防災・減災、国土強靭化に資する
セメント系固化材による地盤改良

一般社団法人セメント協会

序

近年、日本各地で地震が多発し甚大な地震災害が発生している。さらに、大型台風の襲来や豪雨も頻発し、河川堤防の決壊や土砂崩れなどの災害も数多く発生している。このような状況の下、セメント系固化材による地盤改良技術は災害を受けた施設の復旧・復興工事や将来への防災・減災工事などに広く活用されている。

セメント協会では、2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震直後にセメント系固化材技術専門委員会・セメント系固化材普及専門委員会のもとに震災調査ワーキンググループを組織し、被災地域においてセメント系固化材を用いて施工された改良地盤の被害状況の調査を実施した。さらに、将来の大規模災害に備えた工事として、全国各地で実施されている新設・既設の土木施設や建築施設を対象としたセメント系固化材を用いた地盤改良工事の調査を実施した。これらの調査結果は、「東日本大震災におけるセメント系固化材を用いた地盤改良に関する調査報告書（2013 年 2 月発刊)」と「大規模災害に対してセメント系固化材による地盤改良が果たす役割（2015 年 3 月発刊)」に取りまとめた。さらに、2016 年度からは震災調査ワーキンググループを改組した事例調査ワーキンググループでセメント系固化材が適用された工事の情報を収集し、その調査結果を「セメント系固化材の拡がる用途と役割（2018 年 4 月発刊)」に取りまとめた。

これまでの調査によって、セメント系固化材を用いた地盤改良技術は、液状化対策や地盤安定対策、既存構造物の耐震補強技術、災害によって発生した廃棄物の処理などのさまざまな分野・用途に用いられていること、さらに常時だけでなく地震時においても非常に高い改良効果を示していることが明らかになった。このように、今やセメント系固化材を用いた地盤改良技術は、さまざまなインフラ施設の整備に必要不可欠な技術となっている。

セメント協会では、本地盤改良技術のさらなる発展と普及を目指すと共に、地盤改良工事に従事される方々の参考となるよう、セメント系固化材が適用された工事の情報を継続して収集することにした。情報収集にあたっては、全国各地の発注者、施工者などの関係機関のご協力を頂き、復旧・復興、防災・減災などの国土強靭化に適用された工事事例を軸に、汎用的な工事事例、海外視察での情報などの数多くの事例の収集を行った。

セメント系固化材を用いた地盤改良技術が軟弱地盤の支持力の増強や地盤変形の防止のみでなく液状化対策としても今後ますます適用され、大地震や土砂災害などに対しても強靭なインフラ施設の整備に活用されることを期待する。

2021 年 11 月

セメント系固化材普及専門委員会

セメント系固化材技術専門委員会

事例調査ワーキンググループ

主査　北**誥**　昌樹

セメント系固化材普及専門委員会・セメント系固化材技術専門委員会
事例調査ワーキンググループ

（敬称略・順不同）

主査	北**誥**　昌樹	東京工業大学	
普及委員長	斎藤　準護	太平洋セメント株式会社	
技術委員長	黒澤　功	宇部三菱セメント株式会社	
委員	河本　年史	株式会社トクヤマ	
	佐々木　慎一	麻生セメント株式会社	
	杉山　和久	住友大阪セメント株式会社	
	吉田　雅彦	住友大阪セメント株式会社	
	藤原　要	一般社団法人セメント協会	（21 年 6 月退任）

海外調査

香港調査団長	北**誥**　昌樹	東京工業大学	
フランス調査団長	半井　健一郎	広島大学	

事務局	小宮山　慎一郎	一般社団法人セメント協会	
	中村　弘典	〃	

目　次

1. はじめに 1

2. 近年の自然災害とセメント系固化材による地盤改良 2

2.1 近年の自然災害 2

2.2 自然災害に対するセメント系固化材の適用実績 4

3. 調査概要 10

4. 復旧・復興、防災・減災における地盤改良工事 12

4.1 住宅地の災害復旧工事～札幌市清田区～ 12

4.2 白川・緑川の河川堤防復旧工事 17

4.3 損傷杭の補強に適用した高圧噴射撹拌工法 24

4.4 砂防えん堤下部の支持力増強・円弧すべり対策としての中層混合処理工～苫小牧市～ 33

4.5 高圧噴射撹拌工法による稼働中水処理施設の耐震補強工事 39

4.6 高圧噴射撹拌工法による排水機場施設の漏水対策 44

5. 汎用的な地盤改良工事 48

5.1 重機転倒防止のための地盤改良 48

5.2 浅層・中層混合処理工法による建設機械足場の補強工事 57

5.3 道路盛土下部の支持力増強・円弧すべり対策としての深層混合処理工～釧路市～ 61

5.4 洲本五色線上加茂バイパスの整備における中層混合処理工 66

5.5 旭川・紋別自動車道の整備における建設発生土の有効利用 71

5.6 供用中鉄道施設近接施工における中層混合処理工 77

5.7 新築住宅工事における機械式撹拌工～大阪府～ 82

5.8 盛土箇所の補強土壁に適用された深層混合処理工～沖縄県～ 88

5.9 本郷地区土地造成事業における浅層混合処理工 92

5.10 東予港中央地区航路の浚渫に伴う管中混合固化処理工法 96

6. 海外調査 101

7. おわりに 111

謝辞 112

本報告書における固化材名称の定義

セメント系固化材、固化材

土あるいはこれに類するものを固化することを目的に、セメントの特定成分や粒度の調整をした特殊なセメントをいう。本報告書では、ポルトランドセメントや高炉セメントなどJISで規定されているセメントについても土を固化する目的で使用されていることから、セメント系固化材または固化材と称する。

汎用固化材

汎用固化材は、一般軟弱土用固化材と特殊土用固化材を総称したものであり、軟弱地盤の改良に幅広く使用される汎用品である。

工法専用固化材

特定の地盤改良工法において、施工業者が工法の特徴に合わせ、専用に製造しているセメント系固化材を工法専用固化材と称する。

1.はじめに

セメント系固化材の国内販売数量は近年 800 万 t/年程度で推移しており、高い水準となっている。この理由としては、大規模地震の発生や気候変動に伴う風水害の多発、激甚化を受けて、セメント系固化材による地盤改良が、復旧・復興工事、防災・減災工事にも広く活用されることになったことが一因に挙げることができる。

このような中、セメント協会事例調査ワーキンググループでは、発注者、設計者、施工者、大学などの関係機関の協力のもと、①復旧・復興、防災・減災などの国土強靭化に適用された工事事例の収集 を軸に、②汎用的な工事事例の収集、③海外調査による新たな知見の収集 の 3 テーマに取り組んだ。本報告書は、これらの活動結果を取りまとめたものである（調査期間：2019 年度～2020 年度）。

本報告書の構成は以下のとおりである。

「1 章 はじめに」では、本事例調査の概要を簡単に示した。

「2 章 近年の自然災害とセメント系固化材による地盤改良」では、2011 年の東北地方太平洋沖地震以降に発生した大規模な地震、豪雨、台風について、被害状況と代表的な復旧・復興工事の概要を示した。頻繁に自然災害が発生している状況とともに、災害対策、国土強靭化の必要性が示唆された。さらに、今後の災害対策の一助として、既報告書[1~3]から、災害に応じた地盤改良の適用実績（40 件）を抜粋してその概要を再整理した。

「3 章 調査概要」では、4 章と 5 章で紹介する工事の概要と施工場所を示した。

「4 章 復旧・復興、防災・減災における地盤改良工事」と「5 章 汎用的な地盤改良工事」では、16 件の地盤改良工事を具体的に紹介した。実務者の参考となるように、セメント系固化材の種類、添加量、目標強度、改良深さなどの地盤改良の仕様を全ての工事で紹介することで、改良体の概要や地盤改良の規模が一目でわかるような掲載とした。

「6 章 海外調査」では、香港での大規模プロジェクトの視察、フランスでの研究機関との意見交換会の状況と得られた知見を示した。

「7 章 おわりに」では、本事例調査を総括した。

【参考資料】

1) セメント協会：東日本大震災におけるセメント系固化材を用いた地盤改良に関する調査報告書、2013 年 2 月
2) セメント協会：大規模災害に対してセメント系固化材による地盤改良が果たす役割、2015 年 3 月
3) セメント協会：セメント系固化材の拡がる用途と役割、2018 年 4 月

2.近年の自然災害とセメント系固化材による地盤改良

2.1　近年の自然災害

近年の自然災害の発生状況と代表的な復旧・復興工事を図 2.1、図 2.2 に示す。2011 年の東北地方太平洋沖地震以降も、各地で大規模な自然災害が発生している。特に最近は気候変動により大雨、台風が多発し、河川堤防の決壊、土砂災害などの被害が激甚化している。国、都道府県、市区町村ではこれら災害被害を踏まえて、防災・減災、国土強靭化のため

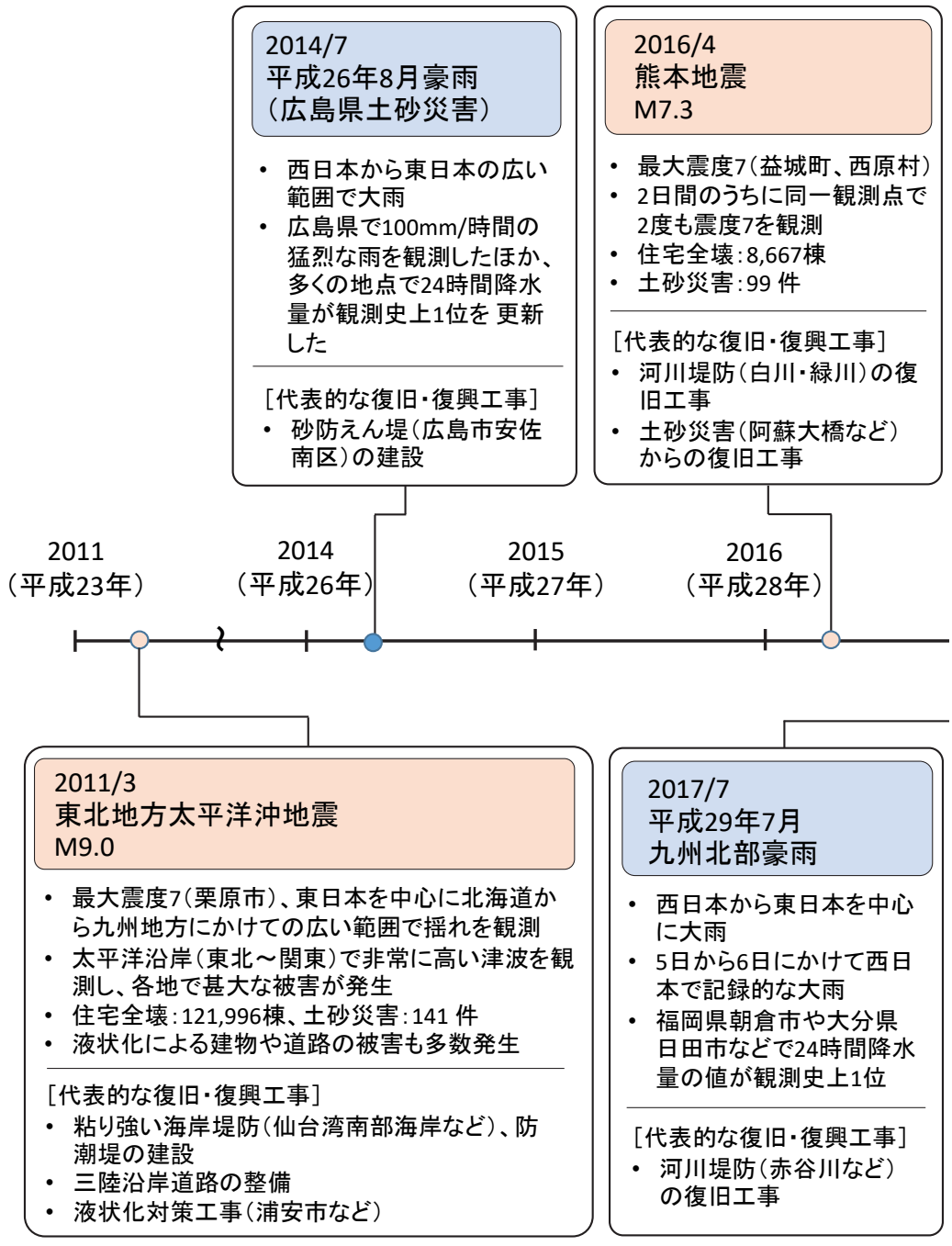


図 2.1　近年の自然災害と代表的な復旧・復興工事（1/2）[1)~5)]

の 3 か年緊急対策（平成 30 年 12 月 14 日）、防災・減災、国土強靭化のための 5 か年加速化対策（令和 2 年 12 月 11 日）を策定するほか、避難情報に関するガイドラインの公表（令和 3 年 5 月）、ハザードマップの公表、タイムラインの作成などを進めている。

セメント協会では、セメント系固化材による地盤改良の調査・研究を継続して行うことで、防災・減災、国土強靭化に貢献していきたいと考えている。

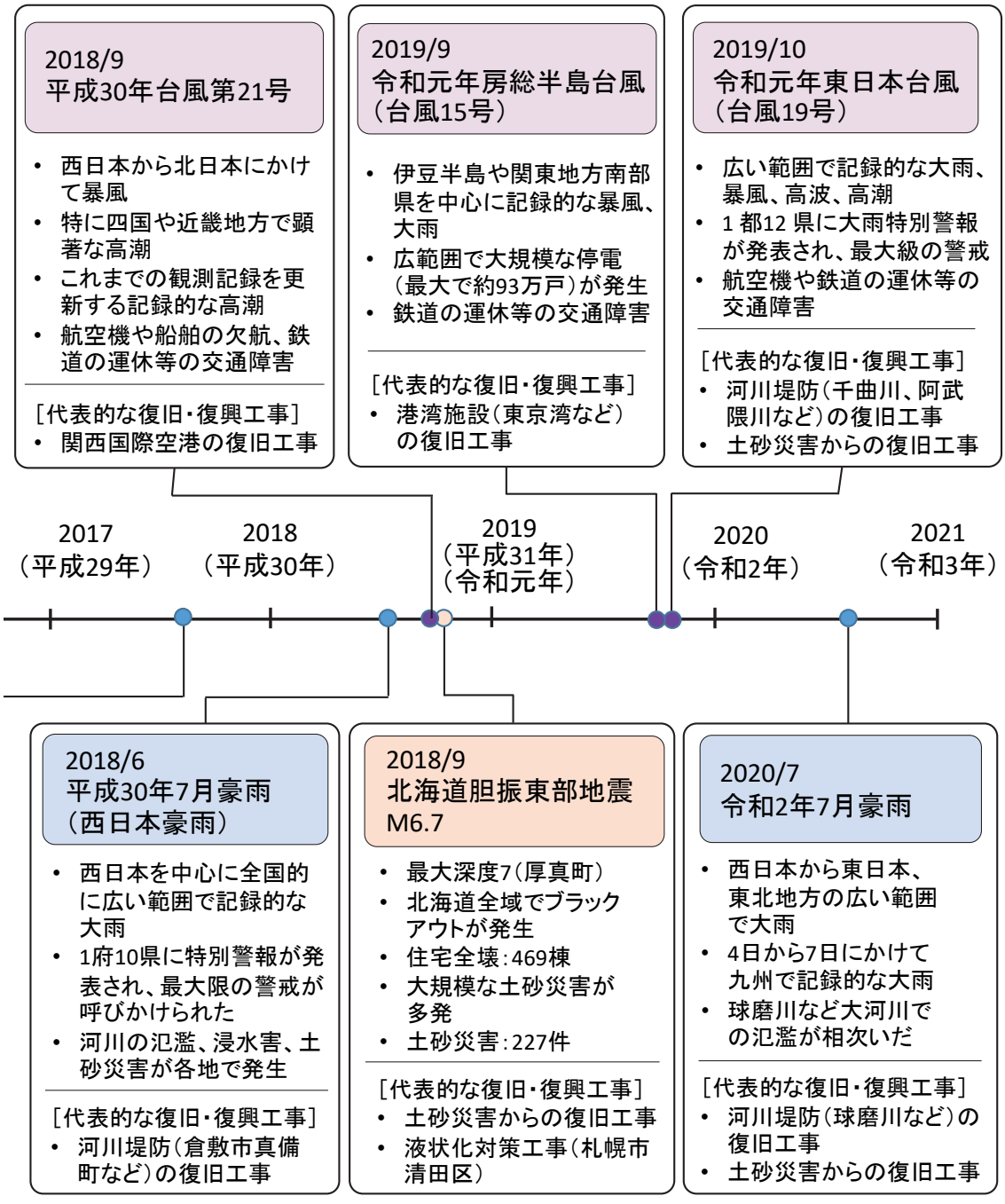


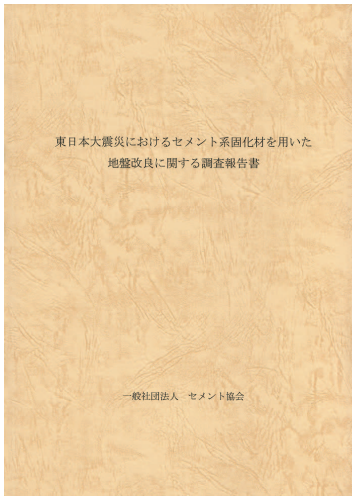
図 2.2　近年の自然災害と代表的な復旧・復興工事（2/2）[1)~5)]

2.2　自然災害に対するセメント系固化材の適用実績

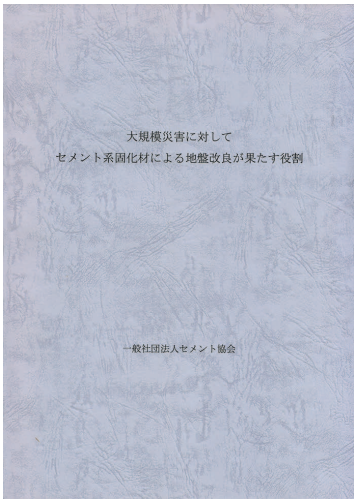
本 WG では、**図 2.1** に示す 3 冊の報告書[6)~8)]をとりまとめ、全 65 事例を収集している。

本節では、上記事例を災害対策の記録的・技術的な資料として再活用いただくことを目的に、①災害発生前に実施された地盤改良工事（**表 2.1**）、②復旧・復興工事での地盤改良工事（**表 2.2**、**表 2.3**）、③今後の災害に備えた地盤改良工事（**表 2.4**） に該当する 40 事例を抽出して、各工事の概要を整理した。①については、すべての工事について防災・減災の効果が認められている。

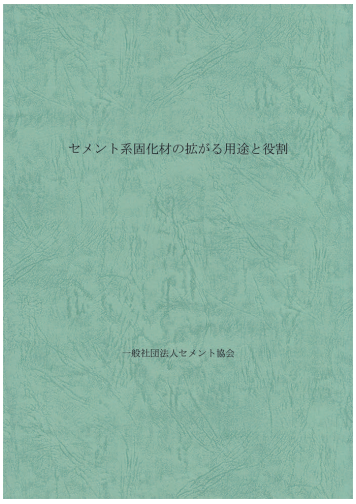
1 冊目：東日本大震災におけるセメント系固化材を用いた地盤改良に関する調査報告書
2 冊目：大規模災害に対してセメント系固化材による地盤改良が果たす役割
3 冊目：セメント系固化材の拡がる用途と役割



（a）1 冊目



（b）2 冊目



（c）3 冊目

図 2.1　これまで取り纏めた報告書

表 2.1　災害発生前に実施された地盤改良工事

対象物	防災・減災の効果	工法	目標強さ (kN/m^2)	添加量 (kg/m^3)	掲載
空港	液状化被害の防止	高圧噴射撹拌（格子状）	3000 1000	78、70 (W/C169～179%)	1 冊目 4.1 節 (p.24~)
河川堤防の基礎	液状化被害の防止	中層改良	130～140	60～90	1 冊目 4.2 節 (p.27~)
水族館	液状化被害の防止	深層改良（格子状）	－	－	1 冊目 4.3 節 (p.30~)
立体駐車場	液状化被害の防止	深層改良（格子状）	F_c 1800	－	1 冊目 4.4 節 (p.33~)
劇場	液状化被害の防止	深層改良（格子状）	F_c 1500	－	
クリーンセンター	液状化被害の防止	深層改良（格子状）	F_c 1800	50、150 （W/C100%）	1 冊目 4.5 節 (p.36~)
排水樋管	液状化被害の防止 沈下低減	深層改良	500	170～295 （W/C80%）	1 冊目 4.6 節 (p.41)
排水樋管	液状化被害の防止 沈下低減	深層改良	500	80～228 （W/C80%）	1 冊目 4.6 節 (p.42~)
水族館	液状化被害の防止 沈下低減	深層改良（格子状）	1000	250 （W/C100%）	1 冊目 4.6 節 (p.44~)
駅前のエレベータ棟	液状化被害の防止（支持力確保、沈下対策で設計）	深層改良	640	300 （W/C80%）	1 冊目 4.6 節 (p.46~)
河川堤防	液状化被害の防止	深層改良（格子状）	－	166 （W/C80%）	1 冊目 4.6 節 (p.48~)
集合住宅	液状化被害の防止（支持力確保、沈下対策で設計）	深層改良	700kN/本	250 （W/C80%）	1 冊目 4.6 節 (p.50)

表 2.2　復旧・復興工事での地盤改良工事（1/2）

対象物	改良の目的	工法	目標強さ (kN/m^2)	添加量 (kg/m^3)	掲載
かさ上げ道路 の基礎	沈下対策 安定対策 液状化対策	浅層改良	170	78、70 (W/C169～179%)	3 冊目 5.3 節 (p.113~)
道路陥没部	強化復旧 早期復旧	流動化処理土の 埋戻し	－	－	3 冊目 5.7 節 (p.132~)
鉄道	強化復旧	高圧噴射撹拌	F_c 3000	－	2 冊目 3.6 節 (p.28~)
巨大ベルト コンベアの 基礎	支持力増強 事業の加速	中層改良	F_c 250	128 (W/C170%)	2 冊目 3.2 節 (p.11~)
			F_c 200	113 (W/C190%)	
震災処理施設の ヤード（路床）	支持力増強	浅層改良	－	65 80	1 冊目 5.1 節 (p.51~)
宅地造成	支持力増強 液状化対策	浅層改良	100	50～75 100	2 冊目 3.1 節 (p.7~)
駅前広場	強化復旧 液状化対策	浅層改良	100	－	2 冊目 3.3 節 (p.15~)
戸建住宅	強化復旧 液状化対策	機械撹拌と 高圧噴射撹拌 （格子状）	F_c 1500	－	
排水管路	強化復旧 液状化対策	改良土の 埋戻し	q_{uf} 50	－	1 冊目 5.2 節 (p.55~)
河床下地盤	強化復旧 液状化に伴う側方 流動対策	機械撹拌・高圧 噴射撹拌併用 （格子状）	1000	210 (W/C150%)	3 冊目 5.5 節 (p.123~)

表 2.3　復旧・復興工事での地盤改良工事（2/2）

対象物	改良の目的	工法	目標強さ (kN/m^2)	添加量 (kg/m^3)	掲載
粘り強い 海岸堤防	強化復旧 洗堀防止	浅層改良 （堤防法尻）	40 （引張強度）	90 以上 （スラリー）	2 冊目 3.4 節 (p.20~)
	強化復旧 洗堀防止	浅層改良 （堤防法尻）	40 （引張強度）	121 （スラリー）	3 冊目 5.1 節 (p.106~)
粘り強い 海岸堤防 （CSG 堤）	強化復旧 洗堀防止 発生土の活用	浅層改良 （堤体基礎）	300	100 （スラリー）	3 冊目 5.4 節 (p.118~)
		浅層改良 （堤防法尻）	40 （引張強度）	90 （スラリー）	
	震災ガレキの活用	CSG 工法 （堤体材料）	－	80、100	2 冊目 3.7 節 (p.32~)
防潮堤の 基礎	強化復旧 液状化対策	深層改良 （格子状）	200	98 （W/C100%）	2 冊目 3.5 節 (p.24~)
	強化復旧 沈下対策	深層改良	700、900	170、190 （W/C80%）	
防潮堤の 堤体	堤体の強化 発生土の活用	浅層改良	230	50	3 冊目 5.2 節 (p.109~)

表 2.4　今後の災害に備えた地盤改良工事

対象物	改良の目的	工法	目標強さ (kN/m^2)	添加量 (kg/m^3)	掲載
河川堤防 （法尻）	液状化被害の防止	高圧噴射撹拌	500	114 （W/C150%）	2 冊目 4.1 節 (p.38~)
河川堤防 （腹付け盛土の下部）	沈下低減	深層改良	q_{uck} 600	220 （W/C87%）	2 冊目 4.2 節 (p.43~)
築堤護岸 （樋管改築に伴う沈下抑制対策）	高潮対策	中圧噴射撹拌	400	390 （W/C294%）	2 冊目 4.3 節 (p.47~)
河川堤防	耐震補強（レベル 2 地震動への対策）	中層改良	500	105 （W/C80%）	2 冊目 4.4 節 (p.51~)
樋門改築	沈下低減 液状化被害の防止	深層改良 （格子状）	q_{uck} 600	210、290 （W/C80、100%）	2 冊目 4.5 節 (p.55~)
港湾岸壁	耐震補強	交差噴流式 複合撹拌	1000	166 （W/C100%） 227～251 （W/C100%）	2 冊目 4.6 節 (p.59~)
モノレール	耐震補強（供用下）	高圧噴射撹拌	1300	－	2 冊目 4.7 節 (p.63~)
重要文化財	沈下低減	高圧噴射撹拌	1200	－	2 冊目 4.8 節 (p.68~)
重要文化財	耐震補強 （液状化対策）	高圧噴射撹拌	1600	－	2 冊目 4.9 節 (p.73~)
役所	耐震補強 （液状化対策）	高圧噴射撹拌	F_c 2000	－	2 冊目 4.10 節 (p.77~)
研究棟	液状化被害の防止	深層改良 （格子状）	F_c 1800 F_c 2700	155、270	2 冊目 4.11 節 (p.84~)
医療施設	液状化被害の防止	深層改良 （格子状）	F_c 2000	330 （W/C70%）	2 冊目 4.12 節 (p.88~)
化学工場	液状化被害の防止	深層改良 （格子状）	F_c 1500 F_c 1800	100、160 （W/C80%）	2 冊目 4.13 節 (p.94~)
砂防えん堤	土砂災害被害の防止	INSEM 工法	3000	160	3 冊目 5.6 節 (p.128~)

【参考資料】

1) 気象庁ホームページ：災害をもたらした気象事例
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index_1989.html（2021 年 9 月現在）
2) 気象庁ホームページ：日本付近で発生した主な被害地震
https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/higai/higai1996-new.html（2021 年 9 月現在）
3) 国土交通省：東日本大震災（第 134 報）概要版、令和 2 年 3 月 1 日 17：00 現在
https://www.mlit.go.jp/common/001331794.pdf（2021 年 9 月現在）
4) 国土交通省：熊本県熊本地方を震源とする地震について（第 28 報）、災害情報 平成 28 年 5 月 2 日 9:00 作成
https://www.mlit.go.jp/common/001130271.pdf（2021 年 9 月現在）
5) 国土交通省：平成 30 年北海道胆振東部地震による被害状況等ついて（第 28 報）、災害情報 平成 31 年 1 月 28 日 14:00 時点
https://www.mlit.go.jp/common/001270661.pdf（2021 年 9 月現在）
6) セメント協会：東日本大震災におけるセメント系固化材を用いた地盤改良に関する調査報告書、2013 年 2 月
7) セメント協会：大規模災害に対してセメント系固化材による地盤改良が果たす役割、2015 年 3 月
8) セメント協会：セメント系固化材の拡がる用途と役割、2018 年 4 月

3.調査概要

本調査では、関係機関やセメントメーカーへのアンケート、ヒアリングによって 87 件の工事事例を収集した。このうち、**図 3.1** に示す 16 件の事例について、詳細な工事情報を調査した。各工事の詳細については、①復旧・復興、防災・減災における地盤改良工事（**表 3.1**） と②汎用的な地盤改良工事（**表 3.2**）に分類して、4 章および 5 章で紹介する。

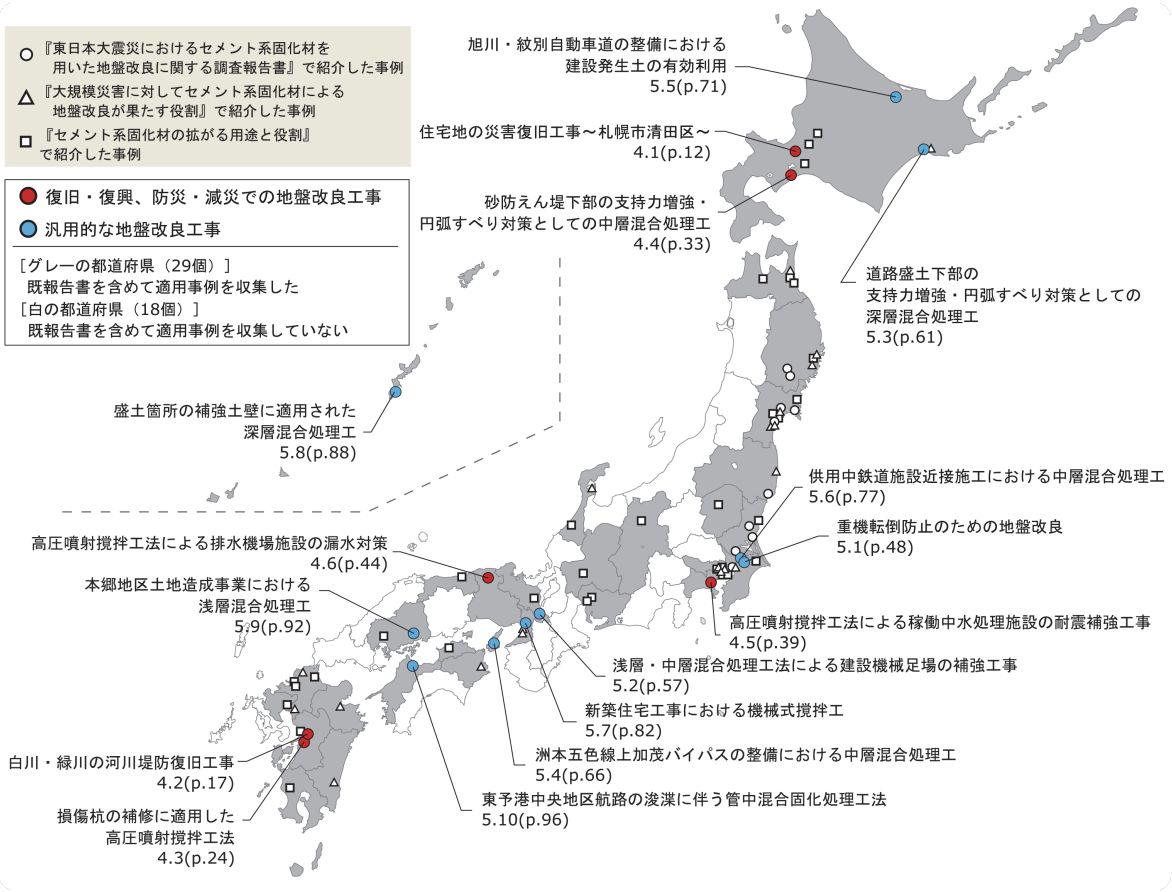


図 3.1　詳細な工事情報を収集した事例

表 3.1　復旧・復興、防災・減災における地盤改良工事

掲載	節題	改良の目的	地域
4.1	住宅地の災害復旧工事 ～札幌市清田区～	液状化対策 （復旧・復興）	北海道
4.2	白川・緑川の河川堤防復旧工事	液状化対策 （復旧・復興）	熊本県
4.3	損傷杭の補修に適用した 高圧噴射撹拌工法	地震で損傷した杭の補修 （復旧・復興）	熊本県
4.4	砂防えん堤下部の 支持力増強・円弧すべり対策としての 中層混合処理工～苫小牧市～	火山砂防 （防災・減災）	北海道
4.5	高圧噴射撹拌工法による 稼働中水処理施設の耐震補強工事	耐震補強 （防災・減災）	神奈川県
4.6	高圧噴射撹拌工法による 排水機場施設の漏水対策	漏水対策 （防災・減災）	兵庫県

