

水工学シリーズ 05-B-1

海岸施設の環境保全に果たす役割

独立行政法人港湾空港技術研究所 海洋・水工部 波浪研究室 室長

平石 哲也

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2005 年 8 月

海岸施設の環境保全に果たす役割

Applicability of Coastal Structure for Environment Reservation

平 石 哲 也

Tetsuya HIRAISHI

1. まえがき

地震多発地帯に位置し、回りを海に囲まれた我が国は、古来から台風による高潮・高波や地震に伴う津波災害の被害を受けてきた。高波による沿岸災害を例に挙げると、船舶や沿岸施設の被害は古来から記録に残され、最も有名なものとして、文永 11 年(1274)10 月と弘安 4 年(1281)7 月の 2 度にわたって博多湾に来襲した蒙古の軍船を難破させた「カミカゼ」が挙げられる。江戸時代最大の高波災害としては、文政 11 年(1828)8 月に有明海から対馬海峡を北東に進んだ台風によってもたらされた「子年の大風」が“日本の自然災害”(力武ら,1998)に紹介されている。この台風は、日本付近に来襲した台風としては史上最大のものと言われ、暴風・洪水による被害も含めて、死者 15000 名以上、倒壊家屋 70000 戸以上、船舶破損 3700 隻と伝えられている。当時長崎にいたシーボルトが帰国のために荷物を積んだ船が難破し、積み荷の中から日本地図等の禁制品が見つかり、多くの洋学者が処罰される“シーボルト事件”を起こしたために、シーボルト台風とも呼ばれる。近年では、明治 17 年(1884)9 月に潮岬・東海・山梨・宮城方面へ進んだ台風により、東北地方の水運の基点として計画された野蒜港の突堤が高波によって崩壊し、野蒜築港計画が断念されている(土木学会, 1991)。このように我が国の歴史は高波災害の歴史でもあり、災害そのものが社会の変革と大きな関係を有してきた。言い換えれば、我が国では沿岸災害を防止するために、護岸や堤防などの海岸施設の整備が必須であり、現在の環境も古来からの海岸整備と密接に結びついており、今後の環境保全においても海岸施設の役割を無視することはできない。

第二次大戦後、傷ついた国土は多くの台風に見舞われ、貴重な人命・資産を奪われている。高波による被害が甚大であった昭和以降の被災事例を”日本の自然災害”を引用して表-1 に示す。表中の台風 13 号(1953)は伊勢湾周辺に高潮・高波災害をもたらしたものであり、我が国の海岸工学の発展に強い影響を与えた。この台風災害を契機として、我が国の海岸防護が強く叫ばれ、昭和 31 年(1956)に“海岸法”が制定されている。この法律は、平成 11 年(1999)に改訂され、調和の取れた海岸管理を目指す枠組みとして新しい海岸法となっている。海岸法で規定される「築造の基準」として、昭和 33 年(1958)には、海岸保全施設築造基準が発行され、その当時までに蓄積された研究成果が設計に反映されるようになった。昭和 40 年代から 50 年代にかけて上記の海岸保全施設築造基準を基に、海岸防護を目的に各地に海岸施設が建設された。河川改修や港湾建設に伴う海岸浸食の進行も顕在化していたので、海岸施設は「防護」を目的として緊急に進められ、全国の海岸が直立のコンクリート製堤防や護岸で覆われるようになった。コンクリート製の護岸ではウミガメやカブトガニなどの産卵場所が失われるとともに、海岸植生も希薄となり生態系に大きな影響を及ぼすようになったことは事実である。

その後、海岸保全施設築造基準は 2 回の改訂を経て、新しい海岸法に対応するものとしてとして、平成 16 年(2004)3 月に「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」(海岸保全施設技術研究会, 2004)が刊行された。この間の大きな変化は、海岸を防護施設としてのみ考えることから、様々な利用に供される空間として、「防護」だけでなく、「防護」・「環境」・「利用」を目的とする総合的な空間として形成しようとする考え方に移ったことである。海岸防護の手法も、堤防や護岸のみに頼る線的な防護方式から、堤防や護岸だけでなく沖合

表－1 近年の高波災害をもたらした台風（力武ら(1998)に加筆）

台 風 名	年 月	被災要因	主な被災地域	死者・行方 不明(名)	全 壊 家 屋 (戸)	沈 没 船 舶 (隻)
室戸台風	昭 和 9 年 (1934)9 月	高潮, 高波, 洪水, 強風	四国・中国・阪 神	3036	387771	14421
周防灘台風	昭 和 17 年 (1942)8 月	高潮, 高波	九州北部, 中 国, 四国	1158	33283	3936
枕崎台風	昭 和 20 年 (1945)9 月	高波, 高潮, 洪水, 土石流	九州, 中国, 四 国	3756	88037	不明
キティ台風	昭 和 24 年 (1949)8 月	高潮, 高波	関東	160	3712	4041
ジェーン 台風	昭 和 25 年 (1950)9 月	高潮, 高波	四国, 近畿, 北 陸	539	26062	1216
ルース台風	昭 和 26 年 (1951)10 月	高潮, 高波	九州, 中国	943	24705	4481
台風 1 3 号	昭 和 28 年 (1953)9 月	高潮, 高波, 豪雨	近畿, 東海, 北 陸	478	86393*	5582
洞爺丸台風	昭 和 29 年 (1954) 9 月	高波, 強風	北海道	1761	8396	1725
伊勢湾台風	昭 和 34 年 (1959)9 月	高潮, 高波	中国, 四国, 近 畿, 中部, 関東	5098	36135	2431
第二室戸 台風	昭 和 36 年 (1961)9 月	強風, 高潮, 高波	四国, 近畿	202	14681	3858
台風 1 7 号	昭 和 51 年 (1976)9 月	高波, 豪雨	九州, 四国, 東 海	167	1466	不明
台風 1 9 号	平 成 3 年 (1991)9 月	高波, 強風	九州, 中国, 東 北, 北陸	62	170447*	930
台風 1 8 号	平 成 11 年 (1999)9 月	高潮, 高波	九州, 中国	29	89369*	不明

*半壊家屋を含む。

の離岸堤・リーフおよび養浜を用い複数の施設で波の力を減少させる面的防護方式に変わりつつある。

一方、台風 13 号災害を契機としてはじまった研究者の動きとしては、昭和 30 年(1955)の土木学会海岸工学委員会の設立が挙げられる。海岸工学委員会では、海岸工学の理論、実測結果を活用して減災を図るために技術基準の指針として、米国のマニュアルや水理公式集（現版、土木学会、1999）を参考にして、「海岸保全施設設計便覧」を昭和 32 年(1957)に発行している。この便覧は昭和 44 年(1969)の改訂を経て、平成 12 年に全面的に書き直しが行われ「海岸施設設計便覧」（土木学会、2000）として、研究者・実務者の技術力の向上に広く活用されている。海岸工学委員会の設立に先立って、昭和 29 年(1954)に第 1 回海岸工学講演会が開催された(Horikawa, 1996)。その後、毎年定期的に講演会は開催されており、平成 16 年(2004)には 290 編の研究発表が第 51 回海岸工学講演会で発表されるに至った。このように、我が国の港湾及び海岸に関する研究は、昭和 20 年代の後半から本格的に始まり、約半世紀の成長期間を経て、21 世紀の新しい枠組みが形成されつつある。海岸を“利用”する空間として考え、防護に加えて、利用と環境を考慮して総合的な管理を図るべきとする考え方は、研究者の間では当初から存在し、昭和 60 年(1985)には沿岸域学会が活動をはじめ、行政部局へ総合管理の必要性を提案している。

本報告では、「環境」と「利用」にも配慮した新しい海岸施設建設への取り組みを紹介するとともに、その中で海岸工学分野の研究成果がどのように取り入れられているのかを議論する。なお、“環境”という言葉の中には多くの意味が含まれ、狭い意味では生物が暮らす自然環境の維持を指す場合が多い。しかし我が国で

は古来から住民の安全を守るために海岸施設の整備が続けられており、我々が目にする環境の多くは、人工的な構造物の影響を受けた環境であることが多い。そこで、本報告では、海岸施設で構成された空間も環境と考え、利用する人に“心地よさ”（人にやさしい港湾のための技術検討会，1992）を与えるような試みも紹介した。

2. 海岸施設の機能

海浜を浸食から防護したり、背後の人家や施設を越波や浸水から防護するために建設される施設を海岸施設という。代表的な海岸施設の機能を文献（海岸保全施設技術研究会，2004）に従って示す。

（1） 海岸堤防

海岸背後にある人命・資産を高潮、津波、高波から防護し、陸域の浸食を防ぐ施設で、所定の機能が発揮されるように、天端高、天端幅、法勾配や配置が設計される。形式としては、地盤から直接、直立壁が立ち上がっている直立型が大部分を占めているが、海浜へのアクセスや景観に配慮した緩傾斜型が、近年多く建設されている。図-1 に堤防の形式を示す。

