

軸流ポンプの性能に及ぼす吸込管の影響について

Effects of the Suction Elbow on the Performance of the Axial Flow Pumps

横山重吉*
Shigeyoshi Yokoyama

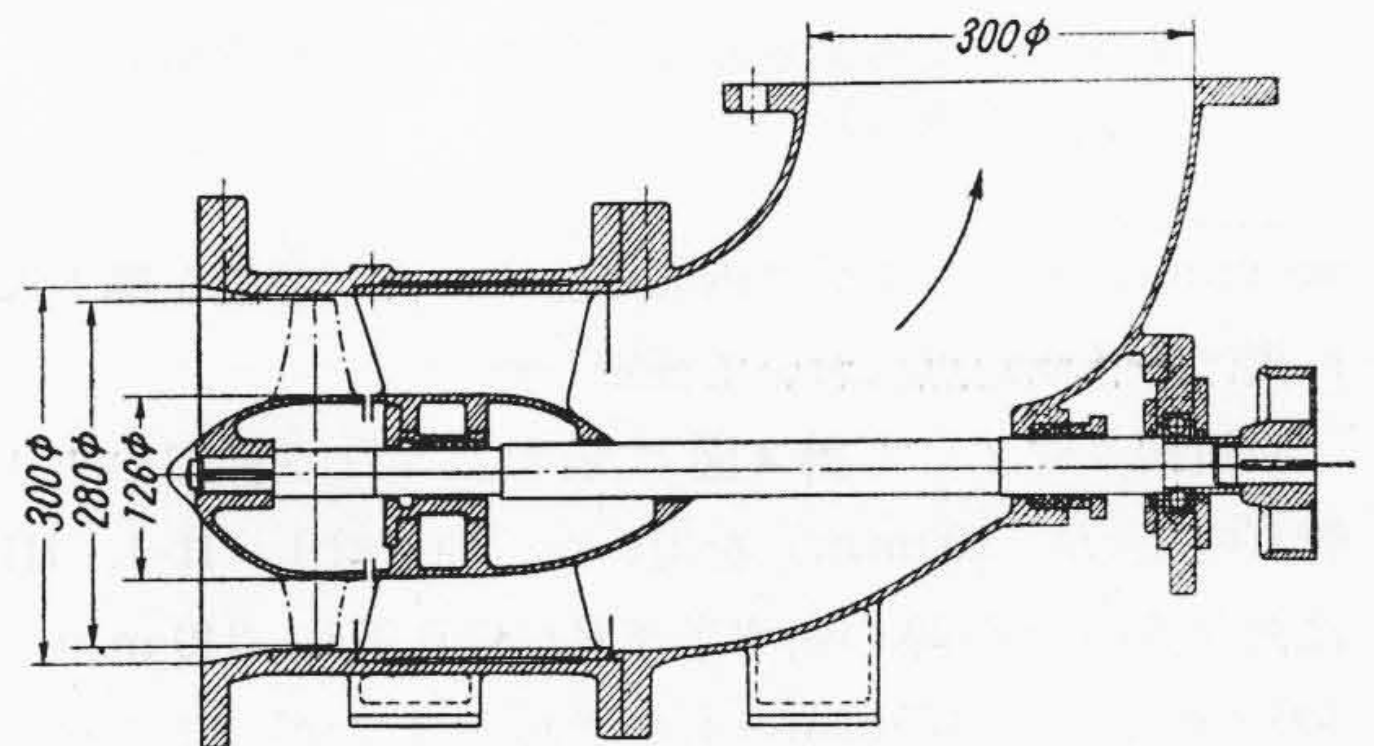
内容梗概

口径 300mm 横型軸流ポンプについて吸込側配管を種々変えてそれがポンプの性能に及ぼす影響を調べた。すなわち水槽からの垂直上昇管とポンプ吸込口との間の曲り管の曲率あるいは整流板の有無などを種々に変化させた場合について実験した。その結果次のことがわかった。

- (1) 吸込側上昇管とポンプ吸込口との間に曲り管のみを設けた場合とそれらの間に長さ 1 m の直管および曲り管を設けた場合においてポンプの性能は揚水量の少い範囲以外はほとんど変わらない。
- (2) 曲り管の曲率および整流板の有無の影響は揚水量の少い範囲以外はほとんど見られない。

〔I〕 緒 言

ポンプの吸込側の配管にはポンプに近く曲り管が用いられる場合、またはポンプ吸込口と曲り管との間にある長さの直管を取り付ける場合など色々あるが、これらの状態により流入水が受ける混乱の度合が異りポンプ性能に影響を与えることが考えられる。筆者は軸流ポンプについてこの吸込側配管の影響を調べるため配管を種々変えた場合ならびに曲り管に整流板を設けた場合などにつき実験を行つたのでここに報告する次第である。



第1図 実験用ポンプ

〔II〕 実験用ポンプ

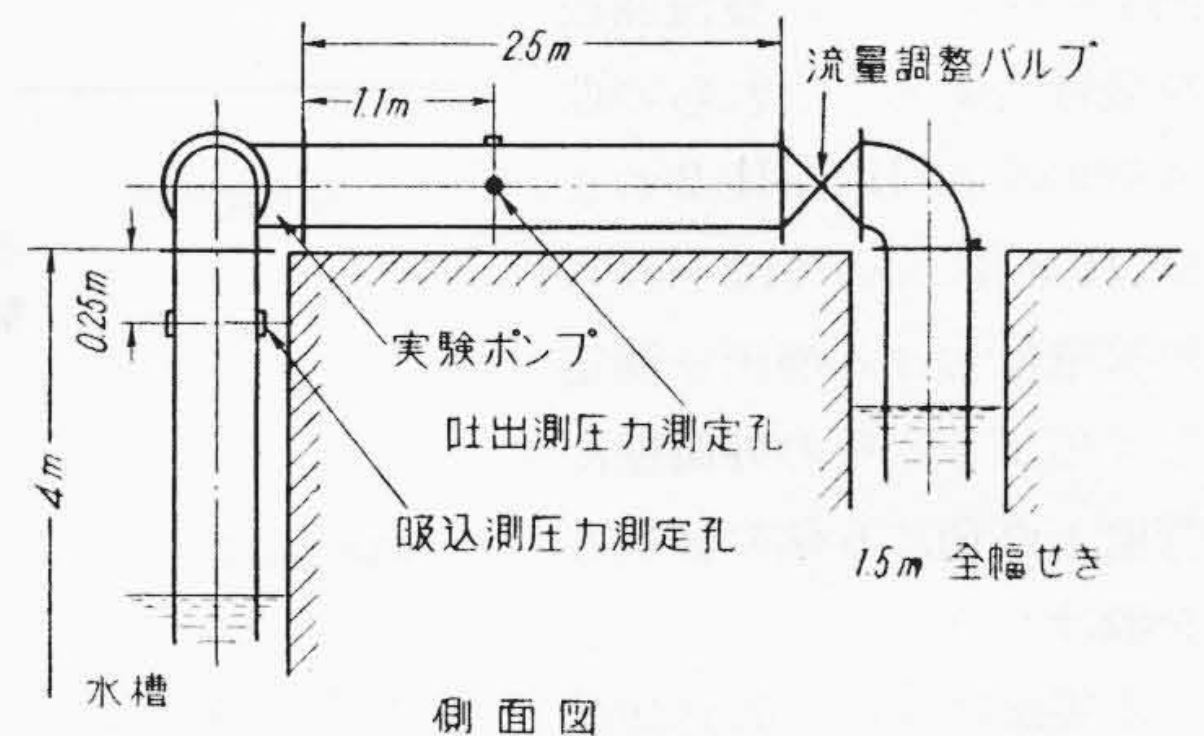
実験用ポンプは第1図に示す通り口径 300 mm の横型軸流ポンプで出口に案内羽根を有する構造になっている。

このポンプは回転数 $n = 1,500 \text{ rpm}$ において総揚程 $H = 5 \text{ m}$, 揚水量 $Q = 13 \text{ m}^3/\text{min}$ なる仕様を有するよう設計されたもので、羽根車は外径 280 mm, ポスの径 126 mm, 羽根数 4, 案内羽根枚数 8 である。

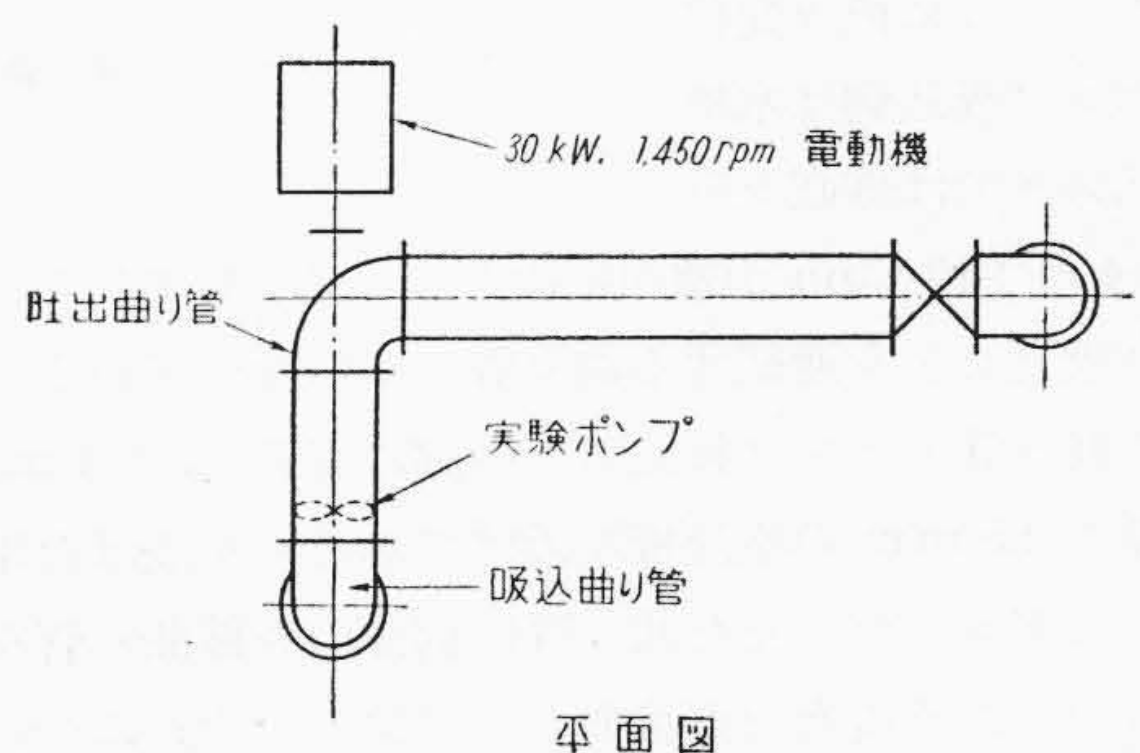
〔III〕 実験装置および方法

実験装置は第2図に示す如くで、実験ポンプの駆動は容量 30 kW, 回転数 1,450 rpm の誘導電動機を用いて行つた。この電動機の入力と出力との関係はあらかじめ較正して求めてあるので、ポンプの入力は電動機の入力を実測することによつて求められる。

性能曲線を求める実験において、吸込圧力は吸込曲り管より上流側 250 mm の位置の圧力測定孔 (第2図参照) から U 字形水銀液柱計を用いて測定した。ただしポンプと吸込曲り管との間に 1 m 直管を設けた場合はこの 1 m 直管につきポンプ吸込口より上流側 473 mm の箇所に設けた測定孔を用いた。吐出圧力は吐出曲り管のフランジより 1.1 m の位置に設けた圧力測定孔 (第2図参照) において U 字形水銀液柱計を用いて測定した。



