

苫小牧海岸における防波堤建設前後の 波打帯近傍の地形変化に関する考察

COSIDERATION ON THE TOPOGRAPHIC CHANGES NEAR THE SWASH
OSCILLATION BEFORE AND AFTER CONSTRUCTION OF THE BREAKWATER
AT THE TOMAKOMAI COAST

戸巻 昭三¹・佐藤 寿彦²・竹沢 三雄³・後藤 浩⁴
Shozo TOMAKI, Toshihiko SATO, Mitsuo TAKEZAWA and Hiroshi GOTOH

¹正会員 工博 株式会社クマシロシステム設計 (〒001-0011 札幌市北区北 11 条西 2 丁目 10)

²正会員 株式会社クマシロシステム設計 (〒001-0011 札幌市北区北 11 条西 2 丁目 10)

³フェロー 工博 日本大学 名誉教授 (〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8)

⁴正会員 工博 日本大学准教授 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 topographic changes of the foreshore before and after the breakwater were constructed at the Tomakomai coast of the Hokkaido were described in this paper. In consequence, the reflection coefficient from foreshore, the position of bar top and the rolling up sand due to the breaker were expressed by the ratio of slopes and the undertow. Moreover, some factors of coastal topography were explained by the multiple correlation analysis.

Key Words: Foreshore slope, reflection coefficient, undertow, amount of rolling up sand.

1. はじめに

著者らは、前回¹⁾の報告で北海道太平洋沿岸苫小牧港西港区の東防波堤より東方向 3.5km の地点から東方へ沿岸距離 10km のうち 2500m について自然海浜における波打帯近傍の斜面勾配、遡上高、反射率および bar 頂部の岸沖移動などを深淺測量など現地データに基づき考察した。

本研究は、苫小牧海岸の調査範囲²⁾を苫小牧港西港区よりさらに東方向へ拡大し、苫小牧港東港区東防波堤を中心に防波堤建設前・後の東防波堤の西側海岸と東側海岸における斜面勾配、bar の岸沖移動、戻り流れ、巻き上げ量などから、防波堤建設による海浜地形変化について考察した。

2. 苫小牧海岸の概況と調査範囲

(1) 苫小牧海岸の概況

現地調査地点の苫小牧海岸は、北海道の太平洋に面し、襟裳岬から地球岬(室蘭)までの日高・胆振海岸のうち、日高海岸の平均した走行 N-122°-S と、胆振海岸の平均走行 N-52°-S が、約 110°の角度で交差し、これらの両者を円弧で接続する弧状の約 44km の範

囲が苫小牧海岸となっているが、本研究では、図-1 に示す苫小牧海岸の測線 25~70(測線間隔 250m)の 11.25km 区間が研究対象である。

苫小牧海岸の海底地形は、図-1 に示すように、等深線が湾奥地形にほぼ平行し、その海底勾配は 1/100 ~ 1/200 の遠浅海岸である。しかし、苫小牧港東港区東防波堤の先端部分(水深-18m 付近)には南東から北西に向かって数 km に亘り比高 4.0m 以上もある巨大な sand ridge が形成されている。

(2) 現地調査の範囲

本研究の調査範囲は、図-1 に示す苫小牧港西港区の東防波堤基部より東方へ 10km 離れた測線 25 より、さらに東方向へ沿岸距離 11.25km の測線 70 までの区間で、東港区東防波堤建設前の 1975 年 11 月と建設後の 1979 年 11 月に各基線から沖方向 550m までの範囲を測線間隔 250m で深淺測量し、東防波堤の西側海岸の測線 25~44 の 20 測線、東側海岸の測線 55~70 の 16 測線、合計 36 測線を調査研究の対象とした。

(3) 波浪条件

苫小牧海岸の波浪は、苫小牧港東港区の沖合水深 -24.5m で北海道開発局により観測されている。図-2 は、この観測から得られた 1978 年 1 月~12 月の 1

