高吸水性ポリマー改良土の品質管理法に関する検討

早稲田大学　学生会員　○廣瀬　雅弥
早稲田大学　フェロー会員　赤木　寛一

1.　はじめに

シールド工事の発進・到達立坑構築、地下鉄駅部や地下ジャンクション等のような大深度地下利用に伴う掘削工事において、山留め壁の構築が不可欠である。しかし、従来多用されているソイルセメント地中連続壁は高い遮水性能を有する一方で、永久構造物であるため、施工完了後に地下水流動阻害の原因となる恐れがある。

そこで、筆者らは、既往の高吸水性ポリマー(以降、ポリマー)を吸水膨潤させた吸水ポリマー溶液(以降、ポリマー溶液)による地盤掘削技術 [1]を応用し、ポリマー溶液を地盤に浸透注入したポリマー改良土(以降、改良土)を用いた、遮水性と透水回復性を兼ね備えた山留め壁の構築を目標としている。

本研究において、従来の薬液注入工法同様、その品質管理法が課題であり、薬液注入におけるシリカ含有量に相当する単位質量当たりの珪砂に対するポリマー質量の分布を把握する必要がある。本稿では、注入状況を可視化するため、食紅で着色した水道水(以降、着色水)で飽和した珪砂 5 号(以降、珪砂)の模擬地盤に吸水倍率が異なる 2 種類のポリマー溶液を注入した供試体の一部を採取し、イオンクロマトグラフィー試験(以降、IC 試験)および強熱減量試験を実施することで珪砂単位質量に対するポリマー質量分布を測定した結果を報告する。

2.　供試体作成

2.1　概要

図-1 の容器中の模擬地盤に吸水倍率が異なるポリマー溶液を 300kPa の注入圧で注入し、供試体を作成した。ポリマー溶液の物性を**表-1** に、模擬地盤の物性を**表-2** に示す。

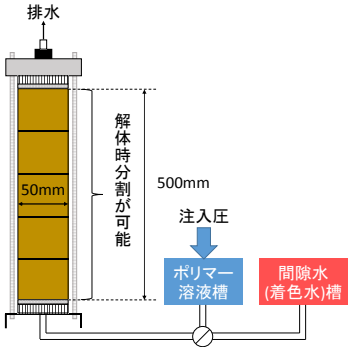

図-1　試験装置概略図

表-1 ポリマー溶液の物性

ポリマー溶液		A	B
ポリマー吸水倍率	(g/g)	150	410
ポリマーの吸水前粒径	D_b (mm)	0.035	0.035
ポリマーの吸水後粒径	D_a (mm)	0.186	0.260

表-2　模擬地盤の物性

使用砂	乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)	間隙比 e	平均粒径 D_{50} (mm)
珪砂5号	1.57	0.65	0.56

吸水倍率は下式で求めており、吸水溶液の電気伝導率で制御している。

$$吸水倍率=\frac{吸水した水の質量(g)}{吸水前ポリマー質量(g)}$$

$$吸水後粒径D_a(mm)=吸水前粒径D_b(mm)\times\sqrt[3]{吸水倍率}$$

2.2　作製手順

①容器中に空中落下法で珪砂の模擬地盤を作成する。
②ポリマー溶液槽にポリマー溶液を、間隙水槽に着色水を入れ、着色水で珪砂を飽和させる。
③ポリマー溶液槽に所定の注入圧を加え、容器下端より、ポリマー溶液を 48 時間程度注入する。
④注入口より 15cm の高さまで 5cm ごとに供試体を採取する。
⑤採取した供試体を炉乾燥させる。

3.　ポリマー含有量測定

3.1　IC 試験

3.1.1 試験概要

ポリマーの成分は 95%がアクリル酸重合体の部分ナトリウム塩架橋物であり、本試験では成分中のナトリウムに注目した。乾燥させたポリマーおよび供試体を焼成し、発生した灰分を超純水に溶出させ、ろ液に対し IC 試験を実施することでナトリウムイオン(以降、Na^+)の濃度を測定し、乾燥ポリマーおよび供試体中の Na^+物質量を求めた。そして、両者の比較から珪砂単位質量に対するポリマー質量を算出し、充填率を 100%(間隙がすべてポリマー溶液に置換されている状態)としたときの珪砂単位質量に対するポリマー質量と比較した。

