

海浜変形の実態調査と予測について

The Analysis of Beach Survey Data and Prediction on The Movement of Shore Line

高橋耕平*・坂本容**・安部鐘一***

Kouhei, Takahasi You, Sakamoto Shoichi, Abe

An arched beach between capes or harbors becomes to form a stable shore line after repeated erosion and sedimentation for the effect of geographical features.

The arched beach -so called Pocket Beach- which length is approximately 5 kilometers located in Iwanai Town, Hokkaido, is lying between the existing public harbor on the south and the exclusive harbor completed in 1983 for HEPCo.'s Tomari Nuclear Power Plant on the north. The new east breakwater at the public harbor is constructing from 1986. Based on the analysis of beach survey data from 1983 to 1995 on this coast, a numerical model predicting the movement of shore line is modified to ascertain the effect of harbors, and the result of calculation shows the actual movement of shore line.

1. はじめに

北海道西部積丹半島基部の泊村堀株地区から岩内までの約5kmの海浜海岸は、湾口の両端が岩礁の岬で境される弧状のポケットビーチとなっている。

この海岸は、地質年代的な長い年月の間に絶え間なく襲来する波浪により完全に淘汰され、その海岸の気象状況に対応して安定した自然海岸であったが、この海岸では古くから海岸両端で港湾の建設が行われているほか、昭和58年からは当社の泊発電所専用港湾の建設を行なわれた。

このように、安定していた海岸に人工構造物が築造された場合、その影響により海浜変形が生じる。構造物の影響により湾内が淘汰されるまで海浜形状の変化は続くが、ポケットビーチ内の土砂量が保存される条件では安定汀線に至るまでの浸食土砂量と堆積土砂量は等しくなければならない。

これらの現象を解析するため、昭和58年から平成4年までの10年間継続して行われた現地調査資料の解析およびこれらを踏まえた補足調査を平成6年から平成7年に行い、本海岸の特性ならびに海浜変形の実態を明らかにするとともに、数値シミュレーションによる整合を検証したものである。

2. 実態調査および海岸特性

2-1 実態調査

表-1に現地の調査内容および調査結果を示す。

表-1 現地調査内容と結果概要

調査項目		調査内容	調査結果
外力調査	波浪観測	17.2m地点で波向・波高を連続観測	波向別波高周期出現頻度
	流況観測	湾内の5地点で流向・流速を観測	波向による沿岸流、離岸流の状況
	70-t追跡	湾内の5地点で70-tを投入し追跡した	波向による沿岸流、離岸流の状況
底質調査		湾内の39地点で海底砂を採取し、粒度、密度、重鉱物試験を実施した	粒度は、全地点での砂分は78%~100%、中央粒径0.42~0.12mm、密度2.6~3.2g/cm ²
河川流出土砂			掃流砂は少なく、大部分が浮遊砂であり、昭和55年から60年の平均浮遊砂量は、3,900m ³ /年程度である。
地形調査	広域調査	航空写真により長期的、広域的な海岸変形状況を調査	昭和44年から平成6年の比較では、岩内から堀株川の一部の区間で浸食傾向が見られる。
	地形測量	汀線・深淺	湾内全体の深淺測量および汀線測量
その他		港湾の建設過程	港湾の建設過程を調査
		海岸護岸の建設過程	海岸護岸の建設過程を調査

1) 波 浪

(1) 昭和63年から平成4年までの5カ年の波浪観測データから、卓越波向は年間を通じてWであるが、次に卓越する波向は、春から夏にかけてはWSW、秋から冬にかけてはWNWであり、年間で見るとWSWとWNWの出現頻度はほぼ同じである。

(2) 海浜変形に大きく寄与すると考えられる高波(有義波高3m以上)の出現は、図-1に示すとおりであり、また、

- * 正会員 北海道電力株式会社土木部次長(札幌市中央区大通東1丁目2番地)
- ** 正会員 北海道電力株式会社土木部土木技術グループリーダー
- *** 北海道電力株式会社土木部土木技術グループ

