

# 衛星画像による志布志港周辺海域の 長期海浜変形の解析

ANALYSIS OF LONG-TERM BEACH MORPHOLOGIC  
CHANGES NEAR SHIBUSHI PORT USING SATELLITE IMAGES

浅野敏之<sup>1</sup>・松元涼子<sup>2</sup>・駒口友章<sup>3</sup>・嶺泰宏<sup>4</sup>・箕作幸治<sup>5</sup>  
Toshiyuki ASANO, Ryoko MATSUMOTO, Tomoaki KOMAGUCHI,  
Yasuhiro MINE and Kouji MITSUKURI

<sup>1</sup>正会員 工博 鹿児島大学教授 工学部海洋土木工学科 (〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-40)

<sup>2</sup>学生会員 鹿児島大学大学院博士前期課程 理工学研究科 (同上)

<sup>3</sup>正会員 工博 (株)テトラ 環境事業本部事業企画部 (〒160-8350 東京都新宿区西新宿6-3-1)

<sup>4</sup>前 国土交通省九州地方整備局志布志港湾工事事務所長 (〒899-7191 鹿児島県曾於郡志布志町砦6617)

<sup>5</sup>前 国土交通省九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所 技術開発係長  
(〒750-0025 山口県下関市竹崎町4-6-1)

Applicability of satellite images analyzing long-term beach morphologic changes and its verification by comparing with field survey data have been investigated. The study site was chosen at Shibushi bay, which locates in the south east coast of Kyushu district. Fifteen SPOT satellite imageries have been selected for the analysis. The movements of shoreline position during last 10 years have been analyzed. Meanwhile, the corresponding field survey data conducted almost the same period as the imagery analysis have been examined. In the study area, four major rivers are conveying huge volume of sand. On the other hand, several coastal structures were constructed during the analyzed period. Impacts on the shoreline due to the river discharge as well as the coastal structures have been investigated. The comparisons between the satellite data and the field survey data have revealed satisfactory agreements. This implies that the present analysis using satellite imageries are useful to monitor the long-term shoreline evolutions.

**Key Words :** shoreline change, satellite image, long-term morphologic change, coastal structures

## 1. はじめに

海岸保全計画や利用計画を立案する上で、広域かつ長期にわたる海浜変形の特性を把握しておくことが不可欠である。しかし、広範囲にわたる深淺測量は、労力・費用の点からせいぜい年2回程度に限られる。また、漂砂系から見て1つの単位をなす海岸でも、所管する工事事務所ごとに測量年月日、範囲、精度、データ記録形式などが必ずしも統一されていない問題もある。

一方、近年の衛星リモートセンシング技術の発展は著しく、軍用技術の商用移転によって IKONOS のように空間解像度が 1 m オーダーのデータも入手できるようになった。衛星観測の特徴は、広範性と周期性であり、100km 四方スケールの平面的情報を数日～1ヶ月程度の周期で観測できる。これは、航空機測量と比べて大きな特徴であり、異常波浪時に数 10m の汀線変化が生じるような海浜変形解析にも適

していると考えられる。

本研究は、志布志港周辺海域の海浜変形を、約 10 年間のスケールで調査しようとするものである。この海域では、フランスの打ち上げた SPOT 衛星によって、現在から 1988 年にさかのぼる 13 年余の画像データの蓄積がある。この衛星の解像度は 10m と高精度である。回帰日数は 26 日で、斜め撮影により同一地域の観測周期をさらに短縮できる。本研究は、こうした衛星画像の大きな解析能力に着目し、鹿児島県志布志湾沿岸の長期海浜変形の特性について考察したものである。

