

茨城県、五浦海岸（岩石海岸）の地形学的特徴について

宇多高明*・山本幸次**・砂村継夫***・前原隆生****

1. ま え が き

自然海岸は岩石海岸と砂浜海岸とに大別される。一般に、岩石海岸の地形変化は砂浜海岸のそれと比較してはるかに長い時間スケールを有している。砂浜では、新たに人工構造物を設置するとその影響により短期間に変形が生じる。変形が顕著に表われることから海浜変形には多くの注目が集まり、その変形過程や機構に関し多くの研究がなされている。これに比較すると岩石海岸に関する研究例は少ないようである。例えば、現地海岸の実態分析として、堀川・砂村（1967, 1969, 1970, 1972）は航空写真を用いて屏風ヶ浦の海食崖の後退状況を調べ、その後退速度を求めた。また、豊島（1965）は、花崗岩地域における海食洞等の侵食地形について研究した。更に、岩石海岸の侵食機構自体に関しては、堀川・砂村（1968）、Sunamura（1982）が実験的に研究し、崖基部における岩屑の摩耗作用により崖侵食が進むことを明らかにした。以上に述べた研究例はあるものの、研究を更に進展させるには、現地海岸の実態データがいまだ不足しているのが現状である。そこで本研究では茨城県北部に位置する五浦海岸を対象に現地調査を行い、その地形学的特徴を明らかにすることとした。

2. 五浦海岸の自然条件

五浦海岸は茨城県北部に位置し、SSW～NNE 方向に延びる海岸線より太平洋に突出した岬の先端部にある（図-1）。この海岸は、岩石海岸特有の自然景観と岡倉天心ゆかりの六角堂を有する名勝地となっているが、崖侵食が徐々に進み、最近では六角堂の保全上問題が生じている。本研究の調査区域は、大津港から長浜までの範囲である（図-1）。大津港から大津岬までの区域では、海岸線の屈曲は少ないが、大津岬から長浜までは小さい岬と入江で構成される。このような海食崖の後退には、

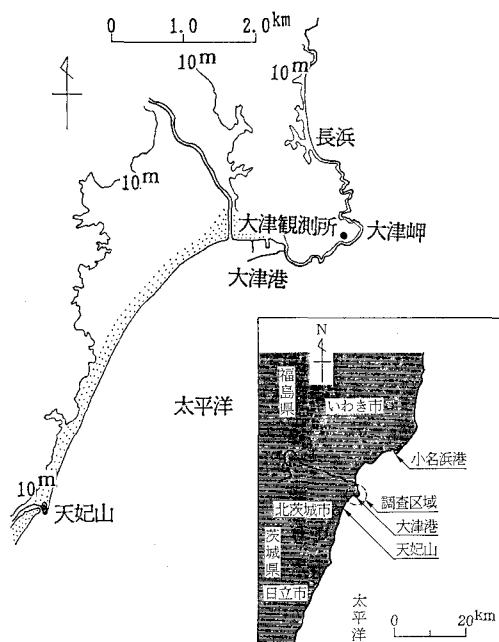


図-1 五浦海岸の位置

気象条件に依存した岩石の風化と、波の作用による摩耗作用が重要な要因となる（堀川・砂村, 1967）。そこで、まず気象条件と波浪条件について検討した。

五浦海岸の先端に位置する大津観測所で観測された1976年～1985年の気温資料のうち、各年の最高・最低気温および気温差を表-1に示す。各年の最低気温は平均約 -7°C である。このことは、冬期において岩石の割れ目に入った海水は十分凍結しうることを示している。岩石の割れ目内の海水が凍結すると体積が膨張し、割れ目を押し広げることになり岩石が劣化する。岩石が劣化すれば海食崖は崩壊し易くなると考えられる。

1926年～1979年の期間における大津観測所での雨量の出現頻度を図-2に示す。1年間の降水量としては1250～1500 mm の出現率が最も高い。この降水量によれば、岩質によっては地滑りや雨溝侵食が生じうると考えられる。

