

長期現地観測データに基づく汀線近傍の海浜変形特性

新藤 淳*・加藤 一正**・水口 優***

1. はじめに

質の高い海岸環境を実現する海岸防護手段として面的防護方式が注目されているが、汀線近傍の海浜変形に関して現地における実際の挙動は、必ずしも明確に解明されていない。この付近における地形変化を特徴づける主な現象は汀線の前進・後退とバームの発達・侵食であるが、前者に対しては加藤ら (1989a) が沖波のエネルギーフラックスを用いて約 1 年の波崎海岸における汀線変動を説明している、また宇多ら (1991) は阿字ヶ浦の観測棧橋で得たデータをもとに、沖波の波向きを用いて汀線の長期的な挙動を説明している。後者については加藤ら (1989b) は波崎海岸の現地観測データを用いて、長周期波に注目したバームの侵食過程におけるバーム頂レベルと遡上高の関係を明らかにし、柳嶋ら (1990) は同様の着眼点からバームの形成についての説明をしている。さらに山本・佐藤 (1998) は大型断面水槽を用いてバームの形成過程等に着眼した実験を行い、従来の考えとは矛盾する結果を得て、波打ち帯での現象の計測と把握の必要性を論じている。

本研究では、波崎海岸において長期にわたる現地観測で得られた断面地形のデータをもとに、汀線の位置に加え遡上域の勾配をセットで考えることにより、バームの発達・侵食と汀線の前進・後退の両面について、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し、波崎海岸について以下のような結論を得た。

①この 12 年間の土砂収支は平衡状態から堆積傾向へと移行した。②ここ 5 年間ほどは 1 年を周期とする綺麗な鋸刃型の汀線サイクルがみられる。③鋸刃型の汀線サイクルの発生条件は、季節毎の沖波エネルギーフラックスの大きさを用いて説明できる。④遡上域の勾配は沖波のエネルギーフラックスによってほぼ説明できる。⑤前浜への岸沖両側からの砂の供給量がわかれば汀線位置は算出できる。⑥バーム地形の大きな侵食が起きる為には基本波の遡上到達レベルがバーム頂レベルを超え

ることが必要である。

2. 現地観測

2.1 海浜断面の測定

現地観測は鹿島灘に面する茨城県波崎海岸にある全長 427 m の波崎海洋調査施設において毎日 1 回実施した。観測期間は 1986 年 3 月 12 日から現在に至るが、本研究では 1986 年 7 月 15 日から 1998 年 7 月 14 日までの 4383 日間 (内休業日等による欠測 1223 日) を対象とした。

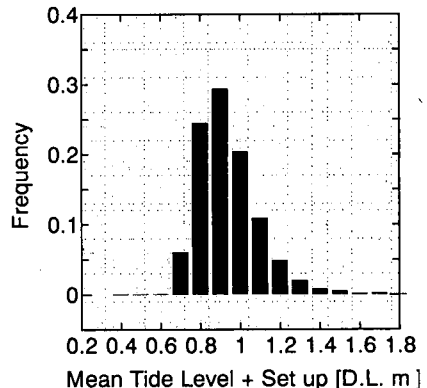
観測棧橋の南側にそって測線を設定し棧橋先端から後浜までの 500 m の区間を 5 m 間隔で海浜断面の測定を行った。測定方法は陸上部についてはレベル測量、水面下についてはレッドを用いた。

2.2 入射波浪の測定

入射波浪の測定は鹿島港の南海浜の水深 D.L. -22 m (鹿島) の地点において、超音波式波高計で 2 時間間隔 20 分計測で得られた有義波高・有義周期を使用した。断面測定が 1 日間隔であるので当日の 10 時から明日の 8 時までの有義波高、有義周期、及びそれらから計算した有義エネルギーフラックスを 1 日ごとに平均して当日のデータとした。

2.3 汀線及び遡上域勾配の定義

本研究では汀線位置から岸側で遡上波の影響を受けう



図一 1 日平均水位位置の頻度分布

* 中央大学大学院 土木工学科
** 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

る部分を遡上域と定義した。汀線位置、遡上波の影響を受けうる範囲の決定法については以下に述べる。

波崎海岸における1日平均水位位置はこの12年間で最低でD.L.(波崎, 以下略)0.5m, 最高でD.L.1.8m, 平均D.L.0.9mであった(図-1), そこで本研究では汀線位置をD.L.0.9mの地点と定義する。なお水位位置は主要14分潮を用いて算出した天文潮位に、波による平均水位上昇分(wave setup)を加えたものとした。なお汀線でのwave setupは入射波高の20%とした。この値の妥当性は波崎の棧橋の岸に近い水位計データを用いて検証した。

