

暴浪による砂浜海岸の地形変化

武田 一郎*・砂村 継夫**

1. はじめに

一般に、砂浜海岸は暴浪によって侵食され、その時汀線は後退すると考えられている。しかし、茨城県勝田市那珂海岸において、1年間にわたる地形測量を行なったところ、暴浪時に汀線が全く後退しない（汀線位置が変化しないか、あるいは前進する）場合がしばしば観測された。そこで本研究では、地形測量データとその間の波浪資料とにもとづき、この原因について検討することを試みた。

2. 砂浜海岸の侵食様式

那珂海岸は東海村海岸と阿字ヶ浦海岸の間に位置する延長約 5 km の open coast である（図-1）。この海岸に N 地区（海浜堆積物の平均粒径、 $D=0.76$ mm）と S 地区（ $D=0.26$ mm）の 2 つの調査地区を設け、1980 年 8 月 28 日から 1 年間、週に 1～3 回の頻度で、海浜および極浅海域の地形測量を行なった。測量は自動レベル

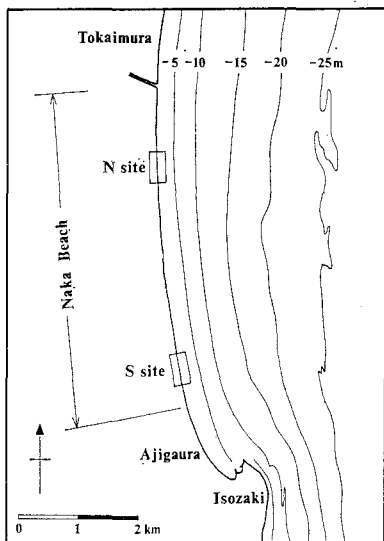


図-1 調査地域

とポール尺を用い、N地区では 20 m おきに 16 本の測線、S地区では 50 m おきに 11 本の測線に沿って行なわれた。測点間隔は傾斜変換点を除き、5 m とした。地形測量データから、各測線に関する砂浜の幅（測量基準杭から平均海面時の汀線までの水平距離）、 X 、および、平均海面上の土砂量（陸側の限界を測量基準杭までとした単位幅あたりの値）、 Q 、を求めた（図-2）。 X と Q を調査地区ごとに全測線について平均し、それぞれを $\bar{X}$ 、 $\bar{Q}$ とした。さらに、調査開始時の 1980 年 8 月 28 日における $\bar{X}$ 、 $\bar{Q}$ をそれぞれ $\bar{X}_0$ 、 $\bar{Q}_0$ とし、任意の調査日における値からこれらを差し引いたものを $\bar{X}_* (= \bar{X} - \bar{X}_0)$ 、 $\bar{Q}_* (= \bar{Q} - \bar{Q}_0)$ と定義し、図-3 に示した。

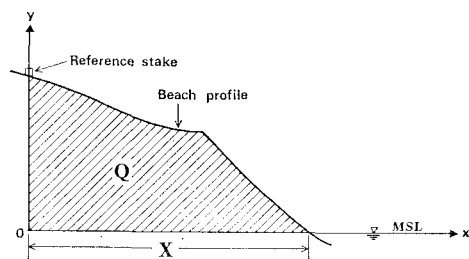


図-2 定義図

波浪データは、調査地域の南約 10 km の大洗港沖（水深 21 m）の波高計で 2 時間ごとに実測された有義波を用いた。図-3 に示した波浪データのうち、 H_b は日平均碎波波高であり、波浪実測値から次式¹⁾を用いて求めた。

