

皆生海岸の浸食とその対策

安藤 丘*・佐久間良知**・田村末次**・藤原達雄**・野田英明***

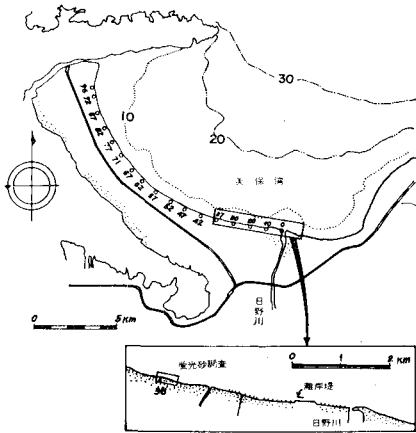
1. まえがき

鳥取県皆生海岸は、昭和 22 年に鳥取県漂砂対策調査委員会¹⁾が設けられてのち、建設省を中心として海岸浸食に関する種々の調査研究が実施され、数多くの貴重な資料が蓄積されてきた。

この論文は、著者らが収集した従来の資料を用いて皆生海岸の浸食の実態を示すとともに、昭和 46 年度に実施した螢光砂による漂砂調査の結果ならびに離岸堤の設置とそれによる堆砂効果について述べる。

2. 皆生海岸の浸食

皆生海岸は、図—1 に示すように、美保湾にのぞむ東は淀江から皆生温泉街を経て、西は弓ヶ浜半島の先端境港までの約 20 km におよぶ海岸の総称である。

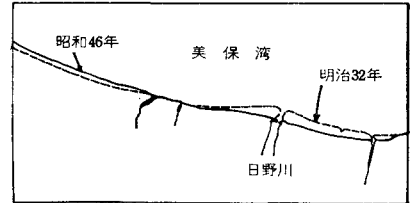


図—1 皆生海岸の概要

この海岸の浸食については、すでに、染矢²⁾および馬場³⁾によって種々検討されているが、この論文では汀線の変化に重点をおいて検討する。

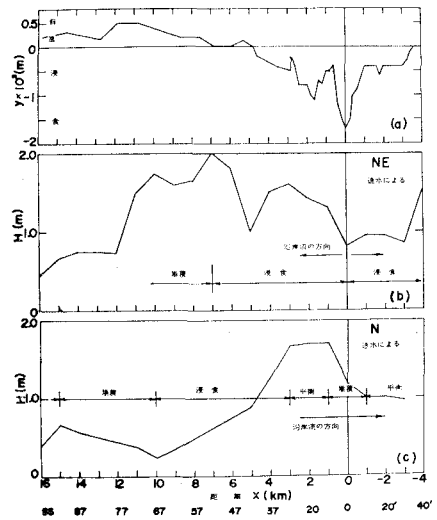
図—2 は、明治 32 年 (1899) に測量された陸地測量部の地形図 (縮尺 1/50 000) と昭和 46 年 (1971) に建設省が撮影した航空写真を用いて図化した地形図とを比較したものであって、約 70 年間における汀線変化の概略を示したものである。この図から明かなように、70 年間で

汀線が大きく後退しているのは日野川を中心とした左右両海岸の約 5 km の範囲である。



図—2 汀線変化の概要

一方、日野川より数 km 以西の海岸ではむしろ汀線の前進していることがよくわかる。5 万分の 1 の地形図を比較した結果であるので、精度上問題もあるが、皆生海岸における浸食の傾向はおおよそ把握できるであろう。今後さらに多くの地形図に基づいてこの 70 年間における汀線の経年変化を検討するとともに、それらと気象・海象条件、日野川の排出土砂量との関連などについて詳細に検討する必要があると考えられる。図—3 は、上述した両地形図を比較して、皆生海岸における汀線の前進・後退量の場所的变化を示したものであって、この図には速水⁴⁾が観測したこの海岸沿岸における波高 (碎波高) の場所的变化も示してある。この図から明かなように、汀線の後退は日野川河口付近 ($x=0$ km) において最大であって、72 年間に約 170 m 後退していることおよび日野川を中心にしてそれより遠ざかるにしたがって



