



底質調査は1975年6月、7月、11月の地形測量と同時に海岸線と平行に基点から0m、700m、1400m、2000mの測線における汀線、碎波点(-3.0m)、平衡点が存在すると思われる-5.0m、そして平衡点の沖合-7.0mの4地点から底質を採取し、篩分係数( $S_o$ )と中央粒径( $d_{50}$ )調査を行い、その結果を図-3に示した。

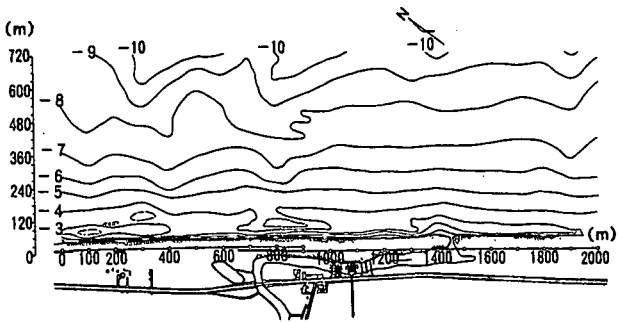


図-2 猿骨海岸の平面図

1975年6月の調査時点では、流水の接岸、離岸時に海底地盤が攪乱されて混合粒径から構成されていた規則的な底質層のバランスが崩れ、4地点の粒径が共に同じようなSortingの状態では $d_{50}=0.1\sim0.5\text{ mm}$ 、 $S_o=1.0\sim1.5$ である。

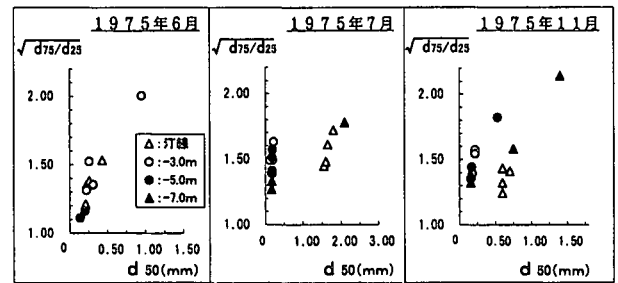


図-3 底質の篩分け係数と中央粒径の関係

しかし1ヶ月後の1975年7月には汀線の砂がSortingを受けて大きな粒径( $d_{50}=1.5\sim1.7\text{ mm}$ 、 $S_o=1.5\sim1.7$ )が出現しているが、水深3m以深では前月よりも中央粒径 $d_{50}$ はやや小さくなり、篩分係数 $S_o$ は大きくなっている。さらに1975年11月になると大きな波浪の繰返しにより、各測点で外力に応じたSortingが生じ、汀線の底質は中央粒径 $d_{50}=0.5\sim0.6\text{ mm}$ 、篩分係数 $S_o=1.2\sim1.5$ となる。

### 3. 海象条件

図-4は、猿骨海岸の近隣である紋別港の沖合2km(水深-18m)に設置した波高計で実測された記録<sup>2)</sup>であり、1975年5月1日～12月30日までの紋別沖の波浪( $H_{max}$ 、 $H_{1/3}$ 、 $T$ )の経時変化に、深淺測量、底質粒径などの調査日を同時に併記したものである。

### 4. 沿岸砂州の岸沖移動と地形変化量

海岸からの波の反射<sup>3)</sup>は、海浜断面地形の侵食や堆積に影響を及ぼしている。沿岸砂州岸沖移動に伴う土砂量に注目してみると、その地形変化には自ずと移動量に差が認められ、それは、沿岸砂州頂部を中心にその前後の土量にも変化があるものと考えられる。そこで海浜断面地形にみられる55断面のうち沿岸砂州が岸側に移動した場合(28断面)と沖側に移動した場合(27断面)の2つグループに分けて、その地形変化量を図-5及び表-1のように沿岸砂州頂部から汀線までの岸側水量(A)と沿岸砂州頂部から平衡点までの沖側水量(B)として、4回の深淺測量結果から測点21箇所のデータについて(A)、(B)の変動を比較した。

