

(S4-28) 地下水汚染の拡散防止措置における CSM 構築方法を活用したモデル化

大西 絢子¹・田中 宏幸¹・松村 綾子¹・奥田 信康¹・高畑 陽¹リスク評価を活用した地下水汚染の拡散防止措置検討部会¹¹ 土壌環境センター

1. 背景および目的

事業所等における地下水汚染が敷地外に拡散すると様々なリスクが生じることから、汚染の拡散を未然に防止するために適切な対応を講じることが重要である。（一社）土壌環境センターでは、地下水汚染の敷地外への拡散を防止する方法の手引き¹⁾を作成することを目的とした「リスク評価を活用した地下水汚染の拡散防止措置検討部会（以下、本部会とする）」を設けている。本部会では、敷地内に地下水汚染が発覚した場合に、敷地境界において管理目標を達成させるための措置内容をリスク評価により判断することを目指しているが、その過程において利害関係者間で適切にリスクコミュニケーションを行うことが重要であり、そのためには地下水汚染状況を分かり易くモデル化（可視化）することが必要と考えている。

本報では、手引きに掲載予定であるサイト概念モデル（CSM（Conceptual Site Model））を活用して地下水汚染状況を示す方法と、地下水汚染の敷地境界外への拡散防止に活用するための考え方について述べる。

2. 地下水汚染の拡散防止措置の手順

地下水汚染が判明した際、必要となる敷地外への拡散防止措置の検討手順を図-1に示す。本手順は時系列的に5つのステップ（地下水汚染地の情報収集（STEP1）、地下水汚染状況の評価（STEP2）、地下水汚染に対する措置（STEP3）、地下水モニタリング措置（STEP4）、措置の完了（STEP5））で構成される。地下水汚染状況のモデル化を全てのステップで各々実施することで、可視化した地下水汚染状況の変遷を的確に把握することが可能となる。なお、地下水モニタリング措置は、土壌汚染対策法における「地下水の水質の測定」に準じる措置であり、リスク評価により拡散リスクが低い場合（通常は能動的な措置の実施後）のみ適用できる¹⁾。

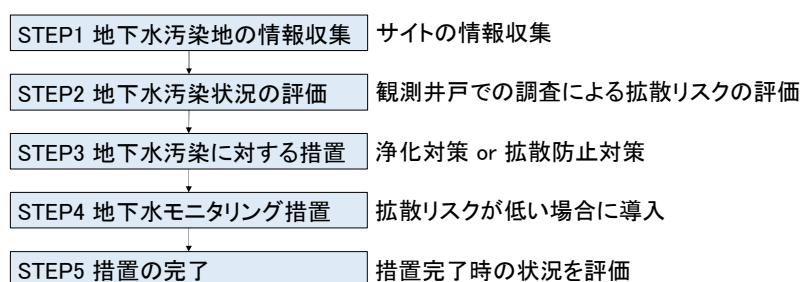


図-1 地下水汚染の拡散防止措置の検討手順

3. 地下水汚染の拡散防止措置に特化した CSM の活用

一般的に、土壌・地下水汚染対策における CSM 構築の目的は、汚染物質によるヒトへの健康影響のリスク評価を行うことであり、「汚染物質、汚染源、汚染物質の移行経路、バックグラウンド、受容体、システム境界」の6項目の基本要素から CSM が構築される²⁾（図-2）。本部会ではこの考え方に基づき、CSM の構築方法を活用し、地下水汚染の敷地境界外への拡散防止を主目的とするモデル化についての検討を行い、その基本要素を図-3にまとめた。

敷地境界における地下水汚染の影響を把握するため、簡潔かつ明確な手順で「汚染地の状況」をモデル化（可視化）する。モデル化したデータでは「汚染源、移行経路、評価地点濃度等」を容易に認識できるようになり、汚染物質の汚染源から敷地境界に至るまでの過程をわかりやすく把握できる。さらに、「全ての利害関係者に対し、地下水の汚染状況や潜在的な拡散リスクの共通理解」を促進でき、地下水汚染の拡散に対して適切な対応を講じることが可能となる。

