

全幅せきにおける整流障害の測定精度に及ぼす影響

Measurement Accuracies of Noncontraction Weir Affected by Flow-equalizing Troubles

山 崎 卓 爾* 栗 須 正 登*

Takuji Yamazaki

Masato Kurisu

内 容 梗 概

せきによる流量測定法は構造簡単にして測定操作が容易であるため古くから広く利用されている。せき測法においては、せき板に近寄る流水の速度エネルギーの大小により、流量が異なるので、いずれの公式においても、近寄り速度の項を設けてこの影響を加味している。この近寄り速度は水路幅 (B) とせき板の幅 (b) との比、すなわち縮流比 (b/B) の小なるせきにおいてはその絶対値が小さいため、影響する度合が少ないが、流量が多くなれば勢い構造上の制約を受けて縮流比は大となり、水力発電所で採用されるものはほとんど例外なく、無縮流せきすなわち全幅せきである。このように大流量となると水路内の流速の絶対値が大きくなり、その影響は結果に顕著に現れてくる。さきに Schoder および Turner⁽¹⁾ 両氏は全幅せきに関する広範な実験を行つて水路内の流速分布の形状が異なることにより、ほかの条件はまったく同一のせきにおいて、最大26%にも達する差異が生ずることを報告している。筆者らはたまたま全幅せきにおいては、整流部の状態がわずかに異なることによりせき流量にあきらかな違いが発生することに気付いた。そこで筆者らは整流状態と測定精度との関係を調べる二、三の実験を行い、その結果次のようなことがあきらかになつた。

- (1) 整流部の構造の差、または塵芥などが整流装置の一部に付着したような場合でも水路内の流動状態が変化し、せき流量には著しい誤差が現れる。
- (2) Schoder および Turner 氏らが指摘した傾向は今回の実験についても同じように現れている。
- (3) 流速分布の形状ももちろん問題であるが、形状とともに流速の絶対値も結果に著しい影響を与え、誤差の原因となるものであることが実験結果より推定される。

〔I〕 緒 言

筆者らは最近研究室においての一実験に、流量測定用として全幅せきを採用した。研究の予備試験としてこの全幅せきの特性を調べたところ、実験を行つた時日の経過につれて同一のせき上水位に対し、流量が多くなつて行くことが、容量タンクによる検定であきらかになつた。しかもその程度は次第に激しくなり、ついにはその誤差が最大9%にも達した。以上の原因について探索した結果上流整流板にわずかの量の塵、枯葉、木片などが付着し、そのために起る整流状態のわずかな変化によるものであることがわかつた。このような事例は発電所における全幅せきの流量測定においてしばしば耳にしておつたところから、その程度を確める二、三の実験を行つた。筆者らは実験室内の流量測定には四角せきまたは三角せきを使用しているため、このような結果を経験したことがなかつたが、これはこれらのせきは近寄り速度が全幅せきに比べてきわめて小さくなるようにとつてあるので、今回のような事態はありえないためであると考えてよい。

従来せき測法においては、水路の構造、せき板の寸法、および仕上などについては細心の注意が払われているが、整流装置およびこれより上流の流動状態については一応の制限事項が示されてはいるが、具体的にはその影響度の確実な資料は必ずしもあきらかにされていないよ

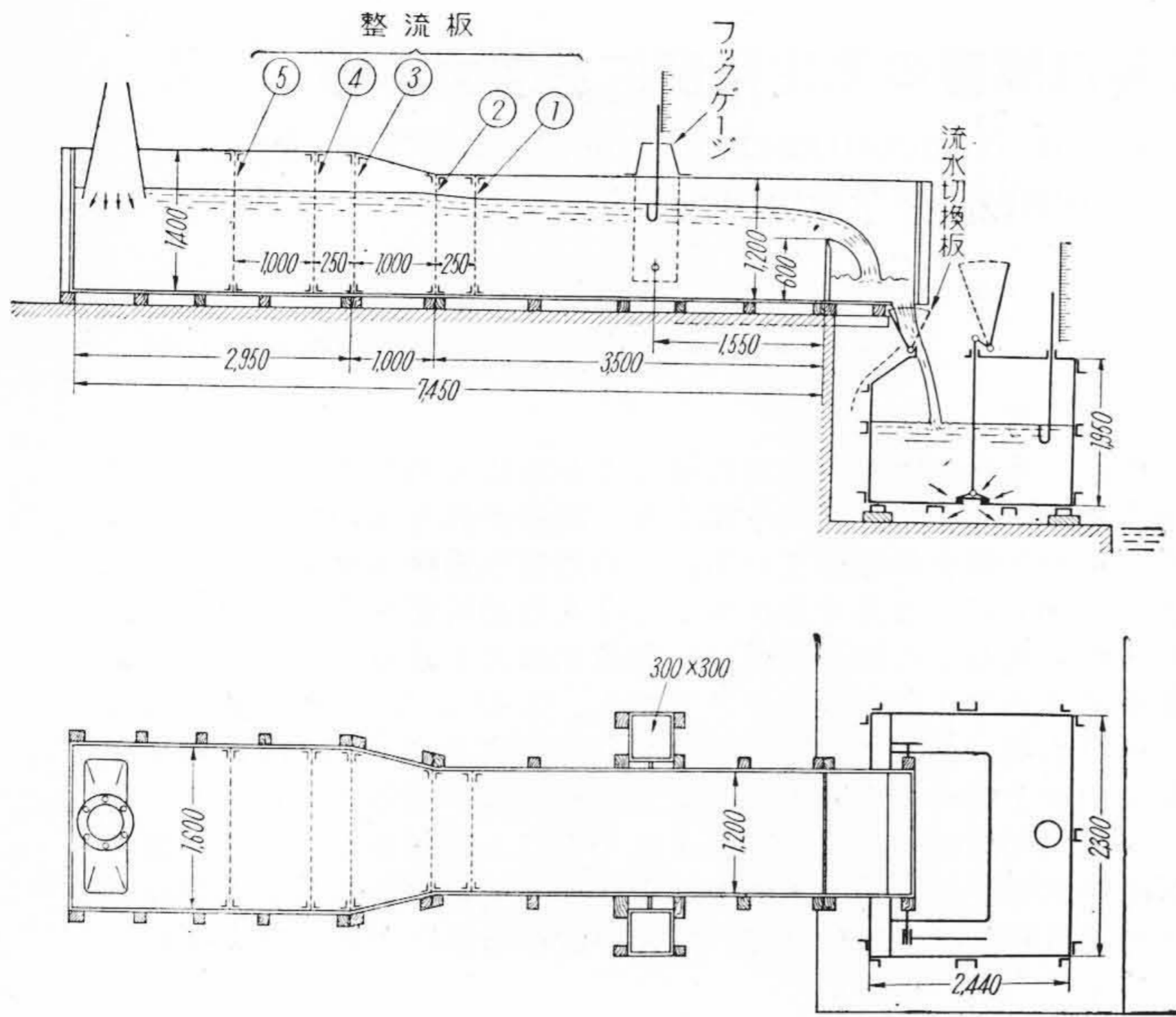
* 日立製作所日立研究所

うである。今回の経験から実験に際しては、これらの問題を軽視しては、測定の正確は期し難いことがあきらかとなつたので、各方面の注意を喚起するとともにこの実験結果は今後の現地発電所などの流量測定における整流装置の設置に当り大きい警告を与えるものと考えられたので、ここに報告する次第である。

〔II〕 試 験 装 置

第1図に試験に用いた全幅せきの構造を示した。このせきの設計にあつては、横浜大学黒川教授⁽²⁾の研究結果を参考としたものであり、図に示したごとく、①～⑤の5箇所に整流板を設置した。これらの整流板の材料は、打抜鋼板 (7 mmφ孔, ピッチ 10 mm, 厚さ 3.2 mm) である。前にも述べたように整流部のわずかの差異により流量が異なることに気付いたので、この影響を知るためにせき板にもつとも近い①の整流板の直上流に第2図に示すような A, B, C の3種類の遮蔽板を順次に入れて、これらがせき流量に及ぼす影響を調べた。すなわち A はせき底附近を遮蔽したもので、その高さを $l = 0, 100, 200, 250, 300$ mm と変え、(B) は水面より 300 mm の部分を遮蔽し、(C) は幅 60 mm の帯板を縦縞に 6 枚入れたものである。

