

# 持続可能な都市環境創生に向けた環境地盤工学の役割と展望

Role and Perspective of Environmental Geotechnics for Sustainable Urban Environment

小 峯 秀 雄 (こみね ひでお)

茨城大学助教授 工学部都市システム工学科

## 1. はじめに

地盤工学は、主に土木・建築分野、農業分野において重要な学問分野とされてきた。高度経済成長期には、社会基盤施設や生活圏に係わる構造物の建設と、大地震からのこれらの構造物の防護や砂防ダム建設に代表される地すべり・土石流等の自然災害対策などに多大な貢献をしてきた分野である。

地盤工学が大きく貢献した学問分野の一つに土木工学がある。一般大衆は、「土木」と言う言葉から「建設」をイメージする人が多いと思う。大学や高等専門学校における学科の名称においても、今まで「土木工学科」から「建設」という言葉を活用した学科名に変更することが多かった。確かに土木と言う用語は建設の主材料である「土」と「木」から成っている。しかし、この「土」と「木」は、人間の周辺環境、地球そのものを構成している材料でもある。その意味において今日の土木工学は建設に伴うプロジェクトのみならず、人類を取り巻く都市環境問題や地球規模の環境問題にも、大きく貢献している学問へと進化している。地盤工学は、その内「土」を直接取り扱う学問であり、そこでは人間の高度成長に貢献する材料としての「土」や人間の生活基盤となる環境としての「土」という視点から、科学的・技術的な研究が進められている(図-1参照)。

本総説では、持続可能な都市環境の創生において大きな問題として立ち上がるであろう廃棄物問題を例として取り上げ、問題解決のための地盤工学、特に環境地盤工学分野の役割と展望について論じる。

## 2. 持続可能工学

本章では、本総説の重要なキーワードである「持続可能」について述べる。「持続可能」は既に周知の用語となっている。人文学等も含むほとんどの学問分野で用いられている。しかし、その実態はどのようなものなのだろうか。

工学の一翼を担う著者は、「持続可能」という概念から、そのポリシーに基づく具体的な対策、行動に移る段階に来ていると考えている。すなわち、現時点で考えられる課題に対して、「持続可能」の概念に立脚したプロジェクトを企画し実施していく活動が求められており、これを「持続可能工学」という学問として確立していきたい。

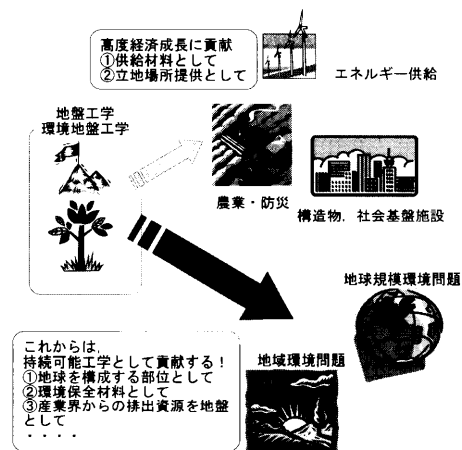


図-1 持続可能工学としての環境地盤工学の貢献

高度成長期の頃は、日本の経済発展という視点のみから技術開発が行われてきた。地盤工学も、日本の経済発展に寄与するべく、新幹線軌道基礎地盤や大ダム・原子力発電の立地技術、超高層ビル等に適用できる重量構造物用杭基礎工法等に多大な貢献をしてきた。

一方、その“つけ”とも言うべき環境問題が、現在、社会問題となってきている。新幹線の高規格化に伴う振動環境問題、原子力発電等から排出される放射性廃棄物の処分問題、人間生活の高度化に伴い排出量が増大した廃棄物や温暖化ガスの問題などが、その例である。これからの地盤工学は、このような種々の環境問題に対し大きな貢献をする使命があり、実際、そのような観点から、いくつかのプロジェクトも立ち上げられ進められている。そこで本総説では、特に「持続可能工学」という観点から俯瞰した環境地盤工学の役割、貢献、今後の展開について論じる。

