セメント系固化材の拡がる用途と役割

一般社団法人セメント協会

序

2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震は、海溝型大規模地震で主要動が長時間継続した。そのため、千葉県浦安市など震源から遠く離れた地域においても液状化による大きな被害が発生したように、被害が広範囲で非常に多くの場所で生じた。さらに、地震動被害と巨大な津波による被害が複合するなど、震災の規模・内容は内陸型活断層地震とは大きく異なっていた。

セメント協会では、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）」にまとめられた。これらの調査によって、セメント系固化材を用いた地盤改良工法は、多種多様な施工機械の開発も相まって、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工法は、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、本地盤改良工法のさらなる発展と普及を目指すと共に、本地盤改良工事に従事される方々の参考となるよう、2016 年度に事例調査ワーキンググループを発足させ、セメント系固化材が適用された工事の情報を収集することにした。情報の収集にあたっては、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、数多くの事例の収集を行うことができた。本報告書は、収集した情報・事例をとりまとめたもので、各事例は、道路網整備、港湾空港などの交通拠点整備事業、治水事業などの生活インフラ整備事業、建築構造物の整備など、さらに東日本大震災や集中豪雨による土砂災害の強化復旧事業、今後の災害に備えた耐震補強事業や防災事業などに分類して紹介している。これまでの 2 つの調査結果と同様に、今回の調査結果もセメント系固化材による地盤改良工事を計画、設計、施工する技術者の方々に役立てて頂ければ幸甚である。

セメント系固化材を用いた地盤改良工法が、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工法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靱なインフラ施設の整備に活用されることを期待している。

2018 年 4 月
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
事例調査ワーキンググループ
主査　北詰　昌樹

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
事例調査ワーキンググループ

（敬称略・順不同）

主査	北詰　昌樹	東京工業大学	
技術委員長	清田　正人	三菱マテリアル株式会社	
普及委員長	斎藤　準護	太平洋セメント株式会社	（17 年 3 月まで委員）
			（17 年 4 月就任）
	杉山　和久	住友大阪セメント株式会社	（17 年 3 月交代）
			（17 年 4 月から委員）
委員	柳原　勝也	株式会社トクヤマ	
	有馬　克則	宇部三菱セメント株式会社	（17 年 3 月交代）
	黒澤　功	宇部三菱セメント株式会社	（17 年 4 月就任）
	佐々木　慎一	麻生セメント株式会社	
	根本　佳則	日立セメント株式会社	
	吉原　正博	住友大阪セメント株式会社	（16 年 9 月交代）
	吉田　雅彦	〃	（16 年 10 月就任）
			（17 年 3 月退任）
	藤原　要	一般社団法人セメント協会	

東北調査サブワーキンググループ

リーダ	渡辺　克彦	太平洋セメント株式会社
委員	川野　保	日鉄住金セメント株式会社
	岡部　健児	宇部三菱セメント株式会社
	坂本　克美	住友大阪セメント株式会社

九州調査サブワーキンググループ

リーダ	村上　浩通	麻生セメント株式会社
委員	日高　和正	日鉄住金高炉セメント株式会社
	河本　年史	株式会社トクヤマ
	佐藤　美則	太平洋セメント株式会社
	萬　孝輝	宇部三菱セメント株式会社
	須藤　毅	住友大阪セメント株式会社

事務局	近藤　秀貴	一般社団法人セメント協会	（17 年 3 月退任）
	谷村　充	〃	（17 年 4 月就任）
	佐藤　智泰	〃	（17 年 3 月退任）
	吉本　徹	〃	（17 年 4 月就任）
	小宮山　慎一郎	〃	
	野田　潤一	〃	
	泉尾　英文	〃	
	中村　弘典	〃	

目次

1. はじめに …… 1

2. セメント系固化材による地盤改良の拡がり …… 2

3. 調査概要 …… 6

4. 汎用的な地盤改良工事 …… 8

4.1 道路網整備における地盤改良工事 …… 8

4.1.1 橋台の側方流動抑止における深層混合処理工～北海道月形峰延線～ …… 8

4.1.2 橋台の側方流動抑止に適用された深層混合処理改良体の長期強度特性
～北海道勇払郡～ ……11

4.1.3 道路交差点部における路床安定処理工～青森県八戸市～ ……15

4.1.4 高速道路盛土築造における深層混合処理工法による沈下・円弧滑り対策
～三陸沿岸道路歌津本吉道路～ ……18

4.1.5 盛土の円弧滑り対策に適用された浅層混合処理工～東海環状自動車道～ ……22

4.1.6 道路拡幅工事に伴う高圧噴射撹拌工法による盛土の沈下抑制対策
～鳥取西道路松原第 3 改良工事～ ……26

4.1.7 地域高規格道路における深層混合処理工法による盛土の安定・沈下対策
～有明海沿岸道路～ ……31

4.1.8 橋台の側方移動抑止に適用された大深度深層混合処理工～熊本県熊本市～ ……34

4.1.9 重力式擁壁の支持に適用された深層混合処理工～鹿児島県川内隈之城道路～ …40

4.2 治水事業における地盤改良工事 ……43

4.2.1 盛土の沈下抑制対策に適用された深層混合処理工～石狩川河川改修～ ……43

4.2.2 高圧噴射撹拌深層混合処理工法による船着場の耐震補強対策
～東京都江東区荒川河口～ ……47

4.2.3 河床掘削で発生した浚渫土の改良工事～愛知県日光川～ ……51

4.2.4 雨水ポンプ場の整備における基礎改良工事～福岡県～ ……55

4.3 交通拠点における地盤改良工事 ……58

4.3.1 連続式泥土処理工法による浚渫土砂の改良～茨城港（日立港区）第 3 ふ頭～ …58

4.3.2 構内道路立体交差部函渠拡幅のための地盤改良工事～東京国際空港～ ……63

4.3.3 掘削残土の有効利用のための盛土改良～北陸新幹線白山総合車両所～ ……70

4.4　生活インフラを支える地盤改良工事 ……73
4.4.1　重機のトラフィカビリティー確保のための浅層混合処理工
～愛知県発電所施設内～ ……73
4.4.2　東京都新海面処分場でのセメント系地盤改良について ……75
4.5　建築構造物における地盤改良工事 ……79
4.5.1　車庫建設における支持力確保のための深層混合処理工
～青森県公共施設（保健所）～ ……79
4.5.2　総合球技場に適用された構造物基礎の支持力増強のための浅層・深層混合処理工
～南長野運動公園総合球技場～ ……81
4.5.3　建築物における既存改良体を活用した深層混合処理工
～栃木県内事務所棟建設工事～ ……84
4.5.4　軟弱地盤における地盤改良を用いた山留め壁の変位防止
～東京日本橋 水天宮～ ……91
4.5.5　病院基礎における深層混合処理工 ～京都大学 総合高度先端医療（南病棟）～ …96
4.5.6　高等学校の改築工事におけるスラリー系浅層機械式撹拌工～香川県～ ……101
4.5.7　新築住宅工事における機械式撹拌工～福岡県～ ……103
5.　強化復旧・防災における地盤改良工事 ……106
5.1　粘り強い海岸堤防工事（高潮対策）～青森県三沢海岸～ ……106
5.2　災害復旧工事に適用された防潮堤盛土改良～岩手県陸前高田～ ……109
5.3　かさ上げ道路整備による津波対策施設に適用された浅層混合処理工
～仙台市東部復興道路整備事業～ …… 113
5.4　粘り強い海岸堤防工事（CSG 堤防）～仙台湾南部海岸井土浦地区～ ……118
5.5　河床下地盤の固化改良による周辺宅地の側方流動対策
～千葉県香取市小野川～ ……123
5.6　土砂災害対策における砂防えん堤工事～広島県広島市安佐南区・安佐北区～ …128
5.7　道路陥没事故における流動化処理土による早期復旧工事～福岡県博多駅前～ …132
6.　おわりに ……135
謝辞 ……136

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

軟弱地盤の改良に幅広く使用される一般軟弱土用固化材と特殊土用固化材を汎用固化材と称する。

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

セメント協会事例調査ワーキンググループでは、セメント系固化材を用いた地盤改良に従事される方々にとって参考となる事例集の作成を目的に、「セメント系固化材が適用された工事情報」の収集を図ってきた（活動期間：2016 年度～2017 年度）。

工事情報の収集にあたっては、発注者や施工者などの関係機関の協力のもと、アンケートやヒアリングを実施し、150 件を超える工事情報を収集した。改良目的や工法が異なるさまざまな事例を収集した中で、本報告書では、このうち 32 件の工事内容の詳細を紹介した。

各事例をみると、工事の目的や工事周辺の環境などから適切な工法が選定され、地盤条件や目標強度などをもとに改良長や改良面積、セメント系固化材の種類や添加量が決定されている。また、施工管理や品質管理についても、工事の目的や内容にあわせて実施されていることから、セメント系固化材による地盤改良は、実務的に確立された工法であることが伺える。このように、広く活用されるようになった理由は、1930 年代の米国で開発されたソイルセメントを始まりとしてセメントで土を固める技術が普及し始め、1970 年代の我が国ではセメント系固化材の製造・販売が開始されるなど、長い年月をかけ、技術的な発展と蓄積が図られてきたことによるものと推察される。

本報告書は、セメント系固化材による地盤改良の事例集として、以下のとおり構成した。

「2 章 セメント系固化材による地盤改良の拡がり」では、セメント系固化材の歴史と地盤改良工法の変遷を整理した。セメント系固化材の歴史では、セメントメーカー各社は、それぞれの土に有効な成分や配合を工夫して、適した材料を提供してきた。また、地盤改良工法は表層改良施工方法、機械式撹拌工法、高圧噴射工法やトレンチャー式施工方法などの技術開発が進められてきた。これら材料と施工法の開発の融合が、セメント系固化材の普及に大いに寄与したものと推察される。

「3 章 調査概要」では、4 章と 5 章で具体的に紹介する工事の施工場所を示した。

「4 章 汎用的な地盤改良工事」と「5 章 強化復旧・防災における地盤改良工事」では 32 件の工事内容を具体的に紹介した。4 章では、道路網、治水、交通拠点、生活インフラの整備や建築構造物における工事といった、汎用的に実施されている地盤改良工事を取りまとめた。5 章では、東日本大震災や集中豪雨による土砂災害の強化復旧工事、また今後の災害に備えた耐震補強や防災のための地盤改良工事を取りまとめた。

2. セメント系固化材による地盤改良の拡がり

セメント系固化材の技術的発展とその背景を**図 2.1、図 2.2** に示す。

セメントで土を固める技術として、広く用いられるようになったきっかけは、1930 年代に米国で開発されたソイルセメントが挙げられる。これは、建設材料として不適当な砂質土について、所定の材料規定を満足するようにセメントを添加、撹拌して、道路の路盤材料として活用するものである。我が国でも、1950 年代にはセメントによる固化処理技術は普及し、路盤工の一部として使用されるようになった。一方で、粘性土を固化する場合、高含水比のものが多いこともあり、混合の均一性を確保するのが困難であることが明らかとなった。そこで、水分量を増やし、ソイルセメントの流動性を高めた、プラスチックソイルセメントが用いられることで、混合の均一性確保が比較的容易となり、材料的融通性 が広がった。しかし、ソイルセメントもしくはプラスチックソイルセメントの収縮に伴うひび割れの懸念、また、有機物を多く含んだ土に対しては固化の効果が低いという欠点も明らかになってきた。

ここで、1970 年頃の建設業界をみると、①良質な砂質材料が枯渇の傾向、②多量の土の運搬が建設公害と批判、③周辺地域に対する騒音および振動、泥土の飛散、水質汚濁などの社会問題、④環境保全を目的としたヘドロの固化や産業廃棄物の有害物の封じ込め、などの状況があった。良質土との置換工法の採用が制約されることにより、現地材料を高品位化して再利用する必要性が高まった。これに対応するために最も必要なことは、従来の「ソイルセメント」と比べて、細粒分の多い土やセメントの水和を阻害する有機物を多く含む土でも適切な添加量で固化することであった。

このような背景により、セメントメーカー各社は、土質に応じてセメントの特定成分や粒度を調整して要求に合致する特殊なセメントを製造し、「セメント系固化材」の統一名称で販売するようになった。現在、セメント系固化材は、目的に応じて 4 つの種類に大別される。一般的な軟弱土に使用される「一般軟弱土用固化材」、改良土からの六価クロムの溶出を低減する「特殊土用固化材」、有機物含有量や含水比が高い土を固化するための「高有機質土用固化材」、粉体施工時の発塵を抑制する「発塵抑制型固化材」である。

さて、土質工学的な課題をみると、社会の発展・成熟とともに安定問題→変形（沈下）問題→耐震・液状化問題→環境問題へと多様化しており、軟弱地盤対策技術の歴史が置換工法→サンドドレーン工法→サンドコンパクション工法→深層混合処理工法の順で発達してきている点と少なからず関係していることが示されている[1), 2)]。セメント系固化材による地盤改良に着目すると、擁壁や盛土といった土木構造物から、戸建住宅などの小規模建設物でも活用され用途が拡がるとともに、大規模な施工から狭小地での施工、低排泥・低変位な工法、混合精度を向上させた機械の開発など、種々の施工条件でも改良できるように施工法の開発が進められてきた。また、1964 年の新潟地震や 2011 年の東日本大震災などで発生した液状化や、汚染土壌の固化などについても対応が図られており、改良目的も多様化していることが明らかである。

セメント系固化材を用いた地盤改良の用途や役割は、さらなる拡大が見込まれるものであり、セメント協会では、課題解決に向けた技術開発や、材料の品質確保および安定供給を果たすことが重要であると考えている。

【参考文献】

1） 坪井英夫：海底地盤の改良技術、第39 回土質工学シンポジウムー海底地盤と海洋施工技術ー、pp.13～18、1993.
2） 北詰昌樹：地盤改良工法の最近の技術と今後の展望、地盤工学会誌、Vol.60、No.6、No.653、pp.1～3、2012.

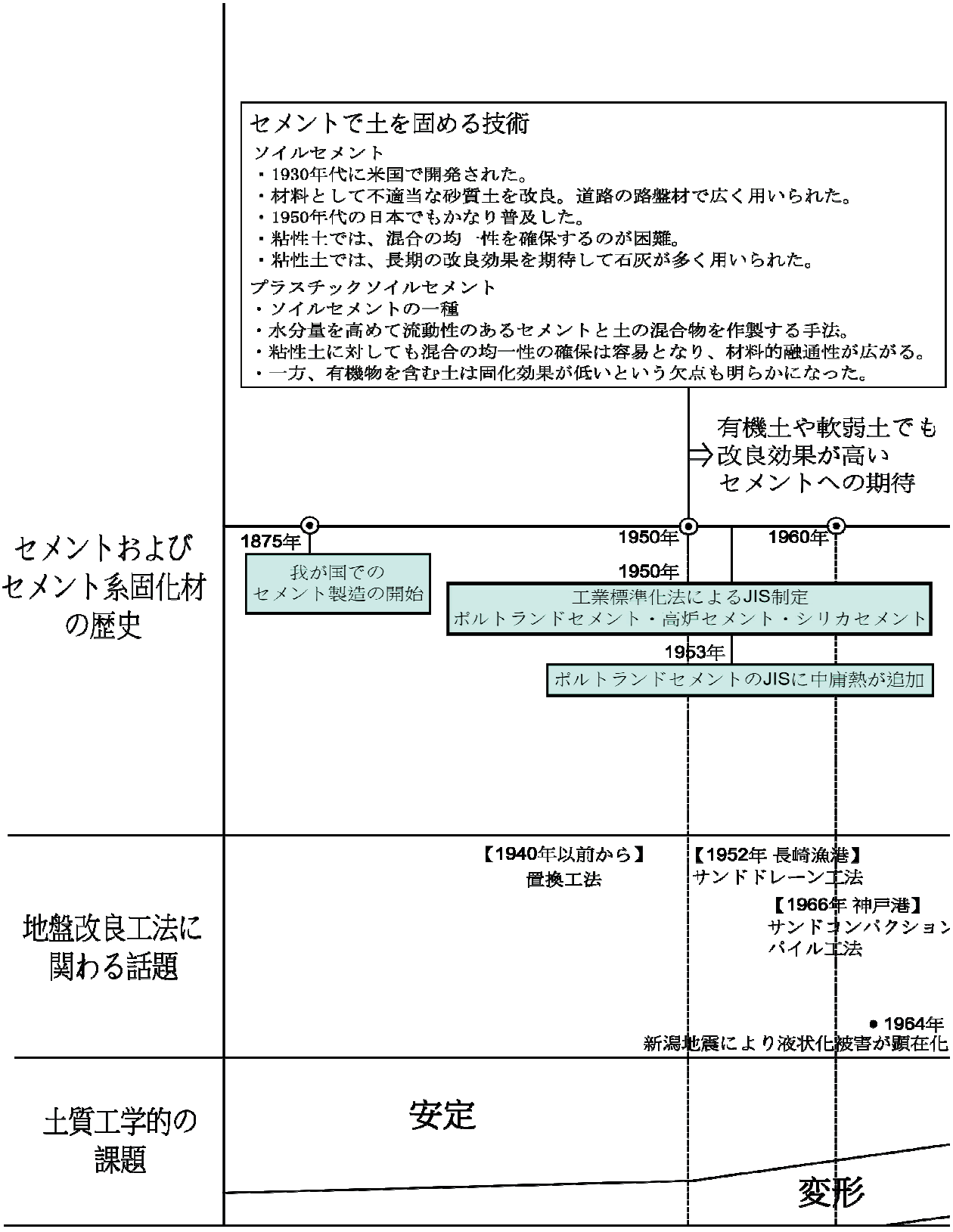


図2.1　セメント系固化材の技術的発展とその背景（1/2）

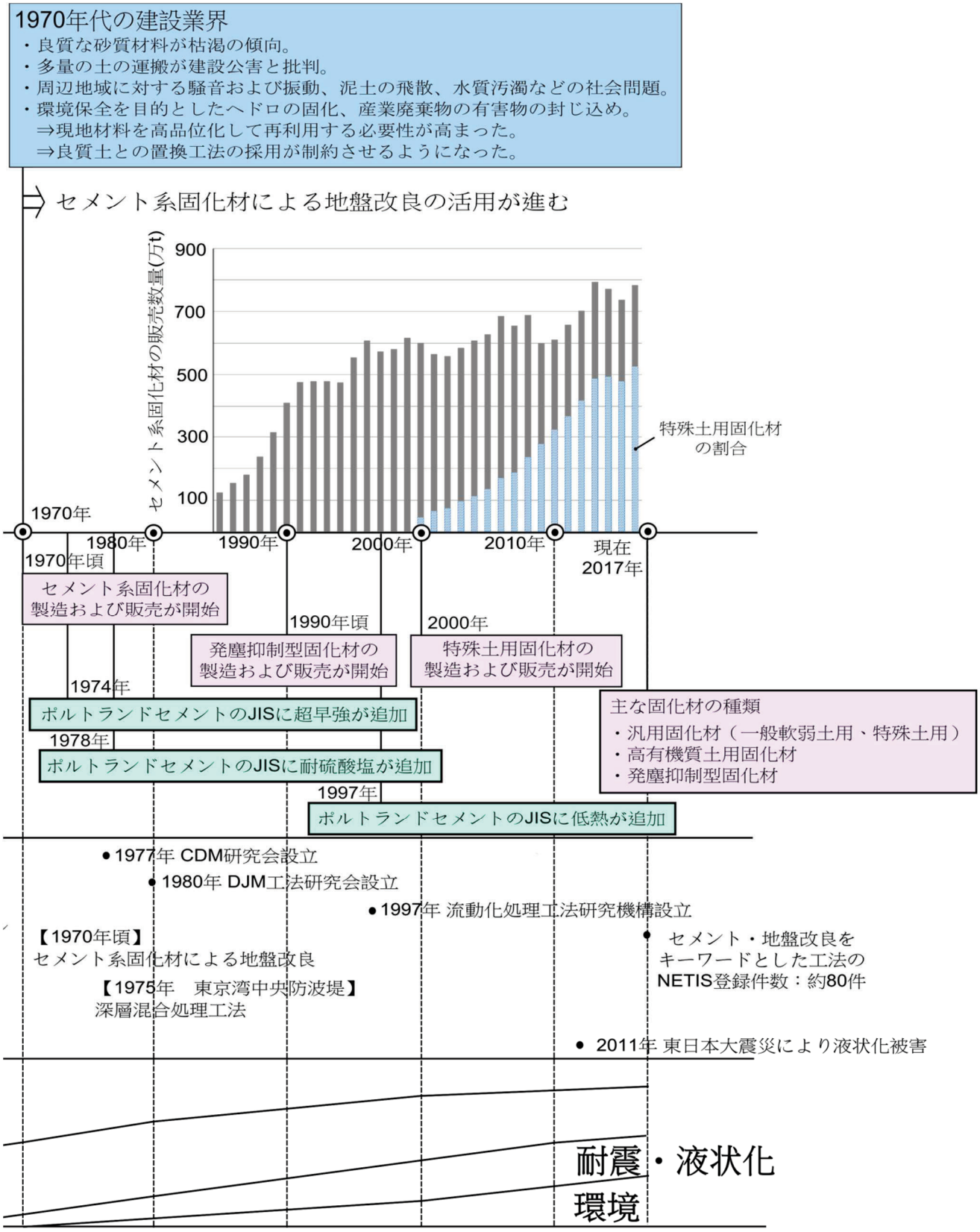


図2.2　セメント系固化材の技術的発展とその背景（2/2）

3. 調査概要

本調査では，アンケートやヒアリングによって約 150 件の工事事例を収集した。そのうち、32 件の事例について、詳細な工事情報を収集し本報告書に取りまとめた。詳細調査を行った事例の施工場所について図 3.1 および図 3.2 に示す。各事例は、報告書の 4 章および 5 章の図中に示す頁において具体的に紹介する。

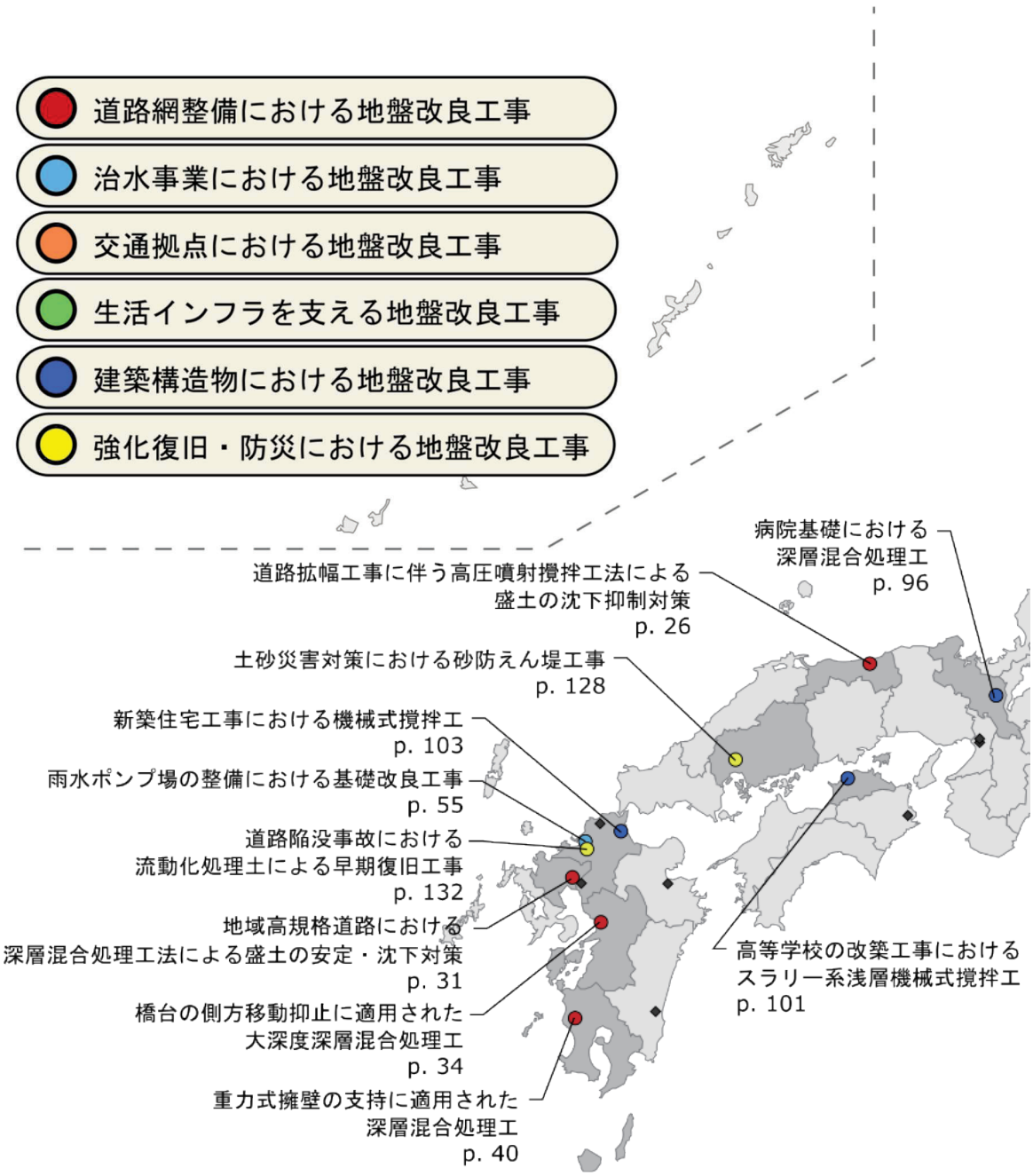


図3.1　本報告書で紹介する事例の施工場所（1/2）

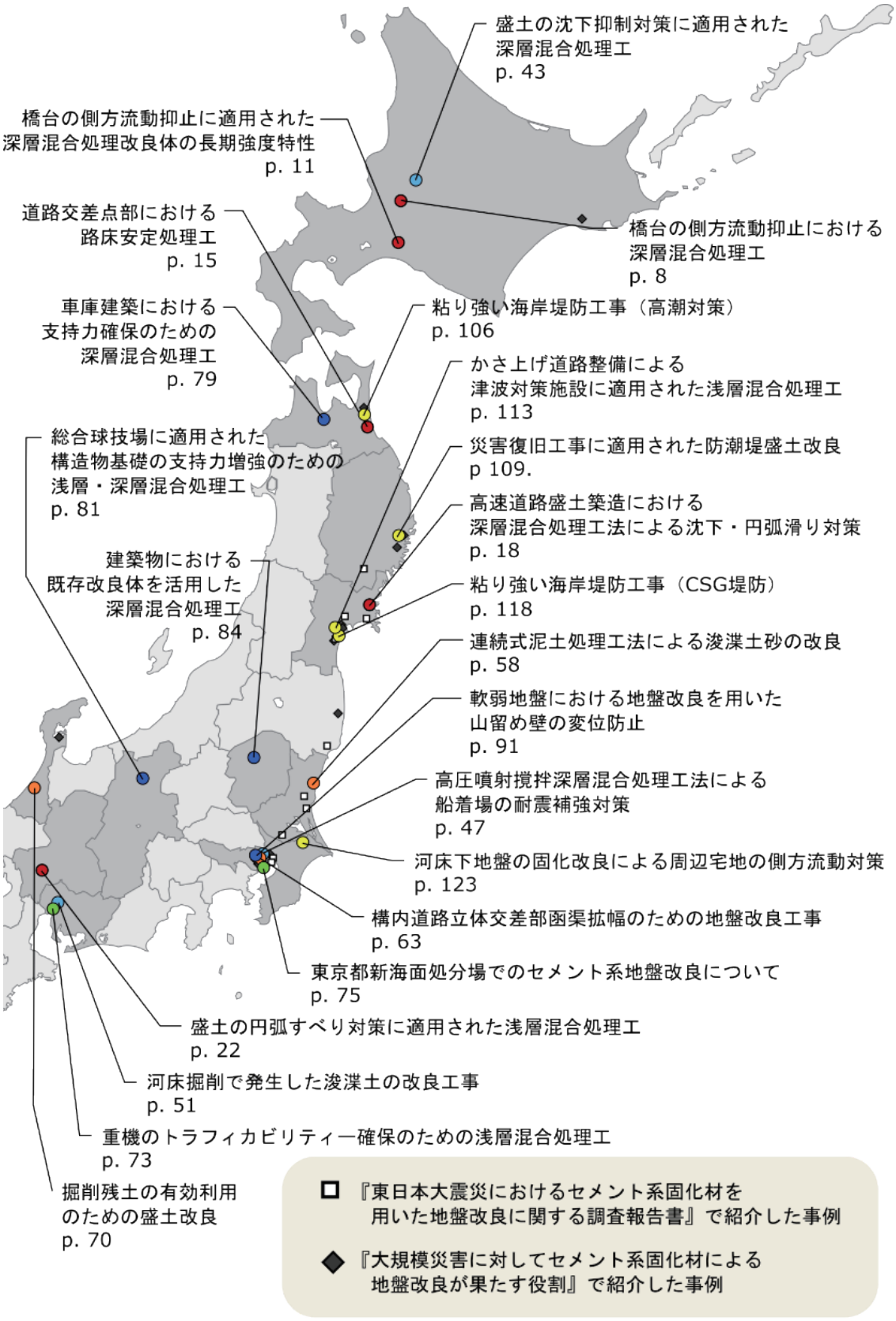


図3.2　本報告書で紹介する事例の施工場所（2/2）

4. 汎用的な地盤改良工事

4.1 道路網整備における地盤改良工事

4.1.1 橋台の側方流動抑止における深層混合処理工～北海道月形峰延線～

1. はじめに

樺戸郡月形町から美唄市峰延町を結ぶ北海道道路において、橋台の新設工事が計画された。工事区間の地盤は軟弱な泥炭やシルトを含んでいることから地盤改良が検討され、橋台の側方流動抑止のための深層混合処理工法が実施された。

2. 地盤改良工事の概要

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。それぞれの試験で得られた添加量を**表 1** に示す。試験施工の結果が本施工の固化材添加量に設定された。地盤改良の仕様を**表 2** に、地盤改良の平面図を**図 1** に、断面図を**図 2** に示す。

表 1　試験施工結果（固化材添加量）

土層	室内配合試験結果（kg/m^3）	試験施工結果（kg/m^3）
Ap	220	220
Ao	140	140
Ac2	90	110

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）	1200、1600
改良本数　（本）	176
改良率　（%）	78.5
改良深さ　（m）	12.50
目標強度(材齢 28 日)　（kN/m^2）	200
固化材の種類	泥炭用固化材
固化材添加量　（kg/m^3）	Ap 層：220kg/m^3 Ao 層：140kg/m^3 Ac2 層：110kg/m^3
添加方法	スラリー添加（W/C＝100%）

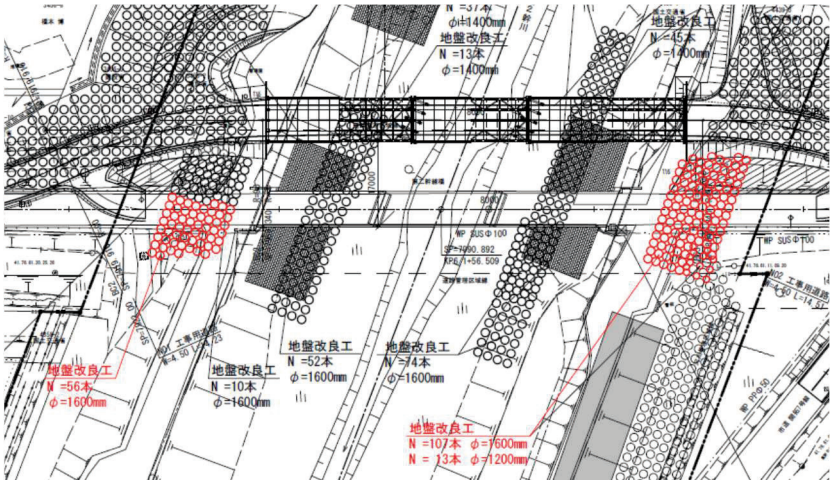


図１　地盤改良の平面図

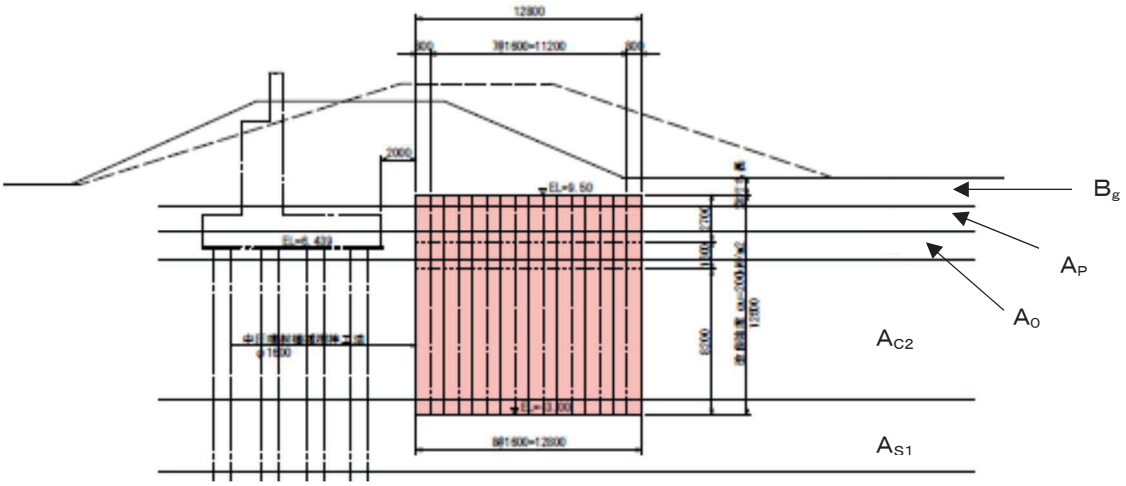


図２　地盤改良の断面図

3. 本施工

試験施工で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 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

4. 品質管理試験

施工後の品質管理はサンプリングしたコアの一軸圧縮試験で行われ、所定の強度を満足していることが確認された（**表 3**）。サンプリングしたコアの状態を**写真 3** に、カットした試験用供試体を**写真 4** に示す。

表 3　一軸圧縮試験結果

土質区分	改良長さ (m)	材齢 28 日 一軸圧縮強さ q_u (kN/m²)		q_u 平均値 (kN/m²)	合否判定	
					$q_u \geqq 200$ kN/m²	判定
Ap	2.70	1	311	288	OK	○
		2	292		OK	
		3	262		OK	
Ao	1.60	4	337	350	OK	○
		5	410		OK	
		6	303		OK	
Ac2	8.20	7	455	381	OK	○
		8	390		OK	
		9	370		OK	
		10	420		OK	
		11	325		OK	
		12	338		OK	
		13	370		OK	

写真 3　コアの状態

写真 4　試験用供試体

5. おわりに

試験施工が実施され、本施工での固化材添加量がより正確に設定された。本施工の改良体は目標とする強度を十分に満足しており、また、土層区分間での強度のばらつきが比較的少ない良好な施工であった。

4.1.2 橋台の側方流動抑止に適用された深層混合処理改良体の長期強度特性

～北海道勇払郡～

1. はじめに

一般国道 235 号の厚真橋（北海道勇払郡厚真町）の橋台背面部に、側方流動抑止を目的として、1984 年に粉体系の深層混合処理工法が実施された。

本節は施工後 30 年経過した改良体に対して強度試験（一軸圧縮試験、針貫入試験）を実施し、改良体の長期強度特性と改良体表面の劣化状況を検証したものである [1)]。

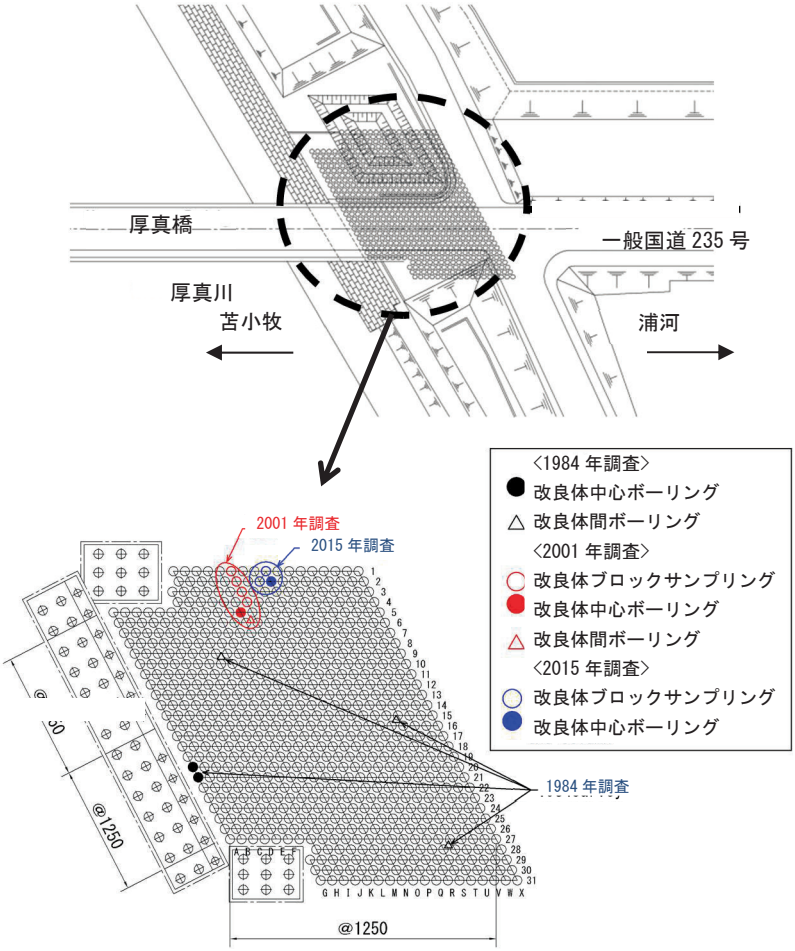


図 1　改良体の調査位置

2. 地盤改良の仕様

図 1 は改良体の調査位置、**表 1** は地盤改良の仕様を示す。設計基準強度（材齢 28 日）は265kN/m² で、改良長が 8m の柱状改良体が施工された。設計基準強度を満足するよう固化材添加量が設定され、改良長 3m 以浅は 290kg/m³、改良長 3m から 8m は 130kg/m³ に設定された。

表 1　地盤改良の仕様

項　目	仕　様
工法	深層混合処理工法
改良率　（%）	50
改良径　（mm）	1000
改良長　（m）	8.0
設計基準強度（材齢 28 日）　（kN/m²）	265
固化材の種類	高炉セメント B 種
固化材添加量　（kg/m³）	改良長 0～3m：290 改良長 3～8m：130
添加方法	粉体添加

3. 改良体の長期強度特性

図 2 は改良体中心部より採取された試料の物理特性（含水比・湿潤密度・一軸圧縮強さ）の経年変化を示す。含水比および湿潤密度は材齢 30 年で大きな変化は確認されないが、一軸圧縮強さは材齢の経過とともに増加する傾向にあった。

図 3 は改良体表面の劣化状況を把握するために実施した針貫入試験の結果である。改良体周辺から 5mm 貫入した時点での貫入抵抗値は、q_u=3.65MPa に相当し，設計基準強度（0.26MPa）を遥かに上回っている。このことは、林ら[2)]が述べている改良体の養生時間の平方根に比例するとされる劣化領域（√30(年)≒55mm）と大きく異なっている。この要因として、本調査箇所の固化材添加量は 290kg/m³ と多く、含有しているカルシウムの絶対量が多いために、カルシウムの溶出による影響が限定的であったと思われる。

図 4 は改良体および改良体周辺の原地盤から採取した試料で計測した pH を示す。改良体内部では pH=11.5 前後であったのに対して、改良体近傍の原地盤では pH=8.5、8 と改良体から離れるに従って pH が低下していく傾向にあった。改良体周辺へのカルシウム分の溶出は限定的であったと推察される。

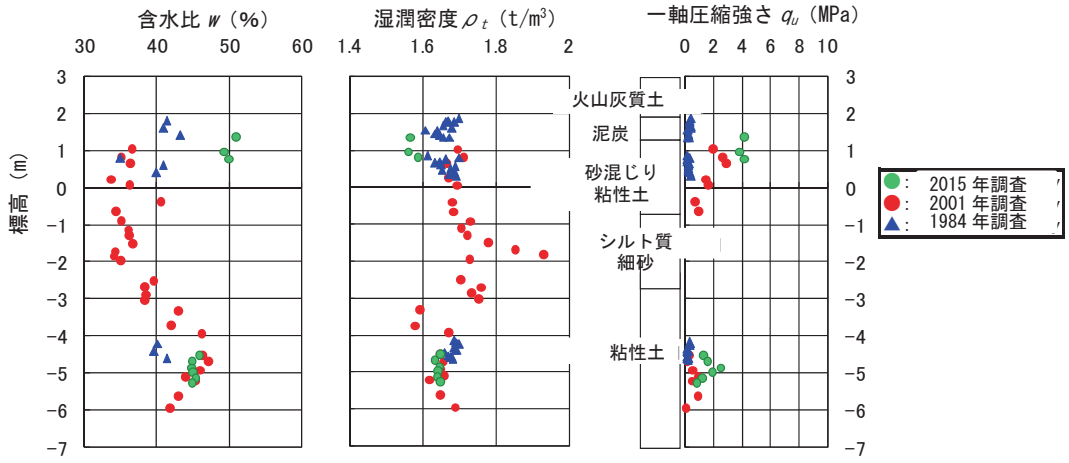


図 2　改良体の物理特性の経年変化

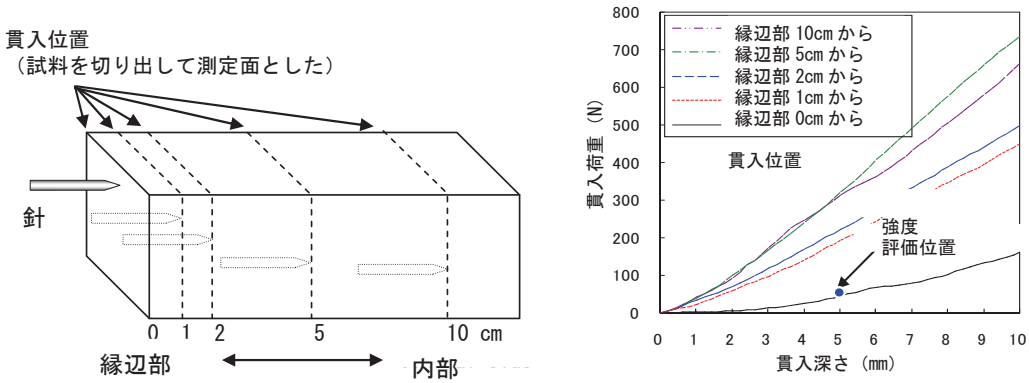


図３　針貫入試験の結果

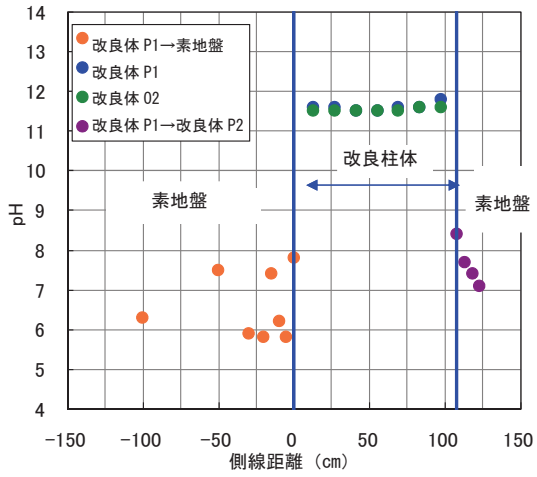


図４　改良体および改良体周辺から採取した試料の pH

4. おわりに

本調査は改良体の長期強度特性および改良体表面部の劣化状況を把握するために、深層混合処理工法で施工され 30 年経過した改良体を対象に強度試験、針貫入試験などを実施した。検証結果のまとめとして、以下が報告されている。

- 改良体の物理特性は経時的な変化がほとんど見られなかったが、改良体中心部の強度は施工後 30 年経過しても増加傾向にあった。
- 針貫入試験の結果、改良体周辺から 30mm 程度の範囲を除いて、強度は改良体中心部から改良体周辺に向かって増加傾向にあることがわかった。また、改良体周辺では強度低下が生じているが、周辺から 5mm 貫入した位置の推定強度は設計基準強度を大きく上回っていた。
- 本現場の劣化領域は、経過時間の平方根に比例するとされる劣化領域（$\sqrt{30}$(年)≒55mm）より遙かに小さかった。この理由として、改良体に内在する固化材添加量が多いために、カルシウムの絶対量も大きく、カルシウムの溶出による影響が限定的であ

ったと考えられる。

・ 改良体および改良体周辺地盤の pH はそれぞれ 11.5 と 8 程度であり、改良体周辺へのカルシウム分の溶出は限定的であると推察される。

【参考資料】

1） 橋本聖ほか：30 年経過した深層混合処理改良体の強度特性、材料 別冊 第 67 巻第 1 号、pp.47-52、2018

2） 林宏親ほか：セメント安定処理土の長期強度特性その2 －室内試験による検討－、北海道開発土木研究所月報 No.612 号 pp28～36、2004.

