

白良浜の海浜過程について

土屋義人*・河田恵昭**・芝野照夫***・林省造****

1. 緒言

白良浜(和歌山県西牟婁郡白浜町)は図-1に示すように鉛山湾に属し、南北がそれぞれ湯崎および権現崎の岩礁地帯につながる汀線の長さ約450m、幅約50mおよび面積約25,000m²の白砂の典型的ないわゆる pocket beach である。この浜は、毎年冬季節節風に伴う強風による飛砂のために、秋から春にかけて大きく変化する。また、鉛山湾の海底地形も台風時などに来襲する波浪によって多少変動し、これら2つの外力によってきわめて興味ある海浜過程を繰り返しているように思われる。

著者らは、昭和45年から冬季節節風時の飛砂の観測とともに、白良浜の水準測量と鉛山湾の深浅測量および底質採取などを実施してきた。ここでは、これらの観測調査の資料と航空写真とを用いて、飛砂による海浜変形を中心とする白良浜の海浜過程について考察する。

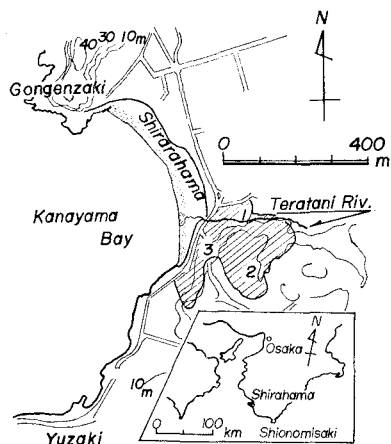


図-1 白良浜の位置図と漂砂源

2. 白良浜の海象の特性

(1) 風の特性

図-2は白良浜の海岸堤防背後の地上4.3mに設置し

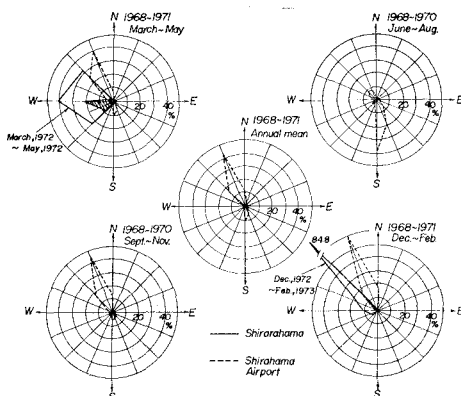


図-2 風配図

たコーシンペーン風速計による観測結果から、風配図を示したものである。この場合、砂粒の移動限界風速の推定値約4.5m/sec以上のものを対象としている。これから、冬期はNW方向の季節風が卓越し、春期にはその頻度が低下し、NW、WおよびSW方向の風の頻度は同じ程度であるが、斜線で示した6m/sec以上の風の出現頻度はW方向が他の2つの方向に比べて非常に高くなっている。図中には白良浜で欠測している夏および秋期の風向特性を検討するために、白浜空港で観測された結果を破線で示してある。両地点の地形的条件が異なるために風向特性が若干相違するであろうが、これから白良浜では夏期にS方向の風が卓越し、秋期にNNWおよびN方向の頻度が高くなると考えられる。

図-3は白良浜における気象の季節的変動を明らかに

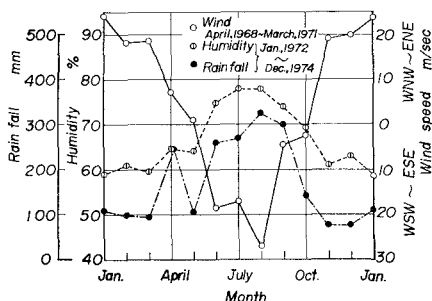


図-3 風速、降水量および湿度の変化

* 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所
 ** 正会員 工修 京都大学助手 防災研究所
 *** 正会員 京都大学助手 防災研究所
 **** 学生会員 京都大学大学院工学研究科修士課程

