琉球大学学術リポジトリ

[論文]
沖縄島荒崎におけるサーフベンチの発達要因について

メタデータ	言語:
	出版者: 沖縄地理学会
	公開日: 2018-11-16
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 森山, 靖
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/0002017715

沖縄地理　第4号
39－52頁　(1997)

Bull. Okinawa Geogr. Soc.
No.4, p.39－52　(1997)

沖縄島荒崎におけるサーフベンチの発達要因について

森　山　　靖*

I　はじめに

サーフベンチ（surf bench,以下で単にベンチと言う場合はこのサーフベンチを指す)とは，海崖から沖方向へ広がり，やや狭く，ほぼ水平なridgeで，生物の付着が関わっているものとされている（Focke, 1978, p.345). サーフベンチは生物の付着保護によって発達する地形であるから，一般に言う波食棚（wave cut bench), あるいは Type-B platform (辻本, 1985; Tsujimoto, 1987)とは形態は同じでも成因が異なる地形である．本研究ではそれを意識した上で，サーフベンチという用語を使用する．琉球列島にはサーフベンチがしばしばみられ，沖縄島では残波岬や荒崎など，波の荒い石灰岩からなる岬などに良好に発達している．

これまで石灰岩の海岸過程では非石灰性の岩石海岸にはたらく物理的（波の破砕や砂礫による削磨）な作用は勿論，化学的・生物的な作用が多くの研究者によって強調されてきた．Trudgill (1976)は海崖の侵食について，実測を通して各地形プロセスの割合を示している．Spenser (1985)はサーフベンチを含めた石灰岩海岸の侵食速度について測定を行っている．しかし，いずれも石灰岩海岸での海岸過程において，岩石の性質や波の作用の定量的な評価を行っていない．ノッチ（notch)の形成要因を論じた武永（1968）も，これらを定量的に調査してはいない．同様に，Focke(1978)によるベンチの発達論においても，簡易に分類した波浪環境と生物の垂直的分布から説明し，石灰岩の性質や海崖にはたらく波の営力を検討してはいない．

琉球列島ではサーフベンチあるいはそれと思われる地形の記載が，武永 (1966), 木庭 (1974), 河名（1981, 1987）に見られるが，地形プロセスに詳しく言及してはいない．このように，ノッチはもちろん，サーフベンチの発達を考えるに当たり，実際に石灰岩の性質や地形プロセスを総合的，定量的に論じた研究は見当たらないようである．言い換えれば，どのような性質をもつ海崖が，どのような波の力，どのような生物の作用を受け，どのような大きさのベンチ(海崖基部からベンチ末端の小崖までの距離)が形成されるのかについては充分明らかになっていないようである．

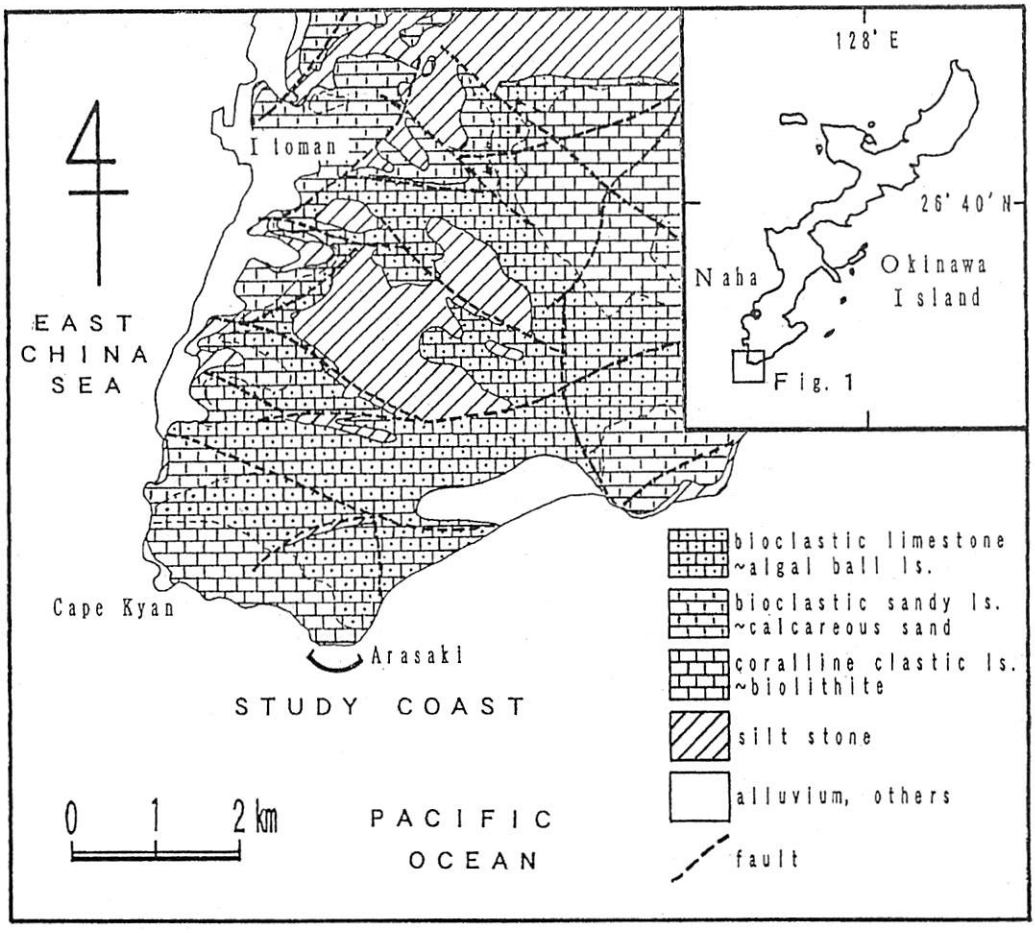
本研究はサーフベンチが発達する沖縄島の荒崎海岸を例にして，ベンチの形成に関わる重要な因子について定量化し，得られた結果からベンチの発達要因について考察を試みようとするものである．

II　調査地域の概要と研究方法

1.　調査地域の概要

荒崎海岸は沖縄島の最南端に位置する鈍角の岬で，太平洋に面し，一帯は第四紀更新世の琉球石灰岩（琉球層群那覇累層）が広く分布する(第1図). 地形的にはドリーネやカルスト湧泉，過去に地殻変動などを受けて生じた段丘や断層，断層に影響されたと考えられている石灰岩堤（limestone wall)などに特徴づけられる．

*筑波大学大学院環境科学研究科



第1図　調査地域の位置と地質

地質はTakayasu(1978)による.