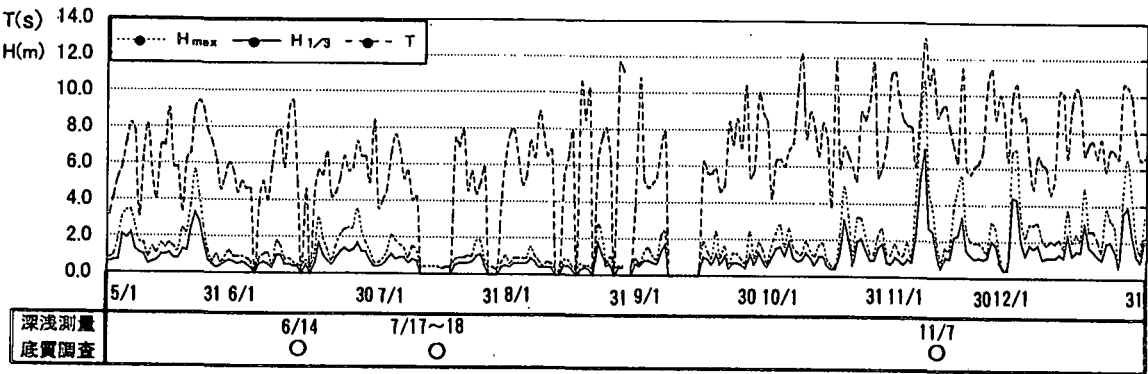
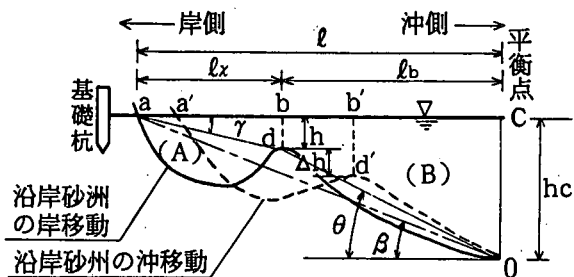


図-4 紋別沖波浪の経時変化



- (A) : 地形 a d または a' d' 上の岸側水量  
 (B) : 地形 d o または d' o 上の沖側水量  
 $\Delta h$  : 沿岸砂州頂部高の岸移動と沖移動の差

図-5 海底断面の記号と説明

表-1 より 2 つのグループにおける岸側水量と沖側水量の平均値から、沿岸砂州の岸移動の場合は、沿岸砂州の沖側移動の場合に比較して、分散および級内分散が小さいが級間分散は大きい。

表-1 相関比算出表

| 区 分     | 平均          | 分散  | 複合平均   | 級内分散 | 級間分散   | 全分散     | 相関比     |
|---------|-------------|-----|--------|------|--------|---------|---------|
| 沿岸砂州移動の | 沿岸砂州頂部の岸側水量 | 183 | 9,706  | 500  | 19,310 | 100,172 | 119,482 |
|         | 沿岸砂州頂部の沖側水量 | 816 |        |      |        |         |         |
| 沿岸砂州移動の | 沿岸砂州頂部の岸側水量 | 262 | 13,033 | 514  | 34,168 | 63,504  | 97,672  |
|         | 沿岸砂州頂部の沖側水量 | 766 |        |      |        |         |         |

また、2 つのグループの違いを相関比<sup>4)</sup>から比較してみると沿岸砂州が岸移動の場合、沿岸砂州頂部の岸側水量と沖側水量の相関比は 0.840 と高いのに対して、沿岸砂州が沖側移動の場合にその相関比は 0.650 とやや低い値を示しているが、沿岸砂州頂部を中心とする汀線と平衡点の間の漂砂量を海底上の水量から判断すると、沿岸砂州が沖側に移動した場合と岸側に移動した場合の間にはそれほど顕著な差がないものと考えられる。