遡上域の勾配については、前日の最高水位位置にもっとも近い測点の1つ岸側から汀線位置にもっとも近い測点の1つ沖側までのデータを用いて最小自乗法により直線近似して求めた。

波崎海岸における観測期間中の遡上波の到達レベルは最高でほぼD.L.2.3mである(図-2)ので、平均水位位置であるD.L.0.9mからD.L.2.3mの区間が波の遡上による影響を受けうる区域である。ただし遡上波の到達レ

ベルは水位位置に遡上高を加えたものとし、鉛直方向の遡上高(ΔY)は入射波の有義周期を用いてVan Dorn(1976)の式から求めた。

$$\Delta Y = g T_{1/3}^2 \tan^2 \beta / 8 \dots\dots\dots (1)$$

なお、 $\tan \beta$ は遡上域の勾配、 g は重力加速度である。

3. 解 析

3.1 長期的な変動(図-3)

汀線の時系列から、波崎の棧橋付近においては最初の7年間は土砂収支が平衡な状態にあり、最近の5年間ほどは堆積傾向にあることがわかる。また最初の1年間と最近の5年間は1年を周期とする鋸刃型の綺麗な汀線サイクルが、5、6年目にはやはり1年を周期とする放物型の汀線サイクルが見て取れる。

3.2 中期的な変動(1年周期の汀線サイクルについて)

前述した通り、汀線の位置の時系列に注目すると鋸刃型と放物型の汀線サイクルが存在する。前者は、ほぼ秋の台風等により沖波が大きくなる時期に短期間(数日程度)で非常に大きく(20m程度)後退し、その後小規模な前進後退を繰り返しながら全体として前進して再び秋の大きな侵食を迎えるというサイクルであり、後者は秋にはそれほど大きくは侵食せず春にもう一度大きな侵食期を迎えるというサイクルである。

これらのサイクルについては、月平均のエネルギーフラックスを用いて大まかな解釈ができる。図-4にみられるように、秋に侵食が起きる条件は、夏に波が穏やかで汀線が前進し秋に大きな波が来て汀線が大きく後退することであり、また春に大きな侵食が起きる条件は秋と同様に夏に波が穏やかで汀線が前進し春に大きな波が来て汀線が後退することである。よって鋸刃型の汀線サイクルが起こるために条件は、前者が成立して後者が

