

現地データに基づくリーフ上の波浪変形に対する一考察

Consideration on Wave Deformation over Coral Reef

小竹康夫*・鶴谷広一**・菅沼史典***

KOTAKE, Yasuo , TSURUYA, Hiroichi and SUGANUMA, Fuminori

* (財) 沿岸開発技術研究センター 調査部 研究員

** 東海大学 海洋研究所 教授 (前 (財) 沿岸開発技術研究センター 理事)

*** 内閣府 沖縄総合事務局 開発建設部 港湾環境技術指導官

In this report, wave deformation over the coral reef is considered on the basis of field data, which were obtained in the area of Hirara Port, Miyako Island, Okinawa Pref. in 1999.

It is shown that the method proposed by Tanimoto et al. in 1986 for double peaked spectral waves can estimate the decay of significant wave period reasonably, however, energy balance equation is not applicable for the non-linear phenomena, such as wave breaking.

Key Words: wave deformation over the coral reef, double peaked spectral waves, non-linear phenomena

1. はじめに

沖縄県宮古島に位置する平良港は、自然静穏度に富む良好として古来より栄え、宮古島における流通の玄関口として機能してきたが、最近の集中的な港湾整備により、その機能と規模が飛躍的に拡大しつつある。それにともない、防波堤建設も沖合に展開するようになり、構造物の大規模化が必要となってきた。

一方で、平良港周辺の海域は、宮古島本島から伸びる細長い岬や島々に囲まれているだけでなく、周辺には大小さまざまなサンゴ礁が複雑に点在しており、こうした海域に、通常的设计に用いられている手法を適用することは非常に困難である。

そこで本研究では、平成 11 年度に平良港で実施した波浪の現地観測結果を用いて、リーフ上での防波堤等、港湾施設設計に必要な波浪の波高および周期特性について考察を加えることを目的とした。

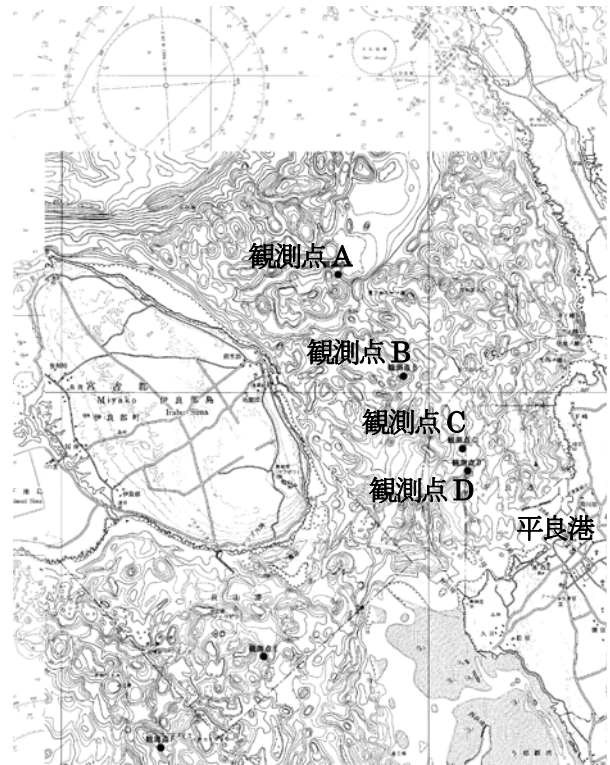


図-1 平良港周辺の地形と波浪観測点

2. 現地観測結果

2.1 有義波高と有義波周期

検討対象とした平良港周辺の地形と、波浪観測点位置を図-1 に示す。

現地観測期間中の 1999 年 9 月 20 日から 22 日にかけて、台風 9918 号が宮古島付近で大きく発達しながら通過しており、中心気圧は 9 月 20 日に 985~970hPa, 21 日に 970~945hPa, 22 日にはこの台風のピーク値である 945~930hPa を示しており、水圧式波高計および電磁流速計のデータが取得されている。ここでは、9 月 22 日 19 時から 21 時のデータをもとに検討を行うものとした。各観測点での有義波高および有義波周期を表-1 に示す。なお、

