

4. 管渠埋戻し工の耐震施工管理方法の調査

下水道研究室 室 長 藤生和也
研究官 宮内千里

1. はじめに

2003年十勝沖地震や2004年新潟中越地震においては、下水道施設に大きな被害が発生した。特に、下水道管渠やマンホール設置に伴う埋戻し土が液状化したことにより、下水道管渠とマンホールの浮き上がりや道路の陥没が多発し、交通遮断、避難ルートの遮断、除雪車の走行障害等の問題が生じた。そのため、埋戻し土の液状化対策として①埋戻し土の締め固め、②砕石等による埋戻し、③埋戻し土の固化の3工法が示された¹⁾。しかしながら、これらの工法は、現場の条件に適合した検討方法やその品質管理方法について明確にされていないのが現状である。

本研究では、現場条件に応じた埋戻し材料と締め固め方法及び品質管理方法の策定を行う前段として、13自治体を対象とした現行の施工及び品質管理の実態調査、他分野での品質管理法の調査を行い、策定に向けた課題についての整理を行ったものである。

2. アンケート調査

品質管理規定について方針を持っていると考えられる自治体及び近年の震災復旧を行った自治体を

表-1 実態一覧表

材 料	<ul style="list-style-type: none"> 改良土を使用している自治体が多い（10自治体で適用） 砕石を使用している自治体は、改良土と比較して少ない（4自治体で適用） 管基礎は、砂基礎 or 改良土基礎が主体である（全対象自治体で適用） 			
施 工 法	<ul style="list-style-type: none"> 基礎部は管渠に衝撃を与えないように注意し、人力・掘削機械等により、管の両側から木梢等で締め固める 管上方30cm～路盤下までは路床（20cm以下）、路体（30cm以下）を基本としてタンパ等で締め固める 地下水位が高い場合は、施工前に水中ポンプで排水するが、水替えが十分に行われていない場合は、地下水位低下工法を適用している（11自治体で実施） 周辺地盤が液状化の恐れのある場合は、施工前に排水、液状化が生じにくい材料の使用、地下水位まで改良土を使用、等で対応している（3自治体で実施） 矢板を引抜いた後の空隙は、砂等で充填して十分に締め固めている 他企業の埋設管がある場合、作業前に管理者との協議を行い、条件に応じて埋設物の移設、線形の変更を行っている。 			
品 質 管 理 規 定 の 例		①埋戻し土の締め固め	②砕石等による埋戻し	③埋戻し土の固化
	試 験 内 容	<ul style="list-style-type: none"> 現場密度試験（測定方法が自治体によって異なっている。） 土研式貫入試験 R I 計器による試験 球体落下試験 衝撃加速度試験 	<ul style="list-style-type: none"> 現場密度試験（測定方法が自治体によって異なっている。） 	<ul style="list-style-type: none"> 現場密度試験（測定方法が自治体によって異なっている。） 一軸圧縮試験 六価クロム溶出試験 土研式貫入試験 R I 計器による試験
	試 験 位 置	<ul style="list-style-type: none"> 人孔間のランダムな1～2点 掘削深の1/2 埋戻し土最上部 監督員と協議 具体的な位置なし 	<ul style="list-style-type: none"> 人孔間のランダムな2点 掘削深の1/2 路盤管理箇所 監督員と協議 	<ul style="list-style-type: none"> 人孔間のランダムな1～2点 掘削深の1/2 敷均し厚さ30cm 毎 埋戻し土最上部 監督員と協議 具体的な位置なし
	試 験 頻 度	<ul style="list-style-type: none"> 掘削土量 500 m³ 当りに1箇所 布設延長 500m 当りに1箇所 人孔間当りに1箇所 1 工事につき3箇所 1 回当たり測定点数は施工面積毎に設定（R I） 	<ul style="list-style-type: none"> 掘削土量 500m³ 当りに1箇所 布設延長 400～500m 当りに1箇所 1 工事当りに1箇所 	<ul style="list-style-type: none"> 掘削土量 500 m³ 当りに1箇所 布設延長 500m 当りに1箇所 人孔間当りに1箇所 1 工事につき3箇所 1 回当たり測定点数5点（R I）
	合 格 基 準	<ul style="list-style-type: none"> 締め固め度 85～90% 以上（現場密度） 最大乾燥密度 90% 以上（R I） 打撃回数/10cm（土研式） 6.3cm 以下（球体落下） 63G 以上（衝撃加速度） 	<ul style="list-style-type: none"> 締め固め度 85～90% 以上 	<ul style="list-style-type: none"> 締め固め度 90% 以上（現場密度） 100kN/m² 以上（一軸圧縮） 最大乾燥密度 90% 以上（R I）

