

泥炭の含水比測定の際のばらつきにおよぼす試料寸法の影響

秋田大学 学生会員 長谷川 直輝 正会員 荻野 俊寛 正会員 田口 岳志

1. 背景

地盤材料の多くはそのなりたちが自然に由来するため人工材料に比べ物性値のばらつきが大きい。特に、泥炭は土を構成する腐植の不均一性からばらつきが大きいことが指摘されてきたが 1), 2), 統計的なばらつきを考慮した物性値の議論はこれまであまり行われなかった。著者らはこれまでに、泥炭性軟弱地盤のボーリング調査から得られた一連のデータにもとづき、自然含水比分布の統計モデルを提案した 3, 4)。一方、泥炭を構成する植物遺骸の寸法は土粒子の粒径に比べてはるかに大きいことから、泥炭の含水比は上記のような材料の特性に起因する本質的な要因だけでなく、測定条件、すなわち含水比測定に用いる試料の寸法によっても影響を受けることが考えられる。本報告は複数の不攪乱試料に対する含水比測定の結果から、自然含水比の値に及ぼす測定試料寸法の影響について統計的に考察する。

2. 含水比測定への中心極限定理の適用

供試体からある大きさの $p=3$ 個のピースを取って含水比を測定し、平均を算出したとき、その平均値のばらつきについて考える。いま、一つの供試体を図-1 のように $8s$ 個の要素に分割し、連続する n 個の要素をランダムにまとめたものが一つのピースとなる。一つの供試体からはピースの大きさ n に応じて複数個のピースを取ることができるが、この中から 3 つのピースをランダムに取り出し含水比を測定、平均 $\bar{\omega}$ を算出する。この操作を x 回くりかえすことで得られる x 個の標本から、含水比平均のヒストグラムを描くことができる(図-4)。このとき、標本の標準偏差 σ_s がこの供試体の含水比平均のばらつきに相当するが、中心極限定理より、 x が大きくなるほどこのヒストグラムは正規分布に近づき、標本平均の平均 μ_s は母平均 μ に、 σ_s は母標準偏差を σ として、

$$\sigma_s^2 = \sigma^2/p \quad (1)$$

に近づく。このことは含水比平均 $\bar{\omega}$ のばらつきは母標準偏差 σ とピースの数 p によって決まり、ピースの寸法 n はばらつきに直接関係しないことを意味するが、これは上記の仮説とは相反する。

3. 含水比平均を計算するための実験およびシミュレーション

1. 試料および実験

上記に示した含水比測定を実際の試料を用いて再現した。実験に用いた試料は、北海道岩見沢市から採取した不攪乱泥炭試料であり、地表面下約 1m の泥炭層に直径 70mm、長さ約 200mm の塩ビ管を貫入して採取した。塩ビ管から抜き出した試料を厚さ 20mm にスライスし(試料下端から $s=1, 2, \dots$)、さらに 8 等分した(図-1)。これを 1 要素として各要素の含水比を測定した。また、各要素の乾燥質量の和と水の質量の和から試料全体の含水比を計算し、これを真の含水比とした。同様の実験を 5 つの試料に対して実施した。実験から得られた各試料の概要を表 1 に、各要素の含水比のヒストグラムを図 2 に示す。表 1 より、試料 5 の真の含水比が 414% と最も高く、試料 1 の真の含水比が 243% と最も小さい。また図 2 より、試料 6 の含水比が最も含水比のばらつきが大きく、試料 1 と試料 4 は試料 1 の外れ値を除外すると、含水比のばらつきは他の試料と比較し小さい。

2. シミュレーションによる含水比平均の計算

上記の実験結果から、 n 個の要素を 1 つのピースとし、ランダムに 3 個のピースを取り出して含水比の平均を計算するシミュレーションを行う。 $n=2, 4, 8, 12$ として隣接する n 個の要素をランダムに組み合わせて 1 つのピースとし、試料をいくつかのピースに分割した(図-1)。この試行を 1 試料あたり 100 回行う($m=1, 2, \dots, 100$)。分割された試料の代表例を図-3 に示す。分割した全ピースの含水比の平均および標準偏差がこの試料の母平均と母標準偏差となる。次にその中から 3 つのピースをランダムに取り出し、含水比平均 $\bar{\omega}$ を求める。これが 1 つの標本となり、これを重複なしの全通り分ける。例えば、高さ 200mm の試料の場合、スライス数 $s=10$ 、要素数 80 であり、 $n=4$ の組み合わせの場合、ピース数は $80/4=20$ となるので、ピースの組み合わせは $20C3=1140$ 通りになる。したがって、シミュレーションによって 1140 回の含水比平均 $\bar{\omega}$ を計算することができるため、これらの標本から $\bar{\omega}$ の標準偏差 σ_s と $\bar{\omega}$ の平均 μ_s を計算することができる。これを各試料につき、 $m=100$ 回繰り返す。

