

流れ場を伝播する不規則波の数値解析モデルに関する改良とその検証

長崎大学大学院 学生会員 ○近藤 達哉 長崎大学工学部 畑野 朋樹  
 長崎大学工学部 正会員 多田 彰秀 長崎大学工学部 平山 康志

1. はじめに

浅海域では流れの影響を受けて、不規則波の波高やスペクトルなどが著しく変化することは周知の事実である。しかし、そのメカニズムは完全に解明されておらず、波・流れの共存場に関する研究においても規則波を対象にしたものが少なくない。本研究では、まず、著者らが既に開発している Madsen タイプの拡張型 Boussinesq 方程式および波・流れ分散関係式から構成される不規則波の一次元数値解析モデルに改良を加える。次いで、波・流れ共存場に設置された潜堤近傍での不規則波特性を水理実験より明らかにするとともに、その再現計算を通して改良を加えた不規則波数値解析モデルの有効性を検証する。

2. 数値計算の改良点

著者らが既に開発したモデルでは、スペクトル特性を定性的にほぼ再現できたが、定量的な面では改良の余地が残されていた。その原因として2つのことが挙げられる。まず1つ目は、入射・流出境界における反射波の取扱いである。すなわち、昨年までのモデルでは反射波の影響に対する措置が十分になされていない。ここでは入射・流出境界にエネルギー吸収帯<sup>2)</sup>を導入している。2つ目は、発生させる Bretschneider 光易型スペクトルの不規則波の精度である。昨年のモデルでは成分波が 105 波であったのに対して、今回は成分波を 2,000 波にまで増加させて精度向上を目指している。

3. 水理実験の概要

水理実験に用いた造波水槽の概要を図-1に示す。図中の座標は、造波板の位置を原点として造波方向に x 軸、水面から上向きに z 軸を定義した。実験に際しては、水深を一定(0.7m)とし、造波機から 10m の地点に高さ 0.2m、上底 2m、下底 6m の台形潜堤の鋼製模型(斜傾 10:1)を設置した。波高計は、P10(x=4.5m)に 1 本、P24(x=11.5m)から P36(x=17.5m)までの間に 2m 間隔で造波方向に 4 本、計 5 本を設置した。実験ではまず流れ(断面平均流

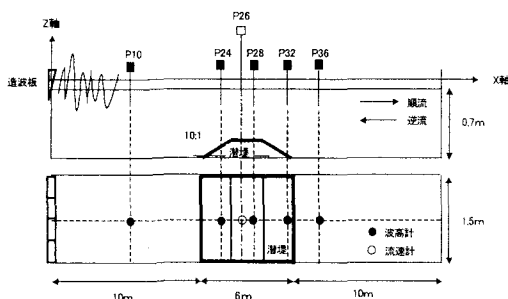


図-1 実験装置の概要

速)を発生させ、流れが定常状態に達したことを確認した後、造波を開始して上述の5地点で水面変動を、P26(x=12.5m)では流速を測定した。実験ケースは、波動場、流速条件(順流・逆流と流速値)および潜堤の有無を実験パラメータとして変化させた結果、計 18 ケースとなった。造波機に入力した波は、上述したように 2,000 個の成分波から構成される Bretschneider 光易型スペクトルの不規則波  $(\eta(t) = \sum_{i=1}^{2000} A_i \cos(\omega_i t + \epsilon_i))$  であり、有義波高  $H_{1/3}$  と有義波周期  $T_{1/3}$  は、それぞれ(0.09m, 2.1s)、(0.09m, 2.3s)、(0.07m, 2.1s)の3ケースを採用した。波高計と流速計のサンプリング周波数と計測時間は、すべてのケースで 50Hz、約 410sec とした。得られた実験データの解析に際しては、波別解析法としてゼロアップクロス法を採用するとともに、各測点で測定された 200~250 個の波から有義波高  $H_{1/3}$  と有義波周期  $T_{1/3}$  を算出した。また、スペクトルの計算には次式を用いた。さらに、計測した水面変動から Power spectrum を算定し、両者の比較も行った。

$$\phi(\omega) = \frac{0.432}{2\pi} \left( \frac{\bar{H}}{gT^2} \right)^2 g^2 \left( \frac{\omega}{2\pi} \right)^{-5} \exp \left\{ -0.675 / (\bar{T} \cdot \omega \cdot 2\pi) \right\}$$

$$\bar{H} = 0.625 H_{1/3}, T_{1/3} = 1.1\bar{T} \dots \dots (1)$$

ここで、 $\phi(\omega)$ は Spectrum density(m<sup>2</sup>・s)、 $\omega$ は角周波数(rad)、 $H_{1/3}$ は有義波高(m)、 $T_{1/3}$ は有義波周期(s)である。

