

石狩湾新港周辺海浜の性能評価について

EVALUATION OF CROSS-SECTION AROUND THE NEW PORT OF ISHIKARI BAY

戸巻 昭三¹ ・ 竹沢 三雄²

Shozo TOMAKI and Mitsuo TAKEZAWA

¹正会員 工博 株式会社クマシロシステム設計 (〒060-0807 札幌市北区北7条西2丁目8)

²フェロー会員 工博 日本大学教授 理工学部土木工学科 (〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8)

The relationship among shorelines, sand bars and stable points of the sandy beach on the field survey result around the new port of Ishikari Bay was discussed in this paper. Conclusions are as follows: (1) The volume of erosion is the maximum at the wave steepness $H_0/L_0=0.030\sim 0.035$. (2) The on-offshore movement of sand bar is influenced by the position of sand bar crest at the windward of harbor, and the shoreline is moving with the sand bar at the leeward of harbor. (3) The site of the artificial reef is decided by the scale and the position of sand bar.

Key Words: shoreline, bottom slope, cross-section, geographical feature, sand bar,

1. はじめに

来襲する波浪などによって、砂浜の形状は常に変化しており、海岸断面形状とともに砂浜の汀線変化などの研究にあたっては、沿岸砂州の移動に注目する必要がある。

堀川¹⁾は、沿岸砂州は高波浪によって汀線付近から運搬されてきた砂の一時的な貯蔵庫であると同時に、波および流れに対して一種の可動の障害物としてはたらくため、この種の沿岸砂州の挙動は海浜地形の問題を動的に取り扱う上で極めて重要な意味を持つと述べている。

本研究は、石狩湾新港の上手側(R側)、下手側(L側)海岸の現地調査結果をもとに、汀線から海岸断面地形が安定する地点²⁾(stable point)の間で形成される沿岸砂州の岸沖移動と、断面地形の侵食・堆積等の相互関係について検討したもので、石狩湾新港周辺の海浜に本来から備わっている沿岸砂州の性質を明らかにした。

本研究で取り上げる石狩湾新港周辺の海岸を、茂木³⁾、小池⁴⁾、田中⁵⁾らは日本でも有数な安定的な海岸であると指摘している。石狩海岸の漂砂源となる石狩川の流出土砂量は、年間80万 m^3 と推定⁶⁾され、河口付近では比較的粗粒径が堆積し、浮遊砂は河口を中心に10~30kmと広い範囲に分布する。しかし、石狩川の流れは湾の東側海岸沿いに北上するのが正常の状態で、湾奥部の石狩海岸では特に顕著な沿岸流は見られず、弱い東流・西流が不規則に存在

し、南西流が発生した場合は漂砂を輸送させるであろうと石狩湾新港の建設調査⁷⁾結果では述べている。

その石狩海岸に大規模港湾建設後、その周辺海浜はどのように変わっていったのかを港湾の周辺海浜約7000mにおいて、港湾の影響を直接受ける領域、殆んど受けない領域、そしてその中間の領域に区分し、汀線変化を領域毎にコレログラム⁸⁾を用いて評価を行った。

さらに本研究では、石狩湾新港周辺海岸において、短周期の変動による海浜勾配、汀線変化、沿岸砂州の岸沖移動に伴う地形変化を、沿岸砂州頂部を中心に、その前後の海浜地形などについて評価するものである。

2. 現地調査の範囲

(1) 現地の概要

現地調査地点の石狩湾新港は、図-1に示すように北海道の日本海に面する石狩湾奥に位置し、その周辺の砂浜海岸は、銭函から知津狩まで途中石狩川河口をはさんで約24kmにわたって海浜が連続している。石狩湾の海底地形は水深20mまでその等深線が湾奥地形とほぼ平行し、その海底勾配は比較的緩やかで遠浅の形状である。そして石狩湾は、その開口部がNW方向に向いており、日本海からの高波浪はこのNW方向から入射する。

