

離岸堤、消波堤の異形ブロックの散乱実態

河野 宏*・宇多高明**・藪崎義之***・水野益宏***

1. ま え が き

海岸侵食が進むにつれ、全国各地で海岸侵食対策事業が進められるようになった。富士海岸においても富士川の流出土砂の減少や、田子の浦港の建設による沿岸漂砂の阻止などによって海岸侵食が進んだため、近年離岸堤や消波堤が建設されてきた。これらの構造物の建設により最近は汀線の後退量も小さくなってきているが、その構成体である異形ブロックの散乱が相当数にのぼり、漁網等を破損するなどの被害が出ている。このような構造物の安定性の問題は、構造物の設置基数が増加した今日重要な問題となっている。しかしながらこの種の問題に関する研究は海岸工学上あまり行われていないのが現状である。研究が進まない主な理由としては、現地海岸での実態が明らかでない点があげられる。

本研究は、富士海岸の離岸堤、消波堤の異形ブロックの散乱実態を現地データにより明らかにしようとしたものである。このため航空写真から離岸堤、消波堤の平面積の変化より、変形率を求め、これと構造物の前面水深等の関係を調べた。この結果、変形率は前面水深と良い相関を持ち、前面水深の増加とともに変形率が增大すること、また特に離岸堤の場合には前面水深の増加量の大きい所で変形率が大きいという結果が得られた。また、消波堤の場合は変形率とブロックの撤去総重量とが良く対応することなども明らかになった。

2. 調査地域の概要

調査の対象とするのは、駿河湾の湾奥に位置する富士海岸の離岸堤、消波堤である。図-1は富士海岸の離岸堤と消波堤の設置位置を示している。図の上段は富士地区の離岸堤配置であって、図の右端は富士川河口に隣接する。また左端は田子の浦港によって区切られている。この地区での沿岸漂砂の方向は西から東向きであり、富士川からの流出土砂は東向きに流れる¹⁾。離岸堤は全体で17基設置されており、その建設は図中番号で示す順

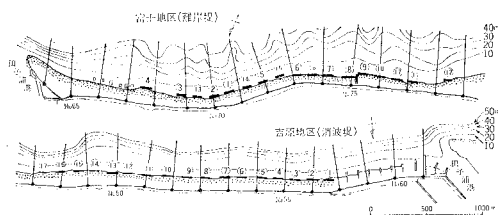


図-1 離岸堤、消波堤の設置位置

序で昭和53年より59年までの期間で行われた。これらの離岸堤には50tonブロックが使われている。

図-1の下段には吉原地区の消波堤配置が示されている。当地区の西端には昭和34~37年に田子の浦港の防波堤が建設され、東向きの漂砂が遮断されたために相当大規模な海岸侵食が起きた。このため汀線後退の防止を目的として昭和49年より54年の間に17基の消波堤が建設された。消波堤の設置順序は西から東である。これらの消波堤は汀線維持には役立ったものの、最近ではブロックの散乱が著しい。消波堤を構成するブロックの重量は近年設置したものほど大きくなっている。当初1~4号堤は25tonブロックを使用した。5~6号堤は海側に沈下等が激しいため前列に40tonブロックを置き、後列に25tonブロックを用いた。7~17号堤は25と40tonの混合であるが依然としてブロックの流出散乱が見られるため、特に波力の影響を受けやすい両サイドについては50tonブロックを使用した。

3. 離岸堤異形ブロックの散乱実態

散乱ブロックの実態調査として、まずその平面形状の変化を調べた。すなわち航空写真を4倍に引伸して離岸堤の外縁をトレースし、離岸堤の平面形状の変化を調べた。引伸した写真の縮尺は約1/2,500である。また写真撮影時の汀線形状も図化し、地形変化と散乱状況の関連性についても調査した。

図-2は散乱状況の判読結果である。離岸堤は西側から順に示してある。判読において、写真撮影時の潮位は異なるが、離岸堤の法面及び汀線付近の海底勾配は急なので、潮位変化による汀線変化の補正は行わなかった。

* 正会員 建設省中部地方建設局沼津工事事務所長
 ** 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長
 *** 正会員 建設省中部地方建設局沼津工事事務所

