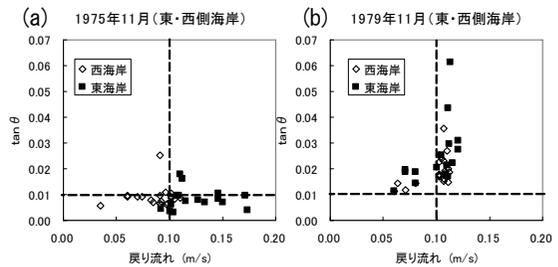


図 14  $\tan \theta$  と戻り流れの関係

図 14(a)から、東・西側海岸は戻り流れ 0.10m/s を境にしてほぼ区分されるが、図 14(b)では戻り流れは東・西側海岸でほぼ同じ傾向を示している。

また、図 14(a)から東防波堤建設前の  $\tan \theta$  は 0.01 前後の値で比較的小さく、bar 頂部は東・西側海岸ともに戻り流れの影響によって大きく変化することがなかった。しかし、図 14(b)から、東防波堤建設後の bar 頂部の位置と高さを示す  $\tan \theta$  は、戻り流れ  $U$  が 0.05~0.125m/s の範囲で 0.01~0.06 と変化し、bar 頂部の位置と高さは東・西側海岸とも戻り流れの影響を大きく受けていることが明らかになった。

### 4.3 巻き上げ量と戻り流れ

佐藤ら<sup>12)</sup>は、砕波による底質の巻き上げ量  $M_{sm}$  の最大値を式(3)によって評価している。

$$M_{sm}/(\rho_s \times H_b^2) = 4.4 \times 10^{-8} (U_b/\omega_s)^{3.3} \dots\dots\dots(3)$$

ここで、苫小牧海岸における巻き上げ量の評価にあたって、 $H_b$ は汀線から50m沖合いの水深  $h$  における砕波波高、 $\rho_s$ は底質砂の密度、 $U_b$ は微小振幅波理論によって計算される水深  $h$  における底面流速振幅値、 $\omega_s$ はRubeyの式(4)で計算される底質の沈降速度である。なお、式(4)において、 $s$ は砂の比重、 $g$ は重力加速度、 $d$ は砂の粒径、 $\nu$ は水の動粘性係数である。

$$\omega_s = F_1 \sqrt{(s-1)gd}$$

$$F_1 = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36\nu^2}{gd^3(s-1)}} - \sqrt{\frac{36\nu^2}{gd^3(s-1)}} \dots\dots\dots(4)$$

図15(a)より、東防波堤建設前では戻り流れ  $U$  が大きくなるにつれて砕波による底質の巻き上げ量  $M_{sm}$  は増加する。特に、東側海岸の  $M_{sm}$  は戻り流れが0.1kg/mより大きくなると急に増加する。

すなわち、東防波堤建設前の東側海岸で汀線から50m沖合いの砕波波高  $H_b$  が高く、底面流速振幅値  $U_b$  が大きくなり砕波による底質の巻き上げ量  $M_{sm}$

は最大18kg/mまでに達する。そのため水深の浅い岸側から砕波帯付近まで砕波によって巻き上げられた掃流砂が広く分布し、海浜断面の変化<sup>13)</sup>を生じさせたものと考えられる。

一方、図15(b)より、東防波堤建設後も戻り流れ  $U$  が0.1m/sより大きくなると砕波による底質の巻き上げ量  $M_{sm}$  が増加するが、東・西側海岸ともに砕波による底質の巻き上げ量  $M_{sm}$  は東防波堤建設前のほぼ6%以下になった。