## 5. 漂砂移動量と移動厚の関係

波・流れなどの外力と漂砂の移動厚との関係について、沼田<sup>5)</sup>らは外力特性は波高によって支配されるが、掃流と浮遊状態の漂砂が共存する場合、その移動層の厚さは砕波水深によって決定されると述べている。

また、灘岡<sup>6)</sup>らは、阿字ヶ浦海岸において蛍光砂を投入しコアサンプルから得られた漂砂移動厚さは砕波波高に関係するとした現地観測結果から、漂砂の移動厚さは、砕波波高のほぼ 8% 前後の値になったと述べている。

図-6(a), (b), (c) は、猿骨海岸で実測した海浜断面地形の汀線から平衡点<sup>7)</sup>までの漂砂の単位幅当りの相対移動量  $q/\sqrt{sgd^3}$  ( $q$ : 漂砂の単位幅当り移動量,  $g$ : 重力の加速度,  $S$ : 1.65,  $d$ : 中央粒径) と、沿岸砂州頂部高の高低差<sup>8)</sup>  $b'd' - bd = \Delta h$  に関する相対高低差  $\Delta h/H_b$  ( $H_b$ : 砕波波高) の関係を示したものである。

ここで沿岸砂州頂部高の高低差 ( $\Delta h$ ) は漂砂移動が最もピーク値を示す沿岸砂州頂部付近を代表個所と選定し、○印は 1975 年 6 月 ( $H_b=3.1\text{m}$ )、△印は 1975 年 7 月 ( $H_b=1.6\text{m}$ )、●印は 1975 年 11 月 ( $H_b=1.8\text{m}$ ) の場合について図示したものである。

なお、砕波波高  $H_b=3.1\text{m}$ ,  $1.6\text{m}$ ,  $1.8\text{m}$  は紋別港波浪観測記録によって決定した。

図-6(a) は、 $H_b=3.1\text{m}$  に関して、沿岸砂州頂部の相対高低差 ( $\Delta h/H_b$ ) に対する海底地形の侵食(堆積)移動量 ( $q/\sqrt{sgd^3}$ ) を示すもので、 $q/\sqrt{sgd^3}$  がほぼ  $|1 \times 10^7|$  から  $|1 \times 10^6|$  の領域に形成されており、 $\Delta h/H_b=0.10$  を中心にほぼ同数の漂砂量が左右に分布し、その範囲は  $\Delta h/H_b=(0.03 \sim 0.3)$  となっている。

図-6(b), (c) は、波高の小さい  $H_b=1.6\text{m}$  と  $1.8\text{m}$  に関するもので、漂砂の相対移動量は  $H_b=3.1\text{m}$  において形成した侵食(堆積)移動量  $q/\sqrt{sgd^3}=|1 \times 10^7| \sim |1 \times 10^6|$  とほぼ同じ領域にあり、かつ  $\Delta h/H_b=0.05 \sim 0.5$  の領域に形成されている。

以上から各々の砕波波高によって形成される沿岸砂州頂部の相対高低差 ( $\Delta h$ ) は、砕波波高  $H_b$  の 3% から 50% の範囲で生じた。

