

溶液型注入薬液を対象とした pH 調整型作液システムの制御法の検討

大成建設 正会員 ○松井 秀岳 石井 裕泰
東興ジオテック 正会員 大野 喜代孝 岡田 宙

1. はじめに

液状化対策・止水対策で広く用いられる薬液注入工法において良好な改良効果を確保するためには、想定した品質で注入薬液が現場製造され、注入作業に供されることが前提となる。著者らは現場作液の管理指標である薬液の pH に着目し、一般的な重量バッチ方式とは異なる pH 管理を重視した作液プラントの開発にあたっている。別報¹⁾に示す「pH 調整型作液システム」は、先行投入した A 液に B 液を後行投入する混合手順を前提に、作液過程の薬液 pH や構成材料の量を計測・記録・表示することが可能となっている。加えて、あらかじめ複数段階に設定した閾値で、B 液投入速度を自動的に切り替え、指定された pH を検知して B 液の供給を停止する機能を備えている。一般的なバッチ方式では規定重量の A 液、B 液を同時投入するのに対して、先行・後行投入にあたる本システムの運用では、作液時間が長くなる傾向にある。そこで、目標とする薬液 pH の精度を安定的に確保しながら、既存の作液プラントと遜色ない作液能力を達成するため、B 液投入手順の最適化に向けた作液実験を行った。

2. 基本方針・技術要件

酸性の A 液 400L にアルカリ性の B 液を概ね同量投入・混合する作液過程では、図1に示す概念図のように混合液 pH が推移する。製造時間は B 液の投入速度に大きく支配されるため、B 液増分に対する pH 変化が緩慢な混合初期に急速供給する一方、変化が急激な後半は低速供給し、さらに供給速度の急変を回避するため、両速度の中間域の供給区間を設けることとした。すなわち一次～三次投入の三段階で速度制御にあたることを第一の方針とした。

一方、投入速度の段階制御を念頭に、作液システムは B 液供給経路として以下の 2 経路を備えている。

大容量経路(B-①)：ポンプ 1 台で吐出量の制御域 13～130L/min

小容量経路(B-②)：ポンプ 2 台で合計吐出量の制御域 1～24L/min

本装備の能力を効率よく活用するため、「急速供給」に相当する一次投入速度は両ポンプの制御域最大水準の合計値 120L/min (B-①：100L/min+B-②：20L/min) に、「低速供給」に相当する三次投入速度は B-②を単独利用した制御域の最小水準 1～2L/min に、「中間供給」に相当する二次投入速度は両者の中間的な水準を実験検討に基づき定めることを第二の方針とした。

以上の方針のもと、作液実験で着目すべき要件は、i) 供給速度に比例して顕著になるポンプ停止直後の余剰排出とそれに伴う pH 変化（以下、pH 落差）を見極めながら、ii) 一次投入に極力多くの供給量を割り当てる閾値 pH を設定し、iii) 適正水準の二次投入速度を定めて一次投入同様に多くの供給量を割り当て、全体として B 液供給に要する時間を低減することに集約される。

3. 作液実験

表 1 に作液実験 4 ケースの設定条件一覧を示す。これらは上記方針に基づき、作液作業とその観察・確認を踏まえて、設定を順次変更しながら実施したものである。以下に、各ケースの条件設定根拠と作液結果（図2参照）の詳細を解説する。

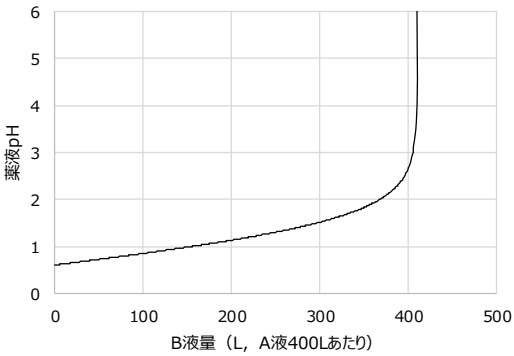


図1 B 液投入に応じた混合液 pH の変化概念図

表1 作液実験の設定条件一覧

No.	A液投入量 (L)	投入速度 (L/min)				B液速度切替の閾値pH		
		A液	B液一次	B液二次	B液三次	一次から二次	二次から三次	停止
1	400	360	70	20	1	1.50	2.50	3.00
2	400	360	120	20	1	1.50	2.50	3.00
3	400	360	120	60	2	1.70	2.50	3.00
4	400	360	120	24	2	1.70	2.50	3.00