側面図



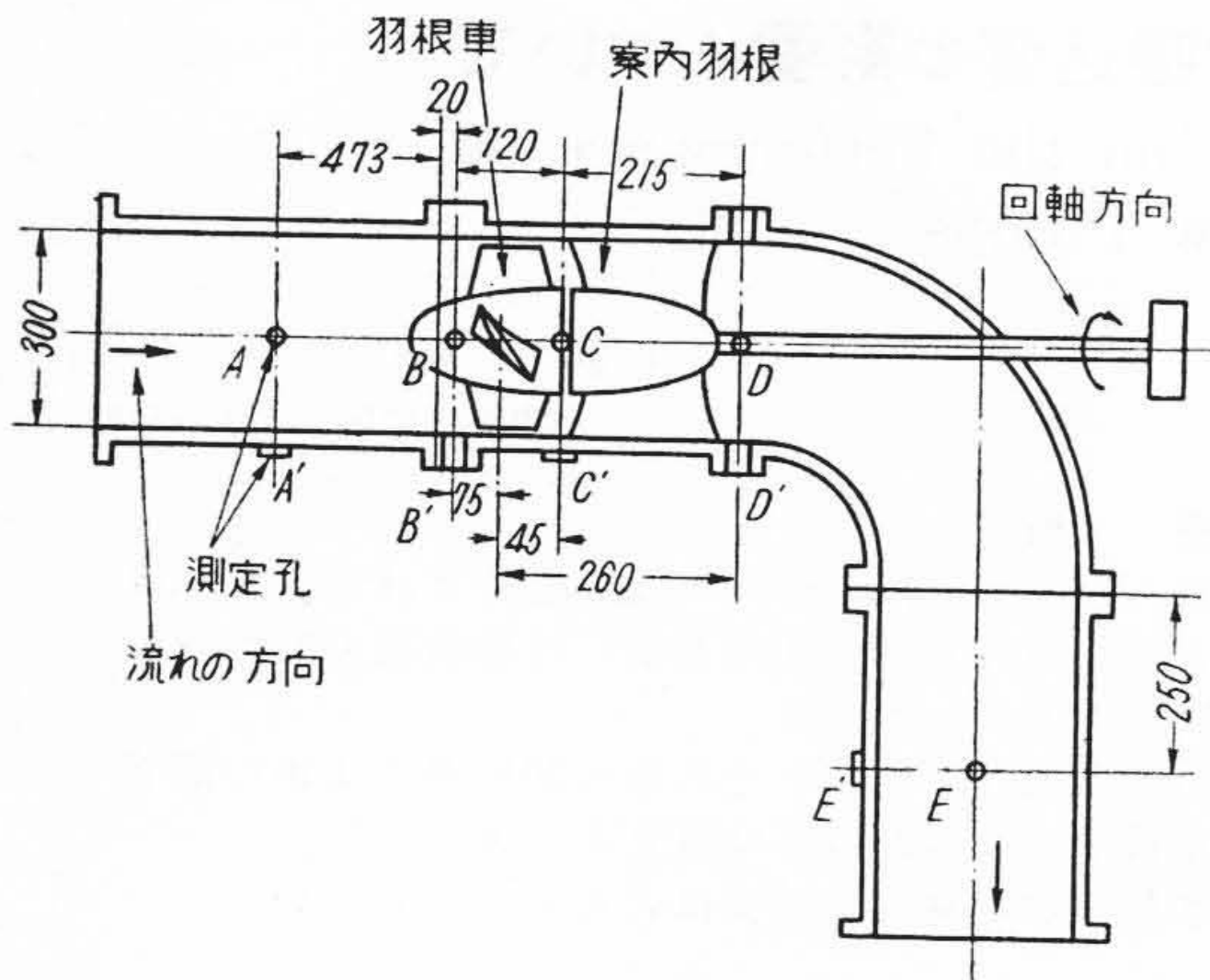
平面図

第2図 実験装置

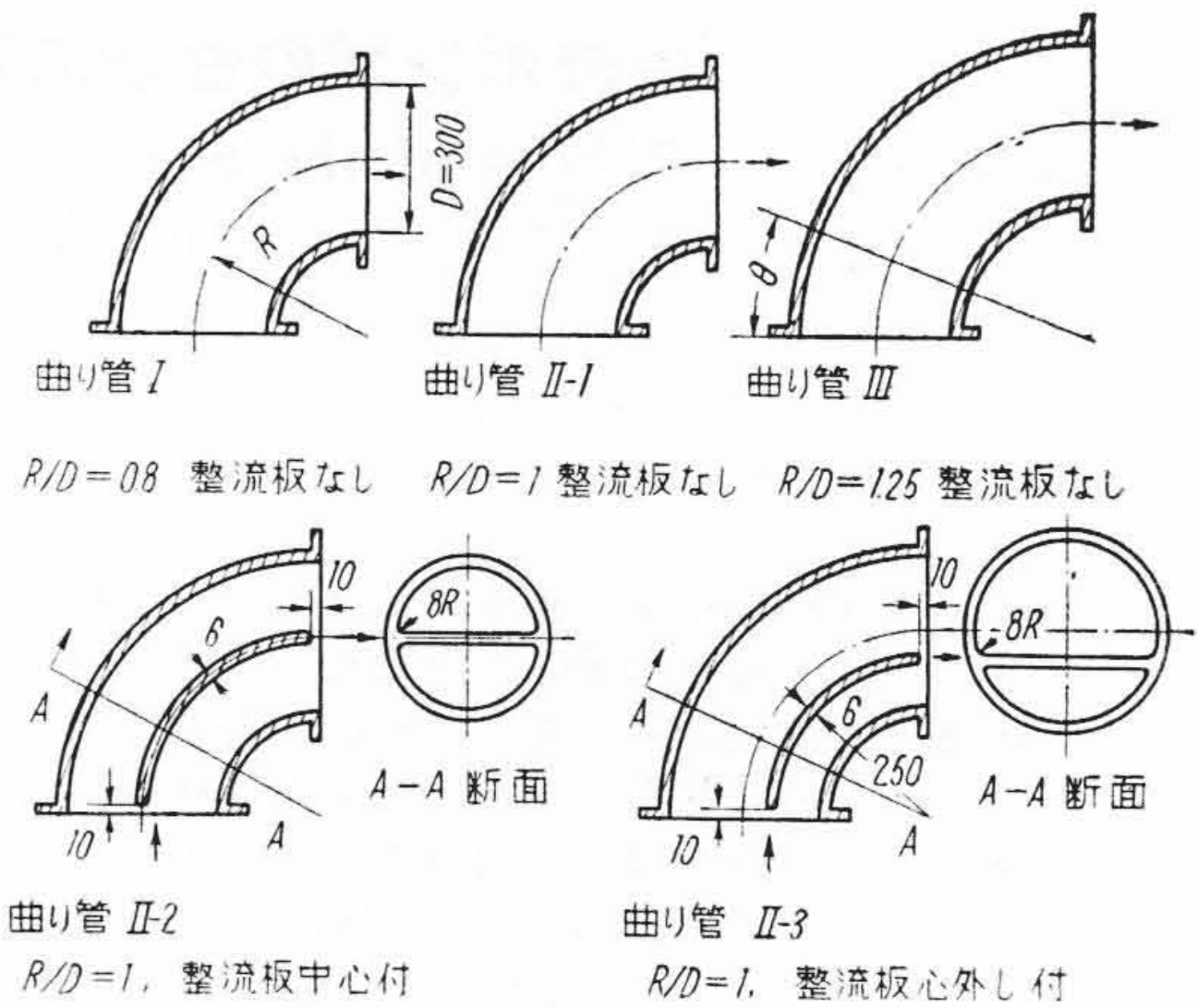
揚水量は 1.5 m の全幅せきを用いて測定した。

第3図の各位置 A, B, C, D, E および A', B', C', D', E' に測定孔を設け、そこから三孔円筒ピトー管を挿入して揚水量 $Q = 12.8 \text{ m}^3/\text{min}$, $8 \text{ m}^3/\text{min}$ および 4

* 日立製作所亀有工場



第3図 流速測定断面の位置 (吸込側1m直管付の場合)



第4図 吸込曲り管

m^3/min におけるポンプ内部の流速および静圧を第1表に掲げる各測定点において測定した。

吸込曲り管として第4図に示すような5種類の曲り管 (内径 $D=300mm$) を用いた。曲り管 I, II-1, III は曲り管の中心線の曲率半径 R がそれぞれ $240mm$, $300mm$ および $375mm$ のものである。したがってこれら曲り管の R/D はそれぞれ $0.8, 1$ および 1.25 となる。また曲り管 II-2 および II-3 は $R/D=1$ であつて、曲り管の内部に図のように整流曲板を設けてある。これらの曲り管のうち II-1, II-2 および II-3 においてはそれらの管壁における静圧を測定しよう、その外側壁に管壁と直角に6個の測定孔を設けた。

本実験において吸込側配管はつぎのように種々変化した。ポンプ吸込側は水槽から吸込口までは垂直上昇管 (長さ $4m$ で約 $1.5m$ が水中に没している) およびこれとポンプ吸込口とを連結する曲り管とからなつている。これらの曲り管とポンプ吸込口との間に直管 (長さ $1m$, 内部に厚さ $4.5mm$ の整流板を設けてある) を設けた場合について実験した。また曲り管に前述の各種曲り管をそれぞれ用いた各場合 (直接曲り管実験という) についても実験した。これら各実験を表示すると第2表のようになる。

[IV] 実験結果

(1) 吸込側に直管を設けた場合と直接曲り管の場合との比較

第1表 各断面における流速分布の測定点

断面記号	各測定断面における管内壁からボス面あるいはポンプ中心までの半径距離 (mm)	測定点の位置 (mm)				
		(管内壁からの半径距離で示す)				
A, A'	150	22	42	62	82	102
B, B'	98	12.5	22.5	32.5	42.5	52.5
C, C'	77.5	17	37	57	77	
D, D'	129.5	19	39	59		
E, E'	150	22	42	62		102

第2表 実験の種類

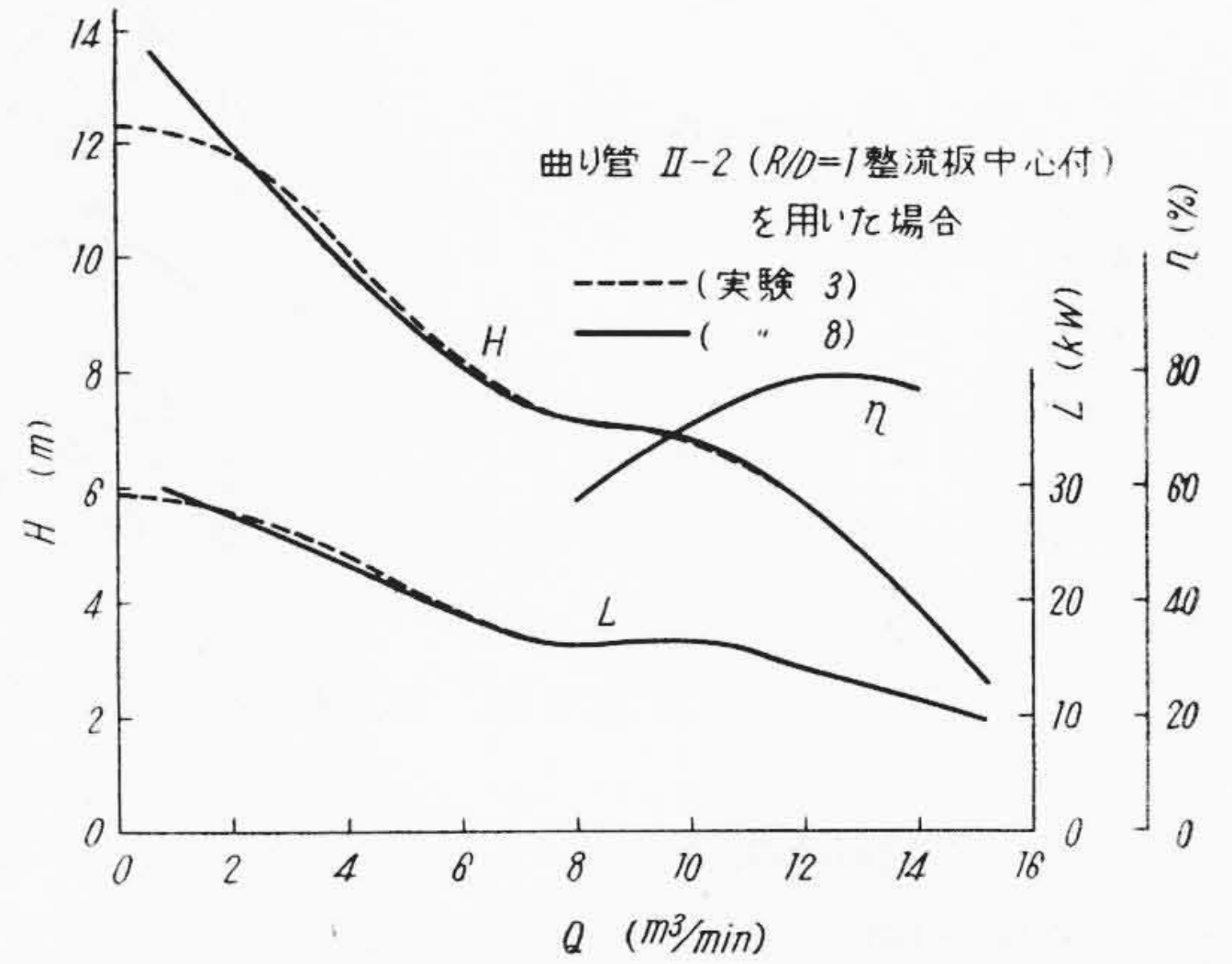
使用曲り管	曲り管 I	曲り管 II $R/D=1$			曲り管 III
	$R/D=0.8$ 整流板なし	II-1 整流板なし	II-2 整流板中心付	II-3 整流板心外付	$R/D=1.25$ 整流板なし
直管を設けた場合	実験 1	実験 2	実験 3	実験 4	実験 5
直管のない場合	実験 6	実験 7	実験 8	実験 9	実験 10

第2図のような配管において曲り管とポンプ吸込口との間に $1m$ 直管を設けた場合 (第2表実験 1~5) と吸込曲り管をそれぞれ前述の5種類の曲り管とした場合 (実験 6~10) とについて比較した。これら各場合の実験結果のうち曲り管 II-1, II-2 および II-3 を用いた場合の $1m$ 直管挿入実験結果 (実験 2, 3, 4) をそれぞれの曲り管に対応する直接曲り管実験結果 (実験 7, 8, 9) と比較するとそれぞれ第5~7図のごとくなる。第5図は曲り管 II-1 (整流板なし) を用いた場合で、破線は $1m$ 直管付の場合の実験結果 (実験 2) を示し、実線は直接曲り管実験結果を示す。いずれも $Q=12.8m^3/min$ において最高効率を示しており、 $Q=8m^3/min$ までは性能