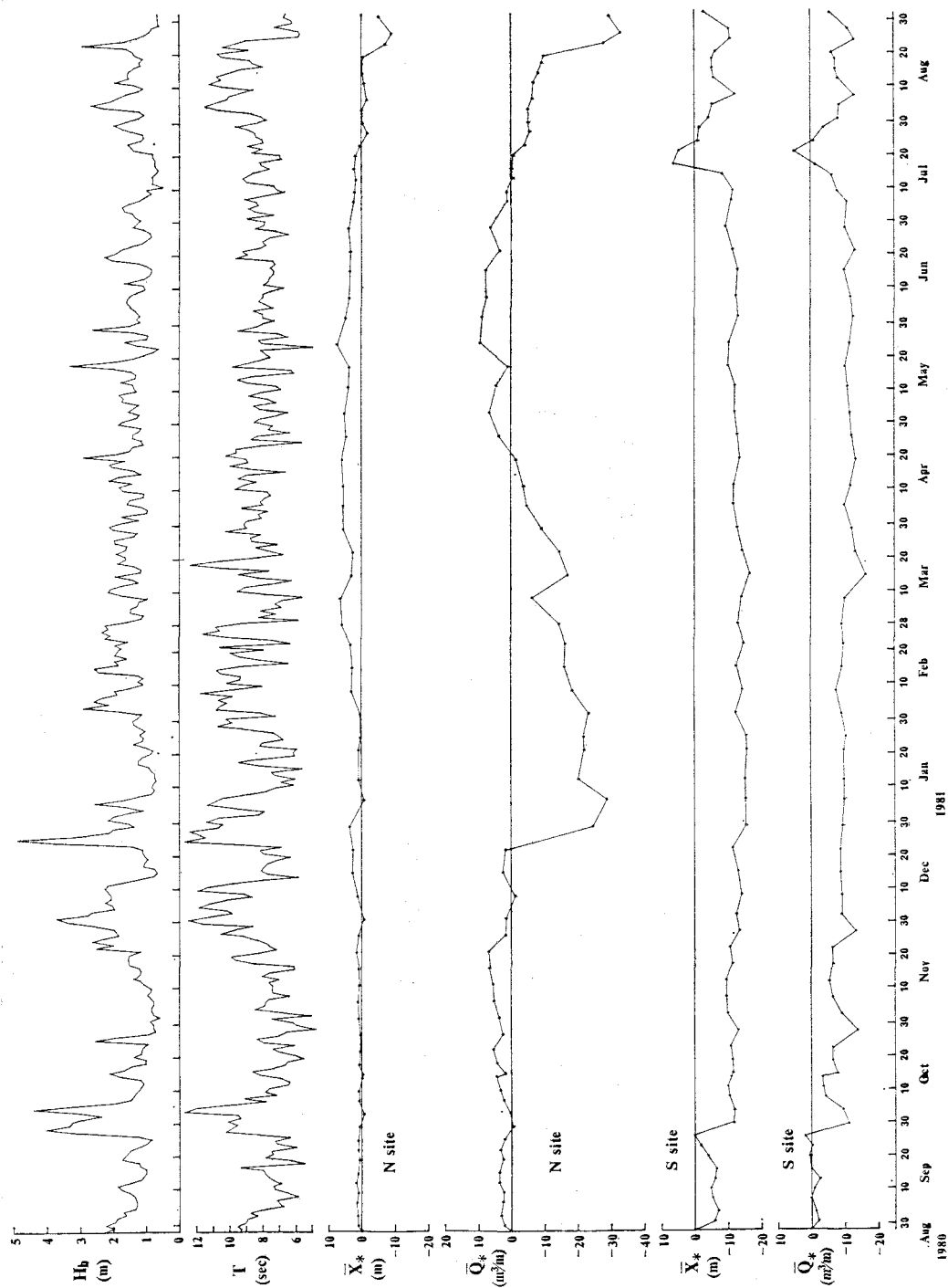
$$H_b/H_0 = (\tan \bar{\beta})^{0.2} (H_0/L_0)^{-0.25} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 H_0 は沖波波高、 L_0 は沖波波長、 $\tan \bar{\beta}$ は平均海底勾配（那珂海岸では、全域を通し、水深 20 m 以浅の平均値が 0.011）である。また、図-3 の T は日平均の有義波周期である。

