

東海大学工学部

正員

宇都一馬

正員

冬木 衛

正員

〇近藤 博

桜井 学

1. まえがき

地盤の載荷試験や地中に打ち込まれたワイ、その他地中構造物の載荷試験結果の統計的な処理を行なう目的からP-S曲線の特性を表現する定数を抽出するための数学モデルを提案し、前報では多くの載荷試験結果のP-S曲線の視察から2,3の検討を加えた。すなわち、図-1に示すように極限荷重(P_{max})から載荷重(P)を差引いたところの剰余荷重($P_{max}-P$)なる値を新しく定義し、さらに、変位(沈下量)(S)に対する荷重の増加率 $\frac{dP}{dS}$ は、この剰余荷重に比例するとの仮定のもとで、 $P = P_{max}(1 - e^{-\frac{S}{\delta_s}})$ — (1) で表現される数学モデルを作成した。この数学モデルはすでに発表されているC. Van der Veenの提案式と一致する。C. Van der Veenは(1)式の P_{max} のみを図解方法で解いている。この方法には極限荷重の初期設定、荷重・沈下量軸などのとり方に向題があるといわれているので、筆者らは非線形最小二乗法によって(1)式の極限荷重 P_{max} と新しく定義した基準変位量 δ_s の2つの回帰係数を決定した。このモデルをワイの鉛直載荷試験結果に適用し、①P-S曲線を P_{max} と δ_s の2変数で表現することにより、P-S曲線のパターンを分類することが可能となった。②基準変位量 δ_s は、きわめて重要な定数であることがわかり、 P_{max} に加えて、更にこの δ_s を考察することによってより有効な情報をつかめる。(図-1参照) ③ δ_s と P_{max} は、ワイと地盤の相互作用によって生ずるものであり、両者を含めた状態での総合特性値を表現しており、この種の現象は複雑な要因に支配されるため、解析的手法が困難となるので、実用的な見地から、 δ_s 、 P_{max} 、 P_{max}/δ_s 、 $P_{max} \cdot \delta_s$ の推定の必要性にせまられた。そこで、今回は表-1に示す鋼ぐい鉛直載荷試験に関する変量(特性値)間の相関係数を求め、きわめて初歩的な段階の多変量解析を行ったので報告する。

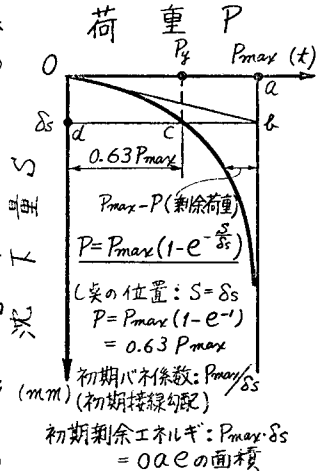


図-1. P-S曲線の解析モデル

2. 使用したデータ

前報と同様、土質工学会鋼ぐい研究委員会の鉛直支持力調査カードによるもので、繰返し載荷が2回以上行なわれたものであり、かつ、解析に用いる全変数の使用できるものを選んだ。その結果、載荷状態が極限載荷37例、降伏載荷47例、その他7例の計91例である。今回とりあげた変量(特性値)およびそれらの基本統計量を表-1に示してある。なお、表-1の変量のうちで先端N値(N_1)は、その深度のN値がないものが多く、この場合には先端深度の上下2点のN値から推定しており、この2点が同一地層であれば比例配分とし、要した地層におよんでいる場合はワイ先端が存在する地層のN値を代表値として決定した。また、N値の合計(ΣN)は柱状図でN値の記入のある深度ごとに区切り、台形公式により計算した。

3. 解析法

互いに相関のある特性値を総合的に評価する手法として多種の多変量解析があるが、今回は、相関のあるデータから冗長的な情報を排除することによってデータを簡略化し、いくつかの総合指標にま

表-1. 変量および基本統計量 ($A_p = \pi \times 0.4$)

