

足利工業大学 正会員 ○中山 隆男
足利工業大学 正会員 本田 善則

1. はじめに

前回の支部年次研究発表会では、毛管サイフォン現象の流出水量の振動現象が、砂層浸透の運動方程式 $m\ddot{x} + R\dot{x} + kx = F(t)$ で近似することができることを報告した。そこで、普通の砂層浸透モデルにおいても流量変動が起こるのではないかと考え、実験を行い類似する流量変動が生じたので報告する。

2. 実験装置および方法

実験装置の概略を図1に示す。装置は透明塩化ビニール板で作成し、水位安定水槽と浸透槽を下部にて連結したものから成っている。装置の寸法は、水位安定水槽が横幅1cm、奥行5cm、高さ60cm、浸透槽が横幅20cm、奥行20cm、高さ46cmである。浸透槽は下部より5cmの所に有孔板をセットし、その上に網目0.5mmの金網をのせてガラスウールを薄く敷いてフィルターを作った。そして、砂の代わりに標準砂の粒径に近いガラスビーズ（粒径0.177～0.250mm・比重2.5g/cm³）を21kg充填した。ガラスビーズを使用したのは、砂粒よりも球形であり、その表面積の計算を容易にするためである。このような装置を、砂層浸透のモデルにした。浸透流は槽内を下方より上方に移動して流出する。流出水量は微量流量測定器を用いて記録した。

実験は、前日より流出口近くまで水を満たし、ガラスビーズ厚さ34cm、間ゲキ比0.38となった。流出水量検出器の測定範囲2～25mℓ/分以内になるように水位差0.6cmに設定して測定した。

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、水は蒸留水を使用した。

3. 実験結果

図2は、流出水量の経日変化を示す。プロットした流量は、1日の全流出水量を1分間当たりの流出水量に換算したものである。

流出水量は3日目まで少し減少したのち、増加しつづけ14日目で最大値となつてからは徐々に減少した。

なお、学内停電のため本実験では20日間の値しかなく定常値までの実験を行うことができなかった。

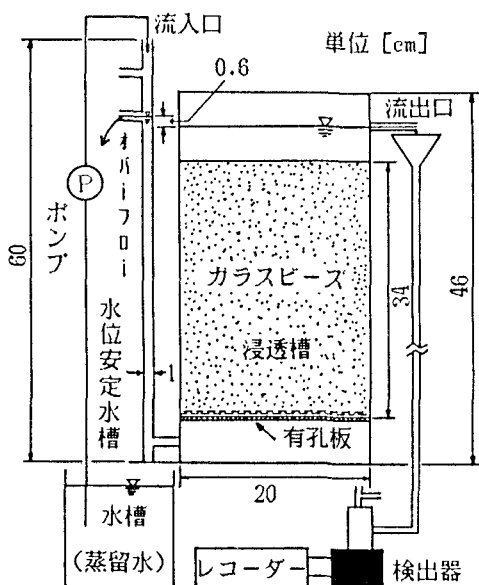


図1 実験装置の概略

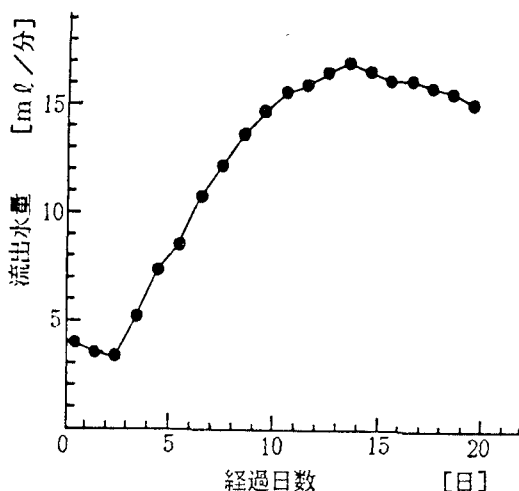


図2 流出水量の経日変化

4. 実験結果とステップ応答

この実験結果を昨年と同様に2次系のインディシャル応答の式

$$a(t) = 1 - \frac{e^{-\zeta \omega_n t}}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \sin(\sqrt{1 - \zeta^2} \omega_n t + \phi)$$

