

猿骨海岸の波打帯における斜面勾配と海浜地形の 関係について

Relations between slopes and beach topography on swash zones of the Sarukotu coast

戸巻 昭三*・森居 久**・竹沢 三雄***・後藤 浩***

Shozo TOMAKI, Hisashi MORII, Mitsuo TAKEZAWA and Hiroshi GOTOH

要旨：本論文は、北海道の猿骨海岸において、猿骨川の導流堤設置前後の1975年と1986年における波打帯の斜面勾配と海浜地形の関係について述べたものである。その結果、汀線より陸側の斜面勾配 $\tan \alpha$ と海側の斜面勾配 $\tan \beta$ の比である $(\tan \alpha / \tan \beta)$ と bar 頂部の水深 hc と汀線から bar 頂部までの水平距離 Xc の比 (hc/Xc) の関係は $hc/Xc = A \cdot (\tan \alpha / \tan \beta) + B$ で与えられることが1975年と1986年の深淺測量の解析によって明らかになった。ただし、 A, B は定数である。また、斜面勾配が急な場合には、波の反射率が大きくなり、斜面勾配が緩やかになると波の反射率が小さくなることから、波の遡上高の最大値を生じる斜面勾配の比 $(\tan \alpha / \tan \beta)$ から説明することができた。

キーワード：波打帯, bar, 斜面勾配, 導流堤, 遡上高, 反射率

1. はじめに

北海道は図-1に示すように、日本海、太平洋、オホーツク海の3つの海洋に取り囲まれている。過去に、著者らが3年間以上連続して調査した日本海沿岸の石狩海岸、太平洋沿岸の苫小牧海岸、オホーツク海沿岸の猿骨海岸における断面地形は、図-2に示すようにそれぞれ特徴ある地形を有しており、これらの形状をフラクタル次元¹⁾として表現した。

そこで著者らは、それぞれの海岸の波打帯における斜面勾配に注目し、本論ではオホーツク海沿岸の猿骨海岸の斜面勾配と海浜地形の関係について考察した。

なお、斜面勾配は汀線より陸側、沖側へそれぞれ水平距離20mにおける高さおよび深さと地形

との交点によって構成する勾配とし、陸上勾配を $\tan \alpha$ 、水中勾配を $\tan \beta$ とした。

北海道オホーツク海の北部に位置する猿骨海岸に沿って偏流する2級河川である猿骨川（流域面積99.1km²、計画高水流量450m³/sec）は、平水時の流量が4~7m³/secと僅少であったので常時河口閉塞を生じ、上流の酪農牧草地に冠水被害を及ぼしていた。そのため、河口閉塞対策として偏流する猿骨川を1979年にショートカットし、河口維持が図られるよう導流堤（ $l=130m$ ）を設置した。しかし導流堤設置後も漂砂が導流堤内に流入し河口閉塞が改善されず、入射波浪や波の流向・流速の変化によって導流堤の右岸側や左岸側の汀線やbarの岸沖移動に変化が認められた。そこで、導流堤設置前後の左岸側と右岸側の海浜の変化を

* 正会員 ㈱クマシロシステム設計, ** サツポロエンジニアーズ, *** 正会員 日本大学理工学部土木工学科

bar 頂部の岸沖移動と斜面勾配比($\tan \alpha / \tan \beta$)から検討した。

また、導流堤左岸側が逐次延長($l=104m$)され1994年完成したが、この導流堤左岸側の延伸によって生じた導流堤左・右岸側における海浜地形変化と漂砂量、さらに漂砂の導流堤内流入量の変化などの関係についても調査した。

その結果、斜面勾配比($\tan \alpha / \tan \beta$)と bar 頂部の岸沖移動の相対位置(hc/Xc)の関係は、 $hc/Xc=A \cdot (\tan \alpha / \tan \beta) + B$ で示すことができた。また、斜面からの波の反射率と砂浜上への波の遡上高の関係が明らかになった。

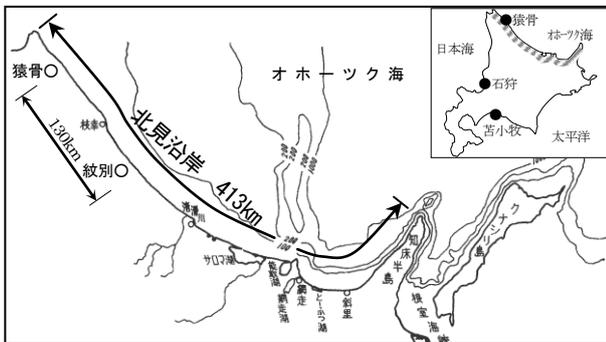


図-1 北見沿岸と猿骨海岸位置図

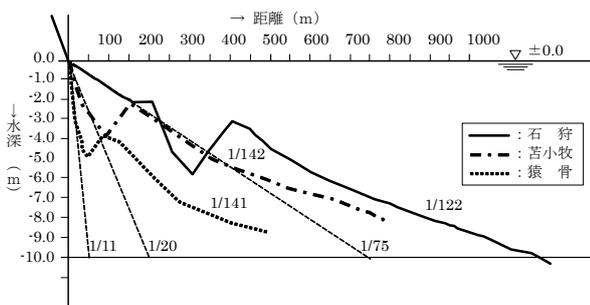


図-2 3つの海域の代表的な海底断面

2. 猿骨海岸の概要

(地形)

猿骨海岸は、図-1に示すように北見沿岸(延長413km)の北西端に位置する砂浜海岸で、その海岸線はほぼ北西から南東方向へ直線的に延びている。また、猿骨海岸の海底勾配は図-2に示すように日本海沿岸の石狩海岸、太平洋沿岸の苫小牧海

岸に比較して前浜の勾配が急勾配(1/11)であり、barより沖合いでは緩勾配(1/141)である。

(波浪)

猿骨海岸での波浪観測データがないため、猿骨海岸に來襲する波浪として紋別の波浪観測データを用いた。

紋別は、旧運輸省における波浪の拠点観測港となっており、1974年10月に初めて紋別海岸の沖合1850m(水深-18m)に波高計が設置され、波浪観測データが得られるようになった。

その後、観測データが整備されて、1983年6月～1984年5月までの波高・波向別出現頻度図²⁾としてまとめられたのが図-3である。

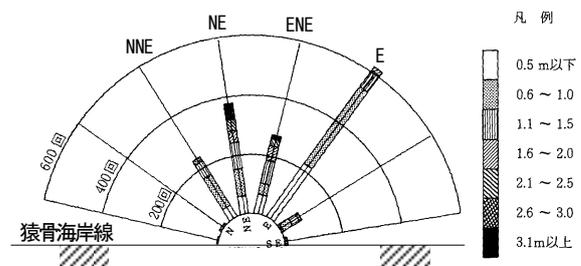


図-3 波高・波向別出現頻度図(紋別年間)
(観測期間1983年6月～1984年5月)

1990年、独立行政法人港湾空港技術研究所は、図-4に示すように1992年～1999年まで7ヶ年間の紋別波浪観測データについて統計処理を行い、「波高・波向別出現頻度図」³⁾がまとめられている。

なお、図-3および図-4(a)～(e)の波高・波向別出現頻度図に猿骨海岸の海岸線を記入した。図-4(通年)(e)から猿骨海岸に入射する波向は、NNE15.8%、NE59.7%、ENE14.3%で、これらの合計が89.8%でNNE～ENEの波向がその多くを占めている。

1988年～1990年における紋別港の日最大時の波浪について、図-5に示す対数正規確率紙から年5%生起する(年間20日間くらい発生する)波浪は、波高($H_{1/3}$)=2.0m、周期($T_{1/3}$)=9.0secと推測できる。

