

船体振動と付加水質量

松 浦 義 一*

振動は、造船技術者や船主にとって絶えず関心が持たれる問題である。船体に過大な振動があると、乗客や乗組員にとっては乗心持の悪い船であるし、また航海計器その他の精密な計器類にとっても悪影響がある。特に客船の場合には、振動が大きいことは、著しくその船の評判を悪くすることになる。

船体において生じる振動は、大きく分けて二つのクラスに分類できる。第一のものは、船体全体が一つの巨大な棒または梁として挙動する全体的な弾性振動であって、上下曲げ振動、水平曲げ振動（以下、上下振動及び水平振動という）、振り振動及び縦振動があり、これらを総称して船体振動 (ship hull vibration) と呼んでいる(図1参照)。第二のものは、例えば二重底や上部構造のような船体の部分構造あるいは梁、桁、柱、板等の構造要素の弾性振動であって、これらは局部振動 (local vibration) と呼ばれている。

船体において振動が問題になるのは、船体に作用する起振力の振動数が、上記の船体の各種の振動の固有振動数のどれかに一致して共振状態を生じる場合である。船体に働く起振力の主なものは、船に搭載されている主機 (main engine) または補機 (auxiliary machinery) が発生する周期的な不釣合力または不釣合モーメント及びプロペラが船尾後方の複雑な伴流分布の中で回転することによって生じる流体力学的な周期的起振力である。なお、このほか、船が向い波で航行中、波との出会い周期の関係により、波浪起振力が原因で振動が起こることもある。

船が完成したときは、主機の常用回転数やプロペラの翼数などは既に決定されているので、

* 松浦義一 (Yoshikazu MATSUURA), 大阪大学, 工学部, 造船学科, 教授, 工博, 船体振動論

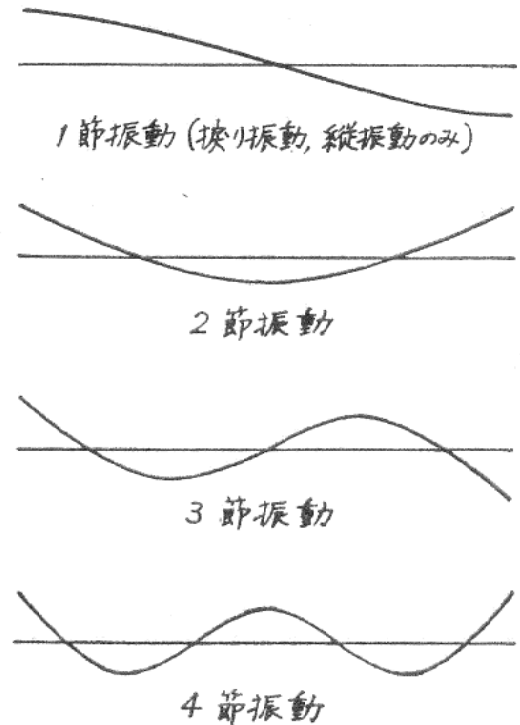


図1 撓み、捩れ角等の船長方向の分布の概形

航行中に船体に働く起振力の振動数は定まったものとなる。この起振力の振動数が、上述の船体の各種の固有振動数のどれかに一致すると共振を起こして振動の問題を生じるので、主機回転数やプロペラ翼数を決定する時点では、船体の各種固有振動数のできるだけ正確な推定が必要となる。

船体の局部振動で共振が生じた場合は、適当な補強を施すことによって共振を避けることができるが、不幸にして船体振動すなわち船体の全体的な振動で共振状態が生じた場合は致命的である。すなわち、共振を避けるため、船体の固有振動数を大幅に変える程の補強工事を行なうことは実際上不可能であって、主機回転数やプロペラ翼数の変更等が必要となる場合もあり、多大の費用と日数をそのために費さなければならぬ。船の設計の段階で、特に船体振動の固有振動数の正確な推定が要求されるのは、

このような理由によるのである。

船体振動の研究は、Schlick が1884年に英国において発表した論文が造船学における船体振動の分野での最初のものである。その後、多くの研究者により、船体振動の固有振動数の算定法についての研究が進められたが、理論計算の結果を船体の実測された固有振動数と一致させるためには、例えば上下振動の場合、船体の曲げ剛性 EI の値としては、鋼の弾性係数 E の値を、鋼材の実際の E の値の70~75%にとったものを用いなければならないという矛盾があった。

