

リーフ模型実験の現地への適用性

河野 二夫*・津嘉山 正光**

1. はじめに

沖縄諸島の海岸には周知の如くリーフがよく発達しており、これが台風による波浪等から沿岸を守るのに役立っている。しかし、このようなリーフによる波の減衰機構に関してはまだ十分に説明されたとは言い難い。

筆者らは数年来この問題と取組み、リーフの代表形状とみられる堡礁型モデルを中心に、リーフによる波の変形に関し、主として波の通過率・反射率の面から理論的・実験的研究^{1),2),3)}をすすめてきた。一方、現地リーフの内側・外側の波について、昭和50年から52年にかけて沖縄本島西岸の名護市部瀬名在の海中公園海域で実測が行なわれた⁴⁾。

リーフによる波の変形特性を知るのに現地実測データが非常に有用なことは言うまでもないが、実測に要する経費や時間等を考えれば、その実施箇所や実施時の波浪条件等は限定されたものにならざるを得ない。したがって、質・量共に完備した実測データを得ることは容易ではなく、また波の変形機構の解明という面からしても、モデルによる理論的・実験的研究は不可欠と考えられる。ただ、このような研究の結果は現地に適合するものでなければならず、実際現象の説明に有用なものでなければならない。

そこで本研究では、上述の現地実測データの得られている海域を対象にした模型実験を実施し、実験結果と現地実測結果の比較を行なうことによって模型実験がどの程度現地に適合し得るかということと、このような模型実験に伴う問題点等について検討を行なうことにした。

2. 模型実験

2.1 実験条件

(1) 模型の再現域

模型の再現対象域は図-2.1に示す沖縄本島名護市部瀬名海域で、同図中のE点以浅の部分に対応する2次元模型を用いた。なお図のA～Eは波浪計測点を示すが、沖側のE点では超音波式波高計、リーフ内のA～D点で

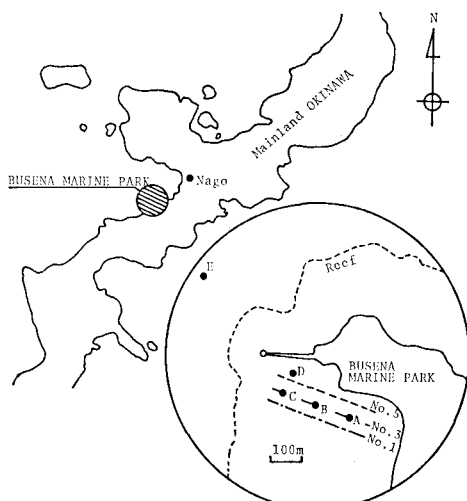


図-2.1 現地波浪観測地点

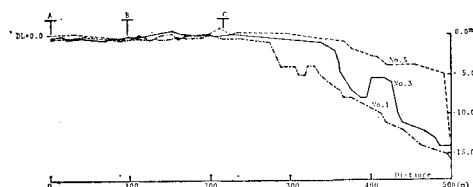


図-2.2 部瀬名海域海底地形図

は主として宇田居式波高計により波計測がなされた。

(2) 模型縮尺

本実験の対象とする現象では海水の粘性は無視できると考えられるので模型相似律はフルード則に従うことになる。縮尺は実験施設と再現域の大きさ等を考慮して幾何縮尺を1/65とした。したがって時間縮尺は $1/\sqrt{65}$ となる。

(3) 実験水位

部瀬名海域での実測潮位は $DL+1.18\text{m} \sim DL+2.12\text{m}$ となっている。リーフ内通過波に対しては天端水深がかなり影響すると考えられるので、実験水位は現地潮位の $DL+0.00\text{m}$, $+1.00\text{m}$, $+2.00\text{m}$ に対応する3種を基本とし必要に応じて多少変えるようにした。

(4) 実験波

* 正会員 工博 琉球大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工修 琉球大学助教授 工学部土木工学科

現地観測による波周期は約6秒～7秒程度のものが大部分で分布範囲がせまい。そこで、実際の海の波の生起周期の範囲をも考慮に入れて実験波周期は0.8秒、1.6秒、2.4秒（現地波に換算すると約6秒、13秒、19秒）を基本とすることにした。実験波の波高は、これらの各周期に対し、波形勾配を考慮して3～4種かえた。

