

II-154 粗粒子層の透水に関する研究(第2報)

透水現象の分類と実験式

日本大学工学部 ○正員 安田 禎 輔
正員 藤田 龍 之

まえがき、従来、透水現象は *Darcy* 則の成立する層流領域と非 *Darcy* 領域である乱流領域との二つの領域に分けられると考えられていた。しかし実際はこの二つの領域の間に、無視できないほどの広範囲な遷移領域が存在し、しかもこの領域はさらに二つの領域、すなわち疑層流領域と疑乱流領域とに分けられることが今回までの我々の実験により明確になった。

普通、乱流領域と考えられている現象でも、実際は、遷移領域内のせいぜい疑乱流領域内にとどまる場合が多く、自然界において乱流状態が生ずる場合は極く稀である。*Darcy* 則が成立しないからといって乱流状態であると決めてしまうことは、はなはだ疑問である。

本研究は、上記各領域による透水現象の分類と、遷移領域、特に疑乱流領域における浸透流速の実験式とその実測値との比較とについて報告する。

§1 実験方法と実験装置

実験方法と実験装置および理論的考察については、粗粒子層の透水に関する研究(第1報)土木学会第26回年次学術講演会概要IIを参照されたい。

§2 実験結果とその考察

2-1 動水勾配と流速

動水勾配 I と真の流速 v との測定値を両対数方眼紙にプロットすると、Fig-1およびFig-2に示すいくつかの例から直線分布していることが分る。したがって v と I との関係は、

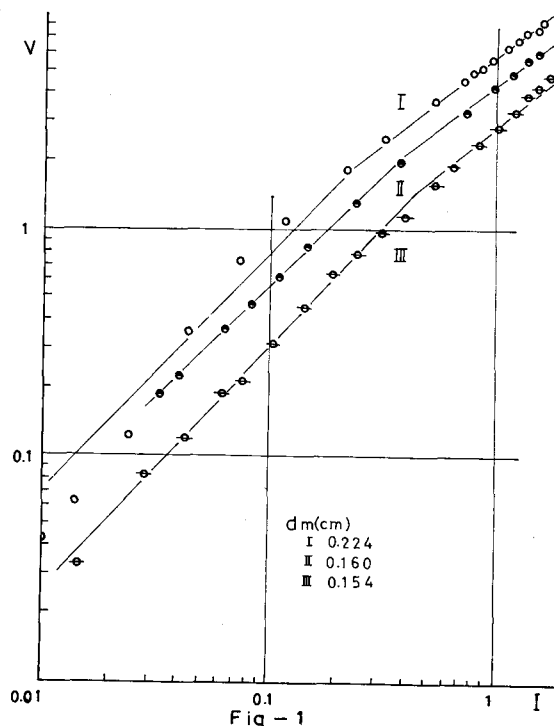
$$\log v = m' \log I + \log k$$

$$\text{すなわち } v = k I^{m'} \quad \dots (1)$$

で示される。ここで k は d_m, e, g, v, Re などの関数で、*Darcy* 則の透水係数に相当するものである。なお、実験値より、(1)式の m' , k を最小自乗法により算出した値については、詳しく後述する。

2-2 抵抗係数とレイノルズ数

Fig-3は抵抗係数 ξ とレイノルズ数 Re との関係を両対数紙にプロットしたものである。これより、 $Re-\xi$ 線は $Re = 20$ 付近で折れた直線となる



ことが分る。

今回は、 $Re=2000$ 付近の実験は行なわなかったが、 $Re=2000$ 付近については土木学会第23回年次学術講演会で報告(安田)したように、 $Re-\zeta$ 線は $Re=2000$ 付近で折れる傾向がある。

