

(S1-18) リスク評価モデルにおける我が国の建物構造を考慮した室内空気経路の曝露

伊貝聡司¹・村上淑子¹

¹(社) 土壌環境センター リスク評価活用方法検討部会

1. はじめに

近年、我が国でもブラウンフィールド問題がクローズアップされ、その問題解決方法の検討が急務となっている。

土壌汚染対策法では、汚染土壌の人への曝露による健康リスクを防止する観点から全国一律の指定基準が設定され、対策方法についても人への曝露経路を遮断する観点から設定されている。一方、欧米では、サイト別、土地利用用途別のリスク評価結果に基づいて、対策方法や目標を検討する方法が採用されている。許容範囲を超えるリスクが指摘された場合のみ対策を実施する考え方は、ブラウンフィールド問題解決の有効な解決策の一つとして考えられている。

このような背景のもと、筆者らは、我が国の土壌汚染対策に合ったリスク評価モデル(案)の作成に取り組んでいる。

本稿は、既存のリスク評価モデルで採用されている室内空気経路の曝露、我が国の代表的な建物構造、我が国の建物構造を考慮した室内空気経路の曝露評価モデル(案)について検討した結果の概要を紹介するものである。

2. 既存のリスク評価モデルで採用されている室内空気経路の曝露

2.1 対象とした既存リスク評価モデル

我が国の建物構造を考慮した室内空気経路の曝露評価モデル(案)の検討に先立ち、既存のリスク評価モデルで採用されている室内空気経路の曝露について整理を行った。今回の検討では、表-1に示す5ヶ国の7つの既存のリスク評価モデルを対象とした。

表 - 1 検討対象とした既存のリスク評価モデル

国	リスク評価モデル名
アメリカ	RBCA (Risk-Based Corrective Action) ^{1), 2)}
オランダ	CSOIL ³⁾
	VOLASOIL ³⁾
イギリス	CLEA (Contaminated Land Exposure Assessment) 2002 年版 ⁴⁾
カナダ	CCMC (カナダ環境関係閣僚会議、Canadian Council of Ministers of the Environment) による土壌環境ガイドライン値導入のためのプロトコル ⁵⁾
日本	GERAS (地圏環境リスク評価システム、Geo-environmental Risk Assessment System) ^{6), 7)}
	KT-RISK(土壌・地下水汚染リスク評価システム、Kokusai Environmental Solutions & Tsinghua University Risk Assessment System for Contaminated Sites) ⁸⁾

Exposure of the indoor air pathways that considered Japanese building structure

Satoshi Ikai¹, Yoshiko Murakami¹

(GEPC Study Group of Method of Using Risk Assessment)

連絡先：〒102-0083 東京都千代田区麹町 4-2 (社) 土壌環境センター

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

2.2 既存リスク評価モデルの室内空気経路の計算式の概要

既存リスク評価モデルの室内空気経路の計算式を整理した結果、タイプ A からタイプ F の 6 種に分類することができた。各モデルで採用されている計算式を表 - 2 に示す。

表 - 2 各モデルで採用されている計算式 (土壌 建物間隙 室内空気)