(5) 実験ケース

水位および実験波の条件によって実験ケースは分けられ、まとめると表-2.1のようになる。

表-2.1 実験ケース

実験 番号	Q_1	実験波		h (cm)
		周期 (sec)	波高 (cm)	
S-1-1	0.04	0.8	1.8～10.9	42.5
S-1-2		1.6	6.9～19.1	
S-1-3		2.4	5.1～21.2	
S-2-1	0.07	0.8	1.9～11.2	43.7
S-2-2		1.6	3.2～16.0	
S-2-3		2.4	2.7～16.1	
S-3-1	0.10	0.8	3.0～9.1	45.3
S-3-2		1.6	7.4～21.2	
S-3-3		2.4	2.3～18.0	
S-4-1	0.20	0.8	5.0～11.5	49.0
S-4-2		1.6	3.4～12.4	
S-4-3		2.4	2.9～19.2	

2.2 実験施設および実験模型

実験には琉球大学工学部土木工学科の2次元造波水路を用いた。同水路は鋼製で、長さ22m、断面は幅0.8m×高さ1.0mである。その一端に造波装置（発生波周期0.5秒～2.5秒、最大波高約30cm）がとりつけてあり、側壁の一部はガラスばりになっている。

実験模型の概要は図-2.3に示す通りである。模型再現域は前述のように図-2.2のE点より岸側であり、E点以深部はフラットとして水路底に対応させた。前面スロープの勾配は図-2.2に示す現地海底地形図のこまかい凹凸を均した平均的勾配に対応させて1/11とした。模型は鋼アングル材で骨組を作り、15mm厚の防水ベニヤ板をはりつけて製作した。

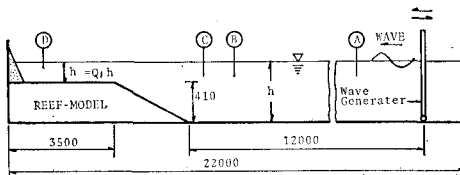


図-2.3 実験模型概要図

2.3 実験方法および計測

各実験ケースにつき、まず所定の水位にあわせた後造波して図-2.3に示す波高計(A)によって入射波を、波高計(B)によって通過波を計測記録した。同時に波高計

(B)、(C)を用いてHealy法による反射波計測を行なった。その後波高計(B)、(C)をリーフ天端付近で10cm～30cm程度の間隔で移動設置して碎波点以降の波高変化を計測した。波高計を移動するときは一旦造波機を止め、移動設置後改めて造波し計測した。

碎波点や碎波高については目視計測を行なうと共に、リーフ天端先端付近の波の変形現象を含めて普通カメラおよび8mmカメラで撮影した。

本実験での計測内容は主として波高計測であるが、計測には電気容量式波高計を用いビジグラフに接続して波形記録をとった。

3. 実験結果の現地への適用性の検討

リーフ模型実験の現地への適用性について検討するには色々な方法があると思われる。本研究ではこれまでの研究結果^{1),2),3)}をも考慮し、リーフによる波の変形に関して重要なパラメータと見做される相対水深 $\sigma^2 h/g$ (σ : 入射波の角周波数, h : 水深, g : 重力加速度), 入射波の波形勾配 H_i/L_i (H_i , L_i : 入射波の波高, 波長) およびリーフ天端水深 h_1 と入射波高 H_i の比 h_1/H_i に着目し、これらのパラメータと波の通過率の関係という観点から実験結果と現地実測結果の比較を行ない、両者の適合性について検討することにした。

したがって、実験結果は通過率・反射率と上記パラメータの関係で取纏めた。また、現地実測結果も実験結果と同様な方法で整理したが、各観測点（図-2.1のA～D点、ただしD点値はC点データ中に含めた）における各代表波高($\bar{H}$, $H_{1/10}$, H_{max})別に取纏め、各々実験値と比較できるようにした。

