

新しい海域制御構造物の開発研究

Final results of R&D on new-type offshore breakwater

宇多高明*・小俣 篤**

Takaaki UDA and Atsushi OMATA

Design criteria of the new-type offshore breakwater to create "Marine Multi-purpose Zone" was studied in a period between 1986 and 1990. Eleven kinds of the new-type offshore breakwaters have been developed by the cooperative research with private sectors. Developed structures are briefly introduced and classified. Contents of Manual for planning of Marine-purpose Zone are summarized.

Keywords: Coastal development, Offshore breakwaters, Wave dissipating effect, Manual for planning of Marine Multi-purpose Zone

1. まえがき

沿岸域は、昔から様々な経済活動のために利用されてきたが、近年、新たに親水空間としても注目を浴びている。しかし、我が国の沿岸域はその地理的条件より台風による高潮、冬期風浪、海岸侵食などの海岸災害を受け易い特性を有しており、外海に面した海岸ではそのままの形では利用がかなり難しい。したがって外洋に面した沿岸域に新たな利用空間を創成するには、何らかの方法により自然条件を緩和することが必要とされる。このような背景のもとに誕生したのがマリン・マルチ・ゾーン(MMZ)構想である。この構想の実現には、自然環境を維持しつつ静穏な海域を創出する消波構造物が必要となる。そこで、総合技術開発プロジェクト「海洋利用空間の創成・保全技術の開発」および官民共同研究により海域制御構造物の研究開発が進められることとなった。

海域制御構造物は、沖合に設置される透過性の消波構造物であって、設置水深が約20m以浅、透過率(消波構造物への入射波高に対する透過波高の比)が60%以下、反射率が50%以下を目標としている。こうした海域制御構造物に期待される機能は、静穏海域を創出し、波浪災害を防止するとともに海浜を安定化させる機能である。一方、最近では海洋汚染や沿岸域での生態系の破壊が問題とされ、環境保護も重要な課題となっていることから、海域制御構造物は外海での自然環境をできるだけ損なわないよう、海水交換を阻害せず、あるいは促進する構造とすることを目ざしている。さらに、低天端、あるいは没水構造とすることにより、海域の景観を悪化させないような配慮もなされている。ここではこうした特性を持つ海域制御構造物の開発研究の成果の概要を紹介する。

なお、本研究プロジェクトは、民間企業15社との共同研究で進められた。15社の内訳は石川島播磨重工業(株)、(株)大林組、五洋建設(株)、清水建設(株)、新日本製鉄(株)、住友金属工業(株)、大成建設(株)、東亜建設工業(株)、東急建設(株)、東洋建設(株)、戸田建設(株)、飛島建設(株)、日本テトラポッド(株)、(株)間組、三井建設(株)である。また、研究開発に際しては、埼玉大学工学部の堀川清司教授を委員長とする「海洋利用空間の創成・保全技術の開発委員会」、および東京大学工学部渡辺 晃教授を部会長とする「海域制御構造物の開発部会」が設立され、これらの委員会・部会の指導のもとで研究が進められた。

表-1 開発された海域制御構造物の型式一覧

2. 海域制御構造物の開発

海域制御構造物の開発においては、消波機能、漂砂制御機能、洗掘、波力特性、安定性、施工性など様々な面より検討がなされ、最終的に11種類の海域制御構造物が開発された。構造物の型式一覧を表-1に示す。表-1では各構造物ごとに消波形式、構造形式および施工形式の分類がなされている。なお、透過水平板付スリットケーソン型構造物は有脚式と重力式の2タイプがあるので、両者それぞれに分類してある。各種構造物の概要は次のようである。

