The Japanese Geotechnical Society

報　告

地盤改良工事（CI-CMC 工法）における施工管理の創意工夫

Ingenious Device of Site Management in Ground Improvement Work by CI-CMC Method

岡　戸　雅　則（おかど　まさのり）
㈱不動テトラ 地盤事業部 工事部

川　村　幸　一（かわむら　こういち）
㈱不動テトラ 地盤事業部 工事部

増　田　圭　吾（ますだ　けいご）
㈱不動テトラ 地盤事業部 技術部

関　　友　亮（せき　ともあき）
㈱不動テトラ 地盤事業部 技術部

1. はじめに

国土の都市化や多様なニーズにより生じる複雑な施工条件の工事では，マニュアル等で示された標準的な施工方法では対処できず，現場における対応能力が要求される。そのような場合には，安全性やコスト面などを総合的な観点から創意工夫を行い，困難な施工条件を克服していく必要がある。

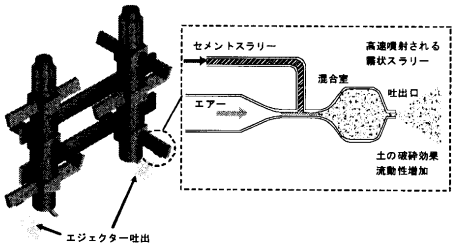
地盤改良の分野では，近年，深層混合処理工法（機械撹拌式）について大径化や高速施工によるコスト低減が求められており，多様な工法が開発されている。また，近接施工や硬質地盤の改良といったニーズも増えており，工法の開発だけでなく，現場での施工管理も重要となっている。

本報告は，深層混合処理工法（「CI-CMC 工法」）における現場の創意工夫についての事例を紹介し，その効果を示すものである。

2. CI-CMC 工法について

「CI-CMC 工法」は撹拌翼を地中に回転貫入してセメント等の固化材と地盤を混ぜる深層混合処理工法の一種であり，固化材は水と混合したスラリー状態でポンプ圧送される。一般的な深層混合処理工法ではスラリーのみを吐出するが，本工法の特徴は図—1，2に示すようにスラリーと一緒にエアーを噴出して霧状に固化材を添加（エジェクター吐出）することにある。これにより，以下に示す様々な効果が発揮される。

図—1　エジェクター吐出状況



図—2　エジェクター説明図

① 改良体品質の向上

エジェクター吐出により撹拌域全体に固化材スラリーを散布することが出来るため，バラツキの少ない均質な改良体の造成が可能である。

② 低変位施工

エジェクター吐出には撹拌域の土を破砕し泥状化させる効果があり，泥状となった土はエアーのリフトアップ作用（エアーリフト効果）により地表面に排出される。そのため，施工時の地盤への負荷が少なく，周辺地盤の変位も小さくなる。また，地中でセメント混合された状態の土が地表面に排出されるため，排出土は自硬性があり，施工機を安定させるための足場材や良質な盛土材として転用可能である。

③ 貫入能力の向上

撹拌域の土を破砕し泥状化する効果により貫入・撹拌時の負荷が低減するため，貫入抵抗の大きい硬質地盤に対しても適用可能である。

CI-CMC 工法の適用範囲を表—1に示す。

表—1　CI-CMC 工法の適用範囲

項　目		適用範囲※1
改良径		φ1000～1600 mm
地盤強度	砂質土	N≦35(標準※2), N≦50(最大)
	粘性土	N≦8(標準※2), N≦16(最大)
改良深度		50 m