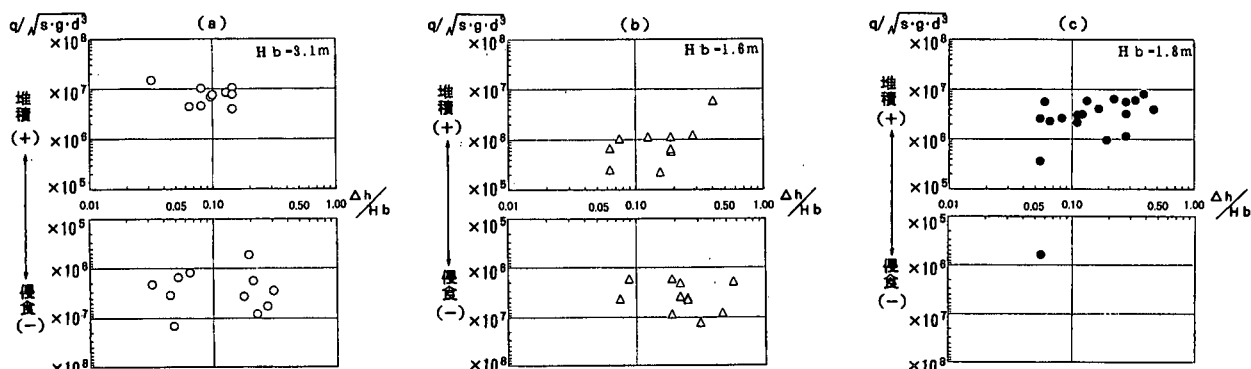


図-6  $q/\sqrt{sgd^3}$  と  $\Delta h/H_b$  の関係

図-7 は、沿岸砂州頂部の相対高低差を沿岸砂州の岸沖移動をパラメータとして示したものである。図-7 から、漂砂移動の碎波波高に対する砂州頂部の相対高低差 ( $\Delta h/H_b$ ) は、漂砂が堆積する場合には沿岸砂州が沖に移動するときよりも岸に移動するときの方が大きく、また侵食する場合には岸に移動するときよりも沖に移動するときの方が大きくなる傾向がある。

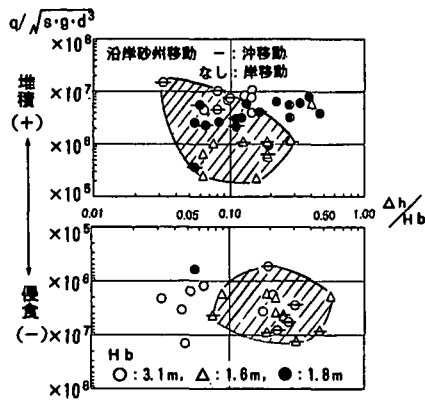


図-7 沿岸砂州移動と $\Delta h/H_b$ の関係

6. 漂砂移動と波

地形変化をもたらす要因を、海底面で顕著な地形変化が認められない平衡点における流速分布と相対水深から考察する。

図-8 は、土屋<sup>9)</sup>が提案した碎波帯外の波による底部最大水粒子速度 ( $U_{bm}$ ) を  $\sqrt{ghc}$  によって無次元化し、相対平衡点水深 ( $2\pi hc/L$ ) との関係を示したものである。図-8 から実測時における各地形での平衡点水深  $hc$  に対する相対水粒子速度 ( $U_{bm}/\sqrt{ghc}$ ) は、相対平衡点水深 ( $2\pi hc/L$ ) が増大するにつれて直線的に減少しており、その減少傾向は  $H_b=3.1m$ ,  $1.6m$ ,  $1.8m$  の場合ほぼ同じである。

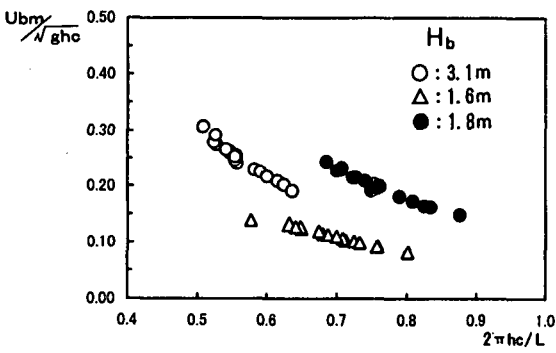


図-8  $U_{bm}/\sqrt{ghc}$  と  $2\pi hc/L$  の関係

図-9 は、アーセル数 ( $Ur=HL^2/hc^3$ ) に対して平衡点水深 ( $hc$ ) の相対水粒子速度  $U_{bm}/\sqrt{ghc}$  をパラメータ  $\sqrt{gh/\omega_0}$  ( $\omega_0$ : 沈降速度) を用いて示したものである。図

