

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 —

秋田大学 学生会員 ○カイルー スル アキラ ビンティ モハマッド ヤジッド  
 秋田大学 正会員 荻野俊寛, 秋田大学 正会員 田口岳志, (一財)海域環境研究機構 非会員 田中洋行  
 寒地土木研究所 正会員 林 宏親, 秋田高専 正会員 山添誠隆, 北海道大学 正会員 西村 聡

1. 背景

泥炭は土を構成する腐植の不均一性から物性値のばらつきが大きいことが指摘されてきたが<sup>1),2)</sup>, 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. 本報告では前報<sup>3)</sup>の結果をふまえ, 泥炭性軟弱地盤全体の自然含水比分布モデルを構築した.

2. 対象地盤と含水比分布

対象とした地盤は北海道石狩川流域にある泥炭性軟弱地盤であり, 前報<sup>3)</sup>と同様のデータセットを使用した. 対象深度は地表面以下 10m とし, 水平方向の相関は考慮せず, 深さ方向だけを考慮した. 対象地盤は地表面下 1m に地下水位があり, その土質は泥炭, 有機質土, 粘土, シルト, 砂礫から構成される. 前報で述べているとおり, 深度が大きくなるにつれ, 泥炭および有機質土の含水比は低下する傾向を示している. 図-1 に含水比の分布を示す. また, 上層部(0-3.3m), 中層部(3.3-6.6m)および下層部(6.6-10m)のヒストグラムを図-2 に示す. 土質によって含水比が大きく異なっていること, ばらつきは泥炭が最も大きい, 有機質土や粘土, シルトの含水比分布も一定の幅を持っていることがわかる. これは有機質土混じり粘土や腐植土混じりシルトといった混合土も粘土, シルトとして区分されているためである.

3. 含水比分布に用いたモデル

地盤全体の含水比分布をモデル化するために, 前報で提案した切片-深度モデルに, カテゴリカルな変数を追加することでモデルに土質ごとの平均含水比の違いを組込んだ. これを切片-深度-土質モデルと呼ぶ. なお, 含水比の確率分布は前報の結果を踏まえ, 全ての土質に総合的にあてはまりがよかったガンマ分布を用いた. 切片-深度-土質モデルは以下の式で表せる.

$$w[m, n] \sim \text{Gamma}(\mu[m, n], \sigma)$$

$$m = 1, 2, \dots, M \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

ここに,  $\mu[m, n]$ ,  $\sigma$  はそれぞれガンマ分布の平均, 標準偏差である.  $\mu[m, n]$  は対数リンク関数を用いて深度および土質の関数として式(2)で与えた.

$$\log \mu[m, n] = \beta_0 + \beta_1 d[m] + \sum_{i=1}^N \alpha_i \text{soil}[i] \quad (2)$$

ここに,  $m, n$  はそれぞれ全データ数, 土質の数に対するインデックスであり, 本報告では  $M=675, N=5$  となる.  $\mu$  は含水比の平均値,  $d$  は深度,  $\beta_0, \beta_1, \alpha_i$  は係数である.  $\text{soil}[i]$  は  $i=n$  のとき 1 それ以外のとき 0 となる変数であり, 土質の差は  $\alpha_i$  によって表現される. 含水比データセットを式(1), 式(2)にあてはめ, 最尤推定することで係数  $\beta_0, \beta_1, \alpha_i$  が求められる.

4. 含水比分布へのモデルのあてはめと含水比分布の予測

切片-深度-土質モデルをあてはめた結果として, 表-1 に各係数の最尤推定値を示す. また, 図-3 に代表的な土質ごとのヒストグラムと式(2)による確率密度関数を示す. 図中には確率密度関数からランダムにサンプリングされた予測分布も示している. シルトに比べ泥炭の確率密度関数は高含水比側にあり, 土質の違いが表現されている. また, ガンマ分布であることから, 得られた予測分布は非負の範囲に分布している. 予測分布と観測値のヒストグラムを比較すると, 泥炭の場合は予測分布がやや左に寄っており, 全体的に含水比を小さく予測している. また, 予測分布の範囲が観測値よりもやや広い. シルトの場合は予測分布のピークが観測値よりも高含水比側にある. 式(2)は深度の1次関数であり, 係数  $\beta_1$  は負であるため, 確率密度関数のピークは深度が大きくなるほど低含水比側に移動する. 確率密度関数(赤線)のピ