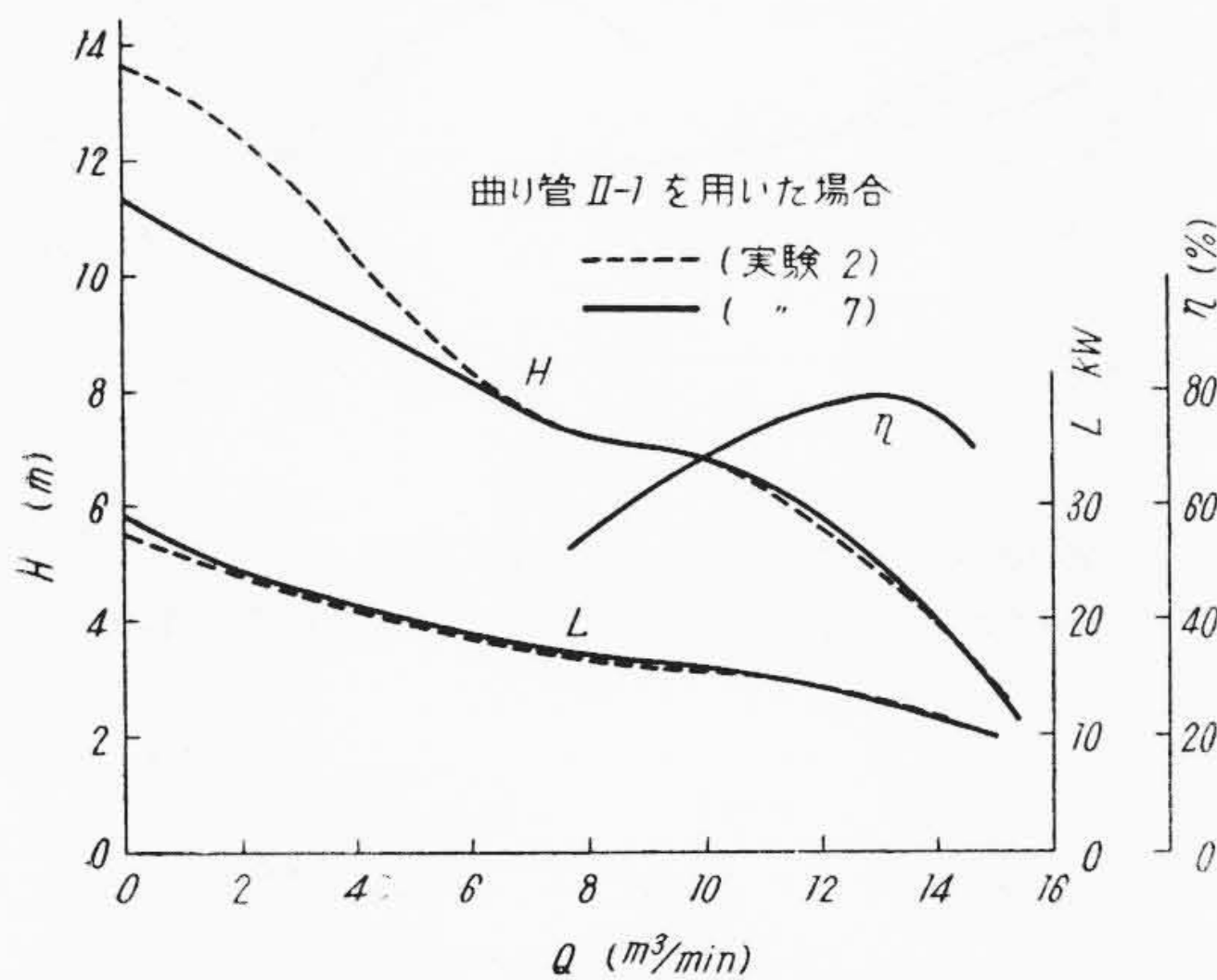
曲線に差が見られない。 $Q=7\text{ m}^3/\text{min}$ より少ない揚水量においては1 m直管付の場合の方が H は高く出ている。つぎに曲り管を取換えた曲り管 II-2 および II-3 の場合 (整流板付の曲り管の場合、第6図および第7図ではいずれも全水量の範囲内で1 m直管付の影響は現われていない。

1 m直管付の場合 (曲り管 II-2 を使用, 実験3) の吸込直管内 (A点), 羽根車直前 (B点), 羽根車直後 (C点) においてピトー管により各測定断面における流速の大きさおよびその方向を実測した。この流速のポンプ軸方向と円周方向との分速度を求め、これらを図示すると第8図のようになる。図の縦軸には軸流速度 V_a , 円周速度 V_u をとつてあり、横軸には管内壁からの半径距離をとつてある。第8図の左側には $Q=12.8\text{ m}^3/\text{min}$ の場合の結果を示している。A点における V_a はほぼ一様な値 (約 3 m/s) を示し、 V_u はこれに比べると小であつて約 0.5 m/s の値を示している。C点における V_a は管壁附近から次第に増加し羽根車ボス表面にて最大の値を示して

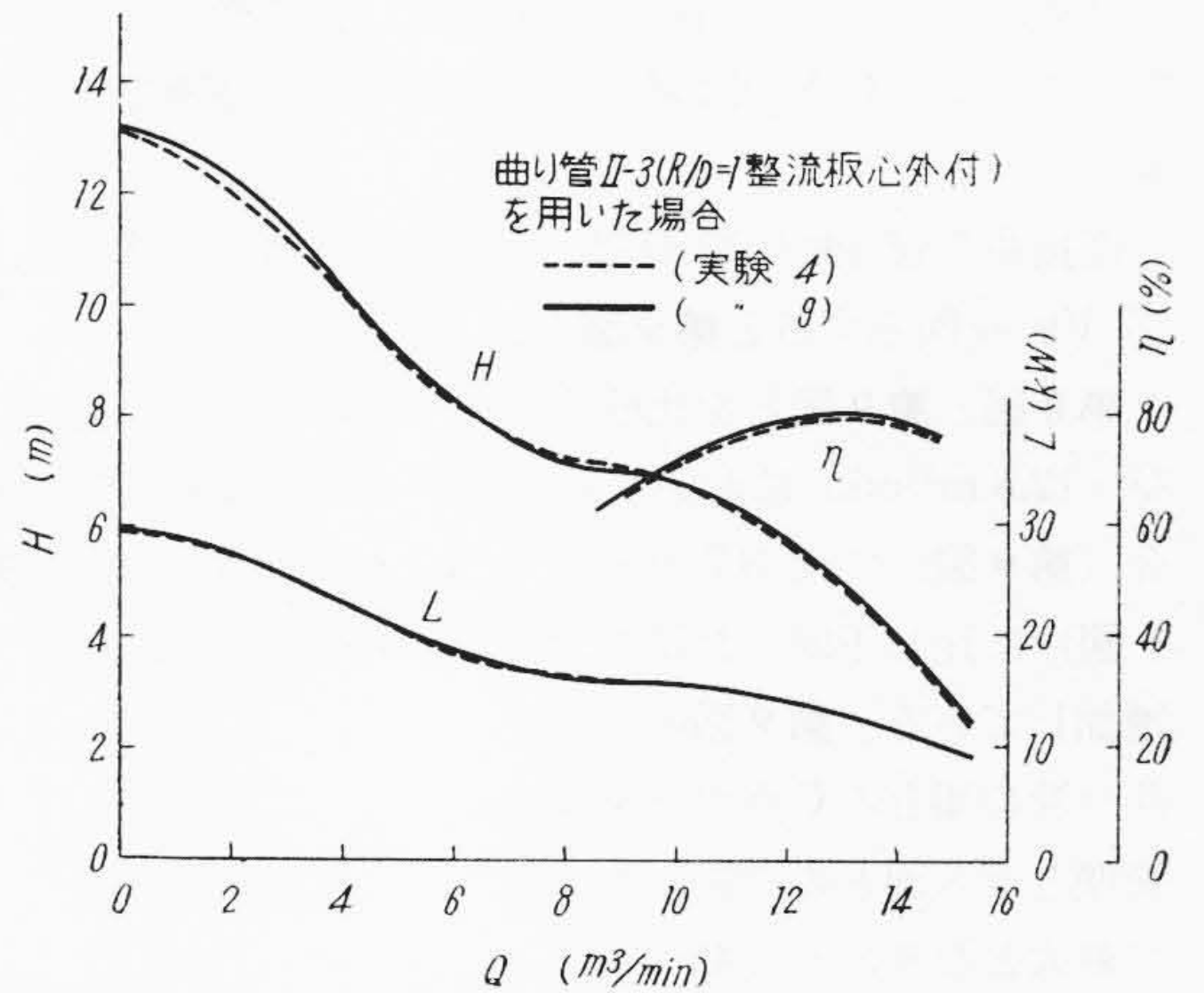
いる。また V_u は管壁とボス面との中間付近で極小値を示している。第8図の中央の図は $Q=8\text{ m}^3/\text{min}$ の場合



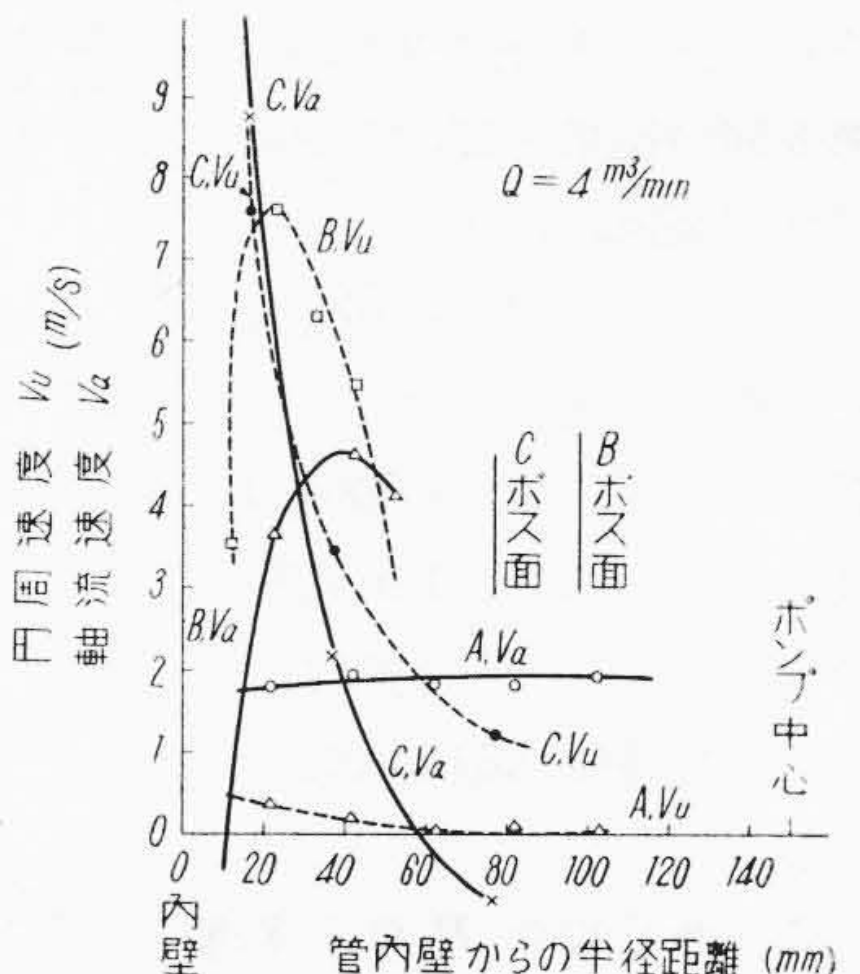
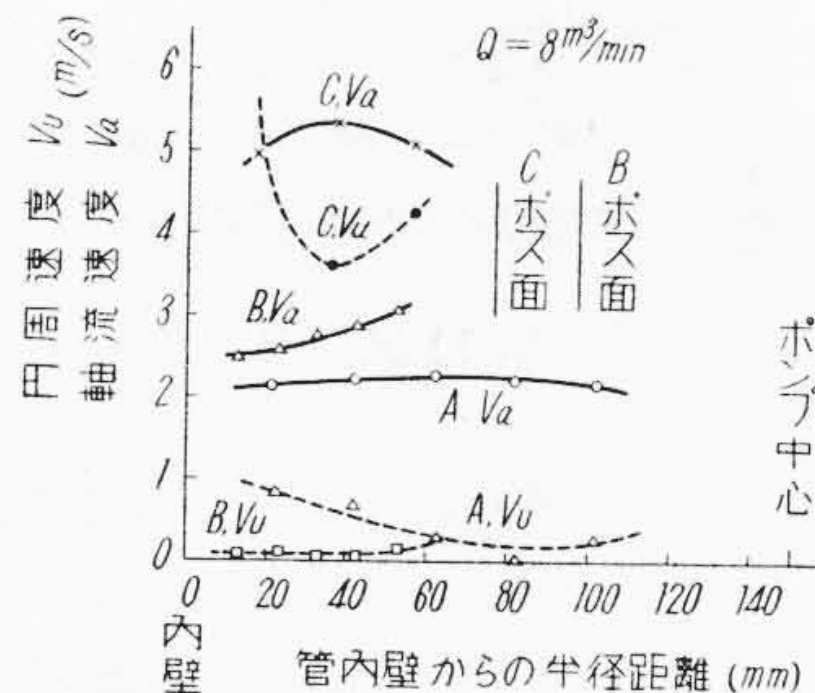
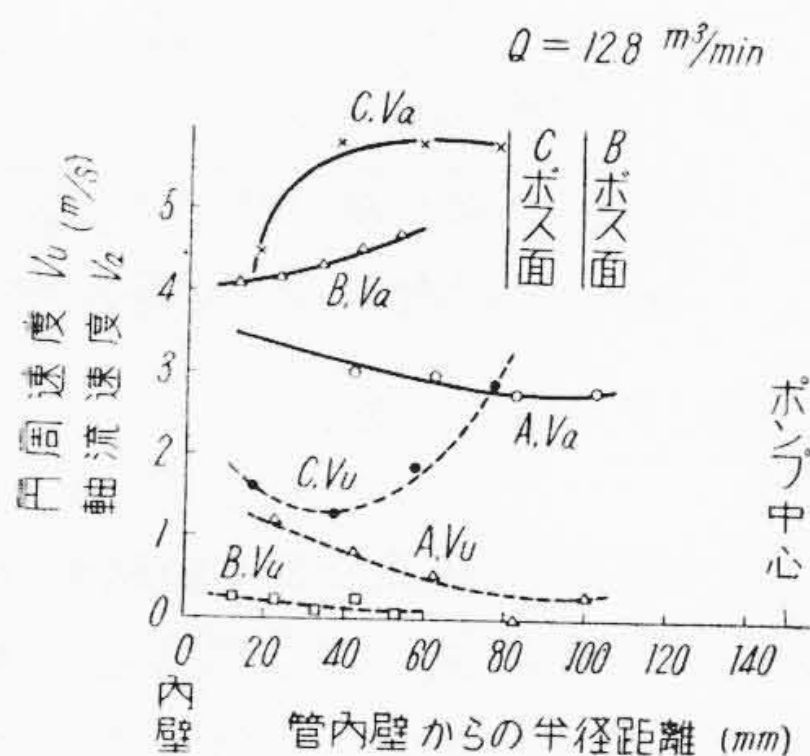
第6図 1 m直管付の場合 (実験3) と直接曲り管の場合 (実験8) とのポンプ性能の比較 (曲り管 II-2 を使用)



