

波による前浜地形変化の支配要因

宇多高明*・小俣 篤**・竹 潤 勉**

1. ま え が き

2次元海浜変形と波、底質、地形特性との関係を扱った研究は数多く行われている。岩垣ら¹⁾はJohnson²⁾の研究を基にスケール効果を導入して、波形勾配と波高粒径比をパラメータとした暴風海浜と正常海浜の分類図を作成した。その後も多くの研究が行われており、例えば砂村³⁾は汀線位置の変化モデルを提案している。これらの研究においては、2次元海浜地形変化を代表するパラメータとして、汀線位置が多く用いられている。しかし、現地海岸においては、岸沖漂砂による地形変化のみならず、沿岸漂砂による地形変化も生じている。したがって、汀線位置の変化はこの沿岸漂砂の影響も強く受けると考えられる。このため、2次元海浜変形を考える上で、汀線位置の変化が堆積、侵食の判断基準になり得るかは疑問である。加藤らは短期的な地形変化をモデル化する際に、海浜断面上の T.P. 約 0.7 m 位置の水平方向の変位量を用いている⁴⁾。その理由は、この地点の地形変化が岸沖漂砂による地形変化の特性を良く表わすためと考えられる。岸沖漂砂によって生ずる典型的な地形変化であるバームの形成、消失⁵⁾は、平均水位以上の地点で生じる。そのため、岸沖漂砂による前浜地形の変化は汀線位置の変化と直接関係しないと考えられる。結局、汀線付近における2次元の意味での Net の岸沖漂砂の方向は、それによって決定される前浜部の地形変化より判断すべきと考える。

一方、現地海岸における碎波帯内での浮遊砂の鉛直分布測定によれば、波のトラフレベル付近でも高濃度の浮遊砂が観測されている^{6), 7)}。この浮遊砂は Net の漂砂量に大きく影響すると考えられる。しかし、波のトラフレベル付近で観測される高濃度の浮遊砂は、既往の実験的研究では生じていないと判断される。このことは、これまでの実験を主とした2次元海浜変形に関する研究成果の一つの問題点である。例えば、阿字ヶ浦海岸でのデータは、波高粒径比が $5 \times 10^2 \sim 10^4$ 程度の範囲にあり、岩垣らの分類図によるとほとんどのデータは暴風海浜の範

囲にあることになる。しかし、実際には正常海浜の海浜断面形状も見られることから考えると、実験的に得られた成果は、現地海岸での地形変化に適用できないことになる。

本研究では、阿字ヶ浦海岸で過去約 12 年間にわたって実施してきた現地観測データを基に、岸沖漂砂により生じる前浜地形変化の支配要因について検討する。

2. 観 測 方 法

観測は、茨城県の阿字ヶ浦海岸にある漂砂観測用栈橋を利用して、1975 年 6 月より現在に至るまで毎週 1 回行っている。観測は、栈橋に沿った測線上での海浜地形測量、底質採取、波高観測等の 9 項目から成る。このうち海浜地形測量は、栈橋を用いた深淺測量および栈橋延長上の水準測量である。測量の範囲を図-1 に示す。深淺測量は、 P_0 より P_8 までの延長 200 m 間をレッドを用いて 3 m 間隔で行った。また、水準測量は P_0 より栈橋中心軸延長上、陸側 45 m までの範囲において 3 m 間隔で行った。ここに P_0 より陸側 45 m の地点を原点 (O) とし、ここからの沖向き距離を X とする。底質採取は地形測量と同日に P_0, P_2, P_4, P_8 地点で行った。採取した底質はフルイ分け試験を行い、中央粒径を求めた。なお、この他の項目における測定方法等の詳細は参考文献⁸⁾を参照されたい。

1983 年以後の波浪データには運輸省鹿島港工事事務所が同海岸の沖合、水深 30 m 地点で取得した観測結果

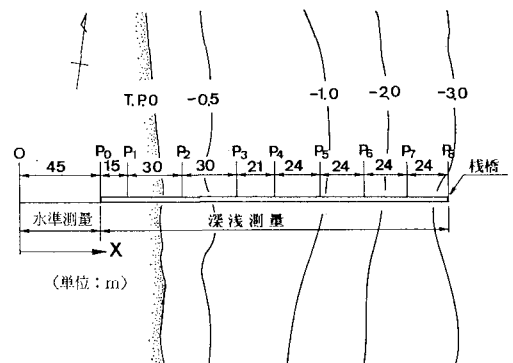


図-1 地形測量範囲

* 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長

** 正会員 建設省土木研究所海岸研究室

を用いた。それ以前については大洗沖、水深 20 m 地点で得られた波浪データを用いた。以下の解析は、1975 年 6 月より 1986 年 12 月までに得られたデータを用いて行った。

