

セメント系地盤改良工法の品質管理のポイント

2022年5月

一般社団法人 日本建設業連合会

技術研究部会 地盤基礎専門部会

セメント系地盤改良工法の品質管理の現状と課題 WG

地盤基礎専門部会

主査	佐原 守 (大林組)	
副主査	浅香 美治 (清水建設)	平井 芳雄 (竹中工務店)
幹事	武居 幸次郎 (鹿島建設)	長尾 俊昌 (大成建設)
委員	古東 秀文 (浅沼組)	西 正晃 (安藤・間)
	岸本 剛 (奥村組)	森 利弘 (熊谷組)
	森清 宣貴 (鴻池組)	富田 祐介 (五洋建設)
	井奥 貢 (銭高組)	尻無濱 昭三 (鉄建建設)
	川幡 栄治 (東亜建設工業)	古垣内 靖 (東急建設)
	佐野 大作 (戸田建設)	新井 寿昭 (西松建設)
	中村 光男 (長谷工コーポレーション)	立澤 真純 (ピーエス三菱)
	中川 太郎 (フジタ)	野田 和政 (前田建設工業)
	宮田 勝利 (三井住友建設)	

セメント系地盤改良工法の品質管理の現状と課題 WG

主査	浅香 美治 (清水建設)	
副主査	新井 寿昭 (西松建設)	岩田 暁洋 (大成建設)
サブWGリーダー		
	河野 貴穂 (竹中工務店)	新井 寿昭 (再掲)
	藤嶋 泰輔 (鹿島建設)	
委員		
	山口 克彦 (浅沼組)	辻 剛史 (安藤・間)
	児島 理士 (大林組)	岸本 剛 (奥村組)
	小川 敦 (熊谷組)	森清 宣貴 (鴻池組)
	加藤 雄治 (銭高組)	尻無濱 昭三 (鉄建建設)
	川幡 栄治 (東亜建設工業)	板橋 靖 (東急建設)
	田口 智也 (戸田建設)	立澤 真純 (ピーエス三菱)
	細川 浩 (前田建設工業)	高岡 雄二 (三井住友建設)

まえがき

セメント系固化材を用いて改良された地盤の改良体の許容応力度（許容支持力度）が国土交通省告示第 1113 号（平成 13 年）第 3 で規定され、セメント系地盤改良の法令上の位置づけが明確にされたことや、（一財）日本建築センターや（一社）日本建築学会などから改良地盤の設計指針が出版されたこと等をきっかけとして、建築物においてもセメント系地盤改良が基礎構造に利用されるようになった。現在では、直接基礎の支持力の改善、地盤沈下量の低減、液状化対策などを目的に、セメント系地盤改良は幅広く活用されている。近年では、地盤改良工法の多様化・施工管理技術の高度化にともなって、改良体の高強度化、改良地盤の高支持力化のトレンドが顕著である。

改良地盤の物性は、原材料を選定して品質を管理しながら人工的に作られるコンクリートや鋼材などの建設材料の物性と比較すると、ばらつきが大きいと言われている。それは主に、建設予定地にある原地盤が改良対象であり、良質な土質材料のみを選択できないことや、原地盤の物性や地盤改良の施工にばらつきがあることなどに起因している。このように、地盤改良体の品質は施工方法や原位置土質に大きく依存し、いかに品質管理を行うかが重要であると認識されているものの、構造設計者や現場の施工管理に携わる技術者からは、地盤改良工法の選定や品質管理における要点が分かりにくいという声を多く聞く。

そこで（一社）日本建設業連合会 地盤基礎専門部会では、2016 年 11 月より「セメント系地盤改良工法の品質管理の現状と課題 WG」を立ち上げ、建築物に本設利用されるセメント系地盤改良工法の品質向上に資するための検討を行った。地盤改良会社・協会や建設会社へのアンケートを通じてセメント系地盤改良の品質管理の現状と課題を整理するとともに、現行の各種指針等の文献調査を行って、セメント系地盤改良工法における品質管理の要点を抽出し、「セメント系地盤改良工法の品質管理のポイント」としてまとめた。本資料が、建設の実務に携わる方々に広く参照して頂けるものと期待している。

最後に、ご多忙のおり、当 WG 実施のアンケートにご協力頂いた関係各位に心より感謝申し上げますと共に、本資料をまとめて頂いた委員の皆様にお礼申し上げます。

2022年5月

地盤基礎専門部会 セメント系地盤改良工法の品質管理の現状と課題 WG

本資料の作成にあたり参考にした指針・文献

- A 日本建築センター、ベターリビング：2018年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針ーセメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法ー、2018（以下、BCJ・BL指針）
- B 日本建築センター：「改定版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針」Q&A集 改良地盤の設計及び品質管理における実務上のポイント、2010
- C 国土交通省告示第1113号 第3:地盤の許容応力度及び基礎ぐいの許容支持力を求めるための地盤調査の方法並びにその結果に基づき地盤の許容応力度及び基礎ぐいの許容支持力を定める方法等を定める件、2001
- D 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
- E 土木研究所、流動化処理工法総合監理：流動化処理土利用技術マニュアル、2008
- F 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS3 JASS4、2009
- G 日本建築学会：建築基礎のための地盤改良設計指針案、2006
- H 日本建築学会：建築基礎構造設計指針、2019
- I 日本建築学会 関東支部：基礎構造の設計ー学びやすい構造設計ー、2003
- J 土木研究センター：陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル、2004
- K 沿岸技術研究センター：海上工事における深層混合処理工法技術マニュアル、2008
- L 地盤工学会：地盤改良の調査・設計と施工ー戸建住宅から人工島までー、2013
- M 土木研究センター：液状化対策工法設計・施工マニュアル（案）、1999
- N 日本材料学会 土質安定材料委員会：地盤改良工法便覧、1991
- O 地盤工学会：地盤改良のトラブルの要因とその対策、1993

目 次

【本 編】

第 1 章 総則	1-1
1.1 適用範囲	1-1
1.2 用語	1-1
第 2 章 機械攪拌式深層混合処理工法	2-1
2.1 事前調査	2-1
2.2 配合管理	2-1
2.3 施工管理	2-3
2.4 品質検査	2-4
2.5 項目整理表	2-5
第 3 章 中層混合処理工法	3-1
3.1 事前調査	3-1
3.2 配合管理	3-1
3.3 施工管理	3-3
3.4 品質検査	3-4
3.5 項目整理表	3-5
第 4 章 浅層混合処理工法	4-1
4.1 事前調査	4-1
4.2 配合管理	4-1
4.3 施工管理	4-3
4.4 品質検査	4-4
4.5 項目整理表	4-5
第 5 章 高圧噴射攪拌式深層混合処理工法	5-1
5.1 事前調査	5-1
5.2 配合管理	5-1
5.3 施工管理	5-3
5.4 品質検査	5-4
5.5 項目整理表	5-5

【資料編】

第 1 章 地盤改良の不具合例	付 1-1
第 2 章 地盤改良工法の技術資料	付 2-1

第1章 総則

1.1 適用範囲

本資料は、建築物の基礎地盤となる原地盤とセメント系固化材（セメントを含む）を混合してスラリー状態で攪拌することで改良する固化工法（機械攪拌式深層混合処理工法・中層混合処理工法・浅層混合処理工法・高圧噴射攪拌式深層混合処理工法）に適用する。

1.2 用語

この手引きにおける用語の定義は、次のとおりとする。

- 機械攪拌式深層混合処理工法 : 原位置で地盤内にセメント系固化材を供給し、改良対象土と機械的に攪拌混合する工法（本文では機械攪拌式）。固化材の添加方式としては粉体状とスラリー状に分類できる。攪拌混合は、地中に固化材を吐出して行う場合が多いが、地上に排出した土とセメント系固化材を混合し、再度地中に戻し攪拌混合する置換式工法もある。柱状改良工法とも言う。
- 中層混合処理工法 : バックホウをベースマシンとしてトレンチャーやロータリーを備えた攪拌機を用いて、原位置で地盤内にセメント系固化材を供給し、改良対象土と機械的に攪拌混合する工法。一般的に、改良深度は施工地盤面から13m程度までとされる。
- 浅層混合処理工法 : バックホウをベースマシンとしてミキシングバケット等を備えた攪拌機を用いて、原位置で地盤内にセメント系固化材を供給し、改良対象土と機械的に攪拌混合する工法。一般的に、改良深度は施工地盤面から3m～最大6m程度までとされる。
- 高圧噴射攪拌式深層混合処理工法 : 原位置で地盤内にセメント系固化材を供給し、改良対象土と噴射圧力によって強制的に攪拌混合する工法（本文では高圧噴射攪拌式）。固化材の添加方式としては粉体状とスラリー状に分類できる。
- キャリブレーション : 施工管理のための各種の計測機器類の較正を行うこと（例えば、ミキシングプラントの計量器、流量計、攪拌機の深度計・回転数計・攪拌翼の形状寸法など）。
- 改良形式 : 改良体の平面的な配置や深さ等から定まる改良地盤の様式で、杭形式、壁形式、ブロック形式に分類される。
- 杭形式 : 改良コラムをオーバーラップさせないで配置した改良形式（複数本のオーバーラップされた改良体でも、細長比が大きい場合は杭形式となる）。
- 壁形式 : オーバーラップされた複数の改良コラムを壁または格子状に配置した改良形式。
- ブロック形式 : オーバーラップした改良体で構造物の基礎下全面を改良する形式。
- ロータリー式 : 攪拌機先端に攪拌翼を取り付けた機材（ロータリー）を用いる方式。
- トレンチャー式 : 攪拌羽根を環状のチェーンに取り付けた機材（トレンチャー）を用いる方式。
- ミキシングバケット : 攪拌性能を向上させた地盤改良専用のバケット。
- 細長比 : 改良長と改良体幅の比。
- セメント系固化材 : 土を固めることを目的としたセメントが主成分である固化材。単に固化材とも言う。
- 粉体状固化材 : 粉末の状態のセメント系固化材。
- スラリー状固化材 : 水と粉体状固化材を混ぜてスラリー状にしたセメント系固化材。

改良土	: 原地盤とセメント系固化材を攪拌混合されたもの。
未固結改良体	: いまだ固まっていない状態の改良土。未固結改良土とも言う。
改良体	: 原地盤とセメント系固化材を攪拌混合し築造された、設計上、一体として扱う固まった状態の改良土（オーバーラップされ、外力に一体として抵抗する複数の改良コラムは一つの改良体となる）。
改良コラム	: 深層混合処理工法によって築造される柱状の改良体。
改良地盤	: 改良体とその外周によって囲まれる地盤で、改良体と改良体間原地盤からなる。
改良体間原地盤	: 改良地盤中の原地盤。
ラップ施工	: 改良コラムを連結させる場合に、改良コラム同士が重なるように施工する方法。
未固結試料	: 地盤改良体の固化前に築造位置から採取した試料。
コアマシン法	: 改良体の頭部付近からコアマシン（ダイヤモンドビットなど）を用いてコアを採取する方法。
コア	: 改良体から採取した円柱形の試験片（試料）。採取する位置によりボーリングコアと頭部コアに分けられる。
コア供試体	: 一軸圧縮試験などの試験を実施するため、コアの高さを直径の2倍程度に整形した円柱供試体。
ボーリングコア	: 改良コラムから深度方向に採取したコア。
頭部コア	: 改良コラムの頭部から採取したコア。
モールドコア	: 施工直後の、未固結改良土を採取し、これを地上で型枠に充填し、固化後、脱型したもの。特殊なサンプラーを用いて、未固結改良土を地中で直接モールドに充填する場合もある。
設計基準強度	: 改良地盤の設計において基準となる圧縮強度。改良地盤の強度のばらつきを考慮して適切な不良率を考慮して設定される。なお、変動係数は、以下①～③のような実績を基に設定することが望ましい。①コア強度の正規分布の適合度判定、②コア強度の分布を求める際のコア供試体個数（25個以上）、③変動係数の信頼性の確認（各土質5現場以上）。
設計対象層	: 改良対象土層のうち、配合量を設定する際に対象とする土層。通常、同一の強度を期待する場合に最も多くの固化材量を必要とする土層（最弱層）を設計対象層とする。
要求性能	: 設計において担保されるべき改良地盤の性能。
コア強度	: コアの一軸圧縮強さ。試験材齢28日を標準とする。
コア採取率	: ボーリングコア長の掘進長に対する比を百分率で示したもの。
28日/7日強度比	: 材齢7日コア強度に対する材齢28日コア強度の伸び率。
検査対象群	: 地盤条件、施工条件がほぼ同一の改良コラムの集まりで、品質検査におけるロットとしての改良コラム群を言う。
検査対象層	: 検査対象群の中で改良体からコアを採取し、検査のために平均強度を求める同一地層からなる土層。
ランダムサンプリング	: 抜取検査において、どの部分からも同じ確率でサンプリングすること。ここでは、適切な対象群から無作為に偏ることなくコアを採取することを意味する。
調査箇所数	: 所定の調査方法を適用する調査数量のこと。一般には、コア抜取の対象となる改良コラム数または改良ブロック数のことを意味している。
抜取箇所数	: 品質検査における検査数量を表すもの。一般には、同一層から採取された3個のコアをもって1抜取箇所とする。

抜取個数	: 品質検査において採取したコア供試体の個数。
不良率	: コア強度の分布のうち設計基準強度を下回る部分の割合。
配合量	: 改良対象土 1m ³ に対する粉体状固化材の質量。添加量とも言う。
配合条件	: 固化材の種類、配合量、水／固化材比など、配合に係る条件の総称。
室内配合試験	: 配合条件を設定するために実施する室内試験。原位置より採取された土と固化材等を混合して供試体を作製し、所定材齢にて一軸圧縮試験を実施し、改良効果を判定する。
現場／室内強度比	: 同一配合条件における現場平均強度と室内強度との比。現場／室内強度比は、以下①～③のような実績を基に設定することが望ましい。①コア強度の正規分布の適合度判定、②コア強度の分布を求める際のコア供試体個数（25個以上）、③変動係数の信頼性の確認（各土質5現場以上）。
配合強度	: 配合条件を設定する際に目標とする一軸圧縮強さ。
割増し係数	: 配合強度を設計基準強度で除した値。
必要強度	: 設計基準強度を確保するために必要となる施工管理上の強度。品質検査においては合格判定値とも言う。
室内強度	: 室内配合試験における供試体の一軸圧縮強さ。養生日数は28日を標準とする。
室内配合強度	: 室内配合試験において、目標とする室内強度。一般には、配合強度を現場／室内強度比で除して求められる。
現場平均強度	: 改良体を母集団としたコアの一軸圧縮強さの平均値。
湿空養生	: 温度 20±3℃、かつ湿度 95%以上に保った恒温恒湿室内あるいはこれと同様の条件で養生する方法。
施工条件	: 掘進・引上げ速度、軸回転数、配合条件などの具体的な値、施工機器の種類などの総称。
現場配合試験	: 本工事の施工条件を設定するために、原位置で事前に行われる、地盤改良機を用いた配合試験。大規模な改良工事や実績の乏しい特殊な地盤において実施されることが多い。BCJ・BL改良指針（2018）においては「試験施工」と定義されている。
試験施工	: 本工事における最初の地盤改良工事。杭工事における「試験杭」と同意。
着底	: 改良コラムを定着させる地盤に掘削攪拌ビットの先端が到達すること。
共回り	: 攪拌・混合途中に生じる現象で、改良土が攪拌翼と共に塊状のまま回転する現象のこと。この状況では、土と固化材を十分に攪拌混合できない。
共回り防止翼	: 掘削翼と攪拌翼の間に取り付けた、掘削ロッド軸に対して回転自在な板状翼。工法によって形状や取り付け位置・段数が異なる。
羽根切り回数	: 一般的には、攪拌翼が1mの長さ（深さ）を通過する時の全回転数。工法によって定義に違いがあるので、詳細は工法ごとに確認する必要がある。
攪拌混合度	: 土と固化材が混ざり合った均質性の度合いを言い、攪拌翼の形状、攪拌機構、攪拌軸回転数、攪拌時間等から決まる。改良体の品質を評価する重要な指標であり、同一層、同一配合におけるコア強度の変動係数などで評価する場合がある。
管理装置	: 施工中に圧縮空気の噴射流量・圧力、スラリー状固化材の噴射流量・圧力、造成ロッドの回転数・引上げ時間などを計測・記録できる装置。施工管理装置とも言う。

第三者機関

： 検査に際して当事者以外の第三者の立場で試験を行う機関で、JIS Q 17025（試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項）に適合する機関またはこれと同等の技術力を有すると認められる機関。

第2章 機械攪拌式深層混合処理工法

本資料は、機械攪拌式深層混合処理工法において、品質管理上、重要と考えられる項目を抽出し、まとめたものである。項目の一覧を2.5節に示した。記載内容は、概ね「2018年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針（以下、BCJ・BL指針と称す）」をベースにしているが、当WG活動を通じて収集した建築分野・土木分野の指針類や、会社・工法協会へのアンケート調査結果も参考にした。

2.1 事前調査

改良地盤の設計・施工に必要な地盤情報を得るための事前調査として、地盤調査および文献調査を実施する。軟弱層の厚さ、支持層の深度、地層の連続性、起伏、地下水位、物理的・力学的特性や、必要に応じて化学的特性を把握する目的で、ボーリング調査、標準貫入試験、サウンディング調査、土質試料の採取、室内土質試験を行う。

下記の地盤については、地盤改良の適用に問題がないか確認する必要がある。

- ・施工上の障害となる礫や転石（工法によるが ϕ 50mm～100mm程度以上）を多く含む地盤
- ・ローム・火山灰質粘性土（アロフェンを含む）の地盤
- ・有機物・腐植土を多く含む地盤（柱状図に表記されている場合）、酸性土地盤（ $\text{pH} \leq 4$ ）や硫酸塩を含む地盤（可溶性 $\text{SO}_4 \geq 0.5\%$ ）
- ・掘削部に産業廃棄物や地中障害物などが埋設されている地盤
- ・地下水が流水状態（100cm/分程度以上）にある地盤
- ・凍結を生じる地盤

2.2 配合管理

2.2.1 材料の選定

（1）固化材・添加剤

使用する固化材はセメント系固化材とし、①汎用固化材（一般軟弱土、特殊土） ②高有機質土用固化材等は、地盤条件に適合したものをを用いる。改良対象土質によっては（例えば、有機分を含まない場合）、普通ポルトランドセメントや高炉セメントB種などのJIS規格品を固化材として使用することができる。改良対象土がロームの場合は六価クロムが溶出するおそれが高いため、六価クロムの溶出量を抑制する特殊土用固化材の使用を検討する。固化材の粘性や流動性を確保するために分散剤、増粘剤、遅延剤などの混和剤（以下、添加剤と称す）を必要に応じて加える。

（2）練混ぜ水

練混ぜ水は、上水道水を基本とする。地下水などを使用する場合は、JIS A 5308 付属書C（規定）「レディーミクストコンクリートの練混ぜに用いる水」を参照し、事前に調査しておく必要がある。

2.2.2 室内配合試験

配合条件を決定するため、原則として、原位置土を用いた室内配合試験を3水準以上の配合量で行う。

（1）配合強度の設定

配合強度は、「配合条件を決めるときに目標とする強度分布の平均値」に相当するもので、「設計の要求する強度分布の平均値」そのものではない。設計基準強度をもとに改良体強度のばらつきや現場／室内強度比などを考慮して適切な配合強度を決定する。

（a）配合量と配合水準数、水固化材比

必要強度を満足すると想定される固化材添加量（概ね $100 \sim 400 \text{kg/m}^3$ ）を中心に3水準以上の配合量を設定する。水固化材比は60～100%が一般的である。参考までに、アンケート調査結果では、水固化材比は概ね砂質土に対して60～100%、粘性土に対して60～100%、ロ

ームに対して 60～80%で設定されている。

(b) 割増し係数

施工後の現場強度の特性値（平均値、変動係数）を適切に想定し、品質検査で不合格とならないように割増し係数を決める。

(c) 変動係数

配合強度を設定する上で、現場平均強度と標準偏差（変動係数）を設定しなければならない。変動係数は、以下のような実績を基に設定することが望ましい。

- ・コア強度の正規分布の適合度判定
- ・コア強度の分布を求める際のコア供試体個数（25 個以上）
- ・変動係数の信頼性の確認（各土質 5 現場以上）

なお、変動係数は 20～45%とすることが多い。参考までに、アンケート調査結果では、変動係数は概ね砂質土に対して 25～35%程度、粘性土に対して 25～30%程度で設定されている。

(2) 試料土の採取

原位置の改良対象地層から、配合試験に用いる試料土を採取する。次項(3)に述べるように、試料土の調整方法は主に 2 方法あるため、採用する方法に対応できるように原位置土を採取する必要がある。なお、同じ配合量の場合、一般的な発現強度の大きさは、「有機質土<粘土<シルト<砂質土」の順となる。地盤改良を行う平面規模や地層構成の変化を考慮して、適切な採取箇所数を設定する。

試料土は、予備も含めて 10～30kg 程度採取し、密封状態で保管する。なお、一般的には、1 条件（1 土質×1 固化材×3 水準の配合量×2 材齢×3 本の供試体）あたり 10kg～15kg 程度の試料土が必要となる。

(3) 試料土の調整・混合

配合試験に用いる試料土は、①最弱層：発現強度が一番小さいと予想される最弱の地層の土質試料を用いる、②地層毎：地層ごとに土質試料を採取してそれぞれを用いる、③層比率：改良対象地層の土層構成を再現する容積比率で各層の土質を混合して用いる、の 3 方法がある。原位置の地層構成と採用する工法の特徴を勘案して、試料土の調整方法を 3 方法の中から選択する。

試料土は、「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法(JGS0821-2009)」に準じ、目開き 9.5mm ふるいを通し、礫や木片などは除去する。均一な混合が得られるように配慮し、混練時間は 5～10 分程度とする。

(4) 供試体作製

「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法(JGS0821-2009)」に準じ、混練された試料を軽量モールド等に、3 層程度に分けて入れ、各層ごとに気泡の除去を行って供試体を作製する。

(5) 供試体養生

供試体は、「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法(JGS0821-2009)」に準じ、温度 20±3℃、湿度 95%以上の恒温恒湿室内で所定材齢まで養生（湿空養生）する。

(6) 室内強度試験

室内強度試験は、「土の一軸圧縮試験方法(JISA1216)」に準じて実施する。同一条件の供試体 3 本以上の結果に基づき算定する。一軸圧縮試験の試験材齢は 7 日または 28 日を標準とする。

2.2.3 現場配合試験

施工実績の少ない地盤に対する改良や、施工実績の少ない工法を採用する場合は、原位置において試験的に施工を行って配合を決定することを推奨する。

(1) 施工性の確認

掘削状況、発生土、サイクルタイム、機械の作動状況を確認する。施工性の確認を地盤状況と対比できるように、既存のボーリング調査位置の近傍で実施する。

(2) 攪拌混合度の確認

施工後、1～3 日で改良体を掘り出し、攪拌混合状態と改良体の硬化状態を確認する。

(3) 一軸圧縮強さの確認

原位置で築造された改良体からコアを採取後、一軸圧縮強さを確認し、施工方法と配合の妥当性を判断する。一軸圧縮強さの評価にあたっては、同一条件の供試体3本以上の試験結果に基づき算定する。一軸圧縮試験の試験材齢は7日または28日を標準とする。

2.2.4 配合条件

室内配合試験の結果を用いて、改良体の要求性能を満足する適切な配合条件を設定する。

(1) 配合条件の決定（室内配合試験）

(a) 現場／室内強度比

改良土質・施工機械・攪拌条件ごとに施工データを蓄積し、現場／室内強度比は、以下のような実績を基に設定することが望ましい。

- ・コア強度の正規分布の適合度判定
- ・コア強度の分布を求める際のコア供試体個数（25個以上）
- ・変動係数の信頼性の確認（各土質5現場以上）

一般的な現場／室内強度比は0.5~1.0程度である。参考までに、アンケート調査結果では、改良対象土に依らず、現場／室内強度比は概ね0.3~0.7程度で設定されている。なお、推奨値は設けられていない。

(b) 28日／7日強度比

工事着工時期や改良体の六価クロム溶出試験等を考慮し、早期材齢での強度評価を行うことが多い。28日／7日強度比は1.2~1.7程度である。参考までに、アンケート調査結果では、28日／7日強度比の設定は「過去のデータや使用固化材による。」との回答が多く、その値は概ね1~2程度で設定されている。

(2) 六価クロム溶出試験

室内配合試験の供試体を用いて改良土の六価クロム溶出試験（環境庁告示第46号試験）を実施し、六価クロム溶出量が土壤環境基準(0.05mg/L)を超えない配合条件を選定する。改良対象土がロームの場合は六価クロムが溶出するおそれが高いため、六価クロムの溶出量を抑制する特殊土用固化材の使用を検討する。

(3) 深度方向の配合量の設定

改良対象土質ごとに固化材添加量（スラリー状の固化材注入量）を変える場合、施工範囲全体の土層境界深度を把握して、確実な品質確保に務めることは無論のこと、施工性・経済性を考慮した添加量を設定する必要がある。

2.3 施工管理

2.3.1 施工法の選定

適切な攪拌混合機能・性能（攪拌機構、掘削能力、管理装置の仕様）を有する施工法を選定する。

2.3.2 管理方法

改良体の品質に係わる施工管理項目を適切に選定し、施工の安定性が把握できる管理方法を用いる。

(1) 試験施工の実施

原則として、施工計画書に従い試験施工を実施する。

(2) 施工管理項目

始めに地盤改良の施工に用いる機械設備のキャリブレーションが適切に行われたことを確認する。適切な管理値を設定して施工管理を行い、施工状況を改良コラムごとに正確に記録・保存する。技術評価を取得している工法については、評価書の施工指針に示されている管理項目を参照する。重要な管理項目に関しては、自動計測・自動記録が望ましい。

(a) 施工地盤面

施工機械の施工時安定性、及び施工精度確保のために、敷き鉄板による養生や表層改良等の安全対策の検討を行う。

(b) 寸法・形状

芯位置、鉛直性、攪拌径、改良長さなどの管理を行う。

(c) 固化材

スラリー状固化材のプラントでの製造バッチごとに比重、濃度、配合量（流量、速度）を自動計測管理するのが望ましい。参考までに、アンケート調査結果では、「配合量が規定値以上である。」ことを確認する工法が多い。

(d) 攪拌混合度

所定の攪拌混合度となるように、掘進・引上げ速度、軸回転数、羽根切り回数などを管理する。

(e) 着底深さ（支持層深度）

オーガーの電流値又はトルク値により、支持層深度に達した時の抵抗の変化を確認する。参考までに、アンケート調査結果では、試験施工で改良体先端地盤のトルク値を管理値として設定する工法が多い。

(f) 頭部処理（改良天端レベル仕上げ）

発現強度が低い早期材齢（施工後半日～3日程度）の内に、バックホウ等により改良天端レベル仕上げが必要となるため、その際に頭部の攪拌混合状態を確認することが望ましい。

(g) 施工順序

施工順序の計画においては、片押し、隣接、連続、特にラップ施工時に、先行改良ブロックへの偏心や未攪拌土塊の押込みが発生しないように注意する。一体性を確保できるように、改良機の掘削や攪拌能力を勘案し、先行改良部と後行改良部の施工時期を適切に設定する。

(h) 未固結試料（攪拌状況）

未固結試料のフェノールフタレイン散布（着色の有無）や、添加量判定により、攪拌混合状態を確認することが望ましい。

(i) 若材齢強度

モールド採取供試体の材齢3日または7日で行う一軸圧縮試験による圧縮強度が、必要強度以上であることを確認する。

(3) 記録と保存

施工管理装置により施工データの記録・保存を行うとともに、施工当日中にデータによって施工の妥当性を確認する。

(4) 環境保全への配慮

改良体の品質を確保するとともに、周辺環境への影響（近接施工、振動、騒音、地盤沈下、水質汚染など）を防止するために、スラリー状固化材や改良体の施工精度・品質などに係る具体的な施工管理項目の選定と、その管理方法および管理値を適切に設定した上で施工管理を実施する。

2.4. 品質検査

2.4.1 検査指標

設計の要求する品質を満足していることが把握できる検査指標を設定する。一般的に、コアの一軸圧縮試験による圧縮強度と、コアの均一性（連続性）を評価する。また、設定した不良率の確認が重要（スラリー系の機械攪拌式工法では不良率10%が標準値）である。

(1) 材齢28日強度

コア供試体、またはこれに準ずる供試体の材齢28日で行う一軸圧縮試験による圧縮強度が、必要強度以上であること。

(2) 連続性

コア採取率で評価する際、ボーリング全長コアの採取率の目安は、砂質土95%、粘性土90%以上（1mあたりではそれぞれ5%減じる）とする。

2.4.2 検査方法

品質検査方法は、改良体に対する要求性能が把握できる検査方法を用いる。いわゆる抜取検査方法といわれるもので、計量規準型抜取検査・計数規準型抜取検査などがある。抜取検査方法については、BCJ・BL 指針を参照されたい。

品質検査の判定においては、検査結果と検査方法の適用範囲や前提条件を比較し、検査方法の妥当性を確認する。また、検査結果から求められる標準偏差、変動係数、平均値の比較検討が重要である。

(1) コア供試体による一軸圧縮強さ（モールドコア/ボーリングコア、養生方法）

コア供試体は、頭部コア・ボーリングコアとし、養生方法は 20±3℃、湿度 95%以上の湿空養生とする。材齢は 28 日が基本であるが、事前の調査で信頼性を確認しておけば早期材齢の強度で確認することも可能である。あわせてコア採取率(コア長 1m ごとおよびコア全長に対する値)も確認する。深さ方向に未固結改良土を採取できるのであれば、モールドコア（モールド採取供試体）による強度確認でも良い。

(2) ランダムサンプリングの実施

改良体の施工後に、抜き取り箇所を無作為に決定する。

(3) 検査対象群および検査対象層の設定

品質検査は 1 建築物ごとに実施する。なお、1 検査対象群の改良コラム数の上限値は概ね 300 本の改良コラムとして良い。地盤条件・施工の安定性を考慮して対象群を設定する。検査対象群ごとに最低 1 箇所以上のボーリングコアによる試験と頭部コアによる試験が必要である。調査箇所数の目安は、100 改良コラムに 1 箇所以上かつ 1 検査対象群ごとに最低 1 箇所以上とする。

(4) 試験実施機関（第三者機関）

品質検査を厳正に行うためにも、材齢 28 日で行う圧縮試験は、第三者機関で実施することが望ましい。

(5) 品質検査における判定

品質検査方法は、改良体に対する要求性能が把握できる検査方法を用いる。例えば、BCJ・BL 指針にしたがい、改良体の品質のパラツキ（コア強度の標準偏差や変動係数）を把握している場合は検査手法 A、そうでない場合は検査手法 B を用いる。いずれの場合も、コアの数が 25 以上であるとき、設計基準強度を下回るコアの割合が 10%あることを設計上許容している

(6) 不合格時の処理

品質検査において不合格となった検査区画は、原因（地盤条件の相違、配合量の不足、混合の不均一等）を明らかにした後、再施工を含めた対策を講じる。

2.5 項目整理表

当 WG 活動で参照した建築・土木分野の指針類は、下記の A～D である。本資料において、品質管理上重要と考えられる項目を、表 2-1 に項目整理表としてまとめておく。表中には、参照した各指針類での記載の有無ならびに本資料で推奨する内容を、項目ごとに併記している。

なお、参照した指針類では記載のない品質管理項目があるが、施工会社へのアンケート調査結果を参考に当 WG 活動で検討を行い、推奨する内容を定めている。

グレードの「A」と「B」は、A が全ての案件で必ず実施する項目、B が案件条件により選択して実施する項目で区分している。品質管理を行う上で管理項目として採用する際の判断材料として頂きたい。

- A 日本建築センター、ベターリビング：2018 年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法—、2018
- B 日本建築センター：「改定版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針」Q&A 集 改良地盤の設計及び品質管理における実務上のポイント、2010
- C 国土交通省告示第 1113 号 第 3:地盤の許容応力度及び基礎ぐいの許容支持力を求めるための

地盤調査の方法並びにその結果に基づき地盤の許容応力度及び基礎ぐいの許容支持力を定める方法等を定める件、2001

- D 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
- E 土木研究所、流動化処理工法総合監理：流動化処理土利用技術マニュアル、2008
- F 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS3 JASS4、2009
- G 日本建築学会：建築基礎のための地盤改良設計指針案、2006
- H 日本建築学会：建築基礎構造設計指針、2019
- I 日本建築学会 関東支部：基礎構造の設計－学びやすい構造設計－、2003
- J 土木研究センター：陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル、2004
- K 沿岸技術研究センター：海上工事における深層混合処理工法技術マニュアル、2008
- L 地盤工学会：地盤改良の調査・設計と施工－戸建住宅から人工島まで－、2013
- M 土木研究センター：液状化対策工法設計・施工マニュアル（案）、1999
- N 日本材料学会 土質安定材料委員会：地盤改良工法便覧、1991
- O 地盤工学会：地盤改良のトラブルの要因とその対策、1993

表2-1 機械攪拌式深層混合処理工法の項目整理表

項目		指針	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	日建連 推奨	グレード			
																				A	B	
事前調査（地盤調査）			◎	○	×	◎	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	地盤調査、文献調査	○		
I 配合管理	1. 材料の選定	①固化材、添加剤	○	○	×	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	固化材（①汎用固化材（一般軟弱土、特殊土）②高有機質土用固化材）等は地盤条件に適合したもの改良対象土質によっては、JIS規格品（普通ポルトランドセメントや高炉セメントB種など）使用可能 固化材の粘性や流動性を確保するために添加剤を必要に応じて加える	○		
		②練混ぜ水	◎	○	×	○	○	×	×	×	○	○	○	○	○	○	×	×	上水道水が基本、その他の場合JIS A 5308付属書C（規定）「レディーミクストコンクリートの練混ぜに用いる水」参照		○	
	2. 室内配合試験	①配合強度の設定	a. 配合量と配合水準数、水固化材比	◎	○	×	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	固化材添加量（100～400kg/m ³ ）を中心に3水準以上 水固化材比は60～100%が一般的である	○		
			b. 割増し係数	◎	○	×	○	×	×	○	×	×	○	×	○	×	×	×	施工後の現場強度の特性値（平均値、変動係数）を適切に想定して、割増し係数を設定する	○		
			c. 変動係数	◎	○	×	×	×	×	○	×	×	×	○	×	×	×	×	変動係数は20～45%が一般的である	○		
		②試料土の採取	◎	×	×	○	×	○	×	○	×	○	○	○	×	×	×	試料の調整方法に対応できるよう原位置土を採取、密封状態で保管、10～30kg程度	○			
		③試料土の調整・混合	◎	×	×	×	○	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	×	①最弱層、②地層毎のいずれかで採取、目開き9.5mmふるいを通し、均一に混合（混練時間5～10分程度）	○		
		④供試体作製	◎	×	×	○	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	軽量モールド等に充填、「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法（JGS0821）」	○		
	3. 現場配合試験	⑤供試体養生	◎	×	×	○	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	×	温度20±3℃、湿度95%以上の恒温恒湿室内で所定材齢まで養生（湿空養生）	○			
		⑥室内強度試験	◎	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	「土の一軸圧縮試験方法（JISA1216）」、同一条件の供試体3本以上	○		
		①施工性の確認	◎	×	×	×	×	○	×	×	○	×	○	×	×	×	×	既存ボーリング位置近傍で実施		○		
	4. 配合条件	①配合条件の決定（室内配合試験）	a. 現場/室内強度比	◎	○	×	○	×	○	○	×	○	○	○	×	×	×	改良土質・施工機械・攪拌条件ごとに施工データを蓄積し、適切に設定 一般的な現場/室内強度比は0.5～1.0程度	○			
			b. 28日/7日強度比	◎	○	×	×	×	○	○	×	×	×	×	×	×	×	早期材齢での強度評価、28日/7日強度比は1.2～1.7程度		○		
		②配合条件の決定（現場配合試験）	◎	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	○	×	×	一軸圧縮強さを確認し、想定した現場平均強度や設計基準強度との対比により判断		○			
		③六価クロム溶出試験	◎	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	土壤環境基準(0.05mg/L)を超えない配合条件	○			
	④深度方向の配合量の設定	◎	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	土層境界深度		○			
II 施工管理	1. 施工法の選定	①攪拌混合機能	◎	○	×	○	○	○	○	×	○	○	○	×	×	×	適切な攪拌機構、掘削能力の選定、管理装置の仕様	○				
	2. 管理方法	①試験施工の実施	a. 施工地盤面	◎	×	×	×	×	×	○	×	×	○	○	×	×	×	施工計画書に従い実施	○			
			b. 寸法・形状	◎	○	×	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	敷き鉄板による養生や表層改良等の安全対策	○		
			c. 固化材	◎	○	×	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	芯位置、鉛直性、攪拌径、改良長さ	○		
			d. 攪拌混合度	◎	○	×	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	バッチごとに比重、濃度、添加量（流量計、速度計）を記録・保存する（自動計測・自動記録が望ましい）	○		
			e. 着底深さ（支持層深度）	◎	×	×	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	掘進・引上げ速度、羽根切り回数（自動計測・自動記録が望ましい）	○		
			f. 頭部処理（改良天端レベル仕上げ）	◎	○	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	オーガの電流値又はトルク値による確認（自動計測・自動記録が望ましい）	○		
			g. 施工順序	◎	×	×	×	×	×	×	○	×	×	○	×	×	×	×	片押し、隣接、連続、ラップ施工に注意する	○		
			h. 未固結試料（攪拌状況）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	発現強度が低い早期材齢（施工後半日～3日程度）の内にバックホウ等により頭部の攪拌混合状態を確認する		○	
			i. 若材齢強度	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	未固結試料のフェノールフタレイン散布、添加量判定により、攪拌状況を確認		○	
	②記録と保存	◎	×	×	○	×	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	モールド採取供試体の材齢3日または7日で行う圧縮試験による圧縮強度が、必要強度以上		○			
	④環境保全への配慮	◎	○	×	×	○	×	○	○	○	○	○	○	×	×	×	施工管理装置により施工データの記録・保存を行うとともに、施工当日中にデータの妥当性を確認	○				
III 品質検査	1. 検査指標	①材齢28日強度	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	×	周辺地盤への影響、水質・騒音・振動	○				
		②連続性	◎	○	×	◎	×	○	○	○	○	○	○	×	○	×	コア供試体またはこれに準ずる供試体の材齢28日で行う圧縮試験による圧縮強度が、必要強度以上	○				
	2. 検査方法	①コア供試体による一軸圧縮強さ（モールドコア/ボーリングコア、養生方法）	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	×	ボーリング全長コアの採取率の目安は、砂質土95%、粘性土90%以上（1mあたりは5%減じる）	○			
		②ランダムサンプリングの実施	◎	○	×	○	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	材齢28日で行う圧縮試験による圧縮強度が目標強度以上、養生条件は温度20±3℃、湿度95%以上	○			
		③検査対象群及び検査対象層の設定	◎	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	改良体の施工後に、抜き取り箇所を無作為に決定	○			
		④調査箇所数及び検査数量	◎	○	×	○	○	×	○	×	○	○	×	×	×	×	×	地盤条件、施工条件を考慮して設定	○			
		⑤試験実施機関（第三者機関）	◎	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	検査対象群ごとに最低1か所以上、かつ改良コラム本数の1%以上	○			
⑥品質検査における判定	◎	○	×	○	×	○	×	○	×	○	×	×	×	×	×	材齢28日で行う圧縮試験は第三者機関で実施	○					
																				2018年版BCJ・BL改良指針の検査方法Aまたは検査方法Bなど	○	

凡例：◎日建連推奨内容記載あり、○項目に関する記載あり、×項目に関する記載なし

A：必ず実施、B：条件により実施

第3章 中層混合処理工法（ロータリー式・トレンチャー式に限定）

本資料は、ロータリー式またはトレンチャー式による中層混合処理工法において、品質管理上、重要と考えられる項目を抽出し、まとめたものである。項目の一覧を3.5節に示した。記載内容は、概ね「2018年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針（以下、BCJ・BL指針と称す）」をベースにしているが、当WG活動を通じて収集した建築分野・土木分野の指針類や、会社・工法協会へのアンケート調査結果も参考にした。

3.1 事前調査

改良地盤の設計・施工に必要な地盤情報を得るための事前調査として、地盤調査および文献調査を実施する。軟弱層の厚さ、支持層の深度、地層の連続性、起伏、地下水位、物理的・力学的特性や、必要に応じて化学的特性を把握する目的で、ボーリング調査、標準貫入試験、サウンディング調査、土質試料の採取、室内土質試験を行う。

下記の地盤については、地盤改良の適用に問題がないか確認する必要がある。

- ・施工上の障害となる礫や転石（工法によるが ϕ 50mm～100mm程度以上）を多く含む地盤
- ・ローム・火山灰質粘性土（アロフェンを含む）の地盤
- ・有機物・腐植土を多く含む地盤（柱状図に表記されている場合）、酸性土地盤（ $\text{pH} \leq 4$ ）や硫酸塩を含む地盤（可溶性 $\text{SO}_4 \geq 0.5\%$ ）
- ・掘削部に産業廃棄物や地中障害物などが埋設されている地盤
- ・地下水が流水状態（100cm/分程度以上）にある地盤
- ・凍結を生じる地盤

