

# 日本の海岸侵食

Coastal Erosion in Japan

宇 多 高 明

Takaaki UDA

## 1. ま え が き

近年、我が国の海岸では数多くの箇所では侵食が進んできている。こうした海岸侵食の要因分析によれば、ほとんどのケースにおいて何らかの形で人為的原因が関係している。我が国では高度成長期以降、全国各地に港湾や漁港の防波堤の建設が進められ、これにより沿岸漂砂の連続性が断たれたり、あるいは海岸への主な漂砂供給源であった大河川において広範に砂利採取やダム建設が行われ、河川流出土砂が極端に減少したことなどに起因して海岸の侵食が著しくなってきたのである。種々の事業はそれぞれの目的を達成するために行われてきたものであり、第一義的にはそれらの目的を達成してきたが、漂砂の系の全体的な保全という、より広域的視点から見ると大きな問題を抱えることとなった。全国各地で生じている海岸侵食問題の悪化を防ぎ、少しでも状況を改善するには、漂砂現象に関するミクロな意味での現象説明ではなく、マクロの立場からの検討とそれに対する幅広い議論が必要と考えられる。このことから、ここでは我が国の海岸侵食を全国的な意味よりながめ、分類整理し、それらの本質的問題点を明らかにしたい。

海岸侵食と一口に言っても、海岸は岩石海岸と砂浜海岸とに分かれ、それぞれ特徴があるので、ここでは岩石海岸と砂浜海岸とに分けて論じ、その上で海岸侵食が深刻な状況にある砂浜海岸を選んで問題解決のための具体的対策について記述する。

## 2. 海岸侵食の機構

### 2.1 岩石海岸の侵食機構

岩石海岸の侵食という問題の中で中心的な課題は海食崖の後退である。波の作用下での海食崖の後退に関与する主な要因は、崖の基部での波の侵食力と、基部を構成する岩石の抵抗力である。これらのうち波の侵食力は波のエネルギーに関係する。一方、侵食に対する岩石の抵抗力は、岩石の力学的性質（圧縮、引っ張り強度等）と岩石構造（層理、節理、断層）に支配される。

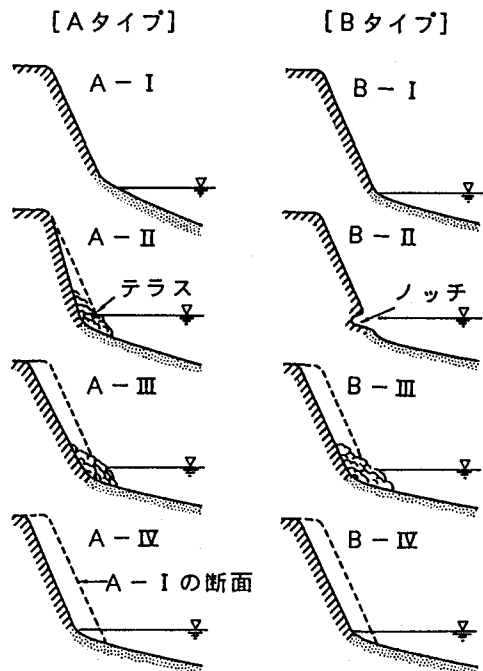


図-1 海食崖の後退の模式過程

\* 建設省土木研究所河川研究室長、工博  
(前) 海岸研究室長

海食崖後退の模式過程（堀川・砂村、1967）を図-1に示す。侵食過程には、波により基部が侵食されると同時に崩落が起こりテラスが形成される場合（Aタイプ）と、波により基部が侵食されるとまずノッチ（波食窪）が形成され、さらに侵食が進むと崩落が起こり崖錐が形成される場合（Bタイプ）とがある。これらは崖を構成する岩石の力学的性質および岩石構造の違いにより分かれるものであり、前者は岩石強度の小さい場合、後者は強度の大きい場合に生ずる。

既往の研究から、海食崖の著しい地域をまとめると図-2となる。後退の著しい海岸の多くは太平洋岸にある。また一部は瀬戸内海沿岸にもある。さらに、これらの地域における海食崖の後退速度、地質を表-1に示す。表中、数種類の後退速度は計測年の違いによる。海食崖の後退速度は、海食崖の地質条件により大きく異なる。後退の著しいものは、新島・羽伏浦の5.5m/yr（火山灰砂）にも及ぶ。

## 2. 2 砂礫海岸の侵食機構

砂礫海岸の侵食は、地盤沈下や地殻変動に伴う陸地の沈降を除くと、主として海岸での土砂収支のバランスが崩れることに起因して生ずる（図-3参照）。すなわち、海岸での土砂移動量に比べ供給量が減じたり、あるいは浚渫等により海岸から土砂が取り除かれると侵食が生ずることになる。

これらのうち、海岸での土砂移動量は波の条件に支配される。一般に、工学的時間スケールで見たとき、気象・海象条件が長期的に見て大きく変化することはないので、海岸での土砂移動量（沿岸漂砂量）は経年的に見て自然的原因によって大きく変わることはない。したがって、海岸での土砂移動量の変化をもたらすのは主に人為的要因である。例えば、海岸での人工構造物の建設は海岸での土砂移動を直接的に遮る。また、治山に起因する河川上流域での生産土砂の減少は、海岸への供給土砂量の減少をもたらす。

ここでは、海岸で土砂供給量と移動量がバランスする機構を河口近くの海岸の例について説明しよう。我が国の多くの河川は土砂生産の盛んな山地より流出しているため、多量の土砂を海岸に運搬して平地を形成してきた。この場合、河口付近では土砂堆積により汀線が前進する（図-4参照）。一方、海岸では波の営力により土砂が常に河口より遠ざかる方向に運ばれる。このため、河口付近での汀線の前進により入射波向と汀線への法線とのなす角度が大きくなると、波による土砂移動量が増加し、汀線の前進が止まって土砂収支の均衡状態に達する。逆に河川流出土砂量が減少すると、入射波向と河口周辺の汀線への法線とのなす角が小さくなって沿岸漂砂量が減少し、新たな平衡状態になるのである。以下では、我が国で生じている海岸侵食の典型的機構について概説することとする。主な要因としてあげられるのは、①沿岸漂砂の連続性の阻止、②波の遮蔽域の形成、③深海への土砂流出、④供給土砂量の減少、⑤浚渫・土砂採取、⑥地盤沈下である。なお、個々の海岸の詳しい漂砂量などについては引用文献を参照されたい。

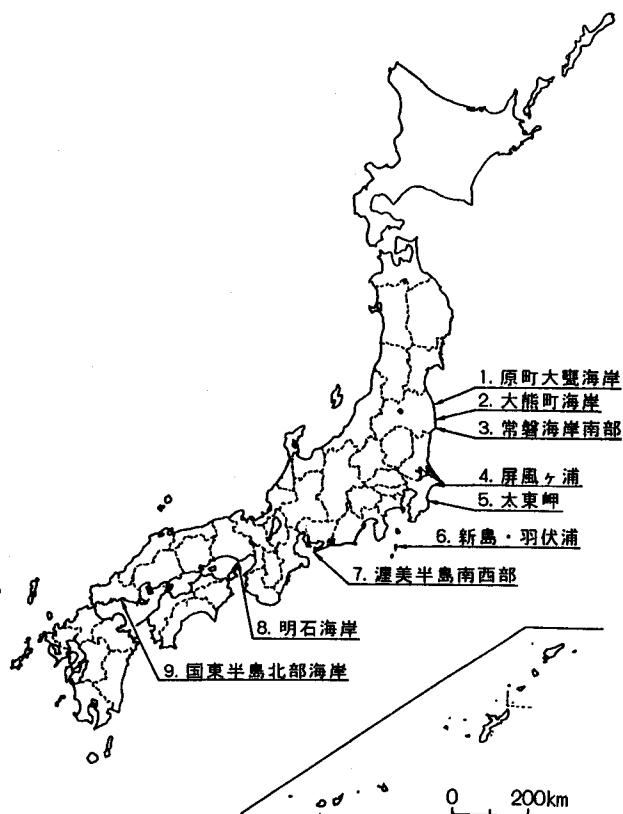


図-2 海食崖の後退の著しい地域と後退速度

表-1 海食崖の後退速度と地質

番号	海岸	後退速度 $R(m/yr)$	地質	文献
1	原町市大みか海岸	0.3~0.7	泥岩・砂岩	山内 (1964a)
2	大熊町海岸	0.62 0.31 1.08	泥岩・砂岩	堀川・砂村(1968)
3	常磐海岸南部 (末統~広野)	0.80 1.40 0.74	珪藻質シルト岩 シルト岩 砂岩	大島 (1974)
4	屏風ヶ浦	0.73 0.79 0.91 1.47	泥岩	堀川・砂村(1970)
5	太東岬	0.90	泥岩	堀川・砂村(1967)
6	新島・羽伏浦	5.5	火山灰砂	矢島 (1966)
7	渥美半島南西部	0.6(max)	洪積層	山内 (1964b)
8	明石海岸	0.1 1.0~0.5	洪積層	吉川 (1952) 野田 (1971)
9	国東半島北西部海岸	2.2	火山砕屑岩	小向 (1959)