するために、白浜空港の月最大風速の上位3位までの平均値とそれらをNおよびS方向に近似的に分けた風向特性および白浜測候所の月降水量と湿度の平均値を图示したものである。これらの観測値の場所的变化がほとんど無視できるものとすれば、白良浜では強風の卓越方向が季節的に変化することがわかる。また、月降水量は梅雨期から台風時期にかけて多く、湿度もそれにしたがって高くなっている。

(2) 波浪および沿岸流

京大防災研究所附属白浜海象観測所では、白良浜の近く田辺湾において1963年以来波浪観測を実施しているが、長期にわたる波浪観測資料は整備されていないので、海象特性があまり大きく相違しないと考えられる潮岬の観測資料を用いて、白良浜の波浪の季節変化の特性を検討することにした。図-4は、月平均有義波高 $H_{1/3}$ の季節変化を示し、波高が季節的に変動し、冬期および台風時期には大きくなっていることがわかるが、白良浜でも同様の傾向が見出されるものと思われる。これらの期間の波向は、図-2および3に示した白良浜における強風の卓越方向と対応して、前者ではNW方向および後

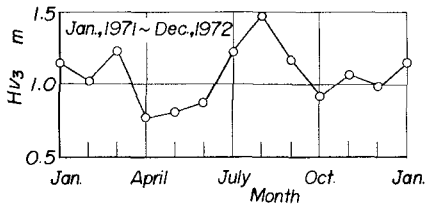


図-4 月平均有義波高の季節変化

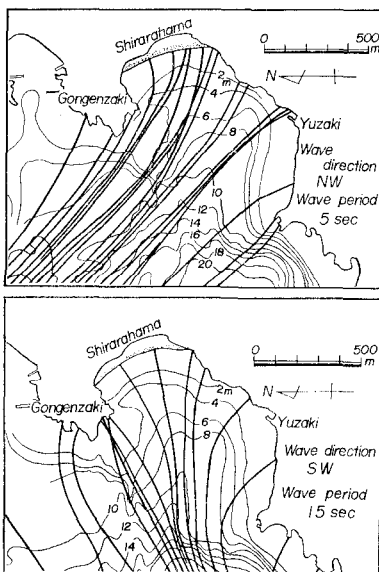


図-5 鉛山湾の屈折図

者ではSまたはSW方向であると推定される。

これらの波向に対して、鉛山湾内における波浪の屈折図を図-5に示す。図中に示した波浪の特性は、白浜海象観測所の波浪観測資料などから、波向がNWおよびSW方向のものに対して推算した。これから、NW方向からの波浪は白良浜の南部で若干W方向に変化するが、汀線に沿ってS方向へ向う沿岸流が発生し、SW方向から来襲する波浪は鉛山湾内で波高が減少し、白良浜の北部でN方向へ向う沿岸流が生ずるようである。なお、1972年11および12月の鉛山湾内の3ヶ所で流向板を用いて観測した沿岸流の方向の頻度図を後述する図-15に示すが、これから沿岸流の卓越方向が、前述したNW方向からの波浪によって発生すると考えられる沿岸流の方向とほぼ一致していることがわかる。

3. 白良浜の海浜変形と土砂収支

(1) 漂砂源

白良浜の海浜変形を考察する場合、まずその漂砂源を明らかにする必要がある。白良浜の漂砂源としては、一般的には次の2つが考えられる。その1つは、鉛山湾の海側からたとえば沿岸漂砂として運ばれてくる場合であり、いま1つは後背丘陵地から河川などによって運搬される場合である。隣接する海浜の底質調査によれば、白良浜と同質の白砂の海浜は皆無であるが、後述する鉛山湾の底質調査結果によれば、権現崎の若干沖側の岩床の凹部にも白砂が堆積している。この白砂の経緯を詳細に検討する必要があるが、比較的均一な粒度分布を持ち、礫を含んでいないことから、高波浪による岩床の削岩によって生産されたとは考えられないように思われる。

