

# 研究展望

## 海岸侵食の制御

### BEACH EROSION CONTROL

土屋 義人\*

By Yoshito TSUCHIYA

#### 1. 緒 言

海岸侵食をいかに制御して、海岸保全を図るかは、どのくらい古くから始められたかは明らかでないが、Brunn<sup>1)</sup>によれば、インドとスリランカの間に、昔アダムとイヴが禁断の木の実を食べて逃げ渡ったといわれるAdam bridge (reef) もその1つであるといわれる。そんなこともあるから、ちなみに聖書をめくったこともあるが、ともあれ海岸という自然と人類との関係は古く、そこに海岸侵食の問題も存在したであろうが、海岸保全という積極的な方策をとるようになったのは近世になってからである。寺田寅彦によれば、自然は過去の習慣に忠実であるというが、約1000年に及ぶ海岸保全の経験は、波浪を通して自然と人類の生活基盤との調和の追求であり、幾多の失敗の繰り返しによって得てきたものであろう。すでに、13世紀にはオランダ、イギリスなどにおいて海岸保全や干拓の方策が樹立されたが、それ以来関連する科学技術の進歩に伴って多くの改良、工夫が行われてきた。なかでも、ゼロメートル地帯のオランダを中心とした西欧の長い経験から生まれた耐水工法の思想は敬重に値する。

一方、1983年の冬期、カリフォルニア海岸では、異常波浪が継続したため、著しい海岸侵食が起り、広大な砂浜の美しい面影をすべて奪い去ってしまった。このことは、海岸保全に興味をもつわれわれ研究者のみならず、その行政を担当されている方がたにも、強いシヨツ

クとともに、大きな教訓を与えてくれた。わが国に比べて、十分な砂浜が形成されており、また海岸構造物も比較的少ないこの海岸においても、異常波浪の継続によって、あのようにカタストロフィックに変ぼうすることがあるという自然の教訓は、深く心に留めなければならない。特に、海浜に築造された構造物の存在が、海岸侵食をより助長してしまったことは、特記されるべきであろう。

わが国の海岸侵食は、最近あまりにも著しい。わが国の自然条件から形成された美しい海岸の生い立ちを忘れて、いたずらに開発・利用を考えがちであるが、より豊かな、より平和な社会を求め、高い文化を人類の資産として残すためには、自然に対してその反作用を余儀なくする。海岸侵食も、いふならばその反作用の1つであり、高度に開発されたわが国は次世紀においては都市社会を迎えるが、その反作用をもたらすポテンシャルはさらに増大し、河口海岸を中心とする海岸侵食は著しく激しさを増すであろう。すでに、各種の工法が開発されて、侵食制御から海岸保全を図ってきているが、いまだ前述したような異常波浪はいずれも経験していないといっている。

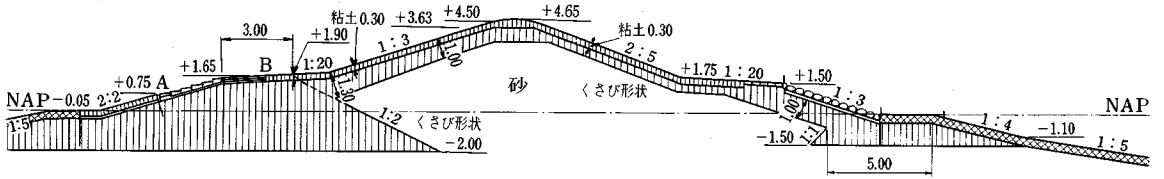
本文では、諸外国における侵食制御における思想的な背景を考察してから、長期的な観点において、海岸侵食制御の方法論を展開し、海岸保全の基礎について考察することにしたい。

#### 2. 侵食制御法の変遷と比較

前述したように、海岸侵食制御の歴史はかなり古く、われわれは多くの経験をもってきた。しかし、Brunn<sup>1)</sup>がとりまとめた侵食制御の動向などによると、各国で適

\* 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所  
(〒611 宇治市五ヶ庄)

Keywords: beach erosion, methodology, shore protection, protective measure



図—1 オランダにおける海岸堤防断面の一例<sup>1)</sup>

用してきた工法には、かなりの相違がみられ、これが海岸の特性に依存しているのか、または国民性によるのか明らかでないが、それらを考察することは海岸侵食制御において何が本質であり、何のために侵食制御の方策がとられてきたかを究明するために有意義である。ここでは、まずオランダの侵食制御について述べ、これとイギリスのそれとを比較し、ついでアメリカ合衆国およびわが国のそれらを考察する。対象とする工法としては、主として護岸および突堤であるが、侵食制御の思想を理解するには十分であろう。

(1) オランダにおける侵食制御

オランダなど西欧における海岸保全は長い歴史をもち、すでに13世紀にはその方法をいろいろ完成していたといわれる。その基本的な思想は、Vierlingh<sup>1)</sup>による

Water shall not be compelled by any fortse (forces), or it will return that fortse onto you.

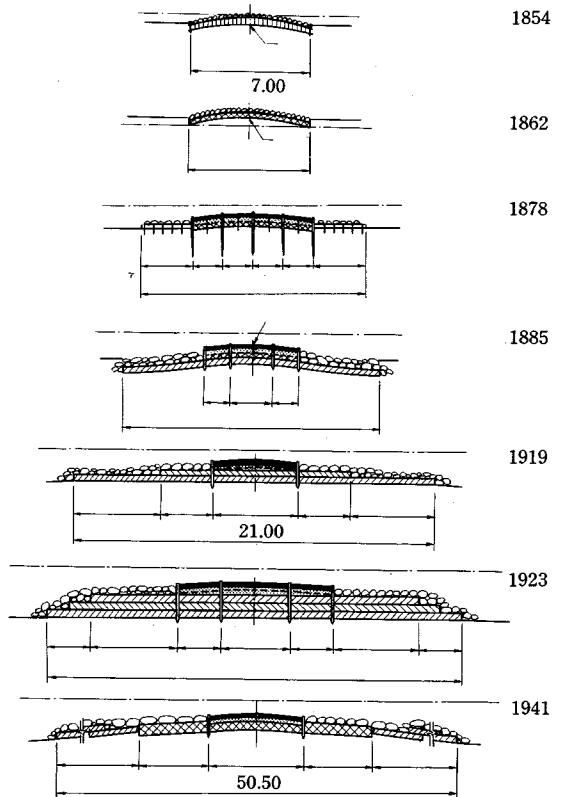
で表わされ、これは流線の原理で、自然に強く対処すれば、より強い力で反作用するというわけで、できるだけ柔に対処すべきであるという耐水工法である。その具体例を2, 3示そう。

まず、海岸堤防または護岸の断面については、図—1にその例を示すように、そののり面勾配はきわめて緩勾配である。これは波のそ上特性を十分理解し、それに従ったものといえる。すなわち、構築材料にもよるが、後述するように、大体1/10勾配より緩傾斜であれば波のそ上高さは非常に小さくなるので、この事実を有効に活用したものであろう。そして、堤防または護岸ののり先は常に波の作用によって流水が往復できる構造とし、それを遮るような工法は用いていない。

一方、西ドイツ<sup>2)</sup>でも堤防断面はオランダのものに近く、のり勾配は1/4~1/6で、場所によってはのり先に矢板を打っている場合もある。イギリスでは<sup>1)</sup>、後述するようにアメリカ合衆国などと同様にかなり急勾配の堤防を用いたことがあり、1911年当時その効果の調査が行われ、結論的には堤防それ自身が破堤の原因を作るといわれたほど、当時反射波による堤脚の洗掘が問題にされた。

次に、図—2には突堤の断面の変遷を示す。時代とと

もに、その断面もかなり大きく大規模なものになってきたが、その特徴は次の2つにある。まず第1に断面は流線の原理に基づいてできるだけ自然に逆らわず、そして第2にその高さは平均海面またはそれ以下であり、あえて沿岸漂砂を直接阻止して堆砂を図ろうとしていない。一方、イギリスでは、同様な突堤を用いる場合、その天端は平均海面以上となっており、この相違をBrunn<sup>1)</sup>は次のように説明している。オランダでは、底質が細かいので、突堤そのものによる攪乱を少なくすることを考えたが、イギリスでは底質が礫であるためその攪乱があまり大きく現れないので、天端を高くしてあるという。図—3はこのような工法によって、激しい海岸侵食を実際制御してきた一例である<sup>3)</sup>。外力の変遷との関係や侵食原因も明らかではないが、北海に面したこ



