

# 10. 地盤に適合したスラリー供給によるソイルセメント柱列式地下連続壁の施工

佐藤工業(株) : \*瀬谷 正巳、花田 行和、前田 幸男

## 1 はじめに

ソイルセメント柱列式地下連続壁（SMW）工法は、土とセメントスラリーを原位置で混合・攪拌し、地中に壁体を造成する工法であり、高い遮水性が得られる、周辺地盤に対する影響が少ない、多目的利用が可能である、などの特徴から、遮水性山留め壁、耐土圧構造物及び止水壁などの用途で広範に用いられている。

SMW工法の施工において、注入スラリーの配合は、土質の変化に関係なく、通常、深度方向にW/Cを一定としている。地盤性状が砂礫一粘土のように変化する場合には、遮水性や強度の低下が懸念される砂礫層などを対象にW/Cを低めに設定し、粘性が増加し混練性が懸念される粘土層に対しては、W/Cを高めるのではなく、注入量を増やすことにより水分を付加することで混練性を高め対応している。このような場合、粘性土地盤での注入量の増加は、セメントのロス、産廃となる排出汚泥量の増加が伴う。このため、深度方向の配合制御（W/Cの制御）の実現が望まれたが、従来のスラリー作成方法はバッチ式であり、また、連続的にW/Cを制御するためには設備が複雑になるため、深度方向にW/Cを制御することは行われなかった。

本報告では、火力発電所灰埋立地の鉛直遮水壁工にSMW工法を採用した工事において、試験的に導入したW/C制御システムの事例とともに、併せて、排出汚泥の減量・再利用を図るプラント（余剰ソイルセメント再利用システム）の適用事例について紹介する。

## 2 工事概要

管理型廃棄物処分場の構造が要求される灰埋立地では、高い遮水性（表-1 要求品質参照）が要求される。SMWの遮水壁への適用事例は、ダム堤体下部止水や地下ダムなどではあるが、処分場や環境関連への適用例は余り多くなく、大規模な工事例はなかったといえる。

建設予定地は、旧海底面まで約20mを砂質土（山砂）で埋立てた海上埋立地であり、旧海底面下は、古い年代の溺れ谷があり、局所的に土質の変化が著しい複雑な地盤となっており、また、改良範囲の大部分を占める埋土層も粒度の変化が大きく、局所的に砂礫あるいはシルトがレンズ状に堆積している層が認められる（図-1 埋土層粒度分布参照）。<sup>\*1)</sup>

表-1 遮水工の要求品質

項目	規定値または設定値
遮水壁の厚さ	50cm以上
遮水壁の透水係数	$1 \times 10^{-6}$ cm/sec以下
不透水性地盤の透水係数および層厚	$1 \times 10^{-6}$ cm/sec以下 かつ層厚5m以上
不透水性地盤への根入長	泥岩層(Tg) : 1.0m以上 沖積粘性土層(Ac2) : 2.5m以上
目標一軸圧縮強度	300kN/m <sup>2</sup> 以上

### 準拠基準

- ・廃棄物の処理及び清掃に関する法律（平成11年6月施行）
- ・一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令（H.12.1.14改正）
- ・廃棄物最終処分場使用前検査マニュアル（H13.6.1発行）

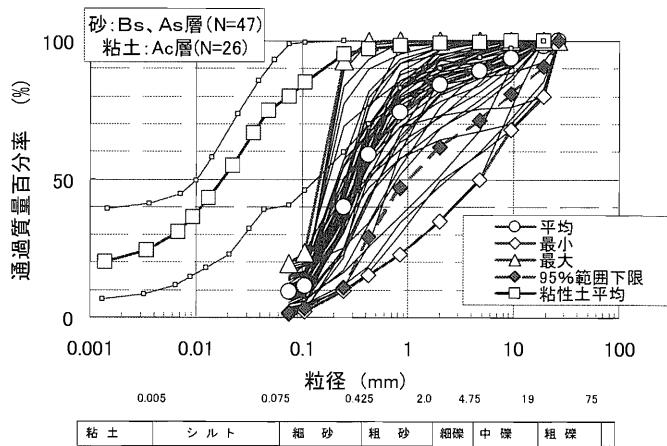


図-1 埋土層粒度分布

このような広範囲な粒度分布を示す埋土層・沖積砂層に対し、また、要求品質確保が懸念される粘土分が少ない層や礫分が多い層に対し、さらに、遮水性能確保の確認、粒度が及ぼす影響に対して事前検討を行い、スラリー配合を設定した（表-2 施工時配合）。

