

環境対応型ポリウレタン系地盤注入材の浸透性と改良固結体の特性評価

赤	木	寛	一 ^{*1}
戸	谷	哲	大 ^{*1}
齋	藤	拓	未 ^{*1}
岸	本	龍	介 ^{*2}
中	島		智 ^{*3}

Characterization of Penetration and Soil Improvement Performance using Environmentally Friendly Polyurethane Injection Materials

Hirokazu AKAGI
Tetsuhiro TOYA
Takumi SAITO
Ryusuke KISHIMOTO
Satoru NAKAJIMA

In the chemical injection method, the characteristics of polyurethane injection materials is as follows; short solidification time, exhibiting the high strength, and so on. However, the mechanism of penetration, foaming and solidification during injection into the ground is unclear, in addition, concerned about the impact on the surrounding environment. In this report, injection tests into simulated ground for evaluating the penetration performance, and aging degradation evaluation tests for confirming strength and elution are conducted.

1. はじめに

世界有数の地震大国である日本にとって、地震とそれに伴う一次災害および二次災害の被害は軒並み大きく、対策は必要不可欠となっている。地震の一次災害の一種に液状化現象が挙げられるが、その対策として、地盤改良による未然の防止が有効である。地盤改良工法の一分野である薬液注入工法は、薬液が土粒子間の水と置換しつつ地盤に浸透し、固結することで地盤の不透水化や強度増加を図る工法である。

薬液注入工法で用いられる薬液の中で、高分子材料

の一種であるウレタン系薬液は、地盤に注入してから固化するまでの時間と最終強度の発現が早く、またその強度も大きいという特徴を有しているが、地盤注入時の浸透・発泡・固化というメカニズムが不明瞭であり、なおかつ、注入に際した周辺環境への影響が不安視されている。加えて、「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、原則として使用不可となっている。そのため、現在では山岳トンネル掘削工事における切羽天端からの崩落防止や緩みの拡大防止、地山の固結や改良および止水といった目的での利用に留まっている²⁾。したがって、ポリウレタン系注入材の地盤への浸透注入が可能となれば、更なる適用範囲の拡大が見込める。

上記の背景を踏まえ、本報告では、ウレタン系薬液に分類されるポリウレタン系注入材の適用範囲拡大を

*1 早稲田大学大学院 創造理工学研究科 建設工学専攻
*2 ウレタン研究所 機能性フォーム第2グループ
*3 ウレタン事業部 企画開発室 企画グループ

最終目的として、ポリウレタン系の注入材を使用し、地盤注入時の浸透・発泡・固化のメカニズムを明瞭化することを目的とした模擬地盤に対する注入試験を実施した。また、得られた注入固化体について、時間経過に伴う供試体の強度低下の有無と、環境への影響増加の有無を確認する溶出物経時劣化評価試験を実施した。

2. ポリウレタン系注入材の反応機構

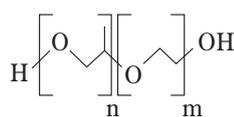
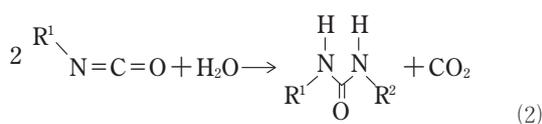
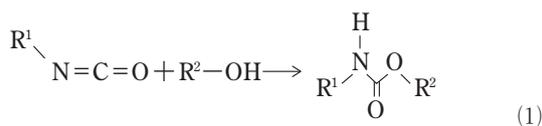
本報告における注入試験および経時劣化評価試験にて使用した注入材の詳細を以下に示す。

名称：ウレタンプレポリマー

組成：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)）、ポリエーテル系ポリオール、粘度調整剤

粘度：1000、2000、3000[mPa・sec (20、25℃)]

ウレタンプレポリマーは、作成時にイソシアネート基（-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）と、ポリエーテル系ポリオール（PO(プロピレンオキサイド)とEO(エチレンオキサイド)で構成される）とのウレタン化反応(1)により高分子（プレポリマー）化させている。地盤への注入時、地盤中の水とのウレタン化反応(2)によりさらに高分子化し、増粘化に伴う流動性の消失、および生じるCO₂を発泡剤として樹脂化することで固化する。



PO 構造 EO 構造
(親水性： 低い 高い)

本報告4の1項目にて実施する試験では、上記のポリエーテルポリオール構造中のPO構造およびEO構造のうち、親水性の高いEO構造の量を調整することにより、地盤中の水との反応性を変更した3水準（EO = 21.0、14.0、7.0[%]）の設定が為されている。

