

薬液の浸透固化メカニズムの解明

東京都市大学 学生会員 ○坂口 萌衣 正会員 末政 直晃
 強化土エンジニアリング 正会員 佐々木隆光

1. はじめに

我が国では1964年6月に発生した新潟地震で液状化被害(写真-1¹⁾)をきっかけとして、液状化対策に関する研究が本格的に開始された。液状化対策の1つとして薬液注入工法がある。図-1²⁾に薬液注入工法の原理を示す。本工法では土中に薬液を注入すると、土粒子間の間隙水と薬液が置き換わり、固化することで地盤改良される。しかし、薬液の酸と土中にあるアルカリ成分が反応すると、薬液が固化するまでの時間であるゲルタイム(以下、GT)が想定よりも短くなり、施工不良につながる可能性がある。本研究では固化時間に関係する薬液中の浸透固化メカニズムを解明することを目的としている。本報告では相馬砂と珪砂6号を混合させた砂を用いて一次元注入実験を実施し、pHの経時変化、浸透距離ごとの土中GTの結果から薬液中の酸と土中アルカリ成分の関係性について報告する。

2. 実験概要

表-1に実験で作製した薬液の配合表を示す。本実験で用いた薬液は濃度5%の活性複合シリカ(パーマロック ASF-IIα)である。この薬液はアクターMS、ASFシリカ-30、PRシリカという3種類の材料と蒸留水を混合することで作製される。薬液のpHはアクターMSの量によって大幅に変化するため、pHの調整を行う際は材料の質量を小数点第3位まで正確に計り取ることが重要である。試料の土質に適した薬液を選定するためアクターMSの添加量を変化させ、薬液のpHが4.2付近となるように調整を行った。

図-2に一次元注入実験の概略図を示す。予備実験の結果より、相馬砂と珪砂6号を1:8の割合で混合させたものを試料とし、供試体は相対密度60%になるように作製した。従来の一次元注入実験では、高さが1000mm程度の供試体を作製しており、1回の実験で作製する供試体は大きく、多くの砂試料や薬液を要する。これらの課題を解決し、簡易的に従来の結果の再現を行うためには、よりスケールの小さい供試体を用いる必要がある。本実験では内径50mm、高さ920mmの長尺と、内径50mm、高さ460mmの短尺を用いて、薬液の酸と土中アルカリ成分が及ぼす浸透距離ごとのpHやGTの変化について着目し、結果を比較した。また注入材が供試体の最上部へ到達する時間を同一に設定するため、注入時の流量を長尺では60ml/min、短尺では30ml/minに調整した。実験は脱気水で飽和した後、廃液量を測定しながら間隙水が全て置換されるまで薬液を注入した。また薬液の酸と土中アルカリ成分の反応を把握するため、長尺で300mm(CH1)と600mm(CH2)、短尺では150mm(CH1)と300mm(CH2)の箇所ガラス電極法pH測定器を取り付け、試料内部のpHの経時変化を測定した。さらに浸透距離ごとのpH、土中GTの変化を確認するため、供試体に100mm間隔で注射器を設置し、注入完了後に間隙の薬液を抽出し、抽出液のpH測定、小型シェーカーシーソーを用いたGT測定を実施した。なお、このGT測定方法はシャーレを左