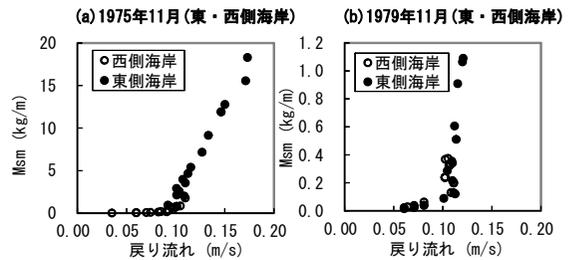


図15 Msmと戻り流れの関係

### 4.4 波打帯の tanβ に対する反射率と戻り流れ

海浜断面の変化に影響を及ぼすものと考えられる水中部の斜面勾配  $\tan \beta$  と反射率  $\gamma$ 、戻り流れ  $U$ 、砕波による底質の巻き上げ量  $M_{sm}$  の変数間にどのような関連があるかを考察する。

図16(a), (b), (c)は、水中部斜面勾配  $\tan \beta$  と砕波による底質の巻き上げ量  $M_{sm}$  の関係を調べ

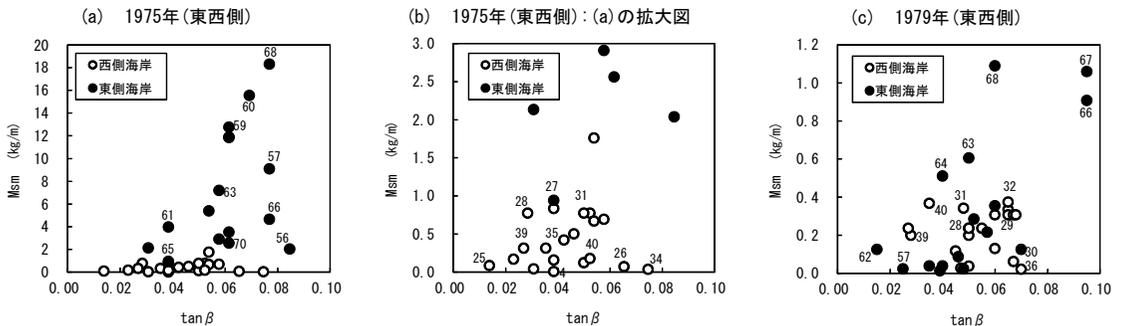


図16 tanβとMsmの関係

たものである。このうち、図 16(b)は図 16(a)の縦軸を拡大して図示したものである。また、図 16(a), (b), (c)の図中の数字は東・西側海岸の主要な測点を記入したものである。

図 16(a), (b), (c)と図 10 の 1975 年 12 月と 1979 年 11 月に測定された汀線変化図を対応させてみると、水中部の斜面勾配  $\tan \beta = 0.1 \sim 1.0$  に対して、西側海岸の測線 44 より小さい測線(測線 34 を除く)における汀線がすべて後退している。一方、東側海岸の測線 53~54 で前進、測線 54~57 で後退、測線 57~66 で前進、測線 66 より大きい測線番号では後退しており、水中部の斜面勾配  $\tan \beta$  と汀線の前進・後退の関係を見出すことができなかった。

砕波による底質の巻き上げ量  $M_{sm}$  に関しては、図 16(a), (b)から、東防波堤建設前の東側海岸での  $M_{sm}$  の最大値が約  $18\text{kg/m}$  に対して西側海岸での  $M_{sm}$  の最大値が約  $1.8\text{kg/m}$  であり、砕波による底質の巻き上げ量  $M_{sm}$  が約 10 倍であった。しかし、東防波堤建設によって東側海岸での  $M_{sm}$  の最大値が約  $1.1\text{kg/m}$ 、西側海岸の  $M_{sm}$  の最大値が約  $0.4\text{kg/m}$  と少なくなり、砕波による底質の巻き上げ量  $M_{sm}$  が約 2.75 倍に減少した。

次に、反射率  $\gamma$  と戻り流れ  $U$  の関係を示す図 17(a)から、1975 年 11 月における東・西側海岸は、戻り流れ  $U=0.1\text{m/s}$  を境にして区分され、1979 年 11 月には、図 17(b)から明らかなように、戻り流れ  $U=0.1\text{m/s}$  付近に東西側海岸ともに分布し、しかも  $\gamma=0.014$  を境にして区分されている。このように、東防波堤建設前の 1975 年 11 月の東・西側海岸は、反射率の大きさによって戻り流れが変化しているが、東防波堤建設後の 1979 年 11 月の東・西側海岸では、 $\gamma=0.014$  以上になると、戻り流れが反射率の影響を受けることなくほぼ一定となり、 $\gamma=0.014$  未満では戻り流れが反射率の影響を受けることが認められる。