Fig. 1　Study coast and geology

Geology after Takayasu (1978).

集落周辺の土地利用は大部分が畑地で海岸付近は原野となっている．琉球列島の一般的な石灰岩地域であるが，海岸におけるサンゴ礁の発達は良くない．

沖縄島南部海岸は石灰岩からなる海崖が良好に発達する．調査地域に選定した荒崎海岸の東西約600 mの海崖は，およそ5 mの比高があり定高性をもっている．海崖から陸側へは緩傾斜地となり，その緩傾斜地は一段丘面をなす（目崎ほか，1983）．段丘面では，多くの節理と層理に沿ったブロック単位の削剝が生じていると同時に，ラピエ（lapies）が顕著に発達するspray zone となっている．海崖表面は石灰岩独特の風化面（小さな波浪状の形態）や小穴（径・深さが数cm程度）が調査対象海岸の東部や西部で観察される．

2．研究方法

波食地形を論じるのに，地形と海面と営力との関係は重要である．Kawana and Pirazzoli (1985) によれば，調査対象とした荒崎海岸を

含む一帯は約2400年前に2.5m程の隆起があったとされているが，調査海岸での隆起量の場所的差異はせいぜい数十cmと小さい．さらに，周辺地域は断層も多いが，サーフベンチの形成に断層は関わっていないと思われる．河名(1981)と同じく，荒崎のサーフベンチは現生の地形と考えて論を展開する．

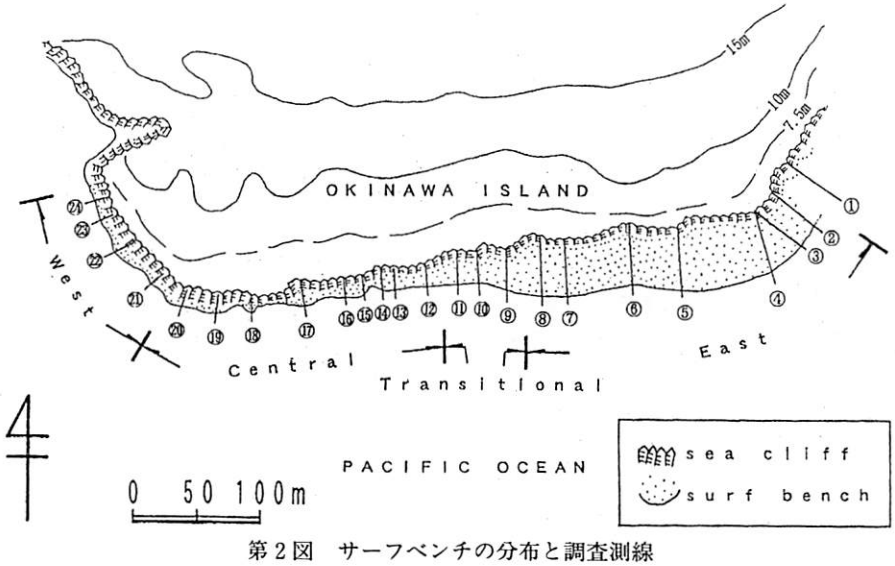
岩石からなる海岸地形の地形変化では，岩石の抵抗力と波の攻撃力の相対的な大きさが重要であることが指摘され，その定量化がなされてきた（たとえば，砂村，1975; Tsujimoto，1987; Sunamura，1992）．さらに，石灰岩海岸（サンゴ礁海岸）ではこれに加えて，生物・化学的作用が強調されてきた（たとえば，Focke，1978; 目崎，1981；Trudgill，1985; Trenhaile，1987）．

本研究では荒崎海岸の狭い区間（約600 m）でベンチの発達（幅）に大きな差異が見られることに着目し，その区間で岩石の抵抗力・波の攻撃力，生物の作用について検討し，ベンチの発達要因を考察する．ベンチ上では一つの測線で全ての要因を定量化できないことがあり，24の測線を設定した（第2図）．調査地域内での降雨・潮汐・海水の性質などの条件は同一と見なす．

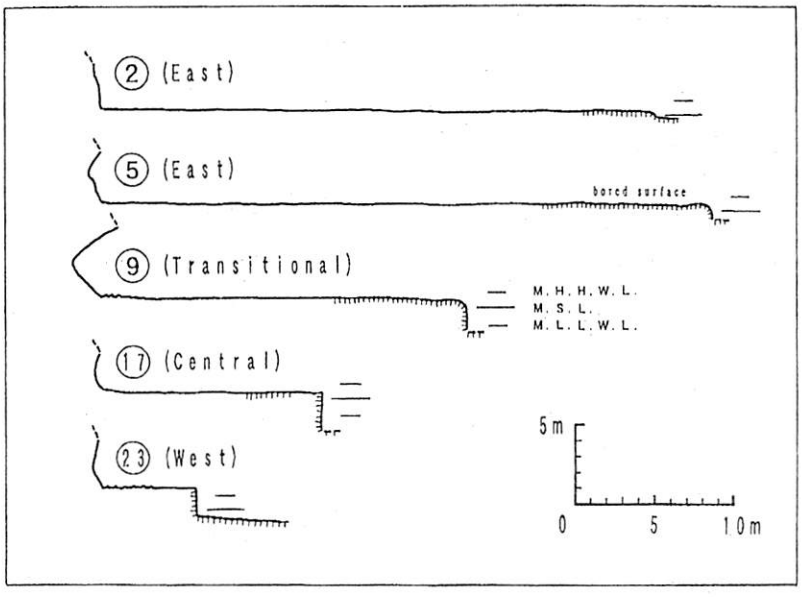
III　ベンチの分布・形態・幅

ベンチの分布・形態・規模を国土基本図（1/2500）と縦断面測量によってとらえた．サーフベンチが発達する600 mの区間に24の測線を設定し，測線は海岸線に直交する方向に設定された．ベンチの平面分布を第2図に，地形縦断面測量を行った結果（一部欠測はあるが）を第3図に示した．なお，潮位は那覇港の値を糸満港に補正して挿入した．

