

海岸施設に関する 2, 3 の問題について

渡 部 弥 作

1 国土利用と海岸

わが国の国土は、北海道、本州、四国、九州の 4 つの島とその周辺に点在する数多くの島島から構成されている。海岸線は非常に長く、全延長約 26,000 Km に達するが、その半面、国土面積は約 370,000 km² でせまく、海岸延長 1 Km あたりの国土面積はわずかに 14 km² に過ぎない。本州の巾でも 400 Km 以下の細長い形で海に囲まれ、いわば地政学的には極めて海洋性のたかい国土である。工業をはじめ諸産業は海岸付近に集中して生産され、全人口の 55 %、工業生産額の 80 % は海岸地帯に集まっている。したがって、海岸の保全は国土の利用上極めて重要で、防潮堤、護岸などを設けて保全しなければならない海岸延長は 11,700 Km、全海岸延長の約 45 % にも及ぶといわれる。

国内における海陸交通の割合は、次表のように、海上沿岸輸送はその輸送量（トンキロ）において全輸送量の 423 % をしめ、沿岸輸送のしめる割合は欧米の内陸水運以上に大きい。

国 内 輸 送

（ 昭 和 3 9 年 ）

交通機関	輸送トン数（万トン）	輸送量（億トンキロ）	平均輸送巨離（Km）
鉄 道	25,900（10%）	599（32.6%）	230
道 路	215,800（83.4%）	463（25.1%）	215
海 上	16,800（6.6%）	779（42.3%）	465

国内の 1 トンあたりの平均輸送巨離は、トラックは 100 Km 程度が経済輸送巨離の限度といわれているが、実績による平均輸送巨離はわずかに 215 Km 程度であって、多くは小運搬程度の利用であり鉄道は 230 Km の中巨離、海上は 465 Km の長距離となっていて、それぞれ輸送経済の分野にそって利用されている。

いうまでもなく、貨物輸送は、海上、陸上とも各輸送手段が相互にからみあって終局の輸送目的を達するわけであるが、これを港中心に見るならば、鉄道、道路などの陸上輸送手段で集積された貨物は、港で船に積みかえられて海上運搬されるし、また、港で船から陸にあげられ、鉄道、道路などで hinterland の需要地に運ばれる。港は、よくいわれるように海陸間交通の流れのリンクポイントにあたっているが、ある一つの港を中心とする輸送の流れは集中的で鉄道、道路の負担が大きい。海陸交通機関の輸送した貨物の総トン数は、外国貿易をも含めると、276,000 万トンで、また、港で取扱われた貨物のトン数は 63,500 万トンに達するから輸送貨物量の約 23 % は港を通過した勘定になる。つまり、23 % の貨物は港を通じて海岸から国土内にはいりしている。

国土が細長く、産業の海岸地帯における集中度がたかい関係上、港の数は極めて多い。外国貿易のできる国港が 80 港、港湾法に基いて指定された重要港湾だけでも 95 港に及び、平均海岸延長 270 Km ごとに 1 港のわりにあり、さらに、港湾法適用港湾は 855 港に達するから平均海岸延長約 30 Km ごとに 1 港づつ点在していることになる。このように、多数の港湾が沿岸に点在している国は、先進諸外国には例のないことで、沿岸輸送量の輸送量にしめる比重、港の分布状態から見て、わが国の

沿岸海上輸送は、国内輸送面において、欧米大陸の河川や運河を利用する内陸水運に匹敵し、わが国土の海洋性の一端を示すものといえよう。

わが国の工業は、臨海地帯に立地されているものが多い。工業生産額の 65 % 以上が港中心の臨海地帯でしめられ、普通一般港でもその周辺にある工場関連の原材料ならびに製品の取扱い量が極めて多く、いわば、工業港的色彩が濃厚である。たとえば、国際商港横浜港でさえ、取扱い貨物量の 60 % 程度は港周辺の鶴見、根岸方面にある工場関連貨物である。

以上述べたように、わが国の工場は海岸地帯に多く立地され、港は工業立地の場として重要な役割をもち、その使命を果たしていることは、工業生産額または国民総生産額の伸びと港の取扱い貨物量の伸びとは相関度の大きい相関性をもっていることでもわかる。この点は、わが国の港が先進諸外国の港に比べ著しく相違する点である。もっとも、近年、Rotterdam の Europort をはじめ欧州各国でも工業資源を海路外国から求めなければならなくなったため、臨海地に石油、鉄鋼などの工場が立地される傾向にある。

