

硬質地盤に対応した 深層混合処理工法の開発と適用事例

株式会社 不動テトラ ○ 永石 雅大
 " " 田中 肇一
 " " 梅田 洋彰
 " " 杉野 秀一

1. はじめに

深層混合処理工法は、固化材と軟弱土を地盤中の原位置で攪拌混合し、両者の化学的な結合作用を利用して軟弱地盤を改良する工法である。その中で、高品質かつ大径の改良体を造成することを目的として、固化材スラリーにエアを混合して霧状に吐出するエジェクター吐出方式深層混合処理工法（以下、CI-CMC 工法）が開発され、適用されている¹⁾。CI-CMC 工法では「エジェクター吐出」機構により貫入・攪拌時の負荷が低減し、従来よりも硬質地盤に対応することが可能である。

しかしながら、近年では、これまで改良が不要とされていた硬質地盤でも改良が必要となる場合や、構造物によっては改良体を堅固な支持地盤へ確実に根入れすることが求められるケースが増加している²⁾。このような硬質地盤では、貫入不能や施工に多大な時間を要するなどの問題があり、より効率的な施工を実施するため硬質地盤に適用できる工法の開発が求められてきた。

これらの現状を踏まえ、筆者らは CI-CMC 工法の貫入能力をより高める施工機能を導入し、幅広い硬質地盤への適応可能な工法の開発ならびに実用化に向けた実験工事を実施してきた³⁾⁻⁵⁾。本論文では、新たに開発した硬質地盤対応工法（CI-CMC-HG 工法）について概説するとともに実際の施工により貫入能力を整理・分析した結果について報告する。

2. 硬質地盤対応工法（CI-CMC-HG 工法）の概要

2.1 貫入能力

本工法では、図 1 に示す従来のオーガの約 2 倍のトルクを有する高トルクインバータモータを搭載した硬質地盤対応オーガを採用している。これにより同じ出力モータで軟弱層では従来の高速回転施工による品質確保、硬質層では低速回転による高トルク施工で貫入力の向上が可能となった。表 1 に従来工法との機械仕様様の比較を示す。また、攪拌翼からのエジェクター吐出による固化材スラリーに加え、先端ビットから圧縮エアや固



図 1 施工状況

表 1 従来工法とのモータの比較

	従来工法	硬質地盤対応工法
オーガ	90 KW	90 KW
発電機	600 KVA	600 KVA
最大トルク	50 kN・m	104 kN・m
回転数	18~36 min ⁻¹	3.3~29.5 min ⁻¹



図 2 先端吐出機構とエジェクター吐出

化材スラリー等を噴射する先端吐出機構（図 2 参照）を併用することも可能で、通常施工に比べ開発試験工事では貫入時間あたりの回転トルクを約 3 割低減できることを確認している。これらのことから、従来では硬質地盤が介在する地盤への深層混合処理工法の適用では、アースオーガによる

先行削孔が必要であったが、本工法では先行削孔の併用が不要なため、コストの低減ならびに工期の短縮が期待できる。

2.2 見える化施工への対応

本工法では、地盤改良技術の BIM/CIM に対応した施工管理システム「Visios-3D」⁹⁾を搭載することが可能である。地盤改良の施工状況をアニメーション表示することにより、改良状況の見える化を実現した。さらに、改良後の 3 次元モデルの作成も可能であり、地盤改良の信頼性向上、より確かな品質の確保に寄与している。

3. 施工事例

3.1 道路改良工事での事例

長野県において道路横断 BOX 基礎の沈下及び液状化対策として硬質地盤対応工法 (CI-CMC-HG 工法)の施工を実施した。当該地区では N 値 17~100 とばらつきの大きい砂礫層が介在する地盤であり、軟弱層以外の平均 N 値は 63 と硬質地盤であった。改良仕様は図 3 に示すように、改良径 $\phi 1.6$ m (2 軸施工)の接円配置であり、改良深度 GL-16.1 m、設計基準強度は $q_{uck}=1,100$ kN/m²であった。図 4 は施工記録図ならびに地盤柱状図を示している。同図より N 値 2 程度の軟弱層 (GL-1m~11m)の施工

