

S2-18 透過性地下水浄化壁（分解）に関する適用可能性試験の検討

○森川航平¹・佐藤 毅¹・澁谷正宏¹・三浦英俊¹・西田憲司¹・
土壌汚染の除去等の措置の適用可能性試験に関する調査・検討部会（第2期）¹
¹土壌環境センター



1. 背景・目的

- ◆ 土壌汚染対策法において実施措置として土壌汚染の除去等の措置を適用する場合、[汚染除去等計画](#)を作成するが、計画した[汚染の除去等の処理方法](#)に関し、予め[適用性の確認](#)を行うことが規定されている。
- ◆ [土壌汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン](#)および[環境省の区域内措置優良化ガイドブック](#)では、適用性を確認する基本的な考え方、対象の実施措置、適用性を確認する方法および項目が示されているものの、[適用可能性試験に関する具体的な方法や手順などは示されていない](#)。

検討の目的：[適用可能性評価のための具体的な方法・手順例を提示](#)
[透過性地下水浄化壁（分解）の適用可能性試験について検討](#)

2. 適用可能性試験の検討の流れ

《透過性地下水浄化壁の技術概要》

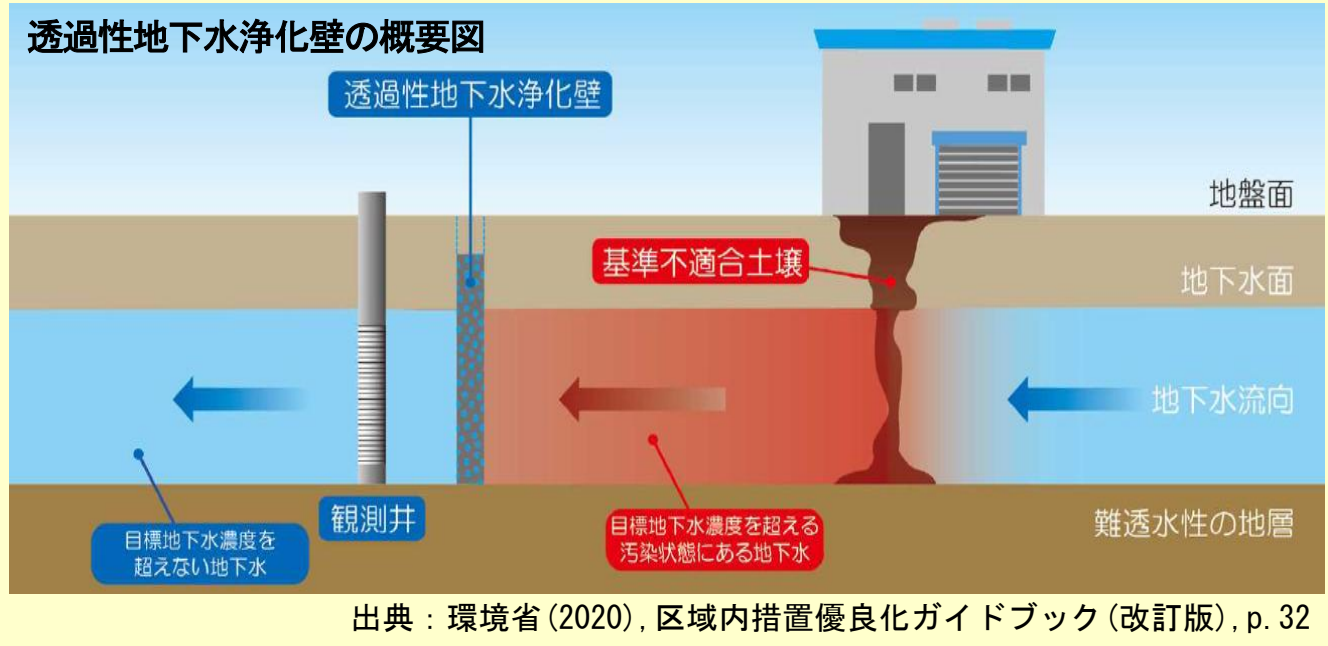
- ◆ 対象地（要措置区域等）の地下水流向下流側に透水性が周辺の帯水層と同等以上に維持された浄化壁を地中に構築し、汚染された地下水から定期的に汚染物質を除去することにより、対象地からの目標地下水濃度を超える汚染状態の地下水の拡大を防止する。（環境省「区域内措置優良化ガイドブック（改訂版）」より引用）

《検討対象とする措置技術の選定》

- ◆ 浄化壁は、米国において30件以上の適用実績（2012年時点）があり、国内でも適用実績があることをセンターの実態集計分科会の活動において確認している。
- ◆ [分解機能の浄化壁](#)を検討対象とした。
対象物質：[第一種特定有害物質（ベンゼンを除く）](#)、原理：鉄粉による還元分解

