

# 管水路基礎材に石灰系固化処理土のすすめ —液状化対策及び泥炭土壌での沈下対策—

室蘭開発建設部 胆振農業事務所 ○小野 尚二  
株式会社 フロンティア技研 鈴木 和志  
茨城大学 農学部 毛利 栄征

平成30年9月6日に発生した北海道胆振東部地震により被災した農業用用水施設の復旧工事は今年度をピークに順調に復旧を進めているところである。管水路の被害は、泥炭地盤で大きかったことから、復旧工法には耐震管の使用と併せて、液状化対策及び沈下対策から管水路基礎材として石灰系固化処理土を採用した。本稿では、採用経緯と施工管理方法を紹介するとともに、工事成果をもとに締固め効果について検証したので報告する。

キーワード：胆振東部地震、災害復旧、農業用パイプライン、管水路基礎材、石灰系固化材

## 1. はじめに

平成30年9月6日に発生した北海道胆振東部地震により国営かんがい排水事業「勇払東部地区」(図-1)では、厚真ダム及び厚幌導水路などの農業用用水施設は甚大な被害を受けた(写真-1)。管水路では、特に泥炭地盤で被害が大きかったことから、復旧工法には耐震管の使用と併せて、管水路基礎材は液状化対策及び沈下対策を目的として石灰系固化処理土を採用した。

石灰系固化材は、もとのままの状態では土工材料として使用できない不良土を工事目的に応じて要求される品質に変えることのできる地盤改良工法として利用されてきている<sup>1)</sup>。

地盤改良は、道路盛土・路床・路盤、鉄道、空港、港湾、建物の基礎工事、河川の改修、宅地造成など多様な工種に及び、対象とする地盤や土構造物の機能向上を実現している<sup>1)</sup>。農業用パイプラインでは、基礎材としてセメント系固化処理土の利用実績が多数報告されているが、石灰系の固化処理土の利用事例は少なく、特に大口径管水路への適用事例は皆無である。

このため、本稿では、基礎材に石灰系固化処理土を採用した検討経緯と現場で実施した施工管理方法を紹介するとともに、過年度の工事成果をもとにその締固め効果について検証したので報告する。

## 2. 石灰系固化処理土について

土と石灰の反応原理は、土中水との消化吸水反応を通して生成される消石灰のイオン交換反応により土粒子の凝集化(団粒化)が進み、その後、生成された消石灰がポゾラン反応を起こして土粒子の凝結を促進させ、中長期的に安定処理土の強度が高まる<sup>1)</sup>というものである。

ONO Shoji, SUZUKI Kazushi, MOHRI Yoshiyuki

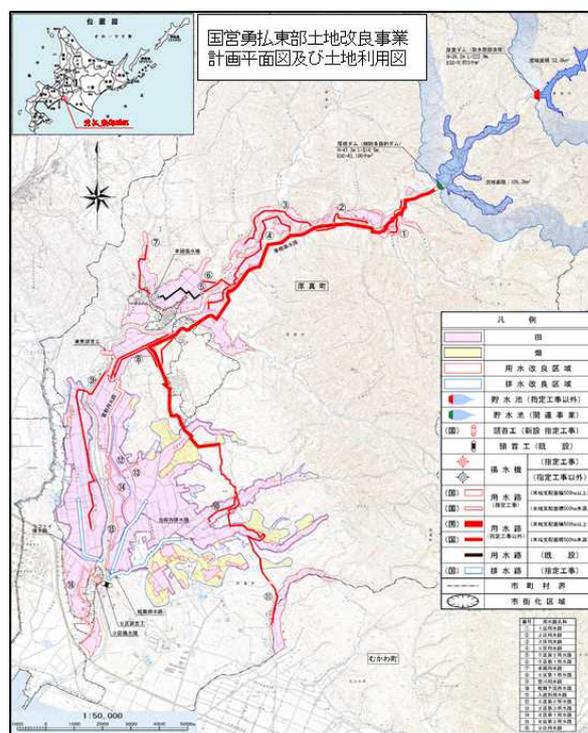


図-1 勇払東部地区の概要



写真-1 パイプラインの地震被害の状況

土質改善効果は、①含水比や塑性指数（IP）を低下させ、施工性を早期に改善する、②低強度から高強度まで所用の改良強度を発現させることが容易である、③長期におよぶ強度発現が可能である、④改良土を破碎した場合、適度な締固めによって再固化する、⑤安定処理後、長期に仮置きを行っても強度の確保は可能である<sup>1)</sup>とされている。