表 3.2　汎用的な地盤改良工事

掲載	節題	改良の目的	地域
5.1	重機転倒防止のための地盤改良	建設機械足場の構築	千葉県
5.2	浅層・中層混合処理工法による 建設機械足場の補強工事	建設機械足場の構築	京都府
5.3	道路盛土下部の 支持力増強・円弧すべり対策としての 深層混合処理工～釧路市～	道路盛土下部の 支持力増強・円弧すべり対策	北海道
5.4	洲本五色線上加茂バイパスの 整備における中層混合処理工	道路整備区間の軟弱地盤対策	兵庫県
5.5	旭川・紋別自動車道の整備における 建設発生土の有効利用	･道路盛土の構築 ･発生土の有効利用（盛土材）	北海道
5.6	供用中鉄道施設近接施工における 中層混合処理工	道路整備事業に伴う 圧密沈下・すべり破壊の対策	千葉県
5.7	新築住宅工事における 機械式撹拌工～大阪府～	支持力増強	大阪府
5.8	盛土箇所の補強土壁に適用された 深層混合処理工～沖縄県～	埋立処分場の建設における 補強土壁の構築	沖縄県
5.9	本郷地区土地造成事業における 浅層混合処理工	･構造物の支持力確保 ･地すべり対策	広島県
5.10	東予港中央地区航路の浚渫に伴う 管中混合固化処理工法	浚渫土の有効利用（埋立材）	愛媛県

4.復旧・復興、防災・減災における地盤改良工事

4.1　住宅地の災害復旧工事～札幌市清田区～

1. はじめに

2018 年 9 月に北海道胆振東部地震が発生した。厚真町では震度 7 を観測し、北海道で記録した最も大きな震度であった。関係機関の調査[例えば 1)、2)]によると、227 件の土砂災害（**写真 1**）や 469 棟の住宅全壊など多くの被害が報告されている。また、道内全域がブラックアウト（停電）となり、産業や日常生活へ被害が拡大した。

札幌市内では最大震度 6 弱の地震を受け、住宅の沈下、傾斜、道路の陥没などが散見された。札幌市は各地の被害状況を分析して、その対策を進めている。本節では、札幌市清田区里塚地区の被害状況と復旧工事の概要を紹介する。



写真 1　厚真町厚幌ダム上流での山腹崩壊 [2)]

2. 清田区里塚地区の被害状況

2.1　被害概要

被害概要を**図 1** に示す。道路では、沈下（延長 0.75km）や土砂流出（延長 0.25km）のほか、陥没や損傷が多数確認された。水道管の損傷は 3 か所、下水道管の機能障害は 3.7km で認められた。また、敷地内の公園では約 2.2m の大規模な沈下が発生した。また、住宅にも沈下、傾斜が発生しており、早急の復旧・復興工事が必要であった。

2.2　土地の成り立ち

造成前の里塚地区は、低地部と少し小高い段丘部、尾根があり、その境目には水路があったものと推察されている。昭和 50 年代前半の宅地造成工事で尾根を切り取り、低い土地を埋めて、現在の里塚地区が造成された。ボーリング調査の結果、地下水位より深い所に非常に緩い層が確認された。



図１　被害状況 [3)]

2.3　被災メカニズム

被害概要や土地の成り立ちを踏まえると、被災メカニズムは以下のとおりと考えられている。

（1）地震発生時に、盛土内で地下水位以下の層において液状化が発生
（2）液状化した土砂が造成前の沢沿いに帯状に流動（旧水路の傾斜地に沿って流動）
（3）脆弱な箇所より土砂が噴出
（4）土が抜け出したことによる地盤沈下と土砂の堆積が発生

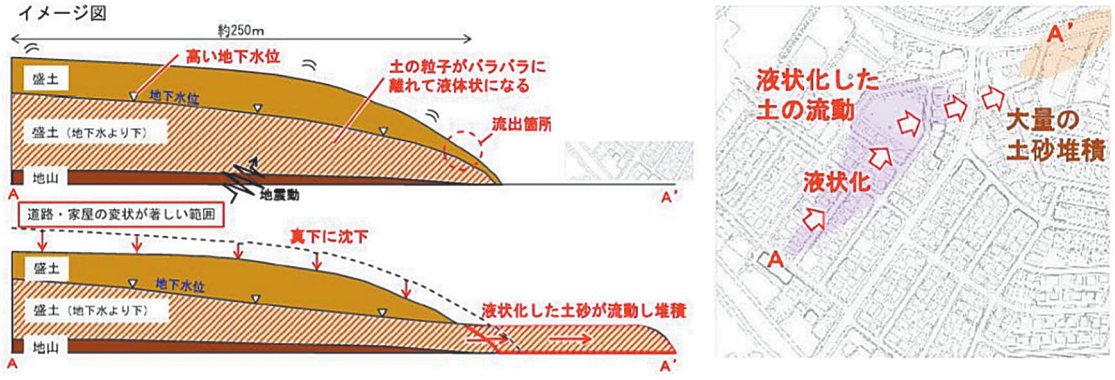


図２　被災メカニズムのイメージ [3)]

3. 対策工

里塚地区の被害は、液状化した土砂が別の場所に流動し堆積することで、液状化発生箇所が地盤沈下するという、これまでの液状化の被害と比較して極めて珍しいものであった。対策工の選定においては、**表 1** の 3 つの視点を踏まえながら、単一の液状化対策だけでなく、複数の対策の併用が検討された。

検討の結果、適用箇所に応じた地盤改良工と、地盤改良工後の周辺地下水位への影響を考慮して、地下水位のせき上げ対策が併用された。

表 1　対策工の選定における 3 つの視点 [3)]

1)　発生要因を踏まえ、液状化と大規模な土砂の流出による盛土部全体の再度災害への抑制効果があること
2)　個人負担に配慮しつつ、個人が実施する住宅再建への時間的影響を極力小さくすること
3)　スピード感を重視し、施工実績や対策工の信頼性、耐久性が認められている工法であること

3.1　地盤改良工

各地盤改良工の適用箇所を**図 3** に示す。費用と効果の検討結果を踏まえ、道路部では深層混合処理工法、宅地部では薬液注入工法、公園部では砕石置換工法が採用された（**図 4**）。適用箇所に応じた工法と目的を**表 2** に整理する。また、深層混合処理工法の仕様を**表 3** に、施工状況を**写真 2** に示す。

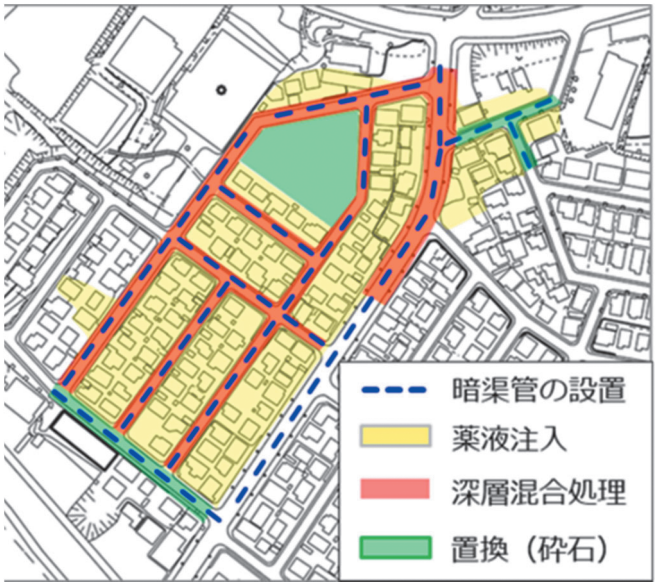


図 3　各地盤改良工の適用箇所 [3)]



（a）道路部・深層混合処理工法　（b）宅地部・薬液注入工法　（c）公園部・砕石置換工法

図 4　各地盤改良工の概要 [3)]

表 2　適用箇所に応じた工法と目的 [3)] を参考に作成

適用箇所	工法	主な目的
道路部	深層混合処理工法 （高圧噴射撹拌工法）	土中に柱状の改良体を連続させた壁をつくり、地盤の横方向の動きを抑えることで、液状化の発生を抑制し流動化を防止する。
宅地部	薬液注入工法	土粒子の隙間の水を薬液に置き換え、地中に改良体を生成し、流動化と液状化の発生を抑制する。
公園部	砕石置換工法	地表面から緩い土層を砕石に置き換え、液状化の発生を抑制し、流動化を防止する。

表 3　道路部での深層混合処理工法の仕様

項　目	仕　様
工法	高圧噴射撹拌工法
改良深度　(m)	約 10m
改良径　(mm)	φ2000、φ2500、φ3000
設計基準強度　(kN/m²)	1000　、1200
固化材の種類	高炉セメント B 種
注入材の標準配合　(kg/m³)	固化材：760kg、混和材：10kg、水：750kg
添加方法	スラリー添加（W/C=98%）



写真 2　施工状況（道路部での深層混合処理工法）[3)]

3.2　地下水せき上げ対策

地下水せき上げ対策の概要を**図 5** に示す。地下水の流入の抑制、排水の促進により、地下水位の上昇を抑制する対策が行われた。具体的な方法は以下のとおりである。

(1)　上流側の道路で一定の深さまで砕石に置き換える。また集水した水は暗渠管で排水する。
(2)　深層混合処理工法で対策された全ての道路に暗渠管を設置し、排水する。
(3)　公園では広範囲に砕石で置換し、集水された水は暗渠管で排水する。

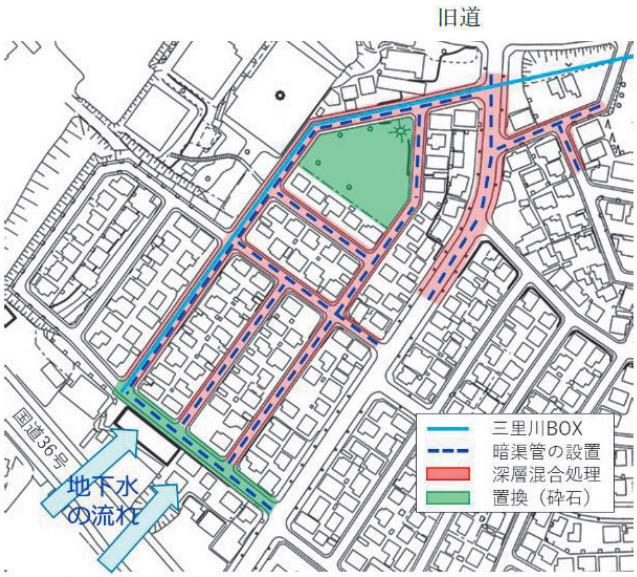


図 5　地下水せき上げ対策 [3)]

4. おわりに

札幌市では、地震発生直後から月 1 回の頻度で開催した地元説明会、生活再建・住宅再建に関する相談会の開催、住宅再建と復旧工事を調整する現地事務所の設置など、住民へのきめ細かいサポートのもと、復旧・復興工事を実施して、令和 2 年 12 月に現地での作業を終えた。

清田区里塚地区の液状化被害は、過去の液状化被害と比べ珍しいものであったが、深層混合処理工法を含めて複数の対策工が併用され、地震に強い住宅地が構築されることとなった。

【参考資料】

1）国土交通省：平成 30 年北海道胆振東部地震による被害状況等ついて（第 28 報）
https://www.mlit.go.jp/common/001270661.pdf（2021 年 9 月現在）
2）平成 30 年北海道胆振東部地震災害検証委員会：平成 30 年北海道胆振東部地震 災害検証報告書
3）札幌市提供

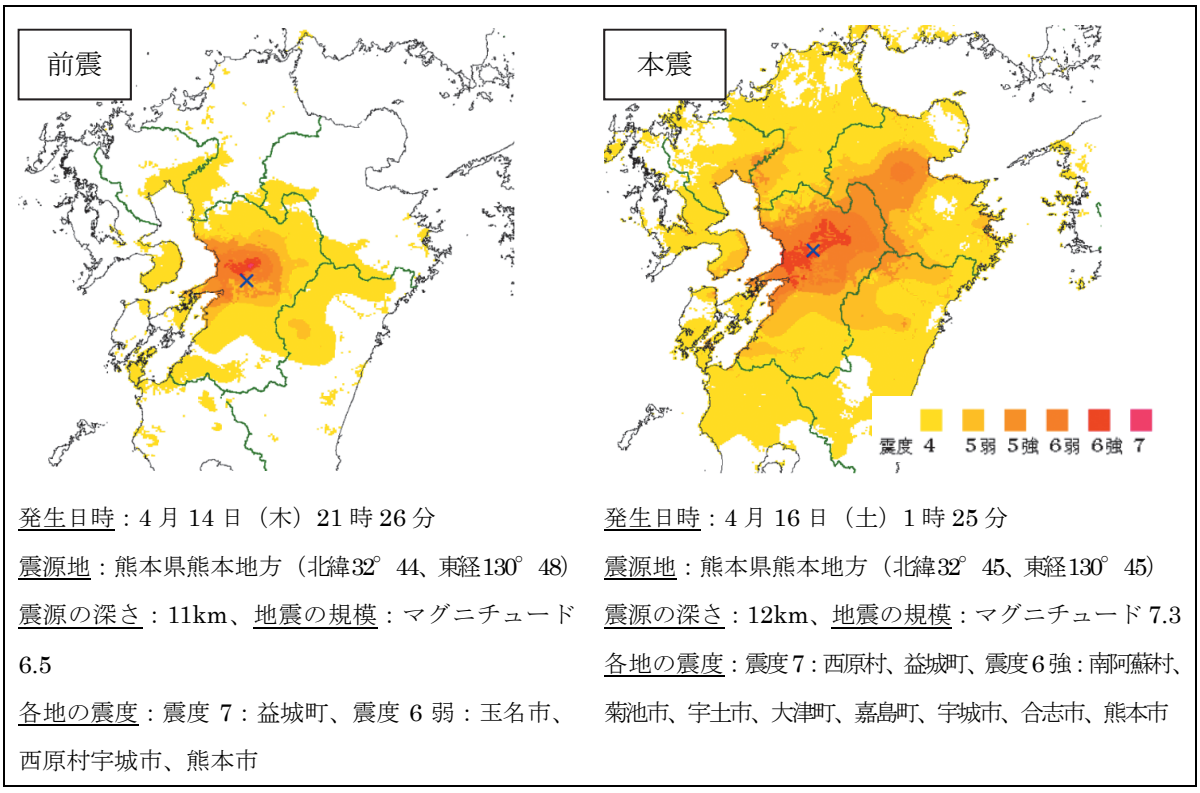
4.2　白川・緑川の河川堤防復旧工事

1.　はじめに

平成 28 年に発生した熊本地震により、人的・物的被害が多数生じた。全壊した住宅は 8673 戸（熊本県で 8663 戸）にのぼり、土木構造物やライフラインへの被害も甚大であった [1)]。**図 1** に熊本地震の概要を示す。

震源地に近い白川・緑川の河川堤防においても、同様に被害が確認されており、堤防天端や法面などにひび割れが発生している箇所があった。変状の程度を勘案しながら復旧工事が進められてきた中で、はらみ出しを伴う堤体の変形や護岸やパラペットにひび割れが認められた箇所では、セメント系固化材を用いた地盤改良が復旧工事に採用された。

本節では、白川・緑川の河川堤防の被害状況と復旧工事の概要を紹介する。



発生日時：4 月 14 日（木）21 時 26 分
震源地：熊本県熊本地方（北緯32°44、東経130°48）
震源の深さ：11km、地震の規模：マグニチュード 6.5
各地の震度：震度 7：益城町、震度 6 弱：玉名市、西原村宇城市、熊本市

発生日時：4 月 16 日（土）1 時 25 分
震源地：熊本県熊本地方（北緯32°45、東経130°45）
震源の深さ：12km、地震の規模：マグニチュード 7.3
各地の震度：震度 7：西原村、益城町、震度 6 強：南阿蘇村、菊池市、宇土市、大津町、嘉島町、宇城市、合志市、熊本市

図 1　熊本地震の概要 [2)]

2.　白川・緑川の被害状況

九州地方整備局は、前震や本震の後、ただちに河川堤防などの施設点検を開始して、概ね 16 時間で延長約 247km の堤防の点検を完了した。緊急点検の結果、白川水系および緑川水系の 171 箇所において、堤防天端のひび割れや堤体の沈下などの変状が確認された（**図 2**）。

3. 本復旧工事の考え方 [3)]

3.1 白川水系

白川水系において護岸やパラペットに大きなひび割れが生じた箇所の多くは、堤体天端の沈下量が 20cm 以上となり、護岸に大きな被害が生じ短期間での復旧が困難となった。このような場合に、堤体の切返しや護岸の復旧と併せて、将来熊本地震と同規模の地震発生時においても、護岸の修復を伴わない程度の沈下・変形に留めることを目標とした液状化対策が行われた。**図 3** に白川水系における復旧工法の選定フローを示す。



図 2　白川・緑川の変状箇所および緊急的な復旧工事の位置図 [3)]

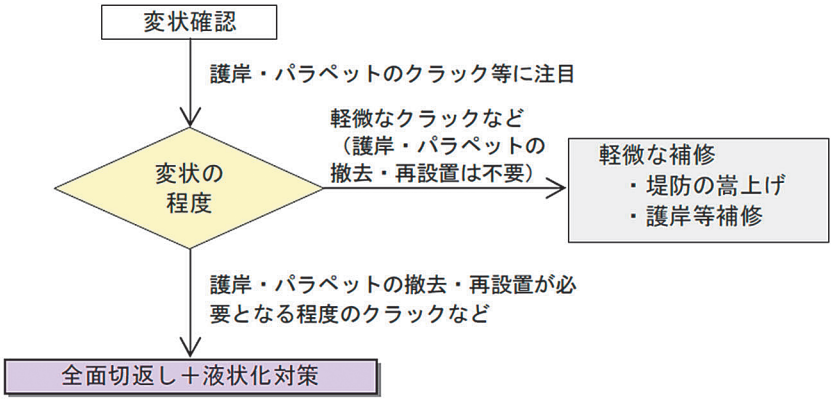


図 3　復旧工法の選定フロー（白川水系）

3.2　緑川水系

緑川水系において堤防のはらみ出しが生じた箇所の多くは、堤防天端の沈下量が 50cm 以上となり、堤体内のゆるみが想定される。そこで、はらみ出しが認められるような被害が大きい場合に、堤体の切返しと地盤改良による復旧工事が選定された。**図 4** に緑川水系における復旧工法の選定フローを示す。

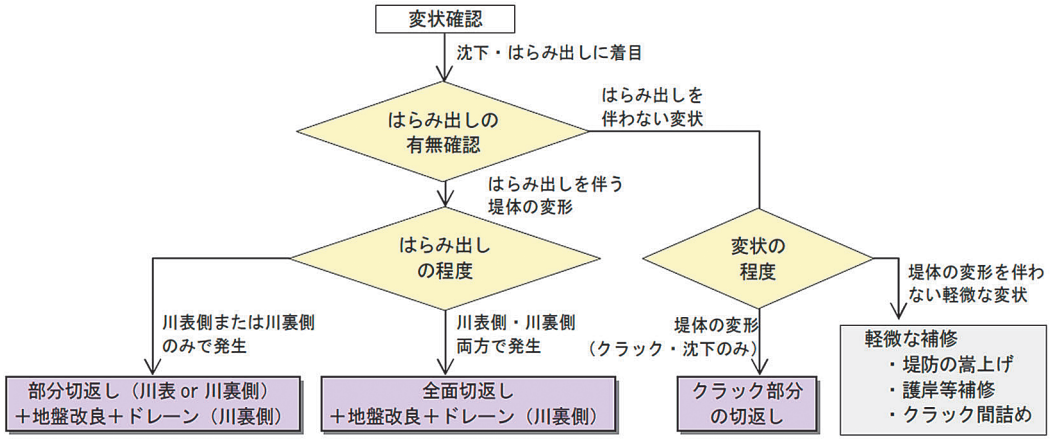


図 4　復旧工法の選定フロー（緑川水系）[3)]

4.　本復旧工事の概要[3)]

4.1　白川水系の被害状況

白川水系の蓮台寺地区では堤体下部に砂質土層（As1 層）が存在していること、堤内地で噴砂（**写真 1**）が認められていることから、前震ならびに本震で発生した液状化が堤体の緩みや変状に影響したと推察される。**写真 2** に被害状況の一例を示すとおり、パラペットの沈下や天端のひび割れが認められた。



写真 1　堤内地の噴砂

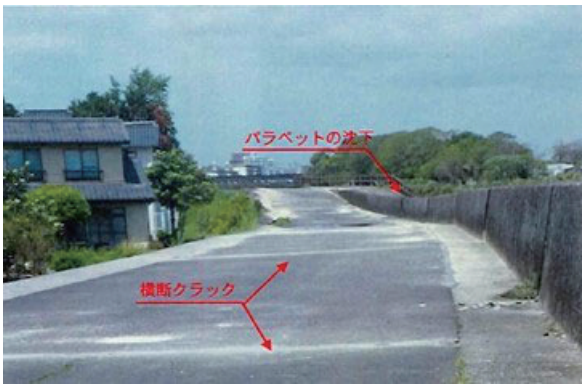


写真 2　堤体の被害状況の一例（蓮台寺地区）

4.2　白川水系の本復旧工事

図 5 に蓮台寺地区での本復旧工法を示す。蓮台寺地区の堤体は、全面切返しによる復旧により強化が図られた。堤体基礎については、今後の地震により、護岸修復が伴う被害が

生じないように、液状化が想定される As1 層が地盤改良された。改良形式は、改良面積を抑えながらも、液状化を抑制できる格子状改良とされた。**表 1** に地盤改良の仕様を示す。

図 6 に本復旧工事の手順を示す。はじめに仮締切り堤防が配置され、被害を受けた堤防の撤去が行われた。その後、堤防下部の液状化層の地盤改良と堤体切返しにより堤防の再構築が実施された。

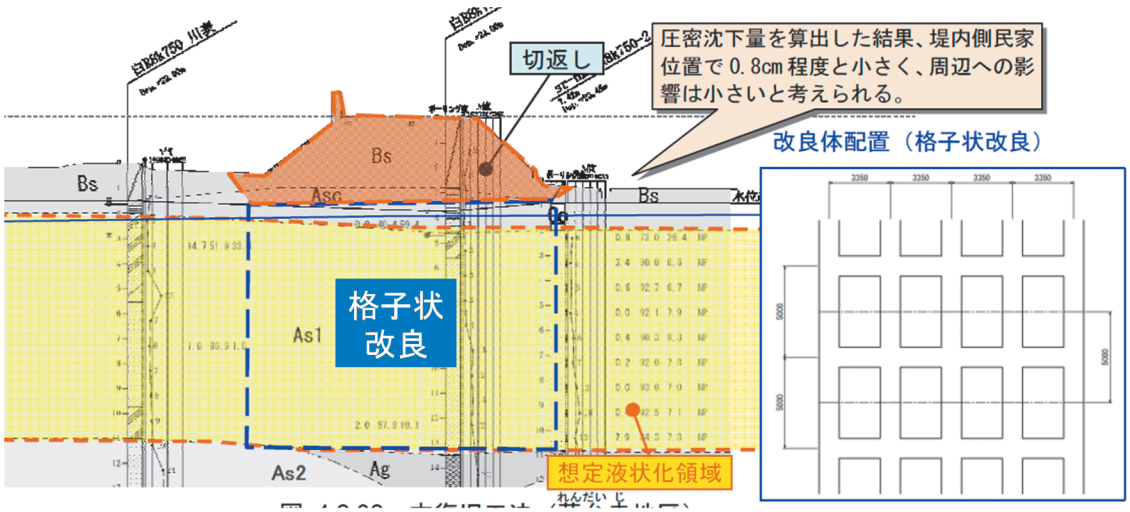


図 5　白川水系での本復旧工法の一例（蓮台寺地区）[3)]

表 1　地盤改良の仕様（蓮台寺地区）

項　目	仕　様
工法	深層混合処理工法（格子状改良）
対象土	砂質土
改良率　（%）	50
改良深さ　（m）	10.5
目標強度（材齢 28 日）　（kN/m²）	1300
固化材の種類	高炉セメント B 種
固化材添加量　（kg/m³）	220
添加方法	スラリー添加（W/C=80%）



図 6　本復旧工事の手順（蓮台寺地区）

4.3　緑川水系の被害状況

緑川水系の下仲間地区でも、白川水系の蓮台寺地区と同様に堤体下部に砂質土層（As1層）が存在しているため、液状化の発生により堤体の緩みや変状が生じた（**写真 3**）。最大沈下量は 146cm に達する箇所もあった。



写真 3　堤体の被害状況の一例（下仲間地区）

4.4　緑川水系の本復旧工事

図 7 に下仲間地区での本復旧工法を示す。下仲間地区の堤体も、蓮台寺地区と同様に全面切返しによる復旧により強化が図られた。堤体基礎に分布する液状化層（As1）は全層が地盤改良された。**表 2** に地盤改良の仕様を示す。**図 8** に本復旧工事の手順を示す。

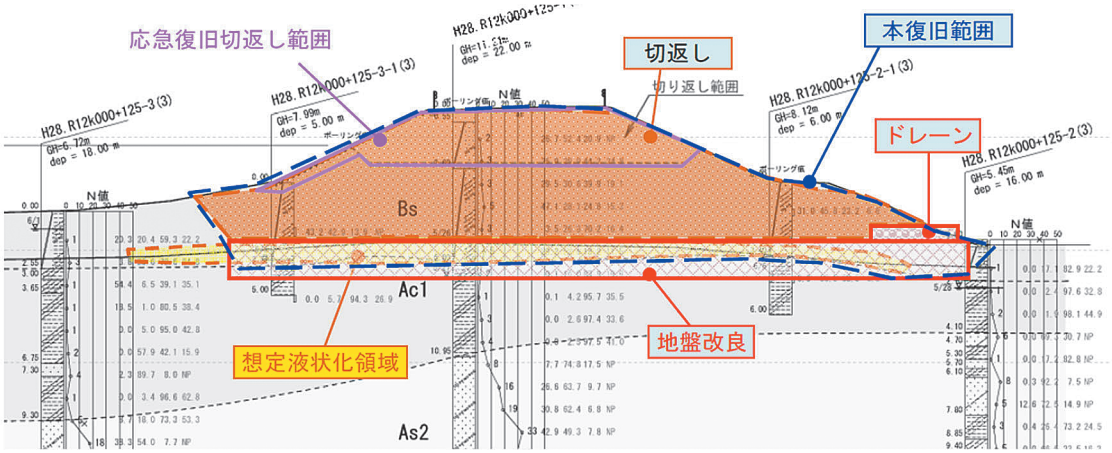


図 7　緑川水系での本復旧工法の一例（下仲間地区）[3)]

表 2　地盤改良の仕様（下仲間地区）

項　目	仕　様
工法	浅層混合処理工法（トレンチャー式撹拌）
対象土	砂質土
改良深さ　（m）	2～3
設計基準強度 F_c　（kN/m²）	200
固化材の種類	高炉セメント B 種
固化材添加量　（kg/m³）	約 80
添加方法	スラリー添加（W/C＝80%）



図 8　本復旧工事の手順（下仲間地区）

5.　おわりに

写真 4、**写真 5** に堤防の復旧状況を示す。白川水系と緑川水系の河川堤防は同様の被害が生じたものの、被害状況や土質条件などを勘案して適切な復旧方法が選定され、堤防の再構築がなされた。液状化が発生し被害が大きい部分については、セメント系固化材による地盤改良が採用されることになった。従来堤防の性能よりも向上させた強化復旧であるため、地震をはじめとした今後の自然災害に対しての備えを図ることができた。

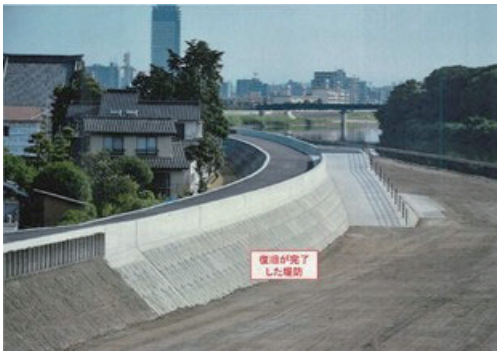


写真４　堤防の復旧状況（白川水系）



写真５　堤防の復旧状況（緑川水系）

【参考資料】

1） 内閣府ホームページ：平成 28 年（2016 年）熊本県熊本地方を震源とする地震に係る被害状況等について（平成 30 年 4 月 13 日 18：00 現在）
http://www.bousai.go.jp/updates/h280414jishin/pdf/h280414jishin_52.pdf（2021 年 9 月現在）

2） 気象庁ホームページ：推定深度分図
www.data.jma.go.jp/svd/eew/data/suikei/eventlist.html（2021 年 9 月現在）

3） 緑川・白川堤防調査委員会、国土交通省九州地方整備局：緑川・白川堤防調査委員会報告書 本編、平成 29 年 3 月
http://www.qsr.mlit.go.jp/kumamoto/site_files/file/river/midorikawasirakawateibouttyousaiinkai/houkokusyo.pdf（2021 年 9 月現在）

4.3　損傷杭の補修に適用した高圧噴射撹拌工法

1. はじめに

地震動によって基礎杭に被害が生じると建物が傾斜して、継続使用できない場合がある。一般的に、既存建物の杭の補修・補強には多大な工期・工費を要するため、上部構造物に大きな損傷が見られない場合であっても、既存建物を解体・撤去するケースが多い。近年の災害経験を通じて、迅速な復興という観点から、補修・補強によって建築物の継続使用を可能とする技術が求められており、杭の被害に対してもより簡便で確実な補修方法が望まれている。

2016 年に発生した熊本地震で、杭に被害を受けた共同住宅（**表 1**）を対象として、損傷杭の補修計画が検討された。補修方法として、工期が短く、工費も比較的安価な高圧噴射撹拌工法による地盤改良が検討された。高圧噴射撹拌工法による補修・補強効果は、「原位置での鉛直載荷試験」および「原位置地盤条件と同様と考えられるサイトにおける水平載荷試験」によって確認された。実際の施工にあたっては、水平載荷試験の結果に基づき、第三者機関による個別評価が取得されている。ここでは、施工だけでなく、鉛直載荷試験および水平載荷試験についても紹介する。