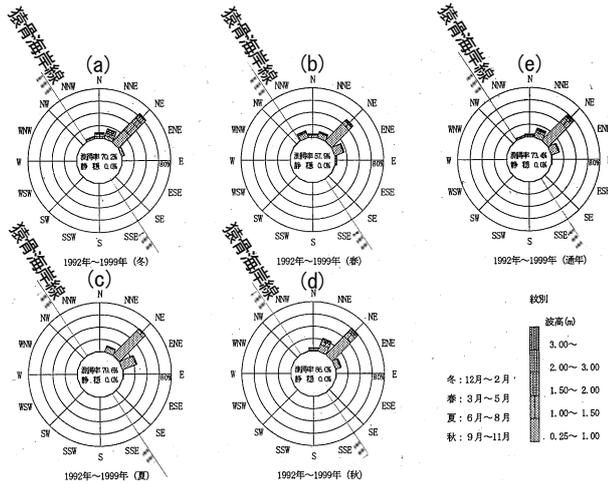


図-4 波高・波向別出現頻度図(紋別)
(観測期間 1992年～1999年)

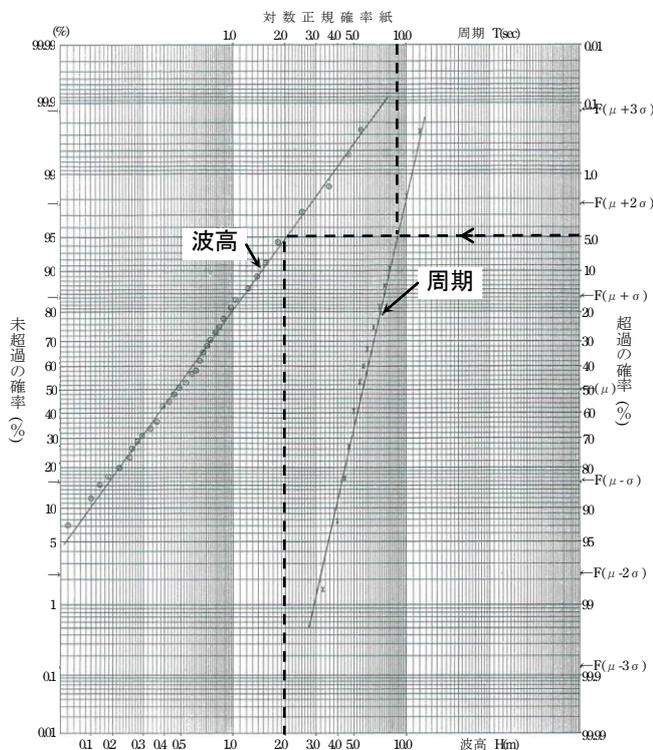


図-5 対数正規確率(波高, 周期)

また、図-4の波高・波向別出現頻度図から、波向はNNE, NE, ENEの3方向が多く、その方向の周期9.0秒の波について沖合いより起算し、紋別、猿骨海岸の水深5mまでの屈折係数を求めると表-1のとおりである。

以上から、猿骨海岸において紋別での波浪観測データを用いても、波浪場に大きな差異はないと推測できる。

表-1 紋別海岸と猿骨海岸における屈折係数の比較

波向	紋別海岸	猿骨海岸	備考
NNE	0.99	0.87	周期 T=9.0sec 水深-5.0m
NE	1.02	0.98	
ENE	1.03	0.99	

(流況)

図-6は、猿骨海岸の猿骨川河口導流堤左岸より北西350mで水深-6.5mの位置に流向板を設置し、1986年6月～11月の5カ月間、1日2回(A.M.10時, P.M.3時)目視観測を行った沿岸流向調査⁴⁾の結果である。図-6の結果によると、6月と9月だけ北上流が南下流を上まわるが、南下流は7月8月、10月および11月に北上流上回っている。北上流の回数が最大に達するのは9月であり、その月は南下流との流向回数は僅差である。

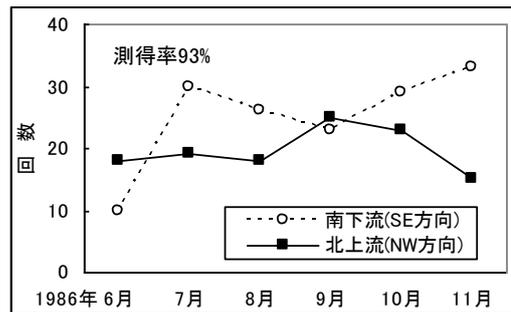


図-6 沿岸流流向調査

(河川流量)

猿骨川では流量観測がされていないので、猿骨川の河川流量を隣接する頓別川の流量観測値⁵⁾から、その流域面積を猿骨川の流域面積と対比させて猿骨川の流量を換算した。すなわち、
猿骨川換算日流量=(猿骨川流域面積/頓別川流域面積)×頓別川日流量=99.1km²/779.1km²×頓別川日流量=0.127×頓別川日流量

以上から、1975年の猿骨川の換算流量が図-7のように得られた。

したがって、1975年における猿骨川の最大流量は22.5m³/sec、最小流量は0.6m³/sec、平均流量は1.7m³/secと推定される。

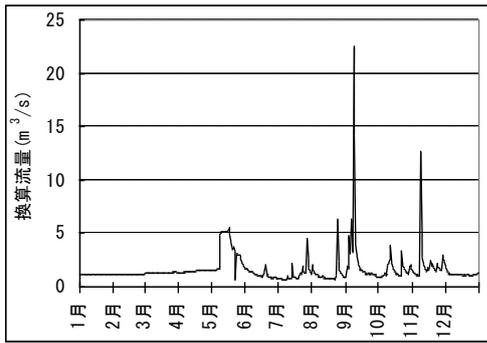


図-7 猿骨川の換算流量(1975年)

3. 現地調査

3.1 海浜断面地形と流れ

図-8 および図-9 に示した猿骨海岸の海浜地形⁶⁾は、沿岸距離 2000m、沖方向は基線から 705m の範囲を測線間隔 100m によって 1975 年 7 月、1975 年 11 月に行った深浅測量から得たものである。

また、図-10、-11 は測線 0、700、1400、2000 における水深-3m、-5m、-7m の位置で、CM-2 型流速計により 1975 年 8 月と 11 月に実測⁷⁾した流向・流速調査の結果である。

例えば、図-8 では測線 0、200、500、900、1300、1700、2000 および図-9 では測線 0、200、600、900、1400、1600、1700、2000 における水深 8m の等深線を見ると、沖方向に向けて凸形になっており、これらの測線に沿った海底断面地形は、汀線付近から沖方向に向かって盛り上った峰を形成していることが伺える。

一方、図-8 の測線 100、400、800、1400、1900 および図-9 の測線 100、400、700、800、1500、1900 の水深-8m の等深線を見ると、岸方向に向けて U 字形になって小さな谷間を形成していることが伺える。このように、汀線付近から沖方向へ海底断面地形が大小の谷間を形成しており、谷間の深くなっている所に波が集中しているものと考えられる。中でも測線 800 付近における谷間の規模は大きい。

特に、図-8 に示される 1975 年 7 月の-4.0m の等深線から、測線 600~1000 付近では測線 800 を中心に大きな湾曲状の地形が形成されている。

