

# 自動的な地盤解釈の試み—利用できる情報の検討—

三重大学生物資源学部 大野 研  
日本上下水道設計㈱ 坂本曜次朗

## 1. まえがき

正確な地盤解釈は、地盤の工学的問題における設計・現象予測に対して必要なものである。しかし、解釈すべき広大な地盤に対して、与えられる情報が非常に少ないことが通常である。この情報の不足を補うために、技術者の地質学的・地盤工学的知識と経験が大いに必要とされている。したがって、優れた技術者による地盤解釈は、最高に信頼できる情報となりうる。けれどもこれは逆に、地盤解釈の信頼性が技術者の能力に依存していることを意味する。よって工学的には、コンピュータにより自動的にある一定レベルの地盤の解釈ができるようになることは大いに意味があることになる。すなわち、地盤解釈の客観性が増し、プログラムにより優れた技術者の知識や経験が後世に伝承できるようになるからである。したがって、大野ほか((1996,1997,1998)、稲崎(1991,1992,1994)、Toll et al.(1991,1993) は、ボーリングデータを基にして、知識工学的手法を用いて、土質断面図を自動的に発生するシステムを検討してきている。これらのシステムがある一定レベルの信頼性を有したうえで、既存のボーリングデータを GIS に入力すれば、任意地点の土質断面図が自動的に得られるようになるという利点がある。これは、工事の信頼性の向上、防災、工事費の削減に大いに貢献できる可能性を秘めている。しかし現状は、入力データがボーリングデータのみであるので情報量が少なく、それを補うための技術者の地質学的知識の取り込み方も不十分なものであり、やや信頼性に欠けると言わざるを得ない。

しかし濃尾地盤研究委員会によって、2つの長いボーリングデータ (STA.38 約 98m と STA.40 約 66m) に対して、数多くの理学・工学的試験が行われ、平成 10 年の「理学・工学情報が臨海平野の地盤解釈に果たす役割に関するシンポジウム」(以下「理工情報シンポ」と略称する)でその結果が公表されている。そこで、今回はその多量のデータを利用して、自動的な地盤解釈に利用できる情報の種類を検討した。すでに我々は、その平成 10 年の「理工情報シンポ」で同様の検証を行っているが、今回はさらに多くの情報を統計的手法に基づいて検討しているのが特徴である。

## 2. 全体の流れ

本研究の全体の流れを図 1 に示す。濃尾地盤研究委員会では、STA.38、STA.40 のそれぞれに関して、おおよそ 1 m ごとに 50% 粒径、75  $\mu$ m 以下含有率、帯磁率、N 値、3 m ごとに液性限界、塑性限界、塑性指数、流動係数、10% 粒径、20% 粒径、30% 粒径、60% 粒径、2  $\mu$ m 以下含有率、5  $\mu$ m 以下含有率、均等係数、曲率係数、活性度を測定している。また、STA.38 に限り 1 m ごとに、電気伝導度と pH も計測している。

これらのデータは、3種類のバラツキ含んでいると思われる。すなわち、(1)堆積環境等を反映した必然的バラツキ、(2)人為的なミスに起因するバラツキ、(3)本質的なバラツキである。地盤解釈には、(1)の必然的バラツキが重要であり、(2)と(3)のバラツキの影響を取り除かなければならない。もし各データが(1)のバラツキを含んでいなければ、データは正規分布すると考えられる。そこで、正規分布しないデータのみが(1)のバラツキを含んでいると考え、各データに関して正規分布の検定を行った。

次に検定の結果、正規分布していないデータに関して、2種類のデータごとに相関係数と p 値を計算し、

必然的バラツキを示したデータ同士の独立性を検討した。これは、必然的バラツキを示し、かつ地盤解釈に使用できるデータを決めるためである。

最後に、必然的バラツキを示し、かつ独立なデータを用いて、土層ごとのクラスタリングを行った。もし適切にクラスタリングされていれば、同一クラスに属する土層同士を結びつければ、土質断面図が自動的に完成することになる。