3.1 通過率と $\sigma^2 h/g$ の関係よりみた実験結果と現地実測結果の比較

図-3.1～3.3には実験と現地実測で得られたリーフ内の波の通過率の $\sigma^2 h/g$ に対する分布の比較図を示した。

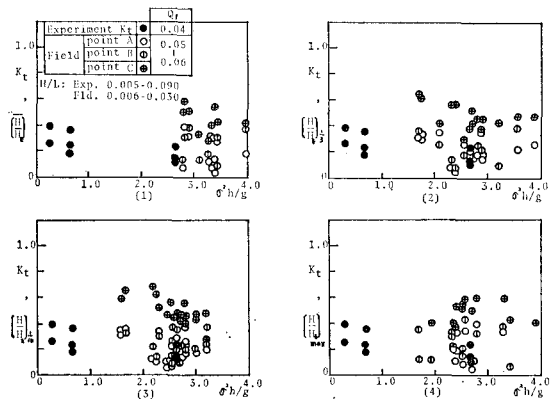
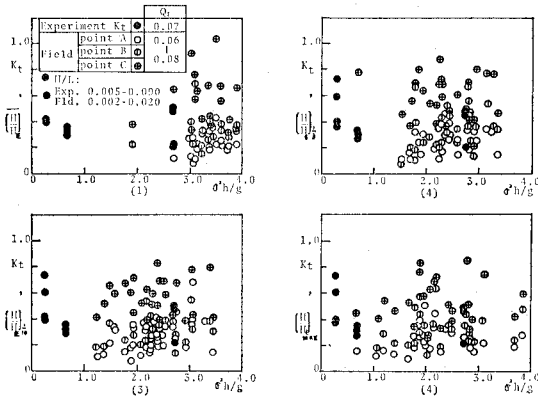
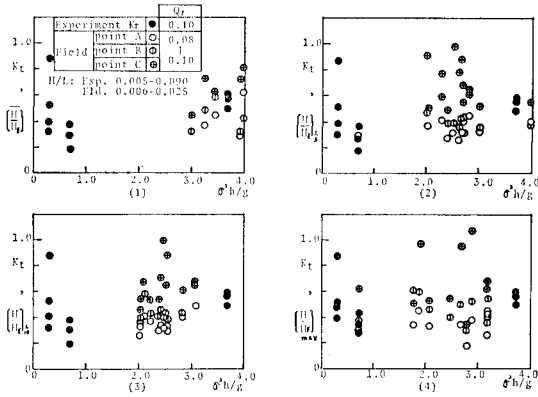


図-3.1 通過率と $\sigma^2 h/g$ の関係よりみた実験と現地実測結果の比較



図—3.2 通過率と $\sigma^2 h/g$ の関係よりみた実験と現地実測結果の比較



図—3.3 通過率と $\sigma^2 h/g$ の関係よりみた実験と現地実測結果の比較

全体的にみた場合、実験値は現地 A, B 点における実測値と比較的分布傾向が一致しているようである。C点における実測値は Q_1 (リーフ先端水深 h_1 と前面水深 h の比) が小さいとき (図—3.1) を除いてバラつきが大きく、分布傾向については明確なことは言えない。

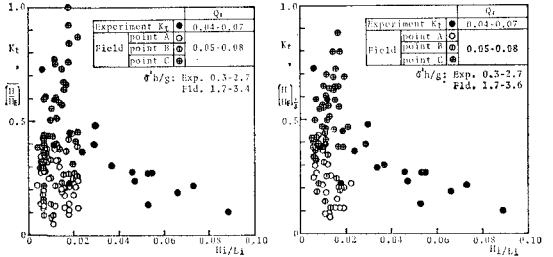
Q_1 が小的时候 (図—3.1) は、現地各点のいずれの代表波高をとった場合も通過率の分布傾向は実験値と一致していると見做される。この場合リーフ先端水深が小さいので、実験でも入射波はほとんどすべてリーフ前面スロープ上で碎波したのち、一種の段波の形態でリーフ上を伝播していき、波高分布は平滑化されてバラつきが小さくなったが、現地でも A, B, C 点と碎波点との位置関係を考えると同様な現象の起っていることが推測され、上述の結果はこのことによるものと思われる。