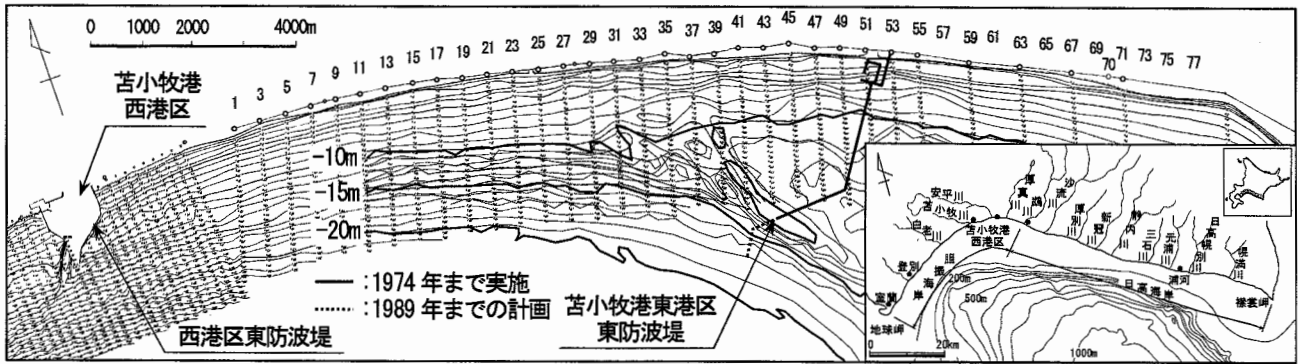


図-1 苫小牧海岸平面図

ヶ年間の波向別波高出現回数³⁾である。通年の最多波向は、苫小牧海岸に対しほぼ直角方向になるS方向で、その出現率は約42%である。次いでSSE方向の27%、SSW方向の22%である。

表-1は、短期的に海浜地形に作用した波の諸元で、深浅測量実施前の2ヶ月のうち、約2日間連続して生じた最大有義波浪($H_{1/3}$, $T_{1/3}$)を波浪観測台帳から求めた。

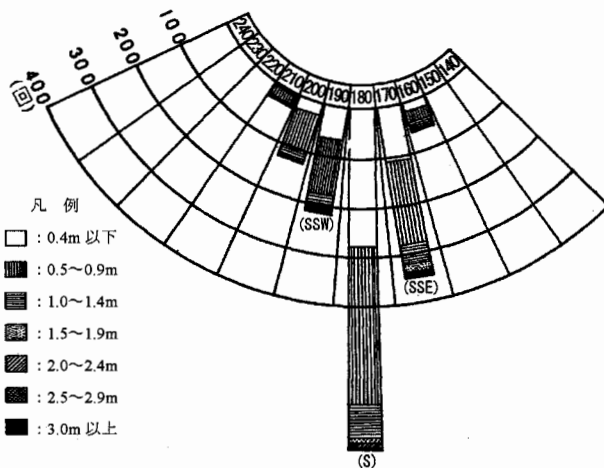


図-2 波向別波高出現回数図

表-1 深浅測量実施2ヶ月前の最大有義波浪

深浅測量日	波浪台帳から抽出した年月	最大有義波浪	
		$H_{1/3}$	$T_{1/3}$
1975年11月	1975年10~11月	2.6m	9.3s
1979年11月	1979年10~11月	3.5m	11.4s

(4) 屈折図

苫小牧海岸に来襲する波が、巨大な sand ridge によって複雑に変化する。

苫小牧港において1964~1991年までに観測された波浪から、10年確率の波高、周期を求めると表-2のとおりである。

図-3(a), (b), (c)に示す屈折図は、1975年11月の東港区東防波堤建設前の自然海浜における深浅測量図と表-2の波浪条件によって作成したものである。

図-3(a), (b), (c)の中央部には巨大な sand ridge が存在し、その東側海岸では水深-10m以深の海底地形が緩勾配である。一方、西側海岸の測線38~46では

sand ridge の遮蔽域内にあり、また水深-10m以深は急勾配である。

図-3(a), (b)の屈折図から、SSEとS方向の波向線は東側海岸の汀線付近で狭まるため波が収束し、波高が局所的に増大するが、西側海岸における屈折図の波向線は、汀線付近で広がるため波が発散するものと考えられる。

また、図-3(c)の屈折図から、波向SSWは汀線に対しほぼ直角のため、波向線は西側海岸の汀線付近で発散する傾向があるが、東側海岸では波がやや収束するものと考えられる。

