

# セメント系固化材を用いた水辺での活用事例と 能登半島地震に対する効果

一般社団法人セメント協会







## 序文

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

セメント協会では、2011年に発生した東北地方太平洋沖地震の直後にセメント系固化材技術専門委員会・セメント系固化材普及専門委員会のもとに震災調査ワーキンググループを組織し、被災地域においてセメント系固化材を用いて施工された改良地盤の被害状況の調査を実施した。さらに、将来の大規模災害に備えた工事として全国各地で実施されている新設・既設の土木施設や建築施設を対象としたセメント系固化材を用いた地盤改良工事の調査を実施した。これらの調査結果は、「東日本大震災におけるセメント系固化材を用いた地盤改良に関する調査報告書(2013年2月発刊)」と「大規模災害に対してセメント系固化材による地盤改良が果たす役割(2015年3月発刊)」にとりまとめた。さらに、セメント系固化材を用いた地盤改良技術のさらなる発展と普及を目指し、2016年に事例調査ワーキンググループを発足させ、セメント系固化材が適用された工事の情報を収集し、その調査結果を報告書「セメント系固化材の拡がる用途と役割(2018年4月発刊)」と「防災・減災、国土強靱化に資するセメント系固化材による地盤改良(2021年10月発刊)」に取りまとめた。

これらの4回の調査によって、セメント系固化材を用いた地盤改良技術は、液状化対策や地盤安定対策、既存構造物の耐震補強技術、災害によって発生した廃棄物の処理などのさまざまな分野・用途に用いられていること、さらに常時だけでなく地震時においても非常に高い改良効果を示していることが明らかになった。このように、今やセメント系固化材を用いた地盤改良技術は、さまざまなインフラ施設の整備に必要な不可欠な技術となっている。

事例調査ワーキンググループでは、本地盤改良技術のさらなる発展と普及を目指すと共に、地盤改良工事に従事される方々の参考となるよう、5回目の事例調査に着手した。今回の調査は、近年の豪雨災害の多発・激甚化を鑑み、河川から海岸にわたる水辺におけるセメント系固化材が適用された工事情報を収集することにした。情報収集にあたっては、全国各地の発注者、施工者などの関係機関のご協力を頂いた。また最近の新規技術として、セメント協会と広島大学が共同で検討している、セメント改良土による自立型堤防強化技術について紹介した。

事例の調査過程で2024年1月に令和6年能登半島地震が発生し石川県及び新潟県の広い地域で大規模な液状化現象が発生した。本報告書では、収集した情報・事例をとりまとめるとともに能登半島地震での被災状況とセメント系地盤改良工法の耐震効果についてもとりまとめた。

これまでの4つの調査結果と同様に、今回の調査結果もセメント系固化材による地盤改良工事を計画、設計、施工する技術者の方々に役立てて頂ければ幸甚である。セメント系固化材を用いた地盤改良技術が軟弱地盤の支持力の増強や地盤変形の防止のみでなく液状化対策としても今後ますます適用され、大地震や土砂災害などに対しても強靱なインフラ施設の整備に活用されることを期待しております。

2025年3月

セメント系固化材普及専門委員会

セメント系固化材技術専門委員会

事例調査ワーキンググループ

主査 北詰 昌樹

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

(敬称略・順不同)

主査	北詰 昌樹	東京工業大学
普及委員長	清田 正人	UBE 三菱セメント株式会社
技術委員長	宮脇 賢司	住友大阪セメント株式会社
委員	工藤 篤志	日鉄セメント株式会社
	河本 年史	株式会社トクヤマ
	重田 輝年	株式会社トクヤマ
	窪木 康雄	太平洋セメント株式会社
	菅沼 椋友	太平洋セメント株式会社
	佐々木 慎一	麻生セメント株式会社
	佐川 豪	日立セメント株式会社
	宇野 貴	住友大阪セメント株式会社

能登半島地震調査

団長	北詰 昌樹	東京工業大学
	大島 昭彦	大阪公立大学

河川堤防強化 WG

主査	半井 健一郎	広島大学
----	--------	------

事務局	小宮山 慎一郎	一般社団法人セメント協会
	中村 弘典	一般社団法人セメント協会
	瀧波 勇人	一般社団法人セメント協会
	伊藤 孝文	一般社団法人セメント協会

## 目次

1. はじめに .....	1
2. 水害の発生状況 .....	2
3. 調査概要 .....	4
4. ため池・砂防における地盤改良工事	
4. 1 調整池の液状化対策に適用された深層混合処理工 .....	6
4. 2 改良土による砂防堰堤の築堤 .....	10
4. 3 遊水地の整備における固化破碎土の活用 .....	17
4. 4 ため池の浚渫及び埋立におけるセメント系固化材の活用 .....	23
4. 5 農業用ため池の整備における地盤改良工 .....	26
5. 海岸における地盤改良工事	
5. 1 高含水比浚渫土を濃縮処理後に固化処理した事例 .....	30
5. 2 海岸堤防の耐震対策に適用された中層混合処理工 .....	36
5. 3 浚渫土改良による空港用地造成 .....	40
6. 河川における地盤改良工事	
6. 1 河床掘削における仮橋工での浅層混合処理工 .....	42
6. 2 河道掘削土砂をセメント改良し道路盛土へ有効利用 .....	44
6. 3 河川堤防内の地盤改良に適用された中層混合処理工 .....	48
7. 地盤改良技術の河川堤防への適用に関する取り組み .....	50
8. 能登半島地震調査 .....	55
8. 1 能登半島地震について .....	55
8. 2 調査概要 .....	57
8. 3 地震に対する地盤改良技術の有効性 .....	58
8. 4 復旧・復興において地盤改良技術が果たす役割 .....	65
9. おわりに .....	72
謝辞 .....	73

## 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場合は、セメント系固化材又は固化材と称する。

### 汎用固化材

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

### 特殊土用固化材

汎用固化材のうち、改良土からの六価クロム溶出を抑制する効果がある固化材。

### 高有機質土用固化材

腐植土・有機質土・ヘドロなどの有機物含有量の多い土に効果がある固化材。

## 1. はじめに

セメント系固化材の年間国内販売数量は近年では 700 万トン～800 万トンで推移しており、高い水準を維持している。この理由としては、近年激甚化している豪雨を受けた復旧復興工事、国土強靱化を目指した防災・減災工事など幅広く活用されていることが一因として挙げられる。また、最近では河川・ため池・海岸などの水辺での適用事例も増えており、今後さらなる需要が見込まれている。

このような中、セメント協会事例調査 WG では、発注者、設計者、施工者、大学などの関係機関の協力のもと、特に水辺での適用事例に注目した事例収集を行い、河川の上流から海岸までの適用事例が得られた。

また、2024 年 1 月 1 日に発生した令和 6 年能登半島地震では、液状化や側方流動など地盤に起因した災害が多発し、甚大な被害が生じた。このため、事例調査ワーキンググループでは 2025 年 1 月 28 日～30 日にかけて石川県内での現地調査や行政へのヒアリングを実施した。

本報告書はこれらの活動成果を取りまとめたものである（調査期間 2023 年～2025 年）。

本報告書の構成は以下のとおりである。

「1 章 はじめに」では、本調査の概要を簡単に示した。

「2 章 水害の発生状況」では近年の降雨傾向と水害の発生状況について整理し、水辺における治水・利水施設の強靱化の重要性を示した。

「3 章 調査概要」では 4 章、5 章、6 章で紹介する工事の概要と施工場所を示した。

「4 章～6 章」では河川の上流から海岸にかけて「ため池・砂防」、「河川」、「海岸」に区分して、11 件の地盤改良工事を具体的に紹介した。実務者の参考となるようセメント系固化材の種類、添加量、目標高度、改良形式、改良深など改良工事の仕様をできる限り紹介し、今後の業務に役立つような掲載とした。

「7 章」では、広島大学とセメント協会が共同で検討している、河川堤防内部に改良体の自立壁を構築することで、越流に対して粘り強く耐える技術について紹介する。

「8 章 能登半島地震調査」では、地震やその被害の概要、現地調査した物件の状況、地震に対してセメント系固化材を用いた地盤改良がどのように減災や復旧・復興に寄与したかについて報告する。

「9 章 おわりに」では、本事例調査を総括した。

## 2. 水害の発生状況

近年、気候変動等の影響により、時間雨量 50mm を超える短時間強雨や、総雨量が数百 mm から千 mm を超えるような大雨が発生し、全国各地で毎年のように甚大な被害が発生している。時間雨量 50mm 以上の年間発生回数は、1976 年から 1985 年の 10 年間における平均回数は 226 回であるが、2014 年から 2023 年の 10 年間の平均回数は 330 回と増加傾向（1.5 倍）を示している。（図 1）

また、表 1 に示すように、氾濫危険水位を超過した河川数も多くなっており、水害の危険性が高い状況が続いているといえる。

この傾向は今後も続くと考えられており、水害の更なる頻発・激甚化が懸念されている。

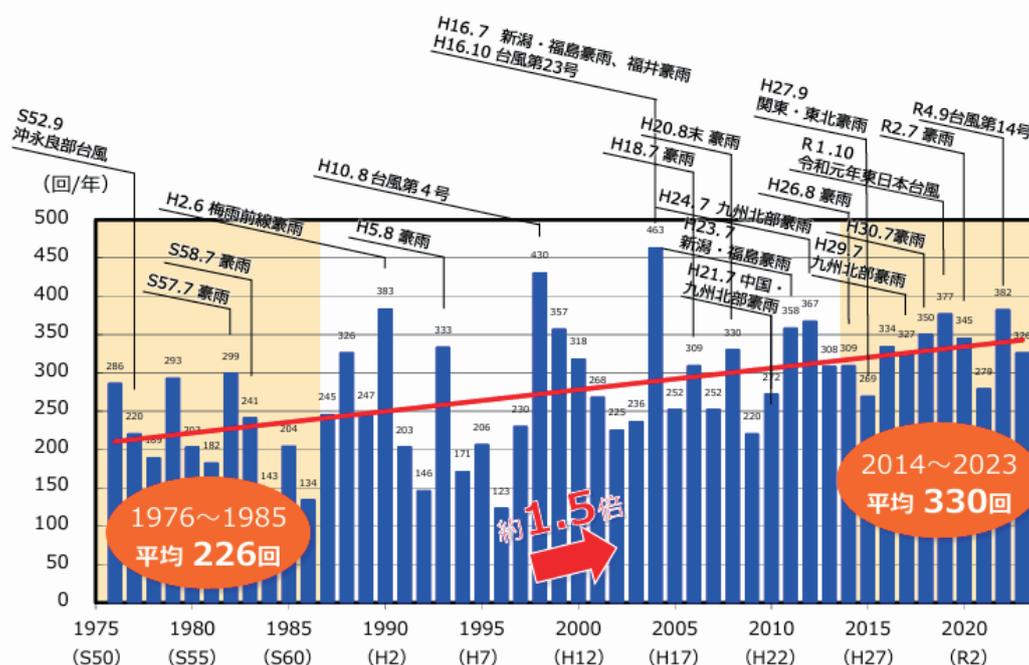


図 1 時間雨量 50mm を上回る短時間降雨の発生係数<sup>1)</sup>

表 1 氾濫危険水位を超過した河川数（令和 5 年 3 月 31 日時点）<sup>2)</sup>

	国管理河川	都道府県管理河川
平成27年	18	143
平成28年	37	331
平成29年	46	414
平成30年	61	400
令和元年	58	321
令和2年	24	191
令和3年	32	297
令和4年	23	252
令和5年	32	305

※国土交通省が被害状況等のとりまとめを行った災害において、氾濫危険水位を超過した河川数を計上  
 ※同一の河川が、2つの異なる災害で氾濫危険水位を超過した場合や、2つの異なる都道府県で氾濫危険水位を超過した場合は、2河川として計上しているが、同一の災害で複数回超過した場合は1河川として計上

**【参考資料】**

1) 国土交通省 水管理・国土保全局：水害レポート 2023

[https://www.mlit.go.jp/river/pamphlet\\_jirei/pdf/suigai2023.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/pamphlet_jirei/pdf/suigai2023.pdf) (2025年1月現在)

2) 国土交通省 水管理・国土保全局：2024 河川データブック、令和6年11月

[https://www.mlit.go.jp/river/toukei\\_chousa/kasen\\_db/pdf/2024/0-1all.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen_db/pdf/2024/0-1all.pdf) (2025年1月現在)

### 3. 調査概要

事例調査 WG では、2 章で示した状況を鑑み、河川、海岸、ため池などの水辺における地盤改良の需要は今後も大きいと考えた。そこで本調査では関係機関やセメントメーカーへのアンケート、ヒアリングにより、図 1、表 1 に示すように河川の上流から海岸までの計 11 件の水辺での地盤改良事例を詳細に報告する。

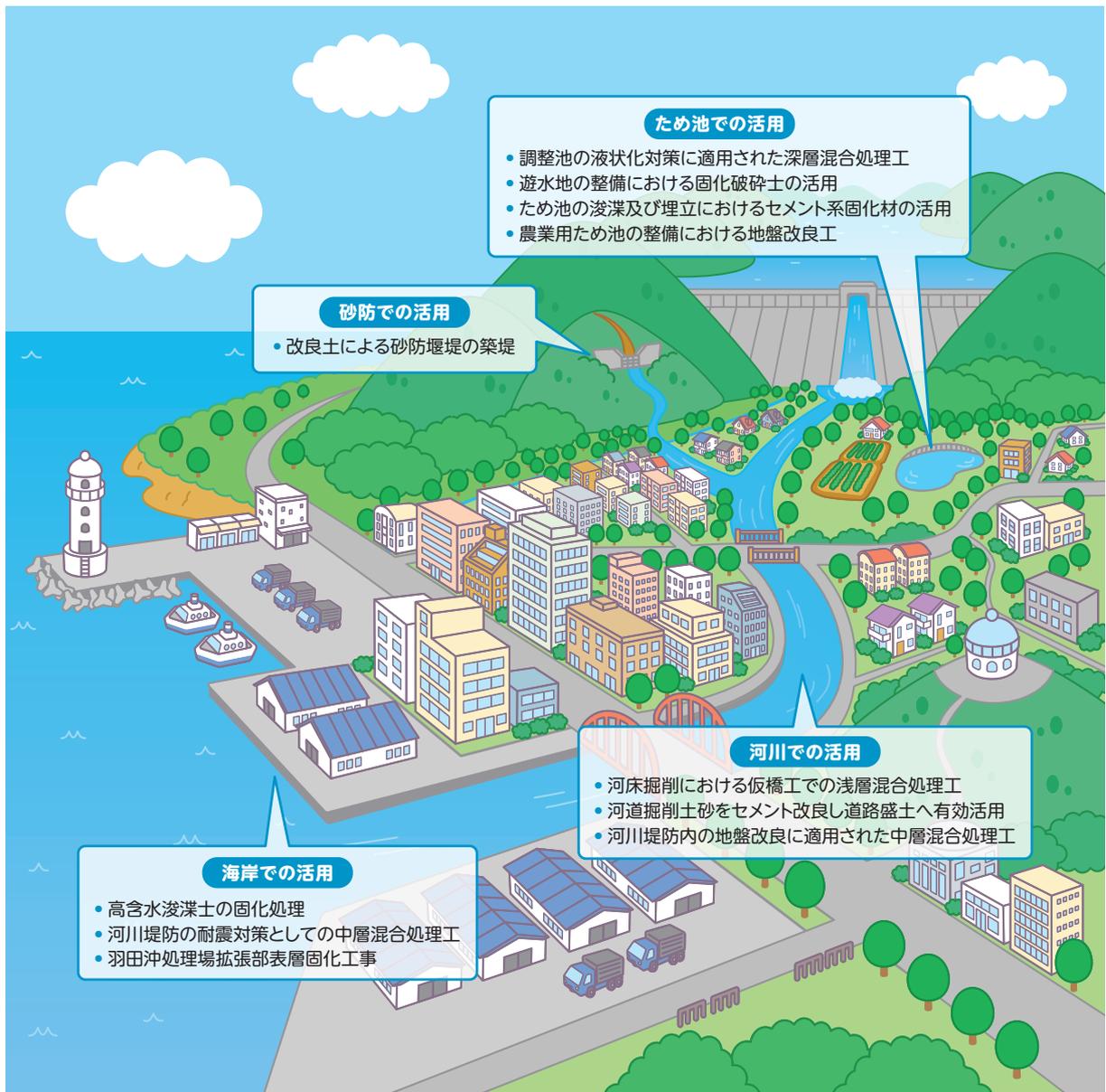


図 1 収集した事例の適用箇所

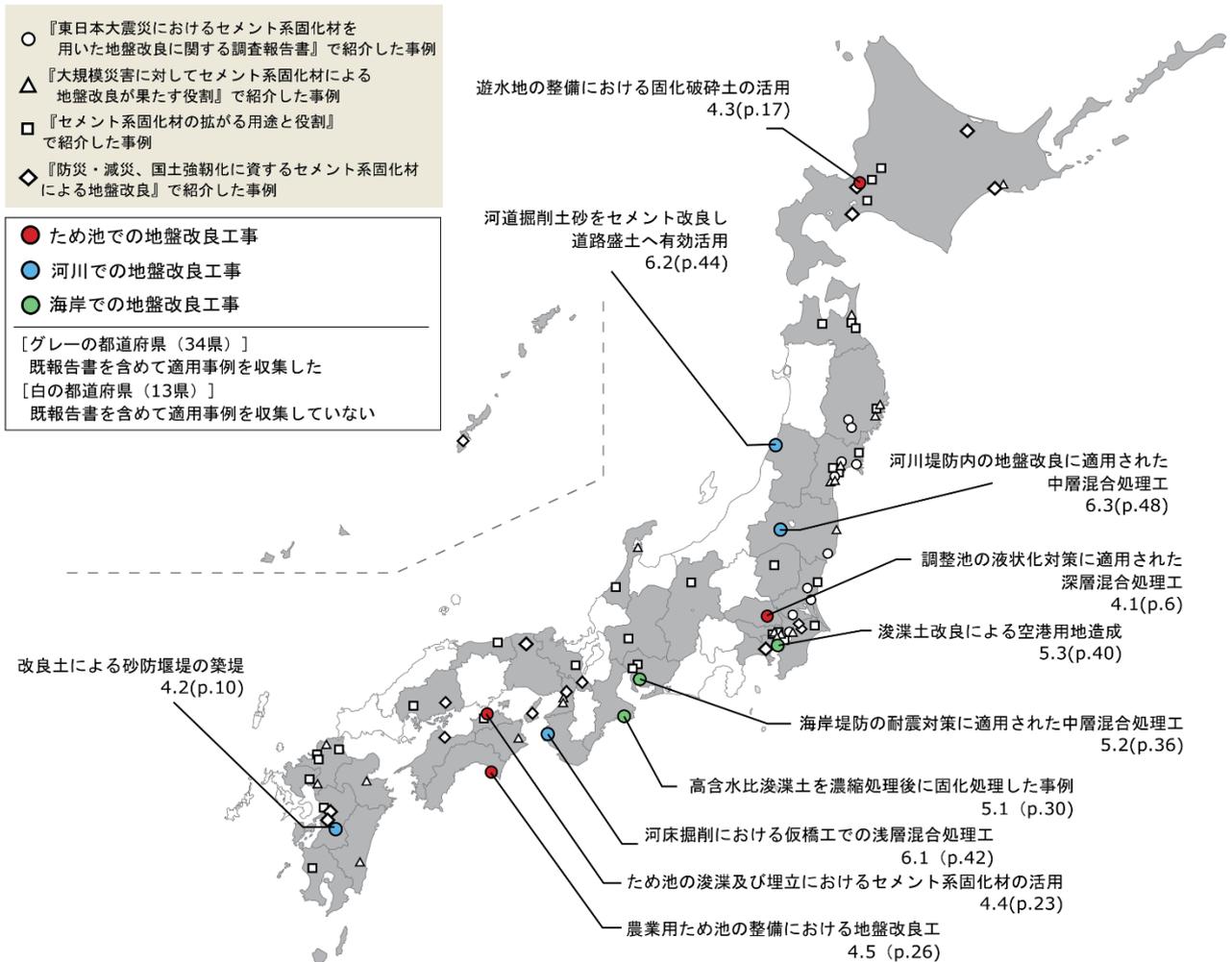


図2 詳細な工事事例を収集した事例

表1 掲載事例一覧

掲載	節題	用途 (改良目的)	地域
4.1	調整池の液状化対策に適用された深層混合処理工	ため池・堤体補強	埼玉県
4.2	改良土による砂防堰堤の築堤	砂防・堤体補強	熊本県
4.3	遊水地の整備における固化破砕土の活用	ため池・堤体補強	北海道
4.4	ため池の浚渫及び埋立におけるセメント系固化材の活用	ため池・浚渫工事	香川県
4.5	農業用ため池の整備における地盤改良工	ため池・堤体補強	高知県
5.1	高含水比浚渫土を濃縮処理後に固化処理した事例	海岸・浚渫工事	三重県
5.2	海岸堤防の耐震対策に適用された中層混合処理工	海岸・堤体補強	愛知県
5.3	浚渫土改良による空港用地造成	海岸・造成工事	東京都
6.1	河床掘削における仮橋工での浅層混合処理工	河川・浚渫工事	和歌山県
6.2	河道掘削土砂をセメント改良し道路盛土へ有効利用	河川・浚渫工事	山形県
6.3	河川堤防内の地盤改良に適用された中層混合処理工	河川・堤体基礎	福島県

#### 4. ため池・砂防における地盤改良工事

##### 4. 1 調整池の液状化対策に適用された深層混合処理工

##### ～吉川美南駅東口周辺地区第二調整池～

#### 1. はじめに

吉川市では、平成24年3月に開業したJR武蔵野線吉川美南駅の東口周辺地区について、第5次総合振興計画における「複合新拠点」の位置付けに基づき、平成29年6月23日に「越谷都市計画事業吉川美南駅東口周辺地区土地区画整理事業」が決定された。

本事業の土地造成に伴う第二雨水調整池において、液状化対策を目的とした深層混合処理工法による地盤改良工事について紹介する。



図1 吉川美南駅東口周辺地区土地区画整理事業<sup>1)</sup>

#### 2. 地盤改良の仕様

地盤改良工の平面図を図2に断面図を図3に示す。

地盤改良工は、遮水工として特殊軽量鋼矢板止水工法、液状化対策工として深層混合処理工法による格子状改良を実施している。格子状改良工法は、液状化対象地盤を格子状に固化改良することにより、固化地盤で囲まれた砂地盤のせん断変形を抑止し、過剰間隙水圧の発生を防止することで大変形を防ぐ液状化対策である。地盤改良の仕様を表1に、施工状況を写真1に、セメントスラリー吐出状況を写真2に示す。