一方 Q_1 が大きいときは、潮位上昇によって碎波点が C 点近くになるため入射波条件によって同点波高はかなり変動することになり、したがって 図—3.2, 3.3 のように C 点実測値がバラつく結果になったものと考えられる。

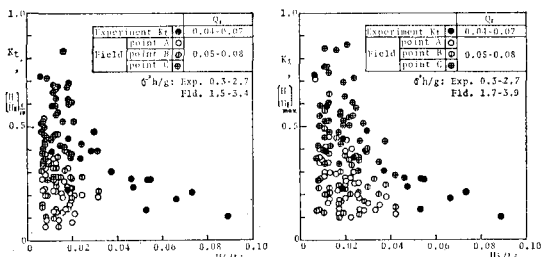
3.2 通過率と H_i/L_i の関係よりみた実験結果と現地実測結果の比較

図—3.4~3.8 には通過率と入射波の波形勾配 H_i/L_i の関係よりみた実験と現地実測結果の比較図を示した。

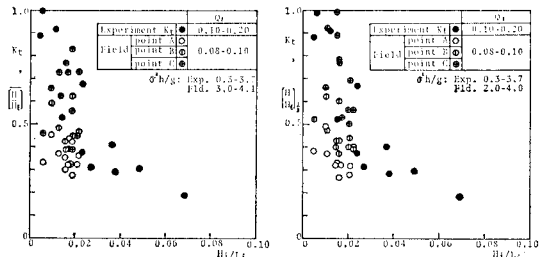
Q_1 が小さいとき (図—3.4) は、代表波高として $\bar{H}$, $H_{1/3}$ をとった場合 (図—3.4 (a)), 現地実測値の分布は $H_i/L_i < 0.02$ の範囲に限られていて実験値との適合



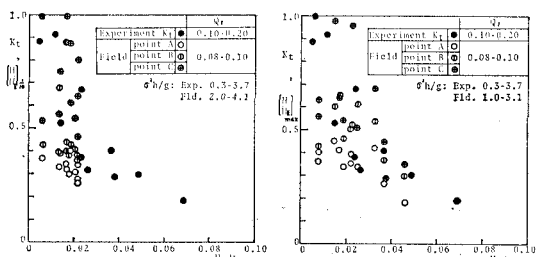
図—3.4(a) 通過率と H_i/L_i の関係よりみた実験と現地実測結果の比較



図—3.4(b) 通過率と H_i/L_i の関係よりみた実験と現地実測結果の比較



図—3.5(a) 通過率と H_i/L_i の関係よりみた実験と現地実測結果の比較



図—3.5(b) 通過率と H_i/L_i の関係よりみた実験と現地実測結果の比較

度は明確でないが、図—3.4 (b) を併せて考えれば A, B 点の実測値については実験値と同傾向の分布と見ることができよう。また、A, B 点の実測値は実験値に比べて小さくなっているが、これは現地海底リーフの凹凸等による波浪減衰効果が模型に比べてかなり大きくなることによるものと思われる。

Q_1 が大きいとき (図—3.5) は、実験値と現地実測値の適合度は全体的によく傾向を示している。 Q_1 が増すと Q_1 が小的时候に比べて相対的に海底による波浪減衰効果が小さくなると考えられ、模型と現地の波浪減衰に関する条件が近づくため上述の結果になると推察される。一般的に通過率の値については、実験値は C 点での実測値に近い値となっているが、これはこの点が 図—2.2 からわかるようにリーフ先端部に近く、波浪減衰に関する条件がモデルに近くなることによるものと考えられる。

3.3 通過率と h_1/H_1 の関係よりみた実験結果と現地実測結果の比較

図—3.6 は h_1/H_1 と通過率の関係から実験結果と現地実測結果を比較したものである。

実験・現地実測のいずれも通過率は h_1/H_1 の増加と共に大きくなる傾向を示しているが、 h_1/H_1 が大ということは入射波高に対してリーフ天端水深が相対的に大きいということだから波浪減衰効果は小さくなるはずであ

り、上述の結果は当然とも言えよう。

図によると現地 A, B 点の実測値はいずれの場合も実験値が上限となるような分布を示しているのに対し、C 点の実測値は全体的に実験値より大きくかつバラツキも大きい。その理由は 3.2 で述べたことと同じと考えられる。C 点で代表波高として $H_{1/10}$, $H_{\max}$ をとったときの実測値は実験値と同様な分布傾向を示すようである (図—3.6(b))。