## 3. 持続可能な排出資源(廃棄物)の有効利用への環境地盤工学の使命

一般家庭や産業界から、膨大な廃棄物が排出されていることは周知の事実である。地盤工学分野や土木工学分野では建設事業等で排出される廃棄物を有効に利用しようという意識がかなり定着している。しかも、自産業界で排出される廃棄物を有効利用するだけに留まらず、他の産業界から排出される廃棄物も積極的に受け入れ利用しているという事実を、特に強調しておきたい。例えば、石炭火力発電により排出される石炭灰をはじめ、古タイヤ、廃発泡スチロール、伐採植物などが、その例である。

## 総 説

このような異分野からの廃棄物の積極的受け入れ・有効利用は、「もしこれを実施しなければ廃棄物処分場はパンクし社会システムの崩壊を招きかねない」という視点からであり、この点を地盤工学分野や土木工学分野の高度な社会構造構築への貢献と強く自負するべきであると考える。この点については、参考文献1)の報告に詳細に記述されている。

しかし、廃棄物の有効利用がうまく稼働していない状況も依然として存在している。その原因の一つに、材料工学の研究者・技術者が得意としない“物資の流通”の問題がある。また、1回限りの有効利用を前提とした技術開発である場合も少なくなく、有効利用してしまったがゆえに、かえって環境への負荷を増大させてしまう場合も少なからずあるように思う。このように、シナリオを設定した上での技術開発でないがゆえに、実社会において、利用しにくい技術と認識されてしまい有効利用につながらないこともしばしばある。この点に関して環境地盤工学分野の研究者らは、ここ数年間、地盤工学研究発表会や種々の環境地盤工学関連のシンポジウムにおいて、パネルディスカッション等を通じて議論を続けてきた。著者は、これらのパネルディスカッションのいくつかをコーディネートする機会に恵まれ、多くの研究者・技術者の考えを知ることができ、自分なりのアイデアを持つことができた。

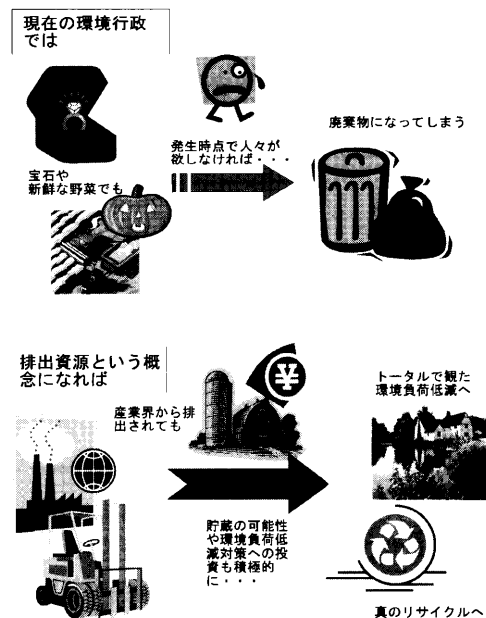
そこで本章では、廃棄物問題の解決においていくつかの隘路となっているであろう問題点と、それを解消することを目指した著者のアイデアを述べる。

### 3.1 廃棄物ではなく、“排出資源”と呼びたい

大学の担当科目において、廃棄物処分場のテーマを話すときがある。学生諸君に「廃棄物は汚染され、汚いものだと思う人は手を挙げてください」と問いかける。毎年、このような問いかけをしているのだが、毎回80%程度の学生が手を挙げる。すなわち「廃棄物=汚染物」という公式が、ほとんどの人の認識ということである。

しかし、最高裁の総合判断説<sup>2)</sup>では「廃棄物とは、占有者が自ら利用し、または他人に有償で売却することができないために不要になったもの」と解釈され、広辞苑第五版でも「不要として廃棄されるもの」と説明されている。どこにも“汚い”とか“汚染されたもの”という文言は出てこない。それにもかかわらず、一般的な認識は先に述べたとおりである。おそらく、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」において、「ゴミ、粗大ゴミ、燃えがら、汚泥、ふん尿、廃油、廃酸、廃アルカリ、動物の死体、その他の汚物または不要物であって、固形状または液状のもの」と定義されているところから、多くの人の廃棄物のイメージとして上記のものが固定化され、先のような結果になるものと思われる。

環境省の通知にある解釈からすれば、“発生時点”において、「誰も必要としないダイヤモンド」や、「誰も食べたがらない新鮮なウニ」というものがあれば、その貴重さ、新鮮さにかかわらず、これらも廃棄物になるのである。廃棄物に関する行政では“貯蔵する”という概念