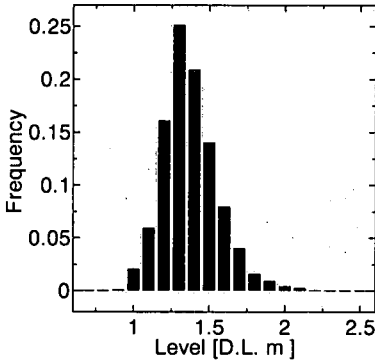


図-2 1日最高遡上高の頻度分布

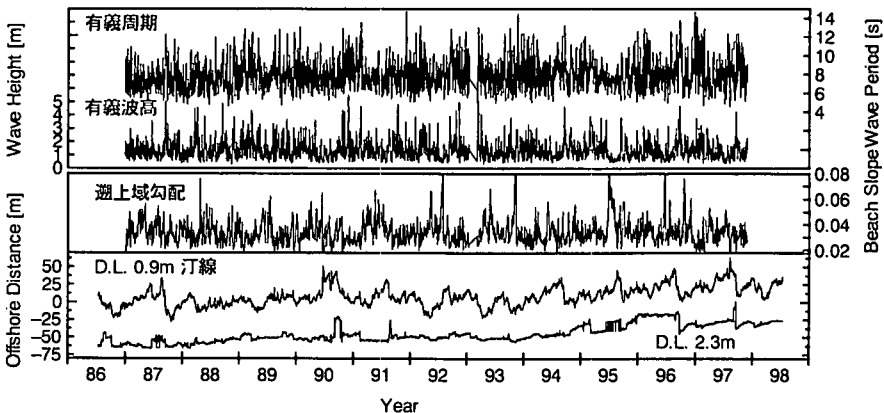


図-3 水深22m地点での波の諸量及び汀線付近地形の特性量

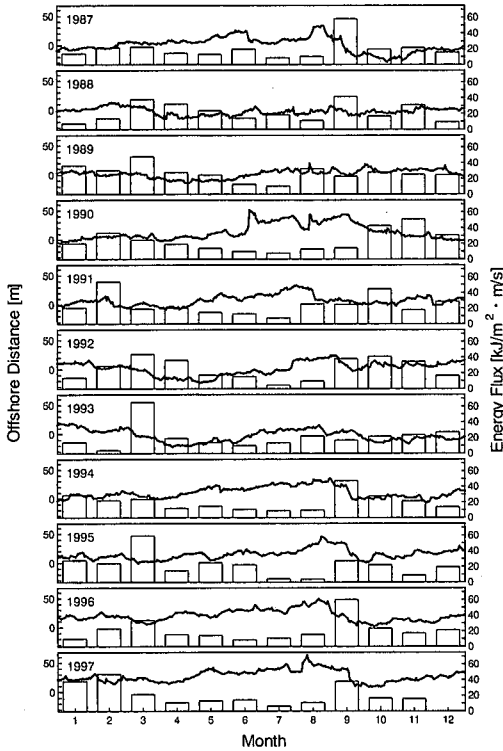


図-4 汀線サイクルと月平均エネルギーフラックス

成立しない場合、放物型が起こる条件は前者と後者が同時に成立する場合であるといえる。

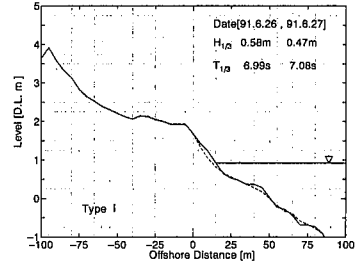
3.3 汀線近傍の短期的地形変化特性

汀線の位置と遡上域の勾配で汀線近傍の地形を表現すると、その変化は表-1のような場合分けができる。それぞれについて例を示すと図-5(a)~(d)のようになる。またそれぞれのタイプの地形変化は定性的には以下のような条件下で生じると考えられる。Type I...バームの発達段階の前期、波が沈静化、比較的勾配が緩やか、起きているのはまれである。Type III...小規模のバームが侵食、またはバームの発達段階の後期、波が増大化、比較的急勾配、Type VII...波が増大化、比較的急勾配、Type IX...大きなバームの侵食。

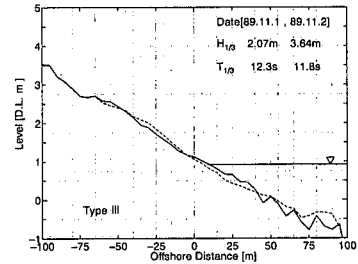
これらのことから、汀線近傍の地形変化を考える場合バームの侵食に伴う比較的短い時間に起きている現象とバ

表-1 汀線近傍の地形変化パターン

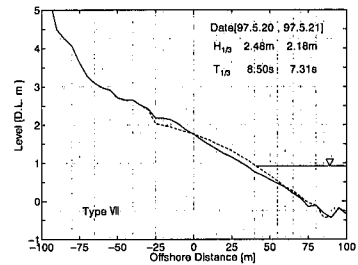
		遡上域勾配		
		急勾配化	不変	緩勾配化
汀線位置	前進	I	II	III
	停滞	IV	V	VI
	後退	VII	VIII	IX



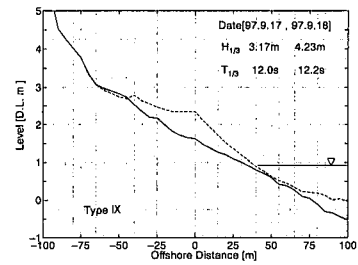
(a)



(b)



(c)



(d)