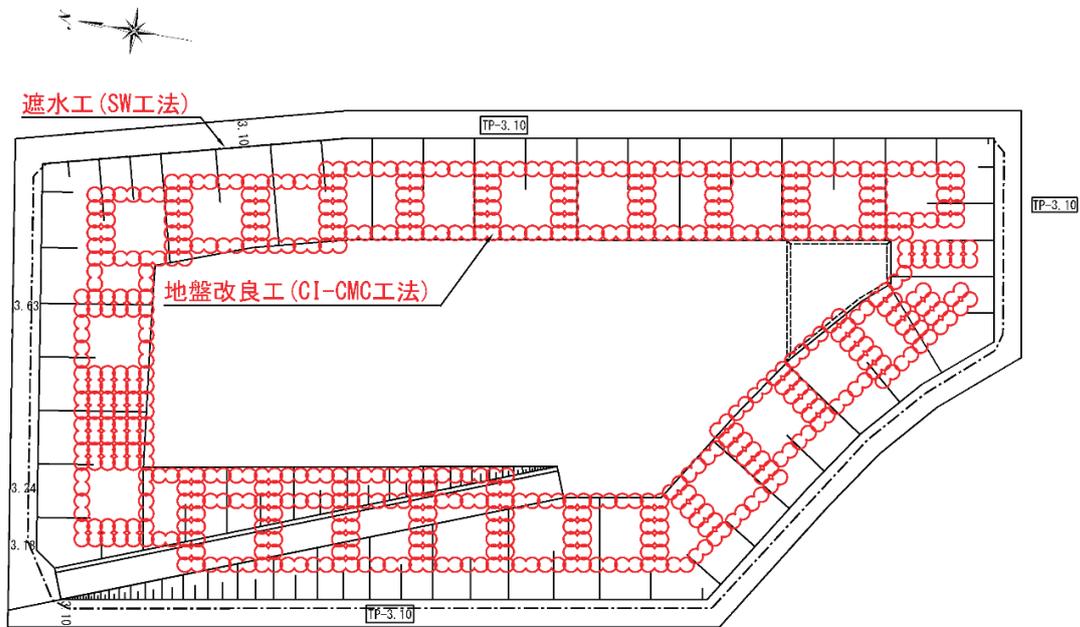


図2 地盤改良工の平面図

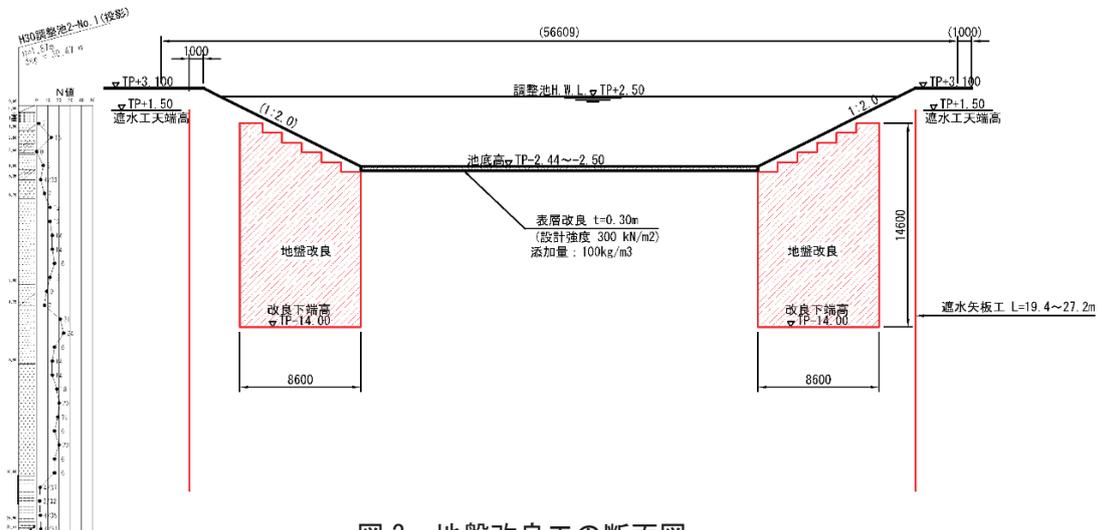


図3 地盤改良工の断面図

表1 地盤改良の仕様(深層混合処理工法)

項目	仕様
工法	深層混合処理工法 スラリー攪拌式(変位低減型) φ1600×2軸(ラップ)
打設長	16.0m
改良長	10.1~14.6m
設計基準強度 $q_{uck}$	600kN/m <sup>2</sup>
固化材	特殊土用固化材
添加量	237kg/m <sup>3</sup> (空打ち部: 貧配合 70kg/m <sup>3</sup> )



写真1 施工状況



写真2 セメントスラリー吐出状況<sup>2)</sup>

### 3. 施工管理および品質管理

事後調査結果を表2に、杭頭の出来形管理状況を写真3に示す。施工箇所は、道路や河川護岸に近接していたが、大きな変状もなく施工が完了した。また、品質管理として、施工後ボーリングを用いて改良体を採取し、一軸圧縮試験を実施した結果（表2）、設計基準強度 $\sigma_{28}$ を満足した。

表2 事後調査結果（改良体強度）

事後ボーリング	位置	一軸圧縮強度 $\sigma_{28}$ (kN/m <sup>2</sup> )	判定 ( $\sigma_{28} \geq 600 \text{ kN/m}^2$ )
No.1	上	965	○
	中	1083	
	下	1080	
No.2	上	835	○
	中	1008	
	下	992	
No.3	上	991	○
	中	1084	
	下	1010	



写真3 杭頭の出来形管理状況

#### 4. おわりに

「越谷都市計画事業吉川美南駅東口周辺地区土地区画整理事業」における調整池工事において、セメント系固化材を用いた地盤改良が適用され、計画通り地盤改良が完了した。

#### 【参考資料】

- 1) 吉川市公式ホームページ

<https://www.city.yoshikawa.saitama.jp>

- 2) 公益財団法人 高速道路調査会

<https://catalog.express-highway.or.jp/products/p10011171.html>

## 4. 2 改良土による砂防堰堤の築堤～熊本県球磨川上流圏域・小さで川砂防堰堤工～

### 1. はじめに

小さで川砂防堰堤工は、熊本県球磨郡錦町西地内の球磨川上流圏域に位置する砂防堰堤である。

球磨川上流圏域は、人吉(球磨)盆地の上流にあり、周りを急峻な山地が取り囲んでいる。また、球磨川上流圏域内の河川は、昭和40年から50年代に災害復旧や河川改修を実施してきたが、河川構造物の老朽化や流下能力が不足している個所がある。

小さで川砂防堰堤の施工は分割で実施されており、現在(令和6年2月末時点):副堤(コンクリート堰堤)及び水叩きが完成、本堤(砂防ソイルセメント堰堤)の朱色部分が完成している。

### 2. 適性判断試験について

適性判断試験は、材料試験結果と固化効率試験結果を統計解析して強度と固化材の関係式を求めるもので、主に下記を確認する。



図1 小さで川砂防堰堤の施工

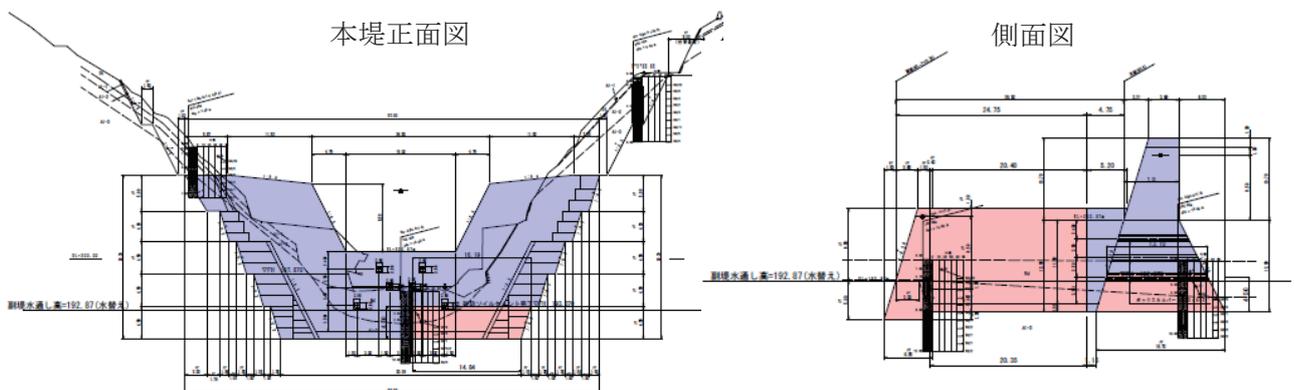


図2 砂防堰堤構造図

- ・INSEM 工法に現地土砂の適用が可能か。  
(現場での強度コントロールができ、安定した品質確保が可能な土砂か)
- ・現地土砂 100%で適用が困難な場合、改良等によって活用が可能か。
- ・目標品質を充足する単位セメント量の概量はどのくらいか、また改良の割合はどの程度か。
- ・構造安定計算に採用する単位体積重量はどの程度が妥当か。

小さで川の現地土砂の適性判断試験の結果は、令和3年(2021年)11月に報告した。採取された土砂は写真1、材料試験結果は表1のとおりである。現地土砂は、礫分が主体で砂分を適度に含み、シルト・粘性土が10%未満を示したので、粒径分布からは良質の土砂である。

ただし、有機不純物を多く含むことから汎用型セメント系固化材の利用が困難と判断した。これらの試験結果より、指標分類を表2に、指標チャートを図3に示す



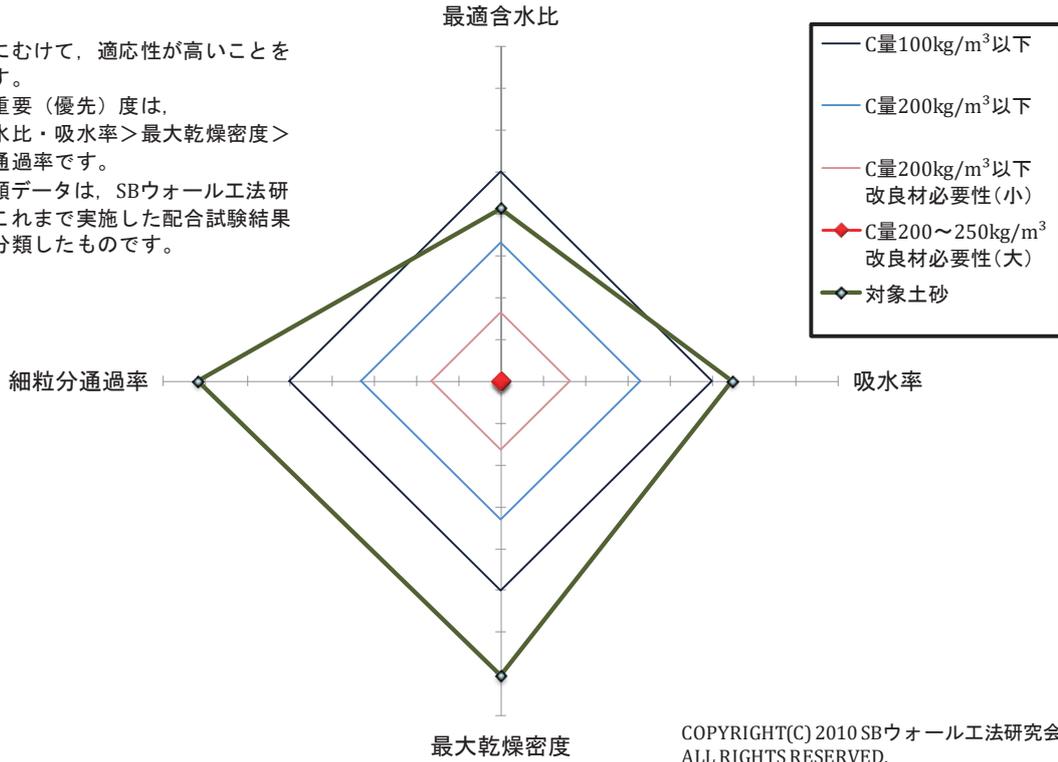
写真1 現地土砂

表1 材料試験等結果一覧

試験項目		試験方法 JIS規格	小さで川
土の粒度試験 (%)	礫分	A1204	64.6
	砂分		28.4
	シルト・粘土		7.0
土粒子の密度試験 (Mg/m <sup>3</sup> )		A1202	2.716
細骨材の密度および吸水率試験	絶乾密度 (Mg/m <sup>3</sup> )	A1109	2.46
	吸水率 (%)		3.97
粗骨材の密度および吸水率試験	絶乾密度 (Mg/m <sup>3</sup> )	A1110	2.48
	吸水率 (%)		3.19
突固めによる土の締固め試験 (E法)	最大乾燥密度 (Mg/m <sup>3</sup> )	A1210	2.085
	最適含水比 (%)		10.6
土の自然含水比試験 (%)		A1203	7.0
細骨材の有機不純物試験		A1105	暗赤褐色

## 土質試験によるINSEM材適応性指標チャート

※外側にむけて、適応性が高いことを示します。  
 ※要因重要（優先）度は、  
 最適含水比・吸水率＞最大乾燥密度＞  
 細粒分通過率です。  
 ※本分類データは、SBウォール工法研究会がこれまで実施した配合試験結果を基に分類したものです。



COPYRIGHT(C) 2010 SBウォール工法研究会.  
ALL RIGHTS RESERVED.

図3 INSEM材適応性指標チャート

表2 土質試験結果による指標分類

土質試験結果指標分類		※H21年3月末現在の試験実績による分類				
土質試験項目	指標分類	分類A	分類B	分類C	分類D	対象土砂
最適含水比(%)		8	13	25	50	10.6
細骨材吸水率(%)		8	10	25	50	3.97
最大乾燥密度(g/cm³)		1.8	1.7	1.4	1.1	2.085
細粒分通過率(%)		20	25	40	50	7.0
配合の目安		C量100kg/m³以下	C量200kg/m³以下	C量200kg/m³以下 改良材必要性(小)	C量200~250kg/m³ 改良材必要性(大)	

COPYRIGHT(C) 2010 SBウォール工法研究会.ALL RIGHTS RESERVED.

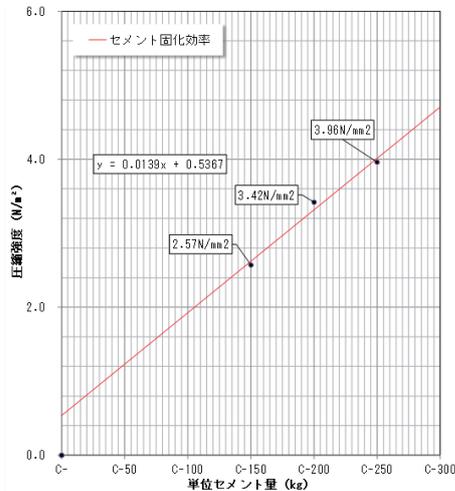


図4 固化効率試験結果

適応性分類と指標チャートから、固化材の添加量の目安は 200kg/m<sup>3</sup> 以下となり、有機不純物を多く含むことから、高有機質土用セメント系固化材の選定が適切と判断した。

高有機質土用セメント系固化材を用いた固化効率試験 7 日圧縮強度の結果を図 4 に示す。

適性判断試験で、小さで川砂防堰堤のソイルセメントは、現地土砂 100% 利用で、高有機質土用セメント系固化材を最小添加量：100kg/m<sup>3</sup> とし、単位体積重量：20.8kN/m<sup>3</sup> の採用を提案した。

### 3. 配合試験について

小さで川砂防堰堤の INSEM 材（内部材）の配合試験結果は、令和 5 年（2023 年）3 月に報告した。適性判断試験実施後、1 年半が経過していた。配合試験での検討項目は下記の①～④に示す通りである。

INSEM 材（内部材）・本体工の要求品質を表 3 に示す。適性判断試験報告書を踏まえて、配合試験ケースを表 4 の 3 ケースとした。

配合試験 3 ケースから下記の相関を確認し、これらの関係から、現地土砂 100% を利用する場合の示方配合（案）は、表 5 となった。

また、配合試験結果で、単位体積重量は、20.3kN/m<sup>3</sup> 以上も確認できた。

- ①：【配合試験結果：ピーク強度と含水比の関係】
- ②：【ピーク強度と単位セメント量の関係】
- ③：【ピーク強度含水比±2.0%の強度と単位セメント量】
- ④：【ピーク強度含水比と単位セメント量の関係】

表 3 本体工・要求品質一覧表

目標項目	設定値	備考
単位体積重量 (湿潤)	18.6kN/m <sup>3</sup> 以上	実施工によるサンプリングコア 密度試験値
室内配合試験における 単位体積重量	19.6kN/m <sup>3</sup> 以上	室内配合試験目標値
現場基準強度	3.0N/mm <sup>2</sup>	実施工によるサンプリングコア
配合強度	4.5N/mm <sup>2</sup>	室内配合試験での標準供試体
最小管理強度	2.0N/mm <sup>2</sup>	品質管理による供試体強度

表 4 配合試験ケース

配合 ケース	混合割合 (%)		単位セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	試験含水比 (%)			配合数
	現地土砂	改良材		①	②	③	
CASE-1	100	0	100(GS225)	8.00	10.0	12.0	3
CASE-2	100	0	150(GS225)	8.50	10.5	12.5	3
CASE-3	100	0	200(GS225)	9.00	11.0	13.0	3

表 5 示方配合（案）

適用部位	目標強度 (配合強度)	単位 セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	使用材料混合割合		設定含水比
			現地土砂	改良材	
本体工	$\sigma_{28}=3.0\text{N/mm}^2$ (4.5N/mm <sup>2</sup> )	100(GS225)	100%	0%	9.00%+4.0 (9.00%~13.0%)

#### 4. 試験施工について

試験施工は、本施工前に下記の事項を確認する目的で実施する。

- ・室内試験で得られた示方配合（案）で要求品質を満足する。
- ・練混ぜ時及び固化後における INSEM 材（内部材）の性状を把握する。
- ・施工管理方法及び管理基準値を提案する。
- ・振動ローラ等による締固め回数を確認する。

INSEM 材（内部材）の敷均し・転圧（仕上げ）厚さは 25cm を目標とする。本施工時に使用する機器類と転圧試験ケースを表 6 に示す。試験施工のヤード整地計画及び各種測定・試験の予定位置を図 5 に、試験結果を表 7 に示す。

表 6 敷均し・転圧試験ケース

転圧ケース	締固め機械 (振動ローラ)	転圧(仕上げ)厚さ (cm)	層 数	転圧回数			備 考
				6 回	8 回	10 回	
CASE. ①	コンバインド型	25	1	6 回	8 回	10 回	標準部
				○	○	○	
CASE. ②	ハンドガイド式	25	1	6 回	8 回	-	標準部・端部
				○	○	-	
CASE. ③	振動コンパクタ	25	1	6 回	8 回	-	端部
				○	○	-	

表 7 試験施工結果一覧表

管理項目	確認方法	管理基準値	試験結果	判 定	備 考
自然含水比測定	フライパン法	設定含水比 $\omega=9.00\%+4.0\%$	別途計算書より 製造含水比 $\omega=10.13\%$	OK	
練混ぜ状況	フェノールフタレイン 溶液散布	赤紫色に着色	赤紫色に変化	OK	良好な混合状況を確認
撤出し厚	水準測量 転圧試験	仕上厚 25cm となる厚さ	敷均し 26cm	OK	コンバインド型
					ハンドガイド式
					振動コンパクタ
規定転圧回数	沈下量 現場密度試験 圧縮強度試験	基準値を充足	コンバインド型 6 回	OK	サンプリングコア による確認
			ハンドガイド式 6 回		
			振動コンパクタ 6 回		
圧縮強度	標準供試体	$\sigma_{28}=4.5\text{N}/\text{mm}^2$ 以上 (参考値)	11.1N/mm <sup>2</sup>	OK	本体工
	サンプリングコア	$\sigma_{28}=3.0\text{N}/\text{mm}^2$ (最小管理強度 2.0N/mm <sup>2</sup> ) 以上	16.3N/mm <sup>2</sup>	OK	コンバインド型
			17.4N/mm <sup>2</sup>	OK	ハンドガイド式
			16.9N/mm <sup>2</sup>	OK	振動コンパクタ
単位体積質量	現場密度試験 (R1 法)	湿潤密度の場合 $\gamma=1.897\text{g}/\text{cm}^3$ 以上 ( $\gamma=18.6\text{kN}/\text{m}^3$ 以上)	コンバインド型(6 回) 2.147g/cm <sup>3</sup>	OK	単位体積質量の基準値は、設計における安定計算で用いられた値を採用した。
			ハンドガイド式(6 回) 2.201g/cm <sup>3</sup>	OK	
			振動コンパクタ(6 回) 2.215g/cm <sup>3</sup>	OK	
	標準供試体	$\gamma=19.6\text{kN}/\text{m}^3$ 以上	22.3kN/m <sup>3</sup>	OK	
	サンプリングコア	$\gamma=18.6\text{kN}/\text{m}^3$ 以上	コンバインド型 (6 回) 22.3kN/m <sup>3</sup>	OK	
			ハンドガイド式 (6 回) 22.2kN/m <sup>3</sup>	OK	
			振動コンパクタ (6 回) 21.8kN/m <sup>3</sup>	OK	