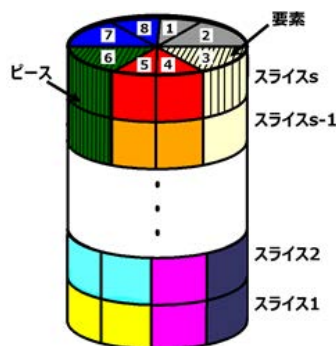


図 1. 分割の模式図(n=2)

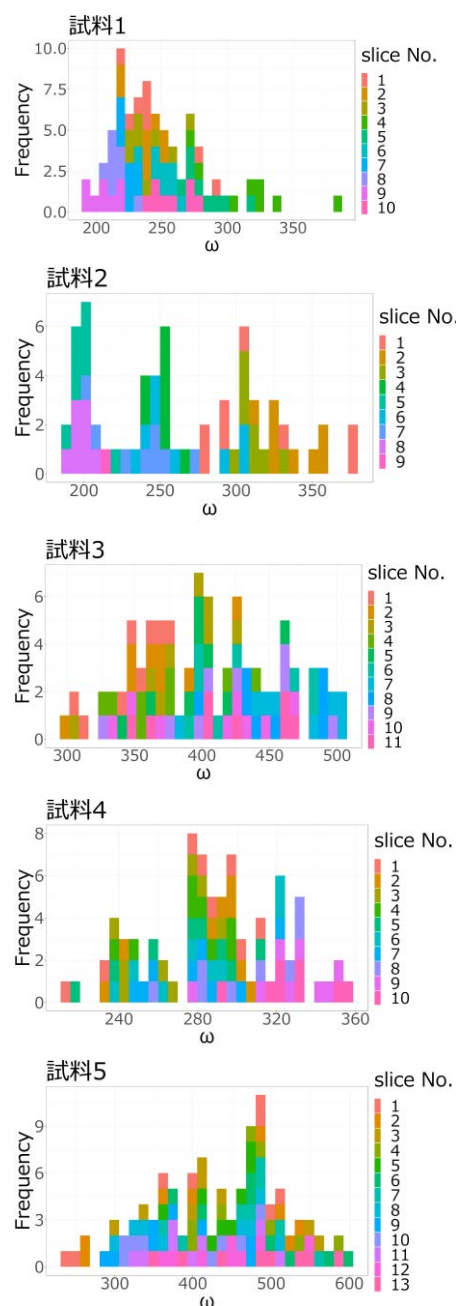


図 2. 各試料のヒストグラム

キーワード 一般化線形モデル 泥炭 含水比 信頼区間

連絡先 〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1 TEL 018-889-2364

表 1.各試料の基本情報

試料の名称	総スライス数	試料全体の水分量[g]	試料全体の乾燥質量[g]	真の含水比[%]
1	10	548.74	226.00	243
2	9	442.46	176.65	250
3	11	653.95	164.37	398
4	10	496.62	175.22	283
5	13	736.04	177.76	414

