

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

一般社団法人セメント協会



## 序

2011年3月11日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、千葉県浦安市のように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、地震直後にセメント系固化材技術専門委員会・セメント系固化材普及専門委員会のもとに震災調査WG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。調査結果から、いずれの地域、構造物でも、セメント系固化材による地盤改良を実施した上部構造物にはほとんど変状は生じておらず、セメント系固化材による地盤改良の重要性・有効性が再認識された。震災調査WGでは、今後のセメント系固化材による地盤改良を計画、設計、施工する上での活用を期待して、2013年2月に「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」としてとりまとめた。

震災調査中ならびにその後に、数多くの復旧復興工事や将来の大規模災害に備えた地盤改良工事が実施され、そこでもセメント系固化材による地盤改良が数多く行われていることが分かった。そこで、震災調査WGでは、これらでの適用事例を収集・整理し、本報告書にとりまとめた。報告書では、数多くの調査結果の中から、東北地方から千葉県浦安市で実施されている7件の復旧復興工事について地盤改良の目的と概要、配合設計ならびに工事の特徴と品質検査の結果などをとりまとめた。ここでは、宅地造成、構造物の基礎地盤の改良、格子状深層混合処理工法による液状化対策、粘り強い海岸堤防の地盤改良工事など多種多様な適用事例を紹介した。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既存の土木施設や建築施設を対象とした13件の地盤改良工事について、目的と概要、工事の特徴と概要などをとりまとめている。事例の中には、重要文化財の建物の耐震補強工事や液状化対策工事の様な厳しい施工条件、品質条件でのセメント系固化材による地盤改良の適用も含めている。さらに、報告書では、「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」とのテーマの座談会の内容もあわせて掲載し、今後の多種多様な用途への地盤改良への期待も紹介している。

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も開発されて、液状化対策や地盤の安定対策、既設構造物の耐震補強技術などの様々な用途で用いられており、今やインフラ整備には必要不可欠な技術と言っても過言ではない。

今回の調査結果が、セメント系固化材を用いた地盤改良工事の重要性・有効性の理解を助け、当地盤改良工事の計画、設計、施工、施工管理と品質管理に大いに活用されることを期待している。

2015年3月20日

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  
震災調査ワーキンググループ  
主査 北誥 昌樹

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

(敬称略・順不同)

主査	北詰 昌樹	東京工業大学大学院
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	杉山 和久	住友大阪セメント株式会社
委員	柳原 勝也	株式会社トクヤマ
	斎藤 準護	太平洋セメント株式会社
	金城 徳一	宇部三菱セメント株式会社
	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
	近藤 秀貴	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

リーダー	沼田 和彦	太平洋セメント株式会社
委員	畠山 誠	日鉄住金セメント株式会社 (14年3月退任)
	川野 保	日鉄住金セメント株式会社 (14年4月就任)
	小野寺 真吾	宇部三菱セメント株式会社
	足立 正	住友大阪セメント株式会社

座談会出席者

	北詰 昌樹	東京工業大学大学院
	勝見 武	京都大学大学院
	久田 真	東北大学大学院
	小橋 秀俊	国土交通省国土技術政策総合研究所
	近藤 秀貴	一般社団法人セメント協会
事務局	佐藤 智泰	一般社団法人セメント協会
	小宮山 慎一郎	一般社団法人セメント協会
	野田 潤一	一般社団法人セメント協会
	泉尾 英文	一般社団法人セメント協会
	中村 弘典	一般社団法人セメント協会

## 目次

1. はじめに.....	1
2. 地震と地盤改良.....	2
2.1 地震災害と対策の変遷.....	2
2.2 セメント系固化材による地盤改良の変遷.....	4
3. 東日本大震災からの復旧復興工事.....	6
3.1 安全・安心な宅地の供給～仙台市東部地域防災集団移転促進事業～.....	7
3.2 高台造成のための土砂運搬構造物の基礎改良～陸前高田市震災復興事業～.....	11
3.3 市街地での液状化対策～千葉県浦安市～.....	15
3.4 粘り強い海岸堤防～仙台湾南部海岸堤防～.....	20
3.5 津波災害復旧工事～三陸沿岸における防潮堤の建設～.....	24
3.6 施設運用下における復旧工事～仙台空港アクセス鉄道～.....	28
3.7 震災コンクリートガレキの活用～夏井地区海岸堤防～.....	32
4. 大規模災害を想定した地盤改良工事.....	36
<b>【土木編】</b>	
4.1 新耐震照査に基づく大分川河川堤防の耐震補強対策.....	38
4.2 遠賀川河川堤防における沈下抑制対策.....	43
4.3 筑後川築堤護岸の樋管改築における沈下抑制対策.....	47
4.4 南海トラフ巨大地震に備えた大淀川河川堤防の耐震補強対策.....	51
4.5 七戸川広域基幹河川堤防における沈下・液状化対策.....	55
4.6 釧路港耐震強化岸壁～自立固化改良体を用いた岸壁改良工事～.....	59
4.7 東京モノレール既設橋脚の耐震補強工事.....	63
<b>【建築編】</b>	
4.8 重要文化財の建屋内での沈下防止対策工事～旧岩崎邸和館～.....	68
4.9 重要文化財の液状化対策工事～大阪府立中之島図書館～.....	73

4.10	既設構造物の耐震改修工事～江東区本庁舎～ .....	77
4.11	免震構造物の液状化対策工事～製薬会社研究棟～ .....	84
4.12	免震構造物の液状化対策工事～臨海地区における医療施設～ .....	88
4.13	免震構造物の液状化対策工事～臨海地区における化学工場～ .....	94
5.	座談会 .....	99
6.	おわりに .....	109
	謝辞 .....	110

### 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

セメント系固化材の代表的なものとしては、改良対象の土質に対応した、一般軟弱土用固化材、特殊土用固化材、高有機質土用固化材があり、また、使用環境に対応した発塵抑制型固化材などがある。このうち、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

我が国の多くの都市は、沖積平野や海岸の埋立地に密集しており、地震により大規模な被害が発生しやすい傾向がある。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震はその典型的な例であり、東北から関東を中心に甚大な被害が広範囲に及んでいる。この地震の特徴として、地震動による液状化被害に加えて、巨大津波による堤防破壊や建造物の流出などが挙げられる。そのため、今後将来的に発生が予想される大規模地震に対して、喫緊な対策が進められている状況にある。

セメント協会では、東北地方太平洋沖地震の発生後、改良地盤上の構造物および地盤の安定性の確認を目的に、震災調査WGを組織し、被害状況などを調査した。セメント系固化材による地盤改良の耐震効果をとりとまとめ、2013年2月に「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」を発刊した。報告書では、セメント系固化材による地盤改良の耐震効果の適用事例を中心に紹介している。ところが、復旧復興工事に関しては、工事が進行中であったため、セメント系固化材が使用された適用事例は2件と少なかった。そこで、震災調査WGでは報告書発刊後も活動を継続し、復旧復興工事の事例を調査してきた。

調査の過程において、将来の大規模地震に備えた地盤改良工事が多数実施されていることが判明してきた。そこで、これら適用事例を収集・整理し、本報告書を発刊することとした。本報告書は以下のように構成されている。

まず、「2.地震と地盤改良」では、関東大震災以降の地震災害と対策(指針やマニュアル)について整理し、セメント系固化材による地盤改良の変遷を解説した。次に、「3.東日本大震災からの復旧復興工事」では、復旧復興工事にセメント系固化材が使用された事例について、工事の特徴を踏まえながら少し詳しく紹介した。また、「4.大規模災害を想定した地盤改良工事」では、将来の大規模な地震に備えて耐震補強や地盤改良に対して、セメント系固化材が使用されている事例について紹介した。

最後に、「5.座談会」では、「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」というテーマで、震災調査やセメント系固化材と関係深い有識者の方々に討議していただき、その内容を取りまとめて掲載した。有識者の方々の経験を踏まえた貴重な意見や見識が紹介され、セメント系固化材に対する課題と期待が明確に示された内容となっている。

## 2.地震と地盤改良

### 2.1 地震災害と対策の変遷

世界有数の地震国である日本は、2011年に発生した東北地方太平洋沖地震など、多くの大規模地震とそれに伴う甚大な災害を経験している。大震災と呼ばれる主な大規模災害は、1923年の関東大震災、1995年の阪神・淡路大震災および2011年の東日本大震災が挙げられる。

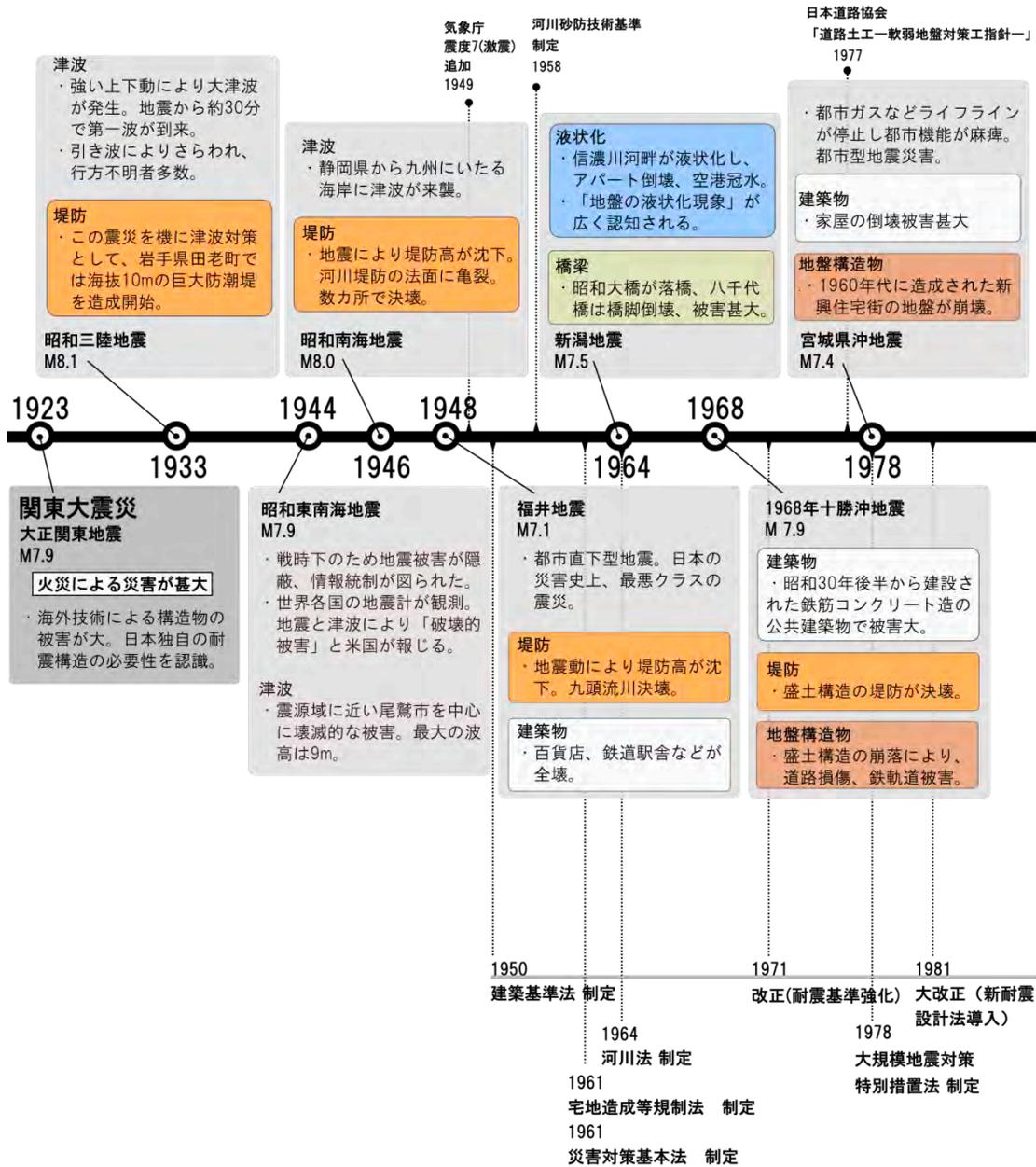


図 2.1.1 主な地震災害と対策の変遷 (1/2)

1923年の関東大震災以降に発生した主な地震とその被害について、また、災害対策のために制定された主な法律や発刊された指針などの変遷を図 2.1.1 および図 2.1.2 に示す。なお、本報告書で紹介している事例に関連するものは、可能な限り記載している。

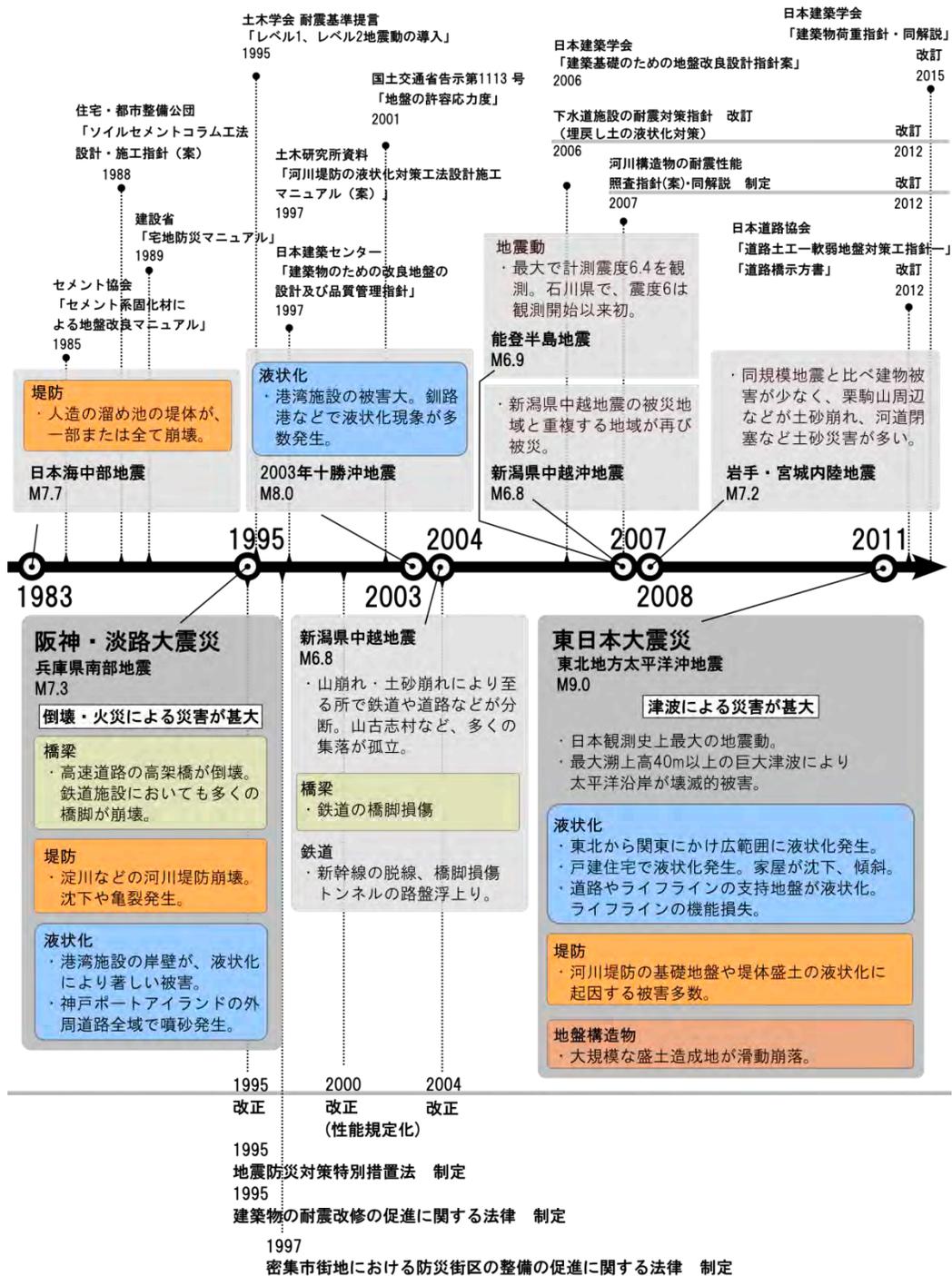


図 2.1.2 主な地震災害と対策の変遷 (2/2)

## 2.2 セメント系固化材による地盤改良の変遷

土に石灰などを添加して固化させる技術の歴史は古く、土間に使われる三和土<sup>たなき</sup>は代表的技術と言える。そこでは、赤土・砂利などに消石灰とにがりを混ぜて練り塗って叩き固める。路床材料や路盤材料がそのままでは十分な支持力や強度を確保できない場合に、セメント、アスファルト、石灰などを加えて粒子間の結合力を増加させる安定処理工法も古くから用いられている。

1970年代になり、軟弱な粘性土地盤を対象にセメントなどの固化材による大規模な地盤改良技術が開発された。深層混合処理工法は環境保全や急速施工という時代のニーズに対して、それまで多用されてきた地盤改良工法に代わる技術として開発された。当初は、塊状や粉体の生石灰を用いていたが、その後スラリー状のセメントによる工法に展開して普及している。また、対象土質を選ばず所要の強度を短期間で達成でき、従来工法にくらべ騒音・振動が小さいなどの利点を背景に陸上工事にも多用され、その用途も拡大の一途を辿っている。

1980年代に入ると、セメント固化を中心とした耐震・液状化防止の地盤改良工法が相次いで開発された。特に、事前混合処理工法、軽量混合処理土工法や流動化処理工法のように、原位置で地盤改良を行う方法に加えてプラントなどで良質の改良土を製造し現地に埋め戻す工法が多く開発された。その後、浚渫土などのこれまで建設工事には不適とされてきた土材料をセメントなどで固化してリサイクル利用するための改良技術も開発された。



写真 2.2.1 地盤改良の一例

このような工法開発をうけ、用途と対象土質が拡大するにつれて、細粒分を多く含む土、有機分を多く含む土または高含水比の土などにはセメント固化の効果が低いことが明らかになってきた。そこで、1970年代からセメントメーカー各社は、上述の土質に対しても改良効果を発揮させるため、セメントをベースとし、特定成分や粒度の調整を行った「セメント系固化材」を開発し販売するようになった。

セメント系固化材の需要推移を図 2.2.1 に示す。1996年度に初めて 600 万トンを超え、2012年度には 700 万トンに達し、需要は増加傾向にある。また、改良土からの六価クロムの溶出量を低減する特殊土用固化材は、2000年4月の販売以降、年々需要が拡大し、2013年度ではセメント系固化材の需要の約 60%を占めるに至った。

セメント系固化材の地盤改良の主目的は支持力の確保であるが、1995年の阪神・淡路大震災や 2011年の東日本大震災において耐震性が確認<sup>1)、2)</sup>され、耐震対策としても一定の効果が明らかとなっている。軟弱な地盤が広く分布し、さらに自然災害が多い我が国においては、セメント系固化材による地盤改良が効果的に活用されることがますます期待される。

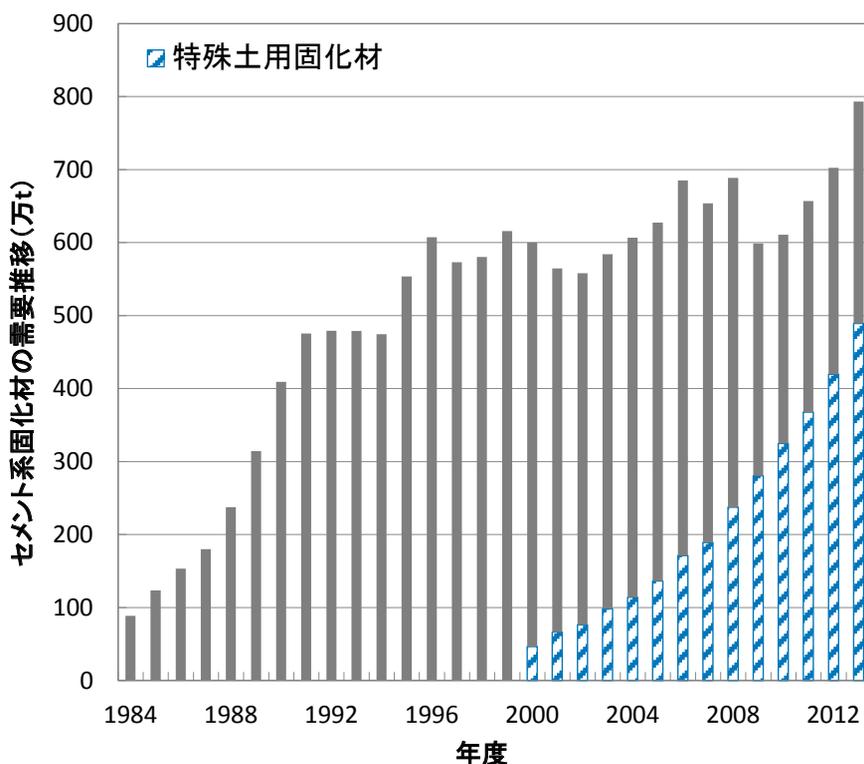


図 2.2.1 セメント系固化材の需要推移

【参考資料】

- 1) (社)セメント協会：阪神・淡路大震災地盤改良調査報告書（追補版）、2003.9
- 2) (社)セメント協会：東日本大震災におけるセメント系固化材を用いた地盤改良に関する調査報告書、2013.2

### 3.東日本大震災からの復旧復興工事

東日本大震災からの復旧復興工事について、図 3.1 に示すとおり、被害が甚大であった岩手県から茨城県の沿岸、さらに液状化被害が著しかった千葉県浦安市を中心に調査した。調査数は 18 件であり、このうち表 3.1 に示す 7 件の工事を本章で紹介する。

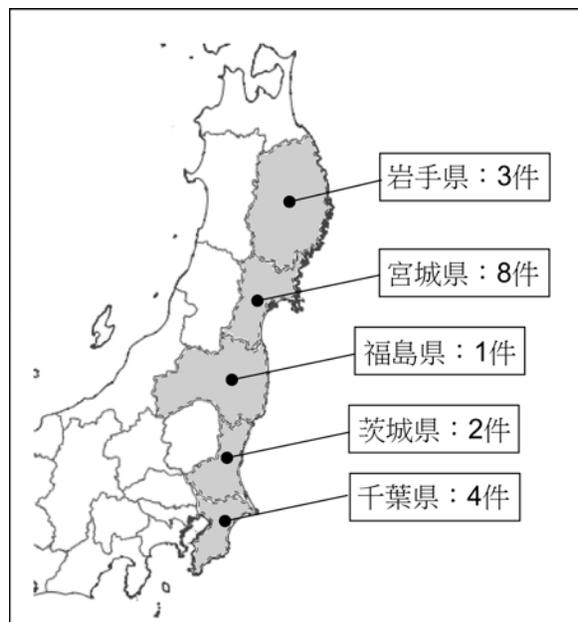


図 3.1 復旧復興工事の調査箇所<sup>※)</sup>

※) 国土地理院「地理院地図（電子国土 Web）」をもとに作成

表 3.1 3章で紹介する復旧復興工事

節番号	節題	対象	地域
3.1	安全・安心な宅地の供給 ～仙台市東部地域防災集団移転促進事業～	住宅	宮城県
3.2	高台造成のための土砂運搬構造物の基礎改良 ～陸前高田市震災復興事業～	構造物基礎	岩手県
3.3	市街地での液状化対策 ～千葉県浦安市～	道路、宅地	千葉県
3.4	粘り強い海岸堤防 ～仙台湾南部海岸堤防～	堤防	宮城県
3.5	津波災害復旧工事 ～三陸沿岸における防潮堤の建設～	堤防	岩手県
3.6	施設運用下における復旧工事 ～仙台空港アクセス鉄道～	空港、鉄道	宮城県
3.7	震災コンクリートガレキの活用 ～夏井地区海岸堤防～	堤防	福島県

### 3.1 安全・安心な宅地の供給～仙台市東部地域防災集団移転促進事業～

#### 3.1.1 はじめに

太平洋に面する宮城県仙台市東部地域は、東北地方太平洋沖地震に伴って発生した巨大津波により、壊滅的な被害を受けた。仙台市は、震災からの一日も早い復旧・復興の達成に向け、取り組むべき施策の体系化と計画的な推進のため、「仙台市震災復興計画<sup>1)</sup>」を策定し、復興を牽引する10の復興プロジェクトを掲げ、重点的に取り組みを進めている。この中の1プロジェクトとして、東部地域の再生に向けて創設されたのが、「「津波から命を守る」津波防災・住まい再建プロジェクト」で、具体的な取組みとして、以下の3つが挙げられている。

- 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

ここで、「③ 安全な住まいの確保」を実現するために、仙台市では、様々な津波防災施設を整備してもなお、津波の浸水の深さが2mを超え、津波被害の危険性が高い沿岸地区を「災害危険区域」に定め、住宅の新築や増築などを禁止し、防災集団移転促進事業により、西側地域への集団移転を促進させている。

集団移転先には13地区が予定されており、その一部の地区においては、宅地地盤の支持力確保と地震時の液状化防止のため、セメント系固化材を用いた安定処理工が施された。

本節では、仙台市が用地を取得し、団地を造成する際に実施した地盤改良について紹介する。



図 3.1.1 集団移転促進事業区域

### 3.1.2 移転先団地の軟弱地盤対策

#### (1) 軟弱地盤対策の概要

防災集団移転促進事業において、仙台市が用地を取得し団地造成する地区は、**図 3.1.1** に示す 13 地区のうちの 7 地区である。このうち、田子西隣接地区、南福室地区、上岡田地区、七郷地区および六郷地区の 5 地区については、地盤調査の結果、軟弱な地盤が分布していることが明らかになった。軟弱地盤対策として、「セメント安定処理工」の後、さらに「プレロード盛土」が実施された。**図 3.1.2** に軟弱地盤対策の概要を示す。

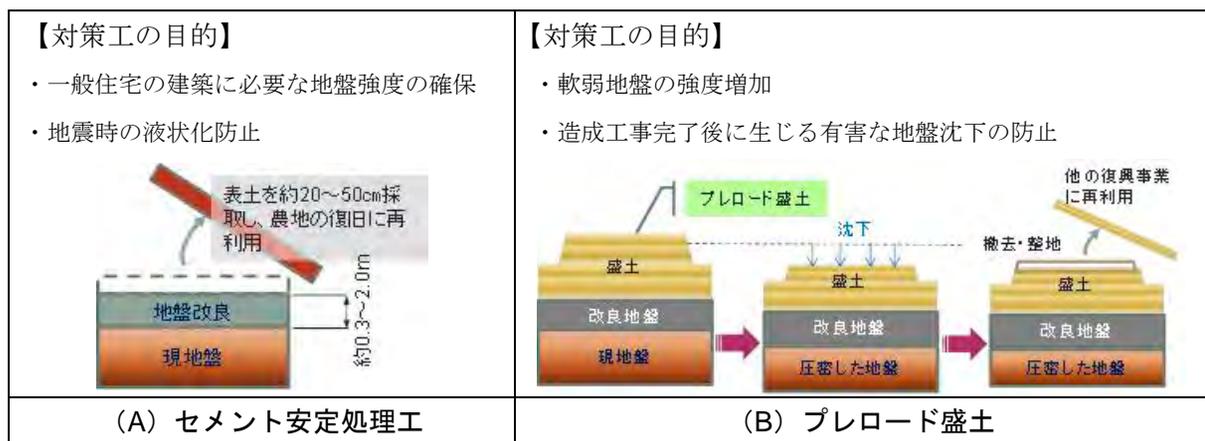


図 3.1.2 軟弱地盤対策の概要

セメント安定処理工の設計基準強度（現場目標強さ）は、次の①、②を満足する  $100\text{kN/m}^2$  に設定された。

- ① 「国土交通省告示（1113号、1347号）」及び「小規模建築物基礎設計指針（日本建築学会）」に基づき、建築確認上、布基礎構造で対応できる地盤強度を目標とし、長期許容応力度  $30\text{kN/m}^2$  以上を確保する（セメント系固化材を用いた改良体の一軸圧縮強さは、長期の安全率 3 を考慮して、 $90\text{kN/m}^2$  以上確保する）。
- ② 「セメント系固化材による地盤改良マニュアル」を参考に、改良地盤の液状化を防止するため、改良体の一軸圧縮強さは  $50\sim 100\text{kN/m}^2$  以上確保する。

以下に、造成面積の広い田子西隣接地区および上岡田地区で実施されたセメント安定処理工の概要を示す。

#### (2) 田子西隣接地区におけるセメント安定処理工

田子西隣接地区では、面積約  $9.8\text{ha}$  で 179 宅地の造成を計画している。田子西隣接地区におけるセメント安定処理工の仕様を**表 3.1.1** に示す。また、施工状況を**写真 3.1.1** に示す。

表 3.1.1 田子西隣接地区北団地におけるセメント安定処理工の仕様

項目	仕様
工法	セメント安定処理工（バックホウ）
改良面積 (m <sup>2</sup> )	27120
改良深さ (m)	0.3～1.2
目標強度 (kN/m <sup>2</sup> )	100
固化材の種類	汎用固化材
固化材添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	50～75
添加方法	粉体添加



写真 3.1.1 混合状況（田子西隣接地区北団地）

《平成 25 年 8 月 27 日撮影》

### (3) 上岡田地区におけるセメント安定処理工

上岡田地区では、面積約 4.3ha で 69 宅地の造成を計画している。上岡田地区におけるセメント安定処理工の仕様を表 3.1.2 に示す。また、施工状況を写真 3.1.2 に示す。

表 3.1.2 上岡田地区におけるセメント安定処理工の仕様

項目	仕様
工法	セメント安定処理工（スタビライザ）
改良面積 (m <sup>2</sup> )	19782
改良深さ (m)	0.3～1.0
目標強度 (kN/m <sup>2</sup> )	100
固化材の種類	汎用固化材
固化材添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	100
添加方法	粉体添加



写真 3.1.2 混合状況（上岡田地区）  
《平成 25 年 9 月 30 日撮影》

### 3.1.3 おわりに

仙台市が防災集団移転促進事業により、造成工事を行っている 7 地区は、平成 24 年度より事業が進められ、平成 26 年度末までに宅地の造成を完了させ、順次、引き渡しを開始する予定である。写真 3.1.3 に完成状況を示す。本事業のように、セメント系固化材を用いた地盤改良が宅地を造成する上で効果的に活用され、安全・安心な宅地の供給に資することを期待する。



写真 3.1.3 完成状況（田子西隣接地区北団地）  
《平成 25 年 9 月 24 日撮影》

#### 【参考資料】

1) 仙台市：仙台市震災復興計画、平成 23 年 11 月

[http://www.city.sendai.jp/fukko/\\_icsFiles/afieldfile/2011/11/30/shinsaiykkou-HP.pdf](http://www.city.sendai.jp/fukko/_icsFiles/afieldfile/2011/11/30/shinsaiykkou-HP.pdf)

## 3.2 高台造成のための土砂運搬構造物の基礎改良～陸前高田市震災復興事業～

### 3.2.1 はじめに

岩手県陸前高田市と UR 都市機構は、東日本大震災からの復興にあたり、復興基本計画として 11 の項目を掲げ、「新しいまちづくり」を進めている。11 の項目の 1 つとして「新市街地と産業地域、防災道路網の形成」を掲げており、具体的には下記 3 事業である。これは、いずれも「新しいまちづくり」の根幹を担う事業である<sup>1)</sup>。

- ① 新市街地については、津波の浸水を免れるよう高さを確保することを基本に山側へシフトし、さらにコンパクトな市街地の形成を推進する。
- ② 産業地域については、被災した海岸地域等の低地部を利用し、基幹的産業である漁業および農業と連携した新産業ゾーンを形成する。あわせて、公園および農用地等の形成を推進する。
- ③ 防災道路網については、広域幹線道路と連動させ、避難道路としても活用できるよう整備を推進する。

事業を進めるにあたり、高台を整備する膨大な土砂が必要となるため、山から採取した土砂を運搬できる巨大ベルトコンベアの設置が求められた。巨大ベルトコンベアの支柱の高さは約 25m と大規模（写真 3.2.1）で、既存の地盤には、重量に耐えうる支持力が不足していた。そこで、セメント系固化材を用いた地盤改良により支持力の増強を図ることとした。巨大ベルトコンベアの設置計画を図 3.2.1 に示す。巨大ベルトコンベアの支柱は全 79 個あり、本節ではその一部について紹介する。



写真 3.2.1 巨大ベルトコンベアの全景

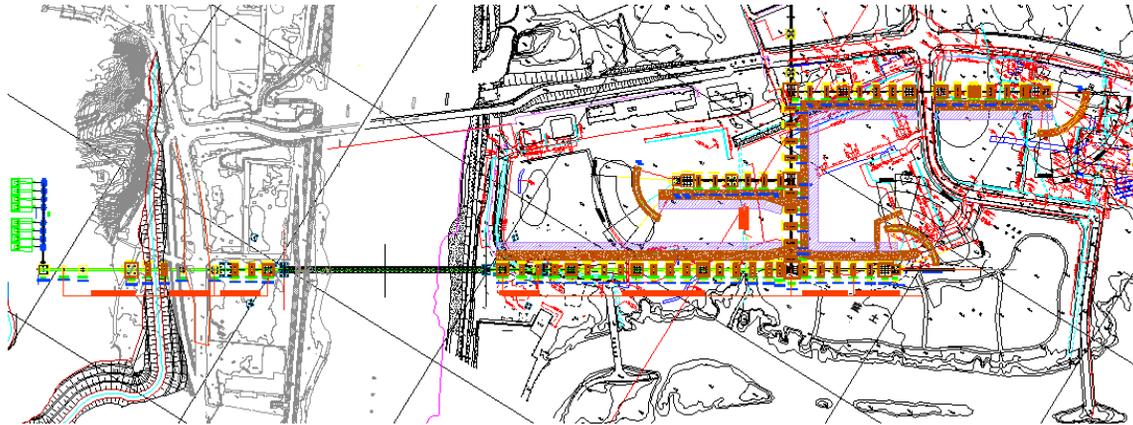


図 3.2.1 巨大ベルトコンベアの設置計画（平面図）

### 3.2.2 地盤改良の検討

改良地盤の強度および厚さの検討は「道路橋示方書<sup>2)</sup>」に準じて検討した結果、BC12 支柱では、設計基準強度  $F_c$  が  $250\text{kN/m}^2$  で改良深さが  $2.4\text{m}$  と設定された。BC18P1 および BC18P2 橋脚では、設計基準強度  $F_c$  が  $200\text{kN/m}^2$  で改良深さが  $2.7\text{m}$  と設定された。いずれも浅層改良が実施されることとなった。地盤改良の仕様を表 3.2.1 に示す。また改良平面図および横断図を図 3.2.2 に示す。

表 3.2.1 地盤改良の仕様

項目	仕様	
	BC12 支柱	BC18P1、P2 橋脚
工法	トレンチャー式攪拌混合工法	
改良幅 (m)	18.0	13.5
改良深さ (m)	2.4	2.7
改良延長 (m)	17.0	6.0
設計基準強度(材齢 28 日) ( $\text{kN/m}^2$ )	250	200
固化材の種類	高有機質土用固化材	
固化材添加量 ( $\text{kg/m}^3$ )	128	113
添加方法	スラリー添加 (W/C=170%)	スラリー添加 (W/C=190%)