3. バームの発達過程の分類

岸沖漂砂による汀線付近での地形変化は、多くの場合バームの形成、消失となって現われる。ここでは、毎週の観測結果より汀線の変化とバームの発達過程について述べる。

3.1 バームの存在期間

1975 年 6 月より 1986 年 12 月までの期間において、バームの形成は合計 63 回確認された。この回数は、バームが形成され、消失するまでを 1 回として計測したものである。バームの存在期間は、最短で 1 週間、最長で 35 週間であった。存在期間の多くは 1 週間であり、その数は全体のほぼ半数になる。また、5 週間以上存在したバームの頻度は全体の 1 割以下であり、ほとんどのバームは 4 週間以内に消失した。

これらのデータによると、バームが十分に発達するためには、2～3 週間程度の期間が必要である。ここでは以上に述べた 63 例のうち、バームが 3 週間以上存在し、かつ波浪、底質データが整っている 9 例について検討する(表-1 参照)。

表-1 代表的なバームの存在期間

	バーム存在期間	パターン分類
1	1976 7/29 ~ 8/26	I
2	1979 3/ 8 ~ 3/29	II
3	1979 6/ 7 ~ 7/12	III
4	1980 6/19 ~ 8/21	I
5	1981 9/ 3 ~ 10/ 1	I
6	1983 3/10 ~ 11/ 3	II
7	1983 11/17 ~ 12/22	II
8	1986 5/15 ~ 7/31	I
9	1986 9/11 ~ 9/25	I

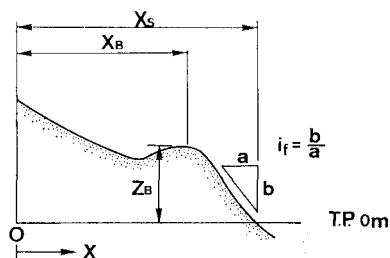


図-2 パラメータの定義

バーム発達時の地形変化特性を表わすパラメータとして、基準点 O から T.P. 0 m で定義した汀線までの距離 X_s 、前浜勾配 i_f 、基準点 O からバーム頂点までの距離 X_B 、T.P. 0 m を基準としたバームの高さ Z_B を用いた(図-2 参照)。

3.2 バームの発達過程の分類

表-1 に挙げた 9 例のバーム発達時における X_s , i_f , X_B , Z_B の変化特性を調べると、バームの発達過程は図-3 に示す 3 つのパターンに分類されることがわかった。表-1 には各時期のバーム形態を分類した結果も示した。各パターンの代表例における、 Z_B , X_B , X_s , i_f の経時変化を図-4 から図-6 に示す。図-4 がパターン I、図-5 がパターン II、図-6 がパターン III に対応した観測例である。以下に各パターンの特徴を述べる。各図において、 Z_B の増加がバームの発達を表わす。パターン I では、バームが発達し始める 1986 年 5 月 15 日より、 Z_B , i_f は大きくなり、逆に X_s , X_B が小さくなっている(図-4 参照)。また、 X_s の経時変化は i_f のそれと負の相関を示す。つまり、パターン I はバームの発達とともに汀線が後退し、前浜が急勾配となって、バーム頂点の位置が陸側へ移動するという発達形態である(図-3 参照)。図-5 に示したパターン II では、1979 年 6 月 7 日以降バームの発達とともに、 X_s , X_B , i_f が共に大きくなっている。すなわち、汀線位置およびバーム頂点位置が共に沖側へ移動しつつバームが発達している。これがパターン II の発達形態である。図-6 に示すパターン III では、バームが発達し始める 1983 年 11 月 17 日以後の X_B の変化はパターン I と類似している。しかし、 X_s の変化はパターン I に比べてかなり小さい。つまり、バームの発達にともないバームの頂点位置は陸