※1 標準型（2軸）の適用範囲
※2 標準的な施工速度の場合の適用範囲

3. 困難な施工条件での取組み

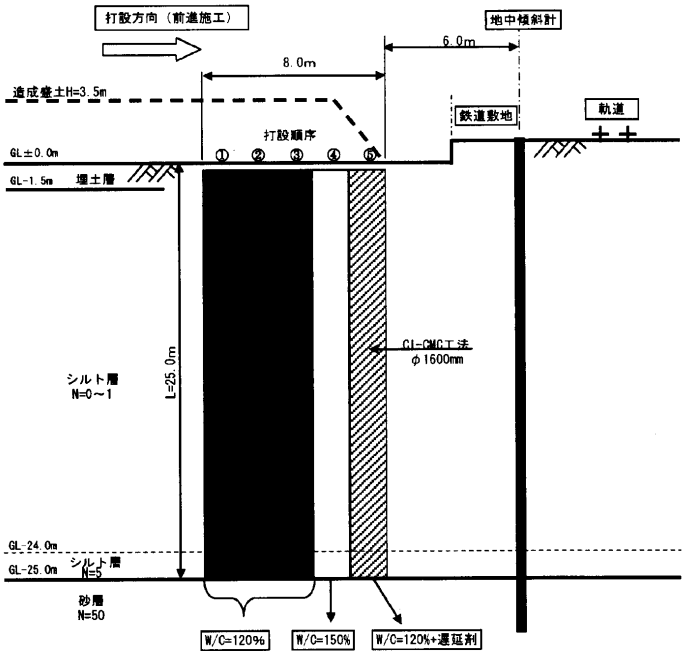
施工位置が鉄道に近接し，厳しい変位条件下で施工したA現場と硬質地盤を対象に施工したB現場における創意工夫の事例を紹介する。

3.1 A現場：厳しい変位条件での創意工夫

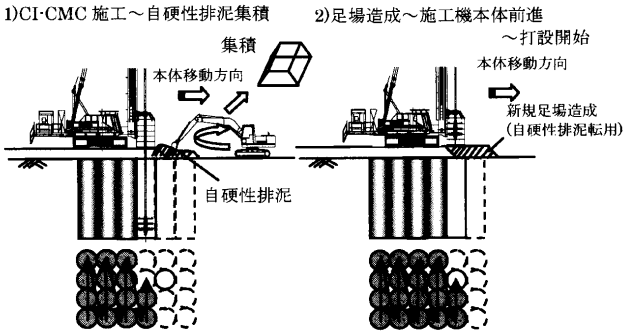
本現場は，宅地盛土の造成による鉄道軌道の変位を防止するため，CI-CMC 工法により応力遮断壁を造成するものであった。しかし，図—3に示すように厚さ25 m の非常に軟弱な沖積層が堆積している地盤であり，鉄道敷地内に設置してある地中傾斜計（施工域からの離隔：6.0 m）の許容変位量が3.0 mm という非常に厳しい施工条件であった。そのため，CI-CMC 工法の施工

NII-Electronic Library Service

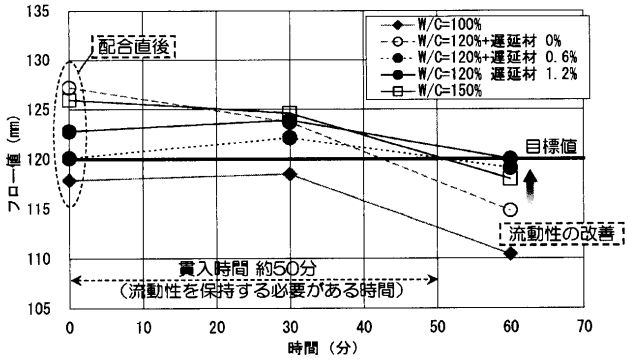
The Japanese Geotechnical Society



図―3　施工概要図



図―4　前進施工説明図



図―5　テーブルフロー試験結果図（室内配合試験時）

による変位も最小限に抑える必要があった。このような厳しい施工条件の下，現場では以下に示す創意工夫を実施した。

① 「前進施工」の実施

地盤改良工事による変位を抑える場合，一般的には構造物側から施工を開始し，遠ざかる方向に打設を進める打ち下がり施工を実施することが良いとされている。

しかし，総重量140 t 程度の施工機を用いるため，当地区のような軟弱地盤では施工機が鉄道敷地に近寄っただけで変位が発生する恐れがあった[2]。近隣の工区で地表面変位を計測したところ，施工機を設置しただけで5.0 mm 程度の水平変位が計測された実績があり，このままでは施工が困難であると判断された。