表-1 波浪の現地観測結果

有義波高(m)	19 時	20 時	21 時
有義波周期(s)			
観測点A (水深 26m)	4.76 10.48	5.31 9.93	4.74 9.05
観測点B (水深 23m)	3.20 7.83	2.86 8.70	2.81 8.51
観測点C (水深 14m)	2.40 8.02	2.21 7.10	2.30 7.50
観測点D (水深 9m)	1.49 5.51	1.52 5.51	1.35 5.76

波高測定は1時間ごとに20分間、サンプリング周期0.5秒で測定されており、水圧式波高計で取得されたデータは橋本ら¹⁾の方法を用いて、表面波に換算した。

2.2 波別解析結果

表面波の時系列データをゼロアップクロス法により波別に分離し、各観測点における波高と周期の相関を確認した。結果の一例として、9月20日20時における観測点AとDの結果について図-2に示す。図の横軸は各波の周期を有義波周期で無次元化し、縦軸は波高を有義波高で無次元化して示した。

これらの図より、観測点Aで対象とした時刻に観測された個々波のうち、最大の周期は有義波周期の1.5倍程度、最大の波高は有義波高の1.8倍程度であるが、D点においては、最大の波高が有義波高の1.8倍程度、最大の周期が有義波周期の2.5倍程度になることが分かる。

2.3 スペクトル解析結果

波別解析に用いたのと同じデータをもとにスペクトル解析を行った結果を図-3に□印で示す。図には、式(1)

に示す Bretschneider-光易型スペクトル(以下 B-M スペクトル)の有義波周期 $T_{1/3}$ と有義波高 $H_{1/3}$ に、各観測点での有義波周期と有義波高を用いた曲線を BM' で、観測点 A における有義波周期と各観測点における有義波高を用いた曲線を BM で記した。B-M スペクトルは以下の式で示される。

$$S(f) = 0.205 H_{1/3}^2 T_{1/3}^{-4} f^{-5} \exp\{-0.75(T_{1/3} f)^4\} \quad (1)$$

ここで、 f は周波数である。

これらの図より、観測点 A では実測結果で二山型の傾向があるものの、B-M スペクトルとの一致度は概ね良好であるが、観測点 D では実測結果でスペクトルのピークが3つに分裂しており、観測点 A の有義波周期を用いたスペクトルのピーク周波数が実測の一番長周期側のピークに、観測点 D の有義波周期を用いたスペクトルのピーク周波数が実測の中央のピークにはほぼ相当することが分かる。

スペクトル解析および波別解析の結果から、ここで対象とした波浪データは、観測点 A では B-M スペクトルを仮定した理論の適用が可能な線形領域の波浪と言えるが、観測点 D では、砕波などの非線形の影響を強く受けていることが分かる。

3. 波浪変形の再現方法

3.1 エネルギー平衡方程式による波浪変形計算

(1) 計算方法

計算には間瀬ら²⁾による回折を考慮したエネルギー平

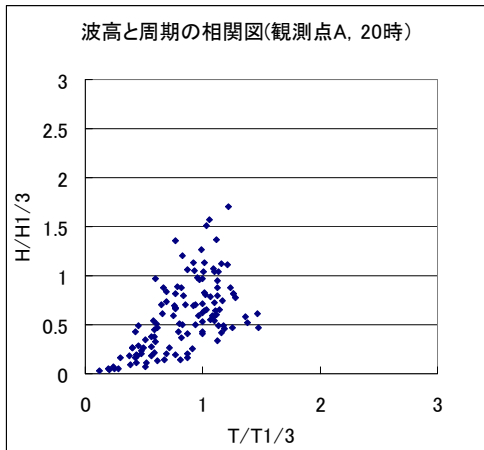


図-2(1) 波高と周期の相関 (観測点 A)

