

前浜地形の沿岸分布の連続観測とその変動特性

松本亮介*・武若 聡**

X バンドレーダを用い沿岸地形の連続観測を行った。エコーデータの解析から汀線の水平位置を、潮位から鉛直位置を定め、前浜地形を観測した。2004年6月からの140日間にわたる前浜地形変動を検討した。夏期と冬期では、波の入射方向が変化し、これに対応するかのように侵食、堆積域が波下方向に移動していた。高波浪の来襲により、汀線が後退して沿岸地形が一様化する状況を捉えた。汀線位置の変動強度は沿岸の各位置で異なっており、排水口の存在は地形変動を大きくする一要因である可能性が高い。2005年1月に観測された高波浪作用前後の地形変化を調べた。高波浪前後で勾配が変化し、沿岸方向の各位置で侵食量は異なっていた。

1. はじめに

海岸の環境を決定づける一つの要因である地形を、広範囲に観測するリモートセンシング手法の一つとして、X バンドレーダを用いた計測が提案されている。深淺測量による地形観測が業務・研究などで行われているが、荒天時におけるデータの収集は困難である。X バンドレーダは、荒天時においても短時間で広範囲のデータを取得することが可能である。

X バンドレーダを用いた前浜地形の観測は、静穏時に(武若ら, 2003)、また、荒天時に(武若・Ahmedら, 2004)約2000 m の範囲で行われている。本研究では、データの取得範囲を約5500 m まで拡大し、長期間にわたる連続観測を行った。沿岸方向に約5500 m の範囲のデータを2004年の6月14日より、140日間にわたって収集し、その解析から汀線形状の分布、前浜地形の勾配、これらの変動について議論する。また2005年1月にあった高波浪前後の地形変化について解析結果を示し、荒天時の地形変化を説明する。

2. 観測の概要

観測は(独法)港湾空港技術研究所の波崎観測棧橋観測 HORS で行った。棧橋の後浜にある研究施設屋上に X バンドレーダを設置した。図-1 にレーダと棧橋の位置、本論の説明で用いる座標系を示す。座標の原点は棧橋上にあり、沿岸方向に x 軸、岸沖方向に y 軸を取った。約5560 m 四方の範囲のエコーデータを2秒毎にレーダデータサンプリングボードを用いてPCに収録した。エコーデータは1024×1024ピクセル、1ピクセルあたり256階調の画像として記録した。1ピクセルあたりの大きさは、約5.425 m に相当し、輝度がレーダのエコー強度に対応している。観測は2004年6月より開始し、現在(2005年5月)もデータ収集を続けている。平日の午前

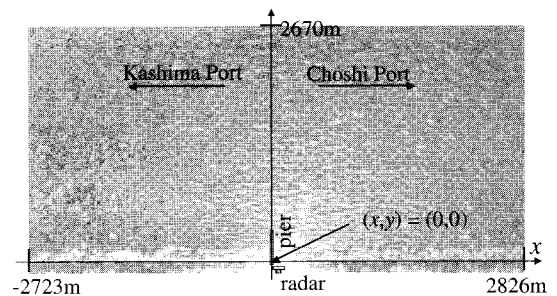


図-1 座標系とレーダ設置位置
(レーダ画像を重ね合わせて表示)

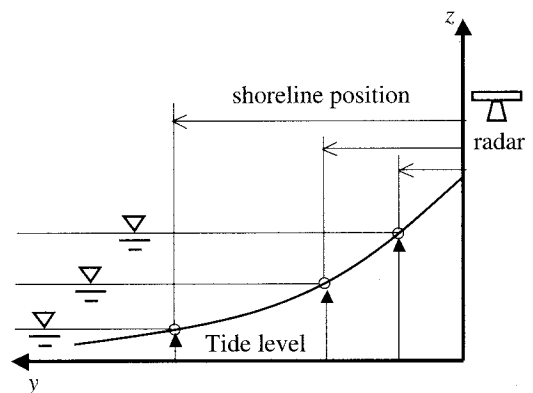


図-2 レーダを用いた前浜地形観測概念図
(横軸 y : 岸沖方向, 縦軸 z : 鉛直方向)