せき板を越えて流れる流量は量水タンクで検定するが、このような実験においてもつとも誤差の入りやすい点は、量水タンクの流入時間の測定であるが、その正確を期するために第3図のような装置を工夫した。すなわ



第1図 実験装置

ち量水タンクへの流出入の時刻を正確に指示させるため、切替板の先端に移動電極を設け、これが流水を切断する間だけ電流が流れるのをオシログラムに記録せし

め、同時に電波研究所より発信 (J.J.Y.) される標準時間を記録させて、これら2つより流入時間を求めた。第4図はこのようにして求めたオシログラムの例である。

〔III〕 試験結果

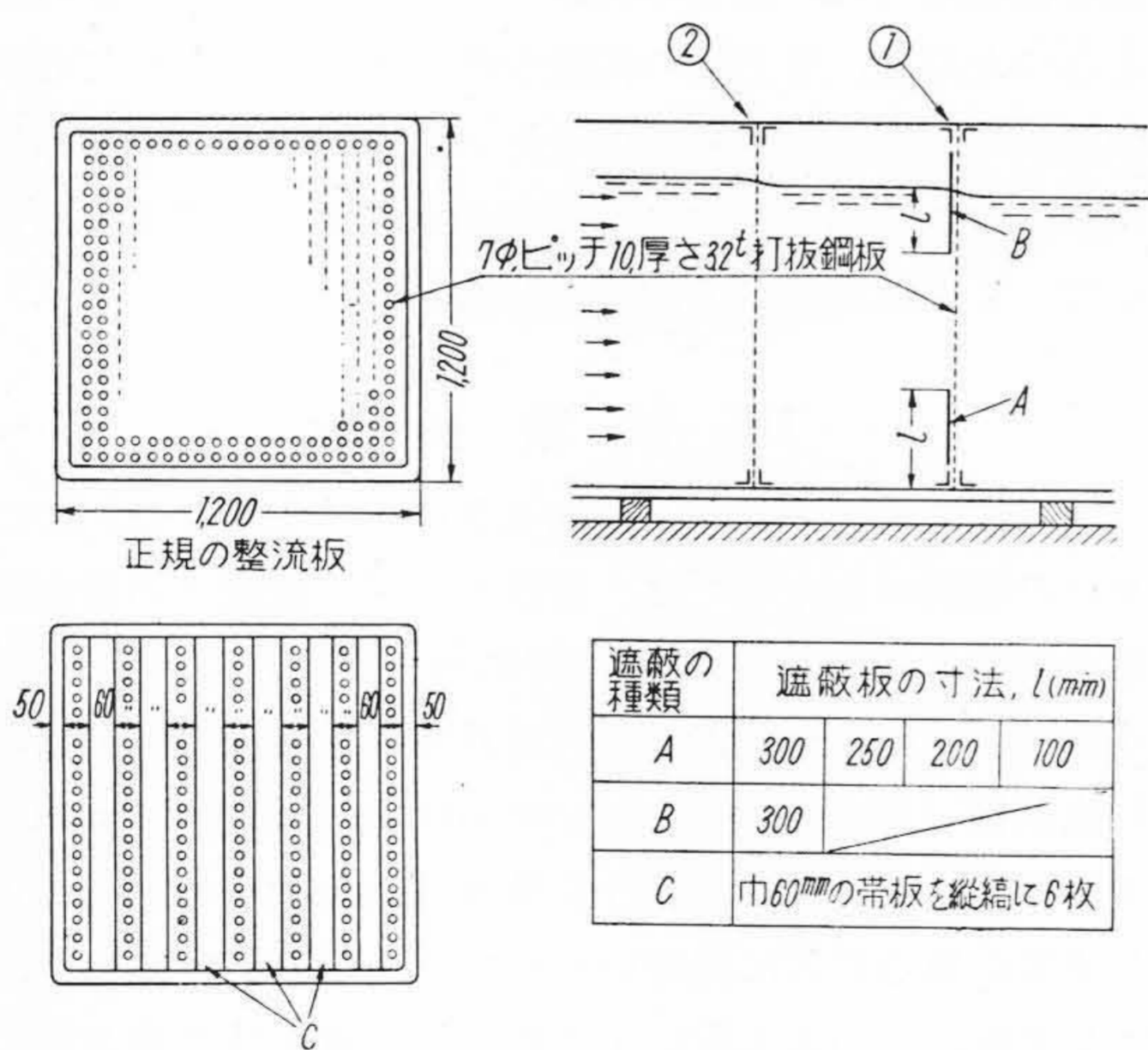
整流板遮蔽の影響の比較基準として、まずこのせきの正常流量を求めた。この場合特に整流板に塵芥などがつまることのないように注意した。第5図(a), (b)はこの試験結果を示す。第5図(a)はレーボック公式、スイス工学会公式、フランシス公式(第二近似値)およびバザン公式の4公式と測定値とを比較したものである。一般に平坦せきの流量は次の式で与えられる。

$$Q = \frac{2}{3} C \sqrt{2g} B H^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots (1)$$

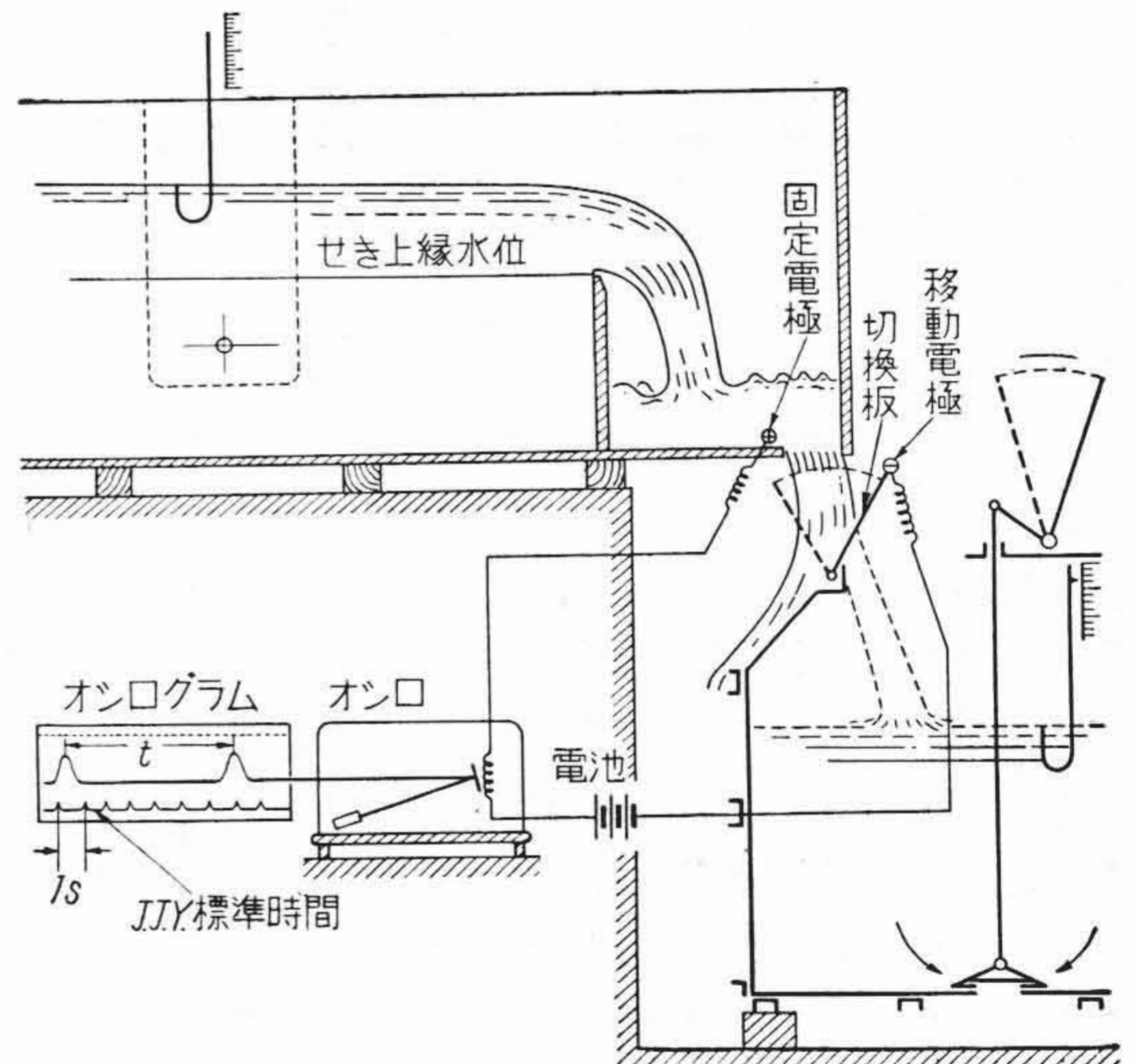
ここに B はせき幅、 H はせき上水頭であり、 C は流量係数である。上記4種の公式

