

多孔質体間隙構造の違いが微小重力環境で水浸透へ与える影響

森 也寸志 (岡大・院), Bui Thanh Long (岡大・院)

Water Infiltration Properties in Porous Media under Different Gravity

Yasushi Mori*, Bui Thanh Long

*Grad. School of Environ. & Life Science, Okayama Univ., Tsushimanaka, Okayama 700-8530

E-Mail: yasushim@cc.okayama-u.ac.jp

Abstract: If we are considering about living in the space station or on the other planet, we need to make planting base to obtain agricultural products. Here we consider the water infiltration in different gravities. When the influence of gravity becomes small, the influence of the capillary force by the porous body becomes relatively large, and the downward movement by the inertial force is restricted. The preliminary experiments showed that the downward reach of the solution decreased as pseudo gravity decreased. In addition macroporous structure helped downward infiltration even at the small gravity.

Key words; Micro-gravity, Regolith, Infiltration

1. はじめに

宇宙ステーションにおける長期滞在, 異惑星における生命探査など異なる重力影響下における生命活動の研究が盛んである. このときの食糧確保や生命活動には必ず多孔質体による水の保持技術が必要であり, レゴリス(土壌)の中で液体がどのように振る舞うのか考察することは近未来の技術に貢献する¹⁾.

レゴリスではなく土壌と呼ばれ, 有機物があり, 植物の培地となる 1G の地球では, 植物によって形成された管状孔隙の有無が浸透現象に大きく影響することがわかっており, 土壌の有機質化, 植物の繁茂, また土壌の保全に鉛直下方に伸びた孔隙が一定の役割を果たしていることが明らかになっている²⁾.

また, パラボリックフライトでは無重力時に器の水が麵付近に集まったり, 吸い込まれる現象が観察されている. これは重力が小さくなると毛管力の影響が相対的に大きくなり, 慣性力による下方移動が制限される可能性を示している.

すると次の仮説が成り立つと考えた. 降雨後の重力排水, や毛管力による水の再配分という地球上の現象は他の惑星では成立しない. すなわち重力が 1/3, 1/6 の火星や月では“雨”が降っても浸透の仕方が異なるため, 水の保持効率は異なってくる. これは微小重力である宇宙ステーションにおいても同じ事が言える.

そこで重力が変わると浸透現象がどのように変わるのか, 特に土壌構造が異なるときそれはどのように影響を受けるのかを調べることを目的として疑似重力をかけ浸透実験を行った.

2. 実験方法

2.1 水平回転による疑似重力浸透実験

粒径の粗い材料として豊浦標準砂を 15mL 遠沈管

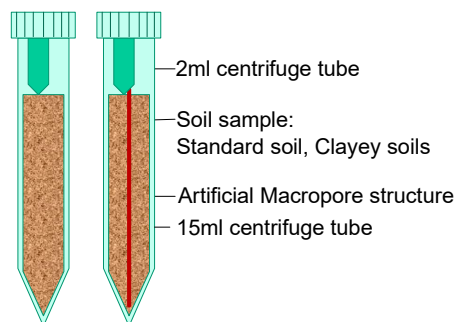


Fig.1 Test Tube for Infiltration Experiments.

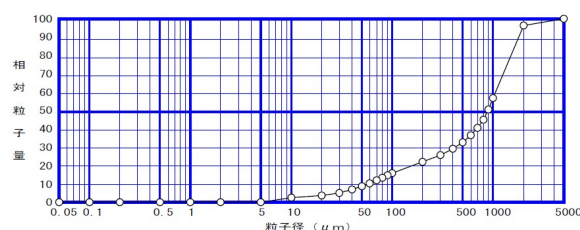


Fig.2 Particle size distribution Toyoura standard soil

Table 1 Parameter for simulation

Parameter	θ_s	θ_r	α	n	l	K_s (mm/s)
Standard soil	0.43	0.045	0.015	2.68	0.5	0.0825
Macropore	0.832	0.037	0.154	2.103	0.5	25.8

に充填し, 水タンクとして 2mL 遠沈管の底に 0.4mm の穴を開け(Fig.1), 毛管力または慣性力が働いたときにだけ水供給をするようにした. また, 土壌構造の影響を調べるため, 鉛直下方に立坑を作り, 中に繊維状物質を入れ人工マクロポア (Fig.1) として機能させた. これをチューブローテータに取り付けて水平に回転させるとき, 半径を r とすれば $r\omega^2$ から見かけの遠心力は計算できるから, これを水平にかかる疑似重力と見なし, 1, 1/2, 1/3 (火星), 1/4, 1/6

(月) G の微小重力を作りだした。厳密には 3 次元水平浸透だがこれを一次元浸透として浸透現象を観察した。浸透実験は 5 分行い、水浸透の到達距離を記録した。

2.2 二次元浸透シミュレーション

また、土壌中の水・物質シミュレーションソフトである Hydrus-2D を用いて、下方浸透移動実験をシミュレートした。水移動の特性値は Table1 に示したとおりである。水移動特性には広く使用されている Mualem-van Genuchten モデルが使用できるため、実際の土壌(レゴリス)に近い計算結果が期待できる。しかしながら、重力には 1G がはじめから設定されているため、試料容器を傾けた形で、試料の長辺方向に望む重力がかかるようにした。試行的に 1/3G と 1/6G について浸透シミュレーションを行った。