3.2 配合管理

3.2.1 材料の選定

（1）固化材・添加剤

使用する固化材はセメント系固化材とし、①汎用固化材（一般軟弱土、特殊土） ②高有機質土用固化材等は、地盤条件に適合したものをを用いる。改良対象土質によっては（例えば、有機分を含まない場合）、普通ポルトランドセメントや高炉セメントB種などのJIS規格品を固化材として使用することができる。改良対象土がロームの場合は六価クロムが溶出するおそれが高いため、六価クロムの溶出量を抑制する特殊土用固化材の使用を検討する。固化材の粘性や流動性を確保するために分散剤、増粘剤、遅延剤などの混和剤（以下、添加剤と称す）を必要に応じて加える。

（2）練混ぜ水

練混ぜ水は、上水道水を基本とする。地下水などを使用する場合は、JIS A 5308 付属書C（規定）「レディーミクストコンクリートの練混ぜに用いる水」を参照し、事前に調査しておく必要がある。

3.2.2 室内配合試験

配合条件を決定するため、原則として、原位置土を用いた室内配合試験を3水準以上の配合量で行う。

（1）配合強度の設定

配合強度は、「配合条件を決めるときに目標とする強度分布の平均値」に相当するもので、「設計の要求する強度分布の平均値」そのものではない。設計基準強度をもとに改良体強度のばらつきや現場/室内強度比などを考慮して適切な配合強度を決定する。

（a）配合量と配合水準数、水固化材比

必要強度を満足すると想定される固化材添加量（概ね $100 \sim 400 \text{kg/m}^3$ ）を中心に3水準以上の配合量を設定する。水固化材比は60～150%が一般的である。工法によってはテーブルフロー試験（JIS-R5201）を行って、改良体の均質性・施工性の望ましい流動値（テーブルフ

ロー値)を確認することもある。参考までに、アンケート調査結果では、水固化材比は、概ね改良対象土が砂質土に対して70~100%、粘性土に対して60~80%で設定されている。

(b) 割増し係数

施工後の現場強度の特性値(平均値、変動係数)を適切に想定し、品質検査で不合格とならないように割増し係数を決める。

(c) 変動係数

配合強度を設定する上で、現場平均強度と標準偏差(変動係数)を設定しなければならない。変動係数は、以下のような実績を基に設定することが望ましい。

- ・コア強度の正規分布の適合度判定
- ・コア強度の分布を求める際のコア供試体個数(25個以上)
- ・変動係数の信頼性の確認(各土質5現場以上)

なお、変動係数は20~45%とすることが多いが、工法によってまちまちである。参考までに、アンケート調査結果では、変動係数は概ね砂質土に対して25%、粘性土に対して20~30%で設定されている。

(2) 試料土の採取

原位置の改良対象地層から、配合試験に用いる試料土を採取する。次項(3)に述べるように、試料土の調整方法は主に3方法あるため、採用する方法に対応できるよう原位置土を採取する必要がある。なお、同じ配合量の場合、一般的な発現強度の大きさは、「有機質土<粘土<シルト<砂質土」の順となる。地盤改良を行う平面規模や地層構成の変化を考慮して、適切な採取箇所数を設定する。

試料土は、予備も含めて10~30kg程度採取し、密封状態で保管する。なお、一般的には、1条件(1土質×1固化材×3水準の配合量×2材齢×3本の供試体)あたり10kg~15kg程度の試料土が必要となる。

(3) 試料土の調整・混合

配合試験に用いる試料土は、①最弱層:発現強度が一番小さいと予想される最弱の地層の土質試料を用いる、②地層毎:地層ごとに土質試料を採取してそれぞれを用いる、③層比率:改良対象地層の土層構成を再現する容積比率で各層の土質を混合して用いる、の3方法がある。原位置の地層構成と採用する工法の特徴を勘案して、試料土の調整方法を3方法の中から選択する。

試料土は、「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法(JGS0821-2009)」に準じ、目開き9.5mmふるいを通し、礫や木片などは除去する。均一な混合が得られるように配慮する。混練時間は5~10分程度とする。

(4) 供試体作製

「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法(JGS0821-2009)」に準じ、混練された試料を軽量モールド等に、3層程度に分けて入れ、各層ごとに気泡の除去を行って供試体を作製する。

(5) 供試体養生

供試体は、「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法(JGS0821-2009)」に準じ、温度 $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ 、湿度95%以上の恒温恒湿室内で所定材齢まで養生(湿空養生)する。

(6) 室内強度試験

室内強度試験は、「土の一軸圧縮試験方法(JISA1216)」に準じて実施する。同一条件の供試体3本以上の結果に基づき算定する。一軸圧縮試験の試験材齢は7日または28日を標準とする。

3.2.3 現場配合試験

施工実績の少ない地盤に対する改良や、施工実績の少ない工法を採用する場合は、原位置において試験的に施工を行って配合を決定することを推奨する。

(1) 施工性の確認

掘削状況、発生土、サイクルタイム、機械の作動状況を確認する。施工性の確認を地盤状況と対比できるように、既存のボーリング調査位置の近傍で実施する。

(2) 攪拌混合度の確認

施工後、1~3日で改良体を掘り出し、攪拌混合状態や改良体の硬化状態を確認する。

(3) 一軸圧縮強さの確認

原位置で築造された改良体からコアを採取後、一軸圧縮強さを確認し、施工方法と配合の妥当性を判断する。一軸圧縮強さの評価にあたっては、同一条件の供試体3本以上の試験結果に基づき算定する。一軸圧縮試験の試験材齢は7日または28日を標準とする。

3.2.4 配合条件

室内配合試験の結果を用いて、改良体の要求性能を満足する適切な配合条件を設定する。

(1) 配合条件の決定（室内配合試験）

(a) 現場／室内強度比

改良土質・施工機械・攪拌条件ごとに施工データを蓄積し、現場／室内強度比は、以下のような実績を基に設定することが望ましい。

- ・コア強度の正規分布の適合度判定
- ・コア強度の分布を求める際のコア供試体個数（25個以上）
- ・変動係数の信頼性の確認（各土質5現場以上）

参考までに、アンケート調査結果では、改良対象土質に依らず、現場／室内強度比は概ね0.3～0.8程度で設定されている。

(b) 28日／7日強度比

工事着工時期や改良体の六価クロム溶出試験等を考慮し、早期材齢での強度評価を行うことが多い。28日／7日強度比は固化材メーカーの技術資料に則ることが多い。参考までに、アンケート調査結果では、28日／7日強度比の設定は「過去のデータや使用固化材による。」との回答が多く、その値は概ね1～2程度で設定されている。

(2) 六価クロム溶出試験

室内配合試験の供試体を用いて改良土の六価クロム溶出試験（環境庁告示第46号試験）を実施し、六価クロム溶出量が土壤環境基準(0.05mg/L)を超えない配合条件を選定する。改良対象土がロームの場合は六価クロムが溶出するおそれが高いため、六価クロムの溶出量を抑制する特殊土用固化材の使用を検討する。

3.3 施工管理

3.3.1 施工法の選定

適切な攪拌混合機能・性能（攪拌機構、掘削能力、管理装置の仕様）を有する施工法を選定する。

3.3.2 管理方法

改良体の品質に係わる施工管理項目を適切に選定し、施工の安定性が把握できる管理方法を用いる。

(1) 試験施工の実施

原則として、施工計画書に従い試験施工を実施する。

(2) 施工管理項目

始めに地盤改良の施工に用いる機械設備のキャリブレーションが適切に行われたことを確認する。適切な管理値を設定して施工管理を行い、施工状況を一回の施工で築造される改良体（以下、改良ブロック）ごとに正確に記録・保存する。技術評価を取得している工法については評価書の施工指針に示されている管理項目を参照する。重要な管理項目に関しては自動計測・自動記録が望ましい。

(a) 施工地盤面

施工機械の施工時安定性、及び施工精度の確保のために、敷き鉄板による養生や表層改良等の安全対策の検討が必要である。

(b) 寸法・形状

位置、改良範囲、改良長さなどの管理を行う。

(c) 固化材

スラリー状固化材のプラントでの製造バッチごとに比重、濃度、配合量（流量、速度）を自動計測管理するのが望ましい。参考までに、アンケート調査結果では、「配合量が規定値

以上である。」ことを確認する工法が多い。

(d) 攪拌混合度

所定の攪拌混合度となるように、掘進・引上げ速度、軸回転数、羽根切り回数などを管理する。工法によってはナビゲーションシステムと連動して、攪拌翼の軌跡や連続攪拌時間等を点灯色によって管理することもある。

(e) 着底深さ（支持層深度）

試験施工等で予め確認した支持層における抵抗値（攪拌駆動装置の電流値又はトルク値）や、ボーリング柱状図の支持層深度と攪拌装置の先端深度などを比較し、着底を判断する。

(f) 頭部処理（改良天端レベル仕上げ）

発現強度が低い早期材齢（施工後半日～3日程度）の内に、バックホウ等により改良天端レベル仕上げを行うことが一般的である。その際に頭部の攪拌混合状態を確認することが望ましい。

(g) 施工順序

施工順序の計画においては、片押し、隣接、連続、特にラップ施工時に、先行改良ブロックへの偏心や未攪拌土塊の押込みが発生しないように注意する。一体性を確保できるように、改良機の掘削や攪拌性能を勘案し、先行改良ブロックと後行改良ブロックの施工時期を適切に設定する。

(h) 未固結試料（攪拌状況）

未固結試料のフェノールフタレイン散布（着色の有無）や、添加量判定により、攪拌混合状態を確認することが望ましい。

(i) 若材齢強度

モールド採取供試体の材齢3日または7日で行う一軸圧縮試験による圧縮強度が、必要強度以上であることを確認する。独自の硬度計にて施工可否を判断する場合がある。

(3) 記録と保存

施工管理装置により施工データの記録・保存を行うとともに、施工当日中にデータによって施工の妥当性を確認する。

(4) 環境保全への配慮

改良体の品質を確保するとともに、周辺環境への影響（近接施工、振動、騒音、地盤沈下、水質汚染など）を防止するために、スラリー状固化材や改良体の施工精度・品質などに係る具体的な施工管理項目の選定と、その管理方法および管理値を適切に設定した上で施工管理を実施する。

3.4 品質検査

3.4.1 検査指標

設計の要求する品質を満足していることが把握できる検査指標を設定する。一般的に、コアの一軸圧縮試験による一軸圧縮強さと、コアの均一性（連続性）を評価する。また、設定した不良率の確認が重要（機械攪拌式工法では不良率10%が標準値）である。

(1) 材齢28日強度

コア供試体、またはこれに準ずる供試体の材齢28日で行う一軸圧縮試験による圧縮強度が、必要強度以上であること。ただし、モールドコアや工法ごとに特殊な未固結試料採取器により早期強度により判定することもある。

(2) 連続性

コア採取率で評価する際、ボーリング全長コアの採取率の目安は、砂質土95%、粘性土90%以上（1mあたりではそれぞれ5%減じる）とする。

3.4.2 検査方法

品質検査方法は、改良体に対する要求性能が把握できる検査方法を用いる。いわゆる抜取検査方法といわれるもので計量規準型抜取検査・計数規準型抜取検査などがある。抜取検査方法については、BCJ・BL指針を参照されたい。

品質検査の判定においては、検査結果と検査方法の適用範囲や前提条件を比較し、検査方法の妥当性を確認する。また、検査結果から求められる標準偏差、変動係数、平均値の比較検討が重要である。

(1) コア供試体による一軸圧縮強さ（モールドコア/ボーリングコア、養生方法）

コア供試体は、頭部コア・ボーリングコアとし、養生方法は $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、湿度 95%以上の湿空養生とする。材齢は 28 日が基本であるが、事前の調査で信頼性を確認しておけば早期材齢の強度で確認することも可能である。あわせてコア採取率(コア長 1m ごとおよびコア全長に対する値)も確認する。深さ方向に未固結改良土を採取できるのであれば、モールドコア（モールド採取供試体）による強度確認でも良い。

(2) ランダムサンプリングの実施

改良体の施工後に、抜き取り箇所を無作為に決定する。

(3) 検査対象群および検査対象層の設定

品質検査は 1 建築物ごとに実施する。検査対象群ごとに 1 箇所以上、かつ改良ブロック数の 1%以上からコア供試体またはそれに類する供試体を採取して品質検査を行う。

(4) 試験実施機関（第三者機関）

品質検査を厳正に行うためにも、材齢 28 日で行う圧縮試験は、第三者機関で実施することが望ましい。

(5) 品質検査における判定

品質検査方法は、改良体に対する要求性能が把握できる検査方法を用いる。例えば、BCJ・BL 指針にしたがい、改良体の品質のバラツキ（コア強度の標準偏差や変動係数）を把握している場合は検査手法 A、そうでない場合は検査手法 B を用いる。いずれの場合も、コアの数が 25 以上であるとき、設計基準強度を下回るコアの割合が 10%あることを設計上許容している。

(6) 不合格時の処理

品質検査において不合格となった検査区画は、原因（地盤条件の相違、配合量の不足、混合の不均一等）を明らかにした後、再施工を含めた対策を講じる。

3.5 項目整理表

当 WG 活動で参照した建築・土木分野の指針類は、下記の A~G である。本資料において、品質管理上重要と考えられる項目を、表 3-1 に項目整理表としてまとめておく。表中には、参照した各指針類での記載の有無ならびに本資料で推奨する内容を、項目ごとに併記している。

なお、参照した指針類では記載のない品質管理項目があるが、施工会社へのアンケート調査結果を参考に当 WG 活動で検討を行い、推奨する内容を定めている。

グレードの「A」と「B」は、A が全ての案件で必ず実施する項目、B が案件条件により選択して実施する項目で区分している。品質管理を行う上で管理項目として採用する際の判断材料として頂きたい。

- A 日本建築センター、ベターリビング：2018 年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法—、2018
- B 日本建築センター：「改定版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針」Q&A 集 改良地盤の設計及び品質管理における実務上のポイント、2010
- C 国土交通省告示第 1113 号 第 3:地盤の許容応力度及び基礎ぐいの許容支持力を求めるための地盤調査の方法並びにその結果に基づき地盤の許容応力度及び基礎ぐいの許容支持力を定める方法等を定める件、2001
- D 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
- E 土木研究所、流動化処理工法総合監理：流動化処理土利用技術マニュアル、2008
- F 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS3 JASS4、2009
- G 日本建築学会：建築基礎のための地盤改良設計指針案、2006

- H 日本建築学会：建築基礎構造設計指針、2019
- I 日本建築学会 関東支部：基礎構造の設計－学びやすい構造設計－、2003
- J 土木研究センター：陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル、2004
- K 沿岸技術研究センター：海上工事における深層混合処理工法技術マニュアル、2008
- L 地盤工学会：地盤改良の調査・設計と施工－戸建住宅から人工島まで－、2013
- M 土木研究センター：液状化対策工法設計・施工マニュアル（案）、1999
- N 日本材料学会 土質安定材料委員会：地盤改良工法便覧、1991
- O 地盤工学会：地盤改良のトラブルの要因とその対策、1993

表3-1 中層混合処理工法（ロータリー式・トレンチャー式に限定）の項目整理表

項目		指針	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	日建連 推奨	グレード	
																				A
事前調査（地盤調査）			○	○	×	◎	×	×	×	○	○	×	×	○	×	×	×	地盤調査、文献調査	○	
I 配合管理	1. 材料の選定	①固化材、添加剤	○	○	×	◎	×	○	×	○	×	×	×	○	×	×	×	固化材（①汎用固化材（一般軟弱土、特殊土）②高有機質土用固化材）等は地盤条件に適合したもの改良対象土質によっては、JIS規格品（普通ポルトランドセメントや高炉セメントB種など）使用可能 固化材の粘性や流動性を確保するために添加剤を必要に応じて加える	○	
		②練混ぜ水	×	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	上水道水が基本、その他の場合JIS A 5308付属書C（規定）「レディーミクストコンクリートの練混ぜに用いる水」参照		○
	2. 室内配合試験	①配合強度の設定	a. 配合量と配合水準数、水固化材比	○	○	×	○	×	○	×	○	×	×	×	×	×	×	固化材添加量(100~400kg/m ³)を中心に3水準以上 水固化材比は60%~150%が一般的 テーブルフロー試験(JIS R5201)を行って流動値(テーブルフロー値)を確認する工法もある	○	
			b. 割増し係数	○	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	施工後の現場強度の特性値(平均値、変動係数)を適切に設定して、割増し係数を設定する	○	
			c. 変動係数	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	変動係数は20~45%が一般的である	○	
		②試料土の採取	×	×	×	○	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	試料の調整方法に対応できるよう原位置土を採取、密封状態で保管、10~30kg程度	○		
		③試料土の調整・混合	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	①最弱層、②地層毎、③層比率のいずれかで採取、目開き9.5mmふるいを通し、均一に混合（混練時間5~10分程度）	○		
		④供試体作製	○	×	×	○	×	×	×	○	×	×	×	×	○	×	×	軽量モールド等に充填、「安定処理土の締めをししない供試体作製方法(JGS0821)」	○	
	3. 現場配合試験	⑤供試体養生	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	温度20±3℃、湿度95%以上の恒温恒湿室内で所定材齢まで養生（湿空養生）	○		
		⑥室内強度試験	○	×	×	○	×	○	×	○	×	×	×	○	×	○	「土の一軸圧縮試験方法(JISA1216)」、同一条件の供試体3本以上	○		
		①施工性の確認	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	既存ボーリング位置近傍で実施		○	
		②攪拌混合度の確認	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	施工後1~3日で改良体掘り出し		○	
	4. 配合条件	③一軸圧縮強さの確認	①配合条件の決定（室内配合試験）	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	「土の一軸圧縮試験方法(JISA1216)」、同一条件の供試体3本以上		○	
			a. 現場/室内強度比 b. 28日/7日強度比	×	○	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	改良土質・施工機械・攪拌条件ごとに施工データを蓄積し、適切に設定 早期材齢での強度評価（固化材メーカーの技術資料に則ることが多い）	○	
		②配合条件の決定（現場配合試験）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	一軸圧縮強さを確認し、想定した現場平均強度や設計基準強度との対比により判断		○	
		③六価クロム溶出試験	×	○	○	○	×	○	×	○	×	×	×	×	×	×	土壤環境基準(0.05mg/L)を超えない配合条件		○	
II 施工管理	1. 施工法の選定	①施工機械の適切な選定	×	×	×	○	×	○	×	×	×	×	×	○	×	適切な攪拌機構、掘削能力の選定、管理装置の仕様	○			
	2. 管理方法	①試験施工の実施	①試験施工の実施	○	×	×	×	○	×	○	×	×	×	○	×	施工計画書に従い実施	○			
			a. 施工地盤面	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	敷き鉄板による養生や表層改良等の安全対策		○	
			b. 寸法・形状	○	×	×	○	×	×	○	×	×	×	○	×	×	位置、改良範囲、改良長さ	○		
			c. 固化材	○	×	×	○	×	○	×	×	×	×	○	×	×	バッチごとに比重、濃度、添加量（流量計、速度計）を記録・保存する（自動計測・自動記録が望ましい）	○		
			d. 攪拌混合度	○	×	×	○	×	○	×	×	×	×	○	×	×	掘進・引上げ速度、羽根切り回数（自動計測・自動記録が望ましい）	○		
			e. 着底深さ（支持層深度）	○	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	攪拌装置の先端深度、電流値又はトルク値による確認（自動計測・自動記録が望ましい）	○		
			f. 頭部処理（改良天端レベル仕上げ）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	発現強度が低い早期材齢（施工後半日~3日程度）の内にバックホウ等により頭部の攪拌混合状態を確認する	○		
			g. 施工順序	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	片押し、隣接、連続、ラップ施工に注意する	○		
			h. 未固結試料（攪拌状況）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	未固結試料のフェノールフタレイン散布、添加量判定により、攪拌状況を確認		○	
		i. 若材齢強度	×	△	×	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×	モールド採取供試体の材齢3日または7日で行う圧縮試験による圧縮強度が、必要強度以上		○		
②記録と保存	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	施工管理装置により施工データの記録・保存を行うとともに、施工当日中にデータの妥当性確認	○					
④環境保全への配慮	×	○	×	○	×	×	○	×	×	×	×	×	○	周辺地盤への影響、水質・騒音・振動	○					
III 品質検査	1. 検査指標	①材齢28日強度	○	○	○	○	×	○	×	○	×	×	×	×	×	コア供試体またはこれに準ずる供試体の材齢28日で行う圧縮試験による圧縮強度が、必要強度以上	○			
		②連続性	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	ボーリング全長コアの採取率の目安は、砂質土95%、粘性土90%以上（1mあたりではそれぞれ5%減じる）	○			
	2. 検査方法	①コア供試体による一軸圧縮強さ（モールドコア/ボーリングコア、養生方法）	×	○	○	○	×	×	○	×	×	×	○	×	×	材齢28日で行う圧縮試験による圧縮強度が必要強度以上、養生条件は温度20±3℃、湿度95%以上	○			
		②ランダムサンプリングの実施	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	改良体の施工後に、抜き取り箇所を無作為に決定	○			
		③検査対象群及び検査対象層の設定	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	地盤条件、施工条件を考慮して設定	○			
		④調査箇所数及び検査数量	○	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	検査対象群ごとに最低1か所以上、かつ改良ブロック数の1%以上	○			
⑤試験実施機関（第三者機関）	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	材齢28日で行う圧縮試験は第三者機関で実施	○					
⑥品質検査における判定	×	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	2018年版BCJ・BL改良指針の検査方法Aまたは検査方法Bなど	○					

凡例：◎日建連推奨内容記載あり、○項目に関する記載あり、×項目に関する記載なし

A：必ず実施、B：条件により実施

第4章 浅層混合処理工法（スラリー状固化材の機械攪拌に限定）

本資料は、スラリー状固化材の機械攪拌による浅層混合処理工法において、品質管理上、重要と考えられる項目を抽出し、まとめたものである。項目の一覧を4.5節に示した。記載内容は、概ね「2018年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針（以下、BCJ・BL 指針と称す）」をベースにしているが、当WG活動を通じて収集した建築分野・土木分野の指針類や、会社・工法協会へのアンケート調査結果も参考にした。

4.1 事前調査

改良地盤の設計・施工に必要な地盤情報を得るための事前調査として、地盤調査および文献調査を実施する。軟弱層の厚さ、支持層の深度、地層の連続性、起伏、地下水位、物理的・力学的特性や、必要に応じて化学的特性を把握する目的で、ボーリング調査、標準貫入試験、サウンディング調査、土質試料の採取、室内土質試験を行う。

下記の地盤については、地盤改良の適用に問題がないか確認する必要がある。

- ・施工上の障害となる礫や転石（工法によるがφ50mm～100mm程度以上）を多く含む地盤
- ・ローム・火山灰質粘性土（アロフェンを含む）の地盤
- ・有機物・腐植土を多く含む地盤（柱状図に表記されている場合）、酸性土地盤（ $\text{pH} \leq 4$ ）や硫酸塩を含む地盤（可溶性 $\text{SO}_4 \geq 0.5\%$ ）
- ・掘削部に産業廃棄物や地中障害物などが埋設されている地盤
- ・地下水が流水状態（100cm/分程度以上）にある地盤
- ・凍結を生じる地盤

4.2 配合管理

4.2.1 材料の選定

（1）固化材・添加剤

使用する固化材はセメント系固化材とし、①汎用固化材（一般軟弱土、特殊土） ②高有機質土用固化材等は、地盤条件に適合したものをを用いる。改良対象土質によっては（例えば、有機分を含まない場合）、普通ポルトランドセメントや高炉セメントB種などのJIS規格品を固化材として使用することができる。改良対象土がロームの場合は六価クロムが溶出するおそれが高いため、六価クロムの溶出量を抑制する特殊土用固化材の使用を検討する。固化材の粘性や流動性を確保するために分散剤、増粘剤、遅延剤などの混和剤（以下、添加剤と称す）を必要に応じて加える。

（2）練混ぜ水

練混ぜ水は、上水道水を基本とする。地下水などを使用する場合は、JIS A 5308 付属書C（規定）「レディーミクストコンクリートの練混ぜに用いる水」を参照し、事前に調査しておく必要がある。

4.2.2 室内配合試験

配合条件を決定するため、原則として、原位置土を用いた室内配合試験を3水準以上の配合量で行う。

（1）配合強度の設定

配合強度は、「配合条件を決めるときに目標とする強度分布の平均値」に相当するもので、「設計の要求する強度分布の平均値」そのものではない。設計基準強度をもとに改良体強度のばらつきや現場/室内強度比などを考慮して適切な配合強度を決定する。

（a）配合量と配合水準数、水固化材比

必要強度を満足すると想定される所定の固化材添加量（概ね $100 \sim 400 \text{kg/m}^3$ ）を中心に3水準以上の配合量を設定する。水固化材比は100%が一般的である。参考までに、アンケート調査結果では、水固化材比は概ね改良対象土が砂質土に対して80～120%、粘性土に対し

て60～100%で設定されている。

(b) 割増し係数

施工後の現場強度の特性値（平均値、変動係数）を適切に想定し、品質検査で不合格とならないように割増し係数を決める。

(c) 変動係数

配合強度を設定する上で、現場平均強度と標準偏差（変動係数）を設定しなければならない。変動係数は、以下のような実績を基に設定することが望ましい。

- ・コア強度の正規分布の適合度判定
- ・コア強度の分布を求める際のコア供試体個数（25個以上）
- ・変動係数の信頼性の確認（各土質5現場以上）

なお、変動係数は20～45%とすることが多い。参考までに、アンケート調査結果では、変動係数は概ね25～30%で設定されている。

(2) 試料土の採取

原位置の改良対象地層から、配合試験に用いる試料土を採取する。次項(3)に述べるように、試料土の調整方法は主に3方法あるため、採用する方法に対応できるように原位置土を採取する必要がある。なお、同じ配合量の場合、一般的な発現強度の大きさは、「有機質土<粘土<シルト<砂質土」の順となる。地盤改良を行う平面規模や地層構成の変化を考慮して、適切な採取箇所数を設定する。

試料土は、予備も含めて10～30kg程度採取し、密封状態で保管する。なお、一般的には、1条件（1土質×1固化材×3水準の配合量×2材齢×3本の供試体）あたり10kg～15kg程度の試料土が必要となる。

(3) 試料土の調整・混合

配合試験に用いる試料土は、①最弱層：発現強度が一番小さいと予想される最弱の地層の土質試料を用いる、②地層毎：地層ごとに土質試料を採取してそれぞれを用いる、③層比率：改良対象地層の土層構成を再現する容積比率で各層の土質を混合して用いる、の3方法がある。原位置の地層構成と採用する工法の特徴を勘案して、試料土の調整方法を3方法の中から選択する。

試料土は、「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法(JGS0821-2009)」に準じ、目開き9.5mmふるいを通し、礫や木片などは除去する。均一な混合が得られるように配慮する。混練時間は5～10分程度とする。

(4) 供試体作製

「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法(JGS0821-2009)」に準じ、混練された試料を軽量モールド等に、3層程度に分けて入れ、各層ごとに気泡の除去を行って供試体を作製する。

(5) 供試体養生

供試体は、「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法(JGS0821-2009)」に準じ、温度20±3℃、湿度95%以上の恒温恒湿室内で所定材齢まで養生（湿空養生）する。

(6) 室内強度試験

室内強度試験は、「土の一軸圧縮試験方法(JISA1216)」に準じて実施する。同一条件の供試体3本以上の結果に基づき算定する。一軸圧縮試験の試験材齢は7日または28日を標準とする。

4.2.3 現場配合試験

施工実績の少ない地盤に対する改良や、施工実績の少ない工法を採用する場合は、原位置において試験的に施工を行って配合を決定することを推奨する。

(1) 施工性の確認

掘削状況、発生土、サイクルタイム、機械の作動状況を確認する。施工性の確認を地盤状況と対比できるように、既存ボーリング調査位置の近傍で実施する。

(2) 攪拌混合度の確認

目視により土塊がないか確認する。

(3) 一軸圧縮強さの確認

原位置で築造された改良体からコアを採取後、一軸圧縮強さを確認し、施工方法と配合の妥当

性を判断する。一軸圧縮強さの評価にあたっては、同一条件の供試体 3 本以上の試験結果に基づき算定する。一軸圧縮試験の試験材齢は 7 日または 28 日を標準とする。

4.2.4 配合条件

室内配合試験の結果を用いて、改良体の要求性能を満足する適切な配合条件を設定する。

(1) 配合条件の決定（室内配合試験）

(a) 現場／室内強度比

改良土質・施工機械・攪拌条件ごとに施工データを蓄積し、現場／室内強度比は、以下のような実績を基に設定することが望ましい。

- ・コア強度の正規分布の適合度判定
- ・コア強度の分布を求める際のコア供試体個数（25 個以上）
- ・変動係数の信頼性の確認（各土質 5 現場以上）

一般的な現場／室内強度比は 0.6 が標準である。参考までに、アンケート調査結果では、改良対象土質に依らず、現場／室内強度比は概ね 0.3～0.7 程度で設定されている。なお、推奨値は設けられていない。

(b) 28 日／7 日強度比

工事着工期間や改良体の六価クロム溶出試験等を考慮し、早期材齢での強度評価を行うことが多い。28 日／7 日強度比は固化材メーカーの技術資料に則ることが多い。参考までに、アンケート調査結果では、28 日／7 日強度比の設定は「過去のデータや使用固化材による。」との回答が多く、その値は概ね 1～2 程度で設定されている。

(2) 六価クロム溶出試験

室内配合試験の供試体を用いて改良土の六価クロム溶出試験（環境庁告示第 46 号試験）を実施し、六価クロム溶出量が土壤環境基準(0.05mg/L)を超えない配合条件を選定する。改良対象土がロームの場合は六価クロムが溶出するおそれが高いため、六価クロムの溶出量を抑制する特殊土用固化材の使用を検討する。

4.3 施工管理

4.3.1 施工法の選定

適切な攪拌混合機能・性能（攪拌機構、掘削能力、管理装置の仕様）を有する施工法を選定する。

4.3.2 管理方法

改良体の品質に係わる施工管理項目を適切に選定し、施工の安定性が把握できる管理方法を用いる。

(1) 試験施工の実施

原則として、施工計画書に従い試験施工を実施する。

(2) 施工管理項目

始めに地盤改良の施工に用いる機械設備のキャリブレーションが適切に行われたことを確認する。適切な管理値を設定して施工管理を行い、施工状況を一回の施工で築造される改良体ごとに正確に記録・保存する。技術評価を取得している工法については、評価書の施工指針に示されている管理項目を参照する。重要な管理項目に関しては、自動計測・自動記録が望ましい。

(a) 施工地盤面

施工機械の施工時安定性、及び施工精度確保のために事前にガラは撤去する等、最低限の整地は必要である。

(b) 寸法・形状

位置、改良範囲、改良長さなどの管理を行う。

(c) 固化材

スラリー状固化材のプラントでの製造バッチごとに比重、濃度、配合量（流量、速度）を自動計測管理するのが望ましい。参考までに、アンケート調査結果では、「比重」、「吐出量」、「配合量が規定値以上である」ことを確認する工法が多い。

(d) 攪拌混合度

攪拌混合度は、回転数、往復回数、羽根切り回数、攪拌混合回数で管理する。土塊がないか目視確認も行う。

(e) 掘削深度（支持層）

事前に試掘し、目視確認するか、所定の支持層の到達していることを目視や深度計にて確認する。

(f) 頭部処理（改良天端レベル仕上げ）

発現強度が低い早期材齢（施工後半日～3日程度）の内に、バックホウ等により改良天端レベル仕上げが必要となるため、その際に頭部の攪拌混合状況を確認することが望ましい。

(g) 施工順序

施工順序は、工法によっては層毎に攪拌する場合もあるので、上下層の攪拌混合に注意する。一体性を確保できるように、改良機の掘削や攪拌能力を勘案し、先行改良部と後行改良部の施工時期を適切に設定する。

(h) 未固結試料（攪拌状況）

未固結試料のフェノールフタレイン散布（着色の有無）や、添加量判定により、攪拌状況状態を確認することが望ましい。

(i) 若材齢強度

モールド採取供試体の材齢3日または7日で行う一軸圧縮試験による圧縮強度が、必要強度以上であることを確認する。

(3) 記録と保存

現状の施工管理は目視や感覚等による確認が主であるが、改良形状や混合、転圧状況などについては自動計測装置により施工データの記録・保存を行うとともに、施工当日中にデータによって施工の妥当性を確認する。

(4) 環境保全への配慮

現場の状況にあわせて、近隣への配慮を行う（特に騒音・振動）。

4.4. 品質検査

4.4.1 検査指標

設計の要求する品質を満足していることが把握できる検査指標を設定する。一般的に、コアの一軸圧縮試験による圧縮強さと、コアの均一性（連続性）を評価する。また、設定した不良率の確認が重要（スラリー系の機械攪拌式工法では不良率10%が標準値）である。

(1) 材齢28日強度

コア供試体、またはこれに準ずる供試体の材齢28日で行う一軸圧縮試験による圧縮強度が、必要強度以上であること。ただし、施工範囲が少なく、次工程への期間が短いため、モールドコアや工法毎に特殊な未固結試料採取器により早期強度により判定することが多い。

(2) 連続性

コア採取率で評価する際、ボーリング全長コアの採取率の目安は、砂質土95%、粘性土90%以上（1mあたりではそれぞれ5%減じる）とする。

4.4.2 検査方法

品質検査方法は、改良体に対する要求性能が把握できる検査方法を用いる。いわゆる抜取検査方法といわれるもので、計量規準型抜取検査・計数規準型抜取検査などがある。抜取検査方法については、BCJ・BL指針を参照されたい。

品質検査の判定においては、検査結果と検査方法の適用範囲や前提条件を比較し、検査方法の妥当性を確認する。また、検査結果から求められる標準偏差、変動係数、平均値の比較検討が重要である。

(1) コア供試体による一軸圧縮強さ（モールドコア/ボーリングコア、養生方法）

コア供試体は、頭部コア・ボーリングコアとし、養生方法は20±3℃、湿度95%以上の湿空養生とする。材齢は28日が基本であるが、事前の調査で信頼性を確認しておけば早期材齢の強度

で確認することも可能である。深さ方向に品質が確認できるのであれば、モールドコアによる強度確認でも良い。あわせてコア採取率(コア長 1m ごとおよびコア全長に対する値)も確認する。

(2) ランダムサンプリングの実施

改良体の施工後に、抜き取り箇所を無作為に決定する。

(3) 検査対象群

品質検査は 1 建築物ごとに実施する。施工箇所を適切に区分けし、地盤条件・施工の安定性を考慮して 1 検査区画の大きさを設定する。1 検査区画あたり 3 か所以上からコア供試体または、それに類する供試体を採取して品質検査を行う。なお、改良ブロック数の 1%以上の箇所数から供試体を採取するのが望ましい。

(4) 試験実施機関(第三者機関)

品質検査を厳正に行うためにも、材齢 28 日で行う圧縮試験は、第三者機関で実施することが望ましい。

(5) 品質検査における判定

品質検査方法は、改良体に対する要求性能が把握できる検査方法を用いる。例えば、BCJ・BL 指針にしたがい、改良体の品質のバラツキ(コア強度の標準偏差や変動係数)を把握している場合は検査手法 A、そうでない場合は検査手法 B を用いる。いずれの場合も、コアの数が 25 以上であるとき、設計基準強度を下回るコアの割合が設計上 10%あることを許容している。

(6) 不合格時の処理

品質検査において不合格となった検査区画は、原因(地盤条件の相違、配合量の不足、混合の不均一等)を明らかにした後、再施工を含めた対策を講じる。

4.5 項目整理表

当 WG 活動で参照した建築・土木分野の指針類は、下記の A~O である。本資料において、品質管理上重要と考えられる項目を、表 4-1 に項目整理表としてまとめておく。表中には、参照した各指針類での記載の有無ならびに本資料で推奨する内容を、項目ごとに併記している。

なお、参照した指針類では記載のない品質管理項目があるが、施工会社へのアンケート調査結果を参考に当 WG 活動で検討を行い、推奨する内容を定めている。

グレードの「A」と「B」は、A が全ての案件で必ず実施する項目、B が案件条件により選択して実施する項目で区分している。品質管理を行う上で管理項目として採用する際の判断材料として頂きたい。

- A 日本建築センター、ベターリビング：2018 年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法—、2018
- B 日本建築センター：「改定版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針」Q&A 集 改良地盤の設計及び品質管理における実務上のポイント、2010
- C 国土交通省告示第 1113 号 第 3:地盤の許容応力度及び基礎ぐいの許容支持力を求めるための地盤調査の方法並びにその結果に基づき地盤の許容応力度及び基礎ぐいの許容支持力を定める方法等を定める件、2001
- D 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
- E 土木研究所、流動化処理工法総合監理：流動化処理土利用技術マニュアル、2008
- F 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS3 JASS4、2009
- G 日本建築学会：建築基礎のための地盤改良設計指針案、2006
- H 日本建築学会：建築基礎構造設計指針、2019
- I 日本建築学会 関東支部：基礎構造の設計—学びやすい構造設計—、2003
- J 土木研究センター：陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル、2004
- K 沿岸技術研究センター：海上工事における深層混合処理工法技術マニュアル、2008
- L 地盤工学会：地盤改良の調査・設計と施工—戸建住宅から人工島まで—、2013

- M 土木研究センター：液状化対策工法設計・施工マニュアル（案）、1999
- N 日本材料学会 土質安定材料委員会：地盤改良工法便覧、1991
- O 地盤工学会：地盤改良のトラブルの要因とその対策、1993

表4-1 浅層混合処理工法（スラリー状固化材の機械攪拌に限定）の項目整理表

項目	指針	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	日建連 推奨	グレード				
																		A	B			
事前調査（地盤調査）		○	○	×	◎	×	×	×	○	○	×	×	○	×	×	×	×	地盤調査、文献調査	○			
I 配合管理	1. 材料の選定	①固化材、添加剤	○	○	×	◎	×	○	×	○	○	×	×	○	×	×	×	固化材（①汎用固化材（一般軟弱土、特殊土）②高有機質土用固化材）等は地盤条件に適合したものの改良対象土質によっては、JIS規格品（普通ポルトランドセメントや高炉セメントB種など）使用可能 固化材の粘性や流動性を確保するために添加剤を必要に応じて加える	○			
		②練混ぜ水	×	○	×	○	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	上水道水が基本、その他の場合JIS A 5308付属書C（規定）「レディーミクストコンクリートの練混ぜに用いる水」参照		○		
	2. 室内配合試験	①配合強度の設定	a. 配合量と配合水準数、水固化材比	○	○	×	○	×	○	×	○	○	×	×	×	×	×	×	固化材添加量(100～400kg/m ³)を中心に3水準以上 水固化材比は100%が一般的である	○		
			b. 割増し係数	○	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	施工後の現場強度の特性値（平均値、変動係数）を適切に設定して、割増し係数を設定する	○		
			c. 変動係数	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	変動係数は20～45%が一般的である	○		
		②試料土の採取	×	×	×	○	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	試料の調整方法に対応できるよう原位置土を採取、密封状態で保管、10～30kg程度	○			
		③試料土の調整・混合	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	①最弱層、②地層毎、③層比率のいずれかで採取、目開き9.5mmふるいを通し、均一に混合（混練時間5～10分程度）	○			
		④供試体作製	○	×	×	○	×	×	×	○	○	×	×	○	×	×	×	×	軽量モールド等に充填、「安定処理土の締めめをしない供試体作製方法(JGS0821)」	○		
	⑤供試体養生	×	×	×	○	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	温度20±3℃、湿度95%以上の恒温恒湿室内で所定材齢まで養生（湿空養生）	○			
	⑥室内強度試験	○	×	×	○	×	○	×	○	○	×	×	○	×	○	×	×	「土の一軸圧縮試験方法(JISA1216)」、同一条件の供試体3本以上	○			
	3. 現場配合試験	①施工性の確認	×	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	既存ボーリング位置近傍で実施		○	
		②攪拌混合度の確認	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	目視で土塊がないか確認		○	
		③一軸圧縮強さの確認	○	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	○	×	×	「土の一軸圧縮試験方法(JISA1216)」、同一条件の供試体3本以上		○	
	4. 配合条件	①配合条件の決定（室内配合試験）	a. 現場/室内強度比	×	○	×	○	×	○	×	○	×	×	○	×	○	×	×	改良土質・施工機械・攪拌条件ごとに施工データを蓄積し、適切に設定 一般的な現場/室内強度比は0.6が標準	○		
b. 28日/7日強度比			×	○	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	早期材齢での強度評価、1.0～2.0程度		○		
②配合条件の決定（現場配合試験）		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	一軸圧縮強さを確認し、想定した現場平均強度や設計基準強度との対比により判断		○		
③六価クロム溶出試験		×	○	○	○	×	○	×	○	○	×	×	×	×	×	×	×	土壌環境基準(0.05mg/L)を超えない配合条件		○		
④深度方向の配合量の設定	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	土層境界深度		○			
II 施工管理	1. 施工法の選定	①施工機械の適切な選定	×	×	×	○	×	○	×	×	×	×	○	×	○	×	○	適切な攪拌機構、掘削能力の選定、管理装置の仕様	○			
		①試験施工の実施	×	○	×	×	×	○	×	○	×	×	○	×	×	×	×	施工計画書に従い実施	○			
	2. 管理方法	②施工管理項目	a. 施工地盤面	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	敷き鉄板による養生や表層改良等の安全対策		○	
			b. 寸法・形状	○	×	×	○	×	×	○	×	×	×	○	×	×	×	×	位置、改良範囲、改良長さ		○	
			c. 固化材	○	×	×	○	×	○	×	×	×	×	○	×	×	×	×	バッチごとに自動計測管理、スラリー比重により確認		○	
			d. 攪拌混合度	○	×	×	○	×	○	×	×	×	×	○	×	×	×	×	羽根切り回数、攪拌混合回数、土塊がないか目視確認		○	
			e. 着底深さ（支持層深度）	○	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	深度計、目視にて確認		○	
			f. 頭部処理（改良天端レベル仕上げ）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	発現強度が低い早期材齢（施工後半日～3日程度）の内にバックホウ等により頭部の仕上がり状況の確認		○
			g. 施工順序	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	層毎に攪拌する場合は上下層の攪拌混合に注意する		○
			h. 未固結試料（攪拌状況）	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	未固結試料のフェノールフタレイン散布、添加量判定により、攪拌状況を確認		○
	i. 若材齢強度		○	×	×	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	モールド採取供試体の材齢3日または7日で行う圧縮試験による圧縮強度が、必要強度以上		○	
	③記録と保存	○	×	×	×	×	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	施工管理装置により施工データの記録・保存を行うとともに、施工当日中にデータの妥当性を確認	○			
	④環境保全への配慮	○	○	×	○	×	×	×	○	×	×	×	×	×	○	×	×	周辺地盤への影響、水質・騒音・振動	○			
	1. 検査指標	①材齢28日強度	○	○	○	○	×	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	コア供試体またはこれに準ずる供試体の材齢28日で行う圧縮試験による圧縮強度が、必要強度以上	○		
②連続性		×	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	ボーリング全長コアの採取率の目安は、砂質土95%、粘性土90%以上（1mあたりではそれぞれ5%減じる）		○		
2. 検査方法	①コア供試体による一軸圧縮強さ（モールドコア/ボーリングコア、養生方法）	○	○	○	○	×	×	×	○	×	×	○	×	×	×	×	×	材齢28日で行う圧縮試験による圧縮強度が目標強度以上、養生条件は温度20±3℃、湿度95%以上		○		
	②ランダムサンプリングの実施	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	改良体の施工後に、抜き取り箇所を無作為に決定		○		
	③検査対象群の設定	×	×	×	○	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	地盤条件、施工条件を考慮して1検査区画を設定		○		
	④調査箇所数及び検査数量	○	×	×	○	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	1検査区画あたり3か所以上、かつ改良ブロック数の1%以上		○		
	⑤試験実施機関（第三者機関）	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	材齢28日で行う圧縮試験は第三者機関で実施	○			
⑥品質検査における判定	○	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	2018年版BCJ・BL指針の検査方法Aまたは検査方法Bなど		○			