7時から午後6時の毎正時にデータ収集を開始し、520枚(約17分間)の画像を平均化してPCに蓄積した。この毎時の平均画像から汀線位置を読み取った。

3. 汀線の推定

(1) 汀線位置の読み取り

平均化した画像の各沿岸位置において、汀線の水平位置を定める。汀線付近の輝度値の岸沖分布を調べ、そのピークとなる点を汀線の水平位置とした(武若ら, 2003)。

* 学生会員 筑波大学大学院理工学研究科
** 正会員 工博 筑波大学助教授大学院システム情報工学研究科

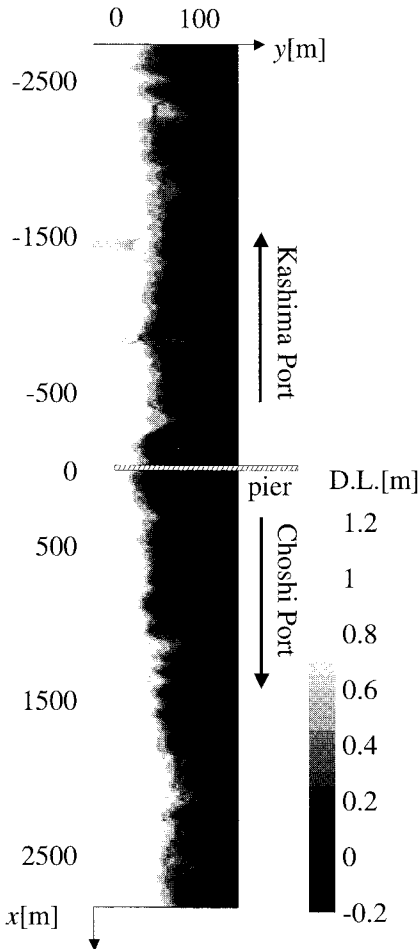


図-3 前浜地形等高線図 (2004年7月20日)

(2) 前浜地形の推定

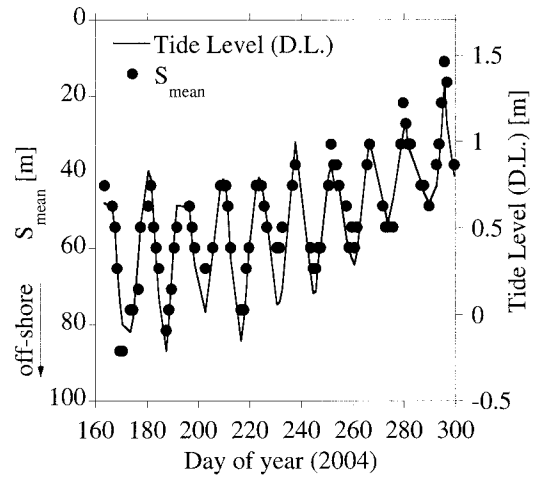
観測時間帯の銚子漁港潮位データ (気象庁, 参照 2005-03-01) を参照し, それを汀線の鉛直位置とし, 前節で求めた汀線の位置とあわせて前浜地形を推定した (図-2). 図-3 に2004年7月20日の満潮から干潮にかけての観測結果を等高線図として示す. 波長が数十から数百メートルのカブの発達が見られ, 汀線形状は非一様な状況にある.

(3) 汀線位置読み取りの妥当性の検討

図-4 に, データが得られた日の正午の平均汀線位置 S_{mean} と潮位 (D.L. 値, $D.L.0\text{ m} = T.P. - 0.687\text{ m}$) を比較した結果を示す. S_{mean} は, ある時間の汀線位置を沿岸方向に平均したものであり, 次式で定義した.

$$S_{mean}(t) = \frac{1}{X_1 - X_0} \int_{X_0}^{X_1} S(x, t) dx \quad (1)$$

ここで $S(x, t)$ は沿岸位置 x , 時間 t における汀線位置, X_0, X_1 は沿岸方向の観測範囲である ($X_0 = -2723\text{ m}$,

図-4 潮位と平均汀線位置 S_{mean} 比較

$X_1 = 2826\text{ m}$). 潮位と S_{mean} の変動周期はほぼ一致しており, 潮位が上昇すると汀線が陸側に移動している. これらから求めた平均的な海底勾配は, この海域の浅海部の勾配1/50とほぼ一致した. 以上より, レーダで汀線位置を追跡することの妥当性について確認した.

4. 前浜地形の変動

(1) 変動解析の手順

2004年6月から10月にかけての約140日間の汀線位置変動を調べた. ここでは, 潮位がほぼ同じ時間帯の汀線データを抽出し, その変動を調べ, 汀線形状の一樣化・複雑化, 沿岸方向の各位置における変動, 高波浪前後の侵食・堆積関係について確認した. 140日間の潮位頻度を調べたところ, 潮位が $D.L. = 0.75\text{ m}$ となる頻度が高かった.

