

石狩湾新港における防波堤周辺の 海浜変形について

ON BEACH CHANGES AROUND BREAKWATER
IN 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 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 single space beach change around breakwaters in the new port of Ishikari Bay is described using the beach profiles of field surveying.

The following properties was made clear after examining the results of field surveying :

- (1) the shoreline and the equilibrium point of beach profile are relating to the grain size of beach sands,
- (2) the trough depth is proportional to the bar depth and they are relating to the steepness of wave breaker,
- (3) the changes of shoreline is effected by the wave reflection, and is related by the site of trough and bar.

Key Words : breakwater, change of beach, field survey.

1. はじめに

防波堤などにより沿岸漂砂移動の連続性が崩れると漂砂の下手側海岸で侵食が起きることは一般によく知られている。現在、防波堤の遮蔽域でみられる海岸線の侵食機構を海浜変形の予測システム¹⁾により解明が行われているが、現地のデータを用いて汀線変化を含め海浜地形の侵食と堆積について、防波堤を境にその両側で比較した研究例²⁾は比較的少ない。

本研究は、防波堤の存在によって形成される地形変化について、石狩湾新港の東側及び西側海岸における海浜断面の地形変化に関する現地調査の結果から考察したものである。

2. 石狩海岸の地形と現地調査の範囲

(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、図-1に示すように石狩湾奥に位置している。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形成された平野部と、隆起によって生じた急峻な海崖(石狩段丘)とからなっている。このうち、砂

浜海岸は銭函～知津狩間約24kmにわたって連続している。石狩湾の海底地形は、水深20mまで、その等深線

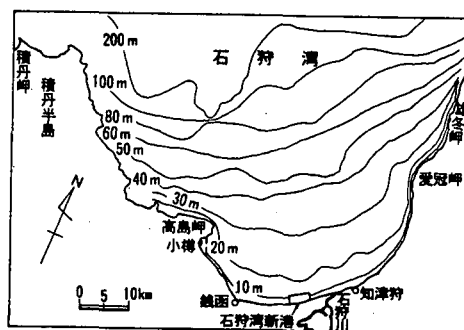


図-1 石狩海岸の位置図

が湾奥地形とほぼ平行し、その海底勾配は著しく遠浅な形状を示している。そして石狩湾はその開口部をNW方向に開いており、日本海からの高波浪はこのNW方向から入射する。

また、石狩湾岸の長期的な汀線変化は、明治29年(1896)と昭和48年(1973)の地形図(1/50,000)を重ね合わせてみたが、殆どその汀線変化は認められなかった。

(2) 現地調査の範囲

調査の対象区域は、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（東側海岸）3,500mの範囲と、西地区埋立護岸より左側（西側海岸）3,500mの範囲の海岸を、それぞれ3つの領域（東側海岸第1領域 R-0, R-2, 第2領域 R-4, R-6, 第3領域 R-8, R-10, 西側海岸第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、各領域で実施された深浅測量図³⁾から、それぞれ2本の側線を選び、沿岸砂州が存在する合計152本（うち6本は沿岸砂州の形成なし）の海浜断面地形より防波堤周辺の海浜変形について考察した。

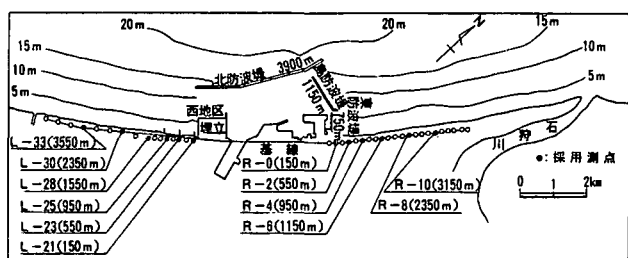


図-2 石狩海岸の調査範囲

なお、深浅測量による地形図のうち、R-0, R-2, R-4 及び L-21, L-23, L-25, L-28 は、一側線につき1984年から1991年までの8年間に7~8月と12月の年2回実測し、R-6, R-8, R-10 及び L-30, L-33 は一側線につき、7~8月の年1回実測されたものである。

