気ほうを含んだ液体の管内流動に関する研究 (第 3 報)*

管壁より空気を吹き込んだ場合

伊 藤 茂**

Studies on the Flow of Liquid containing Bubbles in the Pipes (3rd Report)
(A Case of Blowing the Air from the Pipe Wall)

by Shigeru Ito

In the case of the 1st report, the air bubbles were blown in from the bottom of the upriser. We found, however, that the method of blowing-in of the air had a serious effect on the results, so we blew the air bubbles into the pipe through the radial holes made on the pipe wall near the bottom. We found from the experimental results that the mechanism of the flow was approximately the same as before, and also the effects of the method of blowing the air into the pipe were made clear.

The relation between the frictional coefficient λ for the flow and the denseness factor K of the bubbles is $\kappa\psi(K) = (\lambda - \lambda_0)v^{1.4}/d$ for the range $K < 0.6$, where v is flow velocity, ψ is a function of K , d is diameter of the pipe, λ_0 is 0.195 which corresponds to the large Reynold's number for the range of serious agitation by the air bubbles, K is denseness factor of the air bubbles.

1. 緒 言

第 1 報で報告した実験とはほぼ同様のものである。第 1 報では空気は上昇管の底部から上向きに吹き込んだが、今回は上昇管の下部に近い管壁に小穴をあけ、ここから空気を横方向から吹き込んでみた。

2. 実験装置

第 2 報の実験装置を若干改造して用いた。すなわち内壁を抜き取り、内壁に水を送り込む管を上昇管の底部に連結して循環水路を作ったのみが異なり、他は第 2 報の装置と同じである (第 1 図)。

管内径 36 mm, 水頭差測定距離 2.1 m

3. 測定結果

使用記号は第 1 報と同じ。循環水量を弁 V でいろいろに変え 11 個系列の実験を行い、空気量 G_a , 循環水量 G_w , 水頭差 H_0 を測定した。その結果を第 2 図および第 3 図ならびに第 4 図に図示した。第 2 図～第 4 図より G_a/γ_a をパラメータとし G_w と H_0 の関係を求め、これを第 1 表に示した。 G_w と H_0 の関係は第 5 図のごときものとなる。

実験系列 10 の結果から G_a/γ_a を変数として u_s お

第 1 図

よび K を求めたのが第 2 表で、これを図示したのが第 6 図である。第 6 図より K, u_s を求め、 H_{th} を出し λ を求めたのが第 3 表で、 K を横軸に λ を縦軸に図示したのが第 7 図である。

実験系列 11 の測定値から気ほうを含んだ場合の抵抗係数を求めたのが第 4 表で、その結果を第 8 図に示してある。

* 昭和 21 年 11 月 20 日 応用力学連合講演会において谷下市松君代読, 原稿受付 昭和 30 年 10 月 12 日。

** 故正員, 東京大学。

第 2 図

第 4 図 実験系列 11

第 6 図

第 3 図

第 1 報の理論により $\kappa\psi(K)$ を求める計算が第 5 表で

$$\kappa\psi(K) = \frac{\lambda - \lambda_0}{d} v^{1.4}$$

とすると, $K < 0.6$ の諸測定値がよく並ぶようである. $\kappa\psi(K)$ の形は第 9 図に示した. これには第 1 報および第 2 報の結果も記入して比較に便ならしめてある.

λ の値としては気ほうによって水はかくはんされていると考えて, レイノルズ数の高いところをとり $\lambda_0 = 0.195$ とした.

4. 実験結果の考察

今回の実験は管壁より

第 5 図

吹込みの影響および第 2 報のごとき二重管とした場合との比較を目的とした.

その結果は, 定性的にはほぼ同一機構の流動が行われていることは確認出来たが, 3 回の実験の相違の原因等は明らかに出来なかった.

第 10 図に 3 回の実験における K と u_s の関係を同時に図示してみたが, 第 1 回の実験で管底から上向に空気を吹き込んだとき, K の小さい所で u_s が小さくならぬのは上向きに気ほうを吹き上げるため気ほうが初速を持っているらしいことはほぼ確認出来る.