以下の各量を定義した.

$$S_{0.75}(x, t_i) = S(x, t_i) - \bar{S}_{0.75}(x) \quad (2)$$

$$\bar{S}_{0.75}(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S(x, t_i) \quad (3)$$

$$\bar{S}_{0.75rms}(x) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_{0.75}(x, t_i) - \bar{S}_{0.75}(x))^2} \quad (4)$$

$$S_{0.75mean}(t_i) = \frac{\int_{X_0}^{X_1} \{S(x, t_i) - \bar{S}_{0.75}(x)\} dx}{X_1 - X_0} \quad (5)$$

$$S_{0.75rms}(t_i) = \sqrt{\frac{\int_{X_0}^{X_1} \{S(x, t_i) - S_{0.75mean}(t_i)\}^2 dx}{X_1 - X_0}} \quad (6)$$

ここで, t_i は, $D.L. = 0.75\text{ m}$ となる時間, N は $D.L. = 0.75\text{ m}$ となる時間に得られたデータ数, 添字0.75は $D.L.$

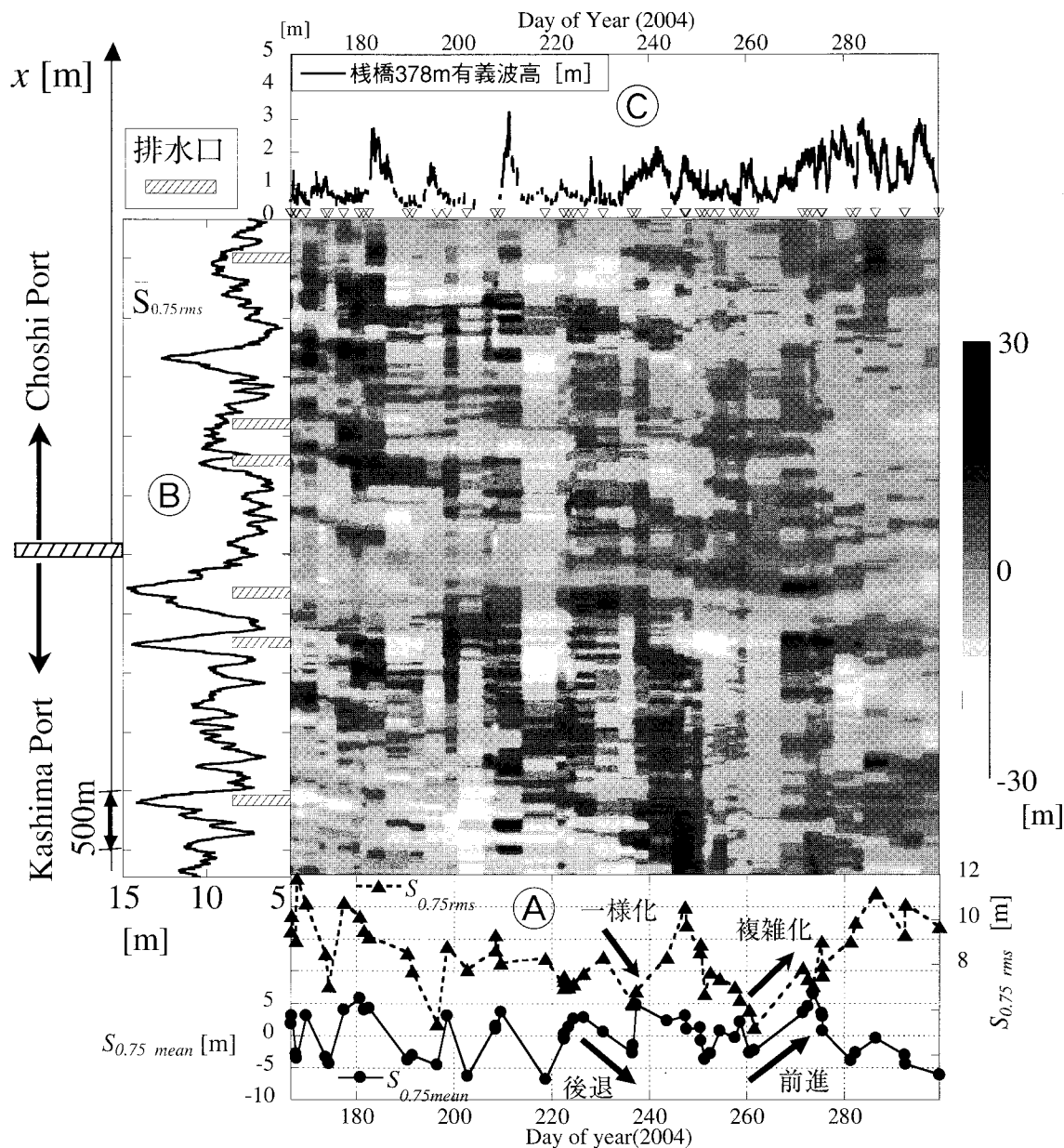


図-5 汀線の沿岸・時間変動 (A) 汀線の時間変動 $S_{0.75mean}(t_i)$, $S_{0.75rms}(t_i)$, (B) 汀線の空間変動 $S_{0.75rms}(x)$, (C) 栈橋観測有義波高, ∇ : D.L.=0.75 m となる時間 t_i .

=0.75 m で整理された量であることを示す。式 (2) で定義される $S_{0.75}(x, t_i)$ は、D.L. = 0.75 m で定義した汀線位置であり、観測期間中の平均位置 $\bar{S}_{0.75}(x)$ からの偏差として考える。この量は正の時には堆積、負の時には侵食がその位置と時間にあったと考える。