

現地観測による汀線と沿岸砂州の移動過程について

Moving process of the shoreline and sand bar under field measurements.

戸巻昭三* 竹沢三雄**
Shozo Tomaki Mitsuo Takezawa

It is described in this paper that the classification moving to on-offshore of sand bar relates to the reflection coefficient of waves from shoreline, and the movement of sand bar is decided by the shoreline change rate and the topography change rate between shoreline and stable point not having the remarkable movement of sand near the wave breaking point on beach profile obtained from sounding.

Keywords : shoreline, sand bar, reflecton coefficient, topography change.

1. はじめに

海岸地形は、長短さまざまな時間スケールにおいて自然の外力により形成されたものであり、そのうち海浜の短期的な変形過程は、季節的変化と経時的な波浪変化に起因することが多い。

波による外浜帯における海浜変形に関しては、従来より多くの研究^{1) 2)}がなされてきているが、現地海岸での長期間観測されたデータを用いて沿岸砂州の岸・沖方向への移動と海岸の汀線変化の関係について研究された例は少ない。

本研究は、現地で実測した海浜断面地形のデータを用いて、沿岸砂州の岸・沖方向への移動区分と海岸からの波の反射率との関係、および汀線変化率と汀線から砕波点近傍で砂の移動が顕著でなくなる平衡点水深^{3) 4)}までの海底地形変化率によって支配される沿岸砂州の岸・沖方向への移動区分の関係を明らかにしたものである。

2. 現地調査および海象条件

調査区域は、図-1に示すように北海道胆振海岸と日高海岸を両翼にもつ典型的な緩い弧状の湾奥に位置する苫小牧港東港区の砂浜海岸で、海底勾配は1/100~1/200の遠浅海岸である。そしてその海浜部には標高5~9mの海岸段丘が連続している。

調査対象である苫小牧港東港区の海岸延長は21.5kmであり、本研究の深浅測量による地形図^{5) 6)}は、昭和47年3月、8月、48年2月、8月、12月の5回実測したものである。深浅測量は、測定間隔1,000m (250m×4測線) の19測線であり、本研究は、沿岸砂州が存在する72の海浜断面地形より汀線と沿岸砂州の移動過程について考察した。

一般に深浅測量は、測量範囲が広く、かつ厳しい海象条件を避けて実施されるため時化の直後、間を入れずに調査することから、実測図には波浪による海底変動直後の有意な地形変化が表示されているものと考えられる。

短期的な海浜変形に作用した波の諸元については、実測時の海浜断面地形が深浅測量当月と前月のうち約2日間連続して生じた異常波浪の最大の有義波($H_{1/3}$)に起因す

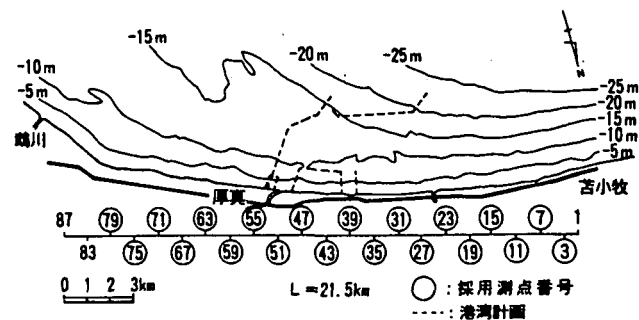


図-1 調査地域

表-1 海浜地形変化を及ぼした波浪条件

測量年月	擾乱期間	想定波浪			換算波浪			説 明
		Ho	Lo	Ho/Lo	Hb	Lb	Hb/Lb	
47年/3月	2.10~2.30	(m)	(m)		(m)	(m)		異常波浪期間の最大有義波を平均した
	2.13~2.21	4.4	213.5	0.021	2.65	65.50	0.040	
	2.26~3.20							
47年/8月	7月~8月	2.2	134.9	0.016	2.52	50.20	0.050	2.0日間連続した波浪の最大有義波を平均した
48年/2月	1.17~1.21 2.21~2.26	2.3	67.9	0.034	2.27	33.30	0.068	47/3の説明と同じ
48年/8月	7月~8月	1.5	94.9	0.016	1.73	35.00	0.049	47/8の説明と同じ
48年/12月	11. 9~11.12 11.16~11.18	2.6	67.9	0.038	2.51	34.83	0.072	47/3の説明と同じ