3. 波浪条件

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

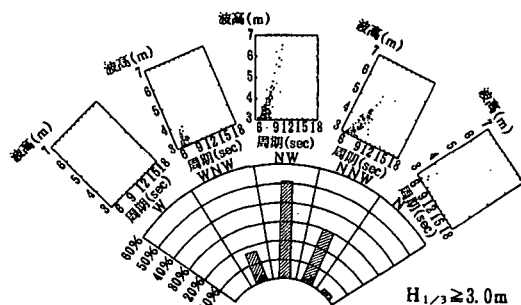


図-3 石狩海岸波向別波高出現頻度分布

一方、短期的に海浜地形に作用した波の諸元は、深浅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（ $H_{1/3}$, $L_{1/3}$ ）に起因するものとし⁴⁾、その波浪条件を波浪観測台帳から求めた。なお、想定した波の諸元（ H_0 , L_0 ）と碎波（ H_b , L_b ）の関係は、図-4のとおりである。

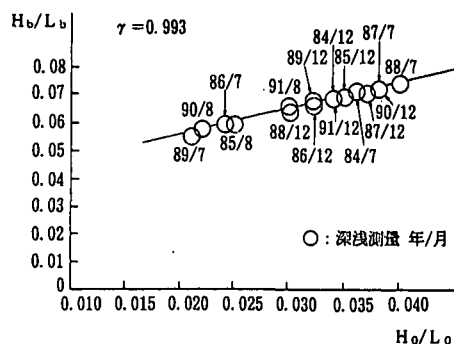


図-4 沖波と碎波の関係

4. 石狩海岸の海浜地形

(1) 東側海岸の海浜地形

現在、石狩湾新港周辺の地形変化のうち、防波堤の遮蔽域と考えられる東側海岸は堆積性であり、一方西側海岸では侵食性を示す。このように、これら2つの海岸が石狩湾新港を境に非対称性となっている。表-1は石狩湾新港施設とその施工期間を示したものである。

表-1 石狩湾新港施設と施工期間

施設名	延長 (m)	第1期	第2期	第3期	第4期
東防波堤	750	72	75	77	79
島防波堤	1,150	81	83	85	87
北防波堤	3,900	89	91		
西地区埋立護岸	600				
突堤	3基				

昭和47年（1972）測点R-0から西方向150m地点の石狩海岸に初めて東防波堤が施工され、地形測量も同時に実施された。

図-5に示すように測点R-0の汀線は、東防波堤の施工に伴い前進し、表-1に示す第2期から第3期では逆に後退し続けたが、第4期では再度堆積性に転じ、現在150m程汀線が前進している。

図-5に示すR-0の汀線変化のコレログラムは、その中に小さな曲線が重複して生じており、これは長期的に平衡性が保たれていた石狩海岸に防波堤の建設により、海浜地形変化を誘起させたことを示している。

次に、R-0から800m離れたR-4の汀線変化は、R-0と同様に第2期から第3期で汀線は後退するが、第4期に入り回復し、当初と殆ど同じ位置に存在している。

一方、R-8の汀線変化は、北防波堤工事の後半、第3期より影響が出始め、これをコレログラムでみると3~4年周期で侵食と堆積が繰り返され、防波堤による汀線変化がほとんど及んでいないことを示している。

また、図-5に示すようにR-0, R-4そしてR-8の海浜断面地形で海底の砂が顕著に移動しない平衡点⁵⁾を平面図にプロット（○印）すると、R-0から平衡点（水深11.0m）まであった離岸距離は次第に短くなり、汀線から平衡点までの海浜断面地形は汀線の前進に追随している。

