

ポケットビーチにおける海浜変形の分析－京都府浅茂川海岸を実例として－

A study on beach changes in a pocket beach - an example of Asamogawa coast in Kyoto Prefecture -

宇多高明*・関西浩二**・西岡陽一***

Uda Takaaki, Koji Sekinishi and Yo-ichi Nishioka

A method predicting predominant wave direction to a pocket beach from the asymmetry in the configuration of the pocket beach is shown. The method is applied to the coastline in Kyoto Prefecture facing the Sea of Japan. In total the shape of ten pocket beaches is compared and it is shown that predicted wave directions agree well. In addition beach changes in a pocket beach due to seasonal changes in wave direction is also studied through the comparison of aerial photos and sounding maps.

Key words: pocket beach, predominant wave direction, shoreline, asymmetry

1. まえがき

長い直線状海岸と比較して、ポケットビーチでは海岸線の曲率が大きく、また両端の岬により漂砂の系が閉じられているために、ポケットビーチの一端での波の遮蔽構造物の建設による影響が周辺海岸へ急速に、かつ顕著に及ぶことで特徴付けられる。一般に、ポケットビーチは長い年月にわたって波の作用を受けてきているから、その汀線はほぼ安定状態にあると考えられる。しかし、ポケットビーチの一端に波を遮蔽する構造物が造られると、汀線は新しい安定状態に至るまで変形を続けることになる。しかしながら、この種の問題に関する検討は必ずしも十分ではない。宇多（1990）は、ポケットビーチでの波の遮蔽構造物の建設による汀線変化を概念的に説明し、また宇多・Hsu（1993）は水理模型実験によりこの問題を検討し、波の遮蔽構造物の建設とポケットビーチ内の汀線変化の関係を明らかにした。しかし、実海岸での事例検討はなお十分ではない。このことより、本論文では京都府浅茂川海岸のポケットビーチを例として取り上げ、この種の問題に関する検討を加えるものである。

2. 浅茂川海岸周辺の地形特性

浅茂川海岸は京都府の丹後半島に位置し、日本海に面している（図-1 参照）。丹後半島には小さなポケットビーチが数多く並んでいるが、それらを包絡する海岸線はほぼWSW～ENE方向に走っている。いま、図-1において海岸線の小さな出入りは無視し、丹後半島の平均的な海岸線方向を定め、これに対して法線を引き、その方向角を求めるとN25°Wとなる。また、図-1には沖合の等深線の形状も示すが、水深50mおよび100mの等深線も海岸線とほぼ平行に延びている。この海岸は日本海に面しているため、その作用波は冬期風浪が卓越している。この付近の海岸への卓越波の入射方向は波浪観測が行われていないので実測データを示すことはできないが、ポケットビーチの形状より卓越波の入射方向の推定が可能である。宇多（1990）は、ポケットビーチの形状および波の入射方向の非対称性がもたらす汀線形状の相違について一般論としてとりまとめた。これによれば、ポケットビーチの中央線に関して汀線形状が左右対称の場合、平均的な波の入射方向はその中心線方向からとなる（図-2a）。