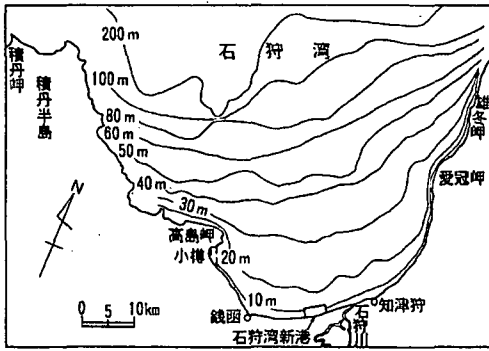


図-1 石狩海岸の位置図⁸⁾

(2) 現地調査の範囲

調査の対象区域⁸⁾は、図-2に示すように石狩湾新港により海浜地形が影響を受けるとされる東防波堤より右側(R側)3,500mの範囲と、西地区埋立護岸より左側(L側)3,500mの範囲の海岸とし、1984年から1991年までの8年間(年2回7月~8月,12月)の16回にわたって深淺測量が行なわれた。そして、それぞれ3つの領域(R側海岸:第1領域R-0, R-2, 第2領域R-4, R-6, 第3領域R-8, R-10, L側海岸:第1領域L-21, L-23, 第2領域L-25, L-28, 第3領域L-30, L-33)に区分し、R側72測線, L側80測線による海岸断面地形を作成した。

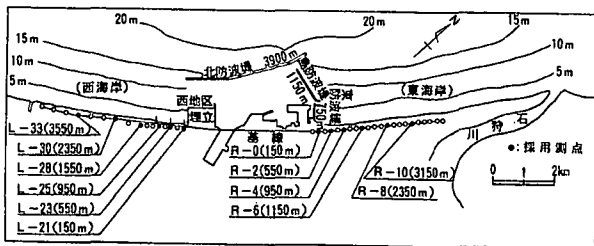


図-2 石狩海岸の調査範囲⁸⁾

3. 波浪条件

石狩海岸の波浪は、石狩湾新港沖合5kmの地点(水深24m)で北海道開発局⁹⁾により観測されている。図-3は、この観測から得られた観測期間5ヶ年(1989~1993)の波向別波高($H_{1/3} \geq 3.0m$)の出現頻度である。

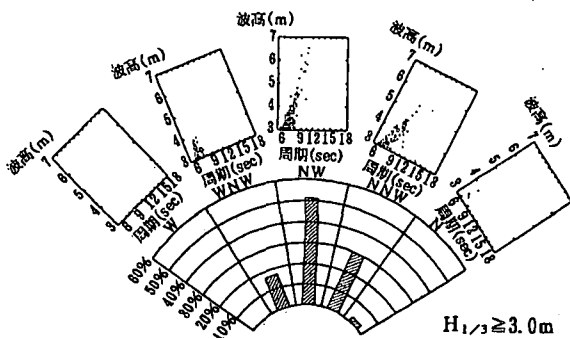


図-3 石狩海岸波向別波高出現の頻度分布⁸⁾

図-3より、最多頻度の波向は海岸に直角方向(NW)51%、港湾のR側海岸に関係の深いNNW~N方向は32%、L側海岸に対してはWNW方向の17%である。

R側海岸には連続した東防波堤と島防波堤1900mが設置され、さらに島防波堤先端から300mの沖合に北防波堤3900mが設置されている。一方、L側海岸には西地区埋立護岸600mが沖側に突き出していて、その沖合900mに北防波堤が存在する。したがって、これら構造物築設の影響により沿岸漂砂は阻止されて、現在、R側海岸は堆積傾向にあり、L側海岸では侵食傾向にある。

