

Ⅱ-5 土質データベースと連携した地盤断面表示システムの開発

西原 孝美* 竹田 春美* 園田 慎一** 久米 仁司***
Takami Nishihara Harumi Takeda Shinichi Sonoda Hitoshi Kume

【抄録】 本システムは、沿岸域の地盤を対象として土質データベースと連携し任意位置の地盤断面を表示する。地質の分野では岩級や岩種を用いて地質断面を表示するシステムが開発されている。これらのシステムは数少ないボーリングや現地の踏査結果を用いて地質断面の推定を行うことを目的としている。本システムは、多数のボーリングデータを基に粒度分布やN値等のデータを解析し複数のボーリングに表れる層を自動的に判断して相互を連結して地盤断面を表示する。層の連結に対して土質データを基にファジー推論を用いて連結判定を行った。

【キーワード】 調査計画支援システム データベース ファジー

1. はじめに

現在開発されている類似のシステムは、主に山岳域を対象としたもので、①現地踏査結果やボーリングデータから地盤構成を推定するもの ②地質技術者が層序を設定するもの ③地質技術者が複数の地盤断面を作成し、それを三次元データに置換し任意断面の地盤構成を表示するもの等がある。これらのシステムは、断面を表示するために専門的な知識を必要とするため、手軽にシステムを利用するのは難しい。そこで、本システムでは、①適用領域を沿岸域に限定することで褶曲や貫入などの地質学的現象を対象外とすることによりシステムを単純化することできること ②豊富なデータに基づいて地盤構成を表示するためボーリング間を直線で連結することで地盤構成を表現できること等から、断面表示を自動化し手軽に利用できることを目的とした。

図 - 1 に断面表示例を示す。

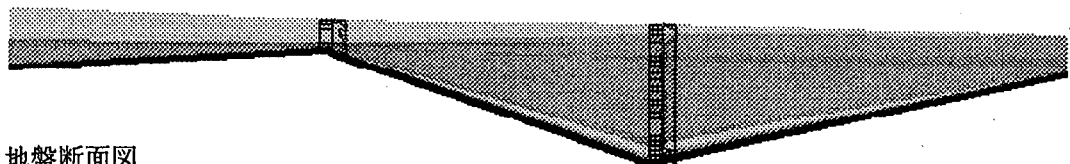


図 - 1 地盤断面図

2. システムの構成

図 - 2 に本システムの構成図を示す。

(1) 土質データベース

本システムと連携する土質データベースは、旧運輸省港湾技術研究所が開発を進めてきたものがある。データベースには、ボーリング柱状図データ、N値、粒度分布、一軸圧縮試験結果等の力学試験結果などが蓄積されている。

