

現地海浜における汀線近傍の地形変化特性とその予測

——バームの発達・侵食に注目して——

新 藤 淳*・加 藤 一 正**・水 口 優***

1. はじめに

汀線近傍における地形変化を特徴づける主要な現象として、バームの発達・侵食が挙げられる。バームは発達時に汀線の前進と遡上域の急勾配化を伴い、侵食時には汀線の急激な後退及び遡上域の緩勾配化を伴うため、汀線近傍の地形変化を議論するにあたり重要な役回りを演じているといえる。波崎海岸のバームの侵食に関しては、加藤他(1989)による長周期波に注目したバーム頂レベルと遡上高の関係に関する研究や、柳嶋他(1990)による、同様の着眼点からバームの形成についての研究が知られている。しかし、侵食の際どの程度汀線が後退するのかといった問題等、十分に明らかになっていない点も多い。

本研究では波崎海岸における長期の現地観測により得られたデータをもとに、バームの発達・侵食に注目して、汀線近傍の地形変化の特徴を定量的に把握し、入射波浪が汀線近傍の地形変化に及ぼす影響について検討を行うとともに、汀線変動の経験的なモデル化を試みた。

2. 現地観測概要

2.1 海浜断面及び沖波の測定

海浜断面及び沖波の測定については、新藤他(1999)と原則として同様である。ただし本研究では、海浜断面は1986年7月15日から1999年8月24日までの4789日間(内祝祭日等による欠測1363日)、沖波については1987年1月1日から1999年7月31日までのデータを使用した。

本研究においても、平均の水位位置であると考えられるD.L.+0.9mを「汀線位置」とし、汀線位置から通常波浪による影響を受ける限界の高さと考えられるD.L.+2.5mまでの範囲を「汀線近傍」として扱った。なお棧橋付近の汀線近傍における底質の中央粒径は約0.18mmであり、これは観測期間中変化がないとしても良いことが知られている。

2.2 長周期波高の算出

本研究で用いる長周期波高(H_L)は、棧橋中央部設置の波高計により得られた水位データより周波数1/30 Hz以下の成分のエネルギーを(進行波として)換算して求めたものである。棧橋設置の波高計の水位データは1時間間隔20分計測の為、当日の1日平均値を求める場合には沖波同様当日10時から明日9時までのデータをもちいた。なお使用した棧橋計測波浪データは1987年1月1日から1998年6月30日までのものである。

3. 汀線近傍の地形変化の実態

3.1 汀線近傍の地形変化の概要

図-1は一年間の等高線の時系列の代表例を示したものである。この図から明らかな様に、バームの大規模な侵食と共に大幅な汀線の後退が引き起こされている。このような大規模な侵食は毎年秋に1~3回引き起こされている。その理由は、波が穏やかな夏期にバームが発達する事と、秋は潮位が高くなる時期である上に台風の通過等にもともない高波浪が来襲する為であると考えられる。

一般にバームは小さな入射波浪のもとで汀線近くの水深の浅い部分の砂が岸方向に運ばれ遡上域の急勾配化を伴って発達すると考えられており、本研究においても同様の現象が複数回観測されている(例えば図-2)。

図-3はバームの形成過程における、D.L. 2.5m~ -3.0mの範囲の海浜断面及び重心の鉛直座標の経時

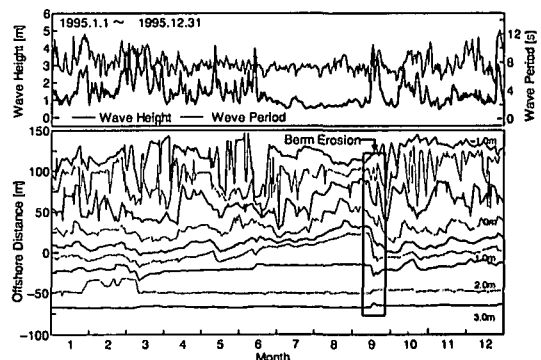


図-1 等高線および換算沖波波高・周期の年間変化の例

* 工修 (株)日本能率協会総合研究所 (前 中央大学大学院)
** 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 水工部長
*** 正会員 工博 中央大学教授 理工学部土木工学科

