

離岸堤周辺の波高変化と汀線変化に関する研究

STUDY IN CHANGE OF WAVE HEIGHT AND CHANGE OF SHORELINES

森 啓之¹・南 将人²

Hiroyuki MORI, Masato MINAMI

¹ 学生会員 八戸高専 専攻科 建設環境工学専攻 (〒039-1192 青森県八戸市大字田面木字上野平 16-1)

² 正会員 八戸高専 建設環境工学科 助教授 (〒039-1192 青森県八戸市大字田面木字上野平 16-1)

Detached breakwaters have been used as coastal protection structures. In sandy beaches, group of breakwaters that have openings are constructed. According to the analysis of the bottom sounding, it is known that tombolos are formed behind detached breakwaters. And local scour will occur in an opening or offshore after the detached breakwaters construction. It is difficult to estimate the amount of sand trapping effect because the shoreline data is few. Thus the purpose of this study is to research the relationship wave field and shoreline profiles. The results of this research are follows. 1) If a rate of wave height decreases, erosion will occur. 2) Some detached breakwaters are not applied it. Even if rate of wave height does not change, erosion will occur.

Key Word: Detached break water, Wave Height, Shore Line

1. はじめに

離岸堤の目的を大別すると消波効果を目的とする場合と海浜の堆砂効果を目的とする場合に分けられる。消波効果を目的とする場合には、湾口の防波堤と同様な構造や配置となる。離岸堤によって消波し、波の打ち上げや越波を減少させ、またその背後に静穏域をつくり、海水浴場とする場合もある。

堆積効果を目的とする場合には、不連続堤を碎波帯内に設けて、離岸堤によって消波しその後に静穏域をつくり、砂を堆積しやすくすると共に、沿岸方向に離岸堤へ向かう流れが発生し、また沖から岸へ向かう流れも発生し、これらによって砂を集める。従って離岸堤の背後にはトンボロが生じる。離岸堤は堆砂効果が大きく侵食防止効果が大きく、さらに離岸堤背後に形成されたトンボロによる砂浜の利用(海水浴場、網干場、干魚場等)が可能となる。

豊島ら¹⁾によれば、離岸堤の両側あるいは離岸堤開口部正面位置の海浜が侵食されて汀線が後退し、離岸堤背面部の汀線が前進してトンボロが形成されるという事例があり、皆生海岸における離岸堤背面に堆積した砂の量とその周辺海域の砂の変動量および海底地形について報告された。この海岸では水深 10m 程度より浅い区域においていかに汀線近くに砂を確保するか等の検討の方向性を示した。

離岸堤は長い砂浜の場合には開口部を有した離岸堤群として施工され、その開口部付近で局所洗掘現象が発生する事²⁾が知られている。このような開口部を有する場合に堆砂効果に対し、確立した平面配置の決定法は無く、設置後の汀線データが乏しいために堆砂効果を定量的に評価するのは難しい。

川口ら³⁾の離岸堤の配置に関する研究によれば、離岸堤は他の侵食対策工法に比べその建設や維持補修に要する費用は高く、このため所期の目的から考えてその配置の決定は重要である事が指摘され、離岸堤長さ、離岸距離と開口部幅を用いて4タイプのトンボロ形状に区分している。

森ら⁴⁾は、離岸堤構造物の諸元と汀線変化量の相関について検討した。その結果、離岸堤長さや開口幅などの構造物の諸元のみでは汀線変化量を一義的に決定できないという事が判った。

本研究は、離岸堤設置後の汀線変化量と波高分布の変化との関係について検討した。現地の汀線図を用いて汀線形状の変化を整理し、離岸堤周辺の波高変化と汀線変化の関係を試算した。通常、設置後の汀線変化を対象とするのであるが、日本海側のある海岸では、図-1に示すように10基の離岸堤を徐々に撤去し、原則年1回の割合で汀線測量が実施されていた。離岸堤を撤去しているためトンボロは後退していたが、離岸堤周辺の波高変化と汀線変化量との相関について検討した。

