

高位泥炭の水分張力—水分関係と収縮・回復特性

安積晃次郎*・河野英一*・石川重雄*・笹田勝寛**

Moisture Tension-Moisture Relation and Shrinkage-
Restoration Characteristics of High-Moor Peat Soil

Koujirou AZUMI*, Eiichi KOUNO*, Shigeo ISHIKAWA* and Katsuhiko SASADA**

* Faculty of Bioresource Sciences, Nihon University, 1866 Kameino Fujisawa-shi
Kanagawa 252-8510, Japan** Fujisawa High-school attached to Nihon University 1866 Kameino Fujisawa-shi
Kanagawa 252-8510, Japan

Abstract

For conservation of a valuable land with high-moor peat soil where the main vegetation is sphagnum, it is very important to make an index of the qualitative change of the soil due to the change in soil moisture. Therefore, in the present study, the moisture tension-moisture relation and the shrinkage-restoration characteristics due to the change in soil moisture as well as the fundamental physical-chemical properties of the Akaiyachi high-moor peat soil were attempted to be clarified. Especially, the shrinkage-restoration of soil is a conspicuous physical behavior due to the change in soil moisture. The principal results are as follows:

The method followed in the study, namely, the pressure plate method is very useful to determine the moisture tension-moisture relation for low and medium moisture tension ranged from 0.981 kPa (pF 1.0) to 981 kPa (pF 4.0) in drying process.

The changes of horizontal, vertical and volume shrinkage percentages of the high-moor peat soil consisting mainly of living sphagnum are small in the stage of low moisture tension and large in that of high one. Moreover, the change of its vertical shrinkage percentage is larger than that of its horizontal one in all stages of the moisture tension because of its subsidence by dead weight.

The changes of the shrinkage percentages of the high-moor peat soil containing much inorganic dressing materials are large in the stage of the low moisture tension and small in that of the high one, while in the same soil under natural condition, the changes are large in both the stages of the low and the high moisture tension. Moreover, in these high-moor peat soils, the changes of their vertical shrinkage percentages are also larger than those of their horizontal ones in all stages of the moisture tension because of their subsidences by dead weight.

To protect the land with high-moor peat soil from the qualitative change due to the shrinkage, it must be managed so that the moisture tension does not exceed about 41.8 kPa (pF 2.6) where the restoration after the shrinkage is perfect, namely, the moisture content is about more than the capillary one.

Key words : high-moor peat soil, sphagnum, fundamental physical-chemical properties, moisture tension-moisture relation, shrinkage-restoration characteristics.

* 日本大学生物資源科学部 〒252-8510 藤沢市亀井野 1866, ** 日本大学藤沢高等学校 〒252-8510 藤沢市亀井野 1866
キーワード : 高位泥炭, ミズゴケ, 基本的理化学性, 水分張力-水分関係, 収縮 回復特性

1. はじめに

わが国の全体としての泥炭地の面積は詳しくは分かっていない。しかし、多くは北海道と東北地方にあって、両方を合計すると約3,500 km²あるといわれている。その中の約10%が高位泥炭地である(土の理工学性実験ガイド編集委員会, 1983)。高位泥炭地は、低地には北海道と東北地方の一部の地域にしか分布しておらず、多くは高地に分布している。

高位泥炭地は、地下水位が高く多量の水分を抱えることができるため、水資源の涵養機能、洪水の防止機能、気象の緩和機能、水質の浄化機能および環境教育的な機能を持っている。

また、高位泥炭地には塚状の高まりであるブルテ、ブルテの間の凹地であるシュレンケ、池溝、池溝に浮かぶ浮島などの様々な凹地、凸地を持った珍しい微地形が見られ、この微地形に応じて貴重な植物が多く生育する。特に、ミズゴケはわが国に約39種類(H. Suzuki, 1972)が存在しているが、一部の極端な森林性の種と湖沼地性の種を除いたその大部分が高位泥炭地で生育している。

この高位泥炭地は、一般に比較的浅い沼がヨシ、スゲなどの植物遺体の堆積により陸化して形成された低位泥炭地、その上位にワタスゲ、ヌマガヤなどの植物遺体が堆積して形成された中間泥炭地を経て、その上位にさらにミズゴケが繁殖し、その遺体が堆積して形成される(梅田, 1984)。

高位泥炭地が形成されるには、気象、泥炭を構成する植物の種類および泥炭の分解度などにより泥炭の堆積速度に若干の差があるものの、その速度は1 mm/年(坂口, 1974)であり、数千年が必要といわれている。

これまで、わが国の泥炭地では、排水および客土を行って土層を変形させ、水田などの食料供給の場が造成されてきた。さらに、近年、この造成された水田地帯での排水増強を伴う大規模土地改良事業、泥炭地の周辺地域での観光地や宅地への開発事業などにより、現存する泥炭地の乾燥化への変移が見られるようになっている。これは、泥炭地がその周辺地域も含めた広域の水環境に基づいて保持されていることによる。

今日、高位泥炭地については、前述の有益な諸機能を持つことや貴重なミズゴケの生育地であることに加えて、特に水鳥の生息地として、国際機関や国が条約を定めて保護すべき湿地でもあることから、その保全が強く呼びかけられている。そこで、本研究では、高位泥炭地の保全のために、水分変化とそれに伴う変移に関する指標を得る必要があることから、加圧板法の高位泥炭試料への適用性の検討とそれに基づく高位泥炭の水分張力-

水分関係の測定および水分変化に伴う土の顕著な物理的挙動である収縮・回復特性の把握とを試みた。

なお、これまでに、無機質を多量に含む粘質土(竹中, 1968, 河野, 1979)や低位泥炭土(月館, 1979, 矢橋, 1980)の収縮特性とそれの農地への影響を明示する研究はなされてきた。しかし、本研究におけるような高位泥炭土の収縮特性および収縮した土の回復特性についての研究には見るべきものがない。

2. 採土地の概要

高位泥炭の採取は、福島県の猪苗代湖北西岸から約1 kmのところ、猪苗代湖の西岸を平行しながら北流する赤井川の流域に位置し、天然記念物「赤井谷地沼野植物群落」指定地が存在する湿原で行った(図-1)。

本湿原は海拔520 mのところであって、南北に880 m、東西に620 m、面積43.56 haの中心部が盛り上がった楕円形の広がりを持つ天然記念物を主体とする高位泥炭地である。本湿原は、赤井川が磐梯山からの火山性泥流の堆積物によりせき止められた地域にあって、猪苗代湖の高水位期に湖の一部であったものが、湖面の低下にしたがって湿原化した陸化型湿原である(櫻村ら, 1987)。