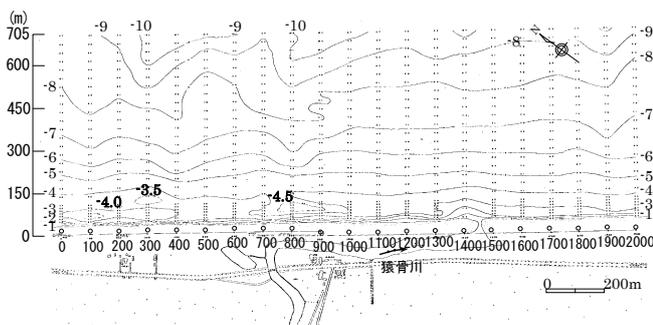


図-8 猿骨海岸海浜地形(1975年7月)

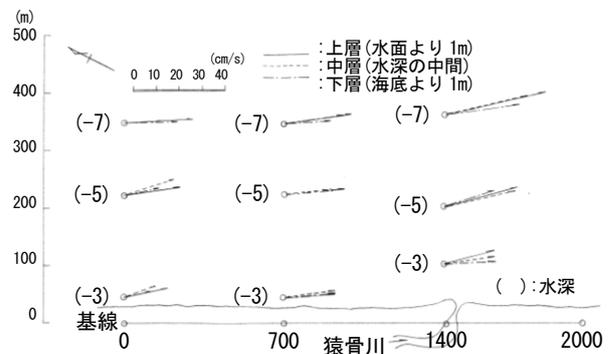


図-10 猿骨海岸 流向・流速調査(1975年8月4日)

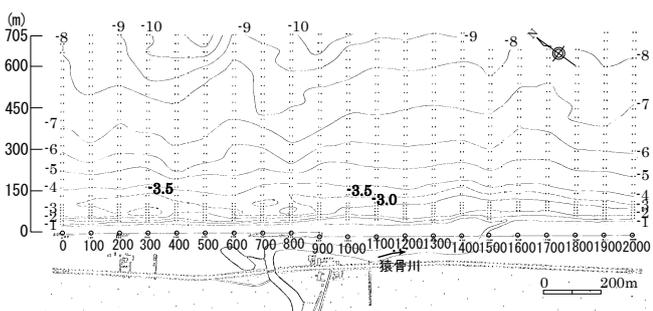


図-9 猿骨海岸海浜地形(1975年11月)

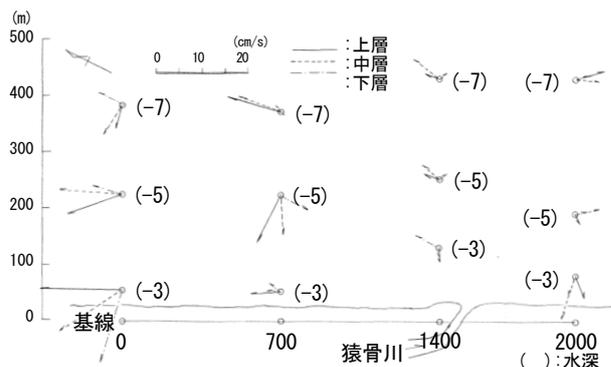


図-11 猿骨海岸 流向・流速調査(1975年11月6日)

また、図-9の1975年11月の-3.5mの等深線から、測線600~900付近で測線800を中心に、1975年7月よりやや小さな湾曲状の地形が形成されている。

3.2 底質調査

底質粒径調査⁸⁾は、図-8および図-9に示す測点0, 700, 1400, 2000の4測線における汀線, -3m, -5m, -7m, -10mの地点から1975年7月と11月に底質を採取して行った。

図-12は、1975年7月と11月に採取した底質の中央粒径を各測線の採取水深毎に示した分布である。その概略は次のとおりである。

- ①全測線において、水深-3.0mにおける粒径は汀線における粒径より小さい。
- ②1975年11月調査の測線700における底質の中央粒径ならびに1975年7月調査の測線2000における底質の中央粒径は、水深-3.0m~-10.0mまでほぼ一定である。
- ③測線1400の水深-5m以深における1975年7月と11月調査の中央粒径は、ほぼ同じである。

以上の底質粒径調査から、猿骨海岸の海浜地形は次のように考えられる。

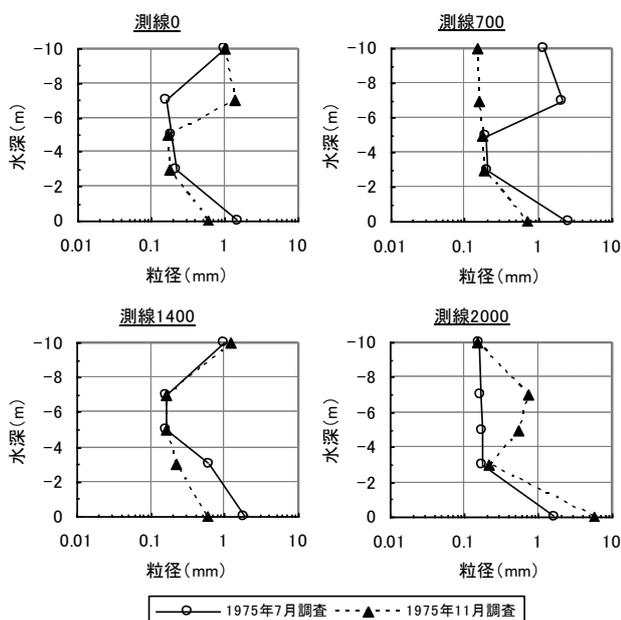


図-12 水深別底質中央粒径調査

①汀線付近より水深-3m付近の底質粒径が小さいことから、砕波帯内では汀線付近より水深-3m付近へ底質が岸からの戻り流れによって沖へ輸送されている。

②測線0, 700, 1400において、汀線における粒径は、1975年7月調査の結果が11月調査の結果よりも大きくなっている。すなわち、波形勾配の大きい波の11月における汀線底質中央粒径は、波形勾配の小さい波の7月よりも小さくなっている。したがって、7月における汀線近くの海浜勾配は、11月の海浜勾配よりも急になることになる。これは、汀線での波による打ち上げの流れ速度は、戻り流れ速度⁹⁾¹⁰⁾よりも大きく、打ち上げの流れ速度は周期の長い波ほど速度が大きいからと考えられる。

③水深-3.0m以深では、1975年7月と11月の底質中央粒径の変化が複雑で、図-10, -11に示す流向・流速との関係も特に明白なものがないが、水深-3m~-10mの間でかなり複雑な砂の移動があるものと思われる。

3.3 漂砂源調査

図-13は、北見沿岸の猿骨海岸を中心に南北30kmにおける19地点の汀線の底質粒径¹¹⁾の分布状況である。図-13から猿骨川河口を有する猿骨海岸の汀線の底質中央粒径は、周辺海岸の中央粒径より小さく、底質粒径から判断すると猿骨海岸の漂砂源は周辺海岸の底質であるが、全体的に沿岸流は南下流の影響が強いものと推察される。

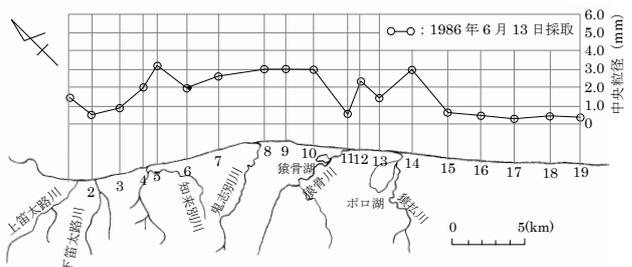


図-13 オホーツク海沿岸における前浜の汀線底質粒径分布

4. 波打帯における斜面勾配と海浜地形変化

4.1 波打帯における斜面勾配

猿骨川は図-7に示すように河川流量が少なく河口閉塞が度々発生したため、南方向へ偏流し、殆ど河床勾配が0に近い猿骨川を1979年にショートカットし、河川長を短絡させて猿骨川の河口維持が図られるように測点750に1979年から1987年にかけて平行導流堤130mが設置された。

