

多変量解析を用いた液状化対策工における施工仕様設定の一検討

東京電力（株）常陸那珂火力建設所発電土木グループ 正会員 菅原雄一郎
東京電力（株）常陸那珂火力建設所発電土木グループ 正会員 田中英朗

1. はじめに

常陸那珂火力発電所予定地は，砂質土主体の若齢埋立地盤であるため，地震時の液状化が問題となる．そのため，液状化対策工のひとつとして，サンドコンパクションパイル工法（以下 SCP 工法と記す）による地盤改良が実施されている．

SCP 工法による地盤改良では，従来，所定の改良効果を得るために，打設ピッチ（改良率）をパラメータとしているが，今回，SCP 打設機を用いて打設サイクルを変化させた現場実験を実施し，打設ピッチの設定以外で改良効果を向上させる方策について検討したのでここに報告するものとする．本論文では，所定の改良効果を得るための新たな施行仕様として打設サイクルに着目し，現場実験結果を基に原地盤データから適切な打設サイクルを設定する手法について多変量解析のうち判別分析を用いて検討を行っている．

2. 現場実験の概要

現場実験では，打設ピッチ一定（@2.2m）の条件で，造成砂杭の径が $\phi 700\text{mm}$ になるように打設サイクルを 3 ケースに変化させた施工を行い，打設サイクルの違いによる改良効果の変化を調査した．現場実験条件を表 1 にしめす．なお，表 1 中の case2 のサイクルである（引き抜き長，押し込み長）=（3.0m ↑，2.0m ↓）が SCP 工法の標準打設サイクルである．現場実験の概要を以下に示す．

表1 現場実験条件（ピッチ@2.2m）

case	目標造成長(m)	引き抜き長(m)	押し込み長(m)
1	1.5	4.5	3.0
2	1.0	3.0	2.0
3	0.5	1.5	1.0

・改良範囲：GL-1.5m～GL-15.0m（代表値）

・施工エリア：216 (m^2/case)，64 (本/case)

・地質調査項目：標準貫入試験，コーン貫入試験（事前，事後）

・地盤条件：細砂を主体とする比較的均質な砂質地盤，GL-10.0 以深で細粒分を多く含む層が介在．事前 N 値は平均で 5 程度である．3 ケースの施工エリア間に著しい地盤条件の差は認められない．

3. 実験結果

実験結果を図 1 に示す．改良後の地盤強度特性は N 値，qt 値とも同様の傾向を示したため，本論文では改良効果を qt 値増分で評価するものとする．図 1 より，各打設サイクル間の qt 値増分には顕著な差が認められ，case1 の打設サイクルでは，他の 2 ケースの 2 倍近くの改良効果を得ていることが分かる．

各打設サイクル間での改良効果違いのメカニズムについては，打設によって地盤に負荷された振動エネルギー特性・せん断ひずみの大きさの違い，造成された砂杭形状の影響など，様々な要因が考えられるが，詳細については不明である．

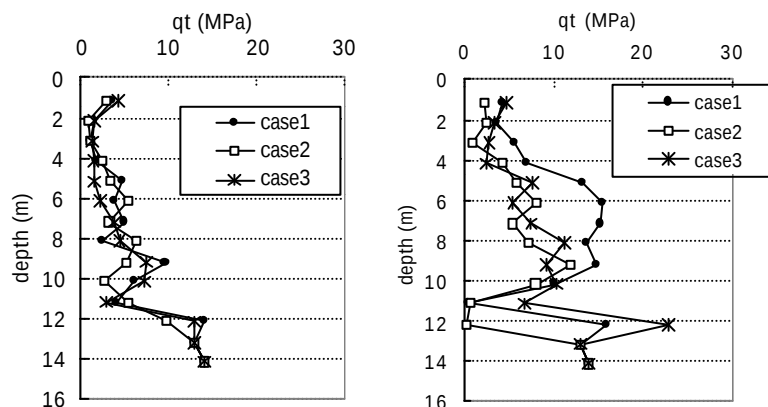


図1 現場実験結果（qt 値による評価）

Keywords：液状化対策工，改良効果，施工仕様設定，打設サイクル，多変量解析，判別分析

4. 打設サイクルの設定

4.1 施工仕様の設定手法

従来、SCP 工法では所定の改良効果を得るために、打設ピッチ（改良率）をパラメータとしている。現場実験結果から、当建設所埋立地盤に対する SCP 工法による改良では、打設サイクルを変化させることによって、所定の改良効果を得ることが出来る可能性があることが明らかになった。そこで、次に、所定の改良効果を得るための打設サイクルの設定手法について検討する。

