

◆特集：建設材料研究の新たな展開◆

流動化処理土の下水管渠埋戻しへの適用

梶谷有吾* 吉田直人** 石原寛隆*** 小橋秀俊****

1. はじめに

道路の沈下・陥没は地盤中に形成された空洞・ゆるみが進展し地表に届く現象である。空洞・ゆるみの発生要因として、①地下埋設物等の破損による土砂の流出、②地下埋設物等が水みちを誘発することによる土砂の流出、③自然転圧や工事での転圧不足等による地盤の圧密現象等が挙げられる。

下水道施設の設置にあたっては掘削幅が狭小であったり、埋設管が輻輳している等の理由で、十分な転圧を行なうことが困難な場合があり、③の要因による道路の沈下、陥没が発生することがある。そこで、筆者らは下水道管渠の埋戻し材として、自硬性があり、締固めが不要である流動化処理土を用いることを検討した。なお、流動化処理土とは、土砂に大量の水を含む泥水と固化材を加えて混練することにより流動化させた安定処理土のことである。

2. 簡易的な流動化処理土の品質管理方法

2.1 品質管理方法の検討

流動化処理土をプラントで製造する場合、品質管理は流動化処理土の密度ならびに出荷時のフロー値でなされている。現場で流動化処理土を製造する場合は、性状が不均一になることが予想されるため、多点での性状の確認が求められる。そこで、簡易的な流動化処理土の品質管理方法として粘度計による管理方法を検討した。

流動化処理土は、土と水を容器に入れ10分程度攪拌して作製した泥水に、セメントを加えさらに10分程度攪拌することにより製造した。実験を行うにあたり、事前に配合試験を行い、流動化処理土の原土と水の基本重量比は3:1とすることとし、原土量を基本重量から±0、10、20%増減させた流動化処理土を製造した。原土の構成および物性を表-1に示す。固化材として高炉セメントB種を用い、夏季と冬季での製造を念頭に、添加量は60kg/m³と70kg/m³とした。以上の実験ケースを表-2に示す。

製造した流動化処理土は流動化処理土利用技術マニュアル¹⁾(以下、「マニュアル」という。)で

表-1 原土の構成および物性

礫(%)	砂(%)	シルト(%)	粘土(%)	土粒子密度(g/cm ³)
2.8	86.0	6.0	5.0	2.716

表-2 実験ケース

case	比率		セメント添加量(kg/m ³)
	原土(kg)	水(kg)	
1	2.4	1.0	60
2	2.7		
3	3.0		
4	3.3		
5	3.6		
6	2.4	1.0	70
7	2.7		
8	3.0		
9	3.3		
10	3.6		

表-3 マニュアルの要求品質(埋設管埋戻し時)

密度	1.5g/cm ³ 以上
フロー値	160.0mm以上
ブリージング率	3.0%以下
一軸圧縮強度	130kN/m ² 以上
	500kN/m ² 以下

の要求品質(表-3)に示されている密度・フロー値・ブリージング率・一軸圧縮強度を求めるとともに、粘度の計測を行なった。

2.2 品質管理方法の検討結果

今回製造した流動化処理土の密度はセメント添加量60kg/m³、70kg/m³ともに密度の要求品質(1.5g/cm³)を満たす材料である。

図-1にブリージング率と密度の関係を示す。ブリージング率と密度には負の相関関係が見られた。セメント添加量60kg/m³の流動化処理土においては全ての試料でブリージング率の基準を満足し、セメント添加量70kg/m³では密度が1.54g/cm³以上であれば基準を満足する結果となった。

図-2、3にフロー値、一軸圧縮強度(材齢28日強度)と密度の関係を示す。今回実施した実験ケースでは、フロー値、一軸圧縮強度とともに、全ての試料で基準を満たす結果となった。フロー値と密