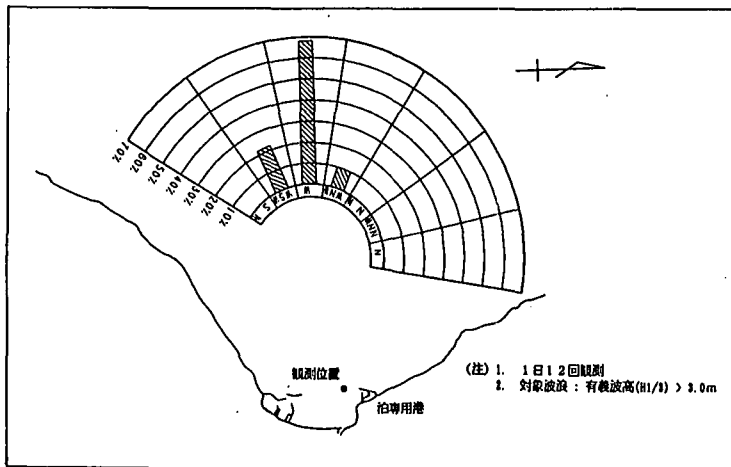


図-1 時化時（波高3m以上）の波浪出現頻度

有義波高 2m 以上、2.5m 以上、3m 以上の波浪が継続した回数は、24 時間以上 48 時間以内の出現回数は、2m 以上で 7.8 回/年、2.5m で 3.2 回/年、3m 以上で 2 回/年と本海域は、極めて厳しい海象条件にある。

2) 流況

(1) 波高の小さい静穏な時期の流れは、波向および流速が周期的に変動しており、主に潮流による流れが形成されている。また、高波浪時には、流速も早く静穏な時期とは異なる流況場が形成されており、海浜部では部分的に、40～50cm/s 程度の流速も確認されている。

(2) 波高 2m 以上の代表的な 3 波向 (WSW, W, WNW) について、波と流れの関係を整理すると波向別の海浜流の形成状況

況は、観測年度に関係なくある一定のパターンで流れていることが、確認された。これらの海浜流は、平行海岸に形成されるものと異なる特徴をもっており、図-2 にそれぞれの波向における海浜流の形成状況を示す。

3) 底質

(1) 本海域における底質の代表値は、中央粒径 0.15mm、密度 2.873g/cm³ であり、粒度組成は、シルト分 2.1%、細砂分 95.5%、粗砂分 2.4% となっており、細砂分の多い均一な粒径分布である。

4) 堀株川の流出土砂量

(1) 昭和 60 年度の現地観測に基づき流出土砂量を推計した結果、掃流砂は極めて少なく大部分が浮遊砂であり、昭和 55 年から 60 年の平均浮遊砂量は、3,900m³/年程度と推計した。

5) 海底地形

(1) 図-3 に本海域の海底地形の変化図および図-4 に当海岸中央部での海底地形断面変化図を示す。

海岸地形の変化は、昭和 58 年以降継続して深淺・汀線測量を実施しており、海岸線に沿って 38 測線設定している。それによると、南側の港の建設に伴い湾の南側で堆積傾向、中央付近で浸食傾向、その他の地域ではほぼ安定した海底地形となっている。これは、襲来する波浪の頻度、規模等から浸食、堆積状況は変化するが、本海岸の時化における海浜流の形成状況と浮遊砂の発生状況に特徴をもっているものと考えられる。

