

土中の透油性に関する考察

岐阜大学工学部 正員 宇野尚雄

1. はじめに

地表または土中に漏れ出した油は周辺に浸透・拡散するであろう。その現象は水の浸透現象と同様に解析できるとであろう。乾燥土中への透油は透水とほぼ類似したものになると予想される。なぜならば、乾燥土はたゞ多孔質物質としての空間を用意するだけであるから、その相違は水と油の粘性の相違、土の固けさへの吸着性や機木性の相違などにすぎないからである。この場合、流体の粘性は透水性、透油性に影響し、吸着性などは貯留係数に多少の差を生じしめる程度であろう。一方、含水量をいくら含む湿潤土中への透油は透水と違って、油が水と混合していく点や土の初期含水量の多少が大きく影響すると考えられる。初期含水量が高い土中への油の浸入は多孔質物質中の2相流（空気を含めると3相流）になり、きわめて複雑なものになるとであろう。本文では透水性の問題に対比して透油性の問題をとりあげ、まず簡単な乾燥土中への油の浸透・拡散を、この具体例の解析式によって油の浸入する領域を説明し、解析式の取扱に上注意すべき点を指摘するものである。

2. 地表からの油の浸入

図-1の水路のようなところから地盤への油の浸入は水路浸透と酷似している。図-1が水路浸透の問題とすると、これは Kozery や P-kochina より解析され、自由水面形などは k を透水係数として式(1), (2)で与えられる。¹⁾

$$x + \frac{\pi \alpha}{2k} = -H \exp\left(\frac{kx}{\alpha}\right), \quad \frac{1}{\alpha} = -\frac{(2n+1)\pi}{Q} \quad (1)$$

$$\alpha = k B_{\infty} = k(B + 2H) \quad (2)$$

これらの式を油の浸入に適用する際には、 k は透水係数に対応する透油係数を、 H , B などの鉛直方向の長さには油の比重 G_o と乗じて $G_o H$, $G_o B$ とかわりに使用する必要があるのはいうまでもない。

図-2のようを有限深さ H_w , 距離 $x = \pm(B/2 + L)$ のところで地下水位が一定となる水路浸透の水面形は筆者が、流量は P-Kochina がそれぞれ次式で与えている。²⁾

$$\frac{x}{L} = \frac{KH_w}{K'L} + \frac{dn(K'B/H_w, k^*)}{1 - k^*} \quad (3) \quad \frac{Q}{kH_w} = 2 \cdot \frac{K}{K'} = \left\{ \frac{B}{H_w} - k^* \frac{L}{H_w} \right\} \frac{1}{1 - k^*} \quad (4)$$

ここに K, K' はそれぞれ k, k^* の第1種完全楕円積分, dn : Jacobi の dn 関数, $L = B + 2L$ 上述した2例は地盤の透水係数がかなり大きい砂地盤に明確にみられる。もし土がシルト質のような場合には毛管作用に起因する土のサクションのため、上式の解析では不十分であろう。なぜなら、毛管帯を流れる流量が上述の Q に比較して、きわめて多くなるからである。このような水分移動はきわめて遅速な現象であるので、基本式は拡散型の偏微分方程式となる。たとえ含水量 θ は次式

図-1

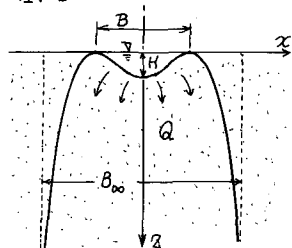
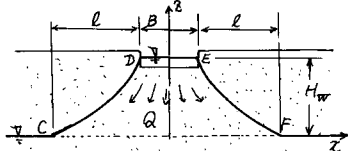
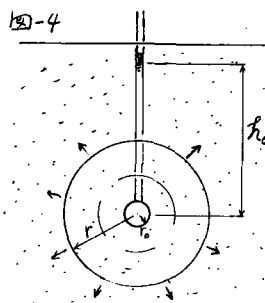
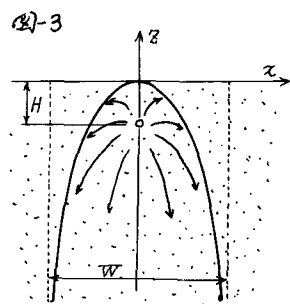


図-2



$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{k}{c} \left[\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta}{\partial r} \right] \quad (5)$$

で表わされ、 c は比水分容量 $[L^{-1}]$ である。ところで図-1、図-2に対する上述の式は定常解であり、非定常解は得られていないので、近似解を得るためにはフリーハンドで描く試行作図による流線網解法を用いねばならないであろう。その結果えられる湿潤面が境界条件となって、シルト地盤中の水分移動領域も t とせば式(5)で解くことになる。さて、図-1の半無限地盤では油の浸入領域は B_{∞} より広がることはない(水分移動のようを油分移動がせい限り)。しかし図-2のように地下水面が浅い場合は、水の浸透では浸透水が地下水になってしまうのに対して、油は混合せず地下水面上を広がる。



3. 土中の点源または線源からの油の浸入

線源からの浸入は図-3のような問題であって、直径 d_0 のパイプに木頭にして h_0 の圧力が働き、孔のあいだ側壁より土中へ流量 Q が浸入したとすると、

$$h_0 = \frac{Q}{2\pi k} \ln \frac{Q}{4\pi d_0 (k+E)} + \frac{k+E}{k} H + h_k \quad (6)$$

$$H = \frac{\ln 2}{\pi} \cdot \frac{Q}{k+E} \quad (7), \quad W = \frac{Q}{2(k+E)} \quad (8)$$

ここに h_k : 土の毛管水頭, E : 自由水面の単位幅あたり圧力量で、系の全圧力量を W で除したもの。この問題は定常流であるが、図-4のように点源から土中に浸透・拡散する現象では、土の貯留係数を S 、点源の球半径 r_0 として、次式が得られる。

$$\text{運動の式: } Q = -k \frac{\partial h}{\partial r} 4\pi r^2 \quad (9), \quad \text{連続の式: } Q dt = 4\pi S r^2 dr \quad (10)$$

式(9)を $Q = -\text{一定}$ として積分し、さらに式(10)に用いて関係式を求めると($r/r_0 = r^*$ として)、

$$Q = 4\pi k h_0 r_0 \frac{r}{r-r_0} \quad (11), \quad (r^*-1)(2r^{*2}-r^*-1) = 6 \cdot \frac{k}{S} \frac{h_0 t}{r_0^3} \quad (12)$$

この解析は Lambe の飽和浸透領域解析法と同じ考えによるものである。これによれば重要なパラメーターは k と S であって、湿潤面フロントが進行してゆくような非定常現象では貯留係数 S の式の中での位置は k/S という比の形で常に入ってくる。 S は浸透問題では浸透後の含水率 θ と初期含水率 θ_0 との差であるが、乾燥土中への浸透ではほぼ全固相率 n に等しい³⁾。しかし油の浸入では、油の性質によって異なってくると予想されるので実験的に決定する必要がある。本報告では対象から外れている湿潤土の場合は、 S の値はより一層低下すると考えられる。

参考文献

- 1) Polubarinova-Kochina: Theory of Groundwater Movement, Princeton Univ. Press, 1961
- 2) 宇野尚雄: 地下水位が浅い地盤への水路からの定常浸透に伴う浸透流量と自由水面形, 林学論文集 No. 157, pp. 28-44, 1968.
- 3) 宇野・奥村・林: 不飽和土中の非定常浸透特性について, 中環工学会研究発表会概要集, pp. 245-250, 1968.