* 正会員 (株)クマシロシステム設計
** 正会員 日本大学理工学部土木工学科 教授

るものとし、その波浪条件を波浪観測台帳から求めた。

すなわち、昭和47年、48年の各1年間において波高計により最高3.0m以上の波高が観測された日を異常海象と定義し、その擾乱期間と波浪諸元などをまとめた波浪観測台帳から表-1に示すように波浪条件を抽出し、波浪諸元とした。

なお想定した波の諸元(H_0 , L_0)と砕波波高(H_b)および砕波波長(L_b)の関係は図-2のとおりである。なお、これらの波浪観測記録は、調査地域に隣接した苫小牧港西港区の沖合2km(水深20m)に設置した波高計で実測されたものである。^{5) 6)}

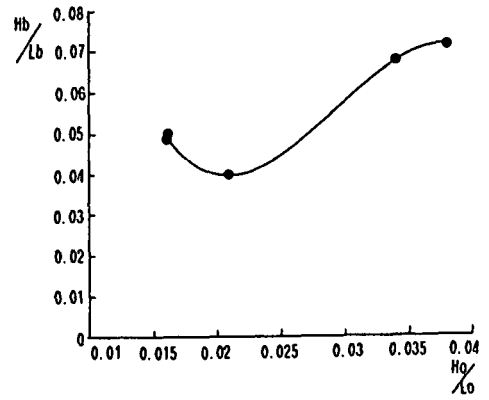


図-2 沖波と砕波の関係

3. 海浜形状の移動過程

3. 1 海浜形状と汀線底質粒径

海岸に押し寄せる波は、砂浜への遡上、反射、もどり流れを繰返しながら、次第に海浜を変形させる。

その平面的な海浜変形は、図-3に示すようにラージカスプの中に偏平なビーチカスプが形成されており、この形状は調査した2ヵ年間に岸沖方向へ最大50m程度の移動はあるものの、左右への移動は殆ど認められなかった。一方、基線から沿岸砂州頂部までの位置関係は、海岸のラージカスプ区間では実測月別によって岸方向に接近する大きな移動がみられる。これはカスプのapex⁷⁾から沿岸砂州頂部に向けてのもどり流れとそれに伴う循環流によるもので相対的に沿岸砂州の平面形状を海岸線と非常に類似した形状にさせているものと考えられる。

また、図-3の測点毎の汀線における底質の中央粒径 d_{50} 値は、汀線形状と沿岸砂州頂部形状の凸部や凹部の位置関係と非常に類似している。すなわち、カスプのapexに相当する部分には、波が集中して粒径が淘汰されて大きくなっており、カスプのbayは逆に底質の粒径が小さくなっている。

