

# 無限水域海洋波動場を有限水域内に再現する道



内藤 林\*

## Realization of Ocean Wave Field in Restricted Water Area

**Key Words :** Ocean Wave field, Absorbing wave maker, Ship performance in waves, Progressive wave, Local wave

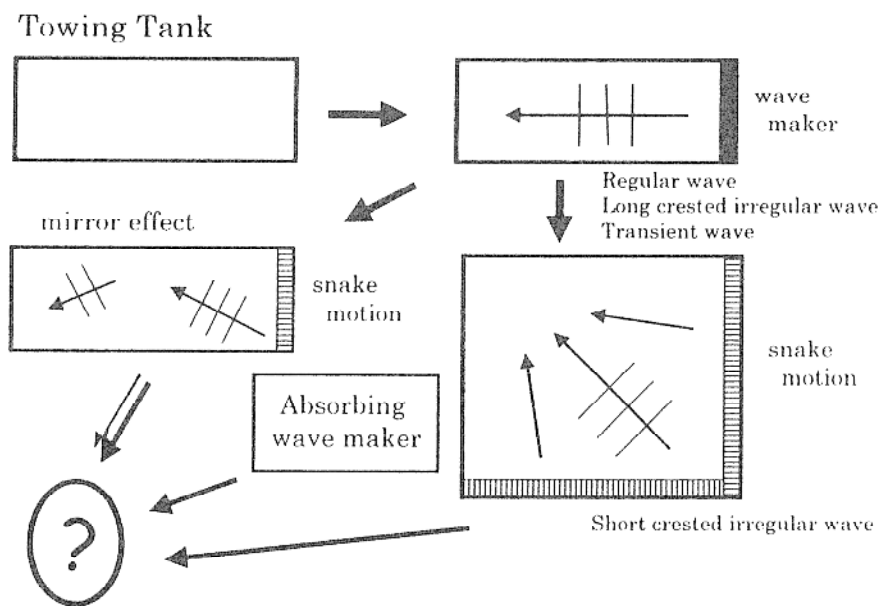


Fig. 1 船舶試験水槽と造波装置の歴史的変遷

### 1. 船舶試験水槽と造波装置(Fig. 1)

船舶の性能を最終的に研究段階で確認するためには試験水槽という長い水槽(阪大の例では100m(長さ)×8m(幅)×4.8m(深さ))が昔か

ら使われてきた。この試験水槽を使い抵抗試験やプロペラの試験等を実施し多くの新しい船型が開発されてきた。その水槽に波を作る装置はなかったが、波の中での船舶の挙動を知る社会的な要請から造波装置が設置され、規則波や不規則波が造られるようになった。この造波機は長方形をした水槽の一方の短辺に設置されたもので、一方向だけに進行する波を造る装置である。船舶の更なる安全性向上のために種々の方向からやってくる波の中での実験を必要とし、短辺を長くし、いわゆる長方形より正方形に近い形に水槽を拡張し、隣り合う二辺に造波機を設置し、その造波機も小型でかつ単独で制御可能な造波機の組み合わせとし、それらを総合的

\*Shigeru NAITO  
 1944年6月5日生  
 1969年(昭和44年)大阪大学工学部造船学科卒業  
 現在、大阪大学大学院工学研究科、船舶海洋工学専攻、教授、工学博士、造船学  
 TEL 06-879-7572  
 FAX 06-879-7594  
 E-Mail naito@naoe.eng.osaka-u.ac.jp



に制御することにより種々の波を造ることができるようになってきた。

さて、このような水槽はいかに広く作ったとしても有限な水域である。有限な水域である限り、造波機が設置されていない辺に達した波はその一辺を成している壁によって反射され、水槽内に戻って来ることになる。本来、無限水域内で行われた実験結果を欲しい研究者の立場からすると、これは困ることである。このような問題を解決するものとして、波を吸収する装置が製作されるようになってきた。この機器は世界的にエネルギー危機が呼ばれ、クリーンエネルギー利用技術の開発研究が盛んになった時、波浪エネルギー吸収理論の発展を基礎にして作られたものである。この波エネルギー吸収理論は綺麗な理論であり、通信分野のマイクロホンの理論やアンテナ理論と同じ内容で、いわゆる、インピーダンスマッチングの理論である。

この水波の吸収理論を発展させることにより有限水域に無限水域内で生起している波動場を実現することが可能になってきた。

## 2. 二次元波動場

話を簡単にするために二次元的な波動場の状況を考える。

左側より波が来て、右側に波の吸収装置がある状況を考える。この波エネルギー吸収装置は浮体あるいは板などの水と相互運動するものと、それを外部から制御するために、波動場の外部に付加された外部力学系より成っている。吸収