### 3. 「堆積環境を反映した必然的バラツキ」の抽出

各測定データの正規分布性を検定するために、正規分布に対して Kolmogorov-Smirnov 検定（以後 K-S 検定と略称）を行った。表1に各データに対する検定結果を示す。

表 1 (a) K-S検定結果

1サンプル Kolmogorov-Smirnov 検定

		電気伝導	ph	n値改
N		56	56	147
正規分布のパラメータ a,b	平均値	1.8415	6.0646	17.8299
	標準偏差	1.1385	.9125	17.6861
最遠距離差	絶対値	.175	.266	.223
	正	.175	.163	.223
	負	-.096	-.266	-.171
Kolmogorov-Smirnov の Z		1.307	1.988	2.709
漸近有意確率 (両側)		.066	.001	.000

a. 検定する分布は正規分布です。

b. データから計算

表 1 (b) K-S検定結果

1サンプル Kolmogorov-Smirnov 検定

		液性限界	塑性限界	塑性指数	流動指数
N		53	53	53	53
正規分布のパラメータ a,b	平均値	54.6634	26.4634	28.2000	10.3055
	標準偏差	18.2678	4.2335	16.2898	4.7954
最遠距離差	絶対値	.171	.092	.172	.177
	正	.171	.092	.172	.177
	負	-.096	-.074	-.093	-.092
Kolmogorov-Smirnov の Z		1.245	.666	1.252	1.292
漸近有意確率 (両側)		.090	.766	.087	.071

a. 検定する分布は正規分布です。

b. データから計算

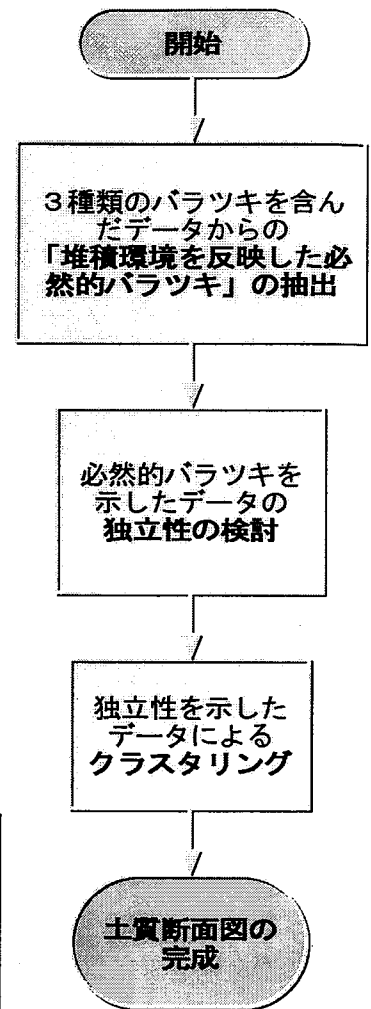


図 1 全体の流れ

表 1 (c) K-S検定結果

1サンプル Kolmogorov-Smirnov 検定

		10%	20%	30%	50%
N		53	53	53	111
正規分布のパラメータ a,b	平均値	1.598E-03	2.919E-03	4.811E-03	.9697
	標準偏差	2.784E-04	7.563E-04	1.480E-03	5.1491
最遠距離差	絶対値	.150	.072	.089	.447
	正	.150	.072	.089	.447
	負	-.136	-.051	-.059	-.425
Kolmogorov-Smirnov の Z		1.089	.524	.651	4.712
漸近有意確率 (両側)		.186	.946	.790	.000