-9 よりそれぞれの碎波波高に対して、アーセル数 ( $Ur$ ) が大きくなるにつれて相対水粒子速度 ( $U_{bm}/\sqrt{ghc}$ ) も増加し、パラメータ  $\sqrt{gh/\omega_0}$  が減少することが明らかになった。

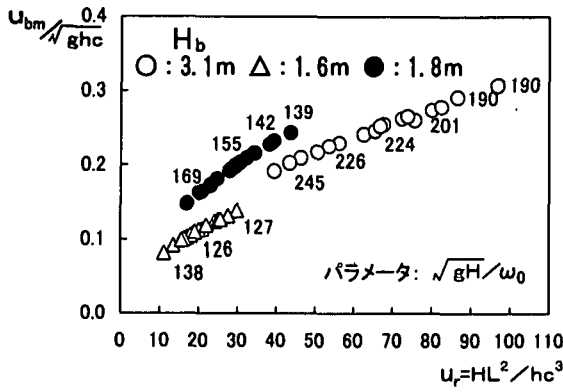


図-9  $U_{bm}/\sqrt{ghc}$  と  $Ur$  の関係

図-8 から相対水粒子速度  $U_{bm}/\sqrt{ghc}$  と相対平衡点水深  $2\pi hc/L$  の関係を

$$\frac{U_{bm}}{\sqrt{ghc}} = -\alpha \left( \frac{2\pi hc}{L} \right)^{-1} \quad (1)$$

に示することができるものとして、この式(1)を土屋<sup>10)</sup>の底部最大水粒子速度 ( $U_{bm}$ ) と深海波の波長 ( $L_0$ ) によって変換すると

$$hc \propto H \left( \frac{H}{L_0} \right) \quad (2)$$

と示される。

図-10 は式(2)を用いて各実測時点の海浜地形の平衡点水深 ( $hc$ ) を示したものである。

図-10 から、平衡点水深 ( $hc$ ) は、その地点で起こる波高 ( $H$ ) と沖波波長を用いた波形勾配 ( $H/L_0$ ) の相乗効果によって形成されることが明らかになった。

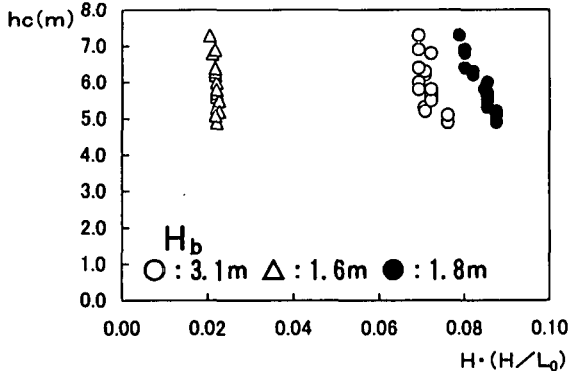


図-10  $hc$  と  $H(H/L_0)$  の関係

# 7. 沿岸砂州と海底勾配の相互関係

堀川<sup>11)</sup>らは汀線の前進・後退の境界を海浜領域の平均勾配( $\tan \beta$ )と底質粒径( $d$ ), 波長( $L_0$ )によって表わしている。また, 服部<sup>12)</sup>らは, 汀線の前進・後退を砕波点と汀線間の海浜勾配( $\tan \beta$ ), 波形勾配( $H_0/L_0$ ), 波の周期( $T$ ), 底質粒子の沈降速度( $\omega_s$ )などによって表わしている。沿岸漂砂量の大部分は, 平衡点から汀線までの移動量であることを考えれば沿岸砂州によって  $\tan \beta$  が大きく変化することが考えられるし, また海岸の波による反射率によって汀線変化率<sup>13)</sup>が変化し, そのため前浜勾配は海岸からの反射波の影響を受けることになる。

