

(0097) 既存井戸等からの地下水採取について

○佐藤徹朗¹・稲田ゆかり¹・佐藤秀之¹・佐藤幸孝¹・設楽和彦¹・技術標準化部会¹
¹ 土壤環境センター

1. はじめに

土壤汚染対策法（以下、「法」という。）により区域内から搬出される基準不適合土壤の管理が強化されたことにより、汚染土壤の搬出を伴わない区域内措置や基準不適合土壤を残したまま土壤汚染を管理していくことが増加していくものと予想される。

更に、平成23年7月8日に公布・施行された土壤汚染対策法施行規則の一部を改正する省令（以下、「改正規則」という。）では、形質変更時要届出区域が「自然由来特例区域」、「埋立地特例区域」、「埋立地管理区域」及び「一般管理区域」に区分された。また、形質変更時要届出区域における施行方法が区域の種類毎に明確化され、これらの施行方法には、地下水質を確認しながら形質変更を行う方法も含まれている。

このため、これらの措置の品質管理や完了の条件、土壤汚染を起因とした地下水汚染発生有無の監視を目的とした水質モニタリングが重要となってくる。

「土壤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 改訂第2版」¹⁾（以下、「ガイドライン」という。）に示されている「地下水試料採水方法」は、要措置区域周辺の飲用井戸における健康リスクの評価を目的とした場合の考え方であり、原位置浄化の効果や進捗の確認を目的とした場合や非水相液体（NAPL）を対象とした場合における採水方法等、地下水質測定に係る技術的な基礎知識や留意点が体系的に取りまとめられていないのが現状である。これに関し、(一社) 土壤環境センターが会員企業に対して実施した地下水調査に関するアンケート調査においても、課題が指摘されている²⁾。

このような背景から、技術標準化部会では、地下水の採取及び地下水質測定における品質及び信頼性の向上を目的とし、平成23年度より「地下水調査の考え方」検討WGにおいて、既存資料等の調査及び検討を行ってきた。その結果、「地下水調査の目的」、「対象物質の種類や汚染状態」、「水文地質学的特性」等を踏まえ、調査の方法（調査の頻度や実施時期、ページ方法や採水方法等）をサイト毎に検討していく必要があり、これらの基本的な考え方について情報収集し整理することが、地下水調査に係わる関係者にとって有益と考え「既存井戸等からの地下水採取の基礎知識」（以下、「基礎知識」という。）として取りまとめた。本稿は、その概要及び地下水調査方法の考え方の一例について紹介する。

2. 基礎知識の概要

2.1 調査対象

著者らは、以下の点に着眼し、既設の観測井やボーリング孔を利用した地下水調査における「調査の実施時期及び頻度」、「井戸洗浄方法」、「ページ方法」、「採水方法と採水機器」、「試料の保管」、「モニタリング設備の材質」について、表-1に示すISO規格^{3),4),5)}及び「ガイドライン」、地盤工学会発行の「地盤調査の方法と解説」^{6),7)}等を対象に調査を行った。

【検討における着眼点】

- ・地下水調査を実施する目的は何か。調査の目的によって地下水調査の方法を変える必要があるか。
- ・調査頻度や調査実施時期に関する技術的根拠は何か。
- ・井戸洗浄やページの実施時期は。また、その方法と効果の確認等をどの程度まで行うべきなのか。
- ・地下水の採水方法や採水機器の選定における留意点は。
- ・採水後の試料の保管はどの程度の期間まで許容できるか。

The Basic Knowledge of Groundwater Sampling from Previously Installed Well

Tetsuro Sato¹, Yukari Inada¹, Hideyuki Sato¹, Yukihiro Sato¹, Kazuhiko Shitara¹ and Study group for technical standards¹
(¹GEPC)

