海　崖　侵　食

総括執筆者（コンビーナー）

岩　崎　敏　夫

正会員 工博 東北大学教授 工学部土木工学科

話題提供者

豊　島　　修

正会員 工博 建設省河川局海岸課長

堀　川　清　司

正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科

大　島　洋　志

正会員 日本国有鉄道技術研究所

担当：海岸工学委員会

1. まえがき

海岸といえば「白砂青松」とか，「鴎の群れ飛ぶ波止場」とかを思い出すけれども，海に沿って断崖が屹立しているときは，多くはこのために海と人とのつながりも断たれてしまい，開発もなされず，したがって，また防災の必要もなかった。しかし，原子力発電所にその典型例を見るように，海崖地帯はむしろそのために立地の可能なような企業も存在しうるし，北三陸に見られるように，海崖と汀線との間のわずかの低地を求めて漁港が存在するような例もあり，僅少な国土を高度で稠密に利用する必要のあるわが国では，特に，海崖の保全について関心を高めることが，将来のための大切な課題と考えられる。

海崖の侵食後退については，先覚者たちによってすでに指摘されてきたところであるが，しかし，必ずしも海岸事業に関与する人びとの理解が得られているとはいえない。ところが鉄道，道路，燈台などの公共施設や人家が海崖の後退によって危険に瀕する事例が近年数多く見られるようになってきている。そこで，海岸工学委員会では，1974 年 11 月に仙台市において第 21 回海岸工学講演会が開催された機会に，同月 16 日，標記の題目でシンポジウムを開催した。

シンポジウムは，まず豊島が「海崖侵食の現況とその対策」について，次に大島が「地質学的立場から見た海崖の侵食パターン」について，また，堀川が「海崖侵食の調査法といくつかの事例」について話題提供を行い，ついで岩崎が司会者となって，提供された話題を整理しつつ，フロアからの意見を中心に討議を進めたが，海岸工学講演会から引き続いて 3 日目の午後であったにもかかわらず多くの参加者があり，熱心でかつ有益な発言が相つぎ，1 時間半の討議時間は瞬く間に過ぎてしまった。全部の話題について十分に討議されたわけではないが，示唆に富む有益な成果があげられたと感じたのは独り筆者のみではないと考える。以下に，まず話題提供者の内容を紹介し，ついでなされた討議の概要を説明し，得られた結果を述べることにする。ただし，順序を多少変えて紹介したが，これは読者の便を図ったためであり，この点につき話題提供者および参加者諸氏のご了承を得たい。

2. 海崖侵食の現況

(1) 海岸の概況

わが国の海岸線の概況を建設省河川局編「海岸統計」

表—1　全国の海岸概況
（昭和48年3月現在）

海岸線の区分		延長 (m)
海岸保全区域要指定延長		13 998 267
その他	保安林	844 172
	鉄道護岸	63 085
	道路護岸	441 697
	飛行場	27 340
	塩田	57 216
	その他	1 936 339
	小計	3 369 849
天然海岸		10 740 577
計		28 108 693
沖縄県分		1 278 000
総計		29 386 693

（48年度版）によって示すと表—1のとおりで約2万9400 km の海岸線総延長を持っている。このうちの「海岸保全区域要指定延長」は，知事が海岸保全上必要として海岸法に基づき指定したか，または指定を予定している区域の延長であり，この区域が海岸の保全および管理の対象とされるもので，海岸線総延長の約1/2に相当する。なお，下段の「その他」の海岸線は，海岸がそれぞれの目的に応じて管理，使用されている区域である。海岸法では，保安林，鉄道，軌道および飛行場用地については，海岸保全区域の指定を行わないこととされており，それぞれの管理者が管理することとなっている。「道路護岸は，おおむね海岸地帯に道路のみがあるような場合であり，道路の背後に保全を必要とする土地，建物などの資産があるときは，道路を含めて保全区域に指定するのが通例でこうした道路護岸は要指定延長区間にかなり多く含まれている。「その他」の中の「その他」には港湾，漁港，私有護岸，専用埋立て護岸が含まれる。

さて「天然海岸」は，目下のところ，海岸の保全，管理上「海岸保全区域」として指定する必要がないと考えられている部分で，その多くは「崖」であり，海岸線およびその背後に護るべき資産が少なく，国土保全上緊要性が小さいと考えられている。豊島が今回のシンポジウムのために府県を通じて調査した崖海岸の延長割合を表—2，図—1に示す。

海岸線延長では長崎県が最も長く，北海道，鹿児島県，愛媛県，山口県の順であるが，崖海岸が長いのは，北海道，長崎県が1000 km に近く，愛媛，東京，三重がこれに次いでおり，このうち，長崎，愛媛，東京等は島しょ部が大きく影響している。

海岸線総延長に対し崖海岸の占める割合は，東京 65.0%，岩手 58.7%，福井 53.4% であり，三重，京都，静岡，宮崎，高知，愛媛など，いずれも 40% 以上を占め，予想以上に大きい割合を占めている。また，全国合計でも崖海岸は総延長の 27.4% にあたっている。　（豊島　修）

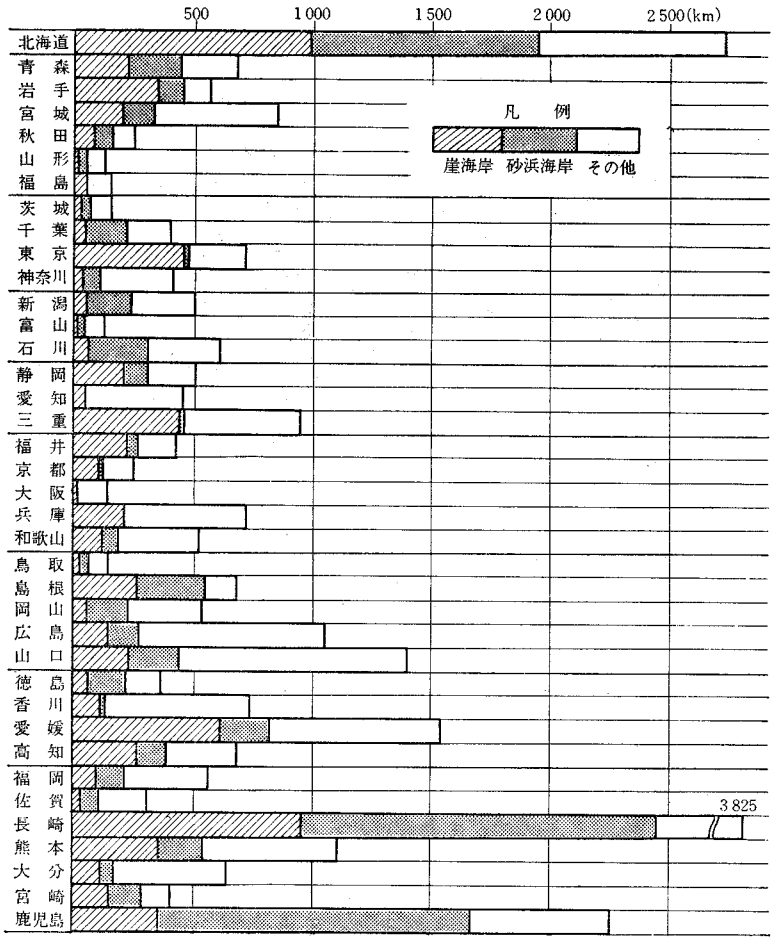
（2）　海崖侵食の事例

海崖は，上述のようにわが国海岸線においてかなり大きい比率を占めているが，従来は保全管理上の関心が薄く，その侵食後退について全国的に調査がゆきとどいているわけではない。従来，自然地理学者や地質学者によって調査・研究されてきたが，近年に至って工学的な観点に立って調査がなされるようになってきており，そのうち代表的な事例を 図—2，表—3 に示す[5]。

すなわち，これらの例では海岸の年平均後退量は 0.3～1.0 m 程度であり，著しい場合には 2～6.0 m である。また，後述する常磐海岸末続—広野間では 11 m に