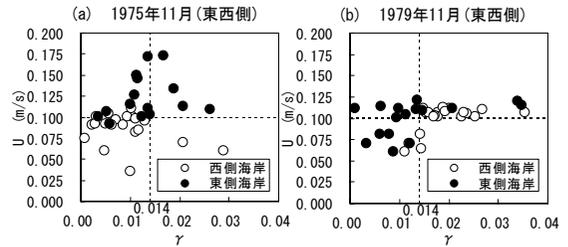


図 17  $\gamma$  と  $U$  の関係

## 5. 重相関分析による海浜地形変化

今まで述べた苦小牧海岸の地形変化に影響を及ぼす重要な因子を、砕波による底質の巻き上げ量  $M_{sm}$ 、図 7 の海浜断面に示す水中部の斜面勾配  $\tan \beta$ 、bar 頂部の位置と高さをあたえる  $\tan \theta$ 、基線から汀線までの距離  $lt$ 、戻り流れ  $U$ 、自然海浜の反射率  $\gamma$  の 6 変数とした。これらの変数のデータにどのような情報が隠されているかを把握するため、変数を要約し総合的指標(主成分)で全体の特性を代表させる主成分分析を行ない、各成分がもとのデータをどれ位反映しているかを知る指標である寄与率を求めた。次いで、この変数の中から岸沖方向の海浜断面変化に最も大きな影響を与えたと考えられる  $M_{sm}$  を目的変数とし、他の変数を説明変数としたとき、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、多重共線性を考慮し重回帰分析によって考察してみる。

### 5.1 主成分分析による固有ベクトル

図 18(a)~(d)は、1975 年 11 月と 1979 年 11 月の調査における東・西側海岸の海浜断面変化に影響を及ぼす 6 変数のデータを用いて主成分分析<sup>14)</sup>を行って得られた固有ベクトル図である。また、図 18(a)~(d)図の下にそれぞれの固有値を付記した。

図 18(a)~(d)から、各変数において関係の深い  $\tan \beta$  と  $\gamma$  および  $M_{sm}$  と  $U$  は近接していることが認められた。主成分の重要度を示す固有値を、