3. ウレタンプレポリマーを使用した模擬地盤への1次元方向注入試験

[1] 1次元方向注入試験概要

当検討にて実施した1次元方向注入試験の模式図をFig. 1に示す。また、試験手順を以下1)～3)に示す。

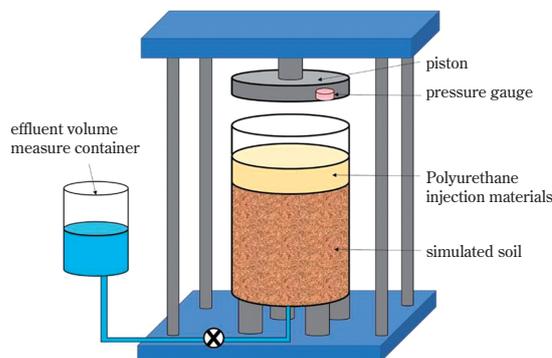


Fig. 1 One-dimensional injection testing equipment

- 1) 模擬地盤作成…内径10cm×高さ25cmのステンレス製モールド内部に、飽和砂の模擬地盤を空中落下法により作製した。
- 2) 注入準備…ステンレス製モールド上部に取り付けたアクリル製カラー内部に、ポリウレタン系注入材を投入した。
- 3) 注入実施…載荷板が一定速度で下がることで模擬地盤内に注入材が浸透する。この際、注入圧力および排水量を測定した。

(1) 注入材粘度の影響

注入材粘度および地盤性質が注入材浸透性能に及ぼす影響を調べた。注入試験ケースは以下Table 1に示す通りである。試験ケースは、注入材の粘度（3水準）、模擬地盤土質（3種類）、注入速度（3水準）を変更した22ケースとした。

模擬地盤の作成に使用した珪砂2号、4号、および単粒武蔵野礫層の物性値をTable 2に、粒径加積曲線をFig. 2に示す。なお、模擬地盤の目標相対密度はDr = 60%とした。

(2) 地盤の透水係数及び均等係数と浸透性の関係

地盤の透水係数と均等係数に着目した注入試験を実施した。試験ケースはTable 3(a)に示す25ケースであり、注入速度は0.535[L/min]で固定し、均等係数(Uc = 5,10,20)、平均粒径(D₅₀ = 珪砂2号、4号、5号相当)、注入材粘度(1000、2000、3000[mPa・s])

Table 1 Experiment cases

Experiment case No.	Viscosity [mPa · s@20°C]	Name of simulated soil	Injection velocity [L/min]
1	1000	silica sand No.2	0.189
2	1000	silica sand No.2	0.944
3	1000	silica sand No.2	1.887
4	1000	silica sand No.4	0.189
5	1000	silica sand No.4	0.944
6	1000	silica sand No.4	1.887
7	1000	Single-grained Musashino Grave Formation	0.189
8	1000	Single-grained Musashino Grave Formation	0.189
9	2000	silica sand No.2	0.189
10	2000	silica sand No.2	0.944
11	2000	silica sand No.2	1.887
12	2000	silica sand No.4	0.189
13	2000	silica sand No.4	0.944
14	2000	silica sand No.4	1.887
15	2000	Single-grained Musashino Grave Formation	0.189
16	2000	Single-grained Musashino Grave Formation	1.887
17	3000	silica sand No.2	0.189
18	3000	silica sand No.2	0.944
19	3000	silica sand No.4	1.887
20	3000	silica sand No.4	0.189
21	3000	Single-grained Musashino Grave Formation	0.189
22	3000	Single-grained Musashino Grave Formation	1.887

Table2 Physical property of three soil materials

Soil name	Density of soil particle ρ_s [g/cm ³]	Maximum void ratio e_{max} [-]	Minimum void ratio e_{min} [-]	hydraulic conductivity k [m/s]
silica sand No.2	2.640	0.954	0.679	5.64×10^{-4}
silica sand No.4	2.645	0.925	0.618	2.92×10^{-4}
Single-grained Musashino Gravel Fomation	2.646	0.740	0.461	7.30×10^{-4}

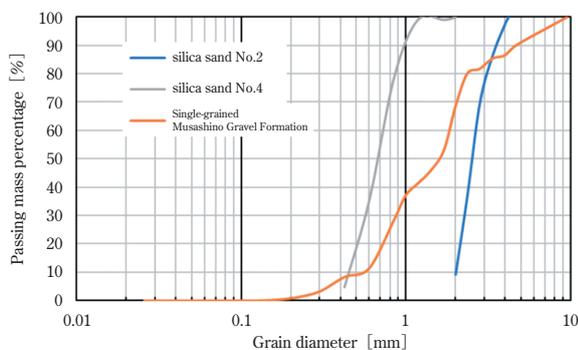


Fig. 2 Grain size accumulation curve of three soil materials

をそれぞれ変更したものである。また、Table 3 (b) に示すように、使用する注入材の粘度を 1000mPa · s に固定し、使用する土試料（珪砂 4 号、君津砂）、および地盤の含水比 ($w = 5、15、飽和\%$) を変更した 6 ケースの試験を実施した。

