論 説

土質名を数量化した土質ボーリング柱状図のスペクトル解析*

朝 日 秀 定**

Spectral Analysis of Drilling-log of Quantificated Soil and Rock Classification*

Hideyasu ASAHI**

Abstract : The descriptions of soil or rock classification in drilling-log were converted into numerical values, then the quantificated log data were transformed into the spectral intensity of Walsh rectangular waveform function. Analysis were performed on 142 of drilling log data of 12m depth from ground surface obtained in the eastern area of Muroran City, Hokkaido, Japan.

The results obtained here are as follows;

- (1) The spectrum of each number of zero crossing shows the characteristics of variation in soil classification under the ground surface.
- (2) The spectral intensity of 0 time of zero-crossing have a considerable information on the variation of soil classification. Consequent low number of zero-crossing spectra, such as from 1 to 7 times of zero-crossing, are more informable than the other higher number of ones.
- (3) Almost of spectra of one time of zero-crossing were negative in the whole area of eastern Muroran. The finding indicates that the quantificated value in the lower half part of underground of 12m depth from ground surface is larger than the upper half. In this way, the spectral contour maps of each number of zero-crossing should be interpreted according each waveform.
- (4) From topographical view point, the drilling points higher than 5 times of superior number of zero-crossing are found in the area of old river mouth or talus in the eastern part of the City.
- (5) The selection of drilling-logs by means of cluster analysis makes it easy to interpret the spectral contour maps.

Key Words : Drilling-log, Quantification, Soil classification, Walsh-Hadamard transfer, Rectangler waveform, Spectrum, Cluster analysis

1. はじめに

土質ボーリングデータの有効な再利用を期待し、官民の多くの機関においてデータの収集がなされてきている。これらの例では、運輸省港湾技術研究所、防災科学技術センター、東京都建設局土木研究所（矢島, 1988; 風間・岩崎・堀井, 1989）、大阪市立大学（弘原海, 1975, 1985）などのデータベースが知られているが、土質工学会当該支部の「新編大阪地盤図」（土質工学会関西支部・関西地質調査業協

会, 1987）や「最新名古屋地盤図」（土質工学会中部支部, 1988）、あるいは建築士会の各支部分会で収集したボーリング集も手軽でアクセスの速いデータベースと考えられる。これらの利用は、必要とする地点近傍のデータを直接参考にするか、あるいは当該地域地盤の状況の推定に利用されている。

しかし、その再利用は地質の専門家によらなければほとんど不可能に近い。また、数多くのデータを一度にまとめることは専門家であっても容易ではない。これまでN値のように数値として与えられているデータは、演算の対象として処理し、数多くのデータをまとめる方法が示されている（幾志・菅原・清水, 1971; 西山・小池・日下部, 1987）。土質についてはその堆積に関する数的取扱いでエントロピーを利用した表示方法が知られている（Hattori, 1976）。本稿は土質調査のボーリングデータに記載されている土質

* 第1回日本情報地質学会講演会(1990年,大阪)および平成3年度日本応用地質学会北海道支部研究発表会(1991,札幌)にて一部発表

** 室蘭工業大学材料物性工学科. Department of Materials Science and Engineering, Muroran Institute of Technology, Mizumoto-cho 27-1, Muroran 050, Japan

名を数値に置き換えることにより演算の対象としてスペクトル変換を行い、多数のボーリングでの土質の深度方向への変化を平面的にまとめ、その解釈を施すものである。

土質を数量化することにより利用できる手法には、

a) 単層の区分、統合、分類を数値の比較、演算により自動的に行う。

b) 補間法を利用して土質の推定を行う。

c) 深度方向の土質(地層の場合も同じ)変化を直交関数系の方波関数によってスペクトル変換し、その強度により土質の深度方向への変化を表示する。

等が考えられる。a)の手法については数量化の着想と共に既に大崎・阪口(1972)によって試みられている。また土質の数量化を行い、このフーリエ変換による自己相関から堆積周期変化を捉える試みもなされている(Yamamoto and Nakagawa, 1974)。