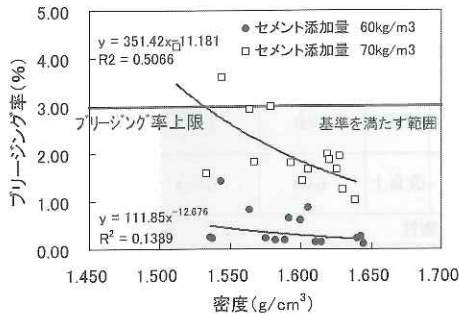


図-1 ブリージング率と密度の関係

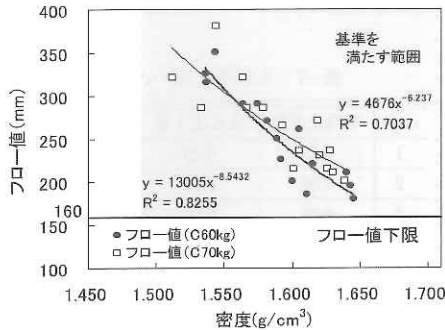


図-2 フロー値と密度の関係

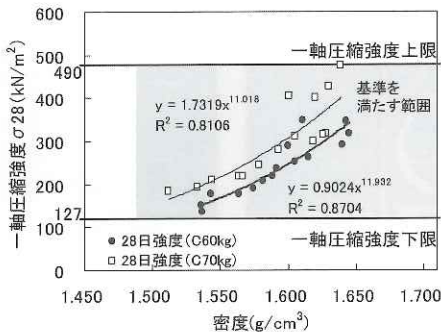


図-3 一軸圧縮強度と密度の関係

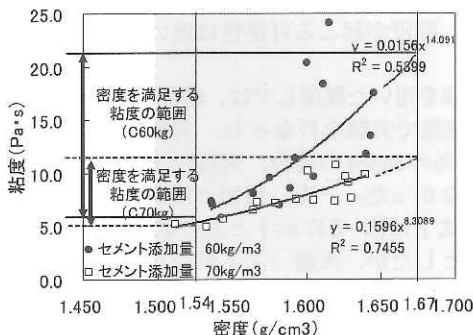


図-4 粘度と密度の関係

度には負の相関が、一軸圧縮強度と密度には正の相関が確認され、図-2に示す回帰曲線から基準を満たす密度の上限値を推定すると、密度が1.67g/cm³を超えるとフロー値、一軸圧縮強度の基準を満足出来なくなる恐れがでてくると考えられる。以上の結果から、流動化処理土の密度がある一定の範囲に収まれば、マニュアルの要求品質項目であるブリージング率とフロー値、一軸圧縮強度を満足できると考えられる。

図-4に密度と粘度の関係を示す。相関係数は、セメント添加量60kg/m³で0.735、セメント添加量70kg/m³で0.863を示し、密度と粘度の間には比較的良好な相関関係があることが確認された。したがって、粘度から密度を推定することにより、流動化処理土の品質管理を行うことができると考えられる。

本実験においては図-1、2に示す要求品質を満たす密度の範囲から、回帰曲線で粘度の管理幅を推定した。その結果、粘度がセメント添加量60kg/m³では6.54～21.8Pa·s、セメント添加量70kg/m³では5.62～11.4Pa·sの範囲に収まれば、マニュアルに示す要求品質を満たすことができることが示唆された。

3. 不同沈下発生装置を用いた下水管渠埋戻し実験

3.1 実験の目的

流動化処理土は自硬性があるため、地盤内に発生する空洞・ゆるみが地表に進展しにくいと考えられる。そこで、埋戻し材の下盤部の沈下等により埋戻し材にゆるみが発生した時の、地表面の変動および下水管渠への影響把握実験を行った。また、比較対象として、下水管渠の埋戻し材として現在多くの自治体で利用されている山砂と改良土を用いて実験を行なった。

なお、流動化処理土での下水管渠の埋戻しは、従来工法である山砂や改良土、現地発生土での埋戻しとは異なり、下水管渠への浮力が発生する。そこで、本実験では流動化処理土が埋戻し過程で下水管渠に与える影響についても検討した。

3.2 実験方法

図-5に示すように不同沈下発生装置内にΦ250のVU管を設置し、流動化処理土、改良土、山砂で埋設した。流動化処理土による埋設時は、下水管渠に浮力が働いたため、木製プレート及びワイヤーで所定の位置に固定し、壁面との境界にコーキング材を用いて流動化処理土が管内部に侵入すること防いだ。埋設後、所定期間養生し、沈下板を用いて底面の半分のみを沈下させた。沈下は埋戻し材が沈下版に追従しなくなるまで行ない、天端沈