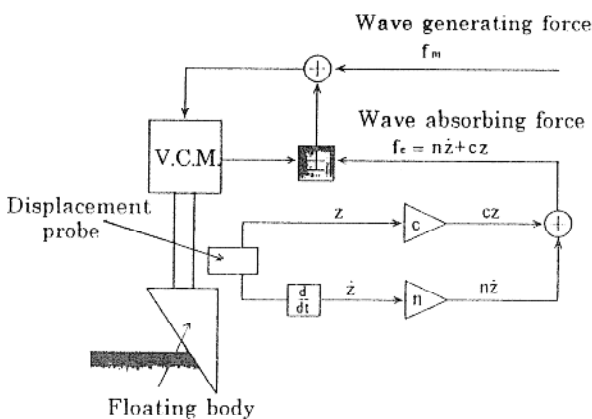


Fig. 2 波エネルギー吸収のために浮体に付加された外部力学系の制御系

されたエネルギーはこの外部力学系の中に蓄積されるわけである。(Fig. 2)

この波の吸収装置を100%エネルギーを吸収するように外部力学系を制御すると全ての波があたかも右側の装置に吸い込まれるようである。(余談になるが実験でこの状況を見ると何となく不思議な気がし、感動する。)

話を進めて、この装置を50%の波エネルギー吸収のように制御すると、50%のエネルギーを持った波が反射されることになる。この事実を違った側面から解釈すると「左方から入射して来た波を100%吸収し、50%分のエネルギーを持った波を造波している。」と考えることができる。すなわち、完全波吸収装置の制御系を操作し、100%吸収条件をはずすと、入射して来る波を100%吸収しながら同時に波を作り出す装置—吸収造波装置—と考えることができる。このように違った側面から考え直してみるのが極めて重要である。(注：波エネルギーは波振幅の自乗に比例するから、波エネルギーを50%吸収すると吸収されない分の波の振幅は約7割である。逆に言うと入射してきた波の7割の振幅を持った反射波があると、約5割の波エネルギーが吸収されたことになる。)

さて、人類の海洋開発への意欲が拡がると荒天下における船舶や海洋構造物の安全性に関する研究が重要になる。すると前述した壁による波の反射を正確に見積もることができないと実験にとって重要な障害となる。なぜならば、波はある瞬間に重ねあって急激に大きくなって破壊的な力を及ぼすことがあるが、この大きくなるような波の再現には、水域内の全ての波を予測できなければならず、そのためには反射波の制御が不可欠となる。

無限の広さを持っている海洋波動場を有限水域内に実現するには、ある水域を囲む壁は、壁であって壁でない性能を持っていないといけない。前述した事から考えると、このような壁は吸収型造波装置でなければならないことがわかる。無限水域海洋波動場を有限水域内に実現する上述のような壁にも、実は上等な壁と、普通の壁がある。

### 3. 物体によって造られる二種類の波

水面で物体がある周期で動くとき二種類の波が造られる。一つの波は物体より遠くまで伝播して行く波で、誰も知っている波、いわゆる進行波である。もう一つの波は物体に近傍のみに存在する波で、進行しない波、いわゆる局所波である。この波は目で実感することが難しいので専門家以外には知られていない。この波は物体の形状に依存する波で、前者の波は物体の大きさや運動形態に依存する波である。この二種類の波を全て制御し、かつ後者の局所波を発生させないで進行波だけを発生させるような壁の動きはあり得るであろうか。このような壁こそ最上級のもので、これができれば、理想的に無限水域海洋波動場を有限水域内に実現できることになる。実際には、局所波は壁近傍のみに存在して遠方には伝播してゆかないから、この波については無視して、近似的に進行波のみに注目してそれだけを制御するように作られた壁は普通の壁で、二種類の波まで制御できる壁が上等な壁ということになる。

### 4. 不規則波の場合は？

前記までの話はある周波数を持つ波で、いわゆる規則的な波である。実際の海洋波動場は種々の周波数と波高をもち、種々の方向からやってくる不規則波である。水波の、音波と最も違う点は波速が周波数の関数になっていることである。長い周期の波は短い周期の波より伝播速度が速い。水波の自由表面条件よりでてくるこの周波数依存性こそ水波の問題が難しい点である。このために、波を吸収する浮体の外部に付加する外部力学系を構成する各要素は周波数依存性を持っていなければならない。規則波を吸収する場合は、その規則波毎の周波数に応じた外部力学系の最適なる係数を設定すれば良いが、不規則波の吸収の場合は、外部力学系が時間領域で制御されなければならないことになる。このことは不規則波に対する最適な外部力学系の制御能力を高めるには、外部力学系の最適制御状態を時間領域で表現した核関数と不規則波との畳み込み積分(コンボリューション積分)を行う

