

小型船舶の主要寸法と横揺周期

小田 一紀*・久保 直**・木村 龍夫***

1. ま え が き

船舶の主要寸法や固有周期は港湾施設の計画や船舶の波浪動揺の解析には不可欠である。このため、中・大型船については、既に、その主要寸法が港湾技術研究所の統計資料¹⁾に、また固有周期を推定する動揺性諸元は造船設計便覧²⁾などに報告されている。しかし、波浪の影響を受け易く、しかも数の上では圧倒的に多い 500 G.T. クラス以下の小型船については、この種の報告は極めて少ない³⁾。そこで今回、500 G.T. 未満の小型船（貨物船・油槽船）を対象として、それらの主要寸法と総トン数の関係、および重心高や傾心高などの動揺性諸元と主要寸法の関係を調べ、さらにそれらの結果に基づいて満載時と軽荷時の横揺固有周期の推定を行ったので、ここに報告し、今後の港湾計画の策定や船舶の動揺解析を実施する場合の資料に供したい。

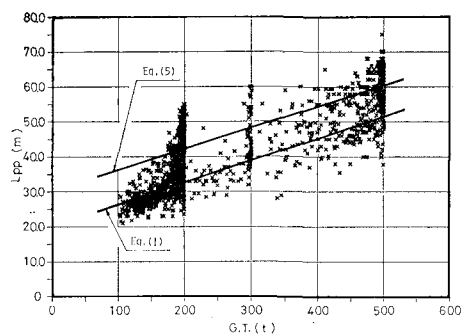
2. 主要寸法と総トン数の関係

資料として昭和 58 年版日本船舶明細書記載の 500 G.T. 未満の貨物船 2,283 隻および油槽船 876 隻を採用し、それらの主要寸法と総トン数の関係を相関分析および回帰分析によって求めた。主要寸法として取り上げた諸元は、船舶の固有周期に最も影響を及ぼすと考えられる垂線間長 L_{pp} 、型幅 B 、型深 D および満載喫水 d_f である。

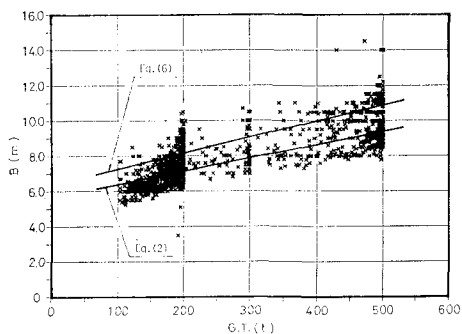
2.1 貨物船 (100 < G.T. 500)

貨物船の総トン数に対する垂線間長、型幅、型深および満載喫水の関係を、それぞれ 図-1 (a)~(d) に示す。これらの図によると主要寸法は総トン数の増加と共にほぼ直線的に増大する傾向を示しているが、データのばらつきがかなり大きい。特に、図-1 (c) ではその傾向は著しく、2つのグループに分かれている。この原因は船の構造形式の相違によると考えられる。すなわち、小型の貨物船の断面形状には、大きく分けて2種類のものがあり、一つは 図-2 (a) に示すような上甲板だけの—

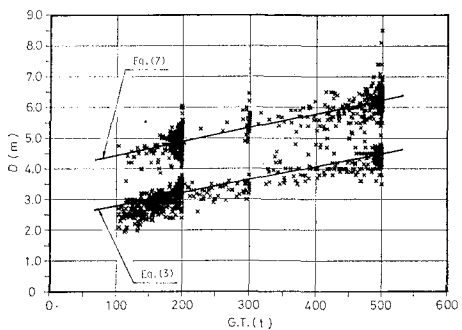
層甲板型、他は同図 (b) に示すような上甲板と第二甲板を持つ二層甲板型である。何れも型深は船底から上甲板までをとるので、総トン数が同じでも二層甲板型の方が



(a) $L_{pp} \sim G.T.$



(b) $B \sim G.T.$



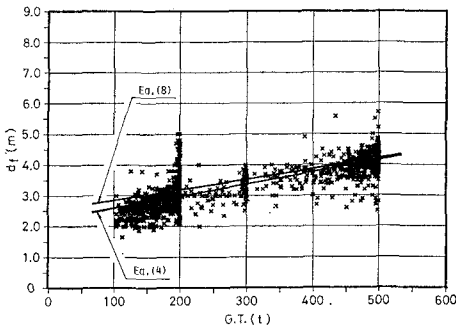
(c) $D \sim G.T.$

図-1 貨物船の主要寸法と総トン数の関係

* 正会員 工博 大阪市立大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 大阪市立大学講師 工学部土木工学科

