

II-75 浸透流出量の過渡応答特性について

足利工業大学 正会員 ○中山 隆男

1. はじめに

砂層あるいは多孔体中の流出量はダルシーの法則によって近似されるはずであるが、温度一定条件下の長期間にわたる浸透流の流出量の測定結果、過渡現象と考えられる流出量の変動を報告した^{*)}。こうした現象を明らかにするために実験を行い、1次微分要素で近似されるステップ応答が得られたので報告する。

2. 実験装置および方法

実験装置の概略を図1に示す。装置は透明アクリル管と透明アクリル板で作成した。下部に水槽を作り、その上部にアクリル管の水位安定水槽と浸透部を設けた。管の内径は1.8cm、水槽の内寸法は、底面積10cm×5cmで高さ5cmであり、0.5cm厚のフタをかぶせ水槽とした。この上ブタと水位安定水槽の連結部分は管の外径寸法と同じ径の穴を切って接合した。浸透水槽底面の部分は直径2mmの穴を27個あけ接合した。浸透水槽底面にはガラスウールを薄く敷いてフィルターを作った。そこに、あらかじめ水を湛え、ガラスビーズ（粒径0.177～0.250 mm比重2.5g/cm³）を静かに少量づつ加え、側壁をたたきながら充填し、浸透部に封入空気が入っていない状態とした。

実験は2回行った。ガラスビーズ72gを充填したものは、ビーズ厚さ18.5cm、間ゲキ比0.39となった。2回目の実験は、62gを充填し、厚さ15.9cm、間ゲキ比0.39となった。このときの水位差は15cmとした。流出量は微量流量測定器を用いて記録した。

なお、実験は、温度20℃、湿度50%に維持された恒温室内にて行い、水は蒸留水（水温20℃）を使用した。

3. 実験結果

図2は、実験結果と計算値の比較を示す。●印は浸透水槽の厚さ18.5cmを示し、○印は、15.9cmのものを示す。プロットした流量は、1日の全流出量を1分間当たりの流出量に換算したものである。いずれの場合も減衰する特性を示した。○印の15.9cmの場合は7日目以降一定の値0.67ml/分を示した。

なお、ここで使用した流量測定器の測定範囲は2～25ml/分であり2ml/分以下の値は信頼性にかけろが、新たに検量線を作り、その電流値を流量に換算したものである。

4. 実験結果に対する近似

1次微分要素のインディシャル応答の式は

$$y = Ce^{-\frac{t}{T}}$$

で表されるから、流量のステップ応答を次式に示す。ここでQ はt=0における流量とすると、

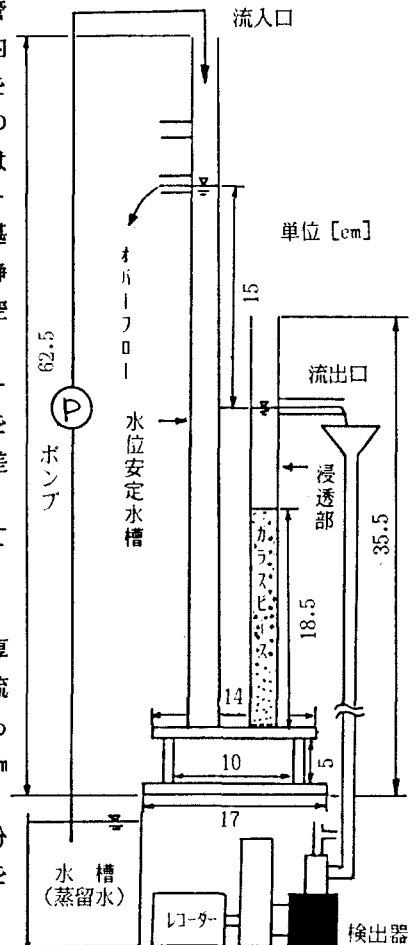


図1 実験装置の概略

$$Q = Q_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

●印を $Q = 2.6 \text{ ml} / \text{分}$ と仮定して求めると

$$Q = 2.6 e^{-3.47 \times 10^{-4} t}$$

さらに、○印では、 $0.6 \text{ ml} / \text{分}$ の値に漸近するとして、 $Q = 4.0 \text{ ml} / \text{分}$ と仮定して求めると