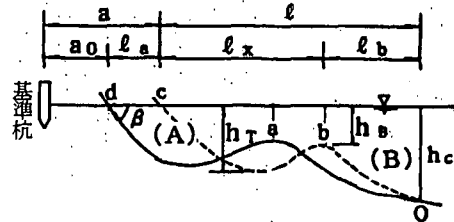
4. 沿岸砂州移動による地形変化

(1) 波浪条件と地形変化

海浜の縦断形状の変化の過程を、岩垣・野田¹⁰⁾は波および海底の底質の特性を考慮し、沿岸砂州の発生限界を求めた。一方、砂村・堀川¹⁰⁾は、海浜全体の断面地形を侵食型、中間型、堆積型の3つに分類し、沿岸砂州の有無と汀線の前退・後退とは必ずしも一致しないと述べている。

現地における海岸断面の実測結果から、漂砂移動の大部分は汀線から海岸断面地形が安定する地点(stable point)までの間で行われており、そのうち海浜地形に大きな影響を及ぼす土砂変動は、汀線と沿岸砂州付近に集中していることは、深淺測量図から定量的に把握された。

このような地形変化の著しい沿岸砂州周辺全体の断面地形を、図-4に示す地形上の水量に関連する断面積(A),(B)と波浪の関係から検討してみる。



- (A): 地形 a d または b c 上の岸側水量に関連する断面積
- (B): 地形 a o または b o 上の沖側水量に関連する断面積

図-4 海岸断面の記号と説明(模式図)

なお、図-4の海岸断面において

a_0 : 基準杭から初期断面地形の汀線までの水平距離

a : 基準杭から変形後の汀線までの水平距離とし、汀線変化率¹¹⁾ ($S = (a_0 - a) / a > 0$ の場合、汀線は後退し、 $S < 0$ の場合、汀線は前進する。

1984年から1991年までの8年間(年2回)にわたり、計16回の断面地形とその間の波浪調査を行ったが、深淺測量の実測当月と前月のうち、約2日間連続して生じた異常波浪の最大有義波浪($H_{1/3}$, $L_{1/3}$)を代表波浪⁸⁾とした。16回の深淺測量と関連づけた波浪観測による波の諸元(H_0 , L_0)および

(H_b , L_b) の関係は、図-5のとおりである。

ただし、沖波波高は $H_0 \approx H_{1/3}$ 、沖波波長 $L_0 \approx L_{1/3}$ であり、砕波波高 H_b および砕波波長 L_b は砕指標より求めた。

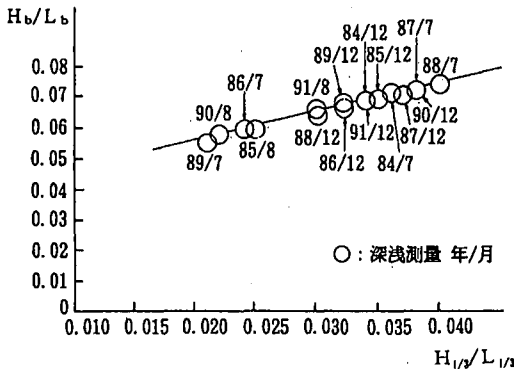


図-5 沖波と砕波の関係⁹⁾

16回の深浅測量と関連づけた波浪観測値の沖波波形勾配(H_0/L_0)を0.020~0.025, 0.025~0.030, 0.030~0.035, 0.035~0.040の4つのクラスに区分し、実測した断面地形数を表-1に示すように配分した。図-6は、地形上の水量に関連する断面積(A+B)の平均値を、R側海岸とL側海岸について示したものである。なお港湾に近接するR側海岸の領域(R-0, R-2)およびL側海岸の領域(L-21, L-23)は、港口の遮蔽域に向かって形成される海浜循環流が卓越し、さらに沿岸流を遮るよう防波堤が存在することにより、海岸断面地形が安定する地点(stable point)は次第に沖方向にその位置が移動する。したがって、その領域の断面地形上の水量に関連する断面積(A+B)は各領域全体の断面地形の比較に統一を欠くことになるので省いた。

表-1 波形勾配と海浜断面数

区分	波形勾配 (H_0/L_0)				計
	0.020~0.025	0.025~0.030	0.030~0.035	0.035~0.040	
L側海岸	16	6	8	18	48
R側海岸	16	5	4	15	40