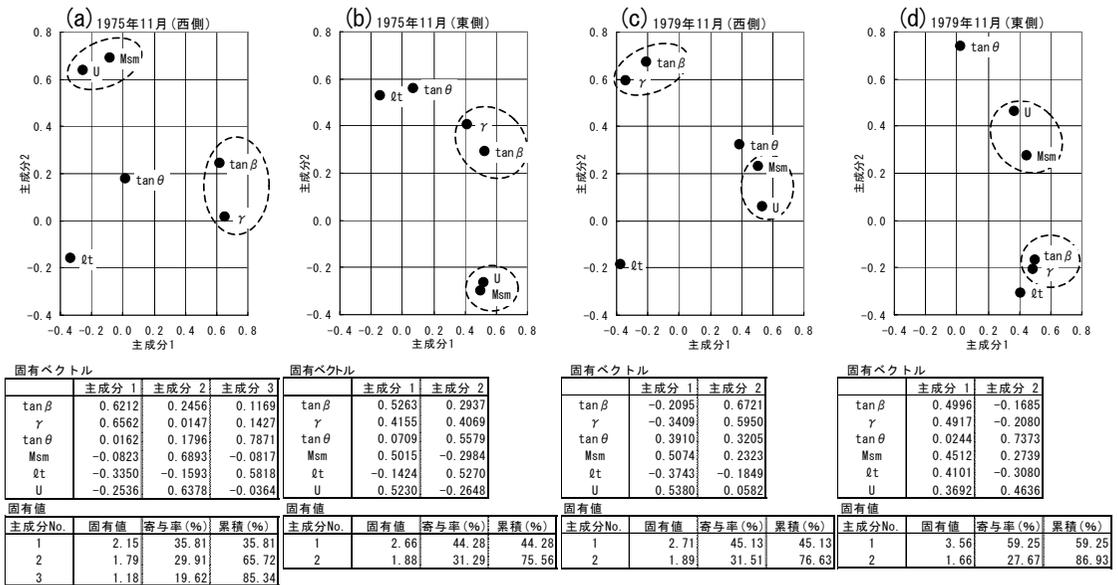


図 18 各海岸における固有ベクトルと固有値

変数の個数で割って得られた第2主成分までの累積寄与率が65.72~86.93%となった。そこで、1975年11月の西側海岸だけの固有ベクトルと固有値を第3主成分まで求めて累積寄与率を算出してみると、図18に示すように第2主成分までの累積寄与率65.72%から85.34%に増大した。

以上から、東・西側海岸の海浜断面の変化は、6つの変数(Msm, tanβ, γ, tanθ, lt, U,)が寄与することによって形成されているものと推察される。

### 5.2 巻上げ量(Msm)と地形の関係

砕波による底質の巻上げ量 Msm を目的変数とし、これに対する5つの説明変数 tanβ, tanθ, lt, U, γ がどのように Msm を予測するのに重要であるかを、偏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予測した。

菅<sup>15)</sup>が示した重回帰分析で得られる偏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

判定にならない作成したのが表4である。

なお、表4には重相関係数とF検定結果も付した。

表4 t値による目的変数(Msm)に対する説明変数

事項	tanβ	U	tanθ	γ	lt	重相関係数	F(0.01)検定
1975年11月	西側海岸	(-0.02) 2.19 ②	(0.64) 2.19 1	(-0.008) -0.18 ③	(-0.21) -0.58 ①	(-0.09)	F <sub>0</sub> =2.19<F <sub>14</sub> <sup>5</sup> (0.05)=2.96
	東側海岸	(0.42) 1.39 2	(0.99) 11.55 1	(-0.06) -1.55 ①	(0.13) × ×	(-0.26)	F <sub>0</sub> =210>F <sub>10</sub> <sup>5</sup> (0.01)=5.64
1979年11月	西側海岸	(-0.02) ×	(0.64) 1.33 1	(-0.008) ×	(-0.21) -0.74 ②	(-0.09)	F <sub>0</sub> =4.97>F <sub>14</sub> <sup>5</sup> (0.01)=4.69
	東側海岸	(0.70) 1.18 2	(0.71) 0.32 4	(0.34) 1.78 1	(0.65) ×	(0.50) 0.84 3	F <sub>0</sub> =5.84>F <sub>10</sub> <sup>5</sup> (0.01)=5.64

注-1 上段( )は、Msmに対する単相関係数

注-2 中段は、Msmに対するt値

注-3 枠内の数字1, 2などは、目的変数に対し(+ )に働く重要度の順位

注-4 枠内の数字①, ②などは、目的変数に対し(- )に働く重要度の順位

注-5 枠内の×は、多重共線性により除外した説明変数

表4から、回帰による分散比( $F_0$ )をF検定した結果、1975年11月調査の西側海岸では仮説は危険率5%で棄却されなかったが、それ以外の海岸ではすべて危険率1%で棄却されて、説明変数  $\tan\beta$ ,  $\tan\theta$ ,  $U$ ,  $\gamma$ ,  $ft$  は目的変数  $M_{sm}$  の予測に役立つことが明らかになった。

