

# 海岸侵食対策

豊 島 修

## 1. まえがき

海岸保全の目的は、大きく分けて二つある。その一つは高潮対策（高浪対策を含む）であり、いま一つは侵食対策である。前者は、高潮、津波、波浪など海水の陸地への侵入を阻止しようとする対策であり、後者は波浪その他海水による海岸の欠損、汀線の後退などを防止しようとする対策である。

高潮対策では、その対象とする外力は、潮位、波浪および津波などの水理現象であって、その大きさや強さは定量的な取り扱いがほぼ可能であり、高潮対策の計画はこれらの水理的諸量と経済性を勘案して決定すればよい。

高潮対策においても土砂の移動問題が全く無いわけではないが、海岸堤防を始めとする高潮対策工法は、その計画、設計および施工において、計画対象の大きさ、経済性、材料の強度および耐用年限などを考慮しながら、かなりの合理的な設計・施工が可能であり、計画を大幅に上まわる海象条件の来襲が無い限り、ある期間にわたり大小数々の異常海象条件に対して高潮対策としての効果を発揮しつづける。したがって、高潮対策では、その対象とする海象条件の上限をどの程度にするかという点に重点が置かれ、主として海岸保全施設周辺の環境と経済性の面から計画諸元が決められる場合が少なくない。

これに対し、侵食対策は、非常に厄介でかつ困難な多くの問題を抱えている。

すなわち、その対象とする外力とそれに伴う土砂の動きが極めて複雑であり、一概に計画対象外力条件を決定しにくく、計画条件を大きく取ればそれで安全というわけのものでもない。この点は計画海象条件以下の外力に対してはいちおう安全であると考えうる高潮対策施設とはかなり異なる。

海岸の土砂は日夜動きつづけており、ある期間には有効に侵食を防止し得たと思われた侵食対策施設も、ある時期には中程度の海象条件によって大幅に汀線が後退し、早急に別途の対策を講ぜざるを得なくなるような事例が少なくない。

さらに厄介な問題は、海岸侵食の原因やその機構が全面的には解明されていない現在では、あらゆる海象条件に対して侵食をほぼ完全に防止しようという経済的対策工法がまだ確立していないということである。したがってなお当分の間は、経験的工法を中心に試行錯誤を続けながら、最適工法への模索を続けてゆくことになる。

ここでは、現在における侵食対策の問題点について述べることにする。

## 2. 侵食対策の計画について

始めに、侵食対策の計画にあたり留意すべき事項について述べておこう。

まず、侵食対策を実施するに当たり、特に防護を要する重要な地域と、場合によっては犠牲とするもやむを得ない地域とをあらかじめ区分して考えておく必要がある。

侵食性海岸では、侵食を防止するために設置した施設が、往々にしてその隣接海岸の侵食を助長

する例が多く、隣接海岸の犠牲において当該海岸の侵食が防止されているという場合が少なくないからである。

このことはまた、侵食対策施設を年次計画にもとづいて継続して施工してゆく場合にはその施工順序によっては予想外の結果が生ずるおそれのあることにも留意しておく必要のあることを教えている。

次に留意すべき点としては、海岸侵食への対応の仕方、考え方の問題である。

海岸における土砂は、波浪や流れあるいは潮汐などの作用によって常に移動をくり返している。その結果、われわれにとって不都合な土砂移動によって汀線が後退し始めると、われわれはそれに一生懸命抵抗し、土砂の移動を阻止し、侵食を食い止めようとする。

しかし、この海岸地形が変化してゆく過程をよく考え、観察してみると、その時々を外力に対応して、海岸自体がより安定な地形へと、平面的にも立体的にも変形し移行しつつある状態であるということがうかがわれる。

造波水路に細砂などのいわゆる移動床材料を用いて一様勾配の直線海岸断面模型をつくり、これにある一定の波を送り続けると、初めの間は浜は急激に変化するが、次第に変化が少なくなり、ついにはほとんど変化しなくなる。この時の断面が平衡断面（又は平衡勾配）とよばれているものである。

現地の海岸では、潮位が変化するので水位は一定ではないし、模型実験のような一定の波が一定方向から長時間継続するということは稀であるし、また波によって生ずる沿岸流その他の流れが加わるので、海岸断面が平衡状態に達するということはほとんどないと考えてよい。

しかし、平衡状態には達しないとしても、常にその時々を外力に対応する平衡断面に移行しようとして変形を続けていると考えることによって、海浜の変形過程を容易に説明することができる。

したがって、先に述べたように、海浜の変形過程は、その地形におけるその時の外力条件に対応したより安定な海浜地形への移行形態であると考えべきであり、侵食対策もこの特性に逆らわないよう、これをうまく利用する方向で検討されなければならない。

次は、計画対象外力条件の問題である。

上にも述べたように、現地海岸は次々と変化してゆく海象条件に常に対応しつつ変形を続けているものであり、その結果が場合によっては堆積となり、場合によってはわれわれに都合の悪い侵食という形になって現われることになる。したがって、侵食対策にあっては常にこのような観点からの配慮が必要であり、侵食の原因やその対策を一つの特定の海象条件に限定して考えるべきではない。

また、一つの侵食対策工法を実施すれば、その地域の海岸侵食を長期間にわたり全面的に防止できると考えるべきではない。対策工法の施工によって現地の地形条件も変化するであろうし、年月を経過すれば、施工当時と海象条件の変化もありうるので、対策工を施工した後も常にその侵食対策機能を見守ってゆく必要がある。

次に計画にあたっての留意点についてふれる。

海岸侵食の原因が多くの複雑な要素から成り立ち、それらが複合して、結果として海岸線が侵食されるということを考えると、よほど単純な侵食形態でないかぎり、海岸侵食対策を一義的に計画することはさけるべきである。これが先にも述べたように、いまだに試行錯誤によらざるを得ない理由の一つである。

したがって、侵食対策工法はできるだけ柔軟な工法を選び、現場の状況に応じ、工法・規模およ

びその区域などについて常に変更や追加が可能な態勢を維持しつつ対策が進められなければならないと考えられる。

侵食対策工法は、その現象の複雑性に対応していろいろの工法が用いられ、それらの設計対象条件は必ずしも同一条件とは限らない。高潮対策では既往最大的な海象条件を設定すれば、各工法ともこの条件にしたがって計画されることになるが、侵食対策では、現地の状況に応じ、対策工法の種類によって対象海象条件が異なってしかるべきである。ただし、設置される工作物の安定性については、その海岸に発生しうる最大外力の大きさ、それが被災したときの予想される被害、およびその工作物の復旧再現に必要な経費などについて十分検討の上、総合的に勘案して計画されなければならない。

