

地盤環境問題の解決に向けた未来設計

The Future Designs towards Solution of Geo-environmental Problems

稲 積 真 哉 (いなづみ しんや)

明石工業高等専門学校

東 原 純 (つかはら じゅん)

中央開発㈱

保 高 徹 生 (やすたか てつお)

㈱産業技術総合研究所

田 中 誠 (たなか まこと)

㈱アイコンズ

成 島 誠 一 (なるしま せいいち)

西部建設㈱

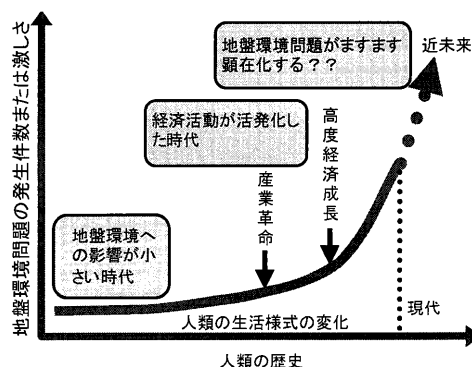
環境とは広義においては人、生物を取り巻く社会や自然などの外的な事象の総体であるが、狭義においてはその中でも人類を中心とする生物に対して、何らかの影響を与えるものを指す場合が一般的である。

「21世紀の新しい地盤環境問題の解決方策に関する研究委員会」(以降は本委員会と称する)では、「人類を含む生物が生存する場としての、地圏・水圏・気圏は、地盤を要とする物質循環により強く関係している」という観点から、「地盤に関わる環境問題」(以降は地盤環境問題と称する)の解決に向けた方針を「未来設計図」としてまとめる必要があると考えた。具体的には、土壌と地下水の汚染に関する調査・評価・対策手法、並びに廃棄物のより適切な処理手法を中心に考察し、数10年後の近未来における地盤環境問題を想定し、それらを予防措置的な解決に向けた方策及び理念等を検討した。

1. 地盤環境問題と人類のかかわり

かつて人類にとっての環境は、自身をとりまく自然界そのものであった。自然界は、人類にとって快適に生活できる環境とはいえない時代が長く続き、人類はこれに適応するために文化を創り出した。しかし、皮肉にもこの文化の創生が、多種多様な環境問題に直面することになった。換言すれば、文化の進化に伴って、人類の経済産業活動が活発になり、生活様式も変化して複雑化することにより、大量の物質を加工し移動させる活動(物質の消費活動)が盛んになり、自然界に与える環境インパクトが強くなり、その反動としての地盤環境問題に苦慮することになった。地盤環境問題も例外ではなく、その特性も徐々に強烈かつ複雑化してきた。産業革命がなされた18～19世紀や第二次世界大戦後における経済産業活動が活発化した時期は、地盤環境問題が特に顕在化した。図一1に人類の歴史(人類の生活様式の変化)が進むにつれて、地盤環境問題の発生件数や激しさの度合いが増加するイメージを示す。

人類が直面する地盤環境問題の発生要因を考える際には、「人工物質」と「廃棄物」が重要なキーワードとなる。人工物質は、文化の進化とともに発達した技術と、よ



人類の歴史と環境問題の関係のイメージ

図一1 地盤環境問題と人類のかかわり

り豊かで快適と考えられる社会を構築したいという意欲により、多種多様な人工物質が絶え間なく生成された。これらの人工物質の一部は、人類に大きな恩恵をもたらした半面、人類にとって不都合な特性が見過されたことにより、地盤環境内への漏洩が発生した場合や、不適切な処分がなされた時には、「汚染物質」と呼ばれるようになり、地盤汚染問題を生み出す要因となってしまった。現在も新しい人工物質は次々と生成され、その種類と量が増加している。人類への恩恵が増えるものの、生活環境に大きな悪影響を及ぼす可能性が増していると推定される。

廃棄物は、人類が自己の都合により地球上の物質に対して「要」と「不要」を規定することから発生した。近代以前は、廃棄物の発生量と種類が現代に比べて圧倒的に少なく、生活様式も単純でリサイクルが容易に行える無駄が少ない社会であった。例えば、江戸時代の都市部では、生ごみ・糞尿は肥料として、木材は燃料として、紙や布はリサイクルされ、裏長屋のごみ箱には、茶碗の欠片くらいしか捨てられていなかったとも言われている。しかし、生活様式の進化に伴って、廃棄物の排出量と種類が大きく変化し、適切な処分を行うためには費用と労力をかけなくてはならなくなるとともに、不法投棄の発生等により地盤環境問題としても徐々に顕在化した。

