

砂浜海岸の侵食とその対策について

芝 野 照 夫*

Beach erosion and the countermeasure works against erosional sandy beach

Teruo SHIBANO

Coastal erosion is caused by a decrease of discharged sediment from river and obstructed of longshore sediment transport by coastal structures.

So far, in order to protect against coastal erosion, seawalls and jettys, detached breakwaters are constructed on coast. Recently, "integrated shore protection system" for the preservation of coastal erosion is being used.

The reason of employing this protection system used to consider prevention of disasters and utilization of beaches.

It becomes clear that actual condition of erosional sandy coast, the method of construction that is used and effect of the protection works.

1. 緒 言

わが国沿岸部の約50%は要保全海岸と指定され、なんらかの海岸構造物によって保全されている。

また、各地に残されている砂浜海岸のうち堆積傾向の海岸は約6%、侵食傾向の海岸は約43%となっており、貴重な砂浜海岸が消失の危機に瀕しているといつてよいであろう。

「白砂青松」で代表されるような砂浜海岸の侵食が叫ばれるようになったのは、戦後の経済復興に伴って経済活動が活発となるにしたがって、沿岸部では大規模港湾の建設や工場用地としての埋め立てなどが各地で行われた。¹⁾

また、内陸部においては戦後の度重なる洪水氾濫などの河川災害に伴って、大河川流域で河道の改修が行われると共に、上流部には数多くの利水ダムが築造されてきたのである。

このような沿岸部および河川流域における自然環境の変化に伴って、これまで沿岸部に供給されていた河川の流送土砂が減少、あるいは断たれたことが大きく影響すると同時に、沿岸部における各種の海岸・港湾構造物の築造が海況を変化させ、これまでバランスを保って移動していた沿岸漂砂の阻止や沖方向の深海部へと流失することによって、砂浜海岸の侵食と消失が加速化されてきたものである。^{2), 3), 4)}

最近ではこれまでの「剛構造物」(直立海岸堤防など)による「線的防御方式」の海岸保全から、時代の要請に対応した「柔構造物」ともいふべき「面的防御方式」へと海岸保全対策の変換がはかられてきている。

このような現状から、これまでとられてきた海岸侵食対策とそれに伴う効果を明らかにすることを目的として、各地の海岸で実施されてきた海岸堤防、護岸、突堤および離岸堤などの海岸侵食対策の実態を明らかにして、その変遷と効果について検討し、将来における海岸保全対策に資することを願うものである。

* 建設工学科 (土木工学専攻)

2. 構造物設計における外力

海岸構造物の設計に際して、その基本となるものは海岸に作用する外力、すなわち海象条件である。建設省ではわが国沿岸約300 海岸における海岸構造物の設計条件を調査して、とくに計画波浪を次のように示している。

まず、図-1は計画波浪の頻度分布であり、波高が比較的小さいものについての頻度が最も高く、波高が大きくなるにつれて頻度が減少する傾向を示している。しかし、波高 3m、6m、9mの頻度が高くなっていることが特徴的である。これは内湾沿岸では計画波浪は3m程度であるのに対して、外洋に面する沿岸部では波浪条件の比較的厳しくないところと厳しいところに分けられ、前者の場合は6m、後者では9mと計画されているものと考えられる。

一方、計画波浪の周期については波高のように3つのピークはみられず、6~8secと11secの頻度が高く、これも内湾沿岸と外洋に面する海岸とで相違しているものといえよう。最近ではわが国沿岸をとりまく波浪観測網が整備されてきているが、観測期間が長期に及ぶものが少なく、波浪災害からの保全を目的とする計画波浪の適確な設定には、観測結果と長期間にわたって収集されている気象資料の検討に基づいた数値予知法の成果を十分に生かすことが必要である。

