

硬質地盤における 新しいソイルセメント地中連続壁の造成工法

New construction technique for the soil cement underground continuous wall
applicable for the hard soil condition

佐久間誠也¹・増田浩二²・宮下英子³

Seiya Sakuma and Koji Masuda and Eiko Miyashita

¹正会員 株式会社間組 土木事業本部技術第一部 (〒105-8479 東京都港区虎ノ門二丁目二番地五号)

E-mail:sukuma@hazama.co.jp

²正会員 株式会社間組 土木事業本部技術第一部 (〒105-8479 東京都港区虎ノ門二丁目二番地五号)

³非会員 株式会社間組 土木事業本部技術第一部 (〒105-8479 東京都港区虎ノ門二丁目二番地五号)

Newly developed cutter soil mixing method is the in-situ soil mixing technique for constructing the underground continuous wall with uniform thickness or improving the quality of the ground itself. In this method, soil and cement suspension are mixed on the site by employing the horizontal multi-axial rotational cutter modified for in-situ soil mixing. This method requires no additional assisting method even in the hard soil condition where some assisting method would be necessary in the conventional method. In this report, this newly developed cutter soil mixing method and some construction cases would be introduced and illustrated.

Key Words : CSM, soil mixing wall, equal wall thickness, The horizontal multi- axial rotational cutter, hard soil condition,

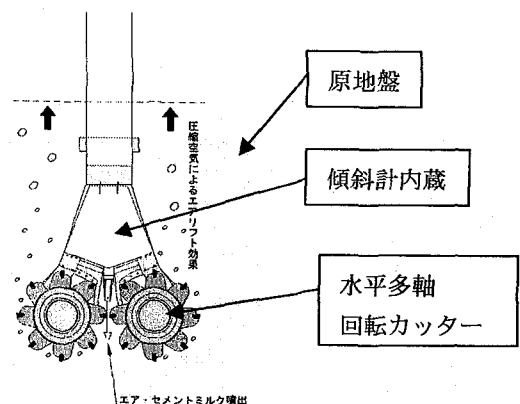
1. はじめに

現在、地中連続壁はSMW工法やTRD工法など、施工性や経済性に優れた原位置土攪拌混合ソイルセメント地中連続壁が主流となっている。しかしながら、これら従来の工法では、硬質地盤への適用に対し、先行削孔等の補助工法が必要となる場合も多く、工期、工費の増加につながる状況がみられている。

近年開発された CSM (カッターソイルミキシング) 工法は、硬質地盤においても補助工法を用いることなく、ソイルセメント地中連続壁の造成を可能にした工法である。

本稿では、これらCSM工法の概要および施工事例について報告する。

CSM工法とは、水平多軸回転カッター式の地中連続壁掘削機と同様の水平多軸回転カッター (Cutter) を用いて土 (Soil) とセメント系懸濁液を原位置で攪拌 (Mixing) し、等壁厚のソイルセメント壁体 (土留め壁・遮水壁等) を造成する工法である (図-1参照)。その特長には以下のような点がある。



2. CSM工法の概要

(1) 概要

図-1 施工方法の説明 (ケリーバー方式)

(a) 工期短縮・コスト低減

水平多軸回転カッターを用いた掘削・攪拌方式の採用により、岩盤や硬質地盤においても、先行削孔等の補助工法が不要もしくは軽減できるため、工期短縮、コスト低減が可能である。

