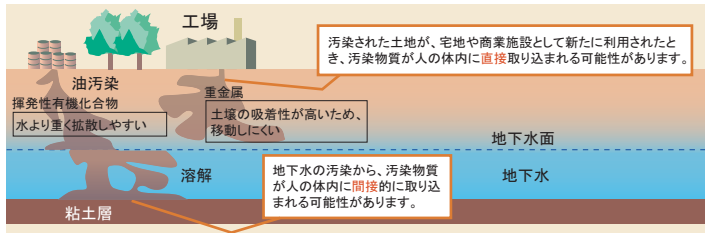


## 土壌汚染

(Up&Coming '07  
新春特別号掲載)



### ■土壌・地下水汚染とは

土壌汚染とは、土中にあって、人の健康あるいは生態系に影響を与える有害物質によって土壌が汚染されることをいいます。

現在、日本国内で問題となっている物質は、重金属類・有機塩素系化合物・農薬・ダイオキシン類・環境ホルモン・放射性物質・病原性微生物類等です。この中で、土壌汚染対策法の規制対象になっている物質は、重金属類・有機塩素系化合物・農薬です。なお、ダイオキシン類については、ダイオキシン類対策特別措置法に基づき、別途環境基準が設定されています。図1に、土壌汚染の広がり方と汚染経路の模式図を示します。重金属については土壌の吸着能が高いため移動しにくく、揮発性有機化合物は水より重く拡散しやすくなっています。

### ■土壌汚染対策法

顕在化する土壌汚染の増加を背景として、土壌環境保全対策の制度の在り方について調査・検討を経て、平成14年5月29日に公布され、平成15年2月15日より施行されました。

土壌汚染対策法の目的は、国民の安全と安心を確保するため、環境リスクを適切に管理し、人の健康への影響を防止することにあります。そのため、汚染の可能性の高い土地については、有害物質を取り扱う施設の廃止時等の一定機会をとりあてて調査を実施すること、また、土壌汚染が判明し、それによって人の健康に係る被害が生ずる恐れのある場合には必要な措置を講じることが定められています。

### ■特定有害物質と指定基準

特定有害物質とは、土壌に含まれること起因して人の健康に係る被害を生ずる恐れがあるものです。

特定有害物質には、(1)汚染土壌を直接摂取することによるリスク(直接摂取によるリスク)、(2)汚染土壌からの特定有害物質溶出に起因する汚染地下水等の摂取によるリスク(地下水等の摂取によるリスク)があります。土壌・地下水汚染に係る有害物質としては、揮発性有機化合物、重金属等、農薬、ダイオキシン類および油類(石油系炭化水素)があり、「土壌汚染対策法」では、第一種特定有害物質として揮発性有機化合物(VOC)を11種、第二種特定有害物質として重金属等を9種、第三種特定有害物質として農薬とPCBを5種の合わせて25種類を特定有害物質と定め、それぞれについて指定基準を定めています。表1に特定有害物質の基準値一覧表を示します。

