

離岸堤工法の設計指針

豊 島 修*

1. はじめに

侵食対策工法としての離岸堤工法には、

- a) 消波または波高減衰を目的とするもの
- b) 堆砂・トンボロの発達を目的とするもの

の2つのケースがある。

このうち、a) の消波目的のケースは、ある程度理論的な取扱いが可能であり、水理模型実験によって波高減衰効果も把握できるので、施工後の堤体の維持や沈下対策などの問題はありますが離岸堤の水理的設計が可能である。

これに対し、b) の堆砂を目的とするケースは、元来この工法が水理学的に明快な根拠をもって採用されてきたものではなく、多分に経験的に、試行的に実施されてきたものであるだけに、現象の理論的取扱いが困難であり模型実験についても移動床による実験の現地との相似になお多くの問題が残されているため、消波を目的とする離岸堤にくらべてその水理的設計は困難であり、現在においてもなお試行的に実施されている状況である。

筆者は、数年来わが国に現存する離岸堤についての調査¹⁾を進めるとともに、各地における最近の離岸堤計画の設計・施工に関与し、その堆砂効果に関する検討^{2),3)}を行ない、堆砂を目的とする離岸堤の設計について一応の指針を得た。

ここでは、これらの検討と考察の結果をとりまとめ、主として堆砂を目的とする場合の離岸堤の設計指針と、設計・施工上の問題点について述べる。

2. 設置水深による分類

既往の施工例について検討した結果、離岸堤の堆砂効果を支配する重要な要素の一つは、その設置水深であると考えられるので、ここでは離岸堤をその設置水深によって分類し、そのグループごとに考察を進めることとする。

設置水深による分類は次の4方式とする。

- ① 汀線前方式
- ② 小水深方式
- ③ 中水深方式
- ④ 大水深方式

3. 各方式の採択基準

(1) 汀線前方式

汀線付近あるいはそのすぐ前面に離岸堤を設置するもので、根固工あるいは消波工を汀線よりやや前に出した形のものである。この方式は構造も比較的小規模ですみ陸上から簡単に設置可能であり、条件が揃えばきわめて経済的な工法といえることができる。

この汀線前方式は

- (1) 堆砂あるいは造成すべき海浜が比較的小規模でよい場合
 - (2) 現在の汀線維持を主たる目的とする消極的侵食防止対策の場合
 - (3) 堤脚洗掘防止あるいは越波防止対策としての小規模な前浜を確保することが目的の場合
 - (4) 汀線付近の勾配が急で②の小水深方式によりがたく、かつ汀線付近に離岸堤を設置しても海岸利用上特に支障はない場合
- といった場合に採択すべき方式と思われる。

(2) 小水深方式

この方式は、比較的近浅海岸などで、①の汀線前方式よりやや沖側に設置する方式で、原則として施工時の水深が1m以下の場所で、陸上施工機械を用いて施工する方式である。この方式は、次のような条件の場合に採択すべき方式と思われる。

- (1) 遠浅の海岸、または比較的潮差の大きい海岸で相当の離岸距離をとれる位置がなお陸上施工方式が可能な場合。
- (2) 離岸堤に期待する堆砂の範囲、規模が比較的小さく、深い位置に設置して広範囲の堆砂を求めるよりも浅い位置に設置してより確実な堆砂を期待する場合。
- (3) 海底が比較的浅い平坦な岩盤などで構成されていて、沖合には砂が存在し、荒天時の波浪によってこれらの砂が海岸へ運搬される可能性がある場合。

(3) 中水深方式

最も一般的に用いられる方式で、②の小水深の沖側、通常の荒天時の碎波帯内に相当する位置に、船を用いて海上施工する方式で、施工時の水深が2m以上あって、次のような条件の場合に採択すべき方式と思われる。

- (1) 汀線付近の海底勾配が急で②によりがたい場

* 正会員 建設省河川局海岸課

合。

(2) 水深 2~4m 付近の海底が比較的平坦で、かなりの離岸距離をとることが可能な場合。

(3) 海底下質の移動が顕著で、離岸堤の設置によって堆砂が十分期待できると考えられる場合。

(4) 大水深方式

通常の荒天時の碎波帯の沖側に相当する位置に設置する方式で、一種の防波堤に近いものであり、堆砂を目的とする場合にはやや不向きと考えられるが、次のような条件の場合に採択すべき方式と思われる。