(b) 高い鉛直精度

カッターユニット部に傾斜計を内蔵し、運転席で掘削精度をリアルタイムで監視しながら（写真-1 参照）修正掘削ができる。

(c) 優れた遮水性能

優れた攪拌性能とカッティングジョイントにより、高い遮水性を確保できる。

(d) 等厚な壁の造成

等壁厚のソイルセメント壁が造成されるため、土留め壁等で芯材の間隔を任意に設置できるので、設計の自由度が高い。

(e) 造成形状

壁体がパネル状に造成されるため小さな円形立坑の施工も可能である。

(f) 高い安定性

カッターの駆動部がケリーバーの先端に配置されており、重心が低く転倒に対する安定性が高い。

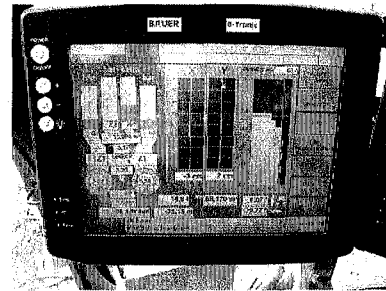
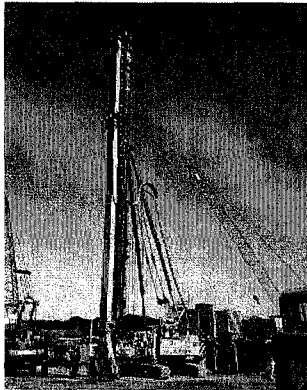
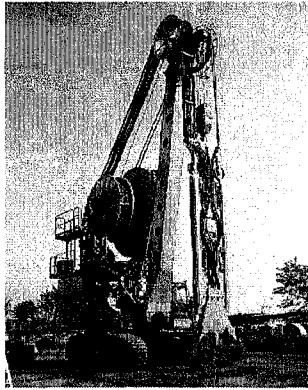
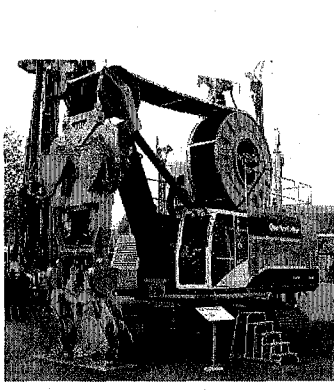


写真-1 リアルタイムモニター

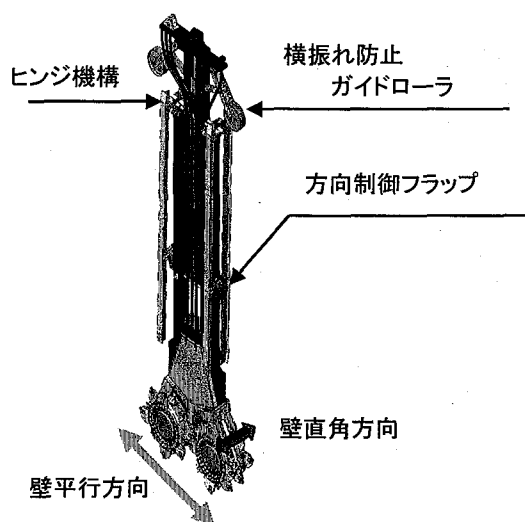
(2) 施工機械

CSM 工法の施工機械には、水平多軸回転カッターを支持する方式により、ケリーバー方式と吊り下げ方式がある（表-1 参照）。

表-1 施工機械の比較

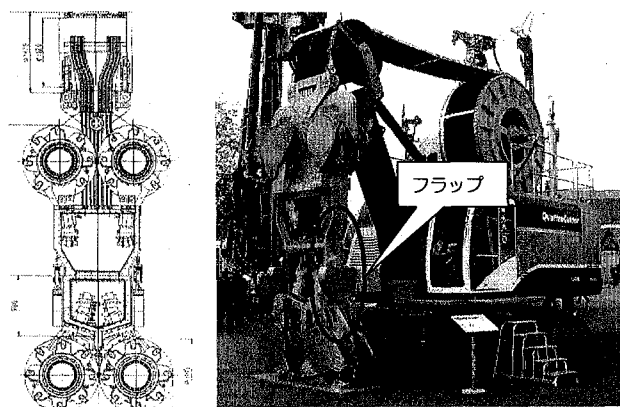
項目	ケリーバー方式		吊り下げ方式	
概要・特徴				
	高剛性の棒状部材（ケリーバー）により水平多軸回転カッターを支持する。施工深度の増加に伴い、ケリーバーも長くなるため、機械高が高くなる。		低空頭ベースマシンにホースドラムを装備し、カッターユニットを吊り下げ方式とすることにより、低空頭機械（15m程度）で大深度（最大 65mまで）施工を可能とした。	吊り下げ方式 BCM10 機の後継機として、大深度（最大 65m まで）施工はそのままに、さらに低空頭型化（機械高さ 6.5m）。
型式	BCM3	BCM5	BCM10	クアトロカッター（BCM5）
カッタートルク (kNm)	0～30	0～45	0～80	0～45
掘削深度(m)	～35	～35	～65	～65
掘削壁厚(mm)	500～700	500～900	640～1,200	500～1,200
掘削幅(mm)	2,200	2,400	2,800	2,400
カッター重量(t)	3.7	5.1	7.4	13.5