Study on a use of a site conceptual model for groundwater contamination site remediation

Junko Onishi¹, Hiroyuki Tanaka¹, Ayako Matsumura¹, Nobuyasu Okuda¹, Yoh Takahata¹ and Study Group on Measures to Prevent from the Diffusion of Groundwater Contamination using Risk Assessment¹ (¹GEPC)

連絡先：〒102-0083 東京都千代田区麹町 4-5 KS ビル 3F （一社）土壌環境センター

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

基本要素	検討内容
①汚染物質の特定	土壌、地下水、空気およびその他の媒体に存在する潜在的な汚染物質の種類・濃度レベルの把握
②汚染源の特定	潜在的な汚染源の特定
③潜在的な汚染物質の移行経路の特定	地下水、地表水、土壌、堆積物、生物および空気等の環境媒体において、潜在的な汚染物質が発生源から受容体にどのように移動するののかの特定
④バックグラウンド評価	敷地内の汚染の影響を受けていない範囲の特定
⑤受容体の特定	潜在的な汚染物質の影響を受ける受容体の特定
⑥システム境界の決定	CSMの対象範囲または、システム境界の決定

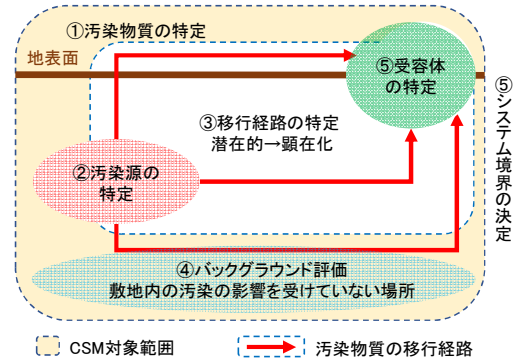


図-2 土壌汚染の地上部での受容体への影響を把握するためのCSM構築の基本要素

基本要素	検討内容
①地下水汚染の検出	敷地内の観測井戸で地下水汚染状況を確認(汚染物質の種類・濃度レベルを把握)
②地下水の移行経路	対象帯水層中の地下水の移行状況を把握(地盤の地層構成・帯水層の位置と透水性、地下水流向)
③敷地境界の位置	地下水流向の下流側での敷地境界の位置を把握(地下水汚染検出地点から下流側敷地境界部までの距離)
④汚染評価地点の濃度	地下水汚染の敷地外流出の有無の把握(敷地境界付近の汚染評価地点での地下水濃度)
⑤地下水中の汚染物質挙動	対象帯水層内の地下水中の汚染物質の挙動に関する特性の把握(自然減衰による汚染物質濃度の減少)
⑥汚染源の把握	敷地内汚染源の有無・汚染源対策の実施による地下水汚染への影響の可能性把握
⑦敷地外からの影響	敷地外からの汚染物質の流入の可能性把握

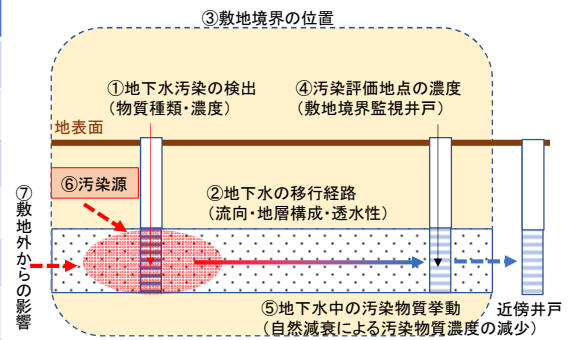


図-3 地下水汚染の敷地境界外への拡散を防止するためのCSM構築の基本要素

4. 地下水汚染地の情報収集 (STEP1) でのモデル化

地下水汚染の存在が判明した時には、速やかに汚染状況を把握し、地下水汚染が敷地外へ拡散する可能性について評価する必要がある。試料採取や測定に伴う新たな調査実施には時間も費用も必要となるので、まずは即座に収集可能な情報を取りまとめ、迅速に地下水汚染の状況を把握し、CSMに基づくモデルを作成する。以下に汚染判明時のCSMモデル構築に必要な主な情報を示す。なお、必要な情報が十分に収集できているかは、汚染判明時のCSMモデル構築時のチェックシートで確認する。

