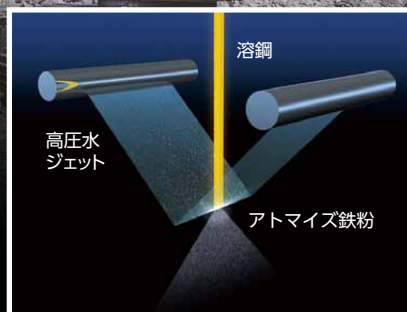


土壌を浄化する 鉄粉



電気炉で溶解された溶鋼に高圧水ジェットを吹き付けることで、アトマイズ鉄粉を生成することができる。



水アトマイズ法により製造された鉄粉

2010年に「土壌汚染対策法」が改正され、それまで対象とされていなかった自然由来の重金属等が規制の対象となった。そのため、従来は対策が不要であった建設発生土などについても対策が必要になる場合があり、土壌汚染対策のコスト削減が求められている。さまざまな土壌浄化・汚染対策工法が提案されているが、近年提案され、実用化されている鉄粉を使用した工法について紹介する。

(資料提供: (株) 神戸製鋼所)

土壌汚染に対する関心の高まり

2020年の東京オリンピックに向けての建設工事や、鉄道や道路、共同溝などのインフラ整備にともなって発生する建設発生土には、自然由来の重金属等が含まれている場合がある(図1)。土壌汚染の状況の把握、土壌汚染による人の健康被害の防止を目的とした「土壌汚染対策法」では、2010年の改正法の施行によって、自然由来の重金属等による汚染土壌も規制の対象となった。そのため、低コストで環境負荷を抑えた汚染土壌の浄化・対策工法へのニーズが高まっている。

土壌汚染への対策は従来まで工業地帯などが主な対象であり、市街地への対応は遅れていた分野であった。しかし、1990年代前半頃のいわゆる「バブル崩壊」によって発生した工場敷地売却の増加などにより、住宅や商業施設向けの土地についても土壌汚染への関心が高まりだした。そのような背景から、2003年には土壌汚染対策法が施行された。

また、土壌汚染対策法では3000m²以上の土地改変などを規制対象とする要件に定めているが、社会の土壌汚染への関心が高まり、自主的に汚染調査を行う例も増加している(図2)。

さまざまな土壌浄化・対策工法

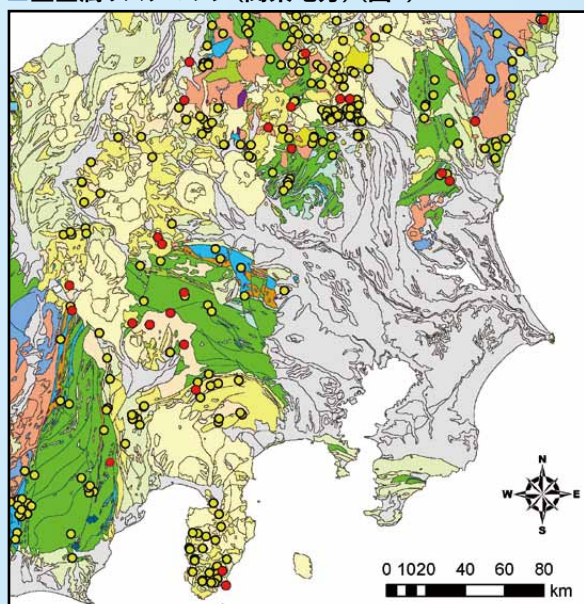
現在、主に行われている汚染土壌の浄化・対策工法として、(1)掘削除去、(2)吸着層設置と不溶化、(3)浄化の3つを紹介する。

1つめの「掘削除去」は対象となる土壌を掘削して搬出し、清浄土で埋め戻す工法である。確実に汚染土壌を除去でき、工期やコストの見積もり精度も高いため、広く行われている工法である。搬出された土壌は、汚染土壌として管理された上で埋め立て処理されたり、汚染物質を除去して浄化されたりする場合がある。