凡例：◎日建連推奨内容記載あり、○項目に関する記載あり、×項目に関する記載なし、

A：必ず実施、B：条件により実施

第5章 高圧噴射攪拌式深層混合処理工法

本資料は、高圧噴射攪拌式深層混合処理工法において、品質管理上、重要と考えられる項目を抽出し、まとめたものである。項目の一覧表を5.5節に示した。記載内容は、概ね「2018年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針（以下、BCJ・BL指針と称す）」をベースにしているが、当WG活動を通じて収集した建築分野・土木分野の指針類や、会社・工法協会へのアンケート調査結果も参考にした。ただし、現時点では、本資料にある他の原地盤とセメント系固化材を機械的に攪拌混合して改良する固化工法に比べ、参考となる知見が少ないのが実状である。

5.1 事前調査

改良地盤の設計・施工に必要な地盤情報を得るための事前調査として、地盤調査および文献調査を実施する。軟弱層の厚さ、支持層の深度、地層の連続性、起伏、地下水位、物理的・力学的特性や、必要に応じて化学的特性を把握する目的で、ボーリング調査、標準貫入試験、サウンディング調査、土質試料の採取、室内土質試験を行う。

下記の地盤については、地盤改良の適用に問題がないかを確認する必要がある。

- ・施工上の障害となる礫層や転石（工法によるが $\phi 50\text{mm}$ ～ $\phi 100\text{mm}$ 程度以上）を多く含む地盤
- ・ローム・火山灰質粘性土（アロフェンを含む）の地盤
- ・有機物・腐植土を多く含む地盤（柱状図に表記されている場合）、酸性土地盤（ $\text{pH} \leq 4$ ）や硫酸塩を含む地盤（可溶性 $\text{SO}_4 \geq 0.5\%$ ）
- ・掘削部に産業廃棄物や地中障害物などが埋設されている地盤
- ・地下水が流水状態（ $100\text{cm}/\text{分}$ 程度以上）にある地盤
- ・凍結を生じる地盤

5.2 配合管理

5.2.1 材料の選定

（1）固化材・添加剤

使用する固化材はセメント系固化材とし、①汎用固化材（一般軟弱土、特殊土） ②高有機質土用固化材等は、地盤条件に適合したものをを用いる。高圧噴射攪拌工法専用の固化材を使用する機会が多い。改良対象土質によっては（例えば、有機分を含まない場合）、普通ポルトランドセメントや高炉セメントB種などのJIS規格品を固化材として使用することができる。改良対象土がロームの場合は六価クロムが溶出するおそれが高いため、六価クロムの溶出量を抑制する特殊土用固化材の使用を検討する。固化材の粘性や流動性を確保するために分散剤、増粘剤、遅延剤などの混和剤（以下、添加剤と称す）を必要に応じて加える。

（2）練混ぜ水

練混ぜ水は、上水道水を基本とする。地下水などを使用する場合は、JIS A 5308 付属書C（規定）「レディーミクストコンクリートの練混ぜに用いる水」を参照し、事前に調査しておく必要がある。

5.2.2 室内配合試験

配合条件を決定するため、原位置土を用いた室内配合試験を行う。

（1）配合強度の設定

配合強度は、「配合条件を決めるときに目標とする強度分布の平均値」に相当するもので、「設計の要求する強度分布の平均値」そのものではない。設計基準強度をもとに改良体強度のばらつきや現場／室内強度比などを考慮して適切な配合強度を決定する。

（a）配合量と配合水準数、水固化材比

必要強度を満足すると想定される固化材添加量を中心に3水準以上の配合量を設定する。参考までに、アンケート調査結果では、水固化材比は概ね80%～130%の範囲で設定されている。

(b) 割増し係数

施工後の現場強度の特性値（平均値、変動係数）を適切に想定し、品質検査で不合格とならないように割増し係数を決める。現場配合試験を基に決定することが望ましい。

(c) 変動係数

配合強度を設定する上で、現場平均強度と標準偏差（変動係数）を設定しなければならない。変動係数は、以下のような実績を基に設定することが望ましい。

- ・コア強度の正規分布の適合度判定
- ・コア強度の分布を求める際のコア供試体個数（25 個以上）
- ・変動係数の信頼性の確認（各土質 5 現場以上）

なお、変動係数は 20～45%とすることが多い。参考までに、アンケート調査結果では、変動係数は概ね砂質土が 15～45%、粘性土・ロームが 20～45%で設定されている。

(2) 試料土の採取

原位置の改良対象地層から、配合試験に用いる試料土を採取する。次項(3)に述べるように、試料土の調整方法は主に 2 方法あるため、採用する方法に対応できるように原位置土を採取する必要がある。なお、同じ配合量の場合、一般的な発現強度の大きさは、「有機質土<粘土<シルト<砂質土」の順となる。地盤改良を行う平面規模や地層構成の変化を考慮して、適切な採取箇所数を設定する。

試料土は、予備も含めて 10～30kg 程度採取し、密封状態で保管する。なお、一般的には、1 条件（1 土質×1 固化材×3 水準の配合量×2 材齢×3 本の供試体）あたり 10kg～15kg 程度の試料土が必要となる。

(3) 試料土の調整・混合

配合試験に用いる試料土は、①最弱層：発現強度が一番小さいと予想される最弱の地層の土質試料を用いる、②地層毎：地層ごとに土質試料を採取してそれぞれ用いる、の 2 方法がある。原位置の地層構成と採用する工法の特徴を勘案して、試料土の調整方法を 2 方法の中から選択する。

試料土は、「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法(JGS0821-2009)」に準じ、目開き 9.5mm ふるいを通し、礫や木片などは除去する。均一な混合が得られるように配慮する。混練時間は 5～10 分程度とする。

(4) 供試体作製

「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法(JGS0821-2009)」に準じ、混練された試料を軽量モールド等に、3 層程度に分けて入れ、各層ごとに気泡の除去を行って供試体を作製する。

(5) 供試体養生

供試体は、「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法(JGS0821-2009)」に準じ、温度 20±3℃、湿度 95%以上の恒温恒湿室内で所定材齢まで養生（湿空養生）する。

(6) 室内強度試験

室内強度試験は、「土の一軸圧縮試験方法(JISA1216)」に準じて実施する。同一条件の供試体 3 本以上の結果に基づき算定する。一軸圧縮試験の試験材齢は 7 日または 28 日を標準とする。

5.2.3 現場配合試験

現時点では、まだ実績が少ないことから、現場配合試験の結果に基づき配合条件を含めた噴射仕様を設定することを基本とする。

(1) 施工性の確認

噴射仕様、排泥の発生状況、サイクルタイム、機械の作動状況、周辺への影響を確認する。施工性の確認を地盤状況と対比できるように、既存ボーリング調査位置の近傍で実施する。

(2) 攪拌混合度および改良径の確認

改良体の掘り出しや、コア採取率、改良径を含む改良体の形状や硬さを確認する。収集した技術資料の中では、改良体の形状確認において、硬化に伴う温度変化の計測を行う例や、サウンディング試験による抵抗で評価する例がみられる。

(3) 一軸圧縮強さの確認

原位置で築造された改良体からコアを採取後、一軸圧縮強さを確認し、施工方法と配合の妥当性を判断する。一軸圧縮強さの評価にあたっては、同一条件の供試体3本以上の試験結果に基づき算定する。一軸圧縮試験の試験材齢は7日または28日を標準とする。

5.2.4 配合条件

室内配合試験の結果を用いて、改良体の要求性能を満足する適切な配合条件を設定する。

(1) 配合条件の決定（室内配合試験）

(a) 現場／室内強度比

改良土質・施工機械・攪拌条件ごとに施工データを蓄積し、現場／室内強度比は、以下のような実績を基に設定することが望ましい。

- ・コア強度の正規分布の適合度判定
- ・コア強度の分布を求める際のコア供試体個数（25個以上）
- ・変動係数の信頼性の確認（各土質5現場以上）

参考までに、アンケート調査結果では、現場／室内強度比は土質に依らず概ね0.5～0.7程度で設定されている。なお、推奨値は設けられていない。

(b) 28日／7日強度比

工事着工期間や改良体の六価クロム溶出試験等を考慮し、早期材齢での強度評価を行うことが多い。参考までに、アンケート調査結果では、28日／7日強度比は「過去のデータ」もしくは「未回答」が多く、具体的な数値は示されていない。

(2) 六価クロム溶出試験

室内配合試験の供試体を用いて改良土の六価クロム溶出試験（環境庁告示第46号試験）を実施し、六価クロム溶出量が土壤環境基準(0.05mg/L)を超えない配合条件を選定する。改良対象土がロームの場合は六価クロムが溶出するおそれが高いため、六価クロムの溶出量を抑制する特殊土用固化材の使用を検討する。

5.3 施工管理

5.3.1 施工法の選定

適切な攪拌混合機能を有するツールズ（資機材）や施工法（配合条件、噴射仕様）を選定する。また、施工時に地上へ排出されるリターン経路が閉塞されることによる余剰な未固結改良体の排出不良や、造成ロッドを孔内で動かすことのできない状態になるジャミングなどの発生に対する注意が必要である。

5.3.2 管理方法

改良体の品質に係わる施工管理項目を適切に選定し、施工の安定性が把握できる管理方法を用いる。

(1) 試験施工の実施

原則として、施工計画書に従い試験施工を実施する。

(2) 施工管理項目

始めに地盤改良の施工に用いる機械設備のキャリブレーションが適切に行われたことを確認する。適切な管理値を設定して施工管理を行い、施工状況を一回の施工で築造される改良体ごとに正確に記録・保存する。技術評価を取得している工法については評価書の施工指針に示されている管理項目を参照する。重要な管理項目に関しては、自動計測・自動記録が望ましい。

(a) 施工地盤面

施工機が小型のため、他の固化工法よりも対策は少ない。ただし、移動時の転倒防止に敷き鉄板等を設けるなどの配慮は必要である。

(b) 寸法・形状

芯位置、鉛直性、改良径、改良長さなどの管理を行う。

(c) 固化材

スラリー状固化材のプラントでの製造バッチごとにスラリー比重、噴射量を自動計測管理

するのが望ましい。参考までに、アンケート調査結果では、固化材の管理項目は「比重」、「吐出量」との回答が多い。

(d) 攪拌混合度

攪拌混合度は、噴射圧、噴射流量、ロッド回転数、造成時間（ロッドの引き上げ時間）などで管理する。参考までに、アンケート調査結果では、攪拌混合度の管理項目は「回転数」、「時間」との回答が多い。

(e) 着底深さ（支持層深度）

深度管理が基本になるため、事前調査等によりあらかじめ着底深さを設定しておく必要がある。

(f) 頭部処理（改良天端レベル仕上げ）

発現強度が低い早期材齢（施工後半日～3日程度）の内に、バックホウ等により改良天端レベル仕上げが必要となるため、その際に頭部の攪拌混合状況を確認することが望ましい。既存建物下での施工が多く、実際されないことが多い。

(g) 施工順序

地盤によっては、改良体造成前に削孔水による先行削孔を行うプレジエットの実施を検討する。ラップ施工となる場合は、先行コラムに切削土砂が流入したり、先行コラムの未固結部が地表に排出されるおそれがあるため、後行コラムは少なくとも翌日以降に施工を行う。また、改良体の配置計画不良や、先行コラム径が設計改良径よりも大きくなりすぎたことなどにより、後行コラムの施工芯位置が先行コラム内に入ると、既に硬化している先行コラムが切削・攪拌混合を妨げるため、後行コラムが極端に小さくなることや築造できないおそれがある。地盤の特性に応じて改良径が変わることを考慮した配置計画が重要である。

※補足

この資料にある他の原地盤とセメント系固化材を機械的に攪拌混合して改良する固化工法では、上記（a）～（g）に加え、（h）未固結試料による攪拌状況の確認、（i）若材齢強度の確認が施工管理項目に挙げられている。いずれも未固結試料採取が必要であるが、本工法では、造成ロッドが通過した小径の孔を介して採取器を改良体まで降ろす必要があり、位置に限られるなど試料採取が困難であるため、施工管理項目から除いている。

(3) 記録と保存

施工管理装置により施工データの記録・保存を行うとともに、施工当日中にデータによって施工の妥当性を確認する。

(4) 環境保全への配慮

改良体の品質を確保するとともに、周辺環境への影響（近接施工、振動、騒音、地盤沈下、水質汚染など）を防止するために、スラリー状固化材や改良体の施工精度・品質などに係る具体的な施工管理項目の選定と、その管理方法および管理値を適切に設定した上で施工管理を実施する。

5.4. 品質検査

5.4.1 検査指標

設計の要求する品質を満足していることが把握できる検査指標を設定する。一般的に、コアの一軸圧縮試験による圧縮強さと、コアの均一性（連続性）を評価する。また、設定した不良率の確認が重要（不良率10%が標準値）である。

(1) 材齢28日強度

コア供試体、またはこれに準ずる供試体の材齢28日で行う一軸圧縮試験による圧縮強度が、必要強度以上であること。

(2) 連続性

コア採取率で評価する際、ボーリング全長コアの採取率の目安は、砂質土95%、粘性土90%以上（1mあたりではそれぞれ5%減じる）とする。

5.4.2 検査方法

品質検査方法は、改良体に対する要求性能が把握できる検査方法を用いる。いわゆる抜取検査方法といわれるもので計量規準型抜取検査・計数規準型抜取検査などがある。抜取検査方法については、BCJ・BL 指針を参照されたい。

品質検査の判定においては、検査結果と検査方法の適用範囲や前提条件を比較し、検査方法の妥当性を確認する。また、検査結果から求められる標準偏差、変動係数、平均値の比較検討が重要である。

(1) コア供試体による一軸圧縮強さ（モールドコア/ボーリングコア、養生方法）

コア供試体は、頭部コア・ボーリングコアとし、養生方法は 20±3℃、湿度 95%以上の湿空養生とする。材齢は 28 日が基本であるが、事前の調査で信頼性を確認しておけば早期材齢の強度で確認することも可能である。あわせてコア採取率(コア長 1m ごとおよびコア全長に対する値)も確認する。

(2) ランダムサンプリングの実施

改良体の施工後に、抜き取り箇所を無作為に決定する。

(3) 検査対象群および検査対象層の設定

品質検査は 1 建築物ごとに実施する。なお、1 検査対象群の改良体数の上限値は概ね 300 本の改良体として良い。地盤条件・施工の安定性を考慮して対象群を設定する。検査対象群ごとに最低 1 箇所以上のボーリングコアによる試験と頭部コアによる試験が必要である。調査箇所数の目安は、100 改良体 1 箇所以上かつ 1 検査対象群ごとに最低 1 箇所以上とする。

(4) 試験実施機関（第三者機関）

品質検査を厳正に行うためにも、材齢 28 日で行う圧縮試験は、第三者機関で実施することが望ましい。

(5) 品質検査における判定

品質検査方法は、改良体に対する要求性能が把握できる検査方法を用いる。例えば、BCJ・BL 指針にしたがい、改良体の品質のバラツキ（コア強度の標準偏差や変動係数）を把握している場合は検査手法 A、そうでない場合は検査手法 B を用いる。いずれの場合も、コアの数が 25 以上であるとき、設計基準強度を下回るコアの割合が設計上 10%あることを許容している。

(6) 不合格時の処理

品質検査で不具合となった検査区画は、原因（地盤条件の相違、噴射圧、噴射流量、ロッド回転数、造成時間などの妥当性）を明らかにした後、再施工も含めた対策を講じる。

5.5 項目整理表

当 WG 活動で参照した建築・土木分野の指針類は下記の A～C である。本資料において、品質管理上重要と考えられる項目を、表 5-1 に項目整理表としてまとめておく。表中には、参照した各指針類での記載の有無ならびに本資料で推奨する内容を、項目ごとに併記している。

なお、参照した指針類では記載のない品質管理項目があるが、施工会社へのアンケート調査結果を参考に当 WG 活動で検討を行い、推奨する内容を定めている。

グレードの「A」と「B」は、Aが全ての案件で必ず実施する項目、Bが案件条件により選択して実施する項目で区分している。品質管理を行う上で管理項目として採用する際の判断材料として頂きたい。

- A 日本建築センター、ベターリビング：2018 年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法一、2018
- B 日本建築センター：「改定版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針」Q&A 集 改良地盤の設計及び品質管理における実務上のポイント、2010
- C 国土交通省告示第 1113 号 第 3:地盤の許容応力度及び基礎ぐいの許容支持力を求めるための地盤調査の方法並びにその結果に基づき地盤の許容応力度及び基礎ぐいの許容支持力を定め

る方法等を定める件、2001

- D 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
- E 土木研究所、流動化処理工法総合監理：流動化処理土利用技術マニュアル、2008
- F 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS3 JASS4、2009
- G 日本建築学会：建築基礎のための地盤改良設計指針案、2006
- H 日本建築学会：建築基礎構造設計指針、2019
- I 日本建築学会 関東支部：基礎構造の設計－学びやすい構造設計－、2003
- J 土木研究センター：陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル、2004
- K 沿岸技術研究センター：海上工事における深層混合処理工法技術マニュアル、2008
- L 地盤工学会：地盤改良の調査・設計と施工－戸建住宅から人工島まで－、2013
- M 土木研究センター：液状化対策工法設計・施工マニュアル（案）、1999
- N 日本材料学会 土質安定材料委員会：地盤改良工法便覧、1991
- O 地盤工学会：地盤改良のトラブルの要因とその対策、1993

表5-1 高圧噴射攪拌式深層混合処理工法の項目整理表

項目		指針	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	日建連 推奨	グレード		
																				A	B
事前調査（地盤調査）			◎	×	×	◎	×	×	×	×	○	○	×	○	×	○	×	地盤調査、文献調査	○		
I 配合管理	1. 材料の選定	①固化材、添加剤	◎	×	×	◎	×	○	×	×	○	○	×	×	×	×	×	固化材（①汎用固化材（一般軟弱土、特殊土）②高有機質土用固化材）等は地盤条件に適合したもの改良対象土質によっては、JIS規格品（普通ポルトランドセメントや高炉セメント種など）使用可能 固化材の粘性や流動性を確保するため添加剤を必要に応じて加える	○		
		②練混ぜ水	◎	×	×	○	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	上水道水が基本、その他の場合JIS A 5308付属書C（規定）「レディーミクストコンクリートの練混ぜに用いる水」参照		○	
	2. 室内配合試験	①配合強度の設定	a. 配合量と配合水準数、水固化材比	◎	×	×	○	×	○	×	×	×	○	×	×	×	×	×	所定の固化材添加量を中心に3水準以上	○	
			b. 割増し係数	◎	×	×	○	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	施工後の現場強度の特性値（平均値、変動係数）を適切に設定して、割増し係数を設定する	○	
			c. 変動係数	◎	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	変動係数は20～45%が一般的である	○	
		②試料土の採取	◎	×	×	○	×	○	×	×	×	○	×	×	×	×	×	試料の調整方法に対応できるよう原位置土を採取、密封状態で保管、10～30kg程度	○		
		③試料土の調整・混合	◎	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	①最弱層、②地層毎のいずれかで採取、目開き9.5mmふるいを通し、均一に混合（混練時間5～10分程度）	○		
		④供試体作製	◎	×	×	○	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	軽量モールド等に充填、「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法（JGS0821）」	○		
	⑤供試体養生	◎	×	×	○	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	温度20±3℃、湿度95%以上の恒温恒湿室内で所定材齢まで養生（湿空養生）	○			
	⑥室内強度試験	◎	×	×	○	×	○	×	×	×	○	×	×	×	×	×	「土の一軸圧縮試験方法（JISA1216）」、同一条件の供試体3本以上	○			
	3. 現場配合試験	①施工性の確認	◎	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	既存ボーリング位置近傍で実施		○	
		②攪拌混合度および改良径の確認	◎	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	改良体の掘り出し、コア採取率、改良体の形状や硬さを確認		○	
		③一軸圧縮強さの確認	◎	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	「土の一軸圧縮試験方法（JISA1216）」、同一条件の供試体3本以上		○	
4. 配合条件	①配合条件の決定（室内配合試験）	a. 現場/室内強度比	◎	×	×	○	×	○	×	×	×	○	×	×	×	×	改良土質・施工機械・攪拌条件ごとに施工データを蓄積し、適切に設定	○			
		b. 28日/7日強度比	◎	×	×	×	×	○	×	×	×	○	×	×	×	×	早期材齢での強度評価		○		
	②配合条件の決定（現場配合試験）	◎	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	一軸圧縮強さを確認し、想定した現場平均強度や設計基準強度との対比により判断		○		
③六価クロム溶出試験	◎	×	○	○	×	○	×	×	×	○	×	○	×	×	×	土壤環境基準（0.05mg/L）を超えない配合条件	○				
II 施工管理	1. 施工法の選定	①攪拌混合機能	◎	×	×	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×	○	×	適切な攪拌機構、掘削能力の選定、管理装置の仕様、未固結改良体の排出経路閉塞やジャミングなどに注意	○		
	2. 管理方法	①試験施工の実施	◎	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	施工計画書に従い実施	○		
		②施工管理項目	a. 施工地盤面	◎	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	敷き鉄板による養生等の安全対策	○	
			b. 寸法・形状	◎	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	芯位置、鉛直性、改良径、改良長さ	○	
			c. 固化材	◎	×	×	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	バッチごとに自動計測管理、スラリー比重により確認	○	
			d. 攪拌混合度	◎	×	×	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	噴射圧、噴射流量、ロッド回転数、造成時間（ロッドの引き上げ時間）（自動計測・自動記録が望ましい）	○	
			e. 着底深さ（支持層深度）	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	深度管理のため、事前調査等によりあらかじめ着底深さを設定	○	
		f. 頭部処理（改良天端レベル仕上げ）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	発現強度が低い早期材齢（施工後半日～3日程度）の内にバックホウ等により頭部の仕上がり状況の確認		○	
	g. 施工順序	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	地盤によってはプレジェット実施を検討、地盤特性に応じて改良径が変わることを考慮した改良体配置計画	○			
	③記録と保存	◎	×	×	○	×	○	×	×	○	×	×	×	×	×	×	施工管理装置により施工データの記録・保存を行うとともに、施工当日中にデータの妥当性を確認	○			
④環境保全への配慮	◎	×	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	周辺地盤への影響、水質・騒音・振動	○				
III 品質検査	1. 検査指標	①材齢28日強度	◎	×	○	○	×	○	×	×	×	○	×	×	×	×	コア供試体またはこれに準ずる供試体の材齢28日で行う圧縮試験による圧縮強度が、必要強度以上	○			
		②連続性	◎	×	×	◎	×	○	×	×	×	○	×	×	×	×	×	ボーリング全長コアの採取率の目安は、砂質土95%、粘性土90%以上（1mあたりではそれぞれ5%減じる）	○		
	2. 検査方法	①コア供試体による一軸圧縮強さ（モールドコア/ボーリングコア、養生方法）	◎	×	○	○	×	○	○	×	○	○	×	×	×	×	×	材齢28日で行う圧縮試験による圧縮強度目標強度以上、養生条件は温度20±3℃、湿度95%以上	○		
		②ランダムサンプリングの実施	◎	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	改良体の施工後に、抜き取り箇所を無作為に決定	○		
		③検査対象群及び検査対象層の設定	◎	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	地盤条件、施工条件を考慮して設定	○		
		④調査箇所数及び検査数量	◎	×	×	○	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	検査対象群ごとに改良コラム本数の1%以上	○		
⑤試験実施機関（第三者機関）	◎	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	材齢28日で行う圧縮試験は第三者機関で実施	○				
⑥品質検査における判定	◎	×	×	○	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	2018年版BCJ・BL改良指針の検査方法Aまたは検査方法Bなど	○				

凡例：◎日建連推奨内容記載あり、○項目に関する記載あり、×項目に関する記載なし

A：必ず実施、B：条件により実施

資料編

第 1 章 地盤改良の不具合事例

第 2 章 地盤改良工法の技術資料

第1章 地盤改良の不具合事例

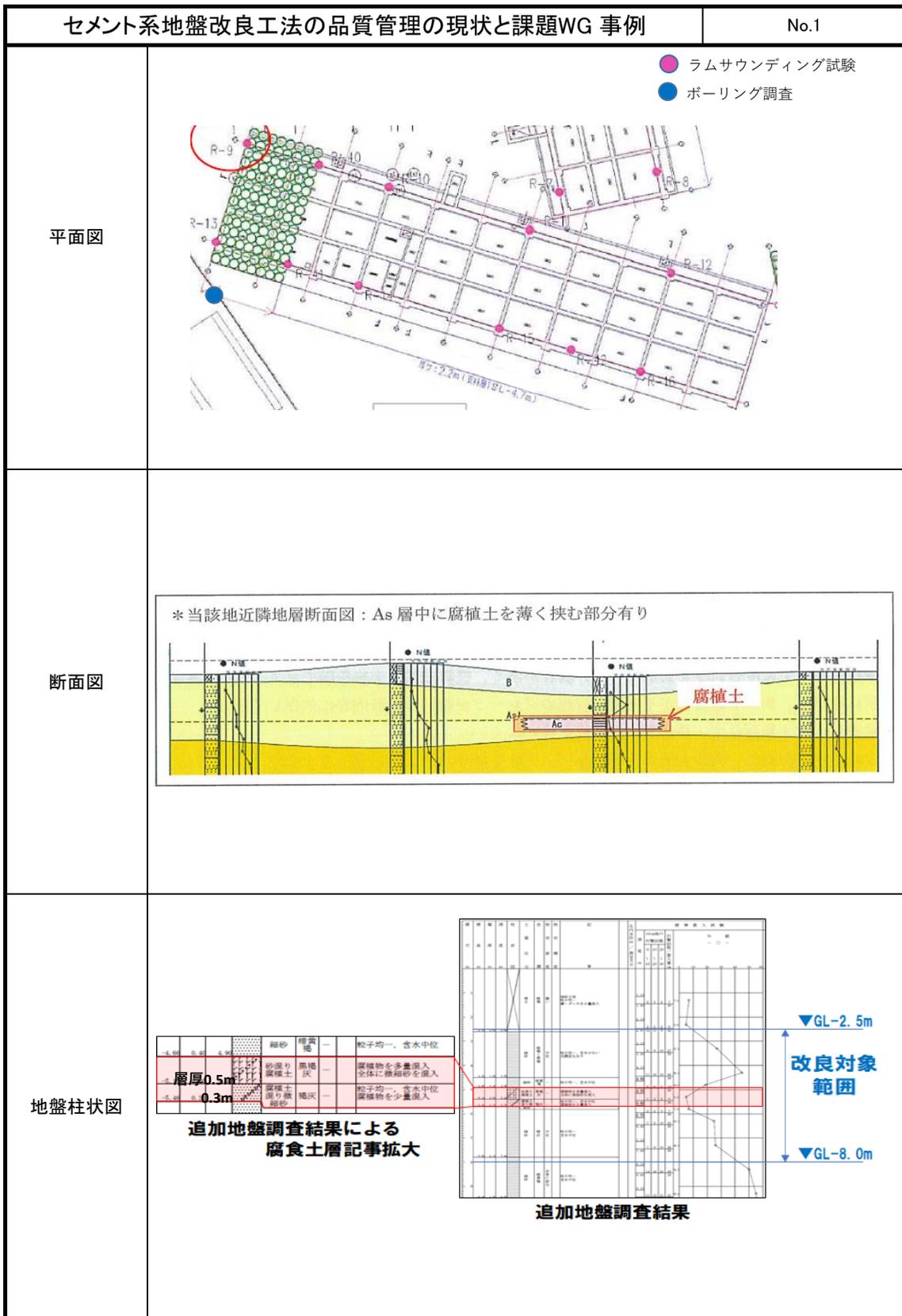
	No. 1	No. 2	No. 3
タイトル	事前に確認できなかった腐植土層によって強度が不足した事例	既存構造物に近接して地盤改良を施工した事例	基礎下耐震補強のための地下における高圧噴射攪拌工法の不具合
地盤改良工法の種類	機械攪拌式深層混合処理工法	機械攪拌式深層混合処理工法	高圧噴射攪拌工法
不具合の種類	強度不足	近接施工	リターン経路の閉塞による捨コン破壊
概要	事前地盤調査結果で確認できなかった腐植土層が敷地の一部の範囲に存在したため、固化不良が生じた。室内配合試験をやり直して固化材添加量を再設定し、施工をやりなおした。	液状化対策用に設計計画した地盤改良に、一部近接した既設構造物の設備機械の直接基礎が存在した。地盤改良施工(機械式攪拌)によりその設備機械基礎への影響(変位・傾斜等)が懸念された。	軟弱地盤下に岩層が堆積している地盤において、シートパイルを岩層に貫入して、遮水を行い、建物地下部から手掘深礎工法で杭を施工する計画において、シートパイルと岩層間での遮水の信頼性に不安があったため杭周辺の止水及び強度確保のために仮設地盤改良を行う必要があった。そのため、小型の機械で施工できる高圧噴射攪拌工法を選定し、掘削完了後、捨てコンを打設後に施工を行ったが、捨コンが持ち上げられ、捨コンの破壊が生じた。
対象地盤	計画時：砂層	埋土(砂質粘土・細砂・シルト等 互層)	シルト・砂・風化岩
地盤改良の目的	建物基礎の支持用	液状化対策	止水と孔壁防護
地盤改良の形状	ブロック状	格子状	杭状
改良径	1200mm	1600mm	3000mm
改良長	5.8~6.4m	12.4m	11.0~19.0m
設計基準強度	1400kN/m ²	1050kN/m ²	300kN/m ²
固化材種類	セメント系固化材	セメント系固化材	セメント系固化材
固化材添加量	350kg/m ³ (計画時)	300kg/m ³	720kg/m ³ (早期に必要強度を発現させるため、2倍強度相当の添加量とした)
問題の要因	地盤調査時点で確認されなかった腐植土層の存在により、改良体の強度が不足した。	地盤改良に伴う周辺地盤の変状が近接する設備機器へ与える影響が懸念された。	機械の小型化、掘削ケーシング径を抑えたことにより、リターンの経路が閉塞し、捨てコンを持ち上げ、捨てコン破壊に至った。
実施工で実施した対策	腐植土層の試料を採取し、室内配合試験をやり直して固化材添加量を再設定し施工をやり直した。 当初添加量350kg/m ³ , w/c70%のセメントミルクから、400kg/m ³ , w/c60%に変更し改良を実施した。	平面的な施工順序を検討し、当該機械基礎のレベル変位確認を行いながらの施工を行った。	掘削径を大きくし、リターンの経路を確保した上で、注入液の流動性を増して施工を行った。
不具合を起こさないための対策	地盤調査や配合試験の実施箇所を増やして、問題となりそうな地層を見逃さないようにする。	・工法固有の影響が確認されている工法を採用する。 ・施工順序を検討し、近接物の変位確認を行いながら施工する。 ・試験杭施工時に変状発生量を確認し、近接構造物への影響の推定精度を上げる	改良対象地盤の特性を考慮し、適切な施工機械、ケーシングを選定する。

第1章 地盤改良の不具合事例

	No. 4	No. 5	No. 6
タイトル	共回りによって改良不良が生じた事例	固化材注入量の不足が発覚した事例	有機物質を含む土層によって強度不足が生じた事例
地盤改良工法の種類	機械攪拌式深層混合処理工法	機械攪拌式深層混合処理工法	機械攪拌式深層混合処理工法
不具合の種類	改良不良	固化材注入量の不足	有機物質による固化不良
概要	地盤改良工事の終了後、改良したコラムの改良不良が発覚した。	施工管理記録から、部分的に管理上の固化材注入量を下回る改良杭があった。	事前のボーリング調査や室内配合試験は適切に実施したが、敷地の特定箇所の土質に混入していた有機物質の影響でセメントの固化反応を阻害し目標の改良強度に達していない改良体となった。
対象地盤	砂礫	粘性土	酸性土
地盤改良の目的	建物基礎の支持用	建物基礎の支持用	建物基礎の支持用
地盤改良の形状	ブロック状（格子状配置）	杭状	杭状
改良径	900mm	1000mm	1500 mm
改良長	2.05m	7.0m、9.0m	3.0m～22.0m
設計基準強度	1400kN/m ²	1000kN/m ²	1300 kN/m ²
固化材種類	セメント系固化材	セメント系固化材	セメント系固化材
固化材添加量	不明	300kg/m ³	350 kg/m ³
問題の要因	当初は、改良コラムの未施工が疑われたが、最終的に、改良機のオーガーとそれと一体となっている攪拌ブレードに転石等が挟まり、共回り現象を起こしてセメントミルクと改良土との攪拌が不十分になったためと推測される。共回り防止対策はなされていたが、転石のサイズに対応できなかった。	中間層支持で、着底管理が困難なため、施工積算の注入量を1mごとの注入量（掘削深度 1.0m/0.5分、注入量 111L/m）に換算して管理を行った。しかし規定の注入量を下回る区間が管理記録から発見され、適切な着底が疑われる改良体があることが発覚した。	事前のボーリング調査や室内配合試験は適切に実施したが、敷地の特定箇所がボーリングデータと異なる地質構成になっており、一部の有機物質の影響でセメントの固化反応を阻害し目標の改良強度に達しなかった。
実施工で実施した対策	セメントミルクと改良土との攪拌が不十分になった部分を、掘り下げて、生コン（ラップルコンクリート）を充填して対応した。	対象杭の近傍に、増し杭（2本）をして、当初設計の耐力を確保した。	固化不良箇所周辺の試料により固化材添加量を増やした室内配合試験を実施したが、強度の増加が見られないため、改良体の固化不良部分の一部または全部をラップルコンクリートに置換した。
不具合を起こさないための対策	地盤の特性に応じた共回り防止対策の採用	確実な注入管理の方法について綿密な計画を練り、実行する。	地盤調査や配合試験の実施箇所を増やして、問題となりそうな地層を見逃さないようにする。

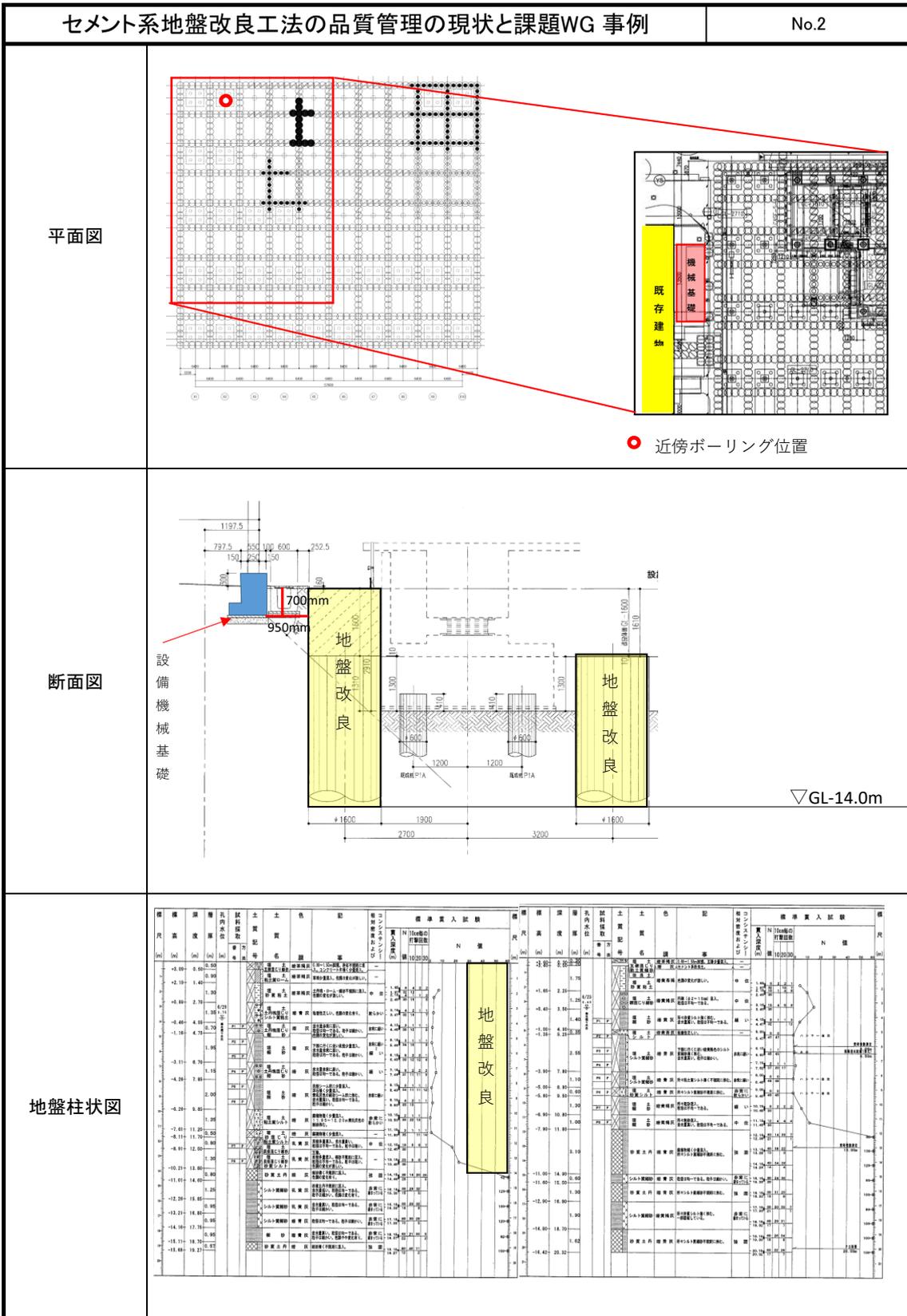
第1章 地盤改良の不具合事例

セメント系地盤改良工法の品質管理の現状と課題WG 事例		No.1
タイトル	事前に確認できなかった腐植土層によって強度が不足した事例	
地盤改良の種類	機械攪拌式深層混合処理工法	
概要	事前地盤調査結果で確認できなかった腐植土層が敷地の一部の範囲に存在したため、固化不良が生じた。室内配合試験をやり直して固化材添加量を再設定し、施工をやりなおした。	
対象地盤	計画時：砂層	
地盤改良の目的	建物基礎の支持用	
地盤改良の形状	ブロック状	
改良径	1200mm	
改良長	5.8～6.4m	
設計基準強度	1400kN/m ²	
固化材種類	セメント系固化材	
固化材添加量	350kg/m ³ (計画時)	
W/C	70% (計画時)	
品質管理方法	BCJ指針に準拠し、頭部および全長コアボーリングによる	
品質問題の種類	改良体の強度不足による再施工	
問題の要因	地盤調査時点で確認されなかった腐植土層の存在により、改良体の強度が不足した。	
実施工で実施した対策	腐植土層の試料を採取し、室内配合試験をやり直して固化材添加量を再設定し施工をやり直した。 当初添加量350kg/m ³ ,w/c70%のセメントミルクから、400kg/m ³ ,w/c60%に変更し改良を実施した。	
不具合を起こさないための対策	地盤調査や配合試験の実施箇所を増やして、問題となりそうな地層を見逃さないようにする。	



