

## セメント改良土の耐久性に関する考察 (その3: 変質のメカニズム)

竹中土木 正会員 ○小西一生, 今井政之, 野口達也, 斎藤 聡  
東京工業大学 坂井悦郎

### 1. はじめに

著者らは種々の室内改良土の変質を4年材令まで調査した。その結果は既に報告したが<sup>1)</sup>, ここでは前報<sup>2)~3)</sup>に続き、セメント改良土の変質メカニズムを主に EPMA 結果を用いて検討する。

### 2. 4年材令室内改良土の変質のメカニズム

表-1 に示すセメント改良土試験体の変質を EPMA に基づき 4 つのタイプに分類する。図-1 に代表的な試験体の EPMA 結果を示す。実験の詳細は文献 1) を参照されたい。以下に 4 つのタイプの変質を述べる。

(1) **蒸留水使用改良砂・改良砂質土 (CASE1, 3, 5, 7)**: この改良土の変質の特徴は、①Case1 を除くケースで、CaO 濃度は内部でほぼ一定であるが、ある位置から表面に向けて低下しはじめ表面でゼロになる分布を示す。②Case1 での CaO 濃度は他のケースの濃度低下に加えて、さらに内部で CH (ポルトランドイト<sup>3)</sup>) の溶解による CaO 濃度低下が見られる。③SiO<sub>2</sub> 濃度は CaO 濃度と同様に表面に向けて低下する。④SO<sub>3</sub> 濃度は内部で一定であるが表面に向けて徐々に増大し、ある位置から表面に向けて逆に低下する分布となること等である。④については表面からある位置にかけて Ms (モノサルフェート), Ett (エトリングイト) が溶解または分解し、ここで生じた SO<sub>4</sub> イオンが内部に移動して SO<sub>3</sub> (Ett) の増大 (濃集) することが考えられる。これらのことからこの改良土の変質のメカニズムは、セメントの水和に伴い改良土内の液相のイオン (Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, OH<sup>-</sup> など) が養生水方向に移動し、それに伴い固液平衡により固相からの CH, その後セメント水和物中の Ca の溶解があり固相の変質となると考えられる。さらに、表面からの水和物 (C-S-H, Ms, Ett 等) の炭酸化による分解が加わることも考えられる。

(2) **蒸留水使用改良粘土 (CASE9, 11, 12, 14)**: この改良土の変質の特徴は①CaO 濃度は内部で一定値であるが、ある位置で表面に向けて低下し始め、表面近くで急に著しく低下しそのまま表面まで低値となる。②SiO<sub>2</sub> 濃度は、CaO 濃度の低値領域で濃度の増大が見られる。③SO<sub>3</sub> 濃度は CaO 濃度とほぼ同様の位置から表面に向けて低下する (SO<sub>3</sub> 濃度の増大 (濃集) 現象は Case9,11 では見られないが、Case12,14 ではわずかに見られる) こと等である。この改良土の変質のメカニズムは (1) と基本的に同様であると考えられるが、CaO, SO<sub>3</sub>, MgO の低濃度領域, SiO<sub>2</sub> の高濃度領域の存在は改良土に接する周辺粘土による影響と考えられる。

(3) **海水使用改良砂 (CASE2, 4, 6)**: この改良土の変質の特徴は、①表層でアラゴナイト・カルサイト CaCO<sub>3</sub> の層、次いでブルーサイト Mg(OH)<sub>2</sub> の層を形成する (これらの層は白い析出物として観察される<sup>3)</sup>)。②これらの層に続いて改良土内部では Ett の層が形成される<sup>3)</sup> (その形成では周辺海水の SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> を取り込んでおり、さらに、この領域での固相の塩素濃度が低下していることから、Fs (フリーデル氏塩) が Ett に変化したと考えられる)。③Case2 および Case6 においては表面近傍で CaO の低下がみられるが、材令初期に

