

(S6-18) ダイレクトプッシュテクノロジーによる原位置浄化施工のモニタリング

小林裕一¹・安原雅子¹・佐藤秀之²・山内仁¹

¹株式会社アイ・エス・ソリューション・²株式会社ランドコンシェルジュ

1. はじめに

地下水・土壌中における汚染の除去を目的とした浄化技術のうち、薬剤を地中に注入することにより対象とする物質を分解、除去する原位置浄化技術は近年多くの現場で応用され、実績を上げている。この技術を用いた工法では、薬剤を投入する注入井の設置後は小型の注入用ポンプやプラントを使用し、必ずしも大型の機械を必要としないため、狭い土地や営業活動中の事業所内の敷地においても施工できるという長所がある。

対象とする土壌中への薬剤の注入においては、適切に薬剤が目的の範囲に浸透するよう、現地の地質等を考慮して注入井の配置等を設計し、施工中において薬剤注入量を適切に管理する必要がある。小林(2009)では、地下水および土壌中のベンゼンを対象としたフェントン反応剤による原位置浄化対策事例において、薬剤注入量とベンゼン濃度の低減傾向を調べた¹⁾。その結果、概ね薬剤の注入量が増えるにしたがいベンゼン濃度は低下する一方、期待される濃度の低減が得られない地点も認められた。その原因は必ずしも明らかでないが、土壌中における薬剤の拡散が不均質であることも一因として考えられる。原位置浄化対策をより効率的に実施するためには薬剤の浸透をなるべく細かく速やかに把握することが重要であると考えられ、本研究では薬剤の浸透を迅速かつ簡便な方法によって把握する手法を試みた。

2. 目的

本研究では、ダイレクトセンシングによる電気伝導率の測定法を応用し、フェントン反応剤に含まれる硫酸第一鉄やクエン酸が水に比べて高い電気伝導率を示すことを利用して薬剤の土壌中への浸透を把握することが可能であるか検証することを目的とする。使用する技術は、打撃式ボーリングマシンを用いて電極を直接土壌に貫入し、深度ごとに得られる導電率の変化測定することができ、使用法は簡便で、深度 5 m 程度であれば 1 地点あたり 10 分ほどで測定が完了する。

3. 方法

図 3.1 に測定の手順、図 3.2 に測定地点の配置を示す。フェントン反応剤注入による土壌中の電気伝導率の変化を比較するため、注入の前後において導電率の測定を行った。測定の範囲は 5.0 m 四方の正方形の区画とし、フェントン反応剤は区画中央の地点において注入した。電気伝導率の測定は注入地点の周囲 8 地点とし、注入前後の電気伝導率をそれぞれ 4 地点で測定した。

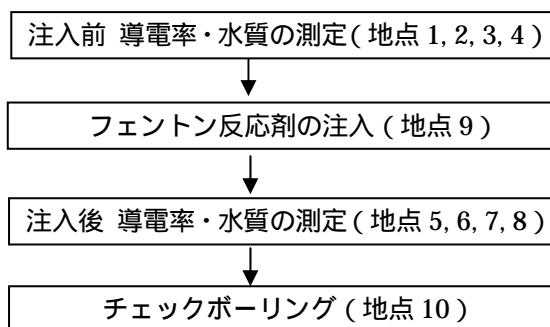


図 3.1 測定の手順

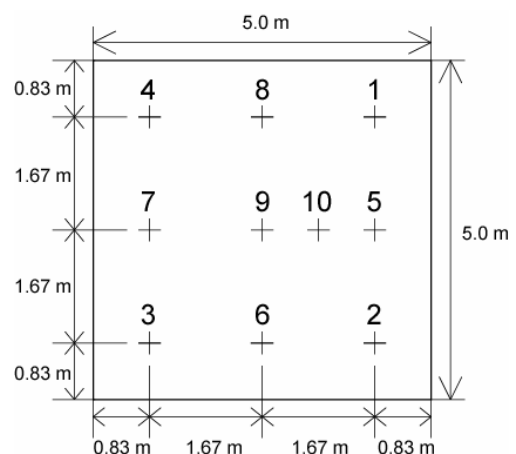


図 3.2 測定地点

Direct push technologies for optimization of in-situ chemical oxidation.