そこで，打設順序の見直しを行い，構造物から離れた位置から施工を開始し，造成した改良体上に施工機荷重を支える効果を期待する「前進施工」を採用することとした（図―4）。さらに，改良体に作用する施工機荷重を分散するため，施工に伴い排出される自硬性排泥を改良体上に敷設して足場材に転用した。

通常，前進施工は構造物側に変位が累積されていくため，最も変位影響が大きい施工方法とされている。しかし，CI-CMC 工法は施工中の地盤変位が少ないため，累積変位量も少ないと判断した。ただし，今回は許容変位量が3.0 mm と非常に小さいため，次項に示す対策も講じることとした。

② 撹拌域の流動性確保（W/C 変更，遅延剤添加）

CI-CMC 工法の低変位施工を確実に実施するためには，撹拌域の土の流動性を高め，スムーズに排土させる必要がある。そこで，投入するセメントスラリーの配合を見直し，水セメント比 W/C の増加と遅延剤の添加により流動性を確保することとした。過去の実績から，混合土のテーブルフロー値が120 mm 程度あれば十分な低変位施工となることが確認されており，これを指標として室内配合試験を実施した。その結果は図―5のとおりであり，$W/C \geqq 120\%$ で配合直後の目標フロー値は得られた。しかし，CI-CMC 工法の施工は，撹拌翼を地盤に貫入しながらセメントを添加する手順であり，セメントの投入開始（改良杭上端）から終了（改良杭下端）まで約50分かかるため，その間も流動性を確保する必要がある。そこで，時間経過によるフロー値の変化も確認した結果，60分時点でのフロー値を保持するには遅延剤を1%程度添加する必要があることが分かった（図―5）。

室内試験の結果から下記の3ケースを選定し，試験施工を実施することとした。

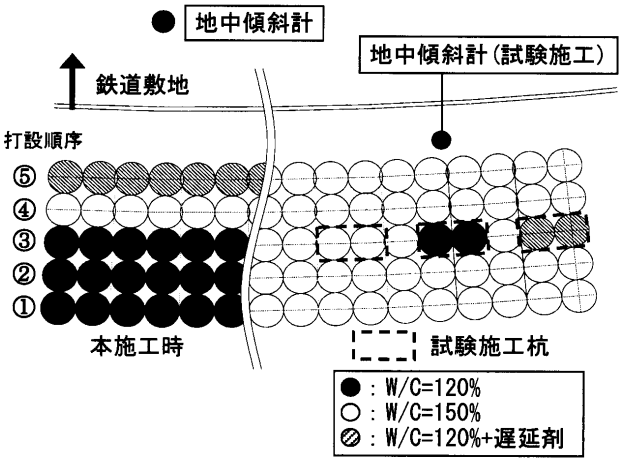
- ケース1：$W/C=120\%$
- ケース2：W/C＝150%
- ケース3：$W/C=120\%$＋遅延剤 1%

試験施工は図―6に示す鉄道に影響の無い位置で実施し，新たに設置した地中変位計（試験施工改良体との最小離隔3.5 m）により変位を計測した。その結果は図―7に示すとおりである。各ケースの地表面の最大変位量は，ケース1：0.5 mm，ケース2：0.18 mm，ケース3：0.11 mm であり，いずれのケースも低変位であった。ただし，深度方向の変位量の変化に着目すると，ケース1については GL.−15 m 付近から撹拌域の地盤の流動性が低下することによってスムーズに排土ができない現象が現場で確認されており，その結果が変位量の増加にも表れた。一方，ケース2, 3については，全深度において変位の傾向が変化することなく高い低変位の効果が得られた。

