

大阪大学工学部 正員 室田 明

大阪府立高専 正員 ○佐藤 邦明

《目的》

地下水流の様な多孔質中の流れの抵抗係数、および Reynold 数は pipe flow におけるごとく両者を一義的に関数関係で結びつけることは困難である。従来、一般に多孔質中の流れの抵抗係数 ζ 、および Reynold 数 Re をそれぞれ $I = \frac{\zeta}{2g} \frac{v^2}{d}$, $Re = \frac{vd}{\nu}$ で定義してきた。ただし、 I ; 動水こう配, d ; 平均粒径 (cm), v ; 地下水の定義における見掛けの流速 (cm/sec), ν ; 動粘性係数 (cm²/sec) である。

しかし、上述の ζ, Re の表現は各研究者により必ずしも同じでない。この点については先の第10回水理講演会において示したが、例へば、Reynold 数中の代表的な長さ d の代りに10%有効径 d_e を採用したり、次元を無視して透水係数を使っている研究者もある。

我々は、 Re の統一的表现を得るための第一歩として、流れの内部機構を解明する必要があると考え、本研究の目的を次の2点に集約する。すなわち、(1) 抵抗係数を規定する有効流水断面積とは何か。(これは Reynold 数の代表的長さを定義すること) (2) pipe flow の場合と異なり層-遷移-乱流への移行が極めて gradually に起るのはいかなる機構によるか。以上2点に着目して基礎研究を行った。

《実験装置と方法》

人為的に任意の間隙構造を作るという目的と層流から乱流への遷移状態を微細にわたって観測するための便宜上、透水体の一次元 model とでもいうべき模型を製作した。透明アクリル樹脂製の短形管 (長さ 200 cm, 断面 24 × 24 cm) の内面に直径 2 cm の透明アクリル樹脂製の 1/4 球, 1/2 球を適当な配列で各側壁にはりつけたもので透水体を作る。流体は層流域, および遷移領域では Varden H. I. oil no 10, (ν_{7c} : 1.55 cm²/sec), Varden H. I. oil no 1 (ν_{7c} : 0.24 cm²/sec) を使い、さらに乱流域では水を用いた。

空隙状態は実験番号 Exp 1~6 の中で Exp 4, 5 は粒子配列が周期的で Regular な間隙断面 (A_{00}) を持ち、それぞれ $A_{00, \text{Exp 4}} = 0.86 + \frac{\pi}{4} + \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{n^2} \cos n\pi x$, $A_{00, \text{Exp 5}} = 1.65 + \frac{\pi}{4} + \frac{3}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{n^2} \cos n\pi x$ ($0 < x < 1$) である。また、Exp 1, 2, 3, 6 は Random な断面変化をしておりこれらの model はすべてほぼ同じ様な変化をしている。

《結果とその検討》

実験により得られた抵抗係数 $\zeta = I d_{2g} / v^2$, と $Re = v d / \nu$ をそれぞれ縦横両軸にくり plot したものが図-2 に示されている。これによると最上端に Exp 4 が位置し、次に Exp 1, 2, 3, 6 がほぼ同じ曲線にのり、他の Exp-5 が最下端に位置している。各透水体の空隙率あるいは流水断面積の変動率 (σ / A_{mean}) は図-2 の表に掲げた様に、 Re は前者より後者に関係していることが分る。(図-2 の A 群を参照)

さて、透水体構成粒子の作る種々の間隙断面の内の最小断面 (A_{min})、あるいは種々の流水断面の内の比較的小さい諸断面の全体に対する生起頻度が抵抗係数を定める要素であろうという観点から、図-1 に示したごとく縦軸に透水体構成粒子の作る種々の流水断面の累加百分率を、また横軸に相對断面積 A/A をとって流積累加曲線を描き、曲線の急変する 15% に相当する断面積 A_{eff} を有効流水断面と考え透水体の流速を定め、別に Reynold 数の代表的長さ $d_{\text{eff}} = \sqrt{A_{\text{min}}}$ を採用して、 Re を定義して