海崖の基部の浅いノッチ（最大深さは310 cm）から沖方向に広狭（幅にして約1～42 m）のベンチが形成されている（第2図・第3図，写真1・写真2）．ベンチの幅と海岸線の方向によって調査対象ベンチを東部，漸移部，中央部，



第2図　サーフベンチの分布と調査測線
Fig. 2　Surf bench distribution and survey transects



第3図　サーフベンチの地形縦断面形

2～23の測線番号は第2図参照.

Fig. 3　Longitudinal profiles of surf benches

Survey transect numbers of 2−23 are given in Fig. 2.

写真1　低潮位時の測線13付近のサーフベンチ
ニップに波が当たり，ベンチ末端には生物の付着がみられる．ベンチの幅は18 mである．

Photo 1　Surf bench at near survey transect 13 in low tide

Waves attack the nip and organisms accrete on the surface of the surf bench edge. Bench is 18 m wide.

写真2　低潮位時の測線22のサーフベンチ
ベンチ幅は13 m，ニップの比高は2.3 mである．波は屈折している．

Photo 2　A protruding surf bench with pitted relief at survey transect 22 in low tide

Bench width is 13m, relative hight of nip is 2.3 m. Note the wave reflaction.

西部の4地域に区分した（第2図）．ベンチの幅は東部で40 mと広く，漸移して中央部では20 m，西部では1～10 mと狭くなる．ベンチは東端でサンゴ礁原（干瀬）へ，西側では幅を狭めノッチへと移行する．ベンチは平均海面（MSL）から平均朔望満潮位（MHHWL）の高さに形成されているが，全体が常に満潮時には波に洗われ，低潮時に干出する位置にあり，多くの生物の生活の場になっている．ベンチの表面はほぼ平坦であるが，微地形が発達する．ベンチ末端は垂直な小崖（ニップ，nip）をなしており，その比高は数十cmから数mである．ベンチ外縁は中央部・西部では単調であるが，東部・漸移部では鋸歯状を呈している．ニップ基部から沖側に広がるサブマリンベンチはサーフベンチを取り巻きつつ，両端のサンゴ礁原（coral reef flat）と地形的に連続しているようである．ベンチ面上の溶食溝や海食甌穴（marine pothole）などの底部には，サンゴレキ・貝片の堆積が若干認められる．また，調査対象海岸から西方にある小湾入部の奥にサンゴや有孔虫起源の小さな砂礫浜が存在するが，どちらもサーフベンチに影響しそうなものではないようである．

IV　ベンチを構成する琉球石灰岩の諸性質

1．間隙率

Takayasu（1978）によると，調査海岸は琉球石灰岩のなかでもサンゴ石灰岩に分類され，単一の地質である（第1図）．しかし，空隙や割れ目を多く含むという琉球石灰岩の特性により，琉球石灰岩の圧縮強度は様々な値が得られている（新城・中村，1975）．本研究では，山内（1964）の海崖の差別的後退の研究にならい，現地において石灰岩の力学的強度の測定，実験室での岩石の間隙率の測定を行った．石灰岩の溶食性（化学的風化）については，前門（1988）を参考に，石灰岩の間隙率を求めた．

試料は各測線（第2図）付近において，海崖およびニップ（前者が9測線，後者が4測線で計11測線）から長径10～20 cm程度の岩塊を採取した．その際，現地において地表であった部分やニップの部分については，海岸生物の付着やその穿孔，風化が著しいことがあるため出来るだけ内部から採るようにした．琉球石灰岩の間隙率は，柱状の試料を作成し，試料の体積，乾燥単位体積重量，比重から求めた．柱状の試料は1.5 cm×1.5 cm×6 cm程に整形し，蒸留水中でこの試料の空隙を飽和させた後，シリンダー（100ml）を用いて体積を測定した．測線によって採取した岩塊の大きさが異なるため，一測線で得られた試料は1～4個，総体積にして15.2～63.0㎤の幅をもった．続いて試料を炉乾燥（110℃で24時間）させ，常温に戻した後，重量を測定し，乾燥単位体積重量を算出した．この時，一測線での試料が複数個の場合は，各試料の平均ではなく，加算して乾燥単位体積重量を求めた．

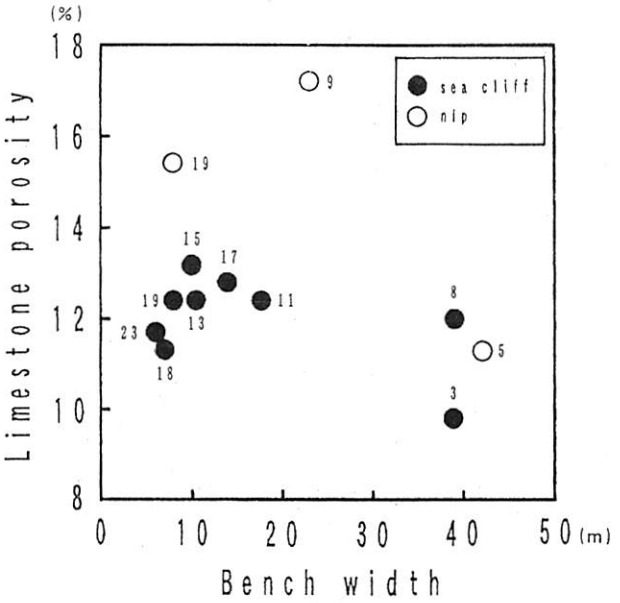
琉球石灰岩の単位体積重量は海崖のものが2.34～2.43gf/㎤，ニップのものが2.23～2.39 gf/㎤を示した．単位体積重量をもとに間隙率を次式から求めた．

$$e = (Gs\ \gamma_w\ /\ \gamma_d) - 1 \qquad (1)$$

$$n = (e\ /\ 1+e) \times 100(\%) \qquad (2)$$

ここで，e は間隙比，Gs は比重，γ_wは水の単位体積重量，γ_dは岩石試料の単位体積重量，n は間隙率である．琉球石灰岩の比重はMaekado (1989)による那覇石灰岩の測定値より2.70とし，水の単位体積重量は1.0gf/㎤とした．(1)式に岩石の比重と水の単位体積重量が与えられると，間隙比は岩石の単位体積重量の増大に伴って一次関数的に減少することになる．