防波堤の影響による海浜地形変化のうち、平衡点の形成

位置と汀線変化との関連性をみるために1998年12月、汀線底質粒径調査を500m毎に行った。

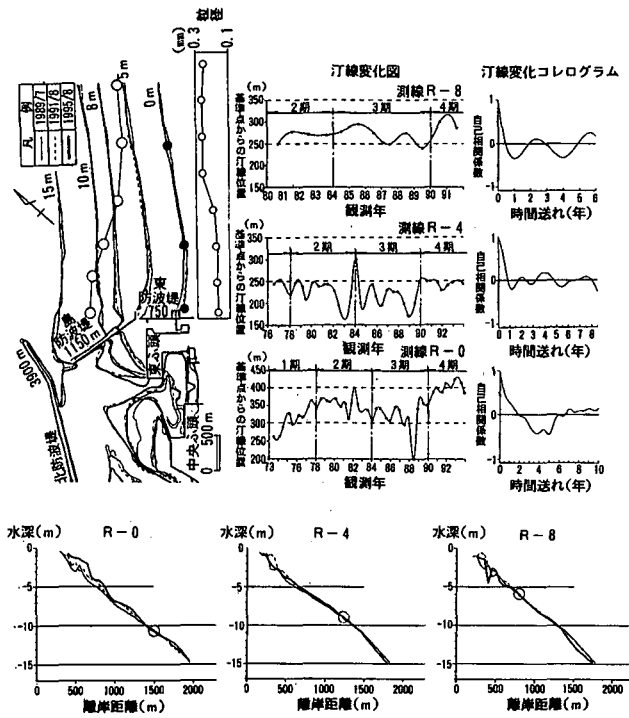


図-5 東側海岸の平面・断面及び汀線変化の対比

図-5に示す底質粒径は、堆積性の第1領域と平衡性の高い第3領域で底質粒径に差が認められることから、明らかに東側からの沿岸漂砂移動があったものと考えられる。

また、北防波堤先端付近において入射するWNW方向の波浪が東側海岸の第2領域から東防波堤方向に弱い流れを生じさせ、さらに北防波堤背面で時計廻りの方向に大規模な循環流⁶⁾が生じることが予想されるので、汀線底質粒径はそれらの流れに呼応した分布状態が形成されたものと推測される。

(2) 西側海岸の海浜地形

図-6に示す西側海岸の海浜地形が東側海岸と大きく異なるのは、東防波堤及び鳥島防波堤に引き続いて行われた北防波堤の建設に伴って、地形変化が東側海岸より西側海岸方向に伝播してきたことによるものである。港湾の建設により沿岸漂砂が遮られ、当初L-21から150mまであった海岸線は北防波堤が2,000m程伸長された時から急激に侵食し始め、1986年には100mにまで後退した。そして、この対応策として1987年突堤3基が設置され、さらに西地区埋立護岸の建設によってL-21付近だけが堆積し、現在では当初より100m程汀線が前進している。

しかし、第3突堤基部のL-25では、突堤の設置後も汀線はやや安定するが、第4期に入ると急激に後退し始め、現在では当初より50m程後退している。次に、西地区埋立護岸より1,350mにあるL-27の汀線変化は、殆ど港湾構造物の影響はなく、測点から水際線まで150mの距離は当初のまま維持されている。したがって、コロログラムの形は、東側海岸のR-4とやや類似しており、防波堤による西側海岸の海浜地形変化はL-27付近が境界であるものと考えられる。

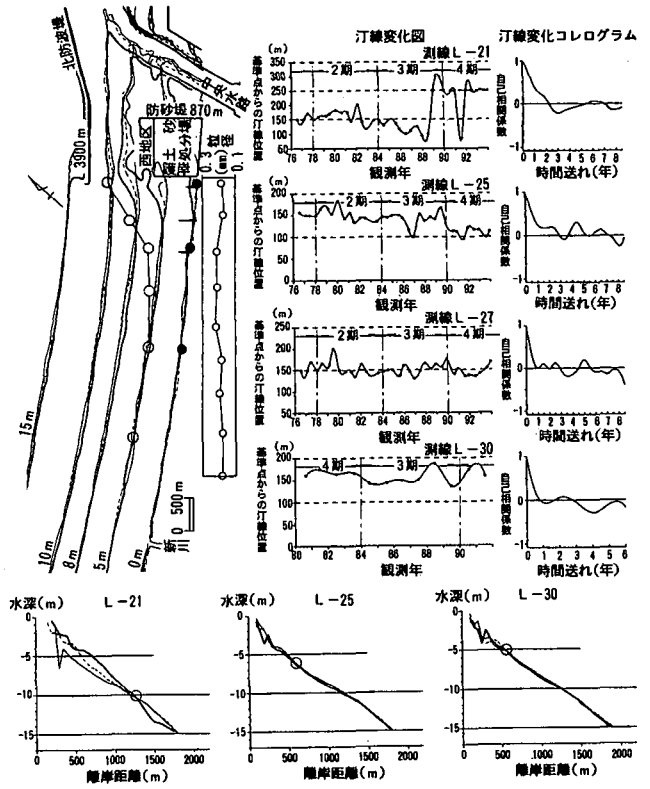


図-6 西側海岸の平面・断面及び汀線変化の対比

また、L-30の汀線変化図とコロログラムは東側海岸R-8と非常に類似し、この付近では、ほとんど北防波堤による影響はないものと考えられる。

次に、東側海岸と同様にL-21、L-25、L-30の海浜断面地形に認められる平衡点を西側海岸の平面図にプロット(○印)してみると、L-30付近で水深5mに収束していた平衡点が突堤3基付近から離岸距離が次第に増大し、そしてL-21では水深10mにまで達している。これは、沖方向に漂砂移動幅を拡大し、東側海岸と同様な現象が生じているものと考えられる。

