

# セメント系固化材を用いた改良体の長期安定性に関する研究

(一社)セメント協会 セメント系固化材技術専門委員会



## 1. はじめに

セメント系固化材は、1970年頃にセメントを母材として、土を固めるために有効な各種成分を添加するなどして開発された製品であり、約50年の歴史を有している。この間に各種地盤改良工法の発展とともに多方面の改良現場で適用されるようになり、2017年度の需要量は829万tに及び、社会資本整備の一翼を担う材料として高い評価を得ている。

しかしながら、一般のセメントやコンクリートと比較してその歴史はまだ浅いため、セメント系固化材による改良土の強度の経年変化や耐久性についての調査事例や報告は少ないのが実状である。そこで、セメント協会では、1990年に千葉県習志野市でセメント系固化材を用いた試験施工<sup>1)</sup>を実施し、改

良体の物理的および化学的安定性に関する追跡調査を行い(以下、1990年施工改良体試験と称す)、材齢22年までの結果をレポートとしてとりまとめ、2014年2月に本誌で発表している<sup>2)</sup>。ここで確認された主な成果は、下記の2点である。

- ① 現場改良体よりコアボーリングにて採取した供試体の一軸圧縮強さは、材齢5年程度まで増進を続けて材齢28日強度の3倍に達し、その後も同等の強度を維持して低下は生じていない。
- ② 改良体中のカルシウム含有量は施工時からほぼ一定で推移しており、長期材齢においてもセメント水和物も安定して存在している。

今回紹介する研究は、セメント系固化材を用いた改良体の長期安定性検証の2例目として、神奈川県横須賀市の(国研)海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所と共同で取り組んでいるものであり、2009年2月に同研究所の円形土槽内で試験施工を実施し、改良体の調査を継続している。本研究の主目的は、以下の2点である。

- ① 長期材齢(材齢20年までを予定)での改良体の物理的・化学的安定性の検証
- ② 2000年頃より販売が開始された六価クロム溶出低減型の特殊土用固化材と従来の一般軟弱土用固化材との強度発現性、六価クロム溶出特性ならびに周辺土壌に対する影響等の比較

本稿では、材齢5年までの試験結果を紹介する。

### セメント系固化材技術専門委員会メンバー

委員長	黒澤 功	宇部三菱セメント(株)
委員	本田欽也	日鉄住金高炉セメント(株)
	酒井秀一	日鉄住金セメント(株)
	重田輝年	(株)トクヤマ
	森 喜彦	太平洋セメント(株)
	米田 修	宇部興産(株)
	佐々木慎一	麻生セメント(株)
	飯田達郎	デンカ(株)
	二戸信和	(株)デイ・シイ
	土肥浩大	三菱マテリアル(株)
	根本佳則	日立セメント(株)
	吉田雅彦	住友大阪セメント(株)



写真1 試験フィールドおよび施工の様子

表1 試料土の土質性状

含水比 (%)	土粒子密度 (g/cm <sup>3</sup> )	強熱減量 (%)	コンシステンシー			粒度区分 (%)			
			液性限界 (%)	塑性限界 (%)	塑性指数	礫 2~75mm	砂 0.075~2mm	シルト 0.005~0.075mm	粘土 ~0.005mm
88.5	2.769	14.4	149.1	38.2	110.9	6	16	16	62

## 2. 試験概要

### 2-1. 試験フィールドおよび施工条件<sup>3,4)</sup>

本試験は、港湾空港技術研究所にある内径6mの円形土槽内に(に施工した改良体)で実施している。円形土槽の土は神奈川県産の火山灰質粘性土(以下、試料土と称する)に置き換え、φ60×300cmの柱状改良体を一般軟弱土用固化材と特殊土用固化材を用いてそれぞれ4本打設した。写真1に試験フィールドである円形土槽と改良体の施工状況を示す。

