

超音波によるキャビテーションの検出について

小堀 威* 横山重吉** 高田昇平***

Supersonic Detection of Cavitation

By Takeshi Kobori D.S.C. and Shigeyoshi Yokoyama

Kameari Works, Hitachi, Ltd.

Shohei Takada, D.S.C.

Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

In order to detect cavitation in a centrifugal pump from the outside, supersonic waves produced when cavitation bubbles collapse may be utilized.

The authors conducted preliminary experiments in which cavitation was generated by ejecting high pressure water through a nozzle which was fitted on one end of a square shaped transparent pipe. The supersonic pressure pulse was received by a piezo-electric pick-up whose output was amplified and led to an oscilloscope.

The oscillographic presentation was observed and photographed in comparison with the degree of cavitation.

As the result of the above experiments, it is anticipated that the cavitation in centrifugal pumps may be detected from the outside. However, the oscillographic presentation shows cavitation occurring, but does not indicate the degree of cavitation or its location.

These points are problems to be solved in the future.

〔I〕 緒 言

実際の渦巻ポンプにおいて、キャビテーションの発生の有無を判断するためには従来は一般に揚程—流量曲線において揚程が急に低下するか否かを以つてした。しかし、この方式ではキャビテーションの発生初期を正確に知ることは困難である。

筆者らは実際の渦巻ポンプにおいて、その内部で発生するキャビテーションの状況を外部より検出するためキャビテーションの発する超音波を利用することを試みた。その予備実験として、透明体の管の一端にノズルを設け、これより水を噴出せしめてキャビテーションを発生させ、その状況を直接目で観察するとともに、その際生ずる超音波を受信してこれをブラウン管オシログラフに導き、その波形と実際のキャビテーションの状況とを比較検討した。本研究はようやくその緒についたばかり

で今後にも多くの問題が残されているが、取りあえず今までにえられた結果について報告する。

〔II〕 実 験 装 置

(1) キャビテーション発生装置

第1図(次頁参照)に示すごとく、給水ポンプ(流量 $0.63 \text{ m}^3/\text{min}$, 揚程 50 m)によつて圧力水槽へ給水し、口径 20 mm のノズルの前後に所要の圧力差を与えて水を噴出せしめキャビテーションを発生せしめた。仕切弁を用いて流量を種々に変化してキャビテーションの発生状況を変えうるようになつてゐる。このキャビテーションの発生状況を観察しうるようアクリル酸樹脂製の透明管(断面は一辺 100 mm の正方形, 長さ 1,000 mm, 壁の厚さ 6 mm)を設けた。またこれを写真撮影するにはクセノン閃光装置を用いた。ノズルを通過した水は量水槽に導かれ、そこで流量を測定し、これよりノズルを流れる平均流速を求めた。