図—2 廃棄物から排出資源へ

が存在しないため、発生時点において、そのものの価値を評価しなければならない。例えば、6ヵ月後、1年後に発生していれば利用できる建設工事があるのに、発生時点では、まだ建設がその段階にないというだけで、発生物は廃棄物となり、廃棄物処分場送りになってしまうということもある。すなわち、同一の性質を有した物質でも、発生のタイミングによっては廃棄物になってしまうことに問題点を感じざるを得ない(図—2参照)。

上記のような様々な場面に鑑みて、まず第一に“廃棄物”という名称の持つイメージを払拭することが重要と考えられる。そこで“排出資源”と改名したい。一般的に、廃棄すると考える以前に「もったいない。何かに使えないだろうか」と考えることが、環境に配慮した思考であると思う。その時点では、廃棄物ではなく“排出資源”なのである。このような思考を社会全般に浸透させることが、排出資源有効利用の視点からの持続可能社会の構築につながるものと考えられる。先に述べたように“廃棄物を貯蔵する”という概念は許容されないが、“排出資源の貯蔵”という概念は十分受容性のあるものと考えられる。もちろん、野積みしているだけの古タイヤを“貯蔵している”と主張する業者が存在する現状においては、単に名称を変更するだけではなく、排出資源の貯蔵方法に関する規制や貯蔵技術への投資が必要となる。何の価値も無い廃棄物から“排出資源”という付加価値を持った物質になれば、それ相当の規制に応じた適切な貯蔵に関する投資も有効と考えられるようになるものと予想される(図—2参照)。なお当然のことだが、適切な貯蔵や環境基準を満足するための対策に多額の費用が必要となってしまい、廃棄する方が現実的な場合には、排出資源もその時点で廃棄物となるのである。

### 3.2 シナリオ・システムの必要性と世代交代

近年では環境負荷低減をスローガンとして、廃棄物を資源と考え有効利用が進められる事例が多くなってきて

いるが、有効利用時点での形態について検討するに留まっている。有効利用後の排出資源がどのような履歴をたどっていくかについては議論されていない。有効利用したはずの排出資源が朽ち果て、ついには次の世代における廃棄物になることが時としてある。環境負荷低減の本当の意味において、排出資源の有効利用とは、その世代交代を念頭においた利用形態でなければならない。したがって、その場しのぎ的な有効利用の状態から脱却するためには、対象とする排出資源の行く末までも念頭においた有効利用シナリオの構築が急務であると考えられる。それは基本的に、世代交代が可能であるシナリオが望ましいと考えられる。図-3には、廃棄物の排出、すなわち排出資源の産出がなされた後、たどるであろう有効利用や処分の過程をシナリオフローとして組み立てたものを示す。この図はあくまでも著者の作成したものであり、現実とはかけ離れていることも考えられるが、この図のメッセージは、第一有効利用世代、第二有効利用世代……と世代交代を考慮した有効利用シナリオである点にある。

世代交代は、単に一業界（例えば建設業）に留まることなく、多くの業界・分野に展開することにより、“進化”とも言えるリサイクルシナリオ・システムの構築が可能となる。これにより、究極的には、廃棄物の発生しない（waste-less）経済社会の構築を目指すことができ、本当の意味での持続可能社会の構築に寄与できるものとする。また、上記のような世代交代が可能であるシナリオ・システムを構築するためには、人間活動の行為そのものも、そのシナリオ・システムに組み込んで考える必要がある。すなわち、排出される資源の行く末を考慮した“人間活動の創造”である。

以上のような考えから、人間社会全体を見据え、業界や分野を横断した世代交代リサイクルシナリオ・システムの構築を新しい研究課題として、環境地盤工学の視点から何をすべきか、何ができるか、を考えた研究展開が求められていると考える。

ここで重要な視点がある。すなわち、物事を決定論的に進めてきた組織は、シナリオとして一つのメニューに絞り込もうとする傾向になる。著者は、ここに大衆の理解が得られない原因があるように思う。事業者は、明快に一つのシナリオに絞り込んで住民に説明した方が理解されやすいと考えているようだが、実はここに落とし穴がある。最終的なシナリオの決定は、住民との合意の下で行われなければうまくいかないのが実際であろう。すなわち、事業者は、想定されるシナリオをすべて明確に示すことが使命なのではないだろうか。

