

# 流動化剤を用いた泥土削減ソイルセメント地中連続壁工法

- 環境負荷低減型地中連続壁 ECO-MW 工法 -

森 忍\* 諸橋 義之\*\*

## 1. はじめに

国土交通省の『土木工事標準積算基準』に掲載されている工法に、ソイルセメント地中連続壁（柱列式）工法（以下、ソイルセメント連続壁）がある。

SMW 工法<sup>①</sup>に代表されるこの工法は、土とセメントミルクを混合攪拌しソイルセメントを造成後、H形鋼を挿入して連続性のある土留壁体を構築するものである。

2000年6月に「循環型社会形成推進基本法」が施行され、環境負荷の低減を目的とした循環型社会の形成についての基本原則が定められた。「循環型社会」とは、第一に廃棄物の発生量の抑制、第二に排出された廃棄物の資源としての再利用、最後に利用不可の廃棄物のみ適正処分することで、環境負荷の低減と天然資源の消費抑制が実現された社会をいう（以下、3R 政策）。

「循環型社会形成推進基本法」の個別法のひとつとして、「グリーン購入法」が制定され、2010年には、特定調達品目として「泥土低減型ソイルセメント柱列壁工法」が追加された。

近年では「地球温暖化対策基本法案」の閣議決定など、社会全体として環境負荷低減が促進されている。

## 2. 開発経緯

ソイルセメント連続壁工法は、経済性と品質の観点から採用実績も多い一方、発生する建設汚泥（以下、泥土）は、環境負荷原因のひとつともいわれ、CO<sub>2</sub>排出量の削減を含めて減量化が求められている。

スクリー先端からエアとともにセメントミルクを注入しながら、地盤を削孔混練してソイルセメント壁体を造成する施工方法のため、基本概念としては、セメントミルクの注入量と同程度の泥土が発生する。（図-1）

各種の泥土低減技術は、この点に着眼したものが多く、低減手法は、化学手法による技術、注入手法による技術、機械分離手法による技術の他、これらの複数技術を組み合わせた手法に大別される。

このような背景のなか、3R 政策の第一項目の“発生を抑制する”という開発コンセプトのもと、泥土減量化の技術開発に取り組み、環境負荷低減型ソイルセメント連続壁工法「ECO-MW（エコエム - ダブリュウ）工法」を開発した。

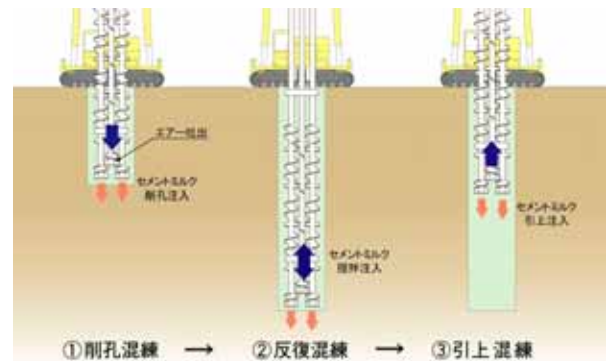


図-1 ソイルセメント連続壁工法の施工順序

## 3. 工法概要

ECO-MW工法は、本工法用に開発した高性能流動化剤「アロンソイル」を用いてソイルセメント連続壁造成時のセメントミルク注入量を抑制することで、泥土発生量を低減する工法である。

これは、“化学的手法によるリデュース”をコンセプトとする技術と位置づけられる。

### 3.1 技術概要

“リデュース”をコンセプトとするECO-MW工法は、リユースやリサイクルによる環境負荷低減技術とは、低減する技術手法が異なる。

アロンソイルを添加したセメントミルクを使用することで注入量を抑制し、従来型ソイルセメント連続壁工法（以下、従来工法）と同等以上の品質と施工性を確保しながら、産業廃棄物である泥土発生量を大幅に低減する技術である。

### 3.2 高性能流動化剤アロンソイル

アロンソイルは、2種類の分散剤（A剤、B剤）から構成される。

アロンソイルA剤（液体）B剤（粉体）の外観および物性を写真-1と表-1に示す。

A剤はセメント粒子および土粒子に対して高い分散性を発揮する。また、セメント粒子に対して凝結遅延性を示すため、ソイルセメントの流動性を一定時間保持する効果を有している。粉体であるB剤は、土粒子に対する高い分散効果と一定時間経過後のセメントに対する凝結促進効果を有している。