得られた琉球石灰岩の間隙率とベンチ幅との関係を示したのが第4図である．琉球石灰岩の



第４図　琉球石灰岩の間隙率とベンチ幅との関係
図中の番号は第２図に示した測線の番号を示している．
Fig. 4　Correlation between porosity and bench width
Numbers show the survey transects shown in Fig. 2.

間隙率は10.0～17.4％を示す．琉球石灰岩の間隙率は大部分は11～13％に集中しており，測線間の差異は小さい．採取地点で琉球石灰岩の間隙率を比べると，ニップでの間隙率が海崖のものよりやや大きな値を示している．ニップでは生物の穿孔が一部認められ，両地点における間隙率を単純に比較できない．したがって，海崖とニップの琉球石灰岩の間隙率については後章に譲り，ここでは海崖の間隙率とベンチ幅の相関をみることにする．海崖の石灰岩の間隙率はほぼ一様である．このことから，海崖の石灰岩の間隙率による溶食性は同程度であり，地形に反映していないものと考えられる．

2．シュミットハンマー反発値

波の作用に対する岩石の抵抗力について，ここではシュミットコンクリートテストハンマー（以下シュミットハンマーと略す）を用いて，その反発値を岩石の抵抗力の指標とした．全測線の海崖ノッチのretreat pointからbase slop付近において20回測定し，その平均を海崖の強度の代表値とした．

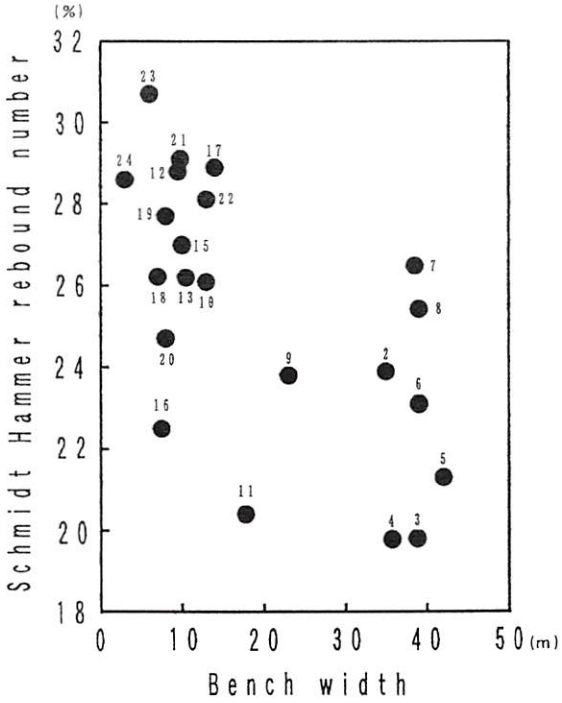
シュミットハンマー反発値とベンチ幅との関係を示したのが第５図である．シュミットハンマー反発値は19.8～30.7％を示した．測線12～24にみるように，ベンチの幅が狭いところ（中央部・西部）ではシュミットハンマー反発値が高く，いわば岩石は硬い．逆に，測線2～8のようにベンチの幅が広いところ（東部）では反発値は小さい，いわば岩石は軟らかいという傾向が読みとれる．波に対する岩石の抵抗力（力学的強度）が大きいとベンチは発達しにくく，小さいと発達し易いと考えられる．したがって，シュミットハンマーによる岩石の反発値の測定結果はベンチ幅を説明する上で有効なものであることを示している．

シュミットハンマー反発値と間隙率との間に反比例の関係（Maekado，1989）が認められない．その理由として，試料採取の方法や不連続部分の存在，含水状態などの影響が考えられる．調査海岸の西隣でMaekado(1991)が琉球石灰岩の単位体積重量とせん断強度を測定しているので参照されたい．

V　波の作用

1．沖波特性

荒崎海岸に襲来する波浪（沖波）について，沿岸波浪数値計算資料（気象庁，1986,1987,1988）から，有義波についての波高別出現頻度を求め，次に沖波の波高と周期の関係（後述するが，ここでは岩石海岸の地形変化に重要な波として，最大波の資料を使用した）を求めた（第６図）．この資料は荒崎近海でルーチン観測しているデータが元になっている．資料の特性により，第６図の波高の階級は１ m毎であるが，３ m未満については細分した．なお，波の絶

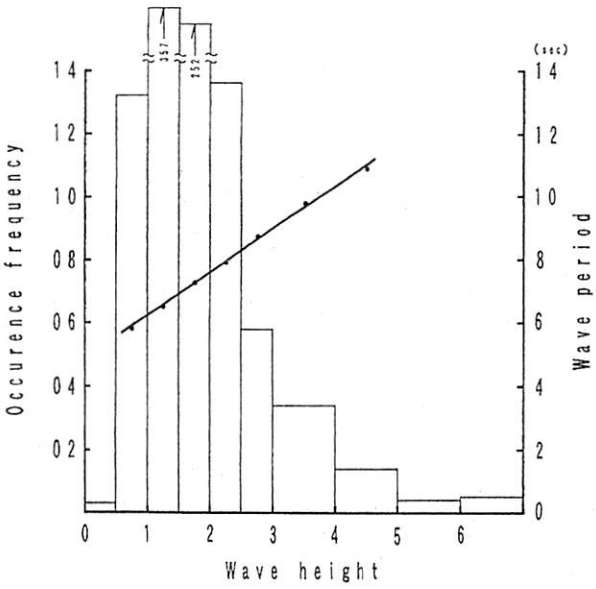


第5図　シュミットハンマー反発値とベンチ幅との関係

図中の番号は第2図に示した測線の番号を示している.