次に、汀線底質粒径分布と海浜地形との関連をみると、西側海岸ではおおそ同じ粒径で構成されているが、第3突堤のL-25から西へ1,000m(測点L-29)区間だけの粒径がやや大きい。これは、N~NNW方向からの波浪が影響しているものと考えられる。

(3) 沿岸砂州と海浜地形

港湾建設による前浜部分において、図-5、図-6に見られるようにいずれの海浜断面においても沿岸砂州が認められる。そこでその規模や形成位置などが、どのように海浜地形と関わりがあるのか、東側及び西側の両海岸について考察する。

図-7に示すように沿岸砂州の大きさを表示する尺度として、沿岸砂州のトラフ水深 h_T 、頂部水深 h_B 、平衡点水深 h_C 、基礎杭から最初の汀線までの距離 a_0 及びその位置より変形後の距離 l_a ($a = l_a + a_0$)、変形後の汀線よりバーまでの距離 l_x 、バーから平衡点までの距離 l_b ($l = l_x + l_b$)を与える。

図-8は沿岸砂州のトラフ水深 h_T とバー頂部水深 h_B の相関を東側海岸(○)と西側海岸(●)をパラメータ

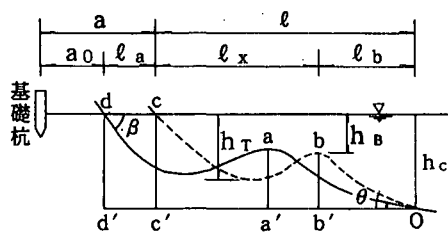


図-7 海浜断面と記号の定義

として示したものである。また、(1)はR-0, R-2 及び L-21, L-23 を、(2)はR-4, R-6 及び L-25, L-28 を、そして(3)は R-8, R-10 及び L-30, L-33 について領域毎に示したものである。

図-8(1)(2)によると、西側海岸では東側海岸に比較して全体的にトラフ水深やバー頂部水深は大きい、しかし防波堤から遠ざかる図-8(3)ではグループ別の区分線が重複するようになり、東西両海岸の差がほとんどない。

次に、沿岸砂州の生成変動を支配する碎波 (H_b , L_b) と、比高 ($h_T - h_B$)、汀線からバーまでの距離 (l_x) の関係について考察する。

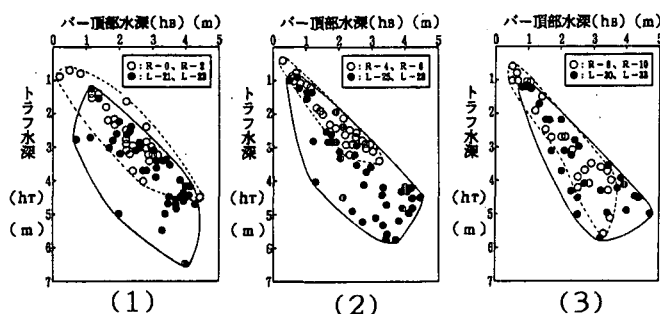


図-8 対比する領域毎の沿岸砂州の規模

図-9はR-0, R-2, R-8, R-10 及び L-21, L-23, L-30, L-33 の $(h_T - h_B) / H_b$ と $(l_x / L_b)^2$ の関係を示したものである。

図-9から、沿岸砂州の形成位置は $(h_T - h_B) / H_b$ と $(l_x / L_b)^2$ によって、ある程度その傾向をみる事ができる。すなわち、図-9から碎波 (H_b , L_b) に対する地形変化の応答が早いのは、直線群の傾きが急な両海岸とも第3領域 (R-8, 10 及び L-30, 33) における沿岸砂州で、ここは防波堤に関係なく直接波浪の影響を受ける海岸である。これに対し応答が遅いのは直線群の傾きが緩い第1領域 (R-0, 2 及び L-21, 23) で、いずれも防波堤の有無が地形変化の応答に関わっていることが明らかである。