は(1)式の原型は同じく、その C の値としてつぎのような形を与えているものである。

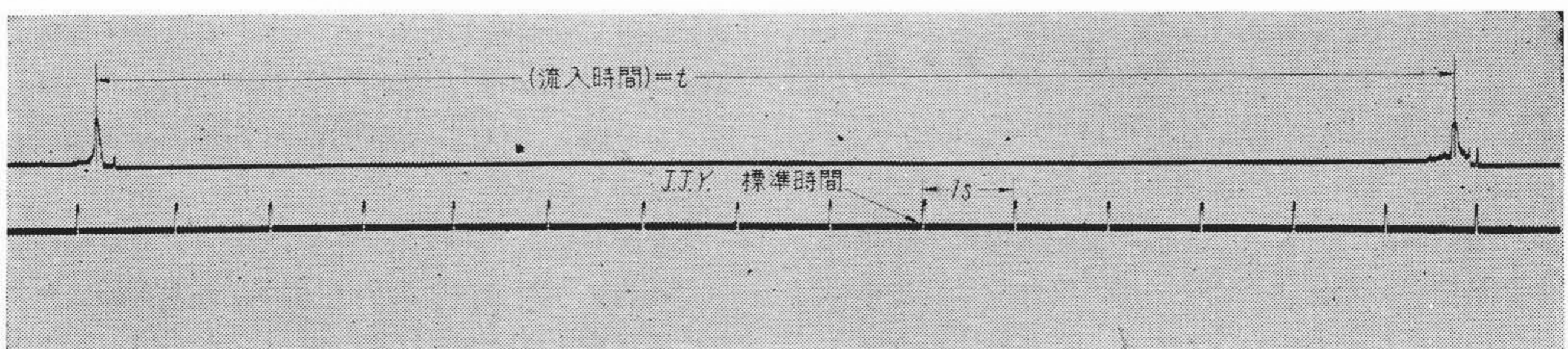
レイボック公式 (1913年公式)



