

円柱のエア・エントリによる空洞について

山崎 堯右・森田南海男・佐藤 和徳・保田 栄造

(農学部機械工学研究室)

On the Length of the Trailing Cavity Past the Immersed Cylinder

T. YAMASAKI, M. MORITA, K. SATO, E. YASUDA

(Laboratory of Mechanical Engineering Faculty of Agriculture)

1. 緒 言

エア・エントリ (スーパー・キャビテーションに対して空気を強制的にベントせしめ、エロージョンを緩和せしめることと区別し、一般に使用されている⁽⁴⁾ この用語を用いることにする。) は水面滑走体の推進機の支柱や翼に附帯して発生する現象であり、比較的物体の速度が低速であっても、いわゆる空洞現象と非常に似た流れを示す。本報ではこのように水面から水中に挿入して推進する物体、特に円柱をとりあげて、その背後に発生する空気の空洞部の長さを実験から求めたので、その詳細を報告する。

なお、本実験に採用した方法は、壁面による干渉や、流れの不均一性、乱れなどがなく、比較的大型の例えば翼列などの供試体でも実験可能であり、簡便な有限速度の不連続流れの実験手段として有利であると思われる。

2. 空洞について

先に著者⁽⁵⁾らのうちの一人は一般の空洞について、その流れの状況から幾つかに分類したが、同様の考えからこれを整理してみると、次に示す記号に従って、以下の8通りに分類される。

すなわち、いま流れの場で空洞で占める領域 V 内の代表点 $P(x, y, z) = 0$ の位置で、空洞内へ単位時間に流入する気相の流入重量を G_1 、空洞内の気相の全重量を G 、単位時間に空洞から流出する気相の全重量を G_2 とする。また P 点が、時間がたっても一定位置に停滞している場合を $P(x_1, y_1, z_1) = 0$ とし、時間がたつにつれてその位置を移動する場合を $P\{x(t), y(t), z(t)\} = 0$ とする。このとき、

例

- | | |
|--|--|
| (1), $G_1=0, G_2 \neq 0, P(x_1, y_1, z_1)=0$ | スーパー・キャビテーション |
| (2), $G_1 \neq 0, G_2=0, P(x_1, y_1, z_1)=0$ | 高圧時のとけこみ |
| (3), $G_1=0, G_2=0, P(x_1, y_1, z_1)=0$ | キャビテーション・バースト $G=0$
泡の停滞 $G \neq 0$ |
| (4), $G_1 \neq 0, G_2 \neq 0, P(x_1, y_1, z_1)=0$ | エア・エントリ, ナップの背後 |
| (5), $G_1=0, G_2 \neq 0, P\{x(t), y(t), z(t)\}=0$ | 蒸気, 気泡の規則流下 |
| (6), $G_1 \neq 0, G_2=0, P\{x(t), y(t), z(t)\}=0$ | 流下する泡の成長 |
| (7), $G_1=0, G_2=0, P\{x(t), y(t), z(t)\}=0$ | 単一気泡の流下, 液体の破壊 |
| (8), $G_1 \neq 0, G_2 \neq 0, P\{x(t), y(t), z(t)\}=0$ | 泡群の成長分裂しながら流下 |

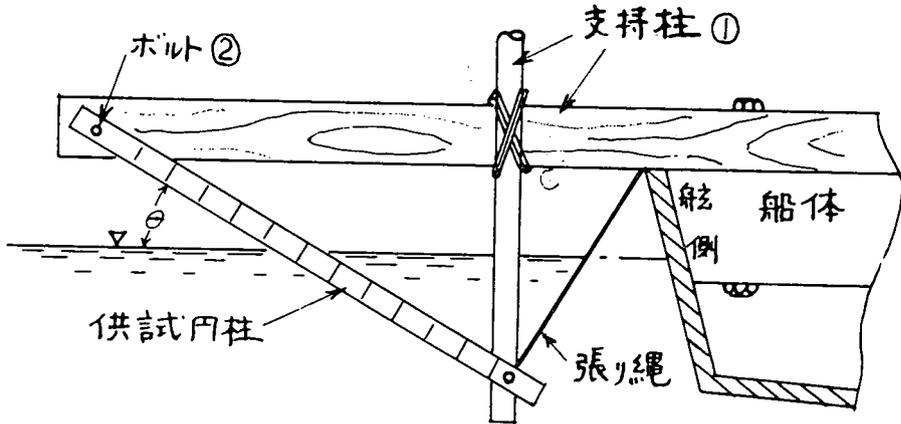
に分類される。

以上の各々の条件にしたがって空洞が不衡, 不平衡を保つには、空洞内の気相の状態方程式と、

周りの流れの場に左右される。本報では、定常的な(4)の空洞である。

3. 実験装置と方法

第1図に示すように、5馬力の船外エンジンを装備した全長約6m、幅約1.5mの和船の舷側に直持柱①、を設け、その一端にボルト締めで、供試円柱を任意の上反角、後退角でとりつけ、水