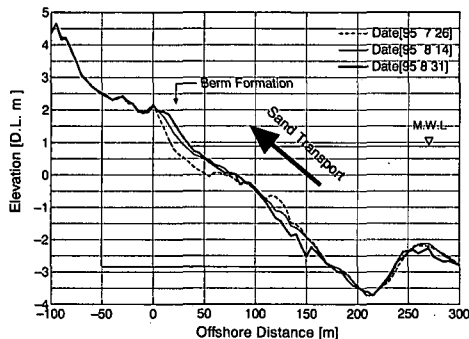


図-2 バームの形成例

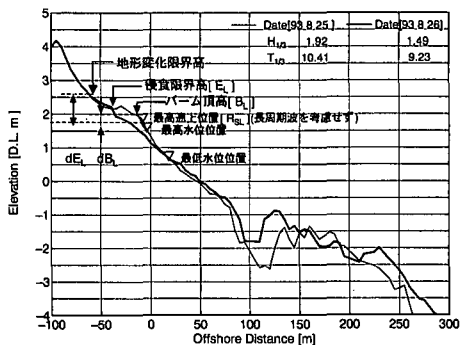


図-4 大規模なバームの侵食例

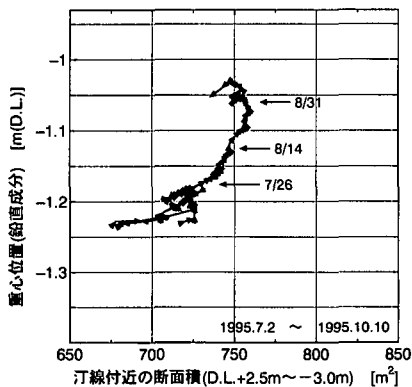


図-3 汀線近傍の断面積と重心位置の経時変化

変化を示した例である。この図からも断面積はそれほど変化せず重心がゆっくりと上昇して行く様子が見て取れる。なおこの汀線近傍への砂の供給速度は、長期的な視点(数ヶ月程度)からは約 $0.25 \text{ m}^3/\text{m}/\text{day}$ であった。

図-4 は大規模なバームの侵食の例である。短周期成分のみによる遡上波はバーム頂に到達していないこと、加えてさらに高い位置においては堆積が生じている事が確認できる。これは遡上波が実際にはこの地点まで到達している事を示唆している。このような差が生じる原因は、加藤他 (1989) の成果から明らかな様に、長周期波の遡上を考慮していない為であると考えられる。

なおバーム侵食時におけるその他の特徴としては、この例に限らず侵食後の地形は遡上域が広がりほぼ直線状になり、かつその際の遡上域勾配は 0.027 前後になる事、バームが侵食されて消滅する場合でもその日の最低水位付近の地形は不変である事が挙げられる。

以上のような地形変化の定性的な特性が確認できたところで、次に遡上域の勾配とバームの侵食2点についての定量的な評価を行う。

3.2 遡上域の勾配

一般にある波浪条件が十分に長い時間続くと、遡上域

の勾配はある一定の値(平衡勾配)に落ち着くと考えられている。現地においては完全な平衡勾配に達することはあり得ないが、遡上域の勾配は入射波浪に応じて変動すると考えられる。しかし両者の間の力学的なメカニズムが不明な為、本研究ではこれらの関係は統計的に推定した。

まず遡上域勾配に対する入射パラメータ (W) の推定の為、沖波換算の有義波高 ($H_{1/3}$) 及び有義周期 ($T_{1/3}$) と遡上域の勾配の間で重回帰分析を行い、その結果を Sunamura (1975) にならい砂の中央粒径 (d) および重力加速度 (g) を用いて無次元化し、 W を次のように決定した。なおこの際の重相関係数は 0.50 であった。

$$W = g \frac{HT^2}{d^2} \dots\dots\dots (1)$$

図-5 は W と遡上域勾配との間の相関を示した図である。この図から入射波浪の小さな時には急勾配傾向でばらつきが大きな事、入射波浪が大きくなるに従い緩勾配化し、ばらつきが小さくなる事がわかる。周期の効果については Sunamura (1975) と逆の結果になったが、この点は今後の検討課題である。

図-6 は図-5 から最小二乗法により得られた式(2)を用いて算出した遡上域勾配の予測値 ($\tan \beta$) と実測勾配の比較を行った図である。変動傾向はよく一致しているが、数値的には問題が残ると言わざるを得ない。

$$\tan \beta = 2.59 W^{-0.18} \dots\dots\dots (2)$$

なお不一致の著しい期間については沖側の地形の影響特にバーの有無等が理由として考えられる。

3.3 バームの侵食

a) 解析方法

バーム侵食の条件、及び侵食の際の特性を明らかにする為、観測期間中から大規模バーム侵食イベント[event]を全22ケースを抽出し、図-4に示したような地形に関する特性量を読み取り、当日の波浪データとの間の関係を調べた。その際に比較対象として、長周期波高 (H_L) の大きい30ケース [case A]、大きな侵食の数日前(大