図—2 オランダにおける突堤の断面の変遷<sup>1)</sup>

の海岸の1800年代の著しい侵食は、少なくとも10年平均の汀線変化においては突堤群によってほとんど制御されているという。このほか、杭突堤<sup>4)</sup>について、最近研究が進められているが、その考え方は基本的に同一である。また、離岸堤工法については、最近デンマークなどでも採用されているようだが、すべて潜堤によるもので、その考え方は沿岸漂砂を阻止するものでなく、碎波帯を通して、特に高波浪時に沿岸漂砂が存在するようにし、その一部を堆砂させて侵食制御に役立つというものである。

(2) アメリカ合衆国における侵食制御

まず、堤防または護岸や突堤については、前述したオランダ流のものと思想的にかなり相違するようになると思われる。両者ともその断面は急であり、一般的にわが国のものとよく似ている。積極的に、海岸を護岸するという思想であり、一例として示せば図-4のような断面の護岸

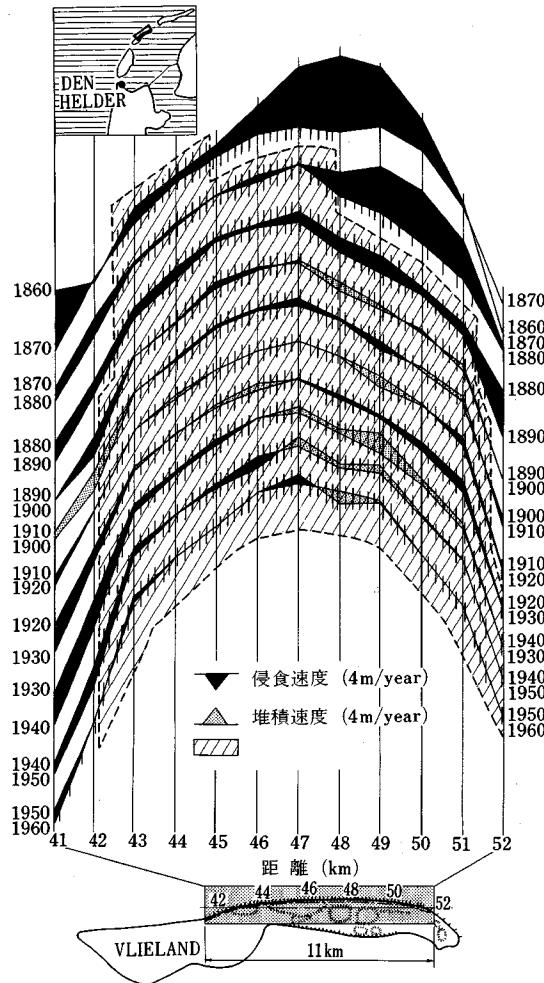


図-3 オランダにおける突堤群による海岸侵食制御の効果

に対してそのその上特性を十分調べて、必要な天端高を決定しているが、オランダと異なって波のその上特性を生かした断面にはなっていない。また、突堤も一般に図-5に示すように、そののり面勾配はかなり大きく1/2程度で、天端は平均海面上までとして、積極的に沿岸漂砂を阻止できるよう構造的に十分なものとしている。そのほか突堤構造として、各種のものが用いられているが、いずれも思想的には前述したオランダのものとかかなり相違していると思われる。

アメリカ合衆国では、1960年頃より最も効果的な侵食制御工法としてサンドバイパスなどによる養浜工を積極的に採用して多くの成果をあげてきた。その考え方は漂砂の連続性の確保であり、次の2つに分けて考えられる。第1は、一例を図-6に示すように、入江の導流堤

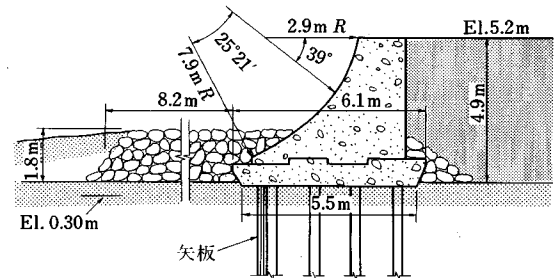


図-4 アメリカ合衆国における護岸断面の一例

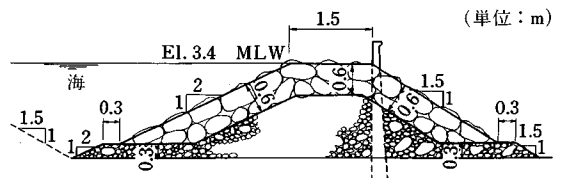


図-5 アメリカ合衆国における突堤断面の一例

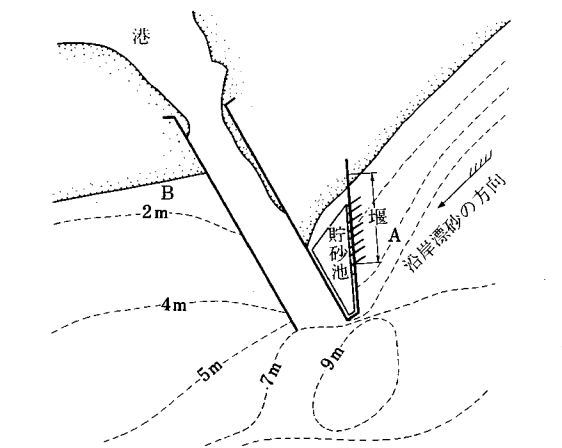


図-6 サンドバイパスの一例 (堆積域Aから侵食域Bにサンドバイパスする)

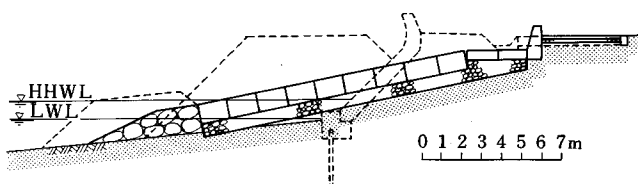
や掘込み港湾などの防波堤によって沿岸漂砂が遮断される場合には、人為的に、または波浪や流の作用を利用して、下手側に漂砂を輸送するいわゆるサンドバイパス工法である。これは漂砂の連続性を積極的に確保することから原理的にはきわめてよい方法といえる。第2は、人為的に漂砂を供給して砂浜を造成するものであり、アメリカ合衆国では沖浜より (borrow area) 浚渫した漂砂で砂浜を造成する場合も多く、いずれの場合にも、養浜砂の流失を防止するため突堤などと併用している。また、最近ではわが国の離岸堤工法に注目して、その試行を始めている<sup>5)</sup>。

### (3) その他の諸外国における侵食制御

一方、インドなど開発途上の諸国では、堤体の構築材料が主として石材を用いているため、構造的にはオランダ流に近く、 $1/4 \sim 1/10$ の緩傾斜のものが多く、一般に護岸の端部の侵食を除いて、その効果は十分であり、砂浜の形成に役立っているようである。そして、Babaら<sup>6)</sup>によれば、インド西海岸、Voliathuraにおける調査から、砂浜はその長期の最良の保護工であり、新しい護岸の設計においても、このことを考慮すべきであると述べている。Brunn<sup>1)</sup>も海岸侵食制御においては先進国よりも開発途上国の方がはるかに賢く、インドとオランダ流の工法の類似性を指摘している。このことは、いうまでもなく、対象とする海岸の海象特性や侵食原因のみならず、背後地の利用形態など社会的環境にも依存するであろうが、海岸侵食制御の本質として何が最も大切かという教訓でもある。すなわち、高度の技術に甘え、自然に対してより強く対処し、結果的に急勾配の剛な構造のものになりがちであり、自然からの反作用を増大させてしまうことになる。しかし、構造材料に恵まれない国では、それで十分自然に対処できるよう緩傾斜の構造として築堤し、結果的に自然からの反作用を小さくし、かえって良好なる成果を得ているのであろう。

### (4) わが国の侵食制御における思想的背景

以上、オランダをはじめとする諸外国における海岸侵食制御の変遷、特に思想的側面を重視して述べたが、一方わが国では、何がその背景であるか定かでない。しかし、わが国の海岸堤防の断面をみると、非常に急勾配であり、また突堤の構造でも堅牢で積極的に沿岸漂砂を堆積せしめようとの考えのものが多く、いずれも前述し



