

ポリウレタン系注入材の地盤への浸透性評価について

早稲田大学 学生会員 ○山本 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・発泡させることで地山の内部応力を高め、岩片間の結合力を高めることで固結体を形成する。

しかしポリウレタン系注入材の現在の用途は山岳トンネル工事における緊急事態の応急措置としての使用に留まっており、水ガラス系注入材と同様に浸透注入が可能となれば今後更なる使用用途の拡大が期待できる。

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が²⁾、その浸透性や固結体の形成過程には、地盤の改良前強度や透水性、地盤中の亀裂の有無などによる不均一性などが関係しており、それら多くの地盤条件によって決定される。そのため、ポリウレタン系注入材の注入施工性には未解明な部分が多く、未だにその施工範囲のコントロールは困難である。

そこで、本報告においてはポリウレタン系注入材の注入時の施工性を検討するために、諸条件を変えて、ポリウレタン系注入材を模擬地盤に注入する実験を実施し、その浸透性を評価した。具体的には、ポリウレタン系注入材の粘度と模擬地盤の地盤条件（粒径）を変えて、注入実験を実施し、浸透性および形成された固結体について考察を実施した。

2. 試験内容

2.1 試験条件

粘度の違う 3 種類のポリウレタン系薬液注入材（粘度 1000(mPa・s)、1500(mPa・s)、2000(mPa・s))を粒径の異なる 3 種類の硅砂(2 号、3 号、4 号)を用いた模擬地盤にそれぞれ注入する。使用するウレタン薬液および岐阜硅砂の物性値を表 2-1 に示す。また試験条件を表 2-2 に示す。

2.2 試験手順

・ 模擬地盤作製

模擬地盤は水中落下法によって作製する。離型処理を施した円筒容器（アクリルモールド：寸法 φ10cm×h25cm）内を水で満たし、硅砂を 3 層に分けて投入し、各層 10 回ずつ締め固める。

・ 定量注入試験

水中落下法により作製した飽和砂地盤にポリウレタン

系薬液注入材を注入速度一定（0.166L/min）で注入する。参考文献³⁾を基に図 2.1 に示す装置を用いて、一定速度で上昇・下降するピストンによって定量注入を実施する。その際、ピストンの載荷面に設置された圧力計によって注入時の圧力を測定する。また、注入および注入材と水との反応に伴う発泡による排水が起こるので、その水量も測定する。

表 2-1 硅砂および注入材の物性値

項目	数値
硅砂の比重	2.56
注入材の液温(°C)	20
注入材の密度 (g/cm ³)	1.08
自由発泡倍率(倍)	10~20
ポリオール/イソシアネート比(重量比)	6.0 : 4.0
ライズタイム(秒)	60~120

表 2-2 注入試験条件

条件	粘度(mPa・s)	模擬地盤
1.1	1000	硅砂 2 号
1.2	1000	硅砂 3 号
1.3	1000	硅砂 4 号
2.1	1500	硅砂 2 号
2.2	1500	硅砂 3 号
2.3	1500	硅砂 4 号
3.1	2000	硅砂 2 号
3.2	2000	硅砂 3 号
3.3	2000	硅砂 4 号

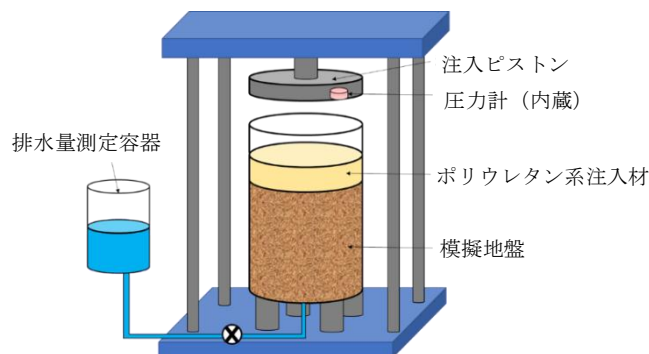


図 2.1 注入装置概要図

ウレタン系注入材 定量注入 浸透性

〒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. 試験結果

図 3.1, 3.2, 3.3 に各条件における注入時間と注入圧力の関係を示す。各条件において注入圧力は載荷と共に上昇し、載荷が終了する 250~300 秒前後で低下した後、再び緩やかに上昇することが確認された。なお条件 2.3 においては、載荷板が砂を押し込み急激に圧力が増加したため途中で載荷を中止した。各条件について、最大注入圧力を比較してみると、同粘度においては模擬地盤の粒径が小さくなるほど最大注入圧力は大きくなる傾向が見られた。また模擬地盤の粒径が同程度である場合においては、薬液の粘度が高いほど圧力が大きくなる傾向が見られた。最も粘度が高いポリウレタン系注入材を使用し、かつ最も粒径の小さい硅砂 4 号を使用した条件 3.3 において、最大注入圧力は 0.073MPa であり、割裂によると見られる圧力低下も確認されなかったことから、本試験の載荷速度においては浸透注入が可能であると考えられる。