比較を行なった57年2月と59年2月の間では、57年9月に $H_{max}=9.85\text{ m}$, $H_{1/3}=7.26\text{ m}$ の波が来襲している。この期間中において、離岸堤形状の変化の著しいのは、3, 1, 5, 15, 7, 12号堤であり特に、1号堤の変化が大きい。離岸堤の形状変化の全般的傾向としては、離岸堤の沖側と東側に大きな変形が見られる。これは沖側では波の作用が激しいこと、またこの海岸での沿岸漂砂の卓越方向が東向きであるために離岸堤の東端が洗掘され易いこと、さらに高波浪時の来襲方向が S~SSW であるためにやや東向きに波力が作用することなどが原因と考えられる。

図-3 は各離岸堤の方向、汀線から代表的等深線までの岸沖方向距離、撤去ブロックの総個数と総重量とを示したものである。横軸は測線番号を取っており、その測線間隔は 250 m である。また離岸堤の概略の位置も示してある。離岸堤の方向は図-1 にも示したように海岸線の方向が 2~15号堤の位置で大きく変化しているために、これらの位置で他のものと 20 度以上の差異がある。ただし離岸堤の方向とは離岸堤中央を通る法線が S 方向となす角としている。

汀線から水深 10, 20, 30 m までの岸沖方向距離は離岸堤の方向と良く似た特徴を持っている。すなわち 2~

15号堤及び6号堤の位置で短かいことがわかる。このことは離岸堤沖が深くかつ海底勾配が急であることを意味している。このような条件のもとでは入射波はあまり減衰することなく構造物に作用すると考えられるので他の位置よりもブロック散乱等が著しいと想定される。

富士海岸では、56年より離岸堤及び消波堤設置区間の前面海域を対象に、漁業の障害となる散乱ブロックの撤去作業が実施されている。ブロックの回収は水深 10 m までの海域を対象として行われている。図-3 の最下段には57年10月から59年2月までの期間の撤去ブロックの総個数と総重量の分布を示した。撤去ブロック個数が多い位置は離岸堤の法線が S 軸と大きな角をなし、また代表的等深線までの岸沖方向距離の短かい位置とほぼ一致していることがわかる。

図-4 は離岸堤の変形率、前面水深及び前面水深の変化量の沿岸方向分布を示す。離岸堤の変形率は、航空写真によって求められた離岸堤の平面形状の変化より定めている。すなわち図-2 に示した57年2月の各離岸堤の平面積で59年2月との変化量を割ったものである。離岸堤形状は原形に対して突出する場合と凹む場合とがあるが、両者の面積を加算して変化面積を求めた。変形率は沿岸方向に相当大きく変動している。その最大値は1号堤位置の 0.34 である。次に、このような変形率の沿岸方向の変動の原因を調べるために、離岸堤中央断面の前面水深とその変化量の分布を求め図-4 に示した。

