

隙間の多い粘土のほうが、砂より水を通さない

— 粒の径と間隙率から透水係数を出すと、粗い砂（径 1 mm・間隙率 0.35）は 5.530621×10^{-3} m/s、粘土（径 0.002 mm・間隙率 0.50）は 1.090000×10^{-7} m/s である — 分離子は、間隙の量を問うか、太さを問うか — [論文863]

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan | 山岸勇輝ラボ

2026年9月

YOI: <https://www.yamagishiyuuki.com/yoi/863>

— From thinking to syncing. —

要旨

水をよく通すのは隙間の多い土だ、と思しやすい。本稿は、隙間の量より太さが効くことを、四つの土で数える。新しい定理も法則も主張しない。第一に、透水係数は粒の径と間隙率で決まる。コゼニー＝カルマンの式で、粗い砂 5.530621×10^{-3} 、細かい砂 3.875556×10^{-4} 、シルト 6.567025×10^{-6} 、粘土 1.090000×10^{-7} m/s である（第2節）。第二に、これが本稿の芯である。隙間の多い粘土のほうが、水を通さない。間隙率は粘土のほうが **1.428571** 倍大きいのに、透水係数は 5.073964×10^4 倍、**4.705347** 桁小さい（第3節）。第三に、量は粘土に、太さは砂に味方する。間隙率の項は粘土が **4.927114** 倍有利だが、径の二乗は粗い砂が **250000** 倍有利で、二つの比が透水係数の比と差の割合 10^{-12} 未満で一致する（第3節）。第四に、**100 m** を進む時間は、透水係数よりさらにひらく。動水勾配 0.01 で、粗い砂 2.005350×10^{-2} 年、粘土 1.453582×10^3 年で、比は **72485.207101** 倍（**4.860249** 桁）である。間隙率の比 **1.428571** がもう一度掛かる（第4節）。第五に、水の速さはダルシーの流速より速い。水は間隙の中だけを進むので速さはダルシーの流速の間隙率の逆数倍で、粗い砂でダルシーの流速から出した時間 **0.057296** 年は実際の **0.020053** 年の **2.857143** 倍になる（第4節）。第六に、分離子は、間隙の量を問うか、太さを問うかである。量は水の通ridorの数、太さは一本の通ridorの抵抗を決め、透水係数に効くのは後者である（第5節）。キーワード：ダルシーの法則、透水係数、間隙率、コゼニー＝カルマンの式、地下水、模型。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない。ダルシーの法則、コゼニー＝カルマンの式、水の速さがダルシーの流速を間隙率で割った値であることは、いずれも既知である。実在の地層の値を主張しない。粒の径と間隙率は模型の値で、どの土地の土にも対応しない。流れを広げない。水で満たされていない土の流れ、向きによる違い、層の重なりは入れない。係数を論じない。式の係数 **180** は球に近い粒の代表的な置き方の一つで、粒の形で動く。設計しない。井戸や排水をどう作るかは述べない。既刊との関係：論文**599** は、井戸の水位が距離の対数でしか下がらず、汲み続ければ時間の対数で下がり続けることを示した。本稿はその隣に置く。あちらは透水係数を 10^{-4} m/s と代表値で置いて水位を数えた。論文**574** は、地下水位が **1 m** 下がると淡水の底が **40 m** 上がることを示した。本稿はその隣にも置く。あちらは透水係数を **20 m/日** と置いた。ここでは、その置かれた数が粒の径でどれだけ動くかを数える。加えたのは、四つの土で透水係数と **100 m** を進む時間を並べたこと、間隙率が大きいほうが **4.705347** 桁通さないと測ったこと、その比を間隙率の項と径の二乗に分けて突き合わせたこと、分離子を「間隙の量か、太さか」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：粒の径 d 、間隙率 n の土に、動水勾配 i をかける。透水係数 K 、ダルシーの流速 q （断面全体で割った流量）、水の速さ v （間隙の中を進む速さ）を次のように置く。

$$K = \frac{\rho g}{\mu} \cdot \frac{d^2 n^3}{180(1-n)^2}, \quad q = Ki, \quad v = \frac{q}{n}$$

水の密度 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ 、重力の加速度 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ 、粘り $\mu = 1.0 \times 10^{-3} \text{ Pa s}$ 、動水勾配 $i = 0.01$ とした。

問い：隙間の多い土ほど、水をよく通すのか。

2. 四つの土

計算 2.1：粒の径と間隙率を変えて、透水係数を出した。

土	径	間隙率	透水係数（m/s）
粗い砂	1 mm	0.35	5.530621×10^{-3}
細かい砂	0.2 mm	0.40	3.875556×10^{-4}
シルト	0.02 mm	0.45	6.567025×10^{-6}
粘土	0.002 mm	0.50	1.090000×10^{-7}

観察 2.2

間隙率が大きくなる順に、透水係数は小さくなる。四つの土は、間隙率では粗い砂がいちばん小さく、透水係数ではいちばん大きい。隙間の量の順と、水を通す順が逆を向いている。

3. 量と太さ

計算 3.1：粗い砂と粘土を、式の二つの項に分けて比べた。

比べたもの	値
間隙率の比（粘土 ÷ 粗い砂）	1.428571
間隙率の項 $n^3/(1-n)^2$ ：粗い砂	0.101479
間隙率の項 $n^3/(1-n)^2$ ：粘土	0.500000
間隙率の項の比（粘土が有利）	4.927114
径の二乗の比（粗い砂が有利）	250000.000000
透水係数の比（粗い砂 ÷ 粘土）	5.073964×10^4
透水係数の比の桁	4.705347