吊り下げ方式では、掘削精度を確保するため、壁直角方向については、ヒンジ機構を有したガイドフラップ、壁平行方向については、ガイドローラを補助的に用い、左右のカッター回転数、回転方向を任意に変えることにより、方向制御、修正掘削が可能である（図－2参照）。



図－2 掘削制御機構（BCM10）

また、BCM10の後継機として開発された吊り下げ方式のクアトロカッター（図－3参照）では、4個のカッターの組み合わせとフラップによって方向制御を行う。さらに、カッターユニット内部に傾斜計を内蔵していることから、リアルタイムに正確な位置を把握し、より高精度な掘削が可能となる。また、カッターが従来型の2対から4対になることから、掘削攪拌性能も向上する。



図－3 掘削制御機構（クアトロカッター）

3. 施工事例

（1） ケリーバー方式の事例

a) 工事概要

工事名：豊後大野広域連合旧東部埋立処分場適正閉鎖工事

工事場所：大分県豊後大野市

工期：平成17年3月～平成18年3月

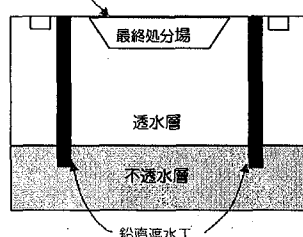
工事概要：鉛直遮水壁（壁厚：0.55m、深度6.5～11.0m）

要求品質：一軸圧縮強度0.5N/mm²以上

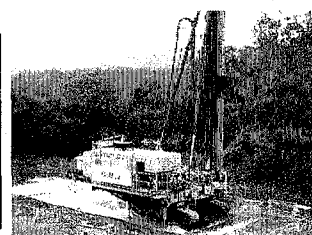
透水係数1×10⁻⁶cm/s以下

本工事は、適正閉鎖処分場工事において、鉛直遮水壁を施工する工事（図－3、写真－2参照）である。当初、遮水壁を造成する対象地盤は硬質な岩盤層も存在したため、二軸同軸ロックオーガーによる先行削孔を併用した工法で計画されていた。しかし、この計画では、先行削孔に時間を要し、余裕のない工程であった。そこで、硬質地盤においても先行削孔などの補助工法が不要なCSM工法の適用について検討を行った結果、本工法が採用となった。採用にあたって行われた試験施工の結果と、本施工について以下に述べる。

オーバーキャッピング



図－3 模式図



写真－2 施工状況

b) 試験施工

試験施工は、根入れ部分の不透水層となる岩盤層（砂岩頁岩互層：最大一軸圧縮強度40N/mm²程度）において、CSM機での削孔が可能か、また造成されたソイルセメント壁が要求品質を満足しているかを確認するために行った。

表－2にウェットサンプリングにより実施した一軸圧縮強度試験、室内透水試験の結果を示す。また、表－3に造成後のソイルセメント壁をボーリングして得られたコアの一軸圧縮強度と透水試験結果を示す。