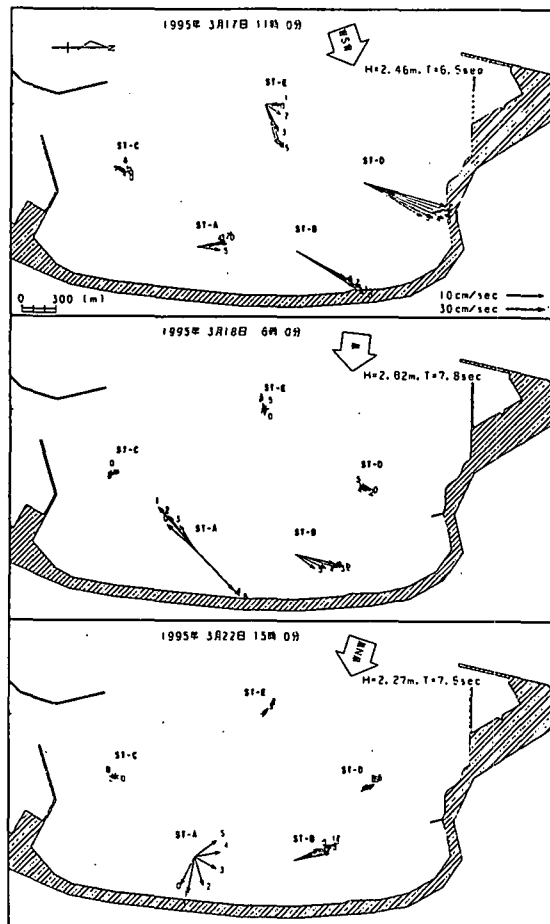


図-2 現地観測における海浜流の形成状況

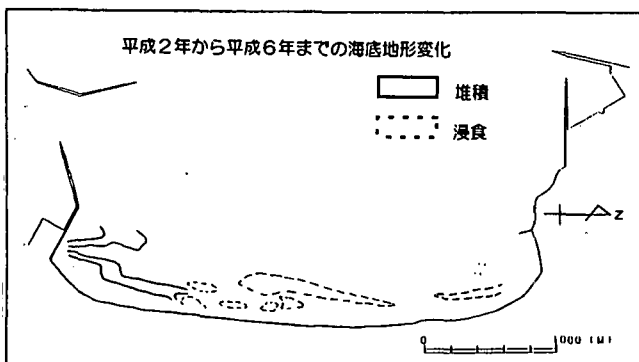


図-3 海底地形変化

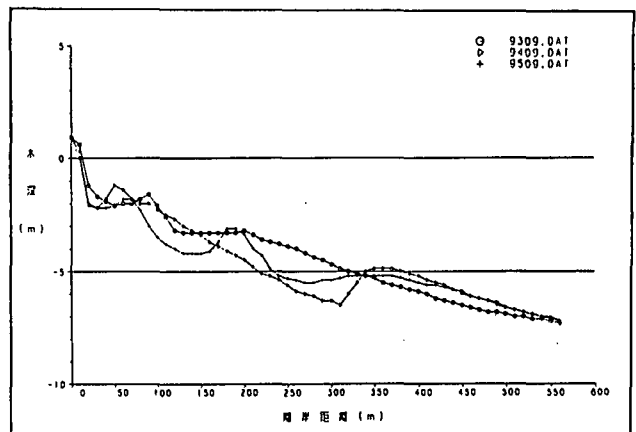


図-4 海浜地中央部での海底地形変化

3. 漂砂シミュレーション

3-1 予測手法

1) 概要

現在提案されている海浜変形の予測手法は、海岸線変形モデルと3次元海浜変形モデルに大別されるが、以下の漂砂環境を考慮し3次元海浜変形モデルの浮遊砂モデルにより計算した。

(1) 本海域での漂砂環境

①当海域における底質の代表値によると、中央粒径は比較的大きく、密度も高い。また、粒度組成は細砂分が多く均一である。

⇒底質は移動しづらい。

②高波の出現状況によると高波が24時間以上48時間以内の出現回数は、有義波高2m以上で7.8回/年、2.5mで3.2回/年、3m以上で2回/年と本海域は、極めて厳しい海象条件である。

⇒砕波帯内で浮遊砂が発生しやすい。

③高波時に発生する海浜流は、砕波帯周辺で50cm/s程度の流速はみられるものの、平行海岸に発生する海浜流より小さい。しかし、そこに形成される状況はポケットビーチという地形的特徴から、沿岸流および離岸流ならびに向岸流が入り交じる複雑な流れである。

⇒掃流砂は発生しづらいが、浮遊砂は複雑な流れによって移流拡散する。

以上により漂砂環境を適切に考慮できる浮遊砂モデルにより解析を行った。

(2) 浮遊砂モデルによる漂砂シミュレーション

浮遊砂モデルの解析手法として、一般的に用いられている定常解析モデルである「固定床モデル」と非定常解析モデルである「移動床モデル」があるが、今回は固定床モデルを基本に短期再現性と予測期間を1年間とした長期再現性の検討を行った。

