

N 値を考慮した土質柱状図のモデル化と
その杭の支持力への応用

名城大学 理工学部 正会員 板橋 一雄
名城大学 大学院 学生員 内藤 充則
名城大学 理工学部 学生員 ○蟹江 伸次郎
学生員 棚橋 昌平, 林 聖二

1. はじめに 著者らは、地盤評価を目的として、マルコフ連鎖に基づく柱状図のモデル化に関する調査・研究を進めている¹⁾。このモデル化により地盤の複雑さや類似性を評価することができる。今回、N 値と土質名に基づく柱状図のモデル化手法を提案した。そして、そのモデルに基づいて杭の鉛直支持力の推定を行い、現行法の結果と比較したので、ここに報告する。

2. N 値と土質名を考慮した柱状図のモデル化 柱状図のモデル化では、マルコフ連鎖の理論²⁾を応用している。これによれば、「状態空間」と「パラメータ空間」の二者のみを決定しておけば、一意的なモデル化が可能である。ここでは、土質名とN 値を組み合わせて表-1 に示す12種類の「状態空間」を設定した。なお、最下層に現れる支持層となる礫層は「吸収状態」と考えた。「パラメータ空間」は深度を Δz 間隔で離散的にとった。なお、解析では最小厚さの地層を読み飛ばさない間隔として、 $\Delta z = 20\text{cm}$ とした。以上より、1 本の柱状図が推移回数行列（確率行列）によって表現することができる。さらに、このモデルは吸収的な連鎖となり、吸収的マルコフ連鎖の論理が適用できる。従って、推移回数行列に基づいて期待支持層深度（平均吸収深度）や地層構成割合（平均訪問回数）を計算することが可能となる。

表-1 N 値と土質名による「状態空間」

状態空間	土質名の区分	N 値の範囲
1	粘性土	0 ~ 10
2		11 ~ 20
3		21 以上
4	中間土	0 ~ 15
5		16 ~ 25
6		26 以上
7	砂	0 ~ 15
8		16 ~ 30
9		31 以上
10	礫	0 ~ 50
11		51 以上
12	支持層となる礫層	

表-2 にはモデル化の良否を判定するための1 本の柱状図（7 番）の解析結果が示してある。1 行目には、実際の支持層深度と各地層厚さを示し、2 行目以降には、モデルに基づく期待支持層深度と地層構成割合が示してある。モデルの場合には、地表面に現れる地層（初期分布）を種々仮定できるので、11 行の結果を示し、それらの平均と標準偏差も示してある。また、実際の各地層厚さの分布を理論値、モデルの地層厚さ分布を実現値と考え、 χ^2 検定した結果も右の欄に示してある。この表より、以下のことが分かる。この柱状図の表層が状態5 であり、支持層深度は実測値と完全に一致している。また、地層厚さに関する χ^2 値もこの場合が最も小さく、実測地層分布とよく一致していることを示している。さらに、平均値について見ると、支持層深度、各地層厚さとも比較的一致しており、その標準偏差も小さな値となっている。その他の柱状図でも同様の結果となり、吸収的マルコフ連鎖によるモデル化の近似と程度がよいことが判明した。

表-2 実際の土質柱状図とモデル化した土質柱状図の各状態空間の層厚の比較

		支持層深度 (m)	各 状 態 空 間 の 層 厚 (m)											実際とモデルの比較 (χ^2 値)	計算支持力 (t)
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
モデル化した土質柱状図 (状態空間)	実際の柱状図	49.20	4.20	4.65	1.35	9.90	4.50	0.55	4.85	4.65	7.90	3.00	3.65	---	303.84
	1	51.55	5.26	4.96	1.62	11.46	3.25	0.62	5.18	4.68	7.80	3.05	3.66	0.97	316.47
	2	50.91	4.06	6.43	1.41	10.82	3.11	0.80	5.31	4.59	7.80	2.99	3.59	1.36	316.96
	3	46.92	3.70	4.56	2.05	9.81	3.30	0.57	4.77	4.26	7.80	2.78	3.33	0.81	323.31
	4	51.76	4.45	5.09	1.48	12.02	3.23	0.64	5.31	4.82	7.80	3.15	3.78	0.96	315.59
	5	49.20	4.00	4.80	1.40	10.60	3.80	0.60	5.00	4.60	7.80	3.00	3.60	0.19	319.59
	6	43.84	3.40	4.32	1.30	9.01	2.80	1.14	4.54	3.91	7.80	2.55	3.06	1.83	327.86
	7	52.31	4.32	5.07	1.45	11.42	3.29	0.63	6.09	5.02	7.80	3.27	3.93	1.01	312.46
	8	52.19	4.30	5.17	1.45	10.45	3.14	0.65	5.29	5.53	7.80	3.60	4.32	1.06	313.80
	9	43.24	3.40	4.32	1.29	9.01	2.80	0.54	4.54	3.91	7.80	2.55	3.06	1.20	328.49
	10	55.31	4.32	5.07	1.46	11.42	3.29	0.63	6.09	5.02	7.80	6.27	3.93	4.55	306.68
	11	46.84	3.40	4.32	1.30	9.01	2.80	0.54	4.54	3.91	7.80	2.55	6.66	3.59	328.49
平均		49.46	4.06	4.92	1.47	10.50	3.18	0.67	5.15	4.56	7.80	3.25	3.90	0.54	319.06
標準偏差		3.63	0.54	0.58	0.20	1.06	0.28	0.16	0.53	0.51	0.00	1.01	0.94	----	6.88