《適用可能性試験の目的》

- ◆ 浄化壁を実施措置等として適用する場合に、現地で採取した地下水試料を用いた室内試験により、処理後（浄化壁透過後）の地下水について確実に[浄化目標濃度（例えば目標地下水濃度）を超えない（分解生成物は地下水基準に適合する）状態にできる機能があることを確認する](#)。
- ◆ [その機能を維持する設計とするために必要なデータを取得する](#)。



3. 適用可能性試験フロー（例）

 ：主な留意点および補足説明

1.試験前の確認
(前提条件など)

2.試料採取

3.初期性状確認

4.バッチ試験

5.結果の評価
およびまとめ

- ・地下水汚染状況（特定有害物質の濃度、平面範囲と深さ）
- ・必要に応じて土壌汚染状況（特定有害物質の濃度、平面範囲と深さ）
- ・地層および帯水層の土質区分、帯水層の深度

- ・地下水流向、実流速（＝透水係数×動水勾配÷有効間隙率）
- ・浄化目標濃度（例えば、目標地下水濃度）
- ・特定有害物質以外（油類、カルシウムなど）の影響有無

- ・現地の地下水試料を採取
- ・試料採取地点は、浄化対象物質の汚染状況や特定有害物質以外の影響の有無をふまえ、浄化壁の設置位置などに適切に設定
- ・試料必要量は、試験などの計画（想定試験回数）に基づき設定 →3. 初期性状確認で用いる試料の量も考慮
- ・採取後の地下水の変質（対象物質の濃度変化、溶存酸素量の変化）に注意し、冷暗所で保管→速やかに試験に供することが望ましい

- ・地下水試料の基準不適合物質などの濃度を確認
(例) 化学分析項目
 - ・基準不適合物質
 - ・pH、ORP
 - ・[浄化壁の透水機能に影響する物質](#)
 - ・[鉄粉に影響を与える物質](#)
 - など

■浄化壁の透水機能に影響する物質の濃度確認

・(区域内措置優良化ガイドブック)油類や地下水中の無機成分（カルシウムなど）は浄化壁の目詰りなどの障害の要因となるため、濃度を確認しておくことが望ましい

■鉄粉に影響を与える物質の確認

・鉄粉に影響を与える物質（溶存酸素、硫酸イオン、硝酸イオン、塩化物イオンなど）が存在する場合があるので、製造元などに問い合わせる

○試験の目的

対象物質毎に擬一次反応速度定数を求めて、鉄粉の分解性能を確認

○準備

①試料など

・地下水試料、試薬（浄化対象物質）、鉄粉

②装置および器具

・[試験容器（50～300mL程度のガラスバイアル瓶）](#)、密栓用の上蓋（テフロン加工のブチルゴム栓、アルミシールなど）、pH計、はかり、メスシリンダーなど

○バッチ試験（分解性能評価）

①地下水試料の調製

・地下水試料または地下水試料に[浄化対象物質（試薬など）を添加](#)し調整した模擬地下水試料を試験試料とし、浄化対象物質および分解生成物の濃度（以下、初期濃度）を測定

②分解試験

・試験試料を試験容器（ガラスバイアル瓶）内へ分取

・所定量の鉄粉を試験容器内へ添加

・鉄粉の添加量は、過去の実績や予備検討などで設定

・ヘッドスペースがある場合は、窒素ガスなどで置換

・テフロン加工のブチルゴム栓とアルミシールなどで密栓

・試験体の数量は、測定1回につき1検体を消費する場合、「作製する試験体の数量（ガラスバイアル瓶本数）＝鉄粉添加量のケース数×測定回数」

・容器を手で1分程度振とう混合し、地下水と鉄粉が混合されていることを目視で確認

・振とう混合後は、サイトに近い条件（例：温度は15℃、暗所）とし、恒温槽内に静置・養生

・鉄粉を添加せず、地下水による影響のみを評価するコントロール試験を実施

・養生時間は、地下水が浄化壁を通過する時間を考慮して設定

③測定

・鉄粉による還元分解の効果の検証を目的として、浄化対象物質および分解生成物を測定

・分解状況をリアルタイムに把握することが望ましいため、試験体中の液相やヘッドスペースガスをガラスシリンジで採取し、ガスクロマトグラフなどで測定

・測定最終回の試験体は、分解効果をより正確に把握するため、公定法分析が望ましい

・還元剤として用いる鉄粉の種類や特性によっては、[鉄粉添加後に地下水中のpHが変化し](#)て自然由来重金属などが溶出する場合があるため、pHを測定

④擬一次反応速度定数の計算

・鉄粉による第一種特定有害物質の脱塩素化は、擬一次反応式による評価が成立すると仮定し、浄化対象物質および分解生成物について、初期濃度、経時変化tにおける濃度、経過時間を以下の式に代入して、擬一次反応速度定数を算出

$$\ln \left[\frac{\text{経過時間 } t \text{ の濃度 } C \text{ (mg/L)}}{\text{初期濃度 } C_0 \text{ (mg/L)}} \right]$$
$$= - \left[\text{擬一次反応速度定数 (1/s)} \right] \times \left[\text{経過時間 } t \text{ (s)} \right]$$