図-14は、測線250～1250(沿岸距離1000m)区間に平行導流堤が設置された後の1986年6月および11月における汀線の位置と、自然海浜であった1975年7月における汀線の位置を比較したものである。

図-14に示す導流堤右岸側が、左岸側より汀線が前進している。この現象を図-10、-11の流向・流速調査から検証してみる。

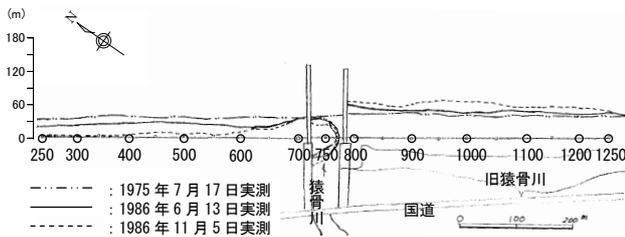


図-14 猿骨海岸の汀線変化

図-10に示す1975年8月における導流堤先端部分に相当する測線700の水深-3m地点における流向は南下流で流速は約25cm/secである。一方、図-11に示す1975年11月における水深-3m地点の流向は北上流で流速は僅か2.5cm/sec(底層)に過ぎない。また、後述する導流堤先端-4.5mを回って通過する年間平均の沿岸漂砂量の通過率は12%であり、一方、北上流に関する流速2.5cm/secから推測すると、北上流に対応した導流堤先端の通過率は僅少と想定され、そのため導流堤左岸側の汀線が後退し、右岸側の汀線が前進する現象が生じたものと推測される。

このように、波打帯における沿岸漂砂は無視で

きないものであり、また、斜面勾配や波の周期などの変化によってその漂砂量¹²⁾は変化するともいわれている。

また新藤ら¹³⁾は、遡上域の地形変化は沖波のエネルギーフラックスによって説明できるが、極端に急勾配化する場合は、汀線より沖側の地形の影響が考えられると述べている。

このように、種々の知見があるが、本論では図-2に示す猿骨海岸のように急である斜面勾配とbarの岸沖方向への移動について、図-15に示すように海浜断面を単純に模式化して検討した。

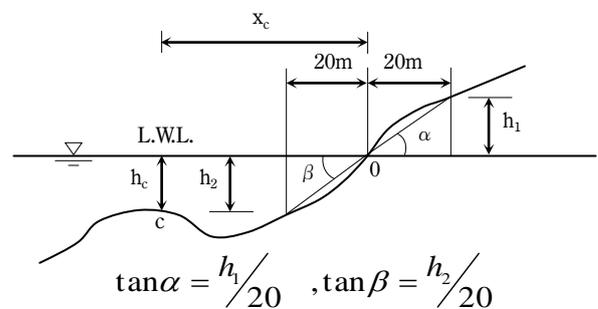


図-15 海浜断面模式図

図-15は、L.W.L.と海浜断面との交点0を基準に、陸上部の斜面勾配を $\tan \alpha$ 、水中部の斜面勾配を $\tan \beta$ とした海浜断面を模式化したものである。そして猿骨川河口の平行導流堤の左右海岸の斜面勾配を、1986年6月と11月に実測した海浜断面地形図の重ね合わせから求めたのが図-16である。

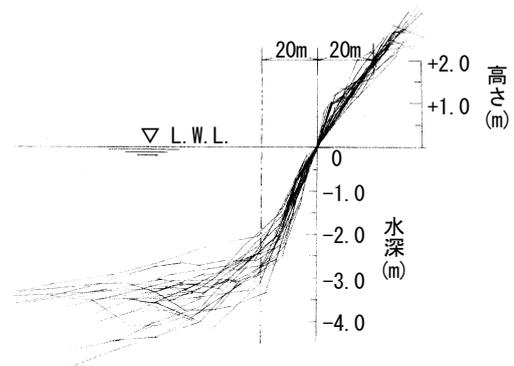


図-16 陸上部と水中部の斜面勾配

すなわち、図-14 に示す猿骨海岸の平行導流堤 ($\ell=130\text{m}$)の左岸側の測線 250, 350, 450, 500, 550, 600, 650, 700 の 8 測線(沿岸距離 450m), 右岸側の測線 800, 850, 900, 950, 1000, 1050, 1150, 1250 の 8 測線(沿岸距離 450m), 合計 16 測線について、1986 年 6 月と 11 月に実測した深淺測量から得た 32 の海浜断面図の汀線を基準点 0 とし重ね合わせたもので、図-16 に示すように陸上部と水中部の斜面勾配とした。

図-16 より、基準点 0 より陸側への水平距離 20m, 垂直高さ 2.0m の地点で、陸上部の地形がほぼ同じ位置に収斂することが明らかになった。

この垂直高さをヒストグラムで示すと図-17 のようになり、高さの幅は僅か 1.5~2.5m の範囲で、垂直高さの最頻値は 2.0m である。

したがって、猿骨海岸における陸上部の斜面勾配は導流堤の両側でほぼ 1/10(一定)であるとした。

一方、図-16 に示す L.W.L.以下の水中部では、波の遡上、流下、反射などによって海浜断面地形が変化を繰り返すため、陸上部の斜面勾配のように海浜断面地形が様な勾配を示すことはない。しかし、基準点 0 より沖方向への水平距離 20m より沖側の斜面は急勾配から緩勾配へ変わる位置であることから、水中における斜面勾配 $\tan \beta$ は、図-16 に示すように基準点 0 から沖側への水平方向 20m における地点の垂直線と海底地形との交点によって与えられるものと仮定した。

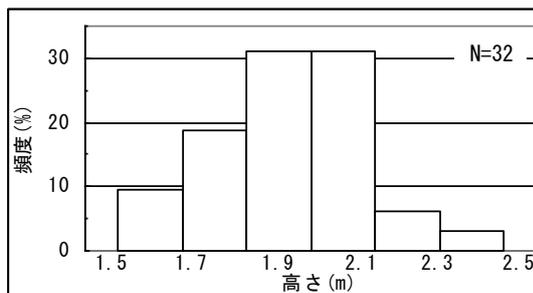


図-17 水際線より 20m における陸上部の高さのヒストグラム

4.2 斜面勾配と bar の岸沖移動

波打帯の遡上や反射によって海浜地形変化には独自のメカニズムはあるものの、波打帯の地形変化は砕波帯の地形変化と密接に関連¹⁴⁾している。そこで、これらの関係を図-15 に示す海浜断面模式図を用いて考察することにした。

図-15 に示すように、基準点 0 から bar 頂部 C 点までの水平距離を X_c , bar 頂部 C 点の水深を h_c とし、bar 頂部の相対距離 h_c/X_c と斜面勾配の比 $\tan \alpha/\tan \beta$ の関係を、深淺測量結果から求めると図-18, 図-19 のとおりである。

図-18 および図-19 は、1986 年 6 月と 11 月の深淺測量に基づく実測値であり、平行導流堤を挟んで左岸側の測線 250~700 までの 8 測線を○印、右岸側の測線 800~1250 までの 8 測線を●印によって区分した。

また、図-20, 図-21 は、導流堤設置前の自然海浜において 1975 年 7 月と 11 月に行った測線 0~2000 までの深淺測量を 100m 毎に区分した 21 断面の h_c/X_c と $\tan \alpha/\tan \beta$ の関係を示したものである。なお、図-21 の○印は現在の猿骨川河口の位置から北西側の左岸側の値であり、●印は南東側の右岸側の値である。

