

離岸堤長と汀線変化に関する研究

STUDY IN LENGTH OF DIKE AND CHANGE OF SHORELINES

森 啓之¹・南 将人²・前川 勝朗³

Hiroyuki MORI, Masato MINAMI and Katurou MAEKAWA

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)

³ 正会員 山形大学 農学部生物環境学科 教授 (〒997-8555 山形県鶴岡市若葉町 1-23)

Detached breakwaters have been used as coastal protection structures. In the sandy beach, group of breakwaters that have the openings are constructed. According to the analysis of the bottom sounding, it is known that tombolo will formed behind detached breakwaters. And local scour will occur in an opening or offshore after 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 shoreline profile and detached breakwaters profiles. As a result of this research, with the increase of length of dike, the shoreline advances. The top of tombolo is influenced by many parameters that are not only the wave direction but also other factors. With the increase of the ratio of the average opening width, the recession of the shoreline decreases.

Key Word: Detached break water, 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い流れを発生し、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ったとされ、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、当海岸では水深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。この様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為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、このため初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ついて報告されている。

本研究は、現地の汀線図を用いて汀線形状を整理し、離岸堤長さ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、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回の割合で汀線位置を測定していた。離岸堤を撤去しているためトンボロは後退していたが、離岸堤諸元と汀線変化量との相関について検討した。

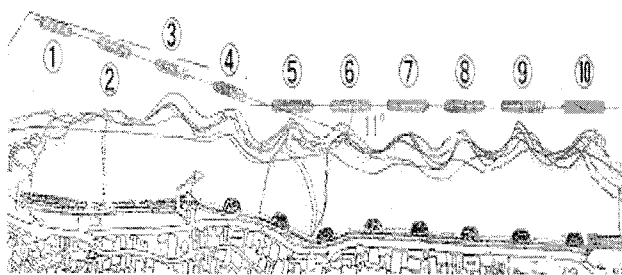


図-1 離岸堤群の平面配置

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° の差があり、これにより二つの領域に分けることができる。前者を領域Ⅰ，後者を領域Ⅱとする。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した。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。

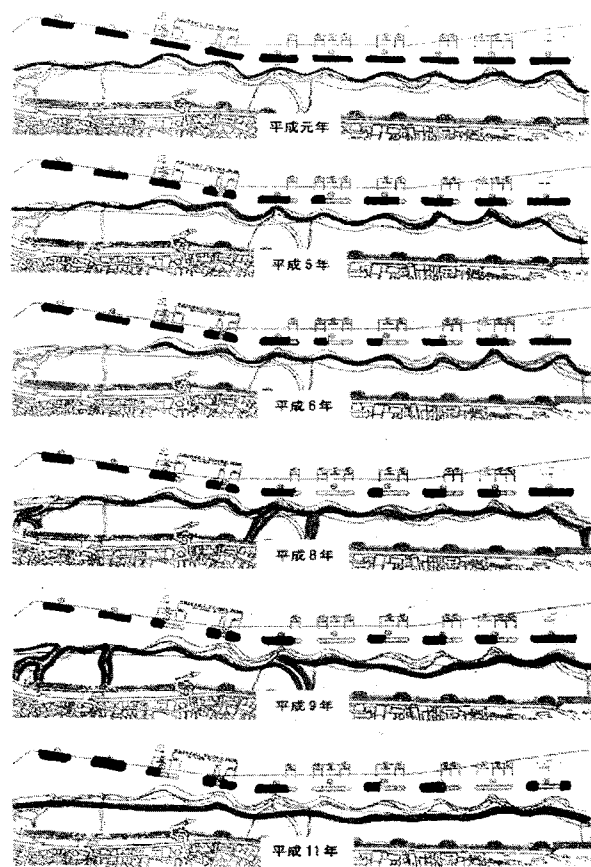


図-2 各年汀線変化と離岸堤の形状変化

汀線測量は 1989 年～1999 年の 10 年の間に、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。

数値化した 4m ピッチで読み取った汀線位置データを用いて、以下の 5 項目を整理し、離岸堤長さや開口部幅との関係を取りまとめた。各整理項目で使用した記号の定義を図-3 に示す。

