

地質調査

'13 第1号
(通巻135号)

編集／一般社団法人全国地質調査業協会連合会

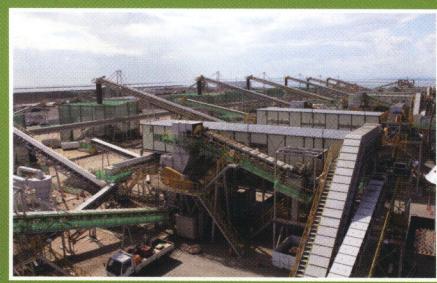
巻頭言 産業副産物のリサイクルの現状と課題

東洋大学工学部環境建設学科教授 須長 誠

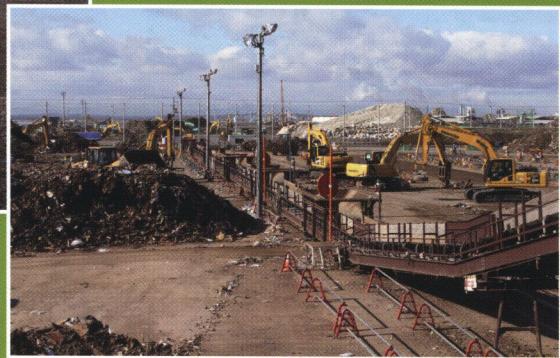
総論 建設・産業副産物の地盤材料へのリサイクル技術の現状 菊池喜昭



コンクリート破碎設備



破碎選別設備



粗選別ヤード

小特集 産業副産物における地盤材料へのリサイクルと現状

建設発生土・建設汚泥の有効利用の現状と今後の展望

稻垣由紀子・佐々木哲也・阿南修司

地盤材料としての石炭灰有効利用の現状と課題 木幡行宏

コンクリート塊、鉄軌道用バラストの再利用 関根悦夫

新東名高速道路盛土建設における重金属含有土対策 山脇 慎・中野正樹・三嶋信雄

各種スラグのリサイクルの現状と今後について 佐藤研一

トピックス…災害廃棄物処理の現状と課題 松原武志

教養読本…最終処分場の現状と課題 遠藤和人・山田正人

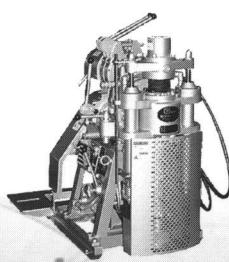
やさしい知識…警戒区域等における地質調査手法の一例 佐藤謙司・西村修一

YHP-1

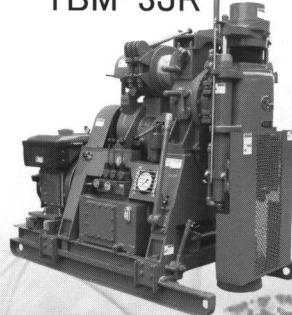


(ニッケル鉱山調査 フィリピン)

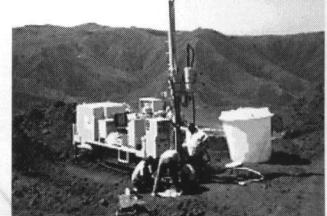
YBM-05DA-2



YBM-3JR



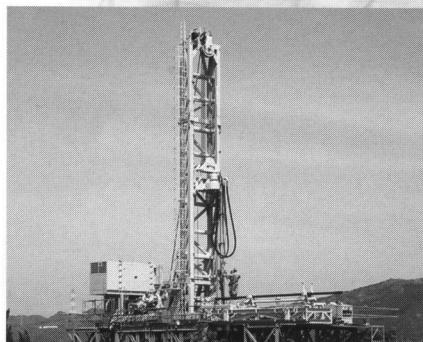
(ニッケル鉱山調査 ニューカレドニア)