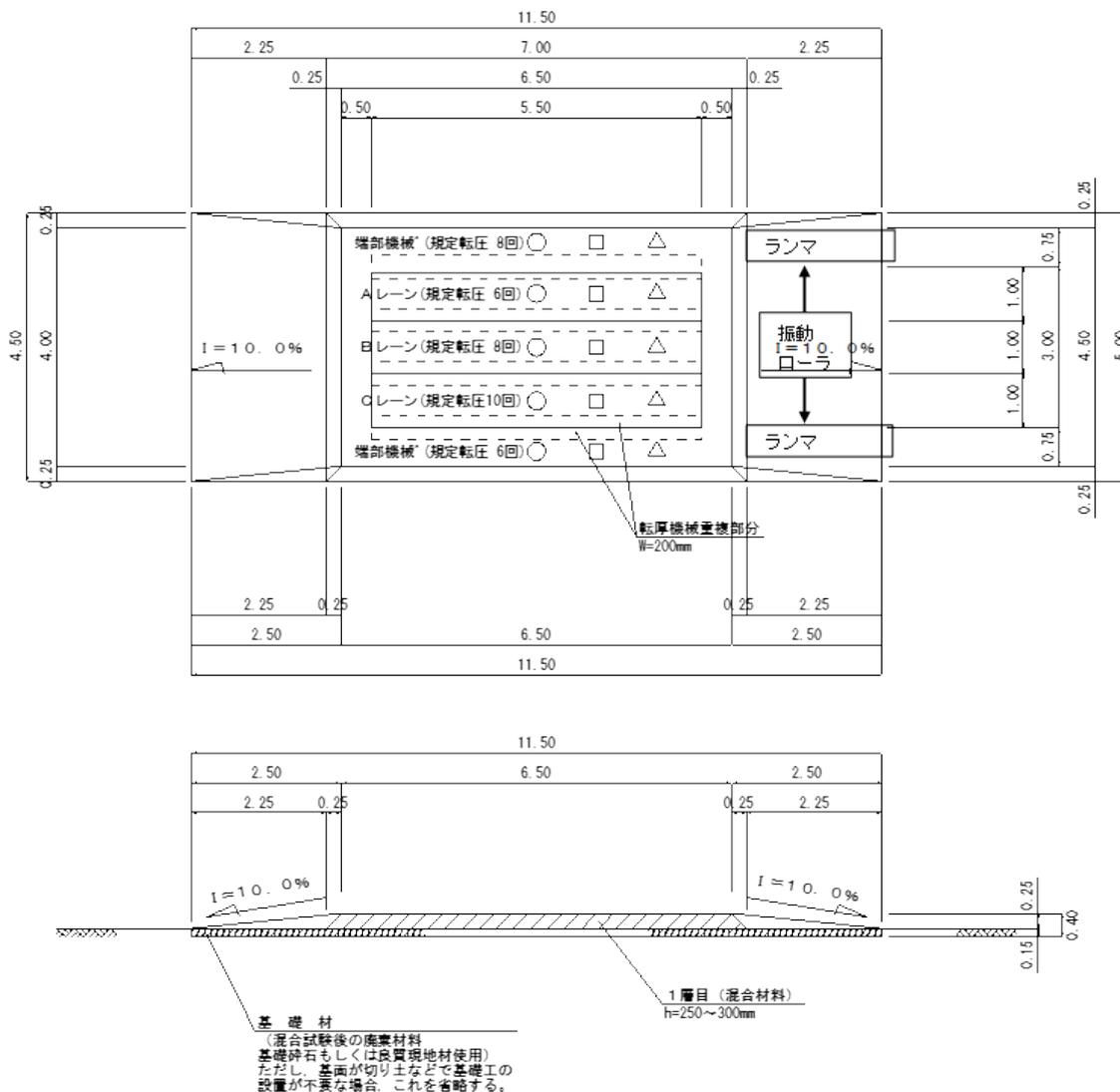


図5 試験施工ヤード整地計画及び試験位置図

## 5. 施工状況（試験施工及び本施工）

小さで川砂防堰堤では、プラントを設置してINSEM材（内部材）を製造した。試験施工では示方配合より表8を配合ケースに採用し、練混ぜ時の目標含水比は、10.13%とした。施工の様子を写真2~8に示す。

表8 配合ケース

実施 ケース	単位セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	混合割合 (%)		設計含水比 (%)		備 考
		現地土砂	改良材	$\omega$	適用範囲	
CASE-1	100(GS225)	100	0	9.00	+4.0	堰堤本体工



写真2 INSEM 材製造プラント・運搬状況



写真3 試験施工ヤード・敷均し完了



写真4 試験施工・転圧状況



写真5 試験施工ヤード・転圧完了



写真6 本體工・敷均し状況



写真7 本體工・転圧状況



写真8 本體工・転圧完了

## 6. おわりに

小さく川砂防堰堤工の現地土砂は有機不純物を多く含み、汎用型のセメント系固化材による改良は不適と判断される性状を示したが、高有機質土用セメント系固化材を採用することで、現地土砂 100%を利用して目標改良強度を確保することが出来た。

有機不純物を多く含む現地土砂でも、固化材の工夫で INSEM 材（内部材）として利用出来るため、全国各地で同様の対応が期待できる。

最後に施工状況の資料提供にご協力頂いた三和建设株式会社：上田様には感謝申し上げます。

#### 4. 3 北村遊水地の整備における固化破碎土の活用

##### 1. はじめに

石狩川下流域に広がる低平地は、北海道の社会、経済、文化の中心であり、また広大な農地は国内有数の食糧供給地となっている。そのため、ひとたび洪水氾濫が起きると、**図1**のような浸水により甚大な被害が生じるおそれがある。そこで、現在、戦後最大規模の洪水流量（昭和56年8月上旬）であっても、安全に川に水を流すことができるように、北村遊水地が整備されている。**図2**に遊水地の働きを示す。平常時は農地として利用され、そこに洪水時の水を貯めることで川の水位を低下させるとともに、洪水後は貯まった水を川に戻すことが求められる。つまり、遊水地の外に洪水氾濫を生じさせないように、堤防の構築が重要となる。

本節では、北村遊水地の整備において堤防を構築するために、固化破碎土が活用された事例<sup>2)</sup>を紹介する。

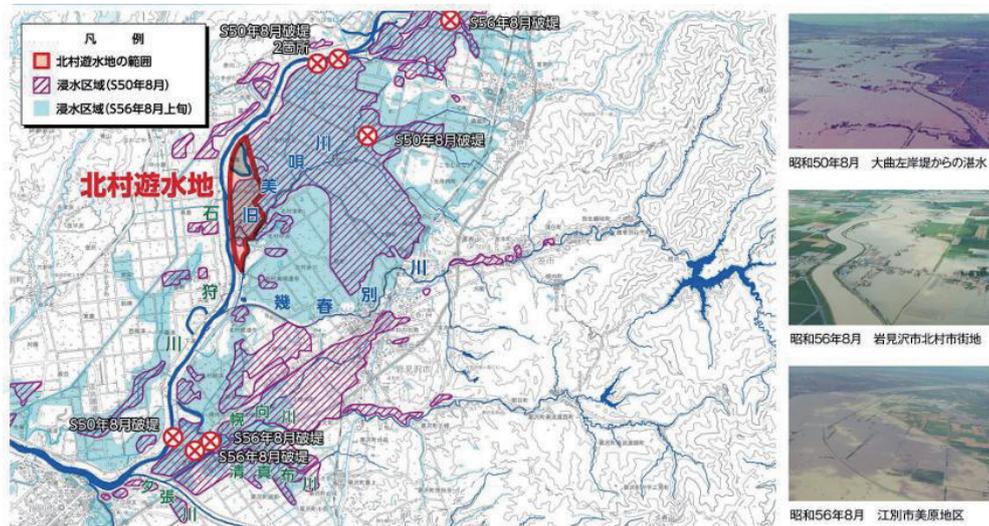


図1 浸水実績図<sup>1)</sup>



図2 遊水地の働き<sup>1)</sup>

## 2. 固化破碎土の採用経緯

北村遊水地は面積 950ha、容量 4,200 万 m<sup>3</sup> と大規模であり、全長 17.6km の堤防を整備するためには約 450 万 m<sup>3</sup> の土砂が必要とされた。このような工事では、河川の掘削工事で発生する土砂を盛土して堤防を施工するが、本現場の土砂は高含水比で軟弱であったため、何らかの改良が必要となった。通常、高含水粘性土の改良には、良質な砂質土を混合することで改良されてきた<sup>3),4)</sup>が、良質な砂質土の発生量が少なく、新たに砂質土を購入する必要があったため、セメント系固化材での固化改良が検討された。

一方で、堤防施工箇所の地盤は、泥炭が広範囲に厚く堆積しており、堤防が施工された後、地盤の圧密沈下が促進されることが考えられた。このため、堤体材料には地盤の変形に追従できるように、強度が小さく、また供用中に強度が増加しないことが求められた。そこで、強度発現を抑制するために、一度、固化した改良土を破碎した「固化破碎土」を締固めて、堤防を施工する方法が採用されることになった。



(a) 高含水粘性土 (固化前)

(b) 固化破碎土

写真 1 固化破碎土の外観<sup>2)</sup>

## 3. 施工概要

固化破碎土による堤防の施工では、本施工時の固化材の種類、固化材添加量および施工方法(転圧方法)を決定するため、室内試験と試験施工が行われる。検討の流れを図 3 に示す。

### 3. 1 室内試験

#### (1) 目標値の設定

固化破碎土を堤体材料に用いるためには、①建設機械が走行できる強度、②盛土の安定性を確保できる強度、③堤防が漏水しないこと、④六価クロム溶出量が基準値以内であることの 4 項目を満足していることを確認しなければならない。各項目の目標値を表 1 に示す。

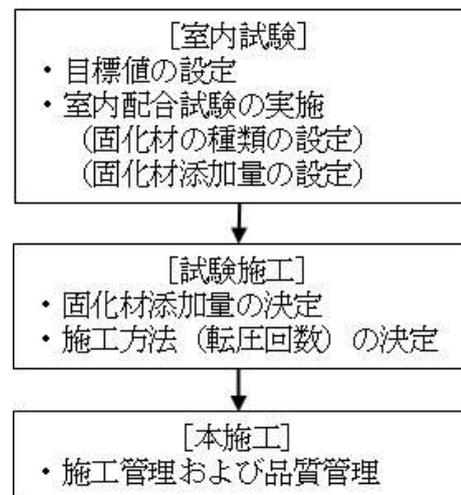


図 3 固化破碎土による堤防施工の流れ

表1 目標値の設定

項目	目標値	備考
建設機械が 走行できる強度	コーン指数 $q_c=400\text{kN/m}^2$	本工事で広く使用しているコンバインド式振動ローラ 4t 級の走行性を確保できるコーン指数が設定された。
盛土の安定性を 確保できる強度	盛土の締固め度 90%以上	河川堤防の設計では、定められた断面形状で締固め度・飽和度・空気間隙率などの締固め管理基準を満たして施工した場合、安全性を確保し堤防に求められる機能を確保するものとされている <sup>5)</sup> 。本工事では、盛土の施工管理を締固め度管理とし締固め度 90%以上 <sup>6)</sup> を確保すれば、盛土の安定性を確保できる強度とされた。
堤防が 漏水しないこと	透水係数 $10^{-6}\text{m/sec}$ 以下	堤体が漏水しないことを透水係数で判断することとした。本工事では、室内において締固め度 90%で作製した供試体について、透水係数が $10^{-6}\text{m/sec}$ 以下 <sup>7)</sup> と設定された。
六価クロム 溶出量	0.05mg/L 以下	環境庁告示第 46 号に従う。

(2) 室内配合試験

表1の目標値を満足する、固化材の種類と固化材添加量を検討するため、室内配合試験が実施された。室内配合試験で対象とする固化対象土は、工事対象の 29,000m<sup>3</sup>より 8 試料が採取され、最も含水比が大きい試料とされた。自然含水比は 60.4%、コーン指数は 108kN/m<sup>2</sup>と湿地ブルドーザでの施工ができない軟弱土であった。この試料を用いて、室内配合試験が行われた結果、目標コーン指数を満足する条件として、特殊土用固化材を用いた場合の固化材添加量 90kg/m<sup>3</sup>に設定された(図4)。透水係数および六価クロム溶出量についても、目標値を満足していることが確認された。

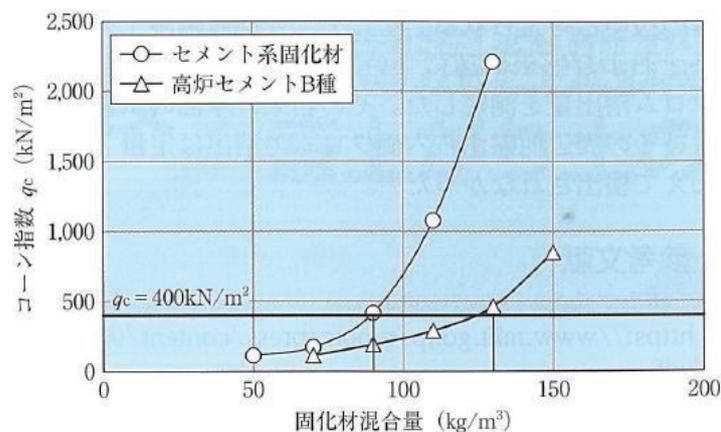


図4 固化材添加量とコーン指数の関係<sup>2)</sup>

### 3. 2 試験施工

室内試験と現場施工では、固化対象土と固化材の混合状況、締固め状況、養生条件などが異なるため、室内試験の結果をそのまま本施工に適用できない。そこで、本施工と同条件で試験施工を行い、固化材添加量と転圧回数が検討された。

現場攪拌では室内配合試験よりも混合精度が劣るため、室内配合試験で求めた固化材添加量を最低値に 90、100、110、120、140kg/m<sup>3</sup>の 5 条件が設定された。それぞれの条件に対して、転圧回数を 2、4、6、8 回の 4 条件で、盛土が試験施工された。写真 2 に試験施工の状況を、図 5 に試験施工の結果を示す。コーン指数および締固め度の目標値を満足させる転圧回数は 8 回であり、固化材添加量は 90kg/m<sup>3</sup>であった。



(a) 原土と固化材の混合状況

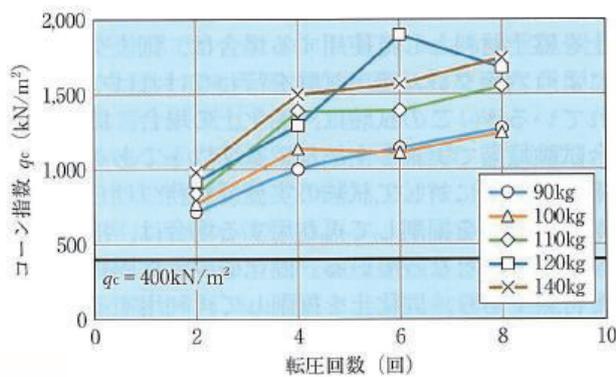


(b) 仮置き破砕状況

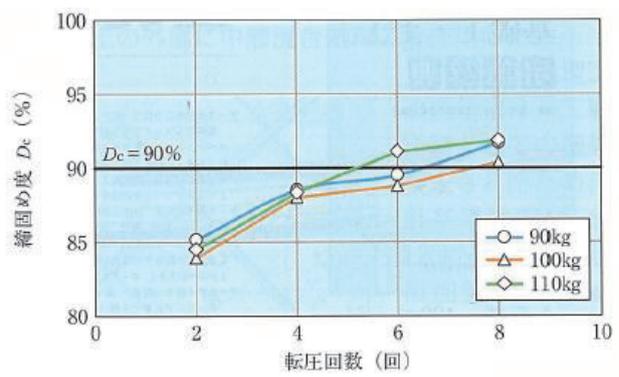


(c) 試験転圧および現場密度測定状況

写真 2 試験施工の状況<sup>2)</sup>



(a) 転圧回数とコーン指数



(b) 転圧回数と締固め度

図 5 試験施工の結果<sup>2)</sup>

### 3. 3 本施工

室内試験および試験施工の結果を基に、本施工が実施された。本試験の仕様を表 2 に示す。また、品質管理試験の結果を図 6 に示すとおり、コーン指数、締固め度のいずれも目標値を満足していることが確認された。

表 2 本施工の仕様

項目	仕様
工 法	回転式破碎混合機で作製された固化破碎土の転圧
固化対象土	粘性土
改良土量 (m <sup>3</sup> )	29,000
目標コーン指数 (kN/m <sup>2</sup> )	$q_c=400\text{kN/m}^2$ 以上
固化材の種類	特殊土用固化材
固化材添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	90
転圧回数	8 回

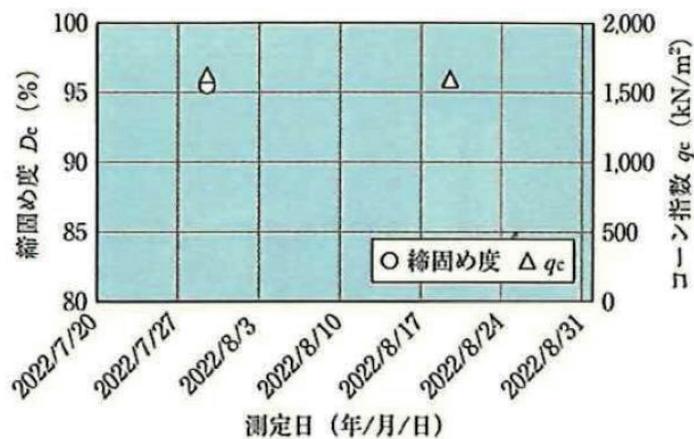


図 6 本施工時の品質管理試験の結果

#### 4. おわりに

北村遊水地の整備において、堤防が築堤されることになり、堤体材料に固化破碎土が適用された。北村遊水地の整備期間は平成 24 年度から令和 12 年度と長期間かつ大規模なものであり、今後も品質管理に留意しながら、固化破碎土の活用が期待される。

#### 【参考資料】

- 1) 国土交通省北海道開発局札幌開発建設部ホームページ：北村遊水地事業  
[https://www.hkd.mlit.go.jp/spfwamizawa\\_kasen/e1lg9c0000002gjp-att/e1lg9c0000002h1d.pdf](https://www.hkd.mlit.go.jp/spfwamizawa_kasen/e1lg9c0000002gjp-att/e1lg9c0000002h1d.pdf) (2024年11月現在)
- 2) 佐藤厚子ほか：固化破碎土の活用事例、基礎工、pp.57～60、2024.8
- 3) 西村右敏、村田陽子、小田祐嗣：天塩川下流域における河川工事発生土の築堤材料調査、地盤工学会北海道支部技術報告集、No.52、pp.229～238、2012
- 4) 安田昌弘、西川幸格、北畑大輔：河川堤防に用いる高含水比粘性土の改良工法について一千歳川遊水地群における回転式破碎混合工法の実用化に向けて一、第 54 回北海道開発局技術研究発表会、2011.2

- 5) (財) 国土技術研究センター：河川土工マニュアル、p.59、2009
- 6) 国土交通省北海道開発局：道路・河川工事仕様書、品質管理基準及び規格値、2-221、2023
- 7) 北海道開発局：漏水対策工設計施工指針（案）、p.117、1984

#### 4. 4 ため池の浚渫及び埋立におけるセメント系固化材の活用

##### 1. はじめに

本地区は香川県の中央となる坂出市の北部に位置する。地域の特産品である坂出三金時（みかん、にんじん、いも）の産地であり、県下でも有数の農業地域である。

年間降雨量が少なく、大きな河川もない香川県において、ため池は農業用水を確保するために重要な水源であり、なくてはならない土地改良施設である。しかしながら、ため池の決壊は、人命にも被害を及ぼす可能性があることから、香川県では昭和43年に「老朽ため池整備促進計画（第1次5か年計画）」を策定して以来、順次5か年計画を策定し、計画的に老朽ため池の整備を推進している。

##### 2. 工事概要

本現場は、上流から奥池上池、奥池下池、松ヶ浦池の3つの重ね池で構成されており、今回の改修工事では、経済性等を考慮して3池→2池に統廃合（奥池下池を埋立）する。

ここでは、廃止する奥池下池の減水量分を補うため、奥池上池において浚渫工を実施するとともに、その浚渫土を用いて奥池下池を埋め立てることとした。



写真1 上から奥池上池、奥池下池、松ヶ浦池

##### 3. 浚渫土改良の仕様

奥池上池の必要浚渫量は約5,500m<sup>3</sup>で、うち約3,000m<sup>3</sup>については高含水比の泥土であった(写真2)。ダンプトラックでの運搬が困難なため、セメント系固化材で改良した後、奥池下池へ運搬して埋立整地することとした。

改良土の目標強度は、施工機械の走行を考慮して100 kN/m<sup>2</sup>に設定した。対象土が浚渫土であることから汎用固化材と高有機質用固化材にて室内配合試験を実施した。経済比較において固化材は汎用固化材、添加量は215 kg/m<sup>3</sup>に決定した。

地盤改良(浚渫土改良)の仕様を表1に示す。



写真2 排水後の奥池上池

表1 地盤改良の仕様

項目	仕様
工法	浅層混合処理工法
対象土	浚渫土
固化材の種類	汎用固化材
添加方法	粉体
改良深さ (m)	0.5~2.0
目標強度 (kN/m <sup>2</sup> )	100
固化材添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	215

#### 4. 施工管理

現地における混合・攪拌はバックホウにて行った。以下にその手順を示す。

- ・ 固化材添加量と改良深から改良範囲を決定し、石灰で印を付ける(写真3)
- ・ 範囲に対して必要量の固化材を散布(写真4)
- ・ 改良深の目安として、バックホウのバケットに印を付ける(写真5)
- ・ バックホウによる混合、攪拌(写真6)
- ・ フェノールフタレイン溶液による混合状態の確認(写真7)
- ・ 浚渫工完了(写真8)

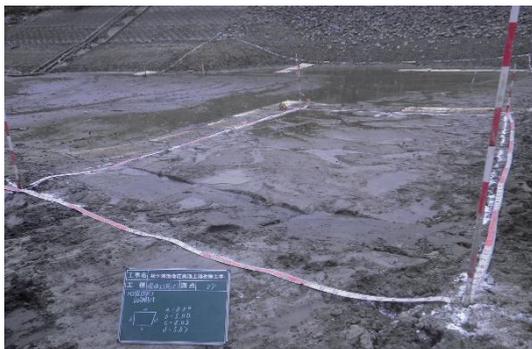


写真3 改良範囲の指示



写真4 固化材の散布



写真5 改良深さの明示



写真6 改良の様子



写真7 混合状態の確認



写真8 施工後の様子

## 5. おわりに

浚渫土を改良することで埋め立て材として有効利用でき、発生土の処理費削減にもつながった。また、施工時の六価クロム溶出試験の結果、環境基準を満たした施工を行うことが出来た。

現在、本工事も完了し、池の安全対策も施され、農業用水池として貴重な水源となっている。



写真9 統廃合完了

#### 4. 5 農業用ため池の整備における地盤改良工～高知県甚太ヶ鼻池～

##### 1. はじめに

平成30年7月豪雨などにより、多くの農業用ため池が被災し甚大な被害が発生している。図1に示すとおり、自然災害によるため池の被災原因は、豪雨と地震が主原因であり、豪雨がその大部分を占めている<sup>1)</sup>。自然災害が多発化・激甚化している中で、日本全国に約15万か所と数が多い農業用ため池を集中的かつ計画的に整備するために、「防災重点農業用ため池に係る防災工事等の推進に関する特別措置法（令和2年10月1日施行）」が制定されている。各都道府県においては、上記の特別措置法に基づき、農業用ため池の防災工事が進められているところである。

本節では、高知県の甚太ヶ鼻池の農業用ため池の防災工事で実施された、地盤改良工を紹介する。

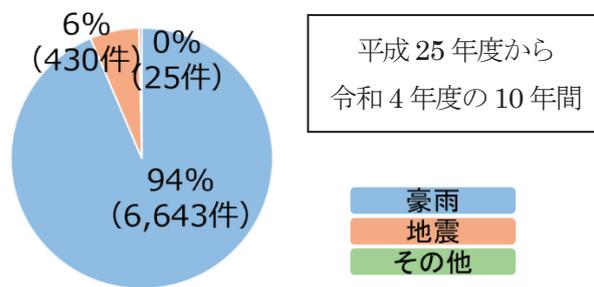


図1 自然災害によるため池の被災原因<sup>1)</sup>

##### 2. 地盤改良の仕様

農業用ため池の整備にあたり盛土が計画された。地盤調査の結果、当該地盤の支持力不足が判明したため、盛土基礎の地盤改良が実施された。また、盛土材には改良土が使用された。地盤改良の適用箇所を図2に、地盤改良の仕様を表1に示す。