人類の歴史において、地盤環境問題が特に顕在化した

時期は、図-1に示すように二つある。一つは経済産業活動が急激に活発になった18世紀半ばから19世紀にかけての産業革命がなされた時期である。もう一つは第二次大戦後の高度経済成長期である。このような時期では、大気汚染・土壌汚染・地下水汚染による公害が頻発し、大きな社会問題となった。日本国内におけるこのような地盤環境問題の解決に向けた活動としては、法的な規制の逐次整備や地盤及び地下水等の汚染状況を調査・評価し対策工法を検討することや、廃棄物の発生から循環的な利用及び処分を進める施策が進められている。今後はさらに社会情勢が変化すると考えられ、地盤環境問題の発生件数が増加し、その影響が激しくなることが懸念される。

2. 現代の地盤環境問題

現代の地盤環境問題は、地球規模の問題から比較的身近な問題まで、多様なものがある。地盤工学会では、比較的早期から調査研究に取り組んできた。ここでは、1960年代半ばの高度経済成長期以降における代表的な地盤環境問題として、土壌・地下水汚染及び廃棄物処理に着目し、その概要を記述する。

2.1 土壌・地下水汚染

高度経済成長期以降に土壌・地下水汚染が顕在化した。地盤汚染の原因としては、事業所等からの漏洩及び農地での施肥がある。前者は、市街地等における汚染が顕著で、鉛・ふっ素・砒素がある。市街地等の土壌汚染に係る土壌汚染対策法（平成14年法律第53号）等に基づく調査及び対策が進められた。後者は、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素が主な汚染物質であり、農用地の土壌汚染防止等に関する法律（昭和45年法律第139号）で調査及び対策が進められた。現在でも、汚染物質として規定される物質が増加し、法的な規制は状況に合わせて漸次変更されている。

平成23年度の地下水の概況調査結果では、調査対象とした井戸の約5%に環境基準を調査する汚染物質が確認されている。施肥・家畜排泄物・生活排水等が原因と見られる硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素の環境基準超過率が3.6%と最も高く、緊急の対策課題となっている。また、汚染源が主に事業所であるトリクロロエチレン等の揮発性有機化合物等の汚染に関する対策も課題となっている。地下水汚染も土壌汚染と同様に法規制及び試験法の改善が漸次行われている。

また、土壌・地下水汚染の規制の考え方及び汚染の評価手法に関する問題点も指摘されている。地盤中に漏洩した汚染物質の多くは、地下水の流れにより移動し、汚染地域を拡大することが多いため、地下水による汚染の拡散に関する解析技術の開発や、汚染に関する試験法の改善も研究されている。地盤工学会としての提案も多くなされている。本委員会でも、カラム通水試験の基準化に向けた研究がなされた。

今後は、土壌地下水汚染に関する環境影響評価技術の精度向上とともに、土壌・地下水汚染を浄化することが

求められる。浄化対策としては、汚染源を封じ込める工法と汚染そのものを浄化する方法が開発され、多くの対策工事が実施されている¹⁾。

2.2 廃棄物処理

廃棄物は、戦後の高度経済成長期以降に、発生量が増加し種類も多様化した。廃棄物の適切な処理とリサイクル対策を中心として循環型社会の形成に向けた取り組みがなされている。廃棄物の発生状況及びその性状を調査し、循環的な利用から適切な処分方法に関する工法の調査・研究が行われている。

我が国の廃棄物処理は、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」に基づいて実施され、より生活環境に影響を与える可能性がある廃棄物の減量化及びリサイクルに関する取り組みが積極的に行われている。しかし、最終処分が必要な廃棄物は必ず発生する。最終処分場の確保は重要な課題であり、周辺環境を保全しながら、処分場を維持管理する方策及びより効果的な処分場跡地の利用を促進する取り組みがなされている^{2)~4)}。