本湿原の周辺地域での開田は17世紀中頃に始められ

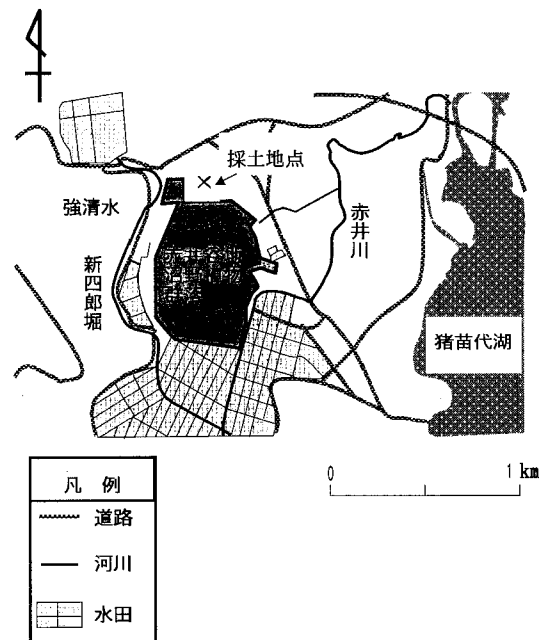


図-1 採土地点

Fig. 1 Research field.

たが、大規模なものは、第二次世界大戦後に至って、南西部および南部で進められた。特に、南部では排水路の整備により谷地湿田が乾田へと変えられた。これらの開田とその用排水路整備等によって、本湿原の乾燥化は徐々に進行させられてきた（樫村，1996）。

なお、天然記念物の指定地では、高位泥炭の採取が、現状改変となるために、厳しく制限されている。この採取は、上層が高位泥炭の特性を十分に保持しているといわれる指定地外の北部の休耕地地域で行った。

3. 採土方法

泥炭は分解不十分のまま堆積した植物遺体からなり、繊維質が多く、含水比、圧縮性が極めて大きい。そのため、円柱状のコアサンプラーを押し込んで採取すると、試料の圧縮、サンプラーの引き抜き時に起きる刃先付近の植物繊維の引張り抵抗などによって、試料に乱れが起こる（佐々木，1979）。したがって、コアサンプラーによる乱さない試料の採取は困難である。

そこで、試料の採取は、包丁および園芸用ハサミを使い、40×20×10 cm のブロックを表面から10 cm ごとに100 cm 深までの10層を切り出して行った。さらに、切り出した試料を、包丁および園芸用ハサミを使い、各種の室内実験に適した大きさに成形した。

4. 試験項目と方法

1) 高位泥炭の基本的理化学性

高位泥炭の基本的理化学性としては、泥炭の特性を把握するための一般的な試験項目である真比重、仮比重、飽和透水係数、強熱減量および分解度を測定した。試験方法および特記事項は表-1 に示す通りである。

試料には、0~100 cm 深までを10 cm ごとに10層に分けて採取したものをを用いた。各測定は1つの土層あたり3つの試料について行い、それらの値を平均したものを測定結果とした。なお、試料の炉乾燥にあたり、高有機質土では高温加熱による炭化作用などの変質が考えられる。本研究では、泥炭中の植物繊維の変質および燃焼を防ぐため、炉乾燥温度を70℃とした。

2) 水分張力-水分関係

水分張力-水分関係は脱水過程のものを加圧板法により、表層より10 cm ごとに100 cm 深までを測定した。測定装置には米国の Soil Moisture Equipment 社製のものを使用した。泥炭試料については、土柱法以外での測定は難しいといわれており、加圧板法を適用した例はない。しかし、加圧板法によっても、素焼板の交換時以外に、試料底面と素焼板との密着性を損い易い重量測定のための素焼板からの試料の取り出しを行わなければ、泥炭試料での測定は可能と考える。また、石田ら（1987）により、加圧板法の測定装置の原理が上述の米国製のものを例にして詳述されているが、これによれば原理上、各加圧段階での試料の重量測定を行わずに、素焼板の排水口からの排水量を試料からの脱水量として測定できる。そこで、加圧板法を適用することとして、素焼板の排水口からの排水量をピーカーに導水し、ピーカーの水の蒸発を防いでこの排水量を測定した。すなわち、各加圧段階の排水量より含水量を求めることとし、素焼板の交換時以外には、素焼板から試料を取り出さないこととした。なお、加圧板法の適用性については詳しく後述する。

加圧板の測定用試料としては、泥炭であるため、円柱状のコアサンプラー入りのものが採取できない。また、

表-1 高位泥炭の基本的理化学性の試験項目と方法

Table 1 List and method of tests on fundamental physical-chemical properties

試験項目	試験方法および特記事項
真比重	JIS A 1202 法によった。なお、ピクノメータの代わりに500 ml のメスフラスコを用いた。
仮比重 (kg/m ³)	泥炭試料を直方体に切り出し、まず物差を用い、縦、横および高さを測定して体積を求めた。次いで、それを70℃で恒温に達するまで炉乾燥させ、この質量と先の体積とより求めた。
飽和透水係数 (m/sec)	土の理工学性実験ガイド編集委員会（1983）の定水位法によった。なお、断面積30 m ² 、高さ5 cm の直方体の試料が入る測定装置を作製した。これにより、泥炭土を直方体に切り出して鉛直方向および水平方向のものを測定した。
強熱減量 (%)	土の理工学性実験ガイド編集委員会（1983）の強熱減量法によった。なお、フルイによる試料調整は行わなかった。強熱装置により、700℃で加熱し、試料が恒量に達したものの質量を測定して求めた。
分解度 (%)	土質試験法（第3回改訂版）編集委員会（1990）の水洗法によった。

加圧板法では、加圧による土壌水の脱水が停止するまでの時間が試料の厚さの二乗に比例する(土壌物理測定法委員会編, 1972)。そこで、試料成形の容易さと測定時間を考慮して、自作の $5 \times 5 \times 2$ (cm)の角柱状のサンプルに成形してきっちりと入れたものを加圧板法の試料として用いた。測定には、1つの層あたり3つの成形試料を用いた。

また、各加圧段階で素焼板の排水口から排水される水量は3つの成形試料から脱水される水の含量であり、この含量を測定値とした。

加圧の方法は上の理工学性実験ガイド編集委員会(1983)の加圧板法によった。各加圧は0.981 kPa (pF 1.0), 6.19 kPa (pF 1.8), 9.81 kPa (pF 2.0), 19.6 kPa (pF 2.3), 49.2 kPa (pF 2.7), 98.1 kPa (pF 3.0), 391 kPa (pF 3.6) および 981 kPa (pF 4.0) の8段階であった。0.981 kPa (pF 1.0)~49.2 kPa (pF 2.7) では100 kPa (1.0 bar), 98.1 kPa (pF 3.0) では300 kPa (3 bar) および 391 kPa (pF 3.6) と 981 kPa (pF 4.0) では1,500 kPa (15 bar) の各素焼板を使用した。981 kPa (pF 4.0) まで排出水量を測定した試料は、圧力釜より取り出して重量を測定した。

