

47. 泥土圧シールドの掘削土再利用における流動化処理システムの開発

佐藤工業(株)：*小林 拓, 花田 行和
大浦 修三

1. はじめに

「11号線本所工区土木工事」は、泥土圧シールド工法により地下鉄複線トンネルを製造するものであり、発生土の一部を、シールドトンネルのインバート材および停車場部埋め戻し用の流動化処理土として再利用するよう計画されている。

本工事では、従来行われてきた泥水シールドの余剰泥水を利用したシステムとは条件が異なるため、現場発生土の分析および配合試験を行うことにより、設備の選定を行った。

2. 配合計画

発生土インバート材と流動化処理土の要求品質は、「発生土インバート施工指針」「土木工事追加施工指針」に右表のように設定されており、これらの条件を満足するため、現場発生土による配合試験を行った。

表-1 要求品質

種類	一軸圧縮強度 (N/mm ²)	JHSフロー値 (mm)
発生土インバート材	6.0以上	規定無し (150以上)
流動化処理土	0.13~0.56 (0.2~0.4)	180~300 (180以上)

()は自主管理目標値

試験練り試料の採取深度により粘土の流動性が異なることを考慮し、現場配合は、要求品質を満足するケースの中から、泥土利用率が高く経済的に有利な配合を選定し、下表の配合とした。

表-2 現場配合

項目	含水比%	発生土 ρ=1.6t/m ³	セメントkg	水m ³	減水剤kg	安定剤kg
発生インバート材	170	0.42	430	0.43	4.3	4.3
流動化処理土	170	0.49	50	0.49	—	—

3. 施工計画

(1) 概要

流動化プラントは、泥土の受入から解泥、含水比調整(比重調整)工程までを1ラインとし、配合の違いによりセメントの混練、混和剤添加の工程から発生インバート材製造と流動化処理土製造を別々の2ラインとした。

① 施工数量

施工数量は下表の通りである。

表-3 施工数量

種類	施工場所	施工数量(m ³)	
発生土 インバート材	立抗部	480	7,150
	シールド部	6,670	
流動化 処理土	押上一工区	10,200	23,470
	押上二工区	13,270	

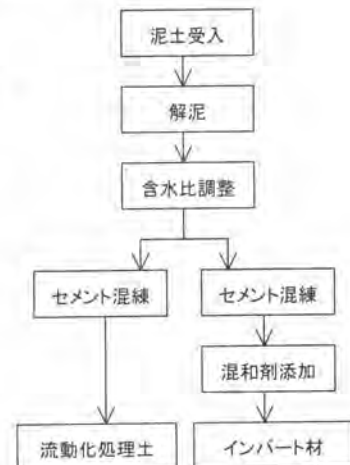


図-1 流動化プラントフロー

②施工条件

施工日数から1日あたりの施工量の平均を以下に示す。

なお、製造プラントの能力は、

(1日あたり施工量) × 120%として計画した。

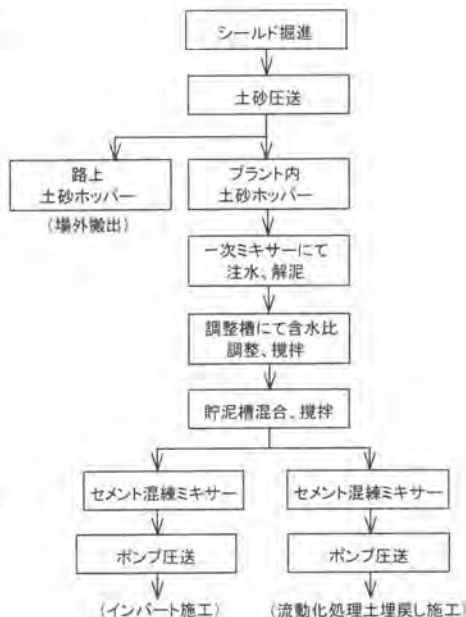
表-4 施工条件

種別	施工量 (m3)	施工日数	1日あたり施工量 (m3)
発生土インバート材	7,150	110	65
流動化処理土	23,470	130	180

(2) 施工フロー

シールド掘進から打設までの施工フローを右図に示す。

図-2 施工フロー図



4. 製造プラントの機種選定

坑内からポンプ圧送されてきた泥土は、圧送に要する水分を配管内周に保持しているが、内部は土塊のままの状態を維持している。

解泥ミキサーでは、使用する掘削土を均質な材料とするために、粘性土の溶解に適したミキサーの機種選定を行った。

また、セメント混練ミキサーの選定では、インバートおよび流動化処理土を設定配合に管理し、定量的に打設を行えるよう、溶解した泥土中にセメントおよび添加材を定量供給し、連続した混練に適したミキサーの機種選定を行った。以下に機種選定の実験結果を記す。