変量	特性値	平均値	標準偏差	相関係数
ワイ				
1. ワイ径	D (mm)	0.581	0.242	42
2. 肉厚	t (mm)	9.010	1.913	21
3. 根入れ長	L (mm)	28.74	10.61	37
4. 周長	U (mm)	1.821	0.758	42
5. ワイの断面積	A (mm ²)	167.5	100.6	60
6. A/L	(mm)	141.7	98.03	69
地盤				
7. 先端N値	N_1	52.91	38.97	74
8. 上方480mm平均N値	N_2	42.89	28.37	66
9. $(N_1 + N_2)/2$	$\bar{N}$	48.22	30.92	64
10. N値の合計	ΣN	366.4	198.9	54
11. ワイ周囲平均N値	$\Sigma N/L$	13.91	8.275	59
12. $U \times \Sigma N$		682.9	469.1	69
13. $A_p \times N_1$		15.04	19.00	126
載荷試験				
14. 打込みから載荷試験開始間		21.21	17.54	83
15. 最大載荷重	Q_u (t)	290.9	145.3	50
16. 15に対する沈下量	$S_{0.15}$ (mm)	31.08	23.27	75
17. 沈下量10mmに相当する荷重	$P_{0.10}$ (t)	178.3	93.33	52
18. 極限荷重	P_{max} (t)	373.3	222.3	60
19. 基準変位量	δ_s (mm)	15.97	12.96	82
20. 沈下量10mmに相当する荷重	$P_{0.10}$ (mm)	185.2	90.78	49
21. 初期バネ係数	$\frac{P_{max}}{\delta_s}$ (t/cm)	305.9	172.4	56
22. 初期剰余エネルギー	$P_{max} \cdot \delta_s$ (t·cm)	732.5	1017	139

とめる手法である主成分分析法を用いた。

4. 特性値の相関関係

相関係数行列を表-2に示してある。この表から①地盤に関する特性値と他の特性値との相関が、一般に考えられているより低い。② γ の形状に関する特性値と他の特性値との相関が高い。などである。

表-2. 相 関 表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22															
1. D	1.	460	125	920	564	130	129	170	113	104	039	682	949	289	730	049	594	154	101	418	402	328															
2. ϵ		1.	0.60	0.09	0.57	0.17	0.18	0.09	0.17	0.03	0.28	0.03	0.82	0.93	0.85	0.85	0.35	0.10	0.35	0.25	0.72	0.15															
3. L			1.	0.27	0.17	0.18	0.11	0.11	0.03	0.39	0.15	0.29	0.16	0.30	0.35	0.10	0.35	0.22	0.72	0.15	0.42	0.38															
4. U				1.	0.42	0.21	0.17	0.13	0.08	0.37	0.18	0.24	0.27	0.23	0.54	0.35	0.18	0.13	0.17	0.02	0.38	0.38															
5. A					1.	0.49	0.22	0.17	0.10	0.43	0.16	0.37	0.28	0.25	0.60	0.34	0.18	0.13	0.17	0.02	0.38	0.38															
6. $\Delta\sigma$						1.	0.17	0.10	0.12	0.28	0.17	0.20	0.17	0.24	0.17	0.38	0.25	0.13	0.17	0.02	0.38	0.38															
7. N_0							1.	0.18	0.12	0.28	0.17	0.20	0.17	0.24	0.17	0.38	0.25	0.13	0.17	0.02	0.38	0.38															
8. N_0								1.	0.18	0.12	0.28	0.17	0.20	0.17	0.24	0.17	0.38	0.25	0.13	0.17	0.02	0.38	0.38														
9. N_0									1.	0.18	0.12	0.28	0.17	0.20	0.17	0.24	0.17	0.38	0.25	0.13	0.17	0.02	0.38	0.38													
10. ΣN										1.	0.18	0.12	0.28	0.17	0.20	0.17	0.24	0.17	0.38	0.25	0.13	0.17	0.02	0.38	0.38												
11. ΣN											1.	0.18	0.12	0.28	0.17	0.20	0.17	0.24	0.17	0.38	0.25	0.13	0.17	0.02	0.38	0.38											
12. $U \times \Sigma N$												1.	0.18	0.12	0.28	0.17	0.20	0.17	0.24	0.17	0.38	0.25	0.13	0.17	0.02	0.38	0.38										
13. $A \times N_0$													1.	0.18	0.12	0.28	0.17	0.20	0.17	0.24	0.17	0.38	0.25	0.13	0.17	0.02	0.38	0.38									
14. $\Delta\sigma$														1.	0.18	0.12	0.28	0.17	0.20	0.17	0.24	0.17	0.38	0.25	0.13	0.17	0.02	0.38	0.38								
15. $\Delta\sigma$															1.	0.18	0.12	0.28	0.17	0.20	0.17	0.24	0.17	0.38	0.25	0.13	0.17	0.02	0.38	0.38							
16. $\Delta\sigma$																1.	0.18	0.12	0.28	0.17	0.20	0.17	0.24	0.17	0.38	0.25	0.13	0.17	0.02	0.38	0.38						
17. $\Delta\sigma$																	1.	0.18	0.12	0.28	0.17	0.20	0.17	0.24	0.17	0.38	0.25	0.13	0.17	0.02	0.38	0.38					
18. $\Delta\sigma$																		1.	0.18	0.12	0.28	0.17	0.20	0.17	0.24	0.17	0.38	0.25	0.13	0.17	0.02	0.38	0.38				
19. $\Delta\sigma$																			1.	0.18	0.12	0.28	0.17	0.20	0.17	0.24	0.17	0.38	0.25	0.13	0.17	0.02	0.38	0.38			
20. $\Delta\sigma$																				1.	0.18	0.12	0.28	0.17	0.20	0.17	0.24	0.17	0.38	0.25	0.13	0.17	0.02	0.38	0.38		
21. $\Delta\sigma$																					1.	0.18	0.12	0.28	0.17	0.20	0.17	0.24	0.17	0.38	0.25	0.13	0.17	0.02	0.38	0.38	
22. $\Delta\sigma$																						1.	0.18	0.12	0.28	0.17	0.20	0.17	0.24	0.17	0.38	0.25	0.13	0.17	0.02	0.38	0.38

