

19 球形粗粒子層の透水について

日本大学工学部 正員 安田 楨 補
〇 藤 田 龍 之

まえがき

細砂をはじめ、粒子の微細な土の層流域における透水の研究は、透水係数というあいまいな要素を残すが、ダルシーの法則を中心とした研究がある。しかし砂利層など粗粒子層に関する研究は数少なく、特に乱流域における研究は皆無に等しい。そこで我々は砂利、碎石層の透水研究を総局の目的とするが、予備的研究として均一球形粗粒子層の透水から着手した。

筆者等的一方は、先に土木学会第23回年次学術講演会及び日本大学工学部第12回学術研究報告会において、ガラス玉層の透水の実験的傾向といくつかの仮定と理論により抵抗係数と流速式を發表した。

今回の報告は、上記の理論的考察の検証と透水現象の特性(層流域、遷移領域、乱流域)について考察し、今回は遷移領域(疑層流、疑乱流)における疑乱流域についての実験結果を報告する。

§1 実験装置

透水層本体は内径20.38cm、長さ50cmの透明アクリル樹脂パイプに均一粒径のガラス玉を詰めたものとし、Fig-1のように10cm間隔にマノメーターを十字に $4 \times 5 = 20$ 個を取りだし相対する2個を連結し10個の圧力測点とした流量調節装置を持った循環水路形式の堅型透水試験機とした。ガラス玉の粒径は1.54mm~24.46mmの11種類で、間隙比は0.600~0.691のほぼ一定値で平均0.640である。

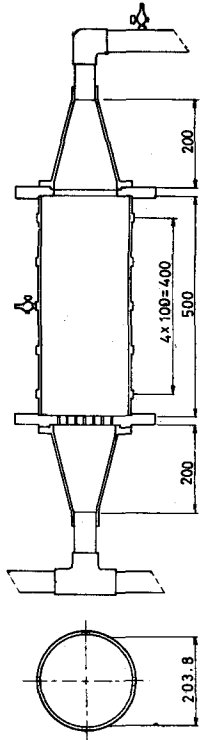
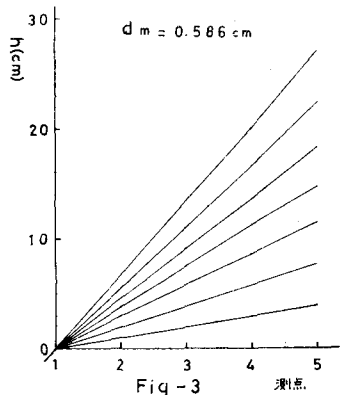
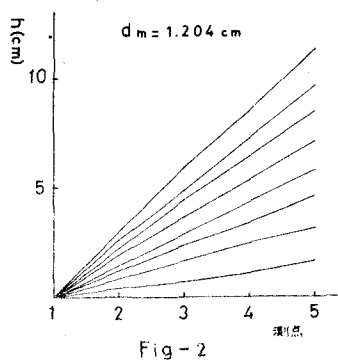


Fig - 1

§2 実験結果と考察

2-1 動水勾配と測点位置

Fig-2, Fig-3は粒径12.04mm及び5.86mmの粒子層における動水勾配と測点との関係を示すグラフであり、ほぼ直線分布となる。従って透水層においては、管路の流水の場合と異って流入による乱れの長さ、すなわち助走距離は非常に短かく、かなり流速が大きく乱流領域に入るような透水試験を行なう場合についてもマノメーターの位置は境界付近(流入出口)より5cm以上離れていれば充分である。また一層速水に於ては動水勾配線は直線となるので両端付近にのみマノメーターを取りつければ充分であり中央付近にマノメーターを取りつける必要はない。また動水勾配を大きくしていく場合と小さくしていく場合について実験を行ったが、この両者による η と I との関係には差異が認められなかった。従って実験結果の整理は両者の結果をまとめて行ってもよい。