具体的には、短期再現性では、代表的波浪場における海浜変形を予測し、長期再現性では、波向別波高頻度を用い波向別、波高ランク別の予測結果から年間の地形変化量を確率的に推計するものである。浮遊砂モデルによる漂砂シミュレーションの手順を図-5に示す。

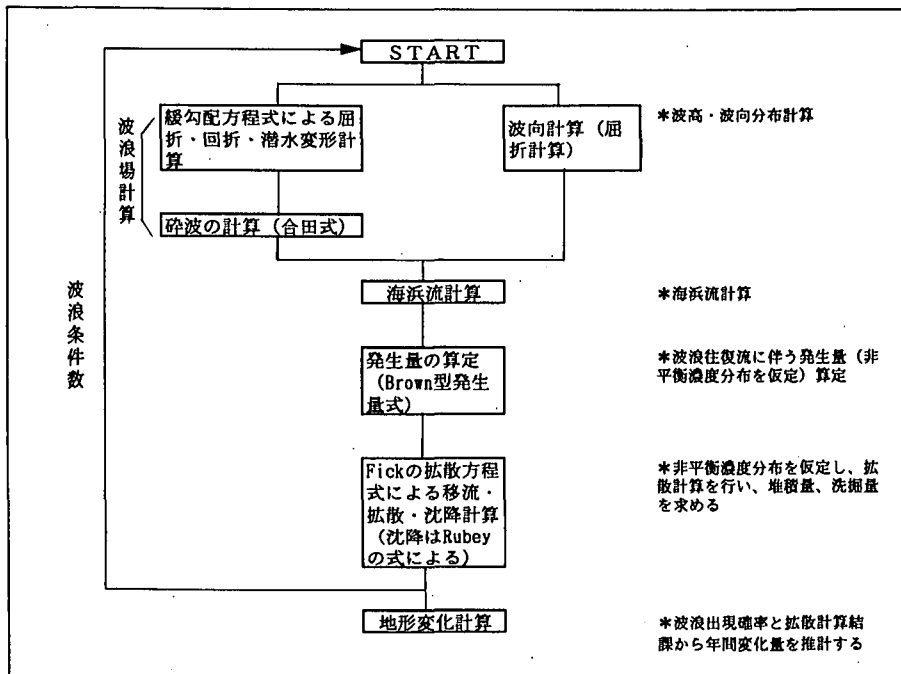


図-5 漂砂シミュレーション手順

2) 短期再現性

(1) 波浪場計算

本海域に来襲する波浪のうち、出現頻度の多い波向 WSW, W, WNW を基本に平成6年度の観測期間に出現した代表的な波浪場とした。

表-2 短期再現性の検討ケース

ケース	波向	波高	周期	Smax	水深	作用時間
1-1	WSW(251°)	2.46	6.5	75	現地観測値	3時間
1-2	W(277°)	2.82	7.8			
1-3	WNW(288°)	2.27	7.5			

