

34. 切削状態モニタリング技術を用いた高圧噴射攪拌工法の高効率施工

三信建設工業株式会社 ○島野 嵐
山崎 淳一

1. はじめに

高圧噴射攪拌工法は、一般に噴射ロッドの先端に取り付けられた噴射装置より硬化材とエアを水平方向に噴射することにより地盤を切削して土と硬化材を混合攪拌する地盤改良工法である。

従来は立坑築造に伴う底盤改良やシールドの発進到達防護などの都市土木における仮設工事に多く採用されてきたが、東日本大震災による被害を受け、首都直下地震や東海・東南海・南海地震等の切迫性が高く推定される被害が甚大であると指摘されている巨大地震に対する既存建物の耐震化・免震化を目的とした本設利用のニーズが高まっている。

一方、高圧噴射攪拌工法は工法の特長上、切削能力は地盤強度等に受ける影響が大きいため、設計通りの改良径を造成することが難しい。特に、土の構成が一様でない腐植土・砂礫土については、造成径のバラツキが大きくなる。また、実際の造成径を施工中に確認することは難しく、事前の試験施工等により造成径の確認をしているが、これにより施工効率が非常に悪くなっている。

このような背景から、著者らは、予め地盤中に設置した複数の計測管からジェットによる切削音を採取して分析する、「地盤切削状態モニタリング技術」の開発を行い、その結果、改良体の出来形をリアルタイムに「見える化」できるシステムの実用化をし、高圧噴射攪拌工法の高効率施工を可能とした。

本稿では、開発した地盤切削状態モニタリングの原理と計測システムを紹介し、実施工における分析結果について報告する。

2. 高圧噴射攪拌工法の概要

高圧噴射攪拌工法は、1960年代にわが国で開発されて以来発展をつづけ、地盤改良工法の一翼を担っている。高圧噴射攪拌工法は図-1に示すように、噴射ロッドを回転させ一定時間ごとに数cmずつ段階的に引き上げることで直径1~5m程度の円柱状の改良体を造成するものである。地

盤の切削は大きく分けて、超高压硬化材と空気により行う二重管方式と超高压水と空気により行う三重管方式がある。

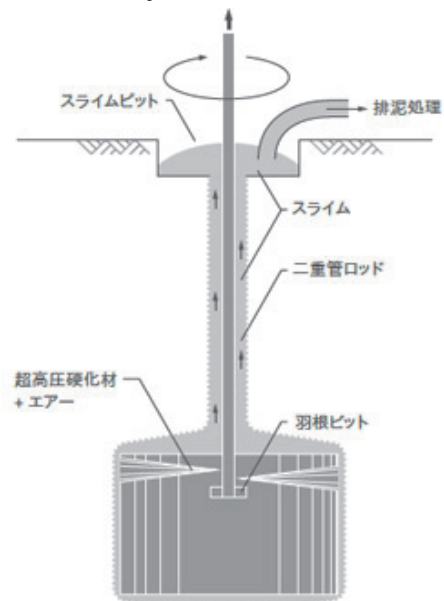


図-1 高圧噴射工法概念図¹⁾

3. モニタリング技術の開発背景

高圧噴射攪拌工法は、一般的に改良体の出来形を目視で確認できないことから、通常は施工後のボーリング調査により造成径および改良状態の確認を行っている。稀ではあるが造成径不足により止水効果が得ることができなかつたり、造成径が過剰になり強度不足が発覚した場合などには対応が非常に困難であった。

施工中に造成径を確認する方法として、ジェットによる切削音をマイクにてテープレコーダに録音し、ジェットの到達を確認するといった手法は以前からあったが、これらは音の大小での主観的な判断であり、定量的なデータの採取・解析がなされていなかった。また、音の到達確認は1点での評価であり、深度方向に対して連続的な確認をすることができなかった。

