

サーペント型造波機の制御方式と発生波の特性

高山知司* 永井紀彦** 合田良実***

1. ま え が き

実際の海の波が方向スペクトルを有する多方向不規則波であることはよく知られている。波の回折や屈折などの波の変形計算においては、既に海の波が多方向不規則波として取り扱われており、港湾や海岸の構造物の設計や防波堤の配置計画に応用されてきている。しかしながら、多方向不規則波を造波水槽内に発生させ、実際の海の波に近い条件で実験をすることの必要性は認識されながらも、多方向不規則波を発生する造波装置の開発は最近においてやっと行なわれるようになってきた¹⁾。

港湾技術研究所においても、多方向不規則波を発生させることのできる造波装置の開発に昭和 54 年から着手した。まず、本造波装置を設置する実験水槽として大水深海洋構造物実験場の建設を開始し、昭和 58 年度に上屋および水槽を完成させた。これと並行して、サーペント型造波装置によって起こされる波の特性について理論的検討を行った。そして、昭和 58 年度に 10 台、昭和 59 年度に 20 台の造波機を完成させ、多方向不規則波造波装置としての完成をみた。

本報告は、港湾技術研究所で開発したサーペント型不規則波造波装置の構成とその制御方式、発生波の特性について述べたものである。

2. 造波装置の構成と制御方式

(1) 全体構成

本造波装置は、大きく分けて 2 つの部分から構成されている。一つは、電源入切、運転準備入切、運転入切などの従来の操作盤機能と造波信号作成機能を兼ね備えている造波信号発生装置である。この装置は、ミニコンとその端末機から成っている。もう一つは、造波機、制御盤、コントロール盤、主幹盤から成る造波機本体部である。

本造波装置の全体構成と信号のながれを示したものが図—1 である。

(2) 造波信号発生装置とその機能

本造波装置は、32 ビットのミニコンマシンを本体として、32 M バイトの固定ディスク 2 基、1 M バイトの 8 インチフロッピーディスク 2 基、ラインプリンター、アナログ出力装置、デジタル入出力装置、CRT 端末器 3 基から成っている。

造波信号は本ミニコンによって作成され、固定ディスク内に記憶される。多方向不規則波の場合には、それぞれの造波機に独立な信号が送られるため、信号量が非常に多くなることおよび一つの実験においても数種類の造波信号を作成する必要があることから固定ディスクは 2 基用意した。固定ディスクに貯えられた信号は、DMA (Direct Memory Access) 方式によって、D/A 変換されてアナログ出力される。

本装置は、造波装置の操作盤としての機能を有しており、そのためデジタル入出力装置と 3 台の CRT 端末器を備えている。3 台の端末器の内、1 台は計算機を立上げるためのコンソール用と造波信号作成用として用い、他の 2 台は、大水深海洋構造物実験場内の 2 つの水槽で同時並行して 2 つの実験を行うための操作盤として用いる。ただし、後者の 2 台も造波信号作成用として用いることも可能である。2 つの実験を同時に行うため、アナログ信号出力装置は、図—1 に示すように、1 ch のものと、55 ch のアナログ出力装置から成り、前者は全造波機に同一の信号を送るもの (B 系列) で、後者はそれぞれの造波機に独立の信号を送るもの (A 系列) である。そのため、各造波機を A 系列に設定するか、B 系列に設定するか、あるいは使用しないかの仕分けをする必要があり、この仕分けは端末器からのキーインによるデジタルスイッチによって切り替わるようになっている。また、各系列の造波機は端末器からのキーインによって、運転準備入切、運転入切、位置制御か推力制御かの切り換えができるように、デジタル出力装置によってスイッチングが可能になっている。さらに、造波機の現在の状態が端末器でモニターできるように、デジタル入力装置も備えている。ただし、これらの切換スイッチは、1 台 1 台の造波機について行うのではなく、造波機 5 台を 1 組とした各組毎に行うようになっている。