### 3. 侵食対策工法の選択について

現地の侵食状況に対応して、どのような工法を採択するかということは、いまなおむづかしい課題である。対策工法の選択を誤ると、侵食を防止するどころか、往々にして侵食を助長する結果になりかねないことに十分留意しなければならない。

侵食対策工法の選択にあたり、海岸侵食の原因、あるいは侵食機構の面から要請される対策を考えてみると、

- 1) 海岸線に平行方向の沿岸漂砂移動に対する対策
- 2) 海岸線に直角方向の漂砂移動に対する対策
- 3) 堤防・護岸等の前面基礎洗掘に対する対策
- 4) 海食崖などの基部洗掘によるのり面崩壊に対する対策
- 5) 外浜ならびに前浜地区、特に碎波帯部の大幅な海底変形の防止に対する対策
- 6) 構造物本体の沈下および洗掘に対する対策
- 7) 来襲波の消波、減衰に対する対策

などの点が考えられる。

これに対し、侵食対策として設置される工法の目的とするところは、

- 1) 海岸土砂移動のアンバランスを正常化する。
- 2) 地盤を被覆して、海岸土砂が波その他海水によって持ち去られるのを防ぐ。
- 3) 汀線が後退するのを防ぐ。
- 4) 前浜、外浜の海底が変形して深くなることを防ぐ。
- 5) 波が直接構造物や海食崖に衝突するのを防ぐ。
- 6) 構造物などの前面海底や基礎が沈下、洗掘されるのを防ぐ。

などの点が考えられ、これを要約すると、侵食対策の要諦は、

- 1) 土砂の流失を止める、あるいは極力少なくする、または汀線の積極的前進をはかる。
- 2) 海岸に到達する波力を極力小さくする。

の2点にしばられると考えることもできる。

したがって、侵食対策工法の選択にあたっては、

- 1) 常に土砂が安定して堆積できる条件を整備し、
- 2) あらゆる被害の原因となる波浪をできるだけ沖側で消波減衰させる。

ことに常に意を用いなければならない。

次に侵食対策工法の選択にあたり留意すべき事項について述べる。

- 1) 工法はできるだけ変更，補強，追加，場合によっては移設が可能であるような柔軟な工法がのぞましい。
- 2) 海底，海浜は常に移動していることを忘れてはならない。したがって，何か施設を設置すれば必ずその反応が現われ，かつ今までと異なった動きが始まるものと考えるべきである。
- 3) 侵食対策のみならず，海岸保全の望ましい姿は，安定した広い砂浜が存在することにある。港湾，漁港その他海岸線を他の目的に使用しようとする場合を除けば，天然の消波機能を備えた豊かな砂浜にまさる海岸保全施設はない。
- 4) 現状では，あらゆる種類の侵食現象に対し完全に対応できる経済的な対策工法はない。沖浜においてすべての入射波を完全に消波させることは現段階では極めて困難である。
- 5) 突堤，離岸堤が，沖側から波とともに来襲する土砂をできるだけ汀線付近に沈澱，堆砂させて積極的に汀線の前進をはかることを目的としているのに対し，堤防，護岸はその表のりで波を反射させて土砂が持ち去られるのを防ぐ消極的工法である。このため往々にして折角沖側から汀線付近まで波によって運ばれてきている漂砂を波と一緒に表のりで反射して沖側へ追い返す結果となっている。堤防，護岸の計画・施工にあたってはこの点に十分留意する必要がある。
- 6) 汀線変化はその沖側の海底変化と密接な関係がある。汀線付近あるいは陸上部に侵食対策施設を設置したからといって，それだけでは汀線変化の原因に対策を講じたことにはならない。したがって，堤防，護岸のみでは所詮侵食を防止することにはならないことを銘記すべきである。
- 7) 突堤や離岸堤などを設置して汀線付近に土砂を沈澱，堆積させようとするときは，周辺の波の反射をできるだけ小さくするようあらかじめ考慮しておく必要がある。

#### 4. 侵食対策工法の特性と問題点

侵食対策工法として現在用いられている工法を大別すると，

- 1) 海岸堤防・海岸護岸，2) 突堤（群），3) 離岸堤，4) 養浜工
- の4つに分類することができる。

このうち，1)の海岸堤防・海岸護岸は，汀線付近または前浜に設けられる消波堤，ブロック堤などと呼ばれている汀線に平行な堤状連続構造物をすべて包含して考えるものであり，2)の突堤は，漂砂対策ということであれば本来は防砂堤，導流堤なども含むものと考えられるが，ここでは侵食対策ということから本来の突堤のみに対象をしばって考えることとする。

以下，これらの各工法におけるその特性と問題点について述べる。

##### 4-1 海岸堤防・海岸護岸

###### (1) 海岸堤防だけでは侵食は防げない

海岸堤防は，元来海水の陸地への侵入を防止するためのいわゆる高潮対策工法であるのに対し，海岸護岸は地表をのり覆工で被覆して海水により土砂が持ち去られるのを防ぐ工法であって，本来設置場所や目的が異なっていたものが，最近の各地における海岸侵食傾向に伴い，従来の砂丘の消失や汀線後退による砂丘の相対高さの低下などの原因で高潮，高浪対策としての海岸堤防の設置が必要となり，現在では堤防が侵食対策として広く設置されるようになった。

これら堤防や護岸は，汀線の後退や浜崖の欠壊を直接くい止める手っ取り早い対策工法として今までひろく用いられて来たが，すでに各地における被災例が示すように，前面の海底洗掘を助長し，

堤体自身が欠壊、破堤した事例がかなり多い。

天然海岸の汀線に近く、波が常時とどく所に海岸堤防を設置すると、浜にうちあがった波は表のりに衝突し、反射されて沖側へもどる。波が斜めに入射する場合は波は堤防前面を拭い去るように下手へ流れ去る。このため堤防設置前より沖側へのもどり流れや沿岸流が早くなり、かつ多くなる。このことは、堤防前面の砂を沖側へあるいは下手側へと運び去る力が増大することに外ならず、堤防を新設するとかえって砂浜が取られてしまって侵食がはげしくなるというようになりかねないのである。

侵食海岸においては、堤防のみで侵食を防止できると考えてはならない。海岸堤防自体には、侵食防止対策としての機能はほとんどないといってよい。ただ、やや強固な材料で砂浜の一部を被覆しているにすぎない。基礎が洗掘されれば、この砂上の楼閣は一たまりもなく倒壊してしまうのである。

つまり、前浜の洗掘そのものを防止できる機能は持ち合わせているわけではなく、本格的な侵食対策工法とはほど遠いものであるというべきである。したがって、侵食性海岸における海岸堤防は、人家やその他まもるべき公共施設が浜崖のすぐ近くにある場合にはやむを得ず浜崖欠壊防止対策として用いるべき工法であり、汀線が後退したり、前浜が欠壊したり、堤防前面が洗掘されたりすることを防ぐ能力は、他の別の工法に受け持たせなければならない。また、多少の浜崖の後退が許される場合には、あわてて堤防を新設すべきではない。