## 2. 衛星写真解析による汀線変化の調査

### (1) 画像データの収集と解析

志布志湾沿岸は、北部に重要港湾である志布志港、南部に地方港湾である波見港、国家石油備蓄基地を

表-1 解析した衛星画像データ

	No.1	No.2	No.3	No.4
撮影年月日	1988/12/20	1990/4/6	1990/9/4	1993/1/22
衛星	SPOT-1	SPOT-1	SPOT-1	SPOT-2
雲量	1	2	1	3
撮影時刻	10時48分	11時11分	11時08分	11時10分
天文潮位	106.2cm	79.4cm	34.2cm	77.1cm
	No.5	No.6	No.7	No.8
撮影年月日	1993/2/1	1993/12/6	1993/12/27	1994/1/27
衛星	SPOT-2	SPOT-2	SPOT-2	SPOT-2
雲量	1	1	0	1
撮影時刻	11時17分	10時51分	10時48分	10時51分
天文潮位	144.5cm	163.2cm	86.9cm	71.5cm
	No.9	No.10	No.11	No.12
撮影年月日	1994/2/22	1994/3/25	1995/1/25	1995/3/8
衛星	SPOT-2	SPOT-2	SPOT-2	SPOT-2
雲量	0	1	1	0
撮影時刻	10時52分	10時56分	11時10分	11時02分
天文潮位	103.9cm	48.2cm	152.6 cm	132.4cm
	No.13	No.14	No.15	
撮影年月日	1996/12/6	1996/12/11	1998/2/6	
衛星	SPOT-2	SPOT-2	SPOT-2	
雲量	1	0	0	
撮影時刻	11時14分	11時18分	11時03分	
天文潮位	117.7cm	76.1cm	126.6cm	

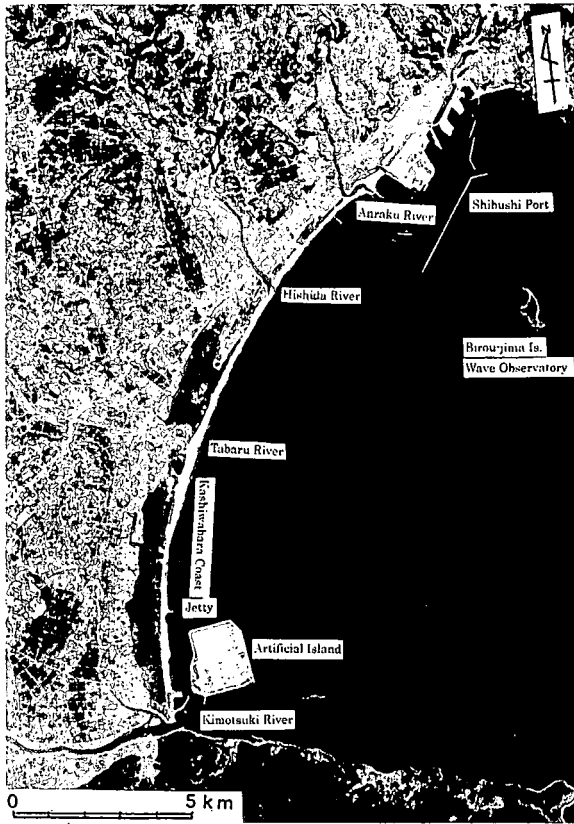


図-1 調査対象海域

擁し、その間は押切海岸、くのに松原、柏原海岸といった美しい砂浜海岸に恵まれた地域である（図-1）。志布志港の沖合の枇榔島に波浪観測点があり、そのナウファスデータの解析を行った。その結果、波高が1mを越える場合の波向はESE, SE, SSEの3波向きがほとんどであり、特にSEは76.4%の出現率となっている。

まず、1988年から現在に至る志布志湾海域のSPOT衛星の画像を調査し、雲量の少ない良好な画像15枚を選ぶことから研究を開始した。表-1に使用した衛星画像の基本データを示した。SPOT衛星の回帰日数は26日であるが、その時の雲量などにより、良好な画像は等間隔には取得できない。表-1より隣り合う撮影日時は、最長で2年4ヶ月、最短で10日間離れており、均等な間隔では衛星画像が入りできなかったことを示している。

これらの画像から、汀線位置の経時変化を解析するが、そのためには幾何補正、画像間の位置合わせ、汀線の読みとり、潮位補正の処理を行う必要がある。汀線の読みとりは、海岸線長手方向にx軸を、これと直角方向にy軸を取り、x座標について50ピクセル間隔（=100m間隔）ごとにy方向の輝度プロファイルを読み出し、この急変点中央を汀線と定めた。