3) 収縮・回復特性

水分変化に伴う顕著な土の物理的挙動である収縮・回復特性、すなわち乾燥による収縮特性と収縮した試料の毛管再飽水による最大回復体積を測定した。

軟弱な泥炭試料であるため、大きな形状のものを試料とすると、成形が困難であり、測定時間も長時間を要する。試料としては、 $5 \times 5 \times 5$ (cm)の正六面体に成形したものをを用いた。成形の際には、泥炭の堆積の方向と繊維の並びの方向が各試料とも同一となるようにした。このように成形した試料の四隅に白色チョークで測定の基点としての点状の印を付けた。この試料を24時間毛管飽水させ、毛管飽水の終了後、試料を鉄製の網の上に置いて室内でゆっくりと乾燥させた。水分変化に伴う、すなわち乾燥過程における試料の収縮特性は物差を用い、点状の印を基点にして縦、横の長さおよび高さを2~6時間ごとに測定して把握した。併せて、重量も測定した。この測定は1つの土層あたり3つの試料について行い、それらの値を平均したものを測定結果とした。

なお、上述の収縮特性は、これに用いた試料を毛管再飽水させて最大回復体積を測定するため、所定の乾燥段階までしか測定されなかった。所定の乾燥段階としては、予備試験により乾燥日数と体積回復との関係(安積ら, 1995)を求め、弱、中および強乾燥の3段階を設けた。強乾燥は最長の乾燥日数のもので、毛管再飽水させても収縮開始時点の体積に確実に回復しなくなりだした

ところまで乾燥させたものである。また、弱乾燥と中乾燥は最長の乾燥日数に至る途中で乾燥を終了させて回復させたもので、前者が短い乾燥日数、後者がそれより長い乾燥日数のものである。したがって、1つの土層について、9つの成形試料を準備した。

最大回復体積は各乾燥段階の計9つの成形試料を毛管再飽水させて、体積の回復が終了した時点で縦、横の長さ、および高さを測定した。併せて、重量も測定した。

収縮特性の測定結果としては、鉛直収縮率、水平収縮率、体積収縮率および体積比率、また最大回復体積の測定結果としては体積比率を求めた。

鉛直収縮率 H_s は

$$H_s = (h - h_t) / h \times 100(\%)$$

h : 試験開始時の鉛直高さ (cm)

h_t : 任意の含水比における鉛直高さ (cm)

水平収縮率 L_s は

$$L_s = (l - l_t) / l \times 100(\%)$$

l : 試験開始時の水平距離 (cm)

l_t : 任意の含水比における水平距離 (cm)

体積収縮率 V_s は

$$V_s = (v - v_t) / v \times 100(\%)$$

v : 試験開始時の体積 (cm³)

v_t : 任意の含水比における体積 (cm³)

体積比率 V_r は

$$V_r = v_t / v \times 100(\%)$$

v : 試験開始時の体積 (cm³)

v_t : 任意の含水比における体積 (cm³)

で算出した。

5. 結果および考察

1) 高位泥炭の基本的理化学性

高位泥炭の基本的理化学性の結果は、表-2に示す通りである。

真比重は0~10 cm 深および30~100 cm 深で1.8以下の値、10~30 cm 深では2以上の値を示した。

仮比重は0~10 cm 深および30~100 cm 深で $0.08 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 以下の値、10~30 cm 深で $0.12 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 以上の値を示した。

真比重および仮比重の深さによる差異は、0~10 cm 深および30~100 cm 深が10~30 cm 深よりも有機物成分を多量に含んでいることによる。

飽和透水係数は、鉛直方向では、0~10 cm 深で 10^{-3} m/sec オーダーと極めて高いのに対し、10~100 cm 深では、 $10^{-4} \sim 10^{-5} \text{ m/s}$ オーダーである。水平方向では、すべての層で 10^{-4} m/s オーダーと透水性に上、下層で差が見られない。これより、0~10 cm 深では鉛直方向、

10~100 cm 深では水平方向へ水が流れ易い。

強熱減量は 0~10 cm 深および 40~100 cm 深で 83.0~95.2% と高い値, 10~40 cm 深で 50.7~74.8% と低い値であった。これは, 0~10 cm 深および 40~100 cm 深では大部分が有機物成分で占められており, 10~40 cm 深では有機物成分に無機物成分が混入していることを示している。

分解度は 0~10 cm 深で約 52.7% と低い値, 10~40 cm 深で約 81.5~85.9%, 40~60 cm 深で約 72.0~75.7% および 60~100 cm 深で約 84.4~90.0% と高い値となった。したがって, 0~10 cm 深では有機物の分解が進行していないが, 10~100 cm 深では有機物の分解がかなり進行している。また, 40~100 cm 深では, 下層ほど有機物の分解が進行するという泥炭土に一般的な傾向が見られる。

笹田ら (1996) により, 本湿原の指定地内の 0~40 cm 深の高位泥炭試料についての基本的理化学性が把握されている。これと本採土地のものとを比較すると, 0~10 cm 深では, 表-1 の各値とも笹田らのものとほぼ同様の値であるが, 無機物成分が混入している 10~40 cm 深では本採土地の方が真比重, 仮比重および分解度が高く, 強熱減量が低い。

以上の基本的理化学性から見て, 本採土地の高位泥炭層は次のような泥炭層からなると考えられる。0~10 cm 深は生きたミズゴケを主体とする泥炭層である。10~40 cm 深は, 真比重, 仮比重および分解度が高く強熱減量が低いことから, 無機物成分を多量に含んでいる。すなわち, 10~40 cm 深は開田のための無機物客土材を混入した泥炭層である。40~100 cm 深は自然条件下で形成されたままの特性を保持する泥炭層である。

2) 水分張力-水分関係

① 加圧板法の高位泥炭試料への適用性

水分張力-水分関係の測定では, 一般に土柱法, 吸引法, 遠心法および加圧板法が用いられている。

泥炭の水分張力-水分関係については, 泥炭が軟弱な未分解の植物繊維で多孔質に形成されているため, 重量測定のために脱水・吸水装置から試料を取り出すと, 試料中の水と脱水・吸水装置中の水との不連続が発生し易くなること, 圧縮性が高いことなどにより, 土柱法以外では測定が難しいといわれている。