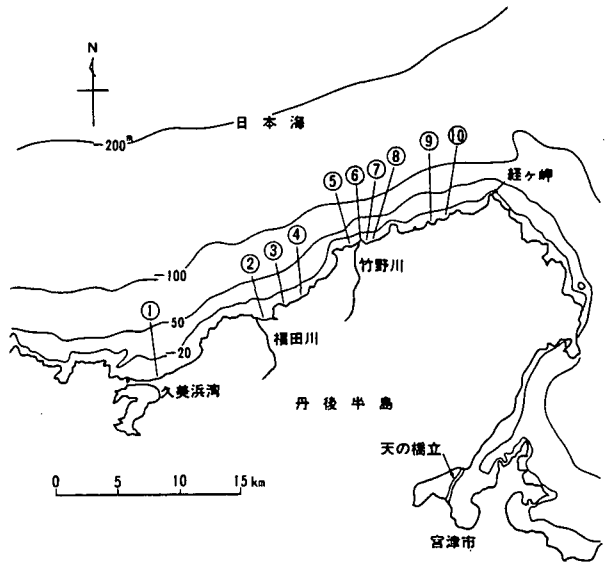


図-1 丹後半島の形状と浅茂川海岸の位置

* 正会員 工博 建設省土木研究所河川管理総括研究官

** 京都府土木建築部

*** 正会員 国際航業（株）関西技術所海洋エンジニアリング部

なぜならば、波が平均的に中心線に対し斜め方向より入射するのであれば、ポケットビーチの汀線形状は図-2b)に示すように非対称形とならなければならないからである。このことを念頭において、本研究では浅茂川海岸周辺の10カ所のポケットビーチを選んで整理することとした。選択した10カ所のポケットビーチの詳細形状を図-3に示す。また①～⑩の番号に相当する海岸の名称は表-1に示すようである。②が浅茂川海岸である。各ポケットビーチにおいて、図-2a)に示した方法によりポケットビーチの中心線を引き、その方向角を求めると表-1となる。これによると、方向角は $N30^{\circ}W \sim N23^{\circ}E$ の間でばらついている。ここで、各ポケットビーチの詳細形状を調べると、西端の岬（岩礁）の規模が東側のそれに比較して著して大きく、明らかに岬の規模が非対称なものがある。例えば、③、⑦、⑩がこれに相当する。このような場合、岬の非対称性は図-2c)に示すように汀線形状の非対称性を生じさせるから、岬の形状が左右でほぼ同一な場合と区別しなければならない。そこで表-1よりこれら3海岸を除く7海岸のデータをもとに θ の平均値を求めると、 $\theta = N24^{\circ}W$ となる。標準偏差は 4.3° である。以上のように、3データを除くと、平均的な波の入射方向はほぼ一定していることがわかる。沖合の水深は沿岸方向に一様ではなく、かなりの変動があるが、それを考慮してもかなりよい精度で平均的な波の入射方向が推定されることになる。そしてこの推定値は、丹後半島の平均的海岸線への法線方向 $N25^{\circ}W$ とほぼ一致することも注目される。

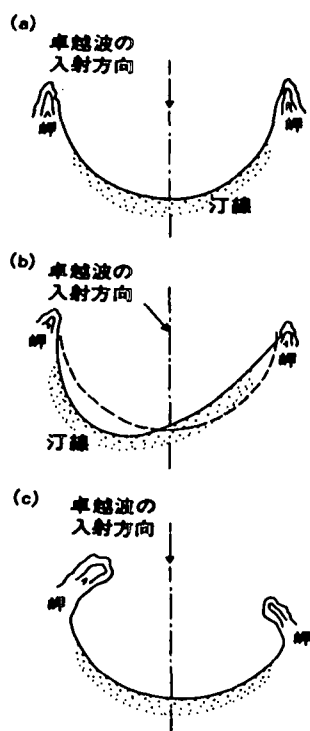


図-2 ポケットビーチの汀線形状と卓越波の入射方向との関係

表-1 ポケットビーチの方向角の一覧

海岸No	海岸名	方向角
①	久美浜海岸	$N23^{\circ}W$
②	浅茂川海岸	$N21^{\circ}$
③	琴引浜海岸	$N3^{\circ}E$
④	掛津海岸	$N25^{\circ}W$
⑤	後々浜海岸（西部）	$N30^{\circ}W$
⑥	後々浜海岸（東部）	$N25^{\circ}W$
⑦	竹野海岸	$N23^{\circ}E$
⑧	筆石海岸	$N16^{\circ}W$
⑨	上野平海岸	$N28^{\circ}W$
⑩	久備海岸	$N14^{\circ}W$