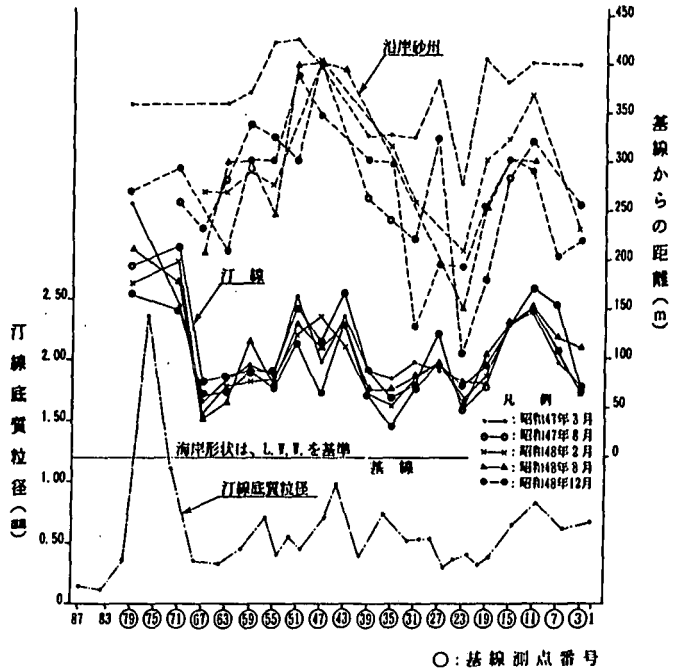


図-3 基線から水際線および沿岸砂州頂部までの距離と汀線底質粒径

3. 2 波の反射率と海浜

(1) 底質粒径と反射率

海浜変形に関わる外力の一つとして海岸からの波の反射率(γ)がある。海浜勾配($\tan \beta$)と反射率(γ)の関係について底質粒径の影響をみるため、全測線のうちから中央粒径(d_{50})に対応した測線の海浜勾配を選び、図-3に示す中央粒径 $d_{50}=0.32\sim 0.38\text{mm}$ に対しては7測点(測点番号15, 19, 23, 39, 63, 67, 79)、 $d_{50}=0.52\sim 0.54\text{mm}$ に対しては3測点(測点番号27, 31, 51)、そして $d_{50}=0.70\sim 0.97\text{mm}$ に対しては4測点(測点番号7, 35, 43, 55)について海浜勾配($\tan \beta$)と反射率(γ)の関係を求めると図-4のように示される。なお、現地海岸での反射率は、Battjes⁸⁾の波の反射率(γ)

$$\gamma = 0.1 \tan^2 \beta / H/L$$

から求め、海浜勾配($\tan \beta$)は汀線以深の斜面勾配(β)とし、沖波波高(H_0)から砕波波高(H_b)を、沖波波長(L_0)から砕波波長(L_b)を図-2によって換算して用いた。その結果、底質粒径(d_{50})による反射率(γ)と海浜勾配($\tan \beta$)との関係は、底質粒径の影響が非常に小さいことが明らかになった。

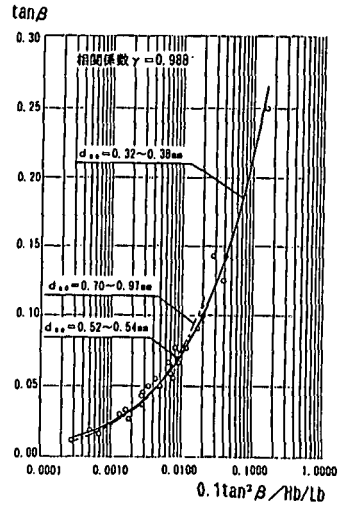


図-4 前浜勾配と反射率の関係

(2) 沿岸砂州移動と反射率

沿岸砂州の発達過程と形成位置について、砂村⁹⁾は、規則波を用いた模型実験から、時間の経過とともに沿岸砂州が全体的に沖方向に徐々に移動し、最終的には棚状の地形へと発達し、このような沿岸砂州の沖方向移動と

は逆に、波浪や底質の条件によっては岸方向へ移動することもあると述べている。また、宇多¹⁰⁾は現地海岸における事例として、高知海岸において何れの測線の場合も沿岸砂州が徐々に岸方向へ移動し、最終的に滑らかな断面形へ移行したが、このような大規模な沿岸砂州の形成と消失には約5年という長いタイムスケールを要したことは注目されると述べている。

現地調査した苫小牧海岸の沿岸砂州の発達過程は、模型実験や他の現地観測結果の事例に近い結果が得られているが、図-3に示された結果のように沿岸砂州の形成は、海浜の波による汀線変形過程と類似性があるものと考えられる。

図-5は、汀線から沿岸砂州頂部までの距離(ℓ_x)と碎波波長(L_b)との比を相対距離(ℓ_x/L_b)とし、海岸からの波による反射率(γ)との関係に海浜断面地形図の各測線毎の沿岸砂州の岸・沖移動の方向をパラメータにして示したものである。

なお、図中の○印は、沿岸砂州が形成された状態から沖方向に移動した場合、●印は岸方向に移動した場合、●印はそのまま継続した場合を示したもので、かなりのばらつきはあるものの、海底地形変化の様相を大きく変化させる沿岸砂州の岸・沖方向への移動限界は、図中の直線でその領域がおおよそ区分でき、海岸からの波の反射率は沿岸砂州の移動過程にかなり影響を与えるものと考えられる。

