

薬液注入における填充率と注入率について

早稲田大学 学生会員 ○平岡 陽

早稲田大学 フェロー会員 赤木 寛一

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 澤田 亮 , 仲山 貴司

1. はじめに

薬液注入工法とは、溶液型薬液を使用し、その薬液が砂粒子間の水と置き換わりながら浸透し、地盤を固結させる工法である。本工法は地盤改良の重要な1分野であり、従来は仮設工事を目的として用いられ、現在では液状化対策工法としても期待されている。薬液が注入された地盤は、間隙水が薬液に置き換えられた後、薬液がゲル状の物質へと変化することにより、地盤の強度増加をもたらす。実際の薬液注入の設計では、地盤の改良範囲の設定の後、適切な注入量を決定するのが一般的である。その際、注入量を決定する際のパラメーターである注入率（注入対象土量あたりの注入量）は、薬液が溶液状態であることを想定して決定されている。しかし、薬液は溶液状からゲル化物状へと変化する際に体積変化を起こす可能性があり、施工後の改良効果は設計時と異なることが懸念される。このような薬液の体積変化の特性については、未だ十分な研究がなされていない。ここでは、特殊中酸性系薬液の溶液からゲル化物への変化に伴う体積変化特性についての実験的調査を実施し、薬液ホモゲルの体積収縮に伴うシリカ分濃縮に着目した填充率と注入率について検討した。

2. 使用した薬液

使用した薬液は特殊中酸性系の薬液であり、配合は表1のようになる。薬液は、B剤にA剤を攪拌しながらゆっくりと加えることにより作製した。また、この薬液の化学反応式を式(1)に示す。

表1. 薬液の10 当たりの配合表

A 剤		B 剤	
主剤	250(ml)	硬化剤	20(ml)
水	300(ml)	pH 調整剤	20(g)
		水	410(ml)



3. 注入率について

注入率とは、注入対象土量あたりの注入量の割合を百分率で表したものである¹⁾。従来の注入率は式(2)で定義される。

$$\lambda = n\alpha \cdots (2)$$

ここに λ ：注入率（％）， n ：地盤の間隙率（％）， α ：填充率（％）

薬液注入の際の注入量（ m^3 ）は、この注入率に注入対象土量（ m^3 ）を乗じて決定される。そのため、注入率は注入の際の重要な変数となる。ここでの填充率とは、間隙体積に対して注入材が置換する割合を示す。

式(1)に示すように、溶液状の薬液のゲル化過程において水（離しょう水と称す）が生じるため、地中に注入された薬液ゲルは拘束圧の作用下で図1に示すように脱水に伴う体積収縮を起こすと考えられ、薬液改良土の填充率は設計時と施工後で異なると考えられる。既往の研究においては、薬液のゲル化後に残留したシリカ濃度に基づいて求めた填充率が100%を上回る結果も報告されている²⁾。

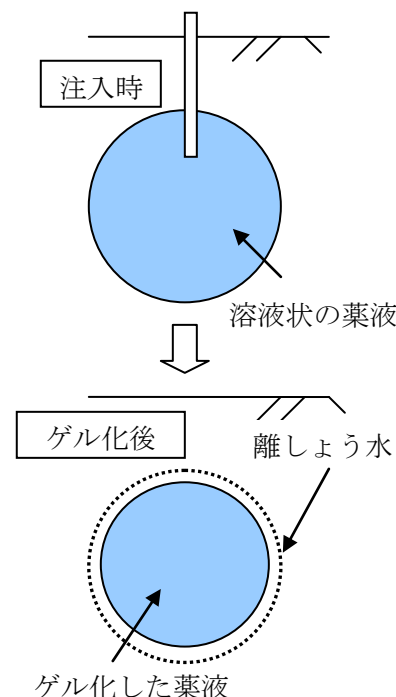


図1. 薬液のゲル化過程の概要図

キーワード 薬液注入 注入率 填充率 離しょう水

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 西早稲田キャンパス 58 号館 205 号室 TEL 03-5286-3405

4. 試験概要

本試験では、薬液ホモゲル（注入材のみの固結物）を用いて、経過日数に伴う薬液ホモゲルの体積変化と離しょう水体積の関係を求めることを目的とした。試験手順は以下に従う。(1) 表1の配合に基づき薬液を作製する。これを濃度の基準100%とする。(2) 薬液に加水して所定の濃度になるよう希釈する。ここで希釈濃度 = {薬液量/(薬液量+加水量)} × 100(%)と定義する。希釈濃度40%、60%、80%、100%の4ケースの薬液を作製する。(3) プラモールドφ5cm×10cmにそれぞれの希釈濃度の薬液を100mlずつ投入する。(4) 水の蒸発を防ぐため塩化ビニデリンフィルムで包み、20℃の恒温養生を行う。(5) 所定の日数(1日,3日,5日,8日,10日,14日,18日,22日)の経過後、ゲル化を確認した後にホモゲルをプラモールドから脱形し、離しょう水の体積をメスシリンダーで測定する。(6) 離しょう水体積の測定後、残留した薬液ホモゲルの直径・高さをノギスで測り、ホモゲルの体積を求める。