図-5 汀線近傍の地形変化例

ムの形成過程等、数日程度の外力の履歴に起因する事が予想される現象の二つについて考慮しなければならない。

4. モデル化の試み

4.1 遡上域の勾配

一般に、十分に長い時間同じ波浪条件のもとにさらされた海浜は、その波浪条件に応じた地形に落ち着くことが知られている。3.3の数日程度の外力に起因する地形

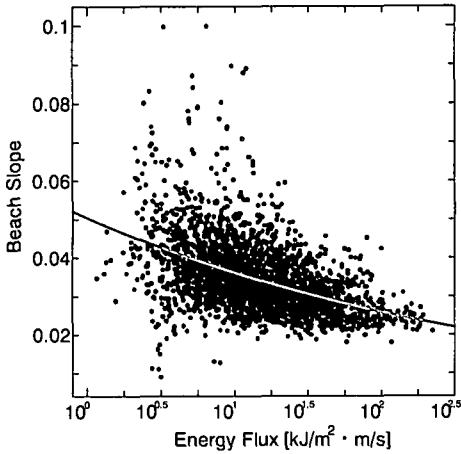


図-6 遡上域勾配と入射波のエネルギーフラックス

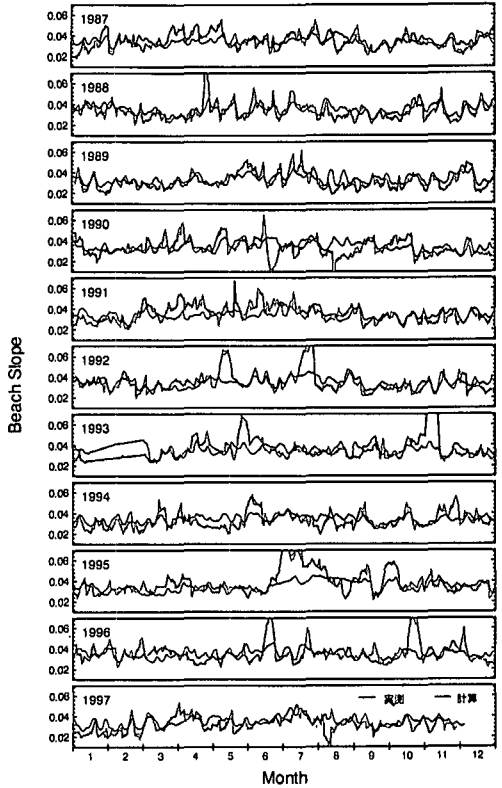


図-7 遡上域勾配の実測値と計算値

の変化は、平衡地形の移り変わりによる地形の変化であると考えられる。前浜の断面地形そのものは、当然供給される砂の量とも密接な関係があるが、遡上域の勾配は入射波浪の条件に応じて決まることが予想される。(ただし波崎海岸においては、汀線近傍でこの12年間粒径に変化はなく平均で約0.18 mmであることが経験的にわかっている。)

図-6は入射波の有義エネルギーフラックス ($\text{kJ/m}^2 \cdot \text{m/s}$) と遡上域の勾配との間の相関関係を示したものである。ただし入射波のエネルギーフラックスは過去3日間の平均である。入射波浪が大きくなると勾配が0に近づくことと仮定し、指数関数を最小自乗法を用いて当てはめて整理すると

$$\tan \beta = 0.050 \bar{F}^{-0.14} \dots\dots\dots (2)$$

となる。なおこの場合の相関係数は0.47であり、エネルギーフラックスを平均化する幅を、過去1日、5日、7日と変えたところ、相関係数はそれぞれ0.45、0.44、0.43となる。この条件の中では過去3日間の平均を取ることがよく、3日程度の沖波の累積効果を考えることが平衡地形を考えるに妥当であると判断した。

実測の遡上域の勾配との比較を行うと図-7のようになる。両者に測定の実差があることを考慮すればかなり良く一致しているといえる。ただし極端に急勾配化する場合や、91年5月周辺を代表とする一部の期間については適用外としなければならない、その理由としては汀線より沖側の地形の影響が考えられる。

4.2 汀線位置

遡上域に1日に供給される砂の量とD.L.2.3m等高線の位置が既知であるとする、汀線位置は前浜地形を図-8のように仮定することによって次式を用いて求めることが出来る。

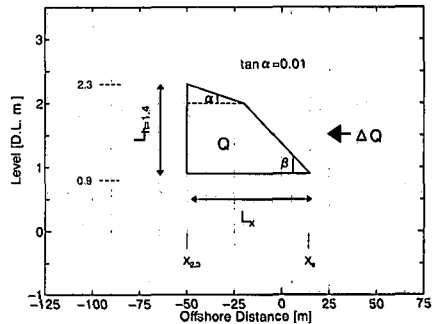


図-8 汀線近傍の地形モデル

$$\left. \begin{aligned} L_x &= \frac{b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ a &= \tan \alpha \tan \beta \\ b &= 2 \tan \beta L_h \\ c &= 2Q(\tan \beta - \tan \alpha) + L_h^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

なお $\tan \alpha$ は観測期間中から適当に160日を選びバーム頂上側の勾配を読み取りその平均から0.010とした。ここで Q は実測の地形データから算出した。実測の汀線位置の時系列との比較を行ったのが図-9である。適用条件が成り立つ範囲ではよく一致している