図-6(a), (b), (c)は、昭和47年3月から昭和48年12月までの5回にわたる深淺測量結果のうち、測線11, 19, 55の海浜断面地形であり、沿岸砂州の最大の移動距離は、測線19において昭和47年3月～8月の5ヵ月間の220mであった。

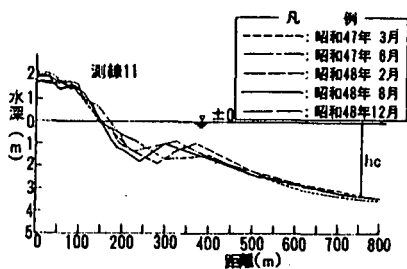


図-6(a) 測線11の海浜断面地形

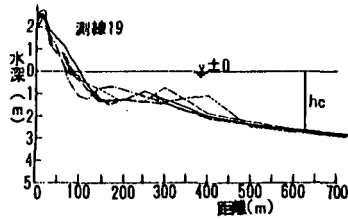


図-6(b) 測線19の海浜断面地形

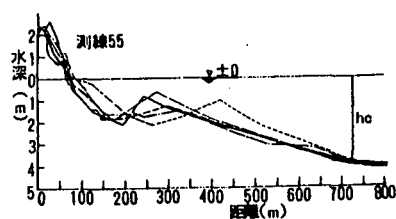


図-6(c) 測線55の海浜断面地形

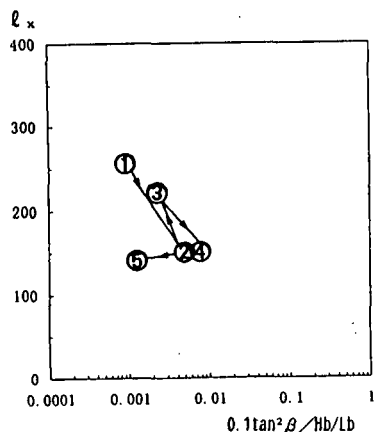


図-7(a) 測線11の沿岸砂州移動過程

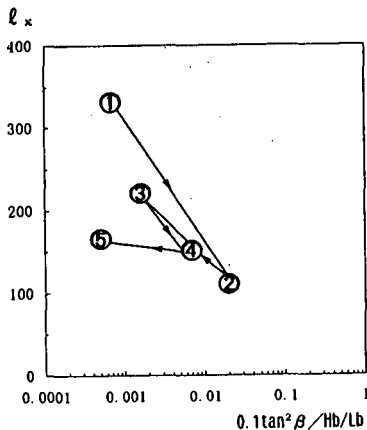


図-7(b) 測線19の沿岸砂州移動過程

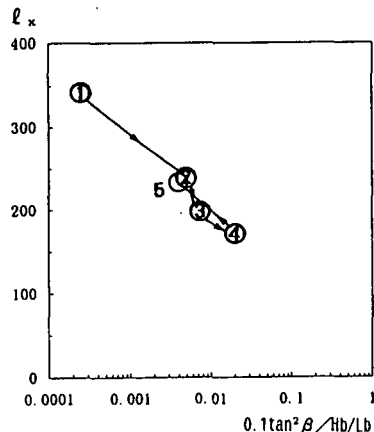


図-7(c) 測線55の沿岸砂州移動過程

図-7(a), (b), (c)は、測線11, 19, 55の海浜断面において、汀線から沿岸砂州頂部までの距離(ℓ_x)と沿岸砂州が形成した時の反射率(γ)の関係を示したものであり、昭和47年3月における実測結果を①とし、昭和47年8月, 昭和47年2月, 昭和48年8月, 昭和48年12月と順次②, ③, ④, ⑤までの沿岸砂州移動過程を追跡した結果、沿岸砂州は汀線に接近するにつれて海岸からの波による反射率が增大し、また、沿岸砂州が汀線より遠ざかるにつれて反射率が減少する傾向にある¹¹⁾。