式 (3) と式 (4) で定義される量は、観測期間中の時間平均的な構造を調べるために、式 (5) と式 (6) で定義される量は、観測期間中の空間平均的な構造を調べるために、それぞれ求めた。 $S_{0.75}(x, t_i)$, $\bar{S}_{0.75rms}(x)$, $S_{0.75mean}(t_i)$, $S_{0.75rms}(t_i)$

(t_i) を図-5 に、栈橋先端で計測された有義波高の変化とあわせて示す。図-5 中央の濃淡表示が $S_{0.75}(x, t_i)$ であり、横軸は時間経過、縦軸は沿岸位置である。(A) の欄に $S_{0.75mean}(t_i)$, $S_{0.75rms}(t_i)$ を (B) の欄に、 $\bar{S}_{0.75rms}(x)$ を、(C) の欄に有義波高を示した。

(2) 汀線形状と波高の経時変化

観測期間の140日間には、数回の高波浪 (有義波高 > 2 m) の来襲があった。例えば、230日から240日頃にかけて、波高が上昇している期間があり、 $S_{0.75mean}(t_i)$ と

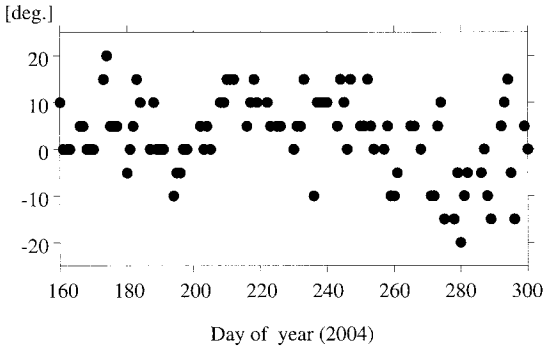


図-6 目視による波向き(縦軸単位は度、+の値は銚子港側からの入射、-の値が鹿児島港側からの入射)

$S_{0.75rms}(t_i)$ の減少が見られ、 $S_{0.75mean}(t_i)$ の減少は汀線の後退を、 $S_{0.75rms}(t_i)$ の減少は汀線形状の単一様化したことを意味する。波高が上昇したことにより侵食が生じ、汀線の形状が単調化した。逆に、260日から270日頃かけては波高が小さい期間があり、 $S_{0.75mean}(t_i)$ と $S_{0.75rms}(t_i)$ の増大が見られる。静穏時に汀線が前進し、汀線形状が複雑化する。以上に類似したプロセスは、例えば、Ranasinghe ら (2004) の報告にも見られる。

(3) 汀線の変動強度の沿岸分布

図-5 ⑧に示した、変動強度 $\bar{S}_{0.75rms}(x)$ の値が大きくなっている位置の多くには、海岸背後の集落からの排水口があり、これが局所的な地形変動を大きくしている可能性がある。