(1) 汀線付近の海底勾配が急で、②または③の方式による適当な位置がなく、やむを得ずやや深い位置に設置せざるを得ない場合。

(2) 汀線からある一定の距離の水域を確保する必要がある場合。

(3) 浅い位置に設置することが海岸・海面利用上著しく不適当であり、もっぱら消波または波浪減衰効果によって汀線の安定と侵食防止効果を期待する場合。

(4) 碎波帯内の海底変動がきわめて大きく、離岸堤の維持または沈下対策上、これをさけてその沖側に設置しようとする場合。

(5) 波浪しゃへい効果、碎波の促進、波浪減衰などもっぱら防波堤としての機能を目的とする場合。

4. 各方式における設計指針と問題点

それぞれの方式について、形式、長さの間隔、構造と高さ、基礎工と沈下等に関する設計指針、および留意点と問題点について述べる。なお、ここでいう形式とは、離岸堤をその長さによって分類するもので、連続堤とは1基で数100m(または波長の数10倍)以上あるものを行い、これより短いものを島堤とし、島堤のうち1基で単独に設置してあるものを単堤、2基以上の群をなして設置するものを群堤とよぶこととする。

(1) 汀線前方式

a) 形式 : 汀線前方式の場合の形式としては、

1) 開口部からの底質の流入

2) 回折波による汀線漂砂のしゃ断

というような効果を期待することから、連続堤よりも開口部をもつ群堤方式とするほうが得策である。なお、群堤方式で施工した後、必要があれば開口部を閉めて連続堤方式に切りかえるのも一つの方法である。

b) 長さの間隔 : 1基の長さおよびその間隔は、汀線沖における波長を L とした場合

$$\text{離岸堤1基の長さ} \div (2\sim 3)L$$

$$\text{離岸堤の間隔} \div 1L$$

程度とすればよい。

c) 構造と高さ : 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、透過性を持たせて波と一

緒に底質の流入を期待し、適当な粗度によって斜め入射による沿岸流・汀線漂砂の阻止をはかるなどの理由から適当な異形ブロックによる構造が得策と考えられる。

異形ブロックは、下層3列、上層2列(3×2)の2層積み、あるいは(4×3)の2層積み程度が適当と考えられるが、離岸堤前面の洗掘が大きいと予想される時は、根固工の効果を期待する意味で、その前面に2~3列のやや大き目のブロックを1層に列べる。

異形ブロック以外のコンクリートブロック、あるいは石張り、捨石堤等を用いるときは、それが不透工法である点に留意し、あまり高い構造は、不適当と考えられる。

使用される異形ブロックの重量については、この方式の大部分が水面上にあるため、湾・内海においては2~4t程度でもよいと思われるが、外洋に面する海岸では波力も大きくかつ前面洗掘の際の沈下・安定も考慮に入れて6~8t、急深な海岸では12~16tクラスのものをを用いた方がよい。

d) 基礎工と沈下 : 本方式の場合、異形ブロックによる場合には高さに十分余裕があり、適当な沈下によって堤体は安定度を増すことになるので、特に沈下対策として基礎工を用いる必要はない。異形ブロック以外の構造では、離岸堤前面の洗掘によって堤体が傾倒するおそれがあるので、汀線勾配が急な場合は根固工などにより洗掘による堤体の移動に対処する必要がある。

e) 留意点と問題点 : 既往の本方式の施工例はいずれも湾・内海であるが、周期が10秒をこえるような外洋性の海岸に本方式を採用した場合にいままで同様の堆砂を期待できるかという点。すぐ背後に堤防・護岸が存在し、荒天時にもどり流れによって開口部が大きく洗掘されるおそれ。あるいは、本方式は前面の海底変化に対しては直接には何らの対策ともなり得ず、侵食作用の根本的解決ということにはなりにくいなどの点に問題が残されている。

(2) 小水深方式

a) 形式 : (1)と同様の理由で群堤が有利である。連続堤方式とするときは、背後に比較的せまい水路状の水面が構成され、波が斜めに入射すると水路内に一定方向の流れが発生して汀線漂砂を助長するおそれがあるので、適当な間隔で縦堤を設置すべきである。

b) 長さの間隔 : 単堤または群堤の1基の長さおよび間隔は

$$\text{離岸堤1基の長さ} \div (3\sim 5)L, \text{または } 60\sim 100 \text{ m}$$

$$\text{離岸堤の間隔} \div 1L, \text{または } 10\sim 30 \text{ m}$$

程度を標準とするが10Lをこえるような長さはなるべくさけるほうがよい。なお、連続堤の長さについては、保全すべき区域の延長を考慮して、決定することになるう。

c) 離岸距離 : 本方式では、設置水深が施工時ににおいておおむね1m以下と規制されるので、任意の離岸距離をとることはできず、海底勾配からきまる例が多いが従前の例によれば、20~80m程度で、(1~4)L位に相当する。

d) 構造と高さ : (I)と同じ理由で異形ブロックの層積みによる構造が有利と考えられる。これはまた沈下その他の理由で補強、かさ上げする場合にも有利である。従前の施工例では、29例のうち異形ブロックが9例で約1/3、石張堤7例、捨石堤4例となっており、残りはコンクリートブロックや混成堤などである。

