

防潮壁に作用する波について

東京都立大学教授 工学博士 渡 部 彌 作

1. 防潮壁の災害原因

防潮壁は、海に直面し海岸に沿い平行に設け、鉄道、道路その他一般に利害関係の大きな臨海地を波の来襲に対し保護する工作物であつて、海岸の第一線防禦施設としてしばしば設けられる。

この防潮壁を破壊する外的な主動力は波であるが、その波が防潮壁をおそう実態は、防潮壁築造の位置、構造様式、海浜の傾斜、来襲波の性質などによつて左右される。

一方、防潮壁の災害は、これを現象的にみると、波の作用によりおもに壁自体の崩壊、壁体基礎の洗掘、壁背面土砂の流出などに帰因することが多い。

したがつて、防潮壁の構造様式の選定並びに細部設計には、その築造箇所において波が防潮壁にいかなる状態で作用するかを検討し、その波の作用により起るであろう破壊現象をあらゆる角度から想定し、それに十分たえうるものとしなければならない。防潮壁は、築造の目的もしくは機能にかなつた構造であることは第一要件であるが、一面災害の諸原因には築造箇所の環境条件により比重があるから、その比重に応じてよく調和がとれ、特に弱点となるところのない構造にすることが肝要である。

2. 防潮壁の築造位置

防潮壁築造の位置は、設計上きわめて重要な要素である。

防潮壁は、臨海地保護上波をうけなければならないことはいふまでもない。しかし、これをなるべく汀線から後退せしめ、起る回数の比較的小さい波高の高い波以外はあまり波に接触しない位置に設けることは、防潮壁の安定上、経済上はもちろんのこと、海浜の現状を防潮壁築造によりいちじるしく乱さない点からも望ましい。

防潮壁の位置が不適当なため、荒天時に鉄道、道路の機能が害され交通不能の例が少なくない。それゆゑ海岸に沿うこれら路線の決定には特に留意しなければならない。

一般に、従来ほぼ安定状態にある海浜に防潮壁を設けると、これに作用する波のため海浜はその平衡を破られ、不安定におちいりがちであり、また築造箇所のみならずその付近にも好ましからざる影響をおよぼすことが多い。

自然の海浜に防潮壁を設けると、来襲波は防潮壁に激突して跳波を起し、壁体の根元付近を洗掘し、これに引波も手伝い、海浜は土砂が順次沖の方に運ばれ平坦になり、やせてゆく傾向がある。温泉地の海水浴場や観光地のように砂浜を温存しなければならないような箇所に、防潮壁を設ける必要がある場合には、その築造位置選定に特に慎重を期さなければ、想わざる失敗を招くことがある。

波をまれにしかうけない程度の汀線後方に設ける防潮壁は、その前面の海浜安定におよぼす影響は少なく、かつ壁体の構造も簡易にすることができ、よく石詰の枠類が用いられる。

砕波地帯内に設ける防潮壁は、砕波を直接うけ、あるいは砕波後の還波をうけるため強い衝撃圧を加えられる。防潮壁は、その目的上このような砕波地帯内に設けなければならない場合がすこぶる多い。しかし、常に大きな砕波を直接うける位置は極力さけるべきである。大きな砕波を常にうける防潮壁は、構造を堅牢にしなければならないのみならず、激しい跳波のためその機能を害し、また海底の安定上に及ぼす影響も大きく、災害をうけやすい。

砕波地帯より沖合に設ける防潮壁は、これに打ちよせる波を反射して重複波を起し、おもに静水圧をうける。このような場合は、比較的水深が深い反面波の静かな内湾の垂直防潮壁か、もしくは異常高潮時における高さの高い防潮堤の壁面に多い。