(3) 汀線変化と反射率

図-8は、沿岸砂州の形成に影響を及ぼしていると思われる汀線変化率 $(a_0 - a)/a$ と海岸からの波による反射率 (γ) の関係である。

ここで、 a_0 は基準点から初期汀線までの距離、 a は基準点から移動後の汀線までの距離である。また、図中の○は沿岸砂州が形成された状態から沖方向に移動した場合、●は岸方向に移動した場合、①はそのまま継続した場合である。

図-8から明らかなように、この場合も1つの直線によって沿岸砂州の岸・沖方向への移動

が区分されるが、境界線の左下では汀線が前進すると反射率も小さくなって、沿岸砂州の沖方向への移動が多く生じ、逆に直線の右上では汀線が後退すると沿岸砂州が岸方向へ移動し、反射率が大きくなる傾向がある。

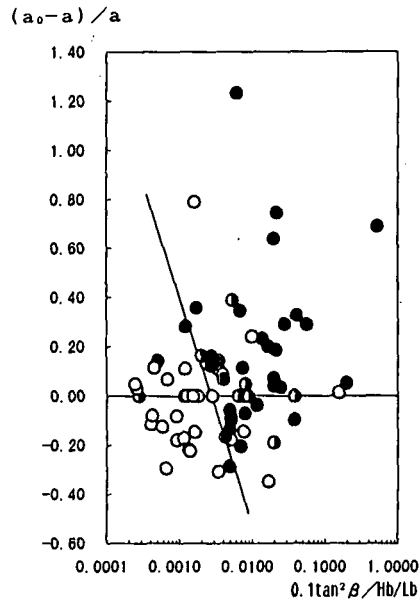


図-8 汀線変化率と反射率の関係

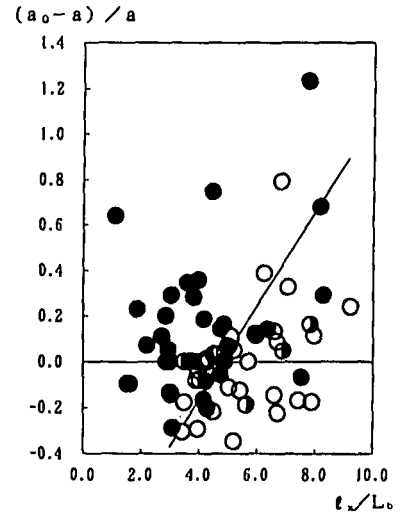


図-9 相対距離と汀線変化率の関係

(4) 汀線変化率と沿岸砂州移動の関係

一般に波の作用による汀線付近と碎波帯やその沖側における砂の移動に伴う地形変化は、基本的に沿岸砂州の形成と前浜移動の過程が連動しながら、波の作用に対して極めて柔軟に応答している。

図-9は、沿岸砂州の岸・沖方向の移動と連動する汀線の前進と後退を汀線変化率 $(a_0 - a)/a$ とし、沿岸砂州の相対距離 (l/L_0) との関係を図-8と同様に沿岸砂州の岸・沖方向の移動をパラメータにして示したものであり、沿岸砂州の岸・沖方向移動の境界は概ね一つの直線で区分できる。

すなわち、汀線の前進・後退があってもこの境界線の左上部では、沿岸砂州は岸方向に移動し、逆に直線の右下では沖方向に移動することが明らかになった。

3. 3 汀線付近の海浜勾配と平衡点付近の海底勾配の関係

図-10は、現地データを用いて、汀線より岸側の波の遡上に関係する勾配 $(\tan \alpha)$ 、汀線より沖側の海浜勾配 $(\tan \beta)$ 、および海底において砂の移動が顕著でなくなる地点(平衡点水深 $^{3)4)} h_c$)における海底勾配 $(\tan \theta)$ の関係を汀線の前進・後退をパラメータにして示したものである。図から汀線の前進・後退に関係なく $\tan \beta / \tan \theta$ の値が大きくなるにつれて、 $\tan \alpha / \tan \beta$ の値が小さくなり、 $\tan \beta / \tan \theta = 8.00$ より大きくなると $\tan \alpha / \tan \beta$ がほぼ1.0に収束する。