\*MORI shhinobu

成幸利根(株) 技術開発部 上席マネージャー

大阪市北区西天満 5-1-9

\*\*MOROHASHI yoshiyuki

ECO-MW 工法協会 事務局長

東京都港区西新橋 1-14-1



写真 - 1 アロンソイル外観

表 - 1 アロンソイルの物性

	アロンソイルA	アロンソイルB
外観	淡黄色透明液体	白色粉末
成分	ポリカルボン酸塩	無機化合物
固形分	43±2wt%	100%
比重	1.25~1.35	2.50~2.55
pH	7~9	-
機能	セメント/土粒子の分散 セメントの凝結遅延性	土粒子の分散 セメントの凝結促進

図 - 2 に、セメントと土粒子の分散モデルを示す。アロンソイルは、団粒状態を個々に分散させることにより、低粘性（流動性）の維持とその高い分散状態のもとでセメントを凝結させる効果を発揮する。

そのため、造成時のセメントミルクの注入量を抑制してもソイルセメントを一定時間流動化させることができ、従来工法と同等以上の止水性に優れた均質で強度の高いソイルセメント壁体を造成できる。

最大の特徴は、A剤とB剤を併用した2剤混合型の流動化剤であるということである。2剤混合型とすることで、従来型の流動化剤では効果にバラツキが生じるような複合地盤への適応も可能である。

すなわち、土質や施工条件に応じてアロンソイルA剤、B剤の使用量や配合比率を調整することで、あらゆる地盤で最適な効果を発揮する。

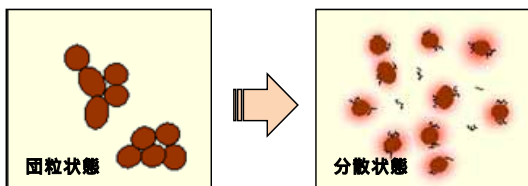


図 - 2 分散モデル図

### 3.3 発生泥土低減の概念

図 - 3 に注入量と泥土発生量の比較モデル図を示す。

従来工法は、品質と施工性確保のため、セメントミルクを比較的多量に注入する必要があり、注入量と同等以上の泥土が発生する。

一方、ECO-MW工法では、アロンソイルの効果により、少ない注入量での施工が可能である。従来工法の50～60%程度の低注入量での施工が可能のため、泥土発生量

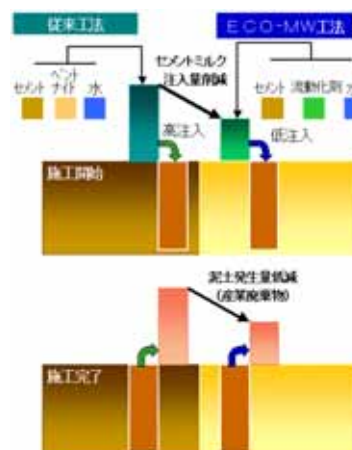


図 - 3 注入量・泥土発生量比較

も従来工法の50～60%程度にまで低減できる。

### 3.4 工法の特長

ECO-MW工法の3大特長を示す。

#### (1) 環境に優しい。

泥土発生量を従来工法の50～60%に低減できる。工事用車両の通行量減少に伴い近隣周辺への振動騒音や交通障害が緩和できる。CO<sub>2</sub>排出量を従来工法の50～60%程度に低減できる。

#### (2) 優れた経済性

使用材料（セメント・ベントナイト・水）を従来工法の50～60%程度に低減できる。泥土発生量低減に伴い処理費を大幅に低減できる。オーガスクリーパーと地盤との摩擦抵抗減少や攪拌性向上により、従来工法と比較して造壁時間の短縮が可能である。

#### (3) 卓越した品質

アロンソイルの分散効果によりソイルセメントが緻密化し、壁体強度および止水性が向上する。アロンソイルの優れた分散効果により、壁体均質性が向上する。ソイルセメントの流動性を一定時間保持できるため、応力材（H形鋼）の挿入がスムーズで建込み精度が向上する。