構造物名	消波形式	構造形式	施工形式
水平板付スリット型構造物	スリット式	有脚式	連結ブロック式
多重スリット型構造物			H型スリット板ジャケット式
H型スリット板ジャケット型構造物			スリットケーソン式
透過水平板付スリットケーソン型構造物			斜板ジャケット式
斜板堤	斜板式	重力式	斜板ケーソン式
斜板消波潜堤	潜堤式		中詰スリットセルラー式
複列透過性潜堤	複合消波式		並列Y字壁式
複合消波型構造物	スリット式		スリットケーソン式
透過水平板付スリットケーソン型構造物	透過セル式	鋼板セル式	鋼板セル式
根入れ鋼板セル型構造物	リーフ式	捨石式	捨石式
レンズマウンド	柔構造潜堤式	膜構造式	膜構造式
フレキシブルマウンド			

* 正会員 工博 建設省土木研究所河川部海岸研究室長(〒305 茨城県つくば市大字旭1)

** 正会員 建設省土木研究所河川部海岸研究室研究員

①水平板付スリット型構造物 (図-1)

杭とブロックを組み合わせた構造を持つスリット式構造物であり、PBS工法により構築される。この構造物では入射波が複数の鉛直スリット壁を通過する際に乱れが発生し、これによりエネルギー損失が生ずる。また、水平スリット板は波のエネルギーの一部を反射させるとともに、横スリットより発生する乱れや高波浪時に水平板上で生じる碎波により消波効果が高められている。

②多重スリット型構造物 (図-2)

水平板付スリット型構造物と同様、PBS工法により構築される構造物であり、水平板がなく空隙率を変えた3枚の鉛直スリットにより構成される。3枚の鉛直スリット壁の空隙率を沖側から順次小さくすることにより、透過率を低減させるとともに、スリット間の反復反射により反射率も低減させることができる。

③透過水平板付スリットケーソン型構造物 (図-3)

鉛直・水平スリットを組み合わせた構造物であり、スリットでのエネルギー損失と天端上での碎波により波のエネルギーを損失させる。構造物本体はケーソンであり、杭あるいは自重によって固定される。①、②の構造物は杭を打設してからスリットが固定されるが、このタイプでは逆に構造体を設置後、杭で固定されるところに特徴がある。

④H型スリット板ジャケット型構造物 (図-4)

2枚の鉛直透過板と1枚の水平透過板の組み合わせにより構成されたH型スリット板を、杭により固定した構造物である。消波機構は構造物①とほぼ同様であるが、この構造物も構造物③と同様に構造体の設置後、杭で固定される。

⑤斜板堤 (図-5)

斜板堤は、斜板上での碎波によるエネルギーの逸散、斜板による波の反射、越波した水塊と斜板下を透過する波との干渉により波のエネルギーを損失させる。コンクリート製の斜板は、杭で固定された鋼性ジャケットにより支えられる。

