

アルミニウム含有地盤を対象としたシリカの溶出方法に関する検討

浸透固化処理工法研究会 正会員 ○秋本哲平 正会員 長津辰男 正会員 山本 敦
正会員 大西高明 正会員 村田晋一
国土交通省 北海道開発局 札幌開発建設部 千歳空港建設事業所 非会員 青井晃樹
国土交通省 北海道開発局 港湾空港部 空港・防災課 非会員 加藤幸輝

1. はじめに

既設構造物直下の液状化対策として、浸透固化処理工法が適用されている。本工法は、浸透性の高い溶液型の薬液を地盤に低圧で注入し、間隙水を薬液に置き換えることで地盤を改良する工法である。注入した薬液は、時間の経過とともに徐々に硬化し、一軸圧縮強さ $q_u=100\text{kN/m}^2$ 程度の地盤を形成する。地盤改良後の品質確認は、サンプリング試料を用いた一軸圧縮試験で行われることが一般的であるものの、他の固化処理工法に比べ低強度改良であることから、サンプリングによって供試体に乱れが発生し、改良強度を正しく評価できない場合がある。そういった場合は、薬液に含まれるシリカ (SiO_2) の増加分から改良強度を推定する方法を適用している¹⁾。しかしながら、薬液の浸透が確認できる場合でもシリカの増加分が非常に小さいことにより、改良強度の推定が困難となる事例が確認された。本研究は、その要因を追究し、シリカ含有量試験の改善方法を提案するものである。

2. 改良対象土

本研究で対象とした試料は、新千歳空港 B 滑走路の 1 号沢排水路周辺の地盤から採取した埋立て層 (Bk 層) と樽前・恵庭層 (Ta・En 層) である。対象の 2 土層は、礫分を 15% 程度含んでおり、サンプリングによる乱れが想定されることから、一軸圧縮試験での品質確認が困難な土層である²⁾。事後の品質確認でシリカ含有量増加分による強度推定を行うために、室内配合試験で q_u とシリカ含有量増加分の関係を算出した。試験結果を図-1 に示す。既往の試験結果に追記して示している³⁾。室内配合試験による Bk 層の一軸圧縮強さは、 $200 \sim 400\text{kN/m}^2$ と高強度であるものの、シリカ含有量増加分は $3.5 \sim 5.3\text{mg/g-dry}$ であり、これまでの実績と比較して非常に小さい値であった。

3. シリカ含有量増加分の理論値算出

q_u を推定する際のシリカ含有量増加分 (ΔSiO_2) は、改良前後における単位乾燥土量あたりのシリカ含有量の差で算出している。したがって、式(1)、式(2)によりシリカ含有量増加分の理論値を算出することができる。

$$\Delta\text{SiO}_2 = m_{\text{Si}} / \rho_d \times 1000 \quad \text{式(1)}$$

$$m_{\text{Si}} = W_{\text{Si}} \times n \times \alpha \quad \text{式(2)}$$

ここで、 m_{Si} は単位体積あたりのシリカ重量(g)、 ρ_d は乾燥密度 (g/cm^3)、 W_{Si} は薬液単位体積あたりのシリカ重量 (g/cm^3)、 n は間隙率、 α は充填率 (間隙体積に占める薬液の割合) である。配合試験時の供試体は、 $\rho_d=1.206\text{g/cm}^3$ 、 $W_{\text{Si}}=0.0961\text{g/cm}^3$ 、 $n=0.553$ であり、 $\alpha=0.9$ と仮定すると、 $m_{\text{Si}}=0.0456\text{g}$ となり、 $\Delta\text{SiO}_2=37.8\text{mg/g}$ と算定される。したがって、室内配合試験 (図-1) におけるシリカ含有量増加分は、理論値の 1/7 程度であった。

4. シリカ溶出阻害要因の推定

シリカ含有量増加分が小さくなる要因を追究するため、検液内の含有成分を検出する定性分析を行ったところ、アルミニウム (Al) 含有量が多くなっていることが確認された。シリカ含有量は、乾燥試料にアルカリ溶液を添加して、加熱することでシリカを溶出し、上澄みを採取して検液としている (図-2)。溶出用のアルカリ溶液として、水酸化カリウム (KOH) を使用しているが、アルミニウムを多く含む場合、溶出液のアルカリがアルミニウム

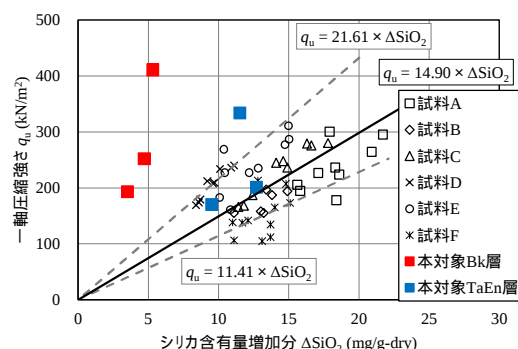


図-1 シリカ含有量増加分と q_u の関係

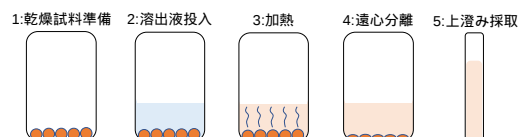


図-2 シリカ溶出法概念 (通常法)

キーワード 地盤改良, 薬液注入, 事後調査, 品質管理, 分析試験, 含有量試験

連絡先 〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1 五洋建設(株)技術研究所 TEL 0287-39-2116

の溶出に使用されるため、シリカの溶出を阻害していると考えられる。

5．検討概要

シリカ溶出の改善法として、2 方法を検討した。試験法の概要を表-1 に示す。方法 A が通常実施される溶出法であり³⁾。方法 B と方法 C が改善法である。アルカリでシリカを溶出する前に、酸性溶液と純水を用いて試料を洗浄することで、アルミニウムの除去を試みた。改善したシリカ溶出法の概要を図-3 に示す。