タイプ	採用されている計算式の概要	RBCA	CSOIL	VOLASOIL	CLEA	KT-RISK	GERAS	CCME
A	Johnson 他 (1990)、Johnson and Ettinger (1991) のモデルに基づく。コンクリートスラブが存在し、コンクリートスラブの亀裂を拡散により移動するものと仮定する。室内での大気の拡散は、完全混合を仮定したボックスモデル。		×	×	×		×	×
A'	タイプ A に加え、室内外の圧力差により生じる移流を考慮している。		×	×	×		×	
B	表層土壌あるいは地下土壌中の汚染物質が、一定期間 (住宅地で 30 年、工業地で 25 年) 内に全て揮発すると仮定するモデル。室内での大気の拡散は、完全混合を仮定したボックスモデル。		×	×	×		×	×
C	Ferguson 他 (1995)、Krylov and Ferguson (1998) のモデルに基づく。コンクリートスラブが存在し、室内への空気の移動は、関連する材料の間隙を拡散および室内外の圧力差により生じる移流により移動するものと仮定する。	×	×	×		×	×	×
C'	タイプ C と同様な考え方で、コンクリートスラブが存在せず、床下空間が存在する建物を仮定する。	×	×	×		×	×	×
D	床下空間が存在する建物を仮定している。拡散により移動すると仮定し、床下空間の地表面の境界層フラックスを算出する。床下空間での大気の拡散は、完全混合を仮定したボックスモデル。床下空間から室内への大気の拡散は、オランダでの実測値に基づき、経験的に 1/10 に減衰すると仮定。	×		×	×	×		×
E	床下空間が存在する建物を仮定している。間隙水中濃度より、蒸発と拡散によるフラックスを個々に算出し、合計する。床下空間での大気の拡散は、完全混合を仮定したボックスモデル。床下空間から室内への大気の拡散は、オランダでの実測値に基づき、経験的に 1/10 に減衰すると仮定。	×		×	×	×		×
F	床下空間が存在する建物を仮定している。汚染深度、原液の存在などにより、異なる方法で間隙空気中濃度を算出。土壌間隙空気中濃度から床下空間へのフラックスを算出し、床下空間での大気の拡散は、完全混合を仮定したボックスモデルによる。さらに、床下空間から室内大気へのフラックスを算出し、室内空間での大気の拡散は、完全混合を仮定したボックスモデルによる。	×	×		×	×	×	×

注 1) RBCA、KT-RISK では、A と B あるいは、A' と B で算出した値のうち、小さな値を採用している。

注 2) CSOIL、GERAS では、D と E で算出した値のうち、大きな値を採用している。

モデルごとに比較すると、RBCA と KT-RISK、CSOIL と GERAS は同じ計算式、CCME は RBCA、KT-RISK で採用されている式のうち 1 つを採用しているが、それ以外は異なる計算式が採用されており、国やモデルにより異なる考え方が採用されている。

2.3 計算式の相違点について

国やモデルにより採用されている計算式の相違を明らかにするため、汚染土壌から室内空気濃度への移動過程毎に計算式の比較を行った。移動過程は、「土壌中の移動」、「建物基礎中の移動」、「建物内の移動」に分類した。

なお、タイプ B は、表層土壌あるいは地下土壌中の汚染物質が、一定期間 (住宅地で 30 年、工業地で 25 年) 内に全て揮発すると仮定しており、移動過程が考慮されていないため、比較の対象外とした。

汚染土壌から室内空気濃度への移動過程毎の計算式の比較を表 - 3 に示した。

表 - 3 汚染土壌から室内空気濃度への移動過程毎の計算式の比較

タイプ	汚染土壌から室内空気濃度への移動過程							
	土壌中の移動			建物基礎中の移動		建物内の移動		
	計算の出発点	土壌中の移動媒体	土壌中の移動	建物基礎の通過箇所	建物基礎中の移動	床下空間での拡散	床材中の移動	室内空間での拡散
A	汚染土壌	土壌間隙空気	拡散	コンクリートスラブ内の亀裂	拡散	(なし)	(なし)	BOXモデル
A'	汚染土壌	土壌間隙空気	拡散	コンクリートスラブ内の亀裂	拡散移流	(なし)	(なし)	BOXモデル
B	汚染土壌	表層土壌あるいは地下土壌中の汚染物質が、一定期間(住宅地で30年、工業地で25年)内に全て揮発すると仮定						BOXモデル
C	建物直下の汚染土壌	(なし)	(なし)	コンクリートスラブの間隙	拡散移流	(なし)	拡散移流	BOXモデル
C'	建物直下の汚染土壌	(なし)	(なし)	建築材料の間隙	拡散移流	BOXモデル	拡散移流	BOXモデル
D	汚染土壌	土壌間隙空気	拡散	コンクリートスラブの間隙	拡散	BOXモデル	オランダでの実測値に基づき、室内濃度は床下空間濃度の1/10とする。	
E	汚染土壌	土壌間隙水	拡散・蒸発	コンクリートスラブの間隙	拡散	BOXモデル		
F	汚染土壌	土壌間隙空気	拡散	コンクリートスラブの間隙	拡散移流	BOXモデル	拡散移流	BOXモデル