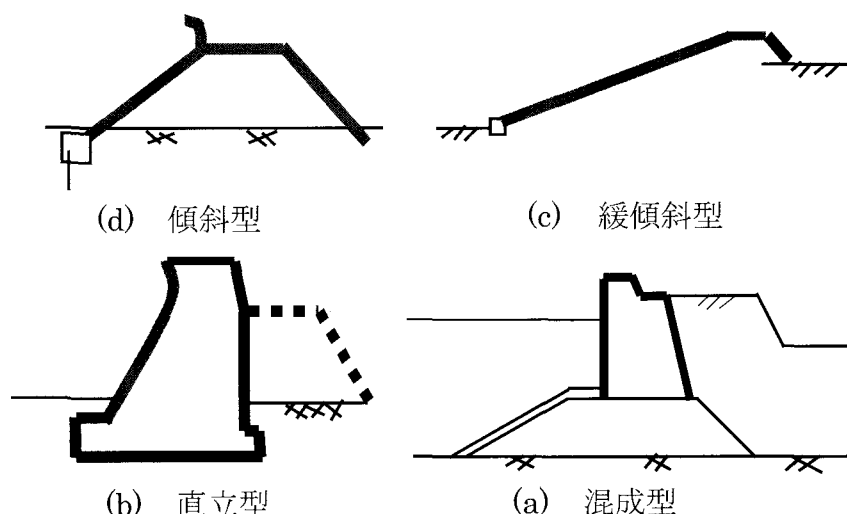


図-1 堤防の形式

堤防の構造形式や構造諸元の決定に当たり考慮すべき条件として波浪・潮位・地盤・地震などの自然条件に加えて、生物、周辺の生態系、周辺環境を損なわないように海岸の環境条件が基準中にも明記されている。さらに、海岸の利用を促進し、堤防自体の親水性を向上させるために、堤防上の散策路、展望台、魚釣り場への開放も推奨されている。

（2） 護岸

堤防と同様に背後の人命や住宅を浸水や越波から防護することを目的として建設される。堤防が原地盤を嵩上げて建設されるのに対し、護岸は原地盤の嵩上げを伴わない。図-2 に護岸形式を示す。この中で比較的景観に有利とされる緩傾斜護岸は、前浜の幅を狭くする恐れがあるので、基準内で、十分広い前浜がある場合、海底勾配が緩やかである場合、沖側に離岸堤や消波堤が完成しており、海岸浸食が防止されている場合などに用いることとして注意を喚起している。

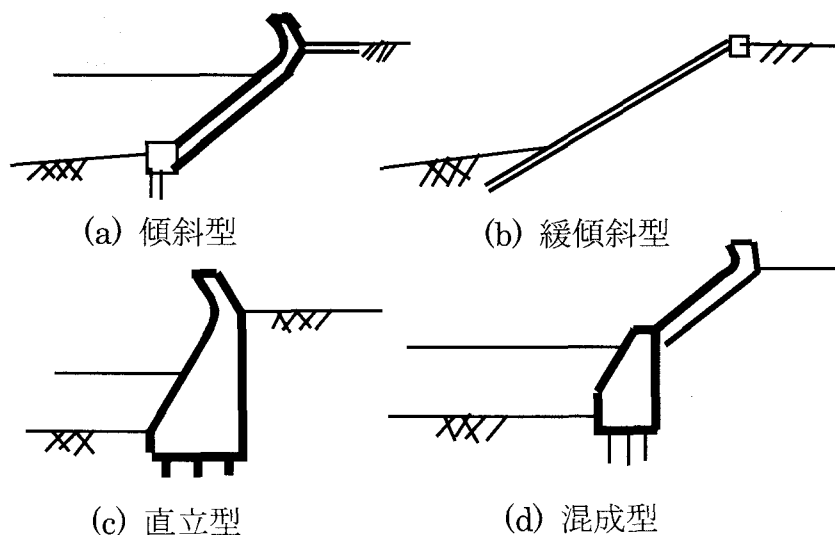


図-2 護岸の形式

(3) 突堤・ヘッドランド

突堤は、海岸浸食の防止、軽減および海浜の安定化を図ることを目的として設置され、陸上から沖方向に細長く突出するものが一般的である。沿岸方向の漂砂移動（沿岸漂砂）が卓越する海岸においては、図-3に示すように、沿岸漂砂を制御し、汀線を維持したり、回復させる機能を有している。通常、複数の突堤を適当な間隔で配置した突堤群として機能させる場合が多い。突堤によって沿岸漂砂が過度に減少されると下手側で汀線の後退が生じる可能性があるため、突堤間で最も汀線が後退すると予想される箇所において、海岸の利用や環境保全に必要な砂浜幅を確保できるような設計をする。

突堤の設計にあたっては、堤長、天端高、配置間隔を決めることが重要で、汀線変化モデル等の海浜地形変化の予測計算を行って目標とする海浜形状や必要な砂浜幅が確保できることを検証した後に建設計画を策定する。

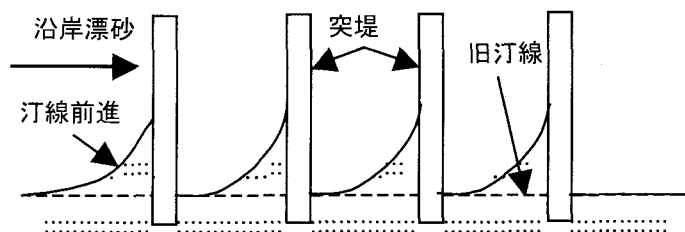


図-3 突堤の機能

複数の突堤間では、漂砂の移動量と移動方向、波向き、突堤形状と配置間隔などによって長期的に安定した汀線が形成される可能性がある。自然海岸でも2つの浸食を受けない岩礁や岬の間で安定した弓状の汀線が形成されている場合が多い。これをポケットビーチと言う。突堤の代わりに人工の岩礁上のものを複数基海岸に配置して汀線変化を制御しようとする施設がヘッドランドである。Hsu et al. (2004)は、ヘッドランドの配置と汀線形状の相関を予測できるモデルを提案し、シンガポールやオーストラリアでのヘッドランド設

置に寄与してきた。我が国では、突堤群や離岸堤と組み合わせて用い、海岸の形状に変化を持たせて、景観や海浜利用に配慮する場合が多い。図-4 にヘッドランドと汀線形状の関係を示す。

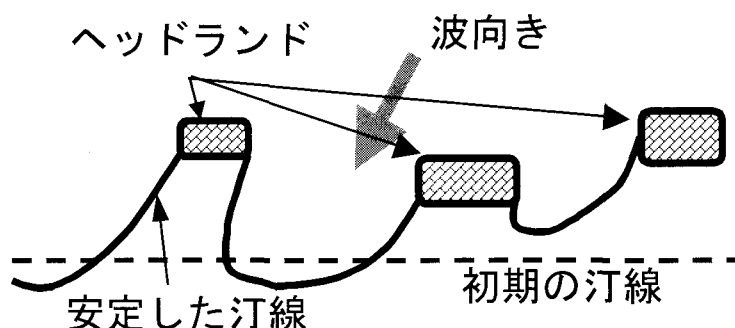


図-4 ヘッドランドと汀線の形状

(4) 離岸堤・潜堤

離岸堤は、汀線より沖側に設置される天端高が海面よりも高い施設である。離岸堤は消波することにより越波を減少させる機能、漂砂を制御することにより汀線を維持もしくは回復させる機能を有する。図-5 に離岸堤の配置と周辺の汀線変化の模式を示す。離岸堤を設置すると回折波によって離岸堤背後に向かう沿岸方向の流れが生じる。離岸堤背後では他の水域より静穏域になっており、浮遊した底質の一部が沈降し、離岸堤背後の汀線が前進し、トンボロが形成される。離岸堤背後の循環流の発達により、沿岸流が生じにくくなるため、沿岸漂砂量を小さくできるものの、離岸堤の下手側で海岸浸食が発生する可能性がある。また、前浜が完全に浸食された海岸や漂砂源が枯渇した海岸では離岸堤を設置しても前浜の復元は困難である。また、連続して離岸堤を設置した場合には、離岸堤間で離岸流が発生し、周辺の生態系に影響を与えるので、離岸堤の配置計画策定に当たっては、周辺の環境影響を十分考慮しなければならない。通常、離岸堤は消波ブロック等を海底に積み上げて設置し、設置水深は5m未満の比較的小さい水深が多い。ブロック形状を工夫すると不透過性となり、波高減衰を強く期待できるので、護岸前面で消波施設として使われる場合も多い。

潜堤は離岸堤と同様に海岸背後にある人命や資産を高潮、高波から防護し、海浜の安定化を図る汀線より沖合に作られる施設で、天端高は海面よりも低い。天端幅が20mよりも広がると人工リーフとも呼ばれる。離岸堤と異なり、海面から見えないので景観を損なわない利点があるが、潮位変化の大きい海域では、高潮位時に波浪減衰効果が小さくなる。また、漁船やレジャーボートの通行時に危険を与えない位置に設置したり標識ブイで位置を明示する必要がある。

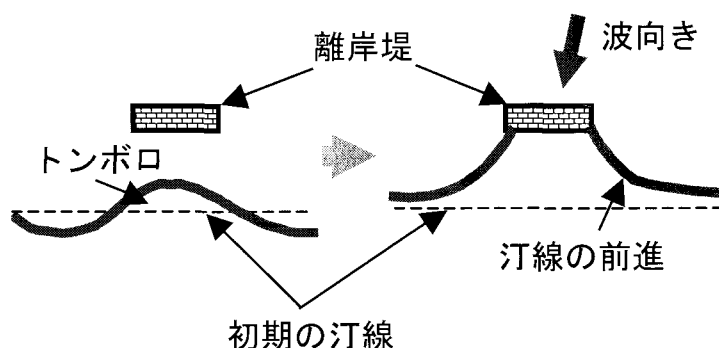


図-5 トンボロの形成模式

(5) その他

以上の海岸施設を単独に用いて海岸を防護する手法に対して、複数の海岸施設を組み合わせ、海岸線から陸域の防護ラインまで複数の施設を組み合わせ、背後の浸水を抑止する手法を面的防護工法と呼ぶ。面的防護工法では、単独の施設の天端高を低くして、景観に配慮することが可能であり、一つの施設が破壊されても、他の施設が防護効果を有するため、ねばり強い防護が可能になる。図-6 に面的防護を施した海岸の模式図を示す。面的防護方式では、いくつかの施設を組み合わせ、二重、三重の防護方式を採用しているために一つの防護施設の破壊が背後地の大災害につながらないという利点を有している。また、離岸堤や潜堤背後では静穏な海域が確保できるとともに砂浜が形成されると、海水浴やマリンレジャーのために海岸を高度に利用できる。また、できるだけ砂浜（養浜）を含む面的防護が推奨され、砂浜によって波の消波機能が発揮されると防護に大きな役割を果たす。さらに、砂浜は海水保全機能や生態系保全機能を有しているので、環境保全に大きな粋割りを果たす。