2つめの「吸着層設置と不溶化」には、汚染土壌の下に「吸

特定有害物質と自然由来の重金属等

■ 重金属リスクマップ(関東地方)(図1)



凡例(鉱山)

● ヒ素 ● 銅
■ 水銀 ◆ クロム

一般に自然由来の重金属等のリスクは、鉱山や鉱脈のある地域や、温泉や鉱泉などが存在する地域が高いとされる。また、海成堆積物は海水由来の重金属等を含む場合がある。リスクが低いと評価されている関東平野でも、従来は「清浄土」として使用された盛土などに自然由来の重金属等が含まれているリスクが存在する。

出所:阿南修司ほか「岩石による環境汚染リスクマップ、応用地質、Vol.47(2007)、pp354-359.」に掲載の図の一部を拡大して転載

元図の地質図は100万分の1日本地質図第3版(CD-ROM版)を加工したもの(二次著作物)についての産業技術総合研究所 地質調査総合センター 承認番号 第50062020-A-20170706-001号)

重金属類は自然環境にも存在し、フッ素やホウ素などは生体必須元素としても知られている。

土壤汚染対策法では、第一種(揮発性有機化合物)、第二種(重金属等)、第三種(農薬等/農薬+PCB)の3種類の特定有害物質(25種類)を定めている。第二種の重金属等には、カドミウム、六価クロム、シアン、水銀、セレン、鉛、ヒ素、フッ素、ホウ素およびそれらの化合物が指定されており、このうちシアン以外の8種類が自然由来の重金属等とされている。

健康被害防止の観点からは、人の活動によって生み出された物質と、もともと自然界に存在する物質を区別する理由がないため、これらの自然由来の重金属等についても土壤汚染対策法の規制対象とされた。

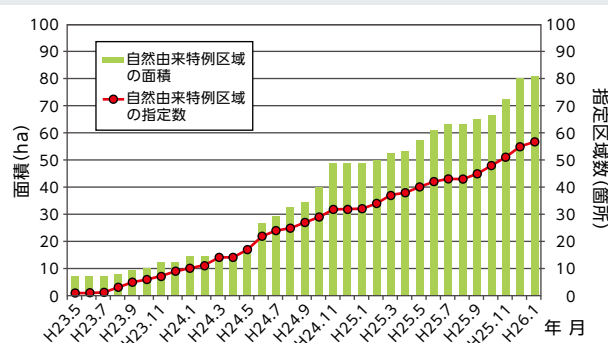
国立研究開発法人 土木研究所の地質・地盤研究グループでは、鉱山の分布と地質図などから、「岩石の環境汚染リスクマップ」を作成し、公開している(阿南修司ほか「岩石による環境汚染リスクマップ、応用地質、Vol.47(2007)、pp354-359.」。同グループの調査結果によると、銅、鉛、亜鉛、カドミウムは全国に分布しており、ヒ素も四国を除くほぼ全国に存在していることが明らかにされている。また、水銀やクロムなど、比較的分布地域が限られている重金属もある。このように、自然由来の重金属等は日本全国に存在し、建設工事などにより水や酸素と接触することで、環境中に溶出する可能性がある。建設発生土の処理や再利用を考える際に、自然由来の重金属等は避けることのできない課題といえる。

着層」を設けることで汚染物質が地下水などに溶出することを防止する工法と、土壤に含まれる汚染物質が溶出ないように薬剤を用いて固定化する「不溶化」などがある。

3つめの「浄化」は汚染土壌から汚染物質などを取り除く工法で、処理後の土壌は清浄土として利用できる。「吸着層設置」「不溶化」「浄化」は、掘削除去された汚染土壌の処理・処分方法としても用いられる。

また、掘削除去は建設現場(オンサイト)でしか行えないが、それ以外の方法は処理施設や処分場で行うこともできる。汚染土壌の搬出や清浄土の搬入には土壤の運搬が必要であり、運搬路周辺への影響や運搬の際のCO₂の排出量増大などの課題がある。そのため、汚染土壌を建設現場やその近傍で処理したり、再利用したりするオンサイト工法への注目が高まっている。