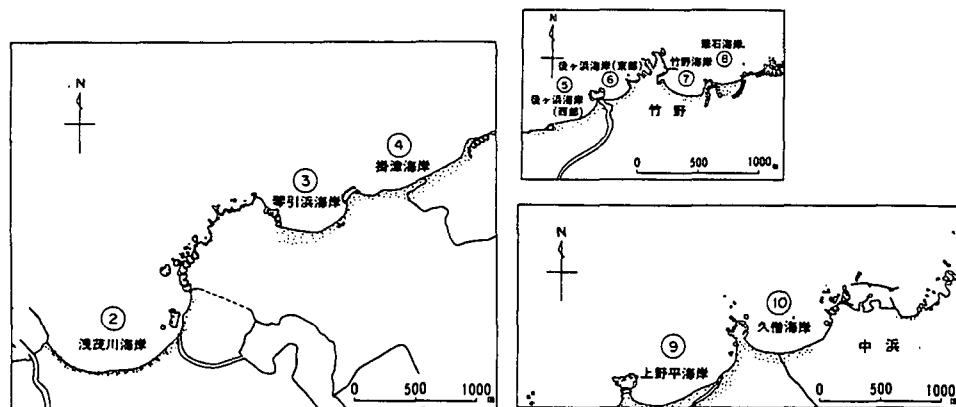
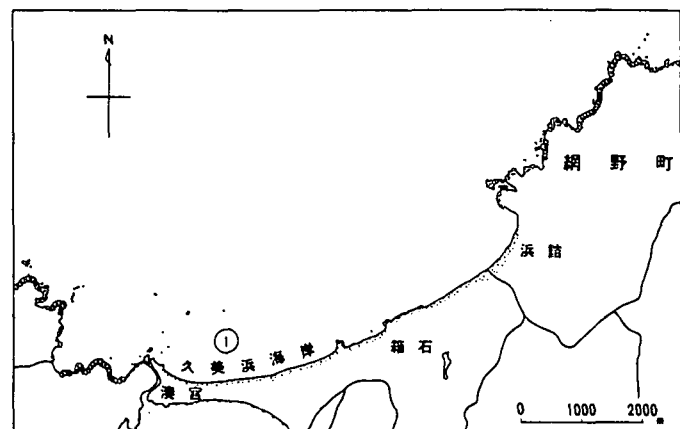


図-3 丹後半島沿岸のポケットビーチの形状

この理由は図-4より明らかであろう。図-4a)は岩石海岸が長く続いているが、その間ではポケットビーチはほとんど発達せず、隣接区域で砂浜が見られるケースである。この場合は岩石海岸の海岸線に対し卓越波が斜めに作用しており、削られた土砂は下手(左)側へと移動していると考えられる。もし図-4b)に示すように、岩石海岸の間にポケットビーチが存在し、その砂浜の汀線がほぼ同一方向を向き、しかもその方向が海岸線自体の方向とほぼ平行な場合には、卓越波は海岸線と直交する方向より入射することになる。ここで取り上げた丹後半島の海岸線は、このケースに相当すると考えられる。さらに、図-4c)は岩石海岸の中にポケットビーチが存在する意味ではb)と同一であるが、ポケットビーチの汀線の平均的方向が、海岸線全体を連ねる方向に対して傾いている場合である。この場合には、波はa)と同様な方向より入射することを意味する。そしてa)とc)の違いは、岬を構成する岩石強度に依存し、a)は強度が弱いとき、c)は強度が強いときに相当すると考えられる。

以上のようにして推定された平均的な波の入射方向が、ポケットビーチの汀線形状を定める上でほぼ妥当な値であることは、Hsu・Evans (1989) の式による計算汀線と実測汀線との比較からも示すことができる。まず図-5には代表的に浅茂川海岸(②)のポケットビーチの形状を示すとともに、Hsu・Evans の式において、突堤先端付近の岩礁上にコントロールポイントを設け、波の入射方向を $N24^{\circ}W$ としてポケットビーチの汀線形を計算した結果を示す。多少の差違はあるものの計算汀線は実測汀線とほぼ対応を示す。このことから卓越波の推定値はほぼ妥当と考えられる。

