

千葉県飯岡海岸の海岸侵食について

宇多高明*・桜本 弘**・久保田進**

1. ま え が き

崖侵食で有名な千葉県の屏風ヶ浦では、近年侵食防止のために消波堤が崖の下部に沿って設置され、崖侵食の防止が図られている。しかし、崖侵食の防止は逆に侵食土砂を主要な供給源としていた下手海岸への漂砂供給を減らすことになった。また、この屏風ヶ浦の下手、九十九里海岸との接点にある飯岡海岸では古くから侵食に悩まされてきた。これに対し近年離岸堤群が設置され、これによって前浜が復活し効果をあげている。この堆積土砂の多くは上手側に位置する飯岡漁港での浚渫土砂の投入（サンドバイパス）によるものである。一方、離岸堤群の下手に位置する北九十九里海岸では上手からの漂砂供給の不足により侵食が進んでいる。以上のように、侵食問題を考える際には、一つの対策工事が下手側での侵食の原因にもなり得る可能性があることに注意が必要である。勿論、個々の事業については従来より種々の技術的検討や影響予測が行われているが、局所的な地先海岸のみの現象に目を奪われていると、海浜全体のバランスで考えたときに問題を生ずることがある。このような問題は現在全国的にかなり多く見られる。本研究はこの種の問題を千葉県の飯岡海岸を例として検討するものである。以下では、屏風ヶ浦の崖侵食、飯岡海岸と北九十九里海岸の地形変化、飯岡漁港でのサンドバイパス等の実態を明らかにし、それらを通じて内在する重要な問題、すなわち海浜全体の安定化に関して議論する。

2. 飯岡海岸の侵食実態

飯岡海岸は屏風ヶ浦のある上永井地先、現在の飯岡漁港が位置する下永井地先と、その西側の平松、横根、萩園、三川の各地先から成る（図-1）。上永井地先より東側には高さ 10~60 m の海崖が発達している。この崖は刑部岬においてその方向がほぼ直角に変化し、内陸側へ緩く湾曲して延びている。この崖より海側には波の作用によって形成された広い堆積平坦面が広がっている。飯岡漁港は刑部岬と竜王崎の間に位置する。

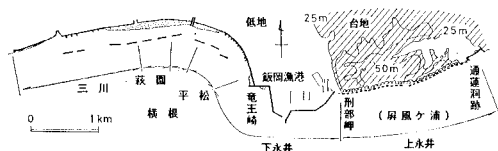


図-1 飯岡海岸の位置図

飯岡海岸は古来より海岸侵食が激しく、各地先において侵食防止を目的として保全対策施設が設置されてきた。これらの施設はしばしば被災を受け、そのたびに補修、復旧等の工事が行われてきた。明治から大正にかけては主に下永井地先の竜王崎付近において保全工事が行われていたが、昭和初期には平松地先に侵食が及び、その後侵食区域はさらに西側へ広がった。

飯岡海岸下永井地先の海岸線は、鎌倉時代には現在の下永井堤防よりもかなり海側に位置し、海岸付近には永井七浦と称される七つの村が存在したと言われている。海上郡後草高梨家に伝わる古文書（天和3年、西暦1617年）によると、高梨家の祖が建久3年（1192年）に永井の竜王崎から他の6軒とともに移住したとされており、永井七浦の存在を裏付けている²⁾。

飯岡海岸が古来より侵食海岸であったことは、図-2に示す下永井村想絵図からも推察することができる。この絵図は寛政6年（1794年）に描かれた原図を大正3年（1914年）に当時飯岡小学校の伊藤茂蔵氏が写したものとされており、図中には、1794年、1868年（明治初年）、1914年の三つの海岸線が時代とともに陸側へ移動したことが示されている。また、図-2には現在の海岸状況も併せて示したが、昔は現在の飯岡漁港の防波堤先端付近に海岸線が位置していたことがわかる。

図-3は4枚の地形図から作成した汀線変化を示す。まず、上永井地先や屏風ヶ浦では1884年~1930年の26年間には顕著な変化は見られなかったが、1930年~1967年の37年間には大幅な崖後退が生じている。これは、1930年の地形図作成時に崖の測量修正が行われなかったためか、あるいはこの期間に大きな台風が数多く来襲したためと考えられる。次に、下永井地先の海岸線は経年的に後退しており、また平松地先では1884年~1903年に海岸線が前進し、その後は後退している。さらに、