(2) 海浜流計算

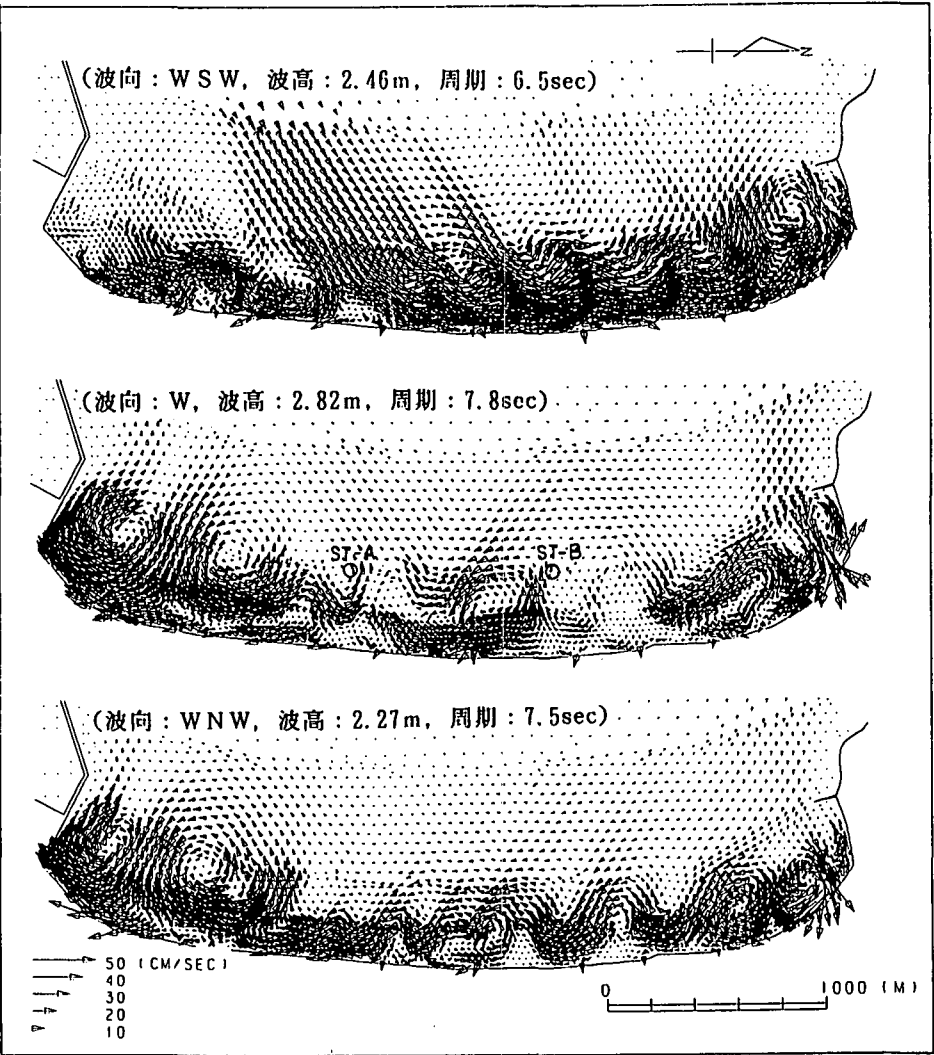
表－3 海浜流計算条件

項 目	条 件	備 考
開境界条件	水の出入りなし	
波浪条件	Radiation Stress として考慮	微小振幅波理論
海底摩擦係数	$F_x = F_y = \frac{2\rho}{\pi} C_r U_b V$	Longuet Higgins の式
渦動粘係数	$A_l = N_x \sqrt{gh}$	Longuet Higgins の式

(3) 浮遊砂計算

表－4 浮遊砂計算条件

項 目	条 件	備 考
砂の粒径	$d_{50}=0.15\text{mm}$	平成6年度調査結果
砂粒子の密度	$\sigma = 2.873\text{g/cm}^3$	平成6年度調査結果
海水の密度	$\rho = 1.02\text{g/cm}^3$	
水の動粘係数	$\nu = 1.19 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$	
海底の空隙率	$\varepsilon = 0.4$	
沈降速度	Rubey の式	
掃流砂量算定	Brown の式	
移動限界流速	岩垣式	
拡散係数	$K_{lx} = K_y = N_x \sqrt{gh}$	
計算時間	180s	



図－6 海浜流ベクトル図

(4) 計算結果

① 波浪場と海浜流

- ・ 波高別の海浜流の形成状況を図-6に示す。
- ・ 波向 (WSW) は、波向・流速のいずれも再現性は良好であり、ポケットビーチに形成される海浜流を良く再現している。
- ・ 波向 (W) は、海浜流の発達する位置は少し異なるものの、南側港湾の向岸流、離岸流、沿岸流の形成状況、海浜中央の沿岸流の状況は現地観測点の ST-A および ST-B の観測値と概ね一致している。
- ・ 波向 (WNW) については、南側港湾に形成される左回りの循環の先端は概ね ST-A の位置に当たり、時々刻々変化する流況のある断面を再現している。一方 ST-B については、観測値と計算値は逆の流向を示しており、再現性は良くない。しかし、海浜中央部では、微弱な左回りの還流があり、現地ではこの流れがさらに発達しているものと考えられる。