なお、対象建物の 2 棟は隣接した建物であり、設計、施工方法などが同じであるために、主に 1 棟のみの事例を紹介する。

表 1　建物・基礎構造諸元 [1)]

竣工	1985 年
規模・戸数	地上 5 階・20 戸（2 棟）
建築面積・延床面積	271 m^2・1354 m^2
構造種別	鉄筋コンクリート造
基礎構造	中掘り先端根固め工法 杭種：PHC-A 種、杭径：φ600mm、杭長：L=37.0m 杭支持力：長期 R_a = 130 tf/本［R_a = 1275 kN/本］

2. 地盤調査および設計

2. 1　地盤調査

土質柱状図と改良深度を**図 1** に示す。表層 2～3m 程度の埋土の下に、黒ボク・赤ボクを含むローム層、凝灰質粘性土層が堆積している地質構造である。

2. 2　設計

地震後に、建物の傾斜等の被害調査が実施された。また一部の杭についても被害調査が

実施された。杭頭部の目視調査の結果、杭頭部 1m の範囲においてせん断クラックが発生している杭が確認された。同時に杭の IT 試験による健全性の調査も行われた。IT 試験結果から、杭頭部の被害が目視確認されなかった杭においても、地中部での損傷が疑われる杭があった。そこで、補修設計方針として、損傷が確認された杭は当該建物の杭のうち一部のみであったが、損傷が認められなかった健全な杭についても同様の地盤改良が計画された。その理由は、地盤改良による補修後も杭頭部付近の水平剛性をすべての杭で同等なものとするためである。

図 2 に補修計画図を示す。改良長は、設計用水平力に対する変動軸力による杭と地盤改良体の付着長さと、杭の IT 試験結果により損傷が確認された深度を考慮して、杭頭から 10 m とされた。設計基準強度 F_c は後述の水平載荷試験で計画した最大荷重を考慮して 2000 kN/m^2 に設定された。

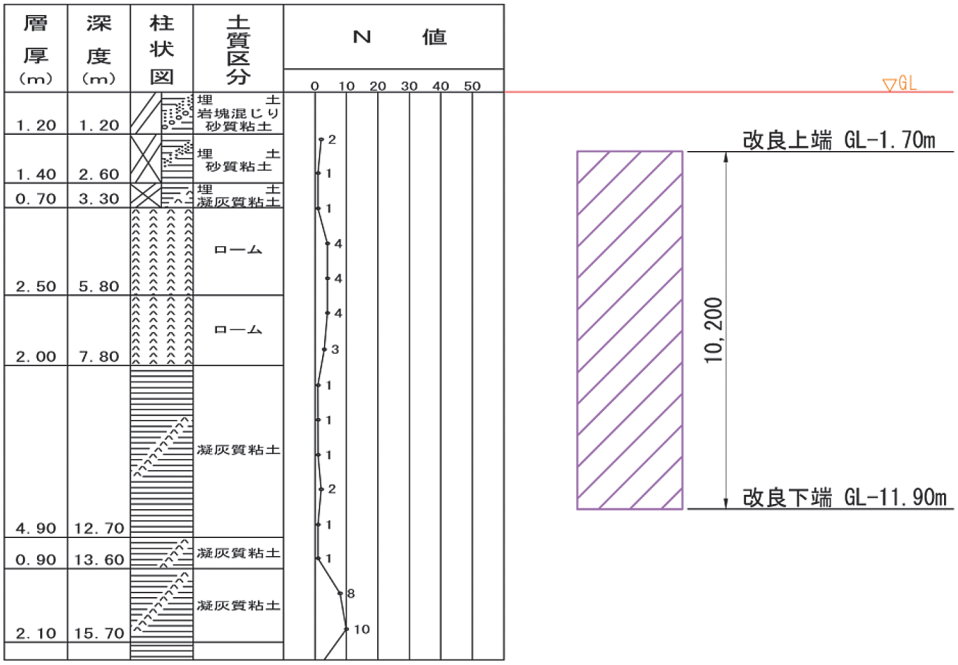


図 1　土質柱状図と改良深度 [1)]

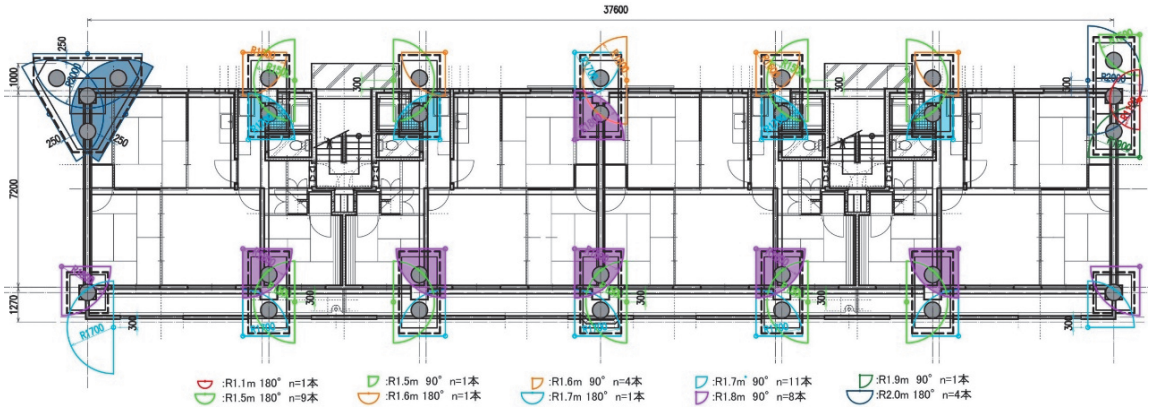


図 2　補修計画図（塗潰し：室内施工、白抜き：屋外施工） [1)]

3. 地盤改良の概要

3. 1　施工方法

高圧噴射撹拌工法による杭頭部補修の概念図を**図 3** に示す。杭 1 本のフーチングについて、対角線上の 2 か所に造成ロッドを建て込み、ロッド下端より所定の圧力で固化材スラリーを噴射させながら揺動させ、90°（1/4 円形）ずつ施工して損傷杭を巻き込むように矩形の地盤改良体が築造された。事前の室内配合試験および試験施工を基に現場配合は固化材添加量 463 kg/m³、水固化材比は 99%に設定された。地盤改良の仕様を**表 2** に示す。

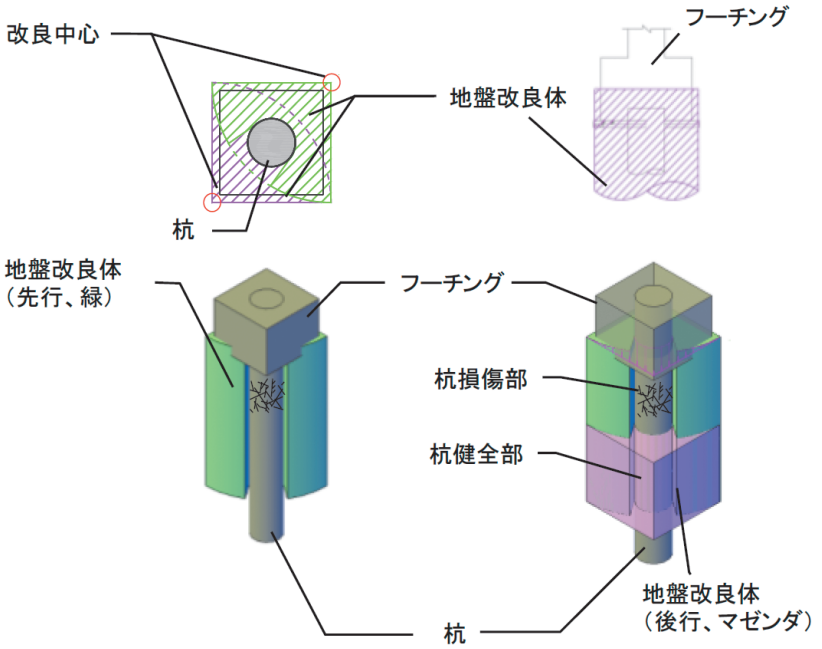


図 3　杭頭部補修の概念図 [2)]

表 2　地盤改良の仕様

項　目	仕　様
工　法	高圧噴射撹拌工法
改良長　（m）	10
設計基準強度 F_c　（kN/m²）	2000
固化材の種類	工法専用固化材
固化材添加量　（kg/m³）	463
添加方法	スラリー添加（W/C=99%）

3. 2　施工管理

高圧噴射撹拌工法の本工事における施工管理項目を**表 3** に示す。これに加えて、施工中の建物の傾斜角を管理した。建物の傾斜角が管理値 θ = 1/300（角度 0.19°）を越えた場合には、施工が中止される。

表 3　施工管理項目

工程	管理項目	管理方法		管理値
		手法	頻度	
杭芯出し	コラム芯位置	測量機器で測量	全数	計画位置
削孔	芯セットの位置	コラム芯に削孔用パイプを合わせる	全数	5cm以内
	据付精度	施工機の据付精度(鉛直度)のチェック	全数	±0.1° 以内
	削孔深度	削孔用パイプの残尺と全長の計測	全数	計画値以上
造成	改良開始深度	造成ロッドの残尺と全長の計測	全数	計画値
	改良終了深度	造成ロッドの残尺	全数	計画値
	噴射圧力	圧力計	全数	計画値(MPa)±5%
	単位噴射量	流量計	全数	計画値(ℓ/分)±5%
	圧縮空気圧力	圧力計	全数	0.6MPa以上
	圧縮空気量	風量計	全数	2～6Nm^3/分以上
	回転数	回転計(ストップウォッチで確認)	全数	計画値(rpm)
	引上げ時間	ステップタイマー	全数	計画値以上
	固化材	目視(使用材料の種類，使用量)	納入毎	計画使用量以上
	スラリー比重	比重測定器(マッドバランス)	1回/日	計画値±0.02以内
	排泥噴出状況	常時噴泥	全数	常時噴泥
	穴埋め・洗浄	穴埋め	全数	穴埋め

3. 3　施工状況

施工状況を**図 4** に示す。室内施工（**図 4a**））では、養生シートなどで室内防護を十分に行ったうえで、分解した小型施工機を空頭 1.8 m 程度のベランダから搬入した。その後、小型施工機を組立ててから、施工が行われた。排出した未固結改良体は、スラブ下に深さ 1.5 m 程度の釜場を設置して、強力サンドポンプにより圧送された。

一方、屋外施工（**図 4b**））では、通常サイズの施工機を小型クローラクレーンでの揚重作業により移動させながら、施工が行われた。排出した未固結改良体については、室内施工と同様に釜場を設置して、強力サンドポンプにより圧送された。



図 4　施工状況　a）室内 b）室外 [1)]

3. 4　品質検査

品質検査は、「2018 年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針」[3)]に従い、100 コラム（改良体）で 1 箇所以上の頻度でコアサンプリングされ、改良体の強度と連続性の確認が実施された。

強度は、材齢 28 日のコアの一軸圧縮試験（JIS A 1216：2009）によって検査が行われた。**図 5** に一軸圧縮強さの深度分布を示す。同図には、検査対象層である「ローム層」、「凝灰質粘性土層」の地層区分線も併記している。**表 4** に改良体品質の判定結果を示す。いずれの検査対象層についても、平均強度は**式（1）**により算出した合格判定値を上回った。なお、ローム層下部において、黒ボク・赤ボクが介在したために、強度発現の低下が引き起こされたことにより、ローム層全体の変動係数は凝灰質粘性土層と比べて大きかった。

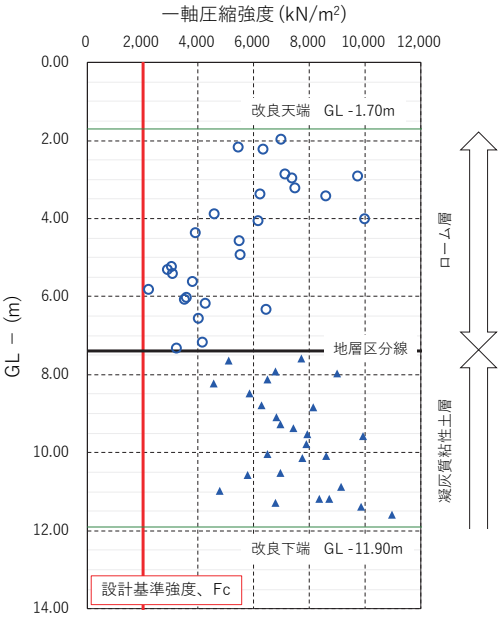


図 5　一軸圧縮強度の深度分布 [1)]

表 4　改良体品質の判定結果 [1)]

項目	単位	検査対象層	
		ローム層	凝灰質粘性土層
試験数	個	27	27
最大強度	kN/m²	9963	10948
最小強度		2216	4530
平均強度		5364	7426
標準偏差		2074	1560
合格判定値		4696	4028
変動係数	%	38.7	21.0
判定結果	―	○	○

$X_L = F_c + k_b \cdot \sigma_n$　　…式（1）

ここに、X_L：合格判定値（kN/m²）　F_c：設計基準強度（kN/m²）

k_b：合格判定係数（1.3）　σ_n：一軸圧縮強さの標準偏差（kN/m²）

改良径および連続性は、採取コアの採取率によって検査が行われた。**図 6** にボーリングコアとコア採取率の一例を示す。全長のコア採取率は 98 %であった。同時にサンプリングした他のコア（2 本）についても、全長のコア採取率（90 %以上）かつ 1 m ごとの採取率（85%以上）の基準を満たした。

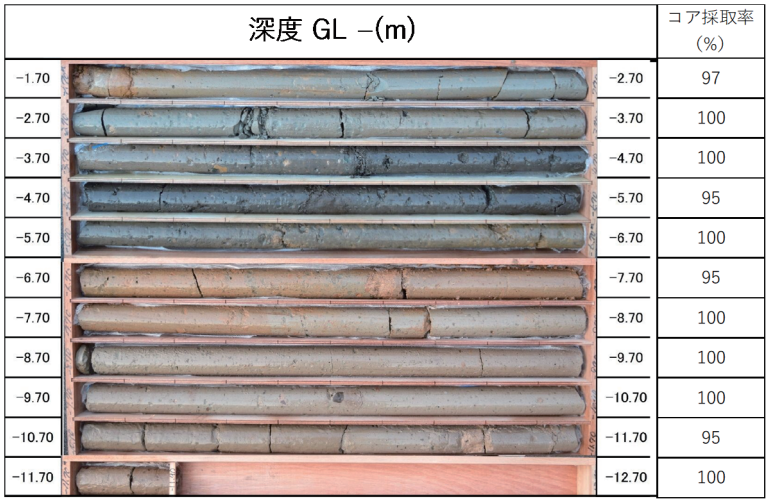


図 6　ボーリングコアとコア採取率の一例 [1)]

4. 杭の補修・補強効果のための原位置載荷試験（鉛直支持性能・水平抵抗特性）

上述の補修工事に先立ち、工事対象の共同住宅に隣接する建物について、上部構造を解体した後、基礎を残した状態で、高圧噴射撹拌工法による杭基礎の補修効果を確認するため、原位置載荷試験が行われた。

4. 1　鉛直支持性能に対する補修・補強効果 [4)、5)]

損傷を受けた杭は PHC 杭（ϕ=500 mm、L = 39 m）である。杭周辺地盤を掘削して杭の損傷状況を目視確認した結果、杭頭 1 m 程度の位置に圧縮破壊が確認された（**図 7**）。掘削土を埋め戻し、高圧噴射撹拌工法で補修が行われた後、「杭の押込み載荷試験方法（JGS1811-2002）」による鉛直載荷試験が実施された。なお、高圧噴射撹拌工法の仕様は、設計基準強度 F_c = 1500 kN/m²、改良長 2.0 m（杭頭から）、改良体半径 r = 1.5 m である。

図 8 に鉛直載荷試験システムを示す。鉛直載荷試験の荷重載荷方式は、段階載荷方式・多サイクルとして、最大荷重 3600 kN の計 6 サイクル（600 kN を 1 サイクル）に設定された。この値は、杭が打設された当時の設計図書による杭の長期許容鉛直支持力 110 t（≒1078kN）の 3 倍（3234 kN）の値であり、杭先端抵抗と周面摩擦を考慮した式によって算出される極限支持力 R_u と概ね整合する値である。

図 9 に鉛直載荷試験結果の鉛直荷重-沈下関係を示す。同図より、最大荷重（3600 kN）時におけるフーチングの沈下量は 8.7 mm であった。一般的に杭の極限支持力の判定に用い

られる第 2 限界抵抗力における杭先端沈下量は杭径の 10 %（今回では 50 mm ）であるが、本載荷試験の先端沈下量はこの値より小さい。したがって、この損傷した杭と地盤改良体による基礎の極限支持力の値は、3600 kN をさらに上回ることが推察される。しかし、杭と地盤改良体の複合構造の鉛直支持力発現機構は杭単体と異なると考えられ、解明は今後の課題とされている。



a）全景　　b）詳細

図 7　杭の損傷状況 [4)]

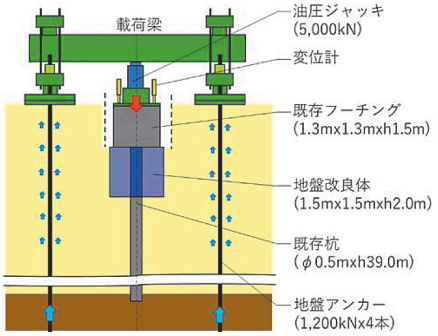


図 8　鉛直載荷試験システム [5)]

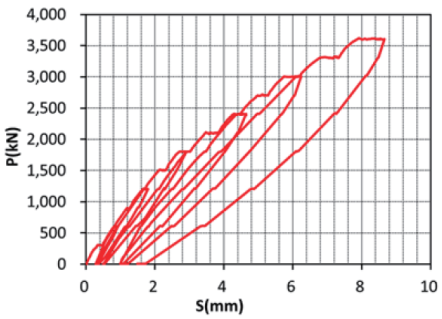


図 9　鉛直荷重-沈下関係 [5)]

4．2　水平抵抗性能に対する補修・補強効果 [6)、7)]

試験サイトに 3 本の試験杭が打設された。3 本の試験杭は PHC 杭（ϕ = 600 mm、L = 12.0 m）で埋込工法にて打設された。水平抵抗特性に対する補強効果を確認するために、計 3 ケース（図 10 参照）の水平載荷試験が実施された。【No.1】は、地盤改良体を施さない杭で、【No.2】と【No.3】は、高圧噴射撹拌工法で地盤改良体を頭部に施した杭である。また、【No.3】は、人工的に杭頭部 1m の範囲を損傷させて、杭頭部において曲げ・せん断抵抗が働かないようにされている。なお、高圧噴射撹拌工法の仕様は、設計基準強度 F_c = 2000 kN/m²、改良体半径 r = 1.5 m である。

図 11 に水平載荷試験システムを示す。水平載荷試験は、「杭の水平載荷試験方法（JGS1831-2010）」に基づき、設計用水平荷重 180 kN までは段階載荷方式による単サイクル一方向載荷、その後段階載荷方式による多サイクル正負交番載荷試験が実施された。

図 12 に水平載荷試験結果の水平荷重-水平変位関係（負側の荷重-変位関係は省略）を示す。同図より、【No.1】は、設計用短期水平荷重（180 kN）を越えると水平剛性が低下し、

約 330 kN に到達後、荷重低下が確認された。杭頭周辺に地盤改良が施された【No.2】と【No.3】は、いずれも【No.1】に比べ、最大水平荷重および水平剛性が増加したものと考えられる。なお、【No.2】と【No.3】においては、脆性的な破壊挙動を示しているが、最大荷重到達以降（ここでは仮に、y = 45 mm 時）の水平抵抗力は、それぞれ 416 kN、376 kN 程度を保持しており、【No.1】の最大水平抵抗力 330 kN よりも大きい。このことは、地盤改良体にひび割れが発生した後も、地盤改良体が存在することにより杭のみの場合よりも地盤抵抗を受ける面積が前面、底面含めて大きいためと推察される。

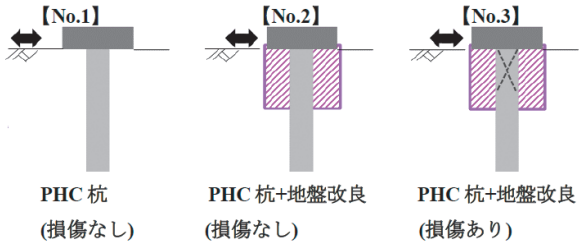


図 10　水平載荷試験の試験ケース [6)]

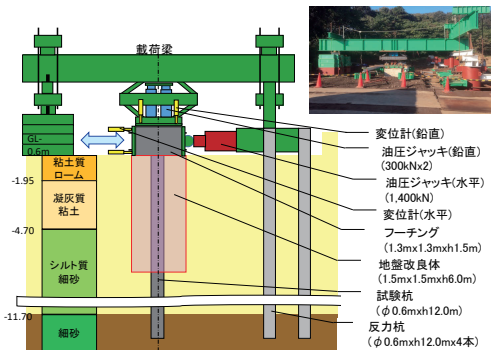


図 11　水平載荷試験システム [7)]

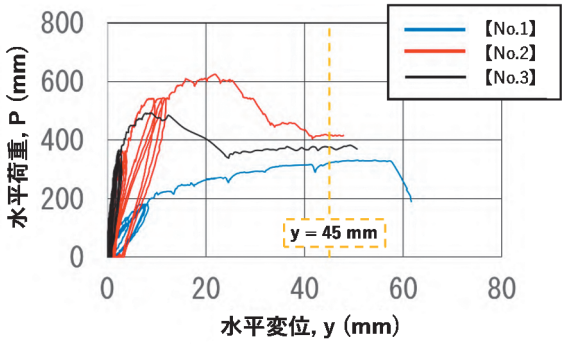


図 12　水平荷重－水平変位関係 [7)に加筆]

5. おわりに

地震により損傷した杭について、杭頭部を高圧噴射撹拌工法により補修した事例を紹介した。本事例において、建築物の本設の地盤改良の品質として、統計的なばらつきを考慮した強度の基準を満足し、地盤改良体としての連続性についても満足したことを示した。また、本補修設計が採用される契機となった、杭の補修・補強効果についても併せて示した。

杭・地盤・地盤改良体の 3 種類の複合構造における鉛直・水平荷重伝達メカニズム、支持性能、抵抗特性の把握について、実施された事例はほぼ皆無である。杭の補修・補強技術の実装は、インフラストック時代における都市の強靭化の観点から急務の課題であり、社会実装に向けた活動が行われている[例えば 8)]。

【参考資料】

1) 鎌田 敏幸 ほか：杭の補修・補強のための高圧噴射撹拌工法による地盤改良とその適用、第 14 回地盤改良シンポジウム、pp.455-462（2020）.
2) 鎌田敏幸 ほか：高圧噴射撹拌工法による杭の補修・補強効果について、令和元年度土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会、Ⅲ-119（2019）.
3) 日本建築センター・ベターリビング：2018 年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針（2018）.
4) 島村 淳 ほか：高圧噴射撹拌式の地盤改良による損傷杭の補修・補強に関する研究（その 1）補修・補強方法と実大実験概要、日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）、pp.507-508（2018）.
5) 井上波彦 ほか：高圧噴射撹拌式の地盤改良による損傷杭の補修・補強に関する研究（その 3）載荷試験結果、日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）、pp.511-512（2018）.
6) 島村 淳 ほか：高圧噴射撹拌式の地盤改良による既存杭の補修・補強に関する研究（その 1）補修・補強方法と実験の概要、日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）、pp.643-644（2019）.
7) 井上波彦 ほか：高圧噴射撹拌式の地盤改良による損傷杭の補修・補強に関する研究（その 3）水平載荷試験結果、日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）、pp.647-648（2019）.
8) 国立研究開発法人建築研究所：令和元年度「革新的社会資本整備研究開発推進事業（BRAIN）」の採択課題について.
https://www.kenken.go.jp/japanese/contents/kakushinjigyou/pdf/saitaku_kadai_r01.pdf
（2021 年 9 月現在）

4.4　砂防えん堤下部の支持力増強・円弧すべり対策としての中層混合処理工～苫小牧市～

1. はじめに

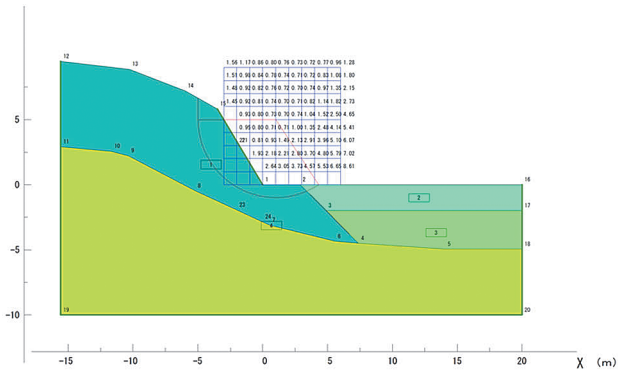
火山砂防事業において砂防えん堤の整備が進められている。えん堤下部の支持力増強および円弧すべり対策を目的として地盤改良が行われた。

2. 地盤改良の検討

砂防えん堤を構築するにあたり、支持力が不足していることが判明した。

また、整備において、掘削が必要となる箇所があり、円弧すべりの安定性が検討された。**図 1** に示すとおり、円弧すべりに対する安全率は 1.0 を下回る結果であり、対策が必要であった。さらに、**図 2** に示すとおり、地下水が高い位置に存在することから、そのままでは掘削が困難であると判断された。

この対策として、土留め工と固結工が選定された。当現場の搬入条件等を考慮した結果、土留め工の採用が不可能であることから、中層混合処理工法による対策が採用された。



最小安全率	F S MIN =	0.703		
円弧の中心	X =	1.00	(m)	
	Y =	5.00	(m)	
半径	R =	6.00	(m)	
抵抗モーメント	M R =	661.8	(ｋＮ・m)	
起動モーメント	M D =	941.3	(ｋＮ・m)	

層番号	飽和重量 (ｋＮ／m³)	湿潤重量 (ｋＮ／m³)	内部摩擦角 (度)	粘着力 (ｋＮ／m²)	粘着力の一次係数	水平震度	鉛直震度
1	15.00	15.00	25.00	0.00	0.00	0.000	0.000
2	11.00	11.00	0.00	6.00	0.00	0.000	0.000
3	20.00	20.00	30.00	0.00	0.00	0.000	0.000
4	16.00	16.00	40.00	0.00	0.00	0.000	0.000

図 1　円弧すべり検討結果

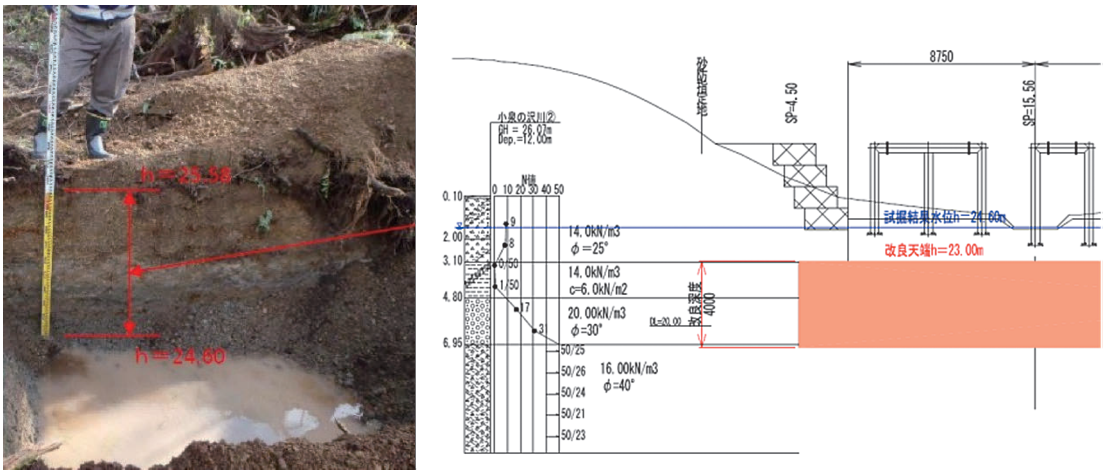


図 2　改良天端と地下水位関係

3. 地盤改良工事の概要

固化材添加量の決定にあたり、室内配合試験および試験施工が実施された。各試験で得られた結果を**表 1** に示す。本施工においては、試験施工の結果が採用された。地盤改良の仕様を**表 2** に示す。地盤改良の平面図と断面図を**図 3**、**図 4** に示す。

表 1　固化材添加量の検討

改良箇所	設計基準強度 (kN/m²)	固化材の種類	室内配合試験 (kg/m³)	試験施工 (kg/m³)
えん堤下部	350	高炉セメント B 種	310	320
円弧すべり対策部 1	830			450
円弧すべり対策部 2	820			450

表 2　地盤改良の仕様

項目	仕様
工　法	中層混合処理工法 （スラリー揺動撹拌工法）
対象土	火山灰質土・砂礫
改良土量（m³）	3918
改良率（%）	全面改良（100%）
改良深さ（m）	6.00～7.00m
設計基準強度 (kN/m²)	えん堤下部：350kN/m² 円弧すべり対策部 1：830kN/m² 円弧すべり対策部 2：820kN/m²
固化材の種類	高炉セメント B 種
固化材添加量 (kg/m³)	えん堤下部：320kg/m³ 円弧すべり対策部 1：450kg/m³ 円弧すべり対策部 2：450kg/m³
添加方法	スラリー添加（W/C＝70%）