河口付近では、図-2の安楽川の例に示すように河口砂州が複雑な形状で変化するため、どこを汀線

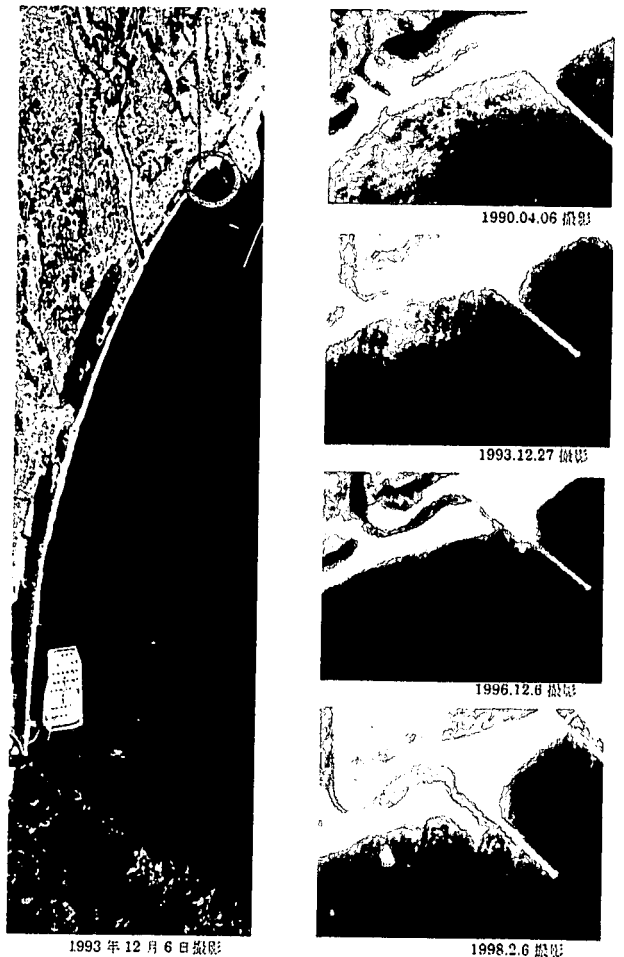


図-2 志布志湾海域の全体像（画像は上下方向に伸張して表示されている）と安楽川河口周辺（左図円内）での汀線の経時変化

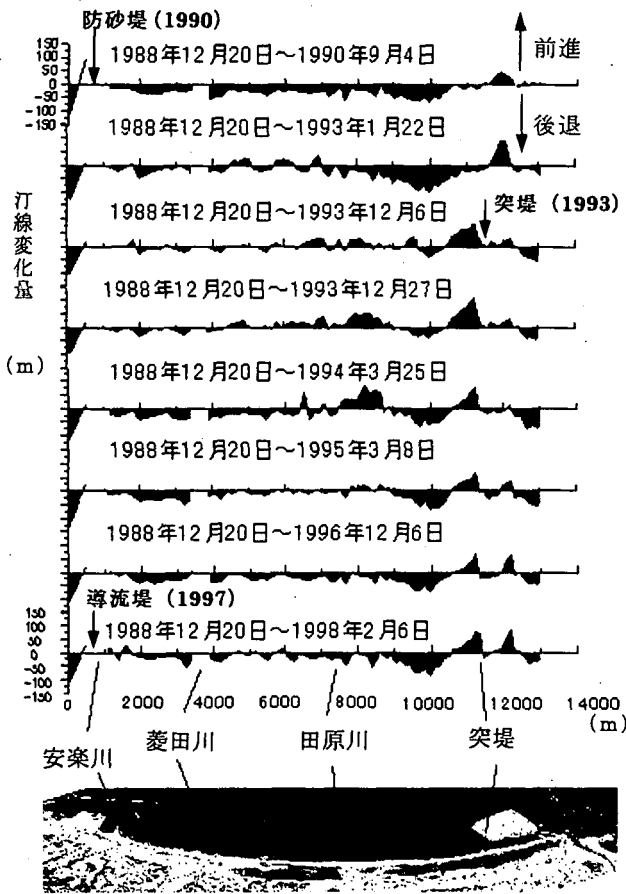


図-3 1988年12月20日を基準として表示した汀線変化

と定めるか難しくなる。河口周辺は地形勾配も緩く、汀線の読み直しを行ったものの、この付近でいくらかの誤差が混入することは避けがたいと思われる。以上の解析方法の詳細については、前報<sup>1)</sup>を参照されたい。