4-1. 解泥ミキサーの選定

<ミキサーの選定条件>

- ・掘削土の完全溶解
- ・溶解にかかる所要時間

<実験方法>

下表に示す3種類のミキサーを用いて溶解実験を行った。実験では、練り混ぜを10分間行い1分、2分、3分、4分、5分および10分後の練り混ぜ状況を観察し、泥水比重、JISフローを測定した。実験に使用した土は、当工区の土の性状に近い新浅草St作業所から採取した粘土質の土である。以下に使用した土の性状測定結果を記す。

採取場所	: 新浅草St作業所	
分類名、分類記号	: 粘質土 (CL)	・塑性限界 (Wp) : 54.4 %
・土粒子比重	: 2.685	・粒度: 2mm~75μm (砂分) : 29 %
・含水比 (W)	: 110.9 %	75μm~5μm (シルト分) : 35 %
・液性限界 (WL)	: 85.7 %	5μm以下 (粘土分) : 36 %

＜実験結果＞

表-5 実験結果

	Case1	Case2	Case3
ミキサー機種 (タイプ)	強制練りミキサー (バッチ式)	ブローシェアミキサー (バッチ式)	スパイラル・ピンミキサー (連続式)
実験の配合	＜実験条件＞ ① 生泥土のまま混練り(含水比W=110.9%) ② 練り上り泥水の含水比W=130% ③ // 含水比W=140%		
実験方法	練り混ぜを10分間行い、1分2分3分4分5分および10分後の練り混ぜ状況を観察(目視)した。また、泥水比重、JHS7ローも同時に測定した。		
実験結果 ＜練り混ぜ観察＞	・10分間練り混ぜても土塊(max.10cm程)が残った	＜生泥土の場合＞ 練り混ぜ5分までは土塊が残っていたが、10分経過後では全て解けた。 ＜含水比W=130%＞ 練り混ぜ5分で土塊が無くなった。 ＜含水比W=140%＞ 練り混ぜ3分で土塊が無くなった。	・土の供給が不連続であったため、所定配合での実験が行えなかった。 ・生泥土のみの練り混ぜでは(粘性が高いため)ミキサーが閉塞し、混練りが出来なかった。 ・しかし、加水を行えば均一に泥水がキシングされる。実験では、泥水比重1.325～1.385(含水比155～125%)
＜70値、比重＞	土塊を含むため値は参考値		
W=110.9%(生泥土)	70=81mm, ρ=1.395	70=84mm, ρ=1.400	70=114mm, ρ=1.385
W=130%	70=187mm, ρ=1.365	70=146mm, ρ=1.350	70=178mm, ρ=1.380
W=140%	70=288mm, ρ=1.345	70=272mm, ρ=1.340	

- ・強制練りミキサーの場合、土砂と水が混練槽内を羽根と共に回転し、長時間かけても土砂と水が完全溶解することはなかった。
 - ・ブローシェアミキサーの場合は、土砂と水が高速で回転する羽根で混合され、同時にミキサー内側部に配置されたチョッパーで土塊が剪断分散されることで、粘性の高い土砂であっても完全溶解が可能となる。
 - ・スパイラルピンミキサーの場合、土砂の粘性が低い時はミキシングに問題はないが、粘性が高いとピンの回転負荷が大きくなりロータが停止してミキサー内部に土砂が閉塞する恐れがある。
- 以上の結果から、ブローシェアミキサーが粘性土の溶解に適していると言える。

＜構造断面図＞

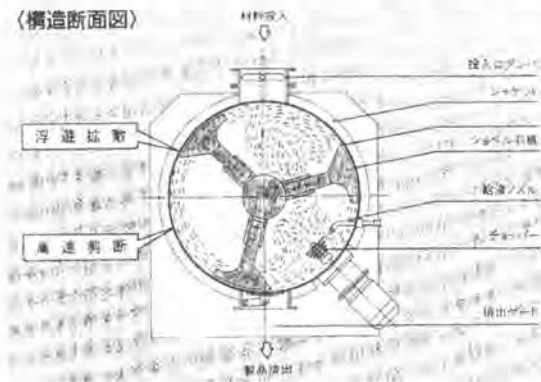


図-3 ブローシェアミキサーの構造

《ブローシェアミキサーの特徴とメカニズム》

- ・ブローシェアミキサーは、従来のミキサー能力である混合・混練という作用の他に、分散混合作用を兼ね備えた装置である。
- ・下図に示すように、独自の形状をしたショベル羽根により浮遊拡散を行うと同時に、多段式チョッパー羽根によって、高速せん断分散を効率よく行うもので、従来のミキサーでは困難とされていた『強力分散混合』を可能にした。