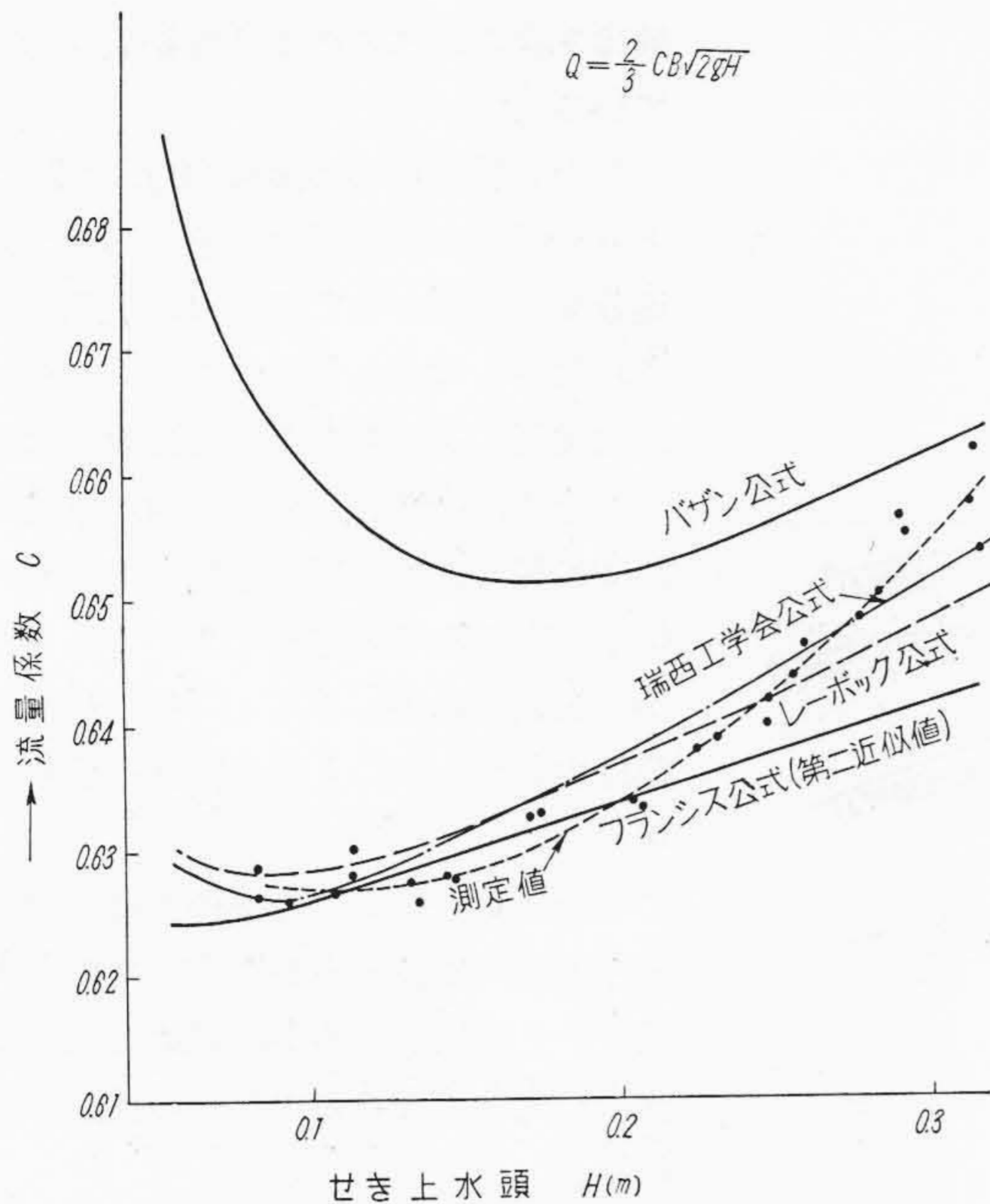
第2図 整流板の構造



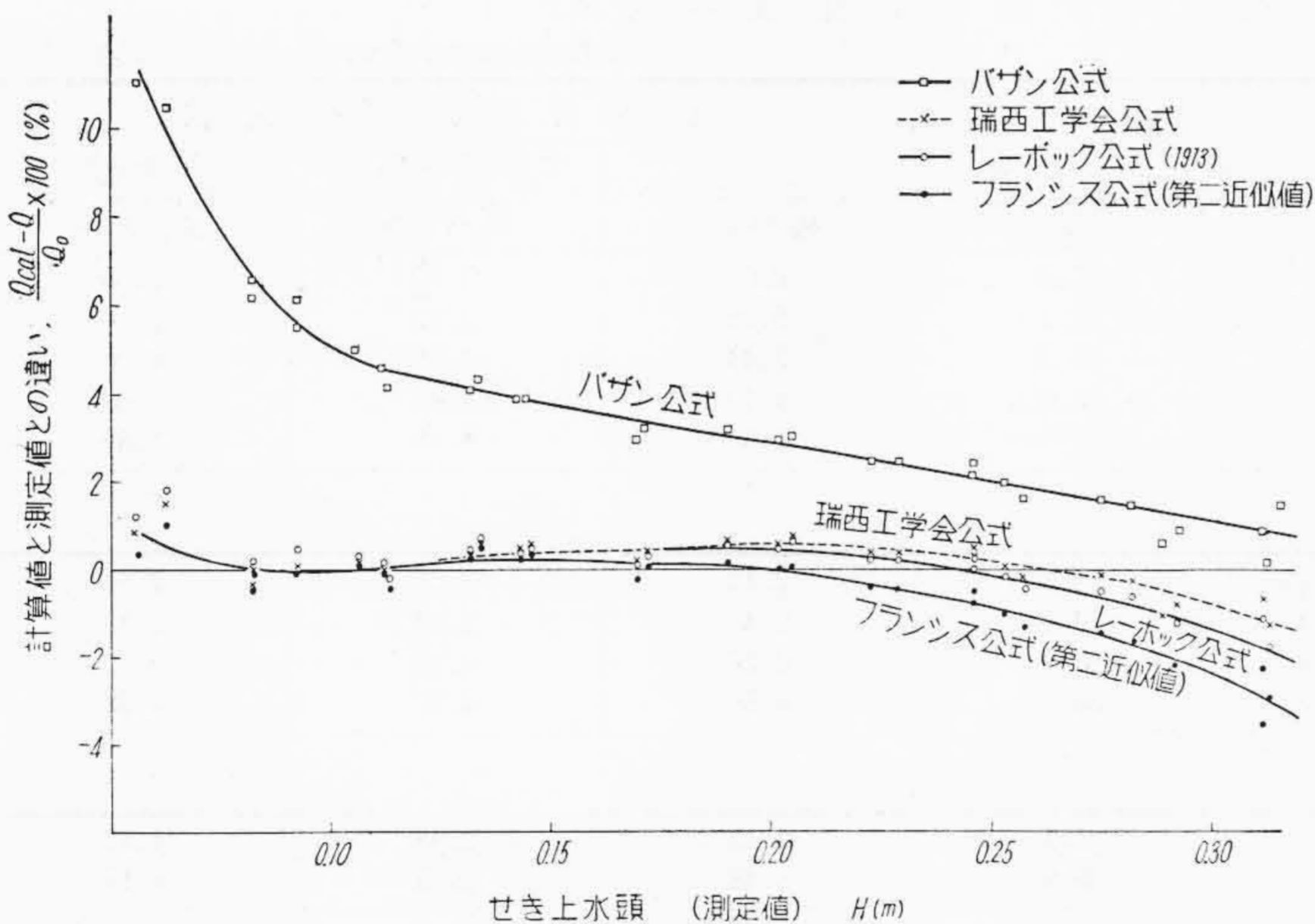
第3図 ポオリウムタンク流入時間精密測定装置



第4図 量水タンクへの流入時間を記録したオシログラムの一例



第5図(a) 流量係数の比較



第5図(b) 流量計算値の比較

$$C = 0.605 + \frac{1}{1,000H} + 0.08 \frac{H}{D} \dots\dots\dots (2)$$

スイス工学会公式

$$C = 0.615 \left(1 + \frac{1}{1,000H + 1.6} \right) \left[1 + 0.5 \left(\frac{H}{H + D} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (3)$$

フランス公式 (第二近似値)

$$C = 0.623 \left[1 + 0.2 \left(\frac{H}{H + D} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (4)$$

バザン公式

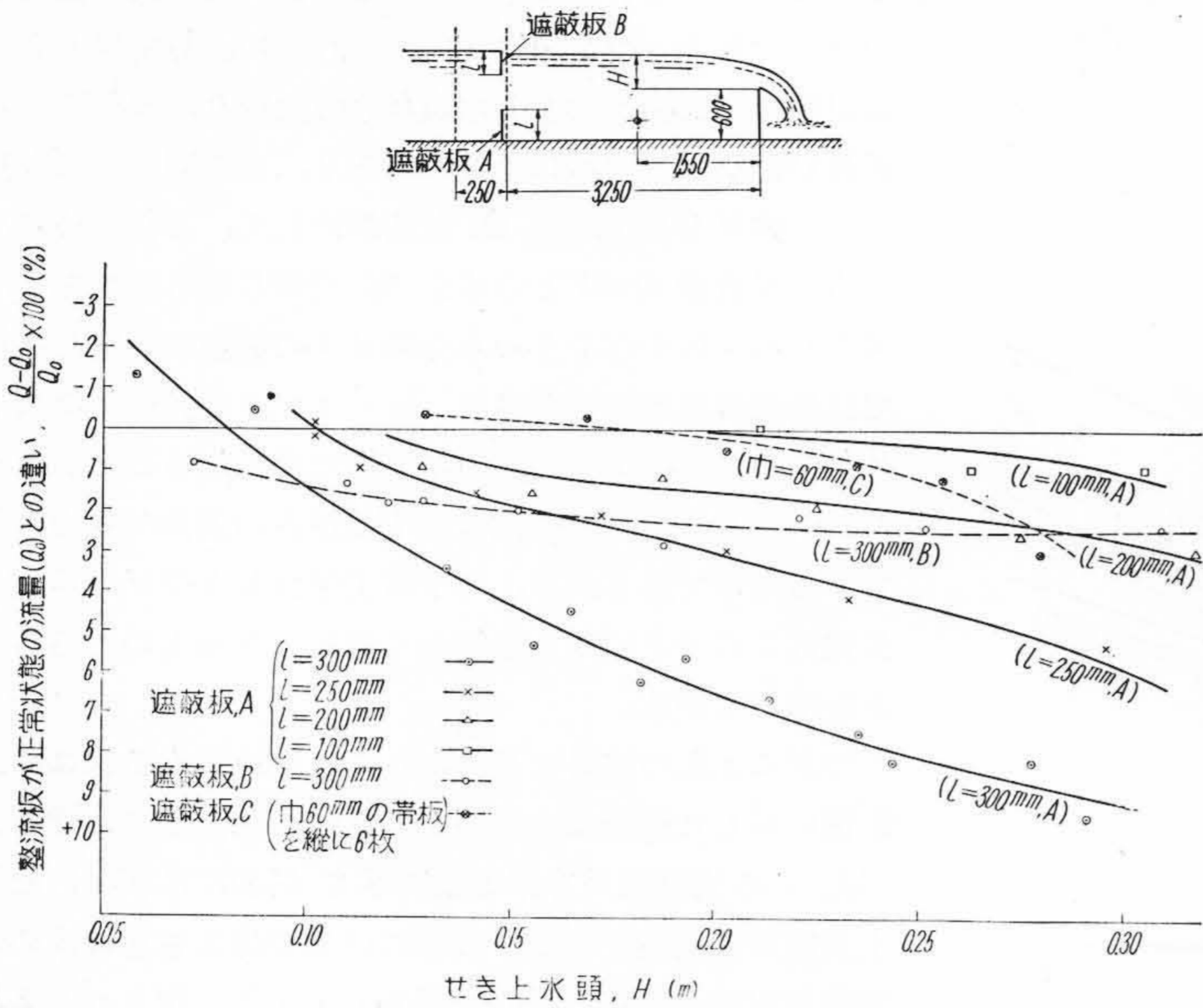
$$C = \frac{3}{2} \left(0.405 + \frac{0.003}{H} \right) \left[1 + 0.55 \left(\frac{H}{H + D} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (5)$$

ここに D は下底よりせき上縁までの高さで、第1図では 0.6 m である。第5図 (a) はこれらの計算結果および測定値を、横軸にせき上水頭 H (m) を取り、縦軸に流量係数 C を取って図示したものであり、また同図の (b) は同じ結果を測定流量 Q_0 を基準にして、これと公式による計算流量 Q_{cal} との差を % で示したものである。図よりあきらかなように本全幅せきの流量は正常な状態では最大流量の付近を除き、レーボック公式およびスイス工学会公式によつて僅少の誤差で得られることが認められた。せき流量の公式は $\pm 1\%$ 以内の誤差が認められているものであるから、スイス工学会およびレーボック公式はこのせきに対し無理なく適用しうるものであることを示している。