図一七 緩傾斜堤の断面の一例 (点線は従来の海岸堤防断面)<sup>7)</sup>

たアメリカ合衆国流のそれらに類似している。

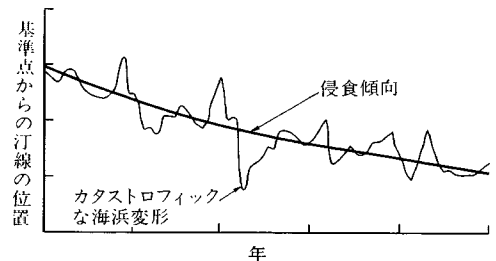
一般論としていえば、アメリカ合衆国の海岸はわが国のそれよりも陸棚が著しく発達し、浜勾配も緩やかなものが多い。陸棚の発達は高潮の発生に対しては、それをより助長させるが、砂浜は広く、海岸侵食の制御においては、むしろ有効であろう。そこに、護岸という立場から急勾配の堤防を建設することは、高潮対策として納得できる。一方、わが国のように、陸棚の狭長な海岸では、一般に砂浜も狭く、そこを護岸する場合アメリカ合衆国と同様に急勾配の堤防などを用いる場合、異常波浪時の砂浜の変動を考えると、十分な余裕がなくかえって堤防の破壊をまねくことになるのではないかと思われる。

次に、海岸侵食制御工法のすう勢について述べよう。まず、海岸堤防または護岸は、戦後多くの海岸に設置され、海岸保全に大きく寄与してきた。すなわち、本来これらを築造する場合には、その前面に自然の消波機能を生かすべき十分な砂浜が存在するのが前提で、異常波浪時に海岸を保全してきたはずである。しかし、わが国では、後述するように漂砂源の変化、特に河口からの供給土砂の減少によって、河口海岸の砂浜が消滅し、たびたび波浪が堤防や護岸に衝突するようになり、反射波が発生して侵食を助長するようになってきた。それゆえ、侵食防止のために、他の工法との併用がとられてきた。

昭和41年わが国で初めて侵食防止工法として離岸堤が銭亀沢海岸に施工されて以来、多くの海岸で用いられてきており、その海岸防災に果たした役割はきわめて大きいといえる。最近では、従来の堤防主義のように線的な防護方式から、自然海浜の有効な消波機能を生かし、各種工法の有機的な配置による面的な防護方式へと思想的にも大きく変わってきた。そして、ようやく波浪のそ上特性に立脚して図一七のように勾配 $1/4 \sim 1/5$ の緩傾斜堤が開発されたり<sup>7)</sup>、また碎波水深を制御して侵食制御を図るリーフ工法<sup>8)</sup>や自然の安定海浜の形成を模擬した安定海浜工法<sup>9)</sup>などが試行されつつある。

## 3. 海岸侵食の原因

海岸に及ぼす主要な自然力は、高潮、津波および波浪



図一八 汀線の長期変化と変動

に代表される。自然海岸は一般に安定なものが少なくないが、自然力の変化や人為的な作用によって、図-8のように変化する。このように、海浜変形を汀線の変化を例として、長期的変化としての海岸侵食と季節変化や異常変化などの変動と区別して考える場合、海岸侵食の原因とは何かについて考えよう。

さて、海浜変形の連続式はすでに岩垣<sup>10)</sup>によって求められ、前述した長期的傾向としての海岸の侵食・堆積を考察することとすれば、基準点からの汀線の位置  $y_0$  は次式で表わされる<sup>11)</sup>。

$$\frac{h_k}{B} \frac{\partial y_0}{\partial t} = \frac{\partial \bar{h}}{\partial t} \frac{h_k}{B} \left(1 - \frac{\bar{h}}{h_k}\right) \frac{\partial B}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)B} \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{1}{B^2} Q_k(t) \delta(x-x_0) \dots (1)$$

ここに、 $h_k$ : 漂砂の移動限界水深、 $\bar{h}$ : 漂砂帯 (その幅を  $B$  とする) における平均水深、 $Q_x$ : 沿岸漂砂量、 $\lambda$ : 海底土砂の空隙比、 $t$ : 時間、および  $\delta(x-x_0)$  は Dirac の  $\delta$  関数で、 $x=x_0$  において河川などの漂砂源  $Q_k(t)$  があるものとする。式 (1) により明らかなように、海岸侵食の主原因は、まず右辺第 4 項で表わされる漂砂源としての河川からの流出土砂量の減少であり、第 3 項で表わされる沿岸漂砂の非一様性<sup>10)</sup>、すなわち、漂砂量が漂砂の方向に増大  $\partial Q_x / \partial x > 0$  すれば侵食、減少  $\partial Q_x / \partial x < 0$  すれば堆積することになり、これは海岸構造物などによる沿岸漂砂の阻止または遮断や地形上の原因であり、最後に長期的な波浪特性や潮位変化の直接的な影響は第 1 および 2 項に含まれる。

Brunn<sup>1)</sup> は自然および人為的海岸侵食の原因を詳細に分類しており、また岩垣<sup>10)</sup> は漂砂供給量の減少、自然外力の長期変動、人為的な地形変化、非平衡の急深海岸および宿命的な海岸地形を挙げている。

一般に、侵食海岸においては、これらの原因が複合して現われる場合が多く、またいずれかが卓越することも少なくない。たとえば、アメリカ合衆国では一般に平均海面の上昇が<sup>12)</sup>、またわが国ではむしろ急激な河川流域の開発に伴う漂砂源の変化や沿岸構造物の築造による沿岸漂砂の阻止が主要な原因となっている。

ここでは、海岸侵食の原因を次のように、侵食の根本的な原因となっている 1 次の要因と、それを助長させている 2 次の要因とに分けて考えよう。

(1) 1 次の要因

この要因の主なもの、漂砂源、海岸に作用する外力および海岸地盤の変化であろう。漂砂源の変化の典型的なものは、河川からの土砂供給の変化である。通常、その原因としては、河川流域の開発に伴うダム堆砂や砂利採取 (現在は、かなり

規制されているが) などであるが、年間の土砂供給を考える場合には、ダムによる洪水調節による流送土砂量の減少を挙げなければならないであろう。このような河口からの土砂供給量の減少は、必然に河口デルタの縮小を余儀なくする。わが国の主要河川の河口海岸は、その一例を図-9 に示すように、いずれもこの要因による海岸侵食が著しい。

外力の変化が侵食原因となるためには、台風や季節風などの気象とそれに伴う海象が長期的に変わる場合である。特に、最近各地で平均潮位の上昇が強調されているが、現在地球は寒冷化に向かっていることを考えると、人類が自ら制御すべきは、通常考えられているより著しい温室効果であるが、もし数十年程度の期間において顕在化するものであれば、諸外力に及ぼす直接的な影響のみならず、潮位の上昇に伴う海岸侵食を究明しておかなければならない。最後に、海岸地盤の変化は、いうまでもなく地震による地盤の変動と地下水の汲上げによる地盤沈下である。これは潮位の上昇と同様に、わが国では新潟海岸で顕在化したように、外力特性に直接影響し、また汀線が後退して海岸侵食となる。

(2) 2 次の要因

前述した海岸侵食の要因に対して、侵食を助長させている要因として、その主なものは次のようである。それは人為的作用によるものであるが、それが局所的である場合が多い。具体的には、各種海岸構造物による沿岸漂砂の阻止、防波堤などによる外力の変化、特に反射波の発生などを挙げることができる。

構造物による沿岸漂砂の阻止は、局所的な海岸侵食の要因になるのみならず、ときには港湾を築造した場合のように、その漂砂の下手側にある海岸に侵食をもたらすことになり、特に防波堤による沿岸漂砂の阻止によって、海岸侵食は著しく助長されるのである。

次に、防波堤、堤防などによる外力の変化によって海岸侵食が助長されている場合も、わが国ではきわめて多い。大防波堤によって反射波が発生し、それによる海浜流、漂砂の動態が変わり、侵食を助長することになる。その典型的な例として直江津港西海岸などを挙げる事ができるが、このような場合には海岸過程そのものが変わってしまっている場合が多い。漂砂源の変化など 1 次

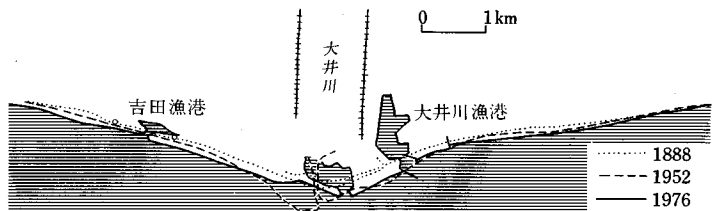


図-9 河口デルタの縮小による海岸侵食の一例

要因によって汀線が後退して堤防前面の砂浜が減少し、堤防に直接波浪が衝突するようになると、反射波によって沖方向漂砂が卓越し、海岸侵食を著しく助長する。よく知られているように、わが国の河口付近の海岸には、このような例が多く、この場合には、海浜断面はしだいに急峻化して、より大きな砕波が作用し、また沿岸流が岸に集中するようになるので、ますます侵食は助長される。