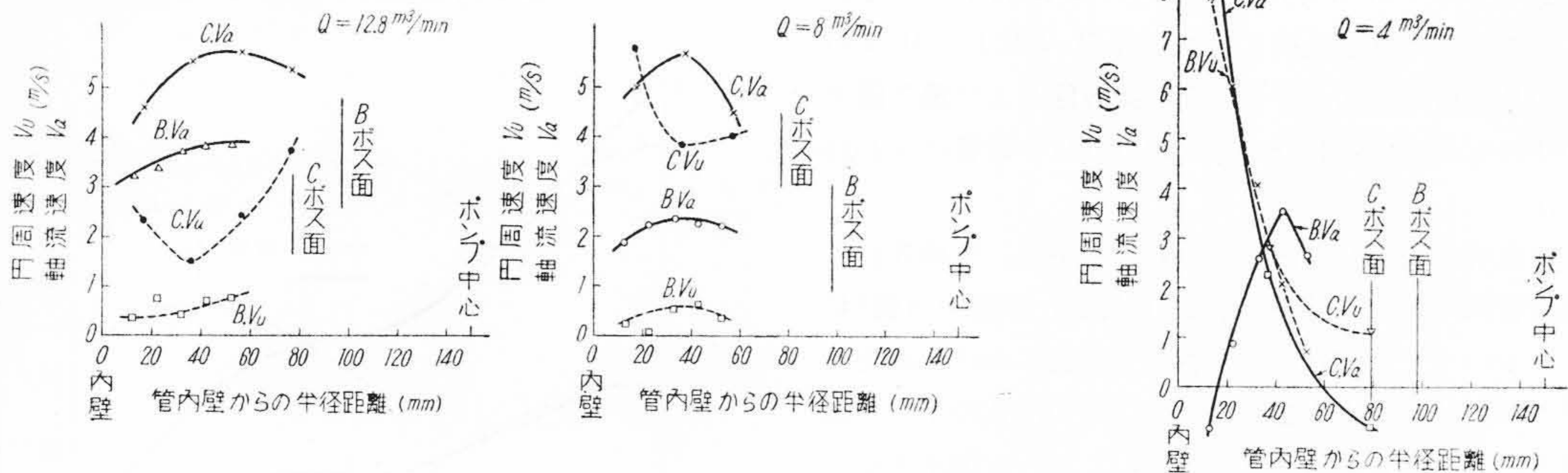
第5図 1 m直管付の場合 (実験2) と直接曲り管の場合 (実験7) とのポンプ性能の比較 (曲り管 II-1 を使用)



第7図 1 m直管付の場合 (実験4) と直接曲り管の場合 (実験9) とのポンプ性能の比較 (曲り管 II-3 を使用)



第8図 A, B, C 点の流速分布 (曲り管 II-2 を使用した実験3)



第9図 B, C 点の流速分布 (曲り管 II-2 を使用した実験 8)

であつて、各測定断面 A, B, C における V_a , V_u は $Q = 12.8 \text{ m}^3/\text{min}$ におけるそれらと曲線の傾向において大差ない。第8図の右側には $Q = 4 \text{ m}^3/\text{min}$ における結果を図示してある。 $Q = 4 \text{ m}^3/\text{min}$ においては A 点の V_a は一様であり V_u はかなり小となつている。B 点では V_u が V_a より著しく上回つた値を示し管内壁では逆流が生じている。C 点では著しく管内壁の方に高速な流れが偏つている。

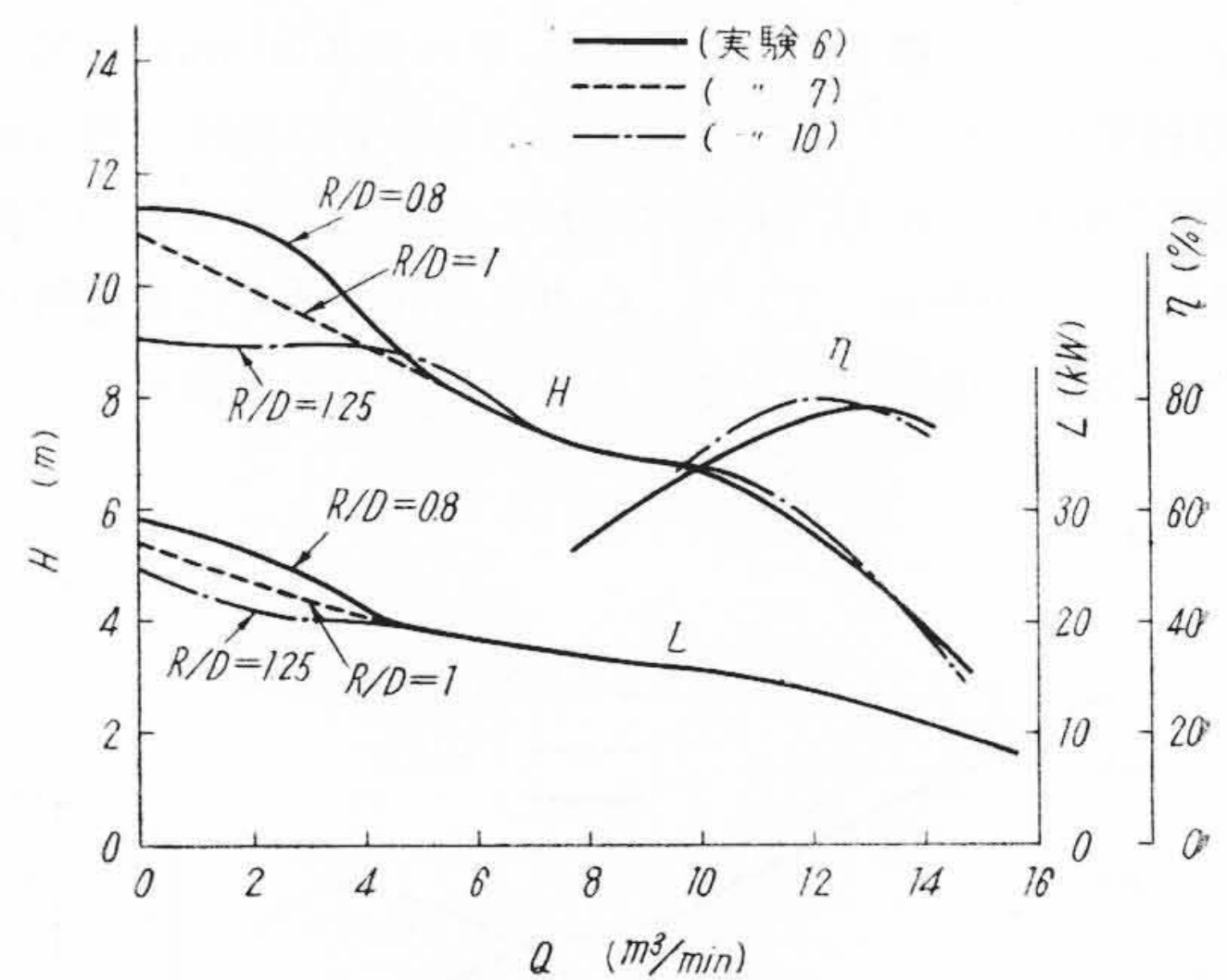
直接曲り管 (曲り管 II-2, 実験 8) の場合の V_a および V_u を図示すると第9図のようになる。

第8図と第9図とを比較するとつぎのことがいえる。 $Q = 12.8 \text{ m}^3/\text{min}$ において B 点の V_a は直接曲り管の場合 (第9図) では 3.7 m/s となり 1 m 直管付の場合 (第8図) に比し下回つた値を示すが、 V_u はこれに反して増加している。第9図の直接曲り管の場合の C 点の V_a は管壁とボス面との中間において最大となり、その絶対値は 1 m 直管付の場合 (第8図) に比しわずか高速になつている。 $Q = 4 \text{ m}^3/\text{min}$ において第9図の B 点の V_a は第8図のそれに比し大分減少し、 V_u は第8図の結果と傾向を異にし管壁で高速になつている。しかしこれらの流速の相違は羽根車直後の流速にはあまり影響を与えず、C 点の流速は直接曲り管の場合、1 m 直管付の場合ともあまり変わらず、

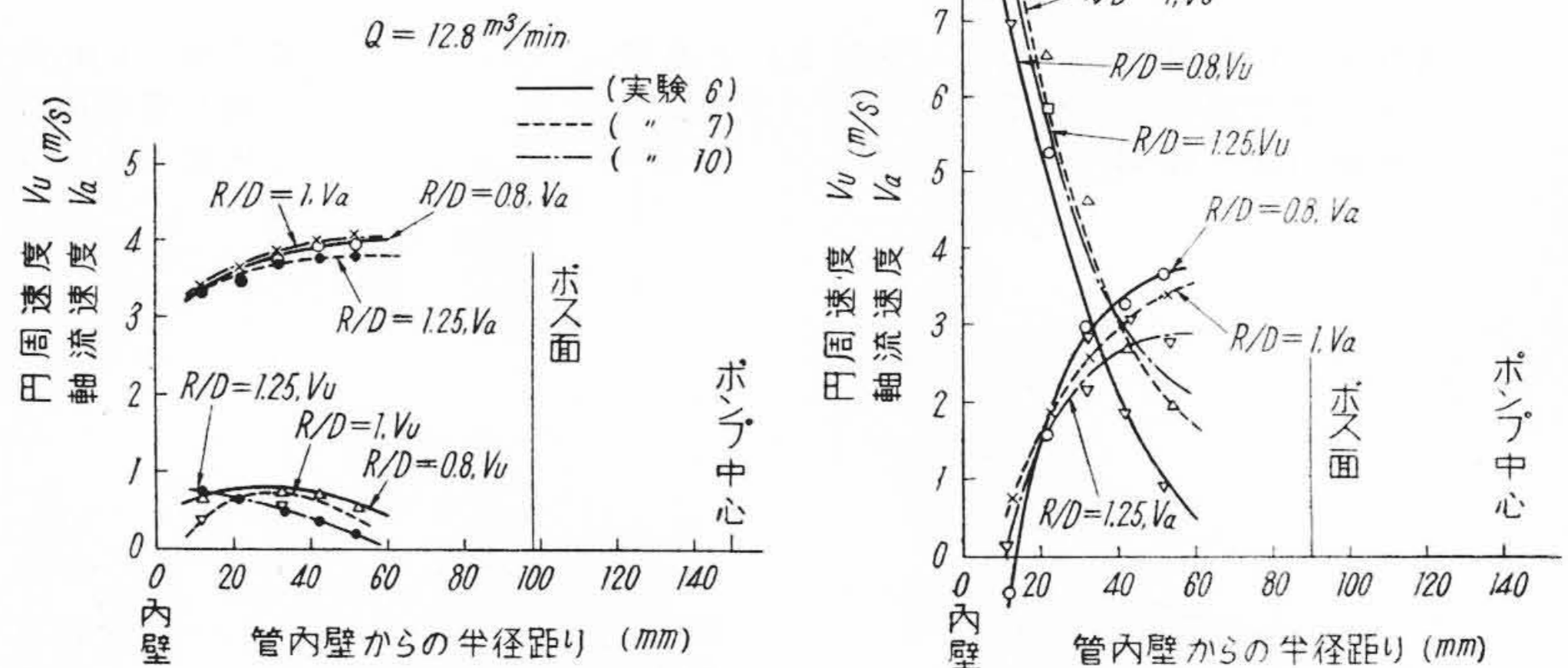
したがつて性能曲線にもはつきりした差となつて現われていない。

(2) 曲り管の R/D の影響

R/D の値をそれぞれ 0.8, 1 および 1.25 とした曲り管



第10図 R/D の異なる曲り管を用いた場合のポンプ性能の比較 (実験 6, 7, 10 の比較)



第11図 B 点の流速分布の比較 (R/D の影響)

I, II-1, III を用いた場合の直接曲り管実験結果 (実験 6, 7, 10) を図示すると第10図のようになる。 $Q = 5 \text{ m}^3/\text{min}$ 以下において R/D の値が少くなるにしたがつて H および軸動力 L は高くなる。最高効率の附近の水量