図-3は、衛星画像から求めた1988年12月を基準とした汀線位置の前進・後退量を示したものである。ただし、ここでは河口付近は前述のように誤差が混入するため、結果を表示していない。志布志港付近の $x=0\sim500\text{m}$ の範囲、ならびに $x=2000\sim3000\text{m}$ 付近では汀線後退が見られる。安楽川左岸の防砂堤は1990年に、右岸の導流堤は1997年に完成しているが、図-3にはこれらの構造物建設の影響が認められる。一方、南側の $x=10000\sim13000\text{m}$ では、1988年12月から1993年1月までは備蓄基地の背後の $x=11000\sim12000\text{m}$ に大きな堆積が認められ、そのすぐ北側の $x=8000\sim10000\text{m}$ では100mにも達する大きな汀線後退が生じている。1993年12月以降は $x=10000\sim11000\text{m}$ に堆積部が急激に移動し、 $x=11000\sim12000\text{m}$ では汀線が逆に後退している。これらの結果は、1993年に $x=11000\text{m}$ 付近に建設された堤長230mのT字型防砂突堤の建設による影響と考えられる。このときは、備蓄基地背後の $115\text{万}\text{m}^3$ の堆積土砂を北側の侵食域に運んで養浜するという対策工事が行われた。以上のように、侵食対策工事

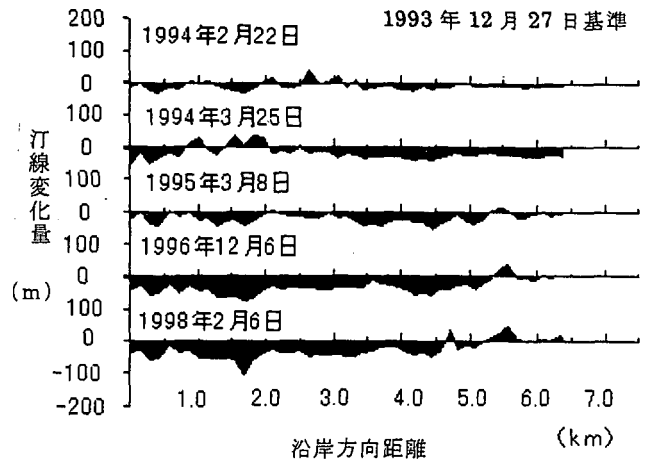


図-4 衛星画像から解析された汀線変化

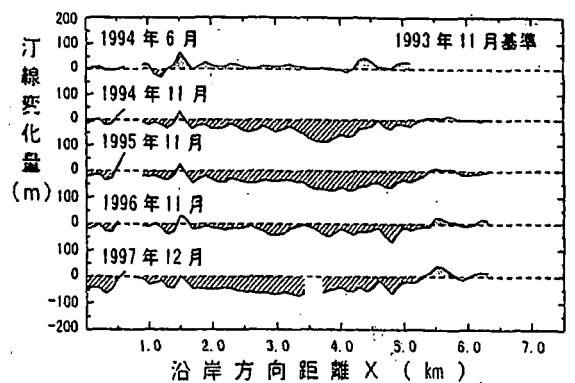


図-5 現地測量から得られた汀線変化<sup>2)</sup>

の周辺海浜に及ぼす影響は、衛星画像解析結果から明確に読みとることができる。こうした侵食対策にもかかわらず、 $x=8000\sim10000\text{m}$ の領域は1996年あたりから再度汀線が後退しつつある。また、 $x=6000\sim8000\text{m}$ の田原川河口付近でも最近では侵食傾向が認められる。

## (2) 測量結果との比較

志布志沿岸の深浅測量は、田原川以北が国土交通省九州地方整備局志布志港湾工事事務所で、以南が鹿児島県志布志港湾事務所によって行われている。前報では、1996年12月6日から1998年2月6日までの衛星画像から読みとった汀線変化が測量結果と良く一致することを確認している。県管理海岸については、深浅測量から解析された汀線変化の結果が西ら<sup>2)</sup>によって公表されているので、これとの比較を行った。衛星画像の撮影された日時と、測量が実施された日時は正確には重ならないが、ほぼ対応する日時で両者を比較した。その結果が、それぞれ図-4と図-5であり、汀線の後退・前進の箇所、その大きさにかなり良い一致が見られることがわかる。なお、県管理海岸に関する両図では、横軸の $x$ は田原川河口より500m北側を起点とし、南向きにとった沿岸距離で表示されている。

