

## 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年調査の追加検証結果[後編]改良体表層の変質—

セメント系固化材技術専門委員会  
変質機構分析WG

#### 1. はじめに

セメント協会では、セメント系固化材による改良体の長期耐久性についてデータの収集および検証<sup>1,2)</sup>を行っている。その一つとして、火山灰質粘性土(関東ローム)をセメント系固化材で改良した改良体について長期の原位置試験を実施しており、これまでに材齢22年の調査<sup>1,3)</sup>を終えた。その後、22年調査での検討課題に取り組むために、WG(主査：半井健一郎教授(広島大学))を設置して活動を行った。

前報<sup>4)</sup>では、WGの検討結果のうち、改良土の長期的な強度発現性と周辺土に接触する改良体表層における強度発現性について報告した。その中で、22年調査においては図1に示すように改良体のごく表層で低強度層が認められ、この低強度層の生成過程

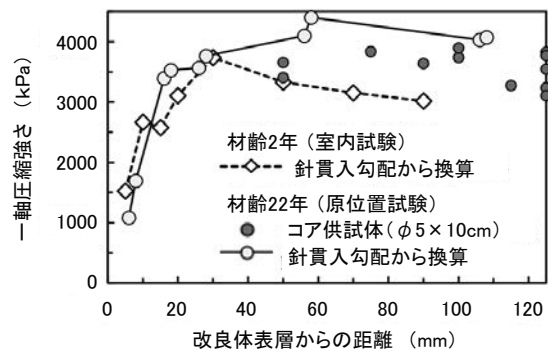


図1 原位置試験と室内試験における改良体表層の強度分布

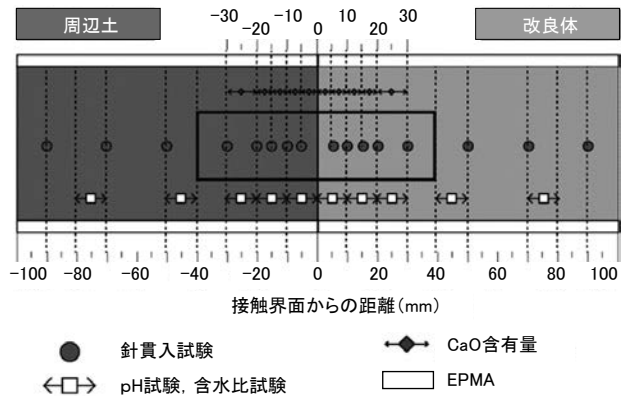


図2 周辺土との接触試験の概要

A study on the long-term stability of cement-treated column-  
Additional test results of the 22 year survey [Second part]  
strength development (by JCA.)

(一社)セメント協会 セメント系固化材技術専門委員会  
変質機構分析WG 活動期間：2015年5月～2019年3月

主査：半井健一郎 [広島大学教授]、  
委員長：黒澤功 [宇部三菱セメント]、清田正人(2018年3月退任) [三菱マテリアル]、  
WGリーダー：吉田雅彦、吉原正博(2016年9月退任) [住友大阪セメント]、  
委員：本田欽也 [日鉄高炉セメント]、酒井秀一 [日鉄セメント]、二戸信和、齋藤和彦(2016年3月退任) [デイ・シイ]、飯田達郎、渡辺雅昭(2018年3月退任)、上村 豊(2016年3月退任) [デンカ]、佐々木慎一 [麻生セメント]、  
事務局：近藤秀貴(2017年3月退任)、佐藤智泰(2017年3月退任)、野田潤一、泉尾英文 [セメント協会]

について検証するため図2に示す周辺土との接触試験を室内で実施したところ、材齢2年の段階で概ね同様の強度分布が認められたことを述べた。本報では、その低強度層が生成した要因について、Caの溶脱や改良体移設による影響の観点から検証した結果を報告する。

## 2. Caの溶脱に伴う改良体表層の変質

### 2-1. 改良体表層のCaO濃度分布

原位置試験において、材齢22年が経過した改良体で、周辺土と接触する界面付近の改良体のCaO濃度をEPMAによって面分析した。分析結果を図3に示す。周辺土に接触する改良体表層においてCaO濃度が低下しており、周辺土との接触によってCaの溶脱が生じていることが確認された。その範囲はおよそ10mm程度であり、針貫入試験で評価した低強度層の範囲と概ね一致した。