施工は、完全ラップとし、鉛直精度の施工実積（0.5%以下）を考慮し、規定値の壁厚50cm以上を確保するために改良良径φ850mm、設計最小壁厚を602mmとした（図-2）。改良深度は、根入れ部の不透水層となる泥岩層、沖積粘土層の深度を地質調査結果より確認して定めた。

以下に本工事の工事概要を示す。

工事件名：常陸那珂火力発電所1号機新設工事  
のうち灰埋立遮水工他工事

工 期：平成14年2月1日～14年10月31日

柱体形状：φ850 mm×深さ18.0m～38.0m

柱列延長：1,680m（東西490m×南北350m）

壁側面積：41,954 m<sup>2</sup>（1404セット）

### 3 W/C制御システム

#### 3.1 開発の背景および目的

ソイルセメント地中連続壁工法においてセメントスラリーの配合はソイルセメントの品質条件に基づいて決定されるが、一般的には土質の性状に従って、表-3の配合<sup>\*2)</sup>が標準とされている。

しかし、土質性状が深度方向に変化するような砂礫-粘土の2層から成る地盤を改良する場合では、粘土層に合わせて高W/Cの配合を用いると、砂礫層の強度不足や遮水性の低下が問題となり、反対に、砂礫に合わせて低W/Cの配合を用いると、粘土層の粘性増加による混練性が低下し混合し切れなかった粘土塊が残留するなど改良体が不均質となる不具合（遮水性の低下）が懸念される。

このような場合、土質の変化に関係なくW/Cを一定とする従来の方法では、セメント添加のため粘性が増加して混練性が問題となるため、粘土層に対しては、スラリー注入量を増加させ、スラリー中の水分を増加（付加）させることで粘性を低減させるか、あるいは攪拌効率を上げるために貫入・引上げ速度を低減するなどの対処を行っていた。しかし、このような方法では、地山条件に最適の配合となっていないため品質が懸念され、セメント量のロス、排出汚泥量の増加、施工効率（歩掛）の低下などが問題となる。

このため、注入スラリーの配合（W/C）を任意に変えることが望まれるが、これまでのスラリーの作成方法はバッチ式であり、配合を変更することは困難であった。また、水、セメント、ベントナイトなどを連続的に計量制御することはプラント設備が大がかりとなり実用的とは言えなかつた。

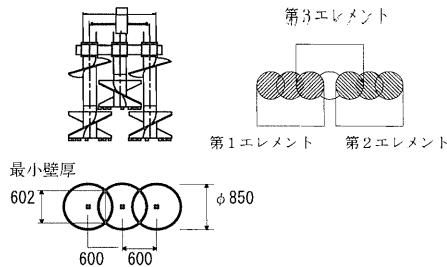


図-2 遮水壁形状およびラップ方法

表-2 施工時の（1m<sup>3</sup>当たりのスラリー）配合

地山	セメント	ベントナイト	混練水	w/c	注入量
m <sup>3</sup>	kg	kg	kg	%	リッ
1	330	20	594	180	700

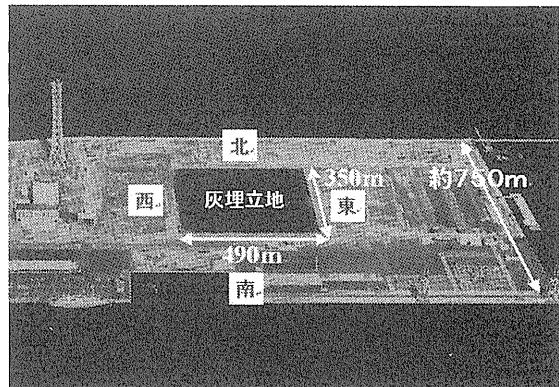


写真-1 現場全景

表-3 セメントスラリーの標準配合

土 質	粘 土	砂	礫
セメント添加量 地山1m <sup>3</sup> 当り	多 300 kg程度	中 280 kg程度	少 250 kg程度
W/C（濃度）	薄（高） 200～300%	中 200～250%	濃（低） 150～250%
ベントナイト添加量 地山1m <sup>3</sup> 当り	少 5 kg程度	中 10 kg程度	多 15 kg程度
スラリー注入量 地山1m <sup>3</sup> 当り	多 700～850 リッ	中 655～795 リッ	少 588～713 リッ