Yuichi Kobayashi¹, Masako Yasuhara¹, Hideyuki Sato² and Hitoshi Yamauchi.

(¹ In Situ Solutions Co., Ltd, ²Land concierge Inc.)

連絡先：〒101-0041 東京都千代田区神田須田町 2-5-2 須田町佐志田ビル 9F (株)アイ・エス・ソリューション

TEL 03-5297-7288 FAX 03-5297-0242 E-mail kobayashi_y@is-solution.com

また、電気伝導率の測定後の裸孔から採取した地下水の水質を測定し、フェントン反応剤が浸透しているかを判断するための資料とした。対象地の地質を観察するためのチェックボーリングをフェントン反応剤の注入と各測定の終了後、区画中央付近の1地点において実施した。

(1) 電気伝導率の測定

電気伝導率の測定は、ECプローブ (SC400, Geoprobe systemes社: 図 3.3) を使用した。センサー部には4つの電極が配置されており、外側の2つの電極間に交流電流を流し、中央部に配置された2つの電極間の電圧を測定することにより地中の電気伝導率を求める。地中の電気伝導率に影響を与える要因には粘土の含有量などが考えられるが、土壌の間隙を満たす液体の電気伝導率も影響すると考えられる²⁾。



図 3.3 EC プローブ SC400

(2) 水質の測定

地下水は、EC プローブを抜き取った後の裸孔に全長 5.0 m、外径 25 mm の PVC 製のスクリーン井戸材を挿入し、ペーラーにて採取した。測定項目と測定機器を表 3.1 に示す。

表 3.1 水質測定の項目と測定機

測定項目	測定機器
水素イオン濃度 (pH)	HORIBA センサプローブ W-22XD
電気伝導度 (mS/m)	
過酸化水素濃度 (%)	ATAGO デジタル過酸化水素濃度計 PR-50HO
全鉄濃度 (mg/L)	共立理化学研究所 パックテスト WAK-Fe
二価鉄濃度 (mg/L)	共立理化学研究所 パックテスト WAK-Fe2+

(3) フェントン反応剤の注入

フェントン反応剤は、外径 38 mm、内径 16 mm の鉄製のロッドを打撃式ボーリングマシンにて深度 GL-5.0 m まで打設した後、ロッドの先端を GL-3.0 m まで引き上げ、注入した。薬剤は、硫酸第一鉄とクエン酸の混合希釈液と過酸化水素の希釈液をそれぞれ 100 L ずつ交互に注入した。使用した薬剤量、注入時の薬剤濃度、および注入圧力、流量を表 3.2 に、注入の概念図を図 3.4 に示す。

表 3.2 使用した薬剤量、濃度、注入圧力、流量

薬剤	使用量 (kg)	注入濃度 (%)	流量 (L/min)	圧力 (kPa)
過酸化水素	100 (35%)	7.0	2.5	40 ~ 60
硫酸第一鉄	20	5.0		
クエン酸	20	5.0		

(4) チェックボーリング

チェックボーリングは、打撃式ボーリングマシンを用いて行った。注入するフェントン反応剤の土壌採取孔への流入等の影響を避けるため、ボーリングはフェントン反応剤の注入後、各項目の測定を行ったあとに実施した。

4. 結果と考察

チェックボーリングによる地質の観察結果と注入前の導電率の測定結果を図 4.1 に示す。対象地は地表からおよそ GL-1.0 m までは埋土であり、シルトおよび砂の基質に 2 mm ~ 10 mm 程度の礫を含んでいる。GL-1.0 m ~ GL-5.0 m は沖積低地の礫