表—2　崖海岸線の長さ　　（単位：km）

府県	海岸線総延長 (A)	天然海岸 要保全施設	天然海岸 その他天然海岸	天然海岸 計 (B)	今回調査崖海岸 (C)	構成比 (%) B/A	C/B	C/A
北海道	2 734.0	1 130.0	811.5	1 941.5	998.0	71.0	51.4	36.5
青森	681.1	110.5	316.2	426.7	214.4	62.6	50.2	31.5
岩手	571.7	12.5	424.3	436.8	335.7	76.4	76.9	58.7
宮城	736.8	67.2	261.6	328.8	190.9	44.6	58.1	25.9
秋田	238.2	93.9	48.7	142.6	83.5	59.9	58.6	35.1
山形	112.2	33.5	14.3	47.8	6.0	42.6	12.6	5.3
福島	141.1	20.0	33.0	53.0	53.0	37.6	100.0	37.6
茨城	141.9	43.1	34.2	67.3	21.6	47.4	32.1	15.2
千葉	396.8	147.2	66.5	213.7	44.3	53.9	20.7	11.2
東京	708.1	48.2	437.7	485.9	460.0	68.6	94.7	65.0
神奈川	404.9	39.6	66.0	105.6	27.0	26.1	25.6	6.7
新潟	495.2	125.7	104.0	229.7	47.6	46.4	20.7	9.6
富山	110.5	22.9	4.3	27.2	3.0	24.6	11.0	2.7
石川	601.6	106.3	195.0	301.3	62.0	50.1	20.6	10.3
静岡	500.5	94.6	204.8	299.4	202.8	59.8	67.7	40.5
愛知	441.6	43.8	2.8	46.6	46.0	10.6	98.7	10.4
三重	955.9	87.0	369.2	456.2	453.1	47.7	99.3	47.4
福井	408.3	54.4	218.1	272.5	218.1	66.7	80.0	53.4
京都	243.3	23.5	88.8	112.3	101.0	46.2	89.9	41.5
大阪	126.9	4.3	2.7	7.0	4.0	5.5	57.1	3.2
兵庫	712.1	70.6	131.8	202.4	202.2	28.4	99.9	28.4
和歌山	512.0	30.3	150.3	180.6	115.0	35.3	63.7	22.5
鳥取	127.5	39.5	30.7	70.2	22.0	55.1	31.3	17.3
島根	680.1	48.9	500.5	549.4	260.6	80.8	47.4	38.3
岡山	518.6	28.2	193.5	221.7	74.5	42.7	33.6	14.4
広島	1 069.8	46.2	233.8	280.0	127.6	26.2	45.6	11.9
山口	1 409.3	73.9	361.6	435.5	220.0	30.9	50.5	15.6
徳島	358.5	25.0	188.0	213.0	64.0	59.4	30.0	17.9
香川	627.9	55.8	68.6	124.4	107.8	19.8	86.7	17.2
愛媛	1 543.6	515.2	296.5	811.7	610.8	52.6	75.2	39.6
高知	685.7	68.1	320.3	388.4	275.2	56.6	70.9	40.1
福岡	574.3	76.1	132.0	208.1	94.6	36.2	45.5	16.5
佐賀	299.8	5.7	99.9	105.6	19.5	35.2	18.5	6.5
長崎	3 825.0	467.4	1 986.9	2 454.3	950.0	64.2	38.7	24.8
熊本	1 112.2	73.7	466.3	540.0	357.0	48.6	66.1	32.1
大分	639.4	72.0	99.5	171.5	128.0	26.8	74.6	20.0
宮崎	298.0	26.8	262.0	288.9	160.5	72.6	55.6	40.0
鹿児島	2 264.2	141.7	1 547.4	1 689.4	351.5	74.6	28.0	15.5
合計	28 108.6	4 173.3	10 763.6	14 936.9	7 712.8	53.1	51.6	27.5



図—1　海岸線の線延長と崖海岸の延長

達している箇所も存在する。

（堀川　清司）

a） 未固結堆積物で構成された海崖

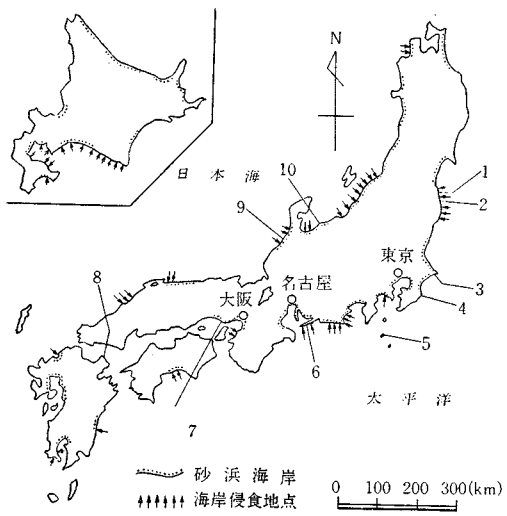
秋田県本荘海岸，山形県の酒田周辺，新潟県柏崎，直江津海岸，愛知県の渥美半島，兵庫県の東播海岸など従来から侵食性海岸として知られているものの中には，このタイプの崖がかなり多い。

いわゆる沖積地堆積物で砂，泥，砂礫の混合したものが多く沖積統，洪積統に属する。**写真—1**，**図—3** は，北海道十勝野塚海岸の例である。これらの崖は，波食に対し弱いので，侵食速度は相当大きく，年間1m以上をこえる例も少なくない。崖の多くは傾斜し，のり尻にはのり面が崩壊してできた砂利などが堆積して，前浜を形成している。また，強度がほぼ均一なので崖ののり肩はほぼ直線的で均一に後退する。　（豊島　修）

b） 半固結，固結堆積岩による海崖

福島県太平洋岸，千葉県屏風ケ浦や太東岬海岸などに見られる海崖は，第3系鮮新統に属する泥岩，砂岩と泥岩の互層をなし，**写真—2** に見られるように，おおむね海岸に屹立した崖を形成する。

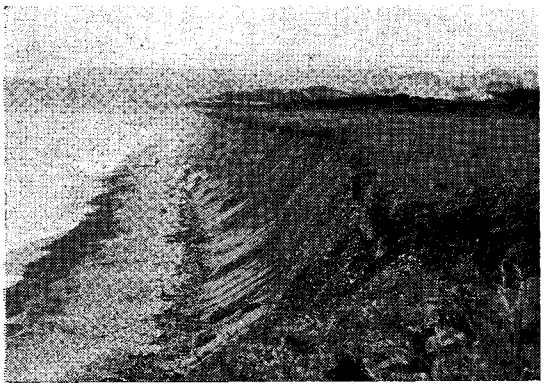
砂礫を多く含む場合には，のり尻に小さな前浜を形成する場合もあるが，泥岩の場合はのり尻の堆積物によるテラスは早急に波に洗われ，前浜を持たない例が多い。



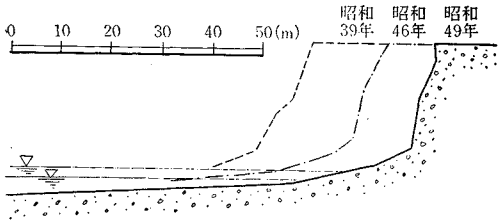
図—2　海岸侵食の激しい地点

表—3　海食崖の年平均後退量と地質

地　域	地　質	年平均後退量（m/年）	発　表　者
1 原ノ町海岸	砂岩，泥岩	0.3—0.7	山ノ内[1964]
2 大熊海岸	砂岩，泥岩	0.5(平均)	堀川・砂村[1970]
3 屏風ケ浦海岸	主として泥岩	0.4—1.1 0.7(平均)	川崎[1954] 堀川・砂村[1970]
4 太東岬海岸	泥岩	0.9(平均)	堀川・砂村[1971]
5 新島，羽伏浦海岸	火山灰砂	5.5(平均)	矢島[1965]
6 渥美半島南部海岸	洪積層	0.6(最大)	山ノ内[1964]
7 明石海岸	洪積層	0.1(平均) 1.0—1.5	吉川[1951] 野田[1971]
8 国東半島北部海岸	火山砕屑岩（未固結）	2.2(平均)	小向[1951]
9 金沢市西海岸	粘土	1—2	金崎[1961]
10 富山海岸	沖積層	0.5—1.0	吉川[1952]