暴浪による $\bar{X}_*$ と $\bar{Q}_*$ の変化を検討したところ、S 地区と N 地区とで、それぞれ異なる変化特性を示すことがわかった。すなわち、暴浪襲来後、S 地区では $\bar{Q}_*$ が減少すると $\bar{X}_*$ も減少するが、N 地区では $\bar{Q}_*$ が減少しても $\bar{X}_*$ はほとんど変化しないか、あるいは逆に増加する傾向を持つ（たとえば、N地区の 1980 年 10 月 14 日から 15 日、同年 12 月 22 日から 29 日、1981 年 3 月 8 日

* 正会員 理博 筑波大学準研究員 地球科学系

** 正会員 工博 筑波大学助教授 地球科学系



図—3 波浪および砂浜の時間的变化 (H_b : 日平均波浪高, T : 日平均周期, $\bar{X}_*$: 平均海面時の汀線位置, $\bar{Q}_*$: 平均海面上の土砂量)

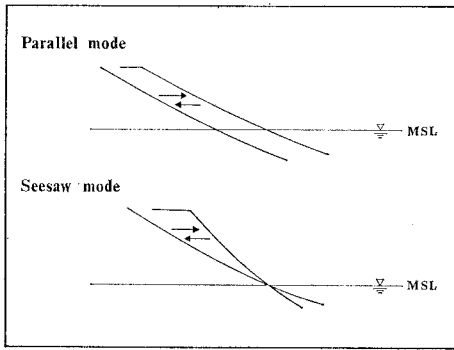


図-4 砂浜海岸の地形変化様式

から15日など)。つまり、汀線上の土砂量が減少する場合、堆積物の粒径が小さいS地区では砂浜の幅も減少する“平行後退型侵食”となるが、比較的粗い粒径の砂から成るN地区では汀線位置がほとんど変化しない“シーソー型侵食”となる²⁾(図-4)。この違いの原因としては、(1)暴浪以前のステップの規模の差異、(2)海浜を構成する堆積物の粒径の違いから生ずる前浜勾配の差異などが考えられる。

N地区では、暴浪前の静穏時には常に大規模なステップ(高さ約1.5m)が形成され、極浅海域の水深は比較的大きい。このような状態の海浜に暴浪が襲来した場合、砂浜から侵食された砂は、ステップ直前水域を埋める形で汀線付近にとどまる(図-5, A)。一方、S地区では、このような大規模なステップは形成されず、暴浪時に砂浜から侵食された砂は汀線付近にとどまることなく、沖へ運搬され inner bar を作る(図-5, B)。このような地形変化様式の違いが、暴浪による汀線位置の変化にも影響を及ぼすと考えられる。

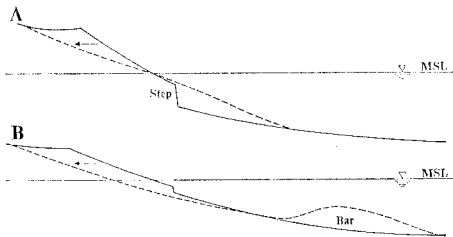


図-5 砂浜海岸の侵食様式

各調査地区において、最大の $\bar{Q}_*$ の減少をもたらした暴浪(N地区では1980年12月25日に波高のピークを持つ暴浪、S地区では同年9月28日に波高のピークを持つ暴浪)による調査地区の平均的な前浜勾配($\tan \alpha$)の変化を調べた。N地区では暴浪前は $\tan \alpha = 0.110$ であったものが、暴浪後には $\tan \alpha = 0.076$ と大幅に小さくなった。しかし、S地区では、暴浪前が $\tan \alpha = 0.066$ 、暴浪後は $\tan \alpha = 0.062$ とわずかに減少したにすぎない。

このように、底質粒径の大きい海浜では、 $\tan \alpha$ は静穏時に大きく、暴浪時に小さくなる。一方、粒径の小さい堆積物から成る海浜では、静穏時と暴浪時の間で $\tan \alpha$ に大きな違いは生じない。このことも、“平行後退型侵食”と“シーソー型侵食”の違いの原因の一つと考えられる。