キーワード: セメント改良土, 耐久性, 室内改良土, 海水養生, 蒸留水養生, EPMA

連絡先: 【住所】〒136-8570 東京都江東区新砂 1-1-1 【TEL】03-6810-6215 【FAX】03-6660-6304

表-1 室内改良土試験体の作製・養生条件

Case No.	試験体作製条件				試験体周辺の養生環境	
	土の種類	セメント種類	セメント添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	セメント混練水・土中水		
改良砂・改良砂質土	1	珪砂	N	300	蒸留水	蒸留水
	2	珪砂	N	300	海水	海水
	3	珪砂	BB	200	蒸留水	蒸留水
	4	珪砂	BB	200	海水	海水
	5	珪砂	BB	300	蒸留水	蒸留水
	6	珪砂	BB	300	海水	海水
	7	珪砂+細粒分	BB	300	蒸留水	蒸留水
	8	珪砂+細粒分	BB	300	海水	海水
改良粘土	9	珪藻土	BB	400	蒸留水	珪藻土+蒸留水
	10	珪藻土	BB	400	海水	珪藻土+海水
	11	珪藻土	BB	200	蒸留水	珪藻土+蒸留水
	12	木節粘土	BB	400	蒸留水	木節粘土+蒸留水
	13	木節粘土	BB	400	海水	木節粘土+海水
	14	木節粘土	BB	200	蒸留水	木節粘土+蒸留水

