

## 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

早稲田大学 学生会員 ○山崎 知

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を誇るため、通常の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。だが現在、「薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針」<sup>1)</sup>により、薬液注入工法に用いる薬液は、安全性の観点により原則として水ガラス系注入材に限るとされている。本研究は、ポリウレタン系注入材の適用範囲の拡大を目的として、ポリウレタン系注入材による固結砂の長期養生中の強度と溶出特性について実験的に調査した。

### 2. 実験内容

#### 2.1 実験条件

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。供試体の目標寸法はφ50mm×100mmである。本試験では、ポリウレタン系注入材の配合誤差による影響を確認するために、3種類の配合比で注入材を作製した。珪砂 1 号の物性を表 2.1 に、注入材の配合比を表 2.2 に示す。

表 2.1 珪砂 1 号の物性値

項目	数値
D <sub>50</sub> (mm)	3.0
比重	2.65

表 2.2 ポリウレタン系注入材配合比

配合	①	②	③
イソシアネート/ポリオール	68/32	70/30	72/28
ライズタイム	約 70 秒		

#### 2.2 実験手順

##### 2.2.1 一軸圧縮試験(JGS 0511)

養生期間は 0, 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、各配合 6 本ずつである。

##### 2.2.2 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。所定の養生期間が経過した時点で浸漬水を採取し、pH 確認試験、過マンガン酸カリウム消費量確認試験(COD 試験)を実施し、その水質変化を測定した。各配合比につき供試体は 3 つずつ用意した。養生期間は 7, 30, 90, 180 日と設定した。

##### ・ pH 確認試験

pH の測定には図 2.2 に示す pH 計を用いた。

##### ・ 過マンガン酸カリウム消費量確認試験

90 日養生までは図 2.3 に示すような COD パックテストを使用していたが、180 日養生時点では JIS K 0102 に準拠し、過マンガン酸カリウムにより酸素要求量(CODMn)を測定した。



図 2.1 供試体の養生の様子



図 2.2 pH 計



図 2.3 COD キット

ウレタン系注入材 長期養生 成分溶出特性

〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 58 号館 205 号室赤木研究室 Tel 03-5286-3405

3. 実験結果

図 3.1 にポリウレタン系固結砂の一軸圧縮強度の推移を示す. 配合により強度にばらつきはあるが, 2000~11000kN/m<sup>2</sup>程度の強度を保持している. 高濃度水ガラス系注入材の一軸圧縮強度は 500~700 kN/m<sup>2</sup>程度(28 日養生時)<sup>3)</sup>であることから, ポリウレタン系注入材は 180 日の養生期間を通して高い強度を示すことが確認できた. また, イソシアネート比が高い配合③については, 初期より高い強度が得られている.

図 3.2 にポリ瓶内の浸漬水の pH の推移を示す. ポリウレタン系供試体の水中再溶出液の pH は養生期間の増加に伴ってわずかに大きくなっており, 7 日養生時では 5 程度であったが 180 日経過時には 7 程度で中性となっている. 本実験で用いた純水の pH は 5.4 程度であることから, 7, 30 日養生時では 5~6 程度とほとんど変化していないが, 90, 180 日経過時においてはわずかに中性側に変化している.

表 3.1 にポリ瓶内の浸漬水の COD 試験の結果を示す. 過マンガン酸カリウム消費量は, 7 日養生ではほとんどが 0mg/L, 30 日養生では 0~5mg/L, 90 日養生でも 10mg/L 以下を示した. COD<sub>Mn</sub>を測定した 180 日養生では 2~3.5mg/L 程度でそれまでの試験結果とほぼ変わらない結果を示した.

薬液注入工法における水質基準<sup>1)</sup>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. 今回のポリウレタン系固結砂の pH は 5~7 程度, 過マンガン酸カリウム消費量は 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の一軸圧縮強度は 2000~11000kN/m<sup>2</sup>程度となり大きなばらつきはあるが, 高濃度水ガラス系注入材の一軸圧縮強度 500~700 kN/m<sup>2</sup>程度と比較して, 非常に大きな強度を示す.

ポリウレタン系注入材の供試体を水中に設置すると, 180 日経過時には pH は 7 程度, COD は 3mg/L 程度を示し, これは薬液注入工法における水質基準を満たしていることを確認した.

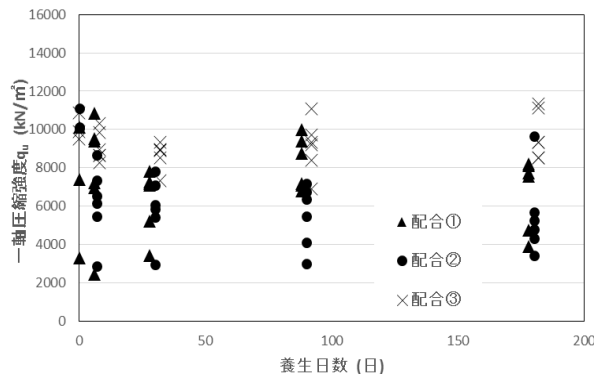


図 3.1 一軸圧縮強度の経時変化

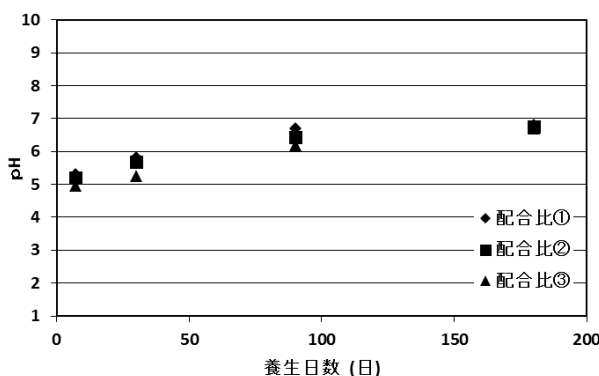


図 3.2 pH の経時変化

表 3.1 COD の経時変化

養生日数 (日)	7	30	90	180
①-1(mg/L)	0~5	0~5	0~5	3.2
①-2(mg/L)	0	0~5	0~5	2.7
①-3(mg/L)	0	0~5	0~5	3.2
②-1(mg/L)	0	0~5	0~5	2.7
②-2(mg/L)	0	0~5	0~5	3.24
②-3(mg/L)	0	0~5	10	3.3
③-1(mg/L)	0	0~5	10	2.4
③-2(mg/L)	0	0~5	5	2.1
③-3(mg/L)	0	0~5	5	3.3

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) 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
- 3) 中道, 山崎, 赤木 “針貫入試験による薬液固結砂の強度評価” 第 13 回地盤工学会関東支部発表会 2016