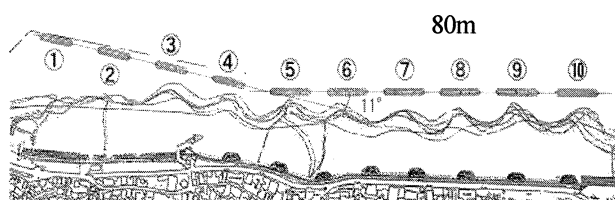


図-1 離岸堤群の平面配置

2. 現地データ解析

(1) 汀線図解析

解析対象は日本海側のある海岸で、離岸堤群は前述した図-1 に示すように堤長 80m で 10 基設置されている。離岸堤①～④と⑤～⑩では離岸堤法線の傾きに 11° の差がある。海岸侵食防止を目的として設置された後にトンボロが形成されたが、海水浴場としての利用を促進するために離岸堤を徐々に撤去された。図-2 に解析に使用した汀線測量図及び各年における汀線形状と離岸堤の形状を示す。図中に示すように番号⑥のように完全に撤去された離岸堤もあった。

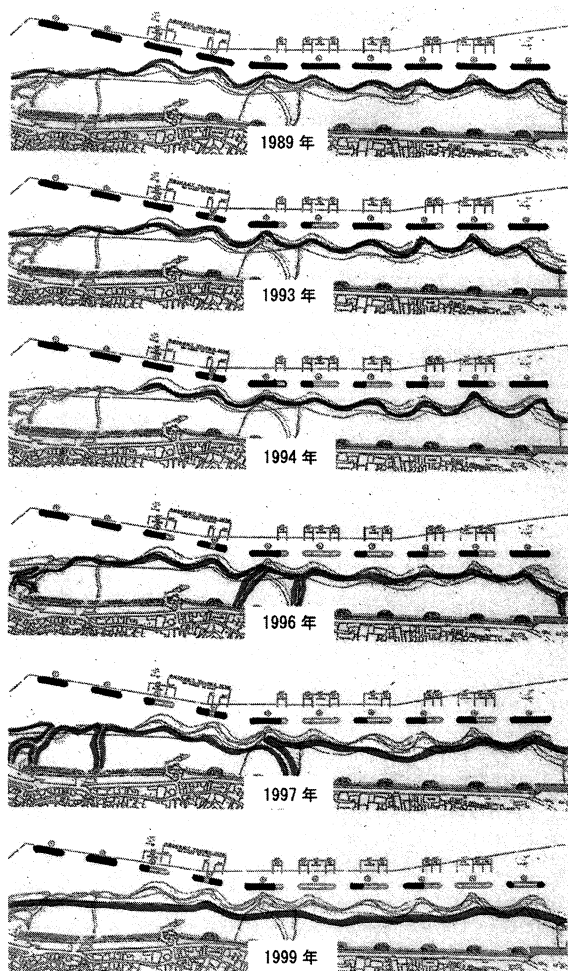


図-2 各年汀線変化と離岸堤の形状変化

汀線測量は 1989 年～1999 年の 10 年間で、計 6 回の汀線測量が実施された。この汀線測量結果を用い、陸上

部に任意の基準線を設け、沿岸方向に現地 4m 間隔で合計 16km 分（計 400 点）に渡り、この基準線から汀線までの距離を読み取り、解析に用いた。

(2) 水深データと構造物データ

波浪変形計算に用いるための水深データは、平成元年の深浅測量図をデジタイザーで読み取り、それをスプライン補間により、 $10 \times 10\text{m}$ の格子間に数値化した。計算領域の格子点は岸沖方向に 75 個、沿岸方向に 164 個の合計 75×164 個、 $740 \times 1630\text{m}$ とした。構造物のデータは、1989 年の水深データに 1989 年から 1999 年までの 5 つの構造物データを用いた。なお、波浪変形計算では構造物点や陸地となる点ではエネルギーは伝播しないものとした。また、この海岸における深浅測量は、1989 年の 1 回しか実施されていない。