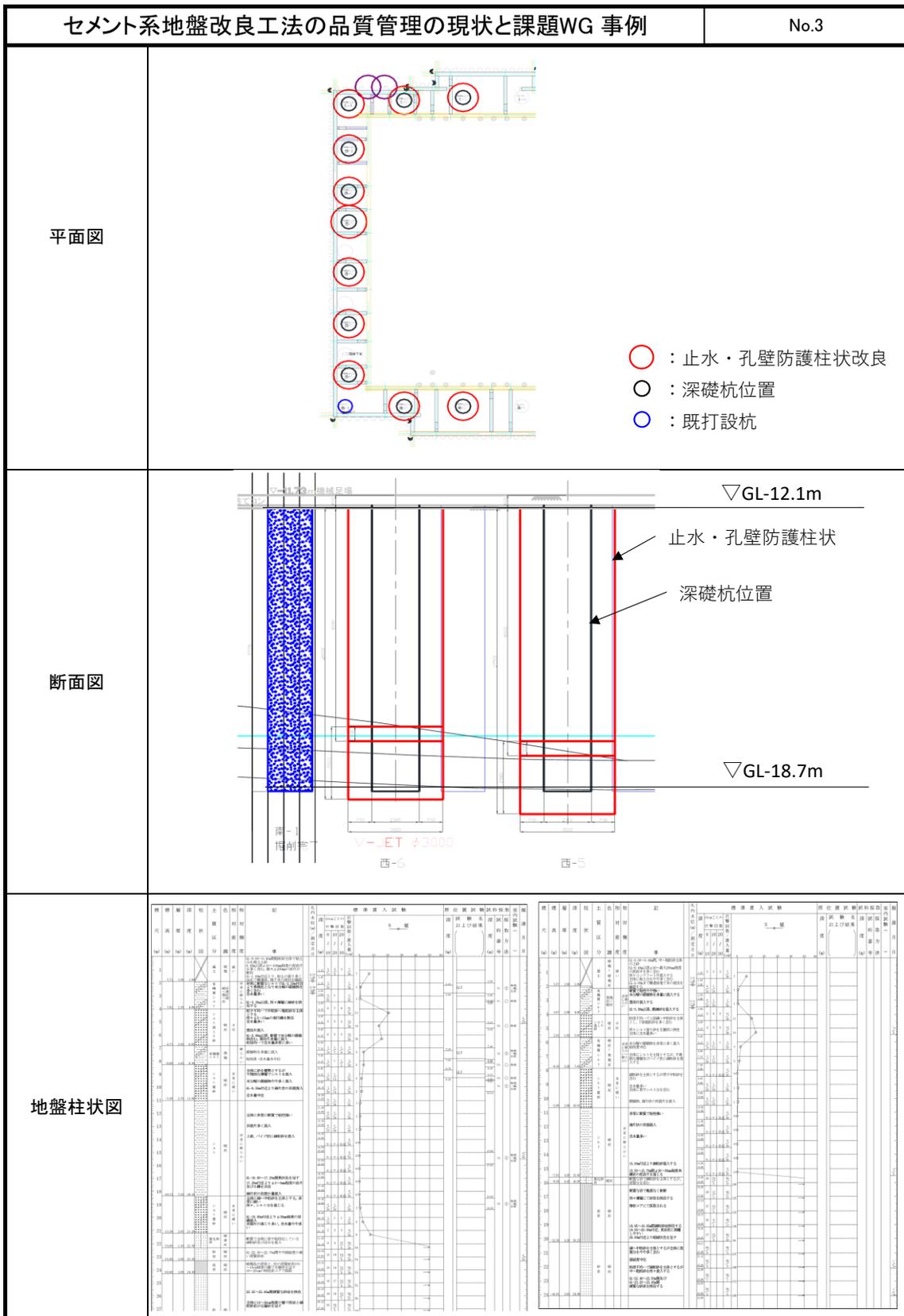
第1章 地盤改良の不具合事例

セメント系地盤改良工法の品質管理の現状と課題WG 事例		No.2
タイトル	既存構造物に近接して地盤改良を施工した事例	
地盤改良の種類	機械攪拌式深層混合処理工法	
概要	液状化対策用に設計計画した地盤改良に、一部近接した既設構造物の設備機械の直接基礎が存在した。地盤改良施工(機械式攪拌)によりその設備機械基礎への影響(変位・傾斜等)が懸念された。	
対象地盤	埋土(砂質粘土・細砂・シルト等 互層)	
地盤改良の目的	液状化対策	
地盤改良の形状	格子状	
改良径	1600mm	
改良長	12.4m	
設計基準強度	1050kN/m ²	
固化材種類	セメント系固化材	
固化材添加量	300kg/m ³	
W/C	70%	
品質管理方法	不明	
品質問題の種類	不明	
問題の要因	地盤改良に近接して近接構造物の設備機械が存在し、当該設備基礎は機能上傾斜を嫌う仕様であった。この機械基礎に近接して、液状化対策のための機械攪拌による地盤改良が設計されていた。そのため、地盤改良施工による機械基礎への影響(変位・傾斜 等)の懸念があった。→施工会社に対して、施工による影響の資料提示を求めたところ、工法固有の影響資料などは存在しないとの回答。	
実施工で実施した対策	地盤改良施工の平面的順序を検討し、当該機械基礎のレベル変位確認を行いながらの施工を行った。 →軽微な変位は確認されたものの、設備機械機能上の不具合となる変位・傾斜は確認されなかった。	
不具合を起こさないための対策	<ul style="list-style-type: none"> ・工法固有の影響が確認されている工法を採用する。 ・施工順序を検討し、近接物の変位確認を行いながら施工する。 ・試験杭施工時に地盤変状の発生量を確認し、近接構造物への影響の推定精度を上げる 	



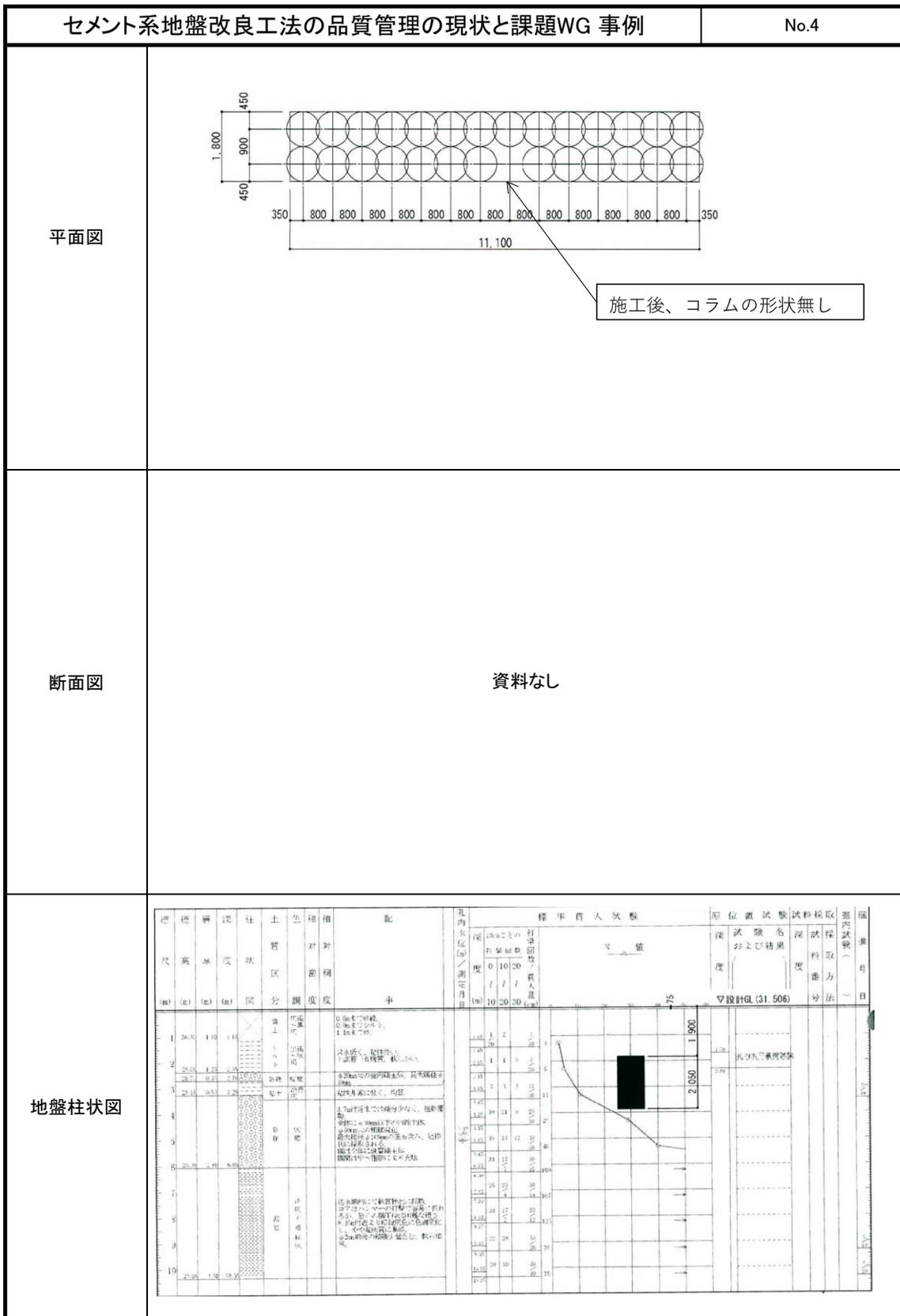
第1章 地盤改良の不具合事例

セメント系地盤改良工法の品質管理の現状と課題WG 事例		No.3
タイトル	基礎下耐震補強のための地下における高圧噴射攪拌工法の不具合	
地盤改良の種類	高圧噴射攪拌工法	
概要	軟弱地盤下に岩層が堆積している地盤において、シートパイルを岩層に貫入して、遮水を行い、建物地下部から手掘深礎工法で杭を施工する計画において、シートパイルと岩層間での遮水の信頼性に不安があったため杭周辺の止水及び強度確保のために仮設地盤改良を行う必要があった。そのため、小型の機械で施工できる高圧噴射攪拌工法を選定し、掘削完了後、捨てコンを打設後に施工を行ったが、捨てコンが持ち上げられ、捨てコンの破壊が生じた。	
対象地盤	シルト・砂・風化岩	
地盤改良の目的	止水と孔壁防護	
地盤改良の形状	杭状	
改良径	3000mm	
改良長	11.0～19.0m	
設計基準強度	300kN/m ²	
固化材種類	セメント系固化材	
固化材添加量	720kg/m ³ (早期に必要強度を発現させるため、2倍強度相当の添加量とした)	
W/C	不明	
品質管理方法	不明	
品質問題の種類	不明	
問題の要因	仮に外周SPIにより遮水ができてなかった場合、地盤改良に伴い被圧地下水の吹き上げの可能性などあったため、捨てコンに特殊な口元金物をつけ、配管でリターンを回収することとしていた。機械小型化したこと掘削ケーシングの径を抑えたことなどにより、リターンの経路が閉塞し、捨てコンを持ち上げ、捨てコン破壊に至った。	
実施工で実施した対策	掘削径を大きくし、リターンの経路を確保した上で、注入液の流動性を増して施工を行った。	
不具合を起こさないための対策	改良対象地盤の特性を考慮し、適切な施工機械、ケーシングを選定する。	



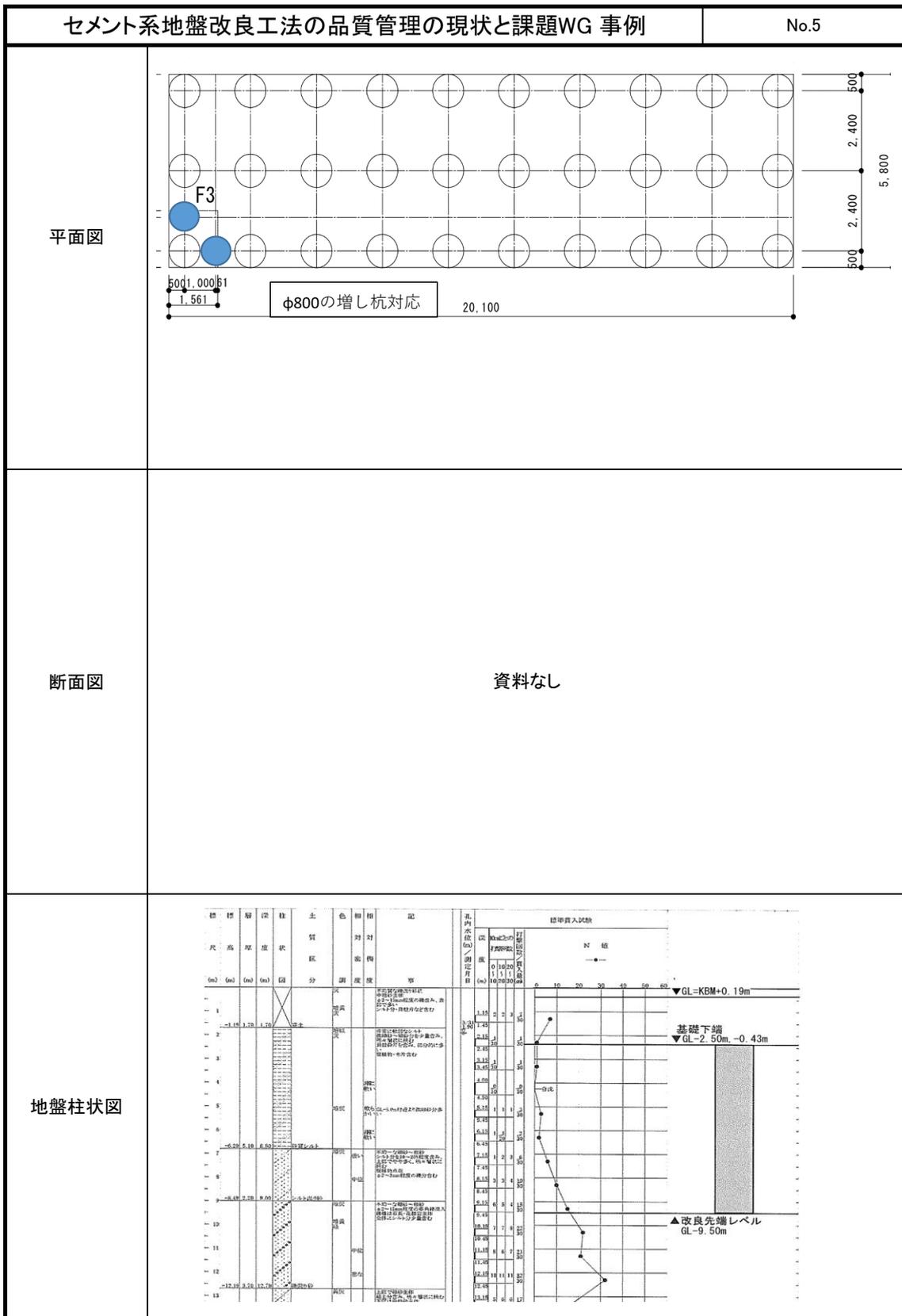
第1章 地盤改良の不具合事例

セメント系地盤改良工法の品質管理の現状と課題WG 事例		No.4
タイトル	共回りによって改良不良が生じた事例	
地盤改良の種類	機械攪拌式深層混合処理工法	
概要	地盤改良工事の終了後、改良したコラムの改良不良が発覚した。	
対象地盤	砂礫	
地盤改良の目的	建物基礎の支持用	
地盤改良の形状	ブロック状(格子状配置)	
改良径	900mm(28本)	
改良長	2.05m	
設計基準強度	1400kN/m ²	
固化材種類	セメント系固化材	
固化材添加量	不明	
W/C	不明	
品質管理方法	BCJ指針	
品質問題の種類	地中部の転石による施工不良	
問題の要因	当初は、改良コラムの未施工が疑われたが、最終的に、改良機のオーガーとそれと一体となっている攪拌ブレードに転石等が挟まり、共回り現象を起こしてセメントミルクと改良土との攪拌が不十分になったためと推測される。共回り防止対策はなされていたが、転石のサイズに対応できなかった。	
実施工で実施した対策	セメントミルクと改良土との攪拌が不十分になった部分を、掘り下げて、生コン(ラップルコンクリート)を充填して対応した。	
不具合を起こさないための対策	地盤の特性に応じた共回り防止対策を採用する	



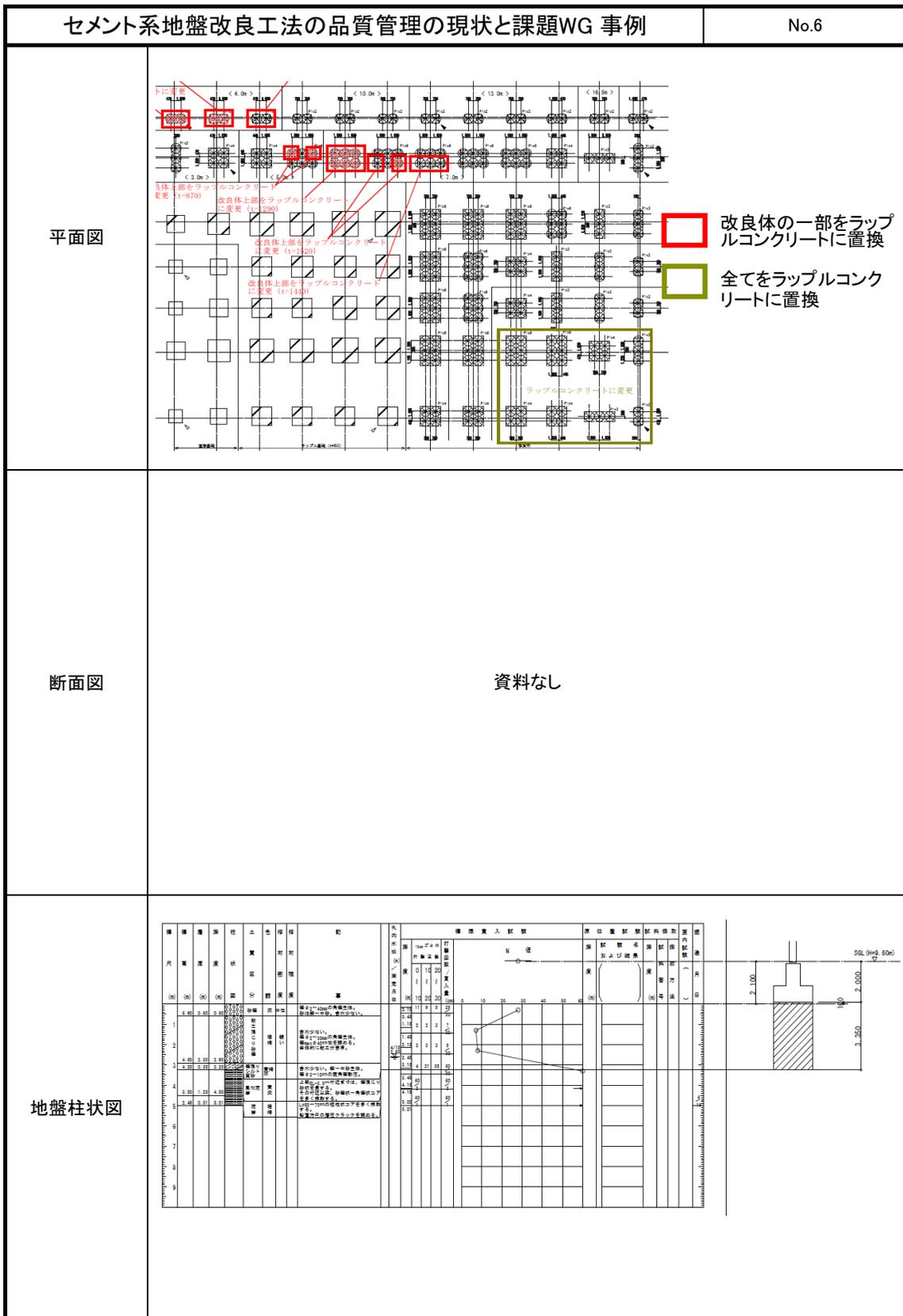
第1章 地盤改良の不具合事例

セメント系地盤改良工法の品質管理の現状と課題WG 事例		No.5
タイトル	固化材注入量の不足が発覚した事例	
地盤改良の種類	機械攪拌式深層混合処理工法	
概要	施工管理記録から、部分的に管理上の固化材注入量を下回る改良杭があった。	
対象地盤	粘性土	
地盤改良の目的	建物基礎の支持用	
地盤改良の形状	杭状	
改良径	1000mm	
改良長	7.0m、9.0m	
設計基準強度	1000kN/m ²	
固化材種類	セメント系固化材	
固化材添加量	300kg/m ³	
W/C	60%	
品質管理方法	BCJ指針に準拠	
品質問題の種類	中間層支持での品質管理、施工管理不足	
問題の要因	中間層支持で、着底管理が困難なため、施工積算の注入量を1mごとの注入量(掘削深度1.0m/0.5分、注入量111L/m)に換算して管理を行った。しかし規定の注入量を下回る区間が管理記録から発見され、適切な着底が疑われる改良体があることが発覚した。	
実施工で実施した対策	対象杭の近傍に、増し杭(2本)をして、当初設計の耐力を確保した。	
不具合を起こさないための対策	確実な注入管理の方法について綿密な計画を練り、実行する。	



第1章 地盤改良の不具合事例

セメント系地盤改良工法の品質管理の現状と課題WG 事例		No.6
タイトル	有機物質を含む土層によって強度不足が生じた事例	
地盤改良の種類	機械攪拌式深層混合処理工法	
概要	事前のボーリング調査や室内配合試験は適切に実施したが、敷地の特定箇所土質に混入していた有機物質の影響でセメントの固化反応を阻害し目標の改良強度に達していない改良体となったため、固化不良部分の一部または全部をラップルコンクリートに置換。	
対象地盤	酸性土	
地盤改良の目的	建物基礎の支持用	
地盤改良の形状	杭状	
改良径	1500 mm	
改良長	3.0 m～22.0 m	
設計基準強度	1300 kN/m ²	
固化材種類	セメント系固化材	
固化材添加量	350 kg/m ³	
W/C	80%	
品質管理方法	BCJ指針に準拠(頭部および全長コアボーリング)	
品質問題の種類	有機物質による固化不良	
問題の要因	事前のボーリング調査や室内配合試験は適切に実施したが、敷地の特定箇所がボーリングデータと異なる地質構成になっており、一部の有機物質の影響でセメントの固化反応を阻害し目標の改良強度に達しなかった。	
実施工で実施した対策	固化不良箇所周辺の試料により固化材添加量を増やした室内配合試験を実施したが、強度の増加が見られないため、改良体の固化不良部分の一部または全部をラップルコンクリートに置換した。	
不具合を起こさないための対策	地盤調査や配合試験の実施箇所を増やして、問題となりそうな地層を見逃さないようにする。	



第2章 地盤改良工法に関するアンケート結果

2.1 アンケートの概要

セメント系地盤改良工法には、浅層混合処理工法、中層混合処理工法、深層混合処理工法（機械攪拌式深層混合処理工法、高圧噴射攪拌式深層混合処理工法など）がある。建築物の支持地盤の支持力改善や液状化対策、沈下低減を目的とした地盤改良工法の採用が普及するとともに、設計基準強度の高強度化も進んでいる。改良体の品質は、施工方法や原位置土質に大きく依存するため、いかに品質管理を行うかが重要となる。そこで、建築物に本設利用されるセメント系地盤改良の品質管理の現状を整理することを目的としてアンケート表を作成した（表 2.1.1）。

WG にて選定した 73 の会社・工法協会に対してアンケートを依頼し、49 の会社・工法協会から 63 工法（機械攪拌式深層混合処理工法 35 工法、中層混合処理工法 8 工法、浅層混合処理工法 13 工法、高圧噴射攪拌式深層混合処理工法 7 工法）の回答が得られた。アンケート内容は主に以下の項目について実施した。アンケート内容を表 2.1.1 に示す。表 2.1.1 中に記載している整理番号に着目して、アンケート結果を集計・整理した。

- ・ 工法概要（改良機構など）
- ・ 技術性能評価の取得状況
- ・ 適用建築物、適用範囲
- ・ 配合試験
- ・ 施工管理方法
- ・ 品質検査
- ・ 施工・品質に関する項目
- ・ 施工体制
- ・ 実績

アンケートで得られた回答を WG で整理した結果を 2.2 節に示す。基本的に円グラフで結果を整理しているが、グラフ化が困難な内容については表に整理してキーワードを抽出している。

なお、最大改良深度や最大改良径などのように数値で回答を得ている項目については、担当者の判断により凡例の数値幅を定めた。また、各項目の文章中にアンケート結果の傾向の概要を数値の範囲で示しているが、一つの工法の回答に偏らないように、全ての回答結果の下限値・上限値ではなく、回答数が 2 工法以上かつ全体の 10%以上の結果を代表値として記載している。ただし、回答数が少ない場合にはこの限りではない。

また、本編にあわせて、機械攪拌式深層混合処理工法、中層混合処理工法、浅層混合処理工法、高圧噴射攪拌式深層混合処理工法の順に結果を示している。

表 2.1.1 アンケート依頼票

No.		整理番号	
分類	工法分類	1	
	工法名		
	会社名		
	地盤改良目的		
	施工方式		
技術評価等	技術性能評価等 (取得年月日)	2	
	評価機関	3	
	評価内容		
	評価方法		
NETIS登録			
工法概要 (改良機構など)			
適用建築物		4	
仕様	施工機械		
	改良径	5	
適用範囲	地盤	6	
	深度	7	
	設計基準強度	8	
	変動係数	9	
その他			
施工に関する項目	掘削可能なN値の目安(砂質土、粘性土)	10	
	改良地盤底面が傾斜している場合の対応	11	
	その他		
配合試験	配合試験(試験方法、目標強度の設定など)	12	
	原位置土の採取規定 (採取箇所数、採取深度、等)	13	
	固化材配合水準数	14	
	W/C、調整含水比の設定方法	15	
	現場/室内強度比の設定	16	
	28日/7日強度比 伸び率の設定	17	
【内容、方法、頻度、基準、記録】 施工管理方法	寸法・形状(改良径、改良深度など)	18	
	固化材	19	
	攪拌混合度	20	
	着底深さ	21	
	その他		
	管理方法	22	
	頻度	23	
	記録	24	
	管理方法の特徴	25	
	その他		
品質検査 【内容、方法、頻度、基準、記録】	一軸圧縮強さ(試験頻度、実施位置(平面、深度)など)	26	
	連続性(実施数など)	27	
	その他		
品質に関する項目	コアボーリング試料	採取時期	28
		養生方法	29
		圧縮試験実施機関	30
	未固結試料 (採取する場合)	試料採取方法	31
		供試体作製方法	32
		養生方法	33
		圧縮試験実施機関	34
		早期材齢での評価結果	35
	圧縮試験結果	判定方法 (BCI、平均値、等)	36
	その他		
施工体制	施工者(条件の付与など)	37	
	施工不良時の対応会社 (性能証明等取得会社と施工会社が異なる場合)	38	
実績	施工高	40	
	施工地域	39	
工法のアピールポイント			
資料提出の可否	施工単価	41	
	性能証明 評価概要報告書		
	その他		
問い合わせ先名, Tel			
工法URL			
備考			
調査担当			

表中の整理番号は、2.2 以降の(整理番号)と対応している

2.2 アンケート結果（アンケート実施期間：2018年12月～2019年3月）

(1) 工法分類

受領したアンケートに対する工法分類結果を図2.2.1に示す。

アンケートの結果を受領した63工法のうち、

- ・機械攪拌式深層混合処理工法：35工法（55%）
- ・中層混合処理工法：8工法（13%）
- ・浅層混合処理工法：13工法（21%）
- ・高圧噴射攪拌式深層混合処理工法：7工法（11%）

となった。

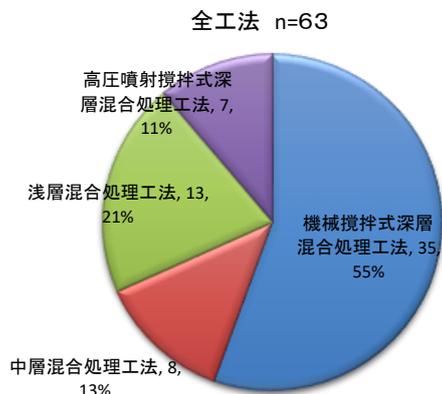


図2.2.1 工法分類
(グラフ内数字：工法数，割合)

(2) 技術性能評価等（取得状況）

技術性能評価取得の有無に関する結果を図2.2.2に示す。

全工法のうち、約65%の工法で技術性能評価を取得している。工法分類別では以下のような結果となっている。機械攪拌式深層混合処理工法、中層混合処理工法、浅層混合処理工法では50%以上の工法で技術性能評価を取得しており、特に機械攪拌式深層混合処理工法の取得率は80%と高い。

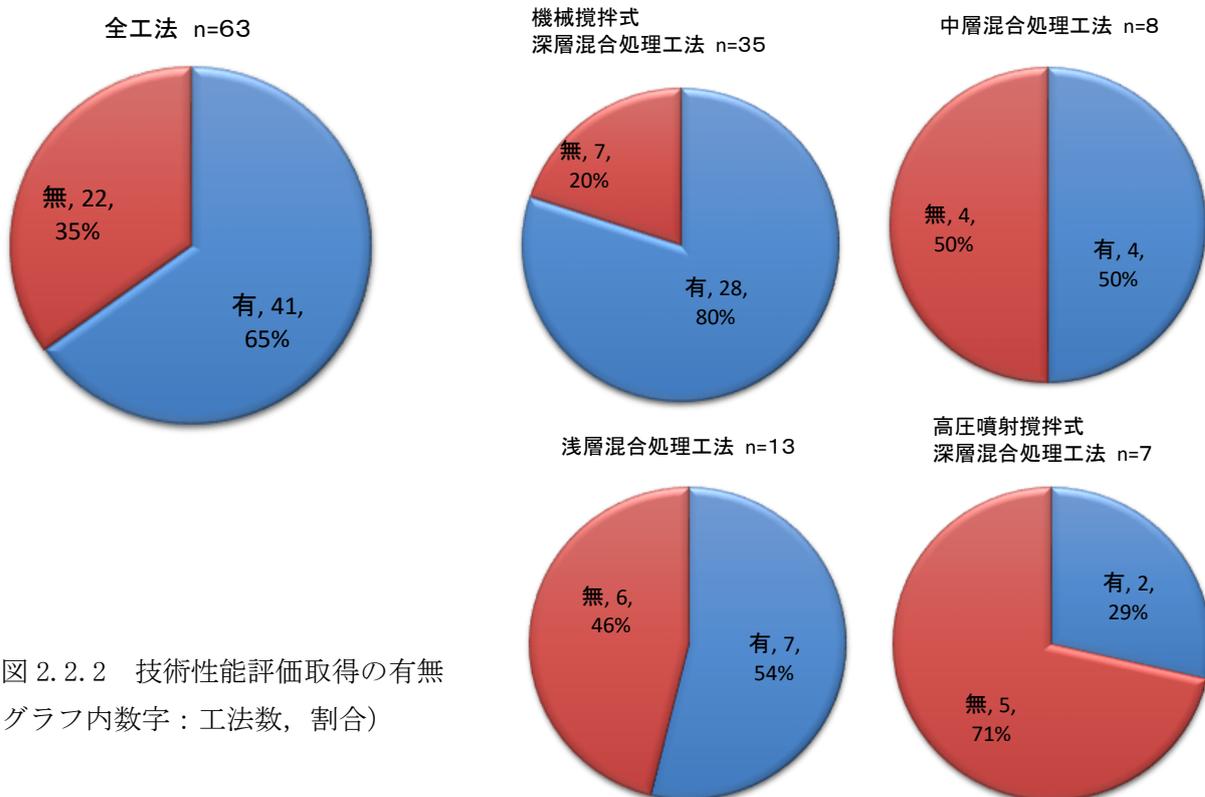


図2.2.2 技術性能評価取得の有無
(グラフ内数字：工法数，割合)

(3) 技術性能評価等（評価機関）

技術性能評価を取得している工法について、評価機関に関する結果を図 2.2.3 に示す。

技術性能評価を取得している工法のうち、評価機関は以下のような結果となっている。日本建築総合試験所、日本建築センター、日本建設機械化協会の割合が多く、技術性能評価を取得している工法の 81% を占めており、それぞれ日本建築総合試験所が 54%、日本建築センターが 17%、日本建設機械化協会が 10%となっている。

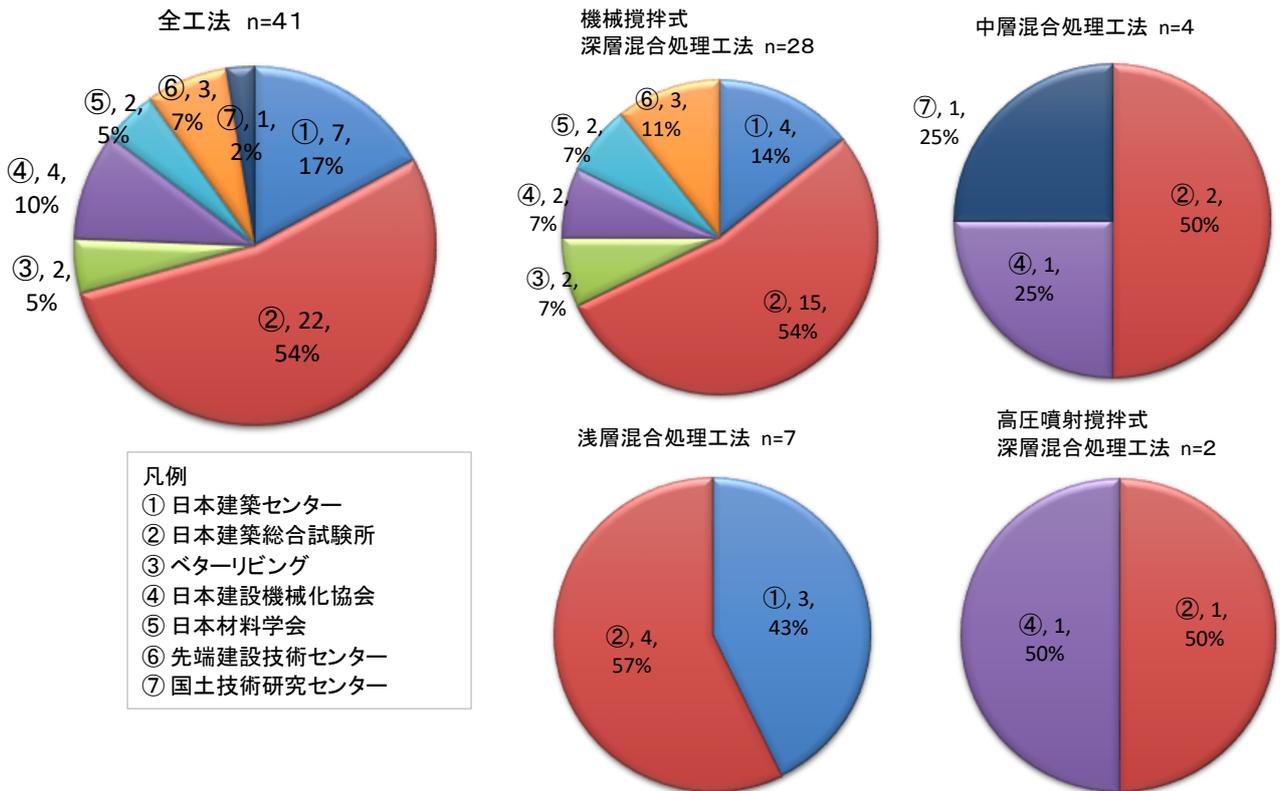


図 2.2.3 技術性能評価機関
(グラフ内数字：工法数，割合)

(4) 適用建築物

適用建築物（制限）に関する結果を図 2.2.4 に示す。建物規模や適用部位、地盤改良目的（例えば、液状化対策、など）を適用範囲として示している工法もあり、ここではこれらを制限と称している。

適用建築物に制限を設けていない工法が約 54%となっている。深層混合処理工法や浅層混合処理工法では、適用建築物に制限を設けている工法もある。浅層混合処理工法では、小規模～中低層建築物に限定している工法もある。

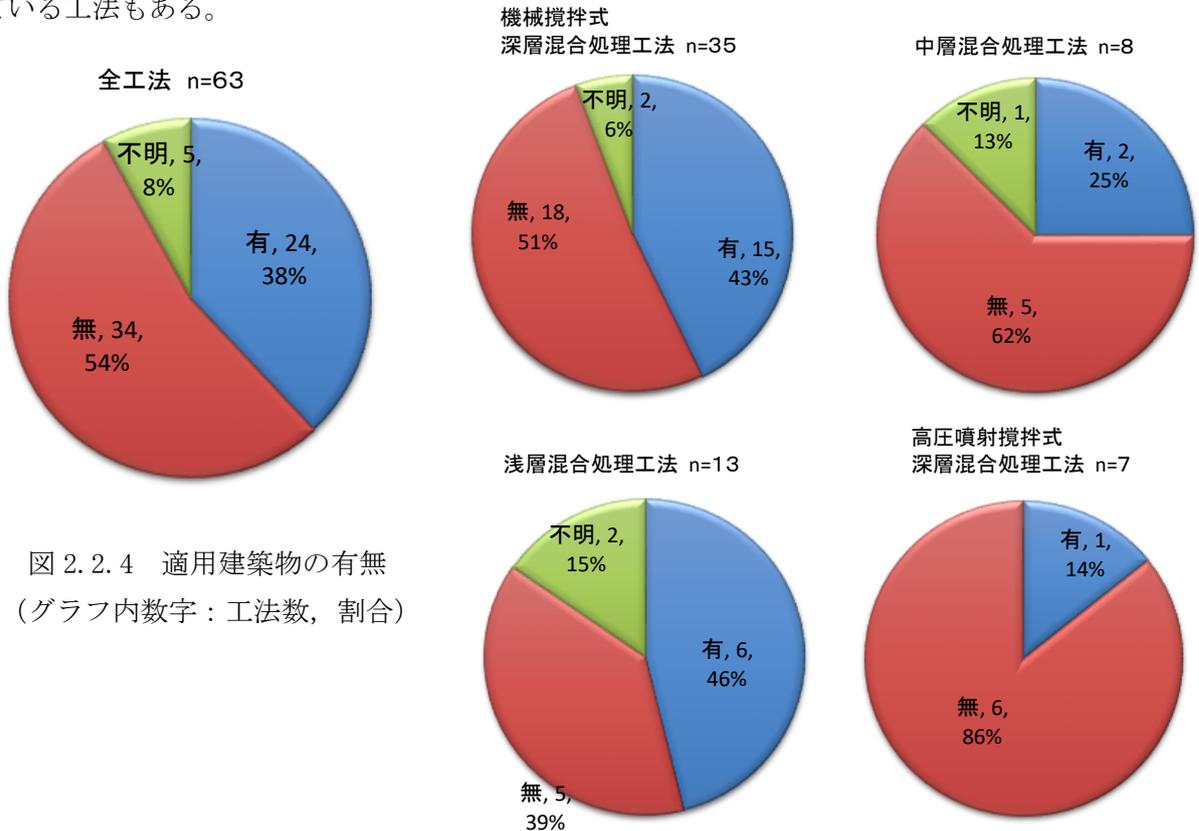


図 2.2.4 適用建築物の有無
(グラフ内数字：工法数, 割合)

(5) 適用範囲 (改良径)

深層混合処理工法（機械攪拌式、高圧噴射攪拌式）の最大改良径に関する結果を図 2.2.5 に示す。機械攪拌式では 2,000mm までが多い。一方、高圧噴射攪拌式では全て 2,000mm を超える最大改良径となっており、5,000mm を超える改良径を構築できる工法もある。

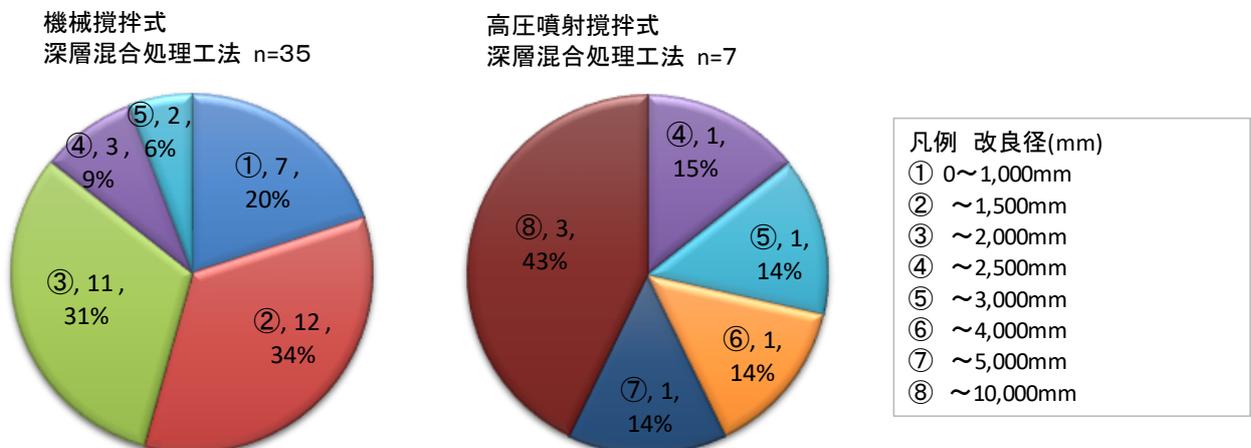


図 2.2.5 最大改良径
(グラフ内数字：工法数, 割合)