## (2) 安易に堤防を新設すべきではない

天然海岸が大規模に欠壊し、背後地の人家や公共施設に被害を与えるおそれが著しく大きい場合には、海岸堤防を新設して海水の侵入を防止するとともに、突堤や離岸堤などの侵食対策としての工法を同時に施工する必要があるが、背後地に多少の余裕がある場合には、安易に海岸堤防を先行して設置すべきではない。

図-1は外洋に面した天然海岸に、海岸堤防を新設して失敗したと考えられる典型的な事例をモデル的に示してみたものである。

① 図のような天然海岸で、通常の波はA点付近まで、たまに來襲する台風でもB点付近までしか波が届かず、無堤ではあるが海水の侵入した例はほとんど無かった。しかし無堤であるため人家はなかった。

その後、次第に汀線が後退の様相を見せ始め、碎波点が次第に近付いたため、台風の來襲に際し図のように浜崖がけずり取られる結果となった。

この復旧対策として、従来の近傍の工法を模して、あまり深く検討することなく、浜崖欠壊防止という目的のもとに図のような海岸堤防を新設した。当時は前浜もまだかなりの広さを持っていたので、根入れもそれほど深いものではなく、基礎矢板などは用いていなかった。

② 堤防が新設されたため、海岸の安全度が向上したと受け取られて、背後地に人家が建つようになったが、このごろには前浜は次第にやせて来て、図のように一部基礎下端からの“吸い出し”も生じたので、慌てて根継ぎ工を実施するとともに表のりにも被覆を行なった。

③ 天然海岸のまま放置されていたら、あるいは生じなかったかも知れないと思われる前浜の洗掘が、新設され補強された基礎根継ぎの存在によって次第に大きくなり、波が常時堤脚に衝突するようになった後は更に洗掘が著しくなって来たので、図のような根囲工と根固ブロックを追加施工して堤防前面洗掘を防止しようと試みた。しかし根囲工の設置によって堤防法線がそれだけ前方に出たことになり、波の衝突、反射はそれだけ大きくなり、前浜の洗掘はむしろ促進される結果となった。

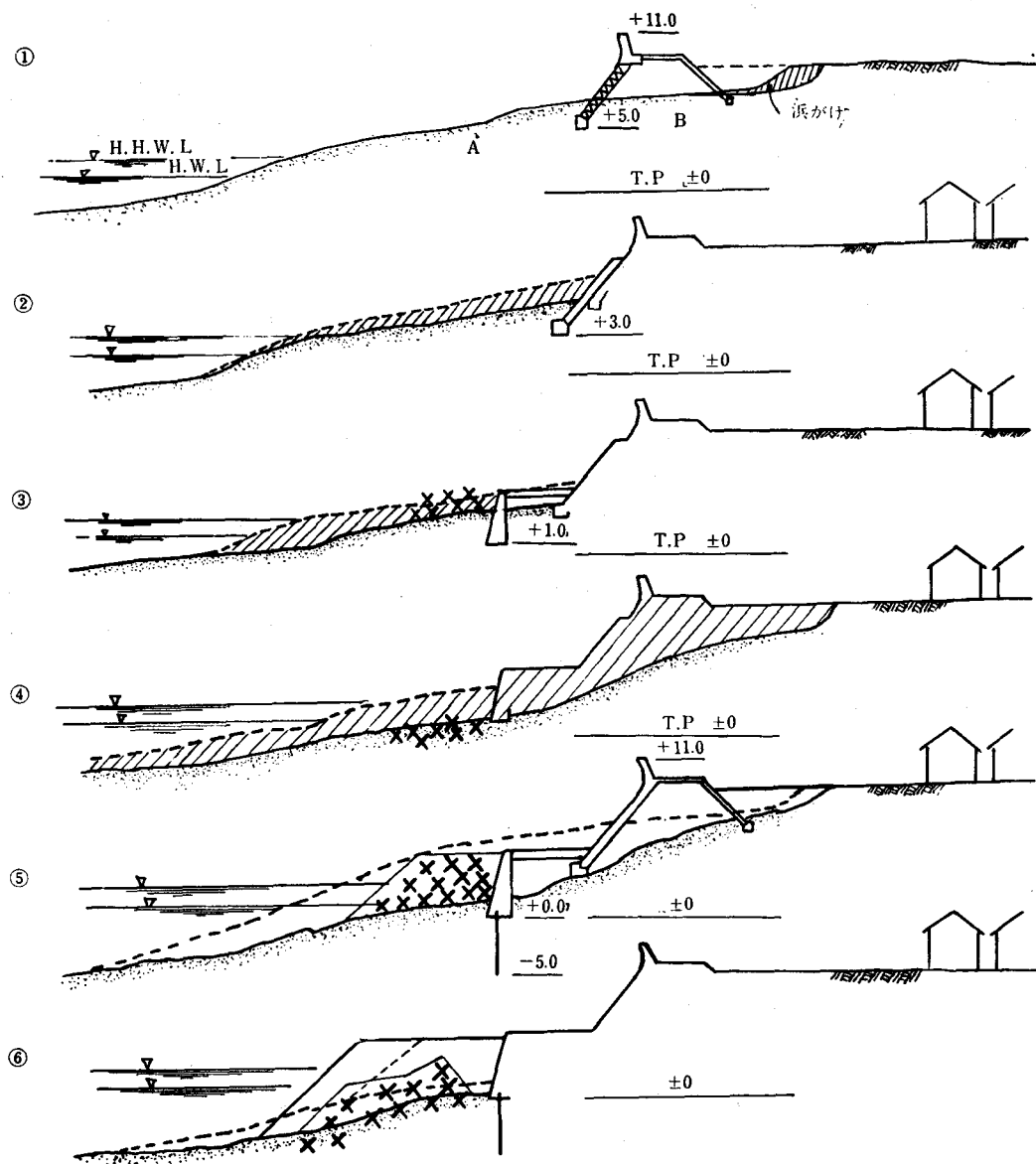


図-1 天然海岸の欠壊と復旧対策の失敗

④ 前浜の洗掘、消失とともに前面海底は一斉に深くなり、砕波帯はぐっと陸側へ近付き、大きな波が堤防直前で砕波するようになって、多少の根入れや消波ブロックではこの波のエネルギーに対抗できず、ついに破堤するとともに、浜崖の欠壊は一気に背後地に進み、人家に大きな脅威を与えるようになった。