使用した土試料の物性値および粒径加積曲線を、以下 Table 4、Fig. 3 に示す。

[2] 注入試験結果・考察

(1) 注入材粘度の影響

Fig. 4 に示す粘度と浸透距離の関係では、珪砂 2 号、

Table 3 Experiment cases

(a) Cases in changing coefficient of uniformity, average particle size and viscosity of injection materials

Experiment case No.	Name of simulated soil	Viscosity [mPa·s@20°C]
1	No.1 simulated soil	1000
2	No.1 simulated soil	2000
3	No.1 simulated soil	3000
4	No.2 simulated soil	1000
5	No.2 simulated soil	2000
6	No.2 simulated soil	3000
7	No.3 simulated soil	1000
8	No.3 simulated soil	2000
9	No.3 simulated soil	3000
10	No.4 simulated soil	1000
11	No.4 simulated soil	2000
12	No.4 simulated soil	3000
13	No.5 simulated soil	1000
14	No.5 simulated soil	2000
15	No.5 simulated soil	3000
16	No.6 simulated soil	1000
17	No.6 simulated soil	2000
18	No.6 simulated soil	3000
19	No.7 simulated soil	1000
20	No.7 simulated soil	2000
21	No.7 simulated soil	3000
22	No.8 simulated soil	1000
23	No.8 simulated soil	2000
24	No.8 simulated soil	3000
25	No.9 simulated soil	1000

(b) Cases in changing, soil materials and sand water content

Experiment case No.	Name of soil materials	Water content [%]
26	Kimitsu sand	5
27	Kimitsu sand	15
28	Kimitsu sand	33(saturated)
29	silica sand No.4	5
30	silica sand No.4	15
31	silica sand No.4	28(saturated)

4号においては粘度の上昇とともに浸透距離が減少したが、単粒武蔵野礫層の場合では粘度の上昇による浸透距離の変動は僅かであり、粘度によらず浸透距離は一定となった。粘度 2000、3000mPa·s では、単粒武蔵野礫層の浸透距離は珪砂2号と4号の中間に存在し、これは Fig. 2 の粒径加積曲線における平均粒径 D_{50} の粒径の順番と一致する。また、単粒武蔵野礫層では粘度の変化による浸透距離の変化の度合いが小さいことから、均等係数 U_c が珪砂2号や4号と比較して大きい点も浸透距離に影響を及ぼすと推察され、さらに均等係数が大きいと粘度による影響を受けづらくなると考えられる。

(2) 地盤の透水係数及び均等係数と浸透性の関係

均等係数、平均粒径、注入材粘度の3項目に着目して試験を実施した。Fig. 5 より、ポリウレタン系注入材の浸透注入において、ばらつきの少ない定量的な指標として透水係数を用いて浸透距離を決定可能と判断できる。Fig. 5 の透水係数と浸透距離の関係を見ると、いずれの粘度においても、浸透距離が透水係数に比例することがわかった。

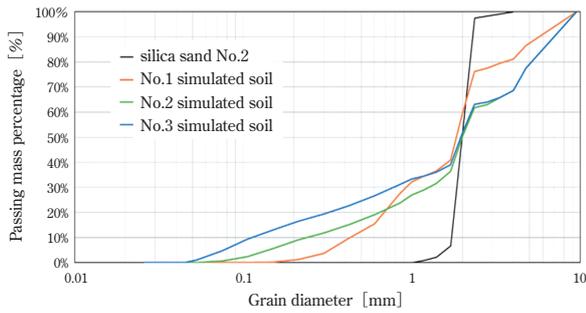
4. ウレタンプレポリマーを使用した模擬地盤への3次元方向注入試験

[1] 3次元方向注入試験概要

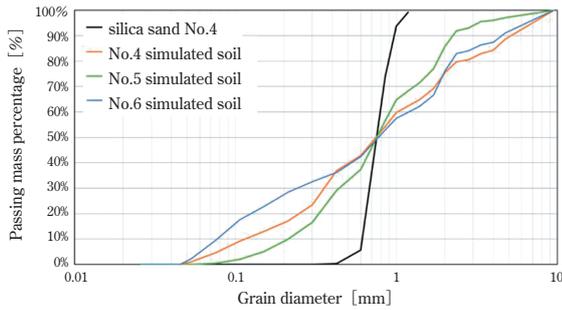
本報告3にて実施した1次元方向注入試験の結果を受け、より試験条件を原地盤への注入に近づけるため、従来の1次元方向から模擬地盤を拡大した、3次元方

