

茨城県北部海岸における海崖侵食特性

佐々木康子*・安原一哉**・宮崎数札***・村上 哲****

1. はじめに

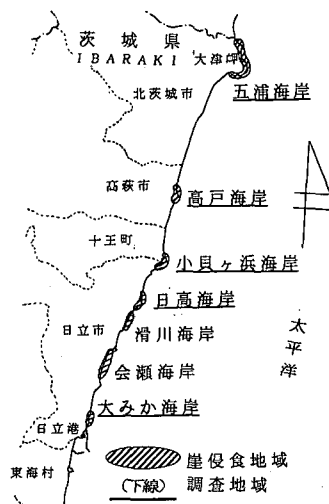
わが国は、北海道、本州、四国及び九州の4つの大きい島と、その周辺の約5,000余りの島々からなっており、四面を海に囲まれている。このため、陸と海との境界線である海岸線は34,480 kmに及び、諸外国と比較しても国土の大きさに対しかなり長い延長になっている。そして、変化に富んだ海岸線を有するため、各地の名所となっている所も珍しくない。

海岸といっても様々な形態の海岸があるが大別すると砂浜海岸、崖海岸の2種類に分けることができる。わが国では、両者共に後退が著しく、国土保全の立場から大きな問題となっているが、最近特に海崖侵食が、社会的にも重要な関心を集めるようになってきた。これは、海崖地域の公共施設や人家が崖の後退によって危険に曝される事例が、数多く見られるようになった等からであると考えられる。

茨城県北部の常磐海岸や福島海岸でも、慢性的な海崖侵食に悩まされているが、海崖侵食に関しては、砂浜海岸より生活圏の割合が少ない為か、海崖侵食に関する研究例は、砂浜侵食の研究に比べると数が少ない(宇多・山本, 1991)。また、茨城県においては、海崖侵食の実態を把握できる事例データやこのような侵食の特性を追求する研究も少ない。このため、茨城県海崖侵食の実態の把握をすることによって、その海崖侵食特性を明らかにすることが、まず必要であると考えた。そこで、本研究では、茨城県の北部海岸地域の海崖侵食を取りあげ、侵食の実態とメカニズムについて調査した結果を報告する。

2. 崖侵食地域及び調査地域の位置

茨城県沿岸地域は、北部の常磐沿岸と南部の鹿島灘沿岸とに大きく二分され、北部の常磐沿岸は、崖海岸と砂浜海岸が混在した海岸線を、南部の鹿島灘沿岸は、砂浜海岸線のみを有するという特徴がある。本研究では、北



図一 海崖侵食地域及び調査地域

部の崖侵食地域のうち、図一に示すように主な5海岸について調査した。

3. 崖海岸の侵食状況

(1) 崖海岸の特徴

調査した5海岸における侵食の特徴を、岩質、不連続性、前浜の有無、侵食過程について簡単に表一に示した。堀川・砂村(1967)によると、崖侵食には、2つのタイプがあり、それは侵食されると同時に崩落が起こるタイプ(タイプA)とノッチが形成された後に崩落が起こるタイプ(タイプB)である(図二)。そこで、表一の侵食過程の欄は、図二のタイプA、Bで表すことにした。

表一より、北部海岸の地質は、砂岩、泥質砂岩、泥岩、凝灰岩、石灰岩などであり、海岸線は非常に入り組み複雑な形態であるが、主に泥岩で形成され、節理が見られる。また前浜を有する海岸、有しない海岸が混在し、侵食過程は、ノッチを形成する場合が多いと言える。

(2) 崖海岸の侵食速度

本研究では、侵食速度を求めるために国土地理院より発行されている縮尺1:25,000の最旧版地形図と最新版

* 学生会員 茨城大学大学院理工学研究科博士前期課程
 ** 正会員 工博 茨城大学教授 工学部都市システム工学科
 *** 正会員 工修 三井共同建設コンサルタント(株)
 **** 正会員 工修 茨城大学助手 工学部都市システム工学科

