

流体の方向転換を伴う諸問題 (第3報)

緒方正幸*・上松順二**

1. 序

流体の方向転換に際し適用出来る系統的理論を確立する目的での流体力学的特性を調査してきた^{(1),(2),(3)}。この第3報においては実験試料管として1・1/4インチアクリル管並びに1・1/4エルボを用いて流体力学的特性調査研究を卒研生、岩井孝雄、屋代康人、宮崎洋一、岸成生諸君の手で実施した。

本実験は目下続行中であってその成果は昭和58年春の日本機械学会学生会発表と秋の同大会の論文発表を目標としてとりまとめ中である。所で実験に際し、オリフィスの取扱い上の問題として、まだ文献になくかつその使用上重要な影響を持つ、オリフィス部の前後に出来る渦の影響による気泡停滞現象を発見した。これはいわゆるキャビテーションの一種かも知れないが、静圧が文献で言われるキャビテーション発生限界よりはるかに高い所で発生し、音も発生せず不透明な配管内で起きておれば当然気付かぬものである。

以下にオリフィス取扱い上の問題に的をしぼってまとめた。

2. 記号

- d : パイプ直径 (=32 mm)
 $A1 \sim A5$: テスト部上流管の計測点位置 (第1エルボより上流に)
 $C1 \sim C4$: テスト部中間管の計測点位置 (第1エルボより下流に)
 $E1 \sim E5$: テスト部下流管の計測点位置 (第2エルボより下流に)
 p : オリフィス設定圧力差
 Δp : オリフィスの計測圧力差
 Δh : 計測点 $A5$, $A4$ と $E5$, $E4$ の水頭平均値の差
 ((1)式参照)

3. 実験装置並びに実験方法

3.1 実験装置

実験装置は図1に、テスト部は図2に示す。実験用配管は内部観察が出来る様にアクリル管を用い、壁圧計測孔は上流管に5断面、下流管に5断面、中間管に2~4断面とし図3に示す通り1断面当り8ヶ所 (上流より下流に向って上を1とし時計方向に2, 3, ……