3. 防潮壁の構造様式

防潮壁の構造様式選定には、なるべく海浜の平衡状態を破らないような配慮が必要である。

防潮壁に及ぼす波の作用は、たとえ同じ条件の波が来襲する場合でも壁体の傾き、高さ、壁面の形状など壁体の構造によりいちじるしく相異なる。

防潮壁は、構造上原則的に直立壁と傾斜壁とに大別され、またその壁面には平面状、弧面状、階段状などいろいろに用いられる。

直立壁には、水深と波高との関係により、壁面に接触する波が直接くだけて衝撃圧をうけかつ激しい跳波を起す砕波壁と、来襲波を沖に押しかえして重複波を起す重複波壁とがある。直立防潮壁は、一般に築造箇所の制約をうけ必然的に砕波壁とせざるを得ない場合が多い。

傾斜壁は、斜面上で波がくだけこれに打撃を与え、かつその水塊の大部分は斜面上を奔馳するが、ある高さまで上昇すると重力作用により引波となつて斜面上を流下する。あるいは波が斜面上でくだけず斜面を伝わつてある高さまで奔馳し、そののち引波となつて斜面上を流下する。一般に、傾斜壁は来襲波を激せしめることが少なく、従つて防潮壁築造により付近海浜の安定を乱されることもまた直立壁ほどではない。激しい跳波も起らないが、波の実質部分が壁面を奔馳上昇する高さは直立壁よりはるかに大きい。しかし、実験の結果によれば、壁面の粗度にもよるが、同じ条件の波ならば波の壁面上昇高は、壁面の法勾配が 1:1 以下の緩勾配では傾きの緩急にあまり関係がなくなるようである。

壁面の構造は、波を透過しそのエネルギーを吸収消失せしめる透過構造と、全く水密で透過しない不透過構造とにわけられる。

砕波の衝撃圧をうける直立壁は、不透過構造がそれ自体の安定上からも適しているが、傾斜壁になるべく透過構造にして自然の浜に近い条件を与える方が海浜の平衡を乱さない点からも適当と考えられる。傾斜壁は、捨石もしくは石枠工法などにより、従来の砂礫浜を波に対しより抵抗性の強い浜に改めるというような観念で設計した方が維持補修の点においても有利であると考えられる。

4. 波の性質

防潮壁に作用する波の性質は、水深と波高との関係により砕波であるか重複波であるかを想定することは重要であるが、他方、波圧もしくは波のもつエネルギーは波高のみならず波形すなわち Steepness が重要な要素である。

海岸をおそう波は、その特性によつて海岸を浸食し、あるいは海岸に土砂を押しよせて堆積する。すなわち、沖波の Steepness が大きいもの、いいかえれば波形の急なものほど海底を浸食し、小さいものすなわち flat な波は土砂を海岸によせ堆積せしめる傾向がある。例えば、実験の結果によれば、Steepness が 0.02~0.025 程度の波は土砂を最もよく移動し、0.02 以上の Steep な波は海岸を浸食し、0.02 以下の flat な波は土砂をよせ汀線を沖に向つて前進せしめる。

このように波はその特性により海浜を浸食しあるいは堆積せしめるが、防潮壁設置箇所におけるこの二つの相異なつた性質をもつ波の相対関係がその防潮壁並びに海浜の安定上重要な問題である。

浸食性の波が卓越していれば、ほかに土砂の補給源がないかぎり海浜は浸食されるから、防潮壁の設計にはこの点を十分考慮しなければならない。例えば、日本海沿岸は冬期間における浸食性の波が夏期の堆積性の波よりはるかに卓越しているところが多い。要するに、防潮壁の設計には、来襲波の特性を調査理解し浸食性の海浜か堆積性の海岸かをよくみきわめ、壁体の根入れその他の決定資料にすることが必要である。

5. 防潮壁の破壊現象

防潮壁の破壊状況を見ると、壁体の基礎が深く洗掘されて安定を失い、あるいは壁体が波の衝撃のために瓦解散乱し、または壁背面の土砂が洗いだされて安定を失い倒潰するなどの例がすこぶる多い。