* 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長

** 正会員 建設省土木研究所海岸研究室

*** 正会員 工博 筑波大学教授 地球科学系

**** 正会員 (株)建設技術研究所

表-1 年最高気温・最低気温

年	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
最高気温 (°C)	29.0	32.0	30.9	31.8	27.6	30.7	28.3	33.4	34.0	32.1
最低気温 (°C)	-7.0	-8.0	-7.4	-5.9	-6.8	-6.2	-6.7	-6.6	-8.2	-7.6
気温差 (°C)	36.0	40.0	38.3	37.7	34.4	36.9	35.0	40.0	42.2	39.7

大津港から SSW 方向に約 5 km 離れた天妃山沖において 1984 年 4～11 月に観測された波向別波高出現頻度と、小名浜港沖で 1975 年～1984 年に観測された波向頻度（運輸省，1985）を図-3 に示す。天妃山沖では出現率の最も高い波向は ESE 方向であって，E，SE 方向がこれに次いでいる。小名浜港においても出現率の最も高い波向は ESE 方向である。波向の観測時期は両地点で異なるものの，卓越波向の方向は良く一致する。また潮位に関しては，大津港における潮位観測によると大潮時の平均潮差は 0.8 m～1.0 m であり，朔望平均満・干潮位はそれぞれ T.P. +0.39 m，-1.15 m にある。ここに T.P. は東京湾中等潮位（Tokyo Peil の略）である。

五浦海岸周辺の海底地形を図-4 に示す。水深の基準

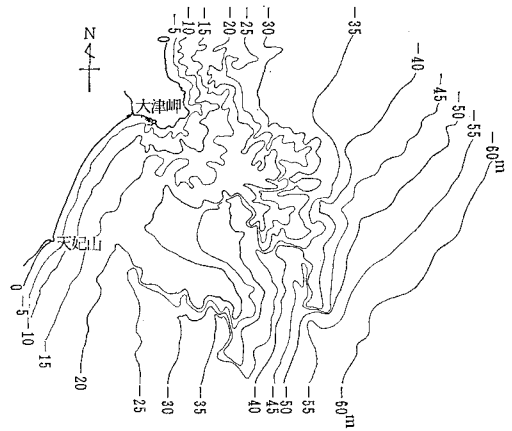


図-4 五浦海岸周辺の海底地形

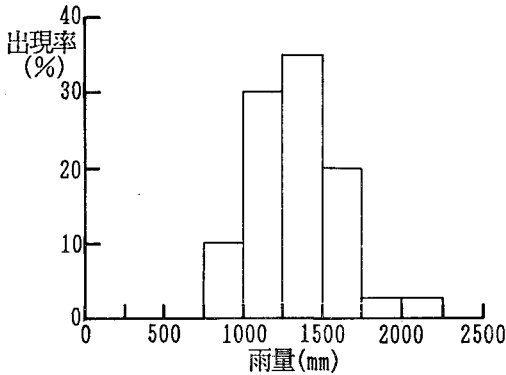


図-2 五浦海岸の降水量分布

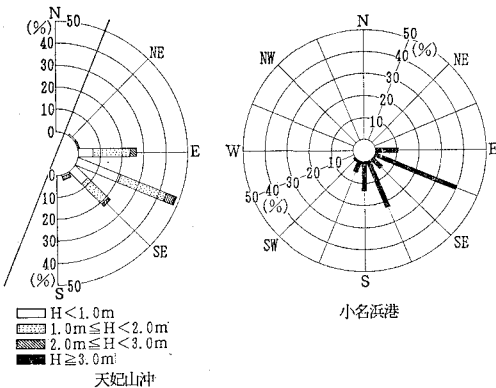


図-3 天妃山沖および小名浜港における波向出現率

は T.P. 0 m とした。-60 m 以深の等深線はほぼ直線状であり，SSW～NNE 方向に延びている。この方向は全体的な海岸線方向（図-1 参照）と一致する。大津岬沖の -20 m～-55 m の等深線は非常に複雑な形状を有しているが，E～SE 方向の -5 m～-20 m の範囲には緩斜面が存在し，その緩斜面の発達方向は卓越波浪の入射方向（E～SE）とほぼ一致している。