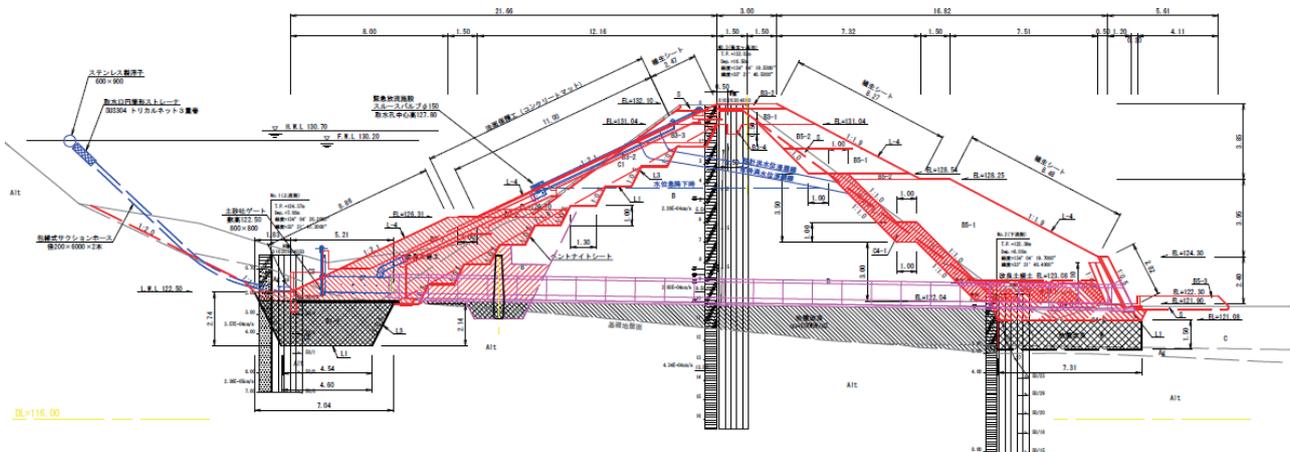


図2 地盤改良の断面図

表 1 地盤改良の仕様

項目	盛土基礎の地盤改良	盛土材の改良
工法	バックホウ改良	バックホウ改良
固化対象土	砂質土	砂質土
改良厚さ (m)	最大 2.14m	盛土高 5.3m
改良土量 (m <sup>3</sup> )	1,400m <sup>3</sup>	960m <sup>3</sup>
設計基準強度 (kN/m <sup>2</sup> )	100kN/m <sup>2</sup> 以上	100kN/m <sup>2</sup> 以上
固化材の種類	汎用固化材 (特殊土用)	汎用固化材 (特殊土用)
固化材添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	50kg/m <sup>3</sup>	50kg/m <sup>3</sup>
添加方法	粉体添加	粉体添加

### 3. 地盤改良工事の状況

#### (1) 盛土基礎の地盤改良

盛土基礎の地盤改良は、写真 1 に示す手順で実施された。まず施工位置の区割りが実施され、所定量の固化材が散布された。バックホウで混合攪拌が行われた後、転圧が行われた。



(a) 施工位置の区割り



(b) 混合攪拌



(c) 転圧

写真 1 盛土基礎の地盤改良の状況

## (2) 盛土材の改良

盛土材の改良は、写真2に示す手順で実施された。まず混合攪拌ヤードに所定量の固化材を散布したのち、バックホウで混合攪拌が行われた。その後、改良した盛土材を施工位置まで運搬し、30cm程度で撒きだされた後、転圧が行われた。



(a) 混合攪拌ヤードでの固化材散布



(b) 混合攪拌



(c) 改良した盛土材の運搬



(d) 転圧

写真2 盛土基礎の地盤改良の状況

## 4. 品質管理試験

改良体の品質管理は、一軸圧縮強さで実施された。材齢28日の一軸圧縮強さを表2に示す。盛土基礎の地盤改良、盛土材の改良ともに、設計基準強度を満足していることが確認された。

表2 一軸圧縮試験結果（材齢28日）

適用箇所	一軸圧縮強さ $q_u$	平均
	( $\text{kN/m}^2$ )	
盛土基礎の 地盤改良	729 $\text{kN/m}^2$	666 $\text{kN/m}^2$
	729 $\text{kN/m}^2$	
	540 $\text{kN/m}^2$	
盛土材の改良	465 $\text{kN/m}^2$	406 $\text{kN/m}^2$
	343 $\text{kN/m}^2$	
	411 $\text{kN/m}^2$	

## 5. おわりに

「防災重点農業用ため池に係る防災工事等の推進に関する特別措置法（令和2年10月1日施行）」に基づき、農業用ため池を整備するうえで、セメント系固化材による地盤改良が活用された。



写真3 盛土の整備状況（その1）



写真4 盛土の整備状況（その2）



写真5 整備された農業用ため池での取水状況



写真6 農業用ため池の外観

### 【参考資料】

1) 農林水産省ホームページ：ため池の被災状況

[https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai\\_saigai/b\\_tameike/index.html](https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/index.html)（2024年11月現在）

## 5. 海岸における地盤改良工事

### 5. 1 高含水比浚渫土を濃縮処理後に固化処理した事例

#### 1. 施工背景

志摩市は古くから「御食国」と呼ばれ、水産物が豊富で都や神宮に食材を提供する食のブランド地域として栄えてきた。英虞湾はそのような志摩市に位置している。綿密と受け継がれた海女漁業やおおさ、牡蠣、真珠の養殖業などが盛んな場所である（写真1～2参照）。一方、英虞湾は、閉鎖性水域であるため、陸域から流入する長年の堆積汚泥により底質及び水質の悪化が進んできた。そのため、浄化対策として、高濃度薄層浚渫を行うことにより周辺漁場の環境を回復させることが計画された。



写真1 おおさの養殖風景

英虞湾周辺は伊勢志摩国立公園に属している。プラントのすぐ隣には写真1のようにおおさ養殖が行われているような風光明媚な場所である。環境、景観への配慮はもちろんのことプラント設置場所、浚渫土（処理土）の仮置場等の土地の確保が困難な場所であった。そのため、高含水比浚渫土（表1）を濃縮処理し、減容化したものを固化処理することにより仮置土砂（改良土）の量を少なくする方法が考えられた。



写真2 英虞湾（立神地区）

濃縮剤、固化材等を均一に効率よく混ぜる方法として、連続式泥土処理工法が選定された。

表1 代表的な原泥の土質性状

試験項目	含水比 (%)	湿潤密度 (g/cm <sup>3</sup> )	土粒子の密度 (g/cm <sup>3</sup> )	粒度 (%)				液性限界 (%)	塑性限界 (%)	強熱減量 (%)	分類名 分類記号
				礫	砂	シルト	粘土分				
試料	176.0	1.263	2.679	1.4	6.2	45.4	47.0	89.2	34.5	13.4	砂まじり粘土 (CH-S)

#### 2. 英虞湾における施工

##### 2. 1 工事概要

高含水比浚渫土を濃縮後、固化処理する工事は、5年に渡り継続工事として発注された。工事に関する概要を以下に示す。

発注者：三重県伊勢農林水産事務所

工事場所：英虞湾 三重県志摩市阿児町立神

数量：浚渫土量 約 3,000~3,500m<sup>3</sup>/工事 (浚渫土量は地山数量、余堀分含む)

工期：平成 27 年~平成 31 年 (令和 1 年)

添加材：高有機質土用固化材、濃縮剤

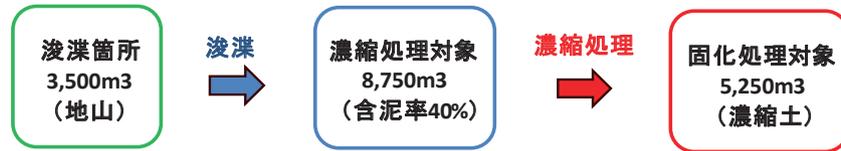


図 1 土量変化のイメージ

## 2. 2 施工方法

本工事においては大きく分けて 2 パターンの施工方法が行われた。濃縮後、直接プラント固化処理するパターンと濃縮土を養生ヤードへ貯めてから原位置固化処理するパターンである。

### (1) 濃縮後、直接プラント固化処理するパターン

高含水比浚渫土を連続式泥土処理工法により濃縮処理し、1 時間養生後 (沈降分離試験結果より)、分離した余水は水処理プラントにて濁水処理・pH 処理を行い海へ放流、濃縮

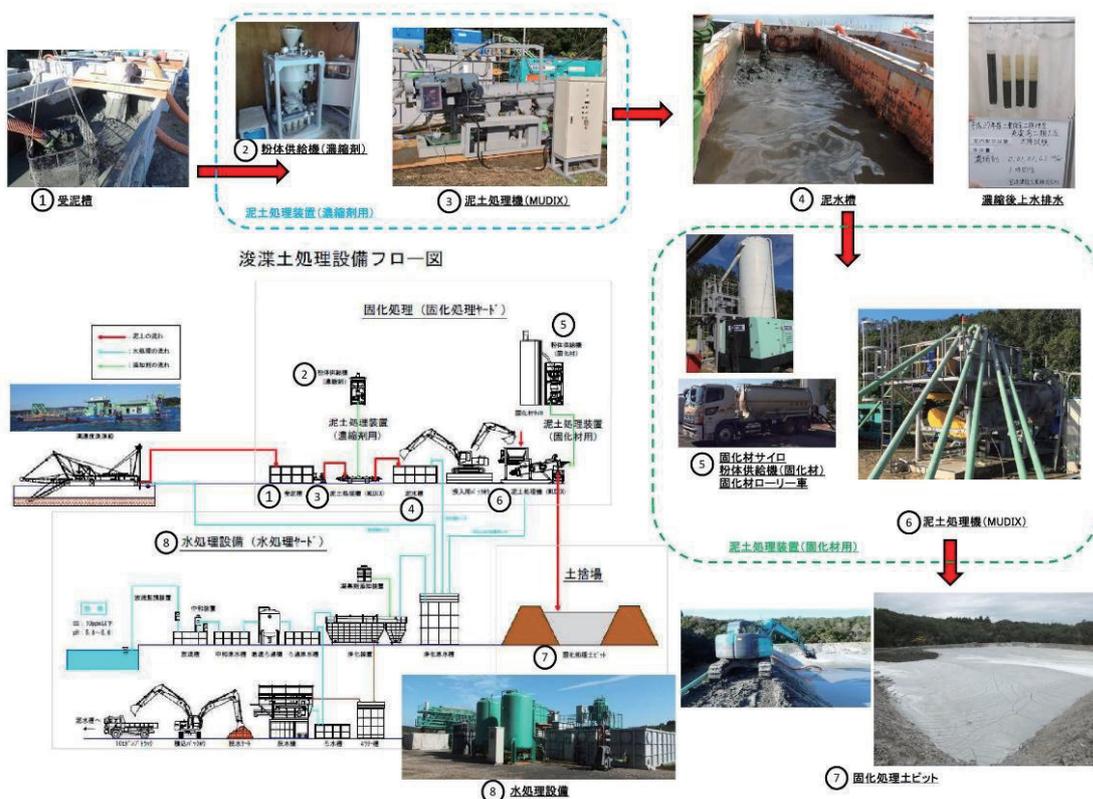


図 2 濃縮後、直接プラント固化処理するパターン

土は連続式泥土処理工法により固化処理し、養生ヤードへ直接圧送した(図 2 参照)。この方法は平成 27 年度から平成 29 年度までの 3 年度にわたり行われた。

改良土の目標強度および各材料の添加量を表 2 に示す。

表 2 目標強度および添加量

目標強度 $q_c$ (kN/m <sup>2</sup> )	700
濃縮剤添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	0.3 ~ 0.4
固化材添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	92 ~ 139



写真 3 濃縮/固化プラント



写真 4 水処理プラント



写真 5 養生ヤード



写真 6 浚渫状況

## (2) 濃縮土を養生ヤードへ貯めてから原位置固化処理するパターン

高含水比浚渫土を連続式泥土処理工法により濃縮処理し、養生後、分離した余水は水処理プラントにて濁水処理を行った。濃縮土は養生ヤードへ中継ポンプ（ブースター）にて圧送し貯留し、濃縮処理終了後にスラリープラントを設置し、固化材スラリーを混合する原位置固化処理（ロータリー式施工法）を行った(図 3 参照)。

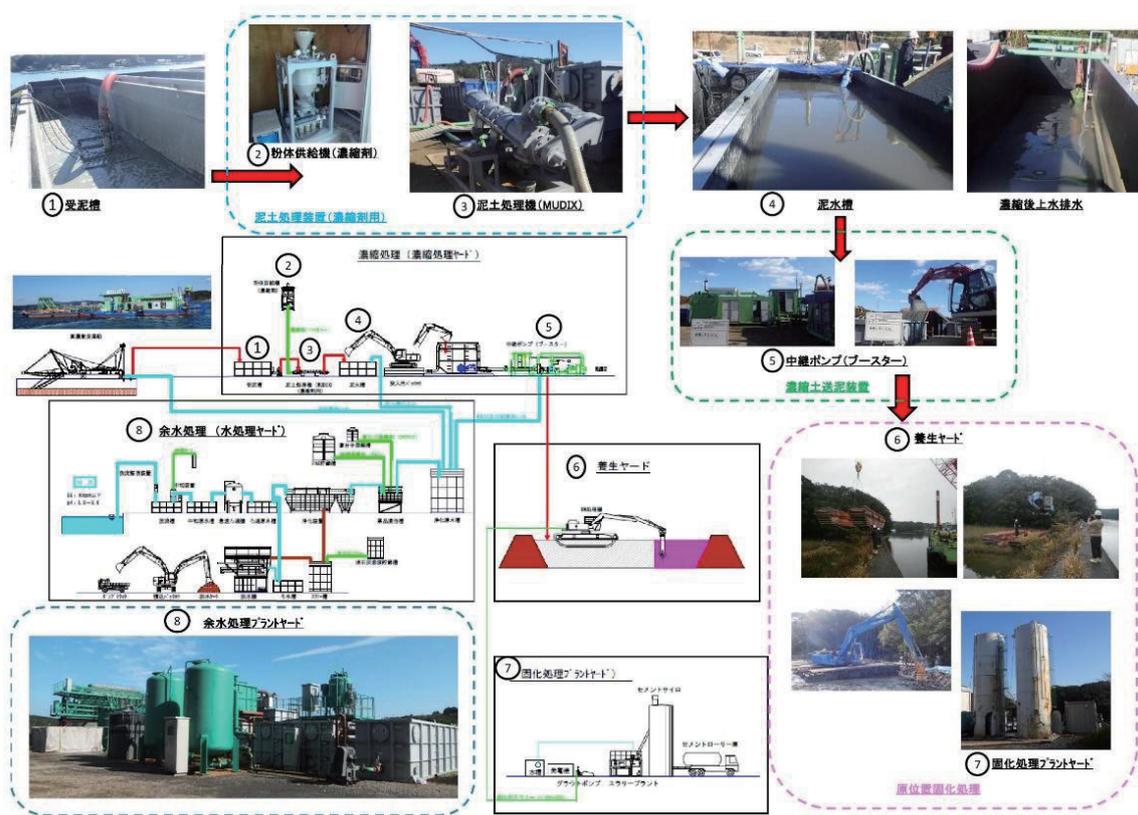


図3 濃縮土を養生ヤードへ貯めてから原位置固化処理するパターン

当初は養生ヤードをプラントヤードの近隣（200m 以内）に確保できたが、3 年間の工事において受入容量に達した。新たな養生ヤードの候補地は約 600m 離れた対岸の土地であった。セメント混じりの泥土を沈埋管にて海中を圧送すると詰まった際のリスクが大きいことから、濃縮土の状態での圧送して養生ヤードに貯めてから原位置固化処理する方法が考えられた（図3 参照）。

この方法は平成 30 年度から平成 31 年度までの 2 年度にわたり行われた。養生ヤード候補地はバックホウが走行不可能な軟弱地盤であり、ヤードまでの搬入路がなかった。そのため、濃縮土を貯めるための養生ピットを泥上車で造る方法が採られた。泥上車はクレーン台船にて運搬および組立を行った（写真 9 参照）。

泥上車にて養生ピット作成後、泥上車にロータリー式攪拌機を取り付け原位置固化処理を行った（写真 7 参照）。スラリー状固化材は対岸に設置したスラリープラントより製造・圧送した。

平成 31 年度施工においては前年度の改良土を利用して新たな養生ピットを造成した。施工重機のトラフィカビリティを確保できたため、経済性を考慮しバックホウによる施工となった。原位置固化処理もバックホウタイプロータリー式施工法工法にて行った（写真 8 参照）。



写真7 RM 処理機 (泥上車タイプ)



写真8 BH-RM 処理機 (バックホウタイプ)



写真9 泥上車の組立状況



写真10 濃縮土の圧送・貯蔵状況  
(H31 養生ヤード)



写真11 スラリープラント (固化材スラリー製造用)



写真 12 各ヤードの位置関係

### 2. 3 品質管理

施工中に実施した品質管理について表 3 に示す。各項目すべてにおいて管理基準を満足する結果となった。

表 3 品質管理項目

工種	項目	管理基準	測定頻度
固化处理工	コーン指数 (締固めを伴わない)	$q_c \geq 700 \text{ kN/m}^2$	養生 28 日後 3 回以上
固化处理工(余水)	PH	5.8~8.6	自動記録装置にて測定
	SS	10mg/l以下	1 回/日
	COD	流入水(処理前水)値以下 処理前後にて測定	1 回/日

### 3. まとめ

今回の施工は高含水比浚渫土を濃縮処理後に連続して固化处理する初めての事例であったが、浚渫量の減容化、固化处理土の品質を満足する結果を得ることができた。また、養生ヤード変更後には濃縮土を貯蔵後の原位置固化处理においても要求品質が満足された。

今後は、これまでの実績を踏まえ、多品種の材料の同時混合や、様々な使用用途への適用を目指し、幅広い要求に応えていく予定である。

## 5. 2 海岸堤防の耐震対策に適用された中層混合処理工

### 1. はじめに

愛知県高浜市に位置する高浜海岸は、伊勢湾台風（1959年）による被災後に築造された施設であり、伊勢湾等高潮対策協議会で定められた堤防高（T.P.+3.50m）により整備されている。しかし、現在では堤防に不等沈下や老朽化が見られ、海岸堤防としての機能低下が認められるとともに、地震時の液状化による堤防沈下も懸念された。そこで、耐震対策として堤体中央部に中層混合処理工法（トレンチャ式）が適用された。

本項では、当時の高浜海岸の状況や耐震対策工法として中層混合処理工法（トレンチャ式）が採用された経緯について紹介する<sup>1)</sup>。

### 2. 高浜海岸の状況

平成7年の阪神・淡路大震災を契機に、全国統一マニュアル<sup>2)</sup>に基づいた海岸堤防の耐震点検が実施され、要対策区間の把握が行われた。その後、東海地震および東南海・南海地震による津波予測を受けて優先対策区間が設定され、その一部が「第2次あいち地震対策アクションプラン（H19～H26）」の優先対策区間に位置づけられた。要対策区間と優先対策区間の概要は表1のとおりである。これら耐震対策区間背後には、北側に特別養護老人ホームや養鰻場、中央部に臨海鉄道が横断しており、南側には背後の洪水を排水する重要な排水機場が位置している（写真1）。

表1 要対策区間と優先対策区間の概要

区間	概要
要対策区間	背後地盤が朔望平均満潮位以下で、大地震が発生した時に、地盤の液状化や施設の老朽化により海岸施設が沈下・崩壊し背後への浸水被害が想定される区間。
優先対策区間	要対策区間のうち、背後地盤がゼロメートル地帯など大きな被害が想定される区間。



写真1 耐震対策工事の範囲

### 3. 堤防に要求する機能

対象とする堤防の耐震性能は、地震後（レベル 2 地震動）でも「照査外水位」に対して「耐震性能照査上の堤防としての機能」を保持することとされた。「照査外水位」と「耐震性能照査上の堤防としての機能」の詳細な内容は表 2 のとおりである。

表 2 照査外水位と耐震性能照査上の堤防としての機能

想定する 照査外水位	T.P. +2.5m = T.P.+2.0m（想定津波水位）+0.5m（地震による堤内地盤沈降深さ）
耐震性能上の 堤防として の機能	<p>[要求機能] 「津波」の堤内地への越流を防止すること。</p> <p>[要求機能を満足させる堤防高] 想定地震が発生しても、堤防高を T.P. +2.5m 以上確保する。この堤防高を満足させるため、下式のように許容沈下量が 1.0m に設定された。</p> <p style="text-align: center;">             〈現況堤防高〉    〈照査外水位〉    〈許容沈下量〉              T.P. +3.5m    -    T.P. +2.5m    =    1.0m           </p>

### 4. 耐震対策工法

これまで、愛知県の海岸堤防での耐震対策工事は、基本的に堤防前面のサンドコンパクションパイル工法または二重締切鋼矢板工法などで施工されている。高浜海岸では、平成 21 年度の概略設計により、二重締切鋼矢板工法での施工が計画されたが、基盤層の N 値が 50 以上と強固であり鋼矢板を根入れさせるためには、工費・工期とも過大になることが予想された。そこで、早期効果発現および事業コスト削減の観点から、平成 22 年度に事業計画の見直し（設計 VE）が行われ、「堤体及び基礎地盤を混合処理工法（トレンチャ式）<sup>3)</sup>にて固化する地盤改良工法」に変更された（図 1、図 2）。

地盤改良の仕様を表 3 に、施工状況と完成状況の一例を写真 2 と写真 3 に示す。

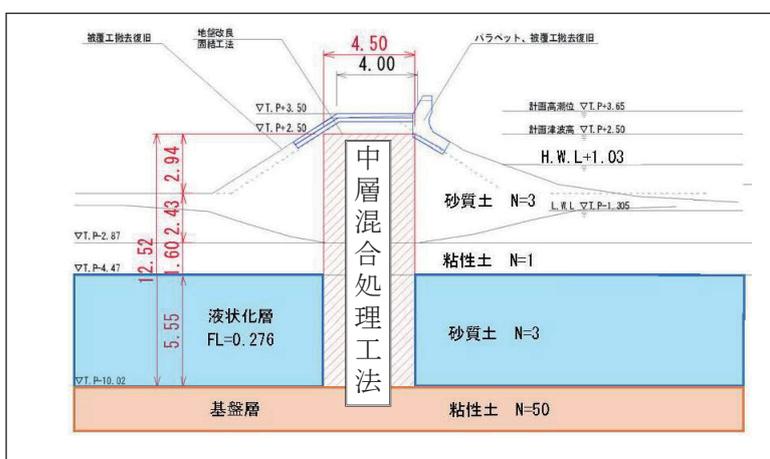


図 1 設計 VE で提案された地盤改良（断面図）

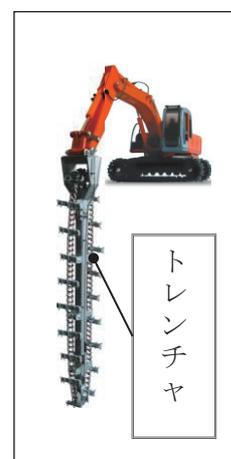


図 2 トレンチャ式

表3 地盤改良の仕様

項目	仕様
工法	中層混合処理工法（トレンチャ式攪拌）
固化対象土	砂質土、粘性土
改良深さ（m）	12.9
改良幅（m）	4.5
設計基準強度（kN/m <sup>2</sup> ）	$q_{uck}=200\text{kN/m}^2$
固化材の種類	汎用固化材（特殊土用）
固化材添加量（kg/m <sup>3</sup> ）	70kg/m <sup>3</sup>
添加方法	スラリー添加（W/C=139%）