- ・地歴調査結果 (有害物質の使用状況、想定される汚染源の位置・建物・地下構造等)
- ・既往の土壌・地下水調査結果
- ・地下水汚染が確認できる観測井戸の位置・構造・汚染状況
- ・敷地境界、敷地外の近傍にある近隣井戸の位置
- ・地盤特性 (地盤構成・地下水水位・地下水流向・動水勾配)

上記の情報を整理し、地下水汚染地の建物配置や敷地外との関係のわかる平面図、地層構成や地下水水位などがわかる推定断面図に土壌・地下水汚染の位置、物質名、濃度などの調査結果を追記し、モデルを作成する。モデル化 (平面図・断面図) した結果の例を図-4に示す。

モデル化した平面図、断面図を作成することで地下水汚染の状況をイメージできるが、表-1に示すチェックシートを用いることで不足している情報がいないか確認する。本チェックシートは必要な情報の収集状況を確認できるだけでなく、備考欄に各項目の状況を簡潔に記載すると情報整理に有用となる。このような過程で地下水汚染の状況を可視化することにより、地下水汚染の状況把握と以後の調査計画策定や、緊急の拡散防止対策の必要性について検討を行うことができる。

なお、地下水汚染による敷地外への影響を迅速に判断するため、本段階では、新たな観測井戸の設置による試料採取や濃度分析は任意とした。担当する技術者が、新たな試料採取・分析が必要と判断した場合は、その実施を妨げるものではなく、得られた情報をCSMモデルに追加しても全く問題ない。

