

◆ 下水道特集 ◆

小規模工事対応型流動化処理土工法を用いた 地中構造物埋戻し技術の開発

古本一司* 三木博史** 恒岡伸幸***

1. はじめに

1.1 背景と目的

現在、共同溝などの地下構造物を埋設する場合に、埋め戻し材として流動化処理土が適用される事例が増えている。

流動化処理土とは、スラリー化安定処理土の一種で、現地発生土と大量の水を含む泥水(もしくは通常の水)に固化材などを混練することにより製造されるものである。流動化処理土は、以下に示すような利点を持っている。

- ・流動性を持ち、狭隘な空間までほとんど隙間無く充填でき、締固めが不要である。したがって、従来工法では、締固めが十分でない場合、管に過剰の変形が発生するおそれがあるが、そのような問題も起きにくい。
- ・締固めのための作業スペースを省略できるので、掘削溝幅を小さくすることによる掘削工事費の縮減可能性がある。
- ・地下水などに浸食されにくい。このため、埋戻し土の流れ出しによる施工後の路面陥没といった問題が発生するおそれは小さい。
- ・あらゆる土質の建設発生土を原材料として利用可能であることから、建設残土を再利用することにより建設副産物の発生量を押さえることができる。さらには、現在産業廃棄物とされている建設汚泥も、原料のひとつとして利用できる。

このように、様々な利点を持つ流動化処理土の利用技術については、平成4年度から8年度にかけて実施された建設省総合技術開発プロジェクト「建設副産物の発生抑制・再生利用技術の開発」において開発されている¹⁾。

しかしながら、原料土と固化材、水を混練するためのプラントが大きく、共同溝の埋め戻しなど大量の流動化処理土を製造する工事への適用は

進んでいるが、下水道管渠など比較的小規模な地下構造物の埋め戻しに適用する場合には、割高になるという問題を持っており、小規模工事に対しては、普及が進んでいないのが現状である。

建設副産物のリサイクルも強く求められている最近の社会情勢のもとで、小規模工事に対応した流動化処理土工法への開発要請も高い。

そこで、本研究では小規模な地下構造物の埋め戻し工事を対象とした流動化処理土の製造方法、および施工方法を開発することを目的として、さまざまな検討を行っている。その結果これまでに、小規模工事対応型流動化処理土工法に関するいくつかの知見が得られた。

1.2 調査研究の対象と範囲

これまで、流動化処理土を製造する場合には、ストックヤードに仮置きした発生土と泥水、固化材を定置式プラントにおいて混練する方法が一般的であった。

今回は、比較的小規模な地下構造物の埋め戻し工事を対象とした流動化処理土の製造および施工方法として、現場において発生土・水・固化材を混練し、打設する方法に着目した。しかし、この場合、従来の流動化処理土工法とは異なり、原料となる発生土の土塊がある程度残留することとなるが、土塊による流動化処理土の物理特性や耐久性への影響が懸念された。

そこで、これら土塊が混入している場合の物理特性および交通荷重などの振動に対する耐久性について室内試験による検討を行った。

さらに、現場での混練方法についていくつかの混練方法を取り上げ、それらの施工性などを調査するため、試験施工を実施した。

本文では、上記の室内試験と試験施工の結果を中心に報告する。

2. 小規模工事に対応した流動化処理土工法の概要

本研究では、図-1に示すように、現場で発生土

Development of Liquefied Stabilized Soil Method for the Back Filling of Buried Pipe.

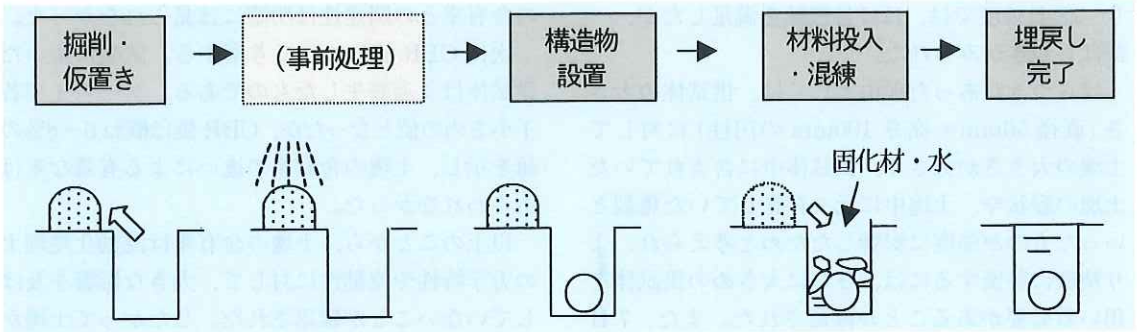


図-1 小規模工事に対応した流動化処理土工法の概要

を処理する方法に着目した。

この方法は、掘削した土砂を近傍に仮置きし、管渠などの地下構造物を敷設した後、仮置きした土砂と泥水、固化材を掘削溝内に投入し、溝内にて混練することの特徴とした方法である。この場合、混練方法が問題となるが、今回はエアブロー（圧縮空気）を利用する方法と、バックホウを用いて混練する方法を採用した。

