

ポリウレタン系注入材を用いた固結砂の強度および成分溶出特性

早稲田大学 学生会員 ○山本 馨
 早稲田大学 学生会員 中道 馨
 早稲田大学 フェロー会員 赤木 寛一
 東ソー(株) 正会員 中島 智

1. はじめに

ポリウレタン系注入材は地山内の亀裂へ浸透・発泡することで地山の内部応力を高め、岩片間の結合を高める効果があるため、山岳トンネル工法でのトンネル掘削において、切羽天端からの岩塊の崩落や肌落ちを防止し、地山の安定性を確保することができる。ポリウレタン系注入材は水ガラス系注入材よりも高い強度が得られるため、通常地盤注入工法にも適用することができれば、その適用範囲を拡大することができると考えられる。現在、「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、薬液注入工法に用いる薬液は、安全性の観点から原則として水ガラス系注入材に限るとされている。山崎ら²⁾は、既存ポリウレタン系固結砂を蒸留水に浸漬させた場合における成分経時変化を検討し、ほとんど影響はないという結果を得た。本報告は、ポリウレタン系注入材の適用範囲の拡大を目的として、汽水・海水域および酸性・アルカリ性土壌を想定した環境下における経時変化への影響を評価するために、塩濃度および pH 変動による影響を一軸圧縮試験および溶出物試験により調査した。

2. 試験内容

2.1 試験条件

珪砂1号を使用し、ポリウレタン系注入材により供試体を作製した³⁾。供試体の目標寸法はφ50mm×100mmである。珪砂1号の物性値を表2-1に、供試体作成時のデータを表2-2に示す。

また、供試体の養生条件を表2-3、2-4に示す。条件aは汽水・海水域を想定し、塩濃度を人工海水によって調整した溶液を用いて水中養生を行った。条件bは酸性・アルカリ性土壌を想定し pH を調整した溶液を用いて水中養生を行った。

2.2 試験手順

- ・一軸圧縮試験(JGS 0511)

養生期間は7, 30, 90, 180日とした。試験に用いた供試体は各養生日につき、各条件3本ずつである。

- ・ポリウレタン系固結砂の水中再溶出液の水質評価試験

ポリウレタン系固結砂の水中再溶出液の水質の経時変化を評価するために、ポリ瓶に供試体/純水=1g/10mlの比

率(環境庁告示46号準拠)で供試体を設置した。所定養生期間が経過した時点で浸漬水を採取し、pH確認試験(JIS K 0102)、過マンガン酸カリウム消費量(COD)確認試験(JIS K 0102)を実施し、その水質変化を測定した。養生期間は7, 30, 90, 180日と設定した。

表 2-1 珪砂 1 号の物性値

項目	数値
D ₅₀ (mm)	3.0
比重(-)	2.65

表 2-2 供試体作成時のデータ

項目	数値
薬液の液温(℃)	20
薬液の注入量(g)	27
改良体積(cm ³)	196
砂内発泡倍率(倍)	6.1
ポリオール/イソシアネート混合比(重量比)	3.0 : 7.0
ライズタイム(秒)	100

表 2-3 汽水・海水域を想定した水中養生

条件	内容
a-0	塩濃度 0% (蒸留水)
a-1	塩濃度 2%
a-2	塩濃度 4%

表 2-4 酸性土壌・アルカリ性土壌を想定した水中養生

条件	内容
b-0	pH7 (蒸留水) (a-0 と同様)
b-1	pH5 ((NH ₄) ₂ SO ₄ で調整)
b-2	pH10 (Na ₂ CO ₃ で調整)

3. 試験結果

図3.1, 3.2にポリウレタン系固結砂の一軸圧縮試験結果を示す。180日養生時において、供試体ごとのばらつきはあるが、一軸圧縮強度は4~8MN/m²程度となり、水ガラス系注入材と比較して非常に大きな強度を発現しており、いずれの条件においても養生日数の経過に伴い強度が低下せずに保持されていることがわかる。また、条件a, bともにa-0(蒸留水)と比較して強度に大きな差異は見られず、汽水・海水、また酸性・アルカリ性土壌による強度への影響は見られないということが言える。

図3.3にポリウレタン系固結砂の水中再溶出液のpHと養生日数の関係を示す。b-1, b-2はそれぞれpHを5, 10に調整していることが確認できる。条件aのpHは7程度であり、養生日数が経過してもpHの値に変化は見られないことが確認できる。