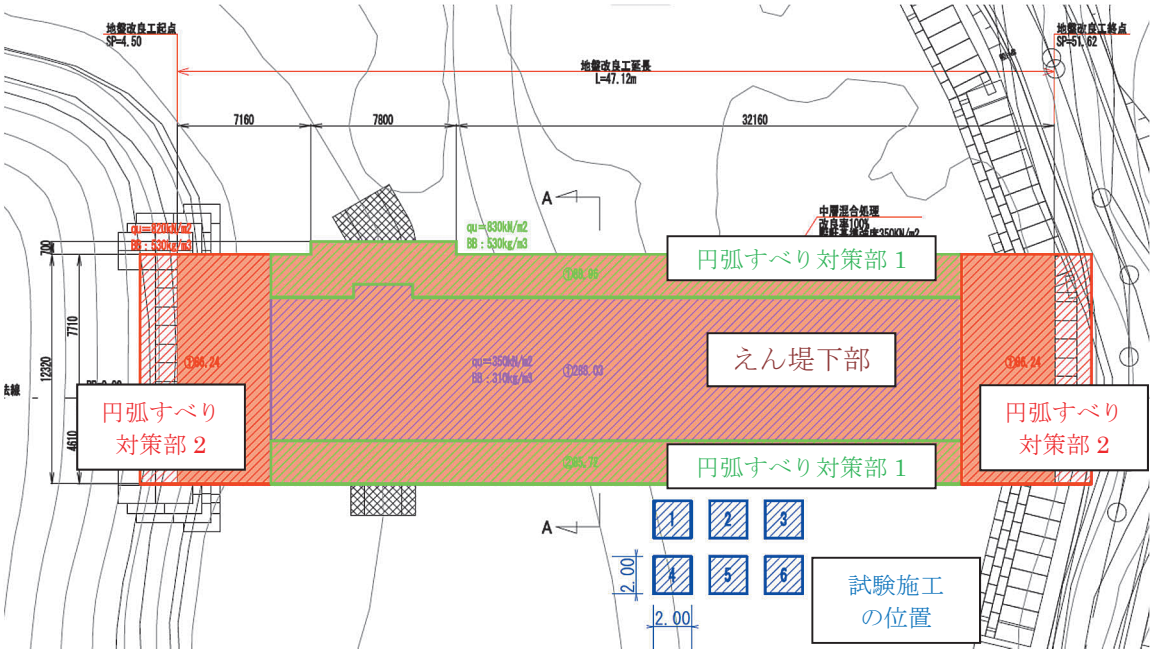


図 3　地盤改良の平面図

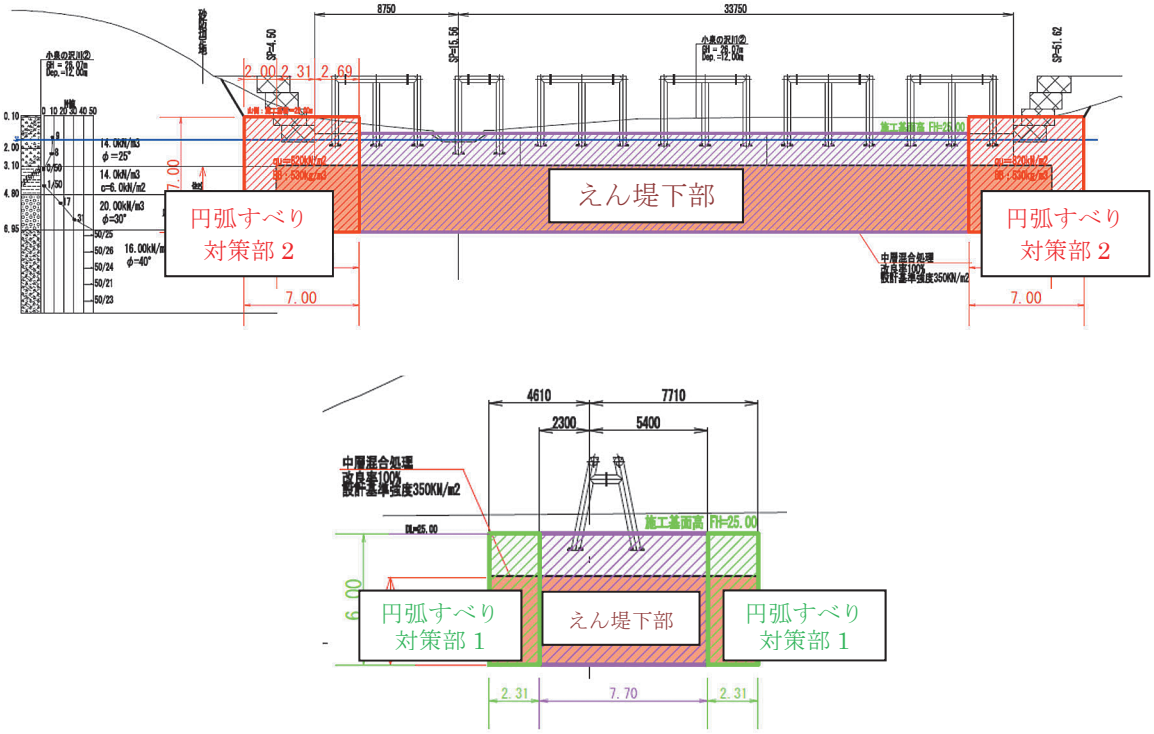


図 4　地盤改良の断面図

4. 本施工

施工状況を**写真 1** に、施工機械に設置された管理モニターの状況を**写真 2** に示す。



写真 1　施工状況



写真 2　管理モニター

5. 品質管理試験

専用のサンプリング方法により供試体が採取され（**写真 3**、**写真 4**）、一軸圧縮試験の結果、所定の強度を満足していることが確認された。一軸圧縮試験の結果を**表 3** に、品質管理基準を**表 4** に示す。



写真 3　コア採取状況



写真 4　試験用供試体の例

表 3　一軸圧縮試験結果

採取位置	区分	一軸圧縮強さ q_u	平均	判定基準① (**表 4** 参照)	判定基準② (**表 4** 参照)
		(kN/m^2)			
えん堤下部	上部	447	519	○	○
		545		○	
		566		○	
	中部	780	604	○	○
		407		○	
		626		○	
	下部	612	707	○	○
		759		○	
		749		○	
えん堤下部	上部	364	420	○	○
		426		○	
		470		○	
	中部	543	532	○	○
		626		○	
		428		○	
	下部	500	586	○	○
		690		○	
		568		○	
円弧すべり 対策部 1	上部	930	1114	○	○
		1140		○	
		1273		○	
	中部	1374	1123	○	○
		1013		○	
		982		○	
	下部	1296	1357	○	○
		1331		○	
		1444		○	
円弧すべり 対策部 1	上部	1000	1084	○	○
		1050		○	
		1203		○	
	中部	1252	1117	○	○
		1102		○	
		998		○	
	下部	1495	1083	○	○
		903		○	
		850		○	
円弧すべり 対策部 2	上部	1509	1287	○	○
		963		○	
		1388		○	
	中部	1653	1621	○	○
		1919		○	
		1290		○	
	下部	1723	1696	○	○
		1463		○	
		1902		○	
円弧すべり 対策部 2	上部	854	1028	○	○
		1008		○	
		1221		○	
	中部	1470	1339	○	○
		1172		○	
		1376		○	
	下部	1070	1248	○	○
		1267		○	
		1408		○	

表 4　品質管理基準

採取位置	設計基準強度 (kN/m^2)	判定基準①[1)]	判定基準②[1)]
えん堤下部	350	各供試体圧縮強さは設計強度の 85%以上	各部 3 供試体の平均圧縮強さは設計強度以上
円弧すべり対策部 1	830		
円弧すべり対策部 2	820		

6. おわりに

火山砂防事業において砂防えん堤が整備され、中層混合処理工法が採用された。本施工の前に室内配合試験と試験施工が実施され、より正確な固化材添加量が設定された。品質管理試験の結果、所定の強度を満足しており良好な施工であった。

土石流や融雪型火山泥流の減災対策として、本砂防えん堤の整備のようなハード面の対策のほか、ハザードマップの作成と公表、避難体制の整備などのソフト面の対策も並行して進められている。

【参考資料】

1)　WILL 工法協会：WILL 工法技術・積算資料

4.5　高圧噴射撹拌工法による稼働中水処理施設の耐震補強工事

1. はじめに

神奈川県に位置する、稼働中の水処理施設の耐震補強工事として、高圧噴射撹拌工法による地盤改良が実施された。

本節では、地盤改良の施工計画、構造物の変状、改良効果の確認結果について紹介する[1)]。

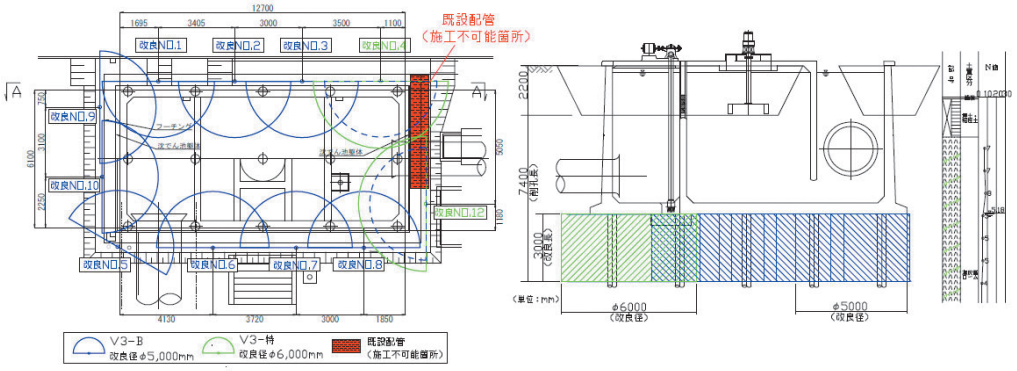
2. 地盤改良工事の概要

水処理施設の耐震補強工事（構造物基礎杭に対する横方向地盤反力 K 値の増加）を目的として、高圧噴射撹拌工法が実施された（**写真 1**）。本現場では、材料費ならびに排泥量を削減するため、一般的な円形改良でなく、半円改良が採用された。改良地盤は N 値 5 程度の凝灰質ローム（火山灰質粘性土）であり、粘着力が高く、排泥の排出が良好でないことが想定される。排泥の排出をスムーズにするため、事前に高圧水で切削するプレジェットが併用された。また、同日に近接する改良体の造成を行うと、一時的に広い範囲の地盤を緩め、既設構造物が変状する可能性があるため、連続して造成する場合は離れた箇所の施工がなされた。

改良体の配置図を**図 1** に、地盤改良の仕様を**表 1** に示す。施工箇所の一部に配管が確認されたことから、施工架台が設置出来ず、地盤改良が不可能であった。設計改良径（φ5000mm）では、改良体に不連続部が発生するため、一部、改良径をφ6000mm に変更することにより改良目的を達した。



写真 1　高圧噴射撹拌工法の施工状況



（a）平面図　　（b）断面図

図 1　改良体の配置図

表 1　地盤改良の仕様

項　目	仕　様
工法	高圧噴射攪拌工法
改良深度　(m)	9.6
改良径　(mm)	5000、6000（いずれも半円改良）
設計基準強度　(kN/m²)	1000
固化材の種類	工法専用固化材
固化材添加量　(kg/m³)	250～300
添加方法	スラリー添加（W/C=106%）

3. 施工管理

（1）改良径の確認

施工中のジェット流音量を測定することで、改良径の出来形を確認するシステムが構築されている[2)]。本システムの概要図を**図 1** に示す。施工前に所定の位置に建込み管を設置して、建込み管内に挿入した集音器により建込み管にあたるジェット流を音の大きさとしてモニタリングして経時変化を測定する。集音器は、噴射ロッドの引き上げに連動して自動的に巻き上げられる。音レベルの振れ幅（最大値－最小値）が 200 を超えた場合に改良体の出来形が建込み管の外側まで達することが判明している。

改良径確認試験における音レベルの振れ幅を**図 2** に示す。いずれの施工箇所も音レベルの振れ幅が 200 以上となり、設計改良径を満足していることが確認された。

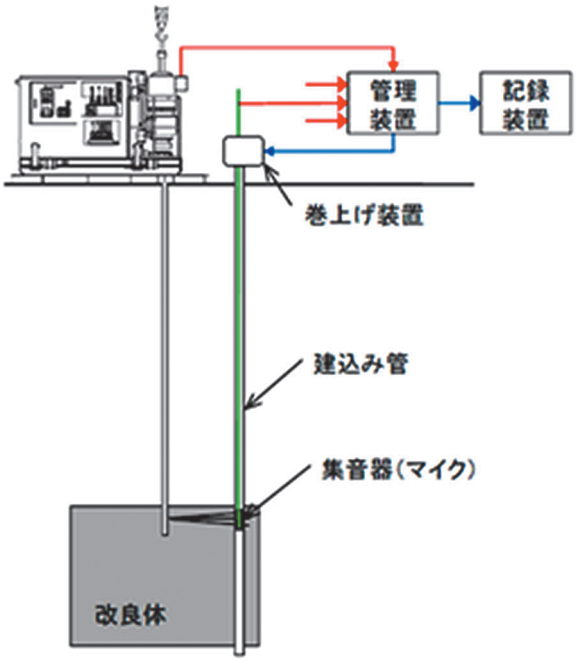
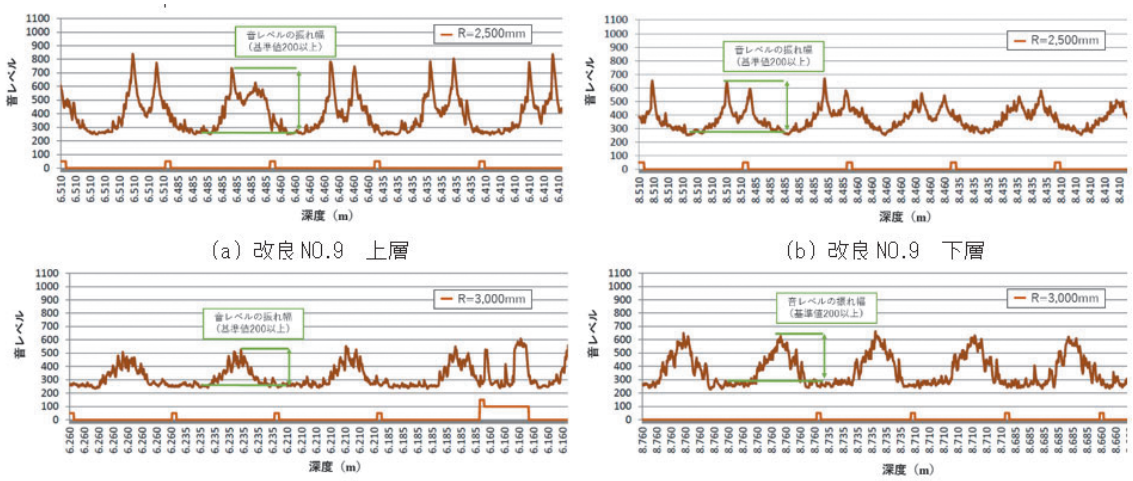


図１　高低変位の計測結果



（a）改良 NO.9　上層　　（b）改良 NO.9　下層

（c）改良 NO.12　上層　　（d）改良 NO.12　下層

図２　改良径確認試験における音レベルの振れ幅

（2）構造物の変状確認

既設構造物の変状確認のため、**図 3** に示すとおり、12 か所の定点を設けて、施工前・施工中・施工後の鉛直変位をオートレベルにより計測された。動態観測の結果を**図 4** に示す。施工前後の変位は最大＋4mm であった。施工中（改良体造成前後）の計測では、変位は最大で＋3mm であった。施工後に一時的に上昇が認められる箇所があるものの、数 mm 程度であり、既設構造物および周辺環境に及ぼす有害な変状は認められなかった。

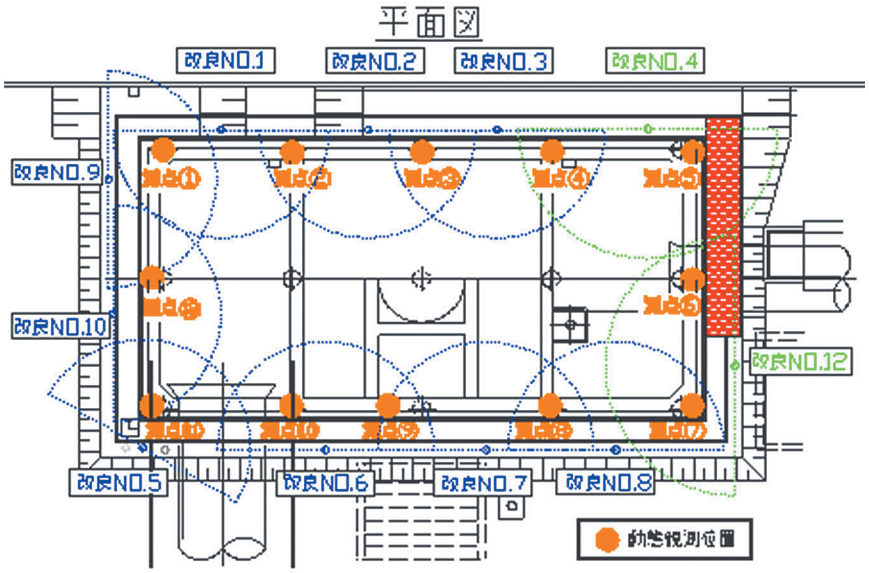


図 3　変位計測位置

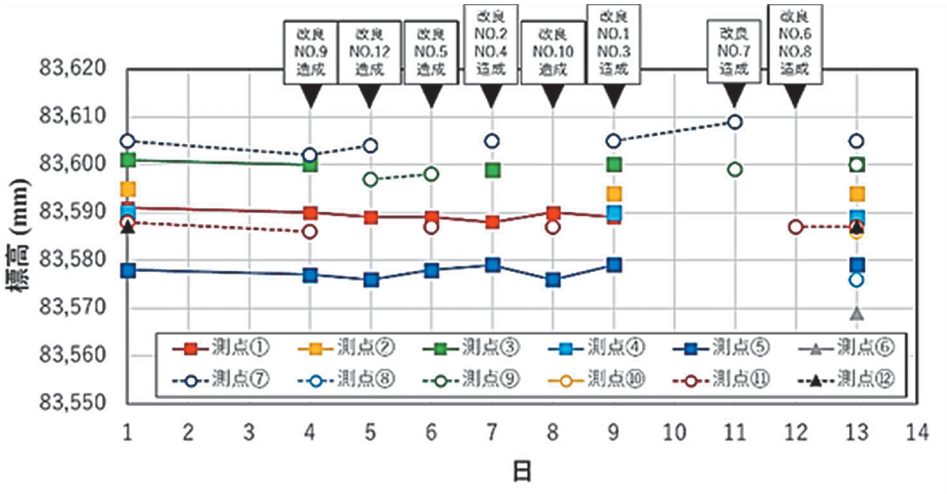


図 4　動態観測の結果

4. 品質管理試験

地盤改良の品質管理試験として、改良体がオーバーラップする部分からコアボーリングした供試体（**図 5**）を用いて、一軸圧縮強さ試験が行われた。一軸圧縮強さの試験結果を**表 2** に示すとおり、いずれの供試体も設計基準強度を満足していることが確認された。

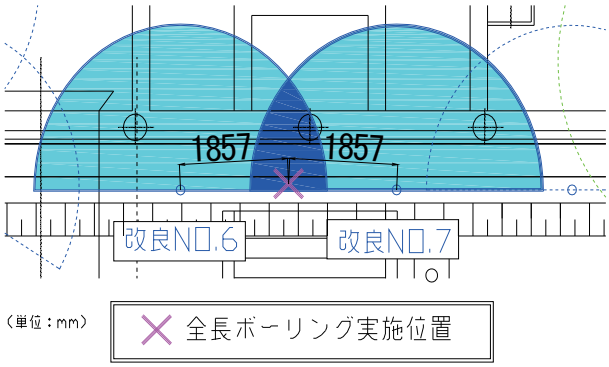


図 5　コアボーリング実施位置

表 2　モールドコアによる一軸圧縮強さ（材齢 28 日）

設計基準強度 (kN/m²)	一軸圧縮強さ			平均値
	1	2	3	
1000	6106	3220	4879	4735

5. おわりに

稼働中の水処理施設において、高圧噴射撹拌工法による耐震補強が実施された。適切な施工管理、構造物の変状のモニタリングにより、既設構造物に影響を及ぼすことがなく、無事、地盤改良が完了した。

【参考資料】

1) 山口ほか：稼働中水処理施設の高圧噴射攪拌工法を用いた耐震補強工事、第 13 回地盤改良シンポジウム論文集（2018 年 11 月）、pp.103-106、2018

2) 島野ほか：高圧噴射攪拌工法における改良体出来形径の管理手法とその検証、第 12 回地盤改良シンポジウム論文集、pp.455-458、2016

4.6　高圧噴射撹拌工法による排水機場施設の漏水対策

1. はじめに

兵庫県円山川にある八条排水機場は、1978 年（昭和 53 年）の竣工から 40 年間、旧円山川に浄化用水を供給するとともに、豊岡市内の浸水被害を軽減する役割を担ってきた。2018 年（平成 30 年）7 月の梅雨前線降雨に排水機場を稼働させた際に、排水機場の上流側堤防法尻部から大量の漏水が生じた（**写真 1、2**）。これは、1997～2001 年（平成 9～13 年）に排水機場周辺の道路拡幅工事が行われ、盛土荷重が増大した影響であると考察されている。道路拡幅工事の際には、樋門函渠の補強やL型擁壁による土留壁が施工されていたものの、圧密沈下によって樋門継手の開きや函体にクラックが生じ漏水が発生したものと考えられる [1)]。

本節では、漏水対策工事の際に実施した高圧噴射撹拌工事の概要を紹介する。



写真 1　豪雨による被害状況



写真 2　応急処置の状況
（月の輪工法）

2. 被害状況と漏水対策工事の概要

2.1　被害状況

被害状況の概要を**図 1** に示す。

① 道路拡幅盛土に伴い L 型擁壁が設置されたが、その際、盛土荷重の増加によって生じる函体の強度不足を補うため、函体の補強が実施された。一方、当時の設計基準では負の周面摩擦は考慮されなかった。

② 2018 年 7 月、大量の漏水が生じた。調査の結果、函体間の目地開き、函体の貫通ひび割れ（最大で 4cm）が発生していた。堤防天端の沈下量は最大で 35cm 程度あり、圧密沈下に伴って負の周面摩擦による支持力不足が発生し沈下したことが原因と考えられる。

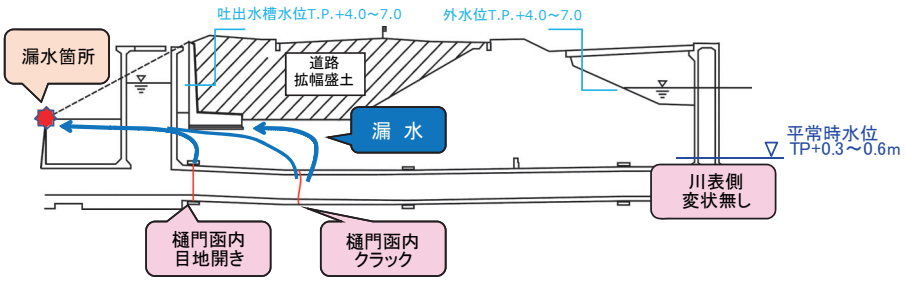


図 1　被害状況の概要

2.2　漏水対策工事

漏水対策工事の概要を**図 2** に示す。

① 可とう継手の新設ならびに取り換えを行い、地盤沈下に追従させる。

② 貫通ひび割れが生じている函体を撤去し新設する。この際、土留め壁の安定と開削時の止水（既設函体周辺、掘削底面のヒービング・ボイリングの防止）を目的に、高圧噴射撹拌による地盤改良を行う。改良体は函体周辺の空洞閉塞としても機能する。

③ その他の函体のひび割れ部は、可とう性エポキシ樹脂にて補修する。

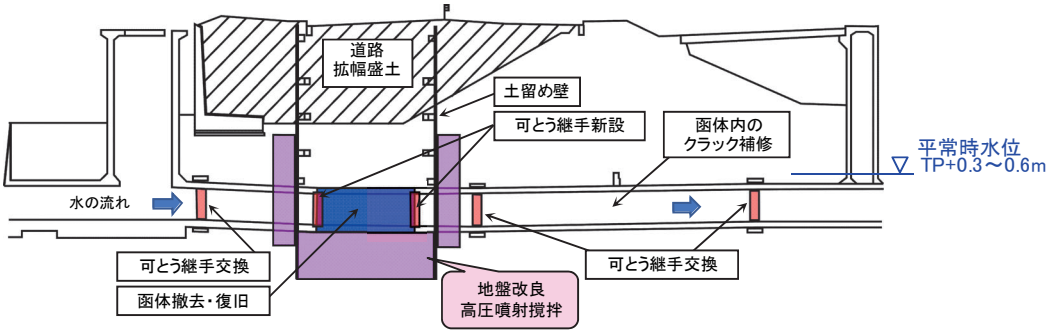


図 2　漏水対策工事の概要



（a）矢板設置



（b）高圧噴射撹拌



（c）支保工・掘削工



（d）函体の撤去



（e）可とう継手の設置



（f）新設函体



（g）埋戻し工・支保工解体



（h）矢板引抜



（i）工事完了

写真 3　漏水対策工事の状況

3. 地盤改良の仕様

地盤改良の仕様を**表 1** に、施工状況を**写真 4** 示す。

表 1　地盤改良の仕様

項　目	仕　様
工法	高圧噴射撹拌工法
改良深さ (m)	底盤部　L=3.10m 欠損部　L=7.93m
改良径 (m)	底盤部　φ4.0m，φ5.0m 欠損部　φ4.0m
改良本数 (本)	底盤部　φ4.0m×8 本，φ5.0m×8 本 欠損部　φ4.0m×4 本
設計基準強度 q_{uck} (kN/m²)	3000 kN/m²
固化材の種類	工法専用固化材
配合 （練上り 1.0m³当り） (kg/m³)	固 化 材　720kg/m³ 練混ぜ水　763kg/m³



写真 4　地盤改良の施工状況（高圧噴射撹拌工法）

4. 品質管理

地盤改良施工中の品質管理として、**写真 5** に示すように、比重計（マッドバランス）による固化材スラリーの比重測定が行われた。

また、地盤改良施工後は、**写真 6、7** に示すように、改良体からコア供試体を採取し一軸圧縮試験が実施された。一軸圧縮試験の結果、全てにおいて設計基準強度を満足していることが確認された。



写真 5　固化材スラリーの比重測定



写真 6　コア採取状況



写真 7　採取コア確認

5. おわりに

排水機場の漏水対策として、高圧噴射撹拌工法が実施された。

円山川の平常時水位 TP+0.3～0.6m に対し、今回の施工の床付は TP−3.9m と河川の水位より低く、湧水対策に苦慮すると思われたが、高圧噴射撹拌工法による大口径（φ5.0m、φ4.0m）の改良により、矢板の欠損部や函体底面が確実に閉塞され、函体の補修を速やかに行うことができた。

今後も確実な治水事業のため、排水機場の点検やモニタリングが継続される。

【参考資料】

1） 松田雄也、久内忠：円山川八条樋門の緊急対策について
https://www.kkr.mlit.go.jp/plan/happyou/thesises/2019/pdf01/anzen1-10.pdf
（2021 年 9 月現在）

5.汎用的な地盤改良工事

5.1　重機転倒防止のための地盤改良

1. 工事概要

千葉県印西市の物流倉庫建屋の建築工事において、使用する 120t 吊り移動式クローラクレーンの足場となる地盤の支持力が不足する事例が発生した。

本節では、支持地盤養生の方法として、**図 1** および**表 1** に示すとおり、「敷鉄板による荷重分散」と「地盤改良による支持力増加」が併用された仮設工事を紹介する。

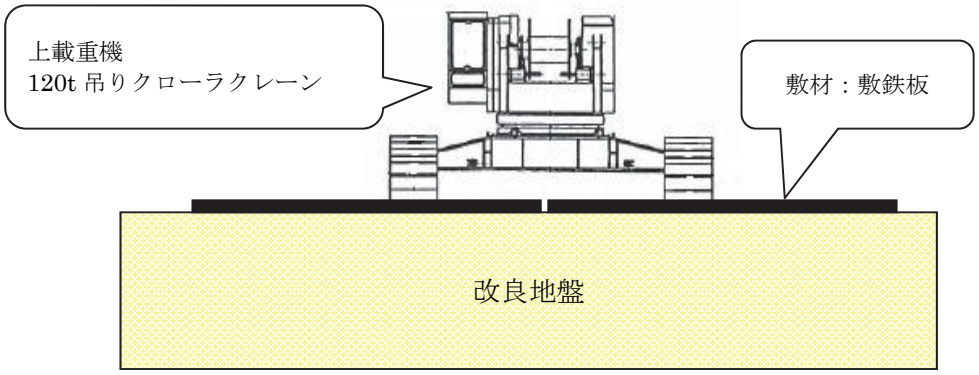


図 1　上載重機および支持地盤養生方法

表 1　重機足場の支持地盤養生方法の仕様

養生方法	仕　様	
敷鉄板	1.5m×6.0m×22mm（1 枚敷き）	
地盤改良	混合機械	スタビライザ
	改良面積	25,000m^2

2. 調査設計から工事完了までの流れ

本工事の調査設計から工事完了までの流れを**図 2** に示す。

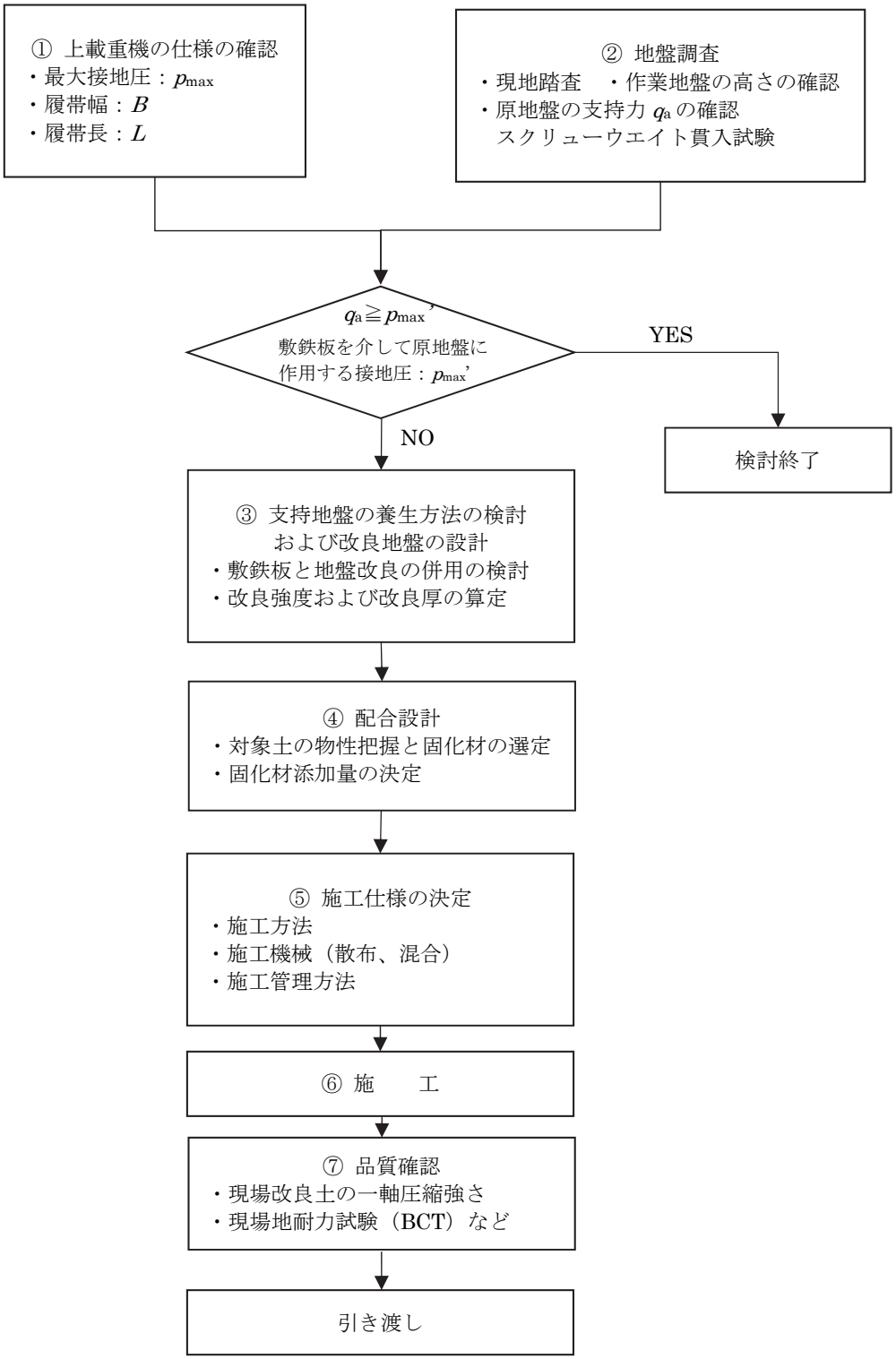


図２　調査設計から工事完了までの流れ

3. 上載重機の仕様

建築工事で用いられるクローラクレーンの仕様は、**表 2** のとおりであった。

表 2　クローラクレーンの仕様

項　目	仕　様
吊上能力	120t
最大接地圧 p_{max}	209.9 kN/m^2 （建設機械メーカーに確認）
履帯幅 B	0.965m
履帯長 L	6.840m