図-11は、汀線付近の海浜勾配 $\tan \alpha$ 、 $\tan \beta$ について現地調査の海浜地形図より求めた頻度分布であり、

最多頻度は、 $\tan \alpha = 0.08 \sim 0.10$,

$\tan \beta = 0.04 \sim 0.06$,

平均は、 $\tan \alpha = 0.082$,

$\tan \beta = 0.059$

である。

このうち、 $\tan \alpha$ および $\tan \beta$ の平均値は加藤¹²⁾が香川県津田港海岸で推定した荒天時の前浜勾配1/15に近い値を示している。

また、図-12の汀線変化 $(a_0 - a)$ の頻度分布から、当海岸の前進・後退量の平均値は共に約17.0mで、合計34.0mの移動範囲をもった平衡性の海岸であることが認められた。

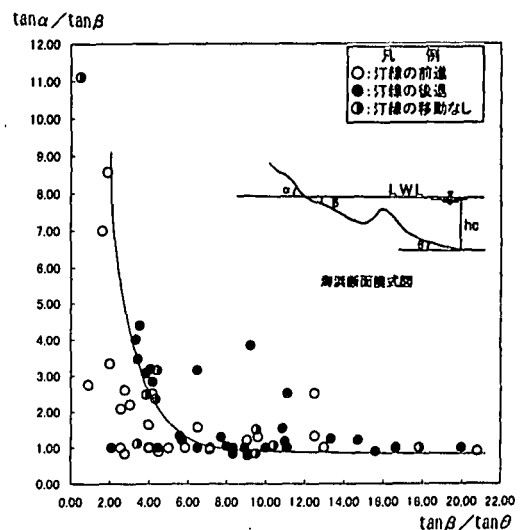


図-10 海浜勾配と汀線移動の関係

3. 4 沿岸砂州形成過程と汀線変化率および海底地形変化率の関係

図-13は、沿岸砂州形成過程を汀線変化率 $(a_0 - a)/a$ と海底地形変化率 $(v_0 - v)/v$ によって示したものである。

ただし、 V_0 ：汀線から平衡点までの海底と海水間の単位幅当りの海水体積、 V ：汀線変化後の海水体積であり、汀線変化率は沖方向に前進する場合を(-)、岸方向に後退する場合を(+)とし、また、海底地形変化率は(-)になれば侵食、(+)になれば堆積を示す。

表-2は、図-13および図-14の沿岸砂州の形成過程を説明したもので、汀線と海底地形の変化率によって第2象限では汀線の後退と海底地形の侵食、第4象限では汀線の前進と海底地形の堆積が示され、また第1象限と第3象限では、汀線の後退と海底地形の堆積および汀線の前進と海底地形の侵食が示される。図-13から明らかなように、沿岸砂州の移動に関する地形変化率は、 $|1 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^{-2}|$ で大部分形成され、また、汀線変化率も大部分が $0 \sim |0.4|$ の範囲にある。しかし、第1・第2象限の汀線変化率が第3・第4象限よりやや大きいのは、沿岸砂州の岸への移動や汀線が後退する時には、図-7および図-8に示すように、海岸からの波の反射率の影響が前進する時よりも大きいことによるものと推定される。

図-14は、沿岸砂州を形成した当初の象限から他の象限へ前進・後退、あるいは海底地形の堆積・侵食があった場合の移動数の累計をそれぞれ対応する象限毎に示したものである。ただし、当初に引き続き次の実測時点で沿岸砂州が移動しなかった場合は、移動数の累計には含まれていない。図-14から各象限間の沿岸砂州の移動に関する汀線変化率と海底地形変化率の関係を示すと表-3のとおりである。すなわち、汀線変化の前進・後退および海底地形変化の侵食・堆積という過程の中で存在している沿岸砂州が、波浪により海浜変形が生じようとするときは、異なる性質を持った象限に遷移し、沿岸砂州を形成する。

