

固化材を併用した金属還元剤による VOC 分解への阻害影響

(株)竹中土木技術本部 正会員 ○石橋 正光 斎藤 聡
(株)竹中工務店技術研究所 正会員 奥田 信康

1 . はじめに

筆者らは、揮発性有機化合物（VOC）による汚染土壌に対して金属還元剤と固化材を原位置で混合して、汚染物質の分解と地盤強度の早期回復を図る工法（DCM-e 工法）について研究を進めている。一般に地盤は攪拌により強度低下を引き起こすため、原位置で金属還元剤を混合する際には固化材を添加して強度回復を図る必要があるが、土壌が高アルカリ性になると金属の還元作用による VOC 分解を阻害したり、その後の植生や土地利用に支障をきたすことなどが懸念され、低アルカリ型の固化材が必要であると考えた¹⁾。

本論文は、低アルカリ型固化材を用いた室内実験を行い、改良土の強度発現特性、並びに金属還元剤と低アルカリ型固化材の組合せによる VOC 分解への阻害影響の可能性について検討したものである。

2 . 強度発現性確認試験

(1) 試験方法

低アルカリ型固化材を混合した土（以下混合土）の材齢 28 日における一軸圧縮強さを調べた。試料土は表-1 に示す粘性土、砂質土、火山灰質粘性土（以下ローム）の 3 種類である。また固化材は表-2 に示すマグネシア系セメント 4 種類と、比較のための B 種高炉セメント（以下 BB）を用いた。混合土の目標一軸強度としては、人が載れる程度（20kN/m²）から一般に中位の強度を有する土の強度（50～100kN/m²）を目安に概ね 50kN/m² に設定した。供試体の作製は JGS 0813 に基づき、自然含水比状態の土 1m³ に対し 10～80kg/m³ の固化材を水セメント比 W/C=80%で添加し 10 分間混合した後、φ3.5cm×h7.0cm のプラスチックモールドに各層ごとに気泡を除去しながら 3 層に分けて詰めた。

(2) 試験結果

図-1～図-3 に混合土の一軸圧縮強度試験結果を示す。粘性土では固化材 A 及び C を 50kg/m³ 以上、固化材 B 及び D を 70kg/m³ 以上添加することにより目標強度 50kN/m² を得られ、BB と同等かそれ以上の強度が発現している。砂質土では固化材 A は 30kg/m³ 以上、他は 50kg/m³ 以上添加することで目標強度は満足できるが、BB には及ばない。ロームでは固化材 A～D の全てにおいて 10～20kg/m³ の添加で目標強度を上回り、BB よりも低添加量で高い改良効果を示す。また粘性土及びロームでは

表-1 試料土の土質性状

項 目	粘性土	砂質土	ローム
土粒子密度 ρs (g/cm ³)	2.768	2.724	2.509
自然含水比 wn (%)	84.5	9.2	106.9
液性限界 w _L (%)	72.6	NP	142.2
塑性限界 wp (%)	32.4	NP	61.4
塑性指数 ƒ _p	40.2	NP	80.8
粒度組成 (%)	礫分(2～75mm)	0.0	1.1
	砂分(75μm～2mm)	9.6	89.2
	シルト分(5～75μm)	35.0	6.8
	粘土分(5μm未満)	55.4	2.9

表-2 用いた固化材

固化材の種類		スライ- pH
固化材 A	酸化マグネシウムに、重曹や半水石膏を混合した固化材	11.2
固化材 B	酸化マグネシウムに、硫酸マグネシウムを混合し、さらに焼成 粉砕した固化材	9.6
固化材 C	酸化マグネシウムに、硫酸マグネシウム、スルファミン酸を混合した固化材	9.4
固化材 D	酸化マグネシウムに塩化マグネシウム、スルファミン酸を混合した固化材	9.1
B 種高炉セメント (BB)		13.4

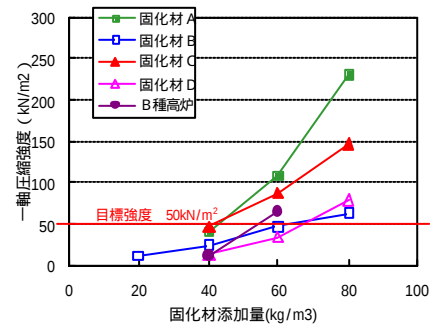


図-1 改良土の強度（粘性土）

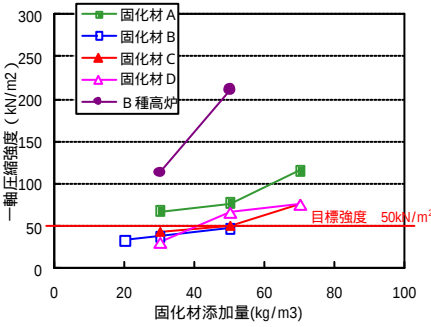


図-2 改良土の強度（砂質土）

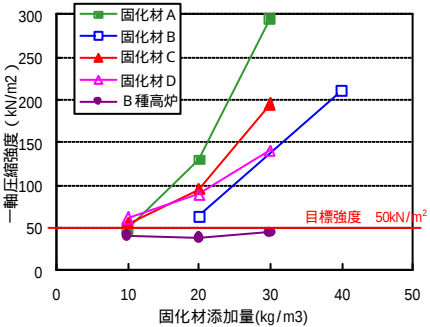


図-3 改良土の強度（ローム）

キーワード：還元剤、固化材、室内実験、強度回復、浄化

〒104-8234 東京都中央区銀座 8-21-1 (株)竹中土木 技術本部
TEL03-3542-6321 FAX03-3248-6545

〒270-1395 千葉県印西市大塚 1-5-1 竹中技術研究所 エコング・エンジニアリング 部門
TEL0476-47-1700 FAX0476-46-6688