(6) 適用範囲 (地盤)

地盤の適用範囲に関する結果を図 2.2.6 に示す。縦軸は工法数を示している。

砂質土および粘性土地盤を適用範囲としている工法が多い。中層混合処理工法では、ローム・有機質土の割合が他の分類に比較して多い。高圧噴射攪拌式では、砂質土・粘性土に次いで砂礫を対象としている工法が多く、攪拌方式の特徴が反映されていると考えられる。

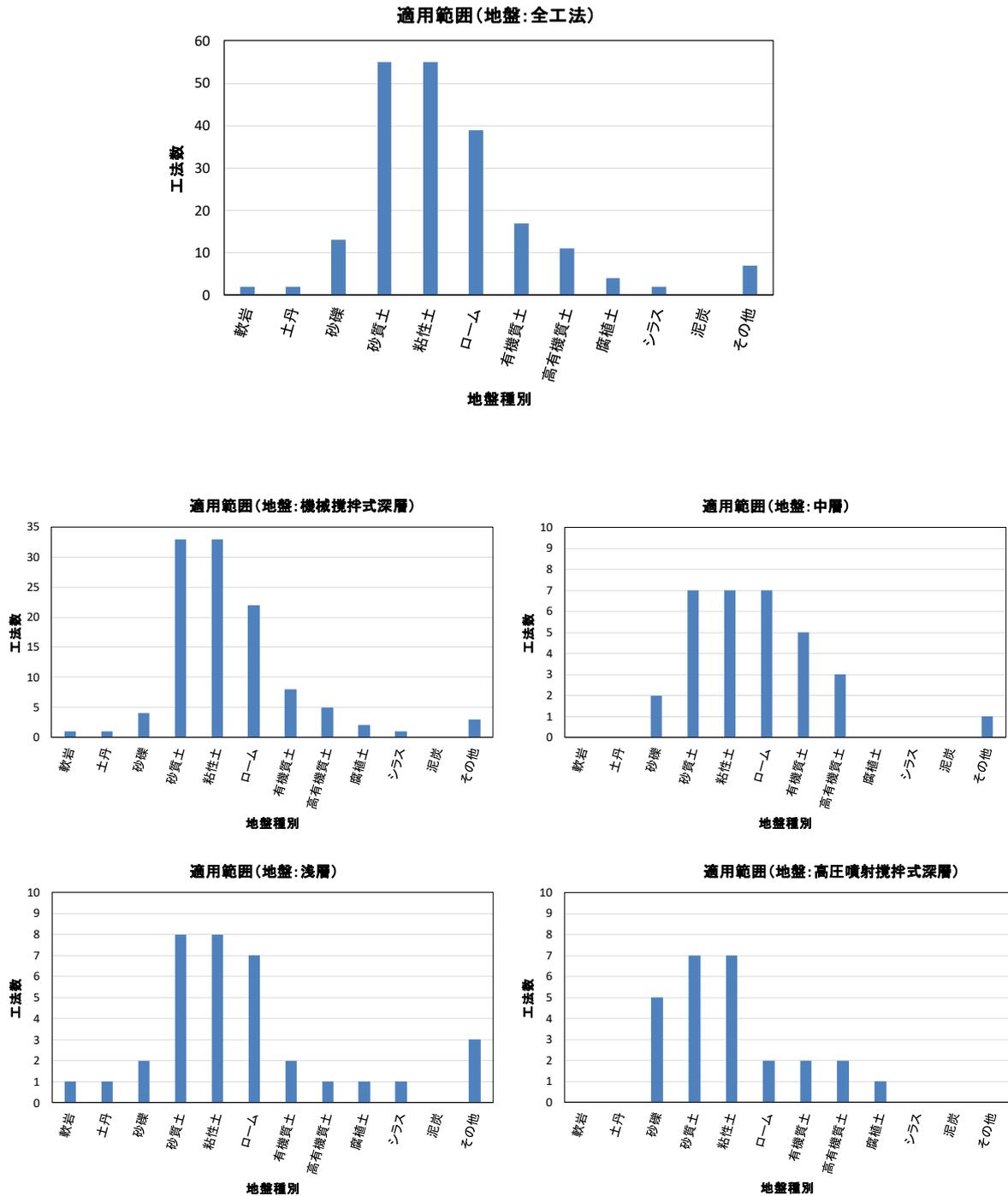


図 2.2.6 適用地盤

(7) 適用範囲 (深度)

施工可能最大深度の分類を図 2.2.7 に示す。機械攪拌式深層混合処理工法では最大施工深度が 50m を超える工法もあり、高圧噴射攪拌式ではより深い深度まで施工可能な工法がある。

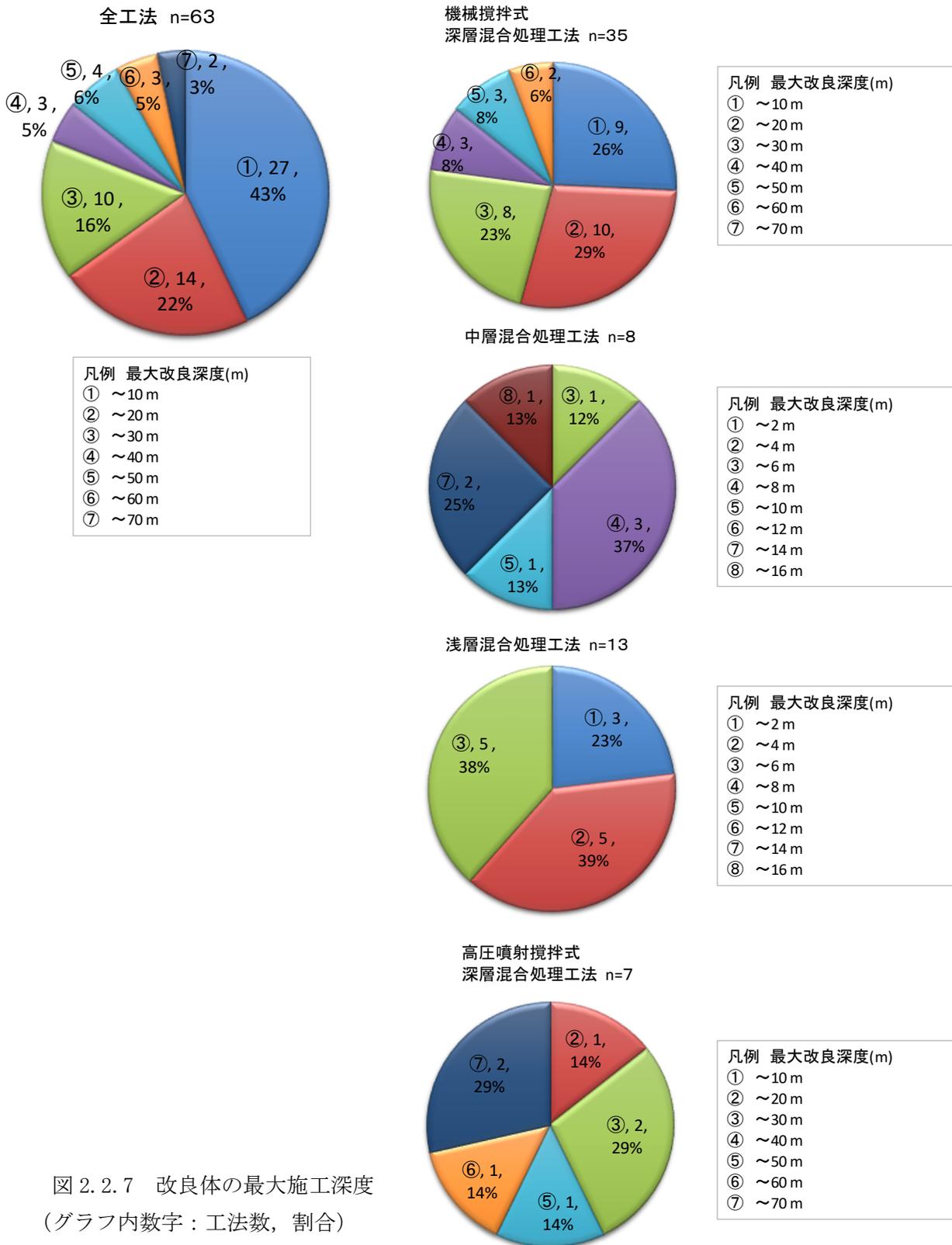


図 2.2.7 改良体の最大施工深度
(グラフ内数字：工法数，割合)

(8) 適用範囲 (設計基準強度)

改良体の最大設計基準強度の分類を図 2.2.8 に示す。機械攪拌式深層混合処理工法では 1,500~2,000 kN/m²、中層混合処理工法では 1,000~1,500 kN/m²、浅層混合処理工法では ~500kN/m² の割合が多く、適用する建物規模、施工可能深度と関連が深いと考えられる。高圧噴射攪拌式深層混合処理工法では、より大きな設計基準強度となっている。なお、土質によって設計基準強度を変えている工法もある。

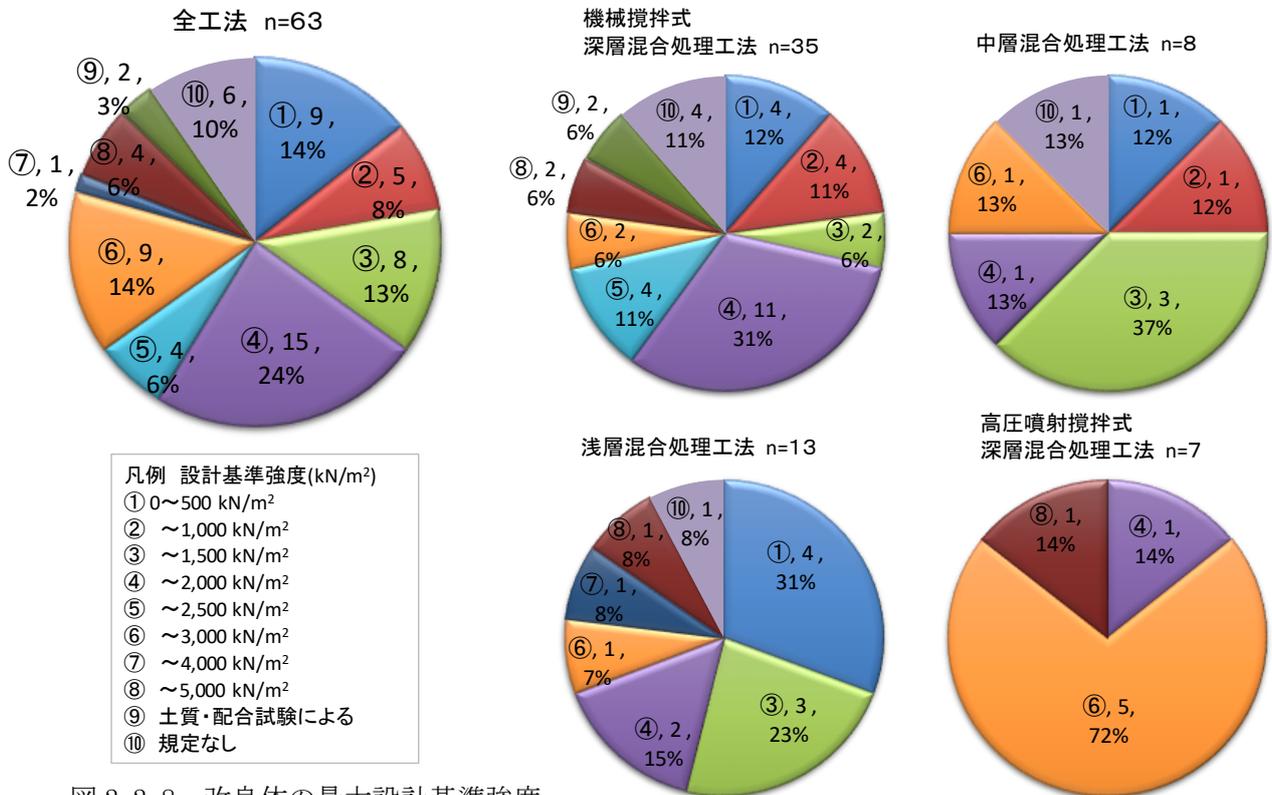


図 2.2.8 改良体の最大設計基準強度 (グラフ内数字：工法数，割合)

(9) 変動係数

設計に用いる強度の変動係数の傾向を土質ごとに図 2.2.9 に示す。なお、回答の無い工法もあり、回答があった工法においても、変動係数自体に幅がある回答の場合は、その範囲（10%～45%、5%刻み）に再分類して、アンケート結果を集計していることから、回答数は工法数よりも多くなっている。

全工法のうち、機械攪拌式深層混合処理工法および中層混合処理工法の変動係数の設定に関しては、砂質土では変動係数 25%が 5 割を超えている。粘性土に関しては、変動係数 25%、30%でそれぞれ 3 割を超えている。

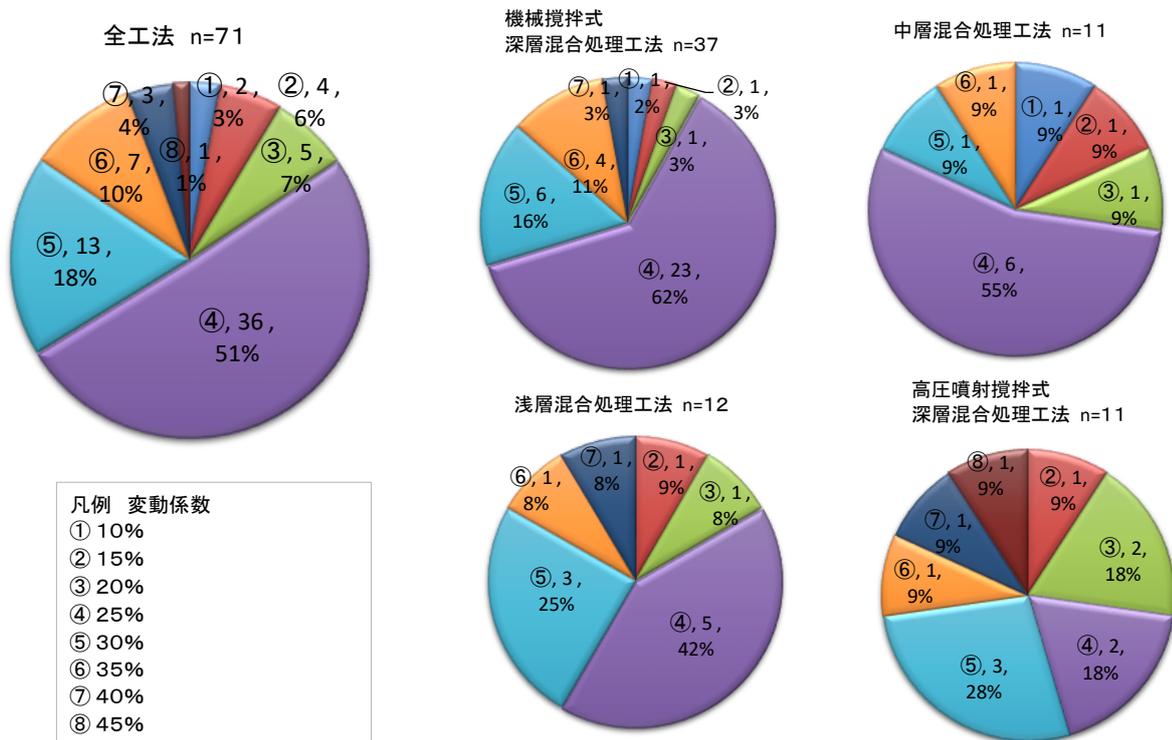


図 2.2.9(1) 強度の変動係数（砂質土）
（グラフ内数字：工法数，割合）

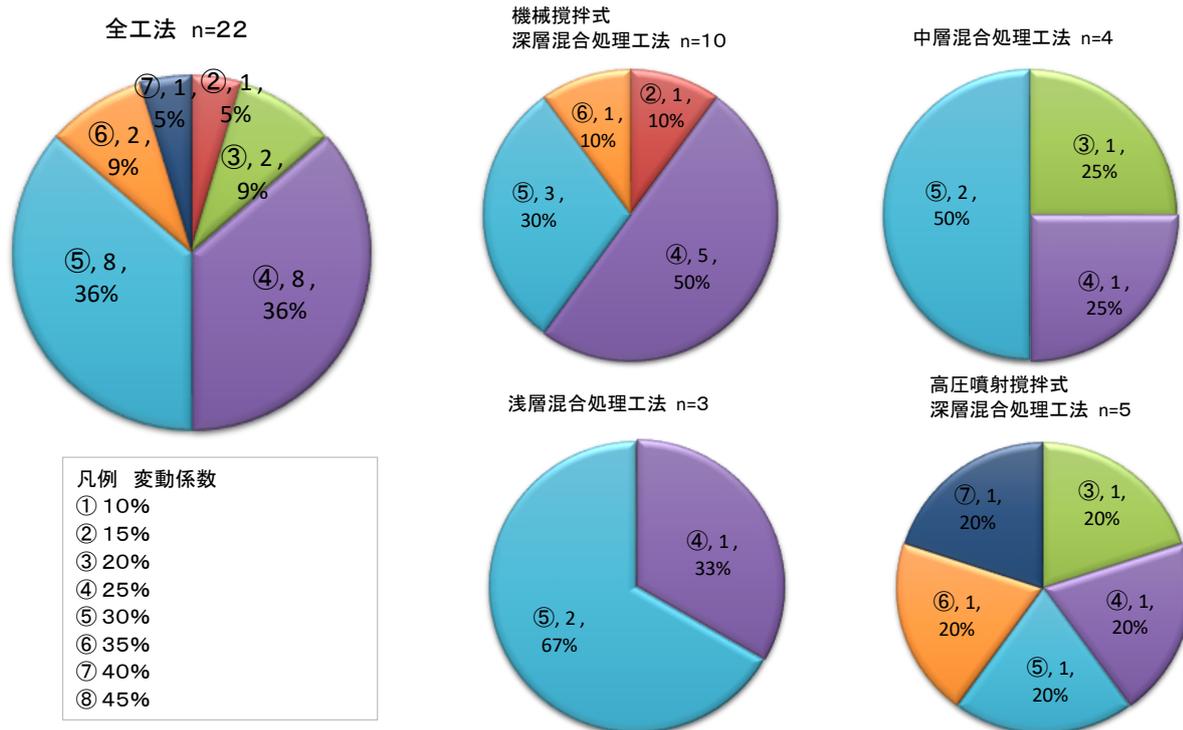


図 2.2.9(2) 強度の変動係数 (粘性土)
(グラフ内数字：工法数，割合)

(10) 施工に関する項目 (掘削可能なN値の目安 (砂質土、粘性土))

掘削可能な最大N値の目安を土質毎に図 2.2.10 に示す。なお、一つの工法で複数の施工機械 (1 軸、2 軸など) を使用する場合もあり、掘削可能な最大N値の目安が異なる回答についてはそのまま集計している。

砂質土に関しては、施工可能深度が大きい工法ほど掘削可能な最大N値も大きくなる傾向が認められる。機械攪拌式深層混合処理工法では、最大N値 25~30 程度の割合が最も多い。高圧噴射攪拌式深層混合処理工法では最大N値 50 を超える場合でも掘削可能である。一方、粘性土に関しては砂質土と傾向が異なる。

各工法の掘削可能な最大N値の目安は、概ね以下の数値である。

機械攪拌式深層混合処理工法：砂質土 N 値 15~50、粘性土 N 値 5~30

中層混合処理工法：砂質土 N 値 15~50、粘性土 N 値 5~20

浅層混合処理工法：砂質土 N 値 ~30、粘性土 N 値 20 程度

高圧噴射攪拌式深層混合処理工法：砂質土 N 値 50 以上、粘性土 N 値 0~10

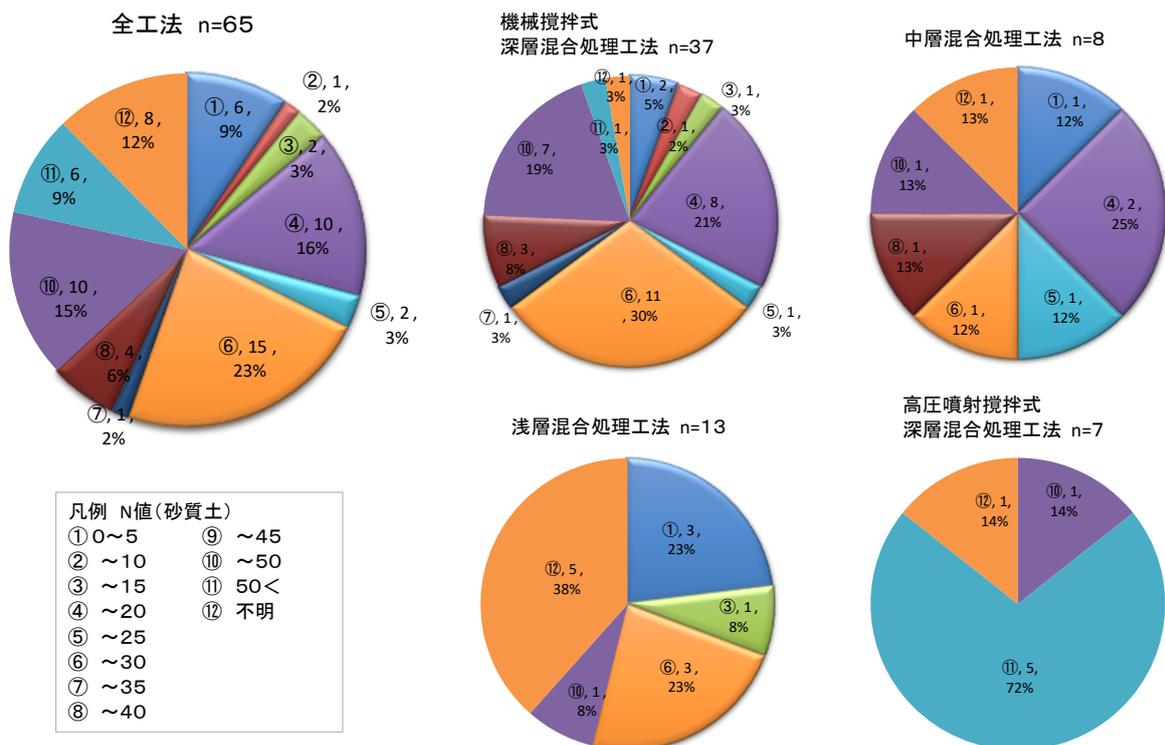


図 2.2.10(1) 掘削可能な最大N値の目安 (砂質土)
(グラフ内数字：工法数、割合)

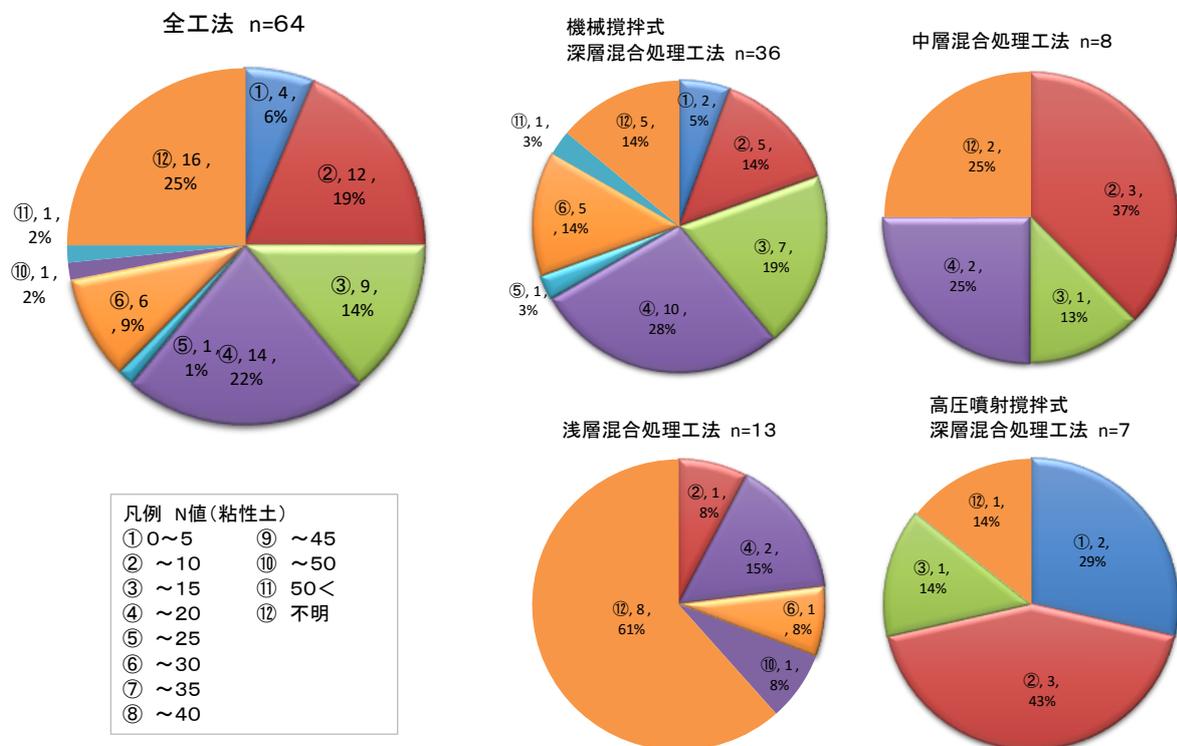


図 2.2.10(2) 掘削可能な最大 N 値の目安 (粘性土)
(グラフ内数字：工法数，割合)

(1 1) 施工に関する項目（改良地盤底面が傾斜している場合の対応）

改良地盤底面が傾斜している場合の対応に関するアンケート結果を分類毎に下記に示す。
各工法の代表的な回答を以下に示しているが、確認方法と対応方法に分けて表を示す。

機械攪拌式深層混合処理工法：確認方法 事前（試験）施工による掘削時の抵抗、など
対応方法 オーガーによる深さ確認、地盤調査の追加依頼、など

中層混合処理工法：確認方法 事前のサウンディング、掘削時の抵抗、など
対応方法 ー（回答数が少ない）

浅層混合処理工法：確認方法 事前試掘による目視確認、など
対応方法 支持層を平坦に掘削、など

高圧噴射攪拌式深層混合処理工法：確認方法 地盤調査により等高線図を作成・把握、
掘削時の抵抗、深度管理、など
対応方法 ー（回答数が少ない）

表 2.2.1(1) 改良地盤底面が傾斜している場合の対応（機械攪拌式深層混合処理工法）

	確認方法
A工法	地盤調査結果によるN値等の深度分布と試験打設および本打設時のトルク確認との対比
B工法	事前に設計深さまで試験施工を実施し、得られた掘削抵抗値に達したことで支持層到達と判断
C工法	
D工法	本施工前の試験施工をボーリングデータ近傍で実施し、ボーリングデータとの比較において掘削抵抗値（電流値）、掘削速度において支持層の確認を行う
E工法	
F工法	事前に改良深度まで施工試験を実施し、得られたオーガー抵抗値を基に改良深度を設定 抵抗値に変化が少ない地盤の場合は改良深度による管理
G工法	建物の4隅と中央の5ヶ所以上でSWS試験によりN値を確認
H工法	オーガーにて地上に排土される土質を確認するとともに、掘削抵抗値（回転数/貫入深）により支持層に到達したことをコラム1本ごとに確認
I工法	事前の調査を密に実施し、設定深度を決定
J工法	
K工法	事前に設計深さまで試験施工を実施し、得られた掘削抵抗値に達したことで支持層到達とする方法が一般的抵抗値が出ない地盤の場合は、基本的に深度管理となり、試験施工で採取した土質サンプルとの比較を併せて行う
L工法	事前に設計深さまで試験施工を実施し、得られた掘削抵抗値に達したことで支持層到達とする方法が一般的抵抗値が出ない地盤の場合は、基本的に深度管理となり、試験施工で採取した土質サンプルとの比較を併せて行う
M工法	事前に設計深さまで試験施工を実施し、得られた掘削抵抗値に達したことで支持層到達とする方法が一般的抵抗値が出ない地盤の場合は、基本的に深度管理となり、試験施工で採取した土質サンプルとの比較を併せて行う
N工法	事前調査の実施された近傍で試験施工を実施し、支持層到達時の施工機械に掛かる負荷（電流値・トルク値）を観察その負荷を支持層到達の指標として、それ以上の負荷が得られるまで施工を行う
O工法	事前に設計深さまで試験施工を行い、得られた掘削電流値に達したことで支持層到達とすることが一般的電流値が出ない場合は、電流値が確認される深度まで掘削を継続するか深度管理を行うか協議により決定する
P工法	地盤調査（ボーリング試験）した場所で施工を1か所行い、得られた掘削抵抗値（トルク値）を支持地盤到達の標準値とする
Q工法	基本的に設計図書通りの施工であるが、オーガーの電流値を確認しながら施工
R工法	元請と協議の上、ボーリング調査付近で試験施工を行い、支持層のトルク値を計測し、着底管理の判断基準として設定し管理
S工法	試験（オーガーで先端土質を確認）を1箇所～複数箇所を実施する 試験コラムを打設し掘削抵抗値（トルク値など）で支持層を判断する材料とする
T工法	
U工法	
V工法	事前にボーリング実施箇所近傍で試験施工を行い、設計深度到達時のトルク値を計測し、管理基準値とする以降の施工は管理基準となるトルク値を確認して打ち止めを判断
W工法	事前にボーリング実施箇所近傍で試験施工を行い、設計深度到達時のトルク値を計測し、管理基準値とする以降の施工は管理基準となるトルク値を確認して打ち止めを判断
X工法	試験施工で採取した土質試料と地盤調査の土質の比較、設計深さまで試験施工を実施し得られた掘削抵抗値に達したことで支持層到達とする
Y工法	事前に設計深さまで試験施工を実施し、得られた掘削抵抗値に達したことで支持層到達とする抵抗値が出ない地盤の場合は、基本的に深度管理となり、試験施工で採取した土質サンプルとの比較を併せて行う
Z工法	事前調査ボーリングで確認した支持層での試験施工による掘削抵抗値（電流値）を確認し、その電流値を得た深度を支持層到達と判断
AA工法	地盤調査ポイント（近傍）で事前立会試験掘を実施 設計深度到達時に着底管理目安トルク値を設定し管理、管理トルクが出ない場合は基本深度管理などの対応
AB工法	
AC工法	設計深さまでの掘削を原則とし、そのときの電流計による抵抗値は参考とする あくまで掘削上部の柔らかい時の掘削抵抗に比べ、抵抗が大きくなっていることを確認して打ち止め
AD工法	事前に設計深さまで試験施工を実施し、得られた掘削抵抗値（トルク値）に達したことで支持層到達とする方法が一般的抵抗値が出ない地盤の場合は、基本的に深度管理となり、試験施工で採取した土質サンプルとの比較を併せて行う
AE工法	事前に設計深さまで試験施工を実施し、得られた掘削抵抗値（トルク値）に達したことで支持層到達とする方法が一般的抵抗値が出ない地盤の場合は、基本的に深度管理となり、試験施工で採取した土質サンプルとの比較を併せて行う
AF工法	試験施工により設計支持層到達時の掘削抵抗（回転トルク）及び貫入速度の管理値を設置して深度管理を行う 設計深度で管理値が得られない場合は、監理者と対策を協議
AG工法	地盤調査の追加を依頼し傾斜の位置、角度、固さ、流れを事前に把握し、確実に支持層施工が可能な施工機械、改良径を判断し、計画の立案、施工を行う
AH工法	本試験に先立ち試験施工（貫入試験）を実施し、得られた掘削抵抗値（オーガー電流値、貫入速度等）に達したことで支持層到達
AI工法	事前ボーリング孔に近接した場所で試験杭として施工を実施し、地盤底面での電流値および削孔速度を確認

	対応方法
A工法	
B工法	
C工法	支持層に50cm以上貫入し、支持地盤と改良体下端に未処理土が残らないようにする 支持層が岩盤等の硬質地盤である場合は貫入不能となることがあるので、傾斜地盤上の滑動を検討し、改良幅を拡げる
D工法	試験施工で得たデータを基準に着底（支持層到達）基準を設定し全ての改良体に於いて基準を満たすよう施工を行う
E工法	
F工法	
G工法	支持地盤が30度以上傾斜しており改良体根入れが確保できないような硬質地盤では施工しない
H工法	
I工法	地盤底面傾斜に対しては攪拌機の下下、または設定深度の変更にて対応
J工法	
K工法	支持層に不陸がある場合は、オーガーで支持層深さを確認したり、地盤調査の追加を依頼して対応
L工法	支持層に不陸がある場合は、オーガーで支持層深さを確認したり、地盤調査の追加を依頼して対応
M工法	支持層に不陸がある場合は、オーガーで支持層深さを確認したり、地盤調査の追加を依頼して対応
N工法	支持層が不明瞭な場合、必要に応じて追加調査を実施し未改良が残らないように対応する
O工法	オーガーなどによる先行掘削で支持層の確認を行ったり、追加の地盤調査を依頼して対応
P工法	目標深度で掘削抵抗値が得られない場合はその抵抗値が得られる深さまで施工を行う 施工可能深度で支持地盤が出ない場合は、地盤調査の依頼する
Q工法	
R工法	改良体先端部の全断面が傾斜した支持層内に着底するように管理
S工法	状況により、追加の地盤調査、試験を実施
T工法	
U工法	
V工法	
W工法	
X工法	
Y工法	オーガーで支持層深さを確認したり、地盤調査の追加を依頼して対応
Z工法	
AA工法	
AB工法	
AC工法	
AD工法	設計深さ、試験施工の結果などを踏まえた判断もしくは地盤調査の追加を依頼して対応
AE工法	設計深さ、試験施工の結果などを踏まえた判断もしくは地盤調査の追加を依頼して対応
AF工法	
AG工法	
AH工法	支持層への根入れ長を設定し、対応
AI工法	50cm根入れする（深層混合処理設計・施工マニュアル） 地盤想定線より傾斜角度を求め、改良径分の高さを求め、その高さ分根入れする

表 2.2.1(2) 改良地盤底面が傾斜している場合の対応（中層混合処理工法）

	確認方法
A工法	
B工法	目視で行える場合は掘削し支持層サンプルの確認 目視が困難な場合は、サウンディング等で支持層を確認
C工法	事前の地盤調査（コーン貫入試験等の簡易なサウンディング試験）を依頼
D工法	施工予定付近（事前ボーリング位置）で試験施工または空うち施工を事前に実施し、計画着底地盤付近の貫入速度・回転数・油圧トルクを確認し施工管理基準を設定
E工法	
F工法	事前にサウンディング試験等を行い改良底面の標高を確定し深度で管理する事を基本 切削困難な支持層の場合は油圧により支持層の到達根拠とする
G工法	事前に設計深さまで試験施工を実施し、設計支持層到達時のオーガートルク値を確認し、その数値をもって支持層到達と判断
H工法	

	対応方法
A工法	縦攪拌を行うことにより、改良地盤底面が傾斜していても傾斜に沿った改良体の形成が可能
B工法	支持層確認時の深さに基づいて攪拌機で所定の深さまで施工
C工法	指定深度に合わせて自動制御にて施工
D工法	傾斜地盤に対応して、設定した施工管理基準に達した底面地盤を着底と判断
E工法	
F工法	
G工法	
H工法	階段になる様に支持地盤に入り込む事が出来れば対応

表 2.2.1(3) 改良地盤底面が傾斜している場合の対応（浅層混合処理工法）

	確認方法
A工法	
B工法	
C工法	
D工法	事前の試掘による目視確認が原則、明確な層境等は機械の挙動・施工音等
E工法	支持地盤で出た土質と地盤調査で得られた土質サンプルが同様のものであるかを目視確認
F工法	
G工法	
H工法	
I工法	
J工法	
K工法	
L工法	試験掘削による支持地盤の確認実施
M工法	施工ブロック毎に、汎用バックホウで改良地盤底面まで掘削し底面地盤を直接確認

	対応方法
A工法	
B工法	
C工法	監理者協議の上で判断 原則として先行掘削相判機による先行掘削を実施する。掘削可能な場合には支持層を平坦に均した上、対象土を戻し混合攪拌をする。掘削不可能な程も硬質な地盤であった際は監理者協議の上で方針を決定
D工法	
E工法	支持地盤が出なかった場合は、地盤調査の追加を依頼して対応
F工法	
G工法	
H工法	
I工法	
J工法	
K工法	支持層面を表し、傾斜している部分は削り底盤を平坦に揃える 極端に硬い場合で掘削不能な時は底盤部を階段状に掘削し、改良体自体の滑りを防ぐ処置を施した上で改良する
L工法	
M工法	

表 2.2.1(4) 改良地盤底面が傾斜している場合の対応（高圧噴射攪拌式深層混合処理工法）

	確認方法
A工法	
B工法	ボーリング時の抵抗により、1本ごとに岩着深度を管理
C工法	地盤調査による支持層の等高線図を作成して傾斜や平面的な分布を把握し、事前に改良深度を決定し深度管理を行う
D工法	一般的には、地盤調査による支持層の等高線図を作成して傾斜や平面的な分布を把握し、事前に改良深度を決定し深度管理を行う。数例の実績として、事前にN値等の土質性状と電流値・トルク値の相関関係を調査した上で、削孔時の電流値又はトルク値により支持層を管理したこともある
E工法	一般的には、地盤調査による支持層の等高線図を作成して傾斜や平面的な分布を把握し、事前に改良深度を決定し深度管理を行う。数例の実績として、事前にN値等の土質性状と電流値・トルク値の相関関係を調査した上で、削孔時の電流値又はトルク値により支持層を管理したこともある
F工法	施工各孔深度管理
G工法	

	対応方法
A工法	
B工法	
C工法	
D工法	
E工法	
F工法	
G工法	改良対象地盤が未改良にならないように改良深度を変化させて改良

(12) - 1 配合試験 (試験方法)

配合試験を実施する場合に準拠している試験方法に関するアンケート結果を図 2.2.11 に示す。なお、一つの工法で回答が複数ある場合にはそのまま集計している。

建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針 (以下、BCJ 指針)、地盤工学会基準 (JGS)、日本産業規格 (JIS) と回答している工法が多い。なお、BCJ 指針との回答は、指針内で記載されている「安定処理土の突固めによる供試体作製方法 (JGS T 811)」あるいは「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法 (JGS T 821)」およびセメント協会会で定められた「セメント系固化材による安定処理土の試験方法 (JCAS A-01)」を示しているものと考えられる。

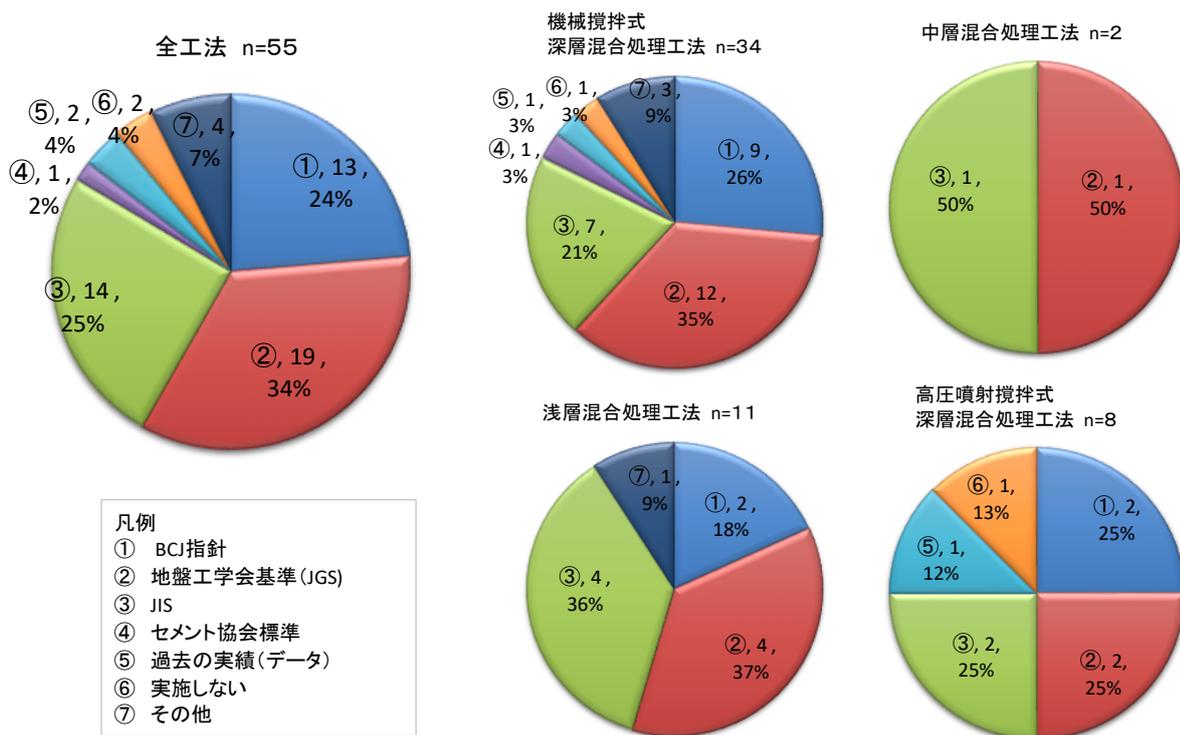


図 2.2.11 配合試験における試験方法
(グラフ内数字：回答数，割合)

