

多方向波浪場の数値計算

鳥取大学工学部 学生員 ○大野賢一

鳥取大学工学部 正会員 松見吉晴

1. はじめに：実験室で海の波を再現するため、造波板の動きに“SNAKE PRINCIPLE”¹⁾の概念を取り入れたサーペントタイプの造波装置をもつ多方向造波水槽が用いられてきている。この2次元不規則波浪水槽は、造波装置の機能上、均一な波浪場（有効領域）が造波板列の長ささと波の進行方向に依存して比較的狭い領域に限定される。そのため、実験に先立ってこの有効領域をあらかじめ把握しておく必要がある。本学においても2次元不規則波浪システムが導入されることになった。したがって、本研究は、その2次元不規則波浪システムが設置された平面水槽における有効領域を検討するために、SNAKE PRINCIPLEとグリーン関数を組み合わせた2次元不規則波浪場の数値計算モデルを開発するものである。

2. 研究方法：本数値計算モデルは、線形の回折波モデル¹⁾に基づいて開発されたものである。最初に本計算モデルの基礎となる“SNAKE PRINCIPLE”について概要を説明する。

図-1に示すように、造波板上での点 $x_s=(x_s, y_s)$ に沿って区分された各造波板（セグメント）がサイン曲線のようにうねることによって、水槽内に単一方向の斜波を発生することができる。造波板の振幅とは、次式で表される²⁾。

$$\zeta(x_s, z, t) = i b(x_s) f(s) \exp(-i\omega t) \quad (1)$$

ここに、 $i=\sqrt{-1}$ 、 t は時間、 ω は角周波数、 $s(=z+d)$ は水底から上に向かって取られた鉛直座標であり、 d は水深、 $f(s)$ は造波機の形状関数で、高さ s の関数として無次元の造波機変位を示すものである。例えば、ピストン型は $f(s)=1$ 、フラップ型は $f(s)=s/d$ である。式(1)の $b(x_s)$ は次式で表される静水面での造波板の振幅で、造波板上の点 x_s によって変化する。

$$b(x_s) = b_0 \exp(ik'y) \quad (2)$$

ここに、 k' は造波板列の波状変位に対する見かけの波数、 y は造波板列に沿って測られた水平距離、 b_0 は造波板の変位振幅である。そして、セグメントの幅が十分に小さくないならば、第2の入射波が存在するため、造波板の幅 B に関してBiesel²⁾は次のような実用的な範囲を提案した。

$$\frac{B}{L} \leq \frac{1}{\sqrt{2 + |\sin \theta|}} \quad (3)$$

ここに、 L は波長、 θ は波の進行方向（図-1参照）である。

造波機によって発生された波の場のポテンシャル $\phi_0'(x)$ を次式のグリーン関数を含む式で表す。

$$\phi_0'(x) = \frac{1}{4\pi} \int_S f(\xi) G(x; \xi) dS \quad (4)$$

ここに、 S は造波板や反射壁の境界を示す。 $f(\xi)$ は S 上の湧き出しの強さの分布関数を表す。 $G(x; \xi)$ は、 S 上の点 $\xi=(\xi, \eta)$ に位置する湧き出し点から流体場の任意の点 $x=(x, y)$ に関するグリーン関数であり、次式で表される。

$$G(x; \xi) = i\pi H_0^{(1)}(kr) \quad (5)$$

ここに、 $H_0^{(1)}$ は第1種0次のハンケル関数で、 r は点 x と点 ξ との距離である。また、式(5)は造波板と反射壁に沿った境界条件、さらに数値計算モデルにおける完全消波する側面に沿った放射条件も満足する。

以上の数値計算モデルによって不規則波浪場をシミュレーションする場合、本計算モデルが線形であることから、波の重ね合わせによって表現できることになる。しかし、単に重ね合わせるだけでは、多種の水量の値がどんどん大きくなるだけであり意味がない。そこで、方向スペクトル³⁾に従って各周波数別および各方向別について重みを計算し、その重みに従って各周波数および各入射方向別の波を線形に重ね合わせる