それと同時に、構造物の面からは計画外力を越えた場合でも完全に構造物が破壊されるのではなく、ねばり強い構造物といった観点からの設計が必要であろう。

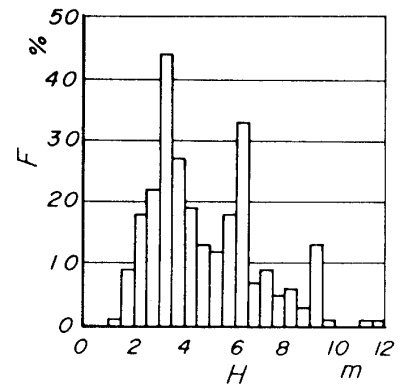


図-1 計画波高の頻度分布

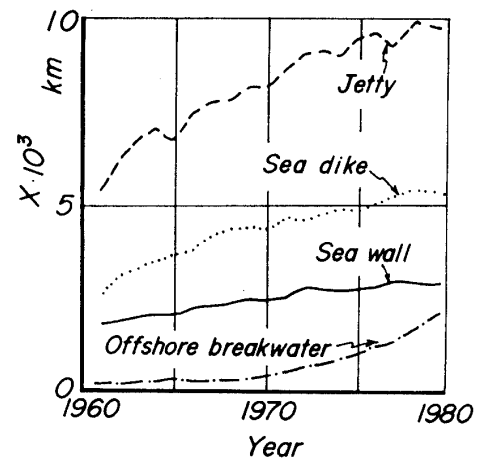


図-2 各種構造物築造の経年変化

3. 各地砂浜海岸における構造物築造と侵食の実態

海岸侵食対策工法としては、海岸堤防をはじめとして数多くの工法がとられてきている。図-2は海岸保全施設として築造されてきた各種構造物築造の経年変化を示している。とくに、1970 年以降の最近では離岸堤の築造が多くなっている。さらに最近では離岸堤の変形である人工リーフ工法など各種の工法を組み合わせた「面的防護方式」による工法に変化してきている。

ここでは典型的な侵食海岸を選び、海岸構造物築造の経緯と現在の砂浜海岸の実態を見る。

a) 秋田県八森海岸⁵⁾

八森海岸は、秋田県の最北端に位置する海浜背後に砂丘を有する砂浜海岸である。

この海岸に来襲する波浪は冬期季節風時にほぼ限られ、波高の大きいものはW~NW方向の波向きである。このことから沿岸漂砂の卓越移動方向は北から南の方向と考えられる。

この海岸における侵食は、明治時代から始まり、次第に顕著になってきたといわれている。汀線の後退は、明治初期から昭和初期までの約60年間で約180~200mにも及び、その当時は海岸構造物の設置はなく、高波浪

砂浜海岸の侵食とその対策について

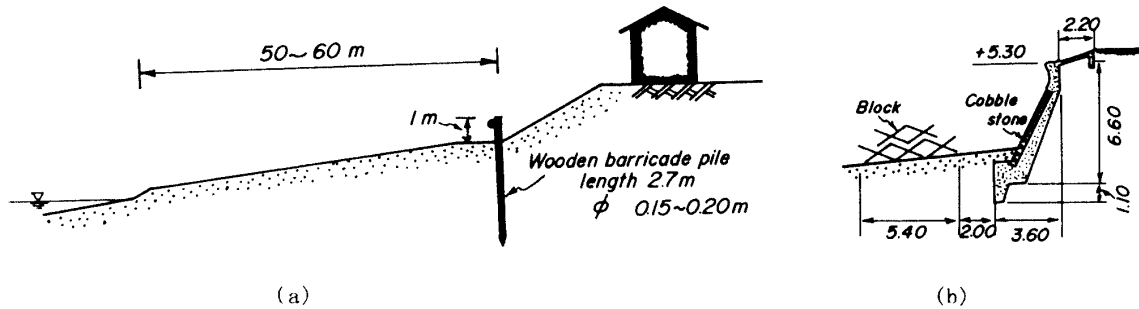


図-3 青森県八森海岸における海岸構造物の変化

の来襲によって人
家への被害や田畑
の流失があったこ
とが明らかにされ
ている。

この海岸におけ
る海岸侵食対策工

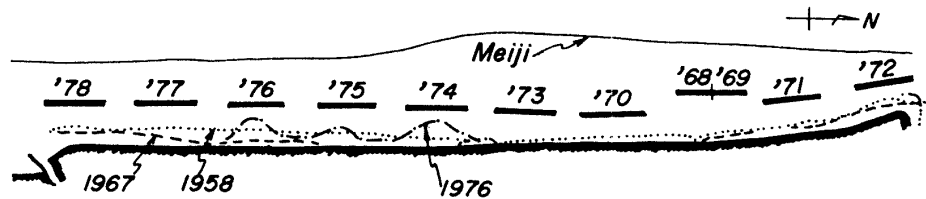


図-4 現在の八森海岸における海岸構造物の築造

の経緯は次のようである。図-3(a)に示すように大正時代中期に木製の「杭柵」を用いた堤防を築いたが、それも設置後約10年で破壊された。

その後昭和初期には「蛇籠工」の設置によって侵食に対処し、比較的長期にわたって効果があったと伝えられている。

しかし、度重なる高波浪の来襲によって「蛇籠工」も被災し、昭和10年頃には3段式の玉石とコンクリートによる「緩傾斜護岸」が築造されたが、護岸前面の洗掘によって昭和24年から昭和29年にかけてすべて被災したのである。