3.1.2　試験手順

[ポリマー中の Na^+物質量の測定]

①炉乾燥させたポリマーをガスバーナーで緩やかに加熱し、自然発火させる。
②燃え尽きたら、電気炉(700℃)で 3 時間焼成させる。
③発生した灰分をホットスターラーで加熱しながら 45 分間撹拌し、超純水 30ml に溶出させる。
④溶液および灰分をろ紙(5 種 C)を用いてろ過し、超純水を加えることで 100ml のろ液を作成する。
⑤IC によりろ液中の Na^+濃度(mg/l)を測定し、Na^+物質量(mol)を求める。
⑥⑤で求めた Na^+物質量から、次の式を用いて炉乾燥後のポリマー単位質量に対する Na^+物質量 N_{sap}(mol/g)を求める。

$$N_{sap}=\frac{Na^+物質量(mol)}{炉乾燥後ポリマー質量(g)}$$

[改良土中の Na^+濃度の測定]

⑦ろ乾燥させた各高さの供試体から 10g 程度試料を採取し、ガスバーナーで緩やかに加熱する。
⑧電熱器(700℃)で 3 時間焼成させる。
⑨発生した灰分をホットスターラーで加熱しながら 45 分間撹拌し、超純水 30ml に溶出させる。
⑩溶液および灰分をろ紙(5 種 C)を用いてろ過し、超純水を加えることで 100ml のろ液を作成する。
⑪IC によりろ液中の Na+濃度を測定し、Na^+物質量 N_{Na+}(mol)を求める。

キーワード　高吸水性ポリマー，改良土，イオンクロマトグラフィー試験，強熱減量試験
連絡先　〒169-8555　東京都新宿区大久保 3-4-1 58 号館 205 号室　TEL. 03-5286-3405　E-mail : m-hirose.0203@ruri.waseda.jp

⑫⑪で求めた N_{Na+}から、次式を用いて改良土中のポリマー質量 M(g)、珪砂単位質量に対するポリマー質量 Q を求める。

[ポリマー溶液 A を注入した改良土]

$$M=\frac{N_{Na^+}}{N_{sap}+150\times N_{NaCl}} \qquad Q=\frac{M}{m_s}$$

ここで、N_{sap}:ポリマー単位質量に対するNa^+物質量(mol/g)
N_{NaCl}:$NaCl$水溶液単位質量に対するNa^+物質量(mol/g)
m_s:土粒子質量(g)　　ここで、150は吸水倍率である。

[ポリマー溶液 B を注入した改良土]

$$M=\frac{N_{Na^+}}{N_{sap}} \qquad Q=\frac{M}{m_s}$$

3.1.3 結果・考察

IC 試験により求めた高さ毎の珪砂単位質量に対するポリマー質量分布を図-2 に示す。

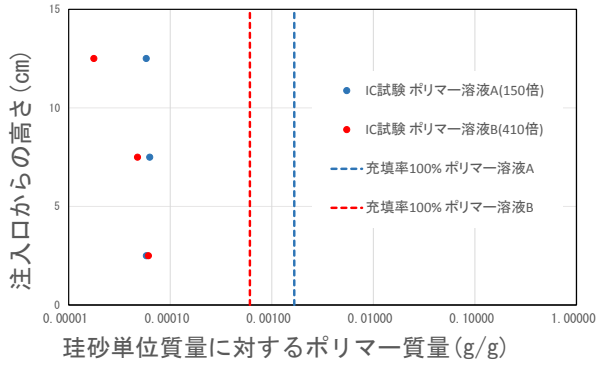

図-2　単位質量に対するポリマー質量(IC 試験)

単位質量に対するポリマー質量はポリマー溶液 A を用いた場合、高さに関係なくほぼ一定であり、一様に注入されていると考えられる。ポリマー溶液 B を用いた場合、注入口からの高さが大きくなるにつれて減少していた。これは、ポリマー溶液 B はポリマー溶液 A に比べて吸水倍率が高く、水を多く含み、注入圧に対する抵抗力が小さいため、注入時に吸水ポリマー粒から水が分離(以降、離水)し、ポリマーの濃度が小さい状態で注入されたと考えられる。

