

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22年試験結果報告 —

(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

地盤改良工事にセメント系固化材が使われ始めて20年余り経過した1990年に、改良体の長期的な安定性に関する情報が少ない状況から、セメント協会では火山灰質粘性土を対象に改良柱体を作製し長期追跡調査を開始した。追跡調査は10年間とし、調査の実施と成果報告^{1~4)}を適宜行ってきた。追跡調査は2000年に完了したが、その時点で予備供試体として作製していた改良体が残った。改良体は、材齢10年を経過した貴重なものであり、さらなる長期的な安定性の検討が望まれることから、改良体を埋戻して調査を継続した。その後、12年経過した2012年に材齢22年の追跡調査を実施した。本稿ではその調査結果を報告する。

* セメント系固化材技術専門委員会

【委員長】 近藤秀貴(住友大阪セメント(株))
【委員】 本田欽也(日鉄住金高炉セメント(株))、了道 久(日鉄住金セメント(株))、重田輝年(株)トクヤマ、松山祐介(太平洋セメント(株))、有馬克則(宇部興産(株))、金城徳一(宇部三菱セメント(株))、田中篤史(株)デイ・シー、飯田達郎(電気化学工業(株))、佐々木慎一(麻生セメント(株))、清田正人(三菱マテリアル(株)(2013年7月新任))、岸本幸尚(三菱マテリアル(株)(2013年7月退任))、根本佳則(日立セメント(株))、荒木一司(住友大阪セメント(株))

A STUDY ON LONG TERM STABILITY OF SOIL-CEMENT COLUMNS IMPROVED BY GEOCEMENT (by The Committee on Geocement)

2. 試験の概要

2-1. 試験施工の概要

試験施工の概要を表1に示す。改良する対象土は、含水比122.4%、湿潤密度1.325g/cm³の火山灰質粘性土であり、改良場所の地下水位は改良深さより深い位置であった。施工は、均質な改良体を作製するために、モルタルミキサを使用してアースオーガーにより掘削した土、固化材および水を混練し、流動性を確保した改良土を掘削孔に充てんした(写真1)。充てん後、40cm程度の覆土を行った状態で長期試験を開始した。なお、固化材は一般軟弱土用セメント系固化材を使用し、目標の一軸圧縮強さを

表1 試験施工の概要

施工場所	千葉県習志野市内
施工機種	・0.4m ³ バックホウ ・0.5m ³ モルタルミキサ ・アースオーガー
固化材	一般軟弱土用セメント系固化材
対象土	火山灰質粘性土 (含水比122.4%) (湿潤密度1.325g/cm ³)
施工方法	1) アースオーガーにより削孔 2) モルタルミキサにより混練 3) 掘削孔に改良土を充てん
施工数量	φ45cm×H200cm改良体×10本 (調査材齢:28日, 6か月, 1年, 2年, 3年, 5年, 7年, 10年, 予備)
目標一軸圧縮強さ	q _u = 1,000kN/m ²



写真1 試験施工の状況(1990年)

表2 使用した固化材(一般軟弱土用)の化学成分(%)

強熱減量 ig.loss	二酸化けい素 SiO ₂	酸化アルミニウム Al ₂ O ₃	酸化鉄(Ⅲ) Fe ₂ O ₃	酸化カルシウム CaO	酸化マグネシウム MgO	三酸化硫黄 SO ₃
0.7	20.2	4.1	2.9	61.4	1.9	7.4

表3 配合および一軸圧縮強さ(室内、封緘養生)

配合			水固化材 比 (%)	一軸圧縮強さ*	
対象土	水	固化材		28日	10年
(kg)			(%)	(kN/m ²)	
600	525	200	262.5	1280	3660

※室内、封緘養生

1000kN/m²とした。固化材の化学成分を表2に、配合および室内にて封緘養生した供試体の一軸圧縮強さを表3に示す。

2-2. 周辺環境

本来、改良する対象土自体が周辺環境となるが、材齢10年時に異なる場所へ移設したため、本試験では材齢10年前後で周辺環境が異なる。表4に周辺環境条件を示す。材齢10年以降の環境は、土質区分が