その後、昭和29年から図-3(b)に示すような断面を持つ護岸が順次築造されてきている。しかし、直立堤の区間が多いために、堤体前面の洗掘が激しく、「根固ブロック」が設置されたがその効果はあまりなかった。

このようなことから、現在では図-4のように海岸線全域にわたって離岸堤が築造されている。この離岸堤はトンボロの形成と護岸からの越波を防止するための消波機能を持ったものとして設置された。

その結果、トンボロ地形が発達して、根固め・護岸の洗掘が防止されるとともに、越波防止にも効果が現れてきたが、砂浜海岸であるため離岸堤の沈下が発生して、離岸堤前面の洗掘と開口部付近の沈下が著しくなっている。さらに重要なことは、水深3m以深の海底の水深が大きくなり、最近では4m等水深線が100~200mも岸側に近づいていることである。このように秋田県八森海岸では護岸工、根固工、離岸堤の組み合わせによって海岸侵食の防止と越波防止をはかってきたが、沖合の水深増大は離岸堤による反射波の発生などに関係しているものと考えられ、離岸堤の沈下・離岸堤ブロックの散乱、ひいては碎波位置が岸側に近づき甚大な海岸災害の危険度も増大しつつあるものといえよう。

b) 鳥取県皆生海岸(6), (7), (8), (9)

皆生海岸は、鳥取県から島根県に続く美保湾の湾奥に位置し、日野川河口左岸に広がる約5kmの海岸で、その西端は弓ヶ浜半島へと続いている。皆生海岸を含む弓ヶ浜半島は主として日野川を漂砂源とする流送土砂によって発達してきた。

皆生海岸で温泉が発見された明治初年頃は、汀線が毎年約2~4m前進していたといわれている。これは日

野川上流域において古来から行われていた砂鉄生産のための「鉄穴流し(かんながし)」と製鉄に使用する薪炭製造のために大量の樹木の伐採が行われ、これらによる山地からの多量の土砂供給によって涵養されていたといわれている。しかし、大正10年後半には砂鉄の生産も終わり日野川の流送土砂が急激に減少したことが、これまでの汀線が前進する海岸から後退する海岸へと変化してきたのである。

温泉の泉源は、当初汀線から約200m沖合の水深10m程度のところで発見されたものが、利用不可能であった。

しかし、明治33年には汀線近くの浅瀬に泉源が再び発見されたのである。もし、その泉源が同一のものとすれば明治初年から約30年間に100m以上も汀線が前進したことになる、前述の年間2~4mの汀線前進も妥当といえよう。