すなわち、東側海岸の汀線付近ではSSE, S, SSWの波向線が収束し、波高が局所的に増大するため海浜地形は侵食される傾向が強く、逆に西側海岸では

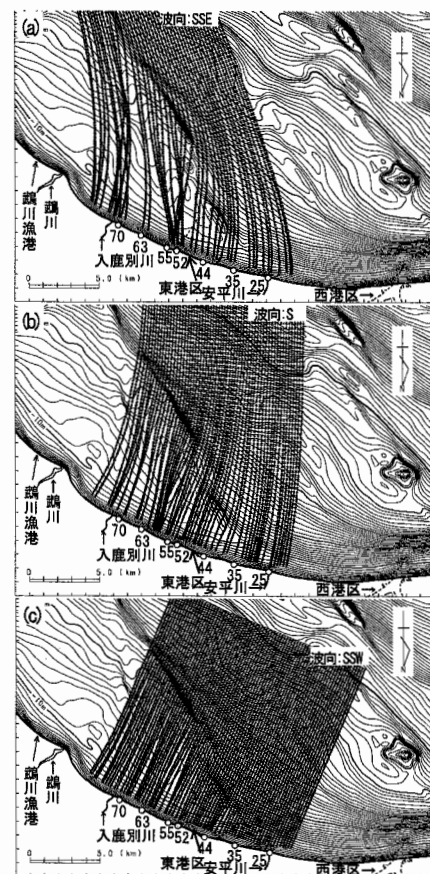


図-3 各波向に対する屈折図

波が汀線付近で広がり発散し、波高が低減されるため、海浜地形は堆積するものと考えられる。

表-2 屈折図作成のための波浪条件と波向線

波 向	SSE	S	SSW
汀線に対する波向	47.5 度	70 度	92.5 度
周 期	9.3s	11.6s	6.6s
波 高	3.6m	3.9m	2.9m

3. 波打帯近傍の斜面勾配と汀線変化

(1) 波打帯近傍の斜面勾配の定義

図-4 は苦小牧海岸において 1975 年 11 月に実測した苦小牧港東港区東防波堤の東・西側海岸の測線 36 断面について、干潮時の汀線を原点 0 とし深淺測量結果を重ね合わせたものである。前浜の侵食後に汀線付近の地形が緩勾配化するといわれ⁴⁾、図-4 に示すように原点 0 から岸・沖方向への水平距離 20m からの地点が海浜地形の変曲点となっている場合が多いことから、図-5 に示すように波打帯近傍の陸上部の斜面勾配を $\tan\alpha$ 、水中部を $\tan\beta$ と定義した。

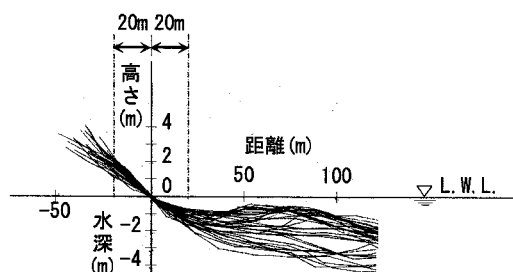


図-4 陸上部と水中部の斜面勾配

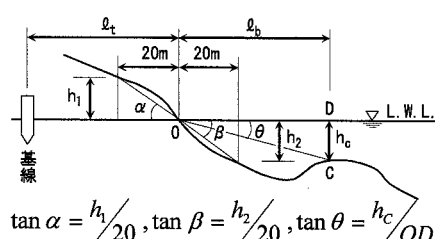


図-5 海浜断面模式図

(2) 苦小牧港東港区の東防波堤の建設過程

苦小牧港西港区東防波堤より東側 16.5km の測線 52 を基準として苦小牧港東港区東防波堤の延長 5370m が図-6 に示すとおり 1986 年度までに完成した。なお、本研究の現地調査は、東防波堤建設前の自然海浜であった 1975 年 11 月と、東防波堤を 4323m(堤頭部水深-18m)まで伸長した 1979 年 11 月に行われた。

(3) 苦小牧海岸の汀線変化

図-7 は 1972 年 3 月から 1981 年 11 月までの苦小牧海岸における汀線変化で、実測した深淺測量の基点から汀線までの距離 ct を抽出したものである。

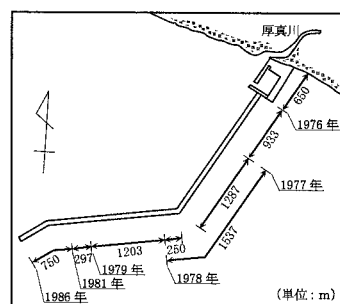


図-6 苦小牧港東港区東防波堤建設過程

図-7 より 1972 年 3 月と 1973 年 2 月の実測汀線は、測線 45～55 付近の約 2.5km 区間が他の地点より 120m ほど突出した汀線地形を形成している。

