

強熱減量試験を用いた高吸水性ポリマー改良土の填充率の推定

ポリマー 填充率 強熱減量

早稲田大学大学院 学生会員 ○廣瀬 雅弥
早稲田大学 国際会員 赤木 寛一
早稲田大学 学生会員 北村 真歩
早稲田大学 学生会員 水原 祐哉
前田建設工業(株) 正会員 安井 利彰

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は,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,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.

本研究は,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水溶液(以降,ポリマー溶液)による地盤掘削技術¹⁾を応用し,遮水性と分離材による透水回復性を兼ね備えた山留め壁の工法(AWARD-Pmr工法)開発を目標としている.本工法では,圧力を介しポリマー溶液を地盤に注入するため,注入後地盤(以降,改良土)間隙中に存在するポリマーの分布を推定する必要がある.そこで,薬液注入工法における指標の一つである填充率²⁾を用いて,改良土間隙中のポリマー分布を推定した.ここでの填充率とは,間隙体積に対しポリマー溶液が置換する割合とし,式(1.1)で定義する.本報では,その推定手法を述べるとともに,実験で作成した改良土の填充率と指標としての評価を報告する.

$$\alpha = V_p / V_v \times 100 \dots (1.1)$$

ここに, α :填充率(%), V_p :間隙中に存在するポリマー溶液の体積(cm^3), V_v :間隙体積(cm^3)

2. 実験概要

[改良土作成] 対象とする改良土は,図2.1に示す実験装置を用い,二次元的模擬地盤(直径90cm,高さ10cm)に対しポリマー溶液を注入し(二次元地盤注入実験)³⁾,注入後地盤から採取した改良土を用いた.使用珪砂・模擬地盤物性およびポリマー溶液配合条件をそれぞれ表2.1,表2.2に示す.ここで,模擬地盤には東北珪砂4号を,ポリマーには地盤建設用ポリマー剤を使用している.

表2.1 模擬地盤物性

使用珪砂物性			模擬地盤物性		
土粒子密度	最大乾燥密度	最小乾燥密度	乾燥密度	間隙比	相対密度
$\rho_s (\text{g}/\text{cm}^3)$	$\rho_{dmax} (\text{g}/\text{cm}^3)$	$\rho_{dmin} (\text{g}/\text{cm}^3)$	$\rho_d (\text{g}/\text{cm}^3)$	e	Dr (%)
2.643	1.728	1.490	1.56	1.556	27.7

表2.2 ポリマー溶液配合条件

ポリマー溶液 吸水倍率	ポリマー溶液 自由水率	調整NaCl 濃度	NaCl水 電気伝導率	使用 水量	NaCl 添加量	ポリマー 添加量
Q (g/g)	η (%)	(%)	($\mu\text{S}/\text{cm}$)	W (kg)	A (g)	S (g)
20	70	0.91	16430	30	275.93	450.29

本実験では,ポリマーの注入に伴い排水される間隙水量を記録し,これを注入量としている.また,本実験装置は,排水層および模擬地盤上部から圧力を載荷することで,原地盤の間隙水圧および上載圧を再現できる構造であり,中心部には注入孔が存在する.実験手順を以下に示す.

- ①土槽内で6cmの水深を保ちつつ,20cmの高さから砂試料を落下させ水中落下法により模型地盤を作成する.余盛り高さを3cmとし,余剰分の砂資料は除去する.
- ②模型地盤に間隙水圧10kPaを加圧する.
- ③上載圧320kPaを徐々に載荷し,模型地盤を圧密させる.
- ④圧密終了後,注入パイプ内の水をポリマー溶液で置き換え,有効注入圧300kPaで注入を開始する.
- ⑤データロガーに集約した計測結果を記録する.

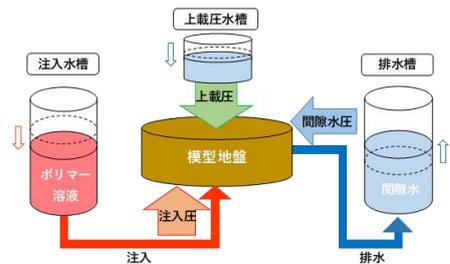


図2.1 二次元注入実験装置

注入量収束後,改良土の透水試験および透水性回復試験を実施したが,こちらの結果については別途報告予定である.