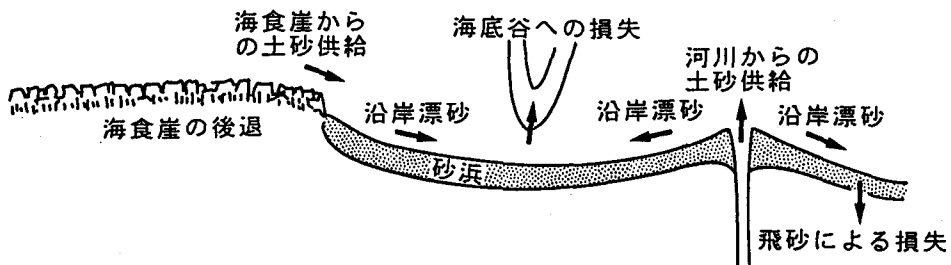


図-3 海岸の土砂収支の模式図



写真-1 日高海岸の節婦漁港周辺の海岸線  
状況（1987年9月29日撮影）



写真-2 青森県の三沢漁港周辺の海岸線状況  
（1989年10月21日撮影）

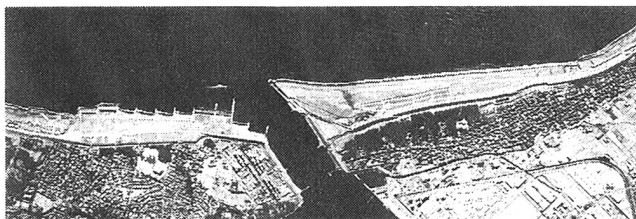


写真-3 富士海岸の田子ノ浦港周辺の海岸線状況（1975年撮影）

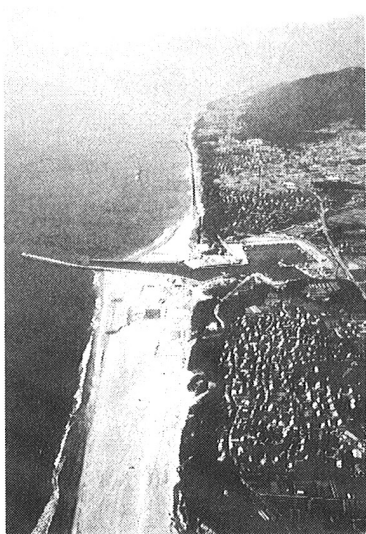


写真-4 遠州灘沿岸の赤羽根漁港  
周辺の海岸線状況（1986年3月撮影）



写真-5 新潟県の市振漁港周辺の海岸線状況  
（1981年7月11日撮影）

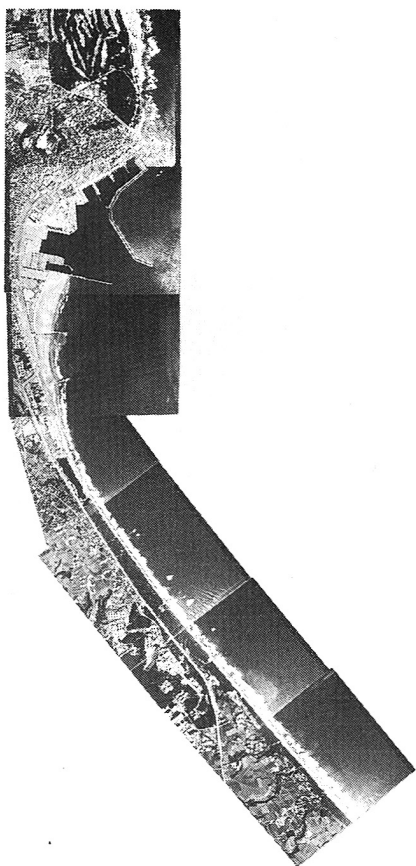
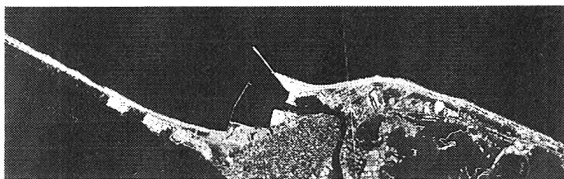


写真-6 大洗港周辺の海岸線状況  
(1990年撮影)

a) 1975年撮影



b) 1988年撮影

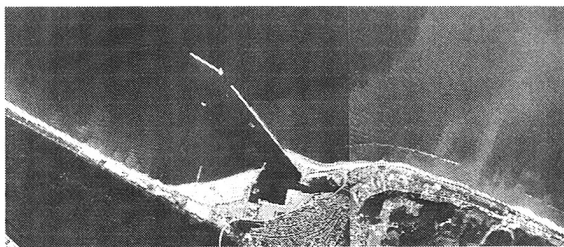


写真-7 岩船港周辺の海岸線状況 (a) 1975, b) 1988年撮影)



写真-8 新潟県の柏崎港周辺の海岸線状況 (1991年6月撮影)

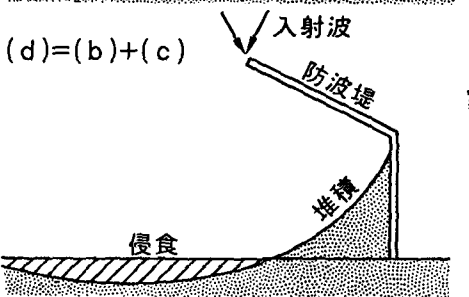
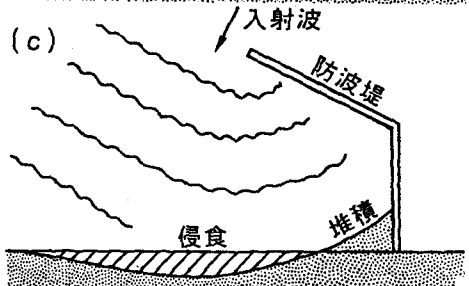
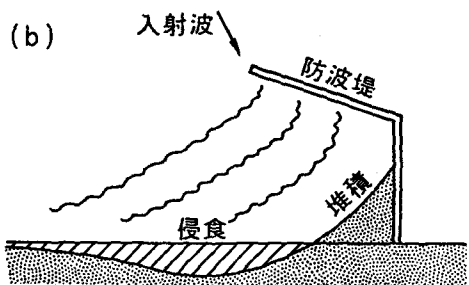
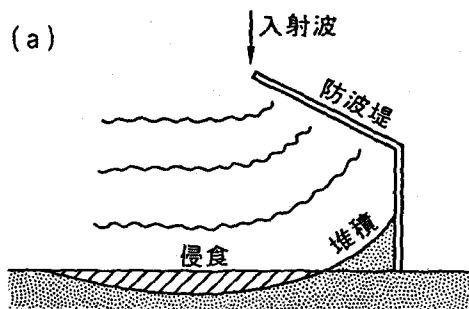
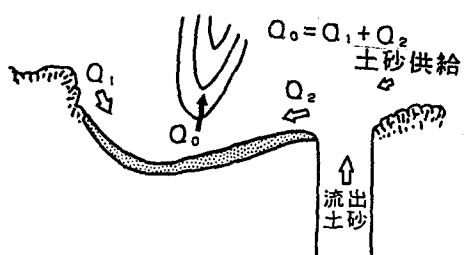


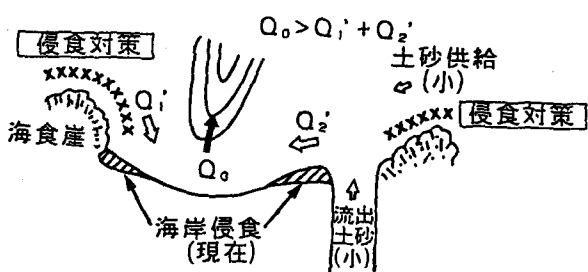
図-6 大規模な構造物による遮蔽域形成に伴う構造物近傍での海岸侵食

### (3) 深海への土砂損失

急深な湾に面した海岸では、漂砂の一部が海底谷を經由して深海へと流出する。流出土砂量が上側から供給される漂砂量と均衡している限りにおいては侵食が生ずることはないが、沿岸漂砂の連続性が断たれた場合や、河川