3. 海崖の地形特性

3.1 崖表面における地層分布

五浦海岸の地形特性を図-5 に示す区間（A～D）で

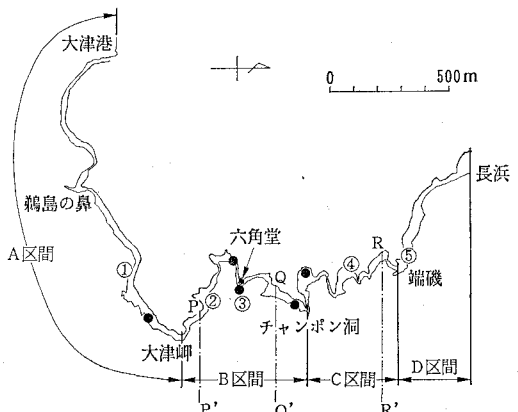


図-5 五浦海岸での調査区間

調査した。A区間は大津港から大津岬までの比較的なだらかな海岸線の区域である。B区間は大津岬先端からチャンボン洞までの湾入部であり、ここには六角堂が位置する。C区間はチャンボン洞から端磯までの湾入部、D区間は端磯から長浜までの区間である。まず、図中の●印(5点)において岩石を採取し、分析した。また、各区間において海崖の高さと地層の分布を海上より調べた。崖の高さは巻尺等を用いて実測し、地層分布はあらかじめ用意した崖の断面形にスケッチして求めた。目測であるから地層の位置の測定精度は数十cmのオーダーである。更に、①～⑤の地点で崖の状況を写真撮影した。

海崖の断面形は20測線で調べた。これらのうち代表的な3測線(P-P', Q-Q', R-R', 位置は図-5参照)の断面形を図-6に示す。海崖はほぼ垂直に切り立っており、海面下には波食棚が形成されている。また崖の基部(海面付近)には波食窪が形成されていることが分かる。

図-5の●印の5点で採取した岩石の分析結果を表-2に示す。地層は砂岩・泥質砂岩層、凝灰岩と泥岩の細かい互層(以下、凝灰岩・泥岩互層)、石灰岩層の3つに大別できる。砂岩・泥質砂岩層の岩質は、乾燥比重が1.1~1.2、吸水率が37~42%の軟岩である。乾湿繰り返し試験によると、採取した試料は4回以内で砂泥状に崩壊した。また、この層の特性として節理が少いことが挙げられる。凝灰岩・泥岩互層の岩質は、乾燥比重が0.9~1.0、吸水率が61%の軟岩である。乾湿繰り返し

試験では凝灰岩と泥岩の吸水膨張率が異なるため、層理面に沿って崩壊した。また、この層には層理面に直交した節理が発達している。石灰岩層の岩質は、乾燥比重が2.0~2.6、吸水率が10%以下の中硬岩である。乾湿繰

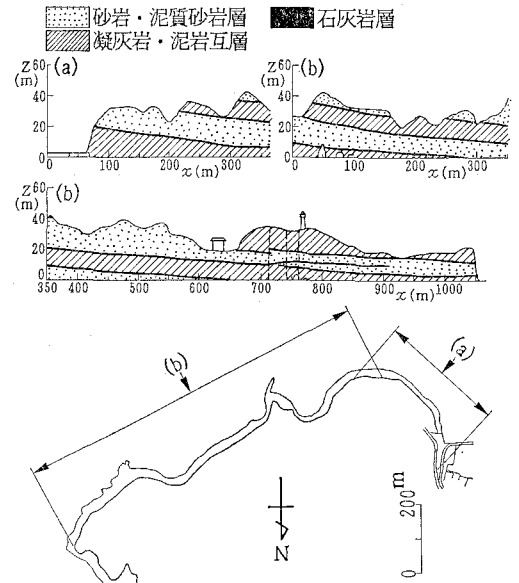


図-7 崖高と地層の沿岸方向分布(A区間)

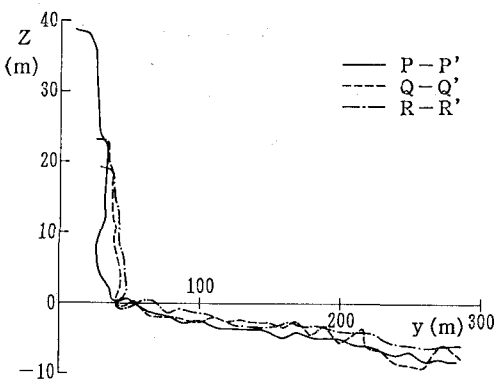


図-6 3測線(P-P', Q-Q', R-R')に沿う断面形

表-2 各地層の物理的特性

地層名	硬さ	乾燥比重	吸水率(%)	乾湿繰り返し試験結果
砂岩・泥質砂岩層	軟岩	1.1~1.2	37~42	4回以内で崩壊
凝灰岩・泥岩互層	軟岩	0.9~1.0	61	4回以内で崩壊
石灰岩層	中硬岩	2.0~2.6	1.4~7.4	6回で崩壊せず