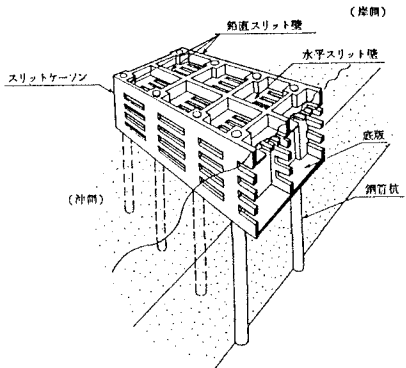


図-3 透過水平板付スリットケーソン型構造物

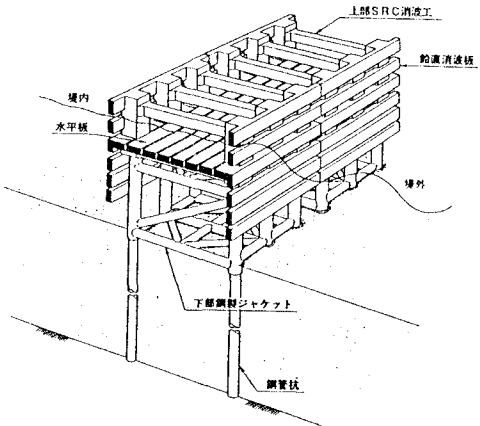


図-4 H型スリット板ジャケット型構造物

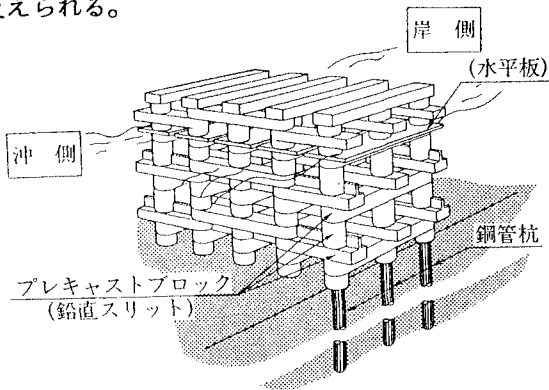


図-1 水平板付スリット型構造物

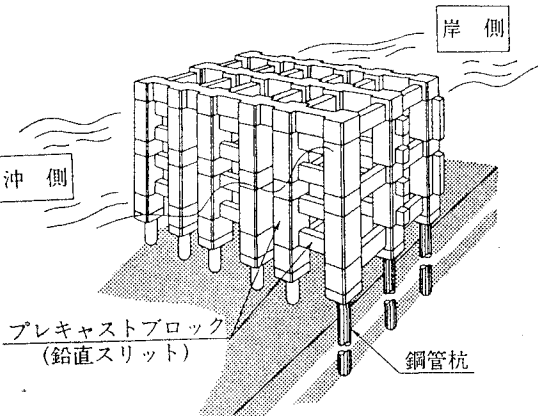


図-2 多重スリット型構造物

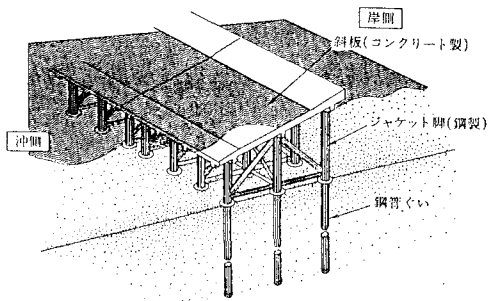


図-5 斜板堤

⑥斜板消波潜堤 (図-6)

斜板消波潜堤は没水ケーソンの天端を傾斜させた重力式消波構造物であり、傾斜した天板に2つの突起が設けられ、ケーソン内には遊水室がある。この構造物は、斜板により入射波を強制碎波させ、斜板上の突起でエネルギー逸散を促進することにより消波効果を得る。さらに、斜板に開口部を設けることにより堤体岸側での二次的な造波を抑制し、また堤体前面の開口部からの戻り流れが入射波の碎波を促進する。

⑦複列透過性潜堤 (図-7)

セルラブロック内に異形ブロックを中詰めした透過性潜堤を2列配置した消波構造物である。低天端の沖側潜堤で碎波減衰した波が、岸側の比較的天端高の高い潜堤によりさらに減衰する。

⑧複合消波型構造物 (図-8)

波を集中させるY字型の鉛直板を水面付近に設置し、水平板の効果と合わせて波を碎波させて入射波エネルギーを減衰させるとともに、V型遊水部の効果と併せて波のエネルギーを流れのエネルギーに変換することにより消波効果を得る重力式RC構造物である。

⑨根入れ鋼板セル型構造物 (図-9)

一般の海域埋め立てにおいて、埋め立て海域の隔壁に用いられる鋼板セルを応用した消波構造物である。鋼板セルを互いにすき間を開けて設置し、セル体による反射と間隙の縮流効果により消波効果を得るものである。また、沖側にはスリット壁を設けることにより反射率を低減させている。

⑩レンズマウンド (図-10)

球面状の浅瀬では波が屈折集中して碎波するので、その背後は静穏となる。この原理を応用した構造物がレンズマウンドであり、堤体は捨石やコンクリートブロックで構成される。人工リーフと良く似た機能を持つが、屈折により波を集中・碎波させる点が異なっている。したがって人工リーフより堤体の規模はかなり大きくなる。