連絡先：〒102-0083 東京都千代田区麹町4-5 (一社) 土壤環境センター

TEL 03-5215-5955 FAX 03-5215-5954 E-mail info@gepc.or.jp

表-1 調査対象とした ISO 規格及び文献等

調査資料名	概要
ISO 5667 3(Water quality – Sampling – Part3 Guidance on the preservation and handling of water samples)	<p>全ての水試料に対して、現場で分析できない場合の試料の保存や運搬方法について規定されている。</p> <p>本規格内の表 1 に測定項目別の試料容器の材質、必要試料量、保存のための前処理技術、分析までの最大保管期限が整理されている。</p> <p>※ISO 規格の「試料の保管」については、本規格を調査対象とした。</p>
ISO 5667 11(Water quality – Sampling – Part11 Guidance on sampling of groundwaters)	<p>地下水汚染の有無の確認や評価、地下水源の管理・保護・浄化の評価を目的として行われる地下水調査の方法について規定されている。</p> <p>採水地点及び項目の選定、採水頻度、採水機器と採水方法、ページ方法等について記載され、飽和帯だけではなく不飽和帯からの地下水採水も対象となっている。</p>
ISO 5667 22(Water quality – Sampling – Part22 Guidance on the design and installation of groundwater monitoring points)	<p>地下水調査の設計、観測井の設置方法等について規定されている。</p> <p>本規格内の 5.5 に井戸洗浄に関する項目があり、井戸管設置後に周辺の地下水と同じ状態にする作業と位置づけられている。</p> <p>※ISO 規格の「井戸洗浄」については、本規格を調査対象とした。</p>
ガイドライン	<p>土壌汚染対策法における指示措置、又は、指示措置の効果確認を目的として行われる地下水調査の方法について示されている。</p> <p>観測井の配置方法や観測井の仕様、採水頻度、井戸洗浄、地下水採水方法等について記載されており、汚染された地下水を飲用することによる健康影響を評価・確認することを目的に考えられている。</p>
地盤調査の方法と解説	<p>地下水調査に関する地盤工学会基準が以下のとおり規定されている。</p> <p>①観測井からの環境化学分析のための地下水試料の採水方法 (JGS 1391-2012)</p> <p>既設の観測井からの地下水の採取方法について規定されている。 観測井の選定方法、井戸洗浄、地下水採水方法について記載されており、対象化学物質の濃度や化学形態を変えないように地下水を採水することを目的に考えられている。</p> <p>②打撃貫入法による環境化学分析のための試料の採水方法 (JGS 1912-2012)</p> <p>地盤汚染調査等において、深さ 20 m 以浅の帯水層からの地下水の採取方法について規定されている。 二重管式地下水サンプラーの構造や操作方法、サンプラーからの地下水の採取方法について記載されており、対象化学物質の濃度や化学形態を変えないように地下水を採水することも目的に考えられている。</p> <p>※「試料の保管」については、同学会発行の「土壌・地下水汚染の調査・予測・対策」(平成 14 年 5 月 31 日)を調査対象とした。</p>
土壌環境センター 地下水調査・対策の考え方検討部会活動報告要点 (以下、「土壌環境センター活動」という。)	<p>地下水汚染の有無や程度及び、範囲、地下水汚染原因の特定、汚染機構の解明を目的に行う地下水汚染調査方法の考え方が示されている。</p> <p>観測井の配置方法や観測井の仕様、採水頻度、井戸洗浄、地下水採水方法、水理試験方法等について考え方が示されており、ページがしっかりできるなど、ある程度透水性がある帯水層からの地下水採水を対象としている。</p>

2.2 調査・検討結果の概要

着眼点に基づき調査・検討した結果の概要を表-2 及び表-3 に示す。

調査・検討結果は、「調査の目的」、「採水の実施時期及び頻度」、「井戸洗浄方法」、「ページ方法」、「採水方法と採水機器」、「試料の保管」、「モニタリング設備と材質」に区分して整理した。

表-2 調査・検討結果の概要(1)