(1) 土壌中の移動

多くの計算式で、汚染土壌含有量より土壌間隙空気の濃度を算出し、拡散により地表面まで移動するという考えが採用されている。タイプCおよびタイプC'では、建物直下に汚染土壌が存在していると仮定しているため、土壌中の移動は考慮されていない。また、タイプEでは、汚染土壌含有量より土壌間隙水の濃度を算出し、拡散・蒸発により地表面まで移動するという考えを採用している。

(2) 建物基礎中の移動

建物構造により、異なる計算式が設定されている。コンクリートスラブが存在する場合は、亀裂を通過していくという考えと間隙を通過していくという考えの2種類が存在する。また、コンクリートスラブが存在しない場合でも、コンクリートスラブに関する項を考慮せず計算する場合と、砕石等の建築材料の間隙を通過していくという考えの計算式を用いる場合の2種類が存在する。移動についても、拡散のみとする考えと室内外の気圧差により生じる移流も考慮する場合の2種類がある。

(3) 建物内の移動

閉鎖空間での拡散は、いずれも完全混合を仮定したBOXモデルが採用されている。

建物構造としては、床下空間が存在する場合と存在しない場合2種類があり、床下空間から室内空間へは、拡散と室内外の気圧差により生じる移流により移動するという考えと実測値に基づき低減率を定めているものがある。

3. 我が国の代表的な建物構造について

既存リスク評価モデルの室内空気経路の計算式を整理した結果、室内空気経路の計算式は、国、モデル毎に異なっていることが分かった。これは、土壌間隙空気から室内空気への移動が建物構造に大きく影響を受けることから、各国の建物構造を考慮した計算式を採用しているためと考えられる。

したがって、我が国のリスク評価モデルにおいても、建物構造の特徴を勘案した計算式を採用することが必要と考える。

我が国では、多湿という気象条件を考慮し、戸建住宅では木造で床下空間を設けた「木造在来工法」の住宅が多く普及している。一方、近年は、気密性の高い住宅のニーズが高まってきており、床下空間に換気口を設けない基礎断熱工法を採用した木造住宅も普及してきている。また、マンションなどの鉄筋コンクリート構造の共同住宅の割合も増加している。

総務省統計局による「平成15年住宅・土地統計調査」によると、一戸建てが56.5%、共同住宅が40.0%で全体の96.5%を占めており、建物構造は、木造が31.7%、防火木造が29.7%、鉄筋・鉄骨コンクリート造が31.9%

でこの3種で90%以上を占めている⁹⁾。

土壌間隙空気から室内空気への移動という観点からみると、大きく影響を与える要因として、コンクリートスラブの有無、床下空間の有無の2点が挙げられる。

表 - 4 にコンクリートスラブの有無と床下空間の有無より我が国の代表的な建物を分類した。

表 - 4 我が国の代表的な建物の分類

	床下空間あり		床下空間なし
	床下換気口あり	床下換気口なし	
コンクリートスラブなし	独立基礎、布基礎の木造住宅	(一般的でない)	(一般的でない)
コンクリートスラブあり (床スラブ、べた基礎を含む)	べた基礎の木造住宅	基礎断熱工法の戸建住宅 二重床構造のマンション	マンション 店舗など商業施設 工場などの工業施設

4. 我が国の建物構造を考慮した室内空気経路の曝露評価モデル(案)

4.1 我が国の代表的な建物構造モデルの設定

我が国の代表的な建物構造モデルとして、表 - 5 に示すコンクリートスラブのないモデルとコンクリートスラブのあるモデルの2種類を設定する。

表 - 4 に示す分類のうち、基礎断熱工法の戸建住宅や二重床構造のマンションなどの建物は、気密性が高く、床下空間と室内空間の空気は同質と考えられるため¹⁰⁾、コンクリートスラブのあるモデル(床下空間のないモデル)を用いて評価できると考える。同じく表 - 4 に示すべた基礎の木造住宅は、本来、床下空間での希釈が起こりうるが、安全側の評価となるため、コンクリートスラブのあるモデル(床下空間のないモデル)によって評価することが妥当と判断した。