図-6から、R側海岸、L側海岸ともに断面地形は沖波波形勾配(H_0/L_0)が大きくなるにつれて断面地形上の水量に関連する断面積は増大し侵食が進行し、 $H_0/L_0=0.030\sim0.035$ で最大になる。しかし、沖波波形勾配が0.035~0.040になると、断面地形上の水量に関連する断面積が小さくなるので堆積傾向に逆転する。したがって、砂村・堀川¹⁰⁾らの結果と同様に、波形勾配が0.035~0.040と大きくなると堆積傾向が強くなる。

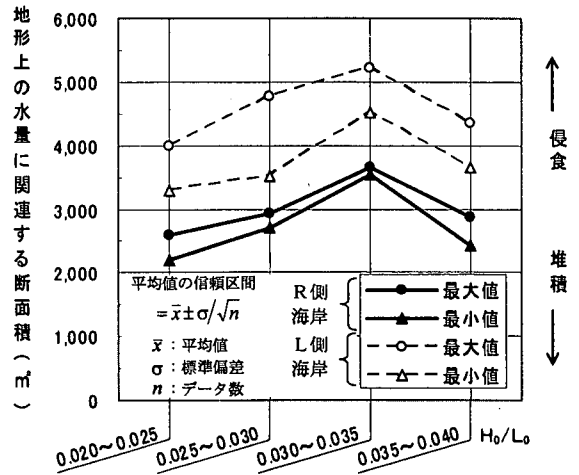


図-6 H_0/L_0 に対する断面地形上の水量に関連する断面積(A+B)の平均値の信頼区間

(2) 海浜勾配と汀線変化

図-7は、汀線の前浜勾配($\tan \beta$)と汀線変化率(S)について示したもので、沿岸砂州の岸沖移動と汀線の前進・後退がどのような関連性があるのかR側海岸とL側海岸について示したものである。

図-7から、L側海岸では沿岸砂州の岸沖移動に対する汀線変化の前進・後退と前浜勾配($\tan \beta$)の関係はR側海岸よりばらつきが大きい、R側海岸、L側海岸ともに沿岸砂州が沖移動する時は汀線は前進し、逆に岸移動すると汀線は後退する傾向がみられる。

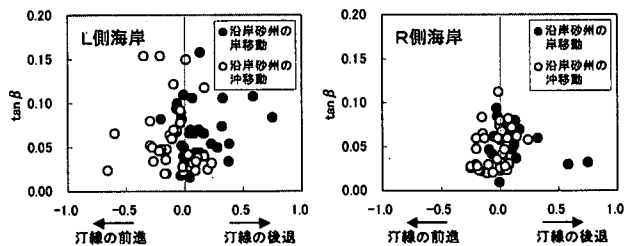


図-7 汀線変化率と前浜勾配の関係

汀線変化率(S)に関係すると考えられる前浜勾配($\tan \beta$)を、R側海岸72断面と、L側海岸80断面をヒストグラムにより比較したのが図-8である。

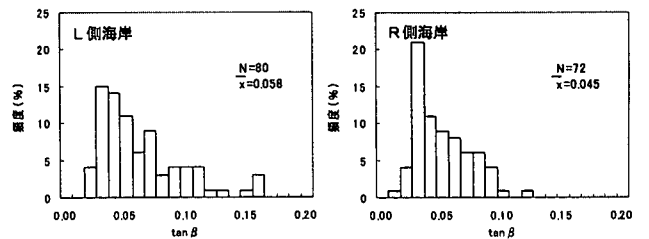


図-8 汀線勾配の比較

図-8から、R側海岸、L側海岸とも分布が左側に歪んでおり、L側海岸の方がR側海岸より前浜勾配 ($\tan \beta$) の変化の範囲がやや広い。

図-4に示す海岸断面の水量に関連する断面積 ($A+B$) を汀線から海岸断面地形が安定する地点 (stable point) までの水平距離 (l) で除して平均水深 (h) とし、実測した海底断面地形図から平均水深 (h) に相当する地点を求め、その地点と汀線までの水平距離 (l') を求めて、平均海底勾配とする。

$$\tan \alpha = \frac{h}{l'}$$

図-9は、平均海底勾配 $\tan \alpha$ と汀線変化の関係に沿岸砂州の岸沖移動をパラメータとして示した。

図-9から、R側海岸では $\tan \alpha = 0.010 \sim 0.020$ で汀線が前進と後退を繰り返し、それに伴って沿岸砂州も移動している。一方L側海岸では $\tan \alpha \approx 0.01$ で汀線と沿岸砂州が移動していることが明らかになった。