ワイヤーライン工法用削孔機
TYW-50

資源探査、環境調査、土木建設の基礎調査 世界で活躍するYBMのボーリングマシンとツールス

大口径ボーリングマシンから、超軽量ボーリングマシン
地熱開発用コンパクトリグ、地中熱交換井削孔機まで、
幅広いニーズを満たす製品を取り揃えております。



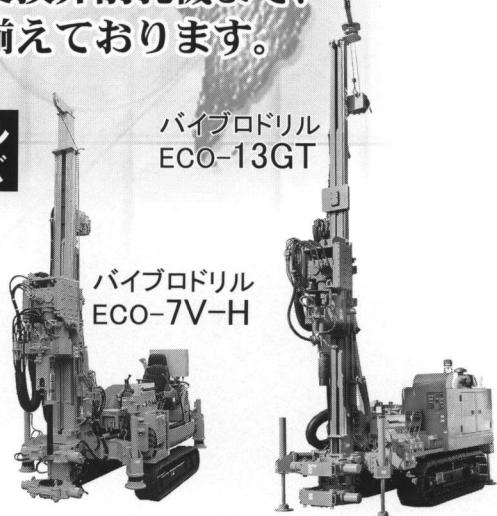
地熱開発用コンパクトリグ
HC-2000R

YBMの多目的バイプロドリル
地中熱交換井掘削機シリーズ



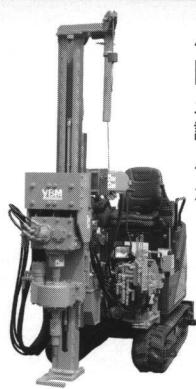
冷暖房システム 室内用ユニット

バイプロドリル
ECO-13GT



バイプロドリル
ECO-7V-H

先進の地盤調査機で工期短縮・液状化判定にも対応。



バイプロドリル
ECO-1VIII

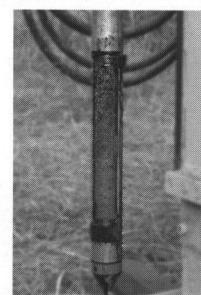
土壤・地下水汚染
調査など

バイプロ機能を活
かして回転せずに
土中に貫入可能。

オートマチック
ラムサウンディング
CRS-12

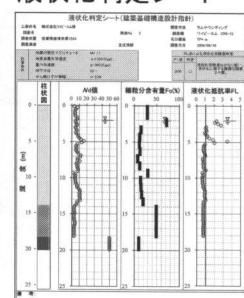
地盤調査、液状化判定など

全自動
ラムサウン
ディングで
より正確に
支持地盤の
調査が
できます。



土壤資料採取器
土壤すくい

液状化判定シート



ybm 株式会社 ワイビーエム

本 社／〒847-0031 佐賀県唐津市原1534 TEL (0955) 77-1121

<http://www.ybm.jp/>

東京支社 〒104-0032 東京都中央区八丁堀3丁目22-11八重洲第三長岡ビル2F TEL (03) 6280-4789

東京支店 〒342-0005 埼玉県吉川市川藤3062 TEL (048) 982-7558

大阪支店 〒578-0964 大阪府東大阪市新庄西5-4 TEL (06) 4309-2921

東北営業所 〒981-3133 宮城県仙台市泉区泉中央3丁目27-3日泉ビル202号室 TEL (022) 343-1210

名古屋営業所 〒468-0043 愛知県名古屋市天白区菅田1丁目1208 TEL (052) 804-4841

広島営業所 〒732-0802 広島県広島市南区大州1丁目1-25第一ふじビル1F TEL (082) 285-3824

インドネシア事務所 Room No. 343 3F, PPHU, JL. HR. Rasuna Said Kav. C-22 Jakarta Selatan 12940 TEL (+62) 21-52921131

卷頭言	産業副産物のリサイクルの現状と課題	
	東洋大学教授 工学部環境建設学科 須長 誠	1
総論	建設・産業副産物の地盤材料へのリサイクル技術の現状	
	菊池 喜昭	3
小特集	産業副産物における地盤材料へのリサイクルと現状	
	建設発生土・建設汚泥の有効利用の現状と今後の展望	
	稻垣 由紀子・佐々木 哲也・阿南 修司	7
	地盤材料としての石炭灰有効利用の現状と課題	
	木幡 行宏	11
	コンクリート塊、鉄軌道用バラストの再利用	
	関根 悅夫	15
	新東名高速道路盛土建設における重金属含有土対策	
	山脇 慎・中野 正樹・三嶋 信雄	20
	各種スラグのリサイクルの現状と今後について	
	佐藤 研一	29
トピックス	災害廃棄物処理の現状と課題	
	松原 武志	36
教養読本	最終処分場の現状と課題	
	遠藤 和人・山田 正人	42
やさしい知識	警戒区域等における地質調査手法の一例	
	佐藤 謙司・西村 修一	46
私の経験した現場	島根半島北岸の大規模地すべりと最近の被害事例	
	片山 直樹	52
各地の残すべき地形・地質	志摩地方のリアス式海岸 (三重県鳥羽市・志摩市・南伊勢町)	
	山本 勇	57
各地の博物館巡り	香川県坂出市 香川県立五色台少年自然センター自然科学館	
	木村 崇浩	59
大地の恵み	天と地の恵みがもたらす喜びと地域への恵み	
	秋山 純一	61
地質関連研究所・部門紹介コーナー	地質情報研究部門における陸域地質図整備	
	宮崎 一博・中澤 努	64
会 告	第1回応用地形判読士資格検定試験 合格者 17名	
	68	
	平成24年度「地質調査技士」登録更新講習会 2,315名が 更新完了	
	68	
	平成25年度 検定試験の実施概要 (地質調査技士・地質情報管理士・応用地形判読士)	
	69	
	全地連「技術フォーラム2013」長野 技術発表募集について	
	69	
	日本学術会議による地盤情報に関する提言の公表について	
	69	
	全地連 受注動向調査 (平成24年度4月~12月)	
	70	

〈ご愛読者様・ご執筆者様へ〉

土木春秋社が一般社団法人全国地質調査業協会連合会のご協力のもと発行してまいりました「地質と調査」はこの135号をもちまして、土木春秋社からの発行は最後となりました。

土木春秋社一同感謝いたしております。

永い間、ご愛読またご執筆ありがとうございました。

今後の、「地質と調査」は、下記の様な形態で続していくとの事、宜しくご支援いただければ幸いです。

「地質と調査」の発行事業について

(社) 全国地質調査業協会連合会

「地質と調査」編集委員会

現在、編集と発行を担当している“土木春秋社”は、平成25年3月末を以って出版事業から撤退することとなりました。これにより、平成25年度から「地質と調査」の発行事業の内容が変更となりますのでお知らせいたします。