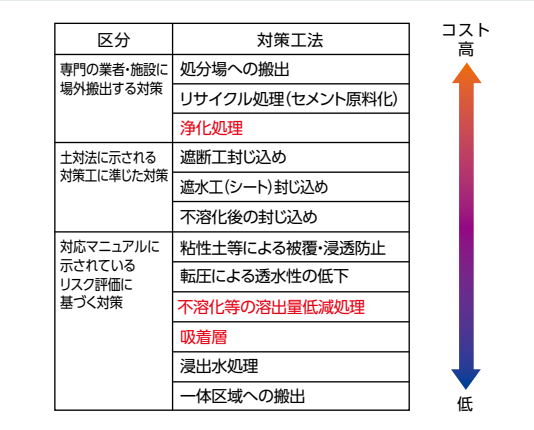
■ 自然由来特例区域の指定数(累計)の推移(図2)



自然由来の重金属等については以前から知られていたが、その多くは鉱山や山岳地帯でのトンネル掘削などで発生する建設残土である「掘削ずり」が対象であった。しかし、市街地の深度10m以浅にも自然由来の重金属等を含む地層が存在したり、過去の埋め立て土や盛土に自然由来の重金属等が含まれていたりする例などがあり、自然由来の重金属等を含む土壌である「自然由来特例区域」の指定数が早いペースで増加している。

環境省の資料を元に作成

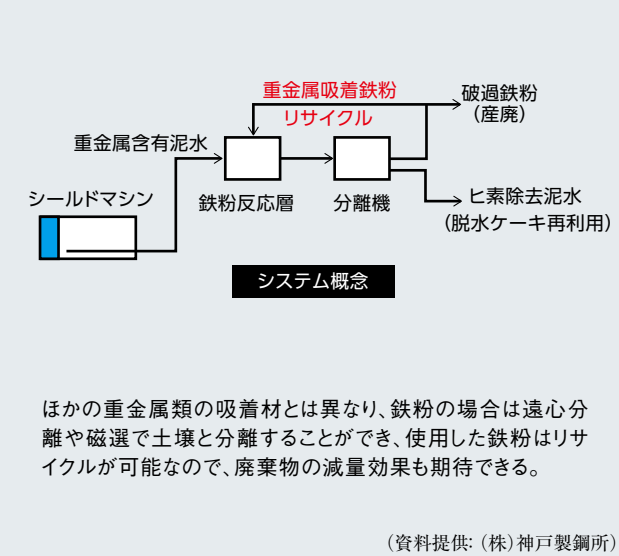
■ 土壌浄化・対策工法のコスト比較 (図3)



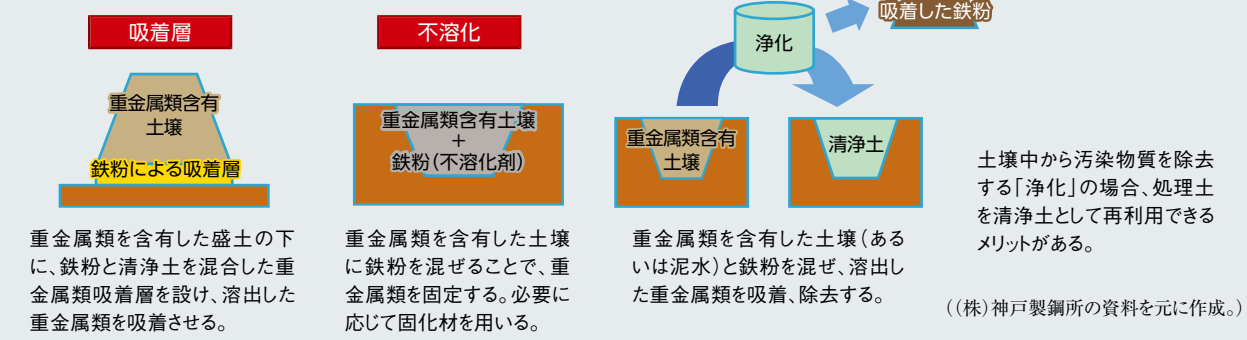
土壌の運搬が生じない現地での処理(オンサイト処理)のニーズが高まっているが、工期などの課題が少なくない。(表中の赤字は、鉄粉を使用できる工法を示す)