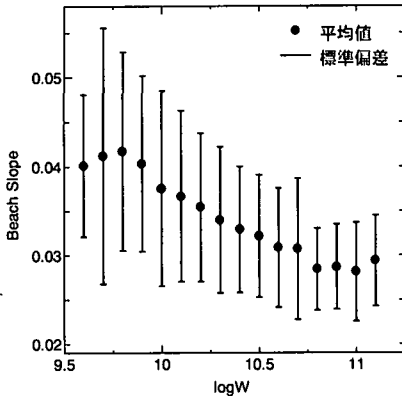


図-5 入射波浪と遡上域勾配の関係

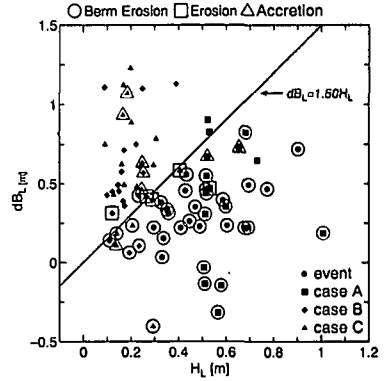


図-7 パームの侵食条件

H_L : 長周期波高 $dB_L = R_{SL} - B_L$

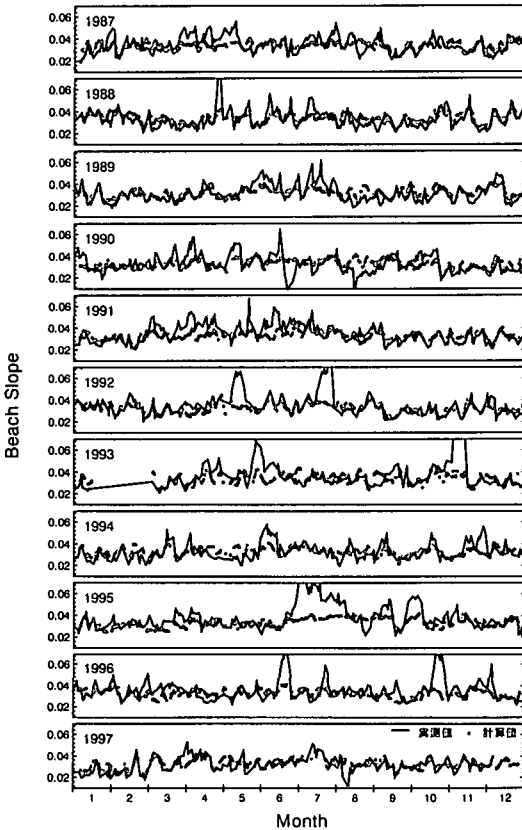


図-6 遡上域勾配の実測値と計算値の比較

b) 長周期成分を含めた遡上高の見積もり

現地における入射波浪の遡上高の算出には、長周期成分の遡上をいかに評価するかという問題が存在する、本研究では長周期波の遡上高は長周期波高に比例すると仮定する。なお短周期成分の遡上高については VanDorn (1976) の放物運動モデル式から求めた。

図-7 は長周期波の波高 (H_L) を横軸に、短周期成分のみの遡上高 (R_{SL}) とパーム頂高 (B_L) との差 (dB_L) を縦軸に取り、パームの侵食の有無に分けて示した図である。およそ式 (3) を境に侵食と非侵食が分かれているといえる。

$$dB_L = 1.50 H_L \dots\dots\dots (3)$$

遡上波がパーム頂を超えた場合に、侵食が起きるのであれば、長周期成分の遡上高は長周期波高の 1.50 倍と見積もればよいという事になる。

また図-8 は地形変化の限界高 (遡上波の到達高と考えられる) と R_{SL} との差 (dE_L) と、 H_L との関係を示して式 (3) の検証を行った図であり、この図からも平均的には

$$dE_L = 1.50 H_L \dots\dots\dots (4)$$

関係がある事がわかる。

c) 侵食限界高の見積もり

前節の結果として、遡上高は

$$R_L = R_{SL} + 1.50 H_L \dots\dots\dots (5)$$

と表す事が出来、パームの侵食が起きる為の条件は

$$B_L < R_L \dots\dots\dots (6)$$

と表せる事が分かった。

ところで、前述した通り遡上波の到達高と侵食限界の高さは異なる。図-9 はパームの侵食に限らず一般に侵食が起きた際の遡上波の到達高 (R_L) と侵食限界の高さとの関係を示したものである。両者は式 (7) を用いて表す事が出来る。

$$E_L = 0.80 R_L + 0.2 \quad (1.5 \text{ m} < R_L < 3.5 \text{ m}) \dots\dots (7)$$