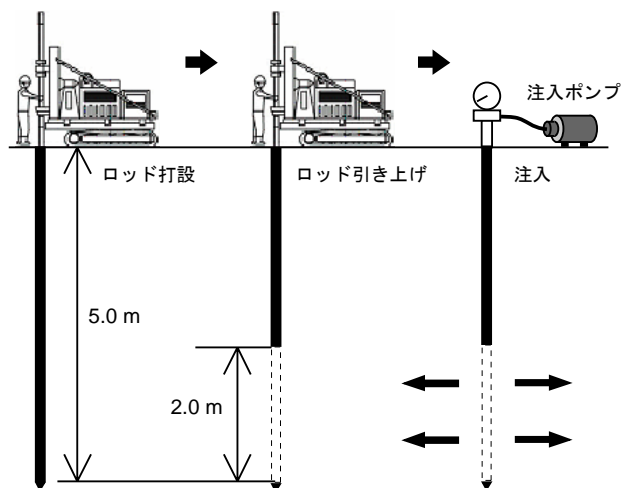


図 3.4 注入の概念図

層と上位の軽石を含むローム層からなっている。

ローム層はおよそGL-1.0 m ~ GL-3.0 m に存在する。礫層はおよそGL-3.0 m ~ GL-5.0 m に存在し、20 mm ~ 30 mm の円礫を含み、粗粒の砂により充填されている。

地点 1、地点 2 および地点 3 における電気伝導率の測定結果は概ね一致した傾向を示しており、表層からおよそ GL-1.0 m までは 4 mS/m ~ 57 mS/m の範囲で比較的大きな振幅で不規則な変動を示し、GL-1.0 m ~ GL-3.0 m では大きな変動は認められず概ね 16 mS/m ~ 30 mS/m の範囲を推移している。GL-3.0 m 付近において電気伝導率の低下が認められ、GL-4.0 m ~ GL-5.0 m では 9 mS/m ~ 16 mS/m の比較的低い値で推移している。GL-0.0 m ~ GL-1.0 m は埋土で礫・砂・シルトが混在しており、これを反映して電気伝導率が不規則に変動していると考えられる。また、GL-1.0 m ~ GL-3.0 m はシルト ~ 砂質シルトからなり、電気伝導率の値はこの地質を反映したものと考えられる。GL-3.0 m 以深は礫および砂からなっており、電気伝導率はこれを反映して比較的低い値で推移していると考えられる。地点 4 では、他 3 地点の測定結果と同様の傾向が認められるものの、GL-1.5 m 付近において振幅の大きな変動がある点、および GL-4.0 m 以深において電気伝導率が上昇している点において異なっている。GL-1.5 m 付近の変動については砂や礫の割合の増加、GL-4.0 m 以深についてはシルトの割合の増加などが考えられる。