図-2の最下端にら、 Re を示した。透水体を単純化 model で考えれば、このら、 Re の表現を使って少なくとも層流域において統一的关系が得られる。図-2中でBと示したData 群である。

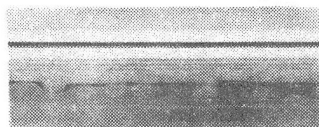


写真1

上流から30%の流況



写真2

上流から100%の流況

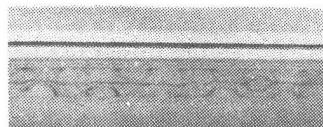
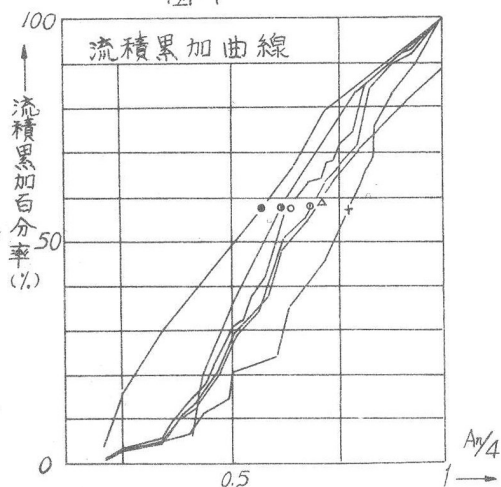


写真3

上流から150%の流況

写真1,2,3はそれぞれ Exp 4の動水こう配 1/9の時の層流から徐々に移行する流況観測である。

図-1



《結論》

抵抗係数を規定する有効流水断面について、使用した model の様に人為的に空隙率を広範囲(48~65%)に変動させる場合は、もううん代表的長さとして粒径そのものを使うわけにはいかないが、実用上はさておき理論上は空隙状態を代表する様な適当な dimension を採用すべきである。この場合は流積累加曲線の約15%の有効流水断面積を使い、 Re の代表的長さとして $deff = \sqrt{A_{min}}$ を使えば統一的表现が可能である。

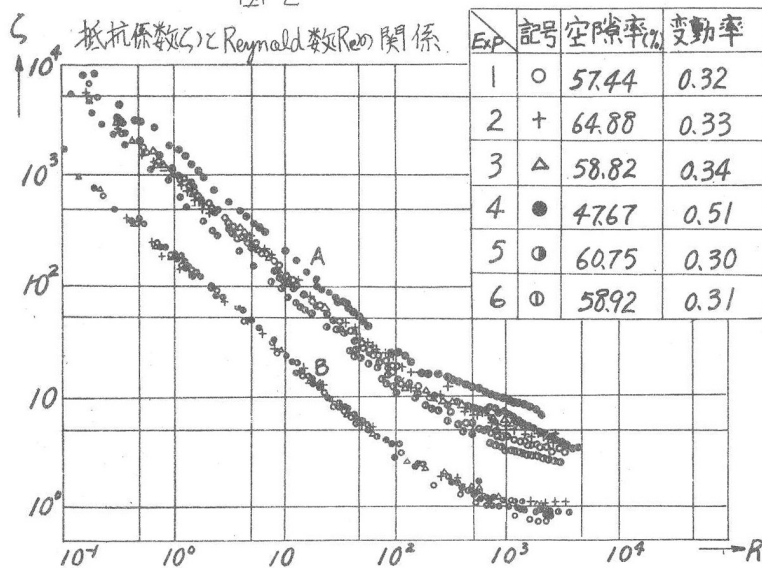
層流から乱流への遷移が極めて gradually に起るのは次の様な理由によるものと思われる。

空隙断面積の変化、曲り等によって乱れ energy が

徐々に蓄積されて下流側からちくじ極部的に遷移する形をとり、pipe flow の様に急速に管路全長にわたって乱流が発生するのではない。

また、この様な一次元的 model でも抵抗係数、と Reynold 数が通常の地下水流の傾向と完全に一致するのはこの種の低流速流では、横方向混合がほとんどさかないということに起因するものと考え

図-2



られる。最後に本研究に労を煩わした大阪府の宇野氏、阪大河海研究室の川野氏に謝意を表したい。