4. 結 び

以上実験値と現地実測値の比較によりリーフ模型実験の現地への適用性について検討してきたが、得られた結果の主なものは次の通りである。

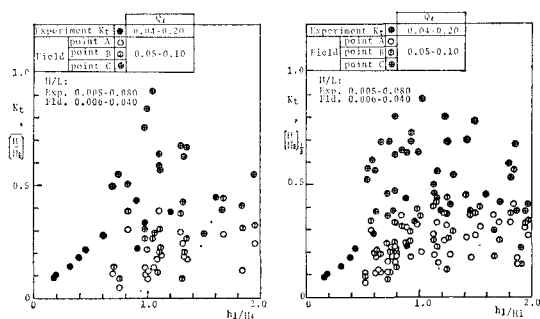
- 1) 通過率と $\sigma^2 h/g$ の関係よりみた場合、全体的には実験値は現地実測値の分布傾向に一致すると見做される。現地リーフ内の A, B 点の通過率は数値的には概して実験値に比べて小さいが、C 点通過率は実験値より大きい。
- 2) 通過率と H_1/L_1 の関係よりみた場合、リーフ天端水深のパラメータ Q_1 が小さいときは現地実測の代表波高、 $H_{1/10}$, $H_{\max}$ をとったときの結果が実験値との適合度はよいようである。 Q_1 が大きいときは、現地各点においていずれの代表波高をとった場合も、現地実測値は実験値と比較的よく適合する傾向を示す。
- 3) 通過率と h_1/H_1 との関係よりみた場合、実験による通過率は現地 A, B 点での実測値の上限を与えるような分布を示す。現地 C 点での実測値はバラツキが大きく実験値との適合度もあまりよくない。

以上のことより、リーフ模型実験は模型の形状条件や実験波の設定に注意すれば、比較的よく現地に適合し得るものであるということが出来る。

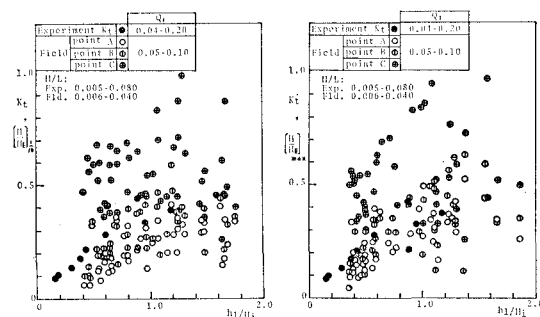
終りに、本研究は国建設工務株式会社の依頼によるものであることを付記し、同社の御好意に感謝申し上げる。また研究受託にしてお世話になった琉球大学事務当局の関係各位、並びに研究をすすめる上で御協力いただいた琉球大学土木工学科の筒井茂明助手に対しお礼申し上げる。さらに、実験に際し助力のあった、当時琉球大学土木工学科水工学研究室所属の卒研生諸君、特に直接実験およびデータ整理に当たった藤原秀志・前浜敏克の両君に対し謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 河野二夫・津嘉山正光・筒井茂明：有限 Step 形状の Reef による波の変形，琉球大学理工学部紀要工学篇，第 9 号，pp. 145~150，1975 年 3 月。
- 2) 河野二夫・津嘉山正光・筒井茂明：堡礁状 Reef による波の反射率と通過率，琉球大学理工学部紀要工学篇，第 12 号，pp. 167~188，1976 年 9 月。



図—3.6(a) 通過率と h_1/H_1 の関係よりみた実験と現地実測結果の比較



図—3.6(b) 通過率と h_1/H_1 の関係よりみた実験と現地実測結果の比較

- 3) 津嘉山正光: Barrier-Reef による波の変形, 琉球大学理工学部紀要工学篇, 第 12 号, pp. 189~198, 1976 年 9 月. する現地調査, 第 25 回海講論文集, pp. 146~150, 1978 年 11 月.
- 4) 河野二夫・永松一甫・喜屋武忠: リーフ上の波の変形に関
-