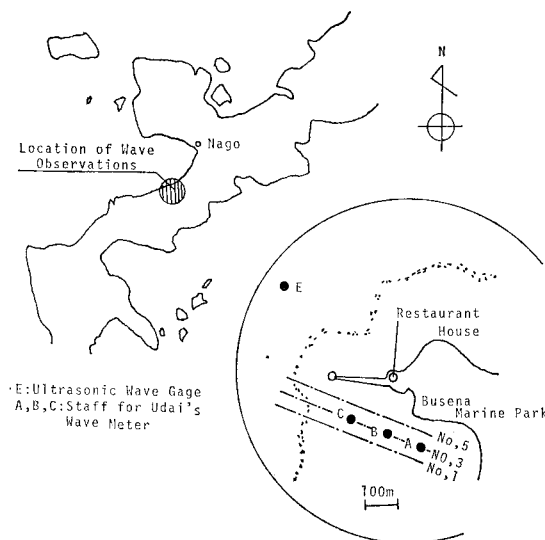


リーフ上の波の変形に関する現地調査

河野 二夫*, 永松 一甫**, 喜屋 武忠***

1. 緒 言

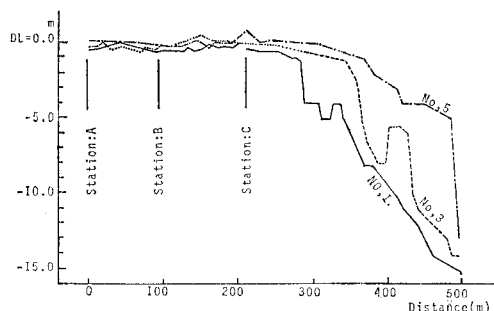
沖縄諸島の海岸は全般的にリーフが分布している。リーフによる波の変形やリーフ内の波の特性に関する問題は単に興味ある課題であるのみならず、海岸構造物の設計施工や海辺汚染等の問題点を解決する上において極めて重要である。リーフによる波の変形に関しては従来より研究がなされており、例えばリーフを堡礁形状で仮定した場合の規則波による研究¹⁾や沖側が一様斜面を有する場合で不規則波による波浪特性の研究²⁾等がある。本論文は 図—1 に示すような沖縄県本島部瀬名海岸で昭和 50 年, 51 年, 52 年に現地波浪を観測し (平常時 7 回, 波浪警報時 1 回, 波浪注意報時 10 回), その資料を解析し結果を示したものである。



図—1 波浪観測地点

2. 調査方法と調査内容

観測地点の海底地形図を 図—2 に示す。同地点の形状は沖縄諸島の代表的なものとは云えないが、地点の選定には沖側に波高計が設置されている事を第一の条件とし



図—2 波浪観測地点の海底地形図

た。

主な調査内容は波形, 波向, 潮位および風速の観測である。波の観測方法は沖側が超音波式波高計 (図—1 の E 点で水深約 27 m), リーフ内 (水深 1 m ~ 3 m) は宇田居式波高計を海中公園レストランハウス (図—1 参照) 内に設置して, リーフ内に設置した波高計測桿 (図—1 の A, B, C 点) 上の波を観測した。なお, 観測資料の取纏めには風向が NW ~ NNW の範囲のものに限定した。宇田居式波高計による資料の妥当性については 1977 年 11 月に改めて 8 m/m カメラによる方法との比較検討を行い, Zero-up-cross 法による波高 (以下波高) やパワースペクトルの解析結果に対しては両者は概略一致した。また水面の出現頻度では平均水面付近の頻度が一致しない³⁾。