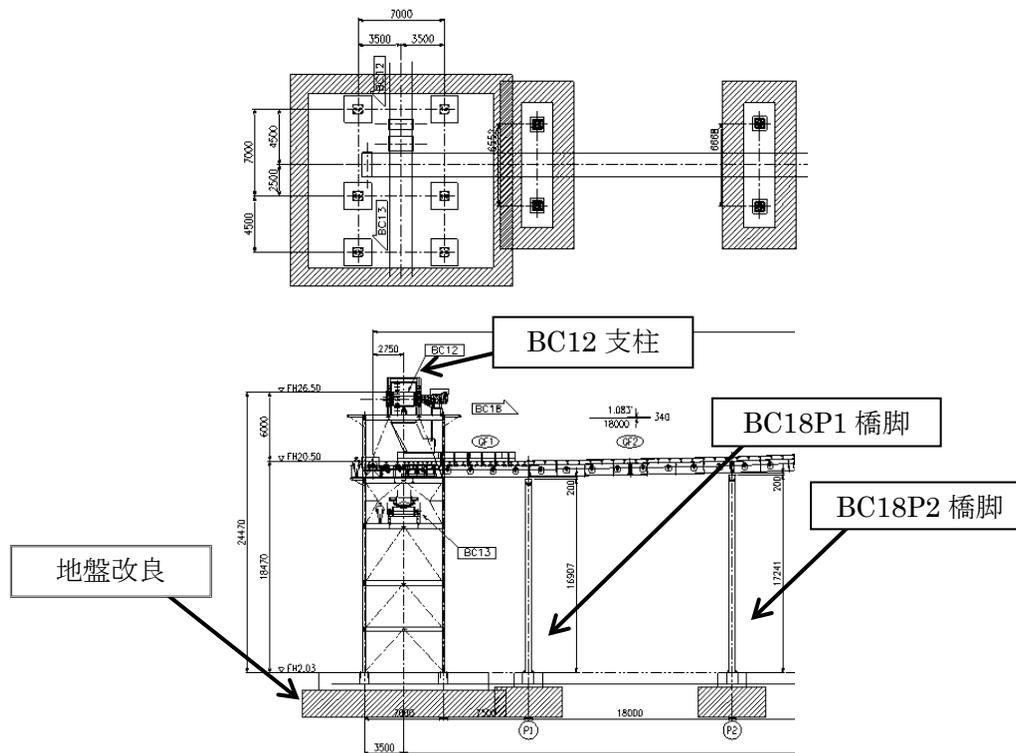


図 3.2.2 改良平面図および横断面図

### 3.2.3 工事概要と品質管理

本工事はトレンチャー式攪拌混合で実施された。施工の状況を写真 3.2.2 に示す。均一な改良体を造成するため、攪拌混合の度合いを示す指標である羽根切り回数の管理基準値を設定し工事が実施された。品質管理用の試料は、混合攪拌が完了した後、流動化した状態で採取され、所定の材齢まで試験室で養生された。品質管理試験の一軸圧縮強さを表 3.2.2 に示す。設計基準強度（材齢 28 日）を満足しており、適切に工事が実施された。



写真 3.2.2 施工の状況

表 3.2.2 品質管理試験の結果

一軸圧縮強さ (kN/m <sup>2</sup> )	BC18 P2 橋脚 (3 試料の平均値)
材齢 7 日	724
材齢 28 日	1132

### 3.2.4 おわりに

陸前高田市の新たなまちづくりに必要となる膨大な土砂を山より運搬するため、巨大ベルトコンベアの設置が計画され、その基礎地盤にセメント系固化材を用いた地盤改良が行われた。全長がおよそ 3km にわたる巨大ベルトコンベアは 2014 年 3 月に完成(写真 3.2.3)し、1 日あたりの土砂運搬量は 20,000m<sup>3</sup>を見込んでいる(写真 3.2.4)。この施設の稼働によって、復興がより加速されるものと考えられる。

陸前高田市の復興事業は、現在、精力的に行われており、2018 年(平成 30 年)まで計画される長期的なものである。今回の事例のような復興事業に、セメント系固化材が貢献していくことが期待される。



写真 3.2.3 巨大ベルトコンベアの完成状況



写真 3.2.4 土砂の運搬状況

#### 【参考資料】

- 1) 陸前高田市ホームページ：

<http://www.city.rikuzentakata.iwate.jp/kategorie/fukkou/fukkou-keikaku/fukkou-keikaku.html>

- 2) (公社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV 下部構造編、平成 24 年 3 年

### 3.3 市街地での液状化対策～千葉県浦安市～

#### 3.3.1 はじめに

千葉県浦安市は東北地方太平洋沖地震と約 30 分後に発生した余震により、1960 年代より 2 期にわたり埋立造成した中町、新町地区のほぼ全域において液状化現象が発生した。液状化被害の規模は市面積の 86% となり、道路の路面変状（写真 3.3.1）、戸建住宅の沈下傾斜（写真 3.3.2）、大・中規模建築物の周辺地盤の沈下が市内の各地で生じた。これら被害を受けた公共インフラや戸建住宅地域では復旧工事が進められている。本節では、「幹線道路や駅前広場における復旧工事」と「戸建住宅地域における液状化対策の方針」について紹介する。



写真 3.3.1 道路部の被害状況



写真 3.3.2 戸建住宅の被害状況<sup>1)</sup>

#### 3.3.2 幹線道路や駅前広場における復旧工事

##### (1) 道路部における液状化対策の考え方

道路の復旧工事に際しては、まず施設の機能や災害時における役割を整理し当該路線の重要度が決定された。例えば、重要度が高い緊急輸送路は、液状化の被害により道路機能が停止することがないように、レベル 2 地震動でも応急対策を実施することで緊急車両の通行が確保されるよう対策を講じることが望ましいとされた。また、緊急輸送路の一部であり、交通結節点となる駅前広場についても同様とされた。緊急輸送路や駅前広場における対策工法は、施工実績が多い浅層混合処理工法を主体としながら、注入固化工法や密度増大工法などから当該地および埋設物の状況、周辺環境などを考慮し、適切な工法が選定された。

##### (2) 浅層混合処理工法による液状化対策の要求性能

浦安市液状化対策技術検討調査委員会の報告書<sup>1)</sup>によると、改良深度はレベル 1 地震動に対しては GL-3m、レベル 2 地震動に対しては GL-6m 程度が必要であるとされている。これを考慮し、液状化対策として GL-3m 以上の範囲の改良を必要とした。また、「セメン

ト系固化材による地盤改良マニュアル」を参考とし、液状化対策として改良土の一軸圧縮強さは 100kN/m<sup>2</sup> 程度を必要とした。

### (3) 新浦安駅前広場での浅層混合処理工法

新浦安駅前広場での液状化対策の適用箇所を図 3.3.1 に示す。液状化対策は、歩道部と車道部で実施され、改良深さは舗装・路盤と浅層混合処理の厚さをあわせて 3m とされた。浅層混合処理の状況を写真 3.3.3 に示す。なお、浅層混合処理が実施された箇所の一軸圧縮強さは 100kN/m<sup>2</sup> を満足するように配合設計がなされた。なお、緑地帯については被害があっても大きな障害とならないことから施工は実施されなかった。

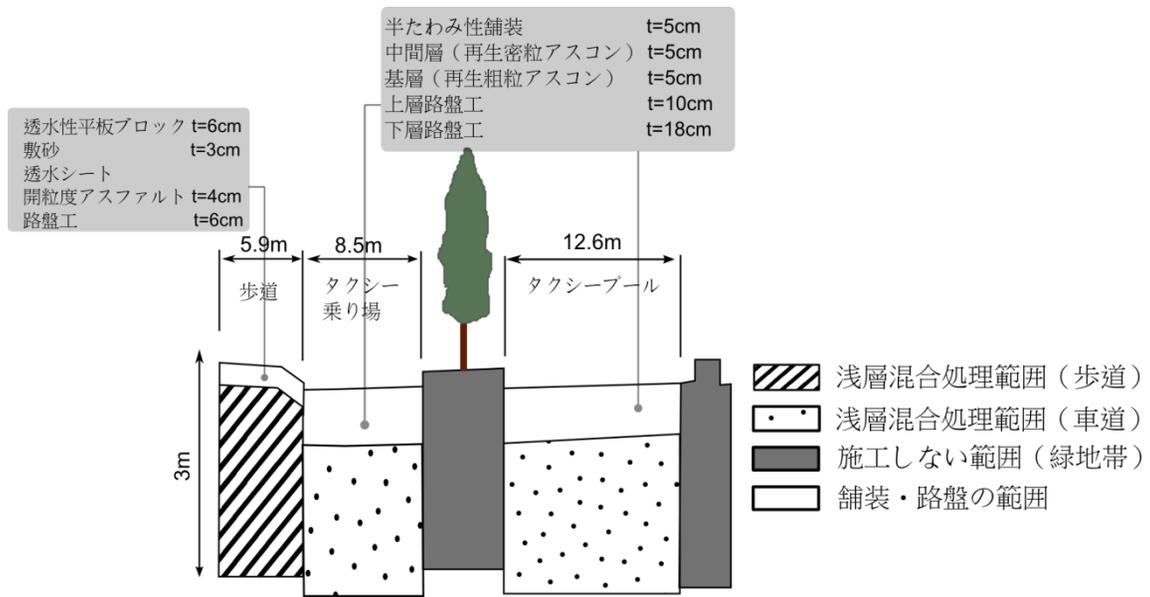


図 3.3.1 新浦安駅前広場での液状化対策の適用箇所 (横断面図)



写真 3.3.3 浅層混合処理の状況

### 3.3.3 戸建住宅地域における液状化対策の方針

浦安市では、国が創設した市街地液状化対策事業（道路等の公共施設と宅地の一体的な液状化対策事業）の制度を活用することを念頭に、戸建住宅などの小規模建築物を対象とした液状化対策の実現可能性について検討してきた。この事業では、道路と宅地を一体的に対策することで、効率的・効果的に一定規模の面的な対策が可能になり、さらに道路等の公共施設の対策は公費で負担することで、宅地権利者の負担を一定程度低減できるものとなっている。具体的な対策としては、格子状地中壁工法と地下水位低下工法の2工法が挙げられている。以下にセメント系固化材が用いられる格子状地中壁工法の概要について示す。

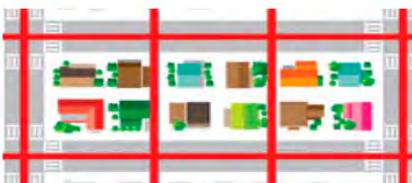
#### (1) 格子状地中壁工法の概要

格子状地中壁工法は、図3.3.2に示すように液状化しやすい砂質地盤にセメント系固化材で宅地を碁盤の目のように囲む地中壁を造成することで、液状化を発生させにくくする対策である。概要と問題点を整理すると表3.3.1となる。

■ 部分が格子状地中壁工法の改良体



(A) パターンA



(B) パターンB



図 3.3.2 格子状地中壁工法のイメージ<sup>2) 3)</sup>

表 3.3.1 格子状地中壁工法の概要と問題点<sup>2) 3)</sup>

- |  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"><li>① 液状化被害を低減するために、一区画1戸（パターンA）または4戸（パターンB）ごとに地中壁を設置する。</li><li>② 地盤条件が悪い場合はパターンAもしくはパターンBと追加対策が必要。</li><li>③ 道路上、宅地境界上への壁の設置にあたり、埋設管処理、外構の処理が必要。</li><li>④ 家屋が相互に隣接するエリアでの施工が困難。</li><li>⑤ 既成市街地に適用可能な小型施工機械の開発、埋設管対策を含めた施工方法の検証が必要。</li></ol> |
|--|

## (2) 格子状地中壁工法の実証実験

格子状地中壁工法の施工上の問題点として、表 3.3.1 の③～⑤に示す 3 点が考えられる。この問題点を解消するため、施工会社各社では試験施工による実証実験を行っている。一例として、図 3.3.2 からわかるように狭小地域である宅地間での施工が避けられないため、小型施工機械で造成した改良体の品質の確認や、機械攪拌工法と高圧噴射攪拌工法の併用時に接合部の一体性の確認などが実施されている<sup>4) 5)</sup>。機械攪拌工法と高圧噴射攪拌工法の接合部よりコアを採取し、強度を確認した結果を図 3.3.3 に示す。これによると、接合部より採取したコアの一軸圧縮強さは、改良体本体部と同等であり、また、施工間隔 6 日までの範囲で、接合部の強度の差はほとんどないと報告されている<sup>5)</sup>。

このような取り組みにより、格子状地中壁工法の適用性の確認とさらなる信頼性向上が図られている。

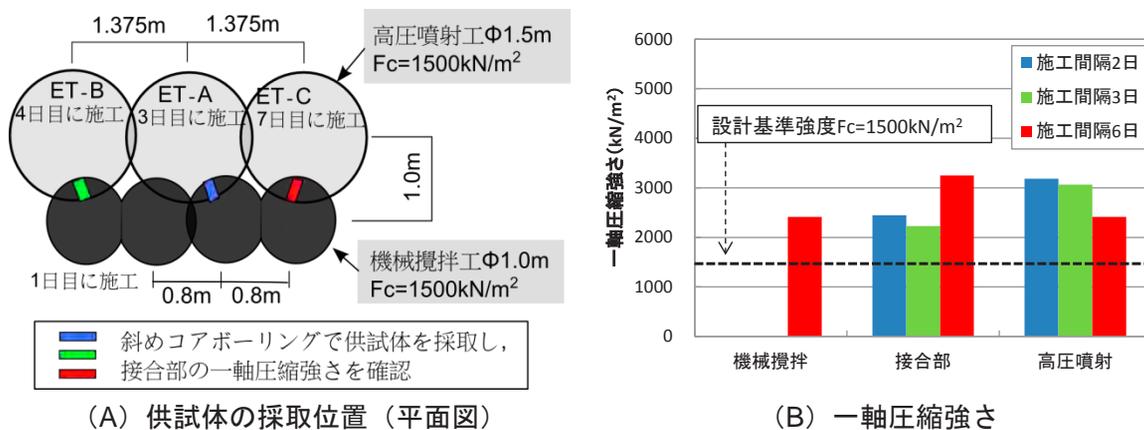


図 3.3.3 機械攪拌工法と高圧噴射攪拌工法の一体性の検討<sup>5)</sup> に加筆修正

## 3.3.4 おわりに

浦安市は、2 回の埋立事業による埋立地盤が多いため、東北地方太平洋沖地震において、液状化が生じる地域を抱えていることが広く認識された。公共インフラや戸建住宅への被害は甚大であり、平時の暮らしを守るためには、何らかの対策が必要であることが浮き彫りになった。セメント系固化材による地盤改良が、浦安市の復旧や液状化対策の一つとして用いられること、さらに浦安市と類似する地盤地域で活用されることを期待する。

### 【参考資料】

- 1) 浦安市液状化対策技術検討調査委員会：平成 23 年度浦安市液状化対策技術検討調査報告書、平成 24 年 3 月
- 2) 浦安市：広報うらやす、2013 年（平成 25 年）1 月 30 日発行
- 3) 浦安市ホームページ：http://www.city.urayasu.chiba.jp/dd.aspx?menuid=9765

- 4) 小西一生ほか: 道路・宅地一体向けの格子状地盤改良に関する原位置実証実験(その1)、  
pp.319-322、第11回地盤改良シンポジウム論文集(2014年11月)
- 5) 内田明彦ほか: 道路・宅地一体向けの格子状地盤改良に関する原位置実証実験(その2)、  
pp.323-326、第11回地盤改良シンポジウム論文集(2014年11月)

### 3.4 粘り強い海岸堤防～仙台湾南部海岸堤防～

#### 3.4.1 はじめに

仙台湾南部海岸は、宮城県仙台市から福島県との県境までの3市2町にまたがる延長約65kmの海岸である。この区間にある海岸堤防は、東北地方太平洋沖地震で発生した巨大津波が越流し、押し寄せる津波や引き波により、堤防決壊や消波ブロックの飛散、堤防裏法面の流出および堤防背後地盤の洗掘などが生じた。写真3.4.1に示すとおり、仙台湾南部海岸の一部である岩沼地区海岸では、海岸沿いの樹木が数多くなぎ倒されたことがわかる。また、津波による浸水域は海岸線から最も遠いところで約5kmにも達し、3市2町での浸水面積は約170km<sup>2</sup>にもおよび、被害は甚大なものであった。

この被害を受け、国土交通省は図3.4.1に示す約29km区間の海岸堤防の復旧工事を直轄施工で平成27年度までに完成させる予定である。

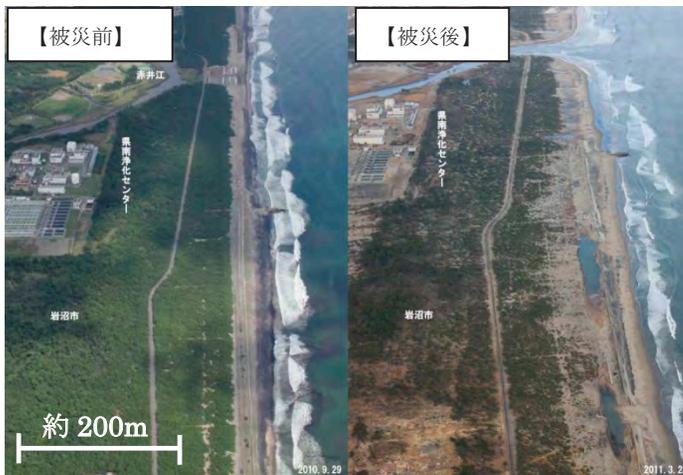


写真 3.4.1 岩沼地区海岸の被災状況<sup>1)</sup>



図 3.4.1 仙台湾南部海岸位置<sup>1)</sup>

#### 3.4.2 海岸堤防の復旧に関する基本的な考え方

仙台湾南部海岸に限らず、太平洋沿岸の海岸は広く被害が生じた。青森県から千葉県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。この被害箇所を補強することで「粘り強い構造※」として効果を発揮させるよう復旧工事が実施されることとなった。図3.4.2に被災形態とその対策工法を示す。

※「粘り強い構造」の基本的な考え方<sup>2)</sup>

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。

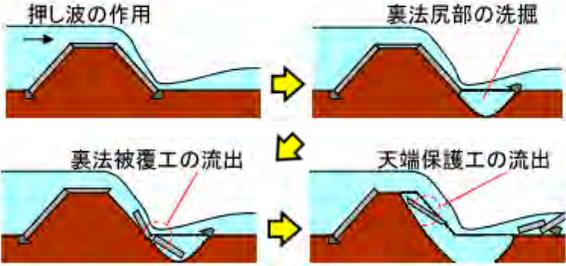
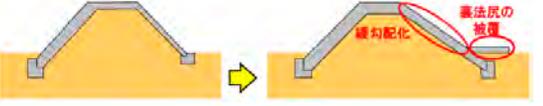
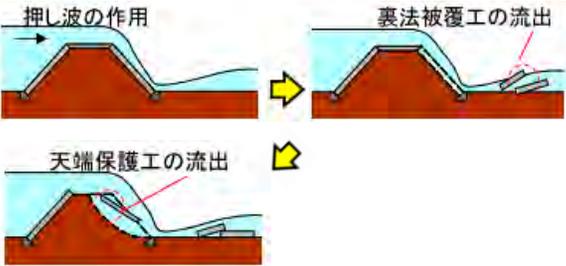
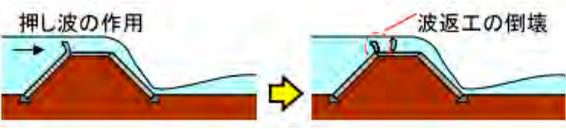
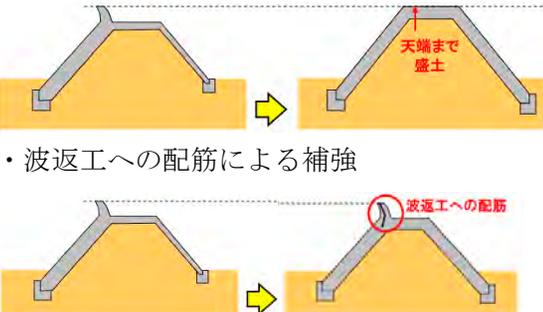
【被災形態】	【対策工法】
<p>①法尻部の洗掘</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>裏法尻部に保護工を設置し被覆</li> <li>裏法の緩勾配化</li> </ul> 
<p>②裏法被覆工および天端保護工の流出</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>裏法の緩勾配化</li> <li>天端保護工、裏法被覆工、表法被覆工の部材厚の確保および部材間の連結</li> </ul> 
<p>③波返工の倒壊</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>天端まで盛土構造とする工法</li> <li>波返工への配筋による補強</li> </ul> 

図 3.4.2 海岸堤防の被災形態と対策工法<sup>3)</sup>

### 3.4.3 仙台湾南部海岸における復旧工事

仙台湾南部海岸においても前節の考え方のもと、図 3.4.3 に示す構造により復旧工事を実施している。補強箇所は、主に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、③陸側法留コンクリートの補強、④陸側法尻保護とされた。

ここで、④陸側法尻保護において、セメント系固化材を用いた地盤改良が採用された。現地での施工状況を写真 3.4.2 に示す。現場目標強度の設定では、一般的に一軸圧縮強さが用いられるが、本現場においては越流により改良体表面の剥がれが生じていることを考慮し、引張強度が用いられた。地盤改良の仕様を表 3.4.1 に示す。

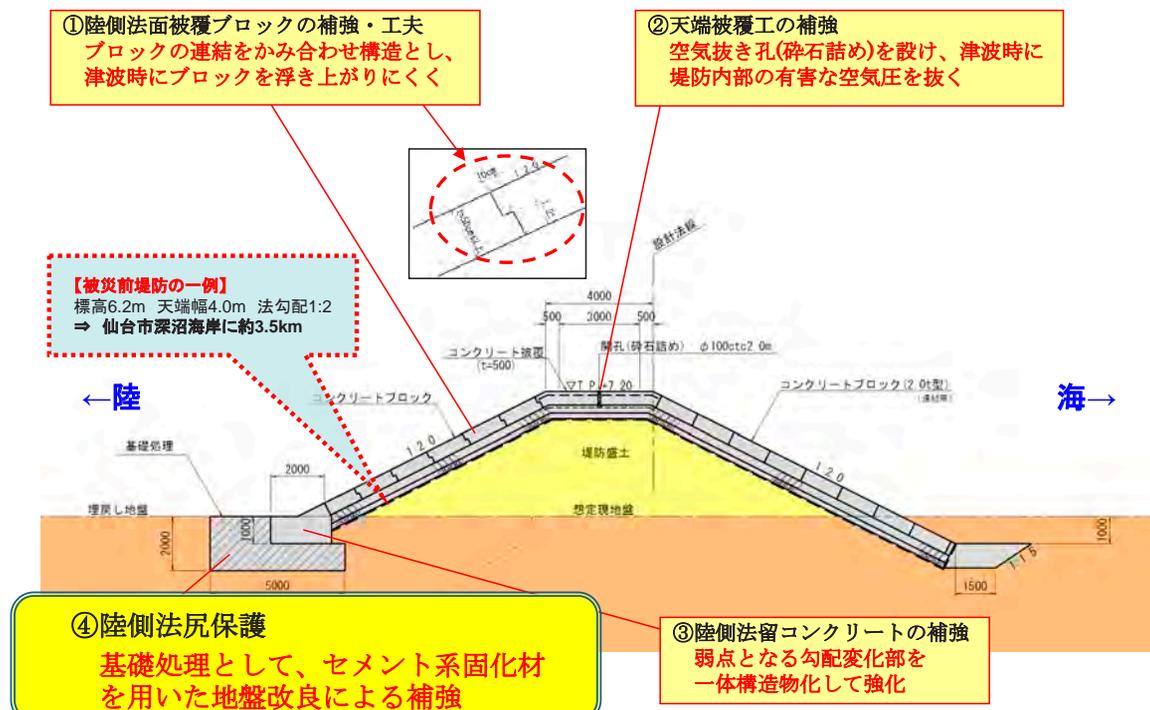


図 3.4.3 仙台湾南部海岸における補強箇所<sup>1)</sup>



写真 3.4.2 施工状況

表 3.4.1 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
改良深さ (m)	2
目標強度 (kN/m <sup>2</sup> )	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 <sup>3</sup> )	90 以上
添加方法	スラリー添加 (W/C は工法、土質に応じて値を選定)

### 3.4.4 地盤改良の事後調査

地盤改良が終了した後、現場目標強度を満足しているか否か、割裂引張強度で確認された。試料はモールドで採取することを基本としたが、スラリーの状態が現場により異なるため、モールドに採取できない場合はコア採取したものが用いられた。いずれの試料も40kN/m<sup>2</sup>以上であり、現場目標強度を満足した。

### 3.4.5 おわりに

国土交通省による仙台湾南部海岸の堤防復旧工事は、平成26年12月現在、約29km区間のうち約25km区間で工事が完成している。完成した堤防の全景を写真3.4.3に示す。平成27年度までに全区間の復旧工事が完成する計画であり、今後もセメント系固化材を用いた地盤改良は、「粘り強い構造」を実現する上で、重要な役割を担うものと思われる。



写真 3.4.3 完成した堤防の全景

#### 【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ホームページ：仙台湾南部海岸堤防復旧プロジェクト
- 2) 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
- 3) 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

### 3.5 津波災害復旧工事～三陸沿岸における防潮堤の建設～

#### 3.5.1 はじめに

岩手県にある三陸沿岸は、豊かな水産資源と天然の良港に恵まれており、数多くの市街地や漁業集落が形成されている。また、貴重な動植物などの生態系や環境が多く存在しており、美しさで有名な観光地が多い。一方で、古くから津波の襲来が記録されており、津波の常襲地域としても知られている。東日本大震災による津波においても、防潮堤を超え甚大な被害をもたらされ（写真 3.5.1）、沿岸部各地で復旧工事が進められている<sup>1)、2)</sup>。本節では、「大船渡地域の産業基盤の中核である大船渡港海岸」と「田野畑村の自然豊かな明戸海岸」での防潮堤の建設で実施された地盤改良を取り上げ紹介する。



写真 3.5.1 大船渡港海岸における被災前後の航空写真<sup>3)</sup>

#### 3.5.2 計画堤防高の設定

計画堤防高は H23.7.8 付海岸関係省庁通知に基づき、以下の手順で設定された。

- ① 過去に発生した津波の中から設計対象津波を選定
- ② せり上がりを考慮した津波の水位を算出し、設計津波の水位を算定
- ③ 余裕高 1.0m を加えた高さを新計画堤防高として設定

さらに、「岩手県津波防災技術専門委員会」での審議を経て、以下のとおり、堤防高が設定された。

##### 【大船渡港海岸のケース】

対象津波は明治三陸地震とし、計画堤防高が TP+7.5m に設定された。既設防潮堤を嵩上げし、復旧する。

##### 【明戸海岸のケース】

対象津波は昭和三陸地震とし、計画堤防高が TP+12.0m に設定された。法線を陸側に移して防潮堤を新設する。

### 3.5.3 地盤改良の仕様

#### (1) 大船渡港海岸

防潮堤の基礎は鋼管杭で約 30m 下の支持層まで打設され、地盤改良は液状化が懸念されるシルト層を対象とし、杭の周りを囲む様に格子状深層混合処理工法で GL-6.4m まで改良された。改良の仕様を表 3.5.1 に、改良体の配置図を図 3.5.1 に示す。また、地盤改良の状況を写真 3.5.2 に示す。

表 3.5.1 地盤改良の仕様（大船渡港海岸）

項目	仕様
工法	深層混合処理工法（格子状）
対象土	シルト
改良面積 (m <sup>2</sup> )	1698
改良深さ (m)	GL-1.1~-6.4
目標強度 (kN/m <sup>2</sup> )	200
固化材の種類	高炉セメント B 種
固化材添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	98
添加方法	スラリー添加 (W/C=100%)

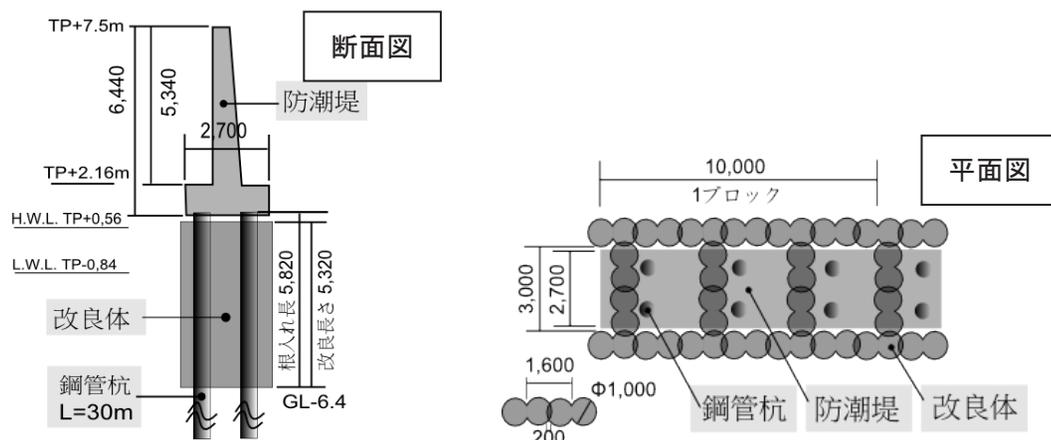


図 3.5.1 改良体の配置図（大船渡港海岸）



写真 3.5.2 地盤改良の状況（大船渡港海岸）<sup>4)</sup>

(2) 明戸海岸

新設する防潮堤の荷重で地盤沈下が生じないように、防潮堤の下部地盤を深層混合処理工法で GL-7.0m 付近まで改良された。地盤改良の仕様を表 3.5.2 に、改良範囲を図 3.5.2 に示す。また、地盤改良の状況を写真 3.5.3 に示す。

表 3.5.2 地盤改良の仕様（明戸海岸）

項目	仕様
工法	深層混合処理工法
対象土	粘性土
改良面積 (m <sup>2</sup> )	3175
改良深さ (m)	GL-3.6~-7.0
目標強度 (kN/m <sup>2</sup> )	700 および 900
固化材の種類	汎用固化材
固化材添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	170 および 190
添加方法	スラリー添加 (W/C=80%)

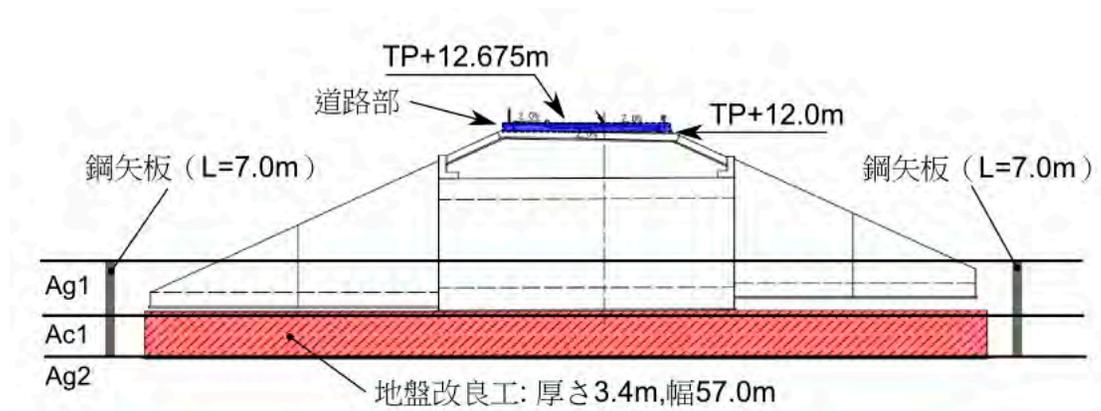


図 3.5.2 改良範囲（明戸海岸）



写真 3.5.3 地盤改良の状況（明戸海岸）<sup>4)</sup>

### 3.5.4 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、一軸圧縮試験が実施された。表 3.5.3 に品質管理試験結果の一例を示す。いずれも目標強度を満足しており、適切な施工が実施された。

表 3.5.3 品質管理試験結果の一例

		大船渡海岸	明戸海岸	
目標強度 (kN/m <sup>2</sup> )		200	700	900
供試体の一軸圧縮強さ (材齢 28 日) (kN/m <sup>2</sup> )	上部	1192	1868	2210
	中部	1405	1919	2100
	下部	1660	2190	2090

### 3.5.5 おわりに

岩手県三陸沿岸の海岸保全施設の復旧・新設工事は全 134 箇所を実施され、2018 年までの完成を目指し鋭意進められている。津波被害を軽減するための防潮堤の設置が各地で進められており、その下部地盤の安定において、セメント系固化材による地盤改良への期待は高いものとする。



写真 3.5.4 既設防潮堤の嵩上げ状況 (大船渡港海岸) <sup>5)</sup>

#### 【参考資料】

- 1) 岩手県：三陸北沿岸海岸保全基本計画 計画編、平成 25 年度
- 2) 岩手県：三陸南沿岸海岸保全基本計画 計画編、平成 25 年度
- 3) 岩手県ホームページ：岩手県大船渡海岸被害状況

[http://www.pref.iwate.jp/dbps\\_data/\\_material/\\_files/000/000/021/174/no.57\\_oohunatokoukaigan.pdf](http://www.pref.iwate.jp/dbps_data/_material/_files/000/000/021/174/no.57_oohunatokoukaigan.pdf)

- 4) 岩手県県土整備部河川課 提供
- 5) 岩手県ホームページ：

<http://www.pref.iwate.jp/kasensabou/kasen/fukkyuu/tsunami/021174.html>

### 3.6 施設運用下における復旧工事～仙台空港アクセス鉄道～

#### 3.6.1 はじめに

仙台空港アクセス鉄道（宮城県）は、JR 東北本線に直接乗り入れることで、JR 仙台駅と仙台空港駅を最短 17 分で結び、国内外へ延びる空路と東北・仙台都市圏の陸路をつなぐ重要な軌道系アクセス交通システムである。アクセス鉄道の線路は、ほとんどが地上に敷設されているが、**図 3.6.1** に示すように仙台空港の滑走路の延長線上を横切るため、その区間においてはボックスカルバートにより地下へ敷設されている。

東日本大震災からの復旧において、アクセス鉄道は人と物の流れをつくる主要な施設であることから、最も優先順位の高い工事として実施された。震災から 4 ヶ月後には一部区間で運行を再開、7 ヶ月後には仙台空港駅の営業再開とアクセス鉄道の全路線の復旧を完了した。その間、主要な航空会社の臨時便・定期便が再開しており、仙台空港とアクセス鉄道が運営される中での復旧工事となった。

#### 3.6.2 施設の被害状況

施設のトンネル部と擁壁部の被災状況を、「鉄道構造等維持管理標準・同解説（構造物編）コンクリート構造物」に基づき調査・判定した結果の一例を**表 3.6.1** に示す。ほとんどの箇所で健全な状態または軽微な損傷であったが、ボックスカルバートのボックス「B7」とボックス「B6」の目地部においては破損・漏水、側壁の段差、目地の開き（最大 320mm）など重大な損傷が発生していた。この原因について、二次元の地震応答解析により検討した結果、以下のように損傷したものと想定された。

- ① 継続時間の長い地震動が作用し、周辺地盤が液状化傾向となり強度が低下
- ② 強度低下した周辺地盤に、偏土圧などが作用したことで側方流動が発生
- ③ ボックスカルバートが浮上りや変位を生じ、目地部が変形や破損

なお、損傷した箇所は地上から地下への導入部であり、深度に応じて基礎構造が変化しており、B7 では「直接基礎」に対して B6 では「杭基礎」であった。



図 3.6.1 仙台空港アクセス鉄道<sup>1)</sup>

表 3.6.1 トンネル部と擁壁部損傷程度

構造物No.	損傷	程度	
トンネル	B1	・目地開き20mm	軽微
	B2		
	B3		
	B4	・損傷無し	健全
	B5		
	B6		
	B7	・目地部破損、漏水 ・側壁、110～200mmのズレ、 110～210mmの段差 ・目地の開き、300～320mm	重大
	B8		
	B9	・損傷無し	健全
擁壁	U1	・目地部に、ズレ、段差、開き	軽微
	U2	・損傷無し	健全