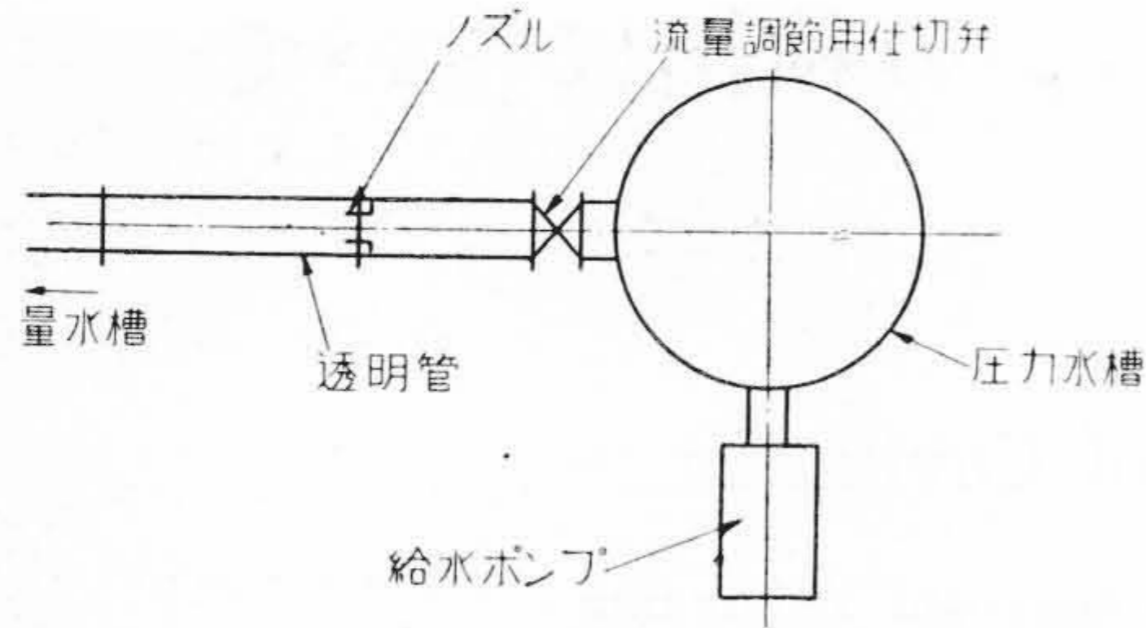
(2) 超音波受信装置

キャビテーションの際に発する圧力波を受信するには

* 日立製作所亀有工場 工博

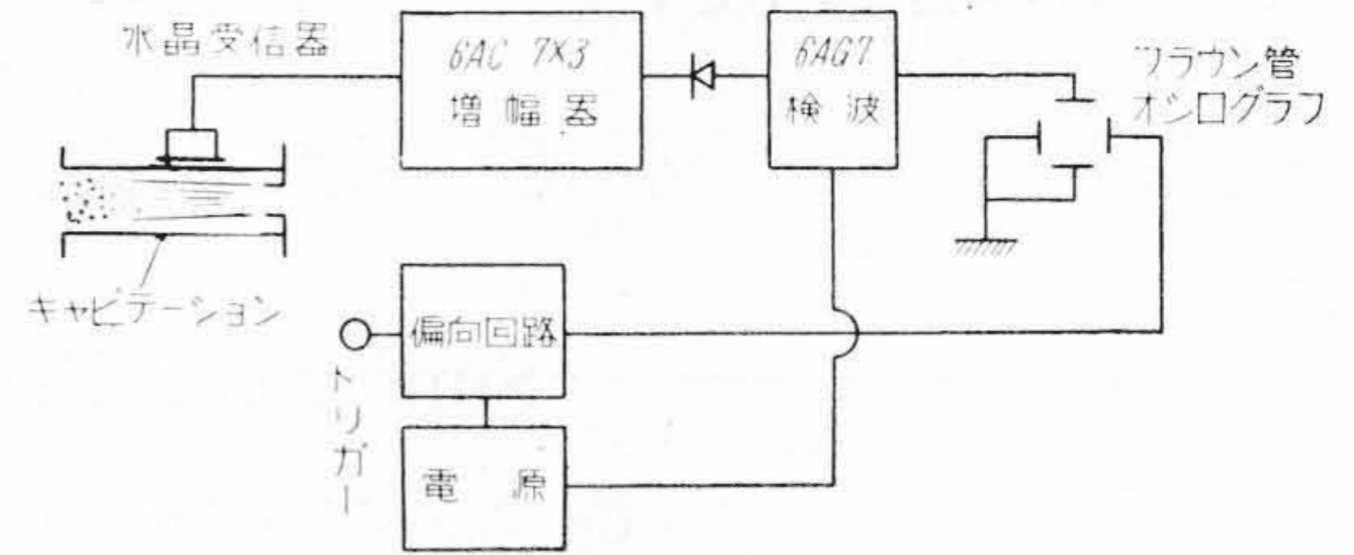
** 日立製作所亀有工場

*** 日立製作所中央研究所 工博



第1図 キャビテーション発生装置
Fig.1. Schematic of Experimental Apparatus

前述の透明管の上面に水晶板受信器を押しつけ、発生した圧力波をうけこれを増幅してブラウン管オシログラフに導いた。これに用いた増幅器は 500kc から 4Mc にわたってかなり広い周波数帯域を有し、2 Mc において 110 DB の利得をもつものである。ブラウン管上の波形は $1/20 \sim 1/60$ 秒で単掃引し写真撮影した。以上の装置の大略を第2図に示す。使用した水晶板受信器は同調周波



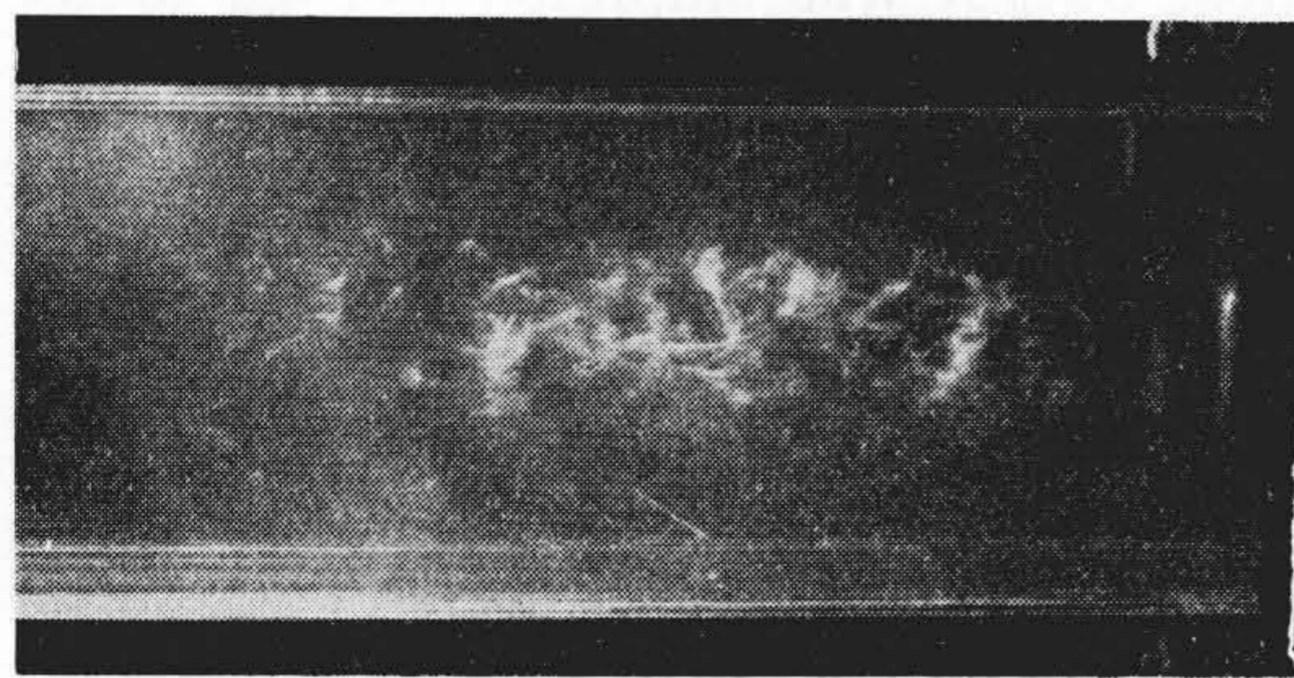
第2図 超音波受信装置
Fig.2. The Circuit Diagram of Supersonic Receiver