4.1.3　道路交差点部における路床安定処理工～青森県八戸市～

1. はじめに

青森県道の交差点部の道路工事において、現状路床の CBR が 3%未満であることが判明した。舗装構築の前に路床の支持力を確保するため、セメント系固化材を用いた路床安定処理が実施された。

2. 現状路床の CBR および設計 CBR の評価

3 つの工事区間から採取した試料土の土質性状と現状路床の CBR を**表 1** に示す。いずれの区間の CBR も 3%未満であったことから路床改良が必要となった。

表 1　試料土の土質性状と CBR

区間	含水比 （%）	湿潤密度 （g/cm³）	乾燥密度 （g/cm³）	現状路床の CBR （%）
1	53.5	1.651	1.076	0.2
2	32.4	1.845	1.394	0.3
3	39.1	1.732	1.245	0.8

3. 改良 CBR の決定

現状路床の CBR は、路床面以下の 100cm までの各層の CBR を用いて、**式 1** によって求められる。路床を安定処理した場合、その施工厚から 20cm 減じたものを有効な層として扱い、処理した層の下から 20cm は、安定処理した層の CBR と現状路床の CBR の平均値としている（**図 1**）。これに従い、**式 1** を計算すると、設計 CBR、現状 CBR、改良 CBR および改良深さには**式 2** の関係が得られる。現場条件から改良厚さは 71cm に決定され、これに応じた改良 CBR が各区間で求められた。

$$CBR_m = \left[\frac{h_1 \cdot {CBR_1}^{1/3} + h_2 \cdot {CBR_2}^{1/3} \cdots + h_n \cdot {CBR_n}^{1/3}}{100}\right]^3 \qquad \cdots\text{式 1}$$

ここに、CBR_m：m 地点の CBR

$CBR_1, CBR_2, \cdots CBR_n$：m 地点の各層の CBR

$h_1, h_2, \cdots h_n$：m 地点の各層の厚さ（cm）,$h_1 + h_2 \cdots h_n = 100$

$$CBR_m = \left[\frac{(t-20) \cdot {CBR_s}^{1/3} + \left(1/2 \cdot (CBR_s + CBR_0)\right)^{1/3} + (100-t) \cdot {CBR_0}^{1/3}}{100}\right]^3 \qquad \cdots\text{式 2}$$

ここに、CBR_m：設計 CBR

CBR_s：改良層の CBR

CBR_0：現状路床の CBR

t：改良厚さ（cm）

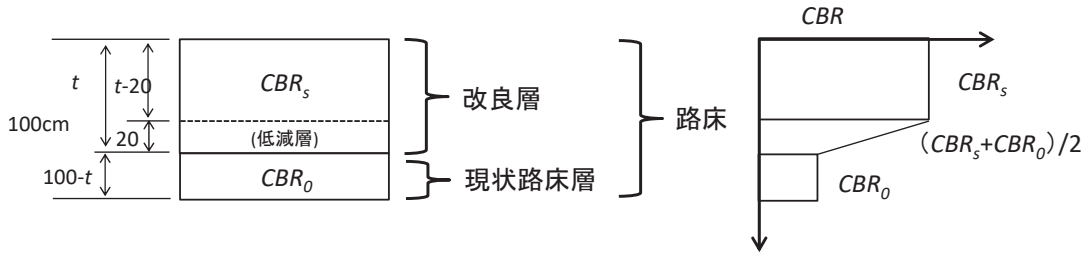


図１　改良した路床の平均 CBR

4. 地盤改良の仕様

式２により各区間の改良 **CBR** が**表２**のとおり決定された。地盤改良の仕様を整理すると、**表３**のとおりである。施工状況を**写真１**と**写真２**に示す。

表２　改良 CBR の計算結果

区間	現状路床の CBR (%)	設計 CBR (%)	改良厚さ (cm)	改良 CBR の目標値 (%)
1	0.2	4	71	9.5
2	0.3			9.0
3	0.8			7.5

表３　地盤改良の仕様

項　目	仕　様
工法	路床安定処理工（バックホウ混合）
対象土	砂質土、粘性土
改良深さ　(m)	0.71
目標強度	改良 CBR＝7.5、9.0、9.5%
固化材の種類	汎用固化材
固化材添加量　(kg/m^3)	85.4 または 119
添加方法	粉体添加

写真１　混合状況

写真２　転圧状況

5. おわりに

青森県道の交差点部の道路工事において、現状路床の支持力が不足していたため、セメント系固化材による路床安定処理が実施された。施工終了後に、現場 CBR が計測された結果、設計 CBR を満足していることが確認された。舗装工も適切に実施され、無事、供用が開始された。

4.1.4　高速道路盛土築造における深層混合処理工法による沈下・円弧滑り対策
～三陸沿岸道路歌津本吉道路～

1. はじめに

三陸地域は内陸部に比べ移動距離に対する所要時間が長いという問題をかかえており、これを改善するため、宮城県、岩手県および青森県の太平洋沿岸を結ぶ延長 359km の三陸沿岸道路の整備が進められている。また、宮城県内の区間については、東日本大震災からの早期復興を目指した復興道路に位置づけられており、平時、非常時にかかわらず、重要な役割を担っている。

三陸沿岸道路の整備効果として、まず挙げられるのが移動時間の短縮である。八戸から仙台の移動時間が 8 時間から 5 時間と、3 時間程度の短縮が見込まれている（**図 1**）。これに付随して救急医療施設への搬送時間が短縮され、迅速な救命救助活動が可能となり、また、物流の効率化に伴う水産物などの品質向上や災害時にも寸断しない強靭な道路の確保といった効果も期待されている。

三陸沿岸道路の一区間である歌津本吉道路（**図 2**）の建設において、当該地盤に軟弱な箇所が存在することが判明し盛土の安定性が懸念されたため、セメント系固化材を用いた地盤改良が実施された [1)]。

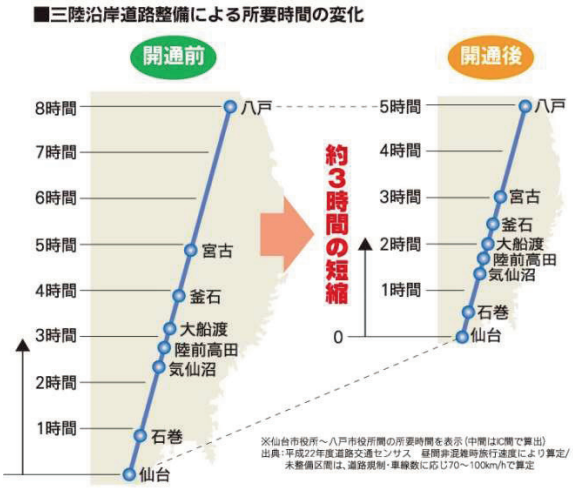


図 1　三陸沿岸道路の整備効果

図 2　歌津本吉道路の位置

2. 地盤条件

地盤条件の一例を**図 3** に示す。本地盤は、津谷川の沖積平野に位置し、沖積層が 5～20m の厚さで分布する。沖積層を構成する土質は、粘性土、砂質土および砂礫層である。特に軟弱な沖積層は、表層の粘性土（Ac1、Ac2、Ac3）と砂質土（As1、As2、As3）であり、3～5m 程度の厚さで分布し、Ac1、Ac2、As1、As2 は N 値が 1～2 と軟弱である。上部砂礫（Ag1）の上下に粘性土と砂質土があり、下部砂礫（Ag2）が沖積層の基底層をなす。

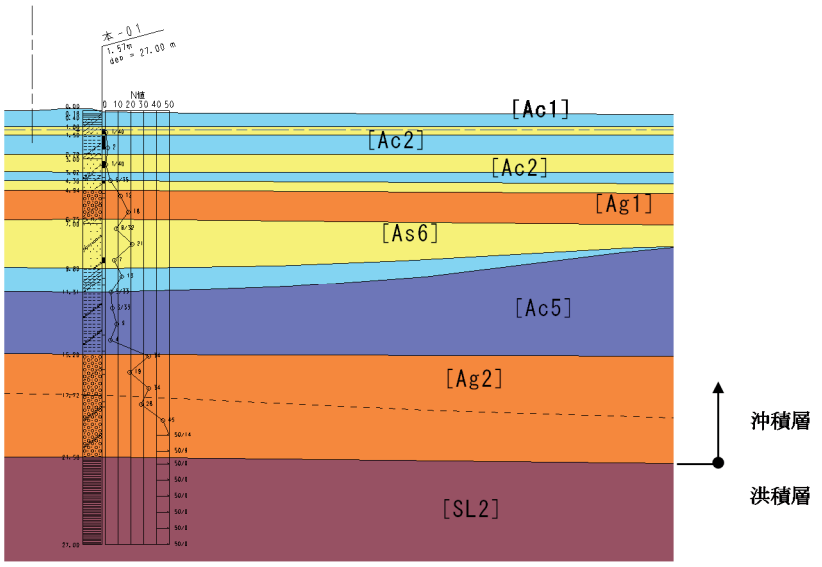


図 3　地盤条件の一例

3. 軟弱地盤対策および高盛土の安定に関する方針

道路土工構造物技術基準（国土交通省通知（平成 27 年 3 月））で要求される性能（**表 1**）を満足するように、道路土工指針（斜面安定工・軟弱地盤対策工など）に従い、軟弱地盤対策やすべり安定対策が設計された。対象工事は、高規格の自動車専用道路であり、交通が寸断された場合の社会的影響が大きいと想定されることから、本路線の重要度は、「重要度 1」と設定された。

盛土の設計は、①常時に対する基礎地盤の沈下、②常時・レベル 1 地震動およびレベル 2 地震動に対する盛土の安定　について行われ、以下の要求性能を満足する設計が行われた。

表 1　盛土の要求性能 [2)]

想定する作用 ＼ 重要度		重要度 1	重要度 2
常時の作用		性能 1	性能 1
降雨の作用		性能 1	性能 1
地震動の作用	レベル 1 地震動	性能 1	性能 2
	レベル 2 地震動	性能 2	性能 3

性能 1：想定する作用によって盛土としても健全性を損なわない性能
性能 2：想定する作用による損傷が限定的なものに留まり、盛土としての機能回復が速やかに行い得る性能
性能 3：想定する作用による損傷が盛土として致命的とならない性能

重要度 1：万一損傷すると交通機能に著しい影響を与える場合、あるいは、隣接する施設に重大な影響を与える場合
重要度 2：上記以外の場合

（1）沈下対策

圧密沈下量は最大で 1.36m と予測されたが、砂質土の即時沈下が主であるため、緩速載荷によるプレロードなどの沈下対策は不要となった。

（2）盛土の安定

現地盤について、盛土の安定解析が行われた結果、常時およびレベル 1 地震時に対して、斜面のすべり安定は満足しなかった（**表 2**）。すべり対策として、各地点の軟弱層の性状を勘案して、深層混合処理工法、浅層混合処理工法および敷き網工法が選定された。

レベル 2 地震動に対しては、「道路土工 盛土工指針」によると、十分な排水処理と入念な締固めを前提にレベル 1 地震動に対する照査を行えば、レベル 2 地震動の照査を省略してもよい[3)] との規定がある。道路土工構造物技術基準においても、具体的な設計手法などについては今後の道路土工指針の改定に委ねていることから、先進的な取り組みとして、法尻部分を道路切土で発生した良質土を活用して補強がなされた。

表 2　現地盤の安定解析結果の一例

断面		常時 必要安全率：1.2		レベル 1 地震時 必要安全率：1.0				対策工の要否
				水平震度考慮		過剰間隙水圧考慮		
1	左	0.918	NG	0.785	NG	0.868	NG	対策が必要
	右	0.899	NG	0.744	NG	0.828	NG	

（3）深層混合処理工法の仕様

深層混合処理工法により盛土の安定性が確保された区間の改良断面を**図 4** に、地盤改良の仕様を**表 3** に示す。

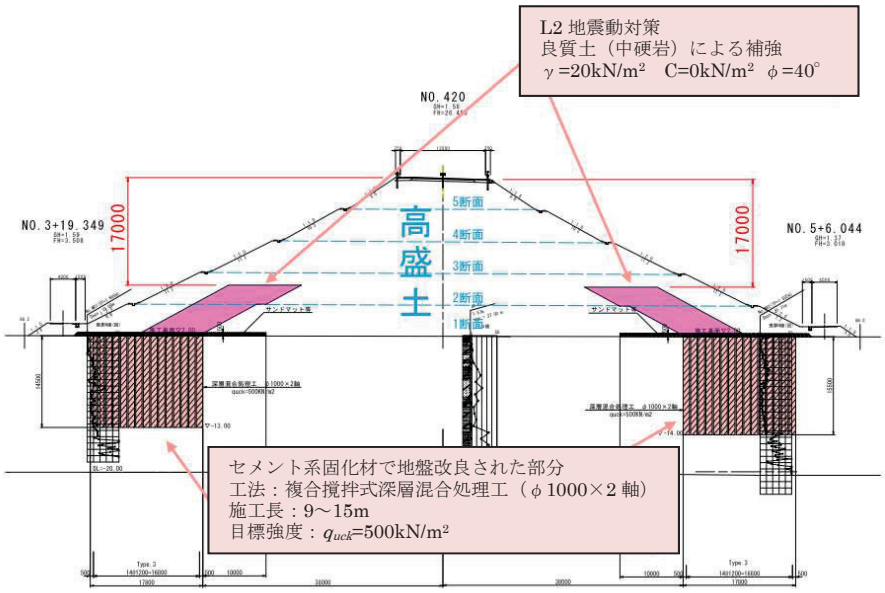


図 4　改良断面

表 3　地盤改良の仕様

項　目	仕　様
工法	深層混合処理工法
改良面積　（m^2）	9900
改良長　（m）	9.0～15.5
改良率　（%）	59.5
改良径　（mm）	1000×2 軸
改良本数　（本）	8064
目標強度　（kN/m^2）	q_{uck}=500
固化材の種類	汎用固化材
固化材添加量　（kg/m^3）	150
添加方法	スラリー添加（W/C=100%）

写真 1　施工の状況 1

写真 2　施工の状況 2

写真 3　改良体の出来形

写真 4　施工場所の全景

4. おわりに

道路網の整備における高盛土の安定性を向上させるため、セメント系固化材による地盤改良が実施された。事業は継続中であり、盛土工事の完成は平成 30 年度内を目途とされている。

【参考資料】

1)　国土交通省東北地方整備局仙台河川国道事務所 提供

2)　（公社）日本道路協会：道路土工 盛土工指針（平成 22 年度版）,p.85

3)　（公社）日本道路協会：道路土工 盛土工指針（平成 22 年度版）,p.121

4.1.5　盛土の円弧滑り対策に適用された浅層混合処理工～東海環状自動車道～

1. はじめに

東海環状自動車道は、愛知県、岐阜県、三重県の 3 県にまたがる延長約 160km の高規格幹線道路である。中京圏の放射状道路ネットワークを環状に結び、広域ネットワークを構築することで、企業活動の向上、物流の効率化、観光活性化などの様々な社会資本のストック効果が発揮されている。現在、東回り区間を中心に約 80km が開通しており、残る西回り区間においても、早い開通を目指して事業が進められている [1)]。

本節では、本自動車道のインターチェンジ（IC）の整備において、盛土の円弧滑り対策を目的とした浅層改良工事と、建設残土の活用を目的とした盛土改良工事について紹介する。

図 1　東海環状自動車の概要 [1)]

2. 地盤改良の仕様

地盤改良の平面図を**図 2** に示す。地盤改良は浅層改良と盛土改良の 2 種類に分けられる。浅層改良は盛土の円弧滑り対策のため、盛土改良は建設発生土を固化処理して、盛土材料に活用するために実施された。

2.1 浅層改良

当該地は揖斐川扇状地の末端に位置し、砂礫層上位にあるシルト層の層厚が変化している。このシルト層が盛土の円弧滑りに影響する。浅層改良の地盤改良の仕様を**表 1** に、改良断面を**図 3** に示す。また、浅層改良の状況を**写真 1**、**写真 2** に示す。1 層あたりの改良深さ（**図 2** 参照）は最大 1.0m であり、掘削、仮置きと数回に分けて施工がなされた。

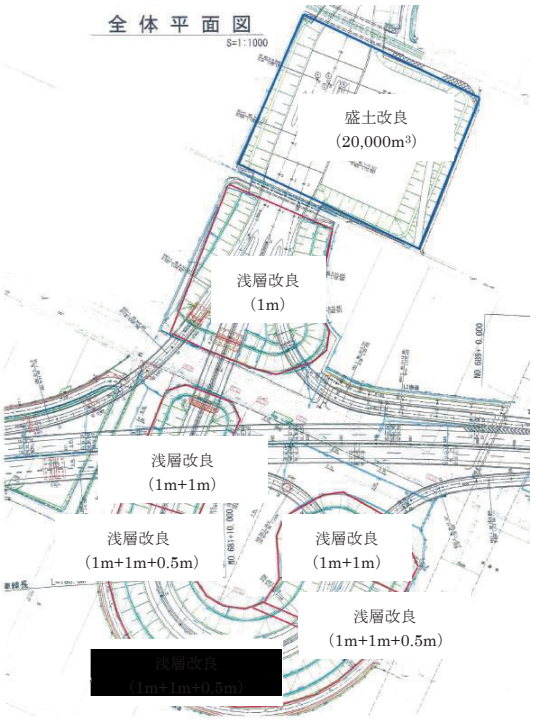


図 2　地盤改良の平面図

表 1　地盤改良の仕様（浅層改良）

項　目	仕　様
工　法	浅層混合処理工法
改良深さ　（m）	1.0～2.5 （スタビライザ：1 層あたり 0.5～1.0m）
目標強度　（kN/m²）	120（一軸圧縮強さ）
固化材の種類	汎用固化材
固化材添加量　（kg/m³）	60～125 程度
添加方法	粉体混合

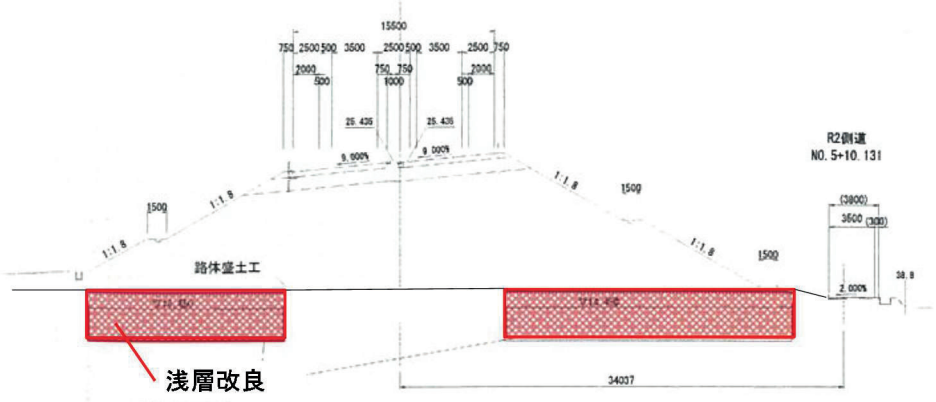


図 3　改良断面図（浅層改良）

写真１　浅層改良の状況（下層）

写真２　浅層改良の状況（上層）

2.2　盛土改良

盛土改良の地盤改良の仕様を**表 2** に、改良断面を**図 4** に示す。また、盛土改良の状況を**写真 3** および**写真 4** に示す。盛土材料には第 4 種建設発生土を固化処理した第 3 種改良土が用いられた。盛土構築の前に沈下対策としてサンドコンパクションパイルが施工されたのち、建設発生土が敷均らされ、スタビライザで混合、転圧（改良厚さ 1.0m）がなされた。

通常は密度管理が一般的であるが、本現場についてはコーン指数による強度管理が適用された。これは様々な建設残土を活用したことから、施工箇所によって締固め性状が異なり、締固め度での管理が煩雑となるためである。

表 2　地盤改良の仕様（盛土改良）

項　目	仕　様
工　法	浅層混合処理工法
改良厚さ　（m）	1.0m
目標強度　（kN/m²）	400（コーン指数）※第 3 種改良土以上
固化材の種類	汎用固化材
固化材添加量　（kg/m³）	50
添加方法	粉体混合

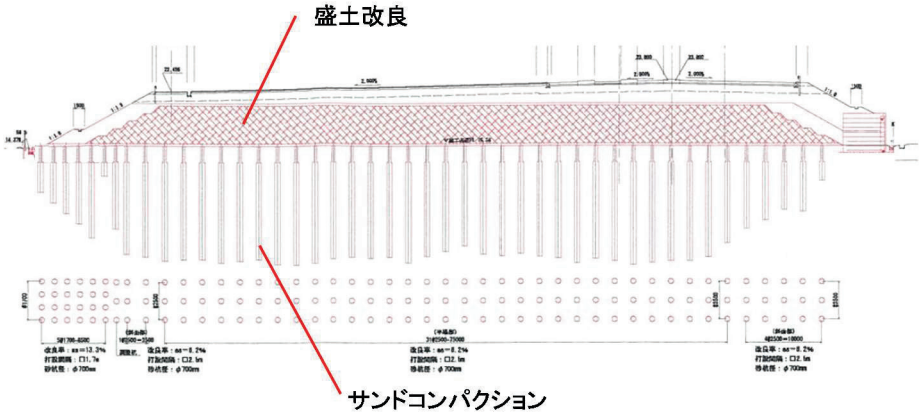


図 4　改良断面図（盛土改良）

写真３　建設残土の敷均し状況

写真４　混合状況（盛土改良）

3. 施工管理および品質管理

施工場所は米や柿の産地であり、また近くに幹線道路があるため、セメント系固化材の飛散による影響が懸念された。該当現場は、固化材を現場で湿潤化する移動式プラントを使用して防塵対策が実施された。

施工後、現場において試料採取がなされ、一軸圧縮試験によって品質管理が実施された。所定の強度を満足していることが確認された（**表 3**）。

表 3　一軸圧縮試験結果の一例（浅層改良）

測点	改良土の含水比 (%)	材齢 7 日 (kN/m^2)	現場目標強度 (kN/m^2)
1	30.22	415	120
2	19.61	513	
3	21.63	343	
4	33.49	407	
5	27.65	220	
6	31.00	263	
7	34.20	153	
8	33.66	251	

4. おわりに

東海環状自動車道の IC 整備において、セメント系固化材を用いた地盤改良が適用され、予定どおり地盤改良工が完了した。

【参考資料】

1）　国土交通省中部地方整備局岐阜国道事務所ホームページ
http://www.cbr.mlit.go.jp/gifu/works/tokaikanjo01.html

4.1.6　道路拡幅工事に伴う高圧噴射撹拌工法による盛土の沈下抑制対策

～鳥取西道路松原第３改良工事～

1. はじめに

鳥取県を東西に結ぶ唯一の主要幹線道である国道 9 号は、朝夕および観光シーズンに深刻な交通渋滞が発生している。また、この区間は代わりとなる道路がないため、大きな事故や災害等の発生時には、日常生活はもとより、地域の経済活動に多大な支障をきたしている。

鳥取西道路は、緊急時の代替路線の確保、現道の渋滞緩和、観光、医療、物流活動を支援するとともに、山陰地方における高規格幹線道路網の一部を形成する路線で、広域交流の促進及び地域活性化に寄与する自動車専用道路である。

本道路工事のうち､鳥取西道路松原第３改良工事は吉岡温泉インターチェンジの工事で、工事内容は場所打ち杭を含む橋台 2 基、盛土、軽量盛土などである。**図 1** に鳥取西道路計画範囲を示す。

図 1　鳥取西道路計画範囲

2. 地盤改良の目的

本工事で計画された軽量盛土工は、軟弱な沖積粘性土上に施工する計画であり、既設のボックスカルバート上にも盛土する形状であった。このボックスカルバートの基礎地盤は深層混合処理工法にて地盤改良が施されており、盛土後も沈下の発生は無いものと考えられた。一方、軽量盛土の基礎地盤を無処理で盛土を行うと、沈下が発生する可能性が大きく、この沈下差により軽量盛土の破損が懸念された。このため、沈下抑制を目的とした地盤改良が実施された。**図 2** に地盤改良を計画した道路横断図、**図 3** に柱状図を示す。

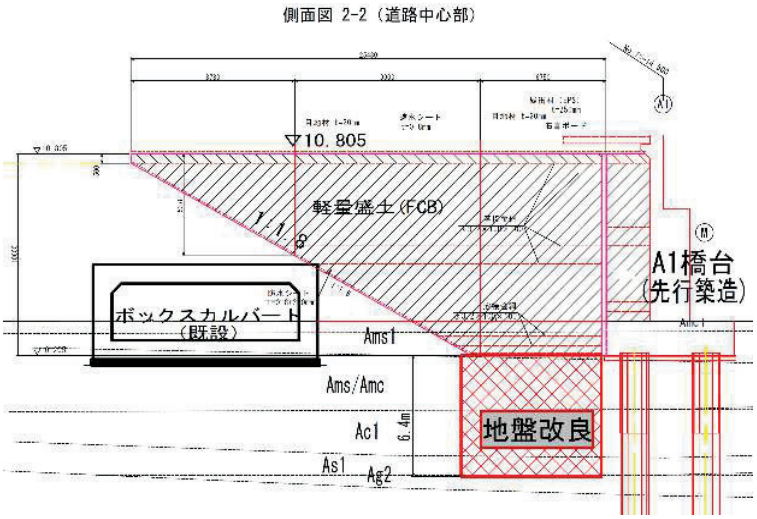


図２　道路横断図

図３　柱状図

3. 地盤改良工法の選定

地盤改良施工時には、工程上の理由により、既に A1 橋台が完成していた。

従来から採用されてきた固化材スラリーを地盤に混入して地盤を改良する工法では、地盤への固化材スラリーの供給に伴う体積増加が起因し、地盤の変位を発生させる可能性がある。従って、地盤改良施工による橋台の変位が懸念された。

また、背面側にもボックスカルバートが完成しており、狭隘な作業スペースでの施工が条件であった。本工事では、小規模な施工機械で、かつ施工時の地盤変位量を微小に抑えることが可能な低変位高圧噴射撹拌工法が採用された。

図 4 に低変位高圧噴射撹拌工法と従来工法の変位量計測比較の一例を示す。

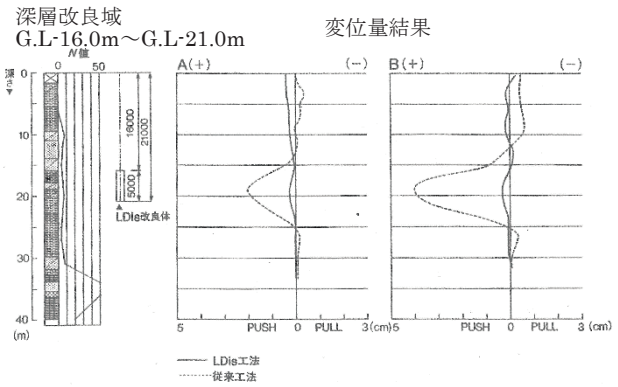


図４　低変位高圧噴射撹拌工法と従来工法の変位量計測比較の一例

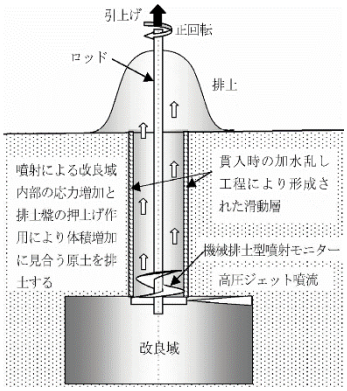


図５　低変位高圧噴射撹拌工法の排土原理

4. 低変位高圧噴射撹拌工法の概要

本工法は、固化材スラリーの供給量を必要最小限に抑えるとともに地盤改良時に原土の一部を地表に排土することにより、地盤への固化材スラリーの供給に伴う体積増加をできるだけ少なくして地盤変位を低減する地盤改良工法である。噴射状況を**写真 1** に示す。また、施工管理システムは施工中の深度・吐出圧力・吐出量・回転数等を総合的に管理でき、高い改良品質が確保できることを特徴としている。**図 5** に低変位高圧噴射撹拌工法の排土原理を示す。以下に本工法の特徴を示す。

① 大口径改良体の造成

超高圧大容量ポンプによる高圧ジェット撹拌と特殊ロッドヘッドによる機械撹拌の組み合わせにより、同一の作業工程で大口径の改良体が得られる。

②山留め壁等への密着施工

外周部が高圧ジェット噴流による撹拌のため、基礎杭、山留め壁などへの密着施工や改良体相互のラップ施工も容易であり、ヒービングの防止、K 値増加や先行地中梁として期待できる。

③水中施工

エアー噴射を伴う工法と異なり排出土に固化材スラリーの混入がほとんどないため、河川でも安心して使用できる。

写真１　噴射状況

④軽微な仮設

スライドベース（走行台車）を用いた移動のため、覆工足場を必要とせずに、H 鋼を利用した軽微な仮設で施工できる。

図 6　低変位高圧噴射撹拌工法の施工機械

⑤幅広い適用土質

緩い砂質土から軟弱粘性土、有機質土、腐植土層まで、あらゆる軟弱地盤の改良に適用でき、さらに高粘着力粘性土、中位の砂質土まで改良できる。

⑥完成された施工管理システム

集中管理室で、圧力・吐出量・回転数など施工に関するあらゆるデータがチェック・記録でき、施工管理が容易で確実である。

⑦安全確実な効果

信頼性の高い無機質のセメント系固化材を使用するため、長期的にも安定した効果が得られる。

図 6 に低変位高圧噴射撹拌工法の施工機械を、**図 7** に施工手順を示す。

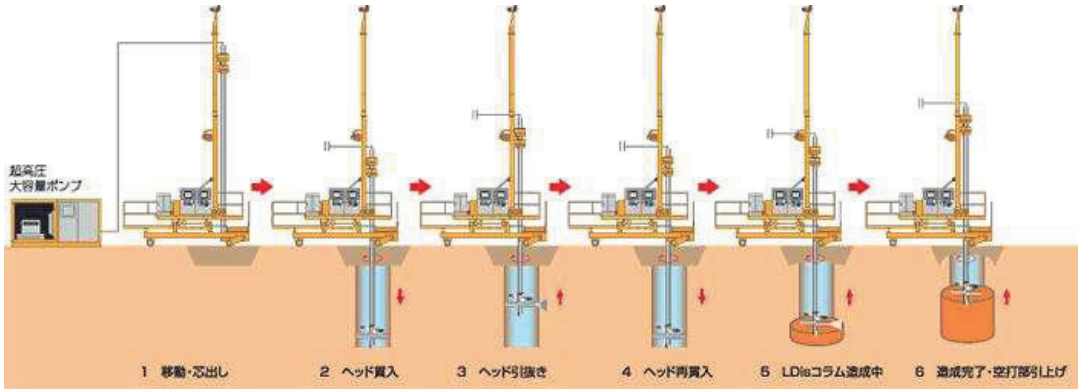


図 7　低変位高圧噴射撹拌工法の施工手順

5. 地盤改良の施工概要と効果

本工事での地盤改良の仕様を**表 1** に示す。

改良造成中は、橋台側面部に観測点を設け、許容変位量を±4mm とし、懸念される地盤改良施工による橋台の変位を 3 分毎に観測しつつ施工した。計測結果によると施工完了までほとんど変位は観測されず、満足な施工結果が得られた。また、施工後、改良体を採取するために行ったボーリングによるサンプリングでは、固結した良質なコアが確認でき、その改良体強度は設計値 q_{uf}= 110kN/m² を十分満足した。

地盤改良後に行われた軽量盛土の完成後も沈下や変状などは見られず、工事は無事完了した。改良地盤の平面図を**図 8** に示す。また、施工状況を**写真 2**、**写真 3** に、完成後の状況を**写真 4** に示す。

表１　地盤改良の仕様

項　目	仕　様
工法	低変位高圧噴射撹拌工法
対象土	粘性土
設計改良径　（m）	1.4
施工本数　（本）	50
削孔長　（m）	平均 8.24（総削孔長 411.9）
改良長　（m）	平均 5.74（総改良長 286.9）
目標強度　（kN/m^2）	q_{uf}= 110
固化材の種類	工法専用固化材
固化材添加量　（kg/m^3）	106

6. おわりに

本工事では既設構造物に囲まれた厳しい施工条件下であったが、本工法の特徴を十分発揮して、周辺地盤へ悪影響を与えずに要求品質を満足する施工が行われた。

鳥取西道路事業では、本工事以外の多くの場所で、セメント系固化材による地盤改良工法が採用されて施工が進んでおり、地盤改良はこの道路整備事業に大いに貢献している。

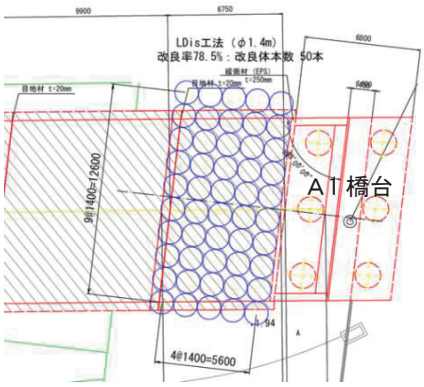


図８　改良地盤の平面図

写真２　施工状況

写真３　施工全景

写真４　完成後全景

【参考資料】

1）　国土交通省中国地方整備局鳥取河川国道事務所ホームページ：山陰道鳥取西道路～未来を創造する交通ネットワーク～

4.1.7　地域高規格道路における深層混合処理工法による盛土の安定・沈下対策

～有明海沿岸道路～

1. はじめに

大川佐賀道路は、福岡県大川市から佐賀県佐賀市に位置し、地域間の交流・連携を強化する有明海沿岸道路（地域高規格道路※1）の中の 1 つである。当該道路は、都市部とのアクセス強化により農産品の販路拡大などのストック効果を生み出し、有明海沿岸地域の更なる発展に寄与することが期待されている（**図 1**）。

大川佐賀道路のある県南地域は、有明粘土を主とした軟弱層が堆積しており、軟弱地盤対策が必要であった。本節では、当該道路で実施された試験盛土の施工概要について紹介する。

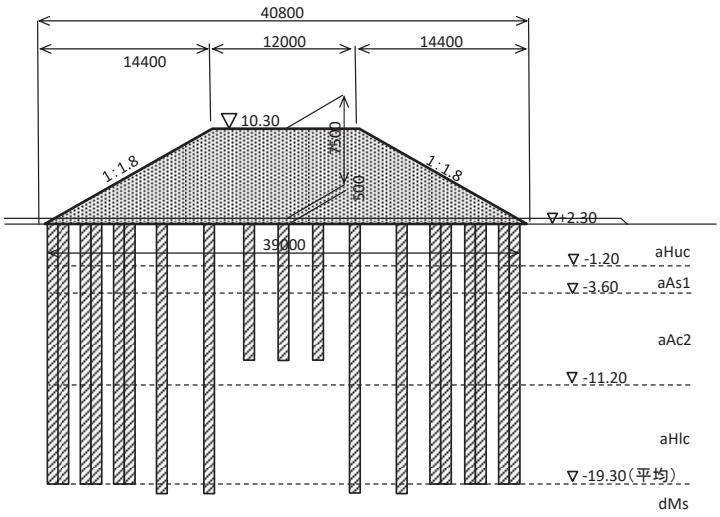
図 1　整備効果の一例 [1)]

※1　地域高規格道路

高規格幹線道路を補完し、地域の自立的発展や地域間の連携を支える道路として整備することが望ましい路線で、自動車専用道路もしくはこれと同等の規格を有し、概ね 60km/h 以上の走行サービスを提供できる道路