これより、音の大きさを数値化することができれば、造成径の出来形を高精度に計測ができ、な

おかつ深度方向に対して連続的な確認ができ、品質管理をより効率的に実施することが可能となると判断しシステムの開発を行った。

4. モニタリング原理および計測システムの概要

計測システムの概要図を図-2 に示す。本システムは、地盤中の改良範囲に設置した建込み管、建込み管内に挿入してジェットの切削音を採取する集音器(写真-1)、ジェットの噴射ロッドの上昇に連動して集音器を上昇させる自動巻き上げ装置(写真-2)、複数の集音器により採取された切削音データや施工深度を計測する音響管理装置(写真-3)からなる。

まず施工に先立ち、改良杭の造成範囲の複数位置に建込み管をボーリングにより設置する。建込み管の設置位置は、改良杭中心からの離れを変化させた2～4パターンとする。計測時には、それぞれの建込み管内に挿入した集音器により建込み管に当たるジェット流を音の大きさとしてモニタリングし、これの経時変化を記録する。集音器は噴射ロッドの引き上げに連動して自動的に巻き上げられる。この計測により得られたデータを分析し、地盤切削状態として評価するものである。

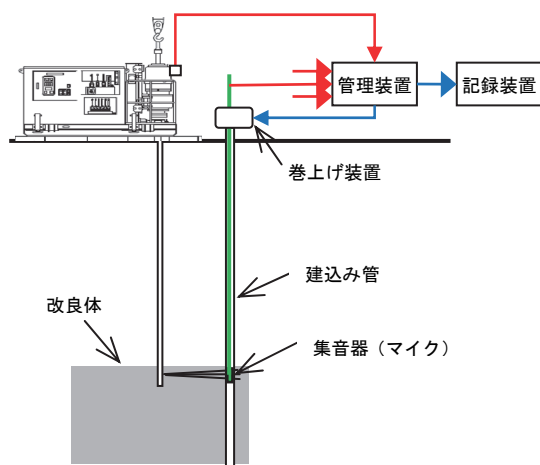


図-2 計測システム概要図²⁾



写真-2 自動巻き上げ装置



写真-3 音響管理装置



写真-4 計測状況

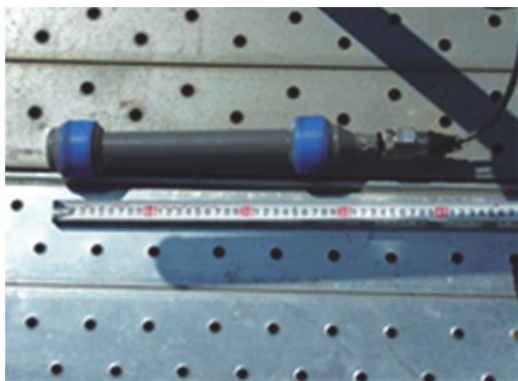


写真-1 集音器（マイク）

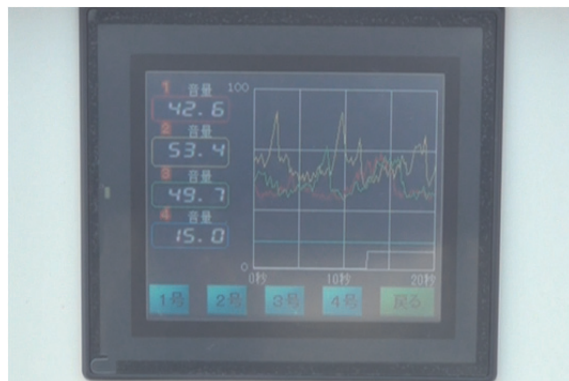


写真-5 表示例

5. 切削状態の分析方法

切削状態の分析は、集音器により採取されたジェット流音量の経時変化により行う。建込み管にジェット流が到達している場合、一定間隔で山型のグラフ線形が確認でき(図-3 参照)、噴射エネルギーは山の大きさに比例して噴射ロッドに近い建込み管ほど明確になる。既往の報告²⁾では、このジェット流音量の経時変化データと改良体の出来形の関連性を考察し音レベルの振れ幅(最大値-最小値)が200を超えた場合に改良体の出来形が建込み管の外側まで達していることが確認されている。(図-4,写真-4 参照)