数がそれぞれ 4, 2 および 1Mc の 3 種類である。

〔III〕 実験結果

(1) キャビテーションによる超音波の発生

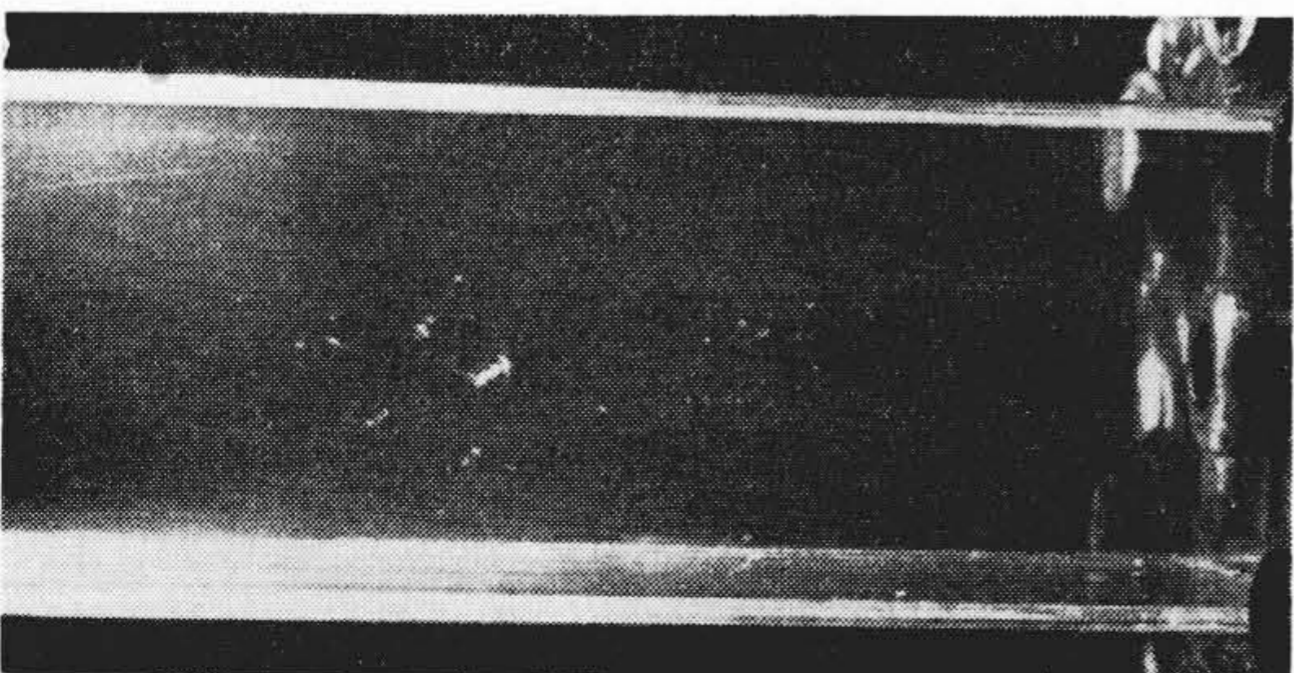
ノズルを通過する水の流量を種々変化してキャビテーションの発生状況を変え、これを写真撮影し、同時にノズル先端より軸方向に 50 mm の距離に水晶受信器を置