表4 周辺環境条件

期間 (年)	場所	土質区分	含水比	湿潤密度
			(%)	(g/cm ³)
0~10	千葉県 習志野市	火山灰質 粘性土	122.4	1.325
10~22	千葉県 佐倉市	粘性土	63.2	1.615

粘性土となり、含水比が低く湿潤密度が高い環境である。なお、移設し土中に埋戻すさいに、改良体を4つに分割した。写真2に、材齢10年時の調査における掘起し状況と材齢22年時の掘起し状況を示す。

2-3. 試験項目および試料の採取位置

試験項目を表5に、試料の採取位置を図1に示す。経年変化を追跡調査する試料は、側面から5cm付

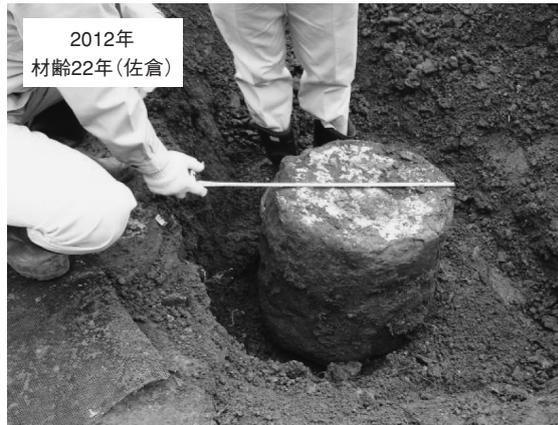


写真2 改良体の掘り出し状況

表5 試験項目および試験方法

試験項目	準拠	
物理試験	一軸圧縮強さ	JIS A 1216
	含水比	JIS A 1213
	針貫入勾配	JGS 3432
化学試験	CaO含有量	JCAS I-12
	pH	JGS 0211
	粉末X線回折	-
六価クロム溶出量	環告46号法(1991年8月)	

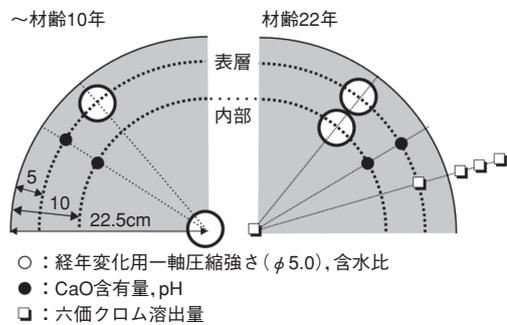


図1 試料の採取位置

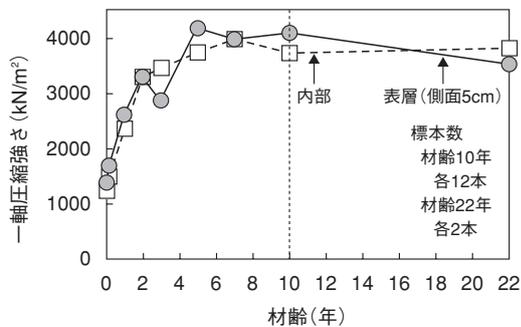


図2 一軸圧縮強さの経年変化

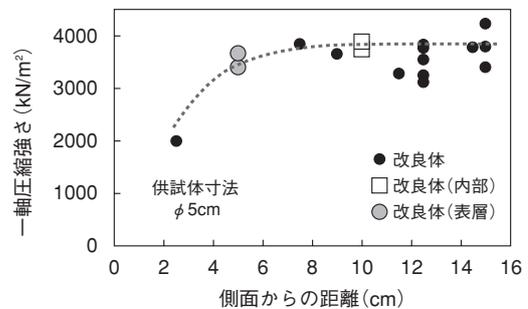


図3 側面からの一軸圧縮強さの分布(材齢22年)

近の「表層」と、表層より内側の「内部」(材齢10年までの調査：中心部(側面から22.5cm)、材齢22年調査：側面から10cm付近)より採取した。また、材齢22年の調査では、表層の状況をより詳細に把握するために、試料を側面から内部にむけて多点採取することで側面からの分布プロファイルを測定し、さらに針貫入試験により改良体表面の評価を行った。また、六価クロムの溶出量試験を、材齢22年の調査では実施した。