本稿はb)の手法を補助にc)の手法によるボーリング土質データの処理法と結果の解釈を述べる。

ボーリングデータは平面的には点での情報であり、ある地域の深度方向の土質変化を三次元表現しようとするときには、多くのボーリングデータを用いて深度方向の土質や地質の変化をブロックダイアグラムやパネルダイアグラムでまとめて表現するのが一般的であろう。本報告ではこの手法に対応する方法として、土質堆積の繰り返しを仮定し、深度方向の各ボーリングでの土質変化の情報を数量化した土質のスペクトルにより表現し、これを等値線図にて表現した。こうすることにより深度方向の情報を平面的に表現することがある程度可能となる。解析例は北海道室蘭市東部でなされた深度12m以上のボーリング148点のデータの土質をクラスター分析し、この結果を利用し特異なボーリング記録を排除して残った142点でのデータを解析したものである。

2. 直交関数系と方形波関数

関数 ϕ_k , ϕ_l が区間 $a \leq t \leq b$ で

$$(\phi_k, \phi_l) = \int_a^b \phi_k(t) \cdot \phi_l(t) dt = 0 \quad (k \neq l) \quad (1)$$

であるか、または離散値に対して

$$(\phi_k, \phi_l) = \sum_{i=1}^n \phi_k(t_i) \cdot \phi_l(t_i) = 0 \quad (k \neq l) \quad (2)$$

の場合、 ϕ_k , ϕ_l は直交関数(行列)系をなすと定義されている(伏見・赤井, 1987)。これらが直交関数系または行列であれば $k=l$ の場合には 0 でない値を持つ。この性質を利用してスペクトル解析が行われる。直交関数系の代表と

しては三角関数系が良く知られている。

さてボーリング土質柱状図の土質を数量に置き換えてその変化を見るとき、この数値列の変化は深度方向への方波と見ることができる(第5図)。一般に波形はフーリエ式級数表示が可能であるから、(2)式の具体的計算は結局この級数のフーリエ式係数(スペクトル)を求めることになる。

直交関数との類似性より、得られるスペクトルは土質の深度方向への変化の特徴を表現する尺度と解釈できる。しかし、土質を数量化した場合その深度方向の数値列の変化は方形波であり三角関数係との類似性は良くない。そこで直交関数系としては方形波関数を利用した方が級数表示の項数の面からも有利となる。そこで直交関数系の内で方形波関数の1つである Walsh 関数を利用した。

実際の演算は Walsh 関数型の Hadamard 行列で行った。この詳細は成書(伏見・赤井, 1987; De Coulon, 1986; 喜安, 1980; 森田, 1984)があるので、そちらを参照していただきたい。ここでは概要を述べるに止めたい。この行列(関数)の特徴は区間 t が $-1/2 \sim 1/2$ または $0 \sim 1$ において $+1$, -1 の2値のみをとる行列で、関数的には直交かつ完備な関数とされている。その行列式の簡易な表現は式(3)に示す様に Kronecker 積の $2^n \times 2^n$ の行列形で構成でき、 $+1$ と -1 のみより成る行列で示すことができる。

$$H_n = \frac{H_{n-1}}{2^{n-1}} \times \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{vmatrix} \quad H_1 = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{vmatrix} \quad (3)$$

Kronecker 積(3)で構成される行列は自然順の Hadamard 行列と言われる。

以下に述べる Walsh 順 Hadamard 行列とは行の構成順が異なる。このような行列のうち、第1列が $+1$ から始まり、 $+1$ から -1 , -1 から $+1$ への変化の回数(交差数; 0 クロスの回数)がその行番号とともに増加する型の行列を Walsh 順 Hadamard 行列と呼ぶ。この行列の $2^3 \times 2^3$ の例を式(4)と第1図に示す。

$$H_8 = \begin{vmatrix} Wal(0, t) \\ Wal(1, t) \\ Wal(2, t) \\ Wal(3, t) \\ Wal(4, t) \\ Wal(5, t) \\ Wal(6, t) \\ Wal(7, t) \end{vmatrix} \quad (4)$$