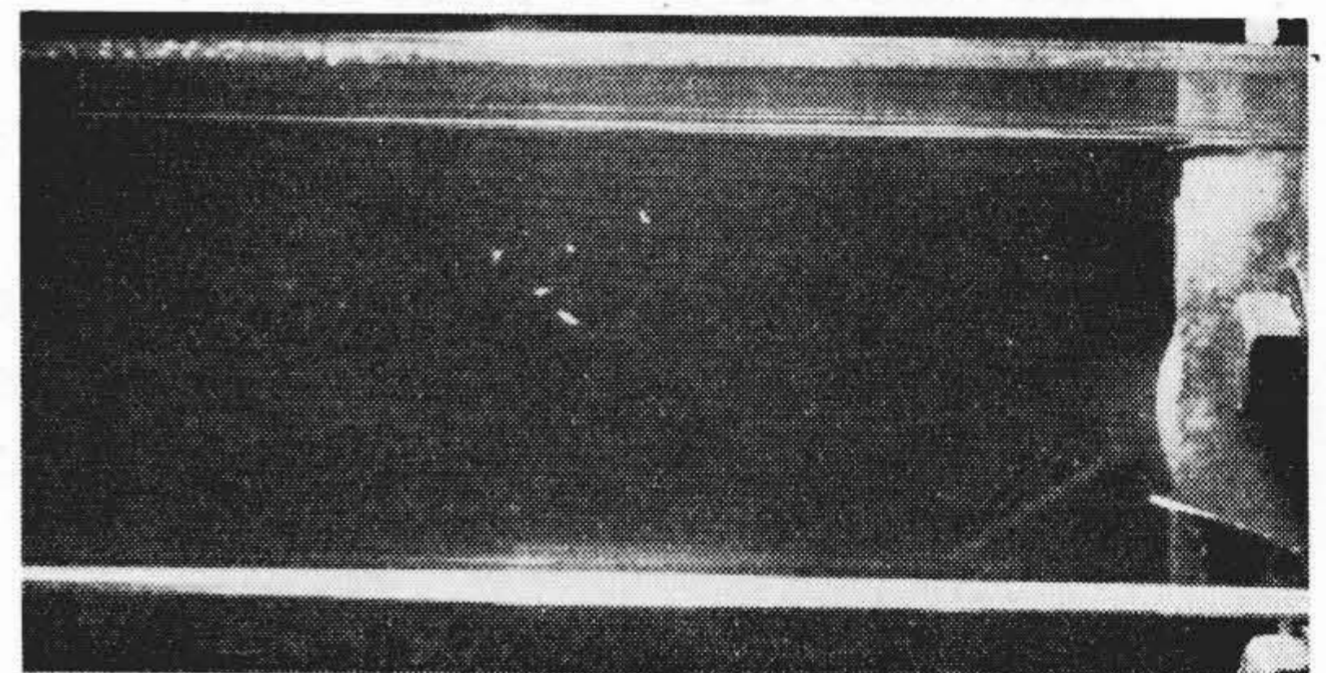
(A) 流速 $V=24.2$ m/s



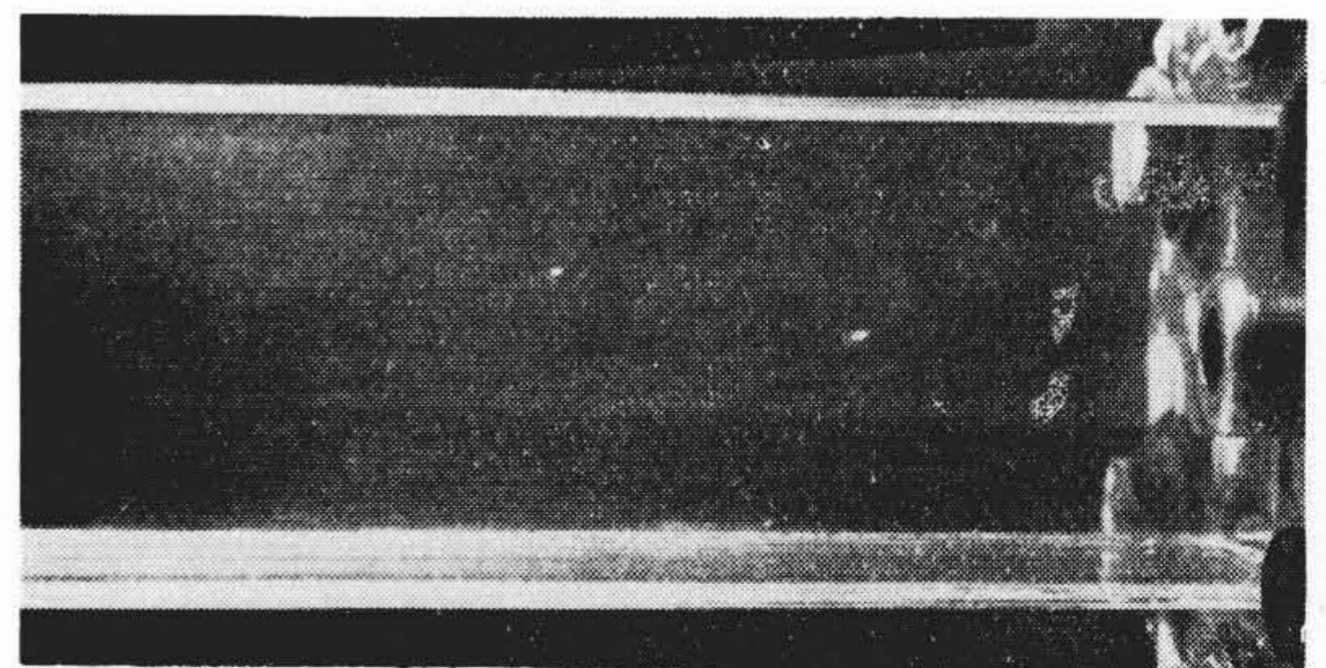
(B) $V=23.1$ m/s