3. 試験結果

3-1. 一軸圧縮強さ

一軸圧縮強さについて、経年変化を図2に、材齢22年における側面からの分布を図3に示す。一軸圧縮強さは、材齢2年まで大きく増進し、材齢5年以降は同程度であった。材齢28日の強さと比較して、材齢10年では約3.4倍、移設後の材齢22年においても約3.2倍であり、長期にわたり安定的に一軸圧縮

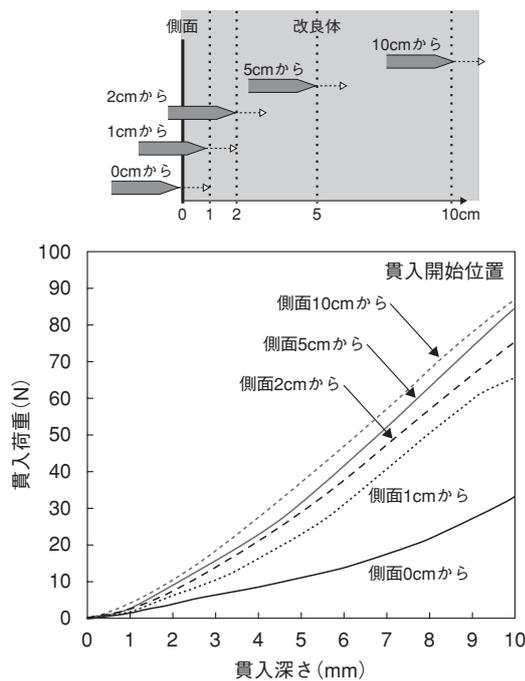


図4 針貫入試験状況および試験結果(材齢22年)

強さを維持していることが確認された。ただし、図3に示すように、側面から2.5cm付近より採取したコア供試体(φ 5 cm)では強さが低く、この点について針貫入試験で詳細な検討を行った。

3-2. 針貫入試験

針貫入試験について、貫入深さと貫入荷重の関係を図4に示す。本試験は、貫入針を一定の速度で貫入し、貫入深さと貫入荷重の関係(針貫入勾配)を評価することで強度性状を把握するものである。本試験を用いて、一軸圧縮強さが低い表層を中心に、より詳細な検討を実施した。図4に示すように、側面0 cmから貫入させた場合の針貫入勾配は、内部を貫入した結果よりも小さく、低強度層が存在することが確認されたが、その範囲は側面から1 cm付近までのごく表層域のみであった。側面から2.5cm付近のコア供試体の強さが低いのは、このごく表層の低強度層の存在によるものと考えられる。

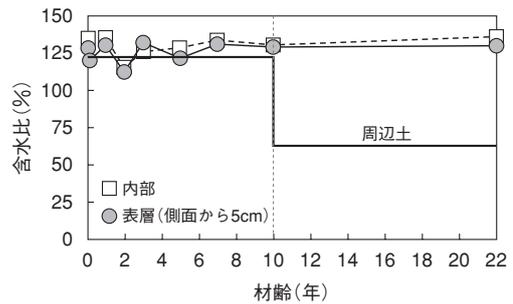


図5 含水比の経年変化

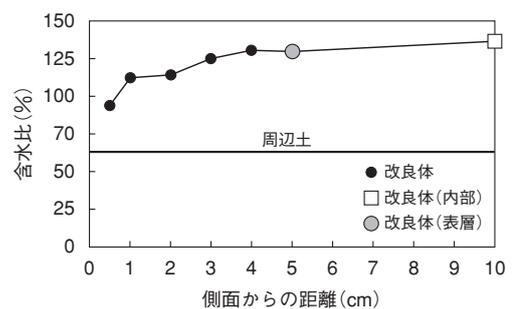


図6 側面からの含水比分布(材齢22年)

3-3. 含水比

改良体の含水比について、経年変化を図5に、材齢22年における側面からの分布を図6に示す。図5より、含水比は表層および内部ともに130%程度を維持しており、長期にわたり変化していない。ただし、表層の領域をより詳細に評価すると、図6に示すように、側面から3 cm程度までの領域において含水比が低下していた。これは、材齢10年以降の周辺土の含水比が63.2%と低いために、改良体内部の水分が周辺土へ拡散したものと考えられる。

