

柱状図の比較に対する土質区分の影響

名城大学 理工学部 学生会員 ○内藤 充則
名城大学 理工学部 正 会 員 板橋 一雄

1. まえがき 著者らは、地盤構造の複雑さあるいは類似性を評価することを最終目的として、最も基本的な地盤調査結果である土質柱状図のモデル化に関する調査・研究を進めてきている^{1,2)}。一般に、土質柱状図は複雑な地層の繰返しとなっており、そのままではその複雑さや類似性を客観的に評価することが困難である。そこで本研究では、マルコフ連鎖に基づいて土質柱状図のモデル化を行っている。このモデル化に当たっては状態空間の与え方(すなわち土質名の区分方法)が問題となる。そこで種々の土質区分方法を考え、柱状図のモデル化の良否や類似性評価結果への影響を調査したので、ここに報告する。

2. 土質柱状図の複雑さの原因とモデル化 土質柱状図が複雑となる原因には二種類のものがある。一つは、地盤構造そのものが本質的に持っている複雑さであり、それは土質柱状図を得た地点のわずかな違いによって生じるものである。もう一方の原因は、調査開始時点から土質柱状図を作成するまでの間に発生する人的要因である。すなわち、同一地盤についての調査でも、ボーリングフォアマンや現場責任者が異なれば、それらの人々の調査技術の優劣や対象地盤に関する知識の多寡あるいは調査目的などによって、最終的な成果である土質柱状図に個性が現れてくることになる。そこで、ここでは同一の調査者が行った報告書の中で、調査地点が 3.5m しか離れていない土質柱状図を比較することとした。

土質柱状図のモデル化は、マルコフ連鎖の理論³⁾を応用しているので、「パラメータ空間」と「状態空間」の二者のみを決定すれば、状態間の推移確率を表わす推移確率行列によって、一意的なモデル化が可能になる。土質柱状図の解析では、パラメータ空間として深度間隔 Δz をとり、最小厚さの地層を読み落とさない深度間隔として $\Delta z = 20\text{ cm}$ に統一した。また、状態空間は土質柱状図に現れる土質名(現場名の場合が多い)を利用する。ただし一般に、土質柱状図に現れる土質名の種類は相当多いため、土質名そのものを状態空間としてマルコフ連鎖を当てはめると、状態数が多すぎてモデル化の意味が薄れてしまう。そこで、土質名を数種類に区分して状態空間とすることが必要となるが、あまりにも単純化しすぎるとモデル化の意味を失ってしまう。この点を明らかにすることが、本報告の目的である。

表-1 には、今回対象とした2本の土質柱状図(掘深長さ約50m)に現れる14種類の現場土質名が示してある。この14種類の土質名に対して状態数3, 4, 5の3通りを考えている。すなわち、状態数3の場合には、【礫, 砂質土, 粘性土】、状態数4では【礫, 砂質土, シルト, 粘土】、状態数5では【礫, 砂, 砂質土, シルト, 粘土】とした。そして、各状態数ごとに4~5種類の区分方法を採用し、全部で13通りの区分モデル(モデルA1~C4)を考慮した。どの状態数についても、基本の区分モデルは、土質名に従って忠実に区分したものである。そして、その他のモデルは境界領域の土質区分を少しずつ変えたモデルを考えている。たとえば、シルト質砂や砂質シルトなどの境界領域にある土質を、細粒分の【シルト】として見る場合と粗粒分の【砂】として見る場合などである。

表-1 土質柱状図に現れる土質名とその状態区分

土質名	状態数 3				状態数 4					状態数 5			
モデル名	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4
1 砂礫	礫				礫				礫	礫			
2 礫混じり砂													
3 砂													
4 粗砂	砂				砂					砂			
5 細砂	質												
6 シルト混じり砂	土												
7 粘土混じり砂													
8 シルト質砂													
9 砂質シルト													
10 シルト													
11 粘土質シルト	粘				シルト					シルト			
12 砂質粘土	性												
13 シルト質粘土	土				粘					粘			
14 粘土					土					土			

3. モデル地盤と実測柱状図の適合の程度 マルコフ連鎖の理論によれば、推移確率行列から計算される極限分布 $\alpha(\infty)$ は、各状態の相対的比率を表わしていることが知られている。そこで、マルコフ連鎖モデルの極限分布 $\alpha(\infty)$ とモデル化した柱状図の地層構成割合 β の両者を用いて、 χ^2 値を計算することにより、マルコフ連鎖モデルの良否を検討することとした。表-2 には、今回解析した2本の土質柱状図について各モデルごとの χ^2 値が示してある。また、括弧内にはその自由度が示してある。全ての数値が小さく、 $\alpha(\infty)$ と β が類似していることがわかる。また、柱状図1と柱状図2を比較すると、ほとんどの場合に後者の数値が小さく、柱状図2の方がモデル化の程度がよいと思われる。