### 3.3 排出資源・有効利用センター構想

前節までに、廃棄物問題に関する日頃の自分の考えや、今まで環境地盤工学に関連するパネルディスカッションのいくつかを運営した経験から感じてきたことを述べてきたが、この節においては具体的な提案をしたい。廃棄物問題だけでなく地球規模の環境問題に関しても、単にボランティア的な精神に頼り続けることは、プロジェクトの破綻につながると考える。最近の若者たちの環境に

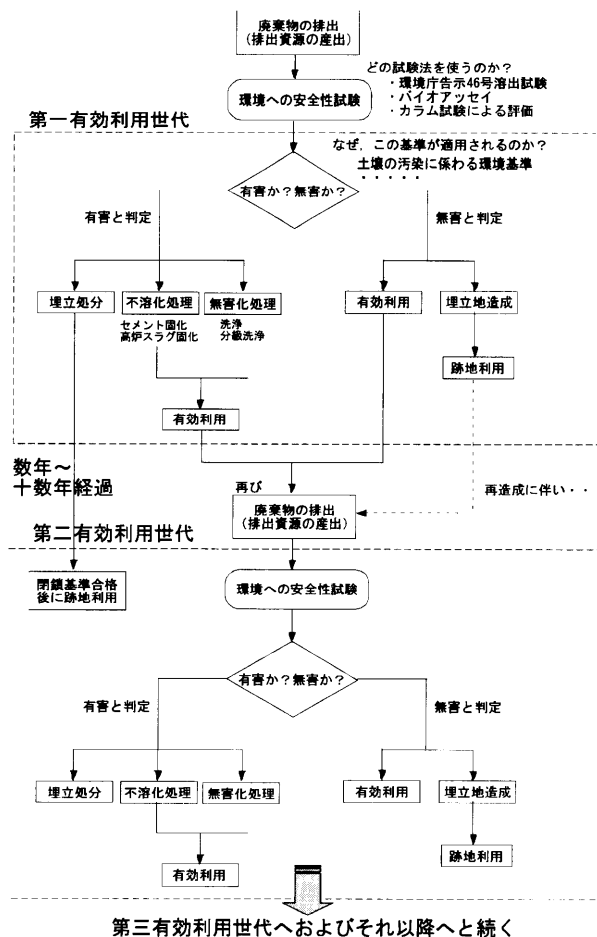


図-3 排出資源の世代交代を考慮した有効利用シナリオフローの例

対する意識の高さは目を見張るものがあるが、この意識を高く維持してもらうための方法論にも持続可能であるか否かの思考が必要である。

著者の電力事業における廃棄物問題に取り組んだ際の経験から次のように考える。すなわち、廃棄物問題に取り組み始める段階では、“環境を守る”という高い使命感とやりがいを持つことは十分可能であるが、これを維持し続けるということは至難の業である。やはり、ビジネスとして成立する事業でなければ、プロジェクトの成功はないと考える。人間は、高い理想のみや単なる慈善事業としてだけでは、持続可能な活動はできないのではないだろうか。

そこで、排出資源の有効利用を図るため、図-4に示すように排出資源・有効利用センター構想を提案したい。

排出資源・廃棄物問題の課題を大別すると、以下の4項目に分類できる。すなわち、

- 1) いかに環境負荷を評価し低減するか<sup>3)~7)</sup>。(環境影響評価, 環境負荷低減技術)
- 2) どのような有効利用が可能か<sup>8),9)</sup>。(材料工学的技術, 環境工学的技術)
- 3) どこで発生し、どこで材料を欲しがっているか。(IT 通信技術, 流通工学的技術)
- 4) 住民・国民の正しい認識の欠如と理解不足。(社会工学的技術, 説明工学)

## 総 説

現在、これらの課題解決策が、各学会のセクショナリズムなどにより別々に議論され進められ、また、お互いに専門が違うという理由から情報交換をし合わない点に問題がある。この構想は、これらを合わせ、まさに排出資源・廃棄物問題を有効に持続可能工学的に解決するためのシンボリックなセンターを設けるものである。

### 3.4 排出資源の環境負荷低減技術研究の事例

図-4 に示した構想のうち、排出資源が環境基準を満足しない場合、環境負荷を低減するための技術が必要とされる場合があるであろう。今まで、地盤工学では排出資源の有効利用を念頭に置いた研究展開が主流であり、排出資源自体が環境基準を満足しない場合のことを考えて展開している研究は比較的少ないように思う。