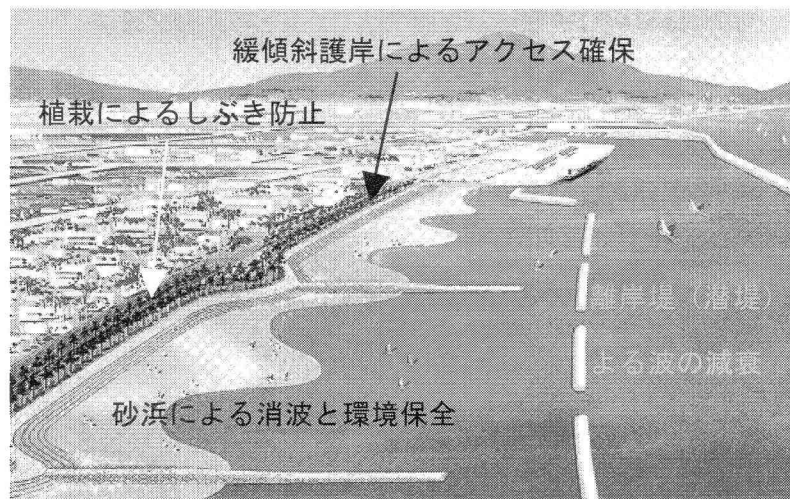


図-6 面的防護方式の模式（旧運輸省港湾局資料、ふるさと海岸パンフレットより）

3. 海岸施設による環境保全と修復

海岸施設が環境保全に果たす役割を考えると、大きく分けると次の三つの役割が考えられる；

- (1) 防護を目的として建設されてきた施設によって失われつつある環境を保全する。
- (2) 防護も目的としつつ、海岸の景観や水質を従来よりも向上させ、環境を促進する。
- (3) 新しい技術の利用で、新たな環境を創造する。

突堤や離岸堤による海岸浸食や面的防護工法の中での養浜は、(1)のカテゴリーに含まれ、清野ら(2004)による「自然共生型海岸づくり」プロセスの中で、具体的な目標づくりが示されている。そこでは海岸の生態系を示す指標となる希少生物種を抽出し、それらの環境指標生物に配慮して施設の調査計画・設計・施工・維持管理を図るべきことが述べられている。本章では、環境指標生物の一つであるアカウミガメを例にして海岸施設の生態系への役割を示す。また、景観を取り戻す試行例を示す。(2) 環境促進 と (3) 環境創造 は次章で述べる。

(1) 生態系に配慮した海岸修復

宮崎県一ツ葉海岸は、1986 年頃から浸食対策の離岸堤建設が進み、砂浜の拡大には成功しているものの、

アカウミガメ上陸数は減少している。この原因として、渡辺ら(2000)は、離岸堤設置によって沿岸流が分断され、離岸堤開口部に離岸流が発生するのでウミガメが離岸堤背後の海浜に接近できないこと、開口部背後の海浜で勾配が急になるのでウミガメの上陸が困難になっていることを挙げている。図-7 に離岸堤群背後の海浜流の模式を示す。徳島県蒲生田海岸においても、渡辺ら(2001)は離岸堤間の離岸流発生がウミガメの海浜への接近を阻害していることを示している。

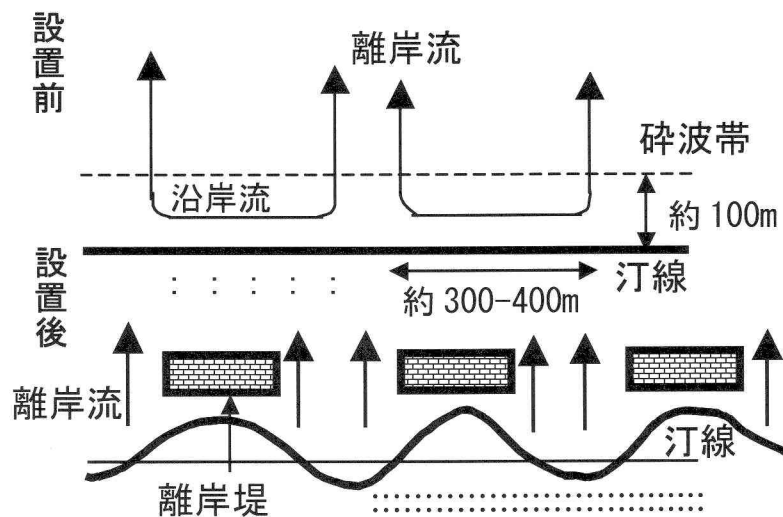


図-7 離岸堤群周辺での海浜流の模式 (渡辺ら(2000)による)

逆に、施設の適正配置により、砂浜の前進が顕著に進み、ウミガメの上陸が促進されている海岸も見られる。高知県春野海岸では、突堤群により海岸浸食を防止するとともに、前浜の堆積を促進している。海岸の上手側に仁淀川という漂砂供給源を有しており、現在は写真-1 に示すように先端をヘッドランド上に太くした大突堤群の間では、幅広い砂浜が形成されている様子が伺われる。地元では、ウミガメ条例を作成して、産卵期の車両通行規制や海浜への立ち入り制限、花火の禁止などの協力を呼びかけウミガメ保護を進めている。なお、春野海岸での汀線変化は季節的な変動も大きく、常に安定した汀線が保持されているわけではない。大富ら(2001)はウミガメの上陸地点には十分は砂浜幅が必要で、護岸や堤防の法先が満潮汀線より 30m 以上離れていないとウミガメは上陸後“戻り”行動をとることを指摘しており、ウミガメの産卵場所保全には十分な海浜幅を確保する必要がある。また、養浜の場合には、1m 以上の被覆厚さが必要である。



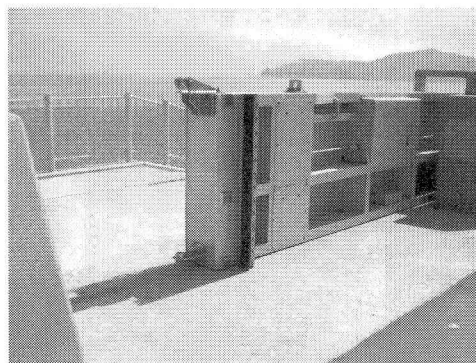
(a) 突堤群による海浜防護



(b) 堤防上のウミガメ保護広報

写真-1 砂浜回復によりウミガメが回帰した海岸 (2005.4)

複合的な海岸施設配置によって、砂浜の浸食を防ぎ、汀線前進を促進するためには、ある程度沿岸漂砂が存在し、突堤の上手側や離岸堤背後で汀線前進が起こる必要がある。浦戸湾を挟んで春野海岸の反対側に位置する物部川河口部においては、写真-2のように、離岸堤背後だけでなく前面にも砂がついて、離岸堤が砂浜中に取り残された海岸もあり、施設配置を適正に行えば、離岸堤の設置が汀線前進をより促進し、海浜幅の拡充につながる可能性がある。また砂浜により波の打ち上げ高が小さくなり、防潮ゲートを常時開放できる。沿岸漂砂の移動は、幅広い領域で生じているため、ウミガメ保護に役立つような幅広い海浜を保全するためには、局所的な汀線変化予測だけでは不十分で広域の漂砂移動を考慮した広範囲の予測が重要である。



(a) 離岸堤周辺の海浜状況（物部側右岸）

(b) 海浜アクセス用のゲート（春野町）

写真-2 離岸堤の沖側にも海浜が堆積している海岸の様子（2005.4 撮影）

（2）景観に配慮した海岸修復

我が国の海浜は古来から白砂青砂として謳われるほど、優れた景観美を有している。海岸の景観を保ち、生態系だけでなく人間にも親しまれる空間を維持することも環境の保全に含まれる。海岸景観の代表として京都府天橋立海岸を例にあげる。天橋立海岸は、江戸時代には雪舟の墨絵で有名な直線上の砂州海岸であった。写真-3 にかつての天橋立の様子を示す。

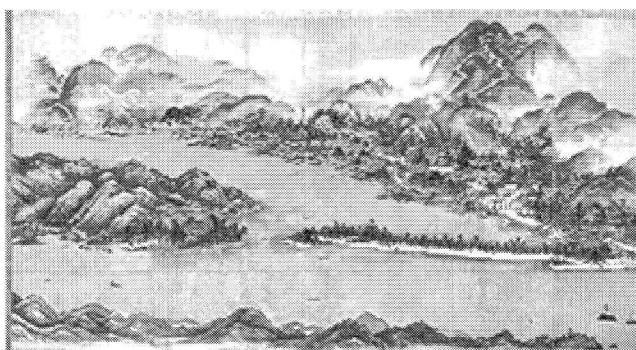


写真-3 雪舟が描いた天橋立（京都国立博物館ホームページ、
<http://www.202.223.183.4/jp/syuzou/meihin/suibokuga/itemol.html>）