海岸に來襲する波浪は, 岸沖漂砂移動量( $q$ )の時間的な変化に影響を与える。そこで岸沖漂砂移動量 $q$ を支配する要素と考えられる海岸勾配を表現するために岸沖漂砂移動量 $q$ を侵食と堆積の2つのグループに区分した。

堆積グループでは漂砂の相対移動量  $q/\sqrt{sgd^3}$  に対し平衡点と沿岸砂州頂部を結んだ直線勾配  $\tan \theta$ , 平衡点と汀線を結んだ直線勾配  $\tan \beta$  の2つの直線勾配の比( $\tan \theta/\tan \beta$ )の関係を図-11 に示した。

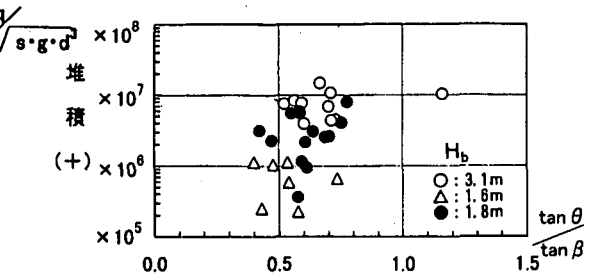


図-11  $q/\sqrt{sgd^3}$  と  $\tan \theta/\tan \beta$  の関係(堆積グループ)

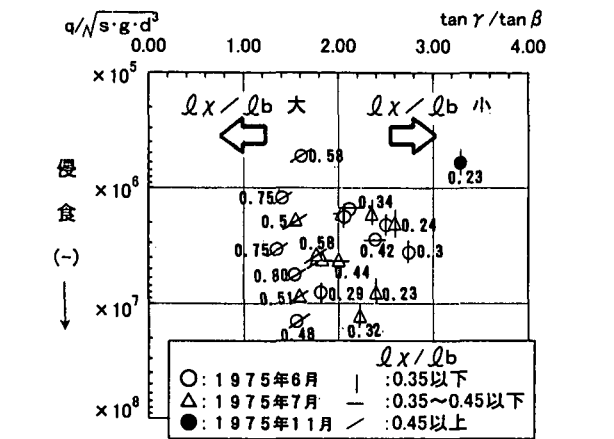


図-12  $q/\sqrt{sgd^3}$  と  $\tan \gamma/\tan \beta$  の関係(侵食グループ)

侵食グループでは, 海底勾配を汀線と平衡点を結んだ直線勾配  $\tan \beta$  と汀線と沿岸砂州頂部水深とを結んだ直線の勾配  $\tan \gamma$  の比( $\tan \gamma/\tan \beta$ )と漂砂の相対移動量

$q/\sqrt{sgd^3}$  の関係を図示したのが図-12 である。

図-11 および図-12 から侵食・堆積グループにおける海浜断面地形は, 漂砂の相対移動量( $q/\sqrt{sgd^3}$ )と沿岸砂州頂部水深( $h$ )に関係のある勾配( $\tan \gamma$ ,  $\tan \theta$ ), 沿岸砂州頂部から汀線および平衡点までの距離( $Q_x$ ,  $Q_b$ )などの関係から, 堆積グループでは砕波波高( $H_b$ )により, また侵食グループでは砂州頂部から汀線および平衡点までの距離の比( $Q_x/Q_b$ )によって区分され, それぞれのブロック内の漂砂の相対移動量( $q/\sqrt{sgd^3}$ )は次のように表現される。すなわち,

①図-11 から, 砕波波高( $H_b$ )が大きくなると漂砂量は増加する。しかし, 同一の砕波波高に対して,  $\tan \theta/\tan \beta$  が大きくなるにつれて漂砂量は減少するのが認められる。これは堆積量が増加するとき沿岸砂州頂部水深( $h$ )が浅くなるためで, 逆に沿岸砂州頂部水深( $h$ )が深くなると堆積量が減少する傾向がある。