調査資料名	調査の目的	採水の実施時期 及び頻度	井戸洗浄方法	パージ方法
ISO 5667 11 (ISO 5667 3) (ISO 5667 22)	水文地質学的状態に応じて、地下水の状況を的確に把握することを目的としている。	地下水調査の目的や地下水の水理特性を踏まえた採水頻度の決定方法が示されている。 また、pH、EC、水温等の連続監視が、採水頻度の増減を評価するのに有効な手段であることが示されている。	揚水により行い、見た目が清浄となり、水質 (pH、EC、水温等) が安定するまで実施する。水質の測定が出来ない場合には、ボーリング孔内容積の3倍量に加え、削孔時に注入した、水や溶液の量も汲み上げることが示されている。 また、井戸洗浄は少なくとも採水の1週間前には実施し、低透水性の地層では2回実施するべきことが示されている。	ボーリング孔内容積の3倍以上が必要との記載もあるが、調査の目的や水文地質学的条件によるパージ方法や量の考え方が示されている。 また、場合によってはマイクロパージ ⁴⁾ を選択すべきことが示されている。 効果の確認としては、少なくともECは測定すべきことが示されている。
ガイドライン	地下水摂取による健康リスクの評価を目的としている。	土壌汚染対策法における指示措置等の確認のため、定期的に年4回以上調査することが示されている。	清水注入、水中ポンプ、エアリフトにより徹底的に行うべきことが示されている。	井戸内滞水量の3~5倍が目安とされているが、目視又は、透視度測定で遊離塩素がなくなり、pH、EC、水温等を測定し水質が安定することを確認する。
地盤調査の方法と解説	地下水汚染の状況の把握、及び汚染対策の効果の確認を目的としている。	記載なし	井戸洗浄と採水前のパージが明確には区分されていない。 井戸洗浄はエアリフトにより実施し、長期間使用されていなかった観測井についてはエアリフトに加え、パージ時の揚水を十分に行うべきことが示されている。揚水量は、井戸内体積の3倍、あるいは5~10倍といった目安があることが示されている。 効果の確認はpH、EC、水温等を現場測定し、揚水洗浄を開始した後に安定した状態になることを確認する。	
土壌環境センサー活動	地下水汚染の状況の把握及び、汚染対策の効果の確認に加え、土木・建築工事による地下水への影響確認を目的としている。	調査結果を工事内容にフィードバックするには、適宜実施可能な簡易測定が有効であることが示されている。	清水による洗浄、ベアラ、水中ポンプ、エアリフトにより行う。ボーリング時に循環泥水を使用した場合や遮水剤にセメント系を用いた場合には、十分な洗浄が必要であることが示されている。	井戸内滞水量の3~5倍が目安とされているが、pH、EC、水温等を測定し水質が安定することを確認する。

表-3 調査・検討結果の概要(2)

調査資料名	採水方法と採水機器	試料の保管	モニタリング設備と材質
ISO 5667 11 (ISO 5667 3) (ISO 5667 22)	揚水サンプリングと深度サンプリングの特徴や方法、採水機器の概要及び、対象物質による採水機器の適否が示されている。 また、非水相液体を対象とした場合の採水方法の考え方が示されている。	物質毎に試料容器の種類、必要量及び充填方法、前処理、保存期間が示されている。	各種観測設備の特徴と地下水質、汚染物質の種類や存在形態に対する井戸材質の選択性について示されている。 また、フィルタ材の設計方法及び材質、シールの必要性及び材質が示されている。
ガイドライン	スクリーン区間の中間深度から、現場状況に応じて採水機器（ペーラー）、地上ポンプ、水中ポンプ等から選択すべきことが示されている。	JIS K 0094 に準じた試料容器に採水し、0～4℃の冷暗所で保管することが示されている。なお、シアン化合物の試験を行う地下水試料は JIS K 0094 に従って保存処理を行う。	観測井のスクリーンの設置区間の考え方、恒久的な観測井を設置せずに地下水を採取する方法が例示されている。 また、井戸管の材質選定時の留意点、フィルタ材及びシール材の一般的な特徴について示されている。
地盤調査の方法と解説	採水機器として、ペーラー及び、揚水ポンプがあり、それぞれの特徴や留意点が示されている。また、油分等が存在する場合の留意点が示されている。 地盤工学会規格として、「打撃貫入法による環境化学分析のための試料採水方法」がある。	採水した試料はクーラーボックスに入れて運搬保管し、その日のうちに試験室に持ち込むべきことが示されている。 短時間で分析できない場合の試料容器の種類、必要量、採水方法、前処理方法が示されている。	「打撃貫入法による環境化学分析のための試料採水方法」による地下水採取方法及びスクリーン管の材質が示されている。 その他の項目については記載なし。
土壌環境センサー活動	スクリーンの中間深度から、ペーラー、水中ポンプにより地下水を採水する。 また、ペーラーと水中ポンプについて、特徴が示されている。	特定有害物質の種類毎に試料容器の種類、必要量、留意点が示されているが、地下水試料については、長期間の保存は不適であり、速やかに分析すべきことが示されている。	観測井のスクリーンの設置区間の考え方が示されている。 また、井戸管の材質選定時の留意点、フィルタ材及びシール材の特性が示されている。