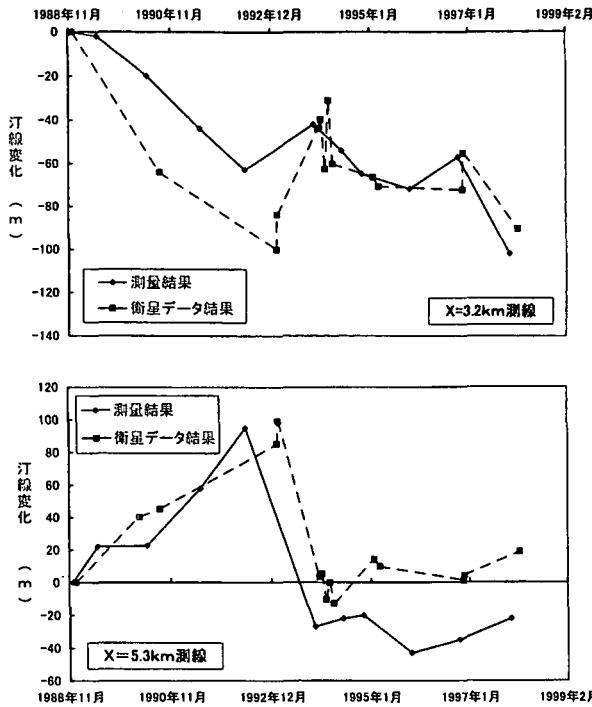


図-6 代表測線における汀線の経時変化に関する衛星画像解析と測量結果の比較

次いで、国土交通省管理の海岸について衛星データと測量結果の比較を示す。図-6は、 $x=3.2\text{km}$  地点と  $x=5.3\text{km}$  地点の比較を例として示したものである。汀線の前進・後退に関する全体の傾向や汀線変動量の絶対値はおおよそ一致している。しかし、測線によっては、例えば安楽川河口周辺などでは、砂州の消長に影響され差違が目立つ場合もあった。

### 3. 汀線変化と海域内の全土砂量変化との関係

本研究は、衛星画像から汀線変化を求めて海域の長期的な変化特性を議論するものであるが、そのためには汀線変化が海域全体の土砂量変化を代表しているかどうかの検討を行っておく必要がある。

志布志港湾工事事務所では、ほぼ年2回の割合で水深測量を実施している。200m間隔の測線上で得られた測量データは、昭和55年から20年余にわたってデータベースとして収録されている。

図-7, 8は、衛星画像解析から求められた汀線変化(折れ線)と、測量結果から得られた土砂変化量(棒グラフ)との比較を示したものである。図-7は、1988年12月から98年1月までの約10年間にわたる汀線変化と土砂変化量の比較である。図中には、構造物の影響の有無を検討するために、該当期間内に建設された防砂堤や導流堤の位置を示している。まず測線16付近の安楽川河口で大きな堆積土砂量が得られているのに対し、衛星画像から求められたこの付近の汀線は、前進せずむしろ後退傾向にあることがわかる。しかし、河口や導流堤の影響が少ない測線20あたりから菱田川河口を含む測線34あたりまでは

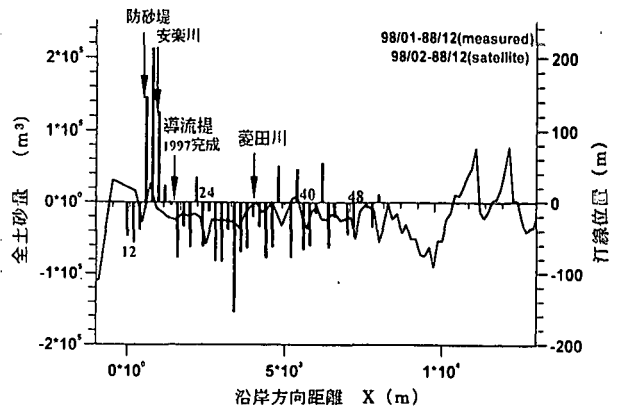


図-7 衛星画像から求めた約10年間の汀線変化(折れ線グラフ)と測量による土砂変化量(棒グラフ)

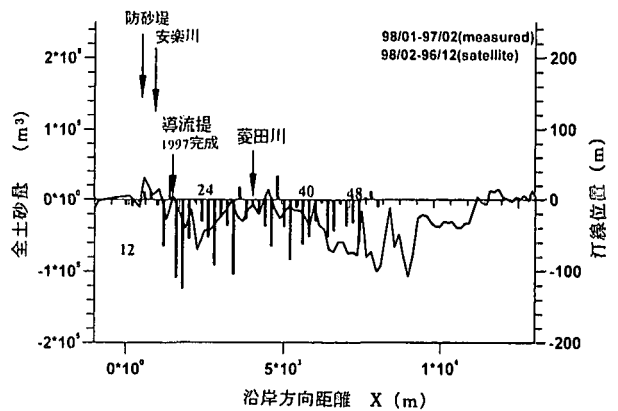


図-8 衛星画像から求めた約1年間の汀線変化(折れ線グラフ)と測量による土砂変化量(棒グラフ)

