

中央大学理工学部教授 工博 林 泰造
千葉県土木部 工修 小泉 俊夫

1. まえがき

海面附近から鉛直上方に向けて放出される液体のフリュームの、放出口附近における拡散の状態を研究するための実験研究を行った。周囲水は全く静止している場合を取り扱うこととした。

このような研究は Abraham (1960年)¹⁾ によって行われており、彼はよってつくられた軸上濃度百分率に関する式

$$C_m/C_0 = 9.7 F^{2/3} [(x/D) + 2]^{-5/3} \dots\dots\dots (1)$$

は Abraham の式として今日広く用いられている。しかし、彼の実験に使用した水槽は今日からみると随分小さく (断面 1 ft × 1 ft, 高さ 3 ft), ためにその実験結果の適用限界については一抔の不安の念が風じられない誤りもない。本研究においては Abraham の装置よりはかなり大きな水槽を使用し、また実験方法についてもかなりの改良を加えた実験を行い、式(1)の妥当性の検討を行った。

また、さらには、躍層のある場合における実験も行い、放出口直上の躍層面上における液体濃度、および液体の水平拡がり層 (クラウド層) の厚さ、についての算定式はついで検討した。

2. 実験装置および実験方法

(a) 水槽 長さ 2.5 m, 巾 2.1 m, 高さ 1.8 m で前面がガラス張り鋼製のものであり、さらにはこれに高さ 1.8 m の蓋を載せて上部を被覆してある。この水槽底部中央は液体放出用ノズルとして内径 16 mm, 長さ 20 mm の短管をとりつけ、その上は内径 2.5 mm のオリフィスをあけたキャップをとりつけた。

(b) 液体の放出 水槽の中には所定の深さまで水道水を入れ、水槽底部のノズルより所定の密度差をもつように予め水とエタノールを混合し、これはトレーサーとして Fluorescein ソーダと混じった液体を“液体”に当てるものとして連続放出させた。

(c) 躍層の形成 水槽水面は板を浮かべ、その上は静かに希釈エタノールを注入し、最後に板をとり除くという方法をとった。アルコールの連続使用は、それからの蒸発気体を実験者が常時吸引し、目鼻等の粘膜から人体に作用して健康上有害であることが実験中に判ったので、できるだけ防毒ガスマスクを着用して実験を行うようにした。

(d) 放出フリューム内所定の点における液体濃度の測定 予め Fluorescein ソーダと混じってある放出フリュームの軸線上所定の水深の点から、暗黒面際 10 sec ごとにスポットを採水し、順番に試験管に並べ、後にこれらの濃度を Turner III 型蛍光光度計により測定した。

3. 実験結果

実験結果の一覧が表-1. あが表-2. に示される。

表-1. (躍層のない場合)

実験 番号	Q cc/sec	D cm	V cm/sec	ρ_a $\frac{gr}{cm^3}$	ρ_{wo} $\frac{gr}{cm^3}$	$\rho_a - \rho_{wo}$ $\frac{gr}{cm^3}$	F	T °C	h cm	$\frac{h}{D}$	グル I ° x 10 ³	$\frac{c_m}{c_o}$ x 10 ³	$\frac{h_c}{D}$
1-16	2.33	0.25	47.5	1.001	0.976	0.025	19.1	13.0	84	336	A	4.55	
1-19	1.95		39.7	1.001	0.976	0.025	16.0	16.0	84	336	A	4.25	
1-20	1.86		37.9	1.001	0.976	0.025	15.0		84	336	A	3.71	51.3
1-18	1.50		30.6	1.001	0.976	0.025	12.6	15.0	84	336	A	3.77	
10- 1	7.07		144.0	1.001	0.972	0.029	53.9	25.0	50	200	A		37.8
9-30	7.64		155.6	1.000	0.969	0.031	57.3	20.0	50	200	A		39.6
10- 3	6.40		130.3	1.001	0.972	0.029	48.9	23.2	50	200	A		32.1
10-16	7.20		146.6	1.001	0.971	0.030	53.3	20.3	50	200	A		38.5
10- 2	7.59		154.6	1.000	0.972	0.028	59.0	19.8	50	200	A		34.2
11-9-1	7.30		148.6	1.001	0.972	0.029	55.6	18.5	84	336	A		59.0
11-9-2	7.00		142.6	1.001	0.972	0.029	53.4	18.5	84	336	A		66.0
11- 6	6.93		141.1	1.001	0.972	0.029	52.9		84	336	A		64.5
10-26	6.90		140.5	1.001	0.972	0.029	52.6		84	336	A		72.0
1-12	8.60		175.5	1.001	0.976	0.025	70.9	16.0	84	336	A	10.8	
1-13	7.57		154.2	1.001	0.976	0.025	62.3	15.5	84	336	A	11.5	68.0
1-14	3.88		79.0	1.001	0.976	0.025	31.9	11.0	84	336	A	6.4	57.0