⑤ 再度復旧が行なわれ、根囲工の下には長い矢板もうち込まれ、前面には多くの異形ブロックが投入された。しかし、このように変化をつづけてきた海浜は、これらの海岸堤防の存在によって波は常に大きく反射されるので、堆積性の波が沖側から大量の砂を堤防付近まで運んで来たとしても、堤防前面が反射波と入射波によって常に擾乱がつづいておれば砂は沈澱堆積することはできず、天然海岸であれば堆砂したであろうと思われる砂が沖側へハネ返されることになり、もはや他の砂堆積のための工法を海中に計画しなければ、このままでは堤防の前に砂がたまることを期待することは極めてむづかしい状態になっている。

⑥ 堤体は何とか被災をまぬがれたとしても、前面の消波根固工は、風浪や台風が来るたびに沈下し、越波や堤体への波圧が大きくなり、何回かは持ちこたえたとしても、そのうち被災破堤して④のようになり、また復旧をくり返すという形になる。

このような悪循環を断ち切るためには、①のような砂浜を再び回復させることが最も望ましい理想的な姿であるが、もうこの⑥のような状態では前面の海底も大きく洗掘されて深くなっており、離岸堤や突堤を設置するにしても水深が深すぎて通常の工費では効果的な工事は実施できず、止むを得ずブロックの追加を年々続けてゆくしか適当な工法がないという結果になる。

これは、一番始めの小さな浜崖欠壊の復旧対策の失敗が、次第にエスカレートして、尋常の手段では回復できない所まで追い込まれた一つのモデルである。

これはやや極端なモデルかも知れないが、大なり小なりこれに以た経過をたどった事例は多い。安易に堤防を新設すべきではない。

### (3) ソフトな構造—ブロック張り護岸

浜崖の欠壊対策として安易にコンクリート堤防などの固い構造物を新設することはさけるべきであると述べて来たが、諸般の情勢から構造物を設置する必要性を生じた場合には、できるだけソフトな構造物をつくるように心がける必要がある。ソフトな構造物ということはルーズな構造にも通じ、あまり固い丈夫すぎるものはさけるべきであるという意味である。ここでは今までの固い構造物に替えて、最近試行的に実施されているブロック張り護岸について紹介する

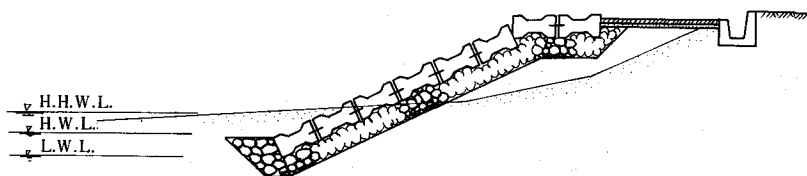


図-2 ブロック張り護岸

「ブロック張り護岸」という名称は仮にそう呼んでみただけで正式の呼称ではない。図-2のように、異形ブロックを栗石又は捨石の上に並べただけの構造である。

この工法は、

- 1) 凹凸ある斜面で遡上してくる波をある程度消波させる。
  - 2) その一部を渗透させ吸収する。
  - 3) したがって、のり面におけるもどり流速と水量が減少する。
  - 4) 前面が洗掘されればある程度まで追隨する。
  - 5) 堤体土砂が多少流出しても、ブロックは表面をカバーして全面的な欠壊、破堤を防ぐ。
  - 6) 仮に被災しても、沈下、散乱したブロックを集めて再度設置し直すことができる。
- というような特長を有し、波力の比較的小さい所では十分効果的な工法と思われる。

このブロック張り護岸は、天然海岸の浜崖欠壊対策として考えられたものであるから、常時波が届くところに用いるのは適当ではなく、天然砂丘をブロック張りすることによってやや強度を上げたところと考えるべきものである。

したがって、数年あるいは10数年に1度というような大きな波が来襲した時には、その一部は被災することもありうると始めから考えておくべきである。ただし、被災はしても、背後地への波の実質部分の侵入はいくいとめることができ、背後の人命・財産をまもるという本来の海岸保全の目的が達せられるならば、この程度の被災は許さるべきものであり、災害の都度維持、復旧さるべきものと考えられる。

#### (4) 侵食対策を別途に同時に考える

浜崖の欠壊対策をソフトな構造で考えたとしても、それだけで浜崖の欠壊を防止できるわけではなく、浜崖の欠壊が生じた原因に対応できる侵食対策工法を、別途、同時に、浜崖より前の位置で、本来は海の中において講じなければならない。

すなわち、離岸堤や突堤などを海中に設けて汀線の後退も防止したり、あるいは前浜や汀線付近に異形ブロック堤（異形ブロックを2～3段積みにした消波目的の連続堤）を設置して、波を直接浜崖に衝突させないような配慮が払われなければならない。そしてこれらの対策は、前もって、あるいは少なくとも同時に講じられるべきであって、様子を見て……とか、あるいはなるべく早い機会に……では間に合わないことがあるので注意を要する。

ブロック張り護岸のようなルーズな工法でも、天然海岸のままよりは反射率が高く、前浜の洗掘を助長する可能性があると考えるべきである。まして強固なコンクリート護岸を止むを得ず新設するときは、これに伴う前浜洗掘の可能性をできるだけ小さくするために、護岸を新設する前に、あるいは少なくとも同時に、侵食対策の諸方策が講じられなければならない。

堤防や護岸だけでは、侵食を防止することはできないと考えるべきである。

#### (5) 異形ブロック堤（消波堤）

汀線付近または前浜上に異形ブロックによる堤状の連続構造物を設置し、入射波を減衰、消波させるとともに、なるべく反射波を小さくし、前面海浜、海底の洗掘、侵食を防ぐようとして考え出され、最近各地で試行的に設置されているものである。

使用例の一つは海食崖後退防止対策として用いられている例である。

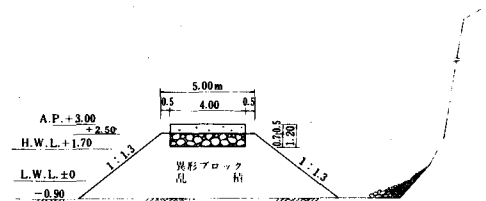


図-3 海食崖後退防止対策の異形ブロック堤

千葉県の屏風ヶ浦では、平均水深0.5m前後の軟岩層上に異形ブロックを2層積みに設置し、崖基部の侵食を止めることによつて崖崩壊が著しく減少し、崖後退の速度が減じ侵食防止にかなり

の効果があると考えられている。この場合は水深が比較的浅かったため重機が直接海中に入り施工できたが、同じく千葉県の大東岬では、やや固い軟岸層の位置が少し深く、ブロック堤の設置水深が1～2mとなり、汐間作業も作業船による作業も困難視されたため、図-3のように乱積した異形ブロック堤の天端をコンクリート等により舗装し、片押しに施工してゆく方法が取られている。