## 4. 施工

### 4.1 施工機械

ECO-MW工法は、従来工法と同等の施工機械を用いる。写真 - 2 に、施工機械の例を示す。



写真 - 2 施工機械の例

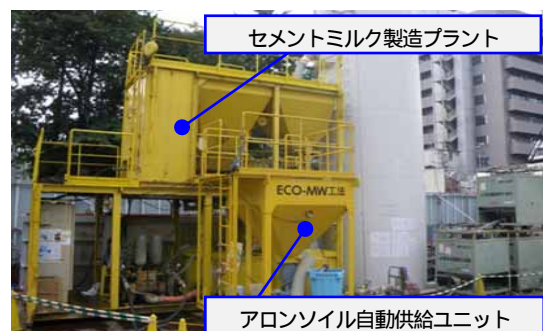


写真 - 3 アロンソイル自動供給ユニット

写真 - 3 は、従来型セメントミルク製造プラントにアロンソイル自動供給ユニットを設置した例である。この他、作業員が手動計量しアジテータに直接投入添加することも可能なため、従来工法と同等の製造プラントだけでも使用できる。

#### 4.2 施工手順

図 - 4 に、ECO-MW工法の施工手順を示す。

ECO-MW工法は、化学的手法による泥土低減技術であるため、材料管理やセメントミルクの注入量管理などの施工管理の他、施工時に必要な作業スペースも従来工法と同等であり、煩雑な施工手順や施工管理など伴わない。

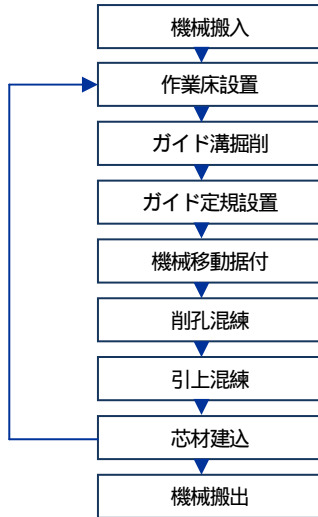


図 - 4 施工フロー図

#### 4.3 適用範囲と仕様

一般径型 ( 550 ~ 650mm ) と大口径型 ( 850 ~ 1,100mm ) があり、小規模土留から大規模土留壁設計の他、大深度土留設計時の大断面H形鋼 ( H900 × 300 ) の対応も可能である。また、適用深度は削孔径により分類され、一般径型では40m程度まで、大口径型では50m程度までが標準適用範囲である。

表 - 2 は、『ECO-MW工法 ( 柱列式 3 軸 ) 標準積算資料 平成24年2月版』に記載の仕様である。この他、一般径型の柱列式 5 軸タイプもある。

表 - 2 削孔径の標準仕様 ( 3 軸タイプ )

	削孔径 (mm)	平均壁厚 (mm)	軸間距離 (mm)
一般径	550	480	450
	600	538	
	650	593	
大口径	850	773	600
	900	828	
	1,000	911	700
	1,100	1,020	

#### 4.4 配合

表 - 3 に土質別の標準配合を、表 - 4 に従来工法の配合例を示す。表 - 3、表 - 4 より、ECO-MW工法による対象土 1 m<sup>3</sup>当りのセメント、ベントナイト、水量および注入率は、対象地盤の土質に関わらず、従来工法の約 50 ~ 60% であることがわかる。

配合計画時の留意点を以下に示す。

- ( 1 ) A 剤と B 剤の配合比率は 2 : 3 を標準とする。
- ( 2 ) 数日経過後の既施工部とのラップ部や先行削孔後など対象土にセメント分を含有する場合の施工では、配合比率の調整を行い最適な流動性を確保する。配合調整は、A 剤と B 剤の比率を 2 : 1 (アロンソイルの合計使用量は同一) とすることが多い。
- ( 3 ) アロンソイルは、削孔混練時のセメントミルクに対して添加することを原則とする。

表 - 3 ECO-MW 標準配合 ( 対象土 1 m<sup>3</sup> 当り )

