

土壌加熱吸引による難透気性汚染地盤の浄化方法（その1）

(株)竹中工務店 技術研究所 ○正会員 奥田 信康、清水 孝昭
(株)竹中工務店 環境エネルギー本部 正会員 森嶋 章
(株)竹中土木 技術本部 正会員 長澤 太郎

1. はじめに

トリクロロエチレン（TCE）など揮発性有機化合物（VOCs）による土壤汚染が確認された場合には、迅速でかつ確実な浄化対策が必要となる。土壌加熱吸引による浄化方法は、高含水比で透気性が悪い火山灰質粘性土からでも短時間で基準値以下までに汚染 VOCs を除去することを狙いとして開発を行った。

2. 浄化方法の概要

土壌加熱吸引による土壌浄化方法(図-1)とは、掘削した難透気性汚染土壤にアルミ粉末を含む土壌改良剤を攪拌混合し、加熱され土壤中で揮発している VOCs をガス吸引により強制的に除去するものである。アルミ粉末の反応熱にて土壤が効率的に加温されると同時に、土壤内部での水素ガス発生により有効な間隙が増大して処理土壤の透気性が向上し、短時間の吸引で基準値以下までの浄化処理が可能となる。

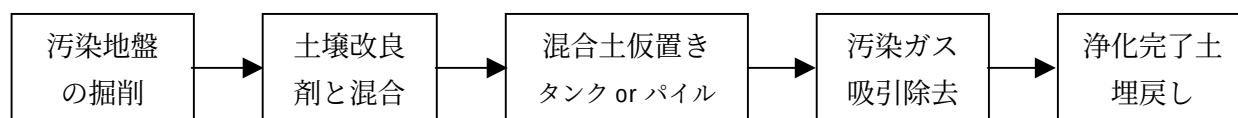


図-1 土壌加熱吸引による浄化方法のフロー図

3. 実験方法

実験に供した火山灰質粘性土の自然状態での物性は、湿潤密度 1.412、間隙率 0.746、体積含水率 0.719、透水係数 $2.1 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ である。実験前に 5mm 以上の異物を除去し、モルタルミキサーで練り返して均一な状態とした。アルミ粉末は市販の微粉末、アルカリ剤には市販の顆粒状生石灰を用いた。

1) アルミ粉末の反応条件の把握実験

アルミの反応式は $[\text{Al} + \text{OH}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{AlO}_2^- + 1.5\text{H}_2 \uparrow + \text{Q}(100\text{kcal/mol})]$ で示され、反応進行には一定量以上のアルカリが必要である。初期含水比 90% の火山灰質粘性土にアルミ粉末とアルカリ剤を混合攪拌した際の実発熱量と理論発熱量からアルミ粉末の反応率と土壌 pH との関係テーブルテストにより求めた。

2) 地盤の透気性向上の効果把握実験

アルミ粉末の添加効果を把握するために、各ケースにおいて発熱量が等しくなるように初期土壌重量に対してアルミ粉末を 0～0.6%、アルカリ剤を 2.5～10% の範囲で添加した（約 40℃ の加温効果）。約 1kg の土壌に所定量のアルミ粉末および土壌改良剤を加えモルタルミキサーで 2 分間攪拌混合し、透気性試験カラム（図-2：内径 10cm 有効高 15cm のステンレス製円筒）に 2～3cm 厚毎に密に充填した。カラム下部から真空ポンプで吸引し、土壌上下間差圧を最大 17.5kPa、通気量を最大 2SLM の範囲で充填土壌内で上から下へ向かって外気を通気させた。差圧計および電子式質量流量計にて連続計測を行い、各条件での固有透気係数 $K(\text{cm}^2)$ を以下の式で求め透気性向上効果の把握を行った。

$$\text{固有透気係数} : K = (\mu / \rho g)(Q \cdot L / A \cdot \Delta P)$$

[パラメータ] μ : 空気粘性、 ρ : 20℃での空気密度、 g : 重力加速度、 ΔP : 差圧 Q : 土壌サンプルの通気量、 L : 土壌の充填厚、 A : カラム断面積

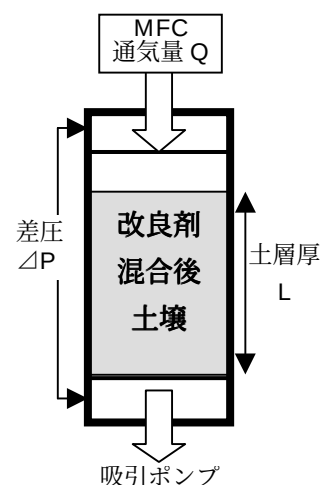


図-2 透気性試験カラム

キーワード：アルミ粉末、難透気性地盤、透気性、土壌加熱、吸引除去

連絡先：〒270-1395 千葉県印西市大塚 1-5-1 (株)竹中工務店 技術研究所 tel.0476-47-1700 fax0476-47-3070

4. 実験結果および考察

1) アルミ粉末の反応条件

実験結果を図-3 に示す。土壌にアルミ粉末とアルカリ剤を直接粉体で供給しても土壌 pH が 12 以上(アルカリ剤添加量 2.5w%以上)であれば、添加したアルミ粉末の 90%以上が反応し、アルミ粉末が土壌加熱剤として有効であることが確認できた。