2.3 災害に関連する環境問題

地震災害及び豪雨災害等により発生する瓦礫及び土砂等の災害廃棄物の処理は、被災者の生活環境を悪化させるだけでなく災害復旧においても大きな障害となる。特に、東日本大震災のような大規模な災害では、広域的な観点から行政が財政措置等をもって主導する廃棄物処理が求められている。災害廃棄物の土質材料としての再生利用に関して本委員会で研究を行い、地盤工学会としても積極的に取り組んでいる。また、放射性物質処理の問題は、処分方法、処分場の確保、地域住民との合意形成等が大きな課題となっている。

3. 将来発生すると予想される地盤環境問題

地盤環境問題の過去から現状を顧みて、現代から数10年先までの近未来に発生すると予想される地盤環境問題の特性を、既往の調査・研究成果及び社会情勢に基づいて予想した。

3.1 生活様式の変化に起因する地盤環境問題

人類の生活様式は、今後ますます複雑化し、人類が活用・消費する物質の種類と量が増加するとともに、活用形態も複雑化すると予想される。人類の生活圏を循環移動する物質を管理することがより困難になる可能性が高い。特に、新しく生成された物質が、人類の管理下から離れ、地盤環境内に漏洩すると新たな地盤環境問題を発生させる可能性がある。汚染地盤及び汚染地下水を対象とする調査手法及び対策工は、絶対的かつ汎用的なものは現時点では開発されておらず、汚染毎に個別に対応する手法が主体である。新しく発生する地盤環境問題の内容に応じて、逐次調査手法及び対策手法を検討する必要がある。

3.2 新物質の生成に起因する地盤環境問題

新しい化学物質は、日々生成されている。大量に生成され人類の身近なところに登場する物質は極わずかであるが、人類の生活に大いに役立っている。これらの新し

報 告

い物質の利点は良く認識されているが、まれに人類に不利益をもたらす性状が確認されているとは限らない。仮に、物資が人類の管理下から漏洩した場合は、未知の地盤環境問題を発生させる可能性がある。

3.3 廃棄物処理手法の変化に起因する地盤環境問題

廃棄物の発生量・種類及びリサイクル手法が、近未来において変化することは予想に難くない。これに伴い、廃棄物の中間処理と最終処分技術も変化すると考えられる。特に、最終処分場の形態を適切なものにすることが求められるが、周辺環境の保全対策においても未知の地盤環境問題が発生する可能性がある。

3.4 地球規模の環境問題

人類の活動が活発になると、環境的なインパクトが広域かつ強烈になる。日本周辺では、PM2.5に代表される大気汚染、漂流ごみ等が現状においても重要な環境問題として認識される。日本のような国境線を持たない島国であっても、国際間の環境汚染等の拡大が、地盤環境問題を発生させる可能性がある。

4. 環境問題の解決に向けた取り組み（地盤環境リスクと環境負荷の評価）

環境リスク評価は、環境汚染による人への健康影響の程度を評価・予測する手法である。地盤汚染は、暴露経路が限定されていること、汚染物質の移動速度が遅い等の特徴があるため、環境リスク評価の概念を適用することで、環境リスクを許容できるレベル以下に保ちつつ、積極的な措置をする範囲を限定的にすることが可能となり、結果として社会コストの低減が図れる。一方、汚染物質が残存することから、その適用においては、ステークホルダーにおける社会受容性、長期的な管理方法の構築や情報記録の保管等の課題が出ており、包括的なフレームワークの構築が望まれる。

また、最近では、図-3に示すように従来型のコスト/基準値/技術ベースのアプローチやリスクベースのアプローチから、持続可能性を考慮したサステナブルアプローチと言った概念への取り組みが、欧米を中心に進んでいる^{5),6)}。サステナブルアプローチとは、Green remediation（環境浄化事業における浄化過程）で発生する外部環境負荷の最小化や図-2に示す Sustainable remediation（持続可能な土壌汚染対策）という外部環境負荷だけでなく経済性や社会性を含めて最適化を図る考え方である。

このように、地盤汚染の存在自体を悪とみなすのではなく、地盤汚染の環境リスクを評価し、他要因も含めた評価をした上で、合理的な措置の推進が今後求められてくると考える。

