

建設省 鶴木和夫
同 橋本 宏

1. まえがき

琉球列島の島々は周囲を造礁サンゴによるリーフで囲まれており、このため海岸に到達する波はかなり減衰される。リーフの消波効果については今まで調査研究された例が少なく、消波効果については十分に研究されていない。現在、沖縄においては海岸の諸計画に必要な計画波高を決定する場合は、沖波を推算した上で進行波の限界波高を求める方法が一般的である。但しこの方法はリーフの存在する沖縄の海岸では実情に合わないと考えられる。つまり沖縄での海岸災害をみると、不必要に大きな消波工を積み上げた護岸が見られる反面、何でもない所で護岸が欠損している場合も多い。

一般に沖縄で海岸で見られるリーフの形は、海岸から100～1000 m程度沖までは礁原と呼ばれる水深1～2 mの平坦な海底が続き、そこにいわゆるリング礁(リーフ)がある。リーフ外縁から沖は $\frac{1}{3}$ ～ $\frac{1}{5}$ の急勾配で水深50 m程度まで急激に落ち込んでいる。リーフは切小目の多い石灰岩で構成され、場所によっては干潮時海面に姿を現わす程度に隆起している。このリーフと海岸線で囲まれた部分を礁湖と呼ぶが、この部分は静かな海面である。

琉球列島は本土や中国大陸に向う台風の転向地点に近く、台風勢力も発達期にあるため台風波浪も非常に大きい。また、冬期は東支那海に張り出した大陸高気圧の縁に位置するため季節風の吹き出しが強く波浪も高い。このように自然の影響を受け易い位置にありながら戦後の長い空白期間があったため諸調査資料は著しく不足していた。この報告はリーフの消波効果を検討するために沖縄本部(モトブ)半島西端の備瀬崎で行ったリーフ内の波高観測の結果である。

2. 基本的考察

ここで取り上げたリーフは図-1に模式的に示すように海岸から数百メートル離れた地点までは浅く、それより沖では急勾配($\frac{1}{3}$ ～ $\frac{1}{5}$ 程度)で深くなっているものである。浅い部分は平らな場合もあるが一般には外側が浅く内側が深くなり、内部は浅い湖(lagoon)をなしている。外縁部の最も浅い部分の高さは干潮位以下になっている。このような形状を持ったリーフに波が来襲した場合の現象を考えると、①反射波、②砕波、③透過波、④水位上昇などがあげられる。

リーフに入射する波は、リーフ前面の海底勾配のまっつけいば反射し、反射の状況は入射波の波形勾配と海底勾配によって支配されている。リーフ外縁部の水深に比較して入射波の波高が大きい場合には、波は砕けその一部がリーフ内に侵入する。砕波にともなう波の運動量の流れ(flux)が変化し、リーフ内の平均水位も上昇させる。これらの現象はいずれも砕波が関係しているために非線形型であって理論的な取扱いは困難である。リーフ外縁部の水深の浅い場所がかなりの幅を持っているば、リーフ内に入射する波はそこで存在できる波よりも小さいと考えることができる。すなわちリーフ内への透過波高はリーフ外縁部の水深によって規定されると考えても良いであろう。一方リーフ内の水位は外海の水位とは同じではなく、波高の減衰にともなう水位上昇する。リーフ内の波による平均水面の上

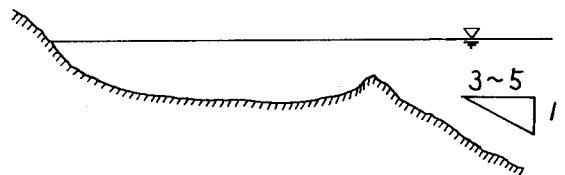


図-1 リーフの形状

昇量については Tait¹⁾ によって検討が行われている。これは沿岸方向にリーフや海浜形状が変化せず、図-1に示すような形状のリーフで水位上昇量(η)が入射波の碎波水深(h_b)とどのような関係にあるかを求めたものであり、その関係は次のように表わされる。

$$\eta = -\frac{1}{16} \gamma^2 h_b + \left[\frac{1}{1 + \frac{8}{3\gamma^2}} \right] (h_b - h_T) \quad (1)$$