②図-12 から, 沿岸砂州が沖移動し沿岸砂州頂部水深( $h$ )が浅くなる場合, あるいは沿岸砂州が岸移動し沿岸砂州頂部水深が深くなる場合は侵食量は一定となる。これは  $Q_x/Q_b$  が大となり, それに伴って  $\tan \gamma/\tan \beta$  が小なる場合であり, あるいは  $Q_x/Q_b$  が小となり, それに伴って  $\tan \gamma/\tan \beta$  が大きくなる場合でもある。したがって, 侵食量は沿岸砂州移動によって変化する  $Q_x/Q_b$  と  $\tan \gamma/\tan \beta$  の相互関係によって引き起こされるものと考えられる。

以上のように, 海浜断面の変形過程には沿岸砂州移動に伴う海浜勾配が大きく係わっていることが認められたので, 海浜地形の侵食・堆積グループ毎に実測断面図から  $\tan \gamma/\tan \beta$  と  $\tan \theta/\tan \beta$  の頻度分布を求めると図-13, 図-14 のとおりである。

図-13 および図-14 は, 侵食グループおよび堆積グループの  $\tan \gamma/\tan \beta$  と  $\tan \theta/\tan \beta$  の頻度分布を示したもので, 海浜の侵食と堆積の地形変化の過程で平均値( $\bar{\chi}$ )がほぼ同じになった。そこで, 海底断面の各直線勾配の関係を

$$\begin{aligned} \tan \gamma &= 2.0 \tan \beta \\ \tan \theta &= 0.6 \tan \beta \\ 0.3 \tan \gamma &= \tan \theta \end{aligned} \quad (3)$$

とすると, 沿岸砂州頂部より汀線および平衡点までの距離( $Q_x$ ,  $Q_b$ )は沿岸砂州頂部水深( $h$ )と平衡点水深( $h_c$ )によって,

$$Q_x/Q_b = 0.3h/(h_c - h) \quad (4)$$

のように与えられる。

このようにランダムな変化による非平衡状態の海浜

地形は、侵食・堆積グループとも岸沖移動する沿岸砂州頂部から汀線や平衡点をそれぞれ直線によって結ばれる勾配の比が式(3)および式(4)となったときに平衡状態つまり平衡地形が形成され、その移動形態の遷移条件を経て海浜地形は侵食領域から堆積領域へ、あるいは堆積領域から侵食領域へと比較的規則的な移動が繰り返されているものと考えられる。

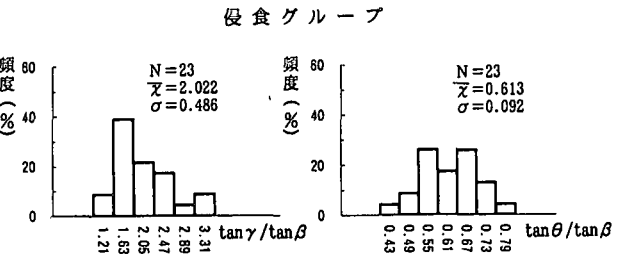


図-13 侵食グループにおける  $\tan \gamma / \tan \beta$  と  $\tan \theta / \tan \beta$  の頻度分布

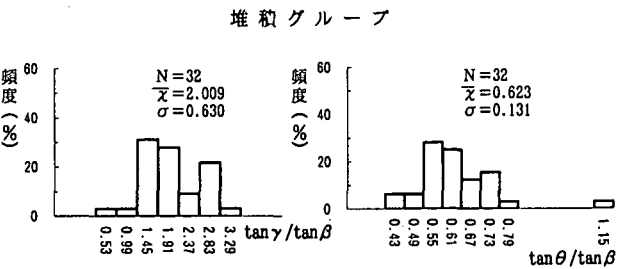


図-14 堆積グループにおける  $\tan \gamma / \tan \beta$  と  $\tan \theta / \tan \beta$  の頻度分布