(12) - 2 配合試験 (試験実施機関)

配合試験を実施する場合の試験実施機関に関するアンケート結果を図 2.2.12 に示す。なお、一つの工法で複数回答がある場合にはそのまま集計している。

アンケートの回答で、試験実施機関として公的試験機関、第三者機関等がある。日本建築学会「コンクリートの品質管理指針・同解説」では、「第三者機関」について以下の記載がある。

第三者機関：検査に際して当事者以外の第三者の立場で試験を行う機関で、JIS Q 17025 (試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項) に適合する機関またはこれと同等の技術力を有すると認められる機関

第三者機関として、公設の第三者機関 (例えば、(一財) 建材試験センター、(公財) 東京都防災・建築まちづくりセンター等)、民間の第三者機関 (例えば、セメントメーカー、コンサルタント会社等) などがあり、回答の「公的機関」は前者を、「第三者機関」は後者を示していると考えられる。

試験実施機関は第三者機関の割合が多く、セメントメーカーで実施しているとの回答が多い。

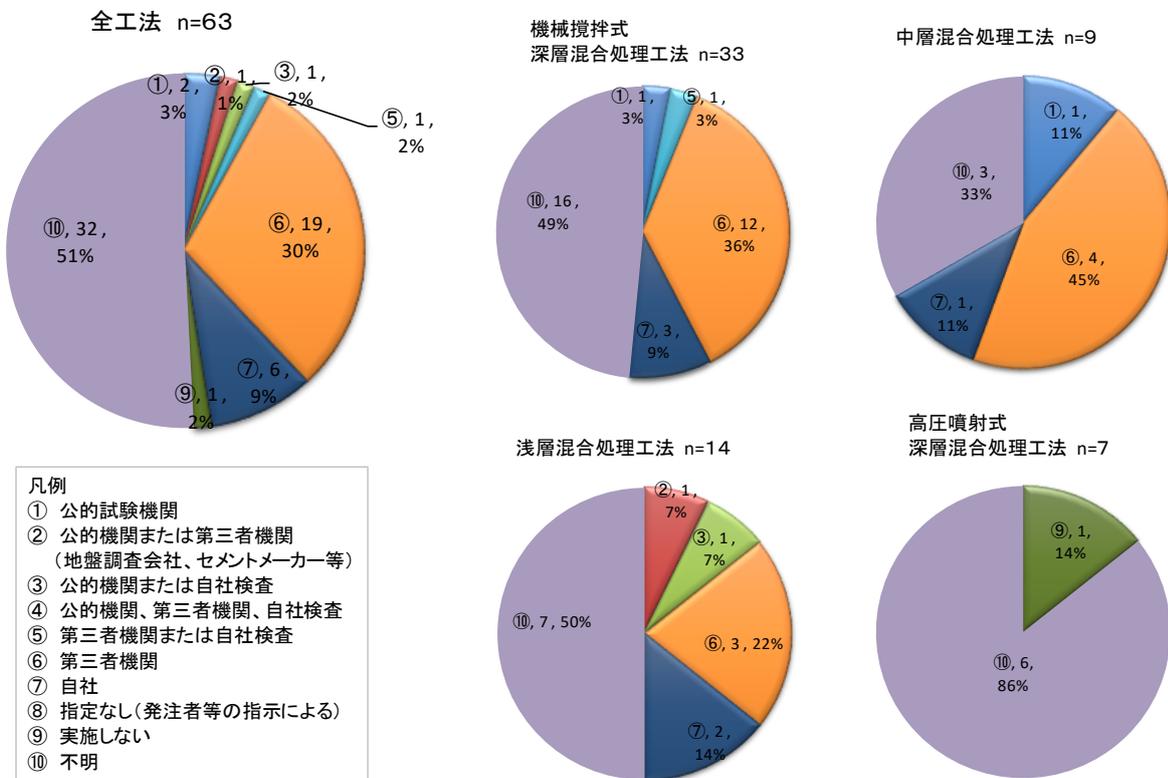


図 2.2.12 配合試験における試験実施機関
(グラフ内数字：回答数，割合)

(13) 配合試験（原位置土の採取規定）

配合試験を実施する場合、原位置土の採取規定（採取箇所数・位置・深度）に関するキーワードを分類毎に下記に示す。

機械攪拌式深層混合処理工法：採取箇所は、1～4箇所

設計ボーリング近傍もしくは強度発現が低いと予想される層

採取深度は改良対象層

中層混合処理工法：1～数箇所あるいは3箇所、特記等の仕様、改良対象層

浅層混合処理工法：1～2箇所あるいは4箇所、採取は特記仕様、協議による、改良対象層

高圧噴射攪拌式深層混合処理工法：採取箇所は指定なし、強度発現低いと予想される箇所、改良対象層

表 2. 2. 2(1) 原位置土の採取規定（機械攪拌式深層混合処理工法）

	採取箇所数	採取位置	採取深度
A工法	地盤調査結果を基に設定		改良対象層
B工法	1本当り、3箇所		土質に大幅変化無し、1本の天端、中間、下端
C工法	平面で1～4箇所、	ボーリング近傍	改良対象層
D工法	設計条件等を考慮		改良対象層、強度発現が低い層
E工法	規定無し		規定無し
F工法			事前調査、試掘結果から決定する
G工法	規定無し		規定無し
H工法			個別に計画
I工法			壁深度方向に全ての土質を採取し混合し試料
J工法	規定なし		
K工法		強度発現低い予想箇所	
L工法		強度発現低い予想箇所	
M工法	1～4箇所	設計ボーリング近傍	改良対象層
N工法			改良対象層
O工法	1～4箇所	設計ボーリング近傍	改良対象層
P工法	1～4箇所	設計ボーリング近傍	改良対象層
Q工法		代表的かつ強度発現低い予想箇所	
R工法			改良対象層
S工法	1箇所	強度発現低い予想箇所（改良頭部付近）	
T工法		特別仕様書、協議による	
U工法		特別仕様書、協議による	
V工法	複数箇所		改良対象層
W工法	複数箇所		改良対象層
X工法	土層構成が複雑な場合 試料数を追加		改良対象層
Y工法		設計ボーリング近傍	改良対象層
Z工法		特別仕様書、協議による	
AA工法		強度発現低い最弱層を採取	
AB工法			
AC工法		強度発現低い最弱層を採取 設計ボーリング近傍	
AD工法	1～4箇所		改良対象層
AE工法	1～5箇所		改良対象層
AF工法		強度発現低い最弱層を採取	設計図書指定のコア採取深度
AG工法	1箇所・1試料	設計ボーリング近傍	改良対象層
AH工法		改良土層毎	
AI工法	1～4箇所		設計深度に応じて、支持地盤着底は、その層深度まで

表 2.2.2(2) 原位置土の採取規定（中層混合処理工法）

	採取箇所数	採取位置	採取深度
A工法			改良対象層
B工法		現場の柱状図	改良対象層
C工法		特別仕様書、協議による	
D工法	3箇所		改良深度の上中下
E工法			
F工法	1～数箇所	代表的な土層、全層混合した試料	
G工法			改良対象層
H工法			

表 2.2.2(3) 原位置土の採取規定（浅層混合処理工法）

	採取箇所数	採取位置	採取深度
A工法		発注者または請負者の指定箇所より採取	
B工法		条件悪い土質	
C工法		設計ボーリング近傍	改良対象層
D工法			改良対象層
E工法	1～4箇所	設計ボーリング近傍	改良対象層
F工法		特別仕様書、協議による	
G工法		特別仕様書、協議による	
H工法		特別仕様書、協議による	
I工法	1箇所以上		
J工法			
K工法	1～2箇所	強度発現低い最弱層を採取	
L工法			改良対象層
M工法	1～4箇所		改良対象層

表 2.2.2(4) 原位置土の採取規定（高圧噴射攪拌式深層混合処理工法）

	採取箇所数	採取位置	採取深度
A工法			改良対象層
B工法			
C工法			
D工法		強度発現低い予想箇所	
E工法		強度発現低い予想箇所	
F工法	規定無し		
G工法			改良施工範囲、改良対象土、施工規模に応じて

(14) 配合試験（固化材配合水準数）

配合試験を実施する場合の固化材配合水準数に関するアンケート結果を図 2.2.13 に示す。なお、設定に幅がある場合には、その範囲の水準数を集計している。

固化材配合水準数は3水準を基本として、強度や土質性状を考慮して5水準程度まで設定している工法が多い。

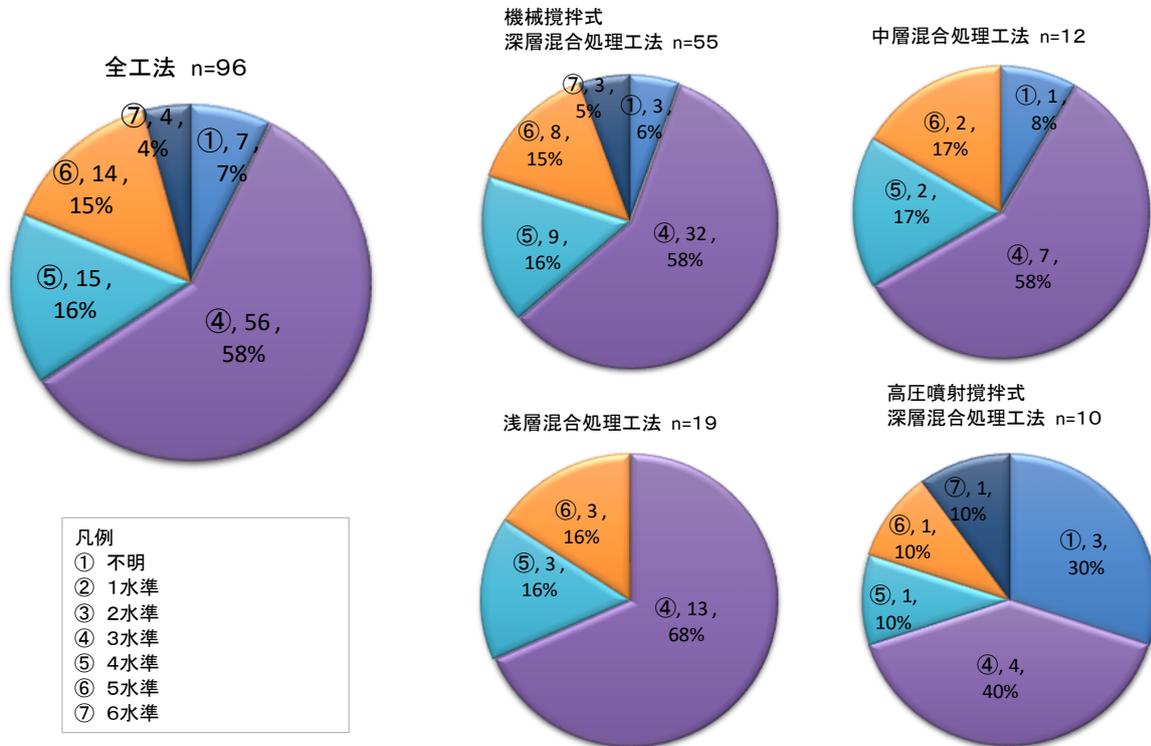


図 2.2.13 配合試験における固化材配合水準数
(グラフ内数字：回答数，割合)

(15) 配合試験 (W/C、調整含水比の設定方法)

配合試験を実施する場合の W/C、調整含水比の設定方法に関するアンケート結果を図 2.2.14 に示す。ただし、調整含水比に関する回答は得られなかったことから、W/C のみ結果を示す。なお、設定に幅がある場合にはその範囲を集計しており、土質ごとの W/C は概ね以下の数値となっている。

【砂質土を対象にした W/C】

機械攪拌式深層混合処理工法：60%～100%

中層混合処理工法：70%～100%

浅層混合処理工法：80%～120%

高圧噴射攪拌式深層混合処理工法：80%～130%

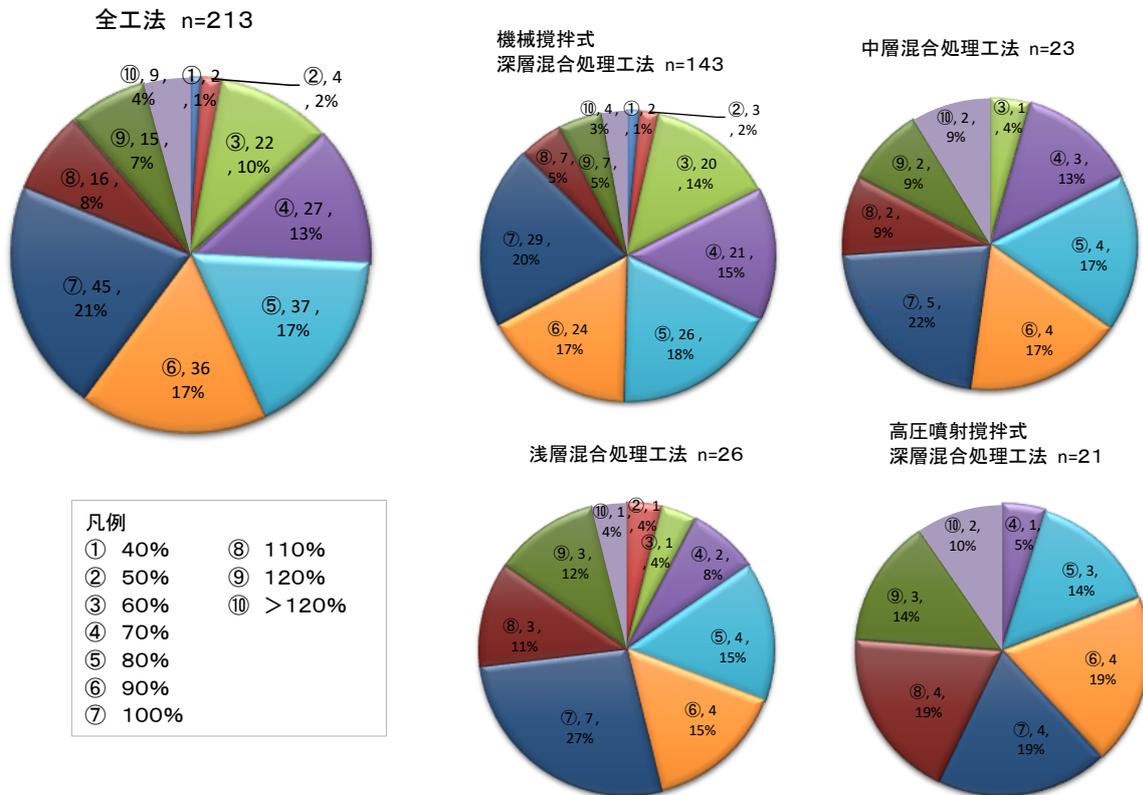


図 2.2.14(1) 配合試験における W/C の設定 (砂質土)
(グラフ内数字：回答数, 割合)

【粘性土を対象にした W/C】

機械攪拌式深層混合処理工法：60%～120%

中層混合処理工法：60%～80%

浅層混合処理工法：60%～100%

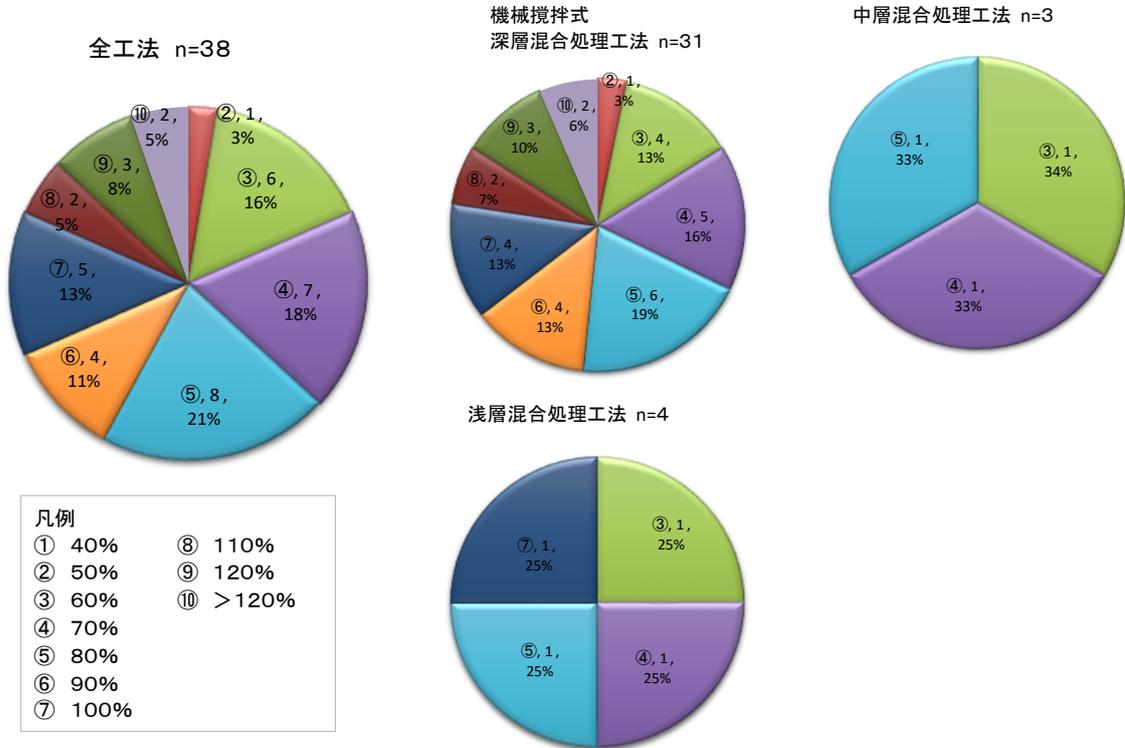


図 2. 2. 14(2) 配合試験における W/C の設定 (粘性土)
(グラフ内数字：回答数, 割合)

【ロームを対象にした W/C】

機械攪拌式深層混合処理工法：60%～80%

浅層混合処理工法：60%～100%

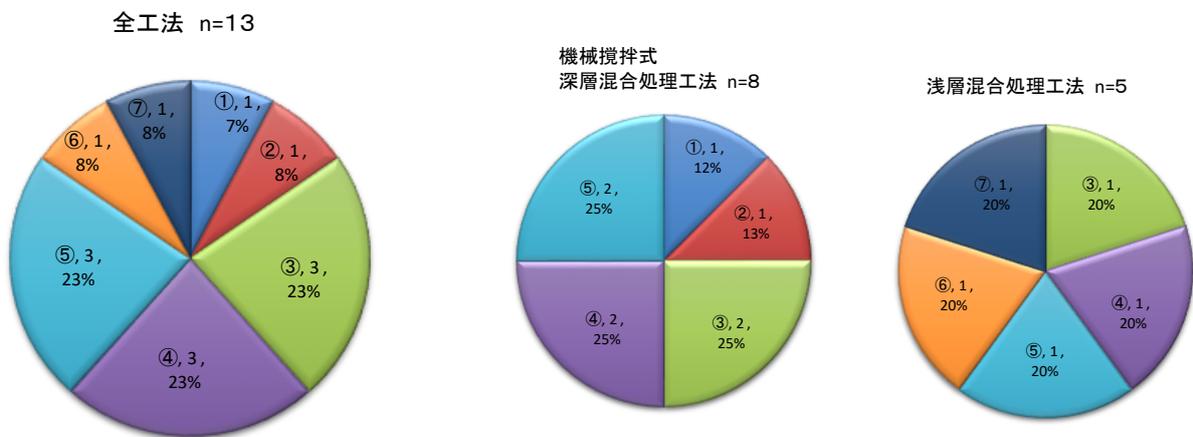


図 2. 2. 14(3) 配合試験における W/C の設定 (ローム)
(グラフ内数字：回答数, 割合)

(16) 配合試験（現場/室内強度比の設定）

配合試験を実施する場合の現場/室内強度比の設定方法に関するアンケート結果を図 2.2.15 に示す。

図 2.2.15(2)の縦軸は工法数を示している。

現場/室内強度比の設定について、全体では規定値を各工法で定めて用いている工法が多い。

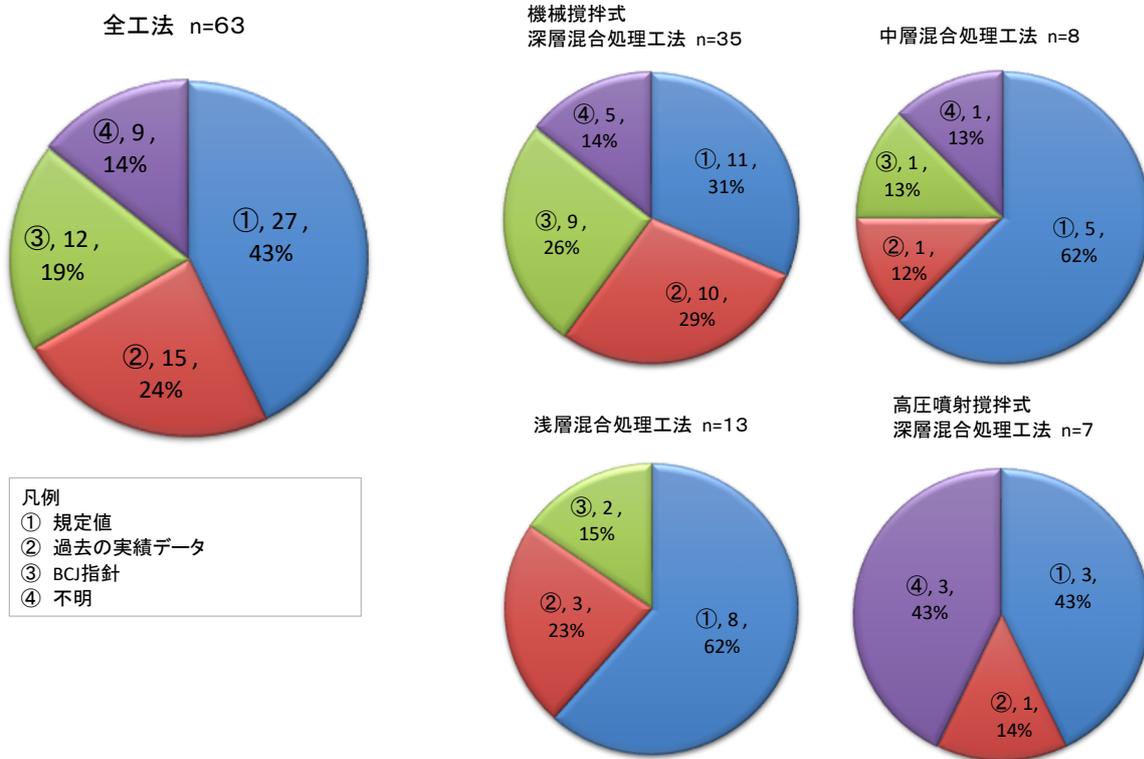


図 2.2.15(1) 配合試験における現場/室内強度比の設定
(グラフ内数字：工法数，割合)

中層混合処理工法の現場/室内強度比は大きく二つに分かれている（0.3～0.5、0.7～0.8）が、工法数が少ないことに加えて、各工法の攪拌方式の違いが他の改良形式に比べて大きいと考えられる。

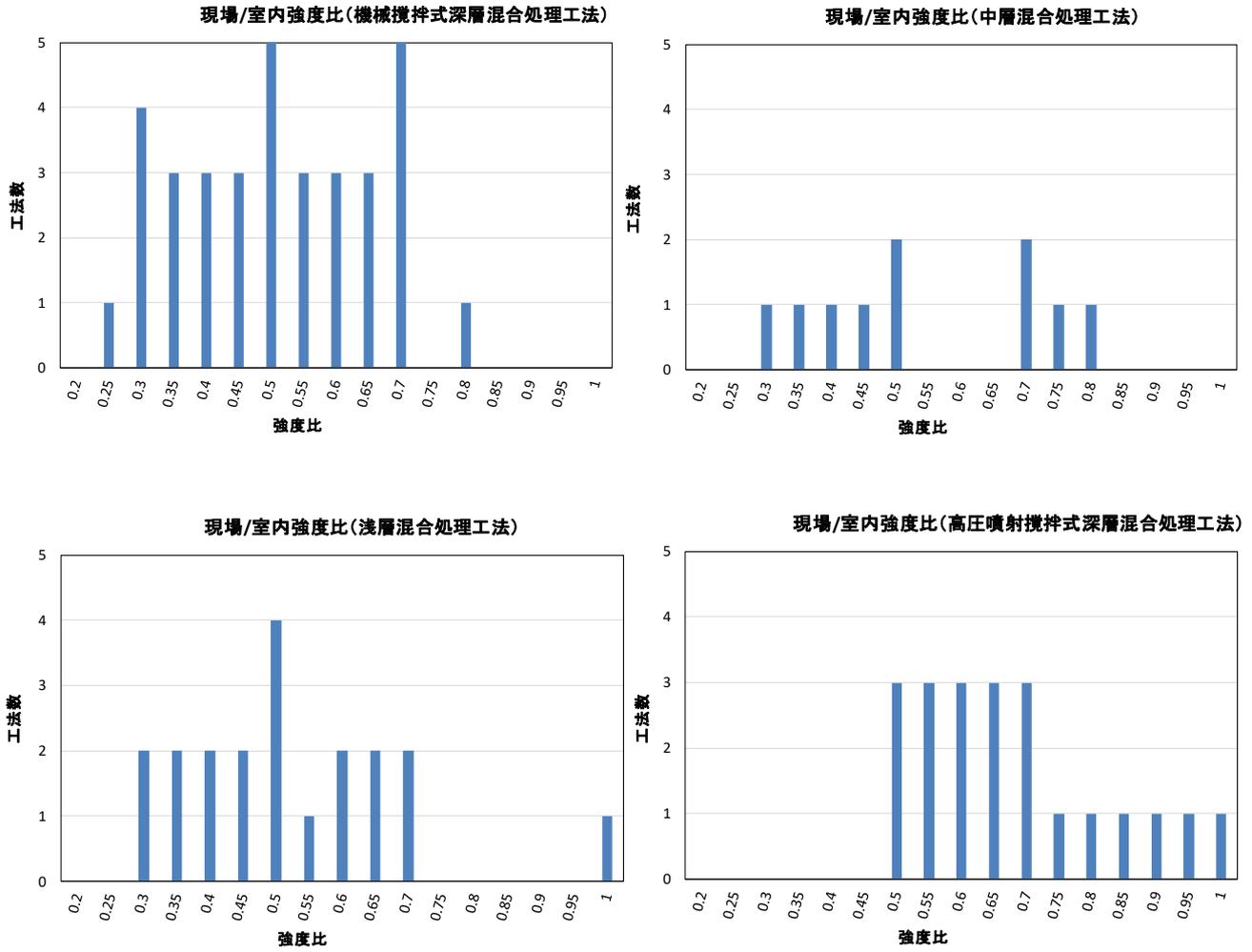


図 2. 2. 15(2) 配合試験における現場/室内強度比の分布

(17) 配合試験 (28日/7日強度比 伸び率の設定)

配合試験を実施する場合の28日/7日強度比の設定方法に関するアンケート結果を図2.2.16に示す。

28日/7日強度比、伸び率の設定について、過去のデータを参考にして設定している工法が約40%、規定値による工法が約18%となっている。

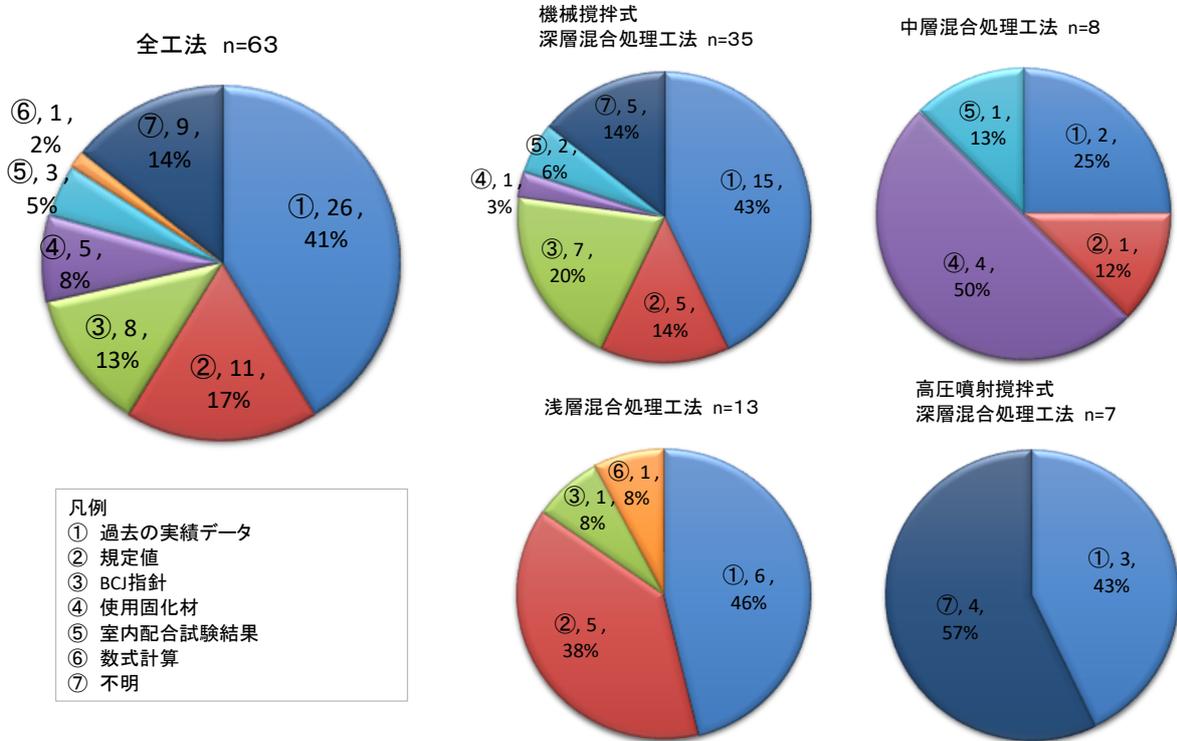


図 2.2.16 配合試験における28日/7日強度比の設定
(グラフ内数字：工法数，割合)

(18) 施工管理方法 (寸法・形状)

寸法・形状の確認に関するアンケート結果を図 2.2.17 に示す。

改良体の寸法・形状について、機械形状 (例えば、掘削翼及び攪拌翼、共回り防止等) の確認・キャリブレーションで確認している工法が多いが、高圧噴射攪拌式ではコアボーリングにより改良径を確認する工法が多い。

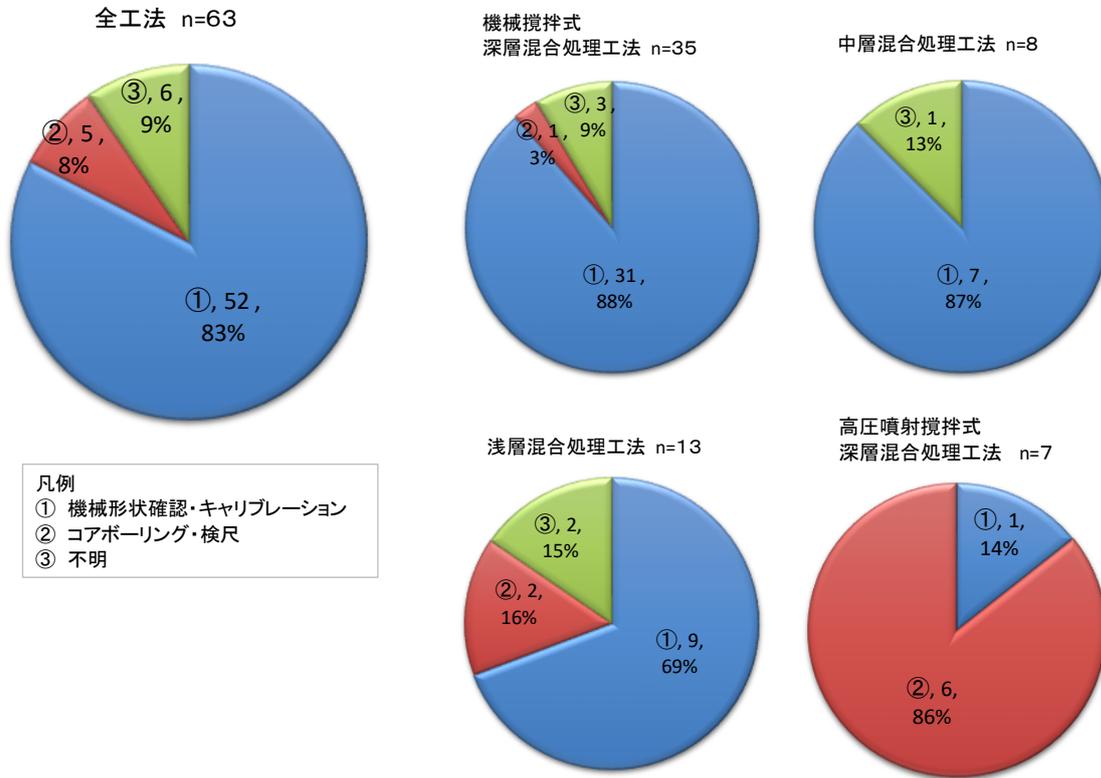


図 2.2.17 寸法・形状の管理方法
(グラフ内数字：工法数，割合)

(19) 施工管理方法 (固化材)

固化材の管理 (配合管理で定めた固化材の配合量と水/固化材比を確保するため) 方法に関するアンケート結果を図 2.2.18 に示す。なお、工法によっては複数回答があり、また回答の無い工法もあることから工法数と回答数は一致していない。

管理方法について、②吐出量を管理する場合には①比重も含めて管理することが多いが、①比重のみの工法もある。③配合量が規定以上、の場合には①比重や②吐出量の管理は行っていない。

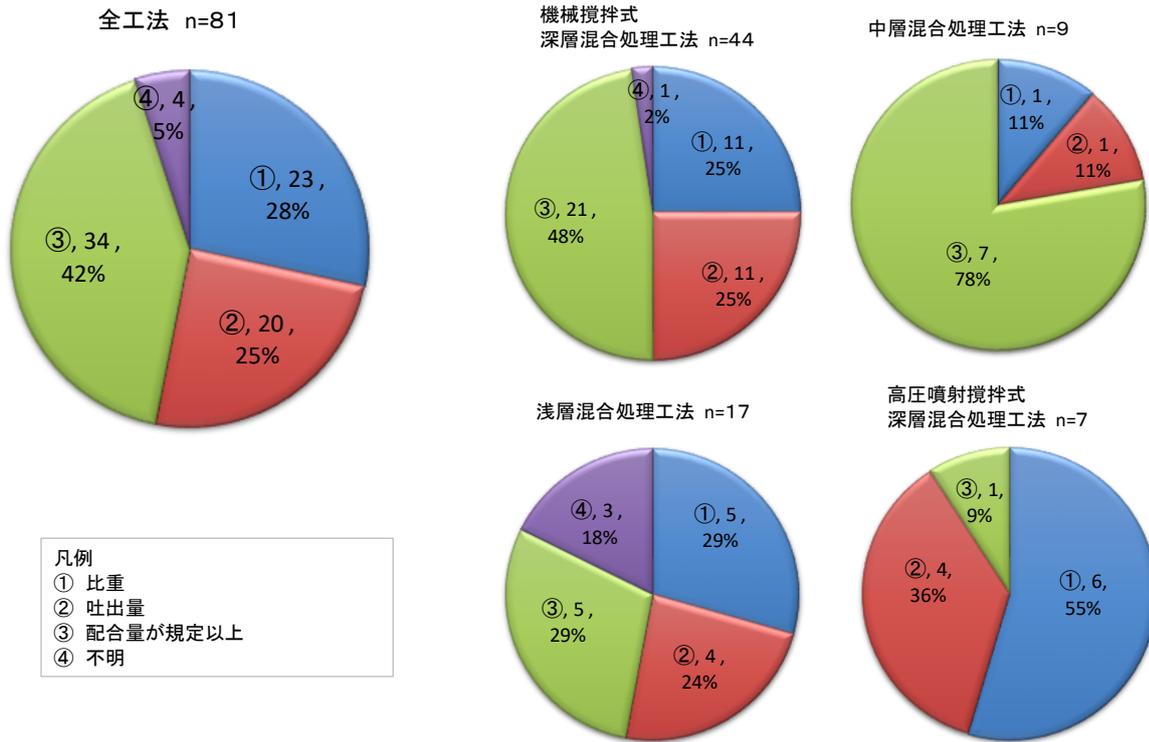


図 2.2.18 固化材の管理方法
(グラフ内数字：工法数，割合)

(20) 施工管理方法 (攪拌混合度)

攪拌混合度の管理方法に関するアンケート結果を図 2.2.19 に示す。なお、工法によっては複数回答があり、また回答の無い工法もあることから工法数と回答数は一致していない。

攪拌混合度の管理方法として、回転数による工法が多い。高圧噴射攪拌式深層混合処理工法では時間による管理も実施されている。

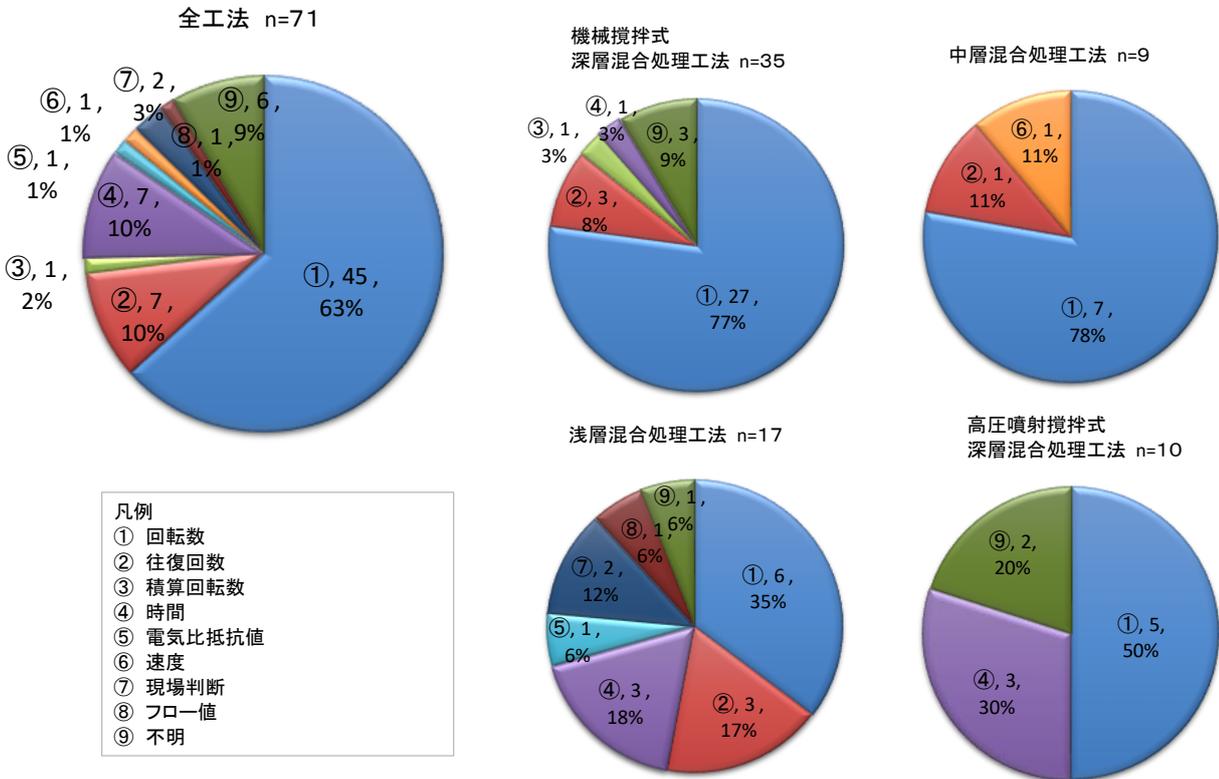


図 2.2.19 攪拌混合度の管理方法
(グラフ内数字：回答数，割合)

(2 1) 施工管理方法 (着底深さ)

着底深さの管理方法に関するアンケート結果を図 2.2.20 に示す。なお、工法によっては凡例に示した複数の項目で管理しているとの回答があり、また回答の無い工法もあることから工法数と回答数は一致していない。