表-1 各海岸の侵食の特徴

	五浦海岸	高戸海岸	小貝ヶ浜海岸	日高海岸	大みか海岸
岩質	泥質砂岩	泥岩	泥岩	泥岩	泥岩
不連続性	節理	節理 (海岸線に平行、鉛直方向に約25cm間隔)	節理 (真北方向に20~40cm間隔)	節理 (北西方向に約50cm間隔)	節理 (南西方向に約150cm間隔)
前浜の有無	無 (岩礁有)	無	無	有	有
侵食過程	石灰岩が残りキノコ状に進む	タイプA	タイプB	タイプB	タイプB

表-2 使用した地形図の年代

	地形図年代		時間 間隔
	最旧版	最新版	
五浦海岸	1967年(昭和42年)	1991年(平成3年)	24年
高戸海岸	1971年(昭和46年)	1991年(平成3年)	20年
小貝ヶ浜海岸	1967年(昭和42年)	1992年(平成4年)	25年
日高海岸	1967年(昭和42年)	1992年(平成4年)	25年
大みか海岸	1915年(大正4年)	1992年(平成4年)	77年

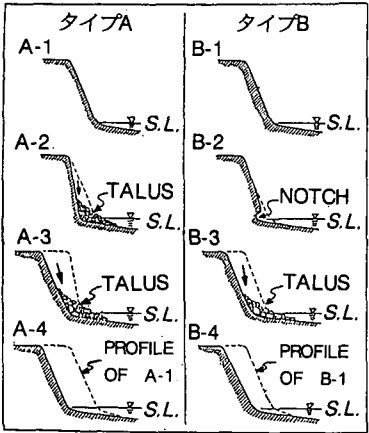


図-2 侵食過程の模式図 (堀川・砂村, 1967)

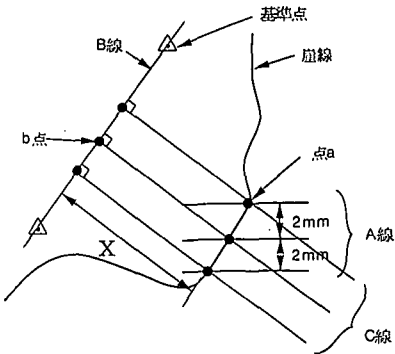


図-3 地形図による侵食速度計測の模式図

地形図を用いた、使用した地形図の年代を表-2に示す。
測定場所は、表-2に示した5海岸とし、最旧版地形図と最新版地形図を比較する方法で侵食速度を求めた。計測方法の模式図を図-3に示す。また、計測方法は、次の通りである。

まず、崖線に測点a(地形図上で2mm間隔、実際の距離では50m)を取り、緯線と平行に測線(A線)を引く。三角点などの長期間が経ても移動しない地点を選択し、測定したい崖線に極力平行になるように、その点同士を結ぶ(B線)。A線と崖線の交点(点a)から、B線に垂線(C線)を引き、点bからC線上の点aまでの差を測る。本研究では、この差を距離Xとし、時間間隔(年)で除した値を侵食速度とした。

以上のような計測から求めた各海岸の全測線の侵食速度を平均したものを、図-4に示す。この図より侵食速度は、泥岩は0.2~1.0m/年、泥質砂岩は約0.9m/年で、泥質砂岩は泥岩より比較的侵食が速いことが分かる。しかし、日高海岸の泥岩は、泥質砂岩より侵食速度が速い。これは、他海岸と比較して波が荒い、節理の数が多いなどの理由によるものと思われる。