一方、皆生海岸における海岸侵食の記録は、大正12年に初めて現れ、冬期の高波浪によって約20m侵食されたといわれている。しかし、こ

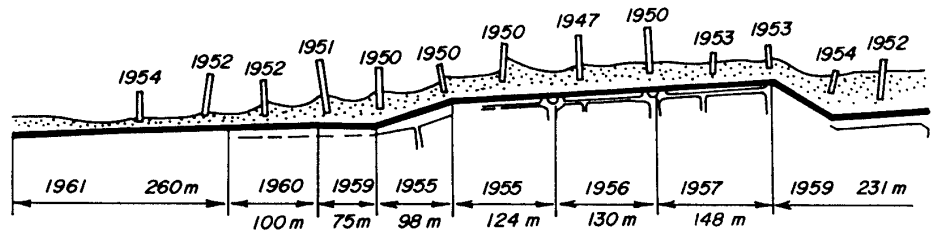


図-5 鳥取県皆生海岸における突堤の築造

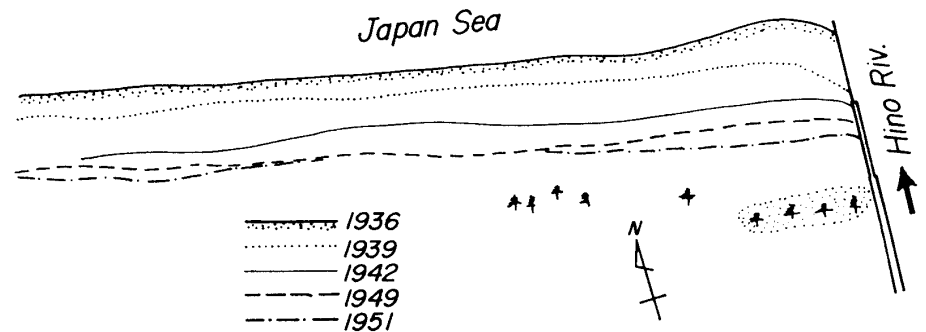


図-6 皆生海岸における汀線後退

の当時は冬期に侵食を被っても春になれば汀線は回復していたが、昭和8年頃から大規模な砂浜海岸の欠壊が生じ、海岸保全のために昭和10年に「コンクリート方塊」による「波除堤(突堤)」が2基完成した。さらに、昭和15年、17年の高波浪の来襲時には海岸に近い旅館の流失さえ発生した。

戦後の昭和22年から、昭和10年および昭和15年に築造された海岸線と平行方向の築堤に変わって、コンクリート方塊による14基の「突堤」工事にかかり、図-5に示すように昭和29年に完成した。沿岸漂砂の上手側にあたる突堤東側には堆砂が見られ、海浜の回復を見たが突堤の西側では侵食、また、突堤の沈下が続き、コンクリート方塊は散乱して、その機能が低下したために昭和30年から「護岸」の築造が開始され、昭和34年に約900mの護岸が完成した。

図-6には昭和26年までの汀線の変化を示している。護岸完成後も砂浜の欠壊は続き、昭和36年2月の高波浪でその一部が破壊され、護岸前面の「根固」工事とともに日野川河口から新開川までの約2kmにわたって護岸が新設された。

しかし、砂浜の侵食と越波が続いたため、昭和46年から海浜沖合に離



写真-1 皆生海岸における離岸堤の築造状況

岸堤の築造が開始され現在に至っている。

現在、離岸堤は日野川河口部左岸から約5kmの皆生海岸全域にわたって写真-1のように築造され、その背後にはトンボロ地形が形成されている。

離岸堤築造区間の西端には漁港防波堤が築造されており、この防波堤によって沿岸漂砂が阻止され、それより西側の海岸の護岸前面には砂浜がなく、直接波浪が打ち寄せている。

離岸堤の築造によって現在の汀線は一応安定を保っているが、一部の離岸堤開口部では堆砂が見られず、護岸まで波が打ち寄せているところもある。また、沿岸漂砂の下手側では離岸堤および漁港施設による漂砂阻止のために、かつての皆生海岸がたどってきたような海岸侵食の発生が考えられる。

さらに、離岸堤背後の堆積土砂は沖合の海底からもたらされているといわれているが、このことは長期的にみて沖合の海底面の低下、すなわち水深の増大を表していることで、今後の海岸災害の原因を内在しているといってもよいであろう。

4. 各種対策工法の効果について

a) 対策工法の変遷(10), (11)

前述のように、砂浜海岸の侵食に対して護岸、突堤、離岸堤と各種の工法を組み合わせ海岸保全が図られてきた。

しかし、これら構造物築造の目的は 図-7のように、当初A、すなわち海岸背後地の保護を目的にしたものから、Bの汀線後退や前浜・外浜の水深増大の防止、Cの波が直接構造物や崖に打ち寄せるのを防止する、Eの海面および海浜利用のためのものへと大きく変化してきている。つまり、昭和 20 ~ 30年代では防災上の目的で各種の構造物が築造されてきたが、最近で社会様式の変化に対応して防災上の目的と海岸の利用を考えた構造物、例えば、傾斜階段護岸や離岸堤の築