(a) 初期汀線位置と各年汀線位置との変化量 (Δl)，
(b) 最短汀線距離とトンボロ偏り度 ($y_{\min} \sim X_{r\min}/L_r$)，(c) 堤長とトンボロ平均位置 ($L_r \sim \bar{l}$)，
(d) 堤長と最短汀線距離 ($L_r \sim y_{\min}$)，(e) 平均開口比と平均汀線距離変化量 ($L_r/W_{ave} \sim \Delta y_{ave}$)。ここで、最短汀線位置とは離岸堤毎のトンボロの先端と離岸堤の距離、偏り度とは離岸堤の長さに対してどの程度左側によっているか、トンボロ平均位置は各離岸堤背後の汀線位置の平均、平均開口比とは離岸堤左右の開口幅の平均と離岸堤長さの比、それぞれを意味している。

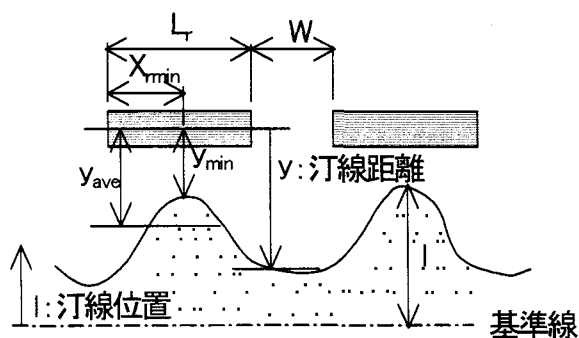


図-3 各諸元の定義

(2) 波浪諸元の整理

波浪については近くの NOWPHAS⁴⁾ による新潟西港の波浪観測結果を用いて、月別最大有義波の波高 $H_{1/3}$ と周期 $T_{1/3}$ と波向 θ ，そして月別平均有義波の波高 $(H_{1/3})_{ave}$ と周期 $(T_{1/3})_{ave}$ を読み取った。

(3) 深浅測量図解析

離岸堤設置前後の深浅測量をデジタイザーによって読み取り、スプライン法によって $10\text{m} \times 10\text{m}$ の格子間隔で水深を数値化した。格子補間されたこの二つの水深データを比較し、離岸堤群周辺の侵食や堆積の地形変化特性について検討した。

3. 汀線形状と構造物諸元の関係

(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-4 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。初期汀線位置と 10 年後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。

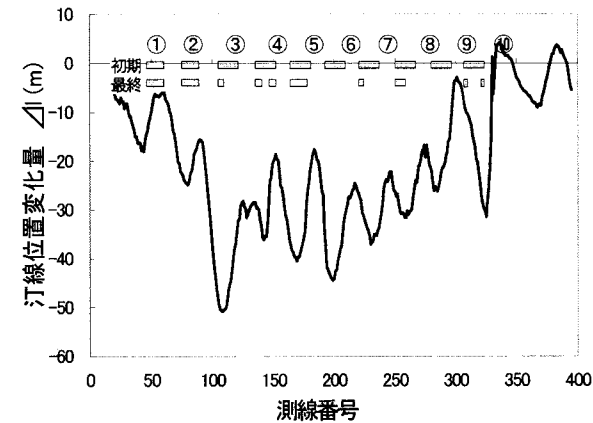


図 - 4 汀線変化量

(2) 最短汀線距離とトンボロの偏り度

最短汀線距離とトンボロの偏り度との関係を離岸堤①～④の領域Ⅰは図 - 5 に、離岸堤⑤～⑩の領域Ⅱは図 - 6 に示す。図 - 5 より、領域Ⅰではトンボロの先端は離岸堤より右側に寄っていることが分かる。また、離岸堤①ではトンボロの先端が離岸堤の右側に寄るほど、離岸堤とトンボロの先端が離れることが分かる。この傾向が近似曲線でもいえる。しかし、離岸堤③、④では右側によっているのにも係わらず離岸堤とトンボロ先端が比較的近いということとなった。

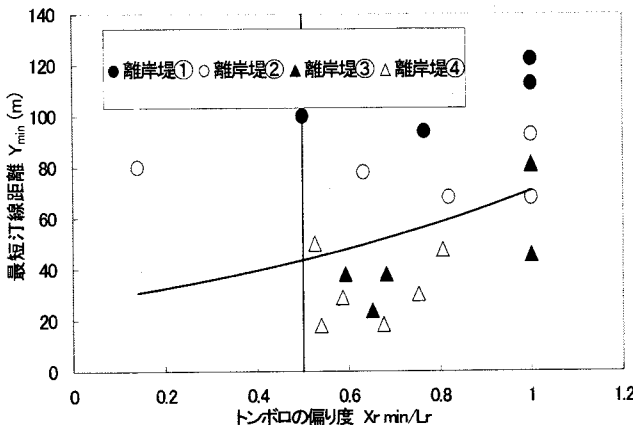


図 - 5 最短汀線距離とトンボロ先端の偏り (領域Ⅰ)