この矛盾は、1924年に Nicholls が船体周囲の水が船体固有振動数に重大な関係があることに着目して行なった模型による実験的研究によって解消された。すなわち、船体周囲の水の付加水質量効果（水中で振動する物体は、周囲の水の影響により、質量が増加したような挙動をすること）を考慮に入れることにより、鋼材の E の値をそのまま用いて、船体固有振動数をかなり正確に算定できるようになり、付加水質量の重要性が認められた。次いで、1929~1930年に、Lewis と Taylor がそれぞれ独立に、主として船体上下振動における付加水質量の理論的研究の結果を発表するに及び、船体固有振動数の算定法の精度が一段と向上した。以後、現在に至るまでの間に、船体の上下振動、水平振動の付加水質量及び振り振動の付加水慣性モーメントについての理論的及び実験的研究が多くの研究者によって行なわれ、現在では、実用的には十分正確な付加水質量及び付加水慣性モーメントの算定法が確立されている。その計算手順の概略を次に述べよう。

船体振動の付加水質量及び付加水慣性モーメントを理論的に算定する際に注意すべき諸点は次のとおりである。

- (1) 船体は有限長の可変断面の棒(または梁)である。
- (2) 船体振動は弾性棒(または梁)の振動であり、曲げ変形、捩れ変形等の振動モード(図1参照)を考慮に入れなければな

らない。

- (3) 一般に、船体は水面に浮かんでおり、従って周囲の水としては、自由表面を持つ半無限流体(十分に広くかつ深い水域の場合)を考慮して取扱わなければならない。

上記の(1)~(3)の条件を同時に満たすような厳密な理論解を求めることは、船体の形状及び構造の複雑さのため、極めて困難である。現在用いられている計算法は、上記の条件の各項目毎の考察を別個にできるだけ正確に行ない、それらの結果を組合せて合理的な近似計算法を導くという方法であって、以下に示すような手順で行なわれる。

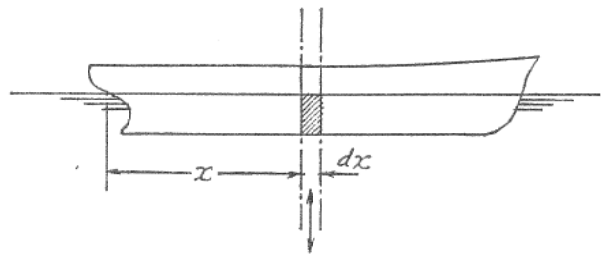


図 2

まず最初に、図2に示すように、船の微小長さ dx の部分に注目し、この部分が横断面内で二次元的に上下振動、水平振動をするときの付加水質量及び回転(捩り)振動をするときの付加水慣性モーメントを計算して、次のように表わす。

$$\left. \begin{aligned} \text{上下振動:} & \quad m_V' = \frac{1}{2} C_V \rho \pi b^2 \\ \text{水平振動:} & \quad m_H' = \frac{1}{2} C_H \rho \pi d^2 \\ \text{回転(捩り)振動:} & \quad i_T' = C_T \rho \pi d^4 \end{aligned} \right\} (1)$$

これらは、船体の単位長さ当りの二次元付加水質量及び二次元付加水慣性モーメントを示し、船体の各横断面毎にこれらの値が得られると、船体の長さ方向の付加水質量及び付加水慣性モーメントの分布形が定まる。なお、式(1)において、bは船体横断面の水線面における半幅、dは喫水を表わし(図3参照)、 ρ は流体の密度である。また、 C_V 、 C_H 、 C_T は船体横断面の形状によって定まる無次元の係数であり、付加水質量係数及び付加水慣性モーメント係数と呼ばれ

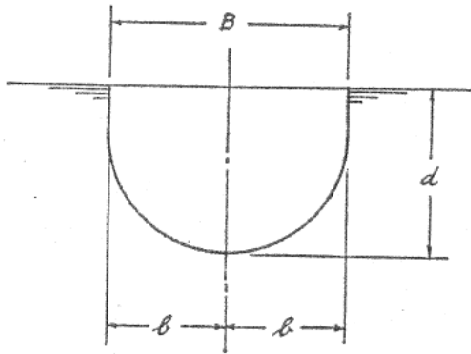


図 3

る。

C_V, C_H, C_T の値は、等角写像の方法を用いて計算されており、船体横断面に類似の図形として、写像関数

$$z = \zeta + \frac{a_1}{\zeta} + \frac{a_3}{\zeta^3} \quad (a_1, a_3 : \text{実数定数})$$

$$z = x + iy, \quad \zeta = \xi + i\eta$$

..... (2)