著者の研究グループ、すなわち茨城大学工学部都市システム工学科防災・環境地盤工学研究室では、このような観点に立って、排出資源の環境負荷低減技術の開発を行っている。ここではその研究事例として紹介する。

著者の研究グループは、電気事業からの排出資源（廃棄物）である石炭灰を対象に、その環境負荷低減技術として、超音波、温水および炭酸ガスを有効利用した洗浄技術の開発を進めている<sup>3),4),6),7)</sup>。石炭灰中には、微量ではあるが六価クロムやホウ素など、人の健康に影響を及ぼす物質が含まれており、「土壌の汚染に係わる環境基準」（以下、土壌環境基準と記述する）を超えるものもある<sup>10)</sup>。これらの有害物質は石炭灰の有効利用素材としての価値を低下させる要因となっている。

伊藤ら<sup>3),4)</sup>は、石炭灰の六価クロム・ホウ素の除去に、洗浄液のpH環境がアルカリ性から中性へと変化した場合に各溶出濃度が減少していく実験事実を明らかにし、南野ら<sup>6),7)</sup>はこの実験事実に着目して、炭酸ガスを有効利用した石炭灰の洗浄効果技術に関する基礎実験を行った。写真-1 に参考文献3),4),6),7) で行われた実験の概要を示す。図-5 には回転振とうを併用した炭酸ガスによる石炭灰洗浄実験の結果の一例を示す。図-5 (a)中の縦軸0.05および図-5 (b)中の縦軸1.0の位置に描かれている直線は、それぞれ六価クロムおよびホウ素の土壌環境基準値を示している。図-5 (a)に示すように、4種類の石炭灰において六価クロムの溶出量を土壌環境基準値以下に低下することができた。洗浄2回目で石炭灰B以外の石炭灰の六価クロム溶出量は土壌環境基準値以下となり、その後溶出量が増加することもなかった。さらに、洗浄3回目で石炭灰Bにおいても土壌環境基準値以下に低減でき、すべての石炭灰が土壌環境基準を満足した。

図-5 (b)より石炭灰Aは3回目、石炭灰Cにおいては洗浄1回目でホウ素の溶出濃度を土壌環境基準値以下に低減できた。石炭灰B, Dにおいて5回の繰返し洗浄では土壌環境基準値以下まで低減できなかったが、石炭灰Bでは土壌環境基準値の2.3倍、石炭灰Dでは1.1倍にまで低減でき、その有効性は確認された。

