

大成建設株式会社

正会員

○ 田中 良弘
 花村 哲也

1. はじめに

従来、平底バージやケーソンのような矩形断面の浮体の曳航抵抗あるいは潮流抵抗を求める場合、海洋工学構造物設計指針によれば、浮体前面の盛り上がり量を考慮した浸水面積を用い、さらに抗力係数としては、自由水面の影響を受ける場合のものを用いていた。この場合、前面の盛り上がり量の算定、あるいは一般に用いられている自由水面の影響を受けない場合の抗力係数との関係等について、不明な点があった。本報告は、前面の盛り上がり量および吃水と曳航方向が全抗力係数にどのように影響するかを調べるため、室内実験を行ない、理論的考察を加えたものである。

2. 実験概要

実験は、図-1に示すような矩形断面の曳航浮体を用いた。浮体は、曳航時に前傾しないように曳航電車に固定した。曳航方向は、図-1に示すA, B, Cの3方向とし、曳航速度を0.2~1.0 m/sまで0.1 m/sきざみとし、吃水は3, 6, 10, 12 cmに変化させて行なった。また測定方法としては、曳航抵抗力を三分力計により、浮体前面の水の盛り上がり量を容量式波高計により、また前面の動水圧を歪式水圧計により測定した。

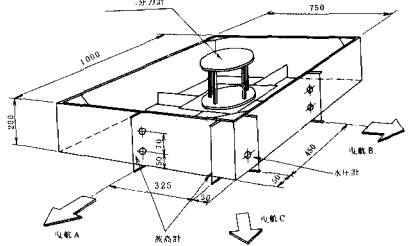


図-1 曳航浮体の概略図

3. 曳航抵抗式

Hoernerによれば、流れにより水面上につき出た物体に作用する抵抗は、形状抵抗、Ventilation抵抗、造波抵抗、まじり抵抗に分けられる。浮体の全曳航抵抗 R は、浮体前面の吃水面積を $A_0 (=bd)$ 、 b :幅、 d :吃水、底面・側面のまじり抵抗面積を $A_F (=l(b+2d))$ 、 l :浮体長さ) とすると、次のようにあらわされる。

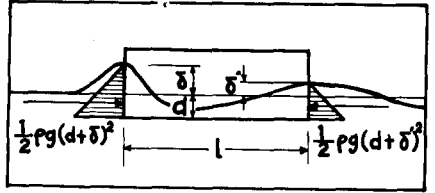


図-2 造波抵抗モデル図

$$R = \frac{1}{2} \rho A_0 V^2 (C_{00} + C_V + C_W + C_F \frac{A_F}{A_0}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

形状 Ventilation 造波 まじり

ここに、 C_{00} は形状係数、 C_V はVentilation係数、 C_W は造波抵抗係数、 C_F はまじり抵抗係数を示す。Ventilation抵抗とは、フルード数が大きい場合 ($Fr > 1 \sim 2$)、物体の背後に空気を巻き込むことによって生ずる抵抗のことで、吃水によるフルード数 $Fr = V/\sqrt{gd}$ の自乗に反比例し、 $C_V = C_{V0}/Fr^2$ で示され、 C_{V0} は実験式より求められる。造波抵抗については、

筆者らは、次のように仮定する。即ち、図-2のように造波抵抗は前面と背面の水の盛り上がり高さ δ, δ' の差による圧力差で表わされるものとする、後節に示す実験結果より $\delta = K \frac{V^2}{2g}$ 、 $\delta' = K' \frac{V^2}{2g}$ (K, K' は、ほぼ定数と考えられる) と仮定することにより C_W は次のように表わされる。
 $C_W = K - K' + \frac{1}{4}(K^2 - K'^2) Fr^2 \quad \dots\dots\dots (2)$
 まじり力は、平板境界層理論を用いて表

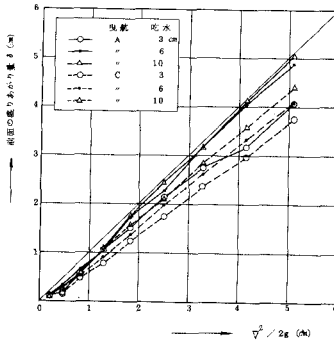


図-3 $\delta \sim V^2/2g$ の関係

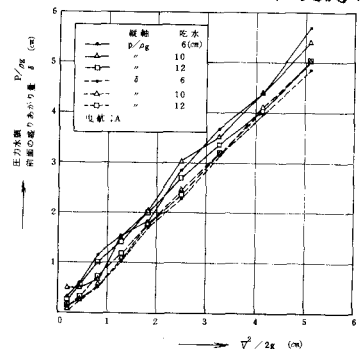


図-4 $P/\rho g, \delta \sim V^2/2g$ の関係

わす。本実験では、 $Re=1.5 \times 10^5 \sim 1.3 \times 10^6$ にあり、ほぼ乱流抵抗域にあり、

$$C_F = \frac{n}{Re^m} = \frac{n}{(Vl/\nu)^m} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 $n=0.074$ 、 $m=1/5$ と考える。