図—3 汀線変化および波高の場所的变化

* 正会員 建設省鳥取工事事務所
 ** 正会員 建設省倉吉工事事務所
 *** 正会員 工博 鳥取大学教授 工学部土木工学科

後退量が減少し、日野川の西側 5 km 以遠では逆に 50 m 程度前進していることがわかる。

一般に、海岸の長期的な変形は海岸に沿う漂砂と密接な関係にあり、岩垣・榎木⁴⁾によると、沿岸漂砂量 Q_s は波高の 3~4 乗に比例する。したがって、波高が漂砂の方向に場所的に増大するときは海岸侵食が、また逆にその方向に波高が減少するときには堆積が起こることになる。図-3 に示されている速水らの観測結果は波の屈折によって説明されているが、屈折図を参照すると、波向 NE の場合、日野川左岸皆生では西向きに、また右岸日吉津では東向きに沿岸流が発達すると推定される。沿岸流の方向と漂砂の移動方向が一致すると仮定するならば、漂砂の連続式および波高の場所的变化を考慮して、図-3 (b) に示すような、侵食および堆積領域が区分できる。同様に、波向 N の場合には沿岸流は一般に東に向い、図-3 (c) に示すような侵食・堆積領域の区分ができる。図-3 (a) と (b) および (c) を比較すると、波向 NE の波に対して、現実の侵食・堆積領域と波高の場所的变化から推定される結果とがよく対応していることがわかる。染矢⁵⁾によると、7~10 月の期間には NE の風向が最も多く、N 方向のそれは非常に少ない。また 11~2 月には W~NW 方向の風が多くやはり N 方向のそれは少ない。W~NW 方向の風は島根半島に遮へいされているため、海浜変形にはそれほど大きな影響を与えないと考えられる。したがって、日野川の排出土砂がなければ、NE 風向の風が多いことから、この方向の波によって、図-3 (a) に示すような変形がおこることは必然の結果であると考えられる。なお、速水らの観測は 1 回のみのものであるので、種々の波高についてもこうした傾向がみられるかどうかさらに詳しく調べる必要があろう。しかし、以上の結果から、皆生海岸における変形の機構が定性的にはあるが説明できたと考えている。

図-4 は、皆生海岸における汀線砂の平均粒径の沿岸方向の変化を、昭和 25 年、同 38 年および同 46 年の採取資料に基づいて示したものである。この図から明らかに、 $x=0 \sim 2$ km 付近における粒径が最大で、両側で減少していることがよくわかる。ここで注目すべきこ

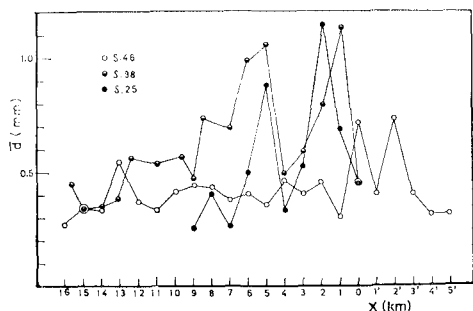


図-4 平均粒径の場所的变化

とは、昭和46年の結果が他のものに比べて、局所的変動が小さいこととともに、その場所的变化もきわめて緩慢になっていることである。この理由については推定の域ででないが、近年における海岸堤防や突堤の築造による海岸線の安定化が大きな役割をはたしているようである。

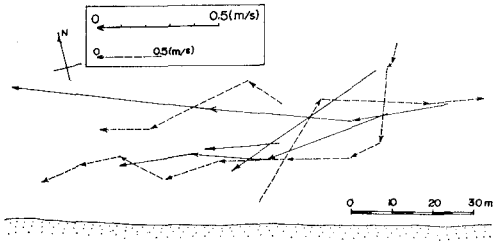
3. 螢光砂による漂砂調査

前節では、皆生海岸の変形機構について定性的な解明を試み、ある程度その機構を説明したが、海岸の侵食堆積過程を定量的に説明するためには、どうしても漂砂、とくに漂砂量とその移動方向についてさらに詳しく検討する必要がある。しかし、漂砂量を的確に算定する一般的方法が確立されていない現在、どのような方法でこれを求めるかが問題であった。そこで、種々検討した結果、その試みの第1段階として、螢光砂を用いて漂砂の移動方向および漂砂量を測定することにした。ただ、わが国で従来行なわれてきた R.L. トレーサあるいは螢光砂による漂砂調査は、普通、かなり水深の大きいところで実施されているようであるが、漂砂の主要部分は最終碎波線と汀線との間の領域であることを考慮して、今回はこの領域における漂砂観測に主眼をおいた。