5. 近未来の地盤環境問題の解決に向けて

近未来の地盤環境問題を解決するには、既往の調査・研究結果を整理・分析し、さらに社会情勢の分析や多くの分野の知見に基づいて発生する可能性がある諸地盤環境問題を想定し、それを予防措置的な発想を持って多様

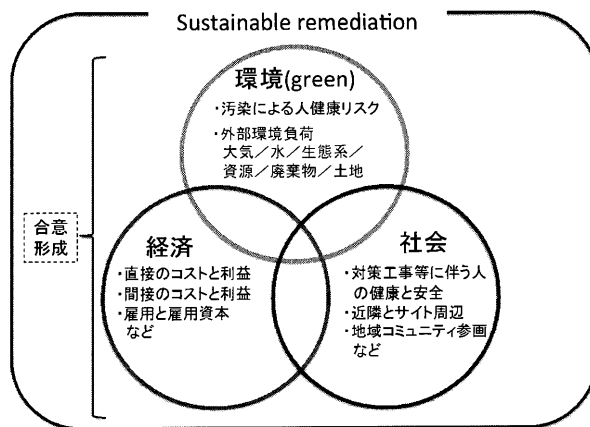


図-2 Sustainable remediation の概念⁷⁾

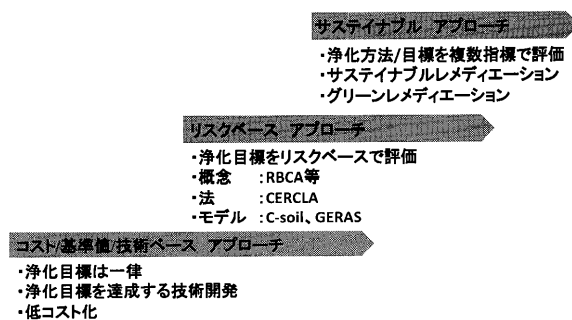


図-3 地盤汚染対策に関する概念の変遷⁷⁾

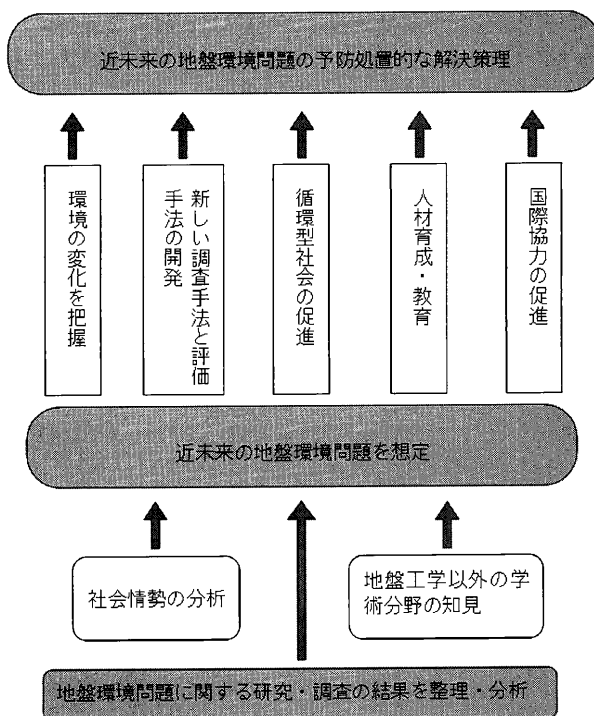


図-4 地盤環境問題の解決に向けた近未来設計

な観点对策を考えることが重要である。本委員会では、以下に記述する5項目の活動を通じて近未来における地盤環境問題の解決策を検討した（図-4 参照）。

5.1 環境の変化に適応した対策

常に変化する環境に適応しつつ、地盤環境への影響を可能な限り「正の影響」として、経済発展等を図りながら、社会環境を変化（向上）させていく必要がある。ま

た、人類の社会活動の方針を決定する際に、環境に与える影響の内容やその程度だけでなく、与えた影響により、反作用的に人類が被る地盤環境問題の予測内容を組込むことにより、技術的な活動と環境保全の調和を図る必要がある。特に、地盤環境学に携わる者は、既往の知見に基づいて、生活的・経済的・政治的意識を見通し、地盤環境だけでなく、人類を含めた生態系の保全をも含めた提言を行うよう務めることが求められる。