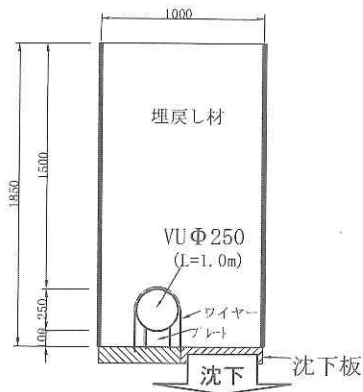


図-5 不同沈下発生装置を用いた実験の概要

表-4 実験条件

case	埋戻し材	材 齢	締固め度	備 考	沈 下
1	流動化処理土	2日	—	5.58kN/m ²	15cm
2	流動化処理土	3日	—	8.82kN/m ²	10cm
3	流動化処理土	7日	—	39.46kN/m ²	10cm
4	山砂	—	90%	—	10cm
5	山砂	—	82%	—	10cm
6	改良土	—	80%	粒径30mm以下	10cm
7	改良土	—	80%	粒径10mm以下	10cm

※強度は現場養生試料の強度

表-5 流動化処理土の物性

密 度	1.531g/cm ³
ブリージング率	2.27%
打設時温度	14.3℃
粘 度	5.74Pa・s
P ロート	13.16s

下量ならびに下水管渠のひずみを測定した。表-4に実験条件を示す。

なお、埋戻し材として使用した流動化処理土は土と水の重量比を3:1とし、高炉セメントB種を70kg/m³添加したものとした。表-5に流動化処理土の品質を、表-6に山砂および改良土の物性を示す。埋戻し方法は流動化処理土は上方からのポンプ打設とし、山砂および改良土は1層あたり10cmずつ締固めながら埋戻しを行った。また、管にはひずみゲージを管内面に1断面あたり12個均等間隔に設置した。

3.3 実験結果

3.3.1 天端沈下量

表-7に実験終了後の天端沈下量を、写真-1に実験の様子を示す。流動化処理土での埋戻しでは、流動化処理土の養生日数が経過し、強度が増加するにつれ天端沈下量が減少した。材齢が3日と7日では一軸圧縮強度が4倍程度異なるが、天端沈

表-6 山砂・改良土の物性

	摘 要	最適 含水比 (%)	最大乾燥 密度 (g/cm ³)	埋戻時 含水比 (%)
case4	山砂	17.0	1.737	18.7
case5				20.0
case6	改良土	63.3	0.944	64.2
case7				65.6

山砂の物性

礫 (%)	砂 (%)	シルト (%)	粘土 (%)	土粒子密度 (g/cm ³)
1.2	87.0	9.0	3.0	2.69

改良土の物性 (生石灰5%添加)

礫 (%)	砂 (%)	シルト (%)	粘土 (%)	土粒子密度 (g/cm ³)
0.0	27.0	38.0	35.0	2.69

表-7 天端沈下量 (cm)

case	平均沈下量	最大沈下量	最小沈下量
1	0.23	0.40	0.00
2	0.06	0.20	0.00
3	0.03	0.10	0.00
4	0.07	0.20	0.00
5	5.14	5.30	5.00
6	0.08	0.20	0.00
7	0.47	0.90	0.20

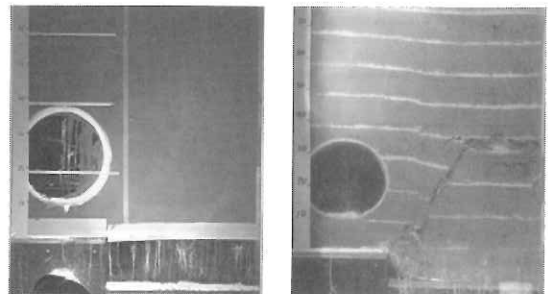


写真-1 実験の状況

(左: case2 (流動化処理土)、右: case5 (山砂))