土柱法は試料底面と脱水・吸水装置の土柱との密着性が優れている。最近では, 粕淵 (1995) が, 高位泥炭を対象として, ドラム缶を使用した土柱装置で 9.81 kPa (pF 2.0) までの水分張力-水分関係を良好に測定している。ただし, 土柱法では, 9.81 kPa (pF 2.0) までの低水分張力-水分関係しか測定が可能でない。

9.81 kPa (pF 2.0) 以上の水分張力-水分関係の測定に用いられる遠心法には, 遠心圧縮による試料の過大な脱水, 圧縮などの欠点がある。これらの欠点は関東ローム試料ではほとんど現れない (塩沢ら, 1985, 1986) が, 膨潤粘土, 泥炭などの水分を多量に含んだ軟弱な圧縮性の試料では顕著に現れる。したがって, 泥炭試料には遠心法を適用することができない。

加圧板法では, 試料底面と素焼板とがきっちりと密着して試料中の水と素焼板中の水との連続性が保たれることが肝要であり試料の過大圧縮は起こらない (前田ら, 1979)。

そこで, 本研究では, 加圧板法により素焼板からの排出水量を測定することで, 0.981 kPa (pF 1.0)~981 kPa (pF 4.0) の脱水過程の水分張力-水分関係を測定した。

表-2 高位泥炭の基本的理化学性

Table 2 Fundamental physical-chemical properties of high-moor peat layer

深さ (cm)	真比重	仮比重 (kg/m ³)	飽和透水係数 (m/sec)		強熱減量 (%)	分解度 (%)
			鉛直方向	水平方向		
0~ 10	1.54	0.04×10 ³	1.22×10 ⁻³	7.02×10 ⁻⁴	86.0	52.7
10~ 20	2.06	0.15×10 ³	1.25×10 ⁻⁴	2.34×10 ⁻⁴	53.2	85.9
20~ 30	2.11	0.21×10 ³	5.68×10 ⁻⁵	2.11×10 ⁻⁴	50.7	81.5
30~ 40	1.78	0.12×10 ³	4.79×10 ⁻⁵	3.60×10 ⁻⁴	74.8	84.7
40~ 50	1.70	0.08×10 ³	1.02×10 ⁻⁴	3.00×10 ⁻⁴	90.9	72.0
50~ 60	1.61	0.07×10 ³	3.42×10 ⁻⁵	1.36×10 ⁻⁴	94.9	75.7
60~ 70	1.65	0.08×10 ³	1.19×10 ⁻⁵	1.10×10 ⁻⁴	89.9	85.1
70~ 80	1.72	0.07×10 ³	5.46×10 ⁻⁵	1.67×10 ⁻⁴	95.2	84.4
80~ 90	1.73	0.06×10 ³	4.55×10 ⁻⁴	3.70×10 ⁻⁴	93.5	89.9
90~100	1.65	0.07×10 ³	1.71×10 ⁻⁴	3.26×10 ⁻⁴	83.0	90.0

測定結果は図-2, 3 に示す通りである。この一連の測定を通じて、試料底面は素焼板に固く密着して、素焼板から剥離することはなかった。

また、図-2, 3 には、土柱法による 0.981 kPa (pF 1.0) ~ 3.10 kPa (pF 1.5) の測定値も示してある。各深さとも、この水分張力領域での加圧板法と土柱法との水分張力-水分関係の変化は類似の様相を呈する。以上の試料底面と素焼板との固い密着性および土柱法との水分張力-水分関係の変化の様相の類似性、ならびに後述の②および③における水分張力-水分関係から求めた水分張力-水分分布の特性から見て、加圧板法による本測定結果は信頼できるものといえる。これにより、高位泥炭はもちろん、他の泥炭についても、素焼板からの排水量を測定することで、0.981 kPa (pF 1.0) ~ 981 kPa (pF 4.0) の脱水過程の水分張力-水分関係の測定に、加圧板法が適用可能といえる。

なお、本研究では、0.981 kPa (pF 1.0) ~ 981 kPa (pF 4.0) の脱水過程の水分張力-水分関係は加圧板法によったが、0.1 kPa (pF 0) ~ 0.981 kPa (pF 1.0) の水分張力-水分関係は 0.1 kPa (pF 0) の毛管飽水量と 0.980 kPa (pF 1.0) の水分量とを結んで、また 981 kPa (pF 4.0) 以上の水分張力-水分関係は加圧板法によるものを外挿して求めた。

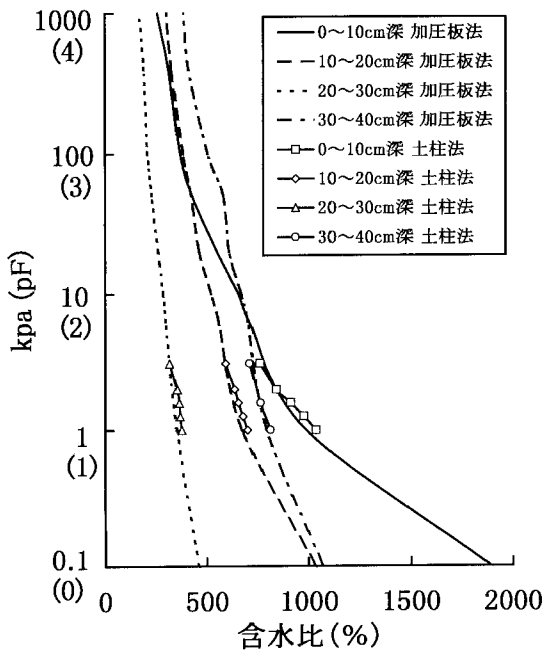


図-2 水分張力-水分関係曲線 (0~40 cm 深)
Fig. 2 Moisture tension-moisture curve (0~40 cm in depth).

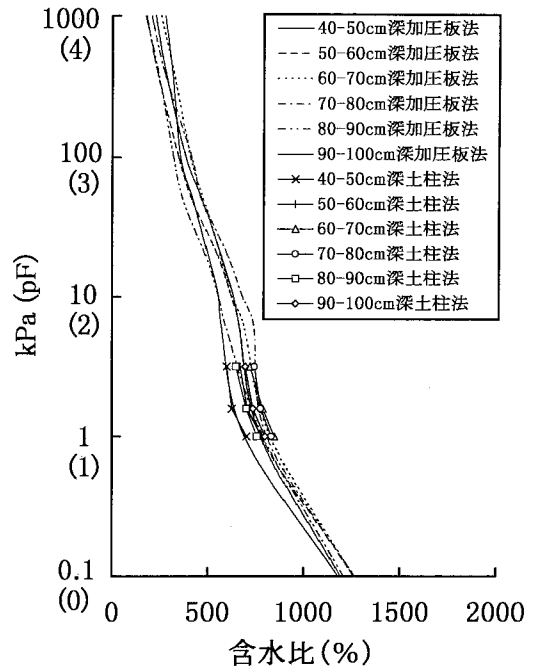


図-3 水分張力-水分関係曲線 (40~100 cm 深)
Fig. 3 Moisture tension-moisture curve (40~100 cm in depth).