土質	セメント (kg/m <sup>3</sup> )	ベントナイト (kg/m <sup>3</sup> )	アロンソイル		W/C (%)	注入率 (%)
			A 剤 (kg/m <sup>3</sup> )	B 剤 (kg/m <sup>3</sup> )		
砂礫	150	10	3	4.5	180~220	36%
砂	150	5	4	6	180~240	37%
シルト	160	0	5	7.5	200~260	43%
粘土	170	0	7	10.5	220~300	51%

※先行削孔併用時は、アロンソイルの合計使用量は同一で A 剤と B 剤の配合比率を 2:1 とする。  
※注入率は W/C の中間値により算出

表 - 4 従来工法配合例 ( 対象土 1 m<sup>3</sup> 当り )

土質	セメント (kg/m <sup>3</sup> )	ベントナイト (kg/m <sup>3</sup> )	W/C (%)	注入率 (%)
砂礫	250	15	150~250	59%
砂	280	10	200~250	73%
シルト	300	5	200~300	85%
粘土	300	5	220~300	85%

※注入率は W/C の中間値により算出

#### 4.5 施工能率と施工精度

写真 - 4 に ECO-MW 工法と従来工法の流動性の比較例を示す。



写真 - 4 流動性の比較

良好な流動性は品質の向上効果の他、混練スクリューの周面摩擦の低減効果も発揮する。このことは、オーガ負荷軽減や効率的なオーガトルクの伝達効果を生むため、従来工法以上の削孔混練能力が発揮できる。

さらに、オーガ負荷軽減は、削孔精度の向上効果としても表れ、標準的な施工精度も一般径型で 1/235 程度、大口径型で 1/270 (一般地盤・錐継ぎ無の場合) 程度と従来工法よりも大きく向上している。

#### 4.6 硬質地盤対応

硬質地盤の対応は、従来工法と同様に単軸スクリューによる先行削孔併用方式を採用する。先行削孔工の要否判断は、標準積算資料に記載の選定フローに準ずる。

当選定フローでは、前述した周面摩擦低減効果により従来工法と比較して、連続方式で施工可能な地盤条件の領域が拡大している。( 図 - 5 )



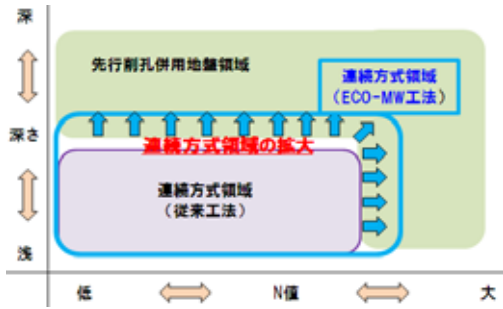


図 - 5 連続方式適用領域の拡大概念

## 5. 品質

### 5.1 強度

図 - 6 は、標準配合における現場採取ソイルセメントの強度傾向を示したものである。セメントミルクの注入量が低減されているにもかかわらず、従来工法と同等以上の強度品質が得られている。

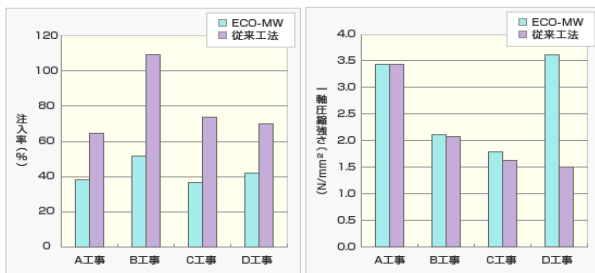


図 - 6 強度比較

### 5.2 流動性

図 - 7 は、現場採取ソイルセメントの流動性傾向を示したものである。従来工法の50~60%程度の注入量にも関わらずシリンダフロー値は、従来工法以上の高い値を示している。