3. 暴浪に対する砂浜海岸の応答

暴浪が襲来しても汀線が後退しないというN地区の特性について、前節では特に、侵食様式の関点から原因究明を試みた。しかし、底質粒径が小さく、“平行後退型侵食”となるS地区においても、暴浪によって汀線が全く後退しない場合がしばしば観測された。たとえば、1980年12月25日、1981年2月3日、同年5月18日に波高のピークを持つ暴浪に対して、 $\bar{X}_*$ は全く減少していない(図-3)。このような状況は、浅海域に inner bar が形成されている場合にのみみられることから、砂浜海岸の侵食条件は、波浪と底質粒径のみではなく、バーの性状にも影響を受けると考え、これらの関係を定量的に検討した。

暴浪の大きさを示すパラメータとして、碎波帯内における底質の移動方向を規定する次式³⁾の係数 k を利用した。

$$H_b/gT^2 = kD/H_b \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 g は重力加速度である。地形変化は、連続する2つの調査日に挟まれた「期間」(両調査日をも含む)内の最大波浪に大きく影響されると考えられるため、ここでは次式を用いた。

$$K = (H_b)_{\max}^2 / gDT_{\max}^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 $(H_b)_{\max}$ は1つの「期間」内の日平均碎波波高の最大値、 $T_{\max}$ は $(H_b)_{\max}$ に対応する日平均周期、 K は係数である。すなわち、 K の値が大きければ、暴浪の程度も大きく、沖向きの底質移動が卓越することになる。一方、任意の調査日における砂浜の堆積あるいは侵食状況を示す無次元パラメータ、 Q_R を次式のように定義した。

$$Q_R = \frac{\text{任意の調査日の } \bar{Q}_* - 1\text{年間の } \bar{Q}_* \text{ 最小値}}{1\text{年間の } \bar{Q}_* \text{ の最大値} - 1\text{年間の } \bar{Q}_* \text{ の最小値}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

すなわち、 Q_R が大きければ、平均海面上の土砂量が多く、砂浜はバームの発達した状態となるが、 Q_R が小さければ、バームは存在せず、浅海域に inner bar が形成されている状態となる。また、 Q_R が中間の大きさを示す場合は、バーが汀線に付着した状態(welded bar)となる。

K と Q_R を用いて、砂浜の侵食条件の整理を試みる。この際、1年間のデータを、1980年12月25日を境界と

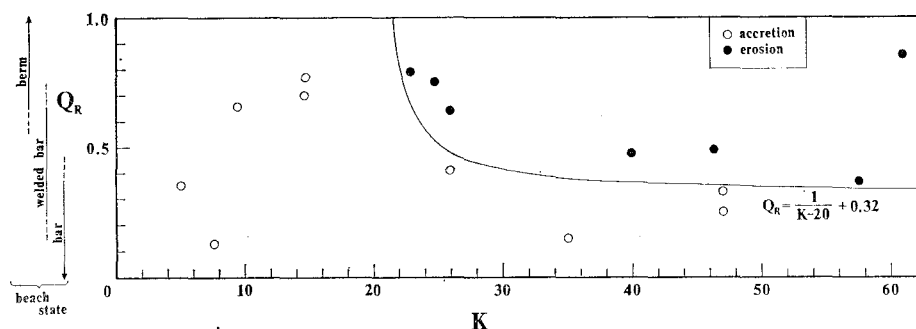


図-6 S地区における砂浜海岸の侵食条件 (1980年8月28日~12月25日)

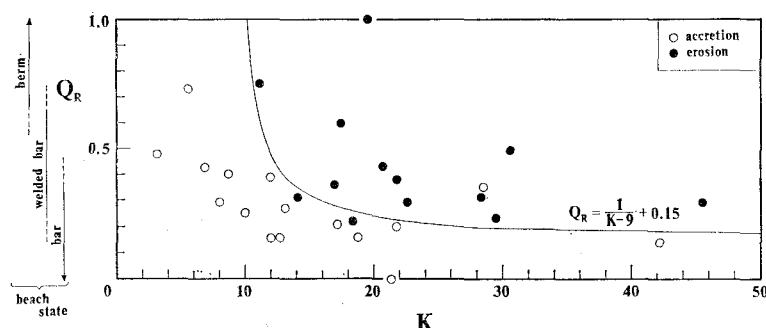


図-7 S地区における砂浜海岸の侵食条件 (1980年12月25日~1981年9月1日)