2. 地盤条件と地盤改良工法

当該地盤をボーリング調査した結果、有明粘土が主体の軟弱地盤が深度約 20m 存在（N 値：0～1 程度）していることが判明した。そこで、盛土の安定、並びに沈下抑制を目的とした軟弱地盤対策工を検証するため、セメント系固化材を用いた地盤改良の試験盛土が実施された。**図 2** に試験盛土の横断図を示す。試験盛土は改良長の異なる柱状改良体が造成（**写真 1**）され、その上に 8.0m の盛土がなされた。試験盛土では、沈下や間隙水圧などの動態観測が実施されている。試験盛土における軟弱地盤対策の仕様をまとめると**表 1** のとおりである。



地質年代	地層名	地層記号
完新世	蓮池層上部(粘性土)	aHuc
	有明粘土層(砂質土)	aAs1
	有明粘土層(粘性土)	aAc2
	蓮池層下部(砂質土)	aHlc
更新世	三田川層(砂質土)	dMs

図２　断面図

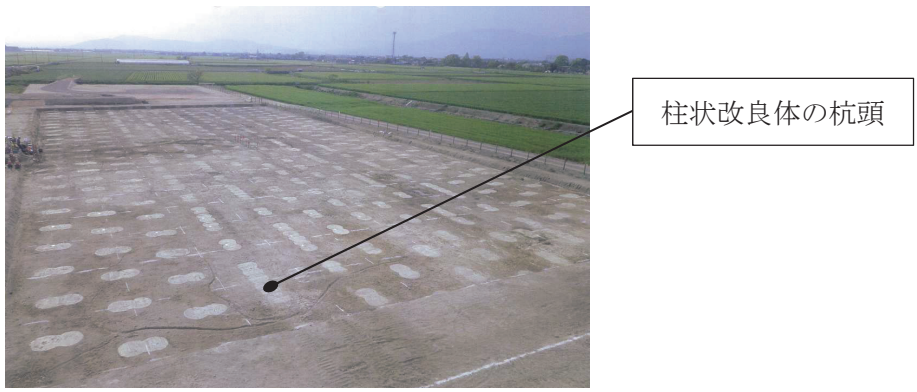


写真１　改良体の造成状況

表１　試験盛土における軟弱地盤対策の仕様

項　目	仕　様
工　法	深層混合処理工法
改良面積　（m^2）	3,215
改良深さ　（m）	最大で 20m 程度
改良率　（%）	16%程度
改良径　（mm）	1000×2 軸（200mm ラップ）
設計改良強度(材齢 28 日)　（kN/m^2）	1000
固化材の種類	高炉セメント B 種
固化材添加量　（kg/m^3）	153
添加方法	スラリー添加（W/C＝80%）

3. おわりに

有明海沿岸道路の大川佐賀道路における軟弱地盤対策を検証するため、セメント系固化材を用いた試験盛土の施工が実施された。今後、沈下や間隙水圧などの動態観測結果から、当該対策の適用性が検証される予定である。

写真２　試験盛土の完成状況

【参考資料】

1）国土交通省九州地方整備局佐賀国道事務所：有明海沿岸道路大川佐賀道路パンフレット

4.1.8　橋台の側方移動抑止に適用された大深度深層混合処理工～熊本県熊本市～

1. はじめに

熊本市と宇土市に架かる橋長 800m の緑川大橋（仮称）（**写真 1**、**図 1**）は、平成 23 年度に着工され、橋台建設工事に先駆けて①橋台の側方移動防止対策工事、②背面盛土の沈下抑制・安定対策工事、③橋台下部工工事が同時期に開始された。当該地区は緑川の河口に位置する島原湾の干拓地である。そのため、緑川上流から運ばれてきた粘土も影響して深さ約 40m の軟弱層を形成しており、緑川大橋 A1 橋台の側方移動防止を目的とした地盤改良工が行われた。

本工事は、最大打設長 L=41.9m（改良径φ2.0m）の大規模施工であるため、大口径籠式複合相対回転撹拌工法[1)]（以下、本工法と記す）にて継ぎ施工が行われた。なお、施工当時では前例のない大深度施工であった。

写真 1　施工箇所

図 1　　路線計画

2. 土質条件

改良対象の土層構成は**図 2** に示すとおり GL-10m 程度までは主に砂質土層(As2)が堆積しており、その下層 10m～40m までは第二粘性土層(Ac2-1、Ac2-2)から成る。第二粘性土層の下部においては N 値 0～2 と低い N 値を示しているが、**表 1** に示すとおり着底層付近では、土と固化材スラリーの撹拌が困難な c =90kN/m² 程度の高い粘着力を有している土質であった。また、改良目的からは、第二粘性土層にある良質砂質土（As3）への着底が求められていた。

表 1　地盤定数一覧

土層名		土質区分	記号	単位体積重量 γt (kN/m3)	粘着力 c (kN/m2)	内部摩擦角 φ (°)	変形係数 E (MN/m2)	備考
第一粘性土層		粘性土	Ac1	14.5	12.0	-	1.5	
上部砂質土層		砂質土	As2	17.5	1.3	36.9	2.0	
第二粘性土層	上部	粘性土	Ac2-1	16.5	30.0	-	3.5	
	下部		Ac2-2	15.0	30+2.0z	-	3.5+0.57z	z基準：T.P-10m
礫質土層		礫質土	Dg	20.0	-	-	-	

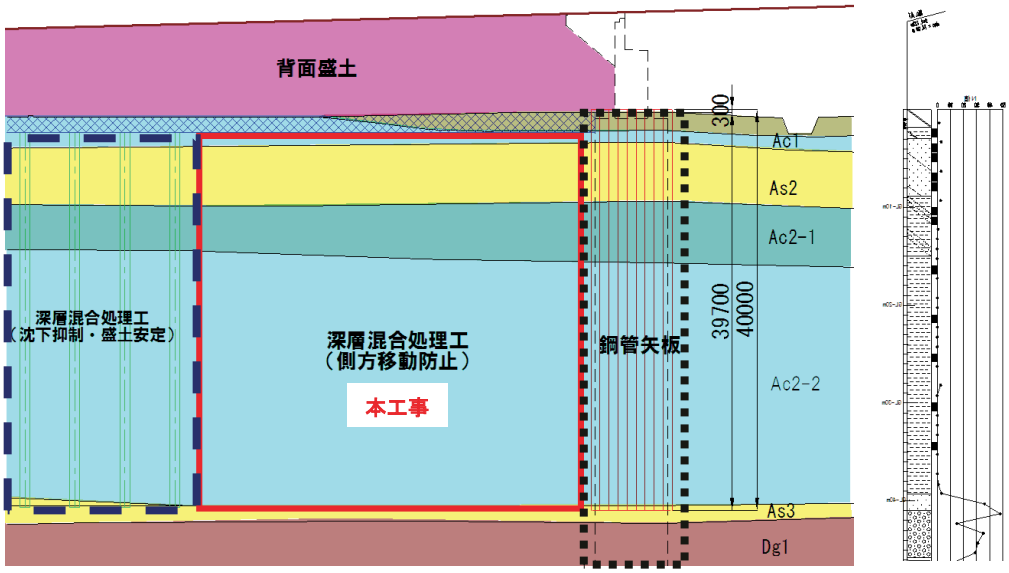


図２　土質構成

3. 施工仕様

（1）改良仕様

当該現場では、大深度施工のためロッド継ぎ切り作業が必要となるため、作業手順などを作成して施工性・安全性の高い方法で実施した。継ぎ切りは現地盤より 19m 貫入した位置で実施した（**写真 2**）。

改良体配置は側方移動対策を目的とした場合、「橋台の側方移動対策ガイドライン」[2)] などでは接円配置が一般的であるが、当該現場では有識者委員会で検討の結果、経済性を考慮した格子状配置が採用された。改良体配置平面図を**図 3** に示し、地盤改良の仕様を**表 2** に示す。

写真２　継切り状況

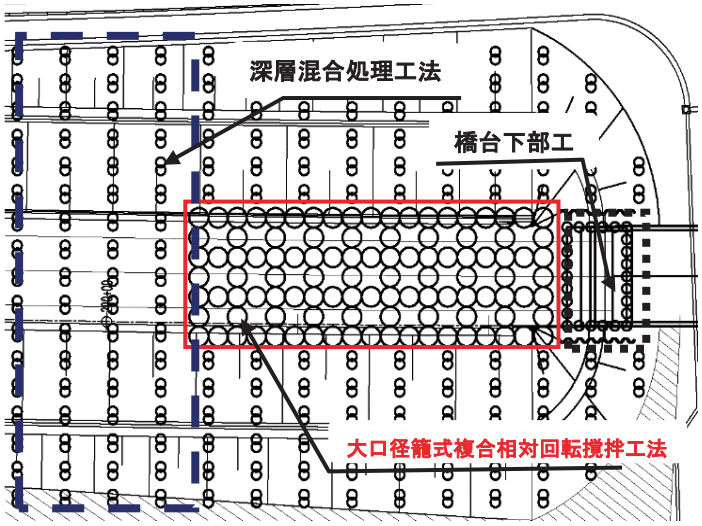


図３　改良体配置平面図

表２　地盤改良の仕様

項　目	仕　様
工　法	大口径籠式複合相対回転撹拌工法
対象土	粘性土
改良径　（m）	2.0
改良本数　（本）	106
掘 削 長　（m）	41.12（総掘削長 4,358.72）
改 良 長　（m）	38.66（総改良長 4,099.02）
設計基準強度　（kN/m^2）	500
固化材の種類	高炉セメント B 種
固化材添加量　（kg/m^3）	110
添加方法	スラリー添加（W/C＝100%）

（2）機械仕様

当該現場では 1 プラント 1 マシン編成で行った。ベースマシンは 170 t 級の大型施工機（三点杭打機）を使用し、アースオーガについては、高粘着力粘土層の改良があるため、トルク能力の高い強化仕様とした。

また、軟弱地盤上での施工のため、乗り込み前に重機足場としての安定検討を行い、別途､固化材を用いたスラリー式による表層改良工事を実施し､1.0m の改良地盤を造成した。

4. 施工

（1）着底管理

本施工に先立ち、着底層の確認と着底管理基準を定める目的で、事前調査ボーリング位置と同位置にて試験施工を実施した。その際、深度 35m～40m 付近の高粘着力粘土層では電流値 180A 程度の高い値を示した。しかし、直下の砂質土層では、更に高い 200A 以上が確認されたことから、その深度を着底層と定めた。また、当現場では砂質土層への確実な着底を行うため、監督員との協議の上、着底層に対して 30cm 以上の根入れを行うことを着底管理基準として取り決めて本施工を実施した。

（2）施工サイクル

本工事は他の隣接工区と比較して工程が多少遅れていたため工期短縮を求められていた。しかし、本工法の作業手順において、当現場は大深度施工のためロッド継切り施工が必要となり、工事工程に大きな影響を与えると考えられた。そのため、九州地区における本工法での継切り施工が初めてであることを考慮して、熟練工を派遣して、入念な事前検討及び施工手順書を作成して、現場作業員との間で周知徹底を行い施工した。

（3）障害物施工

本現場の改良範囲の中で橋台背面直近部の数箇所にて**写真 3** に示す転石が深度 3m～6m に埋まっていることが施工時に判明した。バックホウにて事前の試掘を試みたが小礫から最大でφ1.0m 程度の巨礫が複数混在していることが確認された。そこで、完全掘削除去を試みたが、重機足場が乱されてその復旧に時間とコストが発生すること、クラムなどでの掘削では大掛かりな土留め工が必要となることなどから工程的にも困難であると判断された。

写真 3　地中障害物

そのため、一部の礫は地中に残したままでの障害物施工となった。しかし、本工法を用いたため、障害物層を貫入するのに多少の時間を費やしたものの、事前除去の効果もあって、貫入不能となることは 1 本もなく、所定の深度まで貫入することができた。また、撹拌翼の大規模修繕や交換が必要となるような損傷もなく無事施工することができた。

（4）高粘着力地盤に対する供回り防止策

事前調査より判明していた最下層部の高粘着力粘土層（Ac2-2 下層：c=90kN/m²）については、固化材スラリーとの撹拌混合精度にムラが生じて品質不良を起こす可能性があることが想定され、試験施工時に確認した際も供回り等による改良ムラが生じた。

そこで、当該工事では、撹拌混合時間を通常より多くするなどの品質向上対策を実施した。

5. 品質管理

（1）採取コア

品質管理は、4 ヵ所でオールコア採取を行った。代表的な杭 No1（-35.9m～-40.9m）の採取コアを**写真 4** に示す。採取時には改良体下端より余分に 1.0m の原土採取を行い、改良体の着底確認のために、その下層の N 値も計測して硬質性を確認した。

実線は改良部のコア、破線は着底層と判断した砂層である。改良部は良好なコアが確認され、その下層には硬質地盤が確認された。

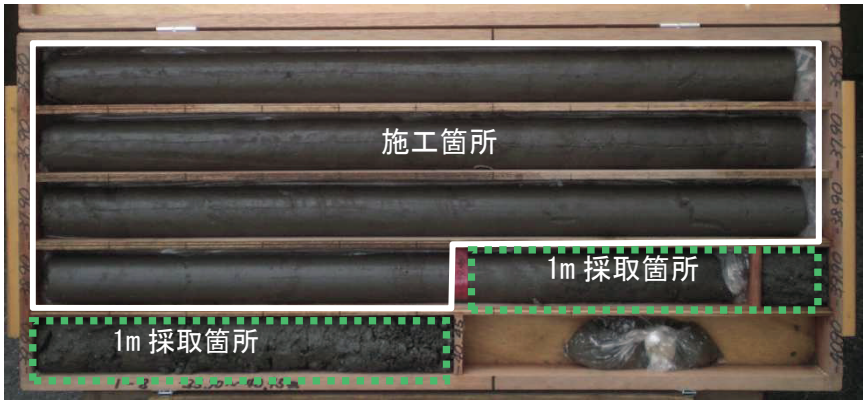


写真 4　採取コア

（2）強度試験結果

表 3 に 4 か所で実施した一軸圧縮試験結果を示す。**図 4** に各層の一軸圧縮強さ結果と深度及び N 値との関係図を示す。一軸圧縮試験は As2、Ac2-1、Ac2-2（上・下）の計 4 層にて試験を行った。下層の高粘着粘性土層（Ac2-2 下）は他の層に比べ発現強度が小さい結果となった。ただし、事前の配合試験でも同様の傾向が確認されており、バラつきも少なく目標強度以上の良好な結果が得られた。

表 3　一軸圧縮試験結果

（単位：kN/m²）

対象土	杭番（No.）				平均値	目標強度
	1	42	73	101		
As2	2073	2074	1587	2416	2038	500
Ac2-1	2700	2634	2638	3563	2884	
Ac2-2 上	1795	2246	1888	2328	2064	
Ac2-2 下	970	1327	1196	1520	1253	

平均値：2060、最大値：3563、最小値：970

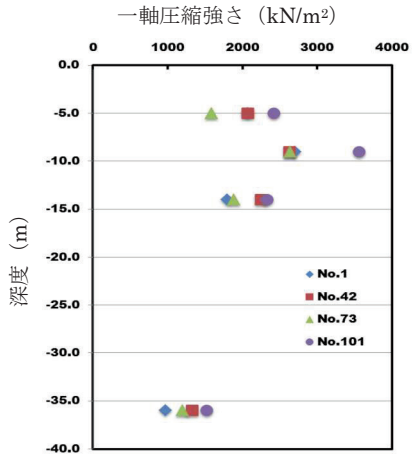


図 4　各層の一軸圧縮試験結果

（3）出来形確認

当現場では、任意に指定された区画を掘削して、改良体の頭部を直接確認して出来形確認を実施した。改良体の出来形を**写真 5** に示す。当現場には表層部に障害物（転石）があったものの、杭位置、改良径ともに設計値を満足する良好な出来形が確認できた。

写真 5　出来形写真

6. おわりに

今回の施工は、改良径φ2.0m、最大打設長 41.9m で継切り後の打設長も長く、かつ予想されていなかった障害物が点在した。しかし、本工法の特徴を生かし、施工方法の工夫改善を行うことで、大口径、大深度、高粘着力粘土層の地盤でも施工可能であることが確認された。今後は、更なる大深度、大口径施工のニーズも増えてきており、様々な条件での地盤改良の施工事例として参考になると考える。

【参考資料】

1）　エポコラム-Loto 研究会：平成 28 年 8 月　設計・施工マニュアル　エポコラム工法—Loto 工法、Taf 工法、Pls 工法—

2）　土木研究所：橋台の側方移動対策ガイドライン策定に関する検討（その 2）、2010 年 6 月土木研究所資料第 4174 号、p.45

4.1.9　重力式擁壁の支持に適用された深層混合処理工～鹿児島県川内隈之城道路～

1. はじめに

南九州西回り自動車道は、「第四次全国総合開発計画（昭和 62 年 6 月 30 日閣議決定）」で 21 世紀に向け多極分散型の国土を形成するために必要とされた、全国 14,000km の高規格幹線道路網の一環として計画された道路である。本自動車道は、熊本県八代市を起点に、水俣市・薩摩川内市などを経由して鹿児島市に至る延長 140km の一般国道の自動車専用道路であり、沿線各都市間の連絡速度の向上等により九州南西部の地域経済の活性化に貢献すべく、整備が進められている。

南九州西回り自動車道の一区間である川内隈之城道路（L=10.2km）は、平成 27 年 3 月に供用が開始され、主な効果として、①北薩地域へのアクセス向上、②災害時の避難路や緊急輸送道路としての代替機能などが期待されている。

本節では本自動車道の整備において、セメント系固化材による地盤改良が採用された区間の工事概要について紹介する[1)]。

図 1　南九州西回り自動車道の位置図（平成 29 年 12 月）

2. 地盤条件と地盤改良工法

整備区間の一部において、道路部と民家が近接する地域があった。通常よりも道路法面が急傾斜となることから、土圧に抵抗できる重力式擁壁が計画されたが、当該地盤の粘性土では支持力不足による沈下が懸念されることから、セメント系固化材による地盤改良が実施された。横断図を**図 2** に、平面図を**図 3** に示す。地盤改良の仕様をまとめると**表 1** のとおりである。また、道路部と民家が近接して、施工面積が小さいことから、小型の施工機が用いられた。

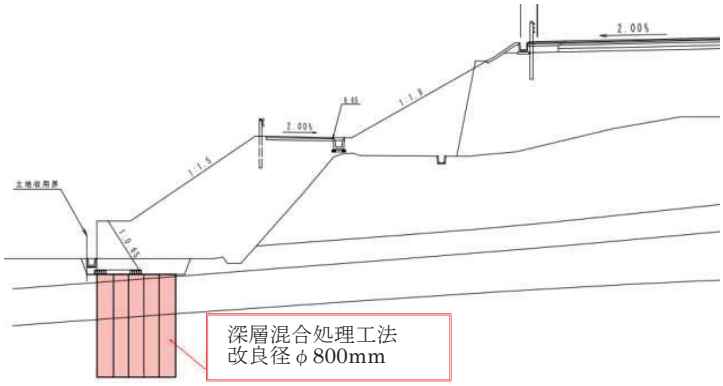


図２　横断図の一例

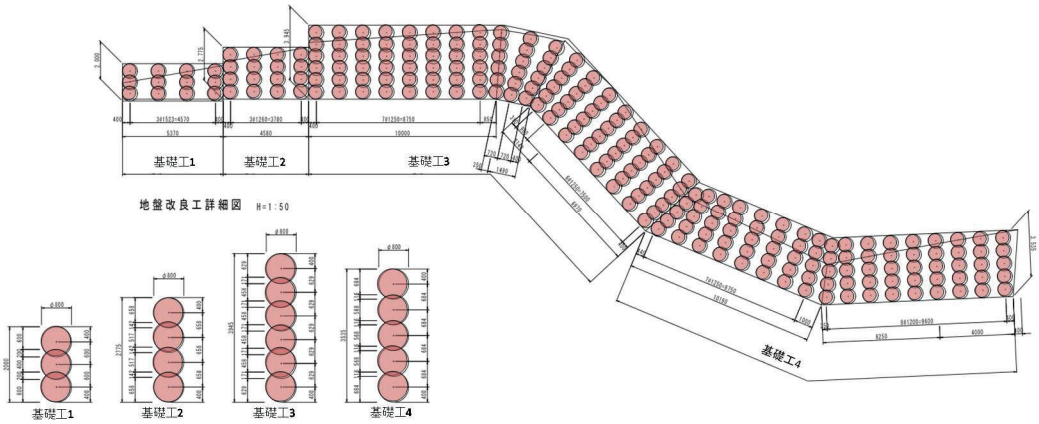


図３　平面図の一例

表１　地盤改良の仕様

項　目	仕　様
工　法	深層混合処理工法
改良面積　（m^2）	3700
改良長　（m）	2.5～4.6
改良本数　（本）	227
改良径　（mm）	800
目標強度　（kN/m^2）	F_c=1300
固化材の種類	汎用固化材
固化材添加量　（kg/m^3）	400
添加方法	スラリー添加（W/C=80%）

写真１　地盤改良の状況１

写真２　地盤改良の状況２

写真３　改良体の出来形

3. おわりに

九州西南部の地域経済の活性化、災害時などにおける信頼性のあるネットワークの形成において、南九州西回り自動車道の貢献は大きい。高規格幹線道路網のような重要な社会インフラの整備においても、セメント系固化材による地盤改良が活用されることが期待される。

写真４　供用中の写真

【参考資料】

1)　国土交通省九州地方整備局鹿児島国道事務所 提供

4.2　治水事業における地盤改良工事

4.2.1　盛土の沈下抑制対策に適用された深層混合処理工～石狩川河川改修～

1. はじめに

近年、全国各地で大雨等による洪水被害が多発しており、洪水時の水位上昇を抑制することが、洪水被害対策として期待されている。本工事は、石狩川より背水の影響を大きく受ける千歳川流域の治水対策として、晩翠地区遊水地を流域 4 市 2 町の千歳川本支川に分散して整備する周囲堤工事である。晩翠地区の下部地盤は、非常に軟弱な泥炭やシルト層が堆積しており、支持力が不十分で沈下が予想された。

本節では、すりつけ部の沈下抑制対策として採用された中圧噴射撹拌工法を用いた地盤改良工事について紹介する。

2. 地盤改良工事の概要

添加量の決定にあたり、室内配合試験及び試験施工を実施した。それぞれの試験で得られた添加量を**表 1** に示す。室内配合試験で得られた添加量よりも、試験施工による添加量が多くなる結果となった。本現場においては、試験施工の結果を採用した。地盤改良の仕様を**表 2** に、地盤改良平面図を**図 1**、地盤改良断面図を**図 2** に示す。

表 1　試験結果（固化材添加量）

土層	室内配合試験（kg/m³）	試験施工（kg/m³）
Ap	145	159
Ac1	134	157
Ac2	98	114

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）	1200		
改良本数　（本）	268		
改良率　（%）	50.0		
改良深さ　（m）	14.80～17.50		
目標強度（材齢 28 日）　（kN/m²）	300		
固化材の種類	汎用固化材		
固化材添加量　（kg/m³）	Ap	Ac1	Ac2
	159	157	114
添加方法	スラリー添加（W/C＝100%）		

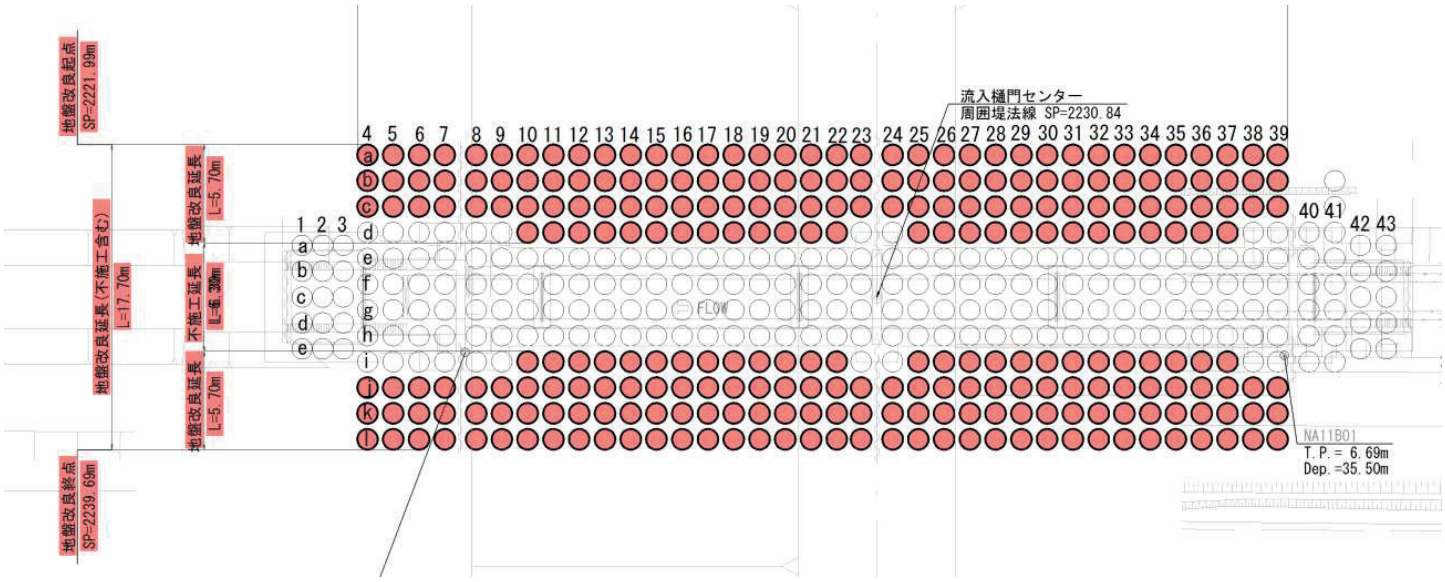


図１　地盤改良平面図

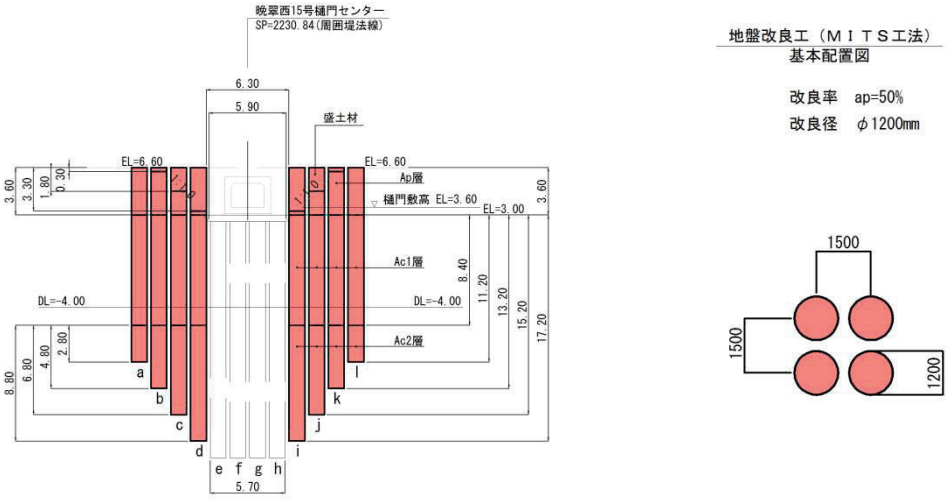


図２　地盤改良断面図

3. 本施工

試験施工で設定された添加量で本施工を実施した。施工状況を**写真 1**、**写真 2** に示す。

写真 1　施工状況

写真 2　管理モニター

4. 品質管理試験

施工後の品質管理は一軸圧縮試験で行われ、所定の強度を満足していることが確認された（**表 3**）。サンプリングしたコアの状態を**写真 3** に、カットした試験用供試体を**写真 4** に示す。

表 3　一軸圧縮試験結果（材齢 28 日）

土質区分	一軸圧縮強さ q_u (kN/m²)		設計基準強度 (kN/m²)	判定
Ap	1	359	300	○
	2	334	300	○
Ac1	3	378	300	○
	4	342	300	○
	5	387	300	○
	6	338	300	○
	7	375	300	○
	8	332	300	○
Ac2	9	397	300	○
	10	386	300	○
	11	365	300	○
	12	337	300	○
	13	436	300	○
	14	377	300	○
	15	356	300	○
	16	354	300	○
	17	360	300	○
	18	427	300	○
	19	399	300	○

写真３　コアの状態

写真４　試験用供試体

5. おわりに

周囲堤の盛土工事に際し、すりつけ部の沈下抑制対策として実施された中圧噴射撹拌工法による超軟弱地盤の改良は、品質管理試験の結果、良好であったことが確認された。今後も、様々な気候変動により洪水被害が多発することが懸念されるため、河川改修工事においてもセメント系固化材を用いた地盤改良が期待される。

4.2.2　高圧噴射撹拌深層混合処理工法による船着場の耐震補強対策

～東京都江東区荒川河口～

1. はじめに

大規模災害時に復旧に必要となる資機材・救援物資の運搬や、帰宅困難者の輸送など重要な機能を担う施設として、緊急船着場の整備が進められている。新砂船着場地盤改良（H24）工事は、岸壁型の構造形式で荒川河口に位置するリバーステーション（緊急船着場）の耐震化を図る目的で地盤改良した工事である。本節では、護岸前面の河川域地盤に、セメント系固化材による超高圧噴射深層混合処理工法の施工により、耐震補強（液状化およびすべりの防止）した事例について紹介する。

図 1 にリバーステーション整備計画、**図 2** に地盤改良を行った新砂船着場位置を示す。

図 1　リバーステーション整備計画

（荒川下流河川事務所　平成 25 年度事業概要）

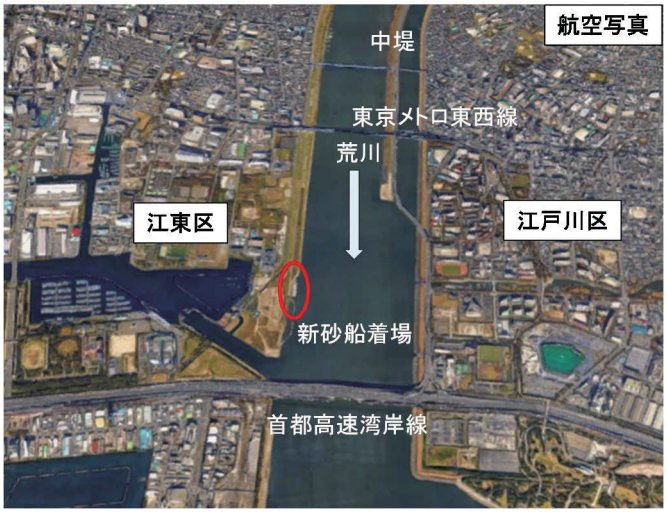


図 2　新砂船着場位置

2　工事概要

本工事は新砂船着場の既設護岸前面の液状化しやすい砂質地盤、および軟弱な粘性土を格子状配置で、AP－26.03m まで改良する計画である。この際、護岸の既設改良体と密着させ一体化することで更なる耐震性の向上を図る。また、格子配置では改良体同士をラップさせ一体性の高い改良体の造成が要求され、機械撹拌と高圧噴射撹拌をハイブリッド化した超高圧噴射深層混合処理工法が採用された。

図 3 に高圧噴射併用機械撹拌のラップ施工の断面、平面図を示す。

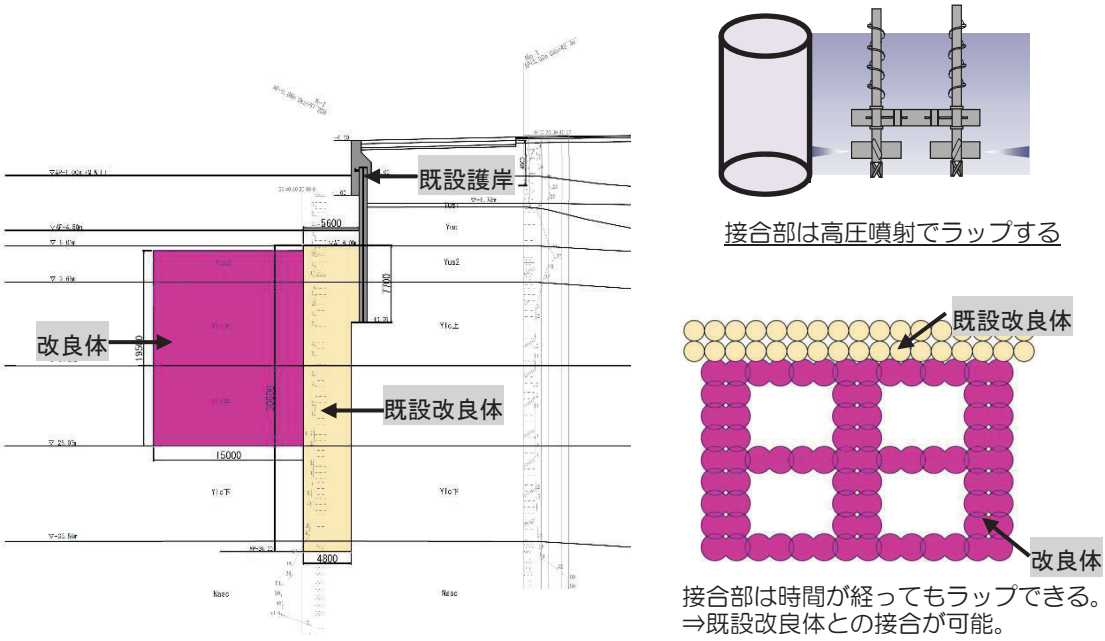


図 3　高圧噴射併用機械撹拌のラップ施工

（1）改良仕様

地盤改良の仕様を**表 1** に、配置平面図を**図 4** に示す。

表 1　地盤改良の仕様

項　目	仕　様
工　法	超高圧噴射深層混合処理工法
対象土	粘性土
改良直径　（mm）	1900
改良本数　（本）	208
改良率　（%）	50
改良深さ　（m）	19.5
改良延長　（m）	4056
目標強度　（kN/m^2）	1000
固化材の種類	工法専用固化材
固化材添加量　（kg/m^3）	164
添加方法	スラリー添加（W/C=100%）

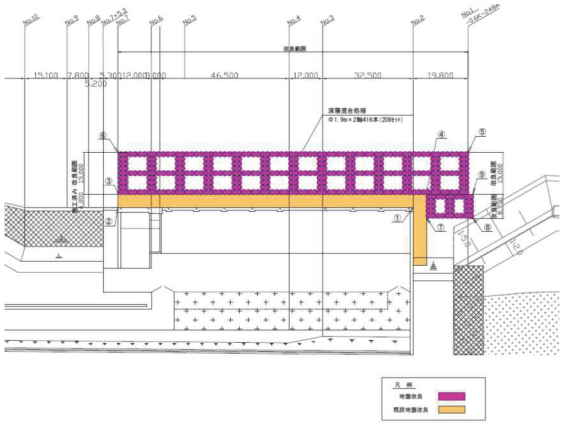


図４　配置平面図

(2) 施工手順

施工手順を以下に示す（**図5**）。**写真1**に超高圧噴射深層混合処理工法の施工状況を示す。

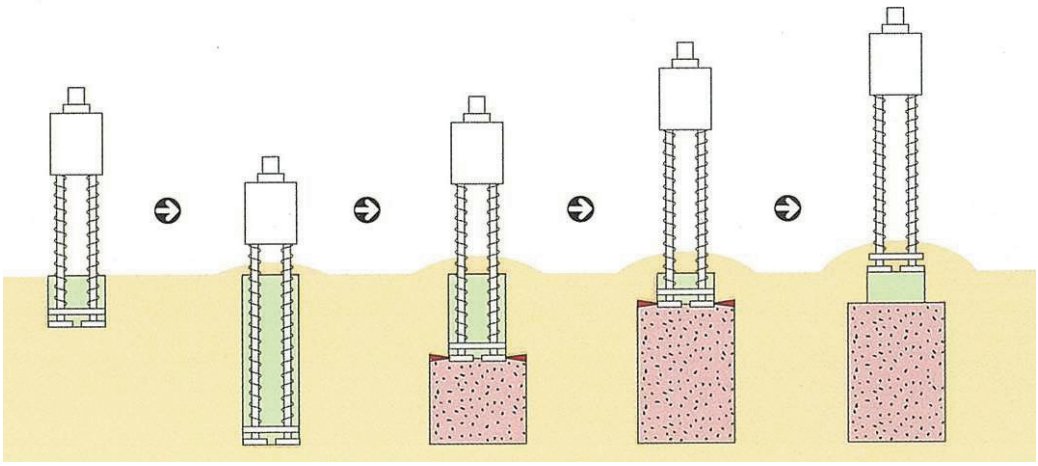
① 所定の杭芯に施工機をセットし、リーダーの鉛直性を確認し、0 セットを行う。

② 撹拌装置を正転回転させながら、所定の改良深度下端まで貫入する。

③ 撹拌装置を正転回転（もしくは逆回転）させ、改良を開始し、同時に排土を行う。

④ 計画改良天端まで改良した後、天端処理を行なう。

⑤ 天端処理完了後、空打ち部（水中含む）を引抜き、打設完了とする。



①移動・芯出　　②貫入　　③改良・排土　　④天端処理　　⑤改良完了・空打引抜き

図５　施工手順図

写真１　施工状況

（3）品質管理

地盤改良が終了したのち、コアボーリングで採取した供試体を用いて一軸圧縮試験を実施された。**表 2** に品質管理試験結果を示すとおり、いずれも目標強度を満足した。**写真 2** にコアボーリングの施工状況を示す。

表２　コア供試体の一軸圧縮強さ

採取位置		E-2	E-17	N-39
材齢		28 日	28 日	19 日
目標強度(kN/m²)		1000	1000	1000
一軸圧縮強さ (kN/m²)	上部	2299	2344	1898
	中部	2305	2158	1902
	下部	2337	2422	1925

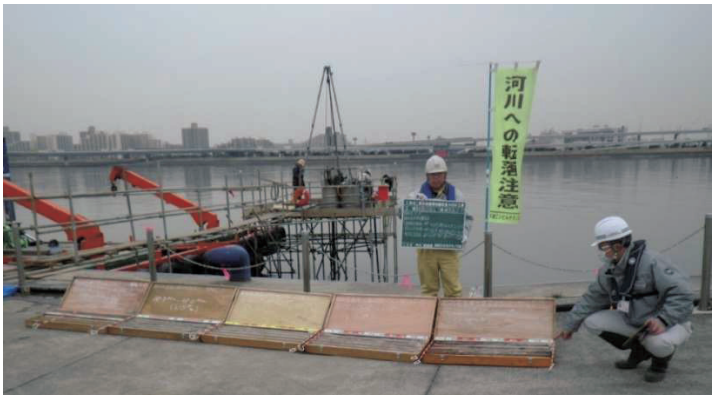


写真２　コアボーリング施工状況

3. おわりに

本工事は船着場の耐震性向上を目的に、地盤改良を行った事例である。地盤改良工法は、液状化防止をはじめ耐震化補強を図る上で必要性の高い施工法である。また、既設構造物と地盤改良との一体性を保つことは、既設構造物としての耐震性を図る上でも重要であり、超高圧噴射技術を応用した複合型の深層混合処理工法として、その特徴を大いに発揮する事ができた。

4.2.3　河床掘削で発生した浚渫土の改良工事～愛知県日光川～

1. はじめに

日光川は、源を江南市の北部に発し、木曽川と新川および五条川に囲まれた愛知県西部の低平地の排水を担い名古屋港の西部において伊勢湾に注ぐ、河川延長約 41km、流域面積約 300km² の県下最大の二級河川である。**写真 1** および**写真 2** に日光川下流域の現状を示す。また**図 1** に日光川流域図を示す。

流域の地形は、上下流での高低差がわずか約 20m の極めて流れのおだやかな河川である。特に昭和 40 年代に急速に進行した地盤沈下現象により、中下流域一帯は海抜ゼロメートルより低い地域となっており、河川への排水はポンプ排水を余儀なくされている。

本流域は、一宮市、津島市を始め 9 市 2 町 1 村からなり、名古屋市近郊で交通の便にも恵まれていることから都市化が急激に進行している。これに伴い、河川への流出量が増え、ますます豪雨時の川への負担が大きくなっており、さらなる治水安全度の向上が求められている。また、本流域は「東海地震に係る地震防災対策強化地域」および「東南海・南海地震防災対策推進地域」に指定されており、地盤の液状化が予測されることから、堤防などの治水施設の地震対策が急務となっているところでもある。