4. 土質区分と土質柱状図の類似性評価 土質名の状態区分の仕方が、土質柱状図の類似性を評価する結果に与える影響を調べるために、参考文献2) に示した土質柱状図の比較手法を用いた。そして、上記2本の柱状図に対してA1からC4の13種類のモデルについて、 χ^2 値を計算し表-3に示した。なお、括弧内には、その自由度が示してある。この表より、全ての値が危険率5%の χ^2 理論値より小さな値となっており、どのモデルでも2本の柱状図は類似していると見なしてもよいことを示している。また、各状態数ごとに見ると、状態数3ではモデルA3、状態数4ではモデルB5、状態数5ではモデルC4の場合の χ^2 値が小さくなっている。したがって、2本の土質柱状図を比較する際には、これらのモデルが最も類似した結果を与える状態区分であることがわかる。この内どのモデルが良いかは、自由度が異なるため単純には比較できない。そこで、危険率5%の時の χ^2 理論値と χ^2 計算値の比率を見てみた。モデルA3では18.5%、モデルB5では21.7%、モデルC5では54.4%となっており、状態数が5になると、急激に危険域に近づくことがわかる。したがって、状態数が多く χ^2 計算値が比較的小さいモデルB5が最適な状態区分ではないかと考えられる。

表-2 柱状図の極限分布 $\alpha(\infty)$ と

地層構成割合 β の比較 (χ^2 検定)

表-3 2本の柱状図の極限分布の比較 (χ^2 検定)

モデル名	柱状図1 の χ^2 値	柱状図2 の χ^2 値
A 1	0. 1 4 (2)	0. 0 5 (2)
A 2	0. 0 2 (2)	0. 0 3 (2)
A 3	0. 1 2 (2)	0. 0 6 (2)
A 4	0. 2 3 (2)	0. 0 5 (2)
B 1	0. 1 1 (3)	0. 0 3 (3)
B 2	0. 0 8 (3)	0. 0 3 (3)
B 3	0. 2 0 (3)	0. 0 7 (3)
B 4	0. 0 6 (3)	0. 0 3 (3)
B 5	0. 0 7 (3)	0. 0 3 (3)
C 1	0. 2 6 (4)	0. 0 6 (4)
C 2	0. 1 0 (3)	0. 0 3 (3)
C 3	0. 2 6 (4)	0. 0 7 (4)
C 4	0. 0 6 (4)	0. 0 3 (4)

※ カッコ内は自由度を示す。

モデル名	柱状図1を基準とした 時の柱状図2の χ^2 値	柱状図2を基準とした 時の柱状図1の χ^2 値
A 1	1. 3 8 (2)	1. 3 4 (2)
A 2	1. 7 3 (2)	1. 4 7 (2)
A 3	1. 1 6 (2)	1. 0 6 (2)
A 4	3. 6 8 (2)	3. 6 4 (2)
B 1	4. 9 9 (3)	6. 5 3 (3)
B 2	5. 3 1 (3)	6. 7 1 (3)
B 3	3. 9 4 (3)	4. 7 4 (3)
B 4	4. 3 5 (3)	6. 0 2 (3)
B 5	1. 8 1 (3)	1. 5 8 (3)
C 1	6. 1 1 (4)	6. 5 9 (4)
C 2	7. 0 0 (4)	6. 5 6 (3)
C 3	5. 0 5 (4)	6. 1 0 (4)
C 4	4. 2 2 (4)	1. 5 9 (4)

※ カッコ内は自由度を示す。

5. あとがき この報告で取り扱った土質柱状図についてマルコフ連鎖モデルを当てはめた場合、土質名の状態区分数は4がよいことがわかった。今後は、同様の解析をより多くの調査結果に適用していきたい。また、確率論的に均質な地盤に対して数名の調査者によって実施された地盤調査資料の解析を行いたい。こうした解析により、地盤が持っている本質的な複雑さと調査者による個性が分離できるのではないかと期待している。なお、本研究には文部省科学研究費(一般研究C)の補助を得た。また、応用地質(株)の大河原 孝氏には土質区分に関する貴重な意見を頂いた。さらに、資料の解析に当たっては本学4年の海川一也君、橋本順人君、林雅人君、増子雄一君、水野孝二君の協力を得た。記して謝意を表する。

参考文献 1) 板橋一雄: 土質柱状図のモデル化に関する研究, 地盤工学におけるリスク評価手法に関するシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp.1~6, 1987. 2) 板橋一雄, 山本忠久: マルコフ連鎖モデルによる柱状図の類似性評価, 地盤工学シンポジウム論文集, 土質工学会中部支部, pp.55~62, 1989.

3) 森村英典, 高橋幸雄: マルコフ解析(OAライブラリー18), 日科技連出版社, 1979.