

京都大学防災研究所  
京都大学大学院

フェロー 高山 知司  
学生員 ○ 帯包 浩司

## 1 研究の目的

実海域における波浪は、波高、周期および波向が短時間の間に連続的に変化する。このようにとらえた場合の波浪を「非定常波浪」と呼ぶ。

本研究では、海浜地形の変形などの現象のより詳細な検討を可能にするために、造波装置による水理模型実験に適用可能な、非定常波浪の造波方法を提案する。

## 2 従来の方法

一方向不規則波信号は、次式に示すように、 $N$  個の規則波（余弦波）のかさねあわせとしてシミュレーションできる。

$$\zeta(t) = \sum_{n=1}^N \frac{a_n}{F_n} \cos(2\pi f_n t + \epsilon_n) \quad (1)$$

ここに、 $n$  は各成分波を意味し、 $a_n$  は各成分波の振幅、 $f_n$  は各成分波の周波数を示している。 $F_n$  は各成分波の造波効率である。造波効率とは発生波高と造波板の変位の振幅との比を表わすもので、周波数の関数である。 $a_n$  は次式により与えられる。

$$a_n = \sqrt{2 \int_{f_1}^{f_2} S(f) df} \quad (2)$$

ここで  $f_1$ 、 $f_2$  は  $n$  番目の周波数が代表する周波数の下限と上限であり、 $S(f)$  は周波数スペクトルである。

従来のように定常波浪を造波する場合、用いるスペクトルが定常であるため、各成分波の振幅も定常であった。

## 3 本研究で提案する方法

### (イ) 非定常波浪の表現方法

本研究では、時々刻々と変化するスペクトルを、時系列に並べる方法（短時間スペクトル法）を用いて非定常波浪を再現する。その際、観測時刻以外の任意時刻におけるスペクトルの再現方法として、ある時刻のピーク周波数・スペクトルピーク値を時間的に線形内挿する方法を用いた。

スペクトルは、次式で示される修正ブレットシュナイダー・光易型を仮定した。

Koji OBIKANE, Tomotsuka TAKAYAMA

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

この式を用いた場合、有義波高と有義波周期がわかれば、スペクトルの形状（ピーク周波数、スペクトルピーク値など）は定まる。したがって、有義波高・周期の観測時刻においてスペクトルはひとつに定まる。

次に、観測時刻以外の任意の時刻のスペクトルの再現方法を示す。観測時刻  $t_1$  と次の観測時刻  $t_2$  の間の任意時刻  $t$  のピーク周波数  $f_p(t)$ 、スペクトルピーク値  $S_p(t)$  は、観測値間を線形に内挿することによって、以下のように表すことができる。

$$f_p(t) = f_{p1} + \frac{f_{p2} - f_{p1}}{t_2 - t_1} (t - t_1) \quad (4)$$

$$S_p(t) = S_{p1} + \frac{S_{p2} - S_{p1}}{t_2 - t_1} (t - t_1) \quad (5)$$

ただし、 $f_{p1}$ 、 $f_{p2}$  は、それぞれ、時刻  $t_1$ 、 $t_2$  のピーク周波数（観測値）、 $S_{p1}$ 、 $S_{p2}$  はスペクトルピーク値（観測値）である。

このようにして得られたスペクトルから、各時刻・各成分波の振幅を計算し、それらをたしあわせることで非定常波浪を再現する。

### (ロ) 周波数の選定方法

成分波の周波数を設定するためには、まず帯域を設定し、その帯域の中に適切な数だけ周波数をランダムに配置すればよい。

周波数の帯域は  $f_{\min} = 0.1 \times f_{p\min}$ 、 $f_{\max} = 5.0 \times f_{p\max}$  の範囲に設定した。ここで、 $f_{p\max}$ 、 $f_{p\min}$  は、それぞれ、観測時刻のピーク周波数のうちの最大値、最小値である。成分波数は、 $N = 500$  を用いた。

### (ハ) 周波数の違いによる波速の違いの考慮

実験水槽で造波する際には、造波板とターゲットとなる構造物が空間的に離れている。

したがって、多数の成分波をかさねあわせる不規則波の造波の場合には、成分波ごとに波速が異なることを考慮する必要がある。

この問題を解決するために、成分波ごとに時間をずらして造波するようにした。

## 4 実験水路を用いた非定常波浪の再現

長さ 50m、幅 1m、深さ 1.5m の一様水路を用いて実験を行い、有義波高・周期およびスペクトル形の再現性を検証した。

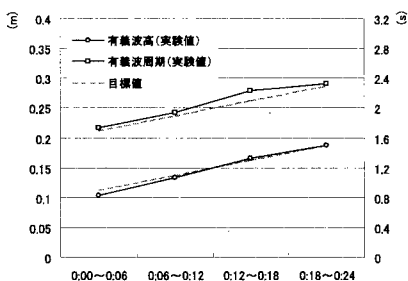


図 1:  $H_{1/3}$ ,  $T_{1/3}$  の経時変化 (単純化)