速度と同等の速度で硬質地盤 (GL-11m 以深)の施工が出来ていることが分かる。これは、回転数を変化させることで硬質地盤に対しても軟弱地盤と同様に貫入が可能であり、一定の施工速度を確保できることから、機械負荷が少なく安定した施工が可能であるとともにコストや工程の管理が容易となることを示唆している。図 5 は当現場における、ある改良地点の平均貫入トルクと N 値をまとめたものである。図より、N 値の増加に伴って貫入トルクが増加しており、従来の工法では不可能であったトルク値 50 kN・m を超える高トルク施工が可能であることが確認できた。

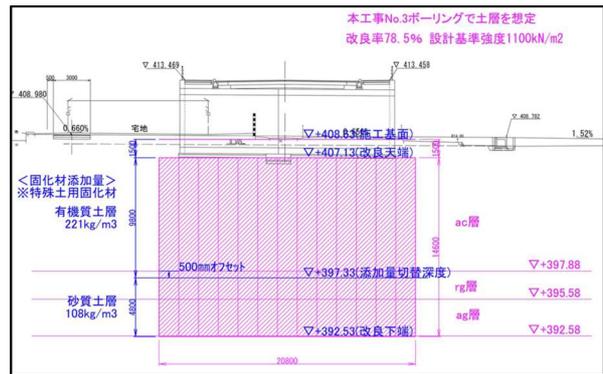
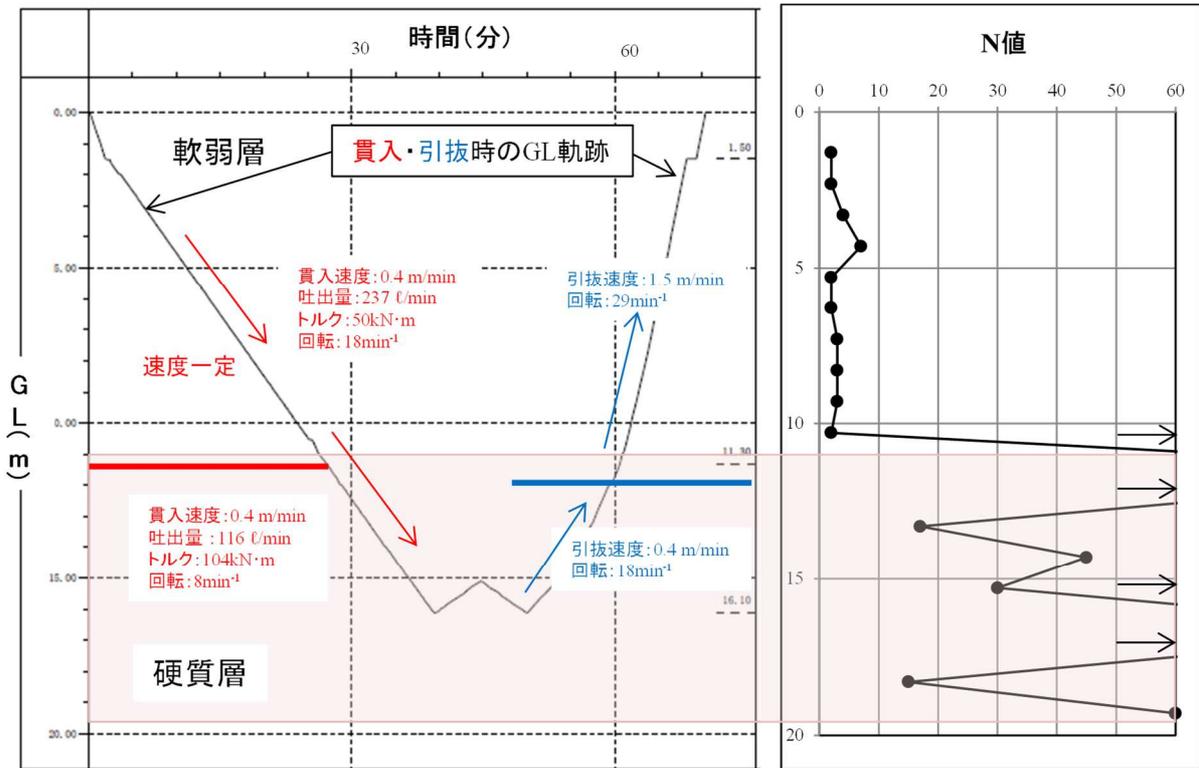