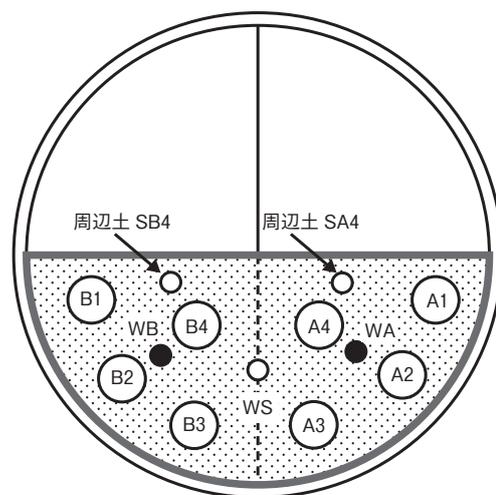
改良対象とした試料土の土質性状を表1に示す。火山灰質粘性土の土質性状例<sup>5)</sup>の範囲内の試料土である。改良体の配合は表2に示すとおり、固化材添加量350kg/m<sup>3</sup>、水固化材比80%とした。打設後、未改良の試料土で20cm程度覆土した。また、円形土槽内に、地下水の水質分析試料採取のための井戸を二か所設け、地下水位測定のための井戸を一か所設けた。施工配置を図1に示す。

### 2-2. 地下水位

地下水位について施工後から観測を行った。測定は東京測器社製の水位計(KW-10C)を用いた。地下水位の測定場所は、地下水位観測井(WS)とし、測定間隔は、1時間に1測定とした。

表2 柱状改良体の配合

固化材添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	水固化材比 (%)
350	80



- A: 一般軟弱土用固化材を用いた柱状改良体 (改良体 A)
- B: 特殊土用固化材を用いた柱状改良体 (改良体 B)
- : 地下水採取井 (WA, WB)
- : 地下水位測定井 (WS)

図1 施工配置(平面図)

図2に施工後から6か月間の水位と降水量の測定結果を示す。水位は、降水量の影響を敏感に受けるものの、平均するとG.L.-2.0m程度となった。

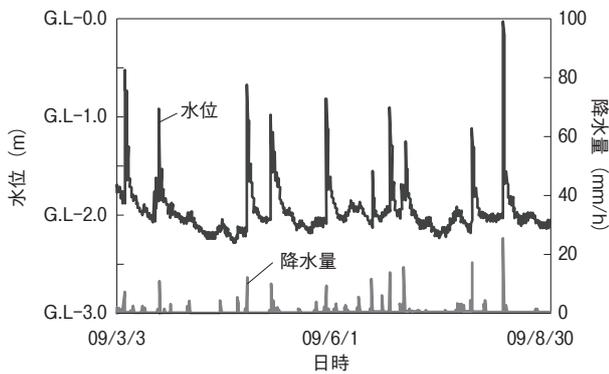


図2 水位と降水量※の変動(施工後から6か月)  
 [降水量は、気象庁三浦観測所のデータを引用(気象庁ホームページ <http://www.jma.go.jp/jmA/index.html>)]

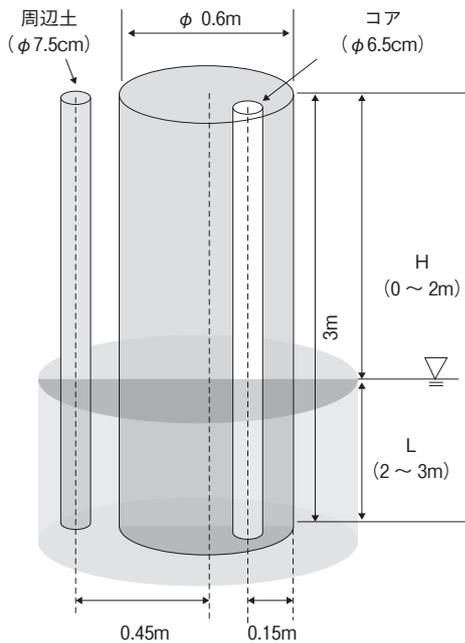


図3 試験供試体の採取位置

6か月の測定期間以降、材齢ごと(1年, 3年, 5年)の供試体採取前に地下水位測定を行ったところ、地下水位はG.L.-2.0m程度であり、施工後から6か月の平均水位と同様であった。