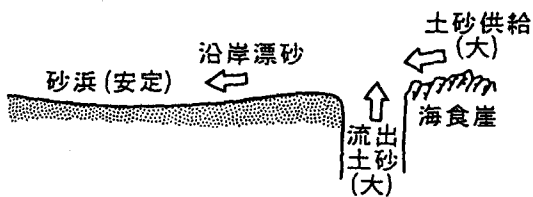


a) 供給と損失が均衡

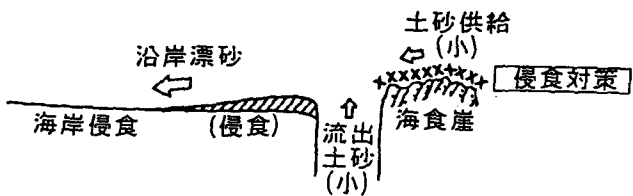


b) 供給と損失が不均衡

図-7 深海への土砂損失と海岸侵食



a) 安定状態



b) 供給土砂の減少

図-8 供給土砂量の減少に伴う海岸侵食

や海食崖からの供給土砂量が減少した場合には深海への土砂損失が深刻な問題となる（図-7参照）。このような事例がみられるのは、我が国の三大急深湾（駿河、富士および相模湾）である。駿河湾内にある富士海岸・清水海岸（宇多ほか、1993）、駿河海岸（村田ほか、1991）、富山湾に流入する黒部川の扇状地の外縁をなす下新川海岸（粕谷ほか、1993）、相模湾にある西湘海岸（宇多・矢野、1987）などがその例である。この種の問題をかかえる海岸は砂嘴や扇状地海岸に多く、1海岸ごとの損失土砂量は十数万 $m^3/yr$ にも達する。深海への土砂流出は海岸全体の土砂量を減少させ、また、一度失われた土砂は二度と海岸へは戻ることはない。したがって供給土砂量が減少している場合には、海浜の長期的保全を図る上で土砂の流出防止を図ることが重要である。

また、鹿児島県の新島や新潟県の粟島のように海底地すべりにより急激な侵食を受けた例もある。

#### （4）供給土砂量の減少

対象海岸へ流入する河川の上流部における砂防ダムや貯水ダムへの堆砂、洪水頻度の減少に伴う流砂量の減少、床止め等による下流部への土砂流出の制御、川砂利の採取による河道内の土砂の減少は、河口部への流出土砂量の大幅な減少をもたらす（図-8参照）。特に、河口デルタ地形での侵食事例が多く、その侵食量は大きくなる。また、近傍に海食崖が存在しており、そこからの発生土砂量を供給源としていた海岸においては、海食崖の侵食対策を実施した場合、土砂収支バランスが崩れ漂砂下手側の砂浜海岸で侵食が発生する。実例は、千葉県屏風ヶ浦と九十九里浜との関係（宇多ほか、1987）や福島県～宮城県沿岸で見られる。

#### （5）浚渫・砂利採取

航路や港湾施設等の利用の面からの航路浚渫、および河口部や海浜での砂利採取によって海岸にある砂礫の総量が減少してしまうことにより、土砂収支バランスが崩れる侵食形態である（図-9参照）。土砂流出量が年間数万～数十万 $m^3$ になると影響が著しくなる。

#### （6）地盤沈下

地盤沈下が直接的な原因で侵食している海岸である。例えば、過去に新潟海岸がそうであり、ここでは最大約3mの沈下により海岸線が著しく後退した。

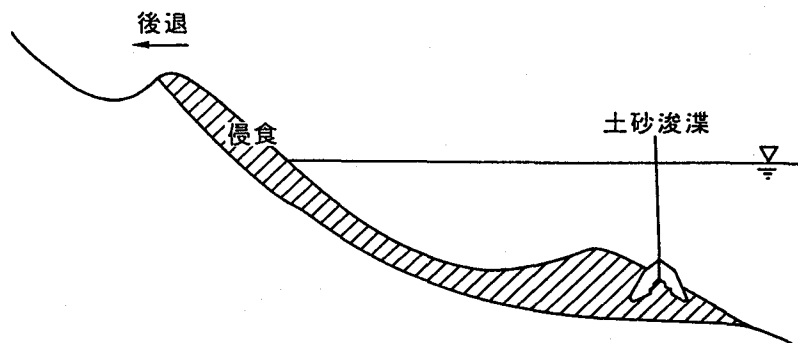


図-9 浚渫・土砂採取に伴う海岸侵食

### 2. 3 砂礫海岸の侵食の全国実態とその分類

砂礫海岸の侵食の全国実態を機構別に分類すると表-2となる。ここに、各海岸の位置は図-10に示すとおりである。表-2の左辺第1項は、対象海岸の通し番号で図-10に示す番号と同一である。第2項は海岸名である。第3項以降は当該海岸の侵食機構の分類である。この表によると、沿岸漂砂の連続性の阻止と供給土砂量の減少が海岸侵食の原因となった海岸が多いことがわかる。こうした原因によって侵食が進んでいる海岸では、時間経過とともに侵食状況が次第に深刻化するので、単に侵食が生じている区域の保全を図るのみではなく、長期的な立場より問題の根本的解決を図る手法について検討することが必要である。

表-2 代表的海岸の侵食機構の分類

番号	海岸名	侵食機構					地盤沈下
		沿岸漂砂 の連続性 の阻止	遮蔽域 の形成	深海への 土砂損失	供給土砂 量の減少	浚渫・ 砂利採取	
1	標津海岸	○			○	○	
2	日高海岸	○				○	
3	胆振海岸	○				○	
4	青森海岸	○					
5	下北・八戸海岸	○			○		
6	大曲海岸	○	○			○	
7	仙台湾海岸	○			○		
8	常磐海岸		○			○	
9	大洗海岸		○			○	
10	鹿島灘沿岸	○	○			○	
11	飯岡・下永井海岸	○			○		
12	九十九里海岸	○				○	
13	湘南海岸				○	○	
14	西湘海岸	○		○	○		
15	富士海岸	○		○	○		
16	蒲原海岸	○		○	○		
17	清水海岸	○		○	○		
18	静岡海岸				○		
19	駿河海岸	○		○	○		
20	遠州海岸	○	○		○		
21	赤羽根海岸	○					
22	伊勢湾沿岸	○			○		
23	御座海岸		○				
24	新宮川河口左岸	○			○		
25	西浜沿岸	○			○		
26	高知海岸	○			○	○	
27	黒島海岸		○				
28	宮崎海岸		○				
29	江津海岸	○				○	
30	皆生海岸	○			○		
31	鳥取海岸		○			○	
32	石川海岸				○		
33	下新川海岸	○		○	○		
34	市振海岸	○					
35	親不知海岸	○				○	
36	糸魚川海岸		○		○		
37	直江津海岸		○				
38	大潟海岸		○			○	
39	松ヶ崎海岸		○				
40	新潟海岸	○			○		○
41	神林海岸	○	○			○	