表-2. (躍層のある場合)

実験 番号	Q cc/sec	D cm	V cm/sec	ρ_a $\frac{gr}{cm^3}$	ρ_s $\frac{gr}{cm^3}$	ρ_{wo} $\frac{gr}{cm^3}$	$\rho_a - \rho_{wo}$ $\frac{gr}{cm^3}$	F	T °C	h cm	h_t cm	h_s cm	$\frac{h}{D}$	$\frac{h_t}{D}$	$\frac{h_s}{D}$	グル I ° x 10 ³	$\frac{c_m}{c_o}$ x 10 ³	$\frac{h_G}{D}$	$\frac{h_c}{D}$
1-25	20.2	0.25	411.	1.000	0.998	0.825	0.175	62.8	6.6	85	65	20	340	260	80	C	12.65	254	41.0
2- 6	10.43		212.	1.000	0.998	0.825	0.175	32.4	8.8	85	64.5	20.5	340	258	82	C	8.85	258	41.8
1-26	8.84		180.0	1.000	0.998	0.825	0.175	27.5		85	65	20	340	260	80	C	8.69	256	33.2
2- 2	7.96		162.1	1.000	0.998	0.825	0.175	24.6	7.0	85	65	20	340	260	80	C	7.41	240	22.6
1-27	6.36		129.5	1.000	0.998	0.825	0.175	19.8	11.8	85	66	19	340	264	76	C	4.35	250	24.3
1-29	6.22		126.7	1.0005	0.998	0.825	0.1755	19.3	9.3	85	65	20	340	260	80	C	6.67	252	42.3
1-28	5.87		119.6	1.000	0.998	0.825	0.175	18.3		85	65	20	340	260	80	C	5.88	256	34.1
1-30	5.42		110.4	1.000	0.988	0.825	0.175	16.9	6.0	85	64	21	340	256	84	C	5.89	253	35.6
2- 4	4.53		92.3	1.000	0.998	0.825	0.175	14.1	12.4	85	65	20	340	260	80	C	5.99	258	35.7
2- 3	3.09		62.9	1.000	0.998	0.825	0.175	9.6	11.0	85	65	20	340	260	80	C	2.86	251	31.2
2-16	19.4		396.	1.0005	0.998	0.825	0.175	60.8	10.5	85	75	10	340	300	40	C	11.31	296	31.3
2-17	22.4		457.	1.000	0.998	0.825	0.175	69.5	9.0	85	69	16	340	276	64	C	11.1	277	29.4
2-18	19.05		389.	1.000	0.998	0.825	0.175	59.4	11.0	85	55	30	340	218	122	B	13.4	224	38.8

なお、表中に使用した記号はつぎのようである。

Q: 液体の放出流量, D: 放出口オリフィス径, V: 放出口における液体の放出速度,
 ρ_a : 周囲水 (ambient fluid) の密度, ρ_s : 表面層水 (surface layer) の密度,
 ρ_{wo} : 放出口における液体 (waste water) の密度, F: 放出口における放水水フレイム
 の内部 Froude 数で, $F = V / \sqrt{\{(\rho_a - \rho_{wo}) / \rho_a\} g D}$, T: 水温, h: 水深 (

放出口から水面まで), h_t : 放出口から躍層面 (thermocline) までの水深, h_s : 表層の厚さ (水面から躍層面まで), グループ A : 懸液が浮上して水面下にクラウドとなった場合のもの, グループ B : 懸液が浮上して表層内はクラウドとなった場合のもの, グループ C : 懸液が浮上して躍層面附近はクラウドとなったもの, C_m/C_0 : 懸液の濃度, h_d : フリューム軸線上におけるフロリュームの上昇高 (放出口から, 軸上でクラウドがもたれている部分の中心部までの高さ) h_c : クラウド (cloud) の厚さ.

(a) クラウド形成の状況 図-1. あとは

図-2. は, それぞれ躍層がある場合およびない場合における懸液の拡がりの状況を 10 sec ごとに示したものである。

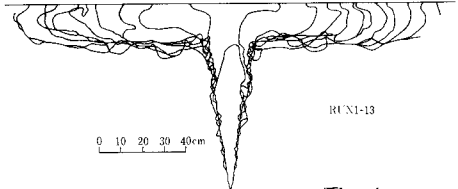


図-1.