第1図 実験装置

面下に設置し船の進行によって供試物体の方を移動せしめた。この方法は表面張力波の 23 cm/s 流速の限界を解消するばかりでなく、静止水面上を推進する場合には、水の流れによる乱れはない。供試円柱は、継目なしの鋼管で、直径は $10.5 \text{ mm}\phi$ 、 $21.7 \text{ mm}\phi$ 、 $48.7 \text{ mm}\phi$ の3本を用いた。なお、この円柱をたてに2つ割りにし、深さ方向と円周方向に圧力測定孔を設け、円管内をビニール・パイプによって通し、マンメータに導いた後、合わせたものを使用すれば、円柱表面上の圧力分布すなわち抗力を求めることが可能である。本実験では行わなかったが、いずれ求めて行くつもりである。また円柱には 5 cm 間隔で標尺を記し、撮影した写真から深さ、方向の長さが求められるようにした。さらに図のように流れの方向に標尺を記した棒②をとりつけ、現場で測りやすい水面上に盛り上った波の長さ l_0 を測定し、写真上の長さから流れの方向の長さが判明するように工夫した。供試円柱の影響のない無限遠方の速度、すなわち船の速度は 20 m の2標点間における航行時間を測ることによって求めた。船の惰性のため速度変動はほとんど認められなかった。

4. 実験結果

写真1に示すごとく、比較的定常的な形状で空洞が形成された。水面近くでは、水面や波、また空洞末端の渦の乱れなどによって空洞の形状は不明確であり、一方水深が深く、空洞部の初生点付近では泡が入りまじり、完全な空洞部分の形状とは異なっている。これらの中間部分のいわゆる完全に不連続な流れとなっている空洞部分の長さ l を図2に従って求めたものである。また随伴渦が空洞の一番深いところで発生し、空洞末端にのり、自由表面迄続いているが直継 $48.7 \text{ mm}\phi$ の場合に比較的好く肉眼で観察され、2個の随伴渦が重なりあって帯状に表面迄互にまきあっている。空洞末端模型の考察に対する一助になるとと思われる。

各々の円柱に発生する空洞部の長さ l [cm] が水面近くで $l \rightarrow \infty$ となるとき円柱の標点位置に

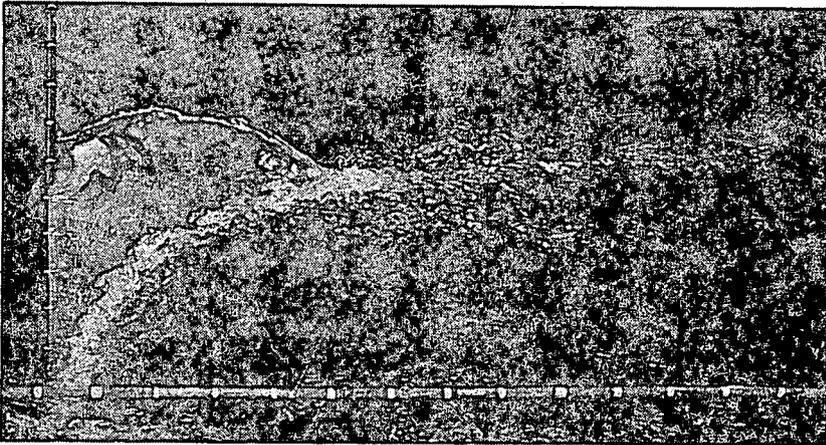
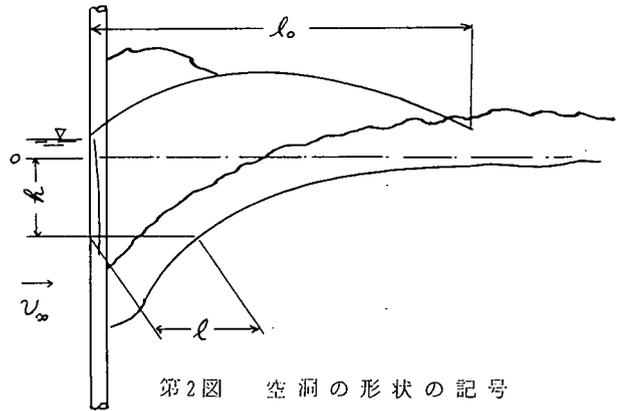