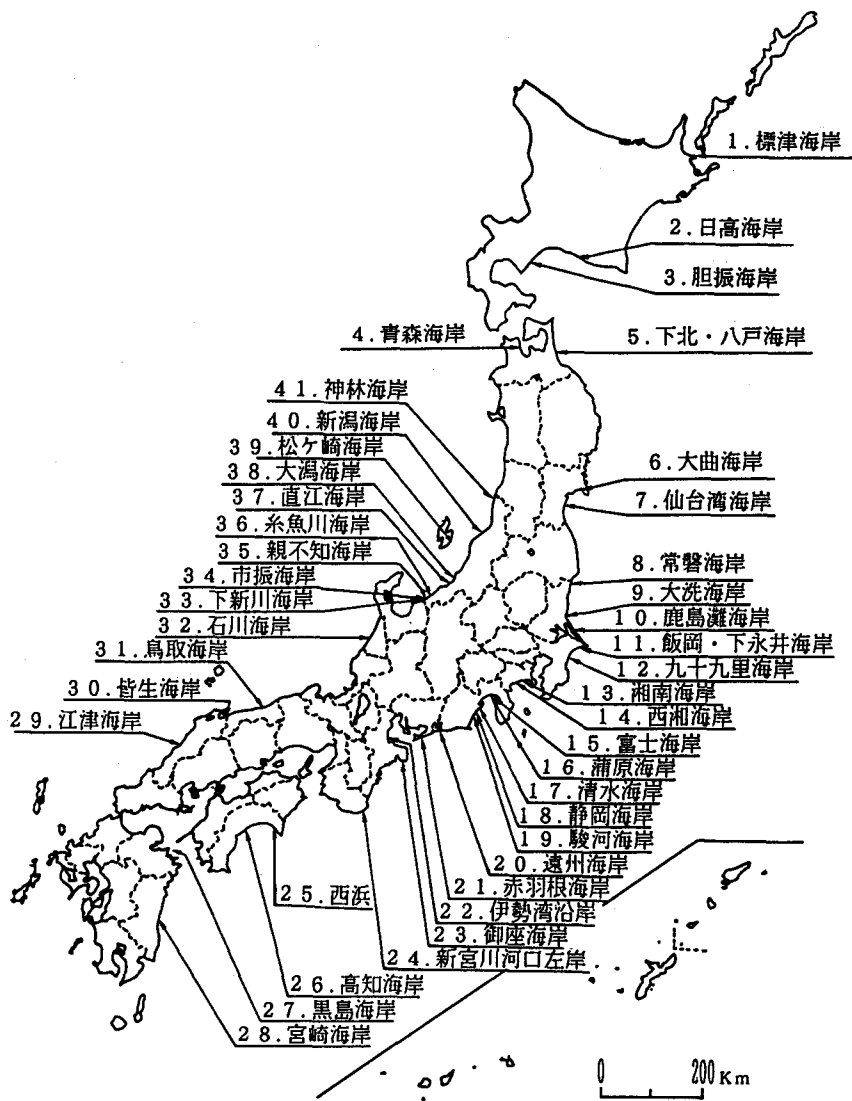


図-10 侵食海岸の位置

### 3. 砂礫海岸における侵食対策

#### 3.1 海岸侵食の各種対策手法

ここではわが国において最も事例の多い、長い直線状の海岸に沿岸漂砂を阻止する構造物が建設された場合の侵食について詳しく論じてみたい。沿岸漂砂の卓越する海岸で、沿岸漂砂が阻止されると、漂砂を阻止した構造物の下手側では侵食区域がかなりの速度で下手側へと伝播する（図-11参照）。例えば、図-12に示す静岡・清水海岸の汀線変化では侵食区域が0.5～0.8km/yrの速度で広がりを見せたことが見てとれる（宇多ほか、1991）。このような特徴を示す海岸では、侵食箇所に対策構造物を設置しても侵食範囲は順次下手側へと広がり、海岸全域が構造物に覆われて自然の砂浜は消失することになる。しかしながら、このような侵食対策は当面の緊急的災害防止対策として多くの海岸で実施されてきた。ここで注目すべき点は、よく言われ

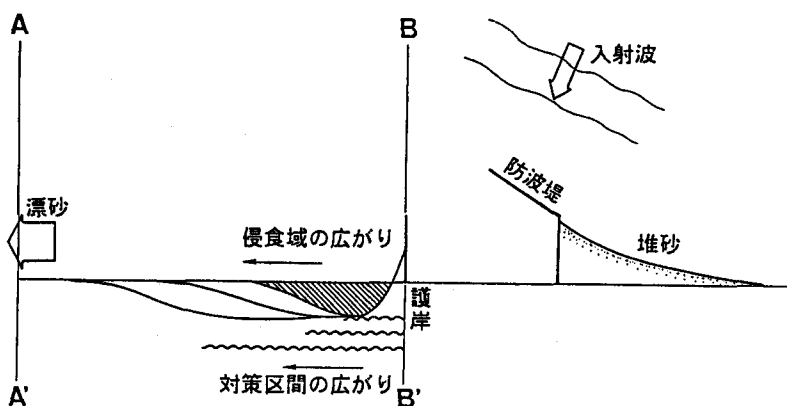


図-11 沿岸漂砂阻止構造物下手側の汀線後退

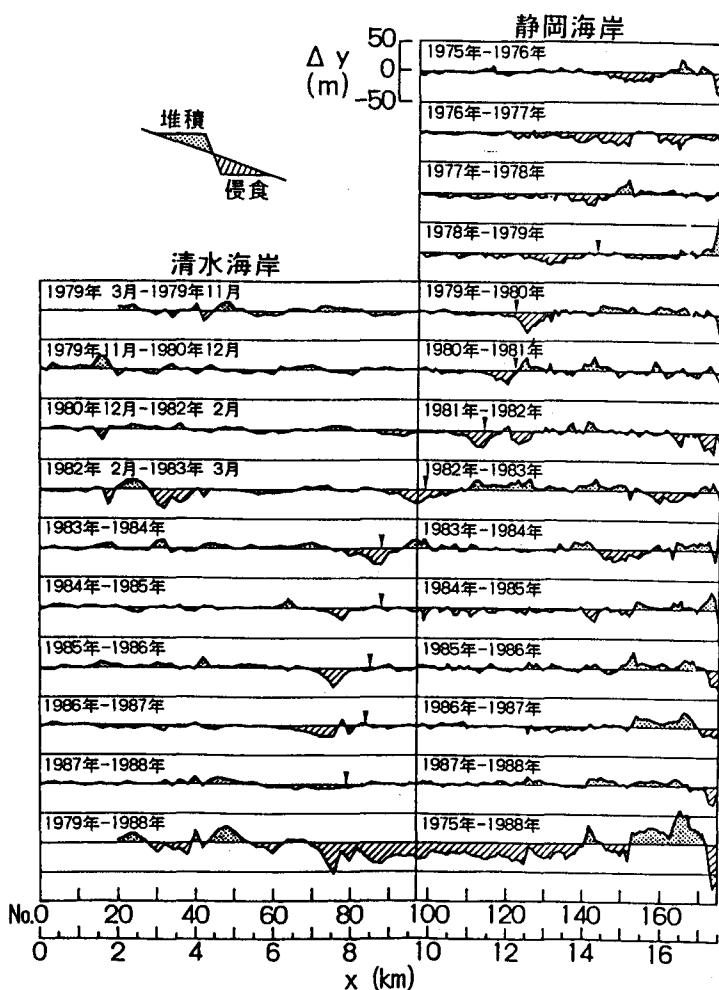


図-12 静岡・清水海岸における汀線の変化

るようにコンクリート製の堅固な構造物の建設による反射波が侵食を発生させたのではなく、漂砂の連続性が失われたことにより、いわば構造的問題として侵食が進行することにあり、対症療法を繰り返しても問題は解決されないという点である。

### (1) サンドバイパス

上記のような海岸における最も単純な対策は、構造物によって阻止された土砂を下手側海岸へ人力により運搬し、下手側へ流してやることである。すなわち、図-13に示すように、サンドバイパスにより漂砂の上手側に堆積した土砂を下手側に投入すればよい。ただし、条件によってはサンドバイパスは上手側海岸の侵食を助長してしまうことに注意すべきである。例えば、A、B 2つの漁港が建設され、それらにより沿岸漂砂が阻止されている場合を考える(図-14参照)。もし、A 漁港の左側の地区での侵食を軽減するためにA 漁港でサンドバイパスを行うと、A 漁港とB 漁港の間の土砂量は減少し、汀線はB 漁港の隣接部より後退し、汀線の後退域は左方向へと広がる。たとえA 漁港では港内堆砂が問題となっていたとしてもサンドバイパスはその問題解決にはあまり役立たず、A 漁港より最も遠い地点において汀線後退を招いてしまう。こうした海岸においては、サンドバイパスを1区間のみで行うことはできず、沿岸の多数の区間で同時にサンドバイパスを行わねばならない。ここでは2つの漁港の防波堤に挟まれた区間での海浜変形を例として取り上げたが、侵食は漂砂を阻止する構造物の種類にかかわらず発生し、しかもこのような条件を満足する海岸は全国多数にのぼるので、単にサンドバイパスさえ行えば問題が全て解決すると考えるのは問題の認識が浅いと言わざるを得ない。

### (2) 海浜の静的安定化

サンドバイパスを行うことができず、各種構造物を用いた対策を行う場合には、まず沿岸漂砂量の阻止率を調べる必要がある。沿岸漂砂が完全に阻止されているなら、侵食対策により海浜を静的に安定化させる必要がある。長い直線状の海岸を静的に安定化させるには、できるだけ数少ない構造物により広い区間の対策を行うことが望ましい。なぜなら、所々に設置された海岸構造物の間に自然の砂浜が残されることは、自然環境や自然景観を守り、しかも砂浜の消波特性を発揮させる上で極めて有効であるからである。こうした場合には、群として配置した人工岬により静的安定海浜を形成させることが基本となる。