今後の発行の形態については、以下となります。皆様方には色々とご迷惑をお掛けすることになりますが、ご理解の程何卒よろしくお願ひいたします。

1. 発行回数と誌面の構成について

(1) 発行回数

年3回（4月、8月、12月）とする。

(2) 誌面の構成について

・4月と12月発行分は、従来通りの誌面構成とする。

・8月はダイジェスト版となり、「小特集」のみの構成とする。

2. 編集方針について

全地連e-Learningセンター（アーカイブ用ホームページ）と連携する。具体的には、「小特集」の内容をホームページに掲載し、公開する。

3. 編集と発行について

以下が担当する。

編集：(株)ジェイ・スパーク、発行：(株)ワコー

4. 定期購読について

定期購読については、対応を終了する。

前述のように全地連e-Learningセンターに「小特集」の内容を掲載します。

5. 今後の発行予定について

平成25年

136号 2013年 6月発行予定

137号 2013年 9月発行予定

138号 2013年 12月発行予定

平成26年

139号 2014年 4月発行予定

140号 2014年 8月発行予定

141号 2014年 12月発行予定

産業副産物のリサイクルの現状と課題

【Key Word】

リサイクル、循環型社会、廃棄物、産業副産物

東洋大学教授 工学部環境建設学科 須長 すなが

まこと 誠

天然資源の枯渇、廃棄物処分場の減少、不法投棄の増大、二酸化炭素削減問題など環境問題がとくに論じられるようになり、今日では持続性のある循環型社会の構築が提唱されるに至っている。地質分野でも廃棄物の評価技術や処理技術に関する研究の他に最近ではリサイクル材料に関する研究が増えてきている。リサイクル材料については、材料としての基本特性の把握から実務での使用を前提にした研究など多岐にわたって盛んになってきてはいるが、構造物に適用する際の考え方や設計・施工法などが確立している状況とはいえない。一方では平成14年5月に完全施行された建設リサイクル法によりリサイクル材料の使用は本格的になってきている。建設リサイクル法は循環型社会の基本的枠組みとなる循環型社会形成推進基本法の基に整備された法律である（図1.1）。

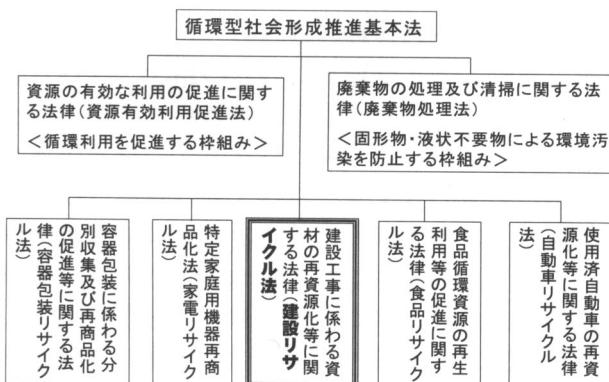


図1.1 建設リサイクル法の位置づけ

リサイクル材料については、研究あるいは試行途上のものが多くあるが、我が国の社会情勢としては早急に研究開発を進め、利用促進を図っていくねばならない状況にある。

リサイクル関係では3RすなわちReduce, Reuse, Recycleの用語が定着し始めており、通常リサイクルという言葉は広義の意味の3Rとして用

いられることが多い。地盤工学関係ではどうかと言えば、内容的には狭義の再生利用であるリサイクルとして用いられる場合が多い。本特集ではリサイクルの定義をするつもりはないが、内容的には狭義でのリサイクルとなることをあらかじめご承知願いたい。

建設・産業副産物について、その材料特性を地質分野的にできる限り明らかにするとともに、今後リサイクル材料を合理的に利用するための知見を整理したいと考える。

ここで建設副産物と産業副産物に対して定義しておきたい。建設副産物とは図1.2に示すように建設工事に伴い副次的に得られる物品であり、再生資源および廃棄物の一部を含むものとしている。すなわち建設発生土のようにそのまま原材料となるものと、産業廃棄物であっても建設材料として利用の可能性があるものは再生資源である。次に産業廃棄物であるが「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」によれば、汚泥、アスファルトやコンクリート廃材のように事業活動に伴って発生した20品目の廃棄物とされ、さらにアスベストのように健康または生活環境に有害となる物として特別産業廃棄物が定義されている。建設副産物のうち、現状でのリサイクル率については、アス

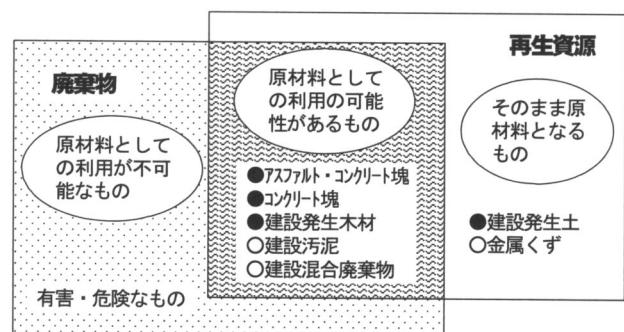


図1.2 建設リサイクル法における建設副産物の定義

ファルトコンクリートが98%，コンクリート塊は96%とかなり高率となっているが，建設汚泥は41%，建設発生土は60%と低率である。

一方，産業活動に伴って発生した石炭灰や鉄鋼スラグのようなものは廃棄物ではなく産業副産物として定義されている。石炭灰や鉄鋼スラグは循環型基本法が制定される以前より建設材料としての製品化の努力が行われており，産業廃棄物の有