図-18 および図-19 に示すように、1986 年 6 月実測の場合には、導流堤左岸側において $\tan \alpha/\tan \beta$ が大きくなるにつれて h_c/X_c は減少し、一方、右岸側は $\tan \alpha/\tan \beta$ が大きくなるにつれて h_c/X_c が

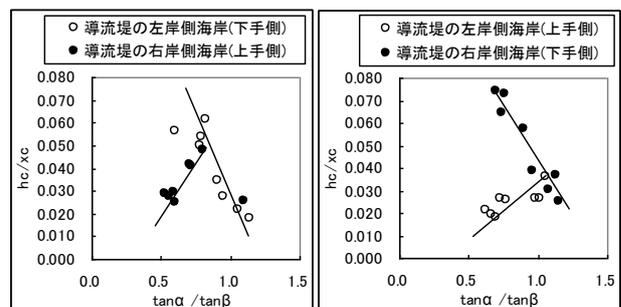


図-18 h_c/x_c と $\tan \alpha / \tan \beta$ の関係 (1986 年 6 月実測)

図-19 h_c/x_c と $\tan \alpha / \tan \beta$ の関係 (1986 年 11 月実測)

増大している。しかし、1986年11月実測の場合は、6月実測の場合と全く逆の傾向があり導流堤左岸側では $\tan \alpha / \tan \beta$ の値が大きくなると hc/Xc も大きくなり、導流堤右岸側では左岸側と逆の傾向を示している。

図-20は、導流堤設置前の1975年7月に実測した深浅測量の全測線に関するもので、 $\tan \alpha / \tan \beta$ の値が大きくなるにつれて hc/Xc の値が減少し、図-18に示す1986年6月に実測した導流堤左岸側の結果とほぼ同じ傾向を示している。

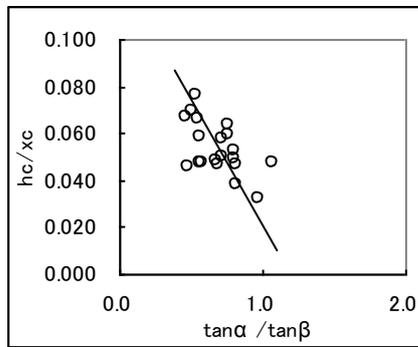


図-20 hc/Xc と $\tan \alpha / \tan \beta$ の関係 (1975年7月実測)

図-21は導流堤設置前の冬季風浪の激しい1975年11月に実測した深浅測量結果による hc/Xc と $\tan \alpha / \tan \beta$ の関係であり、図-19に示す1986年11月の導流堤右岸側海岸の結果と同じ傾向を示している。

図-21の hc/Xc と $\tan \alpha / \tan \beta$ の関係を $\tan \alpha$ と $\tan \beta$ の関係で示すと、図-22のように $\tan \beta = 0.10$ で左岸側と右岸側の2つの群に区分され、左岸側の水中海底勾配は右岸側の水中海底勾配に比較して急勾配になっていることを示している。これは図-10、図-11に示す猿骨海岸の流向・流速調査からその原因を推察することができる。すなわち、図-10の1975年8月調査では、海域全体の流向・流速は一様で南下流であったが、図-11の11月調査では、測線1000を境に右岸側と左岸側の流向はそれぞれ複雑に変化し、流速は右岸側が左岸側より遅いなどの原因によって、左・右岸の海浜地

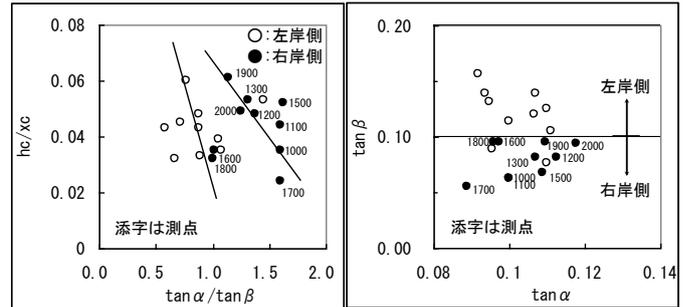


図-21 hc/Xc と $\tan \alpha / \tan \beta$ の関係 (1975年11月実測)

図-22 $\tan \alpha$ と $\tan \beta$ の関係 (1975年11月実測)

形が形成されたものと考えられる。

以上の結果、猿骨海岸における hc/Xc と $\tan \alpha / \tan \beta$ の関係は、

$$hc/Xc = A \cdot (\tan \alpha / \tan \beta) + B$$

で与えられる。ただし、A, B は係数である。

加藤¹⁵⁾は、前浜侵食の原因について、海底勾配が急勾配の海岸では荒天時の前浜侵食に対しては、長周期波よりも風波の影響の方が相対的に大きくなると述べている。

そこで猿骨海岸において、1975年7月17日と1975年11月7日に実測された深浅測量の結果、風波によってどのような影響を受けたかを知るために、図-23に示すように1975年7月17日および1975年11月7日よりそれぞれ46日以前からの波浪観測値(紋別港)の平均有義波浪($H_{1/3}$, $T_{1/3}$)を調査した。

なお、紋別港では計測頻度は1日12回であるが、図-23には日平均の観測値を表示した。

一般に海浜地形に影響を及ぼすのは、深浅測量実施当月と前月のうち2日間連続して生じた異常波浪の最大有義波浪に起因するものとし、その波浪条件を波浪観測台帳から求めている¹⁶⁾。

1975年6月1日や9月22日以前の15日間には海浜地形に影響を及ぼすような異常波浪は記録されてなかったため、6月1日および9月22日以降からの波浪観測値を用いた。また、7月16日～9月22日の期間には異常波浪はなかった。

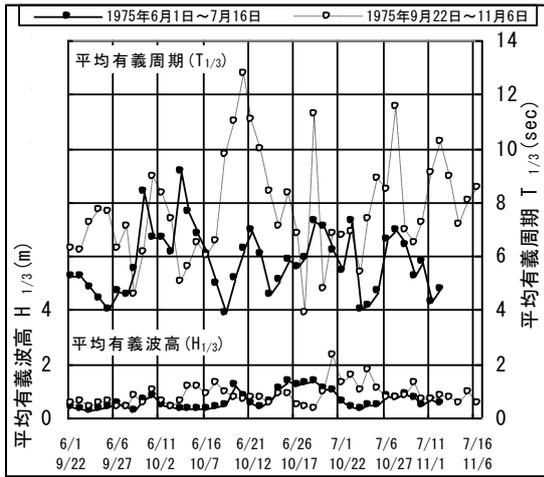


図-23 波浪観測値

図-23 から、7月17日の深淺測量時の海浜断面に大きな影響を与えた平均有義波浪は6月24~29日に発生した $H_{1/3}=1.1\text{m}\sim 1.36\text{m}$, $T_{1/3}=5.1\text{sec}\sim 7.1\text{sec}$ であり、11月7日の深淺測量時に影響を与えた平均有義波浪は10月21日~25日に発生した $H_{1/3}=1.1\text{m}\sim 2.4\text{m}$, $T_{1/3}=5.5\text{sec}\sim 7.4\text{sec}$ であると考えられる。

図-24 は、1975年7月17日と1975年11月7日の海底断面の実測のうち測線0, 500, 1000, 1500, 2000の5断面の地形を重ね合わせ比較した結果である。基準点0より沖方向400mの区間では7月から11月の約5ヶ月の間に土砂が堆積している。特に、測線0, 500, 1000では、7月に生じていたトラフが漂砂で埋められ、風波の影響によって断面地形がフラット状になったものと考えられる。

