

日本大学理工学部 正員 岩井茂雄
梶谷調査工事(株) 正員 梶谷正孝

1. はじめに

土の工学的性質は、ボーリング、サンプリングによって得られた試料の室内試験、そして原位置試験の結果をもとにして決められる。そして、これらを総合して地盤の工学的性質が判断されるのが普通である。ところが多くの場合、これらの調査試験は限られた数の局部的なものであるため、しばしば地盤の工学的性質を誤って判断するという事態が生じる。このような微視的な調査の持つ欠点を補うためにには、地盤の工学的性質はどのような因子によって形成されているのかという巨視的な把握が必要であると考えられる。そこで、筆者らは特に問題の多い軟弱地盤を対象に、既存の土質調査資料をもとにして統計的方法である因子分析の手法により①軟弱地盤の工学的性質に影響を及ぼす因子を抽出すること、②抽出した因子がどのような変量から構成されているかということを明らかにしようとした。なお本報告では、相模川の中流域(厚木付近)に形成された後背湿地の軟弱地盤に限定して分析を行なった。

2. 分析方法

土質調査によって得られるデータは相当な量に上る。そのデータの中から軟弱地盤の工学的性質に影響を及ぼす因子を探し出すのは容易でない。そこで、得られたデータ中には幾つかのデータに共通な因子が数種類あって、それらが軟弱地盤の工学的性質を形成している因子であるとみなすことにする。そして、これらの因子を抽出する方法として因子分析法を用いた。通常、因子の分析は主として次に示すステップを経て行なわれる¹⁾。

①変量間の相関係数行列の計算

②因子数の決定

③因子軸回転前の因子負荷量行列の推定

④因子軸の回転と回転後の因子負荷量行列の解釈

本分析では、②～④の各ステップを実行するために、②、③ステップで主成分分析法および成因分析法²⁾を用い、④ステップで規準ベリマックス法³⁾を用いた。分析手順のフローチャートを図-1に示す。

3. 分析資料

分析資料として、相模川の中流域(厚木付近)の4地点での土質調査資料を用いた。調査された4地点はいずれも後背湿地帯で、地表面から約15mの深さまで軟弱で圧縮性の高い粘性土地盤が形成されている。

分析の対象として取り上げた変量は表-1に示すように30個である。なお表中の変量X1は、試料採取位置から排水層までの最短距離を表わし、X29は圧密試験より求めしたものである。また、X26～X29は圧密降伏応力(P_c)に対応するものである。分析に用いたサンプル数は74個である。

4. 分析結果および考察

因子分析の結果、軟弱地盤の工学的性質に影響を及ぼす因子は8個抽出された。因子軸を回転した後の因子負荷量行列から、各因子ごとに因子負荷量が0.3以上となる変量をピックアップして、その大きさの順に配列したのが図-2である。図-3は、第1、第2、第3の各因子をx、y、z軸として三次元空間を描き、図-2に示

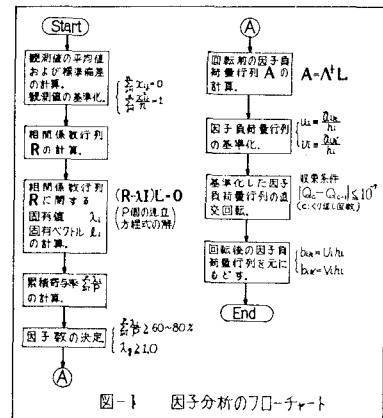


図-1 因子分析のフローチャート

表-1 变量 ($n=74$)			
変量名	変量名	変量名	変量名
X 1 排水距離	X 11 潑透指數 (I ₁)	X 21 一輪圧縮強さ (P _u)	
X 2 比重 (G _s)	X 12 流動度 (A _d)	X 22 安定係数 (E _{st})	
X 3 粗砂分	X 13 過濾地盤体積重量 (F _c)	X 23 有効上載正圧 (P _e)	
X 4 細砂分	X 14 上層厚	X 24 圧密降伏応力 (P _c)	
X 5 シルト分	X 15 過濾地盤体積重量 (F _c)	X 25 圧縮指数 (C _c)	
X 6 5%以下の細粒分	X 16 開テキモリ (E ₀)	X 26 圧密地盤体積 (T ₀ /T _m)	
X 7 2%以下の細粒分	X 17 水比 (W)	X 27 圧密度 (C _r /P _c)	
X 8 60%通過粒径 (D ₆₀)	X 18 吸水度 (S _w)	X 28 開テキモリ (E ₀)	
X 9 潑透限界 (I ₀)	X 19 潑透指數 (I ₁)	X 29 圧密度 (C _r /P _c)	
X 10 圧密限界 (I ₀)	X 20 リンケージ指數 (L ₁)	X 30 圧密水系数 (K _m)	