例えば、汀線の後退と海底地形の侵食を生じる第2象限にあった沿岸砂州は次の実測時点で第1・第3・第4象限で沿岸砂州が生ずることになる。

表-2 沿岸砂州の形成過程

象 限	汀 線 変 化		海 底 地 形 変 化		各 象 限 に お け る 沿 岸 砂 州 の 形 成 過 程
	後 退	前 進	堆 積	侵 食	
第 1	○		○		第1象限にない汀線の前進と海底地形の侵食の軸となる構成要素を持つ第2・3象限からの沿岸砂州の移動があると、汀線の後退と海底地形が堆積する第1象限にやや岸向きの多い沿岸砂州が形成する。
第 2	○			○	第2象限は、すべての象限からの沿岸砂州移動があるため、逆に砂州移動が遷移状態になる。汀線後退と海底地形の侵食の相乗効果により殆どの沿岸砂州は岸向きとなる。
第 3		○		○	第3象限には汀線の後退と海底地形の堆積の構成要素がなく、それを持った第1象限からの沿岸砂州移動がある。やや沖向きの多い沿岸砂州が形成する。
第 4		○	○		第4象限は、第2象限と全く逆で汀線の前進と海底地形の堆積の構成要素となっているので、殆ど第2象限からの沿岸砂州移動である。その結果、沖向きの多い沿岸砂州が形成する。

