

特性の異なる2つの海岸に施工された人工養浜砂の挙動について

榎 木 亨*・出口 一郎**

1. はじめに

最近、海岸の環境整備を目的とした人工養浜が各地で施工されている。一方、海岸侵食あるいは越波防止といった防災上の見地からも、人工養浜のもつ消波機能が注目されている。いずれにしろ、人工養浜がその機能を保ち続けるためには、計画養浜の平面及び断面形状を維持していく必要があることはいうまでもない。そのために、通常は人工養浜が単独で施工されることはなく、潜堤、離岸堤あるいは突堤等の養浜砂の流出防止工法が同時に施工される。しかし、そうした砂止工の効果あるいは人工養浜が周辺海浜に与える影響等に対する系統的研究は十分行なわれていないのが現状である。

本研究の目的は、長い直線状海岸及び突堤と岩礁によって囲まれたポケットビーチという特性の異なる2つの海岸において施工された人工養浜及び潜堤から構成される人工海浜の追跡調査（深浅測量）結果に基づいて、人工養浜砂の挙動、養浜砂流出防止工法としての潜堤の効果、養浜砂の残留率等を明らかにすることである。

2. 解析対象海岸とその海象特性

2.1 解析対象海岸の位置とその海象特性

解析の対象とした海岸は、図-1に示す兵庫県淡路島西岸の慶野松原海岸及び徳島県南部の浅川海岸である。

慶野松原海岸は、図-2に示すように延長3kmの直線状海岸で、南端は三原川河口導流堤、北側は底質粒径の粗い五色浜へとつながっている。また、潜堤及び人工養浜施工前の等深線は、DL -4m以浅はすべてほぼ汀線に平行となっているのに対し、DL -5~-6mの等深線は汀線方向に1km~1.2kmの波長をもつ大きな凸凹を示している¹⁾。但し、DL ±0mはTP -1.05mに対応しHWLはDL +1.8m、LWLはDL +0.5mである。前浜は70m~90mと広く、平均海底勾配はMWL=DL +1.2mでは1/7~1/10、DL -2m以深は約1/30である。さらに、底質砂の平均粒径 d_{50} は0.2

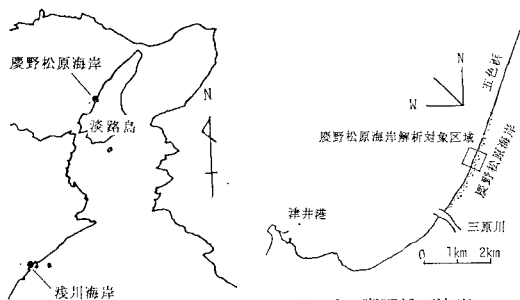


図-1 解析対象海岸の位置

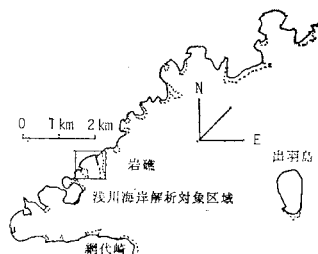


図-2 慶野松原海岸

図-3 浅川海岸

mm~3mmと場所的に広範囲に分布しており、水深との相関は見出せない。一方、来襲波特性については、継続的な波浪調査は行なわれていないが、昭和51年1月から56年12月の5年間に、図-2に示す津井港で測定された風資料を用いて1日24回推算された結果によると、波高1m以上の高波が来襲する確率は14%で、その周期は4~5秒、波向はW~NWに集中している。なお、春期~秋期にかけて推算される波高は80%以上が40cm以下である²⁾。

図-3に示す浅川海岸は、半径約260mのほぼ円弧状汀線をもつ海岸で、汀線長は約400mである。図-3に示すように、南は網代崎、西は羽羽島によって遮閉されさらに浜の南北両端は岩礁によって囲まれ、完全なポケットビーチを形成しているが、昭和49年に北側の岩礁沿いに長さ150mの突堤が建設され、ポケットビーチとしての性格をさらに強めている。前浜の幅は平均30m

* 正会員 工博 大阪大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工博 大阪大学助教授 工学部土木工学科