(1) 基礎の洗掘 たとえやや安定状態にある海岸においても、防潮壁を設けると海岸の平衡が破られて前面の砂礫がさらわれる場合が多く、この洗掘の程度がその壁体の安定限度以上に達すると防潮壁は崩壊する。

洗掘は、沿岸流による影響がきわめて大きい、このほかに波が防潮壁に直接打ちあつて起る跳波、戻り流れ、斜面上を流下する射流などによる洗掘もまた大きな要素となる。

直立壁に激突する砕波は強い上向の跳波を生ずるが、これはきわめて大きな運動量もち、その水塊が落下し壁前面を洗掘する。この洗掘の程度は、水塊の落下速度と海岸土砂の粒度とに関係をもっている。このような洗掘は、壁体近くに溝をつくり土砂をもちあげるが、この溝の深さは一つの限られた時化ではある限度にとどまる。その溝は実に次の時化で掘られ深さは累増する。これに反し溝の近くにもりあげられた土砂が時化のすんだのち埋戻されるならば、洗掘の程度はある限られた一つの時化の期間中における深さを考慮すればよい。一般には埋戻される場合が多い。また、傾斜壁面が平滑な場合はその表面を流下する射流の洗掘力もきわめて大きく、壁体の根元付近が深く掘られる。

これらの洗掘に対しては、洗掘される深さの限度をみこし、安全な深さまで基礎の根入れを深くし、あるいは壁体下に Curtain Wall を設け、もしくは洗掘箇所にある幅をもつた根固めを施さなければならない。

捨石根固めは、波のため容易に浮游される細粒土砂を被覆し大きな捨石により波の擾乱にたえしめるにほかならない。捨石の層厚にもよるが、捨石の下に砂礫は波のため浮游され、粒径の大きい重い捨石は細粒の砂礫といれかわつて沈下し砂礫の中にめりこむから、捨石はある安定した深さに達するまで補足してゆかなければならない。この補足すべき捨石を節約し安定せしめるためには、ソダ沈床類で一応砂礫を押え、その上に捨石した方がきわめて効果が大きい。近年、このソダ沈床類は海岸工事にも多く用いられているが、沈床類のうちにはあらかじめ砂を散

布し十分喰いこませ Consolidate して弾力性をもつたマットにすることが肝要である。

砂層上の捨石のような固体が波にさらされるとたちまちにして砂の中にめりこむ。一例をあげると、かつて酒田港外で触雷沈没した渡瀬船阿賀丸は、船体の深さが甲板まで約 4.5 m あつたが、船体は一冬期間に激浪にゆさぶられ砂の中にめりこみ、甲板まで砂底に没入してしまつた。

Curtain Wall を設ける場合には、波は大きな運動量をもち、Suction force が強く壁の隙間から背後の土砂が吸い込まれるから十分 Sand tight にし、砂が吸い込まれないようにしなければならない。かみ合いの十分な鋼矢板は別として、壁厚の薄いコンクリートまたは木の矢板は、かみ合いが不十分になりがちであるから防潮壁の Curtain Wall としてはあまり信頼がおけないものと考えられる。このような厚さの薄い Curtain Wall には、その背後に相当厚の砂利や礫類を裏込めした方がよい。打込んだ矢板裏に砂利を填充することは、Water jet を使えば施工がそれほど困難ではない。むしろ、Curtain Wall よりも根固め工に十分な幅と強度とをもたせて波の洗掘力に直接抵抗せしめた方がよい。

(2) 壁体の崩壊 一度防潮壁前面でくだけた波は、遡波の性質をおび Jet flow となつて激突し動水圧を与え跳波を生ずる。壁面で直接波がくだける場合には、Bognold の実験によれば、来襲波の前面部分と壁面とで空気を包み、air pocket ができこれが圧縮され爆発して、壁体に大きな衝撃圧を加えると同時に大きな跳波が起る。この際の波圧と跳波の強さは air pocket の大きさによつて異なり、たとえ同一諸元をもつた波の場合でも、波が壁面に接触する状況や壁面の形状によりいちじるしい相異がある。