ここで γ は碎波後の波高は水深に比例するとしたときの係数で $H = \gamma(h + \eta)$ から求まる値である。また h_T はリーフ外縁部の水深である。この式を導く際に使用した基本的関係は入射波の波高変化にともなう生じた運動量の流れが水平方向と釣り合うというもので Longuet-Higgins と Stewart の導いた Radiation stress の概念が使用されている。また入射波は海岸に直角に入射し、リーフ前面の海底勾配は一定としている。式(1)の右辺第1項は碎波点での水位低下量を示し、第2項が碎波にともなう上昇量を示している。リーフ外縁の水深 h_T が浅いほど上昇量が大きくなり、 $h_T = 0$ の場合には上昇量は γ によっても異なるが碎波水深の10~20%に達する。水位上昇量も含めた外縁部の水位はしたがって次のようになる。

$$\eta + h_T = -\frac{1}{16} \gamma^2 h_b + \left[\frac{1}{1 + \frac{8}{3\gamma^2}} \right] h_b + \left[\frac{-\frac{8}{3\gamma^2}}{1 + \frac{8}{3\gamma^2}} \right] h_T \quad (2)$$

右辺第2項と第3項はほぼ同じ程度の大きさになり、上昇量がリーフへの侵入波高を大きくすることが明らかである。ここで述べた理論は現象をかなり単純化しており、実際に適用するにあたっては実験や現地観測による検討を必要としている。

3. 現地観測方法

観測を行ったのは図-2に示すように海洋博会場に付いている本部半島の備瀬崎付近であり、沖縄本島のほぼ中央部に位置している。海浜地形は図-3に示すように海岸から約500 mの幅でリーフが発達しており、その延長は約2 kmにおよんでいる。リーフの外縁は浅くなっており、T.P.では-1.0~2 mである。外縁部は連続しておらず、一部が切れておりその位置ではリーフ内とほぼ同じ深さになっている。

この海岸の前面約4 km 離れた地点(図-2参照)には伊江島が横たわっており、波高の大きな波は北面または南西から来襲する。この付近の潮汐は M.W.L. -0.15 m (T.P.)、H.W.L. +0.65 m 程度である。

現地において観測したのはリーフ内の波高と周期であり、リーフに入射する波については計器がなかったために40



図-2 本部半島の位置図

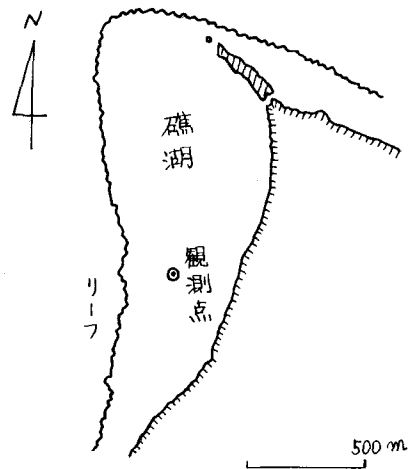


図-3 備瀬崎周辺図

km ほど離れた辺土名に設置した超音波式
波高計の記録を用いた。また水位についてはリーフ内では観測を行っていない。リーフ内の波浪観測は図-3に示す位置にフロートを浮かせてその運動を300 mほど離れた陸上から岸田居式波高計によって追跡した。観測を行ったのは昭和49年1月22日7時35分、2月25日8時40分、3月12日9時38分、3月27日8時47分、昭和50年3月7日16時、3月23日14時、4月1日10時30分、4月21日10時、5月10日17時、5月20日16時、の延べ10日間であった。波向はN～NNW 方向からのものであり、この方向の海底縦断面を図-4に示した。

潮位についてはリーフ外の渡久地港の候期記録を使用した。

4. 観測結果

現地観測の結果をまとめて表-1に示す。ただし図中、昭和49年1月22日より3月27日のデータはトランゼットによる目視観測を行ったものであり、精度の点で多少向題がある。観測期間中の来襲波は有義波々高で0.72～1.39 mであり、またリーフ内の波高として0.16～0.31 mであった。これらの結果のうちリーフの外と内の有義波々高の関係を示したのが図-5であるが、これによればリーフによる波高減衰の効果はかなりあり、入射波の10～30%がリーフ内に入るのみである。次に図-6は入射波周期とリーフ内周期の関係を示したものである。しかし測定点数が少いことと、測定精度の向題などから明確なことは言えないが、1対1の対応があるようである。

さきに述べたリーフ内の波高は外縁部の水深によって規定されているという考え方を検証するために式(2)を用いてリーフ内の波高の計算を行ってみた。リーフ前面の海底勾配を $\frac{1}{10}$ として台田による入射波の波形勾配と碎波水深の関係から h_b を求め

