

下水道管路施設の埋戻し土の液状化対策工法の施工管理

松橋 学・深谷 渉・小川文章

1. はじめに

東日本大震災で発生した地震・津波は、下水道施設が過去に経験したことのない広域で、甚大な被害をもたらした。管路施設被害は、675kmにのぼり、震源が近く大きな地震動を受けた東北地方では、管路施設の埋戻し土の液状化による被害が多発した。

東日本大震災で被災した地域を対象として、管きよの被害原因について調査した結果¹⁾、図-1に示す通り、管きよの埋戻し土の液状化が被害全体の約7割を占めており、液状化現象に対する管きよの脆弱性が露見するとともに、液状化対策のさらなる促進の必要性を認識した。

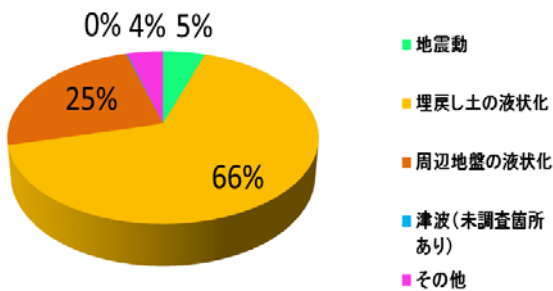


図-1 管きよの被害原因

現在、下水道施設の耐震対策指針と解説²⁾(以下、耐震指針)には、埋戻し土の液状化対策(図-2)として3つの施工方法が示されている。東日本大震災後に液状化対策効果の事例調査を実施したところ、埋戻し土の締固めにより施工された場所での被害事例は確認されなかったものの、東日本大震災後に設置された下水道地震・津波対策技術検討委員会では、埋戻し作業の施工管理が難しく、土質により所定の締固め度が確保できない例がある等の指摘があった。このことから国総研では、一層の液状化対策の促進に向け、管路施設の液状化対策の一つである埋戻し土の締固め工法を対象として、詳細な施工管理方法に関する検討を行った。

	埋戻し土の締固め	砕石による埋戻し	埋戻し土の固化
概要	良質土で締固め(締固め度 90%以上)ながら、埋戻す。	地下水位以深を透水性の高い材料(砕石)で埋戻す。	地下水位以深をセメント固化改良土等で埋戻す。
概念図			
液状化対策の効果	十分な締固めを行うことにより、埋戻し部の過剰間隙水圧を小さくすることが出来るため、液状化に対する効果は大きい。	マンホール・管路近傍部の過剰間隙水圧が消散するため、液状化に対する効果は大きい。	埋戻し部が非液状化層となるため、液状化に対する効果は大きい。

図-2 埋戻し土の液状化対策と概念図

2. 下水道管路施設の埋戻し土の締固め実験

2.1 実験目的

一般に土の締固め度は、含水比、土質、締固めエネルギーなど様々な条件で変化する³⁾。また、下水道管路施設は、掘削幅の狭く深い空間に布設するため、転圧機械の制約や矢板引き抜きの影響、施工時間の制約など、締固めの品質に影響を及ぼす条件によっても得られる締固め度が変化する。そこで、下水道管路施設の埋戻し土の締固めに適した合理的な施工方法及び品質管理方法を検討することを目的とした実験を実施した。

2.2 実験内容

埋戻し土の締固め工法の施工品質に影響があると考えられる管基礎部と埋戻し部の巻出し厚(砂を層状に敷き広げた時の厚さ)、転圧機械及び器具を変えて表-1に示す6ケースの実験を行った。ケース①、②は、巻出し厚を薄くし施工を行った場合を想定し、管基礎部は木だこを用いた巻出し厚10cmでの転圧、埋戻し部はプレートコンパクターを用いた巻出し厚10cmでの転圧とした。なお、ケース②は機械転圧の開始位置を管頂から10cmとした。