⑤鉄粉の評価、計画する浄化壁厚（滞留時間）の試算

・擬一次反応速度定数や分解生成物の生成割合を比較し、設計に使用する鉄粉を選択

・④で得る擬一次反応速度定数など設計条件を元に、計画壁厚（滞留時間）を試算

適用可能性の評価に必要な項目

設計に必要な項目

←実現可能な設計値であるかどうか判断基準

[1]	液固比		100	溶液量÷鉄粉量 …例えば、1Lの溶液に対し10gの鉄粉
[2]	TCE濃度（Co）	mg/L	1.0	分析結果に基づく
[3]	鉄粉1kgあたりのTCE量	mg/kg	100	[1]×[2]
[4]	浄化目標濃度（C）	mg/L	0.01	例えば、目標地下水濃度
[5]	TCE初期値→浄化目標濃度に要する時間 t	d	2.5	バッチ試験結果に基づく
[6]	反応速度定数（α）	1/s	2.1×10^{-5}	$\alpha = -1/t \text{ (s)} \times \ln[C_0/C]$
[7]	地下水実流速	m/d	0.065	透水係数 3×10^{-5} (m/s) 動水勾配1/200 有効間隙率0.2 …(参考)ガイドライン Appendix1 p18
[8]	TCE初期値→浄化目標濃度に要する時間	d	2.5	[5] (d)
[9]	滞留時間を確保するのに必要な壁厚	m	0.162	[7] (m/d)×[8] (d)
[10]	[8]の間に浄化壁1m ² を通過するTCE量	mg/m ²	162	[2] (mg/L)×1000 (L/m ³)×[9] (m)
[11]	浄化壁1m ² あたりの必要な鉄粉量	kg/m ²	1.6	[10] (mg/m ²)÷[3] (mg/kg)

地下水位投入

鉄粉添加

窒素パージ

密栓

振とう

分解試験（地下水試料投入→振とう）のイメージ

バッチ実験結果によるTCE濃度と時間変化の関係のイメージ

TCE濃度 (mg/L)

10

1

0.1

0.01

0.001

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

鉄粉A

鉄粉B

鉄粉C

コントロール

浄化目標濃度
(例えば、目標地下水濃度)

$$\ln \left[\frac{\text{経過時間 } t \text{ における濃度 (mg/L)}}{\text{初期濃度 (mg/L)}} \right] = - \left[\text{擬一次反応速度定数 (1/h)} \right] \times \left[\text{経過時間 (h)} \right]$$

TCE濃度 (mg/L)

10

1

0.1

0.01

0.001

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

鉄粉A

擬一次反応定数の式

TCEが鉄粉によって還元分解され、その濃度が指数関数的に減少することが確認される場合、TCEの分解は、擬一次反応で表現することができる。この時、直線の【傾き】が擬一次反応速度定数である

■擬一次反応速度定数の計算

・汚染源対策を行うなどで初期濃度が変化する場合もあるが、バッチ試験は初期濃度一定として擬一次反応速度定数を求める

■鉄粉の評価、計画する浄化壁厚（滞留時間）の試算

・液相中の濃度が浄化目標濃度を下回ること、および、その経過時間を確認する

・使用した鉄粉に第一種特定有害物質の脱塩素化の能力があることを確認する

・液相中の浄化対象物質および分解生成物が浄化目標濃度を下回るまでの経過時間を浄化壁の滞留時間とする

[1] 鉄粉量:2kg/m²

[9] 壁厚:0.16m

バッチ試験で求められるのは最低限必要とされる壁厚と鉄粉混合量

[1] より多い

[9] より厚い

実際の設計では壁厚をより厚く、鉄粉混合量をより多くし、施工性等も考慮する

4. おわりに

- ◆ 今回提示した試験フローの例および留意点のさらなる改善のために、引き続き議論を重ねたい。

一般社団法人
土壌環境センター
Geo-Environmental Protection Center

【参考】
S2-19 実施措置等の適用可能性試験の手引き（事例集）に関する検討
S3-23 原位置化学処理（酸化分解）に関する適用可能性試験の検討
S4-19 原位置化学処理（還元分解）に関する適用可能性試験の検討－第2報－
S4-20 原位置加熱脱着処理に関する適用可能性試験の検討－第2報－