表 - 5 我が国の代表的な建物構造モデルと計算式設定の条件

我が国の代表的な建物構造モデル	計算式設定の条件
コンクリートスラブのないモデル	<ul style="list-style-type: none"> ・日本の標準的木造建物である。 ・基礎構造は布基礎、独立基礎などのコンクリートスラブが存在しない形式とする。 ・高さ45 cm以上の床下空間が存在し、床下空間の下には土壌が露出しているものと仮定する。 ・建物構造上、気密性が低いいため、土壌中の空気は床下空間に容易に侵入するものとする。 ・床下空間および室内空間では、換気により希釈される。 ・密閉性が低いいため、構造物内外の気圧差に起因する移流は考慮しない。
コンクリートスラブのあるモデル (べた基礎を含む)	<ul style="list-style-type: none"> ・べた基礎、床スラブなど、室内空間の下部にコンクリートスラブが存在する建物である。 ・床下空間は存在していない、あるいは床下空間と室内空間は一体と評価できると仮定する。 ・ある程度密閉性が高い構造物であることを想定しており、構造物内外の気圧差が生じるものと仮定する。 ・床下換気口が存在する場合は、床下空間での希釈効果が加味されるが、安全側の評価となるため、本モデルでは考慮しない。 ・マンション、店舗等についても、本モデルを採用する。 ・地下室がある場合は、地下の基礎スラブより下位に汚染土壌が存在するものとし、汚染土壌内に地下室が存在しているケースは想定していない。

4.2 我が国の室内空気経路の曝露評価モデル計算式の設定

(1) コンクリートスラブのないモデル

汚染物質を含む土壌ガスは、汚染源（汚染土壌）から床下空間まで拡散により移動する。床下空間に達した土壌ガスは、床下空間で希釈される。希釈は、空気交換率と床下空間高さを定数とした完全混合を仮定したボックスモデルを用いる。

床下空間から室内空間への移動は、国内での実測値や研究成果はほとんどないため、CSOIL、GERAS で採用されている寄与率を用いることとした。なお、CSOIL、GERAS では、寄与率は、オランダでの実測値を元に「床下空間の濃度の 1/10 が室内空間の濃度」としている。また、室内での換気対策を考慮できるように、国内の換気基準（一時間当たり 0.5 回）に対する比率を考慮できる項を追加設定した。