第 1 図 Walsh関数波形

第 2 図 流れ図

式(4)中に $Wal(i, t)$ のように記入してあるのは, $+1$ から -1 への変化の数が i 回の行であることを示す. また, 第 1 図中には $+$, $-$ のみで示してあるがそれぞれ $+1$, -1 を表している. これらの性質は三角関数と良く類似しておりそのことから, フーリエ級数式離散変換が可能である. すなわち, 一定区間において等間隔 (Δt) に $k(=2^n)$ 個とられたデータ値 $f(t)$ に対し

$$A_i = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k f(l \times \Delta t) \cdot Wal(i, l) \quad (i=0 \cdots k-1) \tag{5}$$

の変換が離散 Walsh-Hadamard 変換 (以後 WH 変換と呼ぶ) である. 通常, 区間を巡環した $+1$ から -1 , -1 から $+1$ への変化の回数を i 回としたとき, $i/2$ を交番数と呼び, 周波数解析と同様に扱っている. しかし, 本稿は関数の直交性の観点からこの行列各行の変化と数量化土質の深度方向の変化の相似性を利用しようとするものであるから, 本手法は交差数解析と呼ぶべきものである.

3. 数量化数値と解析手順

解析手法の全体的流れ図を第 2 図に示す. 以下にこの流れ図の主要部分を説明する.

3. 1 柱状図記載土質名の取扱い

使用した土質名は, この地域で得られた解析対象ボーリング (12m 以上) データに記載されている土質名の最終記載名によって区分した. 非火山性堆積の土質については日本統一分類 (土質工学会調査部, 1973; 長瀬, 1986) に示される粗分類を部分的には更に大きくまとめ, 例えば高有機質土, 有機質土を腐植土に, 埋土を表土に, 更に礫質土は最終記載名に帰属させた. 凝灰質堆積物はひん繁に記載されているので 3 グループに分けた. これらの例を示せば,

第3図 調査地の地形図とボーリング点(国土地理院 1/25,000地形図『室蘭東北部』に加筆)

「砂混じり有機質粘土」は「粘土」に、「凝灰質シルト」は「凝灰質」のように分類した。これらの土質名を第1表に示す数値に置き替えた。

3.2 土質名の数量化数値と補間条件の評価

解析に先立ち、土質を表現する数値の決定を行う必要がある。

前述の様に分類した土質名に対し与える数値の組合せで必要な条件は、第一にスペクトルの解釈がし易いことが重要である。また地盤区分の様な利用にはボーリング点以外

の地点でのスペクトル強度の補間が必要となるから推定精度の良いことが必要となる。ゆえに数値組合せの内これら2つの条件をより良く満たす組合せで解析を行うことが信頼のおける結果を与えると考えた。

多数の数値組合せについて検討を行ったが、これらのうち解析結果の解釈がおこない易い数値組合せを第1表に示す。数値は基本的には日本統一分類の土質区分における粒径と土のフルイ分析のフルイの目の開きを念頭においたものである。数値組合せAは、土質区分における粒径を切りの良い値に置き換え、等比級数的で土質間の差異を際だたせることを意図したものである。数値組合せCは、フルイ目における粒径の対数は概ね等差級数的な数値になることにもとづく値で等差級数的な数値を与えたものである。以下では数値組合せをA値、C値と呼ぶことにする。

こうした数値組合せの内、どちらの数値の組合せが良いかは具体的には以下の様にして決めた。まずA値またはC値の組合せで土質の数量化をおこなう。次にあるボーリングでの土質を未知として、その土質の数値を地表から0.1m刻みに12mまで近傍のボーリングの同一深度の数量化した土質により推定する。推定には土質を未知としたボーリング点とこの土質の推定に用いるボーリング点間の距離の逆数を重みとした座標と数量化した土質の2元3次方程式による最小二乗法を用いた。この推定を各ボーリングごとにおこなう。次に、この推定値($g_j(l \cdot \Delta t)$)と対応する深度での実際の土質の数値($f_j(l \cdot \Delta t)$)との平均残差平方和 d_{av}

$$d_{av} = \frac{1}{120 \times n} \sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^{120} \{g_j(l \cdot \Delta t) - f_j(l \cdot \Delta t)\}^2 \quad (6)$$