a. 検定する分布は正規分布です。

b. データから計算

表 1 (d) K-S検定結果

1サンプル Kolmogorov-Smirnov 検定

		60%	2 μm	5 μm	75 μm
N		53	53	57	102
正規分布のパラメータ a,b	平均値	1.366E-02	14.7415	32.0684	56.9068
	標準偏差	4.880E-03	4.3454	9.0454	42.5034
最遠距離差	絶対値	.131	.108	.113	.263
	正	.131	.108	.113	.186
	負	-.088	-.062	-.081	-.263
Kolmogorov-Smirnov の Z		.952	.787	.850	2.656
漸近有意確率 (両側)		.325	.566	.466	.000

a. 検定する分布は正規分布です。

b. データから計算

表 1 (e) K-S検定結果

1サンプル Kolmogorov-Smirnov 検定

		均等係数	曲率係数	活性度	帯磁率
N		53	53	53	143
正規分布のパラメータ a,b	平均値	8.5641	1.0702	2.0337	57.3606
	標準偏差	2.4716	.2660	1.2650	43.9036
最遠距離差	絶対値	.147	.154	.192	.204
	正	.147	.154	.192	.204
	負	-.087	-.084	-.109	-.137
Kolmogorov-Smirnov の Z		1.070	1.122	1.398	2.441
漸近有意確率 (両側)		.202	.161	.040	.000

a. 検定する分布は正規分布です。

b. データから計算

表1から、5%水準で仮説を棄却するとすると、pH、N値、50%粒径、75 $\mu$ m以下含有率、活性度、帯磁率が正規分布していないと言える。もう少し緩い基準にすると、電気伝導度、塑性指数、液性指数などが正規分布していないと言える。したがって、これらのデータが意味のある「堆積環境を反映した必然的バラツキ」を有していると考えられる。

#### 4. 独立性の検討

前節で「堆積環境を反映した必然的バラツキ」を有しているデータ相互の独立性を検討するために、Pearsonの相関係数と有意確率を計算した(表2)。ただし、計算に用いたデータは、前節で5%水準で仮説が棄却されたpH、N値、50%粒径、75 $\mu$ m以下含有率、活性度、帯磁率、およびその次に正規分布である可能性が低かった電気伝導度の7種類のデータである。

表2 独立性の検討(相関係数と有意確率)  
相関係数

		50%	75 $\mu$ m	帯磁率	ph	n値改	電気伝導	活性度
50%	Pearsonの相関係数 有意確率(両側) N	1.000 .001 96	-.346* .001 90	-.044 .694 84	-.245 .208 28	.268* .009 95	-.109 .580 28	-.201 .221 39
75 $\mu$ m	Pearsonの相関係数 有意確率(両側) N	-.346* .001 90	1.000 .000 90	-.561* .000 79	.257 .187 28	-.688* .000 89	.108 .584 28	.266 .101 39
帯磁率	Pearsonの相関係数 有意確率(両側) N	-.044 .694 84	-.561* .000 79	1.000 .000 137	-.642* .000 56	.494* .000 135	-.272* .043 56	-.538* .000 52
ph	Pearsonの相関係数 有意確率(両側) N	-.245 .208 28	.257 .187 28	-.642* .000 56	1.000 .000 56	-.376* .004 56	.255 .058 56	.778* .000 27
n値改	Pearsonの相関係数 有意確率(両側) N	.268* .009 95	-.688* .000 89	.494* .000 135	-.376* .004 56	1.000 .000 147	-.767* .000 56	-.353* .010 53
電気伝導	Pearsonの相関係数 有意確率(両側) N	-.109 .580 28	.108 .584 28	-.272* .043 56	.255 .058 56	-.767* .000 56	1.000 .000 56	.086 .670 27
活性度	Pearsonの相関係数 有意確率(両側) N	-.201 .221 39	.266 .101 39	-.538* .000 52	.778* .000 27	-.353* .010 53	.086 .670 27	1.000 .000 53