3-4. CaO含有量

改良体および周辺土のCaO含有量について、経年変化を図7に、材齢22年における側面からの分布を図8に示す。図7より、CaO含有量は表層および内部ともに22~23%程度を維持しており、長期にわたり変化していなかった。ただし、表層の領域をより詳細に評価すると、図8に示すように、側面から2 cm程度までは内部に比べてCaO含有量が低いことが確認された。

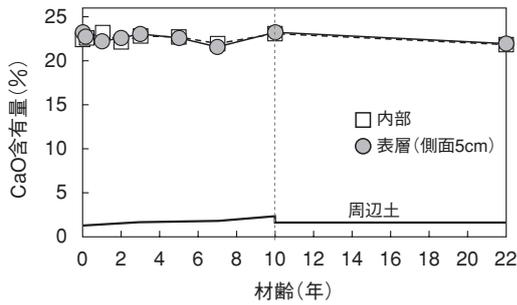


図7 CaO含有量の経年変化

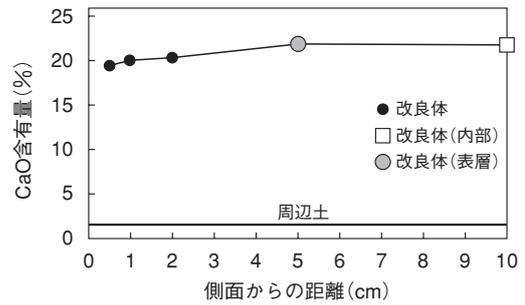


図8 側面からのCaO分布(材齢22年)

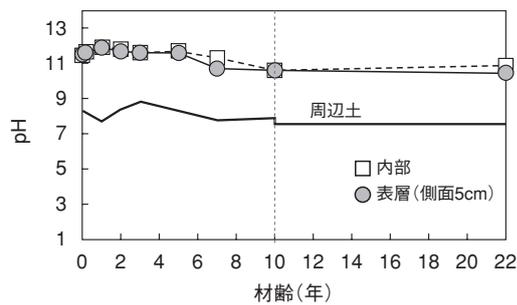


図9 pHの経年変化

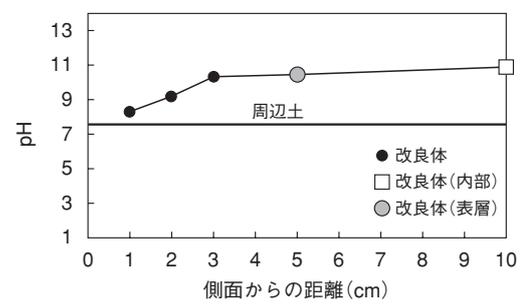


図10 側面からのpH分布(材齢22年)

3-5. pH

改良体および周辺土のpHについて、経年変化を図9に、材齢22年における側面からの分布を図10に示す。図9より、pHは内部および表層ともに、材齢5年までは11.5程度を維持していたが、その後低下する傾向が確認され材齢10年では10.5程度、材齢22年では10.7程度であった。表層の領域をより詳細に評価すると、図10に示すように、側面から2 cm程度までの領域においてpHが低いことが確認された。

3-6. 粉末X線回折

X線回折について、改良体内部の経年変化を図11に、材齢22年における表層と内部の比較を図12に示す。図11より、材齢22年でも水和物のピークが見られ、長期にわたり安定的に水和物が存在していることが確認された。また、材齢6か月では確認されなかったゲーレンナイト水和物のピークが、材齢10年および22年では確認されており、この反応生成

物が長期的な強度増進に寄与したものと考えられる。また、この反応にともなう水酸化カルシウムの消費が、図9に示す材齢5年以降のpHの低下に影響していると考えられる。表層の領域をより詳細に評価すると、図12に示すように、側面から1 cmの領域では、カルサイト(29.4°)の大きなピークが確認され水和物のピークは見られないことから、図10に示す表層のpH低下に影響しているものと考えられる。

