

# 管状孔隙を主体とした微小循環系モデルについて Microcirculation Corollary Model of Tubular Macropores

成岡 市\*  
Hajime NARIOKA

## 1. はじめに

本報は、管状孔隙の空間構成 (分布、接続状況、分岐状況、屈曲状況、断面(積)変化、連続長、方向性など)の実在およびそれらの詳しい機能を理解するために「微小循環系」、つまり幹線孔隙、微小循環網、土壌基質」の相互関係について考察を行い、このモデルの試案を示した。

## 2. 論議の材料

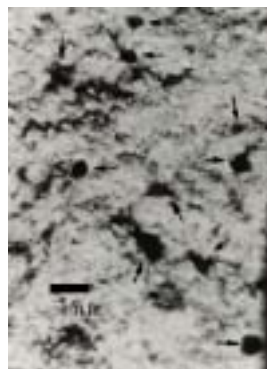
「間隙」「孔隙」と呼称される対象について、最近、類似用語の扱いに関する調整案が示された(土壌物理学会,2002)。つまり「間隙」と「孔隙」はいずれも"pore"と英訳され、同じ概念・範疇で取り扱い、poreの機能や役割を土壌科学分野(物理・化学・生物性)における総合認識で評価される。

さて、粗孔隙(macropore)は、内壁面が比較的滑らかで断面形状が規則的に連続する奥行きのある構造を持ち、水理学的にみて曲面間や細管中の流れが想定される。これは亀裂(割れ目)と管状孔隙に分類され、そのうち後者は円孔断面またはそれに近い断面をもった管状の連続的な孔隙(Figs.1&2)であり、管状孔隙網といった空間構造をなし、その連続性は孔隙相互の間隔または断面直径をはるかに上回る距離で存在する(Figs.3 &4)。また、土壌基質の団粒内間隙(Fig.5)は、断面形状が不規則で一次粒子や二次粒子の骨格構造の幾何学的配列に規定され、顕微鏡視野の範囲で土壌基質の物理性に影響を及ぼす(成岡, 1989)。

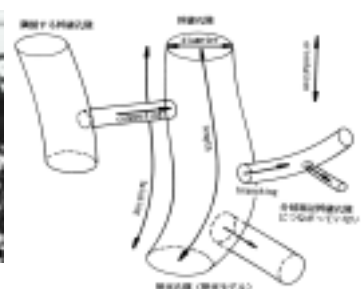
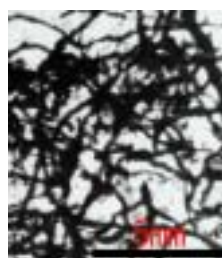
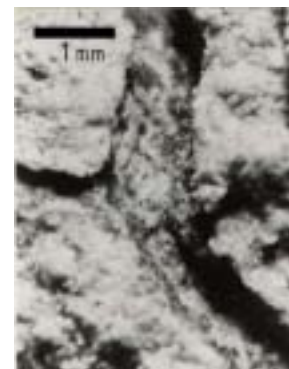
## 3. 考察

### 3.1 管状孔隙内壁の被覆と強化

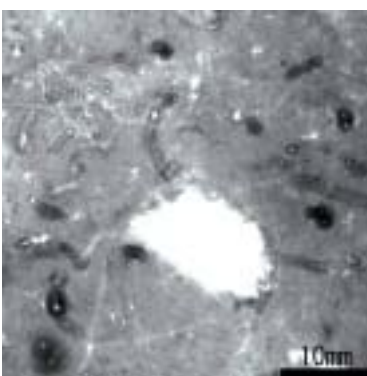
地下水位の変動帯などでは、管状孔隙の内壁に斑鉄をみることができる(たとえばFig.6)。管状・量管状斑鉄の分布は不均一であり、この存在によってペイドスゾーンにおける通気・透水パイプ(管路系)の強化や保存がされている。根系が存在せず中空となっている孔隙の周辺に斑鉄が生成される原因として、孔隙内における水と空気の移動がある。つまり、孔隙内が浸透水で飽和され、大



(L)Fig.1 Micrograph of cross section of tubular macropores, (R)Fig.2 Micrograph of longitudinal section of tubular macropores



(L)Fig.3 Example of tubular macropores, Soft X-ray radiograph, (R)Fig.4 Structural model of tubular macropore



(L)Fig.5 Example of aggregate pore in soil matrix, Soft X-ray radiograph, (R)Fig.6 Example of tubular iron mottle of groundwater zone, Soft X-ray radiograph

\*岡山大学環境理工学部 (Faculty of Environmental Science and Technology, Okayama University)  
Keywords: 管状孔隙, 微小循環系モデル, 電気回路, ハイオカニクス (tubular macropores, microcirculation corollary model, electric circuit, biomechanics)

気と遮断された還元状態、および孔隙内が排水され、大気へ開放された酸化状態の繰り返しによって孔隙周辺部の鉄イオンの沈澱・溶解現象が誘起される。この結果、孔隙に近い部分で低密度の沈澱、その外周で高密度の沈澱が起こり得る。

なお、孔隙が物理的に堅固な構造として保存され、孔隙内を物質が流れる間に、孔隙内壁面に粘土皮膜や腐植などの有機物が付着する場合もある(Fig.7; P.Bullock et al.,1985)。つまり、多くの場合、単なる中空の管状孔隙が存在しているのではなく、内壁が被覆された無数のパイプが土壌内に存在しているということである。

