

シリカレジンを用いて作成した改良土の経年劣化に関する実験的検討

早稲田大学 学生会員 ○戸谷 哲大
 フェロー会員 赤木 寛一
 正会員 王 海龍
 東ソー株式会社 正会員 岸本 龍介

1. 目的

地盤改良工法の一つであり、薬液を地盤に注入し、固結させることで地盤の不透水性や強度増加を図る薬液注入工法は、地盤の各種掘削工事における漏水や地盤崩壊の防止を目的としている。ポリウレタン系注入材を含むウレタン系薬液は、「薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針」¹⁾により、原則として使用は制限されているが、ポリウレタン系注入材は、地盤注入後の固化時間および最終強度の発現が早く、またその強度も高いという特徴を有するため、適用範囲を拡大することが求められている。

本研究では、ポリウレタン系注入材の性能の一端を解明することを目的として、ポリウレタン系注入材の一種であるシリカレジンと、土試料を用いて作成した改良土について、養生期間の経過に伴う強度変化とその要因について実験的に検討し、シリカレジン改良土の経年劣化評価を行った。

2. シリカレジンの反応機構

シリカレジンの組成は、イソシアネート基(—NCO)を2つ以上持った化合物であるポリイソシアネート(MDI(ジフェニルメタンジイソシアネート))と、プレミックス(珪酸ソーダ水溶液、ポリエーテル系ポリオール、アミン触媒)である。シリカレジンとは、MDIとプレミックス中のポリオールが図1(a)のウレタン化反応によって高分子(ポリマー)化する。そして、MDIとプレミックス中の水が図1(b)のウレア化反応によって高分子化ならびに発泡し、それに伴い生じるCO₂を発泡剤として樹脂化することで固化体を形成している²⁾。また、ウレア化反応によって生成されたCO₂により以下に示す反応が発生する。

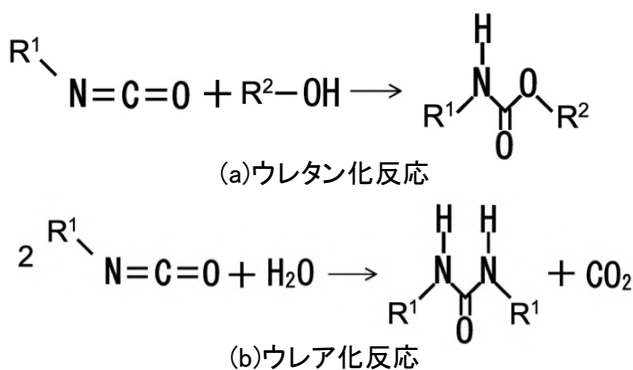
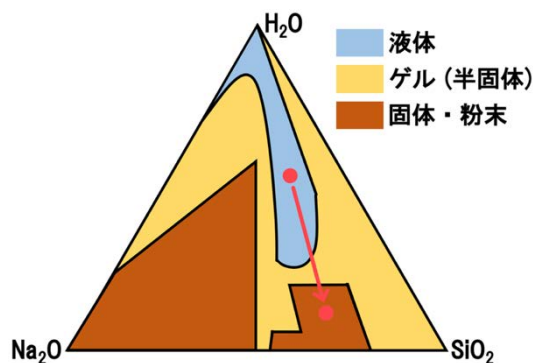
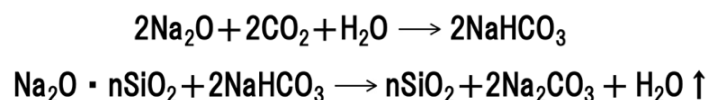
図1 ウレタン系注入材の反応²⁾

図2 水ガラス(珪酸ソーダ)の三相図



この反応に伴い、珪酸ソーダ水溶液中のSiO₂の増加および蒸発によるH₂Oの減少が生じる。この反応は、図2の三相図に示す赤点の移動現象を表しているため、珪酸ソーダは液体領域から固体領域へ到達し、固化する。固化した珪酸ソーダはフィラー化し、樹脂化したウレア基により固結する。

キーワード 薬液注入工法、ポリウレタン系注入材、シリカレジン、強度、経年劣化

連絡先 〒169-0072 東京都新宿区大久保 3-4-1-58-205 早稲田大学赤木研究室 TEL:03-5286-3405

3. 試験概要

表1に示す配合で作成した供試体に対し、ラップ気中養生または水中養生を施し、3日、7日、30日、90日、180日の養生期間毎に供試体を各養生方法で3本ずつ用意し、一軸圧縮試験を実施した。供試体について、炉乾燥させた状態の供試体密度を乾燥密度として捉え、乾燥前の密度を湿潤密度とし、それぞれの値を測定した。

