

II-336

単一方向不規則波の入反分離手法に関する一試行

㈱コストアルエンジニアリング 正員 香取完和

同 上

内田哲朗

中央大学 理工学部

正員 水口 優

1. はじめに

構造物の水理特性あるいは碎波帯内の諸現象の究明等を目的として、単一方向不規則波を用いた水路実験あるいは数値実験が盛んであるが、データ解析の基本作業として入反射波の分離が必要となることが多い。本研究は、Goda and Suzuki(1976)の正弦波の重ね合せとして入反射波を表現する方法を弱非線形の波の場に拡張するとともに、規則波を対象とした香取ら(1992)の波形追跡法の単一方向不規則波への適用性を検討したものであり、不規則で且つ非線形性を有する波の入反射波分離手法について模索した。

2. フーリエ級数展開による弱非線形波の入反射波分離手法

今、造波水路を考え、単一方向不規則波を造波したものとする。そして、波の場が図-1に示す相互干渉項を無視した単純な成分波で構成されると仮定する。つまり、等間隔 ℓ で設置された波高計群の沖端波高計位置における水位変動 $\eta(t)$ を次のように表す。

$$\eta(t) = \sum_{\omega} [\phi_i(\omega, t) + \phi_r(\omega, t)] \quad (1)$$

$$\phi_i(\omega, t) = \phi_{i1}(\omega, t) + \phi_{i2}(\omega, t) + \dots \quad (2)$$

$$\phi_r(\omega, t) = \phi_{r1}(\omega, t) + \phi_{r2}(\omega, t) + \dots \quad (3)$$

ここで、 $\sum_{\omega}$ は基本角周波数 ω に関する和を表し、 ϕ は成分関数であり、添字 i, r は入・反射波成分を意味し、 t は時間である。添字 $1, 2, \dots$ は、 1 が主成分、 2 が倍周波数成分、以下高次倍周波数成分を表す。式(2)、式(3)中の $\phi_{im}(\omega, t)$ 、 $\phi_{rm}(\omega, t)$ を複素フーリエ成分表示すると、式(1)の

[]内は式(4)となる。同様に、沖端から j 番目の波高計位置での成分関数 $\phi_j(\omega, t)$ は式(5)となる。ここで、 I は虚数単位、 $*$ は複素共役を表し、 τ_m は、 m 倍周波数成分の波が波高計間隔 ℓ を伝播するに要する時間である。

高次周波数成分で $\phi_j(\omega, t) = \sum_{m=1}^M [c_{im}(\omega) e^{-I\omega(j-1)\tau_m} + c_{rm}(\omega) e^{I\omega(j-1)\tau_m}] e^{I\omega t}$

波速が主成分と同

一である場合は、

$$+ \sum_{m=1}^M [c_{im}^*(\omega) e^{I\omega(j-1)\tau_m} + c_{rm}^*(\omega) e^{-I\omega(j-1)\tau_m}] e^{-I\omega t} \quad (5)$$

τ_m が角周波数 ω/m の波の伝

播時間と同一となる。一方、

$$\phi_j(\omega, t) = F_j(\omega) e^{I\omega t} + F_j^*(\omega) e^{-I\omega t} \quad (6)$$

成分関数 $\phi_j(\omega, t)$ は、 η_j

(t)をフーリエ積分して得ら

$$\sum_{m=1}^M [c_{im}(\omega) e^{-I\omega(j-1)\tau_m} + c_{rm}(\omega) e^{I\omega(j-1)\tau_m}] = F_j(\omega) \quad (7)$$

れる複素関数 $F_j(\omega)$ を用い

て式(6)で表され、式(5)と式(6)の比較から式(7)の関係が得られ、解を得るのに $2M$ 台の波高計が必要となる。尚、Goda and Suzukiの手法は式(7)で $M=1$ とした場合に相当する。

3. 絶対値スペクトル

数値実験データを作成し、その解析から分離精度の検討を行った。Bretshneider-光易型のスペクトル密度関数 $E(f)$ から波高関数 $H(f)$ を求め、これを入射波主成分の波高関数とした($H_{1/3}=10\text{cm}$, $T_{1/3}=2\text{s}$)。副

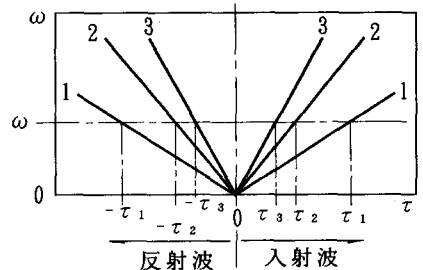


図-1 波の場の構成

成分は倍周波数成分までとし、その波高値を一律主成分の1/2とし、陸側反射面の反射率を0.5、造波板の反射率を0.0とした。尚、水路の水深 $h = 10\text{m}$ と深いものにし、各成分波の波速は微小振幅波理論により与えた。