### 2-3. 試料採取および試験供試体の成型

コアボーリングにより採取する試料は、図3および写真2に示すとおり、柱状改良体から採取するコアと柱状改良体の周辺から採取する周辺土とした。コア(φ6.5cm)は、柱状改良体の端から15cm内側の場所から採取した。採取したコアは、カッターにより高さ13cm程度の供試体に成型(乾式で切断)し、一軸圧縮強さ試験に用いた。周辺土は、柱状改良体の

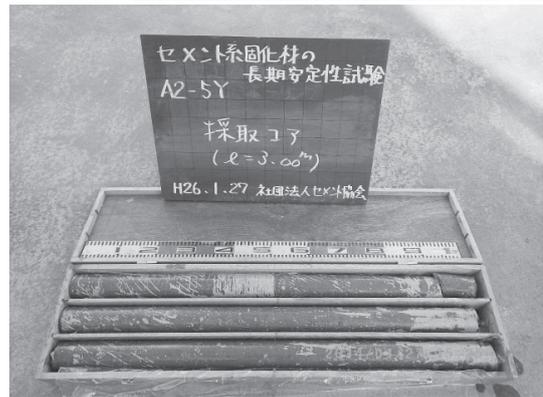
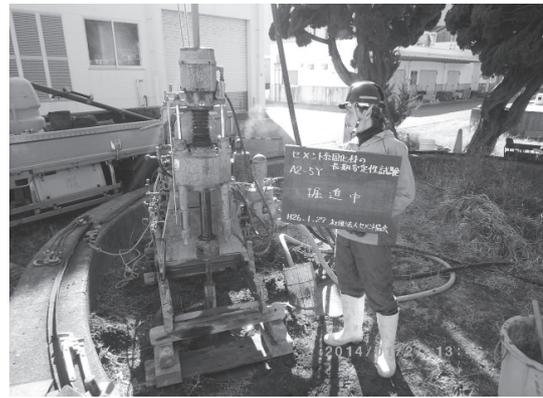


写真2 コア採取の状況と採取されたコアの一例

表3 試験項目および試験方法(試験規格)

試験項目	試験方法
一軸圧縮強さ	JIS A 1216:2009「土の一軸圧縮試験方法」
含水比	JIS A 1203:2009「土の含水比試験方法」
湿潤密度	JIS A 1225:2009「土の湿潤密度試験方法:ノギス法」
溶出試験	46号法 環境庁告示第46号法(以下、環告46号法とする)
化学分析	CaO 不溶残分のろ液を用い、JIS R5202:1999「ポルトランドセメントの化学分析」に準拠
pH	地盤工学会基準 JGS 0211-2000「土懸濁液のpH試験方法」
XRD	—

中心から45cm離れた土壌から採取し、試験に用いた。ただし、採取した周辺土は、A4およびB4の周辺のみとした。なお、コアおよび周辺土の採取位置に関し、地下水位の結果より、平均水位より上の部分(0~2m)をH、平均水位より下の部分(2~3m)をLと標記することとした。

### 2-4. 試験供試体と試験項目

試験の対象は、改良体、改良体の周辺土および地下水とした。試験項目および試験方法を表3に示す。

表4 改良体の一軸圧縮強さの平均 (kN/m<sup>2</sup>)

材齢	28日		1年		3年		5年	
	H	L	H	L	H	L	H	L
改良体A	1899	1931	3765	3283	4252	3564	4423	4031
	1910		3604		4023		4299	
改良体B	978	1056	2618	2565	2764	2178	2673	2607
	1004		2600		2568		2658	

表5 改良体の一軸圧縮強さの強度比(5年/28日)

材齢	1年		3年		5年	
	H	L	H	L	H	L
改良体A	1.98	1.70	2.24	1.85	2.33	2.09
	1.89		2.11		2.25	
改良体B	2.68	2.43	2.83	2.06	2.73	2.47
	2.59		2.56		2.65	