Table 4 Physical property of materials used in the test

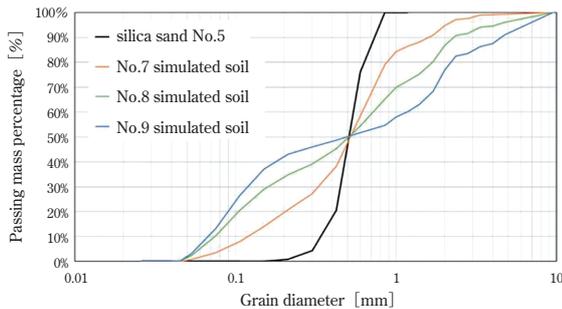
Soil name	Density of soil particle ρ_s [g/cm ³]	Maximum void ratio e_{max} [-]	Minimum void ratio e_{min} [-]	hydraulic conductivity k [m/s]
silica sand No.2	2.64	0.96	0.68	1.02×10^{-2}
silica sand No.4	2.65	0.93	0.61	2.81×10^{-4}
silica sand No.5	2.62	0.81	0.51	3.00×10^{-4}
No.1 simulated soil	2.60	0.64	0.44	3.24×10^{-3}
No.2 simulated soil	2.57	0.54	0.38	3.05×10^{-3}
No.3 simulated soil	2.58	0.51	0.31	1.43×10^{-3}
No.4 simulated soil	2.63	0.63	0.39	2.74×10^{-4}
No.5 simulated soil	2.66	0.55	0.31	7.65×10^{-5}
No.6 simulated soil	2.56	0.51	0.27	1.32×10^{-4}
No.7 simulated soil	2.61	0.64	0.38	2.46×10^{-4}
No.8 simulated soil	2.62	0.60	0.33	3.04×10^{-5}
No.9 simulated soil	2.60	0.67	0.35	1.50×10^{-5}
Kimitsu sand	2.72	1.05	0.68	1.02×10^{-4}



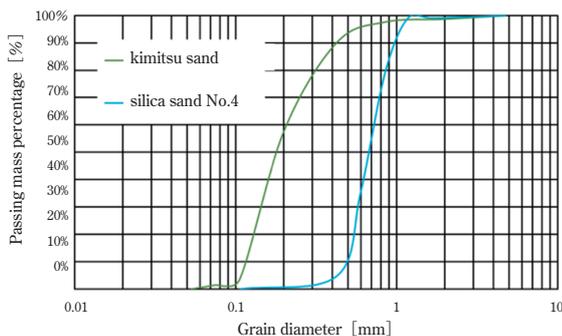
(a) No.1, 2, 3 simulated soil and silica sand No.2



(b) No.4, 5, 6 simulated soil and silica sand No.4



(c) No.7, 8, 9 simulated soil and silica sand No.5



(d) Kimitsu sand and silica sand No.4

Fig. 3 Grain size accumulation curve of soil materials

向の注入試験を実施する。

3次元方向の注入試験では、含有するEO量の異なる3種類のウレタンプレポリマーを、含水比を変更して作成した珪砂4号の模擬地盤に注入し、注入材の性能比較および含水比の与える影響を調べた。試験ケースはTable 5に示す9ケース(注入材3水準×含水比3条件)である。また、使用した珪砂4号の物性値を

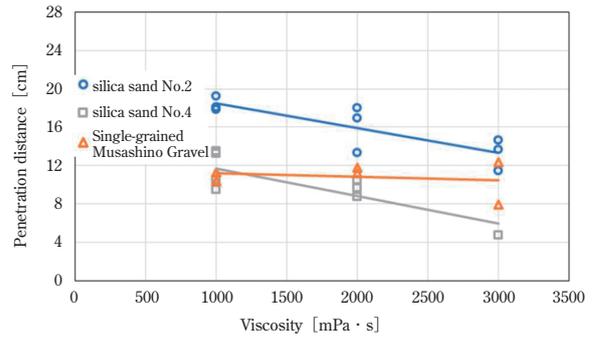


Fig. 4 The relationship between Viscosity and Penetration distance

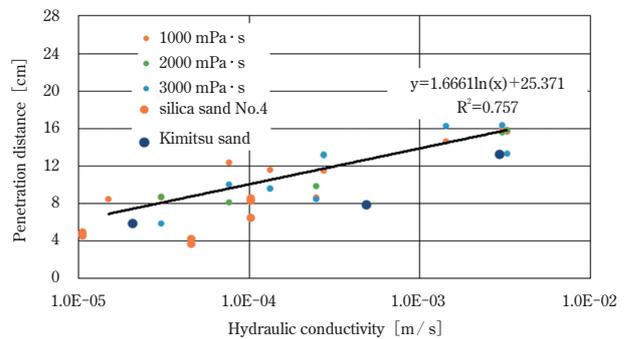


Fig. 5 The relationship between Hydraulic conductivity and Penetration distance

Table 6に示す。加えてこの試験条件はTable3(b)と同様の1000mPa·s(EO=36.5%)に固定し、使用する土試料(珪砂4号、君津砂)、および地盤の含水比($w=5,15$,飽和%)を変更した6ケースとした。