また、マノメーターを一断面につき十字に4個取りだして相対する2個を一組としてつなぎ合せ、2個のマノメーターとしたが、この両者の間にはほとんど差異は認められなかった。従って、ことさら十字に取りだす必要はなく一文字に取りこの2個をつなぎ合せ一組のマノメーターとしても充分である。

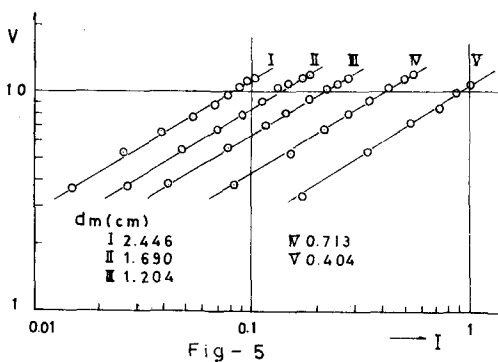
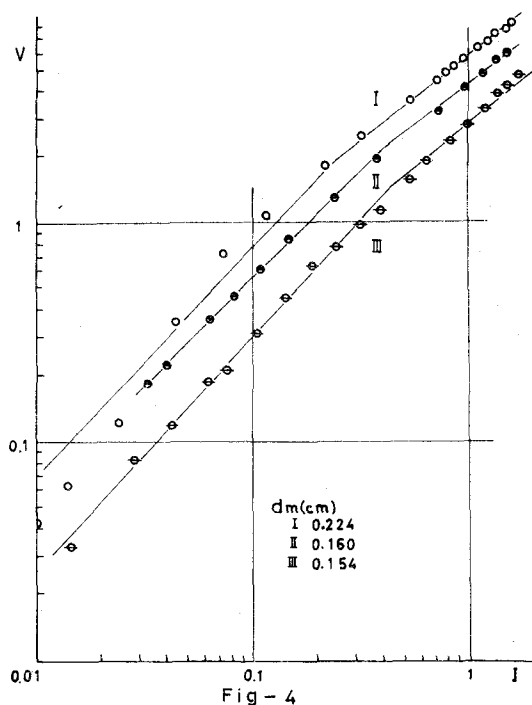
2-2 動水勾配と流速

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-4 及び Fig-5 に示すいくつかの例から直線分布していることが分かる。従って v と I との関係は

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

$$\text{すなわち} \quad v = k I^{m'}$$

で示される。ここで k は dm, e, g, v , などの関数で、ダルシーの法則の透水係数に相当する。



2-3 抵抗係数とレイノルズ数

Fig-6は抵抗係数 ζ 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 - ζ 線は $Re=20$ 付近で折れた直線になっている。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年次学術講演で報告したように、 Re - ζ 線は $Re=2000$ で折れる傾向がある。このグラフの $Re<2000$ の部分と、Fig-6の $Re>20$ 以上の部分との勾配を比較してみると明らかに異なったものになったので、さらに Re - ζ 線は、 $20<Re<2000$ の範囲内での一点で折れることが予想される。今回の実験においては、 $20<Re<2000$ の範囲の連続した実験が少ないため、上記の傾向を確実に把握することは出来なかったが、数例については上記の傾向が多少表われているものを得た。