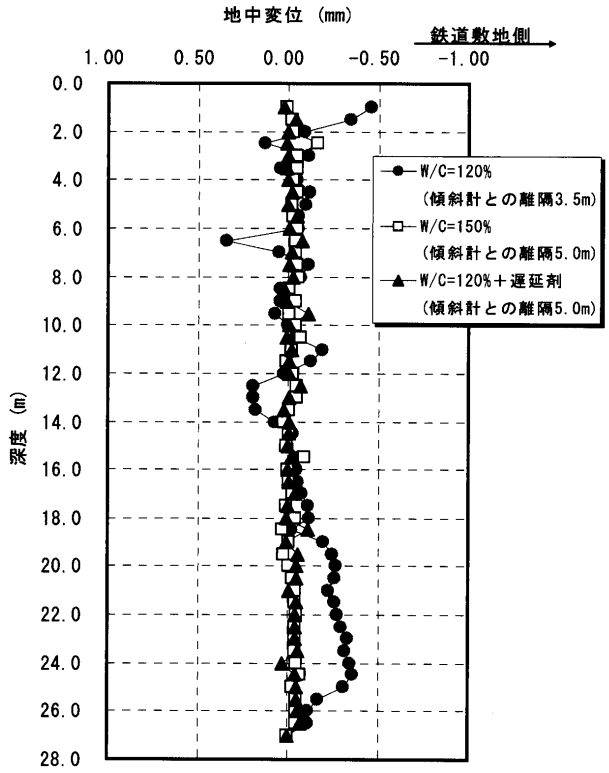
試験施工の結果はケース1よりも2, 3が優れている

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society



図―6　試験施工概要図



図―7　試験施工時の変位計測結果

が，コスト（材料費）はケース2がケース1の約1.1倍，ケース3がケース1の約1.3倍となる。

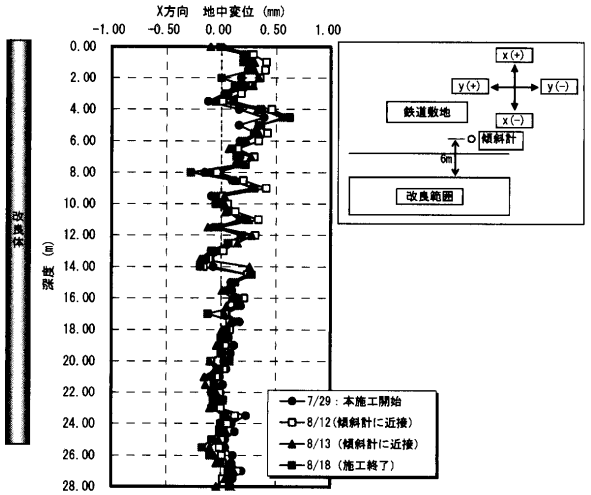
そこで，費用対効果の面からケース1を標準の配合仕様とし，試験施工の位置よりも鉄道に近い列について，より効果の高い配合仕様（ケース2, 3）を採用することとした。

「前進施工」と「撹拌域の流動性確保」の対策を実施した結果，CI-CMC工法の施工を終了した時点の最大変位量は図―8に示すとおり1.0 mm以下となり，無事工事を完了する事ができた。