で海浜勾配は汀線近くで $1/7 \sim 1/10$, DL -3 m 以深で $1/25 \sim 1/30$ である。但し, DL $\pm 0\text{ m}$ は TP -0.98 m , HWL は DL $+2\text{ m}$, LWL は DL 0.8 m である。底質粒径は慶野松原海岸同様場所的な変化が大きく, $d_{50} = 0.5\text{ mm} \sim 3\text{ mm}$ の範囲にばらついている³⁾。この浅川海岸においても, 来襲波浪に対する継続的な実測が行なわれていないが, ほぼすべての方向が遮閉されていることから, 台風来襲時においても波高 1 m 以上の波は来襲しなかったという報告がなされている³⁾。

2.2 慶野松原海岸における人工海浜及び解析データについて

慶野松原海岸においては, 広範囲な領域での人工海浜造成計画に先立ち, 兵庫県港湾課によって海岸のほぼ中央において, 昭和58年に長さ 80 m の試験潜堤が施工され, 59年9月にその背後に約 5000 m^3 の養浜砂が投入され, その砂止め効果の現地実験が行なわれている。試験潜堤竣工後, 昭和58年12月以降 図-4 に示す時期に潜堤中央から南及び北側に向かって汀線方向 20 m 間隔に合計 26 本の測線を設け, 各測線上で岸沖方向 2.5 m 間隔にとった 80 測点において深浅測量が行なわれている。本解析においては, 昭和58年12月21日の測量結果を初期地形として解析を行なう。

図-5 は初期地形を示したものである。図中 $\times$ 印は DL $\pm 0\text{ m}$ (以後これを汀線という) の位置を示す。

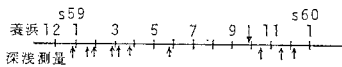


図-4 深浅測量及び養浜実施時期

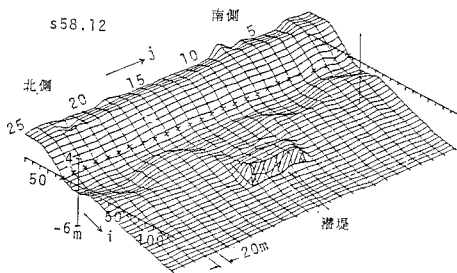


図-5 慶野松原海岸における初期地形と潜堤位置

なお, 潜堤の天端幅は 20 m , 天端水深は DL -1.5 m で養浜は図に示す測線 $10 \sim 14$ の間で行なわれ, 養浜断面の平均勾配は $1/30$, $d_{50} = 1.5\text{ mm}$ である。

2.3 浅川海岸における人工海浜及び解析データについて

浅川海岸においては, 徳島県港湾課によって昭和54年2月に最初の人工養浜が行なわれて以降ほぼ一年に一度冬期に 1.5 万 m^3 程度の養浜が継続して行なわれてい

る。深浅測量は昭和52年11月以降一年に3~4回定期的に行なわれているが, 本研究においては53年9月に行なわれた測量結果を初期地形として解析を行なう。

図-6 に深浅測量及び養浜が行なわれた時期をまとめて示しておく。深浅測量の測線は汀線より約 260 m 沖に中心をもつ放射状に設けられており, 測線上 5 m 間隔の53点において測深が行なわれている。図-2 は初期地形を示したもので, 図中 $\times$ 印は汀線 (DL $\pm 0\text{ m}$) を示す。

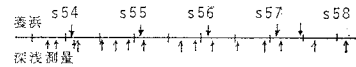


図-6 深浅測量及び養浜時期

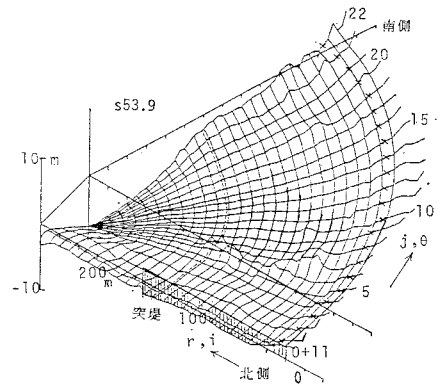


図-7 浅川海岸の初期地形

一方, 潜堤は昭和57年から 図-7 に点線で示す位置で突堤から南側に向かって施工が始まり, 57年には 82.4 m , 58年には 37.6 m , 59年には 46 m が完成している。潜堤の天端幅, 水深は 14 m 及び DL -1.5 m で養浜砂は 図-7 に示す測線 $5 \sim 15$ の間の汀線付近に置砂されている。養浜砂は $d_{50} = 0.4\text{ mm}$ 及び 0.8 mm の2種類が用いられている。