4. 原地盤の調査結果および地盤改良の必要性

クローラクレーンの作業地盤の表層部は、自然含水比 80%程度の火山灰質粘性土（ローム）層を切盛して築造したヤードであった。

作業地盤表層部の短期許容支持力 q_a は、スクリューウエイト貫入試験（以下、SWS 試験と記す）による調査から、**式 1** および**式 2** により求められた [1]。

$q_a = 60\times(W_{sw})^2$　　（$W_{sw}\leqq 1.0$kN の時）　　（**式 1**）

$q_a = 60 + 1.6\times N_{sw}$　　（$W_{sw} > 1.0$kN の時）　　（**式 2**）

ここで，q_a ：短期許容支持力（kN/m^2）

W_{sw}：載荷重（kN）

N_{sw}： 1m 当たりの半回転数（回）

なお、SWS 試験は地盤改良対象ヤードの 15 地点で実施され、このうち表層の軟弱な層が最も深い測点 No.5 を代表地点に選定された。測点 No.5 の SWS 試験結果を**表 3** に示す。表層部 1.0m までの短期許容支持力は、q_a＝60～72.8kN/m^2 であった。

次に、地盤改良の必要性を判断するため、敷鉄板を介して原地盤に作用する接地圧 p_{max}' が**式 3** により算定された。

$p_{max}' = p_{max}\times(1+i)\times\eta$　　（**式 3**）

ここで，i ：衝撃係数 0.2 を採用

η ：敷鉄板の荷重分散率で 0.5 を採用 [2]

算定の結果、q_a（＝60～72.8kN/m^2）＜p_{max}'（=209.9×（1+0.2）×0.5＝125.9 kN/m^2）となり、地盤改良が必要であることが判明した。

表 3　SWS 試験結果（測点 No.5）

荷重 W_{sw}(kN)	半回転数 N_a	貫入深さ D（m）	貫入量 L（cm）	1m 当たりの半回転数 N_{sw}	短期許容支持力 q_a（kN/m²）	換算 N 値
1.00	2	0.25	25	8	72.8	3.4
1.00	0	0.50	25	0	60.0	3.0
1.00	0	0.75	25	0	60.0	3.0
1.00	0	1.00	25	0	60.0	3.0
1.00	3	1.25	25	12	79.2	3.6
1.00	8	1.50	25	32	111.2	4.6
1.00	7	1.75	25	28	104.8	4.4
1.00	11	2.00	25	44	130.4	5.2

5. 改良地盤の設計

5.1　改良地盤に作用する接地圧の検討

敷鉄板を介して改良地盤に作用する接地圧 p_{max}”が**式 4** により算定された。

$$p_{max}'' = p_{max} \times (1 + i) \times \eta \qquad \text{（式 4）}$$

ここで、i ：衝撃係数 0.2 を採用

η ：敷き鉄板の荷重分散率で 0.5 を採用 [2)]

よって、p_{max}''=209.9×（1+0.2）×0.5＝125.9 kN/m² となった。

5.2　改良地盤の設計基準強度の算出

設計基準強度（改良強度）q_u は、国土交通省告示第 1113 号の短期許容支持力を定める**式 5** より算出された。具体的には粘着力 c を求めたのち、$c = q_u/2$ の関係から改良強度が算出された結果、$q_u \geqq 64$ kN/m² となった。ただし、セメント系固化材による地盤改良の施工実績を勘案し、本工事では設計上安全側となるように設計基準強度 q_u＝100kN/m² に設定された。

$$q_a' = 2/3(i_c \cdot \alpha \cdot c \cdot N_c + i_\gamma \cdot \beta \cdot \gamma_1 \cdot N_\gamma + i_q \cdot \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q) \qquad \text{（式 5）}$$

ここで、　q_a'：短期許容支持力（kN/m²）

α, β：形状係数　α＝1.16, β＝0.34

i_c, i_γ, i_q：荷重の傾斜に対する補正係数で、ここでは $i_c = i_\gamma = i_q = 1$ とした。

N_c, N_γ, N_q：支持力係数で内部摩擦角 φ の関数で、ここでは φ＝0°として、

$N_c = 5.1$、$N_\gamma = 0.0$、$N_q = 1.0$ とした。

γ_1：基礎荷重面下にある地盤の単位体積重量又は水中単位体積重量（kN/m³）

γ_2：基礎荷重面より上方にある地盤の平均単位体積重量

又は水中単位体積重量（kN/m³）

D_f：根入れ深さで、ここでは根入れが無いことから D_f＝0.0m である。

5.3　改良厚さの算出

敷鉄板を介した上載荷重が**図 3** に示すように深さ方向に分散するものとし、**式 6** に示すボストンビルディング法により地中応力 p'が求められた。なお、荷重分散角 θは 45°とされた。

$$p' = \frac{pmax'' \times B'' \times L''}{(B''+2 \cdot Z \cdot tan\vartheta) \times (L''+2 \cdot Z \cdot tan\theta)} \qquad (式\ 6)$$

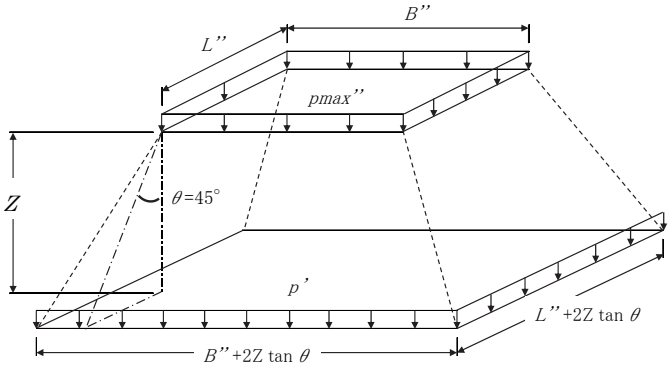


図 3　矩形等分布荷重下の応力

改良厚は、上載荷重により分散した地中応力 p'が SWS 試験結果より算出した原地盤の許容支持力 q_a を下回る深さとなる 0.4 に決定された。代表地点（測点 No.5）の例を**図 4** に示す。

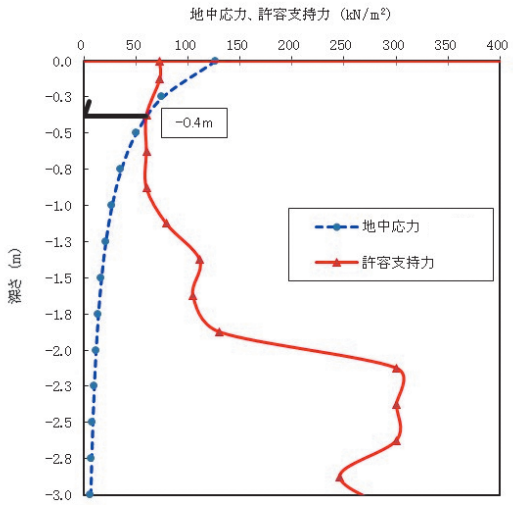


図 4　深さ方向の地中応力と許容支持力の関係

5.4　パンチング破壊の検討

改良地盤が上載荷重によりせん断破壊（パンチング破壊）するか否かについて、上記で求められた改良厚さ Z＝0.4m、改良強度 q_u＝100kN/m² から、**式 7** により検討された。

$$P_{max}'' \leqq \frac{2(B''+L'')}{B''\times L''} \cdot \frac{c \cdot Z}{F_S} + q_a \qquad \text{（式 7）}$$

ここで,

p_{max}''=105.0kN/m²（=209.9×0.5）、c=q_u/2=50kN/m²、Z=0.4m、q_a=q_{aZ}=60kN/m²、B''=1.5m、L''=1.93m、F_s=1.5 として計算を行った。

P_{max}''=105.0kN/m²＞91.6kN/m² となり、パンチング破壊が発生する結果となった。パンチング破壊が発生しないための改良強度を逆算すると q_u=143kN/m² となった。よって、設計基準強度 q_u を 100kN/m² から 143kN/m² に変更された。

5.5 固化材添加量の検討

（現場/室内）強度比を 0.5～0.8[2)]の最大値である 0.8 に設定され、7 日養生の室内目標一軸圧縮強さは 179kN/m²（=143÷0.8）となった。

改良対象土が自然含水比 80%程度の火山灰質粘性土であったため、使用する固化材を高有機質土用固化材として配合試験が行われた結果、現場における固化材添加量は 105kg/m³ となった。

以上の結果より設定された地盤改良の仕様を**表 4** に示す。

表 4 地盤改良条件

項目	条件
設計基準強度 q_u	143kN/m²
改良厚 Z	0.4m
使用固化材	高有機質土用固化材
添加量	105kg/m³

6. 施工および施工管理

6.1 施工機械

地盤改良に用いた主な施工機械を**表 5** に示す。

表 5　主な施工機械

工種	使用機械	形式	台数	備考
固化材散布	散布車	8m³, 散布幅 2.5m	1	
混合撹拌	スタビライザ	最大混合深さ t＝0.7m 混合幅 2m	1	混合回数 1 回
混合撹拌(補助)	バックホウ	山積み 0.4m³	1	端部混合用
改良土敷均し	ブルドーザ	3t 級	1	
転圧	タイヤローラ	8～20 t	1	1 層転圧

6.2　施工手順

施工手順を**図 5** に示す。

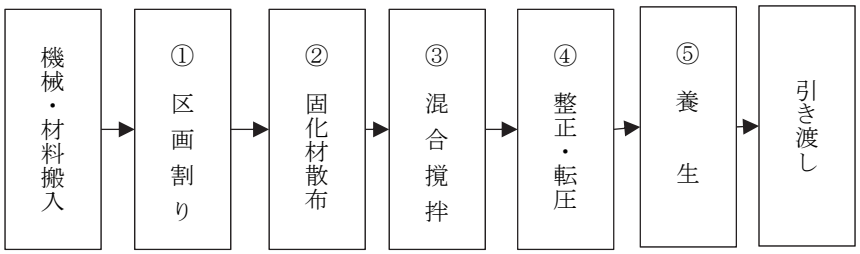


図 5　施工手順

① 区画割り

固化材散布に先立ち、散布車 1 台当たりの散布面積を計算し、区画割りを行う。

② 固化材散布

固化材の散布は、フレコン散布に比べ施工効率の優れている散布車を使用し、均一に敷き均す（**写真 1(a)**）。

③ 混合撹拌

スタビライザを用いて所定の深さで混合撹拌し（**写真 1(b)**）、スタビライザでの混合ができない端部の混合にはバックホウを用いて未改良箇所がないように施工する。

④ 整正・転圧

混合後は、ブルドーザおよびタイヤローラにて速やかに整正・転圧を行う。

⑤ 養生

施工後、所定の期間（当現場では 7 日間）養生を行う。



（a）散布車による固化材散布



（b）スタビライザでの混合撹拌

写真 1　施工状況

6.3　施工管理

施工管理項目を**表 6** に示す。

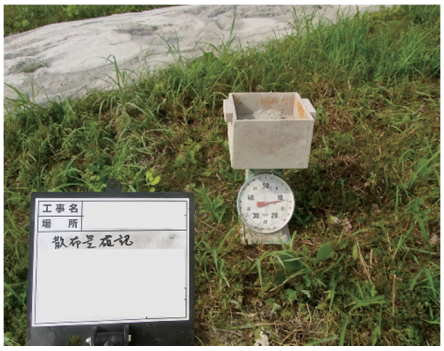
固化材散布量は、0.3m×0.3m の枡を設置し、その上を散布車が通過した後に枡に入った固化材量を測定して、所定量以上であることが確認された（**写真 2(a)**）。

改良厚は、フェノールフタレインを噴霧して呈色した深さを測定し、所定の厚さで改良されていることが確認された（**写真 2(b)**）。

現場改良土の一軸圧縮試験結果を**表 7** に示す。いずれの地点も、材齢 7 日での一軸圧縮強さ q_{u7} は設計基準強度（143kN/m²）以上であることが確認された。

表 6　管理項目と頻度

項目		方法	頻度
出来形	改良厚	実測（フェノールフタレイン噴霧）	施工日毎
	改良幅	実測	施工日毎
	基準高	実測	施工日毎
固化材量	使用量	納入伝票による	施工日毎
	散布量	散布時枡設置・計量	1 回/散布量毎
品　質	一軸圧縮強さ	土の一軸圧縮試験（JIS A 1216）	1 試料/施工日



（a）散布量の確認



（b）改良厚の確認

写真２　施工管理状況

表７　現場改良土供試体の一軸圧縮試験結果

試料 No.	含水比 (%)	湿潤密度 (g/cm^3)	乾燥密度 (g/cm^3)	一軸圧縮強さ q_{u7} (kN/m^2)
1	63.4	1.212	0.742	231
2	47.6	1.308	0.886	204
3	46.1	1.301	0.890	195
4	66.6	1.304	0.783	217
5	57.0	1.323	0.843	206

7. おわりに

SWS 試験による調査の結果、クローラクレーンの足場となる地盤の支持力不足が確認された。セメント系固化材による地盤改良と敷鉄板による支持地盤の養生が行われ、その後、無事にクレーン作業が完了した。

支持地盤の養生方法としてのセメント系固化材による地盤改良は、個々の現場に合わせた施工が可能であり、クレーンの転倒事故の防止策として有効である。

【参考資料】

1）地盤工学会：地盤調査の方法と解説、p.332（2013）

2）セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル第 4 版（2012）

5.2　浅層・中層混合処理工法による建設機械足場の補強工事

1. はじめに

新名神高速道路は、愛知県名古屋市を起点とし三重、滋賀、京都、大阪の各府県を結び兵庫県神戸市に至る延長約 174km の高速道路である。このうち八幡京田辺 JCT・IC～高槻 JCT・IC 間は、開通済みの新名神高速道路城陽 JCT・IC～八幡京田辺 JCT・IC 間および高槻 JCT・IC～神戸 JCT 間と接続し、さらに第二京阪道路とも接続が計画されている。高速道路ネットワークの機能強化、名神高速道路との適切な交通機能分担の確保、名神高速道路の混雑解消、また、災害や事故の際には、名神高速道路等と相互に代替機能を発揮することが期待されている [1)]。

本節では、八幡京田辺 JCT・IC の整備における建設機械足場の補強工事に地盤改良が適用された事例を紹介する。

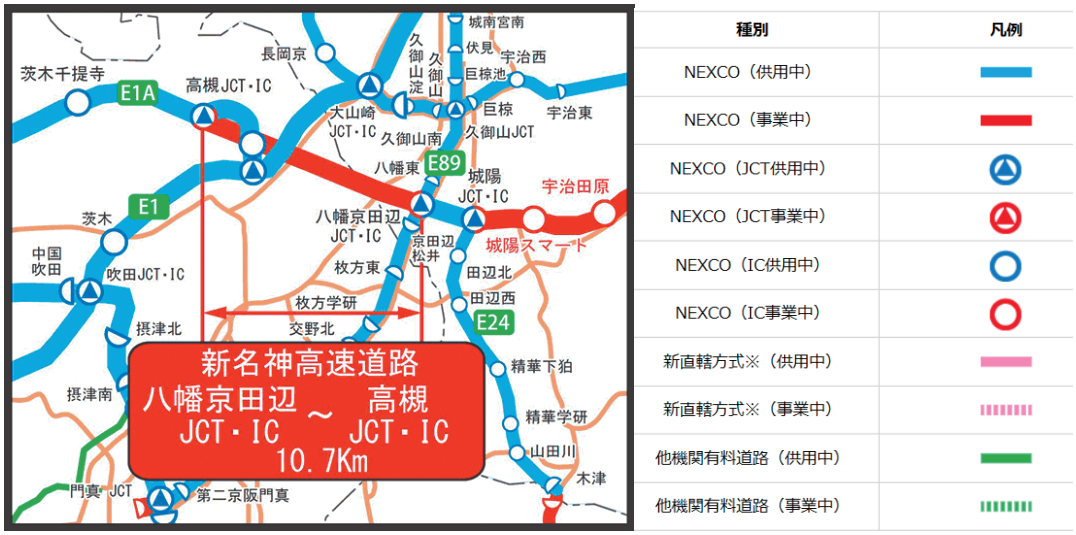


図 1　八幡京田辺 JCT・IC～高槻 JCT・IC の整備概要 [1)]

2. 地盤改良の仕様

地盤改良の必要性を検討するため、原地盤の状態把握を目的に、スクリューウエイト貫入試験（SWS 試験）が多点で実施された。その結果、建設機械の接地圧を満足する支持力が不足していたため、地盤改良による補強工事が実施されることとなった。

建設機械の深度方向に作用する鉛直応力と SWS 試験の結果から計算された短期許容応力度の関係から改良深さが決定され（**表 1**）、クローラクレーンおよびウェイトワゴンの作業用の地盤として、**図 2** に示す通り改良範囲及び施工手順（区画割り）が計画された。

また、室内配合試験によって**表 2** に示すとおり、地盤改良の仕様が決定された。

表１　鉛直応力（σ_z）と短期許容応力度（q_a）の関係

※単位：kN/㎡、表中 A, B, C は SWS 試験箇所

クローラクレーン部					
改良深さ z(m)	鉛直応力 σ_z	短期許容応力度 q_a			判定 $q_a>\sigma_z$
		A	B	C	
0.50	388	94	240	166	OUT
1.00	311	94	98	98	OUT
1.50	259	94	240	113	OUT
2.00	222	84	199	151	OUT
2.50	194	161	209	240	OUT
3.00	173	240	240	127	OUT
3.50	156	156	142	132	OUT
4.00	141	180	146	122	OUT
4.50	130	240	240	233	OK
5.00	120	240	－	166	OK

ウェイトワゴン部					
改良深さ z（m）	鉛直応力 σ_z	短期許容応力度 q_a			判定 $q_a>\sigma_z$
		A	B	C	
0.50	170	94	240	166	OUT
1.00	150	94	98	98	OUT
1.50	134	94	240	113	OUT
2.00	121	84	199	151	OUT
2.50	111	161	209	240	OK
3.00	102	240	240	127	OK
3.50	94	156	142	132	OK
4.00	88	180	146	122	OK
4.50	82	240	240	233	OK
5.00	77	240	－	166	OK

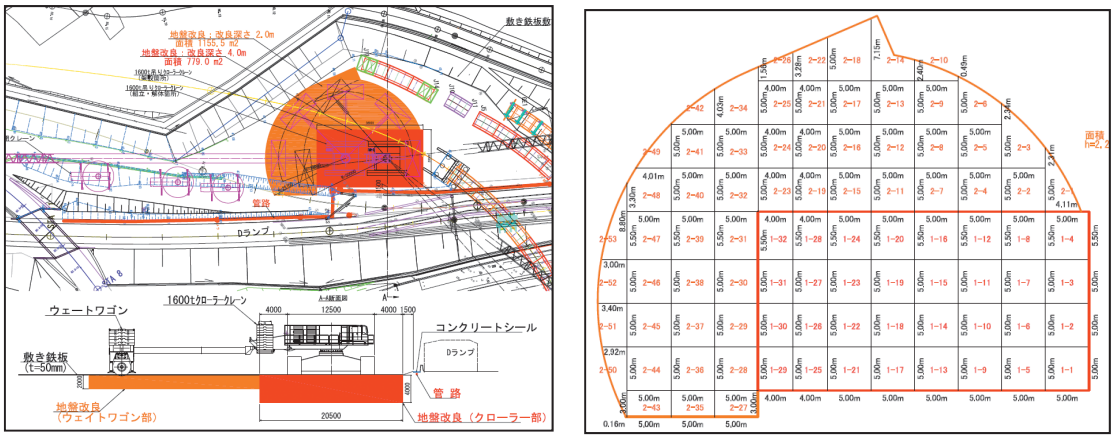


図２　改良範囲および施工手順

表２　地盤改良の仕様

項　目	仕　様	
	クローラ部	ウェイトワゴン部
工法	中層混合処理工法（トレンチャ式撹拌混合）	
改良深度　(m)	4.50	2.50
現場目標強度　(kN/m²)	517 以上（一軸圧縮強さ）	209 以上（一軸圧縮強さ）
固化材の種類	汎用固化材（特殊土用）	
固化材添加量　(kg/m³)	115	74
水セメント比　(%)	153	224
添加方法	スラリー添加	

3. 地盤改良工事

改良深さはクローラ部で 4.50m、ウェイトワゴン部で 2.50m である。浅層と中層の異なる改良深さを円滑に改良できるように、トレンチャ式の特殊アタッチメントを搭載したバックホウによる中層混合処理が採用された。地盤改良機材の配置状況を**図 3** に、施工状況を**写真 1**、**2** に示す。

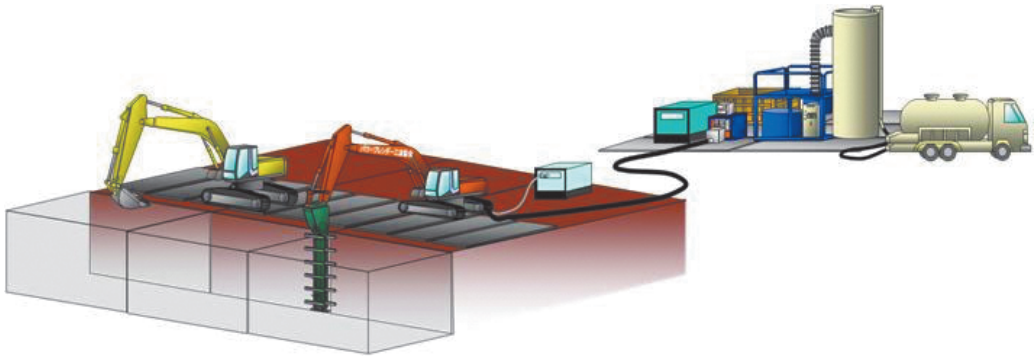


図 3　地盤改良機材の配置状況



写真 1　施工機械の全景



写真 2　施工状況

4. 品質管理試験

施工後に品質管理試験のため、試料採取器により供試体が採取され（**写真 3**）、一軸圧縮試験が行われた。一軸圧縮試験の結果、いずれも現場目標強度を満足していることが確認された。



写真 3　施工後の試料採取状況

5. おわりに

建設機械足場の補強を目的に、浅層・中層改良による仮設工事が行われ、高速道路のJCT・IC の整備に寄与した。セメント系固化材による地盤改良は、建設作業環境の構築にも重要な役割を果たしている。



写真４　地盤改良施工後、建設機械足場としての供用状況

【参考資料】

1）NEXCO 西日本ホームページ：建設進捗情報 E1A 近畿自動車道名古屋神戸線（新名神高速道路）八幡京田辺 JCT・IC～高槻 JCT・IC
https://corp.w-nexco.co.jp/activity/open_info/progress/individual/31/ （2021 年 9 月現在）

5.3　道路盛土下部の支持力増強・円弧すべり対策としての深層混合処理工～釧路市～

1. はじめに

北海道横断自動車道の整備において、盛土下部の支持力増強および円弧すべり対策を目的として地盤改良が行われた。

2. 地盤改良工事の概要

固化材添加量の決定にあたり、室内配合試験および試験施工が実施された。各試験で得られた結果を**表 1** に示す。本施工においては、試験施工の結果が採用された。地盤改良の仕様を**表 2** に、地盤改良の平面図と断面図を**図 1**、**図 2** に示す。

表 1　固化材添加量の検討

改良箇所	設計基準強度 (kN/m^2)	固化材の種類	室内配合試験 (kg/m^3)	試験施工 (kg/m^3)
盛土直下部	380	泥炭用固化材	295	293
盛土法尻部	160		140	155

表 2　地盤改良の仕様

項目	仕様
工　法	深層混合処理工法（中圧噴射撹拌工法）
対象土	泥炭・シルト
改良径（mm）	1600
改良本数（本）	377
改良率（%）	50
改良長（m）	7.9
設計基準強度 (kN/m^2)	盛土直下部：380kN/m^2 盛土法尻部：160kN/m^2
固化材の種類	泥炭用固化材
固化材添加量 (kg/m^3)	盛土直下部：293kg/m^3 盛土法尻部：155kg/m^3
添加方法	スラリー添加（W/C=100%）

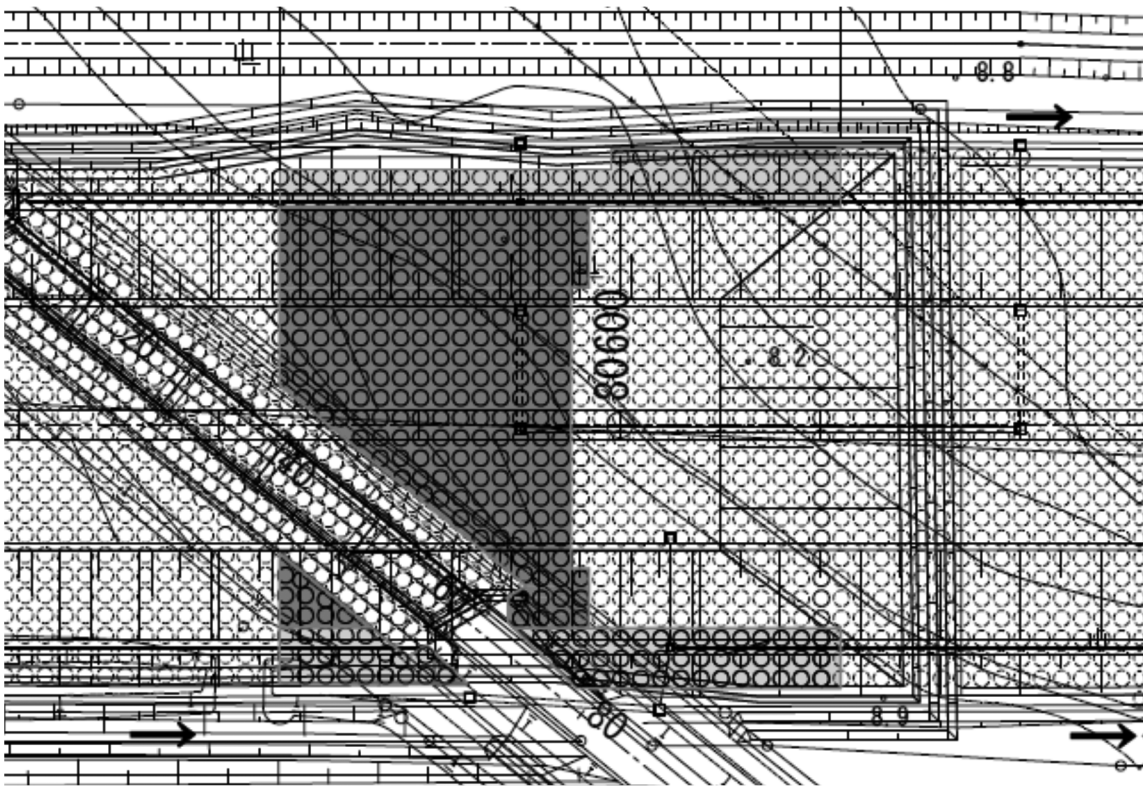


図１　地盤改良の平面図

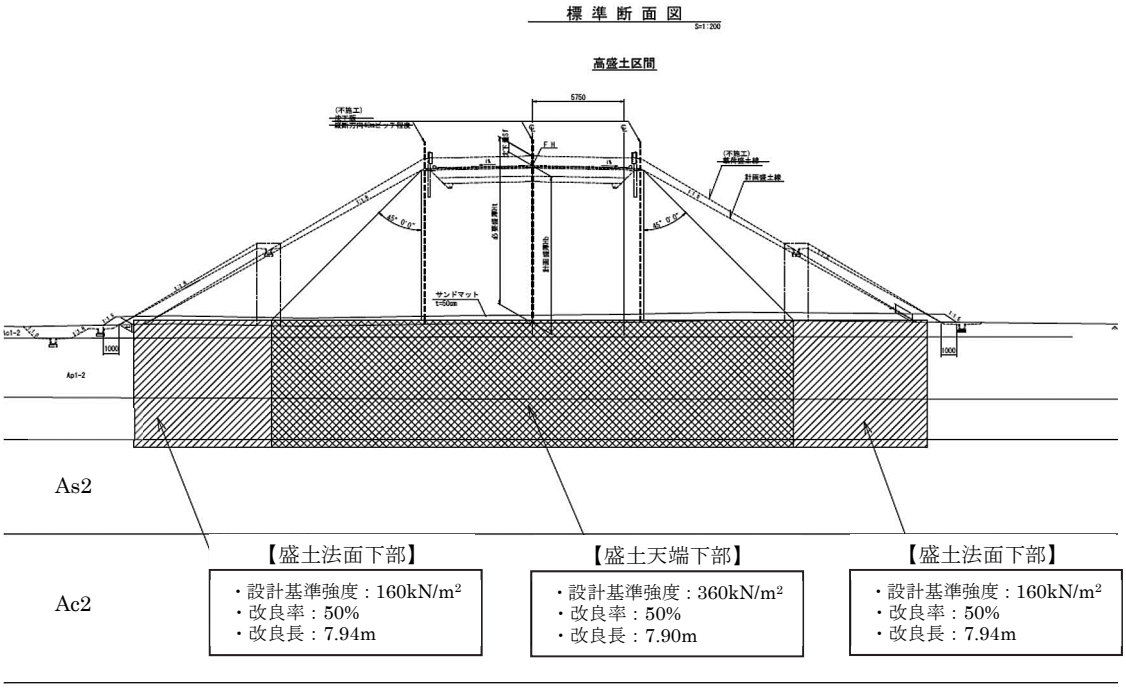


図２　地盤改良の断面図

3. 地盤調査

ボーリング調査の補完として機械式コーン貫入試験、ピートサンプリングが実施され、改良範囲の土層構成が確認された。調査位置図を**図 3** に、試験状況を**写真 1** に示す。

調査の結果、改良範囲内の土層や地盤定数に大きな違いは認められなかった。

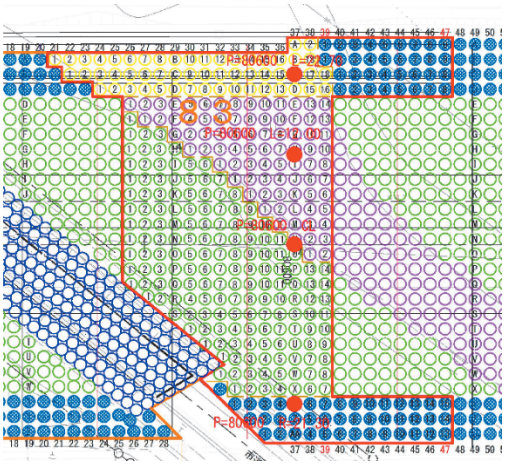


図 3　調査位置図



写真 1　機械式コーン貫入試験機の全景

4. 本施工

試験施工の結果を基に決定された固化材添加量で本施工が実施された。施工状況を**写真 2** に、施工機械に設置された管理モニターの状況を**写真 3** に示す。また、施工後の柱状改良体の状況を**写真 4**、**写真 5** に示す。