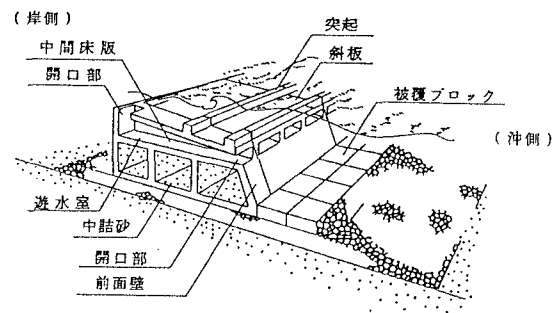


図-6 斜板消波潜堤

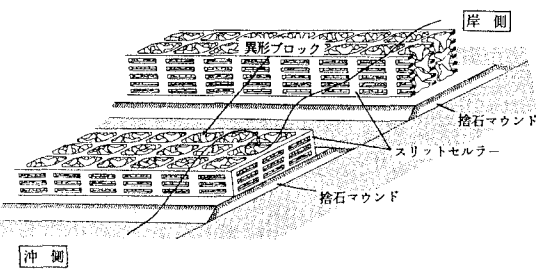


図-7 複列透過性潜堤

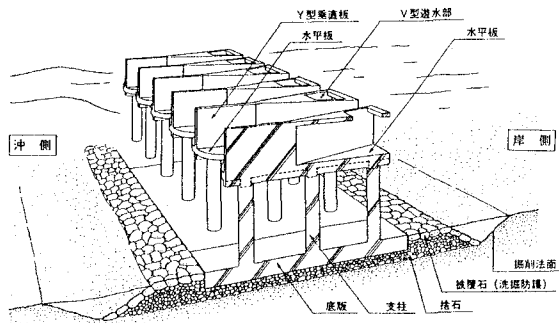


図-8 複合消波型構造物

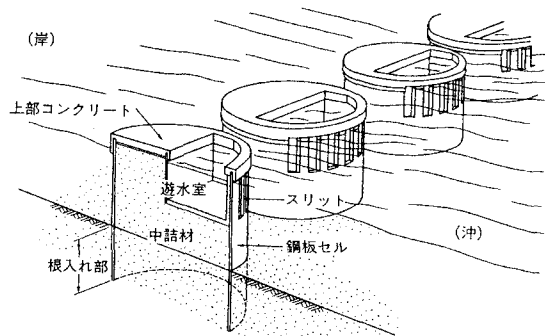


図-9 根入れ鋼板セル型構造物

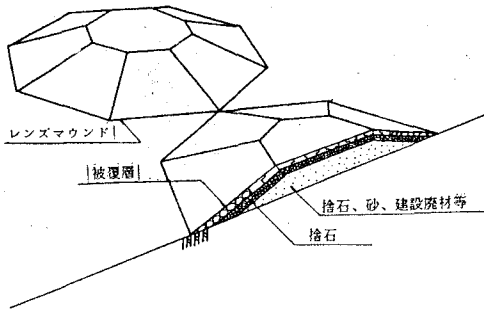


図-10 レンズマウンド

⑪フレキシブルマウンド (図-11)

可撓性の膜内に海水を詰めた潜堤である。膜体が変形することにより発生した放射波と透過波との干渉、および反射によって消波効果を得る。消波効果は天端水深、天端幅に加え、膜内の水圧によっても変えることができる。他の型式はいずれも剛な構造を持つのに対し、これは柔な構造である点が特色である。