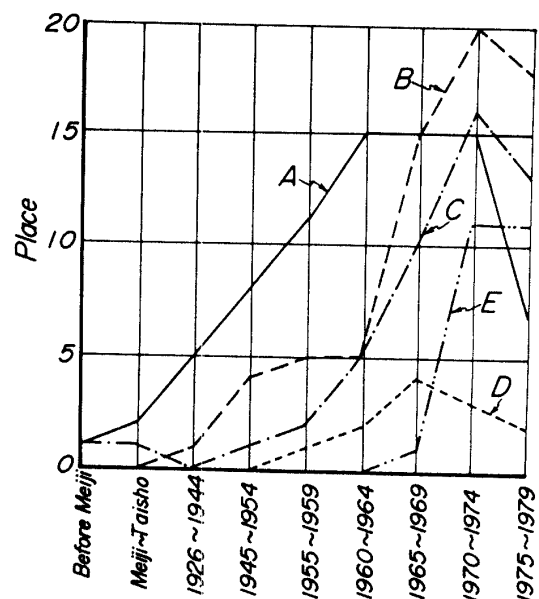


図-7 各種海岸構造物の築造目的

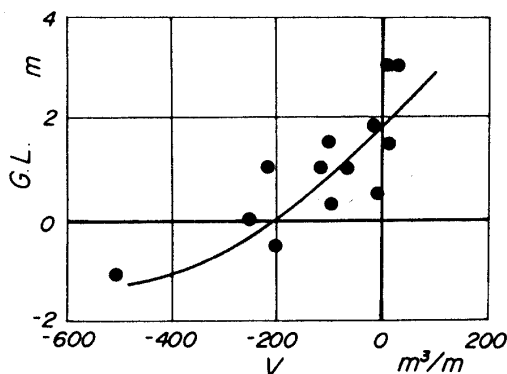


図-9 前面地盤高と侵食・堆積量

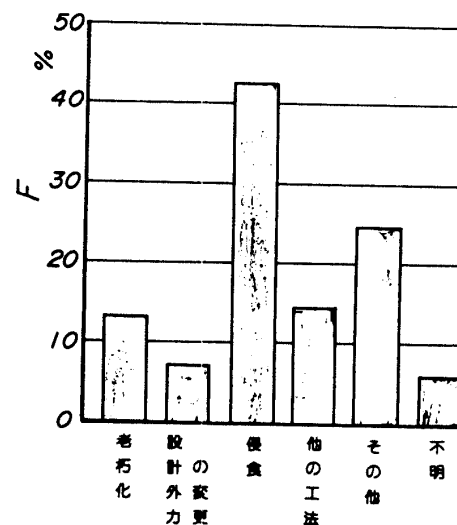


図-8 海岸堤防・護岸の被災原因

造が数多く見られることである。また、これら構造物ごとに築造年代を見ると、海岸堤防は古くから海岸背後地を保全する目的で順次築造されてきているが、汀線後退を防止する目的で築造された構造物としては、昭和20～30年代に突堤の築造が多く、それ以降は離岸堤が数多く築造されてきたことが明らかである。

b) 各種構造物の効果^{12),13),14)}

(1) 海岸堤防・護岸： 海岸堤防・護岸の被災原因は、図-8のように侵食などによって設計時の条件が変化したために生じたものが最も多く、40%以上占めている。この条件の変化については構造物前面の侵食と洗掘さらに堤体内部の土砂の吸い出しなどが主な要因となっている。また、構造物の設置されている海岸の性状との関係では、外洋に面した海岸と内湾におけるそれとは大きな相違が見られ、来襲外力の大きな前者では、直線上の大規模海岸における前浜の侵食、洗掘による原因が大半を占めている。

一方、内湾部の海岸では来襲外力が比較的小さなことから構造物が「石積」のものも多く、堤体の老朽化に伴う波力や越波による被災の割合が多く見られる。

いずれにせよ構造物前面に広い砂浜が維持されていれば、砂浜による消波効果が働き被災しにくいのであるが、構造物施工時における前面地盤高と海岸の侵食・堆積量の関係を示したものが図-9である。

これによると地盤高の高い、すなわち海浜幅の広い海岸ほど侵食量も小さく、前述の砂浜海岸の実態で述べたように、海浜の前浜の欠損が被災に結びついていることが明らかである。

(2) 突堤： 突堤工法は古くから海岸侵食対策工法として採用されており、皆生海岸などでも本格的な侵食対策工法として最初に施行されている。

この工法は群堤として築造されることがほとんどであり、その構造も透過性のものが大部分で、汀線からほぼ直角に沖方向に延ばされ、しかもその長さは約40mまでのものが80%を占めている。さらに、突堤の築造されている砂浜海岸の海浜幅は約30mまでのところがほとんどであって、海浜勾配も比較的緩く 3/100 以下のところが約60%を占めている。