臨海地が工業立地上、有利な点としては主に次の諸点をあげることができると思う。

オ 1 は、海上輸送は輸送費が陸上に比ベトンキロあたり $1/10 \sim 1/20$ といわれるほど安く、かつ、輸送能力が大きいから工業原材料のように大量で、しかも源価にしめる輸送費負担の多い貨物には有利である。しかも、臨海工場は、内陸工場の場合必要な陸上輸送費を節約することができ、そのうえ工場の水際に専用の荷役施設を設けて大型船を横付けし、工場内の陸上輸送にはベルトコンベア・パイプ輸送で連絡し、工場の生産工程を原材料の輸送を含めた能率のよい合理的流れ作業ができるようにレイアウトすることができる。この意味において、臨海工場は、わが国の国際経済上大きな柱となっている加工貿易のためにも好都合である。わが国自身は、資源に乏しく恵まれない国ではあるが、鉄鋼、石油精製能力ともに世界オ 3 位に躍進した。これは、国際貿易が自由化される世界経済の中で国際競争にうちかつだけの地の利を得るに至ったためである。すなわち、欧米の工業先進国は、工業原材料が不足し自国のみでは賄いきれず、中東、東南アジア、アフリカ、オーストラリアなどの比較的開発のおくれている遠い地域にもとめなければならない量がかかり多くなってきた。ところが、これら資源供給地は、1 万 Km にも達する遠く地であるとはいえ、海上輸送費が安いため資源確保の経済性からは、わが国も先進諸国とあまり遜色がなくなり、むしろ、それらの先進国の内陸工場に比べるならば国際競争上有利になった。

オ 2 には、近代の重化学工業は、1 工場、鉄鋼は粗鋼にして年産 500 万トン、石油精製は日産 20 万バレル、エチレンは年産 10 万トンというように規模が大型化してきたばかりでなく、多く企業上有利なコンビナートシステムをとるから、工場団地には極めて広大な面積が必要である。たとえば、工場団地 1500 ha 以下のせまい土地では企業の魅力に乏しく、将来の十分な発展も期待うすであるといわれる。このような膨大な工業用地を開発の高度に進んでいる内陸に求めることは、わが国では頗る困難でほとんど不可能に近い。しかし、わが国は、海面埋立による広い土地造成の適地に恵まれその実施にあたっては漁業払その他の問題はあがあるが、内陸地に比べれば用地取得ははるかに容易で価格も安い。また、従来未利用の荒蕪地や生産性の極く低い海岸地帯の中には工場団地としての開発適地が少なくない。このように、大規模の工場団地は、これを臨海地に求めることができる。

オ3には、臨海工場は用水問題と廃水、廃さい処理の解決が容易である。工業用水の確保は深刻な問題であって用水確保の可能性有無が工場立地上のキーポイントになることがある。工業用水のうちで使用量の最も多いのは冷却用水であるが、臨海工場では冷却用水に海水の利用が可能であるから、この用水問題の解決は比較的楽になり、かつ、取水にも便利である。火力発電（10万瓩あたり1日の冷却用水は30～35万トン）、鉄鋼、石油精製などの用水型基幹工業は、用水の面だけをとりあげても臨海立地が絶体要件である。将来発展を期待されている原子力発電にしても、この冷却用水の点から海岸に立地せざるを得ないであろう。

また、工場廃水や廃さいの処理は、たとえ海岸であっても公害問題は十分配慮されなければならないことはいうまでもないが、ともかく内陸地ほどに深刻な問題にならずに解決できるであろう。

戦後、わが国の国土総合開発は、今日まで毎年計画され論議もされてきた。はじめは、開発の重点を河域総合開発におき、河川の水系ごとにダムをつくり、水資源を活用し、かつ災害を防止し国土の高度開発と保全をはかるにあった。ところが、その後、開発の力点は重化学工業化に一転し、総合開発の焦点を臨海地帯の工業化にあわせるようになった。すなわち、都市過密化の防止緩和、地域格差の是正、国土の拠点開発などのため新産業都市14区の建設、これに準ずる工業の特別地域6区の整備を推進することにした。新産業都市地区、工業整備特別地区あわせて20地区のうち、内陸にある松本、諏訪地区を除けば、すべて港湾を中心とする臨海工業の飛躍的發展をはかり、ここに人口を吸収し、地域格差をなるべく少なくするように意欲的計画を樹てて実施中である。RotterdamのEuroportの工業用地（1550ha）に匹敵する1500ha以上の臨海工業用地を造成開発している地域は現に10指を屈する。このように、海岸は国土利用上あるいは重化学工業化のためますますその重要度を加えつつある。

わが国は、世界オ一の水産国である。水産額のうち、世界のあらゆる海域に進出し活躍している遠洋漁業のしめる割合も年とともに増加し、決して少なくないが、比較的小資本の漁業家や零細漁民によって営まれている沖合、沿岸などの近海漁業は75%をしめ圧倒的に多い。したがって、海岸には水産業の根拠地である漁港の数は極めて多く、漁港法適用の漁港だけでも約2200港に達し、海岸延長約12Kmごとに1港のわりに点在している現況で、海岸は漁業のためいかに活用されているかが理解されよう。

また、近年、道路網や鉄道網の拡充整備のため、その路線を海岸にそい、もしくは一部埋立てして設ける場合が多い。さらに、海岸は観光や海水浴などレクリエーションの場としてもいよいよ重要視され、海岸保護が一般に強く望まれている。