* 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所海洋水理部

** 正会員 運輸省港湾局建設課

*** 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所次長

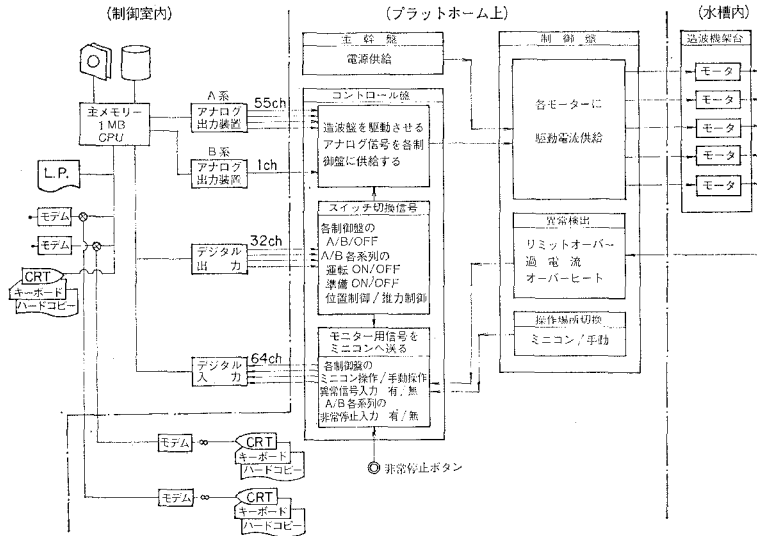


図-1 造波装置の全体構成と信号の流れ

(3) 造波機本体部の構成とその機能

造波機本体部は、主幹盤、コントロール盤、制御盤および造波機から構成されており、各構成部の機能は以下の通りである。

a) 主幹盤

主幹盤は、制御盤やコントロール盤へ電源を供給する分電盤である。

b) コントロール盤

コントロール盤は、造波信号発生装置から送られてくる造波信号およびデジタル信号を受けとり、造波信号を各制御盤に転送したり、デジタル信号に従ってスイッチの切換えをすると同時に、スイッチ切換えの状態をデジタル信号にして、造波信号発生装置に送る機能を有する。

造波信号発生装置から運転開始あるいは運転停止のデジタル信号が入力されると、造波機を緩起動あるいは緩停止させる機構が自動的に働くようになっている。緩起動および緩停止の時間は3秒間である。

さらに、コントロール盤では、造波機が運転中に他の端末器から系列の切換え信号が入力されても、造波機の切換えができないバックアップ機能も有している。

後述の制御盤から造波機に異常が生じたことを知らせる信号が入力されると、異常信号発生として造波信号発生装置に信号を送る機能も有している。

c) 制御盤

制御盤は1台で5台の造波機を制御する。造波板がリミットスイッチを越えて運動したとき、造波機のモーターがオーバーヒートしたとき、およびモーターに過電流が流れたときには異常を表示するランプとブザーが働き、5台1組の造波機の運転を同時に停止させ、異常箇所を知

らせるランプが点灯する。また、異常状態の発生を知らせる信号をコントロール盤に送る。

d) 造波機

造波機は図-2に示すように一つの架台に5台1組で設置されている。各造波機は定格出力2.2kwの低慣性直流モーターによって造波信号に従って動く。直流モーターの回転はモーターに直結されているボールネジに伝えられ、ボールネジはその回転運動を送行ビームの前後運動に変換する。送行ビームの先端には造波板が固定されており送行ビームの運動に従って造波板がピストン運動する。送行ビームは前後2台のローラベアリングで一本のリアガイドレール上を滑らかにスライドするようになっている。

造波板の有効ストロークは ± 35 cmで、この有効ストロークを超えて造波板が運動すると、リミットスイッチが働き、造波板の運動は強制的に停止させられる。

造波板間の隙間は5 mmで、造波板の幅は795 mmである。造波板の幅は狭ければ狭いほどよいが、理論計算によると、造波板の幅をあまり狭くしても、造波機の台数がふえ、製作費用が増大する割には様な斜め波が得られるわけではない。検討の結果、発生波の波長の1/2以下の造波板幅であれば、様な斜め波を発生することがわかったので、予算額にも配慮しながら、最少周期1秒の波で様な斜め波が発生できるように考えて、造波板幅を80 cmと定めた。

斜め波を起こすと、各造波板は位相がずれた運動をするが、最大に運動位相がずれても、造波板間で20 cm以上のずれは生じないことから、造波板の側板の幅は20 cmとした。

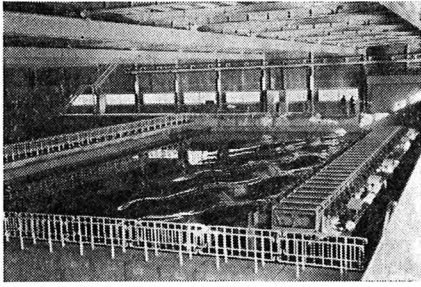


写真-1 多方向不規則波の発生状況

ーションを実施すると、 $\Delta t=0.025\text{ s}$ 、 $N=100$ 、造波機台数 30 台として、300 秒間計算するのに、約 20 分間計算時間を要する。