一方、著者らは白良浜の後背丘陵地を現地踏査し、その漂砂源としての白砂の分布を調べた。その結果、一般に均質で軟かく風化しやすいといわれている鉛山層群¹⁾の砂岩および白砂が図-1の斜線で示す範囲に分布していることがわかった。図中の1, 2および3はその付近において土砂を採取し、その粒度分布を調べた場所を示す。この図から、斜線で示した流域をもつ寺谷川からの流送土砂のみによって現在の白良浜が形成されたとは考えられないが、県道完成前の白良浜に接続していた丘陵地の地面侵食によって土砂が供給されていたのではないかと考えられる。しかし、背後地の宅地化にともなって、最近では寺谷川からのわずかな流送土砂が有効な漂砂源となっている。

(2) 飛砂による海浜変形

a) 海浜変形の実態

図-6(a)および(b)は、白良浜の水準測量図をもとにして作られた侵食・堆積図であり、図中にはそれぞれの期間が示してある。このうち図-6(a)では、冬期の季節風などの主として西風による飛砂と波浪の影響が考

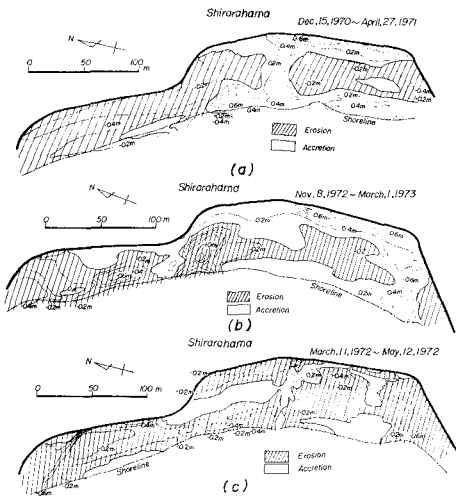
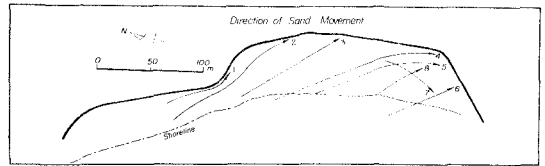
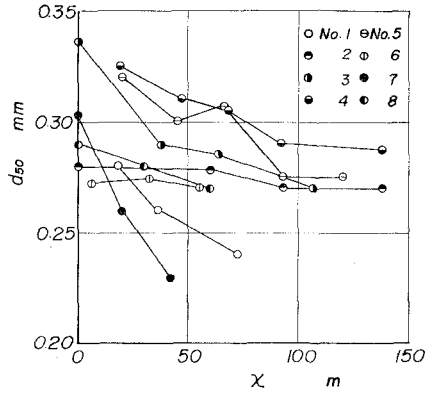


図-6 白良浜の侵食・堆積図



(a)



(b)

図-8 浜砂の中央粒径の場所的变化

えられる。これら兩期間の浜の侵食および堆積部分の分布形状はかなり類似しており、一般的にはこの浜の北側が侵食され南側に堆積が多く見られるが、これはNWまたはNNW方向の季節風による飛砂が主原因となっている。

図-6(c)は、春期における浜の侵食・堆積図の1例であって、その一般的特徴は、前述した冬期の場合とかなり異なり、汀線に直角方向に変形し、とくに汀線付近と南側の海岸堤防の前面が大きく侵食されていることである。これは異常低気圧によるWおよびSW方向の強風による飛砂と波浪が主原因となっていると思われる。図-7は春期におけるWNW方向の風の場合、その平面分布を示したものである。これから風速が汀線近傍から浜中央部に向かってかなり増大し、前述したこの付近の浜の侵食傾向とある程度一致している。また、春期の侵食土砂量が一般に堆積土砂量に比べて多いのは、飛砂によって南側の海岸堤防付近が大きく盛り上がり、春期の強風により海岸堤防を越えて背後地に流送され、堆積したためと考えられる。

図-8は1971年12月の浜砂の中央粒径 d_{50} の平面分布図から、飛砂の卓越移動方向と思われる測線に沿ってその場所的变化を図示したものであるが、距離の基準点