但し、 $\Delta t = 0.1$, n ; ボーリング点数,

j ; 求めようとするボーリング点

- 凡 例
第 四 紀	{	現河床・海岸堆積物
		砂 丘 層
		低位段丘堆積物
		中位段丘堆積物
		高位段丘堆積物
室 蘭 岳 集 塊 岩 層	{	鷺 別 砂 礫 層
		鷺 別 凝 灰 岩 層
新 第 三 紀	{	安 山 岩 脈
		本輪西砂岩・頁岩互層
		鷺 別 凝 灰 岩 層

第4図 解析対象地の地質図(齊藤・他, 1953; 1/50,000 地質図『登別温泉』に加筆)

(凡 例)

第5図 数量化ボーリング柱状図, 推定土質, スペクトル例

第 1 表 数量化土質名

土質 値 名 組合	表 土	腐 植 土	粘 土	シル ト	砂	礫	岩 等	火 山 灰	凝 灰 質	凝 灰 岩
A	5	10	20	40	80	60	800	320	360	400
C	10	20	30	40	50	60	120	80	90	100

第 6 図 クラスタ距離の変化

第 7 図 スペクトル強度の絶対値和を交差数 0 のスペクトル強度で正規化した平均スペクトル

をより小にする数値組合せを用いることにした。
 $f(t)$ と $g(t)$ の間には一次関係が期待されるので同じ程度の平均残差平方和の場合には、それぞれを深さ方向に対比し、そのボーリング点での $f(t)$ と $g(t)$ の相関係数を求め、その平均の高い数値の組合せを用いることにした。結果としては C 値を用いることにした。

4. 解析対象地域とボーリングデータ

4. 1 地形、地質の概要

本解析地域の地形を第 3 図に、地質を第 4 図（斉藤他，1953）に示す。地形は地質をほぼ反映し、北半分部の火山性堆積物（凝灰岩類）より成る地域は北方より南に向かって

第 8 図 正規確率分布

次第に低くなり、100m 前後の台地のまま海岸付近まで迫っている。この台地は規則的に小沢が刻まれている。また海岸付近の比較的古い地層よりなる南縁地域も小さな高まりを見せている。

一方これらの高まりに挟まれた地域と海岸に面した地域はほとんど標高 2 m 未満の海岸平野である。ボーリングデータによると、この地域の海水準 - 30m くらいまでは泥炭および未凝固のシルトと砂で構成され、若干の貝殻を含んでいるのが普通である。第 3 図中に、解析に利用したボーリング点を○印で、これらの中でも第 5 図に例示したボーリングの位置を●印で示す。

4. 2 ボーリング点の選択

この地域で集められたボーリングデータの 12m 以上の深度をもつ全点に対し WH 変換を行ったところ、原データの全てのボーリング点について第 9 図や第 10 図の様にスペクトル強度等を等値線図化して観察を行うと、その現地形からの解釈や周囲のボーリングとの比較は困難を極める箇所が幾点見られた。そこで全体から観て特異なボーリングデータは今回の解析対象としないことにした。選点の方法は以下に述べるクラスター分析の結果より行った。

クラスター分析は以下の 3 通りの方法で行った。いずれの分析もクラスター間の正規化を行わないユークリッド距離を使用し、最長距離法で行った。

第 1 番目は、各ボーリングの数量化した土質を 0.1m ごとに 12m までサンプリングを行い、これらの数値によるクラスター分析を行った（第 6 図 (a)）。第 2 番目には、この 12m までに含まれる単層数で一周期を構成するとし、全ての単層を同一の層厚としてこの一周期を 32 等分した数値変化について求めたスペクトル強度に対する分析を行った（同 (b)）。第 3 番目の分析として深度 12m までを一周期と

第2表 土質推定の平均残差平方和, 相関係数

	A値原資料	C値原資料	C値選点后
平均残差平方和	13872~14232	430.0~435.0	390.2~393.5
最小値を示すボーリング点数	13	14	13
相関係数(平均)	0.561~0.571	0.616~0.620	0.643~0.645

して, 数量化土質の12mまでを128等分(=0.09375m)してサンプリングした数列にWH変換を行い, このスペクトルの交差数31までに対してクラスター分析を行った(同(c)). これらの分析では全ボーリングデータの併合ごとのクラスター距離が最終併合付近で急速に広がり始める(第6図中↑印). これ以降に1~3本で併合されるボーリング点を選点する. このようにして抽出したボーリング点の内, 上述の3種類のクラスター分析の2つにおいて共通に選点されたボーリング点を排除した.