(2) 本システムの構成

本システムの操作の流れは、①港選択 ②ボーリング位置表示 ③解析対象範囲設定 ④三角形網作成 ⑤断面表示位置設定 ⑥層連結判定 ⑦断面図表示である。

層連結判定の部分には、ボーリングデータから層の土質分類、層序の決定、層連結を含む。

* 九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所

** 九州地方整備局(前)下関港湾空港技術調査事務所

*** 株式会社ニュージェック 港湾・空港部

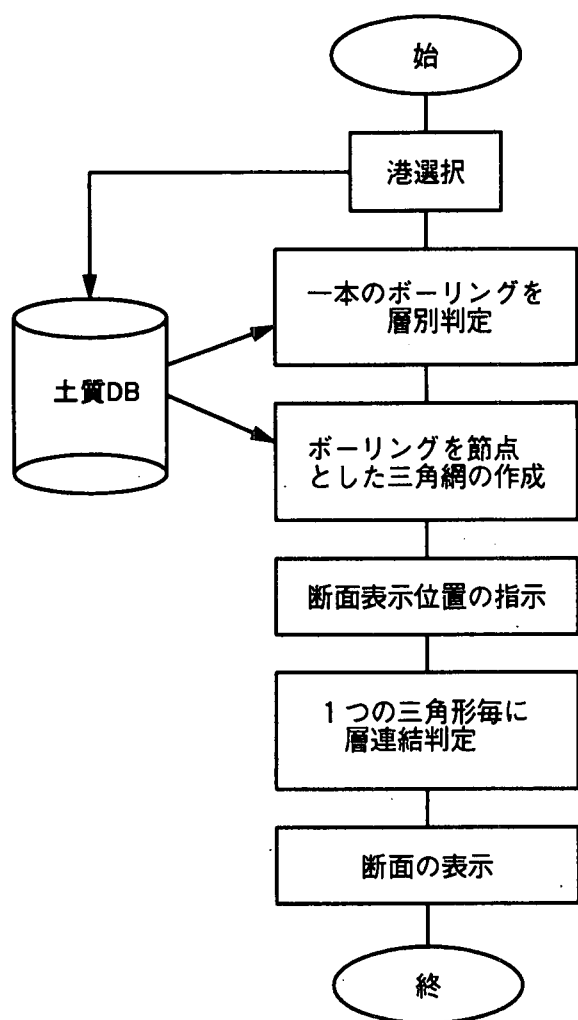


図 - 2 システムのフロー

3. 地盤断面の表示方法の基本的な考え方

本システムは沿岸域を対象とする。対象を沿岸域に限定することで、断層や貫入および褶曲などの複雑な地質学的な現象を再現する必要がなくなり、堆積地盤のみを扱うことができシステムの簡素化が図れる。

本システムは地盤を複数の三次元四面体で表現する。(図 - 3参照)

ボーリング位置をXY座標データとする三角網を作成し、1つの三角形を構成する3本のボーリングを取り出し、各々のボーリングに表れる同種の層を連結して四面体を作成する。3本のボーリングデータから作成する四面体を積重ねると三角柱となる。この作業を順次繰返すことにより地盤全体を三次元四面体に分割する。

このような方法で沿岸域の地盤を表現できるのは、沿岸域は基本的に堆積地盤であり、土層は層状かつ連続的に生成されるのでボーリング位置を頂点とする三角網を適切に作成すれば、隣り合う三角形の2本のボーリングを共有することになり地盤の連続性は満足されるからである。

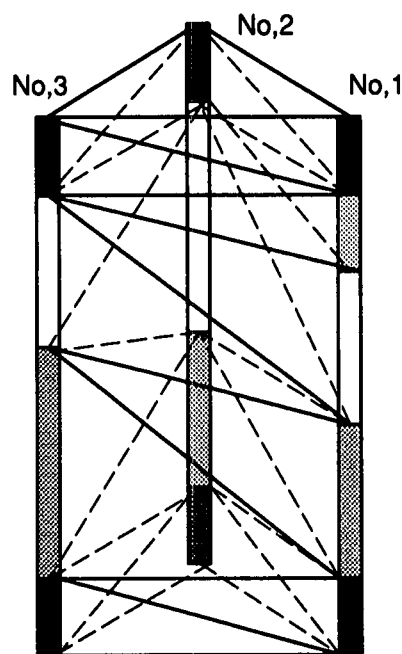


図 - 3 3本のボーリングと四面体の関係

4. 1本のボーリングの層別け

柱状図は、粒度試験の結果に基づいて日本統一土質分類により分類され層別けされる。

地盤断面を表示する場合に、土質調査報告書に示される土質分類をそのまま使用すると次のような不都合が生じる可能性がある。①調査年の違い、調査会社、調査者の違いなどにより結果が異なる②細分類されすぎていて他のボーリングに同一の記号がない③力学的データによる層別けがされていない等が上げられる。そこで本システムは、データの一様性を確保するためにボーリングによって得られたN値データと一軸圧縮試験等の力学的データおよび粒度試験結果を用いて層別けを再設定する。