*** 正会員 大阪市立大学 工学部土木工学科



(d) $d_f \sim G.T.$

図-1 貨物船の主要寸法と総トン数の関係

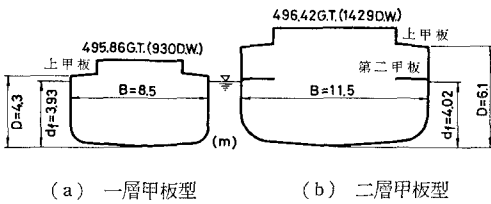


図-2 小型貨物船の比較例

型深が大きくなる。しかし、満載喫水には大きな差がないので、 d_f/D の値は一層型と二層型では大きな差が生じる。図-3 (a) および (b) は、それぞれ 199 G.T. 船と 499 G.T. 船について、船の起工年別に d_f/D の値をプロットしたものであるが、これらの図から、 d_f/D の値がほぼ 0.8 を境にして一層型と二層型に分かれていることがわかる。なお、最近の建造船は、そのほとんどが二層型である。これは、「二層甲板船については、上甲板と第二甲板の間にある貨物艙等の場所を総トン数に算入しない」という 1967 年の船舶積量測定法の改正³⁾が契機となっており、さらに 1973 年のオイルショックがこの傾向を助長したと考えられる。

何れにしても、一層甲板型と二層甲板型がほぼ $d_f/D = 0.8$ を境にして分けられるので、この値によって図-1 のデータを一層型と二層型に分け、各諸元と総トン数の

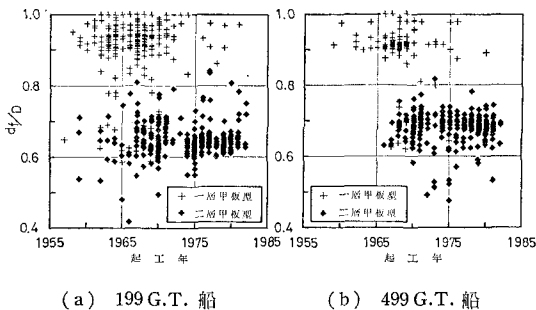


図-3 d_f/D と起工年の関係

関係を直線回帰式で表すと次のように求められる。

i) 一層甲板型

$$L_{pp} = 0.0619 G.T. + 20.54 \text{ (m)} \quad (1)$$

$$B = 0.00744 G.T. + 5.69 \text{ (m)} \quad (2)$$

$$D = 0.00426 G.T. + 2.37 \text{ (m)} \quad (3)$$

$$d_f = 0.00396 G.T. + 2.19 \text{ (m)} \quad (4)$$

ii) 二層甲板型

$$L_{pp} = 0.0601 G.T. + 30.54 \text{ (m)} \quad (5)$$

$$B = 0.00897 G.T. + 6.38 \text{ (m)} \quad (6)$$

$$D = 0.00443 G.T. + 4.03 \text{ (m)} \quad (7)$$

$$d_f = 0.00336 G.T. + 2.52 \text{ (m)} \quad (8)$$

2.2 油槽船 (100 < G.T. < 500)

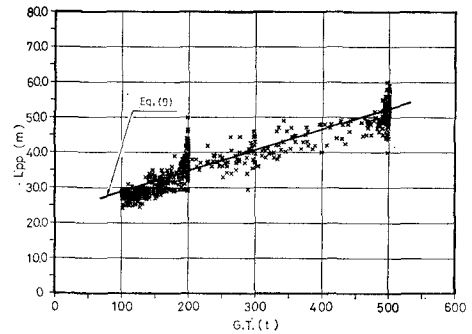
貨物船の場合と同様に、油槽船の主要寸法と総トン数の関係を表わすと図-4 (a)~(d) のごとくである。油槽船はすべて一層甲板型であるから、貨物船で見られたようなデータの大きなばらつきはなく、主要寸法と総トン数の関係は次の直線回帰式で近似できる。