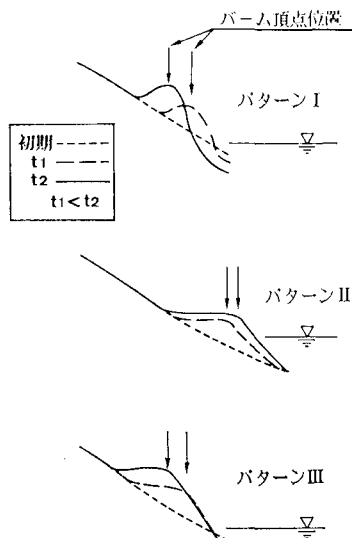
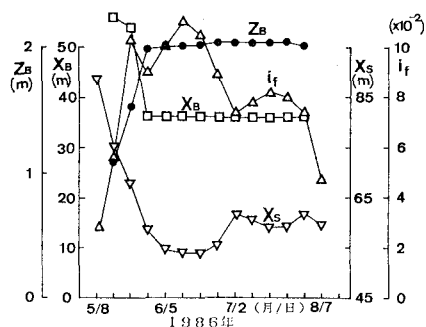
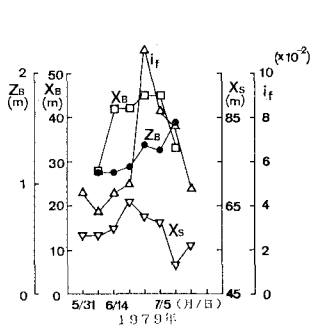
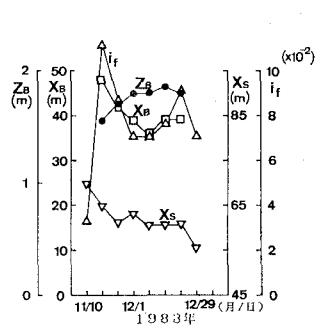


図-3 バーム発達過程のパターン模式図

図-4 Z_B , X_B , X_S , i_f の経時変化図-5 Z_B , X_B , X_S , i_f の経時変化図-6 Z_B , X_B , X_S , i_f の経時変化

側へ移動するが、汀線位置はほとんど変化しない。これがパターンⅢの発達形態である。

図-4 において5月29日以後では、 Z_B , X_B はほとんど変化しない。これはバームが安定したことを示している。バームが安定した後では、汀線位置と前浜勾配の変化に負の相関関係が見られる。この場合、バーム頂点位置が固定されているため、前浜勾配の緩勾配化は前浜の堆積を表す。この結果、前浜の堆積が直接汀線の前進と対応する。しかし、パターンⅠやⅢのバーム発達時には、前浜が堆積しても汀線位置は後退ないしは変化せず、両者は正の相関を示さない。この原因として、沿岸漂砂等による3次元的な地形変化の影響が考えられる。以上のことより、前浜が侵食されたかあるいは堆積したかの判断は、地形断面の経時変化をもとに直接行うべきと考えられ、この結果より、汀線付近の Net の岸沖漂砂の方向を決定すべきである。

4. 岸沖漂砂による前浜地形変化の支配要因

2次元海滨変形における堆積、侵食の判断は次のようにして行った。最初に、毎週の地形測量結果を用い、連続した2回の測量結果を重ね合わせた。このとき、T.P. 0mより陸上の前浜地形変化が堆積であれば、その1週間内における汀線付近の Net の岸沖漂砂の方向は岸向と判断した。

現地海岸では、砕波帯内において浮遊による底質の移動が活発であり、地形変化は底質の浮遊状態およびそれを輸送する流速場に支配されると考えられる。底質の浮遊は、砕波による流体の混合や波による流速を支配すると考えられる来襲波のエネルギーフラックスに強く影響されると考えた。そこで、本研究においては、外力の代表パラメータとしてエネルギーフラックスを用いる。従来より、2次元地形変化をもたらす外力の代表パラメータとして沖波波形勾配を用いることが多い。今回用いた波浪データより求めた週平均の沖波有義波高とその波形勾配の関係を図-7に示す。沖波有義波高の変化が波形勾配と良く対応し、波形勾配の変化は波高の変化と同義