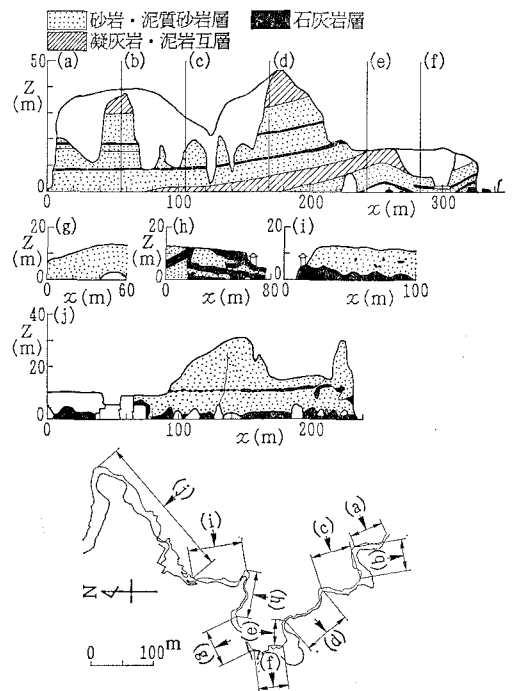


図-8 崖高と地層の沿岸方向分布(B区間)

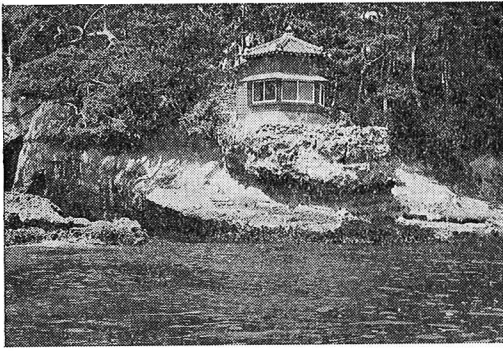


写真-1 六角堂とその周辺の海食地形

り返し試験では、6回繰り返しても崩壊しなかった。

次にA～D区間の地層分布について述べる。最初に、A区間の崖の高さと地層の分布を図-7に示す。崖の高さは岬の先端に向かうと低くなり、またいずれの地層とも斜向している。砂岩・泥質砂岩層と凝灰岩・泥岩互層は層厚が10～20 mと比較的厚いが、石灰岩層は1 m未満と薄い。海面付近には凝灰岩・泥岩互層と砂岩・泥質砂岩層が分布している。燈台付近に断層があり、石灰岩層は不連続になっている。

図-8にはB区間の崖の高さと地層の分布を示した。崖の高さは、六角堂付近の湾入部分で約10 mと低く、チャンポン洞に向かうと高くなる。(a)～(f)の区間の地層はA区間と同様な特性を示すが、六角堂付近から北側((h)～(j))では石灰岩層が厚くなる。海面付近の層は石灰岩層となり、海食洞が多くなる。写真-1は六角堂付近の状況である。石灰岩層は、波食を受けにくいために海側にせり出している。一方、砂岩・泥質砂岩層の部分は波食により削られ、波食窟が形成されている。六角堂は石灰岩層の上に建てられているが、石灰岩層の下は砂岩・泥質砂岩層が侵食されているため不安定な状態となっている。

C区間の崖の高さと地層の分布を図-9に示す。B区間と同様に湾入部では崖の高さが低く、岬の先端が高い傾向を示す。地層はA区間のような平行地層ではなく、砂岩・泥質砂岩層中に石灰岩層が局所的に集中している。また、断層で区切られた凝灰岩・泥岩互層のみの区間がある。

D区間の崖の高さと地層の分布を図-10に示す。崖の高さは端碣から長浜に向かうと低くなる。砂岩・泥質砂岩層にある石灰岩層が断層によって不連続になっている。海面付近の地層は、南側では砂岩・泥質砂岩層、北側では凝灰岩・泥岩互層である。