表4の重回帰分析結果から、東・西側海岸の相違について考察すると次のとおりである。

### 5.2.1 1975年11月調査(東防波堤建設前)

表4から、海浜断面変化に影響を及ぼすと考えられる沖波による底質の巻き上げ量  $M_{sm}$  に対し、東防波堤の東側海岸の戻り流れ  $U$  に関する  $t$  値は11.55で、西側海岸の戻り流れ  $U$  に関する  $t$  値2.19よりもかなり大きく、特に東側海岸では、戻り流れ  $U$  が大きな影響を与えていることが明らかになった。

各説明変数の影響力をみるために、相関係数と  $t$  値を比べてみると、1975年における目的変数  $M_{sm}$  に対する説明変数のうち、最も相関係数の高いのは東側海岸の  $U$  で、その相関係数は0.99で、西側海岸の相関係数0.64に比較してかなり高い相関を示している。このように、東防波堤建設前においては、 $U$  が  $M_{sm}$  にあたえる貢献度が最も高いものと予測される。

### 5.2.2 1979年11月調査(東防波堤建設後)

西側海岸における目的変数である砕波による底質の巻き上げ量  $M_{sm}$  の説明変数の重要度の順位は、表4に示すように  $U$  だけである。これに対し東側海岸における  $M_{sm}$  に対する説明変数の重要度の順位は、 $\tan\theta$ ,  $\tan\beta$ ,  $ft$ ,  $U$  である。

したがって、土砂が浅海域に運ばれて水中部斜面勾配  $\tan\beta$  や  $bar$  頂部の位置と高さを与える  $\tan\theta$  の重要度順位を高くしたものと考えられる。

目的変数  $M_{sm}$  に対して、5つの説明変数間の相関係数が比較的大きくなると、5つの説明変数のうち目的変数  $M_{sm}$  と相関の高い説明変数が

(+)10、それ以外の説明変数の  $t$  値が(-)になり易い。しかし、東側海岸では  $\tan\theta$  や  $\tan\beta$  の説明変数の  $t$  値は特別高くなく、しかもその大きさは1:1とみなすことにより、目的変数  $M_{sm}$  に対して  $\tan\theta$  と  $\tan\beta$  の重要度順位はともに高い結果となった。

以上から、重回帰分析の  $t$  値による説明変数の重要度順位によって、岸側の侵食によって沖側の堆積あるいはその逆の侵食現象が生じていることが推察される。

## 6. 東防波堤建設前・後における海浜地形の比較

表4に示す重相関分析を行った変数  $\tan\beta$ ,  $U$ ,  $\tan\theta$ ,  $\gamma$ ,  $ft$  に斜面勾配の陸上部勾配  $\tan\alpha$ , 汀線から  $bar$  頂部までの距離  $lb$ ,  $bar$  の頂部水深  $hc$  を加えた8変数によって、東防波堤建設前・後の海浜地形変化を比較してみる。なお、それぞれの変数の値は各測線全体の平均値とした。

その平均値を表4と同様に、東防波堤建設前・後の東・西側海岸について比較したのが表5である。

表5 調査年毎の東・西側海岸の変数の比較

事項	$\tan\alpha$	$\tan\beta$	$U$	$\tan\theta$	汀線から $bar$ 頂部までの距離 $lb$	$bar$ 頂部水深 $hc$	$\gamma$	$ft$	
1975年11月	西側海岸	(1.0) 0.083	(1.0) 0.044	(1.0) 0.087	(1.0) 0.009	(1.0) 68.3	(1.0) 0.59	(1.0) 0.009	(1.0) 89.96
	大小	^	^	^	v	^	^	^	^
1979年11月	東側海岸	(1.09) 0.091	(1.38) 0.061	(1.43) 0.125	(0.88) 0.008	(2.86) 195.7	(2.52) 1.49	(1.44) 0.013	(1.18) 106.30
	西側海岸	(1.0) 0.105	(1.0) 0.054	(1.0) 0.099	(1.0) 0.019	(1.0) 52.97	(1.0) 0.98	(1.0) 0.014	(1.0) 72.89
1979年11月	大小	v	^	^	^	^	^	^	^
	東側海岸	(0.59) 0.062	(0.96) 0.052	(1.01) 0.100	(1.31) 0.025	(1.09) 57.90	(1.38) 1.36	(0.92) 0.013	(1.74) 127.10