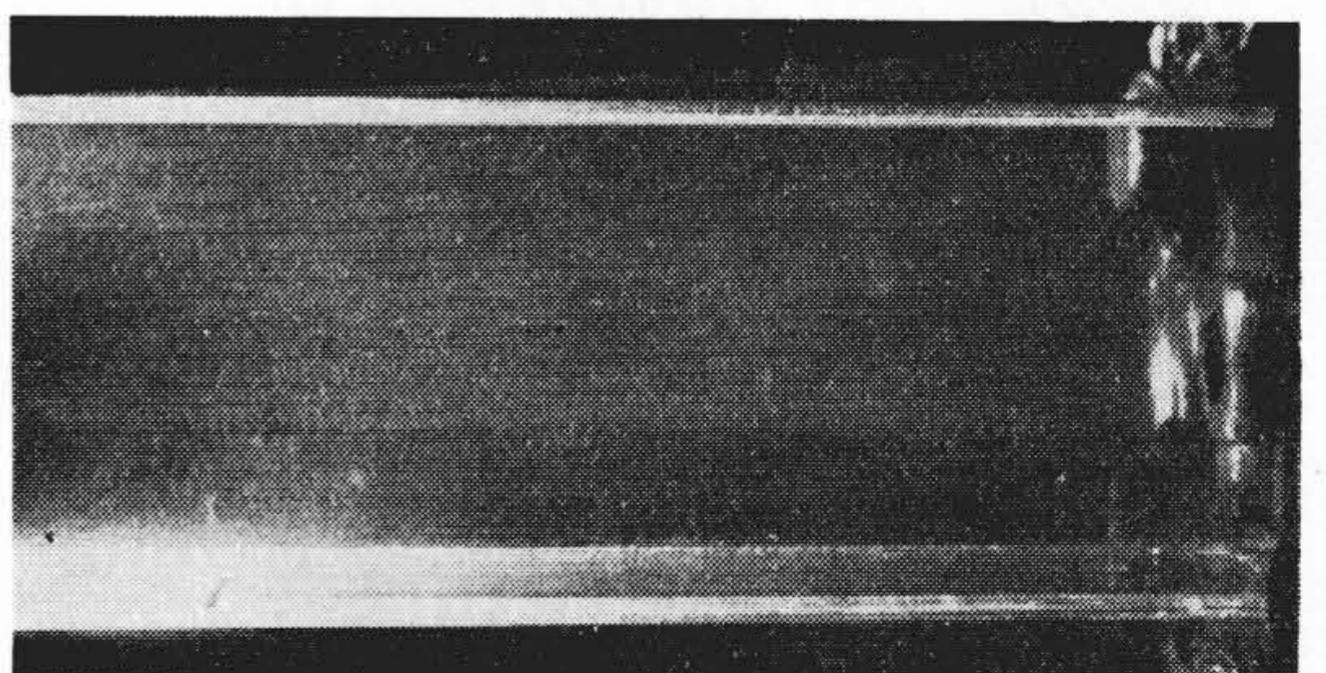
(C) $V=21.4$ m/s



(D) $V=19.3$ m/s

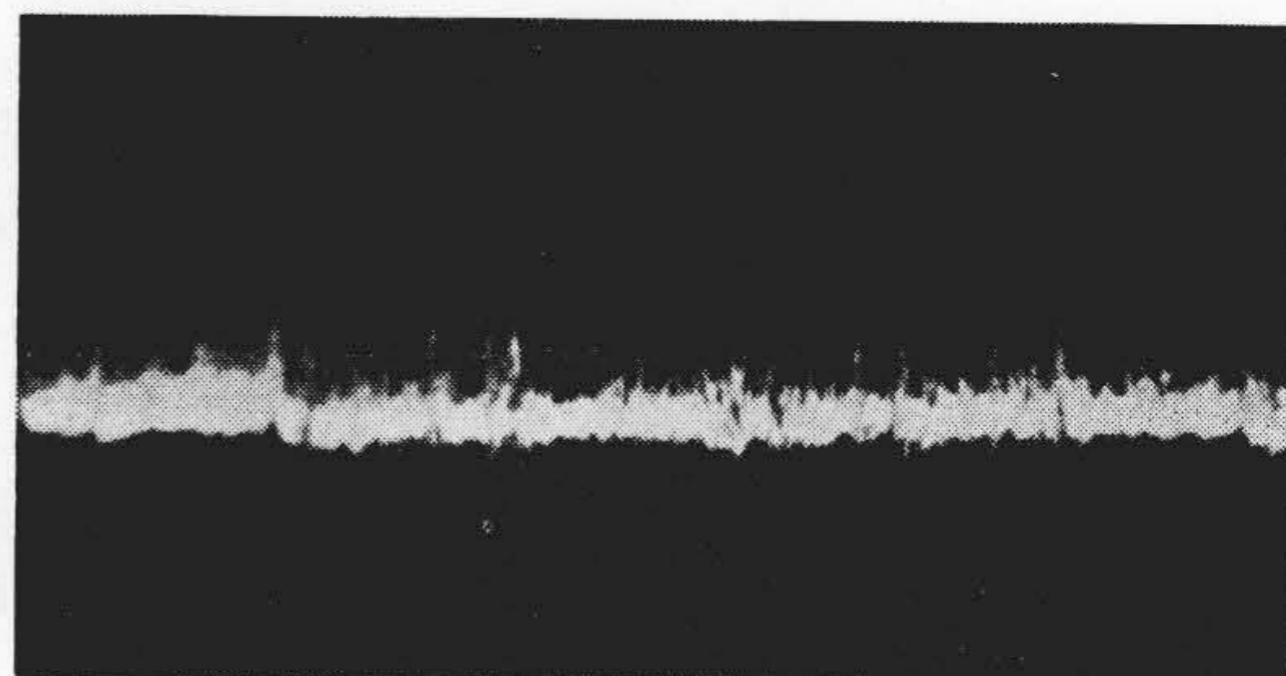