3.2. 管状孔隙が主体の幹線孔隙と微小循環網  
 内壁が被覆・強化された管状孔隙は、ある循環系の形態を構成している(たとえば成岡,1989)。すなわち、管状孔隙主体の幹線孔隙と土壌基質を結ぶ微小循環網が存在し、形態的ネットワークを形成しており、粗孔隙における排水経路と排気経路の機能の分化(岩田ほか,2002;成岡ほか,2000)によって、土壌内の保水性や土壌水・溶質・ガスなどの移動特性が発揮される。そこで、「管状孔隙主体の微小循環系」を5タイプに分類した。幹線結束型:幹線孔隙周辺に束状に取り巻いて幹線内の物質移動を幹線周辺の孔隙群に迅速に伝達する。幹線網状型:幹線孔隙の所在は不明だが幹線そのものが網状に分布して物質移動の循環性を高める。支線屈曲型:幹線孔隙から分岐した支線が屈曲しながら他の分岐支線と接続して微小孔隙群との連絡をとる。支線湾曲型:幹線孔隙から分岐し、支線屈曲型より屈曲度が小さく、他の分岐支線には接続しない。微小孔隙群との連絡を行うが、支線屈曲型より物質移動速度は遅い。支線網状型:支線屈曲型や支線湾曲型より分岐次数が高くなると、内径は小さく屈曲度は大きくなり、微小循環網の末端部分にあたる。

### 3.3. 微小循環系モデル

本報では、水分移動に関わる幹線孔隙、微小循環網、土壌基質の3つの領域を接続統合したモデル(試案)をFig.8に示す。3領域の相互関連性を考え、定数化するために、電気回路モデルも添えた。同図の左側から水が入り(INPUT)、右側へ出る(OUTPUT)構造である。本モデルでは、水移動が実現する駆動力(電気回路のINPUT側の接点( )と接地(G)の間)、抵抗(R)(水移動に対する管状孔隙が有する抵抗要素)、可変コンデンサー(C)(管状孔隙壁面および土壌基質が有する水分の蓄積および放出の要素)を示した。このような仮定は、人体冠循環の解析でも論議される(日本エム・イー学会,2001)。土壌内部における顕微鏡視野の微小部分では、i)水分移動経路(形態)の把握、ii)水分動態の把握、iii)その両者の不均一性の評価、iv)実測による評価などを行うために、微小循環系モデルを考案し、各要素ごとの機能と測定値を求める新しい方法論が必要である。

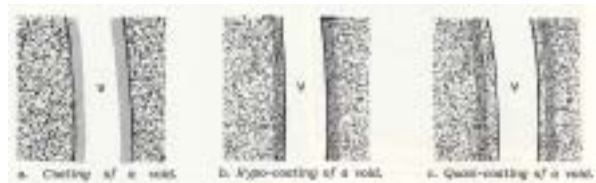
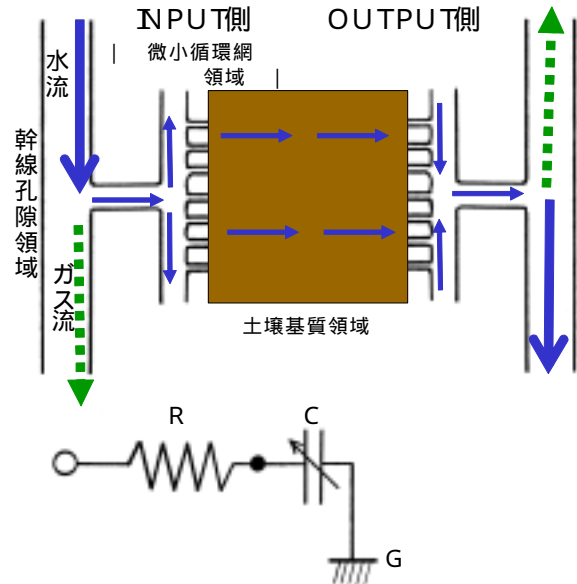


Fig.7 Coating form, a view point of micromorphology,  
 a. Coating, b. Hypo-coating, c. Quasi-coating



上図は、幹線孔隙、微小循環網、土壌基質の三つの領域を示した概念図。下図は、幹線孔隙から土壌基質に至る水分移動に関するINPUT側の定数化した電気回路モデル。ただし、R:抵抗要素、C:可変コンデンサー(蓄積と放出の要素)、G:接地(駆動力の基準点の要素)。

Fig.8 Microcirculation corollary model

## 4. おわりに

孔隙は水・溶質・ガスの移動に寄与していると考えられてはいるが、その構造は不均一に存在し、細部の詳しい機能については未解明なことが多い。顕微鏡視野の土壌内部の「どこで」「何」を測定し、どのように解析すればよいのか、その方法論にたどり着くことが困難とされていたからである。今後も、孔隙の構造と機能に関する一連の研究を進展させなければならない。

### 引用文献

P.Bullock et al.(1985):Handbook for soil thin section description, WAIN Research Publications(久馬一剛ほか訳「土壌薄片記載ハンドブック」,博友社(1989)) / 岩田幸良ほか(2002):畑利用淡色黒ボク土と沖積水田土における排水性粗孔隙の異方性について、土壌の物理性,89,15-24 / 土壌物理学学会編(2002):新編土壌物理用語事典,養賢堂,36-46 / 成岡市(1989):土壌の粗孔隙の計測法とその物理的機能に関する研究,東京農大総研紀要,1, 1-58 / 成岡市(1993):土壌粗孔隙の形態とその測定法「土壌の不均一性と物質移動の最前線」,土肥誌64(1), 90-97 / 成岡市ほか(2000):関東ローム下層土における粗孔隙の透水・通気および排水機能,農土論集,208,63-71 / 日本エム・イー学会編(2001):冠循環のバイオメカニクス,コロナ社