

## ◆ リサイクル特集 ◆

# 流動化処理土による地中埋設管の施工コスト縮減効果

三木博史\* 古本一司\*\*

## 1. はじめに

流動化処理土とは、土質安定処理土（支持力の不足する土に土質安定処理材を加え、化学的に土を固化し、力学的および物理学的性質を向上させたもの）の一種であり、土砂に大量の水を含む泥水（もしくは通常の水）と固化材を加えて、混練することにより流動化させたものである。流動化処理土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」において研究が進められた。

流動化処理土は、

- ・ 流動性を持ち、狭隘な空間まで隙間無く充填でき、締固めが不要である。
- ・ 地下水に浸食されにくい
- ・ あらゆる土質の建設発生土が利用可能

といった利点を持ち、路面下の空洞充填や地中構造物の埋戻し等に適用される。

地中構造物の埋戻しに適用する場合は、締固めが不要であることから、従来工法（良質土による埋戻し）では、締固めのための作業スペースを確保するために大きくしていた掘削幅を必要最小限に抑えることができる。また固化後は、自立するので、処理土の厚さが薄い場合でも管体への影響が小さいと考えられる。



写真-1 流動化処理土による管の埋戻し

Cost Reduction of Laying Buried Pipe with Liquefied Stabilized Soil

また従来工法では、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ない。

さらには、地下水の浸食を受けにくいで、埋戻し土の流れ出しによる路面陥没といった問題が発生するおそれは小さい。また、掘削残土をそのまま再利用することにより、建設副産物の発生量を抑えることができる。

そこでまず、流動化処理土の性質を生かして、地中埋設管の敷設コストを低減する手法について検討するために、多目的載荷装置を用いた模型実験を行った。実験では、管材薄肉化の可能性についても検討を行った。

さらに流動化処理土工法が、従来工法に比べてコスト面で有利となる施工条件について検討するため、試算モデルを設定して、フィージビリティスタディを実施した。

その結果、流動化処理土を地中埋設管の埋戻しに適用する際の埋設条件、さらには、流動化処理土工法と従来工法のコストに関する知見が得られたので、その概要を報告する。

## 2. 流動化処理土を埋戻し材に用いた場合の管の変形挙動に関する載荷実験

### 2.1 実験の概要

実験の概要を図-1に示す。

高さ 1.0m × 幅 0.7m × 奥行き 1.0m の土槽内に管を設置し、表-1に示すように、良質土および流動化処理土を埋戻し材として用いた。良質土については、密詰めとゆる詰めの 2 ケースについて実験を行った。流動化処理土を用いたケースでは、3 日間養生を行った後、載荷した。実験では、処理土の一軸圧縮強度や掘削幅 W、および土被り T を変えたケースを実施した。実験では、さらに管材を薄肉化した場合の管体の変形についても検討した。

各ケースに使用した管は全て呼び径  $\phi 200\text{mm}$ 、長さ 1m の下水道用硬質塩化ビニル管（VU200）である。載荷は載荷板を介して圧縮速度毎分 1mm

表-1 実験ケース

実験 ケース	埋戻し	一軸圧縮強度 (kN/m <sup>2</sup> )	W (mm)	T (mm)
1	良質土	—	700	100
2	良質土	—	700	100
3	流動化処理土	445.4	700	100
4	流動化処理土	249.8	700	100
5	流動化処理土	388.0	550	100
6	流動化処理土	380.7	300	100
7	流動化処理土	396.3	300	50
8	良質土	—	700	100
9	流動化処理土	408.7	700	100