Fig. 5　Correlation between Schmidt Hammer rebound hardness of sea cliff limestone and bench width

Numbers show the survey transects shown in Fig. 2.



第6図　沖波の波高別発生頻度，波高と周期との関係

Fig. 6　Wave climate: (1) occurence frequency of wave height and (2) relationship between deep-water wave hight and wave period

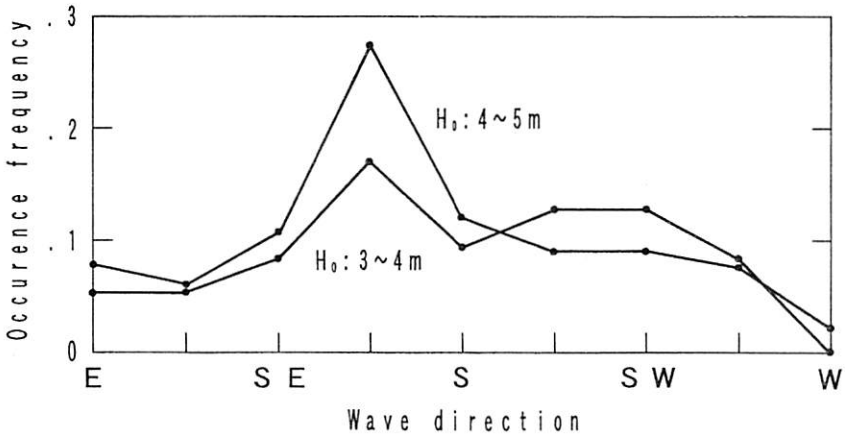
対数とばらつきにより，波高6 m以上の波の発生頻度は一括し，波高5 m以上の波の周期の算出は省いてある.

沖波の特性は，①波高別発生頻度は1～1.5 mをピークにして（全体の3分の1強），1～1.5 mより大きくなるにつれて，また，小さくなるにつれて低くなる，②波高2.5 m未満の波は全体の9割近くを占める，③波高の増大にともなって周期は一次関数的に増大する，などである.なお，潮位差（ここでは，平均朔望満潮位と干潮位の差）は209.5 cmであり（日本気象協会沖縄支部，1992），1983年2月から1993年12月に観測された有義波の最大波高は9.90 mである（気象庁，1994）.

2.　波の作用とそのエネルギー

波は海崖に対して直接的な破砕作用，間接的に砂礫を媒介とした磨耗作用を有する.しかし，前述のように地形の形成に影響しそうな堆積物の僅少さから，後者は無視し，専ら波の直接の破砕作用が地形形成において重要であると考える.

海上保安庁水路部（1985）発行の『海底地形図（5万分の1）』から浅海地形をみると，ニップから沖側のサブマリンベンチの勾配は1/20程で，水深5～35 mに1/5程の急勾配，それ以深は1/12程の緩勾配をなす海底段丘状である.全体として沿海では顕著な地形的差異はないように思われるが，以下に記す海岸工学の手法を用い，調査対象海岸に作用する波のエネルギーを算出した.



第７図　沖波の波高・波向別発生頻度

H_0 は深海波の波高である．

Fig. 7　Directional occurence frequency of high waves

H_0 is deep-water wave height.

海崖の後退を引き起こす波は出現頻度の低い暴浪であるから（砂村，1983），資料から波高の大きな波を抜き出し，その卓越方向（波向）を調べた（第７図）．その結果，波高3～4 mの波および4～5 mの波の波向はSSE（波向は略英字で表す）である．次点代表にSSEからの波も加え，これらの波が荒崎海岸に地形変化を起こす波の代表とする．便宜上，3つの波を回帰式から，タイプ①：波高3.70 m，周期10秒，波向SSE，タイプ②：それぞれ，3.70 m，10秒，SSW，タイプ③：それぞれ，4.42 m，11秒，SSEに調整した．タイプ①の波とタイプ②の波は，波高・周期が同じで波向が異なり，タイプ①の波とタイプ③の波とでは，それが逆である．

沖から岸に向かう波は，水深や浅海地形の影響を受けて変形し，等深線に直角になるように曲がりながら海岸に打ち寄せる．この過程で，ニップ前方の浅海に襲来する波のエネルギーとして定量化する．測量の不備などもあり，各測線の前方，水深6 mの等深線地点における波のエネルギーとして求めることにした．従って，これは一般に砕波前の波である．最初に波がどのように襲来するかを，前述の『海底地形図（5万分の1）』を調整して作図した（これを屈折図といい，本研究では波向線法により作成した）．その結果から，まず屈折係数を次式から求めた．

$$Kr = \sqrt{b_0 \ / \ b} \qquad (3)$$

ここで，Kr は屈折係数，b_0 は（屈折図における）屈折前の波向線の間隔，b は屈折後の波向線の間隔，である．次に屈折による波高の変化を次式から求める．

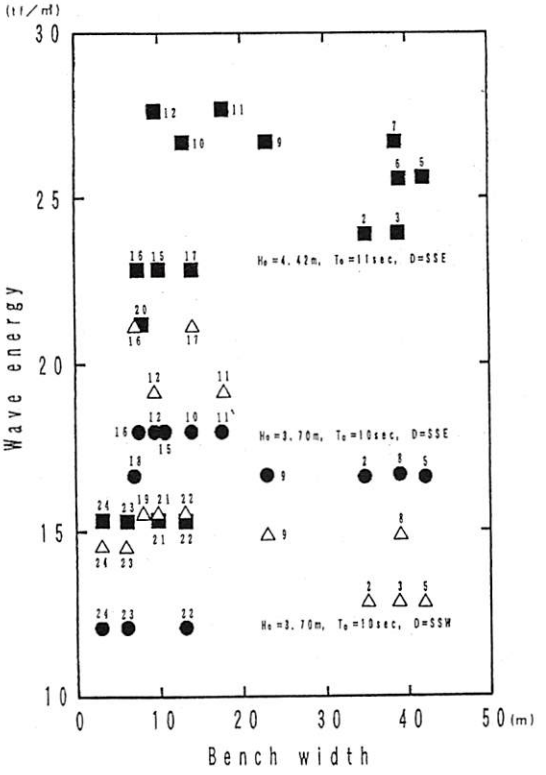
$$H = H_0 \ Kr \ Ks \qquad (4)$$

ここで，H は屈折後の波高，H_0は屈折前の波高，Ksは浅海係数である．Ksはタイプ①・②の波には1.005を，タイプ③の波には1.01を当てた．波のエネルギーは次式により算出した．