* 理工学部機械工学科助手 流体力学

** 理工学部機械工学科教授 流体力学

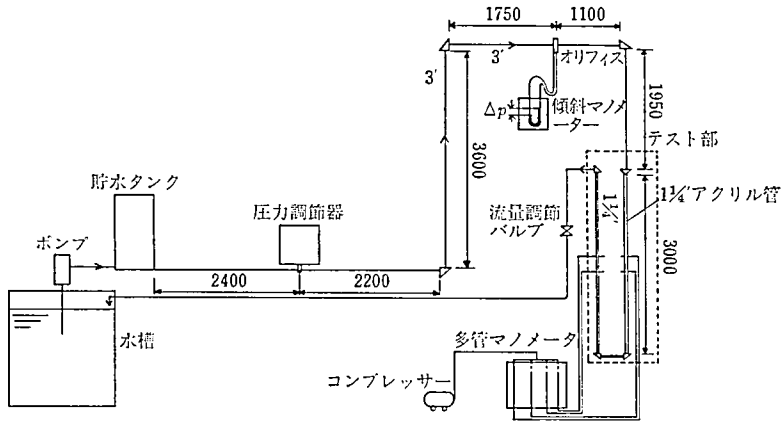


図 1 実験装置

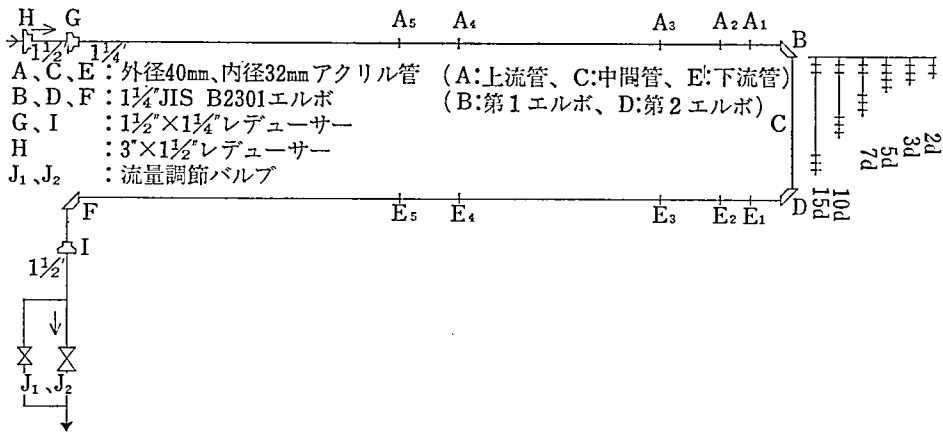


図 2 テスト部

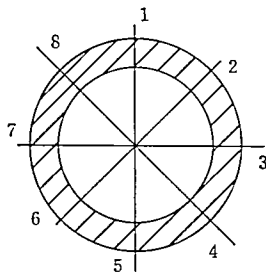


図 3 圧力取出孔

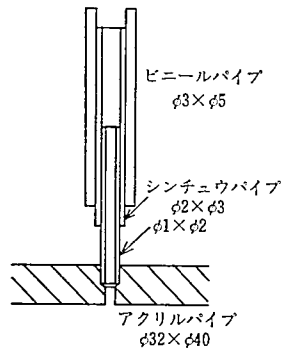


図 4 圧力取出口構造

表 1 実験用管長及び壁圧計測孔の位置

		ストレート部 (mm)	ネジ部 (mm)	全長 (mm)	測定孔の位置 l/d (mm)				
上流管	93.8 d	3000	35	3035	4 (128)	8 (256)	16 (512)	43 (1376)	51 (1632)
中間管	2 d	64	35	99	1 (32)				
	3 d	96	35	131	1 (32)	2 (64)			
	5 d	160	35	195	1 (32)	2 (64)	3 (96)	4 (128)	
	7 d	224	35	259	1 (32)	2 (64)	15 (160)	6 (192)	
	10 d	320	35	355	1 (32)	2 (64)	8 (256)	9 (288)	
15 d	480	35	515	1 (32)	2 (64)	13 (416)	14 (448)		
下流管	93.8 d	3000	35	3035	4 (128)	8 (256)	16 (512)	43 (1376)	51 (1632)

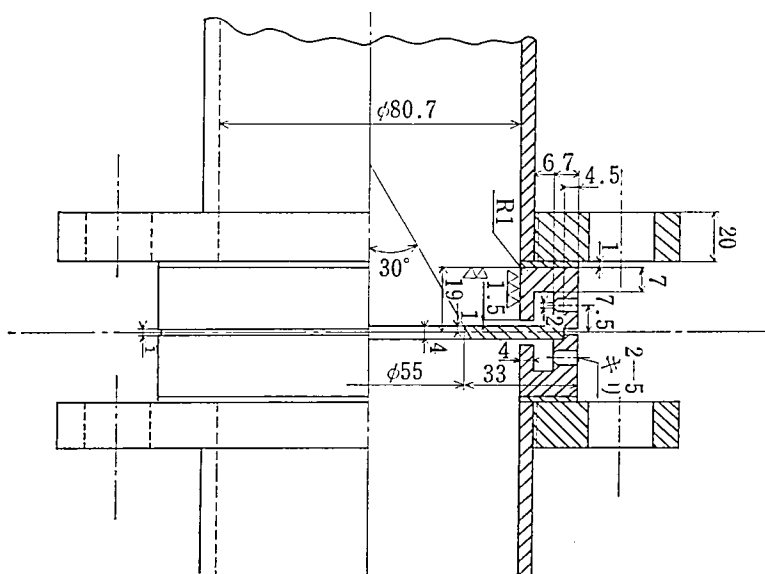


図 5 オリフィス寸法

8とする)である。なお壁圧計測孔は図4に構造を示す。実験用管の上流管，下流管の長さは $93.8d$ (3000 mm)，中間管の長さは $2d$ (64 mm) ～ $15d$ (480mm) の間で6種類とし表1に壁圧計測孔の位置を示す。