5. 結 言

(1) 上昇管の下部の管壁に小穴をあけ, ここから横方向に空気を吹き込み, 第 1 報とほぼ同様な実験を

第 1 表

$G_a/\gamma_a \times 10^3$		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.0	H_0	121.0	120.0	122.0	124.2	131.0	133.0	135.2	142.2	140.2	150.2
	G_w	0.230	0.201	0.192	0.153	0.137	0.100	0.084	0.041	0.040	0
0.7	H_0	106.4	110.0	112.0	118.3	121.6	121.5	127.7	130.0	134.2	142.0
	G_w	0.230	0.197	0.176	0.136	0.129	0.100	0.073	0.036	0.019	0
0.5	H_0	91.2	97.2	101.0	103.5	110.0	110.0	117.0	119.0	126.4	131.0
	G_w	0.229	0.193	0.168	0.125	0.123	0.100	0.071	0.027	0.017	0
0.3	H_0	67.2	80.2	82.5	87.8	89.0	90.0	101.0	103.5	110.0	113.0
	G_w	0.228	0.187	0.163	0.117	0.117	0.110	0.068	0.021	0.015	0

ただし単位は H_0 ; cm 水柱. G_w ; kg/s. G_a/γ_a ; 10^{-3} m³/kg

第 2 表

G_a/γ_a m ³ /s	H_{th} m	u_s m/s	K
0.00	1.505	1.37	0.716
0.95	1.49	1.32	0.709
0.90	1.48	1.26	0.704
0.85	1.47	1.19	0.700
0.80	1.455	1.13	0.693
0.75	1.44	1.07	0.686
0.70	1.42	1.02	0.676
0.65	1.40	0.959	0.666
0.60	1.37	0.905	0.652
0.55	1.345	0.845	0.641
0.50	1.31	0.789	0.624
0.45	1.275	0.729	0.607
0.40	1.23	0.672	0.586
0.35	1.185	0.611	0.564
0.30	1.13	0.549	0.538
0.25	1.07	0.483	0.509
0.20	1.0	0.413	0.476
0.15	0.9	0.344	0.429
0.10	0.75	0.275	0.357
0.05	0.53	0.195	0.252

ただし $K = G_a/\gamma_a \cdot \frac{1}{u_s} \cdot \frac{1}{A} = H_{th}/2.1$

$$u_s = H/A \cdot G_a/\gamma_a \cdot 1/H_{th}$$

$$H = 2.1, A = \pi(0.036)^2/4 = 10.18 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\therefore u_s = 2.1/10.18 \cdot 10^{-4} \cdot G_a/\gamma_a \cdot 1/H_{th}$$

$$= 2.065 \cdot 10^3 \cdot G_a/\gamma_a \cdot 1/H_{th} \text{ m/s}$$

第 3 表

$$\lambda = (H_{th} - H_0) 2gd/v^2 H \quad d = 0.036 \quad H = 2.1$$

$$\lambda = 0.0172 (H_{th} - H_0) v^2 \quad H_{th} = 2.1 \cdot K$$

	G_w	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
	v	0.0491	0.0983	0.147	0.1965	0.2460
	v^2	0.00241	0.00966	0.0216	0.0386	0.0605
$G_a/\gamma_a \times 10^3$	u_s	1.32	1.29	1.25	1.21	1.175
	K	0.720	0.712	0.704	0.701	0.695
	H_{th}	0.1510	1.496	1.480	1.475	1.460
	H_0	1.400	1.328	1.265	1.214	1.175
	$H_{th} - H_0$	0.110	0.168	0.215	0.261	0.285
	λ	7.88	2.98	1.71	1.16	0.81

$G_a/\gamma_a \times 10^3$	u_s	0.98	0.95	0.91	0.875	0.835
	K	0.671	0.660	0.655	0.646	0.640
	H_{th}	1.410	1.380	1.370	1.360	1.340
	H_0	1.290	1.210	1.145	1.090	1.045
	$H_{th} - H_0$	0.120	0.170	0.225	0.270	0.295
	λ	8.53	3.03	1.79	1.20	0.839
0.7	u_s	0.750	0.719	0.680	0.645	0.615
	K	0.619	0.606	0.598	0.583	0.570
	H_{th}	1.298	1.270	1.254	1.243	1.226
	H_0	1.182	1.095	1.022	0.960	0.907
	$H_{th} - H_0$	0.116	0.175	0.232	0.283	0.319
	λ	8.23	3.11	1.84	1.26	0.91
0.5	u_s	0.520	0.490	0.46	0.433	0.405
	K	0.521	0.504	0.487	0.471	0.455
	H_{th}	1.095	1.058	1.025	0.990	0.956
	H_0	1.015	0.920	0.840	0.765	0.705
	$H_{th} - H_0$	0.080	0.138	0.185	0.225	0.251
	λ	5.72	2.46	1.47	1.01	0.714
0.3	u_s	0.520	0.490	0.46	0.433	0.405
	K	0.521	0.504	0.487	0.471	0.455
	H_{th}	1.095	1.058	1.025	0.990	0.956
	H_0	1.015	0.920	0.840	0.765	0.705
	$H_{th} - H_0$	0.080	0.138	0.185	0.225	0.251
	λ	5.72	2.46	1.47	1.01	0.714