3. 波浪観測値の解析結果と考察

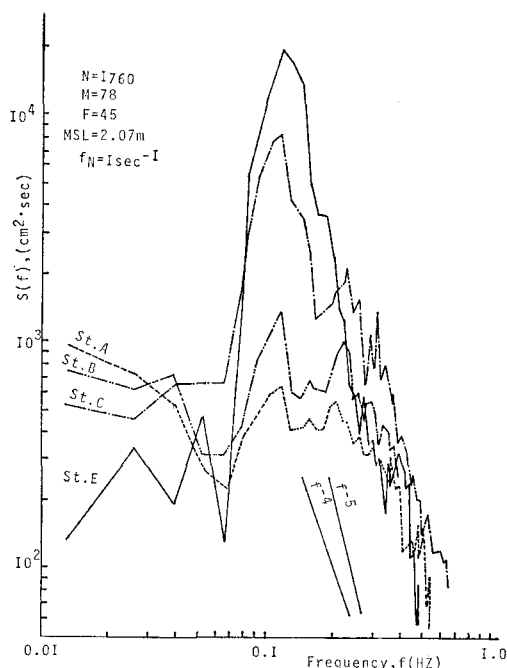
3.1 波のパワースペクトル

観測時間 10 分 ~ 15 分間の波形記録を 1 秒間隔で読み取り, 更に読み取り値相互間の平均値を電子計算機に読み取らせて資料に加える事にして Tukey の方法⁴⁾でスペクトルを計算し Hamming Window で Smoothing を行いパワースペクトル $S(f)$ を計算した結果が 図—3.1 ~ 図—3.2 に示してある。図の中で, N : 読み取り資料総数, M : 最大ラグ, F : 自由度, MSL : 平均潮位 ($DL=0.0$ を基準), f_N : Folding Frequency である。なお, 読み取り間隔は 0.5 sec としてある。図によると沖側は卓越周波数が 0.11 sec^{-1} 付近にあり, $MSL=2.07 \text{ m}$ の

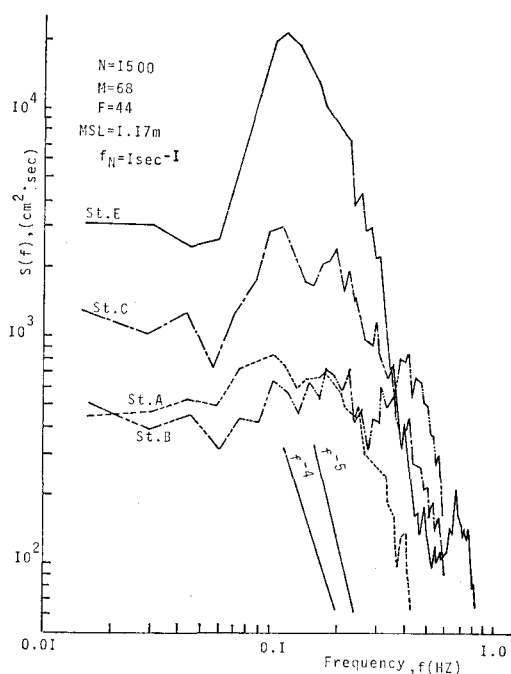
* 正 会 員 工博 琉球大学教授 理工学部土木工学科

** 国建工務株式会社 常務取締役

*** 学生会員 沖縄県土木部港湾課



図—3.1 パワースペクトルの変形 (Dec. 3, 1976)

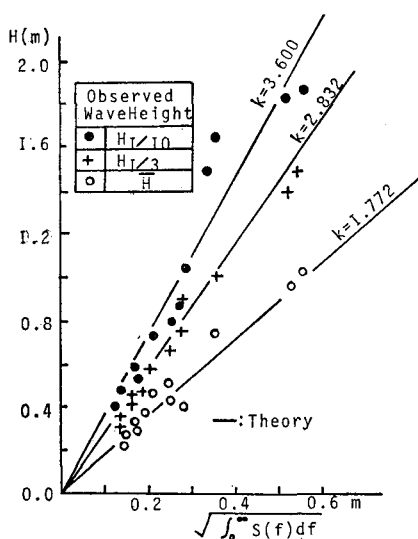


図—3.2 パワースペクトルの変形 (Feb. 10, 1977)

時の高周波数側は Phillips の提案した f^{-5} 則⁵⁾ に従っている。リーフ内では波が進行するに伴って、主要なパワーが明確でなくなり高周波数側のパワーの減衰率も沖側のものより緩和している。以上の傾向は潮位が低下する程強くなっている。

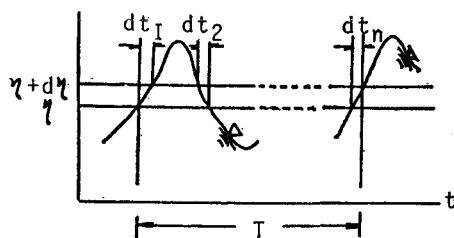
3.2 波高と波高分布および水面変動

図—3.3 には波の全エネルギーと波高の関係が示して



図—3.3 波高分布と波の全エネルギーの関係

ある。図中の実線は Longuet-Higgins による理論値⁶⁾を与えてある。すなわち、 $E = \int_0^\infty S(f)df$, $H = k\sqrt{E}$ による常数 k の値を平均波高 ($\bar{H}$), 有義波高 ($H_{1/3}$), $1/10$ 最大波高 ($H_{1/10}$) に対しのおおの 1.772, 2.832, 3.600 とした場合の関係直線を示してある。なお資料は 4 観測点 (E, A, B, C の各点) の波形記録 (1976 年 12 月 3 日および 10 日と 1977 年 2 月 10 日) によるものである。次に波面の出現頻度を調べることにする。図—3.4 に示