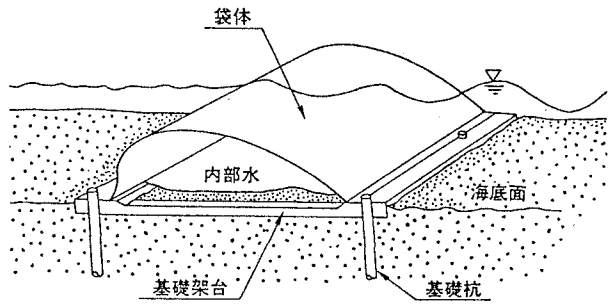


図-11 フレキシブルマウンド

3. 海域制御構造物の機能と特徴

各々の海域制御構造物は形状、構造、消波機構、施工性等の面でそれぞれ特徴を有している。そのため海域制御構造物の選定や実海域への適用に際しては、各構造物の有する特徴、機能を十分に理解しておくことが必要とされる。以下では海域制御構造物の選定時において注意すべき項目について概説する。

3.1 消波効果

海域制御構造物の最も重要な機能は消波効果である。各タイプの構造物の消波特性は、土木研究所資料および共同研究報告書に取りまとめられている^{1)~13)}。消波効果の一例を図-12に示す。これは水平板付スリット型構造物について、2次元水理模型実験によって得られた、透過率 K_T 、反射率 K_R と、構造物の幅 B と設置地点の波長 L の比の関係を示すものである。図中の記号には入射波の波形勾配 (H_i/L) の区別が付けられており、 h_2/h は水深 h と没水深 h_2 の比を表わす。このタイプでは K_T は0.6以下、 K_R は0.4以下になること、すなわち、波の反射率を低く保ったまま透過率をかなり下げられることがわかる。一般に、消波効果の面より消波構造物の選定作業を進めるに際しては、静穏域を確保するのに十分な消波効果が得られ、またできるだけ反射率を下げるが必要とされる。さらに、消波効果は静穏海域の形成のみならず、周辺の高浜流や海水交換、漂砂特性等とも深く関連するので、それらとの関係についても十分考慮する必要がある。

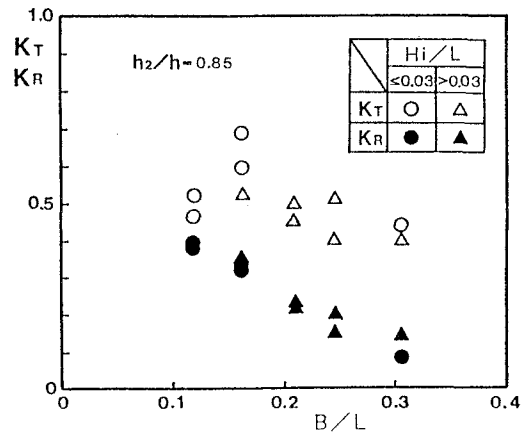


図-12 透過率 K_T 、反射率 K_R の算定図の一例

3.2 構造物周辺の海浜流の特性

海域制御構造物を設置したことにより生ずる海浜流は、海浜の安定性、海水交換、海域の利用など様々な面に影響を及ぼす。例えば、海域制御構造物上で碎波を促進するタイプでは、構造物近くで岸向きの速い海浜流が生じ、それが静穏海域の利用上の障害となったり、あるいは前浜付近の土砂の流出原因となることもありうる。逆に、この流れは海水交換を促進する効果も有している。以上のように、相反する面も含めて種々の検討が必要である。

3.3 構造物周辺の漂砂特性

海域制御構造物は、通常水深20m以浅の海域に設置される。我が国沿岸では海浜地形変化の限界水深は約10m付近にあるから、海域制御構造物は海浜地形変化の限界水深と同程度か、あるいはこれよりわずかに深い水深に設置されることになる。したがって、海域制御構造物は沿岸部の海浜地形にかなり大きな影響を与えることになる。海域制御構造物背後の海浜変形を調べるために行った実験結果の一例を図-13に示す。図の中央にあるのが海域制御構造物であり、構造物群は開口部を設けて設置されている。初期海浜は沿岸方向に一樣な等深線を有している。したがって図より構造物の開口部で洗掘が進むこと、また開口部の岸側の汀線はやや湾入することなどが見てとれる。