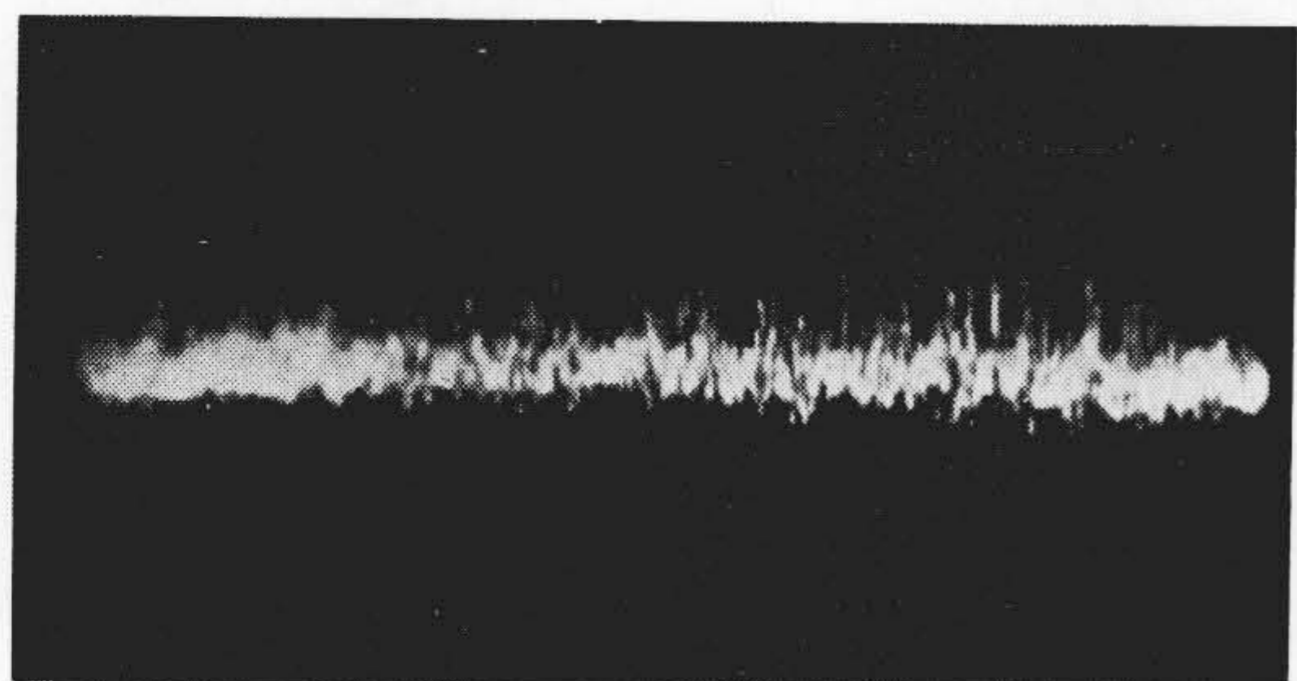
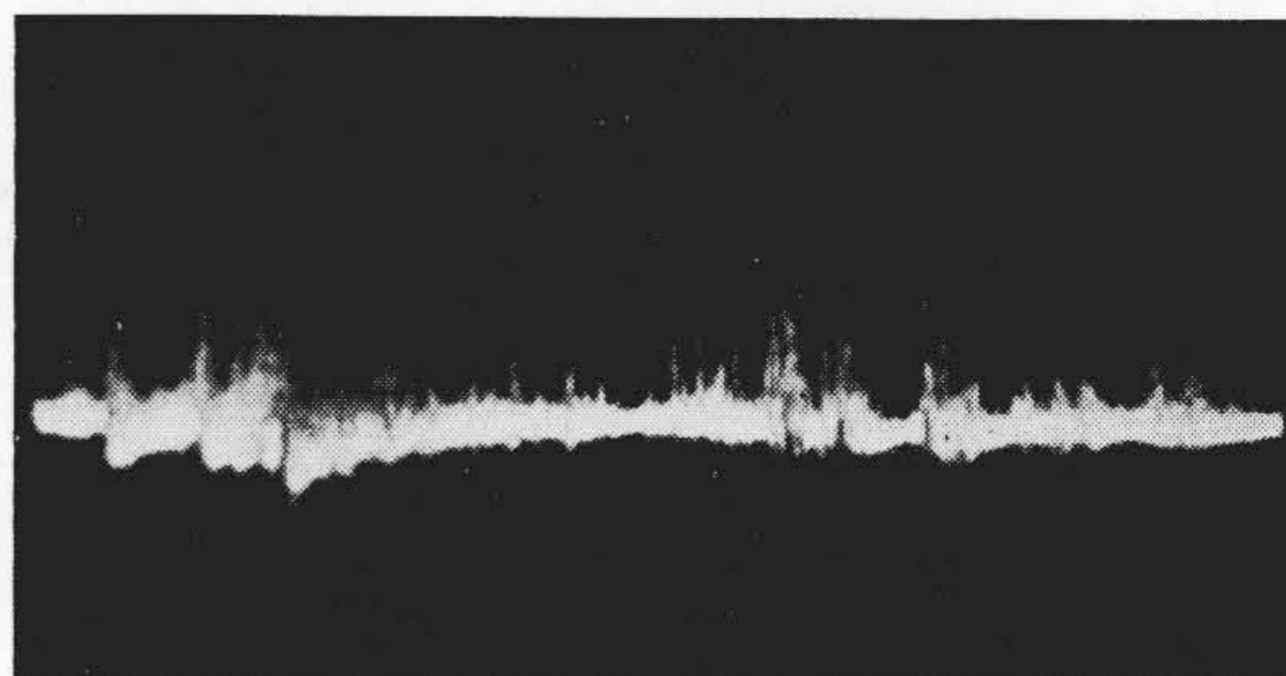
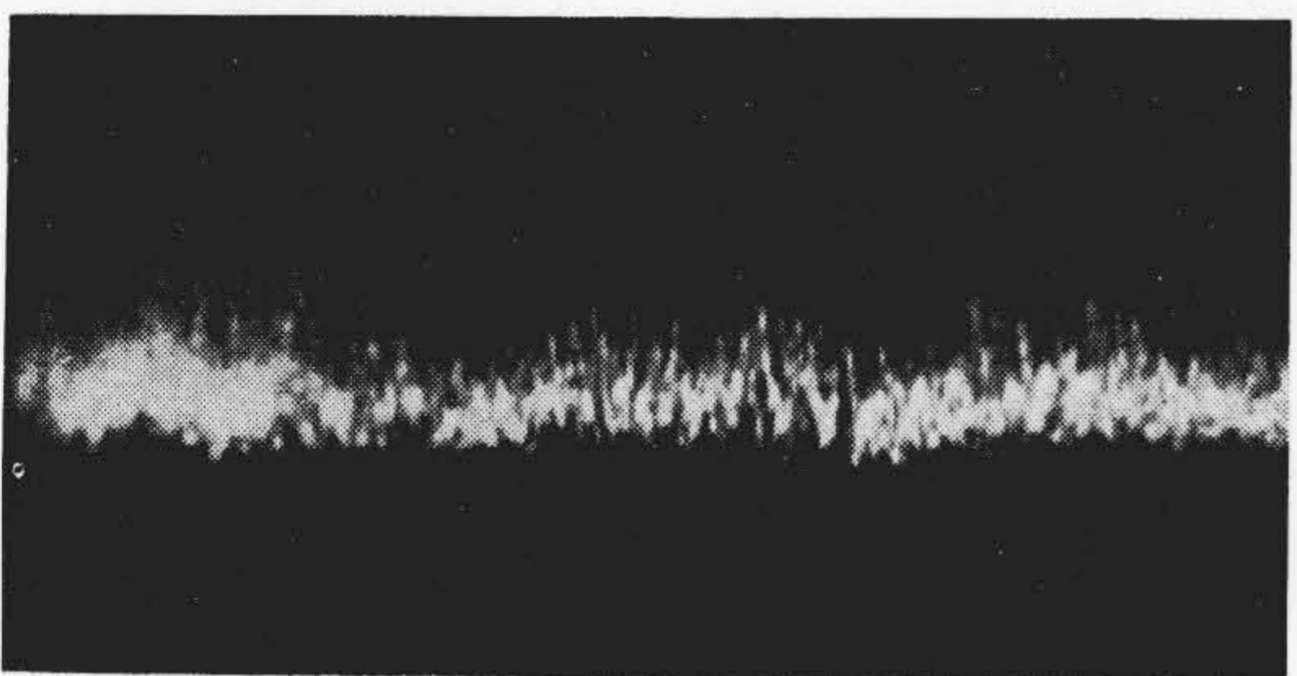