(a) その1



(b) その2

写真2 施工状況 トレンチャ式



(a) その1



(b) その2

写真3 完成状況

## 5. おわりに

海岸堤防で堤体中央部を地盤改良する耐震対策工法は、全国的にも珍しい事例となった。また、本海岸堤防の改良深度は約 13m であり、中層混合処理工法（トレンチャ式）の施工能力が最大限に活用された。今後、堤防等の耐震設計を実施する際には、本事例が対策工法の 1 つとして参考になれば幸いである。

### 【参考資料】

- 1) 鈴木正和、棚瀬満昭、久保 博：海岸堤防の耐震対策としての中層混合処理工法、第 26 回調査・設計・施工技術報告会、公益社団法人地盤工学会中部支部
- 2) 海岸保全施設耐震点検マニュアル（平成 7 年 4 月）
- 3) 技術資料（平成 28 年 7 月 パワーブレンダー工法協会）

## 5. 3 浚渫土改良による空港用地造成

### 1. はじめに

東京国際空港（羽田空港）は航空機の発着回数が限界になり、この解消のため、沖合に空港の展開が要請された。そこで、東京都は羽田沖処理場の拡張を計画し、東京湾の航路や運河を浚渫した際に発生した土砂や超軟弱土を投入して埋立を施工した。

本工事は、羽田沖浚渫土処理事業の一環として、羽田沖処理場の堆積泥土及び中央防波堤外側廃棄物処理場からの転送汚泥（軟泥土）から成る超軟弱堆積泥層の表層部を固化処理（固化盤造成）し、浚渫土砂等による盛土造成を可能とする工事である。

### 2. 工事概要

羽田空港 C 滑走路拡張時の工事であり、東京湾内の超軟弱浚渫土により用地埋立を行い、そのままでは重機侵入が不可能であったため、横行式連続処理や自走式垂直式処理、自走式ロータリー式処理によりセメント系固化材を加えて浅層地盤改良を施工し、その上に覆土し、深層地盤改良機や重機が稼働できるようにした工事である。（図 1）工事対象面積は 340ha、固化処理土量は 210 万  $m^3$  に達する。

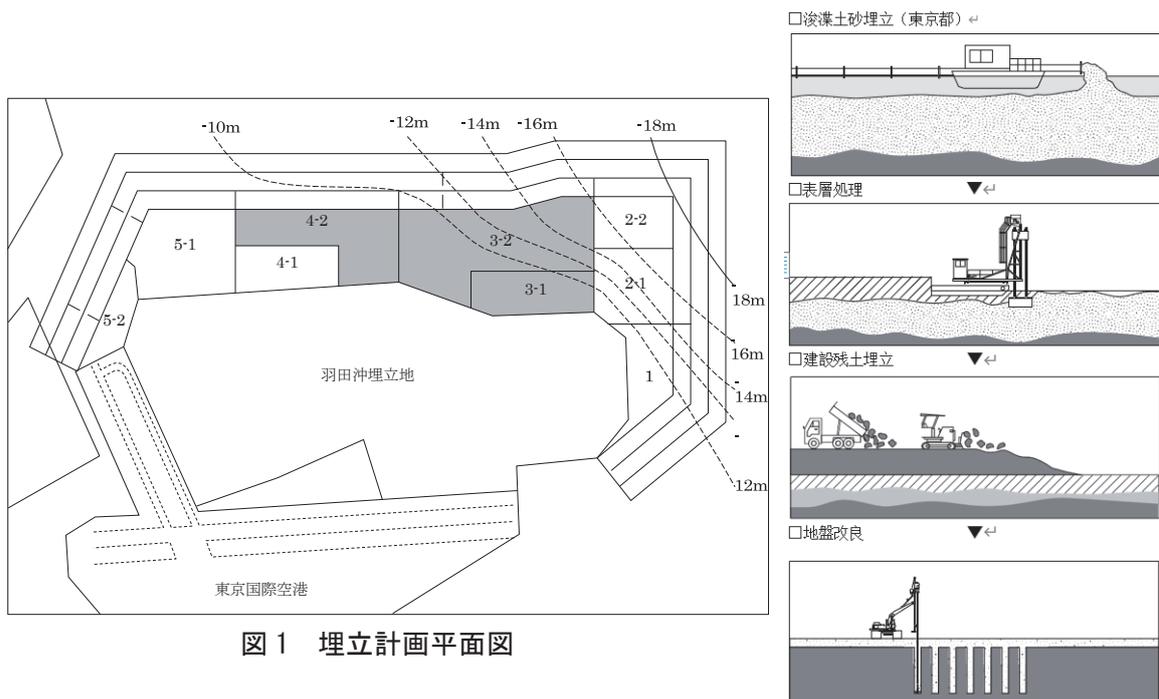


図 1 埋立計画平面図

図 2 施工順序

### 3. 地盤改良

原地盤の特性は下記に示す通りであり、超軟弱地盤である。改良目標は一軸圧縮強さ  $200kN/m^2$  以上、改良深さは 2.0m である。使用した固化材は、長期強度抑制型特殊固化材であり、固化材添加量は  $140kg/m^3$  程度となるが、対象土の含水比により前後する。対象土の含水比は 160~220%、地盤のせん断力は  $0.0005\sim 0.05N/mm^2$  ときわめて軟弱な傾向であった。（図 3）

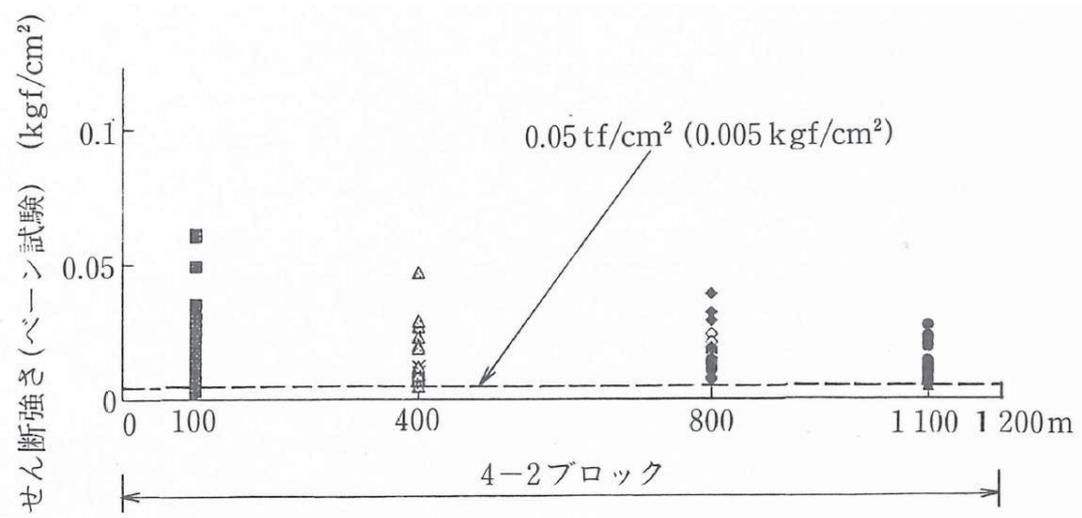


図3 対象土のベーンせん断強さ

#### 4. 施工

施工の様子を写真1に示す。工事は、平成2年7月～平成4年2月迄にかけて施工され、施工後の検査ではほぼ均一な品質と施工圧を示し設計値を十分に満足する結果となった。



写真1 横行式連続処理船による施工の様子

#### 5. おわりに

羽田空港C滑走路は、地盤改良工事の本工事を経て1997年3月27日に供用開始され、2025年現在も問題なく供用されている。セメント系固化材を用いた地盤改良により、超軟弱地盤を滑走路として造成することができた事例である。

## 6. 河川における地盤改良工事

### 6. 1 河床掘削における仮橋工での浅層混合処理工～和歌山県七瀬川～

#### 1. はじめに

和歌山県七瀬川は、紀の川水系和歌山市域ブロックに位置する一級河川である。近年の災害履歴をみると、平成7年豪雨時に浸水面積21.5haの被害が、平成12年の台風14号襲来時には床下浸水29棟の被害が発生している。この原因は計画高水流量に対する流下能力の不足であり、現在、河川整備計画に基づき、河道拡張、護岸、河床掘削の整備が図られている<sup>1)</sup>。

本節では、七瀬川の河床掘削における仮橋設置で実施された浅層混合処理工を紹介する。

#### 2. 地盤改良の仕様

原地盤の状況を確認するため、簡易支持力測定器（キャスポル）によって地盤支持力が測定された結果、仮橋を設置するための支持力が不足していることが判明した。そこで、表1の浅層混合処理工が適用された。

表1 地盤改良の仕様

項目	仕様
工法	浅層混合処理工（バックホウ混合）
現場目標強度（kN/m <sup>2</sup> ）	438
固化材の種類	汎用固化材
固化材添加量（kg/m <sup>3</sup> ）	110
添加方法	粉体添加

#### 3. 地盤改良工事

地盤改良工事の状況を写真1に示す。固化材の散布、攪拌、転圧を繰り返して施工された。出来形管理は、表2の規格値を満足するように、施工延長20m毎に1か所の割合で実施された。

表2 出来形管理の規格値

測定項目	規格値
基準高	±50mm
施工厚さ	-50mm
幅	-100mm
延長	-200mm



(a) 固化材散布



(b) 攪拌状況



(c) 転圧状況 (その1)



(d) 転圧状況 (その2)

写真1 地盤改良の状況

#### 4. おわりに

河川整備計画に基づき、河道拡張、護岸、河床掘削の整備が行われ、七瀬川の流下能力向上が図られた。



写真2 橋台の設置状況



写真3 仮橋の設置状況

#### 【参考資料】

- 1) 和歌山県：紀の川水系 和歌山市域河川整備計画（平成23年8月）  
<https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/080400/keikaku/seibikeikaku.html>（2024年11月現在）

## 6. 2 河道掘削土砂をセメント改良し道路盛土へ有効利用

### 1. はじめに

近年の集中豪雨による河川災害を踏まえ、最上川下流における流下阻害等によって洪水氾濫による著しい被害が生じる区間について河道掘削・樹木伐採を実施し、安全性の向上を図った事例について紹介する。掘削した土砂は、セメント改良した後、日本海沿岸東北自動車道等の工事で有効活用した。

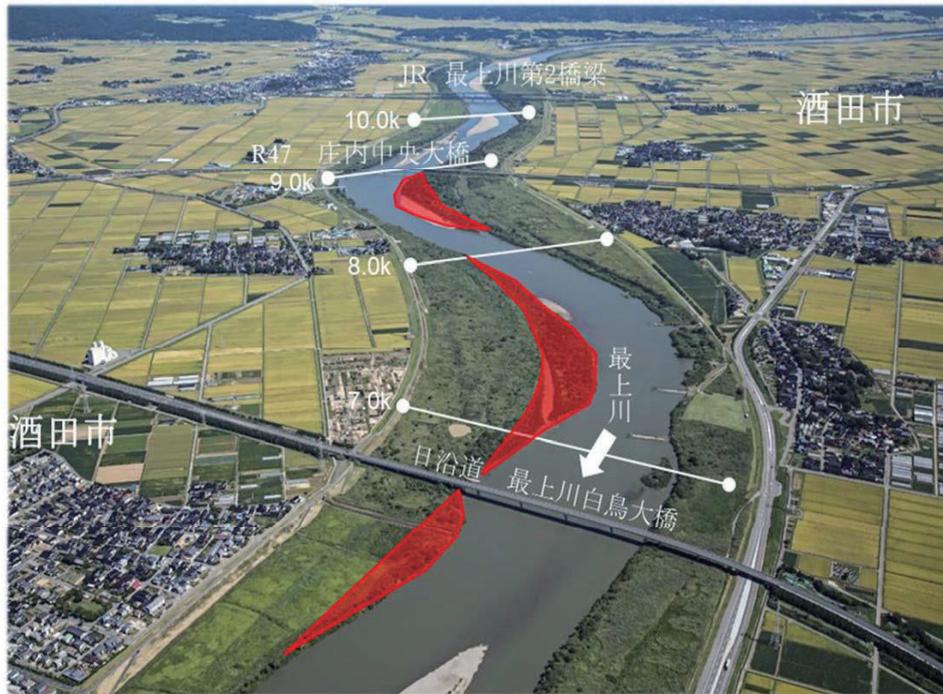


写真1 掘削箇所概要

### 河道掘削イメージ

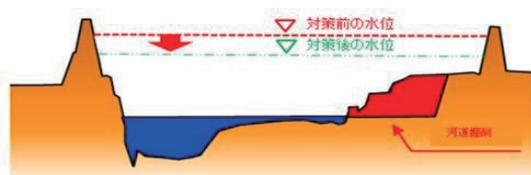


図1 河道掘削のイメージ



写真2 日本海東北自動車道

### 2. 工事の概要

当工事におけるセメント改良は、道路工事への流用を、考慮しコーン指数  $800\text{KN/m}^2$  ( $\sigma_{28}$ ) 以上となる添加量とし、過去年度の河道掘削仮置土量が締固め後で  $19,500\text{m}^3$ 、今年度は締固め後  $3,330\text{m}^3$  を改良する工事である。(表1)

各掘削土に対する添加量は、配合試験結果により過去年度仮置土  $98\text{kg/m}^3$  (締固め後)、

今年度河道掘削土 94kg/m<sup>3</sup>（締め後）と決定した。

改良工法は均一な混合に優れており、移動しながらの施工となる事から、自走式土質改良機を採用した。（図2）

表1 セメント改良条件

項目	過年度仮置土	本年度河道掘削土	備考
工法	自走式土質改良機（リテラ）		
目標コーン指数	800KN/m <sup>2</sup> (σ28)		
固化材の種類	高有機質土用		経済比較により決定
添加量	98 kg/締m <sup>3</sup>	94 kg/締m <sup>3</sup>	配合試験より決定
改良土量	19,500 締m <sup>3</sup>	3,330 締m <sup>3</sup>	計 22,830 締m <sup>3</sup>
設計セメント量	1,911 t	313 t	計 2,224 t

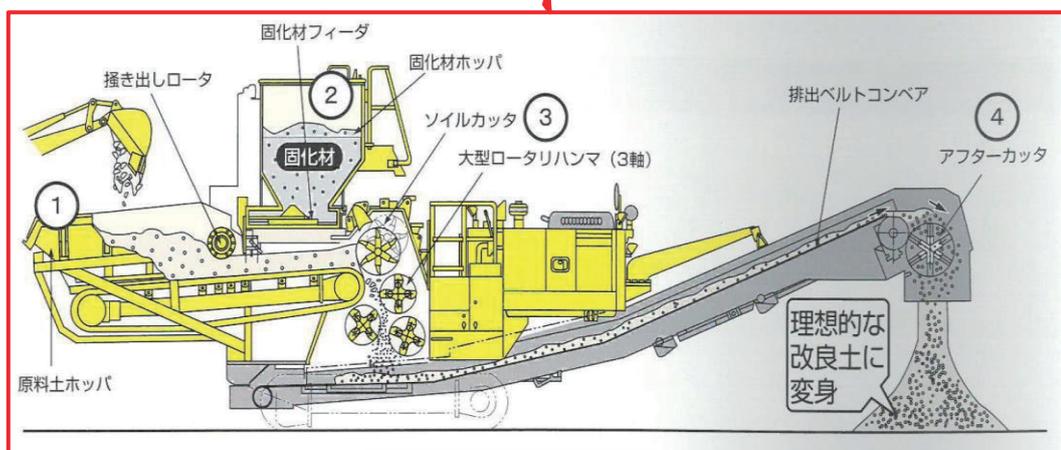


図2 自走式土質改良機

## 2. 土質改良

機械構成は、土質改良機、投入用バックホウ(0.7m<sup>3</sup>)、かき上げ・はねつけ用バックホウ(0.45m<sup>3</sup>)、整地用バックホウ(0.45m<sup>3</sup>)の基本構成で行った。(図3、写真3)

日作業量は、セメント量で決定し、最初は30t/日からスタートし、徐々に増やしていき最終的には35t/日の作業量となった。

日々の施工サイクルは、8:00~8:30セメント搬入、8:30~15:30セメント改良(休憩含む)、15:30~17:00自走式土質改良機清掃、改良土の整地であった。

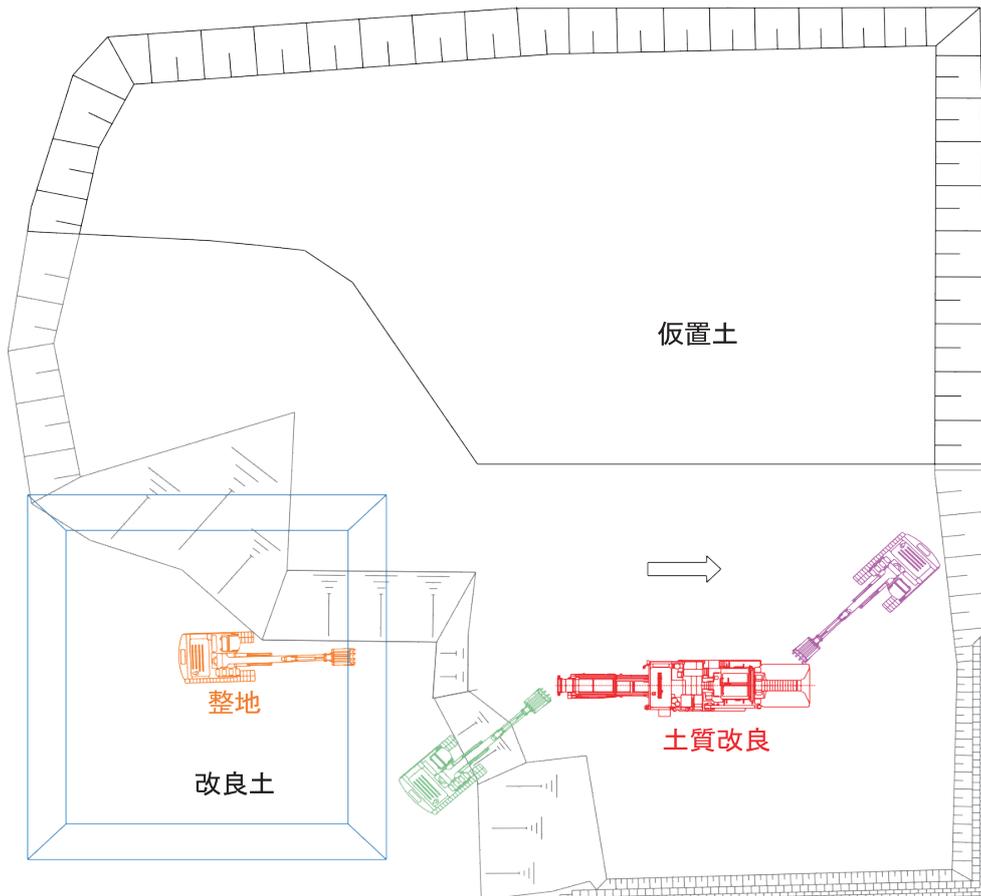


図3 機械配置図



写真3 セメント改良全景

## 3. 日常管理

①日々のセメント添加量、改良土量は製造日報チャート紙で管理を行う。(図4)

※チャート紙はほぐし土量で管理されるため、 $98\text{kg}/\text{締}\text{m}^3 \times 0.9/1.2 = 74.0\text{kg} \cdot \text{ほぐし}\text{m}^3$ が計算値となる。

- ②セメントは湿気による品質低下を防止するため、搬入したセメントは翌日に持ち越さず、当日内に使い切る。
- ③配合毎に、製造日初日に作成された改良土でコーン指数を測定し、強度が確保されているか確認する。(表 2)
- ④搬入されたセメントはパレット上に荷卸しし、降雨時又は降雨が予想される場合はブルーシートで養生する。(写真 4)
- ⑤セメントの混合確認は、日々不定時にフェノールフタレイン溶液によるアルカリ性反応試験を行い確認する。(写真 5)

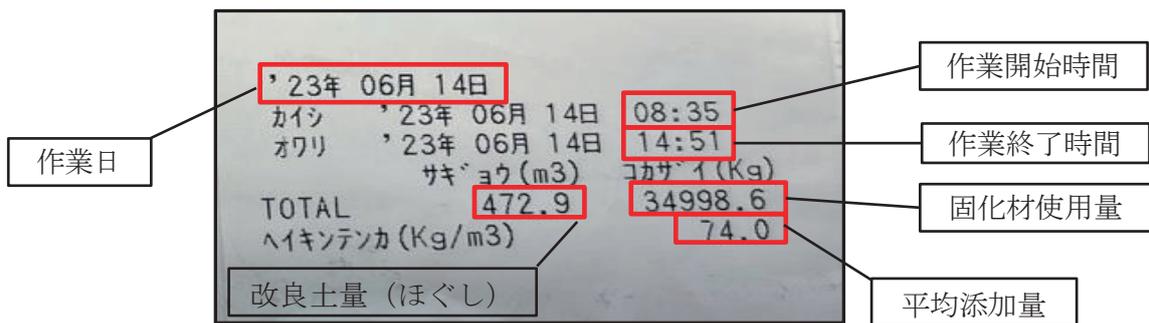


図 4 製造日報チャート紙

表 2 セメント改良結果

項目	過年度仮置土	本年度河道掘削土	備考
コーン指数 ( $\sigma_{28}$ )	1,432kN/m <sup>2</sup>	1,182kN/m <sup>2</sup>	目標強度 800kN/m <sup>2</sup>
自然含水比	34.6%	28.4%	
六価クロム含有量	0.005 mg/L 未満	0.005 mg/L 未満	
使用セメント量	1,924 t (+13t)	315 t (+2t)	計 2,239 t (+15t)
改良期間	R5.4.10~R5.7.10	R5.7.17~R5.8.3	
平均日作業量	355締m <sup>3</sup> /日	370締m <sup>3</sup> /日	



写真 4 ブルーシート養生



写真 5 アルカリ性反応試験

【参考資料】

- 1) 国土交通省東北地方整備局酒田河川国道事務所ホームページ  
<https://www.thr.mlit.go.jp/sakata/river/mogami/koji/images/1.pdf>