表-1 事業による施工方法

事業区分	地盤区分	管構造	管基礎材
基本事業	—	継手構造	火山灰土、切込砂利
災害復旧事業	泥炭等の軟弱地盤	鎖構造	石灰系固化処理土
	普通地盤	継手構造	石灰系固化処理土

### 3. 直轄災害復旧事業「勇払東部地区」の概要

厚真町及びむかわ町を受益とする国営かんがい排水事業「勇払東部地区」（以下「基本事業」という。）は、地域の用水改良及び排水改良を目的に平成13年度に着工した。平成31年度の事業完了に向けて事業推進していたところに、平成30年北海道胆振東部地震が発生し、厚真ダム及び厚幌導水路などの農業用水施設は甚大な被害を受けた。被災後に直轄災害復旧事業「勇払東部地区」（以下「災害復旧事業」という。）に着手し、現在、令和5年度の事業完了に向けて復旧工事を実施している。なお、基本事業については、災害復旧事業の完了後に事業完了すべく令和6年度まで工期延伸を行っている。

### 4. 管水路基礎材の検討経緯

#### (1) 厚幌導水路の管構造の選定

泥炭等の軟弱地盤での管水路の地震被害は、管の離脱や沈下などの被害が顕著であったことから、泥炭地盤において復旧する管構造は、地震による現地盤のせん断剛性の低下も考慮し、基礎地盤の変位に追従でき離脱防止に対応できる「鎖構造継手管路」とした。なお、普通地盤では、現地盤のせん断剛性の低下は生じていないことから、現況の管構造と同様の「継手構造管路」とした（表-1）。

#### (2) 基本事業の管水路基礎材

管水路の基礎材について、基本事業では、地下水位が低いところは火山灰土、高いところは一般的に液状化抵抗力の高い材料である切込砂利（0～40mm）を使用していた（表-1）。

地震発生後の管水路の被災現場では、基礎材として施工した切込砂利層で、粒径の大きな砂利と砂分が分離して大きく変状（沈下）しており、「基本事業で使用している基礎材の粒度分布はあまりよくないのではないのか。」との懸念から、基本事業で使用していた火山灰土と切込砂利（0～40mm）について、液状化判定の検討を行うこととした。基本事業で管基礎材として使用していた火山灰土と切込砂利は、粒度特性から、液状化判定が必要な材料であった（表-2、表-3）。

さらに、繰り返し非排水三軸試験で、液状化判定に必要な液状化強度比 $R_L$ 値を算定し、液状化の判定指標と

表-2 基本事業基礎材の物理的特性

試料番号	切込砂利	火山灰土
締固め度（%）	90%程度	95%程度
土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.696	2.707
粒度特性（%）	礫分	13
	砂分	77.6
	シルト分	6.6
	粘土分	2.8
最大粒径(mm)	19	37.5
分類	S-VG 火山灰質土	GS 砂質礫

表-3 基本事業基礎材の粒度特性による液状化判定

試料	項目	粒度特性値	判定基準	液状化検討の必要性
切込砂利 0～40mm	50%粒径D50	4.016mm	10mm以下	必要
	10%粒径D10	0.168mm	1mm以下	必要
	細流分含有率 FC	4.2 %	35%以下	必要
火山灰土	50%粒径D50	0.634mm	10mm以下	必要
	10%粒径D10	0.096mm	1mm以下	必要
	細流分含有率 FC	9.4 %	35%以下	必要

注) 判定基準(液状化検討の有無)は、道路示方書・同解説 V 耐震設計編

表-4 基本事業基礎材の液状化計算条件

項目	切込砂利	火山灰土
繰返し三軸強度比 $R_L$	0.220	0.389
地震時特性補正係数 CW		
・レベル1	1.00	1.00
・レベル2(タイプI)	1.00	1.00
・レベル2(タイプII)	1.40	1.95
湿潤重量 $\gamma_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	20.4	15.3
飽和重量 $\gamma_{sat}$ (g/cm <sup>3</sup> )	21.6	16.9
地域区分	勇払郡:B2	
地下水位	GL-1.0m	
耐震上の地盤種別	不明のため比較計算	