(3) 波浪データ

波浪については、近くの NOWPHAS⁹ による波浪観測結果を用いた。観測されている 1994 年から 2001 年までの 8 年間の月別最大有義波の波高 $H_{1/3}$ と周期 $T_{1/3}$ を図-3 に示す。これより、丸印○（月別最大有義波の年毎の最大値）で囲んである各年の月別最大有義波の波高 $H_{1/3}$ と周期 $T_{1/3}$ を平均したものを波浪計算の波浪条件として設定した。これは、汀線を変化させる波は現地での平均有意義のような波ではなく、最大有義波のような比較的大きな波が汀線を動かすものであると考えた。即ち、年最大有義波の波高、周期、波向きを入射波諸元として用い、離岸堤背後の汀線変化量の外力条件として用いた。

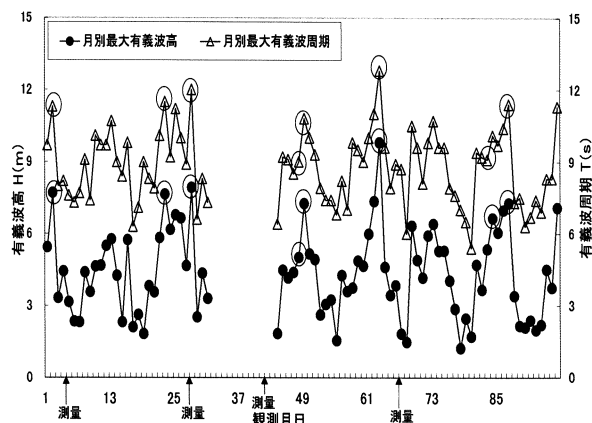


図-3 月別最大有義波と周期

(4) 波浪変形計算と波高比の算出方法

波浪変形計算の方法としてエネルギー平衡方程式を用いて、1989 年と各年における離岸堤周辺の波高比や波向分布を求めた。そして、1989 年と各年における波高変化と汀線距離変化量との関係を求めた。各整理項目で使用した記号の定義を図-4 に示す。

ここで、汀線位置は基準線から汀線間の距離をいい、汀線距離(y)は基準線から離岸堤中心までの距離と汀線位置の差をいう。また、波高比の差とは図-4 に示す離岸堤沖側である a-a 線の入射波高に対する波高比の平均と、岸側である b-b 線の波高比の平均との差である。

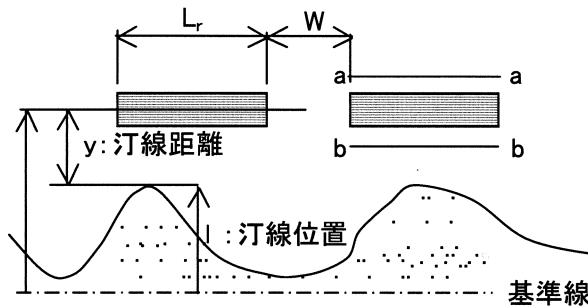


図-4 記号の定義

3. 汀線形状と波浪の関係

(1) 汀線位置変化量

離岸堤の撤去前と 10 年後の汀線位置の変化を図-5 に示す。

図中の上段には撤去前の離岸堤の長さや位置を、その直下には 10 年後の離岸堤の形状を示している。離岸堤③⑦⑧は右側が短くなり、④や⑩は中央が撤去され、⑥や⑨は完全撤去、と徐々に撤去された。1989 年の汀線位置と 10 年後の 1999 年の汀線位置を比較するとごく一部わずかな汀線の前進が見られているが、離岸堤の撤去に伴って、汀線が後退していることが分かる。特に汀線距離が著しく後退しているのは、離岸堤③背後で、汀線が 50.80m 後退した。この原因として、離岸堤③は堤長が減少するに伴い開口幅が広がっていったために、入射波が直に入射するために開口部での地形変化が影響を大きく受けるようになったからであると推測される。