図—3.4 説明図 (水面変動)

した水面が η と $\eta + d\eta$ の範囲にある確率は $p(\eta)$ を確率密度関数とするとき次式で与えられる。

$$p(\eta)d\eta = \lim_{T \rightarrow 0} \frac{1}{T} \sum_{n=1}^N dt_n \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

海洋波の不規則性が正規分布に従うものとすれば⁷⁾ 水面 η の確率密度関数は次式で示される。

$$p(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{X^2}{2}\right) = \frac{1}{\Delta X} \cdot \frac{NN(X)}{N} \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

上式で、 $X = (\eta - \bar{\eta})/\sigma$, σ は標準偏差, $\bar{\eta}$ は平均水面高である。なお、右辺の項は資料に対するもので N : 資料総数, $NN(X)$: $d\eta$ の範囲の読み取り個数, ΔX : 読み取り間隔 (0.16) である。以上の関係を 図—3.5~図—3.6 に示した。

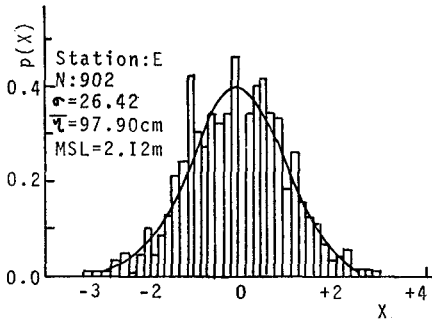


図-3.5 水面の出現頻度 (Dec. 3, 1976)

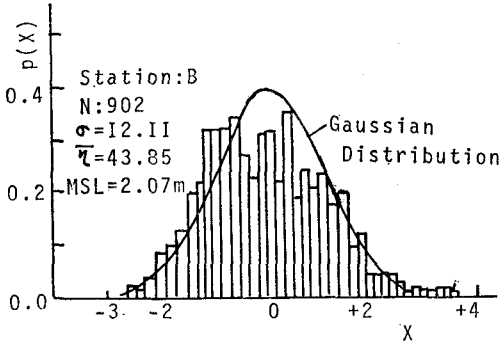


図-3.6 水面の出現頻度 (Dec. 3, 1977)

次に Zero-up-cross 法による代表波高が沖側 (E 点) とリーフ内 (A, B, C 点) でどの様になるかを 図-3.7~図-3.9 示した。図は平均潮位 (M.S.L) が 1.3 m 以上の場合を示してあるが、C 点は沖側とほぼ比例関係にあるのに対し B, A 点で沖側の波高が増大する程その

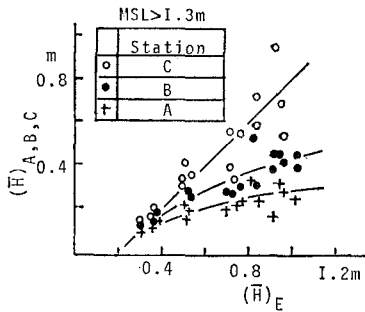


図-3.7 沖側とリーフ内の波高の比較 ($\bar{H}$)

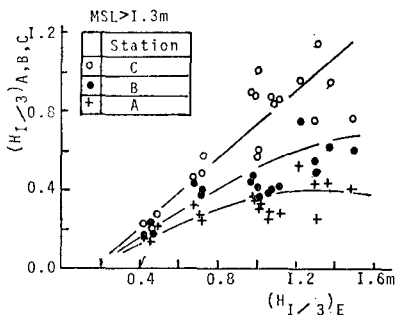


図-3.8 沖側とリーフ内の波高の比較 ($H_{1/3}$)

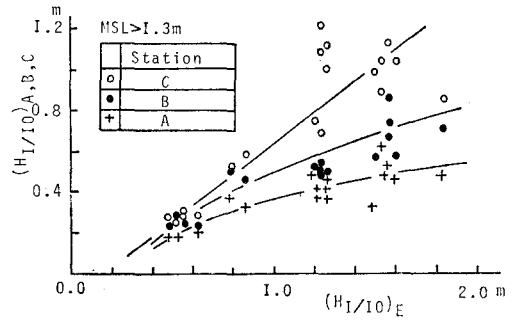


図-3.9 沖側とリーフ内の波高の比較 ($H_{1/10}$)