螢光砂による漂砂調査の概要: この調査は来襲波の特性がことなる状態で何度か実施することが望ましいが、準備その他の都合で、今回は昭和 46 年 7 月 22 日と 8 月 27 日の 2 回にわたって実施した。調査地点は、図-1 に示すように、皆生温泉街の西端であって、海岸構造物の影響を受けないと考えられる自然海浜である。螢光砂採取区域については後述するが、この区域の海底勾配はほぼ 1/30 であり、底質の平均粒径は 0.4 mm であった。

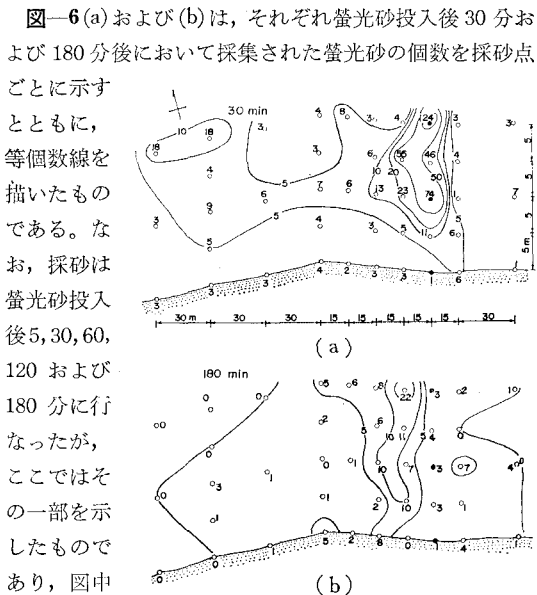
螢光砂の製作・投入・採取: 螢光砂は、調査地点の砂を採取し、螢光塗料としてルミノサインを用い、現地で製作した。製作後、ビニール袋に入れ、その中に海水をそそいで十分湿潤な状態にし、15 kg ずつビニール袋に入れて、1 袋を 1 投入地点に投下した。投入後 5~240 分の間に数回採砂を行なった。採砂の方法は Ingle⁶⁾ が示したと同様の方法であるが、10×10 cm 大の薄い透明ビニール・シート (厚さ約 1 mm) にワセリンを薄く塗り、採砂棒の先端にこのビニール・シートを取りつけ、この棒の先端を海底表面に押しつけて、ワセリンに表面砂を付着させた。

第1回観測の結果: 図-5 は、螢光砂投入に先だって行なった沿岸流の観測結果であって、図中の矢印は流向を、また実線 (60 sec 間隔) あるいは破線 (30 sec 間隔) は沿岸流の流速を示すものである。なお、この観測における波浪特性は、最終碎波高 $H_b=1.5$ m, 周期 $T=9$ sec および入射角 (波峯線と汀線とのなす角) $\alpha_0=14 \sim 15.5^\circ$ であった。なお、この海岸の汀線方向は $N70.5^\circ W$ であり、波向は $N35^\circ E \sim N36.5^\circ E$ であった。図から明らか



図—5 沿岸流測定結果の一例

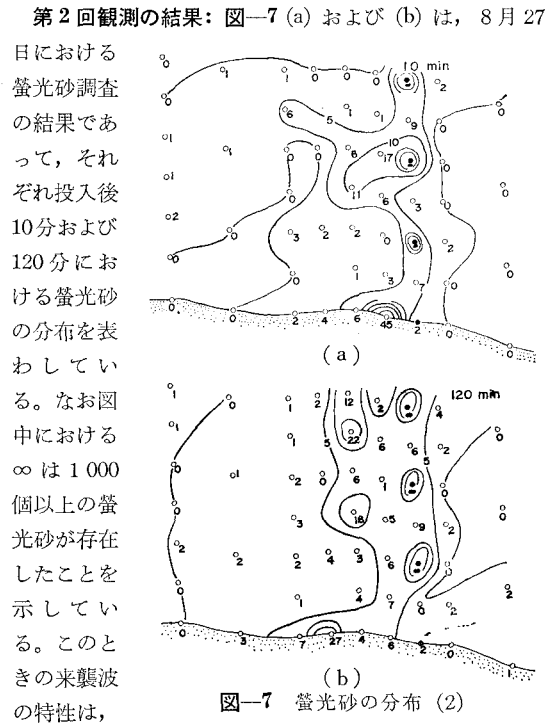
のように、沿岸流は大部分西向きであり、測定結果から流速の最大値は約 0.8 m/sec、平均値は 0.5 m/sec であった。Putnam ら⁶⁾による沿岸流速公式では計算値が $V = 0.6$ m/sec となり、かなりよい一致がえられるようである。