しかし、同じ防波堤に近い海浜であっても、沿岸砂州規模を示す比高に差が認められ、この比高が東・西側海岸の海浜地形の変化に影響があるものと考えられる。

本間ら⁷⁾は、前浜部分の変動について東海村海岸での資料から、比高の大きい砂州ほど連続した規模が大きく、逆に小さいと不連続の部分が現われ、トラフについても波高の大きい程連続した水路状を呈するが、小さい場合にはポケット状の凹地が点在するにすぎないと報告している。

一方、kuriyama⁸⁾は、鹿島灘海岸での沿岸流の観測の

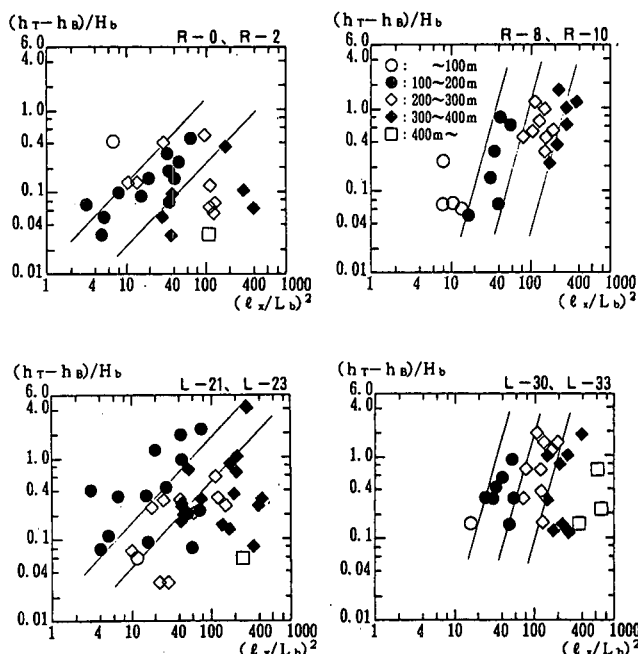


図-9 東・西海岸の比高と相対距離の関係

結果、沿岸流速のピークがバー頂部より岸側に位置した分布形が全体の85%であったことを報告している。

この2つの現地の事例から、石狩湾新港の西側海岸の海浜地形が侵食性となるのは、東側海岸よりも沿岸砂州のトラフ水深やバー頂部水深が大きい、バー頂部より岸側の沿岸流速が早く、かつ比高の大きいバーやトラフが連続した水路状を呈していることが原因と考えられる。