ケース2では、締固めは行っていない。  
ケース8, 9では、管厚50%減とした。一軸圧縮強度は3日強度

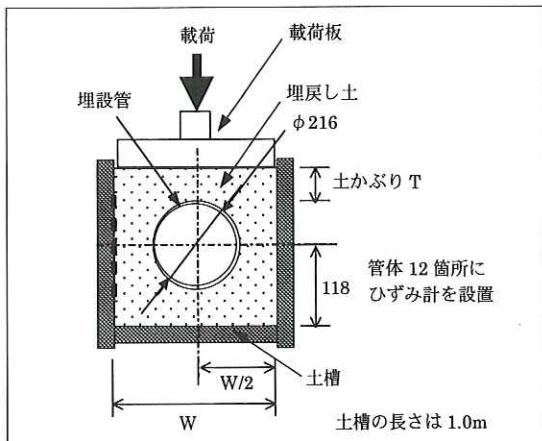


図-1 実験の概要 (単位: mm)

で、 $200\text{kN}/\text{m}^2$ (鉛直土かぶり厚10m程度に相当)となるまで等分布載荷した。

実験中は、管体歪み量、たわみ量及び土槽側壁に作用する水平土圧を計測した。

## 2.2 実験結果及び考察

載荷中は表-2および図-2に示すような変形が

表-2 管体に発生した鉛直たわみ量とひずみ量  
(載荷量  $100\text{kN}/\text{m}^2$  のとき)

ケース	たわみ量(mm)	ひずみ量( $\mu$ )
1	-1.06	-1240
2	-16.72	-7956
3	-1.16	-1270
4	-0.23	225
5	-0.30	296
6	-0.03	442
7	0.34	-305
8	1.44	2389
9	-2.04	-7.32

(-は圧縮方向を示す)

管体に生じた。以下、各ケースを比較する。

### 2.2.1 従来工法との比較

従来工法である良質土による埋戻し(ケース1)と流動化処理土による埋戻し(ケース3)を比較すると、載荷荷重が $200\text{kN}/\text{m}^2$ とかなり大きくなつた時においても、ケース1、ケース3とも、たわみ量、ひずみ量は同等の小さい結果となったことから、流動化処理土による管の埋戻しは、従来工法と遜色がないことが明らかになった。

またケース2では、載荷荷重が $100\text{kN}/\text{m}^2$ になつた時点で既に管体に大きなたわみ、ひずみが発生し、許容たわみ量を超えていた。これは、現場において、埋戻し材が十分に締め固められなかつた場合に、管体に過大なひずみが発生することを想定したものであるが、流動化処理土の場合、締固め不要であり、このようなひずみは発生していない。

### 2.2.2 流動化処理土の強度について

一軸圧縮強度の異なるケースを比較すると(ケース3, 4)、ケース4の強度はケース3に比べ、4割程度小さくなっているにもかかわらず、管の変形に有意な差はない(許容たわみ量10mmに対し、1mm程度)ことから、強度の影響はそれほど大きくないと考えられる。