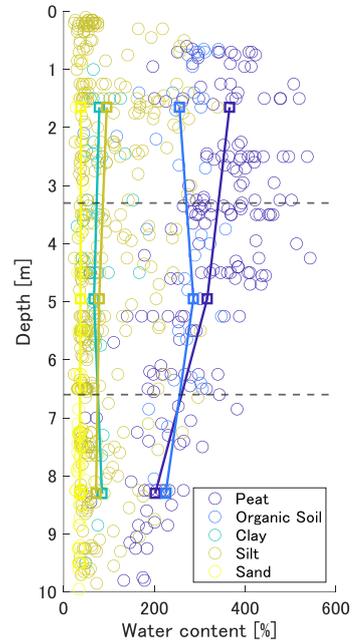


図-1 含水比分布(□は各層の平均)

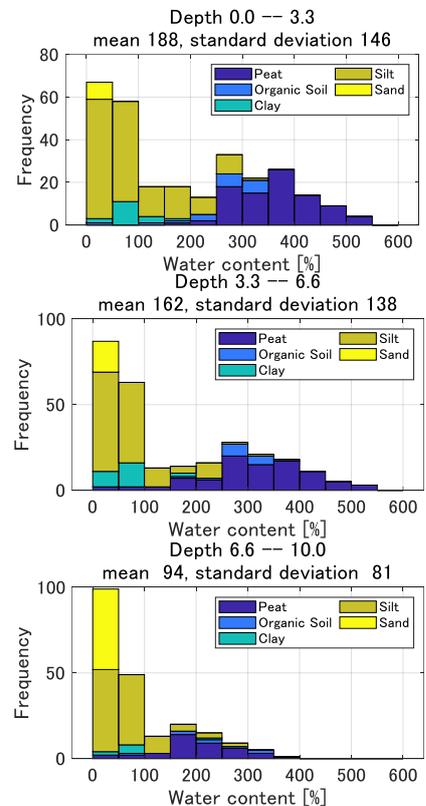


図-2 代表的なヒストグラム

ークはあてはめたモデルは深度による実際の含水比分布の変化によく追従している。また、下層部(6.6—10m)では、予測分布と観測値の差は小さく、あてはまりはやや改善されている。以上から、全体として、切片—深度—土質モデルによって深度の関数として土質ごとの含水比分布がおおむね表現されていることが確認できる。

5. 各土質の出現確率を考慮した混合分布によるモデル

上記モデルによって地盤全体の含水比分布を表現するためには、各土質の分布をあらわす式(1)をその出現確率  $A_n$  に応じて混合すればよい(式(3))。

$$w[m] \sim \sum_{n=1}^N A_n w[m, n] \quad (3)$$

本報告で用いたデータセットにおいて、最も出現確率が高いのはシルトであり、次に泥炭、有機質土、粘土、砂礫の順になる。図-4 は各土質の出現確率  $A_n$  とその順位の関係を示している。両者の関係は両対数軸上で直線関係となっている。このような関係は一般にジップの法則と呼ばれ、様々な離散確率分布にあてはまることが経験的にわかっているが、泥炭性軟弱地盤の土質にもよくあてはまっている。この直線の傾きから  $A_n$  が推定される。

図-5 に推定した  $A_n$  を乗じた各土質の確率密度関数とその和(式(3))を示す。確率密度関数は各層の中央深度で計算した。出現確率が最も高いシルトの確率密度関数が最も面積が大きい。確率密度関数の和は含水比約 50%でピークを持つ裾の広いなだらかな分布となっている。ピークの位置は観測値のヒストグラム(図-2)とほぼ一致しているが、観測値の 200%から 300%付近に見られるピークは表現されていない。このピークは泥炭の含水比分布によるものであるが、図-5 中に示した各土質の確率密度関数からランダムサンプリングした地盤全体の含水比分布のヒストグラムでは、泥炭の予測分布は観測値よりも裾が広く、明瞭なピークを形成しないことから、泥炭の含水比分布の差異が全体の予測分布と観測値との差異を生む主要因になっていることがわかる。

6. 結論

本報告で得られた知見は以下のとおりである。

- ・ カテゴリカルな変数を導入することで、土質ごとの含水比の平均値の違いを考慮した一般化線形モデルによって泥炭性軟弱地盤の含水比分布をモデル化した。
- ・ 各土質の出現頻度とその順位の関係は両対数軸上で直線関係になることを示した。
- ・ この関係を用いて、地盤全体の含水比分布を一般化線形モデルの混合分布として表すことができた。

謝辞：本研究で用いた含水比データは北海道開発局札幌開発建設部岩見沢河川事務所から提供いただいた。ここに記して謝意を表す。

【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.

