

ボーリングデータおよび施工履歴データを活用した

地盤特性の評価に関する検討

株式会社 水倉組 正会員 ○小林 龍平 東北大学 正会員 大竹 雄
株式会社 不動テトラ 田口 雄一

1. はじめに

国土交通省では、平成28年4月から情報化機器を用いた効率化・省人化施策とし i-construction(ICT)を推進している。ICTの導入は代表的な例として出来形管理、品質管理や建設機械における施工の支援(マシンコントロールガイド)が推進・普及してきており、地盤改良工においても、ICTを導入・活用する取組がなされ、出来形管理・品質管理の効率化・省人化が行われている。

しかしながら、現在地盤改良工の情報化施工で得られる値は改良杭の施工管理項目への活用(例えば、改良位置の深度把握など)に主眼が置かれているのみで、改良前後の原位置地盤特性評価、他工事における施工履歴データの活用には疑問が残るものになっている¹⁾。建設機械で測定されるデータは、計画、設計および施工時におけるボーリングデータと関連付け、ビックデータとして蓄積が可能であると考えられる。蓄積されたデータの活用方法として、原位置地盤のN値推定、面的可視化および地盤改良工の最適化が期待できる。蓄積された施工履歴データを分析・関連付け、改良前の原位置地盤(土質層等)を推定し、今後行われる地盤改良工のさらなる効率化・省力化のための一検討を行う。

「東新潟地区河道掘削及び新光町やすら

ぎ堤その7工事」で得た、抵抗値、深度、時間などの施工情報から地盤特性の評価が可能か判断することを目的として、本報告では前段階の施工情報を有効に活用するために、多変量解析の一つである主成分分析(Principal Component Analysis:PCA)を適用し関係性について評価した。

2. 検討方法

「東新潟地区河道掘削及び新光町やすらぎ堤その7工事」では静的締固め砂杭を①360本(L=10.5m)と②460本(L=16.0m)を施工する。施工断面と施工間隔を示した平面図を図2.1に示す。

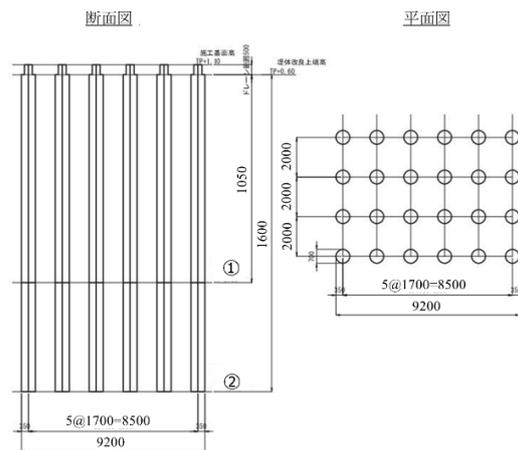


図 2.1 施工図(断面図, 平面図)

液状化対策工法の一つである、サンドコンパクションパイル工法を改良したものが、

本検討での対象となる SAVE コンポーザー工法(以下, SAVE 工法)である. SAVE 工法の改良方法のイメージを図 2.2 に示す.

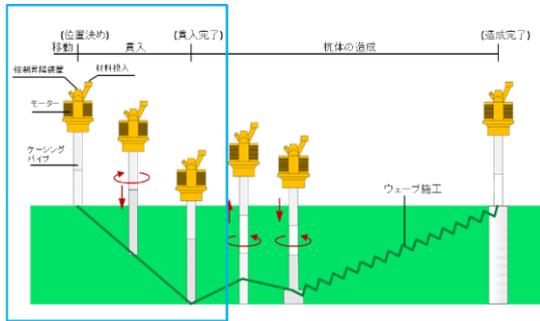


図 2.2 施工履歴データ習得範囲

ここで, 今回の検討で対象となる施工履歴データの範囲は「貫入」部分である. ケーシングパイプを貫入する際の貫入速度, 貫入時の抵抗値(電流値)が施工管理値として取得可能であり, これらの値が地質と密接に関係しているものと考えられる. 貫入量(深度), 貫入時間および電流値は施工機械にデータロガーを設置して測定できるように設定した.

また, 施工履歴データを分析・関連付けを行うため, 原位置の地盤特性を調査する必要がある. ここでは, 施工上の関係で比較的安価で調査期間が短く, かつ多点観測が可能なことが求められた. そこで, スウェーデン式サウンディング試験での多点観測を実施し, 地質と換算 N 値を求めるために必要な N_{sw} (貫入量 1m 当たりの半回転数)を取得した.