ケース③、④は、管基礎部の巻出し厚をS53年事務連絡⁴⁾に記載されている最大の厚さである30cmとし、ケース④の埋戻し部の巻出し厚は30cmとした。

ケース⑤は、転圧時間を管理して実験した。転圧時間は、下水道管路施設の設計の積算歩掛と一般的な施工時の日進量から転圧時間を一層当たり15分として施工した。

ケース⑥は、転圧機械・器具ごとに、所定の締固め度が得られる巻出し厚、転圧回数を事前の試験施工で決定した後、本実験を行った。

表-1 実験ケース

実験ケース	掘削幅	転圧機械・器具		巻出し厚		機械転圧開始位置
		管側部	埋戻し部	管基礎部	埋戻し部	
①	1.1m	プレートコンパクター	木だこ	10cm	10cm	管頂から30cm
②				10cm	10cm	管頂から10cm
③				30cm	10cm	管頂から30cm
④				30cm	30cm	管頂から30cm
⑤	1.5m	ランマー		15cm	30cm	管頂から30cm
⑥				15cm	30cm	管頂から30cm

※管床部はプレートコンパクターにより転圧を実施
 ※管頂部は木だこにより転圧を実施

2.3 実験フィールド

本実験は、国総研の屋外実験場にて行った。実験は、延長6.0m、深さ2.0m、幅は実験条件に応じ1.1m又は1.5mで掘削を行い（図-3）、φ200mmの塩化ビニル管にφ300の小型マンホールを接続した模擬管きよを設置した。土留め壁には軽量矢板を設置し、地表から1mまで埋戻しが完了した段階で引き抜いた。なお実験場は、掘削深さ2mでは、地下水位がない状態であった。

また、ケース⑥の試験施工は、延長2m、幅1.8m、深さ0.6mの掘削断面で実施した（図-4）。

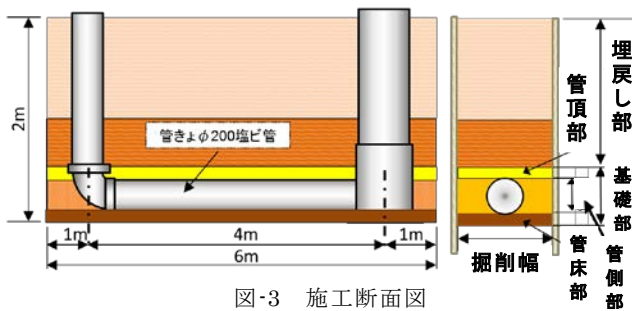


図-3 施工断面図

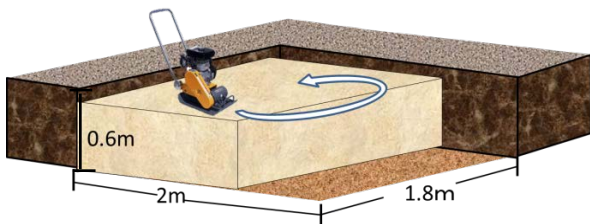


図-4 試験施工断面図

2.4 埋戻し土の条件

本実験では、国総研近傍の砂採り場より購入した土（砂質系土質）を埋戻し土として使用した。

表-2に示す最大乾燥密度 ρ_{dmax} 、最適含水比 W_{opt} は、突固めによる土の締固め試験（JIS A1210）により算出した。

実験時の含水比は自然含水比とし、ケース①、ケース②では、前日の降雪の影響で含水率が大きく、ケース③～⑥は最適含水比に近い値であった。

表-2 埋戻し材料の物性

土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.72
細粒分含有率 F_c (%)	18.6
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.47
最適含水比 W_{opt} (%)	20.2

2.5 転圧機械・器具

本実験では、下水道管路施設の埋設工事に使用される小型転圧機械及び木だこを用いた。実験に用いた機械及び器具は下記の通りである。

(1)木だこ

木材を用いた締固めに用いる木製の道具。丸太や角材に取っ手を付けたものである。本実験では、9cm×9cmの角材を用いた重さ3.9kgの木だこを用いた。

(2)プレートコンパクター

平板の上にエンジンと1軸の起振体を装備した締固め機械で、自重と起振体の振動力により締固めを行うものである。本実験では、52cm×35cmの平板、重量60kg、振動数100Hzのプレートコンパクターを用いた。

(3)ランマー

エンジンの回転力をクランクで上下運動に変換し、スプリングを介してプレートに伝達して締固めを行うものである。本実験では、26.5cm×34cmの衝撃板、重量62kg、衝撃回数10.7～11.6Hzのランマーを用いた。