3次元方向注入試験の模式図をFig. 6に示す。また、試験手順を1)~3)に示す。

1) 模擬地盤作成…Fig. 7に示すように、内径300mmのペール缶の側面に沿うように排水管を2本設置した後、所定の含水比となるよう水を加えた珪砂4号を堆積させ、締固め、地盤中心部に注入管を挿入すること

Table 5 Experiment case

Experiment case No.	Water content [%]	EO amount of injection materials [wt%]
1	5	21.0
2	15	21.0
3	23	21.0
4	5	14.0
5	15	14.0
6	23	14.0
7	5	7.0
8	15	7.0
9	23	7.0

Table 6 Physical property of silica sand No.4

Density of soil particle ρ_s [g/cm ³]	Maximum void ratio e_{max} [-]	Minimum void ratio e_{min} [-]	50% soil diameter D_{50} (mm)	Target relative density D_r (%)	Dry density when the target relative density ρ_d (g/cm ³)
2.639	0.752	0.512	0.512	60	1.642

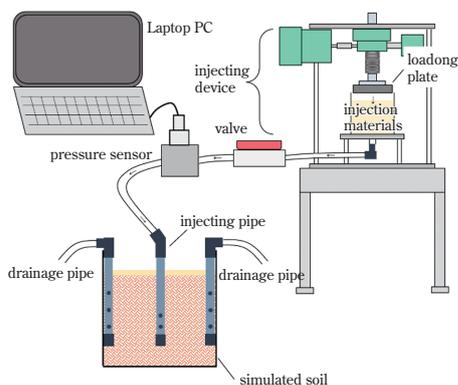


Fig. 6 Three-dimensional injection testing equipment

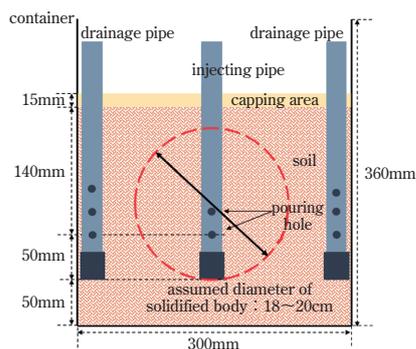


Fig. 7 image of simulated soil

で模擬地盤を作製した。なお、地盤膨張防止のため、地盤頂部をウレタン薬液でキャッピングした。

2) 注入実施…載荷板を一定速度で下げることに、0.19L/min の速度で注入材を地盤へ注入させた。

3) 注入固化体採取…注入終了後、地盤内に浸透した注入材が固化するまで静置し、4) ~ 10) に示す項目を測定し、注入材の性能評価を行った。

4) 固化体概形…得られた注入固化体の概形について、レーザー計測装置を用いて一方向から計測した。

5) 注入圧…試験時の注入圧力を圧力センサーにより記録、推移を確認した。

6) 注入材注入量…注入前および注入後に測定した注入材質量の差を注入材の注入量とした。

7) 固化体体積…取り出した注入固化体をラップで包み、水に浸けて増加した質量を改良体の体積とした。

8) 固化体質量…電子天秤にて改良体の質量を測定した。

9) 固化体密度…改良体の質量を体積で除すことで、密度を求めた。

10) 発泡倍率…発泡倍率は(5)式により定義した。

$$E = \frac{V}{(W/\rho)} \times \frac{n}{100} \quad (5)$$

ここに、

E : 発泡倍率 (倍)

W : 注入材注入量 (g)

ρ : 注入材密度 (g/cm³)

V : 固化体体積 (cm³)

n : 間隙率 (%)

なお、発泡倍率を算出する際必要となる間隙率 n の導出は、(6)式の通りである。

$$n = \frac{V - ((M - W) / (1 + \frac{w}{100})) / \rho_s}{V} \times 100 \quad (6)$$

ここに、

M : 固化体質量 (g)

w : 含水比

ρ_s : 珪砂4号土粒子密度 (g/cm³)

である。

[2] 注入試験結果・考察

実験条件 (Table 3 (b)) により得られた6ケース注入固化体の概形を Fig. 8 に示す。飽和状態となる含水比のケースでは楕円に近い形状になり、含水比が下がるにつれて縦長の形状になるという傾向がみられた。これは含水比を下げたことで注入しづらくなり、注入材が浸透しやすい注入管方向へ逃げたためだと考えられる。なお、君津砂を用いたケースでは、注入固化体の形状が球形でなく歪であったため、測定はできなかった。また、3次元方向注入試験と本報告3にて得られた1次元方向注入試験の結果を発泡倍率の面で比較した Fig. 9 より、含水比-発泡倍率関係の間には正の相関が見られた。