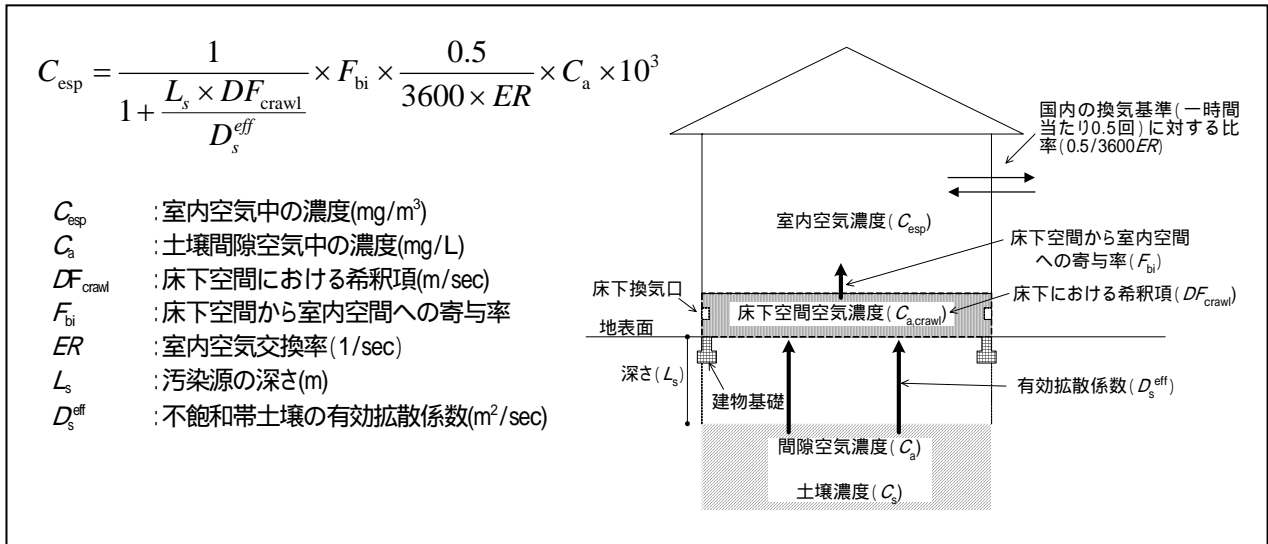


図 - 1 コンクリートスラブのないモデルの計算式と概念図

(2) コンクリートスラブのあるモデル

汚染物質を含む土壌ガスは、汚染源（汚染土壌）からコンクリートスラブ底面まで拡散により移動する。コンクリートスラブ底面に達した土壌ガスは、コンクリートスラブの亀裂を拡散および室内外の気圧差により生じる移流により室内空間に移動する。室内空間に移動した土壌ガスは、室内空間で希釈される。希釈は、空気交換率と室内空間高さ（床下空間が存在する場合は床下空間の高さと室内空間の高さの合計値）を定数とした完全混合を仮定したボックスモデルを用いる。

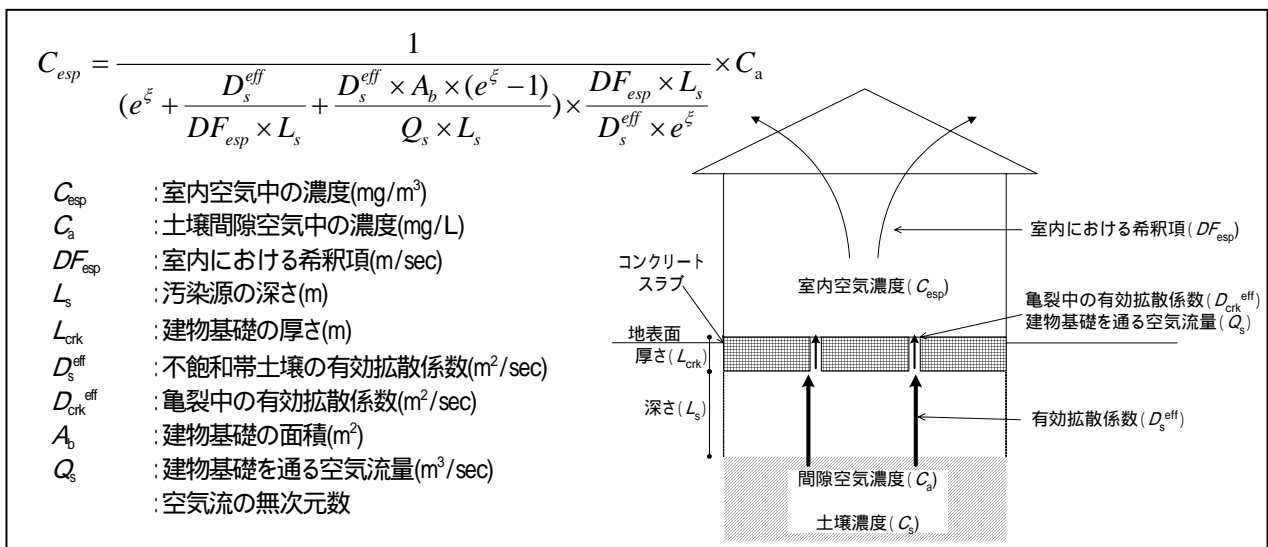


図 - 2 コンクリートスラブのあるモデルの計算式と概念図

5. まとめと今後の課題

既存リスク評価モデルの室内空気経路の計算式を整理した結果、室内空気経路の計算式は、国、モデル毎に異なっていることが分かった。これは、土壌間隙空気から室内空気への移動が建物構造により大きく影響を受けることから、各国の建物構造を考慮した計算式を採用しているためと考えられた。