(E) $V=16.8$ m/s



(F) $V=13.8$ m/s

第3図 キャビテーション発生状況 (キャノン IV-S-B $f=5.6$ クセノンバルブ閃光)
Fig.3. The Cavitation Bubbles

(A) $V=24.2$ m/s(D) $V=19.3$ m/s(B) $V=23.1$ m/s(E) $V=16.8$ m/s(C) $V=21.4$ m/s(F) $V=13.8$ m/s

第4図 超音波オシログラム
受信器 1 Mc
測定位置 ノズル先端より 50 mm

Fig. 4. Oscillograms of Pressure Pulse
Frequency of Pick-up 1 Mc
Distance from Nozzle 50 mm

いて、このときブラウン管オシログラム上に現われた衝撃波を撮影した。これらの結果の一例を第3図および第4図に示す。第3図はキャビテーション発生状況を撮影したもので、A, B, C 順にノズル前後の圧力差がそれぞれ 3.2, 3.0, 2.5, 2.0, 1.5 および 1.0 kg/cm² の各場合である。第4図はこれらに対応するオシログラムである。このオシログラムに現われた波形はなにを示すかというに、キャビテーションによつて発生した気泡が潰れるときに生ずる衝撃的な圧力変化が水中を減衰しつつ伝播して水晶板に到達し、これが広帯域増幅器によつて増幅されオシログラム上に現われるのである。極力忠実に衝撃圧力波形を現わすべく広帯域の増幅器を用いたのであるが、第4図に示されるごとくきわめて衝撃的で、さらに掃引速度を増加しなければ真の波形はえられない。またその高さも水中における減衰を考慮に入れるとこれが直ちに衝撃波の強さであるとは断定できない。たゞその針状波形の頻度は衝撃波の到達回数、すなわち消滅する気

泡の数に關係する。

これらの図によつてあきらかなごとく、この超音波のオシログラムによつてキャビテーションの発生を検出することができる。すなわちノズルを通る平均流速 $V=13.8$ m/s においては全然キャビテーションを生じておらずオシログラムにも変化がないが、 $V=16.8$ m/s となり、時折りキャビテーションが発生する状態になればオシログラムにも衝撃波による針状の波形が現われて来ている。しかし、その頻度は少くキャビテーションの量の少いことを意味している。それより流速が増加した状態、すなわちキャビテーションの発生が多い状態では頻度も高さも多くなつてくる。しかし流速と衝撃波との定量的な関係は明確には判断できない。流速がある値以上になり、キャビテーションの発生がいつそう激しくなると、かえつて衝撃波の高さが減少している。このことは減衰なども考慮に入れて今後究明すべき問題であると思ふ。

(2) 管の外部より加えた打撃などの影響

つぎにキャビテーションの発生がない状態において他に打撃その他の振動を加えたが、かゝる低周波数の振動ではオシログラム上にはなんらの変化も現れなかつた。したがってポンプの振動その他の影響は無視してよいと思える。

(3) 発生するキャビテーションと超音波の測定箇所との関係

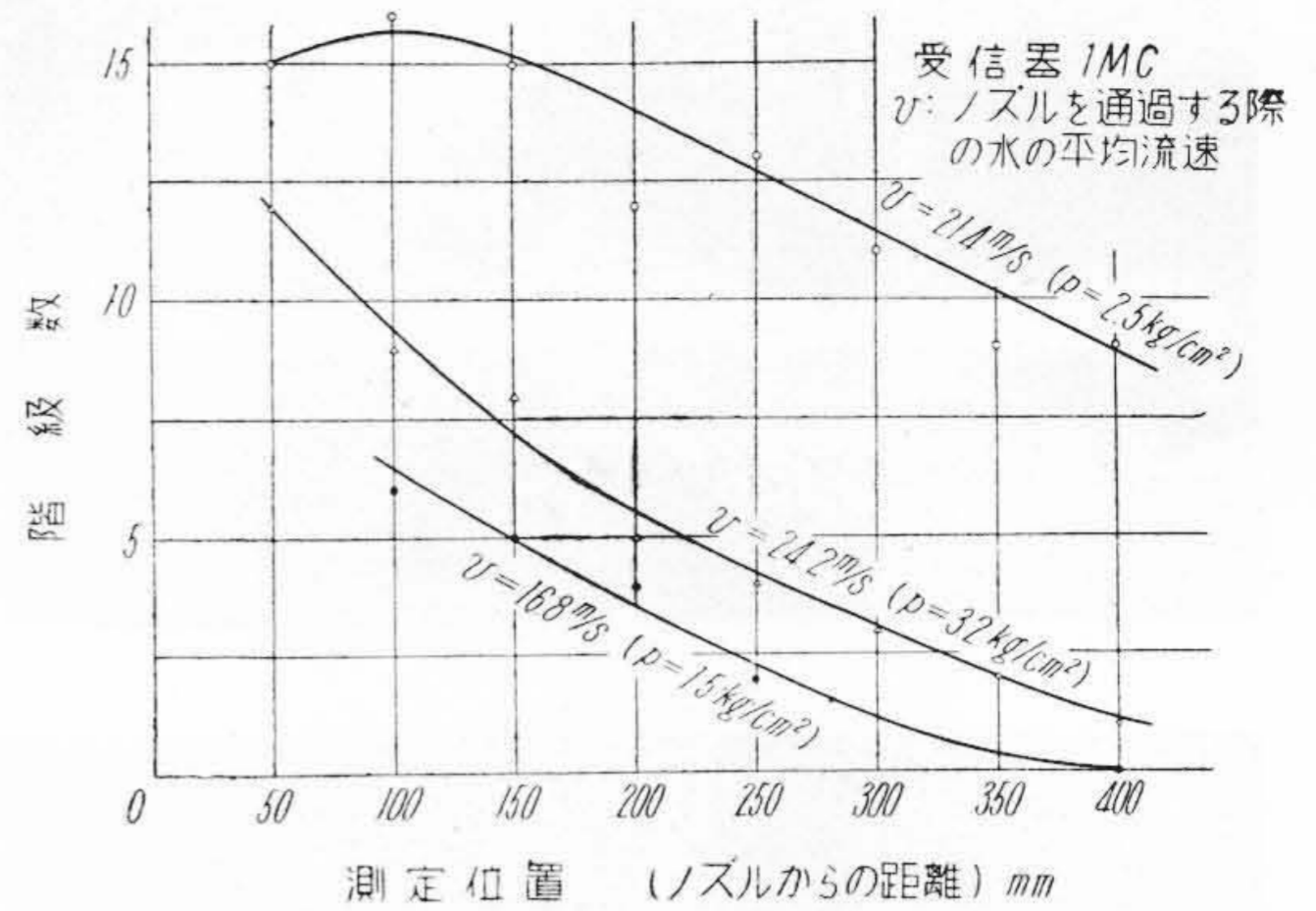
つぎに水晶受信器の位置を種々変化し、ノズルより50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 および 400 mm の各点に同一の受信器を置いたときのオシログラム上の波形の変化について述べる。いま試みにオシログラムをその波形の高さと頻度を考慮しながら針状波形の現われ方の大小の順序にならべ、その程度の小さいものから順次1, 2, …… の番号を附し、この番号を仮に階級数と名づけて測定位置と階級数との関係を求めた。これを図示すると第5図のごとくなる。図によるとノズルからの距離が遠いと著しく階級数は下り、距離が近いほど階級数は上つている。たゞしポンプで発生しているキャビテーションを外部から検出する場合オシログラムの波形の変化がキャビテーションの発生消滅の位置の変化による影響か、発生するキャビテーションによる影響かはかゝる表示法では判然としない。この点も今後解決すべき問題である。