つぎに上記の結果を基準として、整流装置の状態を第2図に示した遮蔽板を使用して変化させ、その影響を調べた。この実験結果を第6図に示す。同図には横軸にせき上水頭の測定値を取り、縦軸には測定値とせきに求めた基準測定値との差を % で現わしてある。図よりあきらかなように (A) は遮蔽板の長さ ($l = 0, 100 \text{ mm} \dots 300 \text{ mm}$) が変わると測定値は基準流量よりも著しく大きい値を示すことになり、その差は最大 9% 以上にも達した。また (B) のごとく水表面より遮蔽板を入れた場合も、測定流量は基準値よりも大きい値を与えるが、その影響は (A) の場合よりも少ない。(C) は幅 60 mm の帯板を縦縞に6枚入れた結果であるが、この場合も流量が大きくなると (A), (B) と同じ方向の誤差が現れる。

〔IV〕 結果の検討および Schoder および Turner 氏らの実験結果との比較

全幅せきにおいては、せき板に近寄る流水の流動状態により結果に著しい差異が生ずることについては、Schoder および Turner 氏らが広範な実験により指摘している。とくに水路内の流速分布の形状が大きく影響し、このために第7図に示したように、水面近くおよびせき底附近に遮蔽板を設けて、これらの作用で水路の流速分布を強制的に変化させた実験を行っている。このようにして行われた実験結果の一例を第8図 (a) および第1表 (a) に示したが、これらの結果よりあきらかなごとく、水面近くの流速が速いほど、せき流量は同一のせき上水頭に対して大きくなることわかる。同氏らのほかの数多くの実験も大体同様な傾向を示しており、今回の遮蔽板 A を設置した実



第6図 流量の変化

験はあきらかにこのような結果を示している。

しかし筆者らの遮蔽板(B), (C)をとりつけた実験結果は, 上に述べた流速分布の相違からだけでは, 説明しきれないものがある。すなわち(B)では水面近くを遮蔽したから流速は水面でおそく, せき底において速く上述の傾向に従えばこの場合には上と反対の結果が得られると考えてよいであろうか。実験の結果によると, その程度の差は少ないが, (A)と同じ方向に誤差が現れた。

また(C)のような条件では, 流速分布の傾向は整流板が正常なものと大差ないと推定されるが, 試験結果では流量が大きくなるとかなりの差異が現れる。

本実験では水路内の流速分布を測定

第1表 流速分布の違いと流量の変化

(a) (Schoder and Turner 氏らの実験結果)

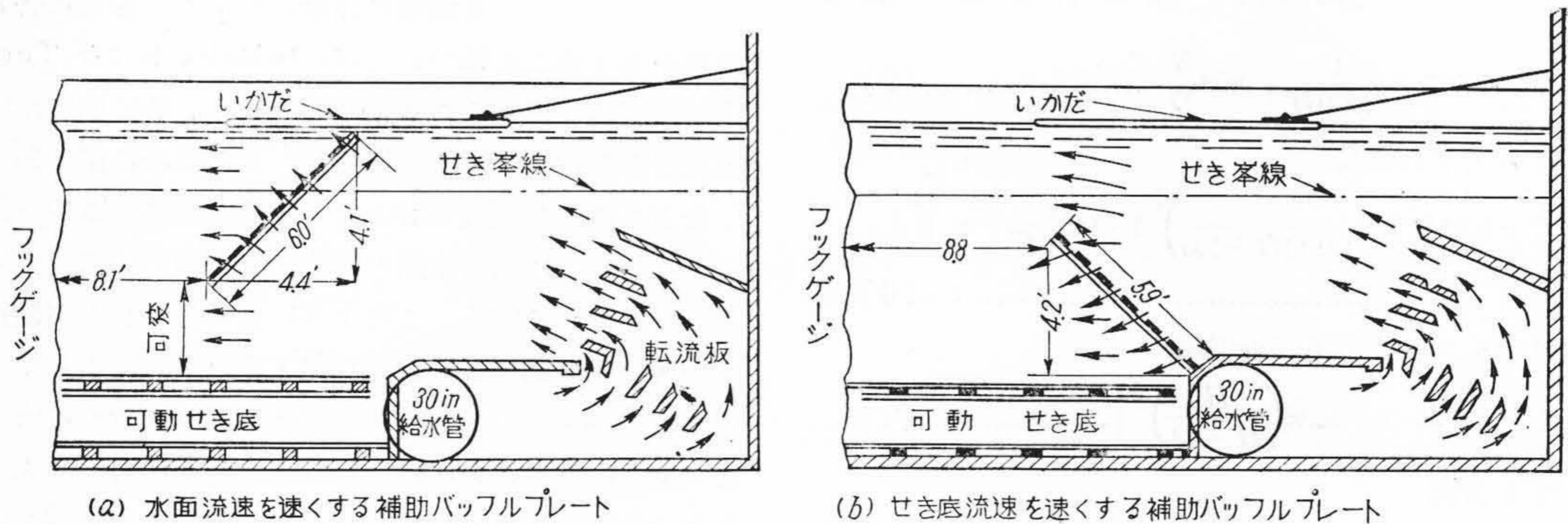
試験番号	せき水頭 (測定値) (f/t)	流 量 (ft ³ /s)	誤 差 (フランス公式による 計算値との違い (%)	水路内の近寄り速度		
				表面流速 v_s (ft/s)	せき峯線より上の 平均流速 v_a (ft/s)	せき峯線より下の 平均流速 v_b (ft/s)
95~99	2.2492	11.750 (正 常)	5.0	2.05	1.99	1.38
100~104	2.2296	14.211 (バップル No. 1)	27.1	5.08	4.71	—
105~109	2.2905	13.312 (バップル No. 2)	16.8	5.44	3.82	0.86
110~114	2.2626	12.315 (バップル No. 3)	8.6	4.13	2.89	1.09
115~119	2.2546	11.490 (バップル No. 4)	1.1	1.50	1.12	1.69

(b)

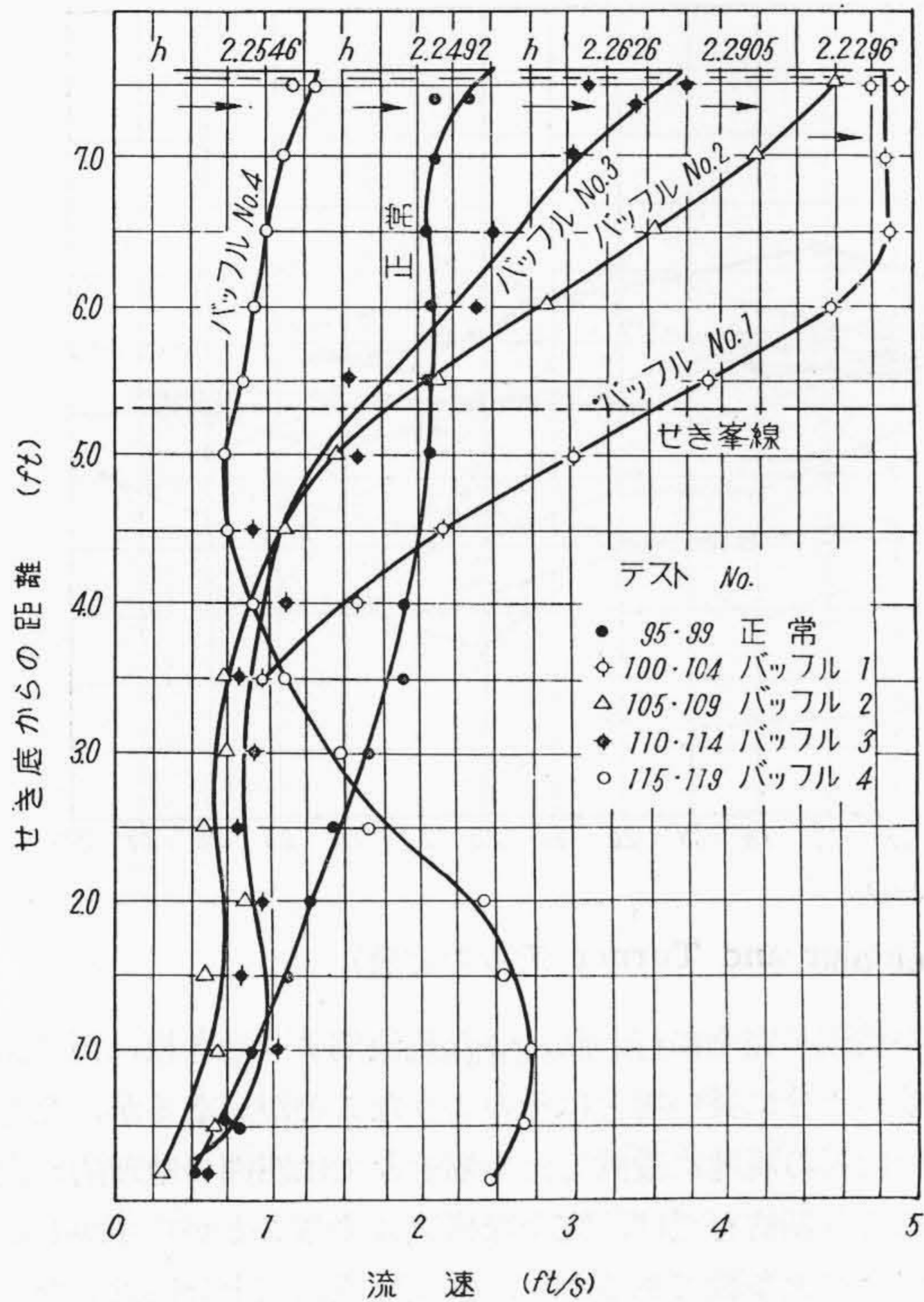
41~45	1.0031	3.8228 (正 常)	14.3	2.44	2.27	2.04
46~50	1.0069	3.9047 (バップル No. 1)	16.1	2.41	2.28	2.10
76~80	2.0087	12.266 (正 常)	29.4	4.27	4.55	4.12
81~85	2.0009	12.692 (バップル No. 1)	34.7	4.53	4.77	4.36

