

日本テトラポッド(株) 正会員 半沢 稔・○松本 朗・豊饒智樹

1. まえがき 多方向不規則波は, Biesel¹⁾のスネーク原理に基づいて造波することが現在一般的であり広く用いられている。ところが, この方法で造波した斜め規則波の波高は, 回折の影響が小さい造波板近傍でも空間的に変動を示し, 造波板の幅を無限小とした場合でもこの変動を消すことはできないことがTakayama²⁾によって解析的に示されている。このため, 造波した多方向不規則波の方向分布特性は, 水槽内で場所的に変化することがある。³⁾この問題を是正するために, 造波機の両端に設けた反射板からの反射波を利用した造波方法が提案されている。たとえば, 緩勾配方程式を用いた定式化による Darlymple⁴⁾の方法では, 造波板に平行な任意の断面で所望の斜め規則波を得ることができ, この方法の重ね合わせにより多方向不規則波を造波することも考えられる。しかしながら, これらの完全反射側壁からの反射波の利用を前提とした方法は, 模型からの反射波の側壁での再反射が問題となる場合には, 事実上利用できない。

本研究は以上の観点に基づき, 従来行われてきた側壁からの反射波を利用することなしに, 一様な斜め規則波を得ることを目的とするものである。本報では, アンテナ理論からの類推により造波板の振幅に補正を施した。補正された造波板の運動により造波される斜め規則波の波高分布について, 水理実験によりその妥当性が検証されている Isaacson⁵⁾の数値モデルを用いて計算を行い, その特性について検討した。

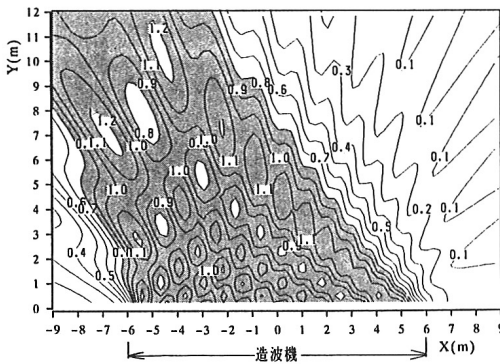
2. アンテナ理論の適用⁶⁾ アンテナが特定の方向にエネルギーを集中して放射する場合, その用途により放射指向性にいろいろな制約が課せられており, それらの制約を満足するために, さまざまな理論が展開されている。これらの理論を斜め規則波の造波問題に応用することを考えた。対象を, 18m×12mの水槽の長辺に設置された, 幅50cmのピストン24枚からなる延長12mの離散型の多方向造波機とし, 水深1.5m, 周期1.0秒, 波向30度の場合について計算を行った。水槽側壁は消波構造とし, 造波板の位相はスネーク原理に従うものとした。また, 境界要素は平石⁷⁾にならない, 要素長/波長<0.2を満たすよう, 造波板1枚当たり4個配置した。

はじめに, 開口面アンテナの開口面上の電磁界分布と開口面からの放射電磁界の関係を適用した。放射電磁界のパターンは, 開口面上の相対的な電磁界分布によって決定され, 表-1のように求められている。ここに示されている分布形により造波板の振幅の補正を行い, 水槽内の波高分布の計算を行った。図-1に造波板振幅を一定とした場合, 図-2に $\cos^2(\pi x/2)$ 型の補正を行った場合の波高分布の計算結果を示す。図-1で, ハッチングを施した部分は目標波高との差が20%以内(波高比 0.8-1.2)を許容値とした時の波高安定領域を示している。図-1より, 波高分布は場所的な変動を示し, 波高比で 0.8以下あるいは 1.2以上となる箇所が島状に出現しているのがわかる。図-2を見ると, 造波機中心からの波向線に沿って波高が一樣となる領域が存在するが, その範囲が著しく狭いことがわかる。表-1に示した他の補正方法による計算結果間の比較により, 第1サイドローブレベルを小さくすると分布が一樣化するが, ビーム幅が広くなり一樣分布する領域が狭くなることがわかった。