② 生きたミズゴケを主体とする高位泥炭および無機物客上材を含む高位泥炭の水分張力-水分関係

0~40 cm 深の生きたミズゴケを主体とする高位泥炭および無機物客上材を含む高位泥炭の脱水過程の水分張力-水分関係の測定結果は図-2 に示す通りである。また、図-2 より求めた水分張力-水分分布は図-4 に示す通りである。なお、一般に水分張力-水分関係は水分張力と体積含水率との関係で表示されるが、本測定法では加圧装置中の試料の体積変化を測定できなかったため、図-4、後述の図-5 とも含水比との関係で表示してある。

図-4 より次のようなことがいえる。0~10 cm 深は、0.981 kPa (pF 1.0) 以下で保持されている水分量が極めて多かった。10~20 cm 深でも、0~10 cm 深ほどではないが 0.981 kPa (pF 1.0) 以下の低水分張力で保持されている水分量が多かった。20~30 cm 深では、0.1 kPa (pF 0) ~ 981 kPa (pF 4.0) の各水分張力で保持されている水分量に差異が見られなかった。30~40 cm 深は 10~20 cm 深とほぼ同様の水分保持特性を示したが、この深さでは 0.981 kPa (pF 1.0) 以下の低水分張力で保持されている水分量が 10~20 cm 深よりも少かった。

以上の各深さの水分分布の特性は次の理由によると考えられる。0~10 cm 深では、生きたミズゴケが主体であ

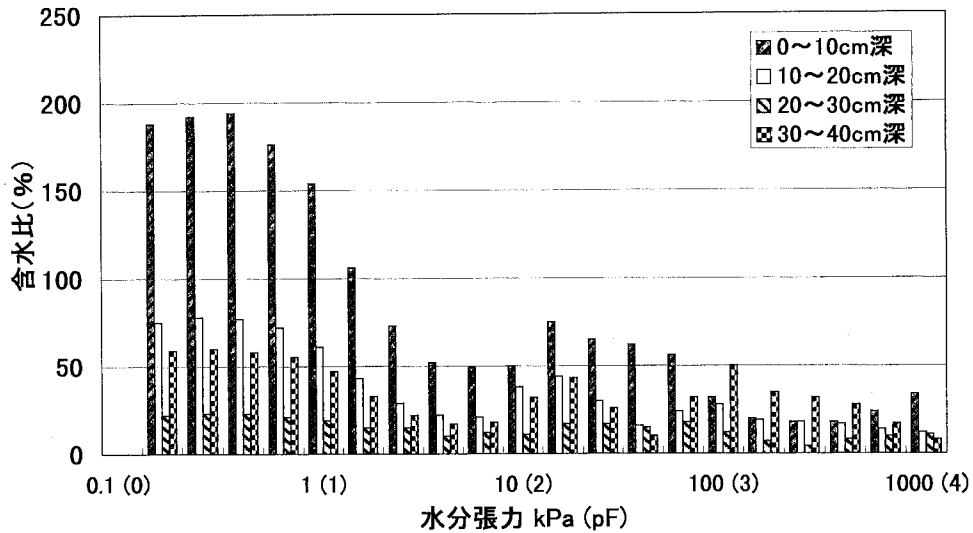


図-4 水分張力-水分分布 (0~40 cm 深)

Fig. 4 Moisture tension-moisture distribution (0~40 cm in depth).

り、ミズゴケ繊維で形成される粗大な孔隙が多く存在する。そのため、この層では0.981 kPa (pF 1.0) 以下で保持される水分量が極めて多くなる。

10~20 cm 深および30~40 cm 深では、客土材として混入された無機物成分で泥炭層の粗大な孔隙がある程度充填されているため、0.981 kPa (pF 1.0) 以下の低水分張力で保持される水分量が少ない。

20~30 cm 深では、真比重および仮比重が高く、強熱減量が低いことにも現れているように、客土材としての無機物成分が多量に存在する。この土層では、多量の無機物成分で泥炭層の大部分の孔隙が充填されているため、各水分張力で保持される水分量に差異が見られない。

③ 自然条件下で形成された高位泥炭の水分張力-水分関係

40~100 cm 深の自然条件下で形成された高位泥炭の脱水過程の水分張力-水分関係の測定結果は図-3 に示す通りである。また、図-3 より求めた水分張力-水分分布は、図-5 に示す通りである。

図-5 より次のようなことがいえる。40~100 cm 深の各層では、0.981 kPa (pF 1.0) 以下の低水分張力で保持される水分量が多かった。また、これらの水分量は下層になるほど少なくなった。さらに、98.1 kPa (pF 3.0) ~981 kPa (4.0) の高水分張力で保持される水分量が少なかった。

以上の各深の水分分布の特性は、次の理由によると考えられる。40~100 cm 深では、自然条件下で形成された

高位泥炭層であるため、分解不十分のまま堆積した植物繊維が多量に含まれている。そのため、粗大な孔隙が多く存在して、0.981 kPa (pF 1.0) 以下で保持される水分量が多くなる。

また、40~100 cm 深は前述の分解度の結果より、下層になるほど分解が進行している。そのため、下層になるほど植物繊維の分解産物で大部分の孔隙が充填されている。したがって、分解の進んでいる下層になるほど低水分張力で保持されている水分量が少くなると考えられる。

3) 収縮・回復特性

① 収縮特性

ここでは、0~100 cm 深までの土層のうち、特に前述のように上の物理性が明らかに異なる土層である生きたミズゴケ層の0~10 cm 深、客土層の20~30 cm 深および自然の高位泥炭層の50~60 cm 深を対象とした。

また、赤井谷地湿原では、降雨および融雪水の地表水の流れが南東方向であり、北西の風が強く吹き付けるため、ほとんどの植物が先端を南東方向に向けて倒れる。この影響により泥炭中の有機物繊維の水平方向の並びに一定の方向性があると考えられた。そのため、水平方向のうち、繊維の並びの方向に直角なものをA、繊維の並びの方向のものをBとした。各深さの鉛直方向、水平方向A、Bおよび体積の収縮率の変化は水分張力との関係で示すと、図-6~8の通りである。なお、図-6~8には、乾燥日数が最長の強乾燥の収縮特性曲線のみを示してある。これは、弱乾燥、中乾燥および強乾燥の3者のもの