表-2 ウェットサンプリング品質管理結果

施工日	材 齢	試験日 (日)	一軸圧縮強さ N/mm^2 (kN/m^2)		透水係数 (cm/s)
			測定値	平均値	
平成17年 7月 20日	7	平成17年 7月 27日	1.80 (1797)	1.94 (1940)	1.42×10^{-8}
			2.04 (2041)		
			1.98 (1981)		
	28	平成17年 8月 17日	3.57 (3572)	3.54 (3542)	4.06×10^{-9}
			3.54 (3540)		
			3.52 (3515)		
平成17年 9月 1日	7	平成17年 9月 8日	0.67 (670)	0.82 (822)	7.63×10^{-7}
			0.91 (905)		
			0.89 (891)		
	28	平成17年 9月 29日	1.76 (1759)	1.91 (1913)	1.90×10^{-7}
			2.11 (2107)		
			1.87 (1873)		
平成17年 9月 15日	7	平成17年 9月 22日	0.90 (895)	0.87 (864)	3.21×10^{-6}
			0.86 (860)		
			0.84 (837)		
	28	平成17年 10月13日	2.03 (2029)	2.21 (2214)	4.46×10^{-7}
			2.29 (2289)		
			2.32 (2323)		

表-3 ボーリングコア品質管理結果

施工日	材 齢	試験日 (日)	供試体採取深度	一軸圧縮強度 N/mm^2 (kN/m^2)	透水係数 (cm/s)
平成17年 10月19日	28	平成17年 11月16日	1 GL-2.20~2.50m	1.03 (1030)	7.18×10^{-7}
			2 GL-3.70~4.00m	1.50 (1495)	6.51×10^{-7}
			3 GL-4.10~4.40m	1.58 (1575)	4.96×10^{-7}
平成17年 9月 16日	61	平成17年 11月16日	1 GL-2.20~2.50m	3.49 (3486)	3.90×10^{-8}
			2 GL-3.60~3.90m	3.16 (3159)	2.11×10^{-8}
			3 GL-4.20~4.50m	3.21 (3208)	1.63×10^{-8}

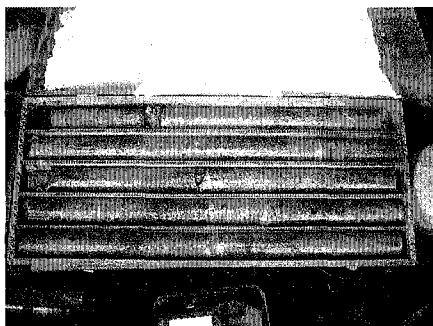


写真-3 ボーリングコア

以上の結果より、ウェットサンプリングおよびボーリングコアは一軸圧縮強度、透水係数とも要求品質を満足していることを確認した。

c) 本施工

本工事では平面的なコーナー部での施工が多く、従来の等壁厚ソイルセメント工法では段取り替えなどの手間が発生していたが、CSM工法では1エレメント2.4m(BCM5)の壁を鉛直方向に造成するため、コーナー部での施工や掘削深度の変化点においても施工ロスを発生させずに施工することができた。

また、工事完了後のチェックボーリングによる品質試験の結果から、すべての計測点において要求品質が確保されていることを確認した。

(2) 吊り下げ方式(BCM10)の事例

a) 試験施工の目的と概要

吊り下げ方式(BCM10)のCSM工法の施工能力および造成された壁体の品質を確認し、新しいソイルセメント地中連続壁工法の確立を目的として試験施工を実施した(写真-4参照)。

施工時期:平成17年4月~平成17年6月

工事内容:壁厚0.64m 深度40m

施工延長 8.0m(図-4参照)

土質条件:砂質土 N値 20~50

粘性土 N値 10程度

主要確認項目

掘削精度:1/250以下

要求品質:一軸圧縮強度 $0.6N/mm^2$ 以上

透水係数 $1 \times 10^{-6}cm/s$ 以下



写真-4 施工状況

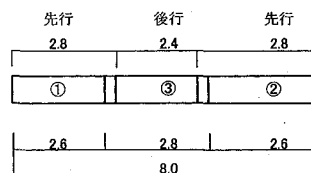


図-4 エレメント平面図

b) 試験施工結果

鉛直施工精度について

先行エレメント②におけるカッターユニットに内蔵された傾斜計の変位計測結果は、40mの施工深度においてx(壁平行)方向では最大69mm, y(壁直角)方向では最大18mmとなった。原位置土攪拌混合ソイルセメント壁の一般的施工精度の1/150~1/200程度に対して、それぞれ1/580及び1/2200と高い施工精度が確認できた。これらの計測結果は機械の運転席に取り付けられたリアルタイムモニターにより確認した。