$$L_{pp} = 0.0585 G.T. + 23.34 \text{ (m)} \quad (9)$$

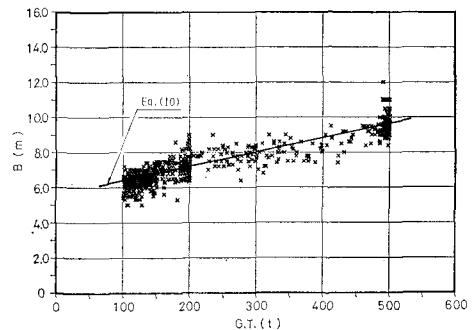
$$B = 0.00803 G.T. + 5.64 \text{ (m)} \quad (10)$$

$$D = 0.00472 G.T. + 2.13 \text{ (m)} \quad (11)$$

$$d_f = 0.00447 G.T. + 1.95 \text{ (m)} \quad (12)$$

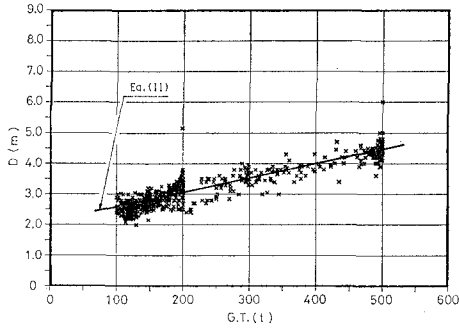


(a) $L_{pp} \sim G.T.$

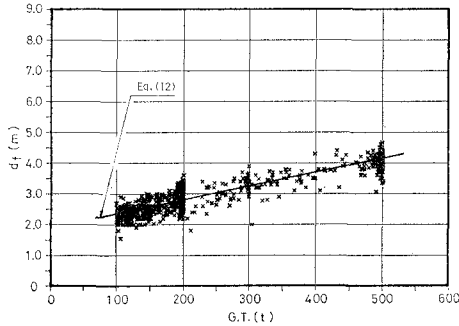


(b) $B \sim G.T.$

図-4 油槽船の主要寸法と総トン数の関係



(c) $D \sim G.T.$



(d) $d_f \sim G.T.$

図-4 油槽船の主要寸法と総トン数の関係

3. 動揺性諸元と主要寸法の関係

500 G.T. 未満の小型船については、船舶復原性規則による安定性等の検査に関する法的義務がないので、重心高や傾心高等の動揺性諸元のデータは非常に少ない。今回、造船各社から満載時と軽荷時の KM (船底基線から傾心までの鉛直距離) と KG (船底基線から重心までの鉛直距離) のデータを入手したので、それらと船舶の主要寸法 (ここでは、 D と B) の関係を調べ、後述する横揺固有周期の推定に役立てる。なお、貨物船については二層甲板型のみを対象とした。

3.1 KM と D の関係

図-5 (a) および (b) は、貨物船と油槽船の KM と D の関係をそれぞれ満載時と軽荷時について表わしたものである。軽荷時には両船ともデータのばらつきは大きい、 KM と D の関係を何れも直線的であるとみなしてそれらの回帰式を求めると近似的に次のように表わせる。

i) 貨物船 ($4.0 < D < 7.5$)

$$\text{満載時 } KM = 0.589D + 1.05 \quad (\text{m}) \quad \dots\dots\dots (13)$$

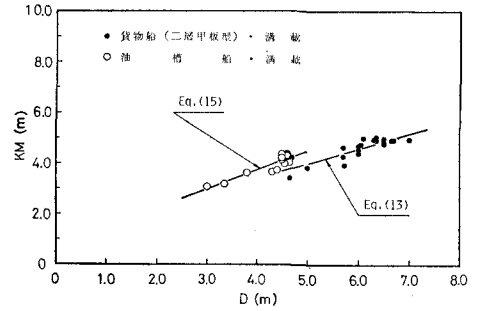
$$\text{軽荷時 } KM = 1.129D + 0.085 \quad (\text{m}) \quad \dots\dots\dots (14)$$

ii) 油槽船 ($2.5 < D < 5.0$)

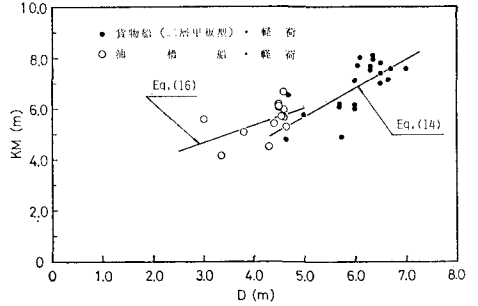
$$\text{満載時 } KM = 0.746D + 0.77 \quad (\text{m}) \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$\text{軽荷時 } KM = 0.673D + 2.70 \quad (\text{m}) \quad \dots\dots\dots (16)$$