3. 地下水調査の考え方の一例

地下水調査を検討する際に参考となる情報の多かった ISO 規格に基づく地下水調査の考え方を、一例として以下に示す。

3.1 地下水調査の実施頻度について

「ガイドライン」では、措置の完了確認のための地下水調査においては、年4回以上実施することが示されているが、ISO 規格には、調査の目的によっては、移動性や反応性の高い物質（例：VOC や溶存ガス類）は月1回測定することが望ましいとの見解もある。

また、ISO 規格には、地下の水理特性を踏まえた採水頻度 (f(日)) を決定する方法が示され、動水勾配 (i)、透水係数 (K(m/s))、有孔間隙率 (N)、汚染源と地下水調査地点との距離 (D(m)) を用いて計算する (1) 式が提案されている⁴⁾。

$$f = \left(\frac{DN}{86400Ki} \right) - 0.1 \left(\frac{DN}{86400Ki} \right) \quad (1)$$

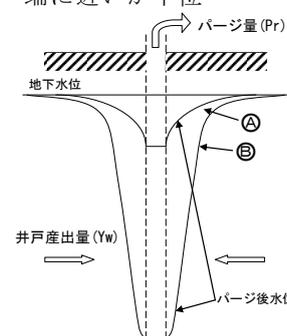
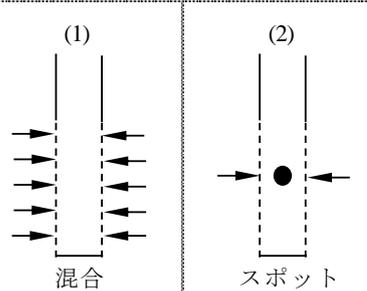
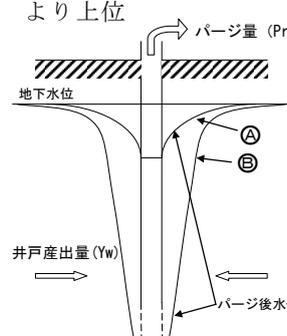
このように、地下水調査の実施頻度は画一的なものではなく、調査の目的、対象物質、水理特性等を踏まえ、サイト毎に設定することで、効果的かつ合理的な結果が得られると考える。

3.2 パージ方法の考え方

調査地点の種類(目的)、ボーリング孔の構造、水文地質学的条件を踏まえた適切なパージ方法を選択する際、表-4に示す考え方をを用いることができる⁴⁾。この中では、「スクリーンの位置と地下水位の関係」、「井戸への流入量とパージ流量の関係」、「調査の目的」によりパージ方法やパージ量が異なり、地下水位を下げないように低流量で行うマイクロパージや場合によってはパージを行わず採水することも示されている。

「ガイドライン」における地下水調査は、飲用に適用することが可能な帯水層における平均的な値を求めることが目的であることから、表-4に当てはめるとすれば、ケースAに該当するものと考えられる。