必要があることを示す。外部力学系は浮体と力のやり取りをするわけであるが、規則波の吸収の場合はその制御力は規則的なものである。すなわち入射してくる波—吸収すべき波—と同じ周波数を持つ一定振幅の力である。不規則波の吸収の場合の制御力は不規則に変動する力である。それは規則波の周波数領域で表現された吸収条件をフーリエ変換した時間領域での条件式であり、不規則波の時系列に対応した不規則制御力の時系列である。

この制御は時間領域で行う場合、前述のように畳み込み積分を使用した制御が必要となり、簡単ではない。

### 5. 現実的な解決法と試作品(Fig. 3)

進行波を吸収造波する制御装置を試作した。

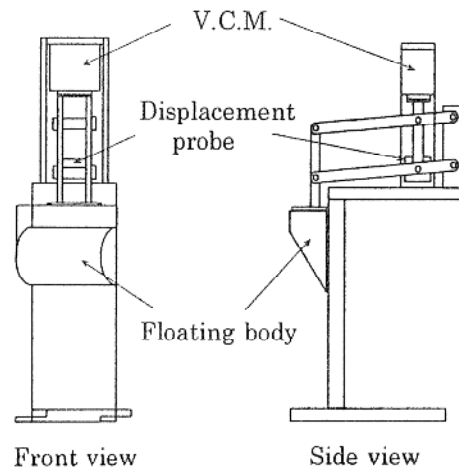


Fig. 3.1 ユニット吸収造波機

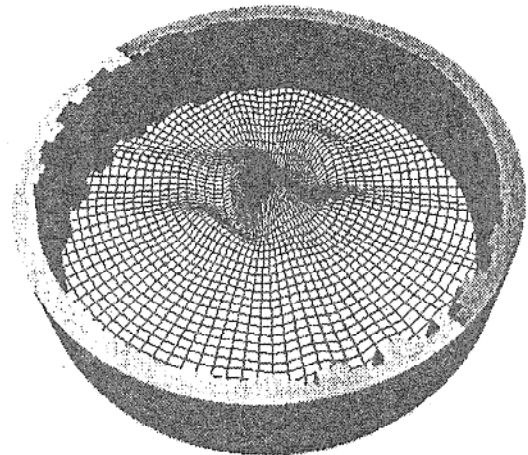


Fig. 3.2 ユニット吸収造波機の組み合わせで円形水槽を作った場合(シミュレーション)

この装置で囲われた水槽を，“Advanced Multiple Organized Experimental Basin”を略して AMOEBA, 「アメーバ」と名付けた. 文部省の科学技術研究費を用いて造ったもので, 造波吸収性能を有する小さな装置(Fig. 3.1)を50セット作り, その組み合わせにより種々の形状の水槽(Fig. 3.2)を構成できるという優れたものである.

この試作品の性能の一例を示すと Fig. 4 のようになる.

更に大きな実験水槽ができれば一予算さえ付けばできるのであるが一長時間の実験を反射波の心配をすることなく可能であり, 荒天下における船舶性能に関する多くの知見が得られる.

これと類似な装置はいわゆる無響室なる実験室として, 音響装置の開発に使われているようである. 実際に, 音楽ホールの室内形状の設計や壁の形状設計などにも波(この場合は音波だが)を吸収するという考えが使われていると聞

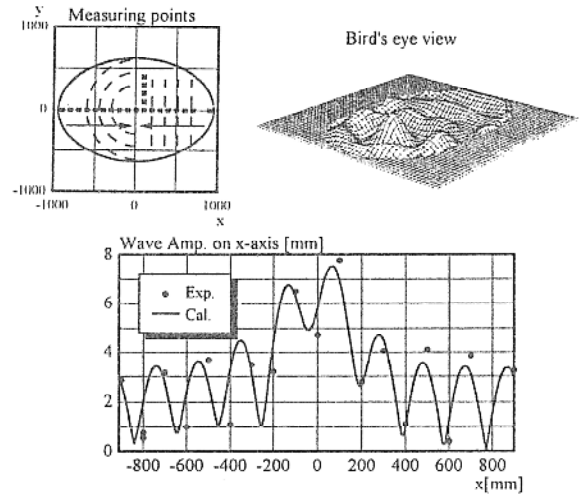


Fig. 4 楕円水槽で吸収造波させた時の波振幅の実験と理論の比較

く. これも「無限空間の中で音楽を聞くことができるような閉鎖空間の創造」ということで, 前述してきたことと同じ考え方である.

こんな実験装置を考えるのが正に「夢はバラ色」ということだろうか?