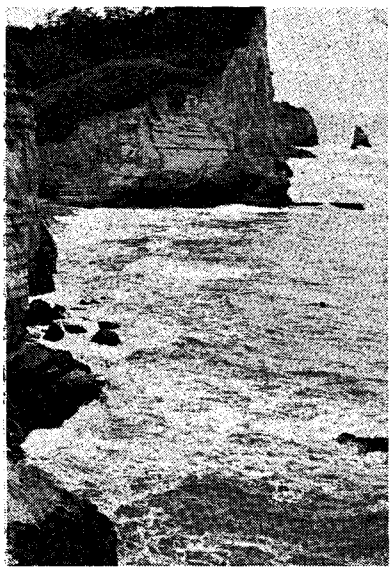


写真—1　北海道十勝野塚海岸

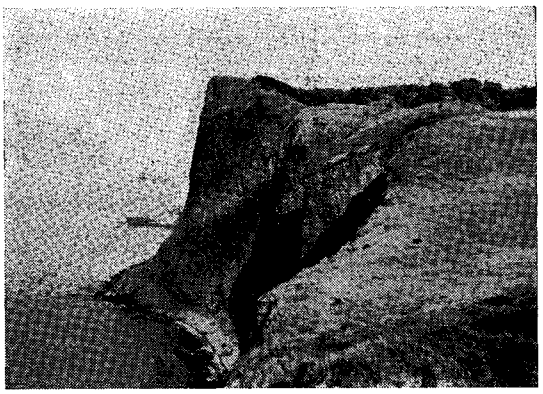


図—3　十勝野塚海岸の前面変化

さらに，岩の固結の程度や硬さによって波食の速度が異なるために，崖ののり肩法線は凹凸が多く，場所によっては大きな欠所や，あるいは柱岩のような形の島が残される例も多い。また，砂岩，泥岩の互層の間に砂層などをはさみ，水平方向にも鉛直方向にも節理が多く，のり尻の波食によるノッチの欠け込みによってその上部が一時に崩壊し，粒径が比較的小さいために次第に沖側へ運び去られる。



写真—2　千葉県太東岬海岸



（島根県隠岐）
写真—3　西ノ島摩天崖

この例の侵食については後に詳しくふれる。（豊島　修）

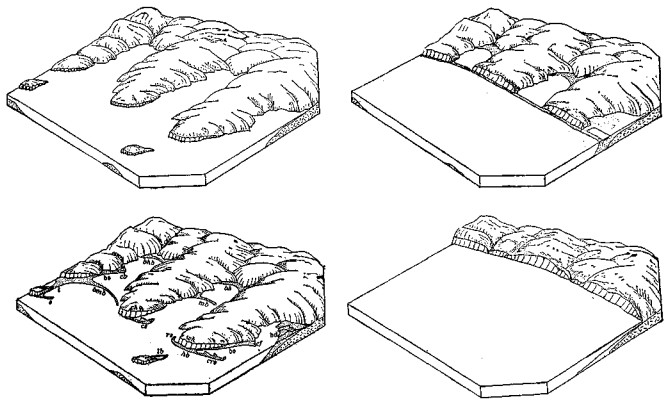
c）　火成岩による海崖

岩手県陸中海岸，鳥取県山陰松島，福井県東尋坊，石川県能登金剛などに見られる海崖は，安山岩，玄武岩，花崗岩などの火山性岩石から成り，硬いために波浪によって侵食される例はまれとされている。しかし**写真—3**に見られるように，所によっては奇岩状を呈し，また，景勝地が多いことから，後退速度は小さくとも侵食はなされていると見られる。　（豊島　修）

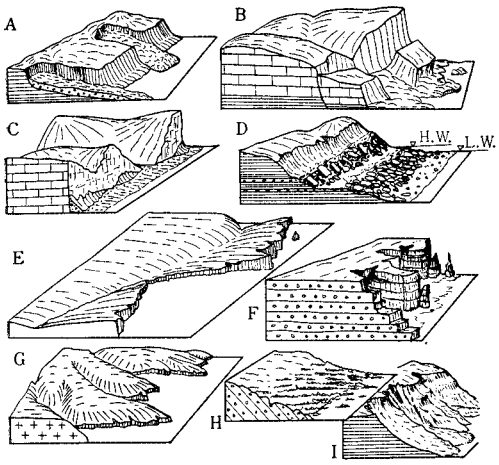
3.　海崖侵食の調査

（1）　地史的調査

海崖の形成は数百年，あるいは千年程度の時間尺度で測られる地史的現象であると考えられてきた[1)~4)]。その過程（プロセス）は**図—4**や**図—5**に例示されている。地殻変動とか海水面変動もこれらの過程に関与するものといえる。したがって，このような地史的調査による大局的な把握をしておけば，当該地点における変化の傾向

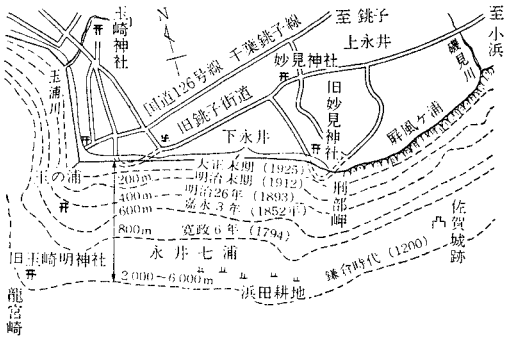


（Johnson, による[1)]）
図—4　海崖の発達過程



(Guilcher, による[4])

図—5　海崖の種々の形態



図—6　下永井海岸の経年変化

を知ることができ，かつ，工学的に有為なずっと短期間での変化の特性を知るうえでも有用である。

（2）　古い地形図，写真による調査

図—6 は，千葉県屏風ケ浦西端，飯岡町下永井海岸の変化の状況について，堀川らが 1794 年（寛政 6 年）の古い地形図を入手してこれに昭和初期までの資料を追加して描いたもので，これによって過去 700～800 年間に，2 000～6 000 m の後退が生じたことが示されている[5]。これより求めた後退速度は年平均 3 m となり，堀川らが求めた近年の後退速度年平均 0.9 m に対して過大ではあるが，屏風ケ浦の後退が数百年あるいは千年にわたって継続されてきたことを示すものと評価される。

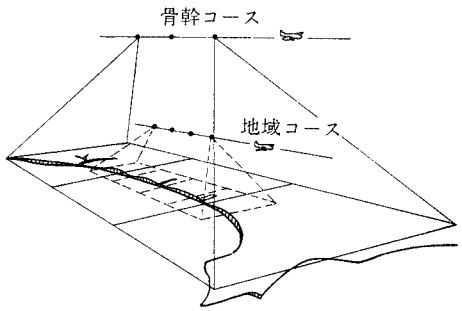
信頼すべき最も古い地形図は，明治 15 年の陸地測量部による 5 万分の 1 地図であるが，図上での測距の精度を 0.5 mm とすると実距離は 25 m となるから，年平均 1 m の後退があると測定すると，25 年を要することになる。したがって，この場合の判定しうる海崖変化の時間尺度は 20～30 年以上となる。さらに，堀川らは山林図や土地台帳図を調べたが，その信頼性はほとんどないという結論に達している。

（3）　航空写真による調査

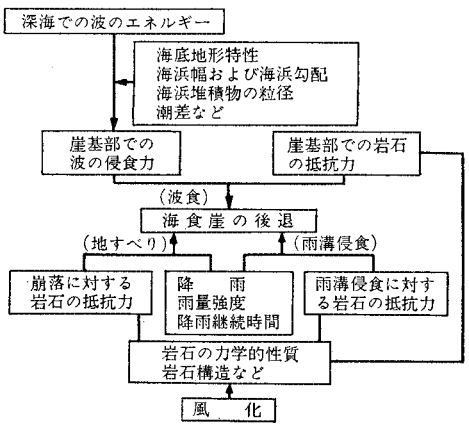
わが国において利用しうる最も古い航空写真は，昭和 22 年の米軍によるものである。さらに，各地で航空写真を撮影した例は多く，有効な資料となっている。特に新しく写真を撮影しようとする場合には海崖ののり面まで鮮明にとらえる必要があり，そのためには，一般に空路を海側にとることとなり海面に基準点が設けられないので，地上に多数の基準点を設置しなければならず，現地測量に膨大な手間がかかる。そこで，**図—7** のように同じ地域を撮影高度を変えて 2 回撮影し，撮影高度の大きいほうの写真によって航空三角測量により室内で基準点位置を決定することが，堀川らによって推奨されている。例えば，屏風ケ浦の場合は，高度 3 040 m，および高度 1 216 m で飛行し，約 2 万分 1 および 1/8 000 の縮尺図を得ている。これをオートグラフ A7，およびステレオプロッター A8 によって 1/1 000 の地形図に図化した[5),10)]。