表-5 基本事業基礎材の液状化抵抗率 $F_L$ 値の算定

基礎材	土被り	Ⅱ種地盤			Ⅲ種地盤		
		レベル1	レベル2		レベル1	レベル2	
			タイプI	タイプII		タイプI	タイプII
切込砂利 0～40mm	2.0m	1.098	0.317	0.327	0.952	0.357	0.385
	4.0m	1.025	0.296	0.311	0.889	0.333	0.366
火山灰土	2.0m	1.765	0.510	0.746	1.530	0.574	0.877
	4.0m	0.674	0.484	0.707	1.451	0.544	0.832

注1) 検討管種はFRPM管(φ2000mm)、管頂以上の埋戻土は火山灰土、地下水位は地表面から1mの条件設定  
 注2) 地盤の基本固有周期により地盤種別を区分 Ⅱ種(0.2≤TG<0.60)、Ⅲ種(TG≥0.6)  
 注3) レベル1地震動はしばしば発生する地震動(施設の耐用年数内に1～2回)、レベル2地震動は極めて希で、地点最大級の地震動  
 注4) タイプIはプレート型地震、タイプIIは内陸型地震

なる液状化抵抗率 $F_L$ 値の算定を行った（表-4、表-5）。検討ケースは、基礎材には基本事業で利用していた火山灰土と切込砂利として、土被りを2mと4mの2ケース、地下水位は地盤から1mの位置にあるものとして地

下水が高い条件設定とした。計算結果では、胆振東部地震を想定して、内陸型地震（タイプⅡ）のレベル2地震動の場合、切込砂利のF L値は約0.3、火山灰土のF L値は約0.7～0.8と算定された。基本事業で使用していた両基礎材は、「液状化の可能性あり」との判定結果となった（表-5）。一般的に液状化対策に有効であるとして使用していた切込砂利は、火山灰土より液状化指数が低く、管内で入手できる切込砂利（0～40mm）は粒土分布が良くないことが要因と推察した。

### (3) 災害復旧事業の管水路基礎材

泥炭地盤での基礎材料の選定においては、地下水位が高いことから液状化対策と併せて、基礎地盤の中長期的な沈下対策を考慮する必要があった。

泥炭土の単位体積重量 約 11 kN/m<sup>3</sup>に対して、切込砂利は 18 kN/m<sup>3</sup>であるので、泥炭土との重量比からすると、切込砂利は長期的な沈下に対する懸念がある。なおかつ、管内の切込砂利（0～40mm）は液状化抵抗率が極めて低い値のため、使用しないこととした。

一方、火山灰土については 14 kN/m<sup>3</sup>と比較的軽い材料であり、長期的沈下に対しては、軽い材料が有利であると考え、火山灰土の利用を基本として工法検討を行った。工法選定にあたっては、補強土工法などを用いた変形・沈下を拘束する工法や火山灰土以外の軽量な材料の利用などについて、賦存量、施工性、経済性などを検討した。その結果、基礎材料は現地で入手しやすい火山灰土に固化材（石灰系）を添加した固化処理改良土を採用することで、基礎材料の軽量化と液状化対策を図った。

石灰系固化材はセメント系のものと違い、強固に固化しないので再掘削が可能で、強いアルカリ分が少なく六価クロム溶出などの懸念がないことが、農地の下に埋設する農業用パイプラインでは有効な基礎工法と考えた。

なお、普通地盤においても液状化対策を踏まえ、石灰系固化処理土を基礎材に採用した（表-1）。

### (4) 配合条件（固化材の添加量）

固化材の添加量については、これまでの管基礎の設計と同様に、一定の仕様を定めて管理する締固めである「締固め度Ⅰ（締固め度90%程度）」とし、改良基準値は、切込砂利40mm級の締固め度 90%に相当する一軸圧縮強度  $q=100\text{kN/m}^2$  以上を目標とした。

必要な締固め度と一軸圧縮強度が確保できる固化材の添加量を決めるため、火山灰土 1m<sup>3</sup>に対して、固化材の混合量 1～6%の試験体で、強度試験を実施した。試験結果では、いずれのケースも 3日強度で 100kN/m<sup>2</sup> 以上が確認された。ただし、現場施工での品質のばらつきを踏まえ、添加量 1%（添加量20kg/m<sup>3</sup>）を除外した最小添加量となる 2%（添加量30kg/m<sup>3</sup>）を採用することとした（表-6、図-2）。

