

II-153 粗粒子層の透水に関する研究(第1報)

理論的考察と実験方法について

日本大学工学部 正 員 安 田 禎 輔

正 員 ○ 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Darcy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。我々は砂利、碎石層透水の研究を終局目的とするが、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(安田)は、先に土木学会第23回年次学術講演会およ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公式を暫定的に報告した。

今回の報告は、上記の理論的考察の概略と若干の修正を試み、あわせて新実験装置の問題点とその方法および主として遷移領域における若干の実験結果を報告する。

§ 1 理論的考察

1-1 抵抗係数

透水層においても、潤辺および径深の定義を普通の水路に準じて定義し、この透水層を形成する粒子を均一球形粒子とみなし、平均的取り扱いをするならば、潤辺 S および径深 R は次式となる

$$S = \frac{6}{d_m(1+e)} A \quad R = \frac{1}{6} e d_m$$

ここで d_m : 粒子の代表粒径 e : 間隙比 A : 透水体の全断面積

透水層内の抵抗 τ を一般水路の場合と同様に

$$\tau = \zeta \frac{\rho v^2}{2}$$

と仮定し、透水方向 ΔS 区間の釣合の条件より、透水における抵抗係数 ζ の一般式が求まる。ただし、潤辺 S は前記のものを採用し、平均的な取り扱いとする。

$$\zeta = \frac{e}{6} \frac{2gd_m}{v^2} I = \frac{e}{6} \frac{2gd_m \Delta h}{v^2 \Delta S} = \frac{e}{3} \frac{I}{Fr^2} \quad (1)$$

ここで v : 浸透流速 g : 重力の加速度 I : 動水勾配 ($I = \Delta h / \Delta S$) Fr : フルード数

この透水抵抗係数は土質力学において一般的に用いられている抵抗係数 $2gd_m \Delta h / v^2 \Delta S$ に $e/6$ を掛けただけのものに等しい。

1-2 次元解析による流速公式

透水現象を規定する要素としては、つぎのようなものが考えられる。

v : 浸透流速 μ : 水の粘性係数 t : 水温 g : 重力の加速度
 Δp : 圧力差 e : 間隙比 ΔS : 透水層厚 ρ : 水の密度
 r_k : 粒度係数 d_m : 代表粒径 C_k : 粒子の形状係数

本報においては均一球形粒子について考えるので C_k は等しいので、これらの要素の関係を

$$f(v, \Delta p, \Delta S, d_m, \mu, g, \rho, e) = 0$$

とおき、Buckingham の Π 定理により無次元化すると

$$\zeta = \frac{e d_m}{\Delta S} \phi'(Re, Fr, \Delta S/d_m, e)$$

ただし、 $Re = v d_m / \nu$, $Fr = v / \sqrt{g d_m}$

ここで前回 の発表において、実験値より $\zeta \propto Re^m$ なる関係を確認したが、この関係を上式に用いると、

$$\zeta = Re^{-m} \frac{e d_m}{\Delta S} \phi''(Fr, \Delta S/d_m, e) \quad \dots (2)$$

となり、(1) および (2) 式より浸透流速 v を求めると次式となる。

$$v = k' R^{n'} I^{m'} = k' d_m^{n'} I^{m'} \quad \dots (3)$$

ただし

$$k' = {}^{(2-m)} \sqrt{\frac{2g}{\phi} \left(\frac{6}{\nu e} \right)^m} \quad k' = {}^{(2-m)} \sqrt{\frac{eg}{3\phi \nu^m}}$$

$$\phi = \frac{e d_m}{\Delta S} \phi''(Fr, \Delta S/d_m, e)$$

$$n' = \frac{1+m}{2-m} \quad m' = \frac{1}{2-m}$$

$$n' = 3m' - 1 \quad \dots (4)$$

1-3 中関数について

次節以後において詳述するが、浸透流速 v は $v \propto d_m^{n'} I^{m'}$, $n' = 3m' - 1$ で表わせることが実験的に確かめられる。したがって v は (3) 式で示され、 k' の中には d_m が含まれない。よって中関数は d_m に無関係でなければならない。ゆえに ϕ' は Fr に無関係になり、 $\Delta S/d_m$ と e の任意関数 $f(e)$ との積で表わされる。

$$\phi'' = \frac{\Delta S}{d_m} f(e) \quad \therefore \phi = e f(e)$$

したがって、 $k' = {}^{(2-m)} \sqrt{g/3f(e) \nu^m}$ となり、これを次式のように書き改めると、すなわち

$$k' = {}^{(2-m)} \sqrt{\frac{g}{\nu^m} f(e)} = f(e) \frac{g^{m'}}{\nu^{2m'-1}} \quad \dots (5)$$

ゆえに浸透流速式 (3) は次式で表わされる。

$$v = {}^{(2-m)} \sqrt{\frac{g}{\nu^m} f(e)} d_m^{n'} I^{m'} = f(e) \frac{g^{m'}}{\nu^{2m'-1}} d_m^{n'} I^{m'} \quad \dots (6)$$