（4）　海崖の侵食機構の調査

海崖の侵食速度は，上に述べたようにして求めるが，



図—7　2 段撮影法の模式図

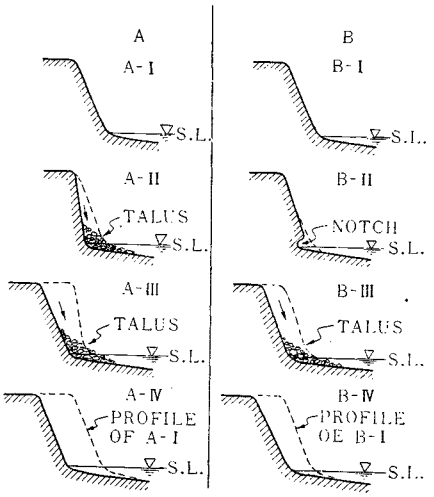


図—8　海崖の侵食要因

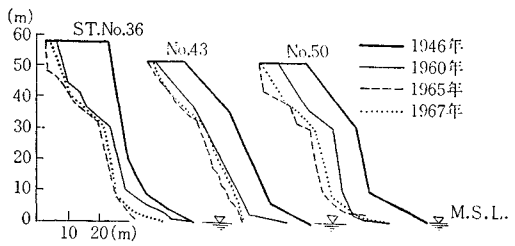
次に侵食機構を調査することが必要となる。これは，将来の侵食量を予知するためにも，また，侵食対策を講ずるうえにも重要である。

図—8 は海崖の侵食要因の系統図で，主に崖の基部での波の侵食（波食）とこれに対抗する岩石の抵抗力との関係が重要な要因と見られ，これに崩落や雨溝侵食が加わって事態を複雑にしている。これより見れば，調査すべき項目は，外力としては，降雨特性，波浪特性であり抵抗力としては，力学的諸性質およびそれらの層理，節理，断層など岩石構造との関連となるが，これに，さらに環境調査として，海底地形特性，海浜幅，前浜勾配，海浜堆積部の粒径，潮汐，沿岸流系統などが加えられるべきであろう。

図—9 は海崖侵食の過程を示す模式図で，Aでは崖の基部が侵食され崩落が起こり基部に崖錐（テラス）を形成する。崖錐が波によって運搬除去されない間は崖の基部は侵食を免れる。A-Ⅲ は，崖錐の除去，崩落が繰り返された状態である。Bでは波食窪（ノッチ）を形成して崩落が起こる場合で，これらの差違は崖を構成する岩石の力学的性質および層理，節理，断層等の構造によるものと考えられる。**図—10** は，屏風ケ浦の例でAの型に属し，後退量が海崖のり肩で把握される。



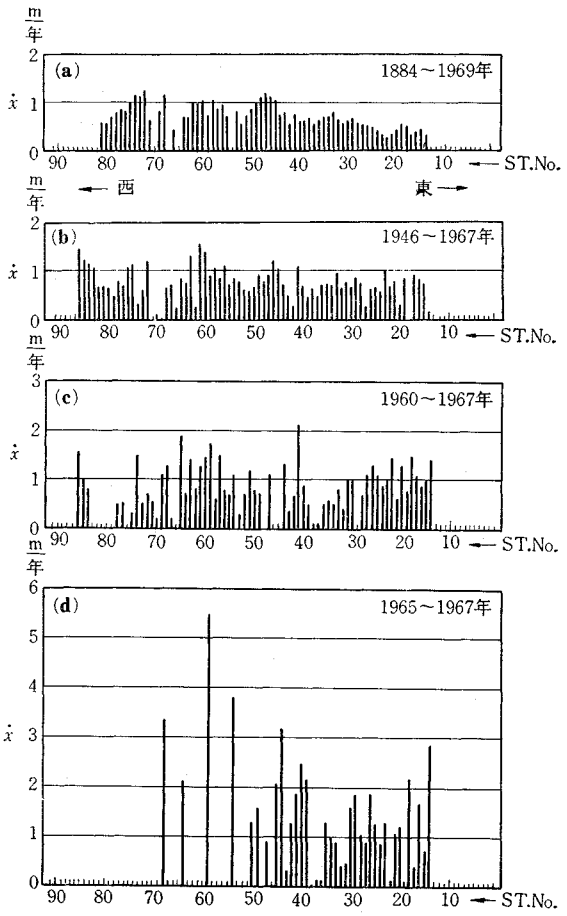
図—9 海崖侵食の過程を示す模式図



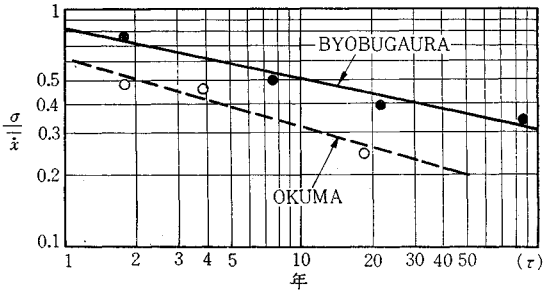
図—10 屏風ケ浦海崖断面の経年変化

（5） 調査の時間尺度

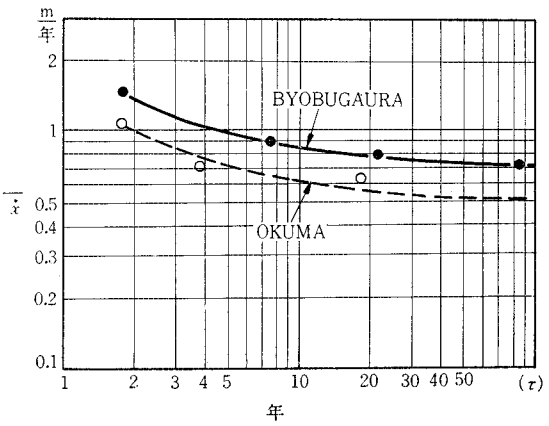
3.（1），（2） で海崖の変化については時間尺度を相当大きく考えなければならないことを述べた。このことは，**3.（3），（4）** のように比較的短期間の調査についても忘れてはならないことのようである。例えば，海崖の年平均後退距離を詳しく調査した例では，**図—11** に



図—11 崖後退距離の場所的分布



図—12 崖後退距離の場所的変動率と期間の関係



図—13　平均崖後退距離と期間の関係

示したように場所的にも期間的にも一様でない[9]。しかし，対象とする期間を長くとるほど，場所的な変動の割合は小さくなり（図—12），年平均後退量はある一定値に漸近するように（図—13）見えた。

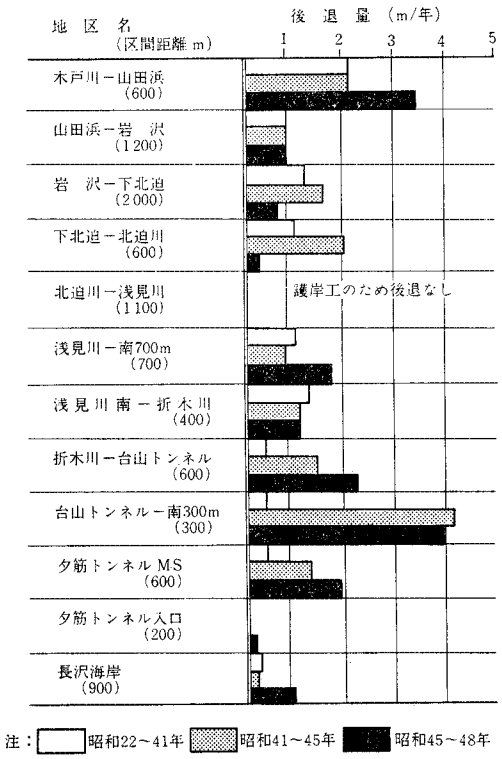
したがって，平均的な後退速度はこの程度の時間尺度で考慮しなければならない。ただ，年によって後退速度が異なる要因は主として波浪条件によるもので，ある波高以上の波浪の起こった頻度が大きい年ほど，年平均後退距離は大きくなっている。　（堀川　清司）