対象として13自治体を抽出し、下水道管渠の埋戻し施工に関する実情を把握することを目的としたアンケート調査を行った。アンケート内容は、埋戻し材料に関する調査、埋戻し施工方法に関する調査、埋戻し土の締固めにおける品質管理規定に関する調査、今後の取組方針・課題等に関する項目について行った。表-1に実態結果の一部を示す。調査を行った結果、現行の施工及び品質管理から重点とすべき施工条件は、地下水位が高い場合での施工、周辺地盤が液状化の恐れがある場合での施工、他企業埋設管近傍による締固め困難時での施工、矢板引抜き・撤去等であることが明らかになった。

3. 施工条件に対する各埋戻し材料で想定される課題

表-1で抽出した重点とすべき施工条件を基に、各埋戻し材料（良質土、砕石、固化処理土）を採用した場合に考えられる課題・対処方法を表-2(a)(b)に整理した。この結果、どの施工条件においても砕石を使用した場合が最も高価であることが確認できた。また、施工条件によっては良質土が最も経済的であるが、運搬費次第で固化処理土が最も経済的になり得る可能性も考えられた。なお、表中の周辺地盤に粘性土がある条件項目は、表-1に明記していないが、一般的な重要事項なので追記している。

表-2(a) 各埋戻し材料で想定される課題

現場施工条件	埋め戻し材料					
	良質土（購入土）		砕石		固化改良土（建設発生土）	
1. 地下水位が高い	<ul style="list-style-type: none"> 地下水位低下工法あるいは釜場排水等の補助工法を併用し、地下水位を低下させた後、締固める必要がある。 		<ul style="list-style-type: none"> 平均粒径 D50 が 10mm 以上、10% 粒径 D10 が 1mm 以上の砕石であれば液状化の可能性なし。 平均粒径 D50 が 10mm 未満、10% 粒径 D10 が 1mm 未満の砕石であれば液状化の可能性があるので、締固める必要がある。 リップ付管を使用する必要性もある。 粒径が大きい砕石を使用した場合、埋設管との離隔に砕石が十分に行き渡らない可能性あり。 		<ul style="list-style-type: none"> 現場一軸圧縮強さが 50~100kN/m² 以上であれば液状化の可能性なし（ただし、室内試験の一軸圧縮強さでは 100~200kN/m² 以上）。 現場一軸圧縮強さが 50kN/m² 未満であれば液状化の可能性もある。また、強度を高く設定し過ぎると、施工後の掘削が困難となる。 	
	工費	①材料費（砂質土）： 1,300~2,200 円/m ³ 平均 2,000 円/m ³ ②残土処分： 1,000~1,500 円/m ³ 平均 1,200 円/m ³ ③工事費： 1,600~2,000 円/m ³ 平均 1,800 円/m ³ 総額：5,000 円/m ³	工費	①材料費（砕石）： 2,800~5,000 円/m ³ 平均 3,000 円/m ³ ②残土処分： 1,000~1,500 円/m ³ 平均 1,200 円/m ³ ③工事費： 1,600~2,000 円/m ³ 平均 1,800 円/m ³ 総額：6,000 円/m ³	工費	①材料費（セメント 50kg/m ³ を想定）： 1,100~1,300 円/m ³ 平均 1,200 円/m ³ ②工事費： 3,000~4,000 円/m ³ 平均 3,500 円/m ³ 総額：4,700 円/m ³
2. 周辺地盤が液状化する可能性が高い地盤である	<ul style="list-style-type: none"> 周辺地盤からの過剰間隙水圧の伝播により管が浮上がる可能性がある。このため周辺地盤が液状化する場合は特に締固め管理には十分留意する必要がある。 		<ul style="list-style-type: none"> 平均粒径 D50 が 10mm 以上、10% 粒径 D10 が 1mm 以上の砕石であれば液状化の可能性なし。 平均粒径 D50 が 10mm 未満、10% 粒径 D10 が 1mm 未満の砕石であれば液状化の可能性があるので、締固める必要がある。 リップ付管を使用する必要性もある。 粒径が大きい砕石を使用した場合、埋設管との離隔に砕石が十分に行き渡らない可能性あり。 		<ul style="list-style-type: none"> 現場一軸圧縮強さが 50~100kN/m² 以上であれば液状化の可能性なし（ただし、室内試験の一軸圧縮強さでは 100~200kN/m² 以上）。 現場一軸圧縮強さが 50kN/m² 未満であれば液状化の可能性もある。また、強度を高く設定し過ぎると、施工後の掘削が困難となる。 	
	工費	①材料費（砂質土）： 1,300~2,200 円/m ³ 平均 2,000 円/m ³ ②残土処分： 1,000~1,500 円/m ³ 平均 1,200 円/m ³ ③工事費： 1,600~2,000 円/m ³ 平均 1,800 円/m ³ 総額：5,000 円/m ³	工費	①材料費（砕石）： 2,800~5,000 円/m ³ 平均 3,000 円/m ³ ②残土処分： 1,000~1,500 円/m ³ 平均 1,200 円/m ³ ③工事費： 1,600~2,000 円/m ³ 平均 1,800 円/m ³ 総額：6,000 円/m ³	工費	①材料費（セメント 50kg/m ³ を想定）： 1,100~1,300 円/m ³ 平均 1,200 円/m ³ ②工事費： 3,000~4,000 円/m ³ 平均 3,500 円/m ³ 総額：4,700 円/m ³