レーザー計測装置を用いて計測した注入固化体概形

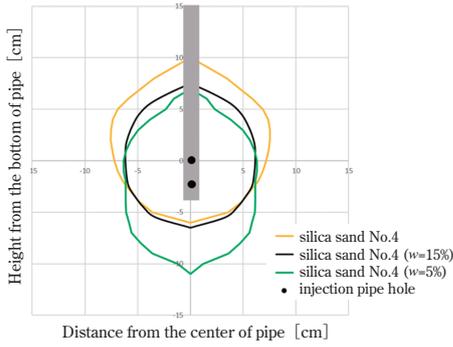


Fig. 8 Improved body outlines in silica No.4 cases

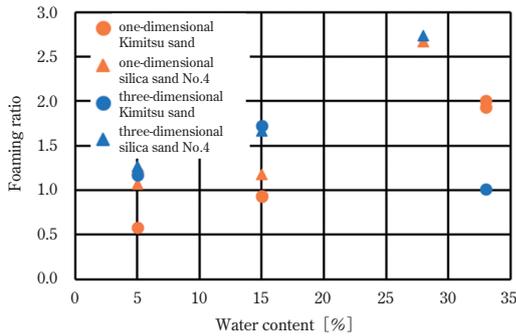


Fig. 9 The relationship between Sand water content and Foaming ratio

の様子である Fig.10 より、地盤の含水比が高いほど、固化体が注入管上部に進展する傾向が見られた。これは、含水比が高いケースにおいて、地盤内間隙空気存在割合が他ケースに比べて低いため、圧力が相対的に低い注入材上部領域へ浸透したと考えられる。固化体の概形計測の結果を注入材の EO 量毎で比較した場合、特に有意の差は見られなかった。

試験実施以前は、地盤の含水比と発泡倍率は比例関係にあると予想され、また、注入材に含まれる EO は親水基であり、これが多いほど水との反応性が高くなり、地盤に十分に浸透するより以前に発泡・固化する

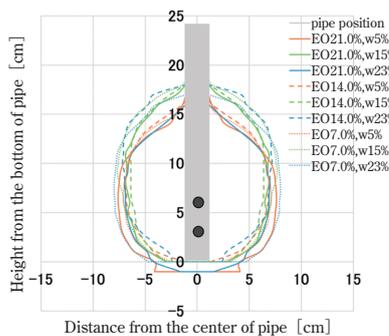


Fig.10 Improved body outlines in all experiment cases

ため、EO 量が少ない注入材ほど発泡倍率が大きくなると推測していた。Fig.11 より、含水比と発泡倍率の間には必ずしも比例の関係性が存在しているわけではないが、含水比の増加に伴い発泡倍率が増加する傾向が見られた。また、注入材の EO 割合が 21.0% から 14.0% まで変化した程度では、発泡倍率の増加にさほど影響を及ぼすことはないものの、EO = 7.0% まで小さくなった注入材では、発泡倍率が高くなる傾向が確認された。そのため、注入材の EO 量が少なくなることで、浸透距離が伸び、発泡倍率も大きくなると判断できる。

5. ウレタンプレポリマーを使用して作成した改良土の経時劣化評価試験

[1] 経時劣化評価試験概要

本報告 3 における 1 次元方向注入試験より得られた注入固化体の一部に対し、一軸圧縮試験を実施した。また、注入固化体を水中浸漬させた際の浸漬水、および注入試験時に発生した排水について、溶出物試験として pH 値と COD 消費量の値を測定した。なお、浸漬水の溶出物の養生はタンククリーニング試験に則った手法で行った。溶出物試験の試験ケースは 40℃、16 時間水中浸漬させた Table 7 に示す 8 ケースとした。

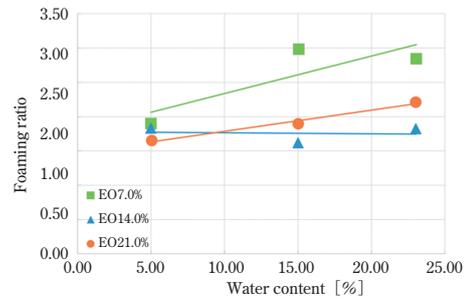


Fig.11 The relationship between Sand water content and Foaming ratio

Table 7 Physical property of silica sand No.4

Curing condition	Experiment case No.
	1
Specimen	2
soaking water	3
	Blank
	1
Injection	2
discharge	3
	Blank