写真 1

$h=0$ をとり、各々の h における空洞長 l の関係を、円柱の速度 u_∞ をパラメータにして図3に示してある。ただし両軸とも両対数グラフで、横軸は鉛直方向の水深に換算した値である。図をみてわかるように、全て方向係数が $-\frac{1}{2}$ であり、このことから、水深は空洞長さ l の2乗に半比例している。この直線から左の方は急激に無限大まで増加した曲線になり、右の方は下の方へ下った曲線となっていたが泡状で不明確であり記さなかった。この $-\frac{1}{2}$ の方向係数と、下がった曲線の傾向と自由表面につながる渦の流れから、いわゆる自由渦と強制渦のつながった Rankin の結合渦の性質を保持していると思われる。また、ある標点と同じ水深で円柱によって流れが影響されない上流の点の圧力は、大気圧を $Patm$ 、水の比重量を γ とすれば、 $Patm + \gamma h \sin \theta$ 故、円柱背後の不連続流線に沿った点との間にベルヌーイの式を適用して、圧力係数 K_p を考えると



第2図 空洞の形状の記号

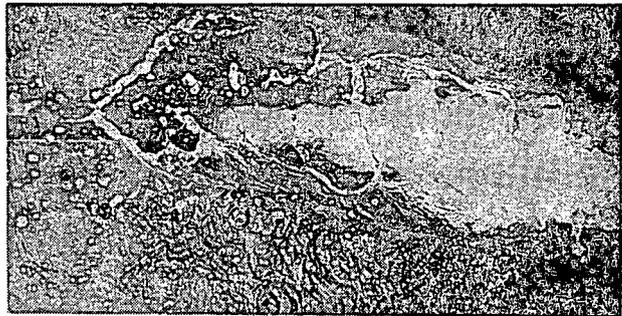
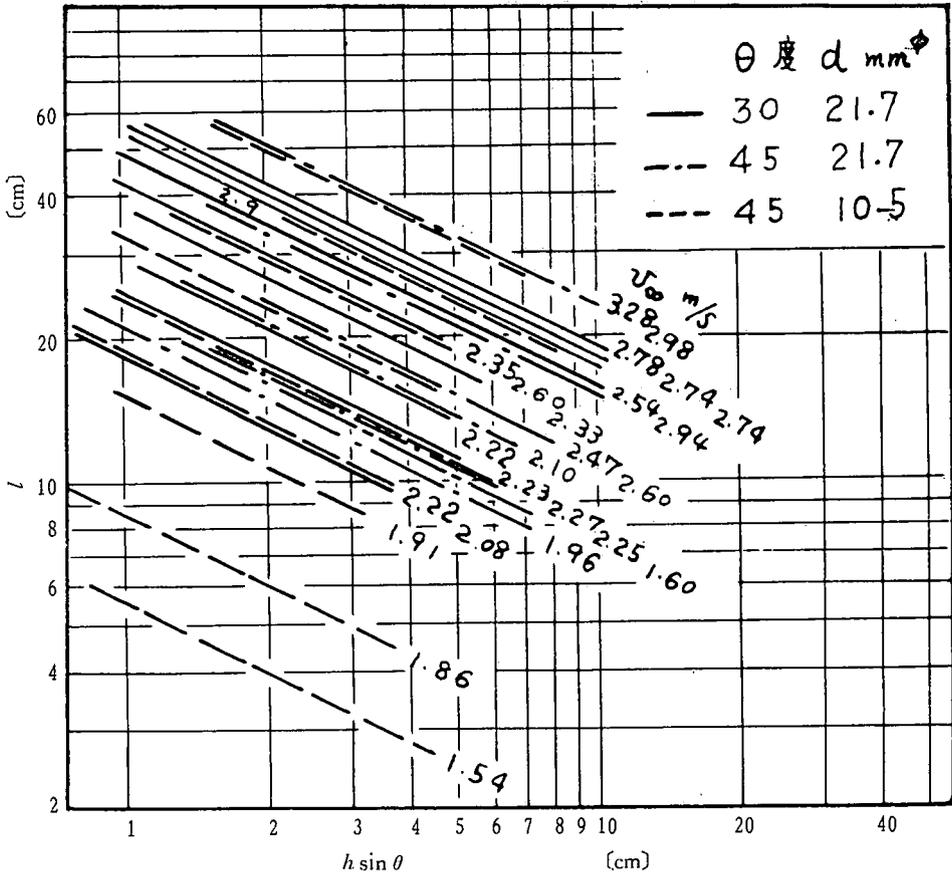