表 3-1 に固結体の注入材充填率と土中発泡倍率を示す。排水量を注入量とし、初期の間隙体積に対する排水量を注入材充填率として算出している。また土中発泡倍率は発泡前の液体状態のポリウレタン系注入材の体積と、排水量（注入量）の比より算出した。結果より充填率に一定の傾向は見られず、これは土中発泡倍率の違いによるものと考えられる。

4.まとめ

本報告では粘度の違うポリウレタン系注入材を粒径の異なる硅砂を用いた模擬地盤に対して一定速度で注入することで、浸透性および固結体について評価を行った。注入圧力の測定結果より、粘度が大きくなる程、また粒径が小さくなる程圧力は大きくなる傾向が見られたが、条件 2.3 を除きたいずれの条件においても大きな圧力上昇は見られず、今回の試験条件においては浸透注入が可能であると考えられる。

今後は模擬地盤や粘度のみでなく、注入速度を大きくすることでさらに条件を増やして注入試験を実施することで、より厳しい条件下での浸透性および土中での発泡倍率について検討していきたい。

<参考文献>

- 1) 建設省：“山岳トンネル子法におけるウレタン注入の安全管理に関するガイドラインについて” 1994
- 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年度全国大会
- 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

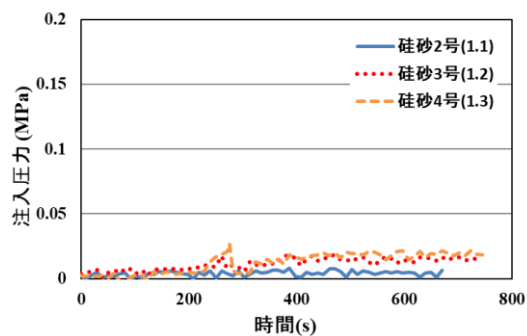


図 3.1 注入時間と注入圧力の関係(粘度 1000mPa・s)

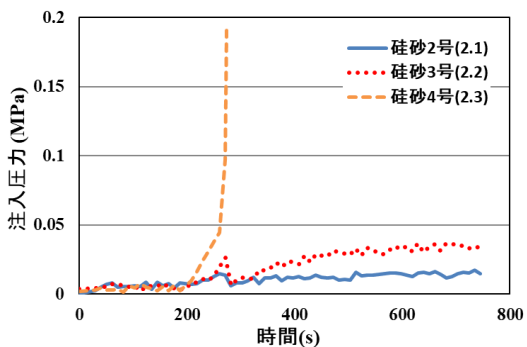


図 3.2 注入時間と注入圧力の関係(粘度 1500mPa・s)

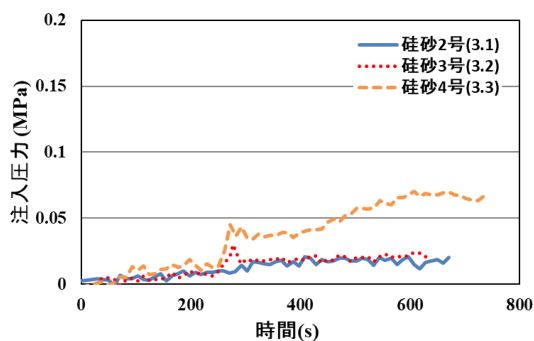


図 3.3 注入時間と注入圧力の関係(粘度 2000mPa・s)

表 3-1 固結体の注入材充填率と土中発泡倍率

条件	注入量(g)	排水量 (mL)	注入材 充填率(%)	発泡倍率 (倍)
1.1	183.21	270	64.14	1.59
1.2	186.58	270	59.56	1.56
1.3	179.18	280	84.63	1.69
2.1	173.31	360	72.25	2.24
2.2	180.96	335	73.91	2.00
2.3	181.90	250	68.91	1.48
3.1	166.26 s s	250	62.87	1.62
3.2	183.10	200	50.72	1.18
3.3	176.71	330	92.14	2.02