4-2. セメント混練ミキサーの選定

<ミキサーの選定条件>

- ・セメントおよび添加材の定量供給、連続した混練が行える。
- ・本工区の土質は、セメントと混練すると凝固が異常に早くなる性質を有しているため、混練装置には高レベルの攪拌効果が要求される。
- ・本設備は、駅部の構築内に設置するためコンパクトな装置が必要。

<実験方法>

固化実験では、流動化固化と直接固化の2種類の実験を行った。

流動化固化：溶解した泥水に固化材を添加する方式

直接固化：生泥土と固化材を混練りする方式

固化材の添加量は 500kg/m^3 と 1000kg/m^3 (外割) である。なお、使用した固化材は普通セメントである。実験では、処理土の流動性を高める目的で混和剤を添加した。混和剤はレオソイルC (ボゾリス) を使用し、添加量は 5kg/m^3 である。

なお、ミキサーで混練りされた処理土を採取し、JHS フロー値や強度を測定した。

以下に使用した土の性状測定結果を記す。

採取場所	押上二工区 16k785 GL-16m		
分類名、分類記号	粘土 (CH)	・塑性限界 (W _p)	: 37.6 %
・土粒子比重	: 2.675	・粒度: 2mm~75 μm (砂分)	: 11 %
・含水比 (W)	: 62.0 %	75 μm ~5 μm (シルト分)	: 37 %
・液性限界 (WL)	: 60.0 %	5 μm 以下 (粘土分)	: 52 %

図-4 実験方法

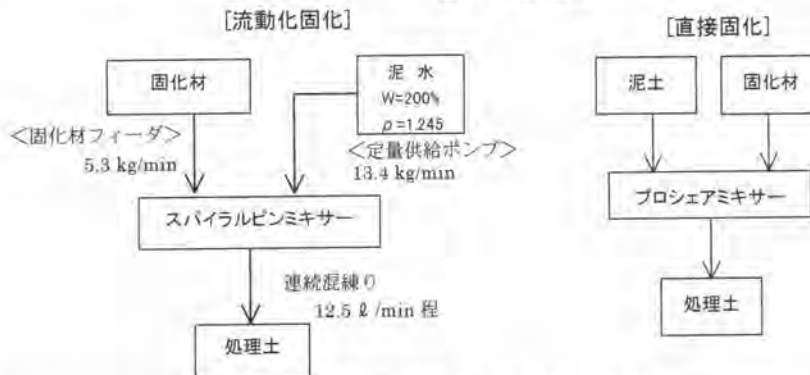


表-7 混練り時間、処理土の性状

実験条件	泥水の含水比 W	固化材の添加量 (kg/m^3)	混和剤		混練り時間	JHS フロー値	密度 (g/cm^3)	強度 σ_7 (kgf/cm^2)
			有 無	添加方式				
流動化固化	200%	500	無	—	連続	105mm	1.49	70.1
			有	前添加(*注1)	連続	166mm	—	—
			有	後添加(*注1)	連続	182mm	—	—
直接固化	80% 泥土(*注2)	500	無	—	1分	測定不能	1.377(*注3)	16.8
		1000	無	—	0.5分	測定不能	1.387(*注3)	10.5

(*注1)前添加は泥水に添加、後添加は処理土に添加して再度ミキシングした

(*注2)直接固化では、地山に加水した後の土を想定し、含水比80%の泥土を使用した

(*注3)供試体は空隙が多く均でないため、密度の値が低い結果となった

<実験結果>

流動化固化

- ・今回使用したスパイラルピンミキサー（公称能力 $1\text{m}^3/\text{h}$ ）の実質練り能力は $12.5\text{ l}/\text{min}$ ($0.75\text{m}^3/\text{h}$) であった。ミキシングの効率は 0.75 （実質能力/公称能力）である。（泥水含水比200%の場合）
- ・処理土のフロー値は、混和剤を添加しない場合で 105mm であるが、混和剤を添加すれば 166mm （前添加） 182mm （後添加）となり、混和剤の流動性の効果がみられた。
- ・混和剤の添加方法について、後添加が前添加と比べてフロー値が多少大きくなった。
- ・処理土の強度 σ_7 は $70.1\text{kgf}/\text{cm}^2$ であった。
（28日強度を想定すると $112\text{kgf}/\text{cm}^2$ となる（ $\sigma_{28} \approx \sigma_7 \times 1.6$ ））

直接固化

- ・ミキサーの [実質練り量] / [ミキサ公称練り容量] の比率は、 $0.26 \sim 0.31$ （平均 0.29 ）であった。
- ・ミキサーの練り時間（バッチ当たり）は、固化材添加量が $500\text{ kg}/\text{m}^3$ で1分、添加量 $1000\text{ kg}/\text{m}^3$ で 0.5 分であった。
- ・処理土の性状は、固化材添加 $500\text{ kg}/\text{m}^3$ では粘土状であり、固化材添加 $1000\text{ kg}/\text{m}^3$ ではパサパサもしくは粒状であった。
- ・処理土の強度 σ_7 は、 $500\text{ kg}/\text{m}^3$ 添加が $16.8\text{kgf}/\text{cm}^2$ 、 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ 添加が $10.3\text{kgf}/\text{cm}^2$ であり、固化材添加量が多いにもかかわらず強度が低い結果となった。
（28日強度を想定すると $500\text{ kg}/\text{m}^3$ 添加が $27\text{kgf}/\text{cm}^2$ 、 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ が $17\text{kgf}/\text{cm}^2$ ）