においては $R/D=0.8$ および 1 の場合は性能曲線に差がない。 $R/D=1.25$ の場合は効率曲線の形がほかと少し相違し、効率の値 η もほかよりわずかに高い値を示している。

これら各場合の羽根車直前の点(B点)における V_a , V_u を図示すると第11図のようになる。図は $Q=12.8$ m^3/min および $4m^3/min$ の場合を示している。 $Q=12.8$ m^3/min の場合の V_a は R/D が変わってもあまり差がない。

V_u も大差ないが、 $R/D=1.25$ のときの V_u はほかの R/D の V_u に比し管内分布が少しく異なり管壁の方が早くなっている。 $Q=4$ m^3/min のときはいずれも流れが偏り、管壁における円周速度が大となっていて $R/D=0.8$ のときは V_a が負となり逆流していることを示す。

羽根車直後のC点における V_a および V_u を図示すると第12図のようになる。

(3) 曲り管に設けた整流板の影響

(i) 性能曲線

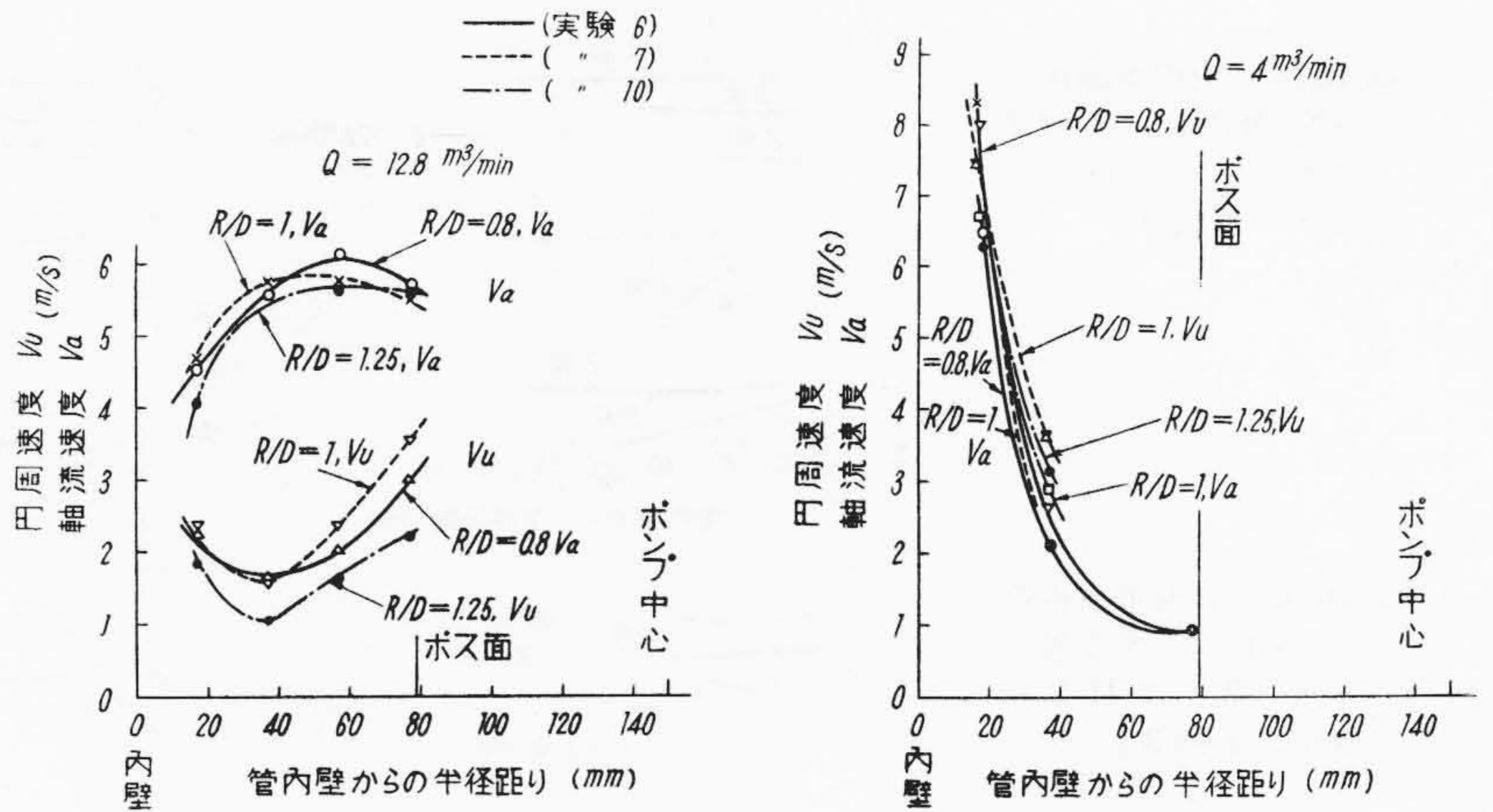
直接曲り管実験において整流板のない場合(曲り管 II-1), 整流板中心付の場合(曲り管 II-2), 整流板心外れ付の場合の(曲り管 II-3) 性能曲線(実験 7, 8, 9) を図示すると第13図のようになる。

整流板の有無は $Q=5$ m^3/min より少ない水量において性能曲線に影響を及ぼしており、最高効率を示す水量付近ではほとんど性能に差がない。

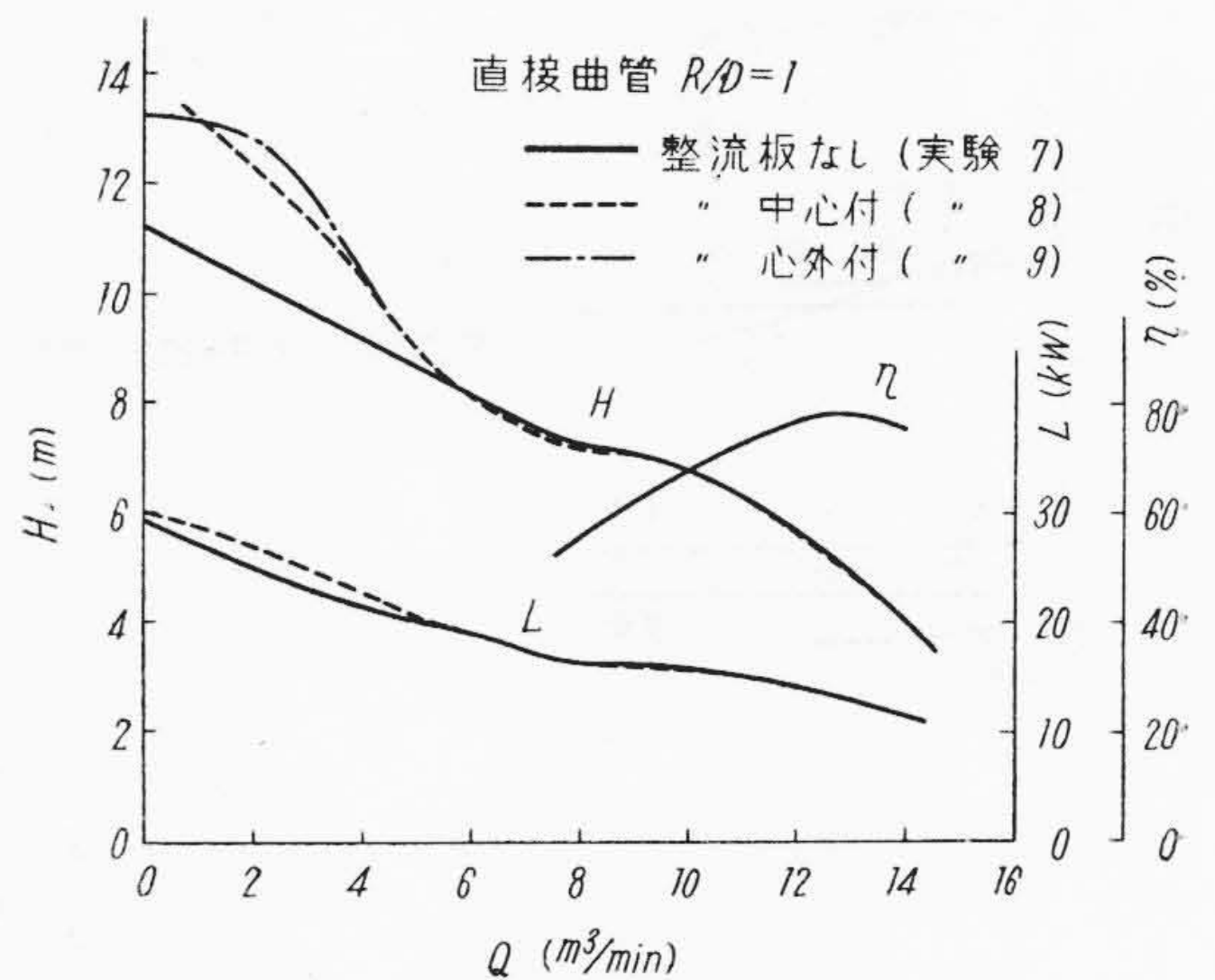
整流板のつく位置の相違による影響について見れば(実験 8, 9 を比較), これも Q の少い範囲において心外れ付の場合の方が中心付の場合に比しわずかに高い H を示している。

(ii) ポンプ前後の静圧

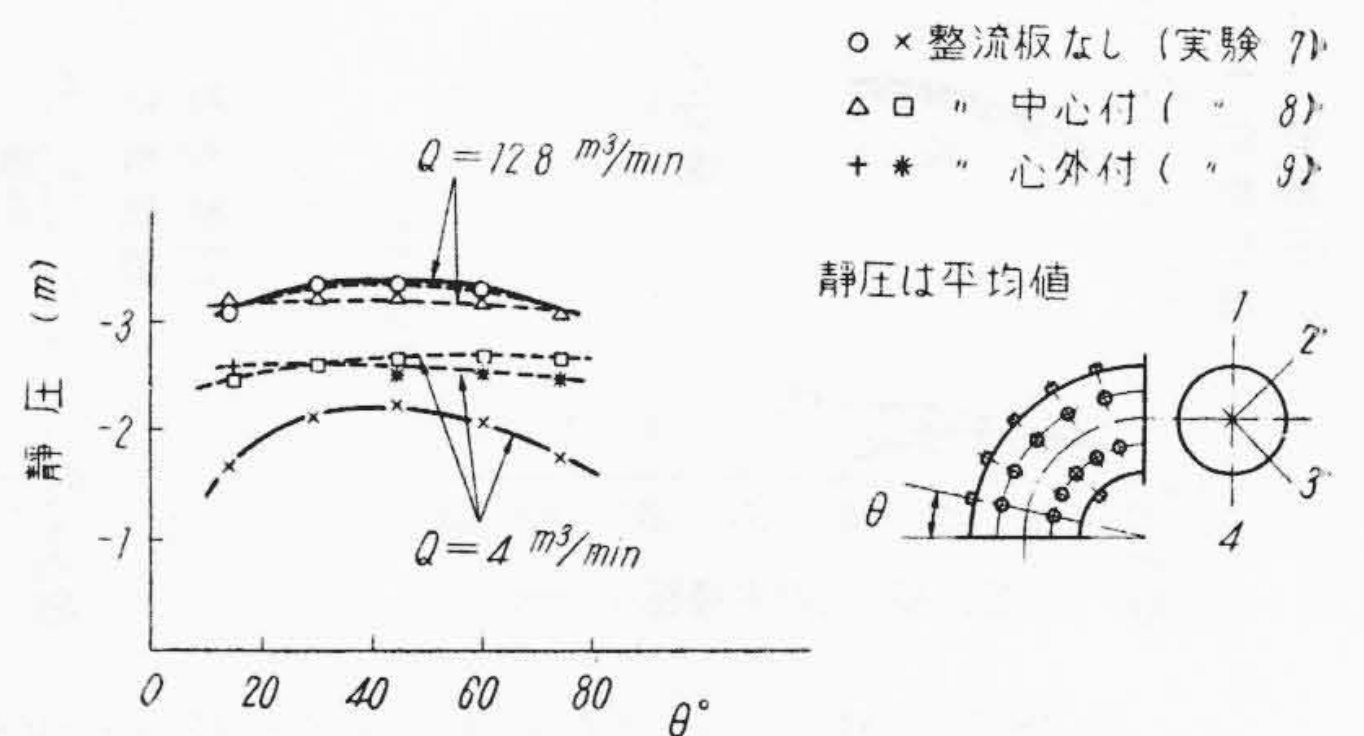
吸込曲り管 II-1, II-2 および II-3 における管壁の静圧を測定した結果(実験 7, 8, 9) を第14図に示す。図の横軸は角度 θ (第14図参照) をとり、縦軸には平均静圧をとつてある。平均静圧とは $\theta=15, 30, 45, 60$ 度および 75 度の各測定断面における管壁の4個の測定点(第14図の 1, 2, 3 および 4) の静圧を算術平均したものである。これらの平均静圧は $Q=12.8$ m^3/min の場合, 各曲り管とも θ に対してあまり変化がない。しかるに $Q=4$ m^3/min の場合, 整流板のない場合は管に沿つて $\theta=45$ 度までは圧力降下しているが, それ以降管の出口ま



第12図 C点の流速分布の比較 (R/D の影響)



第13図 曲り管に設けた整流板の影響 (実験 7, 8, 9 の比較)