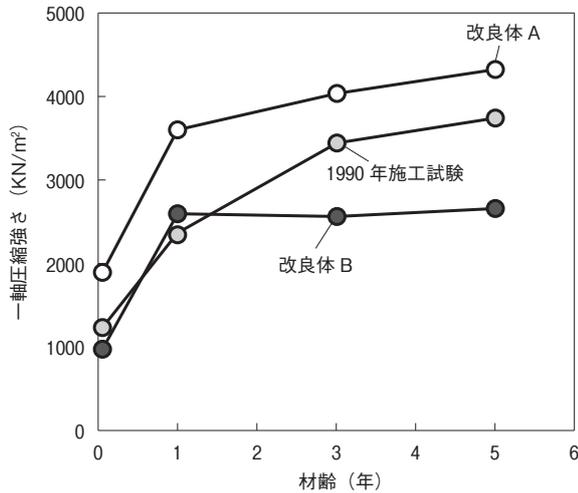


図4 材齢と改良体の一軸圧縮強さの関係<sup>6)</sup>

表6 一軸圧縮強さの変動係数

改良体名	28日	1年	3年	5年
A	0.32	0.17	0.18	0.21
B	0.46	0.33	0.4	0.35

表7 供試体採取位置と含水比の関係(%)

材齢	28日		1年		3年		5年	
	H	L	H	L	H	L	H	L
改良体A	80.60	80.27	80.60	80.27	76.30	77.61	78.81	79.81
	80.44		80.44		76.95		79.31	
改良体B	86.30	85.18	84.41	83.77	77.15	77.19	82.72	82.34
	85.74		84.09		77.17		82.53	

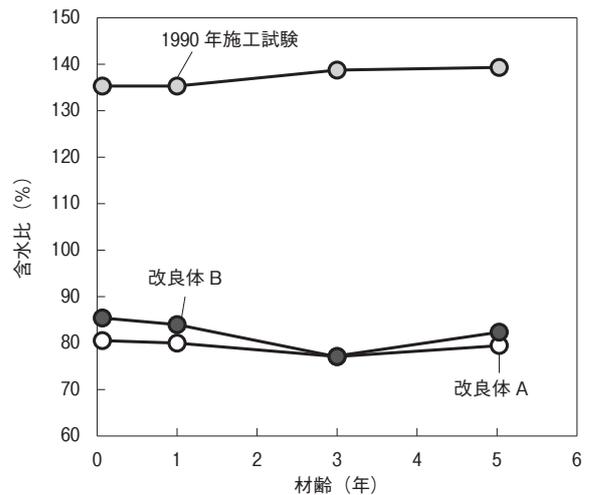


図5 材齢と改良体の含水比の関係

### 3. 試験結果

#### 3-1. 強度試験および物理試験

##### 3-1-1. 改良体の一軸圧縮試験結果

材齢と改良体の一軸圧縮強さの関係を表4および図4に、改良体の一軸圧縮強さの強度比(5年/28日)を表5に、各材齢の一軸圧縮強さの変動係数を表6に示す。図3には1990年施工改良体試験の結果も併記した。改良体の強度は材齢28日経過後も増加し、強度比は材齢5年時で改良体Aは2.25、改良体Bは2.65となり、その後の長期材齢も増加または安定的に推移していることが確認された。また、同種の固化材を使用した1990年施工改良体と今回の改良体Aの強度発現性は、同様の傾向を示した。なお、一軸圧縮強さの変動係数の最大は材齢28日であり、改良体Aが0.32、改良体Bが0.46であった。改良体の変動係数に関しては、0.10~0.50との報告<sup>7)</sup>があり、本試験施工は一般的な水準の施工であると考えられる。

##### 3-1-2. 改良体の含水比試験結果

各材齢における改良体の含水比を表7、図5に示す。改良体の含水比は、材齢による違いが認められるが、経年による明確な傾向は認められなかった。また、地下水位の上と下とでの違いはほぼ見られなかった。