(資料提供: (株) 神戸製鋼所)

■ 鉄粉を用いた浄化処理のモデル図 (図5)



■ 鉄粉を用いた工法の代表例 (図4)



鉄粉を利用した土壌汚染対策

例えば、代表的な汚染物質であるヒ素は、国内の天然土壌に多く分布している。土壌中のヒ素を除去する手法として、土壌を高温に加熱してヒ素を気化させる方法などがあるが、コストが高いという問題点がある。また、汚染水からヒ素を除去する場合には固化材を用いる方法があるが、処理水が大量になり、汚泥が発生するという課題がある。そのほか、対象となる汚染物質や工期、コストなどを総合的に判断して、土壌浄化・対策工法が選択される(図3)。そこで注目されているのが、鉄粉を利用した汚染土壌の浄化・対策工法である。

鉄粉には、ヒ素や鉛などの重金属類を吸着させる性質がある。この鉄粉の性質を用いて、「吸着層設置」「不溶化」「浄化」の3つの工法が開発されている(図4)。

「吸着層設置」は、鉄粉を吸着材として用いた吸着層を汚染土壌の下に設けて、雨水などにより土壌から溶出した重金

金属類を吸着させ、固定する工法である。すでに北海道などでの施工例があり、今後の適用拡大が期待されている。

「不溶化」は鉄粉に重金属類を吸着させることで土壌中に固定し、地下水などへの溶出を防ぐ工法である。鉄粉に塩化鉄などを加えることにより、フッ素やホウ素の不溶化も可能になる。

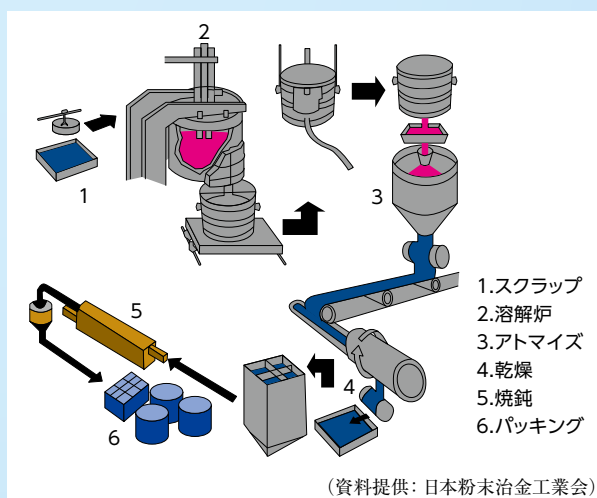
汚染土壌の再利用の範囲を広げるのが鉄粉による「浄化」である。重金属類を吸着した鉄粉を磁力などを用いて土壌と分離することで、土壌を浄化することが可能になる。これはゼオライト系やマグネシウム系、アルミニウム系などの重金属類の吸着材にはない特長である。鉄粉はリサイクルが可能なので、シールド工法で発生する泥水の浄化工法として期待されている(図5)。

また、土壌溶出量基準を数倍程度超過するような比較的低濃度の重金属類汚染土壌の処理方法として、乾式磁力選別処理工法の実用化も進められている。

なお、本稿では触れていないが、第二種特定有害物質のほかにもテトラクロロエチレンやトリクロロエチレン、シス-1,2-ジクロ

鉄粉の製造方法

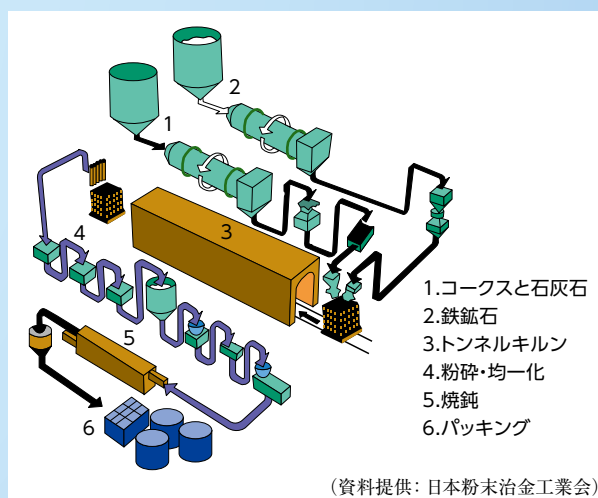
■ 水アトマイズ法による鉄粉の製造工程例 (図7)