下量はほとんど変わらなかったことから、一定強度以上に固化すれば、地盤内の空洞が地表面に伝達し、陥没が起こる可能性は低いことが示唆された。

山砂を用いた埋戻しでは、締固め度90%と82%の2種類で実験を行なった。実験の結果、締固め度90%のcase4の場合、天端の沈下はほとんどみられなかった。一方、締固め度82%のcase5の場合、沈下は図-5に示すとおり底面の半分のみ沈下としたが、天端（沈下板から185cm）はほぼ均等に沈下した。

改良土を用いた埋戻しでは、締固め度は80%とし、粒径を30mm以下のものと10mm以下のもの

で行なった。その結果、粒径が30mm以下のcase6では天端の沈下がほとんどなかった。粒径が小さなcase7はcase6に比べて天端沈下量が大きくなった。粒径が小さく、粒度分布幅の狭い埋戻し材を用いた場合、変形が地表に伝達しやすい可能性がある。なお、山砂の同程度の締固め度であるcase5と比べると沈下量はごくわずかであり、土壌を改良することにより天端への影響を抑制することができると思われる。

3.3.2 管渠への影響

①埋戻し時の管渠への影響

流動化処理土によって埋め戻された管渠の埋戻し時のひずみを図-6に示す。流動化処理土によって埋戻された管渠は、始め全体が圧縮され、打設完了後5時間後程度から次第に管頂と管底の圧縮量が大きくなり、眼鏡型となった。このような挙動を示す原因として、打設時は液体状だった流動化処理土が硬化すること起因していると考えられる。

②不同沈下時の管渠への影響

沈下時の管渠のひずみを図-7～9に示す。流動化処理土(case3)および改良土(case6)は天端沈下量も少なく、土砂の移動自体が少なかったため周辺地盤の沈下発生による管渠への影響はほとんどなかった。一方山砂(case5)の場合、締固め度がほとんど同じである改良土(case6)と比べて管渠のひずみは1000倍程度大きくなった。case5は沈下板に追従して沈下した埋戻し土量が他のケースに比べて多く、土砂の移動時に管に大きな圧力がかかったと考えられる。

また、管渠はゆるみの発生する方向に変形する傾向がみられた。したがって、地盤にゆるみが発生することにより、道路の沈下・陥没につながるだけでなく、管渠に局所的な力が作用することにより、管渠の力学的耐久性が損なわれる恐れがある。

以上のように、山砂や改良土による下水管渠の埋戻しにあたっては、十分な締固めを行うことが必要であり、90%程度の締固め度で施工を行うことが求められる。しかし、下水管渠の埋戻しは掘削幅が狭く(管径+60cm程度)、転圧作業が困難である。また、矢板裏面や矢板引抜き跡を十分締固めることは難しく、現場において締固め度を90%程度で管理することは困難である。一方、流動化処理土は流動性をもつため、矢板裏面にも回り込み、矢板引抜き跡も残らない。そのうえ一定以上の強度を求めることは容易であるため、山砂や改良土に比べて高い品質を確保できると考えられる。

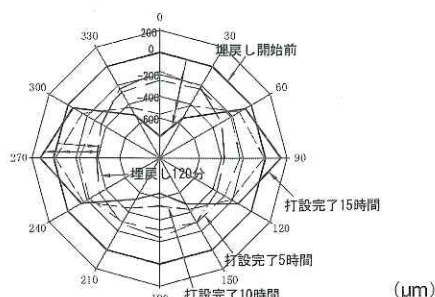


図-6 埋戻し時の管渠のひずみ
(case1: 流動化処理土)

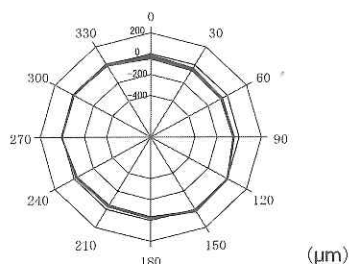


図-7 沈下時の管渠のひずみ
(case3: 流動化処理土)

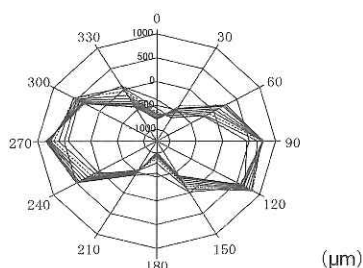


図-8 沈下時の管渠のひずみ (case5: 山砂)