3-7. 六価クロム溶出量

改良体の表層と内部および周辺土より採取した試料について、六価クロムの溶出量試験を行った結果を表6に示す。いずれの試料も土壤環境基準値(0.05mg/L)未満であり、問題の無いことが確認された。

4. おわりに

22年の長期間にわたり、セメント系固化材による

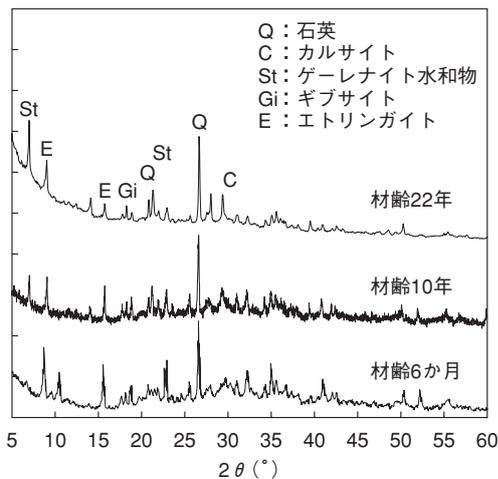


図11 X線回折の経年変化(内部)

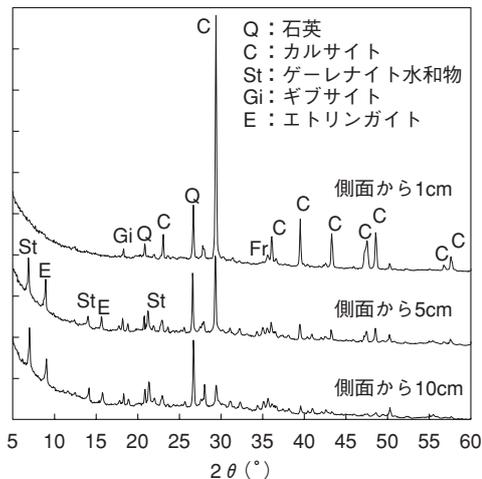


図12 表層と内部のX線回折(材齢22年)

表6 六価クロム溶出量試験結果(材齢22年)

試料	六価クロム溶出量(mg/L)
改良体 内部	0.005
改良体 表層	0.006
周辺土0~10cm	<0.005*
周辺土10~20cm	<0.005*
周辺土20~30cm	<0.005*

*定量下限値

改良体の長期的な安定性について追跡調査した。その結果、側面から1cm程度のごく表層で低強度層の存在や性状変化が確認されたが、内部においては、材齢10年と比較して、一軸圧縮強さ、pH、CaO含有量および生成水和物に変化が見られないことから、セメント系固化材による改良体が長期にわたり十分な安定性を有していることが確認された。ごく表層の性状変化は、移設により周辺環境が変化したことが大きく影響していると考えられるが、施工や調査時の試料採取などの影響も考えられる。なお、改良体は現在も千葉県佐倉市に埋設されており、今後も継続して調査を行う予定である。また、さらに改良体の長期的な安定性を検討するために、(独)港湾空港技術研究所と共同で長期試験⁵⁾を実施しており、表層の性状変化も含めて追跡調査を行う予定である。本委員会は、今後も継続して、セメント系固化材に関する技術的発展に資する情報発信を行って

いく次第である。

また、今回の調査を実施し検討を行うにあたり、京都大学勝見 武先生、広島大学半井健一郎先生の多大なご助言を頂いたことを謝意とともに付記する。

[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) 鈴木章市, 石崎仁, 酒巻克之, 高倉篤/セメント系固化材を用いた改良土の長期耐久性に関する研究(材齢7年試験結果報告), 第52回セメント技術大会講演要旨, pp.442~443, 1998
- 3) 箕輪 勉他/セメント系固化材を用いた固化処理土の長期耐久性に関する研究-材齢7年試験結果報告-, 第33回地盤工学研究発表会, pp.2203~2204, 1998
- 4) 大森啓至他/セメント系固化材を用いた改良体の長期安定性, 第37回地盤工学学会研究発表会, pp.851~852, 2002
- 5) 中村弘典他/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1年結果報告-, 土木学会年次学術講演会講演概要集 Vol.65, III-533, pp.1065~1066, 2010

*

*

*