使用したオリフィスの構造を図5に示す。

3.2 実験方法

実験装置図1の圧力調節器によりポンプを始動し圧力約 $0.45 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ にセットして壁圧計測孔と多管マンノメーターをビニールパイプを用いて接続し，各々水頭を短時間に正確に計測する目的で写真撮影しそれを読みとる（この際パイプ内の気泡を完全に抜く，又，マンノメーター計測面は全領域が測定出来る様にマンノメーター上部にコンプレドエアーを注入して調節する）。流速はオリフィスより導かれたビニールパイプを傾斜マンノメーターに接続し，流量調節バルブを用いて4種類 ($\Delta p=30 \text{ mm}$ 流速約 2.4 m/s ， $\Delta p=40 \text{ mm}$

表 2

ケース	中間管	オリフィス 設定差圧 p	オリフィス 実測値 Δp	Δh	$\frac{\Delta h}{\Delta p}$	ケース	中間管	オリフィス 設定差圧 p	オリフィス 実測値 Δp	Δh	$\frac{\Delta h}{\Delta p}$																		
1	15 d	30	29.5	22.43	0.760	1	15 d	30	30.0	28.01	0.934																		
			30.5	22.55	0.739				29.0	28.26	0.975																		
			39.5	31.12	0.788				40	37.41	0.891																		
			41.0	32.17	0.785				42.0	36.77	0.875																		
			60.0	47.53	0.792				60	59.0	0.692																		
(21°C)			60.5	48.07	0.795				61.0	40.75	0.668																		
			80.5	65.04	0.808				80	83.0	0.773																		
			81.0	65.70	0.811				82.0	64.11	0.782																		
1	10 d	30	—	—	—	1	10 d	30	32.0	29.83	0.932																		
			29.0	21.97	0.758				30.0	29.51	0.984																		
			39.5	29.93	0.758				40	41.0	0.912																		
			40.0	31.19	0.780				42.0	36.79	0.876																		
			—	—	—				60	59.0	0.658																		
(21°C)			60.0	48.36	0.806				58.0	38.56	0.665																		
			80.0	60.66	0.758				80	79.0	0.703																		
			81.5	63.59	0.780				80.0	55.24	0.691																		
1	7 d	30	31.5	30.76	0.977	1	7 d	30	30.0	30.63	1.021																		
			31.5	29.42	0.934				31.0	30.177	0.992																		
			43.0	39.75	0.924				40.0	26.10	0.652																		
			43.0	39.85	0.927				40.0	26.76	0.669																		
			59.0	50.96	0.864				60	59.0	0.701																		
(22°C)			61.0	50.63	0.830				60.0	41.25	0.687																		
			81.0	67.48	0.833				80	78.0	0.685																		
			82.0	67.38	0.822				78.0	53.41	0.685																		
1	5 d	30	29.5	28.97	0.982	1	5 d	30	32.0	23.58	0.737																		
			28.0	29.65	1.059				33.0	23.53	0.713																		
			40.5	36.63	0.904				39.0	26.94	0.691																		
			50.0	44.62	0.892				39.0	27.03	0.693																		
			74.5	62.92	0.845				60	59.0	0.730																		
(22°C)			74.5	62.53	0.839				60.0	43.23	0.721																		
			82.5	68.79	0.834				80	80.0	0.738																		
			82.0	68.07	0.830				82.0	59.36	0.724																		
1	3 d	30	27.5	28.68	1.043	1	3 d	30	29.0	31.01	1.069																		
			30.0	27.22	0.907				32.0	30.76	0.961																		
			42.5	38.07	0.896				41.0	38.80	0.946																		
			53.5	43.65	0.816				—	—	—																		
			63.5	51.36	0.809				60.0	52.54	0.876																		
(22.5°C)			63.5	51.36	0.809				60.0	52.06	0.868																		
			78.0	53.92	0.691				80	68.89	0.861																		
			78.0	53.91	0.691				81.0	69.14	0.854																		
1	2 d	30	29.0	25.63	0.884	1	2 d	30	33.0	34.21	1.037																		
			29.0	25.42	0.877				34.0	33.95	0.999																		
			41.0	37.06	0.904				40.0	40.89	1.022																		
			43.0	37.24	0.866				40.0	40.60	1.015																		
			62.0	50.06	0.807				60	59.0	0.728																		
(22.5°C)			61.0	50.07	0.821				57.0	43.00	0.754																		
			80.0	63.42	0.793				80	79.0	0.820																		
			81.0	63.36	0.782				80.0	64.76	0.808																		
1	10 d	30	29.5	32.91	1.116																								
			—	—	—																								
			42.5	43.97	1.035																								
			—	—	—																								
			61.0	55.64	0.912																								
—	—	—																											
80	84.5	0.873																											