\*\*相関係数は1%水準で有意(両側)です。

\*相関係数は5%水準で有意(両側)です。

この中で、相関係数の絶対値が最大のものは、pH-活性度 (0.778) であり、次がN値-電気伝導度 (0.767) である。しかし、pH と電気伝導度は STA.38 でしか測定されていないので、土質断面図の作成には直接的には利用できない。そこでこの2種類のデータを除いた5種類のデータの間では、N値-75 $\mu$ m 以下含有率の間の相関0.688である。これはさほど大きい相関とは言えないので、今回はこの5種類のデータは一応独立であると考え、クラスタリングに用いることにする。

### 5. クラスタリング

以上の5種類のデータを用いて深度3mごとにクラスタリングを行った結果を表3に示す。クラスタリング手法としては、グループ間平均連結法を用いている。

**表3 深度3mごとの5種類のデータによるクラスタリング**

**3m5要因**

ケース	10 クラスタ	9 クラスタ	8 クラスタ	7 クラスタ	6 クラスタ	5 クラスタ	4 クラスタ	3 クラスタ	2 クラスタ
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	2	2	1	1	1	1	1	1	1
12	2	2	1	1	1	1	1	1	1
15	2	2	1	1	1	1	1	1	1
21	3	3	2	2	2	2	2	1	1
24	3	3	2	2	2	2	2	1	1
30	3	3	2	2	2	2	2	1	1
33	3	3	2	2	2	2	2	1	1
36	4	4	3	3	2	2	2	1	1
39	5	4	3	3	2	2	2	1	1
42	6	5	4	4	3	3	3	2	2
45	1	1	1	1	1	1	1	1	1
48	2	2	1	1	1	1	1	1	1
51	5	4	3	3	2	2	2	1	1
54	6	5	4	4	3	3	3	2	2
60	7	6	5	5	4	4	3	2	2
63	8	7	6	1	1	1	1	1	1
69	3	3	2	2	2	2	2	1	1
72	3	3	2	2	2	2	2	1	1
75	3	3	2	2	2	2	2	1	1
78	3	3	2	2	2	2	2	1	1
84	7	6	5	5	4	4	3	2	2
112	2	2	1	1	1	1	1	1	1
115	2	2	1	1	1	1	1	1	1
118	2	2	1	1	1	1	1	1	1
121	8	7	6	1	1	1	1	1	1
127	3	3	2	2	2	2	2	1	1
130	3	3	2	2	2	2	2	1	1
133	5	4	3	3	2	2	2	1	1
136	5	4	3	3	2	2	2	1	1
139	2	2	1	1	1	1	1	1	1
142	5	4	3	3	2	2	2	1	1
145	9	8	7	6	5	5	4	3	2
148	1	1	1	1	1	1	1	1	1
151	5	4	3	3	2	2	2	1	1
154	2	2	1	1	1	1	1	1	1
160	10	9	8	7	6	5	4	3	2
163	8	7	6	1	1	1	1	1	1

