

砕波による波食棚の形成に関する一実験

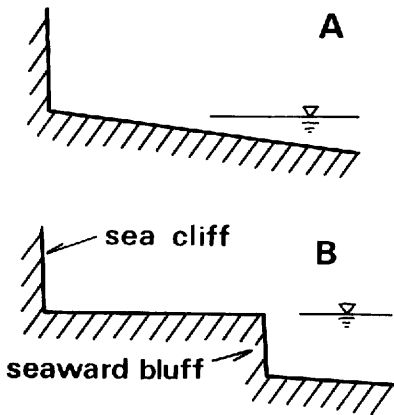
A Wave Tank Experiment on the Formation of Shore Platforms

辻本英和*・砂村継夫**

Hidekazu TSUJIMOTO and Tsuguo SUNAMURA

I はじめに

波食棚は主として潮間帯にあり岩盤から成るほぼ水平な棚状地形である。この波食棚には2つのタイプがみられる(第1図): Aは海側に緩やかに傾斜した波食棚で、海側に明瞭な傾斜の変換点を持たず浅海底に連続する。Bはほぼ平坦な波食棚で、海側末端に急崖(Seaward bluff)が存在する。この海側末端の崖の成因について研究者によって見解が異なっている。豊島(1967)やTrenhaile(1978)は、海側末端の崖も海食崖(Sea cliff)と同様に侵食されて後退するが、海食崖の後退量の方が大きいため波食棚が形成されるものと考えている。それに対してCotton(1963)は、海側末端の崖は“initial profile of a steep drowned coast”であり、ほとんど侵食されていないものと考えている。



第1図 2つのタイプの波食棚

現地海岸においてこのような地形を調べるにはその地形が現在形成されているものかどうかという問題の他にも、侵食がおこるとされる暴浪時には危険を伴い実質的に調査が不可能であること、時間スケールの大きな現象であるためある時間断面での地形変化しか捉えることができないことなどの問題点がある。そこで造波水路を用いた実験からのアプローチが試みられている(Sunamura, 1975, 1977, 1982)。水路実験では波による侵食のみを取り扱うことができ、波浪条件を制御することが可能であり、地形変化の時間スケールを測定可能な範囲にまで小さくすることができる。本研究では二次元造波水路を用いた実験を行い、波食棚海側末端の崖が侵食されて後退するかどうかを明らかにすることを試みた。

崖に波を作用させる場合、波高と崖前面の水深との関係によって重複波、砕波、砕波後の波、という3種類の波が生じる。波高が同じならば砕波が最も大きな侵食力を持つ(Sunamura, 1975)ので本実験においては急崖に砕波を作用させた。

II 実験概要

本実験は水理実験センターの二次元造波水路(長さ21m, 高さ0.7m, 幅0.5m)を用いて行った。水路の一端に1/20勾配の斜路を作り、その斜路の上に崖を作った。

崖を構成する模型材料は、実際の海岸を構成している岩石の力学的性質と類似していること、水に溶けず、水中で自立可能であること、強度が小さくこの実験で用いた波で侵食可能であること、

* 筑波大学・院・地球科学研究科 ** 筑波大学地球科学系

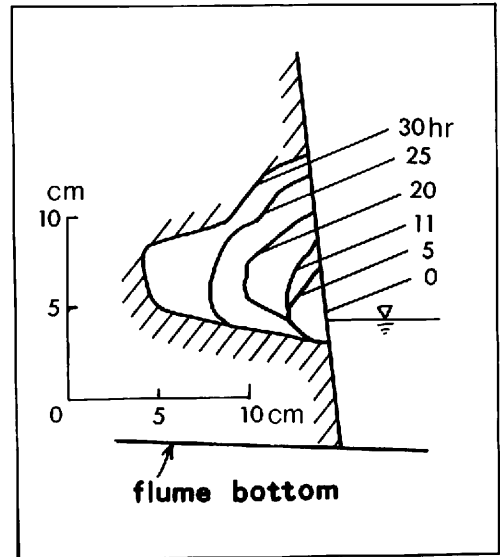
(1984年6月4日受理)

そして安価であることなどの条件を満足しなければならぬ。このような条件を満たす材料としてポルトランドセメントと砂とを水で練り合せたものを用いた。この材料はセメントと砂との混合比を変えることによって様々な強度を持つ崖を作ることができる。また養生に長時間を要するが、十分に水中養生した後は強度の時間的変化が少なく場所的にも均質な強度を持つ崖が形成される(Sunamura, 1973)。本実験に用いた材料は、セメント、砂、水の重量比が1:300:100であり、圧縮強度は160 g/cm²を示した。なお、砂は粒径0.2mmの豊浦標準砂を用いている。