写真 1　ｾﾞﾛﾒｰﾄﾙ地帯を流れる日光川

写真 2　堤防耐震化工事の状況

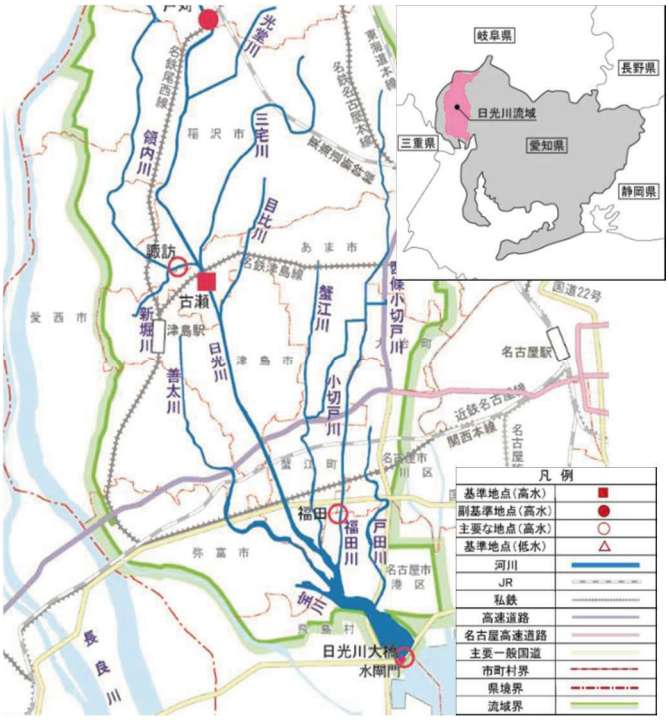


図 1　日光川流域図

2. 工事の特徴

本工事は、日光川の河川下流域に沈殿した泥土を河床掘削において浚渫し、河積を拡大させ、河川の流下能力を向上させることと、洪水時の水位を低下させて内水氾濫の軽減のために実施された。この含水比の高い浚渫土をそのまま運搬することは公衆衛生上問題があり、天日乾燥する広いヤードを必要としない固化材による浚渫土改良が計画された。

表 1 に浚渫土改良の仕様を、**図 2** に施工平面図を、**図 3** に標準断面図を示す。

表 1　浚渫土改良の仕様

項　目	仕　様
工　法	自走式プラント混合
改良量　（m^3）	8,700
工事延長　（m）	40
目標強度　（kN/m^2）	500（コーン指数）
固化材の種類	高有機質土用固化材
固化材添加量　（kg/m^3）	約 150
添加方法	粉体添加

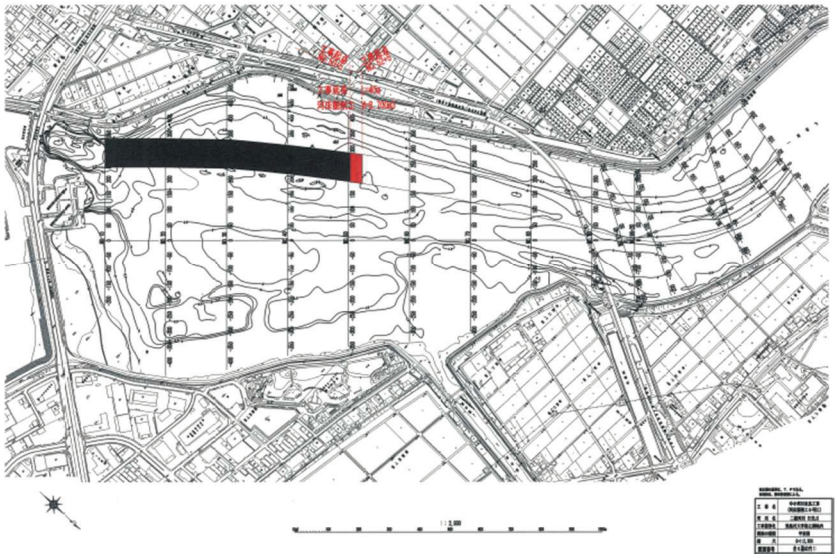


図 2　施工平面図

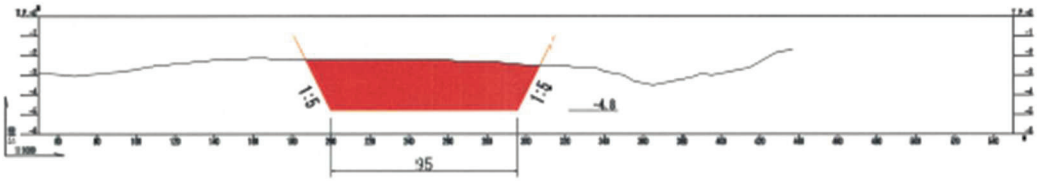


図 3　標準断面図

浚渫土（軟泥土）は、ダンプで運び出す前に陸上に設置したプラント処理設備を用いてセメント系固化材を添加・化学的処理を行い、所定の強度を持った改良浚渫土とした。**写真 3～写真 8** に浚渫土改良の施工状況を示す。これらの浚渫土は、埋め戻し材として再利用された。

写真 3　土運船と日光川

写真 4　浚渫土の仮置き場

写真 5　浚渫土プラント処理設備①

写真 6　浚渫土プラント処理設備②

写真 7　固化材を練混ぜ直後の改良土

写真 8　ダンプで搬送

3. おわりに

本水系では、江戸時代から本格的に始まった治水工事が、近代になると、大規模な治水工事が可能となり、大正 10 年の高潮被害を契機に築堤等を進め、その後も昭和 34 年の伊勢湾台風により甚大な被害を受け、河口締切堤防や水閘門等の治水整備を進めてきた。このような水害との闘いの歴史の中で積み重ねてきた治水施設の機能の維持を、今後も図る必要があるため、愛知県は日光川水系河川整備基本方針（2010 年 7 月）を策定した。ここで取り上げた河川改良工事は、この方針に基づく河川整備計画の一環である。

また、昨今問題となっている、南海トラフ沿いで発生する、数十年から百数十年に一度規模の大地震・津波（施設計画上の津波）に関する対策も検討されている。例えば、河川津波対策として、日光川水閘門等により防御することが挙げられる。さらに、河川堤防が地震により沈下し、地震直後の平常の河川水や、復旧期における小規模な洪水が堤防を越流して発生する被害を防ぐことを目標とし、堤防、水門等の耐震・液状化対策工事を行うなど必要な方策を継続して実施されている。

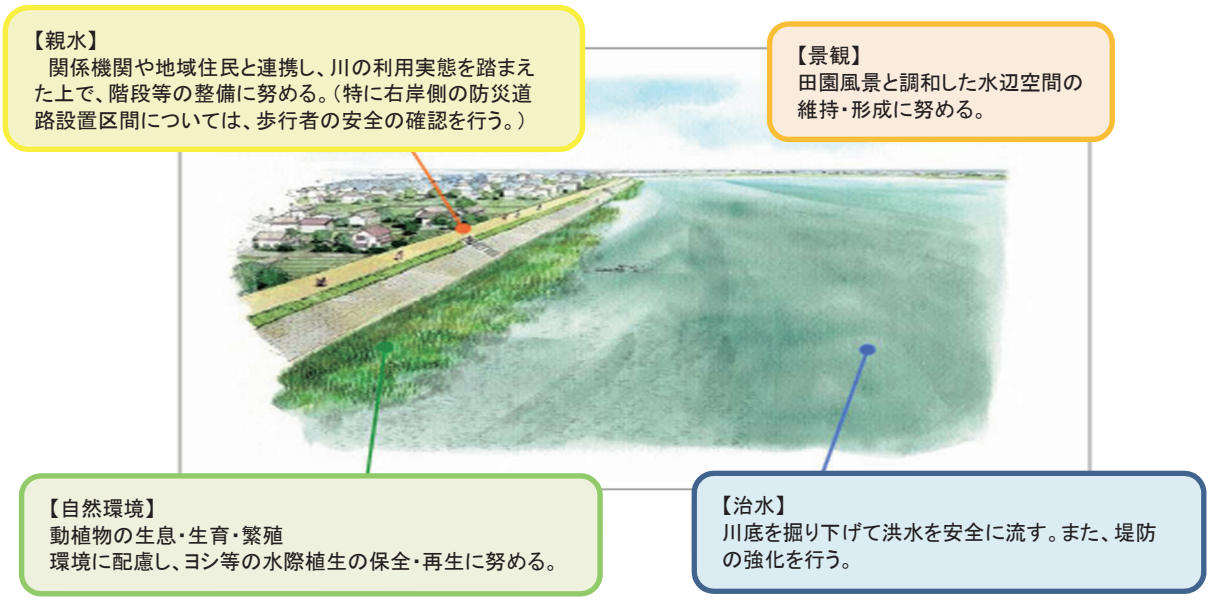


図 4　日光川下流域のイメージ

4.2.4　雨水ポンプ場の整備における基礎改良工事～福岡県～

1. はじめに

福岡市では過去の浸水被害を受け，平成12年度より「雨水整備Doプラン」を実施している。本工事はその該当工事であり，箱崎地区の浸水安全度の向上を目的とした雨水ポンプ場を整備するものである。

2. 地質調査

本現場は福岡市東区箱崎ふ頭内にあり、福岡平野北西部に位置する。周辺には丘陵地、台地および低地が分布し、博多湾に面した埋立地である。

ボーリング調査の結果、その地層は埋土層（B1,B2)、沖積層（As1、Ac1、Ac2、As2)、洪積層（Ds、Dg)、堆積岩（ww-T、w-T）からなることがわかった。地質推定断面図を**図1**に示す。

液状化の検討を行った結果、埋土層（B1,B2）、沖積下位粘性土層(Ac2)、沖積下位砂層(As2)において液状化の可能性があることが判明した。

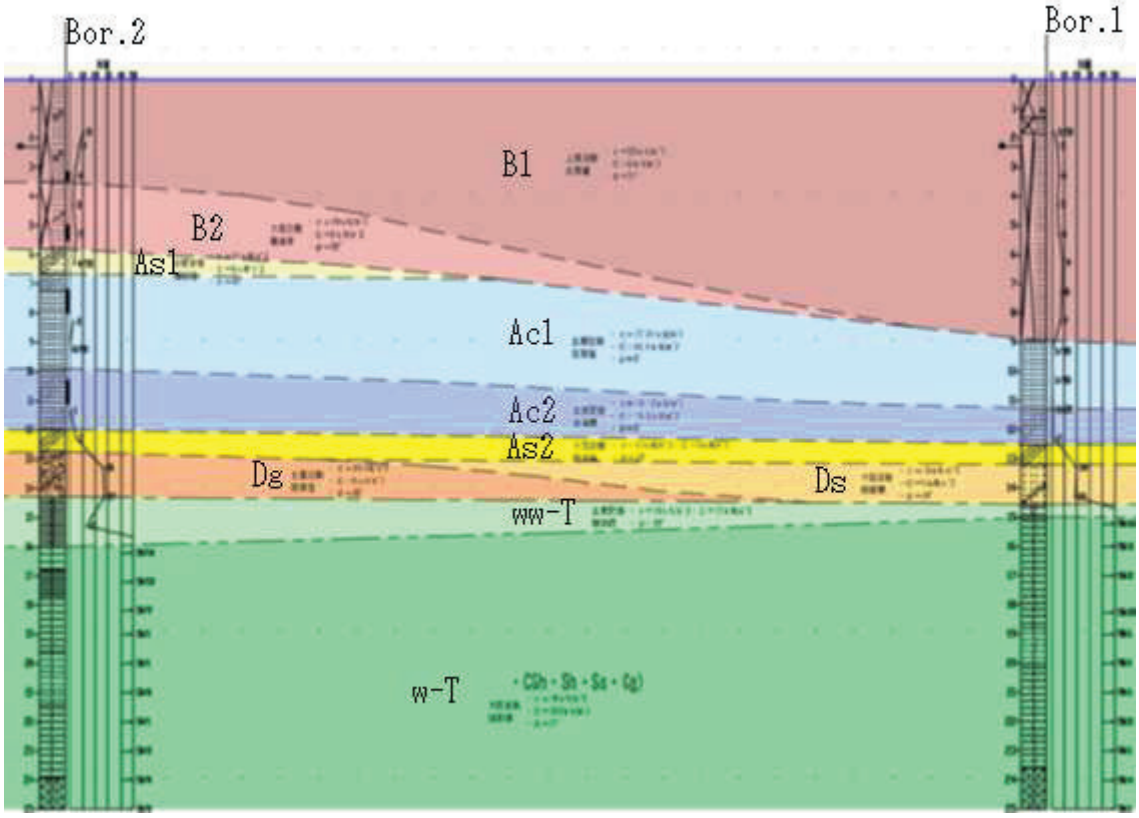


図1　地質推定断面図

3. 地盤改良

本工事の基礎には検討の結果、地盤改良工法併用の直接基礎が採用された。地盤改良工法の選定においては、

・空掘部が深いこと

・本ポンプ場は、約300kN/m²の接地圧のため、高強度の改良体が必要であること

・周辺地山や構造物に与える影響が少ないこと

以上を勘案し、空堀部を縮小径（850mm）、改良部を拡大径（設計仕様径）のように施工中に地中で撹拌径を変えることのできる深層混合処理工法が採用された。地盤改良の仕様を**表 1**、撹拌翼の縮小径及び拡大径を**写真 1**、**2** に示す。

表 1　地盤改良の仕様

項　目	仕　様			
工　法	深層混合処理工法			
対象土	粘性土、砂			
改良径　（mm）	2000			
改良本数　（本）	350	18	10	6
空掘長　（m）	10.80	5.70	6.00	2.36
改良長　（m）	2.50	7.60	7.30	10.94
目標強度（材齢 28 日）　（kN/m²）	1100	700	650	550
固化材の種類	高炉セメント B 種			
固化材添加量　（kg/m³）	290	160	150	130
添加方法	スラリー添加（W/C＝100%）			

写真 1　撹拌翼の縮小径（空堀部）

写真 2　撹拌翼の拡大径（改良部）

本工法は、①空掘部分の排土量が従来のストレート型の改良工法に比べ 1/4 に低減出来、非常に経済的なこと、②空堀部は水掘りで行うため、掘削時にバックホウで容易に対応でき、ブレーカを余り必要としない等の点で非常に大きなメリットがあった。

施工後は、ボーリングコアにて一軸圧縮試験により強度確認を行い、十分満足する結果が得られた。**表 2** に一軸圧縮試験結果を示す。

表 2　一軸圧縮試験結果（材齢 28 日）

施工箇所		目標強度	一軸圧縮強さ（kN/m²）		
場所	杭番号	（kN/m²）	上	中	下
流入渠	No.359	700	3824	4824	3270
燃料貯油槽	No.356	550	4417	3140	6016
ポンプ場	No.138	1100	3018	3494	5382
ポンプ場	No.182	1100	3385	4989	5950
ポンプ場	No.300	1100	4883	4933	5839

4. おわりに

地盤改良はすでに完了し、ポンプ場本体の工事が進められている。本ポンプ場の排水能力 21.8m³/s は浸水対策として地域住民の安全に大きく貢献することが期待される。

図 2　箱崎ポンプ場完成イメージ図

4.3　交通拠点における地盤改良工事

4.3.1　連続式泥土処理工法による浚渫土砂の改良～茨城港（日立港区）第 3 ふ頭～

1. はじめに

茨城港（日立港区）は、茨城県日立市みなと町に位置し第 1～5 ふ頭を擁し、県の重要港湾として機能している。本港は、石油製品や石炭、コークス、タルク、カオリン、蛍石などの工業素材原料、首都圏向けの生鮮食品や生乳等、輸出入車両や非鉄金属等が取り扱われている。

このうち、第 3 ふ頭に関しては、増大する完成自動車取扱（輸出）の効率化を図るため新たな岸壁の新設、ふ頭用地の確保が計画された。**写真 1** は第 3 ふ頭埋立前の海域を示したものである [1]。新設する岸壁は-12m と計画され、航路・泊地が確保されるためには約 40 万 m^3 の浚渫が必要となった。この発生浚渫土の大半を有効利用するため、第 3 ふ頭に必要な埋立材および盛土材へのリサイクル材として活用する案が計画された。

写真 1　第 3 ふ頭計画地（着工前）

2. 埋立・盛土に関する基本的な考え方

各工区の概要と発生浚渫土の土質性状を**表 1** に示す。発生浚渫土は、粘性土および粘土混じり砂質土が全体浚渫土量の割合を大きく占めるため、無処理の状態では港湾関連用地・ふ頭用地としての機能確保が不可能であると予想された。そこで、この発生浚渫土を、埋立材や盛土材として活用するために、土質改良による性能向上が計画された。

改良工法は、原位置処理（一時的に軟弱な土砂を埋立計画地へ投入し、後から地盤改良を施す手法）と、中間処理（発生浚渫土を埋立計画地へ投入する手前で土質改良を施す手法）の 2 通りがあり、施工条件、土質条件、工期、経済性について比較検討した結果、中間処理の方が当該計画には適していると判断された。

表１　各工区の概要と発生浚渫土

工事名		第３ふ頭浚渫土改良工事			
		その１	その２	その３	その４
再利用先		埋立材	埋立材	盛土	盛土
目標強度	(kN/m²)	q_u≧112.5	q_u≧112.5	q_c≧800	q_c≧800
浚渫土量（地山）※	(m³)	65775	59436	43000	40000
含水比	(%)	91.2	105.2	91.3	87.4
湿潤密度	(g/cm³)	1.469	1.419	1.463	1.477
液性限界	(%)	55.4	77.7	63.1	64.4
塑性限界	(%)	39.1	48.5	40.1	40.9
細粒分含有率	(%)	54.8	69.3	68.2	67.5

※浚渫土量は特記仕様に掲載された数値

ここで、改良材の品質について、埋立材として活用する場合は、港湾施設で求められる地盤強度以上（一軸圧縮強さ qu≧112.5kN/m²）、盛土材として活用する場合は、路体と一部の路床を兼ねて第２種建設発生土以上（コーン指数 qc≧800kN/m²）[2]と設定された。

施工方法は、上述の要求品質、大容量急速施工の実績および経済性を総合的に検討した結果、固化材を用いた連続式泥土処理工法[3]が採用された。当該工法は、セメント系固化材の添加を粉体で行うため、スラリー添加に比べ改良後の土量変化が小さいことも採用された理由の一つである。

3. 施工手順

施工は、埋立材として用いた施工手順（**図 1**）と盛土材として用いた施工手順（**図 2**）の２通りが計画された。前者は埋立地へ改良土を直接打設する施工手順（不撹乱改良土）、後者は改良土をいったん養生ピットへ投入し材齢３日後に盛土計画地まで場内搬出する施工手順（撹乱改良土）である。また、目標強度および撹乱条件が異なるため、それぞれの目標強度を設定し、工事着工前の配合試験結果を基に適正な添加量が設定された（前者：汎用固化材（添加量 70kg/m³）、後者：汎用固化材（添加量 100kg/m³））。

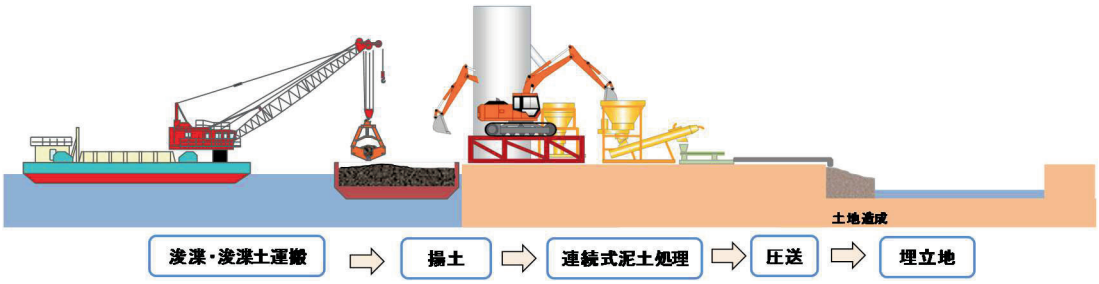


図１　埋立材として活用した施工手順

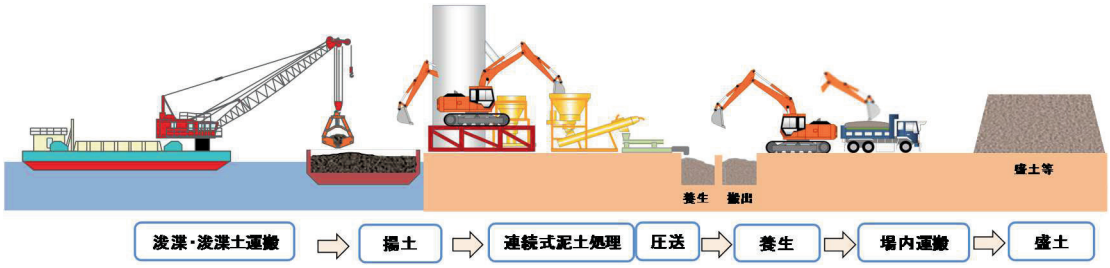


図２　盛土材として活用した施工手順

4. 連続式泥土処理施工

当該現場で用いた連続式泥土処理機（100m³/h タイプ）は、2 基／工区×2 工区で計 4 基である。**写真 2** は、前項の埋立材として活用した施工手順（**図 1**）のケースを撮影したものである。**写真 3** は、その際の改良土圧送状況である。水中分離はなく、改良土は水質への影響は軽微である状況が分かる。**写真 4** は揚土ピットからの浚渫土集積および連続式泥土処理機プラントへの浚渫土投入状況の写真である。**写真 5** は前項の**図 2** の施工手順における固化処理後の改良土を養生ピットから積込運搬し盛土材として利用するケースの状況写真である。

連続式泥土処理プラントは巨礫や夾雑物などが撹拌装置に混入した場合、稼動停止や破損の恐れがあるため、解砕選別機を用いて雑物を除去した浚渫土を供給する必要がある。**写真 6** および**写真 7** は解砕選別機による浚渫土投入状況および解砕選別機の機構が分かる写真である。

写真２　連続式泥土処理による施工全景

写真３　埋立材利用時の改良土圧送状況

写真４　連続式泥土処理機による施工状況

写真５　養生ピットからの場内運搬状況

写真６　解砕選別機による泥土投入状況

写真７　解砕選別機

5. 品質管理

改良土の品質管理試験のうち一軸圧縮試験の頻度は、特記仕様により 1 回/1000m³ とし、それぞれ材齢 7、28 日で実施された。これまで 4 工区で試験が実施されてきたが、いずれも**表 1** に示す目標強度を満足した。なお、3、4 工区は、目標強度をコーン指数に設定したが、品質管理基準値としては、撹乱条件やコーン指数と一軸圧縮強さとの関係式から、埋立材に用いる際には一軸圧縮強さ qu≧160.7kN/m² と設定された。

6. おわりに

茨城県は、これまで第 3 ふ頭に関連する浚渫土量のうち、約 20 万 m³ 程度がセメント系固化材を用いた連続式泥土処理工法にて土質改良を施し、埋立材、盛土材として有効活用してきた。埋立工事は既に完了し、今後は盛土材としてさらに約 6 万 m³ 程度の土質改良が計画されている。**写真 8** は約 3m の改良土の盛土を撮影したものであり、いずれも要求品質（qc≧800kN/m²）を満足している。

これまでは、埋立材や盛土材としての土質改良は、それぞれ単独工事として施工されてきた。当該工事では、同一工法で施工管理、施工手順が異なっても、事前の施工計画を考慮したうえでの配合試験・配合設計を検討し、固化材添加量をコントロールすることで、目標強度を満足する改良体が構築された。

写真 8　改良土による盛土状況

【参考資料】

1）　平成 23 年 11 月 24 日　交通政策審議会第 46 回港湾分科会配布資料より

2）　（独）土木研究所 編著：建設発生土利用技術マニュアル第 4 版、2013 年

3）　泥土処理研究会ホームページ

4.3.2　構内道路立体交差部函渠拡幅のための地盤改良工事～東京国際空港～

1.　はじめに

本工事は、東京国際空港内の構内道路（環状八号線）の付け替えに伴い、車線数の拡幅整備する穴守橋東側のボックスカルバート部の基礎部について地盤改良を行うものである。以下の**写真 1** に拡幅箇所の状況を、**図 1** に拡幅箇所平面図を示す。

写真 1　拡幅箇所

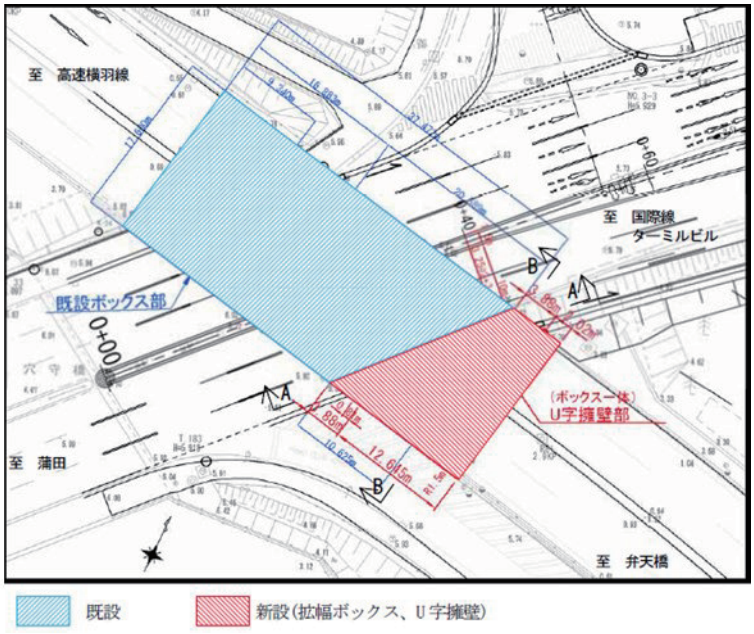


図 1　拡幅箇所平面図

2.　液状化地盤における大断面ボックス底部の地盤改良設計

地盤改良で仕切られた箱型函渠（かんきょ）直下の地盤では、側方流動は生じないが液状化する可能性がある。液状化した場合は、函渠底面の地盤反力の低減、浮き上り、せん断変形増大による部材の応力超過が懸念される。そのため、函渠直下の地盤の液状化発生有無を確認し、構造物側の対策が困難な場合は、周辺または函渠直下を地盤改良することとした。液状化判定、液状化対策効果の確認では、2 次元有効応力動的 FEM 解析（解析コード：FLIP）を適用した。基本設計で計画された位置に地盤改良を実施した場合、無対策範囲との境界で段差を生じ、地震後の通行確保が問題となる可能性がある。FLIP による解析の結果、段差が問題となる場合は、適切な対策工を実施することとした。

3.　液状化判定

本設計では、基本設計の判定結果を精査し、妥当性を確認するとともに、地盤改良なしのケースについて動的有効応力解析プログラム(FLIP)を用いた解析を実施し、液状化の発生有無を判定した。**図 2** はレベル 2(極めて稀であるが非常に強い地震動,以下 L2 と記す)地

震時を解析した場合の過剰間隙水圧比の分布図、図 3 は過剰間隙水圧比の時刻歴であるが、底面地盤である沖積層は、完全液状化の目安である過剰間隙水圧比 0.95 を超えており、液状化が発生していることが確認された。

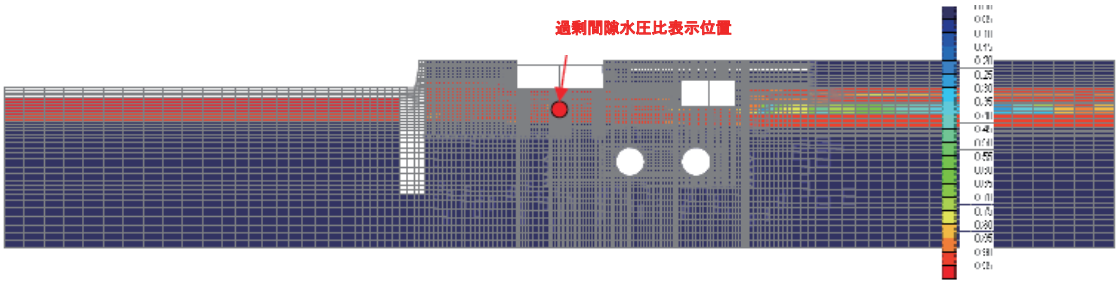


図 2　L2 地震時を解析した場合の過剰間隙水圧比の分布図

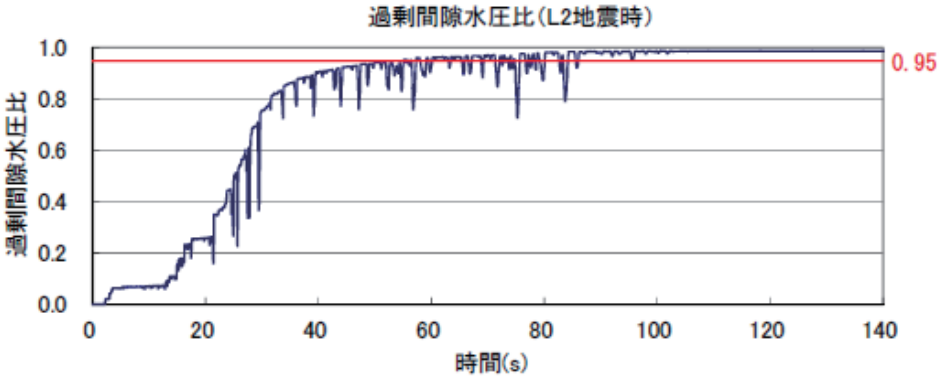


図 3　過剰間隙水圧比の時刻歴

4.　浮上り判定

基本設計における検討結果より、既設および拡幅部のボックスカルバートは、L2 地震動に対して液状化し、浮上りを生じる可能性があるため、浮上り防止を目的とした対策として地盤改良を実施する。

常時・レベル 1(中規模の地震で、その構造物の耐用年数中に一度以上は受ける可能性が高い地震動、以下 L1 と記す)地震時：本体底面に作用する静水圧 ＝23.0kN/m²

本体底面に作用する自重 ＝48.8kN/m²

浮上りに対する安全率 Fs＝48.8／23.0＝2.12

浮上りが発生しない（L1 地震時は液状化しない）。

L2 地震時 ：本体底面に作用する静水圧 ＝23.0kN/m²

本体底面に作用する過剰間隙水圧 ＝96.9kN/m²

本体底面に作用する自重 ＝48.8kN／m²

浮上りに対する安全率 Fs＝48.8／（23.0+96.9）＝0.41

浮上りが発生する（海老取川 HWL+2.10m まで浮上量約 2.3m）

5. 液状化対策工法の選定

図 4 の「浮上りのメカニズム」のように液状化層に周辺地盤との相対重量が軽い構造物（ボックスカルバート）が存在する場合の液状化対策工法を検討する。工法の適用性から、固結工法（地盤改良：高圧噴射攪拌工法）を選定した。選定理由は以下のとおりで、基本設計の検討と同様である。

- 細粒分含有率（FC）が 40%を越える低塑性シルトを固結することができる。
- 「近接工事設計施工マニュアル（JR 東日本）」で近接構造物の近傍でも認められた唯一の改良工法で、既設構造物（鉄道シールドトンネル）への影響が小さい。
- 躯体周辺の既設埋設物（東京電力及び NTT 管路、雨水排水管）を考慮した施工が可能。

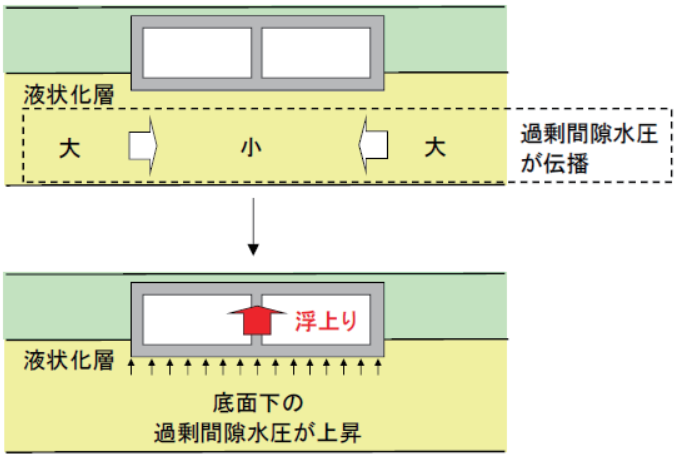


図 4　浮上りのメカニズム

基本設計時の液状化対策として、側部を地盤改良する工法の実施は、既設埋設管との位置関係を踏まえると施工に課題がある。上記の課題に対し、既設埋設管との近接施工を回避するため、ボックスカルバート底面直下を液状化対策することを採用した。なお、高圧噴射攪拌工法は、小型ボーリングマシンで低空頭での施工ができるため、ボックスカルバート内から改良体の造成も可能である。設計案（側部の改良及び底面部の改良）の液状化対策模式図は**図 5** に示す。

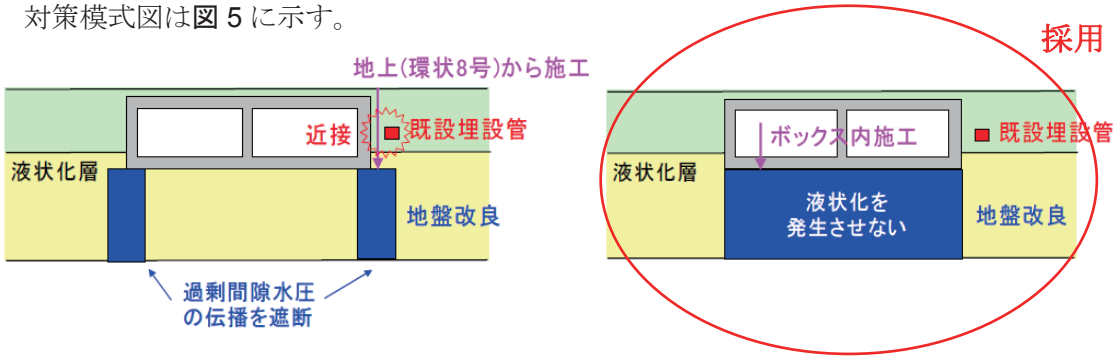


図 5　設計案（側部の改良及び底面部の改良）の液状化対策模式図

経済性より、低強度改良体の造成が可能な（品質管理できる最低値 qu=100kN/m2）液状化対策用高圧噴射攪拌工法を用いた。まず、ボックスカルバートの躯体にφ0.2m 、深さ 0.70m のコアボーリングを 48 本施工し、その削孔から、φ5.0m、深さ 10.20m の改良体を造成し、全面改良した。地盤改良工の平面図を**図 6** に、地盤改良工の断面図を**図 7** に示す。

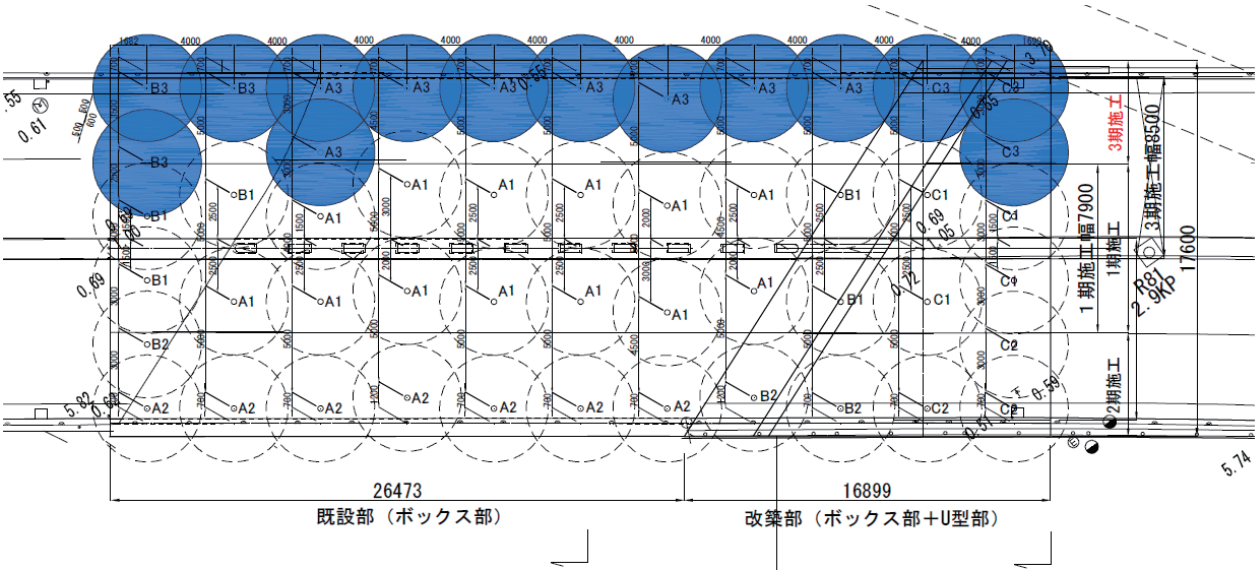


図 6　地盤改良工 平面図

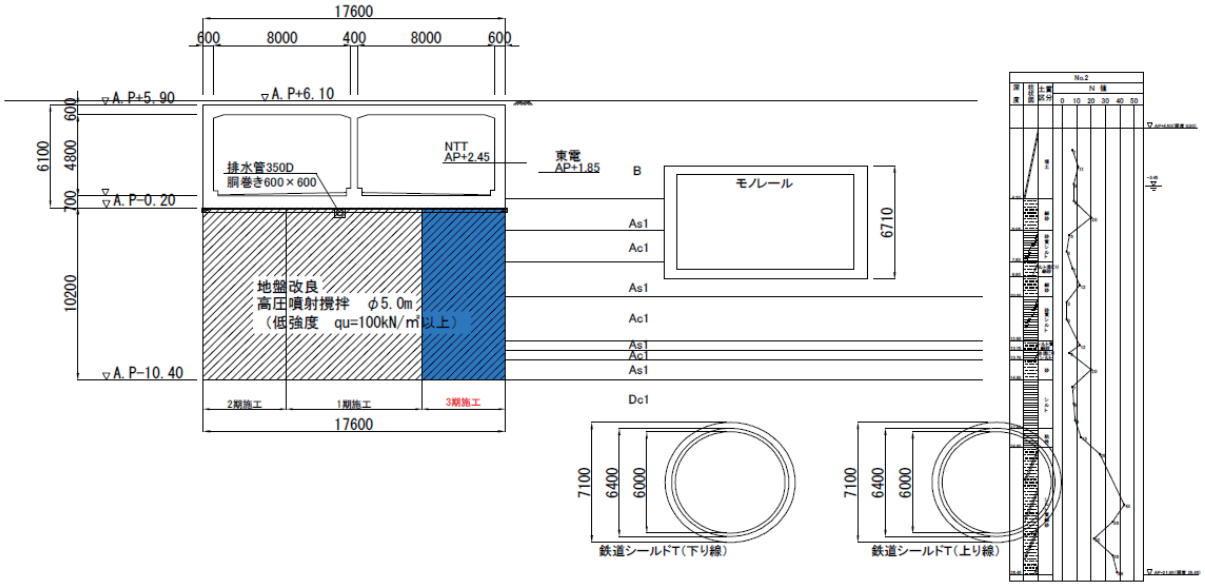


図 7　地盤改良工 断面図

カルバート底面部のみ改良した場合、周辺の無対策範囲との境界で段差を生じ、地震後の通行確保が問題となる可能性がある。これについて、**図 8** に示す動的有効力 FEM 解析による残留変形図を確認し、カルバートと前後の道路部との段差はほとんど生じていないことを確認した。

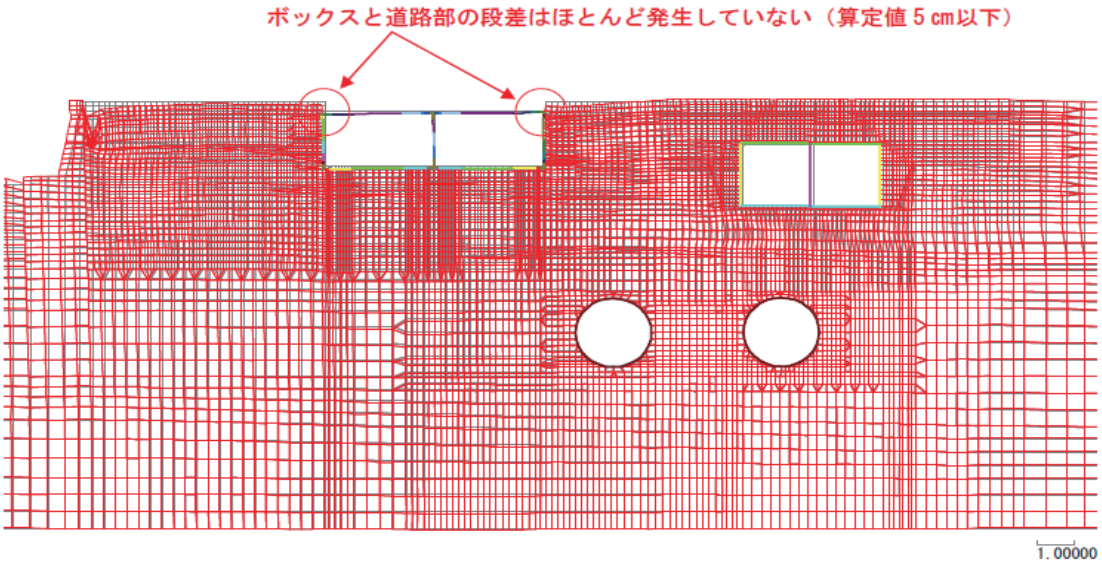


図 8　動的有効力 FEM 解析による残留変形図

6.　設計基準強度

設計基準強度は、技術資料 [1] より q_u=100kN/m² 以上とした。埋立地の液状化対策ハンドブックによれば、地盤の一軸圧縮強度が q_u=50～100kN/m² あれば液状化しないと考えてよいとされているが、高圧噴射攪拌工法では低強度の管理が難しいため、管理ができる強度として q_u=100kN/m² 以上とされている。