### 3.2 システムの概要

本システムは、SMWを施工する際に、低W/Cスラリー（高濃度）を最初に作成しておき、地盤性状の変化に応じながら別ラインで必要量の水を加水し深度方向にW/Cを連続的に制御することによって、壁体品質の向上、セメントトロス量の低減、排出汚泥量の削減、施工効率の向上などを図るものである。

本システムは、図-3、写真-2に示すように、原液となる高濃度スラリーの貯留タンク、濃度調整用の水の貯留タンク、流量を調整できるスラリー吐出ポンプ、流量を調整できる加水ポンプ、高濃度スラリーおよび水の流量を制御する制御盤、高濃度スラリーと水を混合するためのY字管（必要に応じてラインミキサーを設置）から構成され、原液スラリー吐出ポンプおよび加水ポンプの吐出流量を計測しながら、その結果をフィードバックして所定配合となるように各ポンプの流量を制御することで、任意の配合・量の注入スラリーを連続的に得ることができる。

本システムの主な特徴を以下に示す。

- ・スラリー配合・注入量の容易かつ連続的な可変制御
- ・地山の性状に適したスラリーを使用することによる、施工品質の向上
- ・注入スラリー量の適正化による、スラリー材料費・排出泥水量の低減
- ・原液スラリーの高濃度化による、作泥槽および付属設備のコンパクト化
- ・原液スラリー濃度を固定することによる、計量装置の構造などの簡略化

### 3.3 W/C制御状況

試験的に実施したW/C制御は、原液スラリーW/C=150%を所定深度で、W/C=160、170、180、200%となるように行った。各ケースの設定深度に対するW/Cおよび加水率を表-4、表-5に示す。また、西-40のケースの深度、注入量の記録を図-4に示す。

なお、注入プラントは2セット用い、各設定W/C時の流量は、原液スラリー吐出量（=487L/min）×（1+加水率）であり、同図中の流量は1セット分を示している。同様にミルク+水は原液スラリーと加水の各流量の和を、掘削機流量はY字管混合後の流量を示し、おのおの1、2は2セットのプラント番号を示している。

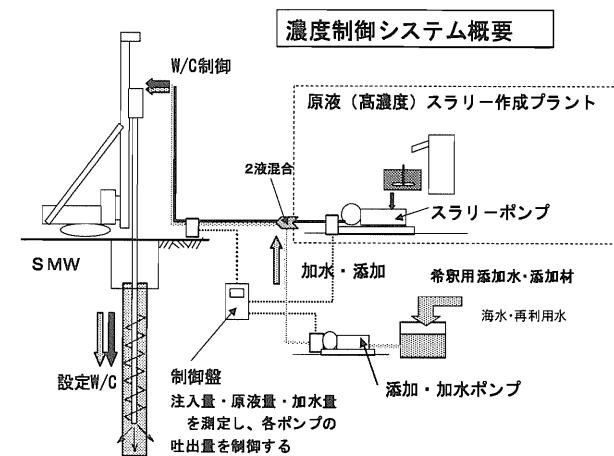


図-3 注入スラリーW/C制御システム概要

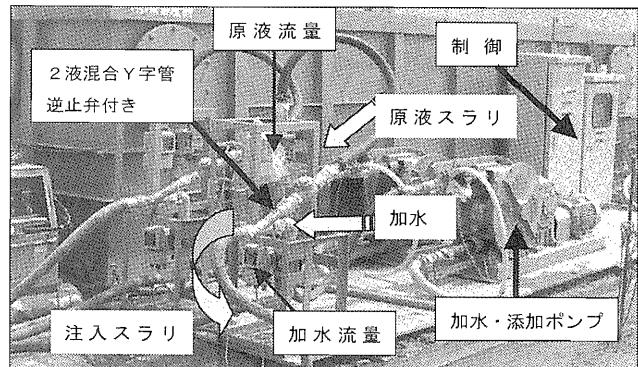


写真-2 W/C制御システム (加水・添加ポンプ部)