室内試験で最終材齢2年の接触試験体を用い、同様に面分析を行った結果を図4に示す。図には、改良土が硬化する前に周辺土(含水比: 112.3%)へ接触させた試験と、改良土が硬化した後(材齢1日)に低含水比の周辺土(含水比: 80.7%)へ接触させた試験の結果を併記している。硬化前に接触させた試験では、CaO濃度は、改良体表層の接触界面に向かって低下しており、周辺土においては増加していた。改良体から溶脱したCaが周辺土へと拡散している状況が確認された。一方、硬化後に接触させた試験では、Caの溶脱傾向は認められなかった。この硬化後の接触試験は、原位置試験で材齢10年時に実施した低含水比浅層地盤への改良体の移設を想定している。この結果から、材齢10年の移設以降にCaの溶脱が進行した可能性は低いと考えられる。

原位置試験における材齢22年の結果と室内試験における材齢2年の結果を図5に併記する。材齢2年の時点で、材齢22年とほぼ同様のCaO濃度分布が形成されていることが確認された。これらの結果から、原位置試験における改良体表層ではCaの溶脱が比較的早い段階で生じ、材齢の経過とともに進行が緩慢となり、材齢2年以降は移設による影響も含めてCaの溶脱は進行しなかったものと推察される。

### 2-2. Ca溶脱の経時的変化

Ca溶脱の経時的変化を明確にするため、室内試

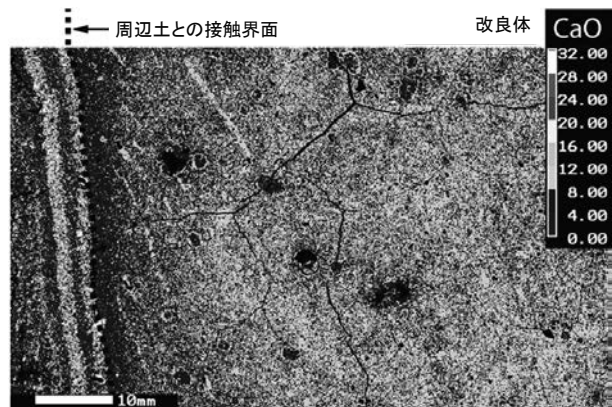


図3 材齢22年経過した改良体と周辺土のCaO濃度分析結果(原位置試験)

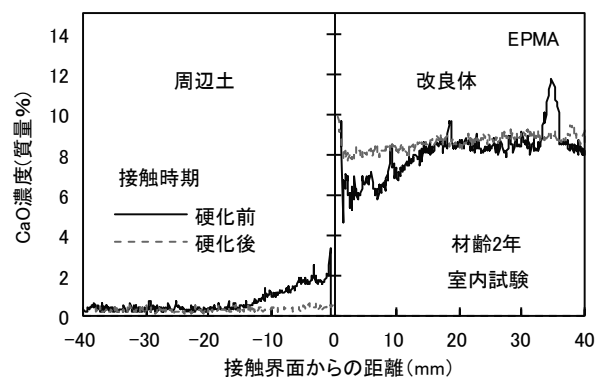


図4 材齢2年経過した改良体と周辺土のCaO濃度分析結果(室内試験)

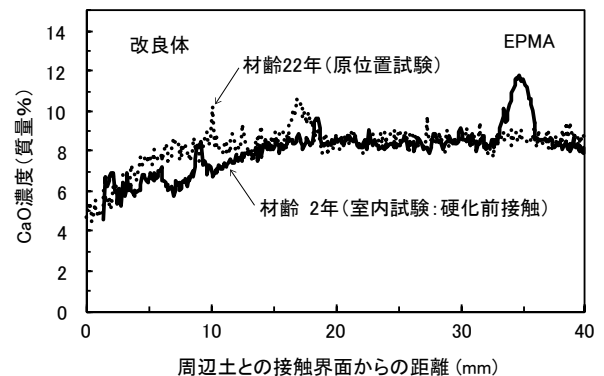


図5 材齢22年(原位置試験)と材齢2年(室内試験)のCaO濃度分布の比較

験(改良土が硬化する前に接触)における周辺土のCaO含有率の経時変化を分析した結果を図6に示す。Caの溶脱は、材齢28日の時点ですでに生じており、その後も材齢1年まで進行していた。材齢1年から2年にかけての変化は少なく、材齢1年までにCaの溶脱はほぼ収束したものと考えられる。なお、前報<sup>4)</sup>の検証結果では、材齢2年以降も表層強度の低下が