写真 2　施工状況



写真 3　管理モニター



写真 4　改良体の状況 1



写真 5　改良体の状況 2

5. 品質管理試験

品質管理はコアボーリングにより所定の供試体本数が採取され（**写真 6**、**写真 7**）、一軸圧縮試験の結果、所定の強度を満足していることが確認された。一軸圧縮試験の結果を**表 3** に、品質管理基準を**表 4** に示す。



写真 6　コアボーリングの状況



写真 7　採取コアの状況

表 3　一軸圧縮試験結果

採取位置	区分	一軸圧縮強さ q_u (kN/m²)	平均	判定基準①（**表 4** 参照）	判定基準②（**表 4** 参照）
盛土直下	上部	455	456	○	○
		504		○	
		409		○	
	中部	428	486	○	○
		553		○	
		476		○	
	下部	522	622	○	○
		626		○	
		717		○	
盛土直下	上部	414	442	○	○
		426		○	
		487		○	
	中部	524	475	○	○
		439		○	
		462		○	
	下部	487	565	○	○
		537		○	
		672		○	
盛土法尻	上部	198	236	○	○
		223		○	
		286		○	
	中部	261	215	○	○
		197		○	
		188		○	
	下部	255	306	○	○
		316		○	
		347		○	
盛土法尻	上部	243	242	○	○
		284		○	
		198		○	
	中部	326	267	○	○
		218		○	
		258		○	
	下部	334	326	○	○
		346		○	
		297		○	

表 4　品質管理基準

採取位置	設計基準強度 (kN/m²)	判定基準①[1)]	判定基準②[1)]
盛土直下	380	各供試体の試験結果は改良地盤設計強度の85%以上	1回の試験結果は改良地盤設計強度以上 なお、1回の試験とは3個の供試体の試験値の平均値で表したもの
盛土法尻	160		

6. おわりに

北海道横断自動車の整備において、深層混合処理工法が採用された。本施工の前に室内配合試験と試験施工が実施され、より正確な固化材添加量が設定された。品質管理試験の結果、所定の強度を満足しており良好な施工であった。

北海道横断自動車道の開通で移動時間が短縮され、①物流の効率化、②交流人口の増加による観光振興の発展、③大規模災害時での迅速な救急搬送や緊急物資の輸送の確保 も期待されている。

【参考資料】

1）国土交通省 北海道開発局：令和 2 年度版 道路・河川工事仕様書 品質管理基準及び規格値

5.4　洲本五色線上加茂バイパスの整備における中層混合処理工

1. はじめに

洲本五色線は、淡路島のほぼ中央に位置し、洲本市街と旧五色町を結ぶ延長約 14km の幹線道路である。現道部は、幅員が狭小で線形も不良な箇所があり、また歩道も未整備の箇所があることから、円滑な交通と通学路の安全確保、緊急輸送道路としての機能強化などを目的にバイパス整備が行われ、現在、上加茂バイパスとして供用されている[1)]。

本節では、上加茂バイパス整備区間の軟弱地盤対策として実施された、中層混合処理工法を紹介する。



国土地理院「地理院地図（電子国土 Web）」をもとにセメント協会が作成

図 1　事業概要[1)]

2. 地盤改良の仕様

原地盤の状況を把握するため、標準貫入試験（**写真 1**）や SWS 試験（**写真 2**）が実施された。また、地盤表層部を対象とし、盛土計画部の軟弱層が薄く、主に斜面地部において標準貫入試験を補完する目的で、簡易動的コーン貫入試験が実施された。

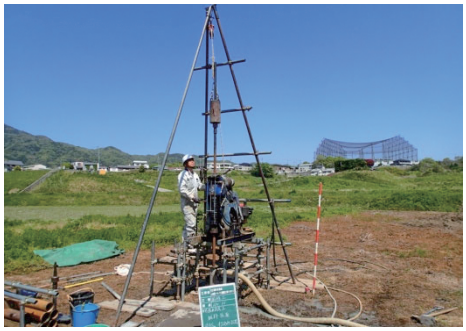


写真 1　標準貫入試験の状況

地盤調査の結果、N 値が低い軟弱地盤が分布していることが確認されたため、地盤改良が計画され、中層混合処理工法が適用された。施工に先立って、ボーリングにより採取された試料（**写真 3**）により室内配合試験が実施され、固化材添加量等の仕様が決定された。

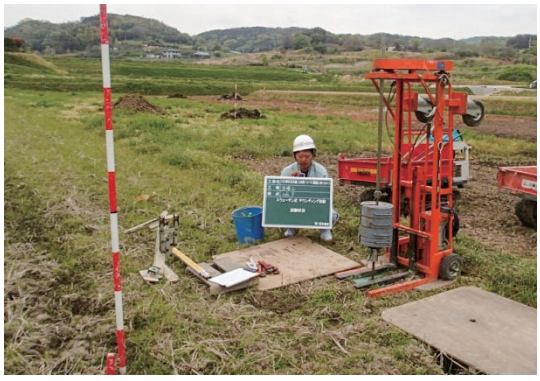


写真 2　SWS 試験の状況



写真 3　試料の採取状況

地盤改良の仕様を**表 1** に示す。

表 1　地盤改良の仕様

項　目		仕　様	
		盛土部	構造物基礎部
工法		中層混合処理工法（スラリー撹動撹拌工法）	
改良土量	(m^3)	14,580	885
平均改良深度	(m)	6.4	4.3
改良率	(%)	50（千鳥配置）	100
設計基準強度 q_{uck}	(kN/m^2)	350	540
室内目標強度$\overline{q_{ul}}$	(kN/m^2)	1050	1620
固化材の種類		汎用固化材（特殊土用）	
固化材添加量	(kg/m^3)	128	120
水セメント比	(%)	130	140
添加方法		スラリー添加	

また、**図 2** に示すように、ブロック形状に区割りされた改良形式であり、盛土部は 683 ブロック、構造物基礎部は 22 ブロックに区割りして施工が行われた。

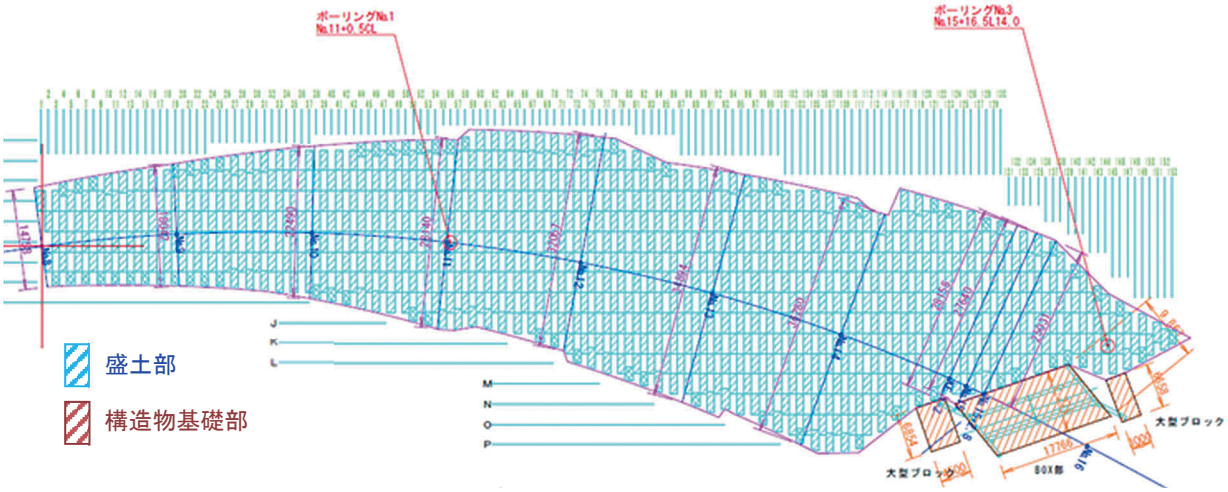


図 2　地盤改良の配置平面図

3. 地盤改良工事

本施工は、バックホウタイプのベースマシンの先端に取り付けた特殊な撹拌翼よりスラリー状の固化材を注入しながら、固化材と原位置土を強制的に混合撹拌し、安定した改良体を形成するものである。

地盤改良工事の流れを**図 3** に、地盤改良工事の状況を**写真 4** に示す。

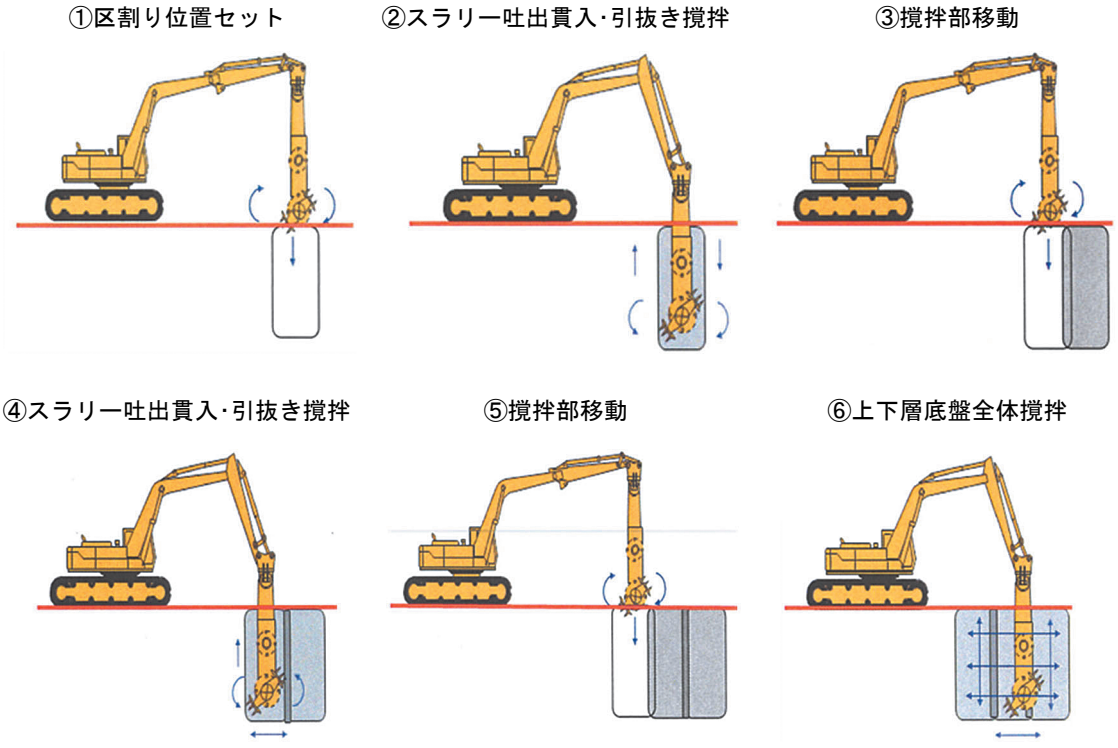


図 3　地盤改良工事の流れ

［施工位置の区割り］　　［混合撹拌］　　［出来形確認］



写真 4　地盤改良工事の状況

4. 品質管理試験

施工後の管理として、モールドコアおよびボーリングコア（**写真 5**）による供試体を採取し、改良体の一軸圧縮試験が行われた。いずれも設計基準強度を満足しており、適切な施工が実施されていたことが確認できた。

なお、モールドコアは、撹拌翼の先端に装着された専用の試料採取装置により、深度を確認しながら改良土を採取し、モールド（φ5cm×H10cm 型枠）へ充填し成型された。

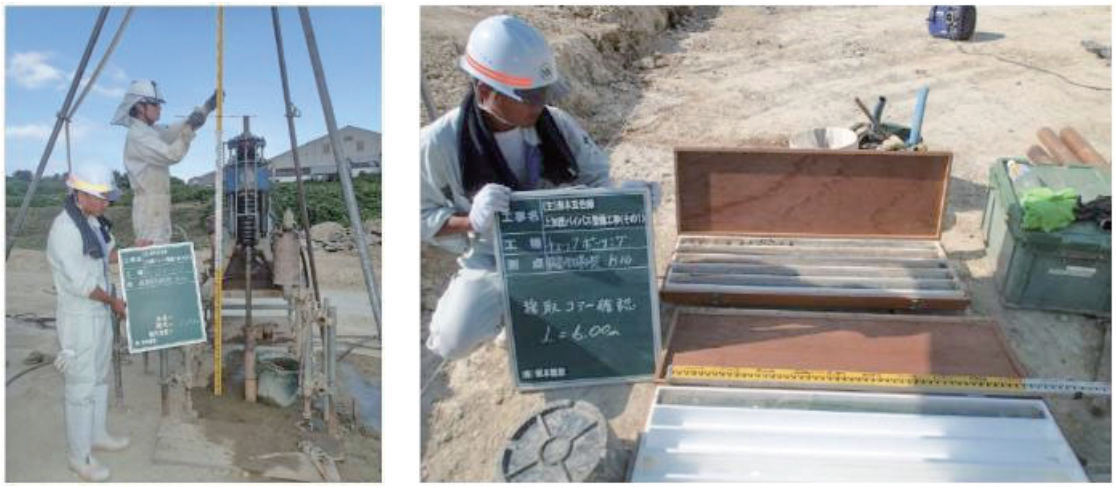


写真 5　ボーリングコアの採取状況

5. おわりに

洲本五色線「上加茂バイパス」の整備によって、走行時間短縮・走行経費減少・交通事故減少が図られ、地域の交通網の高度化が図られた。また、異常気象時や緊急時の迂回路としての利用、救急医療へのアクセス機能の向上なども期待される[2)]。

【参考資料】

1） 淡路県民局 地域情勢報告 平成 30 年 3 月 26 日：
https://web.pref.hyogo.lg.jp/governor/documents/g_kaiken20180326_10.pdf
（2021 年 9 月現在）

2） 兵庫県県土整備部 土木局道路街路課：新規事業評価調書【道路事業】主要地方道洲本五色線
https://web.pref.hyogo.lg.jp/ks04/documents/h25s-02-sumotogoshikisen.pdf
（2021 年 9 月現在）

5.5　旭川・紋別自動車道の整備における建設発生土の有効利用

1. はじめに

旭川・紋別自動車道は物流、医療、防災機能の向上を目的に、比布町から紋別市までの約 130km にわたって計画されている高規格幹線道路（国道 450 号）である（**図 1**）。

遠軽瀬戸瀬 IC～遠軽 IC 区間（延長 6.8km）の整備で盛土工（**写真 1**）が計画され、過年度の建設発生土の盛土材への有効利用が求められていた。

本節では、過年度の建設発生土をセメント改良して、有効利用を図った改良土での盛土工を紹介する。



図 1　旭川・紋別自動車道の整備概要 [1)]



写真 1　盛土施工箇所

2. 盛土の安定性が確保できる強度

北海道における不良土対策マニュアル（平成 25 年）[2] によると、盛土の安定性が確保できる強度として、盛土高が 2.5m 未満の場合は q_u＝130kN/m²、盛土高が 2.5m 以上の場合は q_u＝150kN/m² の値が示されている。これは、マニュアル発刊時（昭和 60 年）に、盛土材の強度を上記強度まで高めれば、盛土が安定していたことによる。なお、q_u＝150kN/m² の強度は、テイラーの安定図表（**図 2**）により簡易に求められたものである。

不良土対策マニュアルを参考に、本現場の条件で目標強度を設定した結果を**表 1** に示す。本現場の条件①は、不良土対策マニュアルの条件よりも盛土の法面勾配が緩いため、目標強度は q_{u7}＝120kN/m² に設定された。本現場の条件②は、不良土対策マニュアルの条件より盛土の法面勾配が緩く、盛土の施工速度が遅い。セメント改良は時間経過により強度発現することから、不良土対策マニュアルには施工期間が 7 日よりも長くなれば、目標強度を時間経過後に設定できるとされている。したがって、過年度の実績値である 7 日養生と 28 日養生の一軸圧縮強さの伸び率（q_{u28}／q_{u7}＝1.4）を考慮して、本現場の条件②での目標強度は q_{u7}＝90kN/m² に設定された。

最終的には条件②での施工となり、目標強度は q_{u7}＝90kN/m² に設定された。

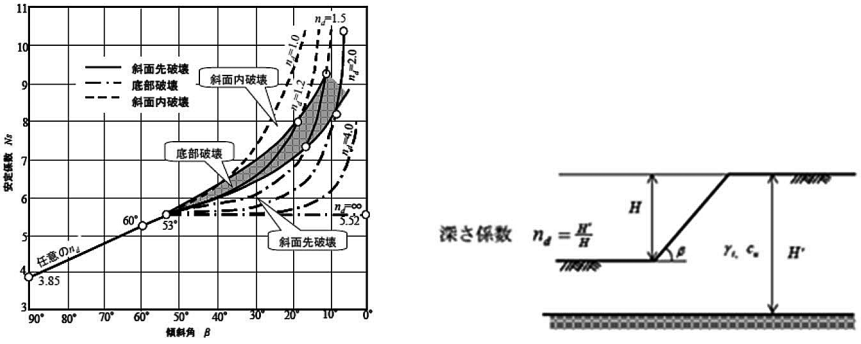


図 2　テイラーの安定図表 [2]

表 1　不良土対策マニュアルによる目標強度の設定

	不良土対策 マニュアルの条件	本現場の条件①	本現場の条件②
盛土施工速度	10m/1 週間	10m/1 週間	2.5m/1 週間 （10m/4 週間）
盛土の法面勾配 （斜面傾斜角β）	1:1 （β＝45°）	1:1.8 （β　= 30°）	1:1.8 （β　= 30°）
盛高 Hc（m）	10	10	10
γ_t（kN/m³）	18	18	18
深さ係数 n_d	1	1	1
安定係数 N_s	6.2	7.3	7.3
粘着力 c（kN/m²） （＝Hc/N_s×γ_t）	30	25	25
目標強度 q_u（kN/m²） （=2×c×安全率 F_s×室内と現場の強度比）	q_{u7} ＝150 （≒2×30×1.2×2）	q_{u7}＝120 （≒2×25×1.2×2）	q_{u7}＝90 （≒ q_{u28}/1.4） （≒2×25×1.2×2/1.4）

3. 本施工前の検討

3.1 室内配合試験

室内配合試験では、q_{u7}＝90kN/m^2 を満足するように、固化材の種類と添加量が決定された。施工箇所は農地および国道沿いのことから、施工時の固化材飛散防止を考慮して発塵抑制型固化材が採用された。また、現地では衝撃加速度試験（**写真 2**）で品質管理されることから、一軸圧縮強さと衝撃加速度の比例関係を把握したうえで、衝撃加速度の管理基準値が設定された。



写真 2　衝撃加速度試験

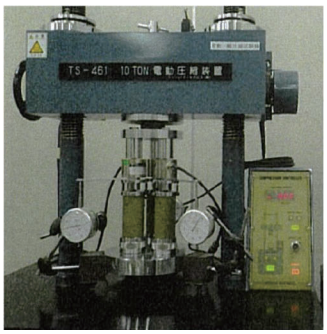


写真 3　一軸圧縮試験

3.2 試験施工

室内配合試験で決定された固化材の種類と添加量で、設定添加量±10kg/m^3 で試験施工が実施された。建設発生土と固化材を撹拌（**写真 4**）し、所定位置に 30cm で敷均した後、転圧（**写真 5**）が行われた。室内配合試験で設定された衝撃加速度の管理基準値を満足するよう、本施工での添加量や転圧回数が検討された。



写真 4　現地撹拌（試験施工）



写真 5　現地転圧（試験施工）

4. 本施工

4.1 地盤改良の概要

地盤改良は堆積場において地山状態で行われ（**写真 6**）、改良土は盛土箇所に運搬された（**写真 7**）。

本施工での地盤改良の仕様を**表 2** に示す。堆積場の建設発生土は様々であるため、室内配合試験、試験施工を土質ごとに行い、各々の最適添加量で改良がなされた。



写真 6　現地撹拌（本施工）



写真 7　積込み・運搬

表 2　地盤改良の仕様

項　目	仕　様
工法	バックホウ混合（専用撹拌機装置付き）
改良厚さ　（m）	1.0
目標強度　（kN/m²）	90
固化材の種類	一般軟弱土用（発塵抑制型）
固化材添加量　（kg/m³）	39.8、40.0、40.7

4.2　盛土工

盛土断面図の一例を**図 3** に示す。また、改良土の敷均し状況を**写真 8** に、改良土の転圧状況を**写真 9** に示す。路体・路床盛土の施工は、改良土を盛土箇所に搬入し、ICT 建設機械（MC ブルドーザ）を用い、路体部は 30cm、路床部は 20cm で敷き均した後、試験施工で求められた転圧回数で締固めが行われた。

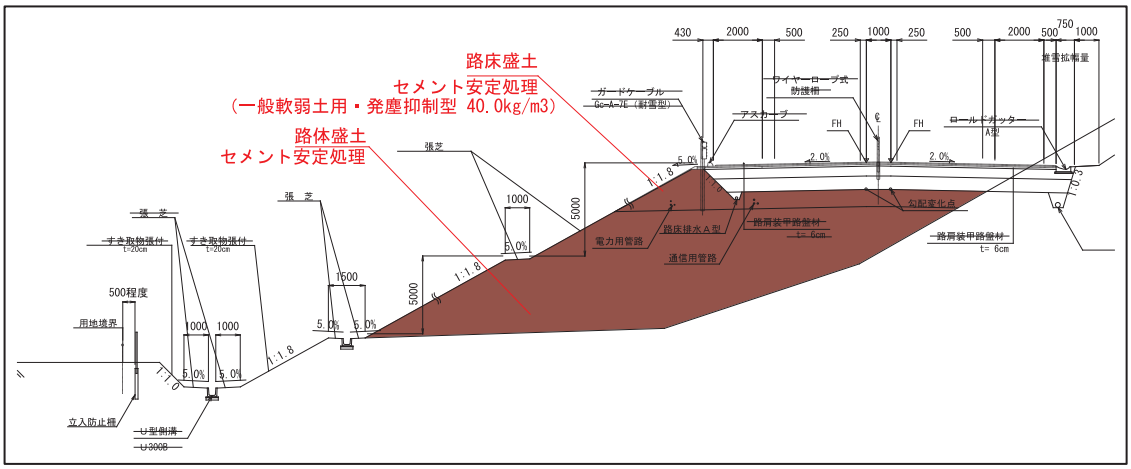


図 3　盛土断面図の一例



写真 8　改良土の敷均し状況



写真 9　改良土の転圧状況

4.3　工事用道路の構築

セメント系固化材の搬入や改良土の搬出で使用される工事用道路において建設機械の走行性が懸念されたため、セメント改良でトラフィカビリティの改善が図られた（**写真 10**）。工事用道路を構築した結果、日々の撹拌ヤードの確保、運搬車両の待機時間の減少につながった。改良土の搬出量は 600m³/日を予定していたが、700～800m³/日に増加し、全体の工程短縮となった。



写真 10　セメント改良による工事用道路の構築

5. 施工管理および品質管理

盛土工の目標強度は一軸圧縮強さで設定されたが、締固め管理は衝撃加速度で行われた。この際、一軸圧縮強さと衝撃加速度の相関図は試験施工で求められたデータ（当日・1 日・3 日・5 日・7 日の養生日数毎の強度）が用いられた。また、3 日～7 日養生の試験箇所は下層になることから、専用の箱（**写真 11**）を用いて試験箇所の確保と養生が行われ、衝撃加速度試験が実施された。



写真 11　衝撃加速度試験による品質管理

6. おわりに

旭川・紋別自動車道の遠軽瀬戸瀬 IC～遠軽 IC 区間は全体的に盛土材の土が不足しており、過年度の建設発生土（不良土）を有効利用しながら施工を進めるためにはセメント系固化材が欠かせないものであった。セメント系固化材を用いることで強固な道路基礎地盤が構築できた。本区間の整備は無事完了して、令和元年 12 月に開通されている（**写真 12**）。



写真 12　開通状況（令和元年 12 月）

【参考資料】

1）国土交通省北海道開発局網走開発建設部：令和元年度報道発表資料令和元年 10 月 25 日 https://www.hkd.mlit.go.jp/ab/release/icrceh000000abzt-att/icrceh000000bpbi.pdf（2021 年 9 月現在）

2）独立行政法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地基礎技術研究グループ 寒地地盤チーム：北海道における不良土対策マニュアル、平成 25 年 4 月

5.6　供用中鉄道施設近接施工における中層混合処理工

1. はじめに

一般国道 464 号北千葉道路は、成田国際空港へのアクセス強化、東葛飾地域および千葉ニュータウンと成田周辺地域との連携強化などを目的とした、市川市（東京外かく環状道路）から成田市に至る延長約 43km の幹線道路である [1)]。

本道路整備事業の一部において、補強土壁や連絡歩道の設置が必要となり、圧密沈下や滑り破壊が懸念された。その対策として、中層混合処理工法による地盤改良が計画された。施工現場は**写真 1** のとおり、鉄道施設と改良範囲端部の距離が最小で 1.25m と近接するため、供用中の鉄道施設への影響が小さい施工が求められた。

本節では、中層混合処理工法による地盤改良、供用中の鉄道施設への安全対策の概要について紹介する [2)]。

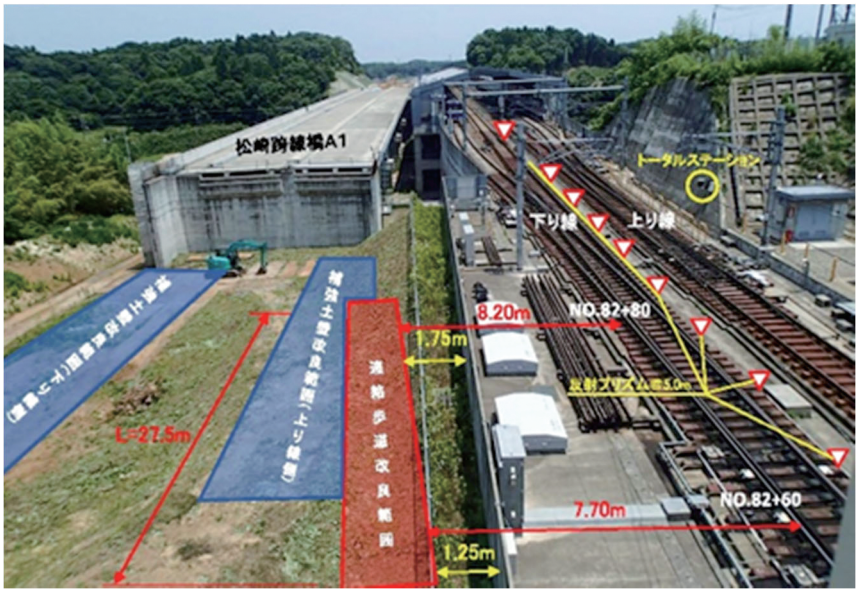


写真 1　施工現場の全景

2. 地盤改良工事の概要

改良対象土は盛土および洪積の砂質土で N 値 10 以下の軟弱土である。補強土壁や連絡歩道の設置に伴う圧密沈下や滑り破壊への対策として、地盤改良が実施された。

本現場の施工条件は、①狭隘な施工ヤードに対応できる、②改良深度が 6m 程度である ことから、小型バックホウをベースマシンとして、特殊な撹拌翼を取り付けた中層混合処理工法が採用された。本工法は、施工中の地盤変位が小さいことが確認されている [3)] が、周辺地盤の変位量をさらに低減させるために、施工順序による変位量の違いの観測事例 [4)] を参考に、鉄道施設側から新設道路側へと直下方向に離れるように地盤改良が行われた。地盤改良の仕様を**表 1** に、地盤改良の状況を**写真 2** に示す。

表 1　地盤改良の仕様

項　目	仕　様
工法	中層混合処理工法（スラリー撹動撹拌工法）
改良深度 (m)	3.1～6.0
改良率 (%)	100
設計基準強度 q_{uck} (kN/m^2)	500、850、900
固化材の種類	汎用固化材（一般軟弱土用）
固化材添加量 (kg/m^3)	86～148
添加方法	スラリー添加（W/C=140～200%）



写真 2　地盤改良の状況

3. 近接施工に伴う安全対策と観測結果

供用中の鉄道施設に近接する地盤改良となるため、安全対策として、(1) 鉄道軌道の高低変位・通り変位、(2) 軌道内既設擁壁の高低変位、(3) 軌道外既設擁壁のひび割れ の 3 点が計測された。各対策の概要と観測結果を以下に示す。

(1) 鉄道軌道の高低変位・通り変位

写真 1 に示すとおり、軌道内に 21 箇所の反射プリズムとトータルステーションを設置し、鉄道軌道の「高低変位」と「通り変位」を専属監視員がリアルタイムで確認した。鉄道軌道の管理値を**表 2** に示す。一次管理値を超えた場合に、専属監視員は地盤改良機のオペレーターに無線連絡し、即座に施工を中断できる体制がとられた。高低変位の計測結果を**図 1**

に、通り変位の計測結果を**図 2** に示すとおり、いずれも管理値を満足しているため、供用中の鉄道施設への影響は小さく、安全な施工が実施された。

表 2　鉄道軌道の変位の管理値

項目	1 次管理値	2 次管理値	3 次管理値
高低変位（mm）	2.4	2.7	3.0
通り変位（mm）	2.4	2.7	3.0

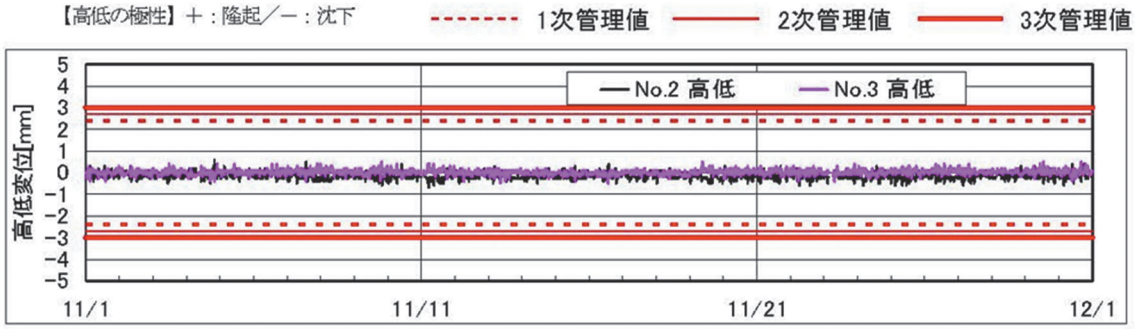


図 1　高低変位の計測結果

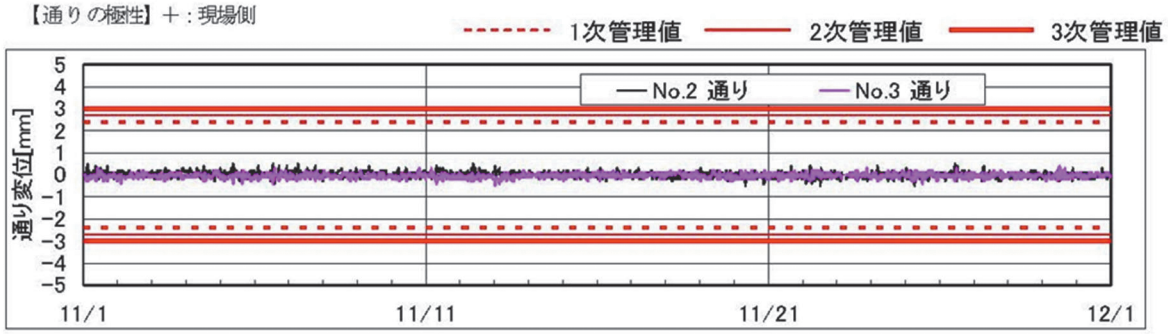


図 2　通り変位の計測結果

（2）軌道内既設擁壁の高低変位

写真 3 に示すとおり、軌道内既設擁壁に 3 点の計測点（15m 間隔）を設置して高低変位が確認された。計測頻度は、基本的に施工前・施工中・施工後の 3 回とされた。管理値を**表 3** に示すが、高低変位は最大で＋1mm と管理値を満足しているため、供用中の鉄道施設への影響は小さく、安全な施工が実施された。