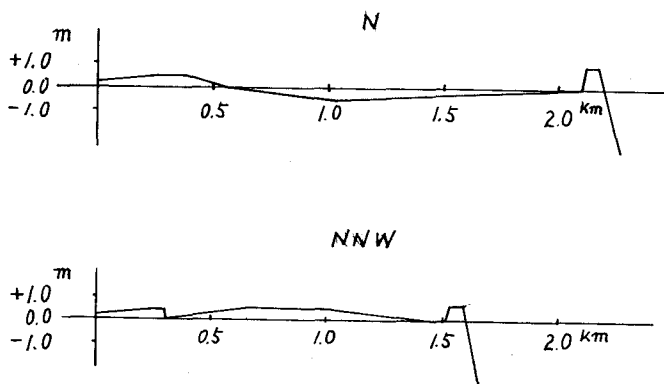


図-4 礁内縦断面

表-1 波浪観測結果

日時		最大波		1/10最大波		有義波		平均波	
		H	T	H	T	H	T	H	T
49.1.22	リーフ内	0.8	—	—	—	0.28	—	0.19	7.0
7:35	外	2.16	12.8	1.69	10.11	1.37	9.12	0.97	7.95
49.2.25	内	0.7	—	—	—	0.31	—	0.21	6.8
8:40	外	1.50	6.8	1.45	7.1	1.14	7.5	0.67	7.2
49.3.12	内	0.7	—	—	—	0.31	—	0.23	6.8
9:38	外	1.81	10.5	1.46	5.28	1.17	5.97	0.82	5.44
49.3.27	内	0.7	—	—	—	0.30	—	0.21	6.7
8:47	外	2.24	11.3	1.64	5.65	1.29	5.96	0.88	5.43
50.3.7	内	0.30	8.2	0.25	7.9	0.21	7.5	0.15	6.4
16:00	外	1.81	8.3	1.77	7.0	1.39	7.2	0.87	6.9
50.3.25	内	0.33	7.9	0.30	8.1	0.25	7.7	0.19	7.0
14:00	外	1.35	7.3	1.30	5.9	0.98	5.6	0.62	5.2
50.4.1	内	0.21	7.6	0.19	7.0	0.16	7.6	0.11	7.1
10:30	外	1.02	7.8	0.89	8.0	0.72	8.3	0.48	8.5
50.4.21	内	0.26	9.0	0.23	8.2	0.19	6.7	0.14	6.9
10:00	外	1.31	8.2	1.26	5.8	1.01	6.5	0.61	5.9
50.5.10	内	0.28	7.6	0.23	8.4	0.18	7.5	0.14	8.3
17:00	外	1.05	10.1	1.03	9.3	0.79	9.0	0.50	8.8
50.5.20	内	0.24	11.0	0.21	7.4	0.18	7.4	0.13	7.1
16:00	外	1.59	9.8	1.52	8.1	1.22	7.2	0.78	6.0

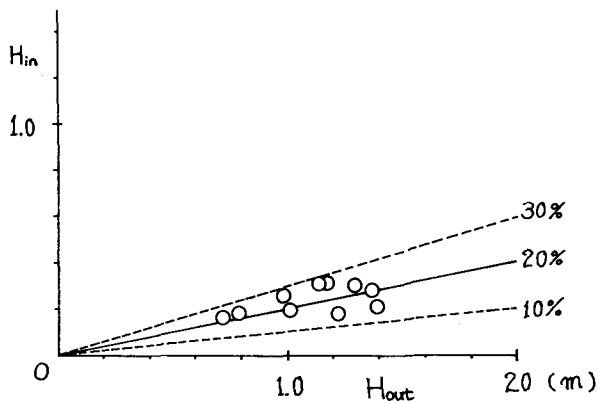


図-5 リーフ内(in)・外(out)の波高

、 $\gamma = 1.0$ として $\eta + h_T$ を計算し、リーフ内波高 $H_{1/3}$ と比較したのが図-7である。なお、この場合のリーフ外縁の高さとしては、図-4によればリーフ高さは T.P. + 1.0 m であり、また潮位は図-8によれば最大で 1 m 程度であることから $h_T = 0$ m として計算した。

観測値と計算値を比較すると波高と水位は比例関係にあることが明らかであり、波高と水位の比は 0.5~1.0 程度になっている。ただし波浪観測時潮位の観測を行っていないが、今後潮位観測を行えばより精度の高い結果が得られると考えられる。また式(2)を導くに際しては沿岸方向に現象が変化しないという仮定にもとづいて計算を行ったが、現地においては図-4に示すように中央部に深い場所があり、北西部から侵入した海水は循環して西へ向って流れる傾向にあることなどを考慮に入れる必要がある。