図 - 6 より、領域Ⅱではトンボロの先端は離岸堤の中央より少し右側に寄っていることが分かる。領域Ⅱは領域Ⅰとは違い近似曲線の勾配が緩やかであるため、トンボロの先端が右へ寄ってもあまり最短汀線距離に変化がない傾向となった。しかし、これもどの離岸堤でもそのような傾向を示しているのではなく、離岸堤⑧、⑩はトンボロの先端が左によるほどトンボロの先端が離岸堤から遠ざかってしまっている。

このように領域Ⅰと領域Ⅱでは同じ波向でも離岸堤法線が傾いているため、トンボロの先端の偏りに違いが生じるのは明らかである。しかし、同じ領域でトンボロの先端の偏りが違うということは、波向の他にトンボロの偏りを変化させるパラメータが存在することを表していると考えられる。

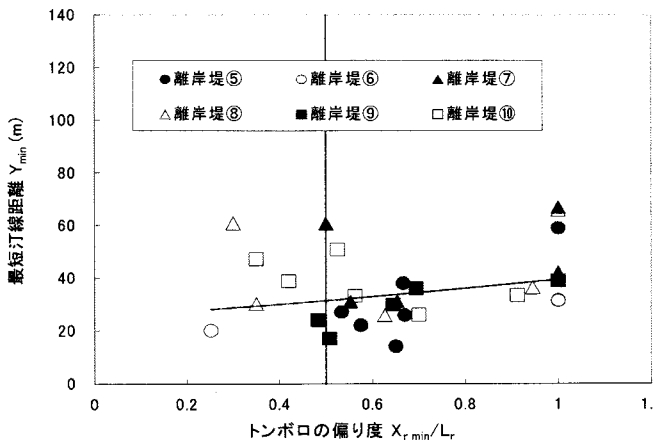


図 - 6 最短汀線距離とトンボロ先端の偏り (領域Ⅱ)

(3) 堤長と平均汀線位置との関係

堤長と平均汀線位置との関係を離岸堤①～④の領域Ⅰは図 - 7 に、離岸堤⑤～⑩の領域Ⅱは図 - 8 に示す。図 - 7 より、領域Ⅰでは離岸堤③、④の 2 基だけが堤長が短くなり、堤長が 80m 時は平均汀線位置がそれぞれ 95 m と 80m であった。離岸堤が徐々に撤去されて堤長が短くなっていくと、背後の平均汀線位置もどんどん小さくなっていくという結果となった。また、堤長に変化のない離岸堤①、②でも平均汀線位置がどんどん小さくなっていく結果となった。

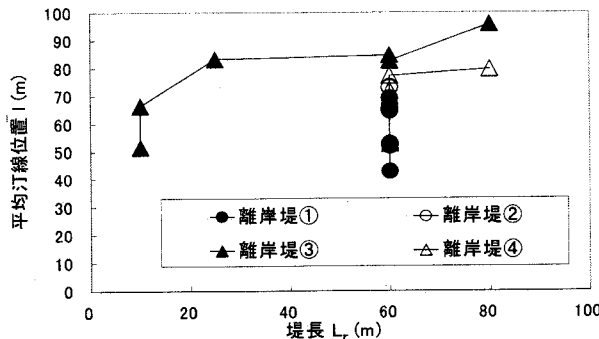


図 - 7 堤長と平均汀線位置の関係 (領域Ⅰ)

図-8より領域Ⅱではすべての離岸堤で堤長が短くなっていった。どの離岸堤でも堤長が短くなると平均汀線位置が小さくなるという結果となった。また、これも領域Ⅰと同じように堤長に変化がなくても平均汀線位置が小さくなっていく結果となった。このように堤長が長いほど背後の静穏域が広くなり汀線位置が大きいく、つまり堆砂効果が大きくなることがわかる。堤長に変化が無いのに平均汀線位置が小さくなっていったのは、離岸堤間の開口幅が影響しているためである。