(3) または (6) 式において、 $m=1$ (すなわち、 $m=1$ ならば $m' = 1/2 - m$ により $m' = 1$ となる) とおけば

$$v = f(e) \frac{g}{V} d_m^2 I \quad \dots (7)$$

となり、この式は Darcy 型の流速式である。

§ 2 実験方法と実験装置

2-1 実験装置

実験装置は透水層本体の内径 20.38 cm、長さ 50 cm の透明アクリル樹脂パイプに均一粒径のガラス玉または散弾用鉛玉を詰めたとし、図のように 10.0 cm 間隔にマノメーターを十字に 4×5=20 個取り出し相對する 2 個を連結し計 10 個の水圧測点とした流量調節装置を持った循環水路式の立型透水実験装置とした。ガラス玉の粒径は 1.54 mm ~ 24.46 mm の 11 種類、鉛玉は 1.2 mm ~ 7.7 mm の 10 種類、間隙比が 0.600 ~ 0.691 のほぼ一定値で平均 0.640 であり、後者が 0.690 ~ 0.732 で平均 0.710 である。

2-2 実験方法

透水体の本体（アクリル樹脂パイプ）に試料をセットし、立型透水層本体の下部より上部へ通水し、空気抜きコックより完全に空気を抜き実験を開始する。しかし、この方法では粒径が小さくなると完全に空気を抜き取ることができないので、粒径 4 mm 以下の場合には、あらかじめ満管状態の本体に試料を詰め空気の追出しには万全を期した。いずれにしても、我々は完全飽和状態でかつ定常状態における実験を行なった。また間隙の測定方法は二つ以上の方法により測定し、これを決定した。

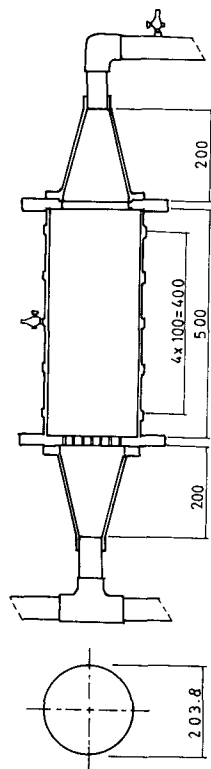


Fig-1

2-3 動水勾配と測点位置

図-2、図-3は粒径 12.04 mm および 5.86 mm のガラス玉層における水圧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。したがって透水層においては、管路の流れの場合と異なって、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 5 cm 以上離れていれば充分である。このように一層透水においては、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ば充分であり、中央付近にマノメーターをつける必要はない。

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なったが、この両者による v と I との関係には差異は認められなかった。したがって、実験結果の整理は両者の測定結果をまとめて行なってもよい。

さらに、マノメーターを一断面につき、十字に 4 個取り出し相對する 2 個をつなぎ合わせ、一断面につき 2 個の水圧計としたが、この両者間にはほとんど差異は認められなかった。したがって、マノメーターはことさら十字に取り出す必要はなく、一文字に 2 個取り出しこれをつなぎ合せ 1 個のマノ

メーターとしても充分である。

また、この実験においては、外的条件を変えないかぎり、砂層透水等におけるような、時間と共に変化したり透水履歴に左右されたりすることがなく、定常状態に保つことが確かめられた。

むすび

1) 先に^{(1)~(5)}均一粒径における指数透水流速公式を發表したが今回の研究によりその式に含まれていた未知関数中の形をさらに明確にすることができた。

2) 透水における助走距離は管路に比して非常に短かく、マノメーターの取り付け位置は境界付近より5cm以上離れていれば充分である。

3) 単層透水においては、動水勾配が直線分布をするので、マノメーターは両端のみに取り付ければ充分であり、中央部分に取り付ける必要はない。

4) マノメーターは、一断面につき一文字に2個取り出して、これを連結し1個の水圧計として充分である。

5) 動水勾配を大きくしていく場合と小さくしていく場合とにおいて、測定結果に差異は認められなかった。

6) 砂層透水のように時間的に変化したり透水履歴に左右されない。外的条件が等しければ定常流となる。

7) 以上の事柄は全領域(層流、遷移、乱流領域)についていうことができる。

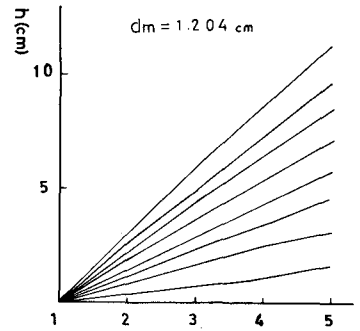


Fig-2

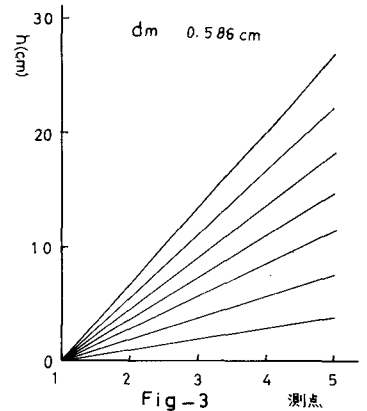


Fig-3

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)4)5) 安田禎輔、藤田龍之 球形粗粒子層の透水について I~Ⅲ

第13回学術研究報告会講演予稿集 日本大学工学部 昭和45年