代表的な鉄粉の製造方法には、原料にスクラップを用いる「アトマイズ法」と、原料に鉄鉱石、コークス、石灰石を用いる「還元法」の2つがある。

アトマイズ法では、原料のスクラップの組成を制御することで鉄粉成分をコントロールできる利点がある。また、アトマイズ工程では、溶鋼に高圧水ジェットを吹き付けることで、溶鋼を粉末化している。高圧水の圧力などを制御することで、鉄粉の粒径な

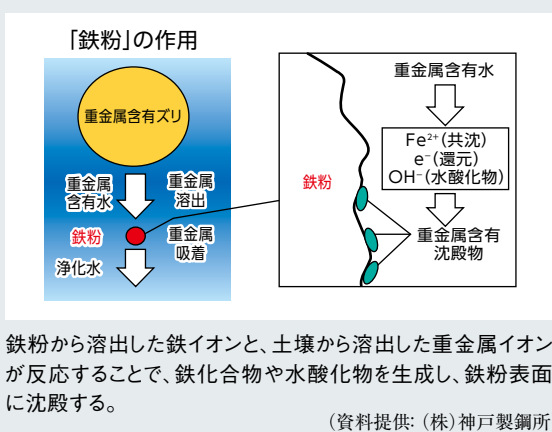
■ 還元法による鉄粉の製造工程例 (図8)



どをコントロールすることができる。アトマイズ工程に水を用いることから「水アトマイズ法」と呼ばれる。

還元法は、鉄鉱石をコークスと石灰石からなる還元剤により還元した後に粉碎して鉄粉を製造する方法で、鉄粉の形状から、製造された鉄粉は「海綿鉄粉」とも呼ばれ、比表面積が大きいという特長がある。

■ 鉄粉が重金属類を吸着する概念図 (図6)



ロエチレンなどの第一種特定有害物質のうちの揮発性有機塩素化合物の分解・除去にも鉄粉が用いられている。

このような土壌汚染浄化・対策に用いられる鉄粉には、さまざまな特性が求められる。「吸着層設置」や「不溶化」などの工法に用いる場合には、長期間安定して重金属類を固定できる安定性や耐久性が必要になる。また、変化する自然環境に対応するため、pHの変化に対する安定性も一度吸着した重金属類の再溶出を防ぐためには重要なポイントになる(図6)。

そのため、土壌汚染対策に適した鉄粉を製造する必要がある、各社が専用の鉄粉を開発している。現在、広く行われている鉄粉の製造方法には、「水アトマイズ法(図7)」と「還元法(図8)」がある。

国土交通省が2012年に行った「建設副産物実態調査」では、建設発生土のうち1億4,079万 m^3 が場外に搬出され、64%が未利用であるとまとめている。天然資源が極めて少ない日本が、持続可能な発展を続けていくためには、3R(リデュース、リユース、リサイクル)の取り組みによる「循環型社会」の構築が必要だが、建設発生土についても同様である。適切な対策や低コストで浄化を行うことができれば、これまで利用されることがなかった建設発生土を、盛土や埋戻し用として再利用できる。

また、汚染土壌に対して、いわゆる“ゼロリスク”のような過剰な対策を求めることは、対策コストを押し上げ、「塩漬け物件(ブラウンフィールド)」と呼ばれる未利用地の増大につながる可能性がある。

低コストでの汚染土壌対策・浄化を可能にする鉄粉の活用が、循環型社会と土地の有効活用の実現に大きく貢献していくものと期待される。