(c)

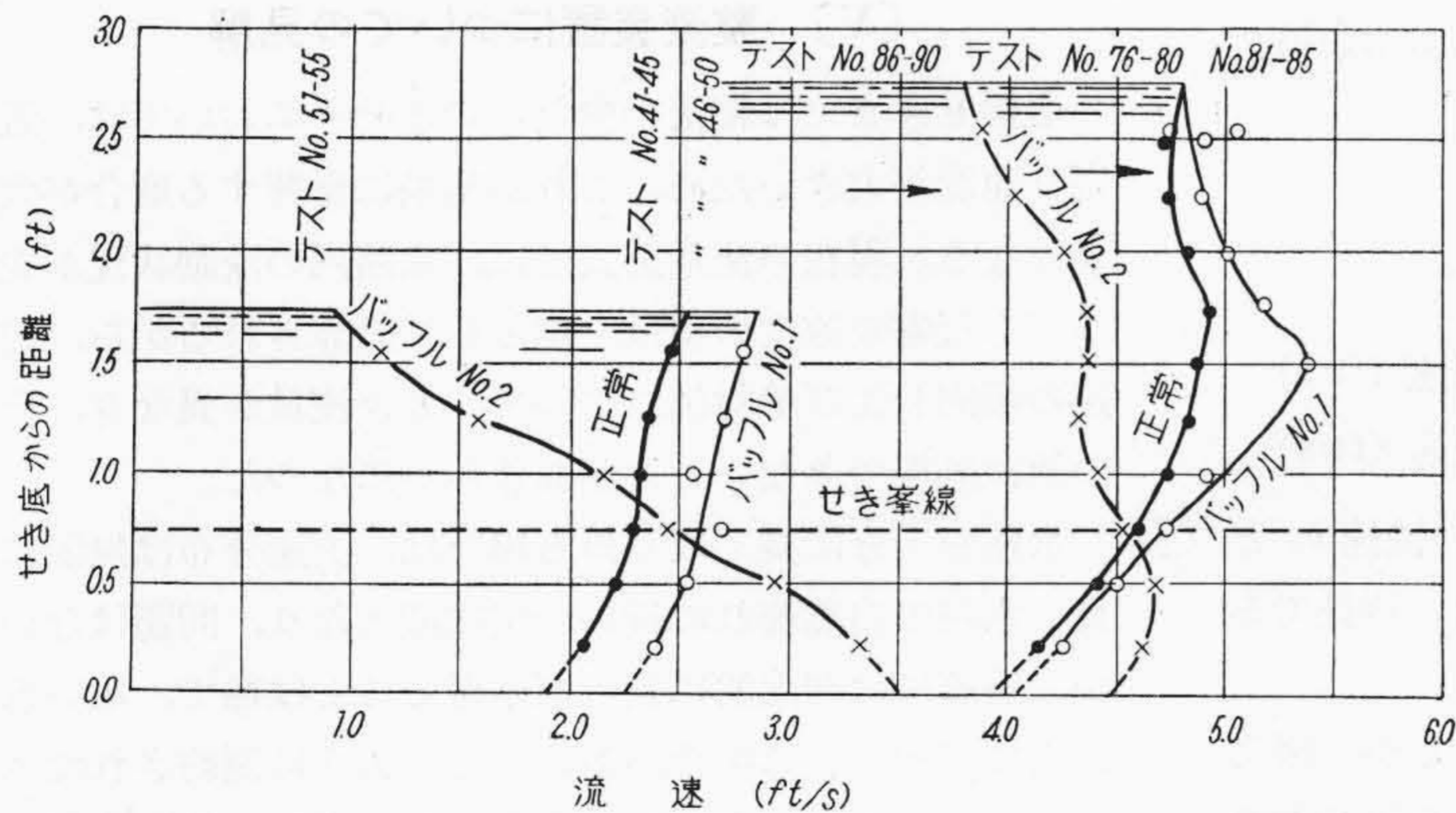
69~73	1.9946	10.521 (バップル No. 3)	1.5	5.10	2.98	1.12
74~78	2.0036	10.198 (バップル No. 4)	8.0	3.48	2.45	1.17



第7図 Schoder and Turner 氏らが実験に用いた流速分布を変える装置



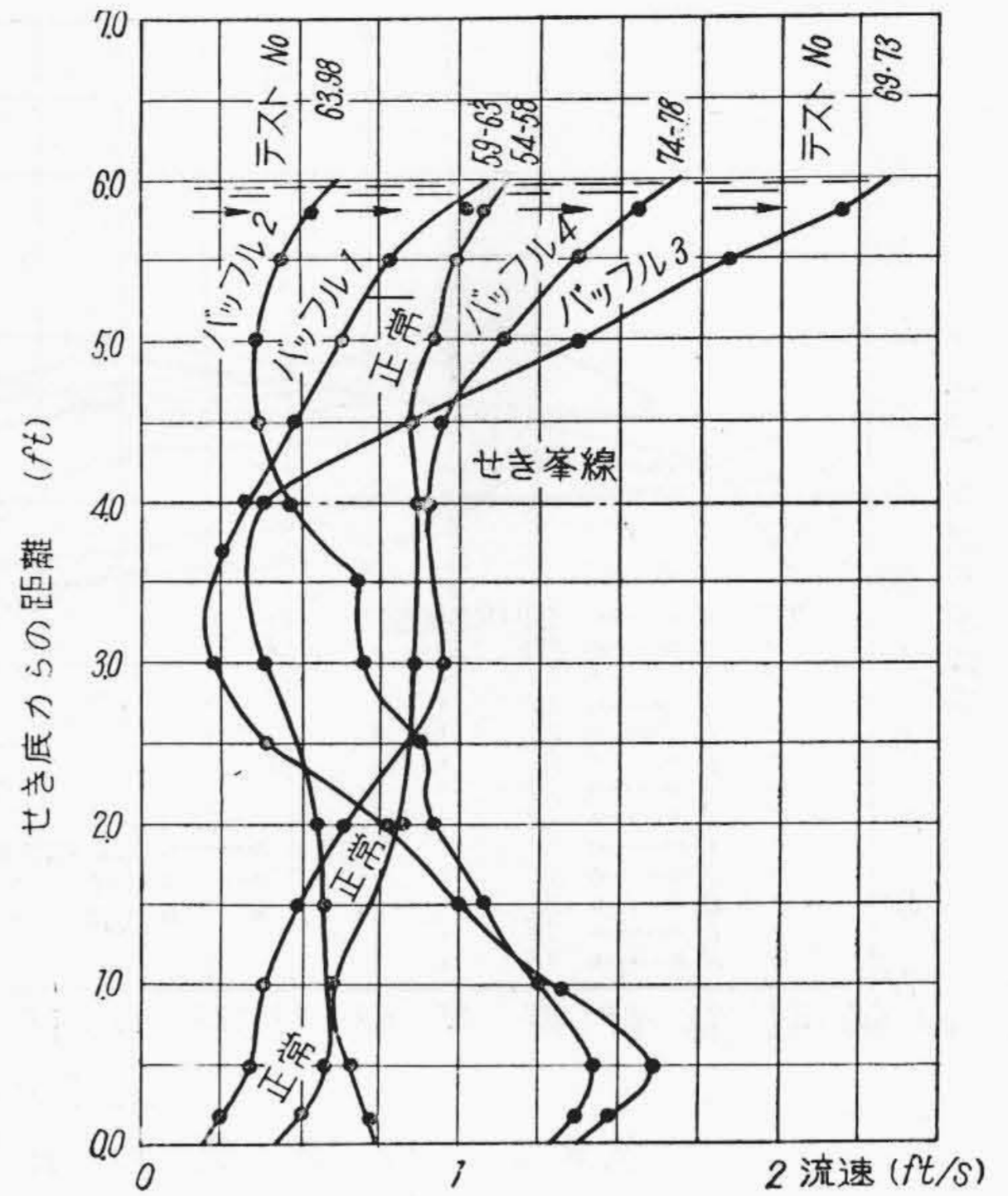
第8図(a) 水路内の流速分布 (Schoder and Turner 氏らの実験)