## 5. 施工管理方法

### (1) 施工条件と品質管理

改良土の製造については、各工事ごとで行うのではなく、2箇所土砂プラントで一括製造し、土砂プラントでの製造土ごとに圧縮強度100 kN/m<sup>2</sup>以上（材令3日）の確認を行った。

また、締固め度は、施工上のばらつき±5%を踏まえて平均値 90%、下限値 85%（締固め度Ⅰ）とし、管底部、管側部の左右、管頂部を200mごとに砂置換法による管理を標準とした。実態では、施工業者の品質管理として概ね100mごとに測定している状況であった。

工事の作業標準については、各工事ごとに使用する締固め機械を使用した転圧試験を実施し、所用の締固め度及び一軸圧縮強度が得られる転圧回数を決定した（表-7）。なお、施工された基礎材の圧縮強度の確認については、現場で簡易に実施できる衝撃加速度試験を採用し、工事に先立ち、室内試験により一軸圧縮強度と衝撃加速度の関係図を作成し、現場にて衝撃加速度を計測することで、一軸圧縮強度を推定する手法をとった。

表-6 改良前の火山灰土の物理特性

項目		値
含水比 (%)		29.8
湿潤密度 (g/cm <sup>3</sup> )		1.367
乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )		1.053
粒土試験 (%)	礫 >2.00mm	10.5
	粗砂 2.00～0.42mm	59.4
	細砂 0.42～0.075mm	16.9
	シルト・粘土 <0.075mm	13.2

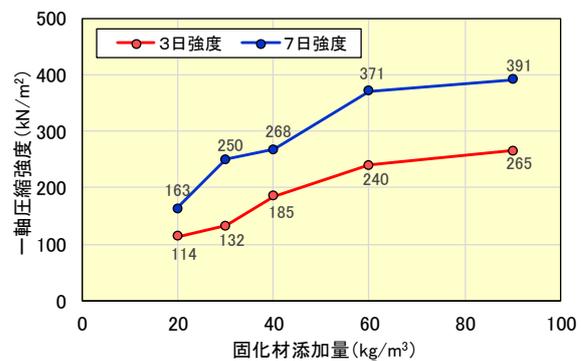


図-2 固化材添加量と一軸圧縮強度の関係

表-7 作業標準（転圧回数）の設定事例

転圧機種	転圧回数	①現場密度 Dc			②衝撃加速度 I	
		乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	含水比 (%)	締固め度 (%)	転圧直後 (G)	転圧3日後 (G)
タンピングランマー	2回	1.126	26.7	84.0	39.7	61.2
	4回	1.213	26.7	90.5	56.6	90.9
	6回	1.250	26.2	93.2	70.5	99.9
振動ローラ (ハンドガイド)	2回	1.114	26.0	83.1	36.2	56.9
	4回	1.190	25.7	88.8	50.7	82.8
	6回	1.208	26.6	90.1	54.6	87.9

注1) 今回は衝撃加速度 I=81.4G以上で、 $q_u=100\text{kN/m}^2$ を満たすとの試験結果

注2) 締固め度85%以上で、衝撃加速度 I=81.4G以上 ( $\sigma$  3)である4回転圧を採用

(2) 施工上の留意点

a) 材料管理

石灰系固化処理土については、改良土製造後の仮置き時間の長さ等が変化すると、目標強度を得るために必要な固化材の添加量が増加し、仮置き時間が長くなるほど、固化材添加量は増加している<sup>1)</sup> (表-8)。

このことから、改良土製造後3日後程度であると、それほど固化材添加量が増加していないこと、つまり、3日程度の仮置きであると大きく強度低下しないと考え、現場では、改良土の使用に際しては、搬入当日の施工を基本として、少なくとも搬入後3日以内には施工することとした。なお、残土を現場内で仮置きする場合は、シート養生を実施することとした。

b) 基礎材の施工

管水路基礎材の施工で一番重要となるのは、ドライワークによる十分な締固めを行うことであるので、施工中の水替えや仮排水暗渠などを適正に実施することで、ドライワーク施工の徹底を行った。

c) 継手部の管水路基礎

管水路の施工で、継手部が突起状のもの（継手部の管外形が本体部分より大きい構造など）で継手部が支点となる恐れがある場合は継手部の深掘り（以下「継手堀」という。）を行う。ダクタイル鋳鉄管のS形管やK形管、フランジ継手などの場合、管外周のボルト締めを要することから、継手堀が大きくなり、その部分の締固めが不十分になることが懸念された。このため、継手堀部で密度試験の実施を行い、締固め方法については施工業者各社が提案・実施を行い、所用の品質確保に努めた。