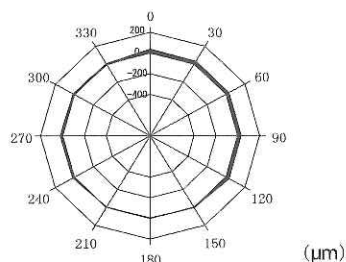


図-9 沈下時の管渠のひずみ (case6: 改良土)

4. 流動化処理土の下水管渠埋戻しへの適用

4.1 概要

前章までの実験の結果、流動化処理土を用いた下水管渠の埋戻しは、道路の沈下・陥没対策に有



写真-2 流動化処理土の打設状況

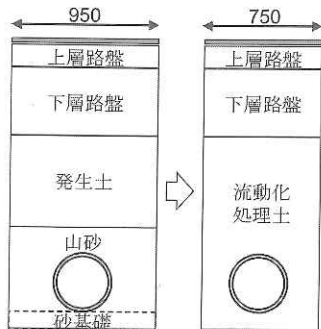


図-10 従来工法と流動化処理工法

効な工法であることがわかった。そこで、平成19年7月につくば市谷田部地区において流動化処理土を用いて実際に下水管渠の埋戻しを実施した。

流動化処理土は写真-2に示すように、プラントで製造したものをアジテータ車で輸送し、アジテータ車から直投して打設した。

本施工においては図-10に示すように掘削幅を従来の950mmから750mmに狭めて行った。なお、掘削幅は切り梁等土留め工の幅を考慮して決定した。

4.2 流動化処理土

本施工で用いた流動化処理土の製造時の物性を表-8に示す。

4.3 計測項目

流動化処理土は固化し、所定の強度が発現するまでに時間がかかるため、施工後すぐに交通解放することが難しい。そこで流動化処理土打設後、1週間復旧工を行わず開口養生を行ない、流動化処理土の強度変化（一軸圧縮強度、地盤支持力、地盤硬度）を計測した。

表-8 流動化処理土製造時の物性

フロー値	360mm
密度	1.50
ブリージング率	0.51%

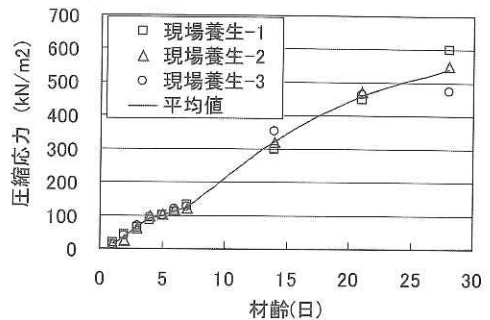


図-11 一軸圧縮強度（現場養生）

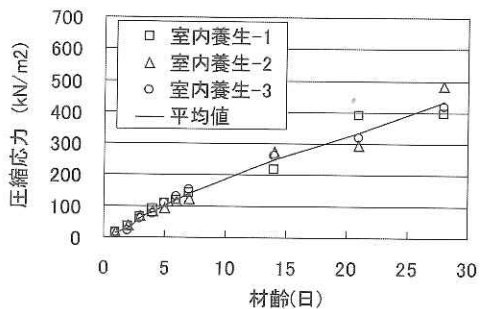


図-12 一軸圧縮強度（室内養生）

4.4 計測結果

4.4.1 一軸圧縮強度

打設時に採取した流動化処理土を、現場（屋外）および室内（20℃恒温室）にて養生し、強度発現を確認した。結果を図-11、12に示す。

一軸圧縮強度はマニュアルで求められた130kN/m²に一週間程度で到達し、その後も強度の増加が続いていくことが確認された。また、現場養生と室内養生では現場養生のほうが強度が大きくなった。これは養生温度の違いによるもので、現場養生のほうが温度が高かったため、強度発現率が大きくなったと考えられる。

4.4.2 地盤支持力

地盤強さを測定するために動的平板載荷試験を実施した。なお、測定装置はImpact Soil Testerを用いた。これは重錘を地盤に落下させ、衝突によって発生する地盤反力と、衝突時の加速度値から平板載荷試験による地盤反力係数K30を求める試験装置である。