4. 崖海岸侵食に関する考え方

崖侵食は、砂を巻き込んだ波が長時間崖に作用するこ

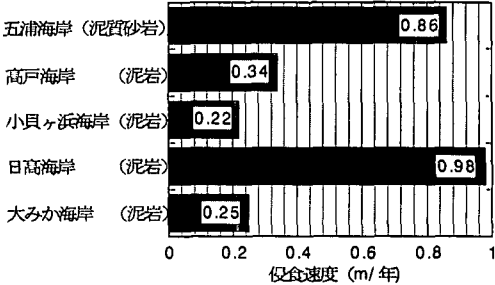


図-4 各海岸における平均侵食速度

とによって、崖の表面が徐々に削り取られていく摩耗作用に起因すると言われている (Sunamura, 1992)。図-5に示すように崖の侵食は、まず摩耗によるノッチの侵食が進み(段階1)、その後崩落が起こる(段階2)。この侵食過程における時間と侵食量の関係を示すと、図-6のようになり、長期的視野からすると崖の後退量はノッチの摩耗量に一致するだろう。すなわち、侵食量=摩耗量であると考えられる。摩耗のされ易さは、

- ① 抵抗力：崖を構成する岩石
- ② 作用力：波
- ③ 促進力：前浜砂

に影響されると思われることから、上記の崖の強度と物性、前浜砂の物性に着目した(図-7)。そして、前述した侵食状況、侵食距離との関係を調べるため、次の①~③の項目について、室内試験を行った。

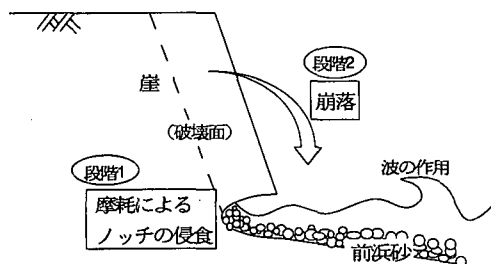


図-5 侵食の模式図

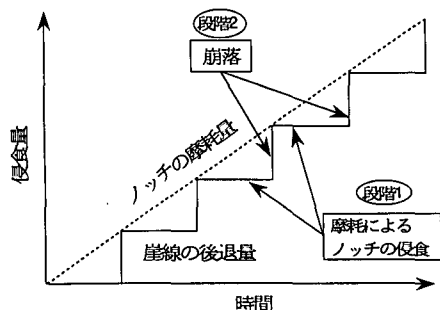


図-6 侵食量と時間の関係

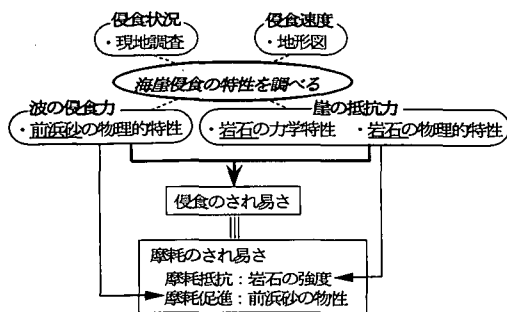


図-7 研究の着目点

- ① 崖を構成する岩石の粒度，密度試験
- ② 崖を構成する岩石の強度試験
- ③ 定期的に採取した前浜砂の粒度，密度試験

5. 調査，実験結果

(1) 崖を構成する岩石の物理的，力学的特性

a) 物理的特性 後述する崖を構成する岩石の前浜砂の供給源としての可能性について調べるために，崖を構成する岩石の試料を日高海岸では2層（泥岩）から，大みか海岸では4層（泥岩，砂岩）から採取し粒度試験（沈降分析）及び密度試験を行った。

試験の結果，砂岩の50%粒径は0.33 mmで，泥岩の50%粒径は0.03~0.06 mmであった。これより，泥岩の粒径は砂岩に比べかなり細かく，砂岩の1/5~1/10の粒