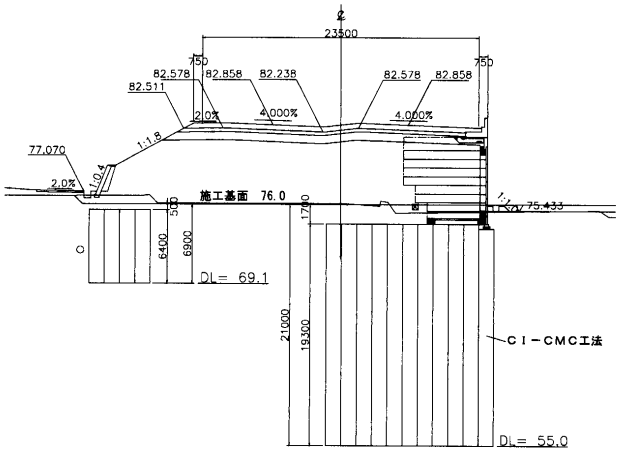
3.2　B現場：硬質地盤に対する創意工夫

軟弱地盤の定義は，設計対象とする構造物の種類や要求される性能等によって変わるが，一般的な道路構造物では粘性土でN値4以下程度とされている[3)]。

本現場は，図―9に示すとおり高盛土であること，お



図―8　本施工時の変位計測結果



図―9　地盤改良横断図

よび既設橋台，家屋，水路に近接していることから，比較的硬質な地盤（粘性土N値5～15，砂質土N値15～50）であるにもかかわらず，盛土の安定と変位の抑制として地盤改良が必要となった事例である。

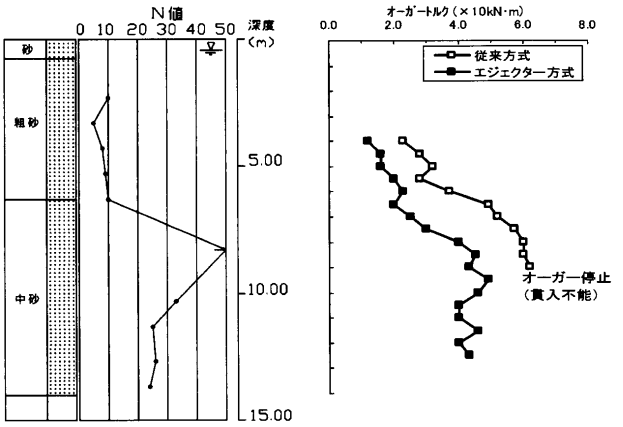
硬質地盤を改良する場合，一般的な深層混合処理工法では貫入力が不足するため，オーガーボーリング機などにより先行削孔の補助対策を併用することが多いが，コストが大幅に増加することになる。

図―10は，エジェクターを用いない従来方式でのモータートルクとCI-CMC工法が有しているエジェクター方式のトルクを比較したものである。従来方式に比べてエジェクターを用いることによりトルクが低減していることが明らかである。図―10の例では従来方式ではトルクの限界値となり貫入不能となったが，エジェクター方式では貫入ができている。ただし，この例は砂地盤に対してのものである。

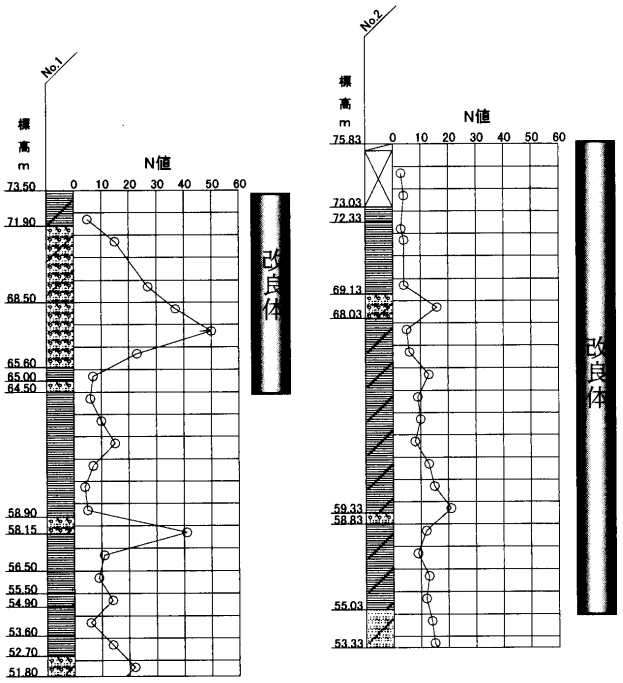
本現場は図―11に示すような粘性土の最大N値が15を示しており，上記のような砂質地盤での適用例と同様のエジェクター方式の効果が期待できるかが不明であった。そこで，粘性土への貫入を可能とするための検討を重ねた結果，以下の創意工夫を実施することにより，粘性土の硬質地盤への貫入を可能とするとともに，施工コ