(b) 放出口直上の水面上の臭における懸液濃度

図-3. は放出口直上の水面上の臭における懸液濃度の時間的变化を示したものである。同図からみられるように, 濃度は懸液の放出開始後約2分以後は定常値に落ち着いている。

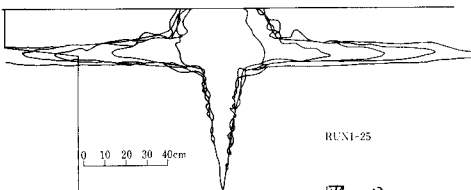


図-2.

図-4 (a) は Abraham の実験における同様の懸液濃度の時間的变化を示したもので, 彼の場合には実験水槽が小さいため, 懸液の放出とともに

次第に水槽の濃度レベル自体も変わってゆき, 実験的に定常濃度を求めることができない。そこで, 図データを対数グラフ上には再プロットし (図-4 (b)), 曲線の折れる点を

もって定常濃度の値としている。

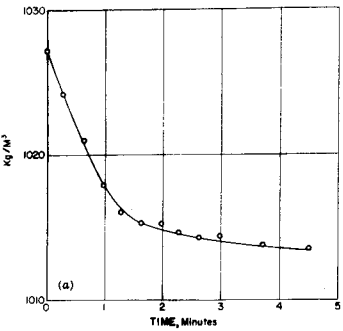


図-5. は表-1. の躍層のない場合にはおける各ケース

の放出口直上の水面上の臭の定常濃度を式(1)の右辺の無次元値に代してプロットしたもので, 同図中には Abraham

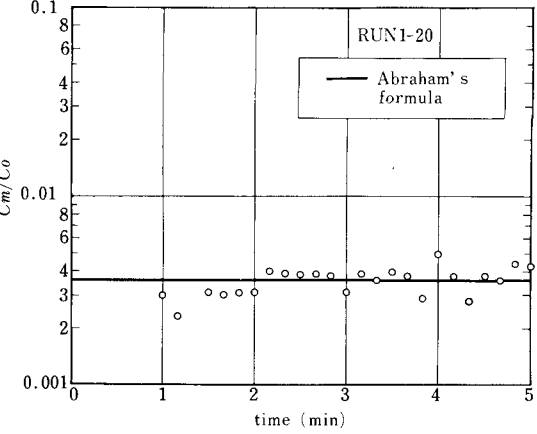


図-3.

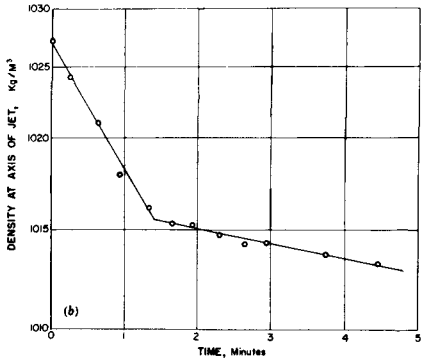


図-4.

の実験値も併せて図示してある。Abraham の実験範囲と本実験の範囲とは大いに異なっているにもかかわらず、これは一本の直線上に載っているということは大いに注目される事柄である。

(c) 放出口直上で躍層面上の臭における濃度 躍層のある場合には、放出口直上の躍層面上の臭の濃度の濃度を与える式として、つぎは記す Hart の式⁽²⁾がある。

$$C_m/C_0 = 9.7 F^{2/3} [(h_z/D) + 2]^{-5/3} \quad (2)$$

図-6. は表-2. の実験各ケースにおける軸上濃度を式(2)の右辺の無次元値に対して70%プロットしたもので、実験値は Hart の式とよく合っていることが認められる。

(d) クラウドの厚さ(躍層のある場合)

躍層のある場合のクラウドの厚さを写真的に求め、表-2. の諸ケースについてそれらを併せて図示したものが図-7. である。同図中には、つぎの Hart の式も図示してある。

$$h_c/D = 7.65 + 0.229 (h_s/D) \quad (3)$$

Hart の実験の範囲と本実験の範囲とはかなり異なるものであり、Hart の式は本実験の範囲にあつてもよく合うという程度ではないが、全くかけ離れるものでもないことが認められる。

(e) クラウド軸上中心臭までの高さ(躍層がある場合) Hart の式

$$h_g/D = 9.79 + 0.95 (h_H/D) \quad (4)$$

が、本実験の範囲においては予想以上によく合う(図-5. の程度に)ことが認められるが、この記述と図面はスケーラの関係から割愛する。

引用文献 1) Abraham, G.: Proc. ASCE, HY-Div. HY6, 1960, pp. 1-13.

2) Hart, W. E.: Proc. ASCE, HY6, 1961, pp. 171-200.

附 記 本研究は対し原子力安全研究協会より委託研究費をうけた。研究の実施は、これは、本間に教授および左合正教授より数々のご助言を戴いた。記して感謝の意を表げる。また、研究は協力と与えられた首席仲夫教授、実験は協力とされた今井春実講師にも感謝の意を表げる。