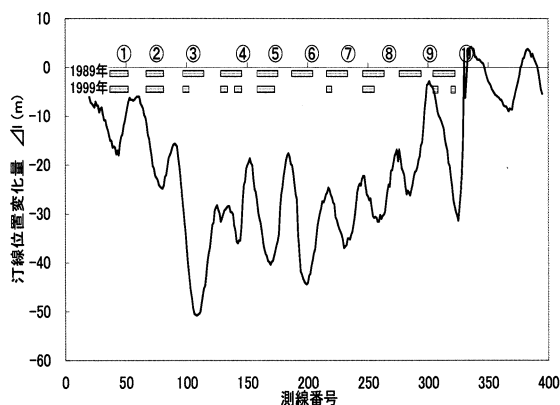


図-5 汀線位置変化量

(2) 波高比と汀線距離の変化量

読み取った各年の汀線距離と波浪変形計算で算出した波高比を用い、平均汀線距離変化量 Δy_{ij} と波高減衰量の差 ΔHd_{ij} を整理した。これらは(1)～(2)式のように

に表され、1989 年と各年との汀線距離と波高比は図-6 のような関係となっている。

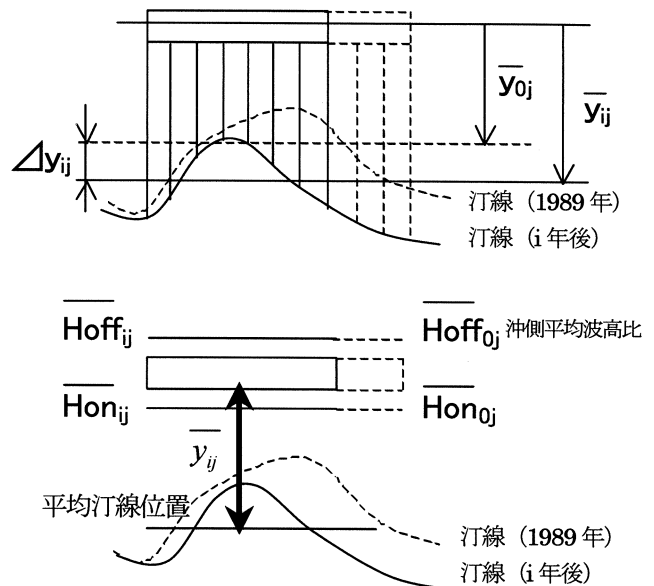


図-6 1989 年と各年との汀線距離と波高比の関係

$$\Delta y_{ij} = \overline{y_{0j}} - \overline{y_{ij}} \quad (1)$$

$$\Delta Hd_{ij} = (\overline{Hoff_{0j}} - \overline{Hon_{0j}}) - (\overline{Hoff_{ij}} - \overline{Hon_{ij}}) \quad (2)$$

ここで、0 は離岸堤撤去前の 1989 年を、 i は 1989 年より i 年後の年を表しており、 j は離岸堤の番号を表している。off は離岸堤の沖側を、on は岸側を表す。

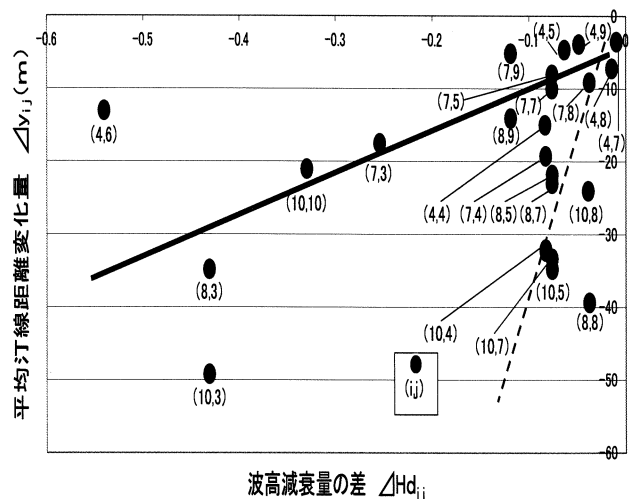


図-7 平均汀線変化量と波高減衰量の差

図-7 は 1989 年と各年の平均汀線距離変化量 Δy_{ij} と波高減衰量の差 ΔHd_{ij} を表したものである。この図では 1989 年と堤長が変化せずに波高が変化しない場合や、離岸堤の背後まで波が伝播しない場合を除いてあり、図中の線のように 2 つのタイプに分けられる。