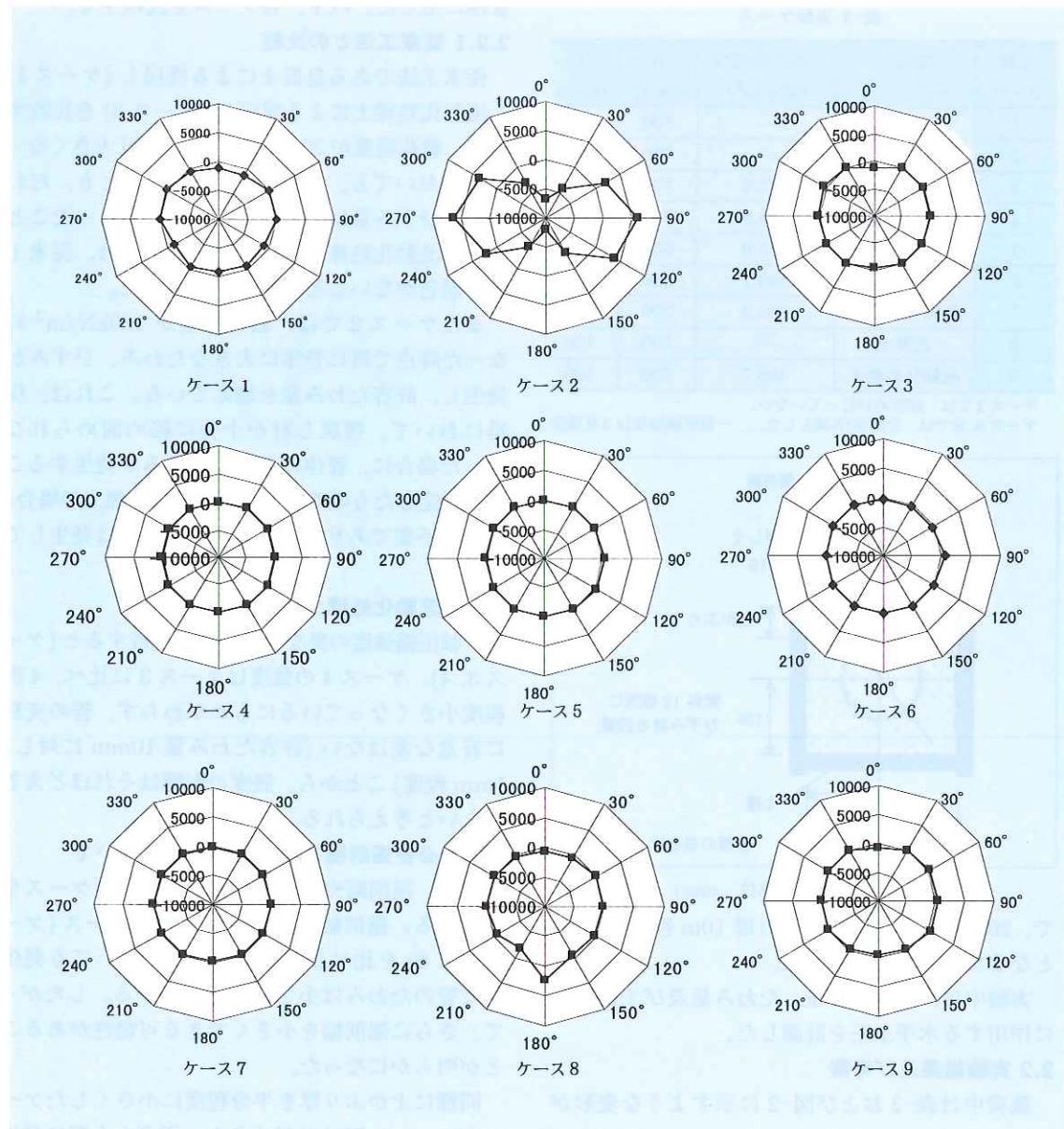
### 2.2.3 必要掘削幅と最小土かぶりについて

次に、掘削幅や土かぶりを小さくしたケースを比較する。掘削幅を半分以下にしたケース(ケース3と6)を比べると、ケース6においても発生した管のたわみは小さいことがわかる。したがつて、さらに掘削幅を小さくできる可能性があることが明らかになった。

同様に土かぶり厚を半分程度に小さくしたケース(ケース3, 7)を比較すると、両者とも管に発生する変形は許容たわみ量である10mmに対し、十分小さいことから、流動化処理土を用いて、土かぶり厚を小さくすることにより、コスト縮減の可能性があることが明らかになった。

### 2.2.4 管材の薄肉化について

さらに、管厚を半分にした管を埋戻したケースを比較すると(ケース8, 9)、管厚を半分にした場合、良質土により埋戻したケース8は、不規則な変形が発生しているが、ケース9では発生した変形量は小さく、従来の厚さの場合と比較しても差がない。したがつて、長期耐久性等の課題はある

図-2 管の変形の様子 (鉛直載荷 100kN/m<sup>2</sup> 時のひずみ 単位:  $\mu$ )