(1) 一軸圧縮試験

一軸圧縮試験の試験手順は以下の通りとした (JIS A 1216)³⁾。

1) 供試体の直径 D_0 (mm) および高さ H_0 (mm) を求めた後、質量 m (g) を測定した。

2) 供試体を一軸圧縮試験機に設置した。この際、供試体を下部加圧版中央に置き、圧力がかからないよう上部加圧板を密着させ、変位計および荷重計の原点調整を行った。

3) 供試体の高さに対して、毎分1%の圧縮ひずみが生じる速さを基準として供試体を圧縮した。なお、本報告にて使用する供試体の高さはそれぞれ約100mmのため、一律1mm/minの速度で圧縮した。

4) 圧縮量 ΔH (mm) と圧縮力 P (N) を測定する。圧縮の終了判定は、以下三項目の内のいずれかとした。

- ・圧縮力 P (N) が最大値となってから。圧縮し続けて圧縮量 ΔH (mm) が供試体高さ H_0 (mm) の2%以上生じた場合

- ・圧縮力 P (N) が最大値の2/3程度に減少した場合

- ・圧縮量 ΔH (mm) が供試体高さ H_0 (mm) の15%に達した場合

5) 圧縮終了後の供試体の変形・破壊状況を記録し、すべり面が見られる場合にはおおよその角度も測定した。

6) 得られた D_0 (mm)、 H_0 (mm)、 ΔH (mm)、 P (N) のデータより、応力 σ -ひずみ ϵ 関係のグラフを描く。この際、一軸圧縮強さ qu (kN/m²) を記録した。

(2) 溶出物試験

1) pH 試験

pH 試験は、JIS K0102 に規定されているガラス電極法⁴⁾に従って実施する。測定手順は以下の通りとした。

①校正した pH 計の検出部を水で繰り返し3回以上洗い、きれいな柔らかい紙などで拭いた。

②試料をビーカーにとり、検出部を浸した。温度補償用ダイヤル又はデジタルスイッチの設定のあるものは、目盛値を試料の温度に合わせた後、pH 値を測定した。

③検出部を取り出し、水で繰り返し3回以上洗い、きれいな柔らかい紙などで拭いた。

④再び試料をビーカーにとり、検出部を浸し、pH 値を測定した。

⑤再び③及び④の操作を行い、3回の測定値が±0.1で一致した測定値を平均し、試料の pH 値を算出した。

2) COD 試験

COD 試験は、JIS K0102 記載の方法⁴⁾に従い、試験を実施した。

①試料100mlを三角フラスコ300mlにとり、水を加えて100mlとし、47%硫酸10mlを加え、振り混ぜながら硝酸銀溶液(200g/L)5mlを加えた。

②5mmol/L過マンガン酸カリウム溶液10mlを加えて振り混ぜ、直ちに沸騰水浴中に入れ、30分間加熱した。

③水浴から取り出し、しゅう酸ナトリウム(12.5mmol/L)10mlを加え振り混ぜ、よく反応させた。

④液温50～60℃で、5mmol/L過マンガン酸カリウム溶液で僅かに赤い色を呈するまで滴定した。

⑤別に、水100mlを三角フラスコ300mlにとり、1)～4)の操作を行った。

⑥以下示す(7)式によって(mg/L)を算出した。

$$\text{COD Mn} = (a - b) \times f \times \frac{100}{V} \times 0.2 \quad (7)$$

ここに、COD Mn: 100℃における過マンガン酸カリウムによる酸素要求量(mg/L)

a : 滴定に要した5mmol/L過マンガン酸カリウム溶液(mL)

b : 水を用いた試験の滴定に要した5mmol/L過マンガン酸カリウム溶液(ml)

f : 5mmol/L過マンガン酸カリウム溶液のファクター(1.002)

V : 試料(ml)

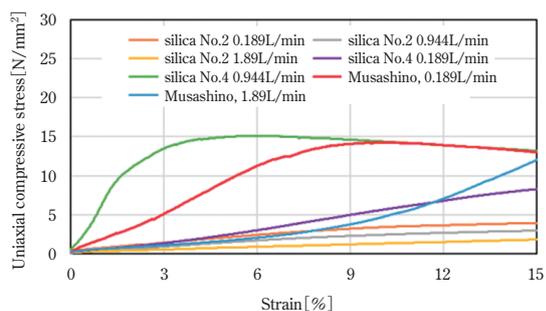
0.2: 5mmol/L過マンガン酸カリウム溶液1mlの酸素相当量(mg)