4.3 数量化した土質柱状図

土質柱状図に記載されている土質名を数量化した値の深度方向の変化(実線)と推定数量化土質(点線)の代表例を第5図に示した. なお, 同図中数量化土質の右側に示してあるスペクトル強度は交差数31までである. 同図のボーリング点位置は, 第3, 4, 9, 10図のボーリング番号と対応させてある. また, 表示深度は本報告で解析した12mまでである.

5. 解析結果と解釈

5.1 解析条件の決定

(1) クラスター分析結果

全ボーリングに対する併合とクラスター距離の変化の最終段階付近での状況を第6図に示す. 結果から言えば, 原データで深度12m以上の148点のボーリングデータうち6点を除外した. 4.2で述べた3種類のクラスター分析で急速にクラスター距離が拡大するまで併合されないため排除されたボーリング6点のうち, 5点までがこの分析の第1番目(図中(a))の分析によって排除の候補に挙がっていた. このことより深度ごとにサンプリングされたデータに対して行われたスペクトル強度に対するクラスター分析による選点は最も有効であったと考えられる.

(2) 使用数値と近似条件

既知ボーリングの数量化土質とそれらの推定値との平均残差平方和と相関係数との平均を, 使用数値組合せと最小二乗近似計算に使用するボーリング点数について求めた.

数値組合せのいずれの場合でも, 平均残差平方和は重みが距離分の1の場合にいちばん小さかった. この場合の計算結果を第2表にまとめて示す. なお平均残差平方和が小さいと相関係数も使用数値ごとにではあるが高かった.

こうして得られたボーリングデータについての平均残差平方和は, 原データはA値では最小でも13872と大きい. C値では原データで430.0であったが, クラスター処理によるボーリングの選点后では390.2と向上している.

しかし, 表に示したようにC値での推定計算に用いるボーリングの点数による平均残差平方和の差は小さく, またC値での相関係数の平均も最大の値で原データで0.620, 選点后でも0.645といずれも使用点数による差は小さかったが, 使用点数13点の場合がなかでは最も良い条件を示した. よって解析に利用する値としてはC値を, 補間計算には13点のボーリングを, 重みには距離分の1を用いることにした.

5.2 スペクトル解析結果

各々のボーリングデータに記載された土質をWH変換した結果のスペクトル強度(以下特に必要のない場合は強度とのみ表現する)を第7図に示す. 但しこの図は, 全ボーリングの各交差数ごとの強度の絶対値の和の最大強度を示す交差数0の値で割って正規化し, 交差数31まで表示したものである. 全体的に見て交差数0の強度が非常に高い. 交差数7くらいまでの低交差数域での値はそれ以上の交差数のものより一段と高く, ボーリングの土質の変化について多くの説明量を含んでいると考えられる.

各交差数ごとの強度段階を見いだす目的で正規確率紙による検定を第8図に示す様に行い, しきい値を求めることにした. 結果から言えば交差数0, 1, 3である程度の変移点が認められた. この変移点にしきい値を求めると, しきい値は交差数0で51, 71, 交差数1では-28.5, 交差数3で-4であった. 図示の都合もあり, しきい値を交差数0で50, 70, 交差数1で-30, 交差数3で-5とした.

土質変化を直交関数との相似性から眺めようとするする場合, 具体的に土質の重なりを区別して頭に描くことができるのはせいぜい交差数4程度である. このように考えて, 交差数のうち0~3交差の強度を等値線図化して第9図に示した. なおこれらの図の考察範囲はボーリング点で囲まれる範囲である.