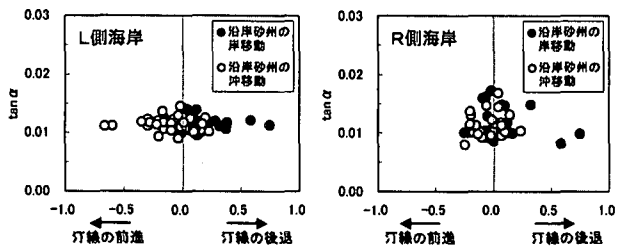


図-9 平均海底勾配と汀線変化の関係

表-2は、図-4に示すように沿岸砂州頂部から汀線までの岸側水量に関連する断面積を (A)、海岸断面地形が安定する地点 (stable point) までの沖側水量に関連する断面積を (B) として、R側海岸 72 断面、L側海岸 80 断面の値を相関比¹²⁾ によって比較したものである。

表-2 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	
L側海岸	沿岸砂州頂部から岸側水量に関連する断面積(A)	452	3,976	2,214	2,317,487	3,104,644	5,422,131	0.57
	沿岸砂州頂部から沖側水量に関連する断面積(B)	63,975	4,571,000					
R側海岸	沿岸砂州頂部から岸側水量に関連する断面積(A)	735	4,777	2,756	2,213,573	4,084,441	6,298,014	0.65
	沿岸砂州頂部から沖側水量に関連する断面積(B)	68,997	4,358,150					

表-2より、沿岸砂州頂部から岸側水量に関連する断面積 (A) の平均値は、L側海岸の場合はR側海岸に比較して約 1.6 倍大きく、また、沿岸砂州頂部から沖側水量に関連する断面積 (B) の平均値は約 1.1 倍で、L側海岸の方が大きい。すなわち、L側海岸の方がR側海岸に比較してやや侵食傾向が強

いといえる。

(3) 沿岸砂州と戻り流れ

港湾の港口周辺では、遮蔽域に向かって形成される海浜循環流が卓越し、また、遮蔽域外の自然海岸では、高波浪時の碎波帯内では沖向きの戻り流れが発達する。佐藤¹³⁾らにより戻り流れは、大規模渦による質量輸送が波高の2乗に比例すると考えて、次式で与えている。

$$U_b = -A \frac{H^2}{h \cdot T}$$

ここで、H: 波高、h: 水深、T: 周期、
A: 無次元定数

また、海浜地形の形成に影響を及ぼす沿岸砂州規模⁸⁾について、防波堤近傍では、L側海岸の方がR側海岸に比較して全体的に比高は大きい⁸⁾が、防波堤から遠ざかるとR側およびL側海岸の比高の差がほとんどなくなる。

図-10は沿岸砂州の比高と碎波波高の比 (比高/ H_b) と佐藤らによる戻り流れ $H_b^2 / d_{50} \cdot h \cdot T$ との関係について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。

ここで、比高とは沿岸砂州の頂部の高さ⁸⁾と沿岸砂州岸側トラフの高さの差であり、 H_b は碎波波高、 h は平均水深、 d_{50} は沿岸砂州岸側トラフ付近の底質中央粒径で、R側海岸では $d_{50} = 0.016\text{mm}$ 、L側海岸では $d_{50} = 0.013\text{mm}$ である。