図-2上段は入射波成分の絶対値スペクトルで、図中山形の細線 ($\overline{C_{i1}}, \overline{C_{i2}}$) はBredshneider-光易型のスペクトルから設定される期待値である。分離結果には不要成分が加算されたような分布を示しており、特に低周波側ほど著しい。検討の結果、加算された不当解は周波数の増加とともに単調減少する特性を有することが判明した。この特性を利用すると、次の手順で正しい答えが得られる。

図-2下段は、 $M=1$ として分離した入射波成分であり、主副成分が混在したものとなっている。しかし、図中 f_1 で示す低周波域に最初に現れるピーク $\sim 2f_1$ の範囲は、分離手法の原理からして主成分のみが存在する領域である。このため、図-2下段の $f < 2f_1$ の答を主成分の答とし、図-2上段の同一領域の不当解を求めることができ、不当解の近似式を作成する。 $f > 2f_1$ の範囲に対し不当解の近似式を外挿することにより本来求めたい解が得られる。図-3は、この手順により得られた入射波成分の絶対値スペクトルである。分離結果の各ピークは期待値の線上に近い値を示し、波長と波高計間隔の関係が不適切となる高周波域を除き、良好な結果を与えている。尚、図-3下段の $|c_{i2}|$ の解は、横軸 f を $1/2$ することにより上段 $|c_{i1}|$ に対応するものになることが図-1より理解される。

4. 波形

図-5は、上記と同一のデータを用いて求めた入射波成分の波形である。前項で説明した高周波域の誤差のため、模型波との一致度は若干低い。一方、破線は香取ら(1992)の波形追跡法を用いた結果で、ピーク周波数に対応した波速のみを用いた結果である。1成分でもかなり満足される結果を与え、計測時間の短いデータでも問題が少ない点が利点である。この時、解を求める基準位置を波高計群の中央とするのが良い。

5. 結語

単一方向不規則波を対象として、入反射波分離手法の検討を行った。試行計算に用いた波浪データは、成分波相互に非線形干渉を示す実際の水理データと異なる単純なものであるが、今回の試行により非線形不規則波浪場の解析にひとつの方向を示す有効性が確認された。今後は実データの解析に応用し、浅海域に見られる長周期波の発生メカニズム等の究明を試みる予定である。

参考文献 香取ら(1992): 波形追跡法による入反射波の分離、第39回海工論文集、pp. 16-20。

Goda, Y. and Y. Suzuki(1976): Estimation of incident and reflected waves in random wave experiment, Proc. 15th ICCE, Honolulu, pp. 828-845.

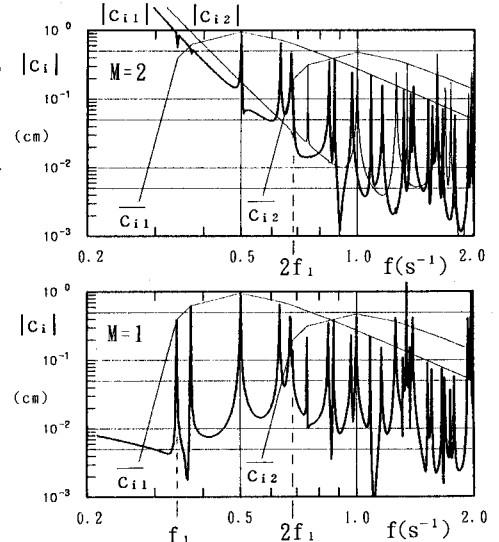


図-2 絶対値スペクトル

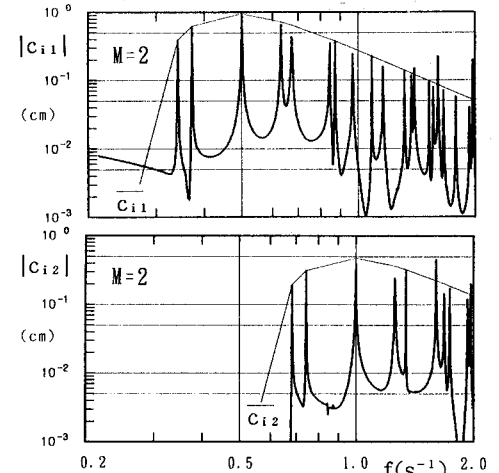


図-3 絶対値スペクトル（補正後）

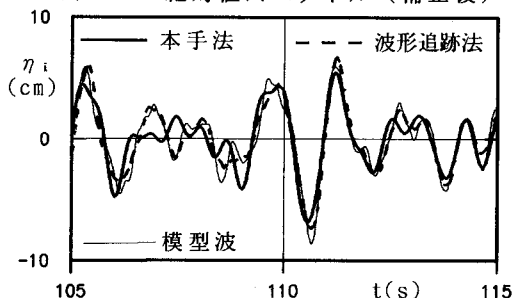


図-4 波形