きな侵食の起きる前と地形がほぼ同じで入射波浪が異なると考えられる) 22 ケース [case B]、観測期間からまったくランダムに抽出した 30 ケース [case C] を用いた。なお以下の図中においてパームの侵食が観測された場合には規模によらず“berm erosion”とし、パームの侵食を伴わずに汀線が後退するような場合には“erosion”、堆積が生じパームが発達する場合には“accretion”とした。

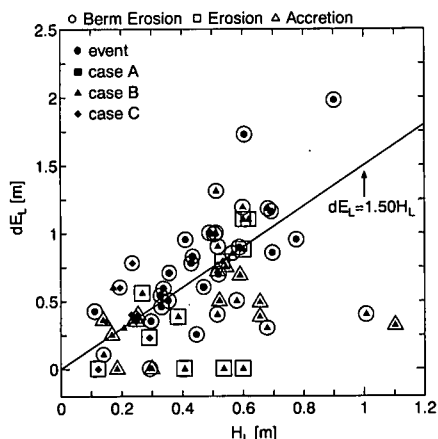


図-8 長周期波高と遡上波到達高の差

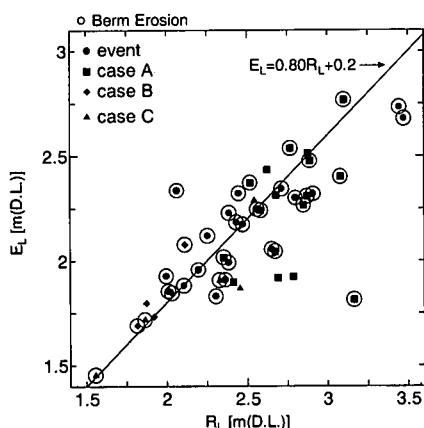


図-9 遡上波到達高と侵食限界高の関係

ただしこの場合の R_L は地形変化の限界高でもあり、 $E_L \sim R_L$ 間は堆積が生じる。

4. モデル化の試み

4.1 モデル化手法

a) 断面地形のモデル化

本研究においては、汀線近傍の地形を直線状の遡上域とその上部に一定勾配を持つ図-10のような四辺形にモデル化する。このように地形をモデル化した場合、遡上域に存在する砂の量及び遡上域の勾配を用いて幾何的に汀線の位置を算出することが出来る。入射波浪と遡上域勾配との間の関係、堆積傾向時に1日あたり汀線近傍に供給される漂砂量については、前述の値($dQ=0.25 \text{ m}^3/\text{m/day}$)を用いる。またバーム頂の上部の勾配 ($\tan \alpha$) については、バーム侵食の解析時に用いた地形データから読みとった値の平均をとり 0.015 と一定とした。

b) バーム発達過程の断面地形算出方法

この場合、 $X_{2.5}$ は入射波の影響を受けないため不変である。一方汀線近傍の断面面積は一定量 (dQ) 増加し、当日の波浪に応じた遡上域勾配から断面形状が決まる。

c) バーム侵食過程の断面地形算出方法

i) 侵食高が 2.5 m 以下の場合

入射波の遡上高がバーム頂高を越えた場合には、汀線近傍の地形は侵食される。まず侵食高が汀線近傍の岸側の境界である D.L.+2.5 m 以下の場合には、バーム頂が侵食高地点まで後退するとした。バーム侵食時には侵食高より高い所に堆積が生じるが、本研究ではこれについては無視した。この場合の侵食後の地形は図-11 の様になる。

ii) 侵食高が 2.5 m 以上の場合

侵食高が汀線近傍の岸側の境界である D.L. 2.5 m を越えるような非常に大きな侵食の場合、バームは消滅する。このような場合は $X_{2.5}$ よりも岸側の地形データを用いて、遡上波の到達レベルまで直線状になるとした。

iii) 侵食高がバーム頂高以下の場合

まれにはあるが、このような場合も存在する。厳密には侵食過程とはいえなくなるが、本研究ではこのような場合は、遡上域に砂が供給されないとして他は i) と同様とした。

