

Web シンポジウム『休廃止鉱山のグリーン・レメディエーションと関連分野の最前線』
講演資料

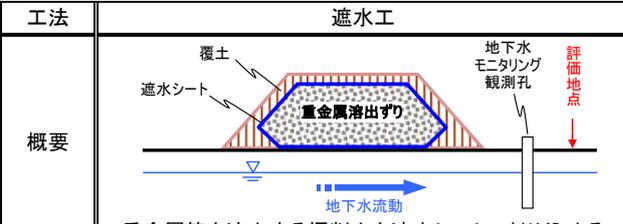
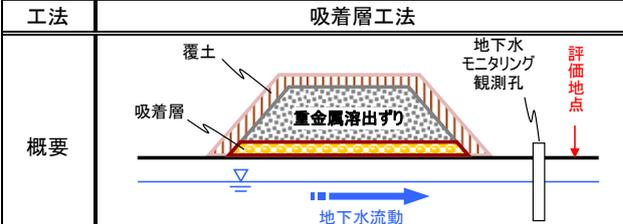
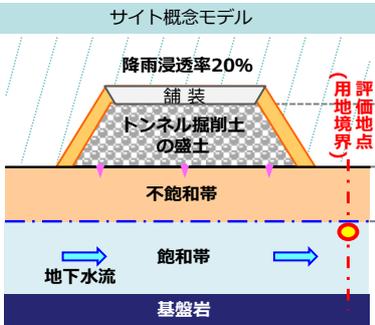
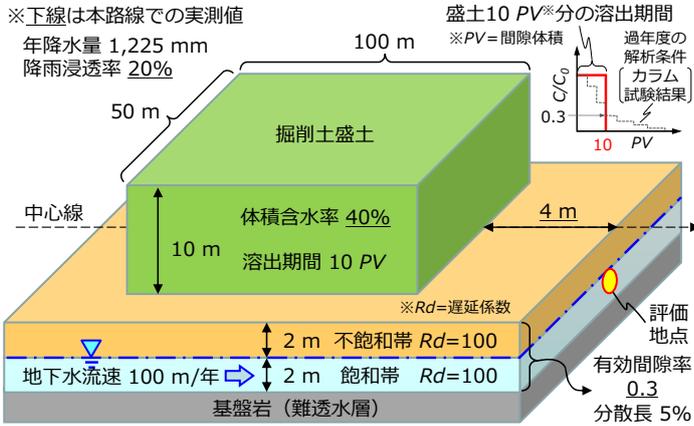
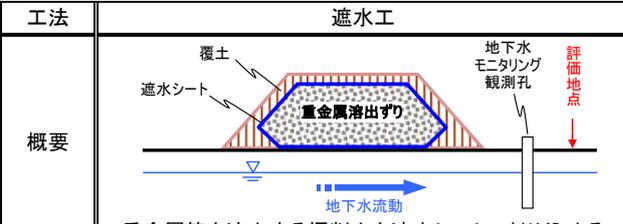
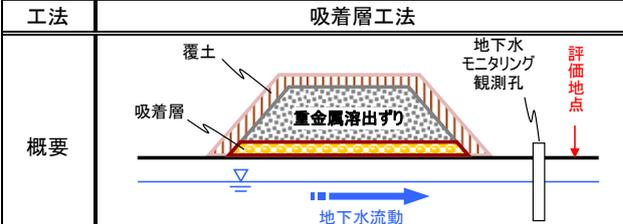
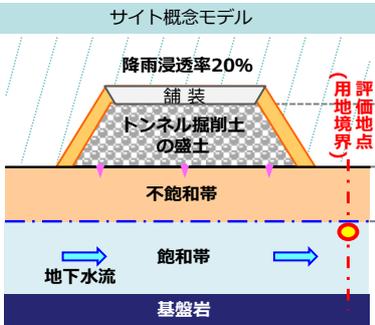
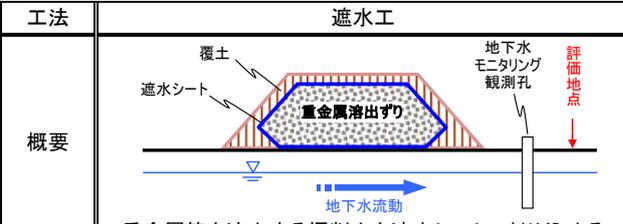
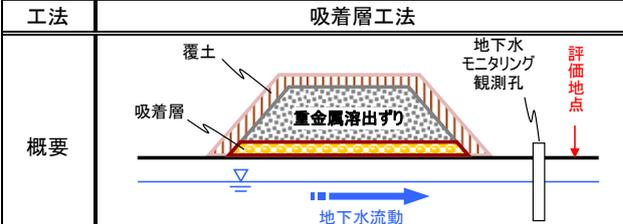
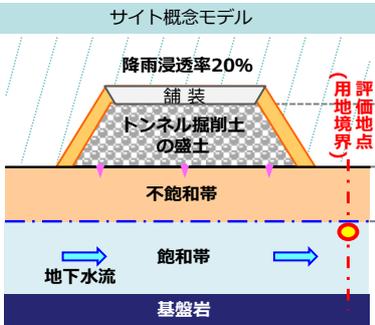
<p>講演番号：08</p>	<p>演題：自然由来重金属等のリスク管理と対策コスト削減</p>																		
<p>発表者：山本隆広^a，近江隆洋^b，有馬孝彦^c，五十嵐敏文^{c,d}，</p>	<p>所属：a 北海道大学大学院工学院，b 国土交通省北海道開発局旭川開発建設部，c 北海道大学大学院工学研究院，d 旭川工業高等専門学校</p>																		
<p>キーワード：トンネル掘削土，自然由来重金属等，サイト概念モデル，リスク評価，リスク管理，対策コスト削減</p> <p>要旨：道路トンネルなどの掘削土は自然由来の重金属等をしばしば含有するため，重金属等の溶出による周辺環境への影響について配慮する必要がある^{1,2)}。従来，北海道開発局の道路事業においては，このようなトンネル掘削土を盛土の材料として活用するため，遮水工（表 1）や人工資材を用いた吸着層工法（表 2）などにより対策が実施されてきたが，その対策コストが増大することが課題であった。</p> <p>そこで，対策をより合理的かつ経済的に行うため，一般国道 40 号のバイパス事業ではサイト概念モデルによるリスク評価を行った（図 1）³⁻⁵⁾。リスク評価にあたっては，盛土への降雨浸透状況，海成堆積岩からなるトンネル掘削土からの重金属等の溶出状況，盛土箇所原地盤の水利特性と重金属等の吸着特性を把握するための各種調査を行った。</p> <p>これらの調査結果を条件とし，重金属等の地盤による吸着や地下水による分散を考慮した移流分散解析を行ったところ，道路用地境界で予測される重金属等の濃度は地下水環境基準を満足する結果となった。したがって，トンネル掘削土を盛土した場合に周辺環境へ影響を及ぼすリスクは十分に低いと評価された。</p> <p>このようなリスク評価は，本路線において複数の盛土箇所で行われており，その解析結果を総括して，本路線におけるリスク評価の一般化を試みた⁴⁾。