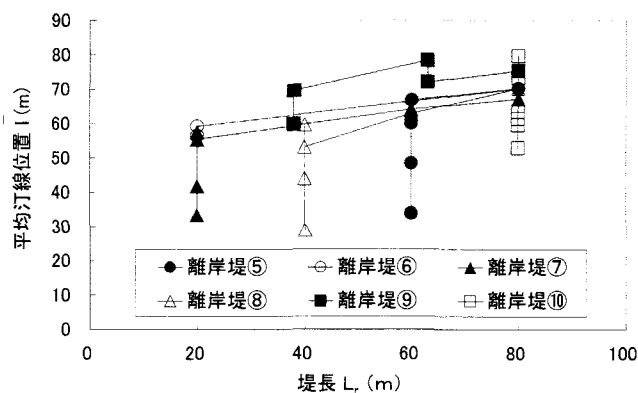


図-8 堤長と平均汀線位置の関係（領域Ⅱ）

(4) 堤長と最短汀線距離との関係

堤長と最短汀線距離との関係を離岸堤①～④の領域Ⅰは図-9に、離岸堤⑤～⑩の領域Ⅱは図-10に示す。図-9より領域Ⅰの離岸堤③では堤長が長くなるほどトンボロと離岸堤が近づく結果となった。線形近似でその様子を表すと相関係数 R が良く、 $R^2 = 0.862$ となった。また、離岸堤①、②では平成元年から70m近くトンボロの先端と離岸堤が離れている。

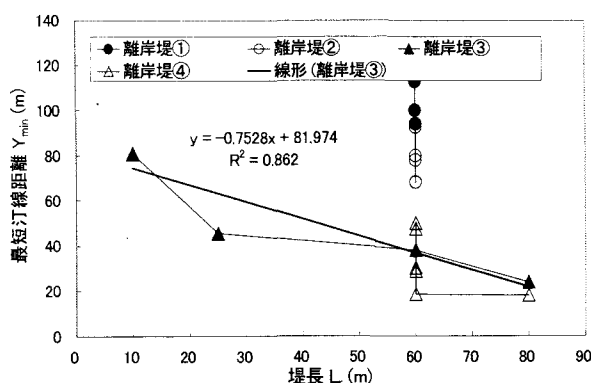


図-9 堤長と最短汀線距離の関係（領域Ⅰ）

図-10より領域Ⅱでは、堤長が変化しなくなった後で、トンボロの先端と離岸堤が大きく遠ざかるという結果となった。これより、堤長の変化なしでも最短汀線距離の位置は変化するのである。

このように堤長の変化により、最短汀線距離が変化するところがあれば、堤長の変化なしで最短汀線距離が変化するところもある。従って、堤長だけではトンボロ先端の距離を決定することはできない。

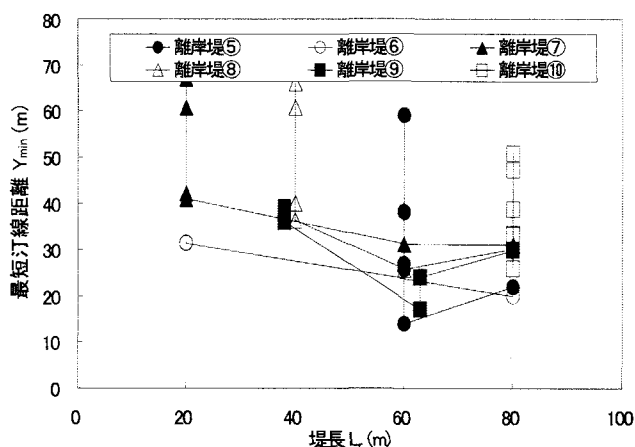


図-10 堤長と最短汀線距離の関係（領域Ⅱ）

(5) 平均開口比と平均汀線距離変化量との関係

平均開口比と平均汀線距離変化量との関係を図-11に示す。この図より、離岸堤③は平均開口比の増加に従って、平均汀線距離変化量が減少、即ち、離岸堤が撤去されると平均開口比の二次関数で後退している。この減少に対し、指数及び対数関数を当てはめてみたところ、二次関数曲線が一番相関係数 (R) が良かった。また、離岸堤⑤、⑦そして⑧でみられるように、平均開口比の変化が少ないにも係わらず平均汀線距離変化量が急激に増加し、測量期間間で若干の量の差異があるものの、離岸堤の岸側の汀線が急激に後退している結果が見られた。これより、汀線形状は、堤長と開口幅のような構造物の形状は配置だけで一義的に決定できないと考えられる。各年の平均汀線距離変化量の違いを生み出しているものは各年の波の大きさや波向きの出現頻度などが関係している。