#### 4. 海岸侵食制御の方法論

海岸侵食をどうして制御するかについては、前述したように、われわれは多くの経験を持ち、また具体的な工法の開発を行ってきた。そして、これらの工法の改良においては、主として経験的とはいえ、基本的な考え方かなり明確にされており、それが基礎になっていると思われる。しかし、海岸侵食制御の一般的な方法論について考察したものはあまりないと思われる。海岸侵食を制御して、海岸保全を図るためには、十分長期的な観点に立って、かつ、Brunn<sup>1)</sup>が主張しているように対象領域を十分広域に考えて、できるだけ安定な海浜を形成させるための方法論を究明しなければならないであろう。短期的な思考では、たとえある期間その方法が成功したとしても、異常波浪の来襲時にはかえって自然の反作用を助長することになり、とても安定な海浜を形成させるという立場での侵食制御は不可能となる。ここでは、海岸侵食制御における基本的な考え方とそれに基づく方法論について著者<sup>13)</sup>がこれまで主張してきた考えに、2.において述べた考察を付加して述べてみたい。

##### (1) 基本的な考え方

海岸侵食に対する工法は、従来より多くの場合、きわめて試行的に行われてきた。これは、見方によっては、海浜の動態を見極めながら実施するという姿勢で、自然の動態を知り、その反応を確かめることにもなる。Brunn<sup>14)</sup>は次のように述べている。

Nature's engineering does not always satisfy man's ambitions. Man, however, learned from nature. Combining nature and man's efforts practical solutions have been obtained.

また、Silvester<sup>15)</sup>は、海岸侵食の方法論として、  
How to copy nature.

を挙げている。これらの見解は、いずれも思想的には、前述したオランダの耐水工法の考え方と共通している。

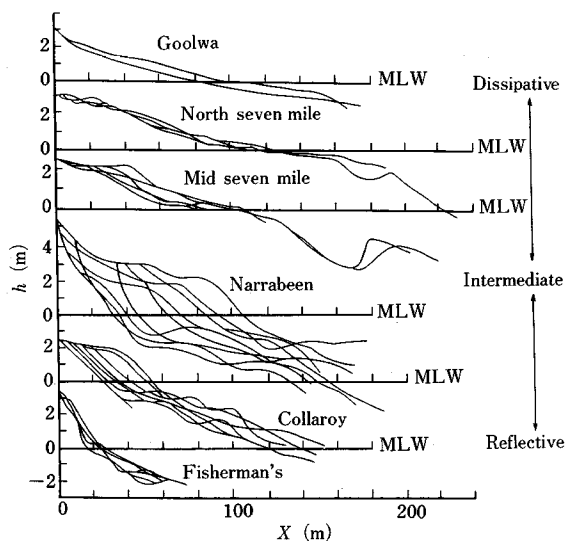
海岸侵食から国土を守るにあたっては、基本的にこの思想を心に留めるべきであり、いたずらに技術を過信しない方がよいと思う。すなわち、具体的には、自然の法則を学び知り、その法則に忠実な工法を開発し、実際に適用していくべきであろう。

##### (2) 漂砂循環システムと漂砂の連続性

自然海浜には、漂砂の循環システムが形成されておりそれは次の2つに分けて考えられるであろう。第1は、すでに田中<sup>16)</sup>によって二次元的漂砂の循環といわれ、古く沿岸砂洲の挙動から海浜断面の季節変化として考えられてきたものである。すなわち、冬期には侵食されて沿岸砂洲が形成され、夏期にはそれが破壊され、ときには浜にのりあげて堆積傾向を示す。この過程において、沿岸砂洲は自然の潜堤の役目を果たし、この漂砂の循環システムの基本をなしている。いうまでもなく、この漂砂の循環は季節的变化に加えて、数年程度の変動として現われるものである。また、このことはSilvester<sup>15)</sup>により、さらに地下水の挙動をも考慮して、沿岸砂洲の挙動との関係で示されてきたものであり、最近Short<sup>17)</sup>や砂村ら<sup>18)</sup>によって、波や底質特性との関係でこの過程が詳細に論じられるようになってきた。

一方、Short<sup>17)</sup>によれば、砂浜海岸はその断面形状によって、図—10のようにdissipative beach, intermediate beach およびreflective beachに分類されるが、それは波および底質特性に依存し、それぞれ固有の海浜過程をとることになる。

次に、第2はInman<sup>19)</sup>によるもので、三次元的漂砂の循環システムであり、海岸は数多くの基本的に閉ざされた海浜領域から構成されているといわれる。これはそれぞれの漂砂循環システムからなる漂砂系を表わし、前述した二次元的漂砂の循環システムをサブシステムとする漂砂系を考えれば、その系の中で漂砂源から供給された漂砂が循環し、適当にバランスしていることになる。これらの漂砂の循環システムにおける根本原理は、いう



図—10 砂浜海岸の断面形状の分類

までもなく漂砂の連続性であり、それによって自然の循環系を形成しているのである。

このような漂砂の循環系に基づけば、砂浜海岸は土屋ら<sup>20)</sup>によって次の3つに分類される。すなわち、その系の中において漂砂の収支が平衡している閉漂砂海岸、その系から漂砂の流出入があり、非平衡状態にある開漂砂海岸、およびその中間の状態にある擬閉漂砂海岸である。閉漂砂海岸の好例は、いうまでもなくポケットビーチであり、また開漂砂海岸のそれは河口デルタを含む海岸である。

ポケットビーチがなぜここでいう閉漂砂海岸となり、その系の中で侵食も堆積も起こらない安定な砂浜を形成できるのかについては、Silvester<sup>21)</sup>や土屋ら<sup>9)</sup>が、また最近田中<sup>16)</sup>が説明しているように、砂浜の変形における境界条件として、漂砂の上手および下手側に、その変形を規制するもの、たとえば岬（ヘッドランド）かあるいは突堤などが存在すると、主波浪の入射方向が一定であれば、その区間の砂浜はしだいに一定の平面形状をもつ安定な砂浜を形成するように変形する。この場合、当然、終局的に安定した砂浜では、それに対応した海底地形を形成して波浪は屈折し、また岬付近では回折して波峯線は汀線に平行となり、沿岸漂砂の存在しない浜となる。田中<sup>16)</sup>はこの場合の汀線変化をいわゆる one-line theory で解析し、図-11の結果を得ている。図中において、 $y_0$  は基準点からの汀線の位置、 $L$  は両岬間の間隔、 $\theta$  は波向、 $B$  は沿岸漂砂帯の幅、 $P_i$  は波のエネルギーフラックスに比例する沿岸漂砂量に関係する量であり、 $t$  は時間である。これによれば、これらの境界条件において、汀線の時間変化は  $\tau = 4(P_i/BL^2)t$  で表わされ、沿岸漂砂帯の幅  $B$  および両岬間の間隔  $L$  の二乗に比例して早く最終的な安定形状に達することになる。いいかえれば、その間隔が短いほど、より早く波峯線と汀線とが平行になるように変形して沿岸漂砂が存在しないような砂浜になるわけである。このように、両端にある岬によって形成された安定な砂浜の存在から、Silvester<sup>21)</sup>は岬による砂浜の制御（Headland control）といったのであろう。もちろん、この計算では岬による波の回折効果を考慮していないので、安定な砂浜の形状は実験のもの

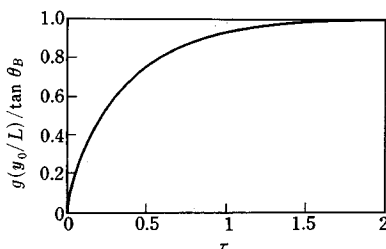


図-11 岬などの境界条件による汀線の時間的变化

のと異なる。

一方、開漂砂海岸においても、適当な間隔に岬などの海浜変形の境界条件が存在する場合には、沿岸漂砂が存在しても、それが一定であれば、侵食も堆積も起こらない安定な砂浜海岸が形成される。土屋ら<sup>9)</sup>はこれら2つの安定な砂浜をそれぞれ静的および動的に安定な砂浜として、図-12のように表わし、その形状特性を調べた。その結果、安定海浜の形状特性は境界条件としての岬間の距離  $L$  に対する最大湾入長  $y'$  との比  $y'/L$  が波の周期や底質特性にほとんど依存せず、漂砂の下手側の岬付近における汀線と岬の先端を結ぶ方向との角度  $\beta$  とそれに対する波向  $\theta_B$  との比  $\beta/\theta_B$  および波向  $\theta_B$  によって図-13のように表わされる。ただし、 $\beta = \theta_B$  のときは下手側の汀線に対して波峯線は平行となり、沿岸漂砂は存在せず、静的な安定海浜となる。これに対して、 $\theta_B > \beta$  の場合には、上手側の岬を通過する沿岸漂砂量はどこでも一定で、侵食も堆積も起こらない安定海浜となり、実際沿岸漂砂量のみならず底質や波特性によってこの比が支配されることになるであろう。