まず，本路線での解析条件を代表する標準モデルを構築し（図 2），すべてのパラメータについて感度解析を 69 ケースで行った（表 3）。その結果，解析結果に対する感度はパラメータにより異なり，施工条件や各種調査の結果から固定できるパラメータを整理することで，とくに支配的なパラメータを把握した（図 3）。すなわち，不飽和地盤の遅延係数，帯水層の厚さ，地下水流速が変化すると解析結果が大きく変化するため，これらについて十分に調査する必要があることが判明した。さらには，これらの 3 項目（不飽和地盤の遅延係数，帯水層の厚さ，地下水流速）の設定条件を組み合わせると 90 ケースで解析することにより（図 4），地下水流速と帯水層厚を乗じた値とリスク評価地点での初期濃度との比に相関関係があることを把握した（図 5）。この関係性より，3 項目を調査で評価することができれば，リスク評価地点での濃度を概略評価することが可能となった。</p> <p>このように，自然由来の重金属等を含むトンネル掘削土を盛土する際には，周辺へ影響を与える支配的な要因を把握してその特性を十分に調査することでリスク管理が可能になると考える。また，リスクに応じた合理的な対策を講じることで，コスト削減も可能となる。このような評価に基づき，本路線では覆土のみによる掘削土対策を施工しており，施工中と施工後の地下水モニタリングにおいて水質は問題ないことを確認したことから，掘削土対策を完了している⁵⁾。</p>	<p>表 1 遮水工による対策の概要（文献³⁾を編集）</p> <table border="1"> <tr> <th>工法</th> <th>遮水工</th> </tr> <tr> <td>概要</td> <td>  <p>重金属等を溶出する掘削土を遮水シートで封じ込める</p> </td> </tr> <tr> <td>コスト</td> <td> 二重遮水シート：10,000～12,000 円/m³ 一重遮水シート：6,000～8,000 円/m³ </td> </tr> </table> <p>注：コストは本路線での検討段階時の概算</p> <p>表 2 吸着層工法による対策の概要（文献³⁾を編集）</p> <table border="1"> <tr> <th>工法</th> <th>吸着層工法</th> </tr> <tr> <td>概要</td> <td>  <p>吸着層で重金属等の移動を遅延させ濃度を低減する</p> </td> </tr> <tr> <td>コスト</td> <td> 人工材料の場合：3,000～6,000 円/m³ （吸着材の吸着容量と価格による） </td> </tr> </table> <p>注：コストは本路線での検討段階時の概算</p> <p>図 1 サイト概念モデルによるリスク評価（文献⁵⁾を編集）</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>サイト概念モデル</th> <th>パラメータ</th> <th>評価・設定方法</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>  </td> <td> 年降水量 降雨浸透率 溶出量 遅延係数 層厚 遅延係数 帯水層厚 透水係数 有効間隙率 地下水流速 </td> <td> アメダス 現地調査 溶出量試験 カラム試験 バッチ試験 調査ボーリング バッチ試験 調査ボーリング 揚水試験 土質試験 シミュレーション </td> </tr> </tbody> </table> <p>図 2 感度解析を行った標準モデル⁴⁾</p>  <p>※下線は本路線での実測値 年降水量 1,225 mm 降雨浸透率 20% 掘削土盛土 100 m x 50 m x 10 m 体積含水率 40% 溶出期間 10 PV 中心線 4 m 盛土 10 PV 分の溶出期間 ※PV=間隙体積 過年度の解析条件 カラム試験結果 10 PV 0.3 評価地点 有効間隙率 0.3 分散長 5% ※Rd=遅延係数 2 m 不飽和帯 Rd=100 2 m 飽和帯 Rd=100 地下水流速 100 m/年 基盤岩（難透水層）</p>	工法	遮水工	概要	 <p>重金属等を溶出する掘削土を遮水シートで封じ込める</p>	コスト	二重遮水シート：10,000～12,000 円/m ³ 一重遮水シート：6,000～8,000 円/m ³	工法	吸着層工法	概要	 <p>吸着層で重金属等の移動を遅延させ濃度を低減する</p>	コスト	人工材料の場合：3,000～6,000 円/m ³ （吸着材の吸着容量と価格による）	サイト概念モデル	パラメータ	評価・設定方法		年降水量 降雨浸透率 溶出量 遅延係数 層厚 遅延係数 帯水層厚 透水係数 有効間隙率 地下水流速	アメダス 現地調査 溶出量試験 カラム試験 バッチ試験 調査ボーリング バッチ試験 調査ボーリング 揚水試験 土質試験 シミュレーション
工法	遮水工																		
概要	 <p>重金属等を溶出する掘削土を遮水シートで封じ込める</p>																		
コスト	二重遮水シート：10,000～12,000 円/m ³ 一重遮水シート：6,000～8,000 円/m ³																		
工法	吸着層工法																		
概要	 <p>吸着層で重金属等の移動を遅延させ濃度を低減する</p>																		
コスト	人工材料の場合：3,000～6,000 円/m ³ （吸着材の吸着容量と価格による）																		
サイト概念モデル	パラメータ	評価・設定方法																	
	年降水量 降雨浸透率 溶出量 遅延係数 層厚 遅延係数 帯水層厚 透水係数 有効間隙率 地下水流速	アメダス 現地調査 溶出量試験 カラム試験 バッチ試験 調査ボーリング バッチ試験 調査ボーリング 揚水試験 土質試験 シミュレーション																	