が、管材薄肉化によるコスト縮減の可能性があることが明らかになった。

### 2.3 まとめ

管の埋設載荷実験により、流動化処理土は、埋設管の埋戻しに関して適用性が高いことが明らかになった。

特に、掘削幅や土かぶり厚を小さくした状態でも管体を保護でき、施工コストの縮減可能性があることがわかった。

さらに、長期耐久性などの課題はあるが、管材

薄肉化によるコスト縮減の可能性もあることが明らかになった。

### 3. 流動化処理土を用いて地中構造物を埋戻した場合のフィージビリティスタディ

#### 3.1 目的・概要

流動化処理土を下水道管などの地中埋設管の埋戻しに適用する場合の、施工条件の違いによるコストの変化について調査するために、従来工法(良質土による埋戻し)と流動化処理土工法(定置

式プラント、または移動式プラントでの製造)の比較検討を行った。

また、建設汚泥は現在産業廃棄物とされ、再利用が進まない材料であるが、流動化処理土の基本材の一つとして適応性を有することから、建設汚泥を活用するケースも想定して比較検討を行った。

### 3.2 設定条件

試算において設定した断面を図-3に、比較ケースを表-3に示す。図に示すように、既設管の近傍に新たに管を設置することを想定している。従来工法の場合、施工後の残留沈下が存在するので、既設管の受け防護工が必要となる。

また設定条件の概要は以下の通りである。

- 従来工法(良質土での埋戻し)では、埋戻し後に仮舗装を行い、沈下が収束した段階で本舗装を行う。流動化処理土を用いた場合は、施工後において処理土の体積収縮はほとんどなく、路面沈下がないことから、埋戻した後は仮舗装は行わず、本舗装を行う。
- 流動化処理土は、現場から15km離れた箇所に設置した定置式プラントで製造し、アジテータ車により運搬する、もしくは移動式プラントを現場付近に設置して製造する。

iii) 埋戻し現場で発生する掘削土は、できる限り流動化処理土の原料として利用し、流動化処理プラントに搬入する。また、残りは処分する。

iv) 建設汚泥を原料として用いる場合は、流動化処理プラントに受け入れる際に、発生者から¥3000/m<sup>3</sup>の代金を徴収する。

### 3.3 比較結果

図-4に、全ケースの試算結果を示す。

#### 3.3.1 従来工法との比較

受け防護工費を見込まない場合、従来工法と比較し、流動化処理土を現場発生土のみで製造、施工するケースでは、定置式プラント、移動式プラントの場合ともに従来工法よりもコストが高い。特に、定置式プラントの場合、約2倍のコストがかかる。しかし、従来工法では受け防護工が必要な場合に、流動化処理土を用いることで受け防護工を省略することが可能で有れば、移動式プラントを用いた流動化処理土工法の方が安価となつた。

#### 3.3.2 建設汚泥を利用するケースについて

一方、建設汚泥を用いて製造する場合は、定置式プラントの場合は、やはり従来工法の方が安価となつた。しかし、埋戻し現場付近に設置した移動式プラントに建設汚泥を搬入するシステムにす