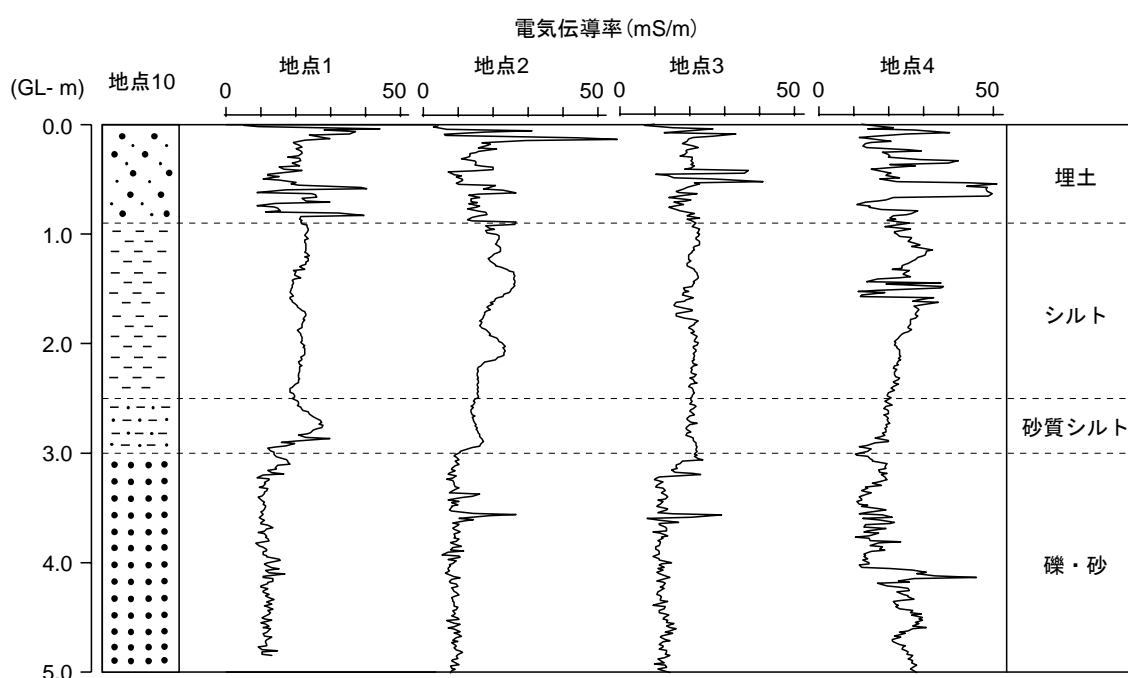


図 4.1 地質の観察結果と電気伝導率

フェントン反応剤注入前後における地下水の水質測定結果を表 4.1 に示す。注入前の各地点における地下水の pH は 6.3 ~ 7.0 である。注入後は 3.2 ~ 6.3 となり、全体的に pH の低下が認められるが、地点 5, 8 における低下が顕著であり、地点 5 では pH4.8, 地点 8 では pH3.2 を示した。その他の測定項目に関しても、地点 5, 8 において測定値の比較的大きな変化が認められ、電気伝導率、過酸化水素濃度、全鉄濃度、二価鉄濃度において明らかな上昇が認められる。

表 4.1 注入前後の水質測定結果

地点番号	水素イオン濃度	電気伝導率	過酸化水素濃度	全鉄濃度	二価鉄濃度	
	pH	mS/m	%	mg/L	mg/L	
注入前	1	6.3	2	-	0.5	1.0
	2	7.0	60	-	0.0	0.0
	3	6.5	36	-	0.2	0.0
	4	6.9	48	-	1.0	0.5
注入後	5	4.8	150	0.2	5.0	4.0
	6	6.3	47	0.0	0.5	0.5
	7	6.0	33	0.0	1.0	2.0
	8	3.2	470	3.4	5.0	5.0

フェントン反応剤注入後における電気伝導率の測定結果を図 4.2 に示す。地点 5 の GL-4.0 m ~ GL-4.5 m において電気伝導率の上昇が認められる。また、地点 8 においては地点 5 と同様に GL-4.2 m 付近に電気伝導率の上昇が認められるほか、GL-1.8 m 付近にも電気伝導率の上昇が認められる。地点 6, 7 では電気伝導率の明らかな変化は認められなかった。水質測定の結果から、電気伝導率は土壤に浸透したフェントン反応剤によって増加したと考えられる。