また、必要に応じて仮置きしている土砂に対して、事前処理を行う。仮置きするスペースが必要となるが、期間は掘削開始から、構造物敷設終了時点までであるので、ダンプトラックなどに一時的に積載しておく方法も考えられる。

3. 土塊を含む流動化処理土の力学特性および耐久性に関する室内試験

3.1 室内試験の目的

簡便に製造でき、コスト削減の可能性がある流動化処理工法の一つとして、現地にて原料と固化材・水を混練する方法に着目した。この際、発生土中の土塊がある程度残留することとなる。そこで、土塊の割合や大きさの違いにより、一軸圧縮強度や、振動に対する耐久性がどのように変化するのかについて調査するため、土塊が含まれる原料土を用いて流動化処理土の供試体を作製し、各ケースについて、一軸圧縮試験、CBR 試験、および繰り返し載荷試験を実施した。

また、製造した流動化処理土の流動性を調査するため、混練直後にコンクリートスランプ試験を実施し、スランプ値を測定した (JIS A1101)。

3.2 試験条件

流動化処理土は、土塊がない状態で、一軸圧縮強度 (7 日) が一般的な地山強度と同程度の 200kN/m^2 となるように配合して作製した。配合

を表-1 に示す。原料土には含水比が高く微細な粒子が多く含まれる関東ロームを使用した。

供試体のパターンを表-2 に示す。なお、表中の土塊率とは原料土全体と土塊の重量比である。

繰り返し載荷試験には、図-2 に示すような装置を用いた。供試体は、CBR モールドを用いて作製したものを使用し、繰り返し荷重は、実際に想定される交通荷重のレベルに近い 50, 100, 200kPa の 3 種類とし、正弦波 (周波数 1Hz、図-3 参照) によってあたえ、10 万回載荷を行った。実験中は、沈下量を測定した。また、従来工法と比較するために、砂質土を締め固めて作製した供試体についても繰り返し載荷試験を行った。

3.3 実験結果

3.3.1 スランプ試験、一軸圧縮試験および CBR 試験結果

各室内試験の結果を表-3 に示す。

スランプ値については、ケース 1 で若干小さい値となったが、各ケースで大きな差異はみられなかった。

一軸圧縮強度については、表-3 に示すように、7 日強度では目標値である 200kN/m^2 を下まわ

表-1 配合

原料土 (ローム)	水	セメント	W/C	目標 一軸圧縮強度
930kg	334kg	167kg	200%	200kN/m^2

表-2 供試体のパターン

ケース	供試体	土塊率	
1	流動化処理土	0%	
2		25%	土塊径
3		50%	20 ~ 50mm
4		25%	土塊径
5		50%	50mm 以上
6	砂質土	(従来工法)	

り、28日強度では、ほぼ目標値を満足したが、一部ばらつきがみられた。

ばらつきがあった理由としては、供試体の大きさ(直径50mm×高さ100mmの円柱)に対して土塊の大きさが大きく、供試体中に含まれていた土塊の形状や、土塊中に元々存在していた亀裂といったものが強度に影響したためと考えられ、より精密に評価するには、さらに大きめの供試体を用いる必要があることが確認された。また、7日強度が目標値を下まわったことから、普通ポルトランドセメントではなく早強セメントなどを用いることが効果的であると考えられる。