() 内温度表示は、実験時の水温を示す。

ケース	中間管	オリフィス 設定差圧 P	オリフィス 実測値 ΔP	Δh	$\frac{\Delta h}{\Delta P}$	ケース	中間管	オリフィス 設定差圧 P	オリフィス 実測値 ΔP	Δh	$\frac{\Delta h}{\Delta P}$				
2	15d	30	32.0	36.95	1.155	3	15d	30	29.0	22.18	0.765				
			34.0	37.91	1.115				29.0	22.00	0.759				
		40	40.0	40.34	1.009			40	37.0	28.90	0.781				
			39.0	56.63	0.960				37.0	29.00	0.784				
		60	59.0	56.63	0.960			60	60.0	47.99	0.890				
			60.0	56.71	0.945				59.0	48.64	0.824				
		80	79.0	72.90	0.923			80	82.0	64.31	0.784				
			81.0	72.82	0.899				81.0	64.26	0.793				
		(23°C)								(24.5°C)					
		2	10d	30	32.0			22.47	0.702	3	10d	30	28.0	19.70	0.704
35.0	22.74				0.650	27.0	19.54	0.724							
40	40.0			30.51	0.763	40	41.0	29.21	0.712						
	42.0			30.71	0.731		42.0	29.35	0.699						
60	60.0			48.32	0.805	60	59.0	44.07	0.747						
	60.0			48.06	0.801		63.0	49.25	0.782						
80	81.0			61.96	0.765	80	79.0	61.16	0.774						
	79.0			61.87	0.783		80.0	61.61	0.770						
(23°C)								(24.5°C)							
2	7d			30	33.0	32.06	0.972	3	7d			30	31.0	31.66	1.021
		32.0	32.40		1.013	32.0	31.95			0.988					
		40	36.0	39.72	1.103	40	41.0			38.04	0.928				
			41.0	39.45	0.962		42.0			37.74	0.899				
		60	61.0	56.45	0.925	60	59.0			54.12	0.917				
			59.0	56.51	0.985		63.0			54.84	0.870				
		80	91.0	78.33	0.861	80	80.0			70.68	0.883				
			92.0	78.48	0.853		83.0			70.08	0.844				
		(23°C)								(24.5°C)					
		2	5d	30	31.0	12.12	0.391			3	5d	30	30.0	32.70	1.090
30.0	12.38				0.413	32.0	32.94	1.029							
40	39.0			26.16	0.671	40	39.0	38.94	0.998						
	38.0			26.30	0.692		39.0	38.90	0.997						
60	58.0			42.27	0.729	60	59.0	43.65	0.740						
	57.0			42.09	0.738		63.0	43.56	0.691						
80	80.0			57.91	0.724	80	77.0	55.24	0.717						
	82.0			59.06	0.720		80.0	55.21	0.690						
(23°C)								(24.5°C)							
2	3d			30	30.0	23.50	0.783	3	3d			30	30.0	29.94	0.998
		32.0	23.70		0.741	30.0	30.11			1.004					
		40	39.0	29.80	0.764	40	39.0			37.00	0.949				
			39.0	29.4	0.756		41.0			37.35	0.911				
		60	58.0	44.90	0.774	60	63.0			55.50	0.881				
			60.0	45.86	0.764		64.0			55.22	0.863				
		80	84.0	61.63	0.764	80	81.0			66.67	0.823				
			84.0	61.54	0.734		81.0			66.72	0.824				
		(23°C)								(25°C)					
		2	2d	30	31.0	21.46	0.692			3	2d	30	32.0	21.34	0.667
30.0	21.79				0.726	31.0	21.23	0.685							
40	42.0			29.25	0.696	40	36.0	26.67	0.741						
	40.0			29.10	0.728		39.0	26.91	0.690						
60	55.0			40.09	0.729	60	60.0	41.77	0.696						
	57.0			39.50	0.693		58.0	42.03	0.725						
80	81.0			59.78	0.738	80	76.0	58.72	0.773						
	83.0			59.78	0.720		81.0	59.70	0.737						
(23°C)								(25°C)							