5. 主成分分析結果

22変量について、相関行列から出発して、分析した結果を表-3～表-5に示す。また、表-5の Z_1 , Z_2 に対する因子負荷量を Z_1 , Z_2 軸に対して目盛り、図-2に示す。表-3からは、オ1主成分までで、約65%の情報が得られ、図-2. Z_1 と Z_2 に対する因子負荷量れることが分る。オ1主成分 Z_1 は、 γ の形状に関する特性値と高い相関を示す。特に、 γ の肉厚面積Aとは0.95という高い相関がある。さらに、 Z_1 のデータを見ると、Aの大きさの順序にスコア Z_{01} は並んでいる。オ2主成分は、地盤に関する特性値を表わす因子であると考えられる。

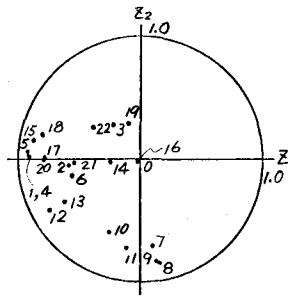


表-3. 固有値と寄与率

成分 No	固有値	寄与率
1	7.65	0.35
2	3.45	0.50
3	3.18	0.65
4	1.98	0.74
5	1.56	0.81
6	1.16	0.86
7	0.93	0.90
8	0.67	0.93
9	0.45	0.96
10	0.31	0.97
11	0.24	0.98
12	0.12	0.99
13	0.11	0.99
14	0.07	0.99
15	0.05	1.00
16	0.04	1.00
17	0.03	1.00
18	0.01	1.00
19	0.01	1.00
20	0.01	1.00
21	0.00	1.00
22	0.00	1.00

表-4. 固有ベクトル

特性値	Z_1	Z_2	Z_3
1. D	-0.33	0.01	-0.03
2. ϵ	-0.21	-0.03	0.13
3. L	-0.08	0.15	-0.23
4. U	-0.33	0.01	-0.03
5. A	-0.34	0.01	0.02
6. $\Delta\sigma$	-0.21	-0.07	0.19
7. N_0	0.04	-0.38	-0.24
8. N_0	0.06	-0.46	-0.08
9. N_0	0.05	-0.45	-0.19
10. ΣN	-0.09	-0.52	-0.02
11. ΣN	-0.04	-0.40	0.15
12. $U \times \Sigma N$	-0.27	-0.23	-0.05
13. $A \times N_0$	-0.29	-0.19	-0.21
14. $\Delta\sigma$	-0.29	-0.01	-0.20
15. $\Delta\sigma$	-0.32	0.03	-0.04
16. $\Delta\sigma$	-0.01	-0.01	-0.25
17. $\Delta\sigma$	-0.29	0.00	0.15
18. $\Delta\sigma$	-0.29	0.11	-0.19
19. $\Delta\sigma$	-0.04	0.16	-0.48
20. $\Delta\sigma$	-0.27	-0.00	0.19
21. $\Delta\sigma$	-0.20	-0.01	0.36
22. $\Delta\sigma$	-0.04	0.14	-0.41