写真-1. アパートの傾倒

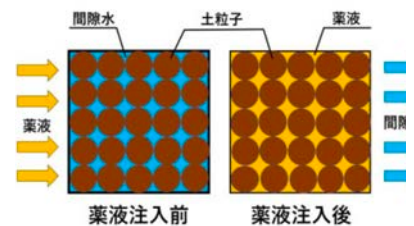


図-1. 薬液注入工法の原理

表-1. 薬液配合表

A液			B液	
MS(ml)	ASF(ml)	水(ml)	PR(ml)	水(ml)
8.1	8.0	233.9	50.0	200.0

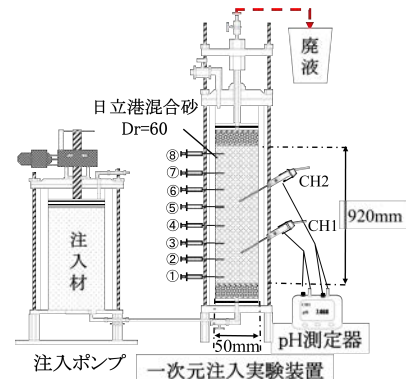


図-2. 一次元注入実験の概略図

キーワード 薬液注入工法, 一次元注入実験, 土中GT

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 E-mail:g1918039@tcu.ac.jp

右均等に揺らし、シャーレ内の薬液上面が固化により流動性を失い、シーソーの台と並行状態を保った時点 GT とした。

3. 実験結果

図-3 に長尺、短尺の固化に至るまでの pH の経時変化を示す。本実験で作製した薬液の初期 pH は 4.21、薬液のみの GT は 248 分であった。注入開始時 CH1 は pH9、CH2 は pH8 付近を示している。注入開始 5 分後、8 分後にそれぞれ CH1、CH2 の pH が急激に降下していることが確認された。これは CH1 が CH2 に比べ浸透距離が短く、先に薬液が到達するため、早期に pH の急降下が始まったと考えられる。また、降下後は両方とも初期 pH より高く、CH2 よりも CH1 の pH が高くなった。しかし、薬液中の酸が供試体中を移動しながら土中アルカリ成分と反応するため、降下後の pH は CH1 より CH2 の方が高くなると考えられる。これは注入開始 30 秒後 pH 測定器の値が CH1 では下降し、CH2 では上昇するといった不安定な結果が出ていることから、pH 測定器に不具合が生じた可能性が考えられる。また、実験時 pH 測定器挿入部分より、水漏れが生じることも原因の 1 つであると考えられる。

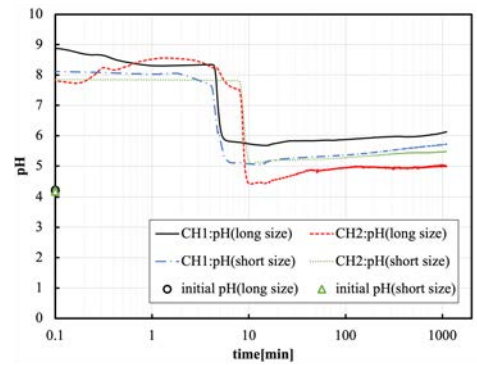


図-3. pH の経時変化 (長尺・短尺)

図-4 に長尺の浸透距離ごとの pH と GT の変化を示す。浸透距離が長くなるにつれ pH が中性に近づき、GT が早期であることがわかる。薬液の酸は供試体中の土中アルカリ成分を消費しながら進行するため、薬液が浸透距離の長い地点に到達するまでには、酸が少量となり早期的な固化に繋がり GT が短縮されると考えられる。

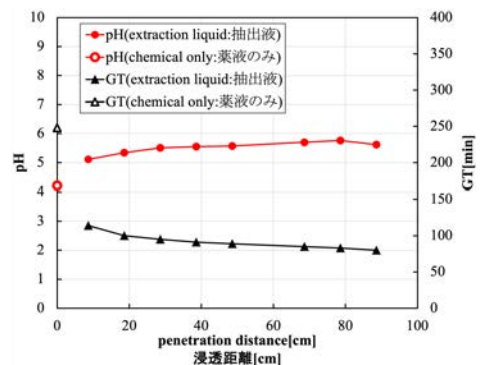


図-4. 浸透距離ごとの pH と GT の変化 (長尺)

図-3 より、供試体が短い場合でも pH の急激な降下が確認でき、さらに CH1、CH2 ともに長尺とほとんど同じタイミングであることが確認できる。その後 CH1、CH2 ともに中性へと向かうことが確認された。pH 測定器の不具合等の理由もあり、最終的な pH の値には差が出てしまった。図-5 に短尺の浸透距離ごとの pH と GT の変化を示す。図-5 においても長尺と同様な結果が確認できた。これらの結果より、流量の調整によって短尺の供試体を使用し長尺の実験結果の再現が可能であると考えられる。

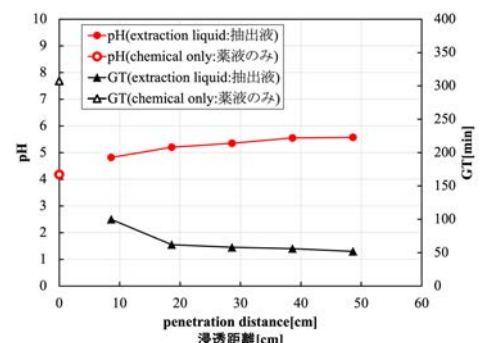


図-5. 浸透距離ごとの pH と GT の変化 (短尺)

4. まとめ

本実験より薬液の酸は土中アルカリ成分と接触した際、即座に反応するため、浸透過程に応じて酸が消費されること、浸透距離に応じて pH、GT が変化することが確認された。また、注入終了後は薬液の酸と土中アルカリ成分が反応する時間が十分に確保され、固化することで最終的に pH が中性へと近づき、変化が安定したことが確認された。さらに、同じ試料を用いた際、長尺、短尺の実験結果に大きく差がなかったことから、流量の調整によって短尺の供試体を使用し長尺の実験結果の再現が可能であることが確認された。薬液の酸が持つ土中アルカリ成分に対する溶存速度は、土中のカルシウムの固化形態やその時点の pH など様々な環境に依存するものと考えられる。薬液の浸透固化メカニズムを解明するためには、このような複雑な反応を詳細に調べる必要がある。本実験の pH 測定を伴う次元注入実験はその一助になると考えている。

《参考文献》

- 1) 新潟地震の概要 (2022/05/22) <https://ecom-plat.jp/19640616-niigata-eq/index.php?gid=10020#wrapper>
- 2) 薬液注入工法 (2022/05/22) http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/parts/tachiyomi/2017/1710/1710_02.pdf