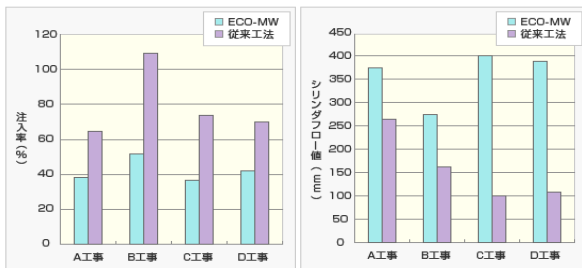


図 - 7 流動性比較

### 5.3 泥土発生率

図 - 8 に示すように、注入率と泥土発生率には相關傾向があり、ECO-MW工法の泥土発生率は、従来工法の50~60%程度となっている。

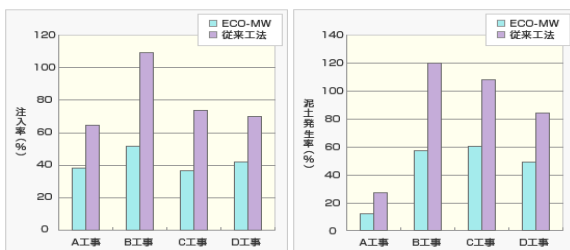


図 - 8 泥土発生率比較

### 5.4 CO<sub>2</sub>排出量削減

表 - 5 は、ソイルセメント連続壁工事において、施工対象土量10,000m<sup>3</sup> (粘性土と砂質土の互層)とした施工条件でECO-MW工法と従来工法のCO<sub>2</sub>排出量を試算

した例である。

CO<sub>2</sub>排出量は、ECO-MW工法が805.5 tで従来工法が1,391.9tとなり、約42%の削減が可能との結果が得られた。

表 - 5 土留壁工事でのCO<sub>2</sub>排出量比較

	ECO-MW工法	従来工法	
(1) 材料製造時のCO <sub>2</sub> 排出量	セメント	730.8 t	1,278.9 t
	ペントナイト	9.5 t	15.8 t
	アロンソイルA	5.8 t	-
	アロンソイルB	0.0 t	-
	小計CO <sub>2</sub> 排出量	746.1 t	1,294.7 t
(2) 材料運搬のための軽油量及びCO <sub>2</sub> 排出量	12.2 t	19.8 t	
(3) 施工時のCO <sub>2</sub> 排出量	0.1 t	0.1 t	
(4) 発生泥土運搬のための軽油量及びCO <sub>2</sub> 排出量	47.1 t	77.3 t	
合計CO <sub>2</sub> 排出量	805.5 t	1,391.9 t	
ECO-MW工法と従来工法とのCO <sub>2</sub> 削減率比較	586 t削減 (▲42%減)		

※アロンソイルB剤は、CO<sub>2</sub>吸収反応で製造するため、0.0 tとする。

## 6. 施工実績

平成25年3月末現在で、北海道から沖縄まで、関東・中部・近畿を中心に369件 (土留壁面積約143万m<sup>2</sup>)の施工実績がある。代表的な事例を簡単に紹介する。

### 6.1 工事概要

工事名称：田尻地区函渠その3工事

施工場所：千葉県市川市田尻5丁目地先

発注者：国土交通省 関東地方整備局

首都国道事務所 市川国道出張所

施工者：株式会社 鴻池組

土留数量：11,634m<sup>2</sup>

土留仕様：土留工法：ECO-MW 工法

(新技術の活用申請 - 施工者希望型 - )

850mm,ピッチ 600mm

1,000mm,ピッチ 700mm

ソイル長：Ls=43.0~43.6m

芯材長：Lh=25.5~37.5m

H-588×300×12×20,Lh=25.5~26.0m

H-700×300×13×24,Lh=26.0~37.5m

土質状況：土質柱状図参照 (図 - 9)

### 6.2 施工概要

従来工法では先行削孔併用方式が選定される硬質細砂層の地盤であるが、ECO-MW 工法では先行削孔が不要と判断した地盤である。

一般的に削孔径の拡大に伴い掘削の実効オーガトルクは小さくなる。

大深度施工に加えECO-MW 工法初の大口徑 1,000mmでの施工であり、非常に難易度の高い施工条件であった。



写真 - 5 施工状況

### 6.3 施工結果

#### (1) 施工性

オーガモータに過負荷が発生することもなく、スムーズな造成が可能であり、ソイルセメントの高流動性による削孔抵抗の低減効果が確認できた。

また、芯材の挿入性についても挿入不能な状況に陥ることなくスムーズな建込みが可能であり、ソイルセメントの流動性保持も良好であった。

#### (2) 品質

設計強度  $qu = 0.5\text{N/mm}^2$  に対し、現場採取ソイルセメント強度は  $qu = 1.5\text{N/mm}^2$  であり、透水係数も、 $K = 1.0 \times 10^{-6}\text{cm/sec}$  の設計目標に対し、 $K = 10^{-8}\text{cm/sec}$  オーダーの良好な結果が得られた。