機械攪拌式深層混合処理工法では抵抗値や深度で、中層混合処理工法では深度で、浅層混合処理工法では深度と目視で、高圧噴射攪拌式では深度で管理している工法が多い。

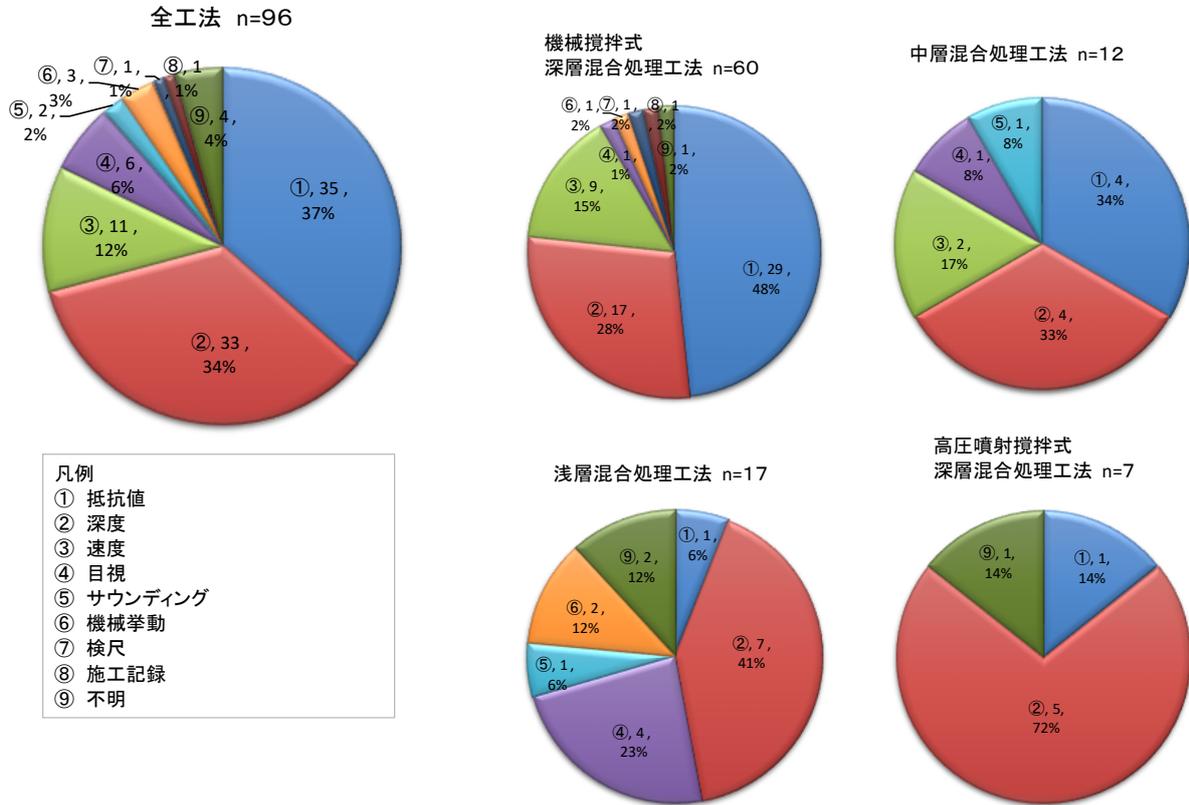


図 2.2.20 着底深さの管理方法
(グラフ内数字：回答数，割合)

(2.2) 施工管理方法 (管理方法)

管理方法に関するアンケート結果を図 2.2.21 に示す。なお、工法によっては複数回答があり、また回答の無い工法もあることから工法数と回答数は一致していない。

ここで示している「管理方法」とは、(18)～(21)に示した管理項目の記録・保存方法を示しており、施工管理項目によって異なるが例えば、にチェックシート、チャート、電子媒体、目視、報告書などである。

浅層混合処理工法以外では、機械的な装置を用いて管理している工法が半数以上を占めている。

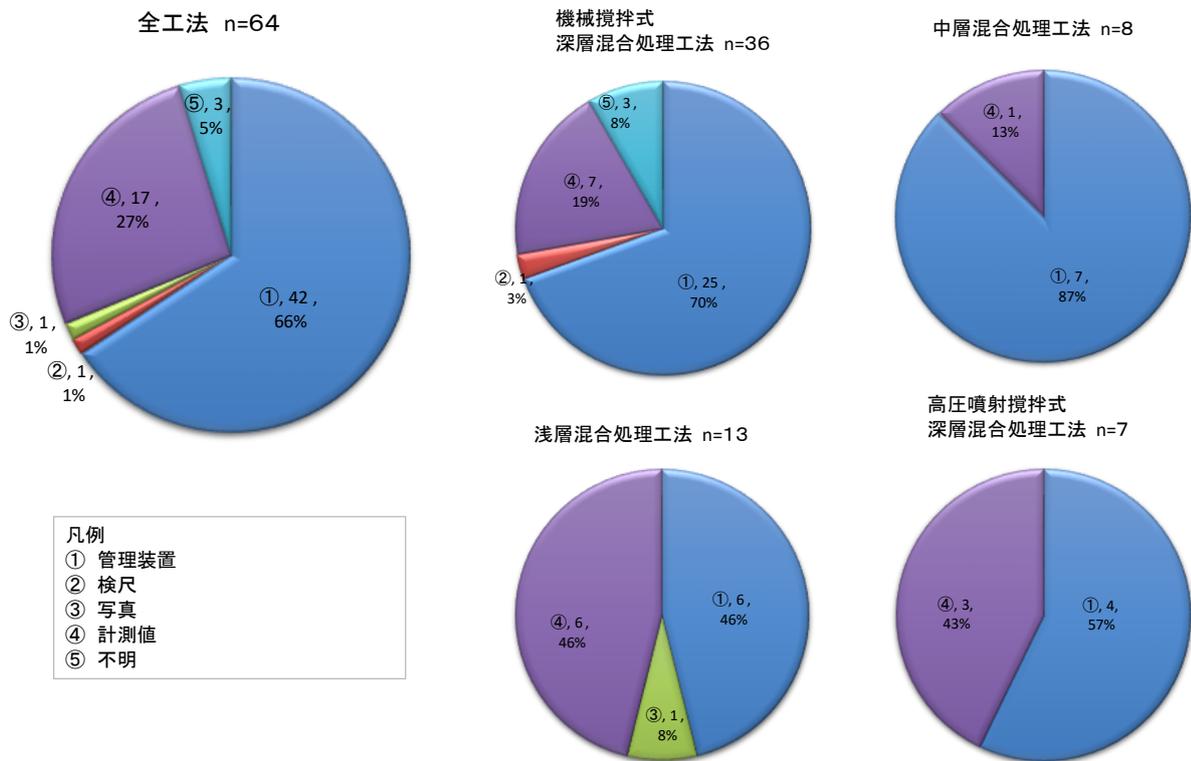


図 2.2.21 管理方法
(グラフ内数字：工法数，割合)

(23) 施工管理方法 (頻度)

施工管理の頻度に関するアンケート結果を図 2.2.22 に示す。なお、回答の無い工法もあることから工法数と回答数は一致していない。

機械攪拌式・高圧噴射攪拌式深層混合処理工法では、全工法で改良体全数を対象に施工管理を実施している。

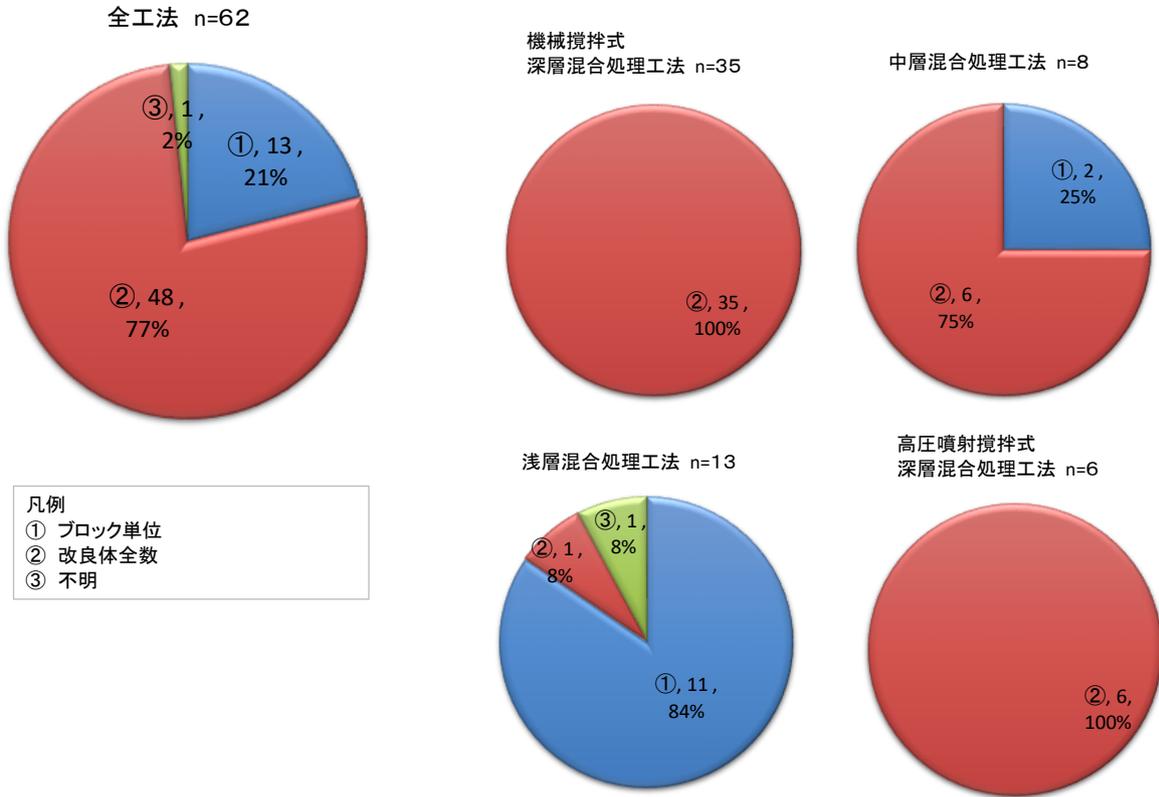


図 2.2.22 管理頻度
(グラフ内数字：工法数，割合)

(24) 施工管理方法 (記録)

施工管理項目に関するアンケート結果を図 2.2.23 に示す。なお、工法によっては複数回答があり、また回答の無い工法もあることから工法数と回答数は一致していない。

機械攪拌式では攪拌速度で、中層・浅層混合処理工法では施工深度、吐出量・添加量、高圧噴射攪拌式では攪拌時間を記録している工法が多い。

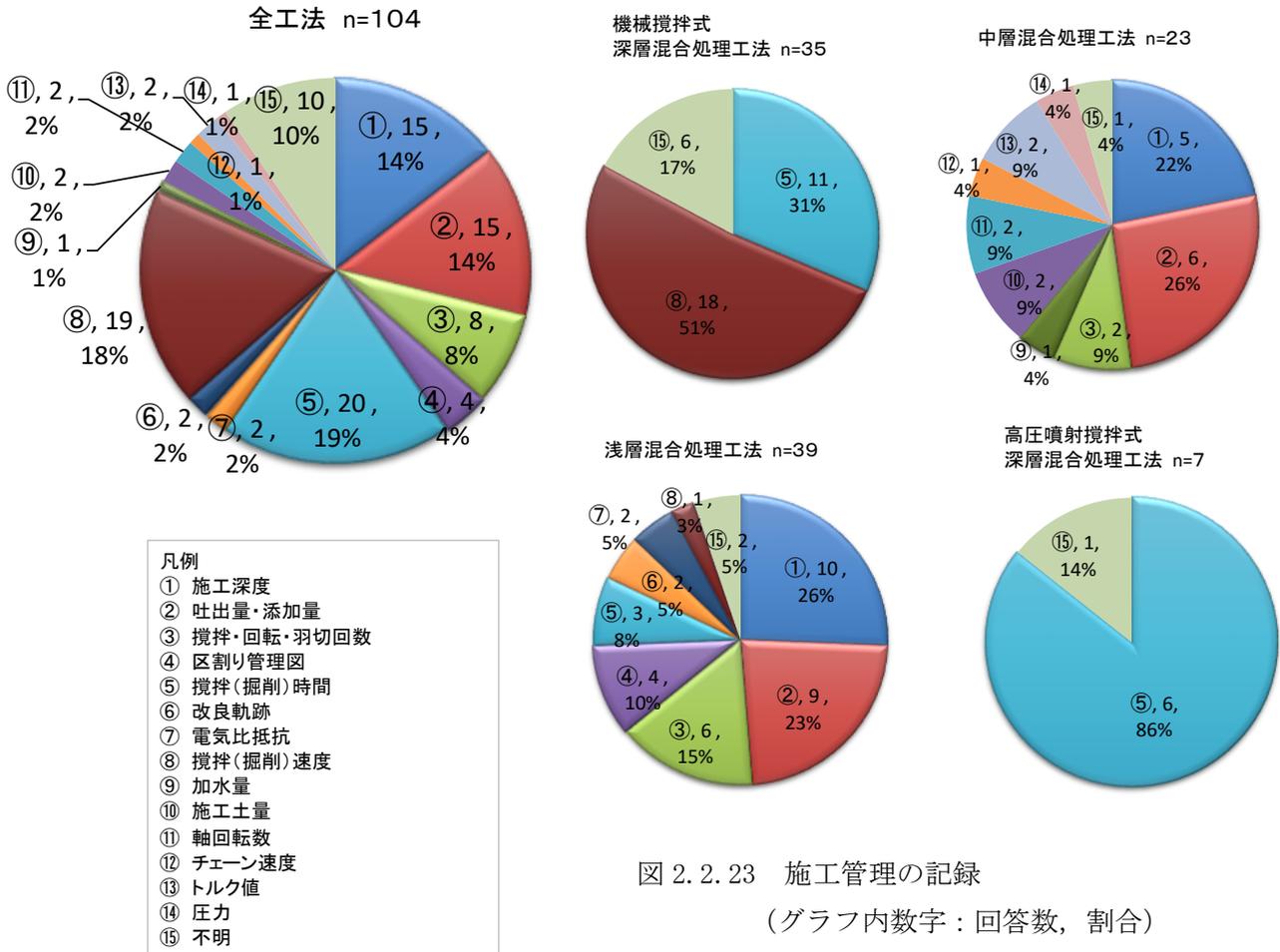


図 2.2.23 施工管理の記録

(グラフ内数字：回答数，割合)

(25) 施工管理方法 (管理方法の特徴)

管理方法の特徴に関するアンケート結果を図 2.2.24 に示す。なお、工法によっては複数回答があり、また回答の無い工法もあることから工法数と回答数は一致していない。

いずれも施工管理システムによるリアルタイム管理の割合が多い。機械攪拌式深層混合処理工法では、管理値が満足しない場合に速やかに対応できるよう警報装置を備えている工法もある。浅層混合処理工法では、ICT による位置決めが特徴として挙げられている。

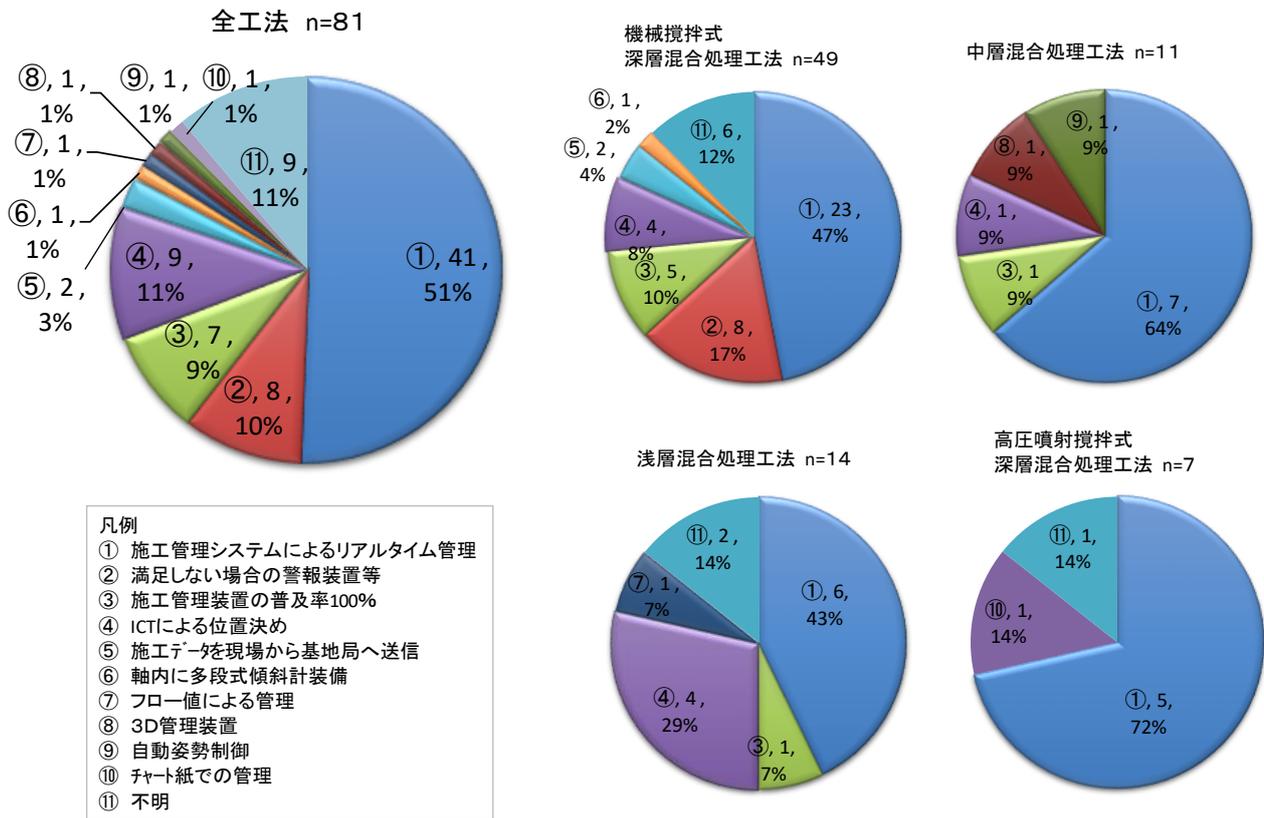


図 2.2.24 管理方法の特徴
(グラフ内数字：回答数，割合)

(26) - 1 品質検査（一軸圧縮強さ：供試体採取頻度）

一軸圧縮強さを確認する際の供試体採取頻度に関するアンケート結果を図 2.2.25 に示す。

浅層混合処理工法では 1 回/1000~2000m³ 程度、その他では監理者の指示により決定する工法が多くなっている。

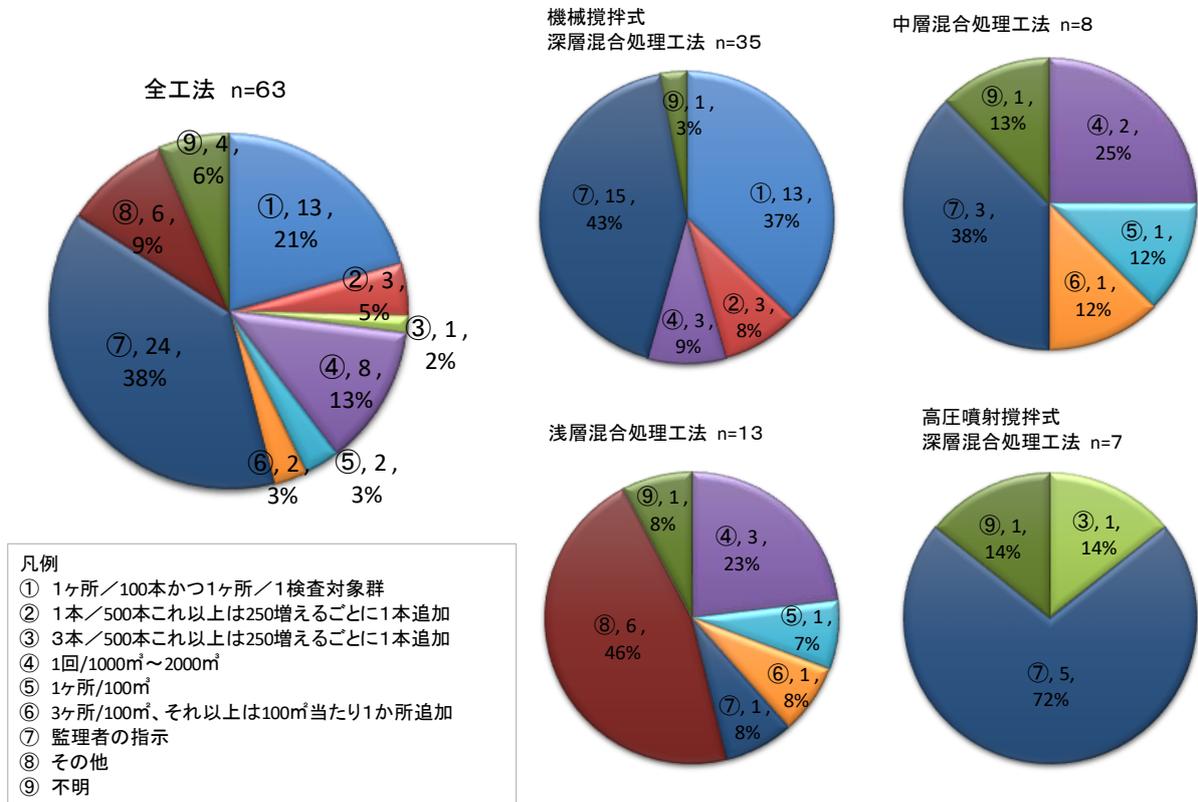


図 2.2.25 品質検査（一軸圧縮強さ：供試体採取頻度）
（グラフ内数字：工法数，割合）

(26) - 2 品質検査 (一軸圧縮強さ：供試体採取方法)

一軸圧縮強さを確認する際の供試体採取方法に関するアンケート結果を図 2.2.26 に示す。

コアボーリングによる採取が半数以上を占めている。中層・浅層では未固結試料採取による方法も 25% 程度の割合で認められる。

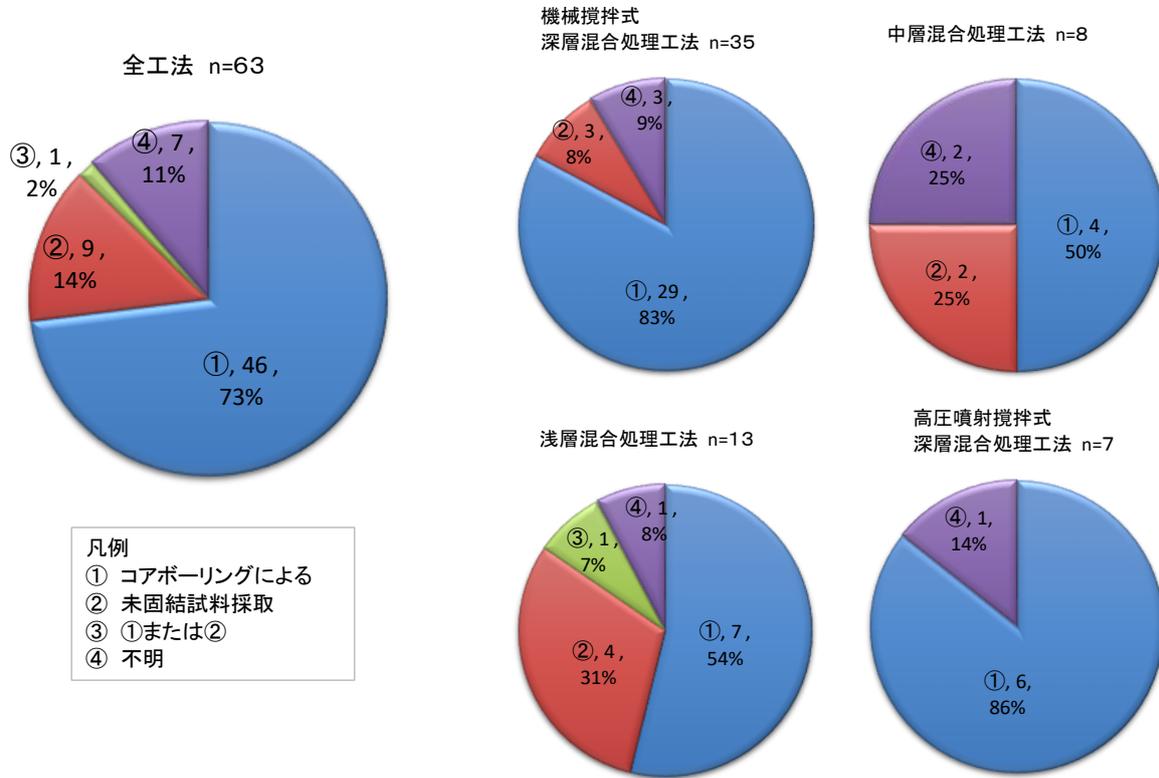


図 2.2.26 品質検査 (一軸圧縮強さ：供試体採取方法)

(グラフ内数字：工法数, 割合)

(26) - 3 品質検査（一軸圧縮強さ：供試体採取位置）

一軸圧縮強さを確認する際の供試体採取位置に関するアンケート結果を図 2.2.27 に示す。

機械攪拌式深層混合処理工法では BCJ 指針による工法が比較的多く、浅層では未回答が多い。その他の工法では監理者の指示により採取位置を決定する工法が多い。

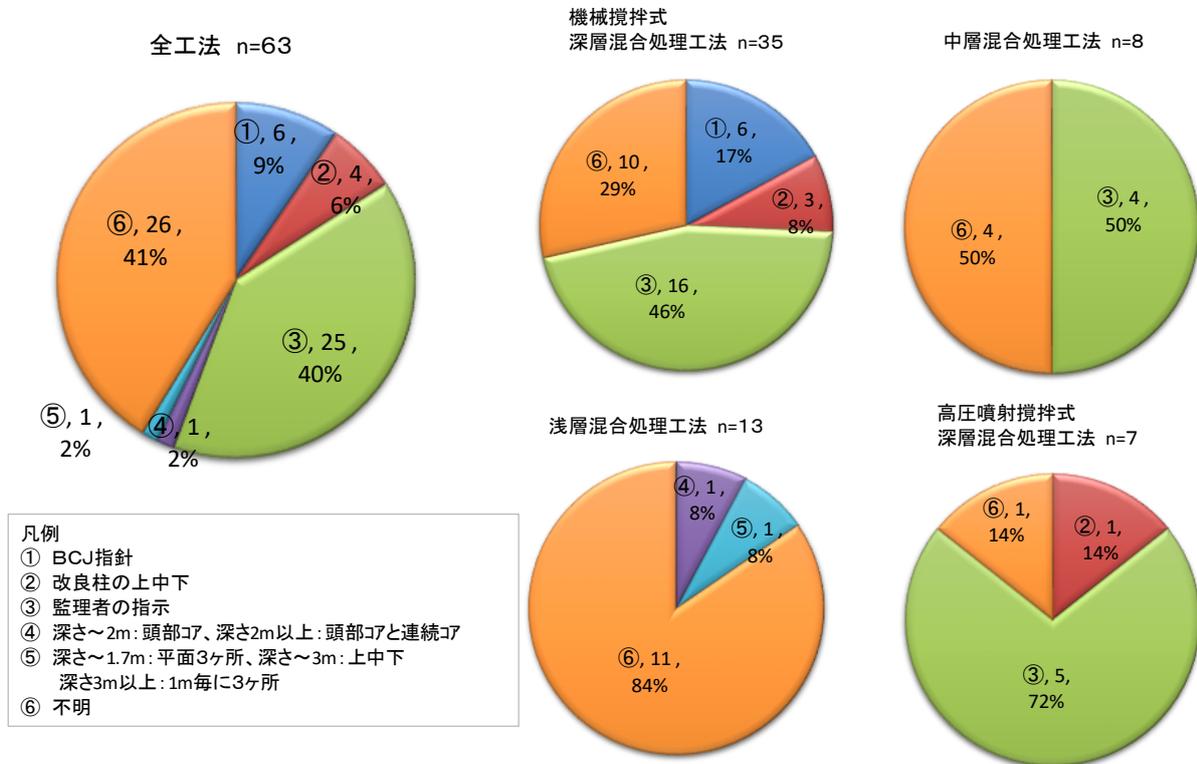


図 2.2.27 品質検査（一軸圧縮強さ：供試体採取位置）

（グラフ内数字：工法数，割合）

(27) 品質検査 (連続性)

連続性の確認方法に関するアンケート結果を図 2.2.28 に示す。なお、回答の無い工法もあることから工法数と回答数は一致していない。

コア採取率によって連続性を確認する工法が多い。中層混合処理工法では、フェノールフタレイン溶液によるアルカリ反応試験により連続性を確認する工法も 50%程度ある。

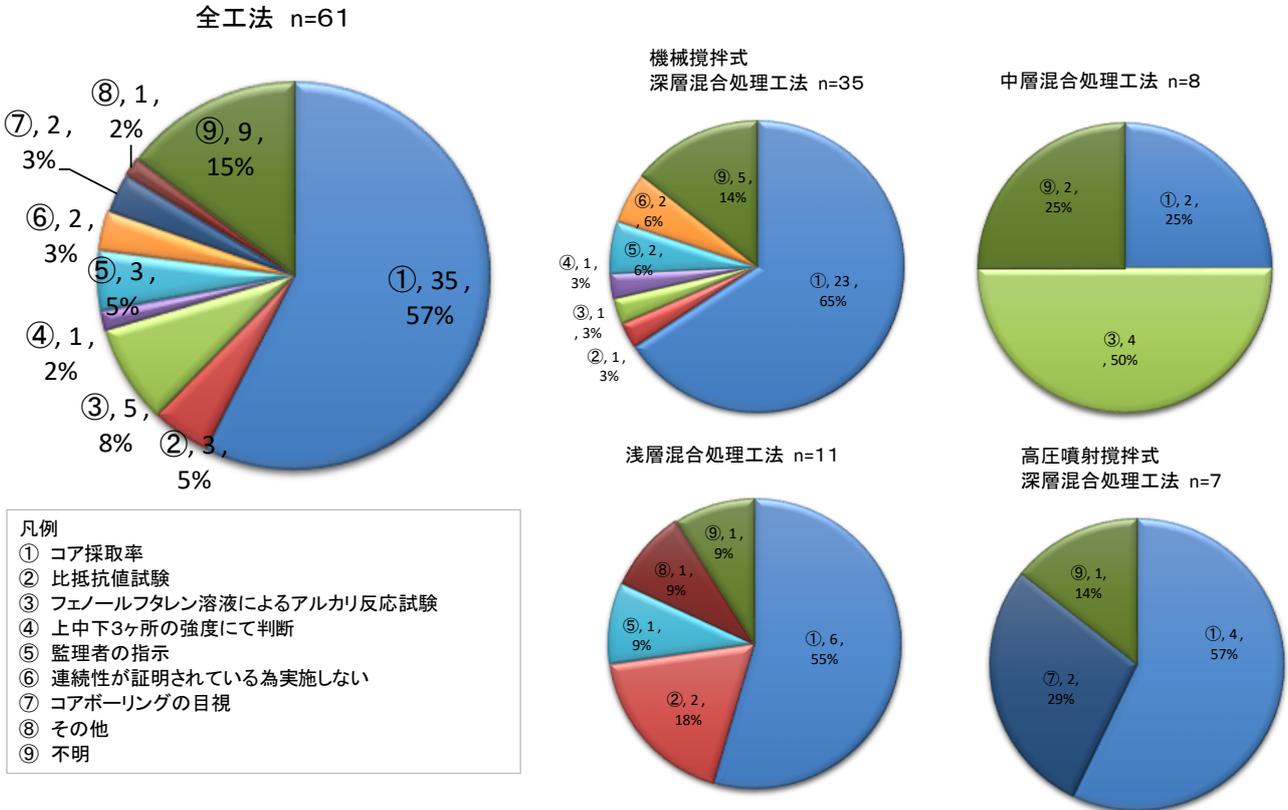


図 2.2.28 品質検査 (連続性の確認方法)
(グラフ内数字: 工法数, 割合)

(28) 品質に関する項目 (コアボーリング試料：採取時期)

コアボーリング試料の採取時期に関するアンケート結果を図 2.2.29 に示す。

14 日程度でコアボーリング試料を採取する工法が多い。中層混合処理工法では 3 日程度の早期で、浅層混合処理工法では 24 時間以内 (施工後に塩ビ管を挿入) や 7 日程度で試料を採取する工法もある。

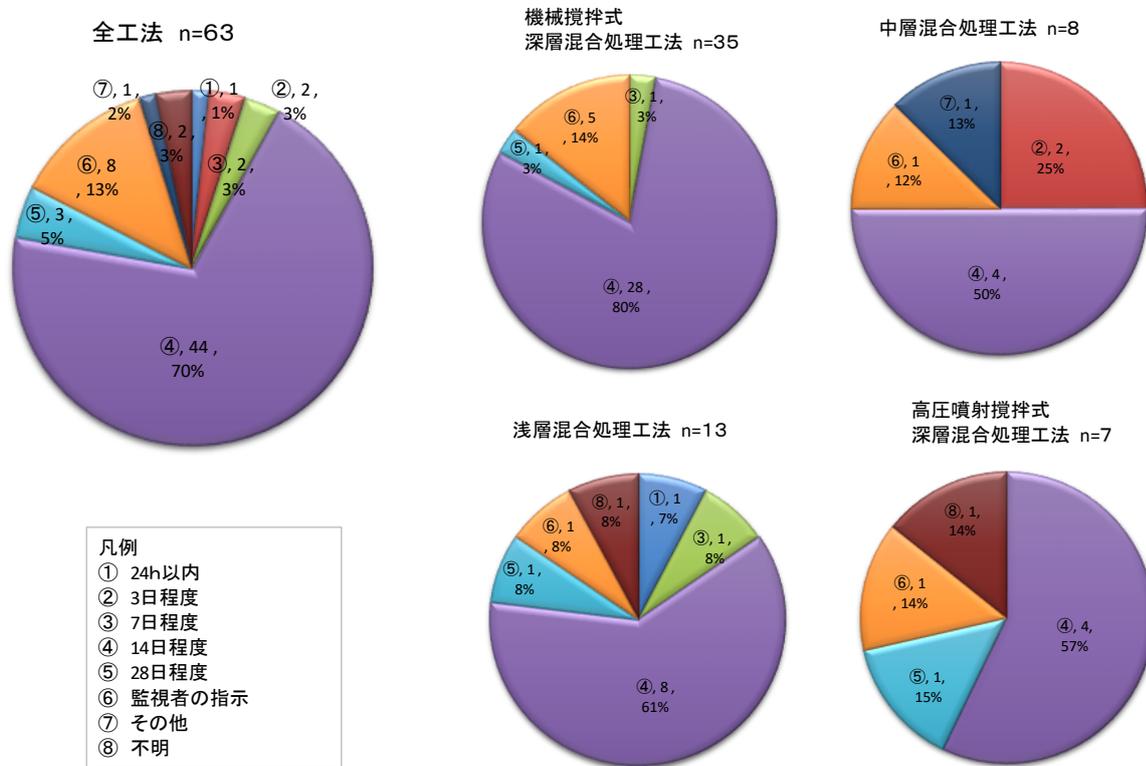


図 2.2.29 品質検査 (コアボーリング試料の採取時期)
(グラフ内数字：工法数, 割合)

(29) 品質に関する項目 (コアボーリング試料：養生方法)

コアボーリング試料の養生方法に関するアンケート結果を図 2.2.30 に示す。

恒温恒湿養生の割合が最も高い。

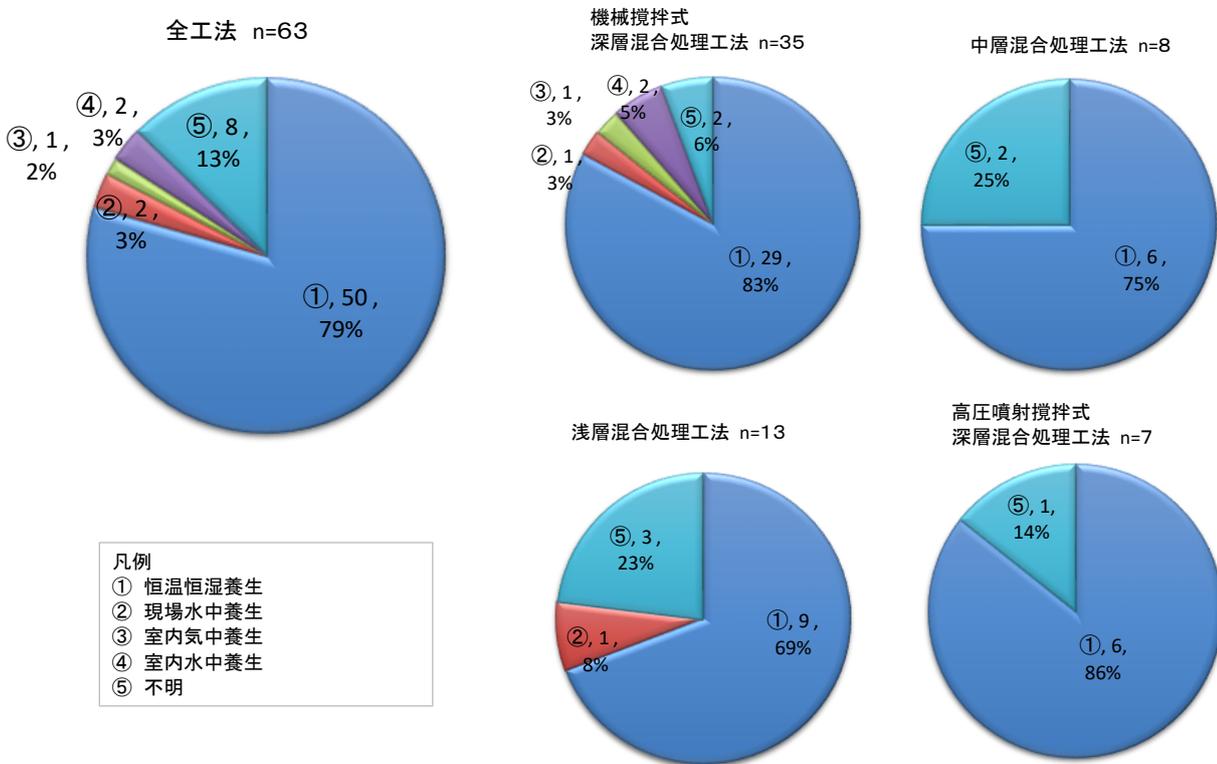


図 2.2.30 品質検査 (コアボーリング試料の養生方法)
(グラフ内数字：工法数, 割合)

(30) 品質に関する項目 (コアボーリング試料：圧縮強度試験実施機関)

コアボーリング試料の圧縮強度試験実施機関に関するアンケート結果を図 2.2.31 に示す。

試験実施機関は第三者機関の割合が多く、セメントメーカーで実施しているとの回答が多い。中層混合処理工法・高圧噴射攪拌式深層混合処理工法では公的機関で実施するとの回答も多い。

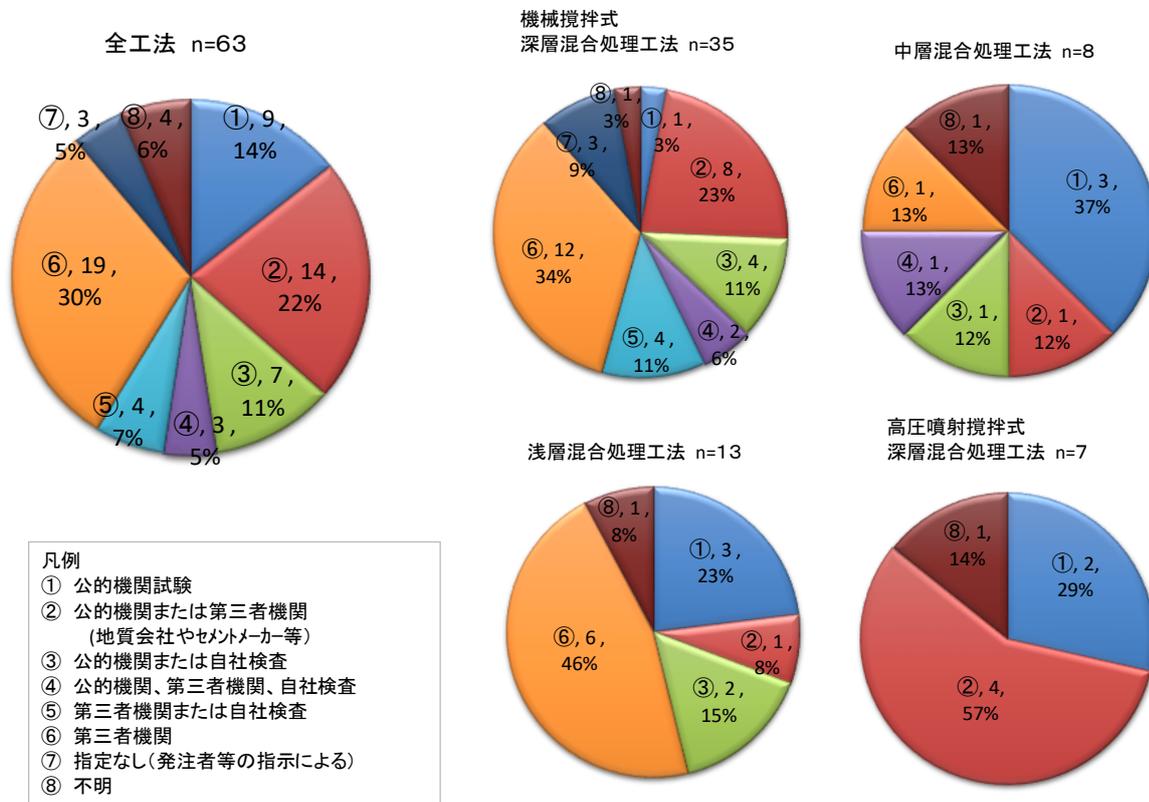


図 2.2.31 品質検査 (コアボーリング試料：圧縮強度試験実施機関)
(グラフ内数字：工法数, 割合)

(3 1) 品質に関する項目 (未固結試料：試料採取方法)