図 3 改良仕様



(a) 施工記録図

(b) ボーリング柱状図

図 4 施工記録図ならびにボーリング柱状図

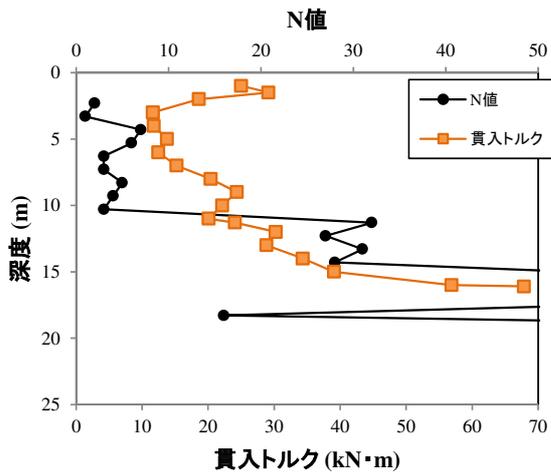


図5 貫入トルクならびにN値と貫入深度の関係

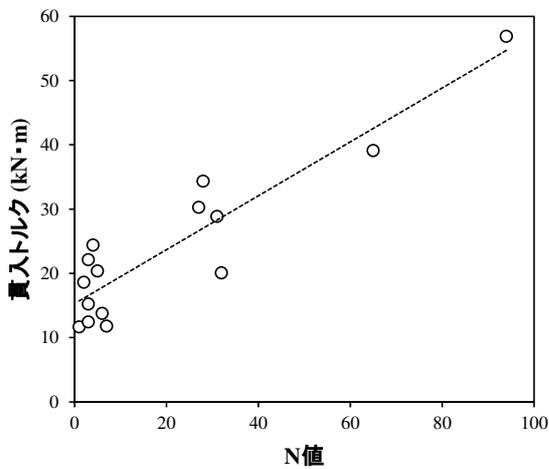


図6 N値と貫入トルクの関係

さらに、N値と貫入トルクの関係プロットしたものを図6に示す。図より、N値と貫入トルクには一定の相関があると推察される。

また、事後調査により、改良体の連続性ならびに一軸圧縮強度 $q_{uf}=1,153\sim 3,068$ kN/m²を確認しており、品質面においても要求性能を満足していることが確認できた。

3.2 河川堤防工事での事例

埼玉県内河川における堤防盛土の安定対策として本工法が採用された。当該地区では当初CI-CMC工法が採用されていたが、試験施工を実施したところ通常施工が困難であった。そこで追加ボーリング調査を行った結果、同工法では標準施工が困難な硬質層が厚く堆積していることが確認され、硬質地盤対応工法(CI-CMC-HG工法)に変更となった。

改良仕様は図7に示すように、改良径 $\phi 1.6$ m (2軸施工)の接円配置であり、改良深度GL-29 m、設計基準強度は $q_{uck}=1,000$ kN/m²であった。前項と同様に、当現場における2地点の平均貫入抵抗とN値をまとめたものを図8に示す。図より、N値の増加に伴う貫入抵抗の増加が見受けられ、従来の工法では不可能であった貫入トルク値が50 kN・mを超える施工が出来ている。また、N値と貫入トルクのプロットしたものを図9に示す。図より、当該地区においても各地点でN値と貫入トルクには一定の相関があり、若干の誤差があるものの概ね比例関係にあることが分かる。これらのデータを参考にすることで、施工機の最大トルクから貫入可能なN