6. まとめ

今回、初歩的な段階の多変量解析を鋼管の鉛直載荷試験結果に適用した。筆者らが提案した載荷試験結果の数学モデルによって得られる極限荷重 P_{max} と基準変位量 δ_s などの推定を、おおよそ予測しうる見通しが得られた。今後は、表-1に示す特性値の中の回帰式による P_{max} , δ_s などを他の特性値の組合わせによって、うまく説明しうるような検討を行なう予定である。

謝辞. γ の鉛直載荷試験結果への適用例では、土質工学会鋼管委員会、鉛直支持力調査カードを使用させていただきました。同委員会ならびにデータ作成関係者の方々に厚く感謝の意を表します。

参考文献 1) 宇都、冬木、近藤、梅井; γ の載荷試験結果の整理方法、第13回土質工学研究発表会(1978)

2) C. Van der Veen; The Bearing Capacity of a pile, Proc. 3rd. ICSMFE, 1953. 3) H. Kawasaki; Some Problems in the Ultimate Bearing Capacity of piles estimated on the Basis of many Loading Tests in fields, S&F. Vol.8 No.3, 1953.

4) 永木明世; γ の鉛直支持力、土質工学会、土と基礎の設計計算演習 RP 231~248, 1972, 11.

5) 土質工学会鋼管委員会; 鋼管の鉛直支持力調査カード, 1967.

6) 奥野、久米、芳賀、古澤; 多変量解析法, 日科技連.

表-5. 因子負荷量

特性値	Z_1	寄与率	Z_2	寄与率	Z_3	寄与率
1. D	-0.72	0.84	0.02	0.84	-0.05	0.84
2. ϵ	-0.59	0.35	-0.05	0.35	0.23	0.41
3. L	-0.22	0.05	0.28	0.13	-0.41	0.29
4. U	-0.72	0.84	0.03	0.84	-0.05	0.85
5. A	-0.95	0.91	0.02	0.91	0.04	0.91
6. $\Delta\sigma$	-0.60	0.32	-0.14	0.34	0.39	0.46
7. N_0	0.11	0.01	-0.71	0.52	-0.53	0.71
8. N_0	0.16	0.03	-0.85	0.74	-0.15	0.77
9. N_0	0.14	0.02	-0.80	0.72	-0.34	0.83
10. ΣN	-0.26	0.07	-0.60	0.62	-0.63	0.62
11. ΣN	-0.11	0.01	-0.73	0.55	-0.24	0.62
12. $U \times \Sigma N$	-0.75	0.56	-0.72	0.74	-0.08	0.75
13. $A \times N_0$	-0.62	0.39	-0.35	0.52	-0.81	0.65
14. $\Delta\sigma$	-0.25	0.06	-0.92	0.06	-0.36	0.19
15. $\Delta\sigma$	-0.88	0.77	0.15	0.77	-0.16	0.82
16. $\Delta\sigma$	-0.02	0.00	-0.01	0.00	-0.45	0.20
17. $\Delta\sigma$	-0.79	0.63	0.01	0.63	0.27	0.70
18. $\Delta\sigma$	-0.81	0.66	0.20	0.70	-0.34	0.81
19. $\Delta\sigma$	-0.10	0.01	0.29	0.10	-0.85	0.32
20. $\Delta\sigma$	-0.81	0.66	-0.00	0.66	-0.33	0.77
21. $\Delta\sigma$	-0.55	0.31	-0.03	0.31	0.44	0.71
22. $\Delta\sigma$	-0.39	0.15	0.26	0.22	-0.72	0.25