### 3.6.3 地盤条件

地盤調査結果の一例を表 3.6.2 に示す。工事区域は緩い砂地盤であり、また、太平洋沿岸と貞山堀運河に近いので、地下水位が 0.20m と非常に高い場所である。

表 3.6.2 地盤条件の調査結果の一例

深度 (m)	層厚	土質 区分	N値				備考
			0	5	10	15	
0.00	8.00	埋土					▽ 孔内水位
8.00							細砂～中砂 比較的均質
14.00	6.00	砂					細砂～中砂 からなる 稀にΦ10～30mm 礫混入
17.00	3.00	細砂					微細砂～細砂 からなる
21.25	4.25	貝殻 混じり 砂					貝殻細片が混入 均一な細砂が主
21.45	0.20	粘土					

### 3.6.4 地盤改良の検討

躯体の安定性を検討するため、列車走行時の鉛直作用力と支持力の比較を行った。その結果、支持地盤の N 値が 10 程度確保できれば良いこと、その支持領域は、図 3.6.2 に示すように躯体側壁の直下のみで良いことが確認された。

また、躯体下部に空洞が生じても、両端の支持領域により躯体の安定性が確保されることが、列車と航空機荷重を考慮したフレーム解析により確認された。

これらの検討結果をもとに、躯体の長期的な安定性を確保するために、躯体下部の地盤をセメント系固化材により改良する「地盤改良工」と、重大な損傷が生じた B7 と B6 の目地部を補強する「目地工」が実施された。目地工においても、周辺地盤の強化と漏水対策として、セメント系固化材による地盤改良が実施された。地盤改良工事の全体図を図 3.6.3 に示す。

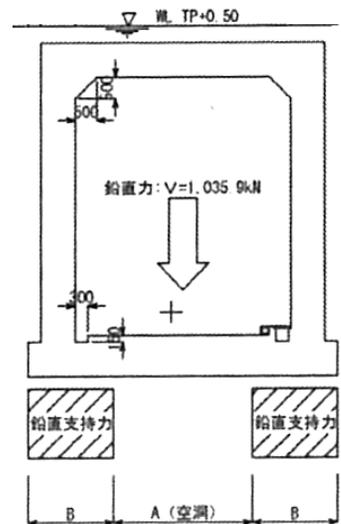


図 3.6.2 鉛直作用力と支持力<sup>2)</sup>

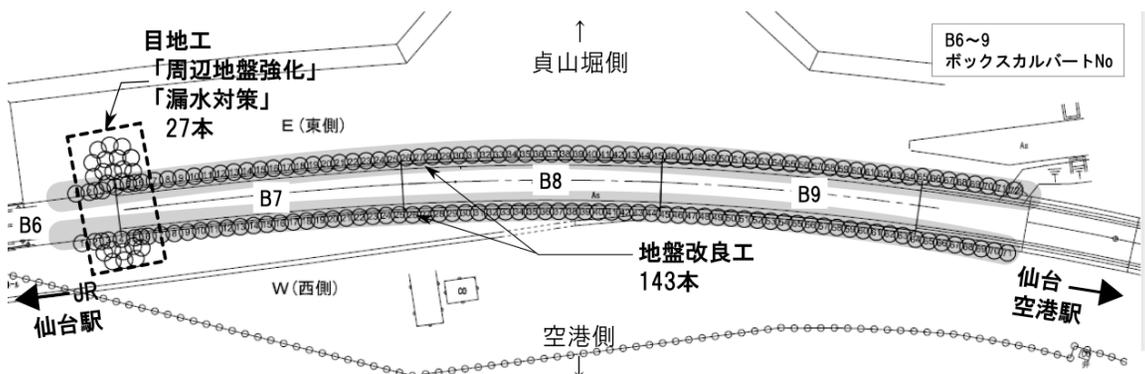


図 3.6.3 地盤改良工事の全体図

### 3.6.5 地盤改良工法の概要

本工事は、仙台空港およびアクセス鉄道が運行される中で実施されたため、空頭制限に加えて、鉄道軌道および近接構造物への影響が懸念された。そのため、変位を抑制することができ、周辺地盤への影響が少ない工法を選定する必要があった。検討の結果、高圧噴射攪拌工法が選定され、また排泥効率が良い三重管式高圧噴射攪拌工法が採用された。地盤改良の仕様を、表 3.6.3 に示す。

表 3.6.3 地盤改良の仕様

項目	仕様
工法	三重管式高圧噴射攪拌工法
対象土	砂質土
改良深さ (m)	11.8 (根入れ 1.7)
改良径 (mm)	φ 2500
改良本数 (本)	地盤改良工：143 目地工：27
設計基準強度 (kN/m <sup>2</sup> )	3000
固化材の種類	工法専用固化材

#### (1) 地盤改良工

三重管式高圧噴射攪拌工法により、躯体側部および下部の地盤改良が実施された。

改良体の仕様を、表 3.6.3 および図 3.6.4 に示す。改良体は、直径が 2.5m、止水性を確保するためにラップ配置とし、設計基準強度は、三重管式高圧噴射攪拌工法の砂質土に対する標準的な仕様<sup>4)</sup>の 3000kN/m<sup>2</sup>、改良体の長さは、砂層 (As1-2) への根入れを 1.7m 確保するために 11.8m に設計された。

なお、鉄道が運営される中での復旧工事であったため、トンネルの変位や軌道の変位に管理基準値を設け、自動計測による管理体制のもと施工が実施された。管理値を超える変形は生じず、鉄道運行に支障をきたすことなく工事は実施された。

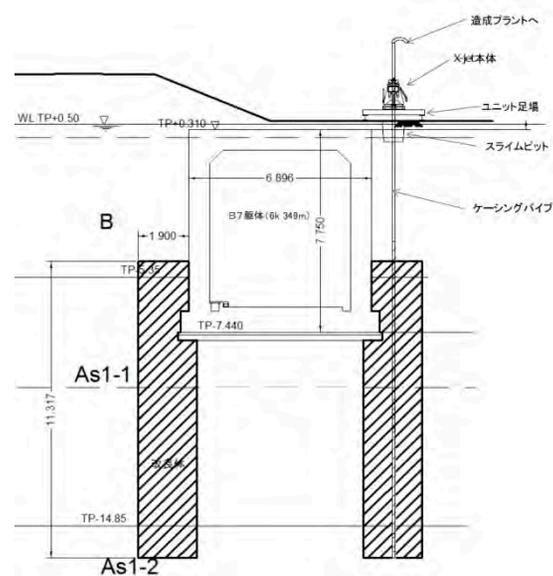


図 3.6.4 地盤改良工の概要

## (2) 目地工

B6とB7の目地部では、躯体の側壁部と天端部を鉄筋コンクリートで巻き立て、あと施工アンカーにより躯体を一体化させる補強工事が実施された。工事の実施にあたり、目地部周辺のコンクリート面を露出させるため、図3.6.5および図3.6.6に示す立坑を構築する必要があった。現地は緩い砂地盤で地下水位も高いため、地盤の掘削にあたり地下水位対策が必要となった。そこで、ウェルポイントによる地下水位低下工法などを検討したが、立坑周辺の地盤をセメント系固化材により固化処理し、地盤の強化と漏水対策を行う工法が有効的であると判断された。工法は、「地盤改良工」と同じ三重管式高圧噴射攪拌工法が選定された。

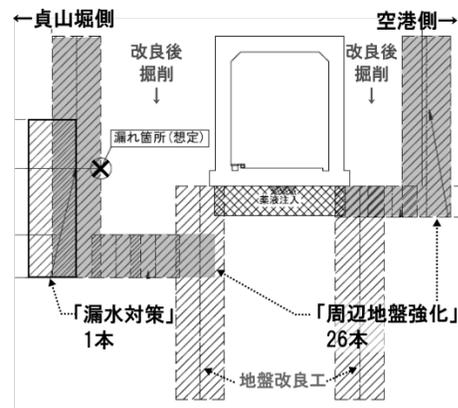
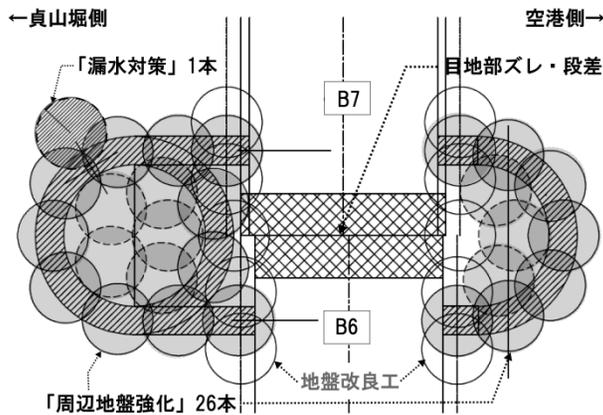


図 3.6.5 周辺地盤強化・漏水対策の平面図<sup>3)</sup>

図 3.6.6 周辺地盤強化・漏水対策の断面図<sup>3)</sup>

## 3.6.6 おわりに

震災から早期の運行再開を果たした仙台空港アクセス鉄道では、空港と鉄道が運行する中での復旧工事が実施された。そのため、「空頭制限」「近接構造物」や「鉄道軌道の変位」など、様々な制約がある中での工事であったが、三重管式高圧攪拌工法を採用することで、施設運用下での地盤改良工事を実施することができ、トンネル躯体の長期的な安定性を確保することができた。

### 【参考資料】

- 1) 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
- 2) 五洋建設（株）提供：平成 23 年度 仙台空港アクセス鉄道（災害復旧）地盤改良外工事 工事報告書
- 3) 五洋建設（株）提供：平成 23 年度 仙台空港アクセス鉄道（災害復旧）地盤改良外工事 工事写真集
- 4) クロスジェット協会：X-jet クロスジェット工法技術資料<第 15 版>、p.2、2012

### 3.7 震災コンクリートガレキの活用～夏井地区海岸堤防～

#### 3.7.1 はじめに

福島県いわき市夏井地区（図 3.7.1）では、東日本大震災からの復旧復興事業として延長 920m の無堤防区間に海岸堤防が新設された。この事業は、福島県で最初に完成した復旧復興事業である。堤防の築堤にあたっては、粘り強い構造の堤防を基本方針とし、また、震災ガレキを有効活用するために CSG（Cemented Sand and Gravel）技術が取り入れられた。CSG とは、近傍で容易に入手できる礫などに、セメントおよび水を添加し練り混ぜて製造する材料であり、ダム技術で開発されたものである。堤防の諸元を表 3.7.1 に、堤防の構造を図 3.7.2 に示す。

本事業は、CSG を海岸堤防に初めて適用した先進性や、工期短縮、コスト削減を図った合理性などが評価され、土木技術の発展や社会の発展に貢献した画期的なプロジェクトとして、土木学会より土木学会賞技術賞(Ⅱグループ)が授与<sup>1)</sup>された。

本節では、震災コンクリートガレキを活用した CSG 海岸堤防の概要について紹介する。

表 3.7.1 堤防の諸元

海岸名	夏井地区海岸
事業名	高潮対策事業
延長	L=920m
体積	V=60000m <sup>3</sup> (内 CSG 堤 V=40000m <sup>3</sup> )
施設	海岸堤防（新設）
堤防天端高	T.P. +7.2m
セメントの種類	普通ポルトランドセメント
セメント量(kg/m <sup>3</sup> )	80, 100



図 3.7.1 夏井地区海岸<sup>2)</sup>

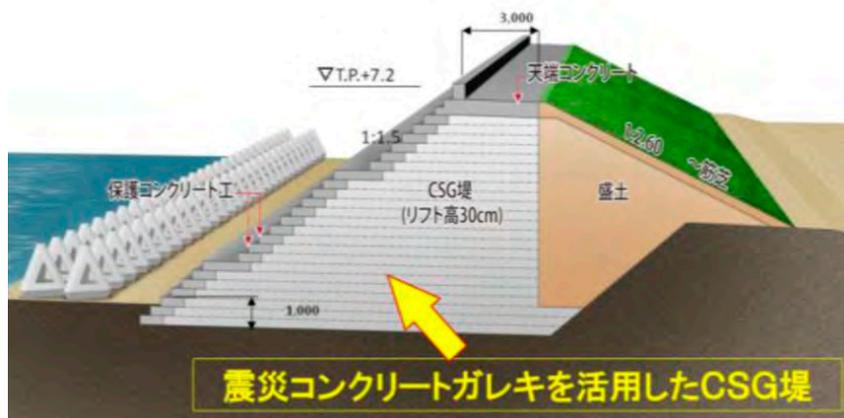


図 3.7.2 震災コンクリートガレキを活用した CSG 海岸堤防<sup>4)</sup>

### 3.7.2 工事の検討

#### (1) 堤防の検討

築堤にあたり、土堤と CSG 堤の比較が行われた。CSG が選定された主な理由は以下のとおりである。

- ① 津波が越流しても、構造物として強度があり、砂のように吸出しを受けることもなく、粘り強い構造となる。
- ② 震災により発生したコンクリートガレキの再利用が図れる。
- ③ 急速施工が可能となる。
- ④ 地震による堤体自体の沈下量がコンクリート張りの土堤と比較して小さい。
- ⑤ 台形状とすることで、剛性の高い安定した構造物を砂地盤上に建設することが可能となる。
- ⑥ 品質の規定と施工管理や品質管理手法が確立されている。

#### (2) CSG 材の検討

CSG 材の配合などを決定するために、①コンクリートガレキを破碎(写真 3.7.1)し CSG 材の粒度範囲を決定、②セメント量を 80、100kg/m<sup>3</sup> とし単位水量を変化させた強度試験を行い、適正な単位水量の範囲を決定、③室内標準供試体 (φ150mm、h=300mm) により強度の範囲を把握、④現場転圧試験を実施し転圧回数など施工仕様を決定(図 3.7.3)、⑤大型供試体 (φ300mm、h=600mm) による圧縮強度試験を実施し標準供試体との相関が確認された。CSG の強度と単位水量の範囲の一例を図 3.7.4 に示す。品質管理において、この強度範囲が用いられている。



写真 3.7.1 震災コンクリートガレキの破碎状況<sup>4)</sup>

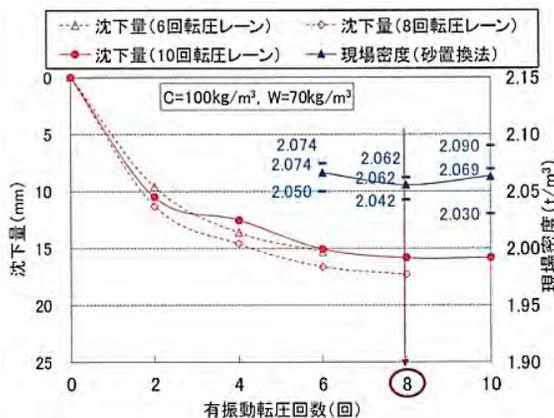


図 3.7.3 現場転圧試験結果の一例 (単位セメント量 100kg/m<sup>3</sup>)<sup>3)</sup>

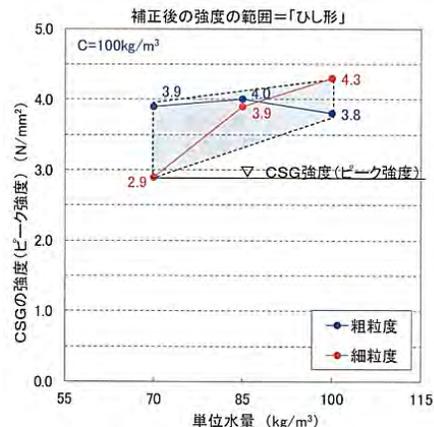


図 3.7.4 CSG の強度範囲 (単位セメント量 100kg/m<sup>3</sup>)<sup>3)</sup>

### 3.7.3 CSGの施工概要

CSGの施工順序を図3.7.5に示す。まず、打設面の清掃と噴霧養生の後、STEP1でセメントペーストを敷設し、STEP2~4でCSG材の搬入と敷均しを2層に分けて行い、STEP5で振動ローラを用いて転圧が行われている。施工機械は、ガレキ破碎、混合、積込、運搬、敷均しおよび転圧まで、全て汎用の機械が使用された。製造から転圧完了までの時間が6時間以内となるように考慮して、敷均し・転圧の1区画は約200m<sup>2</sup>（打設時間1時間程度に相当）を目安とし、1リフトの厚さは振動ローラの起振力を考慮して30cmとされた。

なお、各検討にあたり、「台形CSGダム設計・施工・品質管理技術資料」<sup>5)</sup>が参照された。

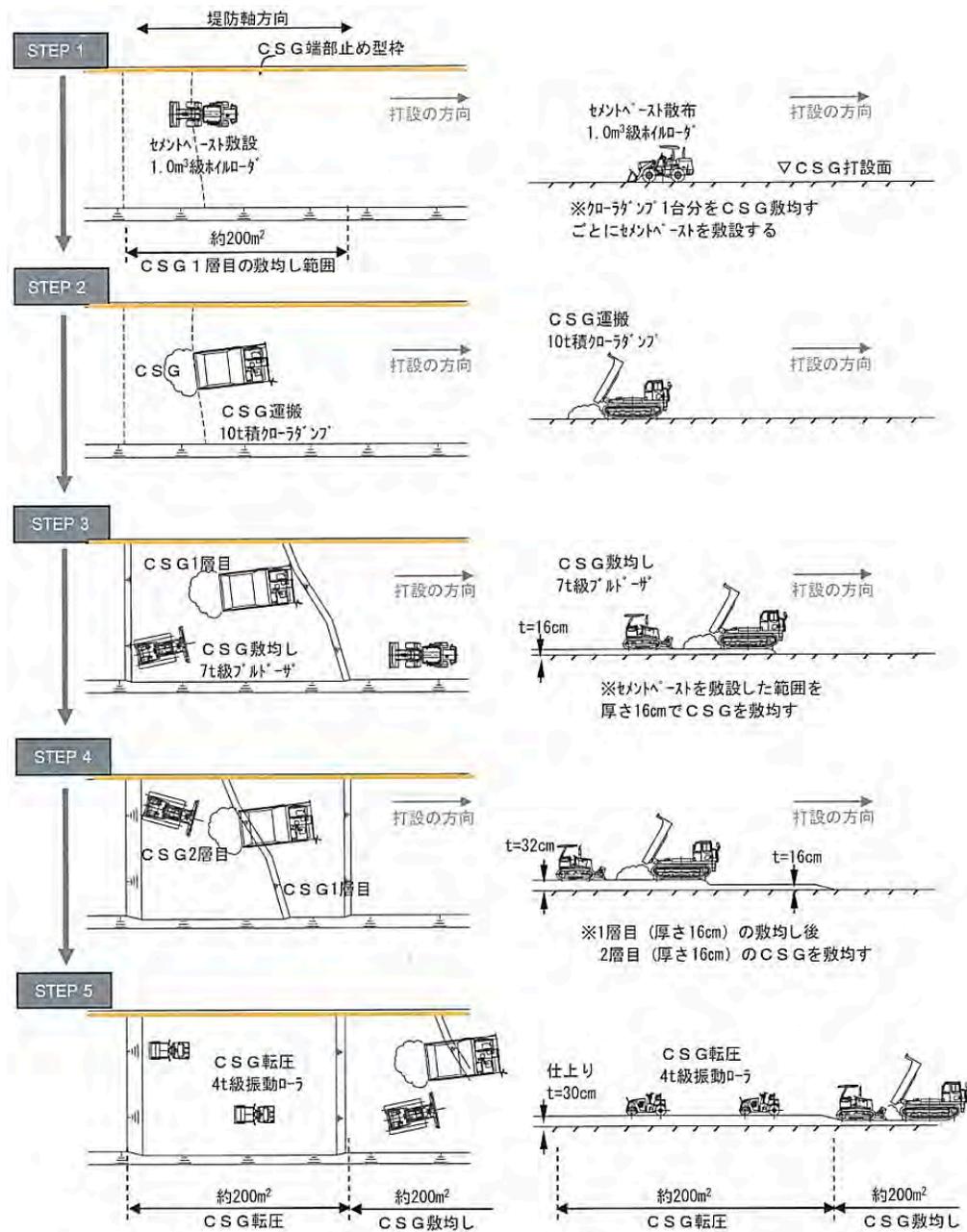


図 3.7.5 CSGの施工順序<sup>3)</sup>

### 3.7.4 CSGの品質管理

CSG材の品質管理では、密度、吸水率、粒度および表面水量の確認が行われた。施工の初期段階では、施工当日のCSGの単位水量およびCSG材粒度が規定された範囲内にあるか、1時間毎の試験頻度で確認された。その後、施工初期のデータの整理結果をもとに、安定期における試験頻度が検討された。

施工の品質管理では、CSG材、給水量、セメント量の計量、締固めエネルギー（転圧回数）、CSG現場密度、強度の確認が行われた。強度管理は、φ150×300mmの円柱供試体を用い、材齢7日および28日で試験が実施された。また、打設状況を確認するためにボーリングコアの採取（写真3.7.2）が行われ、良好な打設、打継ぎが確認された。

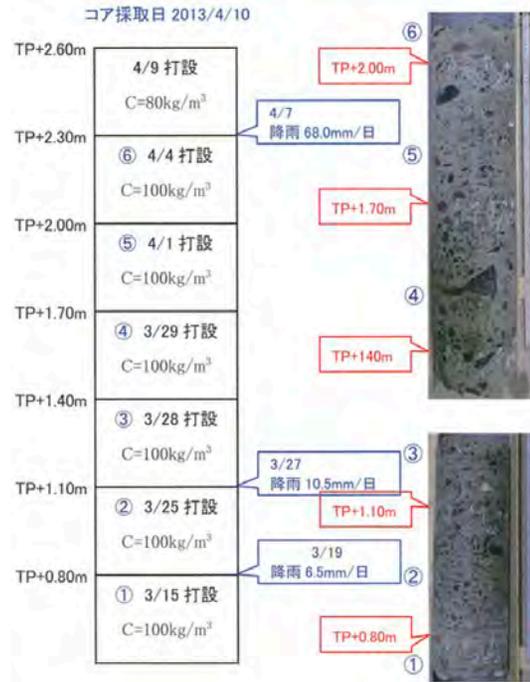


写真 3.7.2 ボーリングコアの一例<sup>3)</sup>

### 3.7.5 おわりに

粘り強い海岸堤防を築堤するにあたり、震災コンクリートガレキを用いたCSG材を活用することにより、環境面への負荷を低減するだけでなく、材料費および処分費の両面からコスト削減を実現、さらには、圧倒的な工期短縮が図られた。本事業における技術は、海岸堤防の建設に限らず、他のインフラの整備にも展開されることが期待される。



写真 3.7.3 CSG 海岸堤防完成状況<sup>3)</sup>

#### 【参考資料】

- 1) 土木学会ホームページ:土木学会賞技術賞受賞者一覧 平成25年度IIグループ、<https://www.jsce.or.jp/>
- 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) 福島県いわき建設事務所：夏井地区海岸 CSG 海岸堤防技術資料、平成 25 年 10 月
- 4) 福島県ホームページ：災害廃棄物を活用した夏井地区海岸堤防～ダム技術を生かす～、<http://www.pref.fukushima.lg.jp/>
- 5) （一財）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、2012 年

#### 4.大規模災害を想定した地盤改良工事

大規模災害を想定した地盤改良工事について、図 4.1 に示すとおり、日本全国を対象として調査した。調査数は 23 件であり、このうち表 4.1 と表 4.2 に示す 13 件の工事を本章で紹介する。

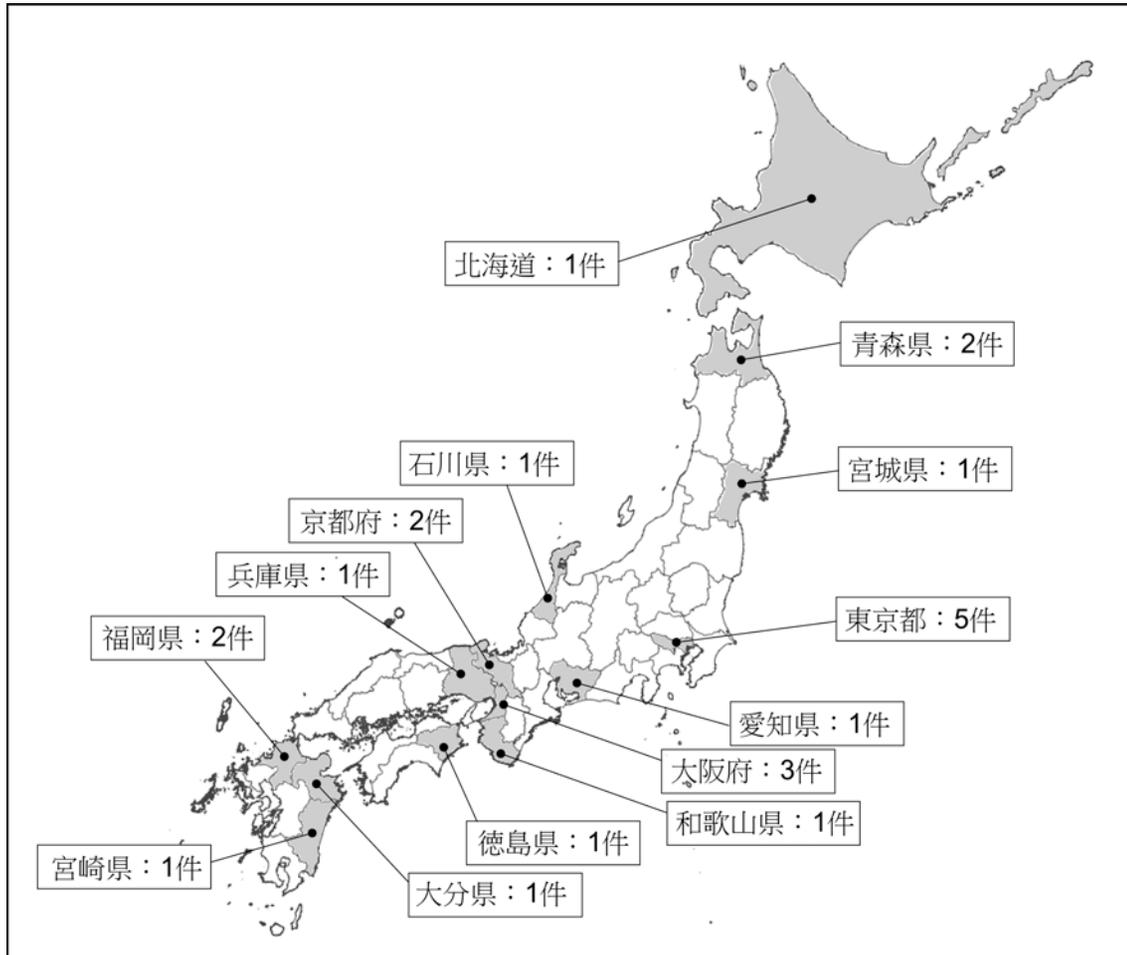


図 4.1 地盤改良工事の調査箇所<sup>※)</sup>

※) 国土地理院「地理院地図(電子国土 Web)」をもとに作成

表 4.1 4章で紹介する地盤改良工事（土木編）

節番号	節題	対象	地域
4.1	新耐震照査に基づく大分川河川堤防の耐震補強対策	堤防	大分県
4.2	遠賀川河川堤防における沈下抑制対策	堤防	福岡県
4.3	筑後川築堤護岸の樋管改築における沈下抑制対策	樋管	福岡県
4.4	南海トラフ巨大地震に備えた大淀川河川堤防の耐震補強対策	堤防	宮崎県
4.5	七戸川広域基幹河川堤防における沈下・液状化対策	樋管	青森県
4.6	釧路港耐震強化岸壁 ～自立固化改良体を用いた岸壁改良工事～	岸壁	北海道
4.7	東京モノレール既設橋脚の耐震補強工事	鉄道	東京都

表 4.2 4章で紹介する地盤改良工事（建築編）

節番号	節題	対象	地域
4.8	重要文化財の建屋内での沈下防止対策工事 ～旧岩崎邸和館～	構造物基礎	東京都
4.9	重要文化財の液状化対策工事 ～大阪府立中之島図書館～	構造物基礎	大阪府
4.10	既設構造物の耐震改修工事 ～江東区本庁舎～	構造物基礎	東京都
4.11	免震構造物の液状化対策工事 ～製菓会社研究棟～	構造物基礎	大阪府
4.12	免震構造物の液状化対策工事 ～臨海地区における医療施設～	構造物基礎	石川県
4.13	免震構造物の液状化対策工事 ～臨海地区における化学工場～	構造物基礎	徳島県

## 4.1 新耐震照査に基づく大分川河川堤防の耐震補強対策

### 4.1.1 はじめに

大分川はその源を由布市湯布院町（大分県）の由布岳に発し、別府湾に注ぐ幹川流路延長55km、流域面積650km<sup>2</sup>の一級河川である。流域の地形は、上流部は山地で形成され複雑な様相を呈し、阿蘇溶岩台地を侵食し、峡谷形態を成している。下流部は氾濫源が発達した平野となっており、河口部は大分川から運ばれてきた土砂などの沖積物で覆われ遠浅となり、臨海工業地帯として埋め立てられている。流域内の人口は約26万人で、大分県の社会、経済、文化の基盤をなしている。

大分川下流部の河川堤防は、大きな地震が発生した場合、液状化現象で沈下・破壊することが想定され、大きな浸水被害をうける恐れがあるため、堤防耐震対策事業が実施された。この耐震対策は、東北地方太平洋沖地震の発生以降に改定された「河川構造物の耐震性能照査指針」（表4.1.1）に基づき行われ、調査の結果、耐震性が不足している箇所については所要の機能を確保するための対策が実施されることとなった。本件の場合、既設堤防における液状化対策として法尻の安定化が行われ、図4.1.1に示す固結工法が採用された。

表 4.1.1 河川管理施設の耐震基準等の改定状況<sup>1)</sup>

策定 改定年	耐震基準等 の名称	地震・津波対策に関する内容	改定の経緯等
平成 7年	河川堤防耐震点検 マニュアル等	【地震・津波対策】 ・津波遡上範囲等の河川堤防等について、レベル1地震動に対する耐震点検の方針が定められた。 ・津波遡上範囲等の河川堤防等について液状化を考慮した安全性の確認を行うこととされた。	・平成7年の阪神・淡路大震災を踏まえて策定された。 ・河川堤防等の耐震化が求められることになった。
平成 9年	河川砂防 技術基準	【地震対策】 ・土堤に求められる耐震性、対策の基本的考え方が示された。	・河川堤防耐震点検マニュアル等が策定されたことを踏まえて改定された。
平成 19年	河川構造物の耐震 性能照査指針案 同解説	【地震・津波対策】 ・津波遡上範囲等の河川構造物（河川堤防、水門、揚排水機場等）について、レベル2地震動に対する耐震性能照査の方針が定められた。	・「土木構造物の耐震設計ガイドライン」（H13年土木学会）、「土木・建築にかかる設計の基本」（H14年国土交通省）が策定され、レベル2地震動に対する指針が示されたことによる。
平成 24年	河川構造物の耐震 性能照査指針	【地震対策】 ・堤体の液状化対策が導入された。	・平成23年の東日本大震災を踏まえて改定された。

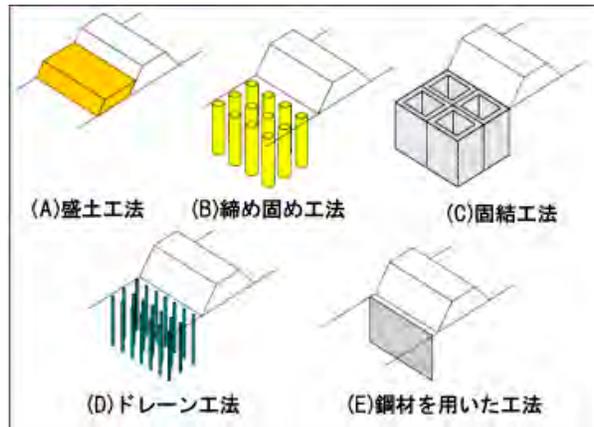


図 4.1.1 既設堤防における液状化対策（法尻安定化）<sup>2)</sup>

#### 4.1.2 工事の概要

本工事の概要を表 4.1.2、地盤改良の仕様を表 4.1.3 に示す。

表 4.1.2 工事概要

項目	概要
工期	平成 25 年 2 月 15 日～5 月 31 日
施工区間	大分川右岸 0k390～0k525 L=約 135m
工事内容	法尻付近の堤体の液状化に伴う強度低下をきっかけとして堤防が変状し始めるため、法尻付近の安定化を図る耐震補強

表 4.1.3 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
改良面積 (m <sup>2</sup> )	654
改良深さ (m)	2.4～4.1
改良延長 (m)	約 135
改良径 (mm)	1800
改良率 (%)	50
改良本数 (本)	192
目標強度 (kN/m <sup>2</sup> )	500 以上
固化材の種類	汎用固化材
固化材添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	114
添加方法	スラリー添加(W/C=150%)

地盤改良の施工手順を以下に示す  
(図 4.1.2 参照)。

①移動、位置決め、杭心セット

所定の位置へ施工機を移動して、  
ロッドあるいは攪拌翼を杭中心位置  
にセットする。

②ロッド・攪拌翼の貫入

ロッドもしくは攪拌翼を回転貫入  
する(地盤によってプレジェットを  
実施)。

③貫入完了

到達深度が設計深度に達している  
か、システム管理装置で確認する。

④セメントスラリー噴射

超高压セメントスラリーを噴射しながら、ロッド・攪拌翼の回転引拔を開始する。  
(エアー併用方式では、セメントスラリーの周囲よりエアーを同時に噴射する)