は図中の矢印の始点である。この図から中央粒径は測線に沿って減少しており、その方向は前述した冬期の北西季節風の方向とよく一致していることが見出される。

b) 飛砂による海浜変形機構

白良浜の中央部の平坦な砂面上で、まず、飛砂量の実測を行い、同時に風速の鉛直分布を測定した。その場合使用した捕砂器は、堀川ら²⁾が開発した捕砂率のよいV-5型捕砂器を改良したものであり、幅15cm、長さ25cmおよび高さ30cmの真ちゅう製である。これらの観測結果から、風速分布より摩擦速度を推定して無次元飛砂量と無次元掃流力との関係を図示したものが図-9である。図中の曲線は、著者ら³⁾が砂粒のsaltation機構に基づいた運動量保存則から誘導したplane bedの飛砂量則を示すが、それは次式で近似される。

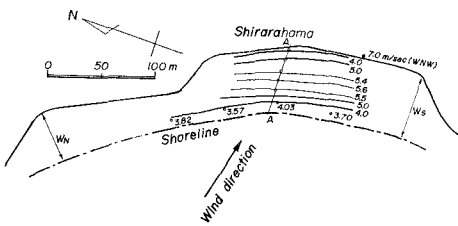


図-7 白良浜の風速の平面分布

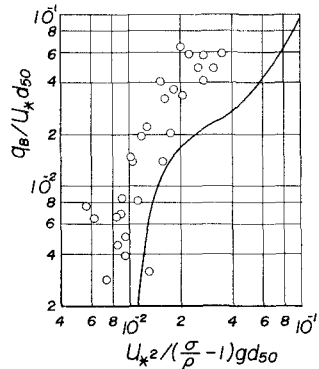


図-9 飛砂量の観測結果と飛砂量則との比較

$$q_* = 4.62 \left\{ 1 + 0.495(1 - 1.05e) \left(1 - \frac{1}{r^2} \right)^2 \right\} \sqrt{0.0286 + 4.70 \left[1 + e - (1 - e) \sqrt{1 + \frac{0.355}{(1 - e)\tau_*}} \right]^2 \left(1 - \frac{1}{r^2} \right)^2} \times (\tau_* - \tau_{*c}) \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $q_* = q_B / u_* d_{50}$ 、 $\tau_* = u_*^2 / (\sigma / \rho - 1) g d_{50}$ 、 $\tau_{*c} = u_{*c}^2 / (\sigma / \rho - 1) g d_{50}$ 、 $e = 0.95 / (1 + 5.47\tau_*)$ 、 $r = 0.95 / (1 + 65.0\tau_*) / (1 + 5.47\tau_*)$ 、 q_B : 単位幅単位時間当りの飛砂量、 σ / ρ : 空気に対する砂粒の相対密度、 g : 重力の加速度、 u_{*c} : 限界摩擦速度および e : 反発係数であり、著者らの saltation の実験結果から $\tau_{*c} = 0.01$ および飛び出し角度などの値を代入して計算した。図中の観測値は測定時間がすべて 30 sec 以上のものであるが、同一の無次元掃流力では無次元飛砂量の観測値が計算値よりも一般的に大きくなっており、また無次元限界掃流力は 0.01 よりかなり小さい。この原因としては、風向および風速は非定常であり、いわゆる風の息によって間けつ的に飛砂が生ずる場合がみられ、その場合の平均風速から摩擦速度を推定する方法に若干問題があって、実際より摩擦速度がかなり小さく評価されていることなどが考えられる。

一方、海浜上の N および WNW 方向の風による砂面上の摩擦速度の場所的変化を検討した結果は図-10 のとおりである。図中の細線は平均海面から勾配を α とするくさび状の海浜上の風速分布を完全流体として写像理論から計算し、摩擦速度との関係から推定したもので、次式で表わされる。

$$\frac{u_*}{U_K} = \beta \left(\frac{x}{x_0} \right)^{\alpha/\pi} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 U_K : 前述したコーシンペーン風速計による平均風速、 β : 定数、および x_0 : 風向に沿った浜の幅である。なお、図中には同様にして推定した海岸堤防付近の摩擦速度の場所的変化も示してある。これから、汀線近傍など境界付近の風速分布は、このような取扱いである程度説明できるが、浜の形状は必ずしも一様でなく、風速分布の場所的変化を統一的に表示することはむずかしいので、ここでは便宜上、最小自乗法による3次曲線近似を行い、その結果を太線で示した。