表－２(b) 各埋戻し材料で想定される課題

3. 周辺地盤が粘性土地盤である		<ul style="list-style-type: none"> ・柔らかな粘性土地盤では、十分に締固めることが困難な場合がある。締固めには留意する必要がある。 ・締固めが不十分な場合、過剰間隙水圧が消散できないため液状化の程度が激しくなる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・平均粒径 D50 が 10mm 以上、10% 粒径 D10 が 1mm 以上の砕石であれば液状化の可能性なし。 ・平均粒径 D50 が 10mm 未満、10% 粒径 D10 が 1mm 未満の砕石であれば液状化の可能性があるため、締固める必要がある。 ・リップ付管を使用する必要性もある。 ・粒径が大きい砕石を使用した場合、埋設管との離隔に砕石が十分に行き渡らない可能性あり。 	<ul style="list-style-type: none"> ・現場一軸圧縮強さが 50～100kN/m² 以上であれば液状化の可能性なし（ただし、室内試験の一軸圧縮強さでは 100～200kN/m² 以上）。 ・現場一軸圧縮強さが 50kN/m² 未満であれば液状化の可能性がある。また、強度を高く設定し過ぎると、施工後の掘削が困難となる。
	工費	(良質土による埋戻しは不適)	①材料費（砕石）： 2,800～5,000 円/m ³ 平均 3,000 円/m ³ ②残土処分： 1,000～1,500 円/m ³ 平均 1,200 円/m ³ ③工事費： 1,600～2,000 円/m ³ 平均 1,800 円/m ³ 総額：6,000 円/m ³	①材料費 (セメント 50kg/m ³ を想定)： 1,100～1,300 円/m ³ 平均 1,200 円/m ³ ②工事費： 3,000～4,000 円/m ³ 平均 3,500 円/m ³ 総額：4,700 円/m ³
4. 他企業の埋設管近傍にあり締め固めが困難である		<ul style="list-style-type: none"> ・人力等によることが多く、十分に締固めることが困難。このため不適。 ・場合によっては、流動化処理土を使用する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・平均粒径 D50 が 10mm 以上、10% 粒径 D10 が 1mm 以上の砕石であれば液状化の可能性なし。 ・平均粒径 D50 が 10mm 未満、10% 粒径 D10 が 1mm 未満の砕石であれば液状化の可能性があるため、締固める必要がある。 ・リップ付管を使用する必要性もある。 ・粒径が大きい砕石を使用した場合、埋設管との離隔に砕石が十分に行き渡らない可能性あり。 	<ul style="list-style-type: none"> ・現場一軸圧縮強さが 50～100kN/m² 以上であれば液状化の可能性なし（ただし、室内試験の一軸圧縮強さでは 100～200kN/m² 以上）。 ・現場一軸圧縮強さが 50kN/m² 未満であれば液状化の可能性がある。また、強度を高く設定し過ぎると、施工後の掘削が困難となる。
	工費	(良質土による埋戻しは不適)	①材料費（砕石）： 2,800～5,000 円/m ³ 平均 3,000 円/m ³ ②残土処分： 1,000～1,500 円/m ³ 平均 1,200 円/m ³ ③工事費： 1,600～2,000 円/m ³ 平均 1,800 円/m ³ 総額：6,000 円/m ³	①材料費 (セメント 50kg/m ³ を想定)： 1,100～1,300 円/m ³ 平均 1,200 円/m ³ ②工事費： 3,000～4,000 円/m ³ 平均 3,500 円/m ³ 総額：4,700 円/m ³
5. 矢板引抜きが必要		<ul style="list-style-type: none"> ・工事完了後の矢板引抜き時に土の伴上がりや矢板跡等によって地中地盤の密度が小さくなる。 ・グラウトや水締めを行う必要がある。 ・場合によっては、流動化処理土を使用する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・矢板引抜き時に生じた空隙を間詰める必要がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・矢板引抜き時に生じた空隙を間詰める必要がある。 ・場合によっては、流動化処理土を使用する。
	工費	(良質土による埋戻しは不適)	①材料費（砕石）： 2,800～5,000 円/m ³ 平均 3,000 円/m ³ ②残土処分： 1,000～1,500 円/m ³ 平均 1,200 円/m ³ ③工事費： 1,600～2,000 円/m ³ 平均 1,800 円/m ³ 総額：6,000 円/m ³	①材料費 (セメント 50kg/m ³ を想定)： 1,100～1,300 円/m ³ 平均 1,200 円/m ³ ②工事費： 3,000～4,000 円/m ³ 平均 3,500 円/m ³ 総額：4,700 円/m ³