自然海岸は、このように一般に長期間のプロセスにおいて、適当にバランスした漂砂の循環システムを形成している。河川流域の開発や沿岸域の利用のみならず、海岸保全施設などの築造によって、この循環システムはしだいに变形され、なかには完全に破壊されているものも少なくない。この循環システムは極端に破壊されない限り、自然はかなり追従し、これを是正しようとするのであ

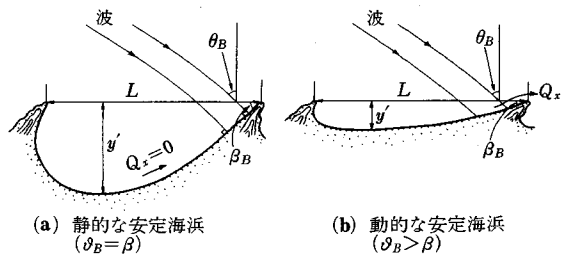


図-12 安定海浜の形状と諸元の定義

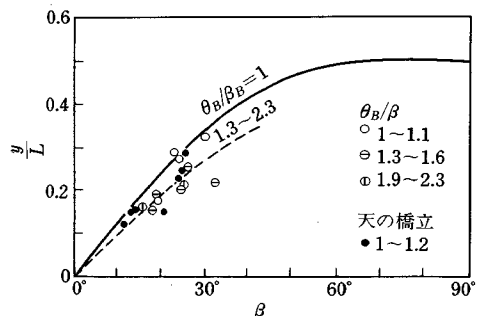


図-13 安定海浜の形状特性

ろう。完全に破壊された場合には、その将来を予測するために必要な自然の法則さえ、われわれはもち得ないことになる。すなわち、海岸保全のためには、根本的に、この漂砂の自然の循環システムを確保する努力が必要であるといいたい。

(3) 消波則と漂砂量則

海岸侵食の制御において必要とされる法則性として、波浪、海浜流、漂砂、海浜変形などを解明してそれらの法則性を見出さなければならない。これらのうち、海岸侵食制御において必須な事項は何かといえば、漂砂の連続性の確保であり、そのためにはできるだけ消波機能の高い浜を形成させて反射波を減少し、沖方向漂砂を発生しないようにし、かつ沿岸漂砂の一様性を確保することであろう。すなわち、その法則として、海浜の消波則と沿岸漂砂量則を取り上げたい。このうち海浜の消波則の表示としては、反射率または波のそ上高さでもよい。いま、Saville<sup>21)</sup>の実験結果を用いて、勾配 1/20 の傾斜海浜上にある勾配  $\tan \beta$  の斜面への波のそ上高さ  $R$  と沖波波高  $H_0$  との比  $R/H_0$  に対して、実用的に波形勾配  $H_0/L_0$  の 1/2 乗をかけて、斜面勾配との関係で表わすと、図-14 のようになる。ただし、洗先水深  $h$  と沖波波高  $H_0$  との比  $h/H_0$  をパラメーターとし、また  $h/H_0 > 3$  の場合で、斜面勾配が大きい場合には波形勾配の影響がさらに加わるようである。ここで、特記すべきことは、斜面勾配が 1/3 程度まではそ上高さがきわめて大きく、1/10 程度になると、急激に減少する。また、反射率においては、勾配 1/10 以下であれば、波の周期にほとんど関係せず数パーセントであり、いかなる消波工より消波効果が高い。すなわち、一般に自然海浜の消波特性はきわめて高く、反射波の発生がほとんどないので、沖方向漂砂を発生させない最も有効な浜は自然の砂浜であるといつてよい。

次に、沿岸漂砂の一様性を確保するためには、沿岸漂

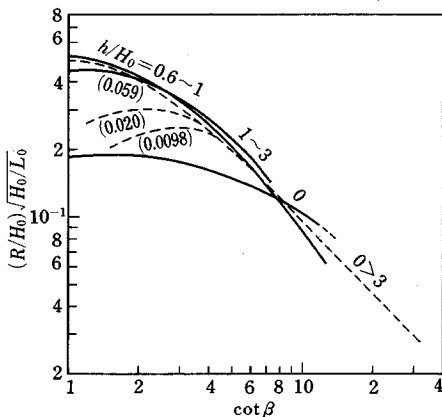


図-14 波のそ上特性に及ぼす斜面勾配の影響

砂量則を知らなければならない。種々のものが提案されているが、基本的には次のように表わされるとしてよいであろう<sup>22)</sup>。

$$Q_x \approx \bar{c} \bar{u} A \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 $Q_x$ ：沿岸漂砂量、 $\bar{u}$ ：平均沿岸流速、 $A$ ：沿岸流の流積で、 $\bar{u}A$  は全沿岸流流量となり、さらに  $\bar{c}$ ：平均漂砂濃度で、波や流れの作用により底質より底質特性との関係で表示されるべきものであるが、実用上はほとんど波特性に依存する。さらに、この関係を漂砂量則や沿岸流理論を用いて変形すれば、次式のように表わされる<sup>22)</sup>。

$$Q_x = c h_B^2 \sqrt{g h_B} \sin 2 \theta_B \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 $h_B$ ：碎波水深、 $\theta_B$ ：碎波角、 $g$ ：重力の加速度、および  $c$ ：定数である。通常、沿岸漂砂量は波のエネルギーフラックスの沿岸方向成分に比例するとされるが、式(3)はこのことと同値である。最近、沿岸方向に波高分布が存在する場合に、沿岸漂砂量則の中にあらわに波高の沿岸方向変化を導入する試みも行われている<sup>23)</sup>が、大局的にはこの表示で十分であろう。

このような表示からわかるように、沿岸漂砂量は碎波水深の 3/2 乗に、また碎波角の  $\sin 2 \alpha_B$  に比例する。したがって、碎波水深を人為的に変えれば、沿岸漂砂量の沿岸方向分布が急変するので、侵食や堆積が起こることになるし、また碎波角は一般にかなり小さく、それにほぼ比例して沿岸漂砂量が変化するので、汀線の線形を変えて碎波角が変わるようなことをすると、Brunn<sup>1)</sup>がいつているように、沿岸漂砂量は敏感に変わり、侵食や堆積が起こることになる。前述した漂砂の連続性からいえば、海岸侵食制御の基本原則の 1 つは、オランダの耐水工法の思想のように流線の原理であり、むやみに沿岸漂砂の不連続点や折点を作らないようにすることであるといえる。

(4) 侵食制御の方法論

海岸侵食を制御するためには、何を制御し、何を变化させて所期の目的を果たさなければならないかであるが、一般にはまず、海浜断面はできるだけ緩勾配とし、できるだけ自然海浜が形成されるようにして、反射波の発生を防ぎ、沖方向漂砂が起らないようにすべきである。このためには、できるだけ構造物を造らないように、たとえ浜砂の流出防止を目的としても、それを最小限とし、自然海浜の断面が形成されるようにする方がよいと思われる。このようにして、海浜の消波機能を高め、それを有効に利用すべきである。

この条件のもとに、海岸侵食制御として、何を制御すべきかについて考えなければならない。前述したように、たとえば河口海岸では、河川からの供給土砂量が減少すると、それに応じただけ河口付近より侵食されることに



なる。これは侵食されても多くの場合、来襲する波浪特性はほとんど変わらないので、波浪によって輸送される沿岸漂砂量は変化しないことによるわけである。したがって、供給土砂量が減少した場合には、沿岸漂砂量を制御しなければならない。式(3)によれば、沿岸漂砂量 $Q_x$ を減少させるためには、砕波水深 $h_b$ を減少させるか、あるいは砕波角 $\theta_b$ を減少させることによって、所要の沿岸漂砂量にすればよい。具体的に、これら2つの方法について考えてみよう。