天橋立海岸を湾奥に有する宮津湾では、砂州が形成できるほど沿岸漂砂が存在していたと考えられるが、漂砂供給源である河川からの土砂流出の減少、上手側における港湾建設によって1970年代から砂州の形成が妨げられ、侵食を防止するために天橋立海岸および上手側海岸において長さ10～15mの突堤が50m間隔で合計100基建設された。さらに長さ30mの突堤を170～200m間隔で設置する侵食対策が行われた。しかし、漂砂の供給は不足していたので、1988年より港湾浚渫土砂等を天橋立海岸上手側に強制的に補給するサンド

バイパス工法が実施されている（陳ら，1993）。天橋立海岸における供給土砂量は年間 4000m^3 である。突堤群とサンドバイパス事業により海岸の侵食は防止され、安定した海浜が保たれているが、その形状は写真-4に示すように大突堤が櫛上に砂浜より突き出て、上手側にだけ砂が堆積した形状で、かつての直線上の美しい景観は見られない。

不連続な汀線形状は、景観の面でも問題があり、また砂浜の利用形態にも制限を与えている。そこで、突堤の下手側にも砂の堆積を促進し、突堤の上手側と下手側で連続した海浜形状を形成し、櫛形状の不連続な汀線形状を改良しようとする試みが、1991年より京都府の手で進められている。図-8に櫛形海岸の改良イメージを示す。この事業は、大突堤の先端に小型の潜堤を設け、潜堤上における波向や波高の変化を利用して砂を堆積させようとするものである。試験的な2, 3の潜堤の施工の結果、大突堤の先端を中心とした扇形状の潜堤を設置すると潜堤背後の堆砂が生じ、突堤の下手側でも汀線が前進することが判った。このメカニズムとしては、潜堤上の屈折による波向変化に加えて、潜堤上で波高が低減され、そのレベルが砂の表層及び完全移動限界の中間に相当する波高レベル以下になると、浮遊している砂粒子が潜堤背後に留まることが示されている（平石，1998）。また、波高レベルに対して必要となる最適潜堤幅が計算されており、図-9に最適となる“扇形”や“改良型”潜堤の平面図を示す。なお、天橋立では年間1基程度扇形潜堤の建設が進められており、建設後の追跡調査が続けられている。

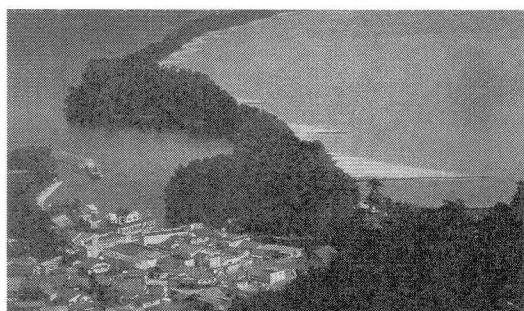


写真-4 天橋立海岸の櫛形地形

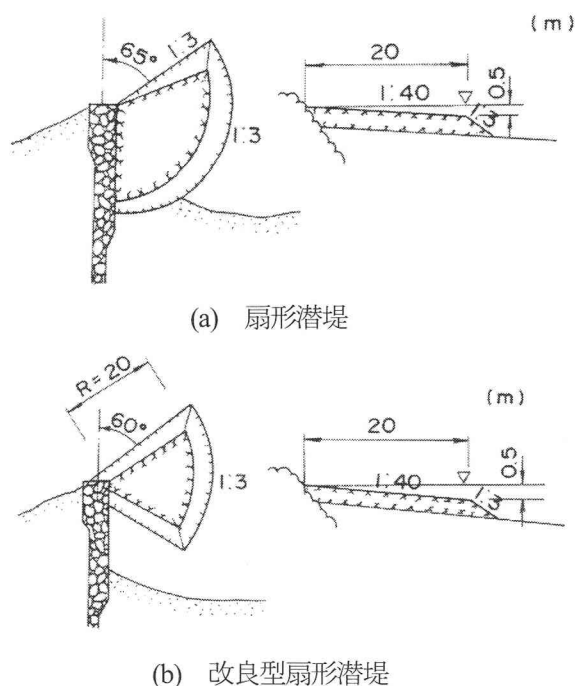


図-9 天橋立海岸改良に用いる潜堤平面図

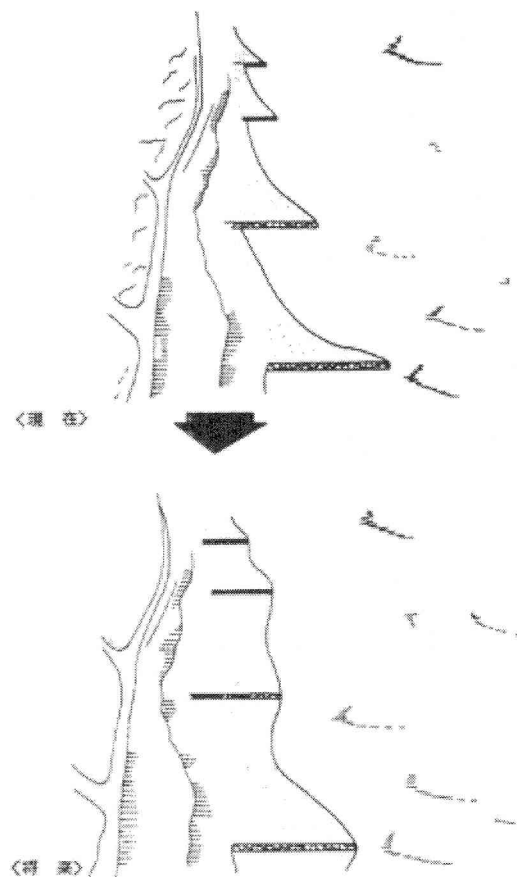


図-8 櫛形海岸の改良イメージ

潜堤による屈折効果による波向の変化を応用して、波のエネルギーを1個所に集めると、これまで碎波するような波が生じなかった海岸においても、大きな波高を作り出すことができ、人工的なサーフィンエリアや波力発電エリアが確保できる。図-10に潜堤による強制的な碎波や、他の海岸施設による地形変化を活用したサーフスポットの整備イメージを示す。河口付近はデルタ状の海底地形が存在し、本来、波が集中して碎波が起こりやすくなっている。防波堤や突堤を組み合わせることによって、より碎波を促進できる海底地形をつくるとともに、海浜の波に多様性を持たせて、異なる技術を有するサーファーが、それぞれ適切な波を選べる利用度の高い海域を形成することも可能となる。潜堤による屈折効果を幅広い範囲で連続的に生じさせると海岸に侵入する波向きを変化できるので、海岸線の形状を景観や利用に配慮した形に変更していくことも可能である。三角形の潜堤を連続的に配置していく手法を“フレネル潜堤工法”という（鈴木ら、1995）。

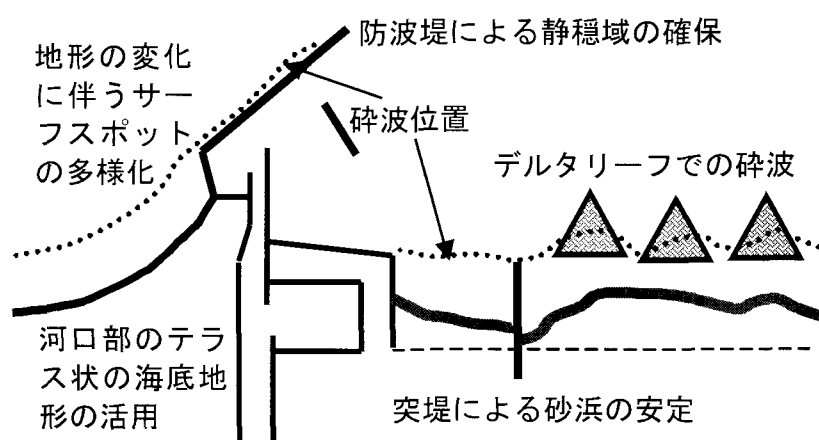


図-10 海岸施設とサーフスポットの関係（中野ら(1993)、石川ら(1997)、渡辺ら(1999)を参考に作成）

（3）法律による環境修復

海岸の汀線や植生の修復において最も有効な手段の一つは海岸施設の建設を法律によって規制することである。海外の主要国では、その自然条件や海岸域の利用を反映して、以前から海岸の環境保全等を目的として海岸管理がなされている。成瀬ら(2000)は、統一的な視点から海岸管理に関する情報を収集し、我が国制度との比較を通じて、将来の海岸管理に関する提言を示した。表-2は、成瀬ら(2000)から引用した各国の海岸管理の実態である。結論として、我が国の海岸管理においては、海岸を取り巻く環境の多様性と特殊性に配慮した独自の総合的な海岸管理の確立が重要であると述べられている。欧米における海岸管理の実例としてスペイン国の例をやや詳細に示す。なお、以下の記述は、カディス大学沿岸計画教室のマシアス教授(Prof. A. Macias)から個人的に講義を受けた内容に基づいている（平石、2005a）。

スペインでの“海岸”法の目的は、“沿岸域の環境保護と公共の使用を保障する”ことである。

“海岸”法の運用にあたり、1988年に海岸法（Coast Act）は制定され、すべての“海岸”（DPMT）が環境省の下で管理されている。DPMTはスペイン語の略語で、大陸棚を含む沿岸域を意味している。ここで、“海岸”（DPMT）の定義は、潮汐によって影響を受ける塩沼池や湿原、砂浜やれき浜からなる海浜、海底も含む領海、排他的経済水域（EEZ）、海崖、島などを示している。

DPMTで自由に行える活動は、散策、水泳、釣り、キャンプなどであり、仮設構造物を設置するときは許可が必要である。許可を取ればDPMTで行える活動は、港湾や取水施設等の公共構造物の建設である。DPMT