表-4 パージ方法を選択する際の考え方

ボーリング孔の仕様	YwとPrの関係	目的に応じたパージ方法		備考
		(1)混合サンプリング	(2)スポットサンプリング	
<ul style="list-style-type: none"> オープンスクリーン、またはスクリーンなしのボーリング孔 地下水位がスクリーンの上端に近い下位 	Ⓐ Yw > Pr	【ケースA】 ① その他方法(②~⑦)で行う場合には、①の方法と比較検証する必要がある。	【ケースE】 ⑤、⑥	採水位置  開孔範囲やスクリーン設置範囲の代表的な採水
		【ケースB】 ④ サンプル前地下水位が少なくとも50%は回復していること	【ケースF】 PrがYwより大きいと、ボーリング孔内の混合が起こり、ポイント/スポットサンプリングは不可	
<ul style="list-style-type: none"> スクリーン区間が短いボーリング孔、またはピエゾメータ 地下水位がスクリーン上端より上位 	Ⓐ Yw > Pr	【ケースC】 ① 又は比較検証後②、③、⑤、⑦	【ケースG】 ⑤、⑥ 又は①、②、③	パージ方法 ①ボーリング孔容積×3 ②ボーリング孔容積×1 ③水理特性に基づいた任意時間のパージ ④孔底までパージし、回復させる ⑤マイクロパージ ⑥パージなし-深度サンプリング ⑦パージなし-表面サンプリング
		【ケースD】 ④ サンプル前地下水位がスクリーンより上位に回復していること	【ケースH】 PrがYwより大きいと、ボーリング孔内の混合が起こり、ポイント/スポットサンプリングは不可	

3.3 深度別サンプリング

深度別サンプリングは、深さ方向で様々な水質をもつ地下水を帯水層の特定の深度から採取することであり、最も効果的な方法は特定の深度に設置した複数の観測井からの採水である。

深度サンプリングを行う場合、表-5 に示すとおり、地下水パラメーター（調査・分析対象項目）に応じて適切な採水機器を選定する必要があると考えられる⁴⁾。

表-5 地下水パラメーターに対する採水機器の適否

採取装置	地下水パラメーター												
	【○=適、△=一部適、×=不適】												
	電気伝導度 EC	pH	アルカリ度	酸化還元電位 (Eh)	主要イオン	微量元素	硝酸塩	溶存ガス	揮発性有機 化合物	VOCs	TOC	全有機ハロゲン (TOX)	微生物学的 媒介者
深度サンプラー： ベロー（オープン）	○	×	○	×	○	○	○	×	○	×	○	×	○
個別深度サンプラー： ベロー（閉鎖）	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Inertial ポンプ	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	×	○
Bladder ポンプ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ガス駆動ポンプ	○	×	×	×	○	○	○	×	×	×	×	×	×
ガスリフトポンプ	○	×	×	×	○	○	○	×	×	×	×	×	×
水中ポンプ	○	○	△	△	○	○	○	△	○	△	△	△	△
吸引ポンプ（地上置き）	○	×	○	×	○	○	○	×	○	×	×	×	○

4. おわりに

土壌汚染対策や土壌汚染地における形質変更を進める中で、地下水調査の役割はますます大きくなることが予想される。しかしながら、当部会でまとめた「基礎知識」の内容は限定的な情報であり、現時点では、環境管理の一環として進める場合の地下水調査方法の考え方や新規規制物質に対する地下水調査方法等、今後の課題も残されている。これらの課題の解決には、国内における地下水調査に関する事例等情報の収集・蓄積とその共有が必要であり、今後はこれらの情報が研究集会や学会等を通じて広く公開されていくことが重要と考える。

参考文献

- 1) 環境省 土壌環境課（2012）：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（改訂第2版）
- 2) 宍戸丈暢，北岡幸，川端淳一（2010）：地下水調査・対策の考え方に関する調査結果について，第16回地下水・土壌汚染とその防止に関する研究集会講演集，99-104
- 3) ISO 5667 3:2003 Water quality-Sampling-Part3 Guidance on the preservation and handling of water samples
- 4) ISO 5667 11:2009 Water quality-Sampling-Part11 Guidance on sampling of groundwaters
- 5) ISO 5667 22:2010 Water quality-Sampling-Part22 Guidance on the design and installation of groundwater monitoring points
- 6) （公社）地盤工学会（2004）：地盤調査の方法と解説．丸善出版株
- 7) （公社）地盤工学会（2013）：地盤調査の方法と解説 二分冊の2．丸善出版株