減衰率は大きい。次に潮位が波高減衰に及ぼす影響を示したものが 図-3.10~図-3.13 である。沖側と A 点の

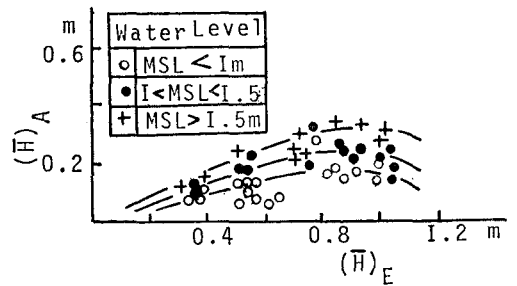


図-3.10 潮位と波高減衰の関係 ($\bar{H}$)

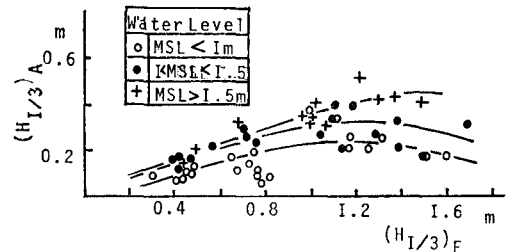


図-3.11 潮位と波高減衰の関係 ($H_{1/3}$)

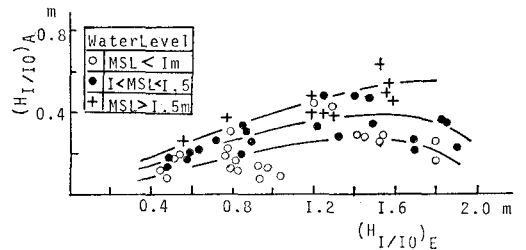


図-3.12 潮位と波高減衰の関係 ($H_{1/10}$)

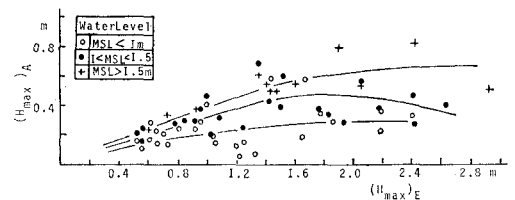


図-3.13 潮位と波高減の関係 (H_{max})

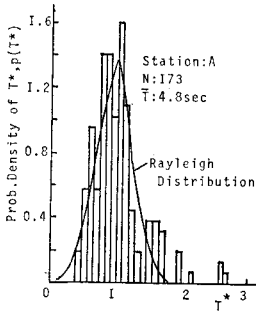
関係だけを示したが、注目すべきいとは、沖側の波高がある限界以上になると、リーフ内の波高は逆に小さくなる傾向を示している。

3.3 周期の分布

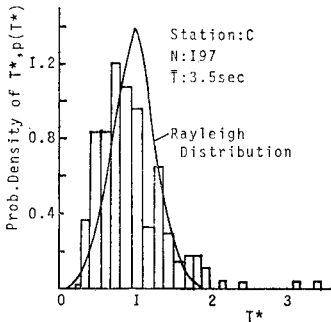
Bretschneider は周期の 2 乗分布を Rayleigh 分布で与えた⁸⁾。周期の確率密度関数は次式になる。

$$p(T^*) = 2.7(T^*)^3 \exp \{-0.675(T^*)^4\} = f/\Delta T^* \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

上式で、 $T^* = T/\bar{T}$ 、 $\bar{T}$ ：平均周期、 f ： T の相対頻度(%)、 ΔT^* ： T の読み取り間隔 (0.14) である。Zero-up-cross 法による周期を式 (3.3) の右辺で整理したものが図—3.14～図—3.15 である。



図—3.14 周期の出現頻度 (Nov. 5, 1976)



図—3.15 周期の出現頻度 (Nov. 5, 1976)