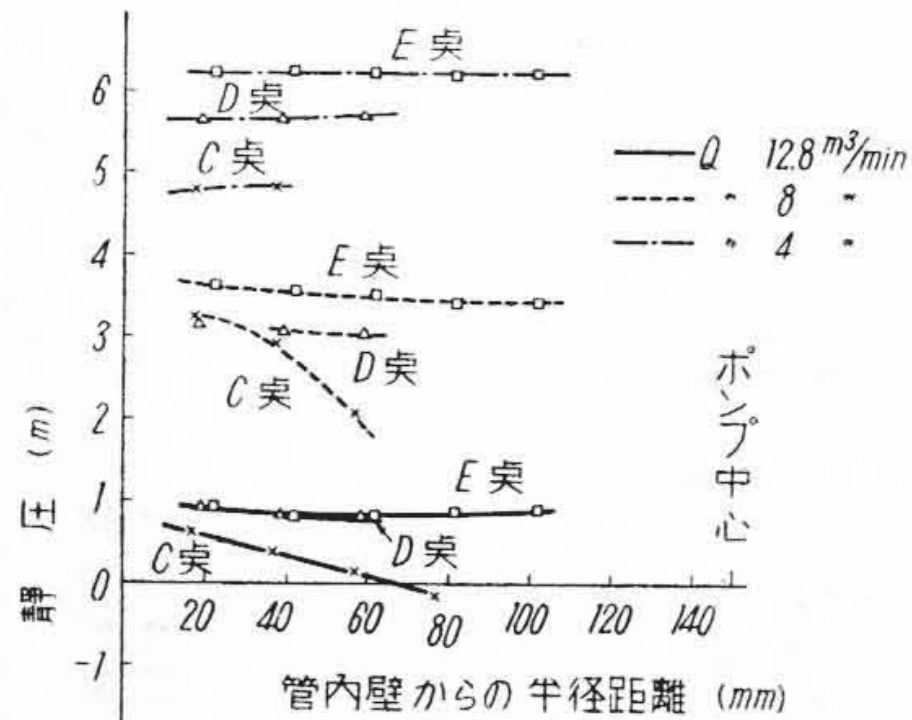


第14図 曲り管内の静圧

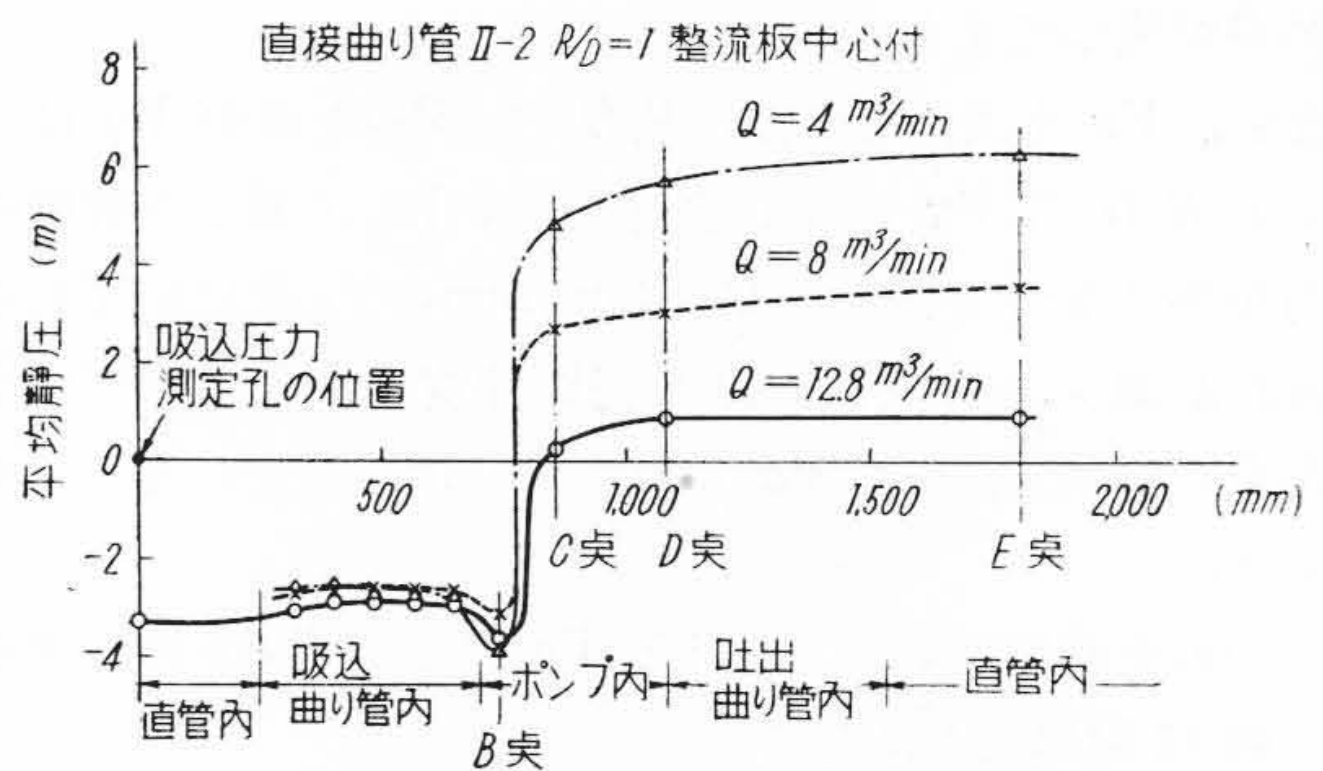
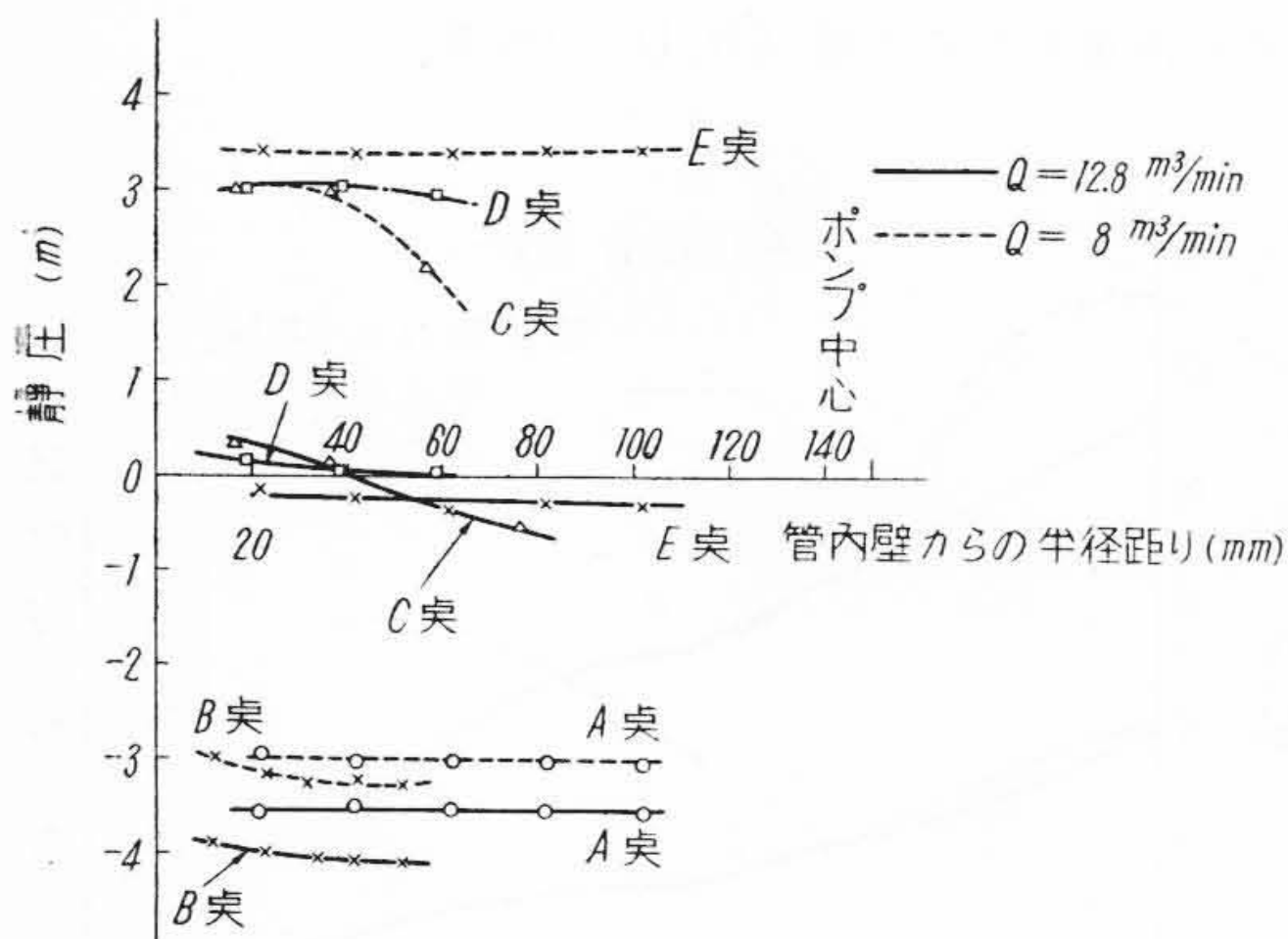
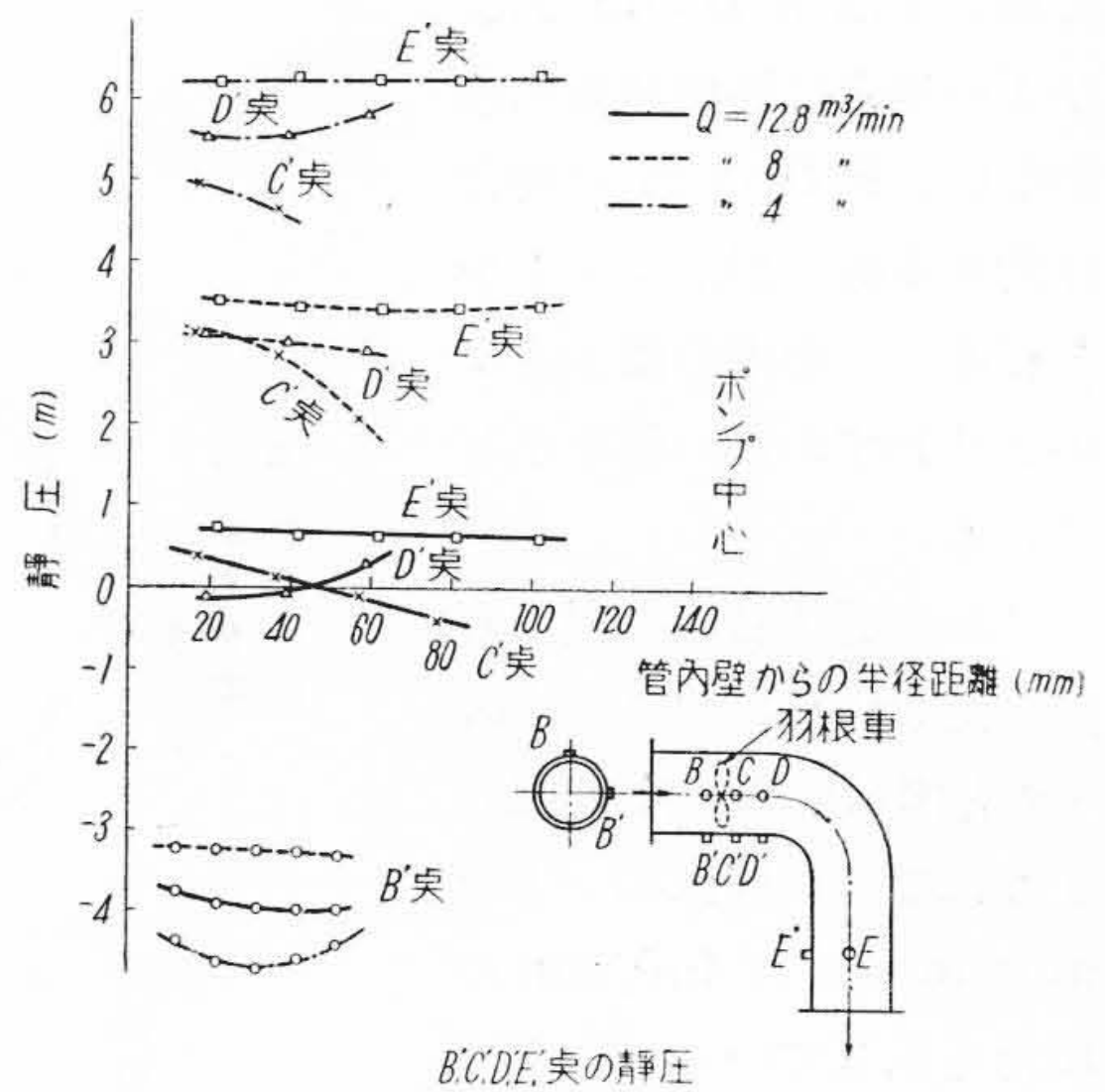
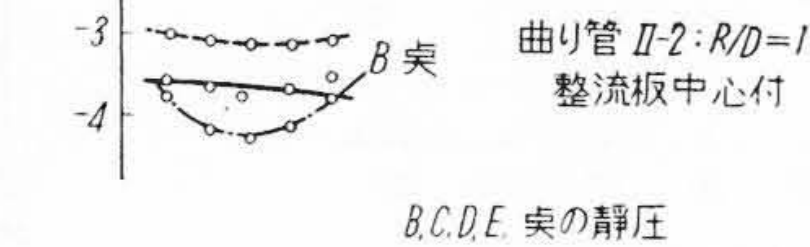
ではかえつて圧力が上昇している。かような現象を生じたのは整流板がないために流れの混乱が激しくなっているため測定値に誤差を生じたのではないと思われる。