効利用とは別に産業副産物の有効利用として取り扱われてきた。もちろん産業副産物といえども不要になれば産業廃棄物である。

このように建設材料として有効利用を考えた場合，現状では建設工事に伴って発生する副産物と産業活動に伴って発生する副産物の両者を取り扱うことは本書の目的にかなっているものと考えられる。

建設・産業副産物の地盤材料へのリサイクル技術の現状

【Key Word】

土圧低減、軽量地盤材料、固化処理、耐久性

きくちよしあき*

1. はじめに

本稿では、主として、港湾建設に関する建設・産業副産物の地盤材料へのリサイクル技術の現状を紹介する。

港湾工事は大規模工事が多く、地盤材料も含めて建設資材を比較的短期間に大量に必要とする。その一方で、航路や泊地の増深、維持のために大量の浚渫土砂が出る。また、わが国の工業地帯は港湾区域に立地しており、製鉄工場や発電所から、大量のスラグ、石炭灰などが副産物として産出されており、これらの副産物の港湾での有効利用が期待されていた。

このように、港湾工事では大量の土砂を必要とするとともに、港湾地域では、地盤材料としての活用の可能性の高い、浚渫土砂、構造物の解体現場から発生するコンクリート塊、沿岸に立地する工場から産出される石炭灰、スラグなどが大量に産出されている。これらの材料はそのままでは地盤材料として用いるのに品質が悪かったり、環境上の心配があったりすることがある。しかし、これらの材料にできるだけ少ない加工をして、信頼性の高い材料に変えることにより、港湾工事のための地盤材料として有効に活用できること大変都合の良い状況が生まれることになる。

国土交通省港湾局では、従前よりこれら的人工地盤材料の有効活用に関して積極的に取り組んできており、2004年3月には当時のリサイクル材に関する利用技術の状況を取りまとめ、さらに2013年3月にリサイクル材料の利用技術の現状について整理しなおした¹⁾。このURL上の別紙1と別紙2を見ると、この8年間の間に副産物の再利用に対する技術開発が積極的に行われてきたことが伺える。

ここでは、港湾工事で用いられる地盤材料に期待される性質について紹介し、ついで、代表的な再生人工地盤材料についてトピック的な特性を紹介する。

2. 港湾で用いる地盤材料に求められる性質

図1は港湾地域に建設される岸壁の断面のイメージである。図に示すように、様々な形で地盤材

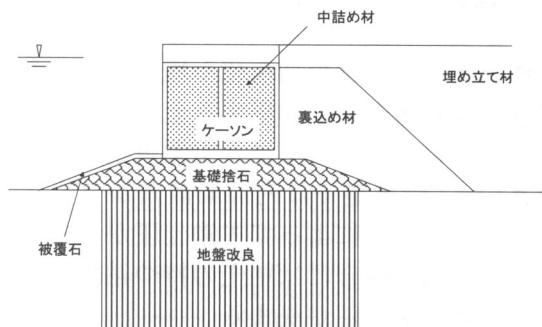


図1 港湾構造物に用いられる地盤材料のイメージ

表1 各用途で地盤材料に求められる性質

用途	求められる性質
ドレーン材	透水性が良いこと、目詰まりが生じないよう粒度が良いこと
サンドコンパクションパイアル材	粘性土地盤の場合には透水性が高く、細粒分(75μm未満)の含有量が少なく、粒度が良く、締まりやすく、十分な強度が期待でき、かつケーシングからの排出が容易なもの。
本体工中詰材(ケーソン、鋼板セル等)	固まらないこと、重いこと、膨張しないこと。
裏込め材	せん断抵抗角および単位体積重量等の材料特性を考慮して選定
裏埋材	(裏込め材と同様)
盛土材	締め固めやすいこと、施工が容易で、せん断強度が大きく、圧縮性が小さいこと
覆土材	(盛土材と同様)
埋立材	軽いこと、圧縮しにくいこと。
人工砂浜材	適用対象の海岸に存在している砂の性質(粒度組成、色・鉱物組成等)に近いこと。

* 東京理科大学理工学部土木工学科教授

料が必要となる。一般的には、粒度、成分、土粒子密度などの材料特性のばらつきが小さいことが要求される。また、用いられる場所によって地盤材料に要求される性質は異なってくる(表1)。さらに、震災復興では、大量の地盤材料を短期間に必要とするため、部分的には、副産物よりなる地盤材料を用いることが考えられる。中には築堤、かさ上げなどの目的で用いられるものが多くあると考えられるが、この場合、軽量性が重視される場合が多くあるものと考えられる。

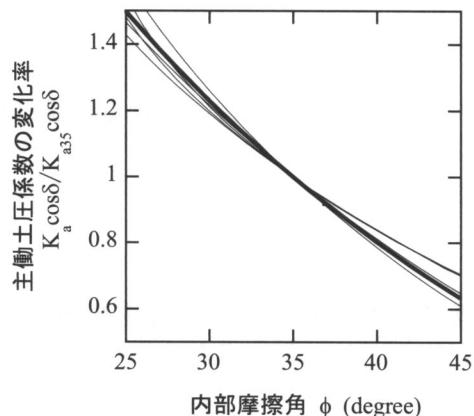


図2 内部摩擦角による土圧係数の変化

岸壁などの構造物の老朽化や機能向上を考える上では土留め構造物に作用する土圧の低減が重要である。この土圧としては、主働土圧を考えることが多い²⁾。砂地盤では内部摩擦角から決まる土圧係数と土被り圧によって主働土圧が決まる。一方、粘土地盤の場合には粘土の持つ粘着力と土被り圧とから主働土圧が決まる。