* 正会員 工博 建設省土木研究所 海岸研究室長

** 正会員 (株)アイ・エス・エー新土木研究所 海岸海洋部

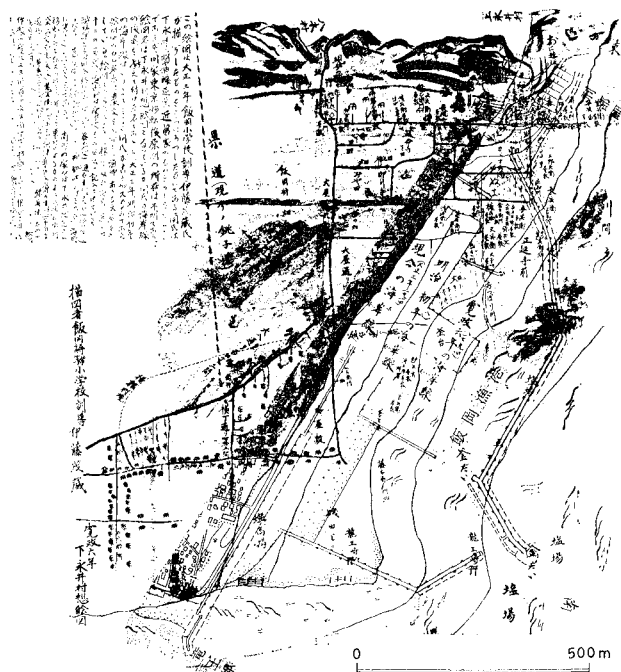


図-2 下永井村想絵図と現況の比較

横根地先以西（矢指川～目那川）においては、1930年までは大きな汀線変化が見られないが、1930年～1967年の間では大幅な汀線後退が生じた。汀線後退量は平均約100mで、このほとんどは昭和39年（1964年）災害によるものと考えられる。

堀川・砂村^{3),4)}は、地形図と航空写真を用いて屏風ヶ浦の崖の後退量を検討している。それによると、崖の後退速度は期間によってばらつきは見られるものの、長期的には約0.7m/年で与えられる。

ところで、堀川・砂村の後退速度に基づいて、1884年を基準として1967年まで84年間の崖後退量を計算すると、59mとなる。一方、図-3によると後退量の下限値は40m、上限値は200m、また平均値は82mとなる。この平均値は飯岡漁港より東側5200m区間を200mピッチで算出した結果であり、1万分の1の図より求めた。したがって読み取り時の誤差を考えると、本研究の値と堀川・砂村の値とはほぼ対応していると考えられる。また、後退量は沿岸方向にかなり大きな変動を有しているが、この理由は主として岩質が一定ではないこと