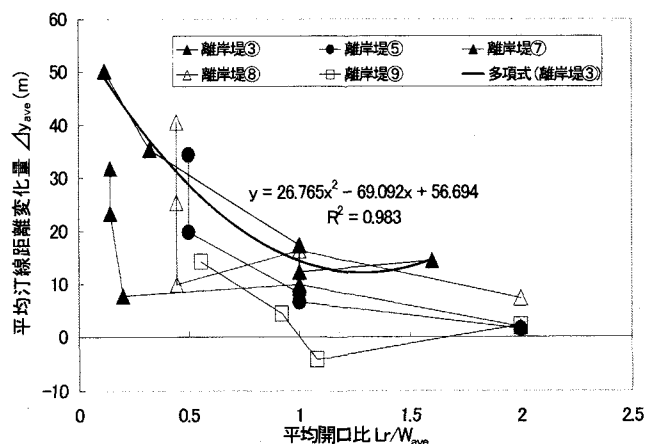


図-11 平均開口比と平均距離変化量の関係

4. 地形変化特性

図-12 は、離岸堤設置前後の 1975 年と 1976 年の 1 年間の離岸堤番号⑤から⑩番の領域Ⅱにおける地形変化の解析結果を示したものである。深浅図の比較結果より、水深の変化量は、 -3.3m （侵食）から $+2.3\text{m}$ （堆積）となっていた。

この図より、離岸堤の岸側、即ち汀線付近には堆積領域が見られず、開口部周辺あるいは直背後に大きな侵食が見られ、左に帯状に 1m 程度の堆積が確認された。一方沖では沖へいく程侵食が大きくなっているということが分かる。離岸堤の沖側の砂が岸方向に移動する夏型海岸であるか、左側の領域Ⅰの離岸堤群からの反射波によって図中の右側に砂が移動している事も考えられ、詳細については不明である。

離岸堤付近では、離岸堤番号⑤から⑩番の開口部で侵食が確認された。特に離岸堤番号⑥と⑦番の開口部では約 2.1m の侵食域が発生しており、この部分では局所洗掘現象が起きていることが分かる。前述したようにこの海岸に設置された離岸堤群の法線はほぼ一直線であるにも係わらず、開口部でこのような局所洗掘が常に発生していない。この海岸に設置された離岸堤群の法線方向が 2 つに分かれており、前述したような要因があり、補砂能力の観点から、例えば離岸堤周辺の波向の変化等、構造物形状以外のパラメータを考慮する必要がある。

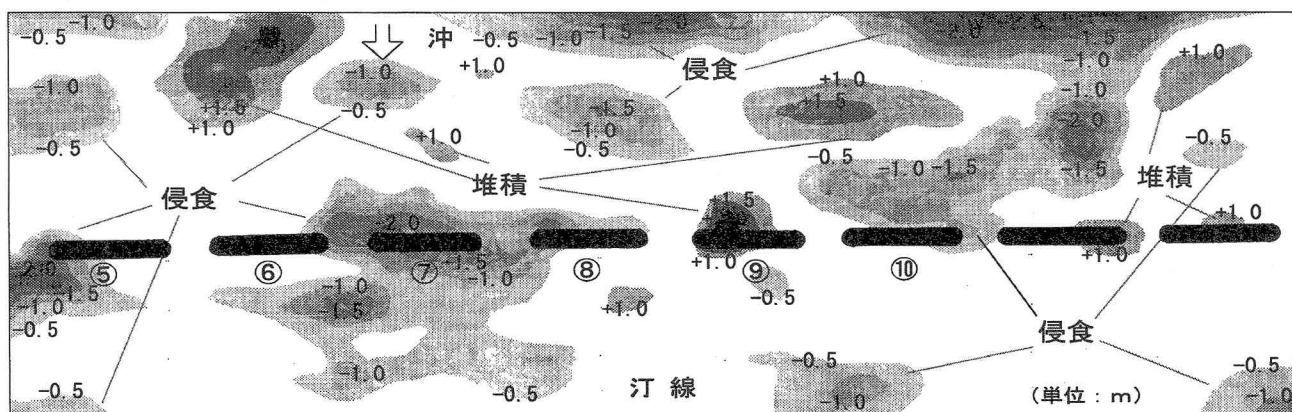


図 - 12 離岸堤周辺の地形変化 (1975 年～1976 年)