表-4 各ケースの設定深度に対する設定W/C

深度(m)	No.		
	西-40	西-38	西-34
0～15(21)m	170%	160%	170%
15(21)～26.5m	180%	200%	200%

表-5 設定W/Cに対する加水率

	設定W/C			
	160%	170%	180%	200%
原スラリーW/C=150%に対する設定加水率	5.4%	10.8%	16.2%	27.0%
施工実績加水率	5.4%	11.0%	15.4%	-

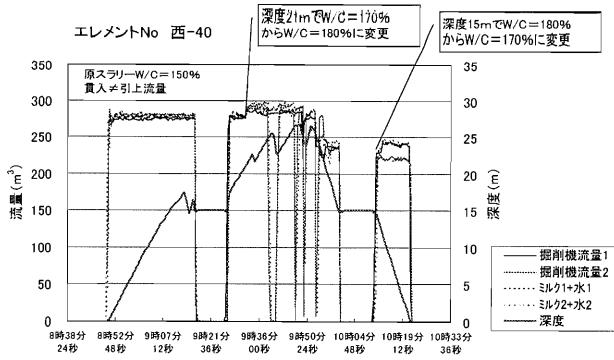


図-4 実施事例（深度、注入量記録）

表-5 に示したように加水率は、設定W/C=170%までは設定と実績が一致しているが、W/Cの増加とともに差が認められる。W/C=200%のケースはポンプ吐出能力の不足のため、実施しなかったが、高吐出能力のポンプを使用すれば設定加水率を満足できたと考えられる。

図-5に各W/Cのケースに対する施工直後の改良体から採取した（深度7.5m）試料の含水比を示す。同図に示すように設定W/Cに対応して改良体の含水比が変化していることがわかる。

### 3.4 品質管理結果

本工事の品質管理試験結果として、採取深度と透水係数の関係および透水係数管理図を図-6、図-7に示す。

施工初期の西面施工時の28日材令における透水係数  $k_{28}$  が若干大きく基準値に僅かに満たないものの材令90日では、 $10^{-7}$ オーダー以下を示し、管理値を満たしていることが確認できる。図-6をみると、溺れ谷があり土質変化の激しい西面でバラツキが認められるものの  $k_{28}$  と採取深度の関係は、相関が余りなく、平均的に深度方向の品質の変化は少ないといえる。