この汀線変化は、図-1 の苦小牧海岸の平面図から判断すると水深-10m～-15m 付近に広がる巨大な sand ridge の遮蔽域内にあるため、汀線とその sand ridge の間に発生するトンボロ現象によって汀線が前進したものと考えられる。また西側海岸の測線 25～28 区間の汀線が前進しているのは、測線 25 が安平川(計画高水流量 570m³/s, 流域面積 561.1km²)の左岸河口付近であるため、安平川からの流出土砂の影響によるものと考えられる。

一方、東側海岸の測線 69 付近から測線 72 へと汀線が前進しているのは、この測線の間に流出する入鹿別川(計画高水流量 160m³/s, 流域面積 50.9km²)からの流出土砂の影響によるものと考えられる。

さらに東・西側海岸の汀線変化の大きな違いは、まず東防波堤西側海岸では、図-1 に示すように東防波堤延伸に伴って東側海岸から西側海岸へ移動する沿岸漂砂が阻止され、さらに測点 25 より西方向へ 10km に位置する西港区東防波堤先端は汀線より 1500m 沖合いで、しかも水深-15m のため沿岸漂砂は捕捉されて苦小牧港東港区と西港区間の沿岸漂砂移動だけになり、そのため経年的に砂が沖方向へ流出し汀線がやや後退したものと考えられる。一方、東防波堤東側海岸の汀線が、東防波堤建設後から測線 62～71 区間において後退しているが、測線 72 より東方向へ 6.5km に位置する鵜川漁港建設⁵⁾に伴って苦小牧港東港区へ移動する沿岸漂砂が捕捉されたことがその原因であると考えられる。また、鵜川漁港より西方向 2km に位置する一級河川鵜川(流域面積 1270km², 計画高水流量 3600m³/s)からの流出土砂が苦小牧港東港区東側海岸への供給源の一つであるが、東流する沿岸流より、東防波堤の伸長に伴う防波堤の下手側への波浪流⁶⁾が強く、汀線の後退地点が次第に東方向へ移動したものと考えられる。

(4) 斜面勾配と反射率

図-8 (a), (b) は、Battjes⁷⁾の自然海浜における反射率(γ)と西側海岸 20 断面、東側海岸 16 断面の斜面勾配比($\tan\alpha/\tan\beta$)との関係を東防波堤建設前・後の 1975 年 11 月と 1979 年 11 月に行った深淺測量から、

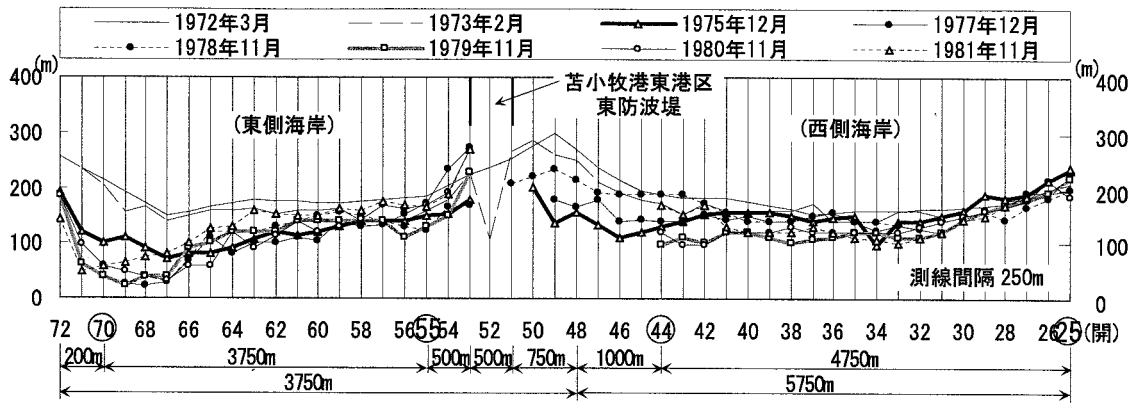


図-7 苦小牧海岸の汀線変化図

東防波堤の東・西側海岸に区分して示したものである。

Battjes の式は

$$\gamma = 0.1 \tan^2 \beta / H_{50} / L \quad (1)$$

であり、波高(H_{50})は、汀線より 50m 沖合水深の波高であり、 L はその地点の波長である。また $\tan \beta$ は水中部の斜面勾配を用いた。