壁面に激突した波がその隙間から侵入する Jet flow の破壊力はきわめて大きい。すなわち、きわめて大きな運動量をもつた水が壁面の隙間から侵入し、背面の空気や水を圧縮し、壁体に逆圧を加え、浮揚作用を起し、壁体を振動弛緩せしめ、ついには壁体を崩壊せしめる。あるいは、背後の土砂を吸いだし壁体の安定を危くする。それゆゑ壁面は波のエネルギーの大部分を吸収消滅せしめる構造でないかぎり、水密性を強化しておくことが絶体必要である。構造上水密が不完全な場合には、背後に透入した Jet flow を減殺するような工夫が必要である。石積構造の防潮壁ならば、これを練積にし裏込めには十分な厚さのコンクリートを施さなければならない。また、波の荒い箇所の防潮壁は、厚さの薄いコンクリート矢板や柵構造には、たとえかみ合せをつけるにしても、その背後に相当厚の砂利や礫を裏込めしないかぎり、土砂が吸い込まれやすく防潮壁体としては不適当である。

跳波の発生は、防潮壁の安定からもまた背面保護の目的からも最も好ましくない現象であつて、これを極力さける構造とすべきである。跳波は、高さがきわめて高く、30 m 以上に達することも珍らしくない。静岡県焼津市の海岸は、しばしば浪害にみまわれるところである。ここの防潮壁の高さは、平均海面上約 8.5 m あるが、直接激突する波のため高い跳波が激発され、その水塊は、防潮壁を越えて背後に墜落し付近の人家は災害をうけ脅威される。海岸沿いの鉄道、道路もこの跳波のため交通不能となるところも少なくない。跳波は、発生瞬間において大きなエネルギーをもつた上向の Jet flow となり、もしも壁面に水平突起物があるとこれに大きな上昇圧力を加え、壁体破壊の原因となることがある。この意味において、波返し構造についてはなるべく跳波を激発せしめないように留意しなければならない。

(3) 壁背面の保護 跳波の落下水塊は、速度が大きく、従つて大きな運動量のため破壊的な打撃力をもっている。これが壁の背面に墜落すると穴をあけ、過剰な側圧を加え土砂を洗いだして壁の破壊原因となる。跳波は、防潮壁には破壊的威力をもっているから、なるべく跳波を激発せしめない壁体構造とすることが肝要である。これがためには、来襲波をなるべく壁の前方において砕きそのエネルギーの大部分を消滅せしめることも一方法である。また、防潮壁を胸壁などを設けてあまり高くせず跳波を分散せしめ、そのかわり防潮上、壁高の不十分な点は、壁背面の相当幅を舗装して跳波の侵入にさしつかえない構造とする方が、壁体安定上からも得策である。壁背面には跳波等による海水の溢流が多く壁に沿つて強い流れを生じ、背面土砂が洗掘されることがあるが、排水に支障のない設備を設けておくことは、防潮壁には絶体必要である。

6. む す び

以上述べたことを要約すれば、防潮壁の設計には次の諸点について検討留意することが必要である。

(1) 防潮壁は、なるべく海浜の平衡状態を乱さないような位置と構造の点について特に留意すべきこと。

(2) 防潮壁は、災害の主因である基礎洗掘、壁体崩壊、背面土砂の流出に対し十分たえうるものとする。

(3) 防潮壁は、災害をうけた場合になるべく復旧の容易な構造とすること。

(4) 防潮壁は、波や沿岸流のごとき自然力をたえずうけ、海浜、根固工などの変化変形はさけられないから、築造当初に安定せしめるよりも、むしろ築造費と竣工後の維持費とを考慮し、両者の合算が最も経済的であることを設計の目標とすること。

(5) 防潮壁は、跳波を激発せしめない構造にし、環境が許すならば壁高はなるべく低くし、防潮上の欠陥は背面の相当幅を舗装し、壁全体の安全をはかること。