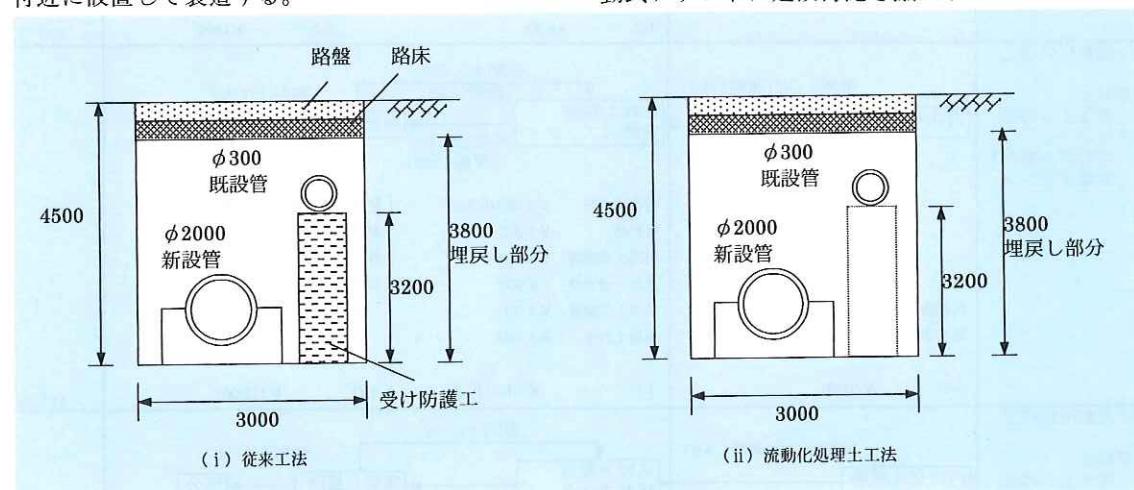


図-3 試算における設定断面図(単位: mm)

表-3 検討ケース

ケース	工法	原料土	製造プラント	条件
1	従来工法	購入土		仮復旧が必要
2	流動化処理工法	発生土のみ	定置式	
3	流動化処理工法	発生土のみ	移動式	
4	流動化処理工法	発生土と建設汚泥	定置式	汚泥1m <sup>3</sup> につき¥3,000
5	流動化処理工法	発生土と建設汚泥	移動式	を発生側から徴収

() 内 : 受け防護工費含む

事業主体 工法	A	B	コスト
①従来工法 (良質土を購入して埋戻す)		<p>埋戻し箇所 掘削土処分費 ￥3,000 山砂購入費 ￥2,000 人力締固め費 ￥2,000 仮設資材費 ￥1,800</p> <p>(受け防護工費 ￥4,000)</p> <p>小計 ￥8,800 (￥12,800)</p>	￥8,800 (￥12,800)
②流動化処理土  原料土 : 発生土のみ プラント : 現場から離れた定置プラント		<p>掘削土 0.6m<sup>3</sup> (運搬15km) → 处理土製造定置式プラント → 处理土 1.0m<sup>3</sup> (運搬15km) → 埋戻し箇所 → 処分</p> <p>材料費 ￥1,000 挖削土運搬費 ￥3,000×0.6m<sup>3</sup> 処理土混練費 ￥7,500 残土処分費 ￥3,000×0.4m<sup>3</sup> 仮設・借地費 ￥500 打設費 ￥300 処理土運搬費 ￥3,000 (直接投入)</p> <p>小計 ￥12,000 小計 ￥3,300</p>	￥15,300
③流動化処理土  原料土 : 発生土のみ プラント : 現場に設置した移動プラント		<p>掘削土 0.6m<sup>3</sup> (運搬15km) → 处理土製造移動式プラント → 处理土 1.0m<sup>3</sup> (運搬15km) → 埋戻し箇所 → 処分</p> <p>材料費 ￥1,000 残土処分費 ￥3,000×0.4m<sup>3</sup> 処理土混練費 ￥7,500 打設費 ￥300 仮設・借地費 ￥500 (直接投入)</p> <p>小計 ￥9,000 小計 ￥1,500</p>	￥10,500
④流動化処理土  原料土 : 発生土+汚泥 プラント : 現場から離れた定置プラント	<p>汚泥 0.5m<sup>3</sup> (運搬15km)</p> <p>汚泥発生現場 → 处理土製造定置式プラント → 埋戻し箇所 → 処分</p> <p>汚泥受入料 ￥3,000×0.5m<sup>3</sup> 挖削土購入費 ￥8,500 材料費 ￥1,000 挖削土運搬費 ￥3,000×0.5m<sup>3</sup> 処理土混練費 ￥5,000 残土処分費 ￥3,000×0.5m<sup>3</sup> 仮設・借地費 ￥500 打設費 ￥300 処理土運搬費 ￥3,000 処理土代金 ￥8,500 (直接投入)</p> <p>汚泥運搬費 ￥3,000×0.5m<sup>3</sup> 処分委託費 ￥3,000×0.5m<sup>3</sup></p> <p>小計 ￥3,000 小計 ￥-500 (利益) 小計 ￥11,800</p>	￥11,800	
⑤流動化処理土  原料土 : 発生土+汚泥 プラント : 現場に設置した移動プラント	<p>汚泥 0.5m<sup>3</sup> (運搬15km)</p> <p>汚泥発生現場 → 处理土製造移動式プラント → 埋戻し箇所 → 処分</p> <p>汚泥受入料 ￥3,000×0.5m<sup>3</sup> 挖削土購入費 ￥5,500 材料費 ￥1,000 残土処分費 ￥3,000×0.5m<sup>3</sup> 処理土混練費 ￥5,000 打設費 ￥300 仮設・借地費 ￥500 処理土代金 ￥5,500 (直接投入)</p> <p>汚泥運搬費 ￥3,000×0.5m<sup>3</sup> 処分委託費 ￥3,000×0.5m<sup>3</sup></p> <p>小計 ￥3,000 小計 ￥-500 (利益) 小計 ￥7,300</p>	￥7,300	