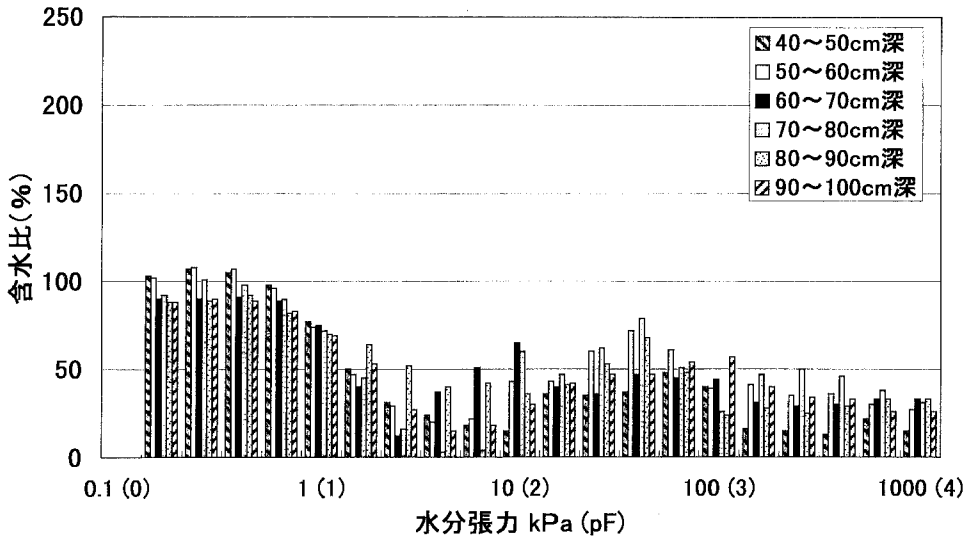


図-5 水分張力-水分分布 (40~100 cm 深)

Fig. 5 Moisture tension-moisture distribution (40~100 cm in depth).

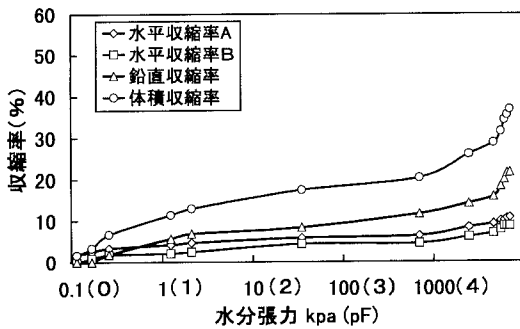


図-6 収縮特性曲線 (0~10 cm 深)

Fig. 6 Shrinkage characteristic curve (0~10 cm in depth).

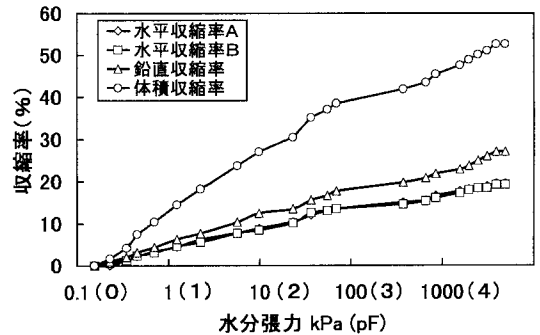


図-7 収縮特性曲線 (20~30 cm 深)

Fig. 7 Shrinkage characteristic curve (20~30 cm in depth).

がほぼ類似した変化の様相を呈するため、全てを图示すると見難くなるからである。ただし、3者の体積収縮の変化については、図-9~11に体積比率の変化として示されており、各深さとも3者の変化はほぼ類似の様相を呈する。

0~10 cm 深では、鉛直方向の収縮率（以下、鉛直収縮率と称する）と水平方向の収縮率（以下、水平収縮率と称する）を比較すると、鉛直収縮率の変化が大きく、水平収縮率のAとBの変化を比較すると、水平収縮率のAの変化の方が大きい。

50~60 cm 深でも、鉛直収縮率の変化と水平収縮率の変化を比較すると、鉛直収縮率の変化が大きく、水平収縮率AとBの変化を比較すると、水平収縮率Aの変化

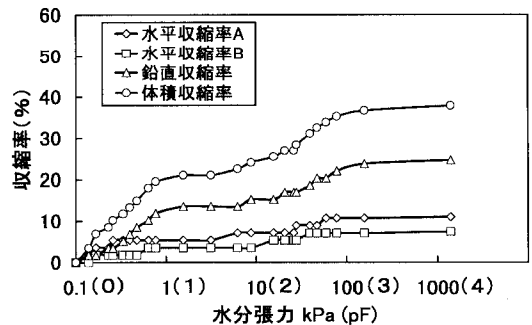


図-8 収縮特性曲線 (50~60 cm 深)

Fig. 8 Shrinkage characteristic curve (50~60 cm in depth).

の方が大きい。

20~30 cm 深では、鉛直収縮率の変化と水平収縮率の変化を比較すると、鉛直収縮率の変化が大きく、水平収縮率 A と B の変化はほぼ同様の大きさである。

すなわち、各層とも、鉛直収縮率の変化が水平収縮率の変化に比して大きい。また、0~10 cm 深および 50~60 cm 深では水平収縮率 A の変化が水平収縮率 B の変化に比して大きい。20~30 cm 深では水平収縮率 A と B はほぼ同様の変化を呈する。

これらの特性は次のような理由によると考えられる。赤井谷地湿原の高位泥炭は、植物遺体に由来する未分解の有機物繊維が繊維の並びの方向を南東にして層状に重なって堆積しているものである。したがって、本湿原の高位泥炭が乾燥下に置かれると、まず泥炭中の繊維と繊維との間にある水分が徐々に脱水されて、乾燥の進行とともに各繊維が次第に接近して、接触する。自重による沈下も含むため、特に鉛直収縮率の変化が大きくなる。水平収縮では、乾燥の進行とともに、まず各繊維が次第に接近して、接触することから、繊維の並びの方向と直角な方向の水平収縮率 A の変化の方が大きくなる。