石張堤や捨石堤等は比較的古いものに多く、最近では材料の入手難もあってあまり用いられない。

高さについては、異形ブロックを用いる場合には特に高さが不足するというケースは比較的少ないが、潮差の大きい所などでは、設置位置における進行波としての波高を H とすると

朔望平均満潮位 + $1/2 H$

または、朔望平均満潮位 + 1.0~1.5 m

のうちのいずれかを、現地の潮差、水深、使用ブロックの大きさや高さなどの条件を勘案して決定すればよい。また、大きな沈下量が予想される所では、あらかじめこれを見込んで高くしておくか、施工後沈下の実態を見てかさ上げするかを判断し、それぞれの対応措置を考慮しておく必要がある。

方塊、捨石堤、混成堤あるいは石張堤など、不透過性の構造によるときは、あまり高さは高くしないほうがよい。従前の例によれば、不透過構造で堆砂した事例はいずれも高さがかなり低い点が共通しており、これが堆砂に好結果を与えたのではないかと推定されるからである。

e) 基礎工と沈下 : 比較的浅い位置に設置するので離岸堤前面の洗掘は比較的少なく、また受ける波力も水深が浅いために小さいと考えられるので、マットやシート類、蛇籠や捨石あるいはそだ等の基礎工がある程度効用を発揮しうるものと思われる。

したがって、これらの基礎工を用いてまぬがれ得べき沈下量、基礎工に要する経費、基礎工を使用しなくて沈下した場合にこれをかさ上げするに要する経費と時間などをそれぞれ比較勘案して、基礎工の採否およびその工法を決定すべきであろう。

f) 留意点と問題点 : 本方式は他の方式にくらべて最も堆砂しやすい条件を具備していると考えられるにもかかわらず、施工例29例のうち、堆砂のないものが13例におよんでいる。これらは一応消波を目的として設置されたことになっているが、堆砂しては困る、あるいは特に堆砂をさける措置を講じたというわけではなく、結果的にほとんど堆砂しなかったものである。この堆砂がな

いものに共通していると思われる要素は、

- (1) 大部分が設置年代が古く、不透過工法が多い。
- (2) 潮差の大きい所で離岸距離にくらべて堤長の短いものが多い。
- (3) 不透過構造の場合、朔望満潮面上の堤高の高いものが多い。

等の点が考えられるので、堆砂を目的とする場合はこれらの点に十分配慮する必要がある。

連続堤は一般に前面の海底勾配が緩やかな遠浅海岸で比較的波力の小さい所に設置し、堤高を低くして、越波による底質の堤内への流入をはかるべきである。前面の海底勾配がやや急で荒天時に高波の来襲が予想される所では十分堤高の高い異形ブロックによる群堤を設置し、越波、回折波による底質の流入およびブロックの間げきからの底質の流入を期待するとともに、強制碎波による波力の減衰ならびに堤内の流入海水の沖側への排水をはかるべきである。

また、汀線前方式の場合にくらべて群堤における開口部正面の汀線が侵食されるおそれが大きいので、あらかじめこれらの対策を講じておく必要がある。

(3) 中水深方式

この方式は海上から船で施工する最も一般的な方式であるが、その堆砂効果あるいは波浪減殺効果からみてあまり深くなると工費の割に効果が小さくなるので、施工時の水深がおおむね2~4mの位置を選定すべきであり設置水深が深くなるほど堆砂効率は悪くなると考えてよい。

a) 形式 : 波浪減殺を目的とする場合は、保全すべき区域の全域をしゃへいする連続堤式が有利と考えられるが、堆砂・トンボロの発生を目的とする場合は単堤または群堤を採択すべきである。