このことから、突堤の先端水深はほとんど2m以内で、高波浪の来襲時には碎波帯内となる。漂砂移動の活発な高波浪時には突堤の先端を迂回して沿岸方向に漂砂移動が生じることとなる。突堤の築造されている海岸における来襲波浪の波向は、約83%の海岸で突堤に対して右あるいは左方向から来襲するため突堤による沿岸漂砂の制御効果があると考えられる。しかし、約17%についてはほぼ正面から波浪が進入するために沿岸漂砂

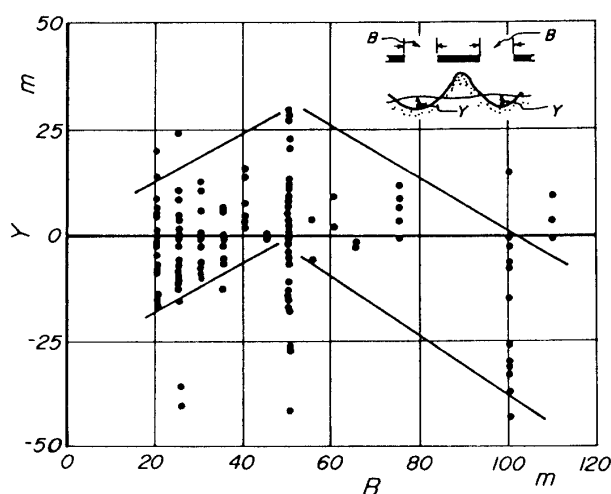


図-10 離岸堤開口幅と汀線後退量の関係

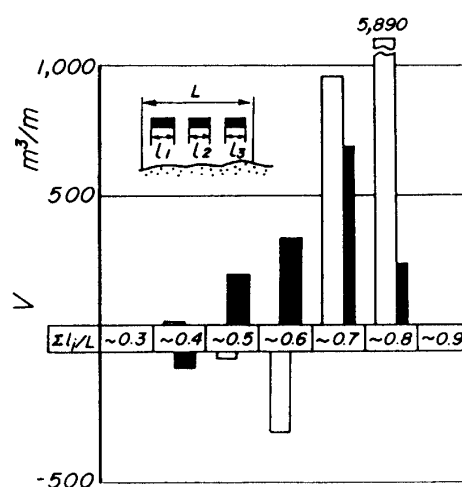


図-11 離岸堤延長距離と土砂堆積量

よりも岸・沖漂砂が卓越し、期待されるほどの効果を上げ得ないものと考えられる。

以上のように、突堤工法は沿岸漂砂を完全に阻止するものではなく、群堤として漂砂系内の沿岸漂砂のバランスを保ち、制御する面が強いものといえよう。

(3) 離岸堤： 離岸堤は3,000基以上が築造され、侵食性海岸と呼ばれているところでは、当然のこのように侵食対策工として採用されているのである。しかし、離岸堤工法は現地海岸における築造が先行し、その効果については経験的な面が強いとされている。建設省の調査によれば、離岸堤の効果としてその背後にトンボロ地形が形成されたかどうかは、ほぼ80%のものに形成されたとしている。それに対してトンボロ地形が形成されていないところでは、背後の海岸堤防まで常に波が打ち寄せているところがほとんどであり、堤防による反射率の高いところには戻り流れなどが発生して堆砂が見られないものと考えられる。離岸堤の構造で最も高い頻度を示す諸元を地域ごとに見ると、堤長は北海道、四国、九州で短いものの、天端高は四国、九州で高く、台風来襲による高波浪時の消波効果を考慮したものといえよう。離岸距離も北海道、北陸、四国、九州で比較的短く、40m程度までの割合が多くなっている。

離岸堤は群堤として設置されることが多く、離岸堤間の開口部背後は、一般に汀線後退が見られる。

図-10は開口幅とその背後の汀線後退距離の関係を示すが、一般に開口幅は50mのものが多く、短いものでは後退・前進ともに同程度であるものの、開口幅50mを頂点としてそれより短くても長くても、とくに長い場合には後退する傾向が強くなっている。

また、離岸距離と汀線前進距離の関係は、当然のことながら離岸距離の長いものほど汀線の前進距離が大きくなる傾向があるが、あまり長くなるとトンボロ地形が形成されず、汀線の前進がほとんど見られないところもある。

さらに、群堤として設置され侵食海岸全域における堆砂効果を上げることを目的としているが、群堤としての離岸堤延長距離と離岸堤の岸・沖における堆砂量は図-11のようであり、離岸堤より岸側の堆砂量は離岸堤合計距離に対する海域距離の比が0.6~0.7程度の場合に最も多くなることが明らかである。