4. 地質学的立場から見た海崖の侵食パターン
——常磐海岸 末続—広野間——

常磐海岸は，福島県太平洋岸で，著しい海崖後退を示しており，ことに国鉄常磐線が海岸に近接する夕筋—台の山地区では，昭和 47 年8月の台風 6, 9 号の通過の際の高波と，その後の波によって次第に侵食を受け，ついに 10 月には営業線から 20 m のところまで海崖が後退し，列車の運行も危ぶまれるに至った。このため，国鉄本社および水戸鉄道管理局では，「海岸侵食対策委員会」を設けて各種の調査を行っているが，海崖の侵食パターンについて地質学的な検討が加えられ，今後の海崖侵食機構の調査によい参考となると考えられたので，本シンポジウムにおいて紹介されたものである。

図—14 は昭和 22 年以降の航空写真より判読された海崖後退速度で，台の山トンネル—南 300 m 区間においては，年 4 m の後退を続けているが，その他の区間では 1～2 m/年となって局所的な変化が観取された。地質部会の調査は，① 海底の地形と地質および底質の分布，② 陸上の地形と地質，③ 岩盤の強度と割れ目，④ 地下水の変動，などの項目を取り上げた。ここでは，その概要を述べる。

地形的にはこの地域は阿武隈山地東縁にあたり，海抜

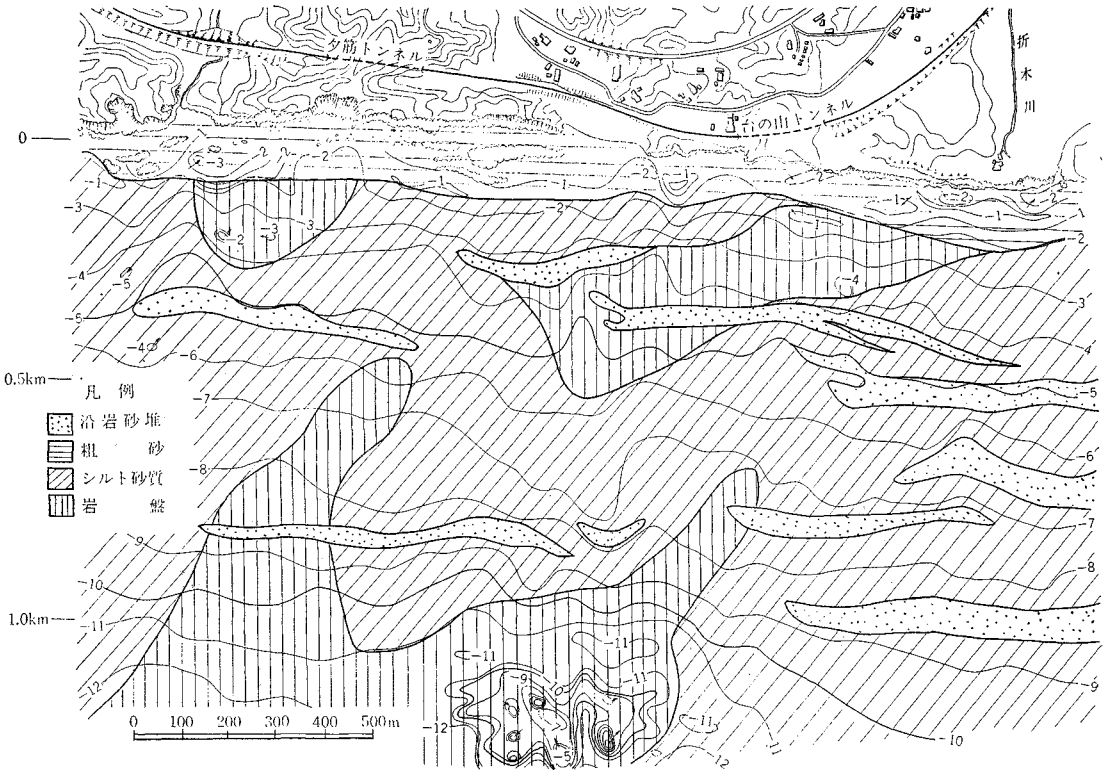


図—14　常盤海岸木戸川—夕筋間の海崖後退量

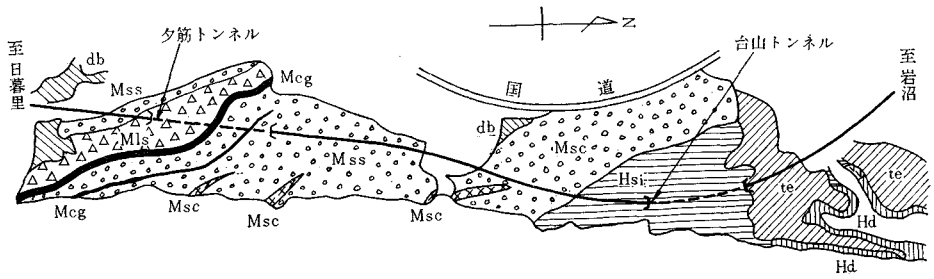
40～80 m 前後の海岸段丘で，隆起海岸であるが，海岸線は単調で現在前浜はほとんど存在しない，折木山—台の山トンネル間はほぼ垂直な崖，夕筋地区はこれよりややゆるやかで約 70° 程度である。**図—15** は海底の地形で，沖合約 1.5 km までの平均海底勾配は 1/100 と非常にゆるやかであり，随所に波食台がある。

（1） 地質と地質構造

図—16 は夕筋—折木付近海岸一帯の地質で，このうち第三紀の地層はほぼ NW-SE の走向で東に 20～50° 傾斜しているため，海岸および北側に向い漸次新しい地層が分布している。図中 M_{sc}, M_{cg}, M_{ss}, M_{ls} と示したものは三沢砂岩層と呼ばれるもので，半固結の砂岩を主とし，中間に厚さ 10 m ほどの円礫岩（安山岩の径 10～20 cm の円礫が火山灰をマトリックスにして強く固まったもの—M_{cg}）を挟んでいる。硬化砂岩（M_{cg}）は熱水作用を受けて硬化したものであり，また，半固結砂岩でもボーリングで棒状コアのとれる程度のもの（M_{ss}）と，ゆるい砂層で比較的粒径がそろっており，ボーリングコアの採取不能のもの（M_{ls}）とがある。耐侵食強度は，$M_{sc} \gg M_{cg} \gg M_{ss} > M_{ls}$ である。次に，H_{si}, H_d は広野層と呼ばれ，未半固結のシルト岩を主体とし，細粒砂岩および泥岩を挟在し，また，厚さ 1 m 以内の礫層を数枚挟んでいる。このうち，折木川右岸付近の広野