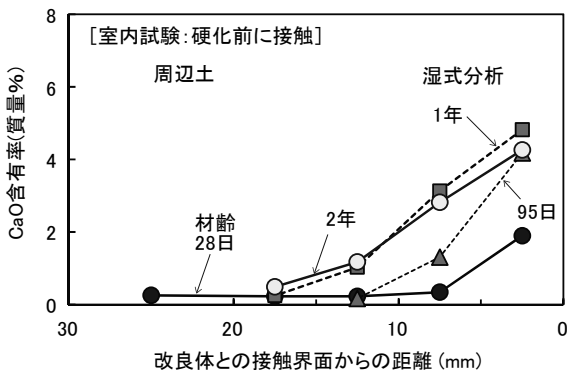


図6 溶脱したCaの周辺土への拡散状況

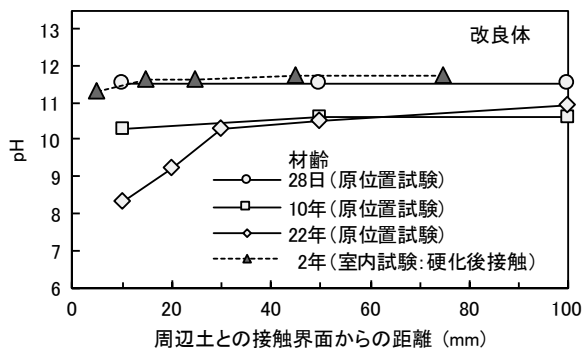


図7 改良体表層のpHの変化

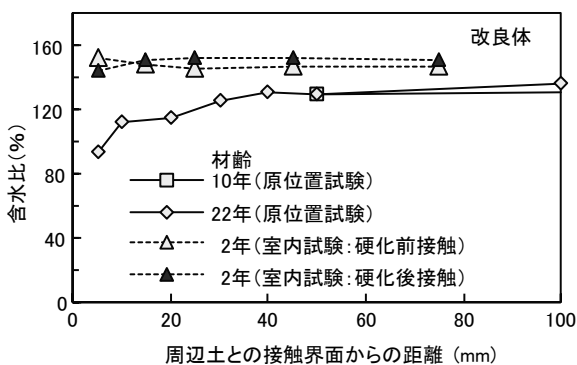


図8 改良体表層の含水比の変化

認められたことから、表層の強度低下がCa溶脱のみに起因するものではない可能性が示唆された。

### 3. 改良体表層のpHおよび含水比の変化

原位置試験の表層強度の低下についてCaの溶脱以外の要因も想定されたことから、その他の要因について検証した。改良体表層におけるpHの変化を図7に含水比の変化を図8に示す。各図は、原位置試験の結果に加えて、室内試験(硬化前および硬化後に接触)における材齢2年の結果を併記している。

pHの分布は、原位置試験の材齢22年と室内試験の材齢2年でCaO濃度分布が概ね同程度であったにも関わらず、異なる結果となった。室内試験の材齢2年におけるpHは表層も内部も一様に分布しているが、原位置試験の材齢22年においては表層から30mmまでの範囲でpHが低下していた。この原位置試験での表層部分のpHの低下は、材齢10年では認められなかったことや室内試験の材齢2年の結果との比較から、Caの溶脱に伴う低下ではないと考えられ、材齢10年時点での改良体移設の影響による炭酸化の影響と推察される。なお、原位置試験の材齢10年において、pHが一様に低下しているが、これはポズラン反応などの化学反応による低下と考えられ、それ以降のpHは10.5程度を維持していた。

含水比についても、原位置試験の材齢22年の調査結果において、改良体表層での低下が認められた。それ以前の調査では、周辺土に近い改良体表層の含水比を測定していなため、明確な判断はできないが、室内試験の材齢2年の結果から、表層の含水比の低下は改良体の移設および移設後の周辺地盤環境が影響した可能性が高いと考えられる。室内試験の結果については、硬化前に自然含水比の周辺土へ接触させた結果と、硬化後に低含水比の周辺土へ接触させた結果を図中に併記しているが、何れも改良体表層における含水比の低下は認められなかった。

### 4. 乾燥・炭酸化による改良体表層の変質の検証—移設による影響—

前述のとおり、原位置試験では材齢10年で改良体の移設を行っており、その影響で改良体表層ではpHおよび含水比が低下したものと推察された。そこで、乾燥・炭酸化によって生じたpHおよび含水比の低下が表層強度へどのように影響するのかを室内試験で検証した。

試験は、改良体(φ50×100mm円柱供試体)を材齢28日まで封緘養生した後、一面を気中環境に開放

して静置した。試験室は、温度20℃湿度60%RHに制御し、CO<sub>2</sub>濃度の制御は行わず約600ppm程度の環境である。pHおよび含水比は、10mm幅で試料を採取して測定し、強度は針貫入試験で評価を行った。