以上で述べた2つの海岸における深浅測量データに基づき, 水深変動量とその経験的固有関数法による解析, 断面積変化量と汀線変動量の解析及び養浜砂の残留率についての考察を行なう。

3. 人工養浜砂の移動及び潜堤周辺で生ずる地形変動特性について

3.1 慶野松原海岸について

図-8 及び 図-9 に潜堤竣工直後1ヶ月及び養浜後2ヶ月間に生じた水深変化量を示す。図中の斜線部は顕著な堆積域を, $\times$ 印は汀線を示す。まず 図-8 に示す潜堤竣工後の地形変動は, 潜堤背後及び潜堤両側の汀線付近に堆積が生じ, 汀線付近の堆積域はさらに北側へと広がっている。また測線 $3 \sim 6$ 及び $16 \sim 21$ 上にも堆積域が生じている。一方, 図-9 に示す養浜約2ヶ月間に生じ

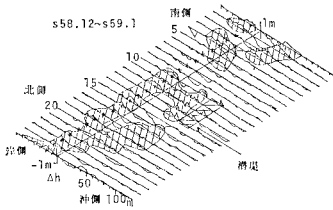


図-8 潜堤施工後の地形変化

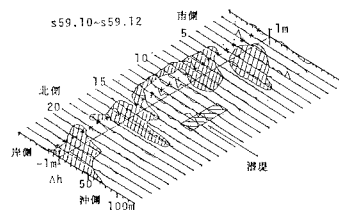
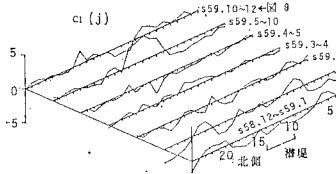
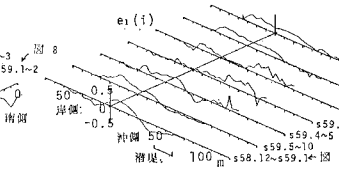


図-9 養浜施工後の地形変化

図-10 $c_1(j)$ の時間変化図-11 $e_1(j)$ の時間変化

た水深変化は、養浜断面の南北両側測線 6~9 及び 15~16 で堆積し、明らかに養浜砂が沿岸方向に移動したことを示している。しかし、養浜断面の汀線より陸上側にも帯状の堆積域が存在し、養浜砂が陸上側へも輸送されたことを示している。また、図-8 同様、やはり潜堤の両側測線 3~5 及び 20~24 に孤立した堆積域がみられる。

図-10 及び 11 は、図-8 及び 9 に示すような水深変化量を汀線 (j) 及び岸沖 (i) 方向の固有ベクトル $c_i(j)$, $e_i(i)$ に展開した結果の中で最も固有値の大きい c_1 及び e_1 の汀線及び岸沖方向分布を示したものである。これらの図より、まず図-8 に示す水深変化に対する e_1 は岸から沖方向に負→正→負と符号が変化し、一方 c_1 も潜堤背後では負、その両側で正、さらにその外側で負と符号が変化し、明らかに岸沖漂砂と沿岸漂砂の混在した地形変動パターンを示す。したがって、図-8 にみられる潜堤背後、汀線付近での堆積域は潜堤の回折作用による沿岸漂砂のみではなく、潜堤によって入射波高が減衰することによって生ずる向岸方向の漂砂移動の両方の作用によって生じたものと推定される。しかし、潜堤両側の測線 3~16 及び 16~21 付近の堆積域は潜堤とは独立に生じたものと考えられ、その成因については明らかではない。また、その後昭和 59 年 3 月までの冬期風浪来襲期の e_1 は潜堤周辺を除けば正、 c_1 は汀線方向に正及び負の値を交互にとり、明らかに沿岸漂砂による地形変動が顕著になっていることを示している。

一方、その後の養浜が行なわれる (59 年 10 月) までは来襲波が微弱なことから養浜が行なわれたことによる水深変化以外の大きな水深変化は生じず、捨石で構成される潜堤上の測深誤差及び養浜による地形変動パターンが支配的となるので、ここでは考察しない。

図-9 に対応する養浜後の地形変動は、 e_1 が岸沖方向

全断面で正、 c_1 は潜堤背後で負、その両側で正の値をとることから、明らかに養浜砂が養浜断面から沿岸方向に流出しているパターンが示されている。しかし、この場合も測線 3~5 及び 20~24 における堆積域の成因は明らかではない。