図—15 折木戸—長沢海岸の地形と地質



図—16 夕筋—台の山トンネル付近の地質平面図

表—4 夕筋トンネル付近地質調査岩石試験結果総括表

区分	岩質	記号	自然含水比 (%)	密度 (g/cm³)	超音波横波 V_s (km/sec) 自然	超音波横波 V_s (km/sec) 湿潤	超音波横波 V_s (km/sec) 湿潤状態自然状態	超音波縦波 V_p (km/sec) 自然	超音波縦波 V_p (km/sec) 湿潤	超音波縦波 V_p (km/sec) 湿潤自然	湿潤状態における V_s/V_p	圧縮強度 (kg/cm²) 自然	圧縮強度 (kg/cm²) 湿潤	引張強度 (kg/cm²) 自然	引張強度 (kg/cm²) 湿潤
広野層	珪藻質シルト	H_d	55.5	1.57	0.43	0.38	0.86	1.27	0.96	0.76	2.35	16.2	12.1	2.93	0.80
	砂岩・シルト岩互層	H_{si}	32.5	1.79	0.39	0.35	0.90	0.88	0.74	0.84	2.11	13.1	9.5	1.53	0.52
三沢砂岩層	中～粗粒砂岩	M_{ss}	25.0	1.80	0.60	0.59	0.98	1.16	1.03	0.89	2.20	12.7	9.9	2.76	1.92
	未固結粗粒砂岩	M_{ls}	16.1	1.38	0.22	……*	—	1.44	……*	—	—	2.12	……*	0.27	……
	火山円礫岩	M_{cg}	28.5	2.01	1.17	0.96	0.82	2.10	1.96	0.93	2.07	196.8	78.0	26.5	12.5
	硬化砂岩	M_{sc}	2.6	2.46	2.32	2.22	0.96	4.64	4.35	0.94	1.96	1 030	592	106.5	78.1

注：* 印，M_{ls} は湿潤させると崩れて試験ができなかった．

層はかなり珪藻質で（H_d で示され），他のシルト岩は H_{si} で区別された。岩中，厚さ 30～40 cm の石英質砂岩を互層状に挟んでおり，これは水を含むと軟弱となりシルト岩よりも容易に侵食を受ける。

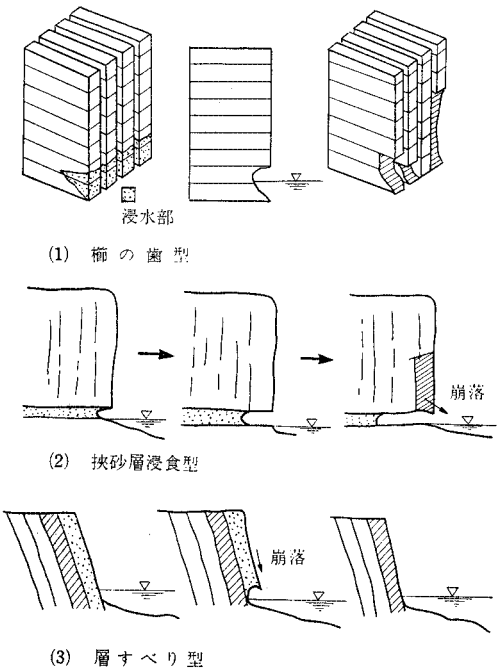
表—4 に岩石試験の結果を示す。これは折木川河口付近から夕筋トンネル入口付近にかけた 25 点において，サンプリングしたものについて自然状態のままと，試料を 48 時間以上水中に放置した湿潤状態において行った

ものの平均値である。

これより，自然密度は M_{sc} を除いていずれも2以下であり，また V_p/V_s は一般にほぼ2とされている結果を裏づけてはいるが，H_d は含水質のためにかなり大きい値を示す。V_s は湿潤状態の場合，自然状態より低下するが，これは，岩石の固結性がゆるむためにヤング率が低下したことによると考えられた。圧縮強度では M_{ls} はわずかに 2 kg/cm² しかなく，この薄層は非常に弱い。同様に，広野層中に挟まっている砂層でも 2 kg/cm² しかなかった。さらに，これらが湿潤状態になると強度が著しく低下することがわかる。引張強度でも同様である。圧縮，引張を通じて M_{cg}, M_{sc} は他と比較できないほど硬くて侵食に強い。他の地層は弱いが，湿潤状態ではことに著しく弱くなる。

（2） ジョイント パターン

この海崖では岩盤に発達する節理や層理などの割れ目系が発達しており，これが海崖の崩落，後退に大きい影響を持つと考えられたので，この状況を現地においてできるだけ克明に調査し，一般的な性状を把握することが試みられた。堀川らは，**図—9** Bの型の侵食について模型実験を試み，波の侵食による崖基部のノッチの発生について，多くの興味ある結果を得ている[8]。ことに，①ノッチの上限は侵食開始前の波の遡上高に一致し，下限は波がひいたときの谷の位置になること，②ノッチの形成は波の圧力でなく，波ののり面に添う岩石の構成粒子が分離させられることに起因すること，③砂は侵食の道具として働き，侵食を促進させることを見い出した。上に述べた強度試験の結果から，H_d, H_{si}, M_{ls}, M_{ss} は，M_{cg}, M_{sc} よりもはるかにノッチを形成し易いことがわかる。次に本調査で明らかにされた海崖侵食の3タイプについて述べる。**図—17** に概念図を示すように，海崖侵食には，(1) 櫛の歯型，(2) 挟砂層侵食型，(3) 層すべり型，がある。



(1) 櫛の歯型

(2) 挟砂層浸食型

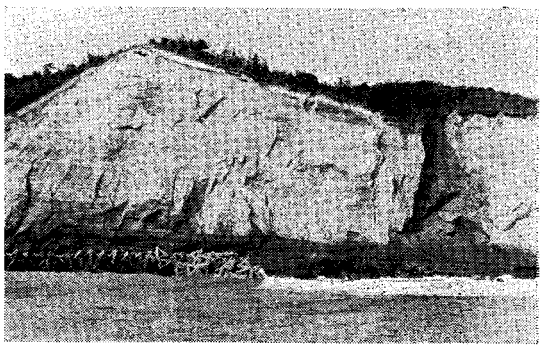
(3) 層すべり型

図—17 末続—広野間の海岸における海崖侵食の3タイプ

a) 櫛の歯型

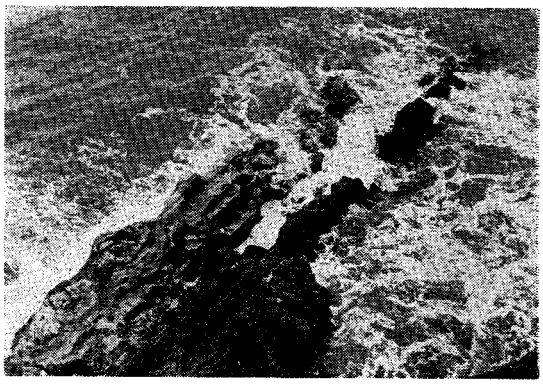
写真—3 に示すように層理にほぼ垂直で，走向にほぼ直角の節理が発達している場合で，H_d に見られる。こ

写真—4 H_d にみられる垂直節理



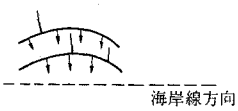
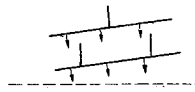
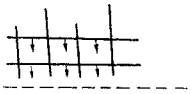
（砂岩の薄層を介在する）

写真—5 H_{si} からなる海崖



写真—6 海中に残った M_{sc}

表—5　夕筋—台の山トンネル間の崩壊のまとめ

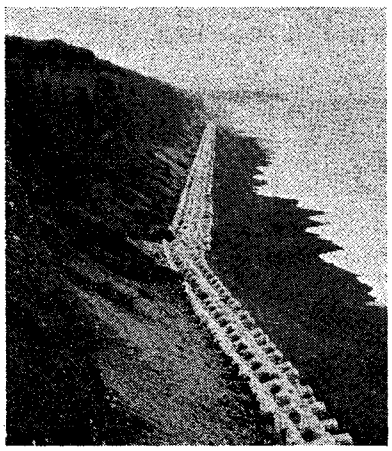
区分	夕筋地区	台の山地区	折木川河口地区
地質	三沢砂岩層 未～半固結中～粗粒砂岩 火山円礫岩・硬質砂岩	多賀層群広野層 （細粒砂岩とシルト岩の互層）	多賀層群広野層 （珪藻質シルト岩）
崩落のパターン・割れ目			
割れ目の状況	顕著な節理は数多くないが，存在するものは開口し，粘土などが充塡している．層理面と相まって崩落現象を促進する．	観察される節理は車両方向が主であり，かつ密着したものである，また潜在する節理が比較的発達している．	小間隔の節理（東西方向）が顕著であり開口節理は数少ないが，薄い粘土層を挟在する．
崩落の状況	海側に傾斜した層理面をすべり面とする崩落．	海岸線に平行な節理面が卓越していることから，海岸線に平行な面を有した鉛直な急崖を呈する．	ブロック状の崩落が特に著しく，櫛状の空洞を有する急崖を呈する．