⑤引拔・造成

所定深度まで回転引抜きを行い、改良体を造成する。

⑥造成完了

改良杭の造成が完了。移動の準備、ロッド・攪拌翼などを点検する。

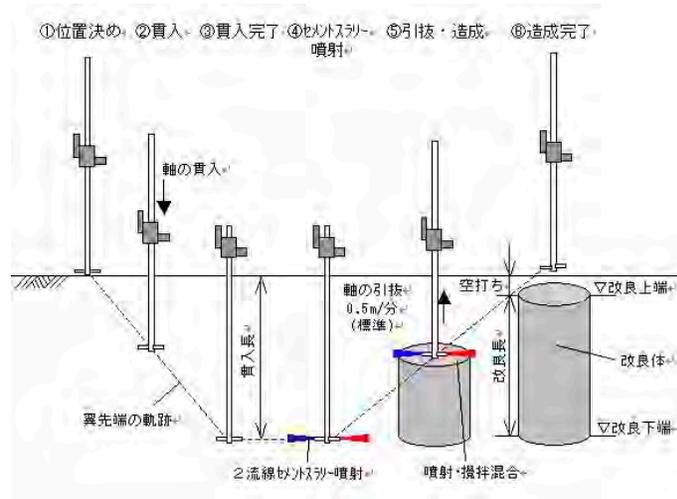


図 4.1.2 高圧噴射攪拌工の施工手順<sup>3)</sup>

また、施工状況を写真 4.1.1 に示す。



写真 4.1.1 施工状況

地盤改良の平面図を図 4.1.3 に標準断面図を図 4.1.4 に示す。

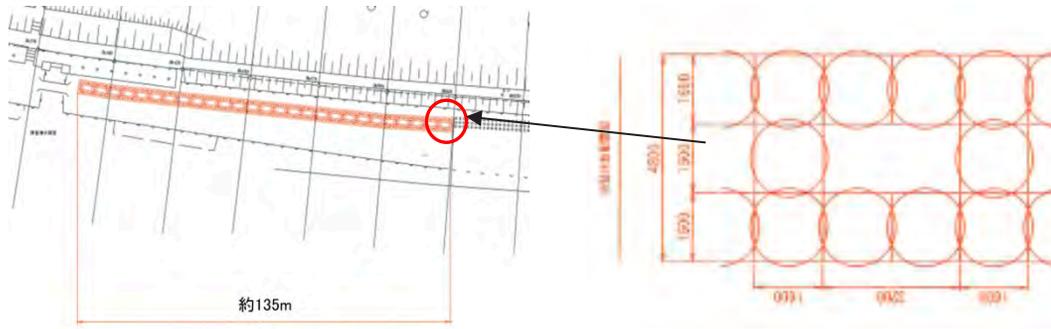


図 4.1.3 地盤改良平面図

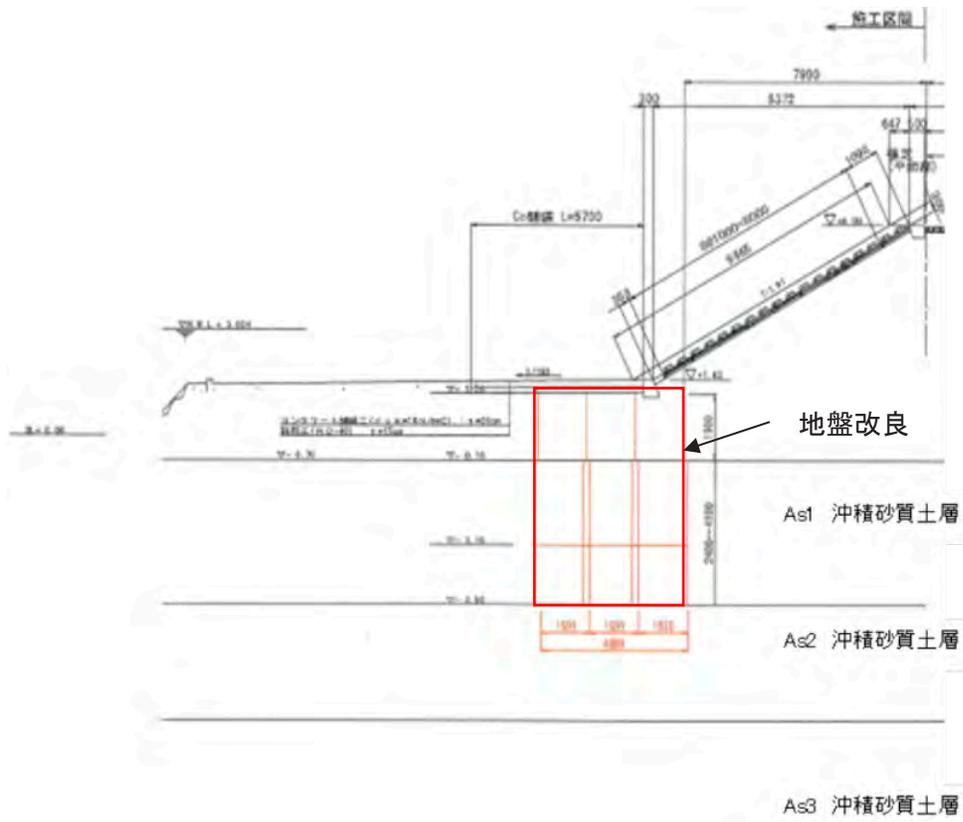


図 4.1.4 標準断面図

#### 4.1.3 おわりに

堤体の液状化による被災は、これまで堤防被災として主眼が置かれていなかったものである。しかし、東北地方太平洋沖地震においては、液状化により東北地方から関東地方にわたって2000箇所以上で発生した地震動による堤防の大規模な被害の原因は液状化であった。

大分市は、これまでも東南海・南海地震に関する地震防災対策の推進に関する特別措置法に基づく防災対策推進地域に指定されるなど、このような被災が危惧される領域である。本耐震対策により、レベル2地震動が発生しても河川堤防の安定性が確保されるようになったため、地震による津波氾濫および洪水氾濫による被害を防止または大きく低減することが出来ると考えられる。工事の完成状況を写真4.1.2に示す。



写真 4.1.2 工事完成状況

#### 【参考資料】

- 1) 会計検査院検査報告データベース：公共土木施設等における地震・津波対策の実施状況等に関する会計検査の結果について、  
<http://report.jbaudit.go.jp/org/h23/YOUSEI5/2011-h23-8169-1.htm>
- 2) 国土交通省九州地方整備局大分河川国道事務所：RIVER&RORD 平成25年度事業概要、p8、[http://www.qsr.mlit.go.jp/oita/outline2013/1\\_pdf%20all\\_25.pdf](http://www.qsr.mlit.go.jp/oita/outline2013/1_pdf%20all_25.pdf)
- 3) 国土交通省 NETIS 新技術情報システム：エフツインジェット工法、登録 No.QS-040034-VE、施工方法  
[http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG\\_NO=QS-040034](http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG_NO=QS-040034)

## 4.2 遠賀川河川堤防における沈下抑制対策

### 4.2.1 はじめに

福岡県の馬見山を水源とする遠賀川の体系的治水事業は、1600年（慶長5年）の黒田長政の筑前入国に始まったとされている。明治に入ると石炭産業の発展を頻発する水害から保護する機運が高まり、1905年（明治38年）7月の大洪水を契機とし、1906年（明治39年）から第1期改修工事が進められた<sup>1)</sup>。堤防の整備状況は約8割に達しているが、古い時代に築造された堤防が多く、また堤防背後地の人口密度は九州地方整備局管内で2番目と人口・資産が集積している<sup>2)</sup>ことより、河川改修事業の重要度は高いものと考えられる。

本節では、堤防機能の向上のため、現況堤防の腹付け盛土により堤防断面および堤防高の確保が実施され、その際生じる沈下抑制対策としての地盤改良について紹介する。

### 4.2.2 沈下対策の概要

腹付け盛土と地盤改良のイメージを図4.2.1に示す。地盤改良は腹付け盛土下部の沈下および既設盛土の背面にある近接家での沈下を抑制するために実施された。

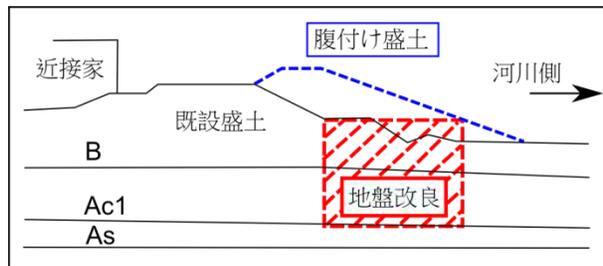


図 4.2.1 腹付け盛土と地盤改良のイメージ

### 4.2.3 地盤条件と地盤改良工事の概要

地盤改良範囲の平面図を図4.2.2に、地盤条件を図4.2.3に、断面図を図4.2.4に示す。本地盤は地層構成が複雑であるため、施工管理については原則として深度管理で行われた。改良範囲はAs層までとし、改良長は6.5m～10mとされた。地盤改良の仕様を表4.2.1に示す。

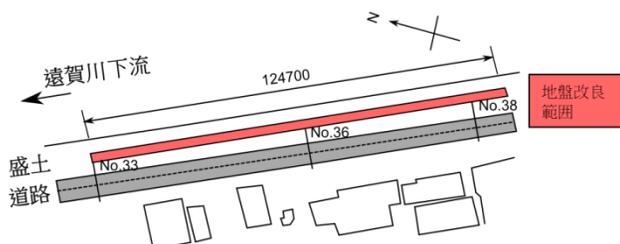


図 4.2.2 地盤改良範囲（平面図）

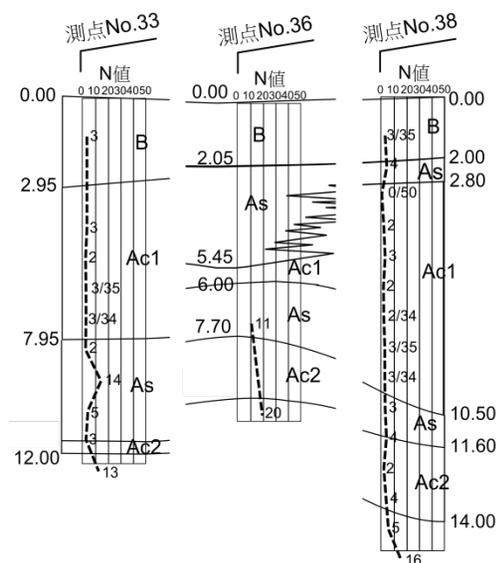


図 4.2.3 地盤条件

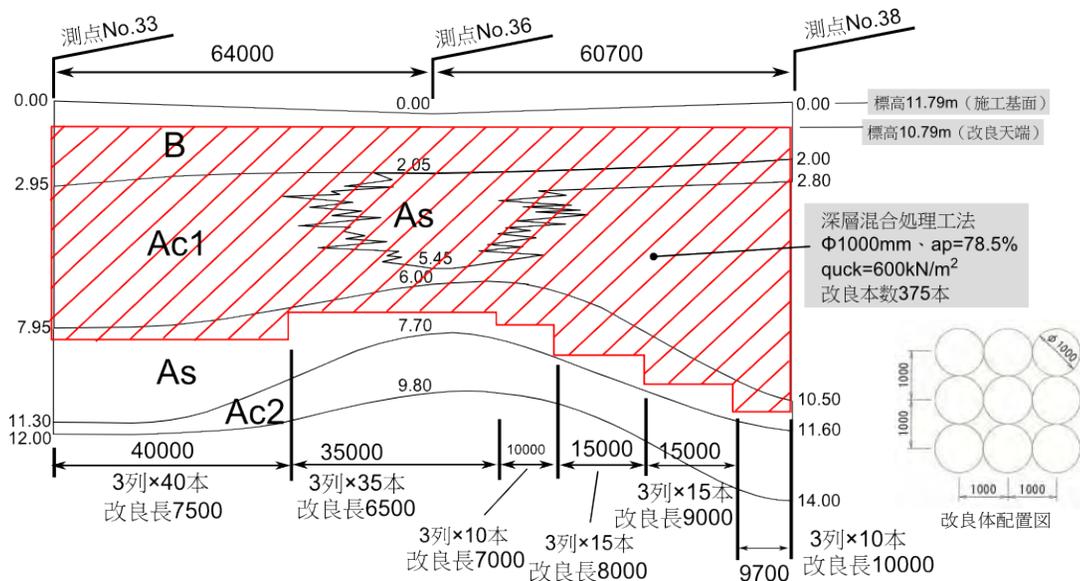


図 4.2.4 地盤改良範囲（断面図）

表 4.2.1 地盤改良の仕様

項目	仕様
工法	深層混合処理工法
対象土	砂質土および粘性土
改良面積 (m <sup>2</sup> )	2026
改良長 (m)	6.5~10
改良径 (mm)	φ 1000
改良率 (%)	78.5
改良本数 (本)	6.5m : 105 本、7.0m : 30 本、7.5m : 120 本 8.0m : 45 本、9.0m : 45 本、10.0m : 30 本
目標強度 (kN/m <sup>2</sup> )	600 (設計基準)、1800 (配合)
固化材の種類	汎用固化材
固化材添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	220
添加方法	スラリー添加 (W/C=87%)

地盤改良の状況(施工状況および改良体の出来形)を写真 4.2.1 に示す。



(A) 施工状況

(B) 改良体の出来形

写真 4.2.1 地盤改良の状況

#### 4.2.4 地盤改良による沈下抑制の効果

地盤改良による沈下抑制の効果は変形解析で検証された。無処理地盤および地盤改良後の変形解析結果の一例を表 4.2.2 に示す。地盤改良で対策されることで、近接家に影響を及ぼす沈下量は小さくなることが確認された。

表 4.2.2 無処理地盤および地盤改良後の変形解析結果の一例

		無処理地盤	地盤改良後
沈下量 (cm)	近隣家への影響	3.6	0.5

#### 4.2.5 おわりに

堤防機能の向上を目的に、遠賀川の河川改修では堤防断面および堤防高の確保のため腹付け盛土が実施された。その際、腹付け盛土下部や近接家での沈下が懸念されたため、下部地盤を地盤改良することで対策がなされた（写真 4.2.2）。

本河川改修は未だ継続中のものであり、今後発生する可能性のある洪水災害への備えを着実に実施している。



写真 4.2.2 河川改修の状況

#### 【参考資料】

- 1) 国土交通省：遠賀川水系流域及び河川の概要、pp.79-80  
[http://www.mlit.go.jp/river/basic\\_info/jigyo\\_keikaku/gaiyou/seibi/pdf/onga-4.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/gaiyou/seibi/pdf/onga-4.pdf)
- 2) 国土交通省九州地方整備局：遠賀川直轄河川改修事業、河川-1-4、平成 19 年 10 月 22 日  
[http://www.qsr.mlit.go.jp/s\\_top/jigyo-hyoka/071022/kasen02\\_onga.pdf](http://www.qsr.mlit.go.jp/s_top/jigyo-hyoka/071022/kasen02_onga.pdf)

### 4.3 筑後川築堤護岸の樋管改築における沈下抑制対策

#### 4.3.1 はじめに

九州地方北部を流れる筑後川は、熊本県阿蘇郡瀬の本高原を水源として、多くの支川を合わせ、筑紫平野を貫流し、国内最大の干満差を有する有明海に注いでいる。その流域は熊本、大分、福岡、佐賀の4県にまたがり、幹川流路延長143km、流域面積2860km<sup>2</sup>におよぶ、九州最大の河川である<sup>1)</sup>。その歴史は、洪水と治水の歴史である。史実に残る一番古い洪水は大同元年(806年)とあり、現在に至るまで、洪水はその流域に甚大な被害をもたらした。一方、最初の治水事業は、江戸時代まで遡る。明治時代以降、筑後川は国直轄となり河川改修、治水が行われてきた。

度重なる洪水による災害を教訓として、国土交通省より筑後川河川整備計画が策定され、計画の一部として、有明海河口域では高潮堤の整備が進められている。本節では、高潮対策の一環として、新田入江の樋管改築における沈下抑制対策として採用された、深層混合処理工法による地盤改良について紹介する。

#### 4.3.2 地盤条件

当該地区の地盤は、上位より有明粘土層、三田川層、阿蘇火砕流堆積層、洪積層が分布している。地層断面図を図4.3.1に示す。最上位にある有明粘土層は7m程度の層厚で粘性土を主体とし、薄く砂質土層を挟んでおり、N値は小さく粘性土でN=0~2(平均1未満)、砂質土でN=1~4(平均2)である。堤防築堤に伴う圧密沈下や地震時の液状化現象による堤防沈下が懸念され、問題の多い層である。三田川層の層厚は7mで粘性土と砂質土の互層からなり、N値は上層と比較して大きな値を示しているが、砂質土については液状化現象が懸念される。阿蘇火砕流堆積層以深は、全体的にN値が大きく安定した地層を呈する。

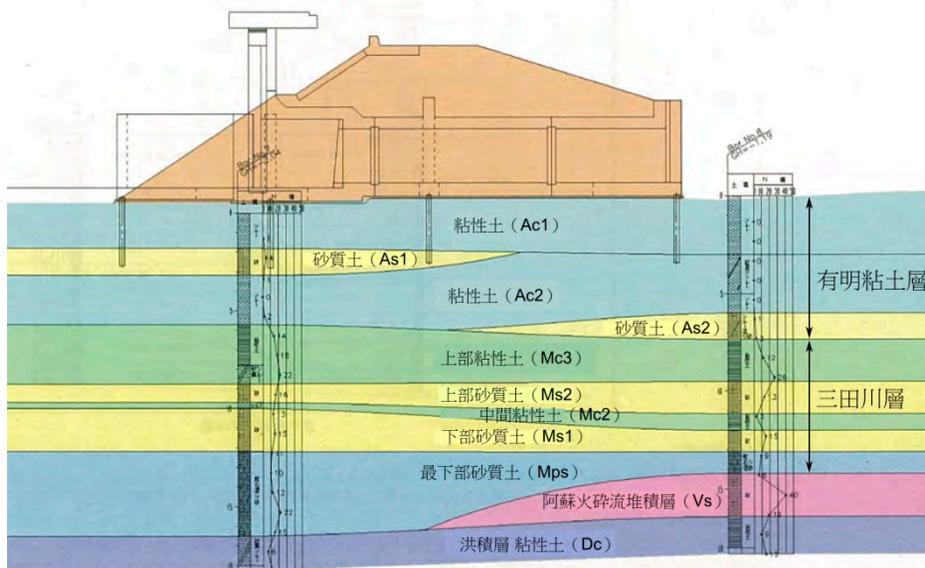


図 4.3.1 地層断面図 (想定)

### 4.3.3 地盤改良の検討

樋管本体の構造および基礎形式は原地盤の沈下量などを基に選定される。「樋門の設計要領（案）」<sup>2)</sup>に準拠して原地盤の沈下量が算定された結果、無処理の場合 151.1cm となり、沈下量は許容値 30cm を大きく上回ることがわかった。そのため対策工が検討され、地盤改良が選定された。

地盤改良で対策された場合の沈下量の計算結果を図 4.3.2 と表 4.3.1 示す。地盤改良を行うことで沈下量は最大 26.7 cm と大きく低減され、許容値を満足することが確認された。

これに付随して、側方変位についても低減され、無処理で最大 11.5cm であったものが地盤改良により最大 6.1cm となった。

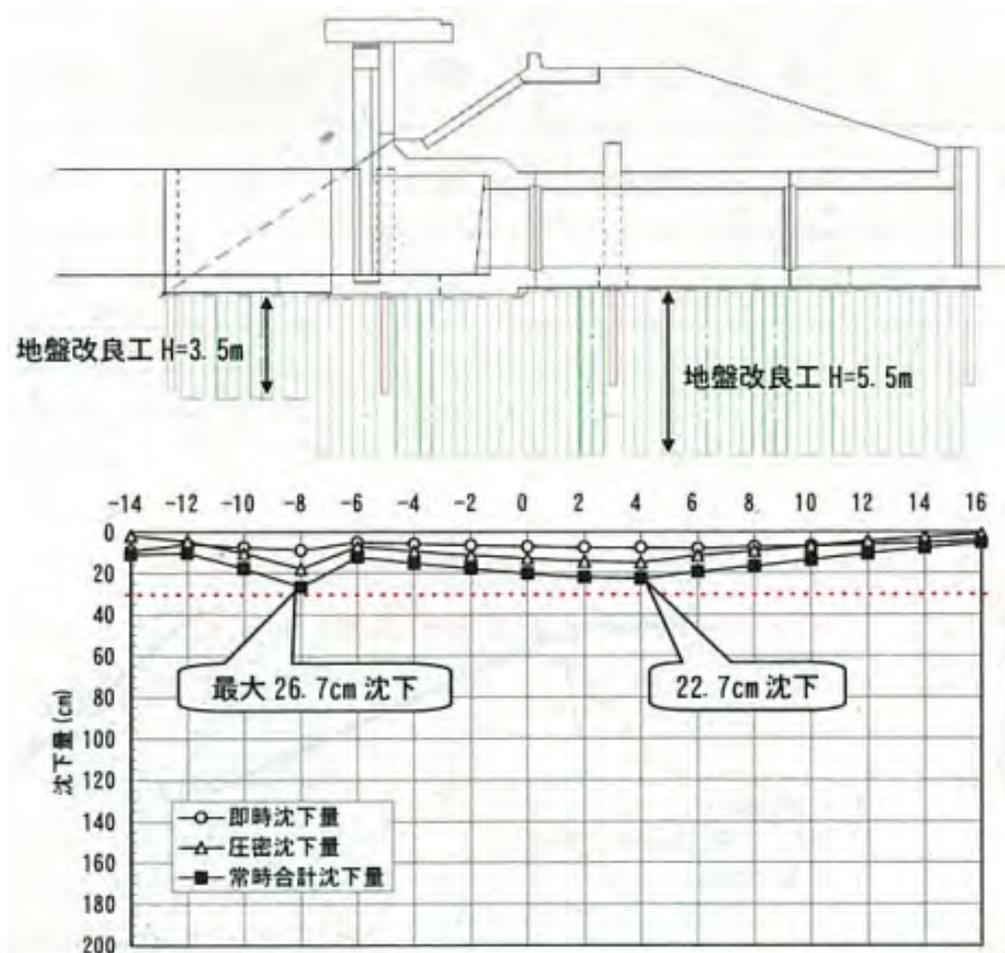


図 4.3.2 地盤改良後の沈下量の計算結果（分布図）

表 4.3.1 沈下量の計算結果（最大値）

沈下量		許容沈下量	判定
無処理	151.1cm		
地盤改良	26.7cm	合格	





写真 4.3.1 施工状況

#### 4.3.5 おわりに

筑後川有明海河口域では、治水事業として高潮堤の整備が進められている。河川樋管において、中圧噴射を併用した機械攪拌による深層混合処理工法で地盤改良を実施し、沈下を抑制できることが確認された。本工事の後、樋管本体の施工に移行し、樋管本体並びに周辺の整備が完了した。



(A) 樋門側面



(B) 樋門正面

写真 4.3.2 完成状況

#### 【参考資料】

- 1) 国土交通省九州地方整備局筑後川河川事務所ホームページ：  
<http://www.qsr.mlit.go.jp/chikugo/>
- 2) 国土交通省九州地方整備局：樋門の設計要領(案)
- 3) 国土交通省 NETIS 新技術情報システム：MITS 工法(CMS システム)、  
登録 No. QS-000013-V、  
[http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG\\_NO=QS-000013](http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG_NO=QS-000013)

## 4.4 南海トラフ巨大地震に備えた大淀川河川堤防の耐震補強対策

### 4.4.1 はじめに

大淀川の下流部に位置する宮崎県宮崎市は、人口 40 万人の中核市として栄えている。今回整備した堤防は、昔から台風による被害が大きい箇所である。この堤防は、昭和初期から現在までの約 80 年間に渡り改良を重ねて安全性の向上を図ってきている。本節では、将来発生のある南海トラフ巨大地震に備えた堤防耐震補強工事について紹介する<sup>1)</sup>。

### 4.4.2 堤防耐震補強の工法検討

当工事の設計にあたっては、東北地方太平洋沖地震以降に改訂された「河川構造物の耐震性能照査指針・解説のⅢ 自立式構造の特殊堤編」（平成 24 年 2 月）に基づき、レベル 2 地震動による耐震性能照査が実施された。照査にあたり最大クラスの津波および施設計画上の津波を決定する必要があり、沿岸部での航空レーザー測量結果（河川 LP データ）と内閣府波源モデルをもとに津波遡上シミュレーションが実施された。その後、地質・土質調査結果や治水地形分類図等により大淀川堤防の耐震性能照査を行った結果、大淀川左岸松山町から橘通西付近の約 1km の自立式特殊堤は、レベル 2 地震動が発生した場合、基礎杭が降伏し、堤防が川側に滑り・損壊する恐れがあった。万が一損壊した場合には、その後の津波や洪水で宮崎市の中心部が浸水する恐れがあることが判明した。

対策工法については、単独工法案と複合工法案を比較し、外力に対してねばりを期待できる「増し杭（H鋼杭）＋地盤改良」の複合工法案が採用された。その耐震対策横断面図を図 4.4.1 に示す。

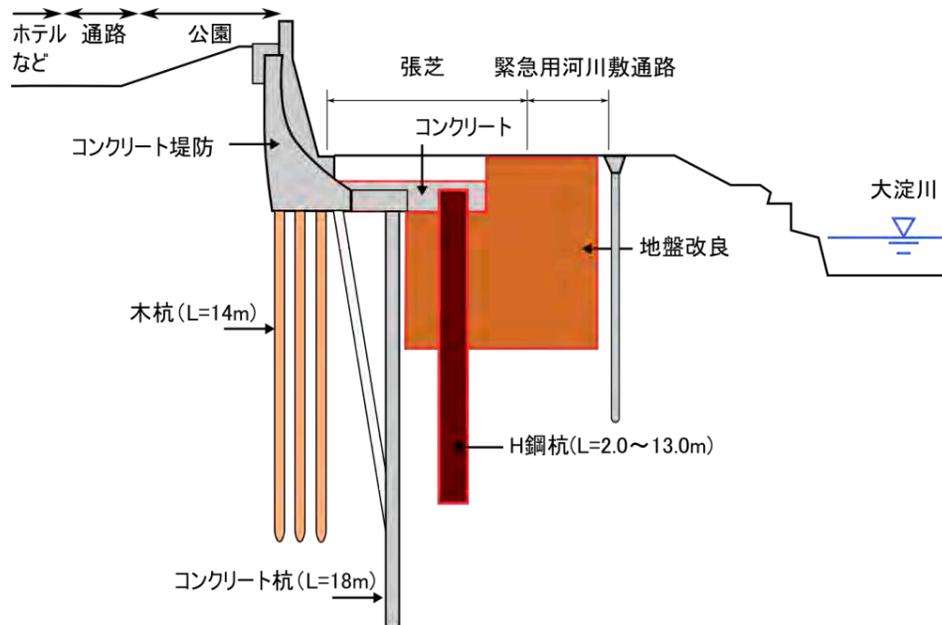


図 4.4.1 耐震対策横断面図

#### 4.4.3 工事の概要

本工事の概要を表 4.4.1 に、地盤改良の仕様を表 4.4.2 に示す。この耐震補強工事では、河畔公園やマンション・ホテルが隣接していることから、騒音・振動を軽減するために、最新の工法の採用や防音壁の設置など、周辺環境にも配慮された。

表 4.4.1 工事概要

項目	概要
事業年度	平成 24 年度～ 25 年度
施工区間	大淀川左岸 2k970～4k150 L=960m
工事内容	①地盤改良(トレンチャー式攪拌混合) ②鋼製杭打設： (H 形鋼: H-900 × 300 × 16 × 28mm L=2.0～13.0m) ③フーチングコンクリート打設: L= 960m ④張芝・レンガ舗装

表 4.4.2 地盤改良の仕様

項目	仕様
工法	トレンチャー式攪拌混合工法
対象土	粘性土
改良面積 (m <sup>2</sup> )	5300
改良深さ (m)	7.5
改良延長 (m)	960
目標強度 (kN/m <sup>2</sup> )	500
固化材の種類	高炉セメント B 種
固化材添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	105
添加方法	スラリー添加 (W/C=80%)

#### 4.4.4 施工概要

##### (1) 地盤改良

地中内の障害物を除去した後、図 4.4.2、図 4.4.3 に示すとおり、一次・二次の地盤改良を施工した。施工状況を写真 4.4.1 に示す。



### (3) フーチングコンクリート打設

基礎杭打設後、鉄筋組み立てを行い、コンクリートを打設・養生が行われた。施工状況を写真 4.4.3 に示す。



写真 4.4.3 フーチングコンクリート施工状況

### (4) 張芝・レンガ舗装

埋め戻し後、張芝・レンガ舗装が施工された。今回整備した遊歩道には、新燃岳の火山灰を 45% 混入したリサイクル資材が使用され、地域資源の有効活用も図られた。

### 4.4.5 おわりに

完成状況を写真 4.4.4 に示す。本工事の地盤改良は、特殊堤の基礎補強の一部として、増杭の水平抵抗を補う役割として実施されたものである。これにより、レベル 2 地震動が発生しても特殊堤の安定性は確保され、この補強された特殊堤が氾濫から守る地域は宮崎市街地の広範囲にわたるため、地盤改良による地震防災への貢献は大きいものと考えられる。



写真 4.4.4 完成状況

#### 【参考資料】

- 1) 久保 尚男：大淀河畔における南海トラフ巨大地震に備えた堤防耐震対策、九州技報、第 55 号、2014.07

## 4.5 七戸川広域基幹河川堤防における沈下・液状化対策

### 4.5.1 はじめに

高瀬川（七戸川）は青森県東南部に位置し、水源は八甲田山系に発し小川原湖に至る 1 級河川である。小川原湖周辺は土地が低いため、湖水位の影響を受けやすく、県管理区間の河川は流化能力が小さいため、浸水被害が頻発する状況にあった。

この浸水被害に対処するため、昭和 55 年度より河川改修事業に着手し、河道の拡幅、築堤、河床掘削が進められている<sup>1)</sup>。

この事業に伴い取水樋門の改築が計画され、この際、沈下対策及び地震時の液状化対策としてセメント系固化材による深層混合処理工法が実施された。

工事着工前の状況を写真 4.5.1 に示す。



写真 4.5.1 工事着工前の状況

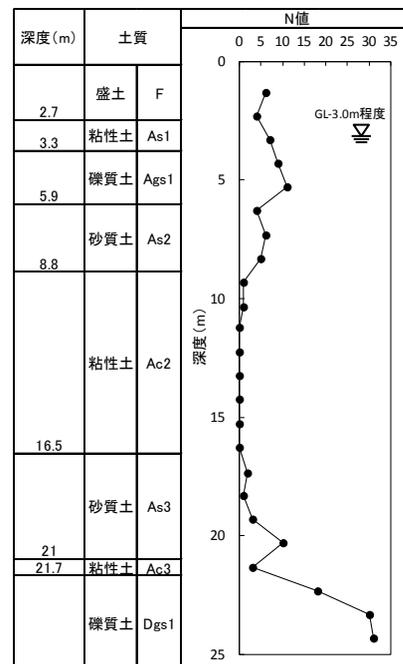
### 4.5.2 地盤条件

地盤条件の一例を表 4.5.1 に示す。また、地下水位はボーリング箇所により相違があるもの、GL-3.0m 程度であった。これより、本地盤は軟弱な粘性土層が厚く、また、地下水位以深に砂質土層が存在することが判った。

### 4.5.3 地盤改良の検討

本地盤は、軟弱な粘性土層が厚いため沈下が懸念されること、また、地下水位以深に砂質土層が存在するため地震時の液状化が懸念されることより、検討項目は、「地盤の沈下」と「砂質地盤における地震時の液状化」とされた。

表 4.5.1 地盤条件の一例



### (1) 地盤の沈下

未改良地盤の沈下量の検討結果を表 4.5.2 に示す。沈下量は許容沈下量 30cm を満足しなかったため、セメント系固化材による地盤改良で対策されることとなった。改良長は許容沈下量を満足させるため、17m に設定された。

表 4.5.2 沈下量の検討結果

沈下量(cm)	許容沈下量(cm)
8.3~32.5	30.0

### (2) 砂質地盤における地震時の液状化

地震時の液状化を抑制するため改良形式は格子状とされた。なお、改良体の設計基準強度 $F_c$ は 600kN/m<sup>2</sup>、改良率 $a_p$ は 65%に設定された。いずれも今までの実績を考慮し、決定された。

### (3) 固化材の種類と配合の設定

設計基準強度 600kN/m<sup>2</sup> を満足する固化材の種類と配合を決定するため、室内配合試験が実施された。(現場/室内) 強さ比を 1/3 としたため、室内配合試験での目標強度は 1800kN/m<sup>2</sup> となった。改良長は 17m のため改良範囲は GL-5~22m 付近であり、これに該当する主な改良対象土はシルト層 (Ac2) と砂質土層 (As2, As3) であった。Ac2 と As3 より採取した試料を用い、室内配合試験を行った結果、地盤改良の仕様は表 4.5.3 に示すとおり設定された。

表 4.5.3 地盤改良の仕様

項目	仕様
工法	深層混合処理工法 (格子状)
対象土	粘性土(Ac)、砂質土(As)
改良深さ (m)	17 (GL-5~22m 付近)
改良率 (%)	65
目標強度 (kN/m <sup>2</sup> )	600 (設計基準)、1800 (室内配合)
固化材の種類	汎用固化材
固化材添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	210 および 290
添加方法	スラリー添加 (W/C=80%および 100%) ※地盤条件に応じて設定

#### 4.5.4 地盤改良工事の概要

改良体の横断面図と平面図を図 4.5.1 に示す。固化材添加量は砂質土層 (As2、As3) で  $290\text{kg/m}^3$ 、シルト層 (Ac2) で  $210\text{kg/m}^3$  とされ、改良対象土に応じて固化材添加量を変化させる難しい施工であった。しかし、表 4.5.4 に示すとおり、採取したコアの供試体はいずれも設計基準強度を満足しており、適切な施工が行われたことが確認できた。施工の状況を写真 4.5.2、完成の状況を写真 4.5.3 に示す。

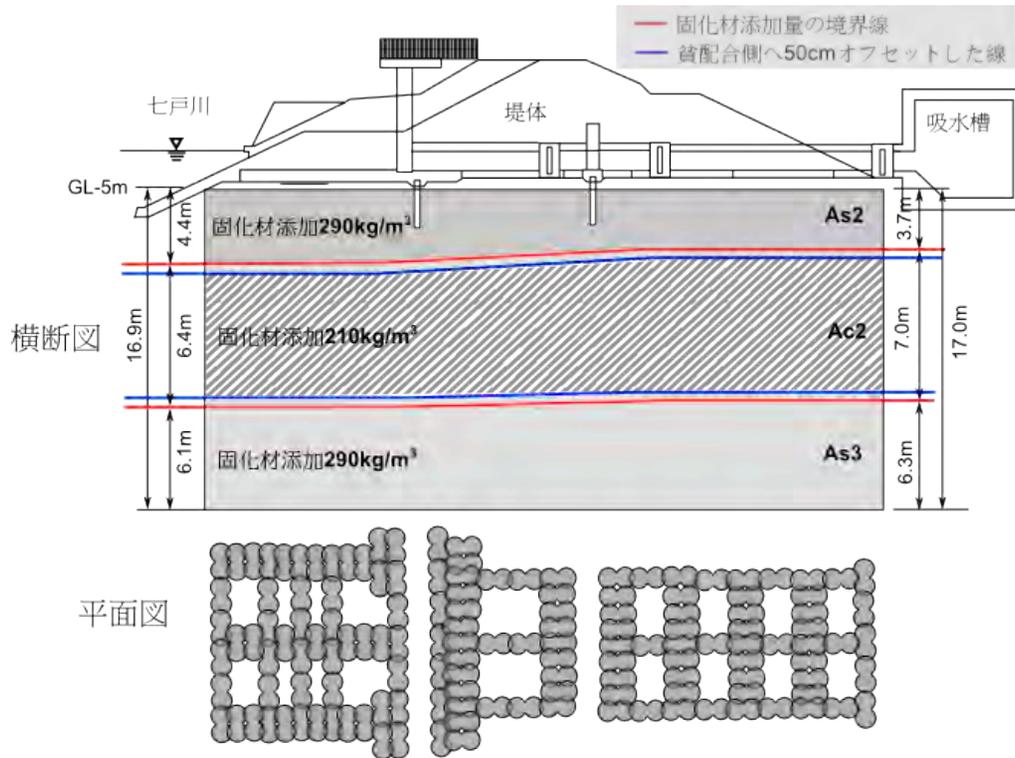


図 4.5.1 改良体の横断面図と平面図

表 4.5.4 コア供試体の一軸圧縮強さ

採取位置	深度 (m)	材齢 28 日の一軸圧縮強さ (kN/m <sup>2</sup> )
上部	5.50~5.65	2065
	7.50~7.65	1645
	9.40~9.55	1911
中部	11.10~11.25	1863
	13.60~13.75	2274
	15.35~15.50	1976
下部	17.75~17.90	2013
	19.10~19.25	2417
	20.15~20.30	2359



写真 4.5.2 施工状況



(A) 樋門側面



(B) 樋門正面

写真 4.5.3 施工完了の状況

#### 4.5.5 おわりに

河川樋門において沈下および地震時の液状化の抑制のため、セメント系固化材による地盤改良が実施され、構造物の安定性を高めることができた。

#### 【参考資料】

- 1) 青森県県土整備部河川砂防課：高瀬川水系河川整備計画（指定区間）平成 19 年 3 月  
<http://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/kendo/kasensabo/files/takase2.pdf>