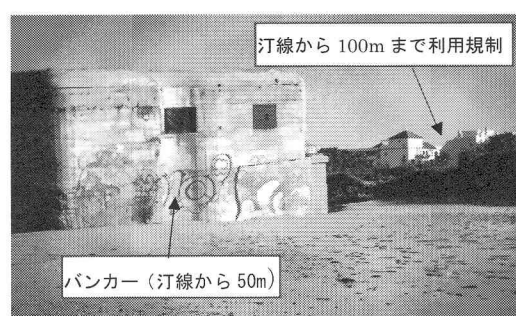
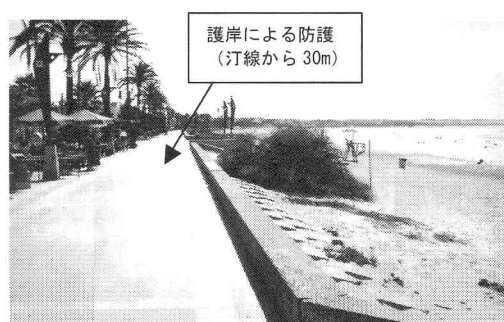
内では禁止される活動は、家屋やホテル等の居住に供する構造物の建設である。DPMT の背後は保護地域となっており、以下のような規制がなされている；

- ・ DPMT から 20m～100m, 環境保護で特に必要な場合は 200m までの範囲についての活動は DPMT 内と同様に規制される。
- ・ DPMT から 6～20m の範囲には柵などの通行を妨げるものを置いてはいけない。
- ・ アクセス道路は DPMT から 500m までしか作ってはいけない。
- ・ 歩行者用通路は DPMT から 200m までしか作ってはいけない。

なお、上記のような規制は法律制定後は適用されているが、古い施設や漁業活動については適用されていない場合もあり、30 年期限で返還を要請する等の対応を図っている。写真-5 は、海岸法施行以前に整備された海岸と施工後の海岸の比較で、施工以前に整備された海岸は、防護施設は汀線から数 10m に位置しており、リゾート家屋が海岸に近接して建てられている。施工後の海岸整備では、防護ラインを汀線から数百 m 離しており、海岸線は自然海浜として残されている。なお、海岸法施行以前の海岸線でも海岸植生保護のため、渡り回廊などで砂浜に人間がアクセスできないような仕組みが取られている。

表-2 各国の海岸法の概要 (成瀬ら(2000)に加筆)

国名	沿岸域人口密度(人/m ²)	海岸整備の理念	海岸関係組織	整備手法の特性	資金負担
米国	60	防護とレクリエーション事業の拡大	陸軍, 州, 民間	養浜	連邦, 州, 民間
オーストラリア	2	海岸国策, 資源の活用・保全	地方政府主体	各州で検討	補助費無し
ニュージーランド	13	自然と固有文化保護	地方政府等が主体	自然保護中心	原因者負担
フランス	西海岸116 南海岸27	海岸生物等に配慮して経済活動を実施	交通設備省, 地方自治体等	ハードとソフトの両面整備	受益者負担
スペイン	西海岸100 南海岸140	海岸公共物の保全から自然保護へ	環境省海岸局	養浜, 土地利用転換	国が主体
イギリス	171	持続可能な防護	国, 地方自治体	養浜, 構造物	国の補助
オランダ	544	1990海岸線維持	国, 地方自治体	動的海岸防護	国
日本	326	防護, 環境, 利用	国, 地方自治体	海岸施設主体	国, 地方自治体



(a) 海岸法施行前の整備海岸

(b) 海岸法施行後の海岸整備

写真-5 スペインでの海岸法の成果（西海岸カディス近郊, 2004.10）

4. 海岸施設による環境の創造

ここでは、海岸施設の機能のなかで、(2)環境促進、および (3)新しい環境 の創造を取り上げる。

(1) 高潮防護施設による景観と水質の改善

海岸施設の本来の役割は背後施設の防護であり、背後に家屋が密集している区域では、高潮や高波の脅威を低減させる機能を有しなければならない。神奈川県横須賀市馬堀海岸では、1995 および 1996 年に引き続いて高潮・高波により、護岸背後に広がる住宅地 700ha が浸水し、8000 人の市民が直接的な被害を受けた。また、護岸背後の国道が越波により冠水し、交通機能が長期間麻痺した。高潮・高波による被害増大の要因として、北東からの強風が数時間吹き続けたため、護岸前面で有義波高 3.51m の高波が来襲したこと、馬堀海岸の護岸前面の海底地形が急深となっており波が減衰せずに護岸に打ち付けたことが上げられている（国土交通省関東地方整備局京浜港湾事務所）。

馬堀海岸では、市街地の高潮・高波による浸水を防ぎ、安全性と安らぎを創出する多機能な護岸を目指すために国の直轄事業として 2000 年から新しい護岸整備事業が開始された。従来の直立護岸の場合には、住宅地における許容越波流量を満足するためには、護岸天端の嵩上げが必要になり、景観を著しく損なうとともに、線的防護となり安全性の向上が図れないことから、新しい護岸構造では、従来の護岸の先に約 20m の平坦部を作ることにより波の力を弱める構造が採用された。さらに、平常時には親水施設として市民が利用できるアメニティが機能の高い護岸を目指すものとした。

図-11 に馬堀海岸護岸の標準的な断面図を示す。護岸構造の特徴は、前面と背後に空隙を設けた両面スリット堤と透水性の高い礫層を組み合わせた面的防護方式を採用していることで、基本的に環境に優しい材料・割石を階段状に積み上げて高波を徐々に減衰させ、石積み堤を越えた水は堤内を通り海に排水される。礫層の表面は平坦な石で覆うことにより散策のできる通路となっており、平常時には、水際へ安全にアクセスできる海岸空間を作りだしている。馬堀海岸また、海生生物が好む石造りの平坦部を設けることで、エビ・カイ・藻類の群生を促すことが期待されている。また、石積みの透水層は、以前から礫間接触工法として水質改善に効果があることが確認されており（日本沿岸域学会 2004）、護岸周辺での水質改善や生物層の多様化に繋がるものと期待できる。写真-6 に、一部が完成した馬堀海岸護岸の状況を示す。護岸改良以外にも、養浜海岸の一部を人工の礫浜として整備することにより多様な生物環境を維持できる（井上ら、1998）。

なお、礫層を港内に積極的に活用すると水質改善だけでなく、うねりや長周期波の港内での反射を抑制し、港内や湾での擾乱を抑えることが可能である。その効果は新たな防波堤や波除堤を建設することと同等な場合があり、沖合いでの大規模な構造物を建設することなく、港湾の船舶の荷下ろしの効率化を図ることができる。図-12 は、港内での消波を目的とした長周期波対策護岸の最適構造を模式的に示した図である（平石、2005b）。

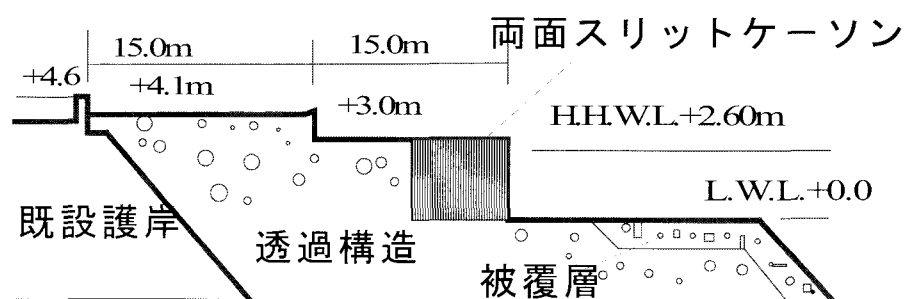


図-11 馬堀海岸護岸の標準断面



(a) 親水空間として開放された護岸



(b) 施工途中の護岸石積み部

写真-6 馬堀海岸護岸の状況 (2005.5 撮影)

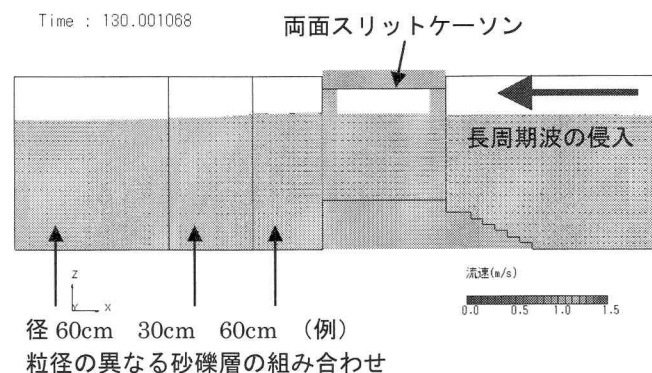


図-12 長周期波対策護岸模式図

(2) 沖合人口島による環境保全

国土が狭隘な我が国では、空港や産業基地などの広大な面積を必要とする施設は、騒音などの問題もあり沖合の人工島上に設置される場合が多い。特に、近年は中部空港、関西空港2期島、新北九州空港、羽田空港D滑走路など各地で新しい人工島建設が進んでいる。緩傾斜護岸を有する人工島は、沖合の海域生物の生育環境を創出することが可能で、新しい環境創造を目指しているとも考えられるが、設置海域全体の環境の種類を変化させるわけではないので、環境保全効果を目指すものとして位置づける。例として関西空港2期島を取り上げる。