われわれは、港湾、鉄道、道路その他沿岸諸施設を設けることによって、海岸のバランスがなるべく破れることのないように留意するとともに、それらの施設を自然と調和させ、自然環境をなるべく悪化させないように、十分行きとどいた措置を講ずべきことを強調したい。

海岸地帯は、津波、高潮、地盤沈下、侵食などあらゆる自然現象によって災害をうける。海岸保全事業は未だ日が浅く、施設は不十分で徹底を欠いているから沿岸の開発が高度に進み、人口の集中度がたかまるにつれ、災害は年とともに深刻の度を加え、特に家財ならびに事業資産などの損失が漸増の傾向にある。今後、海岸保全と災害防除のための海岸事業は、思いきって投資額を多くし、施設の

充実をはからなければならない。

国は、海岸保全の重要性を認め、海岸法を昭和31年5月公布、同11月から施行した。この法律は、周知のように、建設、運輸、農林の3省共管であって、海岸行政の複雑さを示し、他の法律には類例のない施設の築造規準までも規定している。この法律による3省の所管海岸延長は、(昭和37年)保全区域は建設省50%、運輸省17%、農林省33%であり、また、既に海岸保全施設を設けてある延長は、建設省36%、運輸省27%、農林省37%となっている。

各省所管にまたがる一連の海岸保全には、定められた規準にしたがい、海岸管理者など関係当局が協議して計画されることは当然である。ただ、各省における事業予算配分の都合上、ある一区域の一貫計画が必ずしもタイミングよく実施されるとは限らないことがある。このような場合には、切角、設けられた施設も十分にその機能を発揮することができないばかりでなく、その隣接地域にかえって副次的に悪影響を与えることがあるから、なるべく協調しながらタイミングよく一貫して同時に施行することが望ましい。

2 海岸侵食とその対策

海岸変化は、潮せき、波、流れ、風などの自然力により、比較的抵抗力に乏しい砂礫海岸ばかりでなく、岩崖海岸でも大なり小なり時々刻々に変化し、一定の不変状態にとどまることはほとんどない。海岸に変化を与える自然力は、実験室で再現されるような単純な形でなく、さまざまな自然要素が複合して非常に複雑であるから、自然力と海岸変化との間に関連をつけることはむずかしい。海岸の侵食にはいろいろの形態があるが、要するに、外的影響や自然力でたとえ侵食されても、その侵食量を補うに足る砂礫の供給源が十分あれば、汀線の後退は現象としては起らない筈である。また、たとえ外力の季節的变化により侵食と堆積とが交互に繰り返えられるような状態にあるならば、その海岸変化は一定の範囲内で変化しているに過ぎず、あまり実害のない安定状態にあると見做することができる。また、波で侵食される岸崖海岸などは、侵食された岩屑がその前面に堆積して波力を減殺するから侵食度は大いに緩和されるが、とけ易い岩質の場合には侵食は経続して行われる。

自然海岸が自然力で侵食される場合は、むろん少なくないが、それよりも人工的に設けた海岸の施設が影響して新たに侵食を誘発したり、従来の侵食を加速度的に助長したりする場合の方がはるかに多い。従来、ほぼ安定していた海岸に人為的に工作物を設けると、そのために自然力のバランスがくずれ、侵食を惹き起し、それが連鎖反能式に範囲を拡大して行くことがよくある。

われわれは、海岸に施設を設ける場合には、ミイラとりがミイラにならないように慎重でなければならない。また、自然にしたがうものが自然を最もよくマスターするというフランシス・ベーコンの言葉を頑味し、複雑な自然の心は、往々にしてわれわれの期待と相反する場合のあることを謙虚にうけいなければならないと思う。

人為的工作が海岸変化に大きな影響をもっている2、3の点を述べると次のとおりである。

(1) 砂浜から半島堤を出す場合¹⁾

この場合、海岸に及ぼす影響は、波の特性を入射方向、堤の方向と長さ、漂砂の量と密度などと密接に関連する。波がこの是によりさえぎられると、堤の元付近では沿岸の流れが弱まり、入射波は堤

と海岸で形成される湾形水域に収束し、その湾奥の水位がたかまるため戻り流れが強まり、かつ、堤による反射波のため流れが生じ、ときには、さらにこれらの流れが合成して離岸流が誘発される。堤と入射波向との交叉角が大きく、堤の延長が短い場合には戻り流れ、反射流がともに弱く漂砂は上手側に堆積し、その堆積が入射波向にほぼ直角の形になってバランスがとれる。これに反し、堤と入射波向との交叉角が小さく堤の延長が長い場合には、戻り流れ、反射流がともに強まり、これらの流れが上手からの沿岸の流れと相殺し、堤に沿う漂砂の堆積が阻まれ、さらに漂砂量が少ないが粒径の小さい場合には、かえって元付近が侵食される。近年、大規模港湾開発のためかなり長い防波堤が計画実施されているが、入射波向、防波堤の方向と延長の程度によっては海岸に大きな影響を与えるから計画の際ばかりでなく、施工の過程においても堆積と侵食が逆転することもあるから十分注意深く観察し対処する必要がある。常に、堤の入射波向側に漂砂が堆積するとは限らず、かえって侵食が起ることがある。新潟市西海岸の侵食にはさまざまな要因がからみあっているが、西防波堤の延長による海岸の地形的変化が侵食の大きな源動力となっている。