7　地盤改良の仕様

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
工法	高圧噴射攪拌工法
対象土	砂質土
改良径（有効径）　（m）	5.0
改良幅　（m）	17.6
改良深さ　（m）	10.2
目標強度　（kN/m²）	100
固化材の種類	工法専用固化材
固化材添加量　（kg/m³）	650
添加方法	スラリー添加（W/C=120%）

改良体の配合は、事前に改良対象層の試料をサンプリングして配合試験を行った上で決定した。また、改良後は、材齢 14 日以上でボーリングによるサンプリングを行い、材齢 28 日まで試験室で養生し、材齢 28 日に一軸圧縮試験を行い、改良体の強度が設計基準強度を満足していることを確認した。

8. 施工概要

地盤改良工は、液状化対策用高圧噴射攪拌工法にて、ボックスカルバートの底版直下を全面改良することによって、液状化対策と浮き上がりを防止する。施工手順は、以下のフローのとおりとした。**図 9** に高圧噴射工施工フロー図を、**図 10** に高圧噴射工の施工手順を示す。**写真 2** に施工状況（高圧噴射工）を示す。

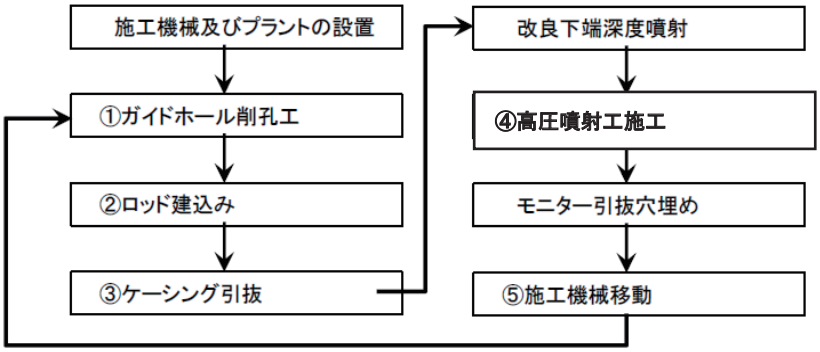


図 9　高圧噴射工施工フロー図

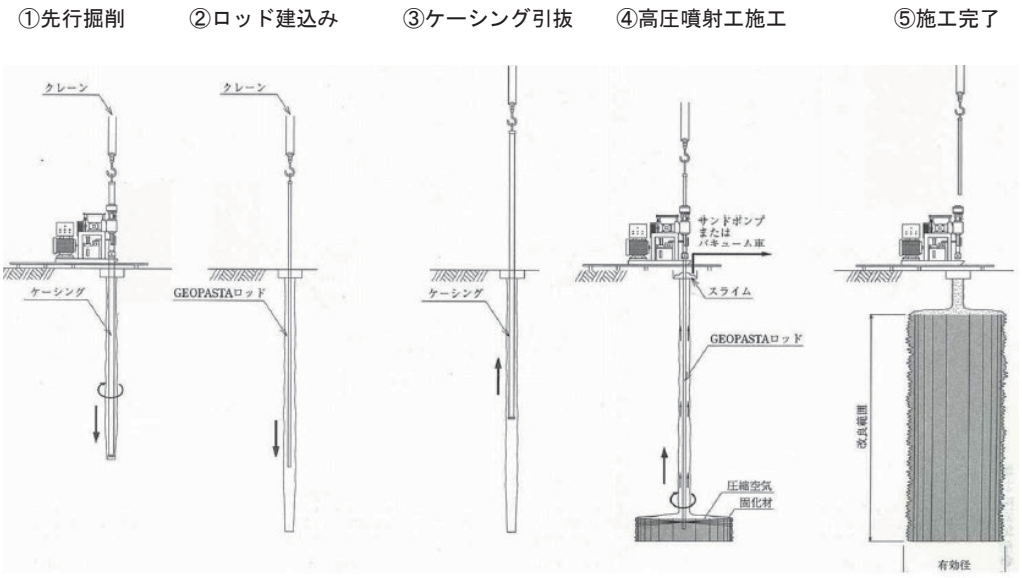


図 10　高圧噴射工の施工手順

写真２　施工状況（高圧噴射工）

9　おわりに

本地盤改良工事により、この道路立体交差部はL2相当の地震動によっても液状化することなく、また、未改良部との段差も発生しないという解析結果から、大規模地震発生後も供用できる性能を確保した。完成状況を**写真３**に示す。

写真３　完成状況（ボックスカルバート部）

【参考資料】

1）GEOPASTA 技術・積算資料,GEOPASTA 研究会,2015 年 1 月

2）埋立地の液状化対策ハンドブック（改訂版）p203（財)沿岸開発技術研究センター 1997.8 月

4.3.3　掘削残土の有効利用のための盛土改良～北陸新幹線白山総合車両所～

1. はじめに

北陸新幹線の白山総合車両所は、北陸新幹線車両の留置施設と定期的な検査、修繕を行う施設を備えた日本で 4 つ目の新幹線総合車両基地である [1)]。

本車両所は、金沢駅より約 12km 敦賀方の石川県白山市に位置し（図 1）、JR 北陸本線と並行する水田地帯に構築された大規模盛土構造である。盛土の施工では、北陸新幹線の建設で発生した掘削残土の有効利用が検討されたが、細粒分が多く、そのままでは盛土材料として使用できないため、セメント系固化材による土質改良が適用された [3)]。

図 1　白山総合車両所の位置図 [2)]

2. 盛土施工の概要

（1）地盤条件

盛土の施工範囲における地盤条件を把握するため、工事区域全体を 50m メッシュに区切り、その交点で簡易動的コーン貫入試験が実施された。その結果、耕土および粘性土が最大で深度 3m 程度、平均で 1～2m に分布することが判明した。これ以深については、手取川扇状地の堆積物である洪積砂層が確認された。

（2）圧密沈下量

本地盤の圧密沈下量を採取サンプルで検討した結果、盛土荷重による圧密沈下量は、最大で 5.3～7.7cm 程度、圧密沈下時間は最大で 7 日間と予測された。盛土の施工期間中に圧密沈下が収束するが、重要構造物であることからプレロード工法による対策がなされた。

（3）盛土施工

盛土断面の概略を図 2 に示す。

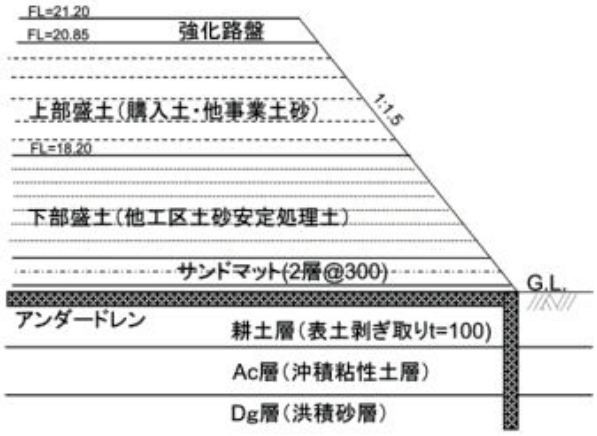


図 2　盛土断面の概略図

①　サンドマット、アンダードレン

耕土層および粘性土層の排水対策としてサンドマットを実施し、滞留水が発生しないように基地全体に排水勾配が確保された。さらに、早期排水の補助的機能、盛土の施工期間中に耕土層および粘性土層の間隙水圧を低下させるため、アンダードレンが設置された。

②　下部盛土

下部盛土の締固め程度は、鉄道構造物等設計標準・同解説土構造物より締固め密度比の平均値を 90%以上（下限値 87%）としている。盛土材料には細粒分が多い掘削残土の有効利用が検討されたが、土質性状が基準を満足しないため、セメント系固化材による土質改良が実施された（**写真 1**）。土質改良の仕様を**表 1** に整理する。

写真 1　土質改良の状況

表 1　土質改良の仕様

項　目	仕　様
工法	自走式プラント混合
対象土	掘削残土
改良土量　（m^3）	264,900
目標強度　（kN/m^2）	1200（コーン指数）
固化材の種類	汎用固化材
固化材添加量　（kg/m^3）	66

③　上部盛土

上部盛土は、購入土ならびに他事業の発生土が使用された。

④　転圧回数

盛土施工における転圧回数を定めるため、別途、10t 振動ローラによる試験施工が実施された。その結果、目標の締固め密度比を得るための 1 層あたりの転圧回数は、サンドマットで 4 回、下部盛土で 3 回、上部盛土で 3 回であった。

3. 施工管理

広大な盛土範囲を均一に管理するため、GPS を搭載した締固め機械の走行軌道から転圧回数を自動管理するシステムが導入された。締固め管理については、盛土施工断面および施工延長が 50m ごとに管理断面が設けられ、RI 計器や砂置換法にて施工管理が実施された。

さらに、小型 FWD を用いて、下部盛土および上部盛土の仕上がり面での地盤反力係数の測定や、盛土による圧密沈下が想定内に収まっていることを確認するための動態観測等の施工管理も実施された。

4. おわりに

新幹線の運行を支える総合車両基地の建設において、北陸新幹線建設工事で発生した掘削残土にセメント系固化材による土質改良が適用され、盛土材料として有効利用された。

写真２　供用の状況

【参考資料】

1)　北陸新幹線 石川県 HP
http://www.pref.ishikawa.jp/shink/hokuriku-shinkansen/index.html

2)　国土地理院「地理院地図（電子国土 Web)」をもとに（一社）セメント協会が作成

3)　真名子 武：北陸新幹線、白山総合車両基地路盤の盛土施工、(社）日本鉄道施設協会　日本鉄道施設協会誌、pp.63-65、2011 年 3 月

4.4　生活インフラを支える地盤改良工事

4.4.1　重機のトラフィカビリティー確保のための浅層混合処理工

～愛知県発電所施設内～

1.　はじめに

発電所本館や関連施設において、サンドコンパクションパイル（SCP）工法による地盤改良工事が実施された。それに先立ち、SCP 重機の作業基盤を強固なものとするため、セメント系固化材による浅層改良が実施された。

2. 地盤改良の仕様

地盤改良の仕様を**表 1** に示す。現場目標強度は 300kN/m^2 であり、これまでの実績から室内目標強度は 600kN/m^2 に設定された。室内配合試験では 30kg/m^3、50kg/m^3、70kg/m^3 の 3 添加量で一軸圧縮強さを確認（**図 1**）し、目標強度を満足する固化材添加量は、5kg/m^3 単位の切り上げで、55kg/m^3 に設定された。

表 1　地盤改良の仕様

項　目	仕　様
工法	浅層混合処理工法
改良深さ　（m）	1.0
目標強度　（kN/m^2）	現場：300 室内：600
固化材の種類	汎用固化材
固化材添加量　（kg/m^3）	55
添加方法	粉体添加

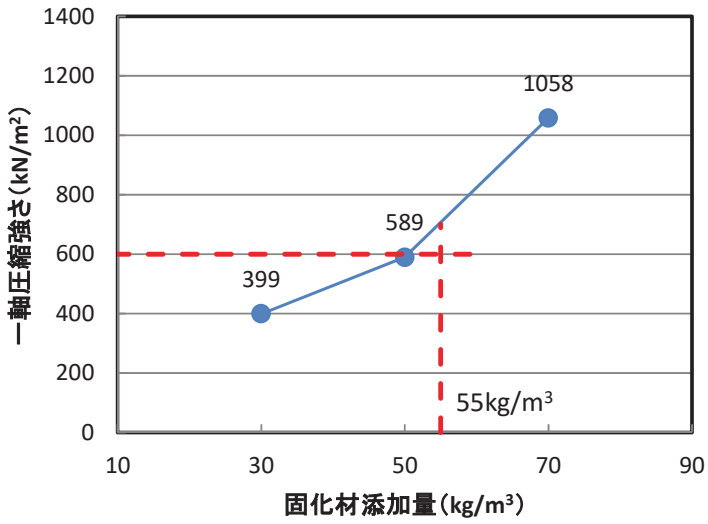


図 1　室内配合試験の結果

3　品質管理および施工管理

・　セメント系固化材の添加量の管理は、ローリー車 1 車あたりの散布面積にて行われた。
・　改良深さの管理は、1 日 1 回程度の頻度で行われた。
・　混合、撹拌の度合は目視で確認され、固化材と土が均等になるまで実施された。
・　施工はスタビライザ 1 台で、800～850m²/日の施工が実施された。
・　雨天時の施工は原則として行われなかった。
・　地盤改良後に現地で改良土を採取し、材齢 7 日の一軸圧縮強さが測定された（**表 2**）。

表 2　一軸圧縮試験の結果

供試体 No.	一軸圧縮強さ（kN/m²）	平均値（kN/m²）
1	813	771
2	729	
3	770	

4　おわりに

地盤改良の状況を**写真 1** に示す。セメント系固化材による浅層混合処理により、重機の作業地盤を確保することができた。

写真 1　地盤改良の状況

4.4.2　東京都新海面処分場でのセメント系地盤改良について

1. はじめに

「快適な都民生活を支える東京港内最後の処分場」として新海面処分場（**写真 1**、**表 1**）が、段階的に整備・供用されている。東京都は「廃棄物等の埋立処分計画」を策定し、平成 8 年に新海面処分場の整備を開始した。新海面処分場では、東京港内から発生する土砂系の廃棄物（浚渫土砂・建設発生土）と一般・産業・都市施設・災害廃棄物の受入、処分を行っている。また、受け入れる廃棄物は、**図 1** に示すように新海面処分場を安定型、管理型のブロックに分け、埋め立てる廃棄物を分別して管理を行っている。

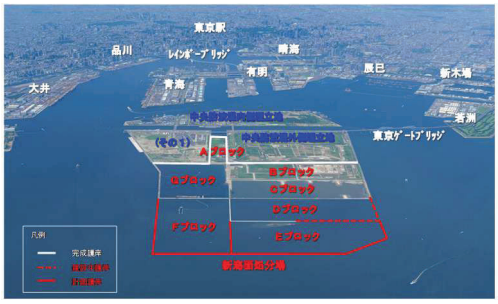


写真 1　新海面処分場の全景

表 1　新海面処分場の概要

埋立面積	約480ha （A～Gの7つのブロックに分けて埋め立てます。）
埋立処分量	120,370千m^2
埋立地盤高	A.P.+6.0m～A.P.+30.0m
護岸延長	約13.9km （外周護岸：約6.5km　中仕切護岸：約7.4km）
護岸整備費	約4,500億円

新海面処分場整備は、周囲の護岸を形成した後、その内側に埋立を行うが、廃棄物による汚水が地下水や海に浸出しないよう、遮水機能を確保することが構造的に重要な要素となる。それを踏まえ、地震や自然災害に強い護岸を形成する上で、セメント系地盤改良（深層混合処理工法：CDM 工法）が採用され、護岸形成に寄与している。

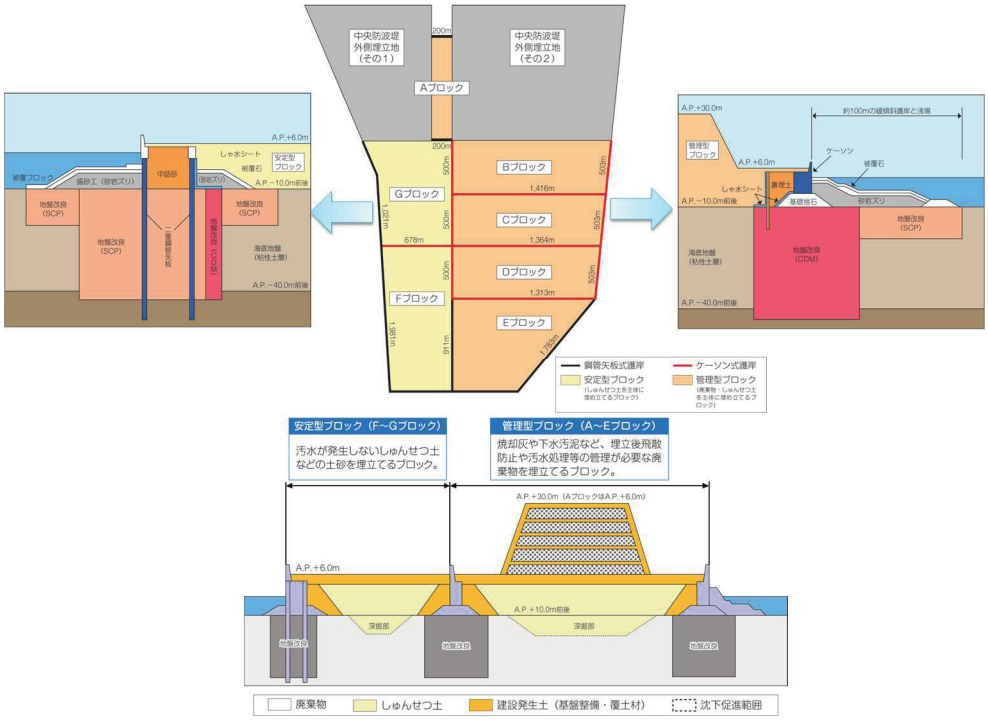


図 1　埋立・護岸断面の概要

2. 新海面処分場でのセメント系地盤改良の実績

新海面処分場のセメント系地盤改良は、深層混合処理（以下、CDM と記す）で施工されている。当該海域は、水深-11m 程度で、海底面から-30～-40m 程度まで有楽町層とよばれる粘土層があり、その下に砂質土層（着底層）が存在する。そのため、海上での作業となる事から、深層混合処理船（以下、CDM 船と記す）を使用して改良が行われている。これまでに新海面処分場で行った CDM の改良体積を**表 2** に示す。

表 2　CDM の改良体積

ブロック	改良体積 (m^3)	備　考
B	約 110 万	施工完了
C	約 160 万	施工完了
G	約 100 万	施工完了
D	約 300 万	施工中 （H28 年度末で 234 万 m^3）
合計	約 670 万	

※数量は発注時に数量をまとめたもので場所により改良率は異なる

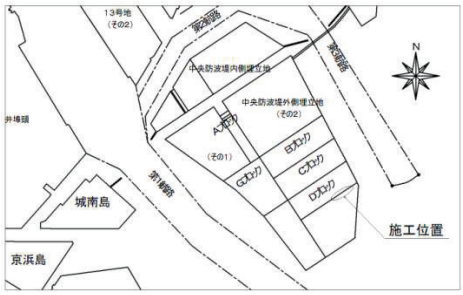


図 2　平成 27 年度 D ブロック南側護岸地盤改良工事

3. 海上地盤改良について（D ブロック）

3.1　施工方法について

平成 8 年から CDM による海上地盤改良が行われているが、護岸の設計条件によって、施工箇所や改良率が異なる事から、一例として平成 27 年度に実施した D ブロック南側護岸地盤改良工事（**図 2**）の内容について紹介する。

3.1.1　設計条件

該当工事の主要工種、地盤条件、設計図を**表 3**、**表 4**、**図 3** に示す。

表 3　主要工種

主要工種・数量
地盤改良工
海上地盤改良工
深層混合処理工　改良体積　47,654m^3
技術管理費
事前、事後ボーリング　一式
配合試験（六価クロム溶出試験含む）　一式
事業損失防止施設費
水質調査（pH、SS、濁度、水温）　一式

表 4　地盤条件

想定地盤構成および改良深度		固化材添加量
有楽町層上層（Ycu） 【シルト質粘土】	改良天端 ～A.P.-27.0m	165kg/m^3
有楽町層下層（Yc1） 【砂混じりシルト】	A.P.-27.0m ～A.P.-39.6m	145kg/m^3
	A.P. -39.6m ～A.P.-44.6m	140kg/m^3
七号地層砂質土層（Ns）	着底層	－

※配合試験により添加量を変更する

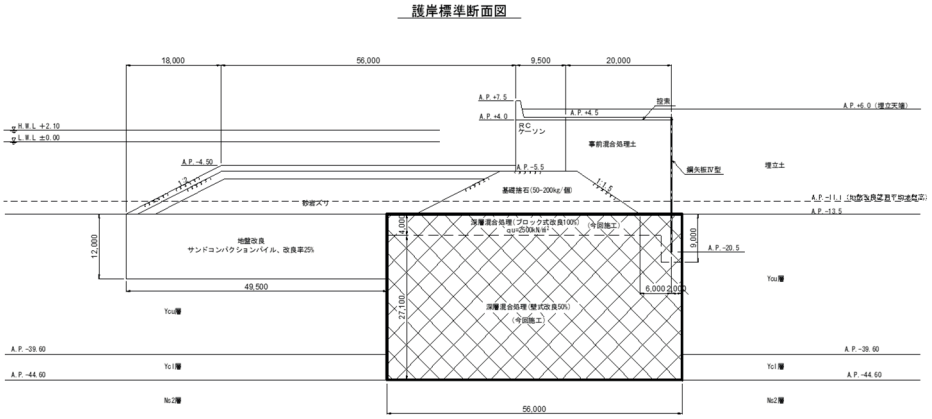


図 3　改良断面の設計図

3.1.2　施工方法

施工の流れを**図 4** に示す。

1)　事前ボーリング

ボーリング櫓設置後、事前ボーリングを行い、原位置における不攪乱試料の採取、標準貫入試験および着底深度の基礎資料を得る。

2)　室内配合試験

不攪乱試料は上、中、下層で採取し適切に保存し、室内配合試験を行う。採取した後、速やかに室内試験を実施し、湿潤密度 ρt（g/cm³）、含水比（%）の測定と試料観察の上分類を行う。本工事における設計基準強度（q_{uck}）は 2,500（kN/m²）であり、実施工において設計基準強度を満足するため、過去の施工実績を踏まえ、室内配合試験時の目標強度を設定する。

3)　CDM 船曳航・入域

使用する CDM 船（**写真 2**）を基地港から曳航し、工事区域に入域させる。このとき、羽田空港の航空制限を侵さぬよう慎重に曳航する。本工事で使用した CDM 船の仕様を**表 5** に示す。

4)　キャリブレーション

CDM の施工では、施工管理計を用いて改良杭の品質管理を行うため、施工を開始する前に施工管理計および記録装置のキャリブレーションを行い、計器の精度を確認する。また、既往ボーリング箇所または事前ボーリング箇所において、試験打ち（空打ち）を実施し、設計を満足する支持層での深度（深度計）における処理機モーターの負荷値（電流計・吊荷重）、貫入速度（昇降速度計）等の各計器数値を確認のうえ、これを着底判定の基準とする。

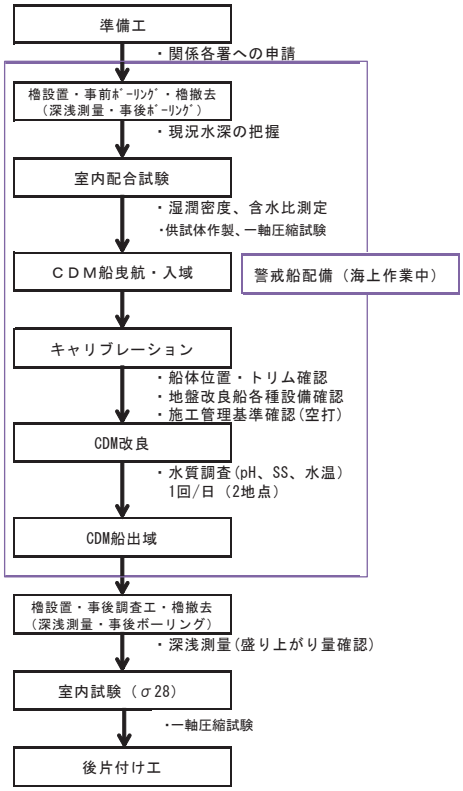


図 4　施工の流れ

写真 2　CDM 船の全景

表 5　CDM 船の仕様

船　名	船体仕様				
ポコム12号	長さ(m)	幅(m)	深さ(m)	吃水(m)	塔高(m)
	60.0	30.0	4.0	2.5	61.3

処　理　機							
改良面積	改良深さ(m)	処理能力	処理機位置	駆動方法	重量	トルク	発電機容量
(m2)	水面下	(m3/h)			(t)	(kg-m)	(KVA)
4.65	-52	50-70	前	電動	220	4,250	3,725

プラント				形式・連装 (mm)				
セメントサイロ	ミキサー	アジテータ	グラウトポンプ	軸　数		攪拌翼径	改良幅	軸間距離
t×基	(m3×基)	(m3×基)	(L/min×基)	**4**	縦軸	**1,310**	**2,300**	**990**
200×2	2.5×1	7×1	350×8		横軸	**1,310**	**2,300**	**990**

5)　CDM 改良（図 5、図 6）

①位置決め測量：　GPS を使用してリアルタイムに表示される位置情報をもとに、位置決めを行う。その後、地盤高をレッドにより測定する。

②処理機貫入：　攪拌翼を回転させながら、着底基準（事前確認）の深度まで貫入させる。

③着底確認：　着底基準を満たした位置で処理機の貫入を停止させ記録する。その後、セメントスラリーを刃先管から吐出し、先端処理をする。

④スラリー吐出・処理機引抜き・杭造成：改良天端付近に到達したら、引抜き速度と回転速度を落とし、天端付近を乱さないようにする。撹拌翼に付着した泥は、放水銃を使用して落とす。

⑤改良天端処理

⑥打設完了・刃先点検・シフト：　打設が完了した後、改良機等の点検をし、船を次の施工位置に移動させる。

これら①～⑥の作業を繰り返し行う。

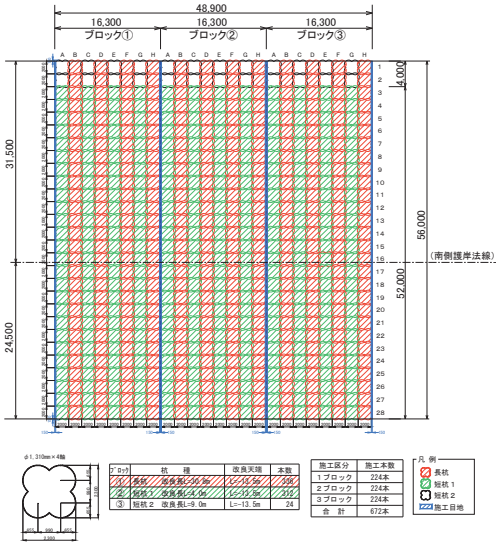


図 5　改良断面

図 6　改良の状況

6)　事後ボーリング・室内試験

事前ボーリングと同様、ボーリング櫓を設置後、改良された地盤強度の確認および全層にわたって改良されているか（連続性）を目視確認する目的で、サンプリングおよび一軸圧縮試験を行う。所定の強度を確認後、工事を完了する。

4. おわりに

新海面処分場は都民の平時の暮らしを支えるために欠かせない施設であり、確実に整備されることが望まれる。セメント系固化材は護岸形成に寄与しており、今後の整備においても活用が期待される。

【参考資料】

1)　東京都港湾局「新海面処分場パンフレット」

2)　東京都港湾局「新海面処分場建設記録（A・B・C ブロック）

3)　東京都港湾局　新海面処分場 G ブロック及び D ブロック地盤改良工事　各工事報告書

4)　五洋建設㈱　提供：平成 27 年度新海面処分場 D ブロック南側護岸地盤改良工事（その 2）　工事報告書

4.5　建築構造物における地盤改良工事

4.5.1　車庫建設における支持力確保のための深層混合処理工

～青森県公共施設（保健所）～

1. はじめに

青森県内にある公共施設（保健所）の敷地内において、車庫の建設が計画された。当該地盤は車庫建設に必要な支持力が不足していることが判明したため、深層混合処理工法による地盤改良が行われた。

2. 地盤条件と地盤改良の仕様

工事対象は小規模建設物であるため、地盤調査にはスウェーデン式サウンディング試験が採用され、敷地内のいくつかの地点で測定がなされた。深度方向の換算 N 値の分布図の一例を**図 1** に示す。推定土質は、設計 GL-1.0m までが砂礫層であり、これ以深は粘性土と砂質土の互層であった。換算 N 値は深さ方向に変化があるものの、設計 GL-8.5m 以深で貫入不能となった。地盤調査の結果と建設物の荷重を勘案して、設計 GL-8.0m までを地盤改良することが決定された。

改良体の配置図を**図 2** に、地盤改良の仕様を**表 1** に示す。また、施工状況を**写真 1** に示す。

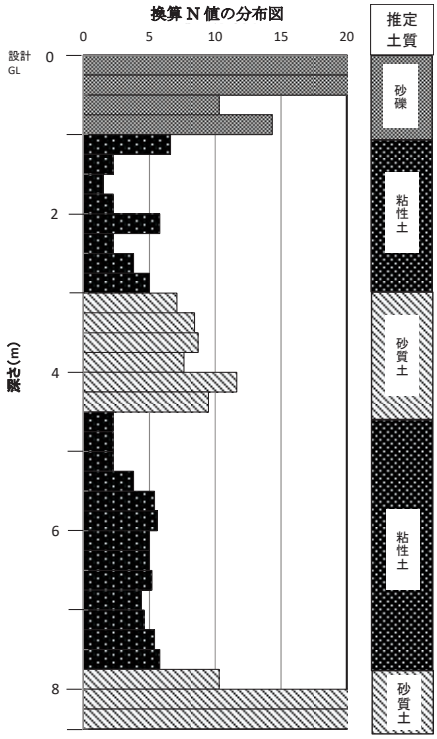


図 1　換算 N 値分布図の一例

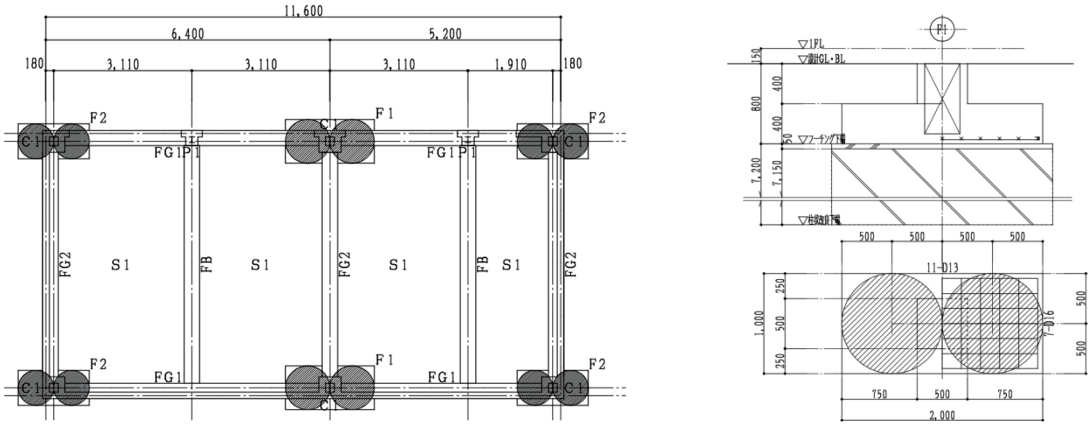


図 2　改良体の配置図（平面図・断面図）

表１　地盤改良の仕様

項　目	仕　様
工法	深層混合処理工法
対象土	礫質土、粘性土、砂質土
改良径　（mm）	800 または 1000
改良深さ　（m）	設計 GL-0.8～-8.0m（改良長 7.2m） （設計 GL-0.8m まではフーチング基礎）
目標強度　（kN/m²）	F_c=800
固化材の種類	汎用固化材
固化材添加量　（kg/m³）	300
添加方法	スラリー添加（W/C=60%）

写真１　地盤改良の状況

3. おわりに

完成した車庫の状況を**写真 2** に示す。セメント系固化材を用いた深層混合処理工法によって車庫に必要な支持力が得られ、供用が開始された。

写真２　完成した車庫

4.5.2　総合球技場に適用された構造物基礎の支持力増強のための浅層・深層混合処理工
～南長野運動公園総合球技場～

1.　はじめに

長野県長野市に整備された南長野運動公園総合球技場では、基礎地盤の支持力を増強するために地盤改良が行われた。

2.　地盤改良の仕様

基礎形式は直接基礎（布基礎）とし、支持層は設計 GL-3.0m～-5.0m に出現する砂礫層とした。メイン、サイドスタンド部基礎下については浅層混合処理工法、バックスタンド部基礎下は、盛土により表層から支持地盤までの深さが深くなるため、深層混合処理工法により地盤改良が行われた。

表１　地盤改良の仕様

項　目	バックスタンド側	メイン、サイドスタンド側
工　法	深層混合処理工法	浅層混合処理工法
対象土	盛土、シルト、シルト混り砂、砂質シルト	
改良直径　（mm）	1500、1600	-
改良本数　（本）	238	-
改良深さ　（m）	3.7～6.8	0.5～3.0 （一部 3.6）
目標強度　（kN/m²）	1200	1000
固化材の種類	汎用固化材	
固化材添加量　（kg/m³）	300 or 280	200 or 170
添加方法	スラリー添加	
	（W/C=70%）	（W/C=90%）

3.　地盤条件

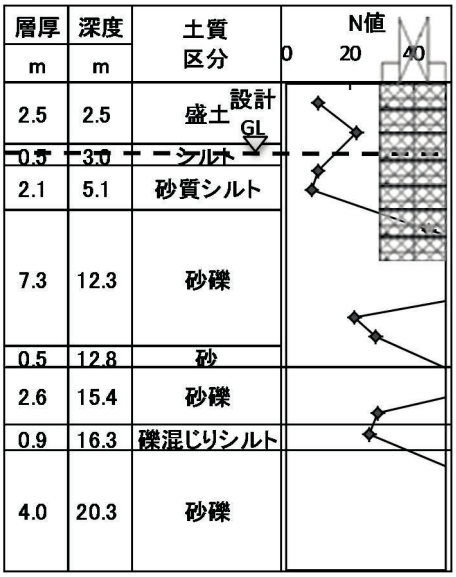


図１　バックスタンド側

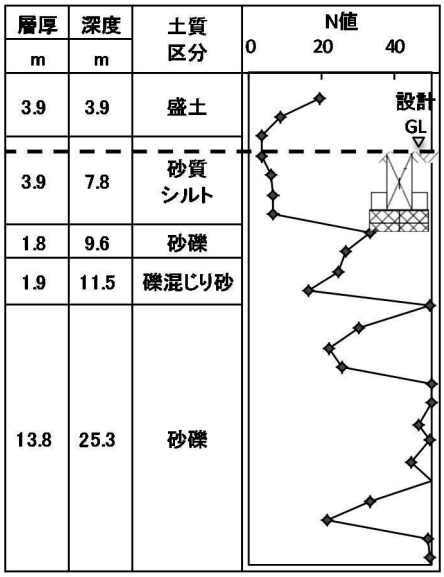


図２　メインスタンド側

4.　改良体の配置図

■　：深層混合処理工法

■　：浅層混合処理工法

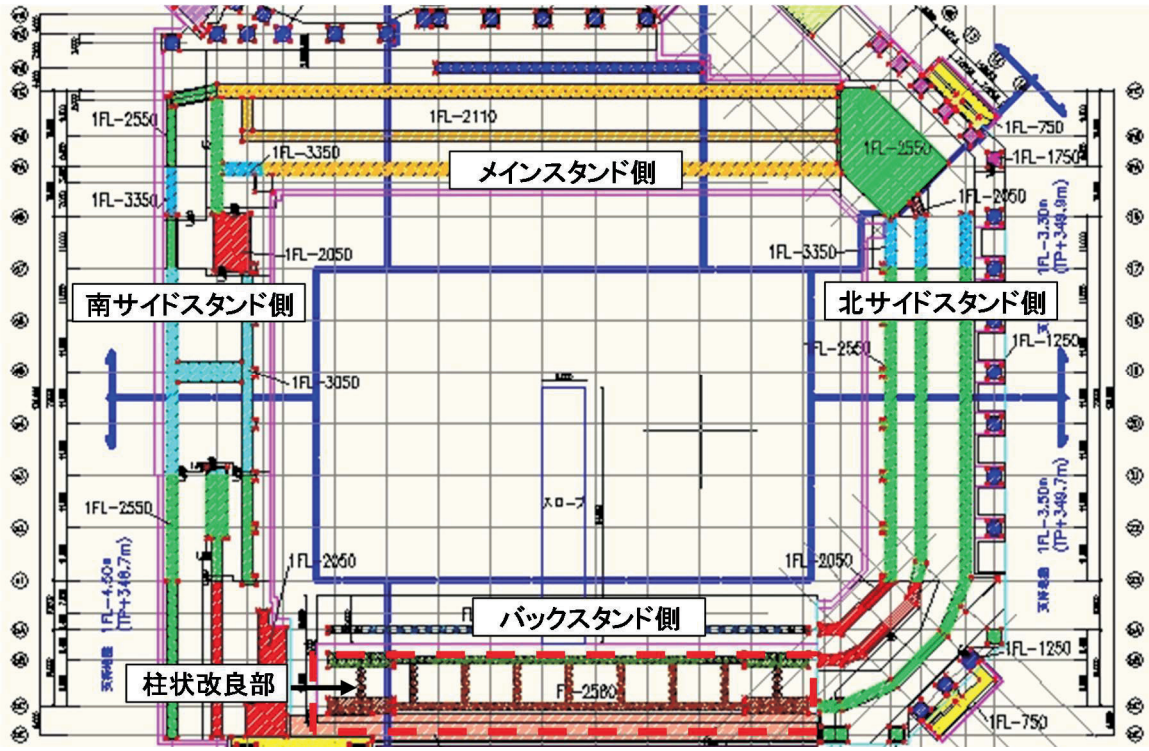


図３　地盤改良図面

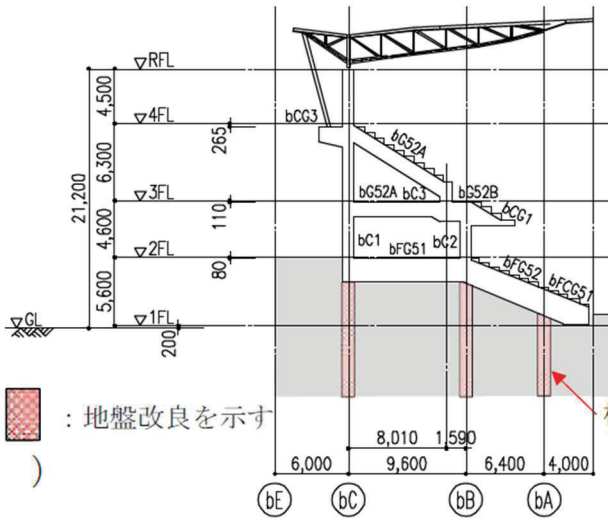


図４　バックスタンド側（深層混合処理工法）

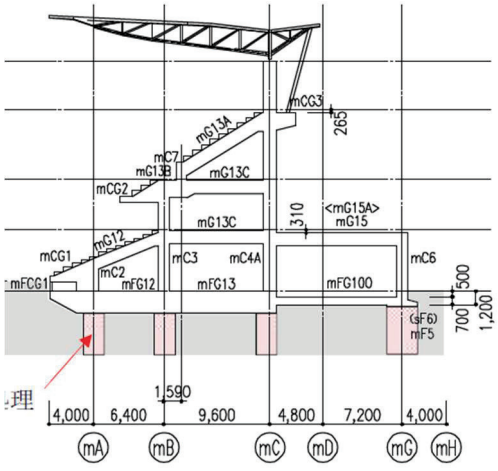


図５　メインスタンド側（浅層混合処理工法）

5.　地盤改良の状況

写真１　深層混合処理工の状況

写真２　浅層混合処理工の状況

6.　おわりに

施設の完成状況を、**写真３**および**写真４**に示す。

写真３　スタジアム [1)]

写真４　施設の全景 [1)]