関西空港では、すでに1期空港島緩傾斜護岸においてモニタリング調査が実施され、カジメ・ホンダワラ・ツノマタ等の海藻が群生していることが確認された。2期空港島でもその大部分を緩傾斜石積み護岸とし、海藻が着生しやすいように表面に溝をきった波消しブロックを設置して、積極的に海藻付着環境の向上が図られている。さらに藻礁ブロックや成熟葉を入れたネット袋を護岸の平坦な子団段部分に設置して早期の藻場造成を目指している(関西国際空港株式会社ら、2005)。現在は、藻場の状態を観察できるグラスボートによる一般向けのツアーも定期的の実施されており、環境の保全効果を簡単にモニタリングできる。図-13に海藻類着生用ブロック等の配置図を示す。2004年度のモニタリング調査では、1期および2期島周辺で53haの藻場(海藻被度5%以上)が確認されている。なお、空港島護岸に小段を設けることは波高減衰にも効果があり、護岸越波流量を減少させ空港島の防護にもつながり、沖合だけでなく陸上部からの空港延長工事においても積極的に採用されている(平石ら、2001)。

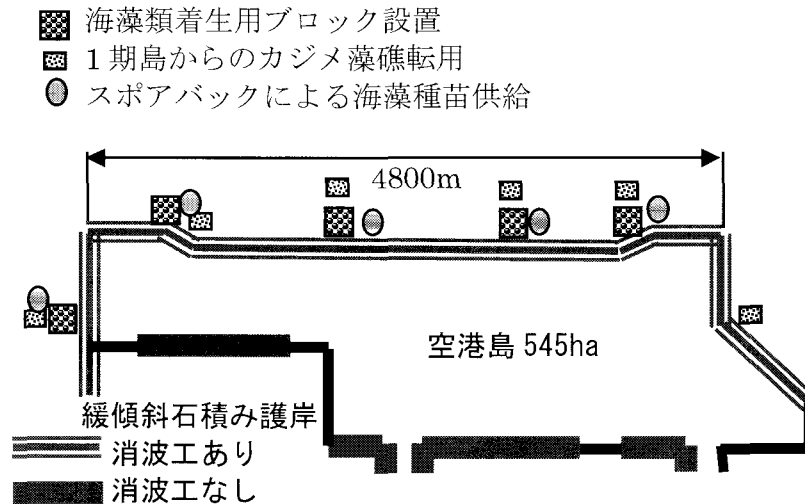


図-13 関西空港2期島平面と海藻着生用ブロックの配置（関西空港株式会社ら(2005)を参照）

空港島周辺海域の魚群群集への影響については環境監視データの解析が行われている。小出水ら(2003)は、人間活動が魚群に与える影響評価指数として IBI（生物保全指数）を用い、環境評価を行った。IBI の計算は対象魚類の地域性、生態特性に応じて群集の多様性、環境指標種の有無、個体生産性等について評価項目を 10 個程度定め、各評価項目毎に 5, 3, 1 の得点をつける。基本的には個体数が多い場合などに 5 点を付け、それらの合計点が IBI となる。小出水による関西空港島周辺での環境調査データを解析し、IBI を経年で求めた結果を図-14 に示す。IBI の経年変動は、1 期工事の埋め立て～運用期半ばに半減し、それ以降は増加している。これは埋め立てによる底質や地形等の変化によって生育場を制約するような影響が魚群集に及んだものの、1 期工事が終了し環境が安定したことによる生育場機能の再生が進んでいることを示すものと推測されている。2 期空港島建設の初期過程では IBI が若干減少しているものの、藻場の創出により周辺海域の環境保全効果も進むものと期待できる。ただし、海域の生物環境は空港島建設だけでなく様々な人間活動から影響を受けるので長期およびより広範囲にわたる環境モニタリング調査が必要である。

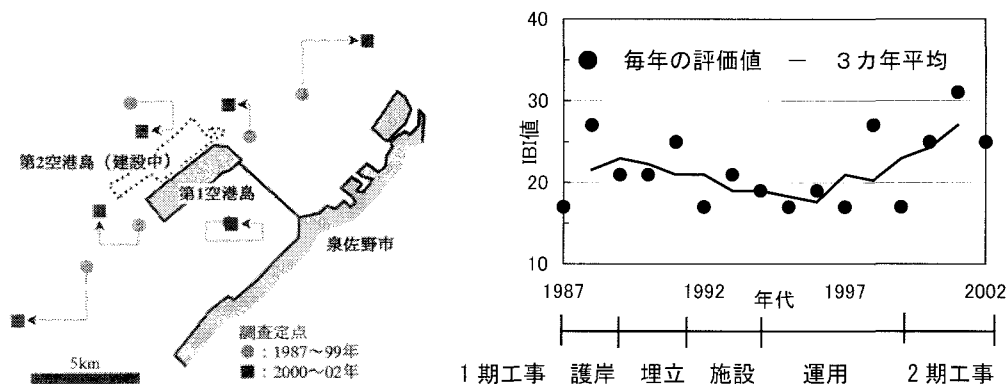


図-14 関西空港島周辺での環境調査地点と IBI の経年変化（小出水ら(2003)より）

（3）海洋深層水利用による環境の創出

海洋深層水は、200～300m の陸棚外縁部より深い深海域で採掘される海水でミネラルなどの栄養塩に富み、

高知県室戸沖をはじめとして各地で有効活用が図られている。深層水の取水には海中のフレキシブルホース、陸上部における取水ポンプなど海洋施設が必要で、海岸施設の建設で蓄積された海岸工学の技術が活用されている。海洋深層水は以下の特性を有している（高知県海洋深層水研究所）。

水温が表層より低く、年間を通じて約 9.5°C で安定している低温安定性、表層の海水に比べ植生の成長に必要な窒素、リン、ケイ酸などの無機栄養塩を多く含む富栄養性、陸水からの汚染がない清浄性、水圧30気圧で長い年月を経て作られた熟成性および様々なミネラルを含むミネラル特性。

深層水の利用は、現在、飲料水、食塩など食用に多くは限られている。最近では、深層水の低温性を活用して発電所の冷却水として用いたり、富栄養特性を利用して水産資源の養殖を行う計画が進められている。

1箇所の深層水取水規模は、 $10^3\sim 10^4\text{m}^3$ /日程度であるが将来的には、 10^5m^3 スケールの取水が行われる。大規模な深層水の活用は新しい環境を創出できる可能性があり、今後の研究が期待できる。ただし、深層水は表層水よりも無機炭素濃度が高いので、深層水の大量利用に対しては環境影響を事前検討する必要がある。

岸ら(2004)は、深層水の取水に伴う CO_2 の大気中への放出と海藻や植物プランクトンによる吸収による収支を検討し、発電所の冷却水として取水することにより全体として CO_2 排出を削減できることを示した。

長谷部ら(2004)は、大規模な発電所洋取水を実現することで、発電効率の向上と放流水の漁港区画内への滞留が実現でき、冬期の海水温低下を抑制できるので、ヒラメなどの養殖が可能な期間が長くなることを示した。図-15は深層水利用システムの複合的利用形態を提案したモデル港湾を示す。発電用冷却水として深層水を利用すると5万kW級火力発電所を想定した場合には燃料消費量について年間約3,600キロリットル削減できる。また CO_2 放出量について炭素換算量で年間2,400トンの削減が可能であると言われている。さらに発電所からの温排水を閉鎖海域の水質向上に活用することにより、ヒラメなどの暖水性魚介類の養殖が可能となる。このような深層水の大規模な利用は CO_2 削減と地球環境の保全につながり、適切に施設配置を実施することで、栄養に富んだ海水を放流することにより閉鎖水域の環境を改善することが可能となる。

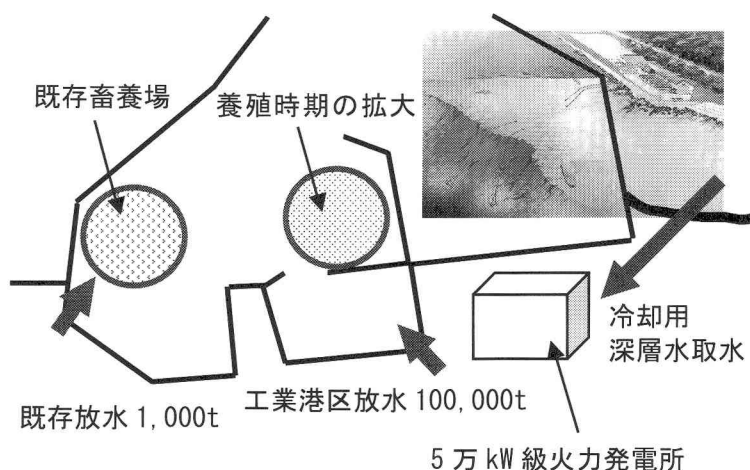


図-15 深層水の利用システムのイメージ（長谷部ら(2004)および高知県海洋深層水研究所パンフレットをもとに作成）

5. 波浪変形計算の活用

これまで見てきたように、面的防護工法の採用が活発化して以来、護岸や堤防などの海岸施設は、周辺の生態系や景観、さらに住民の安らぎなどに配慮して整備が進められており、環境保全に対して良好な結果をもたらしつつある。ただし、これまでの施設設計においては、周辺の類似した構造物における生物群集効果などを参考にして、経験的に“手探り”で新しい施設の計画が立てられていることが多い。ただし、海域の

水質については目標とする指標が明確になりつつあり、構造物の建設によって目標とする水質が変化しないような施設の設計を行うことが可能となった。一方、生態系に与える影響に関しては、指標となる生物種の選択がなされつつある（春日井ら、2003）ものの、具体的な数値目標の設定は今後の課題となっている。

生物がどのような波浪場及び流れ場において群集するかについては、影響因子が多く、いまだに明確な回答は得られていないようである。しかしながら、最近ではメソコスム水槽での生物群集実験から、コアマモが生育できる日照時間や水温等の条件が確認されつつあり（中村ら、2005）、海岸施設の配置によってどのような波浪場と流れ場が生物層の群集に有効であるかについても、詳細な議論ができるデータは集積されつつある。生物種の最適波浪場および流れ場の検討と同時に、海岸施設による波浪場と流れ場の変形計算モデルに関しても高精度化が必要になる。この際、開発された高精度な波浪変形計算法は、環境保全を目指す技術者に広く配布され、簡単に活用されることが望ましい。ここでは、著者らによる高精度波浪変形プログラムの開発過程と活用方法を示す。