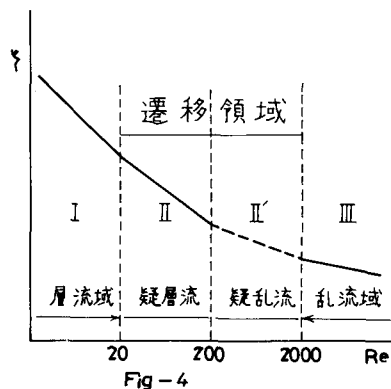
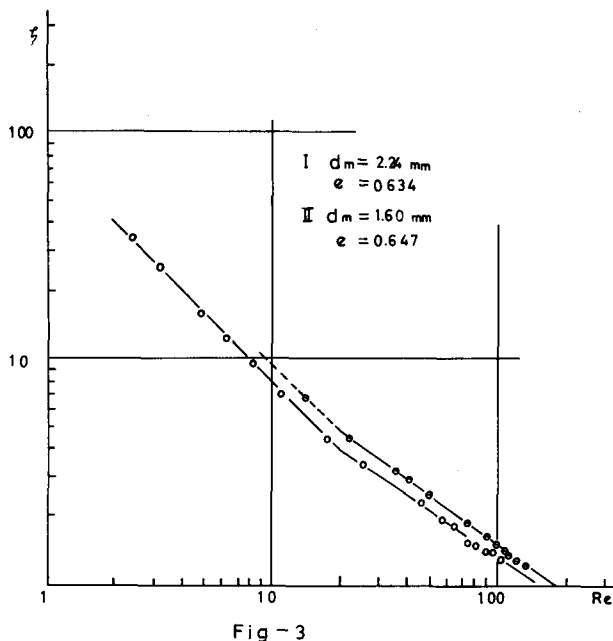
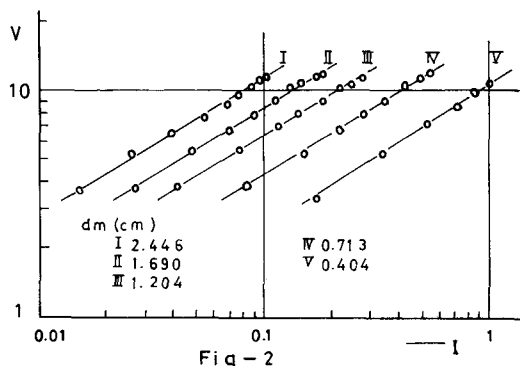
また、上記のグラフの $Re<2000$ の部分と、Fig-3の $Re>20$ の部分との勾配を比較すると明らかに異なるので、 $Re-\zeta$ 線は、 $20<Re<2000$ の範囲内の点で折れることが予想される。今回の実験においては、 Re の範囲が10付近より2000付近までの連続した実験資料が数少ないため、上記の傾向を確実に把握することができなかったが、数例については上記の傾向を示している実験データが得られた。

以上のことがらより、 $Re-\zeta$ 線は $Re=20$ 、200、2000付近で折れた折線となることが推定される(Fig-4参照)

2-3 透水現象の分類

前節より $Re-\zeta$ は、Fig-4のようにモデル化することができる。従来より、透水現象はDarcy則の成立する層流域と非Darcy領域である乱流域との二つの領域に分けられるものと考えられていた。たとえ、その境界点に層流から乱流領域への移行過程が存在すると認めたとしても、その範囲は問題にする程広範囲のものではなく、またある程度連続的な曲線の変化をするものと考えられていた。しかし実際はこの二つの領域の間に無視できないほどの広範囲な遷移領域が存在し、しかもFig-4に示すように、この領域はさらに二つの領域すなわち疑層流領域と疑乱流領域とに分けられ、曲線的移行ではなく折線移行過程を提示することが今回までの実験によりほぼ明確になった。

疑層流領域は乱れが発生し始めた層流的傾向の大きい遷移過程と考えられ、他の領域に比べると比較的不安定な傾向を示す。疑乱流領域はかなり乱れが発生した乱流的傾向の大きな遷移過程と考えられ、巨視的に見ると、かなり安定した現象である。



2-4 指数 m' と粒径

前節により、実験データの整理は各領域ごとに分類して計算を行なわなければならないことが分る。

Fig-5は $d_m - m'$ の関係を示すグラフである。これよりⅡ領域は実験範囲が狭かったことと実験個数が少なかったため多少点のバラツキがあるが、ほぼ $m' = 0.75 \sim 0.85$ と推定される。Ⅱ'領域においては、 d_m に関係なく $m' = 0.60$ の定数として充分である。また、Ⅰ領域は d_m に関係なく $m' = 1$ であることはDarcy則により、従来より定説になっているし、我々の実験においてもこれを確認することができた。Ⅲ領域においては、残念ながら実験装置の能力その他により、充分なだけの結果が得られず、 m' を決定するまでにいたらなかったが、おうよう $m' = 0.4$ 前後に存在するものと予想している。

以上のことがらにより、Ⅰの指数 m' はバラバラな値をとったり、連続的な変化をしたりするのではなく、各領域において個有な値を持ち、階段状に変化する。

2-5 k と d_m との関係

Fig-6は k と d_m との関係を両対数方眼紙にプロットしたものであり、 $Re > 200$ 、 $d_m > 5.86 \text{ mm}$ の範囲で直線分布している。したがって

$$\log k = n' \log d_m + \log k'$$

すなわち

$$k = k' d_m^{n'} \quad \dots \dots (2)$$

が成立する。上記実験データより疑乱流領域における n' を算出すると、 $n' = 0.815$ となる。

土木学会第23回年次学術講演会において、安田は m' と n' との関係について半理論的にその関係式を提案したが、これを用いて疑乱流領域における n' を算出すると、 $m' = 0.6$ であるから