4. 他分野での品質管理

下水道以外の分野で行われている埋戻し土の品質管理の方法、理論を調査し、下水道分野への適用の可能性について検討を行った。他分野として、水道関連、ガス関連、電力関連、N T T 関連、港湾関連、建築関連、共同溝関連を対象として調査を実施したが、何れの分野でも埋戻し土の品質管理方法を定めていないことが確認された。各分野の調査結果を表-3に示す。

分野	取組方針
水道関連	地震時に周辺地盤が液状化して水道管自体の浮上り・沈下等で不陸が生じた場合でも、水道システム全体として機能していればよく、管継手部が抜け出さないで通水していれば問題ないという方針である
ガス・電力・N T T 関連	ガス管、電力・N T T ケーブルの埋設深度は、基本的にG L - 0.60m ~ 1.20m程度と浅層であるため、埋戻し土の品質管理を含めて、耐震化については特に講じていない
建築関連	大規模建築構造物は、基本的に杭基礎が主体であるため、埋戻し材料で液状化対策を講じていないようである
港湾関連	港湾事業は海洋内の施工となり、埋戻し土の締固めが不可能な状況である。よって、事前にセメント配合試験を行い一軸圧縮強度： $q_u = 100\text{kN/m}^2$ 以上の強度が得られる配合を把握した上で、現地にて固化している。ただし、土砂とセメントを現地にて混合させる際には、混合にムラが生じる恐れがあるため、安全率を2~3と高めに設定しているようである

5. 今後の課題

アンケート調査の結果、品質管理規定等においては各自治体によってまちまちのところもあり、独自の方針を持っている場合がある。よって、現場条件に応じた埋戻し土の施工管理方法を策定するためには、以下の項目に対して、具体的な検証を行うことも必要であると考えられる。

① 液状化対策として効果を発揮する最も経済的な改良土の配合比、配合率について

固化改良土の一軸圧縮強度は、一軸圧縮強度と繰返し強度との関係から判断して、 $q_u = 50\text{kN/m}^2$ 以上を確保することを目標としている。ただし、強度を高く設定しすぎると施工後の掘削が困難となるため、効果を発揮する最も経済的な配合比と配合率を検証する必要がある。さらに現地配合で製作された改良土とプラントで製作された改良土とでは均一性が異なる。前者は掘削土にセメントを混入してバックホウにて混合しているのに対して、後者は改良土プラントで配合量を随時管理していることから、土砂1m³当りに配合するセメント量も大きく異なっているものと考えられる。よって、現場状況ごとの混合方式を考慮して最も経済的な配合比と配合率を検証する必要がある。

② 埋戻し材料（良質土、碎石、改良土）毎に、締固め度90%以上を確実に確保にするための転圧回数及び撒き出し厚さについて

アンケート結果より、基礎部は管渠に衝撃を与えないように注意して、人力・掘削機械等により、管の両側から木蛸等で締固められている。一方、管上方30cm~路盤下までは路床（20cm以下）、路体（30cm以下）を基本としてタンパ等で締固められている状況である。そこで、実際にこれらの撒き出し厚さで液状化に対する効果が見込まれるかどうかを、埋戻し材料毎に検証する必要がある。

③ 締固め密度の確認方法（試験方法、試験位置、試験頻度の明確化）について

アンケート結果より、締固め密度の測定方法（試験方法、試験位置、試験頻度）は、各自治体によって独自の方針を持っている状況であった。そこで、将来的に現場への適用が容易な埋戻し方法と品質管理方法を策定するためには、締固め密度の確認方法（試験方法、試験位置、試験頻度等の明確化）を検証する必要がある。

参考文献

- 1) (社)日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説-2006年版-