(2) 島堤を築造する場合

島堤にさえぎられた入射波の一部が堤の両端から堤内に回折しながら侵入すると、波に含まれた土砂または沿岸漂砂が堤内に沈澱しトンボロ現象を呈し、汀源が前進する。そのかわり、沿岸漂砂流の下手にあたる堤をはずれた海岸は、漂砂源が少なくなるための侵食が誘起される。

(3) 河口に導流堤を設ける場合

河口から沖合相当水深まで導流堤を突出すると、沿岸漂砂は導流堤に両断されるため、(1)のような現象は当然惹き起される。そのうえ、河川の流下土砂は、この導流堤のためさらに海岸から離れた沖合の深所に排出され、かつ深い荒波にさらされる海域に拡散される。このため、河川の排出土砂が河口付近の海岸にもどり直接有効な海岸土砂補給源としての役割を果し難くなり、付近の海岸は侵食するようになる。

(4) 沖合に深い水路を開削する場合

漂砂帯内に深い航路などを開削すると漂砂現象が阻まれ、漂砂はこの航路内に掃流性ばかりでなく浮流性も多く沈澱する。また、深い航路内では波は砕けずに屈折し、その両側海岸は不連続状態となり、漂砂流の上手海岸は堆積、下手海岸は土砂の補給が少なくなるから侵食傾向があらわれる。海岸に及ぼす影響は、水路とその付近との水深差、水路の巾と方向、漂砂量と流れ方などに左右される。

(5) 海岸に沿い防潮壁を設ける場合

自然の砂礫海岸で、波がそ上する範囲内の位置に防潮壁を設けると、その前面の浜は侵食されてやせ、かつ、漂砂流の下手にあたる隣接の自然海岸にもまた侵食の傾向があらわれる。たとえば、メキシコ海岸で、²⁾ 防潮壁新設後わずか2ケ年にして壁前面で浜が深さ28 mもさらわれ、前浜を完全に失ったと報ぜられている。わが国内でも防潮壁新設のため浜がやせ細り恰好の海水浴場を失ったり、白砂の海岸景観が著しく阻害された例は少なくない。

波が防潮壁前面に入射すると浜に浸透する海水は壁体でさえぎられ壁体付近の浸透水圧を増し浜の表層砂礫が浮揚し反射波でさらわれる。また、跳波によって洗掘され浮遊状態にある土砂が反射波や戻り流れでさらわれて浜はやせてくる。このように、自然海岸に防潮堤を設けると多くの場合、その

安定が乱れ浜が失われることに特に留意しなければならない。その影響が隣接海岸に波及するため、防潮壁を次々に延長しなければならないこともある。近年、海岸に沿う道路、鉄道の計画で防潮壁を設け、あるいは海岸自身の保全のために護岸を設ける場合が非常に多くなったが、これらの施設が海岸安定に及ぼす影響は極めて顕著であるから、それらの施設の計画ならびに構造については、海岸の安定をそこなわないように慎重に検討することが望ましい。

(6) 河川工事の影響

河川の排出土砂は、海岸侵食に対する土砂補給源としては、最も有力であるから河川工事による流下土砂の増減は、海岸の安定には大きく影響する。すなわち、上流にダムや砂防施設を設けて流下土砂を不当に抑制し、河口を自然の安定状態に逆って深くしゅんせつして河口外への土砂流下を少なくし、河道内の不当な砂礫採取、あるいは河口を他の区域に付替えて流下土砂を根絶すると、多くの場合、海岸の侵食が誘発または助長される。近年、わが国土内には数多くのダムが建設されているが、上流からの流下土砂はここで抑制されるから河口への排出土砂は激減する。ダム建設後しばらくは、その地点以下の河床が洗掘低下し、河床低下が漸次クリープしながら下流へと移行している間は、まだ、河道内からの流下土砂で海岸は補給される。しかし、いずれは上流からの流下土砂抑制下にある河床も一応の安定状態にはいると、河口外への排出土砂量が激減するから海岸侵食は必至であろう。今後そのようなおそれのある海岸については、その推移を十分監視し、ときには早急に対策をたてる必要がある。

以上のように、人為的要因によって海岸の安定を乱し、侵食を惹き起すことは極めて多く、ときには損害補償の問題さえ起る。とかく、海岸侵食は、かなりの程度に進行し汀線が後退して人家その他経済的被害の著しくなった頃あわてて対策を樹てるような傾向があるが、その時点では対策費も多くかかり、技術的にもむずかしい。保全上重要な海岸については、はやくから少なくとも汀線変化を観測し監視しておくようにしたい。