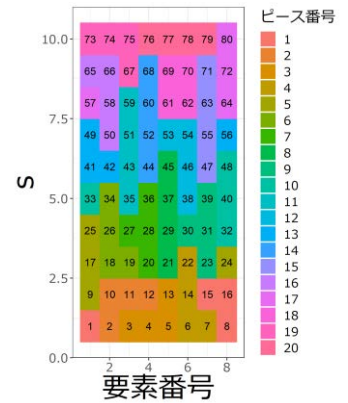
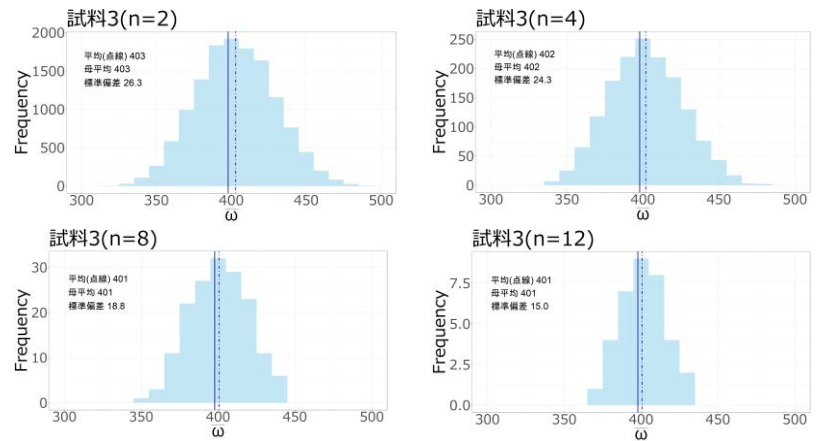
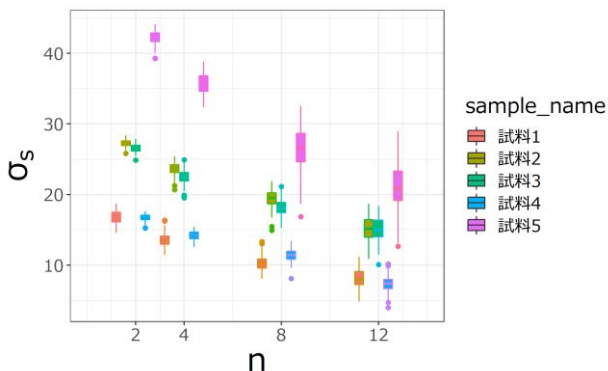
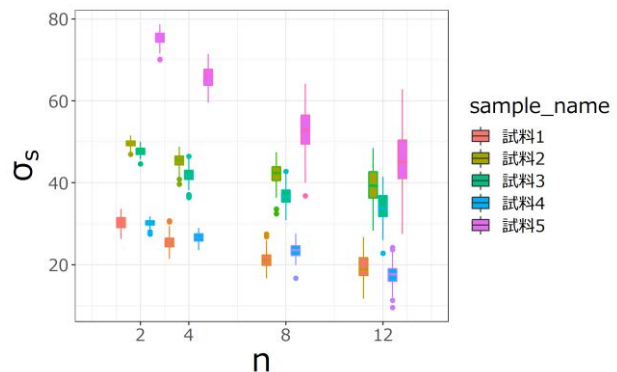


図 3. ピースに分割された供試体の例(試料 1, n=4, m=1)

4. 母標準偏差と試料寸法の関係

図-4 にシミュレーションから得られた $\bar{\omega}$ のヒストグラムの代表例を示す。図-4 のヒストグラムより、 $\bar{\omega}$ の平均 μ_s は母平均と一致するが、母平均と真の含水比は必ずしも一致しない。また、 $\bar{\omega}$ の標準偏差 σ_s は前述した中心極限定理の理論に反して、ピースの大きさ n によって変化し、 n が大きくなるほどばらつきは小さくなっている。図-4 の結果は代表的なものを取り上げたが、ほかの場合でも同じ傾向となった。図-5 にピースの大きさ n と標準偏差 σ_s の関係を箱ひげ図で示す。図中の誤差棒は $m=100$ 回分の試行の結果に対する分位点を示している。いずれの供試体においても n が大きくなるに従い σ_s は小さくなっており、ピースの寸法が大きくなるほど含水比平均のばらつきは小さくなっている。これは本研究の仮説を支持するものであるが、本シミュレーションではピース数は $p=3$ と一定であるため、中心極限定理(式(1))から、 σ_s がこのような傾向を示すためには母標準偏差 σ が n の増大にともなって減少する必要がある。図-6 はピースの大きさ n と母標準偏差 σ の関係である。図より、ピースの寸法 n が大きくなるほど標準偏差が小さくなっていくことが分かる。以上のことから、同一供試体であっても含水比測定に用いる試料寸法が変化すると母標準偏差も変化し、 n が大きくなり試料寸法が大きくなるとそれに伴い母標準偏差は小さくなるため、中心極限定理から標本の標準偏差は小さくなることが分かった。

図 4. 試料 3 のシミュレーション結果 ($m=1$, 実線：真の含水比, 点線： $\bar{\omega}$ の平均値 μ_s)図 5. n と標準偏差 σ_s の関係図 6. n と母標準偏差の関係

5. 結論

本報告で得られた知見は以下のとおりである。

- ・泥炭性軟弱地盤の標本の試料寸法による含水比のばらつきの変化は、母標準偏差に依存し、試料寸法が大きい方がばらつきは小さくなることが分かった。
- ・ $\bar{\omega}$ の平均 μ_s は母平均と一致するが、母平均と真の含水比は必ずしも一致しない。

【参考文献】1) 佐々木・能登：泥炭の工学的性質の均一性に関する一考察，土木学会第 28 回年次学術講演会，pp. 284-285, 1973. 2) 佐々木・能登：泥炭の工学的性質の均一性に関する一考察 第 2 報，土木学会第 30 回年次学術講演会，pp. 427-428, 1975. 3) 西澤ら：統計モデルを用いた泥炭性軟弱地盤の含水比分布 その 1—土質ごとのモデルのあてはめ—，土木学会東北支部技術研究発表会，2021. 4) カイルーら：統計モデルを用いた泥炭性軟弱地盤の含水比分布 その 2—地盤全体に対するモデルへのあてはめ—，土木学会東北支部技術研究発表会，2021.