この図の太線で示す様に、 $\angle H d_{ij}$ が減少するとともに $\angle y_{ij}$ も減少するタイプがある。即ち、波高比の変化とともに汀線変化量が線形的になるケースである。このケースは、離岸堤③、⑥、⑨と⑩の様に、離岸堤が撤去され波高減衰が小さくなる、つまり波が1989年より直接入射してくる度合いが大きければそれに伴い汀線も後退するということを表している。一方、点線で示す、離岸堤④、⑦と⑧では $\angle H d_{ij}$ が-0.1付近で $\angle V$ の減少が異なるというタイプがある。これは波高比の増減が小さいのに係わらず、汀線変化量が増加するケースである。このように二つのタイプにおおよそ分類することができた。前者の場合、波高比の差が0.1変化すると、汀線距離が7m変化する。一方後者のように、 $\angle H d_{ij}$ が決まると、 $\angle y_{ij}$ が決定しないというケースより、波高の変化だけでは汀線変化を一義的に決定できないということが判った。また、今回は現地データの少なさより、1989年の地形データに各年の構造物データと各年同じ波浪条件を用いたが、実際には各年の地形データと波浪条件を波浪変形計算に用いることが望ましいと考えられる。

(3) 波高比分布

図-8、9は離岸堤撤去前の1989年と10年後である1999年の波高比の分布を表したものである。それぞれの年度の構造物形状における入射波で無次元化した結果である。図-8のAでは、開口部付近より波高比が後ろに回りこむように減少している。このことより、波浪変形計算で離岸堤を設置していると判断され波の回折が再現できていることとなる。離岸堤背後では波の回折によって静隠域となり、背後の砂が保たれる様子が判る。また、汀線位置では波高比が0となることより、陸上に波が伝わることなく、陸地と海の判断を再現できているということが判る。

図-9を見ると、Bでは構造物の撤去に伴い、波が直接入射してくるために、沖から波の波高比が変化しないということが判る。特に、離岸堤⑤の背後では波が集中しており、波高比が0.7という値を示している。Bで汀線が後退するのは波の入射する影響が大きくなったからである。また、離岸堤周辺の波高変化を見てみると、堤長が短く開口幅が広いことによって、回折による波の減少は見られず離岸堤の回折効果に期待できないことが分かる。

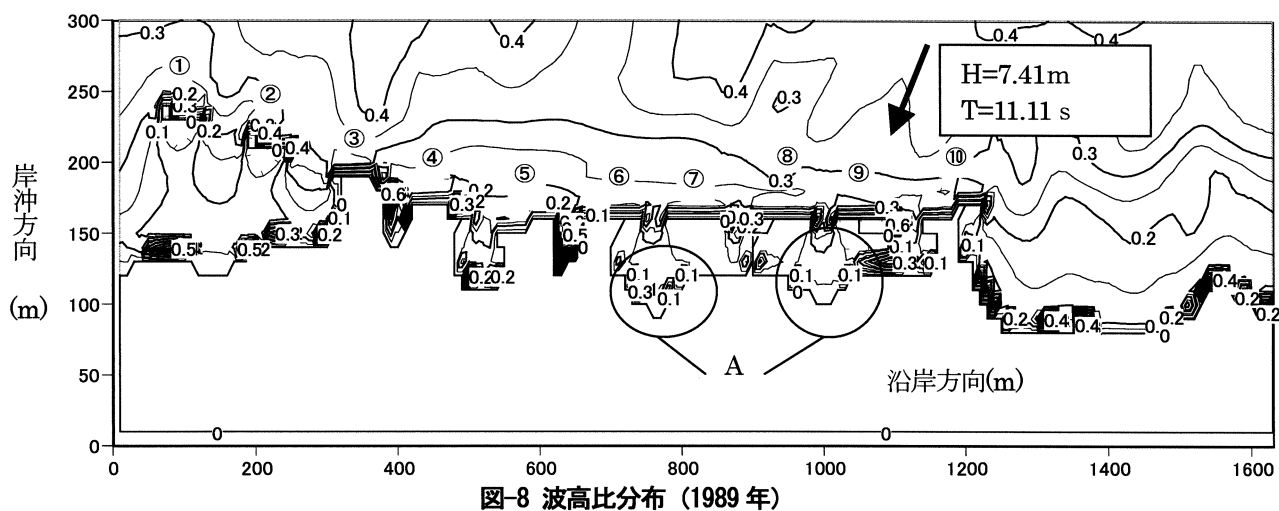


図-8 波高比分布 (1989年)