図2は、砂地盤の場合の土圧係数の変化を示したものである。ここでは、内部摩擦角を変えたときに地震時の土圧係数 $K_a \cos \delta$ がどのように変化するかを計算したものである。震度をいくつか変えて計算している。いずれの場合も、5°の内部摩擦角の変化で2割程度の土圧係数の変化があることがわかる。

図3に、粘土地盤を考えて、粘着力の変化による全土圧の変化を示す。ここでは壁の高さが15mの場合について計算したものである。粘着力が 120 kN/m^2 になれば地盤材料がほぼ自立することを示している。

以上のように、一般的に壁面に作用する主働土圧を低減するには、内部摩擦角の大きな材料を用いるか、粘着力を持たせるなど、材料のせん断強度を高めることが必要である。

副産物を再利用したものでは内部摩擦角が大きいものあまり無い。そもそも、通常の裏込め材

料は土圧低減のために大きな内部摩擦角を持つ材料が選択されるため、内部摩擦角が大きいことを理由として土圧低減のために副産物から再生した地盤材料を用いることは少ない。それに比べて、地盤材料を固化させることで比較的自由に粘着力をコントロールできるため、人工地盤材料としては固化して粘着力をあげて用いられるものが多い。また、固化させると液状化に対する抵抗性も大きくなる。

地盤材料の自重を軽くすることも作用土圧を低下させる上では効果的である。しかし、水中では水に作用する慣性力の問題が生じるため、地盤材料の自重を軽くしても地震時土圧の低減にはあまり寄与しない場合が多い。

なお、ケーンを支える基礎捨石(図1)に人工地盤材料を用いるのは大変難しい。それは、基礎捨石には非常に大きな荷重が繰り返し作用することになるため、粒径が大きく、粒子が割れにくく、せん断抵抗性が高いものが要求されている。天然の石材と同等の粒子強度を持ち、粒径も大きなものを人工的に作成するのはかなり困難である。

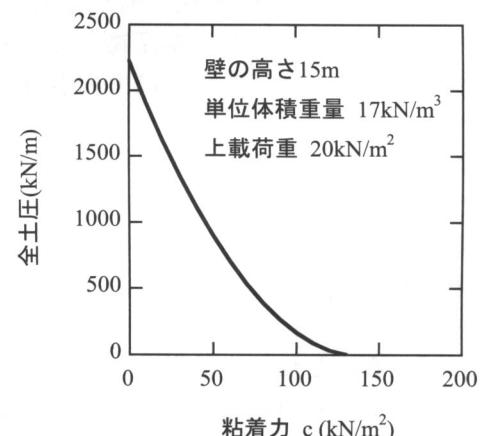


図3 粘着力による全土圧の変化

3. 港湾工事に用いられる代表的な副産物

3.1 浚渫土

浚渫土は港湾工事での最大の副産物であり、浚渫土の処分用地の確保は年々厳しい状況となっている。このため、浚渫土の再生利用は港湾工事における最重要課題のひとつとなっている。ところが、港湾工事に伴う浚渫土砂で積極的に有効活用されているのは30%程度であり、高度利用が遅れている。

浚渫土の有効活用のための技術は、安定処理、脱水処理、分級処理に分類できる。このうち港湾では、安定処理について積極的に検討してきた。ここで言う安定処理とは主として固化処理のこと

である。すなわち、浚渫土に固化材を添加してせん断強度を増加させる方法である。このような処理をすることによって、前述のとおり土圧低減が図られるばかりでなく、間隙比の高い状態で圧密降伏応力の大きな地盤材料とすることが出来るため、埋立土の圧縮性を無視できるうえに、基礎地盤の圧縮量も低減できるようになる。中部国際空港では後者の考え方で 1200 万 m³ の浚渫土を固化処理（管中混合処理土工法³⁾）して埋立て材料として利用した。

含水比の高い状態でセメントを添加すると、軽量せん断強度の高い地盤材料とすることができます。さらに気泡や EPS ビーズを用いることできらん軽量化⁴⁾（SGM 軽量土、写真 1）できる。SGM 軽量土では、軽量材量を混合するため、軽量材料と粘土とが分離しないようにすることが重要である。

固化処理土に限らず、新規に開発された人工地盤材料では、その耐久性が問題となる。SGM 軽量土では固化強度と密度の耐久性が問題であった。

密度の耐久性として、気泡を用いた SGM 軽量土を地下水面以下に用いた場合の SGM 軽量土中の気泡の水への置換による密度増加が懸念されていた。実際には、置換メカニズムが不明なため、促進試験ができない。そこで、実験室内で条件を変えて実験をするほか、施工後 10 年たった現場の SGM 軽量土をサンプリングし、含水状態を調べて、その材料の耐久性が調べられた。

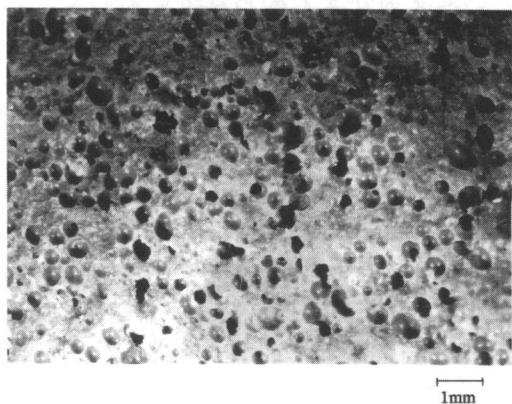


写真 1 気泡混合 SGM 軽量土の拡大写真。

固化処理を積極的に行なうために、浚渫土を高圧でプレスして、脱水も同時に起こさせる技術も検討されており、処理土の圧縮強度が 20 MN/m² 程度まで増加したという報告がある。このほか、固化処理粘土にタイヤチップスを混合して材料の韌性を高める工夫もなされている。