本検討では, スウェーデン式サウンディング試験の適応範囲 GL-10.0m~GL-15.0m との関係から静的締固め砂杭 $L=10.5m$, 区間③180本と区間④180本の計 360本を施工履歴データの習得対象とし, 両者の関係性を主成分分析を用いて評価・検討することとした.

3. 主成分分析による要因間の評価

主成分分析とは, 多くの変数により記述されたデータをできるだけ少ない情報の損失で, より少ない変数に縮約するために開発された解析方法である. 通常は 1~3 個の変数に縮約して, データの特徴を把握する際に多く用いられる²⁾.

本検討の場合に当てはめると, 多数の施工履歴データと測定値を縮約し, 少数個の指標で各構成要素の健全度を評価することになる. また, 主成分分析は, 構成要素間の関連性を把握する際にも使用する.

変数を比較する際に, スケールが異なっている場合は分析結果の解釈が困難になるため, はじめに, 各変数を規格化する標準化(式(1))を行った.

$$x' = \frac{x - \bar{x}}{s_x} \quad (1)$$

ここで, \bar{x} は変数 x の平均, s_x は変数 x の標準偏差である. データの主成分 p_i は式(2)のような一次式で表され, この主成分の分散 s_p^2 は式(3)となる.

$$p_i = ax_i + by_i + cu_i + dv_i + ew_i \quad (2)$$

$$s_p^2 = \frac{1}{n} \{ (p_1 - \bar{p})^2 + (p_2 - \bar{p})^2 + \dots + (p_i - \bar{p})^2 \} \quad (3)$$

a, b, c, d, e は主成分の係数, s_p^2 は分散・共分散である. 主成分分析は, 得られる新たな情報量が最大となるような式(2)の係数を決定するための手法であるが, これは式(3)の分散 s_p^2 が最大となる式(2)の係数を求めることと等価である. このとき, 分散 s_p^2 が無限大に大きくならないための制約条件として, 式(4)を満たす必要がある.

$$a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + e^2 = 1 \quad (4)$$

式(4)と Lagrange の未定乗数法を使って、分散 s_p^2 が最大となるときの係数を決定することが目的である。今回の問題は、式(5)の固有値問題を解くことに等しい。

$$s_p^2 \alpha = \lambda \alpha$$

$$s_p^2 = \begin{pmatrix} s_x^2 & s_{xy} & s_{xu} & s_{xv} & s_{xw} \\ s_{xy} & s_y^2 & s_{yu} & s_{yv} & s_{yw} \\ s_{xu} & s_{yu} & s_u^2 & s_{uv} & s_{uw} \\ s_{xv} & s_{yv} & s_{uv} & s_v^2 & s_{vw} \\ s_{xw} & s_{yw} & s_{uw} & s_{vw} & s_w^2 \end{pmatrix}$$

$$\alpha = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \end{pmatrix} \quad (5)$$

λ は分散共分散行列 V の固有値、係数は固有値 λ に対応する固有値ベクトルである。得られた固有値 λ の中で最大の固有値に対応する固有値ベクトルを使った主成分が「第1主成分」であり、以降「第2主成分」と続く。そして式(2)を使って各個体に対して主成分の値を計算したものが「主成分得点」、各要素の特徴を主成分の観点から解釈するものを「主成分得点プロット」とする。また、各主成分が元の情報をどの程度含んでいるのかを表す指標として「寄与率」を使う。寄与率は主成分の固有値が固有値の総和に占める比率であり、各主成分の寄与率の和が「累積寄与率」である。

主成分分析は元の情報量をできるだけ少ない情報量で表すことが目的のため、採用する主成分の数が重要となる。そこで、本報告では採用する主成分にはある程度の情報量を持つことが望ましいと判断し、累積

寄与率が 80% 付近になるまでの主成分とした。

4. 検討結果

4.1 対散布図を用いた分散共分散行列

多変量の施工履歴データから有益な要素(情報)をあぶりだすために分散共分散行列 **図 4.1** を見てみる。ここで、分析に使用するデータは一度標準化したデータである。 t は時間、 GL は掘削深さ、 V は掘削速度、 A は掘削時の地盤抵抗値である。標準化された変量の共分散は相関係数と一致することを念頭に置いておく。 N_{sw} は相関性が低いといえることがわかる。また、ヒストグラムについてみてみると、 N_{sw} が左寄りに近いことがわかる。 N_{sw} がほかの変量と比べて異なる意味を持っている可能性が示唆された。