これらの例は、越波、跳波による崖崩壊を防止する意図のもとにいずれも海食崖基部から数m程度と巨離をおいて設置されており、一種の離岸堤とも受け取れるが、これらブロック堤の背後空間はまたのり面上部の崩落土砂のポケットとしても考えられ、土砂堆積後は通路その他に供用可能との見地にたって数mの空間をおいて設置されているものである。

同じ海食崖対策ではあるが、かなり広い砂浜の背後、崖の直前にやはり基部に数mの空間を残して砂浜上に異形ブロック堤が施工されている例がある。ここでも台風その他しげの時には波が崖の基部まで届いて崖基部が侵食され崖の後退が続いて来たものである。

同じ崖対策として異形ブロック堤が用いられているが、前者の2例は海中のほぼ水平な軟岩層上に設置してあって、ブロック堤の早期沈下も考えられず、有効に作動していると考えられるのに対し、後者の例は砂浜上に設置しており、前浜および汀線付近の侵食作用に対しては多くの効果を期待できず、中途半端な工法とも考えられる。

異形ブロック堤の第2の使用例は、先にも述べたように、通常の堤防、護岸の前面に消波効果と前浜維持の効果を期待して設置されるものであり、根固工を前面に押し出した形と考えられる場合もある。

背後の堤防、護岸の表のりより波の反射性が小さく、かつ適度の空間と粗度があるため、これを設置することによって前浜および堤防前面に堆砂が促進されたという実施例もあり、固い堤防を新設する際には一応考慮に価する工法であると考えられる。

ただし、前の浜崖対策に用いられる場合と同様、この砂浜上に設置した異形ブロック堤は、本来汀線付近の侵食作用に対して多くの効果を期待できるものではなく、汀線維持対策は別の方途を考えるべきであることを忘れてはならない。

#### 4-2 突堤群

侵食対策工法として用いられる突堤は、単一堤として計画される例はほとんどなく、一般に突堤群として用いられる。

往時は材料、技術および経費の面で侵食対策としての海岸護岸の築造は著しく困難であったため、突堤はかなり古い時代から用いられて来ており、最近になって離岸堤が用いられるようになるまでは、侵食対策としてはもっぱら突堤が用いられて来た。

##### (1) 突堤の目的と機能

突堤を侵食対策工法として用いる場合の目的およびその期待する機能としては、

- 1) 沿岸流を海浜から遠ざけて沖側へ追いやる。
- 2) 斜め入射の波を突堤先端部で碎波、減衰させる。
- 3) 沿岸方向の漂砂の一部を捕捉、堆砂させる。
- 4) 各突堤間の土砂の移動を規制し、汀線の方角を波向きに垂直になるように変えて汀線を安定させる。

というような点が考えられる。

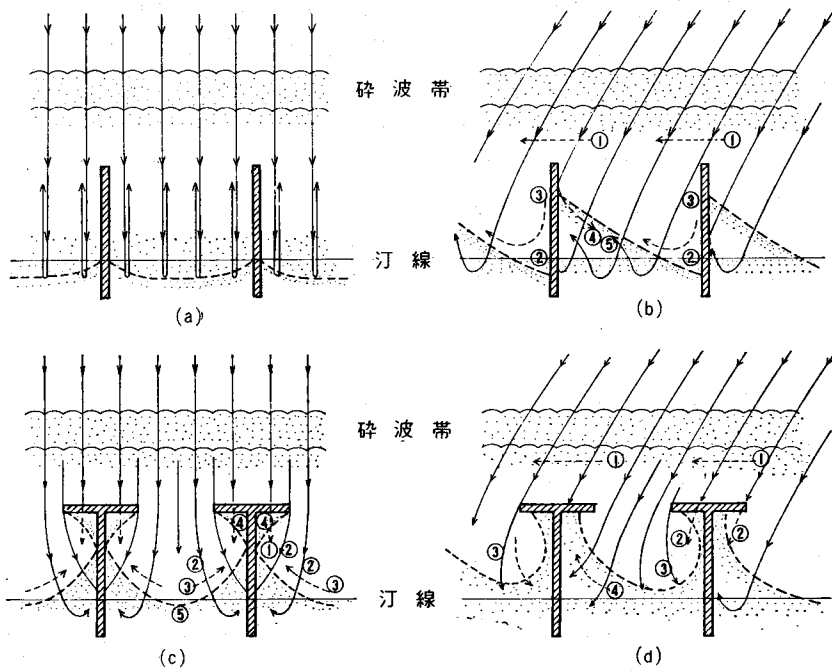
漂砂対策としての防砂堤などでは、沿岸流をしや断し、沿岸漂砂のほぼ全量を阻止することが目的とされるが、突堤群は、前浜と碎波帯の間にあって、沿岸流、沿岸漂砂など沿岸方向の動きに対

して一種の緩衝地帯あるいは遷移領域を形成することにより、海浜地帯の安定化をはかろうとするものであり、このため比較的短い突堤を数多く間隔をつめて配置し、突堤群としての効果を十分発揮させることが必要と思われる。

## (2) 直線型とT型

異形ブロックの普及につれて、最近各地でT型突堤が用いられるようになった。これは一つには、従来はもっぱら沿岸漂砂が卓越する「ヨコ侵食」対策として突堤が用いられてきたので、直線型突堤群でもかなりの効果をあげることができたが、土砂補給源の減少が大きな要因とみられる最近の汀線と垂直方向の「タテ侵食」傾向の増大によって、従来の直線型では効果が思わしくなくなったこと。また、突堤の先端部にあつて最大の波力を受け、かつ波峯とほぼ平行になる時に同時に集中的な波力を受けるために、従来は技術的にも経済的にも実施困難とされていたT型突堤の横堤の部分が、ブロック重量の大型化によって、少々の高波にも十分耐えうる安定性の高い異形ブロック工法が次第に定着し始めたことにより施工可能となったため、T型突堤が次第に用いられるようになってきたものと思われる。

それでは、直線型とT型とは機能的にどのような差があるものであろうか。



図－４ 直線型突堤とT型突堤の堆砂機能

図－４は、直線型とT型の突堤群の、それぞれの堆砂機能を模式的に示してみたものである。

(a) は直線型に波が汀線に垂直に入射する場合である。波形勾配の大きい波の場合には、点線のように汀線が後退してゆく可能性があり、突堤の侵食防止機能はほとんど認められない。これに対し、

(b) は波が汀線に斜めに入射する場合である。碎波帯では沿岸流が点線①のように発生し、これ

によってかなりの土砂が突堤前面を下手側へと運ばれるが、沿岸漂砂量の一部および汀線付近の漂砂は突堤によって捕捉され、突堤の上手側に堆砂が進み、汀線は入射波の波向きにはほぼ垂直になるまで変形をつづける。

