S2-19　油汚染サイトにおけるリスク評価モデル（SERAM）評価事例

○白川武[1]・山本義男[1]・田中宏幸[1]・奥田信康[1]・中島誠[1]・
サステイナブル・アプローチ部会[1]
[1]土壌環境センター

● サステイナブル・アプローチ部会リスク評価活用WGの目的

わが国の土壌汚染対策におけるリスク評価の活用促進

SERAM：サイト環境リスク評価モデル（Site Environmental Risk Assessment Model ）

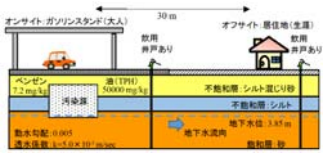
● 本WGの活動内容

①土壌汚染対策におけるリスク評価の活用方策の検討
②SERAMを用いた土壌汚染サイトのリスク評価

● 発表内容：ケーススタディ（対象物質：ベンゼン・油）

①SERAMによる現況リスク評価・対策目標設定
②油の画分比率の変化を考慮したリスク再評価
③リスク評価を考慮した対策の選定方法

1.ケーススタディの条件



項目	内容
対象地用途	現在：ガソリンスタンド、将来：駐車場
敷地面積	3,000 m²
汚染濃度	深度 / 油分（TPHs） / ベンゼン 1.0～2.0m：22,000 mg/kg：3.0 mg/kg 2.0～3.0m：50,000 mg/kg：7.2 mg/kg 3.0～4.0m：1,000 mg/kg：0.01 mg/kg
汚染面積	200 m²
地盤構成	GL-0.0～2.0m：シルト混じり砂 GL-2.0～3.5m：シルト GL-3.5m～7.0m：砂

図－1　対象サイトの汚染状況

表－1　リスク評価計算に用いたパラメーター一覧

名称	単位	ベンゼン	脂肪族 EC5~6	脂肪族 EC6~8	脂肪族 EC8~10	脂肪族 EC10~12	芳香族 EC5~7	芳香族 EC7~8	芳香族 EC8~10	芳香族 EC10~12
土壌全含有量	mg/kg	73	23,700	8,500	3,050	550	5,400	2,400	6,050	300
①物理化学パラメーター										
ヘンリー定数	cm^3-H_2O/ cm^3-air	0.233	33	49	81	121	0.23	2.70	0.48	0.14
飽和溶解度	mg/L	1,800	360	54	0.43	0.024	1,800	520	69	23
有機炭素－水分配係数	cm^3-H_2O/g-OC	66.1	790	4,000	32,000	250,000	79	25	1,600	2,500
土壌-水分配係数	cm^3-H_2O/g-soil									
空気中の拡散係数	m^2/s	8.8E-06	1E-05	1E-05	1E-05	1E-05	1E-05	1E-05	1E-05	1E-05
水中の拡散係数	m^2/s	8.6E-10	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09
水蒸気の気相物質輸送定数	m/s	29.88	29.88	29.88	29.88	29.88	29.88	29.88	29.88	29.88
分子量	g/mol	78.1	81	100	130	160	78	92	120	130
オクタノール-水分配係数	(mol/kg)/(mol/dm³)	2.13	3.28	3.89	4.89	5.38	2.28	1.78	3.08	3.38
接表のための平均時間	y	30	30	30	30	30	30	30	30	30
水の透過物質輸送定数	m/s	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4
①曝露パラメーター										
RID(経口)	mg/(kg-day)		0.06	0.06	0.1	0.1	0.004	0.1	0.04	0.03
RIC(吸入)	mg/m³		18	18	0.2	0.2	0.03	1	0.2	0.2
RID-d(皮膚吸収)	mg/(kg-day)		0.06	0.06	0.1	0.1	0.004	0.1	0.04	0.04
GF	1/(mg/(kg-day))	0.025								
UR	1/(μg/m³)	0.000003								
ED	y	30	30	30	30	30	30	30	30	30