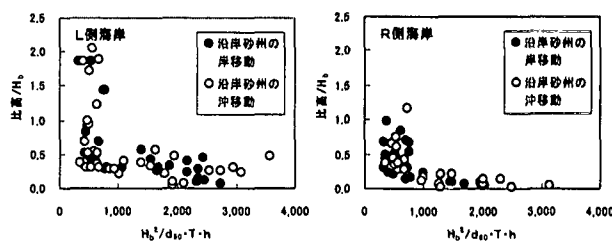


図-10 $H_b^2 / d_{50} \cdot T \cdot h$ と比高/ H_b の関係

図-10から、沿岸砂州規模は沿岸砂州の岸沖移動には関係なく戻り流れに反比例し、戻り流れが大きくなると沿岸砂州の規模が小さくなる⁸⁾ことが明らかになった。

(4) 沿岸砂州移動と地形変化

自然海岸における地形変化は、汀線の前進、後退ならびに沿岸砂州の形成、移動・消滅で特徴づけられる。また先の報告⁸⁾に於て、防波堤によって影響を受ける海浜地形のR側海岸およびL側海岸それぞれの防波堤近くの領域では、図-11のようにR側海岸では汀線の前進・後退に関係なく $l_x / l = 0.20$ を境に沿岸砂州の岸沖移動方向が分かれているが、L側海岸では汀線が前

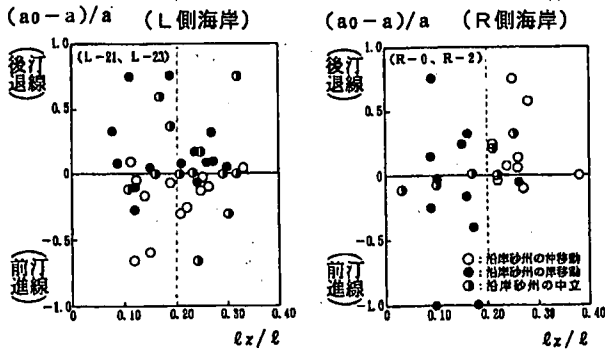


図-1 1 防波堤近くの領域における汀線変化と相対距離の関係⁸⁾

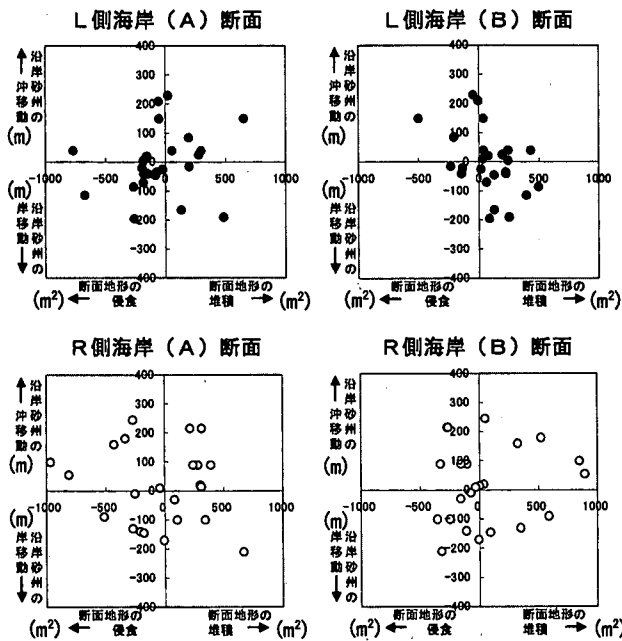


図-1 2 防波堤近くの領域における沿岸砂州岸沖移動と断面地形変化

進すると沿岸砂州は沖移動し、後退すると岸移動することが確認された。

図-1 2は、2回の深淺測量から得た図-4に示す地形上の水量に関連する断面積の差から侵食

面積、堆積面積を沿岸砂州頂部の岸側(A)断面と沖側(B)断面に分けて求め、また沿岸砂州の岸沖移動距離も2回の深淺測量図の重ね合わせた結果の差から求めて防波堤近くのR側海岸、L側海岸の領域について示した。なお、表-3は図-1 2に基づき沿岸砂州の移動方向および海浜地形の侵食、堆積を表示したものである。また、表-3の○は標本数が少ない状態を示す。