4.2 主成分分析の結果

主成分分析を行い第2成分軸までで、全体の 87% を説明できることが分かった(表-4.1)。

主成分得点をプロットしたものが **図 4.2** である。粘土・砂・礫のデータをすべてプロットした全体のグラフを見ると、 t と GL がほぼ同じ方向に矢印が伸びており「ほぼ同じ意味を持つ変数である」ということがわかる。逆の方向に延びている V は GL を t で除した値であることから、正と負の関係で、第一主成分を形成していると考えられる。 N_{sw} は t , GL , V と異なる軸線上にあるといえることから、これが第二主成分軸を形成していると考えられる。 A については、第一、第二主成分の両方と関係性があると考えられる。

また **図 4.3** の全体と各地質区分ごとに分類した主成分プロットを見ると、今回取得

したデータは砂と粘土でほぼ表すことができ、礫について一部分しか示すことができないことが確認された。砂と粘土は t , GL , v の関係性で、おおよその区分ができる可能性があり、砂に関しては A , N_{sw} の大きさを加味すれば、「緩い砂」、「締まった砂」などの砂の状態を示すことができる可能性がある。

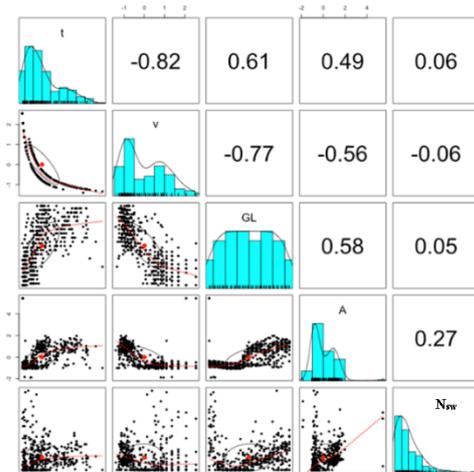


図 4.1 共分散行列

表 4.1 主成分負担率

第1主成分	寄与率	0.69
第2主成分	寄与率	0.19
累計寄与率		0.87

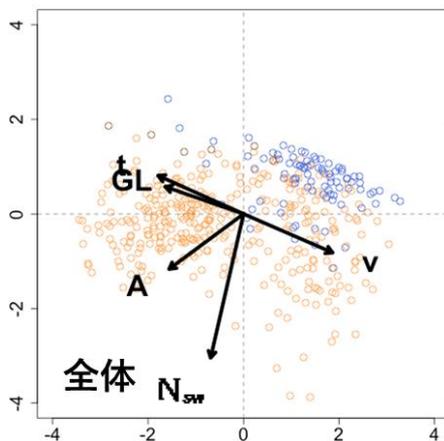


図 4.2 主成分得点プロット

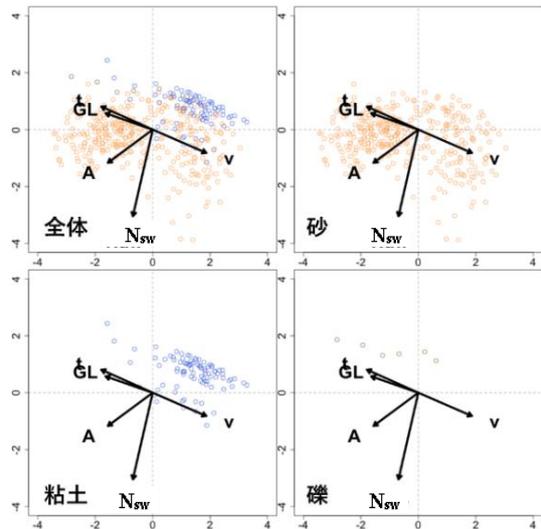


図 4.3 地質ごとの主成分得点プロット

5. まとめ

事前調査と施工履歴データから主成分分析を行った結果を以下に示す。

(1)分散共分散行列から t , GL , v , A は相関性が見られるが、 N_{sw} はほとんど相関性が見られない。

(2)主成分分析を行った結果 t , GL は「ほぼ同じ意味を持つ変量」であり、 V も合わせると同じ軸線上にあるといえる。

(3)粘土と砂は t , GL , V の関係から予測でき、砂に関しては A と N_{sw} の大きさを加味すれば、「緩い砂」「密な砂」などの砂の状態について予想できる可能性がある。

参考文献

1)渡邊慎也, 大竹雄: 不完全データに基づく杭基礎支持力評価方法の提案及びその検証, 第36回 土木学会関東支部新潟会研究調査発表会

2)里見知昭: 地盤内の水分変動を考慮した主成分分析による降雨時斜面の危険度評価, 第4回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 2008.8.