3.2 スラグ

金属の精錬に伴って産出するケイ素、アルミニウム、カルシウムなどの酸化物をスラグと呼ぶ。スラグを冷却して石や砂状にしたもの地盤材料として用いることができる。

鉄の精錬に伴って生じる鉄鋼スラグは、高炉から産出される高炉スラグと転炉や電気炉から産出される製鋼スラグとに分かれる。

高炉スラグの 80% 以上は産出時に急冷することにより水碎化されており、軽量であること、潜在水硬性を持つことが特徴である。港湾工事でも高炉水碎スラグを土圧低減、軽量埋立て材料として利用した実績が多くある。当初は高炉水碎スラグの軽量性に着目した砂代替材としての利用が主であったが、その後の調査の結果、港湾工事で用いられた高炉水碎スラグが固化することがほぼ明らかとなつた⁵⁾ため、裏込めとして用いる場合には固化するものとして利用されるようになってきている。

図 4 は高炉水碎スラグにセメントとスラグ微粉末を混ぜて、海水条件 (ASW) と真水条件 (IEW) で養生した場合の一軸圧縮強さの変化を示したものである。このように、真水の条件ではセメントを添加したほうが一軸圧縮強さがより大きくなるが、海水条件では、スラグ微粉末を添加したほうが大きくなる傾向にあることがわかった。

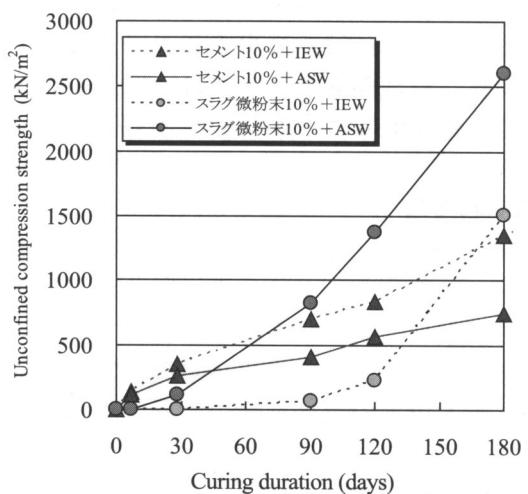


図 4 添加物、間隙水の違いによる高炉水碎スラグの固化の程度の違い

このようなことから、固化することを期待して水碎スラグを裏込めに用いる場合には、スラグ微粉末を添加するとよい。

製鋼スラグ（写真 2）の港湾工事での有効利用は比較的遅れていたが、近年研究が積極的に進められ、一部製品化されている。たとえば、製鋼スラグを母材として高炉スラグ微粉末を混合して固

化体を作ることが行われており、被覆石などに用いられている。また、製鋼スラグと粘性土を混ぜると固化するという性質を利用して、浚渫土改質材として、製鋼スラグが利用されている。

鉄以外の金属を製錬したときに産出する、銅水碎スラグ、フェロニッケルスラグ、亜鉛スラグについても再生利用がなされている。これらの材料はやや重く、固化することができないので、中詰め材料としての利用が図られている。

また、一般廃棄物や下水汚泥を溶融固化して砂状の材料としたスラグが開発されている。これらについてはSCP杭に利用されている。



写真2 碎石状の製鋼スラグ

スラグは、産出過程の違いにより、さまざまな特徴を持ったものが発生する。それぞれの特性を生かした利用の仕方、特徴を引き出すような利用の仕方を今後とも検討すべきである。また、スラグは、限られた地域で産出するので、現状では利用が困難な地域がある。今後は、流通システムについても検討することが必要であろう。

3.3 石炭灰

石炭灰は主としてフライアッシュとクリンカーアッシュに別れる。クリンカーアッシュはボイラの炉底から回収される砂状の材料であるのに対し、フライアッシュは電気集塵機によって回収されるシルト以下の粒径を持つ材料である。

クリンカーアッシュはその材料特性を生かして、下層路盤材や排水材としての利用が進んでいるほか、港湾では、SCP材料の砂代替材としての検討が進められている。

フライアッシュはそのままでは良質な地盤材料とはいえないが、比較的軽量であるため、軽量性を保ったまません断強度を増加させることができれば地盤材料として有効に活用できるようになる。そこで、フライアッシュを固化して用いることが考えられている。フライアッシュには自硬性のあるものがあるので、そのような石炭灰と自硬

性のない石炭灰を混ぜても固結させることができるが、より積極的に固化させるにはセメントなどの固化材を添加して用いる方が確実である。

写真3には裏込めに用いる場合のイメージを示している。固化した場合には、作用土圧が非常に小さくなるばかりでなく、写真に示すような台形状で用いることによって耐震上の安定性が高まることも確認されている。