6. 効果

(1) 対象工事の選定

大口径管水路の復旧工事は令和元年度、令和2年度と2か年の実績を得たことから、基礎材料に切込砂利と火山灰土を利用した基本事業と比較して、石灰系固化処理改良土の品質の検証を試みた。

口径2000mm以上の大口径管路を対象として、検証項目は、「締固め度」と「たわみ率」について行った。「締固め度」は、管種に関係ないため、口径2000mm以上の区間を対象にデータ整理を行い(表-9)、「たわみ率」については、基本事業と災害復旧事業で同様の管種であるFRPM管の区間を対象に行った(表-10)。

(2) 締固め度

「締固め度」については、基本事業においても適正な施工がされており、大きな差はなかったが、わずかであるが平均値が向上し、最大値と最小値の範囲が狭まったことが確認できた(表-11、図-3)。

表-8 目標強度(150kN/m<sup>2</sup>)を得るために必要な固化材の添加量

固化材	項目	混合直後	仮置き時間		
			1日	3日	6日
石灰系固化材	固化材添加量(kg/m <sup>3</sup> )	56	64	74	135
	混合直後の添加量との比	1.00	1.14	1.32	2.41
高炉セメントB種	固化材添加量(kg/m <sup>3</sup> )	17	47	63	102
	混合直後の添加量との比	1.00	2.76	3.71	6.00
セメント系固化材	固化材添加量(kg/m <sup>3</sup> )	16	40	70	100
	混合直後の添加量との比	1.00	2.50	4.38	6.25

注1) 日本石灰協会「石灰による地盤改良事例集 (I) P98」H23.7発行

表-9 締固め度の工事データ

施工事業	管基礎材	施工年度	管種	締固め度データ		
				管底部件数	管側部件数	関係工事件数
基本事業	切込砂利火山灰土	H16~H29	FRPM管 DCIP 鋼管	183件	384件	51件
災害復旧事業	石灰系固化処理土	R1~R2	FRPM管 DCIP	91件	179件	29件

注1) 管水路口径は2000mmと2200mm

注2) 現況地盤は普通地盤、軟弱地盤で両事業で同じ箇所を選定

表-10 たわみ率の工事データ

施工事業	管基礎材	施工年度	管種	口径	たわみ率データ	
					データ件数	関係工事件数
基本事業	切込砂利火山灰土	H18~H29	FRPM管	φ2200 φ2000	594件	17件
災害復旧事業	石灰系固化処理土	R2	FRPM管	φ2200 φ2000	326件	7件

表-11 締固め度の比較

施工事業 (基礎材)	基本事業 (火山灰土、切込砂利)		災害復旧事業 (石灰系固化処理土)		向上した締固め密度	
	基床部	管側部	基床部	管側部	基床部	管側部
平均値	92.00%	91.70%	92.20%	91.80%	0.20%	0.10%
①最大値	97.10%	96.60%	97.30%	97.60%	0.20%	1.00%
②最小値	86.00%	86.10%	87.20%	87.30%	1.20%	1.20%
差(①-②)	11.10%	10.50%	10.10%	10.30%	-1.00%	-0.20%

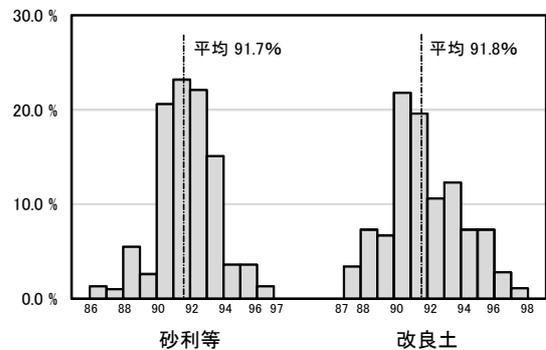


図-3 締固め度(管側部)のばらつき

### (3) たわみ率

「たわみ率」については、①管据付時（接合完了後）、②管頂埋戻時、③埋戻完了時（矢板施工の場合は、①管据付時、②矢板引抜き時、③埋戻完了時）に測定を行っているが、最終的な施工の評価となる「埋戻し完了時」のデータについて比較してみた。火山灰土及び切込砂利に比べて、石灰系固化処理土では平均で約 0.4%の軽減が確認された。最大値においては、約 1.4%軽減されていた。