② 地形変化量

- ・ 地形変化量の再現性を確認するのは困難であるが、漂砂の形成状況は以下のとおりである。
- ・ 浸食域は碎波帯周辺に分布しており、波浪による浮遊砂の発生が顕著であると考えられる。
- ・ 堆積域は浸食域の沖側と岸側に分布しており、本海岸のバー型地形と良く類似している。
- ・ 海浜流と地形変化を対比すると向岸流の発達する位置では浸食、離岸流の発達する沖合水域および止水域では堆積傾向となっている。

3) 長期再現性

短期再現性で実施した数値計算法により長期的 (1 年間) な海浜変形を以下のとおり検討した。

移動床モデルのうち波浪場と海浜流場を一定と仮定し、地形変化計算に移動床モデルの考え方を導入した準移動床モデルで計算を行った。

(1) 準移動床モデル

準移動床モデルは、移動床モデルと固定床モデルの中間モデルとして以下の特徴がある。

- ① 波浪場および海浜流場は、海底地形の変化による影響を受けないと仮定することにより、代表的な波浪場と海浜流場をあらかじめ計算しておき、地形変化計算に利用することが可能となる。
- ② 地形変化計算では、計算時間間隔ごとに地形変化を考慮して浮遊砂発生量を算定することにより、浮遊砂濃度および沈降量に影響し、これが地形変化として現れる。碎波帯のような浸食域では、水深が深くなるとともに掃流力が減少し、浮遊砂の発生量も減少する。堆積域では浸食域と反対の現象が現れる。いずれも発生量と沈降量が平衡状態になると海底地形は動的に安定する。
- ③ 長期予測を可能とするため、①の計算結果をもとに代表的な海象モデルを作り初期地形をスタートとして時系列に計算ができる。

(2) 海象モデル

- ① 高波高の出現状況は実測の高波高継続時間出現回数を参考とした。
- ② 高波高時は、日本海を北上する低気圧によるもの、および太平洋を北上する台風によるもの、ならびに冬季の季節風によるものを基本に波向、波高および作用時間をモデル化した。

(3) 計算結果

図-7に計算結果を示す。

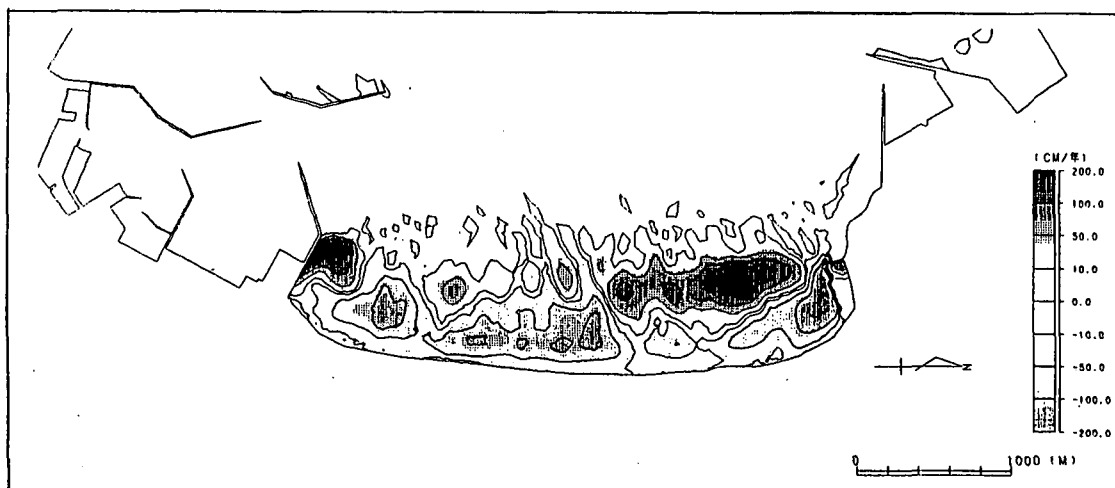


図-7 準移動床モデルによる地形変化図

計算結果の時系列変化から、初期段階で浸食・堆積の変形を生じているが、時間の経過とともに平衡状態となり、浸食域で-1.5m、堆積域で+1.0mの変化量で推移している。また、これらの地形変化は、河川からの流入土砂量も少ないことから、ポケットビーチ内の土砂収支量は等しく波浪により堆積、浸食を繰り返しているものと考えられる。