(4) 汀線変化と沿岸砂州移動

石狩湾新港における東・西側海岸の海浜地形の相違は、沿岸砂州移動によるものであり、その外力の一つとして海岸からの波による反射率 (γ)⁹⁾ が考えられる。

そこで現地の海岸での反射率を Battjes¹⁰⁾ の波の反射

$$\gamma = 0.1 \tan^2 \beta / H_b / L_b \quad (1)$$

率から求め、図-10 にその頻度分布を東・西側海岸の領域毎に示した。なお、() は海浜断面数である。

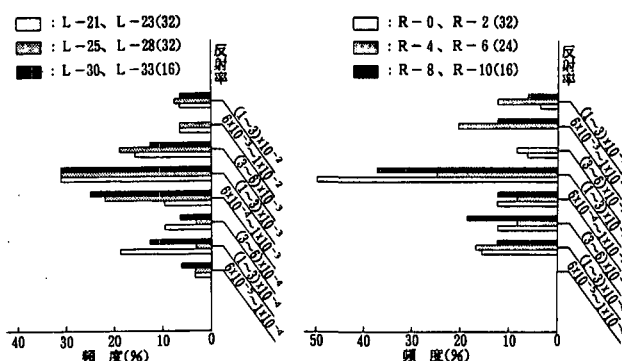


図-10 各領域の反射率

また、海浜勾配 ($\tan \beta$) は、汀線以深の斜面勾配 (β) である。

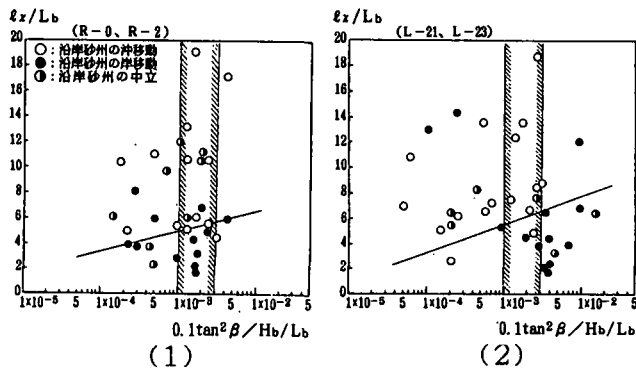


図-11 反射率と相対波長の関係 (第1領域)

図-11 は γ と l_x/L_b の関係に沿岸砂州の岸・沖移動の方向をパラメータとして示したものであり、かなり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・沖移動方向の移動限界は、図中の直線でおおよそ区分できるものと考えられる。また、沿岸砂州の岸・沖移動方向は、図-11 に示すモード $(1\sim3)\times 10^{-3}$ の

反射率の範囲で大部分形成されるほか、西側海岸の第1領域では反射率が小さい程、つまり海浜勾配 ($\tan\beta$) が緩くなると沿岸砂州の沖移動が多くなっている。

図-12 は、海岸からの波による反射率 (γ) と関係の深い汀線変化率 $(a_0 - a)/a$ と (l_x/l) との関係であり、東側海岸における沿岸砂州の岸・沖方向への移動が、各領域とも汀線の前進・後退に関係なく $l_x/l < 0.2$ では沿岸砂州は岸移動し、 $l_x/l > 0.2$ では沖移動の傾向を示している。また西側海岸でも、第2, 第3領域の l_x/l は東側海岸ほど明確でないが、東側海岸とほぼ同様の傾向を示している。しかし、西側海岸の第1領域においては、汀線が前進すると沿岸砂州は沖移動し、後退すると岸移動になる傾向があり、かなり複雑な海浜移動があるものと考えられる。これは、この領域に海浜移動制御のため設置した3本の突堤の影響を受けて、図-8及び図-9に示すように沿岸砂州規模による沿岸流流速の大きい分布が存在することと、図-11 から海浜勾配 ($\tan\beta$) が小さ