第8図(b) 水路内の流速分布 (Schoder and Turner 氏らの実験)

していないので、これらの結果に対して決定的な説明はできず、推定の範囲を越えないが、Schoder および Turner 氏らが行った多数の実験の中には、今回の(B)、(C)と同じような結果が現れており、これらを合せ考えると一応次のような考え方が成立する。

第8図(b)に示したのは、Schoder および Turner 氏らのほかの実験例であるが、同図において正常とあるのは、第7図に示したバップルを使用しない正規状態の



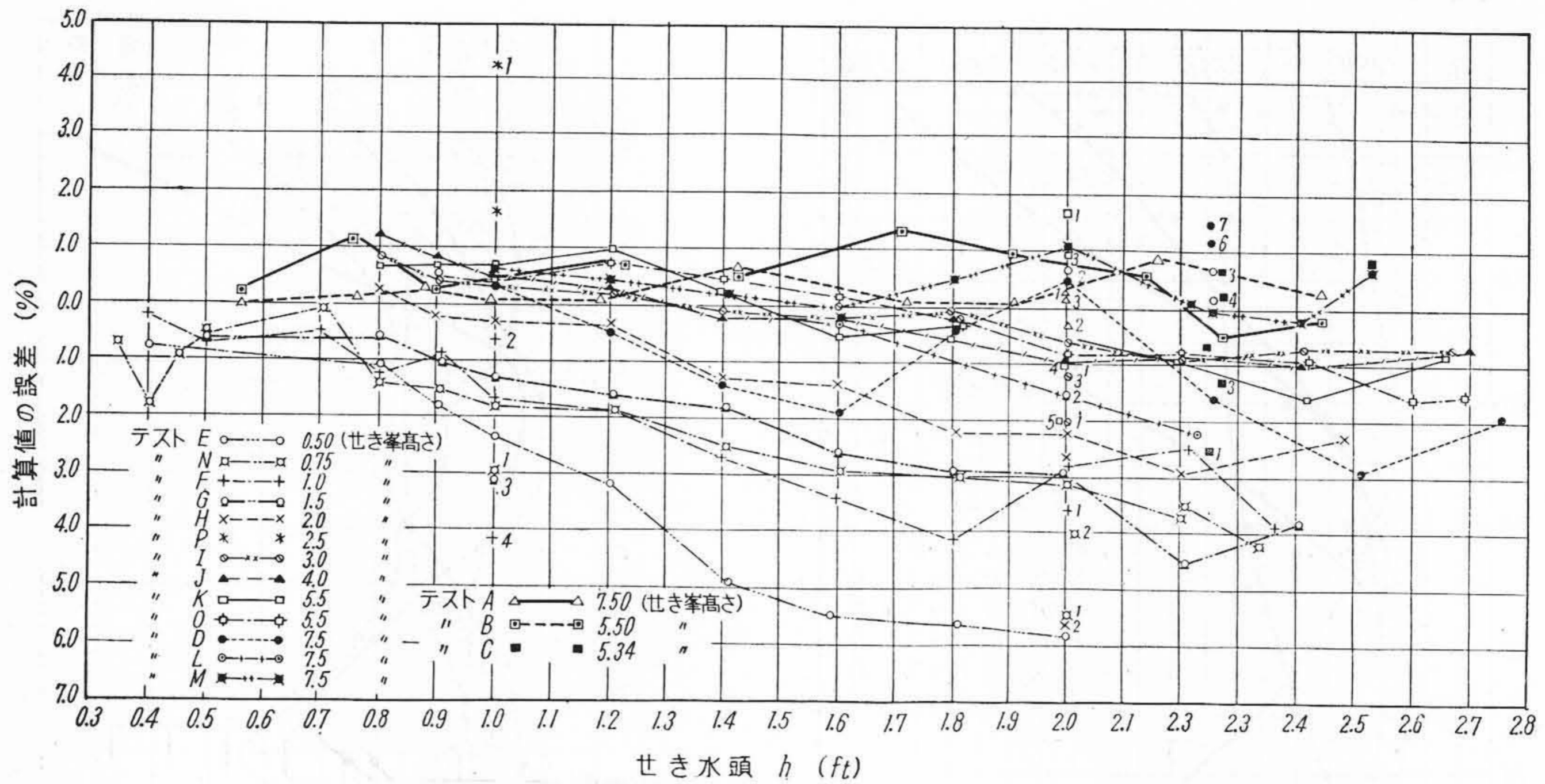
第8図(c) 水路内の流速分布 (Schoder and Turner 氏らの実験)

流速分布で、これとバップル No. 1 の場合とを比較すれば、両者において流速分布の傾向は大体同じであるが、結果は第1表(b)に示されるごとく相当に異っている。この実験例と今回の実験結果(c)とを合せ考えると、

次のように説明することができる。すなわち第8図(b)では、正常の場合とバップル No. 1 の場合では、バップルを入れた場合の方が流速の絶対値が大きい。また第6図(c)の実験例では、遮蔽板は帯板を縦縞に入れたものであるから、流れに沿って垂直断面内の流速分布は正規のものと大差ないと推定されるが、流速は遮蔽を行つた方が大きいものと見ることができる。すなわち遮蔽を行うことにより整流部の抵抗がふえて、前後に水圧差が現われ、この水圧差のエネルギーの一部は整流部を通過する際に損失となつて消費されるが、一部は速度水頭の形で水路内の

の流れに付加されるはずである。このために整流板を離れた下流においても、遮蔽板を入れた場合の方が水路の流速の絶対値が大きくなつたものと推定される。したがって水路の流速分布の形状は同一でも、絶対値が大きくなると、第8図(b)および第6図(c)の実験例のごとく同一水頭で実流量は増加するものと推論される。

また第8図(c)に示した例において、バップル No. 3 と No. 4 とを比較すれば第1表(c)に記載したように、



第 9 図 計算値の比較 (Schoder and Turner 氏らの実験)

水面附近の流速の大きい No. 3 の流量が No. 4 よりも少なく、さきに示した第 8 図 (a) の例と相反する傾向がある。

Schoder および Turner 氏らは、その多数の実験結果をまとめるために、水路内の流速分布をも考慮して次のような流量公式を発表している。

$$Q = 3.33B \left[\left(H + \frac{v_a^2}{2g} \right)^{\frac{3}{2}} + \left(\frac{v_b^2}{2g} \times H \right) \right]$$

(ft sec 単位).....(6)