れに波が作用するとある長柱部分が欠落し，さらに上部の岩盤が層理または節理面より離れて崩壊するために，垂直に立った個々の板ごとに侵食が進む。隣接して立った板が侵食が進んでいないと，櫛の歯が欠けたような状態となる。この欠け方が陸側深部に及んで潮吹きがみられたりする。

b）　挟砂層侵食型

写真—4 に見るように，シルト岩，砂岩の互層においては，砂岩が湿潤するとシルト岩より一段と強度が低減し，そのため洗掘され易い。海面付近においてこの部分はノッチを形成し，これが深部に及んで上方の岩層内に亀裂が発達し，ついに耐えきれなくなって岩塊が一時に崩落する。台の山トンネルの例では，ノッチの発生から崩落まではほぼ1か月であった。地層の層理面が海岸線に平行な場合，崩落崖もまた一直線状に並ぶ。

c）　層すべり型



写真—7　北海道十勝野塚海岸の消波堤

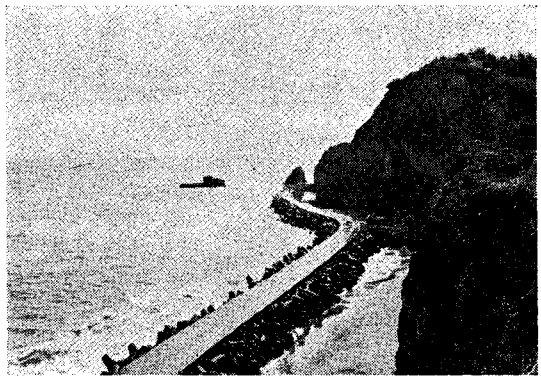
三沢砂岩層では，M_{cg}, M_{sc} のような強い岩石を挟在するために，侵食が早いところと，遅いところとがある。M_{ls}, M_{ss} は，海岸に向って急傾斜した層理面に支配された崩壊を示すのが特徴である（写真—5)。そのため，**図—17**(3) に示すようにノッチが形成されると，層理に沿ってすべり落ちるという形態をとっている。前二者のタイプの崖は垂直に近いが，このタイプでは層傾斜に近い約 70° の傾斜角をもっている。

（3）　海崖の侵食パターン

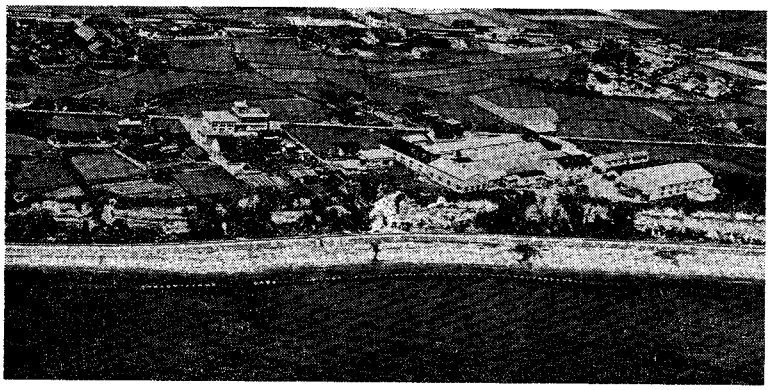
以上の地質的調査によれば，この地圧の侵食パターンは **表—5** に示すようであり海崖の侵食には岩石の物理的強度のほかに，割れ目系（ジョイント パターン）に着目する必要のあることが示された。　（大島　洋志）

5.　侵食対策工法とその問題点

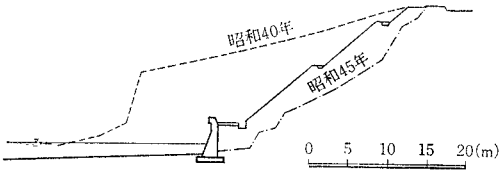
海崖の侵食を防止するための第一義的対策は，まず，波浪を直接海崖にあてないことである。このため，多くの海岸で護岸や異形ブロックによる消波堤が数多く用いられ，また，ときには離岸堤が設けられている。



写真—8　千葉県太東岬海岸の消波堤



写真—9　兵庫県東播海岸の離岸堤



図—18　青森県野辺地海岸の護岸

（1）消波堤

異形ブロックによる消波堤は，**写真—6** のように前浜上の崖ののり尻に設ける例が多い。前浜がなくとも，前面水深が浅ければ水中から陸上に簡単に設置できる。

しかし，前浜がなく前面水深が比較的深い場合や，外洋に面し，うねりが多く静穏度が低い場合，あるいは海底勾配が比較的急な場合などでは，作業船による海上からの異形ブロックの設置が困難なので，この場合には，**写真—7** のように消波堤の天端をならして舗装し，この天端を利用して重機を前進させる片押し方式が用いられた例がある。

（2）離岸堤

消波堤とほぼ同じ目的であるが，崖の前面水深の関係で作業船が崖に近寄りにくい場合は，崖から少し離して離岸堤の形で設置される場合もある。これは，ブロックのヤードや作業船の泊地等の条件によっては片押し方式よりも有利とされる場合である（**写真—8**）。

（3）護　　岸

前面海底，あるいはのり尻付近の基盤が比較的硬いような場合で，前面水深が比較的浅く，かつ海底勾配が緩やかの場合は，海崖の基部に直接海岸護岸を設置して成功したと思われる例が多い（**図—18**）。

以上の対策工法について問題点をあげると次のようである。

① これらの各対策工法は，いずれも崖の基部だけの保護に終始しており，前面海底の変化や侵食の進行に対して対応できる工法ではない。

② 前面海底勾配が比較的緩やかな場合にはあまり問題はないが前面が急深な海岸では消波堤や護岸のみでは対応できない。

③ 前面海底が多少軟かくとも岩質の場合はよいが，前面海底が，砂のような場合には，護岸を設置することによって前面洗掘を助長し，護岸が被災するおそれが強い。

④ 直接外洋に面し，うねりが卓越するような所では，護岸の設置は困難であるとともに，洗掘対策上も好ましいものではない。

一般に，現在各地で施工されている対策工法の多くは一応の成果をおさめつつあると考えられている。海食崖の前面海底は半固結または固結の堆積岩が多いので，般の砂浜海岸のように投入したブロックが短期間に沈下や埋没するおそれが少ないことが，その理由と考えられる。しかし，対策工法の設置後日なお浅く，まだその効果を云々する時期ではないという考え方もあり，上述の問題点に対してはなお将来の研究課題と考えられる。

（豊島　修）

6. 討　　議

以上の話題提供に対し1時間半の討議時間があてられた。ここでは，その概要について紹介する。

名古屋大学・足立昭平は，**図—6** A-Ⅲ より A-Ⅳ に至る過程について時間尺度が問題でないか。砂浜海岸であれば砂丘が発達するが，このような海崖の場合崖裾にテラスが発達し，さらに海底は平衡勾配に達することが起こりうるはずだし，したがって，A-Ⅳ に達すること，すなわち，侵食が進行することはかなり緩慢ではないかという問題提起を行った。鹿島建設・甲賀は，現在河川土砂はダム建設とか採取のために海岸線 1 m あたり年間 2 m³ の流出量の減少を見ており，このため海浜の後退速度が進んでいると見られるので平衡勾配に達しないと考えられるし，また，長周期波によってテラスがえぐられる可能性もあるのではないかという意見を出した。

これに対し，豊島より，泥岩の堆積物はかなり沖合まで流されてしまう。砂浜海浜では三歩後退二歩前進というような過程をとるが，泥岩海岸ではこのようなことは期待できないという説明があった。さらに堀川は，海崖