5. 試験結果と考察

図2に経過日数と離しょう水体積の関係を示す。この離しょう水は、式(1)より薬液の反応が進むに伴い生じる水と考えられる。図2より、経過日数が経つにつれ、離しょう水の体積が大きくなり、一定の値に収束する挙動となっている。また、希釈濃度100%のホモゲルは反応が早く、離しょう水体積は早期に一定値に収束していた。なお希釈濃度60%と40%のケースは2日の時点でゲル化していなかったため、5日目から測定した。

図3に経過日数とホモゲル体積の関係を示す。ホモゲルは経過日数に伴い体積収縮し、その値は図2の離しょう水体積にほぼ対応したものとなっていることが分かる。また、離しょう水体積と同様に、ホモゲル体積は全体としてほぼ一定の値に収束する挙動を示していた。

この結果より、十分な日数の経過後は、どの希釈濃度の薬液ホモゲルもある一定の体積になると考えられる。ここで、薬液ホモゲルからの離しょう水によるシリカ濃度の割り増し係数 β = (注入時の薬液体積) / (ゲル化後の薬液ホモゲル体積)と定義することとした。ゲル化後の薬液ホモゲル体積は、薬液混合後の経過日数22日目に測定した値であり、各希釈濃度に対応する値をそれぞれ上述の β の式に代入すると $\beta = 1.19 \sim 1.21$ の値となった。つまり、薬液ホモゲルはゲル化の過程で体積収縮し薬液に含まれるシリカ分は濃縮され、約1.2倍の濃度となると考えられる。この離しょう水による薬液シリカ分の濃縮を考慮した填充率に基づく注入率 λ' は式(3)のように、従来の設計注入率 λ に割り増し係数 β を乗じた形で表される。

$$\lambda' = \beta \lambda \quad \dots (3)$$

ここに、 λ' :シリカ分濃縮を考慮した注入率(%), λ :設計注入率(%), β :割り増し係数(≈ 1.2)

5. まとめ

本研究は、薬液のゲル化に伴うホモゲル体積変化特性を実験的に検討し、新たな注入率の考え方を実験的に検討したものである。得られた知見は以下のように要約できる。

- (1) 薬液は溶液がゲル化過程において離しょう水が発生し、その脱水に伴い体積収縮を生じる。
- (2) 薬液の濃縮を考慮することにより、設計注入率を約1.2倍に割増すという結果になった。

参考文献: 1) 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

2) 社団法人 日本薬液注入協会 “薬液注入工法の設計・施工指針”, pp52~53, 1989

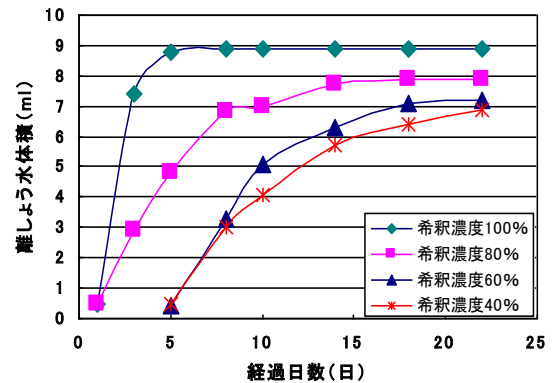


図2. 経過日数と離しょう水体積の関係

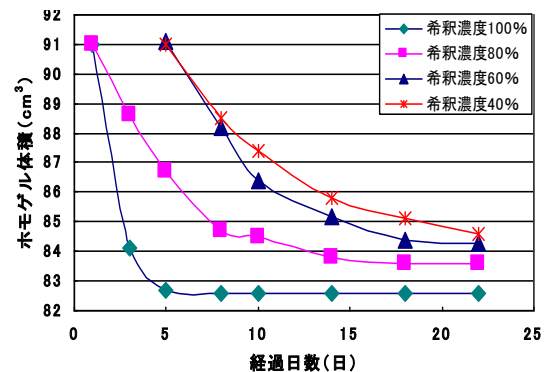


図3. 経過日数とホモゲル体積の関係