今回、W/C制御システムを使用した施工では図-7に示すようにNo. 西-34～40において適用したが、透水係数については他の箇所と同等の品質が得られた。

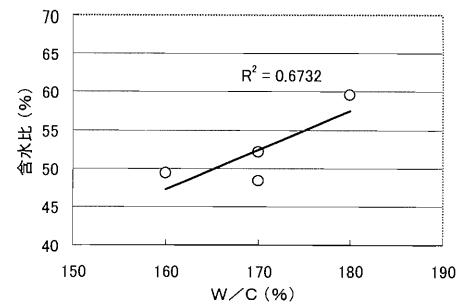


図-5 W/Cと含水比

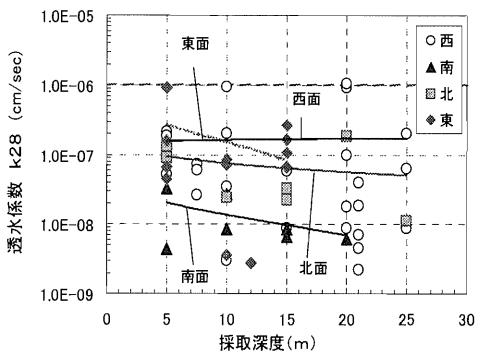


図-6 採取深度と透水係数の関係

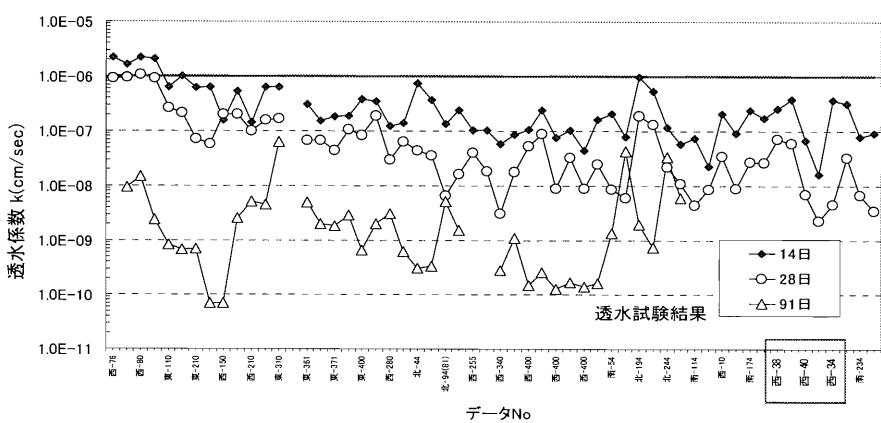


図-7 透水係数管理図

## 4 余剰ソイルセメント再利用システム

### 4.1 余剰ソイルセメント再利用システムの概要

余剰ソイルセメントの再利用システムは、産廃扱いとなるSMW排出スラリーをリサイクルプラントで泥水（再利用分：微粒分+セメント分）と土砂（粗粒分）とに分離し、微粒分とセメント分を含む廃泥水を再利用液として、注入スラリーを作成する際の混練水の一部に使用し、再び地盤内へ注入するものである。

排出汚泥の粗粒（砂）分（ $75 \mu\text{m}$ 以上）を分離（残土化）し、残りの水分・細粒分を多く含む余剰スラリーを再び地盤内に注入することで排出汚泥（産廃）の減量化を図り、再利用分に含まれるセメント・微粒分により、改良体品質の向上を図るものである。同システムの概要を図-8、写真-3に示す。<sup>3), 4)</sup>

処理の流れは以下のとおりである。

#### ①排出スラリーをポンプで排泥スラリー

一貯留槽介して、振動フライ上（フライ目大）に送る。

②フライ通過分は、1次サイクロンへ圧入され、粒径の大きなサイクロンアンダー一分と粒径の小さなオーバー一分に分級され、アンダーは振動フライ（フライ目中）へオーバーは2次サイクロンでさらに分級され、水分・微粒分のみとなるオーバー一分は再利用分として貯留される。

③フライ残留分は、粗粒土（低含水比：砂分、残土扱い）として利用・処理する。

④再利用分は、注入スラリー作泥プラントへ送り、再び土中へ注入する。

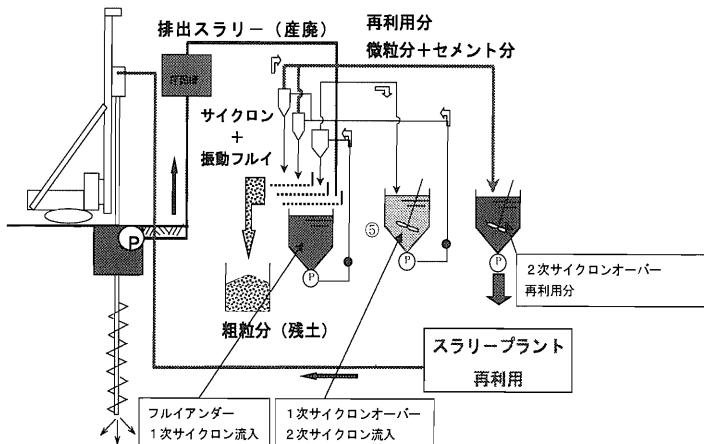


図-8 余剰ソイルセメント再利用システムの概要

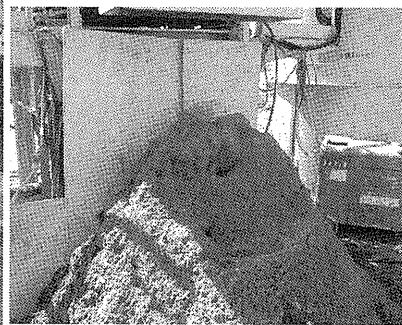
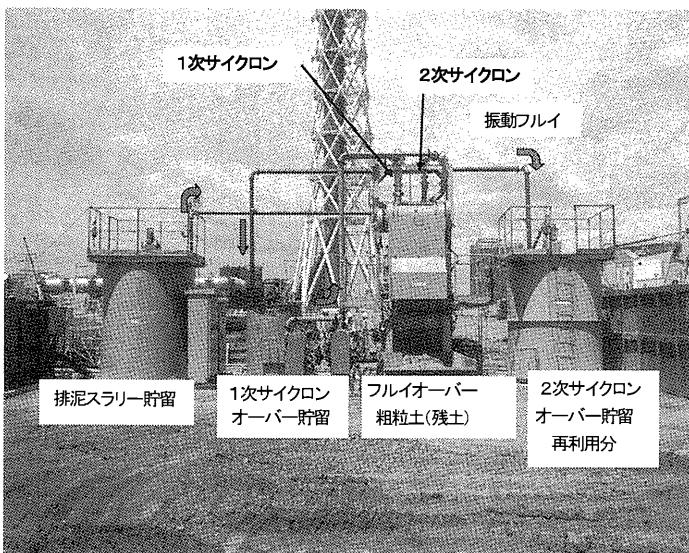