また密度についても、概ね $1.4\text{g}/\text{cm}^3$ 程度を示したが、若干ばらつきがみられた。ただし、土塊

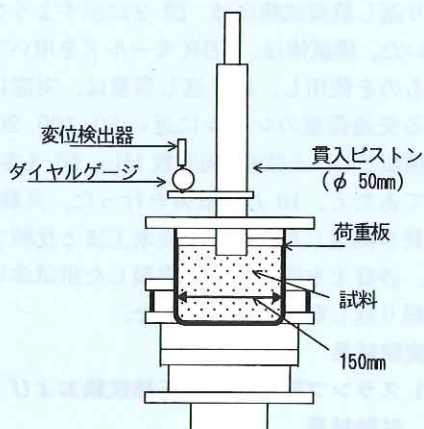


図-2 繰り返し載荷試験装置

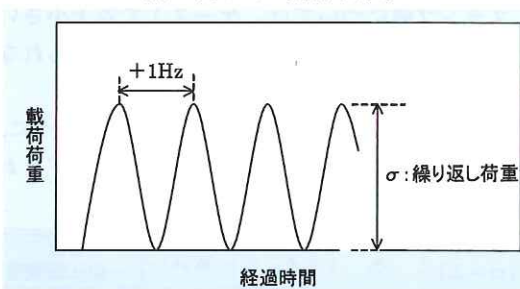


図-3 繰り返し載荷試験での繰り返し波形

の含有率との関連性は明確には見られなかった。

次に CBR 値について考察する。試験に用いた供試体は4週養生したものである。ケース1で若干小さめの値となったが、CBR値は概ね6~8%の値を示し、土塊の含有率の違いによる有意な差はあらわれなかった。

以上のことから、土塊の含有率は流動化処理土の力学特性や流動性に対して、大きな影響を及ぼしていないことが確認された。したがって土塊がある程度残っていても品質にはそれほど問題ないと考えられる。

3.3.2 繰り返し載荷試験結果

繰り返し載荷試験結果を図-4に示す。載荷回数が増加とともに沈下量も増加しているが、いずれのケースにおいても、図に示すように、発生している沈下量は1mm以下とそれほど大きくなく、従来工法である良質砂のケース6と比べても沈下量の差は、ほとんど認められず、むしろ小さい傾向が見られた。

以上のことから、土塊を含む流動化処理土を用いた場合であっても、沈下量に差がないことから、繰返し荷重に対する耐久性については、従来工法と同等であると考えられる。

4. 小規模工事に対応した流動化処理土工法の試験施工

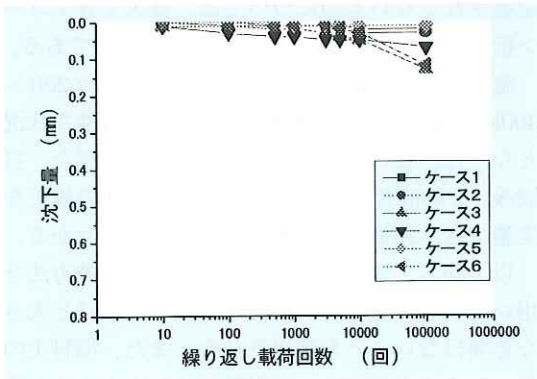
4.1 試験施工概要

比較的小規模な地下構造物の埋め戻し工事で、特に道路下を占用するような場合は、一般道路交通への影響を最小限に押さえるために早期の復旧が求められる。

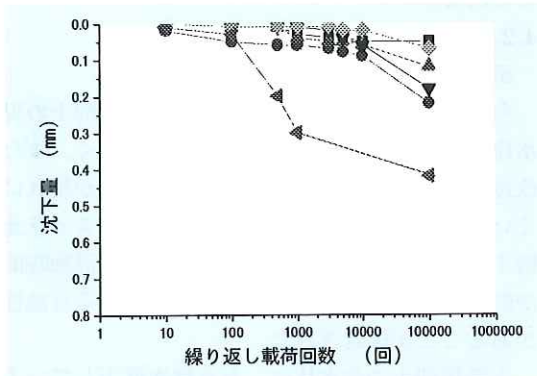
また、現場にて流動化処理土を製造する場合、現地発生土の種類が多岐にわたり、場合によっては混合性が低下するなどの理由により、発生土と水、固化材の混練方法が問題となる。ここで、現場で発生した掘削土と水、固化材の混練を容易に

表-3 スランプ試験、一軸圧縮試験および CBR 試験結果

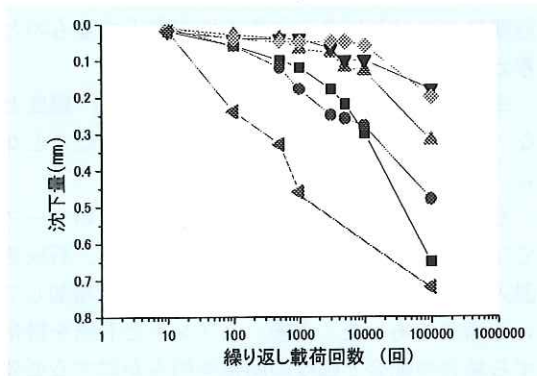
ケース	密度 (g/cm^3)	スランプ値 (cm)	一軸圧縮強度 (kN/m^2)		貫入量5mmの時の CBR値 (%)
			7日	28日	
1	1.41	25.5	127.8	209.6	3.0
2	1.38	26.5	155.8	196.1	7.9
3	1.36	28.8	152.3	229.1	7.0
4	1.34	28.5	148.3	159.9	6.8
5	1.39	28.5	93.5	161.4	5.5