崖に作用させる波は水路の他端にあるflap型造波機によって作り出した。波高は造波機のアームの長さを調節することによって、周期はモーターの回転数を変えることによって、それぞれ無段階に調節することができる。実験波は、波高と周期を調節して崖の前面でちょうど砕波が生じるようにした。本実験で用いた波は周期2秒、砕波波高8 cmである。

III 実験結果および考察

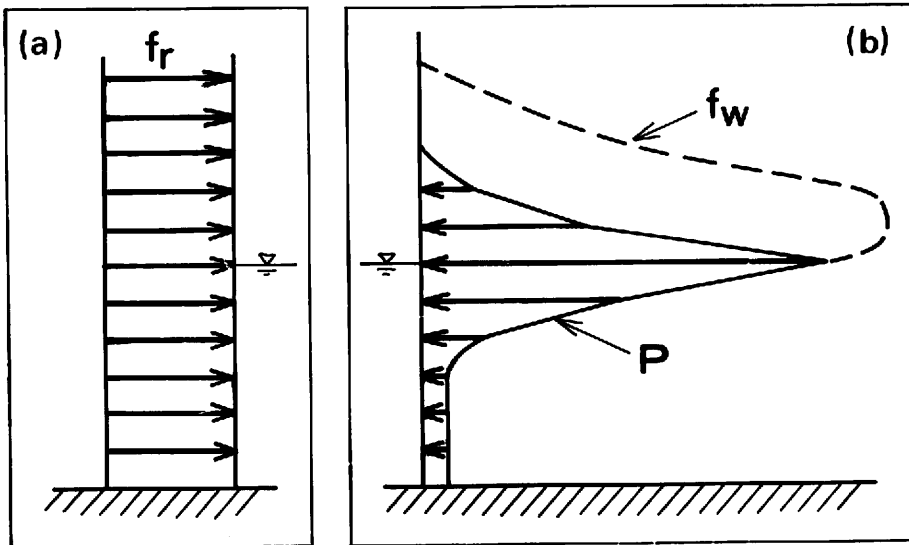
波を作用させ始めると、最初に静水面付近で侵食が始まりノッチが形成される(第2図)。時間と



第2図 セメント・砂で作った崖のプロファイルの変化

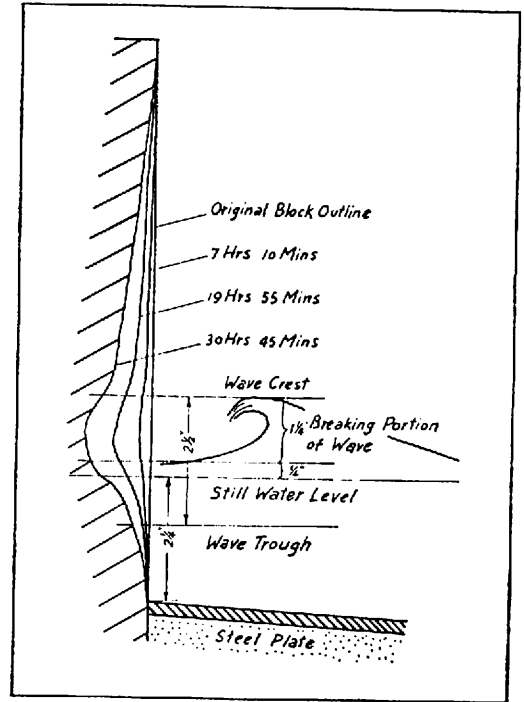
ともに侵食がすすみノッチは深くなっていくが、鉛直下方へは侵食がすすまず、静水面下1 cmより下では侵食がおこらなかった。すなわち、Cotton (1963) のように初期のプロファイルがそのまま海側末端の崖となって残された。

このことは波の侵食力と岩石の抵抗力とによって次のように説明できる。一般に、岩石海岸にお



第3図 崖の抵抗力の分布と砕波による波圧および侵食力の分布

いて侵食がおこるかかどうかは波の侵食力 f_w と岩石の抵抗力 f_r との大小関係によって決まり、その限界は $f_w = f_r$ である。ここで用いた模型材料は、き裂や不均質な部分がなく均一であるため f_r に鉛直方向の変化がないものと考えられる（第3図-a）。一方、侵食力は鉛直方向に分布を持っている。第3図-bは、Minikin (1950) が求めた公式によって描かれた波圧の分布図である。碎波による波圧は静水面にピークを持ち、それ以下のレベルでは急激に減少している。実験室においてもいくつか碎波による波圧が求められており、研究者により波圧のピークを示すレベルは多少異なるが、静水面もしくはその少し上のレベルにピークがありそれ以下のレベルでは波圧は急減している（第4図）。波の圧力は崖に垂直方向の水粒子の速度成分 (u) の二乗に比例する。崖に垂直方向の波の侵食力は u もしくは u^2 に比例すると考えられるので、圧力の分布は侵食力の分布をも表わしているものと思われる。しかし、碎波後の水塊は崖面をはい上り、崖に平行な方向の力を崖面に作用するが、水面より下のレベルでは水がクッションの役割を果たし水塊が下方へ動くのを防いでいるため侵食力は下方向へは及ばない (Sunamura, 1975)。それ故侵食力は第3図-bに破線で示した