侵食防止について2～3の私見を述べて見たい。

(1) 防潮壁は、事情が許すならばなるべく汀線から後退させ、壁体構造は反射波や跳波が激減されないようなもの、すなわち、斜面の消波構造が望ましい。鉄道、道路などの防潮壁ばかりでなく海岸保全施設でも、直立壁でしかも高さの高い構造のものが多。これは、防潮壁の機能のうえからも、また、海岸保全上からも今後検討されなければならない問題と思う。

(2) 離岸堤は、入射波のエネルギーを減殺し、かつ再生波の波形勾配を緩くし海岸侵食を軽減するのが主目的であるが、堤上越波によって堤内に起る沿岸の流れをはばむため、縦堤を設ける必要があり、また相当の維持補修費もかかる高価な施設である。そこで一連の離岸堤の高さを一様にせず、そのところどころ堤頂を低くして部分的に越波量を多くし、堤内に回折現象を促し、堤内にトンボロ現象を起すようにすれば、より経済的であり、かつこの離岸堤の目的とする効果を増進させることができると思う。ときには、連続堤とせずにある間かくの不連続島堤にしても十分トンボロができ、あたかも防砂堤を設ける場合のような汀源が得られ、一応海岸の安定が保たれることは、よく見られる海岸前面に転在する岩礁につくトンボロ現象によっても明かで、自然の理を学ぶべきではなからうか。

(3) 防砂堤を設けるとその堤端より沖合の海低は、一般に増深し深い等深線が海岸に接近してくる

傾向がある。海岸を安定させるための防砂堤は、沿岸漂砂をそこに定着させるか、あるいは沿岸の流れによってさらわれるのを防ぐのが主目的であるが、なるべく低く短い堤を小間かくに設け、汀線漂砂の現象を緩和する方が得策であるし、また、防砂堤の機能上からも無難である。構造は、半透過性を持ち粗面となる捨石堤または捨ブロック堤などが望ましい。

(4) わが国には、砂丘海岸が非常に多い。この砂丘はクリープまたは飛砂によって付近に被害を与えることも少なくない。しかしその半面には、安定した天然の海岸保全機能を持ち防風、防潮などに大きな効果を発揮するのである。したがって、砂丘による被害を極力防ぐと同時に海岸保全のためにはこれを積極的に利用すべきであって、飛砂防止、防砂林などの施設をして、砂丘の育成と安定をはかることは極めて重要である。港湾開発、砂丘栽培、観光施設などで、ややもすると砂丘の現状を悪化させることがあるが、この砂丘の海岸保全機能になるべくそこなわないように配慮すべきである。

(5) 人工養浜は、消耗的で一見迂遠のようであるが、海岸保全には自然状態に変化を与えることが少なく、また、てっとりばやい方法で、砂礫が手近かに得られるような場合には、他の保全工法と経済性や技術的評価について十分比較検討の価値があるものと思う。たとえば、侵食が進行し、あるいは他の海岸沿い施設のため海水浴場が失われることがよくあるが、このような場合には、適当に砂礫を捨てて養浜すれば立派な海水浴場を復活することができる。また、海岸侵食や護岸欠損などによる災害の応急措置として養浜が得策なこともあり、さらに、離岸堤内あるいは防砂堤域内に砂礫を捨てるならば、それらの施設をより安全にし効果を大きくすることもできるであろう。

3 防波堤の構造型式

わが国における昭和40年度を初年度とする港湾整備5ヶ年計画は、事業費6500億円、計画の最終年度にあたる昭和44年度の港湾取扱貨物量10億5000万トンを目途に実施中である。この計画の中に折りこまれている防波堤の新築延長はおよそ150Kmに達し、その工費は総事業費の約32%にあたり、整備費の中にしめる防波堤費の比重は非常に大きい。このように、莫大な工費をかけて防波堤などの外かく施設を整備拡充しなければならないのは、既設港の中にはもはや港内を利用しつつ港湾取扱貨物量の増加に応じきれなくなったため、今後の発展に備えて抜本的に大規模な港域に拡張しなければならない港が多いこと、また、新産業都市をはじめ地域開発のため大規模の新規港湾を建設しなければならないことが大きな要因で、いわば、わが国港湾の整備上劃期的一転機をむかえたものと言っても過言ではない。

防波堤の構造は、工学上古くからの問題点になっていたが、今日なお未解決の問題点が多く残されていて、海工学上特に進歩のおそい部門である。

わが国の防波堤費は延長1mあたり200～300万円もかかることがあり、一般に工費のかさむ構造物である。しかも、わが国の港湾では防波堤を必要としない港はほとんどないくらい、港内しやへいのためには欠くことのできない重要施設である。しかし、機能上はけい船岸のように港が直接使命としている荷役に利用する施設ではなく、ただ主に荒天時にも港内を静穏にし入港船舶を安全に泊らせるのに役立つに過ぎない。