以下に本システムを用いて切削状態を確認した実施例について報告する。

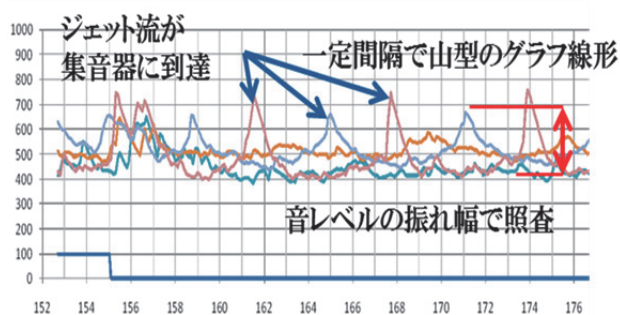


図-3 ジェット到達音経時変化(計測例)

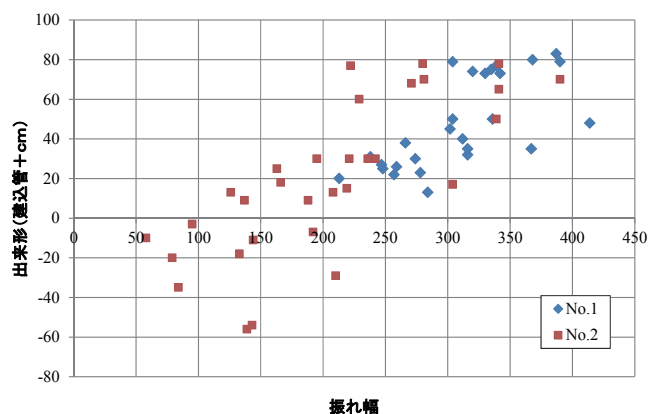


図-4 振れ幅と改良体出来形の関係²⁾

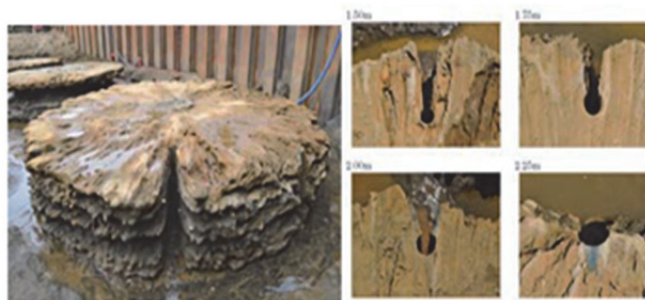


写真-4 出来形確認状況²⁾

6. 実施例

実施例として、腐植土層における計測・分析結果について紹介する。³⁾

本現場はN値が0~1で含水比が600%を超える超軟弱地盤に敷設されるボックスカルバートの支持力増強として高圧噴射攪拌工法が計画されており、対象土が腐植土であることからジェットの到達距離が伸び、設計径以上の改良体ができしまい設計強度が不足する恐れがあった。施工箇所近傍の土質柱状図を図-5に示す。

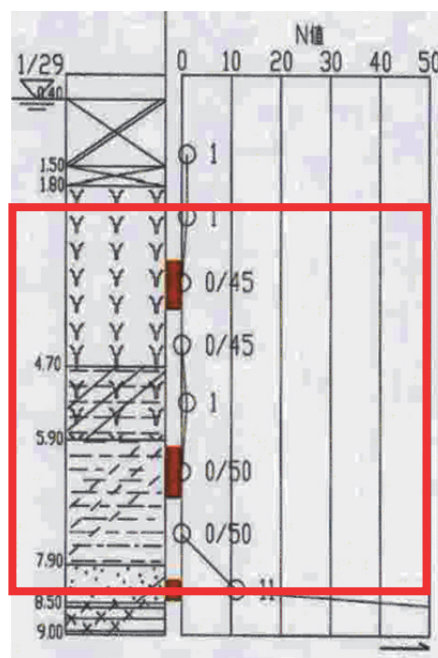


図-5 土質柱状図

施工は二重管式高圧噴射攪拌工法(超高压硬化材液+空気での切削)により行い、計測はφ2.0mの設計径に対して設計+0.0m,+0.25m,+0.5m,+1.0m(改良想定径としてφ2.0m,φ2.5m,φ3.0m,φ4.0m)の4箇所で行った。計測管の設置平面図を図-6に示す。