して2組に分割する。これは、この日に波高のピーク (日平均碎波波高が 4.83 m) を持つ大暴浪が襲来し、outer bar が大きく沖方へ移動したことが認められ、この outer bar の位置も砂浜の侵食条件に影響を及ぼすと考えたからである。この outer bar の位置は、測深ロープを用いた測量や空中写真から求めたが、大暴浪以前は汀線から 70~120 m、以後は 150~250 m であった。また、1980年9月27日から10月5日にかけても、大きな暴浪 (ピークは10月4日で、日平均碎波波高は 4.40 m) が襲来したが、この時には outer bar の沖方向への移動は認められなかった。この理由として、2時間ごとの碎波波高の最大値の違い (12月25日には 5.95 m、10月4日には 4.95 m) が考えられる。

図-6 は12月25日以前のデータ、図-7 はそれ以後のデータを整理したものである。図中の黒丸の記号は、任意の調査日から次の調査日までに $\bar{Q}_*$ が減少した場合 (砂浜が侵食された場合)、白丸の記号は、 $\bar{Q}_*$ が増加した場合を示す。ただし、いずれの場合も、 $\bar{Q}_*$ の変化量が $1.0 \text{ m}^3/\text{m}$ 以下の小規模の地形変化はプロットから除外した。この2つの図から、 Q_R が大きくバームの発達した砂浜は、小さな暴浪によっても容易に侵食されるが、 Q_R が小さく inner bar が形成されている海浜は、比較的大きな暴浪が襲来しても侵食されないことがわかる。すなわち、 Q_R が小さく浅海域にバーが形成されて

いる場合は、このバーが砂浜を保護する潜堤の役割を果たすものと考えられる。

また、図-6 と図-7 との比較から、outer bar が汀線から離れている場合 (図-7) には、汀線近くにあ

るよりも、比較的小さな暴浪で砂浜が侵食されることがわかる。Outer bar は汀線から離れるにしたがい、その頂部水深が大きくなることが知られている^{4)~5)}。そのため、outer bar が汀線から離れている場合、比較的波高の小さな波は、outer bar で碎波することなく、エネルギーを汀線近傍まで保持する。一方、outer bar が汀線近くにある場合、頂部水深が小

さいため、波高の小さな波でも碎波し、かなりのエネルギーを消費する⁶⁾。この違いが、outer bar の位置による砂浜の侵食条件の違いとして現われると考えられる。

4. おわりに

暴浪時に砂浜海岸の汀線が必ずしも後退しない原因として、(1)粗粒砂で構成される海浜では、“シーソー型侵食”となり汀線位置が変化しない、(2)平均海面上の土砂量が少ない場合には、浅海域に inner bar が形成されており、これが潜堤の役割を果たし、砂浜を暴浪から守る、という2つの点があげられる。

参考文献

- 1) Sunamura, T.: Determination of breaker height and depth in the field, Ann. Rep., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba, No. 8, pp. 53~54, 1982.
- 2) 関 一之: 波浪による海浜地形の応答, 筑波大学大学院環境科学研究科修士論文, 52 p., 1983.
- 3) 砂村継夫: Swash zone を含む碎波帯の岸沖漂砂量に関する研究, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 316~320, 1984.
- 4) Keulegan, G. H.: An experimental study of submarine sand bars, B.E.B. Tech. Rep., No. 3, 40 p., 1948.
- 5) 茂木昭夫: 汀線と碎波帯, 浅海地質学, 東海大学出版会, pp. 109~252, 1971.
- 6) Carter, R. W. G. and J. H. Balsillie: A note on the amount of wave energy transmitted over nearshore sand bars, Earth Surface Processes Landforms, Vol. 8, pp. 213~222, 1983.