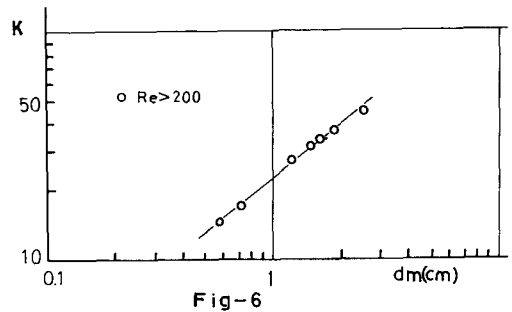
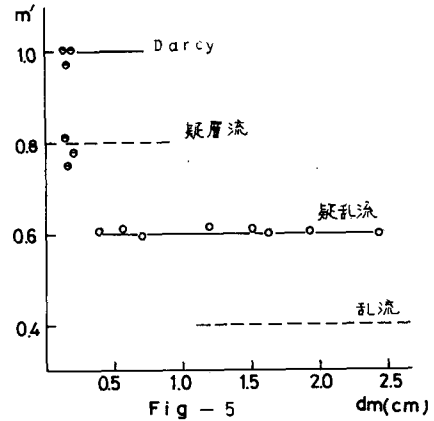
$$n' = 3m' - 1 = 0.8 \quad \dots \dots (3)$$

となり実験値0.815とほぼ一致する。したがって、 m' と n' との関係式(3)は、実験的に実証されたものと考えられる。また k の値はC.G.S単位で $k = 22.55$ を得た。

§3 流速公式

前回までの報告⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾において、筆者は透水における真の流速公式が理論的に

$$\left. \begin{aligned} v &= f(e) \frac{g^{n'}}{v^{2m'-1}} \cdot d_m^{n'} \cdot I^{m'} \\ n' &= 3m' - 1 \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots (4)$$



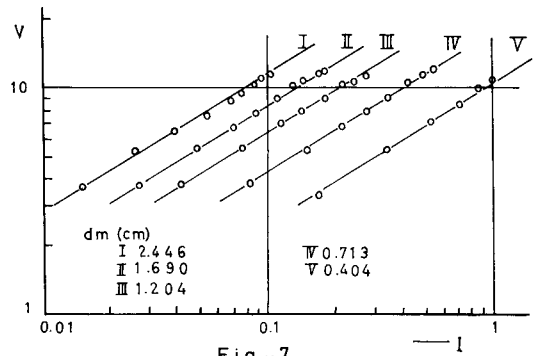
なることを提唱してきたが、 k' すなわち f の関数の解明がまだ未解決ではあるが、今回の実験により真の透水流速 v は全領域において、 $v = k' d_m^{m'} I^{n'}$ すなわち(4)式で表わされることは実験的にほぼ検証されたものと考えることができる。

ガラス玉および鉛玉均一粒粒子層の、 $2.446 < d_m < 0.586$, $0.600 < e < 0.691$, $200 < Re < 2000$ の範囲における真の流速の実験式は $g.s$ 単位で

$$v = 22.55 d_m^{0.815} I^{0.600} \quad \dots (5)$$

を得た。

Fig-7 に実測値と(5)式による計算値との比較のいくつかを示すと、図のように実験式と実測値は良く一致する。したがって、疑乱流域における均一球形粗粒子層の流速式(5)式は十分に精度が高いものと考えられる。



むすび

1) 層流域と乱流域の間に遷移領域があり、これはさらに二つの領域、すなわち疑層流領域と疑乱流領域に分かれる。

2) 指数 m' , n' は連続的に変化するのではなく、各領域において固有の値を持ち、階段状の変化をする。

3) 透水における流速は、全領域において(4)式のような指数型公式で表わされる。本実験においては、疑乱流域における(5)式を得、また実測値と良く一致した。

4) 流速公式 $v = k' d_m^{m'} I^{n'}$ における、指数 m' , n' は各領域において固有の値を持つが、これは砂利、碎石など、その他の材料に対しても同じ値を取り、透水試料に左右されるものではなく、例えば、疑乱流域においては、砂利、碎石、ガラス玉など、各試料に対して一定値 $m' = 0.6$ を取る。ここで、透水試料の形状や粒形によって変化するのは k' と考えられる。

参考文献

- 1) 安田禎輔 球形粗粒子層内の透水に関する研究
土木学会第23回年次学術講演会概要 第II部 昭和39年
- 2) 安田禎輔 粗粒子層の透水と代表粒径の選定
第12回学術研究報告会講演予稿集 日本大学工学部 昭和44年
- 3) 安田・藤田 粗粒子層の透水に関する研究(第1報)
土木学会第26回年次学術講演会概要 第II部 昭和46年