図—6(a)および(b)は、それぞれ蛍光砂投入後 30 分および 180 分後において採集された蛍光砂の個数を採砂点ごとに示すとともに、等個数線を描いたものである。なお、採砂は蛍光砂投入後 5, 30, 60, 120 および 180 分に行なったが、ここではその一部を示したものであり、図中の黒丸は投入地点を、白丸は採砂地点を表わしている。これらの図から明らかなように、蛍光砂は沿岸流と同じ方向すなわち西向きに移動していること、時間の経過とともに採取される蛍光砂の数が著しく減少することがよくわかる。とくに、蛍光砂の減少は採砂区域外に移動するものと、砂面下に潜ってしまうものがかなり多いためと考えられる。

蛍光砂分布の重心位置と投入点の間の距離を、その期間の平均移動距離とすると、重心位置の移動速度が計算できる。これを漂砂の移動速度とすると、沿岸漂砂量はこの速度に漂砂帯の幅（最終砕波点から汀線までの距離とした）および海底面の移動厚さを乗することによってえられる。漂砂帯の幅については観測時測定して 30 m とほぼ一定であることが明らかとなった。また、移動厚さは、汀線における鉛直方向のサンプリングの結果、表面からほぼ 20 cm 下のところに蛍光砂が見い出されたこ

とから一応 20 cm として検討する。ただし、汀線付近を除いた領域における移動厚さについては底面に砂れんが発達していること、サンプリングがきわめて困難なことから十分検討できなかった。また、Inman, Komar および Bowen⁷⁾ は El Moreno 海岸における観測から汀線付近の移動厚さは 10.5 cm であることを示しているが、当海岸における 20 cm もそれほど特異な値ではないと考えられる。さて、蛍光砂分布の重心位置の移動速度を観測結果から計算すると、 $V_s = 2.9$ m/hr となった。したがって、観測時における沿岸漂砂量は $17.4 \text{ m}^3/\text{hr}$ ($= 2.9 \times 30 \times 0.2$) となる。一方、上述した来襲波の特性、底質粒径ならびに海底勾配を用いて、岩垣・榎木⁴⁾の沿岸漂砂量公式から漂砂量を計算すると、 $24.4 \text{ m}^3/\text{hr}$ となり、実測値とかなりよく一致することがわかった。



図—7 蛍光砂の分布 (2)

第 2 回観測の結果：図—7(a) および (b) は、8 月 27 日における蛍光砂調査の結果であって、それぞれ投入後 10 分および 120 分における蛍光砂の分布を表わしている。なお図中における ∞ は 1000 個以上の蛍光砂が存在したことを示している。このときの来襲波の特性は、 $H_b = 0.5$ m, $T = 4.9$ sec および $\alpha_b = 10.5^\circ$ (波向 N 30° E) であった。この図から明らかなように、第 2 回観測時における波浪は波高も小さく、漂砂の移動が汀線付近に集中していること、移動方向は西向きであることなどがわかる。このときの漂砂帯の幅は 15 m、移動厚さは 0.2 m であり、重心位置の移動速度は 0.8 m/hr となったので、前回の方法と同様に漂砂量を算定すると、 $Q_x = 2.4 \text{ m}^3/\text{hr}$ がえられる。一方、岩垣・榎木公式で沿岸漂砂量を計算すると、 $Q_x = 2.2 \text{ m}^3/\text{hr}$ となり、観測結果とほぼ一致することがわかる。

以上の結果から、砕波高 0.5~1.5 m、周期 5~10 sec の範囲における当海岸での漂砂量は岩垣・榎木公式によってかなりよく表現されることが明らかとなった。今

後、さらに資料を蓄積してその妥当性を検討し、来襲波の年間の統計値ならびに沿岸方向の波高分布を調べることによって、当海岸の変形過程について定量的に検討することが可能になると考えている。

4. 離岸堤の設置とその堆砂効果

建設省では、皆生海岸の浸食防止対策として、昭和45年度以降5カ年で、皆生温泉街の沖合 100~150 m 付近に、開口幅 50 m, 1 基延長 150 m の離岸堤 7 基 (総延長 1 050 m) を建設する計画をたてた。このうち、昭和 46 年度には、図-1 に示すように、計画地域の中央に離岸堤 1 基を建設した。図-8 は離岸堤の断面を示すもので