[硬度測定および試料採取] 実験終了後,装置を解体し,山中式土壌硬度計(以降,硬度計)を用いて改良土の硬度を測定し,強熱減量試験に使用する試料を採取した.硬度測定および試料採取の様子をそれぞれ写真2.1,写真2.2に示す.硬度測定は中心から土槽側面に向かって5cm間隔で,試料採取は5cmずつの幅で採取した.

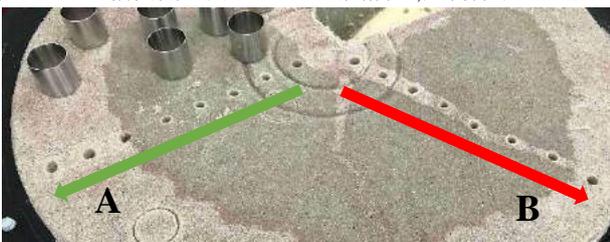


写真2.1 山中式土壌硬度計による硬度測定状況



写真2.2 試料採取状況

[強熱減量試験] 試料採取後、次の手順で強熱減量試験を実施した。①るつぼの質量 m_c (g)を測定し、部位ごとに80-90g程度を3ケース分採取する。②試料を1日程度炉乾燥させ、室温程度までデシケータ内で冷ました後、全質量 m_a を測定する。③試料を電気マuffle炉に入れ、800°Cで3時間強熱する。このとき試料の飛び散りを防ぐために蓋を斜めにかぶせる。強熱後、炉を開いて炉内が300°C程度になるまで冷ます。④るつぼばさみでデシケータ内に移し、さらに数分冷ます。⑤室温程度まで冷ました後、全質量 m_b を測定する。

3. 填充率算出

以上の実験から得られた結果から、改良土の填充率を算出する。強熱前後の試料は図3.1に示す組成であると考えられる。ポリマーを含まない土試料を強熱した場合の、強熱後質量と強熱減量分の比強熱減量比 R_i 、強熱前試料の土粒子と結晶水と有機物の質量に対するポリマー質量の比(含有ポリマー比) p 、強熱によるポリマーのみの質量変化比を L_p とすると、それぞれ式(3.1)～式(3.3)で表せる。すると、炉乾燥後質量 m_0 と強熱後質量 m_1 は、それぞれ式(3.4)、式(3.5)となる。

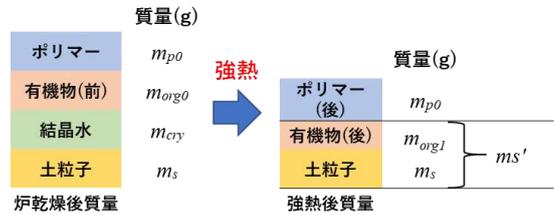


図3.1 強熱前後の試料塑性

$$R_i = \frac{m_{cry} + m_{org0} - m_{org1}}{m_s} \dots (3.1)$$

$$p = \frac{m_{p0}}{m_s + m_{cry} + m_{org0}} \dots (3.2)$$

$$L_p = \frac{m_{p1}}{m_{p0}} \dots (3.3)$$

$$m_0 = m_s + m_{cry} + m_{org0} + m_{p0}$$

$$m_1 = m'_s + m_{p1}$$

$$m_0 = m_a - m_c \dots (3.6)$$

$$= m'_s + m'_s \times R_i + (m'_s + m'_s \times R_i) \times p \dots (3.4)$$

$$= m'_s + (m'_s + m'_s \times R_i) \times p \times L_p \dots (3.5)$$

$$m_1 = m_b - m_c \dots (3.7)$$

式(3.4)、式(3.5)について、 m'_s を消去し p について解くと式(3.8)で表せる。また、吸水ポリマーの比重が水と等しいとすれば、吸水倍率 Q と水の密度 ρ_w を用いて、式(3.9)となる。したがって、填充率 α (%)は式(3.10)のように整理できる。