## 4.6 釧路港耐震強化岸壁～自立固化改良体を用いた岸壁改良工事～

### 4.6.1 はじめに

釧路港（北海道）は、石油や紙・パルプなどの各種産業の物流拠点であり、また、全国有数の漁業基地でもある。2011年には穀物分野の「国際バルク戦略港湾」に選定されるなど、安定的かつ効率的な海上輸送網を形成する拠点港として、国際競争力を持つ重要な港湾である。その機能は、大規模地震による災害発生時においても維持され、緊急物資の輸送拠点として機能することが望まれるが、釧路港では耐震性の高い施設が未整備の状況であった。そこで、釧路港東港区（図 4.6.1）において、災害時に緊急物資の輸送拠点として機能（図 4.6.2）するよう、-9m の耐震強化岸壁と防災緑地の整備が 2007 年から開始された。本節では、岸壁の整備において実施された地盤改良工事<sup>1)2)</sup>について紹介する。



図 4.6.1 釧路港東地区<sup>3)</sup>



図 4.6.2 -9m 耐震強化岸壁を施工後の災害時イメージパス<sup>1)</sup>

### 4.6.2 耐震強化岸壁の施工概要

施工場所は、市街地が近接しており、施工時の騒音・振動や作業時間に制限があるほか、作業スペースも限られていた。オープン掘削による施工も検討したが、掘削面が背後地にまで達することから、実施は困難と判断された。このため、施工性や経済性を考慮し、深層混合処理による自立土留壁とケーソンによる複合構造（図 4.6.3）が選定された。

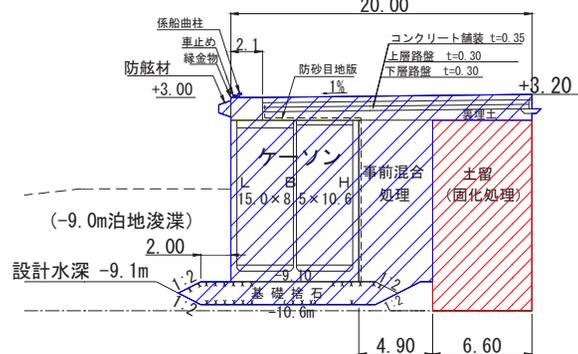


図 4.6.3 岸壁の標準断面<sup>1)</sup>

施工プロセスを図 4.6.4 に示す。まず、旧岸壁の背後の既設地盤を深層混合処理により固化する。固化した改良体は、改良体同士が確実に密着し、支持層へ確実に着底していることで、水際における自立土留壁として機能する。自立土留壁を構築した後、旧岸壁を取り

壊して、浚渫（写真 4.6.1）を行い基礎とケーソンを新設する。ケーソンと自立土留壁の間は事前混合処理土で充填し、一体化させることで複合構造の岸壁が完成する。改良体は、旧岸壁を取り壊す際の仮設構造物として機能した後、新設のケーソンと一体化して岸壁の一部となり、ケーソンへの土圧軽減、液状化対策などに効果を発揮することが期待される。



写真 4.6.1 旧岸壁の取り壊し・掘削状況<sup>1)</sup>

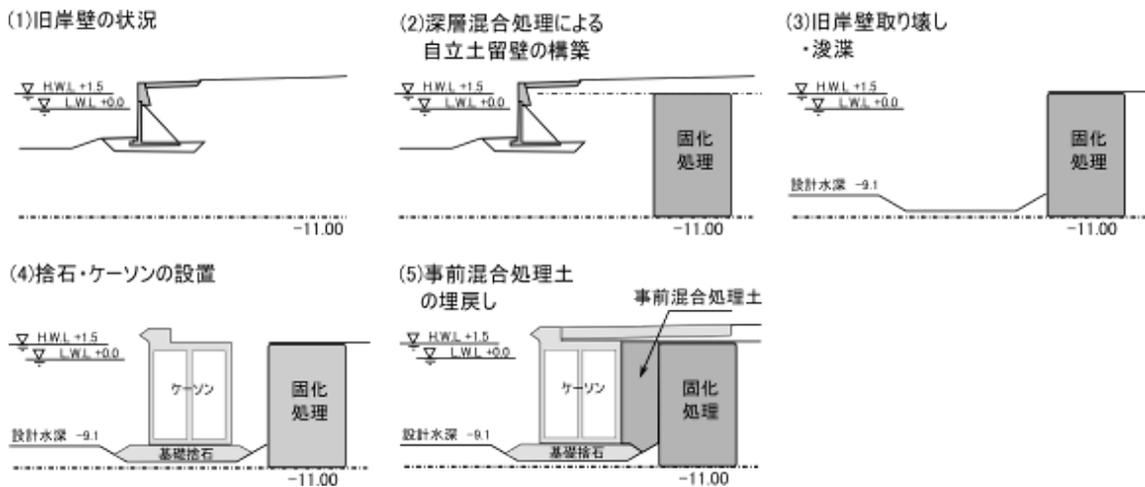


図 4.6.4 耐震強化岸壁を整備する施工プロセス<sup>1)</sup>

### 4.6.3 地盤改良工事の概要

改良体による自立式土留壁の設計条件を図 4.6.5 に示す。旧岸壁の撤去にあたり、自立土留壁の滑動・転倒・底面反力および支持力などについて照査が行われた。ケーソンと一体化させた後は、改良体がケーソンの土圧低減と液状化対策に寄与するものとして岸壁の安定性照査が行われた。地盤改良の仕様を、表 4.6.1 に示す。

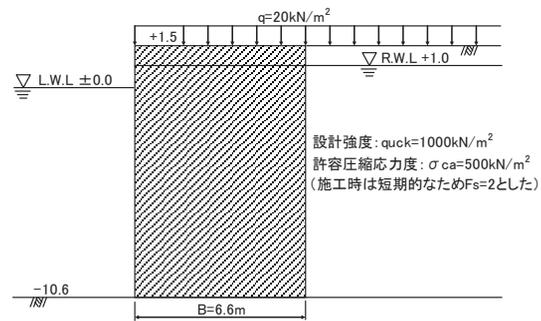


図 4.6.5 自立式土留壁の設計条件<sup>1)</sup>

地盤改良にあたり、改良体を水際における自立土留壁として機能させるには、改良体同士の確実な密着施工が求められた。確実な密着は噴射式攪拌工法により実現できるが、この性能と機械式攪拌工法の性能を併せ持つ、交差噴流式複合攪拌工法（図 4.6.6）が選定された。これにより、施工効率の向上、施工時の地盤変位の低減などが図られた。本工法の主な特徴は以下の通りである。

- ① 地盤に影響されずに改良体の径を確実に制御できる。
- ② 攪拌性能の向上により、高能率施工が実現し、均一な改良体を造成できる。
- ③ 既設構造物あるいは改良体相互の密着施工が確実・容易にできる。
- ④ 大断面（従来の4倍強）の改良体を造成できる。
- ⑤ 交差噴流の噴射・停止により、任意の深さで任意の径にできる（写真4.6.2）。
- ⑥ 施工時に既設構造物への変位の影響を低減できる。

表 4.6.1 地盤改良の仕様

項目	仕様
工法	交差噴流式複合攪拌工法
対象土	砂・礫混じり砂層 ※GL-11m以深に局所的に、 シルト・シルト混じり砂層が点在
改良幅 (m)	6.6
改良深さ (m)	12.6
改良径 (mm)	2300
改良率 (%)	100
改良本数 (本)	481 セット
目標強度 (kN/m <sup>2</sup> )	1000
固化材の種類	工法専用固化材（砂・シルト・粘土用）
固化材添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	砂・砂礫（一般部） 166
	シルト・シルト混じり （改良対象の下部） 227～251
添加方法	スラリー添加（W/C=100%）

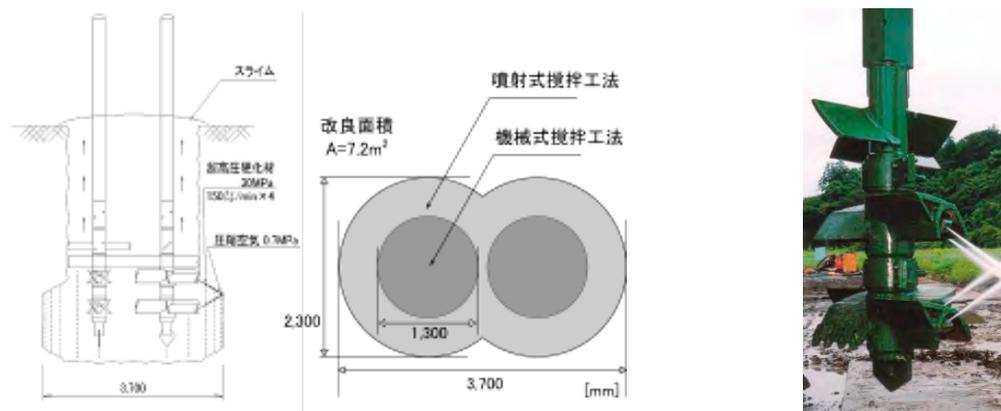


図 4.6.6 交差噴流式複合攪拌工法の模式および出来形<sup>1)</sup> 写真 4.6.2 攪拌翼と噴射状況<sup>4)</sup>

#### 4.6.4 改良体の動態観測および改良後の品質確認

##### (1) 傾斜計による改良体の動態観測

旧岸壁を取り壊して浚渫を行う際、自立土留壁として機能している改良体の挙動について傾斜計により観測した。浚渫が進む(図 4.6.7)に伴い改良体は変位(図 4.6.8)しているが、その変位量は杭頭部で最大 4~5mm 程度であり、改良体が自立土留壁として十分に機能していることが確認された。

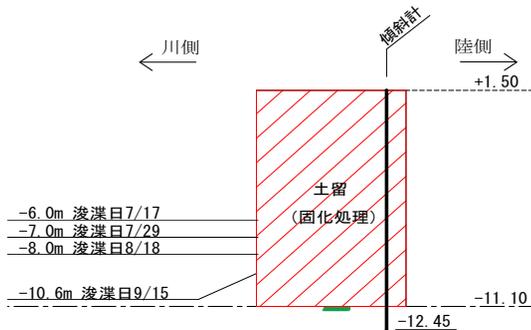


図 4.6.7 浚渫進捗断面および傾斜計の設置箇所<sup>1)</sup>

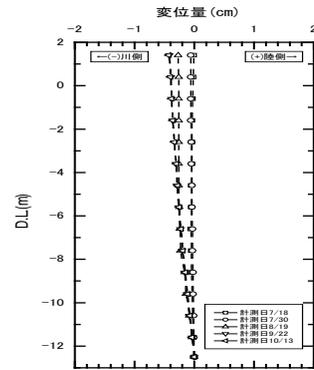


図 4.6.8 浚渫時の改良体の挙動<sup>1)</sup>

##### (2) 改良後のコアボーリングによる品質確認

コアボーリングによりコアを採取し、一軸圧縮試験を実施した結果を表 4.6.2 に示す。機械式と噴射式の位置で試験を実施したが、強さおよび変動係数に大きな差異は見受けられなかった。変動係数は 20~35%程度であり、一般的な深層混合処理工法の変動係数と同等かそれ以下であった。

表 4.6.2 改良体の一軸圧縮強さ<sup>1)</sup>

No.	調査位置	一軸圧縮強さ		
		設計 (kN/m <sup>2</sup> )	平均	変動係数
1	機械式	1000	1879	26.5
	噴射式		1868	28.1
2	機械式		1838	35.4
	噴射式		1706	28.9
3	機械式		1716	26.4
	噴射式		1690	23.8
4	機械式		1927	19.1
	噴射式		1907	22.9

#### 4.6.5 おわりに

深層混合処理による改良体を、水際における自立土留壁として機能させることで、岸壁造成時の仮設構造物とし、その後、ケーソンと一体化させることで岸壁の一部とする、新たな設計・施工方法が可能であることが実証された。今後、港湾施設の耐震化や老朽化対策に伴い、岸壁や護岸などの改修事業の増加が予想され、本施工のようなセメント系固化材による地盤改良の活用が期待される。

##### 【参考資料】

- 1) 本間大輔、田村友行、森義和：釧路港東港区-9m 耐震強化岸壁の施工について-水際線土留壁としての JACSMAN 工法の適用-、第 54 回(平成 22 年度)北海道開発技術研究発表会、安 26、2010
- 2) 三浦勉：工事現場紹介 釧路港-9m岸壁改良(上流)工事、会報「北のみなと<<No.72 より>>」、北海道港湾空港建設協会
- 3) 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
- 4) JACSMAN 研究会：交差噴流式複合攪拌工法 JACSMAN パンフレット

## 4.7 東京モノレール既設橋脚の耐震補強工事

### 4.7.1 はじめに

東京モノレール(東京都)は、2014年に開業50周年を迎えた。現在、阪神・淡路大震災後の新耐震基準に則り2006年より順次構造物の耐震化が進められている。海上部に位置する支柱については、基礎部から補強する必要があることが判明し、最終的に「鋼殻補強コンクリート地盤改良工法」<sup>1)~3)</sup>を採用することとした。2011年から試験施工を開始し、2013年までの3年間で12基の耐震補強が完了した。



(A) 着工前



(B) 完成後

写真 4.7.1 対象構造物

### 4.7.2 施工条件

本耐震補強工事の対象とする東京モノレール既設橋脚(鉄筋コンクリート多柱式橋脚、写真4.7.1)は京浜運河に位置する。鋼殻補強コンクリート地盤改良工法の構造一般図を図4.7.1に、改良体(下部)の配置平面図を図4.7.2に、土質柱状図を図4.7.3に示す。当該地点の水深は約4m、海底面から支持層までの深度が約17mであり(図4.7.1)、フーチングを支持するPC群杭の根入れ部を含めた杭全長は約22mである。また、営業線軌道直下で施工を行うため空頭制限は3mであった。改良対象層はシルト~粘性土を主体とした軟弱地盤(N値=0~2)であり、このうち海底面付近には特に軟弱な泥土層(N値=0)が堆積している。

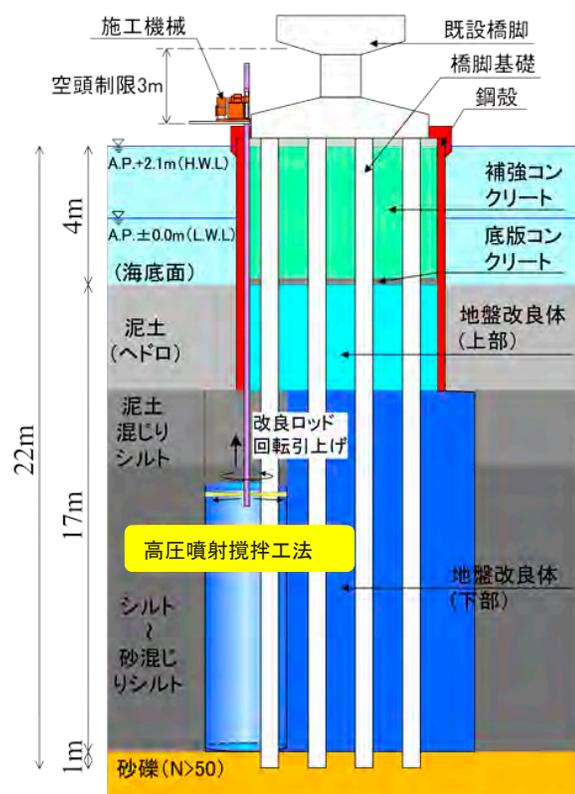


図 4.7.1 構造一般図(施工イメージ)

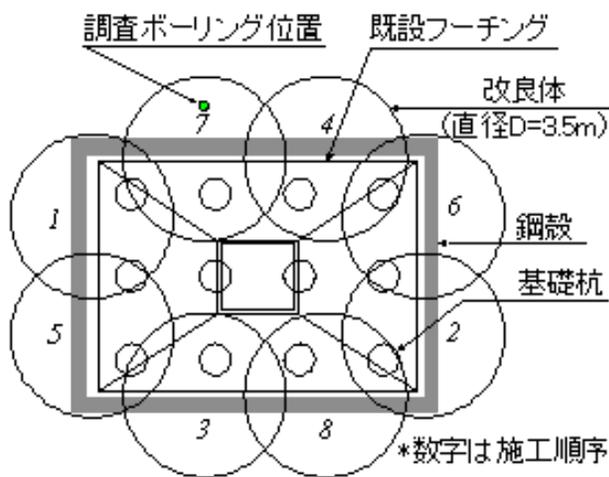


図 4.7.2 改良体（下部）の配置平面図

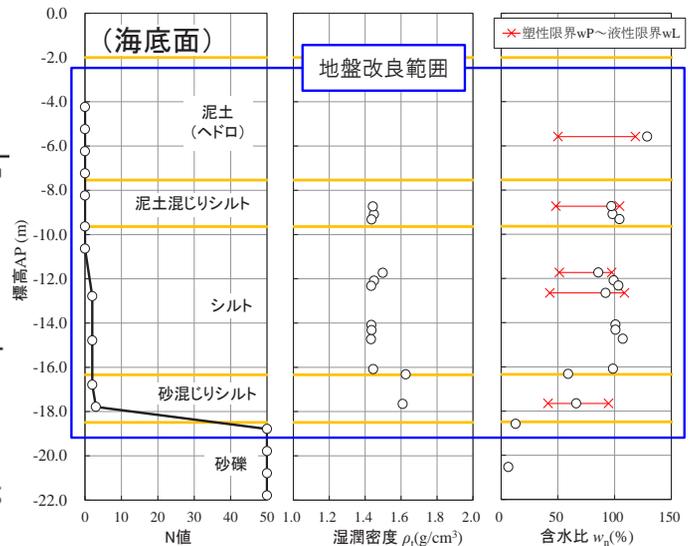


図 4.7.3 土質柱状図

### 4.7.3 施工方法

地盤改良の仕様を表 4.7.1 に示す。また、施工フローを図 4.7.4 に示す。

#### (1) 鋼殻設置

鋼殻は 1 ピースの最大高さを 700mm に分割し、全 16 段を現場で組みながら自重で沈設された。設置深度は、杭頭部の補強および地盤改良工で噴射された改良材の流出防止のために泥土層下端とされた。泥土層の貫入抵抗が大きく沈設が困難な場合は、補助工法としてウォータージェット工法が併用された。鋼殻内側には、地盤改良工のモニター管の挿入および排泥回収のためのガイド管が設置されている。当該管の直径は 200mm とし、排泥が閉塞を起こさないことを事前に別所で実施された実規模試験で確認した。

表 4.7.1 地盤改良の仕様

項目	仕様
工法	高圧噴射攪拌工法
対象土	シルト～粘性土
改良面積 (m <sup>2</sup> )	約 77 (橋脚 1 カ所あたり)
改良深さ (m)	17
改良径 (m)	3.5
改良本数 (本)	8 (橋脚 1 カ所あたり)
設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	1.3
固化材の種類	工法専用固化材

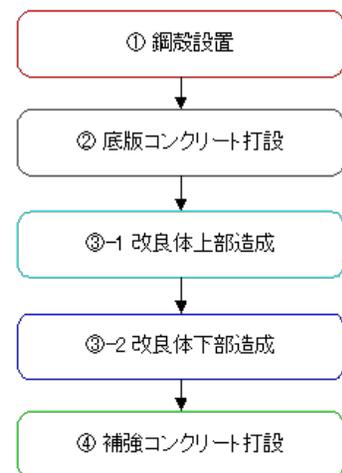


図 4.7.4 施工フロー

## (2)底版コンクリート打設

改良体上部造成時の排泥の噴発を防ぎ、かつ確実にガイド管に導くため、鋼殻内の海底面(泥土層上端)に厚さ 500mm の底版コンクリート(軽量水中不分離モルタル)が水中打設された。

## (3)改良体(上部、下部)造成

地盤改良工には高圧噴射攪拌工法が採用された。本工法ではφ45mm のボーリングロッドに取付け可能な小型モニター管が用いられており、従来の高圧噴射攪拌工法より施工機械が小型であり、本工事のような狭隘空間においても施工に支障はなかった(写真 4.7.2)。

地盤改良体は、施工中に発生する排泥の回収効率を考慮して、鋼殻内の泥土が先行して改良された(改良体上部造成)。また、施工による PC 杭への影響を配慮し、隣接する改良体の連続施工を避けるように図 4.7.2 に示す順序で 8 本の改良体が造成された。粘性土地盤へ高圧噴射攪拌工法を適用した場合、粘性の高い排泥が閉塞し、周辺地盤へ噴発することが懸念されたが、今回はガイド管を設置したことで排泥をスムーズに回収することができた。土中で噴射された空気の浮力が排泥に上向きの流れを生じさせ、排泥管を経た排泥をボックスバージに貯め、処分場に運搬された。

## (4)補強コンクリート打設

底版コンクリート上部の鋼殻内をドライアップしてコンクリートを打設した。当該コンクリートには PC 杭への荷重増加と鋼殻内での人力作業を回避するため、軽量の高流動コンクリート(密度 1.75g/cm<sup>3</sup>)を採用した。



写真 4.7.2 地盤改良状況および施工

#### 4.7.4 改良体の品質評価

改良体造成から 28 日後以降に改良効果確認調査が実施された。コアボーリングは改良体中心から半径方向に  $0.3D$  ( $D$ は計画改良径 3.5m) 離れた位置で実施された。採取したコアの例を写真 4.7.3 に示す。コア採取率は平均で 95%以上となり、深層混合処理工法での品質検査の目安<sup>4)</sup>となるコア採取率 90%を上回る良好な状況であった。

図 4.7.5 にコアの一軸圧縮試験結果を示す。設計基準強度  $1.3\text{N/mm}^2$  に対して、一軸圧縮強さの平均値  $q_u$  は  $5.3\text{N/mm}^2$  (最小値  $1.9\text{N/mm}^2$ ) であった。また、改良体のコア強度と実大強度  $Q_u$  に関する深層混合処理工法の技術指針<sup>4)</sup>によれば、 $Q_u=q_u-1.3\sigma$  ( $\sigma$ は正規分布を仮定した場合の標準偏差)とされており、試験結果から推定した実大強度  $Q_u$  は  $2.4\text{N/mm}^2$  となる。コア強度の変動係数は 42%であり、上式の適用範囲内であることから、実大強度は設計基準強度を上回っていると判断できる。なお、設計基準強度を下回るコア強度の発生確率(不良率)は 5%以下となった。ばらつきが大きいことを考慮すれば、改良体全体系の強度特性に及ぼす強度のばらつきの影響を定量的に評価することは重要と考えられる。

図 4.7.6 に  $q_u$  と変形係数  $E_{50}$  の関係を示す。 $E_{50}$  は  $q_u$  の概ね 200~400 倍の範囲にあり、セメント改良土の一般的な関係と同様な傾向を示している。また、 $E_{50}$  は平均  $1602\text{N/mm}^2$  ( $\sigma=664$ ) であり、設計値<sup>1)</sup>である  $700\text{N/mm}^2$  を十分に満足している。以上のように、高圧噴射攪拌工法で要求性能を満足する高品質の改良体が造成できることを確認した。

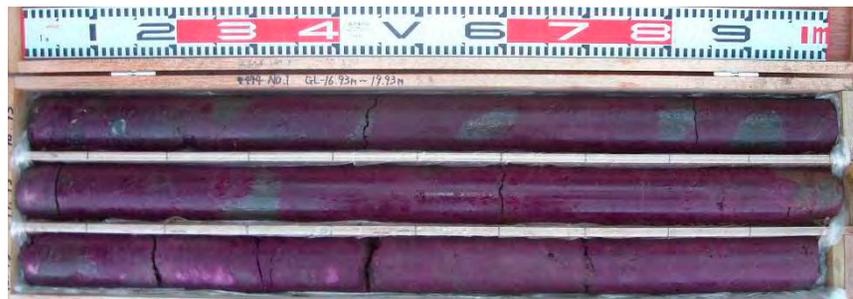


写真 4.7.3 採取した改良体のコアの例

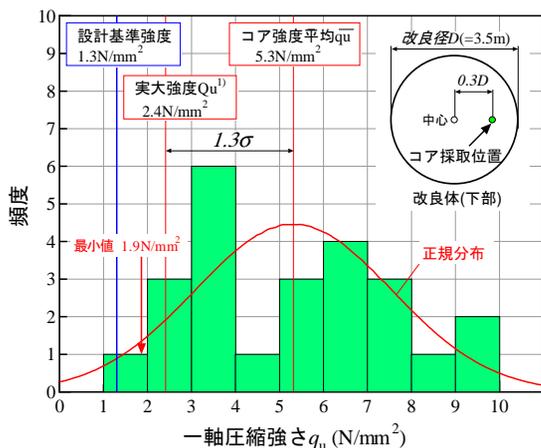


図 4.7.5 一軸圧縮試験結果 (ヒストグラム)

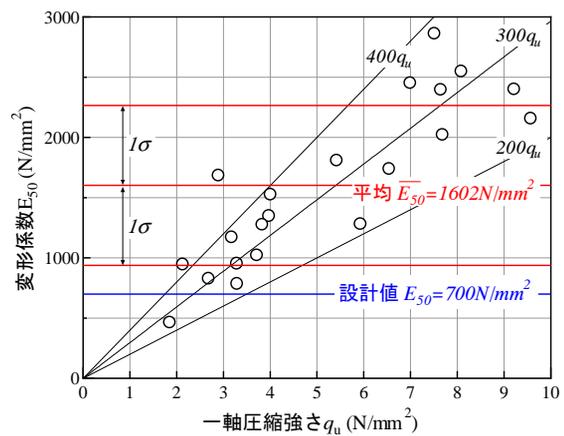


図 4.7.6  $E_{50} \sim q_u$  関係

#### 4.7.5 おわりに

既設鉄道橋脚の耐震補強に鋼殻補強コンクリート地盤改良工法が採用され、12 橋脚の耐震補強工事が実施された。施工中は常時、軌道の変位が監視されたが、施工による変位は生じず、営業線の運行に影響を及ぼすことはなかった。また、大型機械を必要としない高圧噴射攪拌工法の採用により、営業線直下の施工性と高品質な改良体の造成が可能であることが確認された。

#### 【参考資料】

- 1) 松木ら：杭基礎を対象とした鋼殻補強コンクリート地盤改良工法の設計・施工（その 1：設計・解析）、第 48 回地盤工学研究発表会、pp.1641-1642、2013 年 7 月
- 2) 新井ら：杭基礎を対象とした鋼殻補強コンクリート地盤改良工法の設計・施工（その 2：実験検討編）、第 48 回地盤工学研究発表会、pp.1643-1644、2013 年 7 月
- 3) 小原ら：杭基礎を対象とした鋼殻補強コンクリート地盤改良工法の設計・施工（その 3：施工実績編）、第 48 回地盤工学研究発表会、pp.1645-1646、2013 年 7 月
- 4) 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-、pp.238-246、2002 年

## 4.8 重要文化財の建屋内での沈下防止対策工事～旧岩崎邸和館～

### 4.8.1 はじめに

三菱創始者である岩崎弥太郎が購入した旧岩崎庭園の敷地は、東京都台東区に立地し、現在東京都が管理している。現存する洋館、和館などは、岩崎財閥3代の岩崎久弥によって1896年（明治29年）頃に建てられた。1923年（大正12年）の関東大震災の際には、屋敷地を避難所として地元住民に開放したとされている<sup>1)</sup>。1961年（昭和36年）に洋館と撞球室<sup>どうきゅう</sup>が国の重要文化財に指定され、以後、和館や宅地等が追加指定されている（写真4.8.1）。



写真 4.8.1 旧岩崎邸和館<sup>2)</sup>

竣工から120年余を経て、和館の大広間基礎の沈下（最大10cm程度）やクラックが発生しており、これまでは都度、応急処置で対処されてきたが、その後も沈下が続いたため恒久的な対策を講じることとなった。様々な施工条件等を考慮し、建物基礎の沈下防止対策としてセメント系固化材を用いた高圧噴射攪拌工法が採用された。本節では重要文化財建屋内において施工した地盤改良工事について紹介する。

### 4.8.2 地盤概要

土質柱状図と構造一般図を図4.8.1に示す。敷地内の土質はN値3～5のローム層が6～10m程度堆積し、その下は礫混じり細砂・細砂であり、地下水位はGL-10m付近にある。

進行している沈下の原因として以下の要因が想定された。

- ① 煉瓦基礎支持地盤の支持力不足
- ② 支持地盤の傾斜または不連続
- ③ ローム層下端にある地下水の流れによる影響

以上の原因想定から、煉瓦基礎直下から支持層と判断される本郷層礫質土(Hog層)もしくは東京層砂質土(Tos層)までの沈下層であるロームを改良することとした。

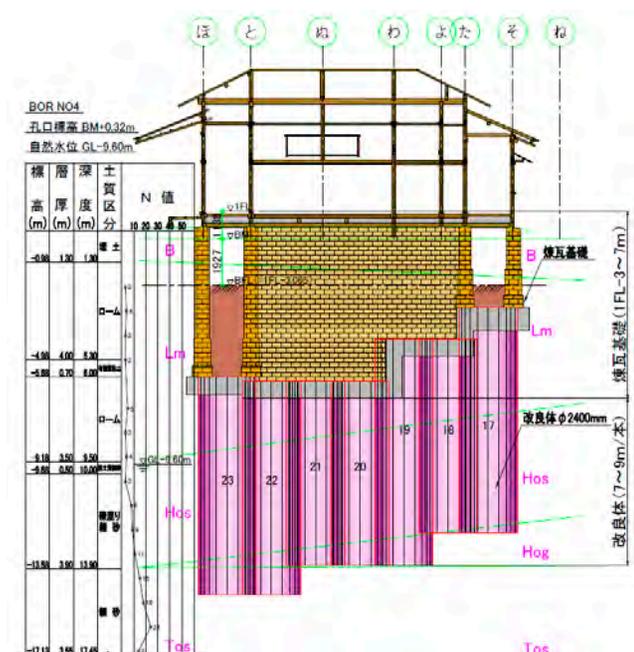


図 4.8.1 土質柱状図と構造一般図<sup>2)</sup>

### 4.8.3 施工概要

#### (1) 施工条件

本工事の施工の条件として以下の項目が挙げられた。

- ① 狭小な建屋内地下通路で施工が可能な機械である。
- ② 既設の基礎構造を変えずに対策が可能である。
- ③ 重要文化財である建物に影響を与えない。
- ④ 対策工事中も敷地内の一般公開を継続するため、来園者に迷惑をかけない。

以上の条件を満足する工法を検討した結果、工法専用固化材を用いた高圧噴射攪拌工法が採用された。

#### (2) 対策工法の設計仕様

対策工法は、地下通路より煉瓦基礎直下から支持層と判断される Hog 層または Tos 層まで改良し、通路両側にある煉瓦基礎を支持する形式とした。既存煉瓦基礎と改良体の配置を図 4.8.2 に、改良体の全体配置図を図 4.8.3 に示す。

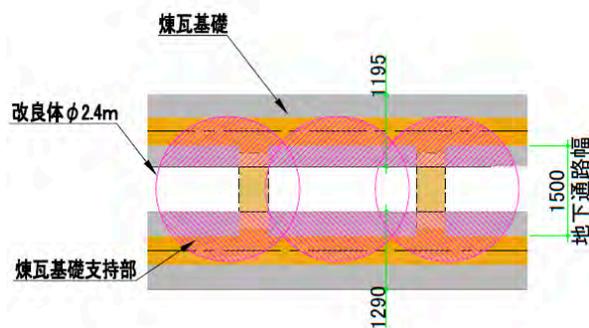


図 4.8.2 既存煉瓦基礎と改良体の配置<sup>2)</sup>

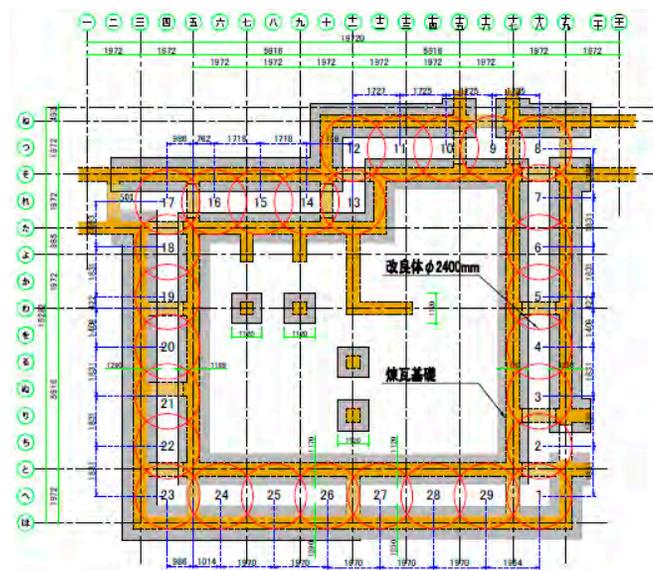


図 4.8.3 改良体の全体配置図<sup>2)</sup>

### (3) 施工機械およびプラント編成

#### ① 改良機械本体

本現場は既存建屋内の地下通路（幅約 1.5m×高さ約 2～2.4m）での施工であるため、施工機械は長さ 50cm×幅 50cm×高さ 120cm、重さ 120kg の人力で運べるものが選定された。

また、クレーンを必要としない削孔と造成（改良）兼用の施工機であり、写真 4.8.2 に示す。



写真 4.8.2 改良機本体<sup>3)</sup>

#### ② 固化材スラリープラント

工法専用固化材を水と混合し固化材スラリーを製造するプラントの編成を図 4.8.4、図 4.8.5 に示す。

プラントは専有面積が、5m×20m 程度必要であるため、本現場では敷地内の庭園部に設置されたが、プラント用地がない現場は、大型トラックにプラントを搭載する編成もある。

固化材スラリープラントで所定の W/C の固化材スラリーを作製し、超高圧ポンプを使用して改良機械本体ロッド先端のノズルより高圧噴射させ、改良体を造成する。

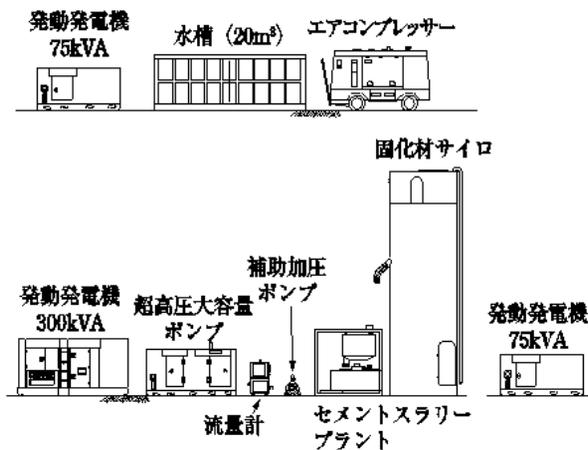


図 4.8.4 固化材スラリープラント編成の一例（側面）<sup>3)</sup>

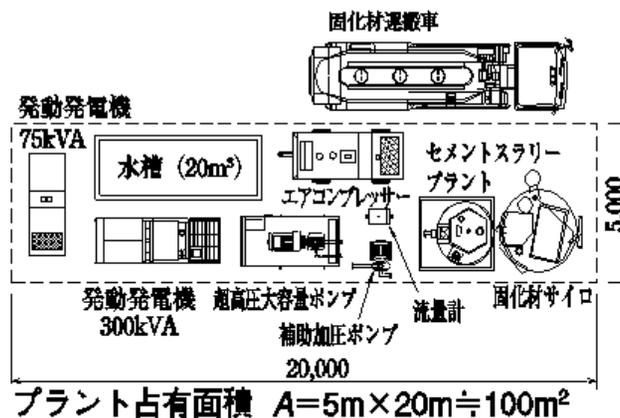


図 4.8.5 固化材スラリープラントの編成の一例（平面）<sup>3)</sup>

(4)改良体造成状況

改良体造成の施工概念図を図 4.8.6、図 4.8.7 に示し、施工状況を写真 4.8.3 に示す。



図 4.8.6 施工概念図①<sup>2)</sup>

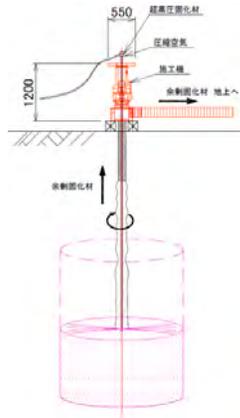


図 4.8.7 施工概念図②<sup>2)</sup> 写真 4.8.3 施工状況<sup>2)</sup>



(5)地盤改良の仕様

地盤改良の仕様を表 4.8.1 に示す。

表 4.8.1 地盤改良の仕様

項目	仕様
工法	高圧噴射攪拌工法
対象土	ローム
改良深さ (m)	7~9
改良径 (mm)	φ 2400
改良体本数 (本)	33
設計基準強度 (kN/m <sup>2</sup> )	1200
固化材の種類	工法専用固化材
添加方法	スラリー添加 (W/C=135%)