#### 3-2. 化学試験

##### 3-2-1. 改良体からの六価クロム溶出試験結果

試験に供した試料は、地下水位の上下それぞれの

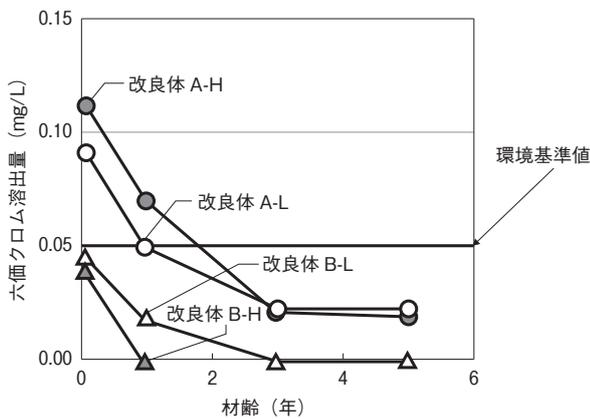


図6 材齢と改良体からの六価クロム溶出量(最大値)の関係<sup>7)</sup>

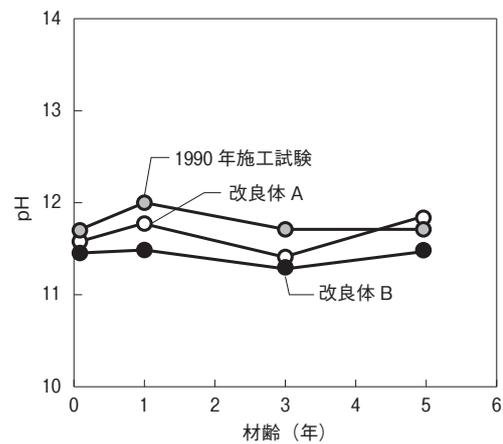


図8 材齢と改良体のpHの関係

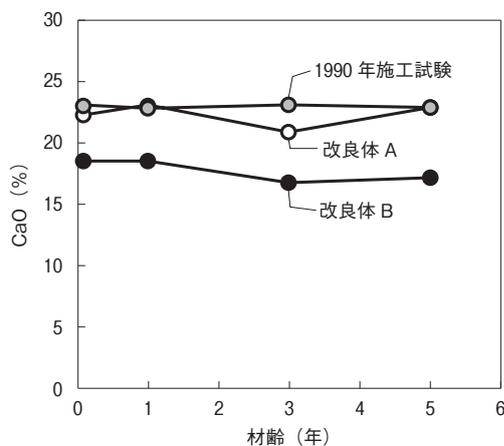


図7 材齢と改良体のCaO含有量の関係

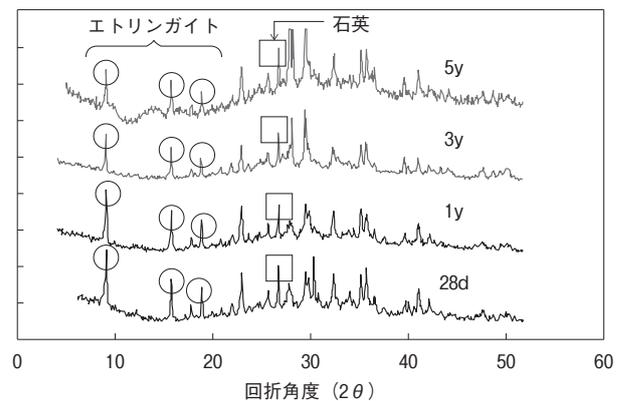


図9 粉末X線回折結果の経年変化

平均強度に最も近いものとした。材齢と改良体からの六価クロム溶出量(最大値)の関係を図6に示す。六価クロムが溶出しやすい火山灰質粘性土を対象としたため、一般軟弱土用の固化材を用いた改良体Aの材齢1年までは溶出量が環境基準値(0.05mg/L)を超過したものの、材齢3年以降は環境基準値以下であった。一方、特殊土用固化材を用いた改良体Bでは、5年まですべての材齢で環境基準値を満足した。また、改良体の周辺土(約11cm離れた未改良土)および円形土槽内の観測井戸から採取した地下水については、いずれの材齢からも六価クロムは検出されなかった。

### 3-2-2. 化学分析結果

材齢と改良体のCaO含有量の関係を図7に示す。地下水位の上下に係わらず、改良体AのCaO量は20~23%程度、改良体Bは16~19%程度で維持してお

り、長期材齢でも変化は認められなかった。

### 3-2-3. pH試験結果

材齢と改良体のpHの関係を図8に示す。改良体の種類および地下水位の上下に係わらず、pHは11~12を維持しており、長期材齢でも変化は認められなかった。

### 3-2-4. 粉末X線回折結果

粉末X線回折結果の経年変化を図9に示す。材齢5年でもセメント系固化材の水和物の一種であるエトリンガイトのピークに大きな変化はなく、長期にわたり安定的にセメント水和物が存在していることが確認された。