従って、吃水面積 $A_0 = bd$ を用いて求めた全抗力係数 C_{d1}

$$\begin{aligned} \text{を求めると、} \quad C_{d1} &= \frac{R}{\frac{1}{2} \rho A_0 V^2} = C_{D0} + \frac{C_{V0}}{Fr^2} \\ &+ (K-K') + \frac{Fr^2}{4} (K^2 - K'^2) + n Re^{-m} \left(\frac{l}{a} + \frac{2l}{b} \right) \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

前面の盛り上がり高さを考慮した全抗力係数 C_{d2} は、

$$\begin{aligned} C_{d2} &= \frac{R}{\frac{1}{2} \rho (A_0 + b\delta) V^2} = \frac{2}{2 + K Fr^2} \left[C_{D0} + \frac{C_{V0}}{Fr^2} \right. \\ &+ (K-K') + \frac{Fr^2}{4} (K^2 - K'^2) + n Re^{-m} \left(\frac{l}{a} + \frac{2l}{b} \right) \left. \right] \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

4. 実験結果および考察

図-3により、浮体前面の水の盛り上がり量は、 $V^2/2g$ に比例し、比例定数 K の上限は 1.0 で、図-1に示す航行方向 C より航行方向 A の方が大きく、さらに吃水 d が大きくなると K は増大することがわかる。また、浮体前面の同じ位置で圧力水頭を調べると、図-4に示すように圧力水頭 $P/\rho g$ は、前面の水の盛り上がり高さよりわずかに大きい。全抗力係数 C_{d1} 、 C_{d2} の結果を図-5、6に示す。

以下、理論と対比して考察を述べる。①摩擦項は、 $Re=10^5 \sim 10^6$ にあり、一応乱流境界層域にあるものと仮定して、 $M=0.2$ 、 $n=0.074$ を用いて計算すると $C_F \frac{AE}{A_0} = 0.15$ 以下であり全抗力係数の約15%以下を占める。②表-1は、Ventilation項が作用するフルード数が大きいところで、実験値に合致する諸数値を求めたものである。これから、理論式により C_{d1} 、 C_{d2} を求めた結果を図-5、6に示す。

③ C_{d1} は理論上、フルード数の大きい所では増加することが示されたが、

今回は十分なデータがなく結論できなかった。④フルード数の小さい領域では、レイノルズ数も小さくなり抗力係数も層流と乱流の遷移域に入るため増大することから、摩擦項も増大することから、一般に C_{d1} 、 C_{d2} は大きな値を取り、Ventilation効果もなくなることから、理論式では説明できない。

5. 結論

- ①箱型浮遊構造物の曳航抵抗は、フルード数の大きい範囲については本理論式による説明も可能である。
- ②実用上、吃水の極端に小さい場合は、 C_{d1} で 1.0 ~ 1.5 の間にあり、フルード数により余り変化しない。
- ③今後は、本理論式の適用性の検討として更に広範囲のフルード数で背面の盛り上がり高さを測定する必要があると共に、 C_{D0} 、 C_{V0} 、 K 、 K' 等の数値について、 (a, b, l) の影響を調べたい。

なお、本実験にあたっては、東大船舶工学科船舶航行性能試験水槽を使用させていただき、深謝の意を表す。

(参考文献) Sighard F. Hoerner ; Fluid-Dynamic Drag , 1965

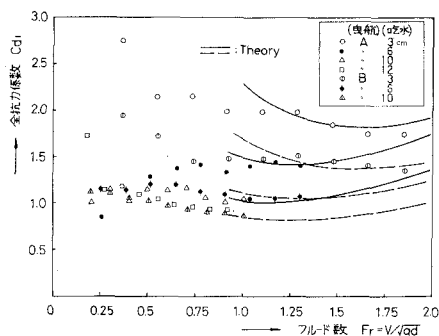


図-5 $C_{d1} \sim V/\sqrt{gd}$ の関係

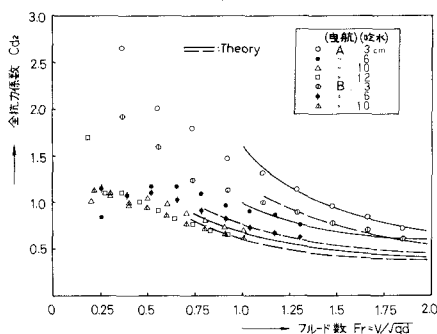


図-6 $C_{d2} \sim V/\sqrt{gd}$ の関係

表-1. 理論式の諸係数

ケース	d	b	l	K	K'	C_{D0}	C_{V0}
A-3	3	75	100	0.86	0.23	0.29	1.22
6	6	"	"	.98	.27	.02	0.56
10	10	"	"	.98	.46	.02	0.32
12	12	"	"	.98	.52	.02	0.27
B-3	3	100	75	0.75	0.19	0.13	0.90
6	6	"	"	.85	.36	.29	.45
10	10	"	"	.85	.46	.04	.30

※実験データに合う理論曲線より推定