

Ca 溶出に伴う改良土の劣化と物性変化

国土交通省 関東地方整備局 正 池上正春、佐藤英樹、正 一場武洋
 沿岸開発技術研究センター 小沢大造、正 志村浩美
 日建設計中瀬土質研究所 正 寺師昌明、正○大石幹太

1. はじめに

セメント安定処理による改良土の長期特性の調査・研究は、強度増加と強度低下に関するものに大別することができる。強度増加に関してはこれまで多くの調査・研究が行われてきているが、強度低下（劣化）に関するものはほとんど行われてきていないのが現状である。筆者らは昨年度、横浜港大黒埠頭岸壁の改良地盤を対象に改良土の強度低下（劣化）現象に着目した現地調査を実施し、ブロック改良された改良地盤の側面外周において強度低下が生じていることを確認した¹⁾。本調査では、この様な強度低下を伴う改良土の劣化のメカニズムを検討するため、当該現場の側面境界部のコア試料を用いて一連の試験を行い、劣化領域における物性変化を調べた。

2. 改良土の劣化に関する既往の研究

セメント改良土の劣化には Ca 溶出、化学的浸食、凍結・融解など様々な要因があるが、本調査では Ca 溶出による強度低下に主眼を置いている。この劣化現象は、改良土内部と周辺との Ca 濃度差（濃度勾配）を駆動力とした Ca 拡散現象の一種と考えることができる。Ikegami et al. (2002) は、大黒埠頭の改良地盤を対象に改良土の劣化現象の調査を行い、図 1 に示すように改良地盤側面境界部において表面から 30～50mm の深さまで強度低下とそれに対応するような Ca 量の減少が生じていることを確認した。同様な調査・研究には、室内実験の寺師ら(1983)、Kitazume et al. (2003) や現地調査の Hayashi et al.(2003) 等があり、これらの事例でも表面からの Ca 量減少（Ca 溶出）に伴う強度低下が報告されている。一方、実物大試験を行った大森ら(2002)の報告では、10 年材令の改良体でも表面に劣化が生じていないとしている。これは調査した改良体が地下水位以浅にあり Ca 溶出が起きにくい条件にあること、強度や Ca 量分布を詳細に測定していないことが原因であると考えられる。また、劣化の進行速度について既往の研究をまとめると図 2 のようになる。劣化領域の深さは、ほぼ対数時間に比例して表面から内部へ進行していると考えられる。

3. 調査方法

試験試料は大黒埠頭の改良地盤側面境界より採取したコアサンプルの内、図 1 の○印で示した強度及び Ca 量分布が確認されたものである¹⁾。一連の試験は、改良土劣化部 3 ケ所（境界から 0-10、10-30、30-50mm）、改良土健全部 2 ケ所（境界から 300、500mm）及び原地盤未改

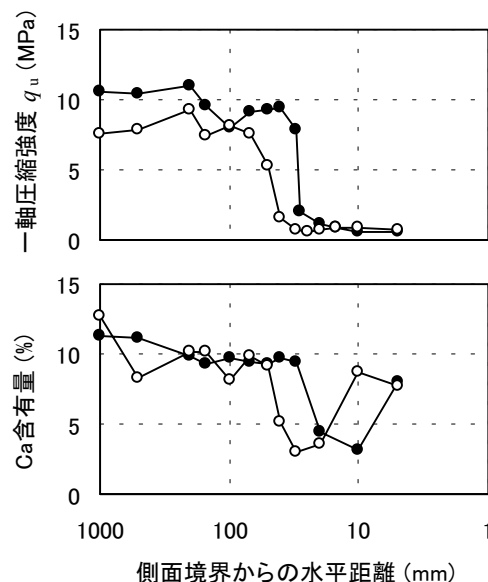


図 1 境界部での強度、Ca 量分布

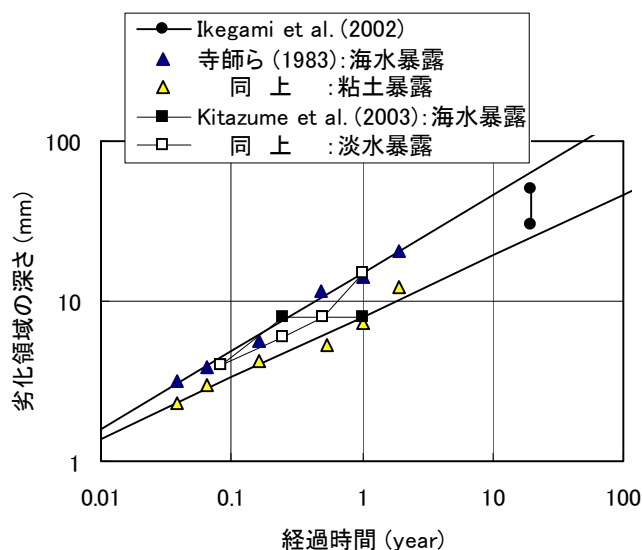


図 2 劣化深さの進行速度

深層混合処理、劣化、強度低下、細孔径分布

連絡先：212-0055 川崎市幸区南加瀬 4-11-1 日建設計中瀬土質研究所、Tel 044-599-1151、Fax 044-599-9444

良土に対し実施した。なお、健全部とは改良地盤内部とほぼ同じ強度、Ca 量にある事を指す。試験項目は水銀圧入型ポロシメーターによる細孔径分布測定、硫黄（S）及び塩化物（Cl）量測定、X 線回折である。

4. 調査結果

図 3 に改良土の細孔径分布の変化を示す。境界から 0-50mm 範囲の劣化部は内部の健全部に比べ、細孔径分布のピークが 1 オーダー大きくなっており、大きな径の間隙が増加していることが分かる。これは、間隙水中の Ca イオン溶出に伴う Ca 濃度低下が水和物（ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ や C-S-H）の溶解を引き起こし、骨格構造がポーラス化した結果と推察され、強度低下の原因となっていると考えられる。