連続堤に斜めに波が入射すると越波によって堤内側水面に一定方向の流れが生ずるので、適当な間隔で縦堤を設置する必要がある。これに対し、島堤方式では堤端および開口部からの回折波によって、沿岸流や汀線漂砂を阻止することを大きな目的としているので、波が斜めに入射する頻度の大きい所では島堤方式を考慮すべきである。

b) 長さの間隔 : 島堤のうち、単堤の長さについては一般に

$(3 \sim 10)L$ または 100~300 m

程度を標準として計画すればよい。

群堤の場合にはなるべくひろい範囲を経済的にカバーするという趣旨から、1基長を短くし、開口部区間延長を長くするほうが経済的である。この場合

離岸堤1基の長さ $\approx (2 \sim 6)L$ 、または 60~200 m

離岸堤の間隔 $\approx 1L$ 、または 20~50 m

程度を標準として計画すればよい。

c) 離岸距離と設置位置 : 本方式ではその設置位置の選択にかなりの自由度があるが、従前の施工例からみると浅い位置に設置したもののほうが堆砂効率はよく、一般的には

$$(0.3 \sim 1) l \quad (l \text{ は離岸堤の長さ})$$

程度を標準とするが、連続堤の場合には

$$(1 \sim 3) L \text{ または } 30 \sim 100 \text{ m}$$

程度を標準と考えて計画すればよい。

d) 構造と高さ : 構造については異形ブロックが用いられる傾向が強いが、水深が大きくなるので、捨石マウンド、捨石堤、あるいは混成堤などの工法も検討すべきである。異形ブロックは、適当な透過性と消波性、安定性、施工性、あるいは大容量のものを比較的簡単に製作できる点、沈下・被災後の補強、かさ上げ対策など種々の面で有利と思われるが、大容量の捨石が容易に入手できる地方では捨石堤、混成堤なども十分検討に値すると思われる。

次に高さについては、本方式の場合その効果の大半は高さによってきまると考えられるので経済的な範囲内で十分な高さをとるべきであり、

$$\text{水面上} \quad 1/2 H \text{ または } 1.0 \sim 1.5 \text{ m}$$

の高さを必要とすると思われるが、この水位を朔望平均満潮位にとるか、あるいはより低い水位とするかは背後地の重要度や、汀線付近の状況によって判断すべきである。なお、夜間航行船舶に対する安全性、不測の沈下、高潮時の消波効果などの点を考慮すれば、朔望平均満潮位をとるにこしたことはない。

e) 基礎工と沈下 : 本方式が砕波帯の中に施工されるため最も沈下しやすい位置であり、他の方式にくらべて十分な沈下対策を必要とするが、沈下の要因も多岐にわたり、目下のところ確実な沈下工法はない。従来の使用例からみると、本方式に適当な基礎工としては捨石工が最もすぐれ、蛇籠工がこれに次ぐと思われるが、これらを用いても沈下した事例も多く、沈下防止という面では確実な工法とはいえない。マットやシート類は波力が大きいため破損する例が多く、施工上の信頼度も小さく本方式の場合は適当な工法とはいえない。

f) 留意点と問題点 : この方式で堆砂していないケースの大部分は、背後の護岸前面水深が深い、あるいは汀線付近の海底勾配が非常に急で、波の反射が大きく離岸堤背後の水面の静穏度が土砂の沈降・堆積に不適当な条件と考えられる場合が多い。したがって、このような場所に堆砂を目的として離岸堤を設置する場合には、あらかじめ消波工や根固工を設置して波の反射率を下げる考慮を払うとともに、できれば養浜を同時に実施して護岸前面をなるべく浅くすることを考慮すべきである。

本方式による設置位置は砕波帯内であるため海底は常に変形しているので、離岸堤の施工にあたっては概略の

位置と規模を定め、設置水深とそれに見合う構造を決定した後、施工直前に再度深淺測量を行ない、予定した深さの区域が一定の区間にわたって連続しているような箇所を選んで一気に施工する必要がある。このため、必ずしも一定の法線位置と長さ、離岸距離、間隔などにこだわる必要はなく、海底地形に応じて長さや間隔が1基ごとに多少異なっても特に支障はないと思われる。

(4) 大水深方式

a) 形式 : 設置水深が大きいため多額の工費を要するため、連続堤の施工例はない。しゃへいすべき範囲と離岸距離から、回折・屈折を考慮して、単堤とするか群堤とするかを決定すればよい。

b) 長さと同隔 : 直接堆砂を目的とする場合が少ないので、消波目的からだけいえば、必要なしゃへい水域をカバーするに要する長さをとればよいことになるが、施工例における長さはいずれも短いものが多い。

c) 離岸距離 : 長さと同様、離岸距離についても特にルールはないと思われる。したがって、設置水深、まもるべき区域、しゃへい水域の広さや利用率などを勘案して決定すればよい。