交差数0(第9図(a))

スペクトル強度の範囲は30~100程度である. 強度を50以下, 50~70, 70以上に分け考えてみると, 50以下の値の低い地域は海岸平野部に見られ, 70以上の高い値を示す地域は海拔10m以上の地域に見られる. これらに挟まれる様

第 9 図 スペクトル等値線図

に50~70の地域が見られる。これらの結果は概ね現地形と表層の地質図を反映したものである。数値で70を越える値で示される図の上半分の地域は凝灰質堆積物が厚い。この地域の例は第5図(a)に示す通り土質柱状図の記載は凝灰岩、凝灰質砂であり、数量化した土質は地表から深度12mまで90以上の値をもつことになる。これらの地域では最も少なく見積もった場合でも、6m以上の凝灰質堆積物が岩類の堆積があることになる。このようなボーリング点ばかりでなくとも、崖錐の発達した地域は表土以外は凝灰質堆積物が卓越し、交差数0での値は大きくなる(第5図(a),(c),(g))。

図中央南西部付近(B72周囲)の60~70中間の値を示す地域では地質図からうかがわれる表層の地質は現河床・海岸堆積物であり、これらに対応する数値は50以下と考えられるが、この数値から構成土質には数量化値の大きな土質が含まれることが推定される。この様子をボーリング柱状図の例から見ると第5図(c)に示すように地下5.3m~7.8mは凝灰岩、7.8m~12.0mまでは礫岩と記載されている。このような状況は地質図上では容易に推定されないが、この表示によって地質図に表現しきれない深度方向の変化もある程度推定される。

この他海岸付近に60, 70の等値線が部分的に見られる。このあたりは地質地形的に新第三紀の砂岩、頁岩あるいは凝灰岩類より成り立つ小丘またはその崖錐部であることから、これらの値は、表層部は数値の小さい土質より構成され地下部に数値の大きな土質を存在させていることを示している。

50以下の数値的に小さな領域はこの解析地域全体に占める割合は大きくない。このような値をみせる場合の例を第5図(b)に示すが、構成土質は値の小さなものばかりとなっている。

更に強度が80以上とか40以下の様に極端な値を示す地域は構成土質の変化は明らかに乏しいことが考えられ、以下に述べる交差数での強度は大きくないと推測される。しかしこのことはこれらの中間の値を示す地域における構成土質の変化が激しいと言うことを必ずしも示唆するものではない。

交差数1(第9図(b))

全体を見るとほとんど負値を示している。このことは深度12mまでの構成土質の数量化値が6m以深では以浅の値に比べ大きいことを示す。特に-20以下の地域が所々に見られ、これらの地域ではボーリング例の第5図((c),(d))に示すように約6mを境に上位の土質が下位の土質より値の小さな土質から成っている。また0の値を示す地域は土質に交差数1の成分を含まないかあるいは単一土質の堆積が

厚いことを示す。更に-30以下の強度の強い地域は部分的にしかみられないが、このような地域は下部に凝灰質堆積物や岩類にあたる数値の土質が存在し、上層の土質に比べ急に大きな値を示す土質が存在していると解釈できる。

交差数2(第9図(c))

強度としては-10~+5の値を示すが、-10以下ような低い値を示す地域は少ない。-10~-5程度の値を示す地域は大まかに地表から深度12mまでの中間にその上下に比べ値の高い土質を持つことを意味する。例として第5図(b),(e)を挙げることができる。-5~+5の地域は広く分布しているが、このことは深度12mまでの中間深度に上下に比べ特に数値の大きさの異なる土質を存在させない事を示している。

交差数3(第9図(d))

強度は-20~+5と交差数2の場合に比べより負の値を示す傾向が強い。-10以下の地域は交差数2に比較して広い。-10以下の地域が低地の一部や崖錐部とかつての河口の重なる地形に部分的に見ることができ、これらの地域の堆積環境も変化が激しかったことを示しているのであろう。-14の場合を例に第5図(f)に示す。また、-5より大きな値を示す地域は低地部と台地部に見られ土質変化が緩やかであろうと解釈される。