さて、図-11 のように、海浜上に風向に沿って座標軸をとり、飛砂による海浜変形を一次的に取扱うことにすれば、その連続方程式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial \bar{z}}{\partial t} + \frac{1}{1 - \lambda} \left(\frac{d_{50}}{x_0} \right) \left(\frac{\partial q_{B*}}{\partial \bar{x}} \right) = 0 \dots \dots \dots (3)$$

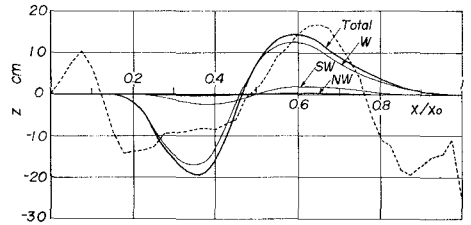


図-11 飛砂による海浜変形の計算結果と実測値との比較

ここに、 $\bar{z} = z / d_{50}$ 、 $\bar{t} = \sqrt{(\sigma / \rho - 1) g / d_{50}} t$ 、 $\bar{x} = x / x_0$ 、 $q_{B*} = q_B / \sqrt{(\sigma / \rho - 1) g d_{50}}$ 、および λ : 空隙率である。式(1)を式(3)に代入して積分すれば、海浜変形を表わす関係が得られる。いま、平均風速の時間的変化は十分緩やかであるとして、その変形を時間ごとに重ね合わせることにすれば、つぎの関係式が得られる。

$$\bar{z} = - \frac{1}{1 - \lambda} \left(\frac{d_{50}}{x_0} \right) \sum_i \left(\frac{\partial q_{B*}}{\partial \bar{x}} \right)_i t_i \dots \dots \dots (4)$$

ここに、 $u_* / U_K = k \bar{x} (a \bar{x}^2 + b \bar{x} + c)$ 、 k, a, b および c : 定数、および i : 各風速の段階を表わす。ただし、この場合座標は風向に沿ってとることにし、それぞれの変形を線形的に重ね合わせるものとしよう。

図-11 は 図-12 に示した 1972 年 3 月 11 日 ~ 5 月 12 日の風向別風速の延べ発生時間数を用いて、式(1)を式(4)に代入し同一測線上の海浜の変動量を風向別に計算して重ね合わせたものであり、図中には風向ごとの変動量も示してある。また、図中の破線は 図-7 に示した風速測定断面 A-A に隣接する 2 測線について、汀線を基準として計算されたその期間の変動量を表わしている。この図から、春期における飛砂による海浜変形の大部分

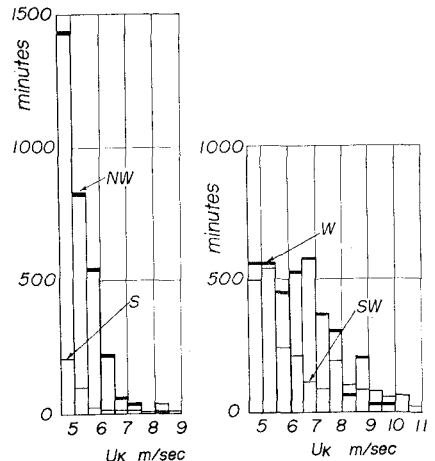


図-12 風向別風速の延べ発生時間数

はW方向の強風に起因しており、また $0.1 < x/x_0 < 0.5$ の範囲で侵食され、 $0.5 < x/x_0 < 0.8$ の範囲で堆積している傾向が見出される。そして、計算された全体的な侵食・堆積の傾向は実測の海浜変形とかなり一致することがわかる。また、この図にみられる汀線付近の堆積は波浪のそ上によるわずかな堆積を表わしているものと考えられる。なお、潮位差の影響はただか $x/x_0 \approx 0.1$ 付近までであるので、前述したそ上の影響を含めて考えると、飛砂による海浜変形の開始点は $x/x_0 \approx 0.12$ 付近と思われ、飛砂発生地点の計算結果ともよく一致しているといえよう。