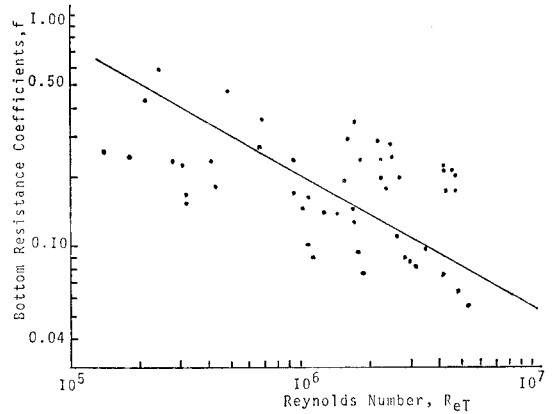
4. 海底摩擦係数

リーフ内の波高の減衰機構の中には、浅水効果、回折効果、屈折効果、砕波、内部摩擦効果、海底摩擦効果などが考えられる。今回の場合、回折や屈折は小さいと思われる。深海の場合で水の内部摩擦による波への影響は小さい⁹⁾。砕波の影響は極めて大きい。観測資料の関係で海底摩擦係数の中に含ませた。海底摩擦による波高減衰率を K_f とすると K_f は次式で与えられる¹⁰⁾。

$$K_f = \frac{H_2}{H_1} = \left[1 + \frac{64}{3} \cdot \frac{\pi^3 \cdot f \cdot H_1 \cdot K_s^3 \cdot \Delta x}{g^2 \cdot T^4} \left(\frac{1}{\sinh kh} \right)^3 \right]^{-1} \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

上式で H_1 ：沖側波高、 H_2 ：リーフ内波高、 f ：摩擦係数、 Δx ：区間距離、 K_s ：浅水係数、 T ：周期である。

図—1 の C 点と A 点に対し、Zero-up-cross 法で求めた有義波高に対し、式 (3.4) により f を求めたものが図—4 に示してある。図—4 で横軸は Reynolds 数で



図—4 海底摩擦係数

$Re_T = (u_{b,max})^2 \cdot T / \nu$ で定義したものである。ここで u_b ：海底の水粒子速度、 T ：有義波周期、 ν ：動粘性係数 ($0.01 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec}$) である。 f の傾きは、層流理論による場合¹¹⁾とほとんど一致するが、その値は層流の場合の約 100 倍となる。また京都大学が測定した秋田海岸等の場合¹¹⁾の約 2 倍の値になる。この理由は砕波等の影響ではないかと思われる。

5. 結 論

以上の内容は次のように要約される。

- ① 沖側の波のスペクトルは主要なパワーが明確であるがリーフ内は卓越したパワーが弱く、一様化する。
 - ② 全エネルギーと代表波高の関係は理論値にほぼ一致する。
 - ③ リーフ内の波高は沖側に対し相当に減衰する。特に沖側が限界以上になるとリーフ内は逆に減衰率は大きい。
 - ④ リーフ内の海底摩擦係数は Reynolds 数と関係しているが、平均的には $f=0.15$ 程度となる。ただし砕波の効果が若干含まれていると考えられる。
- 本研究に対し沖縄開発庁建設部河川課の援助を受けた。なお、数値計算には琉球大学電子計算器 FACOM・230-15 を使用した。関係各位に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 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, 琉大理工学部紀要工学篇第 12 号, pp. 167~188, 1976.

- 2) 高山知司・神山 豊・菊池 治: リーフ上の波の変形に関する研究, 港湾技術研究所資料, No. 278, 1977.
 - 3) 河野二夫: 沖縄本島海岸の波浪観測——カメラおよび宇田居の方法で観測された波浪の比較——, 琉大理工学部紀要・工学篇第 17 号, 1978. (投稿中)
 - 4) 高橋智晴・鈴木禧実・中井徹也: 波高計による観測データの処理方法, 港湾技術研究所資料, No. 39, pp. 19~20, 1967.
 - 5) 日野幹雄: スペクトル解析, 朝倉書店, p. 31.
 - 6) Ippen, Editor: Estuary and Coastline Hydrodynamics, p. 150, McGraw-Hill Book Company.
 - 7) 井島武士: 海岸工学, 朝倉書店, p. 282.
 - 8) Goda, Y.: Numerical Experiments on Wave Statistics with Spectral Simulation, Report of P.H.R.I., Vol. 9, No. 3, p. 8, 1970.
 - 9) Lamb, H.: Hydrodynamics, 6th, Edition, Cambridge, p. 67.
 - 10) 堀川清司: 海岸工学, 東京大学出版会, p. 34.
 - 11) 岩垣雄一・柿沼忠男・宮井 宏: 現地海岸における海底摩擦係数について, 第 12 回海講講演集, p. 38, 1965.
-