d) 構造と高さ : 構造については、水深が大きいの混成堤あるいは直立堤が工費的に有利であり、あえて異形ブロックを用いる必要はない。

高さについては、もっぱらしゃへい水域の静穏度から必要な高さをとればよいが、一般には

$$\text{朔望平均満潮位} + 1/2 H$$

程度を標準とすればよいと思われる。

e) 基礎工と沈下 : 他の方式にくらべてかなり深い位置に設置されるので沈下の影響は比較的少ないと考えられるが、大きな波が来襲した際の砕波帯になる可能性があるため、荒天時に一気に沈下するおそれもあり注意を要する。したがって、海底変形や大幅な沈下が予想される時は容易に補強やかさ上げが可能な工法を選ぶか、あるいは思い切って深い位置まで出して砕波帯の沖側に設置したほうが得策かについて比較検討する必要がある。

f) 留意点と問題点 : 本方式は多額の工費を必要とするので、海底が岩盤やあるいはこれに準ずるような変形の少ない所、または離岸堤設置予定地より沖側の海底勾配が十分緩やかである程度以上の波は沖合で砕波するような条件の場合には本方式は適当な工法ということができるが、海底変形の大きい所では他の方式も十分検討してみる必要がある。

5. 離岸堤の設計、施工にあたり

留意すべき事項

(1) 汀線が後退しつつあって、護岸と離岸堤をあわせて設置しようとするときは、なるべく離岸堤を先に設

置し、しかる後に護岸の新設に着手すべきである。

(2) 堆砂を目的とする時は、汀線付近の波の反射をできるだけ小さくするような考慮が前もってはかられるべきである。このため、消波工、根固工あるいは養浜工が同時にあるいは前もって施工されることが望ましい。

(3) 群堤を施工するときは、原則として侵食区域の下手側から着手し、順次上手側におよぶべきである。

(4) 施工区域内に土砂補給源となりうる河川が流入しているときは、河口から最も離れた下手側から順次施工する必要がある。河口付近に先に着手すると、完成した離岸堤背後に必要な堆砂が進み、下手側への土砂補給を阻止する結果となる可能性が大きいためである。

(5) 開口部あるいは堤端部は一般にかなり洗掘されるのが普通である。したがって、群堤の計画、施工にあたっては、1基分はまとめて一気に施工することとし、分割施工はできるだけさけたほうが賢明である。工費の都合その他の理由で計画延長の一部が施工できなかったときは、その完成した延長を1基としてとり扱うのも一つの方法であり、わずかな残りの延長を後でつぎ足すことは十分検討すべきである。

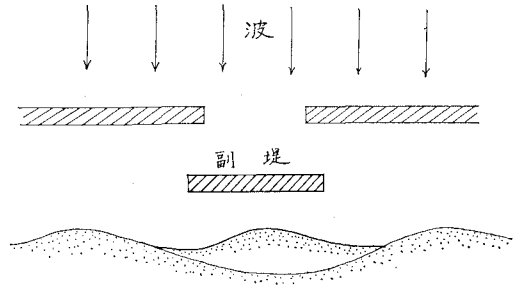
(6) 群堤における開口部の洗掘については、堤の構造と1基の長さおよび開口幅ならびに背後の水面積などに多くの要因があると思われる。このため、1基の長さを短くして、なるべく多くの開口部をもたせることが開口部の洗掘対策から見る限り有利である。

(7) 従前の施工例によれば、洗掘対策として開口部の海底に離岸堤本体と同程度の幅の基礎工を用いたとしても、開口部の洗掘に対抗できる可能性はかなり小さいと思われる。

(8) 開口部や堤端部の正面位置に相当する汀線付近

はしばしば汀線が後退する例が多い。このため、これらの位置にあらかじめ汀線後退対策を講じておく必要がある。

(9) 開口部を広くすると開口部の洗掘には有利であるが、開口部正面の汀線が後退するおそれ大きい。このため図のような副堤を用いるのも一つの対策と考えられる。



(10) 海水準変動に伴う歴史的、地形学的海岸侵食、あるいは河川流送土砂等の補給源の減少に伴う宿命的な海岸侵食などに対しては、離岸堤工法をもってしても、侵食を100パーセント阻止できるものではなく、これら長期的海岸侵食対策としては、来襲する波を別の方法で規制するなどの方途が別途に考慮されるべきであろう。

参考文献

- 1) 豊島 修：離岸堤の統計的考察，第17回海岸工学講演会論文集，1970。
- 2) 豊島 修：離岸堤工法について，第15回海岸工学講演会講演集，1968。
- 3) 豊島 修：離岸堤の高さについて，第16回海岸工学講演会講演集，1969。