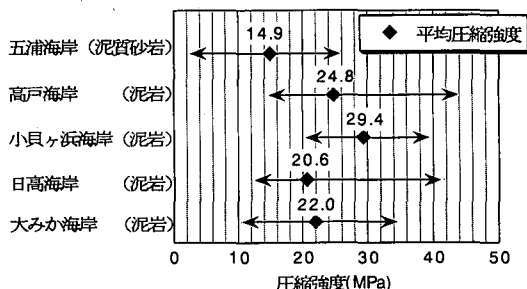


図-8 各海岸における平均圧縮強度

径であることが分かった。大みか海岸の前浜砂の50%粒径が，後述するように0.1~0.3 mmであるので，この砂岩は大みか海岸においては，比較的大きな粒径といえる。一方，泥岩は大変微小なものといえる。

また，泥岩の密度は2475.5~2630.9 kg/m³，砂岩の密度は約2263.8 kg/m³であった。このことから，泥岩の密度は，砂岩の密度より若干大きい傾向があると思われる。

b) 力学的特性（シュミットハンマーによる非破壊圧縮試験） 崖を構成する岩石の強度を調べるために，各海岸においてシュミットハンマーによる非破壊圧縮試験（1海岸につき約20点）を行った。測定された各海岸での岩石の強度を図-8に示す。図中の矢印は，最低値~最高値の範囲を示している。これによると平均圧縮強度は，泥岩が20.6~29.4 MPa，砂岩は約14.9 MPaで，砂岩は泥岩より強度が弱いことが分かった。

(2) 堆積する砂の物理的特性

崖の前面に前浜が無い海岸では，波だけが崖に打ちつけられる。一方，前浜を有する海岸では，波が前浜砂を巻き込むため，波と砂と一緒に崖に打ち付けられる。そのため，前浜が無い海岸の波より前浜を持つ海岸の波の方が，波に巻き込まれた前浜砂の影響により侵食に対する促進力大きいと予想される。

そこで，前浜砂の特性を調べるために大みか海岸，日高海岸より定期的に前浜砂を採取し，密度，粒度試験を行った。堆積砂のサンプルは，1994年の6~12月の大潮時に毎月1回，各々の海岸で2地点，更に1地点毎に波打ち際とノッチ下から採取した。各々の海岸のサンプルの採取地点及びその番号は，図-9，図-10の通りである。

粒度試験の結果から，日高海岸と大みか海岸における50%粒径の地点別経時変化を示したものが図-11と図-12である。この2つの図より海の平穏時（夏，7~8月）は，粒径が比較的小さいことがうかがえる。50%粒径は，日高海岸では0.2~0.9 mm，大みか海岸では0.1~0.6 mmである。

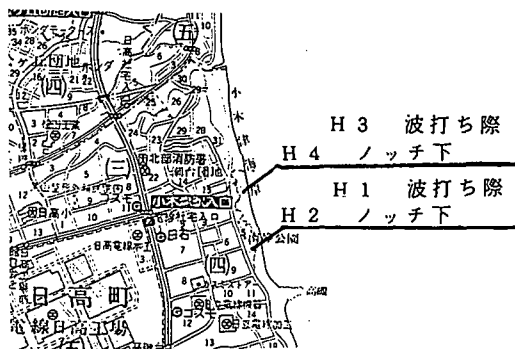


図-9 日高海岸の採取地点

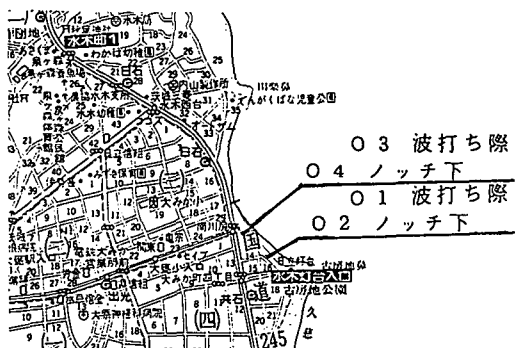


図-10 大みか海岸の採取地点

2つの海岸を比較してみると日高海岸の方が大みか海岸に比べ50%粒径が1.5~2.5倍ほど大きい。これは、波の影響(日高海岸はいつも波が荒く、大みか海岸はたいてい波が穏やかである)によるものではないかと思われる。