注( )は、東海岸/西海岸の比

### 6.1 1975年11月調査(東防波堤の建設前)

東・西側海岸の海浜地形のうち、東側海岸の斜面勾配は、西側海岸の陸上部勾配  $\tan \alpha$  や水中部勾配  $\tan \beta$  より急勾配であり、また汀線から bar 頂部までの距離は西側海岸の約 2.86 倍の沖側にあり、頂部水深  $h_c$  も約 2.52 倍の深さに存在する。

また、基線から汀線までの距離  $l_t$  は西側海岸より約 1.18 倍も大きく前進している。

これらの海浜地形が形成する原因は、戻り流れの平均流速  $U$  の影響と、島田らが述べているように、汀線付近における長周期波成分と短周期波成分が侵食や堆積に与える影響も大きいと推測される。

### 6.2 1979年11月調査(東防波堤の建設後)

東・西側海岸の海浜地形は、まず 1975 年の東防波堤建設前と同様に東側海岸における変数の値(平均値)は、西側海岸より大きい。しかし、東防波堤建設前と違って東・西側海岸とほぼ等しい変数( $\tan \beta$ ,  $U$ ,  $\gamma$ )が存在するため、両側海岸の変数に特別大きな差は認められない。これは、東・西側海岸の平均流速である  $U$  がほぼ同じ値となっていることから、東防波堤の建設によって東側海岸に及ぼす外力の影響が弱められたからではないかと推測される。

そのため、汀線から bar 頂部までの距離  $l_b$  は、両側海岸とも近似し bar 頂部の形成位置は殆ど差はないが、その頂部水深  $h_c$  は東側海岸の方がやや深い位置に存在する。また、陸上部の海浜勾配は緩勾配になる傾向が強い。

## 7. むすび

以上の結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 苫小牧東港区のうち、東防波堤の東・西側海岸 11.25km は、その沖側に存在する巨大な sand ridge と東防波堤の建設によって東・西側海岸の海浜断面に大きな影響を与えている。

- 2) 現在、波打帯近傍の地形変化の研究にあたって、前浜勾配と外浜勾配は異なり、平衡勾配<sup>17)</sup>(侵食、堆積の境界)となる条件で砕波帯内(外浜)の平均勾配  $\tan \beta$  を砕波点と汀線間の海浜勾配としている。しかし、苫小牧海岸の自然海浜における斜面勾配比  $\tan \alpha / \tan \beta$  が 1.0 となる頻度は非常に少ないという実態を考慮し、波打帯近傍の海浜断面の変化の研究にあたっては、特に、水中部斜面勾配  $\tan \beta$  について検討する必要がある。

- 3) 砕波による底質の巻上げ量  $M_{sm}$  と水中部の斜面勾配  $\tan \beta$  の関係から、汀線の前進・後退を明らかにすることはできなかったが、東防波堤建設によって砕波による底質の巻上げ量  $M_{sm}$  は、減少したことが明らかになった。

- 4)  $M_{sm}$ ,  $\gamma$ ,  $\tan \theta$ ,  $l_t$ ,  $U$ ,  $\tan \beta$  など 6 つの変数を用いて主成分分析を行なった結果、6 つの変数は、海浜断面変化に影響を及ぼす因子であると評価できる。

- 5) 東防波堤建設前・後における海浜断面変化は、 $M_{sm}$  と  $U$  の因子による貢献度が大きい。

- 6) 6 つの変数のうち  $M_{sm}$  を目的変数とし、他の 5 つの変数を説明変数とした重回帰分析より、東・西側海岸の海浜変形の相違を考察することができた。また、相関係数と  $t$  値を比べることによって、 $M_{sm}$  に対する説明変数の貢献度をくみとることができた。

今後は、重回帰分析によって得られた結果をさらに分析して複雑な海浜地形変化を解明していきたい。

## 参考文献

- 1) 戸巻昭三, 竹沢三雄, 後藤 浩: 苫小牧海岸における波打帯近傍の斜面勾配と海浜地形について, 海洋開発論文集, 第 25 巻, pp.1263-1268, 2009.