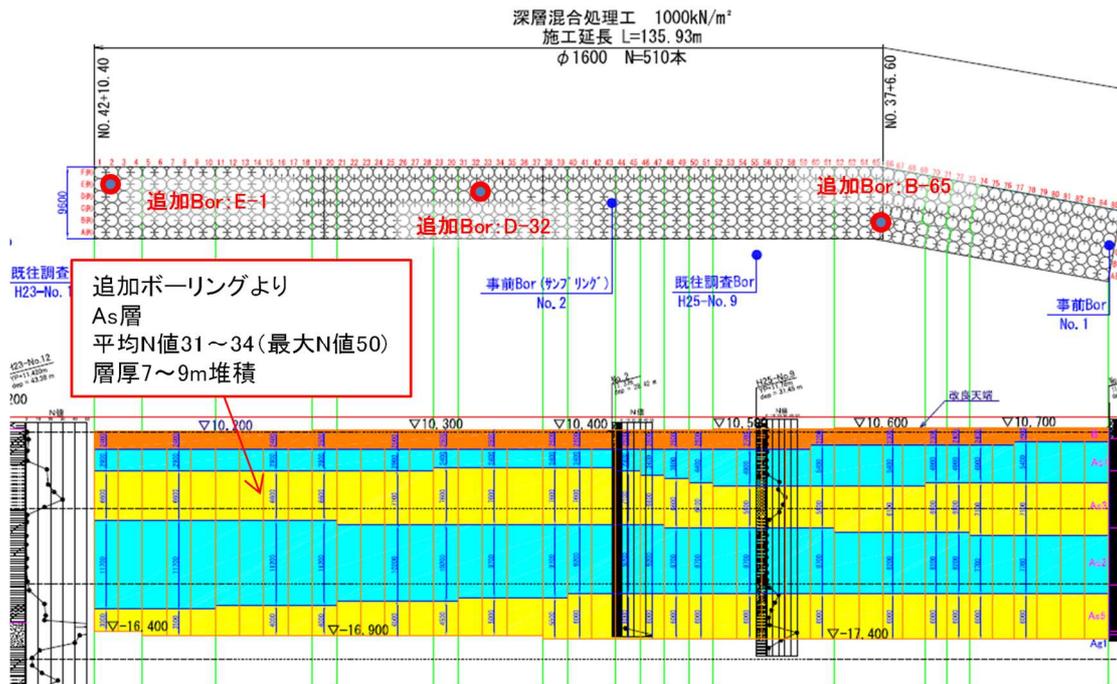


図7 改良仕様

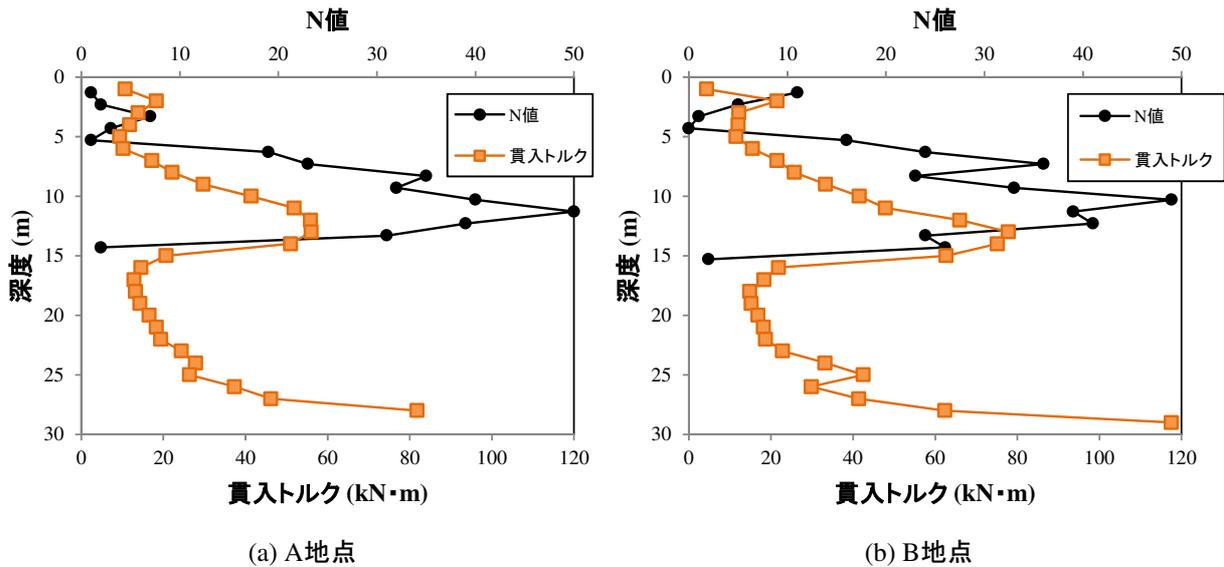


図8 各地点における貫入トルクならびにN値と貫入深度の関係

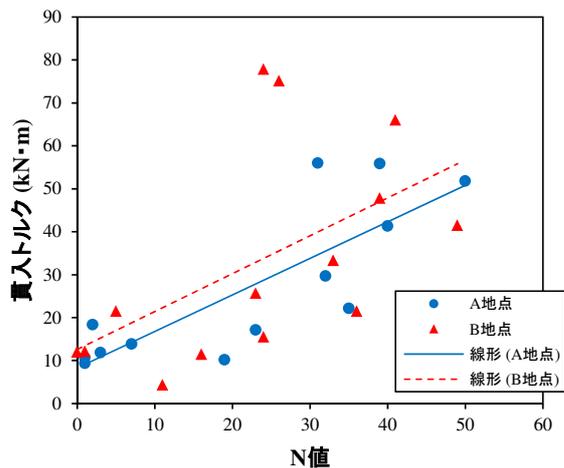


図9 N値と貫入トルクの関係

値の範囲をおおよそ推定することが可能となる。

前項と同様、事後調査結果からは改良体の連続性ならびに一軸圧縮強度 $q_{uf}=2,558\sim 4,641$ kN/m²を確認しており、品質面に問題はないことを確認した。

4. 結論

本論文では、新たに開発した硬質地盤対応工法(CI-CMC-HG工法)について説明するとともに、実際の施工現場における貫入能力について整理・考察した。本工法では、従来の工法に比べ貫入能力が大幅に向上し、N値が50を超える硬質地盤にも十分適応が可能であることが実際の施工により確認できた。さらに、硬質地盤においても軟弱地盤と同等の速度で施工できることから、コストや