一般的に、SCP 工法の施工仕様（従来はピッチ）は目標改良効果、原地盤データから施工実績に基づく設計式などを用いて設定している。ここでは、打設サイクルと改良効果の関係は不明であるため、多変量解析のうち判別分析による打設サイクルの設定法について検討する。判別分析とは、ある測定値で与えられたデータを2つ以上のグループに分類するための境界条件（判別関数）を見つけるための手法であり、この境界条件によって新しいデータがどのグループに属するかの判別を行うものである⁽¹⁾⁽²⁾。

4.2 判別分析による計測データ分析

判別分析に使用する説明変数としては、コーン貫入試験から得られるデータおよび Robertson によって提案されている各種 Index を⁽³⁾、目的変数としては現場実験の 3case とした。判別分析に与える寄与の度合いを検討した結果、説明変数は $q_t, f_s, u, \text{Depth}, B_q, F_c$ となった。次に、地盤物性がどのような条件であると、どの打設サイクルで改良効果が向上するのかを調査（判別）するために判別分析を行った。

施工後の q_t 値が目標改良値を満足したデータを抽出し、そのデータと同一深度のデータを説明変数とした。ここで目標改良値とは、地震時に完全液状化を生じさせないために地盤に対して最低限必要な q_t 値のことである。この説明変数を用いて、判別分析を行った結果、以下の判別関数（境界条件）を得た。

$$z_{12} = 7.19\text{Depth} + 0.12q_t - 6.47f_s - 72.85u + 921.46B_q + 0.96F_c - 27.73$$

$$z_{13} = -0.47\text{Depth} + 0.01q_t - 3.27f_s + 9.88u - 85.01B_q - 0.14F_c - 2.27$$

$$z_{23} = -7.66\text{Depth} - 0.12q_t + 9.74f_s + 82.73u - 1006.47B_q - 1.10F_c + 25.47$$

判別関数の z_{ij} は i グループと j グループに対する判別関数であり、ある地盤の $\text{Depth}, q_t, f_s, u, B_q, F_c$ を判別関数に代入して $z_{ij} > 0$ であると、その地盤は i グループに属すると判別される。すなわち、ある地盤の $q_t, f_s, u, \text{Depth}, B_q, F_c$ を判別関数に代入することによって、その地盤物性に対してはどの打設サイクルで施工をすれば改良効果が目標改良値以上になるように改良できるかの設定が可能となる。この判別関数による正答率は約 75% であり、ある目標改良効果を得るために必要な打設サイクルは、判別分析によって統計的に設定可能であることが明らかになった。

5. おわりに

SCP 打設機を用いた現場実験を実施した結果、適切な打設サイクルの設定を行うことによって、所定の改良効果を得ることが出来る可能性があることが分かった。また、液状化対策工に限らないが、地盤改良施工仕様は判別分析という手法を用いることによって、統計的に設定することが可能であることが明らかになった。今後は、判別分析の精度向上に加え、打設サイクルと改良効果の関係について統計処理、土質工学の両面からのアプローチによって検討することが必要であると考えられる。

末筆ながら、現場実験を実施するにあたり協力して頂いた、不動建設（株）の今吉保正氏、奥田武志氏、松沼泰史氏に感謝致します。

参考文献

(1) 奥野忠一、久米均、芳賀敏郎、吉澤正：多変量解析法＜改訂版＞、日科技連、1995

(2) 石村貞夫：すぐわかる多変量解析、東京図書、1998

(3) 三村衛、須崎貴裕：コーン貫入試験による砂質地盤の液状化強度評価、土と基礎、Vol.47, No.9, pp22, 1999