



肥大船の船首まわりの流れについて (2)

前号に引続きいて波の話をしてします。

波の振幅が無視出来ないオーダーとなる非線型波について説明します。連続の条件と水底の条件は同じですが水面の運動学的条件の中に攪乱速度の項が省略されずに残ります。2次元の波の場合の線型条件と非線型条件を式で示します。線型条件では $y=0$ の静止水面において

$$\partial\phi/\partial t + g\eta = 0, \quad \partial\phi/\partial y = \partial\eta/\partial t$$

非線条件では

$$\partial\phi/\partial t + 1/2[(\partial\phi/\partial x)^2 + (\partial\phi/\partial y)^2] + g\eta = 0$$

および

$$\partial\phi/\partial t = \partial\eta/\partial t + \partial\phi/\partial x \cdot \partial\eta/\partial x$$

非線型方程式の解法に立ち入るつもりはありませんが、速度ポテンシャル ϕ や波振幅 η を分散の強さを表す $h^2 k^2$ のべき級数で表わし、更に水面付近の解をテイラー展開で表わし、以上の非線型条件に入れて演算し、 $(kh)^2$ のオーダーの同じ式を整理すると、線型解の次のオーダーの解(1次解)は

$$\partial\eta/\partial t + 3/2 \cdot \frac{C_D}{h} \cdot \eta \frac{\partial\eta}{\partial X} + \frac{C_D h^2}{6} \cdot \frac{\partial^2\eta}{\partial x^2} = 0$$

という非線型浅水波の式が得られます。ここで $C_D = \sqrt{gh}$ 、 h は水深です。T, X は時間 t, 距離 $X - C_D t$, の座標変換値です。少し難しくなりましたので、この辺で式の展開の話はやめることにします。皆さんに

理解して欲しいことは非線型解の示す現象が線型解の示す現象とは非常に違ったものだという事です。ところで、上の式は Korteweg de Vries 方程式と呼ばれ、一般的な形は $\partial u/\partial t + u\partial u/\partial x + \mu\partial^3 u/\partial x^3 = 0$ で表わされます。この式から得られる解の例を紹介します。図-1には非線型定常進行波の場合に得られるクノイド波で正弦波に比べ、山が鋭く谷が平らな波列です。また、条件によっては図-1中に示す孤立波が現れます。更に、いろいろな初期条件に対して得られる解として孤立波の集まりが得られます(図-2)。更にこれらの解の間の干渉を調べた例が図-3で、第1の波が第2の波に近づき、衝突し、離れて行っても、お互いの波の振幅や形状に殆ど差のない事が

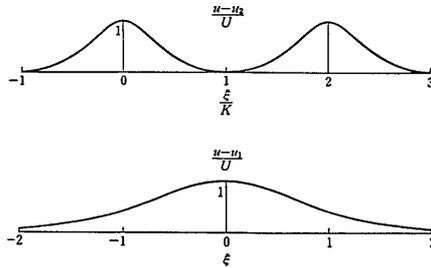


図-1 クノイド波と孤立波

判ります。あたかも固体のような安定な波故に、ソリトンという陽子(プロトン)、中性子(ニュートロン)、電子(エレクトロン)に似た名前が付けられています。少し寄り道をしすぎたでしょうか。要は速度成分や波の振幅が小さいとするか、大きいとする

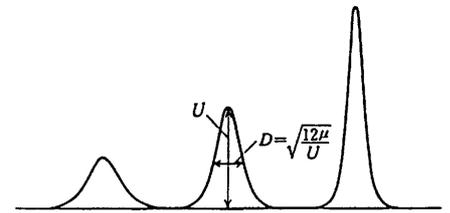


図-2 さまざまな振幅の孤立波、ソリトン

かで、多様な現象が現れるものだと言うこと、波も面白いものだという事を少しでも感じて貰いたいこと、船首まわりの多様な水面の現象も非線型現象の一種であることの理解に役立って欲しいと願うからです。