図-4 流動化処理土による埋設管の埋戻し (埋戻し土量 1m<sup>3</sup>あたりのコスト)

れば、受け防護工の有無に関わらず、コストは大幅に安価となる。

したがって埋戻し現場付近に設置した移動式プラントに建設汚泥を直接搬入するシステムを用いるか、あるいは生コンプレントのように密な間隔でプラントを設置し、建設汚泥を搬入するシステムにすれば、従来工法よりかなりコスト縮減できる。

#### 3.4まとめ

流動化処理土を地中埋設管の埋戻しに適用する場合、移動式プラントを用いて製造し、さらに建設汚泥を搬入することにより、従来工法よりもコストが縮減される。また、受け防護工が必要となるような場合は、流動化処理土を用いると、従来工法と異なり、残留沈下がほとんどないために、受け防護工が不要となるため、コスト的に有利となる。

ただし、本フィージビリティスタディでは、移動プラントおよび定置式プラントでの混練費を同等としているが、多量の流動化処理土を製造する場合には、定置式プラントでの混練費は低減されるので、定置式プラントによる工法の方が、安価となる場合もあると考えられる。

また、流動化処理土を用いた場合は、施工後の体積収縮がほとんどないため、従来工法のような仮舗装が必要ない。そのための路上工事も縮減できるというメリットもあるが、今回のフィージビリティスタディでは見込んでいない。しかし、その効果を見込むことにより、さらに流動化処理土による埋戻しのメリットが発揮される。

同様に、フィージビリティスタディでは、掘削幅や土かぶり厚については考慮されていないが、流動化処理土の適用により、掘削幅や土かぶり厚を小さくすることが可能な場合、コストはさらに低減されるものと考えられる。

#### 4.まとめと今後の課題について

流動化処理土を適用することによって、必要掘削幅や最小土かぶり厚を縮減することができ、それにより埋設コストの縮減が可能であることが、管の埋設載荷実験により明らかになった。さらには、管材の薄肉化の可能性があることが確認された。

また、流動化処理土を地中埋設管の埋戻しに適用する場合、移動式プラントを用いて製造し、さらに建設汚泥を搬入することにより、コスト縮減可能性があることが、フィージビリティスタディにより明らかになった。さらに、既設管があり、受け防護工が必要となるような場合は、流動化処理土を用いると、受け防護工が不要となるため、コスト的に有利となることがわかった。

さらに、流動化処理土を用いた場合は、従来工法のような仮舗装が必要なく、本舗装の施工が可能である。そのため路上工事も縮減できるという利点を見込めば、さらに流動化処理土工法の適用性は高まると考えられる。

今後は、流動化処理土を用いた場合の埋設基準を確立すると共に、さらに製造コストや施工コストを低減する手法を開発し、普及していくことが望まれる。

三木博史\*



建設省土木研究所  
同 新材料開発研究官  
工博 (前 土質研究室長)  
Dr. Hiroshi MIKI

古本一司\*\*



同 土質研究室研究員  
Kazushi FURUMOTO