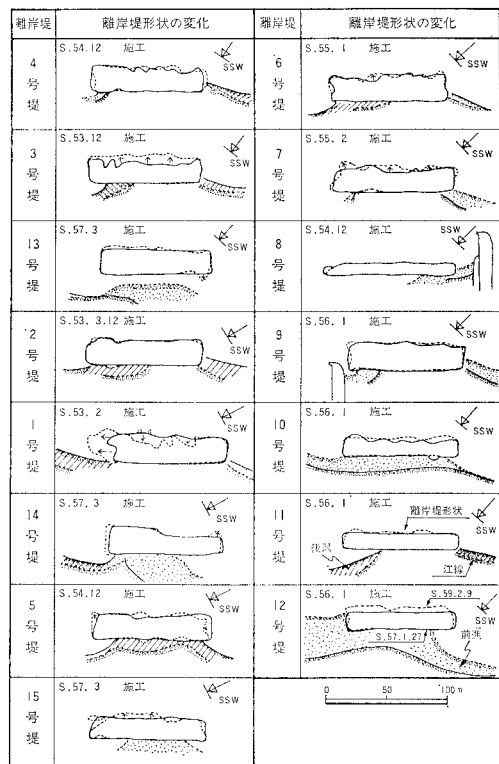


図-2 航空写真の判読による離岸堤の散乱状況調査

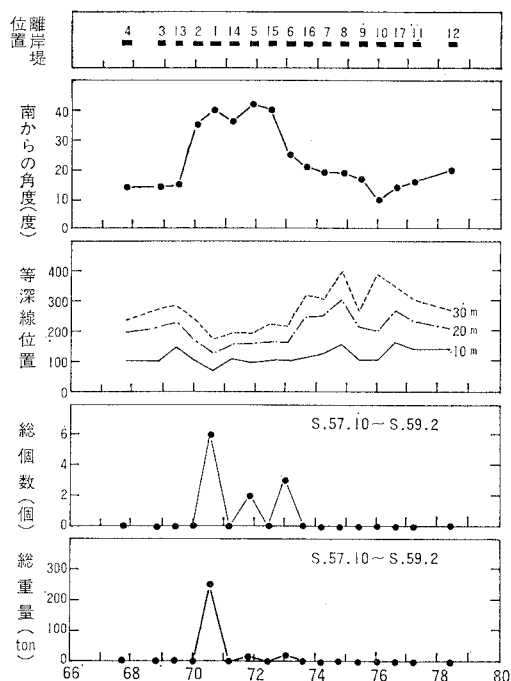


図-3 離岸堤付近の地形特性と撤去ブロック個数

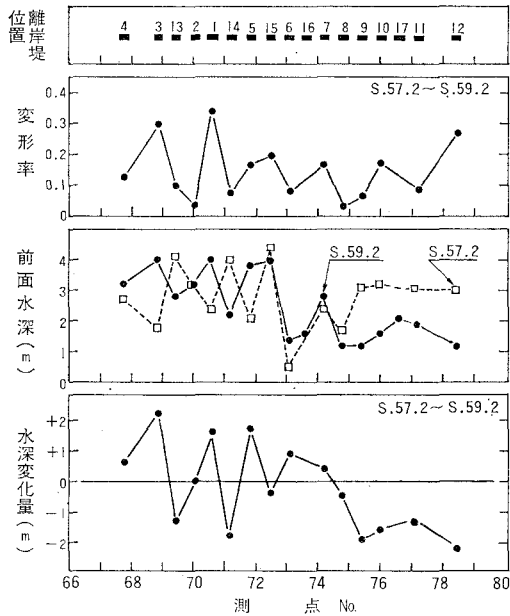


図-4 離岸堤の変形率と前面水深の沿岸方向分布

前面水深に関しては、59年2月の水深値と変形率とがかなり良い相関を示している。測線 No. 77, 78 付近でその相関は悪くなるが、その他の区域では前面水深が大きいときに変形率も高くなっている。一方 57年2月のデータの場合は59年2月のものほど相関が良くない。また変形率は図-3 に示したブロックの散乱実績と比較すると相関は高くない。変形率は前面水深と相当良い相関を持つが、前面水深の変化量とも関係を有している。図-4 の最下段には57年2月から59年2月までの水深変化量が示されている。変化量は水深が深くなる場合を正として表示してある。2年間の水深変化量は相当大きく、最も水深が大きくなったのは3号堤の2.2m、逆に浅くなったのは12号堤の2.2mである。また設置時期の新しい8号堤以降の離岸堤では11号堤を除いて前面水深は浅くなっており、それ以前に設置された離岸堤では深くなっている。このことは、離岸堤の設置によって堤内のみならず堤外にも堆砂が生じ、その影響により漂砂の下手側に位置する既設の離岸堤に侵食が生じたものと考えられる。

水深変化量と変形率の関係をみると、再び両者の間にかなり良い相関が見出せる。すなわち水深が増加すると変形率が高くなり、逆に土砂が堆積して浅くなると変形率が低くなることからわかる。なお離岸堤群の西端にある12号堤は富士川河口に近接するため他と違った特性を有している。