突堤のすぐ下手側②の付近は③のような流れによって土砂が持ち去られるため侵食される。④のような、突堤で反射された波は、⑤のような汀線付近で斜めに反射されたジグザグ波と衝突して土砂を沈澱させる。一般にはこの④のような波の反射率を小さくすると共にその一部を通過させて突堤裏の②の部分への土砂補給を期待するために突堤を透過構造とする例が多い。

(c) はT型突堤に波が汀線に垂直に入射する場合である。(a)では直進し、反射されていたものが、②のように横堤で回折して③のような突堤に向かう流れを誘発し、次第に点線のように頭部に向かって汀線が変形してゆく、横堤を越波したり、透過構造の場合にはその中を通過してくる波によって、横堤の背面部④にも土砂が堆積することがある。突堤の間隔が広すぎると、中央正面部⑤の付近は侵食される例が多い。

(d) ④のような流れによって突堤の上手側に堆積する点は上の(b)と以ているが、③のように下手側にも回折波によって堆積が進み、(b)の②のような欠潰が少なくなる。

このように、T型突堤は直線型突堤に比べてかなり補砂能力が高く、直線型ではあまり効果が上がらなかった現場でその頭部に横堤を追加してT型とすることによって堆砂が進み成功したという例がかなり多い。このような場合には、突堤よりもむしろ離岸堤としての効果が現われたと考えられる。また、図-4の(a)のような、波が常に垂直に入射することがかなり明らかな場合には、始めからT型突堤または離岸堤として計画すべきであり、直線型は図の(b)を予想して計画されるべきである。

### (3) 透過と不透透

突堤にどの程度漂砂を捕捉させるかということは、突堤の長さや間隔に負う所が大きい、その構造と高さにも大きく関係する。

突堤の構造については、それを透過構造（海水とともにかなりの土砂が堤体を横断通過出来るものをいい、いわゆる半透過式とよばれるものを含む）とするか、不透透構造とするかの二つの考え方がある。

「突堤は沿岸漂砂を捕捉するのが目的で建設されるのであるから、この目的からいって砂を通さない不透透構造である方がよく、その捕捉率が大きすぎる時は長さや高さを加減すればよい」とする不透透構造の考え方に対し、「突堤の漂砂捕捉率を始めから定めることは困難であり、施工後長さや高さを加減する必要が生じることを考えれば、長さ、高さ、透過度ともに変更が比較的やりやすい透過構造の方がよい」とする考え方もある。

漂砂を完全に阻止しようとする防砂突堤などでは、砂止めのために当然不透透構造が有利と思われるが、侵食対策工法としては、透過式の方が有利ではないかと考えられる。

ここで、透過式と不透透式のそれぞれの特長と問題点について考えてみよう。

まず、不透透式構造は、

- 1) 平滑、鉛直面が多いので、衝撃的同時波圧を受けやすく、受ける波力が大きいので十分堅固な構造とすることがある。
- 2) 不同沈下、基礎洗掘等に弱い。
- 3) 延長、補強、かさ上げなどの改良や計画変更が困難である。
- 4) 移転、転用はほとんど不可能。

5) 被災した場合は全体をつくりかえねばならない。

6) 沿い波が走りやすく、反射波も大きいので、上手側での海面の擾乱が大きく土砂が沈澱しにくい。などの欠点を有するが、

① 堅固な構造と十分な基礎工を実施するので信頼性が高い。

② 防波、砕波能力が大きい。

などの利点もあって、ひろく用いられている。

一方透過式構造は、

1) 一般に基礎工が簡単ですむために経済的ではあるが、反面沈下しやすい。

2) 砕波、反射、防波の機能が小さい。

3) 幅が小さいと波が通過し、堆砂効果が小さい。

などの欠点を有するが、

① 適度の空隙と粗度のために受ける波力も小さく、集中的な同時波圧を受ける例は少ない。

② 延長、継ぎ足し、補強、かさ上げなどの改良や計画変更が比較的容易である。

③ 捨石、捨ブロック式などでは、位置の変更や移転、さらには部材の転用も可能であり、材料の汎用性が高い。

④ 沈下しやすいが、かさ上げも比較的容易である。

⑤ 屈撓性に富み、不同沈下の影響が少なく、かつ容易に復元が可能である。

⑥ 沿い波が少なく、反射波も弱いので堆砂に好都合である。

⑦ 突堤の堤体の中を土砂が通過するので、下手側の侵食を緩和する効果をもつ。

⑧ 堤体を水が出入できるので、入射波によって突堤の上手側の水位が上昇して堤体下部にパイピングが生ずるおそれが少ない。

などの利点があり、異形ブロックの普及とともに最近その使用例が多くなっている。

#### (4) 海面の静穏度について

突堤により土砂が堆積するためには、いろいろな条件のほかに、堆砂予定水域の静穏度が問題になる。すなわち、他の条件がそろっていても、水域が常に著しい擾乱の状態にあれば、なかなか期待するような堆砂は進まない。護岸の前面水深が1 m以上もあるような所では、突堤を透過式のソフトなものにしても、なかなか土砂は堆積せず、まして不透過の固い構造の突堤を設置すれば、護岸の基礎が更に洗掘される危険性なしとしない。

新らしく埋立護岸などが海岸線に垂直に設置されると、突堤に似た作用で砂がたまるべき所を、逆に急速に砂が取られてしまうことがある。

これは、突堤（埋立護岸）などの新設により、

図-5のように隅角部に入射する波が大きく反射される一方、①や②のように両側から入ってくる波によって突堤の隅角部に海水がたまり水面が上昇し、このため③のような強い流れが生じ、沖側から運ばれてきた浮遊土砂のみならず、隅角部付近の海底土砂までも沖側へと運び去ることになる。

したがって、このようなかなりの波高が存在するような水深のあるところでは、あら

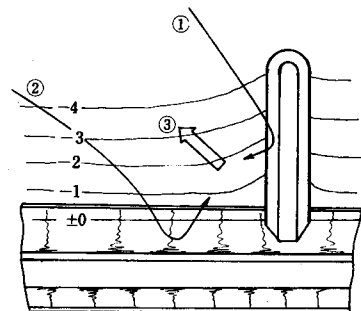


図-5 隅角部の波

はじめ反射を消すための消波工を設置するか、始めに養浜して護岸のり尻の水深を一から十にかえておかないと、なかなか期待するような土砂堆積は生じにくいと考えられる。

#### 4-3 離岸堤

最近になって各地で離岸堤が侵食対策工法として用いられるようになった。

波向きが一定せず、従来の直線型突堤群では予想した効果が期待できないこと、T型突堤の成功により更に離岸堤へと計画を発展させていったことなどが主な理由と考えられるが、海岸保全への認識が高まり、海岸侵食に対しかなりの投資が行なわれるようになったことや、大型異形ブロックの出現と施工技術の進歩なども又理由の一つであろう。