1980年代以降は、浅海域の波浪変形計算は、港湾内のように回折が卓越する場所では高山法（高山、1981）、屈折や砕波が卓越する海域ではエネルギー平衡方程式（高山ら、1991）が一般的に用いられている。浅海域に用いるエネルギー平衡方程式は、不規則波のエネルギー釣り合い式の中に砕波減衰項を含んだタイプを用いることが多く、実務に幅広く用いられている。エネルギー平衡方程式は、エネルギー釣り合いを解いていくモデルであり、波形や波の連なりは解析できない。また、浅海域の非常に浅い海域で波の峰が高くなる非線形な現象は取り扱えない。1999年に来襲した台風18号による被災では安芸灘・周防灘の沿岸で越波や越流によって堤防が被災するとともに、背後の家屋や工場が浸水被害を受け、護岸を越えてきた波で破壊されるという被災形態が明らかになった（光永ら、2003）。したがって、都市化が進んだ臨海域では、最高波高や最高波力だけでなく時間的に変化する波に関する情報が防災には重要であることが判明した。そこで、時間的に変化する浅海域での波形を推定し、人の安全性に加えて、海岸施設の環境保全効果を推定するツールの一環として、非線形波浪変形モデルNOWT-PARIが、港湾空港技術研究所で実用化されている（独立行政法人港湾空港技術研究所海洋・水工部波浪研究室、2005）。このモデルはブシネスク型の波浪変形方程式を基礎式として用いて、砕波や海岸・港湾構造物による反射が推定できるように開発されたもので、今後、護岸・防波堤の越波解析や堤防の打ち上げにも活用される予定である（平山、2002）。

図-16は浅海域の非線形波浪変形モデルNOWT-PARIの計算結果出力イメージである。港湾や海岸での複雑な地形変化を考慮して、波の屈折、回折、砕波、反射等の諸現象を同時に考慮している。NOWT-PARIでは、波の波長の1/10程度の格子間隔が必要で、現地では5～10m以下の格子地形情報を必要とする。計算時間も24時間以上かかっているが、計算機的能力向上に伴い計算時間は縮小されつつある。今後は、波浪推算結果を波の入射境界条件として用いて、

NOWT-PARIで詳細な波浪変形を連続して実施できるようなシステムが期待できる。図-17は、NOWT-PARIによって沿岸の波浪と海浜流を計算し、3次元漂砂モデル(Watanabe et al., 1986)を接続して、海岸の侵食と堆積を計算した一例である。また、図-18は海岸での打ち上げも考慮した波浪変形計算例で、海岸施設に作用する波浪外力の推定だけでなく、生態系に与える影響を検討する手段としても活用できる。

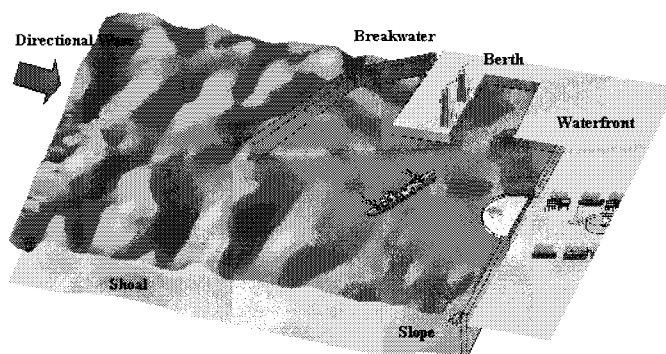
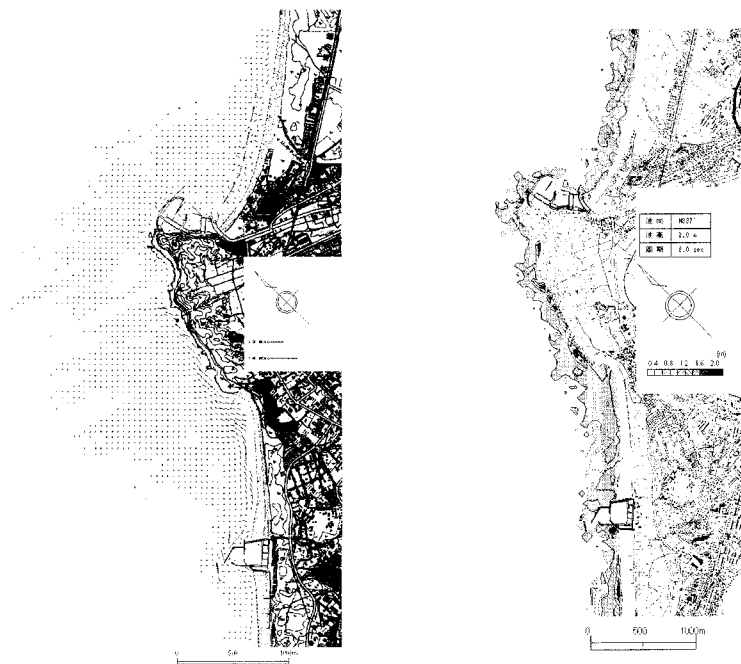
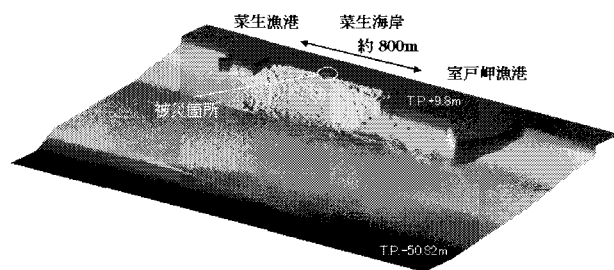


図-16 NOWT-PARIの計算イメージ



(a) NOWT-PARI で計算した海浜流

図-17 海岸における海



(a) 海岸と護岸の地形

(b) 被災時の波浪状況

図-18 高知県菜生海岸での波浪変形計算例 (平山ら, 2005)

数値計算モデルの改良とともに、現地観測や水槽による模型実験を平行して実施し、計算手法の検証を常に行っていくことが必要である。模型実験そのものも現地の波や流れを精度良く再現できることが重要で、波と流れの場を同時に再現できることが望ましい。独立行政法人港湾空港技術研究所では、波と流れを同時に発生させる「環境インテリジェント水槽」や波と流れを外力として海岸生物の生育状態を調べることができる「沿岸化学物質メソコスム実験施設」などの大型設備を整備して対応を行っている（独立行政法人港湾空港技術研究所, 2005）。写真-10 に現地の方向スペクトルを再現できる多方向不規則波と多方向潮流発生装置を備えた環境インテリジェント水槽の外観を示す。

環境インテリジェント水槽は短辺 29m、長辺 36m、深さ 1.3m の矩形水槽で、1つの短辺および長辺に、それぞれ 36 台および 54 台の駆動軸を有するスネーク型造波機を設置するとともに、水槽の全側面から流れを発生できる潮流発生装置を有している。装置は、幅 120cm、高さ 10cm の矩形吹き出し口を 78 台有しており、水槽内で河川流、潮汐、津波、高潮等を再現できる。これまでに河口部に建設される空港島が周辺の流

れ場に及ぼす影響等を検討している（平石ら，2002）．このように，海岸施設が環境保全に果たす役割を調査する場合には，模型実験を活用して数値モデルの精度を向上させることができる．

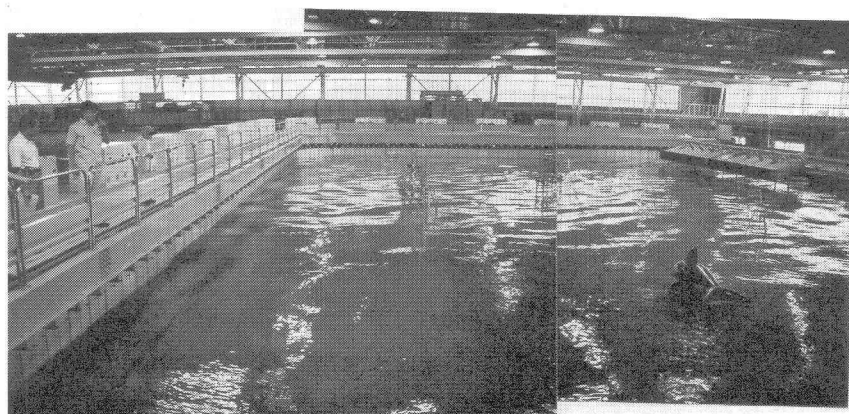


写真-10 環境インテリジェント水槽の外観

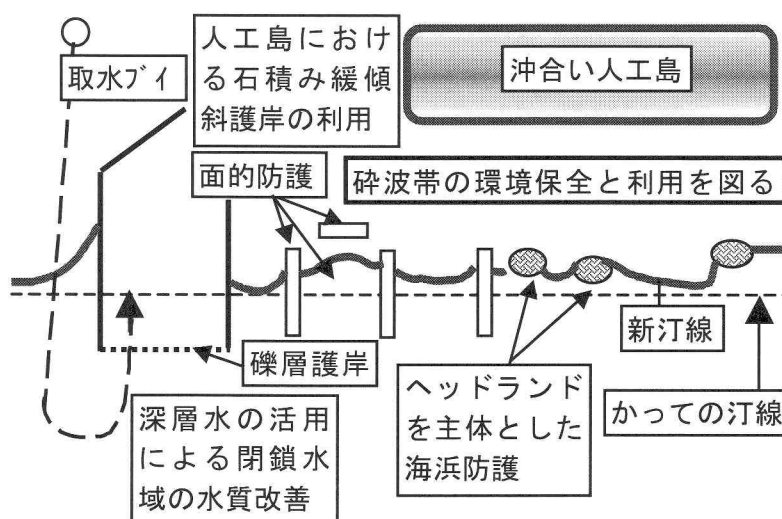


図-19 海域施設による環境保全の現況

6. あとがき

我が国は災害列島と呼ばれるほど，数多くの自然災害に見舞われており，人命と社会資本を自然災害から守ることは国家プロジェクトとしても重要である．台風13号や伊勢湾台風を契機に発展した海岸工学は，当初は防護のみを目的としていたが，現在は，防護だけでなく環境と利用に主眼をおいた海岸管理に活用される学問となっている．海岸が利用される空間になると，人と資産がますます集中するので，ひとたび高波によって護岸や堤防が破壊されたり越波や越流が生じると，人命や家屋が受ける被害の程度は非常に大きなものになってしまう．したがって高波による被災メカニズムを明らかにし，高度な推定を実施することは，ますます重要になる．今後も海岸施設が果たす防護機能は，想定しているレベルを越えるような波浪外力についても十分な機能を果たせるような能力を有するべきである．