改良土中の元素量の変化としては、Ca の他に S と Cl を調べた。図 4 に試験結果を示す。なお、未改良土は境界の影響が無い原地盤未改良土の試験結果である。若干ではあるが、劣化部では健全部よりも Cl 量が減少し、S 量が増加する傾向にある。また、S 量の組成も硫化物 S（ S^{2-} ）が増加し、酸化物 S（ SO_4^{2-} ）が減少している。このことは、改良土中の Ca 以外の共存イオンも同時に移動していること、S に関わる何らかの化学変化が生じていることを示唆する。

図 5 は X 線回折試験結果である。図 1 の Ca 量分布を詳しく見ると、境界部では一旦減少した Ca 量が再び増加している。拡散のみを基本として Ca が溶出するならば、このような現象は起こらないはずであるが、同様の現象は Kitazume et al (2003) でも確認されている。X 線回折結果では Ca 量が増加に転じる表面付近で CaCO_3 が同定されており、海底地盤中에서도炭酸화가起こったと考えられる。なお、X 線回折試験ではセメント水和物の同定が上手く行えなかったため、劣化部と健全部での水和物組成の変化については確認できなかった。

5. まとめ

Ca 溶出によって強度低下が生じた改良土の劣化部分では、骨格構造がポーラス化していることが定性的に確認された。前述のように、これは改良土中のセメント水和物が溶解した結果と考えられる。強度低下の主要因は Ca 溶出に伴う骨格構造の変化と思われるが、その他の要因の影響については今後の課題である。

なお、本調査は東工大 太田秀樹教授を委員長とする検討委員会のご指導のもと実施されたものである。

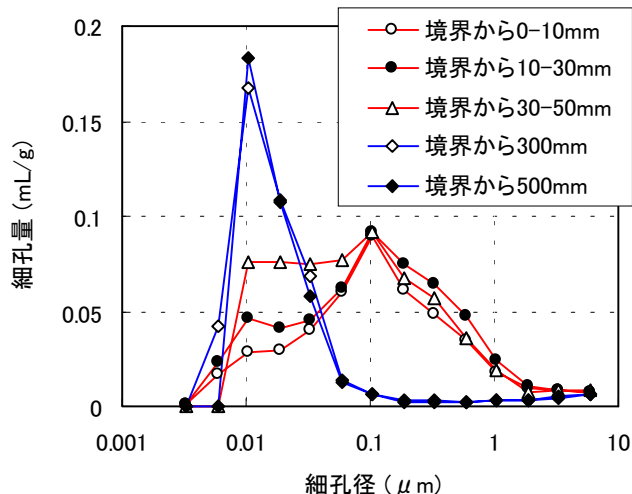


図 3 劣化に伴う細孔径分布の変化

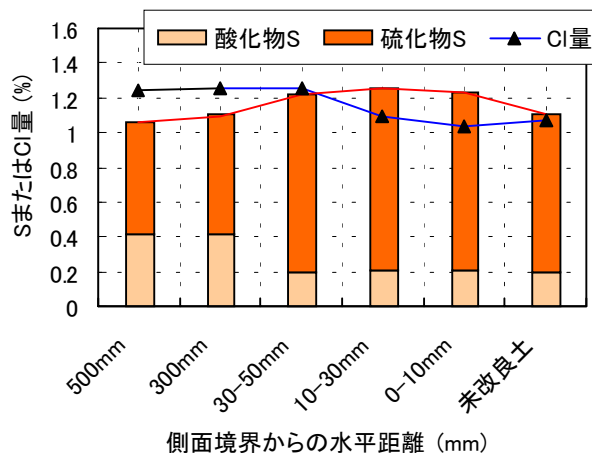


図 4 境界近傍での S 量及び Cl 量変化

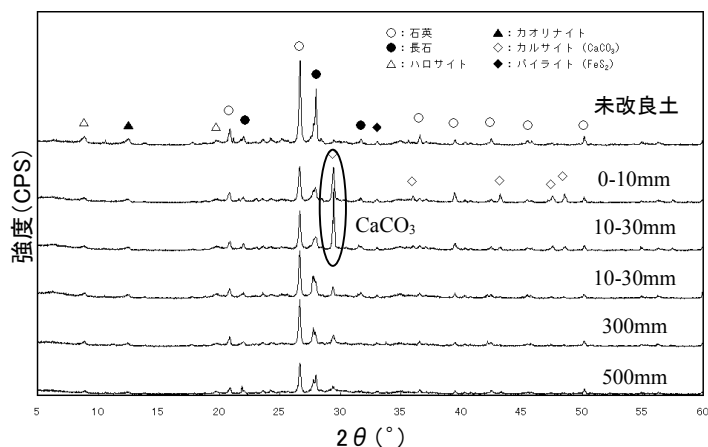


図 5 境界部改良土の X 線回折

<参考文献> 1) Ikegami et al.(2002) : Long-term strength change of cement treated soil at Daikoku Pier, Proc. of Soft Ground Engineering in Coastal Areas 2) 寺師ら(1983) : 石灰・セメント系安定処理土の基本特性に関する研究 (第3報)、港湾技術研究所報告、第22巻、第1号 3) Kitazume et al. (2003) : Laboratory tests on long-term strength of cement treated soil, Proc. of Grouting and Ground Treatment 2003 4) 大森ら(2002) : セメント系固化材を用いた改良体の長期安定性、第37回地盤工学研究発表会講演集、pp851-852 5) Hayashi et al. (2003) : Field Observation of Long-Term Strength of Cement Treated Soil, Proc. of Grouting and Ground Treatment 2003