(1) 層別けの方法

本システムは、粒度試験結果を用いて得られた土質分類とN値および一軸圧縮試験結果から得られる土の力学特性とを用いて層別けを行う。粒度試験結果は、日本統一分類に従いユーザが大分類、中分類および細分類を選定できる。土層の力学特性を考慮するために、N値の場合は式-1で、一軸圧縮強度の場合は式-2により各深度における有効土被荷重で無次元化したせん断強度比を用いる。

$$c/p = \tan \phi;$$

$$\phi = 25 + 3.2 \times \sqrt{(100N / (70 + pv_0'))} \quad \text{--- 式-1}$$

$$c/p = 0.5qu / pv_0' \quad \text{--- 式-2}$$

ここに、N:N値、 pv_0' :有効土被り荷重、 qu :一軸圧縮強度である。このようにして求めたせん断強度比を地表面から深度方向に順次比較し層の境界を判定する。

N値から層別けの判定を行うためにファジーを用いた。ある深度におけるN値とその上のN値について c/p を計算し内部摩擦角 ϕ を求める。

(図 - 4 参照)

求めた内部摩擦角から 図-5に示すメンバーシップ関数により各メンバーの帰属度を算定する。

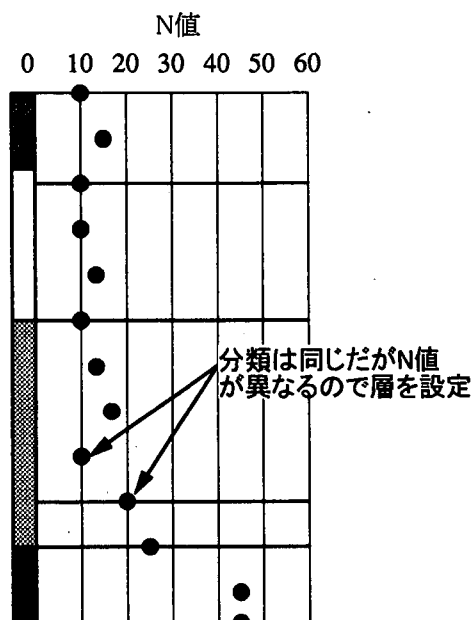


図 - 4 層別けの概念図

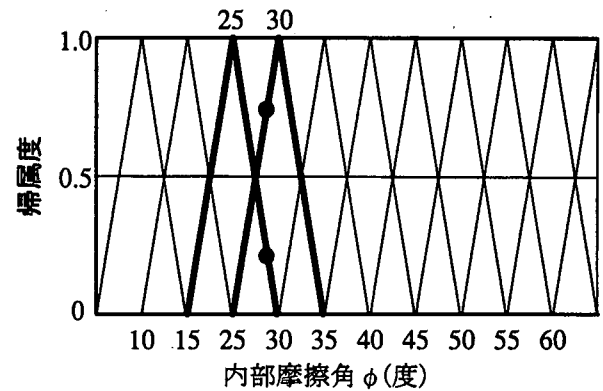


図 - 5 メンバーシップ関数

横軸に内部摩擦角 ϕ 、縦軸に帰属度を取り、 ϕ について5度ピッチのメンバーを定義した。この関数に比較しようとする c/p から求めた内部摩擦角を代入し、各メンバーの帰属度を求める。そして、各々の値の帰属度の相関内積を式-3により計算して二つの値の適合度を求めた。適合度のしきい値を0.2とするとよい結果が得られた。

$$R = \sum (x(i) \times y(i)) \quad (i=1 \text{ to } n) \quad \text{----- 式-3}$$

ここに、R: 適合度、 $x(i)$: 層1のメンバーの帰属度、 $y(i)$: 層2のメンバーの帰属度
n: メンバー数

適合度の算定例を示す。2つのN値から求めた内部摩擦角が、 $\phi=27$ 度と $\phi=30$ 度のときの適合度を求める。

$\phi=27$ 度の場合の $\phi=25$ 度のメンバーへの帰属度は0.7で、 $\phi=30$ 度の場合値は0.3となる。一方、 $\phi=30$ 度の場合、 $\phi=30$ 度のメンバーのみに属し、帰属度は1.0である。これから各メンバーに属する帰属度の内積を算定し適合度を求める。