### (3) 沿岸漂砂量の低減

沿岸漂砂が部分的に阻止されているなら、漂砂の阻止率に応じて沿岸漂砂量を低減させ、海浜を動的に安定させればよい。動的に海浜を安定させるには、離岸堤、突堤、人工リーフなどを一連の区間に設置して沿岸漂砂量

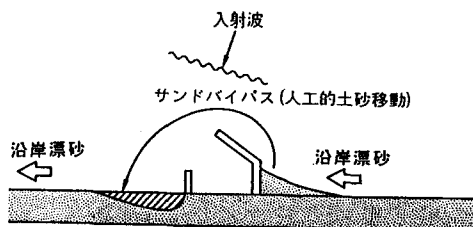


図-13 サンドバイパスによる対策

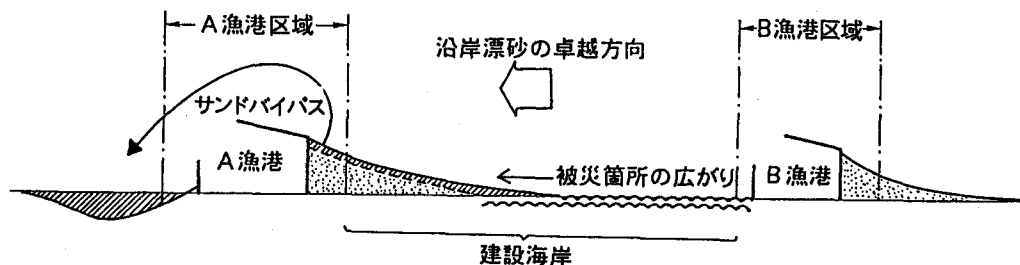


図-14 サンドバイパスに伴う上手側海岸の侵食

を低減させる。この場合においても海岸線を人工構造物により埋めつくさないような工夫が必要である。

前節で述べた侵食原因と対策の関係としては、まず沿岸漂砂の連続性の阻止による侵食の場合には、海浜の静的安定化、沿岸漂砂量の低減、サンドバイパスなどが基本的手法と考えられる。波の遮蔽域の形成に伴う侵食の場合には、海浜の静的安定化が必要とされる。沿岸漂砂の連続性が阻止されているか、あるいは供給土砂量の減少が生じているとき深海への土砂損失がある場合は、土砂流出を阻止することが必要である。最後に、浚渫・砂利採取および地盤沈下が生じているときには、行為の制限や養浜が有効である。

### 3. 2 沿岸漂砂の阻止による海岸侵食の進行段階

海岸侵食対策は海岸状況に合わせて手法を選択しなければならない。侵食が問題となっている海岸の状況はいずれも次の3段階に分類できる(図-15参照)。

#### [第1段階]

沿岸漂砂の阻止により、構造物の下手側で侵食、上手側で堆砂が始まったが、周辺の海岸の前浜幅はまだ十分広い場合。

#### [第2段階]

過去に侵食が始まって汀線が後退し、一部の海岸では護岸と消波工とによってようやく守られている状態。ただし侵食の著しい区域は数百mの範囲に限られており、当海岸の漂砂の下手側ではまだ砂浜がある場合。

#### [第3段階]

過去十数年間の侵食によりすでに砂浜は完全に消失し、護岸・消波工のみでなく、その沖に設置された離岸堤などの消波構造物によりかろうじて越波防止が図られている場合。

第1～第3段階の違いは、侵食が発生してから経過時間の違いに置き換えられる。第1段階は、漂砂の阻止や河川や海食崖からの供給土砂量の減少が起こったものの、侵食が発生してからまだ時間があまり経過していない場合である。汀線の後退は生じ始めたものの、構造物の下手側ではかなり広い前浜があり、海岸護岸と汀線との距離も30m以上はある。この条件では、海浜断面は図-16(a)に示すようであり、自然の前浜が十分残されているため、砂浜のもつ高い消波効果により越波等が問題となることはない。

第2段階では、一部の区間では汀線が護岸の法線まで後退してしまっている。汀線の後退とともに、護岸が洗掘を受けて倒壊したり、激しい越波が生ずるのがこの条件である。護岸の前面は急深となるので、護岸前面には必ず消波工が設置される(図-16(b)参照)。またこの条件でも越波が防げない場合には離岸堤などが計画されることになる。

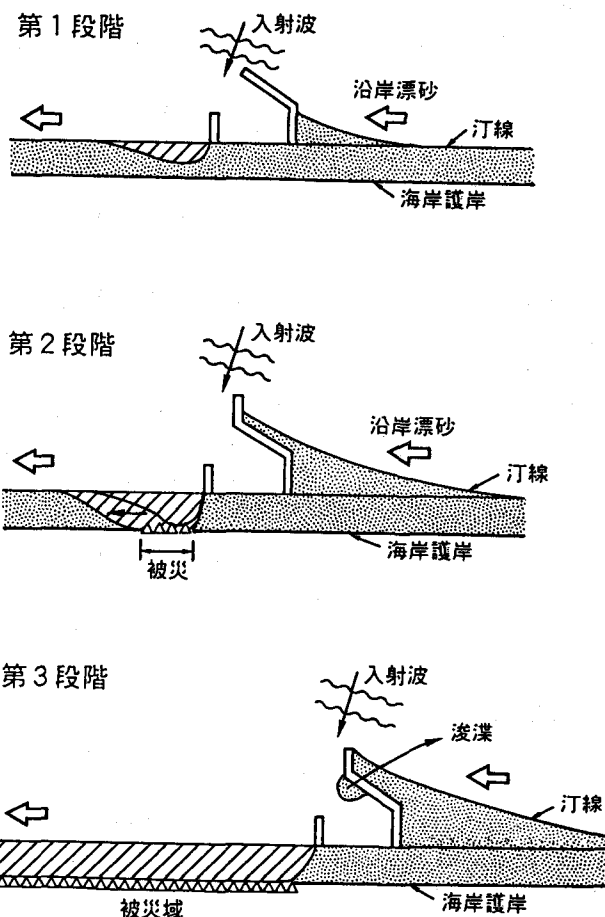


図-15 沿岸漂砂の阻止による海岸侵食の3段階分類

第3段階は、いわば全面的に侵食されきった状態である。護岸と消波工、さらに離岸堤が数kmにわたってほぼ連続的に設置される。この条件では海浜断面は図-16(c)のように急深となってしまっているから、景観を損ねる問題があるにせよいくつかの種類の消波構造物の設置が必ず必要とされる。

海岸保全施設の種類の数多いが、以上に分類した3段階ごとにその使用法が異なる。以下では緩傾斜堤、突堤、離岸堤、人工岬、人工リーフ、養浜、サンドバイパス、海域制御構造物（新型離岸堤）の適用性について考えてみる。

### 3. 3 沿岸漂砂の阻止による 海岸侵食の各段階における対策

#### 〔第1段階〕

この段階では侵食が始まってまだ間がないので、侵食域でも前浜は十分広くある。こうした場合、防波堤等の影響を限りなく小さくするにはサンドバイパスが有効である。

自然状態で流れていた漂砂を人工的に下手側へ流すことである（図-13参照）。米国など諸外国では数多くの実施例がある。また、砂浜が十分広いことから、漂砂の下手側に人工岬群を造り、養浜工と合わせて実施すれば原理的には前浜を再び復活することができる。ただし、下手側に隣接する侵食域の狭い範囲のみ保全すれば良いと考えることは誤りで、漂砂の流れている海岸線全体の安定化を考えて人工岬群を配置することが必要とされる。卓越沿岸漂砂を遮断する構造物が造られた場合、究極的には漂砂の流れている一連海岸全体をいくつかに分けて安定化する以外方法はないのであって、侵食段階は次第に進んでいくので、局所的対策で当面十分なように思われたとしても長期的には必ず侵食範囲が広がることになるのである。

#### 〔第2段階〕

既に一部区間では護岸に波が直接当たる条件である。海岸護岸の前面は深くなってしまっており、前浜の回復の可能性はない。急深である点は、越波が激しいことを意味する。従来は護岸+消波工で