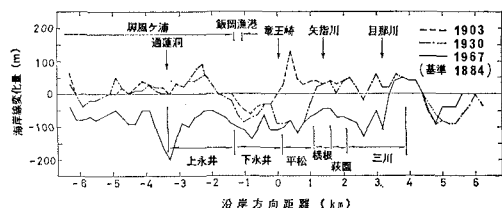


図-3 地形図による飯岡海岸の汀線変化比較

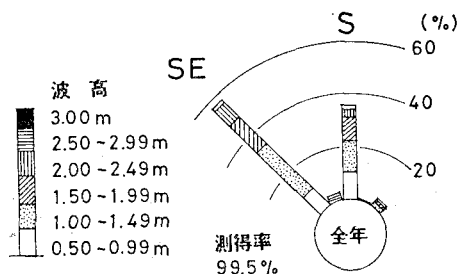


図-4 飯岡漁港における波向別波高出現率（1982年）

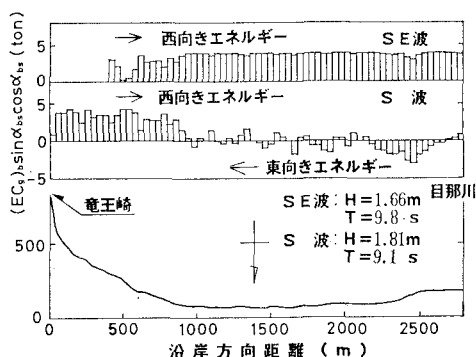


図-5 波浪エネルギーフラックスの沿岸方向分布

が原因と考えられる。

次に、飯岡海岸の波浪条件について考える。飯岡漁港での目視波浪観測によると、飯岡海岸の波向はS, SEの二方向が卓越し、特に夏期にはS方向、冬期にはSE方向が高頻度となる（図-4）。平松地先の地形変化は夏期に堆積、冬期に侵食といった季節変化を示すことが報告されている。そこでこれらの季節の代表波として飯岡の東約10kmに位置する名洗港での1958年1月～1962年12月までの波浪観測データをもとにS, SE方向からの代表波を入射させて砕波点でのエネルギーフラックスの沿岸分布を求めた（図-5）。ただし代表波は観測期間中の静穏条件を除いた観測値をもとにエネルギー平均の意味より定めた。いずれの入射方向の場合も平松地先では西向きのエネルギーフラックスが卓越する。平松地先では海岸線の方向が著しく変化しているが、二つの卓越波の作用下ではいずれも西向きの漂砂が卓越し、漂砂の方向が逆転することはない。しかしながら、単にエネルギーフラックスの分布だけでは平松地先の地形の季節変化の理由は説明できない。この点については今後さらに検討を必要としている。

3. 離岸堤群による堆砂効果

飯岡海岸では、全体で10基の離岸堤が建設されている。離岸堤は1975年12月より建設され始めた。まず1975年12月～1976年3月に平松～三川地先のほぼ中央部に設置され、その後左右に増設が繰り返され、1986年

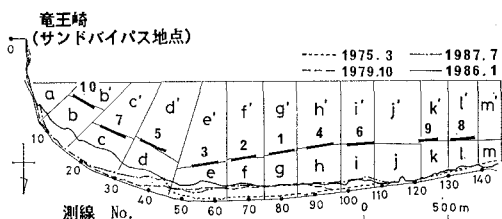


図-6 離岸堤群周辺の汀線変化と土量計算のための区域分割

現在 10 基が設置されている (図-6). 離岸堤の諸元としては, 堤長が 150~160m, 海岸護岸からの離岸距離が 250m, 開口幅が 60~195m である. 開口幅はかなり変化が大きい, 主として 80~100m のものが多い. 離岸堤の配置は 図-6 に示すとおりであり, 竜王崎に近い部分では海岸線の方の大きな変化に合わせて, ほぼ初期汀線と平行に設置されている.

離岸堤設置後, 堤背後の汀線は次第に前進したが, 個々の離岸堤背後にトンボロが形成されるのではなく, 群の背後で全体的に汀線が前進した (図-6 参照). すなわち離岸堤群としての効果が表れている. また汀線位置の経年変化傾向を調べると, まず西部で汀線が前進し, 次第に東部へと汀線の前進区域が広がっている. これは沿岸漂砂の上手側に位置する飯岡漁港の浚渫土砂が, 竜王崎先端の汀線付近より供給されたために生じた変化である.

次に汀線変化に対応した沖合部を含む広い区域の地形変化について調べる. このため 図-6 に示すように, 離岸堤岸側と沖側を各々 13, 12 個の小区域に分割し, この区域内の土量変化を調べた. ただし各地域の面積はどれも異なるために, 単なる変化土量の比較では相互の比較は不十分である. そこで各区域の面積で土量を除することにより地盤高の変化量の平均値を求めた (図-7). 図-7 (A) は離岸堤岸側の, (B) は沖側の各小区域の平均地盤高の変化を表す. まず離岸堤背後に注目する. 平均地盤高は最初 e~h の間で増加し, その後離岸堤の建設が進むにつれ左 (東) 側へと地盤高の増加区域が移動した. また, 特に 1986 年 1 月の測量によると, c 区域のように著しく大きい堆積も見られた. これと対照的に同一時期, 下手側の h~j 区間では著しい堆積は見られない.

離岸堤背後ではいずれの区域でもほぼ地盤高の変化は正, すなわち堆積を生じた. これに対し離岸堤沖では地盤高の低下が見られる. 特に 1986 年になると西側ほど地盤高の低下が著しい. 結局, 離岸堤沖では侵食の起きたことがわかる. また, 離岸堤沖の地盤高の低下量の分布と, 岸側の増加量の分布とは基本的に異なっており, 前者では西側ほど絶対値が大きいのに対し, 後者では区間 a~b を除けば東側ほど絶対値が大きい. このことか

