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○遠藤なつみ
正会員　末政直晃
学生会員　田代怜
強化土エンジニヤリング(株)　正会員　佐々木隆光

1. はじめに

我が国では地震により液状化被害が発生し，**写真-1** に示すようにライフラインに甚大な影響を及ぼしている．このような被害を抑制する工法として薬液注入工法がある．**図-1** に本工法の原理を示す．本工法では土中に薬液を注入し，土粒子間の間隙水が薬液に置換された後，薬液が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貝殻などの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，注入が困難になるケースも起こる．本研究では固化時間に関係する薬液中の酸と土中アルカリ成分の反応過程，土中 pH の変化を調べ，薬液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．本報告では日立港混合砂を用いた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，pH 変化の結果について報告する．

写真-1 マンホールの浮き上がり

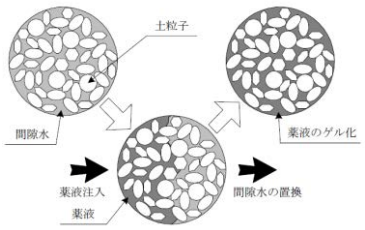

図-1 薬液注入工法の原理 [1)]

2. 実験概要

図-2 に日立港混合砂の粒度分布を，**図-3** に一次元注入実験の概要図を示す．日立港混合砂は日立港砂と珪砂 6 号を 1 : 3 の割合で混合したものであり，高さ 920mm，内径 50mm，相対密度 60%になるように供試体を作製した．脱気水にて飽和後，ポンプ流量を 60ml/min に設定し，廃液量を測定することで薬液を間隙水が全て置換されるまで注入した．薬液の酸と土中アルカリ成分の反応をリアルタイムで把握するため，ガラス電極法による pH 測定器を 300mm(CH1)，600mm(CH2)の箇所に取り付け，試料内部の pH の経時変化を測定した．更に供試体に注射器を 100mm 間隔で取り付け，注入完了後に抽出液をシャーレに採取した．抽出液の pH を測定した後，小型シェーカーシーソーを用いて±7 度に左右均等に揺らし，薬液の水面とシーソー板が平行になった時点を土中 GT とした．

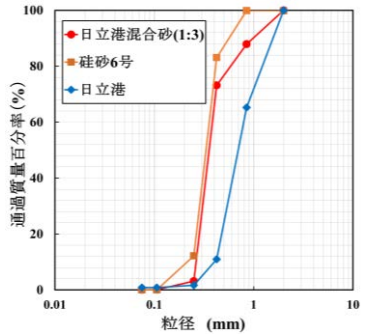

図-2 日立港混合砂粒径加積曲線

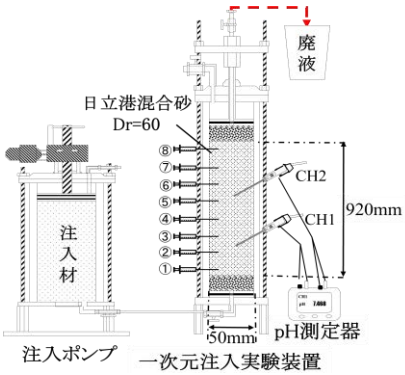

図-3 一次元注入実験概要図

3. 実験結果

図－4 に CH1, CH2 にて測定した注入時の pH の経時変化を，**図－5** に pH の経時変化を固化に至るまでの時間でまとめたものに，各層からの抽出時の pH を加えたものを示す．本実験で作製した薬液の初期 pH は 4.24 であり，薬液のみの GT は約 4 時間であった．**図-4** より，注入開始段階では CH1，CH2

キーワード　薬液注入工法，pH 測定，浸透距離
連絡先　〒158-0087　東京都世田谷区玉堤 1 丁目 28-1　東京都市大学　TEL 03-5707-0104