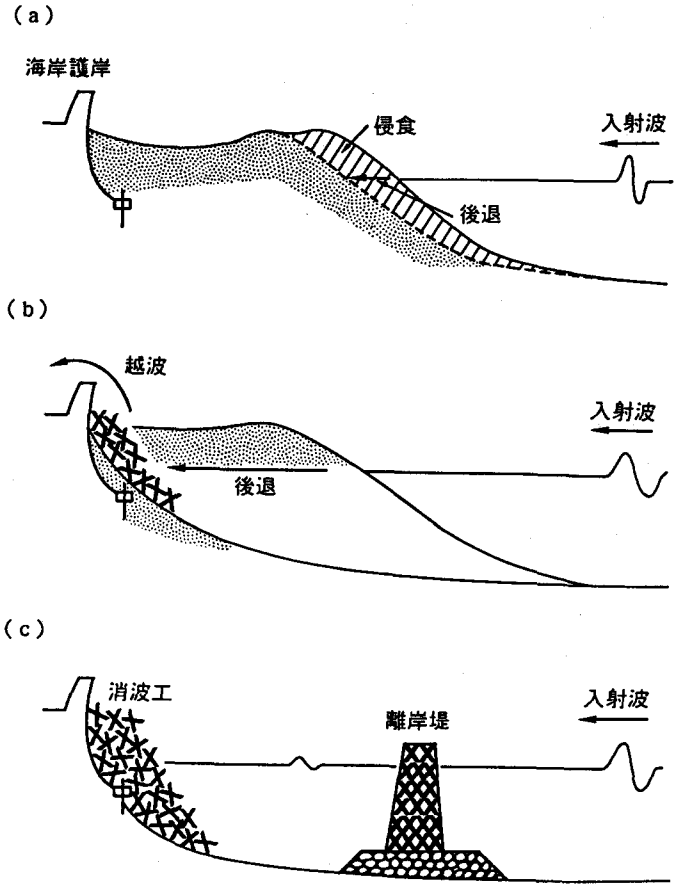


図-16 各侵食段階の海浜断面形の特徴

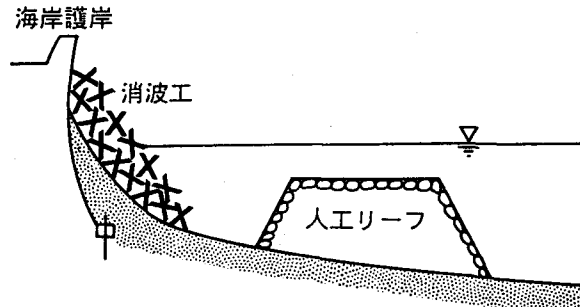


図-17 人工リーフによる対策

対応してきたが、景観や汀線へのアクセスの喪失が問題となる。砂の供給が断たれているから護岸の勾配を緩くしても（緩傾斜堤）、あるいは離岸堤を設置しても過去にあった広い前浜は復元されることはない。しかし、越

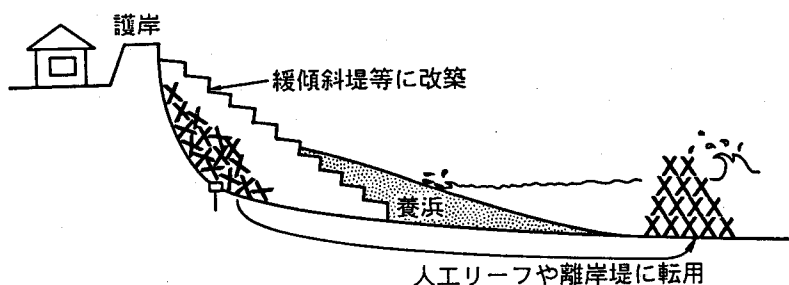


図-18 人工リーフ、緩傾斜堤および養浜の組み合わせ

波対策は必要であり、しかも環境への配慮も必要とされる。この見地からは、図-17に示すように人工リーフを造り、景観を損なうことなしに消波を行う方法が考えられる。また、景観や環境への配慮の上では汀線付近に積まれた消波ブロックの処置が問題となるが、これには図-18に模式的に示すように、不要となった消波ブロックを人工リーフに転用し、護岸を緩傾斜にしてその汀線付近に養浜を行う方法も考えられる。一方、第2段階では急深となっているために、サンドバイパスにより土砂を投入したり、養浜を行ったとしても、その土砂は急速に失われ、短期的な効果はあるものの、長期的な効果は低い。

#### [第3段階]

海岸侵食が進み、最も深刻な海岸状況となってしまった場合である。護岸+消波工+離岸堤は現状汀線を維持し、越波を防ぐ上で効果的なことは間違いない。しかし、消波工や離岸堤は経年的に沈下に見まわれ、また景観や汀線へのアクセス確保の上で多くの問題が残される。しかもこの段階の海岸線延長はかなりの長さになる。したがって何らかの対応策が必要とされる。

対応策としては、人工リーフをほぼ連続的に造ることがまずあげられる。第2段階の場合と同様、人工リーフの設置後、護岸を改良することも可能である。さらに進んだ工法としては、新たに開発された海域制御構造物を用いて新型の離岸堤を造り、必要であれば背後で養浜を行うことである。

#### 3. 4 遮蔽域の形成に伴う海岸侵食の進行段階

防波堤等の沖合構造物によって波の遮蔽域が形成されると、波の入射方向と波高分布が変化し、それに伴って遮蔽域外より遮蔽域内へ向かう沿岸漂砂が発生する。このため、従来安定であった海岸では漂砂のバランスが崩れ、遮蔽域

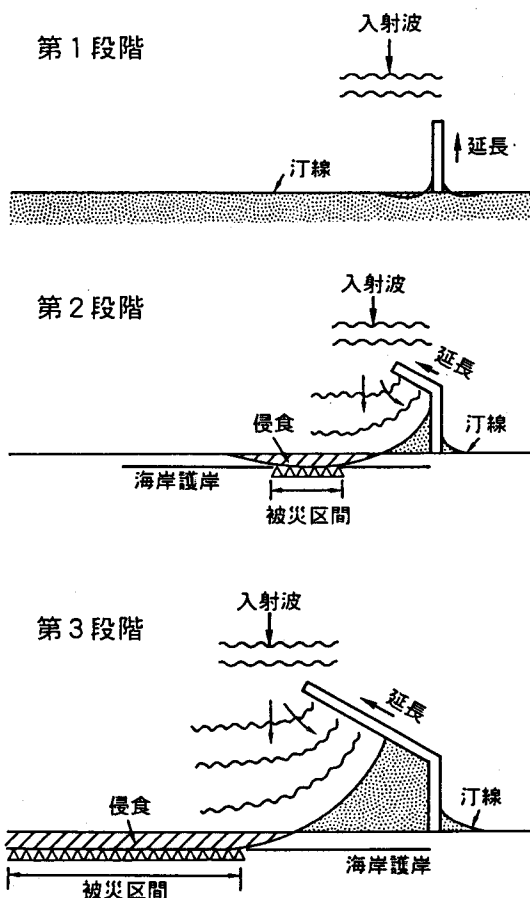


図-19 遮蔽域形成による侵食の3段階分類

の端部周辺では堆積が生ずる。このような場合の海浜変形は図-19の各段階に要約される。波がほぼ直角入射の条件を考える。第1段階では防波堤基部が汀線と直角方向に延ばされる。この段階では突堤状構造物の基部は別にすれば著しい海浜変形は生じない。その後斜め防波堤の延長工事が始まると波の遮蔽域では汀線が前進し、図示するように堆積土砂を補うため隣接海岸では侵食が起こる。海浜に存在する土砂量は一定なので、一方で土砂が堆積すれば他方で侵食が生ずることになる。第2段階ではまだ激しい侵食を受けた区域はそれほど沿岸方向には広くない。しかしながら港内で航路浚渫を繰り返すと侵食域は次第に沿岸方向に広がりを示す。斜め防波堤ができたことにより波の方向が変わり、それに合わせて汀線が湾曲した形状となるのである。したがって侵食域で浜崖の後退を防止しようとして護岸や消波工を設置しても、根本的には侵食は止まらない。防波堤の外側より内側へと沿岸方向に漂砂が移動するのであるから、何らかの方法により沿岸漂砂を阻止する対策が必要である。

一般に港内堆砂が問題となればその防止のための防砂突堤が設置されるが、防波堤の規模に比較して規模の小さい防砂突堤では機能が十分発揮されず、侵食と堆積が継続する。こうして港内では大量の土砂がたまる一方、隣接海岸では大部分が消波工等が設置された侵食海岸となるのである。