改良体表層のpHの変化を図9に、含水比の変化を図10に、原位置試験における材齢22年の結果も併せて示す。材齢の経過に伴い、改良体のpHは低下し、含水比も低下した。含水比の低下は、改良体内部の広い範囲まで影響し、pHの低下はそれよりも限定的であった。この変化にともなって、図11に示すように針貫入勾配は低下した。これらの傾向は、原位置試験の材齢22年調査結果と同様の傾向であった。つまり、原位置試験における改良体の表層は、移設により乾燥や炭酸化などの影響を受けて、変質したものと考えられる。

## 5. おわりに

セメント系固化材による改良体の長期安定性について、原位置試験の22年調査を終え、その調査結果について検証する室内試験を実施した。その結果、火山灰質粘性土を改良した本改良土は、長期的な強度発現性を有していることを再確認した。その特性には、土の非晶質成分が影響している可能性が示唆された。原位置試験では、改良体表層で低強度層が確認されたが、これは、Caの溶脱と移設に伴う乾燥・炭酸化による変質であることが確認された。低強度層の範囲は約10mm程度であったが、移設による影響を考慮すると、その強度低下はさらに限定的であったと考えられる。これらの調査結果から、材齢22年の長期にわたる改良体の安定性が確認された。

改良体の一部は現在も土中に埋設しており、引き続き調査を実施する予定である。今後の調査では、表層変質の詳細な分析・解析と進行の有無の確認、埋設環境の影響の評価などが必要であると考えている。調査結果を取りまとめ次第、本誌などを通じて公表していく予定である。

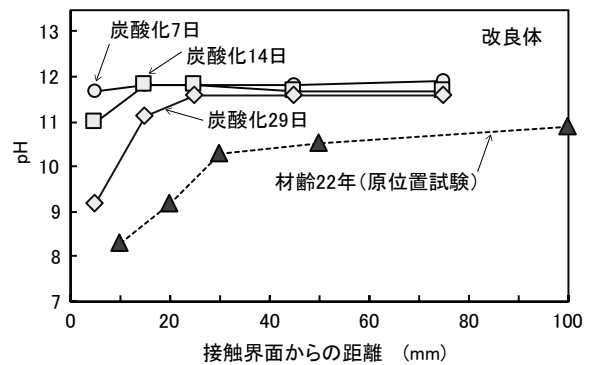


図9 乾燥・炭酸化による改良体表層のpHの変化

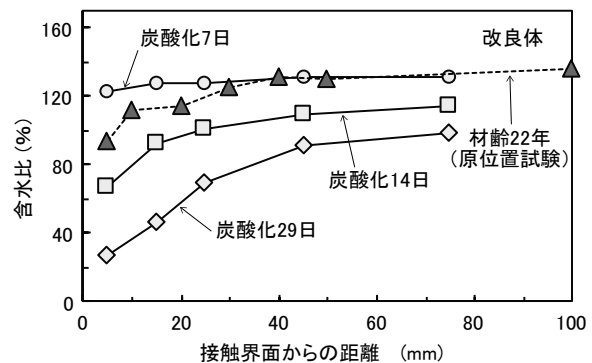


図10 乾燥・炭酸化による改良体表層の含水比の変化

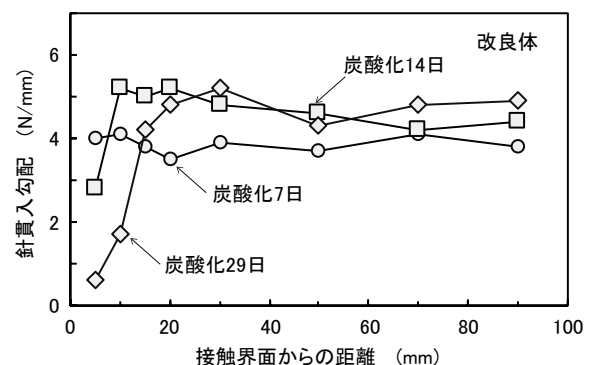


図11 乾燥・炭酸化による改良体表層強度の変化

### 【参考文献】

- 1) (一社)セメント協会 セメント系固化材技術専門委員会/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—材齢22年試験結果報告—, セメント・コンクリート No.804, pp.9~14, 2014.2
- 2) 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10年結果報告 -, 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会概要集,III-121, 2019
- 3) 清田正人他/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—「セメント系構築物と周辺地盤の化学的相互作用」に関するシンポジウム講演概要集,pp.465~472, 2014
- 4) セメント系固化材技術専門委員会変質機構分析WG/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年調査の追加検証結果[前編]強度発現性—, セメント・コンクリート, No.878, pp.48~52, 2020