図-8 (a), (b) から、東防波堤建設前・後の斜面勾配比($\tan \alpha / \tan \beta$)と反射率(γ)の関係は、何れも斜面勾配比が大きくなれば反射率は小さくなり、斜面勾配比が小さくなれば反射率は大きくなる。

図-8 (a) の東防波堤建設前では、東・西側海岸の斜面勾配比と反射率の関係はほぼ同じ傾向を示すが、 $\tan \alpha / \tan \beta = 1 \sim 2$ 付近に集中する傾向があり、そのうち反射率 0.01 以上のものは東側海岸に多い。

一方図-8 (b) の東防波堤建設後では、東・西側海岸の反射率 γ は斜面勾配比 $\tan \alpha / \tan \beta$ によって区分され、同じ大きさの $\tan \alpha / \tan \beta$ に対する反射率は西側海岸が東側海岸より大きい。これは、図-7 に示すように 1979 年 11 月において東防波堤の東側海岸の汀線

が侵食され、陸上部の土砂を流出し、図-9 に示すように陸上部の勾配 $\tan \alpha$ が西側海岸のほぼ 1/2 にまで減少したことによるものと推定される。

4. 碎波帯における戻り流れと bar 頂部の移動

図-10 (a), (b) は、1975 年 11 月と 1979 年 11 月の調査における東防波堤東・西側海岸の bar 頂部の位置を示す $\tan \theta$ (図-5 参照) と、汀線から沖合い 50m 地点の碎波帯内における戻り流れ U との関係である。なお、碎波帯内の戻り流れ U は、Svendsen⁸⁾ の式(2)によって求めた平均流速 U_{mean} である。

$$U_{mean} = \left(C_A \cdot H^2 \cdot \frac{1}{T} \right) / d_{tr} \quad (2)$$

ここで、 C_A : (定数=0.9), T : $T_{1/3} / 1.2$ (浅海域), d_{tr} : 波の谷から海底面までの深さ、波高(H)は、沖合 50m 地点の水深における波高で、表-1 の最大有義波から不規則波の浅水変形モデル⁹⁾により求めた。

図-10 (a) から、東・西側海岸は戻り流れ 0.10m/s を境にして区分されているが、図-10 (b) では戻り流れは東西側海岸でほぼ同じ傾向を示している。また、図-10 (a) から東防波堤建設前の $\tan \theta$ は 0.01 前後の値で比較的小さく bar 頂部は東・西側海岸ともに戻り流れの影響によって大きく変化することがなかったものと考えられる。

一方、図-10 (b) から、東防波堤建設によって、bar 頂部の位置を示す $\tan \theta$ は戻り流れの大きさに影響さ

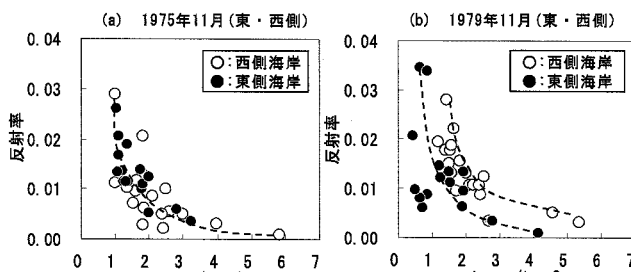


図-8 $\tan \alpha / \tan \beta$ と反射率の関係

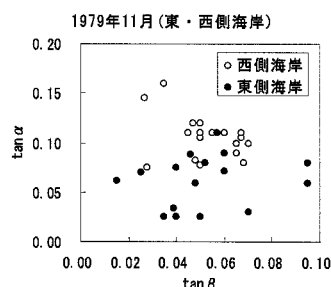


図-9 $\tan \alpha$ と $\tan \beta$ の関係(1979 年 11 調査)