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society



図―10　エジェクター方式による貫入効果確認事例[4)]



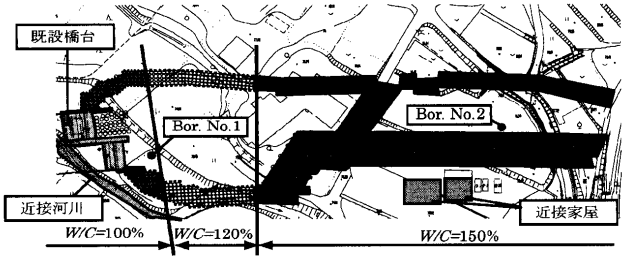
図―11　地盤柱状図と改良範囲

ストの増加も最小限に抑えることができた。

〈現場で実施した創意工夫〉

① 事前の流動性確認

硬質地盤での貫入負荷を低減するためには，スラリー添加により改良土の含水比を液性限界程度まで高める必要がある。さらに，流動性を高めることで撹拌が十分に行われ，改良体の品質（均一性）を高める効果が期待できると考えた。そこで地盤改良に先立ち，ボーリングによる試料採取，土質試験を実施したところ，自然含水比 $w_n \fallingdotseq 30\%$，液性限界 $w_p \fallingdotseq 50\%$ であることを確認し，これを基に，必要な水セメント比を仮定して，A 現場と同様にセメント混合土に対するテーブルフロー試験を実施した。適正なフロー値（120 mm）を得るための水セメント比を求めたところ水セメント比は $W/C=300\%$ となった。必要セメント量はその水セメント比で室内配合試験を実施して決定した。



図―12　地盤改良平面図

② 実施工での流動性確認

本施工では $W/C=300\%$ で施工を開始したが，当該地は山に囲まれた谷地であったため，施工中に周辺地盤からの湧水が多く，また，過去に河川を埋め戻した場所も有ったため，実施工での排出土のフロー値は室内での試験値を大きく上回った。改良体中の水分量が必要以上に多かった場合，ブリージング等による品質への影響が懸念されるため，施工箇所毎の排出土の状態に合わせて W/C の変更を検討した。その結果，最終的には図―12 に示すような W/C で施工を行った。水セメント比の検討により，高価な補助工法を使用せず，施工を完了することができた。

4. おわりに

以上，困難な施工条件における施工管理の創意工夫を 2 例紹介した。変位の管理が厳しい A 現場では，工法の特性を踏まえ施工順序とセメント配合を変更することにより，変位量を1.0 mm 以下とする事ができた。

硬質地盤への貫入が課題となった B 現場では，事前の配合試験で混合土の流動性を確認し，さらに現場の状況に合わせて随時配合を見直して対応した。これらは，マニュアルに従った施工管理では克服できない課題を見抜き，適切に対策を講じることができた事例であり，現場技術者の対応能力と創意工夫が要求されるものであった。

こうした経験を共有し継承することで，現場技術者の技術力向上の助けとなれば幸いである。

参 考 文 献

1) 鈴木末男・村田　浩・中野真也・関　友亮：前進施工による深層混合処理施工時の変位低減効果，Geo-Kanto2010 第 7 回地盤工学会関東支部発表会　発表講演集，地盤工学会関東支部，pp. 161～164, 2010.
2) 水野恭男・須藤文夫・河本憲二・遠藤　茂：深層混合処工法の施工に伴う周辺地盤変位とその対策，㈳土木学会第 3 回施工体験発表会講演概要集，1986.
3) 道路土工軟弱地盤対策工法指針，㈳日本道路協会，1986.
4) CI-CMC 工法技術審査証明報告書，㈶先端建設技術センター，2007.

（原稿受理　2011.3.18）

NII-Electronic Library Service