4. 実験結果と考察

図-2 および図-3 は、波条件を一定とした場合の共存場で、それぞれ波別解析法を用いて得られた

$T_{1/3}$ および $H_{1/3}$ の水槽縦断方向の変化を示したものである。 $T_{1/3}$ は断面平均流速の大小関係にかかわらずほぼ一定の値となっている。これは、手賀ら<sup>2)</sup>の実験結果と一致している。一方、P10で測定された $H_{1/3}$ を基準値とすると、P24の $H_{1/3}$ はP10の $H_{1/3}$ よりも3%程度増加している。一方、潜堤天端上のP28では、 $H_{1/3}$ が4%程度増加している。手賀らは、潜堤高が水深の10~20%程度の場合、波高は潜堤の影響を受けないと報告している。本研究での潜堤高は、P28で水深の約28%に相当し、潜堤の影響を受けているものと考えられる。

順流( $U=0.18\text{m/sec}$ )に $H_{1/3}=0.09\text{m}$ 、 $T_{1/3}=2.1\text{s}$ の波を入射させた共存場を対象とする図-4は、P24で測定された(a) Power spectrum、(b)それをHanningウィンドウにより平滑化されたもの、および $H_{1/3}$ と $T_{1/3}$ を(1)式に代入して誘導される(c) Bretschneider-光易型スペクトルを併記したものである。(b)と(c)を比較してみると、両者は良い一致を示している。この点を考慮し、これ以降はBretschneider-光易型スペクトルを用いて各測点での波高のスペクトル特性について論じていくものとする。

図-5は、共存場2ケースと波動場を対象に、P28で測定されたスペクトルをプロットしたものである。図から、波動場のスペクトルに対して逆流の場合には、スペクトルピーク付近および高周波側でエネルギーの増加が認められる。一方、順流の場合には、周波数の領域に関係なく一律に減少している。

図-6は、共存場( $-0.18\text{m/s}$ )の場合の、P24における3ケースの波のスペクトルを比較したものである。(d)波高が大きくなればスペクトルも大きくなること、(e)周期が長くなればピーク周期は低周波側にシフトするということが確認できる。さらに、スペクトルピーク値が大きくなっていることも分かる。

### 5. おわりに

本研究では、不規則波と流れの相互干渉に関する水理実験を行い、波高スペクトル特性および流速の変化を把握した。モデルに関しては現在計算中であるので、発表時に詳細を述べる予定である。

参考文献 1) 近藤達哉・李昌鎬・濱崎記人・富樫宏由・平山康志・多田彰秀：流れ場における不規則波伝播の数値解析モデルの検証、平成14年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、第2分冊、pp.64-65、2003。2) Eric Cruz・横木裕宗・磯部雅彦・渡辺晃：非線形波動方程式に対する無反射境界条件について、海岸工学論文集、第40巻、pp.46-50、1993。3) 手賀夕紀子・小林信久・多田彰秀：波と流れの共存場に設置された低天端高の捨石マウンド海岸構造物の安定性に関する研究、海岸工学論文集、第46巻、pp.831-835、1999。

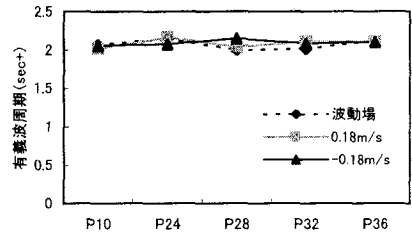


図-2  $T_{1/3}$ の縦断変化

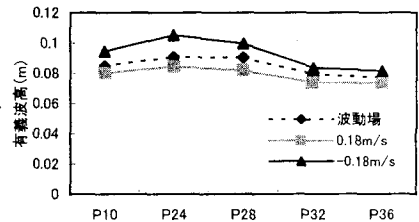


図-3  $H_{1/3}$ の縦断変化

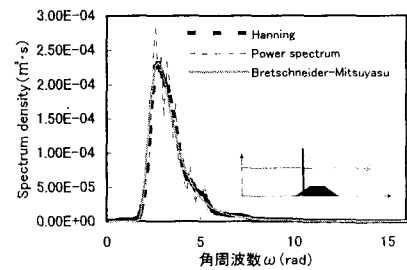


図-4 P24のスペクトル特性 ( $U=0.18\text{m/s}$ )

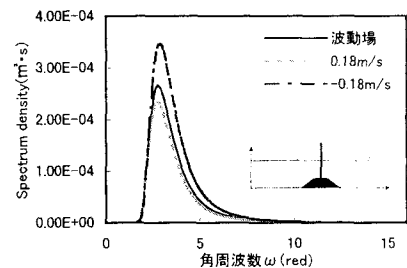


図-5 流れによるスペクトルの比較 ( $H_{1/3}=0.09\text{m}$ 、 $T_{1/3}=2.1\text{s}$ )

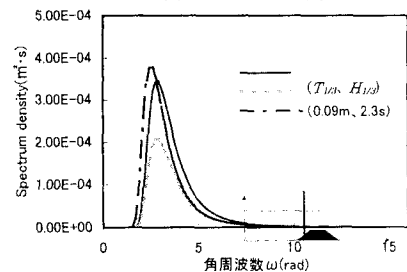


図-6 波によるスペクトルの比較 ( $U=-0.18\text{m/s}$ )