以上の結果から、スパイラルピンミキサーで粘性の高い泥水の固化が確実に行えることが明らかになった。

《スパイラルピンミキサーの特徴とメカニズム》

- ・それぞれ別個の投入口から供給された材料は、高速回転する分散ローター下部とミキシングローター上部との間隙より、薄膜状となって外周部へ攪拌される。
- ・攪拌された材料は、ミキシングローター上面部にスパイラル状に配列された一次分散用ピンによりせん断される。
- ・粗分散された材料は、渦流状に回転しているため、材料自身のもつ遠心力によって滞留し、その間、二次分散ピンによって激しいせん断力を受ける。

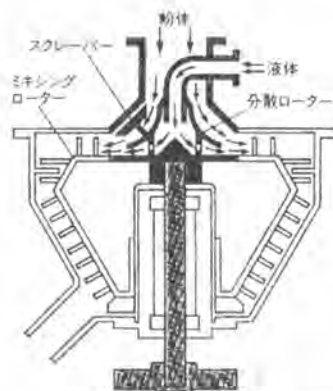
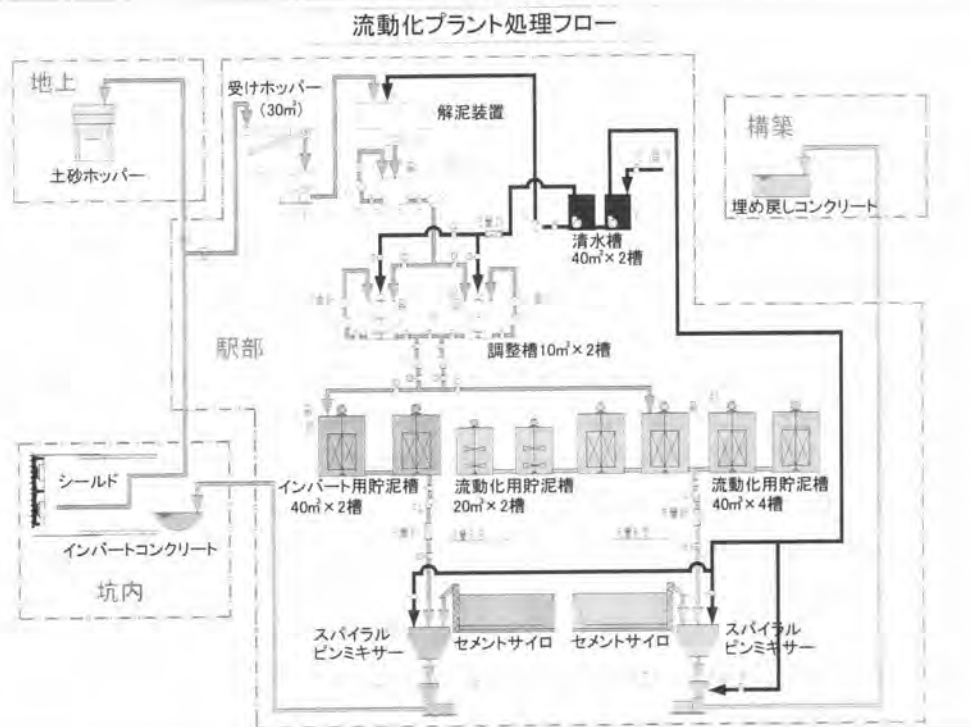


図-5 スパイラルピンミキサーの構造

5. 処理フロー

掘削土再利用設備の処理フローを以下に示す。



6. おわりに

泥土圧シールドより排出される泥土を利用した、インバート材および流動化処理土材の製造・打設設備を一連のシステムとして計画した。

計画に当たっては、現場採取土による試験練りを繰り返すことによって、強度および流動性に対する要求品質を確保し、さらに、泥土の利用率が高く経済的な施工が可能となるシステムを検討した。

本システムの特徴は、泥土を効率よく解泥・分散する装置としてプロシエアミキサーを採用し、さらに、高速でセメントと溶解泥土を強制的に混合するミキサーとしてスパイラルピンミキサーを採用し、泥土の再利用化に対応したことにある。

今後は、実施工において、掘削土の性状の変動時における配合調整や、各機器の連動性の検討を行い、システムの完成を目指すものである。