3.2 強熱減量試験

3.2.1 試験概要

前述したように、ポリマーの主成分はアクリル酸重合体の部分ナトリウム塩架橋物であり、電気炉で焼成することで炭素分が失われると考えられる。そこで、強熱減量による焼成前後の炭素分質量変化から珪砂単位質量に対するポリマー質量を算出し、充填率を 100%としたときの珪砂単位質量あたりのポリマー質量と比較した。

3.2.2 試験手順

供試体は IC 試験と同じものを用いる。
①IC 試験手順⑦において、試料採取時、焼成前質量 m_0(g)を測定する。
②IC 試験手順⑧において電熱器(700℃)で焼成させた後、速やかにデシケーターに移し、焼成後の質量 m_1(g)を測定する。
③m_0,m_1 から、次式を用いて珪砂単位質量あたりのポリマー質量 Q を求める。
焼成前後の改良土は、それぞれ図-3,図-4 のような状態で存在していると考えられる。

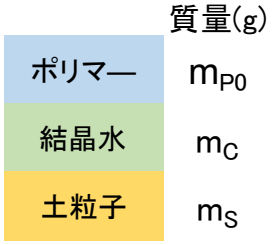

図-3　焼成前改良土組成図

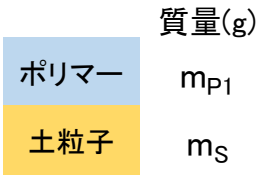

図-4　焼成後改良土組成図

ここで、 $P=\frac{m_c}{m_s}$　$Q=\frac{m_{P0}}{m_s+m_c}$　$R_P=\frac{m_{P1}}{m_{P0}}$と定義すると、
m_0,m_1はそれぞれ次のように求まる。
焼成前質量$m_0=m_s+m_s\times P+(m_s+m_s\times P)\times Q$
焼成後質量$m_1=m_s+(m_s+m_c)\times Q\times R_P$
以上の2式より、　$Q=\frac{m_1\times(1+P)-m_0}{(m_0\times R_g-m_1)\times(1+P)}$ となる。

3.2.3 結果・考察

強熱減量試験によって求めた高さ毎の珪砂単位質量に対するポリマー質量分布を図-5 に示す。

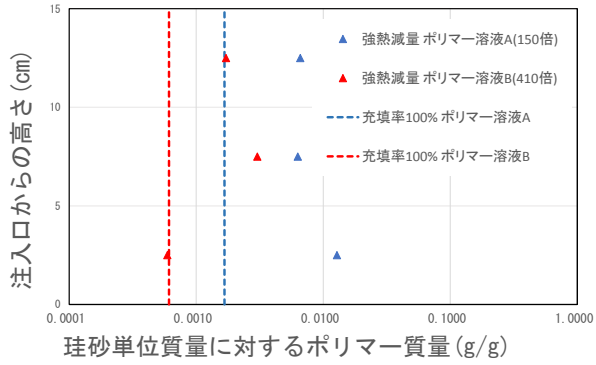

図-5　単位質量に対するポリマー質量(強熱減量試験)

単位質量に対するポリマー質量はポリマー溶液 A を用いた場合、高さ毎のばらつきが大きかった。一方、ポリマー溶液 B を用いた場合、IC 試験と同様の傾向が見られたため、ポリマー溶液注入時に吸水ポリマー粒から離水した結果、珪砂単位質量に対するポリマー質量の分布に影響をおよぼしたと考えられる。

4. まとめおよび今後の課題

以上の試験結果から、吸水倍率が小さいポリマー溶液を選択することで、地盤中のポリマー質量の分布が均等になるように注入できる可能性を確認した。また、注入時の吸水ポリマー粒からの離水等の影響から、いずれの試験結果においても、充填率 100%としたときの値とは乖離が見られた。

今後の課題として、小さい吸水倍率のポリマー溶液を注入した際に同様の傾向が得られるかを確認すること、ポリマーの分布が遮水性におよぼす影響を確認することがあげられる。

本研究は、AWARD-Pmr 工法共同研究会(前田建設工業㈱、㈱安藤・間、㈱地域地盤環境研究所、戸田建設㈱、西松建設㈱、日特建設㈱、㈲マグマ、㈱ミヤマ工業)の支援により得られた成果である。記して、謝意を表する。

参考文献

1)　岩崎　光紀:高吸水性ポリマーを添加した地盤掘削用安定液の基本性状,土木学会第 69 回年次学術講演会,pp467~469