3.2 KG と D の関係

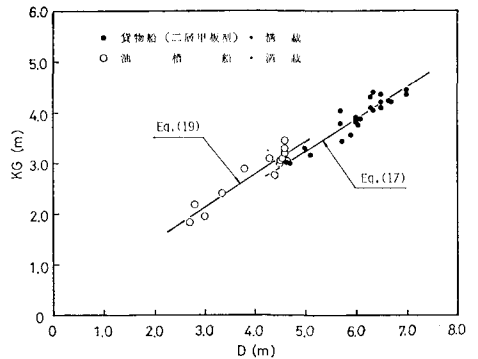


(a) 満載時

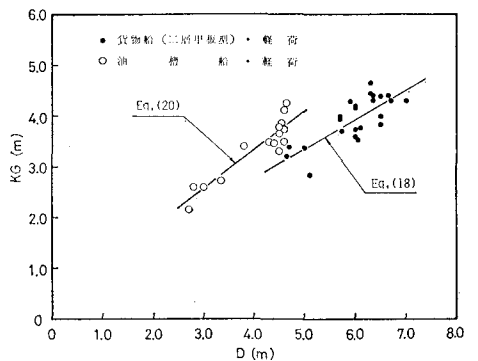


(b) 軽荷時

図-5 KM と D の関係



(a) 満載時



(b) 軽荷時

図-6 KG と D の関係

同様に、貨物船と油槽船の KG と D の関係を満載時と軽荷時について表わしたものが 図-6 (a) および (b) である。この場合も、軽荷時のデータのばらつきは大きい、近似的に直線回帰式を適用すると、次のような関係式が得られる。

i) 貨物船 ($4.0 < D < 7.5$)

$$\text{満載時 } KG = 0.633D + 0.07 \text{ (m)} \dots\dots\dots(17)$$

$$\text{軽荷時 } KG = 0.581D + 0.47 \text{ (m)} \dots\dots\dots(18)$$

ii) 油槽船 ($2.5 < D < 5.0$)

$$\text{満載時 } KG = 0.646D + 0.20 \text{ (m)} \dots\dots\dots(19)$$

$$\text{軽荷時 } KG = 0.765D + 0.27 \text{ (m)} \dots\dots\dots(20)$$

3.3 k_x と B の関係

従来、横回転半径（重心を通る縦軸まわりの見掛けの回転半径） k_x は B にほぼ比例することから、 $k_x = cB$ なる関係式が与えられている⁴⁾。

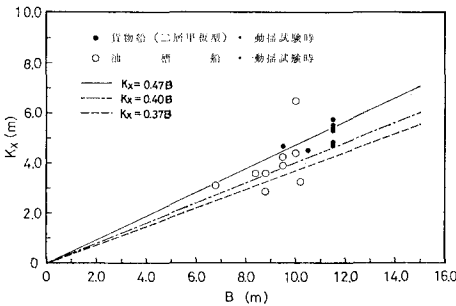


図-7 k_x と B の関係

今回、数は少ないが、動揺試験時の横揺固有周期の実測値から逆算した k_x の値を造船会社から提供してもらった。図-7 はこれらのデータを記したものである。従来、軽荷状態の中・大型貨物船に対して $k_x = (0.37 \sim 0.40)B$ が、また同状態での油槽船に対して $k_x = (0.37 \sim 0.47)B$ の関係が報告されている⁴⁾。図-7 に記されている直線はこれらの関係式を示したものであるが、著者らの得た小型の貨物船のデータはこれらの関係式が与える値よりも 20% 程度大きな値を示しているが、油槽船のデータはほぼ従来報告されている値の範囲に入っている。なお、データにばらつきが大きい、これは、動揺試験時の載荷荷重が、貨物船で重量トンの 2.1~36.7%、油槽船で 2.5~29.0% とかなり幅があることが 1 つの原因であると思われる。