3. 結果と考察

Fig.3 に豊浦標準砂の浸透到達位置を示した。標準砂では、重力が弱くなると対照区はやや浸透が悪くなった。慣性力の弱まりと毛管力の卓越が影響していると考えられた。一方、いずれの条件でも人工マクロポア構造があると重力が弱まってでも下方浸透を維持することがわかった。また、無重力の時には構造の違いに関係なく極端に浸透が遅くなった。慣性力の欠如が強く影響していると考えられた。

Fig.4 には、数値解析の結果を示した。厳密には 3 次元浸透であることを否定できないが、水浸透の到達傾向は示されている。1/3G では、一様充填の試料は全体に同じ量の水分が分布しているが、マクロポアがある試料は水が下方まで到達している。この傾向は 1/6G になるとさらに顕著で一様充填試料では上部の水が排水しきれないが、マクロポア構造を持つ方は、一部が下端の方まである程度の水が到達している。これらは実際の実験と同じ傾向であり、重力が弱くなっていく際に一様充填では相対的に毛管力強くなるため下方浸透が弱まるが、慣性力が維持されるマクロポア構造を持つ試料では下方浸透が維持されることがわかる。

上の結果は、微小重力下においてある程度の重力があり、マクロポア構造があれば効果的に水を下方に浸透させられることを示している。おそらく植物が陸上に進出したシルル紀にも陸上に水を保持するために貢献したと推測され、地上から異惑星というスケールで考察を進めていきたい。

4. 謝辞

本研究の成果の一部は、科学研究費補助金(挑戦的研究(開拓) 17H06251 代表 登尾浩助)、最先端・次世代研究開発支援プログラム(GS021)、科学研究費補助金(基盤 A 17H01496、基盤 B 17H04484、

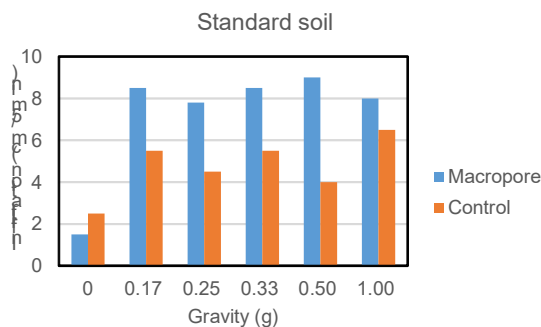


Fig.3 Depth of Infiltration Reach under Different Gravity for Toyoura standard soil.

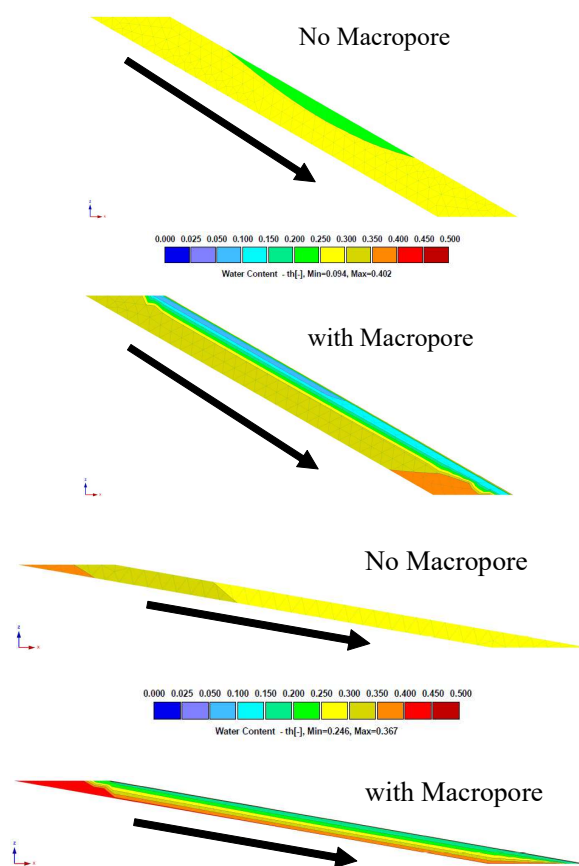


Fig.4 Hydrus-2D simulation of water infiltration with and without macropore.
Upper: 1/3G infiltration, lower: 1/6G infiltration.

基盤 B 26292127 以上代表 森也寸志) の補助を受けて行われた。記して感謝する。

参考文献

- 1) 森 也寸志; 重力の異なる惑星下における浸透現象, 地球惑星科学連合大会 (2019).
- 2) Mori, Y., Fujihara, A. and Yamagishi, K.; Installing artificial macropores in degraded soils to enhance vertical infiltration and increase soil carbon content., PEPS, 1(30) (2014).