表-3から、L側海岸の第1~2象限では、汀線は前進し沿岸砂州は沖移動し、海底地形は堆積する傾向がある。また、第3~4象限では汀線が後退し、沿岸砂州は岸移動するが、海底地形が(A)で侵食、(B)で堆積の傾向がある。一方、R側海岸では沿岸砂州が岸移動する第3~4象限では汀線の前進、後退の両方が存在し、第1~2象限では沿岸砂州が沖移動するにもかかわらず汀線が殆ど後退する現象が生じる傾向がある。

6. 沿岸砂州頂部水深と位置関係

著者ら¹⁴⁾は、猿骨海岸の沿岸砂州と海底勾配の相互関係から、沿岸砂州頂部より汀線および海岸断面地形が安定する地点(stable point)までの距離 l_x および l_b は、沿岸砂州頂部水深 h_B と海岸断面地形が安定する地点(stable point)の水深 h_c によって、一般的に

$$l_x/l_b = \alpha h_B / (h_c - h_B) \quad (1)$$

の式で与えられるとした。

ここで、 $\alpha = 1.0$ とすると、

$$h_B = \frac{l_x \cdot h_c}{l} \quad (2)$$

となる。

図-1 3は、石狩湾新港のR側海岸およびL側海岸の実測値から得られた $l_x \cdot h_c / l$ と h_B の関係をプロットしたものである。なお、図-1 1のL側海岸の防波堤近傍の領域(L-21, L-23)

表-3 海浜地形の変化(防波堤近くの領域)

象限	L側海岸(A)断面地形				L側海岸(B)断面地形				図-1 1との関係
	沿岸砂州		海底地形		沿岸砂州		海底地形		
	岸移動	沖移動	堆積	侵食	岸移動	沖移動	堆積	侵食	
第1		○	○			○	○	汀線前進 (沿岸砂州が沖移動)	
第2		○		○		○	○		
第3	○			○	○			汀線後退 (沿岸砂州が岸移動)	
第4	○		○		○		○		

象限	R側海岸(A)断面地形				R側海岸(B)断面地形				図-1 1との関係
	沿岸砂州		海底地形		沿岸砂州		海底地形		
	岸移動	沖移動	堆積	侵食	岸移動	沖移動	堆積	侵食	
第1		○	○			○	○	汀線後退が多い (沿岸砂州は沖移動が多い)	
第2		○		○		○	○		
第3	○			○	○		○	汀線後退(前進) (沿岸砂州は岸移動が多い)	
第4	○		○		○		○		

は、他の領域と異なる地形変化をしているので除外した。

図-13から沿岸砂州頂部水深 (h_B) は、汀線から沿岸砂州頂部と海岸断面地形が安定する地点 (stable point) までの距離 (l_x, l) と海岸断面地形が安定する地点 (stable point) における水深 (h_c) によって与えられることが明らかとなった。

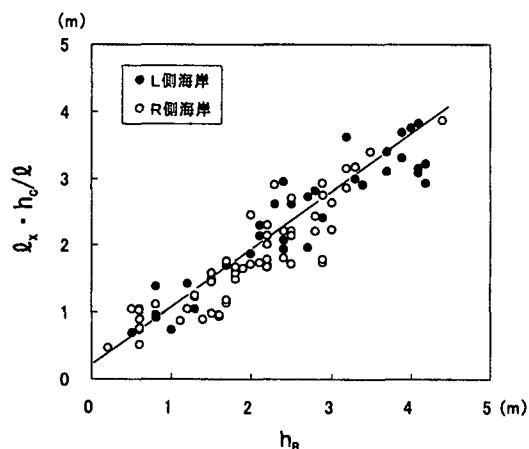


図-13 h_B と $l_x \cdot h_c / l$ の関係

7. 結論

今回、調査対象の海浜地形は緩勾配で波形勾配が大きく、しかも長期間安定性を維持してきた日本海の石狩湾新港周辺の海岸断面地形変化について、その沿岸砂州移動を中心に評価を行った。