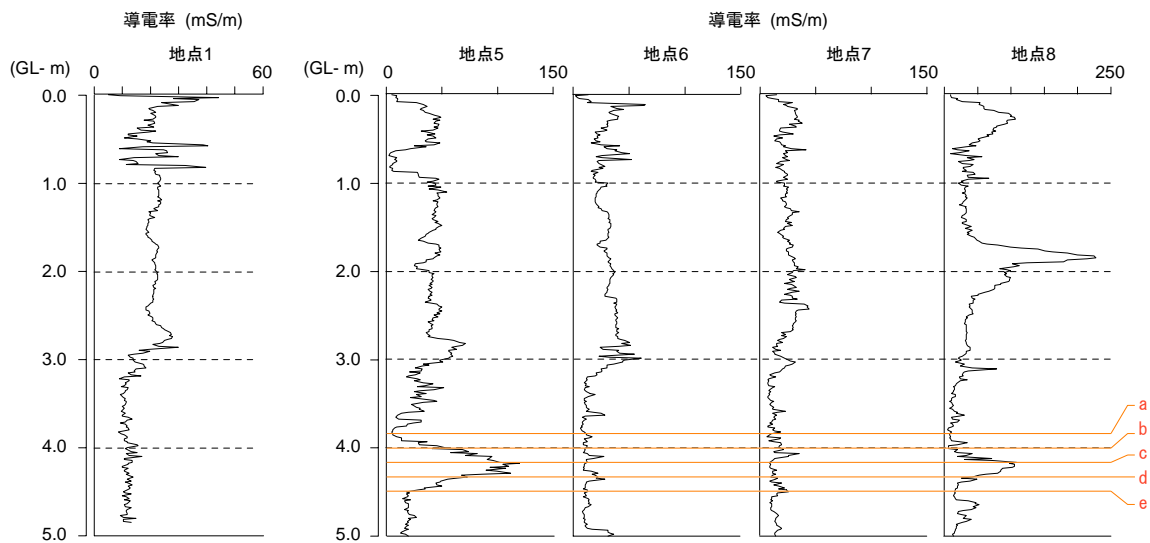


図 4.2 注入後の導電率

以上の結果から、フェントン反応剤の浸透によって土壤の電気伝導率が増加し、その変化を EC プローブにより簡易に把握できることが示唆された。図 4.2 の a ~ e に示した GL-3.8 m ~ GL-4.5 m における各深度の電気伝導率の平面分布を立体的に図 4.3 に示す。これにより、フェントン反応剤が深度 GL-4.2 m 付近を中心として一方向(図面右上)に拡散している状況を視覚的に把握することができる。

今回使用した測定法は、深度 5 m 程度であれば 1 地点当たり 10 分ほどで測定を完了することができ、2.5 m 間隔で測定したと仮定すると、およそ 200 m² (1000 m³) の測定が 1 日で可能である。施工前と、施工中の最低 2 回の測定を実施することにより、その結果に基づき薬剤の追加注入や注入井戸の追加設置あるいは施工法の見直しなどの対策を適切かつ迅速に実施することができるかと期待できる。

土壤の電気伝導率に影響を与える要因としては、薬剤の他にも土壤の粒度組成や含水量、さらに実際の現場においては汚染物質も電気伝導率に影響すると考えられる。これら様々な状況における本手法の適用性の評価は今後の課題であり、測定データを蓄積する必要がある。

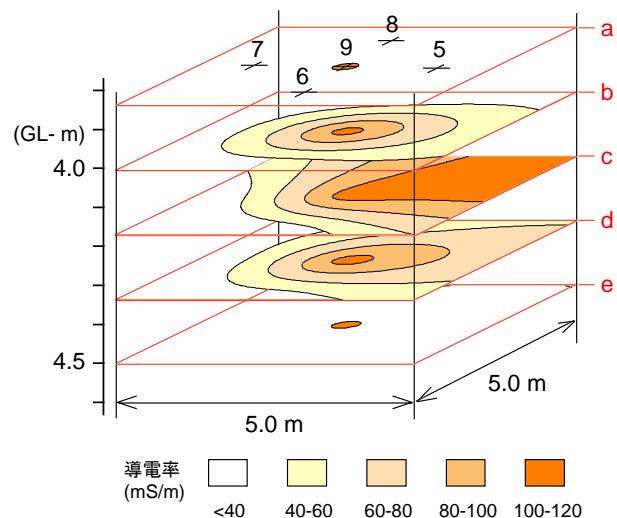


図 4.3 電気伝導率の分布

5. 参考文献等

- 1) 小林裕一, 中間哲志, 長野勝巳, 大澤武彦, 原位置浄化法における適切な役材料の設計と施工, 第 15 回地下水・土壤汚染とその防止対策に関する研究集会講演集.
- 2) Colin D. Christy, P. E., Thomas M. Christy, P. E., Volker Witting, M. Sc (1994) : A percussion probing tool for the direct sensing of soil conductivity, Technical Paper No. 94-100, Geoprobe systems, 601 N. Broadway Salina, Kansas 67401.