

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 稲場 肇
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 土井博己
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○藤沢 一
 応用地質株式会社 正会員 奥村興平

1. まえがき

薬液注入は地中注入であるため、施工結果の確認が非常に困難な工法である。現在の薬液注入の施工結果の確認は主に一軸圧縮強度、透水係数等の地盤の物性値を介して判断している。このような判定はかなり定性的、概略的にならざるを得ず、適性な注入がされたことを確認する方法としては不十分であると考えられる。このため、注入材成分の化学分析により地中注入量を直接的、定量的に確認する方法を検討したので、以下に報告する。

2. 研究概要

現在の注入薬液の9割以上は水ガラス系である。水ガラス ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$) の成分であるシリカ (SiO_2) とナトリウム (Na) を地盤採取試料より定量分析することで薬液量を確認することが可能であると考えられる。シリカとナトリウムの化学分析はJISで確立された方法であるが、この方法を用いて地盤中の薬液を定量(地盤内の注入薬液のバラツキは別として)するには、以下のことを検討する必要がある。

- ① 薬注土壌からの成分の溶出方法。
- ② 薬液量を定量する化学分析の精度。

これらを室内試験による模型注入土で検討した。

3. 溶出方法の検討

シリカ、ナトリウムを定量分析するためには薬注土壌から成分を溶出させた検液をつくる必要がある。溶出は水酸化カリウムで行うこととし、溶出条件を表1に示すケースで検討した。模型注入土に用いた砂の粒土試験結果を図1の①に示す。模型注入土はスチロール棒瓶(容量20ml、内径24mm、高さ55mm)に湿潤土(砂)20gをとり、湿潤密度を約1.5 g/cm³になるように詰め、そこに薬液(50%濃度水ガラス：硬化剤=1:1)を4.0 ml注入(注入率約30%)し硬化させ、約10日間密封状態で放置したものを用いた。検液作成、及び化学分析のフローを図2に示す。図3にシリカとナトリウムの溶出量、及び模型注入土に含まれる各成分量に対する溶出量の割合、つまり回収率を示す。

図3において、シリカ、ナトリウムともに溶出液(水酸化カリウム)の濃度が高くなるほど、また溶出時間が長くなるほど回収率が高くなっている。シリカの場合、0.01Nによる溶出では24時間で溶出するほぼ90%が20分までに溶出し、回収率は50%以下である。これは固化したシリカの中で最も溶けやすい部分に水酸化カリウムが消費され、それ以上固化したシリカを溶解するために必要な水酸化カリウム量が不足したためと思われる。0.1N、1Nでは5分から20分の間で溶出量の増加が5分までの増加割合に比べて一旦緩やかになり、20分から60分でまた溶出量が増加する傾向がみられる。これは固化したシリカの中で最も溶けやすい構造の部分が最初の5分間で溶解し、溶けにくいシリカ、例えば土粒子と結合した部分の溶解には20分以上の時間が必要に

表1 溶出方法の検討ケース

| | |
|-------|------------------------|
| 溶出液 | 水酸化カリウム |
| 溶出液濃度 | 0.01N, 0.1N, 1N (N=規定) |
| 溶出時間 | 5分, 20分, 1時間, 24時間 |