以上の方法が実用的な成果へと発展すれば、地球温暖化現象の原因物質の一つである炭酸ガスの有効利用方法

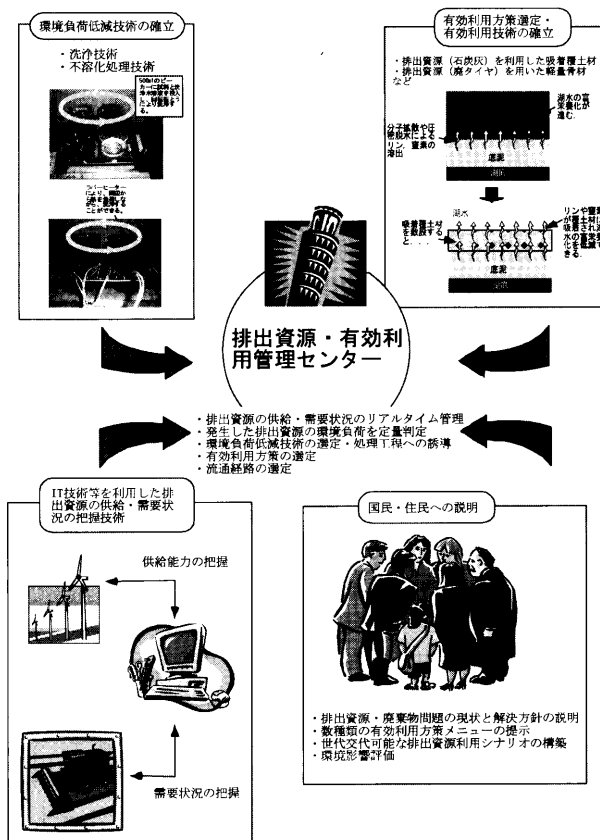


図-4 排出資源・有効利用管理センター構想のイメージ図

の一つとして提案できることにもなる。

## 4. まとめ：持続發展的な都市環境へつなぐ環境地盤工学の展開

本総説では、著者のアイデアというよりも、自分勝手な思想を述べたにすぎないではないかという批判もあることと思う。そのことも予想しつつ、あえてこのような内容としたのは、思想なき技術に未来はないという思いからである。問題に直面し、近視眼的な問題解決をしても、数年後には、かえって問題を大きくしてしまうことも考えられる。もちろん、事前に考えていても結果的に同じ結末になることもあるであろう。しかし、近視眼的ではなく、先々のことも考えて行動することが重要であるという思いからである。読者には、著者の意図することをおおよそご理解いただけたと期待する。

現在、多くの持続可能工学的プロジェクトが進められているが、持続可能工学の下、これらに共通するフィロソフィーがあると著者は考えている。それは「私たちの子供たちのために」という思想である。実際に現在進めているプロジェクトは、現時点で30~50歳代の人間である。この年代の人間が、いろいろな案件に対して決断し実行を行うのである。しかし、ほとんどのプロジェクトは、この世代の人間のみならず、20歳代をはじめ、現時点での小中高校生や幼稚園児、乳児、まだこの世に生を受けていない世代にも大きく影響するのである。「私たちの子供たちのために」という考えは、ごく当たり前のことである。ほとんどの読者は「何をいまさら言

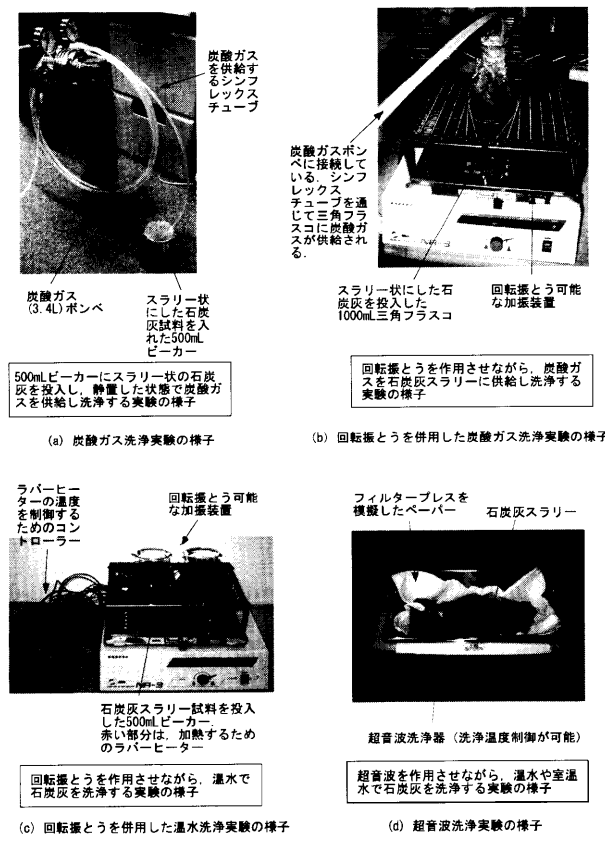


写真-1 茨城大学工学部都市システム工学科防災・環境地盤工学研究室で実施している排出資源の環境負荷低減技術の開発研究のための基礎実験の様子

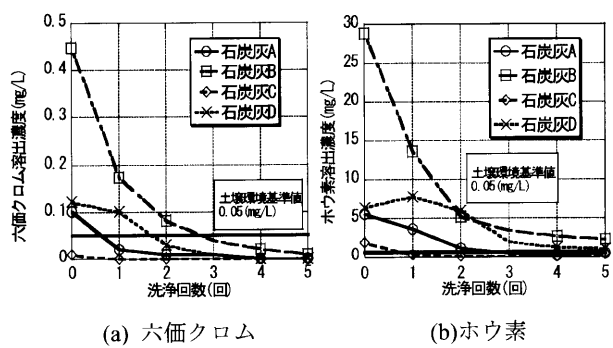


図-5 回転振とうを併用した炭酸ガスによる石炭灰洗浄実験の結果の一例

っているのだ」と思うであろう。しかし人間は、実際には、このことを時に忘れられがちなのである。

読者にも経験が無いだろうか。普段何気なく行っている行動に対して、「子供が見ているのだから、やめなさい」と他者から指導を受けたことはないだろうか。著者の一例では、家庭ゴミの分別なども「面倒くさいなあ」と思っていい加減に分けていると、妻から「子供が真似するからやめて」と言われたことがある。このときの著者はまったく子供のことなど考えず、ただ自分の労力を減らすことだけを考えて行動していたのである。もう少し具体的に、著者の係わっている廃棄物処分プロジェクト