流速約 2.7 m/s, $\Delta p=60$ mm 流速約 3.3 m/s, $\Delta p=80$ mm 流速約 3.8 m/s) に調整して実験を行なった。ケース 1 はジャマ板なしの場合であり、ケース 2 は上流管と中間管の下流部にジャマ板として幅 32 mm 長さ 32 mm 厚さ 0.5 のステンレス鋼板を水平方向に挿入した場合で、ケース 3 は同じステンレス鋼板を垂直に挿入した場合の実験である。

4. 計測記録の解析

始めに壁圧計測孔位置 A5 の 8 ヶの計測点の平均値を原点として管長手方向に配置した各計測点位置までの壁圧低下曲線の 10d の場合についての一例を図 6 に示す。他の場合も同様の傾向を示す。

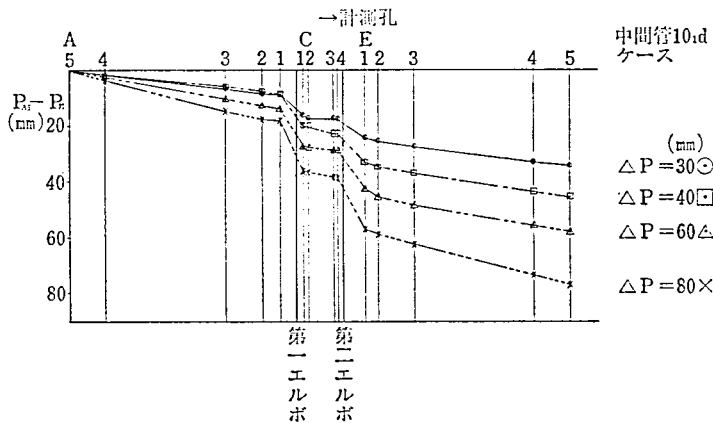


図 6 各計測孔に対する計測孔 A5 を基準とした差圧

本報ではオリフィスの特性を調べる意味でオリフィスの差圧 Δp と計測点位置 A5, A4 と E5, E4 の水頭平均値の差すなわち

$$\Delta h = \frac{1}{2}(p_{E5} - p_{E4}) - \frac{1}{2}(p_{A5} - p_{A4}) \quad \dots\dots(1)$$

なる Δh との関係について調査した。

Δp と Δh との計測計算結果を表 2 に示し図 7 の様にプロットすると Δp と Δh との間には比例関係があることがわかった。

実験は臨界レイノルズ数 (=2320) をはるかに越えた $Re=2.64 \times 10^4$ 以上という条件で行なわれたものであり数値を無次元化する 目的で $\Delta h/\Delta p$ を算出してみると流量又は Re 数に関連する Δp に対し (2) 式で近似出来る傾向性をもっていた。

$$\frac{\Delta h}{\Delta p} = 1.987 \times \Delta p^{-0.2} \quad \dots\dots(2)$$

図 8-1, 図 8-2 には Δp に対する $\Delta h/\Delta p$ の値をプロットしたのであり図 8-1 中に (2) 式で計算した値を実線で示す。