その結果は次のとおりである。

- 1) 入射波の波形勾配が大きくなるにつれて海浜の侵食量は増加するが、波形勾配のある限界値すなわち $H_0/L_0 = 0.030 \sim 0.035$ より侵食量が減少し始めることがL側, R側海岸でも認められた。
- 2) 表-2から沿岸砂州の岸・沖移動する場合に、L側, R側海岸の(A)と(B)の断面積を比較すると、沿岸砂州頂部から岸側部分(A)に関してはL側海岸の方が大きく、また、沿岸砂州頂部から沖側部分(B)に関してもL側海岸の方が大きい。その場合、L側海岸ではR側海岸に比較して沿岸砂州頂部より岸側での侵食量が大きい。
- 3) 沿岸砂州の規模は、戻り流れの大きさに反比例して戻り流れが大きくなると沿岸砂州の規模は小さくなる。すなわち、石狩湾新港ではL側海岸の方がR側海岸と比較して沿岸砂州の規模が大きい。
- 4) 図-11から、R側海岸では沿岸砂州の位置によって沿岸砂州が岸側へ移動するか沖側へ移動するかが分かる。一方、L側海岸では汀線と沿岸砂州の位置に関係があり、汀線が前進すると沿岸砂州が沖側へ移動し、汀線が後退すると

沿岸砂州は岸側へ移動する。

- 5) 沿岸砂州は一種の可動の障害物として働くこと、また侵食以前は沿岸砂州が発達していた海岸においては、沿岸砂州の位置に人工リーフを設置¹⁵⁾するなどから、最も発生頻度の高い沿岸砂州位置と頂部水深の相互関係から求めた式(1)によって、人工リーフ設置位置のマクロ的な予測に寄与できるものと考えられる。

なお、太平洋沿岸あるいはオホーツク海沿岸などは、石狩湾新港周辺の海岸と海象や地象そして底質粒径などが異なるので、石狩海岸で得られた結果をそのまま適用することについては、さらに資料収集し検討する必要がある。

謝辞：本研究を行うにあたり、北海道開発局小樽港湾建設事務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) 堀川清司編：海岸環境工学，東京大学出版会，PP. 130-146, 1985.
- 2) 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.
- 3) 茂木昭夫：日本の海浜型について，地理評，36, PP. 245-266, 1963.
- 4) 小池一之：砂浜海岸線の変化について（予報），地理評，47-11, PP. 719-725, 1974.
- 5) 田中則男：汀線変化の変遷，土木学会，1978年度水工学に関する夏期研修会講義集（Bコース），土木学会，1978.
- 6) 山下俊彦，新山雅紀，菅沼剛，早川哲也：石狩川から供給された粒径別土砂の河口沿岸域での堆積特性と土砂収支の試み，第47回海講論，PP. 676-680, 2000.
- 7) 北海道開発局：石狩湾岸の漂砂について，P. 310, 1973.
- 8) 戸巻昭三，竹沢三雄：石狩湾新港における防波堤周辺の海浜変形について，海洋開発論，Vol. 15, PP. 475-480, 1999.
- 9) 北海道開発局：石狩湾新港深淺測量図資料（1972-1997）。
- 10) 土木学会編：水理公式集（平成11年版），PP. 507-514, 1999.
- 11) 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.
- 12) 鈴木義一郎著：データ解析術，実数出版，PP. 30-34, 1982.
- 13) 佐藤慎司，福浜方哉，堀川清司：斜面上における不規則波の碎波変形と底面流速に関する実験的研究，第34回海講論，PP. 34-40, 1987.
- 14) 戸巻昭三，竹沢三雄：猿骨海洋における沿岸砂州の岸沖移動について，海洋開発論，Vol. 16, PP. 279-284, 2000.
- 15) 土木学会編：海岸施設設計便覧，PP. 340-349, 2000.