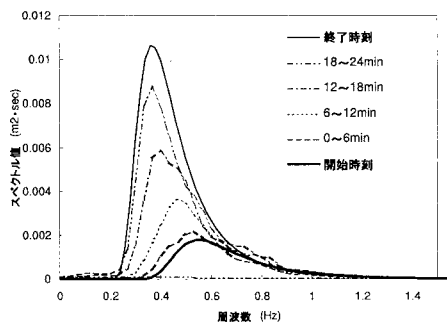


図 2: スペクトル形の経時変化 (単純化)

## (1) 条件を単純化した場合

まず、下表のように、条件を単純化して水路内に非定常波浪を再現し、結果を検証した。

| 時刻                  | 0:00 → 0:24 |
|---------------------|-------------|
| 有義波高 $H_{1/3}$ (m)  | 0.1 → 0.2   |
| 有義波周期 $T_{1/3}$ (s) | 1.6 → 2.4   |

図 1 には、 $H_{1/3}$  と  $T_{1/3}$  の経時変化を示した。図からわかるように、再現性は概ね良好であった。 $H_{1/3}$  については、最も誤差の大きい 0:00~0:06 でも、誤差は -8.4% であった。 $T_{1/3}$  については、最も誤差の大きい 0:12~0:18 でも、誤差は +6.2% であった。

図 2 には、スペクトル形の経時変化を示した。スペクトルは時間の経過にしたがって、滑らかに変化している。

## (2) 現地観測値を用いた時化の再現

— 輪島 (1997/11/30/14:00~12/1/04:00) —

次に、実際に輪島で観測された  $H_{1/3}$ ,  $T_{1/3}$  の値を用いて、水路内に時化を再現した。

図 3 には、 $H_{1/3}$  と  $T_{1/3}$  の経時変化を示した。ただし、図には、その時刻をはさんだ前後 2 分 (計 4 分) 間の有義波高・周期を示した。また、図 4 には、スペクトルの経時変化を示した。

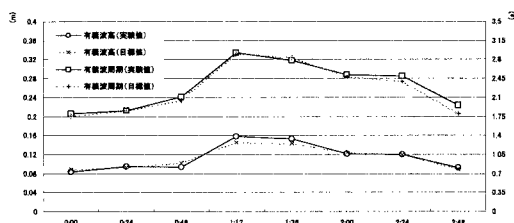


図 3:  $H_{1/3}$ ,  $T_{1/3}$  の経時変化 (現地観測値)

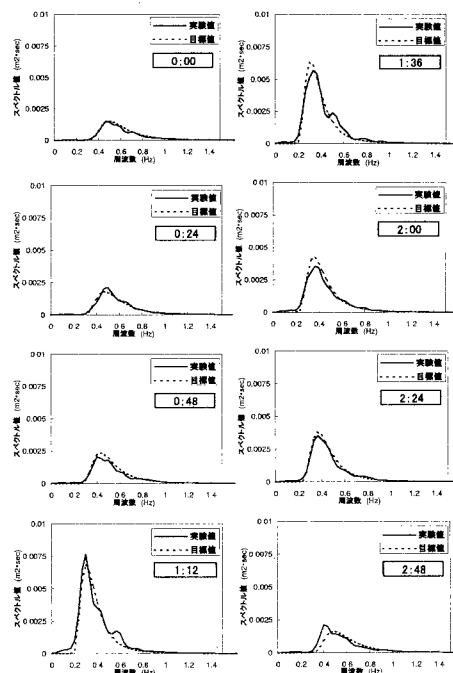


図 4: スペクトルの経時変化 (現地観測値)

図 3 からわかるように、 $H_{1/3}$ ,  $T_{1/3}$  の再現性は、概ね良好であった。 $H_{1/3}$  については、最も誤差の大きい 1:12 でも、誤差は +8.8% であった。図 4 のスペクトル形状を見て明らかなように、ピーク周波数の倍の周波数に、もうひとつ別のピークが現れていることの影響である。これは、造波された波の非線形性が現れたものである。

$T_{1/3}$  については、最も誤差の大きい 2:24 でも、誤差は +4.5% であった。これは、水槽の長さと同程度の波長を持つ波が、共振したことが原因である。

## 6 結論

本研究で提案した方法を用いて検証実験を行った結果、有義波高・周期の誤差は 10% 以下であり、精度は高かった。したがって、本研究で提案した方法は、実用的なものである。