4. シリカレジン改良土の経年劣化

養生日数毎に測定した供試体の一軸圧縮強度を図4に示す。養生初期と比較すると、養生方法によらず養生90日程度で強度変化は収束し、養生180日の経過後も7000(kN/m²)以上という非常に高い強度を保持することが確認された。また、図5には、供試体の含水比と養生日数の関係を示す。水中養生の供試体は含水比の上昇が顕著であることが分かる。

養生方法による強度変化の差異および強度低下の要因を探るため、図6に示すように乾燥密度と一軸圧縮強度の関係を調べたところ、比例関係にあることが確認されたため、シリカレジン供試体の一軸圧縮強度は、養生日数および養生方法にはあまり影響を受けず、乾燥密度に依存する値であると考えられる。また、図5において水中養生の場合は対数近似に従うように含水比が上昇しているが、これは、シリカレジンの発泡によって生成されたセル(気泡(CO₂))の性質にあると考えられる。シリカレジンのセルは連続しており、外部と触れている状態にあるため、セルが水(浸漬水)で置換される。つまり、シリカレジン注入固化体は親水性を有しているのである。ゆえに、水中養生した供試体の含水比が上昇する試験結果が得られたと考えられる。

5. まとめ

ポリウレタン系注入材の一種であるシリカレジンを使用して作成した改良土供試体は、養生方法と養生日数の経過に関わらず高い強度を維持し、その強度は、供試体の乾燥密度に依存する値であることが分かった。加えて、シリカレジンの固化体は親水性を有していることが確認された。そのため、シリカレジンを注入して改良した地盤は、含水比の増加に伴い強度は低下するが、注入後180日でも7000(kN/m²)以上という非常に高い強度を保持することが確認された。

参考文献

- 1) 建設省：薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針，1974.
- 2) 古川陸久・和田浩志：機能性ポリウレタンの最新技術《普及版》，pp.14-21, 2022.

表1 供試体配合比

供試体体積 V (cm ³)	シリカレジン		珪砂1号	
	m_r (g)	V_r (cm ³)	m_s (g)	V_s (cm ³)
196.3	100	74.6	200	80

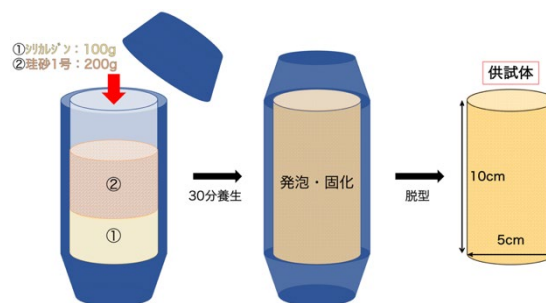


図3 シリカレジン供試体作成手順

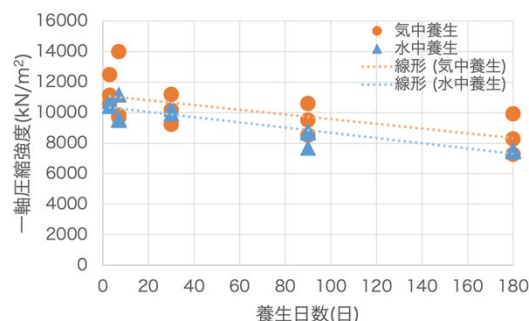


図4 養生日数-一軸圧縮強度関係

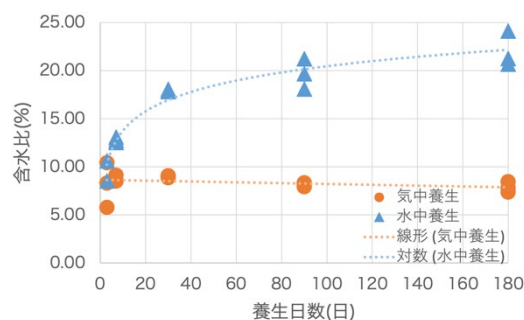


図5 養生日数-含水比関係

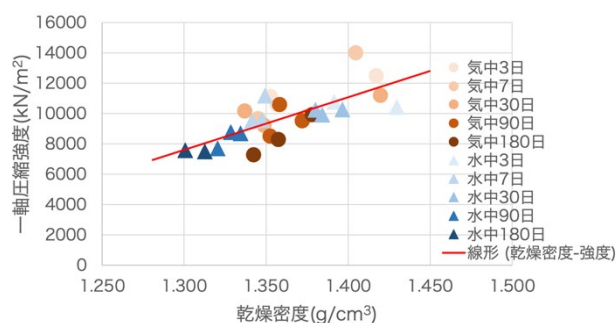


図6 乾燥密度-一軸圧縮強度関係