3.2 崖の後退速度

1980年4月と1985年1月に撮影された航空写真を比較して地形変化を調べた(図-11)。最大変位は、各々1.5

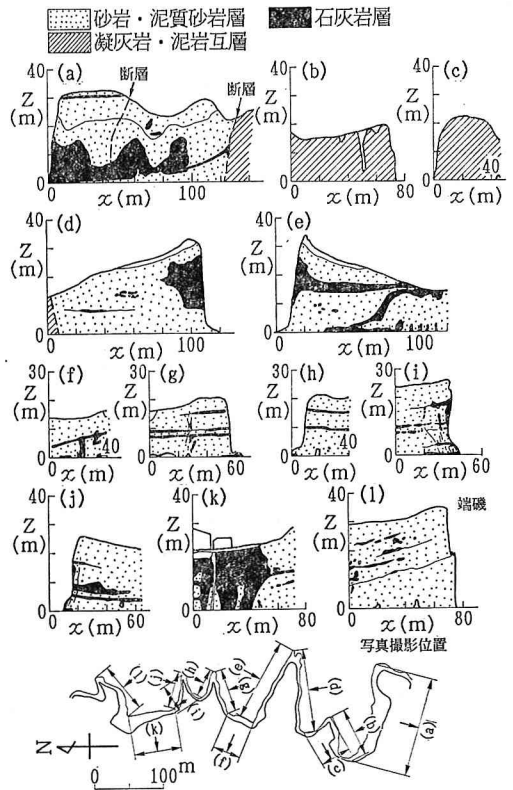


図-9 崖高と地層の沿岸方向分布(C区間)

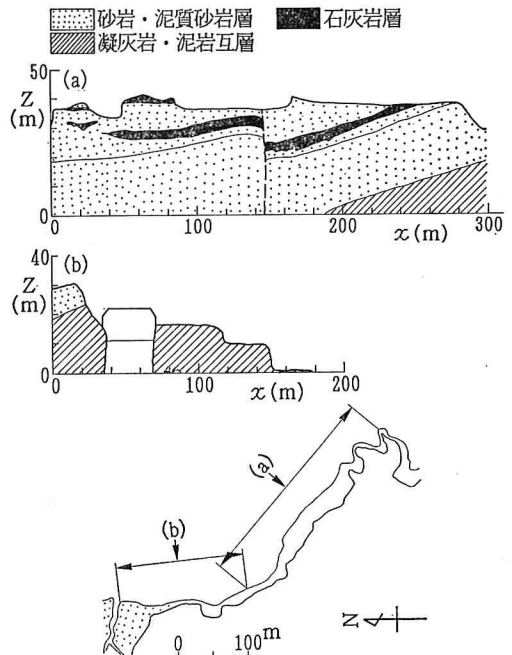


図-10 崖高と地層の沿岸方向分布(D区間)

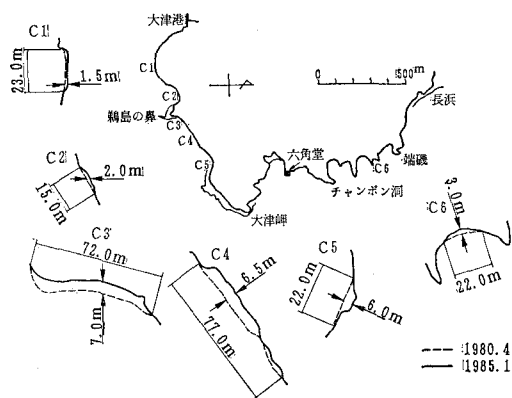


図-11 海食崖の後退量の場所の分布

m (C1), 2.0 m (C2), 7.0 m (C3), 6.5 m (C4), 6.0 m (C5), 3.0 m (C6: むなじ窪) である。C1～C6 の侵食速度を求めると、その最大値は C3 の 1.4 m/yr であり、平均値は 1.1 m/yr である。この値は五浦海岸と同様の砂岩・泥岩からなる海食崖の平均後退量である 0.3～1.1 m/yr (堀川, 1973) と比較すると若干大きい値となっている。