(4) 発生する超音波とキャビテーションの量との関係

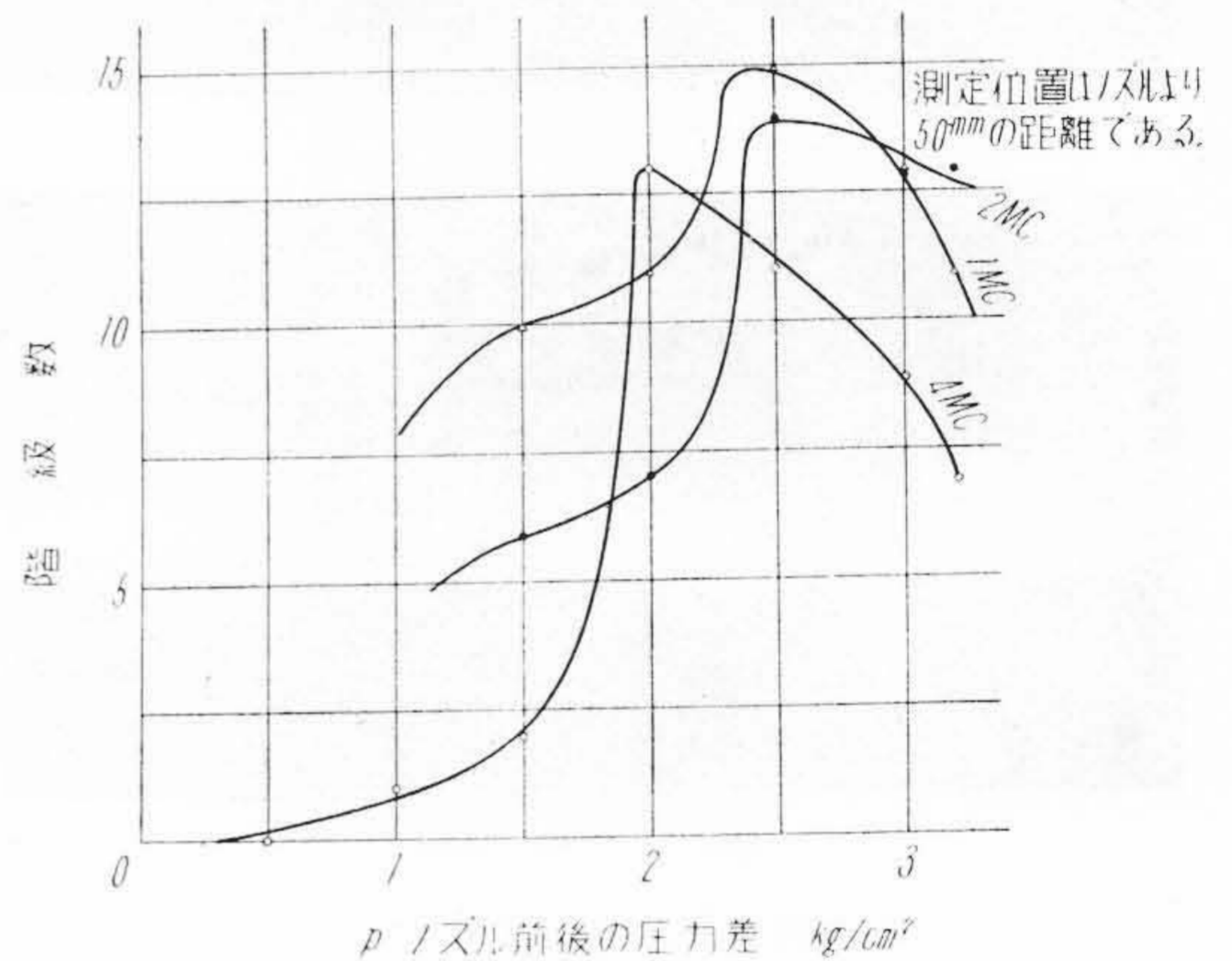
また受信器を種々変えてノズル先端より50 mm の点において測定したときのオシログラムを用い、前と同様な方法で、その頻度と高さとの分布を類別し、この階級数とノズル前後の圧力差との関係を図示すると第6図のごとくなる。図において各受信器ともほぼ同様な傾向を有している。すなわち前にも述べたごとく、水圧差が増加してキャビテーションの発生が多くなるにつれて頻度は増大するが、その高さが減少してきている。この理由についてはさらに検討しなければあきらかにはならない。しかしこれには上記階級数の表示法よりも頻度のみを数える方がよいのではないかと考える。

[IV] 結 言

以上を要約するとキャビテーションはその発生する超音波を検出することにより判定することができる見通し



第5図 測定位置による超音波発生状況の変化
Fig. 5. Variation of Oscillogram According to Distance from the Nozzle



第6図 ノズル前後の圧力差と超音波発生状況との関係
Fig. 6. Variation of Oscillogram According to Pressure Difference before and behind the Nozzle

はつた。しかしつぎのごとき問題が今後に残されている。

- (1) オシログラム上の波形の変化が測定位置による影響か、発生したキャビテーションの量の多少による影響かを区別しにくいこと。
- (2) ノズルを通る水の流速が増加してキャビテーションの発生が多い状態と思われるにかゝらず、オシログラム上の波形がかえつてその高さを減少すること。