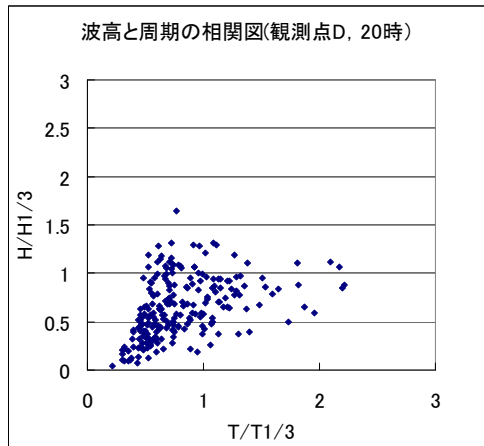


図-2(2) 波高と周期の相関 (観測点 D)

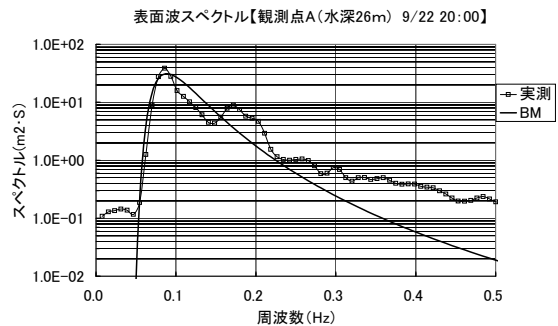


図-3(1) 周波数スペクトル (観測点 A)

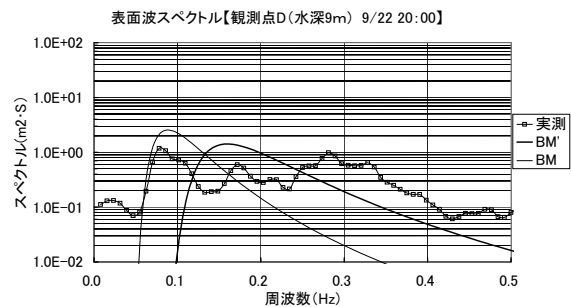


図-3(2) 周波数スペクトル (観測点 D)

表-2 計算条件

有義波高	5.35m
有義波周期	9.9 秒
波向き	NNW
S _{max}	25

表-3 計算結果と実測結果の比較

	有義波高		有義波周期	
	実測値	計算値	実測値	計算値
観測点 A	5.31m	5.31m	9.9s	9.9 s
観測点 B	2.86m	3.39 m	8.7s	9.6 s
観測点 C	2.21m	1.83 m	7.1s	9.6 s
観測点 D	1.52m	1.67 m	5.5s	9.0 s

平衡方程式による方法を用いるものとした。ここでは紙面の都合上、詳細の説明は省略する。

(2) 計算格子サイズ

本検討で対象とする平良港は、リーフが点在することが特徴であり、波浪変形計算に際しては、この影響を十分に反映させる必要がある。そこで、数種類の計算格子サイズを用いて試算を行い、格子サイズと波高変化の関係を検討した。その結果、波高の計算結果に有意な差が生じない最大の格子サイズとして、観測点 A~B のほぼ中央より岸側の領域では 40m、それより沖側の領域では 80m のメッシュを用いるものとした。

(3) 計算条件

計算では、観測点 A で一番大きな有義波高が観測された 1999 年 9 月 22 日 20:00 の波浪状況を再現することとし、沖波条件としては観測点 A での有義波を再現できるように換算沖波を与えるものとした。試算の結果、表-2 の通り計算条件を設定した。

(4) 計算結果

計算結果と実測結果の比較を表-3 に示す。

有義波高については実測値と計算値の整合は概ね良好である。しかし、有義波周期については実測値で見られる周期の低減は再現できていない。これはエネルギー平衡方程式の適用範囲が、線形な現象を対象としているのに対して、今回対象とした波浪データは、先の検討でも示した通り、非線形な現象であるためと考えられる。

3.2 二山型周波数スペクトルを考慮した波浪変形計算

(1) 計算方法

図-3 に示す通り、実測結果のうち観測点 A では概ね B-M スペクトルの形状を示すものの、二山型の傾向があり、観測点 D では、スペクトル形状にピークが 3 つ存在する