4. 横揺固有周期の推定

4.1 推定式の提案

横揺固有周期 T_R は、 KM 、 KG および k_x の値がわかれば、理論的に次式から計算できる。

$$T_R = 2\pi \cdot k_x / \sqrt{g(KM - KG)} \dots\dots\dots(21)$$

そこで、小型の貨物船と油槽船について、先に示した

KM と KG に対する回帰式を用い、 k_x については一応従来報告されている中・大型船に対する値⁴⁾ の平均値を用い、貨物船の満載時に $c=0.335$ 、軽荷時に $c=0.385$ 、また油槽船に対して、それぞれ $c=0.370$ および $c=0.420$ を採用すると、次のような横揺固有周期の推定式が得られる。

i) 貨物船 (二層甲板型, $100 < G.T. < 500$)

$$\text{満載時 } T_R = \frac{0.00604 G.T. + 4.29}{\sqrt{-0.000191 G.T. + 0.81}} \dots\dots\dots(22)$$

$$\text{軽荷時 } T_R = \frac{0.00694 G.T. + 4.93}{\sqrt{0.00243 G.T. + 1.83}} \dots\dots\dots(23)$$

ii) 油槽船 ($100 < G.T. < 500$)

$$\text{満載時 } T_R = \frac{0.00597 G.T. + 4.19}{\sqrt{0.000474 G.T. + 0.78}} \dots\dots\dots(24)$$

$$\text{軽荷時 } T_R = \frac{0.00678 G.T. + 4.76}{\sqrt{-0.000437 G.T. + 2.23}} \dots\dots\dots(25)$$

4.2 実測値との比較

前述のように固有周期の実測データは極めて少ないが、動揺試験時の若干のデータを得たので、それらを上記の推定式による値と比較して示すと 図-8 のごとくである。

図-8 によると、貨物船については、推定式による値は満載時と軽荷時で大きな差があるが、載荷荷重が重量トンの 2.1~36.7% である動揺試験時の実測値が丁度推定式で得られる満載時と軽荷時の値の範囲に入っていることから判断して、推定式は妥当な値を与えているといえる。

油槽船については、推定式による値は、満載時と軽荷時で貨物船の場合ほど大きな差を示していないが、実測値はかなり大きくばらついており、推定式による値の範

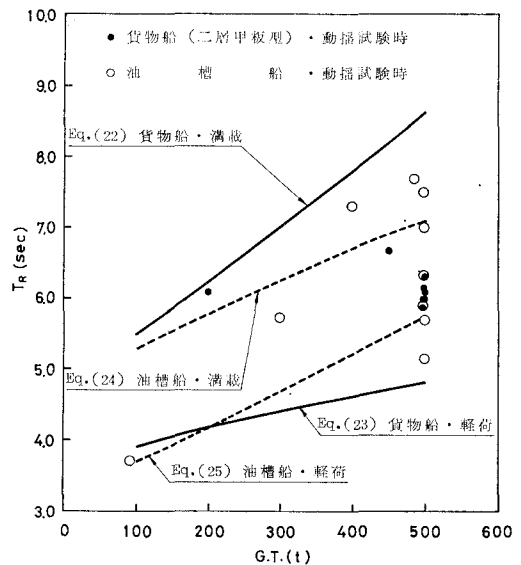


図-8 横揺固有周期の推定値と実測値の比較

囲を越えるものが見られる。しかし、横揺固有周期の概略値を知る上では、推定式にそれほど大きな問題はないと思われる。

5. ま と め

以上、本報告では、港湾の施設計画や船舶の動揺解析に役立てる目的で、100 G.T.~500 G.T. の小型船を対象として、その主要寸法と総トン数の関係、動揺性諸元と主要寸法の関係を調べ、それらの回帰式を導いた。さらに、これらの関係に基づいて、横揺固有周期の推定式を提案し、動揺試験時のデータと比較して、固有周期の概略値を知る上で、提案式が有用であることを確認した。今後は、動揺性諸元や固有周期の実測値をさらに集めて、固有周期の推定式の精度を上げて行くことが必要と

思われる。

最後に、この報告をまとめるに当たり、数少ない貴重な資料を提供して戴いた造船会社および船舶整備公団の方に深甚なる謝意を表します。また、データの分析に協力を惜しまなかった当時学部学生の中辻益治君に心から感謝を申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 片山猛雄・他：船舶諸元の相互関係，港湾技研資料，No. 101, 1970.
- 2) 関西造船協会編：造船設計便覧，865 p., 海文堂，1969.
- 3) 神戸海上保安部・大阪府立大学工学部：小型鋼船の運航状態に関する調査，53 p., 1967.
- 4) 前出 2) に同じ.
- 5) 例えば，(財)日本小型船舶工業会：「船舶のトン数の測度に関する法律施行規則」について，1981.