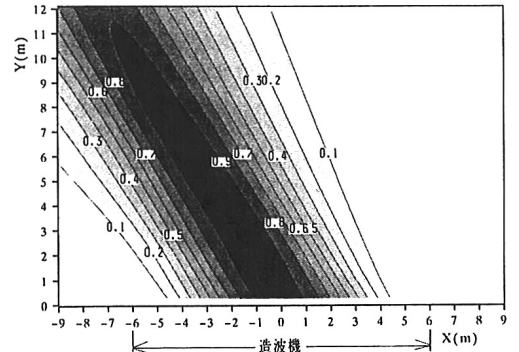
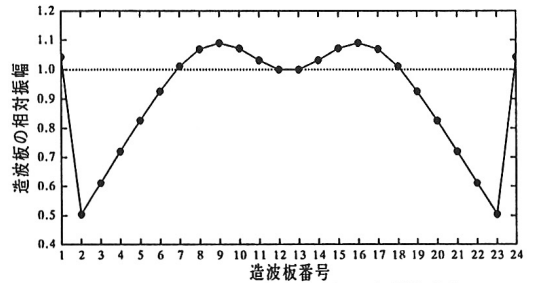
次にこの問題に対して, アレーアンテナの指向性の合成理論により造波板の振幅の補正を行った。使用した指向性合成理論は Dolph⁸⁾がチェビシェフ多項式を用いて導いたドルフ・チェビシェフ分布である。これはサイドローブレベルが与えられたときに, ビーム幅が最小になるという意味で, 最適指向性となっている。図-3にドルフ・チェビシェフ分布により補正した造波板の相対振幅を, 図-4に計算結果を示す。波高比は, 発生波高と中央部の造波板(No. 12, 13)の振幅に対して計算される波高との比率で定義した。ドルフ・チェビシェフ分布を用いた場合は, 図-3からわかるように, 水槽内に与えるエネルギーの総量が減少しているため, 一定振幅で造波した場合に比べてほとんどの地点で波高比は小さくなるが, ほぼ同程度の面積で波高安定領域が形成されていることおよび, 波高安定領域内の波高の一樣性が, 若干改善されていることがわかる。

表－1 開口面分布とアンテナの指向特性⁶⁾

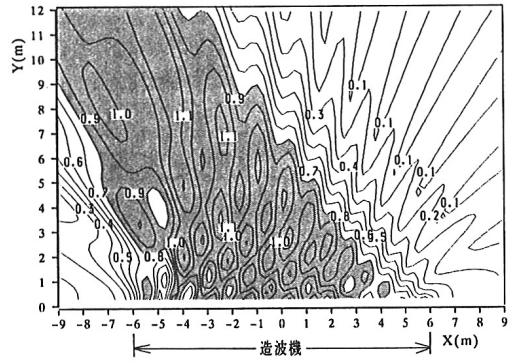
分布の形	指向性 $g(u)$	ビーム幅 (度)	第1サイド ローレベル (dB)	利得 係数
 $F(x)=1$	$g_0(u) = \frac{\sin u}{u}$	$50.8 \frac{\lambda}{a}$	-13.2	1.0
 $F(x)=1-(1-d)x^2$	$g_0(u) + (1-d) \cdot \frac{d^2 g_0(u)}{du^2}$ $d=1.0$	$50.8 \frac{\lambda}{a}$ $52.7 \frac{\lambda}{a}$ $55.6 \frac{\lambda}{a}$ $65.5 \frac{\lambda}{a}$	-13.2 -15.8 -17.1 -20.6	1.0 0.994 0.970 0.833
 $F(x)=\cos \frac{\pi x}{2}$	$\frac{\cos u}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 - u^2}$	$68.8 \frac{\lambda}{a}$	-23	0.810
 $F(x)=\cos^2 \frac{\pi x}{2}$	$\frac{\sin u}{u} \cdot \frac{\pi^2}{\pi^2 - u^2}$	$83.2 \frac{\lambda}{a}$	-32	0.667
 $F(x)=1- x $	$\left(\frac{\sin u}{\frac{u}{2}}\right)^2$	$73.4 \frac{\lambda}{a}$	-26.4	0.75



図－1 一定振幅の場合の波高分布


図－2 $\cos^2(\pi x/2)$ 型の補正を行った場合の波高分布


図－3 補正された造波板の相対振幅



図－4 ドルフ・チェビシェフ分布の場合の波高分布

3. まとめ 多方向造波機の造波板振幅に補正を施し、数値計算により水槽内の斜め規則波の波高分布を求めた。その結果、ドルフ・チェビシェフ分布を用いると波高の一様性が改善されることがわかった。今後さらに有効な造波方法の検討を行うとともに、実験的な検証を行う予定である。（当社の多方向造波機は平成5年8月に導入された。）

<参考文献> 1) Biesel, F. (1954): Proc. of 1st Conf. on Ships and Waves, pp.288-304.

2) Takayama, T. (1982): Rept. of PHRI, Vol.21, No.2, pp.3-48.

3) Takayama, T. and T. Hiraishi (1989): Rept. of PHRI, Vol.28, No.4, pp.3-24.

4) Darlymple R.A. (1989): Jour. Hydraulic Research, Vol.27, No.1, pp.23-34.

5) Isaacson, M. (1990): Proc. of 23rd IAHR Congress, Vol.C, pp.453-442.

6) 吉田孝（編）（1984）：レーダ技術，電子情報通信学会，pp.117-175.

7) 平石哲也（1991）：海岸工学論文集，第38巻，pp.126-130.

8) Dolph, C.L. (1946): Proc. of IRE and Waves and Electrons, pp.335-348.