第 4 表

	G_a/γ_a	G_w	v	v^2	H_0	λ
0	0	0	0	0	0	0
1	〃	0.02	0.0197	0.000388	0.015	0.665
2	〃	0.04	0.0393	0.001545	0.040	0.446
3	〃	0.06	0.0591	0.00349	0.065	0.320
4	〃	0.08	0.0786	0.00618	0.095	0.264
5	〃	0.10	0.0983	0.00966	0.125	0.222
6	〃	0.12	0.1182	0.01390	0.160	0.198
7	〃	0.14	0.1379	0.01900	0.210	0.190
8	〃	0.16	0.1572	0.02475	0.270	0.194
9	〃	0.18	0.1773	0.03150	0.340	0.189
10	〃	0.20	0.1965	0.03860	0.445	0.198
11	〃	0.22	0.2162	0.04670	0.580	0.214

第 7 図

第 8 図

試み, 第 1 報 (管底から上向きに空気を吹き込む場合), 第 2 報 (管壁から横方向に空気を吹き込む二重管の場合) の結果と比較してみた。

(2) 流動の機構はほぼ同様なことが確認された。

第 5 表

$$\kappa\psi(K) = (\lambda - \lambda_0)d v^{1.4} \quad \lambda_0 = 0.195 \quad d = 36 \text{ mm}$$

v	0.0491	0.0983	0.147	0.1965	0.2460
$v^{1.4}$	0.0147	0.0388	0.0682	0.1025	0.1405

G_a/γ_a $\times 10^3$	K	0.720	0.712	0.704	0.701	0.695]
	λ	7.88	2.98	1.71	1.16	0.81
	λ_0	0.195	0.195	0.195	0.195	0.195]
	$\lambda-\lambda_0$	7.685	2.785	1.525	0.965	0.625
	$\kappa\psi(K)$					
1.0	K	0.671	0.660	0.655	0.646	0.640]
	λ	8.53	3.03	1.79	1.20	0.839]
	λ_0	0.195	0.195	0.195	0.195	0.195
	$\lambda-\lambda_0$	8.335	2.835	1.595	1.005	0.744
	$\kappa\psi(K)$					
0.7	K	0.619	0.606	0.598	0.583	0.570]
	λ	8.23	3.11	1.84	1.26	0.91
	λ_0	0.195	0.195	0.195	0.195	0.195
	$\lambda-\lambda_0$	8.035	2.915	1.645	1.065	0.715
	$\kappa\psi(K)$	3.27	3.14	3.11	3.01	2.79
0.5	K	0.521	0.504	0.487	0.471	0.455
	λ	5.72	2.46	1.47	1.01	0.714
	λ_0	0.195	0.195	0.195	0.195	0.195
	$\lambda-\lambda_0$	5.525	2.265	1.275	0.815	0.519
	$\kappa\psi(K)$	2.25	2.44	2.41	2.32	2.03
0.3	K	0.521	0.504	0.487	0.471	0.455
	λ	5.72	2.46	1.47	1.01	0.714
	λ_0	0.195	0.195	0.195	0.195	0.195
	$\lambda-\lambda_0$	5.525	2.265	1.275	0.815	0.519
	$\kappa\psi(K)$	2.25	2.44	2.41	2.32	2.03

(3) 空気を底部から上向きに吹き上げる場合の影響もほぼ判明した。

(4) $\kappa\psi(K)$ の形は $K < 0.6$ の範囲で

$$\kappa\psi(K) = \frac{\lambda - \lambda_0}{d} v^{1.4}$$

で表わされる。

付記 本研究には東京大学工学部機械工学科研究資金, 文部省緊急科学研究費により援助を受けた。

なお実験計算には勤労動員学徒, 小川倫夫, 前川弥, 土井弥高の三君をわずらわした。

第 9 図

第 10 図