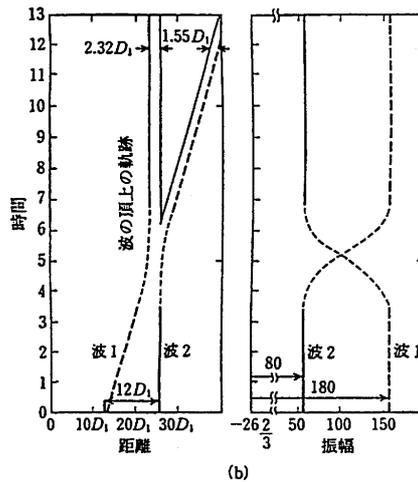


図-3 2つのソリトンの衝突、(a)衝突の概形、(b)波の軌跡と振幅の変化

4. 理論的な考察—船首まわりの水面

この話は、船の形状と推進性能とが、船のまわりの流れの現象を介してどのように結びついているかを、推進性能の1要素である造波抵抗を例にとって紹介することを目的としています。基本的な現象については既に2章で紹介しましたし、3章においては、水面波の面白い性質、特に線形波と非線形波の特性について述べました。それでは、どのように設計に使うのですかと言いたそうですが、生臭い話に行く前に、もう少し理論的な話を続けます。3章では2次

元の波の話をしてしましたが、船の波は2次元の平面を伝わっていく3次元波です。

3次元波の基本として、良く知られている現象は静かな水面の1点の攪乱源から、円弧状に広がる波(Cauchy & Poissonによって数学的な説明がされました)です。攪乱源が一定速度で前進すると、その後方に八字形の波が伝わっていくのが見られます。この波は Kelvin 波と呼ばれ、図-4のように、八字形の部分(diverging wave)と進行方向に直角なレンズ状の部分(transverse wave)より成っています。波を作りながら進む攪乱源を船とすれば、2章に述べたよ

うに船の後方に伝わる波も基本的に同じ性質をもつ線型波の一種です。さて、再び船のまわりの水面の運動の満たすべき条件を考えることにします。3章で述べた条件と少し異なるところは、平面を伝わる3次元波である事と、境界条件として波の発生源である船体の存在を考慮せねばなりません

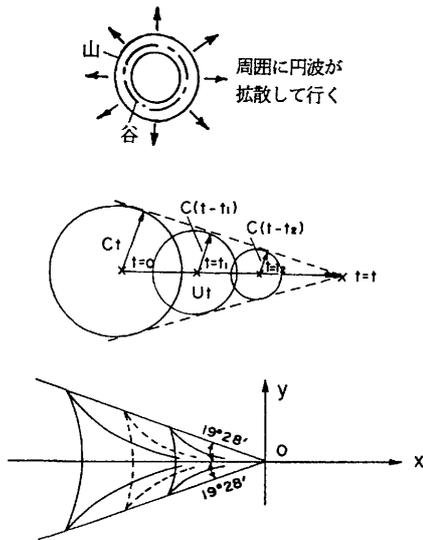


図-4 3次元波

が、連続の条件、水面の運動学的条件、水底の条件等は基本的に同じです。ここで、攪乱速度の成分として波動運動によるものと船の存在によるものがありますが、これらが、前進速度に比べて充分小さいとするのが、線型造波抵抗理論の仮定です。これは、波の振幅が波長に比べて充分低い事と船が非常に薄く細長い事を意味しますが、実際の船はそれ程薄くも細長くもなく、特にタンカーやバルクキャリアーのような肥大船では上記の線型仮定とは随分離れたものとなります。又、どのように細く薄くとも、船首尾端のよどみ点では前進速度と攪乱速度は同じ値となり線型仮定は満足されません。線型造波抵抗理論の示す特性は定性的にはどうあれ、定量的には設計の現場で精度を要する馬力推定に実用化される事はありませんでしたし、勿論、2章で述べた様な船首まわりの特異な水面の現象を説明出来るものではありませんでした。