#### a) 砕波水深を制御する場合

このためには、一般に海底地形を変えなければならない。たとえば、来襲波浪の主方向を対象として、海底に凹部を作って波の屈折による発散作用を利用することもできるし、またさんご礁をまねたりーフ工法でも、また幅広い潜堤を作ってもよいであろう。要するに、波の屈折特性を検討して、対象とすべき周期帯において、確実に砕波水深を減少させることができるものを選定すればよいわけであるが、工法によっては砕波角が変わり、沿岸漂砂量の制御効果がない場合も考えられるので、注意しなければならない。この制御方式は、原理的には可能であろうが、いずれにせよ、海底地形の変化を十分予測しなければならないし、また人工的にリーフを作ったり、潜堤を設ける場合には、そこで屈折特性が支配されるので、先端部の水深で制御された波浪といえども波向によっては沿岸漂砂を助長する場合があるであろうし、また波高分布の形成に伴って radiation stress の分布が変わり、海浜流が集中して沖方向漂砂が発生する場合もあるであろう。

#### b) 砕波角を制御する場合

これは、できるだけ自然海浜が形成されるようにして、砕波水深を変えないで、砕波角だけを変化させ、所要の沿岸漂砂量に制御するものである。すなわち、来襲波浪に対する海岸線の向きを変えてやればよく、たとえば、安定海浜工法(Headland defense work)を適用し、平均的な海岸線を少しだけ傾けて、安定海浜群を作ればよいわけである。河口デルタの縮小による海岸侵食の制御などは、この方法の好例と考えられるので、例示的に後述する。

次に、式(2)に基づいて海岸侵食を制御する方法を考えよう。式(1)によって説明したように、長期的観点から考えれば、沿岸漂砂量の場所的変化の存在によって、海浜変形が起こるわけであるから、たとえば突堤などによって沿岸漂砂を堆積させ、主波向に対する汀線の向きを少しだけ変えて侵食を制御しようとする場合には、式(2)において漂砂の平均濃度がほとんど波の作用で決まることを考えると、沿岸流の流速を少しだけ局所的に減少させることができれば、 $\partial Q_x / \partial x \sim \partial \bar{u} / \partial x$

$< 0$  となって漂砂を堆積させることができるはずである。いいかえれば、漂砂そのものを制御するのではなく、その輸送過程を担う沿岸流を局所的に制御すれば十分であるといえる。これは後述するように、オランダ流の突堤の機能に対応する。

## 5. 各種工法の海岸侵食制御機能の考察と海浜の安定化

前述した海岸侵食制御の方法論に基づいて、ここでは、まず既往の工法の侵食制御機能を考察し、ついで長期的観点からどうして安定な砂浜を形成させるかについて考察する。

### (1) 各種工法の侵食制御機能と考察

この場合、工法の分類はその機能から Brunn<sup>1)</sup>が行ったものによる。

#### a) 護岸(堤防)および離岸堤

前述した方法論によれば、これらは砂浜の変動に対して、特に異常波浪時海岸を防護するための護岸であるから、基本的にはそののり面勾配はできるだけ緩勾配で反射波の発生を防がなければならない。波のそ上特性からすれば、1/6 またはできれば 1/10 程度がよいことになる。最近、豊島<sup>7)</sup>によって図-7 に示したような緩傾斜堤が開発されかなり普及してきたが、より緩勾配のものがよいと思われる。ただ、前述したように、土地利用の問題があるにせよ、わが国の護岸構造の思想が最初からなぜオランダ流の耐水工法に学ばなかったのかと反省したい。

次に、離岸堤工法<sup>24)</sup>については、前述したように、わが国では侵食制御における救世主のように各地に普及し、過去30余年に及んで海岸保全に果たしてきた成果は高く評価される。また、その設計法<sup>25)</sup>もほぼ確立されたといつてよい。ただ、その堆砂機能について次の2つの場合があることに注意しなければならない。まず、第1は銭亀沢や皆生海岸で代表されるように、従来突堤や海岸堤防などを築造し、その前面の砂浜が他の要因たとえば漂砂源の減少によって消滅してきた場合とか、堤防の設置位置が通常の砂浜の変動域内にあったため、前述した2次の要因として反射波の発生が著しく、沖方向に浜砂が流失してしまったような海岸である。このような海岸に離岸堤を設置すると、当然のことながら護岸などよりはるかに消波効率が高くなるので、沖側に堆積していた漂砂は岸側に移動し、それが離岸堤の消波、回折効果によりトンボロ地形となって堆積するものと思われる。したがって、この場合には、消波機能さえ以前の状態より良好である緩傾斜のものであれば、原理的に岸方向漂砂を促進させて砂浜の回復を図ることができるはずである。

第2は、高知海岸で代表されるように沿岸漂砂が比較的卓越する河口部の海岸の場合で、漂砂源の変化による侵食であり、離岸堤を設置すると、沿岸漂砂によってトンボロが形成されるが、その漂砂の下手側は漂砂の連続性から必ず侵食されるので、さらに離岸堤を設置するというように、自然の反作用に対して葛藤が続く場合が多い。

長期的な観点から、離岸堤を多数設置した海岸がどうなるかについては、いまだ定説がないが、豊島<sup>25)</sup>は皆生および高知海岸の実例を挙げて次のように述べている。前者では、図-15に示すように、従来沿岸砂洲が発達していた海岸であるが、離岸堤の設置が進むにつれてそれが消滅し、前面の海底は全面的に平坦で、きわめて安定感のある平行等深線の海岸に変形しており、また後者では外洋に面している海岸ゆえ、離岸堤の規模も大きく比較的安定した海底地形になっている場合もあり、また4 m 近い大きい変動を示す箇所もあるが、この程度の変動は自然の砂浜の変動として従来経験したことであるとしている。けれども、これらの場合には、いずれも沿岸砂洲が消滅しつつあることを考えると、従来 dissipative beach であった海浜が人為的に reflective beach に変わりつつあり、異常波浪時に従来存在した沿岸砂洲による波浪の減衰作用が欠如する傾向であることに注意しなければならないであろう。いいかえれば、大規模な離岸堤群の設置によって、海浜過程それ自身が大きく変化

しており、それがはたしてある1つの安定な海浜の姿に近づこうとしているのか、あるいはカリフォルニア海岸<sup>27)</sup>で経験したような継続時間の長い異常波浪のときにはたしてどうなるか今後の問題であるといわなければならないであろう。またデンマークなどで行われているように、離岸堤の規模をもう少し小さく、潜堤形式として、すでに侵食制御の方法論として考察したように、原理的に沿岸漂砂の一部を堆積させ、大部分を通過させるようにして、構造物の設置に対する自然の反作用を減少させるような工夫が必要ではないかと思う。

#### b) 突堤

従来、突堤は一般に沿岸漂砂の卓越する場合に用いられ、その機能としては、沿岸漂砂をトラップして海岸制侵食を制御するものとされているが、その考え方には2つのものがあると思われる。その1つは、アメリカ合衆国やわが国のように、比較的剛な不透過または透過性突堤によって沿岸漂砂をむしろ積極的にトラップして堆砂を図ろうとするものと、他方オランダ流にできるだけ突堤自身の影響を少なくするために、流線の原理に忠実な構造とし、沿岸漂砂の一部を堆積せしめ、大部分を通過させようとする方法である。沿岸漂砂を制御する方法論からすれば、突堤は沿岸漂砂を堆積させるものと考えよりも、Bakker ら<sup>4)</sup>が透過性突堤の基礎実験において指摘しているように、沿岸流の流速を少しだけ減少させるための粗度群であると考えた方が、むしろ原理的であ

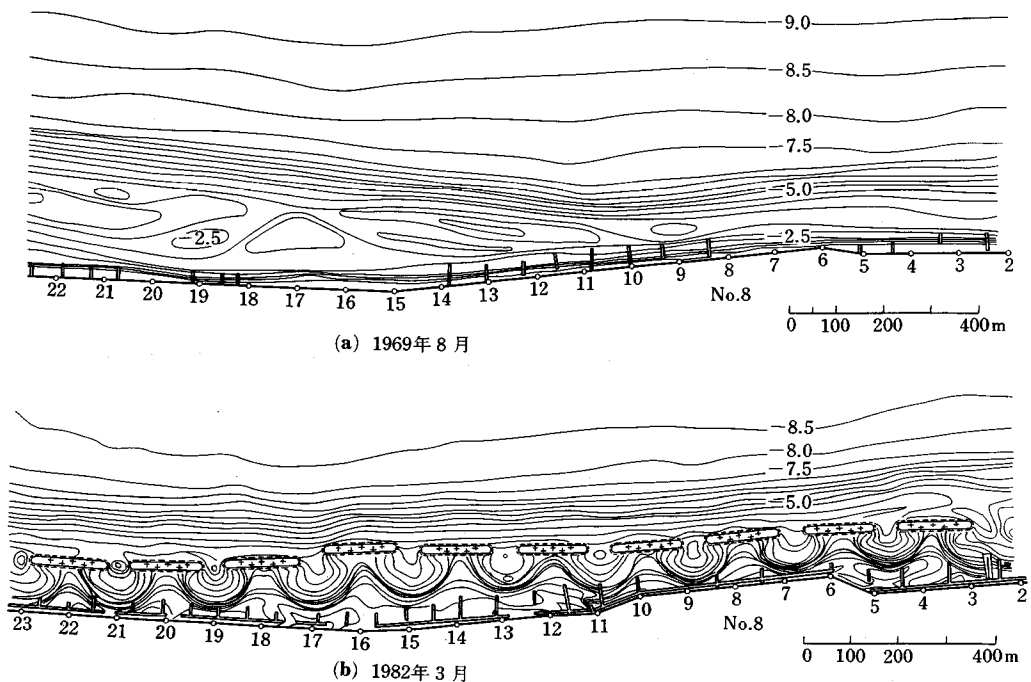


図-15 皆生海岸における離岸堤設置による海底地形の変化<sup>26)</sup>

るといえる。このことは、細砂よりなる海岸では、突堤による自然の反作用を減少させることに特に注意すべきであり、オランダにおける図-2に示した実例として認識されるであろう。