以上のように離岸堤の変形率と前面水深及びその変化量の間には相当良い相関が見出されたので、次にこれら

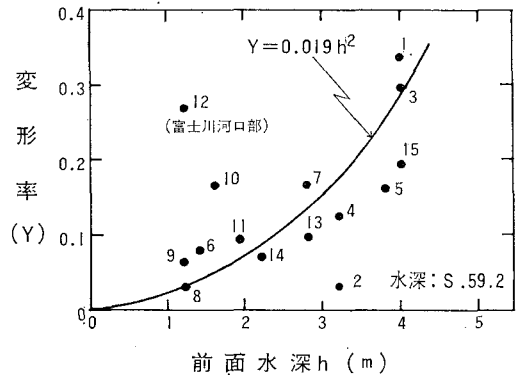


図-5 離岸堤の変形率と前面水深の関係

の変数間で直接的に相関関係を調べてみた。図-5 は変形率と59年2月時点の前面水深の関係を示したものである。富士川河口に近接する12号堤を除いた時、変形率は前面水深が大きくなると急速に増大することが分る。離岸堤が設置されている碎波帯付近では、波高は水深によって強く規定されている。またブロックに作用する波力はハドソン公式が示すように波高に強く依存する。これらの関係より図-5 に示す関係が得られたものと考えられる。図-5 において、変形率 (Y) と前面水深 (h) の関係を定めると

$$Y = 0.019 h^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

となる。ただし Y は無次元、 h は m 単位である。変形率は前面水深の2乗に比例して大きくなる。

図-6 は離岸堤の変形率と前面水深の変化量の関係を示したものである。両者の関係は図-5 の場合よりもばらつきが大きい。上、下限を定める平均的な包絡線を引くと破線のようになる。この場合も富士川河口部にある12号堤のデータは除外している。10号堤のデータを除くと測定値はほぼ2本の破線の間に挟まれており、前面水深の増加率が大きいほど変化率が大きくなることがわかる。これは例えば洗掘等が生ずるとブロック散乱が

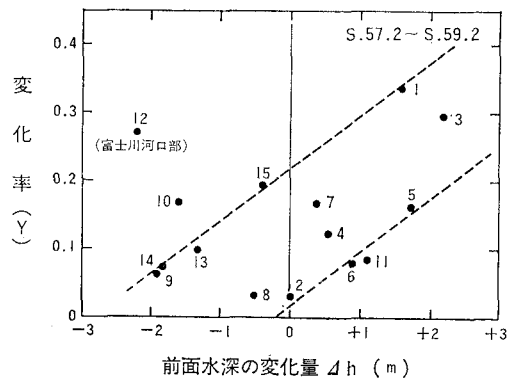


図-6 離岸堤の変形率と前面水深の変化量との関係

激しくなることを意味している。

4. 消波堤異形ブロックの散乱実態

前章では離岸堤の異形ブロックの散乱状況に関する航空写真を用いた調査について述べたが、消波堤の場合も同様な調査を行った。この結果図-2と同様な判読図が得られたが、それについては省略し変形率等について論ずる。図-7は消波堤の配置、法線方向、汀線より等深線までの距離、変形率及び前面水深の沿岸方向分布である。横軸は、測線番号である。

吉原地区では富士地区と比較すると図-1に示したように海岸線の方角はほぼ一様である。このため汀線と平行に設置した消波堤の法線の方角も沿岸方向にはほぼ一様である。等深線の位置図からは、水深20mまでよりも20m以深で海底勾配が急なことがわかる。消波堤の変形率を求めた期間は54年12月から57年2月まで2年2ヶ月である。この間の最大波浪は56年10月の $H_{max}=8.6m$ 、 $H_{1/3}=3.5m$ の波である。変形率は沿岸方向に相当大きく変化している。離岸堤の場合は変形率と離岸堤の方角、等深線分布の間で相関関係が見られたが、消波堤の場合これらの値と変形率の相関は低い。一方、前

面水深と変形率の間には相当良い相関が見られる。すなわち調査期間の初めの54年12月の前面水深の分布は変形率とよく対応していることがわかる。しかし変形後の57年2月の前面水深との相関は低い。

前面水深の変化に注目すると54年の段階では、11, 10, 7, 6号堤の4ヵ所でのみ前面水深が著しく大きかったが、57年2月になると侵食が進み、前面水深が大きくなり、また場所的变化も少なくなった。ただし最初に大きな水深であった11, 10, 7, 6号堤では逆に前面水深が浅くなる傾向がある。

次に撤去ブロックの総個数と総重量の分布を明らかにする。図-7には消波堤の撤去ブロック個数と総重量の沿岸方向分布も示されている。これによると変形率の大きい所では撤去ブロックの総個数及び総重量ともに大きいことがわかる。これより航空写真より定めた消波堤の変形率がブロック散乱を表わす良い指標となることが明らかである。