4.2 予測結果

前節で述べた手法を用いて、各年最初の地形データと、年間の入射波浪データを与えて一年間の汀線変動の予測

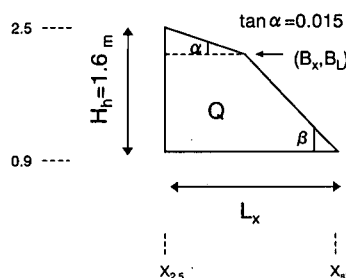


図-10 断面地形のモデル化

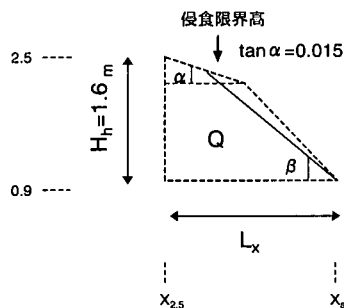


図-11 侵食状況模式図

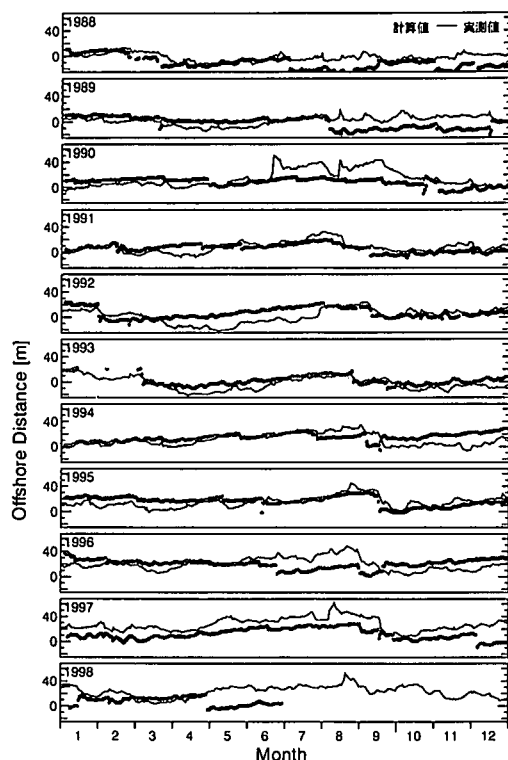


図-12 汀線位置の実測値と計算値の比較

値を計算し、実測値とを比較したのが図-12である。用いた入射波浪データは、沖波換算有義波高及び周期、HORFにて計測された長周期波高及び主要14分潮を用いて計算した天文潮位である。初期条件として与えたのは地形データから算出した汀線近傍の岸側境界(D.L.+2.5 m) $X_{2.5}$ 、沖側境界(D.L.+0.9 m) $X_{0.9}$ 、及び汀線近傍の断面積 Q である。また各年の最初の地形データは1997年を除くと1月4日、1997年は1月6日に測定されている。

長期的な予測であるにもかかわらず変動傾向は良く一致しているといえる。しかし大規模な侵食における汀線

後退の規模、春期等に見られる長期的な汀線の後退については改善の余地がある。なお98年4月に関しては入射波浪データの側に問題があると考えられる。また93年2月前後は沖波データが欠測となっている。

5. おわりに

本研究により得られた主要な結論は以下の通りである。①バームの侵食条件が式(6)を用いて表すことが出来ることがわかった。②バームの侵食限界高が式(7)を用いて表せることがわかった。③遡上域の勾配が式(2)を用いて表すことが出来ることがわかった。④今回明らかになった事実を用いて波崎海岸の汀線変動をモデル化出来ることがわかった。

また今後の課題として、①汀線近傍に供給される漂砂量と入射波浪との間の関係解明、②力学的なメカニズムを取り入れた、遡上域勾配の計算値の高精度化、③本モデルの沖側への拡張、④波崎海岸以外の地点への一般化、が挙げられる。

謝辞：本研究を行うにあたり多大な御協力を頂いた、運輸省港湾技術研究所漂砂研究室の栗山さん、柳嶋さん、内山さん、中央大学流体力学研究室の島田君、並びに鹿島港の波浪データを提供していただいた運輸省第二港湾建設局に対し深く感謝の意を表します。

参考文献

- 加藤一正・柳嶋慎一・栗山善昭・磯上知良 (1989): 荒天時のバームの侵食, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 354-358.
- 新藤 淳・加藤一正・水口 俊 (1999): 長期現地観測データに基づく汀線近傍の海岸変形特性, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 631-635.
- 柳嶋慎一・加藤一正・村上裕幸 (1990): バーム形成に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第37巻, pp. 359-363.
- Sunamura T (1975): "Static" Relationship among Beach Slope, Sand Size, and Wave Properties, Geographical Review of Japan 48-7, pp. 485-489.
- VanDorn. W. G. (1976): Set-up and run-up in shoaling breakers, Proc. 15th Coastal Eng. Conf. ASCE.