20~30 cm 深では、多量に存在する無機物客土材の収縮特性となるため、繊維の並びによる水平収縮率の変化の大きさの方向性は見られない。

また、0~10 cm 深において 981 kPa (pF 4.0) 以上の水分張力段階で大きな鉛直収縮率の変化が見られた。これは次の理由による。なお、以下では 0.1 kPa (pF 0) ~ 9.81 kPa (pF 2.0) を低水分張力段階、9.81 kPa (pF 2.0) ~ 981 kPa (pF 4) を中水分張力段階および 981 kPa (pF 4.0) 以上を高水分張力段階として論述を進める。

低、中水分張力段階では、生きたミズゴケを主体とする泥炭中の繊維と繊維との間の水分が脱水される。しかし、仮比重が低いことにも現れているように、大間隙が多いため、生きたミズゴケ繊維と繊維との間に空気が容易に進入して、繊維の接近や接触の度合いが弱められ、低水分張力段階においては大きな収縮挙動が見られない。

高水分張力段階になると、生きたミズゴケの枝葉部内部に存在して、透明細胞で構成される貯水組織（樅村，1981）からの脱水が進行するようになって、0~10 cm 深の層の表層で鉛直方向に生長していたミズゴケ自身が鉛直方向に大きく収縮し、大きな鉛直収縮が見られることになる。これは、生きたミズゴケを主体とする高位泥炭の収縮特性であると考えられる。なお、透明細胞で構成される貯水組織は、ミズゴケが長期の干天連続下でも乾燥に耐えて生き延びることができるためのものである。

体積収縮率の変化は 20~30 cm 深で最も大きく、特に 61.9 kPa (pF 2.8) までの低、中水分張力段階で大きな変

化が見られた。これは、無機物客土材が多量に存在するため、土粒子間の連続性がよいこと、大間隙が少なく空気が進入し難いことなどに支配された収縮特性の現われと考えられる。

50~60 cm 深は、0~10 cm 深よりも大きな体積収縮率の変化を示し、特に 0.981 kPa (pF 1.0) 以下の低水分張力段階と 24.6 kPa (pF 2.4) ~ 77.9 kPa (pF 2.9) の中水分張力段階で大きな変化が見られた。この層は、0~10 cm 深よりも分解の進行した高位泥炭層であるため、腐植などの非繊維質物を多量に含んでいる。したがって、0.981 kPa (pF 1.0) 以下の低水分張力段階での大きな変化は非繊維質物の収縮によるものと考えられる。また、24.6 ~ 77.9 kPa (pF 2.4~2.9) の中水分張力段階での大きな変化は未分解の有機物繊維自身の収縮によるものと考えられる。なお、この収縮の場合、未分解のヨシ繊維を主体とする低位泥炭で月舘（1979）が指摘したヨシ繊維自身の急激な収縮による繊維の並びの方向である水平方向の大きな収縮は、未分解のミズゴケ繊維を主体とする本高位泥炭では見られなかった。これは未分解のミズゴケ繊維が柔軟性に富むためではないかと考えられる。

これより、分解の進行した泥炭の方が大きな体積収縮を示すといえる。

② 回復特性

測定にあたっては、前述の収縮特性の把握におけると同様の理由により、収縮特性の把握と同一土層を対象とした。各深さの試料の収縮特性と収縮した試料の毛管再飽水による最大回復体積とを水分張力と体積比率との関係で収縮・回復特性曲線として示すと、図-9~11 の通りである。

0~10 cm 深では、246 kPa (pF 3.4)、体積比率 78.1% までの中乾燥した試料は毛管再飽水によりほぼ体積比率 100% まで回復した。しかし、6,632 kPa (pF 4.8)、体積比

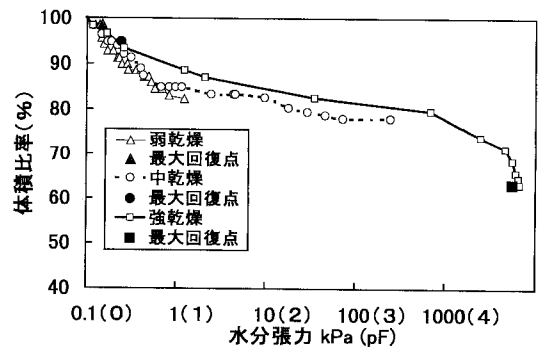


図-9 収縮・回復特性曲線 (0~10 cm 深)

Fig. 9 Shrinkage-restoration characteristic curve (0~10 cm in depth).

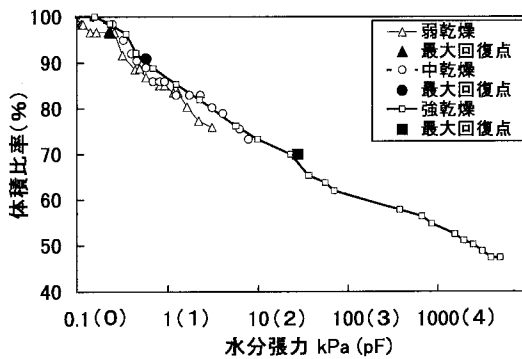


図-10 収縮・回復特性曲線 (20~30 cm 深)

Fig. 10 Shrinkage-restoration characteristic curve (20~30 cm in depth).

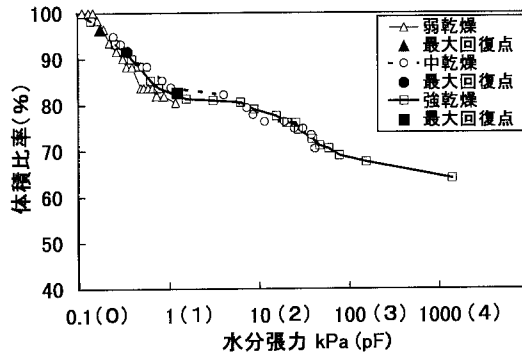


図-11 収縮・回復特性曲線 (50~60 cm 深)

Fig. 11 Shrinkage-restoration characteristic curve (50~60 cm in depth).