5. 導流堤伸長後の海浜地形変化

5.1 導流堤伸長計画

猿骨海岸は、平行導流堤設置に伴い汀線や bar の岸沖移動に変化が認められるようになり、また平行導流堤内に漂砂が流入し河口閉塞対策の防止効果が期待されなかったことから、左岸導流堤伸長が計画された。

その計画方針は、以下のとおりである。

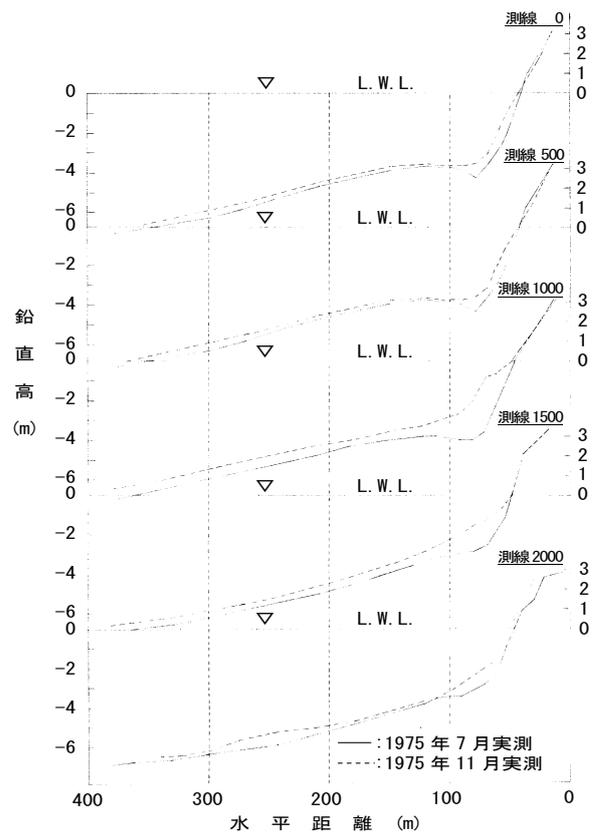


図-24 海底断面の重ね合わせ

- ①NE 方向からの波浪は、汀線に対しほぼ直角方向である。
- ②ENE 方向からの沿岸流(北上流)は冬季に多くみられる現象であり、夏季に比べると波浪は穏やかで発生頻度も少ない。
- ③過去の波浪状況から、NE~NNE 方向からの波浪の影響が大きい。また、図-13 に示した汀線底質粒径分布の状況から、沿岸流は南下流の影響が強い。

この計画方針に基づき図-25 に示されるように、左岸導流堤が1988~1994年に104m伸長されて全延長234mとなった。

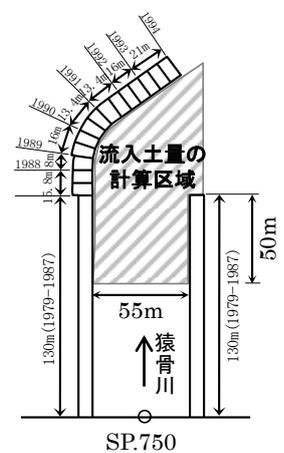


図-25 導流堤設置過程

5.2 導流堤伸長に伴う海浜地形変化

図-26(a)～(d)は、1992年5月～1996年2月の猿骨川河口導流堤付近の汀線変化である。

図-27は測量基準線より沖合200m、導流堤法線外側100m幅の区域内水域の土砂量変化を、平行導流堤がほぼ完成した1985年7月における同じ区域内水域の土砂量を基準0にし、1996年2月までの土砂量の経年変化を示したものである。

また図-27に示す導流堤内流入土砂量の計算区域の土砂量についても、同様に1985年7月を基準0にして1996年2月までの土砂量の経年変化を示し、比較したものである。

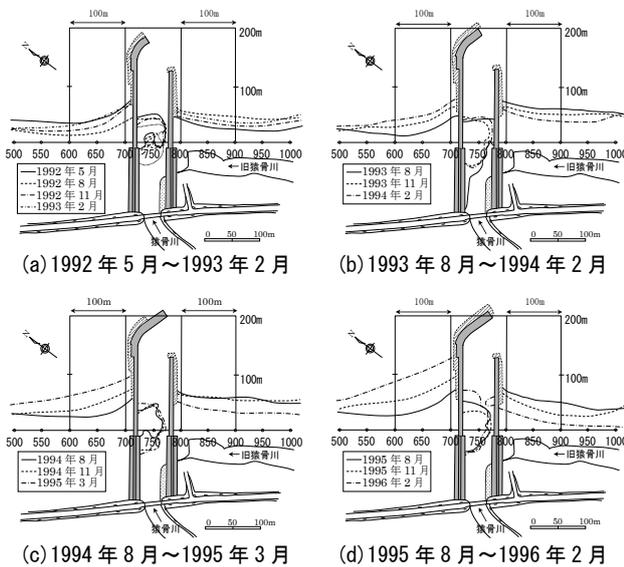


図-26 汀線変化

図-26(a)～(d)に示すように汀線変化と導流堤内土砂の移動変化から、1993年8月以後の汀線変化は導流堤左岸側では次第に沖側に向かって前進し、導流堤右岸側では後退している。これは図-26(a)に示す1993年2月以前の汀線変化と逆の傾向を示している。すなわち、図-26(a)に示す左岸側導流堤の伸長工事中は、導流堤左岸側の汀線は後退し、導流堤右岸側が前進していた。しかし、図-26(b), (c), (d)と左岸側導流堤の伸長工事が完成するにつれて、汀線変化は逆に左岸側の汀線は前進し、一方右岸側は後退してきた。

また、左岸導流堤に沿って堤内に流入する漂砂が基線付近に堆積し砂州を形成している。現在は、図-8に示す猿骨川の流量が右岸側導流堤に沿いまち筋を形成している状況である。

また図-27に示すように、猿骨川河口左右岸導流堤外側の区域内水域の土砂量は、左岸導流堤伸に伴い1993年8月頃より左岸側土砂量が増加し始め、さらに1995年8月以後、急激に土砂量が増加した。それに対して導流堤右岸側の土砂量が減少し始め、導流堤内に流入する土砂量が増加する傾向にある。

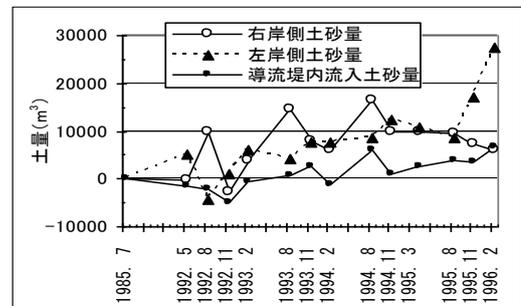


図-27 土量変化

これらの土砂量を、さらに海底断面地形図より考察する。

図-28(a), (b)は、測線700(導流堤左岸側)と測線800(導流堤右岸側)の1992年5月から1996年2月まで13回実測した海浜断面地形図である。

図-28(a), (b)に示すように、各測点の海浜断面地形は、ともに1993年2月までは全体的に平衡を保ち安定性を維持してきたが、1993年8月より測量基準線0～100m区間、100m～200m区間、200m～300m区間の海底断面地形に土砂量の増減が激しくなる傾向が見られる。

図-28(b)の測線800では、1995年8月～1996年2月の海底断面地形のうち、岸側より100mの地形は大きく侵食されているにもかかわらず、100～300m区間の地形はほとんど変化していない。これは、明らかに岸側より100mの侵食土砂量の