実験結果より計測誤差の原因となる気泡発生機構, 発生して気泡の停滞状況並びに気泡抜き取り, 誤差を防止する対策を以下にまとめる。

(1) 気泡発生の問題

水は多量の空気を吸収している。その程度は 1 気圧の水 1 m³ に含まれる空気量は当実

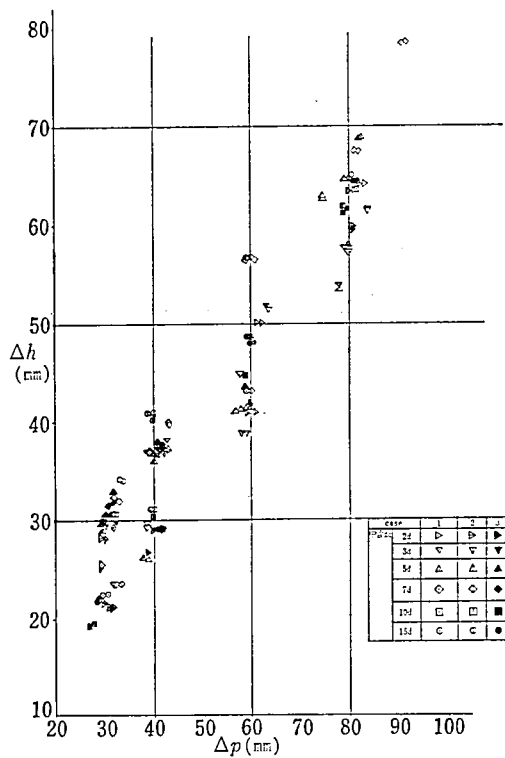


图 7

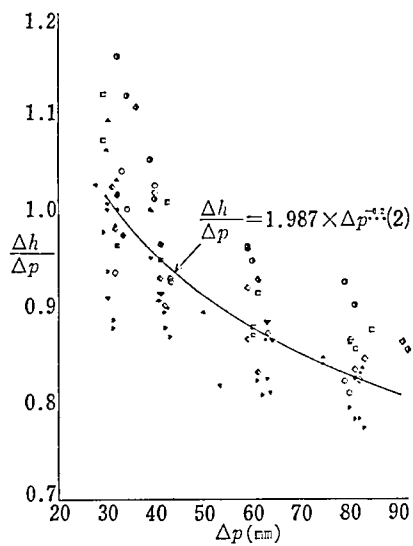


图 8-1

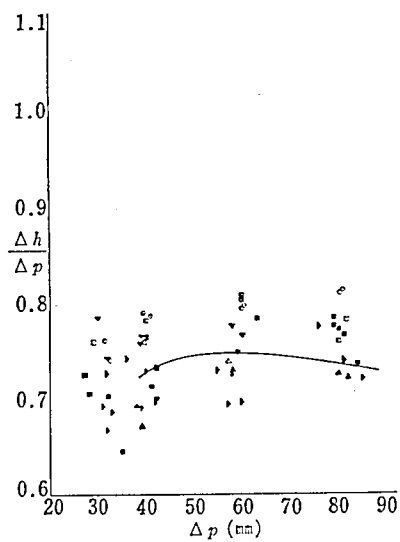


图 8-2

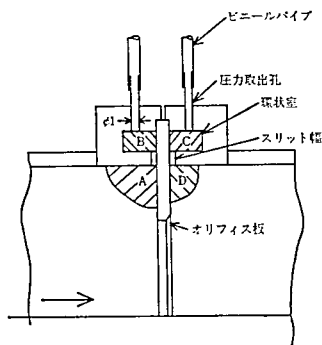


図 9

験に使用した水の平均温度約 23°C の時で飽和状態であれば 0.018 m^3 である。

従って水を取り扱う実験では気泡発生を防止する注意をはらわねばならぬが、本実験ではキャビテーション発生条件である絶対圧 $0.02\sim 0.03 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs.}$ に対し静圧で $1.2\sim 1.3 \text{ kg/cm}^2$ 高く、かつ溶解空気の遊離から見ても同じ水温の上静圧で大気圧より $0.2\sim 0.3 \text{ kg/cm}^2$ 高い所で気泡発生を見た。

ところで一度遊離した気泡は仲々水の中にとけこまない。

従って、この発生した気泡がオリフィス前後の上部に停滞し流量を計測する上で誤差の原因となるのでこの発生した気泡を発見する方法ともし発生した場合はそれを抜き取る方法を準備しておかねばならない。

(2) 気泡停滞場所の観察

この発生した気泡はオリフィス上部およびオリフィス上部に設けられた環状室に停滞するはずであり上方に導かれているビニールパイプに浮上してくる故、実験中に発見出来ると考えていた。ところが実験データを解析してみると図 8-1 と図 8-2 に分類出来る 2 種類のデータがとれた。

これは図 9 に示すオリフィス前後上部 A および D 部に気泡が発生し、環状室 B および C 部に入りビニールパイプを通じてマンメーターに抜ける間に気泡が入らない場合と入ってその影響が出た場合の差であると考ええる。