$$p = \frac{(1 + R_i) \times m_1 - m_0}{(1 + R_i)(L_p \times m_0 - m_1)}$$

$$V_p = \frac{Q \times m_{p0}}{\rho_w}$$

$$\frac{\alpha}{100} = \frac{V_p}{V_v} = \frac{Q \times m_{p0}}{\rho_w \times V_v}$$

$$= \frac{Q \times m_{p0}}{\rho_w \times (m_s + m_{cry} + m_{org0})} = \frac{Q \times p}{\frac{\rho_w}{V_v} \times V_s} = \frac{Q p p_s}{\rho_w \times V_s} \dots (3.10)$$

…(3.8)

…(3.9)

…(3.10)

以上より、填充率は R_i 、 L_p が既知であれば、強熱減量試験の結果より式(3.8)および式(3.9)を用いて算出可能である。

4. 結果および考察

注入先端の注入孔からの距離と式(3.1)～式(3.10)を用いて算出した填充率、そして硬度計読み値の関係を図4.1に示す。また、注入量および注入量から逆算した推定注入半径と経過時間の関係を図4.2に示す。

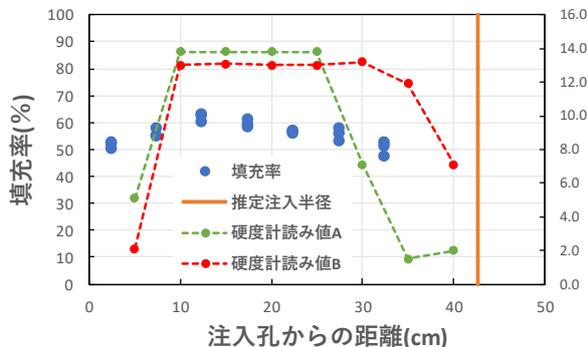


図4.1 注入孔からの距離と填充率および硬度計読み値の関係

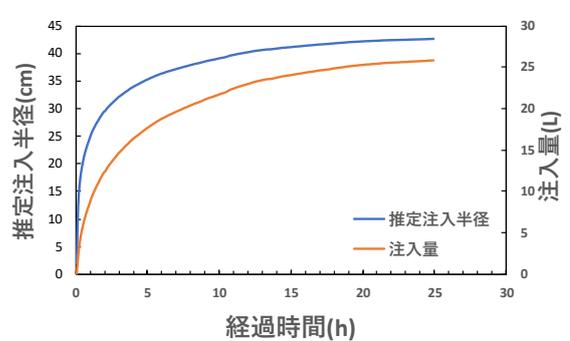


図4.2 経過時間と注入量および推定注入半径の関係

以上のように推定注入径の範囲内において、ほぼ一定の填充率を得ることができ、このことから注入径の範囲内ではほぼ均質な改良土が得られたと考えられる。また、硬度計の読み値の傾向と比較すると、改良効果についてもほぼ同様の傾向が得られている。

5. まとめ

強熱減量試験によって、ポリマー注入後地盤の填充率を測定することができた。今回対象とした改良土では、ほぼ一定の填充率が得られており、同じ位置から採取した試料間の誤差も小さいため、精度良く測定できたといえる。今後は填充率と改良土の透水係数の関係などに応用し、実施工における施工チャートの作成を目標とする。

本研究は、気泡工法研究会AWARD-Pmr工法研究会(前田建設工業(株)、㈱安藤・間、(株)地域地盤環境研究所、戸田建設(株)、西松建設(株)、日特建設(株)、(有)マグマ、(株)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。

【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，pp467~469，2014
- 2) 社団法人 地盤工学会：薬液注入工法の理論・設計・施工，pp63~64，2009
- 3) 北村 真歩：高吸水性ポリマー溶液の地盤注入特性に関する研究(その2)～二次元土槽を用いた地盤注入および遮水性の確認～，第14 回地盤工学会関東支部発表会，pp373~374，2017