## 6. 3 河川堤防内の地盤改良に適用された中層混合処理工

### 1. はじめに

基幹農道整備事業宮川 2 期地区は、福島県会津盆地の西部に位置する総延長 2,020m の農道である。同地区に計画された橋梁は、一級河川藤川に新設され、会津若松市と会津美里町を結ぶものである。橋梁の新設においては補強土壁工が必要となり、その基礎地盤である河川堤防内に中層混合処理工法が適用された。本節ではその内容を紹介する<sup>1)</sup>。

### 2. 地盤改良工事の概要

橋梁の架設位置は、藤川と宮川の合流部に近く、宮川の背水区間であるため、現況堤防を嵩上げする必要があった。堤防の嵩上げには補強土壁工が選定され、その基礎地盤である堤防内に地盤改良が計画された。

本工事は河川堤防内であり、基礎地盤の軟弱層を良質土に置き換える場合は、仮締切工が必要となり、工事費の増加や工期の長期化が懸念された。そこで、基礎地盤の軟弱層を直接固化処理できる中層混合処理工法（トレンチャ式）が選定されることとなった。地盤改良の仕様を表 1 に、地盤改良のイメージを図 1 に示す。地盤改良の施工管理は表 2 のとおり行われ、いずれも規格値を満足した。

表 1 地盤改良の仕様

項目	仕様
工 法	中層混合処理工法（トレンチャ式攪拌）
改良土量（m <sup>3</sup> ）	1,630
改良厚さ（m）	1.8～3.0
現場目標強度（kN/m <sup>2</sup> ）	80kN/m <sup>2</sup>
室内目標強度（kN/m <sup>2</sup> ）	230kN/m <sup>2</sup>
固化材の種類	汎用固化材（特殊土用）
固化材添加量（kg/m <sup>3</sup> ）	89kg/m <sup>3</sup>
添加方法	スラリー添加

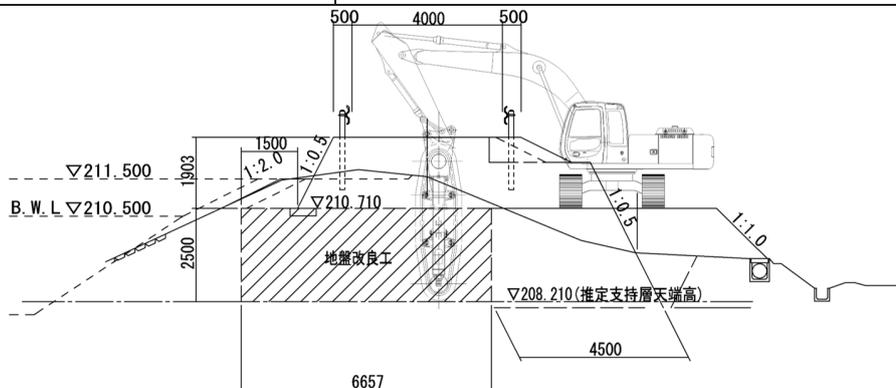


図 1 地盤改良のイメージ

表2 施工管理一覧

管理項目	管理内容	規格値	測定頻度
出来形管理	基準高	-50mm	延長 40m ごとまたは 1カ所 1,000m <sup>3</sup>
	改良厚さ	-50mm	
	改良幅	-100mm	
	改良延長	-200mm	
品質管理	モールドによる改良強度の確認	【 $q_{uck}=0.3\sim0.4 \cdot q_{ul}$ の場合】 1個は3本の供試体とし、各供試体の試験結果は設計基準強度の85%以上とする。且つ1個の試験結果の平均値が設計基準強度以上とする。	1回/500~1,000m <sup>3</sup>
	深度方向の品質確認 ① 改良体の均質性 ② 改良強度	① 目視による確認 ② 上記強度試験と同じ	1回/1,000m <sup>3</sup>
材料管理	固化材スラリー量	設計値以上	全区割
	固化材スラリー比重	設計値±2%	1回/日以上
	固化材搬入量	—	毎日
	固化材品質	JIS規格またはメーカー基準	1回/月



写真1 施工状況



写真2 施工状況

### 3. おわりに

河川堤防の工事において堤体を中層混合処理工（トレンチャ式）で軟弱層を固化した事例である。当工事は建設残土の発生を抑えるとともに、河川締切工が不要となった事からコスト縮減と工期短縮が図られた。当該箇所は地盤の置換えが地形上困難であり、また施工エリアが狭小であったが、本工法の地盤改良の方法でヤードを有効活用した施工が出来た。

#### 【参考資料】

- 1) 磯目剛、山下大進：パワーブレンダー工法による河川堤防内の地盤改良、農業農村工学会誌、第79号、pp.116~117、2011年

## 7. 地盤改良技術の河川堤防への適用に関する取り組み（文責：広島大学半井教授）

### 7. 1 はじめに

冒頭の「2. 水害の発生状況」にて紹介されたように、近年、豪雨災害が激甚化・頻発化している。たとえば令和元年東日本台風（台風19号）では、142箇所（国管理区間：14箇所、県管理区間：128箇所）で堤防が決壊し、約3万5千haが浸水した。堤防の決壊には、降雨や洪水が堤防内に浸透して法面のすべりや基礎地盤のパイピングを生じさせる浸透破壊、流水による浸食で生じる洗堀破壊、堤防の上を洪水が超えることで生じる越水破壊などがある（図1）。令和元年東日本台風による決壊箇所の86%にあたる122箇所では越水が主原因であったことが国土交通省より報告されている。

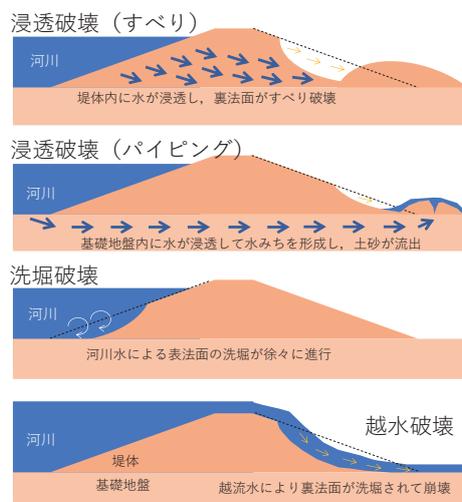


図1 河川堤防の破壊メカニズム

これまでの日本の治水対策では河川水位を下げるが大原則とされ、河道の掘削や拡幅、ダム・遊水地等洪水調節施設の整備等が行われてきた。河川の堤防も、嵩上げや拡幅による強化が図られてきた。しかしながら、近年、治水施設の能力を超える洪水によって甚大な浸水被害が頻発しており、国土交通省は、越水に対して河川堤防を強化する方策の検討が必要であるとの方針を示している。

国交省に設置された「令和元年台風第19号の被災を踏まえた河川堤防に関する技術検討会」では、「計画的な治水対策に加え、被害をできるだけ軽減することを目的に、越水した場合であっても『粘り強い河川堤防』の整備を、危機管理対応として実施すべき」ことを、緊急的・短期的な取組のひとつとして示している。その後、越水に対して減災効果を発揮する「粘り強い河川堤防」の技術開発に必要な技術的検討を行うことを目的に、「河川堤防の強化に関する技術検討会」が設置された。さらに、令和4年9月に国土交通省が選定した第三者機関である国土技術センターによって新技術の公募や審査が行われた。

### 7. 2 河川堤防の強化

#### 1. 土堤原則

日本国内の河川堤防は、河川管理施設等構造令第十九条の「堤防は、盛土により築造する

ものとする」との「土堤原則」のもとで整備されてきた。これは、一般に工費が比較的安価であること、構造物としての劣化現象が起きにくいこと、嵩上げや拡幅などの追加工事が容易であること、基礎地盤と一体となってなじみやすいことなどの利点によるものである。一方、長時間の浸透水により強度が低下し、流水により洗掘されやすいことから、越水に対する抵抗性は高くない。

なお、日本国内で広く浸透している「土堤原則」であるが、前述の条文には、「ただし、高規格堤防以外の堤防にあっては、土地利用の状況その他の特別の事情によりやむを得ないと認められる場合においては、その全部若しくは主要な部分がコンクリート、鋼矢板若しくはこれらに準ずるものによる構造のものとし、又はコンクリート構造若しくはこれに準ずる構造の胸壁を有するものとすることができる。」との記述が続き、コンクリート製の擁壁や杭、鋼矢板などを活用した特殊堤も存在する。

## 2. 日本国内における堤防強化の検討

越水に対して粘り強い河川堤防の検討は、昭和42年の羽越水害などを契機に旧建設省土木研究所にて開始された。1980年代には土堤表面に保護工を設置した「アーマ・レビー（armor levee、耐越水堤防）工法」が開発され、加古川などで試験施工が実施された。1990年代には、天端工、遮水シート、法尻工、法肩保護工による一連の構造を持ったフロンティア堤防が検討され、那珂川などで施工された。しかし、いずれも普及しなかった。

国交省の技術検討会では、粘り強い河川堤防として、フロンティア堤防などと同じ表面被覆型に加え、一部自立型なども検討の対象としている（図2）。一部自立型では、河川堤防の中央部にコアを構築し、盛土がなくなってもコアが自立することで堤防の高さを維持して減災効果を発揮する。コアは、鋼矢板やコンクリート構造、そして改良土などによって構築することが想定されている。

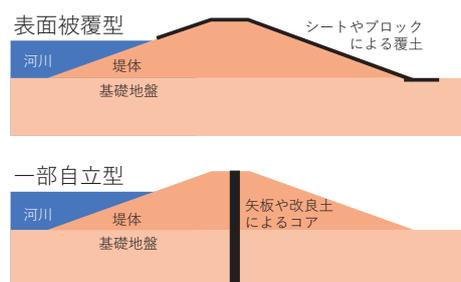


図2 越水に対して「粘り強い河川堤防」の想定例

セメント系固化材による地盤改良技術を河川堤防における堤防本体（高水護岸）の強化に用いることは、土堤原則もあり、国内ではまだ見当たらない。ただし、基礎地盤の改良のほか、低水路の護岸（低水護岸）の侵食や洗堀の対策として、地中に連続した傾斜壁を「地中控え護岸」として改良した事例<sup>2)</sup>がある。

なお、令和5年に行われた、越水に対して「粘り強い河川堤防に関する技術」の公募には、16件（15者）の応募があった。最終的に国土交通省の「河川堤防の強化に関する技術検討会」で技術比較の対象となったのは4件で、いずれも表面被覆型であった。

### 3. 海外における堤防強化の事例

前述の通り、セメント系固化材による地盤改良技術を河川堤防本体に適用した事例は国内には見当たらないが、海外では、河川堤防や湖岸堤において堤防中央に止水壁を構築した事例が数多く報告されている。たとえば、アメリカのオキーチョビー湖における等厚壁式改良による既存堤防の補強工事（2008年～）<sup>3)</sup>、フランスのロアール川における等厚壁式改良による試験施工（2013年）<sup>4)</sup>、ベトナムのメコン川支流における柱状式改良による試験施工（2014年）<sup>5)</sup>などである。ただし、海外の事例は越水対策ではなく、浸透破壊の対策を目的として止水壁を構築したものである。これは、海外の河川は日本と比べて洪水波形が緩やかで洪水が長期に亘って持続するため、長時間の高水位状態に対して堤防が機能を維持する必要があるためと考えられる。これは日本のように短時間で急激な増水による越水破壊が問題となることは条件が異なるためであるが、実際の施工実績が多くあることは参考になる。以下では、特に大規模な工事が行われたオキーチョビー湖における事例<sup>3)</sup>を紹介する。

アメリカ・フロリダのオキーチョビー湖（琵琶湖の約3倍の面積である1,890km<sup>2</sup>）を囲む土堤であるハーバード・フーパー堤は、1915年頃に建設が開始されたが、1926年と1928年には越水被害を生じたため、1932～38年に大規模な堤防が整備された。その後の1947年のハリケーンにより洪水対策の必要性が理解され、現在の堤防（平均高さ9m、総延長230km）は1960年代に完成した。しかしながら、湖面の水位上昇時の浸透やパイピングによる破壊に対する安定性が十分ではないことから、2008年より止水壁を構築する改良工事が行われた。止水壁の構築には、水平多軸型地下連続壁工法などとともに、日本で開発された等厚式ソイルセメント地中連続壁工法が採用され、いずれについても要求性能を満足する均質な改良が実現されたことが報告された。このうち、等厚式ソイルセメント地中連続壁工法は壁厚700mm、最大深度17～20mにて、TASK-A工区の4,267m、TASK-D工区の5,365mが施工された。既存堤防の堤頂部の幅は3～5m程度であったため、堤外側に盛土を行って最小限の作業幅員が確保された（写真1）。品質管理基準として、材齢28日の一軸圧縮強度（689～3,447kN/m<sup>2</sup>）、透水係数（ $1 \times 10^{-6}$ cm/s以下）、均質性、止水壁頭部出来型、鉛直精度が用いられた。写真2は出来型検査の様子で、部分的に止水壁頭部の側面を開削したうえで、壁厚や出来型形状、品質について確認が行われた。なお、これらの基準を満たす

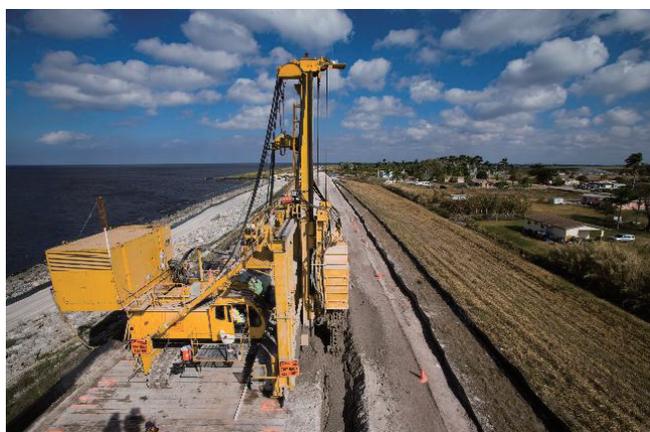


写真1 施工状況<sup>3)</sup>  
(株)KG フローテクノ 提供)



写真2 出来形検査<sup>3)</sup>  
(株)KG フローテクノ 提供)

ように事前に採取した原位置土を用いた室内配合試験が行われ、セメントやベントナイトの配合が決定された。

#### 4. 広島大学とセメント協会の共同研究

セメント系固化材による地盤改良技術の一部自立型に用いた場合の越水に対する抵抗性についての研究がなかったことから、広島大学とセメント協会では共同研究を行っている。

まず、広島大学水工学研究室が所有する実験水路（幅 50cm）に堤防模型を構築し、河川側の水位を徐々に上昇させて越水を生じさせ、セメント改良された堤防の「粘り強さ」を検討した（写真 3）<sup>6)</sup>。模型の高さは 15cm、天端幅は 12cm で、1/20 スケール程度のもので、厚さ 16cm の基礎地盤上に、砂質土にて構築した（図 3）。セメント改良土による強化を行っていない堤防では、越水とともに裏法面から土が流出し、急激に水位が低下し（流速が増加し）、短時間で決壊した（図 4）。一方、コアとして幅 2cm のセメント改良体を堤防中心に構築した場合には、越水が生じてもすぐには決壊せずに、水位が維持され、流速の増加もわずかに留まった（図 5）。つまり、堤防を越える水（実験では水路への流入水）は流れ出していくが、河道側に溜まった水は保持され、堤防の機能が維持された。ただし、越水によって裏法面側の土が流出してしまい、さらには基礎地盤も洗堀されてしまうため、改良体の根入れが十分でないとは転倒することとなる。また、実スケールとなると、曲げ応力に対する抵抗性についての検討も必要となる。



写真 3 水路実験の様子

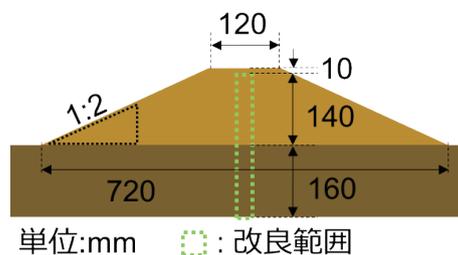


図 3 堤防模型の概要<sup>6)</sup>

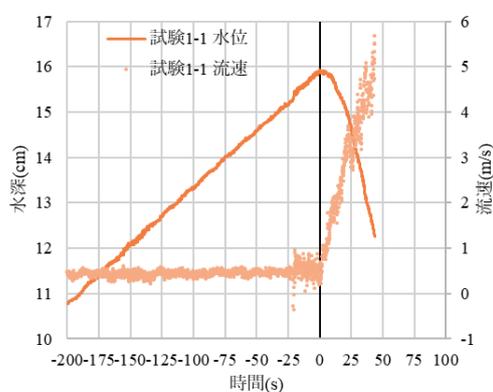


図 4 水位と流速の経時変化（未改良）<sup>6)</sup>

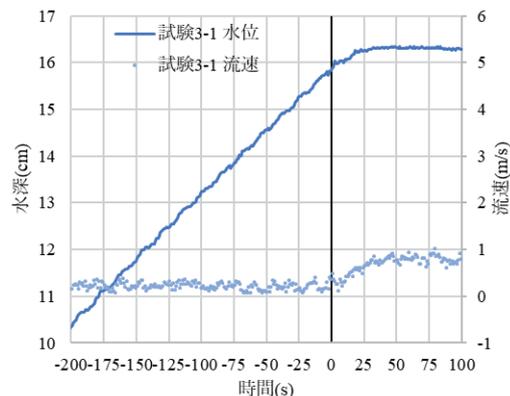


図 5 水位と流速の経時変化（改良）<sup>6)</sup>

### 7. 3 おわりに

越水に対して粘り強い河川堤防の実現は、近年の激甚化・頻発化する豪雨災害の対策として喫緊の課題である。国土交通省では技術検討会を設置しているが、多種多様な現場において適切な工法選択を行うためにも、セメント系固化材による地盤改良技術を河川堤防に活用することは有効であると考えられる。海外では、止水壁としての実績が数多くあるものの、国内では「土堤原則」から河川堤防本体への適用事例はなく、また、越水に対する抵抗性の検討についても必要である。これまでの広島大学とセメント協会の共同研究からは、十分な深さの改良を行った場合には、洗堀時の転倒抵抗性を確保することができ、越水に対して粘り強い河川堤防を実現できることが分かっている。あわせて、京都大学の橋本涼太准教授（元広島大学）の協力を得て、土粒子－水－改良体の 3 相の挙動を MPM-VOF-DDA 連成解析によって再現する研究も進行中である。今後は、大型の模型実験による実証試験も必要と考えられるが、早期の実用化が強く望まれる。

#### 【参考資料】

- 1) 福岡捷二・藤田光一・加賀谷均：アーマ・レビー法尻工の水理設計、水理講演会論文集、1987 年
- 2) 山田 真理子：新技術による低水護岸工事の施工、平成 28 年度中部地方整備局管内事業研究発表会、2016 年
- 3) 勝倉茂：米国における TRD 工法による大規模堤防漏水対策適用事例、建設機械施工、Vol.75、No.10、pp.40～45、2023 年
- 4) Y. Fargier, et al., “Levees reinforced by the deep soil mixing method in the Loire area: contribution of geophysical methods for the assessment,” *Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l’Ingénieur*, No. 45, pp. 229-236, 2016 年
- 5) H. H. Tran-Nguyen, et al., “Characteristics of soilcrete created at the field using the NSV technology to reinforce earth levees in Dong Thap province, Vietnam,” *Innovations in construction*, pp. 11-12, 2015 年
- 6) 中田萌花ほか：セメント改良した河川堤防模型を用いた越水破堤実験、第 74 回土木学会中国支部研究発表会、2022 年
- 7) 田坂結菜ほか：セメント改良土を用いた自立型堤防の小型模型実験と再現解析、第 76 回土木学会中国支部研究発表会、2024 年

## 8. 能登半島地震調査

2024年1月1日に発生した令和6年能登半島地震では、石川県を中心に液状化をはじめとした大きな被害が発生した。本章では、セメント協会事例調査WGが実施した現地調査等により、セメント系固化材を用いた地盤改良の地震に対する有効性や、復旧復興にどのように役立ったかを取りまとめた。

### 8. 1 令和6年能登半島地震について

令和6年1月に能登半島を中心に発生した地震の概要を下記に示す。今回の地震で大きな揺れを観測した能登半島は山林が多くを占める半島であり、三方を海に囲まれ、アクセスが困難であるなどの地理的特徴があった。その特徴を図2に示す。

- (1) 地震の名称 : 令和6年能登半島地震
- (2) 発生日月日 : 2024年1月1日(月)
- (3) 発生時刻 : 16時10分
- (4) 震央 : 能登半島北東部
- (5) 震源の深さ : 16km
- (6) マグニチュード : 7.6
- (7) 最大震度 : 震度7(石川県輪島市、志賀町)
- (8) 震度分布 : 気象庁発表の震度分布を図1に示す。

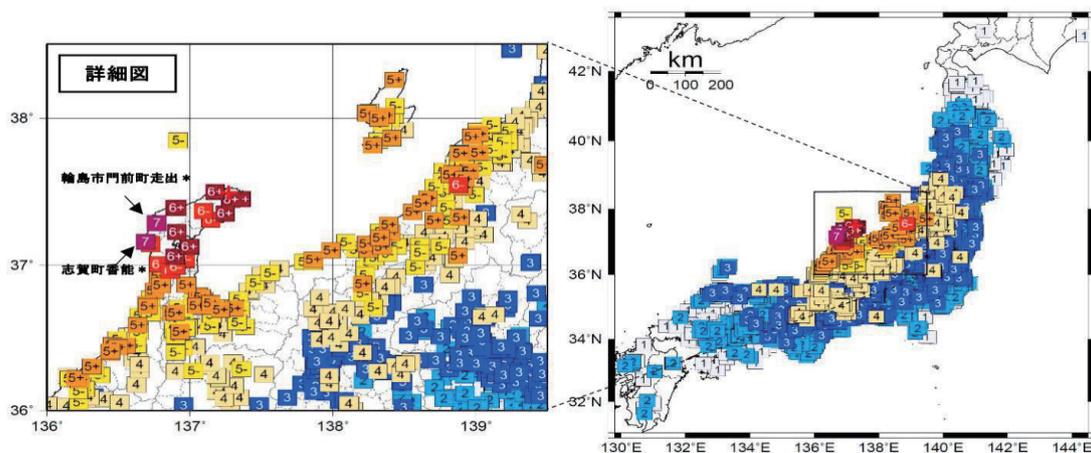
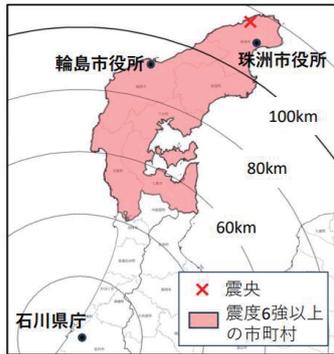


図1 震度分布(気象庁より引用)