次に密度試験の結果を、図-13と図-14に示す。土粒子密度は、日高海岸では2666.0~2724.7 kg/m³、大みか海岸では2648.0~3116.0 kg/m³である。砂は普通、2600.0~2800.0 kg/m³程度の土粒子密度である。しかし、大みか海岸ではノッチ下の土粒子密度が3000.0 kg/m³以上の大きな値を示している。

そこで、大みか海岸のノッチ下の試料に関しては、粒度試験時に併せて砂鉄の含有率についても調べてみた。その結果が図-15である。この図と図-14を比較すると、土粒子の密度の変動に伴って、砂鉄の含有率も変動するという傾向がみられる。砂鉄の土粒子の密度を測定したところ4790.0 kg/m³であり、また、一般的な密度に比べて非常に大きいことから、前浜砂の土粒子密度は砂鉄の含有量に大きく依存しているものと思われる。前浜砂の土粒子密度が増加すると、崖侵食の速度が大きくなるという宮崎(1995)の模型実験の結果から、大みか海岸における砂鉄の含有量は、崖侵食に大きく影響を及ぼ

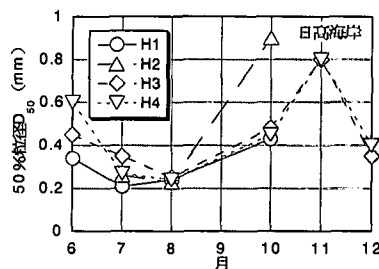


図-11 50%粒径の地点別経時変化(日高海岸)

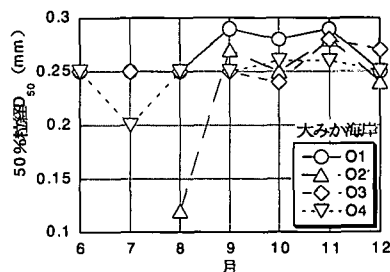


図-12 50%粒径の地点別経時変化(大みか海岸)

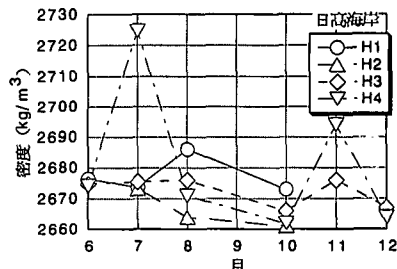


図-13 密度の地点別経時変化(日高海岸)

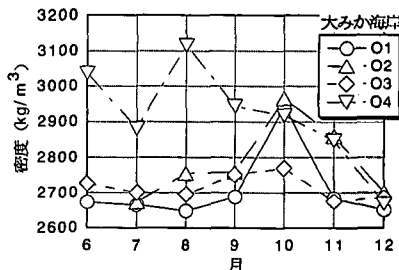


図-14 密度の地点別経時変化(大みか海岸)

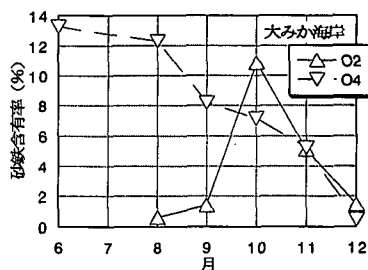


図-15 ノッチ下の試料の砂鉄含有率(大みか海岸)

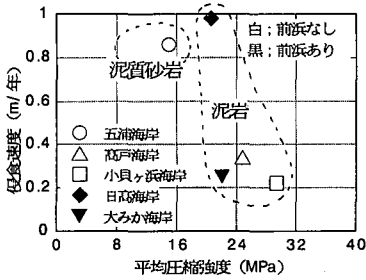


図-16 侵食速度と強度及び前浜の有無の関係

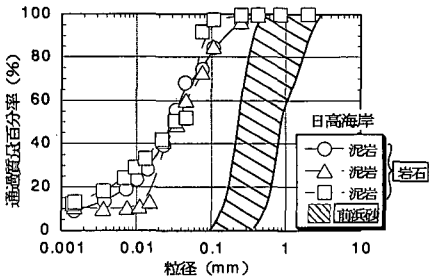


図-17 崖を構成する岩石と前浜砂の粒径の違い (日高海岸)