写真 2



写真 3



第 3 図

$$K_p \equiv \frac{(Patm + \gamma h \sin \theta - Patm)}{\rho \frac{v_\infty^2}{2}} = \left(\frac{2g \sin \theta}{v_\infty^2} \right) \cdot h \quad \dots\dots\dots (1)$$

となるから、速度 v_∞ , θ が同じ値の比較では、図3の横軸の h の代わりに K と考えてさしつかえない。いわゆるスーパ・キャビテーションのキャビテーションの係数 K の圧力を変化した場合の $K \sim l$ の関係⁽¹⁾ と酷似していることは興味深い。

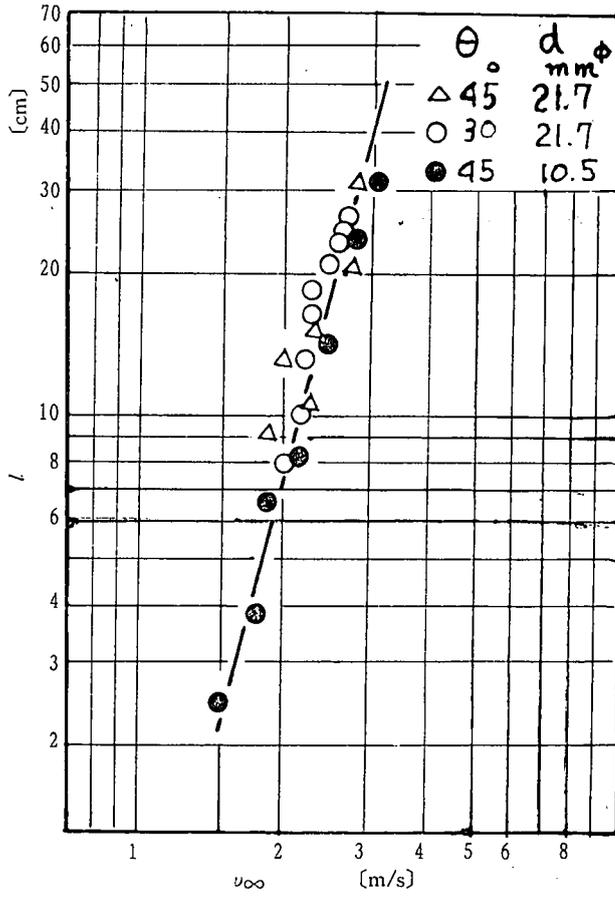
図3から鉛直方向の水深で $h \sin \theta = 50 \text{ mm}$ の l と速度 v_∞ の関係をよみとり図4に示す。ほぼ l は v_∞^2 に比例している。なお l_0 は図5に示すごとくほぼ v_∞^2 に比例している。本実験に関する限り、直径の差異は認められなかった。以上の結果から、関係する因子を動粘性係数 ν , 水の密度 ρ , 重力加速度 g , 速度 v_∞ , 水深(圧力) P , ただし $P = \gamma h \sin \theta$, 空洞長さ l と考え次元解析を行ない、実験の結果からは

$$\left(\frac{\nu}{lv_\infty} \right) \cdot \left(\frac{P}{\rho \cdot v_\infty^2} \right)^{3/2} \cdot \left(\frac{l \cdot g}{v_\infty^2} \right)^4 = e^{-21.6} \quad \dots\dots\dots (2)$$