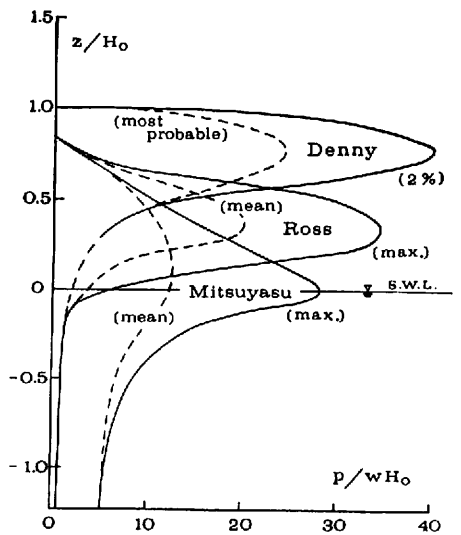


第5図 石膏・砂で作った崖のプロファイルの変化 (Sanders, 1968)

ような分布を持つものと考えられる。

第3図-aのように一様な抵抗力を持つ崖に第3図-bの破線のような鉛直方向の分布を持つ侵食力が作用すると、侵食力の大きな静水面付近では侵食がおこりノッチが形成されるが、それ以下のレベルでは抵抗力が侵食力を上回る場合には長時間波を作用させても侵食はおこらない。そのため海側末端の崖は侵食されずに原地形のまま残るものと考えられる。

同様の実験は既に Sanders (1968) によって行われている。しかし彼の実験では模型材料として砂に結合剤として石膏を混合したものを用いている。石膏は、一旦固結した後も長時間水中に浸しておくとも化学変化をおこし溶解し始めるので鉛直方向の抵抗力の分布が不均等になる (砂村, 1975)。結果は第5図に示すように底面まで侵食が及んでいる。これは、侵食力のきわめて小さい底面付近においてさえ侵食力が抵抗力を上回って侵食が生じているものと考えられる。



第4図 碎波による波圧の分布 (光易, 1971)

IV おわりに

二次元造波水路を用いて崖侵食の実験を行った結果、崖が非溶解性の物質で作られている場合には海側末端の崖が侵食されずに残ることがわかった。これは抵抗力と侵食力の分布から説明することができる。侵食力が鉛直方向に分布を持っているため、崖を構成する材料の抵抗力が鉛直方向に均一であっても結果としてあらわれる地形変化は鉛直方向に異っている。すなわち、侵食力の大きい水面付近およびそれより高い所では侵食がおこるが、それ以下のレベルでは抵抗力が侵食力を上回り侵食されない。

謝 辞

造波水路の補強・改良にあたっては水理実験センター小島豊盛技官に御協力いただいた。ここに記して感謝の意を表します。なお、本研究は昭和58年度文部省科学研究費（一般研究B58460241, 代表者：砂村継夫）による研究の一部であることを付記する。

文 献

光易 恒 (1971) : 砕波の波圧. 土木学会編『水理公式集』土木学会, 515-518.
砂村継夫 (1975) : 波による岩石海岸の地形変化——最近の研究とその問題点——. 地理評, 48, 395-411.

豊島吉則 (1967) : 山陰海岸における海蝕地形に関する研究. 鳥取大学教育学部 研究報告 (自然科学), 18, 64-98.
Cotton, C. A. (1963) : Levels of planation of marine benches. *Zeitschr. Geomorphologie*, 7, 97-111.
Minikin, R. R. (1950) : *Winds, waves, and maritime*. Charles Griffin. (堀川清司編 (1973) : 『海岸工学』 東京大学出版会, 317 p. による).
Sanders, N. K. (1968) : Wave tank experiments on the erosion of rocky coasts. *Papers Proc. Roy. Soc. Tasmania*, 102, 11-16.
Sunamura, T. (1973) : Coastal cliff erosion due to waves—field investigations and laboratory experiments. *Jour. Fac. Eng., Univ. Tokyo*, 32, 1-86.
Sunamura, T. (1975) : A laboratory study of wave-cut platform formation. *Jour. Geology*, 83, 389-397.
Sunamura, T. (1977) : A relationship between wave-induced cliff erosion and erosive force of waves. *Jour. Geology*, 85, 613-618.
Sunamura, T. (1982) : A wave tank experiment on the erosional mechanism at a cliff base. *Earth Surface Processes Landforms*, 7, 333-343.
Trenhaile, A. S. (1978) : The shore platforms of Gaspé, Québec. *Ann. Assoc. Am. Geogr.*, 68, 95-114.