(4) 侵食・堆積域の移動と波向き

図-5 中の濃淡パターンの一部は、観測期間中の前半では鹿児島向きに、後半では銚子港向きに移動しているように見える。図-6 に、桟橋において目視で確認された波の入射方向を示す。入射方向は260日頃を境に、銚子側からの入射が鹿児島側からへと変化しており、上に説明した移動方向が変化した時期に一致している。見かけ上、波向きの変化に応じて、侵食・堆積域が入射波の下手方向に移動していたことになる。柳嶋 (2005) は入射波高が小さく、同一の沿岸流向きが数十日程度継続したときに、浅瀬と深みが沿岸流の下手方向に移動することを報告しており、ここでも類似の現象が見られた可能性が高い。

5. 高波浪作用時の前浜地形変動

2005年1月には、大きな潮位偏差を伴う高波浪が来襲した。図-7 に2005年1月の潮位と桟橋先端で計測された有義波高の変化を示す。ここでは、1月14日、17日、20日の満潮から干潮までの地形データを示し、高波浪に伴う地形変形を説明する。

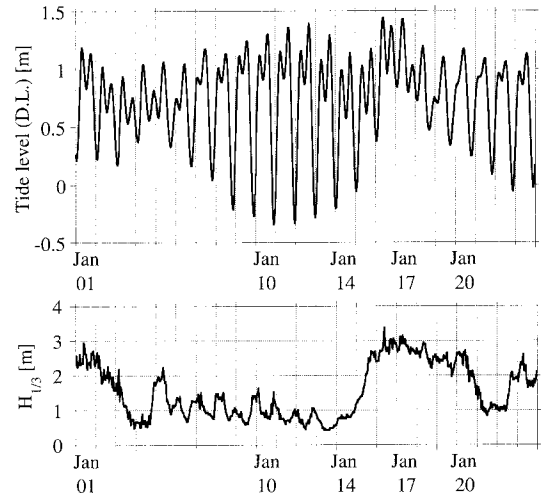


図-7 2005年1月潮位と有義波高

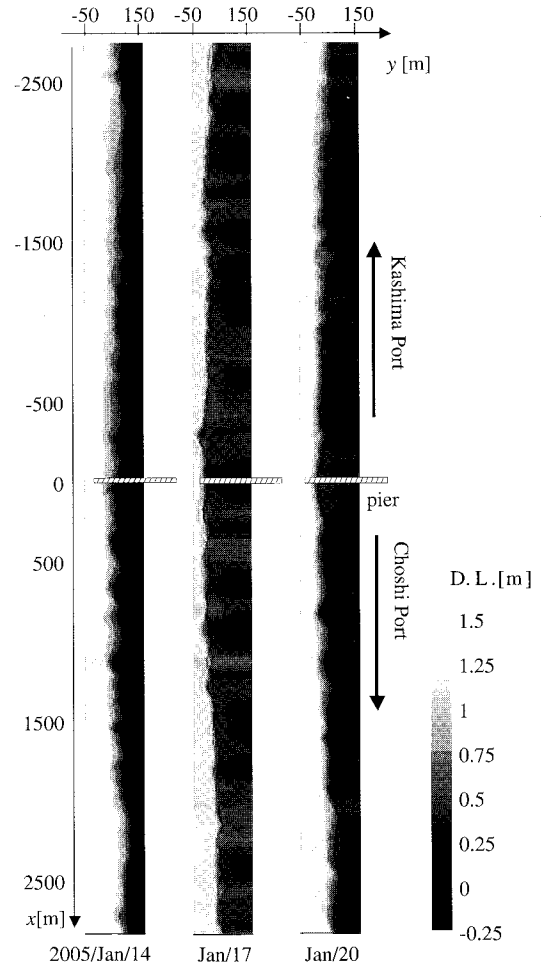
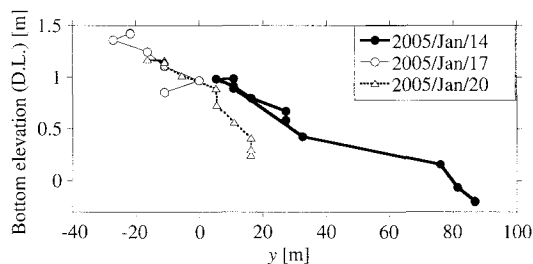


図-8 汀線位置図(左から2005年1月14日、1月17日、1月20日)

図-9 断面地形図 ($x = -430$ m)