矢板工法による施工の場合、矢板の引き抜きによって基礎材が緩んでしまうことが課題であるが、たわみ率の最大値が1.4%軽減されたことは、矢板の引き抜きによる基礎材のゆるみが緩和されていると考える。

また、データのばらつきについても小さくなっており、石灰系固化処理土では安定した品質が確保できていることが確認できた（表-12、図-4、図-5）。

## 7. 活用に際して

今回、災害復旧事業の管水路基礎材として石灰系固化処理土を採用し、品質管理や各種の施工管理を実施したことなど総合的に見て、ドライワークのために適切な水替えと適切な締固めを実施することで、高い施工品質が確保され、結果として施工性が向上したことが確認できた。例えば、口径2000mmのダクタイル鋳鉄管のS形管等の場合、管継手部の基礎は深さ80cm程度の継手堀を行うが、通常は継手堀の法面が崩れてくるので土のうなどで対応する機会が多い。しかし、石灰系固化処理土の場合は、削り取るだけでしっかりと締め固まっているので、溝が崩れることなく断面確保ができています（写真-2）。

本章では、今後の活用の参考となるように、当現場での石灰系固化処理土の活用に際しての内容等をまとめた。

### (1) 配合試験

現地で安価に入手できる土砂を活用し、使用にあたっては事前に配合試験を実施し、強度設定から固化材の添加量を決める。当現場では、一軸圧縮強度を100kN/m<sup>2</sup>以上と設定した。

### (2) 材料管理

扱い土量によるが、各現場での管理ではなく、品質確保の観点から土砂プラントでの一元管理が望ましい。

改良前の土の含水比等は変化することから、土砂プラントごと、改良土の製造土ごとに一軸圧縮強度試験により品質を確認する。

時間経過に伴う圧縮強度の低下を踏まえて、現場では、当日使用する土量の納入を原則とし、残土はシート養生を行うこととし、3日以内には使用する。

なお、当現場では含水比管理までは行わなかったが、石灰による改良効果に最も影響を与える土の特性は、含

水比と考えられるので、今後、現場の施工管理として、どのような管理を行うのが良いのか検討が必要である。

表-12 埋戻し完了後のたわみ率の比較

施工事業 (基礎材)	施工区分	基本事業 (火山灰土、切込砂利)			災害復旧事業 (石灰系固化処理土)			軽減されたたわみ率		
		開削	矢板	全体	開削	矢板	全体	開削	矢板	全体
平均値	Dv	0.51%	0.80%	0.59%	0.16%	0.33%	0.22%	-0.35%	-0.47%	-0.37%
	Dh	-0.61%	-0.81%	-0.67%	-0.20%	-0.50%	-0.30%	-0.41%	-0.31%	-0.37%
最大値	Dv	2.16%	2.55%	2.55%	1.29%	1.25%	1.29%	-0.87%	-1.30%	-1.26%
	Dh	-1.91%	-2.70%	-2.70%	-0.98%	-1.30%	-1.30%	-0.93%	-1.40%	-1.40%

注) 「Dv」は垂直方向、「Dh」は水平方向のたわみ率

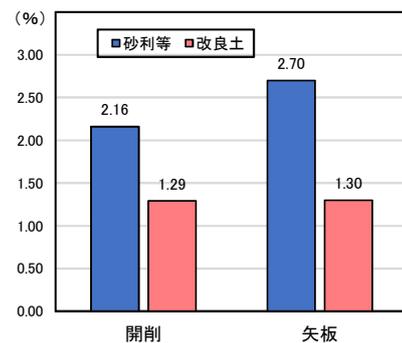


図-4 たわみ率 (Dv) の最大値の比較

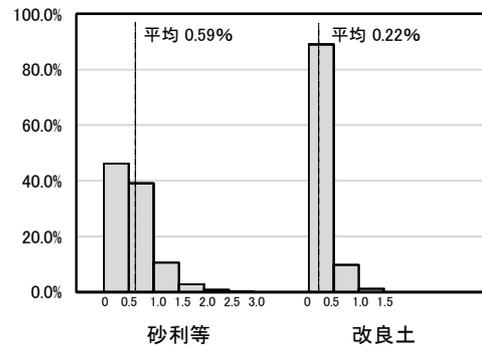


図-5 たわみ率 (Dv) のばらつき



写真-2 継手堀の施工状況 (口径 2000mm)