- 2) 北海道開発局 苫小牧港湾建設事務所：苫小牧港調査報告書(昭和 53 年), pp.46-48, 1980.
- 3) 加藤一正, 柳嶋他 2 名：汀線位置の短期変動特性とそのモデル化の試み, 港湾技術研究所, 第 26 巻, 第 2 号, pp.63-96, 1987.
- 4) 尾崎晃：苫小牧海岸における底質分布と海底地形に関する研究覚え書, 昭和 53 年苫小牧港湾環境調査報告書-解析に関する検討資料-, pp.113-132, 1979.
- 5) 苫小牧港管理組合：苫小牧港湾計画資料(その 1)港湾審議会第 162 計画部会, pp.88-94, 1997.
- 6) 島田玄太, 内野敬太, 関克己, 水口優：高波浪時における汀線近傍の地形変化に及ぼす長周期波と短周期波の役割, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp.531-535, 2003.
- 7) 戸巻昭三, 柏葉導徳, 竹沢三雄, 後藤 浩：鵜川海岸における海浜地形について, 海洋開発論文集, 第 23 巻, pp.1045-1050, 2007.
- 8) 中村聡志：波による海浜流の発達過程と構造物による流況影響範囲に関する数値的検討, 港湾空港技術研究所報告, No.1147, 17 p. 2006.
- 9) Battjes, J.A. : Surf-similarity, Proc. 14th. Conf. on Coastal Eng., pp.466-480, 1974.
- 10) Svendsen, I.A. : Mass flux and undertow in a surf zone, Coastal Engineering, Vol.8, pp.347-365, 1984.
- 11) 岩垣雄一, 間瀬肇, 田中剛：不規則波の浅海変形モデルについて, 第 28 回海岸工学講演会論文集, pp.104-108, 1981.
- 12) 佐藤慎司, 本間基一, 柴山知也：砕波による底質の巻上げ量の評価に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第 36 巻, pp.279-283, 1989.
- 13) 泉正寿, 泉宮尊司：浮遊砂の移流拡散を考慮した海岸構造物周辺の地形変化予測に関する研究, 海洋開発論文集, 第 24 巻, pp.1243-1248, 2008.
- 14) 田中豊, 脇本和昌：多変量統計解析法, 現代数学社, pp.11-52, pp.53-100, 1987.
- 15) 菅民郎:Excel で学ぶ多変量統計解析入門,(株)オーム社, pp.110-153, 2001.
- 16) 田栗正章, 藤越康祝, C.R.Rao : やさしい統計入門, 講談社, pp.110-153, 2001.
- 17) 土木学会海岸工学委員会：海岸施設設計便覧 [2000 年版], pp.462-463, 2000.

## 著者紹介

### 戸巻 昭三(正会員)



(株)クマシロシステム設計(札幌市北区北 11 条西 2 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。

### 竹澤 三雄(正会員)

日本大学 名誉教授(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, 工学博士, 土木学会会員, 地盤工学会会員。

### 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建設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 Beach Profiles at Tomakomai Coast by Multiple Regression Analysis.

Shozo TOMAKI and Mitsuo TAKEZAWA and Hiroshi GOTOH

**ABSTRACT** : Recently, the bottom sounding is regularly done in the coastal area of various places. However, their data have not been used sufficiently to research the changes of beach profiles, such as beach erosions and depositions.

The changes of beach profiles at the east and the west side coast before and after constructing the east breakwater in the east ward of Tomakomai Port were analyzed by using the bottom sounding data. And some factors that influence on the changes of beach profiles were considered by the multiple regression analysis.

**KEYWORDS** : *bottom sounding, coastal area, beach profile, foreshore slope, principal component analysis, multiple regression analysis*