写真 3　軌道内既設擁壁の変位の計測点

表 3　軌道内既設擁壁での管理値

計測項目	1 次管理値	2 次管理値	3 次管理値
高低変位（mm）	3.2	3.6	4.0

(3) 軌道外既設擁壁のひび割れ

軌道外の擁壁部および土間コンクリート部のひび割れが施工前・施工後で調査された。その結果、施工前後で、ひび割れ幅、ひび割れ長に変化がないことが確認された。

4. 品質管理試験

地盤改良の品質管理試験として、施工直後に未固結の改良土をモールド（φ5×10cm）に充てんした供試体を用いて、一軸圧縮試験が行われた。一軸圧縮強さの試験結果を**表 4** に示すとおり、いずれの供試体も設計基準強度を満足していることが確認された。

表 4　モールドコアによる一軸圧縮強さ（材齢 28 日）

設計基準強度	一軸圧縮強さ（kN/m2）			検体数
（kN/m²）	最小値	最大値	平均値	
500	852	1226	1037	6
850	1675	1756	1713	3
900	1093	1367	1224	6

5. おわりに

道路整備事業に伴う、圧密沈下、滑り破壊への対策として、中層混合処理工法による地盤改良が実施された。供用中の鉄道施設に近接するため、供用中の鉄道施設への配慮が必要となる厳しい施工条件であったが、リアルタイムで鉄道軌道の変位が計測するなど、安全対策を徹底することで、無事、地盤改良が実施された。

【参考資料】

1) 国土交通省関東地方整備局千葉国道事務所ホームページ
https://www.ktr.mlit.go.jp/chiba/gaiyo/gaiyo_panf/panf03.htm（2021 年 9 月現在）
2) 島野ほか：中層混合処理工法の近接施工に伴う供用中鉄道施設の影響調査、第 15 回地盤工学会関東支部発表会 2018 年 11 月、pp.144-147
3) 島野ほか：スラリー揺動攪拌工法の小型施工機の開発および近接工事例、基礎工、Vol.44、pp.62-65、2016
4) 土木研究センター：陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル改訂版、pp.182-183、2004

5.7　新築住宅工事における機械式撹拌工～大阪府～

1. はじめに

大阪府内において新築住宅が計画された。当該地盤の支持力が不足していることが判明したため、機械式撹拌工法による柱状地盤改良が適用された。建物概要を**表 1** に、建物断面を**図 1** に示す。

表 1　建物概要

建築地	大阪府内
建築面積	199.20m²
延べ面積	669.41m²
建物高さ	地上 4 階 （軒高 13.805m）
構造形式	鉄骨造（S 造）
竣工	2019 年

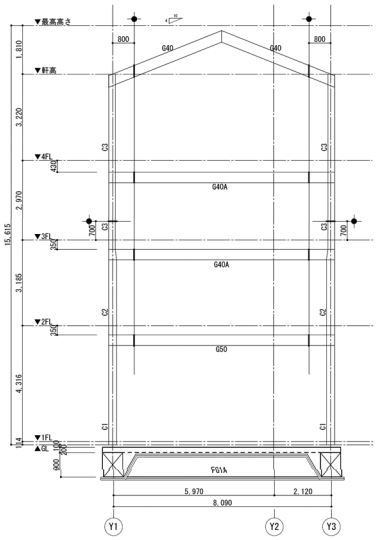


図 1　建物断面

2. 地盤改良の仕様

施工に先立ち、地盤調査、設計、室内配合試験が実施され、**表 2** のとおり地盤改良の仕様が決定された。

表 2　地盤改良の仕様

項　目	仕　様
工　法	機械式撹拌工法
改良径　（mm）	800
掘削長　（m）	6.20
改良長　（m）	5.00
空堀長　（m）	1.20
本数　（本）	135
設計基準強度 F_c　（kN/m²）	800
固化材の種類	汎用固化材（特殊土用）
固化材添加量　（kg/m³）	282
添加方法	スラリー添加（W/C=60%）

（1）地盤調査

当該区域の地盤を調査するため、2 地点でボーリング調査が実施された。GL-2.0m 程度までは盛土層であり、これ以深は砂質土と粘性土の互層であった。

標準貫入試験で得られた N 値の深度方向の分布を**図 2** に示す。GL-6.2m 程度に N 値が 10 となる層が確認された。なお、地下水位は GL-1.1～1.4m 程度であった。

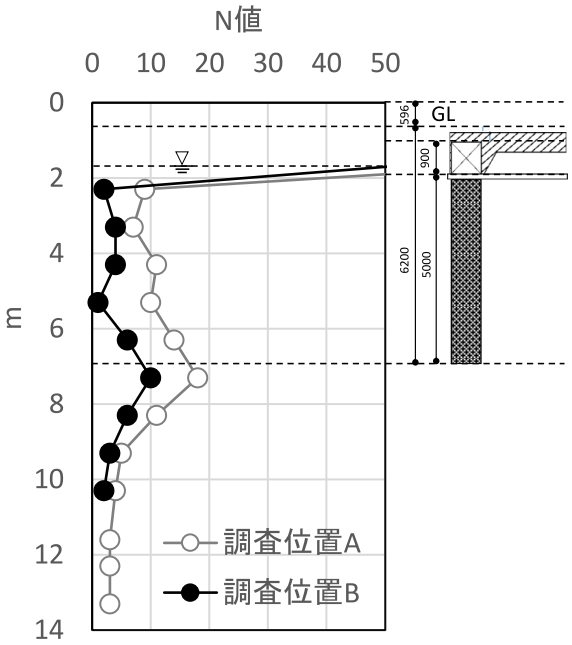


図 2　標準貫入試験結果

（2）設計

本現場の長期接地圧は 60kN/m² である。「建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針 [1)]」（以下、日本建築センター指針と記す）に準拠して、改良地盤の許容鉛直支持力が検討され、改良体の仕様（**表 2**）が決定された。改良体の配置を**図 3** に示す。

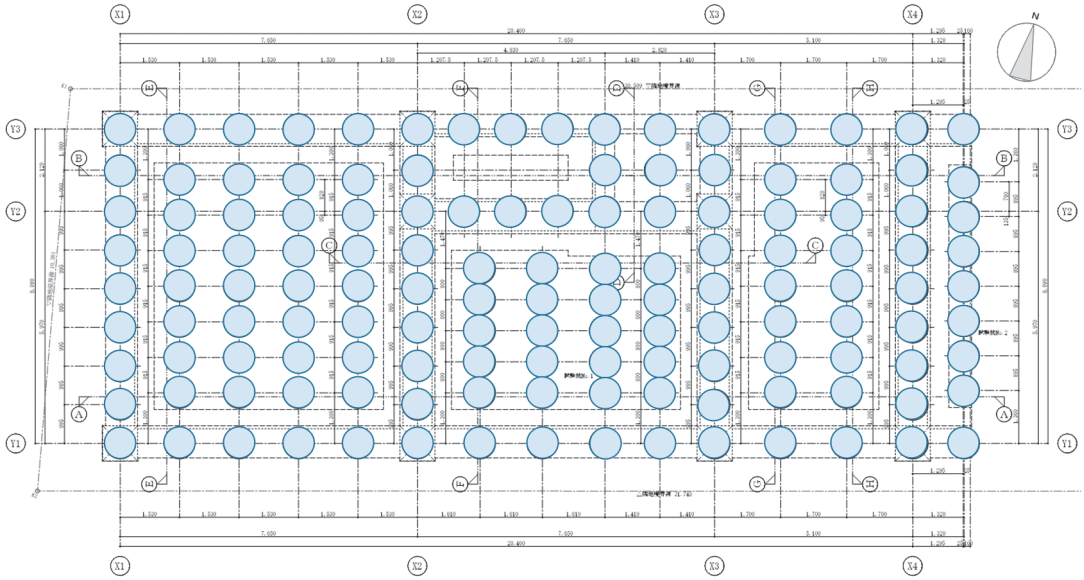


図 3　改良体の配置図（平面図）

（3）室内配合試験

本現場では早急に施工に着手するため、材齢 7 日での室内配合試験が実施された。材齢 7 日の配合強度は 1869kN/m^2 に設定された（材齢 28 日の配合強度は 2242kN/m^2）。室内配合試験の結果、これを満足する固化材添加量は 282kg/m^3 以上であった（**図 4**）。なお、水固化材比は 60%に設定された。

また、固化材添加量 300kg/m^3 の供試体で六価クロムの溶出量を測定した結果、定量下限値（0.02mg/L）以下であり、土壌環境基準値（0.05mg/L）を満足した。

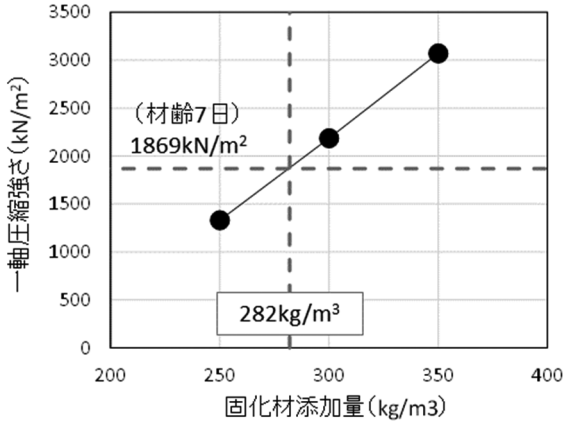


図 4　室内配合試験の結果（材齢 7 日）

3. 施工方法および施工管理

（1）施工方法

地盤改良は、セメント系固化材のスラリーを吐出しながら地盤を掘削撹拌することで、柱状の地盤改良体を築造する工法が採用された。また、土が撹拌翼に付着して、土と撹拌翼が一緒に回転する共回り現象による撹拌不良を低減するために、十字型の共回り防止翼を設置し、混合精度の向上が図られた（**写真 1**）。



写真 1　撹拌翼および共回り防止翼

（2）施工管理

施工管理の項目として、①施工サイクル、②羽切り回数、③掘進、引き抜き速度、④固化材スラリーの吐出量が設定された（**表 3**）。

表 3　施工管理項目

項　目	管理値
①施工サイクル	1 サイクル/改良体
②羽切り回数	450 回/m 以上
③掘進、引き抜き速度	1m/分以下
④固化材スラリーの吐出量	固化材の配合、貫入速度、 羽切り回数から求まる値以上

4. 品質検査

（1）コア供試体による一軸圧縮強さ

日本建築センター指針の検査手法 A により、改良体の品質検査が実施された。頭部コア試験として 2 か所、全長コア試験として 2 か所の計 4 か所で、コアが採取された。供試体数は頭部コアでは 1 か所あたり 3 本、全長コアでは 1m あたり 3 本とされた。頭部コアの一軸圧縮強さを**表 4** に、全長コアの一軸圧縮強さを**表 5** に示す。各コアの平均一軸圧縮強さは、合格判定値X_L（材齢 28 日）の 1390kN/m² を満足した。

表 4　頭部コアの一軸圧縮強さ（材齢 28 日）

採取位置	一軸圧縮強さ (kN/m²)	平均 (kN/m²)
頭部コア (No.6)	4650	4805
	5239	
	4526	
頭部コア (No.48)	2913	2521
	2561	
	2090	

表 5　全長コアの一軸圧縮強さ（材齢 28 日）

採取位置		一軸圧縮強さ (kN/m²)	平均 (kN/m²)
全長コア (No.48)	GL-1.30~2.30m	6816	7616
		8689	
		7344	
	GL-2.30~3.30m	7659	7695
		7089	
		8337	
	GL-3.30~4.30m	8004	8034
		7325	
		8773	
	GL-4.30~5.30m	7116	7828
		8820	
		7549	
	GL-5.30~6.20m	6591	7709
		7724	
		8812	
全長コア (No.96)	GL-1.25~2.25m	7104	7124
		6814	
		7455	
	GL-2.25~3.25m	8261	7483
		7790	
		6398	
	GL-3.25~4.25m	6783	7391
		7309	
		8082	
	GL-4.25~5.25m	8084	7779
		7942	
		7312	
	GL-5.25~6.20m	8515	7856
		7828	
		7226	

（2）固化改良体のコア採取率

固化改良体の連続性を確認するため、コア採取率が測定された。全長に対するコア採取率は砂質土系で 95%以上、粘性土系で 90%以上に設定された。また、1m あたりのコア採取率は砂質土系で 90%以上、粘性土系で 85%以上に設定された。本施工においても上記コア採取率を満足した。

（3）未固化改良体の比抵抗による均質性確認

施工直後の改良体の撹拌混合状況を確認するため、深度方向の比抵抗が 3 か所で測定された。比抵抗は、撹拌不良で土塊が存在するような場合にばらつきが大きくなるため、均質性を判断するための指標とされている。各計測ポイントの比抵抗に異常値はなく、均質に撹拌されていることが確認された。

5. おわりに

地盤調査、設計、施工管理が計画どおりに実施された。品質検査の結果から要求性能を満足する改良体が築造されていることが確認され、本住宅は無事供用されている。

【参考資料】

1) 日本建築センター ：2018 年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針－セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法－（2018）.

5.8　盛土箇所の補強土壁に適用された深層混合処理工～沖縄県～

1. はじめに

本工事は、沖縄県本島南部市町村地域の一般廃棄物焼却施設より発生する、焼却残渣、溶融飛灰、不燃残渣の埋立最終処分場の建設である。

本節では、処分場の盛土箇所の補強土壁に適用された深層混合処理工法を紹介する。

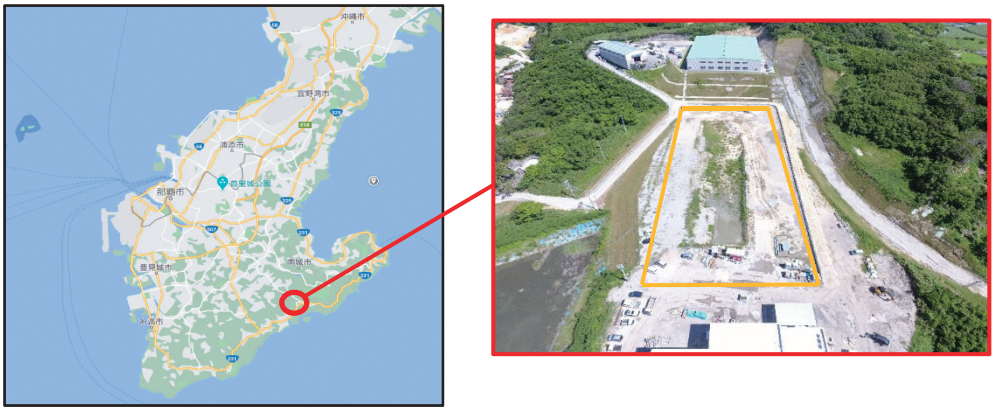


図 1　処分場位置および工事全景

2. 地盤改良の仕様

本処分場の建設において、横断図（**図 2**）に示すように敷地内部を 15m 掘削する必要があった。そこで、切土補強土壁として、平面図（**図 3**）に示すように深層混合混処理工法で地盤改良が行われた。

施工に先立ち、六価クロム溶出低減型の特殊土用固化材で室内配合試験が実施され、**表 1** に示すとおり地盤改良の仕様が決定された。

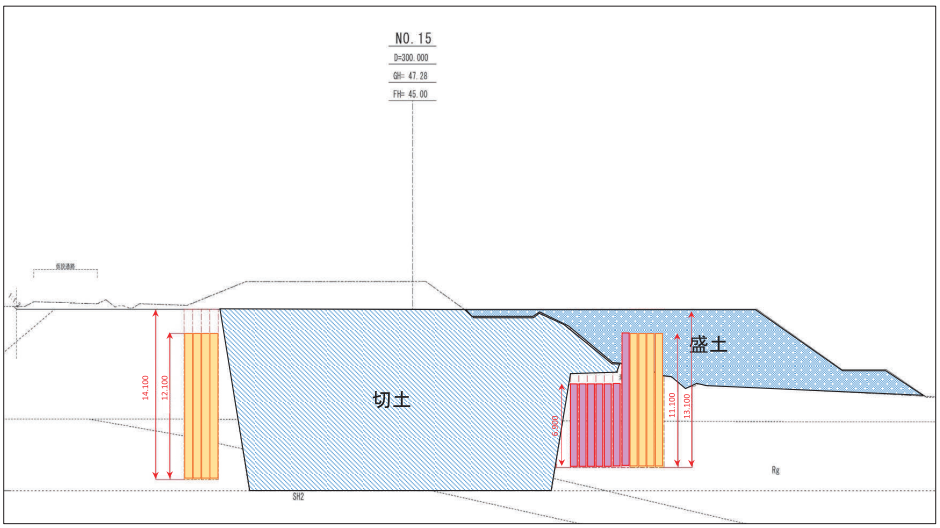


図 2　横断図

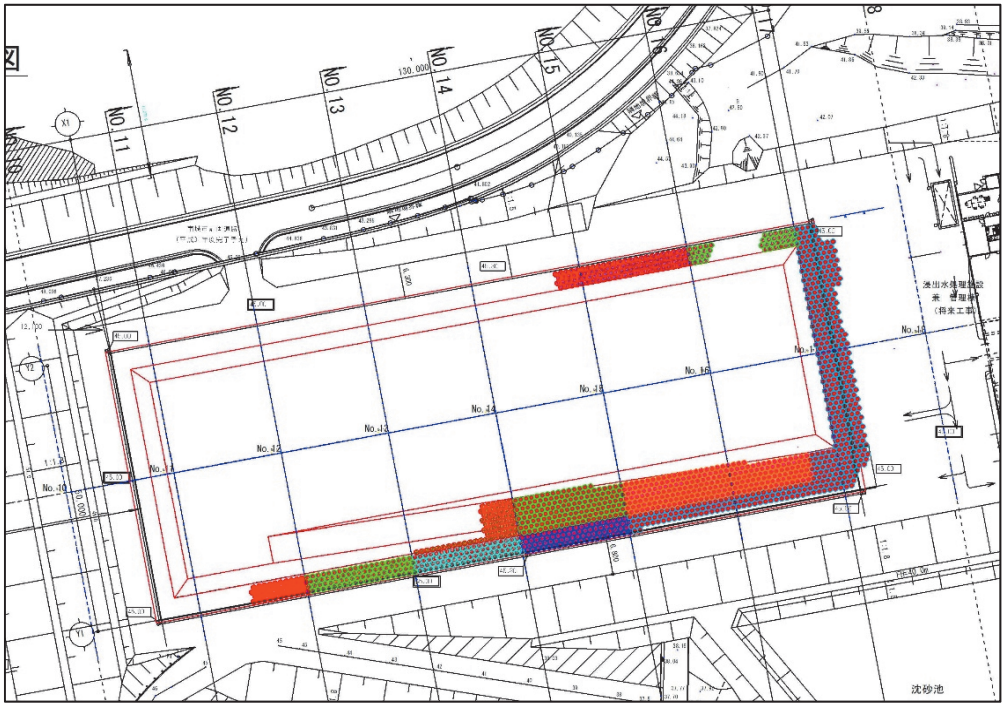


図 3　平面図

表1　地盤改良の仕様

項　目		仕　様
工　法		深層混合処理工法（機械撹拌）
改良深度	(m)	7.1～16.1
改良径	(m)	1.0
現場目標強度	(kN/m^2)	300
固化材の種類		汎用固化材（特殊土用）
固化材添加量	(kg/m^3)	220
添加方法		スラリー添加（W/C=80%）

3. 地盤改良工事

改良本数は 1360 本、改良深度は 7.1～16.1m である。工期短縮を図るため、改良深度に応じた改良機（三点式杭打機）が使用され、最大 3 台で施工された。地盤改良機材の配置図を**図 4** に、施工フローを**図 5** に、施工状況を**写真 1**、**写真 2** に示す。

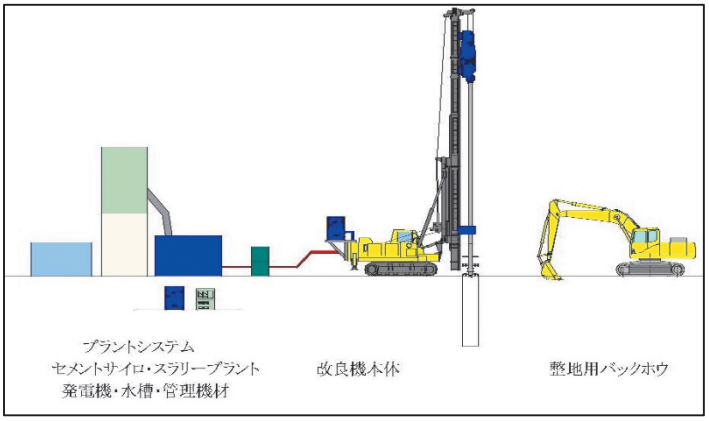


図 4　地盤改良機材の配置図

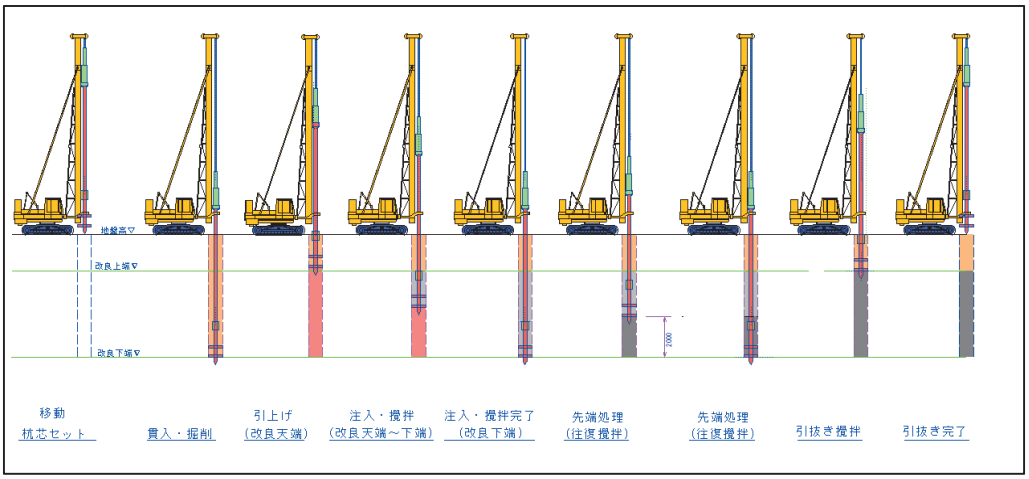


図 5　施工フロー



写真 1　施工状況(全景)



写真 2　施工状況(撹拌状況)

4. 出来形・品質管理

施工後の出来形は改良天端で確認された（**写真 3**）。また、改良体の品質管理として、コアボーリングにより供試体が採取され（**写真 4**）、一軸圧縮試験が実施された。**表 2** に示すとおり現場目標強度を満足していることが確認された。



写真 3　出来形確認の状況

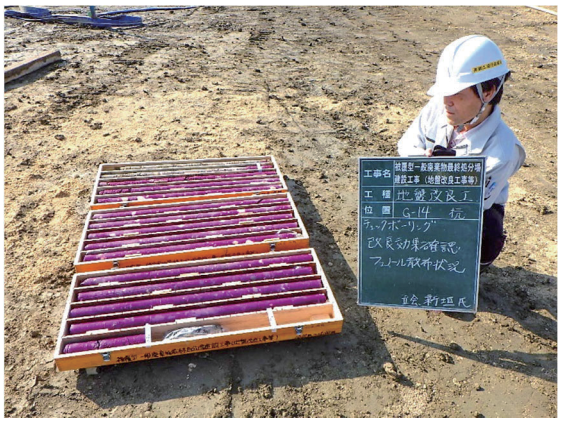


写真 4　採取コアの状況

表 2　一軸圧縮試験結果（材齢 28 日）

採取箇所	深度	一軸圧縮強さ（kN/m²）	
		測定値	平均値
No.1	上	1538.9	1399.2
	中	1359.8	
	下	1298.7	
No.2	上	1421.1	1535.3
	中	1602.5	
	下	1584.0	
No.3	上	1411.7	1360.1
	中	880.8	
	下	1787.8	
No.4	上	1144.5	941.5
	中	1127.0	
	下	552.7	
No.5	上	1441.0	1262.7
	中	1475.3	
	下	967.6	

5. おわりに

切土補強土壁の構築を目的とした深層混合処理工法が実施され、最終処分場施設の建設工事に貢献した。

5.9　本郷地区土地造成事業における浅層混合処理工

1. はじめに

広島県三原市本郷町に産業団地の造成が計画された。本産業団地は、広島空港より東に約 6km、山陽自動車道本郷 IC に近く、陸・海・空の交通の要所へのアクセスが良好な場所に位置する（**図 1**）。

本造成工事は 3 期に分けられており、第 1 期の主要工事数量は**表 1** に示すとおり、切・盛土量が約 160 万 m^3 の大規模土工事である。

本節では、第 1 期造成工事で行われた、①構造物の支持力確保を目的とした地盤改良、②崩落した法面の復旧を目的とした地盤改良の 2 つの事例について紹介する。



図 1　産業団地の造成位置

表 1　主要工事数量

項　目	数 量
造成面積	28.5ha
掘削工	1,515,000m^3
盛土工	1,616,800m^3
調整池工	53,800m^3
道路工 幹線道路工（幅員 9.75～12.0m） 区画道路工（幅員 4.0～15.0m）	 1,009m 1,219m

2. 地盤改良の仕様

2.1　構造物の支持力確保を目的とした地盤改良

盛土に築造される構造物の支持力確保を目的に浅層混合処理工法による地盤改良が行われた。

固化材の種類、添加量を決定するために、特殊土用固化材と高炉セメントB種を用いて室内配合試験が行われた。室内配合試験の結果（**図 2**）から、改良仕様（**表 2**）が決定された。

なお、室内配合試験時には六価クロム溶出試験が行われ、改良体からの六価クロム溶出量は土壌環境基準値（0.05mg/L）以下であることが確認された。

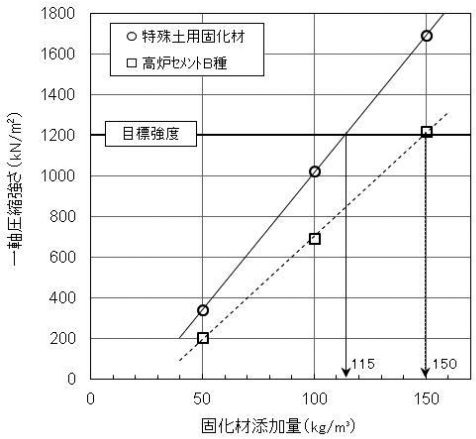


図 2　室内配合試験結果

表 2　地盤改良の仕様（構造物の支持力確保）

項　目	仕　様
工　法	浅層混合処理工法（バックホウ混合）
改良深さ	1.0m
現場目標強度	600kN/m²
室内目標強度	1200kN/m²
固化材の種類	汎用固化材（特殊土用）
固化材添加量	115kg/m³
添加方法	粉体添加

地盤改良の施工状況を**写真 1**、**2** に示す。



写真 1　固化材散布の区画割り



写真 2　固化材の混合撹拌状況

2.2　崩落したのり面の復旧を目的とした地盤改良

造成工事中にのり面の一部で崩落が発生した。調査の結果、当該地盤は風化花崗岩が存在していることから、雨水による浸食等で緩んだ層が形成され、崩落が生じたものと推察された。

対策として、緩んだ層を完全に撤去し段切りを行うことで、同様のすべりの発生を防止する処置が行われた。また、復旧では安定した勾配で盛土を構築することが望ましいが、用地境界との関係上、元の形状（勾配）に戻す必要があるため、のり面の復旧には改良盛土が用いられることとなった。

本対策で必要となる改良強度は粘着力 c=60kN/m² である。粘着力（c）と一軸圧縮強さ（q_u）の関係式 $c=q_u/2$ より、現場目標強度（q_{uf}）を 120kN/m² として室内配合試験が行われた。その結果、最少添加量の目安である添加量 50kg/m³ で目標強度を十分満足することが確認された。

改良盛土の仕様を**表 3** に、地盤改良の施工状況を**写真 3～6** に示す。

表 3　改良盛土の仕様（地すべり対策）

項　目	仕　様
工　法	浅層混合処理工法 （バックホウ混合）
目標強度	粘着力 c = 60kN/m² 一軸圧縮強さ q_{uf} = 120kN/m²
固化材の種類	高炉セメント B 種
固化材添加量	50kg/m³
添加方法	粉体添加



写真 3　固化材散布の区画割り状況



写真 4　固化材の混合撹拌状況



写真 5　改良盛土の構築状況



写真 6　改良盛土の施工完了状況

3. おわりに

産業団地の造成において、構造物の支持力確保および崩落した法面の復旧を目的とした浅層混合処理工法が実施された。第 1 期の造成工事は 2020 年 12 月に完成し、2 期・3 期造成工事については現在施工中で、2021 年 12 月に完成予定である [1)]。地域社会の更なる活性化が期待される産業団地の形成においても、セメント系固化材による地盤改良が活用されている。



図 3　完成予想図

【参考資料】

1）企業のための広島県ガイド：
https://www.pref.hiroshima.lg.jp/ind-est/sangyoudanchi/area08.html（2021 年 9 月現在）

5.10　東予港中央地区航路の浚渫に伴う管中混合固化処理工法

1. はじめに

東予港は愛媛県西条市・新居浜市に位置する重要港湾である。重要港湾は全国で 102 港が指定されており、海上輸送網の拠点として機能している。

東予港中央地区では航路を確保するため、浚渫工事が実施された。浚渫土は土運搬船にて揚土場所に輸送されたのち、管中混合固化処理工法を適用して、埋立て資材として活用された。