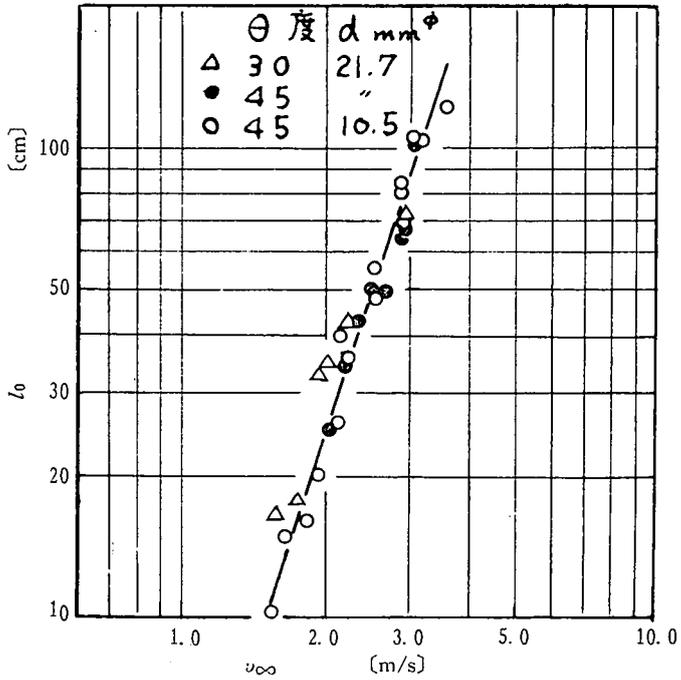
の式がえられた。

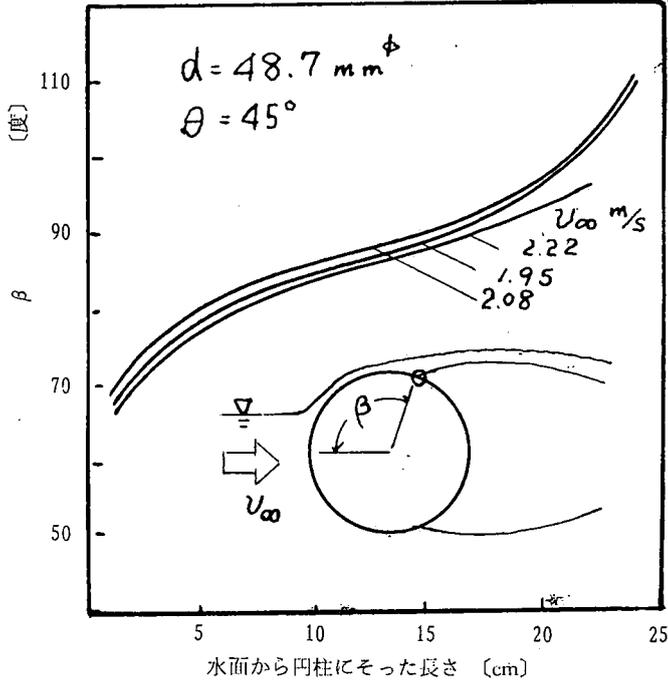
附带的に写真から観測された流れのはくり点の位置 β は、水の屈折などによって必ずしも正確でないが、 h を横軸にとり、図5に示した。水面近くでは円柱が水面から出ているために水がこの表面にそってもり上り、また水深の深い個所は気泡がまじっているため、その中間部分の傾向と多

第4図



第5図





第 6 図

少ことなっている。

以上のことから、円柱に加わる抗力を検討するためには、 β より前面に加わる圧力分布を深さ h_0 ($L=0$ の点の h) 迄考え、 h_0 より深いところで円柱背後の圧力も考慮しなければならないことがわかる。

一般には、空気遮断板 screen を設けることによって、エア・エントリは防げるが、水面の波高がほとんど遅れなしに空洞形状に効いてくるために、波高の大きい波によってその谷が screen を下回った場合や、支柱の高さが荷重の変動によって変動する場合、ある程度のエア・エントリはやむをえない。また急旋回によって、前方の物体のエア・エントリがおおってきた場合などには、急激な負荷と揚力などの変動が生じることになる。

5. 結 言

比較的簡便な方法で、水面から水中に挿入された円柱背後にエア・エントリによって出来る空洞長さの条件を求めることができた。本実験の条件に関する限り、(2)式で求めることができる。空洞の中にかくれてしまった物体の形状は抗力に関係がない。水面の高速推進体の抗力に影響する前面形状と深さが問題であり、空洞末端の流れを如何に前端と対称形にするかの問題も今後の課題である。他の形状に関する空洞形状も今後求めてゆくつもりであるが、本実験に用いた方法は従来の表面張力波の乱れによる水槽実験の限界を打解出来る上に、大型の供試体が実験可能であり、流路壁面の速度分布の問題も生じない。また簡便であるため、一般の流れの実験に好適であるが、ただ商用電源がとれないことから、歪計による圧力測定の場合、バッテリー方式にする必要がある。

いわゆるスーパー・キャビテーションとのつながりや、それに関するシュミレートの一手段として、また不連続流れについて一助となれば幸いである。

最後に、宮地豊房教授から貴重な指示を賜り、また、本学学生田原哮昭君の労をわずらわしたことを心から感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) 鬼頭史城, キャピテーションの話, オーム社, 昭和38年版
- (2) 神元五郎他1名, 日本機械学会論文集, 第19巻, 85号, (昭28), p. 32
- (3) V. L. Streeter, Hand book of Fluid Dynamics, 1961, Mcgraw-Hill.
- (4) C. Hook, A. C. Kermode, Hydrofoils, Pitman Paperbacks.
- (5) 山崎, 高知大学学術研究報告, 第16巻, 自然科学II, 第10号

(昭和43年9月30日受理)