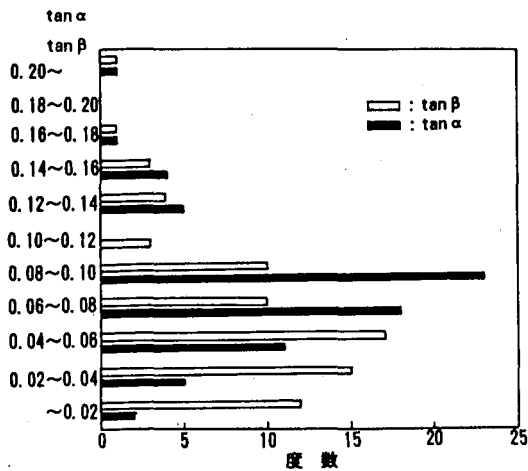


図-11 $\tan \alpha$ 、 $\tan \beta$ の頻度分布

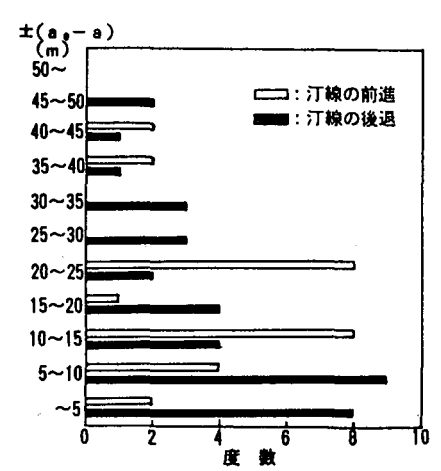


図-12 $(a_0 - a)$ の頻度分布

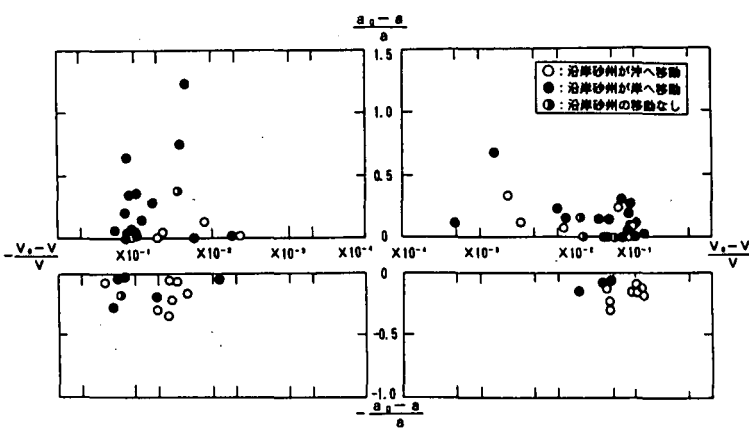


図-13 汀線変化率と海底地形変化率の関係

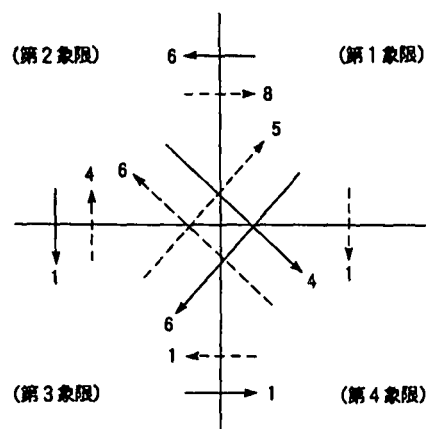
表－3 各象限間の沿岸砂州移動に関する汀線変化率と海底地形変化率の関係

象限間移動と変化率の相互関係	移 動 象 限	沿岸砂州の移動状況と汀線変化率の関わり
① 汀線変化と海底地形変化率が共に相反する関係を有する象限間移動の場合	第1象限 → 第3象限	多 い (汀線が前進) (6)
	第1象限 ← 第3象限	多 い (汀線が後退) (5)
	第2象限 → 第4象限	多 い (汀線が前進) (4)
	第2象限 ← 第4象限	多 い (汀線が後退) (6)
② 海底地形変化率が相反する関係を有する象限間移動の場合	第1象限 → 第2象限	多 い (汀線が後退) (6)
	第1象限 ← 第2象限	多 い (汀線が後退) (8)
	第3象限 → 第4象限	少 ない (汀線が前進) (1)
	第3象限 ← 第4象限	少 ない (汀線が前進) (1)
③ 海底地形変化率が共に堆積の関係を有する象限間移動の場合	第1象限 → 第4象限	少 ない (汀線が前進) (1)
	第1象限 ← 第4象限	移動なし (汀線が後退) (0)
④ 海底地形変化率が共に侵食の関係を有する象限間移動の場合	第2象限 → 第3象限	少 ない (汀線が前進) (1)
	第2象限 ← 第3象限	多 い (汀線が後退) (4)

4. むすび

現地調査結果から汀線と沿岸砂州の移動過程についての定量的検討を試みたが、その結果は次のように要約される。

- 1) 前浜勾配($\tan \beta$)と海岸からの波の反射率(γ)との相関関係は高く、砂の中央粒径(d_{50})による反射率(γ)への影響は小さい。
- 2) 反射率(γ)と沿岸砂州頂部までの相対距離(l_z/L_0)および汀線変化率($(a_0 - a)/a$)との関係から、沿岸砂州の岸沖方向の移動が区分でき、さらに l_z/L_0 と $(a_0 - a)/a$ との関係からも同様に区分できた。
- 3) 汀線付近の荒天時における前浜勾配 $\tan \alpha$ 、 $\tan \beta$ は $1/12 \sim 1/17$ となった。
- 4) 汀線変化率と海底地形変化率との関係から、沿岸砂州の形成過程を把握することができた。



図－14 各象限間の沿岸砂州移動

参 考 文 献

- 1) 堀川清司：漂砂論，1965年度水工学に関する夏期研修会講義集，B，1965。
- 2) 岩垣雄一：海岸侵食論，1966年度水工学に関する夏期研修会講義集，B，1966。
- 3) 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。
- 4) 久宝雅史・戸巻昭三：海浜断面変化と平衡点との相互関係について，第31回海講論，PP.436～440，1984。
- 5) 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47年度），1972。
- 6) 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48年度），1973。
- 7) 玉井佐一：海浜流と海浜地形，1977年水工学に関する夏期研修会講義集，B，1977。
- 8) Battjes, J. A. : Surf similarity, Proc. 14th Conf. on Coastal Eng., 1974。
- 9) 砂村継夫：沿岸砂州の形成位置と規模，第32回海講論，PP.331～335，1985。
- 10) 宇多高明：波による移動限界水深を定める代表波の選定，海岸実務講義集，PP.25～35，1989。
- 11) 服部昌太郎・川又良一：海岸堤防による二次元海浜の地形変化，第23回海講論，PP.234～239，1976。
- 12) 加藤一正：ふるさと海岸創造へのアプローチ，みなとの防災 106号，PP.59～65，1990。