防波堤は、港湾計画上最も基本的な施設で港の外かくを形成し港域の形状を規制することになるか

ら、その線形や規模は、その港の将来における発展性を左右する。したがって、防波堤は波、流れ、漂砂などの特性、将来の発展を見こした港内諸施設の計画規模と配置、入出港船の擦船上の便否、所要水深、地形などの諸要件を満足するように慎重に計画すべきである。特に、さしあたりできるだけ少ない経費でその機能を発揮して港内を利用することができ、しかも、将来の拡張計画にもさしつかえないように工夫すべきであるが、実際問題となるとなかなかむずかしい。

既に述べたように、港湾整備費にしめる比率が大きく工費のかさむ防波堤を経済的に築造することは港湾工学上の重要課題であるが、それには線形（延長を含む）と構造の問題がある。線形は、各港の環境条件や計画規模に左右されることが多い。構造上安定がよく維持の少ない経済的断面を得るためには、最近発展しつつある模型実験による基礎的研究成果を十分せしやくしてとりいれ、工学的にも合理的で実施上無理のない構造を追求すべきである。

防波堤の構造型式には、周知のように、傾斜堤（捨石堤）、直立堤、混成堤の3型式があげられるが、わが国で広く採用されている型式は、混成堤であって、しかも、碎波をうける碎波堤型が多い。ここではこの混成堤について2、3の私見をのべる。

防波堤の高さについては、かつて30年ほど前に内務省の技術研究課題にとりあげられ討議された古い問題であるが、今日なおしばしば論議されている新しい問題でもある。防波堤で港内をしやへいし静穏度をたかめるためには、入射波高に対しなるべく堤高を高くし越波を少なくすることの望ましいのはいうまでもない。しかし、防波堤構造の経済性からすれば、その機能を著しくそこなわない程度になるべく低くしたいのもまた当然である。高さを高くすると波圧強度が増加し安定上の所要断面が大きくなるから、むろん工費はかさむがそのうえ、激発される跳波、反射波、堤に沿う走り波などのため、マウンドが洗掘され散乱し災害をうけ易くなる。港湾施設の通常災害のうち防波堤災害が80%をしめている実情であるが、この防波堤災害はマウンドの洗掘散乱に仮因するものが圧倒的に多い。堤に沿う走り波の影響は、天端高が高くて越波が少ないほど大きいから、マウンドの安定上軽視することのできない点である。たとえば、山形県ねずが開港の防波堤は卓越する入射波高とは約60度の角度をなしているが、堤頂が13mのときは、堤に沿う走り波が集中し、高さをますにつれ部分的に越波することができるのでその影響はさきほど著しくなく、根固め工の散乱はほとんど見られなかった。しかるに、その後、越波を防ぐため堤頂を15mにたかめたところ、波が堤に沿って走る間に高さを集中的に増して堤に沿う波力が増大し、根固め工の散乱が多くなった。そこで根固め工補強のためケーソンを沈設したが、天端18m、高さ78m、巾9m、長さ10m、水中における重量約910トンのケーソンが本堤に沿い平行に移動された。この事実から走り波の波圧を逆算すると実に 64 t/m^2 にも達している。このように、堤頂を高くすると、走り波が集中的に高さをまし、堤に沿う波力が増大してマウンドを散乱させるが、これは反射波よりも破壊力が優勢なこともあると考えられ設計上決して軽視できない。この走り波とこれに対するマウンドの耐波性については、今後の研究課題であると考えらる。

防波堤の天端高をきめるについて、その港内を静穏にする機能効果の面から見ると、まず、設計潮位は高潮などの異常潮位を勘酌してきめるのは当然であるが、波高は許容越波量とその頻度を考慮して定めるべきで、必ずしも堤体の安定検算に用いる設計波高（ある期間中に起りうる最大有義波高）

を規準にする必要はないと思う。防波堤自体の安定換算に用いる設計波高のような大きな波が起っている荒天時には、大型船といえどもその操船上から入出港はしないし、港内でい泊船はせまい港内では強風のため流されたりして操船し難く、かえって相互に衝突したり座礁したりする不慮の危険を伴うから港外に逃避し難をさけることが多い。ただし、ここで忘れてならないのは、小型船は荒天時港外に逃避はできないから、港内に絶体に安全な舟だまりを整備しておくべきことで、これは港湾計画上の常識である。

防波堤上の許容越波量の程度は、各港の事情によって相違はあるにしても、陸地を護る防波堤ほどに深刻に考える必要はもうとうない。堤上を越波するとき港内に起る波は、直接越波による再生波を入射波が堤に衝突して高く打ちあげられる跳波が暴風で港内に吹きとばされたとき衝動的に起される波とである。せまい漁港などで比較的高い防波堤でしゃへいされている場合には、跳波による港内の擾乱は甚しい。