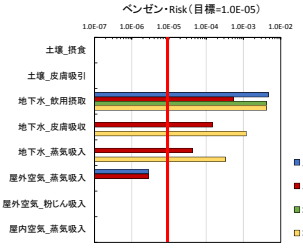
名称	単位	入力値
①汚染源土壌		
汚染源の深さ（汚染土土壌の深さ）	m	1
汚染土下層の深さ	m	4
地下水の深さ（地下水水位）	m	3.85
汚染源の面積	m^2	200
植生や舗装・覆土による被覆率		0
不飽和土壌の土質		3.5Silty sand
土壌乾燥密度	kg-soil/L-soil	1.7
不飽和帯の体積含水率	cm^3-H_2O/cm^3-soil	0.12
有機炭素含有量	g-C/g-soil	0.004
土壌真比重	kg/L	2.68
動粘性の深さ	m	0.09
毛管帯体積含水率	cm^3-H_2O/cm^3-soil	0.393

名称	単位	入力値
①汚染源土壌		
粉塵発生率	mg/(m²・s)	7.E-07
風速＋風の深さ	m	0.4
土壌の透過度	m^2	1E-13
空地下水		
透水係数	cm/s	0.005
動水勾配	m/m	0.005
帯水層の間隙率		0.41
地下水流速	m/y	19.23
地下水流量量	cm/s	20
地下水流向に沿った汚染源の長さ	m	20
帯水層の厚さ	m	3.5
土壌-水分配係数	cm^3-H_2O/g-soil	16
帯水層の有機炭素含有量	g-C/g-soil	0.002

項目	単位	入力値
平均化時間（発ガン）	y	70
平均化時間（非発ガン）	y	30
体重	kg	50
曝露時間（土壌・水）	y	30
曝露頻度（土壌・水）	d/y	365
屋外での1日あたりの曝露時間平均平均値	h/d	1.29
表層土壌の摂食率	mg/d	100
経皮への吸収率	-	1
屋外での皮膚単位面積あたりの付着土壌量	kg/m²	0.005
皮膚吸収率	1/hr	0.0054
ブリッスフェクター、土壌片の皮膚接触率	-	0.15
屋外での露出皮膚面積	m²	0.48
水の飲用量	L/d	1.5
水からの有害物質の吸収率	-	1
万人吸入平均時間	y	30
屋外での呼吸量	m³/d	15
オフサイトでの曝露頻度	d/y	250
土粒子由来の空気中有害物質の肺での吸収率	-	1
屋内での1日あたりの曝露時間年間平均値	h/d	22.71
屋外滞在時間		22.71

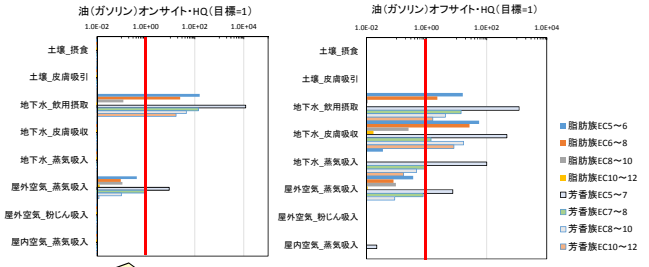
③-1空気（屋外）		
地上の大気混合層における平均風速	m/s	12
大気混合層の高さ	m	2
境界層厚さ	m	0.1
汚染土壌の平均深さ	m	2.425
土壌からの蒸発水の流束	$m^3/(m^2 \cdot d)$	0.001
点環境の排出風量	m^3/s	84
呼吸ゾーンの高さ	m	1.5
汚染源の幅（流動方向）	m	50
③-2空気（屋内）：日本の木造家屋		
床下空間から室内空間への寄与率	-	0.1
室内空気交換率	1/h	0.5
汚染源の深さ	m	1
床下空気交換率	1/h	0.5
床下空間と地下空気浸透面積の比	m	0.45