消波堤の前面水深やブロック散乱実績等の沿岸方向分布が明らかとなったので以下消波堤の変形率と前面水深及びブロックの撤去総重量と前面水深の関係を明らかにしておく。図-8は消波堤の変形率と54年12月時点の前面水深の関係を調べたものである。データは相当ばらばらなのでデータを包絡する上、下限の平均的な線を破線で示した。16号堤を除いたとき変形率(Y)は前面水深(h)と次の関係があることがわかる。

$$0.077h - 0.052 \leq Y \leq 0.077h + 0.143 \dots\dots(2)$$

ここに Y は無次元、 h はm単位である。平均的に見たとき、消波堤の変形率は前面水深に比例し、前面水深が大きいほど変形率が大きくなることがわかる。

同様に図-9は異形ブロックの撤去総重量と前面水深の関係を示したものである。この場合もデータのばらつきは相当大きいが仮に2号及び7号堤を除くことが可能

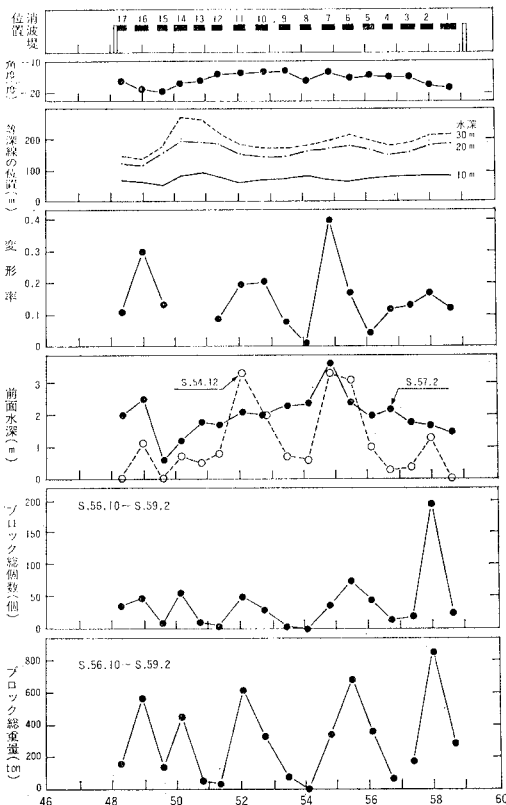


図-7 消波堤付近の地形特性、前面水深、撤去ブロック個数

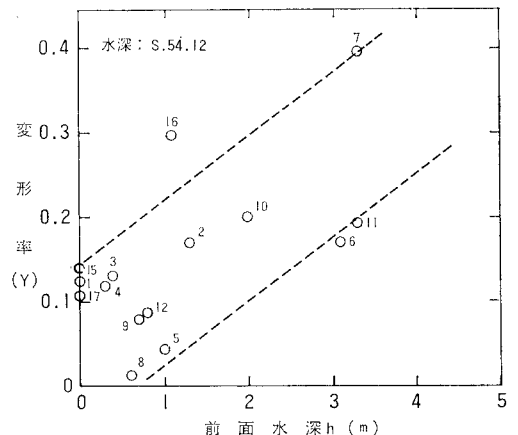
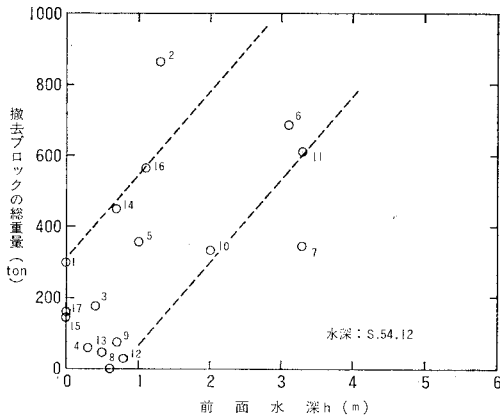