沖合の海底の構成が問題であり，最近調査した飯岡漁港の側では，沖合は一帯が岩盤でその上に数 m の厚さの砂が載っていたが，さらに往時河谷を形成していたと見られる凹部があって，ここに砂が溜っていたことがわかったが，このような場合には，漁港の中に砂が回り込むこともあると指摘した。さらに岩崎は，末続一広野間の沿岸沖合海底調査によれば，海底に砂層が厚さ 30 cm 未満に分布したことがあるが，ちょっとした波によって，この砂が激しく移動することが観測された事実を述べた。これらについで，北海道大学・尾崎晃より海崖の欠潰対策といっても，沖合海底地質や地形によってとるべき方法が異なるものと思われる旨の発言があり，これが一応当面の結論と考えられた。豊島は対策工法についてさらに補足し，海底の泥岩層の状態をよく調査して，ブロック積みを考えるべきであることを述べた。

運輸省・高井は対策として潜堤はどうかと質問した。これに対し豊島は，離岸堤は潜堤では効果が下がることは従来たびたび指摘してきたところで，水面より上に天端高を維持することが，どうしても必要であろうと答えた。

次に，東大・砂村は海崖の侵食パターンについて示された **図—14** に関連し，昭和 22 年から 48 年までの後退速度の平均値を略算すると，折木川一台の山トンネル間は 0.9 m/year で地層は H_d，台の山トンネル—南 300 m 間は 1.5 m/year で地層は H_{si}，夕筋トンネルは 0.18 m/year で地層は M_{ss} であり，これらの結果と **表—4** の岩石試験の結果を見ると，圧縮強度が強いほど侵食速度が小さく，ジョイント パターンによって短期間の侵食状態は異なっても，長期的に見れば，圧縮強度のみで侵食速度を関数的に表現してもよいのではないかと述べた。砂村は，かつてその発言の主旨のような研究発表を行っており，10^0kg/cm² の岩石での後退速度は 10^0m/year，以下 10^1～10^{-1}m/year，10^2～10^{-2}m/year，10^3～10^{-3}m/year などと略算しており，これと矛盾しないと考えた。

砂村は，さらにジョイント パターンによる侵食の定量化や，供試体と岩盤での弾性波速度の違いに対する取り扱いなどの問題点を指摘したが，海崖侵食についての永年の研究に基礎をおいた示唆にとむ発言であった。

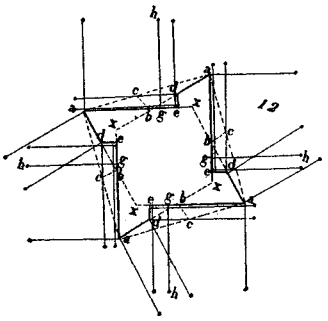
最後に北海道開発局・滝川は，海崖侵食といっても未開発のところが多いから，道路や鉄道は陸地へ逃げればよいではないかと意見を述べた。しかし冒頭に述べたように，わが国の海岸線の中で海崖の占める割合は意外に多く，狭少な国土においていたずらに侵食が進んでいるのを手をこまねいていることが妥当かどうか。永い後世に目を向けて検討を進めておくことが，やはり必要であると考えられた。

7. おわりに

海崖侵食に対する関心は必ずしも一般に高いとはいえないが，話題提供者の周到な準備と，参加者の熱心な討議によって，侵食の現状，性格，調査方法，対策に関して多くの有益な意見が出され，また，問題点が指摘されこれによって今後の研究の方向について示唆が与えられた。これらの方々に厚く謝意を表するとともに，これを契機として，今後この方面の研究，技術の進展が図られることを期待してこの報告を終わる。

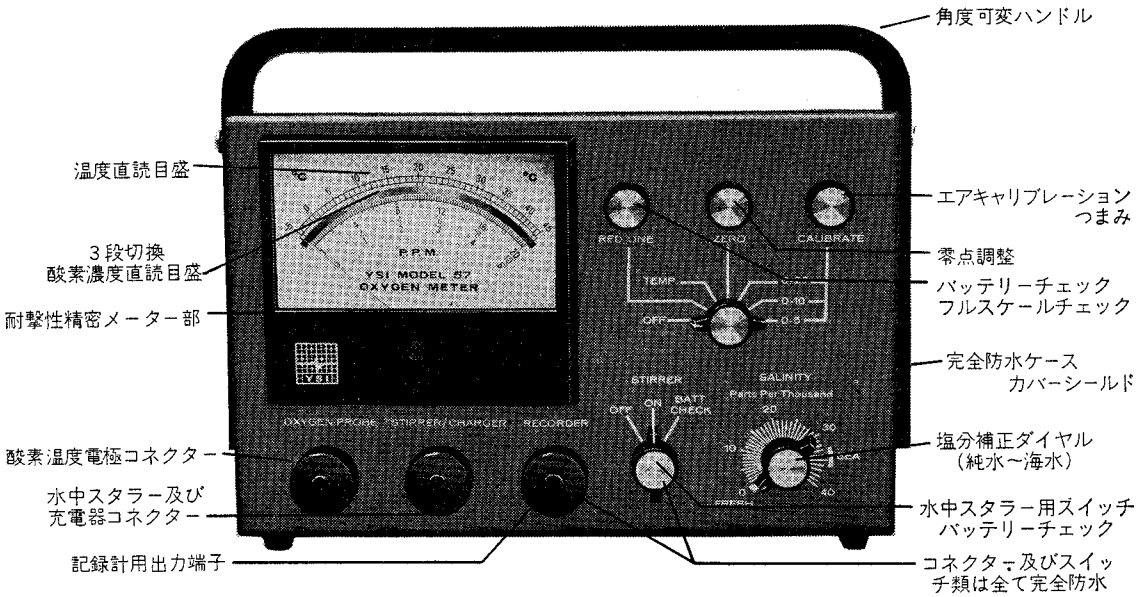
参考文献

1) Johnson, D.W.,: Shore Processes and Shoreline Development, John wiley & Sons Inc., 1919.
2) Valentin, H., : Die Kuste der Erde, Petermans Geographische Mitteilunger Erganzungsheft, 1952.
3) Shepard, F.P., : Submarine Geology, Harper & Row Pullishers, 1963.
4) Guilcher, A., : Coastal and Sulmarine Morphology, Methuen & Co. Ltd. 1958.
5) 堀川清司：海岸工学 —海洋工学への序説— 東京大学出版会，1973.
6) Steers, J.A., : The Coastline of England and Wales, Cambridge, 2nd ed. 1948.
7) 堀川清司・砂村継夫：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，1967.
8) 堀川清司・砂村継夫：海蝕崖の侵食に関する実験的研究，第 15 回海岸工学講演会講演集，1968.
9) 堀川清司・砂村継夫：千葉県屏風ケ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，1970.
10) 堀川清司・砂村継夫：千葉県屏風ケ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 4 報—第 18 回海岸工学講演会論文集，1972.
11) 大島洋志ほか：地質学的立場からみた海崖の侵食パターンについて—常磐海洋末続一広野間一鉄道技研速報 No. 74～20，昭和 49 年 3 月.



米国YSI社 ポータブル 溶存酸素計57型

エアキャリブレーション、自動温度補正、塩分補正、完全防水機構等のユニークな特徴を備え、操作が極めて簡単な精密溶存酸素計です。



完全防水機構のため水や湿気が入り込む恐れが全くありません。
耐撃性メーター部は衝撃に強く、特に野外や現場でのラフな扱いに耐えます。

仕　様

測定範囲	0～5PPM	精度±0.03PPM
	0～10PPM	精度±0.05PPM
	0～20PPM	精度±0.10PPM
温度補正	−5°～+45°C	自動温度補正
塩分補正	0～40‰	ダイヤル補正
応答時間	10～30秒	90％応答値

記録計出力	フルスケール　最大 125±10mV
使用電源	単2乾電池 2個　1000時間
水中スタラー出力	Ni-Cd バッテリー 5個 充電式
防水シールド	つまみ、コネクター、本体ケースカバー
寸法	21(高)×27.5(幅)×9(奥)cm、2.5kg

米国YSI社日本総代理店
株式会社 日科機
東　京：東京都千代田区一番町22-1　一番町セントラルビル　〒102　☎03-264-8191
大　阪：大阪市西区立売堀北通1－90　第3富士ビル　〒550　☎06-541-6682
名古屋：名古屋市千種区池下町1－59　王子ビル　〒464　☎052-762-5816
福　岡：福岡市博多区博多駅前1-3-2　八重州博多駅前ビル　〒812　☎092-441-8187