5.2 土壌地下水汚染の新しい調査・評価手法の開発

土壌や岩石からなる地質媒体における物質移動及び物質循環について、室内実験・現位置試験・フィールド調査・解析・評価手法を進化させ確立する必要がある。特に、調査手法の基準化への取り組みを一層進める必要がある。この場合、関連学術分野への適用等を勘案して、広い視点から議論する必要がある。また、環境影響評価技術及び環境リスク評価技術の一層の向上も進めなくてはならない。

5.3 循環型社会の推進

未来に向けて、廃棄物の削減とリサイクルをより効率的かつ効果的に行うとともに、資源やエネルギー（特に化石燃料）の使用を削減し、持続可能な循環型社会を構築する必要があることは言うまでもない。このためには、廃棄物の発生源から最終処分まで、その流れをトレースしてデータベース化する必要がある。どのような廃棄物が中間処理を経てどのようにリサイクルされ、最終処分されるかの経路を明確にする社会システムの構築が必要である。また、地盤工学の観点から、リサイクル材の性能保全・評価・安定供給に関する技術的な提言を行うことが望まれる。

5.4 人材育成と教育

近未来の環境問題を解決するためには、地盤環境工学に携わる技術者の育成が不可欠である。また、一般社会に対する環境教育・環境学習・環境教育等による環境保全意識の向上を図ることは重要である。地盤工学会としても積極的に活動すべきことである。

また、環境問題を解決するための必要な活動に関する産官学が共同した広報活動も望まれる。多くの人々を対象に、地盤環境問題の見える化を図り、社会全般にわたる問題解決意識の共有を進めることが必要である。地盤工学は、工学・農学・理学との多様な連携を図るとともに、各学術的領域の中間的領域をカバーするとともに繋ぎ役を担うことも望まれる。

5.5 国際的な環境問題の解決

環境問題は、世界規模の広がりを見せており、その解決を考える場合には、国内はもとより海外との研究活動

及び対策の連携が必要である。単純な国際協力ではなく、政策対話を進めて全地球的な環境対策の取り組みが望まれる。

また、地球規模のモニタリングとして、人工衛星を用いたリモートセンシング及び海洋環境モニタリング手法等の開発も必要である。

過去において、産業活動が活発化する時期に環境問題が顕在化している。現在は、発展途上国の経済発展が進み産業が活発化しており、環境問題が発生しつつある。過去の知見に基づいて、環境問題を抑制する対策を発信し、発展途上国の環境保全活動の活発化を促進するとともに、経済的先進国の支援を求める必要がある。

6. ま と め

過去と現在における地盤環境問題について検討すると、人類が活動した結果、自然環境をわずかに変化させたことが主な原因であると言える。地下水や土壌の汚染問題が典型的な事例である。これに対し、人類は対症療法的な対策を逐次講じて来た。今後は、数10年程度先の近未来において発生する可能性がある地盤環境問題を、多様な知見に基づいて想定し、予防措置的な対策を講じる必要がある。本委員会では、社会情勢を分析するとともに、地盤工学以外の学術分野と連携して、近未来の地盤環境問題を想定する必要があると考えた。そして、「環境変化の把握」・「新しい調査・評価手法の開発」・「循環型社会の促進」・「人材育成と教育」・「国際協力の促進」といったプロセスを通じて解決策を検討することを「未来設計図」として提案した。

参 考 文 献

- 1) 環境省：平成25年度版環境白書
- 2) 建設副産物リサイクル広報推進会議：建設リサイクルハンドブック，2008。
- 3) 鈷土木研究所：建設発生土利用技術マニュアル(第3版)，2004。
- 4) 鈷土木研究センター：発生土利用技術促進のための地盤改良マニュアル，1997。
- 5) USEPA, Green Remediation: Incorporating Sustainable Environmental Practices into Remediation of Contaminated Sites, 2008.
- 6) D. E. Ellis, P. W. Hadley: Sustainable Remediation White Paper-Integrating Sustainable Principles, Practices, and Metrics Into Remediation Projects, John Wiley, 2009.
- 7) 引用：保高徹生：低環境負荷型の土壌汚染対策を考える，第30回 土壌汚染対策普及啓発セミナー講演資料，2014。

(原稿受理 2014.8.1)