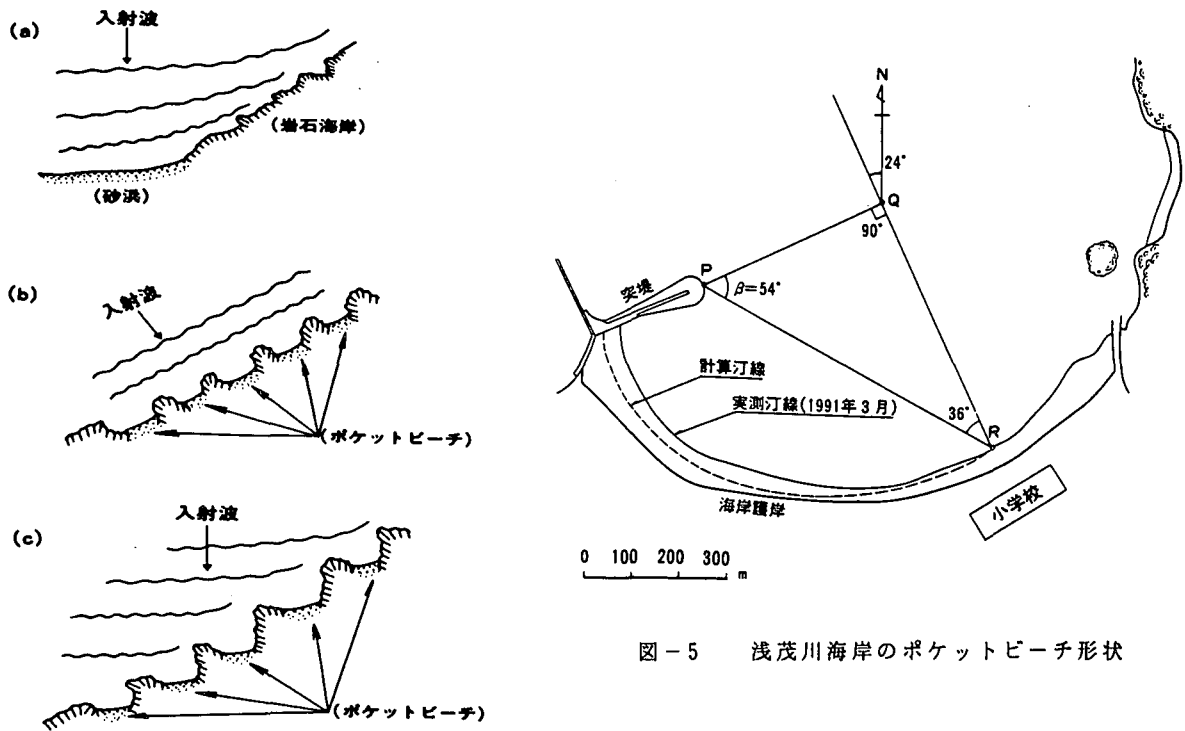


図-5 浅茂川海岸のポケットビーチ形状

図-4 ポケットビーチの分布・形状と卓越波の入射方向の関係

3. 浅茂川海岸の汀線変化

近年、浅茂川海岸ではCCZ (Coastal Community Zoneの略) 事業が進められてきており、海岸線付近の利用空間を広げるために、護岸法線の冲出しとそれに合わせた養浜が計画され、計画は順次実施に移されてきている。養浜に際してはポケットビーチの西端に土砂の流出防止と消波を兼ねた突堤が造られた。もともと浅茂川海岸のポケットビーチは、変動はあるものの入射波に対してほぼ安定状態にあったが、突堤が新設されたためポケットビーチの汀線は特徴ある変化を示した。一例として、突堤建設前の1987年8月より、1991年3月までの汀線変化を図-6に示す。このポケットビーチの形態を定める上で最も重要な作用を及ぼした卓越波の入射方向は、前節で述べたようにほぼ $N24^{\circ}W$ であるが、突堤の先端を通してこの方向に直線を引き、1987年8月の汀線との交点を点Qとすると、点Qより東側の広い範囲で汀線が後退し、これと対照的に点Qの西側で汀線が大きく前進している。汀線の最大前進量は突堤の付け根付近での約70mであり、一方汀線の最大後退量はポケットビーチ中心部の約25mである。このように、ポケットビーチの一端で不透過構造物が建設されて波の遮蔽状況が変わると、ポケットビーチ全体でかなり大きな汀線の前進・後退が生じる。この点は、既に宇多(1990)が概念図を用いて示したとおりである。