1)　写真提供：株式会社ミヤガワ

4.5.3　建築物における既存改良体を活用した深層混合処理工

～栃木県内事務所棟建設工事～

1. はじめに

当該敷地は、国家プロジェクトの実証試験棟として造成し利用されていたが、試験終了に伴い、その敷地を有効利用すべく、発電所の事務所棟として計画された。

当該敷地は急斜面地を利用して盛土を行ったことから、既存建物を建設する際にはGL-1.0m から GL-8.0m までの柱状改良体が造成されている。そのため、事務棟の新設においても何らかの地盤対策が必要となり、杭基礎と柱状改良体とで比較検討がなされた。

検討の結果、杭基礎を採用した場合、既存の柱状改良体を撤去しなければならず、コストおよび工期が増大し、全体計画に支障をきたすことが判明した。既存の柱状改良体の設計・施工記録などが適切に保管されており、改良仕様が把握できることから、関係機関と協議のうえ、既存の柱状改良体を活用しながら新たな柱状改良体を造成することで、新設事務棟の地盤対策がなされた。

2. 地盤改良の仕様

柱状改良体の断面図を**図1**に、当該地盤のN値の一例を**図2**に示す。**図2**に示すとおりGL-8.0m程度までN値が5以下の地盤が存在する。したがって、柱状改良体の改良深度は、既設と同様に新設もGL-8.0mまでと設計された。

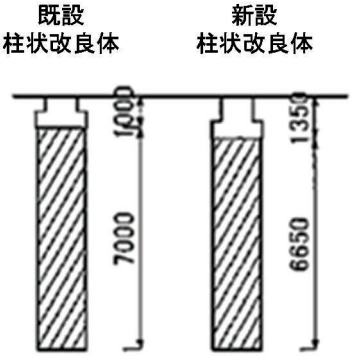


図 1　柱状改良体の断面図

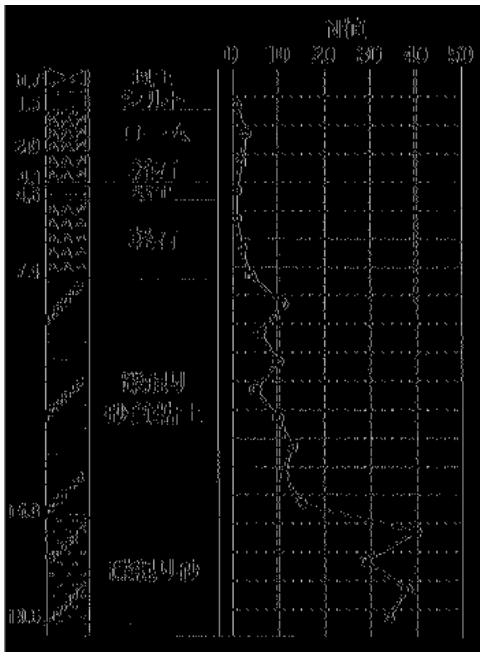


図 2　当該地盤の N 値の一例

既設の柱状改良体を活用するにあたり、平板載荷試験による当該敷地地盤の地耐力の把握と、コアボーリングによる品質調査がなされた。その結果、既設の柱状改良体は、新たな事務棟の建設に活用できることが判明した。

地盤改良の平面図を**図 3** に、地盤改良の仕様を**表 1** に示す。新設柱状改良体は 131 本である。

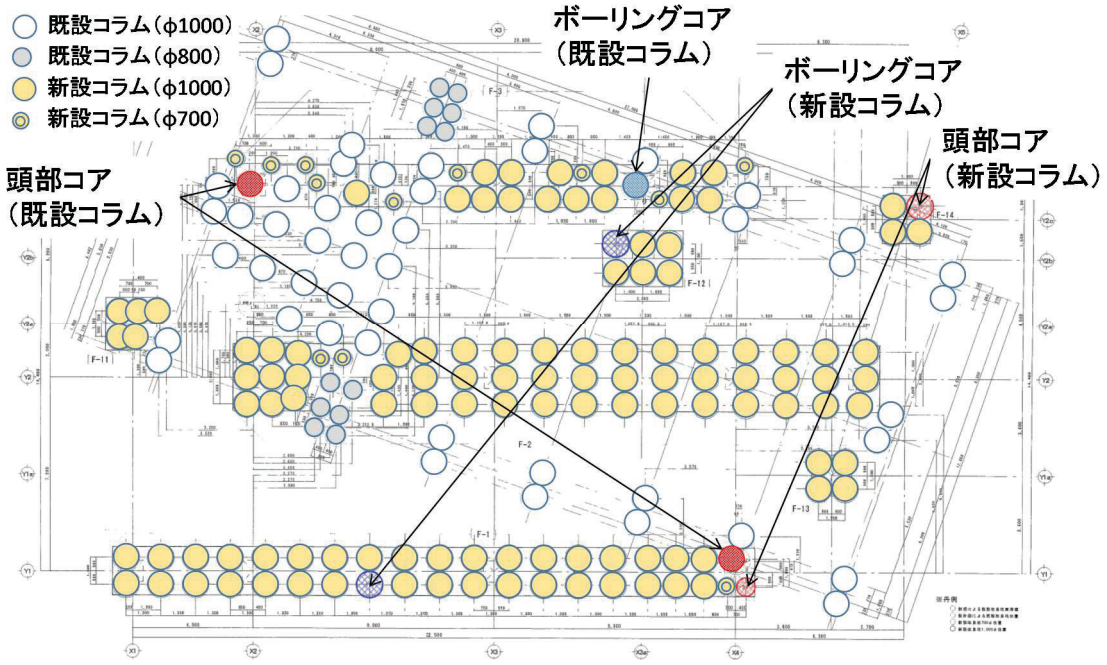


図３　地盤改良の平面図

表１　地盤改良の仕様（新設コラム）

項　目	仕　様
工法	機械式撹拌工法
改良径　（mm）	700、1000
改良長　（m）	GL-1.35~8.0
改良本数　（本）	131
目標強度　（kN/m²）	F_c=600
固化材の種類	汎用固化材
固化材添加量　（kg/m³）	250
添加方法	スラリー添加（W/C=60%）

3. 施工および施工管理

本施工は、セメント系固化材を水と混合したスラリーを原地盤中に注入しながら、スラリーと土とを機械的に混合撹拌し、直径 0.7～1.0m の円柱状の改良体（柱状改良体（**写真 1**））を築造する工法が採用された。なお、スラリーと土を均一に混合するために、混合撹拌装置には「共回り防止翼（**写真 2**）」が装備されている。

また、施工手順を**図 4** に、施工機械と設備機器の模式図を**図 5** に示す。

写真１　柱状改良体の全景

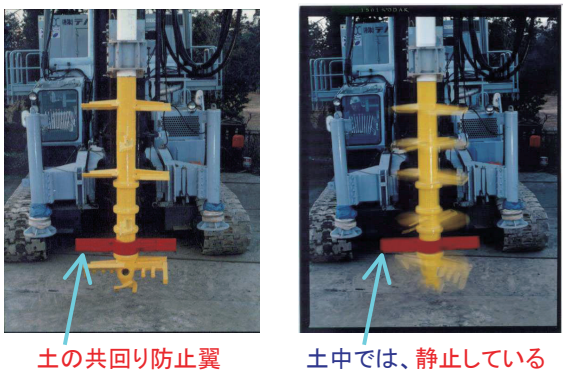


写真２　共回り防止翼の状況

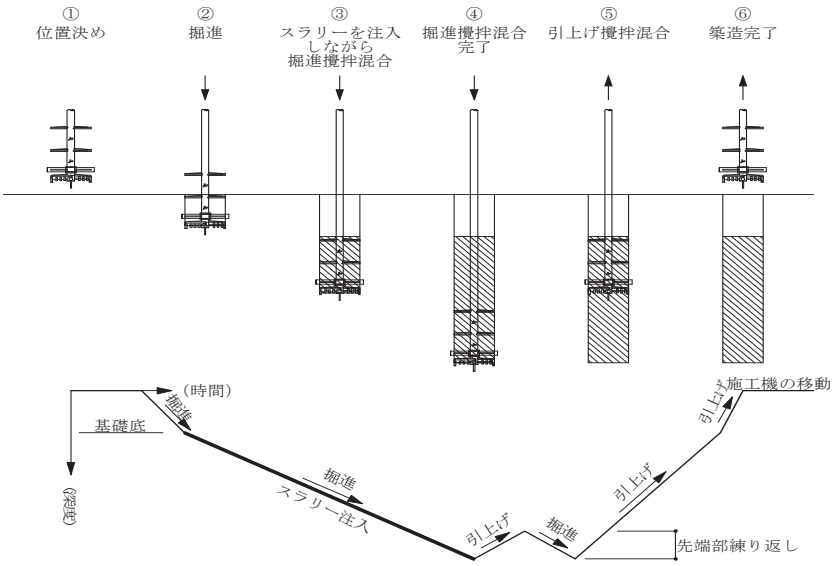


図４　施工手順

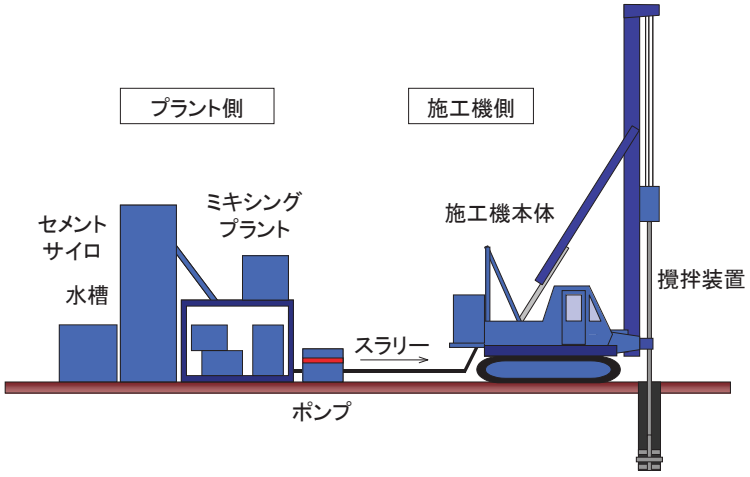


図５　施工機械と設備機器

施工管理項目の一覧を**表 2** に示す。施工の前には、改良体の直径、施工位置、掘削装置の鉛直性、固化材液の比重・濃度などが管理される。施工中には、スラリーの注入量、撹拌混合度、施工深度などが管理され、これらデータはリアルタイムで自動記録された施工記録として保存される。

表 2　施工管理項目の一覧

管理目的	項目	頻度	管理値
位置の確保	杭芯の位置	全数	100mm 以内
設計寸法・ 形状の確認	改良体径 鉛直度	随時 全数	700・1000mm 以上 1/100 以内
スラリー	比重 濃度	2 回/日 バッチ毎	1.72 以上 ±2%以内
添加量	添加量	全数	250kg/m^3 以上
撹拌状況	撹拌回数 共回り防止機能	全数 ヘッド交換時	規定値以上 設計図書による
着底の確認	練り返し回数 設計長確認	全数 全数	1 回/本 掘削長 8.0m

4. 品質確認

(1) 品質検査

検査指標は、柱状改良体より採取したコア（供試体）の一軸圧縮強さおよびコア採取率とし、品質検査は検査対象群ごとに実施された。

一軸圧縮強さによる品質検査を実施する柱状改良体の数量は建築センター指針[1)]に準拠し、頭部コアとボーリングコアで 2 柱状改良体ずつとされた。コア採取位置を**図 6** に示す。

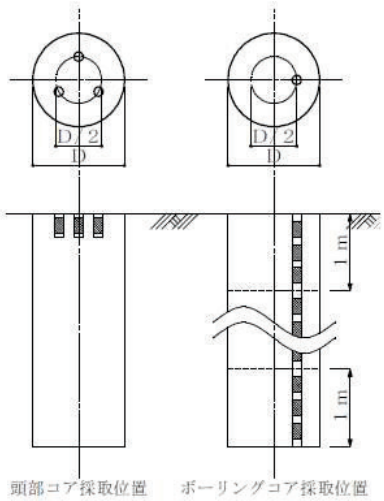


図 6　コア採取位置

(2) 一軸圧縮強さによる品質検査

①合格判定

設計対象層の一軸圧縮強さの平均値$\bar{X}_N$が、**式 1** で算出する合格判定値$\bar{X}_L$（933kN/m^2）を上回る場合を合格とした。抜き取り箇所数から定まる合格判定係数を**表 3** に示す。設計対象層であるローム層の検査コラム数は 4 つ、抜き取り箇所は 6 か所であるため、合格判定係数k_aは 1.5 に設定された。

表 3　抜き取り箇所数と合格判定係数 [1)]

抜き取り箇所数	1	2	3	4~6	7~8	9~
合格判定係数　k_a	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3

【合格判定式】

$\bar{X}_N \geqq \bar{X}_L = F_C + k_a \cdot \sigma_d = 600 + 1.5 \times 222 = 933$ (kN/m²)　　…式 1

ここで、$\bar{X}_N$：抜取り N 箇所の一軸圧縮強さの平均値　（ $= \sum \bar{X}_i / N$ ）

$\bar{X}_i$：抜取り箇所毎の一軸圧縮強さ（3 供試体の平均値）

N：設計対象層の抜取り箇所数

$\bar{X}_L$：合格判定値

F_C：設計基準強度 600kN/m^2

k_a：合格判定係数（抜取り箇所 4～6 の値：1.5　表 3 による）

σ_d：設計で想定したコア強度の標準偏差

$\bar{q}_{ud} = F_C + 1.3 \cdot \sigma_d$ …①、　　$\sigma_d = V_d \cdot \bar{q}_{ud}$ …②

$\bar{q}_{ud}$：想定した一軸圧縮強さ、V_d：想定した強度の変動係数　25%[2)]

①、②より、$\sigma_d = \frac{V_d \cdot F_c}{1 - 1.3 V_d} = 222\text{kN}/m^2$

②抜き取りコアの一軸圧縮試験結果

新設コラムの一軸圧縮試験結果の一覧表を**表 4** に示す。また、土質毎の試験結果のまとめを**表 5** に示す。設計対象層であるロームの平均一軸圧縮強さの試験結果$\bar{X}_N$は合格判定値$\bar{X}_L$＝933kN/m² を満足していた。

また､既存コラムから採取した抜き取りコアの土質毎の試験結果のまとめを**表 6** に示す。既存コラムの強度は新設コラムの合格判定値を満足していることから、新設コラムとして活用できると判断された。なお、試験材齢はいずれも 1666 日（約 4.5 年）である。

表 4　新設コラムの一軸圧縮試験結果の一覧表

種別	コラム No.	採取深度 (GL-m)	一軸圧縮強さ（kN/m²）				検査対象層	設計対象層
			1	2	3	平均値		
頭部コア	27		3460	3410	2960	3280	ローム	○
	94		3670	3920	4020	3870	ローム	○
ボーリングコア（深度コア）	33	1.35-2.35	3180	3570	2880	3210	ローム	○
		2.35-3.35	2470	2160	2330	2320	ローム	○
		3.35-4.35	2390	2950	2230	2520	軽石	
		4.35-5.35	3320	3930	2770	3340	軽石	
		5.35-6.35	2930	4790	3330	3680	軽石	
		6.35-7.35	2120	5000	3250	3460	軽石	
		7.35-8.00	1640	3700	2850	2730	礫質土	
	117	1.35-2.35	1980	2680	2910	2520	ローム	○
		2.35-3.35	995	635	681	770	ローム	○
		3.35-4.35	2170	2190	1800	2050	軽石	
		4.35-5.35	1750	1650	1210	1540	軽石	
		5.35-6.35	1190	2070	1260	1510	軽石	
		6.35-7.35	2870	3340	3260	3160	軽石	
		7.35-8.00	3520	3230	3390	3380	礫質土	

表 5　新設コラムの土質毎の試験結果のまとめ

検査対象層	設計対象層	抜き取り箇所数	平均一軸圧縮強さ（kN/m²）
ローム	○	6	2662
軽石		8	2658
礫質土		2	3055

表 6　既設コラムの土質毎の試験結果のまとめ

検査対象層	平均一軸圧縮強さ（kN/m²）
埋土	7160
ローム	2790
軽石	3060
礫質土	6320

（3）コア採取率による品質検査

①合格判定

ボーリングコアのコア採取率検査が実施され、合格判定は建築センター指針 [1)] に準拠した。コア採取率算定式を**式 2** に、合格判定基準値を**表 7** に示す。

$$\text{コア採取率}(\%) = \frac{\text{採取されたコアの全長}\ (m)}{\text{掘進長さ}\ (m)} \times 100 \qquad \cdots\text{式 2}$$

表 7　合格判定基準値

土質	コア長さにおけるコア採取率	コア 1m におけるコア採取率
砂質土	95%以上	90%以上
粘性土	90%以上	85%以上

②コア採取率結果

コア採取率は、新設コラムと既設コラムのいずれも 100%（コア堀長：6.65m）となり、コア採取率の合格判定値を満足した。

5. おわりに

新築の事務棟の建設において、既設の柱状改良体と新設の柱状改良体を併用することで地盤対策がなされ、構造物の供用が開始された（**写真 3**）。

写真 3　事務棟の全景

【参考資料】

1)　（財）日本建築センター：改訂版 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―

2)　テノコラム協会：テノコラム・マニュアル基礎設計編、1988

4.5.4　軟弱地盤における地盤改良を用いた山留め壁の変位防止

～東京日本橋　水天宮～

1. はじめに

東京日本橋の神社水天宮（**写真 1**）は、安産・子授け・水難除けなどのご利益で知られている。江戸鎮座 200 年記念事業として境内全体を一新、免震建替を行った。日本の神社の宮大工の技術が活かされた伝統木造様式の社殿と、現代的な表現による待合や参集殿が、融和するデザインとしている。

写真 1　水天宮

2. 地盤改良の概要

軟弱地盤の根切りにおいて、山留め壁の変位を抑止するため、掘削側地盤を向かい合う山留め壁まで連続して梁状に改良するストラット工法、および改良体先端を支持地盤に根入れするバットレス工法が用いられている。梁状改良は掘削平面が大きくなるにつれ、またバットレス工法は支持地盤が深くなるほど改良量が多くなる問題がある。軟弱地盤において平面の長辺が長く、支持層が比較的深い工事において向かい合う山留め壁まで連続しない地盤改良を用いた山留めが計画された。

3. 工事の概要

本工事は、平面規模 70m×28m、根切り深度 7.0m～8.8m の軟弱地盤における大規模掘削工事である。地下工事の平面図および断面図を**図 1**、**2** に示す。敷地における北側の約 1/3（28m×28m）を逆打ち工法で、残りを順打ち工法にて根切りを行った。根切りは GL-2.4m までの 1 次根切り、GL-1.0m～1.5m に逆打ち躯体の構築もしくは鋼製切梁の架設、GL-7.0m～8.8m までの最終根切りの順で行った。

山留め壁の芯材は GL-8.8m の掘削部は H500×200　（長さ 14m）、GL-7.0m の掘削部は H400×200（長さ 12m）である。山留め壁の変位を抑止するため 2 軸の機械式深層混合処理機により梁状またはバットレス状に地盤改良を行った。地盤改良の仕様を**表 1** に示す。

地盤改良は、北面は改良体が GL-17.6m 以深の細砂層に根入れするようにバットレス状に GL-19.3m まで、東、西面は根切り底から GL-13.5m までを梁状に、南面は梁状改良を途中で止める改良（以後、格子状改良と呼ぶ）を GL-13.5m まで行った。また、改良体の設計基準強度 Fc は根切り底以浅では 500kN/m^2、根切り底以深では、1500kN/m^2 であり、コアボーリングにより確認した実際の平均一軸圧縮強さは、それぞれ 1392kN/m^2、5110kN/m^2 であった。

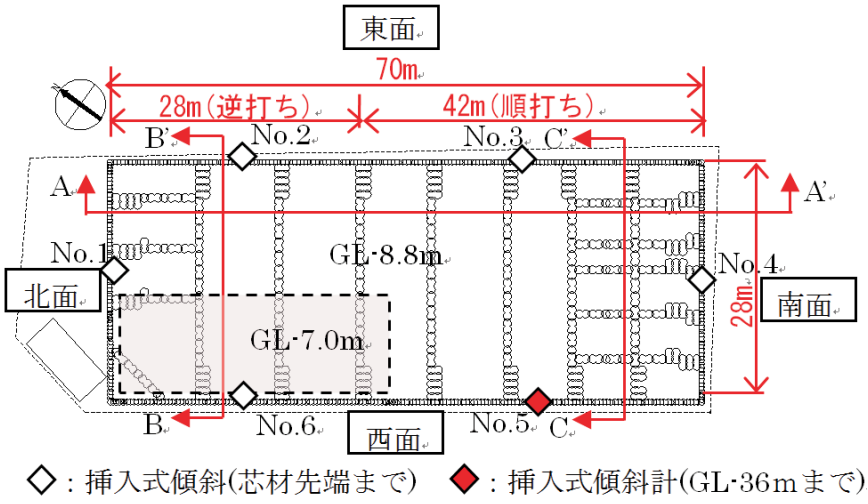


図 1　地下工事平面図および計測概要

表 1　地盤改良の仕様

項目	仕様				
	北面(No.1)	東面(No.2,3)	西面(No.5)	西面(No.6)	南面(No.4)
工法	深層混合処理工法				
形状	バットレス状	梁状			格子状
改良径　(mm)	Φ1000×2 軸				
改良本数　(本)	24	117		35	55
掘削深さ　(m)	19.3	13.5			
改良深さ　(m)	10.5	4.7		6.5	4.7
設計基準強度　(kN/m^2)	1500				
固化材の種類	汎用固化材				
固化材添加量　(kg/m^3)	300				
添加方法	スラリー添加（W/C=80%）				

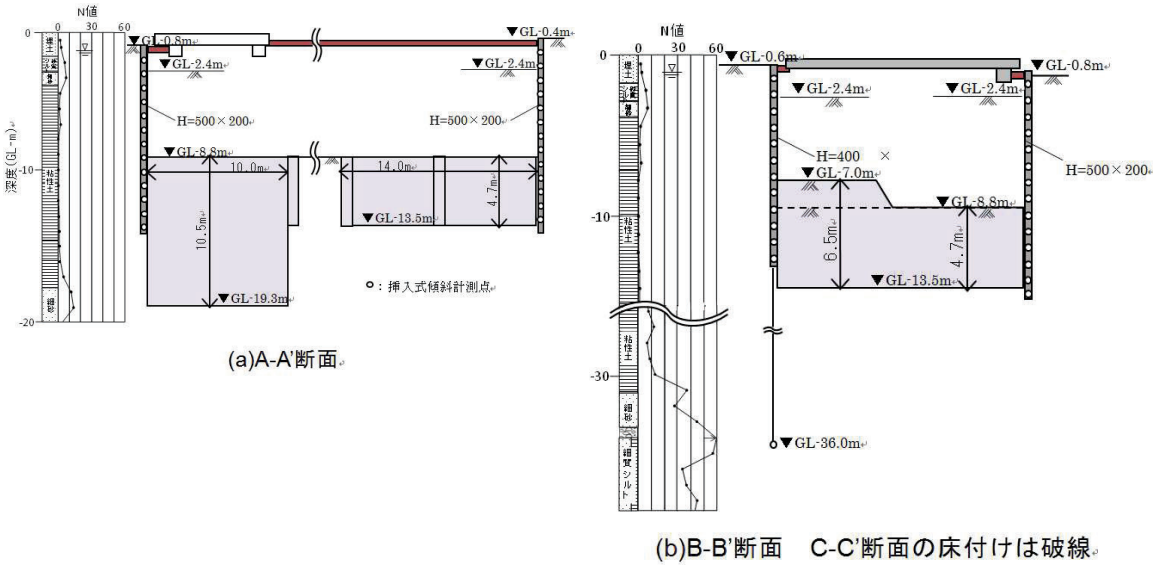


図２　地下工事断面図および地盤概要

4. 地盤概要および計測概要

計測位置図および地盤概要を**図 1** および**図 2** に、地盤改良の状況を**写真 2** に示す。土層は上から、表層部の埋土層および砂質シルト層、沖積細砂層、沖積粘性土層が　GL-17.6m までであり、その下の洪積細砂層により構成されている。沖積粘土層の N 値は 0～2、一軸圧縮強さ qu は 75.5kN/m²～84.8kN/m²であった。地表面の自由水位は GL-1.4m 程度、GL-17.6m～19.8m の洪積細砂層の被圧水位は　GL-3.9m 程度であった。また、根切り工事においては、挿入式傾斜計による山留め壁変位および、軸力計による切梁軸力を計測した。また、トランシットにより山留め壁の頭部の水平変位も計測した。

写真２　地盤改良の状況

5. 計測結果

(1)山留め壁の変位

A-A'断面（No.1、No.4）、B-B'断面（No.2、No.6）および C-C'断面（No.3、No.5）の山留め壁変位の深度分布を**図 3** に示す。山留め壁の変位は傾斜計による頭部変位が、トランシットによる頭部変位の計測結果と等しくなるように補正した。山留め壁変位の最大値は No.1～No.5 では 20mm～30mm 程度、No.6 においては 44mm であった。軟弱地盤における 1 段の支保工を用いた 8.8m の根切りにおいて、変位は比較的小さく、地盤改良による変位抑止効果が確認できた。また、No.5 において傾斜計を GL-36m の固い層に根入れしていたものの変位していることが分かる。なお、No.6 のみ変位が大きくなったのは、No.6 のみ芯材種類が H400×200 であり、他の山留め壁よりも剛性が低いことが要因だと推測できる。

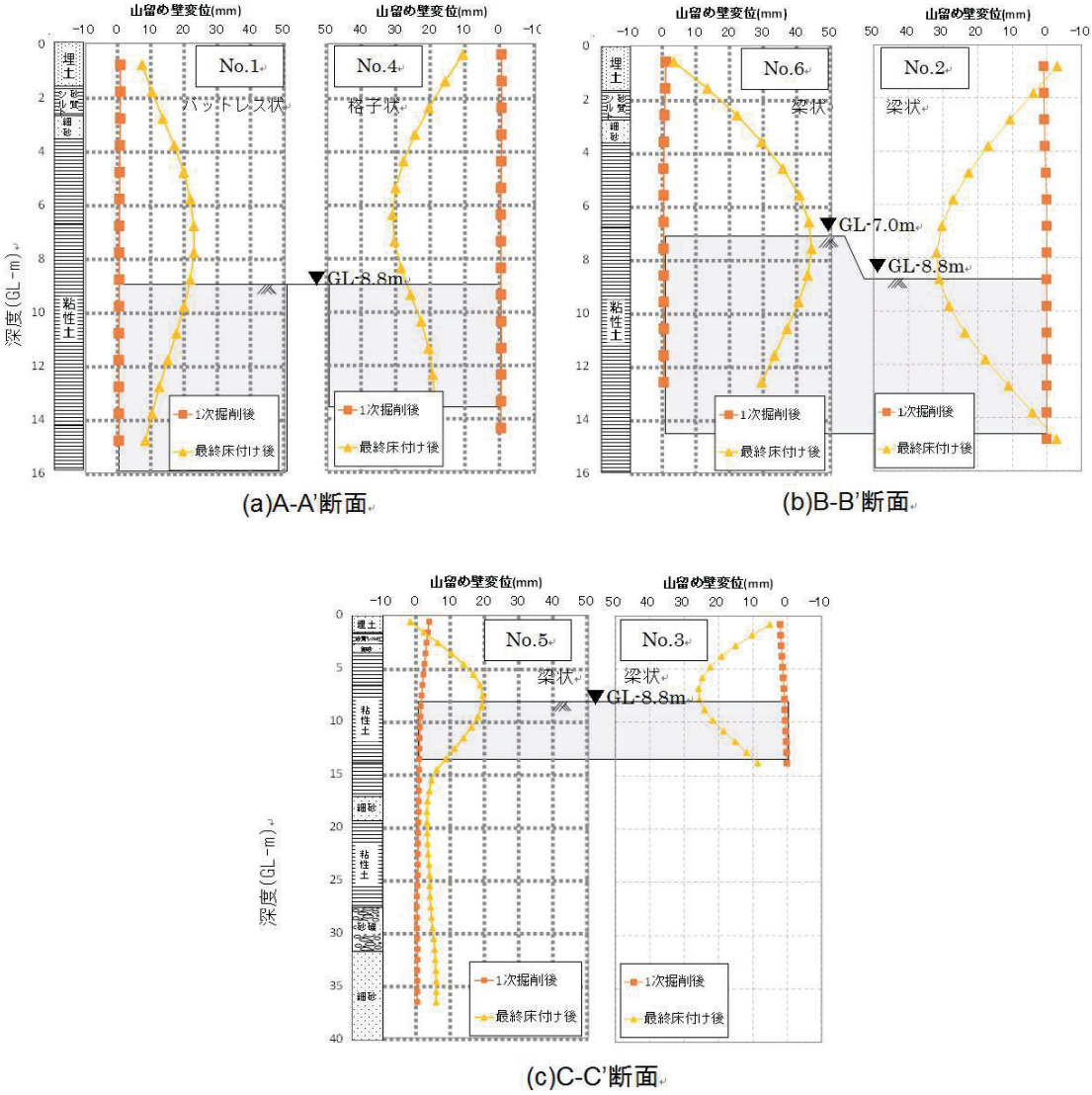


図 3　山留め壁変位の深度分布

(2)改良形状の違いによる変位の差

改良形状の違いによる変位抑止効果の比較を行った。同じ根切り深さでバットレス改良を用いた No.1、梁状改良を用いた No.3 および格子状改良を用いた No.4 の 1 次掘削後と最終根切りにおける山留め壁の最大変位を**図 4** に示す。改良量の最も大きいバットレス状の No.1（**表 1** 参照）の変位が最も小さく 23mm となった。また、改良量の最も小さな梁状改良の No.3 の変位は 26mm となり、向かい合う山留め壁まで連続していない工法である格子状の No.4 の変位は 31mm となった。向かい合う山留め壁まで連続していない格子状改良でも十分な変位抑止効果があることが確認できた。

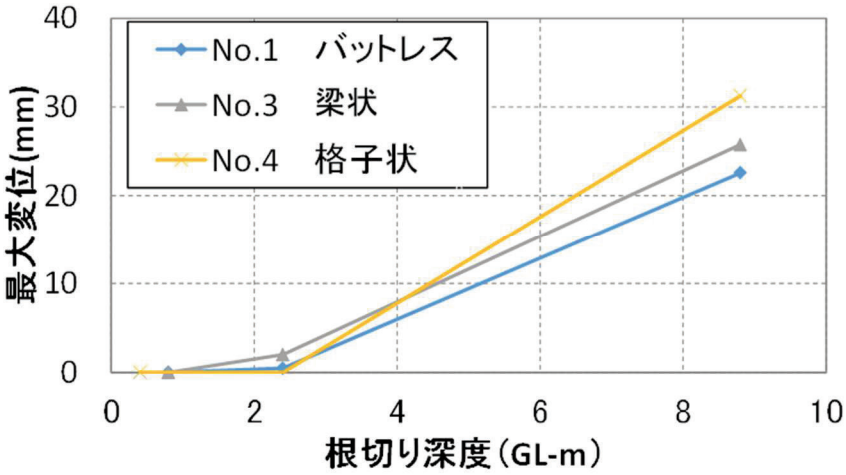


図 4　山留め壁変位の比較

6. まとめ

軟弱地盤における地盤改良を用いた山留め壁変位の計測結果を示し、地盤改良による変位抑止効果を確認できた。また、向かい合う山留め壁まで連続していない格子状改良でも十分な変位抑止効果があることを示した。

4.5.5　病院基礎における深層混合処理工　～京都大学 総合高度先端医療（南病棟）～

1. はじめに

本工事は、京大病院東構内に建設された「京都大学（医病）総合高度先端医療病棟（南病棟）」の地盤改良工である。上部構造物の概要は、免震構造の地上 8 階、地下 1 階、最高部高さ 31m、延床面積 22,708.19m² である。災害発生時の対応強化や、重症患者の転送受入、臓器移植時の搬送などに対応するため、屋上部にヘリポート（24m×24m）を設置し、病床数は計 414 床を確保している。**図 1** に南病棟完成図を示す。

図1　南病棟完成図

2. 地盤改良工事の概要

本工事における地盤改良の仕様を**表 1** に、地盤改良平面図を**図 2** に示す。地質は、地盤の砂礫、砂、礫混じり粘土質砂、礫混じり砂で構成されており、支持層は砂礫となっている。採取した試料土の土質性状を**表 2** に示す。

表 1　地盤改良の仕様

項　目	仕　様
工　法	深層混合処理工法
対象土	砂質土
改良径　(mm)	φ1600
改良土量　(m³)	20,896
目標強度　(kN/m²)	1700
固化材の種類	汎用固化材
固化材添加量　(kg/m³)	250
添加方法	スラリー添加（W/C=80%）

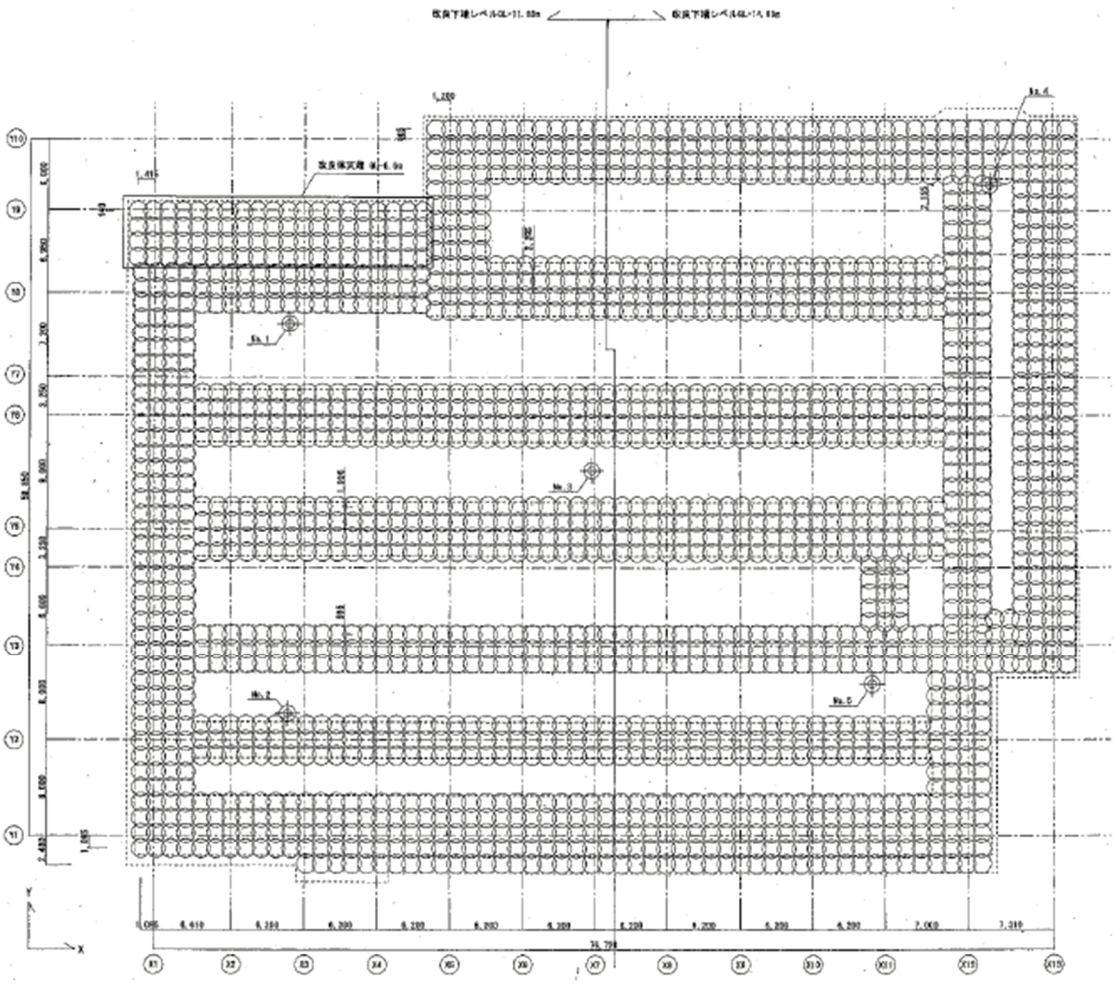


図２　地盤改良平面図

表２　土質性状

測定項目	試験結果	測定項目		試験結果	測定項目	試験結果
自然含水比 wn　%	23.4	粒	礫分 G	23.4	土質名	砂質土
湿潤密度 ρt　g/cm ^{3}	1.983	度	砂分 S	56.3	土質分類	SF
乾燥密度 ρd　g/cm ^{3}	1.607	%	細粒分 F	20.3	強熱減量%	3.22

事前に実施した室内配合試験は、地盤工学会基準「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法」（JGS 0821-2000）に準拠した。供試体は、φ5cm×H10cm の型枠（軽量モールド）に 3 層に分けて安定処理土を入れ、各層ごとタッピングにより気泡の除去を行って作製した。養生は供試体を、養生室（温度 20±3℃，湿度 95%以上）にて、所定の期間静置し、材齢 7 日、28 日における一軸圧縮強さを、「土の一軸圧縮試験方法（JIS A 1216）」に準拠し測定した。試験結果を**表 3** に示す。

表３　室内配合試験における一軸圧縮強さ試験結果

添加量 (kg/m³)	一軸圧縮強さ(kN/m²)			
	材齢 7 日		材齢 28 日	
200	1830	1697	2696	2660
	1619		2667	
	1643		2618	
300	2744	2769	4377	4331
	2610		4249	
	2952		4368	
400	3310	3359	4882	5103
	3290		5194	
	3478		5234	

現場における固化材添加量は，室内配合試験結果より添加量と一軸圧縮強さの関係から、室内試験における目標改良強さ(q_{u1}＝3450kN/m²)を満足する添加量は 248kg/m³ となった。

本工法は、地中に固化材を吐出しながら改良対象土と混合する深層地盤改良工法であるため、地中の施工状況が目視確認できない。よって各種の施工管理機器を用いて計測・管理を行う。そのため、本施工に於いて確実な品質・施工管理を期するために本施工に先立ち、施工機械の仕様および施工管理機器の作動状況の確認を監督員立会のもと、キャリブレーションを実施した。キャリブレーションの流れを**図 3** に示す。また、施工のフローチャートを**図 4** に、深層混合処理工の作業手順を**図 5** に示す。