*: 圧密降伏応力に対するものである。

した変量を布置したものである。ただし、この空間には全体の 54.5% の情報しか含まれていない。これらの図により各因子の意味を考察する。

第1因子は図-3より明らかのように、図-2において I_p を境にして上位の部分と下位の部分で性質の異なる変量群から構成されている。 I_p より上位の部分を最大因子負荷量をもつ間ゲキ比で代表させると、間ゲキ比は土粒子の配列状態によって変わることから、第1因子は土の構造を表わす因子であると考えられる。 I_p より下位の変量群は第8因子と重複したものと考えられる。

第2因子は因子負荷量の60%以上を占める変量が上の細粒分に関するものであることから、細粒分の粒度組成を表わす因子と考えられる。

第3因子は因子負荷量の値の大きいものから順に I_a , I_c , I_p という変量を含んでいるために、「インシスティンシー」を表わす因子であると推定できる。

第4因子は圧密係数と圧密試験時の透水係数が他の変量に比べて卓越している。このことから第4因子は圧密現象に関係の深い「水の移動」という時間的な要因を持った因子と考えられる。ところで、第4因子を構成している比重 G_s は第4因子も含めて、他の因子との相関が低い。このことから比重は、本分析で抽出した8個の因子以外の独立した特殊な因子ではないかと推定できる。

第5因子は長さのディメンションを持つ变量によって構成されていることから、「距離(長さ)」の因子を表わしていると考えられる。

第6因子および第7因子は寄与率も小さく当然としない。ところで、既往のシルト質砂のせん断試験結果から、飽和度が力学的性質に変化を与えることが知られている³⁾。これより第6因子を「水の量」の因子と考えることにする。第7因子は土の粗粒分に関する变量を2つ含んでいることから、粗粒分の粒度組成の因子ではないかと推定できる。

第8因子の各変量は土の強さや変形性に関するものである。従がく、第8因子を「強さ」の因子とみなすことにする。

5. まとめ

本分析によって明らかとなった結果をまとめてみると次のようである。

- ①軟弱地盤の工学的性質に影響を及ぼす因子は8個抽出された。
 - ②各因子を構成する変量を整理すると表-21に示す通りである。
 - ③各因子を形成する要因は、表-21に示した各変量をまとめて、図-4

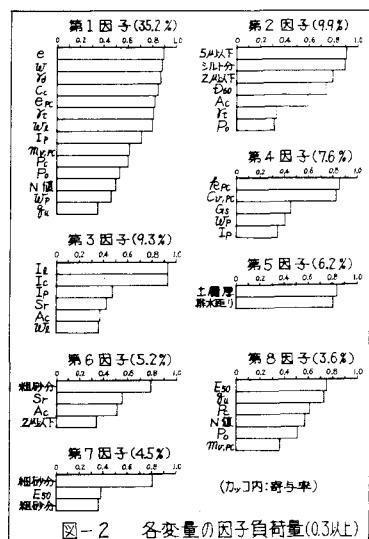


図-2 各変量の因子負荷量(0.3以上)

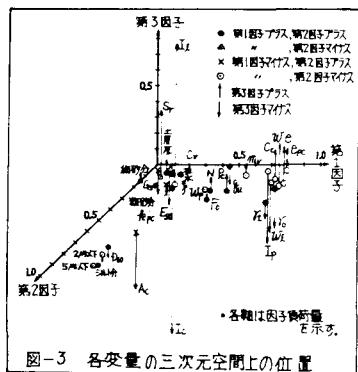


図-3 各変量の三次元空間上の位置

表-2 各因子を構成する变量

因 子	変 量
土 の 粘 度	$E, \rho_c, C, W, \dot{W}, I_p, F, Y_d$
細粒分の粒度組成	5Mm以下の細粒分, 小計, D_{10} , D_{30} , D_{60}
コンシスティシティ	I_c 部は $I_c, I_p, S_r, A_c, \dot{W}$
水 の 移 動	η_p, C_w, C_v
距 離	土層厚, 非排水距離
水 の 量	粗砂分 $S_r A_c$, 2Mm以下の細粒分
粗粒分の粒度組成	細粒分 粗砂分
強 度	$E_s, \rho_c, P_c, N_R, M_R, \rho_w$

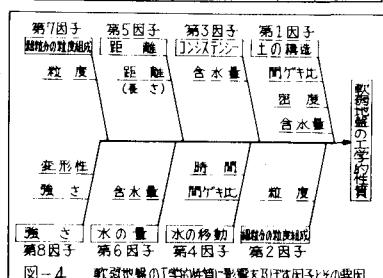


図-1 欲望地図の主成分は階層構造を示す因子構造

とから特殊な因子ではないかと推定できる。現行の分析方法では、これ以上の分析はできない。
今後もデータの蓄積をはかって分析を繰り返し、安定した因子の抽出に努めたいと考えている。最後に、本報告をまとめるとあたって有益な御助言を頂きました最上武雄先生、浅川美利先生、山田清臣先生に感謝いたします。また貴重な資料を多數提供して頂きました日本道路公团試験所の各位にお礼申し上げます。

参考文献: 1) 奥野忠一他「多変量解析法」時報社, 2) 北川敏男編「多変量解析論」共立出版, 3) 堀内義美他「信頼性設計のための土質の統計的性質」土工基礎, Vol.25, No.11, 1977