汀線の経年的変化状況をより見易くするため、図-6に示すように1991年3月時点の護岸法線と直交する座標系を定め、この軸の方向に汀線変化量を読みとり、基準点からの沿岸方向の累加距離との関係で図示することとした。読み取り間隔は25mである。汀線変化を読み取る基準年は常に1987年8月とし、それからの変化量を読み取った結果を図-7に示す。1991年3月までの変化では、ポケットビーチの中央部に当たる沿岸距離約500m~1100mの間で大きく汀線が後退し、大部分の土砂は西側へ移動し堆積した。しかし、同年の11月までの間の汀線変化と比較すると、 $X=300\sim500$ m区間が大きく削られ、これと逆に $X=700$ m付近の汀線が前進した。このような汀線変化は1987年8月より1991年3月に見られたポケットビーチの中央部よりポケットビーチ西端部へ向かう砂移動と逆モードの現象である。図-7の(b)の段階の汀線変化は春~秋の間の風波の作用により生じたが、この間には冬期と波の入射方向がかなり異なることを示している。その後、1992年3月までの汀線変化では、汀線の前進域の面積が大きな広がりを見せ、汀線の後退域は大きく減少した。1991年9月~1992年6月までの間、護岸の突出しが行われ、背後の砂が汀線部に投入されたため、汀線の大きな前進が生じた。1992年10月では護岸と締切堤が完成し、ポケットビーチの西端部付近は護岸の根元を波が洗う状況を呈している。ただし締切堤の内側にある土砂は今後の養浜用に保存されており、汀線部の工事が完了したあと再び養浜砂として利用できるから、汀線後退域は養浜により狭めることが可能と考えられる。

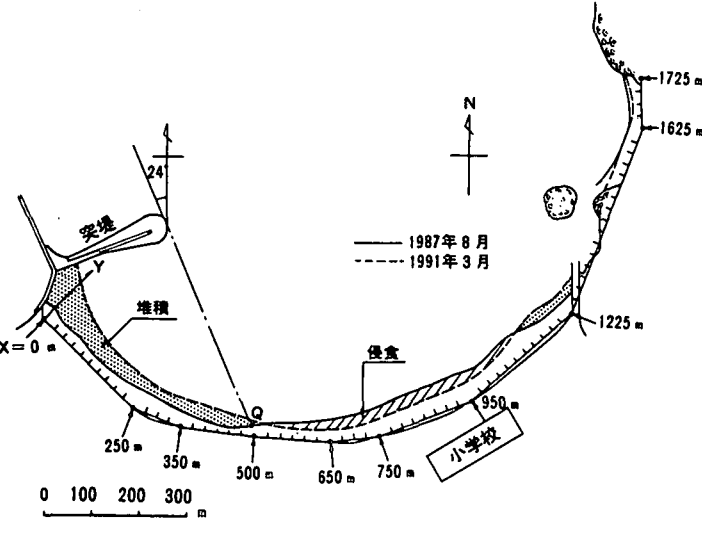


図-6 浅茂川海岸の1987年8月~1991年3月の汀線変化とその読み取り座標系

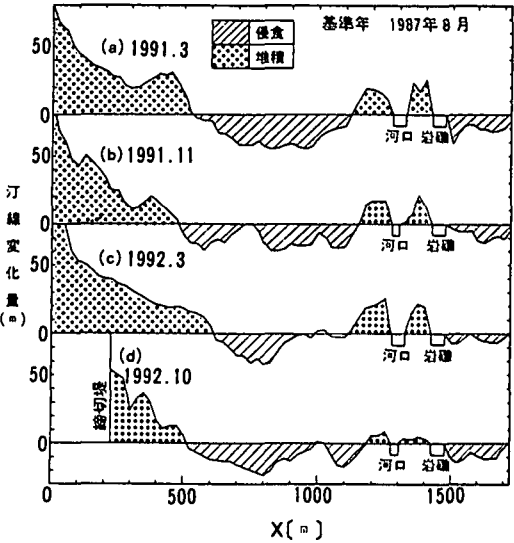


図-7 汀線変化(1987年8月基準)

4. 深浅図の比較

浅茂川海岸では、1992年3月と8月に深浅測量が行われている。以下では2枚の深浅図の比較を試みる。まず1992年3月の深浅図を図-8に示す。この深浅図は、冬季風浪の作用を受けた直後の海底地形を表わしている。 $-1\text{m}\sim 3\text{m}$ の範囲の等深線と等高線はほぼ平行に走っている。いま、両端の岬の影響を受けない、ポケットビーチの中央部付近で汀線への法線を立てると、その方向角は $N26^\circ$ となる。ポケットビーチ中央部の汀線は、波向とほぼ直角となるから、この角は冬季の卓越波の入射方向に等しい。この値は図-1より推定された平均海岸線に対する入射角 $N25^\circ$ とならほぼ一致し、またポケットビーチの中心線の方向より推定された方向角 $N24^\circ$ とも近い値である。一方、図-8の $-4\text{m}\sim -1\text{m}$ の間ではバー・トラフの発達のため複雑な等深線形状となっているが、 -4m 以深では沿岸方向に単調な等深線形状となる。しかも、 -5m 付近の等深線は汀線とほぼ平行なことが特徴と言える。このことは、この海岸ではポケットビーチ中央部の -5m 付近の等深線もまた卓越波の入射方向とほぼ直交することを示している。