$$E = \rho \ g H^2 / 8 \qquad (5)$$

ここで，Eは波のエネルギー，ρ は水（海水）の単位体積重量，g は重力の加速度である．ρには1.0gf/cm³，gには9.8m/sを用いて計算した．(5) 式より得た波のエネルギーとベンチ幅との関係を示したのが第8図である．

タイプ①の波とタイプ②の波では波のエネルギーの値に大差はないが，分布のパターンが異なっている．逆に，タイプ①の波とタイプ③の波とでは波のエネルギーの分布パターンは同じになるが，波のエネルギーの値が異なっている．この傾向は屈折図と波のエネルギーを求める式の特性によるものである．



第８図　波のエネルギーとベンチ幅との関係
H_0：深海波の波高，T_0：波の周期，D：波向
図中の番号は第２図に示した測線の番号を示している．

Fig. 8　Correlation between wave energy and bench width
H_0 : deep-water wave height, T_0 : wave period, D_0 : wave direction
Numbers show the survey transects shown in Fig. 2.

本研究で最も大きな波の代表とした，タイプ③の波はおよそ15～28tf/m²のエネルギーをもって襲来する．ベンチ幅が十数mのところ（特に漸移部～中央部東半）で波のエネルギーが最大となった．幅がそれ以上のところ（東部）とでは大差はないものの，それが十数m以下のところ（西部）で最小となった．タイプ①の波については，タイプ③の波と同様な傾向を示している．一方，タイプ②の波はおよそ13～21tf/m²のエネルギーをもって襲来する．ベンチ幅が十m前後のところ（中央部）で最大であるが，幅がそれ以下（西部）とそれ以上（漸移部・東部）で小さくなり，両者でその値はほぼ同じである．

これらのことから，中央部は暴浪にさらされやすく，漸移部および東部がこれに次ぎ，西部は波が集中しにくいと言えよう．この結果から，単純に波のエネルギーとベンチ幅との間には正の相関は認められない．しかし，波の攻撃力と岩石の抵抗力との相対的な大きさからベンチの発達を考えなければならない．したがって，中央部に襲来する波はやや強いが，岩石も硬い．一方，東部に襲来する波はやや弱いが，それ以上に岩石が軟らかいというような解釈も可能である．

VI　生物の分布

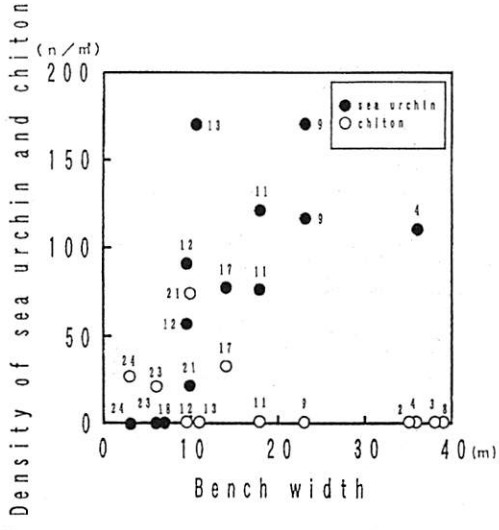
1.　侵食作用

従来からいわれている侵食動物（たとえば，貝などの軟体動物，ウニなどの棘皮動物など）のノッチからニップにおける分布を調査した．筆者の識別では地表にウニ・ヒザラガイ・カサガイの仲間，キバアマガイ・レイシガイダマシなど，また，石灰岩中には数種の穿孔動物が確

認でき，ウニ（ナガウニ・クロウニ）とヒザラガイ（オニヒザラガイ・リュウキュウヒザラガイ）が顕著に見られた（これらの生物の名称に誤りがあれば御指摘を頂きたい）．ここでは侵食生物の代表としてウニおよびヒザラガイの分布を調べた．

ウニは調査海岸のほぼ全域にわたってみられる．おおまかにはベンチ末端から海側へ可視範囲全域にびっしりと生息しているようである．逆に（ベンチ幅の制約もあろうが），ベンチの奥や海崖（あるいはノッチ）にはみられない．分布域を実測すると，測線7以東ではベンチ末端から12～17 m，測線9～10付近で7～9 m，西部では数m（あるいは無）の範囲となっており，西に行くにつれて次第に分布域が狭くなる傾向がある（第3図）．

一方，ヒザラガイは，測線11以東ではニップにごく僅かに見られる程度であるが，測線11以西ではニップ～ベンチ末端のほか，ベンチ面・海崖ノッチのbase slope など，調査海岸の西側で特徴的に見られる．各測線のベンチ幅と比較できるように，この2種の生物の分布密度をまとめた（第9図）．それぞれ疎密はあるが，測定の場所は各測線のベンチ末端部で，代表的と思われる場所を1ないし2ヶ所選び，単位面積当たりに生息する個体数を計算から求めた．



第9図　ウニ，ヒザラガイの分布密度とベンチ幅との関係

図中の番号は第2図に示した測線の番号を示している．

Fig. 9　Correlation between sea urchin, chiton distribution and bench width

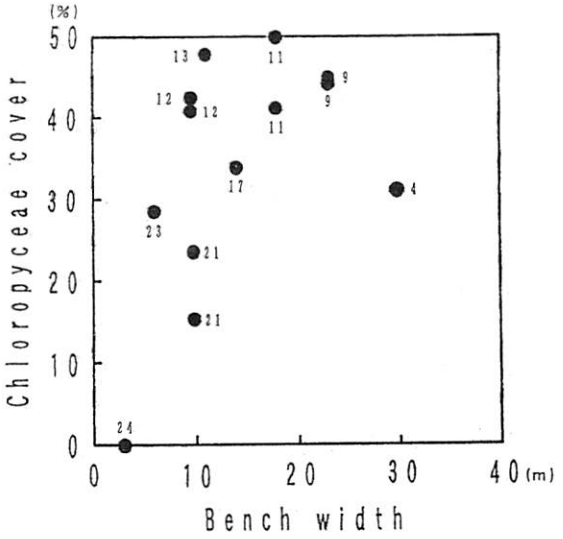
Numbers show the survey transects shown in Fig. 2.