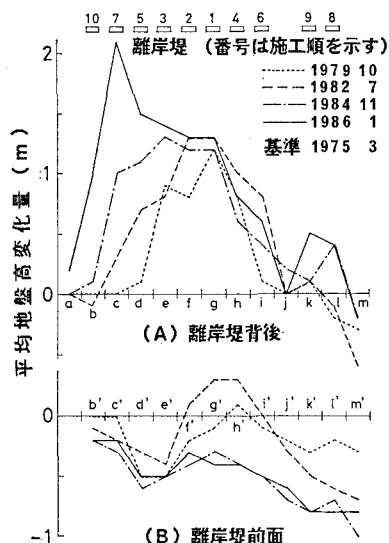


図-7 離岸堤周辺の平均地盤高の変化

ら, 沖合部の侵食は単に岸向き漂砂によって離岸堤内へ運び込まれたものではないと考えられる.

離岸堤背後部の汀線変化は 図-6 に, また平均地盤高の変化量は 図-7 に示した. これらを比較すると, 両者はかなり良い対応を示し, 汀線が大きく前進している場所では離岸堤より岸側の区域での平均地盤高の増加量も大きい. このことは, 離岸堤背後部での土量変化特性を表す意味で汀線位置が良い指標になることを表している. そこで 1975 年 3 月の汀線位置を基準とし, 図-6 に示した各小区域ごとに前進した汀線によって囲まれた部分の面積 (汀線面積変化量: ΔS) と離岸堤より岸側の各区域の変化土量 (ΔV) との関係調べた. ΔV と ΔS の間には相関係数 $R=0.977$ において次式が成立する.

$$\Delta V = 4.3\Delta S + 1.05 \times 10^5 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに ΔV , ΔS の単位は各々 m^3 と m^2 である. 式 (1) と良く似た形の式は従来から得られており, その関係より漂砂の移動高が経験的に定められている. しかし, その場合の関係式は, 海浜の断面内での変化に着目したものであり, 海浜断面積の変化量 (ΔA) と汀線変化量 (Δy) の間で, $\Delta A \propto h \Delta y$ なる関係を調べるものであった. しかしこの式の両辺に沿岸方向の代表距離を乗すれば結局式 (1) と等価な関係が得られる. したがって式 (1) より漂砂の移動高は 4.3m となる.

そこでこの理由を調べるために, 代表的に離岸堤群のほぼ中央に位置する 2 号堤の中央を通る測線 No. 70 の断面形状を 図-8 に示す. 図には 1975 年から 1986 年まで 11 年間の断面変化が示されている. 離岸堤より岸側では大きく汀線が前進し, それとともに海浜断面が全体に沖方向にほぼ平行移動している. そのためこの区域の

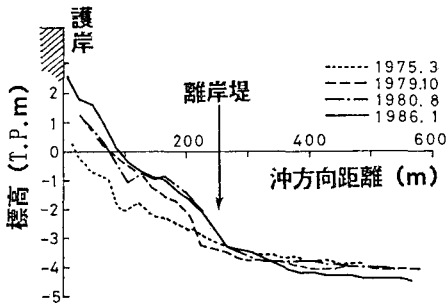


図-8 測線 No. 70 における海浜断面形の変化

土量変化と汀線変化とは良い相関を示したのである。一方、約 1/400 と非常に緩い勾配を有する離岸堤の沖合では、時間の経過とともに全体的に地盤高が減少していることが明らかである。

海浜断面形の変化は図-8 に示した通りであって、離岸堤の背後では著しい断面変化が生じている。そこで従来の方法と同様に海浜断面積の変化量 (ΔA) と汀線変化量 (Δy) の関係を調べた。両者の間には相関係数 $R=0.948$ で次式が成立する。

$$\Delta A = 3.7\Delta y + 12.8 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 ΔA と Δy の単位は m^2 と m である。式 (2) より漂砂の移動高は 3.7m となる。この値は式 (1) で求めた 4.3m とほぼ一致している。外洋に面した他の海岸での調査によると、移動高は 10m のオーダーである⁶⁾。これと比較するとここで求められた値はかなり小さい。これは主な地形変化が離岸堤より岸側に限られていたためと考えられる。事実、富山県の下新川海岸の離岸堤背後においてもこれとほぼ一致する 4.0m なる値が得られている⁶⁾。離岸堤背後では消波効果により波高は低く、このため移動高も小さくなったと考えられる。

