

1. まえがき: 三成分コーン貫入試験(CPTU)は地盤情報が連続的に得られるという観点から近年多用されつつある。CPTUより得られるデータ(不等面積による補正をしたコーン先端抵抗値 q_t , 周面摩擦抵抗値 f_s , 周面水圧 u)を用いて地盤の土質分類を行う試みは土谷ら¹⁾, Robertsonら²⁾によって提案されている。しかし、適切なパラメータの選択, 解析者の判断等による問題が残され, 実用化の段階までは行っていない。おそらく土質判別の過程で何らかのアイマイさが生じるものと思われる。そこで本研究では, アイマイさを取り扱う最近流行のFuzzy手法を用いてCPTUデータによる土質判別法を試み, ボーリングによるデータと比較検討を行った。

2. Fuzzy手法による土質判別の概要: Robertsonら²⁾により提案されている土質判別用のパラメータ(q_t , 摩擦比 $F_r (=f_s/q_t)$ および過剰水圧比 $B_q (= (u-u_0)/(q_t-\sigma_v)$)を用いた。ここで u は計測水圧, u_0 は静水圧, σ_v は全土かぶり圧である。なお土質判別の際, 粘土, シルトおよび砂の3種類に分類した。まず, 粘土(CL), シルト(SI)および砂(SA)というFuzzy集合を考える。次にそれぞれのFuzzy集合のパラメータ q_t, F_r, B_q に対するMembership関数を決定する。この際, Robertsonらが提案している判別チャートを参考にし, Membership関数を π 関数とS関数を用いて定式化した。図-1, 図-2, 図-3にそれぞれ q_t, F_r, B_q に対するFuzzy集合CL, SI, SAのMembership関数を示した。例えば, 図-1においてある特定の q_t の値に対してその土質が粘土, シルトおよび砂というFuzzy集合に属する度合を示している。図-1~3の縦軸は度合を示し, その最大値は0.8にした。これはあるパラメータの値に対して土質が決定することはないようにするためである。Fuzzy集合CL, SI, SAは式(1), (2), (3)の様に表現される。

$$CL = \sum \mu_{cl}(a_i) / a_i \quad --(1) \quad SI = \sum \mu_{si}(a_i) / a_i \quad --(2) \quad SA = \sum \mu_{sa}(a_i) / a_i \quad --(3)$$

ここで, $i=1\sim 3$ で $a_1=q_t, a_2=F_r, a_3=B_q$ である。また, μ はMembership関数で, 例えば $\mu_{cl}(q_t)$ はある q_t の値に対する集合CLのMembership関数の値である。Fuzzy集合CL, SI, SAを仮定したが, お互いに関連しあっているはずである。そこで, 粘土でかつシルトでない集合または粘土でかつ砂でない集合を考え, これをFuzzy集合Aとする。Aは式(4)のように表現できる。

$$A = (CL \cap SI) \cup (CL \cap SA) \quad --(4) \quad \overline{SI} = \sum \overline{\mu_{si}}(a_i) / a_i \quad --(5) \quad \overline{SA} = \sum \overline{\mu_{sa}}(a_i) / a_i \quad --(6)$$

ここで, $\overline{SI}, \overline{SA}$ はそれぞれSI, SAの補集合であり, 式(7), (8)のように表現できる。

$$\overline{SI} = 1 - \sum \mu_{si}(a_i) / a_i \quad --(7) \quad \overline{SA} = 1 - \sum \mu_{sa}(a_i) / a_i \quad --(8)$$

式(4)を整理すると式(9)が得られる。ここで集合A1, A2は式(10), (11)で表現できる。

$$A = \sum (\mu_{A1}(a_i) \vee \mu_{A2}(a_i)) / a_i \quad --(9)$$

$$A1 = \sum (\mu_{cl}(a_i) \cdot \overline{\mu_{si}}(a_i)) / a_i \quad --(10) \quad A2 = \sum (\mu_{cl}(a_i) \cdot \overline{\mu_{sa}}(a_i)) / a_i \quad --(11)$$

ここで, \cdot, \vee は $(x \cdot y) = \min(x, y), (x \vee y) = \max(x, y)$ との意味で x と y の理論積および理論和である。同様にしてシルトでかつ粘土でない集合またはシルトでかつ砂でない集合をBとする。また, 砂でかつ粘土でない集合または砂でかつシルトでない集合をCとするとB, Cは上述したような手順で定式化ができる。紙面の都合上ここでは省略する。次にFuzzy集合A, B, Cの高さ(Hight)を求め, その最大値を