以上の結果、潜堤にはそれ自体でも離岸堤に類似した堆砂効果のあることが明らかにになったが、養浜砂の岸沖漂砂をどの程度制御し得るかという点については明らかにすることができなかった。しかし、図-9 からも明らかにように、潜堤背後の陸上部で堆積が生じていること及び潜堤のすぐ岸側に若干の堆積域が生じているの

に対し、潜堤沖側においてはほとんど水深が変化していないことから、この期間においてもある程度離岸方向への漂砂移動が制御されていたものと推定される。

一方、図-10 及び 11 に示す固有ベクトルに対する固有値の相対的重要度は高々 40% にしかない。また今回の解析方法によれば微弱な水深変化は岸沖あるいは沿岸方向に平均化されてしまうという欠点をもっている。今後さらに継続した深浅測量データを蓄積すると同時にこのような解析方法の問題点についても検討していかなければならないと考えている。

つぎに、このような潜堤及び人工養浜周辺の海浜変形予測にいわゆる 1-line-theory が適用可能かどうかということを検討するために、DL ± 0 m の等深線変化量 δl と断面積変化量 δA の相関を示したのが図-12 である。但し、 δl , δA とともに初期地形からの変化量をとっている。図(a)は潜堤竣工後 1 ヶ月間、図(b)は養浜が行なわれて 2 ヶ月経過した時点までの δl と δA の関係を示したものである。なお、図中に示してある数字は図-5 に示す測線番号を表わす。

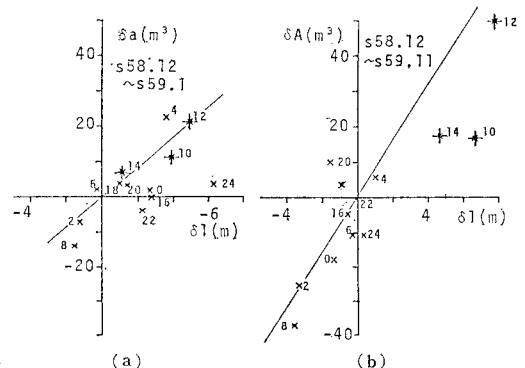


図-12 等深線変化量と断面変化量の関係

まず図(a)に示す潜堤竣工後1ヶ月後にはすでに δl と δA の間に明瞭な相関が表われており、図(b)に至っては図中*印で示す養浜断面上の測線を除き、 δl と δA は高い相関を示し、その関係は $\delta A = 8 \times \delta l$ で表わされる。しかし、図-4に示す連続する2回の測量結果に基づいて δl と δA の相関を調べてみたが、図-12(b)に示すような明瞭な相関は示さない。したがって、慶野松原海岸における継続した地形変動に対しては1-line-theoryが適用され、その時の地形変動高さに対しては約8m程度の値を用いればよいことがわかる。

最後に昭和59年9月に実施された人工養浜の養浜砂がどの程度残留しているかということについて考察しておく。図-13は潜堤を含む測線8~16及び10~14の間における59年5月を初期値とする土量変化量 δV と養浜砂残留率を示したものである。養浜が施工される直前の測量結果がないため、59年5月を初期値とし、養浜直後の59年10月の測線8~16の間における土砂量の差

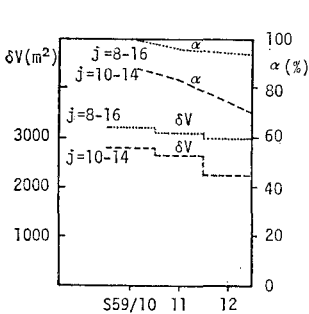


図-13 養浜砂残留率

$\delta V_0 (\approx 3300 \text{ m}^3)$ を一応養浜土砂量とした。養浜砂の残留率 α は、 $\alpha = \delta V / \delta V_0$ で求めた。図より明らかなように、測線8~16の間の残留率は養浜後2ヶ月経過しても90%以上の値を示すのに対し、養浜断面の測線10~

14における残留率は急激に低下し、2ヶ月後には70%程度となっている。この結果より、養浜砂は養浜直後からその断面外へ流出を始めるが、汀線方向への移動速度はあまり速くなく、大部分の養浜砂は測線8~16の間にどまっていることがわかる。

3.2 浅川海岸について

図-14及び15に昭和55年9月の養浜前と56年3月の養浜直後における水深変化量及びその後4ヶ月間に生じた水深変化量を示す。なおこれらの図の測線22及び5~7の $x=100 \text{ m}$ 付近にみられる凹凸の激しい値は、この付近に岩が露出しているための測量誤差である。まず図-14では、人工的に養浜砂が投入されたことによる堆積が測線7~16の汀線より陸上側に生じ