ウニの場合は0～170，ヒザラガイの場合は1～75（どちらも，個体数／m²）とかなりの幅をもった．第9図からわかるように，ベンチの広さに対する両者の分布傾向は対照的である．ベンチが広いところでは，ウニの密度が高く（ヒザラガイの密度は低い），逆にベンチが狭いところではヒザラガイの密度が高くなっている（ウニの密度は低い）．このように，ベンチの幅の広い東部にウニ，狭い西部にヒザラガイがそれぞれ遍在しているという結果を得た．この2種の生物は現在，ニップから侵食（破壊）していく位置に分布する．見掛け上，ヒザラガイの侵食はウニよりも影響が大きい，ともとれる．しかし，極端な分布を示していないため，侵食生物の影響の大小は断言しにくい．

前述した間隙率で，ニップのそれが海崖よりも小さい値を示したことについて，岩盤に穿孔する生物の存在を認めた．この生物の分布の把握もまた重要になるが，今回は残念ながらこれ以上の言及はできない．

2．保護作用

石灰藻類・ヘビガイ類・フジツボ類といった石灰質の生物の付着（organic accretion）による岩石の保護作用は従来から指摘されてきた．ベンチを保護するようなものを観察すると，緑藻類が最も目につく．西部ではあまり見られないようであるが，ベンチの末端部を薄く覆うように非常によく繁茂している．また，ニップとサブマリンベンチには石灰藻（サンゴモ）がウニに激しく侵食されながらも全域で確認される．その他にはヘビガイの仲間が東部で，フジ



第10図　緑藻類の被覆度とベンチ幅との関係
図中の番号は第2図に示した測線の番号を示している.
Fig.10　Correlation between chloropyceae cover and bench width
Numbers show the survey transects shown in Fig. 2.

ツボの仲間が西部で見られるが顕著ではない.

石灰藻類は従来から保護作用をもつことが指摘されてきたが，波浪などにより観察が困難なため，石灰藻と同じようにニップを波浪から護っているものとして，本研究ではその分布が広くかつ視覚的に明瞭な緑藻類に着目した．緑藻類は薄くマット状に繁茂し，クッションの役割をして波浪からニップを護っていると思われる．海藻類は季節によって繁茂の度合が変化するが，ごく短期間に調査を行ったため，時間による差については無視できる．なお，この調査は1993年11月に行った．この緑藻類の被覆度について，写真を用い，計算によって単位面積当たりの被覆度を求めた（第10図）．全体として，ベンチ幅が狭い西部では30%未満の小さな値を示し，幅が十m以上の中央部・漸移部・東部では30～50%の大きな被覆度を示した．測線24(最西部)においては藻類の付着はみられなかった．緑藻類による保護作用は東部・漸移部・中央部で大きく，西部で小さいと推定される．

Ⅶ　まとめ

本研究ではサーフベンチの発達要因について，沖縄島の荒崎海岸をとりあげ，海岸構成岩石の諸性質・波の攻撃力・海岸生物の分布について定量化し，実際のサーフベンチの規模と比較し述べてきた．この結果を整理したものが第1表で，以下のようにまとめられる．

(1) 海岸岩石の間隙率（物理的な性質）はほぼ一様である．

(2) シュミットハンマー反発値（波に対する岩石の抵抗力)は西部・中央部でやや大きく，東部・漸移部でやや小さい．

第1表　荒崎海岸におけるサーフベンチの形成条件
Table 1　Conditions for surf bench development in Arasaki coast

		West	Central	Transitional	East
Rock	Porosity				
	S. H. rebound hardness			+	+
Wave	Wave energy		+	+	+
Organism	Sea urchin distribution	+	+		
	Chiton distribution			+	+
	Chloropyceae cover		+	+	+
surf bench width		narrow	narrow	intermediate	wide

(+　good condition for surf bench development)

(3) 襲来する波のエネルギーの大きさは，中央部＞漸移部・東部≫西部の順になることが予想される．

(4) ニップにおける侵食生物（ベンチを破壊）は東部・漸移部ではウニ，中央部・西部ではヒザラガイが多く分布している．

(5) ニップを保護する緑藻類の被覆度は東部・漸移部・中央部で大きく，西部で小さい．

第1表から判るように，本研究で定量化したほとんどの要因はさまざまな傾向を示したが，東部・漸移部ではベンチの発達について，多くの要因が好条件となっているが，中央部・西部ではいくつかの不利な条件があると言える．荒崎におけるベンチの発達要因には岩石の強度（抵抗力）に対して相対的に大きな攻撃力を持つ波が襲来し，かつニップの保護が比較的なされている，ということになる．これから，岩石の強度と波力の相対的関係の重要性が挙げられる．

本研究を進めるにあたっては，琉球大学の前門晃先生に終始指導して頂くと同時に，河名俊男・松田伸也・氏家宏の諸先生には資料や御助言を頂いた．現地調査には，学友の成岡朋弘・石川研勇・山村正明・益満義幸・根間文子の諸君に協力して頂いた．また，筑波大学地球科学系の諸先生には貴重な御批判を頂き，同大学大学院のPhua Mui How君には原稿作成に協力して頂いた．末筆ながら以上の方々に厚く御礼を申し上げます．本稿は1994年度琉球大学法文学部史学科（地理学専攻）卒業論文を加筆・修正・改題したものであり，各指標の選定・測定方法，前提の整理など種々の問題について多くの指摘が得られれば幸いである．

文　献

海上保安庁水路部（1985）：『海底地形図中城湾』1/50,000.