この状況を解析する目的で内部が目視出来る様オリフィス構造をアクリル板を用いて製作し、観察してみた。空気抜きを行なった後実験を開始すると次第に気泡が A および D 部に停滞する、そして D 部に発生した気泡はある周期をもって下流に流れ去るが、A 部においては停滞したままである。又、A および D 部に停滞している気泡は時にはスリット部を通り環状室 B および C 部に流入する。この時すぐにビニールパイプの先を大気に開放しておくとその中に流入してくれれば実験中に気付きその気泡を取り除く作業が行なえるが、本試験で使用した圧力取出孔の管内径 1 mm では気泡は上方に浮上しない故上部ビニールパイプ内のみ注目しては気泡発生に気付かない。

又、実験においては設備上の都合で圧力取出孔の取付位置を約 20 度傾けて設置した。その結果計測準備で気泡を取り除く作業を行なってもまだ環状室上部に図 10 に示す如く気泡が残っている状態の場合があった。

もしマンメーターに気泡分として 5.5 mm の水頭差を生じれば Δp の値で 11 mm の

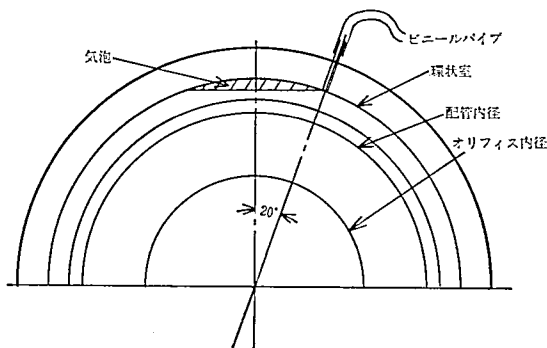


図 10

誤差を生じることになり、 $\Delta h/\Delta p$ の値を計算し直すと図 8-2 の実線で示す如く実験記録の分布を比較的良く表現することが出来た。

5 むすび

流体計測用オリフィスについては JIS⁽⁴⁾ でも明確に寸法、使用方法が示されており何ら疑うことなく実用されているがその使用に当っては以下の如く注意をする必要を発生した。

(1) 大気圧より高い静圧の水流中においてもオリフィス前後で発生するはずの中心部に生ずる低圧部が原因と思われる溶解空気の遊離現象すなわち気泡発生がありうる。

(2) その気泡は JIS で規定されているオリフィス寸法通りのものを使用した場合、図 9 に示す A および D 部にたまり B および C 部に上昇しないことすらある。さらに B および C 部から圧力を取り出す配管体が小さければ B および C 部にたまった気泡は計測中に圧力取出管（この場合はビニールパイプ）内に浮上しないことがある。

(3) 以上を総合して我国でもっとも普及して流量計測に用いられている JIS に規定されたオリフィス並びにその周辺寸法を採用した場合従来安全と考えられていた水がオリフィス通過中の動圧を差引いた残りの静圧のみで大気圧より 0.3 気圧程度高い時でもオリフィス部に停滞する気泡の為計測値に誤差を生じる。

(4) 従って JIS で規定された寸法により製作したオリフィスを使用する場合、計測値に十分な精度を出そうとすれば内部が目視可能な材質を採用する必要がある、又、気泡停滞が発見されれば空気抜きを行なえる準備をしておく必要がある。

最後に協力頂いた坪内洋之介、西川孝諸氏に謝意を表す。

以上のことは文献で発表されていない新事実故一緒に努力した卒研究生の頭文字をとって KIYOMU 現象と命名する。

参考文献

- (1) 緒方・上松：「JIS Screw Elbow の流体力学的特性」明星大学研究紀要 第16号 昭和55年3月
- (2) 緒方・上松：「管継手の特性」(第1報ねじ込みエルボの圧力損失発生機構の一考察 その1) 日本機械学会 No. 810-8 昭和56年8月

- (3) 緒方・上松：「流体の方向転換を伴う諸問題（第2報）」明星大学研究紀要 第18号 昭和57年3月
- (4) JIS Z 8762-1969「絞り機構による流量測定方法」日本規格協会