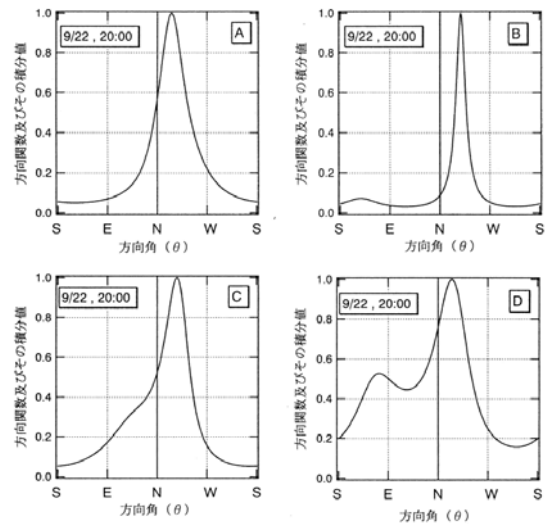


図-4 9 月 22 日 20:00 における各観測点での方向関数

ことが分かった。また、観測点 C および観測点 D においても、二山型の周波数スペクトル形状を示すことが確認されており、異なる波群の波が重畳していると考えられる。また、観測点 A での方向関数は図-4 に示す通り、ほぼ一方向の波であるため、この 2 つの波群は同じ波向きであることが分かる。

そこで、同じ波向きで周期の異なる二つの波群が重畳していると考え、谷本ら³⁾に従い、二つの波群をそれぞれ計算し、その結果を合成する方法を用いて、波浪変形の再現を試みた。まず重畳する以前の波群に対しては各々添え字 I と II を付して次の通り定義する。

$(H_{1/3})_I, (H_{1/3})_{II}$: 重畳前の波群 I, II の有義波高(m)

$(T_{1/3})_I, (T_{1/3})_{II}$: 重畳前の波群 I, II の有義波周期(秒)

ここで、周期の短いほうの波群を I とする。また合成波の有義波高と有義波周期は次式により計算する。

$$H_{1/3} = \sqrt{(H_{1/3})_I^2 + (H_{1/3})_{II}^2} \quad (2)$$

$$T_{1/3} = k \sqrt{\frac{(H_{1/3})_I^2 + (H_{1/3})_{II}^2}{\frac{(H_{1/3})_I^2}{(T_{1/3})_I^2} + \frac{(H_{1/3})_{II}^2}{(T_{1/3})_{II}^2}}} \quad (3)$$

ここで、

$$k = 1.0 + \alpha(R_H / \mu)^{-0.121A \ln(R_H / \mu)}$$

$$\alpha = 0.08(\ln R_T)^2 - 0.15 \ln R_T$$

$$\mu = \begin{cases} 0.632 + 0.144 \ln R_T & (0.1 \leq R_T < 0.4) \\ 0.6 & (0.4 \leq R_T \leq 1) \end{cases}$$

$$A = \begin{cases} 13.97 + 4.33 \ln R_T & (0.1 \leq R_T < 0.8) \\ 10.0 & (0.8 \leq R_T \leq 1) \end{cases}$$

$$R_T = (T_{1/3})_I / (T_{1/3})_{II} \quad (0.1 \leq R_T \leq 1)$$

$$R_H = (H_{1/3})_I / (H_{1/3})_{II}$$

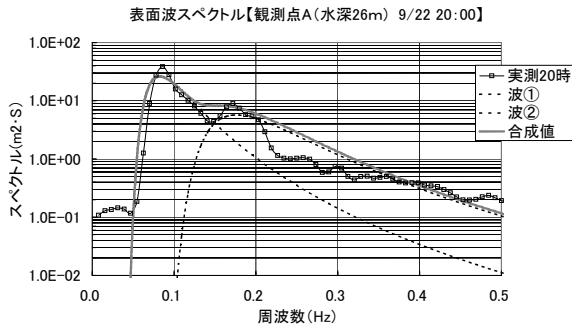


図-5 二山型スペクトルの合わせ込み

表-4 二山型スペクトルの有義値と沖波条件

	観測点 A			沖波	
	波群 I	波群 II	合成	波群 I	波群 II
有義波高 (m)	4.7	3.2	5.7	4.7	3.2
有義波周期 (秒)	10.7	5.0	8.5	10.7	5.0