繰り返し荷重 50kN/m^2 、4 週養生



繰り返し荷重 100kN/m^2 、4 週養生



繰り返し荷重 200kN/m^2 、4 週養生

図-4 繰り返し載荷試験結果

行うことができれば、さらに施工性が向上すると考えられる。

今回混練する方法として、エアブローを利用した方法とバックホウによる方法を取りあげ、試験施工を行った。さらに混練を容易にする方法として、生石灰によりあらかじめ発生土を脱水する方法に着目した。

エアブローを利用した混練方法に関する試験施工では、路面復旧までの時間について調査す

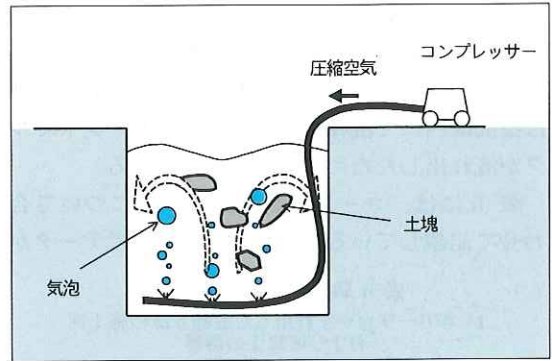


図-5 エアブローによる混練のイメージ

るとともに、現地発生土の種類が、流動化処理土の性質に及ぼす影響について調査した。

また、バックホウを用いた混練方法に関する試験施工では、生石灰による事前処理を行い、その効果の確認を行った。試験施工における配合を表-4 に示す。原料土の重量は湿潤重量である。

4.1.1 エアブローを利用した場合の施工性および原料土の影響

エアブローを利用した混練方法の施工性および原料土の影響を調査するため、掘削溝内に管を設置した後、セメントミルクを投入し、発生土を流し込みながらエアブローを利用して攪拌した。ここで、セメントミルクを用いた理由は、発生土との混合性、施工性をよくするほか、粉塵の発生を防止するためである。

材料は、目標一軸圧縮強度が 200kN/m^2 となるよう配合した。採取したデータは、コーン指数、一軸圧縮強さ、CBR 値である。

4.1.2 石灰による事前処理の効果

石灰による事前処理の効果について調査するため、地盤をバックホウで掘削した後、掘削土を付近に 1 時間程度仮置きし、その後掘削溝内にて、仮置きした掘削土、セメント、水をバックホウを用いて混練した。石灰により事前処理を行う場合は、掘削前に地盤に生石灰を散布し、石灰と地盤を混合しながら掘削し、仮置きした。

材料は、目標一軸圧縮強度が 200kN/m^2 となるよう配合した。施工中は混練時間を測定し、施工後に一軸圧縮強度などを測定した。

4.2 試験施工結果

4.2.1 エアブローを利用した混練方法の施工性および原料土の違いについて

表-5 に試験施工結果を示す。表に示すように、

一軸圧縮強度は、ケース 1、2 の間では大きな差異がない。ただし、目標強度と比較し、ケース 1 で 80%、ケース 2 で 70% 程度の値となった。これは掘削溝内にて混練中に、隙間からセメントミルクが流れ出したためであると考えられる。

表-5 には、コーン指数の経時変化について合わせて記載している。なお、材齢 7 日でデータが

表-4 試験施工における配合
1) エアブローを利用した混練方法の施工性
および原料土の影響

		ケース 1	ケース 2
原料土の種類		粘性土	細砂
配合 (kg/m ³)	原料土	910	1,370
	セメント	163	60
	水	327	425
W/C (%)		200	710
一軸圧縮強度 (7 日) (kg/m ²)		200	

2) 石灰による事前処理の効果

		ケース 3	ケース 4
原料土の種類		関東ローム	
配合 (kg/m ³)	原料土	1,104	1,104
	セメント	273	273
	水	184	184
W/C (%)		40	40
一軸圧縮強度 (7 日) (kg/m ²)		200	
生石灰添加量 (kg/m ³)		0	50

表-5 試験施工結果 (その 1)