である。

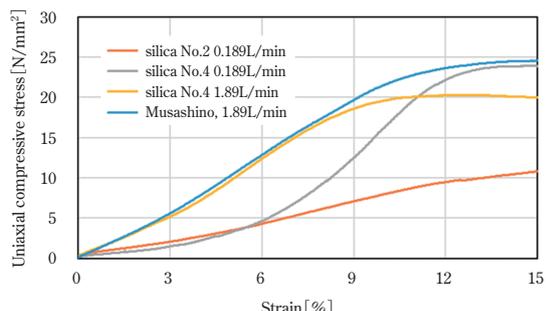
[2] 経時劣化評価試験結果・考察

(1) 一軸圧縮試験結果

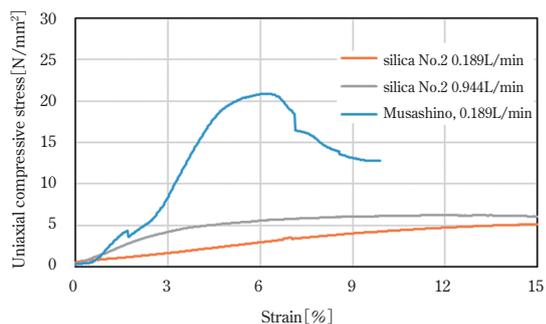
Fig.12(a)～(c)に、一軸圧縮試験の結果を示す。粘度1000、2000mPa・sの圧縮試験初期に見られる線形的な変化をする領域について、ひずみ2%程度で出現しているものや9%付近で出現しているものもあり、ばらつきがみられた。しかしひずみ15%時点では同じ砂を用いて作られた固結体では概ね等しい強度となった。一部のケースを除いて明確なピークは確認できないものの、ポリウレタン系樹脂特有の強い靱性、および高強度性が確認された。



(a) 1000mPa·s



(b) 2000mPa·s



(c) 3000mPa·s

Fig.12 Strain-Uniaxial compressive stress among 1000~3000mPa·s

(2) 溶出物試験結果

1) pH 試験結果

Fig.13 に、pH 試験の結果を示す。供試体浸漬水の pH は 7 に近い値であり、環境省が定めている水質基準⁵⁾に設けられている生活環境の保全に関する環境基準である、pH 値 6.0 以上 8.5 以下という基準を満足する結果となった。

2) COD 試験結果

Fig.14 に、COD 試験の結果を示す。①の固化体浸漬水の COD 消費量は、②の注入排水と比較してある程度量が多くなっているものの、環境省で設けられている生活環境の保全に関する環境基準(湖沼)⁵⁾の 8(mg/L) 以下という基準を満足する結果となった。

経時劣化評価試験の結果より、前述の検討に使用し

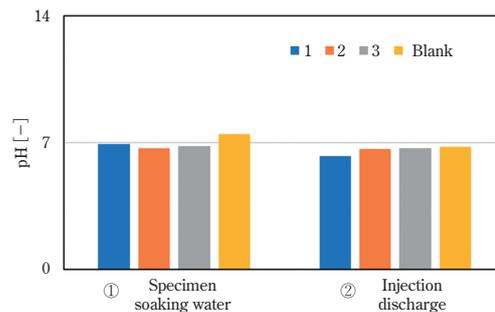


Fig.13 Comparison of pH values

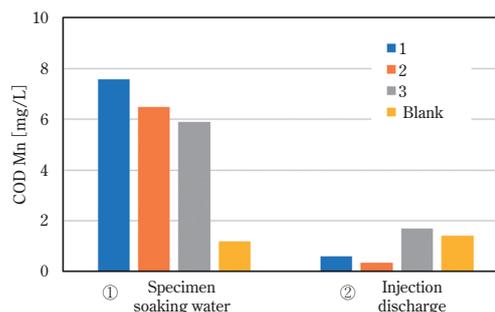


Fig.14 Comparison of COD Mn values

たウレタンプレポリマーを地盤に注入して得られた注入固化体は、短期間養生の場合に限り、ウレタン特有の高強度を有し、溶出の面からも環境基準を満たすため、使用に際し問題がないことが判明した。今後は、より長期間養生した場合の固化体一軸圧縮強度および固化体浸漬水の溶出量を確認することが求められる。

6. まとめ

本報告では、ポリウレタン系注入材に分類されるウレタンプレポリマーを用いて、模擬地盤への注入試験による注入材性能評価、ならびに一軸圧縮試験と溶出物試験による、注入材を用いて作成した供試体の経時劣化評価により、薬液注入工法への安全な使用に際した、未だ不明瞭な点の多いポリウレタン系注入材の性能の一端を調査した。今後、更なるポリウレタン系注入材の性能の解明により、適用される範囲が拡大されることで、薬液注入工法の本設運用に貢献できる。

7. 参考文献

- 1) 国土交通省、薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針、(建設省、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、27,
(2010)

- 3) JIS A 1216 土の一軸圧縮試験
- 4) JIS K 0102 工場排水試験方法
- 5) 環境省、水質汚濁に係る環境基準 生活環境の保
全に関する環境基準 (湖沼), (2016)