### 3. 5 深海への土砂損失に起因する海岸侵食とその対策

急深な湾に面した海岸では、沿岸漂砂の一部が海底谷などを経由して深海へと流出するが、一度失われた土砂は海岸には再び戻ることはない。したがって、供給土砂量の減少している海岸では深海への土砂損失は当該海岸の土砂総量の絶対的損失につながる。こうしたことから、侵食対策として深海への土砂損失を考慮しなければならない。

対策手法としては、流出地点付近の海岸に人工岬を設置して土砂の流出を阻止する方法が一般的である(図-20参照)。

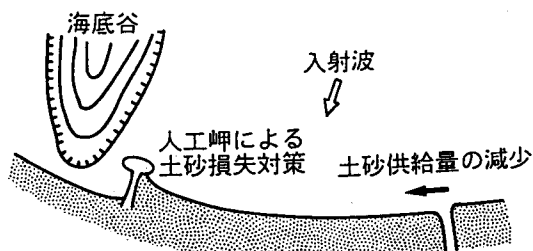


図-20 深海への土砂損失対策

### 3. 6 供給土砂量の減少に起因する海岸侵食とその対策

河川や海食崖からの供給土砂量の減少による海岸侵食が発生している場合には、供給土砂量の減少の程度に応じて沿岸漂砂量を制御する。したがって、対策手法は「沿岸漂砂の連続性の阻止」を原因とする侵食の対策において、構造物により沿岸漂砂量を制御する対策手法と基本的に同様である。すなわち、将来的に見て土砂供給が期待できない場合には静的に海浜を安定化させ、供給量が減少するのであれば供給量の減少量に応じて沿岸漂砂を制御し、海浜を動的に安定させる。

### 3. 7 浚渫・砂利採取、地盤沈下に起因する海岸侵食とその対策

浚渫や砂利採取により海浜砂量が減少している場合には、他の代替手段を考えることによってそれらの行為を中止したりあるいは規制することが対策の基本である。地盤沈下による海岸侵食の場合には、地盤沈下の原因となる地下水くみ上げなどの行為の規制が基本的な対策となる。また、これらの行政的な対策とともに、養浜を行って失われた土砂を補う対策もある。河口砂州のある河川では、河口砂州上流部での土砂採取・浚渫を行うと土砂が河口へ逆流し、砂州が上流方向へ移動するとともに河口周辺で侵食が生じるので注意が必要である。

## 4. 地形変化の限界水深

第2節では我が国の侵食の実態について述べ、次いで第3節では砂礫海岸を選んで侵食への対策手法を概説した。サンドバイパスは別として種々の対策手法の展開において最も重要なのは、対策構造物を適切な水

深にまで延ばすことである。すなわち、波による地形変化が生ずる範囲をよく考えた上で構造物の設計が必要とされる必要がある。この意味より、ここでは特に波により顕著な地形変化が見られなくなる限界の水深（地形変化の限界水深）について触れておきたい。

波によって海底の底質移動が生ずる限界の水深、すなわち移動限界水深については多くの研究があり、波浪条件と底質の粒径から移動限界水深を求める式がいくつか提案されている。それらの中で比較的よく用いられるものとして、佐藤・田中(1962)による次式がある。この式では、海底面の表層の砂がほとんど動き出す表層移動限界水深（ $h_1$ ）が、

$$\frac{H_o'}{L_o} = \alpha \left( \frac{d}{L_o} \right)^n \left( \sinh \frac{2\pi h_1}{L} \right) \frac{H_o'}{L} \quad (1)$$

のように求められる。ここに、 $H_o'$ ：換算沖波波高、 $L_o$ ：沖波波長、 $d$ ：底質砂の粒径、 $h_1$ ：移動限界水深、 $H$ 、 $L$ ：水深 $h_1$ における波高、 $n$ ：定数である。この式は、主に高波浪時に生じる岸沖漂砂の発生限界を求めるなどして、人工海浜の設計に役立てることができる。一方、主として沿岸漂砂により生ずる地形変化と式（1）を結びつけるには、地形変化の限界水深を支配する代表波浪を求めなければならない（宇多、1990）。

地形変化の限界水深を求めるのに最も有効な方法は、過去の測量成果より侵食あるいは堆積が生じている測線において海浜断面変化を調べることである。その例として、新潟県の親不知漁港の東側に位置する海岸の断面変化と静岡県清水海岸の断面変化とを図-21、22に示す。親不知海岸の場合、土砂堆積により汀線が沖方向へ移動しているが、堆積が生ずる地形変化の限界水深は約9mと一定である。同様に清水海岸の場合、地形変化の限界水深は約7mにある。測量データより求めた全国各地における地形変化の限界水深を表-3に示

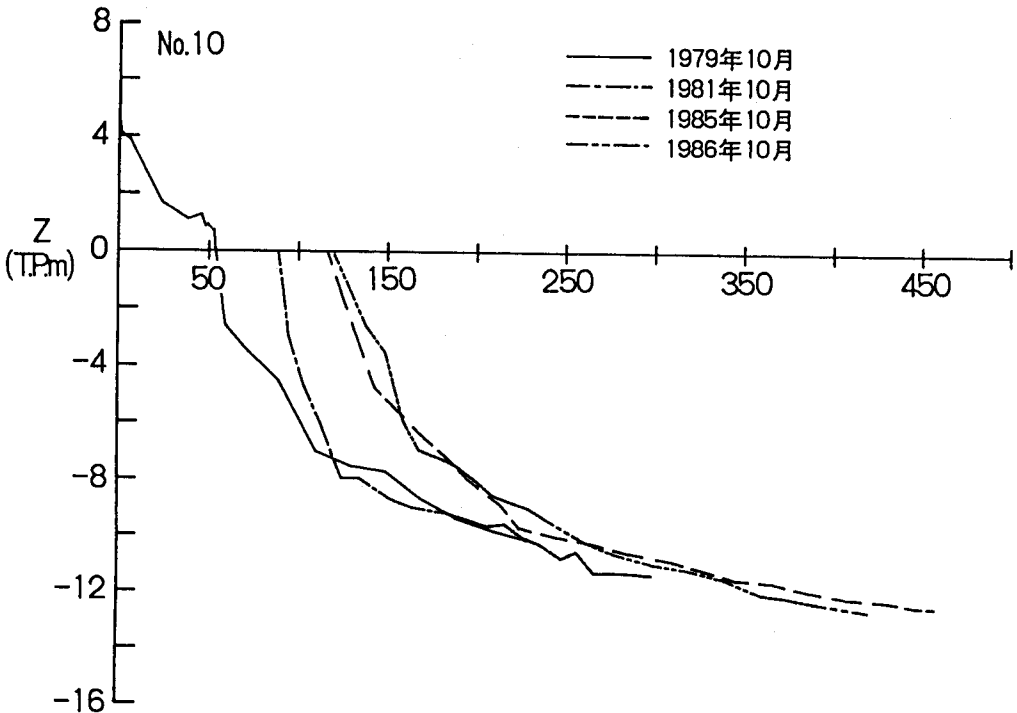


図-21 新潟県親不知海岸の断面変化

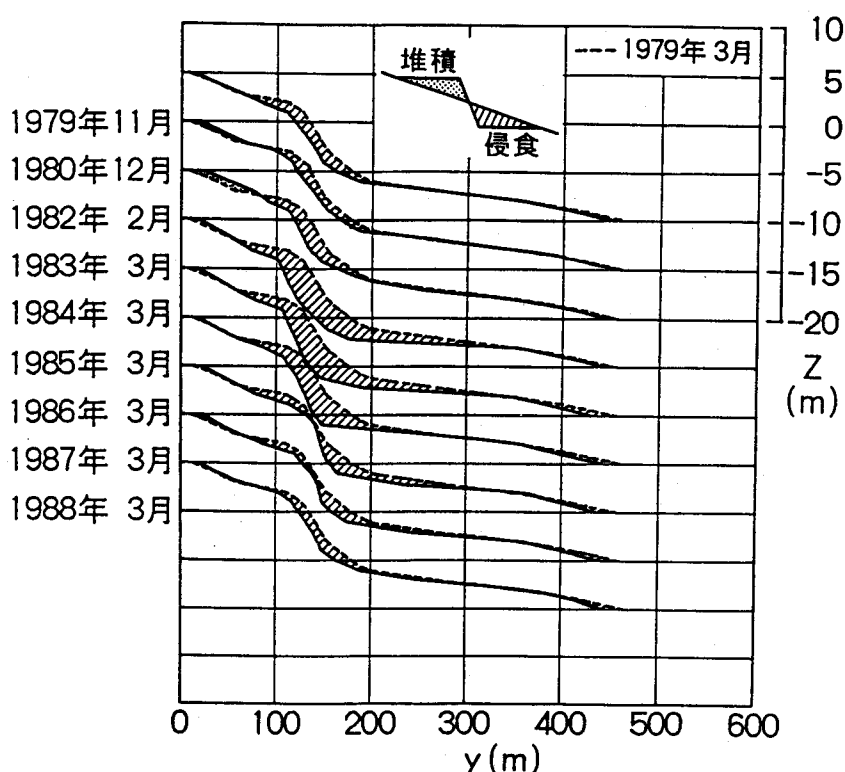


図-22 静岡県清水海岸の断面変化

す。一般に地形変化の限界水深は太平洋岸では約10mに、日本海側では8～9mに、内海・内湾では2～3mにあることが特徴である。ただし、ここで言う地形変化の限界水深とは、大規模な構造物のごく近傍などを除いた海域での限界水深を意味する。前浜よりこの水深までの範囲の海浜はほぼ一体的に動くため、汀線付近の侵食・堆積に直接係わる土砂移動の範囲の沖側限界を定めるものと考えてよい。