## 8. むすび

現地観測データを用いて沿岸砂州の岸沖移動と漂砂移動量の関係についての定量的な検討を試みたが、その結果は次のように要約される。

- (1) 沿岸砂州頂部を中心とする汀線と平衡点の間の漂砂量を地形上の水量から判断すると、沿岸砂州が沖側に移動した場合と岸側に移動した場合の間にはそれほど顕著な差がなく、沿岸砂州頂部から岸側水量と沖側水量の相関比も比較的高い。
- (2) 漂砂移動に伴う沿岸砂州頂部の相対高低差 ( $\Delta h/H_b$ ) は、漂砂が堆積する場合には沿岸砂州が沖に移動するときの方が大きく、また侵食する場合に岸に移動するときより沖に移動するときの方が大きくなる傾向がある。さらに漂砂の相対移動量 ( $q/\sqrt{sgd^3}$ ) は  $\pm 1 \times 10^5 \sim \pm 1 \times 10^7$  の範囲で、侵食と堆積が繰り返されている。
- (3) 平衡点水深 ( $h_c$ ) は、その地点で起こる波高 ( $H$ ) と沖波

波長 ( $L_0$ ) を用いた波形勾配 ( $H/L_0$ ) の相乗効果によって形成される。換言すると、平衡点水深における波高 ( $H$ ) の 2 乗に比例し沖波波長 ( $L_0$ ) に反比例する地点は、平衡点が生ずる状態になり易い。

- (4) 海浜断面地形の過程には、侵食・堆積グループに共通する勾配になったときに平衡地形が形成され、その移動形態の遷移条件を経て海浜地形は侵食領域から堆積領域へ、あるいはその逆の移動が比較的規則的に繰り返されているものと考えられる。
- (5) 沿岸砂州頂部より汀線および平衡点までの距離  $Q_x$  および  $Q_b$  は、沿岸砂州頂部水深  $h$  と平衡点水深  $h_c$  によって、

$$Q_x / Q_b = 0.3h / (h_c - h)$$

の式で与えられる。

謝辞：本研究を行うにあたり、北海道開発局紋別港湾建設事務所並びに北海道稚内土木現業所から貴重な資料を提供して頂いた。ここに記して深く謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 久宝雅史, 戸巻昭三: 海浜横断面の平衡点について, 第 28 回海講論, PP. 247~250, 1981.
- 2) 北海道開発局紋別港湾建設事務所編: 紋別港波浪観測台帳(昭和 50 年), 1976.
- 3) 戸巻昭三, 竹沢三雄: 現地観測による汀線と沿岸砂州の移動過程について, 海洋開発論, vol. 14, PP. 173~178, 1998.
- 4) 鈴木義一郎著: データ解析術, PP. 30~34, 実教出版, 1982.
- 5) 沼田恵昭, 西根秀平, 内海泰幸, 井上雅夫: 海浜断面の領域区分と相似率, 第 39 回海講論, PP. 326~330, 1992.
- 6) 難岡和夫, 田中則男, 加藤一正: 蛍光砂を用いた碎波帯内における局所的砂移動の観測, 港技研報告, vol. 20, No. 2, PP. 75~126, 1981.
- 7) 前出 1)
- 8) 前出 6)
- 9) 土屋義人, 安田孝志: 海浜変形の簡単なモデル, 第 25 回海講論, PP. 189~193, 1978.
- 10) 前出 9)
- 11) 堀川清司, 砂村継夫, 近藤浩右, 岡田滋: 波による二次元汀線変形に関する一考察, 第 22 回海講論, PP. 329~334, 1975.
- 12) 服部昌太郎, 川又良一: 碎波帯内の海浜変形過程, 第 25 回海講論, PP. 218~222, 1978.
- 13) 前出 3)