図-8 消波堤の変形率と前面水深の関係



図—9 消波堤の異形ブロック撤去総重量と前面水深との関係

とすれば総重量と前面水深の関係はほぼ破線内に含まれることがわかる。散乱ブロックの総重量は前面水深に比例し、前面水深が大きいくほど総重量が増加する。

5. 離岸堤、消波堤のブロック散乱実績のまとめ

離岸堤、消波堤各々のブロック散乱実態が明らかになったので、散乱ブロックの回収実績をもとにブロック散乱と波浪の関係について検討を加える。表—1 は散乱ブロックの回収実績を示したものである。撤去工事は各年度の10月から2月の間に実施されており、今回は56年から58年の集計を行った。集計項目は散乱個数、ブロック重量、1個当りの平均重量、最大ブロック重量、平均散乱距離である。表中の波浪は、田子の浦港もしくは原観測所における観測結果であり、 $\Sigma H_{\max} \cdot t$ 及び $\Sigma H_{1/3} \cdot t$ は各々最大波高が5m以上、有義波高が3m以上の波を対象に波高値と継続時間（観測時間間隔 $t = 2$ hr で代用）の積を累加したものである。

ブロックの散乱個数 M は、離岸堤では10個に満たないが消波堤では最大360個に達している。消波堤の散乱ブロック数が多いことの原因としては、消波堤設置区間の海浜勾配が急なことに加えて、設置後も海浜が侵食傾向にあることなどが考えられる。仕事量を表わす $\bar{W}_B \cdot \bar{X}$ は離岸堤の方が消波堤よりも大きく、離岸堤に作用する波力が大きいことを示唆している。各年度の状況を比較すると、離岸堤、消波堤ともに平均散乱距離を除く多くの項目において57年度の値が非常に大きい。

表—1 散乱ブロックの回収実績

種類	項目	回収期間		
		S56年10月 ～57年2月	S57年10月 ～58年2月	S58年11月 ～59年2月
離岸堤	散乱個数 M (個)	0	7	4
	総散乱ブロック重量 ΣW_B (ton)	—	254.7	30.7
	平均散乱ブロック重量 $\bar{W}_B$ (ton/個)	—	36.3	7.7
	最大散乱ブロック重量 $W_{\max}$ (ton)	—	45.1	8.6
	平均散乱距離 $\bar{X}$ (m)	—	31.6	31.3
	$\bar{W}_B \cdot \bar{X}$ (ton·m)	—	1,147	241
消波堤	散乱個数 M (個)	43	369	215
	総散乱ブロック重量 ΣW_B (ton)	318.6	3,640	1,040
	平均散乱ブロック重量 $\bar{W}_B$ (ton/個)	7.4	10.3	5.1
	最大散乱ブロック重量 $W_{\max}$ (ton)	24.5	46.0	35.0
	平均散乱距離 $\bar{X}$ (m)	26.1	39.9	41.7
	$\bar{W}_B \cdot \bar{X}$ (ton·m)	193	409	211
波浪	最大波			
	期間内の最大値 $H_{\max}$ (m)	6.99	9.85	6.94
	$\Sigma H_{\max} \cdot t$ (m·hr)	25.5	305.6	78.7
浪	有義波			
	期間内の最大値 $H_{1/3}$ (m)	3.57	7.26	5.00
	$\Sigma H_{1/3} \cdot t$ (m·hr)	20.3	223.9	46.1

これは57年8月及び9月に最大波高約10mの高波浪が来襲しており、この波による散乱が著しかったものと推定される。散乱ブロック重量より富士海岸の散乱形態について考えると、使用ブロックの重量が離岸堤では50 ton、消波堤では25、40及び50 tonであるのに対し、平均散乱ブロック重量は57年10月から58年2月の離岸堤における36.3 tonを別にすれば、ほぼ10 ton未満であり、散乱しているブロックの大部分が破損したブロックであることがわかる。ブロック破損の原因としては、波力による破壊や海底が侵食されブロックのかみ合わせが悪くなって波力と自重により破壊することなどが考えられる。

6. 結 論

本研究によって得られた結論は次のように要約される。①離岸堤、消波堤の被災状況を調べる上で航空写真を利用して平面積の変化より求めた変形率は良い指標となる。②離岸堤、消波堤の変形率と前面水深の間には正の相関があり、前面水深が増加するとともに変形率は増大する。③離岸堤の変形率は前面水深の増加割合が大きい場合も増加する。④離岸堤の場合、散乱ブロック数は離岸堤沖が深く、かつ海岸線の傾きが大きい場所で大きかった。⑤消波堤では変形率と撤去ブロック総重量とは良い対応を示した。⑥散乱ブロックの回収実績によると、散乱ブロックの大部分は破損ブロックである。

参 考 文 献

- 1) 野田英明・橋本 宏：漂砂と海岸保全施設，技報堂出版，1981。