

# 多成分波と構造物との非線形干渉解析法の開発

九州大学工学部 学生員○長井健二 正会員 吉田明徳  
正会員 村上啓介 学生員 山城 賢

## 1 まえがき

吉田らは2成分ストークス波と構造物との非線形干渉の解析法として、2次のオーダーまでの解析を、グリーン公式と摂動法を併用した定常境界値問題として解析する簡便な方法を提示した(吉田ら,1994 海岸工学講演会)。本研究は水槽実験を行ってこの理論解の詳細な検証を行うとともに、解析法を不規則波の場合に拡張する事を目的としている。しかし、2次のオーダーまでの解析では構造物と波との非線形干渉によって生じる2次のオーダーの波は過剰なエネルギーを与えることになるため、多成分波を対象とする場合には、入射する波のエネルギーの保存則を満足するように解の補正を行うことが必須である。本文はその第一段階として基本的な2成分波が入射する場合について、数値解析結果のエネルギー補正を行い、それを水槽実験で検証した結果について述べるものである。

## 2 理論解析の概略とエネルギーの補正

解析法の概略は、図-1に示すような一定水深 $h$ の海域にある構造物に $x$ の正の方向から1次の角周波数が $\sigma_1$ と $\sigma_2$ の2成分のストークス波が入射する。このとき、構造物からある距離離れたところに仮想の境界面を設けて、流体域を入射波側と通過波側の開領域(+1)、(-1)と、境界面によって囲まれる構造物近傍の開領域(0)に分ける。領域(+1)と(-1)では、1次と2次のオーダーについてそれぞれ、あらかじめ水面条件と水底条件を満足する速度ポテンシャルの解析解を求めておき、これらの解析解から得られる仮想境界面の境界条件と、水面境界条件、及び構造物上の境界条件を満足するように、グリーン公式を数値的に解くもので、詳細は(吉田ら1994)を参照されたい。入射波のエネルギー flux を  $E^i$ 、構造物との非線形干渉を2次のオーダーまで考慮した場合の反射波と通過波のエネルギー flux をそれぞれ  $E^R$ 、 $E^T$  とすると数値解析ではエネルギーの保存則は1次のオーダーで満足されており、2次のオーダーの波は過剰なエネルギーを与えるから

$$E^R + E^T > E^i$$

となる。従って、補正係数 $\beta$ として

$$\beta = \frac{E^i}{E^R + E^T}$$

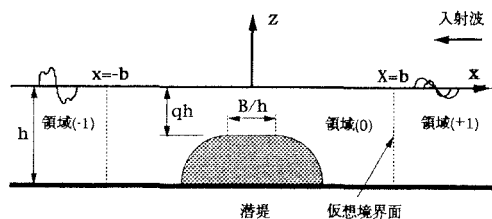


図1: 計算対象領域

を数値解析結果より算定し、これを用いて通過波と反射波の各周波数成分のエネルギー flux の和が入射波のエネルギーと一致するように補正した。

## 3 計算条件及び実験条件

実験水槽は幅 0.3m, 深さ 0.5m, 長さ 28m の一端に吸収式造波板を有する 2 次元水路を用い、水路の中央に図-1に示すような形状の潜堤の模型を設置し、その近傍の水面波形を測定した。潜堤は、高さ 26.2cm( $qh=0.321$ )、先端幅 73.4cm( $B/h = 1.901$ )の矩形潜堤の両端に、半径 26.2cm のエンビパイプの四分円を取り付けた形のものを用い、水深 $h$ を 38.6cm にとった。実験は成分波 1 の周期を 1.43 秒( $k_1h = 1.0$ )、振幅を 3.1cm( $\zeta_1^2 = 0.04h$ )に固定し、成分波 2 の周期を 1.07 秒( $k_2h = 1.5$ )、0.898 秒( $k_2h = 2.0$ )、0.794 秒( $k_2h = 2.5$ )の 3 通りについて、成分波 2 の振幅を変化させて行った。水面波形は容量式波高計 6 本を用いて 15cm 間隔の計 36 点で測定し、デジタルレコーダーに記録した。ついで各測点の時間波形のフーリエ解析をおこなって、各周波数成分  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_{11} = 2\sigma_1, \sigma_{22} = 2\sigma_2, \sigma_{12} = \sigma_1 + \sigma_2, \sigma_{12} = \sigma_1 - \sigma_2$  の波高を算定し、波高の空間分布を求め、それより $\sigma_1, \sigma_2$ 成分と、 $\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}, \sigma_{12}$ の各自由波成分の振幅を算出した。数値計算は仮想境界面を水深の 5 倍にとり、領域の分割要素長を 0.05h に固定して計算を行った。

## 4 結果の考察

図-2は成分波 1 の無次元波数  $k_1h$  を 1.0 に固定し、成分波 2 の無次元波数  $k_2h$  を 0.1 から 2.4 まで変化させたときの通過波側での 1 次の周波数成分の振幅と 2 次の周波数成分

