

# 土壌凍結の物理的特性

—特に有機質土壌の水分移動について—

土谷 富士夫

農業工学科開発土木工学研究室

## 1. 目 的

冬期間土壌中の水分は凍結し、凍結層を形成する。この凍結層に向かって下層の水分は上昇移動し、凍結層の厚さを増大させる。特に積算寒度が大きい年や積雪が少ない冬においては著しい。このような水分の上昇移動による地下水位の低下、あるいは深くまでの凍結は作物の根の吸水能力を不能して寒害を発生させる。また不均な土壌の凍結膨脹によって根の切断が起り、寒害の原因のひとつとなっている。植物に限らず、農業構造物や道路などの破壊を招く最大の原因ともなっている。凍結後春期の融解は、表土の耐水性団粒の崩壊、水分過剰などを生じさせ土壌侵食に多大な影響を与えている。

こうした現象を明確にとらえ、物理的性質について研究され始めたのは近年である。一般的な鉱物質土壌にくらべ有機質土壌（泥炭土）の凍結については、ほとんど知られていない。有機質土壌の凍結は、その他の一般的土壌と同様な物理的現象を示すかどうか興味深い。この研究は有機質土壌を使用し、凍結前の含水比と水分移動割合との関係、および有機質分が土壌凍結による水分移動に与える影響を検討するため、室内で冷凍実験で行われたものである。

## 2. 方 法

サロベツの泥炭土を原料とする土壌改良剤フミトップを試料として、種々の初期含水比（83, 136, 204, 244, 360および405%）に水分調整をして、塩化ビニールのシリンダーに均一に詰め込み底部を密閉し、システム内外からの水分の流入流出をなくし、土柱をつくった。

内径10.0cm、高さ5cmの各塩ビシリンダーを組合せて高さ30cmの土柱を形成し、その側面を断熱材で被覆した。これによって土柱内に温度勾配を維持させ、冷凍室内で頂部より下方に向かって凍結を順次進めて行くシステムをとった。冷凍室内に設置された土柱頂部の外気はサーミスター温度計により測定され、8時間後には氷点下30℃を記録した。同一初期含水比を有する土柱を4個製作し、各々5, 10, 15および20時間凍結し、その後各試料は冷凍室内から取り出され、5cm間かくの6点から含水比と凍結深度が測定された。

## 3. 結 果

### (1) 有機土壌の水分移動と初期含水比

初期含水比 $w_0$ が83, 136%の場合、ほとんど水分の移動は見られなかった（表-1）。この含水比は $p^F$ -水分特性曲線（脱水過程）によって求めると、 $p^F$  4.3および $p^F$  3.4に相当する値であった。通常、土壌が凍結する場合、表層の凍結部の水分量が増加するのに対し、これらの含水比ではむしろ水

分の損失が起った。

この現象は、凍結させるための冷凍室内の空気の温度低下に伴う水蒸気の輸送理論より導びかれる freeze-drying 現象に相当する。

$\omega_0$  が 204 % になって初めて水分の移動が見られた。深さ 2.5 cm の含水比は、20 時間後約 100 % 以上の増加を示し、他方深さ 7.5 cm の含水比は 78 % の低下を示した。同様に初期含水比  $\omega_0$  が、244, 295, 360 および 405 % の表層の水分増加率は 206, 78, 118 および 308 % を示し、これに対して凍結部より下方の層の最低水分量となる層の水分減少率は、それぞれ 37, 41, 63 および 96 % であった。

凍結による水分移動は P. Hoekstra らの実験で立証されたように、水分の温度勾配による蒸気輸送理論のみで説明され得ない。したがって、不凍結水膜が温度の低下によって氷相に変化することにより、粒子周辺の水膜は涸渇する。しかしその位置で水を解かすことによって補充される。水膜が連続している場合は、水膜の厚さを維持するためその位置より下方の粒子周辺の水膜から連続的に移動する。初期含水比が小さく  $p^F$  2.2 以上の場合は、粒子による吸着力が水膜の厚さを維持しようとする力より大きいため、水膜は不連続となり水分はほとんど移動できない。このような場合、移動できるのは蒸気輸送のみ可能なため、上記の  $\omega_0$  が 83, 136 % の表層水分に減少を示すことが説明できる。このような結果から考えると、 $p^F$  2.2 付近は圃場での水分恒数の考えを持って来ると、毛管連絡切断点に相応し、この水分点以上の水分が存在するとき、鉱物質土壌と同様なメカニズムによって水分移動が起ることが考えられる。

また鉱物質土壌（畜大火山灰土）についても 4 段階の初期含水比を製作して同様な実験を行った（表-2）。有機質土壌と同一な  $p^F$  値の試料と比較すると、約 1/2 ほど全体の移動量が少ない結果が得られた。同様に凍結前線下の未凍結部の水分量の減少の割合も 1/2 ほど小さかった。この結果より、粒子の構造と表面積の相異に大きく帰因していると思われる。

次に初期含水比が表層（2.5 cm）の含水比との関係についてであるが、一般に  $\omega_0$  が大きいほど凍結部の水分増加量が大きい結果を示したが、明確な関係式は得られなかった。

表-1 有機質土壌の 20 時間凍結後の含水比

初期含水比 %	83	136	204	244	295	360	405
深さ cm \ p <sup>F</sup>	4.3	3.4	2.2	1.6			
2.5	85.8	123.2	225.1	294.8	317.4	402.9	530.9
7.5	83.1	133.5	189.1	275.1	292.1	355.5	379.3
12.5	82.7	131.6	200.6	235.5	276.0	345.8	366.5
17.5	82.3	134.2	180.2	236.6	283.3	356.4	383.5
22.5	82.8	135.4	188.7	241.4	286.0	369.6	384.9
27.5	82.7	136.7	196.5	252.0	289.6	361.3	381.2

表-2 鉱物質土壌の20時間凍結後の含水比

初期含水比 %	10	28	49	65
深さ cm \ pF	—	4.2	2.2	1.6
2.5	9.2	29.2	73.6	95.5
7.5	9.7	27.8	48.8	67.6
12.5	9.6	26.8	47.7	63.1
17.5	9.7	24.4	36.7	48.5
22.5	9.6	24.5	43.1	54.5
27.5	9.7	24.7	44.8	58.6

(2) 有機物含有量が水分移動に与える影響

火山灰の鉱物質土壌にフミトップ（有機分87%）を一定の割合で混合して、全有機含有量を10、15および20%に調整した試料を製作し、24時間土柱の下端より給水させ毛管上昇させ、上記の操作と同様にして20時間凍結させた。火山灰土壌自身に含まれる有機物は5%であるがフミトップのものと異質なため、10%の混合土壌より大きな毛管上昇力を持っていた。フミトップの混合割合を10、15および20%と増大させると、表層（2.5cm）の含水比は140、150および158%と増大した。しかし、凍結前の含水比はそれぞれ69、72および74%と有機物の割合とともに増大しているため、有機物含有量の影響によって凍結部の水分が移動したとは思われない。むしろ有機物含有量は、毛管作用を増大させるにすぎないと思われる。

4. 考 察

有機質土壌の凍結は、鉱物質土壌と同様なメカニズムによって水分移動が行われるが、有機物は土壌の水分保持力を増大させるため、凍結すると多量の水分移動が行われることがわかる。また混合割合については、有機物は土壌凍結による水分移動に直接影響を与えない。この実験で、正確な結果を得られなかった点に、試料の密度を一定にできなかったことである。今後は、試料の底部より給水可能な開放システムによって実験を行う必要があると思われる。同様に、室内実験と並行して、野外の実際の気温の条件のもとで行う必要があると思われる。