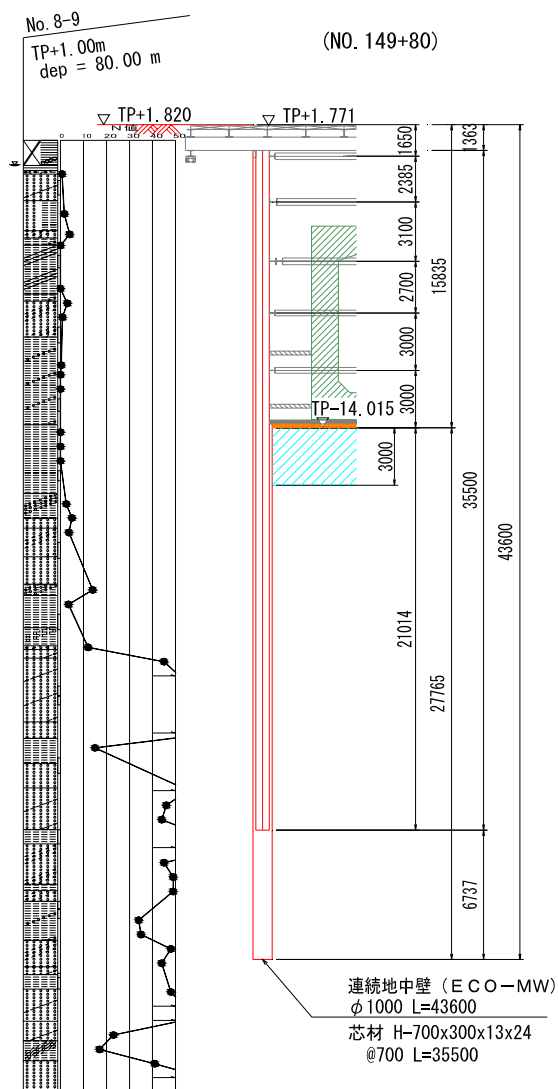


図 - 9 土質柱状図

### 7. おわりに

ECO-MW工法は、「経済性と品質」および「泥土発生量とCO<sub>2</sub>排出量の削減効果」が認知され、官民工事を問わず採用実績が急増している。

今後も会員各社の施工技術のノウハウを集約し、安全で安心できる施工管理技術の研鑽とともに高品質で信頼性の高い土留壁を提供できるよう施工方法の更なる改善を進めていきたいと考える。

本報執筆に際し、多大なご協力とご理解を頂いた株式

会社鴻池組並びに関係各位に対し、紙面をお借りして深謝する次第である。

#### 〔参考文献〕

- 1) 西田智一：報文 環境負荷低減型ソイルセメント連続壁工法の事例,基礎工,2005.5
- 2) 西田智一：環境負荷低減工法「ECO-MW 工法」の開発,建築コスト研究, 43,2003
- 3) 西田智一：環境負荷低減型ソイルセメント連続壁工法「ECO-MW 工法」の開発,土木建設技術シンポジウム 2004,土木学会論文
- 4) 谷川伸他：CO<sub>2</sub>削減型ソイルセメント地中連続壁工法,地盤工学会 土と基礎,2010.9
- 5) SMW 協会：SMW 連続壁標準積算資料[設計・施工・積算編] 平成 23 年 2 月版
- 6) ECO-MW 工法協会：ECO-MW 工法 (柱列式 3 軸) 標準積算資料 平成 24 年 2 月版
- 7) ECO-MW 工法協会：ECO-MW 工法 (柱列式 5 軸) 標準積算資料 平成 24 年 3 月版