ただし、ケースは深度を表す。100以下がSTA. 38の深度であり、100以上は下2桁がSTA. 40の深度を表す。

表3の結果のうち、4クラスタに分類したものを図示すると図2のようになる。

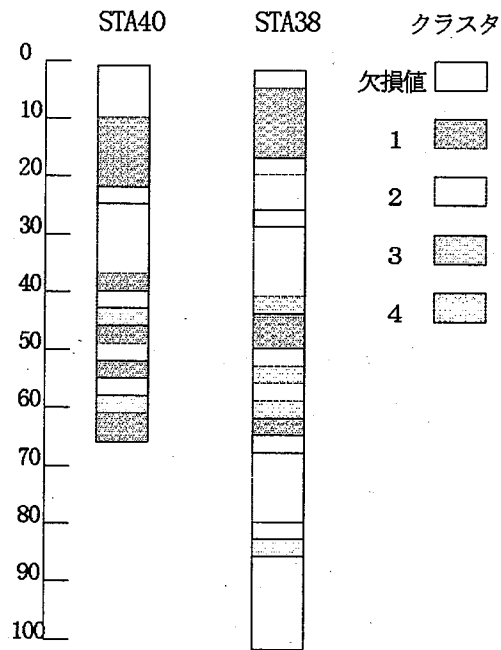


図2 5要因4クラスタ分類

この図に対応する技術者の判断を図3に示す。

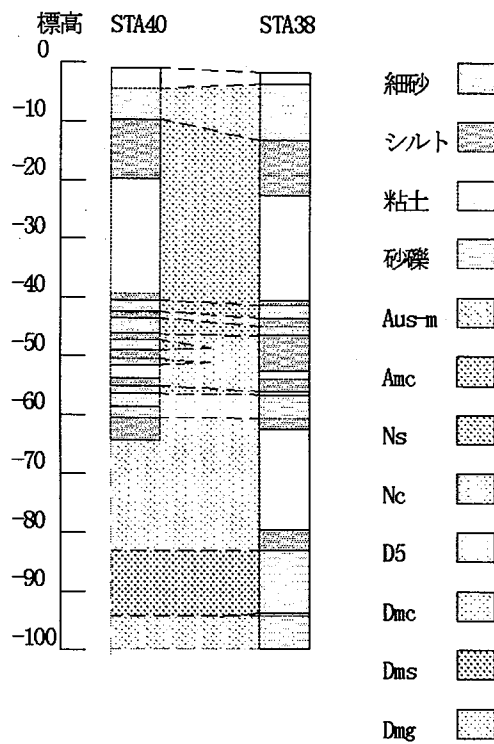


図3 技術者の判断

両者は類似しているようでもあり、類似していないようでもある。また標高-80m 以下のクラスタリングにおける欠損値もやや気になる。これは、この領域で活性度が測定していないのが原因である。そこで、活性度以外の4種類のデータを使って4つのクラスタに分類したものを図4に、8つのクラスタに分類したものを図5に示す。

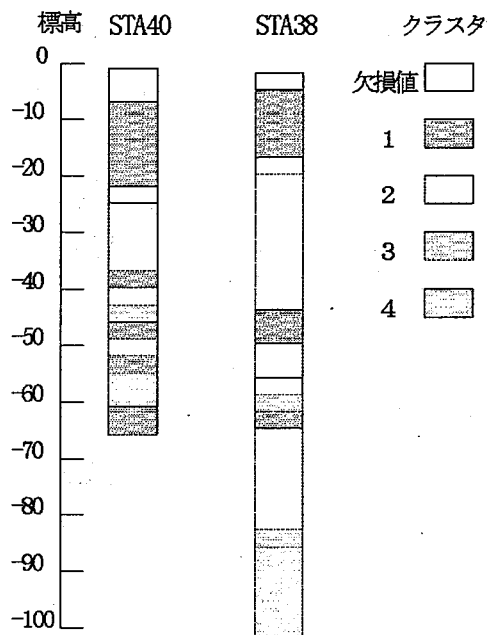


図4 4要因4クラスタ分類

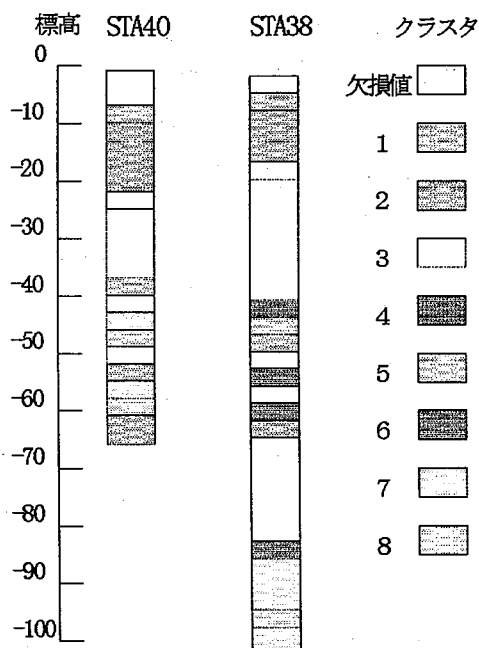


図5 4要因8クラスタ分類

確かにこの場合は、標高-80 以下も分類されている。しかし使用しているデータの種類の減少しているため、図2に比較するとおおざっぱな分類になっていることが分かる。8クラスタに分けると却ってうまくいって