一方、 $x/x_0 > 0.8$ の範囲では、海岸堤防の影響のためこの付近の風向が複雑に変化し、堤防沿いの風によって局所的に洗掘されるために、図-11 に示した変形量の連続性が成立しないものと考えられる。

(3) 汀線の季節変化

前述したように、白良浜に來襲する波浪は季節的にその特性が変わり、特に冬期季節風と台風時とは波向が相違する。したがって、これにともなう沿岸流をはじめ沿岸漂砂の主たる方向も季節的に変わることが想像される。図-13 は白良浜の汀線の季節変化を 図-7 に示した浜の南北に設けた測線についての浜幅 w_s および w_N の比の変化として表わしたものである。沿岸漂砂がN方向に向う場合には、白良浜の南端付近が侵食され北側に堆積し、またS方向に向う場合には北端付近が侵食されて南側に堆積して、結局汀線は季節的に変化することが考えられるが、図-13の結果はまさにこの事実を裏付けているようである。すなわち、冬期では w_N/w_s の値は小さくなり、台風時期には大きくなって複雑な季節変化をしていることがわかる。ただし、このような表示では毎年10月から11月にかけては台風の來襲と季節風とが時期的に重なる場合もあるためか、汀線の季節変化がきわめて複雑になっていることが見出されるが、一方このことは白良浜に來襲する波浪特性が台風の径路に左右されることにも大きく関係していると考えられる。いずれにしても白良浜のようないわゆる

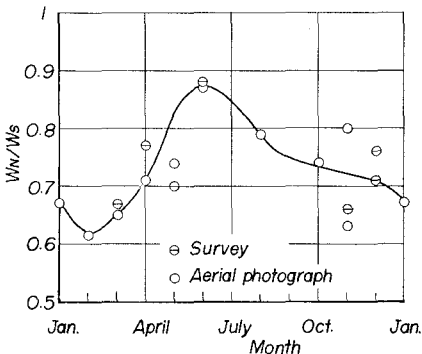


図-13 白良浜の汀線の季節変化

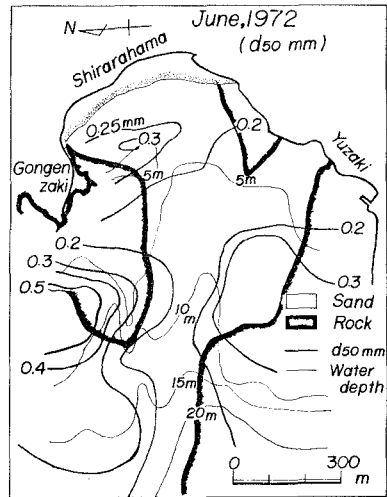


図-14 鉛山湾における底質の中央粒径の分布

pocket beach では波浪の來襲方向にしたがって汀線の方向が季節的に変化することが明らかにされたわけであって、かような砂浜海岸の大きな特徴といってよいであろう。

(4) 海底地形の変動と土砂収支

白良浜の漂砂源は、現在主として寺谷川からのわずかな流送土砂に依存しているもので、白良浜の生長はこの浜を構成している白砂の高波浪時における沖方向への移動に左右される。図-14 は鉛山湾における底質の中央粒径の分布を示したものであるが、このうち水深 10m 以深では岩床中に点在している底質を採取したものである。これから、権現崎と湯崎に限られた範囲とその若干沖側の岩床の凹部にのみ白砂が堆積しており、白良浜より沖側で底質が若干細かくなり、水深 10m 付近より再び増大する傾向を示していることがわかる。これらの底質が白良浜から沖方向へ移動したものであるかどうかはさらに詳細な調査にまたなければならないが、比較的均一な粒度分布をもっていることから考えれば同質の底質である