1980年～1985年の期間では、主に五浦海岸の南部で侵食が進んだ。このことは、図-3 に示す波向別波向出現率と図-7～10 に示した地層分布と良い対応を示す。水に対して不安定な岩質の凝灰岩・泥岩互層や砂岩・泥質砂岩層が海面付近に分布し、波浪の入射頻度も高い南部では侵食が進んだ。一方、波浪の入射頻度は高いが、石灰岩層が海面付近に多く分布している東部では、崖の後退は局所に限られる。しかし、航空写真では海食洞や波食窪の形成状況は把握できないことから、海岸東部では海食洞の形成が進んでいるものと考えられる。また、南部と同様に海面付近に凝灰岩・泥岩互層や砂岩・泥質砂岩層が分布している北部では、北からの波浪の入射頻度が低いため後退速度は小さい。

4. 結 論

本研究の主要な結論を以下に示す。

①五浦海岸における各年の最低気温は平均約 -7°C である。この条件では、冬期において岩石の割れ目に入った海水が凍結膨張し、岩石を劣化させると考えられる。また、1年間の降水量としては 1250～1500 mm の出現率が最も高く、この条件では岩質によっては地滑りや雨濡侵食が生じうると考えられる。

②当海岸への来襲波の出現率の最も高い波向は ESE 方向であり、E, SE 方向がこれに次ぐ。

③当海岸の地層は砂岩・泥質砂岩層、凝灰岩・泥岩互

層、石灰岩層の3つに大別された。岩石試験によると、砂岩・泥質砂岩層は、水に対して岩質が不安定で砂泥状に崩壊した。凝灰岩・泥岩互層は、凝灰岩と泥岩の吸水膨張率が異なるため層界面に沿って崩壊することから水に対して岩質が不安定であった。一方、石灰岩層は吸水率が小さく、水に対して安定した岩質であった。

④1980～1985年の期間で崖の後退速度を求めると、最大値は 1.4 m/yr、平均値は 1.1 m/yr であった。この値は五浦海岸と同様の砂岩・泥岩から成る海食崖の平均後退量である 0.3～1.1 m/yr (堀川, 1973) と比較すると若干大きい値であった。

⑤波向出現率、地層分布、海食洞の分布および崖の後退速度等の面より、五浦海岸の北部、南部、東部の海食崖はそれぞれ異なった特徴を示した。海岸南部では、凝灰岩・泥岩互層や砂岩・泥質砂岩層が海面付近に分布し、波浪の入射頻度も大きいため崖の崩壊が生じ、崖の後退速度も大きい。一方、東部では波浪の入射頻度は大きい、石灰岩層が海面付近に多く分布しているため海食洞や波食窪の海食地形が形成され易い。また北部では、南部と同様に凝灰岩・泥岩互層や砂岩・泥質砂岩層が海面付近に分布しているが、北からの波浪の入射頻度が低い崖自体の崩壊や海食地形は生じにくい。

謝 辞

本研究を進めるに際しては、瀬谷義彦茨城大学名誉教授を委員長とし、鈴木昌友茨城大学教授、斉藤登志雄茨城大学教授、後藤末吉茨城大学五浦美術研究所長ほか、茨城県の代表者からなる「五浦海岸侵食対策検討委員会」の調査資料の一部を使わせていただいた。ここに記して関係諸氏に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 運輸省小名浜港工事事務所 (1985): 小名浜港気象海象記録整理報告書。
- 豊島吉則 (1965): 花崗岩地域の海食地形—山陰、浦富海岸の事例、鳥取大教育研究報, 16, pp. 1～14.
- 堀川清司 (1973): 「海岸工学」, 東京大学出版会, p. 199.
- 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): 海食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, pp. 149～157.
- 堀川清司・砂村継夫 (1969): 千葉県屏風ヶ浦の海岸侵蝕について—航空写真による海蝕崖の後退に関する研究—第2報一, 第16回海岸工学講演会講演集, pp. 137～146.
- 堀川清司・砂村継夫 (1970): 千葉県屏風ヶ浦の海岸侵蝕について(2)—航空写真による海蝕崖の後退に関する研究—第3報一, 第17回海岸工学講演会講演集, pp. 289～296.
- 堀川清司・砂村継夫 (1972): 千葉県屏風ヶ浦の海岸侵蝕について(3)—航空写真による海蝕崖の後退に関する研究—第4報一, 第19回海岸工学講演会講演集, pp. 13～18.
- Sunamura, T. (1982): A wave tank experiment on the erosional mechanism at a cliff base, Earth Surface Processes and Landforms, 7, pp. 333～343.