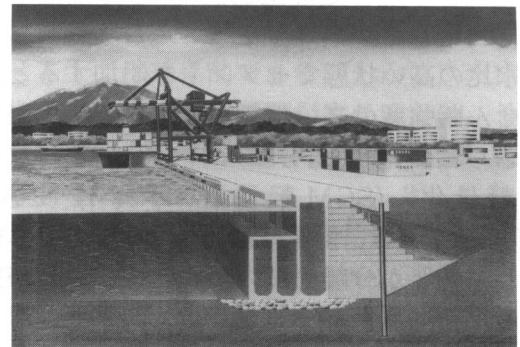


写真3 固化処理石炭灰を裏込めとして利用。

4. おわりに

ここでは、産業副産物などを地盤工学的に利用している現状について、港湾分野での利用を例にして説明した。再生利用の基本は、要求される望ましい性質をいかにして廉価で副産物に付与させるかという点である。

ここでは十分に説明していないが、副産物の利用が環境に悪影響を及ぼすなど、人類に負の影響をもたらすことがあってはならない。この点について参考文献⁶⁾にどのようなアプローチをすべきか、その考え方が始まられているので、是非参考にされたい。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局技術企画課技術監理室：「港湾・空港等整備におけるリサイクル技術指針」の改訂について、〈http://www.mlit.go.jp/report/press/port05_hh_000030.html〉。(2013年1月16日確認)
- 2) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説、上巻、pp. 371-378, 2007.
- 3) (財)沿岸開発技術研究センター：管中混合固化処理土工法技術マニュアル、127p., 2001.
- 4) (財)沿岸技術研究センター：港湾・空港における軽量混合処理土工法技術マニュアル、2008.
- 5) 菊池喜昭：港湾工事で用いられた水碎スラグの特性の経年変化、土木学会論文集 No. 736/III-63, pp. 287-303, 2003.
- 6) コンクリート用骨材又は道路用等のスラグ類に化学物質評価方法を導入する指針に関する検討会総合報告書、http://www.jisc.go.jp/newstopics/2012/201203slag_hokokusho.pdf, 2012.

建設発生土・建設汚泥の有効利用の現状と 今後の展望

【Key Word】

発生土、建設汚泥、ハイグレードソイル、地盤汚染対応

いながき 稲垣 由紀子*・ささき てつや 哲也**・あなん しゅうじ 阿南 修司***

1. 建設発生土の有効利用に関する現状と課題

1.1 発生土の有効利用

平成12年以降には、廃棄物等のリサイクル・適正処理を推進すべく「循環型社会形成推進基本法」(平成12年、法律第110号)が制定されるなど、法体系が整備された。建設工事に係る個別リサイクル法としては、「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律」(平成12年、法律第104号)が制定された。

これらを踏まえて、国土交通省では平成15年10月に「建設発生土等の有効利用に関する行動計画」を策定し、関係機関へ「発生土利用基準について」(平成16年3月制定、平成18年8月改正)を通知した。これを技術的に解説した「建設発生土利用技術マニュアル(第3版)」¹⁾を土木研究所が中心となって整備し、発生土の有効利用を推進してきた。

「建設発生土利用技術マニュアル(第3版)」は、発生土を建設資材として利用する場合に適用す

る。発生土の土質区分基準や適用用途標準を踏まえ、発生土を直接利用、あるいは必要に応じた適切な処理を行って利用する流れを示している。発生土のうち建設汚泥を利用する場合の考え方は、「建設汚泥再生利用マニュアル」²⁾にまとめている。

こうした取組みの結果、表1にも示す通り、平成12年度までに比べて利用土砂の発生土利用率は大幅に上昇している。しかしながら、平成14年度以降は80%前後で横ばいとなっており、さらなる利用率の向上のためには、従来であれば再利用が困難であった品質の発生土も改良して利用する技術の開発や普及を図る必要がある。

1.2 汚染土への対応

平成14年5月に土壤汚染対策法が制定され、土木研究所では、建設工事で地盤汚染に遭遇しても適切な対応をして工事を円滑に進めることができるよう、「建設工事で遭遇する地盤汚染対応マニュアル(暫定版)」(平成16年4月)等に対応をまとめた。これらのマニュアルに基づく対応が進

表1 建設発生土の利用状況の推移³⁾

	平成7年度	平成12年度	平成14年度	平成17年度	平成20年度
土砂利用量(=搬入土砂利用量+現場内利用量)	20,474	18,029	30,808	23,367	14,771
搬入土砂利用量 (内訳)	20,474	15,615	12,912	10,728	7,498
工事間利用	6,120	7,219	6,443	4,986	3,425
土質改良土	360	942	914	876	744
建設汚泥処理土	0	0	0	34	24
再生砂	144	324	312	182	147
新材	13,850	7,130	5,243	4,650	3,159
現場内利用量			2,414	17,896	12,639
利用土砂の発生土利用率 (=(土砂利用量-新材利用量)/土砂利用量)	32.4%	60.5%	83.0%	80.1%	78.6%

注1:平成7年度は現場内利用を調査していない。

注2:平成12年度の現場内利用量は、100%現場内完結工事を含まない。

* 独立行政法人土木研究所地質・地盤研究グループ 土質・振動チーム研究員

** 同 土質・振動チーム上席研究員 / *** 同 上席研究員(特命事項担当)

められてきている。平成 22 年 4 月の土壤汚染対策法の改正を受け、「建設工事で遭遇する地盤汚染対応マニュアル（改訂版）」⁴⁾（平成 24 年 4 月）を発刊した。しかしながら、地盤汚染に関わるリスク評価の具体的手法や、自然由来の重金属の含有量や溶出量が基準値を超える土（自然由来の汚染土）のハザード評価および対策については必ずしも十分な内容となっていない。