図３　キャリブレーションの全体の流れ

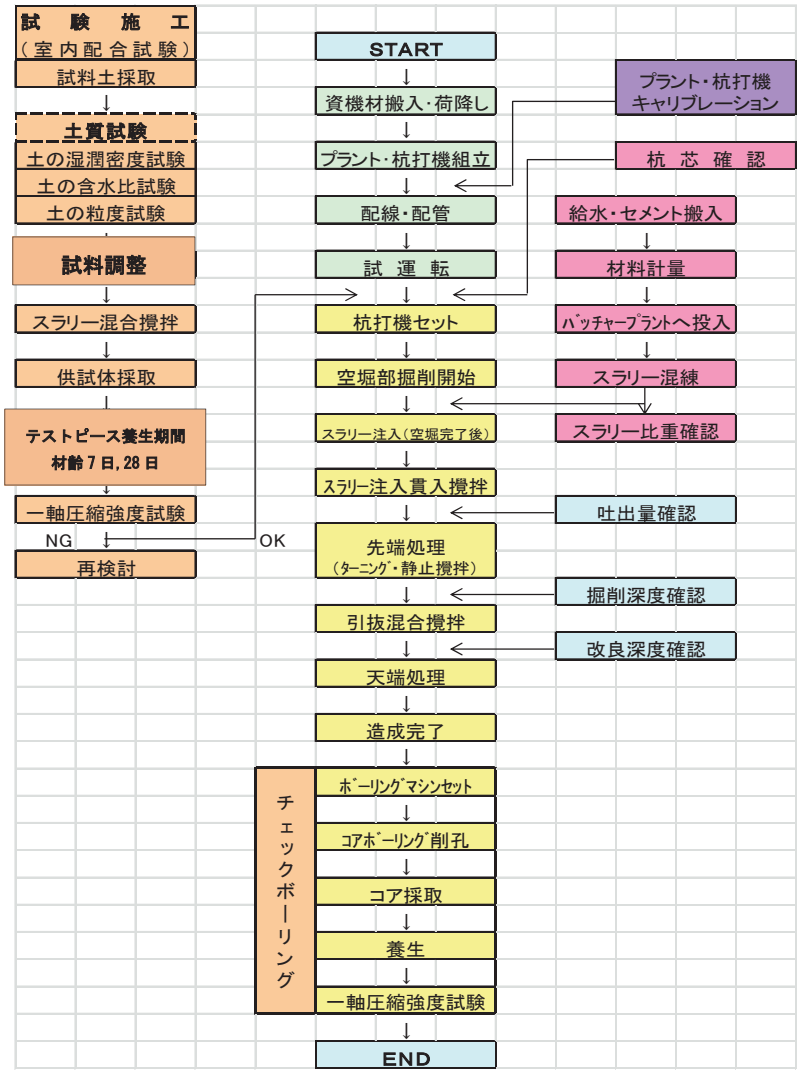


図４　施工フローチャート

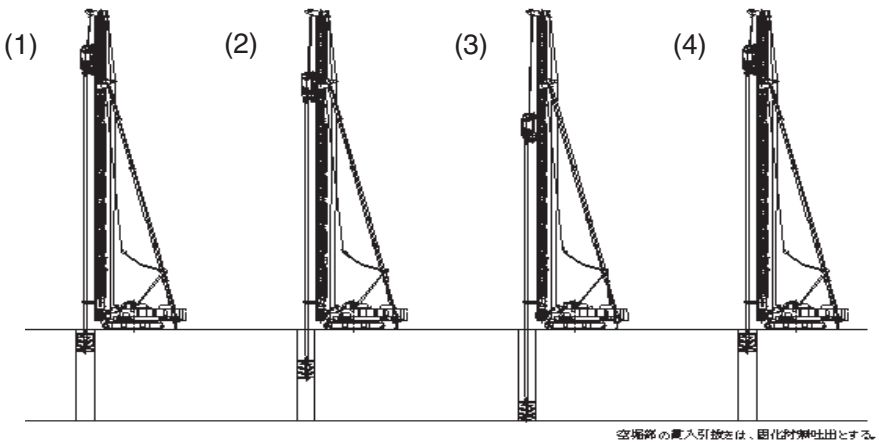


図５　深層混合処理工の施工手順

(1)移動･据え付け　一軸撹拌機を杭芯にセットする。重機の傾斜計により垂直性を確認する。
(2)貫入撹拌(固化材先端孔吐出)　所定深度までスラリー注入および貫入混合撹拌する。
(3)貫入完了
(4)引抜撹拌(固化材側横孔吐出)　引き抜き混合撹拌する。混合撹拌完了→柱状改良体造成完了

本工事では、硬質な砂礫層(N 値≧50)を支持層とする柱状改良体を造成する計画であった。敷地全体の支持層深度が同一ではないため、柱状改良体が支持層に到達したかどうかの判断が一本毎に必要であった。着底については、撹拌モータの電流値の上昇および貫入速度が低下することにより地盤の固さを評価し、加えて改良位置の柱状図と比較して判断した。施工管理システムと管理モニター画面を**写真 1** に示す。

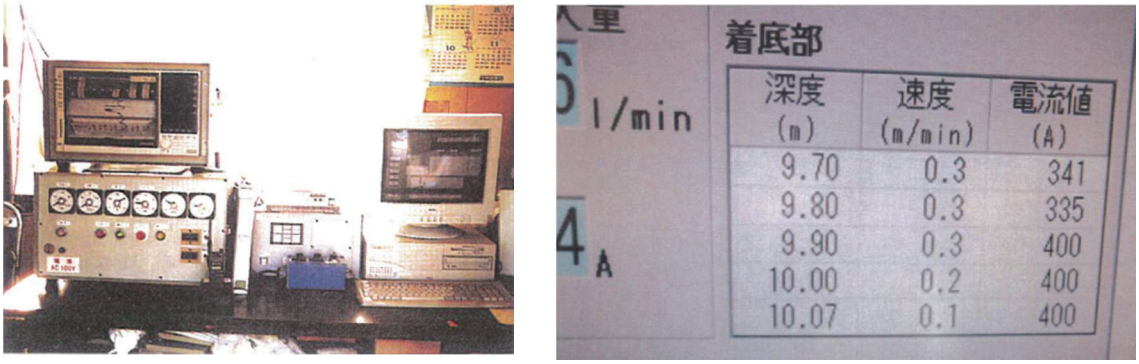


写真 1　施工管理システムと管理モニター画面

3. おわりに

本病棟（**写真2**）は、免震構造（**写真3**）の採用により、上部構造の地震時の応答を低減させ、医療施設の安定的な運用を可能にした。改良地盤はこの免震構造の基礎部を担っており、今後想定される巨大地震においても、病院という重要構造物の機能を支えてゆく。

写真 2 完成況状

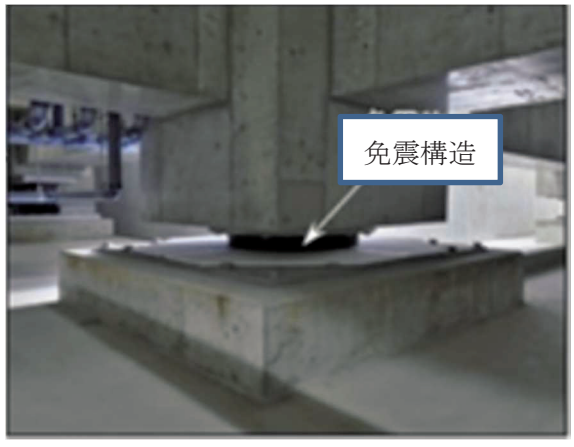


写真 3　免震構造

4.5.6　高等学校の改築工事におけるスラリー系浅層機械式撹拌工～香川県～

1. はじめに

香川県仲多度郡にある、鉄筋コンクリート造 2 階立ての高等学校の建替えに伴い、支持力を増強するため、地盤改良が採用された。

2. 地盤条件と地盤改良の仕様

標準貫入試験結果を**図 1** に示す。当該地盤は GL-5m 以深から N 値が 30 以上であるため、改良深さは GL-5m とされた。また、液状化の発生について検討がなされた結果、液状化抵抗率（FL 値）が 1.0 を超えることから液状化しないと判定された。

地盤改良の仕様を**表 1** に示す。また、改良体の配置図を**図 2** に、地盤改良の状況を**写真 1** に示す。

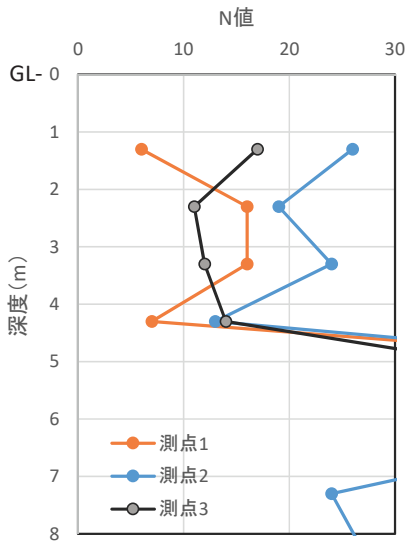


図 1　標準貫入試験結果

表 1　地盤改良の仕様

項　目	仕　様
工法	浅層混合処理工法 （スラリー系浅層機械式撹拌工法）
対象土	粘性土、砂、礫
改良幅　（m）	2.0~3.9m
改良奥行　（m）	2.0~3.9m
改良深さ　（m）	GL-1.35～5.00 GL-1.55～5.00 （支持層 GL-5m まで改良）
目標強度　（kN/m^2）	F_c=900
固化材の種類	汎用固化材
固化材添加量　（kg/m^3）	240
添加方法	スラリー添加（W/C=143%）

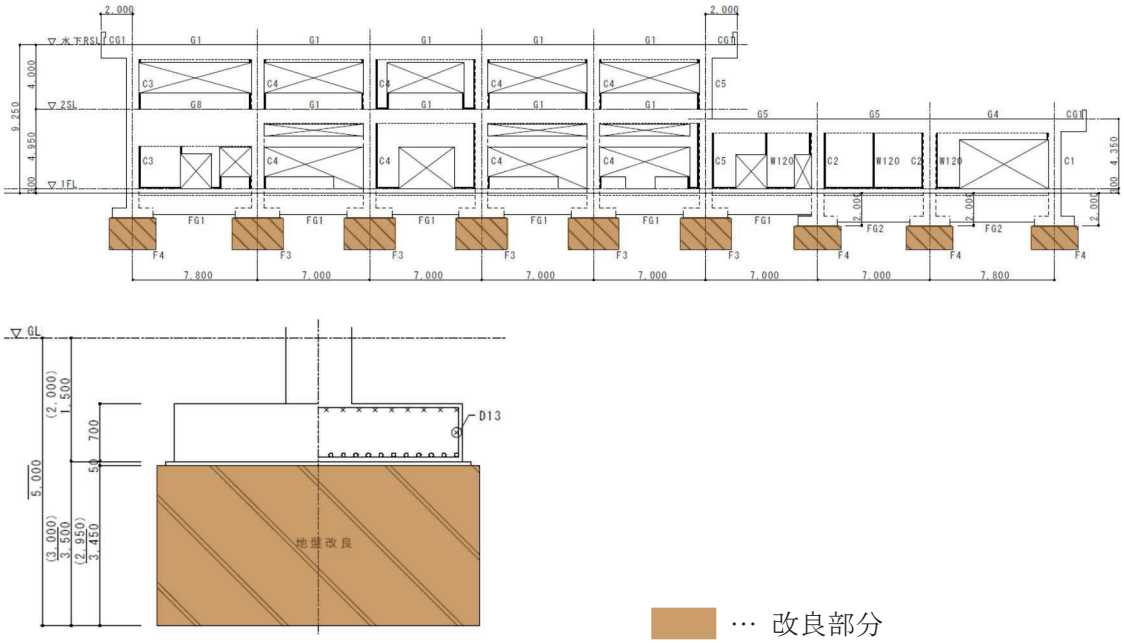


図２　改良体の配置図

写真１　地盤改良の状況

3. おわりに

改築工事の完了の状況を**写真２**に示すとおり、無事、供用が開始された。

写真２　改築工事の完了の状況

4.5.7　新築住宅工事における機械式撹拌工～福岡県～

1. はじめに

建築基準法の改正や住宅の品質確保の促進等に関する法律（品確法）の改正等により、住宅基礎について関心が高まり、住宅基礎地盤の支持力増強を目的としたセメント系固化材による地盤改良の普及が進んでいる。

本節では戸建住宅基礎の地盤改良（福岡県行橋市）について紹介する。

2. 地盤改良工事の概要

(1)地盤調査

計画敷地内の 5 箇所にて、スウェーデン式サウンディング試験（SWS 試験）が実施された結果、接地圧に対して地耐力が不足しており地盤補強が必要と判断され、機械式撹拌工法による柱状地盤改良が実施された。

写真 1 に SWS 試験の状況、**図 1** に代表測点の試験結果を示す。

写真 1　SWS 試験状況

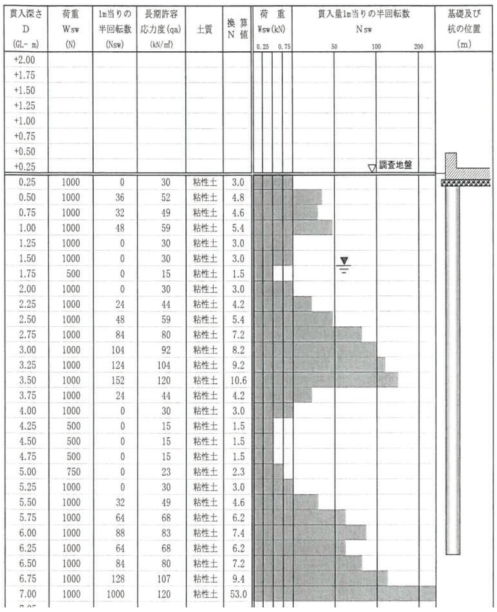


図 1　SWS 試験結果(代表測点)

(2)地盤改良仕様

計画された地盤改良の仕様を**表 1** に示す。

表１　地盤改良の仕様

項　目	仕　様
工　法	機械式撹拌工法
対象土	粘性土
改良径　（mm）	600
改良本数　（本）	24
改良深さ　（m）	6.0
設計基準強度　（kN/m²）	500
固化材の種類	汎用固化材
固化材添加量　（kg/m³）	300
添加方法	スラリー添加（W/C＝60%）

(3)地盤改良体の配置図

住宅基礎に対して地盤改良を実施した配置図（杭伏図）を**図２**に示す。

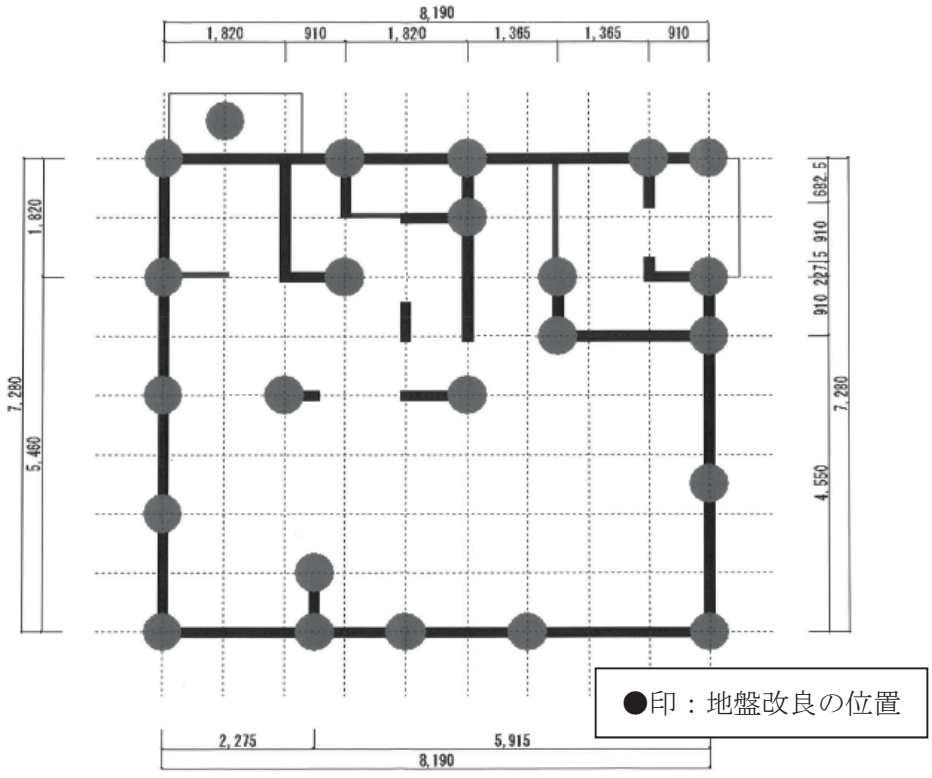


図２　地盤改良配置図（杭伏図）

(4)地盤改良施工

地盤改良はコンパクトな機械で、先端に撹拌翼を持ったロッドを回転しながら、固化材スラリーを注入・撹拌して柱状の改良体を造成する機械式撹拌工法で施工した。施工状況を**写真 2** に示す。

写真 2　地盤改良施工状況

(5)品質管理

地盤改良施工後、供試体を採取し、材齢 7 日にて一軸圧縮試験が実施された。一軸圧縮強さは目標強度を十分満足する結果であった。一軸圧縮試験状況を**写真 3** に示す。

写真 3　一軸圧縮試験状況

5.　強化復旧・防災における地盤改良工事

4 章の汎用的な地盤改良工事に続き、本章においては、近年に発生した自然災害からの強化復旧・防災を目的とした地盤改良工事を紹介する。

5.1　粘り強い海岸堤防工事（高潮対策）～青森県三沢海岸～

1.　はじめに

東北地方太平洋沖地震によって発生した大津波は、太平洋沿岸に甚大な被害をもたらした。青森県でも津波被害が生じ、八戸の津波観測施設では 4.2m 以上の高さの津波が観測された[1)]。海岸被害（**図 1**）として、①堤防裏法の崩壊、②突堤被覆ブロックの飛散、③護岸の損壊などが報告されており、青森県は青森県復興プラン[2)] に基づき、復旧・復興を進めている。

海岸堤防の復旧工事を行うにあたっては、大津波に見舞われても、被害を軽減できる粘り強い構造[3)]が検討されている。

本節では、この検討結果に基づいて施工された、三沢海岸の海岸堤防復旧工事の事例を紹介する。

図 1　三沢海岸の被害状況[2)]

2.　粘り強い構造を実現するための補強箇所

青森県から千葉県の海岸堤防の津波高さや被災状況を調査、整理すると、①裏法尻部の洗掘、②裏法被覆工および天端保護工の流出、③波返工の倒壊、の 3 つの被災形態に大別される[4)]。この被害箇所を補強することで「粘り強い構造※」としての効果が発揮される。

※「粘り強い構造」の基本的な考え方[3)]

設計対象の津波高を超え、海岸堤防等の天端を越流した場合でも、施設の破壊、倒壊までの時間を少しでも長くする、あるいは、全壊に至る可能性を少しでも減らすことを目指した構造上の工夫を施すこと。

3.　復旧工事の概要

粘り強い構造を実現するために、①陸側法面被覆ブロックの補強・工夫、②天端被覆工の補強、③陸側法止コンクリートの補強、④陸側法尻の保護　が実施された（**図 2**）。このうち、陸側法尻の保護において、浅層混合処理工法による地盤改良がなされた。

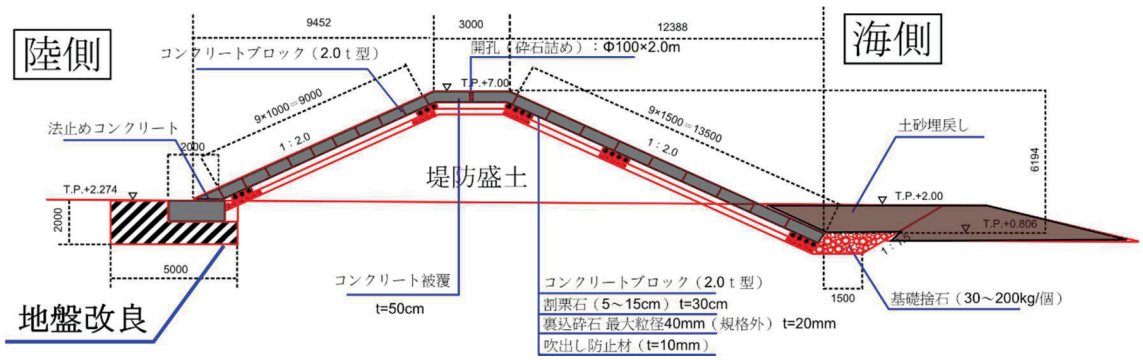


図２　浅層混合処理工法での補強箇所

写真１　施工状況（地盤改良の状況）

表１　地盤改良の仕様

項　目	仕　様
工法	浅層混合処理工法
対象土	砂質土
改良幅　（m）	5.0
改良深さ　（m）	2.0
目標強度　（kN/m^2）	40（引張強度）
固化材の種類	高炉セメント B 種
固化材添加量　（kg/m^3）	121
添加方法	スラリー添加

4. おわりに

青森県三沢海岸は、東北地方太平洋沖地震で発生した津波により被害を受けた。堤防復旧工事では、今後の津波被害に対して減災効果をもたせるため、粘り強い構造が採用され、陸側法尻に浅層混合処理工法が実施された。完成した堤防の全景を**写真 2** に示す。仙台湾南部海岸においても、同様の施工がなされており、今後も各地での津波被害対策において、各種地盤改良が適用されるものと考えられる。

写真 2　完成した堤防の全景

【参考資料】

1)　気象庁：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震
http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2011_03_11_tohoku/index.html

2)　青森県：青森県復興プラン
http://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/kikikanri/seikatsusaiken/files/hukkou_plan.pdf

3)　国土交通省　国土技術政策総合研究所河川研究部：国総研技術速報 No.3　粘り強く効果を発揮する海岸堤防の構造検討（第 2 報）、平成 24 年 8 月 10 日

4)　国土交通省 海岸における津波対策検討委員会： 平成 23 年東北地方太平洋沖地震及び津波により被災した海岸堤防等の復旧に関する基本的な考え方

5.2　災害復旧工事に適用された防潮堤盛土改良 ～岩手県陸前高田～

1. はじめに

岩手県陸前高田市の高田地区海岸では、長さ約 2,000m に及ぶ二つの防潮堤(復旧延長 1,872m)を再整備するとともに、津波で被害を受けた海中の人工リーフを 1,200m にわたって復旧する岩手県内最大の海岸復旧工事が行われ、2016 年 12 月に完成した。

この復旧工事では、海岸沿いの砂浜に接した形で第一線堤（延長 1,768m）と第二線堤（延長 1,872m）を整備するもので、第一線堤は震災前と同じ海抜 3m で整備し、第二線堤は震災前の 5.5m に対して 12.5m と 2 倍以上の高さに整備した。また、同じく津波で損壊した海中の人工リーフも震災前と同様に 3 基再整備するほか、浜田川水門も併せて復旧された。

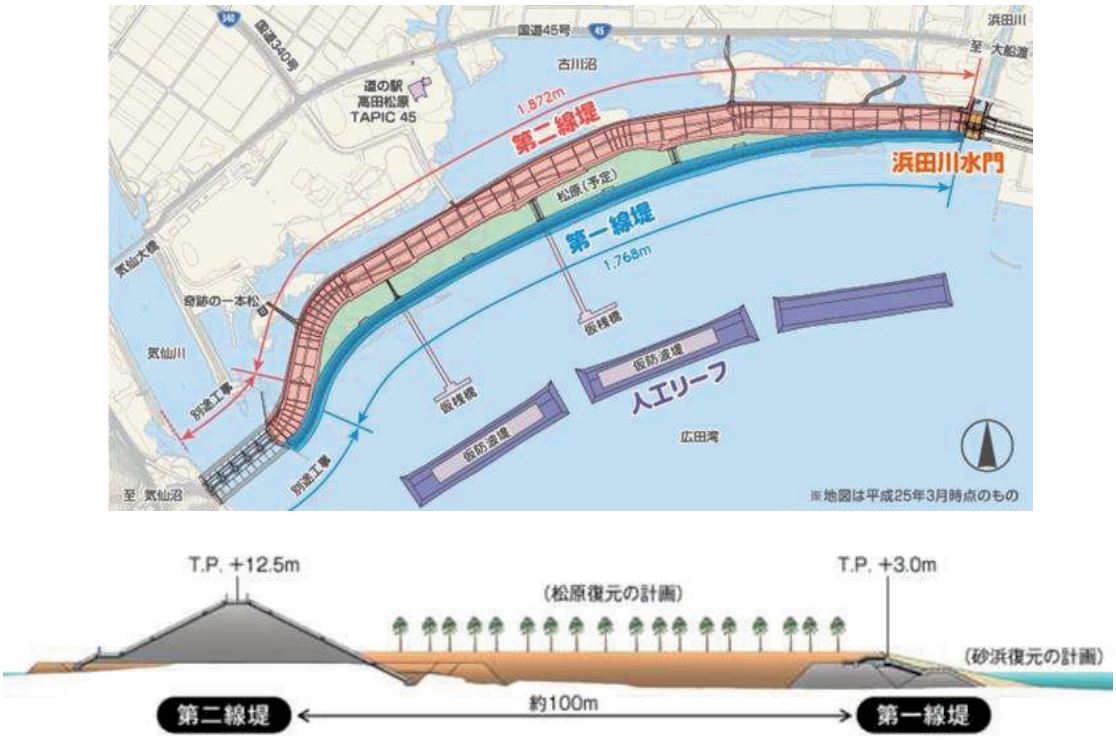


図 1　平面図および断面図

2. 工事の特徴

主目的構造物である第二線提の高さは、数十年から百数十年に一度の津波を想定して、T.P.＋12.5m に設定している。それを超える津波が越流した場合でも、堤防の破壊・倒壊までの時間をできる限り長く、あるいは、全壊する可能性を減らすことを目指して以下のような粘り強い構造を取り入れた。

■保護コンクリート及び鋼矢板による法尻部の洗掘防止
■被覆コンクリート（部材厚 50cm）の重量及び連結強度確保による流出防止
■法尻部基礎の地盤改良による液状化防止
■堤体はセメント系固化材で安定処理された改良土を利用

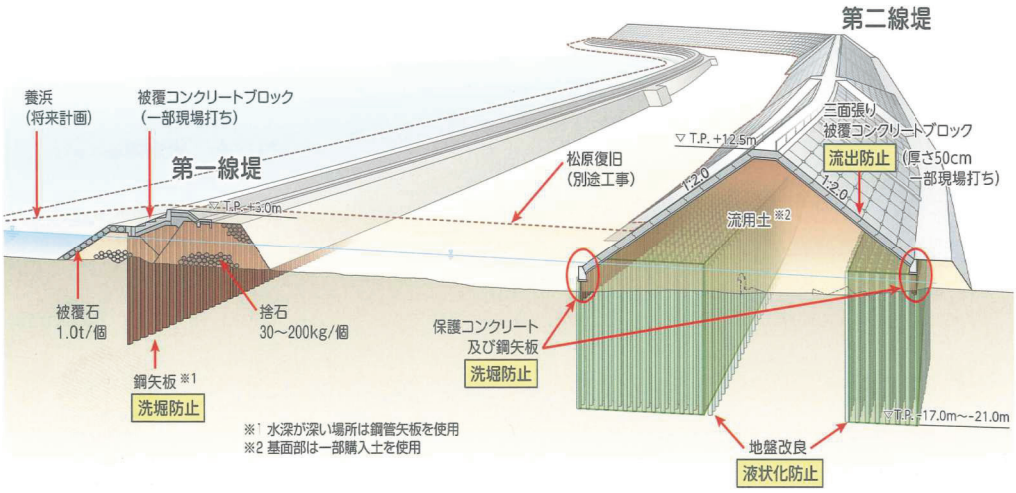


図２　海岸堤防の概要

施工面においても様々な工夫が行われた。まず、第一線提および人工リーフの原型復旧工事のための石材（捨石、被覆石など）は、海上輸送で、仮設桟橋から搬入した。仮設工事用道路等に使用する石材が地元管内で不足することがわかり、石材は広く全国から調達することになった。大量の石材は陸上輸送が困難であり、周辺の港についても災害復旧工事中であるため使用できず、関係省庁との協議の結果、海上輸送のための荷揚げ用仮設桟橋を 2 基、建設することになった。また、外洋に面しているため、安定的に船舶を受け入れるための仮防波堤も併せて築造し、石材と砕石合わせて 60 万 m^3 の搬入が実施された。

写真１　工事全景

堤体盛土の締固め度向上および均一化を目的として情報化施工が取り入れられた。第二線提の盛土材は、主に陸前高田市内の高台移転工事の切土材を流用した。流用土は、解きほぐされ、軟弱であったため、セメント系固化材を添加・混合しながら盛土を構築した。地盤改良の仕様を**表 1** に示す。堤体盛土をセメント系固化材で固化することにより、盛土材としての要求性能を満足するとともに、降雨等で堤体が破損することを防ぎ、手直し工事をなくして工期や工事費の縮減効果があった。

表 1　地盤改良の仕様

項　目	仕　様
工　法	セメント安定処理工
改良量　(m^3)	464,000
目標強度　(kN/m^2)	230
固化材の種類	汎用固化材
固化材添加量　(kg/m^3)	50
添加方法	粉体添加（散布機による固化材散布）

写真 2　盛土工事の状況

写真 3　流用土をセメント改良した盛土工事

3. おわりに

「頻度の高い津波」（数十年～百数十年に 1 回以上発生する津波）に対しては、堤防により、津波を防ぐこと、「最大クラスの津波」に対しては、施設に過度に依存した防災対策には限界があることを認識しつつ、低頻度ではあるが大規模な外力に対しても粘り強さを発揮する構造を持つことを課題として、ふたつの防波堤は再築造された。

今後も、人工リーフ、松の植樹や養浜により、かつての豊かな漁場や白砂青松の景勝地を取り戻す活動が続けられる。

写真４　第二線提の施工状況

図３　完成イメージ図

5.3　かさ上げ道路整備による津波対策施設に適用された浅層混合処理工

～仙台市東部復興道路整備事業～

1. はじめに

仙台市では、東日本大震災からの復旧・復興に向けて取り組むべき施策を体系的に定め（仙台市震災復興計画（平成 23 年 11 月策定））、計画的に推進していくことで、一日も早い復興を目指した。仙台市震災復興計画では 10 の復興プロジェクトを掲げており、このうちの 1 つに「津波から命を守る」津波防災・住まい再建プロジェクトがある。具体的な取り組みとして、①県道かさ上げなどによる「津波減災」、②避難のための施設の確保、③安全な住まいの確保が挙げられている。

このうち、①県道かさ上げなどによる「津波減災」において、仙台市東部復興道路整備事業（**図 1**）が行われている。津波により甚大な被害を受けた東部地域の再生に向けて、物理的な「多重防御」、「避難」のための施設整備などの総合的な対策が進められている。

本節では、かさ上げ道路を構築するための盛土の安定性を向上させるために実施された、セメント系固化材を用いた浅層混合処理工法について紹介する。

1）　かさ上げ道路の整備

多重防御の要として、道路をかさ上げして堤防機能を付加

・県道　塩釜亘理線等

2）　避難道路の整備

東部地域を東西に結ぶ 3 本の骨格道路について、人や車が円滑に避難できるように拡幅整備を実施

・市道　南蒲生浄化センター1 号線

・県道　荒浜原町線

・県道　井土長町線

3）　避難道路（既存市道等）の整備

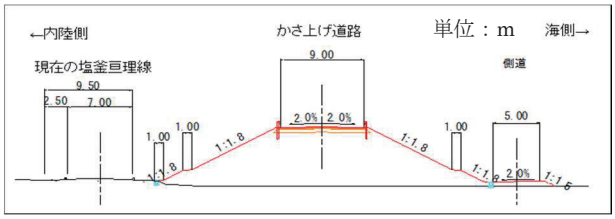
主に集落の方々が津波避難施設等へ円滑に避難できるように、既存市道等の一部改良を実施

図 1　仙台市東部復興道路整備事業の概要

2. かさ上げ道路の仕様

かさ上げ道路の仕様を**図 2** に示す。かさ上げ道路は、県道塩釜亘理線等の東側に海岸線に並行するように計画され、全体延長は七北田川から名取川までの 10.2km である。車道幅

員は 7～9m であり、平常時は片側 1 車線ずつの 2 車線で、緊急時には、停車車両があっても、その横を通り抜けることができるよう、大型車 3 台分が通行可能な幅員を確保したものである（**図 3**）。盛土高さは、かさ上げ道路以西への津波の威力を減じさせることができるよう、T.P.+7m が確保できる、盛土高さ約 6m に設定された。東西へ横断する道路は、内陸側への津波遡上を防止するため、平面交差とされた（**図 4**）。また、盛土材には震災がれきのうち、コンクリート塊と津波堆積土砂を混合したものが一部で活用された。



全体 延長	10.2km （七北田川から名取川まで）
車道 幅員	7～9m （片側 1 車線ずつの 2 車線道路）
盛土 高さ	約 6m （海面（T.P.）から 7m を確保）

図 2　かさ上げ道路の仕様

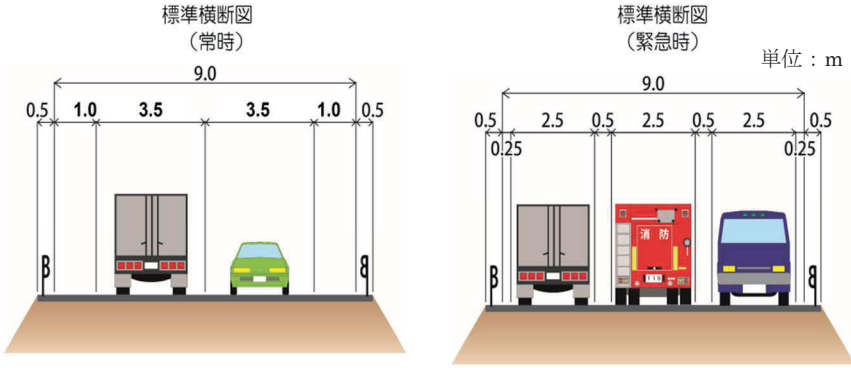


図 3　道路幅員の構成

図 4　東西に横断する道路のイメージ

3. 地盤条件と地盤改良工法

かさ上げ盛土の整備区間の一部において、盛土下部が軟弱な部分については、沈下や円弧すべり対策、砂地盤の箇所については液状化対策として、浅層混合処理工法が実施された。改良深さは、工事場所に応じて、2m と 3m に設定された（**図 5**）。地盤改良の仕様を**表 1**、地盤改良の状況を**写真 1**、**写真 2** に示す。

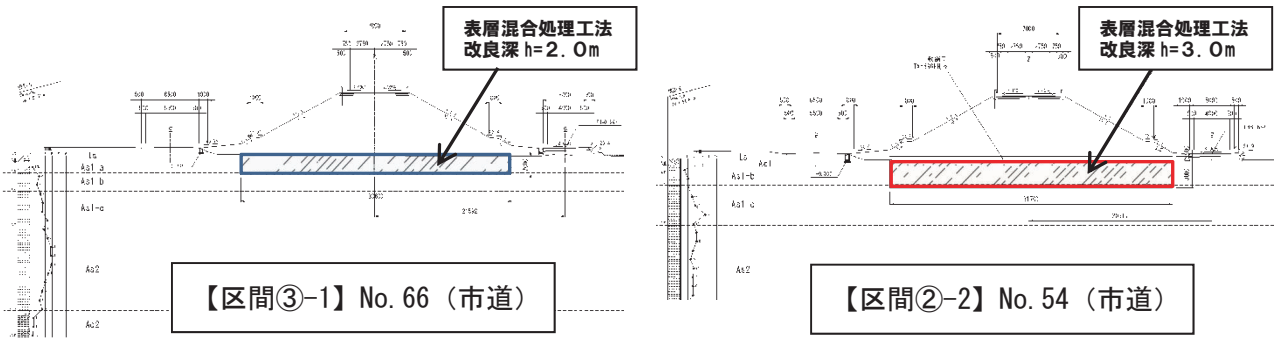


図 5　改良断面図

表 1　地盤改良の仕様

項　目	仕　様	
工　法	浅層混合処理工法	
改良深さ　（m）	2.0	3.0
改良面積　（m^2）	4,800	6,600
目標強度　（kN/m^2）	170	
固化材の種類	汎用固化材	
固化材添加量　（kg/m^3）	78	70
添加方法	スラリー添加（W/C=169～179%）	

写真 1　地盤改良の状況 1

写真 2　地盤改良の状況 2

4. 設計方法

(1) 沈下対策

【沈下量】

圧密沈下量 S_c の計算は、⊿e 法により実施された。

【沈下時間】

無処理地盤条件での圧密沈下時間計算は、換算層厚法で計算された。

(2) 安定計算（円弧すべりの検討）

盛土を対象とした安定計算は、全応力円孤すべり計算法で実施した。

常時における安定計算は、道路土工軟弱地盤対策工指針 [3)] に示される計算法に準じて行われた。

(3) 液状化対策

本検討における液状化の判定は、道路土工軟弱地盤対策工指針 [3)] に示される FL 法で行われた。

(4) 検討結果

軟弱地盤対策工は主に沈下の促進・抑制、安定の確保、液状化による被害の抑制に大別される。当該路線における各対策の概要は以下の通りである。

〇沈下対策　：本区間は即時沈下（盛土の載荷と同時に沈下が収束する）であるため、沈下対策は特段実施しない。

〇安定対策　：安定対策は円弧すべりに対するせん断抵抗に効果あり、かつ経済性に優位である敷網工（ジオテキスタイル）を基本とするが、敷網工のみで対策が困難であることから 2～3m 程度のセメント系浅層改良を併用する。

〇液状化対策：液状化の対策工法は、「液状化の発生を抑制する工法」および「液状化後の変形を抑制する工法」に分類されるが、当該地区は液状化の対象層が厚く（H=18m 程度）前者の工法は高価となるため、後者により対策を実施する。対策工法は、土の構造を化学的に安定させ液状化の発生を抑制し、かつせん断抵抗に効果のある固化改良を基本とする。なお、改良厚は、地震動より発生する過剰間隙水圧を考慮した安定解析により決定した。

5. おわりに

仙台市では、仙台市震災復興計画に基づく復興を進め、津波対策の1つとなる、かさ上げ道路の整備は 2018年度末の完成を目指している。今後の大規模災害を見据えつつ、ハード面の整備において、セメント系固化材による地盤改良が活用されることが期待されている。

写真３　盛土が完成した区間の写真

【参考資料】

1）仙台市：仙台市震災復興計画、平成 23 年 11 月
2）仙台市：東日本大震災仙台市復興五年記録誌、平成 29 年 3 月
3）（公社）日本道路協会：道路土工 軟弱地盤対策工指（平成 24 年 度版）、平成 24 年 8 月

5.4　粘り強い海岸堤防工事（CSG 堤防）～仙台湾南部海岸井土浦地区～

1. はじめに

仙台湾南部海岸は東北地方太平洋沖地震によって発生した巨大津波に襲われ、甚大な被害を受けた。国土交通省は直轄工事区間と宮城県が管理していた海岸のうち、早期復旧の要望を受けた代行工事区間をあわせた延長 29km（**図 1**）について、海岸施設の復旧工事に取り組んできた。平成 28 年度末までに全区間の復旧工事が完了した。

海岸堤防の復旧工事においては、大津波による越流が生じても、粘り強い構造の効果を発揮する海岸堤防となるように 4 つの構造上の工夫（**図 2**）が盛り込まれた。

本節では、井土浦地区で施工された粘り強い堤防の復旧工事について紹介する。

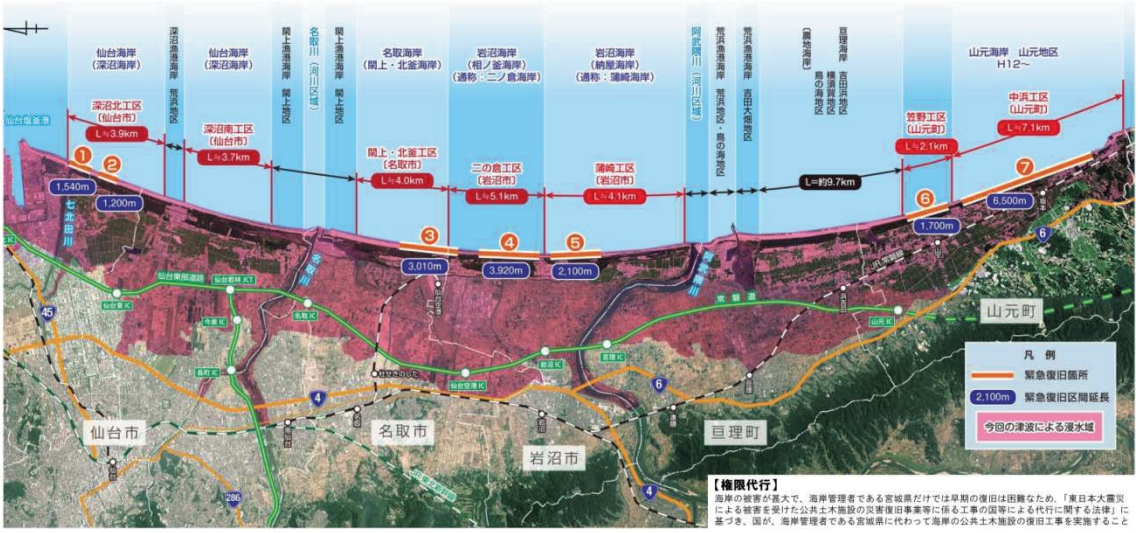
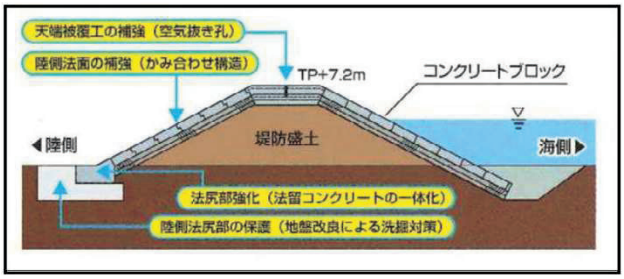


図 1　仙台湾南部海岸の復旧工事位置



※「粘り強い構造」の基本的な考え方 [1)]

設計対象の津波高を超え、海岸堤防等の天端を越流した場合でも、施設の破壊、倒壊までの時間を少しでも長くする、あるいは、全壊に至る可能性を少しでも減らすことを目指した構造上の工夫を施すという考え方。