## 5. まとめ

我が国における海岸侵食は直接的には高波浪の作用に起因するものの、より根本的意味においてはそのほとんどが人為的要因によって構造的な問題として発生してきている。ここで取り上げた例は全国で著しい侵食が生じている海岸のごく一部分であり、同様な例は多数にのぼる。しかも、海岸侵食は、汀線が大きく後退し、一般の目に触れるような現象（著しい浜崖の形成など）が生じたときには、既に汀線のすぐ沖合も急深となっており、手遅れに近い状態となることがほとんどである。こうした点も問題の解決を一層困難にさせている。本文中に記したように、海岸侵食の進行段階で第2段階または第3段階になってから対策の検討に入るのでは実質的には手遅れの状態と言わざるを得ないのである。原理的にみれば侵食された海岸に土砂を投入すれば海浜が再生できるように思われるが、ひどく侵食された海岸では1海岸当たり少なくとも約100万 $\text{m}^3$ （5000円/ $\text{m}^3$ として総額50億円に相当）の砂を必要とし、また、量が確保されたとしてもシルト質を多く含む土砂では養浜時において細粒分から発生する濁りが問題となることから、良質でかつ大量の砂礫を得ることは容易ではない。

以上のことから、海岸侵食の問題を軽減し、少しでも状況を改善するには、問題が深刻化する前に、一連の漂砂の系全体を考えた対策を関係機関が協調的に取るが必要と考える。問題点の所在をあいまいにし

表-3 地形変化の限界水深(h)の一覧

位置	所在県	海岸名	h(m)	位置(番号)
外 海	太平洋	標津	4	1
		日高	6	2
		三沢	10	5
		大曲	8	6
		阿武隈川河口	8	7
		神岡上	8	8
		大洗	9	9
		西湘	5	14
		富士	12	15
		蒲原	10	16
		清水	8	17
		駿河	6	19
		遠州(福田)	12	20
		遠州(今切)	13	20
		高知	10	26
	日本海	皆生	8	30
		境	8	34
		市振	10	34
		親不知	9	35
内 海	東京湾	金沢	1	—
	伊勢湾	鈴鹿川河口	2.5	21
	瀬戸内海	松帆	1.5	—
		舞子ヶ浜	2.5	—

たり、あるいは責任のがれの行為を行うと、その間にも侵食はまちがいなく進行し、全国の海浜が第3段階へと近づいて行くであろうことは言を待たない。関係者の一層の理解を願うところである。

### 参考文献

宇多高明(1990)：波による移動限界水深を定める代表波について、第34回海岸工学講演会論文集、pp.294-298.

宇多高明・岡村 真・西村洋人(1986)：鳥取海岸の沖合部における地形変化、第33回海岸工学講演会論文集、pp.282-286.

- 宇多高明・北上勝彦・山本幸次・河野茂樹(1991)：北海道、日高沿岸における海浜変形、海岸工学論文集、第38巻、pp. 276-280.
- 宇多高明・小林正一・種岡虎男(1988)：新潟県市振海岸における海岸構造物設置に伴う海浜変形、地形、Vol. 1. 9, No. 1, pp. 35-52.
- 宇多高明・桜本 弘・久保田 進(1987)：千葉県飯岡海岸の海岸侵食について、第34回海岸工学講演会論文集、pp. 342-346.
- 宇多高明・鈴木忠彦・山本幸次・板橋直樹(1993)：三保松原の危機的海岸侵食状況、海岸工学論文集、第40巻、(印刷中)
- 宇多高明・住谷勉夫・小林洋三(1986)：茨城県における海浜変形の実態、地形、Vol. 7, No. 3, pp. 141-163.
- 宇多高明・野口賢二(1991)：新潟県北部、岩船港周辺における海浜地形変化、土木技術資料、Vol. 33, No. 1, pp. 28-33.
- 宇多高明・野口賢二・大澤 正(1993)：柏崎港の防波堤建設に伴う周辺海岸の海浜変形、海岸工学論文集、第40巻、(印刷中)
- 宇多高明・矢野 滋(1987)：相模湾西湘海岸の侵食実態について、地形、Vol. 8, No. 1, pp. 1-19.
- 宇多高明・山本幸次(1989)：遠州海岸、赤羽根漁港周辺の海浜変形、第44回年講演概要集、pp. 780-781.
- 宇多高明・山本幸次・河野茂樹(1991)：砂嘴地形周りの海浜変形—三保松原を例として—、地形、Vol. 12, No. 2, pp. 117-134.
- 大島洋志(1974)：地質学的立場からみた侵食パターンについて、—常磐海岸末統～広野間—、第21回海岸工学講演会論文集、—海岸侵食に関するシンポジウム—、pp. 9-22.
- 柏谷晋一・宇多高明・布施勝義・二俣 秀・山本幸次(1993)：下新川海岸の生地鼻周辺の海浜変形特性、海岸工学論文集、第40巻、(印刷中)
- 河野 宏・宇多高明・藪崎義之・水野益宏(1986)：富士海岸の侵食実態と地形変化予測、第33回海岸工学講演会論文集、pp. 287-291.
- 小向良七(1959)：函館大森海岸の海岸侵蝕、水路部報告、13、上巻、序論.
- 佐々木幹夫・宇多高明・小野菊蔵・高橋陽一・難波嘉幸(1990)：三沢海岸の被災実態と今後の対策の方向性、海岸工学論文集、第37巻、pp. 878-882.
- 佐藤昭二・田中則男(1962)：水平床における波による砂移動について、第9回海岸工学講演会講演集、pp. 95-100.
- 野田英明(1971)：海浜過程、水工学に関する夏期研修会講義集B、pp. 5-13-5-14.
- 堀川清司・砂村継夫(1967)：航空写真による海蝕崖の後退に関する研究、第14回海岸工学講演会講演集、pp. 315-324.
- 堀川清司・砂村継夫(1968)：海蝕崖の侵蝕に関する研究、第15回海岸工学講演会講演集、pp. 149-156.
- 堀川清司・砂村継夫(1970)：千葉県屏風ヶ浦の海岸侵食について—航空写真による海蝕崖の後退に関する研究—第3報—、第17回海岸工学講演会論文集、pp. 289-296.
- 三村信男・加藤 始・角田義紀・伊佐治 進(1991)：大洗における港湾構造物の建設に対する海岸地形の応答、海岸工学論文集、第38巻、pp. 401-405.
- 村田 守・宇多高明・片岡賢一・大石英雄・山本幸次(1991)：駿河海岸の海浜変形と土砂収支、海岸工学論文集、第38巻、pp. 281-285.
- 望月倫也・宇多高明・大類光男・大谷靖郎(1990)：仙台湾北部沿岸の海浜変形の実態、海岸工学論文集、第37巻、pp. 369-373.
- 矢島昭弘(1966)：伊豆新島・羽伏浦における海崖の後退に関する研究、東京教育大学卒業論文、17p.
- 山内秀夫(1964a)：原町市大みか海岸における海蝕崖の後退について、地理評、Vol. 37, pp. 138-146.

山内秀夫(1964b) : 渥美半島南岸西部における海崖の後退に関する地形学的研究、東京教育大学学位論文。  
吉川虎雄(1952) : 海岸縦断面の発達、東京大学地理学研究、Vol. 1、pp. 99-113.