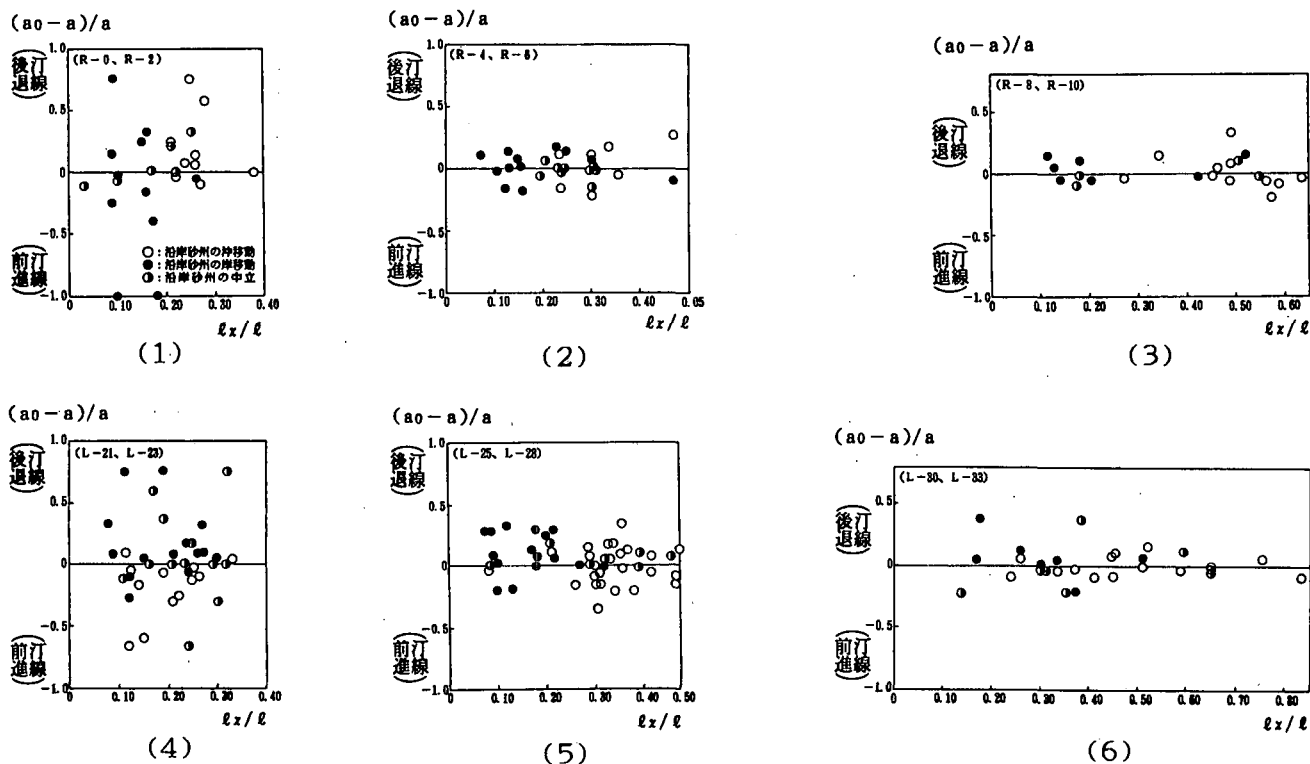


図-12 各領域における汀線変化率と相対距離の関係

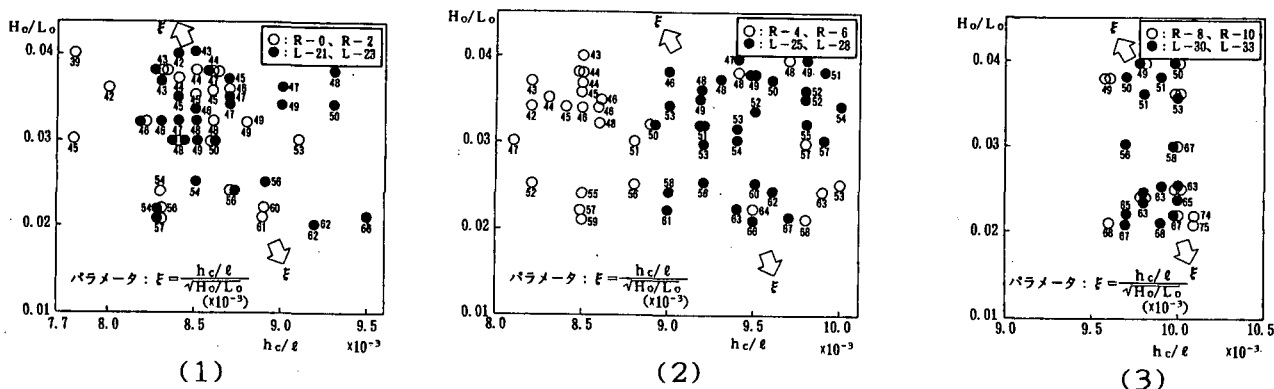


図-13 H_o/L_o と h_c/l の関係

い¹¹⁾ ほど沿岸砂州の沖移動が西側海岸の第 1 領域において顕著に現れるからと考えられる。

(5) 平衡点に関する海底勾配 (h_c/L)

現在、波による海浜変形を論ずるにあたって、海浜断面変形モデルにいくつかの海底勾配^{12) 13) 14) 15) 16)} が用いられている。そこで本研究では、現地海岸への取扱いとして最も妥当な平衡点をベースに、平衡点 (h_c) と汀線から平衡点までの距離 (L) の比を海底勾配 (h_c/L) とした。この海底勾配は平衡点までの海底地形の規模を表示していることになる。

図-13 は、沖波波形勾配 (H_o/L_o) と海底勾配 (h_c/L) の関係を東・西側海岸の各領域毎に集約し、碎波帯相似パラメータ $\xi = h_c/L \sqrt{H_o/L_o}$ をパラメータ¹⁷⁾ にして示したものである。

図-13(3)から、防波堤の影響を受けない東・西側海岸の海浜地形は共に入射波の波形勾配に関係なく海底勾配 (h_c/L) = 10×10^{-3} 付近に平衡点を形成する傾向が強い。