この状況を打開する為に、船首まわりの流速成分を具体的に計測した結果を図-5に示します。比較的低いフルード数においては、速度成分の大部分は波はない(水面固体壁)として求めた速度に一致し、水面のごく近くで僅かに波動によると思われる速度成分が見られます。この結果から一般的な前進速度と船体による攪乱速度とは、船の周りでは、同じ程度のオーダーとして、両者の和を前進速度のかわりとし、これに対して、波動による速度成分は充分に小さなオーダーとします。なお、船体による速度は水面が固体壁、すなわち、限りなく零

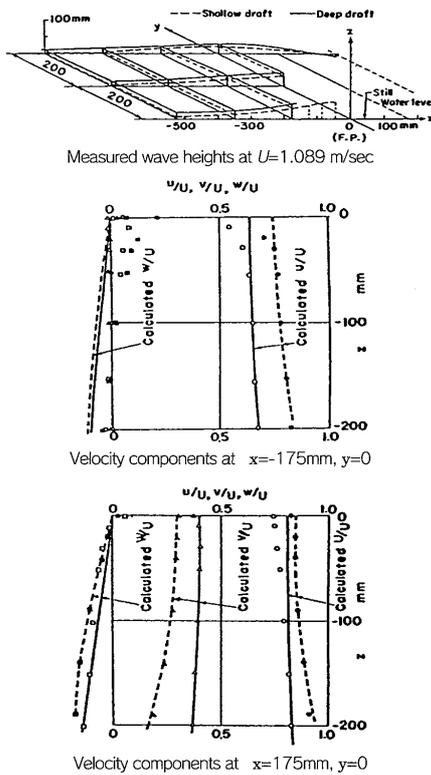


図-5 水面付止流場計測結果

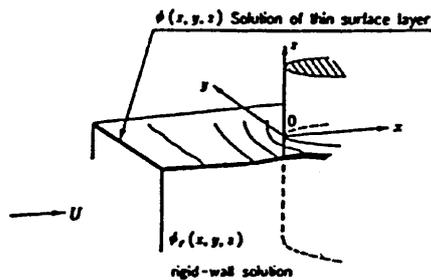


図-6 模型化された流場

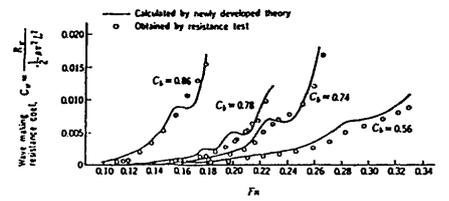


図-7 各種船型の造波抵抗実験と推算値の比較

Comparison of wave resistance measured and predicted

に近い速度として求める事にします。これを模式的に示すと図-6のようになります。線型造波抵抗理論に比べるといささか面倒になりますが、波動による速度成分は充分に小さいとしている為に実質的には線型造波抵抗理論に良く似た式が得られます。図-7に、この理論(低速理論)により求めた造波抵抗係数と実験値の比較を示します。通常の商船々型にあっても、かなり精度の良い対応が示されており、線型理論に比べて、改善された理論といえるでしょう。しかしながら、図-8に示すように、喫水

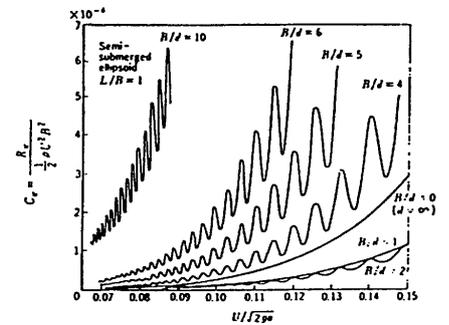


図-8 喫水変化と造波抵抗の変化

が浅くなるに従い、計算値と実験値の相違が大きくなり、フルード数に対して、振動する性質が現れて来ます。なお、現状では、低速理論をベースに、数値計算法(ランキンソース法)が開発され設計にも使われています。線型理論では考えられなかった様な精度向上が達成されていますが、船型条件によっては、非合理的な結果も得られており今後共、計算手法の改善への検討が進められるものと考えます。(続く)