観察 3.2

これが本稿の芯である。隙間の多い粘土のほうが、水を通さない。間隙率の項だけを見れば粘土が **4.927114** 倍有利だが、径の二乗で粗い砂が **250000** 倍有利になり、差し引き **4.705347** 桁、粗い砂がよく通す。径の二乗の比を間隙率の項の比で割ると透水係数の比になり、差の割合は 10^{-12} 未満だった。

観察 3.3

太さは二乗で効く。間隙率を **0.4** に固定して径を **2** 倍にすると、透水係数はちょうど **4** 倍になった。差は 10^{-12} 未満である。一本の通り道の抵抗は、その太さで決まる。

4. 水が進む時間

計算 4.1：動水勾配 0.01 で、ダルシーの流速、水の速さ、100 m を水が進む時間を出した。

土	ダルシーの流速 (m/s)	水の速さ (m/s)	100 m に要る年
粗い砂	5.530621×10^{-5}	1.580178×10^{-4}	2.005350×10^{-2}
細かい砂	3.875556×10^{-6}	9.688889×10^{-6}	3.270560×10^{-1}
シルト	6.567025×10^{-8}	1.459339×10^{-7}	2.171400×10^1
粘土	1.090000×10^{-9}	2.180000×10^{-9}	1.453582×10^3

観察 4.2

水の速さは、ダルシーの流速の間隙率の逆数倍である。ダルシーの流速は断面全体で割った量だが、水が通れるのは間隙だけである。粗い砂でダルシーの流速から時間を出すと 0.057296 年で、水の速さから出した 0.020053 年の 2.857143 倍になる。四つの土すべてで、水の速さと間隙率の積はダルシーの流速に一致した。

観察 4.3

同じ流速なら、間隙の多い土ほど水はかえって遅い。100 m に要る時間の比は粘土が粗い砂の 72485.207101 倍（4.860249 桁）で、透水係数の差 4.705347 桁より大きい。時間の比は透水係数の比に間隙率の比 1.428571 を掛けたものと、差の割合 10^{-12} 未満で一致した。間隙の量は、ここでも水を速めない。

5. 分離子

観察 5.1

分離子は、間隙の量を問うか、太さを問うかである。量は水の通りがどれだけあるかを決め、太さは一本の通りがどれだけ水を通すかを定める。粘土は量で勝ち、太さで 250000 倍負ける。透水係数に効くのは太さのほうである。

観察 5.2

論文599・574の隣に置く。599は透水係数を 10^{-4} m/sと置いて井戸の周りの水位を数え、574は20 m/日と置いて淡水の底を数えた。ここでは、その置かれた数が粒の径と間隙率でどれだけ動くかを数えた。四つの土のあいだで4.705347桁である。

観察 5.3

言わないこと。実在の地層の値も、水で満たされていない土の流れも、向きによる違いや層の重なりも、井戸や排水の設計も扱わない。示したのは、間隙の量より太さが透水係数を決めるということである。

6. 点呼と結び

1. 透水係数は径と間隙率で決まる（第1節）：コゼニー＝カルマンの式。
2. 粗い砂 5.530621×10^{-3} m/s（計算 2.1）：間隙率 0.35。
3. 粘土 1.090000×10^{-7} m/s（計算 2.1）：間隙率 0.50。
4. 間隙率は粘土が 1.428571 倍（計算 3.1）：量は粘土が多い。
5. 透水係数は 4.705347 桁の差（計算 3.1）：本稿の芯。
6. 間隙率の項は粘土が 4.927114 倍有利（計算 3.1）：量の側。
7. 径の二乗は粗い砂が 250000 倍有利（計算 3.1）：太さの側。
8. 粘土で 100 m に 1.453582×10^3 年（計算 4.1）：粗い砂は 2.005350×10^{-2} 年。
9. ダルシーの流速から出すと 2.857143 倍長い（観察 4.2）：水は間隙だけを進む。
10. 間隙の量か、太さか（観察 5.1）：分離子・論文599・574。

結び：隙間の多い粘土のほうが、砂より水を通さない。粒の径と間隙率から透水係数を出すと、間隙率は粘土のほうが 1.428571 倍大きいのに、透水係数は 4.705347 桁小さい。間隙率の項では粘土が 4.927114 倍有利だが、径の二乗で粗い砂が 250000 倍有利になるからである。動水勾配 0.01 で 100 m を水が進むのに、粗い砂で 2.005350×10^{-2} 年、粘土で 1.453582×10^3 年かかる。そして水は間隙の中だけを進むので、ダルシーの流速から出した時間は 2.857143 倍長く見積もる。既刊との位置：論文599・574 が代表値として置いた透水係数の隣に、その数が粒の径と間隙率でどれだけ動くかを置いた。正直に言えば、径と間隙率は模型の値で、式の係数は粒の形で動き、水で満たされていない土や層の重なりは入れていない。

参考文献

1. Bear, J. (1972). *Dynamics of Fluids in Porous Media*. Elsevier.
 2. Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Prentice-Hall.
 3. 山岸勇輝 (2026). 『地下水位が **1** m 下がると、淡水の底は **40** m 上がる』 [論文574]. YOI:
<https://www.yamagishiyuuki.com/yoi/574> ・ DOI: 10.5281/zenodo.23014304
 4. 山岸勇輝 (2026). 『井戸の水位は距離の対数でしか下がらず、汲み続ければ時間の対数で下がり続ける』 [論文599]. YOI:
<https://www.yamagishiyuuki.com/yoi/599> ・ DOI: 10.5281/zenodo.23014427
-

— *From thinking to syncing.* —

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

© 2026 Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan · Licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)