$$\text{適合度} = (0.7 * 0.0) + (0.3 * 1.0) = 0.3$$

適合度のしきい値 0.2 としたので、この二つの値には適合性があると判断する。

5. 層の連結

本システムは、ボーリング位置を節点とする三角網をデローニ分割で作成し、一つの三角形の3本のボーリングに表れる同種の層を連結し三次元四面体を作成する。層を連結する場合に各々のボーリングに表れる層の数、層の順番が同じであるならば問題ないが実際にそのような場合は稀である。そこで最も確からしい層を連結するために、①地質学的法則により連結候補を選択し②ファジー推論により力学特性について相対する層の同一性を判定した。

(1) 地質学的法則による判定

層連結は、地質学の歴史の中で明らかにされてきた法則に従って層を連結する候補を選択する。

この法則とは、

- ① 地層累重の法則
- ② 地層水平の法則
- ③ 地層連続の法則
- ④ 地層切断の法則

である。

①の法則は、堆積は下から上に順に行われることを述べたものである。プログラムは深度の深い順に層連結を行うことで対応した。②の法則は堆積の初期には水平に近い層であることを述べたものである。これに対しては力学特性から安定勾配以上の傾斜で連結しないというルールを作成し対応した。(図 - 6参照)

③の法則は、①地層累重の法則と②地層水平の法則から、おのずと推論されるもので、本プログラムの基本的な考えの根幹となるものである。

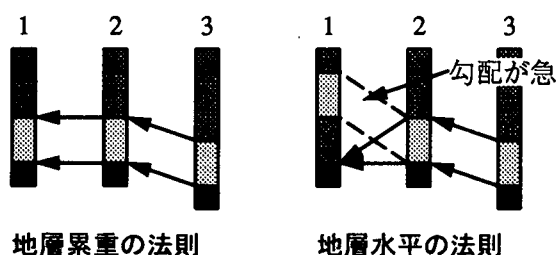


図 - 6 層連結と法則の関係

(2) 力学特性をデータとしたファジー推論による判定

地質学的法則により連結する層をより確かなものとするため、ファジー推論を用いた連結方法を考えた。ファジーとは、あいまいな集合を解析する数学体系である。このシステムでは連結の候補に選定した層のうち、完全に合致はしないが自分の層と最も似通った特性の層を選択するときこの判定を行う。

ファジーによる推論は、一本のボーリングを層分けしたときに用いた方法を用い、着目するボーリングと連結しようとするボーリングの層の適合度を算出して判定する。判定項目は、層分けのときに算出した内部摩擦角からその層の平均値を求め、判定対象となった層同志の適合度から連結するか否かを判定する。メンバーシップ関数は図-5に示したものと同様である。

6. 層の表示色について

地盤断面図は土質の種類に応じて色別けがされる。一般に粘性土は水色、砂質土は黄色、中間土は黄緑色、レキは橙色で表示される。本システムでは、このような表示に加え粒度組成をもとにした色表示をRGB方式で行う。

以下に算定式を示す。

$$R = 255 - (F-5) * 5$$

$$G = 128 * S / (S+G)$$

$$B = 255 * 0.01 * F \quad (F < 50\% \text{ then } B = 0)$$

--- 式-4

ここに、RGB：光の三原色赤緑青

S：砂分(%) G：レキ分(%) F：細粒分(%)

7. まとめ

土質DBと連携した地盤断面表示システムを作成した。本システムは、断層や褶曲など複雑な地質が存在しない沿岸域に適用を限定することで自動的に断面図を作成することができる。層の連結に際しては、土質記号のみならず土層の力学的特性を考慮しファジーを援用することによって層別けおよび層連結の精度を高めた。