注 1) N: 普通ポルトランドセメント  
BB: 高炉セメント B 種

注 2) 珪砂+細粒分 (浅間山) の質量比は 8:2

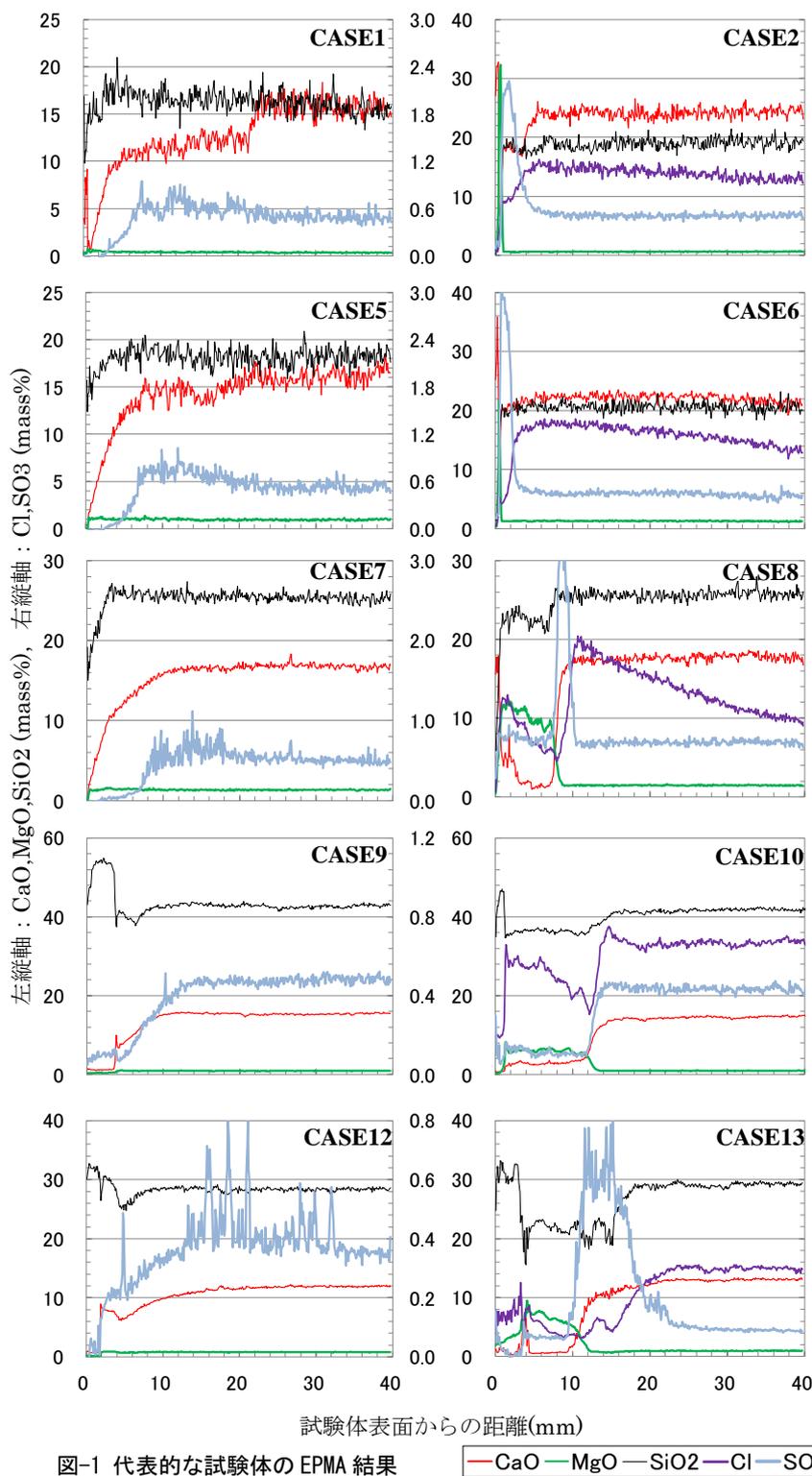


図-1 代表的な試験体の EPMA 結果

5.6 おいては改良土内部から養生水に向けて Ca イオンの溶解が多少あったと考えられること等である。これらのことからこの改良土では、アラゴナイト・カルサイト、ブルーサイトの層が密実なプロテクト層を形成することにより、材令初期を除いて養生海水成分の侵入および改良土液相からのイオンの移動が妨げられ変質はほとんどない。

1.4 (4) 海水使用改良砂質土, 改良粘土 (CASE8, 10, 13): この改良土の変質の特徴は、①CaO 濃度は内部で一定値またはある位置から表面に向けて徐々に低下し、ある位置で急激に低下し、その位置から表面にかけて低値領域となる。②SiO<sub>2</sub>は CaO の低値領域で濃度が低下する。③MgO 濃度は CaO 濃度の低値領域で対照的に増大する。④SO<sub>3</sub> 濃度に関して、Case8, 13 では CaO 濃度の急激な低下位置付近で、内部の濃度より著しく増大する(濃集)領域があるが、Case10 では内部の濃度よりも増大する領域はなく、また CaO 濃度の低値領域の SO<sub>3</sub> 濃度は内部と比較して Case8,13 では必ずしも低値ではないが、Case10 では低値である。⑤Cl 濃度は CaO 濃度の動きに対応し、CASE8 のみ内部の濃度より増大する(濃集)領域が見られる。上記のように複雑であるが、この改良土の変質のメカニズムは、改良土内部から Ca イオンを含むイオンの移動がある一方で、改良土周辺部から海水の成分 Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Mg<sup>2-</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>または CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>の侵入によりセメント水和物およびポズラン反応生成物の溶解・炭酸化による分解あるいは C-S-H の Ca が Mg と置換し、M-S-H となって弱体化することが推察された。

### 3. まとめ

4 年材令の種々の室内改良土の変質を 4 つのタイプに分け、その変質のメカニズム解明を試みたが、変質の現象をまだ十分に説明しきれていない部分がある。さらなる検討が必要である。

(参考文献) 1) 小西一生他:セメント改良土の耐久性に関する基礎的研究(その2) 地盤改良シンポジウム論文集, 2010 2) 野口達也他:セメント改良土の耐久性に関する考察(その1),地盤工学研究発表会, 2013 3) 今井政之他:セメント改良土の耐久性に関する考察(その2),地盤工学研究発表会, 2013