率 63.2% までの強乾燥した試料は毛管再飽水によりほとんど回復が見られなかった。20~30 cm 深では、7.79 kPa (pF 1.9), 体積比率 73.3% までの中乾燥した試料は毛管再飽水によりほぼ体積比率 100% まで回復した。しかし、4,916 kPa (pF 4.7), 体積比率 47.4% までの強乾燥した試料は毛管再飽水により体積比率 70% までの回復しか見られなかった。

50~60 cm 深では、41.8 kPa (pF 2.6), 体積比率 70.4% までの中乾燥した試料は毛管再飽水によりほぼ体積比率 90.0% 以上まで回復した。しかし、1,400 kPa (pF 4.2), 体積比率 64.0% までの強乾燥した試料は毛管再飽水により体積比率 82.1% までの回復しか見られなかった。

以上から、次のようなことがいえよう。0~10 cm 深では、生きたミズゴケが束状で生長しているために、ミズゴケの毛管力が大きいこと、またミズゴケの枝葉部内部に前述の貯水組織があることから、中乾燥では毛管再飽

水によりほぼ体積比率 100% まで回復したといえる。しかし、強乾燥では、ミズゴケの貯水組織の脱水が進行し、一度脱水されると貯水組織への復水が困難であるために毛管再飽水により体積が回復しなかったといえる。

未分解の有機物繊維を多量に含んでいる 50~60 cm 深の中乾燥までは、繊維と繊維との間にある水分のみが脱水されており、毛管再飽水によりその水分が復水し、体積が回復したといえる。しかし、強乾燥では、有機物繊維内からの脱水が進行し、一度脱水されると繊維内への腹水が低下するために、毛管再飽水により体積が体積比率 82.1% までしか回復しなかったといえる。

客土材として無機物成分を多量に含む 20~30 cm 深の中乾燥までは、毛管再飽水により体積が回復したといえる。しかし、強乾燥では、混在する有機物繊維内からの脱水が進行しているため、毛管再飽水により体積が体積比率 70.0% までしか回復しなかったといえる。

自然条件下で形成された 0~10 cm 深および 50~60 cm 深の収縮・回復特性より、本湿原の指定地内の高位泥炭は 41.8 kPa (pF 2.6) 近傍以下の水分張力状態、すなわち概ね毛管水量以上の水分量を保持するように管理されなければならない。これ以上に乾燥すると、生きたミズゴケおよび高位泥炭が収縮により変移する。

6. おわりに

ミズゴケを主な植生とする貴重な高位泥炭地の保全にとっては、高位泥炭地の水分変化に伴う変移に関する指標を得る必要がある。

そこで、本研究では、まず基本的理化学性により採取深さの異なる各高位泥炭試料の区分を行った。

次いで、原理上、加圧板法の素焼板からの排出水量を測定することで、各高位泥炭試料の含水量が求まることとして、測定結果に例のない加圧板法を各高位泥炭試料に適用した。これによる各高位泥炭試料の 0.981 kPa (pF 1.0) ~ 981 kPa (pF 4.0) における脱水過程の水分張力-水分関係の測定結果は、測定中の試料の状態、土柱法との比較および測定結果より求まる水分張力-水分分布の特性から見て、信頼できるものとした。

さらに、脱水過程の水分張力-水分関係から求まる水分張力を指標として、各高位泥炭試料の乾燥による水分張力の増大に伴う水平、鉛直および体積の各収縮率の増大の特性、ならびに乾燥到達した水分張力が異なる各高位泥炭収縮試料の毛管再飽水による最大回復体積比率の差異を高位泥炭構成材料の材質、形状、並びの方向などの関わりから論述した。これらのことより、ミズゴケを主な植生とする高位泥炭地の保全のために、乾燥収縮による変移を防止するには、高位泥炭地が概ね毛管水量

以上の水分量を保持するような管理が必要であると、結論することができた。

以上、高位泥炭地の水分変化に伴う変移に関する指標を得ることができた。今後は、この指標を基にして、貴重な高位泥炭地の保全のための水分管理のあり方を追究したい。

本研究を進めるにあたり、多大な御協力戴いた福島県会津若松市教育委員会文化課の各位に対し、感謝の意を表する。

引用文献

- 安積晃次郎・河野英一・笹田勝寛・加藤 誠 (1995) : 高位泥炭の物理的特性, 平成7年度農業土木学会関東支部大会講演要旨 : 40~42.
- 土壤物理測定法委員会編 (1972) : 土壤物理測定法 : 146~150, 養賢堂.
- 土質試験法 (第3回改訂版) 編集委員会 (1990) : 土質試験の方法と解説 : 481~485, 土質工学会.
- 石田朋靖・相馬克之・足立忠司・河野英一・飯竹重夫 (1987) : 4.pFの測定とその原理, 土の基礎, Vol. 35-1 : 61~66.
- 樫村利道 (1981) : 高層湿原中心部の微地形とミズゴケ類の分布, 生物科学, 33 (4) : 193~199.
- 樫村利道・神谷 仁 (1987) : 赤井谷地湿原の発達について, 福島大学特定研 (猪苗代湖の自然) 研究報告, No. 4 : 11~16.
- 樫村利道 (1996) : 赤井谷地の歴史的変遷, 会津若松市文化財調査報告書第49号赤井谷地の自然 : 15~22.
- 粕淵辰昭 (1995) : 泥炭の密度, 水分張力, 飽和透水係数測定のための試料の取扱い, 土壌の物理性, 72 : 9~12.
- 河野英一 (1979) : 水田作上の収縮挙動から見た工学的性質に関する研究, 農土論集, 81 : 1~8.
- 前田 隆・相馬魁之 (1979) : 有機質火山灰土 (クロボク土) の水分特性—加圧板法と遠心法の比較—, 農土論集, 84 : 61~67.
- 坂口 豊 (1974) : 泥炭地の地学, p211~218, 東京大学出版社.
- 笹田勝寛・河野英一・加藤 誠・石川重雄 (1996) : 赤井谷地高位泥炭地の保全と水移動, 土壌の物理性, 75 : 11~21.
- 佐々木晴海 (1979) : 泥炭のサンプリング, 土と基礎 Vol. 27-5 : 31~38.
- 塩沢 昌・中野政詩・安中武幸 (1985) : 遠心法による水分特性の測定法について, 農土論集, 119 : 49~56.
- 塩沢 昌・中野政詩・石田朋靖 (1986) : 遠心法における試料の圧縮の影響に関する理論的解析, 農土論集, 121 : 29~37.
- Suzuki, H. (1972) : Distribution of Sphagnum species in Japan and an attempt to classify the moors basing on their combination, Journ. Hattori Bot. Lab., 35 : 3~23.
- 竹中 肇 (1965) : 収縮挙動より見た土の工学的性質—土の工学的性質 (I)—, 農土論集, 14 : 32~35.
- 土の理工学性実験ガイド編集委員会 (1983) : 土の理工学性実験ガイド : 72~105, 農業土木学会.
- 月館光三 (1979) : 東北地方における泥炭の収縮挙動, 農土論集, 82 : 25~31.
- 梅田安治 (1984) : 日本の特殊土壌—泥炭—, 農土誌, 52 (4) : 51~56.
- 矢橋農吾 (1980) : 泥炭系土壌の収縮特性—低泥炭地の農地工学的改良に関する研究 (I)—, 農土論集, 87 : 8~15.

受稿年月日 : 1998年10月27日

受理年月日 : 1999年1月27日