4.8.4 改良体の品質評価

本施工の実施前に、改良体の品質確認を行うため、現場内で試験工事が実施された。改良体ボーリングコア採取状況を写真 4.8.4 に、改良体の一軸圧縮強さの分布を図 4.8.8 示す。

土質	採取コア	コア採取率
ローム層		100%
		100%
		100%
礫混り細砂層		100%
		100%
		100%

写真 4.8.4 改良体ボーリングコア採取状況<sup>2)</sup>

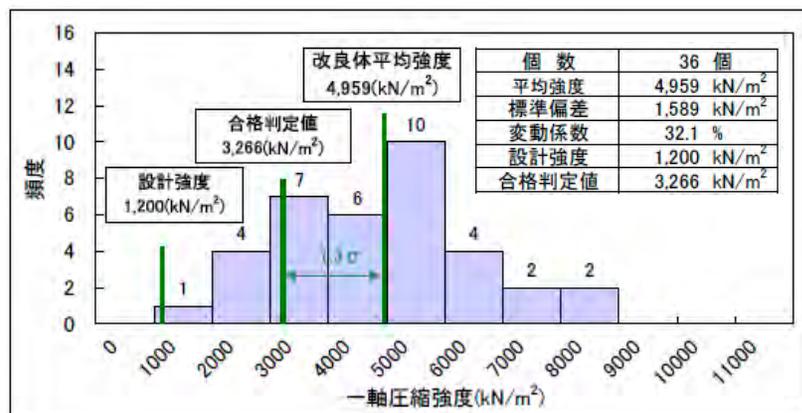


図 4.8.8 改良体の一軸圧縮強さの分布<sup>2)</sup>

改良体コアは、連続したコアが採取され、コア採取率 100%で日本建築センター指針<sup>4)</sup>を満足する結果が得られた。また、改良体の一軸圧縮強さの平均は 4959kN/m<sup>2</sup>となり、品質のバラツキを考慮した判定値である 3266kN/m<sup>2</sup>に対して十分満足する結果が得られた。変動係数も 32%とバラツキの少ない品質であることが確認された。

#### 4.8.5 おわりに

本工事事例では、以下の事項が実証できた。

- ① コンパクトな施工機を使用することで狭小地での施工が可能であった。
- ② 造成（改良）中に発生する余剰泥水をスムーズに排出することで既存の建物に変状を与えなかった。
- ③ 工法専用固化材を使用することによって十分な強度が得られた。

以上により、既存住宅の沈下防止対策、耐震補強および液状化対策等の地盤改良を実施する際、居住しながらの環境で建物内からの施工事例として参考になると考える。

#### 【参考資料】

- 1) 三菱広報委員会：三菱史紀行シリーズ 行ってみよう、見てみよう。東京都・湯島 旧岩崎邸庭園をめぐる下町散策の風情、マンスリーみつびし、2007.02、vol.11
- 2) 加藤博規：重要文化財の沈下対策に用いた地盤改良工事  
(一社)日本建築学会：日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)2012年9月、pp.567-568
- 3) JETCRETE 研究会：JETCRETE 技術・積算資料【第1版】平成25年版
- 4) (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－2002年度、pp.214-227

## 4.9 重要文化財の液状化対策工事～大阪府立中之島図書館～

### 4.9.1 はじめに

大阪府大阪市（図 4.9.1）に立地する中之島図書館は、住友家 15 代当主である住友吉左衛門友純より建物本館（写真 4.9.1）および蔵書等の寄進を受け、1904 年（明治 37 年）に開館した。その後も住友家から継続的な支援があり、1922 年（大正 11 年）に左右両翼部分が増築された。本館および左右両翼の建物は、明治の名建築として 1974 年（昭和 49 年）に国の重要文化財として指定された。

この歴史的建造物について耐震性能評価を行った結果、全棟において耐震補強が必要であること、さらに地盤が液状化する危険性があることが判明した。本節では、中之島図書館で実施された、重要文化財の液状化対策について概要を紹介する。



図 4.9.1 中之島図書館<sup>1)</sup>



写真 4.9.1 中之島図書館の外観<sup>2)</sup>

### 4.9.2 地盤の概要

調査地付近の地質は、表層部に砂質土を主体とする沖積層が堆積しており、その下には上部洪積層や大阪層群からなる洪積層が分布している。地盤条件については、隣接する大阪市中央公会堂の耐震補強工事の際に、詳細な地盤調査が行われており、その調査結果が使用された。また、過去の地震被害を調査すると、淀川の河口域では、1944 年の昭和東南海地震において液状化が発生しており、また、調査地付近の中之島公園では、1995 年の兵庫県南部地震において一部噴砂が確認されている。本敷地において液状化の記録はないが、同じ淀川の沖積低地に位置し、下流域で液状化の履歴があるため、液状化に対して注意が必要な地盤であると考えられた。

その後、本敷地においても地盤調査が行われ、中央公会堂とは異なり、中之島図書館の地盤には全般的にシルト層が存在していることが判明した。地盤調査結果を図 4.9.2 に示す。

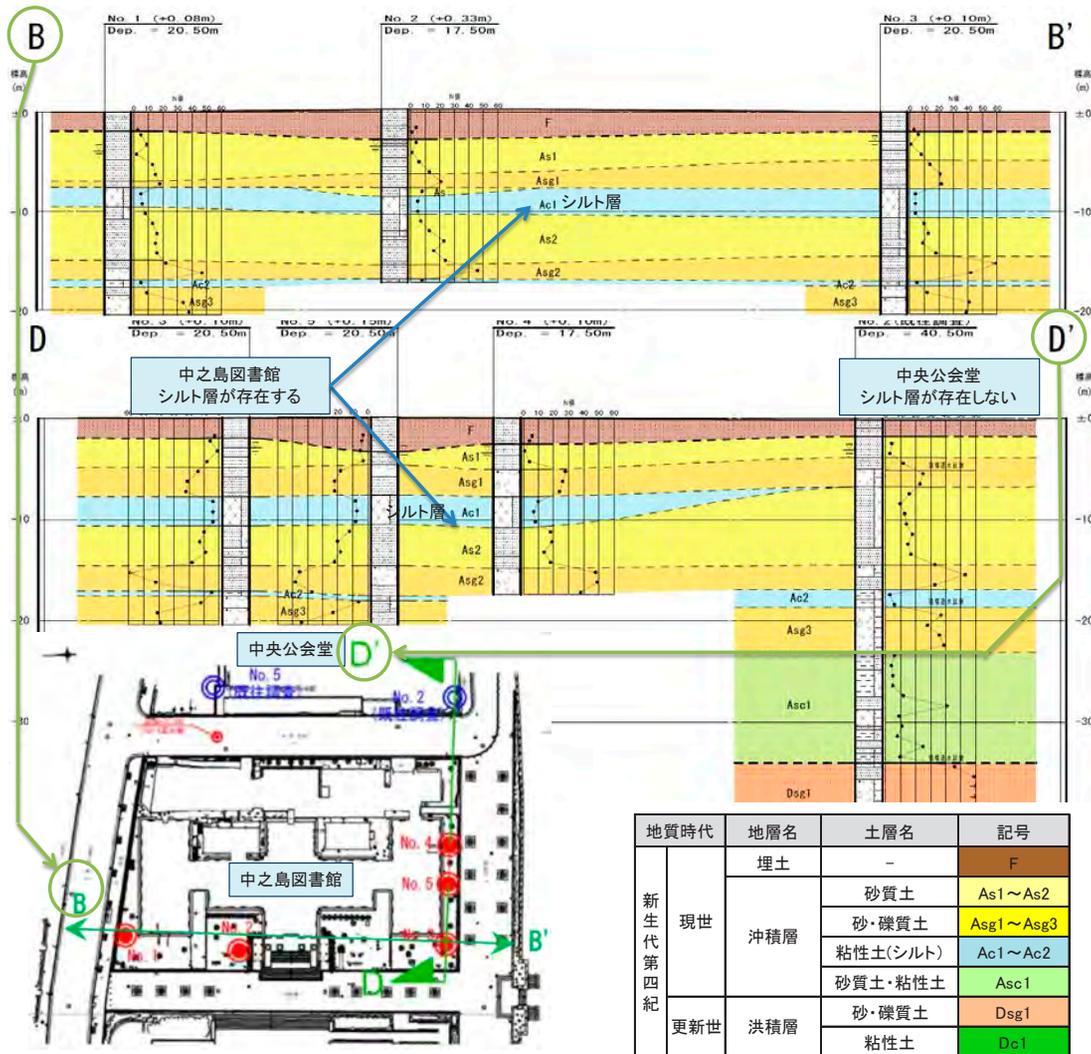


図 4.9.2 地盤調査結果<sup>2)</sup>

#### 4.9.3 液状化の検討

日本建築学会「建築基礎構造設計指針」に基づき、地盤の液状化判定が行われた。判定結果について、液状化の可能性を各層で評価した FL 値（液状化抵抗率）と、その値をもとに地層全体を評価した PL 値（液状化指数）を表 4.9.1 に示す。地表面加速度が 200 および 350gal において、液状化の危険性が高いと判定された。また、本建物のような煉瓦造構造物は、鉄筋コンクリート構造物と異なり引張や曲げに弱く、液状化による不同沈下が構造物の大きな破損につながる可能性がある。これらの検討より、地盤の液状化対策が必要であると判定された。

表 4.9.1 地盤の液状化判定結果

地表面加速度	FL 値	PL 値	液状化の危険性
150gal	GL-3~-5m で 1 以下	3.4 (≦5.0)	低い
200gal	GL-3~-5m で 1 以下	8.5 (≦15.0)	高い
350gal	GL-3~-12m で 1 以下	21.3 (>15.0)	かなり高い

#### 4.9.4 地盤改良工の概要

液状化対策として、①地盤改良、②水位の低下、③グラベルドレーン、④地中壁の設置について検討されたが、②、③は長期的に効果を維持させることが難しく、④は液状化層（最大 12m）の大きさを考慮すると大がかりな工事となるため、①地盤改良が採用された。工法は、既存建物下を改良できる自在ボーリング注入工法および高圧噴射攪拌工法が検討され、機械を設置する用地の関係で高圧噴射攪拌工法が採用された。

地盤改良の実施にあたり、基礎の状態を確認するための掘削調査やボーリング調査が行われ、また、施工性などを確認するための試験施工も行われた。試験施工では、改良径、改良長、コア採取率、強度および地盤の変位の確認が行われた。その結果、シルト層での固化不良やシルト塊の逆流などが確認されたため、プレジェット施工やセメント量の増加など仕様の変更や排泥する孔の改良が行われた。地盤改良の仕様を表 4.9.2 に示す。

表 4.9.2 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（一部シルト層）
改良深さ (m)	10.9、12.0、4.0
改良径 (mm)	φ 3000
改良本数 (本)	213
設計基準強度 (kN/m <sup>2</sup> )	1600
固化材の種類	工法専用固化材

格子間隔などの検討は、「液状化対策工法設計・施工マニュアル(案)」（平成 11 年 3 月）に基づき行われた。改良体の配置は、近年の研究結果<sup>3)</sup>より格子壁内の過剰間隙水圧の低減が認められる L/d(格子間隔/深度)が 1.4 以下となるよう、また、基礎など（図 4.9.3）の状況を考慮して図 4.9.4 のように設計された。プラントの設置状況を写真 4.9.2 に、施工状況を写真 4.9.3 および写真 4.9.4 に示す。

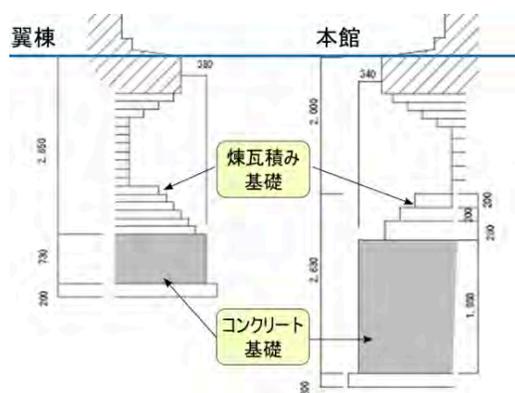


図 4.9.3 本館および翼棟の基礎断面図<sup>2)</sup>

#### 4.9.5 おわりに

重要文化財が立地する地盤に液状化の危険性が判明したが、高圧噴射攪拌工法による地盤改良を採用することで、既存建物下の液状化対策を行うことができた。今後も、大規模地震から重要文化財を守るために、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。

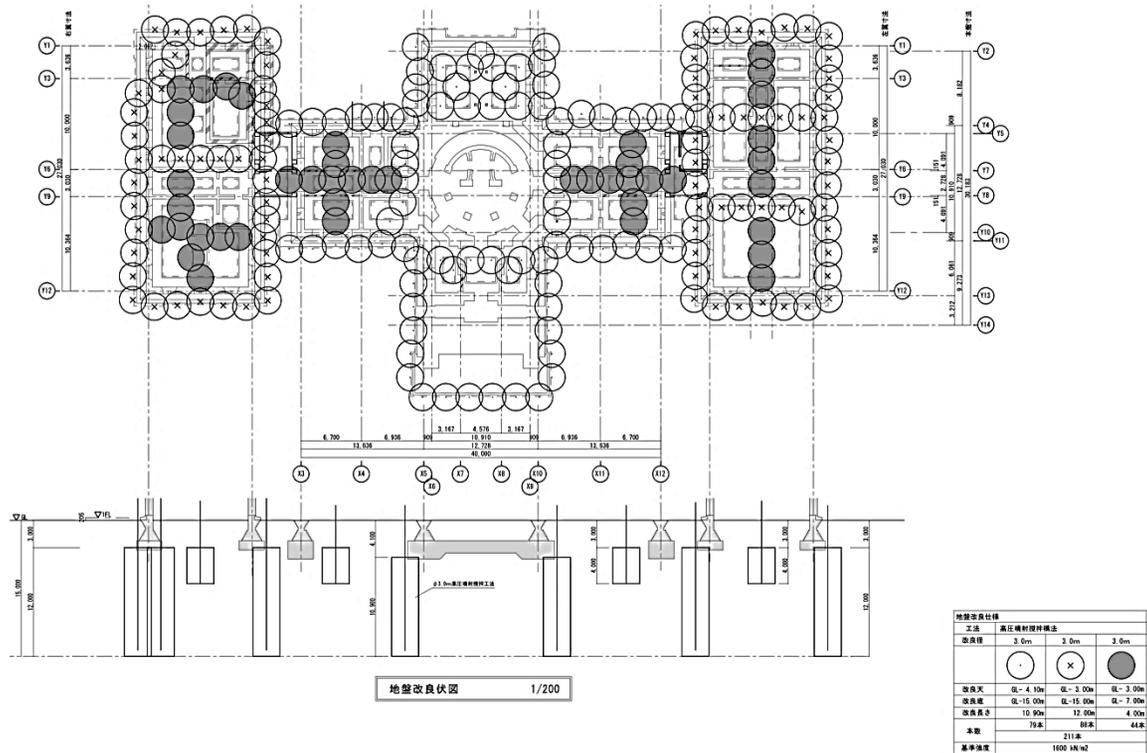


図 4.9.4 地盤改良伏図<sup>2)</sup>



写真 4.9.2 プラントの設置状況<sup>2)</sup>



写真 4.9.3 施工状況（屋外）<sup>2)</sup>



写真 4.9.4 施工状況（屋内）<sup>2)</sup>

【参考資料】

- 1) 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
- 2) （公財）文化財建造物保存技術協会 提供
- 3) 高橋英紀、森川嘉之：格子状固化処理工法を用いた液状化対策に関する研究、平成 24 年度国土交通省国土技術研究会

## 4.10 既設建造物の耐震改修工事～江東区本庁舎～

### 4.10.1 はじめに

東京都江東区の区役所庁舎（写真 4.10.1）は耐震診断の結果、構造耐震指標  $I_s$  が 0.2～0.4 程度の階が多く、耐震改修工事が必要と判断された。本庁舎に対しては、災害時の防災拠点としての役割を果たす必要があることから、大地震が起きた場合でも継続して業務を行うことができる高い耐震性能が求められた。一方、内部へ多くの補強を行うことは区役所の建物機能を損なうため不可能であると判断された。

この課題を解決するため、主に駐車場となっている 1 階の柱頭部分を切断して免震化する中間層免震補強が計画された。ところが、免震補強は建物の固有周期を長くして地震入力を低減することが目的のため、地盤の固有周期が長い軟弱地盤地域では相対的に不利となる。また、液状化が発生すると地盤がさらに長周期化して影響が大きくなるとともに、地盤変位により杭などが大きく損傷した場合、建物が機能しなくなる恐れがあった。

そこで、本改修工事では地盤あるいは基礎に対する安全対策も必要であるため、地盤改良が併せて行われた。



写真 4.10.1 江東区本庁舎<sup>1)</sup>

### 4.10.2 地盤条件と地盤改良工法

#### (1) 地盤条件

敷地の地盤構成は、①埋土（地表面から GL-4m まで）、②有楽町層上部のシルト質砂および砂質シルト（GL-4m～-11m）、③有楽町層下部の粘土質シルト（GL-11m～-29m）、④洪積層の砂質土および粘性土（GL-29m～-62m）、⑤東京礫層（GL-62m 以深）である。建物の基礎はリバースサーキュレーション工法の場所打ちコンクリート杭で、GL-62.3m 以深の砂礫層（N 値 50 以上の東京礫層）を支持層としている。

②のシルト質砂層はレベル 2 地震動において液状化の可能性が高く、対策が必要な土層である。東北地方太平洋沖地震の際には、この地域で震度 5 弱～5 強の揺れが観測されたが、本敷地内では液状化の発生は確認されなかった。しかし、同じ区内の周辺では液状化による噴砂の痕跡が確認されている。

## (2) 地盤改良工法の選定

対策工法の選定では、液状化を完全に防止することを目的とした全面改良では既存建物下での施工が困難であることや、工事が長期間となりコストも極めて高額となることから、採用は困難であると考えられた。

そこで、施工性、経済性に優れ、液状化時の地盤変形を抑えることで、地盤の長周期化を防止し、杭基礎および上部構造の安全性を高めることを目的とした「格子状地盤改良工法」が採用された。

## (3) 格子状改良の概要

格子状地盤改良体と既存基礎との深さ方向の関係および地盤構成を図 4.10.1 に、改良体の格子状配置を図 4.10.2 に示す。改良体の格子間隔は、施工性を考慮して、地盤変形の抑止効果が得られる最大間隔として約 30m×40m とした。改良体の施工深度は GL-3.0m から -12.0m とし、液状化層のシルト質細砂を、非液状化層である上部の砂質シルトと下部のシルト質粘土で挟み込むように改良体深度を設定することで、過大な地盤変形の発生を抑えるようにした。

また、改良体下部のレベルにある粘土質シルト層は、やや過圧密状態となっている土層であり、改良体を根入れすることで改良体底面での滑動抵抗力が期待できる。

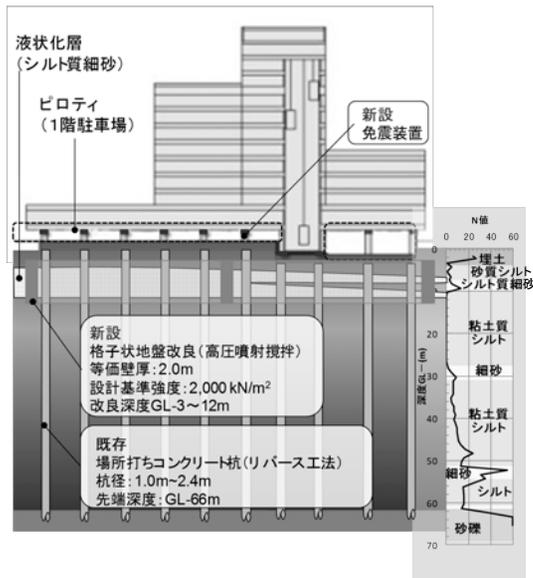


図 4.10.1 既存基礎と地盤改良範囲

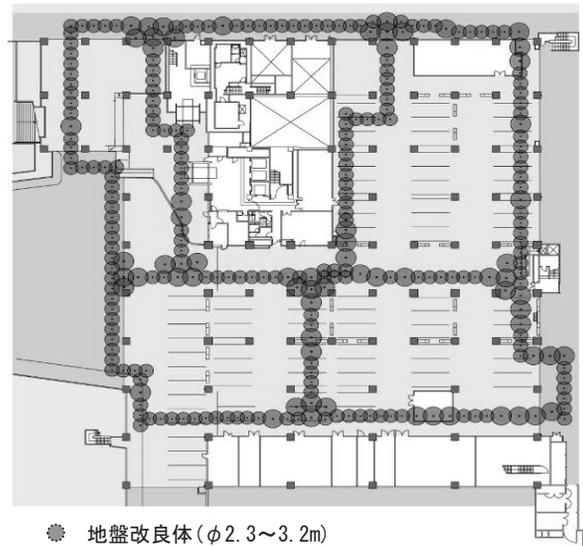


図 4.10.2 地盤改良体の格子状配置

本工事における施工状況を図 4.10.3 に示す。格子状の改良体を高圧噴射攪拌工法で造成することで、1 階駐車場の低空頭下での施工を可能とした。格子間隔が広がると、改良体に発生するせん断応力も増加するため、改良径 2.3m を基本とすることで改良体の設計基準強度を  $2000\text{kN/m}^2$  に抑えた。

また、壁状の改良体の交差部では応力集中によってせん断応力が増加するため、壁厚を増やす必要があった。そこで、改良径 3.2m の改良体を併用して必要壁厚を確保した。施工管理および品質管理は改良径ごとに実施する必要があるため、作業の効率性を考慮して改良径は 2.3m と 3.2m の 2 種類に限定された。

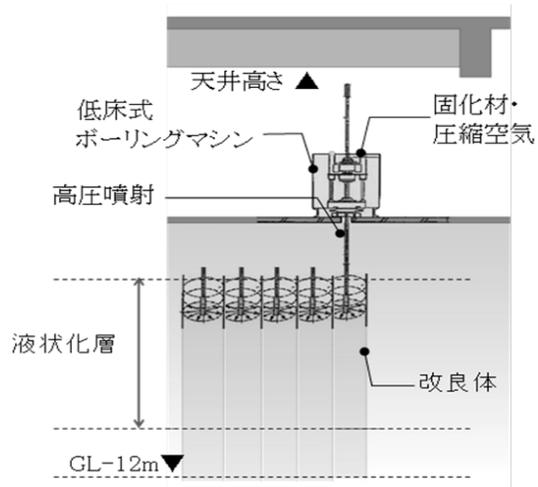
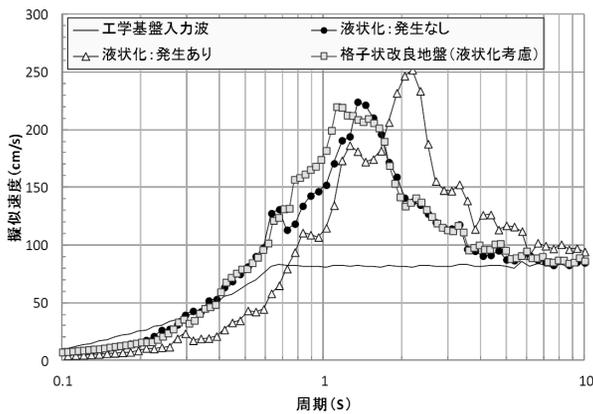
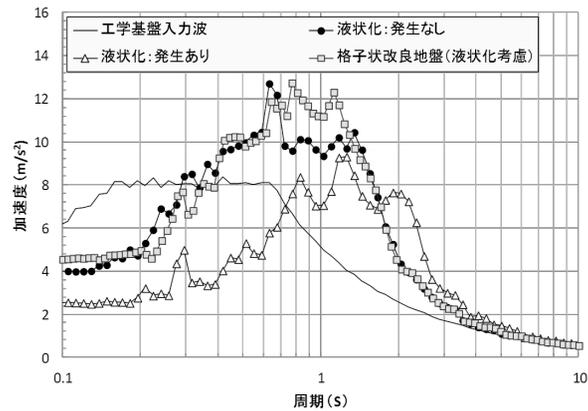


図 4.10.3 施工状況図

#### 4.10.3 地震応答解析による改良効果の確認

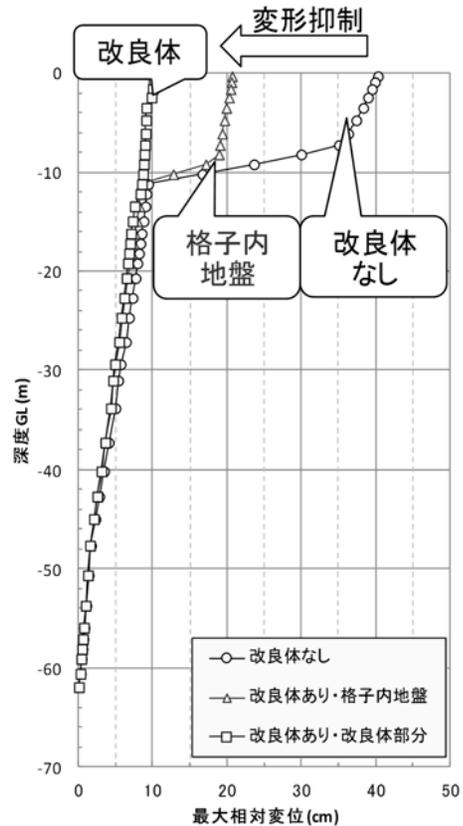
格子状地盤改良による効果は、改良体と液状化する地盤を有限要素法（FEM）モデルで再現し、地震応答解析により確認された。構成モデルには等価線形解析を用い、地盤の長周期化と地盤変形量を安全側に評価できるように液状化時の剛性を十分に低減して全応力解析が行われた。

告示波（レベル 2・神戸位相）における格子状地盤改良の効果を図 4.10.4 に示す。改良を施さない地盤では、液状化の発生によって周期 2 秒以下の短周期成分では応答スペクトルが下がるものの、周期 2 秒以上の長周期成分では応答が増大するため、固有周期が 3~4 秒となる免震構造においては問題となった。これに対して改良した地盤では、レベル 2 地震動時の液状化を完全に防止することは難しいものの、格子状地盤改良体を設けることで格子内の原地盤が液状化に至っても地盤変形が抑えられるため、地盤の長周期化が抑制されることが確認された。



上:加速度 下:速度

(A)応答スペクトル(h=5%)



(B)最大相対変位

図 4.10.4 格子状地盤改良の効果

#### 4.10.4 地盤改良工事

##### (1) 試験施工の概要

地盤改良工事を行うにあたり、格子状改良体としての品質を確保するため事前に試験施工が行われた。高圧噴射攪拌工法では機械攪拌工法とは異なり地盤の固さによって改良径が変化するため、所定の改良径まで施工できることと、改良体のラップ部においても所定の強度が発揮されることを確認する必要があった。

試験施工では、改良径と強度の確認だけでなく、本施工時の管理基準となる施工性（施工サイクル）の確認も行われた。試験杭は改良径 2.3m と 3.2m について合計 4 本が施工された。本施工では、既存建物下の地盤改良体は目視で全数確認することが不可能であるため、試験施工において品質が確保された改良体と同等の施工サイクルが再現できていることが確認された。

試験施工における確認項目を表 4.10.1 に、試験施工における品質調査の数量を表 4.10.2 に示す。また、品質管理基準を表 4.10.3 に示す。

表 4.10.1 試験施工における確認項目

	確認事項	確認方法
施工性	・スラブコア φ200mm の排泥状況	・排泥状況、混入物の目視 ・排泥回収箱の設置状況の目視
	・排泥処理方法 (中継圧送方法と直接吸引方法)	・各排泥処理方法の排泥状況の目視
	・周辺スラブや地中埋設物への影響	・周辺スラブの変状(隆起・落下)計測 ・地中に埋設したガイドパイプの変位計測
	・施工時期	・施工時間計測
	・排泥量	・排泥量の計測
施工品質	・削孔鉛直精度	・小型特殊傾斜計による削孔の傾斜計測
	・改良径	・熱電対による地中温度の変化を計測 ・コア採取率
	・改良体の強度	・強度試験
	・改良体密着部の連続性	・コア採取率、強度試験

表 4.10.2 試験施工における品質調査数量

項目	施工数量
改良体 (φ2.3m)	No.0~2 : 造成長 9.0m×3 本
改良体 (φ3.2m)	No.3 : 造成長 9.0m×1 本
熱電対	No.1 (φ2.3m) : 改良径 (杭心から 1.15m) 改良径より 0.1m 外側 (杭心から 1.25m) No.3 (φ3.2m) : 改良径 (杭心から 1.6m) 合計 3 ヶ所
コアサンプリング	No.1 (φ2.3m) : 改良体の杭心 改良径の半分 (杭心から 0.575m) No.2 との密着部に 2 ヶ所 No.3 (φ3.2m) : 改良体の杭心から端部まで杭心から 0.5m 間隔 合計 8 ヶ所
地中水平変位	ガイドパイプ 16.5m×1 ヶ所 (No.2 の改良体端部)

表 4.10.3 品質管理基準

確認項目	確認方法	判定基準
削孔鉛直精度	・傾斜計測	・地中二重管ロッドの傾斜が管理値 1/100 以内であること
改良径	・熱電対 ・コアサンプリング	・地中温度が上昇すること ・コア採取率が砂質土で 95%以上、粘性土 90%以上 (全長)、砂質土で 90%以上、粘性土 85%以上 (深さ 1m ごと) となること
改良体密着部の連続性	・強度試験 ・コアサンプリング	・改良体強度が本体部と同程度であること ・コア採取率が砂質土で 95%以上、粘性土 90%以上 (全長)、砂質土で 90%以上、粘性土 85%以上 (深さ 1m ごと) となること
改良土の強度	・強度試験	・25 検体以上によるバラツキを考慮した改良体強度が設計基準強度以上であること

## (2) 試験施工の施工性と品質確認

注入体の配合を表 4.10.4 に示す。W/C は 85% とした。1 本あたりの注入量は、改良径 2.3m の場合で 15.52m<sup>3</sup>/本、改良径 3.2m の場合で 21.78m<sup>3</sup>/本となる。

施工性に関する項目としては、造成時の高い圧力で既存スラブや地中埋設物に悪影響を与えないことが確認された。改良体の品質に関しては、深度方向の芯ずれを傾斜計で、改良径は温度上昇を熱電対で計測された。

また、杭心、杭心から D/4 (D:改良径)、ラップ部において全長コアのサンプリングが行われた。ラップ部の全長コアを写真 4.10.2 に示す。このコアでは、改良体の先行部および後行部に重なりによる斑模様が確認された。

表 4.10.4 注入体の配合 (練り上がり 1m<sup>3</sup> 当たり)

固化材	850kg	0.279m <sup>3</sup>	(密度 3.05g/cm <sup>3</sup> )
水	721kg	0.721m <sup>3</sup>	(密度 1.00g/cm <sup>3</sup> )
合計	1571kg	1.000m <sup>3</sup>	(密度 1.57g/cm <sup>3</sup> )



写真 4.10.2 ラップ部の全長コア

改良体強度の合否判定は、各コアボーリングから 9 本 (上・中・下で各 3 本) ずつ供試体を採取し、それらの一軸圧縮試験の結果が下式 2) を満足することから、合格とされた。

$$F_c = \overline{q_{uf}} - m \cdot \sigma$$

$F_c$ : 設計基準強度 (2000kN/m<sup>2</sup>)

$\overline{q_{uf}}$ : 現場平均強度 (kN/m<sup>2</sup>)

$m$ : 不良率から定まる定数 1.3 (不良率を 10% とする)

$\sigma$ : コアの一軸圧縮強さの標準偏差 (kN/m<sup>2</sup>)

#### 4.10.5 おわりに

本工事での地盤改良は、レベル 2 地震動において液状化による被害を軽減するため、格子状地盤改良工法が実施されたものである。また、天井高さが制限された特殊な環境下においても施工が可能であることが確認された。既存建物下での格子状地盤改良を行うことにより、上部構造の免震改修による補強効果の向上と、地震時の基礎構造への被害低減が図れ、地震後の建物機能維持が可能になったと考えられる。

#### 【参考資料】

- 1) (株) ミヤガワ提供
- 2) (財) 日本建築センター：改訂版建築物のための地盤改良の設計及び品質管理指針、2002、pp.37～39

## 4.11 免震構造物の液状化対策工事～製薬会社研究棟～

### 4.11.1 はじめに

本建物は大阪市に建設された鉄骨造 8 階建ての研究所である。施設の重要性に配慮して免震構造が採用された。

敷地は液状化が懸念される地盤のため、液状化抑止を目的として深層混合処理工法による格子状地盤改良が行なわれ、基礎には杭基礎が採用されている。建築概要を表 4.11.1 に、建物全景を写真 4.11.1 に示す。

表 4.11.1 建築概要

建築地：大阪府大阪市
建築用途：研究所
建築面積：約 2,500m <sup>2</sup>
延べ面積：約 16,000m <sup>2</sup>
建物規模：地上 8 階
構造形式：鉄骨造（基礎免震）
基礎形式：杭基礎（既製杭）
竣工：2013 年 6 月



写真 4.11.1 建物全景

### 4.11.2 地盤条件

建設地付近の地盤は、大阪平野を西流する「安治川」の河口に近いことから地表から軟弱な沖積層が厚く分布する。地盤的には、上位より盛土層、沖積層（粘性土層と砂質土層が交互に分布）、第 1 洪積砂質・礫質土層、第 1 洪積粘性土層、第 2 洪積砂質・礫質土層の順に分布している。地盤概要を図 4.11.1 に示す。