表1 対象物質と指定基準

分類	特定有害物質	指定基準		土壌環境基準(銅を除く)
		直接摂取によるリスク 土壌含有量基準	地下水等の摂取によるリスク 土壌溶出量基準	
揮発性有機化合物 (第一種特定有害物質)	四塩化炭素	—	0.002mg/L以下	0.002mg/L以下
	1,2-ジクロロエタン	—	0.004mg/L以下	0.004mg/L以下
	1,1,1-トリクロロエチレン	—	0.020mg/L以下	0.020mg/L以下
	シス-1,2-ジクロロエチレン	—	0.040mg/L以下	0.040mg/L以下
	1,3-ジクロロロベン	—	0.002mg/L以下	0.002mg/L以下
	ジクロロメタン	—	0.020mg/L以下	0.020mg/L以下
	テトラクロロエチレン	—	0.010mg/L以下	0.010mg/L以下
	1,1,1-トリクロロエタン	—	1mg/L以下	1mg/L以下
	1,1,2-トリクロロエタン	—	0.0060mg/L以下	0.0060mg/L以下
	トリクロロエチレン	—	0.030mg/L以下	0.030mg/L以下
	ベンゼン	—	0.010mg/L以下	0.010mg/L以下
重金属等 (第二種特定有害物質)	カドミウム及びその化合物	150mg/kg以下	0.010mg/L以下	0.010mg/L以下
	六価クロム化合物	250mg/kg以下	0.050mg/L以下	0.050mg/L以下
	シアン化合物	遊離シアンとして50mg/kg以下	不検出	不検出
	水銀及びその化合物	15mg/kg以下	0.0005mg/L以下	0.0005mg/L以下
	セレン及びその化合物	150mg/kg以下	0.010mg/L以下	0.010mg/L以下
	砒素及びその化合物	150mg/kg以下	0.010mg/L以下	0.010mg/L以下
	亜鉛及びその化合物	150mg/kg以下	0.010mg/L以下	0.010mg/L以下
	フッ素及びその化合物	4000mg/kg以下	0.800mg/L以下	0.800mg/L以下
	ほう素およびその化合物	4000mg/kg以下	1mg/L以下	1mg/L以下
	スマジジ	—	0.003mg/L以下	0.003mg/L以下
	チウラム	—	0.006mg/L以下	0.006mg/L以下
農薬等 (第三種特定有害物質)	チオベンカルブ	—	0.020mg/L以下	0.020mg/L以下
	有機りん化合物	—	不検出	不検出

土壌・地下水調査でのポイントは、「汚染源の特定」、「垂直水平方向における拡散性と拡散速度の把握」、「対策工法別ごとの効果と二次汚染リスクの評価」です。上記の3項目を把握するのに必要な要素を下表に示します。

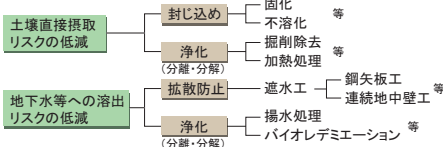
調査項目	汚染源	拡散方向性	対策工リスク
地形	表層拡散の最上流を特定	表層拡散の方向性を特定	表層改変による二次拡散を評価
表層土壌	汚染物質濃度の水平比較評価	表層拡散速度の評価	汚染除去における処分リスクの評価
土質・地質構造	広域拡散時の最上流を特定	広域拡散時の方向性を特定	吸引法等による二次汚染リスクの評価
水質・水理構造	表層拡散の最上流を特定	表層拡散の速度を把握	植物(拡散)による垂直拡散評価

### ■土壌・地下水浄化対策

汚染土壌を直接摂取することによるリスクや汚染土壌からの特定有害物質溶出に起因する汚染地下水等の摂取によるリスクの低減を図るための土壌・地下水浄化対策には、右図に示すようなものが考えられます。また、対策工においては、地下水変動の影響解析を当社UC-1地盤解析シリーズ「3次元浸透流解析(VGFlow)」で解析可能です。

#### 参考文献:

1. 土壌・地下水汚染の調査・予測・対策 (社)地盤工学会、平成14年5月、P.22、P.26
2. 土壌汚染対策法のしくみ 環境省・(財)日本環境協会、2003年3月



## 次世代の耐震設計法 地震リスクを考える

(Up&Coming '07  
早春の号掲載)

### ■"リスク(Risk)"って何だ?

"リスク"とは、「将来における不確かな損失あるいは不利益」と定義できる。これを工学的/定量的に記述すると、「被害の発生確率とそのときの被害規模との積」と表される。このような地震リスクを表1のように整理することができ、まずはその勘所を確認されたい。

### ■フラジリティ曲線と地震ロス関数

地震リスク解析には、信頼性理論に基づく数学的な処理を必要とするが、ここでは、脆弱性を表すフラジリティ曲線Seismic Fragility Curve (以下SFC)、ならびに損害額を記述する地震ロス関数(Damage Function 以下DF)を例示したい。図1に、SFCとDFを模式的に示したが、まずは両図とも、地震動の規模(ここでは入力加速度 $\alpha$ )を横軸とすることが特徴的である。