により得られる“Lewis 断面”と呼ばれる図形についての値が求められている。図4は、上下振動の場合の C_V の値と断面図形の関係の一例を示したものである。

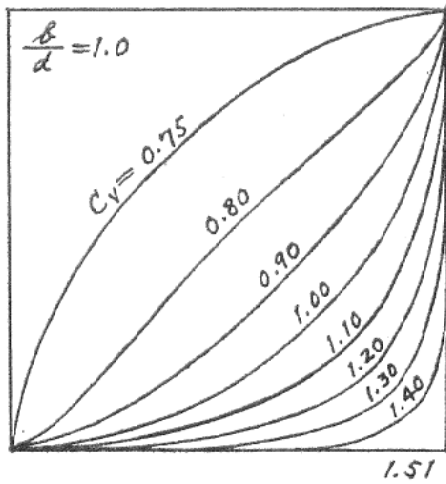


図4 Lewis 断面上下振動付加水質量係数 C_V の一例

式(1)で与えられる付加水質量 mv' 、 m_H' 及び付加水慣性モーメント i_T' は、流体が二次元運動をすると仮定し、単に横断面内で上下、水平、回転運動をすることとして求められたものであるから、まだ船体が弾性変形をすることと周囲の水が、三次元運動をすることが考慮されていない。さて、船体そのものについてこれらのこ

とを考慮に入れた計算をすることは困難である。そこで、それに代わるものとして、細長い回転楕円体、有限長の丸棒あるいは楕円棒のような解析的な取扱いが可能な棒状の物体が、自由表面のある流体中で曲げ振動、振り振動するときの流体の三次元運動エネルギー T を計算し、一方、周囲の流体が、棒の各横断面毎に二次元運動をすると仮定して計算された流体の二次元運動エネルギー T' を求め、両者の比をとって

$$J = \frac{T}{T'} \quad \text{..... (3)}$$

を求めておけば、この J を上述の船体の二次元付加水質量または二次元付加水慣性モーメントに対する三次元修正係数の近似値として用いることができる。船体上下振動及び水平振動の付加水質量に対する三次元修正係数を J_V, J_H 、振り振動に対するそれを J_T と書けば、船体の各横断面毎の単位長さ当りの付加水質量及び付加水慣性モーメントは、式(1)に上記の修正を行ない

$$\begin{aligned} \text{上下振動: } mv &= J_V mv' = \frac{1}{2} J_V C_V \rho \pi b^2 \\ \text{水平振動: } m_H &= J_H m_H' = \frac{1}{2} J_H C_H \rho \pi d^2 \\ \text{振り振動: } i_T &= J_T i_T' = J_T C_T \rho \pi d^4 \end{aligned}$$

..... (4)

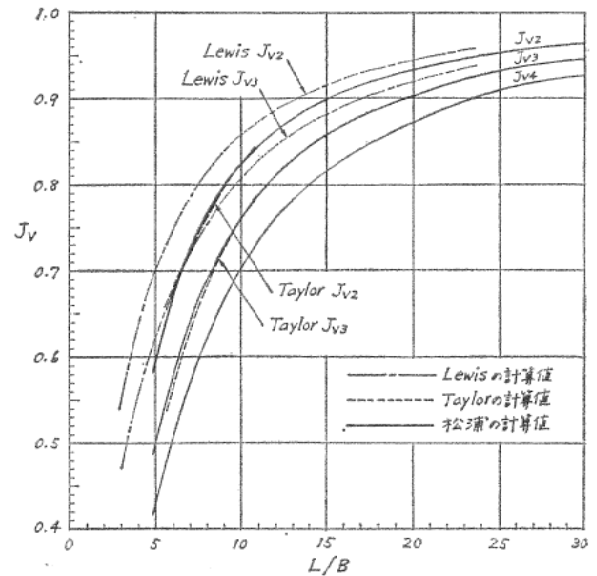


図5 上下振動付加水質量の三次元修正係数 J_{Vn} の値 (回転楕円体の計算値, $n = 2, 3, 4$ は節数を示す)

として算定することができる。

三次元修正係数 J は、一般に 1 より小さい値をとる。一例として、回転楕円体につき、上下振動に対して求められた J_v の値を図 5 に示す。ここに、 L は船の長さ、 $B (= 2b)$ は船体中央断面の水線面における幅である。図より、 L/B が大きいとき、すなわち細長い船ほど付加水質量は二次元計算値に近くなり ($J \rightarrow 1$)、また高次振動になるほど、三次元影響が大きく現われて J の値が小さくなることがわか

る。

以上、船体振動の解析に当り、周囲の水の影響を付加水質量または付加水慣性モーメントの形で算入するという現在の段階での計算の手法を紹介したが、より正確な理論的解法としては、このような見かけ質量の形ではなく、船体と周囲の水をあわせた全体の系についての理論的考察が必要であり、これが今後の研究の方向であると考えられる。