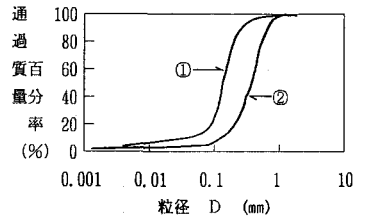


図1 試料の粒径加積曲線

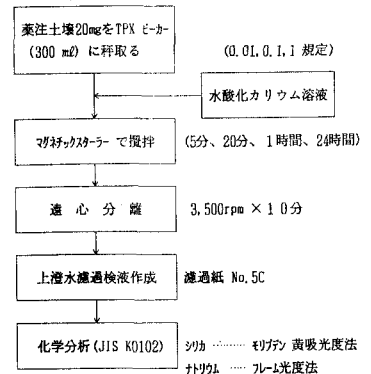


図2 検液作成、化学分析フロー

なったのではないかと考えられる。60分以上では回収率の増加は若干である。60分以上になると試料(砂)からの溶出量が薬液からの溶出量よりも多くなり分析精度を悪くしている。このようにシリカは0.01Nでは回収率50%にも満たず、溶解時間を長くしても回収率の増加はわずかである。0.1Nでは溶解時間が長くなると回収率は増加し、24時間では約83%と3濃度中で最も高くなる。1Nでは溶解時間が長くなると砂からのシリカ溶出量が多くなり、24時間では薬注土壌からの溶出量の15%にも達していた。ナトリウムの場合、0.01N、0.1Nとも回収率はシリカに比べて高く、0.1Nの20分以上で90%を上回る回収率である。また、溶出時間による増加は5分間でそれぞれ60, 80%が溶出し、それ以降の増加は緩やかである。このように、ナトリウムは0.1N、1時間で約94%の回収率があるため、シリカの回収率から溶出条件を選定すれば十分である。これらのことから水酸化カリウムの濃度は0.1Nと1Nの間、溶解時間は24時間では土粒子からのシリカの溶出量が多くなることや作業時間を考えると1時間から3時間の間が適当であると考えられる。以上のことを考慮すると溶出条件としては0.25N、2時間程度が適当と考えられる。

4. 化学分析の分析精度の検討

5種類(0, 10, 20, 30, 40%)の注入率の模型注入土(円筒形φ71mm、L90mm)を作成し、それらに含まれるシリカとナトリウムを定量分析した。模型注入土は砂質土(図1の②)と薬液(水ガラス50%、サンコポールOSB硬化材・助材、ゲルタイム10分)をボールミルで5分間攪拌し、均一に作成した。分析用の試料はバラツキを考慮できるように0%で4個、10~40%で各々8個等間隔に採取した。化学分析は溶出条件を0.25N、2時間とし、図2に示すフローで行った。各分析値から計算した注入率と模型注入土作成に用いた薬液量から求めた設定注入率の関係を図4に示す。図をみると、分析値のバラツキが非常に小さいことから、分析値から求めた計算注入率は測定値として信頼できると考えられる。その分析値から求めた計算注入率(測定値)と設定注入率(理論値)は非常に良い相関を示し、回帰直線の相関係数はシリカ、ナトリウム共に0.99以上の高い値である。このことから、化学分析は地盤内のある限られた容積内の薬液量を高い精度で推定できる方法であると言える。

5. まとめ

- ①溶出条件は水酸化カリウム0.25N、溶解2時間程度が適当である。
- ②ある限られた容積内の注入薬液量は、化学分析により推定できる。

6. あとがき

現状の薬液注入工事では、効果の確認と共に注入された薬液量の確認も重要であると考えられる。今回の検討では、化学分析によって地盤内のある限られた容積内の注入薬液量を推定することが可能であることがわかった。実際の薬注では、薬液が均等に浸透せず注入が不均一になるため、分析値にはかなりのバラツキが生ずると考えられる。今後は実際の薬液注入地盤における注入材成分の分析値のバラツキ特性について検討していきたいと考えている。

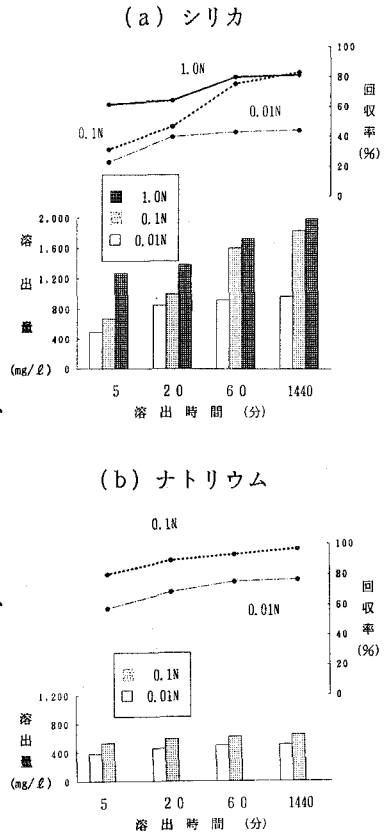


図3 溶出量、回収率

○シリカ $y=1.013x-0.29$ ($r=0.997$)
 ×ナトリウム $y=0.992x-0.14$ ($r=0.995$)

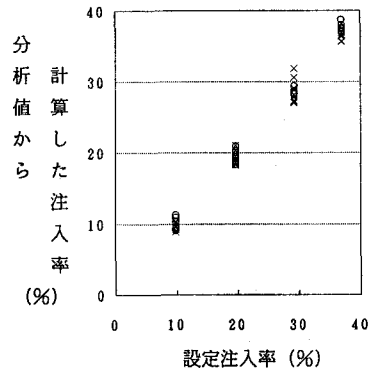


図4 設定注入率と分析値計算注入率