図-8に示した状況より5ヵ月後の海浜形状を示すのが図-9である。5ヵ月間にポケットビーチ西端では護岸工事がかなりの進捗を示した。また、等深線形状に関しては、図-8では沖合の -4m 以深の等深線が沿岸方向に汀線とほぼ平行に、しかも単調に延びていたが、図-9ではほぼ -2m 以深の等深線が同様な特徴を示し、バー・トラフの形成範囲が大きく縮まった。このことは、夏期の静穏波の作用により、沖合地形が滑らかなものになったことを示している。

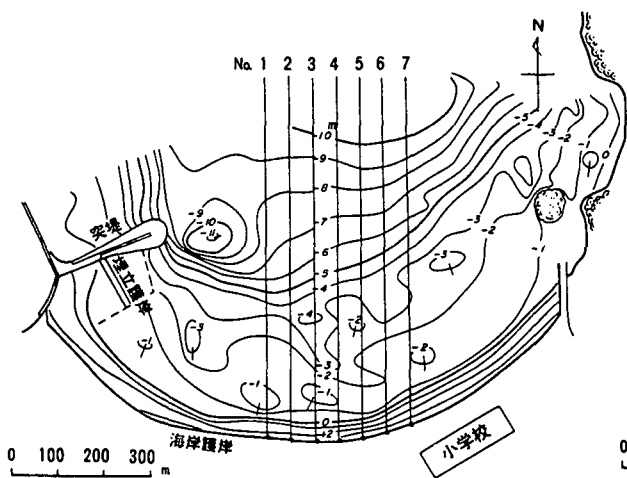


図-8 浅茂川海岸の深浅図(1992年3月)

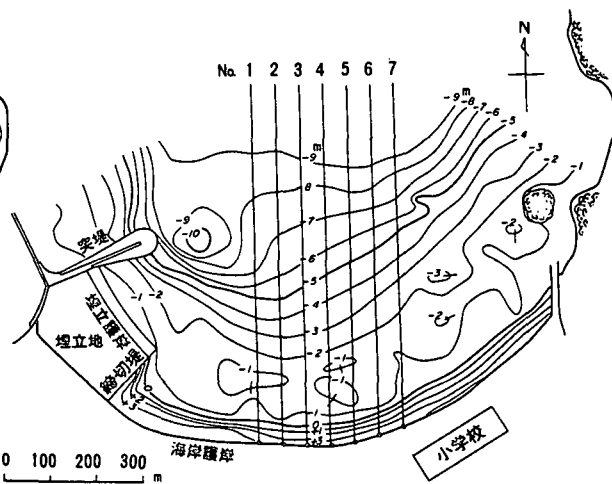


図-9 浅茂川海岸の深浅図(1992年8月)