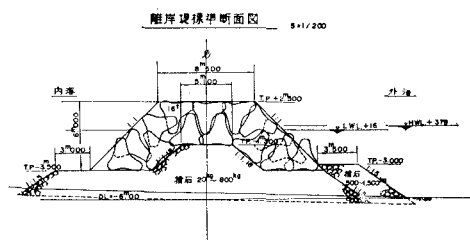


図-8 離岸堤断面図

あって、下部は 20~800 kg の捨石、上部は 16t テトラポットである。捨石施工前の水深は 4.8~6.4m であり、離岸堤の機能上、堤高は平均水面 (T.P. ± 0.0m) 上 2.0m が必要であり、最終沈下高 0.5m を見込み T.P. + 2.5m とした。なお、天端幅は、16t テトラポットを 3 列並びとしたので 8.5m となった。

離岸堤設置にあたって特に問題となるのは、設置による堆砂効果と設置にともなう海底地形が変動し、離岸堤が沈下してその機能が阻害されることである。前者については当海岸が台風による荒天時の漂砂よりもむしろ冬季の季節風による漂砂移動が支配的であることから、冬季に多く来襲する周期 8~10 sec の波の回折を考慮して堤長 150m, 開口幅 50m と決定した。また、後者については、離岸堤設置位置で実施したボーリング調査の結果、海底面下 1~3m 層は中砂であり、そのなかに 4~5mm の礫が混在し、それ以下の層では細砂であって、離岸堤の基礎支持力は十分であることが明らかとなったが、離岸堤を設置した場合、波によって堤脚部が洗掘され沈下するおそれが多分にあったので、次のような方法を採用した。すなわち、離岸堤の海底洗掘による沈下防止、経済性などの諸点から、捨石基礎を用いることにした。捨石は重量 20~100 kg 程度の粒径のことなる石材を混合し、50 cm 程度の厚さに敷きならし、その上に重量 200~800 kg 程度のやや大きい捨石を被覆し、さらにその上面にテトラポットを敷設した。なお、堤前面 (沖側) には、波浪による捨石の散乱を防止するために、重量 500~1 500 kg の捨石を幅 3m, 高さ 3m にわたって施工した。施工の詳細については紙数の関係で省略す

るが、予定どおり、昭和 46 年 9 月末に竣工した。

離岸堤の沈下: 図-9 は、離岸堤完成後、昭和 47 年 3 月までの期間における来襲波の有義波高と波向の時間的

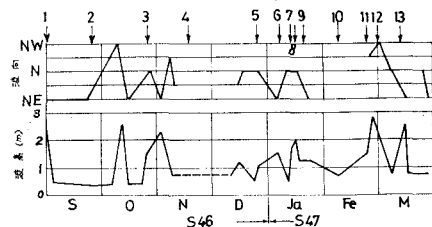


図-9 有義波高・波向の時間的变化

変化を示すものであるが、主な風波は、10月12~15日、 $H_{1/3}=2.6$ m, 10月30~11月1日、 $H_{1/3}=2.3$ m, 1月13~15日、 $H_{1/3}=1.8$ m, 2月末、 $H_{1/3}=2.8$ m であった。

図-10 は、離岸堤中央部の各断面 No. 0~7 における 6 カ月間の沈下高を示すものであって、完成時昭和 46 年

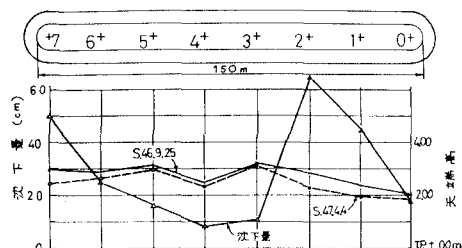
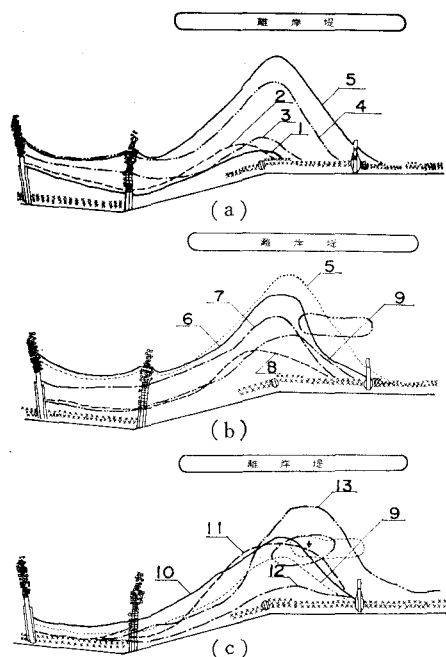