卓越交差数(第10図)

交差数4以上での場合についてもそれぞれの数値の大小を述べることはできるが、限りがないと同時にそのようなモデルを構成しても具体的な土質の変化をイメージできない。さらに土質の重なり具合を数量で説明しているのは、数学的にスペクトルの和(積分)によるもの、つまりWH逆変換であり、より具体的には実際の土質柱状図である。スペクトル個々によって深度方向の土質変化を説明しても全てについて説明しきれるものではないし、また高交差での意味も明らかでは無くなってくる。そこで、各ボーリングでの交差数0以外で最も強度の絶対値の大きい交差数を卓越交差数として、この交差数に強度の正負を付してその分布を第10図に示した。土質変化の激しい地域の抽出に利用することができる。ただし、交差数0以外の強度を持たない土質変化のないボーリング点では卓越交差数を0にして求めた。

この図によれば卓越交差数は高々-7で(第5図(g))で、大部分の地域は交差数-1または-2である。交差数の負の地域では地下方向への土質変化はWalsh関数またはWalsh-Hadamard行列の行方向の符号を逆にした数値変化を持つことが想像される。交差数の絶対値が3以上を示す

第10図 卓越交差数等値線図

地域はほとんど部分的、独立的に存在し、その範囲も狭いことから全体的には土質の変化はそれほど激しいものはないのであろう。低交差数が卓越する地域の土質変化は、交差数1～3での説明のとおりであろう。また高交差数を示すボーリング点(例えば第5図(g))での線密度が一般に高くなる理由は、このようなボーリング点の周囲に高交差を示すボーリングがない事による。このような地域の土質の推定精度は低くなる。またこうして特徴が際立つボーリング点の存在は注目されても、これらボーリングの記載が特異なものであるかどうかはボーリング柱状図のデータだけでは判断できない。

特徴的なのは、地形図及び地質図と対比した場合これらの点は崖錐部分にあたり、海岸付近の点を除く現地表面の標高は8m程度でかつての汀線や河口付近と考えられ、堆積環境の変化が激しかったと考えられる。海岸付近のこれらの地域は現在まで海水の作用による堆積と崖部からの崩落による堆積が繰り返し行われていたものと考えられる。

6. まとめ

以上をまとめると次の通りである

- (1) より完全な深度方向への土質変化の説明は直接ボーリング柱状図によらなければならないが、数量化した土質変化をスペクトルに変換しこれらをスペクトル毎に等値線図化して表現すると地盤の地域の特徴をおおまかにとらえることができる。
- (2) 交差数0のスペクトル強度が最も強く、他のスペクトルに比べ土質変化全体の説明量も大きい。続いて交差数

1～7くらいのスペクトル強度が高く説明量が大きいので解釈しやすく、他のスペクトルに比べより多くの土質変化に関する情報をもたらす。

- (3) 交差数1はほとんど負であり、地盤下部は上部に比べ土質区分では数値の大きな土質や火山性堆積物よりなっている。また交差数2の値は小さく12mまでの中間に数値の大きな土質を持つ層を存在させていない。更に交差数3から見て低地部と台地部はスペクトル強度が低く堆積環境に大きな変化がなかったと考えられる。
- (4) 高交差数でスペクトルが卓越するようなボーリング点は見いだされる地域は地形的に旧河口や崖錐部にあたり、堆積環境の堆積環境の激しかった地域と考えられる。
- (5) 土質の数量化によりボーリングデータのクラスター分析による特異なデータの排除により、スペクトル等値線図の解釈が容易になる。

7. おわりに

今後検討されなければならない問題として、

- (1) 数値組合せを検討するために他地域での解析を行い、より広範な地域に利用できる数値組合せを検討する。
- (2) 少ないスペクトルでできるだけ多くの情報を表示するため、他の直交関数を利用してより少ないスペクトル数で深度方向への土質変化の説明を行う。
- (3) スペクトルの表示方法の検討。

等が残る。直交関数系によるスペクトルはその全てが集まって元のデータに近似できるので、少数のスペクトルのみから全体の判断はできない。他地域のデータを多く解析することにより、全く予想のできない問題が出現する可能性もある。