2.リスク評価計算結果



目標リスクを超過した経路
オンサイト：地下水飲用
オフサイト：地下水飲用・皮膚吸収・蒸気吸入

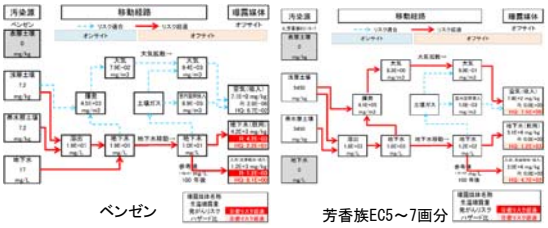
図－2　曝露経路毎のベンゼンの発がんリスク



目標リスクを超過した経路
オンサイト：地下水飲用
オフサイト：地下水飲用・皮膚吸収・蒸気吸入・屋外空気の蒸気吸入

①すべての曝露経路において、芳香族EC5～7画分のハザード比が最大である。
次にハザード比が大きい画分は、脂肪族EC5～6、EC6～8、芳香族EC7～9
②芳香族EC5～7画分は、新油ガソリン中に含有比率が高い
③芳香族EC5～7画分の毒性は、その他の成分より強い

図－3　曝露経路毎の油分画分別のハザード比



図－4　曝露フロー

汚染源浄化を行う場合のリスク目標値

◆ベンゼン：土壌　0.015　mg/kg
　　地下水　0.041　mg/L

◆油（TPH）：画分ごとに設定

土壌	脂肪族	EC5～6画分	7.4	mg/kg
土壌	脂肪族	EC6～8画分	36	mg/kg
土壌	芳香族	EC5～7画分	0.062	mg/kg
土壌	芳香族	EC7～8画分	1.2	mg/kg
土壌	芳香族	EC8～10画分	9.6	mg/kg
土壌	芳香族	EC10～12画分	15	mg/kg

3.対策工法の検討

●本ケーススタディでは、実際の対策工法として汚染源の土壌の除去と地下水揚水を実施した。
⇒地下水中のベンゼン濃度が地下水基準に適合するまでには、多くの時間と費用がかかった。

●本ケーススタディについてSERAMを適用した対策工法について検討を実施

(1)地下水対策に対してのリスク評価の活用

地下水揚水工では、揚水の継続により濃度は低減するものの、地下水基準をやや上回る濃度で推移する期間が長くなることが多い

⇒地下水のリスク目標値として0.041mg/Lを採用することで、対策期間を短縮し費用を削減できる可能性があった。

(2)曝露経路遮断に対してのリスク評価の活用

リスク評価により、目標リスクを超過している主要な曝露経路は地下水経由であることが確認できた。
地下水経由以外で目標リスクを超過した経路は、屋外空気（吸入）であり、地下水経由よりハザード比が小さい。

⇒曝露経路遮断を併用することで汚染源対策の目標値を軽減でき、工期や費用を削減できる可能性があった。

(3)油の原位置対策に対してのリスク評価の活用

芳香族EC5～7画分等の低炭素成分については、土壌ガス吸引工法や原位置バイオレメディエーションなどの原位置対策工法で優先的に低減させることができる可能性が高いと考えられている。

⇒掘削除去の代替として、原位置バイオレメディエーションを適用した際の有効性について検討を行った。バイオレメディエーションによる油分画分別の濃度低減比率の文献値を参考に、バイオレメディエーション措置後の油分画分比率を推定して措置後のリスク評価を行い、掘削除去よりも場外搬出量を軽減できる可能性を見出した。

4.まとめ

リスク評価手法およびSERAMツールを土壌汚染対策に活用することで、オンサイトやオフサイトの汚染の状況の推定ができるため、より合理的な対策方法の選択や設計仕様の設定、コストや環境負荷の軽減につながることが期待される。