ている他は顕著な水深変化は生じていない。一方、図-15に示す続く7ヶ月間においては、養浜砂が養浜ヶ所から汀線方向に移動することにより、測線7~15では侵食、測線0~5及び17~21にかけては堆積という対称的な水深変化を示している。先に述べたように、浅川海岸においては、ほぼ一年に一回冬期に汀線付近に養浜砂が投入されていることから、本研究で解析の対象としたすべての測量結果において図-14及び図-15に示すような水深の季節変化が生じていた。また、これらの水深変化を汀線 (θ) 及び岸沖 (r) 方向の固有関数 $c_i(\theta)$ 及び $e_i(r)$ に展開した中で、最も大きい固有値に対応する $c_1(\theta)$ と $e_1(r)$ を図-16, 17に示す。

まず、図-17に示す $e_1(r)$ の岸沖方向分布は、養浜が行われなかった昭和59年9月以降を除くすべての期間において $r=20 \sim 60 \text{ m}$ の間で正の大きな値を示し、その他の領域においては微小な値をとるにとどまっている。一方、図-16に示す $c_1(\theta)$ は、養浜による堆積が生じた期間においては養浜領域を中心に正の値を取り、さらに続く次の養浜が行なわれるまでの期間においては、養浜砂が養浜断面から汀線方向に移動し、ポケットビーチ両端付近に堆積することから、測線10~16で $c_1 < 0$ 、その両側で $c_1 > 0$ となるパターンの地形変動を一年周期で繰返している。したがって浅川海岸においては、投入された養浜砂を漂砂供給源とする沿岸漂砂が卓越した地形変動パターンを示し、顕著な岸沖漂砂による地形変動は生じていない。また、養浜が行なわれなかった期間における c_1 の汀線方向分布(図中一点鎖線で示す)は、南側測線(15~16)よりも北側測線(0~16)の方が大きい値を示していることから、養浜砂は南側よりも北側へ多く移動していることもわかる。

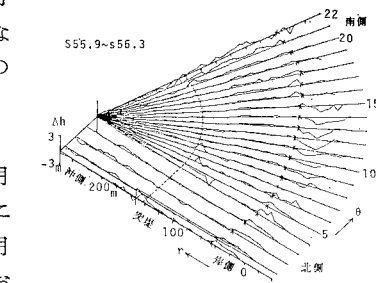


図-14 養浜前後の水深変化

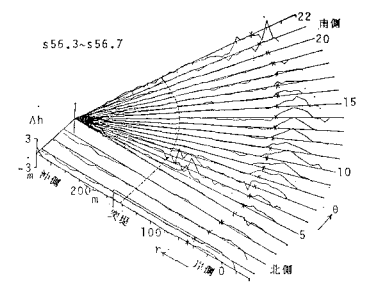


図-15 養浜後の水深変化

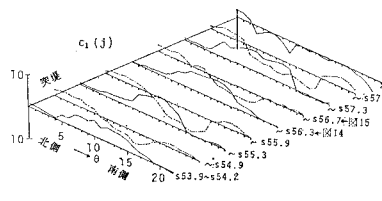


図-16 $c_1(\theta)$ の時間変化

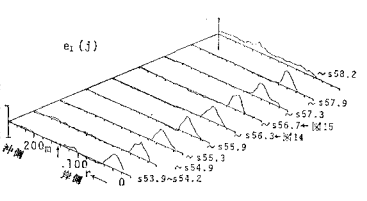


図-17 $e_1(r)$ の時間変化

なお、これらの固有ベクトルに対する固有値の相対的重要度は平均 60%, 最大 78% と大きな値を示し、浅川海岸における水深変化の少なくとも 60% 以上が 図-17 及び 18 に示される地形変動パターンによって説明されることになる。