写真-3 余剰ソイルセメント再利用システムの概要と振動フライ排土状況

## 4.2 余剰ソイルセメント再利用システムの分級結果

余剰ソイルセメントの再利用システムによる分級の各処理過程における粒度分布状況を図-9に示す。

同図より、2次サイクロンまでの分級手段を経ることによって、粒径  $75\mu\text{m}$  を超える粗粒（砂）分の大部分を分離することが出来、粗粒分を分離した後の2次サイクロンオーバー分については再利用水として十分に再利用可能なことが分かる。また、比重1.6～1.7の排出スラリー（原水）は、2次サイクロンオーバー（再利用水）では、比重1.01～1.05になることが確認された。本工事の改良対象地盤の大部分は、埋立土（砂質土）であり、細粒分が比較的少なかったため、本システムの分級効果は高くなつたといえる。

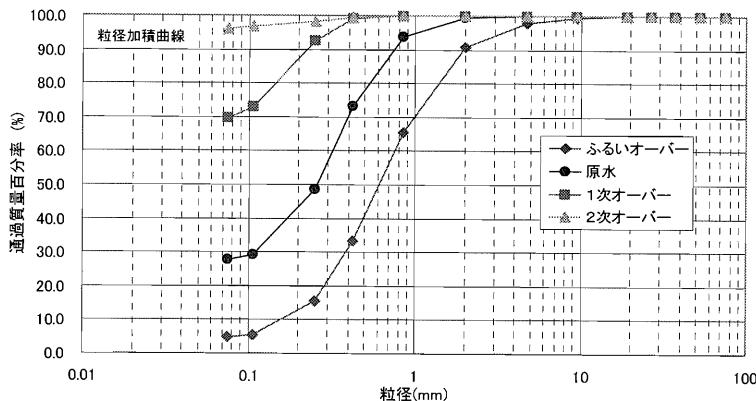


図-9 再利用システムの各処理過程における粒度分布状況

## 5 おわりに

本工事で試験的に導入したW/C制御システムについて、その基本的な機能を確認することが出来た。今回の施工では、原液スラリー吐出量一定条件で実施したため、W/C制御の加水量に応じて注入量が変化したが、注入量一定（原液スラリー吐出量可変）条件も流量計一ポンプ吐出量制御方法を変えることで容易に対応可能であり、単純なシステムで任意の配合・注入スラリー量の制御が可能となると考えられる。

余剰ソイルセメント再利用システムについては、砂質系地盤における有効性が確認された。今後は、同システムの再利用水をW/C制御システムを用いて連続的に稼動・制御させる方法の機能を付加させたシステムの構築などと併せて、高品質・コストダウンを目指し、実用化に向けて開発を進める予定である。

なお、管理型処分場の構造と同等の構造が要求される火力発電所灰埋立地の遮水工において、SMW工法による鉛直遮水壁を施工した本工事では、改良対象地盤の物性の変化が著しく、一部、砂礫層の遮水性能が懸念されたが、事前の配合検討と施工中の品質管理を適切に行うことによって、高い遮水性能の品質を満足することが出来た。

最後に、配合検討から施工に際して、ご指導頂きました東京電力株式会社常陸那珂火力建設所の皆様に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 柏木, 安部, 前田 : SMW工法による産業廃棄物処分場遮水工の施工と品質管理, 電力土木 No. 303, 2003. 1, pp. 50-54
- 2) SMW協会 : SMW連続壁ソイルミキシングウォール標準積算資料 [設計・施工・積算編], 平成11年4月版, pp. 87
- 3) 大浦, 福田 : ソイルセメント柱列壁造成における余剰液再利用 -リサイクルプラントの開発-, 佐藤工業研究所報 No19, pp131-137, 1993,
- 4) 公開特許公報 特願平3-303087 特開平7-1439, 余剰ソイルセメントの再利用プラント, 公開H7. 1. 6