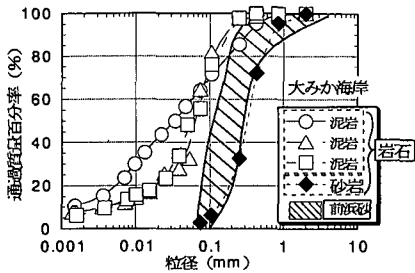


図-18 崖を構成する岩石と前浜砂の粒径の違い (大みか海岸)

していると思われる。

6. 海崖侵食に与える影響

(1) 侵食速度と岩石強度及び前浜砂の有無の関係

地形図より求めた各海岸における平均侵食速度と現地でのシュミットハンマーによる非破壊圧縮試験から得られた平均圧縮強度の関係を図-16に示す。これによると、岩質の違いによって強度や侵食速度が大きく変わり、泥岩より強度の小さい泥質砂岩の方が侵食が顕著であることが分かる。また、前浜がある海岸の方が、侵食速度が速い傾向がある。前述したように茨城県北部沿岸は主に泥岩であるため、侵食速度は0.2~0.6 m/年と比較的遅いが、泥岩でも日高海岸のように約1 m/年という速い

スピードで侵食が進む海岸も見られる。これは、波の力、前浜砂の有無、崖の岩層のクラックの存在が侵食に大きく関与しているためであると考えられる。

(2) 海崖侵食による前浜砂の供給

一般に前浜砂は、河川からの流出土砂、漂砂の他に、崖の侵食による岩石(土、砂)によって供給されると考えられている。本研究では、崖を構成している岩石が、前浜砂の供給源としての寄与の可能性について確かめる一手段として、前浜砂の粒度分布と岩石の粒度分布に注目した。図-17、図-18を見ると、崖を構成している泥岩は前浜砂よりかなり粒径が細かく、一方、砂岩の粒径は前浜砂とほぼ同じことが分かる。これより、崖を構成している岩石の中でも泥岩は前浜には堆積せず、砂岩のみ堆積していることが分かる。すなわち、粒径が小さいと漂砂となり易いと考えられるので、崖の岩質が泥岩の場合は、侵食が進行しているような砂浜海岸における供給源としての可能性は小さいと考えられる。

7. 主要な結論

本研究で得られた知見は、以下の通りである。

- ① 波に巻き込まれる砂(前浜砂)が有る海岸では、侵食が速く進行する傾向があり、前浜の有無によって崖の侵食の過程、速度が異なる。
- ② 前浜砂に金属成分(ここでは鉄分)が含まれることによって、崖侵食が促進する。
- ③ 崖侵食によって崩落した砂岩は、前浜砂の堆積に寄与しているが、泥岩の侵食によって削れた砂(シルト)は前浜に堆積せず、波により沖合に運ばれていると考えられる。したがって、泥岩の侵食が前浜砂の供給に関係しているとは、必ずしも言えない。

謝辞：本研究の一部は、茨城県土木部河川課及び高萩土木事務所の御協力によるところが大きい。付記して、謝意を表する次第である。

参考文献

- 宇多高明・山本幸次(1991): 茨城県、五浦海岸(岩石海岸)の地形学的特徴と侵食実態, 土木研究所報告, 第185号, pp. 1-15.
- 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回海岸工学講演会論文集, pp. 315-324.
- 宮崎数礼(1995): 海岸崖侵食のメカニズムと予測, 平成6年度茨城大学大学院修士論文, pp. 87-123.
- Sunamura, T. (1992): Geomorphology of Rocky Coasts, John Wiley & Sons Ltd, pp. 75-116.