工程の管理もしやすく、施工後の事後調査からは品質面においても要求性能を十分満足することが確認できた。また、N値と貫入トルクには一定の相関が見受けられ、貫入トルクからある程度のN値を推定することが可能となった。

今後は改良径の違う実績や他工事の実績を積み重ね、本開発工法を積極的に適用したいと考えている。

参考文献

- 1) 村上恵洋：エジェクター吐出機構を採用した深層混合処理工法と新しい施工管理システム，基礎工，Vol.45，No.6，pp.44~47，2017。
- 2) 財団法人 土木研究センター：陸上工事における深層混合処理工法 設計・施工マニュアル，pp.184~185，2004。
- 3) 田中肇一・伊藤竹史・武田尚也：超硬質地盤に適応した深層混合処理工法の開発，建設機械工，Vol.71，No.10，pp.37~40，2019。
- 4) 武田尚也・村上恵洋・田中肇一：深層混合処理工法における攪拌翼先端吐出の硬質地盤への効果，土木学会全国大会，2020（発表予定）。
- 5) 武田尚也，田中肇一，伊藤竹史，田中隼矢：硬質地盤に対応した深層混合処理工法の開発，第55回地盤工学研究発表会（京都），2020。
- 6) 菅章悟・鈴木克彦・伊藤竹史：ICTを活用した地盤改良工法の新施工管理システム，建設機械工，Vol.71，No.3，pp.1~5，2019。