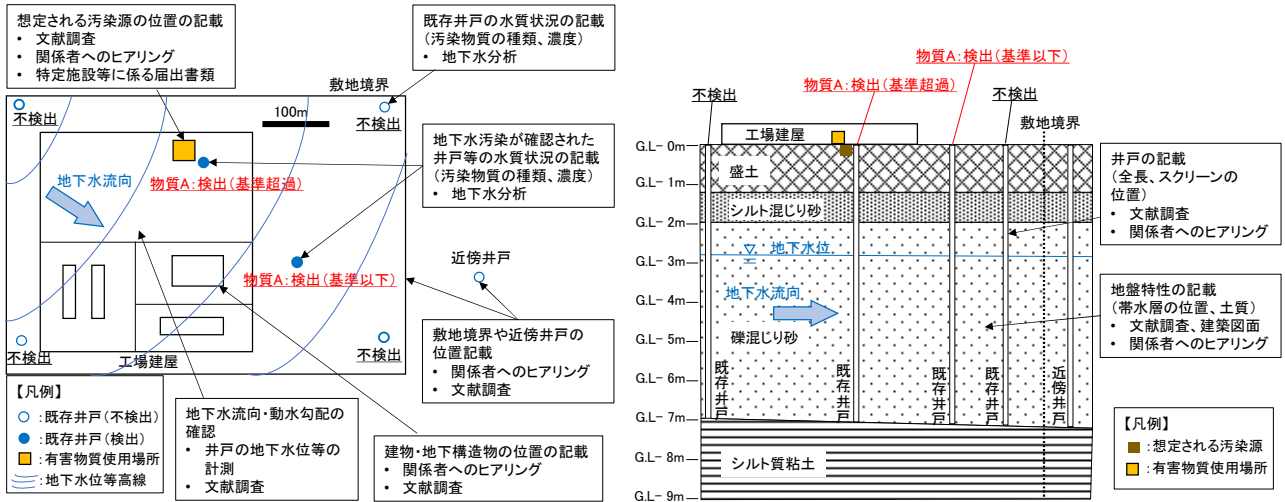


図-4 STEP1における地下水汚染地の情報収集でのモデル化（平面図・断面図）

表-1 STEP1における地下水汚染地の情報収集でのCSM構築のためのチェックシート

調査項目	調査方法例	評価STEPでの重要度	チェック
地下水汚染の検出（①CSM構成要素）			
井戸の位置、構造(全長、スクリーン位置)の把握		○	□
汚染物質の特定		○	□
既存井戸の地下水中の汚染物質の濃度の把握	・地下水調査	○	□
必要に応じて新たに設置した観測井戸の地下水中の汚染物質の濃度の把握		任意	□
地下水の移行経路（②CSM構成要素）			
地下水流向の把握※	・地下水調査	○	□
地質状況(地下水位、帯水層の位置、土質)の把握	・柱状図の確認 ・地形、地質図の確認	○	□
拡散経路における物理的阻害要因の把握 (建屋、設備、地下構造物等の位置)	・建築図面の確認 ・現地確認	○	□
敷地境界の位置（③CSM構成要素）			
敷地境界位置の確認※	・敷地図面の確認	○	□
地下水汚染検出地点から下流側敷地境界部までの距離の測定	・距離測定	○	□
汚染評価地点の濃度（④CSM構成要素）			
敷地境界付近の地下水中の汚染物質の濃度	・地下水調査	○	□
地下水中の汚染物質の挙動（⑤CSM構成要素）			
近傍井戸の水質測定	・地下水調査	任意	□
汚染源の把握（⑥CSM構成要素）※			
地下水汚染が確認された場所や、汚染物質の漏洩事故等の発生場所の把握		○	□
地下水汚染が確認された時期や、汚染物質の漏洩事故等の発生時期、発生状況の把握	・関係者へのヒアリング ・現地確認	○	□
汚染物質の使用保管場所や配管ルート	・特定施設等に係る届出書類の確認 ・井戸構造図	○	□
側溝等の排水経路の把握		○	□
過去の土壌・地下水調査結果の確認		○	□
敷地外からの影響（⑦CSM構成要素）			
周辺の事業所等の確認	・住宅地図等	任意	□
河川・湖沼等の状況確認	・水質測定、行政へのヒアリング	任意	□

※：土壌汚染対策法に準じた地歴調査方法を活用可能

5. 地下水汚染状況の評価（STEP2）でのモデル化

地下水汚染地から収集した情報によりモデル化した汚染状況に基づいて、必要に応じて新たな汚染状況や地下水流動に関する調査を計画して調査を実施することで、新たな情報が得られる。そうした最新の情報を追加することで、汚染物質の拡がりの状況を視覚的に把握し、地下水汚染が敷地外へ拡散する可能性について評価し、STEP3以降の対策計画の判断材料とする。地下水汚染状況の評価でのモデルを構築するために必要な主な情報を以下に示す。