		ケース 3	ケース 4
コーン指数 q_c (kN/m ²) 上から 5, 10, 15cm	材齢 1 時間	96	42
		163	130
		165	165
	材齢 2 時間	180	159
		197	253
		283	341
	材齢 1 日	534	515
		530	862
		837	963
	材齢 7 日	1130	—
		—	—
		—	—
一軸圧縮強度 q_u (kN/m ²)	材齢 7 日	160	140
	材齢 28 日	170	160
CBR (%)	材齢 1 日	4	5
	材齢 7 日	9	11

記載されていないものについては、貫入できずコーン指数が 1,920kN/m² 以上となったためである。

施工終了 2 時間後のコーン指数は、概ね 200 ~ 300kN/m² であり、埋戻材上部で作業可能な状況となった。このことから、今回のような場合、打設後、2 時間程度養生を行えば、路盤部の施工を実施でき、路面復旧が可能となることがわかる。

以上から、エアブローを利用する混練方法を用いた場合の施工性は、従来工法とそれほど大きな差異はないことが確認された。また、原料土の違いによる力学特性への影響はほとんどないと考えられる。

4.2.2 生石灰による事前処理の効果

試験施工結果を表-6 に示す。

今回の試験施工では、生石灰による掘削土の脱水作用が発現するための時間が十分でなく、また改良した土量が 2m³ 程度と、石灰の効果が現れにくい条件ではあったが、ケース 3 とケース 4 を比較すると石灰を用いた事前処理により、混練時間が約 20% 縮減され、施工時間が短縮できる可能性があることが確認された。

実際掘削土の含水比は、ある程度低下していることが目視からも観察された。仮置き時間が長く、処理量が多ければさらに施工性が向上するものと考えられる。

また、密度についても、1.5~1.6g/cm³ 程度となっており、高密度の処理土を作製できたことから、耐久性も高いものと考えられる。

ただし、石灰による事前処理を行わないケースでは、所定の軸圧縮強度が得られたが、石灰を混入したケースでは、強度は 3~4 倍程度増加している傾向であった。今後、セメントと石灰を併用する場合の配合と強度の関係を明らかにする必要がある。

表-6 試験施工結果 (その 2)

	ケース 3	ケース 4
混練時間 (分)	15	12
石灰養生時間 (分)	—	120
一軸圧縮強度 (7 日)	250kN/m ²	780kN/m ²
(28 日)	290kN/m ²	1,150kN/m ²
密度 (g/cm ³)	1.513	1.586
コーン指数 (1 時間後)	170kN/m ²	170kN/m ²
フロー値 (JH 法)	8.5 × 8.5cm	8.5 × 8.5cm

5. まとめ

下水道管渠などの比較的小規模な地下構造物の埋め戻しに適した流動化処理工法として、現場付近に仮置きした土砂と泥水、固化材を掘削溝内に投入し、溝内にて混練する方法について検討した。この場合、処理土中に土塊が残留するため、その影響について室内試験により調査した。

また、現場にて混練する方法として、エアブローを利用する方法と、バックホウを用いた方法を取りあげ、その施工性を調査するための試験施工を行った。それらの結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 室内物理試験および載荷試験の結果、土塊が混入した流動化処理土の力学特性や流動性は、混入しない場合とほとんど違いはないことが確認された。また道路下のような繰り返し荷重が載荷されるような場合においても、発生する沈下量は従来工法と比較してもほとんど差異がないことから、従来工法同様に構造物の埋め戻しに適用できる。
- 2) 試験施工の結果、打設後2時間程度養生を行えば、埋戻し材上部での作業が可能であったことから、現場にてエアブローあるいはバックホウを用いて材料を混練する方法によって、掘削から埋戻し終了までの時間が従来工法とそれほど差異がないことから、従来工法と同様に即日復旧の可能性があることが確認された。また石灰の事前混合により混練時間が短縮され、施工性向上の可能性が確認された。

今後は、配合設計法などを確立するとともに、小規模工事に対応した流動化処理工法のコスト面を含めたフィージビリティスタディなどを行って、その適用性についてさらに検討を進めると共に、地下構造物の埋戻しに流動化処理土を適用した場合の埋設基準などについて検討を進めていくことが望まれる。

なお、この室内試験、試験施工は、建設省土木研究所と(有)エルニード、奥多摩工業(株)、日本鋼管(株)との共同研究の一環として行われたものである。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所、(社)日本建設業経営協会中央技術研究所：流動化処理土の利用技術に関する共同研究報告書「流動化処理土利用技術マニュアル」, 共同研究報告書第172号, 平成9年3月

古本一司*



建設省土木研究所材料施工部
土質研究室研究員
Kazushi FURUMOTO

三木博史**



同 新材料開発研究官、工博
Dr. Hiroshi MIKI

恒岡伸幸***



同 土質研究室長
Nobuyuki TSUNEOKA