試験の結果を図-13に示す。地盤反力係数K30は流動化処理土打設後4日程度で地盤反力が60MN/m³ではほぼ一定になることが確認された。なお、周辺地盤の地盤反力は40～65MN/m³となり、周辺地盤と同等の強度を得ることができた。

4.4.3 土壌硬度

山中式土壌硬度計を用いて、流動化処理土天端の硬度を測定した。山中式土壌硬度計とは平らに

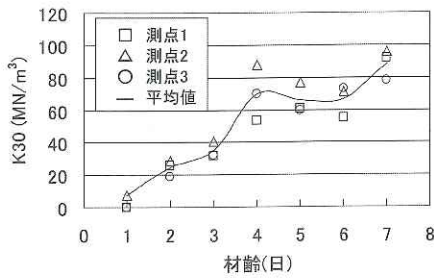


図-13 地盤反力係数K30の推移

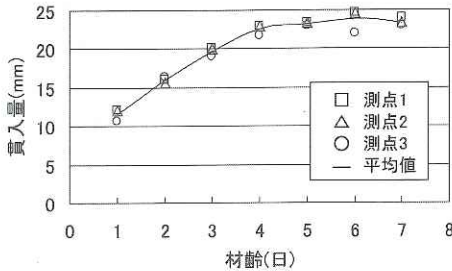


図-14 流動化処理土土端硬度の経時変化

削られた断面に垂直にコーンを圧入し、コーンの貫入量とこれに対応する土壌の反力（バネの縮み）を測定し、硬度の理論値を求める方法である。

試験の結果を図-14に示す。試験の結果、動的平板載荷試験同様、材齢4日程度で土壌硬度はほぼ一定の値となった。また、流動化処理土は山中式土壌硬度計の貫入量と一軸圧縮強度に相関があることが知られている^{1),2)}。本施工においても良好な相関があることが確認された（図-15）。また、東京都が行なった実験結果²⁾と比較すると、貫入量が同じ場合、本施工で用いた流動化処理土のほうが低い一軸圧縮強度を示した。

5. まとめ

流動化処理土を下水管渠埋戻しに適用するため、行った各種試験および現地施工結果より以下の知

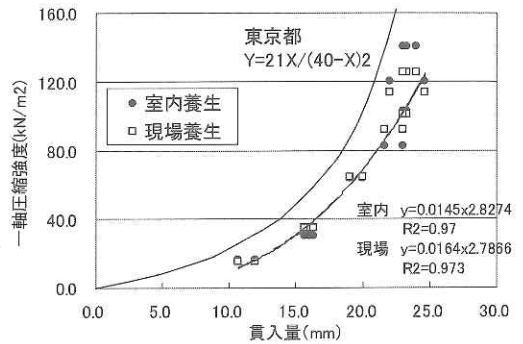


図-15 山中式土壌硬度計と一軸圧縮強度の関係

見を得た。

- ①粘土管理により流動化処理土の品質管理を行うことができる。
- ②流動化処理土等、改良した土壌を用いることで、管渠周辺で不同沈下が発生した場合でも地表面への影響が軽減できる。
- ③現地で実際に流動化処理土の施工を行なった結果、従来工法より掘削幅を狭くして施工を行なえることが確認できた。

なお、流動化処理土は所定の強度を得るのに数日かかるため、今後は即日復旧できる方法について検討していく必要がある。

謝 辞

流動化処理土による下水管渠の埋戻し施工においてご協力頂いた、つくば市都市建設部下水道事務所整備課の方々に謝意を表します。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所：流動化処理土利用技術マニュアル, 1997
- 2) 小林一雄、内田喜太郎：道路占用工事における埋戻し工法、都土木技研年報, pp65-74, 1992

榎谷有吾*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループ土質チーム研究員
Yugo MASUYA

吉田直人**



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループ土質チーム研究員
Naoto YOSHIDA

石原寛隆***



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループ土質チーム交流研究員
Hiroataka ISHIHARA

小橋秀俊****



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループ土質チーム上席研究員、工博
Dr. Hidetoshi KOHASHI