つぎに 図-18 に初期地形から 1 年及び 2 年間に生じた汀線変動量 δl 及び断面積変化量 δA の相関を示す。

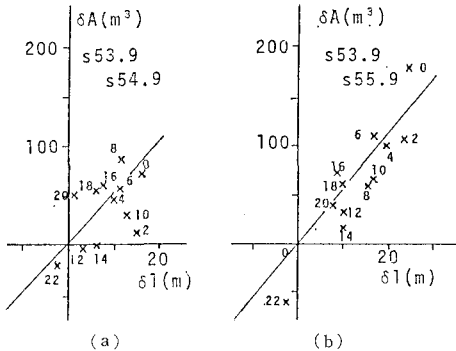


図-18 汀線変動量と断面積変化量の関係

まず図 (a) に示す初期地形から 1 年間に生じた δl と δA の間にはすでにある程度の相関が現われており、図 (b) に示す初期地形から 2 年間に生じた δl と δA の間には、途中 2 回の人工養浜が行なわれているにもかかわらず明確な相関が認められる。さらに、その関係は平均的にみて図-12(b) に示す $\delta A = 5.8 \times \delta l$ で表わされることから、浅川海岸における平均的な地形変動高さは約 5.8 m 程度と推定される。

最後に浅川海岸において継続的に行なわれている人工養浜の養浜砂残留率について検討してみた。

図-19 は昭和 53 年 9 月に行われた測量結果を初期地形とし、初期地形からの差として計算される土砂量の変化量 δV と養浜砂量 V_n の経時変化を示したものである。養浜砂の残留率 α は累積養浜砂量 $\sum V_n$ と δV の和で δV を割って (すなわち、 $\alpha = \delta V / (\sum V_n + \delta V)$) 表わ

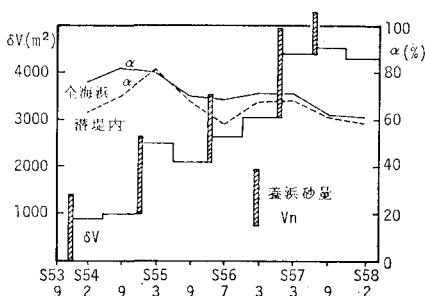


図-19 養浜砂残留率

している。なお、同図には参考のため潜堤設置予定地 (図-7, 図-14, 図-15 に破線で示す) で浅川の残留率と全海域を対象とした残留率を区別して示してある。

図-19 より明かなように、実線で示す浅川海岸の全海浜の養浜砂残留率は、第 1 回養浜が行なわれて以降ほぼ 60~70% の値を示し、時間経過にともなう徐々に減少していく傾向にある。一方、潜堤設置予定地内における残留率 (点線で示す) は、潜堤が一部完成する昭和 57 年までは、一部の期間を除き全海浜の残留率の 80% 程度の値を示しているのに対し、測線 0~4 の間に潜堤が施工された昭和 57 年以降は、全海浜の残留率の 96% 以上の値を示している。先に 図-17 に基づいて考察したように、浅川海岸の養浜砂は北側突堤付近に輸送されることは明かである。さらに、こうした突堤基部の底質は突堤に沿って発生する離岸流によって離岸方向に輸送されやすいことから、突堤から南へ向って施工が始められた潜堤は、このような離岸方向の漂砂移動を阻止することに有効に作用しているものと考えられる。しかし、継続的な養浜にもかかわらず、その残留率が 60% 程度にしかならず、さらにその養浜砂の多くが沿岸漂砂によってポケットビーチ両端、特に北側の突堤付近に移動し、突堤沿いに沖側へ流出しているものと考えられることから、ポケットビーチにおいては、両端の head land の大きさで決定される許容貯砂量以上の養浜は、海浜の平面形状を大きく変化させるような沿岸漂砂移動の制御を行わない限りは効果がないものと考えられる。

4. おわりに

本研究においては、特性の異なる 2 つの海岸に施工された人工養浜の追跡調査 (深浅測量) 結果に基づき、人工養浜砂の移動特性等に対する検討を加えた。その結果潜堤の堆砂機能あるいはポケットビーチに人工養浜を行なう場合の問題点等に関していくつかの興味ある結論が得られた。今後さらに同様のデータを集積し、合理的な養浜工法の確立をはかりたいと考えている。

最後に、大変貴重な資料を提供していただいた兵庫県港湾課及び徳島県港湾課の諸氏及びばう大なデータ処理を手伝っていただいた江村慶徳君 (現大阪大学大学院生) に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 榎木 亨・出口一郎: 慶野松原海岸人工養浜工事に伴う地形及び海象変動調査報告書, 災害科学研究所, 1985.
- 2) 兵庫県: 慶野松原海岸人工リーフ水理模型実験報告書, 1982.
- 3) 榎木 亨・岩田好一朗: 浅川海岸の養浜工法に関する調査報告書, 災害科学研究所, 1972.