c) 養 浜

漂砂の連続性に基づけば、沿岸漂砂を人為的に遮断した場合には、図-6にその一例を示したように、必ずサンドバイパスしてその接続を図るべきであり、そうしない限り上手側には漂砂が堆積し、下手側では侵食されることになる。しかし実際には、後述するように漂砂の連続性のほか、港など大規模な海岸構造物の築造により波浪特性の変化に伴う2次の要因が加わることに注意すべきであろう。このようなサンドバイパス工法はようやくわが国でも実施できるようになり、すでに天の橋立海岸<sup>28)</sup>に試験施工されてよい成果をあげつつある。

次に、人工的に砂浜を造成したり、また侵食制御を図る場合、沖側の海域から土砂を採取して養浜を行う方法がアメリカ合衆国などでは普及しているが、土砂採取海域の波浪変形に及ぼす影響やその埋没による海浜変形などを十分究明しておかなければならない。

ただし、漂砂の連続性を確保するためには、原理的には永久にサンドバイパスしなければならないわけで、これを中止すれば必ず漂砂の下手側では侵食されることになるし、また養浜砂の流失防止を図っても、しだいに消失していくはずであるから、長期的観点からはそれらの侵食原因が何であれ、いかに海岸保全を図るか、あるいはどうして砂浜を安定化するかが基本的な課題となるはずである。養浜を最良の工法としてきたアメリカ合衆国では、最近その方策の1つとして前述した離岸堤工法に注目しているが、わが国での経験によるより原理的な侵食制御法の理論を必要としよう。

(2) 海浜の安定化と新工法の開発

前述したいずれの要因による海岸侵食でも、その制御においては、できるだけ長期的観点から考えねばならないし、またBrunn<sup>1)</sup>が強調しているように、流線の原理に立脚して、侵食制御の対象とすべき範囲は十分広域に考え、原則的には1つの漂砂系として制御するようしなければならない。ここでは、既往の諸工法の活用と新工法の開発によって、どうして海浜の安定化を図るべきかについて考察しよう。

a) 既往工法の活用と選択

侵食制御の具体的な工法とその適用については、多くの経験がある。樺木<sup>29)</sup>も述べているように、工法の適切な選択においては、海浜過程についての十分な調査・解析のもとに、工法の効果や影響範囲の長期予測を行わなければならない。Brunn<sup>1)</sup>は可能な海岸保全の具体的な工法の選択においては、侵食制御の対象領域の規模の大

表-1 Brunnによる工法の選択と海岸保全

大規模な場合		小規模な場合	
方法	備考	方法	備考
AN	可能な限り高潮対策をも考えて海岸堤防などと併用する	SW	緩勾配ののり面をもつ構造物でも可能なような特定箇所の保全を目的とする
AN+SW	異常な高潮・高波浪に対して鉄筋コンクリート造の堤防・護岸を用いる	GR	自然または人工的につねに造成される海浜で適用されよう
AN+GR	維持費を軽減するために、突堤が経済的に適される場合である	SW+GR	海浜流を制御するために突堤を用いて特定領域を保全する
AN+SW+GR	通常の方法では困難な場合である		

注：AN;養浜, GR;突堤, SW;堤防・護岸および離岸堤

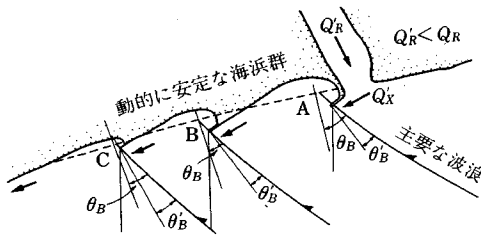
小によって、表-1に示すような複数の工法の利用を挙げている。わが国も今日実施されつつある面的防護方式の考え方も、これと共通していると思われる。ただ適切な工法の選択によって、はたしてどのような海浜として安定化が図られるのか、海浜断面のみならず海浜の形状についてさらに検討しなければならないであろう。

b) 海浜の安定化と新工法の開発

海岸侵食の1次の要因に対して、海浜を安定させる場合には、できるだけ構造物による自然の反作用を少なくし、2次の要因を起こさせないことが大切である。従来の侵食制御の考え方の主流は、多くの場合海浜断面の変化として、またその断面における消波および堆砂機能においてのみその機能を評価しがちである。自然の安定な海浜は、1つの漂砂系として形成され、自然の外力に対して最も消波機能の高い形状となっていると考えられる。すなわち、海浜断面は緩勾配で消波効率が高く、さらに安定海浜の両端で決められる wave window<sup>27)</sup>から進入する波は屈折または回折して海浜に対する波向がほぼ一定となり、弧状を成すため汀線単位長さ当たりの波エネルギーはかなり減少することになり、これらが安定海浜として存在する原因となっている。このことを考えて、ここでは具体的な海浜の安定化の可能性を示そう<sup>3)</sup>。

① 漂砂源が変化(減少)した場合の河口海岸の侵食制御

漂砂源が減少すれば、漂砂の連続性から海岸は必ず侵食される。たとえば、図-16に示すように、河川からの土砂供給量が減少すれば、河口付近の漂砂の下手側の海岸はしだいに侵食される。さらに2次の要因が加われば、侵食は助長されるであろう。この場合の侵食制御としては、原理的に次の2つが考えられる。第1は、河川



図一16 河口海岸の侵食制御

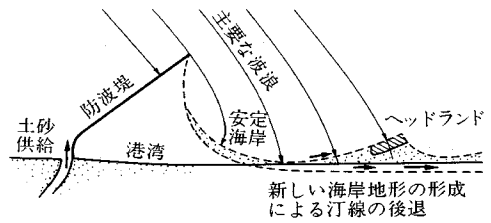
(土砂供給量  $Q_R$  が  $Q'_R$  に減少したことによる海岸侵食,  $Q_X$  は沿岸漂砂量,  $\theta_B$  および  $\theta'_B$  は安定海浜形成前後の碎波角,  $\theta_B > \theta'_B$ , A, B, C はヘッドランドを示す)

からの土砂供給量を増加させて、漂砂の連続性を人為的に図ることである。原理的にはこれが最もよい方法であり、特にわが国における河口デルタの形成過程からすれば、積極的に考えていかなければならない時期にきているといえる。第2は、漂砂源の変化に対応できるように、沿岸漂砂量を制御することが考えられる。制御対象とする沿岸漂砂量を推定し、それによって形成される動的に安定な海浜群を自然海浜をコピーして連ねればよい。具体的には、沿岸漂砂量が碎波高（碎波水深に対応する）と碎波角の関数として実用的に表わされるので、あまり海底地形を変えないようにして碎波水深をほとんど不変に保ち、対象とする沿岸漂砂量を通過させることができるように、所要の間隔で人工の岬群を設置すればよい。若干の養浜工を併用することによって、岬間には、やがて自然の海浜にみられるような動的に安定な海浜群が形成されることになる。こうして、海岸線の傾きを少しだけ変えることによって、主たる波浪の碎波角を減少させて沿岸漂砂量を制御できるわけである。実際的には、漂砂の下手側に向かうほど、現状の海岸線に近づけるべきであるから、岬の規模も、またその傾きもしだいに小さくなるはずである。

なお、実際は、主たる波浪も2方向に存在する場合もあり、また海浜は波浪などの外力によって変動するので、岬の基部をリーフ工法などを併用して護岸することがよいであろう。