図-10 離岸堤の沈下高

9月25日および昭和47年4月4日における天端高をもあわせて示してある。この図において、離岸堤東端の天端高が T.P. + 2.00m と低くなっているのは、施工を離岸堤東端よりはじめたが、施工中の8月31日における台風波浪のため、余裕をみて天端高を T.P. + 3.0m で施工したにもかかわらず、約 1m 沈下したためである。しかし、いずれにしても、冬季風浪による沈下は、局所的には最大 60 cm に達しているが、全体的にはきわめて少なく、最近ではほとんど沈下がみられないようである。

このことは、皆生海岸のように、基礎地盤が砂質の場合、捨石基礎が沈下防止に対して非常に有効であることを示しているといえよう。

堆砂効果: 離岸堤の堆砂効果を調査するために、工事末期の9月から、堤岸側の汀線測量を定期的実施するとともに、模型飛行機によるカラー写真の撮影も適宜行なった。さらに、風向、波浪などの観測もこれに平行して続けたが、これらの波の記録は欠測も多く、十分満足すべきものでなかった。図-9 はこうした波の記録を示すものであるが、この図の上部に示されている数字は汀線測量が行なわれた月日の順に通し番号を付したものであって、後述する汀線変化を示す 図-11 の番号と一致している。図-11 (a), (b) および (c) は、昭和 49 年 9 月から昭和 47 年 3 月中頃までに行なわれた計 13 回の汀線



図—11 トンボロの発達と消滅

測量の結果を示すものである。なお、離岸堤はほぼE～W方向に設置されている。これらの図から、離岸堤完成後12月までの期間は2～3回 $H_{1/3} \geq 2.0\text{m}$ の波が来襲しているにもかかわらず、堆砂効果が著しく、トンボロがきわめてよく発達したこと、および波向NNE～NEの波がトンボロの発達に大きく寄与したことがわかる。ところが、昭和47年1月になると約半月の間に汀線が大きく後退したこと(6～8)、その後1月中旬から2月末までに再び汀線が前進したこと(9～11)、この期間は風波がそれほど大きくなかったこと、3月はじめの風波でまた汀線が急速に後退したことおよび3月10日頃までにふたたび汀線が大きく前進したことなどが明らかである。さらに、興味深い現象として、No. 13では、トンボロ中央部に円形の低地ができ、海水が貯えられて池になっていることをあげることができる。この理由については現在のところ明確な解答をうるにはいたっていないが波向の変化が影響を及ぼしていると推定される。

以上の結果から定性的にいえることを要約すると次のようである。1) トンボロが一度発達すると、その後は波特性の変化によって汀線形状が急速に変化し、波の特性に対応する形状となる、2) 航空写真(模型飛行機による撮影)を観察した結果によると、一度発達したトンボロは、波特性の変化によってその形状を著しく変えるが、その砂は離岸側内側にとどまり、そこから持ち去られることはない、3) 波向の変化によってトンボロ中央部に円形の池ができることがある、などである。

5. む す び

海岸浸食の問題は、皆生海岸では多くの先輩が古くから取り組んでこられた問題であるが、つねに古くて新しい問題として提起されてきた。今後、より定量的な調査研究の必要性が痛感されるが、また同時に、国土保全の立場から早急に浸食防止対策を樹立することも要請されている。したがって、今後とも離岸堤を續いて施工することになっているので、その防災効果、隣接海岸への影響などについても調査研究を続け、その結果をまた別の機会に報告する所存である。なお、この研究にあたっては関係各方面から多大の援助を受けたことを付記して、ここに感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 鳥取県漂砂対策調査委員会編：漂砂対策調査報告書、昭25、pp. 51～98.
- 2) 築矢 聰：皆生海岸の侵食について、第10回海岸工学講演会講演集、昭38、pp. 168～172.
- 3) 馬場和秋・河村信武・成石治郎：皆生海岸の浸食について、第15回海岸工学講演会講演集、昭34、pp. 158～162.
- 4) 岩垣雄一・榎木 亨：沿岸漂砂量の新算定法について、第7回海岸工学講演会講演集、昭35、pp. 59～67.
- 5) Ingle Jr., J.C.: Developments in Sedimentology, The Movement of Beach, Sand, Elsevier Pub. Co., 1966, 221 p.
- 6) 土木学会編：水理公式集、昭和46年改訂版、昭46、p. 545.
- 7) Inman, D.L., Komar, P.D. and A.J. Bowen: Longshore Transport of Sand, Proc. of 11th Conf. on Coastal Engg., 1968, pp. 298～306.