両者は大局的には一致した傾向を示している。

図-8は、より短期の海浜変形を検討するために、97年2月～98年1月の約1年間にわたる両者の結果の比較を示したものである。両図とも、棒グラフの大きな目盛りは $10^5\text{m}^3$ となっており、折れ線グラフのそれは100mとなっている。土砂変化量は沿岸方向に200m区間ごとの積分値で表示されているので、棒グラフと折れ線グラフの大きさが一致しておれば、one-line的に考えて5m程度の深さまで土砂移動が起こっていることを意味する。太平洋沿岸の漂砂の移動限界水深は8m程度といわれ、また後述する断面図からもおおむね8m程度まで地形変化が起こることがわかる。よって、両者の定量的な関係はオーダー的に正しいと考えられる。

次に、図-7, 図-8に示された一致・不一致の原因を検討するために、代表的な測線における縦断面形状の変化を調べた。図-9は、不一致の見られる断面No. 16(上段)と、良好な一致を示した断面No. 24(下段)について、10年間にわたる縦断地形の変化を示したものである。安楽川河口付近の測線No. 16の結果では、河口堆砂によって縦断地形が沖まできわめて

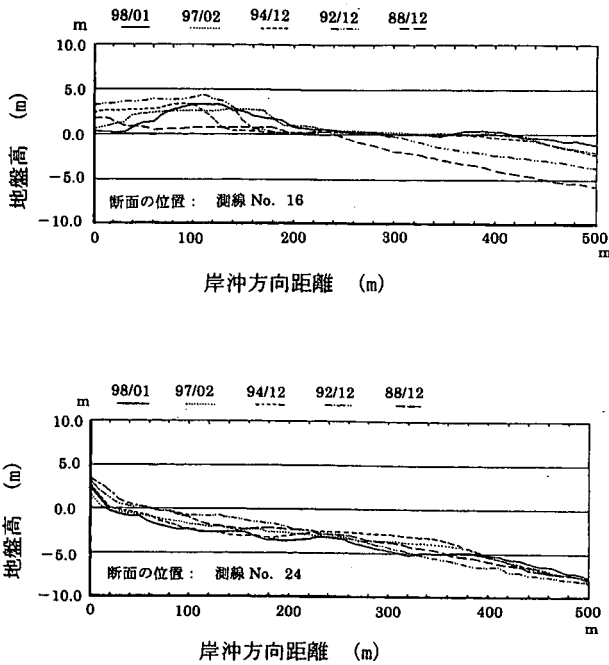


図-9 海浜縦断面形状の変化

浅い状態で続いている。陸上部の砂丘に蓄えられる土砂量も大きく変動している。汀線付近はきわめて平坦な勾配となっており、衛星画像による汀線位置の読みとりが困難となることが容易に推察できる。この事が図-7の測線No. 16付近で、測量結果から得られた全土砂量が大きな堆積となっているのに対して、衛星画像から解析した汀線位置は前進とならなかった理由と考えられる。一方、測線No. 24における縦断形状はほぼ平行移動しており、one-lineモデルが想定する地形変化に近いと考えられる。汀線位置は経年的に徐々に後退しており、沿岸砂州の存在も見られない。図-7の結果ではこの測線付近で汀線変化と全土砂量の変化は良好に対応していた。すなわち、河川からの流送土砂や構造物の影響の少ない区間では、汀線変化は全土砂量変化の指標となると推論できる。

#### 4. 海域の海浜変形に影響を及ぼす台風時来襲波浪の特性

##### (1) 解析の目的

志布志湾は、SE方向に大きく開いた湾口形状となっており、前述したように来襲波浪もSEからの波が76.4%を占める。この湾は両端を火崎と都井岬に挟まれた大スケールのポケットビーチ形状と見なせるから、平常時の波による長期的な海浜変動は比較的小さいと考えられる。一方、南九州は台風の影響地帯であるため、暴浪により大規模な地形変化が生じると、長期的な海浜の安定にも影響を与える可能性がある。以上の見地から、この海域における台風波浪の変形特性・平面的波高分布特性を調べるこ