## ② 大規模海岸構造物による海岸侵食の制御

多くの場合、砂浜に港湾を築造すると、海岸侵食を生ずる。特に、河口付近の場合には、前述した例と同じように、漂砂源を遮断するので著しい。この場合の侵食制御は、まずサンドバイパスによって漂砂の連続性を確保することであるが、それだけでは十分でないであろう。構造物の規模が大きくて、図一17に示すように、それが1つの岬に相当すると、それを境界条件とする新しい海岸地形が形成されることになるので、その下手側は一方的に侵食される。従来、このような場合、侵食されないように護岸をし、また離岸堤を設置してきた。しかし、



図一17 大規模海岸構造物による海岸地形の変化とその制御

この海岸地形の形成はこのような方法によって、簡単には制御できるものではなく、護岸条件に応じた新しい海浜、海底地形が形成されるだけで、侵食はかえって助長されるはずである。

このような新しい海岸地形の形成を制御して、海浜を安定させるためには、やはり自然海浜でみられるように、この海浜変形におけるいま1つの境界条件として、その下手側に岬を設け、その間にサンドバイパスをする場合には動的に安定な、またしない場合には静的に安定な砂浜が形成できるようにしなければならないであろう。ただし、自然の砂浜にこのような大規模な海浜変形における人工の境界条件を与えてしまった限りでは、その影響は海浜の全域に及ぶことになるので、それをしだいに緩和させるように岬群を作り、適当な間隔で安定する海浜群とすればよいであろう。

これらの具体例のほか、海岸侵食を制御して安定な海浜を造成する方法としては種々のものが考えられる。しかし、最も強調すべきことは、漂砂をはじめとする海浜過程における自然の原理に基づいて、あまり自然から強い反作用を受けないような工法を追求すべきであり、反作用を増幅させ、または継続させるような方法は厳に慎むべきであろう。そのうえ、わが国の海岸は、幸いにもここ20数年も異常な外力、特に継続時間の長い異常波浪などの洗礼を受けていない。このような異常な事象は種々の要因の同時生起によるが、このときの海浜変形を助長させないためには、自然の反作用を増大させるような構造物をできるだけ海岸に作らないようにし、かつ海浜の変動に対する余裕をもたせることが必要であろう。

## 6. 結 語

以上、海岸侵食の制御に関して諸外国における深い経験のうえに、わが国の侵食制御の思想を反映させて考察し、長期的観点から海浜をいかに安定化するかについて述べた。わが国の海岸の形成過程に注目すれば、河川流域の開発に伴う漂砂源の変化は河口デルタの急激な縮小を余儀なくしている。このような海岸域に、わが国の都市圏が集中していることを考えると、海岸侵食を制御して国土保全を図るべきことは国策の1つである。この場

合、次世紀において迎える都市社会においては、低頻度の巨大災害の発生を対象とした施策が必要であるが、海岸侵食制御においても、高潮などによる異常な水位上昇に伴う低頻度の異常波浪に対する海岸保全を確立すべく、リクリエーションなどと兼用したゾーニングと関係づけて、セットバックラインの考えを検討しなければならないであろう。

本文は、この標題について研究展望するように依頼を受けてとりまとめたものである。オランダ流の耐水工法の思想のうえに、わたくしの日頃の主張が表面に現われ過ぎたようであるが、この方面に興味をもっておられる方がたからご批判をいただき、またいささかでも参考となれば幸いである。

#### 参考文献

- 1) Brunn, P. : The History and Philosophy of Coastal Protection, Proc. 13th ICCE, ASCE, pp. 33~74, 1972.
- 2) Kramer, J. : Design Criteria for North Sea Dikes, Proc. ASCE, Vol. 97, No. WW4, pp. 703~719, 1971.
- 3) Bakker, W. T. and Joustra, D. S. : The History of the Dutch Coast in the Netherlands, Proc. 12th ICCE, ASCE, pp. 709~728, 1970.
- 4) Bakker, W. T., Hulsbergen, C. H., Roelse, P., Smit, C. and Svasek, J. N. : Permeable Groynes; Experiments and Practice in the Netherlands, Proc. 19th ICCE, ASCE, pp. 2026~2041, 1984.
- 5) Sonu, C. J. and Warwar, J. F. : Evolution of Sediment Budgets in the Lee of a Detached Breakwater, Coastal Sediment '87, ASCE, pp. 1361~1368, 1987.
- 6) Baba, M. and Thomas, K. V. : Performance of a Seawall with a Frontal Beach, Coastal Sediment '87, ASCE, pp. 1051~1061, 1987.
- 7) 豊島 修 : 新しいのり面被覆工法の開発, 第 28 回海岸工学講演会論文集, pp. 579~583, 1981.
- 8) 宇田高明・田中茂信・筒井保博 : 人工リーフによる波浪と漂砂の制御, 第 31 回海岸工学講演会論文集, pp. 340~344, 1984.
- 9) 土屋義人・R. Silvester・芝野照夫 : 安定海浜工法による海岸侵食制御について, 第 26 回海岸工学講演会論文集, pp. 191~194, 1974.
- 10) 岩垣雄一 : 最新海岸工学, 森北出版, 1987.
- 11) 土屋義人 : 海岸侵食について, 京都大学防災研究所年報, 第 21 号 A, pp. 25~42, 1978.
- 12) Inman, D. : Application of Coastal Dynamics to the Reconstruction of Paleocoastlines in the Vicinity of La Jolla, California, in Quaternary Coastlines & Marine Archeology, edited by Masters, P. M. & Fleming, N. C., Academic Press, pp. 1~49, 1983.
- 13) 土屋義人 : 海岸侵食制御試論, 海岸, No. 24, pp. 11~19, 1984.
- 14) Brunn, P. : Stability of Tidal Inlets, Elsevier, 1978.
- 15) Silvester, R. : A Look at Beach Erosion Control, Annual, Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., No. 22 A, pp. 19~30, 1979.
- 16) 田中則男 : 砂浜の防災機能と安定機構, みなとの防災, 第 78 号, pp. 8~16, 1985.
- 17) Wright, L. D. and Short, A. D. : Morphodynamics of Beaches and Surf Zones in Australia, in Handbook of Coastal Processes & Erosion, edited by Komar, P. D., CRC Press, pp. 35~64, 1983.
- 18) 砂村継夫 : 海岸地形, 海岸環境工学, 堀川清司編, 東大出版会, pp. 130~146, 1985.
- 19) Inman, D. and Fruttschy, J. D. : Littoral Processes and the Development of Shorelines, Coastal Engg. Santa Barbara Spec. Conf., ASCE, pp. 511~536, 1965.
- 20) 土屋義人・芝野照夫 : 砂浜海岸の分類と底質特性について, 第 32 回海岸工学講演会論文集, pp. 326~330, 1985.
- 21) Silvester, R. : Headland Defense of Coasts, Proc. 15th ICCE, ASCE, pp. 1394~1406, 1972.
- 22) Saville, T. Jr. : Wave Run-Up on Shore Structures, Trans. ASCE, Vol. 123, pp. 139~150, 1958.
- 23) Tsuchiya, Y. : The Rate of Longshore Sediment Transport and Beach Erosion Control, Proc. 18th ICCE, ASCE, pp. 1326~1334, 1982.
- 24) Ozasa, H. : Studies on Beach Erosion and Channel Sedimentation, Doctoral Thesis, Kyoto Univ., 241 p., 1983.
- 25) Toyoshima, O. : Changes of Sea Bed Due to Detached Breakwaters, Proc. 15th ICCE, ASCE, pp. 1572~1589, 1976.
- 26) 清治真人・宇田高明・田中茂信 : 離岸堤の効果及び安定性に関する研究 (離岸堤設計の手引き), 海岸, No. 26, pp. 158~172, 1986.
- 27) 豊島 修 : 新潟海岸侵食対策事業の問題点を考える, 第 32 回海岸工学講演会, 日本海沿岸の海岸保全に関するシンポジウム, pp. 33~37, 1985.
- 28) 鮮干 徹・Seymour, R. J. : 1983 年冬季におけるカリフォルニア海岸の異常災害, 土木学会誌, Vol. 70, No. 3, pp. 59~64, 1985.
- 29) 黒田秀彦 : 甦える天の橋立, サンドバイパス工法調査報告, みなとの防災, 第 78 号, pp. 17~26, 1985.
- 30) 樫木 亨 : 新しい海岸保全システム, 水工学シリーズ, '87-B-4, 土木学会水理委員会, 17 p., 1987.

(1987. 9. 8・受付)