図 2　粘り強い堤防を実現するための補強箇所

2. 井土浦地区の堤防復旧の方針

井土浦地区の堤防復旧の特徴と課題は以下のとおりである。

1)　津波により消失した砂浜は、その後回復したものの、大幅に汀線が後退した。海と井

土浦に挟まれた地形条件から復旧箇所は狭隘である（**写真 1**）。

2） 汀線が大きく後退したため、堤防の安全上必要となる前浜幅（堤防法尻から汀線までの幅）30m を確保するのが困難であり、汀線の回復状況を踏まえた堤防法線・堤防構造とする必要がある。

3） 堤防法線の設定にあたり、井土浦への環境配慮や背後の復興まちづくり計画との整合から、汀線位置での復旧が困難であり、堤防法線をセットバックすることも困難。

4） 希少な井土浦の汽水環境に隣接するため、自然環境に配慮が必要となる。

5） 他工区での復旧工事で使用した敷設材などの現地発生材を有効活用する必要がある。

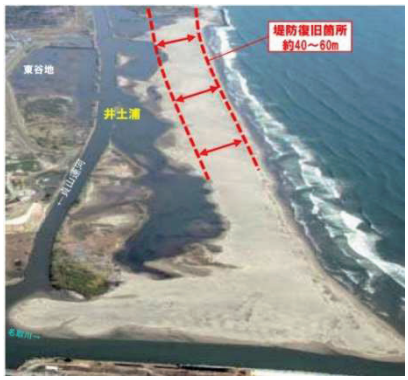
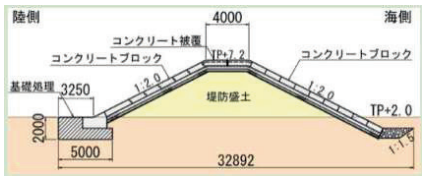
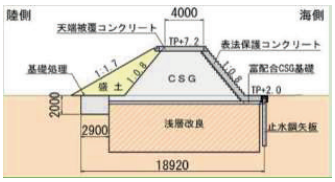


写真 1　堤防復旧箇所の地形条件

これらの特徴と課題を踏まえ、堤防の形式として傾斜型（標準型）と直立型（CSG（Cemented Sand and Gravel）堤）が選定された。いずれの構造も構造安定性は十分であるが、CSG 堤は標準型と比べ改変面積が小さいため、井土浦の狭隘な地形条件にも適用できるとともに環境への影響が少ないと評価された。また、震災による現地発生材を CSG の母材として活用できる利点があった（**表 1**）。これらの検討結果から CSG 堤が選定された。

表 1　傾斜型（標準型）と直立型（CSG 堤）の総合評価

		傾斜型（標準型）		直立型（CSG 堤）	
概要図					
構造安定性		問題なし	○	問題なし	○
環境性	海浜への影響	敷設幅が約 33m と CSG 堤よりも改変面積が大きい。	△	敷設幅が約 19m と標準型よりも改変面積が小さい。	○
	井土浦湿地環境への影響	作業ヤード等による改変面積が大きい。	△	工事用道路のみで改変面積は小さい。止水矢板や地盤改良深度が浅いため、地下水など特に影響はない。	○
適用性	施工性	標準構造であり実績も多く問題なし	○	汎用機械での施工が可能であるが、CSG 製造工程が追加される。	△
	維持管理性	堤体土の吸出しや沈下などによる空洞化の可能性あり。	△	地盤改良もあわせて実施しており、吸出しや沈下などによる影響が小さい。	○
	現場発生土の活用	盛土材は購入土となるため、現地発生材の活用は困難。	×	CSG 母材として他工区からの現地発生材を有効活用することが可能。	○
総合評価		△		○	

3. 堤防復旧工事の概要

（1） 地盤改良工事

CSG 堤の基礎地盤と陸側の堤防法尻部に浅層混合処理工法が適用され、堤防の安定性向上ならびに粘り強い構造を実現するための補強がなされた。CSG 堤防の標準断面を**図3** に、整備イメージを**図 4** に示す。また、地盤改良工事の仕様を**表2** に示す。施工状況を**写真２**、**写真３**に示す。

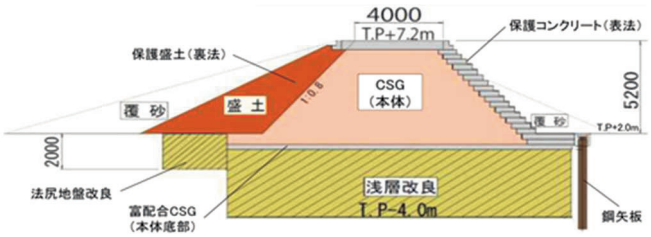


図３　CSG 堤防の標準断面

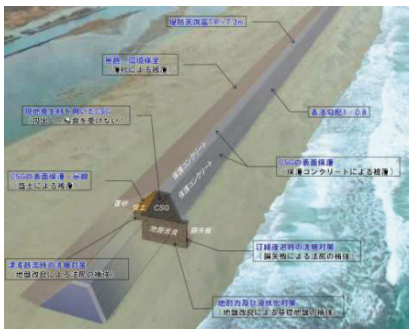


図４　CSG 堤防の整備イメージ

表２　地盤改良の仕様 [2)]

項　目	仕　様	
補強箇所	堤体基礎	堤防法尻
工法	浅層混合処理工法	
改良深さ　（m）	4.0	2.0
目標強度　（kN/m²）	300 以上（圧縮強度）	40 以上（引張強度）
固化材の種類	高炉セメント B 種	高炉セメント B 種
固化材添加量　（kg/m³）	100	90
添加方法	スラリー添加	スラリー添加

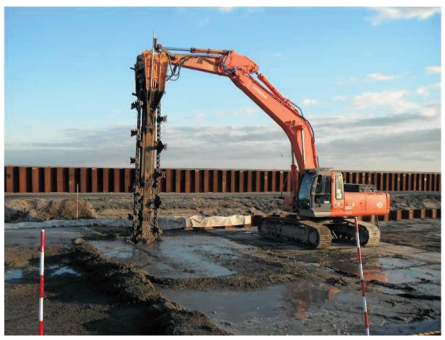


写真２　堤防基礎の改良状況 [2)]

写真３　堤防法尻部の改良状況 [2)]

（2） CSG 工法

CSG 材とは建設現場周辺で手近に得られる材料（CSG 母材）に、セメント、水を添加して簡易な混合設備で製造される材料である。CSG 工法は、CSG 材を振動ローラで転圧することで構造物を構築する工法である。セメントと水の添加量や転圧回数は、事前に室内試験と試験施工が行われ決定される。実施工においては、CSG 母材の粒度や表面水量の変動を考慮して、必要CSG強度を満足する単位水量が選定されることになる（**図5**）。CSG工法の仕様を**表 3** に示す。施工状況を**写真 4** に示す。

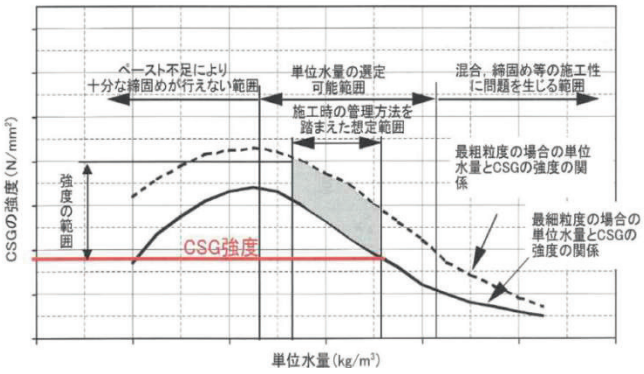


図 5　CSG の粒度、単位水量および強度の関係 [3)]

表 3　CSG 工法の仕様 [2)]

項　目	仕　様
必要 CSG 強度　（N/mm²）	0.81
セメントの種類	高炉セメント B 種
単位セメント量　（kg/m³）	CSG（本体）：40 CSG（本体底部）：100
単位水量　（kg/m³）	120～150

写真 4　CSG 材の転圧状況

4. おわりに

井土浦地区の特徴と課題を踏まえて、従来の構造形式と異なる CSG 堤による粘り強い堤防が構築された。浅層混合処理工法は、堤体基礎の支持力増強のためと堤防法尻の洗掘防止のための 2 通りの目的で実施された。また、CSG 堤であることから堤体にもセメントが用いられており、事業の実現にはセメント系材料が欠かせないものであった。

【参考資料】

1） 国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部：国総研技術速報 No.3 粘り強く効果を発揮する海岸堤防の構造検討（第 2 報）、平成 24 年 8 月 10 日
2） 国土交通省東北地方整備局仙台河川国道事務所 提供
3） 財団法人ダム技術センター：台形 CSG ダム 設計・施工・品質管理技術資料、平成 24 年 6 月

5.5　河床下地盤の固化改良による周辺宅地の側方流動対策 ～千葉県香取市小野川～

1. はじめに

香取市は千葉県の北東部にあり、地形的には北部の利根川の低地、南部の谷津と呼ばれる谷に刻まれた下総台地から構成されている。利根川が東西に流れ、江戸時代以降の利根川の東遷による土砂堆積によって陸地となった低湿地が広がっている(**図1**)。東日本大震災における香取市の被害の特徴は、液状化を要因とする地盤沈下や地盤の移動(側方流動)により、建物が沈下・傾斜し、道路や埋設管などが損傷したところである(**写真1**)。

液状化したのは、かつて水域であった場所を利根川の浚渫土などで人為的に埋め立てたところや利根川の運んだ土砂が堆積して昭和以降に集落が形成された場所などである。地下水位が高く、緩く細かな砂層から形成された形成年代の若い土地が地震により液状化したと考えられる。

香取市の液状化対策委員会は、再度大きな地震が発生した場合に、河川に向かって側方流動(**図 2**)が生じることを二次元地震応答解析等により確認し、側方流動が発生しないようにする様々な方法を検討し、河床下の地盤を格子状に改良するという工法を選択した。

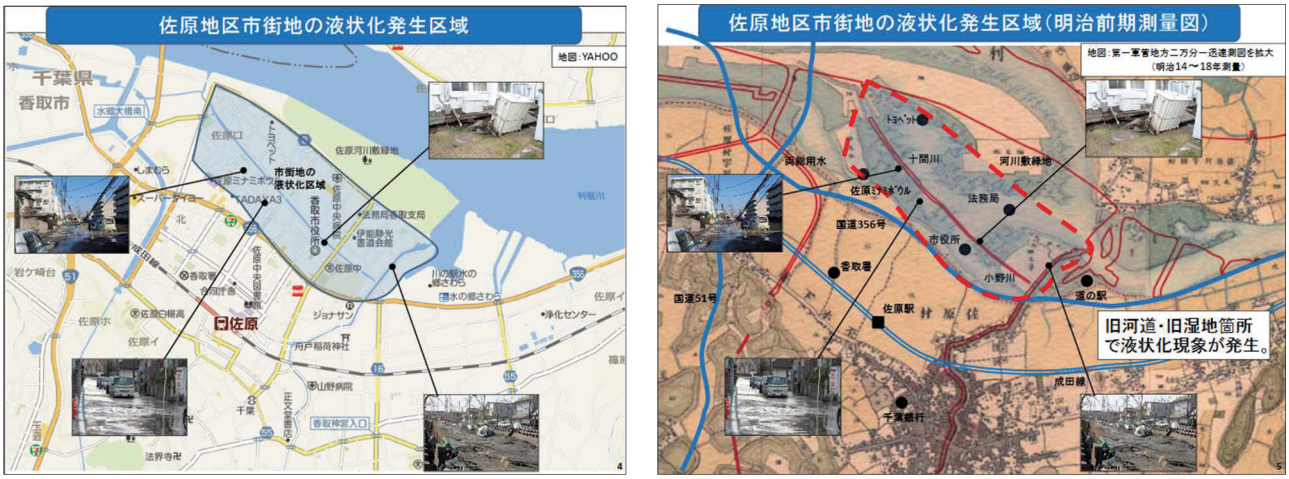


図 1　液状化発生地域の新旧地図

写真 1　小野川の噴砂と側方流動

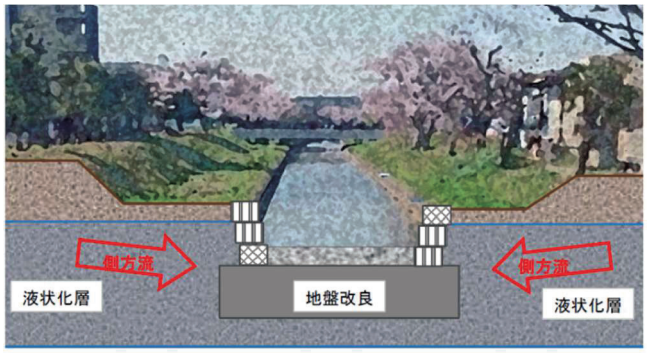


図 2　側方流動対策工イメージ図

2. 地盤改良の概要

本工事は香取市内を流れる一級河川小野川の側方流動防止を目的に、河床下を固化改良して河川護岸を連結させた。**表 1** に地盤改良の仕様を示す。**写真 2** に施工状況を示す。

図 3 には近傍の柱状図を併記しているが、改良対象は N 値 5 程度以下の緩い砂質土を主体とした地盤であった。計画では、台船（**図 4**）を用いた施工の他に仮設桟橋上からの施工や河川を一度埋めてから施工する方法も想定されたが、本工事は河川内作業を渇水期中に完了しなければならないという工期の制約があり、いずれも仮設設備に相当の時間を要すること、またその期間は河川側道の規制が必要となることから工程や工費の面で有利な台船を用いた施工方法が採用された。

表 1　地盤改良の仕様

項　目	仕　様
工　法	高圧噴射撹拌工法
対象土	砂質土
改良径　（mm）	2000
改良量　（m^3）	15,579
改良率　（%）	50 以上
改良深さ　（m）	5.0
固化材の種類	工法専用固化材
固化材添加量　（kg/m^3）	210
目標強度　（kN/m^2）	1000
添加方法	スラリー添加(W/C＝150%)

写真 2　施工状況

（左：施工ヤード，右：仮設ヤード）

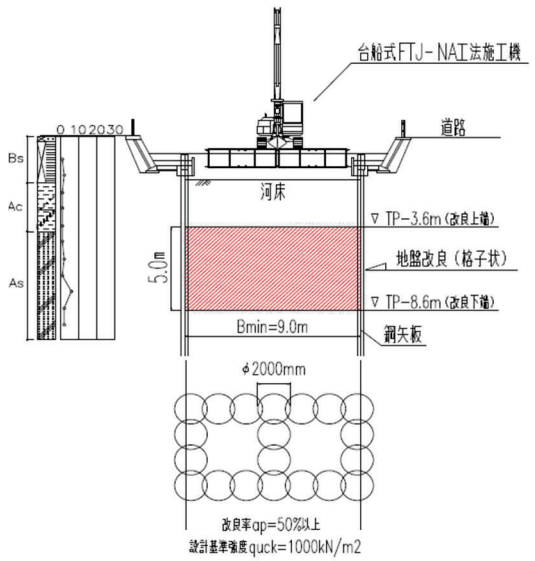


図３　改良標準断面図

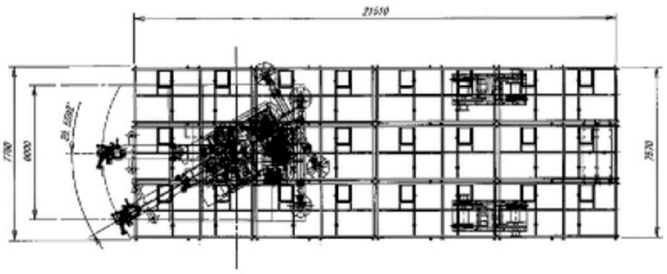


図４　台船形状図

また、一般に河川内工事で用いられている単管式の高圧噴射撹拌工法では、施工時の地盤隆起が周辺住宅や河川施設に影響を与える可能性があったため、本工事では低変位工法を採用し、施工時に切削した地盤をエアリフト効果により地表面に排泥として出すことのできる二重管式の高圧噴射撹拌工法が施工された。

さらに、台船の幅が 8m 程度あるのに対し、河川幅は最小で 9m 程度と台船移動による施工位置決めは困難となることが想定されたので、旋回することで任意の位置に施工可能なアーム式（バックホウタイプ）の施工機を用いることとした。しかし、施工時の排泥は河川汚濁の要因となるため、排泥が河川に拡散しないような対策を講ずる必要があった。そこでφ2000mm の改良径に対し、φ2220mm のケーシングで改良域を覆い、施工時にケーシング内に溜まる排泥をもれなくポンプアップする排泥回収方法を適用した。施工時はケーシングを地盤中に圧入し、ケーシング内に溜まった排泥を適宜、真空ポンプで仮設ヤードの水槽に送り、10t 排泥運搬車で搬出することにした。

なお、仮設ヤードの水槽は施工中にケーシングの隙間から河川水が流入することを想定し、標準的な陸上施工の排泥量の 2 倍程度をストックできる台数とした。(図 5)

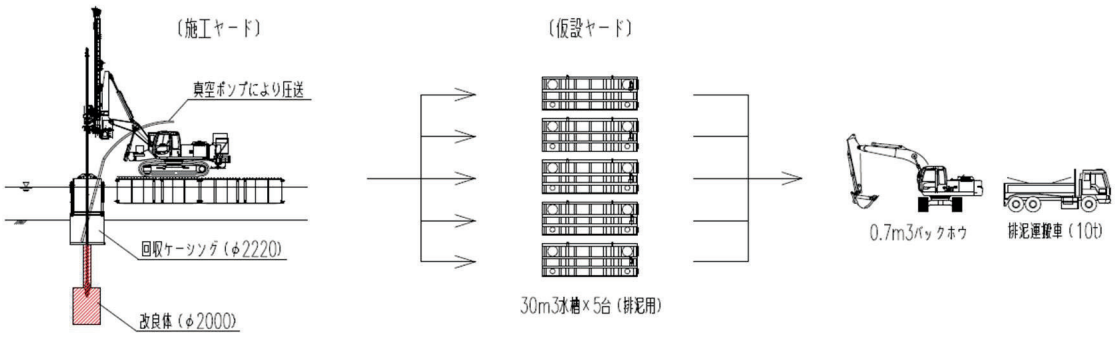


図５　排泥回収方法

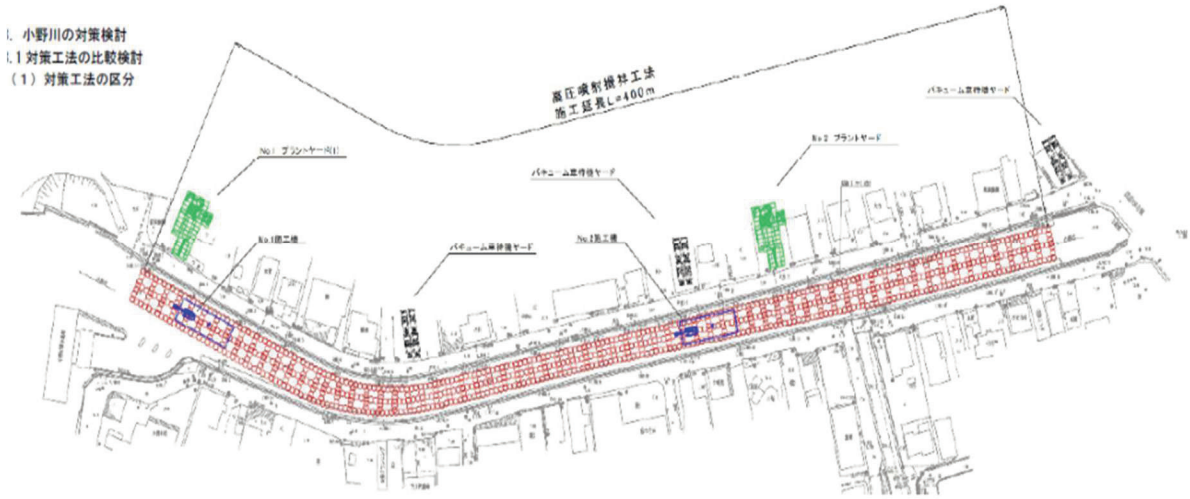


図６　改良施工平面図

3. 施工管理

施工時の河川汚濁は、下流側で採取した河川水の pH を測定して確認したところ、pH＝7.4～7.8 程度と施工前後でほとんど変化はなく、また目視でも濁りは確認されなかった。施工時の地盤変位は、改良域と周辺住宅の間の河川側道で 1 日 3 回動態観測を行った。観測結果は施工前後で有害な変位は確認されていない。ケーシング内からポンプアップして場外搬出した排泥量は、標準的な陸上施工の 1.0～1.2 倍程度であり、過度に増えることなく施工出来た。

改良体の品質確認はボーリングでコアを採取し、施工後 28 日経過後の供試体で一軸圧縮試験を実施した。測定結果は設計基準強度 1000kN/m² に対して、1100 kN/m² 以上であった。図 6 に改良施工の平面図を示す。

4. おわりに

2016 年に小野川の側方流動に対する液状化対策事業が完了した。液状化が発生すると、小野川沿いの高低差がある地盤で、流動化した地盤が河川背後から河川側に向かって移動し、大きな水平変位が発生するが、対策工（側方流動対策工）により、河床部の地盤改良が完成し、河川背面地盤の水平変位を抑え、側方流動を防ぐ対策が完了した。

対策委員会が行った二次元地震応答解析（FLIP）で、この事業による効果（護岸の変位・傾斜など）をシミュレーションしたところ、今回と同様の地震やこれより加速度の大きな直下型地震においても対策工の閾値※内に有害な変位が抑えられることが確認された。**写真 3** に現在の小野川護岸の状況を示す。

※①タイプ１地震に対しては、宅地の液状化程度が軽微となることを目標に、水平変位 5cm 以下とする。
②タイプ２地震に対しては、宅地に有害な変位が生じないよう、宅地境界から 10m の範囲で水平ひずみ（水平方向の伸縮ひずみ）0.3%以下とする。

写真３　現在の小野川護岸の状況

【参考資料】

1）　台船を用いたエア・スラリー式高圧噴射撹拌工法の河川内工事への適用、杉本知弘、今井優輝他、第 51 回地盤工学研究発表会投稿論文、2016.9
2）　佐原地区の液状化対策検討結果、香取市ウェブサイト、液状化対策検討委員会

5.6　土砂災害対策における砂防えん堤工事～広島県広島市安佐南区・安佐北区～

1.　はじめに

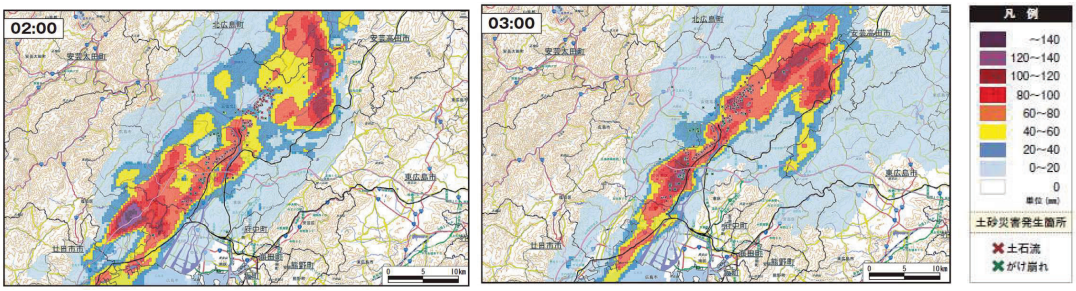
2014 年 8 月 20 日未明、広島県では局所的な豪雨が発生し、1 時間あたりの雨量が 100mm という猛烈な雨量を観測した。広島市北部に位置する安佐南区と安佐北区では、土石流とがけ崩れが発生し、甚大な人的被害・住宅被害が発生した。災害復旧・対策として砂防えん堤の整備が進められており、そこでは現地発生土をセメントで改良した材料が活用されている。本節では、2014 年の大規模土砂災害の状況と砂防えん堤による防災事業の概要を紹介する。

写真 1　大規模土砂災害の状況 [1)]

2.　広島豪雨土砂災害の概要

2.1.　降雨状況

2014 年 8 月 19 日夜から 20 日明け方にかけて、風上で積乱雲が連続的に発生することで、風下の地域に集中豪雨をもたらすバックビルディング現象が、広島県広島市北部において発生した。降雨概況を**図 1** に示す。19 日夜に降り始めた雨は時間の経過とともに強くなり、20 日 3 時~4 時の時間帯に被災地域では 1 時間 100mm を超える猛烈な雨量を観測した。



XRAIN 出展：国土交通省が観測し広島県へ配信している XRAIN レーダエコー観測情報（1 分間隔配信）を 60 分雨量強度換算し図化した。

図 1　降雨概況 (XRAIN) [1)] から抜粋

2.2.　被災状況

安佐南区・安佐北区では、107 カ所で土石流、59 カ所でがけ崩れが同時多発的に発生した。被災地域は山裾まで宅地化が進んでおり、多数の住宅がのみ込まれた。全壊や浸水などの家屋被害と甚大な人的被害が発生 [1)] しており、激甚災害に指定されている。広島では 1999 年においても豪雨災害が発生しており、これを契機に土砂災害防止法が施行され、調査と区域指定や警戒避難体制の整備などが進められてきた。

2.3.　砂防えん堤による土石流の捕捉状況

災害発生後の点検において、集中豪雨によって発生した土石流を砂防えん堤が捕捉している状況が確認された（**写真 2**）。砂防えん堤が整備されていた渓流においては、下流への土砂の流出が軽減されており、砂防えん堤による減災効果が認められた。

写真 2　砂防えん堤による土石流の捕捉状況 [1)]

3.　広島土砂災害後の緊急事業における砂防えん堤の整備

2014 年 8 月の土砂災害後、緊急点検が行われ、安佐南区・安佐北区の 24 渓流に国土交通省の緊急対策事業として砂防えん堤の整備が開始された。整備にあたり、砂防えん堤の材料にはコンクリートと砂防ソイルセメント（以下、ソイルセメント）の 2 種類を適材適所で活用している。ソイルセメントとは、施工現場で発生した現地発生土砂を固化材などと撹拌混合した材料である。砂防施設を構築するにあたり、現地発生土砂を有効活用するために砂防ソイルセメント工法が開発された。

3.1.　砂防えん堤材料の選定

砂防えん堤を整備する地域は山裾まで宅地化が進んでいる。そのため、住民の生活環境に配慮し、土砂の搬出などの工事車両を減らすことなどが望まれた。そこで、発生土を現地で活用するソイルセメントを採用することで、現地発生土の搬出を低減し地域住民への負荷を低減している。

しかし、ソイルセメントを採用するには、現地において適切な材料が確保できること、現場付近に材料を保管するヤードが確保できることが前提となる。これらの条件が整わない現場では、コンクリートを活用した砂防えん堤が整備されている。また、コンクリートには、材料の品質管理を生コンプラントで行うなどの施工上のメリットもある。

3.2.　砂防えん堤の整備状況

国土交通省の緊急事業として整備されている砂防えん堤について、ソイルセメントによる砂防えん堤とコンクリートによる砂防えん堤の整備状況を**図 2** に示す。

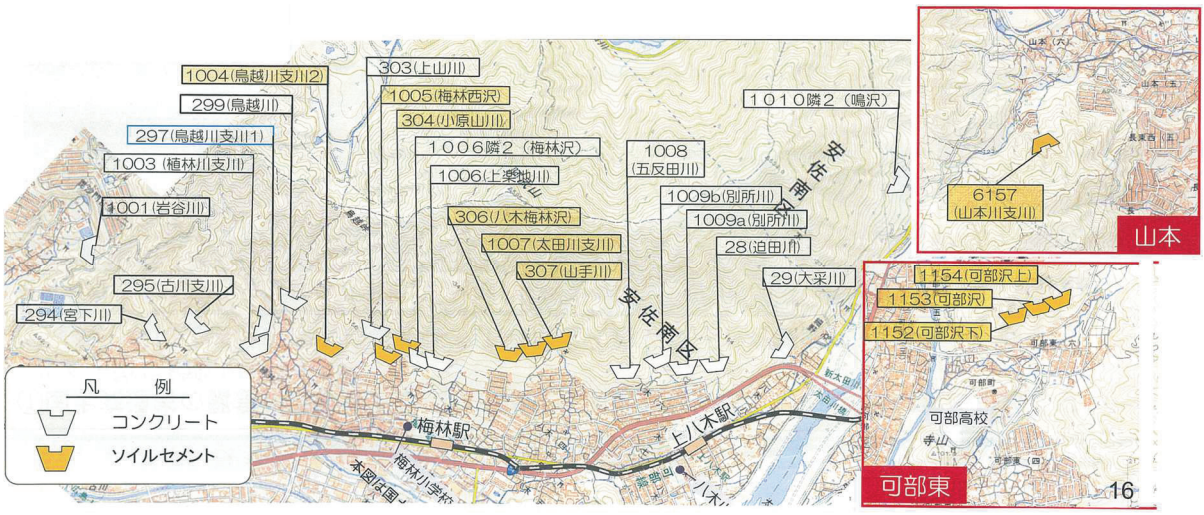


図２　緊急事業による砂防えん堤の整備状況 [3)]

3.3.　ソイルセメントの一例

本緊急事業で砂防えん堤を整備するにあたり、使用されたソイルセメントの一例を**表 1** に示す。

表１　ソイルセメントの一例

項　目	仕　様
工法	INSEM 工法
対象土	マサ土（現地発生土）
目標強度　(N/mm²)	3
固化材の種類	汎用固化材
固化材添加量　(kg/m³)	160
添加方法	粉体

3.4.　ソイルセメントによる砂防えん堤の施工一例

施工フローの一例を**図 3** に示す。まず、現地発生土砂をふるい分けた後、固化材と水を混合して材料を製造する。次に、砂防えん堤の外部保護材を設置し、砂防えん堤の躯体部分に所定量の材料を敷きならす。最後に、転圧によって締固めを行う。この作業を繰り返し行うことで、砂防えん堤を構築していく。なお、**図 3** では現地プラントで混合している事例であるが、バックホウで混合して改良土を作製している事例もある。

図３　ソイルセメントによる砂防えん堤の施工フローの一例 3)

4.　おわりに

土砂災害対策の一つとして砂防えん堤の整備が進められ、そこで使用される材料にはソイルセメントとコンクリートが、それぞれのメリットを活かして適材適所で活用されている。土砂災害の危険箇所は全国的に分布しており、今後も各地の災害対策工事において活用されることが期待される。

写真３　1154 渓流（ソイルセメント）4)

写真４　294 渓流（コンクリート）4)

【参考資料】

1)　広島県土木局砂防課：平成 26 年 8 月 20 日発生　8.20 土砂災害、
2)　国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所現地推進室：広島土砂災害現地視察資料
3)　国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所:広島豪雨土砂災害対策　現地推進室だより No.13
4)　国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所:広島豪雨土砂災害対策　現地推進室だより No.22

5.7　道路陥没事故における流動化処理土による早期復旧工事～福岡県博多駅前～

1. はじめに

福岡市地下鉄七隈線の延伸工事（天神南～博多区間）において、掘削中のトンネル崩落により道路陥没事故が発生した。陥没の規模は幅約 27m、長さ約 30m、深さ約 15m であり、両側歩道を含む全 4 車線が消失した。JR 博多駅につながる、はかた駅前通りは全線通行止め、埋設していた電気、ガス、上下水道などのライフラインも断裂し、周辺地域への供給がストップした。しかし、固化材を用いた流動化処理土を活用することで、事故発生から 1 週間という早期復旧を実現した。

写真 1　陥没の状況 [1)]

2. 道路陥没初動期の対応

2016 年 11 月 8 日 5 時 15 分頃に舗装にクラックが発生、その後、道路南側と北側が順次陥没、7 時 20 分頃に道路中央部が陥没し両側歩道を含む全 4 車線が失われた。早期復旧にむけて、電気、ガスや上下水道などライフラインの関係者間で調整を進め、並行して埋戻し材の検討が行われた。埋戻し材には、陥没した隙間を細部まで充填できること、地盤と同程度の強度を発現して安定させること、これらを早期に実現できる事が要求され、固化材を用いた流動化処理土が採用された。

図 1　陥没事故初動期の対応 [1)]

3. 陥没事故発生から仮復旧までの流れ

(1) 流動化処理土による埋戻し（11 月 8 日～9 日）

陥没からおよそ 9 時間後の 14 時 30 分頃に流動化処理土による埋戻しが開始された。

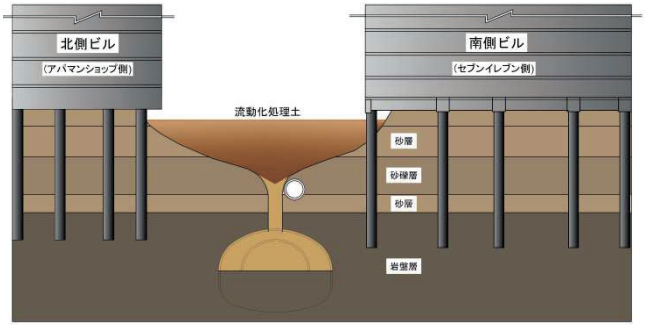


図 2　埋戻しイメージ [1),2)]

写真 2　埋戻し状況 [1),2)]

(2) ライフライン復旧と近接ビル基礎周辺の充填開始（11 月 10 日～13 日）

ライフラインの復旧と近接ビルの基礎周辺の隙間に流動化処理土が充填された。

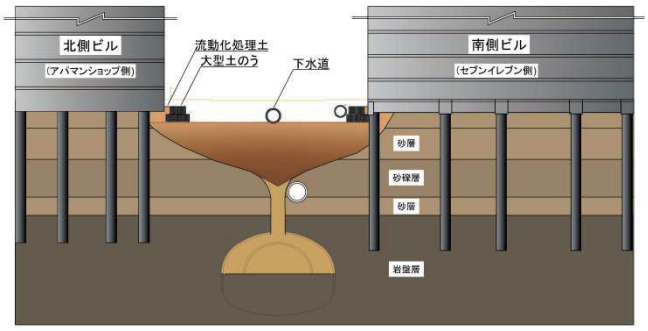


図 3　復旧イメージ [1),2)]

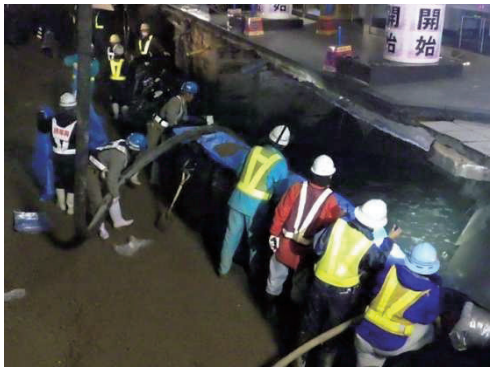


写真 3　基礎周辺の充填 [1),2)]

(3) 砕石埋戻し・道路舗装（11 月 11 日～14 日）

砕石を埋戻し、路盤および舗装工事を行い、11 月 15 日の午前 5 時に道路復旧が完了した。

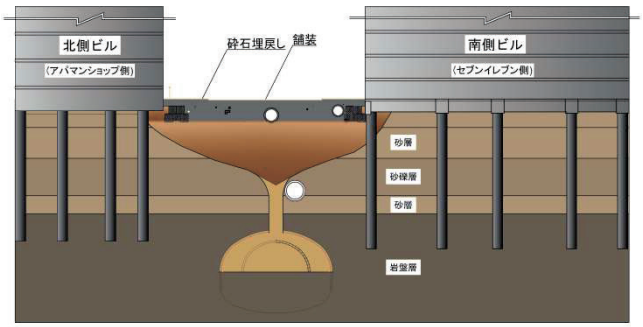


図 4　道路復旧イメージ [1),2)]

写真 4　路盤工 [1),2)]

4. 安全性の確保

陥没部の安全性を確保するために、埋戻し材には①小さな隙間、空洞が充填できること、②十分な強度を有していること、③路床、路体として十分な使用実績があることが要求された。①と③については、流動化処理土は高い充填性能（**写真 5**）を持っていること、使用実績・適用事例が流動化処理土利用技術マニュアル（**図 5**）に紹介されており、たくさんの実績を持つことが示されている。②については、現場から採取した供試体の試験を行い、一軸圧縮強さは 10176kN/m² であった。原地盤の推定強度は 380kN/m² であるため、原地盤よりもはるかに堅固であり、十分な安全性が確保された。

写真 5 流動化処理土の充填状況 [2)]

図 5 マニュアル [3)]

5. おわりに

道路陥没によりライフラインの供給が停止し、早期の復旧が望まれるなか、固化材による流動化処理土の活用で、驚異的な早期復旧を果たした。今後起こりうる災害や事故等からの早期・強化復旧においても、流動化処理土をはじめとしたセメント系地盤改良技術を適切に活用し、安全・安心な生活環境が構築されることが望まれる。

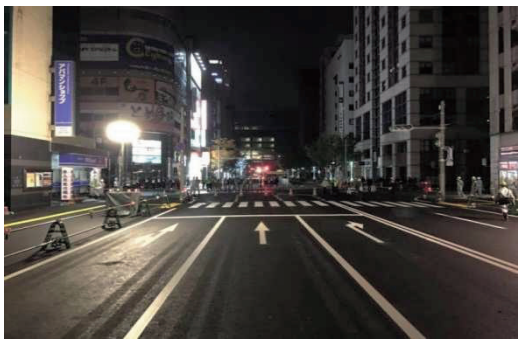


写真 6 仮復旧（11 月 15 日 5:00）

【参考資料】

1) 福岡市交通局：地下鉄七隈線延伸建設工事における道路陥没事故と設計・施工の経緯について、http://subway.city.fukuoka.lg.jp/hakata/

2) 福岡市：はかた駅前通り仮復旧道路の安全性を確認するための『専門技術者による会議』

3) 土木研究所：流動化処理土利用技術マニュアル≪平成 19 年／第 2 版≫、技報堂出版

6. おわりに

セメント協会では、2013年に「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」、2015年に「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」という2冊の報告書を纏めた。その後、2016年度より調査対象を全国へ拡げ、さまざまな地盤改良事例を調査する目的で、事例調査ワーキンググループを組織し、関係各所の皆様にご協力頂き、汎用的な事例から最新の施工技術による事例まで幅広い用途の地盤改良事例を調査し、本報告書に取りまとめた。

地盤改良の施工技術も、超小型施工機械による既設構造物への適用も可能になるなど、日進月歩で進化しており、また、セメント系固化材を用いた改良体の信頼性向上により、強度や品質もコンクリートの領域に近づきつつあり、多種多様な用途への適用が可能となるなど、セメント系固化材を用いた地盤改良が、社会インフラに果たす役割は年々高まってきていると言える。

本報告書が今後計画されるセメント系固化材を用いた地盤改良工事の技術的資料として活用され、今後の地盤改良計画・施工・管理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）

- 国土交通省東北地方整備局
- 国土交通省東北地方整備局仙台河川国道事務所
- 国土交通省関東地方整備局荒川下流河川事務所
- 国土交通省関東地方整備局東京空港整備事務所
- 国土交通省中部地方整備局岐阜国道事務所
- 国土交通省中国地方整備局鳥取河川国道事務所
- 国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所
- 国土交通省九州地方整備局
- 国土交通省九州地方整備局佐賀国道事務所
- 国土交通省九州地方整備局熊本河川国道事務所
- 国土交通省九州地方整備局鹿児島国道事務所
- 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所
- 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
- 青森県県土整備部整備企画課
- 岩手県
- 仙台市建設局道路部南道路建設課
- 茨城県茨城港湾事務所
- 香取市
- 東京都港湾局
- 長野市
- 香川県総務部営繕課
- 福岡市
- 福岡市交通局
- 泥土処理研究会
- CDM 研究会
- 株式会社エステック
- 株式会社 NTT ファシリティーズ
- 株式会社大本組
- 小野田ケミコ株式会社
- 鹿島建設株式会社
- ケミカルグラウト株式会社

- 五洋建設株式会社
- 三和土質基礎株式会社
- 清水建設株式会社
- 株式会社下舘組
- 西濃建設株式会社
- 大成建設株式会社
- 株式会社竹中工務店
- 中部電力株式会社
- 株式会社テノックス
- 株式会社東洋スタビ
- 株式会社福島組
- 株式会社不動テトラ
- 古河日光発電株式会社
- 丸井重機建設株式会社
- 京都大学
- 八戸工業大学　熊谷浩二　教授
- 広島大学　　半井健一郎　教授
- 福岡大学　　佐藤研一　教授

セメント系固化材の拡がる用途と役割

ISBN978-4 88175-149-7 C3358

2018 年 4 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　TEL03-5200-5060

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　TEL03-3914-2695

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　http://www.jcassoc.or.jp/