我が国の代表的な建物構造について整理した結果、土壌間隙空気から室内空気への移動に大きく影響を与える要因として、コンクリートスラブの有無、床下空間の有無の2点が挙げられた。

以上の検討を基づき、我が国の室内空気経路の曝露評価モデル計算式として、コンクリートスラブのあるモデルとコンクリートスラブのないモデルの2つのモデルを設定した。

今後の課題として以下の点が挙げられる。

(1) 設定したモデル・計算式の評価・検討

今回、設定したモデル・計算式は定性的な判断により設定したものであり、定量的な評価がなされていない。今後、パラメータの検討およびその根拠の設定を行い、感度解析等により定量的な評価・検討を行う必要がある。

(2) 建物パラメータの設定

床下空間から室内空間への空気の移動など、我が国の建物構造に関係するパラメータの知見は不十分である。今後、建物建材のパラメータや実態を把握し、実態に即した建物パラメータの設定を行う必要がある。

(3) 実測データとの整合を図る必要がある

モデル・計算式の妥当性を確認するため、実際の土壌汚染地での室内空気の実測データと比較する必要があると考える。しかしながら、現時点では、土壌汚染地に建てられた建物の室内空気濃度の実測データは皆無に近い状態であるため、今後、実測データの集積が求められる。

6. おわりに

改正土壌汚染対策法では、人の健康被害のおそれの有無により「要措置区域」と「形質変更時要届出区域」に分類された。この分類の考え方は、健康影響を防止することを目的とした合理的な措置や管理を推進する枠組みであり、今後、土地所有者等の土壌汚染対策に対する考え方が汚染土壌の除去（リスクゼロ）から汚染土壌の管理へと変わっていくものと考えられる。

このような汚染土壌の管理という考え方が進展していくと、我が国においてもより合理的な管理であるサイト別、土地利用用途別のリスク評価結果に基づく管理という考え方に発展していく可能性があるものと考えられる。(社)土壌環境センターでは、このような将来のニーズに対応していくため、リスク評価活用方法検討部会の活動を引き継ぐかたちで「リスク評価方法検証部会」を立ち上げ、我が国の土壌汚染対策に合ったリスク評価モデル(案)の作成を目指して今後も継続して活動していく予定である。

参考文献

- 1) Groundater Services, Inc. (2007) : RBCA Toolkit for chemical Releases Software Guidance Manual
- 2) ASTM(2000) : E2081-00/Standard Guide for Risk-Based Corrective Action
- 3) The Van Hall Instituut (2005) : Risc Human 3.2.1 Help File
- 4) U.K.Department for Environmental, Food and Rural Affairs, The contaminated land exposure assessment (CLEA) model : Technical basis and algorithms (2002)
- 5) CCME(2006) : A Protocol for the Derivation of Environmental and Human Health Soil Quality Guidelines
- 6) 川辺 能成, 駒井 武, 坂本 靖英(2005) : わが国における土壌中有機化合物の暴露量推定 - 地圏環境評価システムの開発に関する研究 - , 資源と素材 Vol. 121 , pp19-27
- 7) 川辺 能成, 駒井 武, 坂本 靖英 (2003):わが国における土壌中重金属類の暴露量推定 - 地圏環境評価システムの開発に関する研究 - , 資源と素材 Vol. 119 , pp427-433
- 8) (社)地盤工学会 (2008) : 続・土壌・地下水汚染の調査・予測・対策・丸善
- 9) 総務省統計局 (2004) : 平成 15 年住宅・土地統計調査
- 10) (財)住宅金融普及協会 (2007) : 平成 19 年改訂木造住宅工事仕様書 (解説付) , p31