(1) 前浜地形の変化

低潮位から高潮位の前浜地形を図-8に示す。14日は、高波浪を観測する直前であり、それまでには有義波高がほぼ1 m以下となる日が継続していた。カスプ状のリズミカルな地形が見られる。この後、有義波高が3 m程になる高波浪が約5日間続いた。17日のデータは高波浪が継続している中に収集され、荒天に伴い潮位が高くなり、通常では海水が到達しない領域まで遡上があった。20日の潮位は14日と同じレベルにあるが、汀線位置は14日より陸側に後退しており、侵食が生じた。図-9にそれぞれの日の断面地形を示す ($x = -430$ m)。14日から20日にかけて侵食が進んだことが確認でき、高波浪に伴う大きな地形変化があったことがうかがわれる。

(2) 前浜勾配の変化

1月14日と20日の $0.2\text{ m} < \text{D.L.} < 1.0\text{ m}$ の範囲の断面平均勾配を比較した(図-10)。

1月14日：勾配に波長500 m程度の周期的な変動が見られる。類似の地形は他の時期の静穏時にも見られた。汀線が周辺に比べて陸側に後退している場所で急な勾配を示し、沖側に前進している場所で緩やかな勾配を示した。

1月20日：14日に見られた勾配の周期性は銚子港側で明確であったが、鹿島港側では消滅あるいは不明瞭であった。

14日と20日の観測結果を比較すると、銚子港側では汀線位置が後退したにもかかわらず、類似の周期的な構造が保たれているように見える。一方、鹿島港側では、高波浪により、地形が大きく変化した。

(3) 断面地形の変化

断面地形の変化を $0.2\text{ m} < \text{D.L.} < 1.0\text{ m}$ の範囲で算出した。図-11に、各沿岸位置における14日から20日にかけての地形の断面積の変化を求めた結果を示す。負の値は侵食があったことを示す。海岸のほぼ全領域において侵食が進んでいることが確認できるが、局所的な変化は様々ではない。例えば、銚子港の一部($x = 1300\text{ m}$, $x = 1500\text{ m}$)では、断面積の変化が少なく、また前浜勾配にも変化はない。また、鹿島港側の一部($x = -1300\text{ m}$)では、断面積の変化が少なく、勾配の差が大きい。

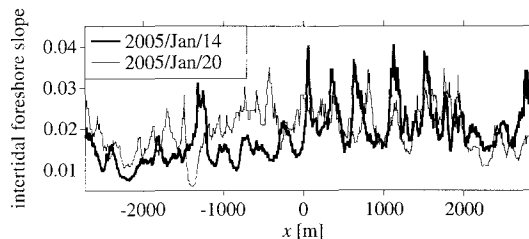


図-10 勾配比較図

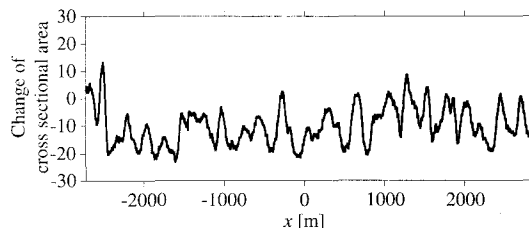


図-11 断面積の変化

6. 結 び

Xバンドレーダを用いて前浜地形の連続観測を行った。レーダを用いて汀線を読み取ることの妥当性を確認した。140日間のデータの解析より、前浜地形の変動について調べた。波向きによる侵食堆積域の移動、高波浪時の汀線形状の一樣化、汀線の後退について確認した。また、2005年1月に観測された高波浪時の地形変動過程を説明した。

謝辞：(独法) 港湾空港技術研究所漂砂研究室には、レーダ観測、海象データの提供等で便宜を図っていただいた。同研究室の有働恵子氏にはレーダの操作に協力をいただいた。本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金の支援の下で実施された。以上、ここに記し、謝意を申し上げます。

参 考 文 献

- 武若 聡・Ahmed, Ahmed S.M.(2004)：Xバンドレーダを用いた荒天時の浅海域波浪場の観測，海岸工学論文集，第51巻，pp. 46-50.
- 武若聡・後藤 勇・西村仁嗣(2003)：Xバンドレーダを用いた前浜地形の観測，海岸工学論文集，第50巻，pp. 546-550.
- 柳嶋慎一(2005)：汀線付近の短期的・空間的な地形変化に関する現地調査，海洋開発論文集，第30巻，印刷中。
- 気象庁：関東地方潮汐観測資料2004-2005年度版(オンライン)
<http://www.data.kishou.go.jp/marine/tide/genbo/index.php>, 参照2005-03-01.
- Ranasinghe, R., G. Symonds and K. Black(2004)：Morphodynamics of intermediate beaches: video imaging and numerical modeling study, Coastal Engineering Vol. 51, pp. 629-655.