シリカ含有量とアルミニウム含有量の関係を把握するため、Bk 層と Ta・En 層の未改良土に対して溶出法 A の検液を用いて分析を行った。また、改良前後のシリカ含有量増加分を比較するため、シリカ濃度 9% で改良した供試体を作製し、方法 A、B、C の 3 溶出法の結果を比較した。

6．検討結果

図-4 に方法 A で溶出した未改良土のシリカ含有量とアルミニウム含有量の関係を示す。Bk 層と Ta・En 層で値が異なるものの、アルミニウムが多くなるほどシリカが少なくなっていることがわかる。このことから、アルミニウムによってシリカの溶出が阻害されているものと考えられる。

各溶出方法におけるシリカ含有量増加分を図-5、図-6 に示す。ここでは、充填率 $\alpha = 100\%$ として理論値を算出している。酸性溶液と純水を用いて洗浄した方法 B と方法 C は、方法 A よりもシリカ含有量増加分が多くなる傾向を示している。特に、使用容器や遠心加速度を変更した方法 C は理論値に近い増加分となった。なお、方法 A による Al 含有量は、1.4 ~ 9.7mg/g-dry であったが、方法 B と C では、1mg/g-dry 以下になっており、洗浄によってアルミニウムが除去されたと考えられる。また、アルミニウムを洗浄するために使用した酸性溶液と純水に含まれていたシリカ含有量は、アルカリ溶液によって溶出されたシリカ含有量の 2~3% 程度であったことから、洗浄によるシリカの溶出はほとんどないものと考えられる。

7．まとめ

アルミニウムを多く含む地盤を対象に浸透固化処理工法を適用する場合、強度発現には影響しないものの、シリカの溶出量が少なくなることが確認された。このような場合には、方法 A でアルミニウムが多く溶出される地盤であることを確認した上で、酸性溶液と純水を用いて試料を洗浄するシリカ溶出方法（方法 C）の適用を提案する。

参考文献

1) 沿岸技術研究センター：浸透固化処理工法技術マニュアル（改訂版），pp.89-92，2020。
2) 秋本哲平，林健太郎，善功企，長津辰男，山本敦，車田佳範：溶液型薬液注入工法により改良された地盤の事後調査方法の選定，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.76，No.2，I_648-I_653，2020。
3) 沿岸技術研究センター：浸透固化処理工法技術マニュアル（改訂版），pp.114-119，2020。

表-1 検討した溶出方法の概要

試験方法	使用容器	洗浄液	洗浄後 遠心分離	溶出液	溶出後 遠心分離	洗浄後 遠心分離 使用容器
方法A	750ml 遠沈管	-	-	10% 水酸化ナトリウム	3000G 15分	750ml 遠沈管
方法B	750ml 遠沈管	硫酸 (1+4)H ₂ SO ₄	3000G 30分	10% 水酸化ナトリウム	3000G 30分	750ml 遠沈管
方法C	225ml 遠沈管	塩酸 (1+1)HCl	7000G 15分	20% 水酸化ナトリウム	3000G 15分	50ml 遠沈管

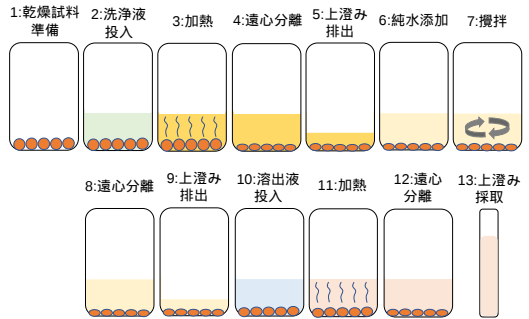


図-3 改善したシリカ溶出法の概念

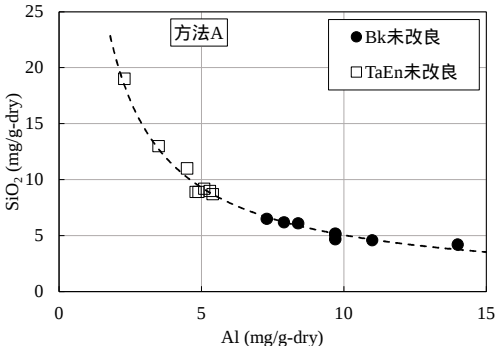


図-4 Al と SiO₂ の関係

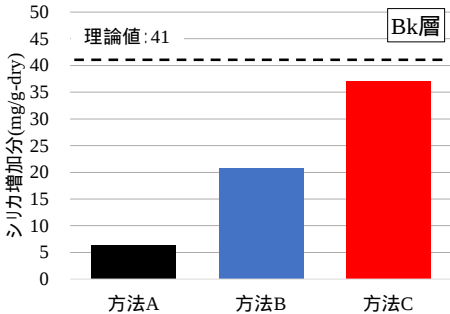


図-5 各溶出法のシリカ増加分（Bk 層）

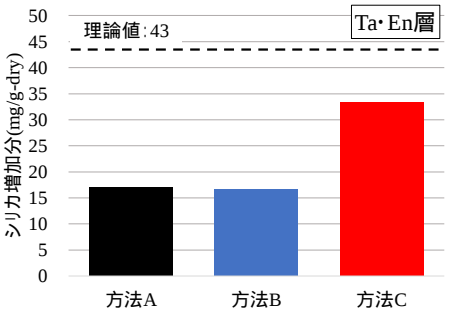


図-6 各溶出法のシリカ増加分（Ta・En 層）