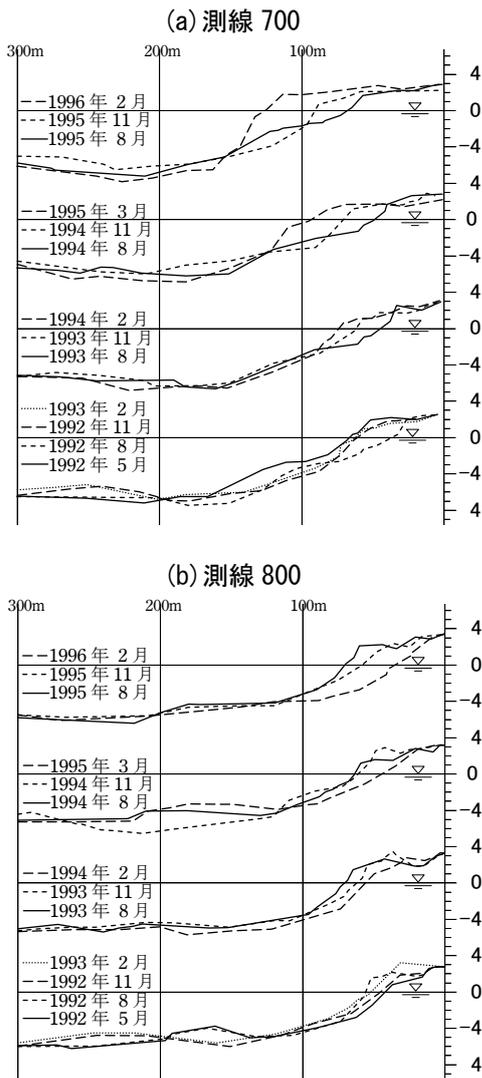


図-28 測点 700 および 800 の海底断面地形図

一部が、測量基準線より沖合い 120~220m 付近に存在する導流堤の入口から導流堤内に流入したもので、これは次に示す導流堤先端の沿岸漂砂量の通過率からも推測される。

一方、図-28(a)の測線 700 の岸側より 100m は、1995 年 8 月~1996 年 2 月に堆積土砂量が増加し、図-28(b)の測線 800 と逆の傾向が現れている。

5.3 導流堤による沿岸漂砂量の期待通過率

図-14 および図-26 に示すように、導流堤の延長に伴って上手側や下手側の汀線の前進や後退が大きく影響を受ける。そこで、この海岸の沿岸漂砂が導流堤によって阻止されたかどうかを、中村・

合田¹⁷⁾ が示した突堤先端を回って通過する年間平均の沿岸漂砂量の割合、すなわち通過率 (P_{annual}) を求めると次のとおりである。

$$P_{annual} = \exp[-0.17x^{1.5}] \quad : x = d_t / H_{s.mean}$$

ここで、 d_t : 導流堤の先端水深、 $H_{s.mean}$: 年間を通じての有義波高の平均値である。

紋別港の波浪観測資料より 1996 年における年間平均有義波高 ($H_{s.mean}$) は 0.84m¹⁸⁾ である。

また、1986 年の深淺測量時における導流堤先端水深 d_t は -4.5m、1996 年の深淺測量時の導流堤先端水深は -6.0m である。

仮に 1986 年における年平均有義波高

$$H_{s.mean} = 0.84m \text{ を適用すると、}$$

$d_t = -4.5m$ の場合の通過率 (P_{annual}) は

$$x = d_t / H_{s.mean} = 4.5 / 0.84 = 5.36$$

$$\therefore P_{annual} = \exp(-0.17 \times 5.36^{1.5}) = 0.12$$

であり、 $d_t = -6.0m$ の場合の通過率 (P_{annual}) は

$$x = d_t / H_{s.mean} = 6.0 / 0.84 = 7.14$$

$$\therefore P_{annual} = \exp(-0.17 \times 7.14^{1.5}) = 0.04$$

となる。

したがって、1986 年時における導流堤先端を回って通過する漂砂の通過率は 12% に対して、1996 年時における通過率は僅か 4% である。したがって、導流堤先端水深が -6.0m であれば年間平均の沿岸漂砂はほとんど阻止されたことになる。

6. 遡上高と反射率

6.1 遡上高 (Rc)

図-29(a), (b) は、猿骨海岸における波の遡上高 (Rc) を 1975 年 7 月および 11 月調査の斜面勾配 ($\tan \alpha$) から Hunt の式¹⁹⁾によって求め、遡上高 (Rc) と斜面勾配比 ($\tan \alpha / \tan \beta$) との関係を示したものである。

なお、入射波としては紋別港における波浪観測データより、1975 年 7 月の場合には $H_0 = 1.7m$, $T = 7.2sec$, 1975 年 11 月の場合には $H_0 = 3.1m$,

T=7.2sec を用いた。

図-29 (a), (b)より 7月調査の海浜では遡上高(Rc)の最大値は $\tan \alpha / \tan \beta = 0.75$ で得られ, 11月調査の海浜では $\tan \alpha / \tan \beta = 1.25$ の時に遡上高(Rc)の最大値が得られる. そして, 遡上高(Rc)の最大値が得られる $\tan \alpha / \tan \beta$ の値を, 1975年7月と11月の調査結果で比較すると

$$\frac{\tan \alpha / \tan \beta (7月)}{\tan \alpha / \tan \beta (11月)} = 0.75 / 1.25 = 3/5$$

となる。

ここで, たとえば陸上部斜面勾配 $\tan \alpha$ を一定であると仮定すると

$$\tan \beta (11月) / \tan \beta (7月) = 3/5$$

となり, 遡上高の最大に及ぼす1975年7月の $\tan \beta$ は, 1975年11月の値の約1.7倍である。

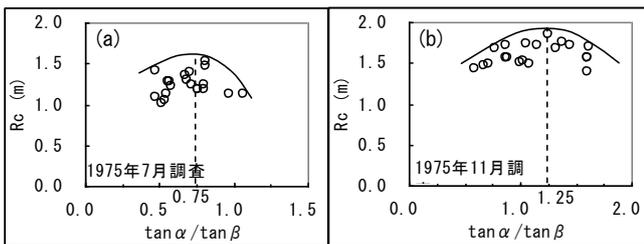


図-29 遡上高と $\tan \alpha / \tan \beta$ の関係

このように, 陸上部斜面勾配 $\tan \alpha$ を仮に一定とした場合の遡上高の最大と $\tan \beta$ の関係からも, 図-8に示す1975年7月の実測の海浜地形では, 図-9に示す1975年11月の等深線の間隔よりも狭く, そのため前浜はやや急勾配になっていることが推測される。

6.2 斜面勾配と反射率(K_R)

図-30(a), (b)は, 猿骨海岸における波の反射率(K_R)を1975年7月と11月調査の斜面勾配($\tan \beta$)からMicheの式²⁰⁾によって求め, 反射率(K_R)と斜面勾配比($\tan \alpha / \tan \beta$)の関係を示したものである. ただし, 反射率 K_R の計算に用いた波浪は, 遡上高 Rc の計算に用いた波浪と同じ値である。