5. 海浜断面形の比較

図-8, 9に示すポケットビーチの中央部付近に位置する7断面の経時変化について調べてみる。これらの測線は沿岸方向に50m間隔で並んでいる。図-8, 9は1992年の3月と8月の深浅図であるから、両者を比較することにより春～夏の静穏波が作用したときの海浜変形の特性を調べることができる。図-10には測線NO.1～NO.7の断面変化をまとめて示す。まず、最も西側の測線NO.1では、-1.3m以浅では不規則な変動を示すが、-1.3m～-5.8mの間に明瞭な侵食域が存在する。沖合でも多少の変動は見られるが、断面地形変化の見られる限界水深は-5.8mにある。NO.1より50m東側に離れたNO.2では、-1.4m付近でのバーの形成がより顕著になる一方、-1.4～-5mの間ではNO.1と同様に広い侵食域が存在する。NO.3では、NO.1, 2と断面変化特性が大きく変わる。-1m付近にはもともと存在したバーが削られて平坦になるとともに、-1.7m～-4.5mの間には著しい堆砂が生じた。そしてその沖合ではバー・トラフが削られて消失し、結局-5.4mまでの範囲で地形変化が生じた。中央に位置する測線NO.4では、-3.1m～-5.3mの間が削られ、-3.1m～-1.2mの間で著しい堆積が生じた。測線NO.4において侵食・堆積断面積の変化量を求めると、侵食断面積(ΔAe)の65.6 m^2 に対し、堆積断面積(ΔAa)は139.5 m^2 と、後者の方が大きい。測線NO.1, 2では表-2に示すように侵食断面積の方が大きかったことを考慮すると、いずれの断面でも岸向き漂砂に止まらず、沿岸漂砂による地形変化も生じており、沿岸漂砂はNO.1よりNO.4へ向かう方向、つまり東向きであったことを示している。中央より50m東側に位置する測線NO.5では、同様に沖合の-2.1m～-4.9mの間が侵食され、岸側の-1.1m～-2.1mの間で堆積が生じたが、この場合の ΔAa は ΔAe より約60%大きい。この傾向はNO.4断面の場合と同様である。測線NO.6では、-3.3m～-5.0mの間で侵食が生じ、-1.6m～-3.3mの間で著しい堆積をみた。侵食断面積は益々小さくなり、堆積断面積の方がはるかに大きくなった。最後に測線NO.7では、-3.0m～-3.8mの間でごくわずかな侵食が見られるのみであって、-1.0m～-3.0mの広い範囲で堆砂が生じた。図-11に示すように、断面変化を定める意味での特性水深 h_1 , h_2 , h_3 と ΔAe , ΔAa を定義し、各測線ごとにそれらをまとめると表-2となる。これによれば、顕著な地形変化が見られなくなる限界の水深(地形変化の限界水深)はほぼ5mにあること、また侵食・堆積域を区分する水深はほぼ2.6mにあることがわかる。この期間の海浜断面の変化は、冬季風浪時に形成された沖合のバー・トラフが岸向き漂砂により平滑化されて岸側に移動するタイプを示す。また、ポケットビーチの中央線より西側が侵食され、東側へと移動する沿岸モードの海浜変形が重なっている。西から東へ向かう沿岸漂砂は、図-6に示したポケットビーチの西端にある突堤背後へ向かう漂砂と逆方向であり、長期的に見て波の遮蔽域での堆砂量を減少させるものである。

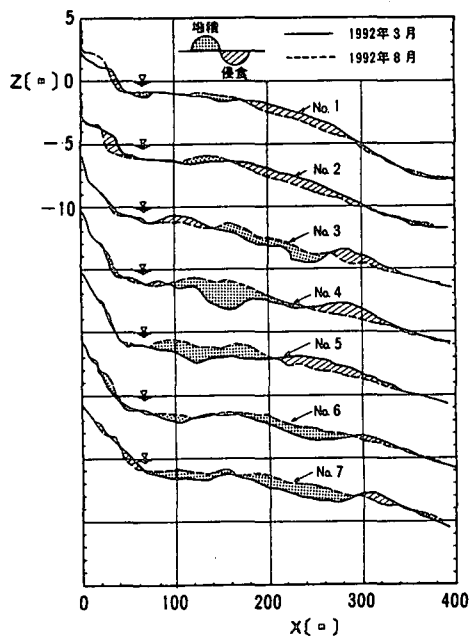


図-10 測線NO.1～NO.7に沿う海浜断面変化(1992年3月～8月)