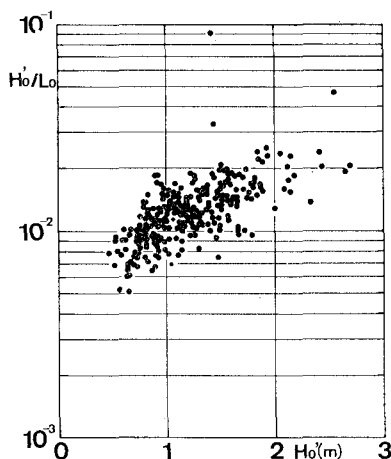


図-7 有義波高と波形勾配の関係

になることがわかる。また、波高の変化はエネルギーフラックスの変化とよく対応する。以上の点より代表パラメータとして波形勾配でなくエネルギーフラックスを用いた。また、砂の移動形態、特に底質の浮遊限界を判断する上で、底質の粒径は重要な影響をもつ。このような観点から、前浜の堆積侵食の分類をエネルギーフラックス F と粒径で整理した。 F の計算には沖波換算波高と周期を用いた。しかし、地形測量は1週間毎に行っている。したがって、1週間の積分された地形変化より、侵食、堆積を判断したことになる。そこで、沖波観測データより日平均波高、周期を求め、毎日の F を計算した結果を1週間積分して平均した値 $\bar{F}$ を代表値とした。なお、毎日の波向資料がないため、以下の解析では波向は考慮していない。また、底質データは $\bar{F}$ を計算する初日のタイミングでの P_0 地点における底質の中央粒径 d_{50} を用いた。

堆積または侵食は、ある安定状態に達すると停止する。つまり、前浜に砂が堆積することによってバームが形成され前浜が急勾配化すると、それ以上の変化は生じなくなる。侵食時も同様である。このように、堆積侵食の判断は単に外力や底質の特性だけでなく、地形そのも

のも影響すると考えられる。ここでは前浜の地形変化を判断するため、地形を代表する特性値として前浜勾配 i_f を用いた。

以上の考えより、11年6ヶ月分の地形測量データを用いて前浜地形の変化の分類を行った。横軸に $\bar{F}$ 、縦軸に d_{50} をとり、 i_f を3つの範囲に分けて整理した(図-8~10)。図-8が $i_f \leq 0.04$ 、図-9が $0.04 < i_f \leq 0.06$ 、図

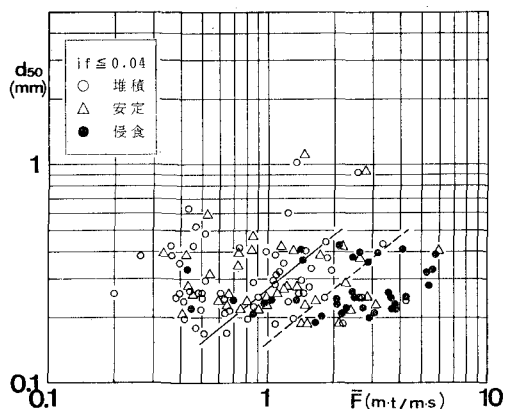


図-8 地形変化の分類 ($i_f \leq 0.04$)

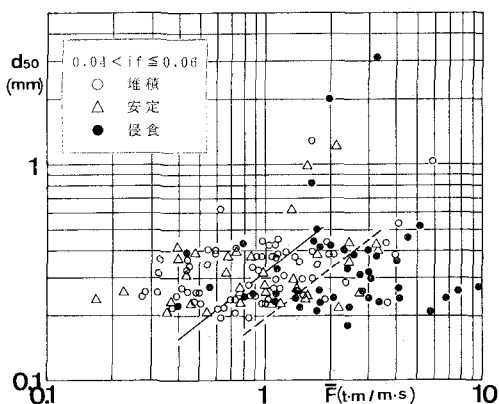


図-9 地形変化の分類 ($0.04 < i_f \leq 0.06$)

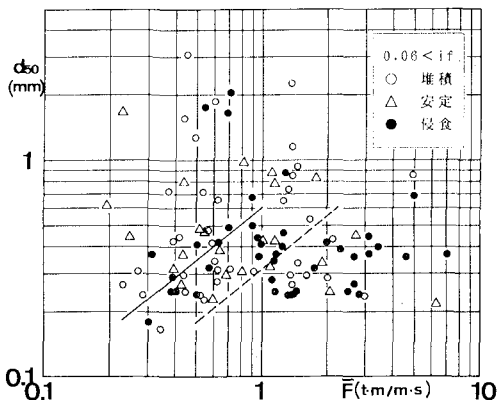


図-10 地形変化の分類 ($i_f > 0.06$)