概ね固化材 A > 固化材 C > 固化材 B = 固化材 D という傾向になり、固化材の組成（例えば酸化マグネシウムの含有量など）が改良効果に影響しているのではないかと考えられる。

3. 金属還元剤による VOC 分解への固化材の阻害影響確認試験

(1) 試験方法

低アルカリ型固化材が金属還元剤の VOC 分解に及ぼす影響について、以下の方法で確認試験を行った。実験には VOC の代表としてトリクロロエチレン（以下 TCE）を、固化材には表-2 に示す固化材を用いた。

1) ネジ口ガラス瓶（内容量 120ml、蓋内張りテフロン）に表-3 に示す配合で試料を作成し、試料瓶を連続で往復振とう（振幅幅 4cm、毎分 200 回）させ、試料がよく混合する状態を維持した。

2) 1、3、6、9 日後に瓶内の上澄み液 1ml を採取し、VOC 濃度を GC/MS で分析した。（JIS K 0125.5.2 に準拠）

なお操作中の揮発に伴う TCE の損失については、各ケースにおいて金属還元剤を添加しない空試験で確認し、その結果を考慮して分解速度を算出した。

(2) 試験結果

図-4 に TCE 濃度の時間変化を示す。同図中には比較のため固化材を添加しない場合（金属還元剤のみによる浄化効果を表す）のデータも併せて示している。固化材無添加では一定の割合で低減し、6 日間で環境基準値以下となった。また固化材 C では初期の減衰が大きく、6 日間で環境基準値以下となったが、固化材 A では環境基準の 10 倍程度、固化材 B・D では 6 日間でも環境基準の 100 倍程度までしか低減できず、浄化への阻害影響が認められた。

また、分解が下記の一次反応式に従うと仮定し、分解速度係数の時間変化を算出した結果を図-5 に示す。

$$C_t = C_0 \times \exp(-k \times t)$$

（ここに C_t : 時間後の濃度, C_0 : 初期濃度, k : 分解速度係数(1/hr), t : 経過時間(hrs)）

初期値の 1/10 になるまでの時間は $k=0.04$ では 58 時間、 $k=0.02$ では 115 時間となる。無添加の分解速度は 0～6 日目までほぼ一定で、TCE 濃度がかなり低くなった 9 日目で低下した。固化材 C の分解速度は初期（0～3 日目）は無添加よりも大きいとその後低減しており、固化材 A では時間経過に従い分解速度が低下している。以上より、固化材の添加により分解の阻害はあるが、固化材種類によって影響の小さいものがあることがわかった。特に固化材 C は、混合初期には無添加よりもむしろ分解速度が向上する傾向もあり、実用上分解の阻害は無いレベルであった。

またデータは記載していないが、TCE から脱塩素して生じるジクロロエチレン類、塩化ビニルについても分析を行った結果、分解率の高かった無添加および固化材 C では環境基準を超えるレベルでは検出されず、9 日目の時点では全て 0.001mg/l 以下であった。

4. まとめ

今回の実験では、固化材 C が強度回復と浄化を両立できる材料であることが確認できた。しかし、土壌の種類や固化材の種類によっては強度や浄化効果に大きな差が生じる場合もあり、これらの選定に当たっては事前にトレータビリティ試験等を行って確認することが重要である。

[参考文献]

1) 岩本他：固化材を併用した金属還元剤による VOC 汚染土壌の浄化特性, 第 38 回地盤工学研究発表会論文集, pp2297～2298, 2003

表-3 模擬汚染試料の配合

金属還元剤	固形分 5g
固化材	5g
VOC	1.5mg (初期TCE濃度15mg/l)
蒸留水	100ml

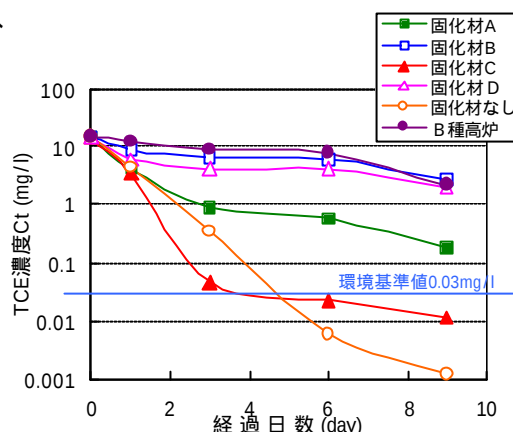


図-4 TCE 濃度の時間変化

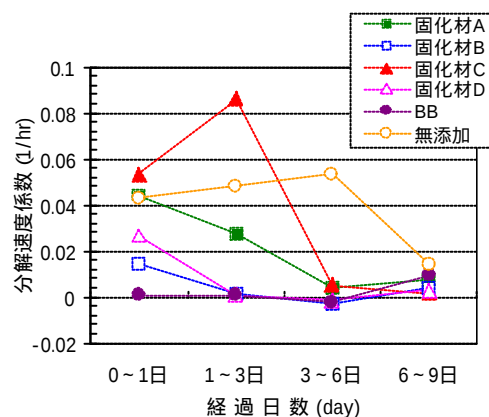


図-5 分解速度係数の時間変化