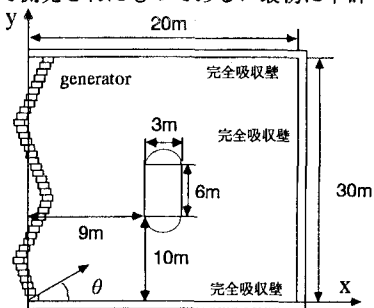


図-1 数値水槽モデル

ことにより多方向波浪場を表現する。なお、周波数スペクトルについては、次式に示す正規化された $S'(f)$ を用いることにする。

$$S'(f) = \frac{S(f)}{\int_0^{\infty} S(f) df} \quad (6)$$

3. 計算結果：図-2は、図-1に示すように水槽内に島堤（反射率 $K_r=1.0$ ）を設置した場に、入射波周期 $T=1.9(s)$ および入射角 $\theta=-15^\circ$ の単一規則波を造波させたときの水面形と波高分布を示したものである。同図（a）より本計算モデルが島堤の右端における波の回折現象をよく表していることがわかる。

図-3は、周波数 $f=0.3\sim 1.7(Hz)$ 間の8種類（ $0.2Hz$ 間隔）、入射波 $\theta=-45^\circ\sim 45^\circ$ 間の19種類（ 5° 間隔）の各波を重ね合わせたときの多方向不規則波浪場の水面形と波高分布を示す。同図（b）より水槽内の有効領域が決定できる。

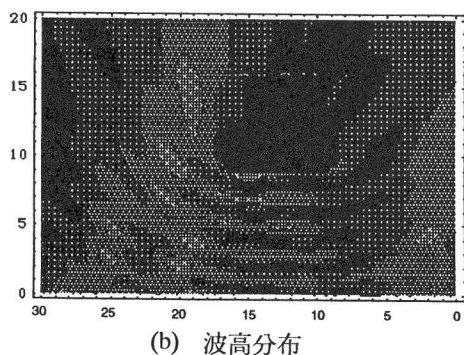
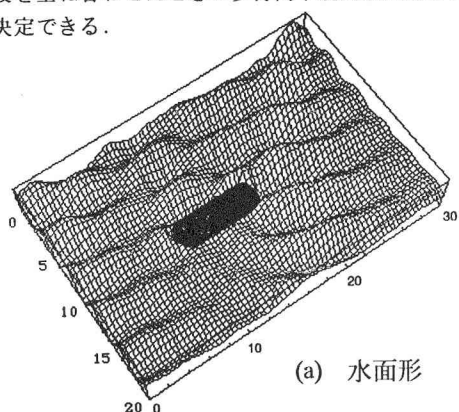


図-2 島堤を対象とした斜波の計算結果

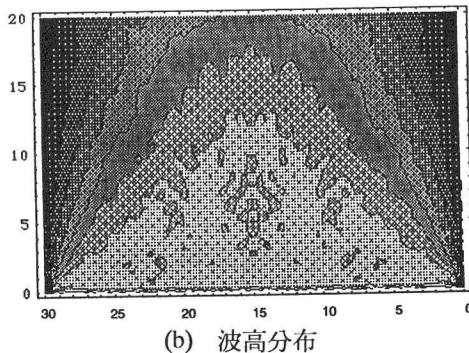
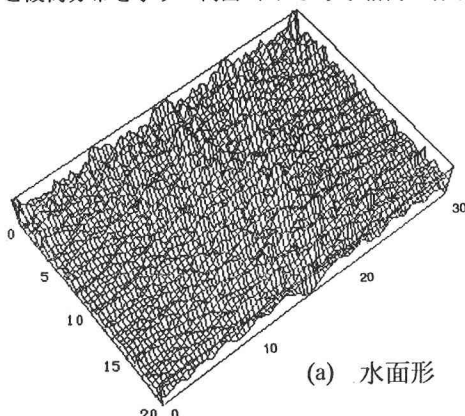


図-3 多方向不規則波浪の計算結果

4. 終わりに：本研究では、“SNAKE PRINCIPLE”とポテンシャル論を併用した多方向不規則波浪数値水槽モデルを開発した。その結果、一方向および多方向波浪場での水理特性量を計算することができた。その多方向波浪場は、方向スペクトルをある周波数とある方向における重みとすることによって、各周波数別および各方向別の波を線形に重ね合わせるによって数値シミュレーションされた。なお、本研究には財団法人中国電力技術研究財団の国際交流活動助成金を受けたことをここに記し、感謝の意を表する。

参考文献

- 1) Michael Isaacson: DIFFRACTION MODEL OF DIRECTIONAL WAVE GENERATION IN A BASIN WITH PARTIALLY REFLECTING BOUNDARIES, NRC of Canada report, 1992.
- 2) Biesel, F.: "Wave Machines", Proc. 1st Conf. on Ships and Waves, Hoboken, N. J., pp. 288~304, 1954
- 3) 合田 良美: 港湾構造物の耐波設計(増補改訂), pp. 17~25, 鹿島出版会, 1990