

多列円柱構造物に作用する潮流力について

三菱重工業(株) 有田 行雄, 佐竹 優, 藤田 秀夫, O多賀谷 宏三

1. はじめに

近年、開発が進められている海洋構造物として、1)海上都市、海上空港等の巨大海洋構造物、2)海上原子力発電所等の各種プラント、3)海洋横断連絡橋、等がある。

これらは、いずれも、多くの技術的問題点を含んでいるが、中でも外力については、構造物が大型になるが故に、不明な点が多い。

外力には、風荷重、波力、潮流力、地震力等があるが、ここでは、上記海洋構造物の据付け及び係留作業上問題となる流れ方向の潮流力(抗力)をとりあげる。

一方、これらの海洋構造物は、設計、工作、据付け及び経済上の観点より多列円柱構造とするのが有利な場合が多い。

そこで、ここでは、多列円柱構造物に作用する抗力に関する研究成果をまとめてみた。

2. 単円柱に作用する抗力

周知のように円柱に作用する抗力は、抗力係数の導入により議論され、抗力係数は *Reynolds* 数により変化する。

即ち抗力は次式によりあらわされ、抗力係数 C_D が *Reynolds* 数をベースにしてどのように変化するかを求めるのが研究の手法である。

$$P = \frac{1}{2} \rho V^2 A C_D$$

ここに

P : 抗力

ρ : 海水の密度

V : 潮流速度

A : 円柱の見付面積

C_D : 抗力係数

単円柱の抗力係数については *Sighard F. Hoerner*⁽¹⁾, *Anatol Rashko*⁽²⁾, *Elmar Achenbach*⁽³⁾, *George W. Jones*⁽⁴⁾ 永井⁽⁵⁾らにより論文が発表されているが、これらの論文は次の点に主眼をおいている。

1) 前述の各種構造物は実機において *Reynolds* 数が $10^6 \sim 10^9$ の範囲にあり、このような高

Reynolds 数域において、抗力係数がいかなる値を示すか、

2) 高 *Reynolds* 数域においては、抗力係数は構造物の表面粗度により異なった値となる。表面粗度と抗力係数の関係がどのようになっているか。

これらは、いずれも高 *Reynolds* 数を対象としているので、大形の実験設備が必要であり、そのため実験がむづかしく、多少の実験条件の差でデータもばらついているようであるが、結論を要約すると次のようである。

- 1) *Subcritical* 領域の抗力係数は *Transcritical* 領域のそれよりも大きい。
- 2) *Transcritical* 領域の抗力係数は、表面粗度により異なるが、表面粗度が一定ならば、ほぼ一定の値を示す。
- 3) *Reynolds* 数が $1 \times 10^4 \sim 2 \times 10^5$ の範囲では単円柱の抗力係数は約 1.2 であり、溶接による鋼製パイプ程度の表面粗度ならば *Transcritical* 領域の抗力係数は 0.6 ~ 0.8 である。

これらの研究成果に対して各種の基準は、表 1 のようになっている。

表 1 には建築物に関する基準もあわせて載せたが、建築物のそれは空気に対するものである。空気と水とは密度において大きな差があるが各種文献によると *Reynolds* 数を一致させれば同一の現象が得られると言われている。

表 1 よりわかるように、安全率に対する考え方の相異はあるが設計採用値に 2 つのグループがある。

1 つは 1.00 ~ 1.25 の範囲のものであり、他の 1 つは 0.55 ~ 0.7 のものである。

前者は *Reynolds* 数が低い、又は、表面粗度による抗力係数の

増加を考慮したものであり、後者は、実際の構造物の表面粗度の上限に対して規定したものであろう。

流水中に係留された構造物の係留設備の設計については、その経済性、作業性を考慮すると、実情に合った抗力係数を採用しなければならない。

即ち上記設計値の後者がこれに該当するのではなからうか。

3、複数円柱に作用する抗力

3、1、既往の研究

複数円柱に作用する抗力の研究は少ない。

Sighard F. Hoerner が流れ方向及び流れ直角方向にならんだ 2 円柱の抗力に関する研究を行ない、永井⁽⁶⁾ は流れ方向にならんだ 2 円柱の抗力について研究を行なっている。また、円柱群の抗力係数については Walls-White が研究成果を報告し設計便覧にも採り入れられている。⁽⁸⁾⁽⁹⁾

各研究成果を図 1 ~ 3 に示した。

しかし、これらの研究はいずれも *Reynolds* 数が *Subcritical* 領域であり前述の各種構造物の実機にそ

表 1. 単円柱の抗力係数

引 用 文 献	<i>Reynolds</i> 数	抗力係数
本州四国連絡橋下部構造設計示方書(案) (本州四国連絡橋公団 設計第二部)	不明	1.25
海洋構造物に関する調査研究報告書 (土木学会)	$Re < Re_{cr}$	1.20
	$Re_{cr} < Re$	0.70
海岸保全施設設計便覧 (土木学会)	$10^3 < Re$	1.17
Handbook of Ocean and Underwater Engineering (John J. Myers)	10^5	1.20
スイス建築基準 (スイス建築学会)	$Re_{cr} < Re$	0.55
港湾構造物設計基準 (日本港湾協会)	$10^3 < Re$	1.00
本州四国連絡橋橋脚に関する研究報告書 (大阪市立大学 永井研究室)	$Re_{cr} < Re$	1.25