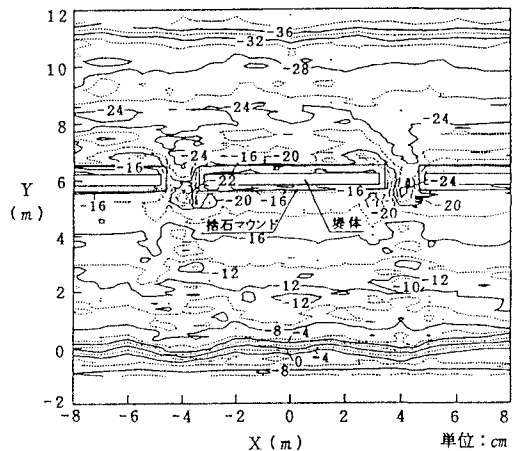


図-13 海域制御構造物周辺の海浜地形変化に関する実験の一例

従来の防波堤の建設などでは、沿岸漂砂を阻止したために下手側海岸で著しく侵食が進んだ例が多く見られる。海域制御構造物も防波堤と同様、その規模が大きいため、周辺海岸での漂砂特性に十分配慮し、漂砂下手側の海岸侵食をひき起こす原因とならぬよう十分配慮すべきである。一方、構造物周辺の洗掘は、構造物の構造型式、消波特性、海底地形や底質条件等と密接に関係している。このことから、選定された型式ごとに洗掘特性を十分に考慮した設計が求められる。

3.4 構造および安定性

海域制御構造物の安定性において、波力は最も重要な外力の1つである。したがって海域制御構造物はできるだけ波力を受けにくい構造とすることが望まれる。そして消波機能が所定の目標を満たす範囲で、作用波力を最小にできるような型式および諸元を選ぶべきである。

海域制御構造物の構造は設置海域の海底地盤条件、異常波浪時の外力条件などから見て合理的かつ経済的に設計されねばならない。例えば、海底地盤の条件から見ると、地盤が比較的軟弱な場合には重力式は適さず、また、N値の非常に大きな地盤や岩礁のような場合には杭打ちが不可能となることから、有脚式構造物の建設は難しい。

3.5 施工性

海域制御構造物は沖合に設置されるので、その施工は海上作業が主となる。そのため、現地海岸の条件によっては施工性の面より構造物の型式が制約される場合もある。その意味から施工法の検討も大切である。例えば、設置海域近隣での資材調達や陸上製作ヤードの条件は構造型式を、また海象条件は海上での施工方法を制約する。

3.6 維持管理

海域制御構造物の維持管理としては、各部材の劣化・ひび割れ等の管理、防食の維持、付着生物の除去等がある。構造物の経済性を総合的に評価するには、初期投資だけでなく維持管理まで含めた検討が必要であり、構造物の耐久性、補修点検の容易さ等も、海域制御構造物の選定に際しての考慮事項となる。また、付着生物に関しては、生物付着による機能変化、作用波力の変化、除去作業の容易さ等を構造物選定の際にあらかじめ考慮しておく必要がある。

3.7 付随効果

ウォーターフロントの空間設計に際しては、海域制御構造物が景観設計上の障害物とならぬよう配慮すべきであり、また、海域の多目的利用の面からは、静穏海域の水質や海域制御構造物の魚礁効果を検討する必要がある。これには海域制御構造物の形状・構造と魚礁効果、エアレーション効果、海水交換性、景観への影響等との関係について検討しておくことが求められる。これらの項目について、対象海岸の特性、MMZ計画の要求事項等と照らし合わせて、各型式の特徴を検討することが望ましい。種々の付随効果と型式との関係を以下に概説する。

①魚礁効果

海域制御構造物は透過性の消波構造物であるため、空隙部は魚類の生育の場となりうる。特に砂泥域においては、構造物が岩礁と同じ役割を果たして海藻や貝類が付着し、それを採餌する岩礁性の魚類がい集することが予想される。また、捨石マウンドを有する型式では、捨石の間隙がエビや貝類の生息の場となる。