以上のようにして求めた造波信号を用いて造波機を駆動したときの発生波の状況を写真-1 に示す。

(2) A/D 変換時間間隔

造波時間が同じである場合、前述のように造波信号の計算時間は、アナログ信号の出力時間間隔 Δt に比例して増大する。そのため、造波機に無理な荷重がかからず、造波機がスムーズな運動をする限り、できるだけ Δt を大きくするのがよい。そこで、条件の最も厳しい周期 0.5 秒の波について $\Delta t=0.025, 0.05, 0.1\text{ s}$ の 3 種類について造波板の動きを調べた。

図-3 は、3 種類の Δt に関して、入力信号と造波板の変位を比較したものである。 $\Delta t=0.025\text{ s}$ では造波板の変位、信号ともに滑らかに変化しているが、 $\Delta t=0.05\text{ s}$ では造波板の変位はほぼ滑らかになっているものの、入力信号はわずかにステップ状に変化している。 $\Delta t=0.1\text{ s}$ では、入力信号および造波板の変位もステップ状になっている。造波機運転時の音も、 Δt を大きくするほど

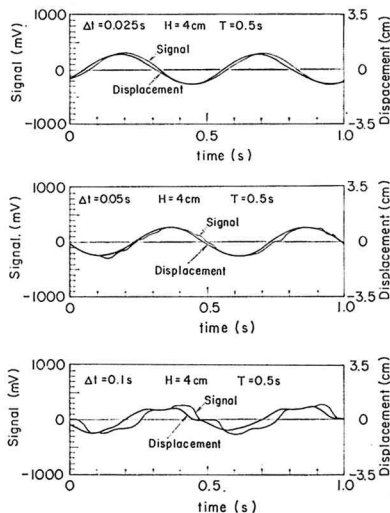


図-3 D/A 出力時間間隔と造波板の変位

大きくなる傾向にあった。そこで、出力時間間隔は $\Delta t=0.025\text{ s}$ に設定した。

4. 発生波の特性

(1) 理論値と実験値との比較

造波板の運動が微小であるという仮定のもとに、サーペント型造波機で起こされた斜め波の理論解が著者の一人によって既に求められている⁴⁾。そこで、理論値と実験値との比較を行った。

図-4 と 5 は、造波機 10 台だけを駆動させて、前面の波高および波向を測定して理論値と比較したものである。実験における波向は、1 m 間隔に配置された波高計において隣り合う波高計の波形記録の位相のずれから求めた。そのため、実験で求めた波向は波高計間における平均的な波向である。そこで、波向の点は図中では波高計位置の中央点にプロットしている。実験水深は 70 cm で、波の周期は 0.8, 1.15, 1.79 s の 3 種類について実験したが、図は 1.15 s と 0.8 s のものを示している。

図-4 の目標波向 θ が 120° 、周期 1.15 秒の場合、波向および波高ともに理論計算値は実験値とよい一致を示している。造波板の全幅が短いため、波高の変動が大きい。図-5 は図-4 と波向が同じで、周期を 0.8 秒にした場合である。周期が短いため、個々の造波板幅の影響が現われ、波高および波向ともに非常に大きく変動している。波高については比較的よく一致しているが、波向については造波板に近い部分で少し差がでている。実験における波向の設定法に問題があるためと考えられる。

理論値が実験値によく一致していることは、理論計算によって造波板幅を設定したことが誤りでなかったことを示している。また、このことは、サーペント型造波機で起こす波の特性が理論計算でも検討できることを示している。

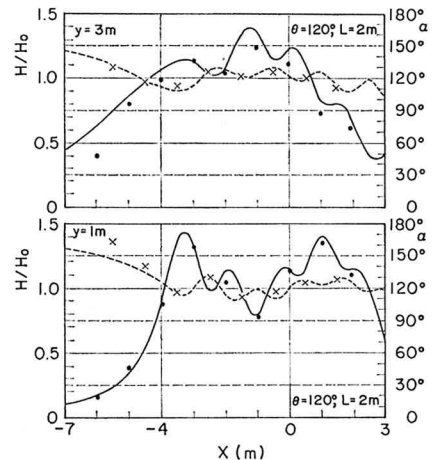


図-4 理論値と計算値の比較 (周期 1.15 s)

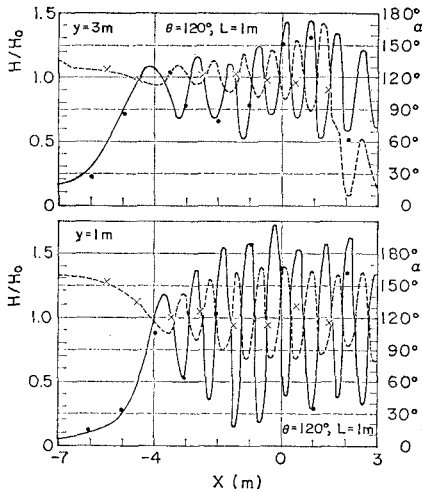


図-5 理論値と計算値の比較 (周期 0.8 s)