※ 実際の柱状図では表層は状態空間5 である。 ※ 有意水準 95% の χ^2 理論値 = 18.31

3. 対象地域の杭の支持力推定の考え方 図-1には、対象地域の支持力推定の考え方ならびに本報告で比較する杭の支持力の関係を示している。対象地域に2本の柱状図(A, B)があるとすると、上述したモデル化手法によって、2本の柱状図が推移回数行列 T^a 、 T^b によって表現され、その和によって、地域を代表する推移回数行列 T が得られる。そして、表-2に示すような期待される地層厚さの分布が求められ、地域を代表する杭の支持力 R が推定できる。本報告では、この推定方法の妥当性を検討するために各柱状図を用いた現行法による杭の支持力 R^a 、 R^b とマルコフモデルによる支持力 R^a 、 R^b の比較を行った。さらに、各々の平均値と杭の支持力 R とを比較した。なお、解析は狭い地域で実施された深度約55mの7本の柱状図であり、杭長55m、杭径50cmに統一し、杭の支持力計算式は、建築基礎構造設計指針に示されている打ち込み杭に対する式を使用した。現行法を適用するに当たっては、細粒土Fを粘土質部分とし、粗粒土G、Sを砂質部分として取扱い、N値は各部分の平均値を用いた。また、モデルにおいては各状態空間に入る実測N値の平均値を採用した。

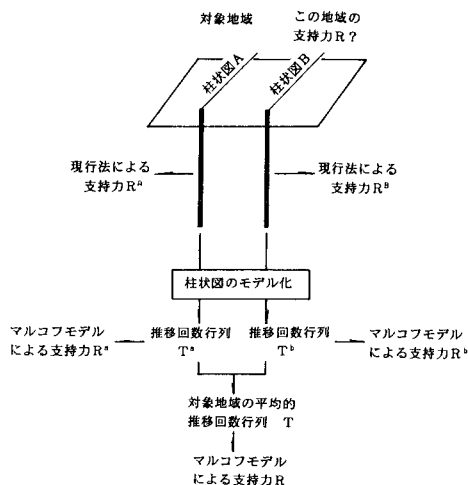


図-1 解析地域の平均的な杭の鉛直支持力推定法

4. 杭の支持力算定結果の比較 表-1の最右欄には、この柱状図の杭の支持力算定結果が示してある。現行法では303.84t、表層が状態空間5を仮定した場合には319.59tとなっている。また、モデルより計算した支持力の平均と標準偏差はそれぞれ、319.06t、6.88tとなっており、モデルの支持力が現行法に近くばらつきも小さいことが分かった。表-3

表-3 現行法による鉛直支持力とモデル化した土質柱状図による鉛直支持力の計算値

柱状図番号	現行法による鉛直支持力(t)	表層の状態空間	モデル化した柱状図による鉛直支持力(t)	
			表層が既知	表層が未知
1	318.50	10	321.08	343.50 (7.90)
2	315.02	9	338.23	347.64 (7.85)
3	306.76	5	318.53	320.33 (4.67)
4	315.87	8	328.50	334.22 (3.54)
5	306.06	4	320.01	324.20 (9.90)
6	308.13	1	311.05	308.67 (7.01)
7	303.84	5	319.59	319.06 (6.88)
平均	310.60	----	322.42	328.03
標準偏差	5.30	----	7.99	14.82

※カッコ内は各柱状図ごとの標準偏差を示す

表-4 解析地域の平均的な鉛直支持力推定値と期待支持層深度

表層(状態空間)	杭の鉛直支持力推定値(t)	期待支持層深度(m)
1	321.84	50.57
2	326.86	47.46
3	326.93	46.79
4	322.48	50.29
5	322.86	50.04
6	326.99	48.18
7	318.86	50.74
8	320.43	50.38
9	330.86	45.11
10	315.66	52.57
11	325.42	50.77
平均	323.56	49.35
標準偏差	4.15	2.08

さらに、7本の柱状図の平均的な推移回数行列より求めた、支持力推定値と期待支持層深度を表-4に示してある。支持力推定値は表層の仮定により異なるが、その平均と標準偏差はそれぞれ323.56t、4.15tとなっており、現行法の結果とよい一致を示している。

5. おわりに この報告では、N値と土質を考慮した柱状図のモデル化手法、ならびに対象地域の代表的な推移回数行列に基づいた杭の鉛直支持力の推定方法を提案した。そして、現行法の結果と比較し、ここに提案する方法の妥当性を確認した。なお、本研究は平成4年度文部省科学研究費ならびに中部電力基礎技術研究助成金の補助を得た。記して謝意を表す。参考文献 1) 内藤充則、板橋一雄：赤池情報量規準に基づいた土質状態区分の提案、第47回土木学会年次学術講演概要集、pp.788～789、1992。 2) 森村英典、高橋幸雄：マルコフ解析(ORライブラリー18)、日科技連出版社、1979。