さらには、最近の海洋性レクリエーション対策の一環として、豊かな砂浜と静かな海への要望が急速に高まり、この面からも離岸堤工法の発展へ大きな期待が寄せられている。

##### (1) 離岸堤の目的と機能

###### (A) 消波または波高減衰を目的とするもの

- 1) 海岸堤防や護岸への波うち上げ高あるいは越波量を小さくし、計画堤防高の引き下げや消波工の新設、補強の代替とする。
- 2) 漁業その他利用上の目的から、海面の静穏を保持する。
- 3) 海食崖や海浜の波浪による侵食を防止し、または軽減させる。
- 4) 沿岸流、離岸流あるいはもどり流れなどの発達を阻止する。
- 5) 2次または3次の碎波を促進させる。
- 6) 波高減衰により波形勾配を小さくし、堆積型の波に変形させる。

###### (B) 堆砂、トンボロの発達を目的とするもの

- 1) 碎波帯およびその沖側の海底土砂を堤内側に搬入し、沈澱させて堆砂させる。
- 2) 堤内側の土砂の沖側への流出を防止する。
- 3) 汀線漂砂および沿岸漂砂を規制し堆砂させる。
- 4) 回折波を発生させて、トンボロを発達させる。

以上が離岸堤の目的、あるいは機能と考えられるが、これを要約すれば、突堤群の場合と同様に、離岸堤の設置により、その沖側の海面の擾乱に対して一種の緩衝地帯を形成し、背後地に静穏な海面をつくり、海浜地形の安定化をはかろうとするものである。

##### (2) 連続堤と島堤

消波または波浪減衰を目的とする場合には、対象区域のほぼ全域をカバーする連続堤の方が有利と思われるが、かなりの離岸距離がある場合は多少の開口部があってもその消波能力にたいして差はないと思われる。

離岸距離が比較的短い場合の連続堤には、堤内の沿岸方向への流れを阻止するために突堤状の縦堤を適当な間隔をおいて設置する必要がある。

また、不透過の連続堤では越波により堤内側の水位が上昇し、離岸堤基礎部にパイピングが生ずるおそれがあるので、適当な間隔で沖側への水通しを考慮しておく必要があると思われる。

##### (3) 設置位置

トンボロの発生や堆砂の面からみると、浅い位置に設置されたものの方が結果はよいようである。

設置位置が深くなると、しゃへい水域は広がって好都合であるが、設置位置付近の海底変動が大きくなり、設置工事費のみならず、その後の離岸堤維持に相当の経費を要することをあらかじめ十分考慮しておく必要がある。

#### (4) 島堤の1基の長さ

長さは設置位置に大きく支配される。あまり短いものは効果がないし、長すぎると逆に堆砂効果は下がり不経済である。

1基だけ設置する場合は、群堤として施工する場合よりやや長めにする例が多い。

群堤として施工する場合、浅い所では50～100m、深い方では100～200m程度が普通である。

#### (5) 島堤の間隔

離岸距離が短い場合に、島堤の間隔をあまりひろく取ると、開口部の正面が侵食される例が多い。適当に波が回折波となって流入するとともに、堤内側の海水が適当に堤外へ流出して、堤内水位が上昇しない程度の開口部がのぞましい。

島堤1基の長さを長くして、幅ひろい開口部を設けるよりも、比較的短い島堤を群堤状に多数配置し、比較的せまい開口部を数多く配置した方が結果が良いように思われる。

開口幅は、浅い方では10～30m、深い方で30～50m程度とする例が多い。

#### (6) 高さ

離岸堤の消波能力からみて、少なくとも水面以上の高さを必要とする。水面より上にどの位の高度が必要か、あるいは水面をどの程度に考えるかについては明確な定説はないが、暴風時の離岸堤の効果、あるいは夜間時の船舶航行の安全性などからみて、

朔望平均満潮面 +  $\frac{1}{2}H$  または1.0～1.5m

程度の高さを維持させることがのぞましい。

#### (7) 構造

比較的浅い位置に設けられる場合には、

- 1) 離岸堤による波の反射をなるべく小さくして前面の洗掘を防ぎ、
- 2) 透過性をもたせて離岸堤の背後に波と一諸に底質が流入することを期待し、
- 3) 適当な粗度によって斜め入射波による沿岸流ならびに沿岸漂砂に抵抗させ、
- 4) 堤内側に流入した海水を、開口部のみならず堤体から自然に沖側へ排水させて局所的なもとまり流れの発生をなるべく少なくする。

などの理由から、適当な異形ブロックを使用する方が得策と思われる。

次にやや深い地点に設置される場合も、最近では異形ブロックが用いられる傾向が強いが、これについては、適度の透過性、消波性、安定性、施工性、あるいは大重量ブロックの製作の容易性、沈下または被災後の補強、かさ上げ、あるいは計画変更による延長継足または延長削減に伴う撤去移転などあらゆる面で離岸堤構成材料として有利と思われる。

なお、大重量の捨石が容易に入手できる地方は捨石堤あるいは混成堤などの工法も十分検討に値するし、またさらに深い位置に設置されるもっぱら消波対策としての離岸堤は直立堤や混成堤が用いられるべきである。

### 4-4 養浜工

侵食対策のみならず、海岸保全ののぞましい姿は、天然の消波機能を備えた豊かな広い砂浜が存在することにある。したがって、事情が許せば、他の侵食対策を実施するよりも、砂そのものを直接海岸に供給する養浜工にまさる対策はない。

しかし、わが国の現状では、行政上あるいは経費の面で、無条件に養浜工を施工するまでには至っていない。港内浚渫土砂の流用や、地方公共団体における小規模の実施例がある程度である。しかもこれらは、併行して、あるいはあらかじめ設置された突堤または離岸堤によって、養浜した土

砂が残存できたものと考えられ、養浜工のみを施工した場合には比較的短い時間にそれらの大砂は消失してしまう可能性があると考えられる。

したがって当分の間は、これら突堤あるいは離岸堤などの侵食対策工法と併用しながら実施されてゆくことになるものと思われる。

養浜工の計画にあたり留意すべき事項について述べる。

- 1) 養浜は前浜に直接供給すべきで、沖浜に投棄しても失敗した例が多い。
- 2) 現地の粒径より大き目の粒径の砂を用いた方が結果がよいといわれている。
- 3) 前浜に到達する波のエネルギーを出来るだけ小さくするため、離岸堤あるいは潜堤を設けたり、または外浜の海底を捨石等で浅くして碎波を促進させるなどの措置を講ずると成功率が高い。
- 4) もともと侵食性の海岸に養浜するのであるから、一回の養浜で海浜が維持されるという保証はなく、年々養浜を継続して施工してゆくことを前提として計画される必要がある。