曲り管 II-2 を用いた場合(実験 8) のポンプの前後の各測定孔 A, B, C, …… A', B', C', …… などにおける静圧の測定値を図示すると第15図のようになる。

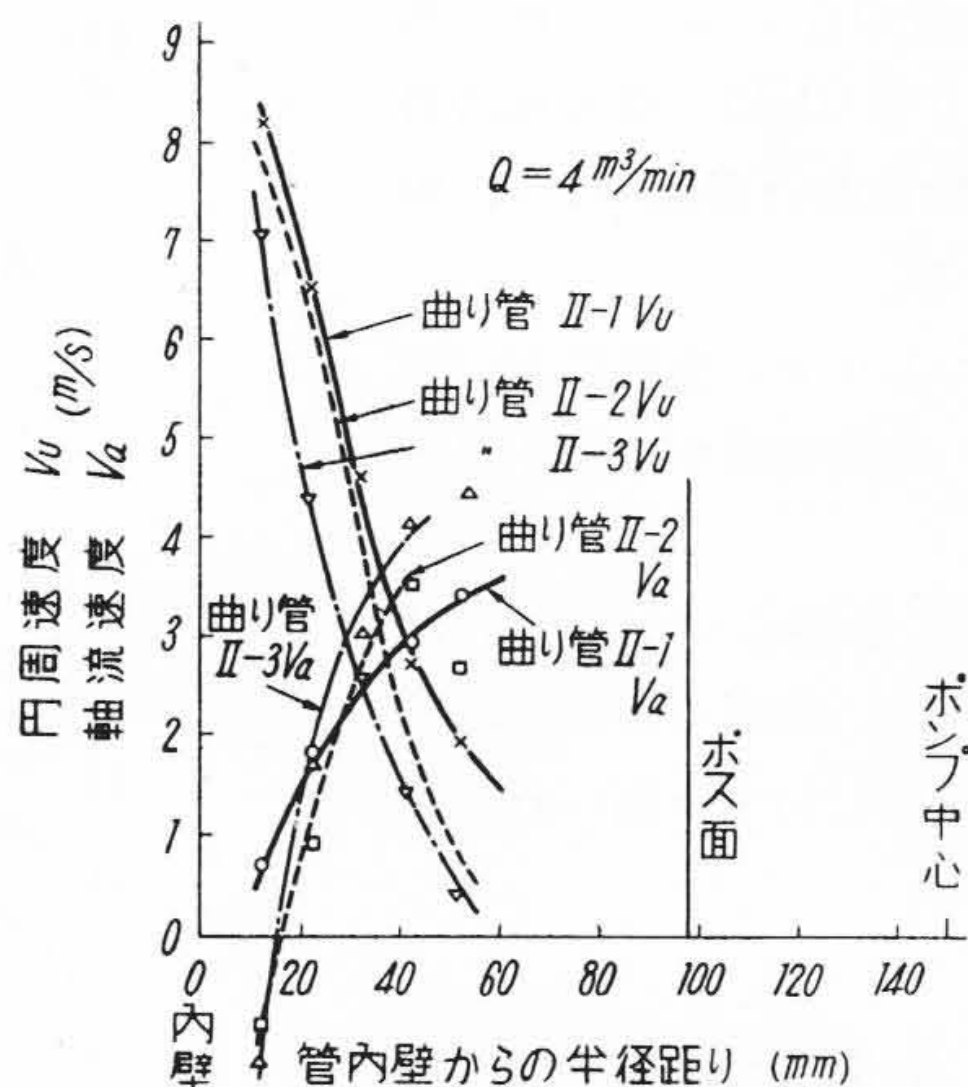
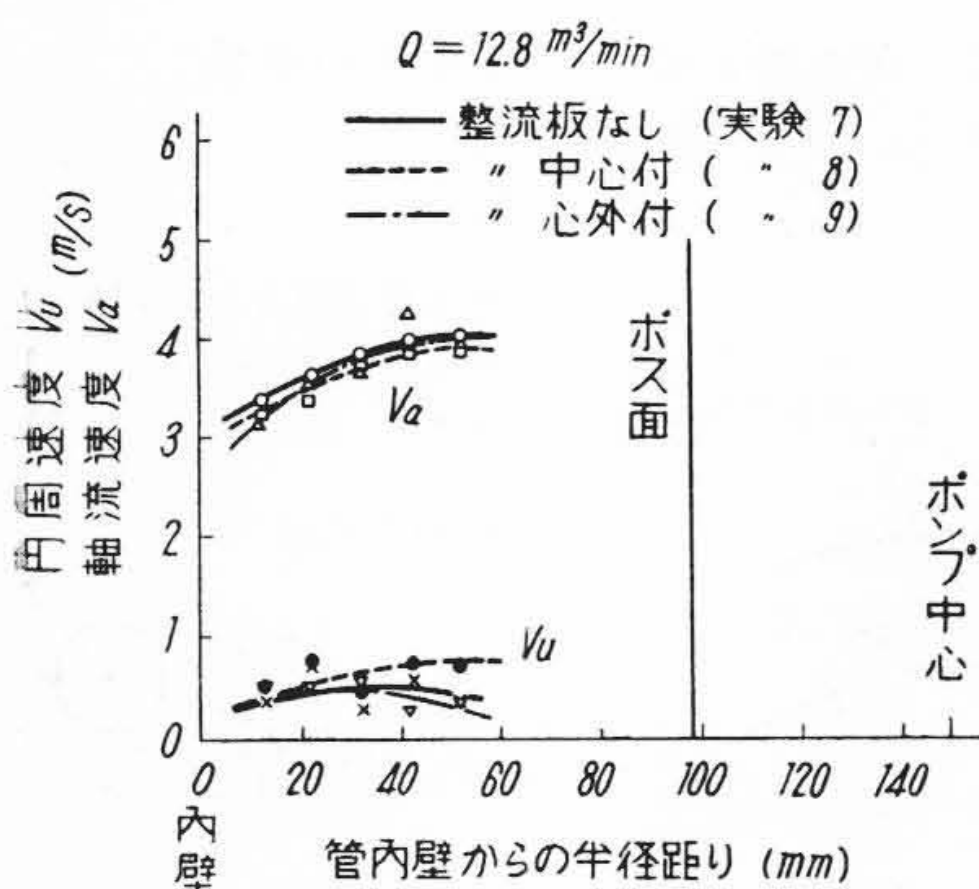
第15図 羽根車前後の各断面における静圧分布 (曲り管 II-2 を使用, 実験8)



第16図 羽根車前後の各断面における静圧分布 (曲り管 II-2 を使用, 実験3)



第17図 ポンプ前後の静圧 (実験8)



第18図 B点における流速分布の比較 (整流板の影響, 実験7, 8, 9)

これらの図をみるとA, B, C……などにおける静圧とA', B', C', ……などにおける静圧はほとんど等しい値を示していることがわかる。B点においては $Q=4\text{ m}^3/\text{min}$ の場合を除いて断面上静圧は一様な値を示している。しかしC点ではかなり管壁の方が圧力が高くなっている。案内羽根直後D点, 吐出曲り管を出た後のE点ではいずれも断面上の圧力分布は一様となっている。特

に $Q=4\text{ m}^3/\text{min}$ の場合, 入口側のB点の偏流の影響はほとんどE点に及ぼされていないことがわかる。

第16図は1 m 直管付の場合 (実験3) のポンプ前後の静圧分布を参考に示したものである。

整流板中心付の曲り管 II-2 における直接曲り管実験 (実験8) において $Q=12.8\text{ m}^3/\text{min}$, $8\text{ m}^3/\text{min}$ および $4\text{ m}^3/\text{min}$ の各場合のポンプ前後の静圧値を図示すると第17図のよう

になる。図の平均静圧とは各測定孔 A, B, C, ……などにおける断面上の静圧を算術平均したものであり, 横軸には吸込圧力測定孔 (第2図参照) からの直線距離をとつてある。

(iii) 軸流速度および円周速度
実験7, 8, 9につき羽根車直前 (B点) における軸流速度 V_a , 円周速度 V_u を $Q=12.8\text{ m}^3/\text{min}$ および $4\text{ m}^3/\text{min}$

の各場合につき図示すると第18図のようになる。図の横軸には前と同様に管内壁からの半径距離をとつてある。

整流板の有無，取付位置の相違による影響は $Q=12.8\text{m}^3/\text{min}$ のときはあまり見られないで，流速 V_a はほぼ一様になつている。

V_u は約 0.5m/s であつて各曲り管とも大差ない値である。しかるに $Q=4\text{m}^3/\text{min}$ の場合はいずれも管壁における V_u はかなり大きい。

整流板のない場合(実験7)の V_u は整流板のある場合(実験8, 9)に比して大きくなり，あきらかに整流板の効果が現われてきている。

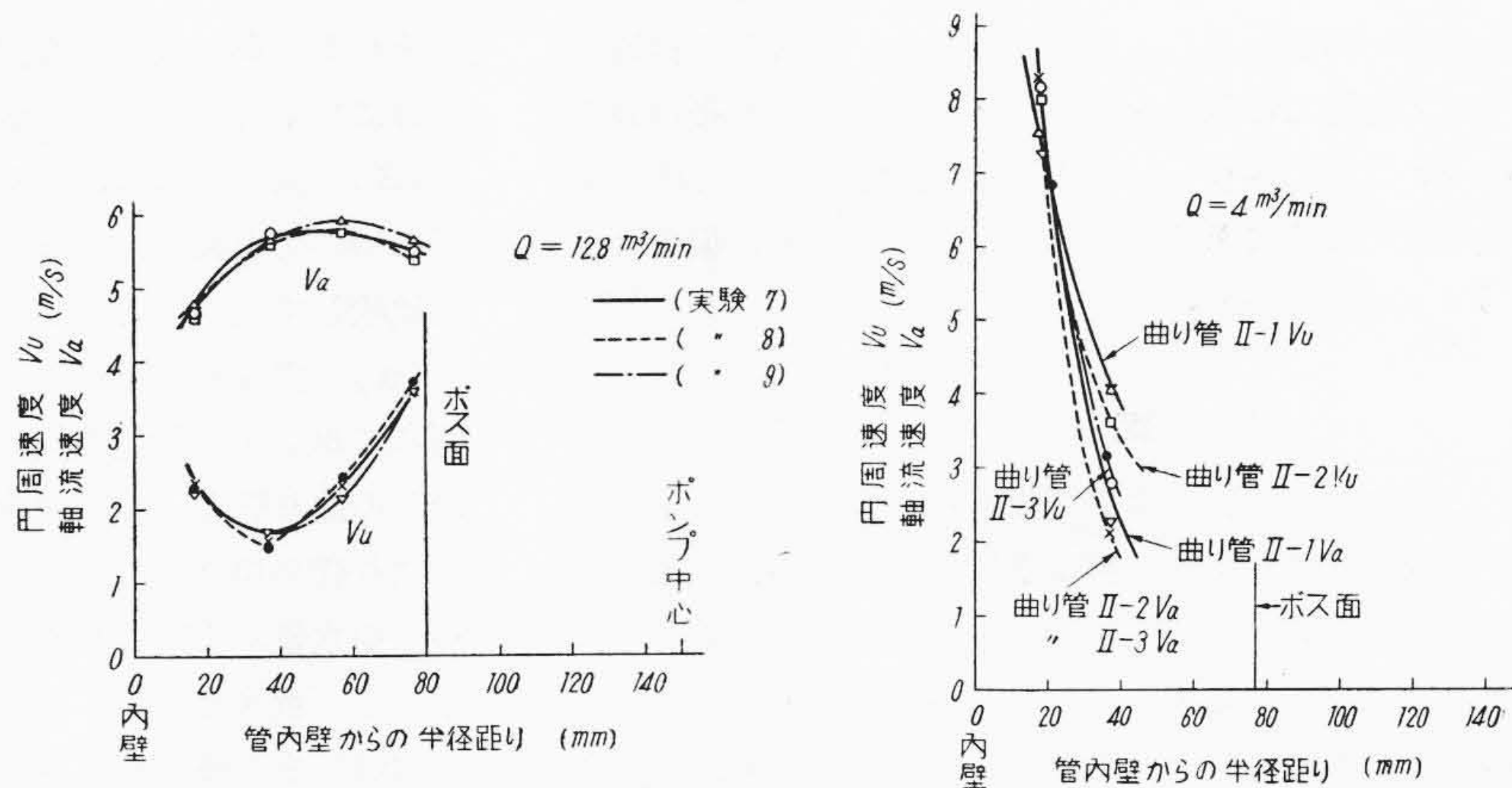
V_a の値も曲り管II-1が小となつている。 V_a は各曲り管とも管壁で小となつて曲り管II-2およびII-3では逆流を起す部分も見られる。