ただし、

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\sqrt{1 - \zeta^2}}{\zeta}$$

を用い、その特性値にあてはめると、定常値を14mℓ/分に仮定して、行き過ぎ時間13.7日、最大行き過ぎ量17.2mℓ/分とし、むだ時間を-0.7日として考慮し、これら

の値を秒の単位に換算して計算すると、 $\zeta = 0.425$ 、 $\omega_n = 2.79 \times 10^{-6}$ を得た。その結果をステップ応答にした計算結果と実験結果とを比較すると図3に示すように近似した。

5. m、R、Kについての一考察

このような流出特性が、ある条件($0 < \zeta < 1$)のもとに成立するとすれば、レオロジーで言う粘弾性を考慮した理論式 $m \ddot{x} + R \dot{x} + Kx = F(t)$ が使用可能であるということになる。そこで、m、R、Kの形状因子に相当するものを明らかにすることが重要であり、現時点での考えを述べることにする。

$F(t) = A \rho g H$ は全水圧であり、Aは砂層断面積、 ρ は水の密度、gは重力加速度、Hは水位差である。Kxで示される弾性項は、水の弾性係数によって表される弾性力ではなく、境界面での固液界面張力の総和が全水圧と釣り合う力の関係になると考える。また、 $R \dot{x}$ で示される粘性項は、水の粘性によるものとする。一般に砂層内の流れは層流状態であるとされるからニュートン流動のモデルが適用され、流れに平行な一つの面を考えれば相対速度で表される。この粘性は内部摩擦抵抗の概念で論じられるものであるから、 $R \dot{x}$ は定常値になると働かなくなる項であると考えられる。

さらに、 $m \ddot{x}$ の項は、ラプラス変換において、 $K/m = \omega_n^2$ 、 $R/m = 2\zeta \omega_n$ と定義されていることによりmを求めることが可能である。しかし、K、Rのどちらか一方の値が確定することが必要となる。

$2\zeta \omega_n = 2.37 \times 10^{-6}$ 、 $\omega_n^2 = 7.78 \times 10^{-12}$ は計算で求められていることから、K、Rの値によっては $m \ddot{x}$ の項は大きな値になることが予想され、ガラスビーズの重さや水の重さだけではなく、ガラスビーズの全表面積が形状因子に関与する質量となると推測し、これらの形状因子を検討中である。

なお、むだ時間を-0.7日としたものが実験値にもっとも近似したのは、ガラスビーズを前日より水に浸して準備したので固液の親和力が実験開始前より働き始めていたためではないかと考えている。

6. 今後の課題

本実験では、前日より水を満たした状態にしたが、ガラスビーズを充填した槽内には無数の封入空気が存在し、これらを取り除けなかったため、Kxの項は固液界面張力のみでなく気液界面張力も関与していると考えられる。今後は、封入空気のない状態での実験を行い形状因子を明確にし流出特性を求めたい。

〔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、卒研生の高橋美二君と橋本武夫君に実験に協力していただきました。ここに記して深く謝意を表します。

〔参考文献〕 中山；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講演概要集、1987.4 山梨大

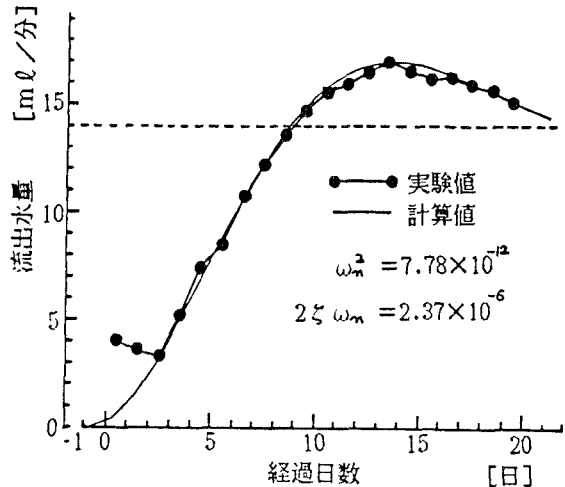


図3 実験結果と計算値との比較