持つ集合にある特定の土質が属するとして、土質判別を行った。

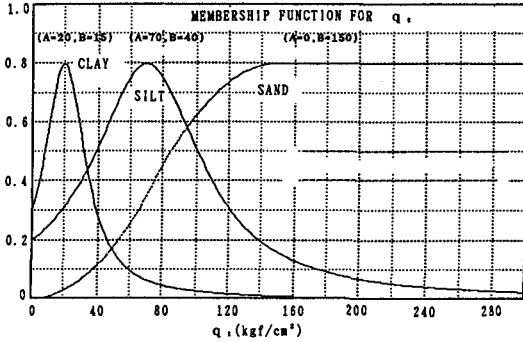


図-1 q_t に関するMembership関数

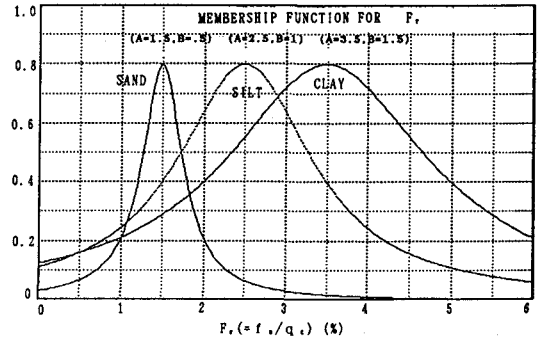


図-2 F_r に関するMembership関数

3. 適用例: 図-4(a), (b), (c)に奈良のある地点における三成分コーン試験の結果を示した。土の湿潤単位体積重量を 1.8 tf/m^3 と仮定してし、また深度10cmごとにCPTUのデータを平均化して上述の方法で土質判別を行った。図-4(d)に推定土質断面を示した。また、図-4(e)に1m離れた地点で行った標準貫入試験より得られた土質断面図を示した。この地点の土質は複雑ではあるが推定土質断面は μ -リソグ断面図とよく対応している。

4. あとがき: 埋立地盤に対しても適用したが比較的よく μ -リソグデータと対応した。今後、CPTUデータの測定精度、信頼度等を考慮する予定である。

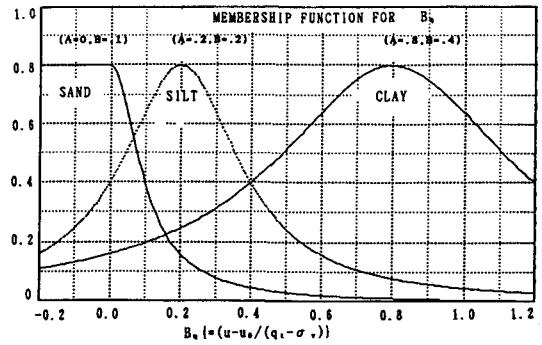


図-3 B_q に関するMembership関数

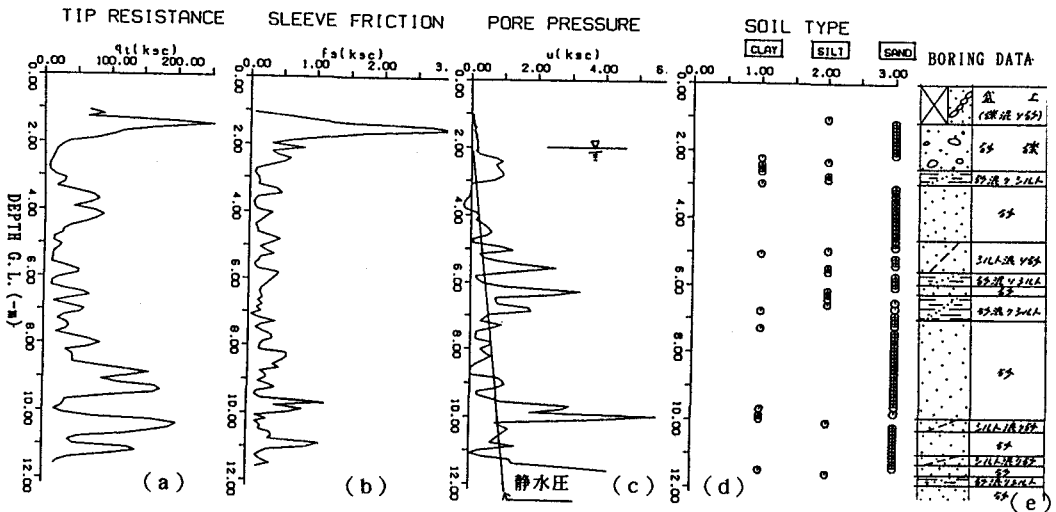


図-4 三成分コーンデータ、推定断面およびボーリングデータ

参考文献: 1) 土谷, 酒井, 岩崎, 室町: 三成分コーン試験結果による土質の自動判別の試み, 第40回土木学会全国大会, 第3部, 昭和60年. 2) Campanella and Robertson (1988): Current status of the piezocone test, ISOPT-1. 3) 向殿政男著: ファジイのはなし, 日刊工業新聞社.