図-6 計測管設置平面図

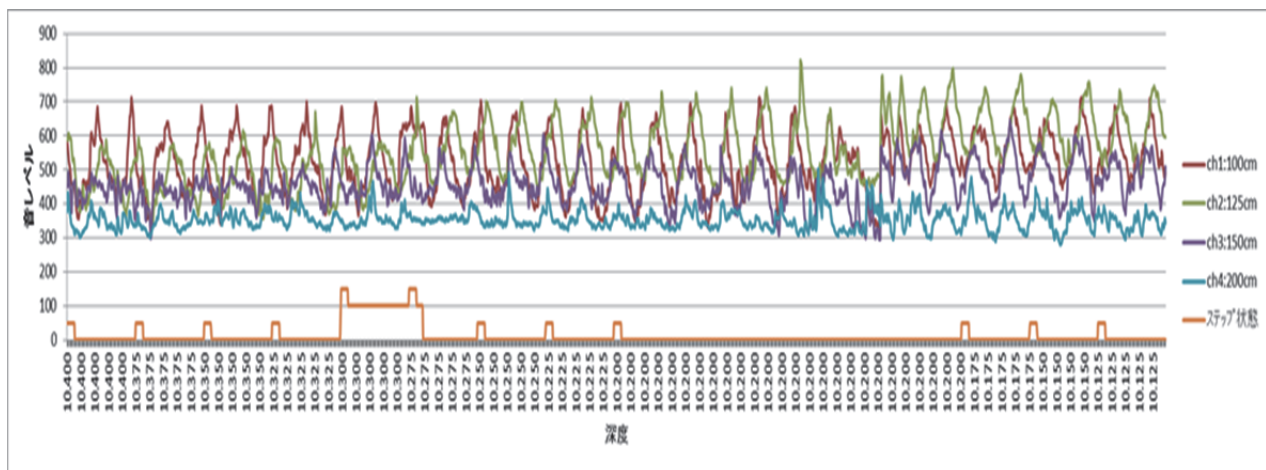


図-7 ジェット到達音経時変化(標準仕様)³⁾

計測で得られたジェット流音量の経時変化について図-7に示す。杭芯から2.0m離れた位置の音レベルの振れ幅は、他の3孔に比較すると低い値であるので切削はされておらず、逆に杭芯から1.0～1.5mに位置の音レベルは所定の振れ幅を確保しており十分に切削がされていることが分かった。これより杭芯から概ね1.5m～2.0mの範囲を切削しているものと判断出来る。

この結果、当該地層条件において標準施工仕様では計画造成径 ϕ 2.0mよりも大きな径(造成径としては ϕ 3.0～4.0m)になっていると推測された。

これより施工仕様(ロッド回転数・ロッド引き上げ速度)を変え、引き続き切削状態を確認し過剰に切削せずに計画改良径を確保する施工仕様を確立させ施工に臨んだ。

なお、事後調査として行った改良体の掘り出しおよび全長コアボーリングによって、造成径・改良強度が設計値を満たすことを確認した。改良体掘り出しによる出来形確認状況を写真-5に示す。



写真-5 出来形確認³⁾

7. まとめ

本システムの使用により施工中に切削状態を可視化することが出来、即時に地盤切削状態の把握や造成径の想定をすることが可能となった。

また、モニタリングの結果を踏まえて、標準施工仕様(ロッド回転数、ロッド引き上げ速度等)を変えることによって、造成径をコントロールすることもできた。

これらにより、従来は困難であった施工中の造成径の出来形を「見える化」することができるので、試験施工やボーリング調査による造成径確認の必要が無く、高効率な施工が可能となった。

今後は、このシステムによる多くの計測データを採取・蓄積し、分析手法を確立するとともに出来形推定の精度を高める研究開発を続ける所存である。

参考文献

- 1) V-JET 工法 技術積算資料,V-JET 協会,2012.09
- 2) 森脇ら, 高圧噴射攪拌工法における地盤切削状態モニタリング技術の開発, 第46回地盤工学研究発表会, 2011.7.
- 3) 島野ら,高圧噴射攪拌工法における地盤切削状態モニタリング技術, 第9回地盤工学会関東支部発表会 2012.10