次に、離岸堤の沖合部で侵食が生じた原因について考える。まず、屏風ヶ浦は延長約 9km の長さを有するが、1985 年現在消波堤が全長の 53% の区間において造られている。そこで、崖侵食による海浜への土砂供給量が過去と比較して減少し、結局飯岡海岸への上手からの供給

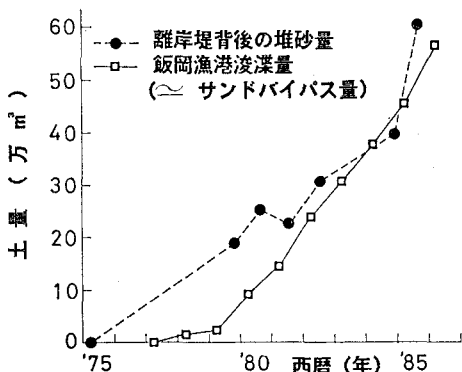


図-9 離岸堤背後の総堆砂量と飯岡漁港の浚渫量の経年変化

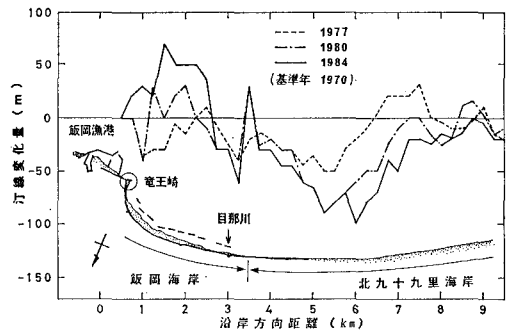


図-10 北九十九里海岸の汀線変化 (1970~1984 年)

量は減少したと考えられる。また、飯岡海岸のすぐ上手には飯岡漁港が存在する。この漁港では防波堤の建設とともに東側、および港内に土砂が堆積し航路維持上困難をきたした。これは同時に漂砂の連続性の阻害要因となった。そこで人為的な方法、すなわちサンドバイパスにより漂砂は隣接する竜王崎の先端の汀線付近より投入されている。したがって平松地先の汀線付近では相当量の漂砂供給があることになり、供給砂は次第に下手方向へ流れ、離岸堤群によって大部分は群の岸側領域に捕捉される。離岸堤があるため沖への流出は少ないと考えられ、この結果、従来どおりの漂砂の存在する離岸堤の沖側では給供量が減少したため次第に侵食が進んだものと推定される。

次に、飯岡漁港下手での投入土砂量と離岸堤群背後の堆積土砂量の経年変化を図-9 に示す。近年、例えば、1979 年以降で両者の勾配を比較するとほぼ一致しており、約 8 万 m^3 /年 の割合で増加している。結局、投入土砂の大部分は下手側の離岸堤の背後に堆積したと考えられる。逆に、両者がほぼ均衡していることから、離岸堤背後の堆積土砂の大部分はサンドバイパスによって供給されたものであって、離岸堤群の沖から運ばれたものは少ないと考えられる。

最後に、飯岡海岸西側の地域の地形変化について調べる。飯岡漁港西側約 9km の範囲の海岸における 1970 年より 1984 年まで約 14 年間の汀線変化を図-10 に示す。飯岡海岸の漂砂下手側に位置する北九十九里海岸においては、飯岡海岸の離岸堤群が設置され始めた 1975 年頃から侵食を生ずるようになった。1977 年までに、飯岡漁港から西側約 6.5km の範囲で汀線が後退した。その後時間の経過とともに侵食区域は西側へと広がっている。このような汀線後退は、その特性から見て東から西へ向かう沿岸漂砂の均衡が失われたために生じたものと考えられる。

4. 考 察

九十九里海岸の北部での漂砂の方向は西向きであっ

て、海岸への主要な漂砂供給源は屏風ヶ浦の海崖である。過去に約 0.7m/年 の割合で崖侵食が進んできたことは事実である。海崖の上部の内陸は種々の国土利用がなされており、生命・財産を保護するためには崖侵食を防止することが必要である。よって重要性の高い箇所より消波堤が設置され、崖侵食を防止している。消波堤の設置延長は 1985 年現在で屏風ヶ浦の総延長約 9km の 53% を占めるに至った。これによって屏風ヶ浦の侵食はかなり防止されることになったが、九十九里海岸側から見れば主要な漂砂源の減少が起きたことになる。全体として西向きに沿岸漂砂量が減少すれば北九十九里海岸は侵食傾向に転じざるを得ない。