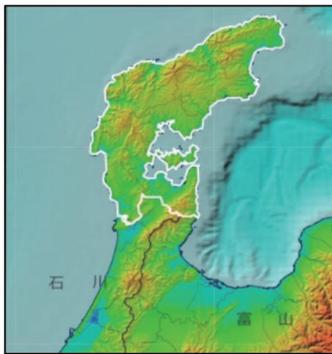
地震による被害は、25年1月末時点で死者行方不明者517名、家屋全壊6,461棟、半壊23,336棟であり、家屋被害は2府、10県に広がった。特徴的な地形の変状としては、志賀町から珠洲市の外浦海岸での地盤隆起が発生した。(写真1) また、今回の地震で石川県、富山県、新潟県の広い範囲で液状化による面的な宅地被害が発生した。液状化被害発生状況を図3に示す。今回の能登半島地震では、液状化を発生させる150gal程度以上の継続時間が40秒以上程度と長かったことが被害拡大の要因である。

<立地・アクセス>



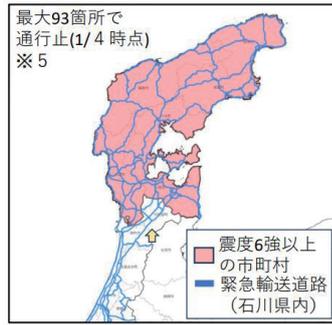
石川県庁からの道路距離  
 珠洲市役所 : 約135km  
 輪島市役所 : 約110km

<地形>



可住地面積  
 珠洲市 : 約25%  
 震度6強以上地域 : 約28%

<リダンダンシー>



奥能登へのアクセスルートが遮断  
 奥能登全体が孤立状態 (県資料より)  
 震度6強以上の地域へ入る  
 緊急輸送道路と市町村界の交点 : 10カ所

図2 被災地の地理的特徴 (気象庁より加筆修正して引用)



写真1 海底隆起が発生した鹿磯漁港



図3 液状化被害発生状況 (気象庁より引用)

## 8. 2 調査概要

本 WG では 2025 年 1 月 28 日～30 日にかけて、石川県において現地調査を実施した。本節では現地調査の目的と概要について示す。

表 1 調査メンバー

東京工業大学	北詰昌樹
大阪公立大学	大島昭彦
CDM 研究会	徳永幸彦
UBE 三菱セメント	清田正人
住友大阪セメント	宮脇賢司
トクヤマ	河本 年史
トクヤマ	重田輝年
太平洋セメント	窪木康雄
太平洋セメント	菅沼 椋友
セメント協会	小宮山慎一郎
セメント協会	瀧波 勇人
セメント協会	伊藤孝文

前述の通り、能登半島地震では液状化をはじめとした、地盤に起因する被害が多く発生した。このため、本 WG ではこの大規模災害における、セメント系固化材を用いた地盤改良技術の有効性を確認すること、復旧・復興において地盤改良技術がどのように役立っているかを調査することを目的に、現地調査を実施した。現地調査では被害が大きい内灘町や七尾市、金沢港などを視察し、現地の物件管理者と意見交換を行った。

意見交換は、石川県金沢港湾事務所、国土交通省北陸地方整備局金沢港湾・空港整備事務所、七尾市恵寿総合病院、国土交通省北陸地方整備局能登復興事務所にて行い、地盤改良技術の有効性や今後の復旧・復興へどのように活用されるか等について話があった。



写真 1 金沢港現地視察



写真 2 能登復興事務所との意見交換

### 8. 3 地震に対する地盤改良技術の有効性（文責：大阪公立大学大島教授）

ここでは、令和6年1月1日の能登半島地震による液状化被害例と柱状改良による地盤改良効果、および格子状地盤改良工法と免震構造によって被害を免れた病院の例を紹介する。

#### 8. 3. 1 内灘町の液状化被害例と柱状改良による地盤改良効果

能登半島地震によって、能登半島を中心に、石川、富山、福井、新潟県で液状化被害が生じた。中でも顕著だったのは金沢市の北西にある内灘町で、液状化による「側方流動」による大きな住宅被害（約1,700棟）が挙げられる。内灘町は、町域の西側のほとんどを内灘砂丘（標高は40m以上）が覆っている。この砂丘の砂は手取川の土砂が日本海の海流によって流されて堆積したよく締まったものであるが、粒径が揃った細粒分の少ない、液状化が生じやすい典型的な砂であった。1963年から隣接する河北潟の干拓のために、**図1**に示すように砂丘の東側が切土されて低平地が形成され、かつ東に向かって少し傾斜した地形となっており、その上に住宅が建てられていた。切土によって砂地盤が緩み、かつ相対的に地下水位が高くなったため、この低平地で液状化が発生した。さらに、傾斜した地形があだとなり、これまでにないほどの側方流動が生じて、地盤とともに住宅が流れ、東端の道路（県道8号）でせき止められ、隆起破壊するという特徴的な被害（**写真1**）が生じた。この液状化被害は北側のかほく市まで続いた。また、液状化によって建物の支持力がなくなるので、建物のめり込み沈下も見られた（**写真2**）。地震後1年を経過した2025年1月現在でも内灘町の復旧工事はまだあまり進んでいないが、今後の液状化対策として、セメント固化材を用い

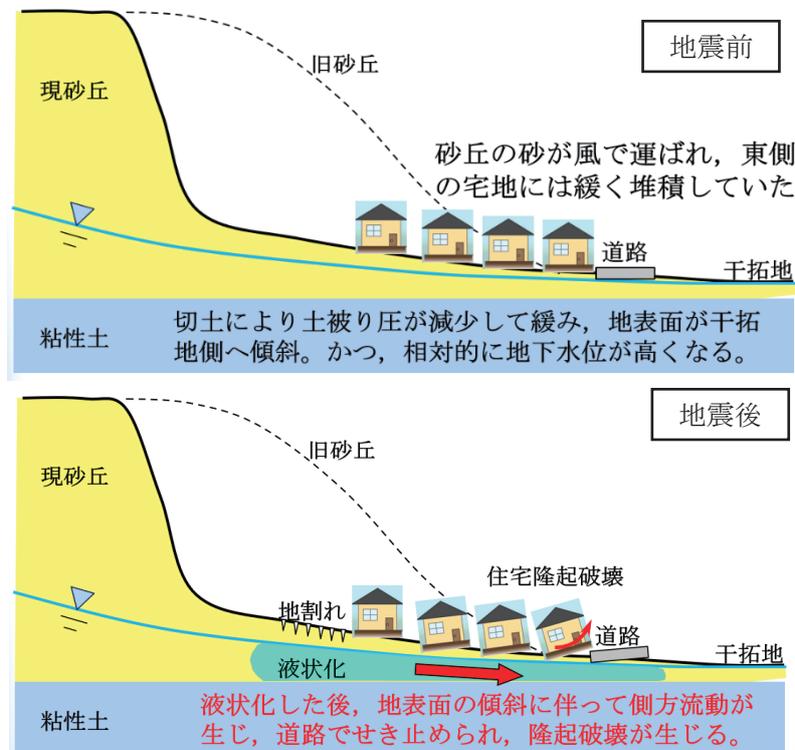


図1 内灘町の液状化による側方流動の状況



写真1 内灘町の倉庫の隆起破壊



写真2 内灘町の建物の約1mめり込み沈下



写真3 内灘町の住宅の柱状改良<sup>1)</sup>



写真4 内灘町の住宅の側方流動の状況

て住宅地盤の変形を抑止する格子状地中壁工法や住宅地盤の下に透水管を埋設する地下水位低下工法が考えられるが、後者では下部の粘性土の圧密沈下の可能性確認のための調査が必要と考えられる。

一方、内灘町では柱状改良（深層混合処理工法）で地盤改良された住宅が2軒あった。写真3は直径600mm、長さ6000mmの柱状改良体が47本打設された住宅である。家の周りの外構部は崩れるものの住宅は無被害であった。隣接する住宅は水路に向かって最大10m程度側方流動していたが（写真4）、この住宅では液状化した砂が柱状改良体の間をすり抜けたもようである。また、写真5<sup>2)</sup>は直径500mm、長さ3750mmの柱状改良体（固化材添加量300kg/m<sup>3</sup>、設計基準強度 $F_c = 800 \text{ kN/m}^2$ ）が34本打設されたべた基礎（図2）の住宅である。やはり液状化した砂が背後から流れてきたようであるが、住宅は無被害であった。敷地の四隅と中央の5点でスクリーウエイト貫入試験を行い、地盤調査会社から地盤改良が必要との判定を受け、実施したようである。

これらはセメント系固化材による地盤改良の地震時における有効性が確認されたものといえる。



写真 5 内灘町の柱状改良された住宅 2)

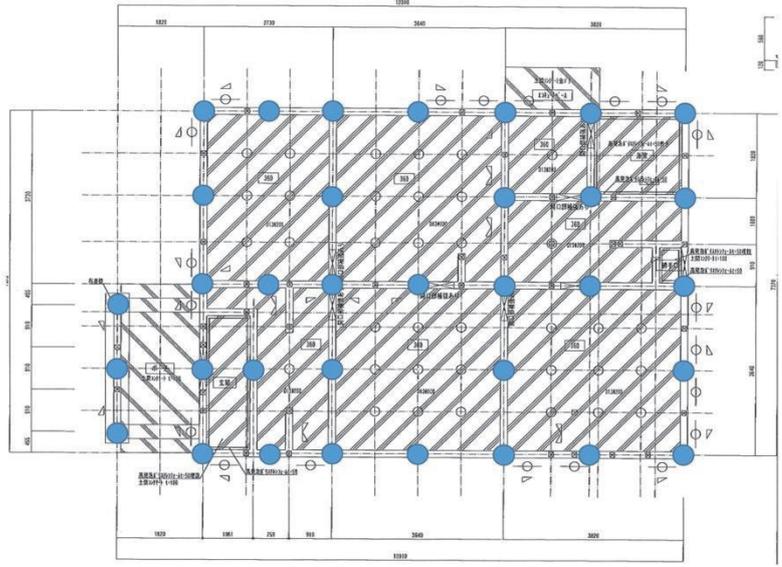


図 2 柱状改良体の杭伏図 2)

## 8. 3. 2 七尾市の恵寿総合病院の地盤改良効果

### 1. 概要

写真6に示す石川県七尾市桜町の恵寿総合病院の本館については、2015年の文献3)に免震構造物としての液状化対策工事として詳しく紹介されているが、今回の能登半島地震で、本館は無被害であったので、改めてその地盤改良効果を紹介する。

本館の仕様を表1に示す4)5)。本館は七尾市および能登地域の医療を支える拠点として、2013年10月に建設された。既設病院としては3病棟（6階RC造、旧耐震/耐震補強済）が1980年に、5病棟（6階RC造、新耐震）が2000年に竣工していた。今回の地震では七尾市で震度6強を観測しており、3病棟、5病棟ではRC壁のせん断クラック、柱の曲げ破壊、什器の転倒、天井の落下、スプリンクラーの破損などの被害があったが6)、本館は医療機器の転倒どころか、棚にあった本1つ落ちなかったとされている。なお、不幸中の幸いで、七尾湾では津波被害はなかった。



(1) 建物全景（北側）



(2) 建物全景（南側）

写真6 恵寿総合病院本館

表1 恵寿総合病院本館の仕様

建設地	石川県七尾市桜町 89-1, 他
建物規模	延床面積:16,044.47 m <sup>2</sup> 、階数:7階、高さ:GL+31.0 m
構造形式	基礎免震、鉄筋コンクリート構造
基礎形式	格子状地盤改良上に直接基礎（べた基礎）
工期	2012/03~2013/10

### 2. 本館敷地の地盤概要

敷地内で合計4本のボーリング調査が行われた。それによる地層断面を図3に示す7)。地表から約10m近辺までは沖積層で、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の砂分が混入した層が存在する。地下水位はGL-1.3mで浅い位置にあった。10m以深では、砂岩からなる基盤岩層が出現し、N値が60以上あり、支持層として十分である。各種土質試験結果を踏まえて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までの砂層）で液状化の可能性が確認されていた2)。

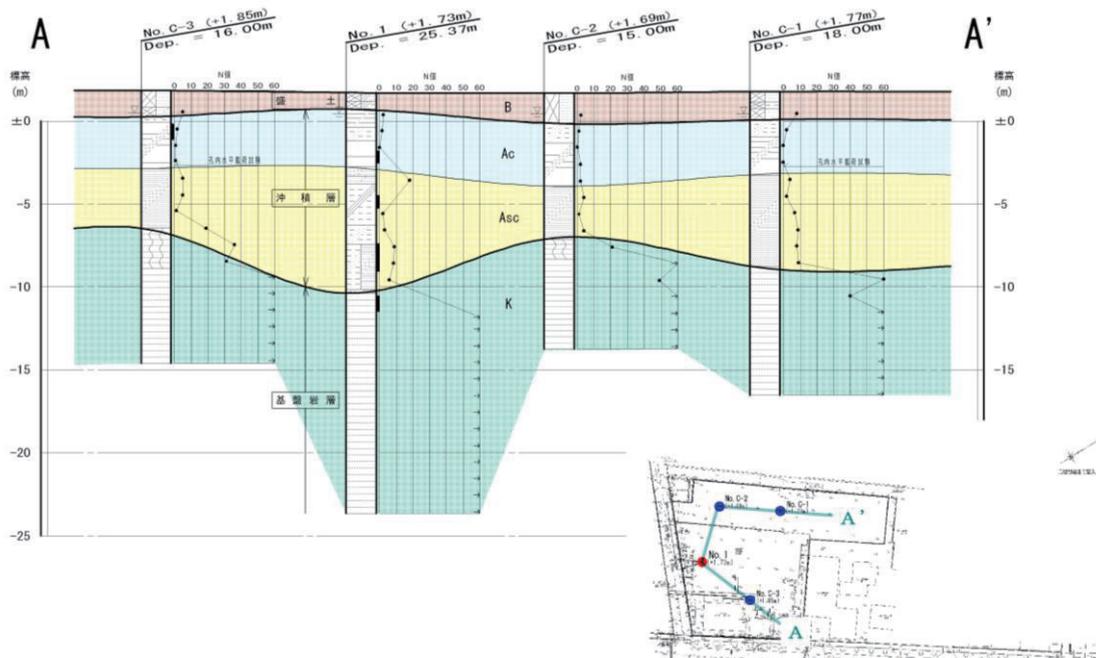


図3 本館敷地の地層断面

### 3. 地盤改良・基礎構造の概要

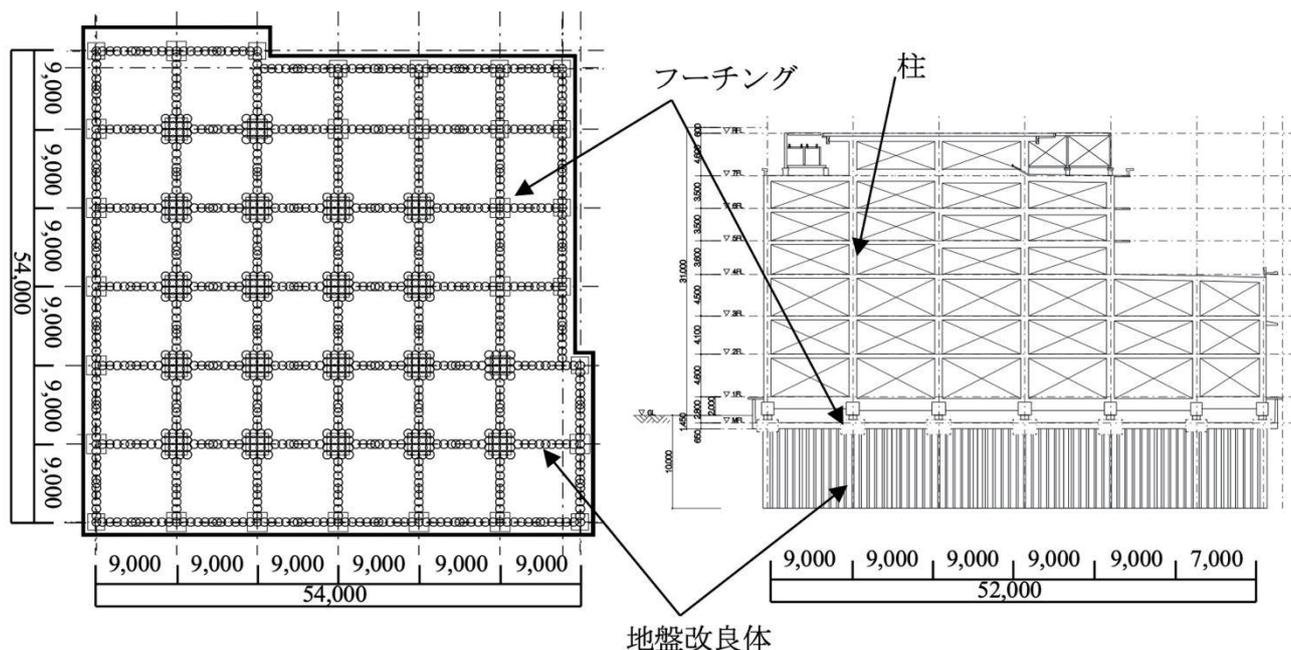
2011年の東日本大震災の被害を経て、本館が地域の医療活動拠点となるために、大地震時にも建物機能が維持できるように基礎免震構造が採用され、以下の本館の建築計画方針とされた。

- ① 建物基礎を免震構造（積層ゴム支承）とする。
- ② 地盤の液状化対策として、格子状地盤改良を行う。
- ③ 支持層が比較的浅いことから、格子状地盤改良体に建物を支持させる直接基礎とする。
- ④ その他：水害・津波対策として1階床の高さを約2m嵩上げ、電気設備を最上階に設置、災害時拠点対応として屋上ヘリポート設置、災害時の水確保のために井戸を設置、など

ここでは基礎構造として②、③について述べる。図4に本館の基礎構造と建物概要を示す。表2に格子状地盤改良の仕様をまとめた。格子状地盤改良体は、改良間隔  $L=9\text{ m}$ 、改良長  $H=12\text{ m}$  の  $L/H=0.75$  で、通常の  $L/H \leq 0.8$  の範囲にある。格子状地盤改良は、地震時に格子内の土のせん断変形を抑止することに液状化を防止し、有害な沈下を抑制するものである。①の免震構造に格子状地盤改良の効果も加えて、より免震効果が大きくなったと考えられる。なお、改良体の配置を上部構造の柱部のフーチングと合わせることで、鉛直力・水平力を直接改良体に伝達させている。そのため、建物内部柱には大きな鉛直力がかかるため、内部柱下の地盤改良体の本数を9～16本に増やされている（図4参照）。

表 2 格子状地盤改良の仕様

改良体径	φ 1000 mm (200 mm ラップ)
改良体本数	1,119 本
現場目標圧縮強度	3,120 kN/m <sup>2</sup>
固化材の種類	汎用固化材 (TL-3E)
固化材の添加量	330 kg/m <sup>3</sup>
水セメント比	70 %



(1) 格子状地盤改良体の配置図

(2) 軸組図

図 4 本館の基礎構造と建物概要

このような建物では耐震補強した杭基礎構造を採用するのが一般的であるが、この格子状地盤改良体に直接基礎（べた基礎）を置く方式は、2013 年時点では数例しかなかったもので、経済性も考慮された先進的な採用であったと考えられる。なお、この地盤改良による液状化抑止効果の検討、施工概要については文献 2) を参照されたい。

さらに、④に関して、七尾市では地震後に水道の断水が 3 ヶ月程度続いたが、本病院には事前に災害時に備えた井戸（深さ 93 m、揚水ポンプの設置 23 m、揚水量 3,900～2,500 m<sup>3</sup>/日）が設置されていたので、井戸水を救急医療やトイレ、飲料水として利用できたことは特筆される。現在もこの井戸水は活用されているとのことである。

### 謝辞

本稿をまとめるために、恵寿総合病院の情報は神野正博氏（病院理事長）、神野厚美氏（病院常務理事）および岡田純一氏（竹中工務店）からいただいた。厚く御礼を申し上げる。

#### 【参考資料】

- 1) 建築物のための地盤改良、セメント新聞、第 3594 号、2024 年
- 2) CONCEPT 建築設計のブログ：<https://conceptad.blog.fc2.com/blog-entry-3414.html>（参照 2025.2.12）.
- 3) セメント協会：大規模災害に対してセメント系固化材による地盤改良が果たす役割， pp.88-93， 2015.
- 4) 神野厚美：新病院の建築計画について， 恵寿総合病院医学雑誌， 第 3 巻， pp.40～49， 2015.
- 5) 恵寿総合病院：広報誌「恵寿」別冊， 2014.1.
- 6) 岡田純一：免震建物の被害状況～免震病院の被害と震災対策～， structure 第 173 号， JSCA， pp.30～33， 2025.
- 7) 奥村豪悠・岡田純一・本多剛・濱田純次：令和 6 年能登半島地震で被災した免震建物の応答推定， 日本地震工学会・大会， A-12-3， pp.1～10， 2024.

