原位置加熱法とバイオレメディエーションの併用に用いる打込み式電極注入管の開発

大成建設（株）　技術センター　○高畑　陽
大成建設（株）　環境本部　須網　功二

1．はじめに

揮発性有機塩素化合物（以下，VOCs）が地盤に漏洩した場合，水より比重が大きく粘性が小さいため地下深部まで浸透し，不透水層の上で長時間滞留することで高濃度の土壌汚染（汚染源）が生じる（図-1）．このような汚染が発覚した際，地上付近（不飽和層）の汚染源を撤去後，浄化材（有機資材）を注入する嫌気的バイオレメディエーションが広く行われているが，帯水層下部の汚染源が浄化後も残存して再汚染が発生するリスクがある（図-1，A-1～A-2）．このような汚染源に対して機械混合や噴射撹拌より小さな重機・装置で原位置浄化が可能な方法として，土壌加熱法が着目されている．

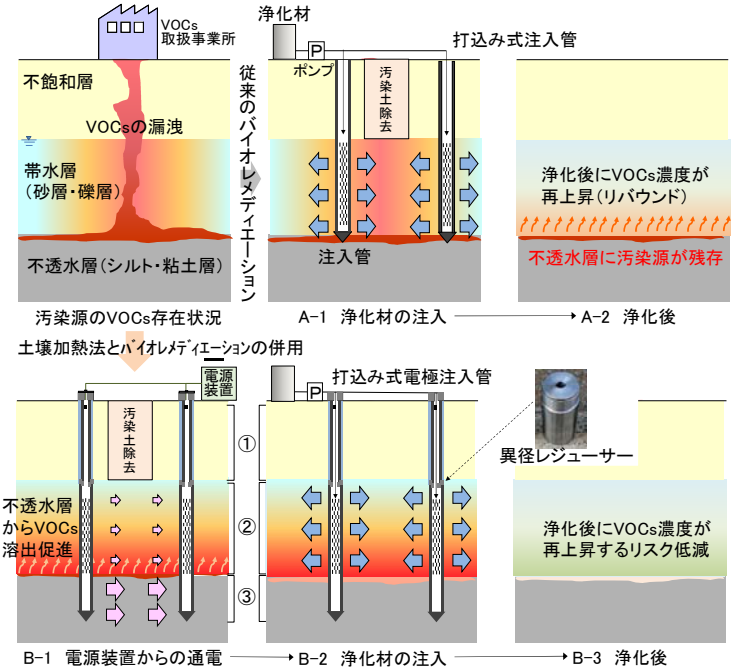

図-1　土壌加熱法とバイオレメディエーションの併用技術の浄化フロー

本報では，電極を地盤に設置して，電流を地盤に流すことにより土壌を抵抗体として発熱させる電気加熱法[1)]と脱塩素細菌を利用するバイオレメディエーションの併用技術（図-1，B-1～B-3）に用いる打込み式の電極注入管を開発し，実地盤で打込み試験を行った結果について報告する．

2．打込み式注入電極管

打込み式注入電極管は，既にスパージングや浄化材注入で実用化されている打込み式注入管[2)]（図-1，A-1）を改良したものである．地上付近の汚染源撤去後に原位置浄化の対象となる地盤は，汚染が存在しない土層（①），汚染帯水層（主に地下水汚染，②），汚染源（土壌汚染が存在する不透水層，③）に大別される（図-1，表-1）．従来の打込み式注入管は加工した圧力配管用炭素鋼鋼管（STPG 管）を用いているため，鋼管打設後に電極端子を接続して電流を流すことにより地盤を加熱できる．この際，導電率の差により不透水層と帯水層では温度の上がり方が異なり，不透水層では VOCs の溶脱に適した高温に，帯水層は脱塩素細菌の増殖に適した温度に上昇させることが可能と考えられる（図-1，B-1）．帯水層下部の汚染源から帯水層に VOCs が移行すれば，浄化材を注入する微生物浄化を効率的に行うことができ（図-1，B-2），浄化後に再汚染が発生するリスクが低減できると推察される．一方，従来の打込み式注入管を用いると加熱しなくても良い汚染が存在しない土層や地上部付近に電流が流れるため，電流を流す必要の無い部分には絶縁を行う必要がある．そこで，絶縁を行う部分は鋼管の外側に塩ビ管をかぶせる二重管として，単管の鋼管とは異径レジューサーで接続する方法を考案した．この際，二重管と単管の外径は概ね同じ寸法である必要があり，規格品が使用できる組み合わせとして 2 種類の電極注入管（表-1，図-2）の試作品を作成した．

これまで加熱用電極と注入管は別々に設置する必要があったが，本電極注入管は両方の役割を兼ねるため，浄化装置の設置費を低減できる．また，原位置加熱法では地盤を比較的高温に制御する事例が報告されているが[1)]，本浄化方法はそれより低い温度制御での浄化を目指しており，ランニングコストの低減も期待できる．

キーワード　原位置浄化，土壌加熱法，バイオレメディエーション，電極注入井戸，打込み式注入管
連絡先　〒245-0051　横浜市戸塚区名瀬町 344-1　大成建設（株）技術センター　TEL 045-814-7226