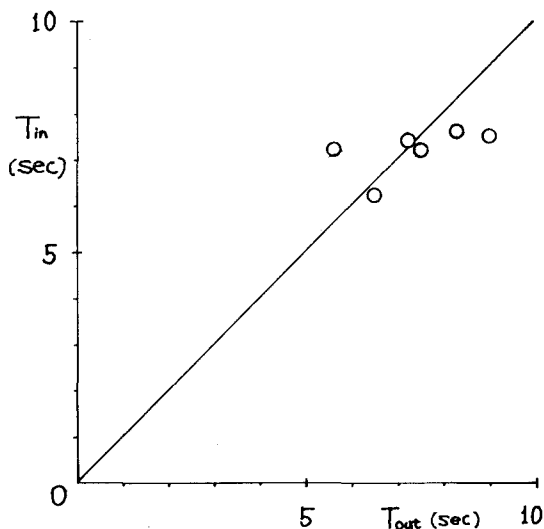


図-6 リーフ内外の周期

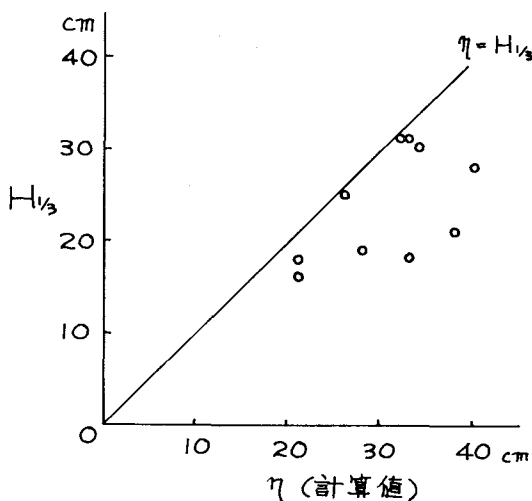


図-7 水位上昇量と波高

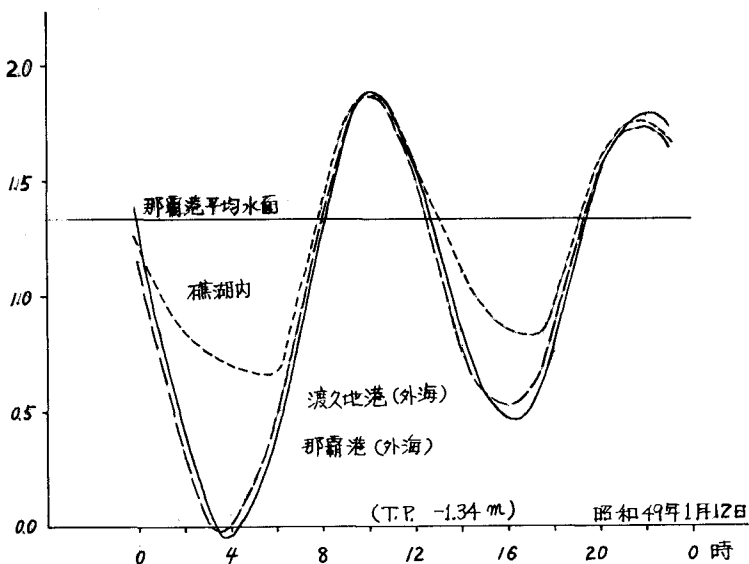


図-8 リーフ内外の潮位変化例

最後に図-8はリーフ内外の潮位変化を示したものであるが、礁湖内の潮位はリーフ外のものとは著しい違いを示しており、干潮時には礁湖内潮位は外海よりも高く、リーフによる貯留効果があることが判る。

4. あとがき

リーフによる波高減衰についての現地観測を行い、その現象についてこの考察を行ったが、リーフは波高減衰のためには非常に効果的なことが明らかになった。リーフによって造られた静かな海浜では海水浴など、レクリエーション活動が行われ、また防災面でもリーフは重要な機能を果たしている。沖縄は台風の常襲地帯でありながら、これまで大きな波浪災害を生じておらず、これはリーフによって波浪から守られていると言っても過言ではない。しかし最近になって海への赤土の流出や鬼ヒトデの繁殖によって沖縄のさんごは危機にひんしている。自然保護の立場からでも国土保全の立場からでもさんごの保護を必要としている。

自然のリーフの消波機能が解明され、その有効性が明らかになれば人工的リーフの利用も将来は可能であろう。

終りに現地観測を行っていただいた海洋博協会建設工事本部公園緑地課の^新下高雄氏および日本テトラポッド(株)の中村氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Tait, R. J.: Wave Set-up on Coral Reefs, J. Geophys. Res. vol. 77, NO. 12, 1972.