## 8. 4 復旧・復興において地盤改良技術が果たす役割

### 8. 4. 1 金沢港

金沢港は、日本海沿岸の中央部に位置し、金沢市街を貫流して日本海にそそぐ大野川、犀川両河口を包含し、日本海に面する港湾であり、昭和38年に豪雪に見舞われ陸路が遮断したことから海上輸送の重要性が認識され、昭和39年4月に重要港湾の指定を受け、大野川の河口を彫り込んで整備を進め昭和45年に開港した。港湾法上での重要港湾であり、取扱貨物量は令和5年次では約320万トンに達しており、日本海対岸諸国と我が国を結ぶ港である。

#### 1. 被害概要

能登半島地震により、金沢港においても非耐震強化岸壁の岸壁等一部が破損し、背後のふ頭用地が陥没するなどの被害が広範囲で発生した。

具体的には、建設機械やセメント等を取り扱う戸水ふ頭や御供田ふ頭の一部では、岸壁の損傷や背後のふ頭用地の液状化により陥没が発生したため、物流機能の一部に支障を生じた。(写真1～3)



写真1 金沢港における被災概要



写真2 戸水ふ頭の被害の様子

一方、耐震強化岸壁がある無量寺ふ頭では、ふ頭用地に若干の不陸が認められたものの、耐震強化岸壁に損傷はなく、クルーズターミナルを支援物資の一時保管場所として活用し、支援物資等を被災地へ海上輸送する際の基地として利用された。(写真4)



写真3 御供田ふ頭の被害の様子



写真4 被害のなかった無量寺ふ頭

## 2. 無量寺耐震強化岸壁

金沢港が所在する金沢市では震度5強の地震を観測したが、被害を受けなかった無量寺ふ頭耐震強化岸壁（延長260m、水深10m）では、被災地港湾への支援物資・資機材の積み込みや支援船への給油・給水等の活動拠点として機能した。耐震強化岸壁の概要を写真5、図1に示す。



写真5 無量寺ふ頭の耐震強化岸壁の整備状況（写真：石川県提供）

無量寺ふ頭は、昭和48年から50年に整備され平成29年から再整備事業として地震動L2に耐えるよう耐震強化岸壁として整備されており、鋼管矢板を挟むように陸側、海側両方を地盤改良している。岸壁付近は高圧噴射工法を用い、他の箇所は機械攪拌工法で施工している。この時、水際から30mは液状化対策も含め深さ15mまで全面改良しており、今回の地震においても地盤改良部分の液状化は認められず、岸壁にも被害はなかった。このため、ふ頭用地や緑地等のオープンスペースを自衛隊の仮設基地や海上輸送を行う際の緊急支援物資の仮置き場として活用し、被災地への支援に大きく貢献した。

## 3. 戸水ふ頭、御供田ふ頭の復旧

戸水ふ頭、御供田ふ頭では、岸壁、ふ頭用地の変位や破壊、液状化による段差や噴砂及び岸壁背後の沈下が発生し、貨物船の接岸が出来ない状況となった。このため、液状化に

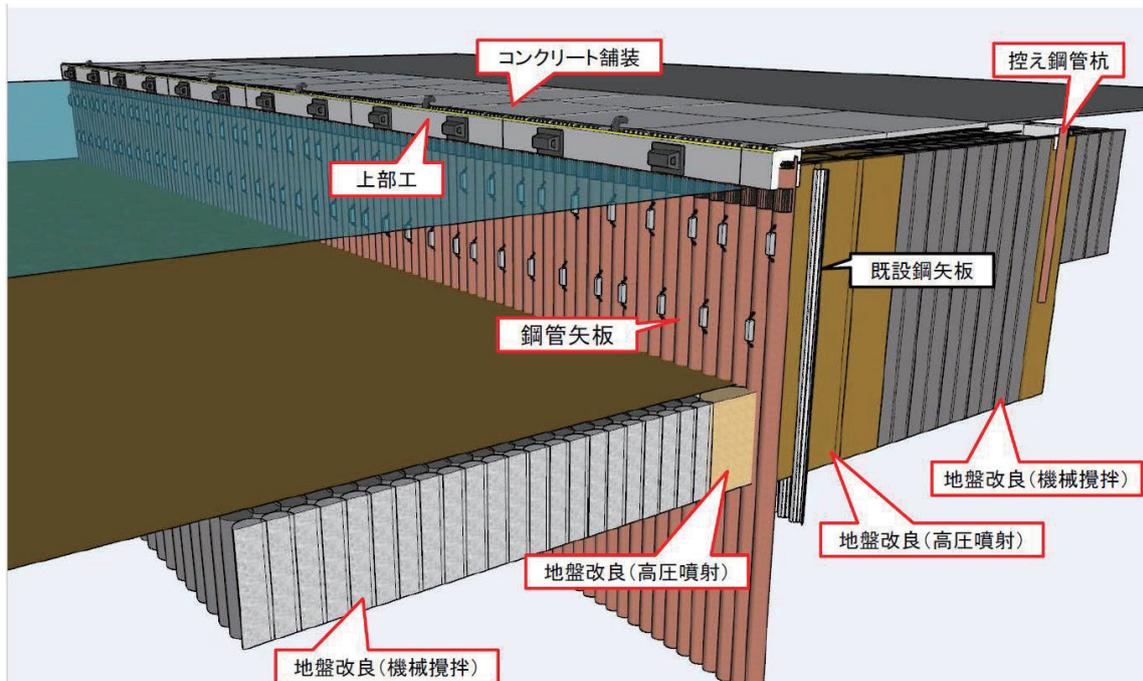


図1 無量寺ふ頭耐震強化岸壁構造図

よるふ頭用地の陥没などに対する応急復旧を令和6年4月までに実施し、その後本復旧に移っている。

・戸水ふ頭

戸水ふ頭本復旧では、岸壁復旧は傾斜した既設鋼矢板は残置し新たに矢板や控え鋼管杭を打ち、岸壁構造に影響を及ぼす範囲については、液状化対策として改良深さ 690cm の地盤改良を実施する（図 2）。これは耐震強化岸壁部とは異なり、陸上部のみ改良し液状化を防ぐことを主目的に実施しており、地震動 L1 に耐える構造となっている。また、ふ頭背面のふ頭用地（控え杭より陸側）についても液状化対策として改良深さ 325cm で中層改良を実施している。（写真 6、図 3）

・御供田ふ頭

御供田ふ頭においては、現在本復旧の設計を行っており、地盤改良も含めて各種工法を比較検討している。

4. 地盤改良の効果

金沢港においては、地盤改良も活用した耐震強化岸壁は地震による揺れに耐え、液状化による被害も発生しなかった。また、被災した岸壁の復旧においては、液状化対策として地盤改良が広く活用されており、地震に対してセメント系固化材を用いた地盤改良技術の有効性が改めて示された。

最後になりましたが、本項を取りまとめるにあがり、石川県金沢港湾事務所及び国土交通省北陸地方整備局金沢港・空港整備事務所より資料・写真等の提供を始め、多くの協力を頂きましたこと、ここに御礼申し上げます。

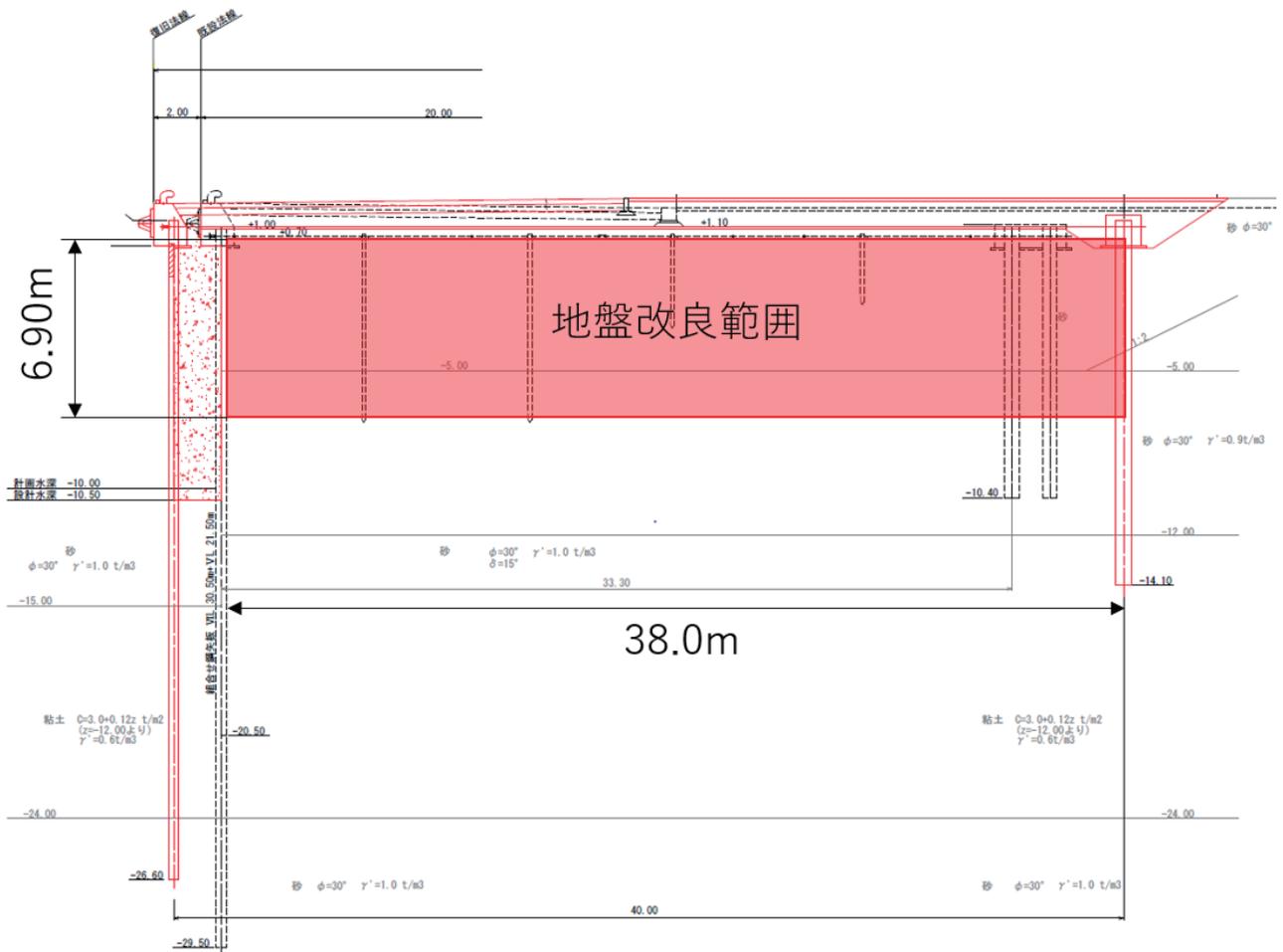


図2 戸水ふ頭の復旧断面図（25年2月時点）



写真6 戸水ふ頭ふ頭用地の地盤改良の様子

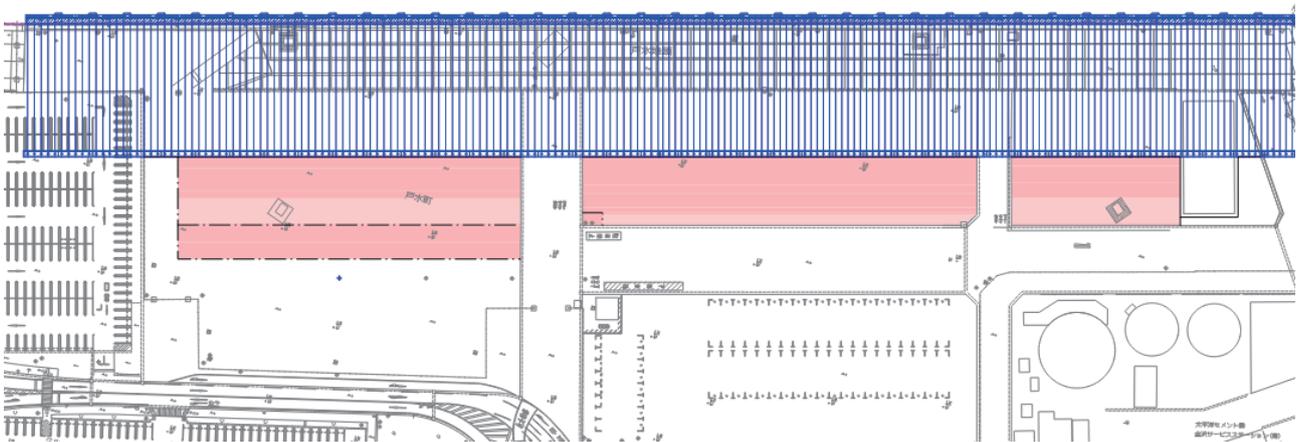


図3 戸水ふ頭ふ頭用地の地盤改良平面図（赤の部分、青はふ頭部分）

## 8. 4. 2 国道 249 号

能登半島地震により、能登半島では斜面の崩落や陥没などにより、道路網が寸断され復旧・復興の大きな課題となった。今回取り上げる国道 249 号線は、石川県七尾市から輪島市を經由して、金沢市に至る一般国道である。能登半島地震により、輪島市から珠洲市までの約 100km が、斜面崩壊や隆起や陥没によりほぼ通行不可となった。被害が甚大であり早急な復旧が必要なことから、石川県知事からの要請等を踏まえ国道 249 号線復旧のうち約 53km は、国土交通省が権限代行により実施した。

### 1. 被害概要

本報では、国道 249 号線千枚田地区における大規模斜面崩落現場の事例を紹介する。千枚田地区は海際を通る路線であり、斜面と海岸に挟まれた立地となっている。地震により 800m にわたり斜面崩落が発生し、崩落土砂が道路を完全に塞ぎ、崩落土砂の背面斜面不安定化や、崩落土砂自体が不安定化する恐れがあり、今後最大で 10 万  $m^3$  の土砂が崩落する可能性があった。また、海岸では隆起が発生し海岸線が数十 m 前進している。(写真 1~3)

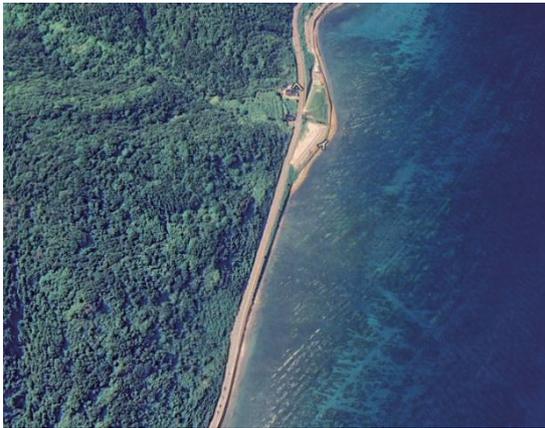


写真 1 地震前の被災路線

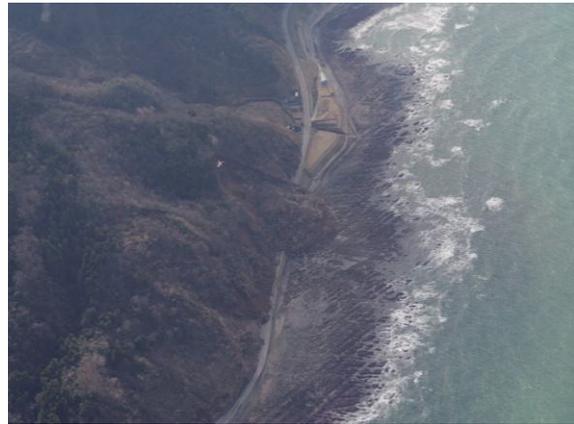


写真 2 地震後の様子

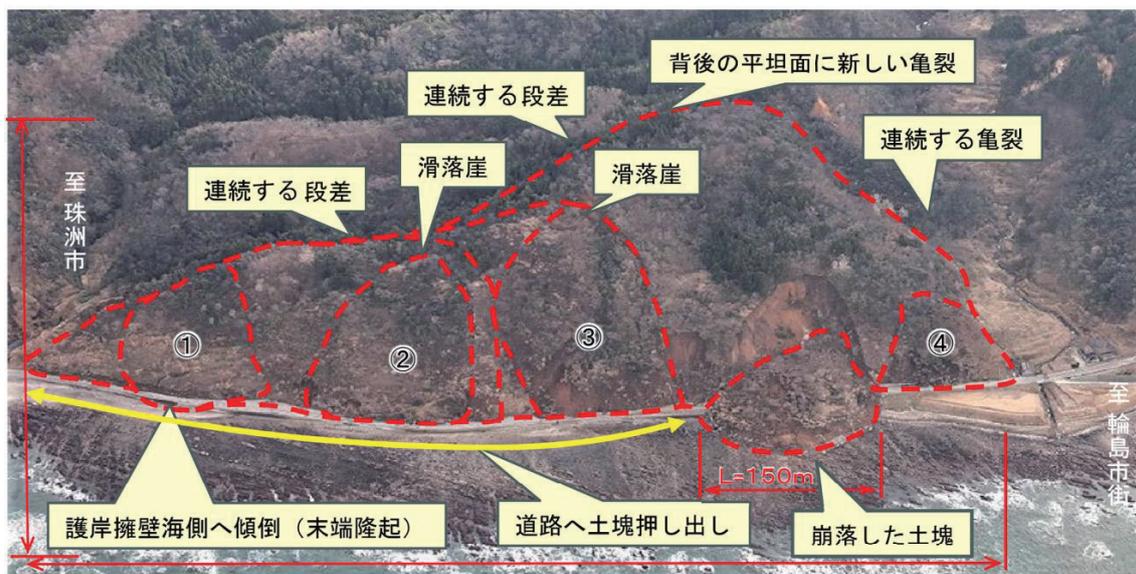


写真 3 被害の概要

## 2. 復旧工事

復旧計画では、崩落した土砂を取り除き本線を復旧させることは、工期及び再崩落の危険性から放棄し、隆起し陸地となった元海底部分に緊急復旧道路を構築することとなった。工事は片側交互通行を確保する第1期、2車線道とする第2期に分けて実施した。(図1) 道路断面は図2に示す通りであり、盛土部分においては崩落した土砂をセメント系固化材で改良した改良土を用いている。改良土は、自走式土質改良機により現場においてセメント系固化材と崩落土砂を混合し製造した。(写真4) 改良土は、均一な強度を持っているため、盛土材として用いることにより、盛土の高耐久化と現地材料の有効活用に寄与した。工事は途中、令和6年奥能登豪雨による土砂の流入などによる再被災があったものの、第1期工事は24年5月2日に竣工し通行を確保した。また、同年12月20日に第2期工事が完了し2車線交通が確保できた。(写真5、6)

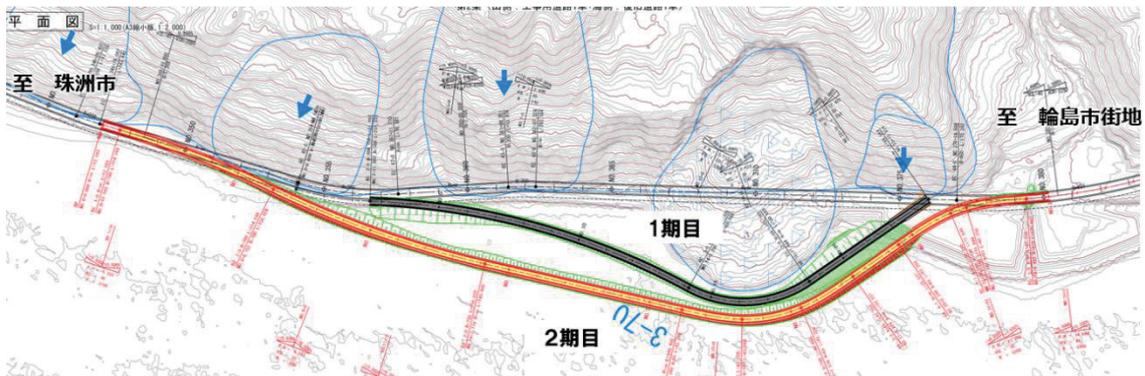


図1 復旧計画平面図

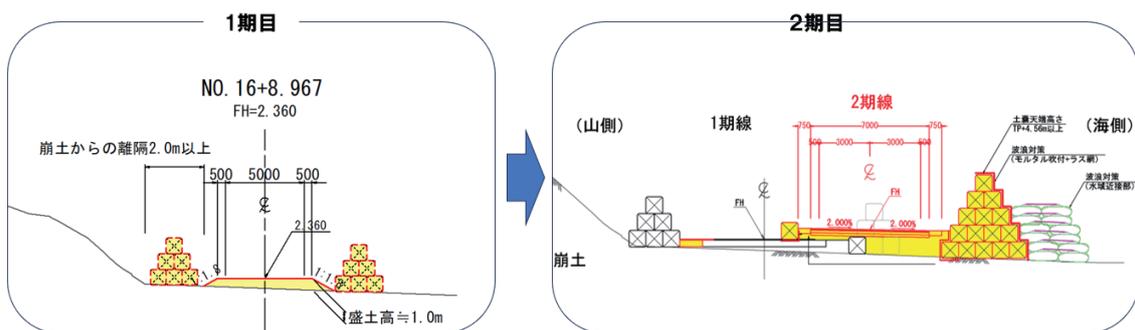


図2 復旧道路断面



写真4 崩落土砂改良の様子



写真5 復旧工事の様子（第2期）



写真6 施工後の様子

### 3. セメント系固化材の効果

セメント系固化材を用いた改良土を、応急復旧道路の盛土に用いることで、現地発生土（崩落土砂）を有効活用しつつ、耐久性の高い道路を築造できた。これは一例であるが、能登半島地震からの復旧工事では、幅広くセメント系固化材が活用され、復旧・復興を支えている。

最後になりましたが、本項を取りまとめるにあたり国土交通省能登復興事務所より資料・写真等の提供を始め、多くの協力を頂きましたこと、ここに御礼申し上げます。

## 9. おわりに

セメント協会では、2011年に発生した東日本大震災を契機に、震災調査ワーキンググループを組織して、「東日本大震災におけるセメント系固化材を用いた地盤改良に関する調査報告書（2013年）」、「大規模災害に対してセメント系固化材による地盤改良が果たす役割（2015年）」の報告書を取りまとめた。その後、事例調査ワーキンググループに改組して、更なる事例を収集し、「セメント系固化材の広がる用途と役割（2018年）」、「防災・減災、国土強靱化に資するセメント系固化材による地盤改良（2021年）」を発刊した。したがって、本報告書は通算で5冊目となる。

本報告書では、ため池・砂防、海岸、河川など水辺における地盤改良工事について、先進的な事例11件を紹介した。また、地盤改良技術の河川堤防への最近の取り組みについて、取りまとめた。セメント系固化材による地盤改良の用途と役割は広がりを見せ、目的も多種・多様化してきたことがわかる。

さらに、2024年1月1日に発生した、令和6年能登半島地震について現地調査を実施し、セメント系固化材を用いた地盤改良の有効性や今後の復旧・復興に向けた地盤改良技術の活用について報告した。セメント系固化材を用いた地盤改良技術は、これまでの報告書でも記した通り実際の地震において被害を防ぎ、減災・防災に大きく寄与したことが改めて示された。また、復旧・復興においても幅広く活用されており、今後さらに求められる国土強靱化へも貢献できる技術である。

今後、セメント系固化材に対する期待は益々高まることが予想されることから、更なる地盤改良工事の事例収集を継続・蓄積して、技術者の方々に有効利用できる資料として提供していきたい。

最後に、本報告書がセメント系固化材による地盤改良の設計・施工・管理、復旧・復興工事、防災・減災工事の一助となれば幸甚である。

## 謝辞

本書を作成するにあたり、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示します。

(敬称略・順不同)

- ・国土交通省東北地方整備局 酒田河川国道事務所
- ・国土交通省北陸地方整備局 金沢港湾・空港整備事務所
- ・国土交通省北陸地方整備局 能登復興事務所
- ・国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所
- ・石川県 金沢港湾事務所
- ・石川県 土木部港湾課
- ・香川県 中讃土地改良事務所
- ・高知県 安芸農業振興センター
- ・三重県 伊勢農林水産事務所水産室
- ・和歌山県 海草振興局建設部
- ・吉川市 吉川美南駅周辺地域整備課
- ・CDM 研究会
- ・パワーブレンダー工法協会
- ・泥土処理研究会
- ・恵寿総合病院
- ・サカケン株式会社
- ・伊藤忠 TC 建機株式会社
- ・株式会社インボックス
- ・株式会社 KG フローテクノ
- ・株式会社総合土木研究所
- ・株式会社竹中工務店
- ・株式会社ハザケン
- ・株式会社不動テトラ
- ・弘安建設株式会社
- ・三和建设株式会社
- ・大井建設株式会社



セメント系固化材を用いた水辺での活用事例と能登半島地震に対する効果

ISBN978-4-88175-186-2 C3358

---

2025年3月発行

一般社団法人セメント協会  
普及部門  
東京都中央区新富 2-15-5

研究所  
コンクリート研究グループ  
東京都北区豊島 4-17-33

---

本書の無断複製や転載を禁じております

本書に関するお問い合わせは下記までをお願い致します。

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