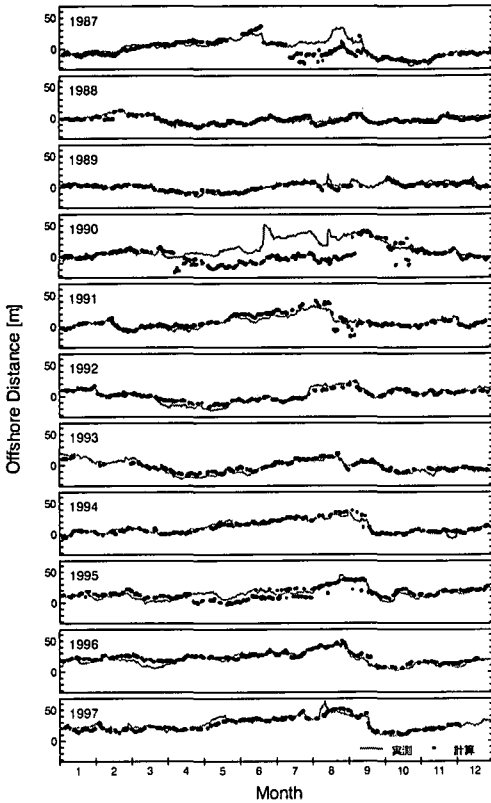


図-9 汀線位置の実測値と計算値

といえる。90年の大きく外れている期間はバーム頂がD.L.2.3mより上にあるのが原因であると考えられる。

4.3 モデルの適用条件

これまでに用いたモデルの適用条件を整理すると、遡上域の勾配に関しては、①粒径が変化しない。②極端に急勾配にはならない。汀線位置に関しては①遡上域の勾配がそこそこに正しく計算できている。②1日に前浜に供給される砂の量(ΔQ)が分かっている。③沿岸方向の漂砂量がつりあっている。④汀線近傍に砂が十分に存在する。⑤前浜の断面地形が極端に凹ではない。⑥バーム頂レベルがD.L.2.3m以上ではない。⑦地形に激しい凹凸がない。⑧D.L.2.3m等高線の1日の変化量は十分に小さい。ということになる。

4.4 バームの侵食

Type. IXに属するようなバーム地形の大きな侵食は1日程度の比較的短い期間に起きる現象であるといえる。加藤ら(1989b)と同様に、入射波の遡上高と前浜地形との間の関係を調べた一例(89年10月26日から90年2月3日)が図-10である。ただし本研究では遡上高を2.3で述べたような方法で求めた。加藤らの成果やこの図からバームの侵食には、遡上波の到達レベルがバーム頂レ

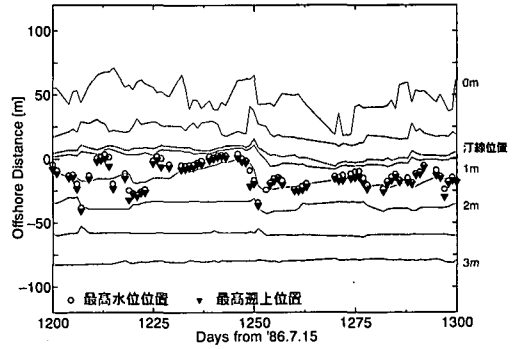


図-10 遡上波によるバームの侵食例

ベルを超えることが必要であることが分かる。しかし現段階ではバームの侵食後の前浜の断面地形を決定できるには至っていない。

5. おわりに

本研究では、前浜に供給される砂の量を既知とした点、及びバーム侵食後の地形の特定が出来ていない点が不十分である。そこで、砂の供給量については岸側からの供給量と沖側からの供給量との分離、並びに沖からの供給量と入射波浪条件及び海浜地形との関係の解明、バーム侵食後の地形についてはその決定方法の確立、を行い両者をモデルに取り込むことを今後の課題としたい。また平衡勾配の決定について、大型の断面水槽などを用いた実験により一般論へと拡張することも検討課題である。

最後に、本研究を行うにあたり多大なご協力をいただいた、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、大阪大学理学研究科宇宙地球科学専攻の砂村先生、中央大学流体力学研究室の工藤君、高橋君、木村君、鈴木君、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たい。

参考文献

宇多高明・伊藤弘之・斉藤友伸(1991): 波高・周期・波向きの時系列変動に対する汀線の線形応答解析, 海岸工学論文集, 第38巻, pp. 381-385.
 加藤一正・村上裕幸・栗山善昭・藤田 誠(1989a): 面的防護方式における汀線変動特性の検討, 海岸工学論文集, 第36巻, pp.429-433.
 加藤一正・柳嶋慎一・栗山善昭・磯上知良(1989b): 荒天時のバームの侵食, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 354-358.
 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.
 山本幸次・佐藤慎司(1998): 大型2次元不規則波実験によるバームの形成過程に関する研究, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 526-530.
 Van Dorn. W.G. (1976): Set-up and run-up in shoaling breakers, Proc. 15th Coastal Eng. Conf. ASCE. pp. 738-751.