トを例に論ずると次のようである。すなわち、廃棄物処分事業があたかも厄介者・迷惑事業であるかのような扱いをされることが時にある。廃棄物処分に金銭をつぎ込むことを好まない企業・組織は、おそらく現時点での自己の価値観のみによって先のように判断しているものと推察する。しかし、現時点での技術レベルに応じて廃棄物を適切に処理・処分すらしめないという行為は、私たちの子供や孫たちに対し、言い訳することの出来ない負の遺産を残すことになることを考えていただきたいものである。私たちの次の世代のためにも、現在保有している廃棄物の適切な処理・処分の考え方や実施計画の構築、実施に当たって必要となる技術の開発や実際の処分事業の推進を進めていくことが、私たちの世代の使命であると考えている。このような次の世代のことを意識しながら研究や技術開発を進めることが肝要であり、「持続可能工学」の最も重要かつ基本となる行動なのである。

参考文献

- 1) 安原一哉：ディスカッションセッション7, 環境負荷低減・コスト削減を目指した混合地盤材料の適用性, 土と基礎, Vol. 51, No. 12, pp. 23~24, 2003.
- 2) 中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会 廃棄物・リサイクル基本問題専門委員会：廃棄物・リサイクル制度の基本問題に関する検討結果について, 平成13年12月18日
- 3) 伊藤 徹・小峯秀雄・安原一哉・村上 哲・小浪岳治・工藤章光：超音波による石炭灰からの六価クロム・ホウ素の除去技術に関する基礎的研究, 第39回地盤工学研究発表会発表論文集 (CD-ROM), 2004.
- 4) 伊藤 徹・小峯秀雄・安原一哉・村上 哲・堀内澄夫：回転洗浄における洗浄液の pH の変化からみた石炭灰からの六価クロム・ホウ素の洗浄効果の検討, 土木学会第59回年次学術講演会講演概要集 (CD-ROM), 2004.
- 5) 小峯秀雄・安原一哉・村上 哲・堀内澄夫・田野崎隆雄・原 一夫：比較的短い養生期間における石炭灰スラリーの六価クロム溶出抑制特性, 第39回地盤工学研究発表会発表論文集 (CD-ROM), 2004.
- 6) 南野慧子・小峯秀雄・安原一哉・村上 哲・小浪岳治・工藤章光：炭酸ガスの有効利用を目的とした石炭灰洗浄技術に関する基礎的実験, 第40回地盤工学研究発表会発表論文集, 2005. (投稿中)
- 7) 南野慧子・小峯秀雄・安原一哉・村上 哲・小浪岳治・工藤章光：回転振とう併用による炭酸ガスを用いた石炭灰洗浄の高度化, 土木学会第60回年次学術講演会講演概要集 (CD-ROM), 2005.
- 8) 水沼加奈子・小峯秀雄・安原一哉・村上 哲：カラム実験結果を利用した吸着覆土材の層厚設計法の提案—湖沼底泥の覆土材への石炭灰の適用—, 第37回地盤工学研究発表会発表論文集 (CD-ROM), 2002.
- 9) 安原一哉・田岡憲太・大塚友樹・増田拓哉・小峯秀雄・村上 哲：タイヤチップスドレーンによる砂地盤の液状化後変状低減, 土と基礎, Vol. 53, No. 9, pp. 8~10, 2005. (掲載予定)
- 10) 片岡哲之・田中幸久・小峯秀雄：洗浄による石炭灰およびゴミ固形燃料焼却灰の環境負荷低減技術に関する実験的検討—六価クロム, セレン, 砒素およびホウ素の洗浄化効果—調査報告 U01014, 電力中央研究所報告, 2001.

(原稿受理 2005.5.11)