また整流板心外れ付の場合(実験9)ではわずかに V_a が中心付の場合より上回り，その差が性能曲線(第13図)に現われたと考えられる。

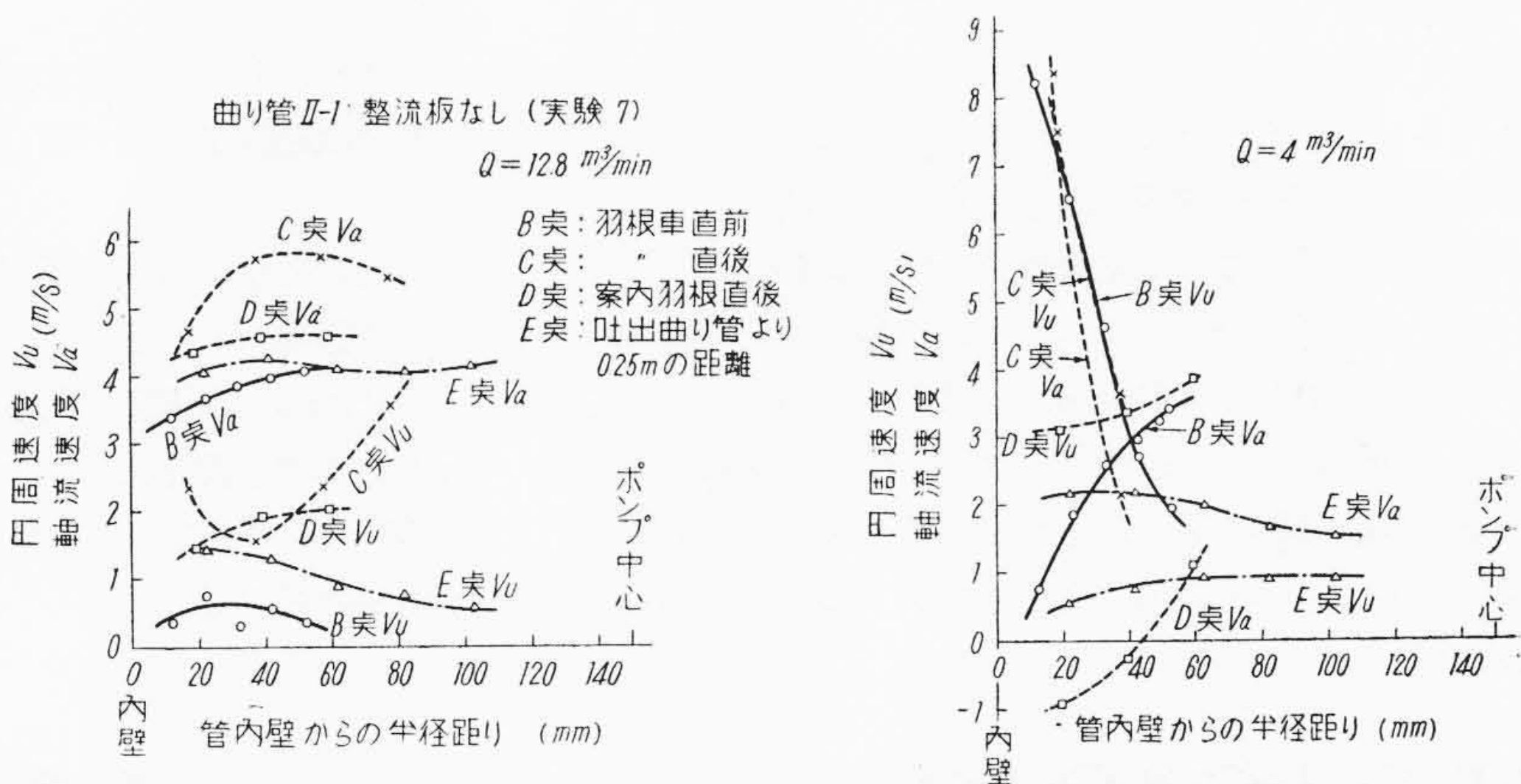
羽根車直後(C点)における V_a および V_u を図示すると第19図のごとくなる。第19図の左側は $Q=12.8\text{m}^3/\text{min}$ の場合であるが， V_a, V_u とともに整流板の有無による影響はほとんど見られない。

図の右側の $Q=4\text{m}^3/\text{min}$ の場合ではこれらの流速に少し差があるがあまりあきらかには区別できない。

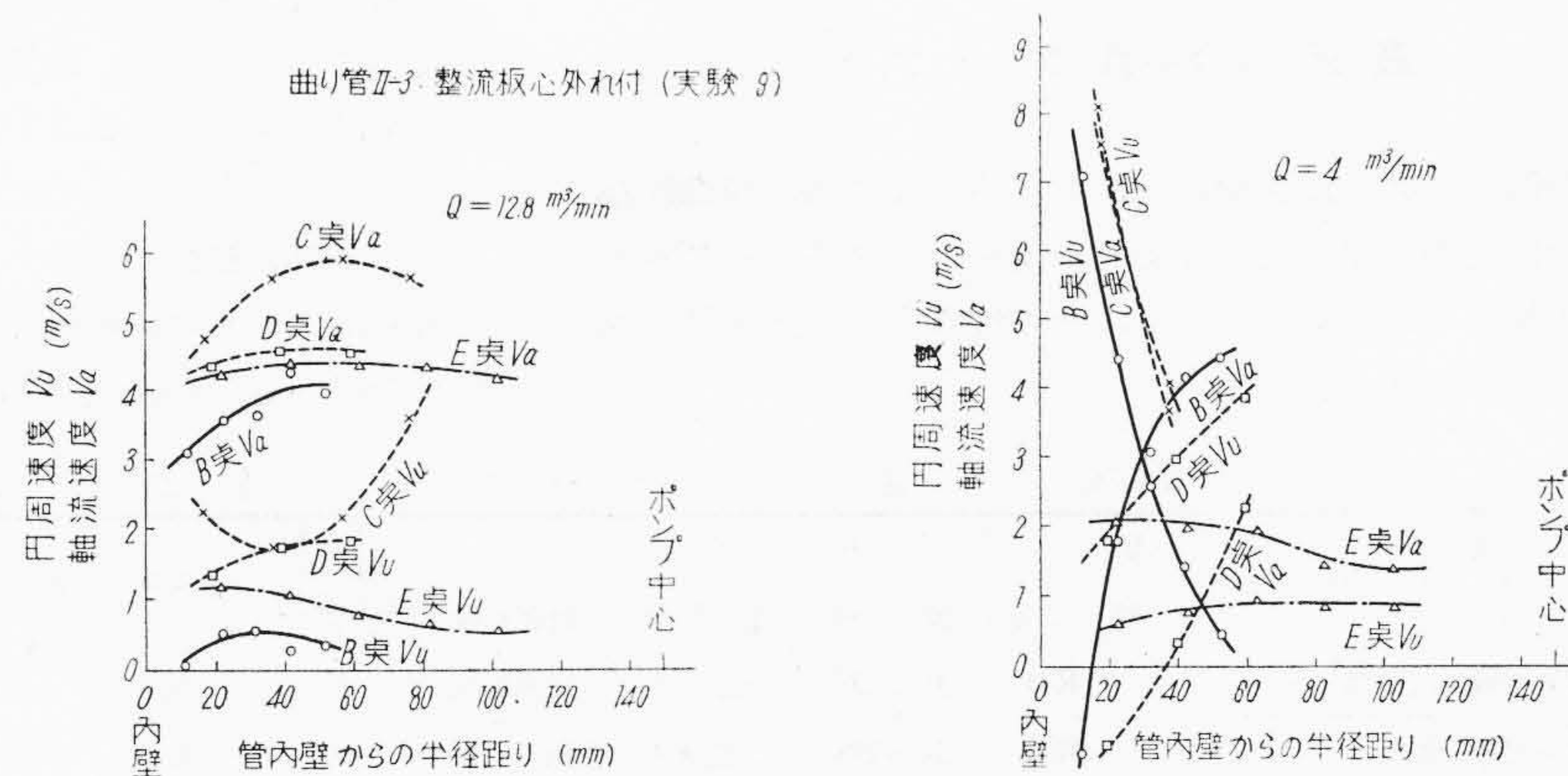
次に曲り管II-1およびII-3を用いた直接曲り管実験(実験7, 9)におけるポンプ前後の各測定点B, C, D, Eの軸流速度 V_a および円周速度 V_u を $Q=12.8\text{m}^3/\text{min}$, $Q=4\text{m}^3/\text{min}$ の各場合につき図示すると第20図および



第19図 C点の流速分布の比較(整流板の影響, 実験7, 8, 9)



第20図 羽根車前後の流速分布(実験7)



第21図 羽根車前後の流速分布(実験9)

次に曲り管II-1およびII-3を用いた直接曲り管実験(実験7, 9)におけるポンプ前後の各測定点B, C, D, Eの軸流速度 V_a および円周速度 V_u を $Q=12.8\text{m}^3/\text{min}$, $Q=4\text{m}^3/\text{min}$ の各場合につき図示すると第20図および

第21図のごとくなる。実験7(第20図)の $Q=4\text{m}^3/\text{min}$ の結果を見ると，B点の V_u は管壁にて約 8m/s の値を示すに対し， V_a は管壁にわずかに 0.5m/s であり，著しく水の流入が偏つている。C点においては V_a, V_u と

もほぼ同一の値を示し，かつ管壁において著しく高速となりボス付近では低速を示す。案内羽根の出た後のD点では Va は急に減少し，逆流が見られる。しかし吐出曲り管を経てE点に到ると流れはよく整流され，偏流は少く Vu の値は 1 m/s 前後である。

〔V〕 結 言

(1) 吸込上昇管とポンプ吸込口との間に曲り管と直管とを取り付けた場合 (第2表実験 2, 3, 4) と吸込口と上昇管との間に直接曲り管を設けた場合 (実験7, 8, 9) とを比較すると次のことがわかる。

(a) 第5図において1 m直管付の場合 (実験2) は直接曲り管の場合 (実験7) に比し揚水量の少ない範囲で H が高くなっている。 Q がそれより多い普通の運転範囲では性能曲線にほとんど差が見られない。

(b) 整流板付の曲り管 II-2 および II-3 を用いた実験 3, 4 と実験 8, 9 とを比較すると，このときのポンプの性能曲線 (第6, 7図) は全揚水量の範囲にわたって差が現われない。これは整流板の影響と思われる。

(2) 曲り管の R/D がポンプの性能に及ぼす影響はつぎのごとくである。実験 6, 7, 10 について比較すると $Q = 5 \text{ m}^3/\text{min}$ 以下にてポンプの $H-Q$ 曲線および $L-Q$ 曲線 (第10図) に差が出ている。すなわち H は $R/D = 0.8, 1, 1.25$ の順に高くでており， L もこの順に多い。

それより Q が大なる範囲においてはいずれの R/D の場合にも性能曲線は一致している。

(3) 曲り管に設けた整流板の有無および取付位置などについて実験 7, 8, 9 によつてえた結果 (第13図) を比較して次のことがわかつた。

(a) 整流板の有無によつて $Q = 5 \text{ m}^3/\text{min}$ 以下の範囲にてポンプの性能曲線に差が生ずる。すなわち整流板なしの曲り管を用いた場合 (実験7) の H はそれを有する曲り管の場合 (実験 8, 9) に比しかなり下回る。しかし揚水量がそれより多い範囲においては性能曲線はほとんど一致する。

(b) また整流板を曲り管の中心線に沿つて設けた場合 (実験8) とそれより少しは内側に外れて取付けた場合 (実験9) りは全水量の範囲にわたつて性能にほとんど差が生じていない。

いずれにしても普通の運転範囲を論ずる限り本実験の結果では軸流ポンプの吸込管の影響はほとんど見られない。

ただし締切り附近の揚程，動力などはかなり吸込管によつて影響をうけるから注意しなくてはならない。

終りに臨み本実験に対し種々御指導を賜つた日立製作所亀有工場小堀博士，ポンプの設計を実施された設計課の諸氏ならびに実験に従事された小島，植草氏などに深く感謝の意を表す。



最近の制御ケーブル

制御ケーブルは発電所における操作回路，制御回路または計器回路のような神経系統を担当するケーブルとして使用されるものであり，その性質上絶対無事故であることが要求される。

従来は天然ゴム絶縁鉛被または編組ケーブルがもつぱら使用されてきたが，最近はその大部分がビニル制御ケーブルに置きかえられている。

また遠方制御用のものには電気的特性のすぐれているポリエチレン絶縁制御ケーブルを，耐熱性を必要とする箇所にはハイパロン絶縁または珪素ゴム絶縁の制御ケーブルを用いるのが適当である。

第1表 各種制御ケーブルの特性比較表

種 類 名 称	略 号	構 造			導 体 最 高 許 容 温 度 (°C)	耐燃性	耐油性	耐候性	耐化学 薬品性	重 量
		規 格	絶 縁 体	外部被覆						
ゴム絶縁編組制御ケーブル	CRB	JCS 198	天然ゴム	綿糸編組	60	乏	乏	乏	乏	小
ゴム絶縁鉛被制御ケーブル	CRL	JCS 198	天然ゴム	鉛 被	60	優	優	優	良	大
ゴム絶縁クロロプレンシース制御ケーブル	CRN	日立標準	天然ゴム	クロロプレン	60	優	優	優	優	中
ブチルゴム絶縁クロロプレンシース制御ケーブル	CBN	日立標準	ブチルゴム	クロロプレン	80	優	優	優	優	中
ビニル絶縁ビニルシース制御ケーブル	CVV	JISC 3401 電78501-B	ビ ニ ル	ビ ニ ル	60	優	優	優	優	中
ポリエチレン絶縁ビニルシース制御ケーブル	CEV	日立標準	ポリエチレン	ビ ニ ル	75	優	優	優	優	小
ハイパロン絶縁ハイパロンシース制御ケーブル	—	日立標準	ハイパロン	ハイパロン	120	優	良	優	優	中
珪素ゴム絶縁ガラス編組制御ケーブル	—	日立標準	珪素ゴム	ガラス編組	180	優	優	優	優	中