- ただし Q = 水量 (ft³/s)
- B = せきの幅 (ft)
- H = せきの水頭 (ft)
- v_a = せき板上縁より上部の平均流速 (ft/s)
- v_b = せき板下縁より下部の平均流速 (ft/s)

上式はせき板上縁より上の流速 v_a と、下の流速 v_b とを考慮しているのが他の公式には見られない特長である。

第 9 図にこの式で計算した結果を示しているが、図よりあきらかなごとく、このような考えでも、全幅せきの流量を正しく表わしえないものといえる。

以上を要約すれば、さきに Schoder および Turner 氏らが指摘したごとく、全幅せきにおいては水路内の流速分布が異なれば、結果に大きく差が表われることは今回の試験結果でもまったく同じであるが、近寄り水路内の流速分布の傾向が同じでも、その絶対値の大小がまた精度に大きい影響を及ぼすものであることは、従来閑却されがちであつたところで、筆者らは特にこの点を強調したい。レーボック公式およびスイス工学会公式などは良く正確な値を示すものと見られているが、これは水路

の整流が完全に行われ、また整流部よりせき板に至る距離が十分に長い場合はそのようなことがいえるが、発電所などの現地に設置した全幅せきでは四囲の地理的理由により制約を受け、完全な構造にすることがむずかしい場合が大多数であるから、整流装置には十分注意しないと正確な値を求めることは期待し難いものといわねばならない。

〔V〕 整流装置についての見解

全幅せきまたは縮流の少ない量水せきにおいては、近寄り速度が大きいため、これが結果に影響する度合いが大きくなる。現在の流量公式では、水路内の流動状況が変わっても近寄り速度の項は一定として計算されるから、流速の傾向および絶対値によつて、せき流量が異なり、その値は無視できないことがあきらかになつた。

水路を十分に長く取り得る場合は、流速分布は無限に長い水路の自然流れに近い一定状態となり、問題はないが、実際には理想的に長く取り得ることは稀で、短い水路内に制約される場合が多い。このように制約された区間内においても、安定した自然流れに等しい流動状況を保たないと正確な流量は求め得ないことになり、いかにして短水路内で自然流れに近い流れを再現し得るかが、規格制定の根本精神であると考えられる。

短水路において、その流れが長水路と同様な自然流れを再現するとすれば、その主要な役目を果すのは整流装置であるべき筈であり、この意味において整流装置は重要な一要素であることが深く認識されなければならない。

一般に整流装置としては整流板または整流格子が採用されるが、その際一挙に整流効果を挙げようとする

いきおい格子の目の細かいものになり勝ちで、その結果として整流部の流体抵抗が大きくなりすぎ、整流装置前後の水圧差がはなはだしくなり、流体に余分の速度水頭を附加することになる。このことは前述のように自然流れにさらに余分の速度水頭が加わるため真の流量を現わし難くなる。この現象をさけるためには最初に流れにおける大流速部分と小流速部分とを混流させるだけの装置を設け、これによつて大きい不均一の流れを除きその後で、この混流を整流するための、流れの方向に向つた、なるべく抵抗の少ない薄い板で組立てられた整流装置をおくようにすればよいと考えられる。

このような整流装置がはたして現用の習慣的な整流装置にくらべて、さらに整流効果をあげ得るか否かについては、実験的な根拠がないので確言できないが、今回の実験結果から見ると、このような考慮を施さず、単に習慣的な整流を行うよりも少くとも原理的にはすぐれているといふことができる。

従来採用されているせきの規格においても、その整流装置は一応確実な実験結果に基づいて決定されているわけであるからそれ自体としてはまったく信頼してよいものと考えられるが、現地での使用に対してはせき測法の精度向上のために整流装置について一段と考慮を要することを強調した次第である。

〔VI〕 結 言

最近水力発電所の流量測定法として、全幅せきが盛んに使われるようになったが、その精度に影響する諸因子については実験結果が少ないため、実験上困却する場面が多いようである。ここに筆者らは実験用全幅せきを使つて、整流状態と測定精度との関係についての二、三の実験を行つた結果つぎのようなことがあきらかにされた。

- (1) 整流部の構造の差、または塵芥などが整流装置の一部に付着したような場合でも水路内の流動状況が変化し、せき流量には誤差が生ずる。
- (2) さきに Schoder および Turner 氏は全幅せきにおいては、水路内の流速分布の傾向が結果に著しい影響を与えることを指摘しているが、今回の実験によつてもその事実が確められた。
- (3) 流速分布の傾向ももちろん問題であるが、傾向とともに流速の絶対値も結果に著しい影響を与え、誤差の原因となるものであることが推定されるに至つた。

参 考 文 献

- (1) E. W. Schoder and K. B. Turner: Traus, A.S.C.E., 93, 999 (1929)
- (2) 黒川: 日本機械学会誌, 55, 759 (昭 27)
- (3) 沖: 水力学, 161

難燃性を誇る

スタンドライトの 積層板



火気を警戒する船舶・建築物・車輛等の構成材料として特に注目されております。

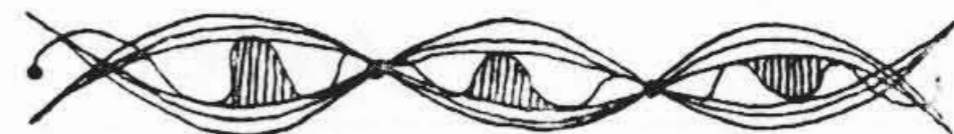
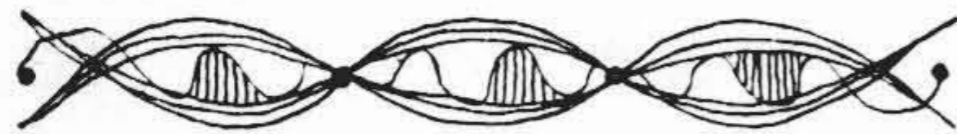
乾燥が速い
絶縁用
コイルワニス

サーモセツトワニス 日立電気絶縁材料

スタンドライト (フェノール樹脂製品) タガライト (ユリア樹脂製品)
ワニスクロス ワニス・コンパウンド マイカナイト

東京 大阪 名古屋 福岡 仙台 札幌

日立製作所



最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その2)

(第8頁より続く)

区別	登録番号	名称	工場別	氏名	登録年月日
実用新案	455547	X線写真撮影台における暗箱などの固定装置	亀戸工場	和正 脩平	31.12.25
"	455548	X線写真取枠保持装置	亀戸工場	田林 正長	"
"	455549	X線管球支持装置	亀戸工場	小市 正長	"
"	455550	X線透視台と管球支持器の連動装置	亀戸工場	和松 正長	"
"	455553	X線管球支持装置	亀戸工場	和小 正長	"
"	455554	X線写真撮影台の移動装置	亀戸工場	和野 正長	"
"	455555	X線透視台における踏板上下動装置	亀戸工場	和小 正長	"
"	455556	油圧操作式X線断層撮影装置	亀戸工場	和小 正長	"
"	355557	X線写真撮影台における写真取枠などの固定装置	亀戸工場	伊和 正長	"
"	455560	遊星歯車式減速機構における防音防振装置	亀戸工場	伊藤 虎男	"
"	455567	温度継電器	亀戸工場	松田 幸次郎	"
"	455590	スタッド型碍管	亀戸工場	吉原 敏男	"
"	455592	押ボタンスイッチ	亀戸工場	松田 幸次郎	"
"	455611	油圧押上機の作動速度調節装置	亀戸工場	橋本 幸次郎	"
"	455546	自動電話交換機用ロータリースイッチ	戸塚工場	中野 富雄	"
"	455551	上昇回転型自動交換スイッチ	戸塚工場	中野 誠夫	"
"	455552	ロータリースイッチのバンク用ブラッシバネ	戸塚工場	丹野 敏一郎	"
"	455558	電話機	戸塚工場	田口 三誠	"
"	455568	自動電話交換機のロータリースイッチ	戸塚工場	山田 智夫	"
"	455579	電話機ダイヤル	戸塚工場	小中 智季	"
"	455580	電話機ダイヤル用フィンガーストップ	戸塚工場	成田 八男	"
"				坂北 蔵志	"
"				小若 林松	"
"				北村 準	"

(第63頁へ続く)