5. 離岸堤周辺の波浪場

離岸堤周辺の波浪場の数値計算を実施し、離岸堤の影響範囲について検討した。波浪場の計算はエネルギー平衡方程式を用いて屈折と回折効果を求めた。施工開始から 14 年後の 1988 年の水深を用い、構造物撤去前の状態での波浪場を算出した。計算格子間隔は 10m 間隔、入射波は周辺の波浪観測結果を用いた。また、水深変化に伴う碎波には合田の碎波条件を用いた。入射波向については、波向の分散性を考慮して主波向の $\pm 45^\circ$ 度範囲の入射範囲を想定した。

図-13 に波向と波高比の計算結果を示す。図中の矢印は主波向を、実線は沖波波高で無次元化した波高比を示している。波向の変化を見ると、離岸堤の背後で回折効果により急激に変化しているが、左側の離岸堤番号④と⑤の間が、右側の離岸堤番号⑥と⑦間より変化が大きい。

次に波高比について見ると、ほとんどの離岸堤直背後で波高が急激に小さくなっている。離岸堤番号④と⑦の沖側では反射波によって波高が 1.2 倍となっている。川口らの離岸堤長さをを用いた開口部幅と離岸距離を用いたトンボロ形状の分類では A 型、即ち 2 本の堤体が 1 本の堤体として働くもので開口部が前進するタイプに分類されるが、この海岸では開口部の汀線が後退している。よって、海底勾配即ち波向と波高の変化を考慮する必要があると考えられる。

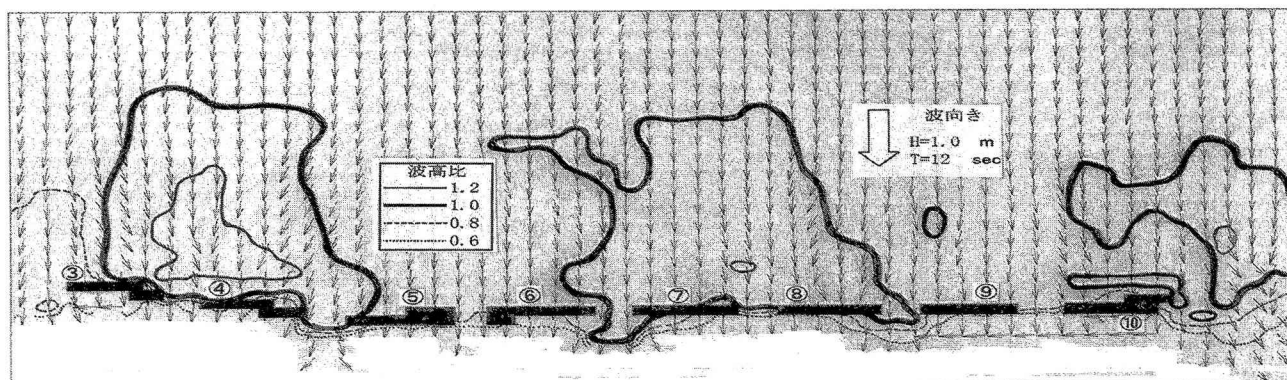


図 - 13 離岸堤周辺の波浪場の数値計算 (水深 1988 年)

6. まとめ

本研究によって得られた結論を以下に列記する。現地での汀線図を用いて汀線形状を整理し、離岸堤長さ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を測定していった。

- 1) 平均開口比と平均汀線距離変化量との解析結果より、平均開口比の増加に従って、平均汀線距離変化量が減少、即ち、離岸堤が撤去されると平均開口比の二次関数で後退している。また、離岸堤⑤、⑦そして⑧でみられるように、平均開口比の変化が少ないにも係わらず平均汀線距離変化量が急激に増加し、測量期間間で若干の量の差異があるものの、離岸堤の岸側の汀線が急激に後退している場所が見られた。
- 2) 離岸堤周辺の波高比分布は、ほとんどの離岸堤

直背後で波高が急激に小さくなっている。川口らの離岸堤長さをを用いた開口部幅と離岸距離によるトンボロ形状との形成のタイプを求めると、2本の堤体が1本の堤体として働くタイプで開口部の汀線が前進するタイプとなるが、この海岸では開口部の汀線が後退している。離岸堤周辺の波向や波高変化を考慮する必要があると考えられる。

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) (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.