飯岡海岸は屏風ヶ浦と九十九里海岸の接点に位置する。この海岸も古くから侵食を受けてきたことを既に明らかにした。また、この海岸近傍には飯岡町があり、人口密度はかなり大きい。したがって国土保全上重要であり、海岸侵食の防止を図るために離岸堤群が設置され、その背後には堆砂効果により広い砂浜を回復させることができた。局所的に見れば海岸工事の効果は高いものがある。しかし構造物の堆砂効果が著しいために、逆に飯岡海岸の下手(西)側への漂砂供給はやや不足しているのが現状である。しかも更に問題を複雑化させるのは飯岡漁港の存在である。幸いなことに、現在サンドバイパスが行われているために、総漂砂量自体の減少を見ることはないが、天然状態と同様に連続的に砂の投入が行われている訳ではなく、また投入位置が汀線付近であるため沖浜への供給量が減少することなどが問題となる。しかし少なくともこのサンドバイパスが行われたからこそ飯岡海岸の離岸堤背後では堆砂が見られたのであり、その意味よりサンドバイパスの実施が積極的意味を持つことは明らかである。

個々に実施している事業自体は上述のようにかなりの成果をあげている。しかし、上述の議論では屏風ヶ浦から九十九里海岸全体の土砂収支の見地からの検討がやや不足していることが問題であり、沿岸漂砂量の定量的評価を基にした議論でなければならないことから検討に際して多くの困難を伴うであろう。事業計画に際しては、地先海岸の自然、社会条件を考慮した上で、なおかつ全体の視野から検討を進め、最終的に海岸全体をどう安定化させるかの議論を十分に尽くす必要がある。

5. 結 論

本研究によって得られた主要な結果を以下にとりまとめる。

(1) 千葉県飯岡海岸は古くから海岸侵食に悩まされてきた。近年においても侵食は著しい。そこで侵食対策として 10 基の離岸堤が建設された。これにより離岸堤群の背後には著しい堆砂を生じたが、その土砂の供給源は飯岡漁港の浚渫土砂の投入によると考えられる。また、離岸堤背後の堆砂においては、個々の離岸堤背後にトンボロが形成されるのではなく、離岸堤群の背後に全体として堆積したところに特徴がある。

(2) 飯岡海岸の深淺測量データをもとに、海浜断面積と汀線の変化量を求め、両者の相関より漂砂の移動高(h)を求めたところ、 $h \approx 4\text{m}$ となった。この値は他の外洋に面した海岸で得られた 10m 程度と比較すると小さい。その理由として、海浜変形が離岸堤の岸側区域に限られており、そこでは離岸堤の消波効果によって作用波高が低かったことが考えられる。

(3) 本研究では屏風ヶ浦、飯岡海岸、北九十九里海岸の侵食実態や飯岡漁港のサンドバイパスと下手側での土砂堆積の関係について調べた。本論で述べたように、個々の海岸のみを念頭に置いて対策工事を進めると、土砂収支の面からは相互に関連しており、上手側での対策工事の進捗が下手海岸の侵食原因の一つになる可能性もあることから、全体としては必ずしも良好な結果をもたらさないことを明らかにした。今後の侵食対策計画の立案に際しては、海岸全体の安定性を見地からの議論を十分に尽くし、より良い方向を見出す必要がある。

参 考 文 献

- 1) 堀川清司: 海岸工学, 東京大学出版会, p. 274, 1973.
- 2) 飯 岡 町: 長く続く怒濤との戦い, 飯岡町史符編, pp. 1~35, 1981.
- 3) 堀川清司・砂村継夫: 千葉県屏風ヶ浦の海岸侵食について——航空写真による海食崖の後退に関する研究・第2報——第16回海岸工学講演会論文集, pp. 137~145, 1969.
- 4) 堀川清司・砂村継夫: 千葉県屏風ヶ浦の海岸侵食について——航空写真による海食崖の後退に関する研究・第3報——第17回海岸工学講演会論文集, pp. 289~296, 1970.
- 5) 宇多高明: 明石海峡周辺海岸の海浜地形変化, 土木技術資料, Vol. 28, No. 9, pp. 9~14, 1986.
- 6) 須山 洋・宇多高明・吉村敏明・若田茂和: 離岸堤周辺の波, 流れ, 地形変化の観測, 第32回海岸工学講演会論文集, pp. 405~409, 1985.