—10が $i_f > 0.06$ の範囲にあるデータを示す。なお、1975年6月から1986年12月までの平均前浜勾配は0.052である。このとき用いた i_f の値は d_{50} と同様、 $\bar{F}$ を計算する際の初日における値である。各図を見るとデータにばらつきはあるものの、 $\bar{F}$ が大きいと侵食、小さいと堆積となる傾向が明らかである。さらに $\bar{F}$ がある程度大きくても、 d_{50} が大きいと堆積または安定傾向となる。堆積侵食を示すデータの分類境界を図中の実線と破線で示した。境界が明瞭でないため、侵食を示すデータのみより判断した境界を破線、堆積を示すデータのみより判断した境界を実線とした。同じ粒径において破線で示す境界より $\bar{F}$ が大きくなるとほとんどのデータは侵食を示すことが明らかである。また、実線で示す境界より $\bar{F}$ が小さい場合では、ほとんどが堆積および安定を示す。各図中の実線より右側の領域においても、 d_{50} が0.5 mm以上では必ずしも侵食となっていない。図中に示した実線および破線は次の式で表わされる。

$$d_{50} = C \bar{F}^{0.8} \quad \text{..... (1)}$$

ここに d_{50} は mm, $\bar{F}$ は $\text{m} \cdot \text{ton} / \text{m} \cdot \text{s}$ の単位を持つ。また、 C は定数であり、その値を表-2に示す。表より i_f が大きくなると C の値は大きくなるのがわかる。つまり、 i_f が大きいほど侵食されやすいという結果を得る。各図より、 $\bar{F} > 2$ ではほとんどが侵食傾向を示し、 $\bar{F} < 0.4$ および $d_{50} > 0.5$ ではほとんどが堆積傾向を示す。また、前浜勾配が大きいと侵食されやすい傾向を示す。データは1週間の平均値であり、波向や海底地形を考慮していないためデータは当然のことながらばらついている。また、ここでは侵食堆積の境界に幅が与えられている。それにもかかわらず、ここで用いた $\bar{F}$, d_{50} , i_f により前浜地形変化の侵食、堆積をよく分類できていると考えられる。以上のことから、前浜の地形変化は入射波のエネルギーフラックス、底質の中央粒径、前浜勾配に強く支配されていることがわかる。

表-2 定数 C の値

i_f の範囲	境界線	C
$i_f \leq 0.04$	実線	0.27
	破線	0.15
$0.04 < i_f \leq 0.06$	実線	0.31
	破線	0.19
$0.06 < i_f$	実線	0.60
	破線	0.31

5. 結 論

1975年より実施している阿字ヶ浦の漂砂観測結果を基に、前浜地形の変化について検討した結果得られた主要な結論を以下に示す。

①バームの成長過程は、汀線位置の変化により3つの形態に分類される。パターンⅠではバームの発達にともない汀線位置、バーム頂点位置がともに後退する。パターンⅡでは汀線位置、バーム頂点位置がともに前進する。またパターンⅢではバーム頂点位置は後退するが汀線位置は変化しない。

②前浜地形変化、すなわち、汀線付近における Net の岸沖漂砂の移動方向を沖波エネルギーフラックス, P_0 地点での底質の中央粒径および前浜勾配で整理した結果、前浜の侵食と堆積を分類することができた。中央粒径が 0.5 mm 以上ではほとんどの場合堆積となり、それ以下では式(1)に示す関係で分類された。この関係式の定数は前浜勾配によって変化し、前浜勾配が大きいほど侵食され易い傾向となる。

謝辞

沖波データの入手に当たっては運輸省鹿島港工事事務所第一工事課の方々に便宜に図っていただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 岩垣雄一・野田英明: 海岸変形の実験における縮尺効果の研究, 第8回海岸工学講演会講演集, pp. 139~143, 1961.
- 2) Johnson, J. W.: Scale effects in hydraulic models involving wave motion, Trans. Amer. Geophy. Union, Vol. 30, pp. 517~525, 1949.
- 3) 砂村継夫: 自然海浜における汀線位置の時間的变化に関する予測モデル, 第27回海岸工学講演会論文集, pp. 255~259, 1980.
- 4) 加藤一正・柳嶋慎一・村上裕幸・末次広児: 短期汀線変動のモデル化の試み, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 297~301, 1987.
- 5) 宇多高明・小俣 篤・竹淵 勉: 阿字ヶ浦海岸における波による前浜地形の変化, 土木技術資料, Vol. 30, No. 2, pp. 9~14, 1988.
- 6) 加藤一正・田中則男: 碎波帯内の浮遊砂に関する現地観測, 第30回海岸工学講演会論文集, pp. 224~228, 1983.
- 7) 宇多高明・小俣 篤・竹淵 勉: 一波で観測した浮遊砂濃度の鉛直分布, 第42回年講講演概要集, pp. 646~647, 1987.
- 8) Uda, T. and Y. Sakai: Summarized data of beach profiles and wave observations at Ajigaura Beach, Tech. Memo. PWRI, No. 2294, 286 p., 1985.