## 4. まとめ

セメント系固化材による改良体の長期的な安定性を把握するため、試験施工により築造した火山灰質

粘性土の改良体を追跡調査した。その結果、現段階で以下のことが判明した。

- (1) セメント系固化材を用いた改良体の強度は、材齢5年時点で材齢28日の2倍以上となっており、長期材齢でも安定的に維持されていることが確認された。
- (2) 六価クロム溶出量は、火山灰質粘性土を試料土とした今回の試験でも、一般軟弱土用固化材を用いた改良土では材齢3年以下、特殊土用固化材を用いた改良土では、全材齢で環境基準値を満足した。また、材齢5年までのすべての材齢では、周辺土および地下水からの六価クロムの溶出は検出されなかった。
- (3) 改良体の含水比、CaO量およびpHは、地下水位の上下に係わらず、材齢5年で大きな変化は認められなかったことから、周辺土へのセメント成分の溶脱等はないものと判断された。
- (4) 粉末X線回折結果によれば、材齢5年でも材齢28日と同様にセメント水和物が確認され、こ

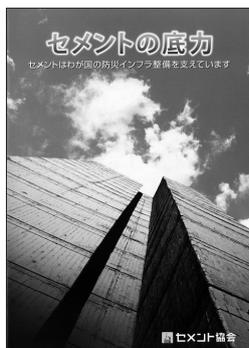
の水和物が長期にわたり強度増進および安定性に寄与していると推測された。

本研究は現在、材齢10年を迎えて各種試験を実施中である。今後、材齢20年まで追跡調査を継続する予定であり、セメント系固化材による改良体の長期的な安定性を立証して公開し、セメント系固化材のさらなる利用拡大を図りたい。

#### [参考文献]

- 1) 社セメント協会/セメント系固化材を用いた改良体の長期安定性に関する研究2002.3
- 2) 清田正人, 松山祐介, 重田輝年, 泉尾英文, 中村弘典: セメント系固化材を用いた改良体の長期安定性-材齢22年-/セメント系構造物と周辺地盤の化学的相互作用研究小委員会成果報告書pp.473~478.2014
- 3) 中村弘典, 高橋章市, 清田正人, 田坂行雄, 柳原勝也/セメント系固化材を用いた改良体の長期安定性に関する研究: 第64回年次学術講演会pp.887~888.2009
- 4) 中村弘典, 高橋章市, 北詰昌樹, 森川嘉之/セメント系固化材を用いた改良体の長期安定性に関する研究-材齢1年結果報告-/第65回年次学術講演会pp.1065~1066.2010
- 5) 土質試験の方法と解説-第一回改訂版-(公社)地盤工学会
- 6) 野田潤一他/セメント系固化材を用いた改良体の長期安定性に関する研究-材齢5年結果報告-: 第69回年次学術講演会pp.183~184.2014
- 7) 日本建築センター/建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針

・無料でお届けします



## パンフレット・セメントの底力

### セメントはわが国の防災インフラ整備を支えています



セメント協会は未曾有の被害をもたらした東日本大震災をはじめ、頻発するゲリラ豪雨や竜巻などの自然災害の脅威から、国民の命や生活を守るために必要な措置を施すことが何よりも重要な課題と捉え、防災インフラ整備の重要性を訴えるパンフレット(A4判・16ページ)を作成しました。

様々な自然災害時に対し、強固な躯体を持つコンクリート構造物やセメント系固化材が果たした役割や有用性を、①水害・土砂災害から「セメントが守る力」、②軟弱な地盤を「セメントが固める力」、③災害から人々を「セメントが包む力」、④人と人、街と街とを「セメントがつなぐ力」の項目にわけ、

各種の事例を写真と図版でわかりやすく解説しています。

このパンフレットにより人々の命や暮らしを守るセメント・コンクリートの力、これから必要となる公共事業についてご理解いただき、より一層安全への意識を高めるための一助としていただきたく作成しました。ご希望の方には無料でお届けいたします。申込みは部数と送付先を明記の上、下記までファクスでお申込み下さい。

セメント協会 広報部門 ☎03-5200-5062