まず、図1上のSFCは、対象構造物の損害規模(ここでは、小破と大破との2種)を工学的に定義し、各々の発生確率を示すものである。いずれも右上がりの単調増加関数となり、小破の方が大破より、大きい確率となる。一方、図1下の地震ロス関数DFは、地震動規模に対する構造物全体の損傷程度を対応させたものである。ここでは、縦軸の損傷レベルを損失率(再調達価格が使われることもある)にて例示しているが、DFによって「どのくらいの地震が発生(加速度が入力)したら、どれくらいの損害を被るか」を端的に説明してくれる。

なお、SFCにより求められた被害モードの損傷確率とその損害額あるいは損失率からDFを求めることができるが、図2に数値が例示しているので、確認されたい。

### ■地震リスク解析の成果:地震リスク曲線

そして、地震動規模を消去して、地震損傷レベル(損失率、再調達価格etc.)の超過確率を求め、これを地震リスク曲線(Seismic Risk Curve)と呼ぶ。

図3では、リスクカーブを模式的に表したものであるが、例えば、損失額100万円 $\Rightarrow$ 1.5%、損失額1000万円 $\Rightarrow$ 0.1%、となっている。このようにして、地震による損失レベルが確率的に求まることが特徴である。地震リスク曲線には、もはや、入力加速度に代表される地震規模は直接現れないので、例えば、他の災害ハザード(洪水、地滑り、津波)と同等に比較し、また対象構造物が同じであれば合算できる。

リスクは、「発生確率は極めて小さいが、一旦被災すると大きな損傷を受け、かつ社会的な影響が大きい」ことを言外にほのめかしている。現行の耐震設計は、「これだけの地震に耐えられる」ことを照準するものであり、地震リスクは、「これだけ、壊れるかもしれない」ことを算出するものと説明できる。地震リスクは、リスクの定量化(Risk Quantification)であるとともに、合理的な次世代の耐震設計法として期待できる。

表1 確率論的評価とリスク解析

#### 従来の確率論:

「M5以上の地震が発生する確率」、「この建物が倒壊する確率」、etc.

#### リスク解析:

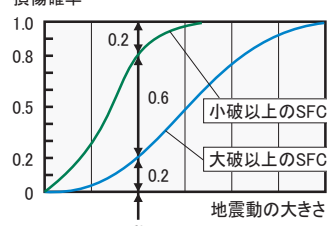
「△地域における、今後30年間に於いて2500戸が半壊する確率は2.5%」  
「△橋梁は、単年度で120万円の損傷が見込まれる」、etc.

#### 地震リスクの定義:

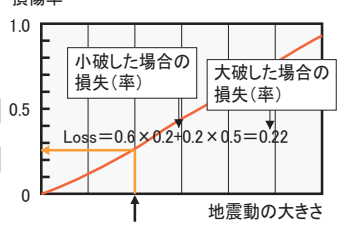
地震リスク=地震の発生する確率 $p$  × そのときの損失の規模 $D$

$$R = \sum_{j=1}^k (p_j \times D_j) \quad \text{ただし、} \sum_{j=1}^k p_j = 1$$

#### 損傷確率

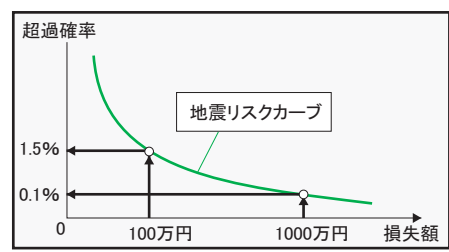


#### 損傷率



▲図1 フラジリティ曲線(Seismic Fragility Curve) 地震ロス関数(Seismic Damage Function)

#### 地震リスクカーブ



▲図2 地震リスク曲線(Seismic Risk Curve)

#### 参考文献:

1. 遠藤昭彦、吉川弘道: 鉄筋コンクリート橋脚に対する地震リスク評価手法の適用、構造工学論文集、Vol.49A, pp.435-446, 2003年3月
2. 地震リスクマネジメントの考え方、電子サイバー講座、『もっと知りたいコンクリート講座』、http://c-pc8.nivil.musashi-tech.ac.jp/RC/
3. 吉川弘道・中村孝明: 土木/建築施設の地震リスク評価とコンクリート構造物への適用、テクニカルノート、コンクリート工学 Vol.45, No.4, 2007年4月、日本コンクリート工学協会