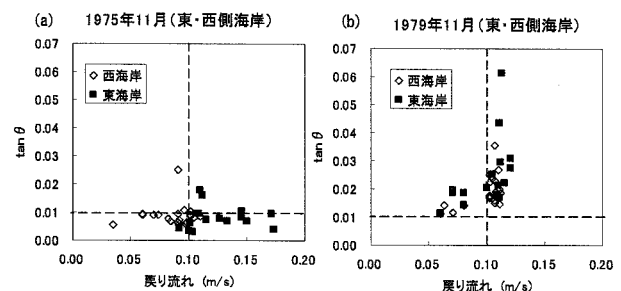


図-10 $\tan \theta$ と戻り流れの関係

れることが明らかになった。そして、戻り流れ 0.05 ~ 0.125m/s の範囲で $\tan\theta$ が 0.01~0.06 と変化し、東・西側海岸で戻り流れによる bar 頂部の位置が大きく変化している。

5. 巻き上げ量と戻り流れ

不規則波砕波帯では、砕波に伴う強い乱れによって多量の底質が巻き上げられるため、活発な浮遊砂現象がみられる。佐藤ら¹⁰⁾は、VTR 画像により巻き上げは、砂れん、砕波に伴う乱れ、シートフロー状態からの遷移の 3 つに分類できるとし、砕波による底質の巻き上げ量(Msm)の最大値を式(3)によって評価している。

$$Msm/(\rho_s \times H_b^2) = 4.4 \times 10^{-8} (U_b/\omega_s)^{3.3} \quad (3)$$

ここで、苦小牧海岸における巻き上げ量の評価にあたって、汀線から 50m 沖合いの水深 h におけるものとし、波高(H_b)は、その地点の砕波波高、 ρ_s は底質砂の密度、 U_b は微小振幅波理論によって計算される水深 h における底面流速振幅値、 ω_s は Rubey の式で計算される底質の沈降速度である。

図-11(a)より、東防波堤建設前には戻り流れ U が大きくなるにつれて砕波による底質の巻き上げ量 Msm は増加する。特に、東側海岸の Msm は戻り流れが 0.1m/s より大きくなると急に増加する。すなわち、東防波堤建設前の東側海岸で汀線から 50m 沖合いの砕波波高 H_b が高く、底面流速振幅値 U_b が大きくなり砕波による底質の巻き上げ量 Msm は最大 18 kg/m³ までに達する。そのため水深の浅い岸側から砕波帯付近まで掃流砂が広く分布し、海浜断面地形変化¹¹⁾を生じさせ、この現象は東側海岸で特に強い。

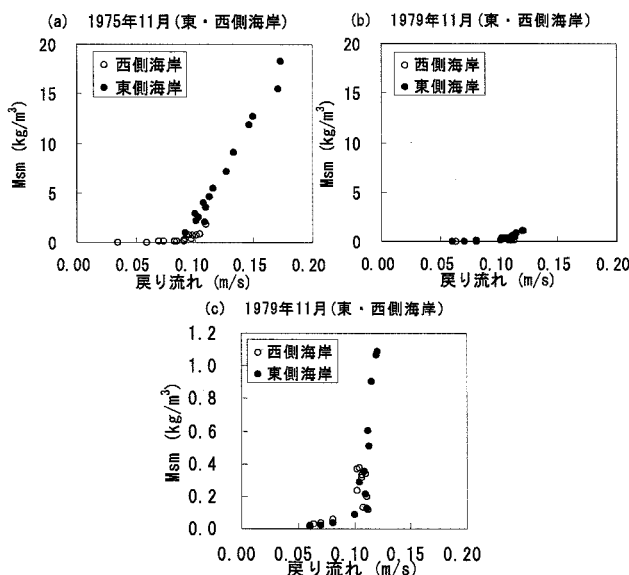


図-11 Msm と戻り流れの関係

図-11(b)は、東防波堤建設後の砕波による底質の巻き上げ量 Msm と戻り流れ U の関係を示したもので、戻り流れ U の増加とともに砕波による底質の巻き上げ量 Msm が増加するが、東防波堤建設前の増加率よりもかなり小さい。

図-11(c)は、図-11(b)の Msm 軸を拡大したもので、戻り流れ U が 0.1m/s より大きくなると砕波による底質の巻き上げ量 Msm が急激に増加する。また、東防波堤建設後に図-7 に示すように東・西側海岸の汀線が侵食され土砂が砕波帯の岸側に堆積し、戻り流れは減速し、その変化の幅は狭くなる。