表-1 式(2)の各係数の最尤推定値

$\beta_0$	$\beta_1$	$a_i$				
		泥炭	有機質粘土	粘土	シルト	砂・礫
5.9	-0.047	0	-0.21	-1.40	-1.30	-2.03

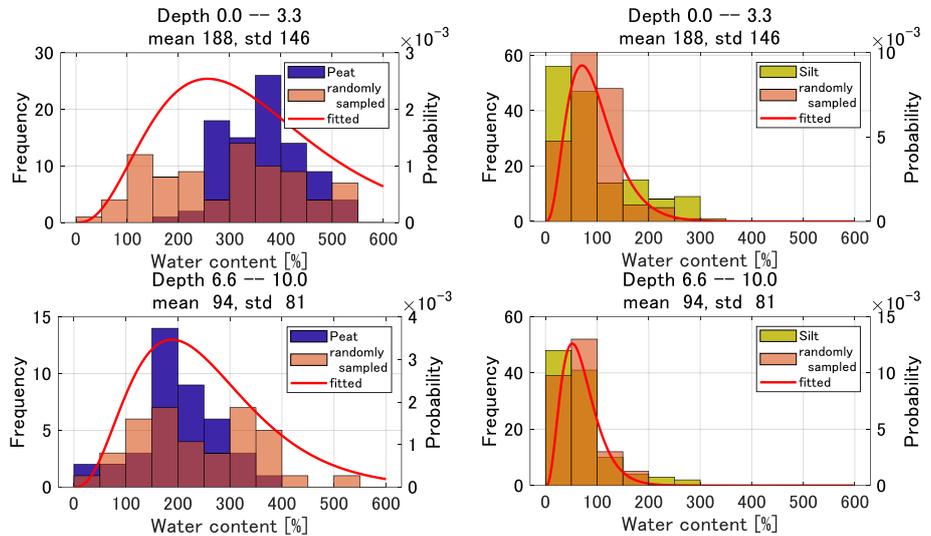


図-3 土質ごとのヒストグラム(左：泥炭，右：シルト)とその予測分布

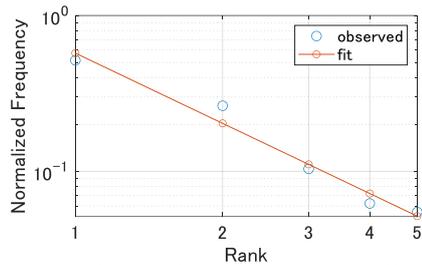


図-4 各土質の出現確率とその順位の関係

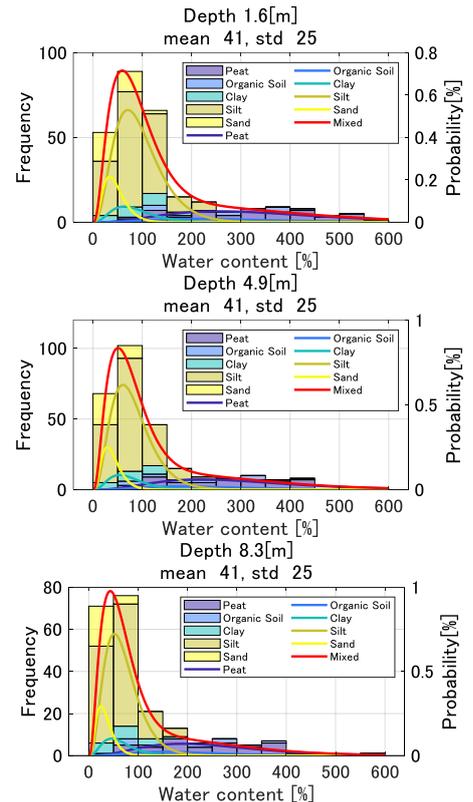


図-5 地盤全体の含水比の予測分布