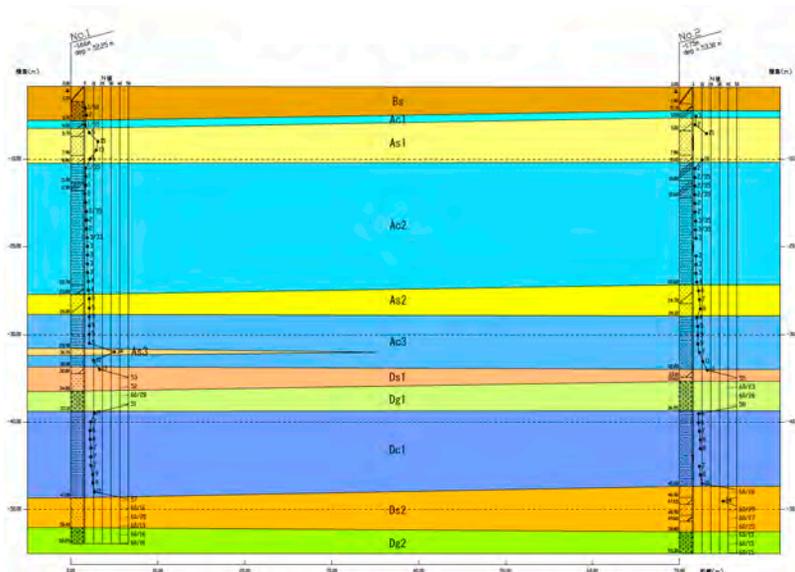


図 4.11.1 地盤概要



2次元有限要素解析の結果、改良後は全深度で  $FL > 1$  となっていることより、格子状改良によって囲まれた地盤は液状化しないものと判断された。

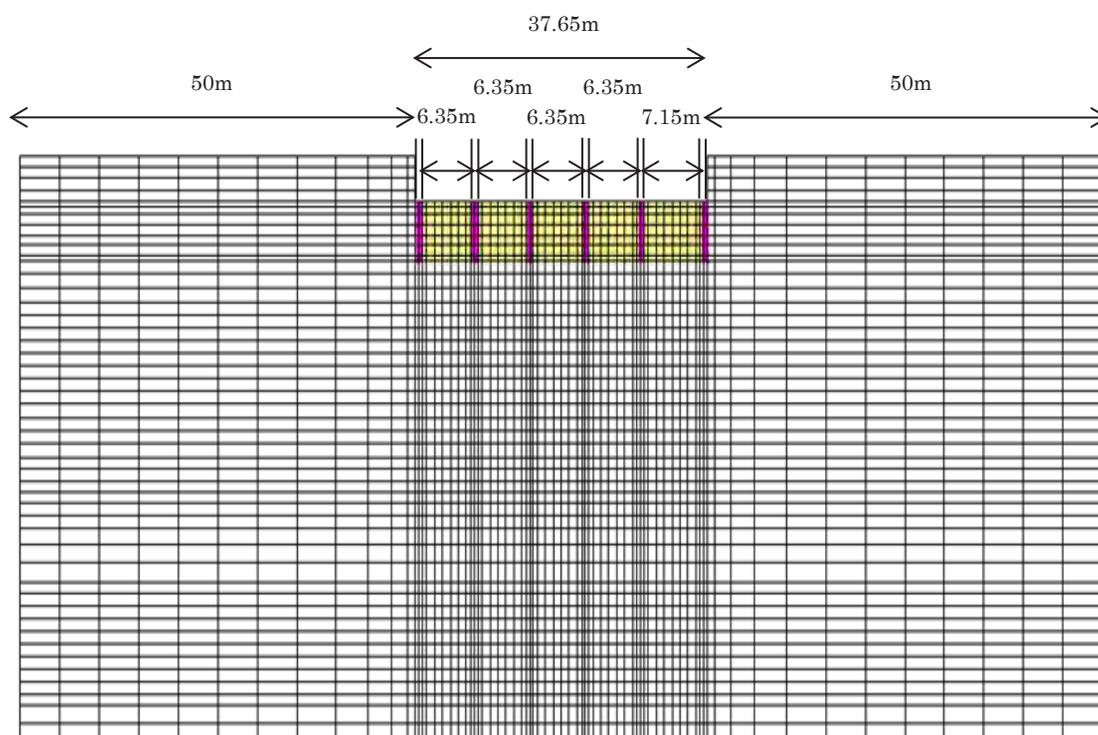


図 4.11.3 2次元FEMモデル

## (2) 改良体の仕様

改良体の設計基準強度は、建物水平荷重と改良部分の地盤の慣性力を足し合わせた荷重によって発生する改良体面内壁のせん断応力が、改良体の許容せん断応力度以下となるように設定された。また、建物水平力を地盤改良体で負担することで杭基礎の水平力負担を減少させることを意図した設計とされた。地盤改良の仕様を表 4.11.2 に、建物慣性力を伝達する地盤改良体頂部のディテールを図 4.11.4 に、工事写真を写真 4.11.2 に示す。

表 4.11.2 地盤改良の仕様

項目	仕様
工法	機械攪拌工法（格子状）
地盤改良量 (m <sup>3</sup> )	6150
改良径 (mm)	φ 1000
地盤改良先端 (m)	GL-9.6
設計基準強度 $F_c$ (kN/m <sup>2</sup> )	1800、2700
固化材の種類	高炉スラグ高含有セメント <sup>1) 2)</sup>
固化材添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	155、270

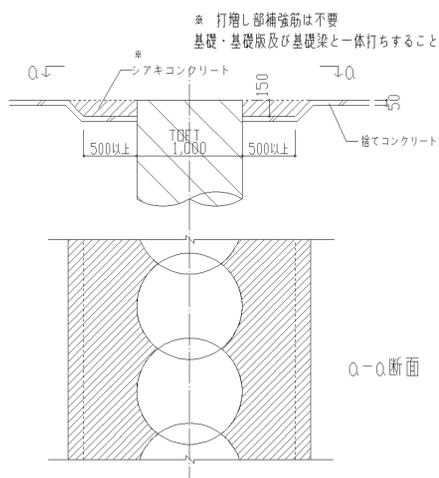


図 4.11.4 シアキー詳細図



写真 4.11.2 工事写真

#### 4.11.5 おわりに

本工事では、液状化が懸念される砂質土層があったため、格子状地盤改良が実施された。2次元有限要素解析の結果から、レベル2地震動時においても格子状改良によって囲まれた地盤は液状化しないことが判明し、格子状地盤改良が液状化抑止に有効であることが確認された。

#### 【参考資料】

- 1) 河野貴穂ほか：高炉スラグ高含有セメントを用いた地盤改良体の特性（その1）、第45回地盤工学研究発表会、pp.565～566、2010
- 2) 河野貴穂ほか：高炉スラグ高含有セメントを用いた地盤改良体の特性（その2）、第45回地盤工学研究発表会、pp.567～568、2010

## 4.12 免震構造物の液状化対策工事～臨海地区における医療施設～

### 4.12.1 はじめに

本建物は石川県七尾市における能登の医療を支える拠点として、2013年10月に建設された総合病院（写真4.12.1、写真4.12.2）である。構造形式は免震構造を有したRC造の7階建て、建築面積3700m<sup>2</sup>、延べ面積約16000m<sup>2</sup>である。建設地は臨海立地であり、2007年に発生した能登半島地震において、敷地周辺で噴砂など液状化による地盤変状が確認・報告<sup>1)</sup>されている。

本節では地盤の液状化対策として実施した格子状地盤改良<sup>2)</sup>について紹介する。



写真 4.12.1 建物全景（北側）



写真 4.12.2 建物全景（南側）

### 4.12.2 敷地・地盤概要

本建物の建設地位置を図4.12.1に示す。本建設地は能登半島東側にあり、港湾に面している。敷地内の地盤調査は、図4.12.2に示すとおり、合計4カ所で行われた。



図 4.12.1 建設地位置<sup>3)</sup>

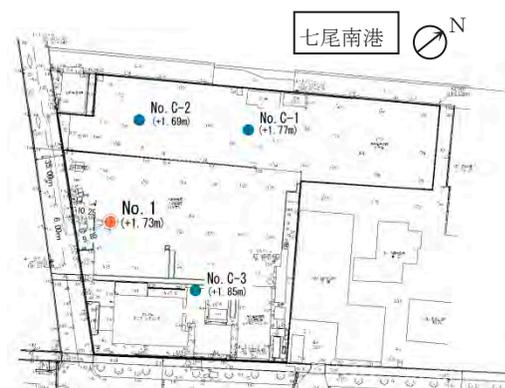


図 4.12.2 地盤調査位置

土層断面想定図を図 4.12.3 に示す。地表から約 10m 近辺までは主に粘土やシルト質粘土で構成され、一部砂質シルトなど砂分が混入した層が存在する。地下水位は GL-1.3m である。GL-10m 以深では、砂岩からなる基盤岩層が出現する。当該地層は N 値が 60 以上あり、支持層として適している。また、弾性波速度検層 (PS 検層) の結果、せん断波速度 ( $V_s$ ) 約 600m/s が得られている。各種土質試験結果を踏まえ液状化判定を実施した結果、地表面最大加速度 350gal (マグニチュード 7.5) において、一部の層 (GL-10m 近辺の砂層) で液状化の可能性が確認された。2007 年に発生した能登半島地震における周辺地盤での噴砂、液状化の状況を写真 4.12.3 に示す。

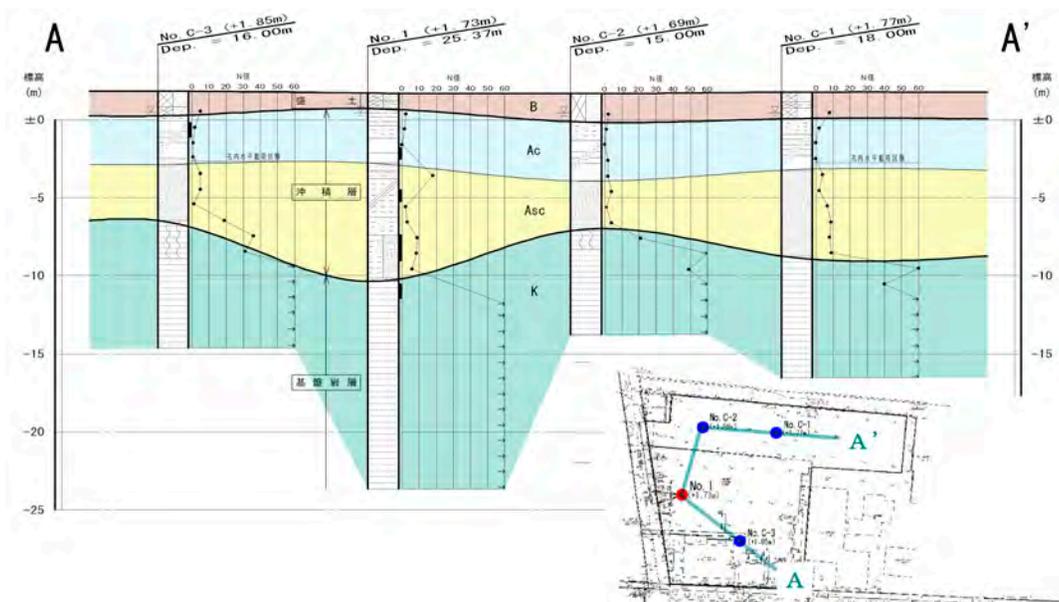


図 4.12.3 土層断面想定図



写真 4.12.3 2007 年能登半島地震における周辺地盤変状<sup>1)</sup>

#### 4.12.3 地盤改良・基礎構造の計画概要

本建物の地盤改良・基礎構造の計画方針を以下に示す。

- ①液状化する可能性のある地盤であるため、地盤改良にて液状化対策を行う。
- ②地表付近の N 値が低く、支持層の深度が比較的浅いので、深層地盤改良を行い直接基礎とする。
- ③鉛直力の大きさにより、地盤改良体の本数を調整し、圧縮応力度のばらつきを小さくする。

①～③の計画方針から、地盤改良体の配置が決定された。改良体配置図を図 4.12.4 に、軸組図を図 4.12.5 に示す。

①については、基盤岩層（支持層）まで地盤改良体を格子状に配置し、地盤を拘束することで、格子内地盤の地震時せん断応力度を低減し、液状化を防止する計画とされた。

②については、①の地盤改良体を利用し建物を支持する直接基礎（べた基礎）とされた。また、地盤改良体の配置を上部架構の柱スパンと合わせることで、上部架構の鉛直力・水平力を直接改良体に伝達する計画とされた。

③については、建物内部柱は鉛直力が大きいため、内部柱下の地盤改良体本数を増す計画とされた。また、今回の施工では 2 軸の重機を用いるために、改良体が偶数本となるような配置計画とされた。

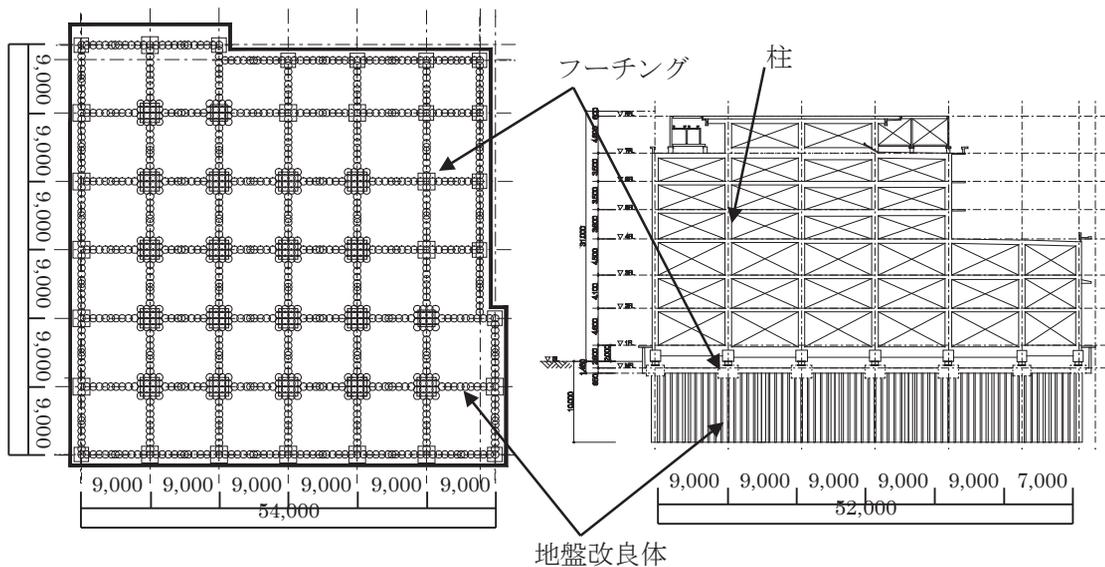


図 4.12.4 改良体配置図

図 4.12.5 軸組図

以下に設計および検討結果の一部を示す。

直接基礎（べた基礎）の許容支持力度は下記条件の値の小さい方で設定された。

- ・複合地盤（地盤改良と格子内原地盤を一体としたブロック）とする場合
- ・地盤改良を壁杭とする場合

許容支持力度の決定条件は「地盤改良を壁杭とする場合」であり、長期許容支持力度は  $355\text{kN/m}^2$  に設定された。長期荷重時接地圧の最大値は  $127\text{kN/m}^2$  であり、十分な余裕がある。

格子状地盤改良体による液状化抑止効果の確認は、図 4.12.6 に示す 2 次元 FEM 解析モデルが用いられ、時刻歴応答解析を実施することにより行われた。地盤改良体の設計基準強度は予備検討より  $2000\text{kN/m}^2$  に設定された。極稀に発生する地震動時（レベル 2 地震動時、告示波神戸位相）の格子状地盤改良体に囲まれた地盤と地盤改良体の最大せん断応力度を図 4.12.7 に示す。また、図 4.12.8 に応答値より算定された改良範囲①～③（図 4.12.6）の FL 値(液状化に対する抵抗率)を示す。地盤改良後の FL 値はいずれも 1 を超え、液状化が抑止されていることが分かる。

地盤改良体の安定性は下記の検討により確認された。

- ・長期荷重時の地盤改良体の圧縮応力度は改良率 0.23 から  $552\text{kN/m}^2$  であり、長期許容圧縮応力度  $666\text{kN/m}^2$  を下回っている（検定比 0.83）。
- ・レベル 2 地震動時の地盤改良体底面におけるせん断応力度は  $615\text{kN/m}^2$  であり、終局せん断応力度の  $693\text{kN/m}^2$  を下回っている（検定比 0.89）。

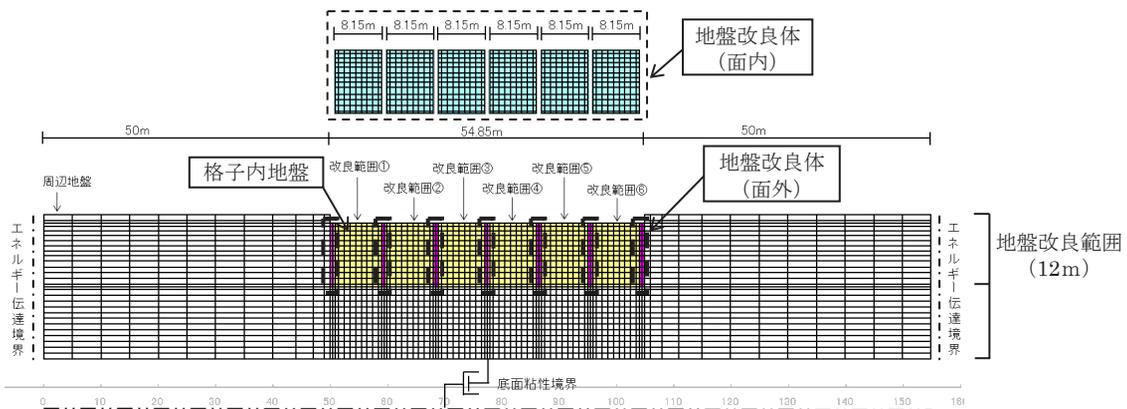


図 4.12.6 2次元 FEM 解析モデル

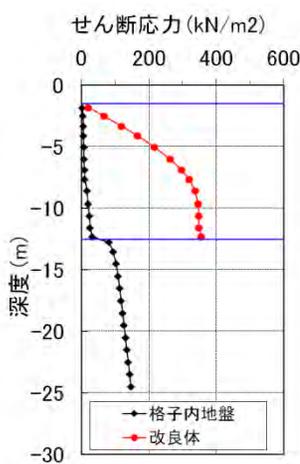


図 4.12.7 せん断応力度

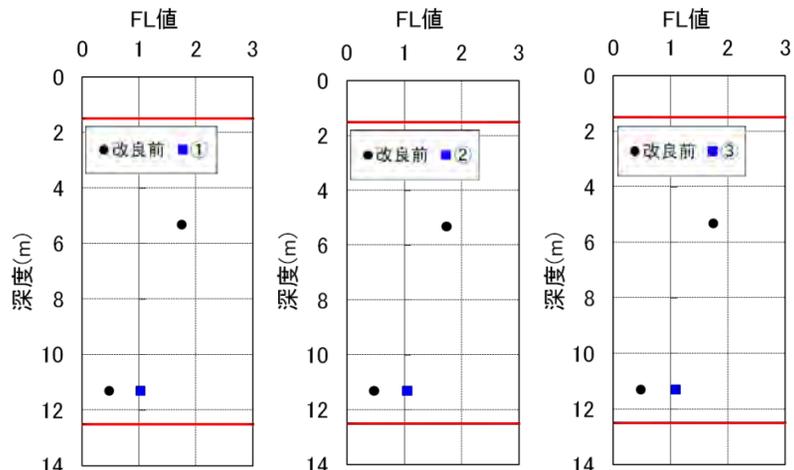


図 4.12.8 各部位の FL 値

#### 4.12.4 室内配合試験

地盤改良体の施工前に地盤のサンプルを採取し室内配合試験を行い、設計基準強度 2000kN/m<sup>2</sup> を満足する改良体の配合が決定された。使用する固化材種類を 2 種類、添加量を 3 種類の合計 6 種類の配合による供試体が作製され、材齢 7 日と 28 日の一軸圧縮試験によって強度確認が行われた。その結果、表 4.12.1 に示す地盤改良体の仕様が設定された。

表 4.12.1 地盤改良の仕様

項目	仕様
工法	機械攪拌工法（格子状）
対象土	粘土および砂混じり粘土
改良深さ (m)	12
改良径 (mm)	φ 1000 (200mm ラップ)
改良本数 (本)	1119
現場目標強度 (kN/m <sup>2</sup> )	3120
固化材の種類	汎用固化材
固化材添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	330
添加方法	スラリー添加 (W/C=70%)

#### 4.12.5 施工概要

今回用いた施工重機を写真 4.12.4 に、地盤改良施工状況を写真 4.12.5 に示す。地盤改良の施工計画図を図 4.12.9 に示す。敷地内にプラントを 2 基配置し、重機 2 台（φ 1000mm、2 軸機）で施工された。地盤改良天端は施工地盤-2.0m 程度である。掘削後の地盤改良体天端の状況を写真 4.12.6 に示す。掘削後に地盤改良体位置をマーキングし、形状・位置の確認が行われた。

地盤改良体の強度はコア採取された試料により確認された。材齢 7 日および 28 日で一軸圧縮試験が行われ、材齢 28 日の供試体の一軸圧縮強さは採取箇所や深さでばらつきがあるが、約 4400～11600kN/m<sup>2</sup> であり、現場目標強度 3120kN/m<sup>2</sup> を全ての供試体が満足した。



写真 4.12.4 施工機械



写真 4.12.5 施工状況

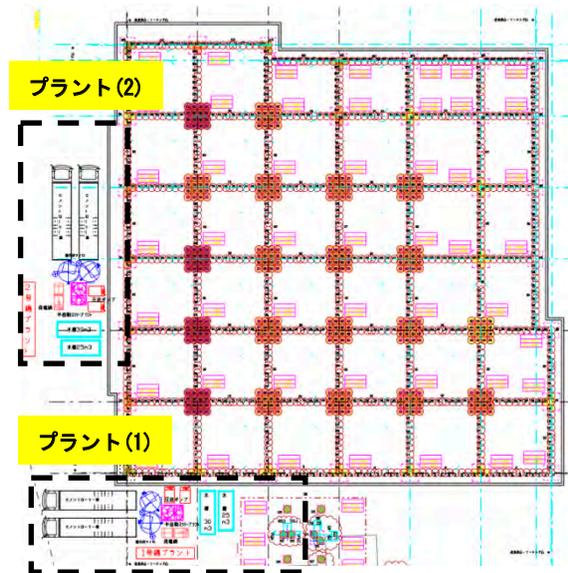


図 4.12.9 施工計画図



写真 4.12.6 地盤改良体の天端の状況

#### 4.12.6 おわりに

臨海立地であることから、地盤の安全性や海の脅威など詳細設計時に様々な解決する方策が検討された結果、災害時の揺れによる医療機器の破損、家具の転倒による患者の負傷等を低減するため免震構造が採用され、地盤の液状化対策として有効な格子状地盤改良工事が実施された。また水害・津波対策として1階床のかさ上げ、屋上ヘリポート設置、1階ホール等を利用したトリアージスペースの確保など、災害時の安全と安心、さらには地域の救護拠点としての役割を果たすとともに、防災、安心の要となっている<sup>4)</sup>。

#### 【参考資料】

- 1) 土木学会・地盤工学会：2007年能登半島地震被害調査報告書 2007.12
- 2) 竹中工務店ホームページ  
<http://www.takenaka.co.jp/solution/needs/earthquake/service09/index.html>
- 3) 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
- 4) 恵寿総合病院：広報誌「恵寿」別冊 2014.1

#### 4.13 免震構造物の液状化対策工事～臨海地区における化学工場～

##### 4.13.1 はじめに

本建物の概要を表 4.13.1、建築地位置を図 4.13.1、耐震グレードを表 4.13.2 に示す。本施設は事業継続の点から、重要性が非常に高い生産拠点であり耐震性能はグレード S とされた。さらに、免震構造としての性能発揮および基礎の安全性確保のために建物本体の耐震グレードに加え液状化防止の規準も定められた。

地表面加速度 350gal および想定南海・東南海地震において液状化を防止するために、9m 間隔で GL-20m まで格子状地盤改良を実施することが計画された。建物全景を写真 4.13.1 に示す。

表 4.13.1 建物概要

建築地	徳島県阿南市
敷地面積	106,102.14 m <sup>2</sup>
構造	S 造 免震構造 (告示)
規模	B-F6 P1
建築面積	12,500m <sup>2</sup>
延床面積	73,400m <sup>2</sup>
建物高さ	39.2m
着工/竣工	2012.2 月 - 2013.8 月 (19 カ月)



図 4.13.1 建築地位置<sup>1)</sup>

表 4.13.2 耐震グレード

耐震性能		液状化	
		判定基準	液状化が生じる場合の対策
グレード S	基準法外力の 2 倍程度	地表面加速度 350gal 想定南海・東南海地震	杭の耐力向上または地盤改良 (TOFT) による液状化抑止
グレード 3	基準法外力の 1.5 倍程度 (病院・防災関係施設)	地表面加速度 200gal	杭の耐力向上または地盤改良 (TOFT) による液状化抑止
グレード 2	基準法外力の 1.25 倍程度 (文化施設)	地表面加速度 200gal	杭の耐力向上または地盤改良 (TOFT) による液状化抑止
グレード 1	基準法外力 1.0 倍 (一般建物)	地表面加速度 150gal	杭の耐力向上または地盤改良 (TOFT) による液状化抑止



写真 4.13.1 建物全景

基礎・杭伏図を図 4.13.2 に、免震構造の概要を図 4.13.3～4.13.5 に示す。

本建物は、9m グリッドの整形なスパン構成に対し、外周部及び中央コア部分にブレースを集約した鉄骨造建物である。免震構造による地震時の安全性確保に加え、当該敷地が海浜地域であることから一階床レベルを GL+2,000 とするなど津波対策も見据えた総合的な災害対策が実施された。

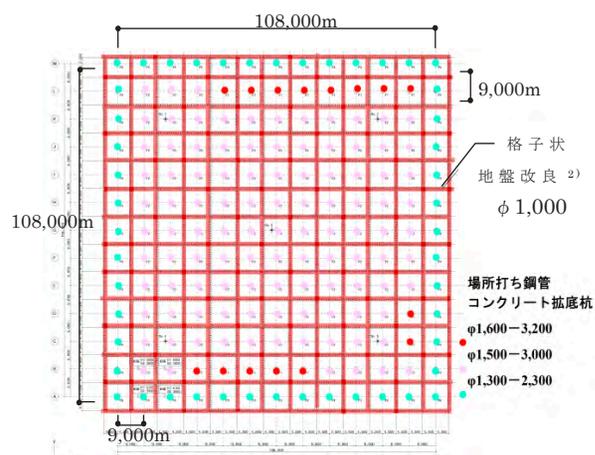


図 4.13.2 基礎・杭伏図

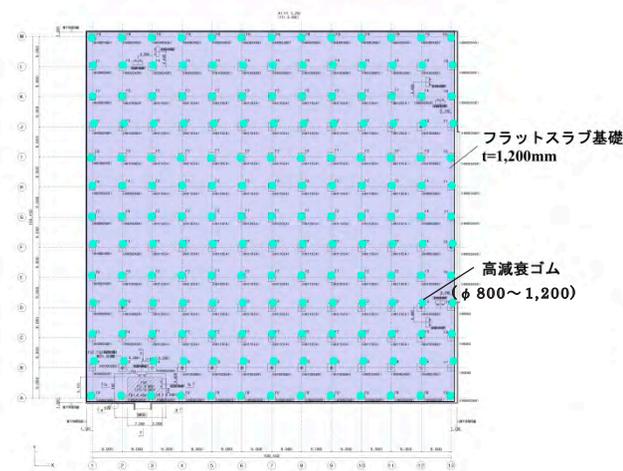


図 4.13.3 免震材料伏図

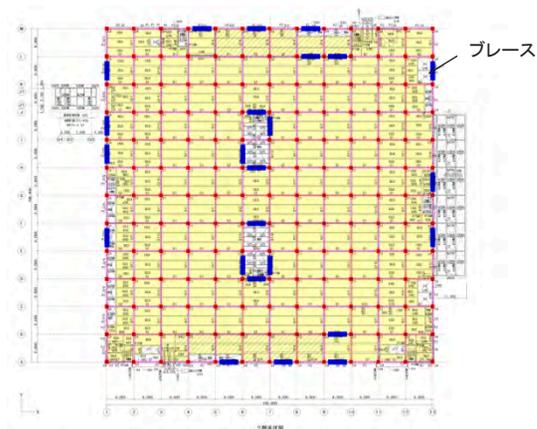


図 4.13.4 2階伏図

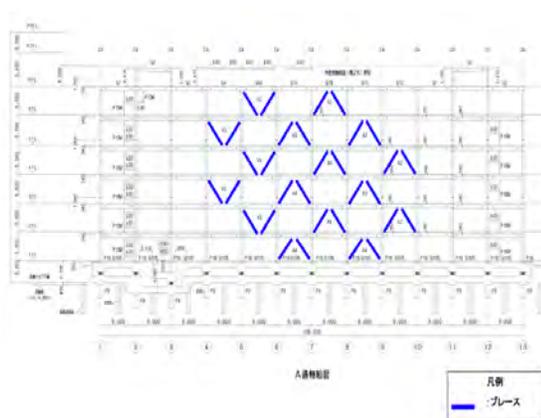


図 4.13.5 A 通軸組図

#### 4.13.2 格子状地盤改良の概要

当該敷地内のボーリング調査結果および改良深度を図 4.13.6 に示す。建築地の土層は表層から部分的に礫を含む砂層、それ以深は砂質シルト層、シルト質粘土層により構成されている。本工事では、GL-17m 付近まで N 値 10～20 前後の砂層の液状化対策として格子状地盤改良が行われた。改良長は、外周部では GL-2m～-17m 間の 15m、外周部以外では GL-3m～-17m 間の 14m とされた。格子状地盤改良体の設計基準強度は GL-2m～-10m 間で  $F_c=1500\text{kN/m}^2$ 、GL-10m～-17m 間で  $F_c=2100\text{kN/m}^2$  とされた。

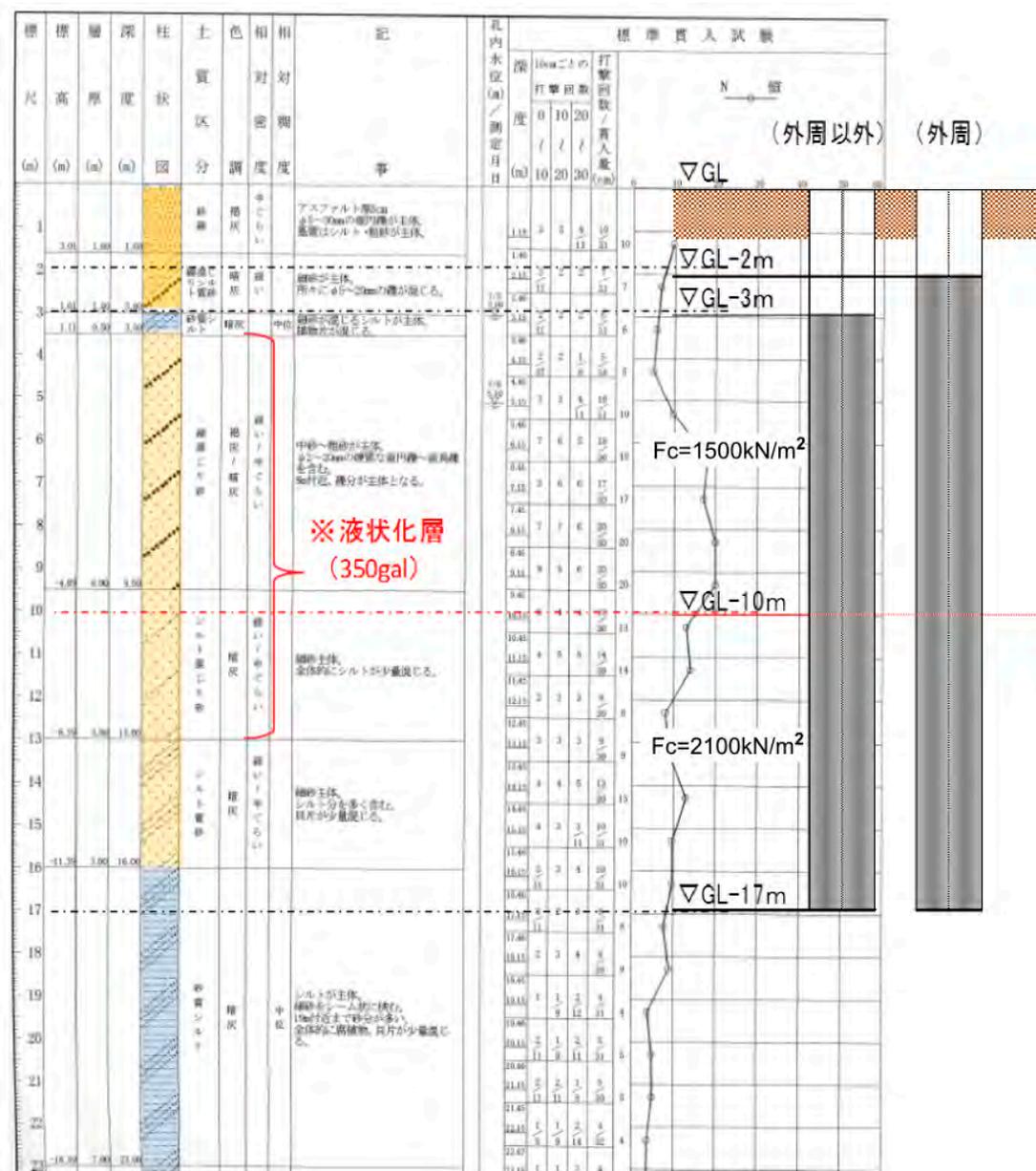


図 4.13.6 ボーリング調査結果および改良体深度

### 4.13.3 室内配合試験

実施工における配合を決定するため、現地より採取した試料を用いた室内配合試験が実施された。室内配合試験における目標強度は、日本建築センター指針の深層混合処理工法における配合設定方法<sup>3)</sup>に基づき設定された。設計基準強度は  $F_c=1500\text{kN/m}^2$  および  $F_c=2100\text{kN/m}^2$  であり、抜き取り箇所数 (9カ所以上) および変動係数 (25%) を考慮し、現地の配合強度は  $X_f=2600\text{kN/m}^2$  および  $X_f=3600\text{kN/m}^2$  とされた。なお、現場室内強さ比は 1.0 とし、室内配合強度は  $X_i=2600\text{kN/m}^2$  および  $X_i=3600\text{kN/m}^2$  とされた。地盤改良の仕様を表 4.13.3 に示す。

表 4.13.3 地盤改良の仕様

項目	仕様
工法	機械攪拌工法（格子状）
対象土	礫混じり砂、シルト混じり砂、シルト質土
改良深さ (m)	外周部:15 (GL-2m~-17m)、外周部以外:14 (GL-3m~-17m)
改良径 (mm)	φ 1000
設計基準強度 (kg/m <sup>2</sup> )	GL-2m~-10m : 1500、GL-10m~-17m : 2100
固化材の種類	高炉セメント B 種
固化材添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	100 および 160
添加方法	スラリー添加 (W/C=80%)

#### 4.13.4 施工結果

格子状地盤改良体は、φ 1000mm、2 軸の深層混合処理施工機械により構築された。施工に用いた機械および攪拌翼を写真 4.13.2 および写真 4.13.3 に示す。試験施工において、GL-6m~-10m の N 値が 20 程度と硬く、削孔・攪拌できないことが明らかになったため、本施工においては、固化材スラリーの注入量を 15%程度増加させ、地盤の流動性を向上させることにより掘削・攪拌された。

現地で施工した地盤改良の品質に関する調査は、採取したコア試料を用いて一軸圧縮強さおよび湿潤密度が測定された。試験結果の一例として、地盤改良体の一軸圧縮強さの深度分布を図 4.13.7 に示す。地盤改良体は、いずれも合格判定値 ( $F_c=1500\text{kN/m}^2$  部分は  $X_L=2200\text{kN/m}^2$ 、 $F_c=2100\text{kN/m}^2$  部分は  $X_L=3100\text{kN/m}^2$ ) 以上であり、所定の品質を満足していることが確認された。なお、本工事では一部の地盤改良に高炉スラグを多く配合した固化材も使用された。