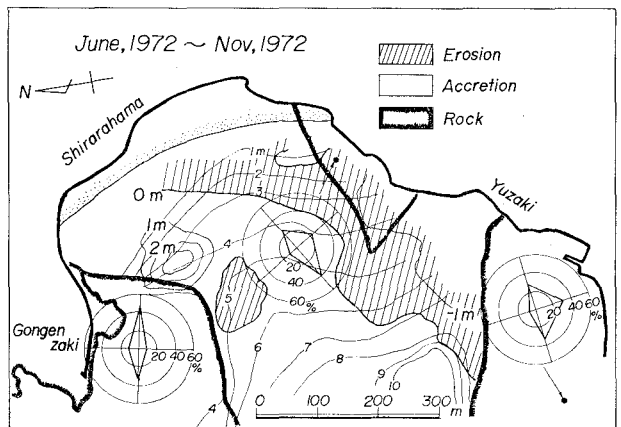


図-15 鉛山湾における沿岸流の方向と侵食・堆積図

ように思われる。

図-15 は図中に示した台風時期における海底地形の侵食・堆積図を示したもので、この期間には潮岬に上陸し北上した台風 7220 号が来襲している。この結果によれば、権現崎の沖側での地形変動は深淺測量の精度の関係で明らかでないが、湯崎付近の海底が平均的に侵食され、それが浜の北側とくに権現崎の南側に堆積していることがわかる。このことは前述したように台風時期には N 方向への沿岸漂砂が卓越したためと思われる。しかし、深淺測量の精度とも関連して、果たしてこのような台風時期に白良浜の漂砂が沖方向に移動するかどうかは前述した底質調査の結果からも明らかではない。

いずれにしても、白良浜の海浜変形は寺谷川を唯一の有効な漂砂源として現在の浜が存在している限り、その浜砂の沖方向への漂砂による移動が本質的な侵食過程を支配するはずである。前述したように、白良浜は季節的に南北方向の変動を繰り返しているが、これは局所的な海浜の変動として考えられるものであって、沖方向漂砂による浜砂の流失こそ海岸侵食の原因となることに留意すべきであろう。

4. 結 語

以上、飛砂による海浜変形を中心とする白良浜の海浜過程を検討したが、得られた成果を要約すると、つぎのようである。

(1) 冬期は NW または NNW 方向による飛砂が主原因となって、白良浜の北側が侵食され南側に堆積が多く見られ、春期は主に W 方向の強風による飛砂と波浪のために汀線付近と南側の海岸堤防前面がとくに侵食され、汀線と海岸堤防の間付近に堆積する傾向がある。

(2) 飛砂による海浜変形を飛砂量則を導入した連続方程式に基づいて一次的に取扱い、海浜の変動量を重

ね合わせた結果、全体的な侵食・堆積の傾向は実測結果とかなりよく一致することがわかった。

(3) 白良浜の汀線の季節変化を検討した結果、S 方向に向う沿岸漂砂が卓越する冬期には浜の北端付近が侵食され南側に堆積し、N 方向に向う台風時期には逆になることから、白良浜のような pocket beach では、波浪の来襲方向にしたがって汀線の方向が季節的に変動することが明らかになった。

一方、上述した汀線の季節的变化は短期的な海浜の変動であるから、白良浜の生長は沖方向への漂砂に支配されると考えられるので、この点についてさらに調査しなければならない。

以上、白良浜の海浜過程について若干の結果を得たが、今後白良浜の経年変化を明らかにするために、波浪や沿岸流の継続観測を実施するとともに、海底地形の変動特性を検討して沖方向への漂砂の実態を究明して、この海岸の土砂収支を検討していきたいと考えている。

最後に、本研究を行うにあたってご協力をいただいた白浜町役場の関係諸官および観測調査にご援助をいただいた京大防災研究所附属白浜海象観測所の西 勝也助手(現理学部助手)、吉岡 洋助手および芹沢重厚技官をはじめ、漂砂源の検討についてご教示していただいた同大潟波浪観測所の白井 亨助手およびご助力いただいた山口正隆助教授に謝意を表明する次第である。

参 考 文 献

- 1) 松下 進: 日本地方地質誌近畿地方, 増補版, 昭 37, pp. 209~215.
- 2) Horikawa, K. and H.W. Shen: Sand movement by wind action —on the characteristics of sand traps—, Beach Erosion Board, Tech. Memo. No. 119, 1960.
- 3) 土屋義人・河田恵昭: 砂粒の SALTATION に基づく飛砂量則について, 第19回水理講演会論文集, 昭 50, pp. 7~12.