

足利工業大学 正員 ○中山 隆男

足利工業大学 正員 本田 善則

1. はじめに

土壌処理法のひとつである毛管サイフォン浸潤法の毛管サイフォン現象についての実験を行い、毛管で上昇した水が砂層中のセキを乗り越えて浸透してゆく毛管サイフォンの浸透流出水量を計測した結果、その流出水量に振動現象が現れたので報告する。

2. 実験装置および方法

実験装置の概略を図1に示す。装置は透明塩化ビニール板で作成し、中央のセキを中心にして左右対称とした。充填した砂は標準砂(粒径 $0.105 \sim 0.297\text{mm}$)を使用し、底面から 10cm までは小砂利、砂を粒径の大きいものから敷き、徐々に標準砂の粒径に近づけ、その上に標準砂を上限まで充填した。水は小砂利層の側方にあけた穴より流入あるいは流出するしくみとした。寸法は、奥行 15cm 、高さ 91cm 、中央の仕切りセキの高さ 50cm 、左右の幅をそれぞれ 15cm とし、流入側の水位安定槽および下流側の水位安定槽の幅は 2cm とした。そして、左右とも 5cm 間隔で水位高を調整するパイプを取り付けた。

実験は、温度による影響を避けるために恒温室内で 20°C に維持して行った。流入側の水位をセキ高 4.5cm として、流出側の水位を変えて流出水量を測定した。

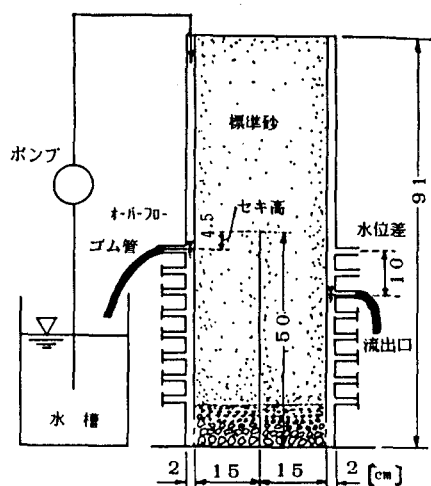


図1 実験装置の概略

3. 実験結果

図2は、流出水量の経日変化を示し、水位差 10cm のときと 30cm のときの流量変動を示す。

水位差 10cm の場合は、砂が乾燥した状態から開始したものである。

流出水量は増加し最大値になり減少しながら32日目以降は $24\text{ml}/\text{分}$ の値に漸近した。

つぎに、水位差 30cm に変化させた。流量は、18日目まで減少したが以後は増減をくり返し、40日目より、さらに減少してゆく結果となった。

なお、40日目の流量が高い値を示したのは、恒温室の故障によって温度が 33°C まで上昇したため、水の粘性が変化したのものであると考えられる。

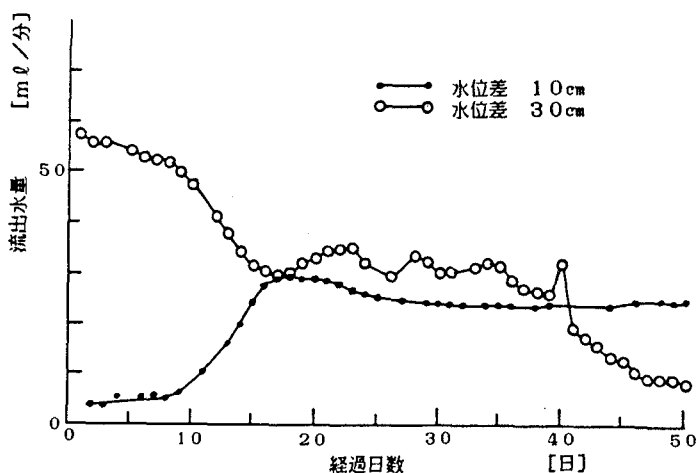


図2 流出水量の経日変化

4. 流量変動に関する検討

毛管サイフォンも浸透流であるから、砂層を浸透する流出水量はダルシーの法則によって近似される流量となるはずである。しかし、実験結果には振動現象が現れた。

水が砂層内を毛管力によって上昇しサイフォンで移動してゆく際の初期では、砂の粒径は均一だとしても、間ゲキにはばらつきが生じているから、狭い間ゲキへの移動が開始され、砂層内には多くの封入空気が形成されると考えられる。このような水と標準砂と封入空気て形成された状態中を液体が移動するのであるから、封入空気の影響を考慮する必要がある。

一方で、振動現象を取り扱うものとして自動制御理論やレオロジーで言う粘弾性を考慮したモデルがあるが、この現象もそれに類似するものと考えられる。毛管サイフォン現象において粘弾性が考慮できるならば、実験結果に近似する運動方程式が導かれる。

粘弾性を考えた砂層浸透の運動方程式として $m\ddot{x} + R\dot{x} + Kx = F(t)$ という式を考えると、 m は慣性、 R は粘性、 K は弾性を表す3要素といわれ、2次遅れ要素である。また、この実験では常に流入側の水位は一定に保っていることから、自動制御理論でいうステップ入力に相当し、 $F(t)$ で表し、力の次元を考えるなら $A \cdot \rho g H$ に相当する入力とみなすことができ、その出力である流量変化はステップ応答である。

上記の式の伝達関数を $W(s)$ 、その制御系のインディシャル応答を $a(t)$ とすると次のようになる

$$W(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad a(t) = \mathcal{L}^{-1} \left[\frac{\omega_n^2}{s(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)} \right]$$

これを逆ラプラス変換し、振動を表すときの減衰係数 ζ が、 $\zeta < 1$ の範囲について示すと、

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

ただし、

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

この式を利用して、水位差10cmの実験結果を解析すると、むだ時間を考慮して、インディシャル応答の特性値にあてはめて求め、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に示すように近似された。

5. 今後の課題

封入空気量や装置の境界条件によって決まる見掛けの粘性を考慮し、この系における水の粘性や弾性係数を決めることができる。さらに砂層中の水量を求め毛管力の表面張力をも考慮できれば、砂層浸透運動方程式にあてはめ、この現象を予測する理論式を確立することが可能であると考えられ、検討中である。

〔謝辞〕

本研究を行うにあたり、協力していただいた土木工学科学生の伊藤勝之君と安野均君ならびに卒業生の大和田茂君と原下禎美君に深く感謝しております。また、学内諸兄の先生方より御助言や御協力を頂いたことを深く感謝しております。

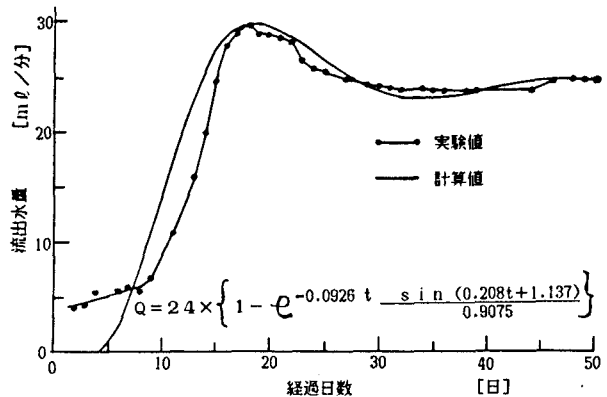


図3 実験結果と計算値との比較