2) 地盤の透気性向上の効果

実験結果を表-1 に示す。アルミ添加系①～③では、吸引開始直後から通気量が増大した。無添加系④では吸引後 100 分以降徐々に通気量が増えた。⑤では吸引後 500 分間を経過しても全く空気が流れなかった。

アルミ添加系は透気試験カラムに混合土壌を充填する際に土壌内部で水素ガスが発生するため、同じ力で閉め固めても無添加系より充填後の間隙率が大きくなる。その結果、混合直後の含水比は生石灰量の多い無添加系が低いが、アルミ添加系の方が体積含気率が高くなった。500 分間の吸引後に土壌試料を解体し内部を観察したが、カラムの境界部分や試料内部に熱収縮による大きな割れ目は見あたらず、ガス吸引後の土壌含水比に採取位置の違いによる差異も無かった。

固有透気係数の経時変化を図-4 に示す。無添加系では吸引後 100 分程度でようやく $1 \times 10^{-7} \text{cm}^2$ に到達したが、アルミ添加系では吸引開始直後で既に $2 \sim 7 \times 10^{-7} \text{cm}^2$ のレベルにあり 30～60 分後には $1 \times 10^{-6} \text{cm}^2$ 、500 分後には $1 \times 10^{-5} \text{cm}^2$ まで上昇した。アルミ添加系は無添加系に比べ固有透気係数で一桁以上も透気性が向上する結果となり、アルミ添加による透気性向上効果が確認できた。

土壌間隙中にガス化滞留している汚染 VOCs を吸引除去するためには、外気を土壌間に大量に通気させ、置換およびガス化を促進することが有効である。ガス置換の効率を累積通気倍量(累積通気量/土壌重量)で比較すると、無添加系では吸引後 60 分で 0.3 倍、180 分後で 15 倍に対して、アルミ添加系では 60 分で約 20 倍、180 分後で約 100 倍であった。アルミを添加すると同じ吸引時間で 10 倍以上の通気量が確保でき、浄化完了までの必要な吸引時間の大幅な短縮がはかれることとなる。

以上の結果より、土壌加熱吸引においてアルミ粉末の添加効果が非常に高いと判断できる。

5. まとめ

アルミ粉末を用いた新しい VOCs 汚染土浄化工法に関する基礎実験を行い以下の知見を得た。

- ① 土壌 pH を 12 以上とすればアルミ粉末が土壌加熱剤として有効に作用する。
- ② 土壌内部で水素ガスが発生して土壌の体積含気率が上がり、土壌の固有透気係数が著しく向上する。
- ③ 火山灰質粘性土に対しアルミ添加量 0.2%で十分な透気性向上効果があった。

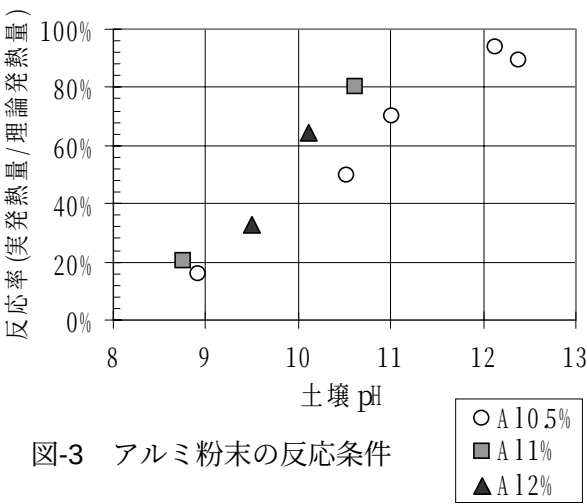


図-3 アルミ粉末の反応条件

表-1 透気性向上実験結果

実験ナンバー	①	②	③	④	⑤
アルミ粉末添加量	0.2%	0.4%	0.6%	0	0
アルカリ剤添加量	7.5%	5%	2.5%	10%	5%
含水比					
(初期値)	89%	91%	91%	91%	89%
(改良剤混合直後)	69%	74%	79%	68%	79%
(ガス吸引後)	65%	70%	77%	62%	79%
充填後間隙率	0.73	0.77	0.78	0.69	0.71
体積含気率					
(改良剤混合直後)	0.19	0.28	0.29	0.08	0.09
(ガス吸引後)	0.24	0.32	0.31	0.14	0.08

注) 体積含気率＝間隙率－体積含水率

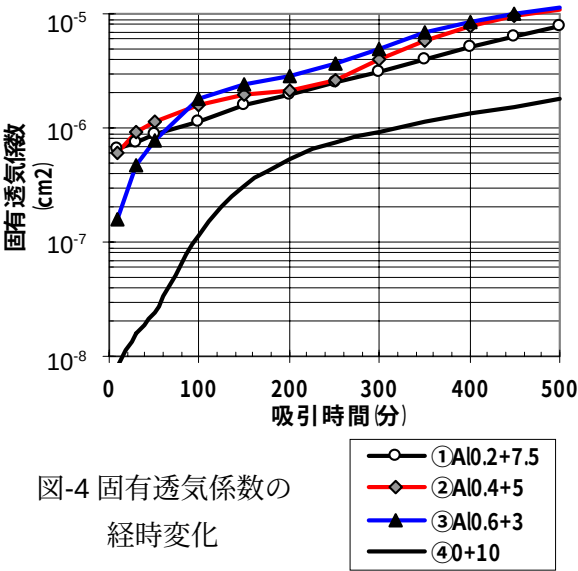


図-4 固有透気係数の経時変化