

III-4 気源からの地中拡散について

川崎製鉄(株) 河見晋作

主 上 正員 渡田敏之介
全 上 正員 藤本哲也

1 まえがき

石油パイプラインに微小な漏洩が発生した場合、それとに早く発見するかはパイプラインの保安上非常に重要な課題である。これに対処するため種々の漏洩探知の方法が研究開発されている⁽¹⁾。しかし、漏洩量が数百リットル毎時以下になると探知が困難でありまた維持管理の面からむづかしい問題もあるようである。従って探知が困難な微小漏洩が発生した場合、どのような地中拡散をするかを把握することは極めて重要なことであると考えられる。しかし、微小漏洩の地中拡散現象については周辺条件がさまざまであるため一律に論ずることは困難である。このせいかこの方面の研究は余りないようである。

筆者等はこのような微小漏洩による地中拡散現象をつかむための基礎的なデータをうるため、一様な砂中における微小漏洩実験をおこないその結果をまとめたものである。

2. 実験方法

実験装置は高压タンク(内容積 300dm^3)とパイプ(中径 25mm)、バルブ、その先端のノズルより成っている。ノズルは地面から一定の深さに埋設されており、バルブを閉じてノズルより砂中へ漏洩拡散をおこなっている。漏洩実験中はタンク内の圧力が一定に保たれるよう N_2 ガスの注入をおこない地上浸出までの時間、砂中での拡散範囲などを観測した。なおノズルからの噴出流体は着色水を使用し、砂中での拡散状況がわかるようにした。また、実験用として使用したノズルのまわりの埋設砂は表1に示すような土性の砂を使用し、埋め戻しにあたっては締め固め度がほぼ一定($e=0.8$)になるように注意しながら埋め戻しをおこなった。実験条件としては土層の深さ、ノズル径、噴出圧力などをパラメータとして実験をおこなった。

表1 埋め戻し砂の土性

土粒子比量(g%)	2.606	
粒度分析	石炭 (g%)	2.0
	砂 (g%)	89.0
	シルト (g%)	9.0
	粘土 (g%)	0.0
10%径(mm)	0.13	
均等係数	3.3	
含水比	11.7 ~ 13.0	

3. 実験結果および考察

土層を一定として(土層は 90cm と 150cm の2種類)ノズル径、圧力をパラメータとして地上浸出までの時間、総流出量を測定した結果を表2-1および表2-2に示す。拡散領域はノズルを通る鉛直軸周りの回転体であり、圧力によって多少の差があるが

表2-1 $h=90\text{cm}$ の場合

圧力(kg/cm^2)	公称ノズル径(mm)	流出量(l/min)	地上浸出までの時間(分)	地上浸出後の流出量(l)
20	2	13.1	69'30"	907
"	6	95.0	1'22"	103
40	1	2.7	*	—
"	2	15.6	31'00"	486
"	4	43.6	3'55"	171
"	6	84.6	29"	41
60	1	4.7	102'00"	479
"	2	13.5	7'10"	97
"	3	24.2	2'04"	50
"	4	50.6	45"	38
"	6	100.0	23"	39

* 地上へ浸出せず

表2-2 $h=150\text{cm}$ の場合

圧力(kg/cm^2)	公称ノズル径(mm)	流出量(l/min)	地上浸出までの時間(分)	地上浸出後の流出量(l)
20	4	26.7	44'10"	1180
"	6	49.6	8'30"	422
40	2	17.2	84'55"	1454
"	4	34.0	16'20"	555
"	6	96.4	5'05"	490
60	2	21.0	34'30"	724
"	4	50.9	5'41"	289
"	6	69.7	3'30"	244

流出量が10%以下では、ノズルを中心としたほぼ球状の拡散であり、流出量が增大するにつれてノズル面と底面にも円柱状の拡散に近づき、方向性が顕著に近づく。

表2-1および表2-2に示す流出量と地上浸出孔の時間の関係を図1にプロットすると図1に示すようにほぼ三つの直線上に実験値は分布している。

最小自乗法によってこの三直線を求める次のようになる。

$h=90\text{cm}$ (流出圧力60% kg/cm^2)

$$T \cdot Q^{2.09} = 2.11 \times 10^3$$

$h=90\text{cm}$ (流出圧力40および20% kg/cm^2)

$$T \cdot Q^{2.47} = 7.97 \times 10^4$$

$h=150\text{cm}$ (流出圧力20,40および60% kg/cm^2)

$$T \cdot Q^{2.45} = 1.07 \times 10^5$$

ここで T : 地上までの浸出時間

Q : 流出量 (kg/min)

以上は地上に浸出する場合であるが $Q \rightarrow 0$ で $T \rightarrow \infty$

となる場合について考える。この場合鉛直上向きの流れ

が重力の影響によりバランスされ定常状態になった

と考えられ、うずねの流れておらず定常状態は速度ポテンシャル ϕ が存在する。 ϕ はこの場合一様な流れに等価(はじ出し)と見做す場合

と同様の速度ポテンシャルが与えられている。(2),(3) 図2に示すように円柱座標をとると速度ポテンシャルは次のようになる。

$$\phi = -\frac{Q}{4\pi p} + kx \quad \text{----- (2)}$$

ここで Q : 流出量, p : $\sqrt{x^2 + r^2}$, k : 透水係数(%)

(2) 式より0からの漏洩量が地上に達したとき上向き速度が零となるのは流出量 Q_{cr} を求める。

$$v_x = \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right) = 0 \quad (\text{たとえば } r=0) \quad \text{より } Q_{cr} \text{ は次のようになる。}$$

$$Q_{cr} = 4\pi k h^2 \quad \text{----- (3)}$$

本実験の場合の Q_{cr} を、 $k=3.6 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ とし $h=90\text{cm}$ および 150cm に対して求めるとそれぞれ $Q_{cr} = 22\text{kg/min}$ および 61kg/min となる。

この値は実験値に比べるとかなり大きい値になっている。これは実験ではノズル近傍は高圧力のため砂は流動化された状態になっており、そのため h が実験のものより小さくなったと考えられる。

以上実験結果を考察して求めたことをまとめると次のようになる。

(1) 流出量と圧力(噴出)の関係は常に一定に決まっている。即ち流出圧力を一定にした場合の流出量の時間的変化はみられない。

(2) 流出量が10%以下ぐらいにはほとんど流出圧力に関係なくノズルの位置を基準としたほぼ球状の拡散になり、地上に浸出しない。この範囲で漏洩量 Q_{cr} が存在する。 Q_{cr} の理論値より実際の場合にはかなり小さくなるのが予想される。

(3) 地上に浸出する漏洩量の場合、地上での浸出時間はノズルの埋没深度、砂の透水係数、噴出圧力などが関係してくると考えられるが漏洩量が最も支配的である。

以上、実験と関係する所を述べた。ここに深く感謝の意を表す。

岐阜大学工学部宇野助教、資源環境庁石油精製流通課山田氏、(関東(イグニッション)技術部大岡課長。

参考文献

- ① H.H. Brons European Methods of leak detection and Location. Pipe Line Industry May 1972.
- ② P. Kochina Theory of Groundwater Movement Princeton Univ. Press.
- ③ 今井功 流体力学(前) 裳華房