- ・地下水汚染地のCSM構築で収集した情報（STEP1で収集した情報）
- ・地下水汚染地のCSM構築後に実施した地下水調査の結果

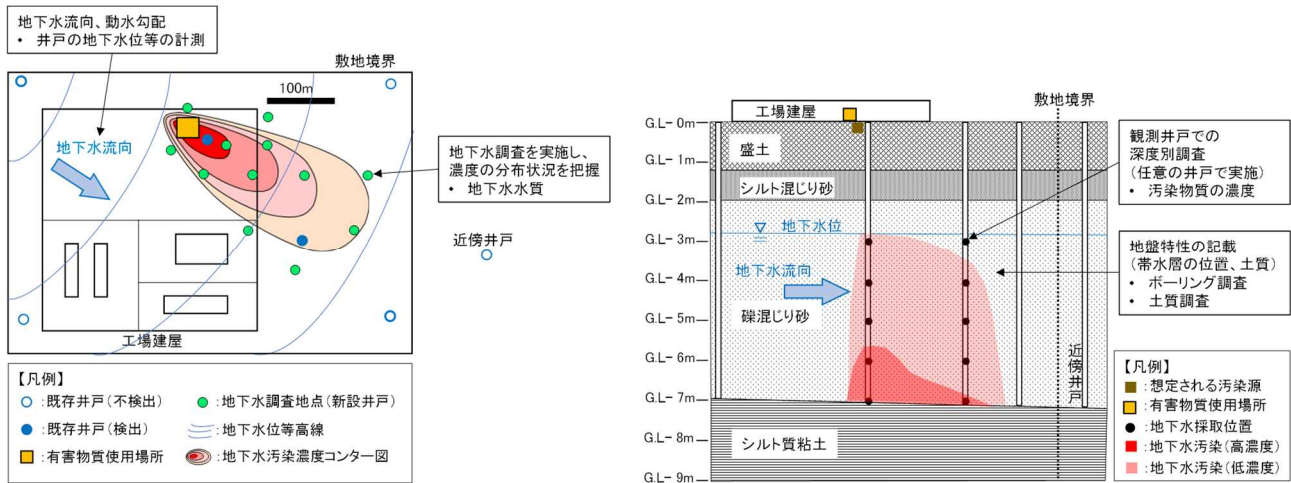


図-5 STEP2における地下水汚染状況の評価でのモデル化（平面図・断面図）

表-2 STEP2における地下水汚染状況の評価でのCSM構築のためのチェックシート

調査項目	調査方法例	評価STEPでの重要度	チェック
地下水汚染の検出（①CSM構成要素）			
新たに設置した観測井戸の地下水中の汚染物質の濃度の把握	・地下水調査	○	□
地下水の移行経路（②CSM構成要素）			
地下水位、地下水流向、動水勾配、の把握	・ボーリングコアによる土質調査	○	□
地質状況（帯水層の位置、土質状況）の把握	・地盤情報調査	○	□
透水係数、間隙率、地下水流速の把握	・地下水流向、流速調査 ・現場透水試験	任意	□
敷地境界の位置（③CSM構成要素）			
敷地境界付近の地下水中の汚染物質の濃度	・地下水調査	○	□
地下水中の汚染物質の挙動（⑤CSM構成要素）			
近傍井戸の水質測定	・地下水調査	任意	□
汚染源の把握（⑥CSM構成要素）			
地下水中の汚染物質の濃度、分布状況の把握	・地下水調査 ・土壌調査	○	□
汚染源の箇所数の確認（単一箇所、又は複数箇所）		○	□
深度別の地下水中の汚染物質の濃度、分布状況の把握		○	□
土壌中の汚染物質の濃度、分布状況の把握		任意	□
敷地外からの影響（⑦CSM構成要素）			
汚染源より上流側での地下水中の汚染物質の濃度	・地下水調査	○	□
汚染源より上流側での土壌中の汚染物質の濃度	・土壌調査	任意	□

図-5には、地下水汚染状況調査の結果を取得し、平面図および断面図にその結果を記載することによって、モデル化（平面図・断面図）した結果の例を示す。平面図には地下水汚染の濃度濃淡が分かるようなコンター図を記載すると分かり易い。断面図には観測井戸において深度別の汚染状況調査を実施し、深度方向の地下水汚染状況を把握できる記載をすることで、地下水汚染の状況を可視化する。

また、STEP1と同様の目的で使用するチェックシートの例を表-2に示す。このチェックシートによって、地下水汚染状況調査を実施する際に、事前に調査項目を確認しておくことで、より有効なモデルを構築することが可能となる。

地下水汚染状況調査は、1回のみ実施する場合、数回に分けて実施する場合等、進め方は各汚染地の状況により異なる。モデル化は汚染状況を把握するための一つの方法であるため、個々の調査結果が得られた後に実施することが望ましく、調査結果が得られる度にモデルを更新することで、地下水汚染の状況把握の推移を確認することが可能となる。

上記の手順によって、地下水汚染の調査結果を可視化することにより、追加の地下水汚染状況の調査の必要性や、地下水汚染の拡散防止措置の方針や対策方法を検討することができる。なお、地下水の情報だけでなく、土壌調査による特定の地点の深度別の土壌汚染状況や土質情報はモデル化を行う際に非常に有効であるため、既存のデータの活用だけでなく、新規観測井戸の設置時に併せて土壌調査を行うことが推奨される。

6. 地下水汚染に対する措置（STEP3、STEP4）でのモデル化

地下水汚染に対する措置は、措置の必要性、有効性、緊急性等の与条件を踏まえた上で、STEP2でのモデル化した結果等を参考にすることで、措置方法の選定を円滑に行うことができる。措置への移行後は適切な時期に観測井戸等での調査を実施して措置の有効性を確認する。