(2) 計算条件

沖波条件の設定に際しては、観測点 A での有義波の状況を再現できるようにするものとした。図-5 には観測点 A で実測結果に対して二山型のスペクトルを合わせ込んだ状況を、表-4 には二山に相当する各波群の有義値およびそれから設定した沖波の条件を示す。

(3) 計算結果

計算結果と実測結果の比較を表-5 と図-6 に示す。

これらより、有義波高については実測結果に比べ計算値のほうが多少大きくなる傾向があるが、これは周波数スペクトルを B-M スペクトルで合わせ込みする際にスペクトル形状が完全に一致しないためと考えられる。一方、有義波周期については周期の低減が再現されているものの、実測値と比較して低減率は小さい。これは、リーフ地形の影響により、二山型の周波数スペクトルを用いたエネルギー平衡法でも考慮できない波の分裂などの非線形な現象の影響が強いためと考えられる。

4. おわりに

本研究では、平良港で得られた波浪の現地観測結果を元に、リーフ上での波浪の波高および周期の変形特性について検討した。その結果、次のことを確認した。

- ① 実測結果で、観測点 A における周波数スペクトルは二山型の傾向を示し、観測点 D では非線形の影響を受けて、エネルギー平衡方程式では波浪変形を再現できない。
- ② 二山型の周波数スペクトルを考慮する方法でも、非線形の影響は再現できないが、波浪変形に伴う有義波周

表-5 計算結果と実測結果の比較

	有義波高			
	実測値	計算合成値	計算値波群 I	計算値波群 II
観測点 A	5.31m	5.69m	4.70m	3.20m
観測点 D	1.52m	2.17m	1.52 m	1.55 m
	有義波周期			
	実測値	計算合成値	計算値波群 I	計算値波群 II
観測点 A	9.9 s	8.48 s	10.7 s	5.0 s
観測点 D	5.5 s	7.13 s	9.9 s	5.3 s

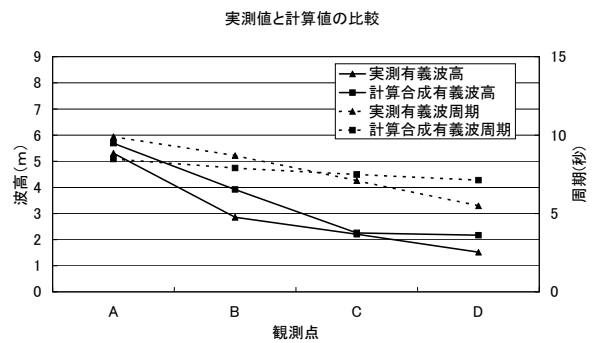


図-6 計算結果と実測結果の比較

期の低減を表現することが可能である。

これらは、現地の詳細地形の把握が可能な平良港において観測された現地データに対して得られた結論であり、この結果を一般的に設計に反映することは出来ないが、同様のリーフ地形を有する地域において、この手法を設計に役立てることの可能性を示唆したものである。

最後に、本研究は平成 13 年度沖縄におけるリーフ上の波浪変形検討会(委員長: 仲座栄三 琉球大学助教授)のご指導のもとに実施されたものである。ここに記して、関係各位に心からお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 橋本典明・永井紀彦・菅原一晃・浅井正・朴慶寿: 波浪と多方向性と弱非線形性を考慮した水圧波から表面波への換算法について、港湾技術研究所報告, 第 32 巻, 第 1 号, pp. 27-51, 1993.
- 2) 間瀬肇・高山知司・国富将嗣・三島豊秋: 波の回折を考慮した多方向不規則波の変形計算モデルに関する研究, 土木学会論文集 No. 628/II-48, pp. 177-187, 1999. 8
- 3) 谷本勝利・木村克俊・Antonio Paulo dos Santos Pinto: 二山型スペクトル波による混成堤に働く波力と設計周期の算定法, 港湾技術研究所報告, 第 25 巻, 第 2 号, pp. 3-27, 1986.