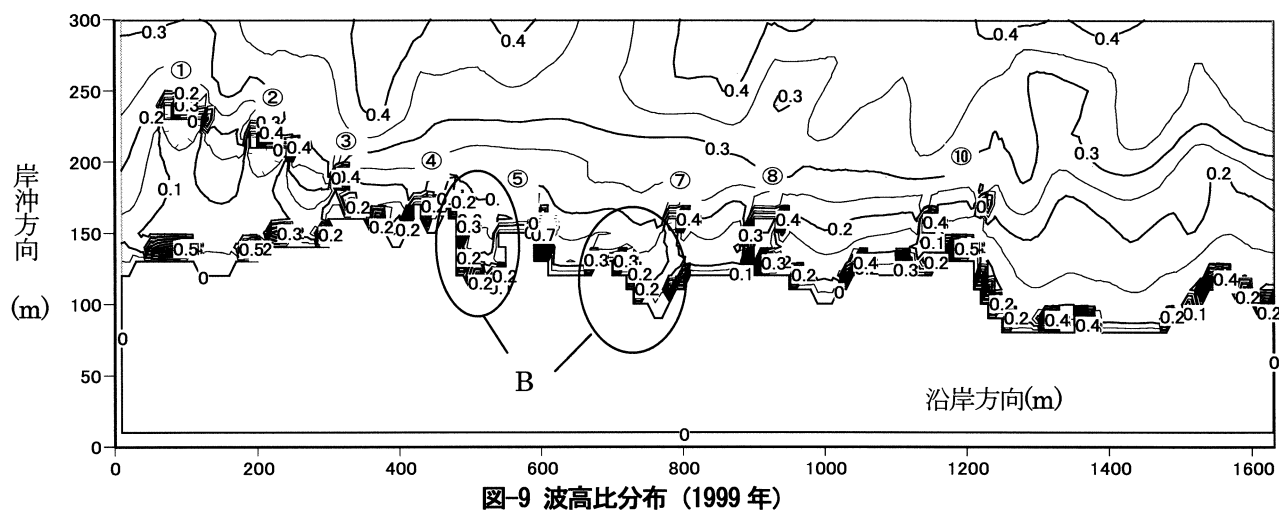


図-9 波高比分布 (1999年)

(4) 波向分布

図-10は離岸堤が撤去される前の1989年の波向分布を表し、図-11はそれから10年後の1999年の波向分布を表している。これより、撤去前の図-10のC付近（離岸堤番号⑥と⑦の開口部、⑧と⑨の開口部）では、左右の離岸堤の影響によって、回折した波が互いに交差していることが分かる。図-8でC付近の波高比分布を見ると、波が交差したあとの岸へ向かう波の波高比が小さくなっている。このように、離岸堤が隣あっていて開口幅が狭い場合、回折の効果によって波が低減される。

図-11のD付近（離岸堤番号④、⑥と⑨）では、離岸堤が撤去された為に波が直接入ってきてしまう。離岸堤⑩は、中央部が撤去され残った右側では撤去前に比べ、波の回折が小さくなっている。図-9の波高比分布を見ると、D付近での波高比は大きくなっていることより、波が直接入射していることがわかる。これより、堤長が短くなることや、開口幅が広がると、回折の効果が期待できなくなることが考えられる。

波向分布と汀線位置の変化をみると、図-5の汀線位置変化では、ほとんどの離岸堤が離岸堤の中央から右側の変化量の方が、左側より大きいという傾向が見られる。特に③の離岸堤では、自身の撤去と④の撤去によって③の右側に波が集中してしまうために汀線の後退が著しい。これは図-10、11より、波の入射方向を見ると、離岸堤の中央から少し右側に入射しているので、右側の汀線が後退する。また離岸堤の左側では、後退した右側の砂が左側に移動するために、汀線の後退が右側よりも小さくなると考えられる。すべての離岸堤背後の汀線が前進していることがないのは、自分