地下水汚染に対する措置を実施すると、措置前の地下水汚染状況の評価に対し、地下水中の汚染物質の分布や濃度、形態が変化するため、変化した汚染状況を対象に、適切なタイミングで調査結果に基づくモデル化が必要となる。最新の情報を追加することで、措置の効果を視覚的に把握し、地下水汚染が敷地外へ拡散する可能性について評価し、実施した調査・対策の妥当性、対策継続や追加対策の必要性の有無の判断の助けとする。地下水汚染に対する措置実施中や措置実施後のモデルを構築するために必要な主な情報を以下に示す。

- ・措置実施中や措置実施後に得られた土壌・地下水調査の結果

措置の実施期間中、土壌・地下水汚染状況調査の結果を取得し、平面図および断面図にその結果を記載する。本モデル化において必要な情報を確認するためのチェックシートを表-3に、STEP3において地表面付近の汚染源対策（掘削除去）と対策井戸による揚水処理を継続的に実施した際に作成したモデル化（平面図・断面図）の例を図-6に示す。地下水汚染に対する措置の過程を可視化することにより、地下水汚染の拡散防止措置の効果を容易に確認することができる。また、対策結果をモデル化すると共に、平面図・断面図に個々の観測井戸における濃度推移のグラフを組み合わせて表示して汚染状況を比較することにより、地下水汚染の拡散状況や対策の効果、敷地外への拡散の有無を容易に視認することが可能となる。これらの時系列的なモデル化の情報は、能動的な措置を停止して地下水モニタリング措置に移行するSTEP4への判断材料となる。

なお、本報で取り上げなかった措置の完了（STEP5）については、対策前後の地下水汚染状況をモデル化することで、地下水汚染の措置効果を把握することはできるが、STEP3もしくはSTEP4での措置後に何を基準として措置完了とするかについては、検討中である。

7. まとめ

地下水汚染は、視覚的に捉えることが困難な汚染である。そのため、各技術者の知識と経験により、複雑な現象をイメージとして捉えることで地下水汚染の調査や対策が実施されており、その過程の多くがブラックボックスとなっていることが多い。しかしながら、近年ではリスクコミュニケーションは必須であり、各段階における判断基準やその結果を明確にすることを求められることが多い。

本報は、地下水汚染状況を詳細に評価したり、地下水汚染の敷地外への拡散防止を図りながら地下水モニタリング措置への移行を判断したりする場合に、地下水の汚染状況を適切なデータを収集してモデル化する手順の重要性とその実施方法について報告した。汚染状況を可視化することは、利害関係者に対する説明への活用だけでなく、技術者が地下水汚染の措置を検討する際の情報整理や、未熟な技術者への教育等にも活用できると考えている。今後作成する手引きにおいて、本報に示した技術的内容を詳しく記載する予定である。