(2) 波高の一樣領域の設定

サーペント型造波機で起こした斜め波は、各造波板幅が有限値であることおよび全造波板幅が有限値であることによって、場所毎に変動し様ではない。しかし、模型実験を行う場合、波高および波向がほぼ一樣になる場所に模型を設置することが重要となると同時に、多方向不規則波を起こす場合にも波高および波向が一樣な領域が確保されることが重要である。そこで、理論計算により波高一樣領域を調べた。一樣な波高の領域の基準としては、目標波高の $\pm 20\%$ 内に波高が納まっている領域を設定した。

図-6 は y 軸から 15° の角度をもって波が斜めに進行する場合の波高一樣領域を示したものである。計算では波長 2, 4, 6, 8 m に関して行った。2つの線の間にある領域が波高一樣領域で、波長が長くなるに従って、また、造波板から離れるに従って領域が狭くなることがわかる。波向を y 軸から大きく傾けるほど領域はさらに狭くなるが、造波板から 10 m の距離の範囲では波高一樣領域が確保できることが計算によって明らかになった。このことから、多方向不規則波の発生においては、主方向から $\pm 30^\circ$ の範囲の再現が可能である。

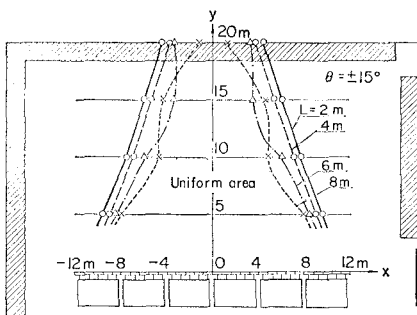


図-6 $\pm 20\%$ 内の波高一樣領域

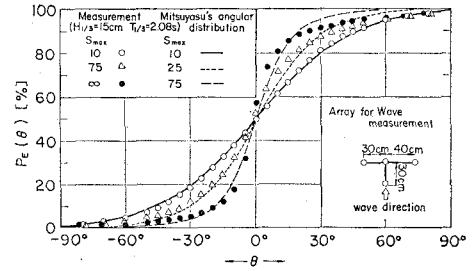


図-7 測定した波エネルギー分布の特性

(3) 多方向不規則波の特性

多方向不規則波を発生させ、図-7 中に示されている4点の波高計配置において発生波の方向スペクトルを求めてみた。方向スペクトルの計算は MLM (Maximum Likelihood Method) によって行った。

図-7 に示すエネルギー比の累加値 $P_E(\theta)$ によって、光易型方向関数との比較を行って見た。実験では、 $S_{max} = \infty$ で示される単一方向の不規則波、 $S_{max} = 10$ と 75 の3種類の波について検討している。図-7 からわかるように、 $S_{max} = 10$ の分布は比較的良好一致しているが、単一方向の不規則波は $S_{max} = 75$ の分布曲線に近く、また $S_{max} = 75$ の実験波は $S_{max} = 25$ の分布曲線に近い。このように、本造波機で起こされた多方向不規則波の方向分布は S_{max} が大きいときに理論的なものより方向に関して幅広く分布する傾向にある。

5. あとがき

運輸省港湾技術研究所で新しく製作した多方向不規則波造波装置の制御方式の特性、造波信号の発生法および発生波の特性について述べたが、造波装置をやっと完成させたばかりであるので、本造波装置で起こされた多方向不規則波の特性については検討がまだ十分でない。特に方向スペクトル形がどのように変化するかについてはまだ検討がなされていない。今後、本造波装置を用いて起こした波の方向スペクトル特性、方向スペクトルの場所的変動性などを検討してゆきたいと考えている。

参考文献

- 1) Salter, S. H.: Absorbing wave-makers and wide tanks, Proc. of Conf. on Directional Wave Spectra Application, Univ. of California, Berkeley, 1981, pp. 185~202.
- 2) 光易 恒・水野信二郎・本多忠男・力石国男: 海洋波の方向スペクトル形について, 昭和49年度日本海洋学会秋季大会講演会要旨集, 1970, p. 110.
- 3) 合田良実・鈴木康正: 光易型方向スペクトルによる不規則波の屈折・回折計算, 港湾技研資料, No. 230, 1975, 45 p.
- 4) Takayama, T.: Theoretical properties of oblique waves generated by serpent-type wave-makers, Rept. of the Port and Harbour Res. Inst. Vol. 21, No. 2, 1982, pp. 3~48.