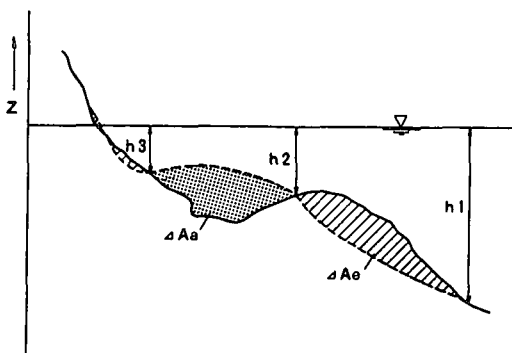


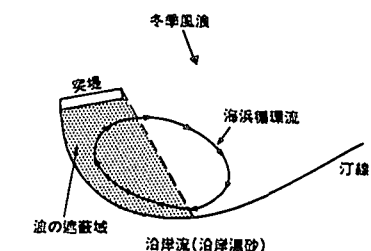
図-11 断面変化の特性水深の定義

表-2 特性水深と海浜断面積変化量の一覧

測線番号	$h_1(\text{m})$	$h_2(\text{m})$	$h_3(\text{m})$	$\Delta A_e(\text{m}^2)$	$\Delta A_a(\text{m}^2)$
1	5.8	1.3	1.1	68.2	16.8
2	5.1	1.4	1.3	68.8	20.3
3	5.4	3.8	1.7	44.9	84.0
4	5.3	3.1	1.2	65.6	139.5
5	4.9	2.1	1.1	71.9	117.3
6	5.0	3.3	1.6	18.2	80.0
7	3.8	3.0	1.0	16.2	148.3
平均	5.0	2.6	1.3	50.5	86.6

以上の点は図-12に要約される。丹後半島にあるいくつかのポケットビーチの形状を決定する上で最も重要な作用を及ぼしているのは冬季風浪であり、その平均的方向は前述したようにN24°Wと推定される。もし、春～夏の期間にこれよりわずかに時計回りの方向に（N寄りに）傾いた方向より波が入射すると、波の遮蔽域は狭まり、NO.1～NO.4の間では汀線への法線に対して左側より波が入射し、沿岸漂砂は西から東向きに流れるはずである。一方、冬期風浪時には夏期よりも西に傾いたN24°Wより入射するが、この場合突堤による波の遮蔽域は非常に広がっており、その範囲内では西向きの漂砂が発達する。夏期における静穏波の波高は低いから、全体としては冬季風浪の作用が海浜形状を決める上で重要であるが、浅茂川海岸ではここで述べた波向変動に対応した汀線変化も生じているのが特徴と言える。

〔冬季〕



〔春～秋季〕

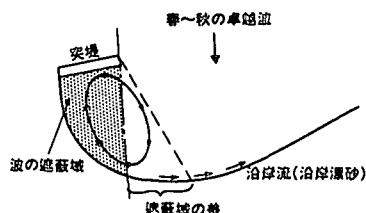


図-12 ポケットビーチ内の海浜流と漂砂の特性

6. 結論

京都府浅茂川海岸の現地データの分析より明らかになった点は以下のとおりである。

- ①地形図のみより卓越波の入射方向を推定する方法を開発した。平均的な海岸線方向に対する法線方向として定められた卓越波の入射方向と、ポケットビーチの対称性より推定された卓越波の入射方向は、深浅測量による汀線形より推定された波の入射方向と非常に一致を示し、地形図を利用した卓越波の波向推定法の妥当性が明らかになった。
- ②浅茂川海岸では、ポケットビーチの西端に突堤が造られたため、ポケットビーチの東側が侵食され、突堤の遮蔽域での汀線が前進した。しかし、護岸法線の変更と同時に行われた養浜により、侵食域は縮小傾向にある。
- ③この海岸では、冬季にはほぼN24°Wより高波浪が来襲するが、春～秋にはこれよりわずかに北寄りの入射方向となる。波高の変動があるだけでなく、波向にも変動がある。このためポケットビーチの汀線にもこれに応じた周期的変動が見られる。このような周期的海浜変動は、図-12の模式図としてまとめられる。
- ④春～秋の間の海浜地形変化は、水深約5m以浅でのみ生じ、冬季風浪によって形成されたバー・トラフがならされて平滑化し、滑らかな形状の断面となることが分かった。

参 考 文 献

- Hsu, J. R. C. and C. Evans(1989): Parabolic Bay Shapes and Applications, Proc. Intn. Civ. Engrs., Part 2, 87, pp. 557-570.
- 宇多高明(1990):海岸技術の平易な解説(1), 海岸実務講義集, (社)全国海岸協会, pp. 29-34.
- 宇多高明・J. R. C. Hsu(1993):ポケットビーチにおける遮蔽域形成に伴う海浜変形, 土木技術資料, Vol. 35, NO. 7, pp. 1-5.