いないようである。データの種類の数に比べて、クラスタ数が多すぎるのかもしれない。

そこで、実際に土質断面図を描く場合には重要な要素の一つになる標高も1つのデータとしてクラスタリングに用いることにする。ここで示した4要因に標高を加えた5種類のデータで8つのクラスタに分類したものを図6に示す。

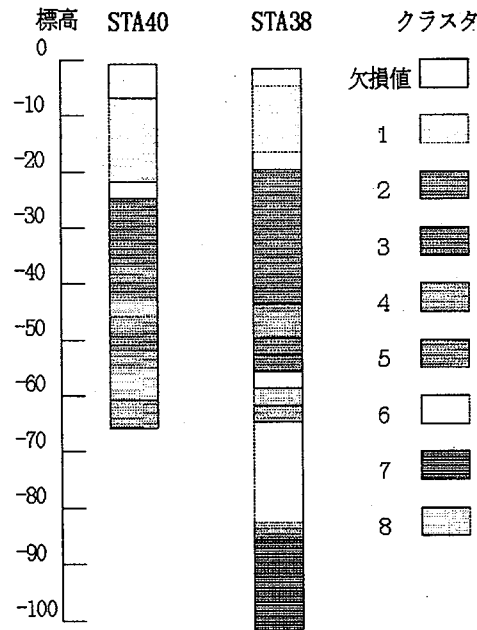


図6 4要因+標高による8クラスタ分類

この場合が一番技術者の判断に近いものが得られているように思える。

## 6. 考察

本研究ではできるだけ客観的なデータからの自動的な土質断面図の作成を目指したが、やはり客観データに加えて技術者が用いているような知識やルールを積極的に用いていかなければ、ある程度信頼のおける土質断面図の作成は困難のように感じた。しかし、我々が適切に処理できていない客観情報も多々あり、客観データだけからの作成の可能性も残されている。最後になりましたが、整理されたデータをご提供いただいた岐阜工業高等専門学校吉村優治先生に感謝いたします。

稲崎富士(1991)：断面図の自動作成法。地盤情報のデータベースに関するシンポジウム発表論文集、土質工学会、pp.231-238

稲崎富士(1992)：地中情報の利用技術の開発、地下空間の利用技術の開発報告書、第2分冊、建設省、pp.219-256

大野研他(1997)：ファジィ理論とGAを利用した土質断面図の提案、第9回地盤工学シンポジウム論文集、地盤工学会中部支部、pp.59-66

大野研他(1998)：土質断面図の自動作成、第10回地盤工学シンポジウム論文集、地盤工学会中部支部、pp.33-38

Inazaki, T (1994) "Automated borehole data correlation using dynamic depth warping technique and an expert system", Proc. Seventh International Congress International Association of Engineering Geology, A.A.Ballema, pp.4457-4465

Ohno, K(1996)"Geological Profiles by Fuzzy theory and GA", Proc. of International Conference on Intelligent Technologies in Human-Related Sciences, Universidad de Leon, pp.109-116

Toll, D.G., N.Vaptismas and M.Moula (1991) "Comparing Soils Using Knowledge Based Systems", Proc. of Artificial Intelligence & Civil Engineering, 1991 Civil-Comp, pp.113-118

Toll, D.G. and N.Vaptismas (1993) "Interpreting Borehole Information", Proc. of Knowledge Based Systems for Civil and Structural Engineering, 1993 Civil-Comp, pp.153-159

濃尾地盤研究委員会(1998)：理学・工学情報が臨海平野の地盤解釈に果たす役割に関するシンポジウム発表論文集、地盤工学会中部支部・濃尾地盤研究委員会・中部地質調査業協会・応用地質学会