とにした。

志布志湾内の砂浜海岸の汀線変化に大きな影響を及ぼした代表的な台風として、進行経路の異なる3台風(台風9414号、台風9512号、台風9719号)を抽出した。台風9414号は、発達しながら西進し、九州の南海上を通過した後、東シナ海に抜ける経路をとった。台風9512号は、九州南岸を通過した後、北東に進み関東付近に近づく経路をとった。台風9719号は奄美大島の北をかすめて、北へ転向し枕崎付近に上陸した後、九州を斜めに縦断した(図-10)。これら経路や滞在時間の違いにより、来襲波の特性のみならず、最終的には海浜変形の特性が異なるかどうかを考察した。

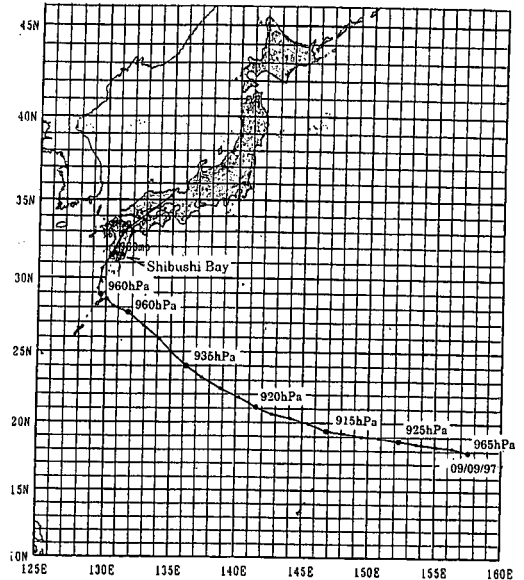


図-10 台風9719号の経路図

##### (2) 波浪の追算結果および考察

異常波浪の追算は、駒口<sup>3)</sup>によるエネルギー平衡方程式に基づく波浪推算モデルによって実施した。風外力としては、台風域内の気圧分布をMyersの式で近似して風域場を求める方法を採用した。また、Rossの台風モデル<sup>4)</sup>によって得られる周波数スペクトルと $\cos^2 \theta$ 型の方角分布関数を与えて得られた

表-2 波高計設置位置での波浪変形計算の結果

入力波の諸元			波高計位置の計算結果		
波向	波高	周期	Smax	波高	波高比
120°	3.0m	15.0s	75	2.16m	0.72
130°	4.0m	15.0s	75	3.29m	0.82
140°	6.0m	16.0s	75	5.29m	0.88
140°	7.0m	14.0s	25	5.72m	0.82
140°	6.0m	12.0s	25	4.95m	0.83
150°	5.5m	10.0s	10	4.11m	0.75
160°	7.0m	10.5s	10	4.99m	0.71
170°	8.5m	11.0s	10	5.66m	0.67
180°	8.5m	10.0s	10	5.17m	0.61
190°	8.5m	11.0s	10	4.60m	0.54

方向スペクトルを初期条件として設定し、同様に開境界からの流入エネルギーとして与えた。さらに、陸地境界では方向スペクトルを0とし、流出境界からのエネルギーは完全吸収とした。

ここでは、台風 9512 号の波高・周期の時系列に関する追算結果を実測値と比較して図-11 に示す。台風 9719 号に対する波浪追算の結果は、前報<sup>1)</sup>を参照されたい。

### (3) 浅海域の波浪変形計算

ここでは、まず台風 9719 号波浪の経時変化のモデル化を示す。この台風による波浪は、初期段階では風域を抜けた SE 方向からのうねり成分が卓越し、転向後は台風の接近に伴い次第に風波の成分が卓越していったと考えられる。志布志地点での観測波向は、台風の初期の接近時は SE であるが、転向後の最接近時には 20° 程度 S 方向寄りに変化した。波高の増大に比べて相対的に周期の発達量は少なかった。また波浪追算では、波向は E~SE~SSE に変化しているが、観測波浪は SE 系のうねりの影響が強くなっており、大きな変化は現れていない。

以上の台風 9719 号の沖波波浪追算結果ならびに観測結果の特性を踏まえ、入力波の経時変化を表-2の左欄に示すようにモデル化した。表中右欄には枇榔島波高計設置位置での波浪変形計算の結果も示した。計算方法は、Karlsson<sup>5)</sup>のエネルギー平衡方程式を解く方法を採用した。