2.6 測定項目

本実験では、各ケースにおける深さ方向の締固め度について、常用されている砂置換法（JIS A1241）に加え、RI計器による土の密度試験方法により確認した。RI計器は、放射性同位体を利用して土の湿潤密度を測定する測定器であり、短時間の測定で結果が得られること、測定者の個人差が少ないこと、非破壊の測定方法であるため同一箇所でも繰り返し測定が可能なことなどの特色を有している⁵⁾。図-5にそれぞれの測定箇所を示す。

また試験施工は、使用転圧機械及び器具ごとに

実施し、1回転圧するごとに締固め度（RI計器）を測定し、締固め度が90%を超えた場合にさらに別の箇所にて締固め度を測定し、2回連続して締固め度90%を超えた転圧回数を施工時に採用した。また、確認のため転圧回数決定後、砂置換法による締固め度の確認を行った。

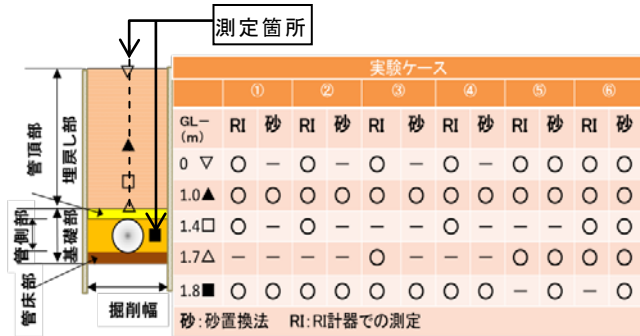


図-5 砂置換法とRI計器による締固め度測定箇所

2.7 実験結果及び考察

(1) ケースごとの締固め度

本実験における砂置換法の締固め度測定結果を表-3に示す。ケース①②では、締固め度90%以上を達成した。

ケース③、及びケース④の管側部では、締固め度90%を達成できなかった。

締固め時間で管理したケース⑤、及び試験施工により転圧回数を決定したケース⑥では、全ての深さで締固め度90%を満足した。また、GL-1mでは、ケース⑥が他のケースに比べ大きな締固め度が得られた他、すべてのケースにおいてGL-1.8mの管側部は埋戻し部よりも締固め度が低くなった。

表-3 測定結果

GL-(m)	①	②	③	④	⑤	⑥
0▽	-	-	-	-	98 ◎	94 ○
1.0▲	99 ◎	94 ○	90 ○	90 ○	96 ◎	100 ◎
1.4□	-	-	-	-	-	100 ◎
1.7△	-	-	-	-	93 ○	94 ○
1.8■	91 ○	92 ○	79 ×	81 ×	93 ○	92 ○
含水率%	28	24	19	18	17	17

※◎：締固め度95%以上、○：同90~95%、×：同90%未満、
-：未計測

(2) 締固め度90%確保に必要な条件

ケース③、④について、プレートコンパクターによる転圧では、締固め度90%を達成したが、

木だこを用いた管側部（巻出し厚30cm）では、締固め度90%を得られなかった。これは、木だこの締固めエネルギーが小さいためであるが、ケース①②のように巻出し厚を10cmとすることで締固め度90%を達成できた。

ケース⑤では、ケース①②よりも転圧回数が多い巻出し厚が薄いことから締固め度90%を達成できたものと考えられる。

ケース⑥では、試験施工により締固め度90%を達成可能な転圧回数や巻出し厚を設定しているため、締固め度90%を達成できたものと考えられる。これらの実験結果に基づき、締固め度90%を達成するために必要な因子を整理すると、転圧機械、巻出し厚、転圧回数となる。

現場管理の容易性を考慮すると、土質に応じた転圧機械の選定と、機械毎の最適な巻出し厚及び転圧回数の設定が、締固めの管理には重要であると考えられる。

(3) RI計器による狭隘部の締固め度の品質管理

砂置換法は室内試験が必要なため、結果が判明するまでに時間を要する。時間的制約が大きい下水道管路施設工事では、現場で即時に締固め度を測定できる試験法が望ましく、ここでは、RI計器を用いた締固め度の品質管理の適用可能性を検討した。