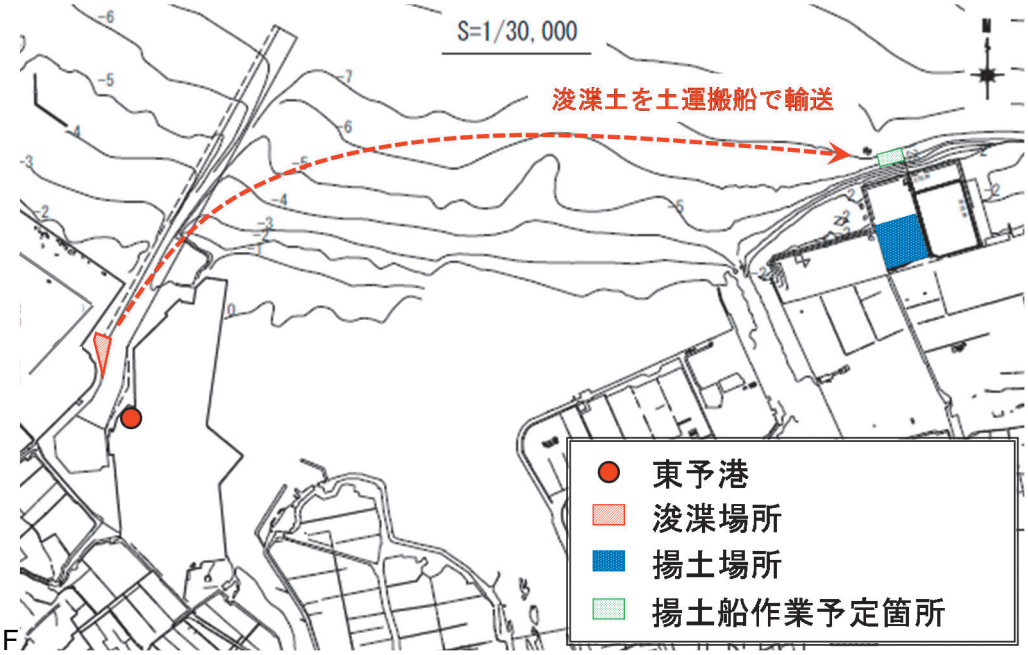


図 1　事業の概要

2. 管中混合固化処理の仕様

2.1　試料の採取方法

室内配合試験を実施するため、**図 2** に示すとおり、潜水士がバイブレーションコアサンプラーを用いて、浚渫場所の試料を採取した。採取した試料の土質試験結果を**表 1** に示す。

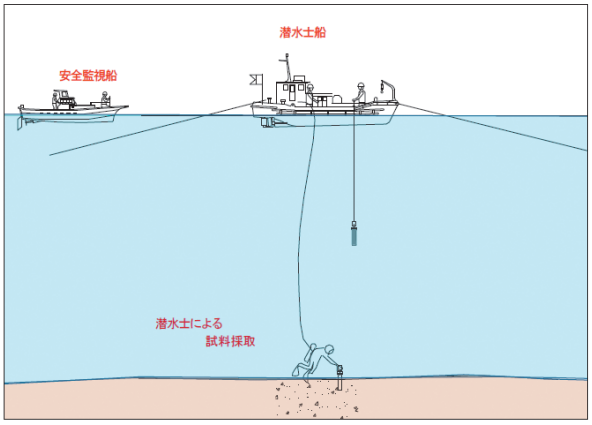


図 2　潜水による試料採取の状況

表 1　土質試験結果

土質分類		シルト（高液性限界）
湿潤密度（g/cm³）		1.419
土粒子の密度（g/cm³）		2.773
含水比（%）		117.3（1.6W_L）
コンシステンシー	液性限界W_L（%）	73.4
	塑性限界W_p（%）	42.7
粒度組成	砂分以上（%）	4.4
	シルト分（%）	82.5
	粘 土 分（%）	13.1
強熱減量（%）		7.9

2.2　室内配合試験

固化処理後の強度と施工中の圧送性を確保する配合を決定するため、「管中混合固化処理工法固化処理工法技術マニュアル」を参考に、目標値を設定し室内配合試験が実施された。

2.2.1　目標値の設定

処理土の目標値を**表 2** に示す。固化処理土の設計基準強度から、不良率 Px=25%、変動係数 v=35%、現場/室内の強度比 β=0.7 として室内配合強度が設定された。また、流動性の指標である処理土のフロー値は、90～100mm 以上と設定された。

表 2　処理土の目標値

設計基準強度（kN/m²）	現場平均強度（kN/m²）	室内配合強度（kN/m²）	フロー値（mm）
140	183	263	90～100mm 以上

2.2.2　室内配合試験の条件

室内配合試験は、固化材を添加することにより粘性が増加し、処理土のフロー値の低下が予想されることから、採取土に海水を加えて含水調整した 3 種類の試料土を用い、固化材添加量をそれぞれ 3 水準として実施された。室内配合試験の結果から、**表 3** のとおり標準配合が決定された。

表 3　標準配合

固化材の種類	調整含水比（%）	固化材添加量（kg/m³）	水固化材比※ W/C
高炉セメント B 種	140	70	15.41

※まだ固まらない処理土内に含まれる水と固化材との質量比

3. 管中混合固化処理の施工

管中混合処理の施工概要を**図 3** に、施工状況を**図 4** および**写真 1** に示す。グラブ浚渫により採取された浚渫土を土運搬船に積込み、揚土場所まで海上輸送された。揚土場所では、管中混合固化処理工法で作製された固化処理土を用いて、埋立て工事が実施された。なお、事前調査による浚渫区域内の深浅測量では、ICT 技術を駆使したマルチビーム測探機により測量作業の効率化が図られた。

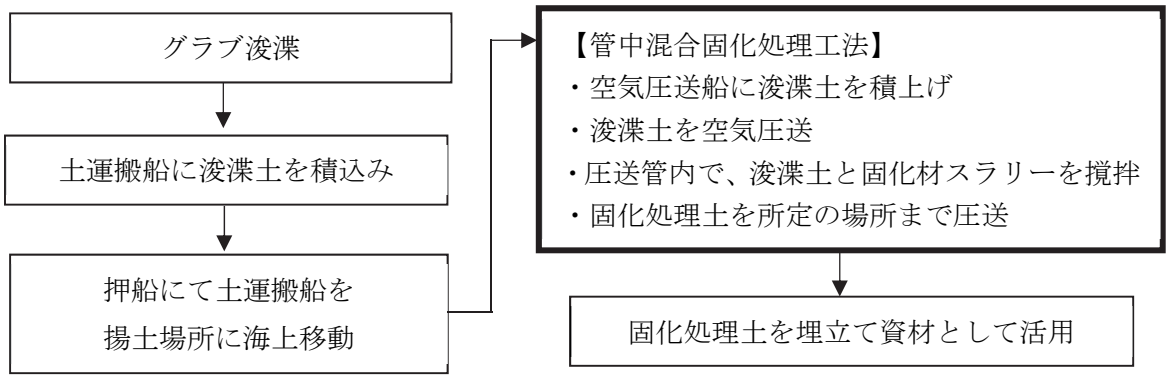


図 3　施工の概要

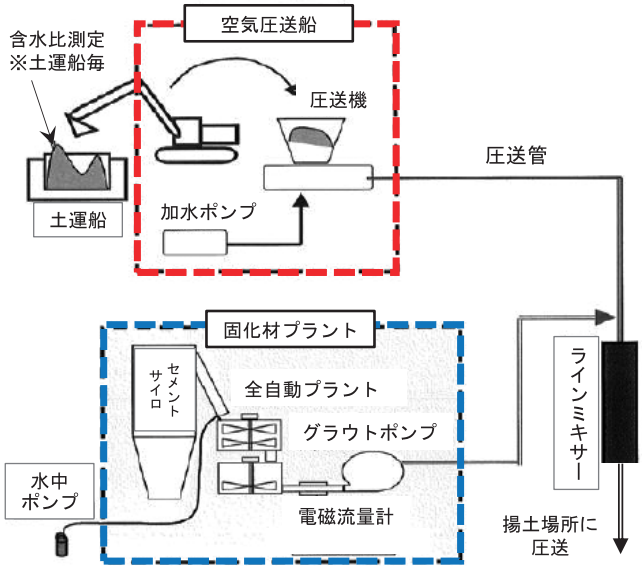


図 4　管中混合固化処理施工状況図



写真 1　固化処理土の圧送状況

4. 品質管理試験

浚渫土の品質管理試験として、**写真 2** に示すように、土運搬船毎の赤外線水分計による含水比と、必要に応じて土の粒度試験による砂分含有量の測定が行われた。

処理土の品質管理試験として、**写真 3～7** に示すように、フロー試験と一軸圧縮試験が行われた。一軸圧縮試験は、施工中は筒先より 1 回/日の頻度で処理土を採取して供試体を作製し、施工後はコアボーリングにより 1 回/10000m² の頻度で供試体を採取し測定された。一軸圧縮試験の結果、いずれの供試体も設計基準強度を満足していることが確認された。



写真 2 浚渫土の含水比測定状況



写真 3 固化処理土の採取状況

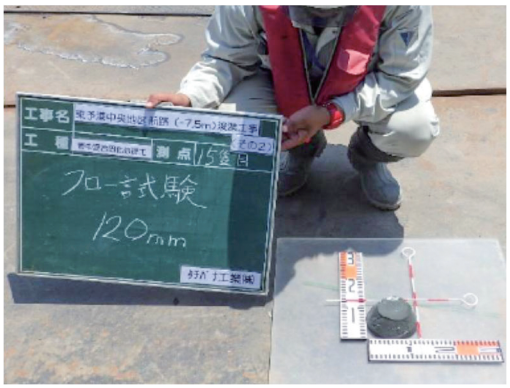


写真 4 固化処理土のフロー試験状況



写真 5 供試体の作製状況



写真 6 施工後の試料採取状況



写真 7 コア供試体の状況

5. おわりに

東予港の航路を確保するための浚渫工事にて、管中混合固化処理工法により浚渫土が固化処理され埋立て資材に活用された。浚渫工事は、航路や泊地を整備に必要不可欠である。管中混合固化処理工法は浚渫土を効率的に有効利用できるため、社会持続可能性の観点からも重要な工法である。



写真 8　揚土場所の全景

【参考資料】

1) 沿岸技術センター : 管中混合固化処理工法固化処理工法技術マニュアル (平成 20 年 7 月)

6.海外調査

本 WG では海外調査団を組織（**表 6.1**）して、2019 年 7 月に香港、2019 年 12 月にフランスでの調査活動を行った。

本節では、セメント・コンクリート誌で報告した内容 [1)] をもとに海外調査の活動概要、得られた知見を紹介する。

表 6.1　海外調査の参加者（◎：団長）

氏名・所属	香港	フランス
北詰昌樹・東京工業大学	◎	
半井健一郎・広島大学		◎
高橋英紀・港湾空港技術研究所		○
斎藤準護・太平洋セメント	○	
黒澤功・宇部三菱セメント	○	○
河本年史・トクヤマ	○	○
佐々木慎一・麻生セメント		○
杉山和久・住友大阪セメント	○	○
野崎隆人・太平洋セメント		○
小宮山慎一郎・セメント協会	○	○
中村弘典・セメント協会	○	○

【フランス調査・半井団長より一言】

国内外のインフラ整備事業の多くで地盤改良が必要とされ、海外においてもセメントによる固化が広く活用されている。日本国内ではセメントメーカー各社の努力によって地盤改良に特化したセメント系固化材が開発されてきたが、海外ではコンクリート用のセメントが地盤改良に対しても利用されているようである。調査・設計・施工の地盤改良工事全般から両者の長短を整理し、さらなる合理化や信頼性向上が進むことが期待される。

ところで、フランスで紹介された河川堤防本体のセメント固化は、これまで日本国内では実施されていない。国内では、歴史的経緯より、河川堤防は土のみで構築するという「土提原則」があったためである。しかしながら、近年の豪雨災害の激甚化によって河川堤防が決壊して広範囲に浸水被害が生じる水害が頻発しており、その対策が強く求められている。たとえば国土交通省の「令和元年台風第 19 号の被災を踏まえた河川堤防に関する技術検討会」では、「河川堤防を越水した場合であっても、決壊しにくく、堤防が決壊するまでの時間を少しでも長くするなどの減災効果を発揮する粘り強い構造の河川堤防」について技術検討が行われ、具体な強化対策の例として、表面被覆型、断面拡幅型、一部自立型が示された。このうち、表面被覆材や一部自立型のコア材にはセメント改良が活用でき、日本国内でも防災・減災のための関連技術開発が進むことが期待される。

6.1　海外調査の経緯と目的

セメント系固化材の国内販売数量（**図 6.1**）は、近年 800 万 t/年に達し、堅調に推移している。この要因として、①発注者に土を固めるセメント（セメント系固化材）が広く認知され、理解が深まったこと、②施工実績や参考図書[例えば 2)] が増えて、設計者が地盤改良の設計においてセメント固化を選択し易くなったこと、③大口径や狭小地などの施工ニーズに応えて、施工者が技術開発を進めたこと などが挙げられる。

このような中、材料供給者であるセメント協会としても発注者、設計者、施工者などと連携した新たな取組みとして、日本国内の調査（3～5 章）と並行し、海外に調査活動を広げることにチャレンジした。海外でのセメント改良技術の使われ方や、地盤改良の仕様などをまとめ、技術的・記録的な知見として国内に情報発信できれば、セメントならびにセメント系固化材のより使い易い環境作りや技術の深化に、少しでも貢献できるのではないかと考えている。

本報告では、これまで実施した海外調査の一部を紹介する。

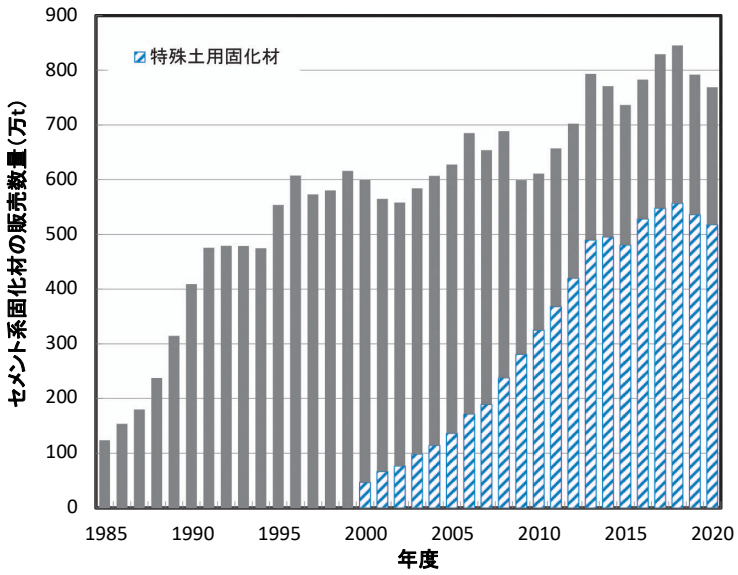


図 6.1　セメント系固化材の国内販売数量

6.2　香港視察（19 年 7 月実施）

本視察では、日本国内に例のない、大規模プロジェクトの調査を目的とした。そこで、香港における国際空港の拡張工事ならびに Tung Chung New Town Expansion での地盤改良工事を視察した。

（1）香港国際空港

アジアのハブ空港である香港国際空港は、現在 2 本の滑走路で運行している。今後の利用者増大を見据えて、3 本目の滑走路の建設（650 ヘクタールを埋立て）が計画され、滑走路

を建設する埋立地の地盤対策として深層混合処理工法が実施された。総改良杭数は約 20.2 万本、改良体積が約 1200 万 m^3 である。固化材は、当初、普通ポルトランドセメント（EN197-1 CEM I 52.5N 相当）が使われていた。しかし、工事開始後に、スラグセメント（EN197-1 CEMⅢ42.5N 相当：CEM I 52.5N 適合品 40%と高炉スラグ 60%を混合）が地盤と好相性であることが判明したため、普通ポルトランドセメントとスラグセメントが併用され、工事が進められた。固化材添加量は約 160kg/m^3 であった [3)]。

見学当日は、地盤改良工事は既に終了していたため、施工後の品質を検査する試験機関を視察した。日本と同様に一軸圧縮強さによる管理がなされていた。非常に大規模な工事であるために、試験本数も膨大であり、数多くの試験員が試験工程に携わっている。そのため、供試体の取り違えがないように、供試体にバーコード（**写真 6.2**）を貼付し、供試体の質量、寸法、強度などを一括管理していた。



写真 6.1　香港視察でのワンシーン



写真 6.2　バーコードによる供試体管理

（2）Tung Chung New Town Expansion[4)]

1997 年の香港返還を期に香港の人口が急増して現在では 700 万人を超えている。これに中国本土からの住宅投資も加わって、香港の住宅事情が非常に厳しい状況である。香港政府としては、住宅の確保は最優先課題であり、そのために海岸部を埋め立てて住宅を整備している。Tung Chung New Town Expansion プロジェクトは、香港空港の対岸の Tung Chung（東湧）地区の海岸に埋立て住宅地（**図 6.2**）を建設するものである。香港空港拡張工事での地盤改良工法を参考に、深層混合処理工法による地盤改良が採用された（**写真 6.3**）。プロジェクトでの総改良杭数は約 4.2 万本、総改良土量は 360 万 m^3 が予定されている。固化材は室内配合試験の結果、スラグセメント（香港国際空港の地盤改良を参考にしたとの事であるため、おそらく EN 197-1 CEMⅢ42.5N 相当）が採用され、約 180kg/m^3 の添加量で施工されている [3)]。香港では、住宅地の確保のために大規模な埋立てと住宅整備が計画中であり、多くの現場で深層混合処理工法が実施されることと思われる。



図 6.2　Conceptual Plan of Tung Chung East[5)]



（a）海上施工



（b）陸上施工

写真 6.3 Tung Chung New Town Expansion プロジェクトにおける深層混合処理工法の状況

6.3　フランス視察（19 年 12 月実施）

本視察では、欧州における地盤改良の情報収集を目的として、土木系の国立研究機関（IFSTTAR）との意見交換（**写真 6.4**）を実施した。また、パリ市内の地下鉄工事における地盤改良工事を視察した。なお、IFSTTAR は 2020 年 1 月に他の 5 機関と統合し、ギュスターヴ・エッフェル大学となった。

6.3.1　IFSTTAR との意見交換会

意見交換会はコンクリートの耐久性とセメント固化をテーマに実施された（**表 6.2**）。セメント固化に限って内容の一部を紹介する。

（1）セメント協会からの話題提供

セメント協会の概要を紹介したのち、日本には土を固める特殊セメント（セメント系固化材）が製造・販売されていること、地盤改良マニュアル[6)]を参考に日本での配合設計の考え方、六価クロムへの対応、さらには改良体の長期安定性試験の結果[7)]についての報告を行った。

（2）IFSTTAR からの話題提供

フランス Héricourt の道路盛土構造物における石灰・セメント安定処理土の含水率やサクションの経年変化、河川堤防の強化における深層混合処理工法と混合時のばらつきや、ばらつきの発生要因を粘土鉱物の影響に着目した分析などの報告があった。



写真 6.4　意見交換の状況

表 6.2　意見交換会プログラム

Present situation and future challenges of cementitious materials in Japan and France

9H30 – 10H00　Welcome coffee

10H00 – 10H20　Introduction

Welcome speech: Dr. Christophe Chevalier - Head of SRO Laboratory of IFSTTAR :

Objectives of the seminar:

➤Professor Kenichiro Nakarai: Hiroshima University

➤Mr. Kazuhisa Sugiyama: Japan Cement Association (Head of Seminar Working Group of JCA Promotion Committee of Cement Stabilizer, Sumitomo Osaka Cement Co., Ltd.)

10H20 – 11H55　Seminar Part 1

➤Prof. Kenichiro Nakarai (Hiroshima University)

1) Japanese durability design and a new index for quality classification of cover concrete

➤Dr. Bruno Godart (IFSTTAR)

2) Performance-based specification of concrete durability, Advances in France (Perfdub project)

3) Alkali reactions and French practice well

➤Dr. Yuya Takahashi (Senior Lecturer, The University of Tokyo)

4) Expansions and damage processes of concrete due to coupled alkali-silica reactions and freeze-thaw cycles

11H55 – 12H10　Short break

12H10 – 12H45　Seminar Part 2

➤Mr. Shinichiro Komiyama (Japan Cement Association)

5) JCA activities (1): Introduction of Japan Cement Association (JCA)

➤Mr. Hironori Nakamura (Japan Cement Association)

6) JCA activities (2): Present situation of soil-stabilization with cement in Japan

➤Mr. Isao Kurosawa (Japan Cement Association, Ube-Mitsubishi Cement Co., Ltd.)

7) JCA activities (3): Recent research projects on cement-treated soils by JCA

➤Mr. Takahito Nozaki (Japan Cement Association, Taiheiyo Cement Corporation)

8) JCA activities (4): Study on long-term stability of soil-stabilization with cement

12H45 – 13H00　Exchange and discussion

13H00 – 14H30　Lunch and laboratory tour (Geotechnical and Concrete Laboratories)

14H30 – 15H45　Seminar Part 3

➤Dr. Hidenori Takahashi (Port and Airport Research Institute)

9) Accelerated aging test for cement-treated soil by percolation technique:

➤Dr. Yukika Miyashita (Public Works Research Institute)

10) Long-term strength property of embankment constructed with cement-stabilized soil:

11) Execution control method for compaction of embankment constructed with cement-stabilized soil:

➤Dr. Yasmina Boussafir　(IFSTTAR)

12) In situ soil water retention curve in a cement treated silt in Hericour, Result of 4 years of monitoring

15H45 – 16H00　Short break

16H00 – 17H00　Seminar Part 4

➤Dr. Ho Si Lanh (Assistant Professor, Hiroshima University)

13) Strength development of cement-treated soils using different types of cement cured under elevated curing temperatures

➤Dr. Alain Le Kouby (IFSTTAR)

14) Deep mixing method to reinforce dykes

➤Dr. Myriam Duc (IFSTTAR)

15) Behavior of clay-rich soil /cement mixtures prepared by deep soil mixing method, Physico-chemical aspects

17H00 – 17H30　Seminar Discussion and conclusions

（3）意見交換会で得た知見

意見交換や帰国後の資料整理によって、セメント種類や固化材添加量について得た知見を以下に示す。

① 欧州には、土を固めるための特別なセメント（セメント系固化材）はなく、一般的なセメントが地盤改良にも使用されている。日本と同様に、道路盛土や河川堤防の構築において、セメント固化が採用されている（**表 6.3**）。

表 6.3　意見交換会で紹介のあった地盤改良工事 [8)]

［ケース 1：道路盛土］

セメント種類：CEM Ⅱ/A-LL 42.5

添加量：3%程度

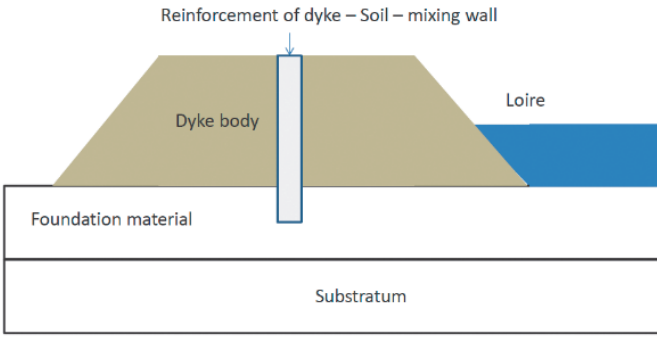
※SETRA（フランス道路研究所）の Technical Guide Treatment of soils with lime and /or hydraulic binders によると、原則、バインダーは CEM Ⅱ A または B32.5 との記載がある。

［ケース 2：河川堤防］

セメント種類：不明

添加量：220kg/m³　※河川堤防の堤体内部に鉛直の地盤改良体を造成する。





Reinforcement of dykes

② 日本では、施工前に試験室で室内配合試験が行われ、工事に使用する配合（セメント種類や添加量）が決定される。それに対してフランスでは、類似の工事においては、施工会社は多くの実績を保有しているとの理由で室内配合試験は行わず、試験施工にて配合が適切か否か実証する方法が一般的とのことであった。

③ 土壌環境基準値の話題への反応が小さく、フランスでは改良体からの六価クロム溶出への配慮が日本に比べ高くない印象を受けた。

上述①～③は、本視察の範囲で得られた限定的な知見であるため、継続して情報収集を行う。

6.3.2　パリ市内地下鉄工事

パリ首都圏の交通網を充実させるため、2013 年にグラン・パリ・エキスプレス（Grand Paris Express）計画[9)]が発表された。本地下鉄工事は、この計画の一環であり、パリ近郊の新たな地下鉄網の整備（200km の追加延長・68 駅の新駅・90%が地下）を目指している。本整備の一部を視察した。

［工事概要］

- Pont de Sèvres 駅付近のセーヌ川の畔で施工
- 壁面への水平支持力の増強が目的
- 1006 本の改良体を施工（直径：1500mm×2 軸、改良深さ：15.0m～39.5m）
- セメント種類：CEM Ⅲ/C 32.5 LH SR
- 添加量：561kg/m³（1m³ あたりベントナイトを 15kg 配合）

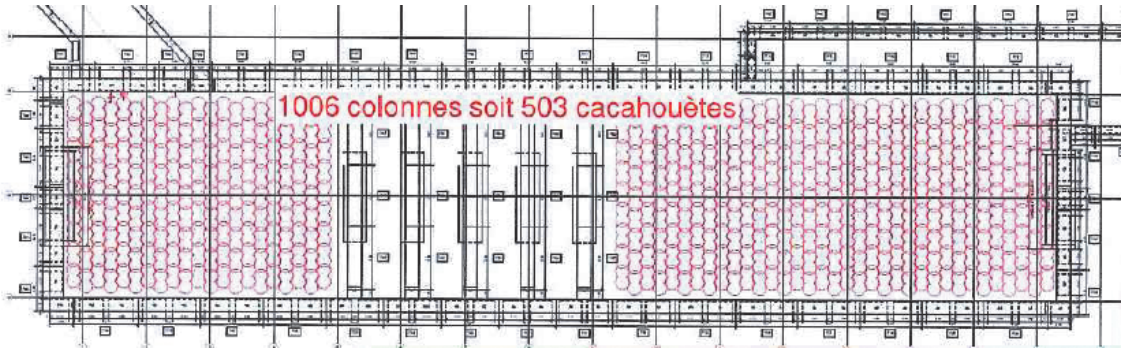


図 6.3　改良平面図[8)]



写真 6.5　深層混合処理工法の状況（地下鉄延伸工事）



写真 6.6　フランス現場視察での集合写真

6.4　土を固めるセメントの役割と可能性

本視察で見学した現場は、香港では国際空港の滑走路の新設、住宅供給のための埋立地の整備、フランスでは首都圏交通網の充実を図るための地下鉄延伸工事のように、いずれも国家的なプロジェクトであった。国や地域による地盤条件の違いがある中で、土を固めるセメントは、適材適所で調整・選択されているが、セメント固化の役割が高いことを改めて実感した。また、IFSTTAR との意見交換では、欧州における地盤改良の一例を学ぶことができ、世界に向けた情報発信に努めることの有用性を認識することができた。

今後も海外調査を継続して、セメント系固化材の新たな可能性を模索する予定である。

本海外調査は多くの関係者の協力により実現した。ここに記し謝意を表す。
香港視察
Chris K W Cheung 氏（AECOM）、原俊郎氏（WiLL コンサルタント株式会社）、鈴木嗣成氏（五洋建設株式会社香港営業所）
フランス視察
Alain Le Kouby 氏、Myriam Duc 氏（IFSTTAR）、小川由布子先生、Ho Si Lanh 先生、横山勇気氏（広島大）、高橋佑弥先生（東京大）、宮下千花氏（土木研究所）

【参考資料】

1） 中村、小宮山、半井、北詰：報告／セメント系固化材による地盤改良の事例調査－香港・フランスを視察して－、セメント・コンクリート、No.881、pp.24-29（2020）
2） 日本建築センター：2018 年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針 - セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法 - 、2018 年 11 月
3） 北詰昌樹：巻頭論説／セメント、セメント系固化材を用いた安定処理技術、セメント・コンクリート、No.866、pp.1-6（2019）
4） https://www.tung-chung.hk/（2021 年 9 月現在）
5） https://tung-chung.hk/files/docs/newsletters/issue_01_20180828.pdf（2021 年 9 月現在）
6） セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル第 4 版、2012.10
7） セメント協会セメント系固化材技術専門委員会：セメント系固化材を用いた改良体の長期安定性に関する研究－材齢 22 年試験結果報告－、セメント・コンクリート、No.804、pp.9-14（2014）
8） IFSTTAR 提供資料
9） https://www.societedugrandparis.fr/（2021 年 9 月現在）

7.おわりに

セメント協会では、2011 年に発生した東日本大震災を契機に、震災調査ワーキンググループを組織して、「東日本大震災におけるセメント系固化材を用いた地盤改良に関する調査報告書（2013 年)」、「大規模災害に対してセメント系固化材による地盤改良が果たす役割（2015 年)」の報告書を取りまとめた。その後、事例調査ワーキンググループに改組して、「セメント系固化材の拡がる用途と役割（2018 年)」を発刊した。本報告書は 4 冊目の報告書になる。

本報告書では、復旧・復興、防災・減災における地盤改良工事と汎用的な地盤改良工事にわけて、16 件を紹介した。また、新たなチャレンジとして調査範囲を国内だけでなく海外に広げ、得られた知見を紹介した。これまでの 3 冊の報告書とあわせると、81 件の地盤改良工事を収集するに至った。調査期間は約 10 年となり、これまでの活動を振り返ると、セメント系固化材による地盤改良に求められる役割が多様化してきたことが推察できる。つまり、構造物の支持力増強という目的だけでなく、復旧・復興工事、防災・減災工事のように国土強靭化で活用される機会が増えてきた。今後も、その時々の地盤改良工事の収集と蓄積を継続して、技術的かつ記録的に有用な資料を実務者に提供したいと考えている。

本報告書が、地盤改良の設計・施工・管理、復旧・復興工事、防災・減災工事の一助となれば幸甚である。

謝辞

本調査を実施するにあたり、各方面の機関にご協力を賜りました。以下に紹介するとともに謝意を表します。

（敬称略・順不同）

- 国土交通省北海道開発局
- 国土交通省北海道開発局網走開発建設部
- 国土交通省関東地方整備局千葉国道事務所酒々井出張所
- 国土交通省近畿地方整備局豊岡河川国道事務所河川管理課
- 国土交通省四国地方整備局松山港湾・空港整備事務所
- 国土交通省九州地方整備局熊本河川国道事務所
- 札幌市建設局市街地復旧推進室
- 川崎市上下水道局水道部
- 兵庫県淡路県民局洲本土木事務所道路第 1 課
- 広島県企業局土地整備課
- パワーブレンダー工法協会
- CDM 研究会
- V-JET 協会
- 鹿島建設・竹中土木・ケミカルグラウト本郷地区土地造成事業（1 期）土地造成工事共同企業体
- 株式会社加藤建設
- 株式会社川嶋建設
- 川田工業株式会社
- 有限会社濃沼工業
- 岸本姫野建築設計事務所
- 株式会社坂本建設
- 三信建設工業株式会社
- 三和土質基礎株式会社
- 高橋俊也構造建築研究所
- タチバナ工業株式会社
- 東興ジオテック株式会社
- 株式会社東洋スタビ
- 萩原土建株式会社
- 報国エンジニアリング株式会社
- 大阪市立大学 大島昭彦教授

防災・減災、国土強靭化に資するセメント系固化材による地盤改良

ISBN978-4 88175 166-4 C3358

2021 年 11 月発行

一般社団法人セメント協会
普及部門
東京都中央区日本橋本町 1-9-4

研究所
コンクリート研究グループ
東京都北区豊島 4-17-33

本書の無断複製や転載を禁じております

本書に関するお問い合わせは下記宛にお願いいたします。

セメント協会ホームページ　https://www.jcassoc.or.jp