© Japan Society of Civil Engineers

3．打込み式注入電極管の打設試験

3.1　試験方法

打込み式注入電極管の打設試験は，埼玉県内の図-2 に示す土質性状を示す非汚染地盤で実施した．打込み式注入管の打設にはボーリング調査で用いる汎用性の高い自走式バイブロドリルマシン(ECO-1VⅡ)を用いた．ケーシングを用いた先行掘削を 2m 行った後，2m 長の無孔管および 1m 長の有孔管（それぞれ単管）を打設とネジ接合を繰り返しながら設置した．次に異径レジューサーを用いて打設済みの鋼管より細い鋼管を接続し，その外側に塩ビ管を被せて，同様の操作で図-2 に示す深度まで二重管の打設を行った．

3.1　試験結果

40A と 50A の 2 種類の電極注入管（表-1，図-2）の打設作業は，打込み式注入管の施工経験豊富な熟練作業者 2 名が実施した．それぞれの工程におけるタイムスパンを測定した結果を表-2 に示す．この結果，通常の打込み式注入管と同様の外径である電極注入管 1 は，比較的 N 値が高い礫混じり細砂層においても先行削孔を行わずに打設ができ，GL-16m までの打設時間は約 40 分であった．一方，電極注入管 1 より外径が 1cm 程度大きい電極注入管 2 は打設速度が遅くなり，礫混じり細砂層では先行削孔を行わないと打設できなかったため，打設時間が約 145 分と大きな差が生じることが示された．電極注入管 1 では，従来よりも細い 32A の STPG 管や VP 管より強度が低い VU 管を使用したが，打設過程で破損や変形などの等の不具合は生じなかった．

4．まとめ

本試験の結果，電流を流す機能と浄化材を注入する機能を併せ持ち，絶縁機能を付加した安全性の高い電極配管（外径：40A）を，従来の注入管と概ね同様の打設速度で設置できることが示された．今後，打設した電極注入管に通電を行う地盤の加熱試験を実施して，電極性能を確認する予定である．

参考文献

1)　佐藤ら：第 23 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集，pp.634-639，2017.
2)　高畑ら：地盤工学会誌，No.67，Vol.2，pp.32-33，2019.

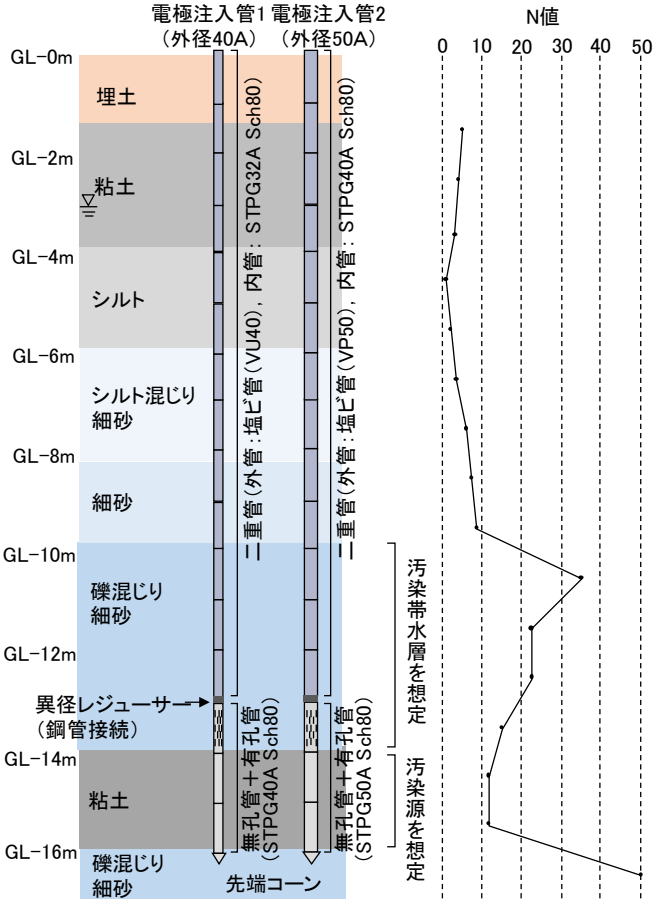

図-2　打設試験場所の地盤性状と試験に用いた電極注入

表-1　土層の性状と打込み管の仕様

	①(図-1)	②(図-1)	③(図-1)
土層の性状	汚染が存在しない土層（不飽和層）	地下水汚染が存在する帯水層	土壌汚染が存在する不透水層
導電率	絶縁して導電させない（効率的な浄化と安全性確保のため）	砂層や礫層で導電率が低い	粘土層やシルト層で導電率が高い
通電時の温度上昇		電気が流れにくく温度上昇は緩やか	電気が流れ易く温度上昇は速い
管の構成	二重管(外管:塩ビ管＋内管:STPG管)	STPG管（スリット有り）	STPG管（スリット無し）
電極注入管1（40A）	外管VU40（外径48.0mm，内径44.0mm）	STPG40A Sh80（外径48.6mm，内径38.4mm）	
	内管:STPG32A Sh80（外径42.7mm，内径33.5mm）		
電極注入管2（50A）	外管VP50（外径60.0mm，内径51.8mm）	STPG50A Sh80（外径60.5mm，内径43.1mm）	
	内管:STPG40A Sh80		

表-2　電極注入管の作業別の打設時間

電極注入管の打込み作業項目		電極注入管1（外径40A）	電極注入管2（外径50A）
①	GL-2mまでの先行削孔（ケーシングによる余堀）	10分	10分
②	GL-10mまでの打込み	15分	75分
③	礫混じり細砂(GL-10m～GL-14m)の固い地盤における先行削孔	0分(不要)	20分*
④	GL-10m～GL-16mまでの打込み	15分	40分
合計時間		40分	145分

*40Aサンプラーを用いながら先行削孔実施

© Japan Society of Civil Engineers