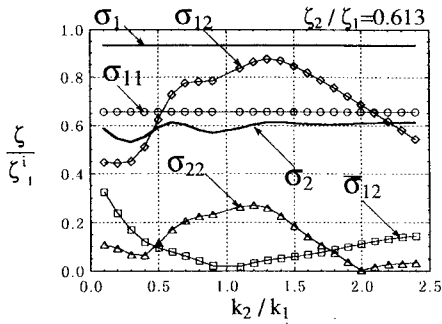


図 2: 各周波数成分の振幅

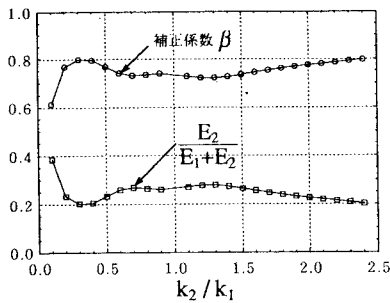


図 3: 補正係数とエネルギー比

の自由波の振幅を示したもので、各振幅は成分波 1 の入射波振幅  $\zeta_1^i$  で無次元化されている。図-3 は図-2 の結果より求めた補正係数  $\beta$  と 1 次と 2 次の成分波エネルギー  $E_1 + E_2$  に対する 2 次の周波数成分波のエネルギー  $E_2$  の比を表しており、2 次のエネルギーが全エネルギーに占める割合は 20 % から 30 % になる。ただし、反射側での 2 次のエネルギー  $E_2^R$  はほとんど 0 であり、通過波側での 2 次のエネルギー  $E_2^T$  は、2 次のトータルエネルギー  $E_2$  にほぼ一致する。図-4,5,6 は、2 成分入射波の波数をそれぞれ  $k_1 h = 1.0, k_2 h = 1.5$  にとり、成分波 2 の振幅を変化させたとき (横軸は成分波 2 の波形勾配) の補正前の理論解 (白ぬきのマーク)、補正後の理論解 (黒塗りのマーク) と実験値との比較を示しており、図-4 は 1 次の周波数成分の振幅、図-5 は 2 次の倍周波数成分  $\sigma_{11}, \sigma_{22}$  の自由波の振幅、図-6 は 2 次の和と差の成分  $\sigma_{12}, \bar{\sigma}_{12}$  の自由波の振幅を示しており、全て成分波 1 の入射波の振幅  $\zeta_1^i$  で無次元化してある。どの周波数成分でも先述の補正を行うことによって理論解は実験値を精度良く表すようになることがわかる。

## 5 あとがき

現在計算プログラムの多成分不規則波への拡張を行っており、不規則波を用いた検証実験の結果とあわせて講演会

で述べる予定である。

### 参考文献

- 吉田明徳ら (1989): グリーン公式による有限振幅波の定常境界値問題解析法. 第 36 回海岸工学講演会論文集, pp.469 ~ 473.  
吉田明徳ら (1994): 2 成分ストークス波と構造物との非線形干渉解析法. 第 41 回海岸工学講演会論文集, pp.736 ~ 740

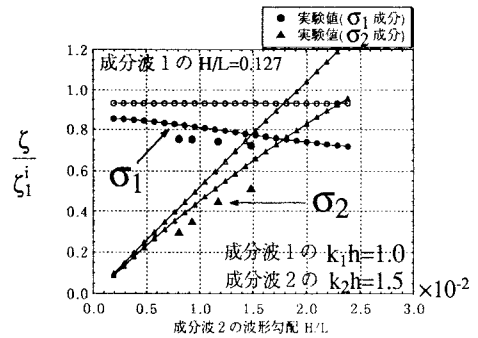


図 4:  $\sigma_1, \sigma_2$  成分の振幅

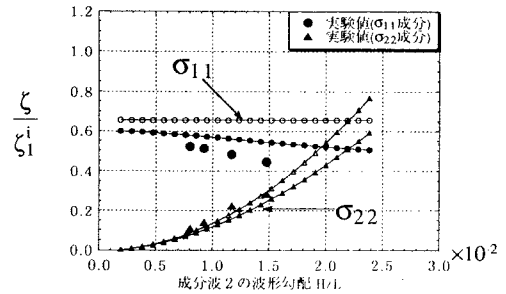


図 5:  $\sigma_{11}, \sigma_{22}$  の振幅

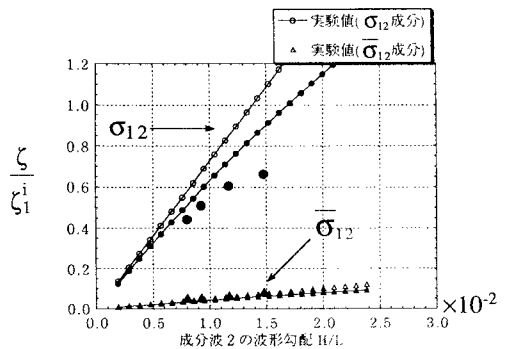


図 6:  $\sigma_{12}, \bar{\sigma}_{12}$  の振幅