一軸圧縮強度と透水係数について

一軸圧縮強度と透水係数については、従来からあるソイルセメント壁工法と同様の配合を設定しており、ケリーバー方式の実工事の実績からも問題はないものと考えられたが、後行エレメント③において、コアボーリングを行い、造成されたソイルセメント壁の要求品質の確認をおこなった。

その結果、一軸圧縮強度については、深度方向で多少のばらつきが見られたが、要求品質($0.6N/mm^2$)

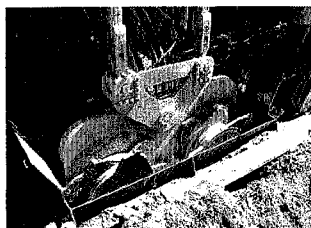


写真-9 施工状況

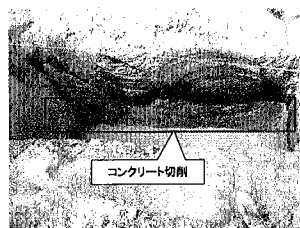


写真-10 掘削完了後

e) 排泥量削減システム

試験施工ではパウアーマシーネン社（独）が開発した排泥量削減システムを使用した。このシステムは、掘削攪拌に使用した排泥を、振動ふるいにかけて、土砂と、ベントナイト泥水やセメントスラリーに分離し、その流体を再度、掘削攪拌に使用することにより、排泥量を削減するものである。

今回は、掘削液（ソイルセメントの造成を行わないため、セメント分は含まない）を対象として本システムを適用したが、掘削攪拌土量に対して約30%の土砂を排出し、残りの泥水は再利用された（写真-11参照）。

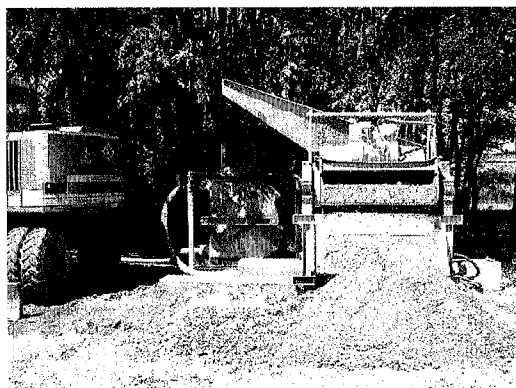


写真-11 振動ふるい

本システム（例：ベントナイト泥水）のフローを図-7に示す。

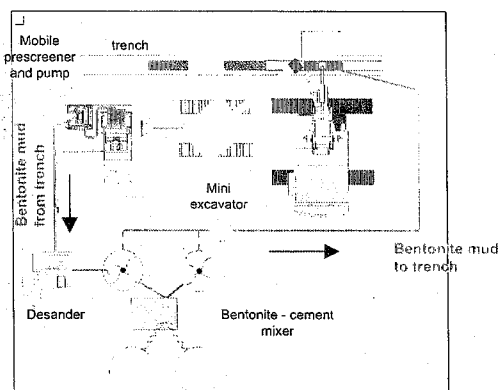


図-7 排泥量削減システム フロー図

4. おわりに

ソイルセメント壁に関する技術は、精度の確認方法や排泥量の削減技術などの面で新しい関連技術が開発され日々進歩してきている。CSM工法は、国内において平成18年9月末までに試験施工（5件）、建築土木工事の土留め壁、廃棄物処分場の遮水壁等、12件の施工実績を有している。また、本技術は新技術情報提供システム（NETIS）に登録（登録番号：KT-050014）されており、今後もソイルセメント地中連続壁の新技術として、土留め壁、遮水壁、地下ダム本体、さらには地盤改良への適用も視野に入れ、更なる普及・発展を目指している。