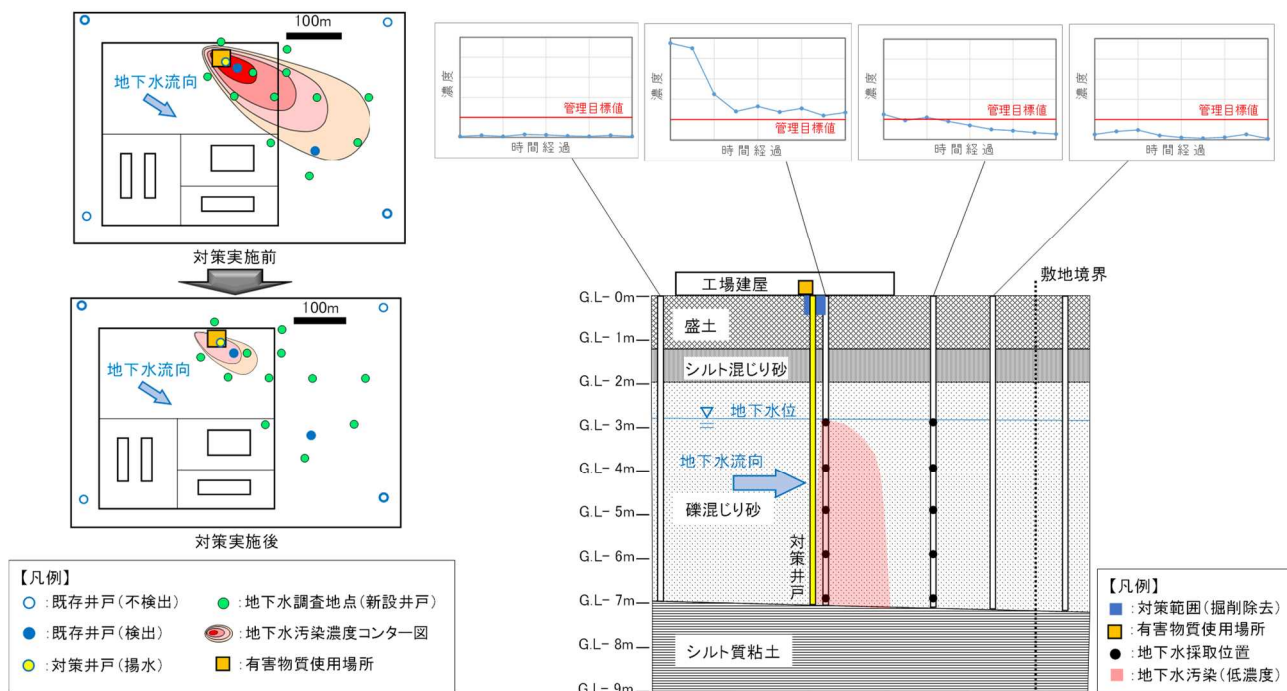


図-6 STEP3における地下水汚染に対する措置過程でのモデル化（平面図・断面図）

表-3 STEP3における地下水汚染に対する措置でのCSM構築のためのチェックシート

調査項目	調査方法例	評価STEPでの重要度	チェック
地下水の移行経路（②CSM構成要素）			
透水係数、間隙率、地下水流速等、措置に必要な土質パラメータの把握	・ボーリングコアによる土質確認 ・土質調査 ・地下水流向、流速調査 ・現場透水試験	○ (過去の調査結果を兼用可)	<input type="checkbox"/>
敷地境界の位置（③CSM構成要素）			
敷地境界付近の地下水中の汚染物質の濃度	・地下水調査	○	<input type="checkbox"/>
地下水中の汚染物質の挙動（⑤CSM構成要素）			
近傍井戸の水質測定	・地下水調査	任意	<input type="checkbox"/>
水温、pH、ORP、硝酸性窒素・硫酸イオン濃度等、自然減衰の阻害要因を確認			<input type="checkbox"/>
汚染源の把握（⑥CSM構成要素）			
措置による地下水中の汚染物質の濃度変化、分布状況の把握	・地下水調査	○ (過去の調査結果を兼用可)	<input type="checkbox"/>
深度別の地下水中の汚染物質の濃度、分布状況の把握			<input type="checkbox"/>
措置による土壌中の汚染物質の濃度変化、分布状況の把握	・土壌調査	任意	<input type="checkbox"/>
敷地外からの影響（⑦CSM構成要素）			
汚染源より上流側での地下水中の汚染物質の濃度変化	・地下水調査	○	<input type="checkbox"/>
汚染源より上流側での土壌中の汚染物質の濃度変化	・土壌調査	任意	<input type="checkbox"/>

参考文献

- 1) 奥田信康・高畑陽・穴吹太陽・佐藤徹朗・舟川将史・地下水汚染のサイト評価手法の活用検討部会(2022)：地下水調査を中心としたサイト評価と地下水汚染の拡散防止措置の手順に関する提案，第27回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集，pp. 335-340.
- 2) ASTM E1689-95(2014)：Standard Guide or Developing Conceptual Site Models for Contaminated Sites.
- 3) 和知剛・高木一成・佐藤徹朗・高畑陽・リスク評価を活用した地下水汚染の拡散防止措置検討部会(2023)：地下水汚染機構の解明を目的とした深度別地下水調査とその実施方法，第28回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集，pp. 328-333.