各港湾計画を模型によるしゃへい実験（越波を許さない条件）の結果を見ると、多くの場合、港口付近に起る侵入波高の減衰率は、その港内奥部において 0.1 ～ 0.2 に低下するものと期待することができる。もし、防波堤上の越波を多少許すとすれば、これに越波による港内の再生波が加わって港内を擾乱する。港湾設計要覧によれば、堤頂高は設計潮位上設計波高（ H_s ）の 0.6 倍程度（これはそのときの平均波高にほぼ相当する）にしておけば十分であるとしている。このようにして定められた堤頂では、 H_s の大波ならばかなりの越波があると考えられるが、0.6 H_s 程度の波高をもつ波の超過確率は極めて小さい。したがって、風を考慮に入れても港内で荷役作業ができる程度の気象条件にあるとき起る港外の波では波高が低いから港内の静穏を著しく妨げるほどの越波はほとんどないものと推測される。港内における荷役作業の安全性から防波堤の機能効果を評価するならば、堤頂は設計潮位上 0.4 H_s 程度の高さにしておいても港内荷役作業にさしつかえるような越波はほとんどないものと考えられる。

戦前築造の古い防波堤の堤頂は、平均高潮面上（設計潮位には異常潮をあまり考慮していなかった）設計波高を H_s とすると（0.2 ～ 0.3） H_s であって、 H_s 程度の波高のときはかなり越波があり、防波堤の嵩上げを要望する声が高かった。既設防波堤の嵩上げに要する工費は決して安くはないのであるから、それぞれの港において越波による港内擾乱の程度を荒天時に観測し、防波堤の機能効果を十分評価したうえで、嵩上げの可否やその程度を決定することが望ましい。

混成堤の経済的断面を得るためには、考慮工夫すべき点はいろいろあるが、まず、直立部分に作用する波力の減殺、直立堤体の底面におけるせん断抵抗の強化、マウンドの洗掘散乱の防止などが検討すべき重点である。底面のせん断抵抗の増強には、底面の完起、マスファルト・マットの応用などが考えられているが、実験によれば直立部は弾性のマウンド上をロッキングしながら滑動する振動体であり、設計上の摩さつ係数については今後研究すべき問題点である。

マウンドの断面形状は、なるべく巾を広くし、その頂面高を低くするのがよい。直立堤体の断面形状については、近年新しい型が提案されている。^{3), 4)} たとえば、既に実施された特異断面には、デンマークの Hanstholm 港の防波堤がある。ここは通年波の荒いところで、設計波高には 7.8 m（200年に1回の頻度）をとり、各種の模型実験を行った結果、図1のようなコンクリート造円筒型

セルを連続させ、その堤頂面は平均海面の位置に法先をもつ 30 度の傾斜面にした。断面をこのようにした目的は、堤体に働く衝突波圧の水平成分を少なくするとともに、傾斜頂面に鉛直波圧を作用させ、滑りだし抵抗を大きくし、かつ転倒モーメントを小さくしようとするものである。この断面では、水平波圧、転倒抵抗モーメントとも、全断面を +45m まで鉛直にした場合に比べ約 50 % ですみ、極めて経済的な断面が得られたといわれる。模型実験結果の詳細は、図 2 のように堤頂面の傾斜角を 30 度に固定し、斜面法先の位置をいろいろにかえて実験した結果を示してある。これによれば実験結果はかなりばらつきがあるが、傾向としては、平均海面以下に法先をさげるほど水平力 K_2 は小さくなり、また斜面に直角で法先に作用するものと仮想する力 K_1 は大きくなる。 γ : 海水の単位重量、 H_s : 波高、その他は図示のとおり。

このように、頂面を傾斜させると斜面に直角方向の波力が働き、同時に水平波圧も減少するから安定上必要な断面を小さくすることができるから一つの断面形状として今後の研究課題にするにたるものと思う。

砕波が混成堤に作用する波圧については、永井博士によって詳しく研究されたが、波圧の鉛直分布は各点のピークが同時に起り、その合力が作用するのではなく、ある点に最大波圧が働いたときの最大になる同時波圧強度の合力が作用するものとし、波圧は静水面付近に集中するか、あるいは静水面上にかなりの波圧が作用するものと考えられている。また、Minikin, 光易博士らの実験によれば、波圧は静水面付近に著しく集中することを示している。また、砕波の波圧強度は砕波が障壁に衝突するときのあたり方によって相違し、かつ、波圧ピークの