ともに pH8 付近を示している．その後，両者とも pH が急激に下降し， 初期 pH 付近になると変化が安定した．供試体内では薬液と間隙水が置き換わることで反応が進行するため，pH 測定器の先端に薬液の酸が達した指標として，各 pH 測定器までの間隙体積を満たしていた間隙水の量と同等な廃液量が押し出されたことを電子秤によって確認することで，実際に薬液が到達した時間（実測値）を測定した．CH1 では実測値が 5.6 分となった．しかし，pH の下降は実測値よりも早い 3 分頃から生じた．CH2 では実測値が 10 分となった．CH2 でも同様に，実測値よりも早い 5 分頃から pH の下降が見られた．このように実測値とのずれが生じた要因として，薬液の酸は間隙水により希釈され濃度が分散したこと，薬液の酸と土中アルカリ成分には溶解速度があり，設定した流量での溶解量と実際の溶解量において差が生じたため，ずれが生じたと考えられる．また CH1，CH2 ともに，急激な変化後の pH はいずれも初期 pH よりも高く，CH1 よりも CH2 の方が高くなることが確認された．これは，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したことを示している．薬液を間隙水が置換される 14 分まで注入後，薬液が固化するまで pH を測定したところ，pH は CH2 が CH1 よりも高い傾向にあったが，その後 CH1，CH2 ともに pH が徐々に中性側へと上昇し，840 分付近では同様の pH へと変化したことが確認された．注入時に消費されずに残存していた薬液の酸と土中アルカリ成分が時間の経過とともに十分に反応する時間が確保されたため，最終的に同様な pH となり，変化が収束したと考えられる．また各層から採取された抽出液の pH を赤色のプロットで示した結果，pH 測定器前後の注射器から得られた抽出液の pH の結果に入り込む形で pH 測定器のデータがプロットされ，抽出液と pH 測定器のデータには関連性が確認された．図-6 に浸透距離ごとの pH，GT の変化を示す．浸透距離が長いと pH は高く GT が早期であり，浸透距離が短いと対照的に pH が低く GT が長期であることが確認された．pH の経時変化の傾向と同様に，薬液は酸を消費しながら進行するため，浸透距離の長い場合には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，浸透距離が短い場合には酸が過剰となるため固化しづらく GT が長くなったと考えられる．

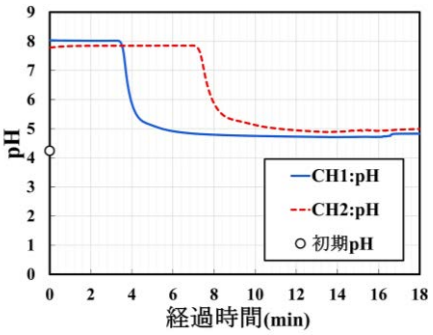

図-4 pH の経時変化（注入時）

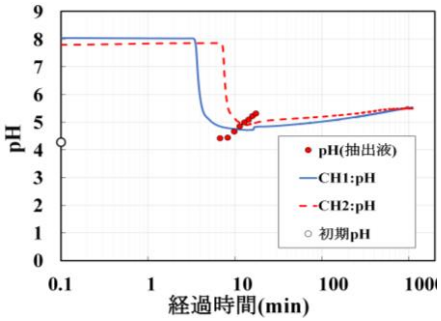

図-5 pH の経時変化

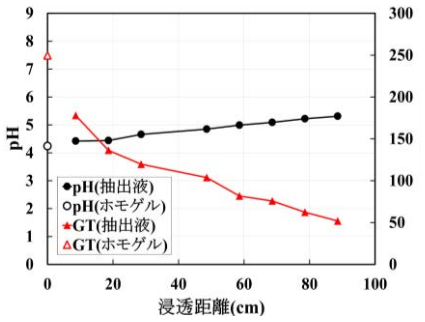

図-6 抽出液 GT（日立港混合砂）

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，即座にアルカリ成分を消費しながら進行することや，浸透過程で酸が消費されることから，浸透距離の増加に伴って pH が低下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るため，pH が中性へと近づくと共に変化が安定したことが確認された．薬液中の酸が持つ土中の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，それまでの溶存過程，その他溶存物質濃度などに依存するものと考えられ，このような複雑な反応を詳細に調べる必要がある．今回実施した pH 測定を伴う一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) 後藤ら：溶液型薬液注入工法のシリカ含有量の測定による 改良強度の測定，土木学会第 57 回年次学術講演会，pp179-180，2002

2) 米倉，島田:薬液注入の長期耐久性と恒久グラウト本設注入工法の設計施工，近代科学社，pp163-166