自身、それと周りの離岸堤の撤去によって、波が直接入射し離岸堤背後の砂が沿岸方向にとどまることが困難となってしまったと考えられる。

4. まとめ

本研究によって得られた結論を以下に列記する。
現地の汀線図を用いて汀線形状を整理し、波浪変形計算より求めた離岸堤周辺の波高と汀線変化の関係について検討した。通常は設置後の汀線変化を対象とするのであるが、10基の離岸堤を徐々に撤去し、原則年1回の割合で汀線位置が測定された。

- 1) 波高減衰量の差と平均汀線距離変化量を比較した。
一部の離岸堤では、波高減衰率が減少すると平均汀線距離変化量が減少、つまり、離岸堤の撤去や、周辺の離岸堤が撤去されて開口幅が広がったために、波が直に入るようになると、それに伴い汀線が後退している。従って、離岸堤を撤去すると堆砂効果が減少する。一方、離岸堤④、⑤、⑦と⑧では、各年で波高減衰量が同じになるにも係わらず、平均汀線距離変化量が違うというところもあった。
- 2) 波浪変形計算より、波高比分布と波向分布を求め汀線変化の現象をみたところ、離岸堤付近で波が回折している様子や、陸地と海との境界を再現できていることが判った。また、波高比分布では離岸堤の撤去により、波高が減少されずに直に入射してくるために汀線が後退することが判った。一方、波高分布と汀線位置変化量より、ほとんどの離岸堤で主波向き方向である離岸堤右側の汀線位置が大きく後退しており、主波向と反対側は主波向側よりも後退が小さいという傾向があった。



図-10 波向分布 (1989年)

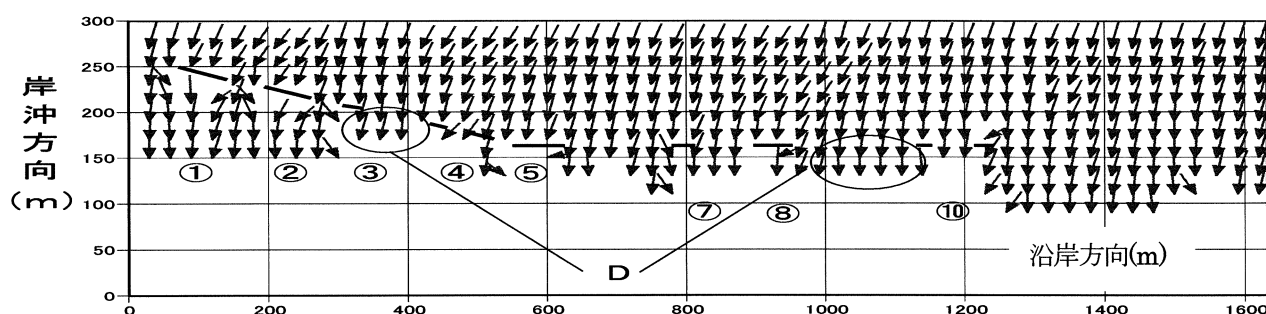


図-11 波向分布 (1999年)

参考文献

- 1) 豊島修・定道成美(1974)：皆生海岸におけるトンボロと海底地形, 第21回海岸工学講演会論文集, p. 167-172.
- 2) 南将人・真野明(2001)：人工リーフ・潜堤の施工事例調査, 海岸工学講演会論文集 Vol. 17, p. 229-234.
- 3) 川口毅・杉江正文(1972)：離岸堤の配置に関する研究, 第19回海岸工学論文集, p. 77-81.
- 4) 森啓之・南将人・前川勝朗(2005)：離岸堤長と汀線変化に関する研究, 海洋開発論文集, Vol. 21, pp445-450.
- 5) (財)沿岸開発技術研究センター、全国港湾海洋波浪観測資料 (NOWPHAS), 1995-1999.