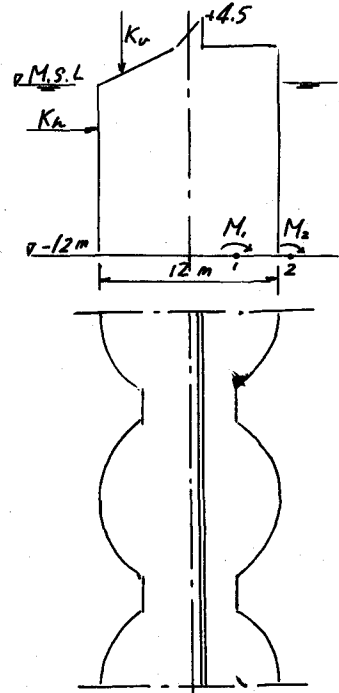


図 1

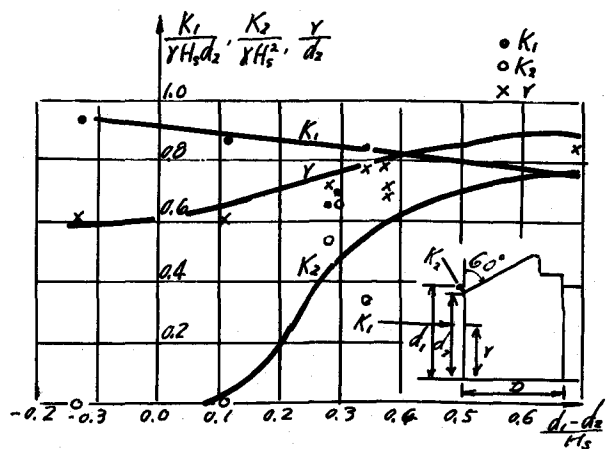


図 2

作用時間は極めて短いことも知られている。いずれにしても、静水面付近または静水面以上に集中的に働く波圧を減殺することは、経済的断面を得る一つの方法と考え、今後の研究課題として図3のような断面を提案したい。

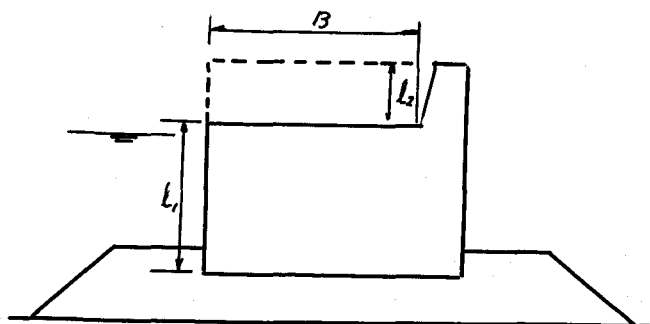


図 3

近年、開発のための新規港湾の建設や既設港湾にお

ける外かくの大拡張のために、波高6～8mのような荒海に直面して大防波堤を築造する機会が多い。このような高い設計波に対する防波堤には、普通、ケーソン混成堤とし、ケーソンの中詰めには砂を充填する型を多く用いるが、安定上必要な断面巾は、新潟東港5m、鹿島港17mのように、かつて考えられなかったほど著しく広い。

実験によれば⁵⁾、堤頂巾が広くなるほど、たとえ堤頂が低く越波が相当あるにしても入射波のエネルギー減殺率が大きくなる。たとえば、捨石堤の実験ではあるが、堤頂面を静水面と一致させた場合エネルギーの減殺率は、巾5.6mでは62%、巾3.2mでは50%、巾0.3mではわずかに25%に過ぎない。

また、図3のような断面にすると、 l_2 部の波のそ上高は、巾(B)と入射波長(L)との関係で変化し、 λ とそ上率との関連は次表のような実験結果⁶⁾が得られている。

そこで、防波堤頂部を図3のような断面にした場合、考えられることは、(1)、ある一つの入射波において l_1 と l_2 に作用する波圧の間には時間的ずれがあり、(2)、 l_1 に作用する最大波圧は真源で示される断面よりも小さく、(3)、 l_2 に作用する波圧は衝けき性がうすらぎ、かつ小さくなり、(4)、入射波の衝突高、跳波の上昇高が低くなり、(5)、入射波の反射率が小さく、堤に沿う走り波の破壊力をも緩和するなどの諸点を期待することができると思う。

λ	そ上率
$\frac{1}{8}$	0.74
$\frac{1}{4}$	0.63
$\frac{3}{8}$	0.58
$\frac{1}{2}$	0.55

波圧算定に広井公式を適用するとすれば、 $\lambda > \frac{1}{4}$ ならば直立堤体部の安定検算には l_1 、 l_2 部に作用する波圧を切りはなすことができ、 l_2 の天端高をも堤の機能面からは少なくとも20%程度点線断面より低くすることができると思う。

参 考 文 献

- 1) 渡辺弥作. 港湾計画と漂砂現象との関連性. 港湾37巻7号
- 2) M. Daiz-Marta. Protection Works on the Mexico Coast, The Dock and Harbour Authority, Feb. 1957.
- 3) Richard Boivin. Comments on Vertical Breakwaters with Low Coefficient of Reflectein, The Dock and Harbour Authority, June 1964
- 4) H. Lundgren. A New Type of Breakwater for Exposed Positions. The Dock and Harbour Authority, Nov. 1962
- 5) Otakar W. Kabelac. Model Tests of Coastal Protective Structures in USSR, Proc. ASCE. WW1. Feb. 1963
- 6) John B. Herbich etc. Effect of Berm on Waue Run-up on Composite Beaches, Proc. ASCE WW2. May, 1963.