加えて，これまで見てきたように，環境保全についても十分な配慮をしておく必要がある．そのためには，海域を代表とする生物指標を抽出し，それらが群集する波浪場，流れ場および水質を数値目標として求めておくことが重要であろう．景観についても，主観的な判断基準ではなく，群集が有する心地よさの指標を定

め、それらを達成できるような施設の構造、配置計画を立案していく必要がある。その際には、できるだけ高精度な予測モデルを活用するとともに、施設建設および建設後を通じての環境モニタリングを実施し、必要があれば施設計画を修正していく柔軟な体制を確立しておくことも大切である。図-19に、現在、すでに各地で実施されつつある海域施設の整備方針を示す。試行錯誤を繰り返しつつも、海域施設による環境保全効果は着実に進みつつあると思われる。今後は、海岸を利用している地元の意見も取り入れて(清野ら, 2003), 目標水準を明確にし、適切な構造物配置を取り入れていく手法をマニュアル等(たとえば、エコポート(海域)技術WG, 1998)を利用して普及させることが重要と考える。

最後に、海岸施設の環境保全機能を再考する機会を与えていただいた土木学会水工学コースに関係する皆様に感謝いたします。

参考文献

- Horikawa K.(1996):History of Coastal Engineering in Japan, History and Heritage of Coastal Engineering, ASCE, pp.336-374.
- Hsu, John R.C., A. Klein and L. Benedet (2004):Geomorphic approach for mitigation beach erosion downdrift of littoral barriers, Proc. of 29th International Conference of Coastal Engineering, Vol.2, pp.2022-2034.
- Watanabe, A., K. Maruyama, K. Shimizu and T. Sakakiyama (1986) : Numerical prediction model of three-dimensional beach deformation around a structure, Coastal Engineering in Japan, Vol.29, pp.179-194.
- 石川仁憲・酒匂敏次(1997):サーフィングレンデの特性とグレンデ計画要件に関する研究, 海洋開発論文集, 第13巻, pp.171-176.
- 井上雅夫・島田広昭・桜井秀忠・柄谷友香(1998):生物との共生を目指した人工磯の造成素材に関する現地観測, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.1116-1120.
- エコポート(海域)技術WG (1998):港湾構造物と海藻草類の共生マニュアル, 財団法人港湾空間高度化センター港湾・海域環境研究所, 98p.
- 大富将範・大牟田一美・西隆一郎(2001):ウミガメ保護に関する海岸工学的考察, 海岸工学論文集, 第48巻, pp.1201-1205.
- 海岸保全施設技術研究会(2004):海岸保全施設の技術上の基準・同解説, 282p.
- 春日井康夫・久本忠則・中山康二・松本英雄(2003):広島県尾道糸崎港における干潟再生事業, 海洋開発論文集, 第19巻, pp.107-112.
- 関西国際空港株式会社・関西国際空港用地造成株式会社(2005):関西国際空港2期工事の概要, 30p.
- 岸靖之・林正敏・池田知司・田中昌宏・角湯正剛・原田晃・田中博通・高橋正征(2004):海洋深層水の放流に伴う沿岸環境特性の検討, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.1281-1285.
- 高知県海洋深層水研究所:高知県海洋深層水研究所パンフレット.
- 国土交通省関東地方整備局京浜港湾事務所:馬堀海岸高潮対策事業パンフレット.
- 小出水規行・吉田司・有山啓之・矢持進・玉井恭一・中村義治・入江隆彦・阪上雄康・小谷野喜二(2003):空港島建設に伴う底生魚類群集への影響評価の試み:IBI手法による環境監視データの解析, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.1131-1135.
- 鈴木康正・上原功・富田康大・望月徳雄・平石哲也(1995):フレネル潜堤による波向・波高変更効果に関する模型実験, 海岸工学論文集, 第42巻, pp.701-705.
- 清野聡子・宇多高明・芹沢真澄・峰島清八・高橋和彦・星上幸良(2003):住民との合意形成に基づく海岸整備計画検討の実践―千葉県白渚海岸の例―, 海洋開発論文集, 第19巻, pp.95-100.
- 清野聡子・宇多高明・佐藤慎司・鳥居謙一・加藤史訓・笛田俊治・丸山準(2004):自然共生型海岸づくりに関する希少生物生息地の生態工学的保全手法, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.1341-1345.

- 高山知司(1981)：波の回折と港内波高分布に関する研究，港湾技研資料，No.367，140p.
- 高山知司・池田直太・平石哲也(1991)：砕波および反射を考慮した波浪変形計算，港湾技術研究所報告，第30巻，第1号，pp.21-67.
- 陳活雄・山田稔・土屋義人(1993)：天橋立海岸におけるサンドバイパス工法による動的安定海浜の形成，海岸工学論文集，第40巻，pp.541-545.
- 独立行政法人港湾空港技術研究所(2005)：平成17年度における重点研究課題の概要パンフレット.
- 独立行政法人港湾空港技術研究所海洋・水工部波浪研究室(2005)：平成16年度ブシネスクモデルによる波浪変形計算法に関する勉強会，55p.
- 土木学会(1991)：土木モニュメント見て歩き，225p.
- 土木学会(1999)：水理公式集 平成11年版，土木学会，713p.
- 土木学会(2000)：海岸施設設計便覧，丸善，582p.
- 中野晋・吉田善昭・中野孝二・三井宏(1993)：サーフィンに適するデルタ型リーフ周辺の流れと漂砂，海洋開発論文集，第9巻，pp.229-234.
- 中村由行・細川真也・神尾光一郎(2005)：メソコスム水槽を用いた光環境がアマモの生長に及ぼす影響に関する研究，海岸工学論文集，第52巻（印刷中）.
- 成瀬進・大岡秀哉(2000)：海岸管理の国際比較に関する研究，海岸工学論文集，第47巻，pp.1251-1255.
- 日本沿岸域学会(2004)：沿岸域環境事典，共立出版，pp.31.
- 長谷部雅伸・森野仁夫・大内一之・大山巧(2004)：大規模深層水利用システムにおける複合的利用形態とその成立性について，海岸工学論文集，第51巻，pp.1271-1275.
- 人にやさしい港湾のための技術検討会(1992)：人にやさしい港湾を目指した技術の今後の方向と課題，港湾技研資料，No.741，34p.
- 平石哲也(1998)：小型潜堤を用いた海浜安定工法に関する模型実験，港湾技研資料，No.896，22p.
- 平石哲也・平山克也・丸山晴広・奥野光洋・富田孝史(2001)：小段を活用した越波低減型護岸の適用性に関する模型実験，海岸工学論文集，第48巻，pp.726-730.
- 平石哲也・奥野光洋・宮里一郎(2002)：沖合い空港島による波浪・河川流への影響に関する模型実験，海岸工学論文集，第49巻，pp.701-705.
- 平石哲也(2005a)：南部スペインの海岸について，港湾空港技術振興会資料，No.17，pp.11-18.
- 平石哲也(2005b)：長周期波対策護岸構造の最適化に関する検討，港湾空港技術研究所報告，第44巻，第1号，pp.23-41.
- 平山克也(2002)：非線形不規則波浪を用いた数値計算の港湾設計への活用に関する研究，港湾空港技術研究所資料，No.1036，162p.
- 平山克也・平石哲也・南靖彦・奥野光洋・峯村浩治(2005)：2004年台風による高波災害の被災パターンについて，海岸工学論文集，第52巻（印刷中）.
- 光永臣秀・平石哲也・宇都宮好博・三原正裕・大川郁夫・中川浩二(2003)：台風9918号による周防灘での高潮高波被害の特性，土木学会論文集，No.726/II-62，pp.131-143.
- 渡辺宗介・清野聡子・宇多高明・芹沢真澄・三波俊郎・古池鋼(1999)：防波堤建設に起因するサーフスポットの形成機構，海岸工学論文集，第46巻，pp.1271-1275.
- 渡辺国広・清野聡子・宇多高明(2000)：アカウミガメの産卵行動に及ぼす海岸構造物の影響評価，海岸工学論文集，第47巻，pp.1221-1225.
- 渡辺国広・清野聡子・宇多高明(2001)：離岸堤の建設がアカウミガメの上陸・産卵行動へ与えた影響―徳島県薄生田海岸の例―，海岸工学論文集，第48巻，pp.1196-1200.
- 力武常次・竹田厚（監修）(1998)：日本の自然災害，国会史料編纂会，637p.