## 5. 海岸侵食対策の問題点と今後の課題

以上、現在用いられている侵食対策工法の問題点について述べて来たが、ここで侵食対策全般についての問題点とその後の課題についてふれる。

### (1) 海岸侵食とはなにか

多くの深浅測量成果から明らかなように、海岸の汀線変化はその沖側の海底変化と密接に関係している。しかし、汀線が後退した時は常に海底も侵食されて深くなっているかということ必ずしもそうではない。

ある一定の水深、たとえば何回かの深浅測量成果からみてあまり変化のない程度の水深を選んで、それより浅い部分の海底の断面積を計算してみると、汀線が後退したからといって、その断面の海底がすべて侵食されている訳ではない。汀線付近だけが少し深くなって汀線が後退し、沖側の沿岸砂州が発達して断面内の土量変化はほとんどないという場合もかなり多い。

しかし、われわれが土地として支配できるのはあくまでも陸上であり、前浜海底が浅くなつていようと汀線が後退すればそれはわれわれにとって侵食と受け取らざるを得ない。

したがって、なお当分の間は汀線の変化が直接対象になるであろうが、将来、技術の進展によっては、もう少し深い所までを一体として考えた対策を講ずるようになるものと思われる。

### (2) 本格的な侵食対策工法ではない

海岸堤防の項では、汀線後退を堤防だけで阻止しようとしても無理であり、必ず本来の侵食対策工法である突堤や離岸堤を同時に施工すべきであると述べた。しかし、果して突堤や離岸堤で本格的に侵食が防止できるものであろうか、答は否である。

われわれが設置している突堤や離岸堤は、ほとんど全部が碎波帯の内側であり、稀に離岸堤を碎波帯の外側に設置することがあっても、移動限界水深を越えることはない。

したがって、大部分の侵食対策工法は、もっとも海底変化の大きい地域より陸側に設置されているものであり、これらの侵食対策施設によって海底変化が規制されることにはならない。むしろ場合によってはその沖側の海底洗掘を助長する結果になりかねないのである。

それでは本格的な侵食対策とはいうと、前にもふれておいたように、少なくとも沖浜領域で入射波のほぼ全部を完全に消波させるか、外浜領域の海底が全く変化しないように別途対策を講ずべきであり、これらはいずれも現状では実現がかなり困難な問題である。

### (3) 急深の海岸侵食にどう対処するか

外浜領域にバーが存在する程度の緩勾配の海岸における侵食は、いわば経済性の問題で、対策が講じられないということではないが、前浜から沖浜まで海底勾配がわずか数分の1（つまり $\frac{1}{10}$ 以下）というような急傾斜の海底をもつ海岸が侵食され始めた場合には、現状では講ずべき対策は見当らず全くお手上げということになる。このような点から、駿河湾奥部や相模湾西部などの地域における汀線変化が注目される所である。

#### (4) 堆砂と海面の静穏度

突堤や離岸堤などによって堆砂を促進させようとする場合には、堆砂予定水域をできるだけ静穏に保つような方策が考慮される必要がある。この点、天然海岸に設置される突堤や離岸堤は汀線位置での消波効果によって、かなりの堆砂効果が期待できる。

これに対し、海岸線が護岸その他でかなりの水深があり、砂浜が存在しない場合には、天然海岸の場合にくらべて水面の擾乱が大きいため、土砂は沈澱しにくく、堆砂は期待しがたい。突堤や離岸堤が不透過構造の場合はこれらの反射も加わって堆砂はさらに困難となる。

このような場合には、これらの施設ならびに海岸護岸前面に異形ブロック等による消波工を設けるか、あるいは捨石、さらには養浜を実施して反射率を小さくし、水域の静穏度を高めることに努力する必要がある。

#### (5) 静穏度と汚染

離岸堤などが十分効果的に作用して、堆砂が促進されるような海岸で、最近になって汚染が著しくなり、砂浜のみならず、海底から海域に至る一帯の汚染対策が大きな問題としてクローズアップされつつある。

すなわち、砂が堆積するような場所では、当然それより軽く動きやすいヘドロやゴミが離岸堤によって海岸付近に集められる結果となっている。

したがって、今後離岸堤を利用したレクリエーション対策等の海面、海岸利用を計画する際には、付近海域の汚染源に十分注意し、折角の静穏な海面と豊かな砂浜が、ヘドロとゴミに埋まるような結果にならないようこれらの対策をも十分検討して計画を進める必要がある。

#### (6) 突堤、離岸堤の沈下対策

かなり浅い位置に設置された場合には、沈下対策としての基礎工を別に設けるよりも、沈下相当分だけ高く施工するか、あるいは沈下した場合には後でかさ上げをした方が得策であり、経費的にみて別段特別な基礎工を用いない方がよい。

やや深い位置、特に碎波帯近くに設置される場合には最も沈下しやすい位置であり、十分な沈下対策が必要である。まず沈下の原因として考えられるものは、

- 1) 本来海底変化の激しい領域であるから、突堤や離岸堤を設置するまでは相当の海底変形があった所であり、突堤や離岸堤を設置したからといって、その付近の海底が急に変化しなくなるということは考えられず、海底変形の一部としてこれら設置箇所の海底が沈下する。
- 2) 突堤、離岸堤の設置によって、その前面または周辺海底洗掘が促進され、これに伴って堤本体の基礎付近も次第に洗掘、沈下する。
- 3) 突堤、離岸堤の堤内側が越波等によって水面が上昇し、沖側の水面との水位差が生じ、パイピング作用等で基礎の海底土砂が動き沈下の原因となる。
- 4) 透過式構造の場合には、水面付近の擾乱が海底付近にも及び、堤体下の砂が動いて沈下の原因となる。

などの原因が考えられる。

これに対し、

- 1) に対する適切かつ経済的対策はなく、何回か補強、かさ上げする以外にない。
- 2) に対しては、その前面に根固工的な工法を用いてある程度防禦することができる。
- 3) に対しては、堤体上部および平面的に適当な位置で堤内水の沖側への排水を考慮する必要がある。
- 4) に対しては、堤体基礎工を実施し、適当な材料で海底をカバーすればよい。

従来の使用例からみると、捨石工が最もすぐれ、蛇籠工がこれに次ぐと思われるが、蛇籠を用いて沈下した例は多く、沈下防止という点では確実な工法とはいいがたい。マット類やシート類については、破損する例が多く、施工上の信頼性や経費の面からこの場合にはあまり適当な工法とはいいがたい。

適当な基礎工がない場合には、沈下後かさ上げしてゆくのも一つの方法であり、結果的にかなり経済的となった例も多い。