河名俊男（1981）：沖縄島における石灰岩海岸地域の地形変化．日本第四紀学会講演要旨集，**11**，126－127.

河名俊男（1987）：生物群集の成立基盤としてのサンゴ礁地形．月刊海洋科学，**19**，536－544.

気象庁（1986，1987，1988）：『沿岸波浪数値計算資料』気象庁，東京，3，4，5.

気象庁（1994）：『沿岸波浪観測資料』気象庁，東京，14，204ページ.

木庭元晴（1974）：沖永良部島の海岸地形と沖積世高位海水準．東北地理，**26**，37－44.

新城俊也・中村一幸（1975）：琉球石灰岩の圧縮強度について．琉球大学農学部学術報告，**22**，269－277.

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.

砂村継夫（1983）：波による海岸地形の変化．地形，**4**，179－188.

武永健一郎（1966）：沖縄南大東島のShore Feature．地理科学，**5**，1－22.

武永健一郎（1968）：Notchの形態と成因について．地学雑誌，**77**，326－341.

辻本英和（1985）：千葉県東部海岸の波食地形と構成岩石の物理・力学的性質．地理評，**58**，180－192.

日本気象協会沖縄支部（1992）：『沖縄の気象暦』日本気象協会沖縄支部，那覇，108ページ.

前門　晃（1988）：土層を用いた石灰岩の溶食に関する野外実験（講演要旨）．地形，**9**，61.

目崎茂和（1981）：サンゴ礁海岸の地形変化．地形，**2**，125－130.

目崎茂和・河名俊男・木庭元晴・渡久地　健（1983）：地形分類．沖縄県『土地分類基本調査』沖縄県，7－14.

山内秀夫（1964）：原町市大甕海岸における海蝕崖の後退について．地理評，**37**，138－146.

Focke, J. W. (1978): Limestone cliff morphology on Curacao (Netherlands

Antilles), with special attention to the origin of notches and vermetid/coralline algal surf benches("cornices","trottoirs"). *Z. Geomorph. N. F.* , **22**, 329−349.

Kawana, T. and Pirazzoli, P. A. (1985): Holocene coastline changes and seismic uplift in Okinawa Island, the Ryukyus, Japan. *Z. Geomorph. N. F.*, *Suppl. Bd.*, **57**, 11−31.

Maekado, A. (1989): Some physical and mechanical properties of the limestones in Okinawa Island. *Bull. Okinawa Geogr. Soc.*, **2**, 29−33.

Maekado, A. (1991): Recession of coastal cliff made of Ryukyu Limestone: Arasaki coast, southern end of Okinawa Island, Japan. *Bull. Okinawa Geogr. Soc.*, **3**, 63−70.

Spencer, T. (1985): Marine erosion rates and coastal morphology of reef limestones on Grand Cayman Island, West Indies. *Coral Reefs*, **4**, 59−70.

Sunamura, T. (1992): *Geomorphology of Rocky Coast*. John Wiley & Sons, Chichester, 302p.

Takayasu, K. (1978): "Ryukyu Limestone" of Okinawa-jima, south Japan : A stratigraphical and sedimentological study. *Mem. Fac. Sci.*, *Kyoto Univ.*, *Ser. Geol. Mineral.*, **45**-1, 133−175.

Trenhaile, A. S. (1987): *The Geomorphology of Rock Coasts*. Oxford Univ. Press, Oxford, 384p.

Trudgill, S. (1976): The marine erosion of limestone on Aldabra Atoll, Indian Ocean. *Z. Geomorph. N. F.*, *Suppl. Bd.*, **26**, 164−200.

Trudgill, S. (1985): *Limestone Geomorphology*. Longman, London, 196p.

Tsujimoto, H. (1987): Dynamic conditions for shore platform initiation. *Sci. Rept.*, *Inst. Geosci.*, *Univ. Tsukuba*, *Sect. A*, **8**, 45−93.

Factors Affecting Surf Bench Development in Arasaki Coast, Okinawa Island, Japan

Yasushi MORIYAMA*

To examine the factors affecting surf bench development, surf bench width, properties of surf bench-forming materials, assailing force of waves and organism distribution were quantitatively investigated selecting Arasaki coast, southern end of Okinawa Island.

Arasaki coast is cliffed coast with height of 5m and consists of Pleistocene Ryukyu Limestone. Width of the surf benches is 42 m wide in east part and becomes narrow in west part with a width of 1 m. Studied surf benches were divided into four parts based on surf bench width and coast line direction: (1) east part with a surf bench width of 40 m, (2) transitional part with a width of 20 m, (3) central part with a width of 10m, and (4) west part with a width of 1−10 m.

Porosity and Schmidt Hummer rebound hardness were measured as Ryukyu Limestone properties at sea cliff and nip. Porosity of Ryukyu Limestone concentrates 11−13%, there is no difference among four parts. Schmidt Hummer rebound hardness of Ryukyu Limestone indicates 19.8−30.7%, limestone of east part with wide bench width has low hardness and high in central and west part with narrow bench width.

Wave energy was calculated as assailing force of waves. Wave energy attacking west part was found relatively small than that of other three parts.

Organism distribution, which has been thought to be a important factor on surf bench formation, was observed in the field. A large number of sea urchin and chiton, well known as bio-eroder, were found at nip, but they were hardly found at sea cliff. Density of sea urchin distribution is high in east part, while, the density of chiton is high in west part. Seaward edge of benches are actively bored by sea urchin except for west part, while west part is infested with chiton. On the other hand, all of nips are covered by organic accretions such as calcareous algae and chlorophyceae. Nip-protecting chlorophyceae is well flourished in the transitional and east part.

The above results lead to the conclusion that the important factors affecting surf bench development are magnitude of rock resisting force and wave assailing force than that of organism distribution.

Key Words: *Factors affecting surf bench development, Arasaki coast, Rebound hardness, Wave energy, Organism disrtibution.*

*Graduate Student, Graduate School of Environmental Science, University of Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.