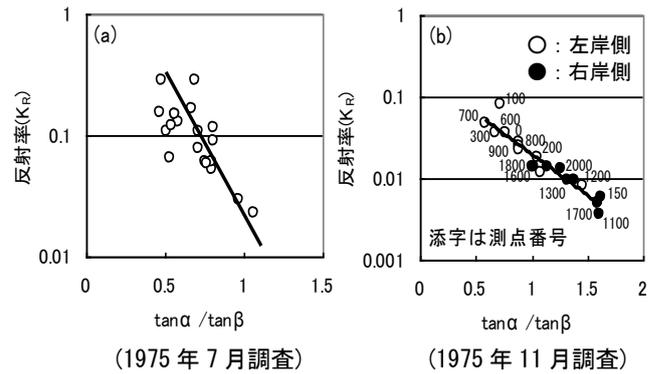


図-30 反射率と $\tan \alpha / \tan \beta$ の関係

1975年7月と11月の調査結果を比較すると, 反射率の最大値で $K_R(11月) / K_R(7月) \approx 0.51$

最小値で $K_R(11月) / K_R(7月) \approx 0.22$

となり, 1975年7月の調査に較べて11月の調査による反射率の値は小さい. また図-30(b)より, 11月の調査結果から求めた反射率が猿骨川河口導流堤の左岸側より右岸側の方がやや小さくなっており, 前浜勾配の違いによる反射率(K_R)の変化が明らかになった。

7. むすび

主な結論は次のとおりである。

- ①波打帯の斜面勾配($\tan \alpha$, $\tan \beta$)を, 汀線より岸沖水平方向 20m の地点における垂直線と海浜断面地形との交点によって構成する勾配で示すことができるとすると, 斜面勾配比($\tan \alpha / \tan \beta$)と bar の岸沖移動の相対位置(hc/Xc)の関係は,

$$hc/Xc = A \cdot (\tan \alpha / \tan \beta) + B$$

で示すことができる. ただし, A, B は係数である。

- ②猿骨海岸では, 猿骨川河口導流堤設置後の1986年6月調査の場合には斜面勾配比($\tan \alpha / \tan \beta$)と bar の岸沖移動の相対位置(hc/Xc)の関係は, 河口導流堤の左岸側では($\tan \alpha / \tan \beta$)が大きくなるにつれて(hc/xc)の値は減少し, 一方, 右岸

側では左岸側と逆で($\tan \alpha / \tan \beta$)の値が大きくなるにつれて(hc/Xc)の値も増大する。しかし、1986年11月調査の結果では、右岸側の($\tan \alpha / \tan \beta$)の値が大きくなるにつれて(hc/Xc)は減少し、左岸側では右岸側と逆になった。これらは、季節によって来襲する波の性質の違いによって生じるものと考えられる。

③海浜への波の遡上高に関する調査では、1975年11月より7月の遡上高の最大値が生じる $\tan \alpha / \tan \beta$ の値が小さいことから、 $\tan \alpha$ を一定と仮定すると $\tan \beta$ の値が大きくなる。したがって、11月より7月のL.WL.以下の水中部の勾配が急になる。これは、1975年7月における反射率は、1975年11月よりも大きいことから判断できる。

今後の課題として、猿骨川河口導流堤内への土砂流入量と導流堤左右海岸の侵食・堆積土砂量などについて調査し検討していきたい。

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ならびに稚内土木現業所より資料の提供を頂いたことを記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 戸巻昭三, 竹沢三雄, 後藤浩: 北海道沿岸における海浜断面の特性と bar 形状の変化, 日本沿岸域学会誌, Vol.20, No.20, pp.13-22, 2007.
- 2) 紋別港港湾管理者: 紋別港港湾計画-改定-, 港湾審議会計画部会資料, 127p. 1985.
- 3) 独立行政法人港湾空港技術研究所: 全国港湾海洋波浪観測 30 年統計, 港湾空港技術研究所資料, No.1035, pp.193-202, 2002.
- 4) 稚内土木現業所: 猿骨川局部改良工事のうち河口解析報告書, 153p. 1986.
- 5) 日本気象協会北海道本部編: 雨量・水位・流量年表, p.170, 1977.
- 6) 稚内土木現業所: 猿骨川局部改良工事のうち河口解析報告書(その 1), 98p. 1976.
- 7) 前出 6)
- 8) 前出 6)
- 9) 井島武士: 海岸・港湾測量, 森北出版, pp.133-134, 1960.
- 10) 山口隼人, 堤浩司, 鈴村聡, 関克己, 水口優: 高波浪時における遡上域付近の波の特性と岸沖漂砂量について, 海岸工学論文集, 第 54 卷, pp.496-500, 2007.
- 11) 前出 4)
- 12) 土木学会編: 漂砂環境の創造に向けて, pp.131-134, 1993.
- 13) 新藤淳, 加藤一正, 水口優: 長期現地観測データに基づく汀線近傍の海浜変化特性, 海岸工学論文集, 第 46 卷, pp.631-635, 1999.
- 14) Mahmood R. Akbarpour Jannat, 浅野敏之: 碎波帯・波打ち帯を総合的に捉えた風波・長周期波による底質移動外力の評価, 海洋開発論文集, 第 22 卷, pp.469-474, 2006.
- 15) 加藤一正: 緩勾配海岸と急勾配海岸の前浜に作用する外力の違い, 第 40 回海講論, pp.421-425, 1993.
- 16) 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, 海洋開発論文, Vol.14. pp.173-178, 1998.
- 17) 中村聡志, 合田良実: 波の不規則性と波候統計を考慮した突堤構造物の沿岸掃流砂阻止機能の定量的評価, 土木学会論文集 B, 第 63 卷, 第 4 号, pp.225-271, 2007.
- 18) 運輸省港湾技術研究所編: 全国港湾海洋波浪観測年報(1996), 港湾技研資料, No.894, pp.168-173, 1998.
- 19) Hunt, I.A.: Design of seawall and breakwaters,

Proc.ASCE, Vol. 94, No. WW1, pp.72-92, 1959.

- 20) Miche, R.:Le pouvoir réfléchissant des ouvrages maritime exposés à l'action de la houle, Annales Ponts et Chaussées, 121^e Année,pp.285-319, 1951.

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7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.

森居 久 (非会員)

(株)サッポロエンジニアーズ(札幌市中央区南7条西2丁目),

昭和26年生まれ, 昭和49年3月室蘭工業大学工学部土木工学科, 昭和50年6月(株)サッポロエンジニアーズ勤務, 技術士, 土木学会会員.

竹沢 三雄 (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修了, 昭和40年4月日本大学理工学部勤務, 現在同大学名誉教授, 工学博士, 土木学会, フェロー.

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土木工学専攻博士前期課程修了, 平成7年4月日本大学理工学部勤務, 現在同大学専任講師, 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

Relations between slopes and beach topography on swash zones of the Sarukotu coast

Shozo TOMAKI, Hisashi MORII, Mitsuo TAKEZAWA
and Hiroshi GOTOH

ABSTRACT : This paper describes on relations between slopes and beach topography on swash zones of the Sarukotsu coast before (1975) and after (1986) constructing training jetties at the river mouth of the Sarukotsu River of Hokkaido, Japan. The relation between the ratio ($\tan\alpha/\tan\beta$) of the slop $\tan\alpha$ of the land side and the slop $\tan\beta$ of the sea side from a criterion of the shoreline and ratio (hc/Xc) of the water depth hc on the bar top and the horizontal distance Xc from a criterion of the shoreline to the position at the bar top was clarified by the sounding in 1975 and 1986. Consequently, it is clear that the relation between (hc/Xc) and ($\tan\alpha/\tan\beta$) is given by $hc/Xc = A \cdot (\tan\alpha/\tan\beta) + B$, where A and B is a constant. In addition, it can be explained by the ratio $\tan\alpha$ and $\tan\beta$ that is the maximum of the wave run-up that the wave reflection coefficient is large at $\tan\beta$ of the steep slope and is small at $\tan\beta$ of the gentle slope.

KEY WORDS : swash zone, bar, slope, training jetty, wave run-up, wave reflection.