### (3) 施工管理

締固め度管理は、通常の基礎材と同様に砂置換法により実施する。当現場では締固め密度 I としたが、施工のばらつきから平均値 90% でなお、下限値が 85% とする施工管理となるため、特に大口径管水路では、厳密な施工管理のもと下限値 90% で管理するのが望ましいと考える。

一軸圧縮強度と衝撃加速度の関係を室内試験で求めておき、現場で簡易にできる衝撃加速度試験により現場強度の管理を実施する。

### (4) 効果

一般に埋戻し地盤の施工では締固め度にある程度のばらつきが生じ、強度や地盤反力係数もばらつくこととなる。石灰系固化処理土を用いた埋戻し地盤や基礎地盤は、これらのばらつきが小さく、より安定した施工品質を確保できている。特に、パイプのたわみ量のばらつきは抑制される結果となっている。

管水路基礎において、石灰系固化処理土を利用することで、基礎材の圧縮沈下や変形が抑制され、目標とする締固め度（一軸圧縮強度）の基礎が安定した品質で確保でき、パイプのたわみ抑制にも寄与すると考えられる。

なお、現場で使用している石灰系固化処理土（添加量  $30\text{kg}/\text{m}^3$ 、材令 7 日）について、繰り返し非排水三軸試験を実施し、液状化抵抗力（液状化強度比  $R_L$  値）を求めた。試験結果から、粘着力  $C=209.5\text{ kN}/\text{m}^2$ 、内部摩擦角  $\phi=43.9^\circ$ 、液状化抵抗力  $R_L=0.440$  が求まり、液状化抵抗力は火山灰土の  $R_L=0.389$ （表-4）よりも大きい値となり、粘着力及び内部摩擦角は大きい数値であり、総合的に判断して液状化抵抗力は大きく向上し、液状化対策として有効であることが確認できた。

また、火山灰土などの軽量な土砂を基礎材に利用できるので、泥炭土壌などの軟弱地盤での沈下対策として有効となる。ただし、固化反応に影響する物質が母材に含まれていないことが必須であり、泥炭土などの有機物を含有する場合には使用すべきではない。

### (5) 経済性

改良土の経済性は、埋戻土に加えて、石灰、攪拌作業、運搬費等が割増しになり、切込砂利と比較すると現場着単価で約 2 倍程度となったが、管水路基礎材が管水路工事に占める割合は 1～2% 程度であり、全体工事費にさほど影響しないといえる。

## 8. おわりに

石灰系固化処理土の管水路への採用は、平成 16 年新潟県中越地震によって液状化した管路施設の本復旧工事において、「埋戻し部の固化」が多数採用されている。

ここで、事例を紹介すると、刈羽村の管路施設の本復旧工事、液状化対策工事では、①改良土を製造してから、仮置き時間を取っても所要強度を確保できる、②土壌を強固に固化しないので、施工後の再掘削作業が容易である、③再掘削した改良土を埋戻土として再利用が可能である、④六価クロム溶出試験を必要としない、といった特徴が評価され、石灰系固化材が使用された。さらに、平成 19 年新潟県中越沖地震において、石灰系固化処理土を埋め戻した管路施設は液状化しなかった。また、石灰系固化処理土の埋戻し箇所は、バックホウによる再掘削が可能であった。本事例により、液状化対策工事のうち、「埋戻し部の固化」において、石灰系固化材が適用可能であることが確認されている<sup>2)</sup>。

なお、新潟県の事例は、原土として、砂質土を使用した事例であり、本稿は火山灰土を利用した事例である。

石灰系固化処理土の利用に際しては、各現場の目的や条件に応じて検討を行うことが必要と考えるが、本稿が今後のより品質の高い農業用パイプラインの設計・施工につながればと考える。

### 参考文献

- 1) 日本石灰協会 (2016) 「石灰による地盤改良マニュアル」
- 2) 日本石灰協会 (2017) 「石灰による地盤改良事例集 (I)」