次に図-13(2)より防波堤の影響を受け始めると、東側海岸(堆積性)は西側海岸(侵食性)の海底勾配 (h_c/L) より小さくなり、緩勾配を形成する。さらに、図-13(1)より防波堤の影響を完全に受けるようになると、東・西両海岸で区分ができなくなるが、波形勾配に関係なく、 $h_c/L = 8.0 \times 10^{-3} \sim 9.0 \times 10^{-3}$ に分布している。なお、碎波帯相似パラメータ $\xi = 39 \times 10^{-3} \sim 75 \times 10^{-3}$ である。

5. むすび

現地調査結果から、防波堤周辺の海浜変形について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) 石狩湾新港の東側及び西側海岸における汀線変化のコレログラムと平衡点との平面的な形成位置の関係は、汀線の底質粒径と関係がある。

(2) 西側海岸は東側海岸に比較して全体的にトラフ水深 (h_T) とバー頂部水深 (h_B) は共に大きく、かつ侵食の程度が大きい。これは沿岸流速のピークがバー頂部より岸側に位置し、かつ比高 ($h_T - h_B$) の大きい沿岸砂州の形成が原因と考えられる。

(3) 東側海岸と西側海岸の第 2、第 3 領域では、汀線の前進・後退に関係なく $q_x/L < 0.2$ で沿岸砂州は岸方向に移動し、 $q_x/L > 0.2$ で沖方向に移動する。一方、海浜勾配 ($\tan \beta$) の小さい西側海岸の第 1 領域では、汀線が前進すると沿岸砂州は沖方向に移動し、後退すると岸移動に変る傾向がある。

(4) 防波堤の影響を完全に受ける領域では、東・西側海岸に関係なく波形勾配 (H_o/L_o) の大きい場合には海底勾配 (h_c/L) が小さく、波形勾配 (H_o/L_o) が小さくなると海底勾配 (h_c/L) が大きくなる。また、防

波堤の影響が小さい領域になると東側海岸(堆積性)では、西側海岸(侵食性)の海底勾配 (h_c/L) より緩勾配を形成する。さらに、防波堤の影響のない領域では海底勾配は波形勾配に関係なく $h_c/L = 10 \times 10^{-3}$ となる。

(5) 石狩湾新港の海岸付近における碎波帯相似パラメータ $\xi = 39 \times 10^{-3} \sim 75 \times 10^{-3}$ である。

参考文献

- 1) Nicholas C. Kraus, 針貝聡一, 久保田進: 大洗海岸における汀線変化シミュレーション, 第 28 回海講論. PP.295~299, 1981.
- 2) 針貝聡一, 宇多高明, 鶴川義郎: 大洗海岸における地形変化の観測, 第 28 回海講論. PP.271~275, 1981.
- 3) 北海道開発局: 石狩湾新港深淺測量 (1972~1997) 図資料.
- 4) 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, 海洋海講論 vol.14, PP.173~178, 1998.
- 5) 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.
- 6) 宇多高明, 山本幸次: 波向が周期的に変化する場における防波堤周辺の海浜変形, 第 39 回海講論. PP.436~440, 1992.
- 7) 本間仁, 堀川清司, 鮮干徹: 波浪・漂砂及び海浜変形について, 第 6 回海講集. PP.78~88, 1959.
- 8) kuriyama Y. and Ozaki: Longshore current distribution on a bar-trough beach-Field measurements at HORF and numerical model, Rep. Port and Harbour Res. Inst., vol.32, NO.3, PP.3~37, 1993.
- 9) 前出 4)
- 10) Battjes, J.A.: Surf similarity, Proc. 14th Conf. on Coastal Eng., PP.466~480, 1974.
- 11) 水村和正: 防波堤背後の流況と汀線変化(2), 第 26 回海講論. PP.195~199, 1979.
- 12) 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化に関する一考察, 第 22 回海講論. PP.329~334, 1975.
- 13) 砂村継夫: 自然海浜における汀線位置の時間的変化に関する予測モデル, 第 27 回海講論. PP.255~259, 1980.
- 14) 榎木亨: 漂砂と海岸浸食, PP.124~125, 共立出版, 1982.
- 15) 尾崎晃, 曳田信一: 波による二次元汀線変化の相似に関する実験的研究(続), 第 24 回海講論. PP.167~169, 1977.
- 16) 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.
- 17) 水村和正: 海岸海洋工学, PP.58~64, 共立出版, 1992.

(1999.4.19 受付)