文 献

- De Coulon, F. (1986) Signal Theory and Processing. Artech House, Inc.
- 土質工学会関西支部・関西地質調査業協会 (1987) 新編大阪地盤図. コロナ社.
- 土質工学会調査部 (1973) 土質工学会基準「土質分類法並びに分類結果表示法(日本統一分類)」の制定について. 土と基礎, **21**, 63-70.
- 土質工学会中部支部 (1988) 最新名古屋地盤図. 名古屋地盤図出版会.
- 伏見康治・赤井 逸 (1987) 直交関数系. 共立出版.
- Hattori, I. (1976) Entropy in Markov chain and discrimination of cyclic patterns in lithological successions. *Mathematical. Geol.*, **8**, 477-487.
- 風間秀彦・岩崎公俊・堀井克己 (1989) 地盤情報データベースの現状と問題. 土と基礎, **37**, 11-22.

- 幾志新吉・菅原正巳・清水良作(1971) 電算機による都市地盤土質柱状図データの一検索法 (第一報). 土と基礎, **19**, 23-30.
- 喜安善市(1980) アダマル行列とその応用. 電子通信学会.
- 森田 清(1984) フーリエ変換と情報処理. オーム社.
- 長瀬迪夫(1986) 土質判別に関する実態調査結果 - 現場判定と日本統一分類の対応状況 -. 地質と調査, **86**, 76-84.
- 西山 孝・小池克明・日下部吉彦(1987) 京都盆地表層地盤におけるN値の変化. 土と基礎, **35**, 19-24.
- 大崎順彦・阪口 理(1972) 地盤の基礎工学的分類 - 日本の主要なチュウ積地の場合 -. 第17回土質工学シンポジウム - 調査・設計・施工における土の判別分類の諸問題 -, 59-64.
- 斉藤昌之・小山内 熙・酒匂純俊(1953) 5万分の1地質図幅『登別温泉』(札幌-第61号). 北海道地下資源調査所.
- Yamamoto K. and Nakagawa Y. (1974) Time Trend Analysis of Plio-Pleistocene Sequence in the Central Part of Kinki District, Japan. *Mem. of Faculty of Science, Kyoto University, Ser. Geol. & Mineral.*, **40**, 45-65.
- 弘原海 清 (1975) 地質科学用データベース・システム (GEODAS) の背景とシステム概念 - GEODASの解説, その1 -. 情報地質, No.1, 8-12.
- 弘原海 清 (1985) データベースの構築とデータの標準化. 地質と調査, **85**, 2-12.
- 矢島壮一 (1988) 地盤情報の管理と利用. 地質と調査, **88**, 2-10.

要 旨

土質名を数量化した土質ボーリング柱状図のスペクトル解析 : 朝日秀定

土質ボーリング柱状図に記載されている土質区分を数値に置き換え, この土質ボーリング柱状図をWalshの方形波関数のスペクトルに変換した. 北海道室蘭市東部で得られた地表下12mまでの142本の土質柱状図を解析した. 得られた結果次の通りである.

- (1) 個々の交差数でのスペクトルは土質変化の特徴を示す.
- (2) 交差数0のスペクトル強度は土質変化について最も多くの情報を示す. 次に, 交差数1-7くらいの割合交差数の低いスペクトルはそれ以上の交差数のスペクトルよりも多くの情報を与える.
- (3) 解析地域全体において交差数1のスペクトルは概ね負であり, このことは地盤の解析深度の下半分が上半分に比べて値の大きな土質より構成されていることを物語っている. この様にスペクトル等値線図は各波の形状に似せて解釈されるものである.
- (4) 卓越交差数が5より高いボーリング点は地形的にみて旧河口部や崖錐部にみられる.
- (5) クラスタ分析によるボーリング記録の選定はスペクトル等高線図の解釈をし易くする.

キーワード: ボーリング記録, 数量化, 土質区分, ウォルシュ-アダマル変換, 方形波, スペクトル, クラスタ分析

(1991年9月7日受付, 1991年12月10日受理)