以上から東防波堤建設後には、東・西側海岸ともに砕波による底質の巻き上げ量(Msm)は東防波堤建設前のほぼ 16%程度と小さくなった。

6. 巻き上げ量(Msm)と地形の関係

汀線より 50m 沖合いの地形変化と関連のある砕波による底質の巻き上げ量(Msm)を目的変数とし、これに対する説明変数を図-5 の海浜断面に示す $\tan\beta$, $\tan\theta$, 戻り流れ(U), 自然海浜の反射率(γ), 基線から原点 0(汀線)までの距離(lt)(図-5 参照)の 5 項目とし、これらの変数がどのように砕波による底質の巻き上げ量 Msm を予測するのに重要であるかを多重共線性¹²⁾を考慮し、重回帰分析によって予測してみる。

菅¹²⁾が示した重回帰分析で得られる偏回帰係数を標準誤差で割った t 値を用いて重要度ランキングの判定にない作成したのが表-4 である。

なお、表-4 には重相関係数と F(0.01)の検定結果も付した。

表-4 から、回帰による分散比(F_0)を、F(0.01)検定した結果、1975 年 11 月調査の西側海岸を除き、仮説は危険率 1%で棄却され、説明変数 $\tan\beta$, $\tan\theta$, U, γ , lt は目的変数 Msm の予測に役立つといえる。

表-4 の重回帰分析結果から東・西側海岸の相違について考察すると、次のとおりである。

表-4 t 値による目的変数(Msm)に対する説明変数

事 項	$\tan\beta$	U	$\tan\theta$	γ	lt	重相関係数	F(0.01) 検定
1975 年 11 月							
西側海岸	(0.16) 0.85 2	(0.71) 2.19 1	(-0.007) -0.51 ②	(-0.09) -0.65 ①	(-0.17) -0.46 ③	0.766 ①	$F_0=3.97 < F_{14}^5$ (0.01)=4.69
東側海岸	(0.41) -1.20 ①	(0.99) 26.25 1	(-0.06) -1.08 ②	(0.13) ×	(-0.26) ×	0.993	$F_0=290 > F_{12}^3$ (0.01)=5.95
1979 年 11 月							
西側海岸	(0.03) 0.85 2	(0.73) 1.34 1	(0.56) 0.62 3	(-0.18) -0.73 ②	(-0.51) -1.40 ①	0.803	$F_0=5.09 > F_{14}^5$ (0.01)=4.69
東側海岸	(0.70) 2.11 1	(0.71) 0.60 4	(0.34) 1.75 2	(0.66) ×	(0.50) 0.70 3	0.859	$F_0=7.74 > F_{11}^4$ (0.01)=5.67

注-1 上段()は、Msm に対する単相関係数

注-2 中段は、Msm に対する t 値

注-3 枠内の数字 1, 2 などは、目的変数に対し(+)に働く重要度の順位

注-4 枠内の数字①, ②などは、目的変数に対し(-)に働く重要度の順位

注-5 枠内の×は、多重共線性により除外した説明変数

a) 1975 年 11 月調査(東防波堤建設前)

海浜地形変化に影響を及ぼす砕波による底質の巻上げ量 M_{sm} に対し、東・西側海岸の戻り流れ U は、特に東側海岸で大きな影響を与えている。

一方、西側海岸の戻り流れ U と $\tan\beta$ は、 M_{sm} の変動の説明に対し(+)側に貢献するが、前浜地形変化に関係する反射率 γ 、bar 頂部位置に関する $\tan\theta$ 、汀線の位置を示す lt は、(-)側に貢献する因子となっている。

各説明変数の影響力をみるために、相関係数と t 値を比べてみると、1975 年における M_{sm} に対する説明変数のうち、最も相関係数の高いのは東側海岸の U でその値は 0.99 で t 値と同様に特に高い値を示しており、次いで西側海岸の 0.71 となっている。これは、東防波堤建設前において、殆ど U によって地形変化の影響が生じる場合には、 γ 、 $\tan\theta$ 、 lt の相関係数が(-)である方が、かえって U の M_{sm} に対する貢献度が高く予測される。

b) 1979 年 11 月調査(東防波堤建設後)