キーワード 地盤改良，薬液注入，pH 調整，ゲルタイム

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設技術センター TEL 045-814-7217

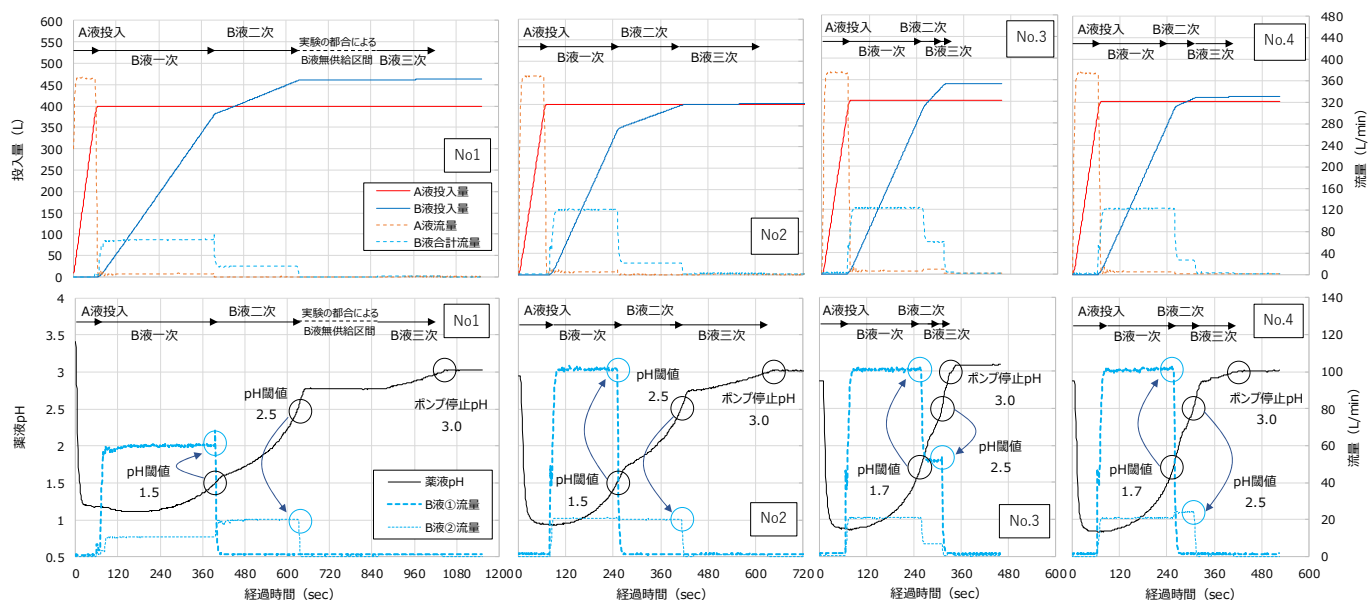


図2 作液結果一覧（左から順に No. 1～4）

No.1：作液過程の観察を目的に、一次投入速度は基本方針から概ね半減した 70L/min を、二次投入速度は B-② 経路のみの利用で最大水準の 20L/min を採用した。また、二次投入後の pH 落差の影響を確認・分離するため、三次投入前に待機時間を設けた。作液の結果、各区間で投入速度に応じた pH の変化傾向が確認され、安定した作液を完遂した。一方で全体の作液時間は、上記の待機時間を除いても 13.6 分を要する結果となった。

No.2：No.1 で安定した pH 推移での作液が確認されたことを受け、一次投入速度を基本方針に従った 120L/min に変更した。作液の結果、一次投入後半で時間あたりの pH 変化量の増大が見られつつ、No.1 同様に安定した作液を完遂した。また、一次投入速度の増加によって、全体の作液時間は 10.5 分となり、No.1 から約 3 分短縮できた。

No.3：No.2 の結果を受け、二次投入速度の増加と一次投入区間の延長可能性を検討し、二次投入速度は B-①、② を併用し、両者の制御域の最大水準を半減した 60L/min に設定した。加えて、一次投入から二次投入への速度切替の閾値 pH を 1.5 から 1.7 に変更した。作液の結果、一次投入区間の長期化および二次投入速度の増加に伴って、一次投入後半および二次投入区間の時間あたりの pH 変化量が増大し、結果として三次投入区間で安定した pH 推移が見られないままポンプ停止 pH に到達し、作液を終了した。二次投入速度が過大であったため、二次投入から三次投入にかけての pH 落差が増加し、その影響が三次投入区間に及んだ結果と考えられる。

No.4：No.3 の結果を受け、一次投入区間の閾値設定を維持しつつ、二次投入速度を B-②経路のみの最大能力 24L/min に低減した。作液の結果、三次投入区間で安定した pH 推移が見られ、結果として 6.8 分で作液を完遂した。二次投入速度の低減により、同区間の pH 落差が三次投入に影響しない程度に抑えられたものと考えられる。

B 液投入速度と薬液 pH の関係を示す図 3 を通しては、三段階の B 液投入速度を pH 増加に伴ってオーダー単位で低減すること（一次 120L/min→二次 24L/min→三次 2L/min）、pH 落差が次工程に影響しない範囲で高めの閾値を設定することの 2 点が、作液時間短縮と pH 調整精度確保を両立する要点になることが読み取れる。

4. まとめ

開発した pH 調整型作液システムを用いた作液実験を通して、作液時間短縮と pH 調整精度確保を両立する B 液投入量の設定値を具体的に検討した。今回の条件で、所定の流量・閾値設定を確認した一方、その最適値は、目標とする薬液 pH の水準等に応じて変化すると考えられ、制御方法の最適化に向けてはさらなる検討余地を残す。引き続き本システムの運用を通して検討を進めたい。

参考文献

- 1) 大野ほか：溶液型注入薬液を対象とした pH 調整型作液システムの開発，土木学会第 75 回年次学術講演会，2020（投稿中）

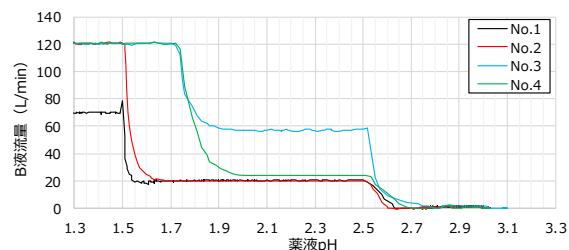


図3 B 液流量と薬液 pH の関係