一方、離岸堤の岸・沖を含めた領域における堆砂量は、その比が0.7~0.8で高く、沿岸漂砂が離岸堤の岸側だけでなくその沖合にも堆積することがわかる。ここで特徴的なことはその比が0.5~0.6の場合に沖合で侵食が生じていることである。これは沖合の土砂が離岸堤内に移動していることをあらわし、離岸堤前面の水深の増大による新たな災害が発生する危険性を内包しているものといえよう。

このように砂浜海岸の侵食対策工法として数多く築造され、一定の効果を上げてきた離岸堤工法は、必ずしも完全なものではなく、設置領域より下手側海岸における前浜の流失や堤体ブロックの沈下・散乱に伴う機能の低下、堤体による反射波や流れに伴う堤体前面の洗掘、海底勾配の急峻化、さらに最近では砂浜海岸の環境資源としての利用からも海浜景観の面において再考がさげばれてきている。

5. 結 語

以上のように、砂浜海岸に侵食の実例とその対策工法の築造と効果についてみてきたが、侵食が進むにつれてそれまでの小規模で柔軟な工法（柔かい工法）から大規模で強固な工法（剛な工法）へと変化してきたことが明らかである。

この剛な工法はそれ自体の影響によって、砂浜海岸の侵食を助長さえしているのが現状といえよう。海岸堤防・護岸などの剛な工法から砂浜海岸を維持するために離岸堤工法へと変化してきたが、1箇所に設置すれば

海岸全域にわたって築造しなければならないこととなっている。これは海岸堤防を沖合に設置したことと同じであり、沿岸漂砂の連続性の確保よりも海岸土砂の固定化であるといえる。

離岸堤による反射率の増大と前面海底の急峻化などを考えるといったん固定化された堆積土砂も近い将来には沖方向へと輸送され、流失し、砂浜海岸の侵食と海岸災害をもたらすことにつながるであろう。

現在の海岸地形、とくに砂浜海岸の変化は、流入河川からの流送土砂の減少や各種の海岸構造物の築造に伴う海岸地形の再築過程であると考えられる。このような環境変化と海岸に作用する外力の関係から、河川上流域に堆積した土砂を有効に利用し、河川下流域の河床低下への利用とも相まって、土砂の供給を行うとともに海岸土砂収支の観点から沿岸漂砂を一方向的に流失させてしまうことなく、「土砂のリサイクル」を考えることが重要であろう。

参 考 文 献

- 1) 日本の土木技術編集委員会編：日本の土木技術－近代土木発展の流れ－，土木学会，1975，
pp. 126 ～ 131.
- 2) 榎木 亨：漂砂と海岸侵食，森北出版，1982，pp. 168 ～ 185.
- 3) 豊島 修：現場のための海岸工学－侵食編－，森北出版，1972，pp. 6～51，121～159，177～185，
227～317.
- 4) 高瀬 保：海を失った海辺部落－練合村、七軒領境争論－，富山県の地理学的研究，1959，pp. 10～14.
- 5) 秋田県土木部河川課：秋田沿岸・八森海岸について，海岸 No. 22，1982，pp. 79～99.
- 6) 皆生温泉観光株式会社：五十年の歩み，1974.
- 7) 渡辺亨二：弓濱成因論，鳥取県立米子高等女学校交友会，1914，pp. 1～56.
- 8) 石橋正穂・太田安英・岸田正人：皆生海岸の離岸堤について，海岸 No. 24，1984，pp. 172～181.
- 9) 野田英明：皆生海岸における海浜過程について，第21回海岸工学講演会論文集，1974，pp. 121～125.
- 10) 建設省：海岸侵食対策工法の実態と類型化に関する研究，第32回建設省技術研究会報告，1978，pp. 1～30.
- 11) 建設省：海岸侵食対策工法の実態と類型化に関する研究，第33回建設省技術研究会報告，1979，pp. 1～24.
- 12) 大島康宏・橋本 宏・藤本 勲：海岸堤防・護岸の安定性に関する研究，海岸 No. 22，1982，pp. 66～78.
- 13) 橋本 宏：離岸堤に関する調査・研究の現況，海岸 No. 23，1983，pp. 156～168.
- 14) 斉藤雄三郎・岸田弘之：離岸堤の効果および安定性に関する研究，海岸 No. 24，1984，pp. 145～168.

(平成8年12月2日受理)