西側海岸における砕波による底質の巻上げ量 M_{sm} の変動に関係のある説明変数の重要度の順位は、 U 、 $\tan\beta$ 、 $\tan\theta$ である。これに対し東側海岸における砕波による底質の巻上げ量 M_{sm} に対する説明変数重要度の順位は、 $\tan\beta$ 、 $\tan\theta$ 、 lt 、 U で、これは西側海岸以上に汀線付近での地形変化が大きいことを示しており、汀線が侵食されて lt 値が大きくなり土砂は浅海域に運ばれて前浜勾配 $\tan\beta$ や bar 頂部変動に関係の深い $\tan\theta$ の重要度順位を高くしたものと考えられる。

東防波堤建設後における相関係数と t 値を比べてみると、西海岸における M_{sm} に対する $\tan\beta$ の t 値は高いが相関は 0.03 と低いのは、 M_{sm} と相関の低い lt 、 γ の影響であると考えられる。しかし、東側海岸では M_{sm} に対する説明変数の $\tan\beta$ 、 $\tan\theta$ の t 値が高く、 lt 、 U が低い。 M_{sm} と U 、 γ 、 lt の相関係数が 0.5 以上あるのは、 U 、 γ 、 lt と相関係数の高い $\tan\beta$ 、 $\tan\theta$ の影響のためと考えられる。

以上から、重回帰分析の t 値による説明変数の重要度ランキングによって、岸側の侵食によって沖側の堆積あるいはその逆の侵食現象が生じていることが推察される。

7. むすび

以上の結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 苫小牧東港区のうち、東防波堤の東・西側海岸 11.25km は、その沖側に存在する巨大な sand ridge によって東・西側海岸形成に大きな影響を与えている。
- 2) 東防波堤建設前の前浜斜面勾配比に対する反射率

は東・西側海岸でほぼ同じであったが、東防波堤建設後では、前浜斜面勾配比に対する反射率は東側海岸より西側海岸の方が大きくなった。

- 3) 戻り流れと $\tan\theta$ の関係では、東防波堤建設前には戻り流れが変化しても $\tan\theta$ はほぼ一定であるが、東防波堤建設後は $\tan\theta$ の値は戻り流れによって支配される。
- 4) 東防波堤建設によって、東側海岸の砕波による底質の巻上げ量 M_{sm} が小さくなった。
- 5) M_{sm} を目的変数とし、砕波帯内の地形変化に及ぼす γ 、 $\tan\theta$ 、 lt 、 U 、 $\tan\beta$ などを説明変数とした重回帰分析より、東・西側海岸の海浜変形の相違を考察することができた。また、相関係数と t 値を比べることによって、 M_{sm} に対する説明変数の貢献度の表面に現れない潜在的因子をくみとることができた。

謝辞：本研究を行うにあたり、北海道開発局苫小牧港湾事務所より貴重な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：苫小牧海岸における波打帯近傍の斜面勾配と海浜地形について、海洋開発論文集、第 25 巻、pp.1263-1268, 2009.
- 2) 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), 1972, (昭和 48 年), 1973.
- 3) 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 53 年), pp.46-48, 1980.
- 4) 島田玄太・内野敬太・関克己・水口優：高波浪時における汀線近傍の地形変化に及ぼす長周期波と短周期波の役割、海工論、第 50 巻、pp.531-535, 2003.
- 5) 戸巻昭三・柏葉導徳・竹沢三雄・後藤 浩：鵠川海岸における海浜地形について、海洋開発論文集、第 23 巻、pp.1045-1050, 2007.
- 6) 中村聡志：波による海浜流の発達過程と構造物による流況影響範囲に関する数値的検討、港湾空港技術研究所、No.1147, 17 p. 2006.
- 7) Battjes, J.A.: Surf similarity, Proc. 14th. Conf. on Coastal Eng., pp. 466-480, 1974.
- 8) Svendsen, I.A.: Mass flux and undertow in a surf zone. Coastal Engineering, Vol.8, pp.347-365, 1984.
- 9) 岩垣・間瀬・田中：不規則波の浅海変形モデルについて、第 28 回海講論、pp.104-108, 1981.
- 10) 佐藤慎司・本間基一・柴山知也：砕波による底質の巻上げ量の評価に関する実験的研究、海工論、第 36 巻、pp.279-283, 1989.
- 11) 泉正寿・泉官尊司：浮遊砂の移流拡散を考慮した海岸構造物周辺の地形変化予測に関する研究、海洋開発論文集、第 24 巻、pp.1243-1248, 2008.
- 12) 菅民郎：Excel で学ぶ多変量統計解析入門、(株)オーム社、pp.110-153, 2001.