4. 港湾構造物が海浜地へ与える影響

本海岸は、湾口の両端が岩礁の岬で境される弧状のポケットビーチとなっており、古くから南側港湾の建設を行っており、湾の南側で土砂の堆積傾向を示してした。今回、本海岸の実態調査と数値計算による整合を検討してきたが、実態調査結果では、古来からの傾向と同様に南側港湾の波浪の遮蔽域となった地域では砂が堆積する傾向にあった。これは、計算結果に見られるように波の遮蔽域は、検討した全ての波向で海浜部まで分布し、その影響は海浜流となって現れ、遮蔽域では、主に右回りの海浜流が形成され、浮遊砂はこの流れに乗って防波堤基部に移流し砂の堆積の原因となっているものと考えられる。一方実態調査と同様の傾向を示した海浜中央部の浸食域については、海浜流の発達状況から判断して波向WSWのケースで影響を及ぼしているものと推測される。

また、北側港湾についての砂浜地は実態調査結果によればほとんど変化していない。これは、計算結果から見られるように波向WSWおよびWでは波高分布の変化が見られず、波向WNW時のみ港湾の遮蔽域が海浜部まで及んでいるものの、そこに形成される海浜流は流速も小さく発達する範囲も狭いため海浜地へ与える影響は少ないものと考えられる。

5. 今後の課題

固定床モデルによる長期予測は、モデル上の問題から局所的な海浜変形を定量的に予測するのは限界があり、波浪場および海浜流場を一定と仮定する準移動床モデルを実施した。これらの予測結果は、極端な水深変化も生じず、再現性は大幅に向上したものと考えられるが、水深の変化は実測値より大きく現れる特徴をもっている。従って、予測の評価に当たっては、これらの特徴を考慮することが重要である。

今後、さらに再現性を向上させるためには以下の検討が必要があるものと考えられる。

水深変化の生じる範囲は碎波帯であり、碎波変形および海浜流の計算部分までを考慮した移動床モデルを検討する。

現地の浮遊砂濃度を観測（波高、流速、浮遊砂濃度の同時観測）し、浮遊砂濃度分布の精度を上げる。

ポケットビーチに形成される海浜流は波向および波高変化に敏感であることから波向により細分化し、実際の海浜流をより精度良く表現する。

6. まとめ

これまで、昭和58年から実施した現地観測結果との比較により、今回数値シミュレーションによる現地の再現性を検討したが、まだまだ問題点もあり今後解決しなければならない事項もあるものと考えられる。

しかし、今回数値シミュレーションにより現地の海浜流を含めた整合計算は、定性的には現地の状況を表現することができたものと考えられる。

これまでの現地観測および数値シミュレーションに対してご指導ご協力を賜った北海道大学尾崎名誉教授および佐伯教授ならびに（社）寒地港湾技術研究センターの皆様にご感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 合田 良實 (1991) : 港湾構造物の耐波設計, 鹿島出版会
- 2) 堀川清司 (1991) : 海岸工学, 東京大学出版会
- 3) 本間仁／堀川清司 (1985) : 海岸環境工学, 東京大学出版会
- 5) 樫木 亨 (1982) : 漂砂と海岸浸食, 森北出版株式会社
- 6) 樫木亨／出口一郎 (1996) : 新編海岸工学, 共立出版
- 7) 樫木 亨 (1991) : 波と漂砂と構造物, 技報堂
- 8) 川村三郎 (1982) : 土砂水理学, 森北出版株式会社
- 9) 土木学会 (1994) : 海岸波動
- 10) 黒木幹男 (1988) : 非平衡浮遊砂理論とその応用, 第32回水理講演会論文集