$$Q = (4.0 - 0.6) e^{-2.14 \times 10^{-4} t} + 0.6$$

これらの式を用いて近似したのが図2の破線に相当する部分である。なお、 t は経過日数を分の単位に換算して代入するものとする。

5. 過渡現象の原因についての一考察

こうした現象を電気回路では、RC回路で表現できる。また、界面化学や電気化学で言う電気運動学的現象の一つである流動電位の現象が関与すると考える。

流動電位は界面電気現象で、液体（水は有極性分子）を細管や多孔体中を圧力をかけて流すと、流れの方向に電位差を生じる現象であり、その流動電位を E で表すと $E = P \xi D / 4 \pi \eta \kappa$ ここで、 P は流動圧、 ξ は電位、 D は誘電率、 η は液の粘度、 κ は液の比導電率を表すと言われているから、本実験において、 P は水圧、水の比誘電率の式 $k_f = 88.15 - 0.414 t + 0.131 \times 10^{-3} t^2 - 0.046 \times 10^{-4} t^3$ より（ t は温度）より $k = 80.35$ であるから水の誘電率を求めると $D = 80$ 、水の比導電率は、伝導度の逆数より $\kappa = 1 \times 10^{-6} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$ 、水の粘度は、 $\eta = 9 \times 10^{-3} \text{ poise}$ 、であるから、実験において、電位差を測定すれば、こうした系における電位を逆算することが可能になり、電気二重層の形成によってガラスビーズの表面に帯電するから電気回路で言うコンデンサの働きを論ずることが可能になると考える。

さらに、抵抗 R について考えられる原因を上げると、まず、レオロジーにおける高分子溶液の分子構造が網目構造を呈し粘弾性的な働きをされると言われているが、水も分子会合をもち水素結合力で引き合っているとされるから、こうした多孔体構造において、粘弾性的な働きを論ずることが可能になるか、あるいはコロイド化学において、分散粒子に帯電することにより電気粘性効果によって粘度が増大すると言われているが（アインシュタインの粘度式）、この実験のように固定層の粒子に帯電しても、粘度の増大が考えられるかどうか、また、粉体学における粒子間のファンデルワールス力が抵抗として考えられるのではないか、これらを考え合わせて、さらに検討を加えたい。

流体力学においては、液体も原子や分子からできているが、このような微視的構造には立ち入らないで多数の分子についての平均をとって、連続体としての運動を巨視的に論ずる立場であると言われているがこのような現象を明らかにするために、微視的な状態を考慮し境界層を界面でとらえて、電位差を計測できれば電磁流体力学的な検討を重ねて発表を行いたい。

〔謝辞〕

本研究を行うにあたり、使用した微量流量測定器は、本学同窓会の昭和62年度学内助成を受けたものである。また、高橋美二君と橋本武夫君に協力していただきました。ここに記して厚く御礼申し上げます。

〔参考文献〕

- 中山他；毛管サイフォン現象の流出水量の振動現象について、第14回関東支部年次研究発表会 1987.4
中山他；砂層浸透モデルによる浸透流の流出特性について、第15回関東支部年次研究発表会 1988.3

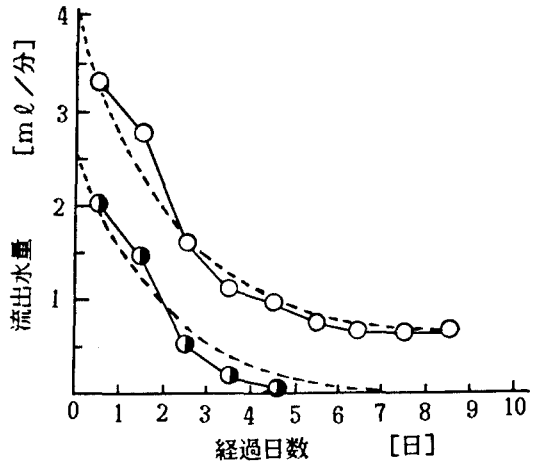


図2 実験結果と計算値との比較