②エアレーション効果

波が消波されるときに生じる海面付近の流体の混合は、エアレーション効果を持つ。特に、堤体上で砕波を生じる型式ではこの効果が強い。

③海水交換の促進

海域制御構造物は透過性を前提として開発が進められているので、各型式は元々海水交換性を有している。特に消波時に強い岸向き流れを生じさせる型式では、海水交換を促進させる機能が高い。

④景観への影響

ほとんど型式は低天端の消波構造物であるから、全体的に海域の景観に与える影響は少ないと考えられる。特に、没水構造物ではその影響はほとんどない。また、ブロック積み離岸堤のように沈下や散乱に伴い形状が崩れることがないことも、景観上有利な点といえる。

3.8 海上交通に対する安全性

船舶航行等の安全を確保するには、海域制御構造物が海上で視認できるようにしておく必要がある。そのため、没水タイプの型式ではブイ等による表示が必要となる。したがって、視認性の面からは天端が海面上に出る海域制御構造物の方が有利であろう。

海域制御構造物の機能には、消波機能に加え、水質に関連する海水交換や水質改善の機能もある。また、魚礁効果などの機能が期待される場合もある。実際の設計ではこれらの機能を総合的に検討して、構造物の断面形や配置が決定されることになる。

4. あとがき

総合技術開発プロジェクトにおいては、各年度において得られた研究成果を取りまとめ、土木研究所資料および共同研究報告書として印刷してきた^{1)~13)}。これらの資料は全体で13冊になる。これらの各報告書には各種タイプの構造物の機能性や耐波安定性等に関する実験や計算結果が取りまとめられている。詳細についてはこれらの報告書を参照されたい。また、海域制御構造物の安定性および基礎の設計の詳細はMMZ計画策定の手引き(案)の「構造設計編」に、施工の詳細については「施工編」に、そして維持管理については「維持管理編」にまとめられている。今後実海域でMMZ計画の実現を図る際には、上述の資料とMMZ計画策定の手引き(案)が役立つはずである。

なお、海域制御構造物の開発は委員会に参加いただいた学識経験者、共同研究者である民間企業の関係者など、多くの人々の協力のもとに進められた。ここに記して開発に協力された方々に深甚な謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所河川部海岸研究室(1987): 海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(1), 土木研究所資料, 第2454号, 173p.
- 2) 建設省土木研究所河川部海岸研究室(1987): 海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(2), 土木研究所資料, 第2510号, 137p.
- 3) 建設省土木研究所河川部海岸研究室(1987): 海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(3), -第1グループF.S.調査報告書-, 土木研究所資料, 第2511号, 168p.
- 4) 建設省土木研究所河川部海岸研究室(1988): 海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(4), 土木研究所資料, 第2577号, 232p.
- 5) 建設省土木研究所河川部海岸研究室(1988): 海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(5), -皆生海岸F.S.調査報告書-, 土木研究所資料, 第2609号, 285p.
- 6) 建設省土木研究所河川部海岸研究室・構造橋梁部構造研究室(1988): 海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(6)-波力実験報告書-, 土木研究所資料, 第2658号, 111p.
- 7) 建設省土木研究所河川部海岸研究室(1988): 海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(7), 土木研究所資料, 第2661号, 185p.
- 8) 建設省土木研究所河川部海岸研究室(1989): 海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(8), 土木研究所資料, 第2701号, 217p.
- 9) 建設省土木研究所河川部海岸研究室(1989): 海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(9), 土木研究所資料, 第2788号, 209p.
- 10) 建設省土木研究所河川部海岸研究室(1990): 海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(10), 共同研究報告書, 第37号, 126p.
- 11) 建設省土木研究所河川部海岸研究室(1990): 海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(11), 共同研究報告書, 第46号, 208p.
- 12) 建設省土木研究所河川部海岸研究室(1990): 海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(12), 共同研究報告書, 第48号, 140p.
- 13) 建設省土木研究所河川部海岸研究室・構造橋梁部構造研究室(1991): 海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(13), 共同研究報告書, 第56号, 243p.