写真 4.13.2 2 軸地盤改良機



写真 4.13.3 攪拌翼の詳細

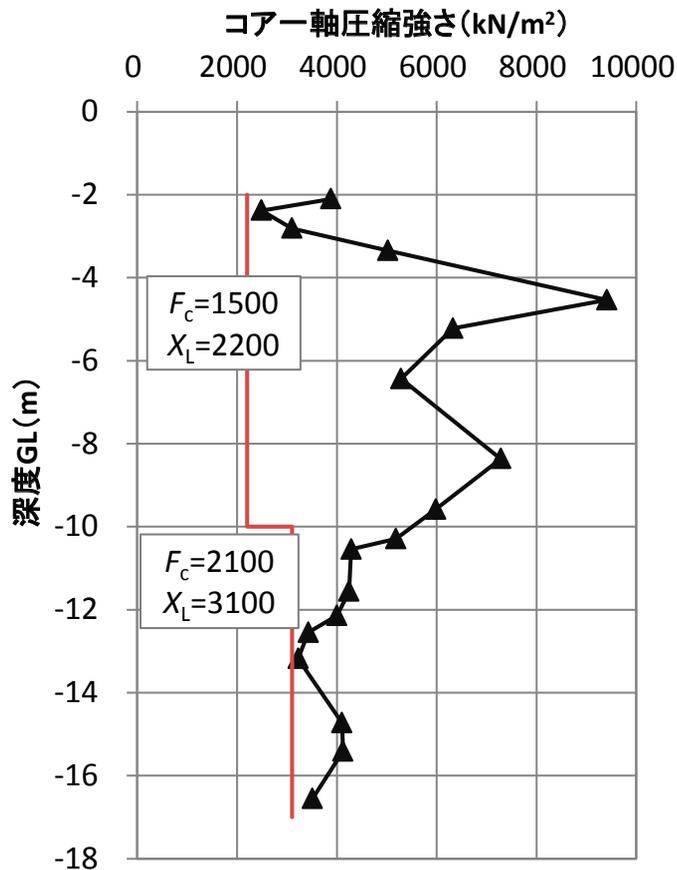


図 4.13.7 一軸圧縮強さの深度分布

#### 4.13.5 おわりに

本建物は事業継続の観点から重要度が高く設定されたため、免震構造が採用され、液状化対策および津波対策が行われた。格子状地盤改良は地表面加速度 350gal および想定南海・東南海地震に対して有効な液状化対策として実施された。

#### 【参考資料】

- 1) 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
- 2) （株）竹中工務店ホームページ  
<http://www.takenaka.co.jp/solution/needs/earthquake/service09/index.html>
- 3) （財）日本建築センター：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－、pp.218-221、2002

## 5.座談会

### 大規模災害に対してセメント系固化材による地盤改良が果たす役割

日 時	2015年1月7日(水) 13時～16時		
場 所	一般社団法人セメント協会 研究所		
出席者	北 誥 昌 樹	東京工業大学大学院 教授	
(順不同・敬称略)	勝 見 武	京都大学大学院 教授	
	久 田 真	東北大学大学院 教授	
	小 橋 秀 俊	国土交通省国土技術政策総合研究所 建設マネジメント研究官	
(司会)	近 藤 秀 貴	一般社団法人セメント協会 研究所長	



北誥 昌樹 氏



勝見 武 氏



久田 真 氏



小橋 秀俊 氏



近藤 秀貴 氏

**近藤** 本日は、「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」というテーマで座談会を開くことになりました。大変ご多忙のところをお集まりいただき、ありがとうございます。

今年は、1995年の阪神淡路大震災から20年、東日本大震災から4年が経とうとしています。セメント協会としては、東日本大震災の後に、震災調査WGを立ち上げ、地盤改良の耐震に対する有効性の観点から、調査を実施し報告書を取りまとめています。

今回、報告書の第2報の完成に際して、震災の復旧・復興にご尽力されました4人の先生方にお集まりいただき、震災の経験を踏まえて、セメント系固化材による地盤改良が果たす役割や有効性、また、今後の課題を中心にお話を伺いたいと思います。

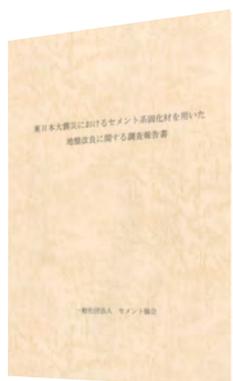
### セメント協会震災調査WG

**近藤** 最初に、セメント協会の震災調査WGについて、その活動や前報告書「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」<sup>1)</sup>について、WGの主査である北誥先生より概要をご説明ください。

**北誥** 震災調査WGは、セメント系固化材を使用した改良地盤やその上部構造物について、東日本大震災での被害状況を調査することを目的に2011年に設置しました。多方面にアンケート調査などを実施し、東北や浦安を中心としたおよそ70件の地盤改良事例を調査しました。その結果、セメント系固化材を用いた地盤改良の耐震性を確認することができ、また、この分野の技術開発に役立つ事例集として、報告書を取りまとめることができたと思います。

**近藤** 調査事例の中で、特徴的な事例はありましたでしょうか。

**北詰** 特徴的なものとして、液状化対策を目的とした格子状改良があります。具体的には、福島県の水族館や浦安市内の施設において格子状改良が行われ、その結果、今回の震災において耐震効果が確認されました。この他に、今回の調査を通して、建築分野の戸建住宅への適用とその改良効果を確認することができ、非常に有意義なWG活動となりました。



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<sup>1)</sup>

## 格子状改良

**近藤** 浦安市内の施設において地盤改良の効果が確認されましたが、浦安市は数多くの液状化現象が発生した地域です。浦安市における液状化対策の現状についてご紹介ください。

**北詰** 浦安市の復旧復興工事に少し携わっています。浦安市では、格子状改良や地下水位低下工法などさまざまな対策について検討を行い、その結果、格子状改良による復旧復興工事計画が進められています<sup>※1</sup>。市街地での工事のため、住民の合意が必要となる難しい側面もありますが、合意が得られた地域では、業者を選定し着工する状況にあります。さまざまな対策工法があるなかで、格子状改良、すなわちセメント系固化材による地盤改良が選ばれたことは非常に興味深いと言えます。

**近藤** 液状化が発生する条件として①地下水で飽和されている、②緩く堆積した砂地盤、③地震力が挙げられ、いずれかの条件を排除すれば対策できることとなります。条件を排除するために、格子状改良などさまざまな対策工法が開発されています。

**北詰** 条件を排除する方法は沢山あります。浦安市で検討された地下水位低下工法は、地下水位を低下させることで①の条件を排除していますが、それに伴い地盤の沈下が懸念されます。浦安市は、個人の所有物である戸建住宅が密集しているため、地下水位低下工法が敬遠されたようです。また、前報告書で紹介されているエレベータボックスの事例<sup>※2</sup>では、対象の構造物のみを液状化対策し、周辺地盤の液状化は許容しています。そういう、割り切った考え方もあります。構造物の種類や重要度、技術者の判断などを勘案して、対策が決定されていると思います。

**近藤** 前報告書では、課題の一つとして、地盤改良機械の小型化が指摘されています。この報告書で紹介している浦安市の事例<sup>※1</sup>のように、戸建住宅のような狭小地においても、地盤改良が可能になったことは技術の進歩かと思えます。



格子状改良<sup>2)</sup>

※1 3.3 市街地での液状化対策～千葉県浦安市～、p.15

※2 事例4.6.4 エレベータ棟、前報告書<sup>1)</sup>、p.46

**北詰** ご指摘のとおり、技術の進歩だと思えます。浦安市では、戸建住宅地というターゲットが明確だったため、技術開発の方向性が分かり易く、新しい工法がいくつか開発されました。

**近藤** 今回の震災では、甚大な液状化被害が発生しましたが、この経験を踏まえて地盤改良の技術開発が行われ、災害対応できる場面も増えてきたかと思えます。

### 既設構造物直下の地盤改良

**小橋** 現在の技術では斜め方向に地盤改良することができるようになり、既設の構造物の真下を静的に締固めることができます。既設の構造物の真下を改良すると、非常に改良効果が高いことが報告されています。構造物のメンテナンスや強化復旧するうえで、こうしたスタイルの技術が新たに出てきています。狭小空間での施工が可能になったことと同じように、こうした新しい技術によってセメント系固化材が活用される場面が広がっているように思います。この報告書でも紹介されている、東京モノレールの既設橋脚杭の耐震化補強工事<sup>※3</sup>は、ひとつの良い事例だと思います。

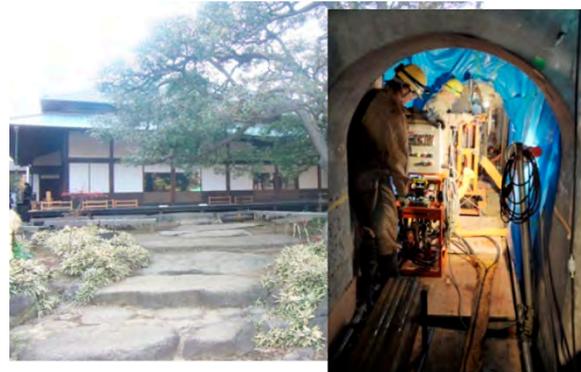
**近藤** 報告書では、重要文化財の建造物の真下を改良している事例も紹介しています。旧岩崎



東京モノレール既設橋脚耐震補強工事

※3 4.7 東京モノレール既設橋脚の耐震補強工事、p.63

邸和館において、沈下対策を目的に実施された地盤改良工事<sup>※4</sup>です。施工状況の写真を見て頂くと分かりますように、非常に狭い空間での施工が可能になっています。大阪の中之島図書館においても液状化対策として同様の工事<sup>※5</sup>が実施されており、既存建物直下の地盤改良技術が確立されつつあると思えます。



旧岩崎邸和館

施工状況

### がれき処理コンソーシアム

**近藤** 久田先生は被災者という立場でもありますが、震災後に『がれき処理コンソーシアム』という産学連携の拠点を立ち上げ、震災がれきの処理、さらには未利用資源の有効利用に関する技術開発にご尽力されていますが、被災当時の状況なども含めてご紹介下さい。

**久田** 3月11日は東京に居ましたが、翌日には仙台になんとか戻ることが出来ました。1ヶ月後に発生した震度6強の地震は、直に経験しました。ともかく、自宅も職場もめちゃくちゃで、食料がままならず、水・電気・ガスが出てこない状況となり、立ちすくんだことを記憶しています。こうした状況の中、大学の人間として何ができるかを考えていました。

現地では、震災がれきがうず高く積まれており、これを徹底的に有効利用して資源循環の仕

※4 4.8 重要文化財の建屋内での沈下防止対策工事、p.68

※5 4.9 重要文化財の液状化対策工事、p.73

組みを構築しようと、環境省がかなり早い段階で方針を示していました。一方、民間企業や大学には、既存技術として副産物などを利活用する技術があり、まさにニーズとシーズが目の前にありました。これらの情報を共有し、最もふさわしい解を導き出す場として、2012年6月にコンソーシアムを設置しました。

現地で特に求められたのは、広域処理の枠組みに入らない物の処理でした。例えば、コンクリートガラ、津波堆積土砂や現地で焼却処分した焼却灰などの減容化できない物であり、この処理の検討について、セメント協会の協力も得ながら重点的に活動しました。最初の2年間は岩手、宮城のがれき処理の支援を進め、2014年3月のがれき処理が完了しました。現在は、福島のがれき処理の支援に軸足を置いて取り組んでいます。



宮城県における震災がれき処理の枠組み<sup>3)</sup>

### 地盤工学会復興資材提言委員会

**近藤** 震災がれき処理については、勝見先生も地盤工学会の復興資材提言委員会の委員長としてご尽力されてきましたが、その活動についてご紹介ください。

**勝見** 津波堆積物も含めておよそ3000万tの廃棄物が発生し、そのうち約1/3が土砂でした。岩手県ではセメント工場が資源循環の拠点として機能していましたが、全てを減容化できる

わけではなく、また、地形的に処分場を建設する余裕が無い状況にありました。一方で、復旧復興工事が本格化するにつれて、多くの土砂が必要となることが予想されておりました。こうした状況から、岩手県では、分別土砂などの復興資材を活用するガイドラインを作成することとし、作成にあたり地盤工学会へ協力要請がありました。

また、宮城県についても、隣に災害廃棄物の土砂がありながら、土取場があらたに建設されつつある状況を憂慮し、復興資材をいかに使うべきか、その方向性を示すために委員会で検討しました。学会としては、行政の生の声を聞きながら活動ができ、いろいろな立場の方の意見を取り入れた成果として、現場ではうまく活用されていると考えています。

**久田** がれきを再資源化しても、不確実な要素が含まれるため、品質のことを考えると活用され難い状況にありました。この委員会では、これに対する一つの考え方、道筋を示しており、非常に重要であったと思います。今回の震災に限らず、今後の大規模災害においても、同じような状況に直面すると思いますので、今回の提言は非常に重要だと思います。

### セメント産業の役割

**近藤** 震災がれき処理では、セメント産業も大きく貢献することができたと感じています。

**久田** セメント工場には再資源化する機能があり、がれき処理において極めて重要な拠点でありました。岩手県には、太平洋セメントの大船渡工場、三菱マテリアルの岩手工場、また、青森県に八戸セメントの八戸工場があり、セメント工場が多くのがれきを受け入れています。この取り組みで、資源循環の枠組みが確立されたことを実感しました。

一方、宮城県にはセメント工場という資源循

環抛点が無かったため、気仙沼、石巻や名取などの各ブロックで、焼却処分する必要がありました。焼却施設の建設の際、地盤が軟弱な箇所ではセメント系固化材による地盤改良<sup>※6</sup>が行われ、また、石巻においては、焼却処分後の焼却灰について、セメントで固化して埋め立て材として利用されているようです。平時においても都市ごみ焼却灰の処理に困っている自治体はあり、この事例は廃棄物利活用のいいモデルケースとなり得ると思います。震災がれきを利活用する議論の中で、こうした話題がたくさん出てきました。



## 重金属の固化・不溶化

**近藤** 焼却灰をセメントで固化した事例をご紹介しましたが、こうした事例では環境面への配慮がより必要となってきます。環境への影響が懸念される場合は、適切な措置が必要となり、措置の一つとして不溶化処理があります。不溶化処理におけるセメント系固化材の役割について、地盤環境分野のご専門である勝見先生よりお話し下さい。

**勝見** 東日本大震災では、震災廃棄物を分別した分別土砂に重金属が含まれていました。そこまで高い濃度ではないが、土壤環境基準を超えていたために処理が必要となり、セメント系固

化材で不溶化処理した事例がいくつかあります。セメント系固化材を使うメリットは、重金属の溶出を低減できるだけでなく、セメントによる固化効果、その土砂を資材として使うために強度・変形という面においても改良してくれる点だと思います。

震災廃棄物に、基準を少し超えた砒素、ふっ素が含まれていたのは、自然由来であると考えています。震災に限らず、新幹線やリニアなど大規模な土木プロジェクトや2020年のオリンピック・パラリンピックに向けてのさまざまな工事において大量の掘削土砂が発生します。その中には、震災がれきからの分別土砂と同じように、自然由来の重金属を含むことが想定されます。これを全て、費用をかけて処理をすることはなかなか難しいと思います。今回の震災を受け、復興資材提言委員会ではガイドラインを作り、基準を超えた重金属を含んでいても、周辺の環境や管理状況など、ある条件が整えば使用してはどうかと提言<sup>4)</sup>しています。もちろん、基準を非常に超えている場合や条件が整わない場合などは、不溶化処理などを行う必要がありますので、適材適所でセメント系固化材がうまく活用されていけば良いと思います。これには、いろいろなご意見があるかと思うので、今後議論が必要かと思っています。

## 強化復旧

**近藤** 先生方は、被災地においてもご尽力され、さまざまな場所での活動をご報告されています。勝見先生は、材料学会誌にご執筆された「自然災害からの復興と地盤改良技術」<sup>5)</sup>において、強化復旧の重要性を指摘されていますが、その点についてご紹介ください。

**勝見** 今回の震災を受け、災害廃棄物に由来する復興資材、特に分別土砂の活用については、

※6 5.1 震災廃棄物処理施設設置のための地盤改良、前報告書<sup>1)</sup>、p.51

各省庁や各県がマニュアルを作成しています。ここでは、特に改良して使用することは示しておらず、発生した土をそのまま使うことを示しています。しかし、議論の中では、セメント系固化材による改質を取り入れたらどうかという意見がありました。今回の震災に関連し作成されたマニュアルの道筋は、土砂でないものを土砂にするというものであり、本来であれば、セメント系固化材の活用についても、マニュアルにおいて積極的に書くことができたかもしれません。

材料学会誌<sup>5)</sup>では、強化復旧の重要性について述べさせて頂きました。前報告書においても、下水管路施設の強化復旧事例<sup>※7</sup>が紹介されています。これは、元に戻すだけでなく、必要な性能を向上させて復旧させることであります。この視点が、災害からの復旧復興において重要だと思えます。強化復旧には、セメント系固化材の活用が非常に重要であり、多くの箇所で開催されていると思えます。

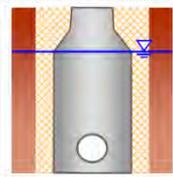
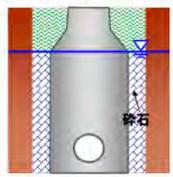
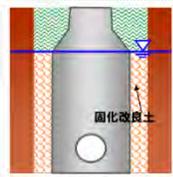
## 下水道管路の強化復旧

**近藤** 国土交通省は、下水道管路の強化復旧について提言を行っており、液状化対策として①埋戻し土の締固め、②碎石による埋戻し、③埋戻し土の固化の3つの施工方法を示しています。この提言について、小橋さんよりご紹介ください。

**小橋** 私が理解している範囲でお話ししたいと思います。この提言は、2004年に発生した新潟県中越地震の被害を教訓としています。昭和40年代に敷設された埋設管について深刻な被害が発生したため、埋設の方法について技術的な検討を行った成果です。2006年に「下水道施設の耐震対策指針と解説」<sup>6)</sup>を完成させ、埋戻しの3工法を緊急提言しています。具体的には、①締固め度を90%以上にする、②碎石を

用いることで過剰間隙水圧を生じないようにする、または、③セメント系固化材などで固化する方法です。

国総研の下水道研究室が、東日本大震災の被害状況を調査した結果、被害を受けた管渠の総延長は600km以上、マンホールで1万5000件以上が被害を受けており、早急な耐震化が求められている状況でした。同研究室では、現地を想定した施工・品質管理について、固化処理した場合の養生方法や仮置き期間、締固めの方法などについて継続して検討を進めています。詳細については、国総研のホームページ等をご覧ください。

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

緊急提言に基づく下水道管路施設の埋め戻し方法<sup>7)</sup>

## 粘り強い堤防による強化復旧

**近藤** 国土交通省は、堤防施設においても強化復旧を目指しています。今回の震災では、液状化のほかに大津波により甚大な被害が発生しました。これを受けて、津波対策として粘り強い構造による強化復旧を提唱しています。この粘り強い堤防についてご紹介ください。

**小橋** 2014年3月に国総研等が開催した「防災・減災に向けた緊急成果報告会」<sup>8)</sup>において、海岸研究室が、粘り強い海岸堤防に関する研究の報告をしています。報告された資料や水路実験の様子がホームページで公開されているため、ご存知の方も多いと思いますが、私が理解する範囲でお話ししたいと思います。

※7 5.2 排水管路の復旧工事、前報告書<sup>1)</sup>、p. 55

粘り強い堤防の考え方は、中央防災会議において議論されました。たとえ津波が堤防を超えたとしても、堤防の全断面が失われる可能性を小さくする、または、失われるまでの時間を出来る限り遅くするなど、粘り強く耐える構造を目指しています。対策のポイントの一つとして、法尻部分の洗掘を防止すること、つまり、その部分をセメント系固化材等で地盤改良することです。もう一つは、堤体法面をなるべく不陸のない平滑な面とし、津波の流体力を減らすことです。具体的な方法としては、天端から法尻部分までを、コンクリート製の切欠きブロックで覆い、接合部分などを一体化させることです。

この報告書では仙台湾南部海岸の事例<sup>※8</sup>が紹介されていますが、河川や海岸堤防においてこの工法が多く採用されて、強化復旧が実施されています。



仙台湾南部海岸堤防

## 道路構造物

近藤 堤防施設に限らず、道路構造物においても多くの盛土部分があります。小橋さんは、道路土工委員会において道路土工指針などの改訂に取り組まれています。2012年の改訂は、今回の震災の被害状況を反映しているとのことですが、その点も含めてご紹介ください。

小橋 この指針の改訂が終わる直前に、今回の震災が発生しました。委員会ではWGを立ち上げて、調査・検討を1年ほど行い、問題点や対応策を反映させて改訂を行いました。また同じ時期に、道路橋示方書の改訂作業も並行していたことから、橋梁接続部の土工構造物の部分については、両方で連携をとりながら進めました。

河川堤防では、地盤改良が行われていない場合が多く、地震による被害が深刻でしたが、道路の場合は、建設時に地盤改良を行っているケースが比較的多く、地盤改良を行っていた一般部では、顕著な被害はありませんでした。しかし、橋台等の構造物周りでは、沈下や変形が生じやすい傾向がみられ、同部での基礎地盤対策の重要性が改めて明らかとなりました。

また、地下水位が高い軟弱地盤の箇所に造られた道路盛土では、圧密沈下で地下水が侵入し、盛土材が液状化し崩壊に至っている事例がありました。地下水位が高い場所では、盛土内の排水が十分機能しないケースが多いため、地盤改良を行って沈下を防止したり、地下水が侵入しても強度が確保できるよう、盛土下部を砕石層に置き換えるなどの対策が有効となります。今回の道路土工—軟弱地盤対策工指針—の改訂では、これらの点の記述について、強化を図っています。

同指針は、前回の改訂が1986年であり、当時は地盤改良工法の普及が、これからという時期でした。今回の2012年の改訂では、その普及に伴って一般化してきた工法、例えば液状化対策としての静的締固め工法などについても新たに記載しています。また、地盤改良というものが盛土の下だけではなく、構造物やカルバートや擁壁の下においても活用されるなど、適用範囲・用途が拡大してきており、それに伴う設計施工上の注意事項についても記載しています。

※8 3.5 粘り強い海岸堤防～仙台湾南部海岸堤防～、p.20

## 大規模土砂災害

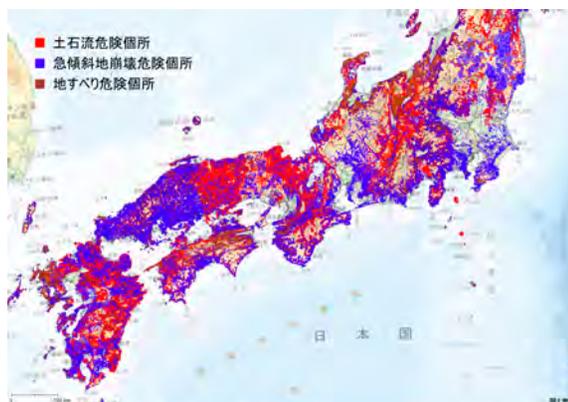
**近藤** 今回の震災に関連し、さまざまな取り組みを伺いました。大規模地震に対して、セメント系固化材による地盤改良が果たす役割が見えてきたように思います。一方で、昨年、広島で発生した土砂災害の報道を見ると、大規模災害は地震だけではないことを、痛切に感じました。先日、久田先生とお話をする中、こうした災害に対しても、地盤改良による防災・減災の可能性があるのでないかとの話題となりました。災害対策という観点から、地盤改良の必要性について、ご意見をください。

**久田** 広島の土砂災害の原因は集中豪雨かと思います。調べてみると、全国治水砂防協会が公表している土砂災害警戒区域は、2014年8月時点で35万カ所も<sup>9)</sup>あるようです。この報告書では、大規模地震への対策事例が紹介されていますが、集中豪雨や小橋さんからお話がありました軟弱な地盤など、地震以外にも土砂災害につながる要因はたくさんあります。また、昨年、山形において発生した集中豪雨では、橋梁が流されています。この災害では、3.11の地震動により山が緩んでいたのではないかと指摘があります。これまで想定されなかった場所で山が崩れています。

こうしたなか、地盤改良を必要としている箇所はまだたくさんあり、セメント系固化材による地盤改良は一つの選択肢だと考えています。土砂災害対策においても、セメント系固化材による地盤改良の強みを発揮して欲しいという、大きな期待を持っています。

**北詰** 土砂災害対策は、かなり難しい課題だと思います。対策は、土砂崩れの発生自体を防ぐ方法と、土砂が崩れるのを許容しながら家屋などの手前で防ぐ方法があります。前者は、どこを対策すればいいのかが難しいし、山間部であることから施工機械の制約もあります。そう考

えると、後者の方が現実的であり、擁壁や堤防などを構築することになると思います。その場合、その構造物が壊れないように、構造部下部の地盤改良をすることが非常に重要だと思います。



土砂災害危険箇所<sup>10)</sup>

## 課題と期待

**近藤** 最後に、セメント系固化材の課題と期待することについて、先生方よりご意見をお聞かせください。

**勝見** いろいろなものを大量に作る時代から、旧岩崎邸など個別の性能を求められる事例のように、それぞれのニーズに合わせて作らないといけない時代になってきたと思います。それから、誰が費用を支払うのか、民間に限らず公共工事においては税金で支払われるため、お金を使うことにとても慎重になっています。何を実施しているのかを情報公開していかなければならないと思います。それぞれの事情に応じて、場合によってはオーダーメイドで作っていくことが、地盤改良あるいはセメント系固化材に求められており、それに応えていくことで発展していけるのではないかと思います。

環境面におけるセメント系固化材の適用も、比較的新しい分野かと思います。特に、汚染土壌を処理して有害物質が溶け出さないようにする、あるいは遮水壁を作って汚染物質を封じ

込める事例が増えてきています。そこには、遮水性を高めるとか不溶化するとか吸着の効果などのメカニズムが関係しています。しかし、材料ごと土質ごと、あるいは環境条件で出来上がりが変わってきます。特に、環境分野でのセメント系固化材の使い方が従来の分野での使い方と違うのは、添加して混ぜれば固まる、添加量を増やせば強度が上がるという単純な図式ではなく、添加量を増やすと pH が上がることでかえって有害物質が溶け出し易くなる場合もありますし、土質の性状も変わってしまうことがあって、プラス面とマイナス面が複合した状態で種々の反応が生じるため、複雑な現象を追いかけていかなければなりません。

関係している方々へのお願いになりますが、科学的な継承につながるデータを積み重ねて、共有していく努力が大切かと思えます。一方で、汚染土壌の話となると、クライアントがデータの公開を拒むことが多いので、各社が保有しているデータを、例えばセメント協会で情報共有していく仕組みがあってもいいのではないかと思います。この分野での貴重な財産となると思えます。

**小橋** 施工業者の技術も向上しています。例えば、施工機械が小型化しており、従来では施工が困難であった狭小な空間においても施工が可能になってきています。セメント系固化材の供給体制も、市街地でのあまり有休地がないような場所においても迅速に供給できるような、プラントのコンパクト化などが、普及に向けた一つの取り組みになるのではないかと思います。

また、盛土の被災現場へ行くと、下に排水材が入っていない場合や、基礎地盤が改良されていない場合があります。本来であれば、碎石などで排水層を設けたり、地盤改良を行ったりする、強化復旧が重要だと思います。しかし、地元から早期開通の要望等があると、少しだけ時

間をかければ可能となる強化復旧でも、なかなか実施にふみきる決断が難しいのが現状であります。時間的、物理的な制約があるなかで、強化復旧と早期施工が両立できるような施工技術が求められていると思います。これは、高度成長期とは違うニーズであると思います。

**久田** 本日も話題となりました、資材化がれきの利活用における不溶化効果に期待しています。また、土砂災害対策など地震に限らず、防災・減災対応としてセメント系固化材が活用される箇所は相当あると思います。

そうしたなか、ぜひ取り組んで頂きたいことがあります。一度改良した地盤がいつまでその性能を保持しているのか。例えば、地下水の影響により改良体から可溶性成分が溶脱すれば、性能が落ちる懸念があります。いつまで性能が持続するのか、耐久性の検証に取り組んで公表していくことが必要かと思えます。

また、地盤分野においても、資源循環というキーワードがあると思います。地盤もローカル性があるし、地域によっては石炭灰やスラグなど未利用資源の利活用の課題を抱えています。セメント系固化材によりそれらをうまく活用できるようになる、そういうローカルモデルがいくつかあるように思います。それぞれの事例は千差万別であり、その都度検証を行う必要がありますが、その機会を重ねることにより地盤材料の汎用性が広がっていくものと期待しています。



**北詰** 今回の調査を終えて、セメント系固化材による地盤改良の用途が増えてきていること、施主や施工業者も千差万別になっていることを感じました。格子状改良の事例が多く紹介されていますが、課題として、確立された設計法が無いことが挙げられます。既存建物直下の改良においても、高圧噴射系への期待が大きく高まっていますが、確立された設計法はありません。もちろん、経験や蓄積されたデータはありますが、用途が増えるに応じて、それぞれに対応した設計法の確立が必要だと思います。

最後に、セメント協会へお願いがあります。今回の調査でもわかったのですが、さまざまな方がセメント系固化材を使用するようになり、どこでどの様に使用されているのかが分かり難くなっています。セメント協会で、データを蓄積することはできませんでしょうか。また、日本の地盤改良技術について、海外へ情報発信して頂きたいと思います。

**近藤** セメント系固化材の使われ方については、今回取りまとめた報告書や地盤改良マニュアル<sup>11)</sup>に記載の事例集なども参考になると思います。また、新たな事例や技術につきましては、引き続き情報収集と発信を行い、地盤改良技術の発展に役立てて頂けるように努めていきたいと思っています。

先生方、長時間にわたり、貴重なご意見を頂きありがとうございました。今後とも、セメント系固化材に対するご指導、ご支援を宜しくお願い致します。

- 1) セメント協会:東日本大震災におけるセメント系固化材を用いた地盤改良に関する調査報告書、2013
- 2) CDM 研究会より提供
- 3) 久田真:東日本大震災から4年を迎えて/災害廃棄物のゆくえ、セメント・コンクリート、No.815、pp.10-16、2015
- 4) 地盤工学会 復興資材提言委員会:災害廃棄物から再生された復興資材の有効活用ガイドライン、2014
- 5) 勝見、今西:地盤改良技術に関する最新動向 4.自然災害からの復興と地盤改良技術、材料、Vol.62、No.6、pp.390-395、2013
- 6) 日本下水道協会:下水道施設の耐震対策指針と解説2014
- 7) 下水道地震対策技術検討委員会:委員会報告書「新潟県中越地震の総括と地震対策の現状を踏まえた今後の下水道地震対策のあり方」について、I-36、2005
- 8) 防災・減災に向けた研究成果報告会～東日本大震災から3年～、2014年  
<http://www.nilim.go.jp/>
- 9) 全国治水砂防協会:各都道府県における土砂災害警戒区域等の指定状況(都道府県別)、<http://www.sabo.or.jp>
- 10) 「国土交通省:身の周りの防災に役立つ情報をまとめて閲覧」をもとに(一社)セメント協会が作成(背景地図:地理院地図[国土地理院]、土砂災害危険箇所:国土数値情報土砂災害危険箇所データ[国土交通省国土政策局国土情報課])
- 11) セメント協会:セメント系固化材による地盤改良マニュアル第4版、2012年



## 6.おわりに

2011年3月11日に発生したマグニチュード9.0の東北地方太平洋沖地震により、東日本の太平洋側を中心として広範囲に甚大な被害が発生した。

セメント協会では、セメント系固化材を用いた地盤改良の有効性を検証するため、2011年に震災調査WGを立ち上げ、活動成果を報告書「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）」に取りまとめた。

さらに、2013年度からは、東北地方に限らず全国を対象に復興・防災・減災における地盤改良工事の事例調査を開始し、本書に取りまとめた。調査にあたり、北海道から九州まで災害対策工事に携わった多くの関係者の皆様から、貴重な技術的情報を提供いただいた。

今回の調査結果は、震災からの復旧復興工事と大規模災害に向けた防災・減災工事に大きく分けられる。

復旧復興工事では、東北地方と千葉県浦安市を中心に18件の事例を収集した。特徴的なものとして、法尻に固化処理が施され、より強固な堤防（粘り強い堤防）が構築された事例（3.4節）や、震災により発生した現地のコンクリートガレキを再利用し、セメント系固化材と混ぜることにより工期短縮を図ったCSG堤の開発事例（3.7節）等があった。

防災・減災工事では、日本全国を対象に23件の事例を収集した。沈下抑制や耐震補強対策などが多くの場所で実施されていることや、小型機械の開発が進み既設構造物への耐震工事が可能となり、施工技術が多様化していることが分かった（4.8節、4.9節）。

このように新たな工法が開発され、従来の地盤改良工法と併せて災害対策にもセメント系固化材が広く普及していることが確認できた。

また、土木分野・地盤分野を代表される4人の先生方との座談会では、震災の復旧・復興に携わってこられた経験を基に貴重なご意見を伺うことができた。ご指摘いただいた課題の一つに、データの収集と蓄積がある。今後も、地盤改良工事の事例や土壌環境データなどを収集・蓄積し、種々の課題解決に役立てていきたい。

以上を取りまとめた本書が技術的かつ記録的資料として活用され、今後の防災・減災対策の一助となれば幸甚である。

## 謝辞

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

(敬称略・順不同)

- ・国土交通省北海道開発局港湾空港部
- ・国土交通省北海道開発局釧路開発建設部釧路港湾事務所
- ・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
- ・国土交通省東北地方整備局塩釜港湾・空港整備事務所
- ・国土交通省九州地方整備局
- ・国土交通省九州地方整備局筑後川河川事務所
- ・国土交通省九州地方整備局大分河川国道事務所
- ・国土交通省九州地方整備局宮崎河川国道事務所
- ・国土交通省九州地方整備局遠賀川河川事務所直方出張所
- ・独立行政法人都市再生機構
- ・独立行政法人土木研究所寒地土木研究所
- ・上北地域県民局地域整備部
- ・岩手県県土整備部河川課
- ・福島県いわき建設事務所
- ・東部公園緑地事務所
- ・大阪府立中之島図書館
- ・陸前高田市
- ・仙台市復興事業局復興まちづくり部移転工事課
- ・浦安市
- ・公益財団法人文化財建造物保存技術協会
- ・一般社団法人青森県測量設計業協会
- ・CDM 研究会
- ・陸前高田市震災復興事業 清水・西松・青木あすなろ・オリエンタルコンサルタンツ・国際航業 JV
- ・西松・長福特定建設工事共同企業体
- ・麻生フォームクリート株式会社
- ・株式会社エステック
- ・鹿島建設株式会社
- ・株式会社工藤組

- ・ケミカルグラウト株式会社
- ・五洋建設株式会社
- ・清水建設株式会社
- ・株式会社竹中工務店
- ・東京モノレール株式会社
- ・株式会社ドーコン
- ・東日本旅客鉄道株式会社
- ・株式会社不動テトラ
- ・岩手大学大学院 羽原俊祐 教授
- ・岩手大学大学院 大河原正文 准教授
- ・福岡大学 佐藤研一 教授



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

ISBN978-4-88175-131-2 C3358

---

2015年3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/>