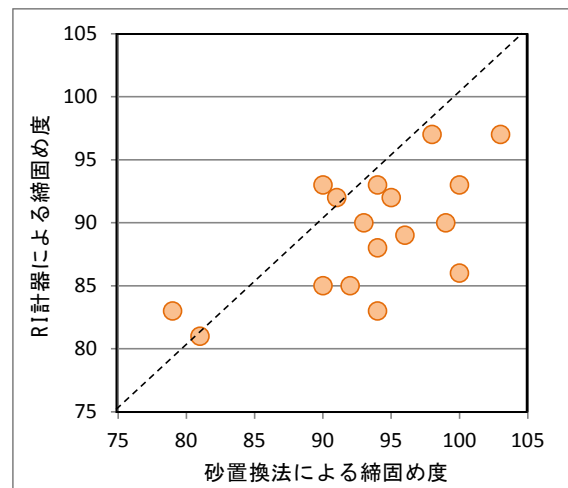


図-6 砂置換法とRI試験法の比較

図-6に砂置換法とRI試験法の締固め度の関係を示す。RI計器と砂置換法の誤差は最大で14%だが、道路盛土の品質管理にRI計器の適応性を検討した事例では2%程度の誤差が想定されており⁶⁾、本実験では大きな誤差が発生している。管

側部などの狭隘部では、埋設管や矢板が近傍にあることが原因と推測され、RI計器の適応については課題が残った。

(4)試験施工による埋戻し土の品質の管理

図-7に示すように試験施工は、木だこ（巻出し厚15cm）、プレートコンパクター（同30cm）、ランマー（同30cm）を用いて行った。締固め度は、木だこでは6回転圧で締固め度93%、プレートコンパクターでは7回転圧で締固め度91%、ランマーでは3回転圧で締固め度96%であった。試験施工の結果からプレートコンパクターに比べランマーを用いた方が効率的に締固め度を得られることからケース⑥の使用機械と転圧回数は、管側部を木だこで巻出し厚15cm、転圧回数6回、埋戻し部をランマーで巻出し厚30cm、転圧回数3回とした。その結果、ケース⑥では全深さで締固め度90%以上となり、試験施工に基づく下水道管路施設の埋戻しに一定の効果があることが分かった。

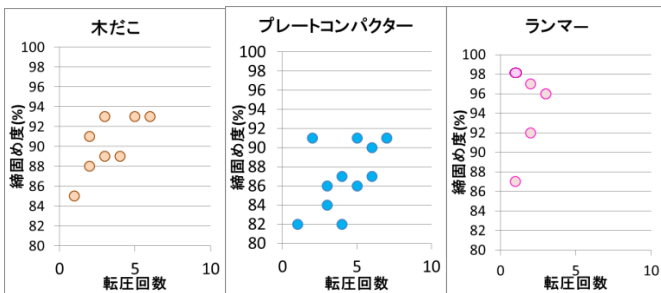


図-7 試験施工結果

3. まとめ

本実験では、埋戻し土の締固め度の品質管理方法として試験施工に基づく施工管理手法を提案し、試験施工を行うことで効率的に締固め度90%程度以上を達成できることを実験により確認した。

品質管理を施工者に委ねる従来方法に比べ、本実験で提案した方法は、施工管理者が施工現場で転圧回数や巻き出し厚などをより正確に設定できることから、より確実な施工を行えると期待できる。

一方、狭隘部に下水道管路施設が埋設されている場合に、現地で短時間に締固め度を測定する手法がないため、直接的な品質管理ができないことから、今後の測定機器の開発が望まれる。

なお本実験で行った試験施工方法等の成果は、新たに発刊される下水道施設の耐震対策指針に反映された⁷⁾。

参考文献

- 1) 下水道地震・津波対策技術検討委員会：下水道地震・津波対策技術検討委員会報告書、p26、平成24年3月
- 2) 社団法人日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説（2006年版）、pp.136～163、2006年
- 3) 社団法人日本道路協会：道路土工盛土工指針、pp.211～230、平成22年4月
- 4) 山海堂：下水道関係通達集昭和59年版、pp.490～496、昭和59年5月
- 5) 公益社団法人地盤工学会：地盤調査の方法と解説-二分冊の2：p808、平成25年3月
- 6) 五十嵐己寿：道路盛り土の品質管理手法、高速道路と自動車、第29号、第4号、pp.39～47、1986
- 7) 公益社団法人日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説（2014年版）、発行予定

松橋 学



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道研究室 研究官
Manabu MATSUHASHI

深谷 渉



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道研究室 主任研究官
Wataru FUKATANI

小川文章



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道研究室長
Fumiaki Ogawa