表3 標準モデルでの感度解析における各パラメータの設定値と解析結果⁴⁾

感度解析対象パラメータ	単位	パラメータ設定値					解析結果 C/C ₀					標準値設定の考え方	
		減少値②	①	標準値	①	増加値②	減少値②	①	標準値	①	増加値②		
降雨浸透	降水量	—					—					実測値(アメダスデータ~2015年の平均値) 実測値(降雨浸透量調査結果の平均値)	
	降雨浸透率	—	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.009	0.014	0.018	0.022		0.025
溶出特性	濃度	—					—					感度解析結果を利用しやすいように濃度比で1とする カラム試験で重金属等の溶出が約10PVで概ね収束 実測値(土壌水分計測定結果の平均値)	
	影響期間	PV	5	7.5	10	20	50	0.005	0.014	0.018	0.024		0.025
盛土形状	体積含水率	—					—					2段盛(小段2つ分)を想定 既存の条件設定より概略設定 既存の条件設定より概略設定	
	盛土高	m	5	7.5	10	12.5	15	0.010	0.014	0.018	0.021		0.022
盛土形状	盛土長	m	10	50	100	200	500	0.004	0.012	0.018	0.024	0.025	
	盛土幅	m	5	25	50	100	250	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	
評価地点	距離	m	1	2	4	10	20	0.020	0.019	0.018	0.016	0.014	
原地盤	不飽和帯	層厚	m	0.5	1	2	5	10	0.024	0.021	0.018	0.013	0.000
		有効間隙率	—	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.032	0.023	0.018	0.014	0.011
		遅延係数	m	10	50	100	200	500	0.254	0.047	0.018	0.005	0.001
		分散長	m	0.025	0.05	0.1	0.2	0.3	0.023	0.021	0.018	0.015	0.014
		浸透速度	m/年	0.61	0.70	0.82	0.98	1.23	0.011	0.014	0.018	0.023	0.032
飽和帯	帯層	層厚	m	0.5	1	2	5	10	0.039	0.022	0.018	0.018	0.018
		有効間隙率	—	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.027	0.022	0.018	0.015	0.013
		遅延係数	m	10	50	100	200	500	0.019	0.019	0.018	0.015	0.009
		分散長	m	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.036	0.025	0.018	0.013	0.012
		地下水流速	m/年	25	50	100	250	500	0.042	0.031	0.018	0.008	0.004

注: 表中の解析結果 C/C₀は、盛土の濃度 C₀を1とした場合のリスク評価地点での濃度 Cを C₀に対する濃度比として示している。たとえば、標準値での解析結果(オレンジハッチ)はリスク評価地点で濃度比0.018(1.8%)まで低下している。