Re : *Reynolds* Number

Re_{cr} : Critical *Reynolds* Number

のまま適用するには無理がある。

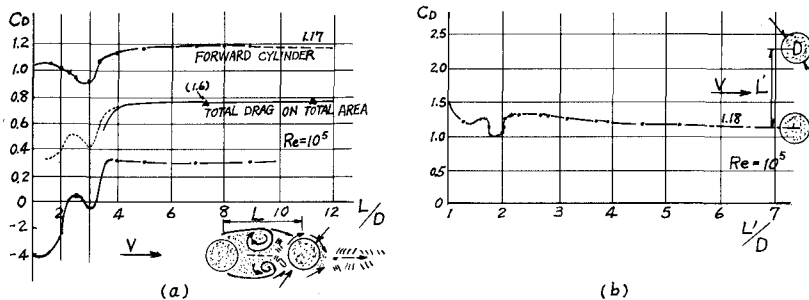


図1. Hoernerの研究

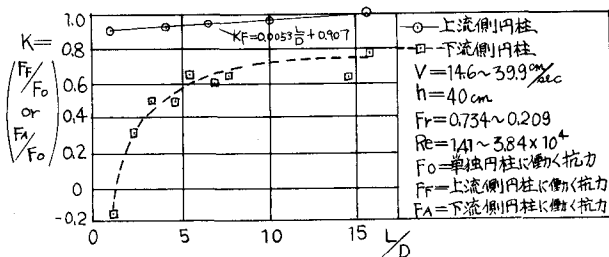


図2 永井の研究

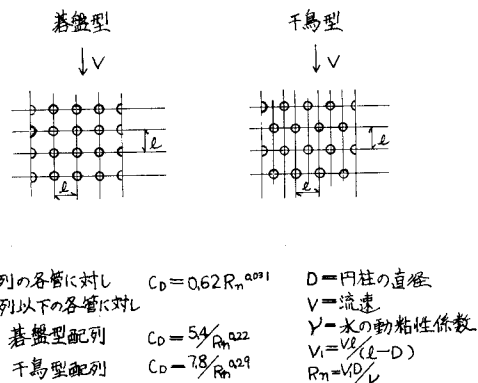


図3 Wallis-Whiteの研究

3. 2. 6内柱に関する着者の研究

著者等は、図4及び図5に示すような6内柱の模型を使用し図6に示す3方向について、水槽試験及び海上曳航試験を実施し図7～12に示すような結果を得た。(10)