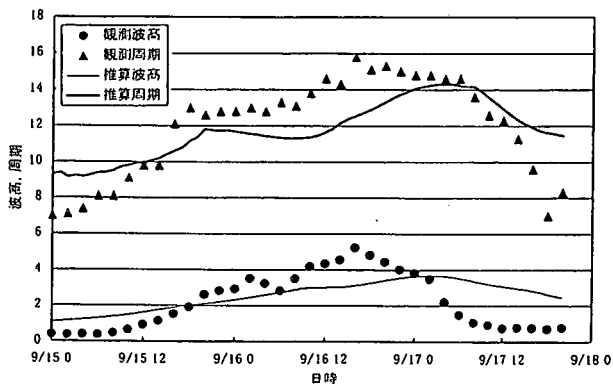


図-11 台風 9512 号にともなう観測波浪と追算波浪との比較 (地点; 志布志)

図-12 に、台風最接近時にあたる波向きが 180° (S) となった時点での志布志湾内の波浪変形計算結果を示す。台風接近前の波向き SE の計算結果から、志布志湾の湾形より入射波は汀線に向かってほぼ直角に進行することは、予想通りであったが、図-12 に示すように沖波波向きが S に変化した場合にも、波浪は地形条件からの屈折や回折などによって、湾内に進行するにつれて、波向きは同様に SE 系に変化していくことがわかった。

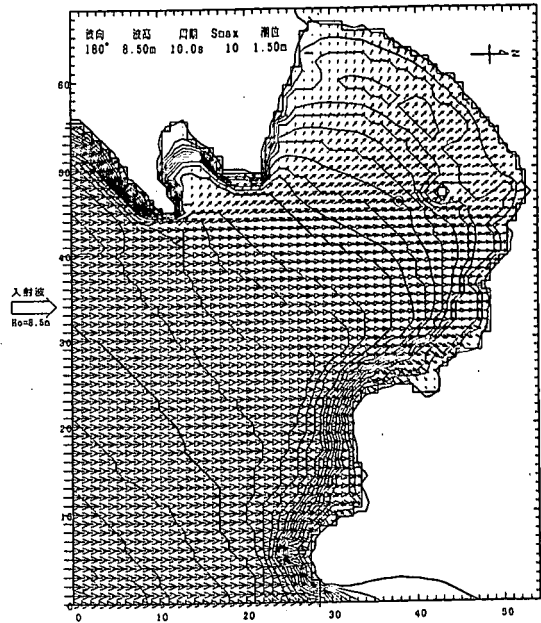


図-12 波浪変形計算の一例 (沖波波向 S)

## 5. 結論

- (1) 衛星画像を用いた10年にわたる汀線変化の解析は、測量結果とも良く一致し、構造物建設の影響を受ける海浜変形のモニタリングに有用であることがわかった。
- (2) 画像解析から求めた汀線変化と、深浅測量による土砂変化量とを比較したところ、河口周辺は一致しなかったが、他の区間はほぼ一致し、そこでは1ライン的な縦断面変化を示していることが確認された。
- (3) 波浪変形計算の結果から、志布志湾内では沖波波向に係わらずにSE系の波浪が卓越し、湾内の波向きは汀線とほぼ直角となることがわかった。よって、汀線は比較的安定した形状バランスを保っているものと考えられる。

謝辞：本研究で使用した衛星画像データは、宇宙開発事業団から提供して頂いたものである。

## 参考文献

- 1) 浅野敏之・幸野淳一・佐藤孝夫・嶺泰宏：衛星画像データを用いた台風時波浪による汀線変化の解析，海岸工学論文集，第47巻，pp. 671-675，2000。
- 2) 西隆一郎・宇多高明・佐藤道郎・脇田政一・大谷靖郎・堀口敬洋：沖合人工島建設に伴う海浜変形過程と侵食対策，海岸工学論文集，第45巻，pp. 561-565，1998。
- 3) 駒口友章：わが国沿岸における異常波浪とその予知に関する研究，京都大学学位論文，211p，1993。
- 4) Ross, D.B.: A simplified model for forecasting hurricane generated waves, Bull., Am. Meteorological Soc., p. 113, 1976.
- 5) Karlsson, T.: Refraction of continuous ocean spectra, J. Waterways and Harbour Engrg. Division, Vol. 95, pp. 437-448, 1969.