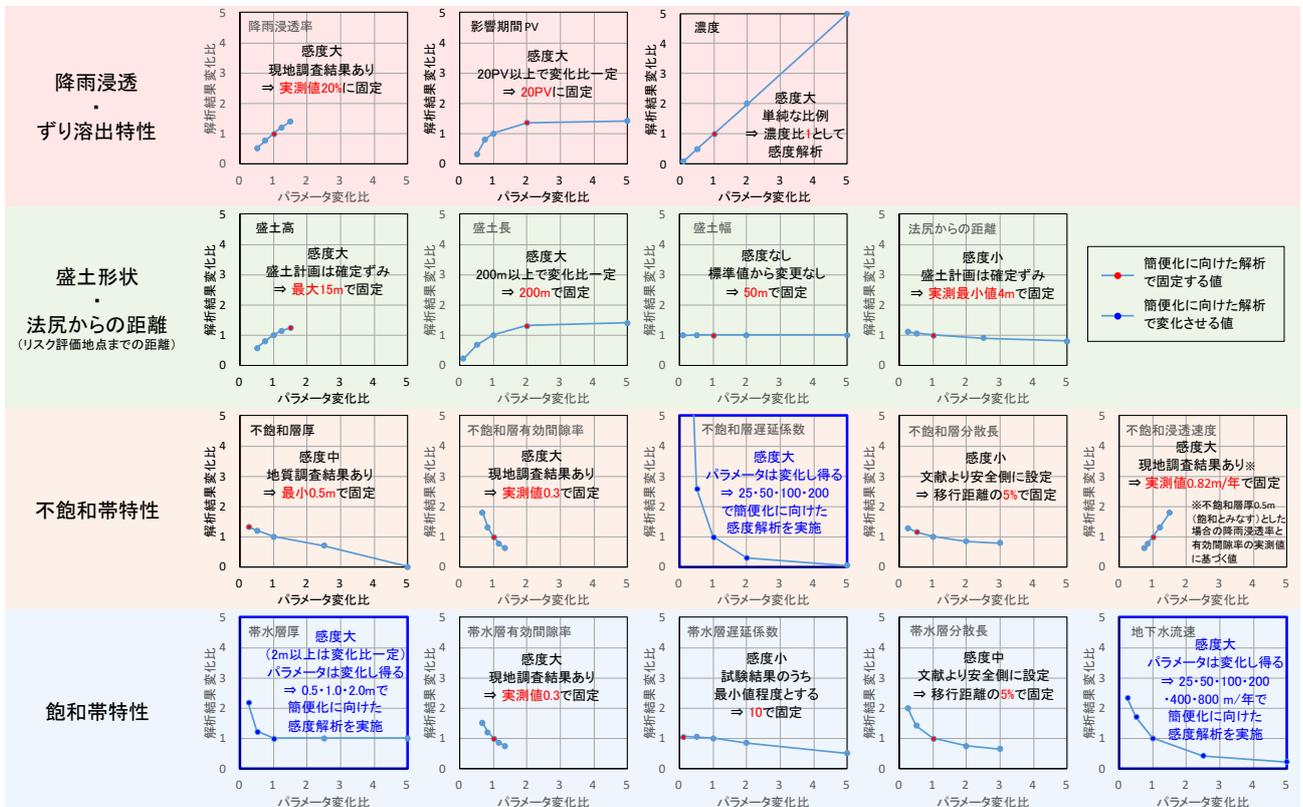


図3 標準モデルでの感度解析結果⁴⁾

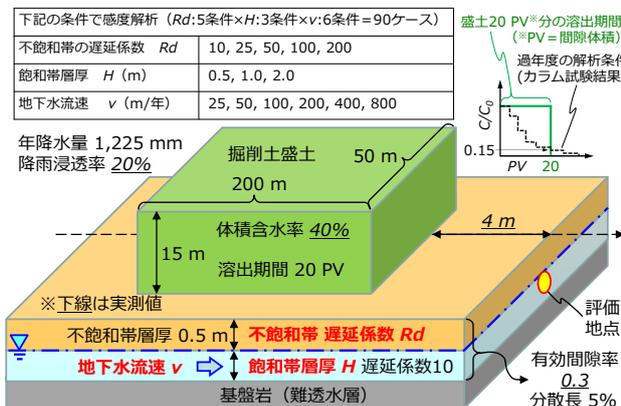


図4 リスク評価の簡便化に向けた解析条件⁴⁾

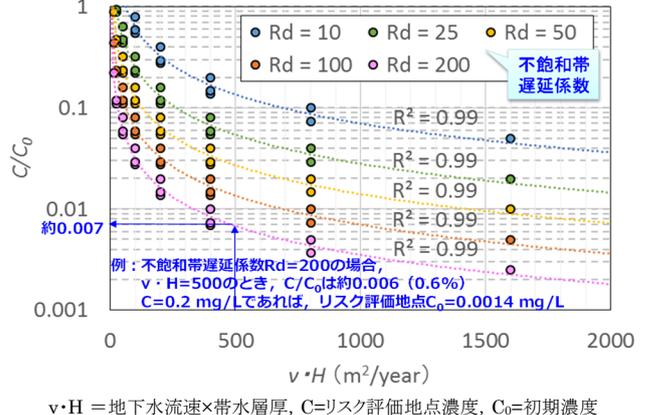


図5 リスク評価の簡便化(文献⁴⁾)を修正・加筆

引用文献

- 1) 建設工事における自然由来重金属等含有土砂への対応マニュアル検討委員会: 建設工事における自然由来重金属等含有土砂・土壌への対応マニュアル (暫定版), 2010.
- 2) 建設工事における自然由来重金属等含有土砂への対応マニュアル検討委員会: 建設工事における自然由来重金属等含有土砂・土壌への対応マニュアル (2023年版), 2023.
- 3) 荒木大輔, 掛田浩司, 宮川 浩幸: コスト縮減に向けた自然由来重金属等の対策事例についてーサイト概念モデルの構築ー, 国土交通省北海道開発局第 56 回 (平成 24 年度) 北海道開発技術研究発表会, コ 1, 2013.
- 4) 藤原拓也, 高橋裕樹, 山本隆広: サイト概念モデルによる重金属等を含むトンネル掘削土の対策事例ー感度解析によるリスク評価結果の総括ー, 第 61 回 (2017 年度) 北海道開発技術研究発表会発表論文集, 環 5, 2018.
- 5) 千葉哲也, 米山康裕, 山本隆広: 自然由来重金属等のリスク管理ートンネル掘削土の合理的対策における妥当性評価ー, 第 66 回 (2022 年度) 北海道開発技術研究発表会発表論文集, 環 16, 2023.