図3.4にポリウレタン系固結砂の水中再溶出液のCOD試験結果を示す。いずれの条件においても、180日養生時で2~4mg/L程度の値を示した。

薬液注入工法における水質基準¹⁾ではpHは8.6以下、過マンガン酸カリウム消費量は10mg/L以下とされている。本試験におけるポリウレタン系固結砂のpHは7程度(pHを調整していない条件a)、過マンガン酸カリウム消費量はわずかに増加傾向にあるが、10mg/L以下を保っていることから、水ガラス系薬液に適用される水質基準を満たしていることが確認できた。

4. まとめ

ポリウレタン系固結砂は4~8MN/m²程度の非常に大きな強度を示し、養生日数が経過しても強度を保持することから、汽水・海水、酸性・アルカリ性土壌による強度への影響は見られないことが確認できた。

ポリウレタン系固結砂を汽水・海水域および酸性・アルカリ性土壌を想定水中に浸漬させると、180日経過時ではpHは7程度、CODは2~4mg/L程度の値を示し、薬液注入工法における水質基準を満たしていることが確認できた。

<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) 山崎, 中道, 赤木：“ポリウレタン系注入材を用いた固結砂の長期養生中の強度, 溶出特性” 土木学会平成29度全国大会
- 3) ジェオフロンテ研究会：“ウレタン系注入材に関する技術資料 注入式フォアポーリングの設計・試験方法・積算編 空洞充填に関する留意点” pp27 2010

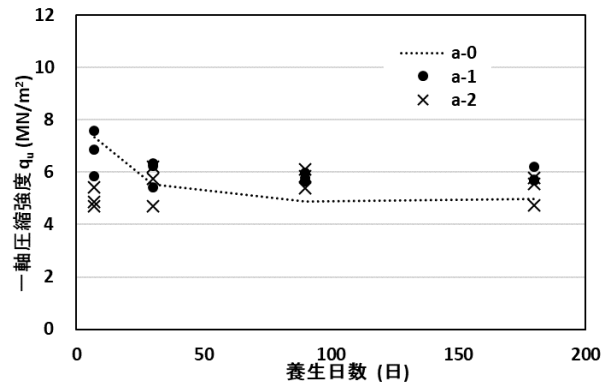


図 3.1 一軸圧縮強度の経時変化(条件 a)

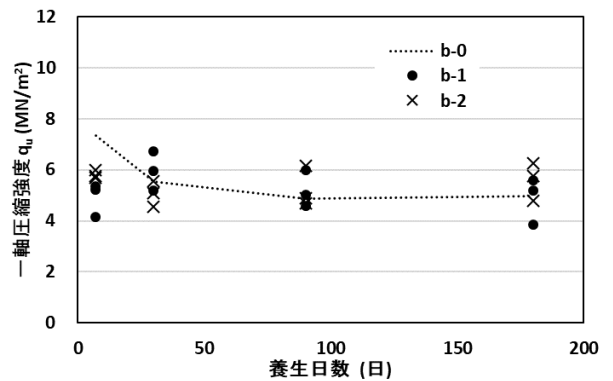


図 3.2 一軸圧縮強度の経時変化(条件 b)

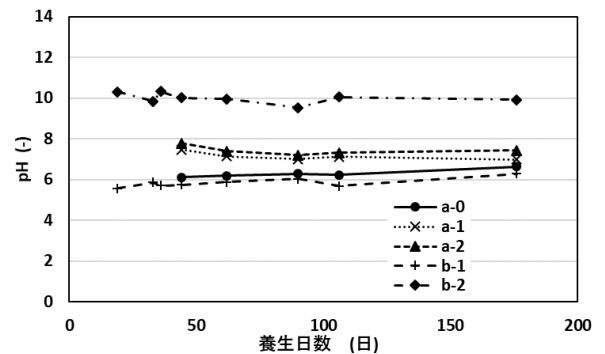


図 3.3 pH の経時変化

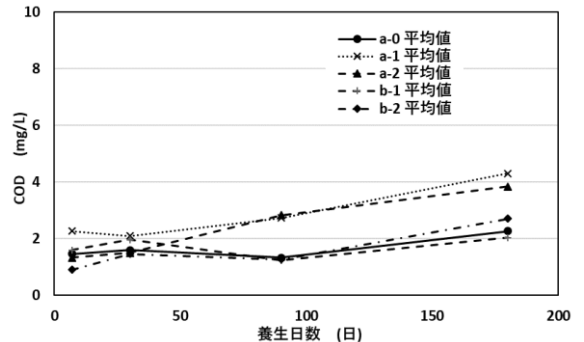


図 3.4 COD の経時変化