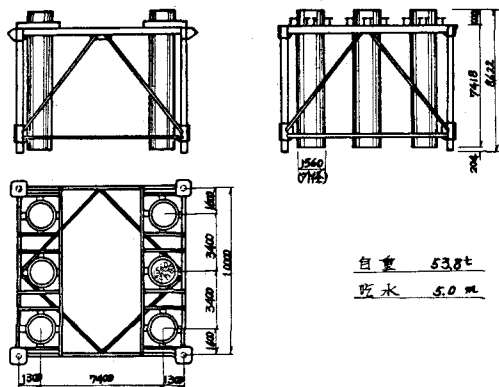


図4 大型模型

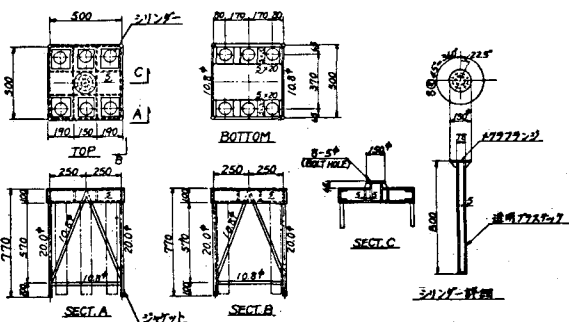


図5 小型模型

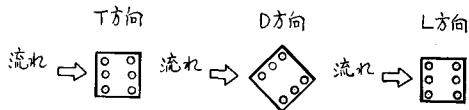
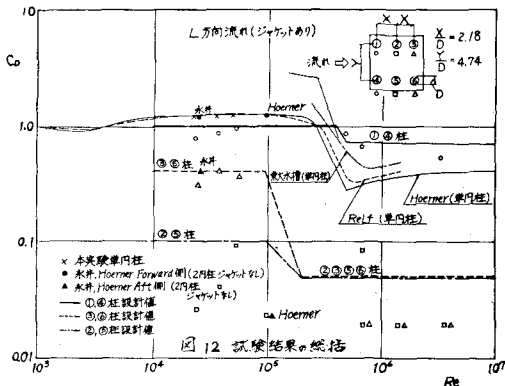
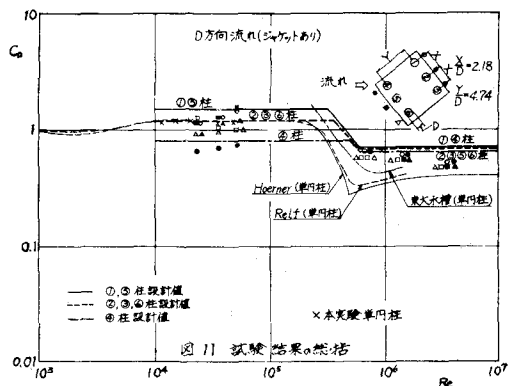
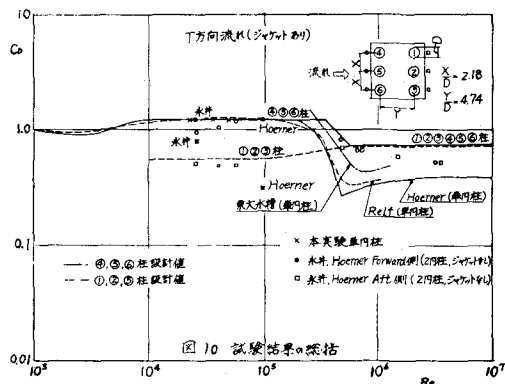
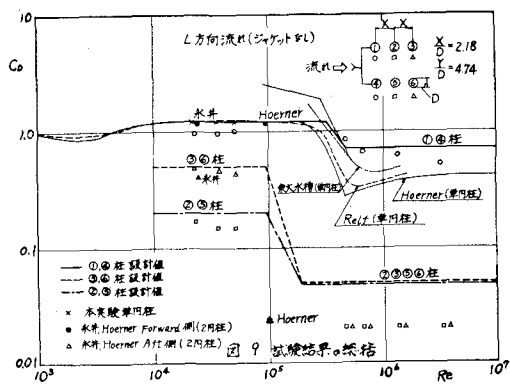
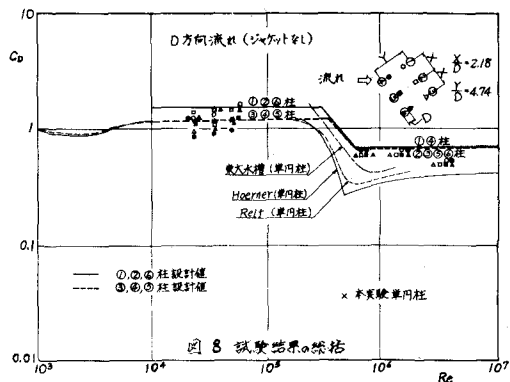
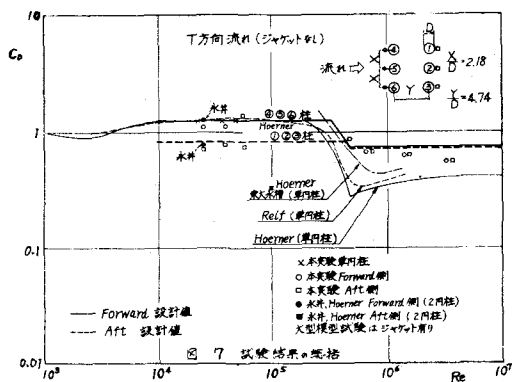


図6 流れ方向



この研究は、 $Reynolds$ 数で 3.5×10^6 程度まで「カバーするもので」、いはゆる *Transcritical* 領域に入っているものと考えられ、従って、前述の単円柱の場合と同様に表面粗度による抗力係数の増加はないと考えて良からう。

図中に太線で設計推奨値を示した。

4. おわりに

以上、円柱の抗力係数について述べてきたが、これだけでは、十分な設計資料とは言えない。特に、高 $Reynolds$ 数域における任意距離、任意数の円柱の相互干渉について明らかにする必要がある

大きな剝離の起る流れを計算で推定することが不可能な現況では系統的な試験により、不明瞭な部分を補わなければならないであろう。

また、折ある毎に実機の計測を行ない、データの集積をはかりたいと思う。

参考文献

- 1) Sigvard F. Hoerner, "Fluid - Dynamic Drag" 1958
- 2) Anatol Roshko "Experiments on the Flow past a circular Cylinder at very high Reynolds number" J. Fluid Mech., vol. 10, 1961
- 3) Elmar Achenbach "Influence of surface roughness on the cross-flow around a circular cylinder" J. Fluid Mech., vol. 46, 1971
- 4) George W. Jones "Aerodynamic Forces on a stationary and Oscillating circular Cylinder at High Reynolds Numbers" NASA. Technical Report R-300, 1969
- 5) 永井 荘七郎 "本州四国連絡橋橋脚に関する研究報告書" 昭和41年3月
- 6) 永井 荘七郎 "本州四国連絡橋橋脚に関する研究報告書" 昭和44年3月
- 7) R. P. Wallis & C. M. White "Resistance to Flow through the Nests of Tubes" Engineering vol. 116, No 25, 1938
- 8) 日本機械学会 "機械工学便覧" 1968
- 9) 関西造船協会 "造船設計便覧" 1968
- 10) 有田, 佐竹, 藤田, 多賀谷 "多列円柱構造物に作用する潮流力に関する研究" 第19回橋梁構造工学研究発表会 1972, 12.1