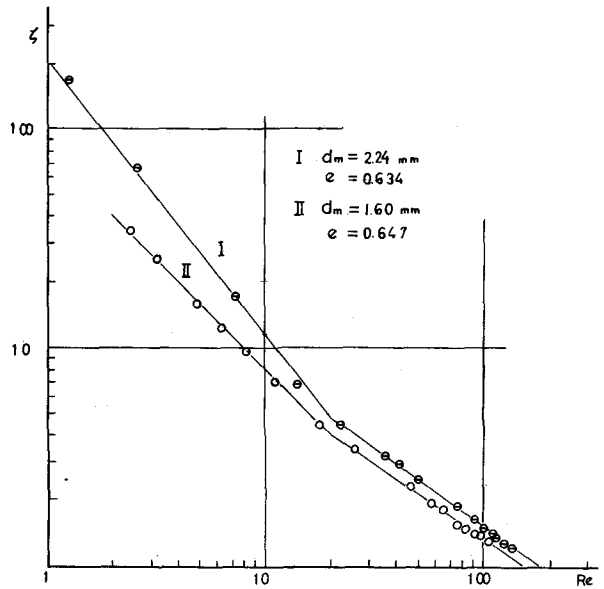


Fig-6

以上のことがらより、 Re - ζ 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。

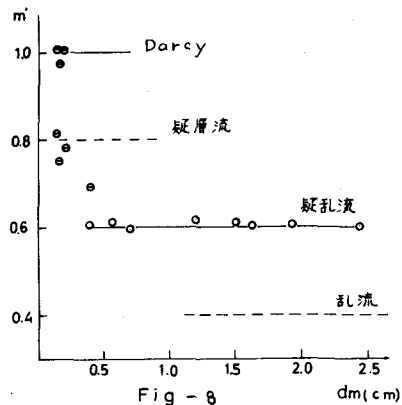
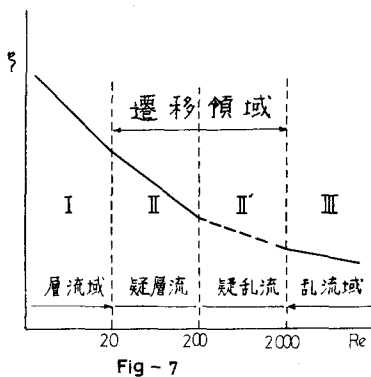
(Fig-7 参照)

2-4 透水現象の分類

前節より Re - ζ 線はFig-7のようにモデル化することができる。従来より透水現象においては、ダルシー則である層流域と非ダルシー則である乱流域とが存在することが提唱されていた。しかし当然考えられることではあるが、今回の実験により層流域から乱流域に移る過程に遷移領域が存在することがある程度確証された。またこの遷移領域は二つに分類され、一つは疑層流域、他の一つは疑乱流域に分かれることが推定できる。疑層流域は層流的傾向の大きい遷移領域であり、疑乱流域はかなり乱れが発達した乱流的傾向の大きい遷移領域と考えられる。

2-5 指数 m' と粒径

前節により実験データの整理は各現象ごとに分類して計算を行なう必要があることが分かる。Fig-8は d_m-m' の関係を示すグラフである。これによりI、II領域は実験値が少なかつたために値にバラツキがでたが、このうちI領域は d_m に関係なく1であることはダルシー則によって従来より定説になっている。II領域に於いては測定値が少ないため確実な値は得られなかったが、ほぼ $m'=0.75\sim0.80$ と推定される。II領域に於てはFig-8に示されているようにほぼ確実に $m'=0.6$ として充分である。III領域に於ては今回は実験を行なわなかったが、 $0<m'<0.6$ の範囲にあり約 $m'=0.4$ 前



後に存在すると予想している。(参考文献1参照)

むすび

- 1) 透水試験における助走距離は管路に比し、非常に短い。
- 2) 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、すなわち疑層流域と疑乱流域に分けられる。
- 3) 透水における流速は、全流域において

$$v = k' d_m^{m'} I^{n'}, \quad m' = \frac{1}{3}(n' + 1) \text{ 又は } n' = 3m' - 1$$

のような指数型公式で表わされる。本実験においては、均一球形粗粒子層の $2.446 \text{ cm} < d_m < 0.586 \text{ cm}$, $0.600 < e < 0.691$, $200 < Re < 2000$ の範囲における真の流速公式は C. g. S 単位で

$$v = 22.55 d_m^{0.815} I^{0.60}$$

を得た。

- 4) 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、階段状に変化する。

最後に、この実験及びデータ処理に直接携わった、日本大学工学部土木科4年、岩村欣一、菊池衛、京才健次、向野元治の四君に心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 安田禎楠 球形粗粒子層内の透水に関する研究
土木学会第23回年次学術講演概要 第Ⅱ部 昭和43年10月
- 2) 安田禎楠 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12月