未固結試料を採取する場合の試料採取方法に関するアンケート結果を図 2. 2. 32 に示す。

機械攪拌式深層混合処理工法・中層混合処理工法では、特殊治具・専用治具で採取する工法が多い。

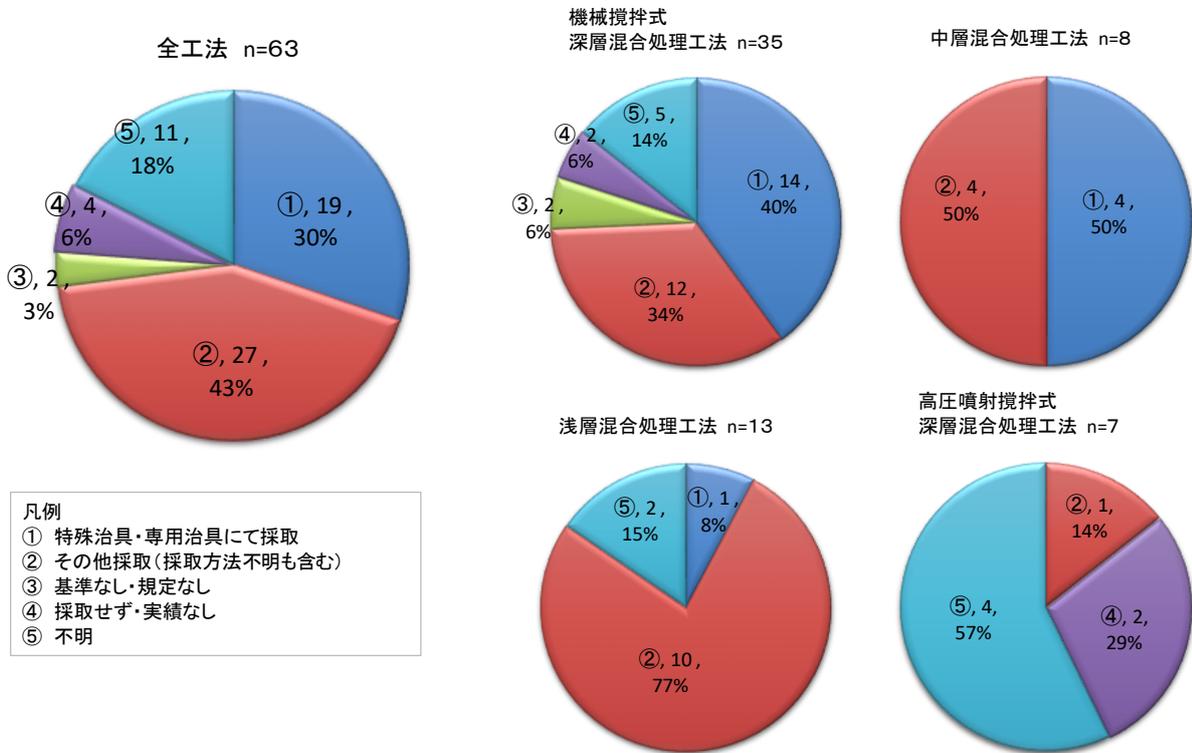


図 2. 2. 32 品質に関する項目 (未固結試料：試料採取方法)

(グラフ内数字：工法数，割合)

(32) 品質に関する項目 (未固結試料：供試体作製方法)

未固結試料を採取する場合の供試体作製方法に関するアンケート結果を図 2.2.33 に示す。

機械攪拌式深層・中層・浅層混合処理工法では、モールドへの充填により供試体を作製する工法が 75% 以上の割合が多い。

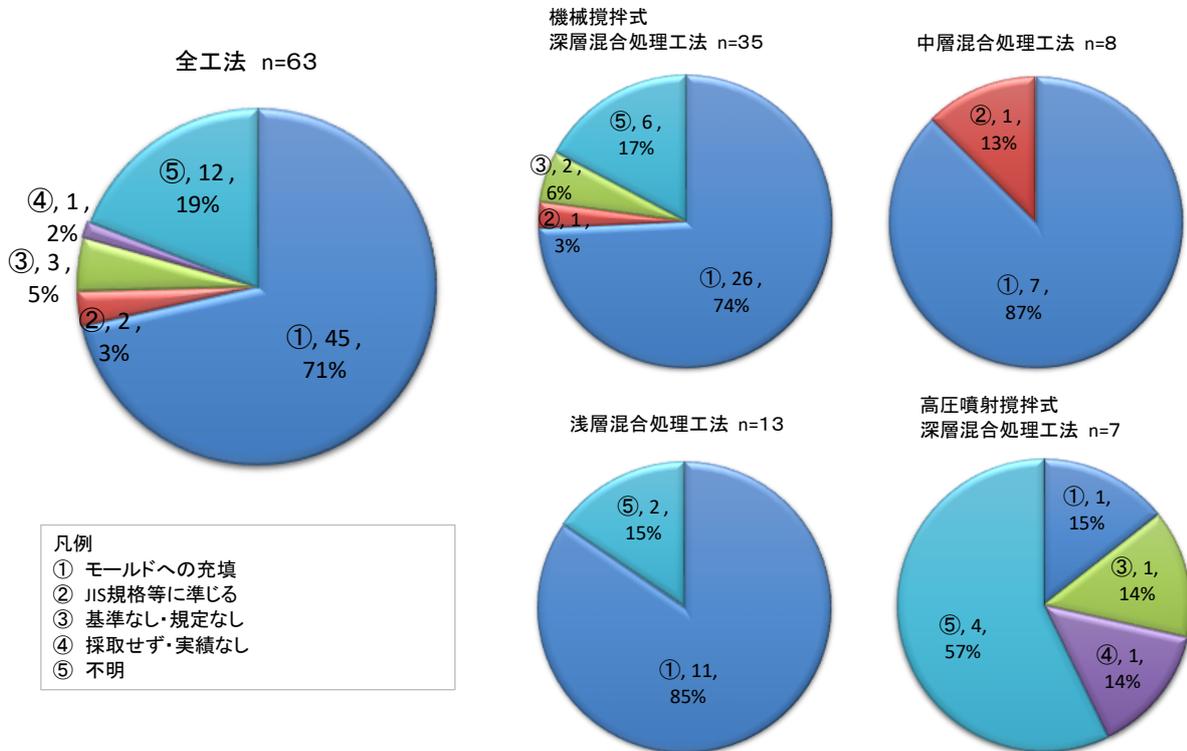


図 2.2.33 品質に関する項目 (未固結試料：供試体作製方法)

(グラフ内数字：工法数，割合)

(3.3) 品質に関する項目 (未固結試料：養生方法)

未固結試料を採取する場合の養生方法に関するアンケート結果を図 2.2.34 に示す。

機械攪拌式深層・中層混合処理工法では、恒温恒湿養生とする工法が 50%以上の割合が多い。

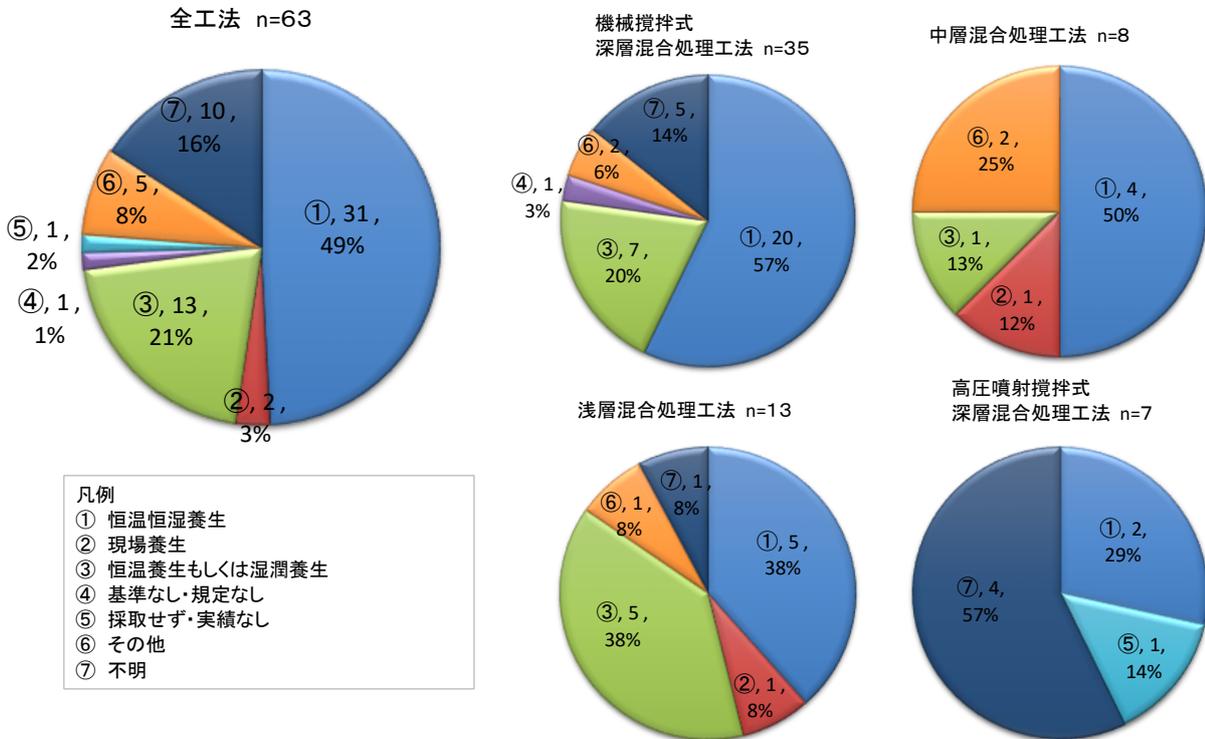


図 2.2.34 品質に関する項目 (未固結試料：養生方法)
(グラフ内数字：工法数，割合)

(3 4) 品質に関する項目 (未固結試料：圧縮強度試験機関)

未固結試料を採取し圧縮強度を確認する際の試験機関に関するアンケート結果を図 2. 2. 35 に示す。

試験実施機関は第三者機関の割合が多い。中層混合処理工法では、公的機関で実施する割合が 50%程度となっている。

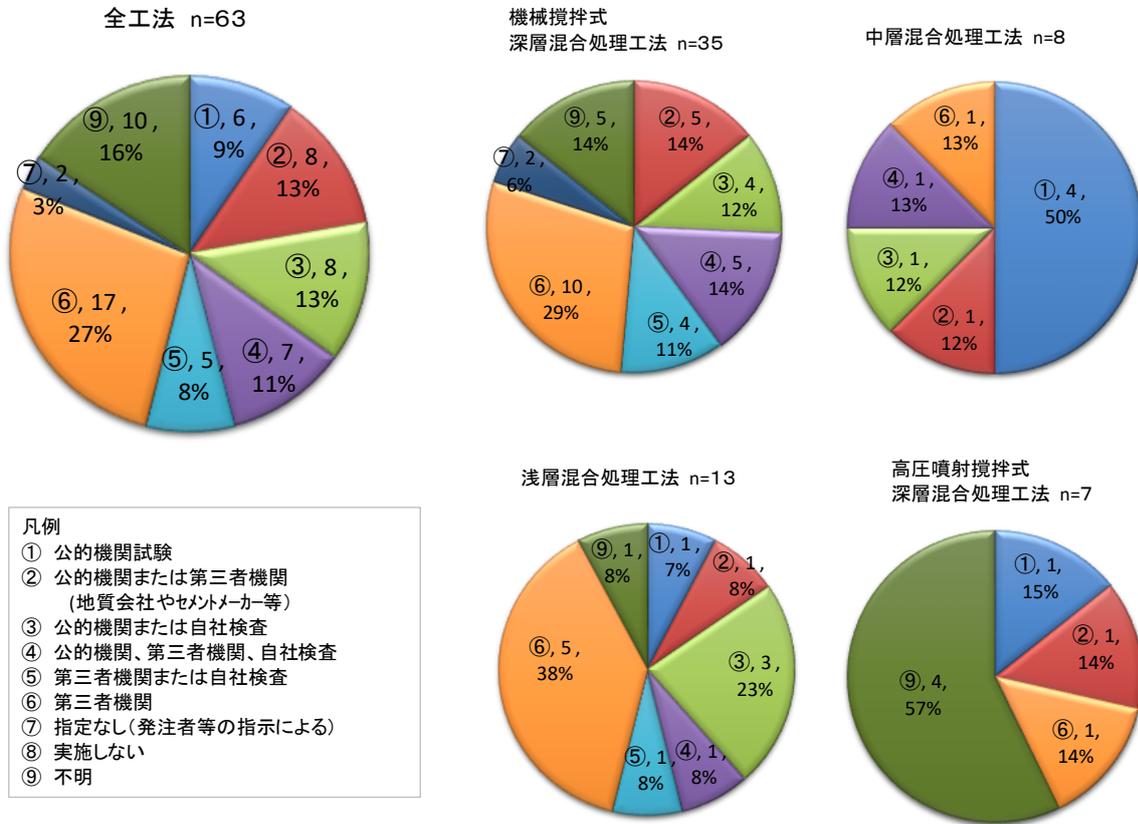


図 2. 2. 35 品質に関する項目 (未固結試料：圧縮強度試験実施機関)
(グラフ内数字：工法数，割合)

(35) 品質に関する項目 (未固結試料：早期材齢での評価結果)

未固結試料を採取する際の早期材齢に関するアンケート結果を図 2.2.36 に示す。

高圧噴射攪拌式深層混合処理工法を除いて 7 日強度で確認する工法が多い。

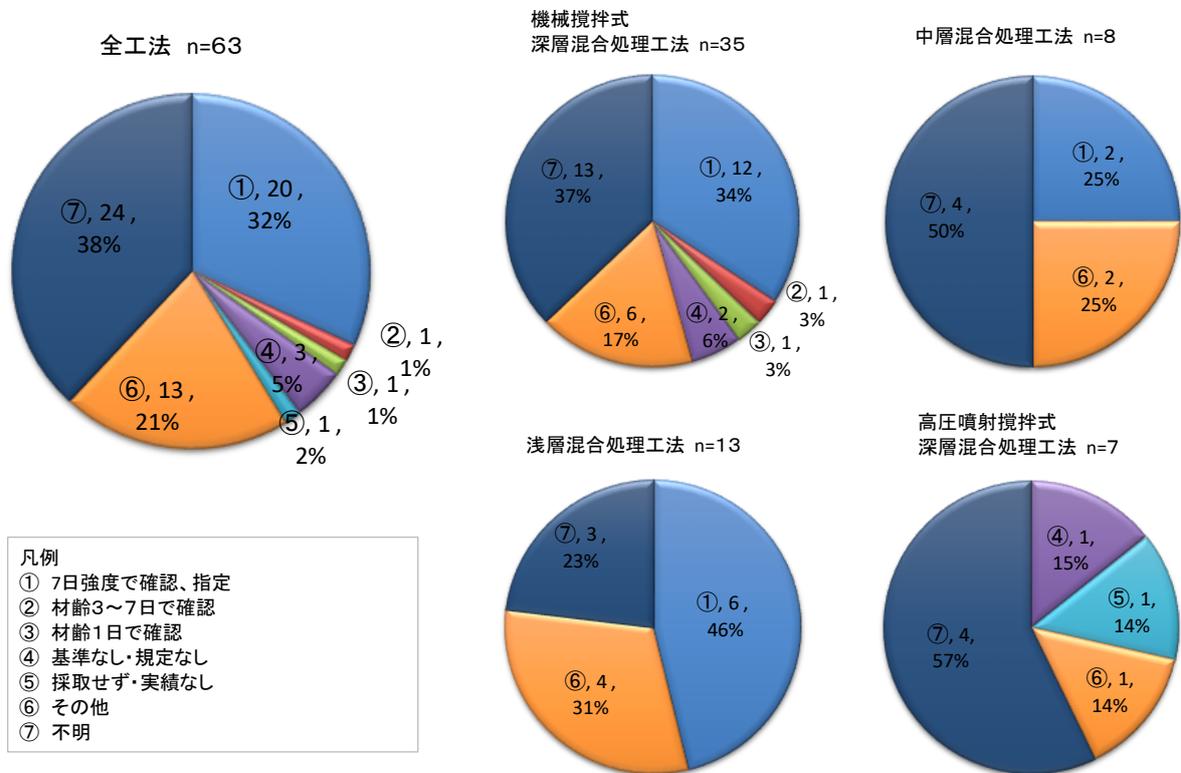


図 2.2.36 品質に関する項目 (未固結試料：早期材齢での評価結果)

(グラフ内数字：工法数，割合)

(36) 品質に関する項目 (圧縮試験結果：判定方法)

圧縮強度結果試験の判定方法に関するアンケート結果を図 2.2.37 に示す。

BCJ 指針に記載されている方法により判定する工法が最も多い。なお、凡例中、「③BCJ 指針に準じる」は、A 法あるいは B 法によるなどの記載がなかった回答結果である。機械攪拌式深層・中層・浅層混合処理工法では BCJ A 法 (品質のばらつきを想定する場合の検査手法) により、高圧噴射攪拌式では BCJ B 法 (品質のばらつきが事前に想定できない場合の検査) により判定する工法もある。

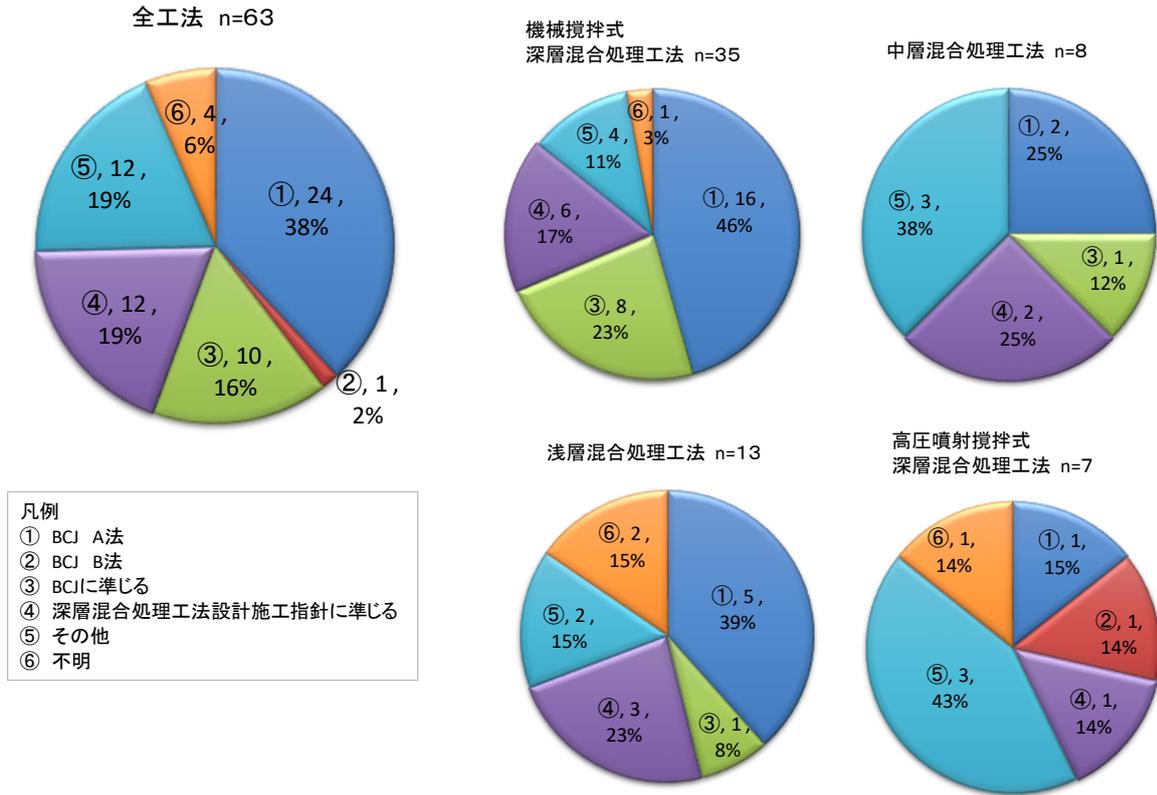


図 2.2.37 品質に関する項目 (圧縮強度試験結果の判定方法)
(グラフ内数字：工法数，割合)

(37) 施工体制（施工者：条件の付与など）

施工体制の施工者（施工条件の付与など）に関するアンケート結果を図 2.2.38 に示す。

全ての分類で、開発者のほか指定施工会社・加入施工店あるいは協会加入会社・会員企業が施工する体制をとっている工法も同程度の割合が多い。

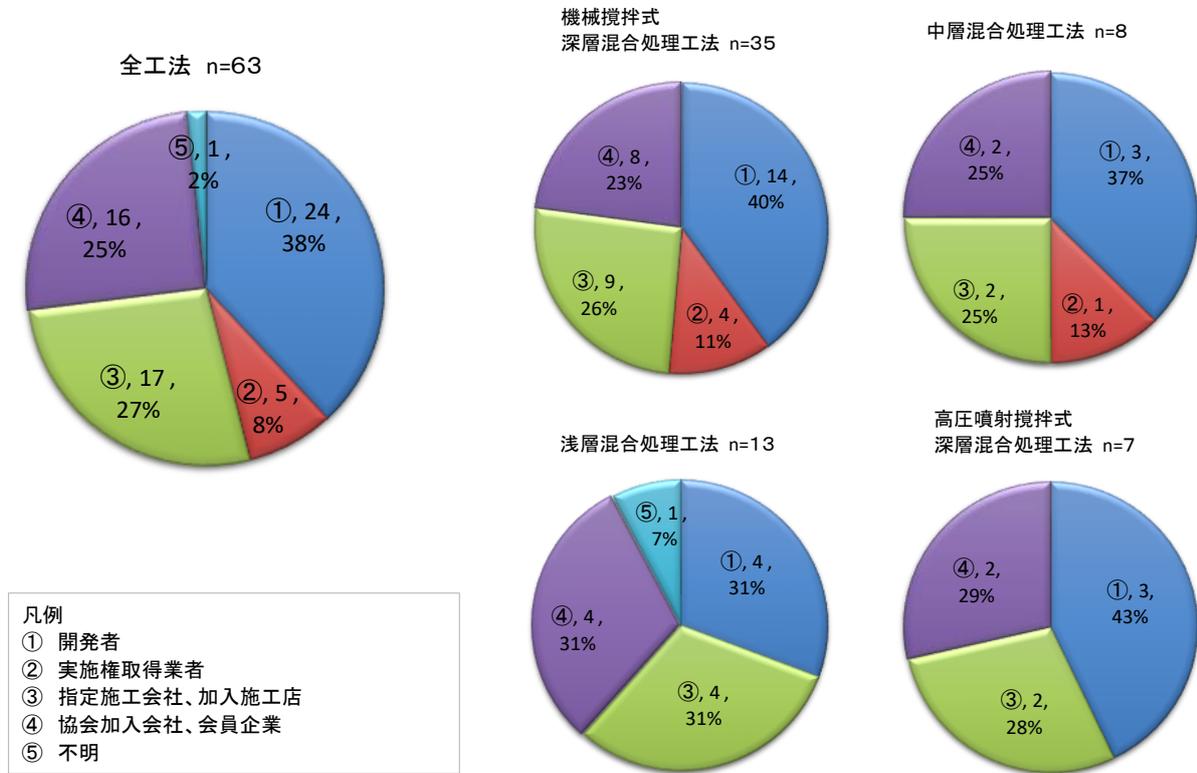


図 2.2.38 施工体制（施工者：施工条件の付与など）

（グラフ内数字：工法数，割合）

(38) 施工体制（施工不良時の対応会社：性能証明取得会社と施工会社が異なる場合）

施工時に不具合が生じた場合の対応に関するアンケート結果を図 2.2.39 に示す。

機械攪拌式深層・浅層・高圧噴射攪拌式深層混合処理工法では実施工者が対応する割合が最も多い。中層混合処理工法では研究会で対応する割合が 50%となっており、研究会を組織している工法の割合が多いためと考えられる。

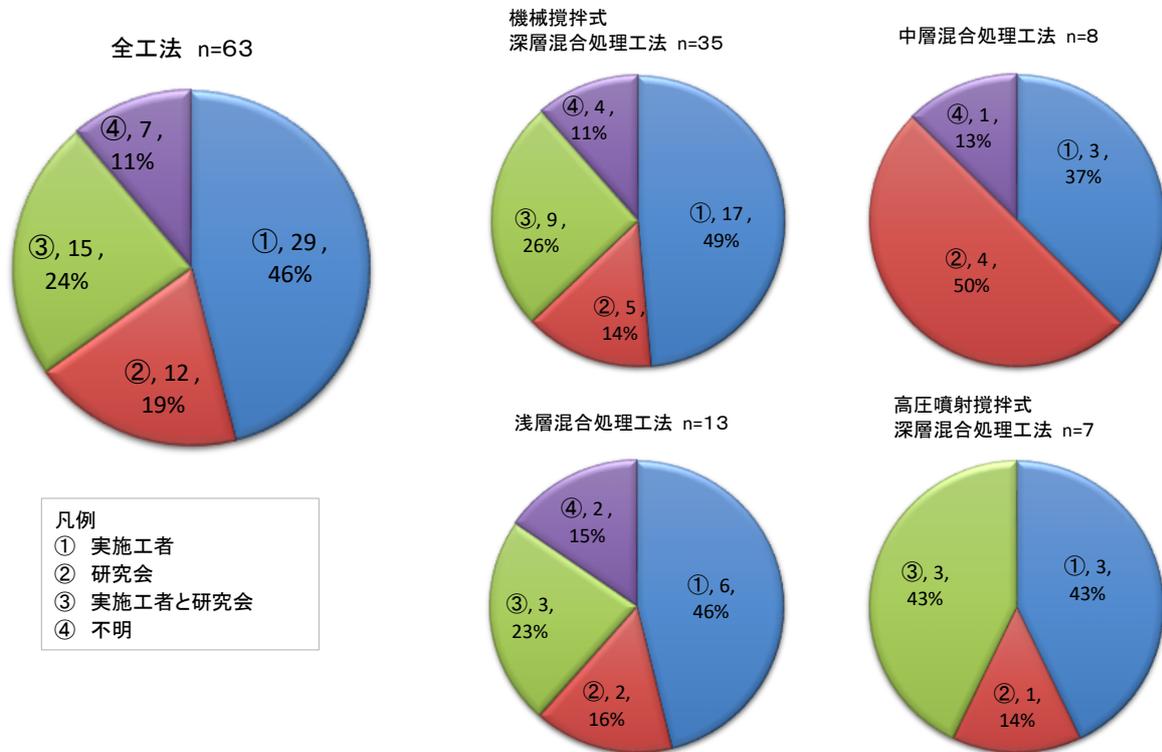


図 2.2.39 施工体制（施工不良時の対応方法）
（グラフ内数字：工法数，割合）

(39) 実績 (施工地域)

実績 (施工地域) に関するアンケート結果を図 2.2.40 に示す。

機械攪拌式深層・浅層混合処理工法では全国を対象としている工法が 75%を超えている。中層混合処理工法では、北海道・沖縄を除く全国を対象としている工法が 50%程度となっている。

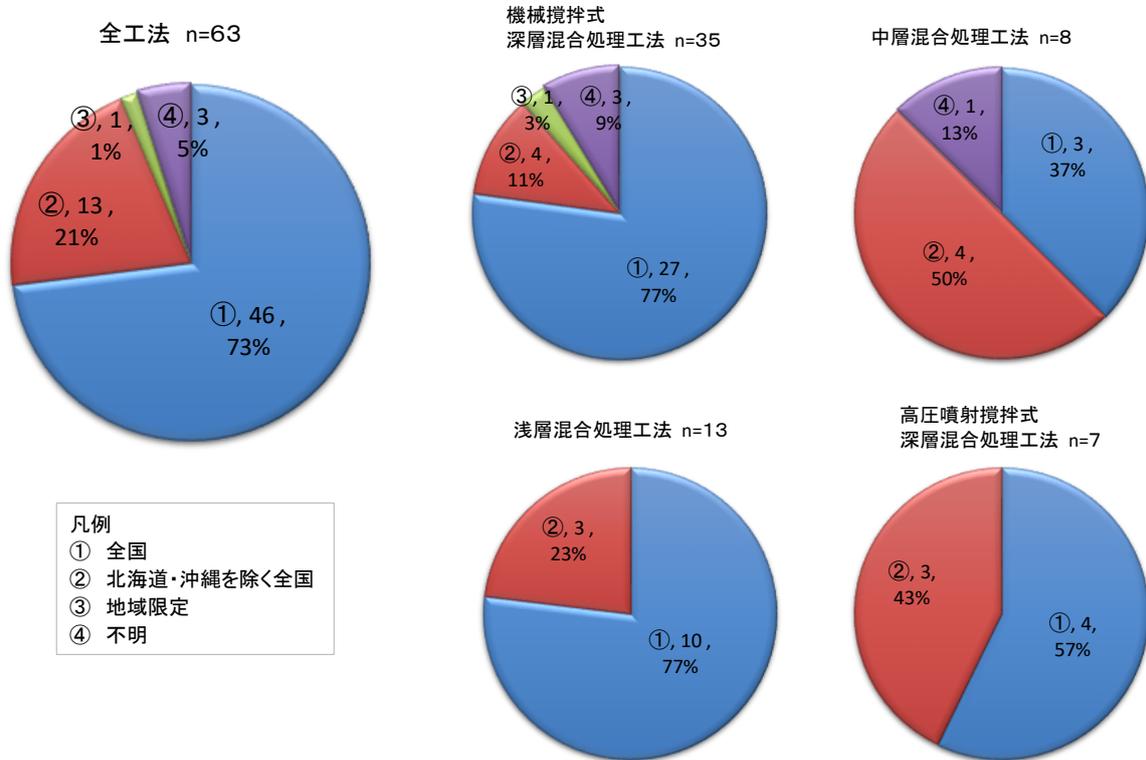


図 2.2.40 実績 (施工地域)
(グラフ内数字 : 工法数, 割合)

(40) - 1 実績 (施工高：開発以降)

実績 (施工件数：開発以降) に関するアンケート結果を図 2.2.41 に示す。

機械攪拌式深層混合処理工法では 1,000 件を超える実績のある工法が 40%程度となっている。高圧噴射攪拌式深層混合処理工法は、他の分類に比べて実績が少ない。

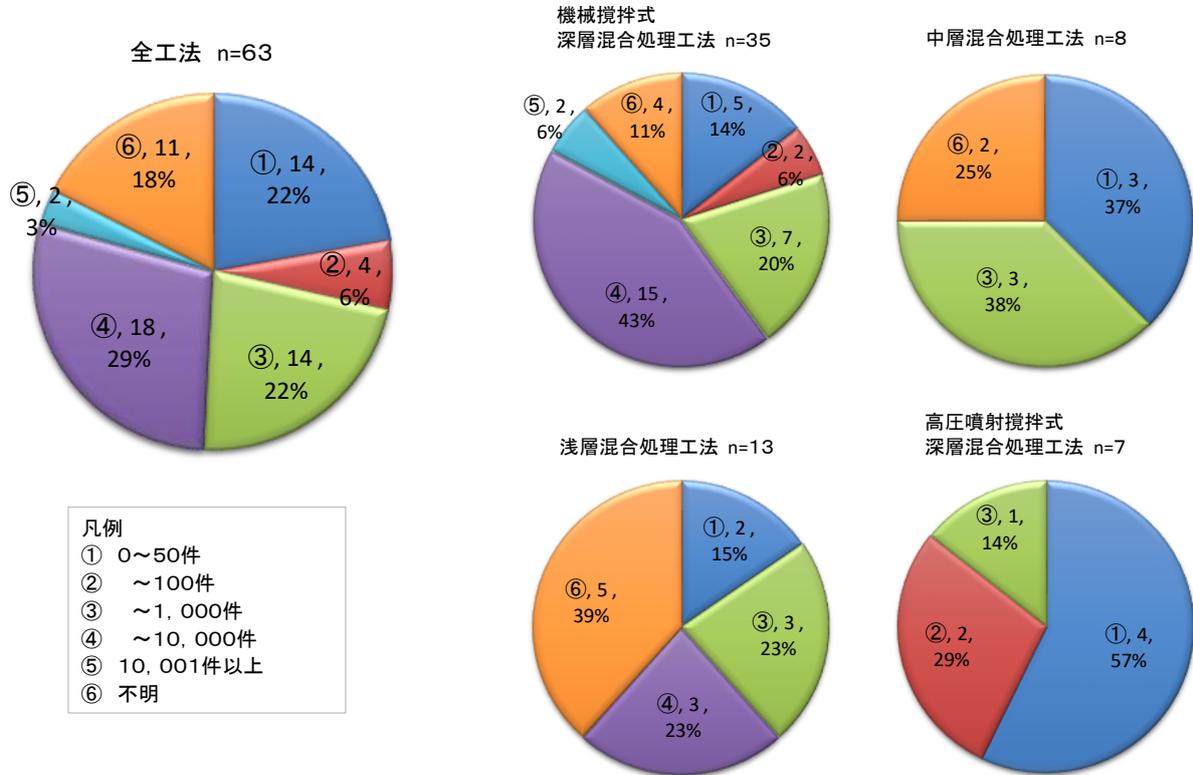


図 2.2.41 実績 (施工件数：開発以降)
(グラフ内数字：工法数，割合)

(40) - 2 実績 (施工高 : 直近 5 年間)

実績 (施工件数 : 開発以降) に関するアンケート結果を図 2.2.42 に示す。

機械攪拌式深層混合処理工法では 100~1,000 件の実績がある工法が 40%程度となっている。高圧噴射攪拌式深層混合処理工法は、他の分類に比べて実績が少ない。

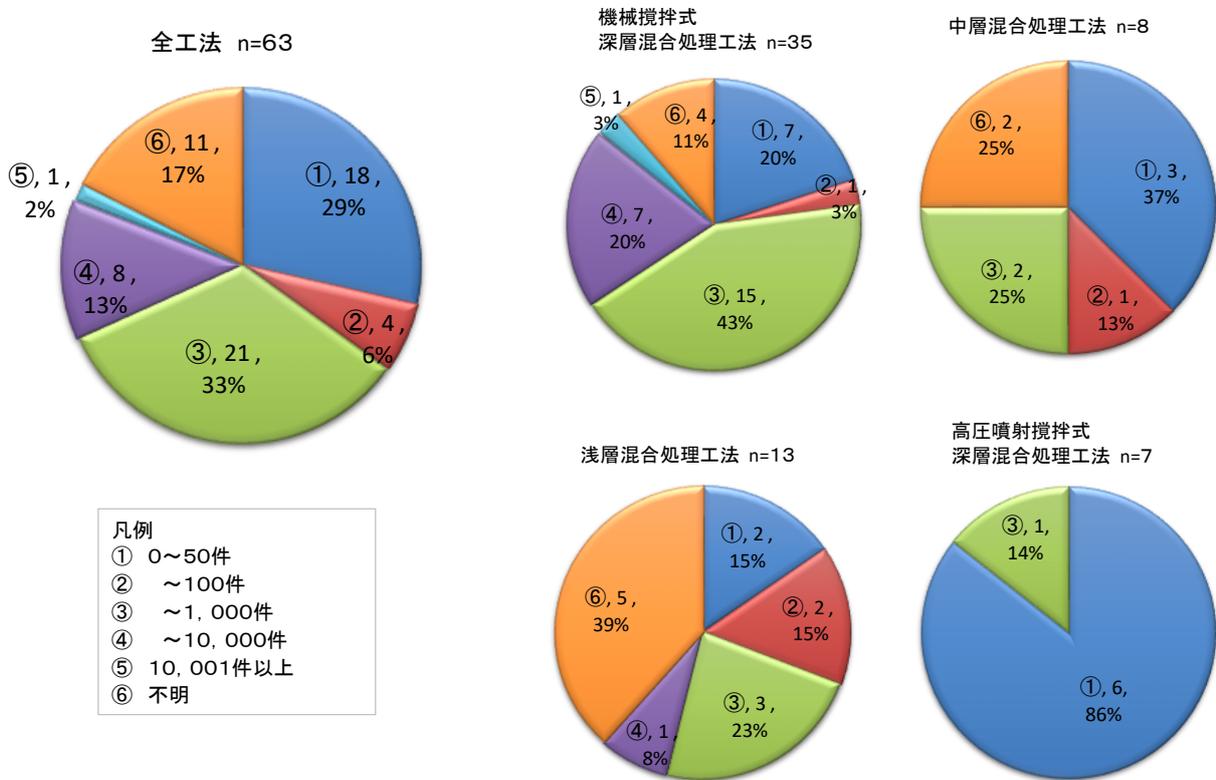


図 2.2.42 実績 (施工件数 : 直近 5 年間)

(グラフ内数字 : 工法数, 割合)

(4 1) 施工単価

施工単価（2019年3月集計時点）に関するアンケート結果を図 2.2.43 に示す。アンケートは以下のような条件で依頼した。

【深層の場合】

- a) 改良深度：GL～GL-20m 程度
- b) 設計強度：0.5～5.0N/mm² 程度
- c) 改良ボリューム：1,000～5,000m³（空堀り体積を除く）

【中層の場合】

- a) 改良深度：GL～GL-10m 程度
- b) 設計強度：0.5～5.0N/mm² 程度
- c) 改良ボリューム：1,000～5,000m³（空堀り体積を除く）

【浅層の場合】

- a) 改良深度：GL～GL-2m 程度
- b) 設計強度：0.3～0.5N/mm² 程度
- c) 改良ボリューム：1,000～5,000m³（空堀り体積を除く）

アンケートの結果、〇〇～〇〇円といった幅をもった回答に関しては重複してそのまま集計している。なお、施工単価は種々の条件（改良深度、ボリューム、改良体の設計基準強度等）によって異なることに留意が必要である。

アンケート結果における施工単価は、概ね以下の範囲である。

機械攪拌式深層混合処理工法：5,000～30,000 円/m³

中層混合処理工法：4,000～17,000 円/m³

浅層混合処理工法：4,000～20,000 円/m³

高圧噴射攪拌式深層混合処理工法：35,000～85,000 円/m³

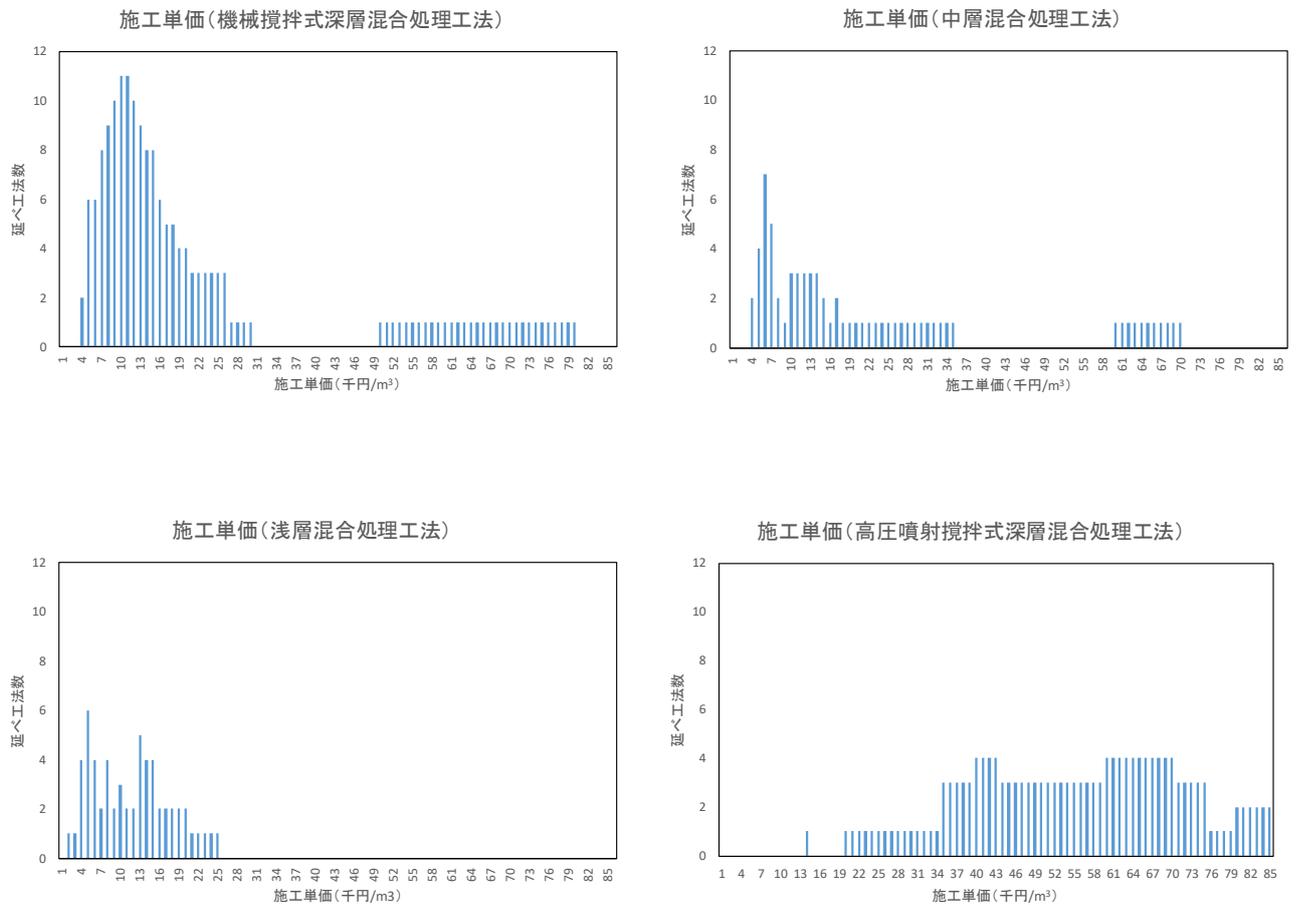


図 2.2.43 施工単価