2. 利用率向上に向けた取組み

1. で述べた背景を踏まえ、ここでは発生土の有効利用、汚染土への対応に関する取組みを紹介する。

2.1 ハイグレードソイルの利用⁵⁾

「ハイグレードソイル」は、建設発生土に軽量化、流動性の付加、韌性の付与、含水比低下等の処理をして、現場の多様なニーズに対応できる土木材料を提供し、発生土の有効利用を目指す技術である。

土木研究所では民間企業との共同研究によりハイグレードソイルに関する技術開発を行い、平成 14 年度には「ハイグレードソイル研究コンソーシアム」⁶⁾を設立して、この技術の普及、設計・施工に関する技術資料の整備、用途拡大等への取組みを続けている。

ハイグレードソイルの最近の現場適用事例を以下に紹介する。

2.1.1 発泡ビーズ混合軽量土工法

発生土に、超軽量な発泡ビーズ（粒子）と安定材を混合し、軽量化を図る工法である。発泡ビーズの配合比を変えることで湿潤密度を $0.8\sim1.5 \text{ t/m}^3$ 程度に設定でき、通常の土に比べて地盤に与える荷重を軽減することができるため、軟弱地盤や地すべり地での盛土等に用いると効果的である。安定材の添加量を変えることで、一軸圧縮強さを $50\sim1,000 \text{ kN/m}^2$ 程度に調整できる。通常の土に近い変形追随性があり、透水係数の調整も可能である。ここでは、東京港臨海道路（東京ゲートブリッジ）の取付け部に用いた事例を紹介する。

東京ゲートブリッジの取付け部は、中央防波堤埋立地に位置するが、軟弱な沖積粘性土が堆積した上に埋め立てられた廃棄物の重さで長期的な圧密沈下が想定される地盤である。

このため、盛土を構築した際の沈下対策として、地盤への載荷重を低減できる「発泡ビーズ混合軽量土」と、急勾配に施工しても盛土法面の安定が得られる「ジオグリッド」が併用された。

ジオグリッドは引張抵抗性に乏しい土粒子間を

格子状構造により拘束し構造物を内的に安定させるものであり、発泡ビーズ混合軽量土との併用に当たり、ジオグリッドとの一体性の確保が必要であった。変形追随性や摩擦特性等の確認試験を経て発泡ビーズ混合軽量土の配合を決定し、施工した（写真 1、写真 2）。



写真 1 ジオグリッドによるのり面補強



写真 2 完成時の状況

2.1.2 気泡混合土工法

発生土に水、固化材、気泡を混合して流動化させ、気泡の混合比を変えることで湿潤密度を $0.6\sim1.2 \text{ t/m}^3$ 程度に設定でき、通常の土に比べて地盤に与える荷重を軽減することができる。流動性があり、ポンプ圧送による施工が可能で、転圧が不要なため施工が容易である。泥土等の低品質な土にも適用可能である。固化材の配合を変えることで、一軸圧縮強さを $100\sim1,000 \text{ kN/m}^2$ 程度に調整できる。ここでは、新設の下水処理施設の構造物間の埋戻しに用いた事例を紹介する。

地表面から高い位置の構造物で、当該箇所までのダンプおよびバックホウの乗り入れが不可能なほか、現地発生土のベルトコンベアによる運搬、人力による施工も工期が長く不経済であった。そこで、現場プラントによる現地発生土の再利用とポンプ圧送による施工が可能な気泡混合土が採用された。

現地発生土は砂分 76.1% の砂質土で、気泡混合土の製造に当たり、バックホウ式トロンメルを用いて事前に夾雜物と礫分を除去したうえで、ベルトコンベアで直接ミキサ内に投入した。現地プラントを写真 3 に示す。製造した気泡混合土は、スクイズポンプにてプラントからポンプ車に 1 次圧

送し、ポンプ車を用いて打設箇所まで2次圧送を行い打設した（写真4）。

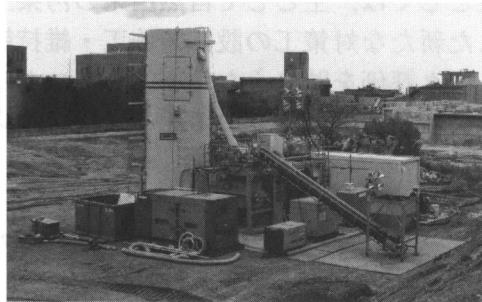


写真3 気泡混合土製造現地プラント



写真4 気泡混合土の打設状況

2.1.3 短纖維混合補強土工法

発生土や安定処理土に短纖維を混合することで、降雨・流水などに対する耐侵食性、強度・韌性（ねばり強さ）等の力学的特性や植生の根の引抜き抵抗の向上を図る工法である。ポリエステル等の化学的安定性、耐候性等に優れた環境に対して無害な人工纖維が使用され、土に対する乾燥重量比で0.1%程度の混合で効果が得られる。ここでは、短纖維混合補強土工法を河川堤防ののり面の保護に用いた事例を紹介する。

河川堤防の拡幅や新設の場合、一般にのり面に芝を張り降雨によるガリ侵食を防止する。しかし、侵食に非常に弱い「まさ土」や「シラス」等のみからなるのり面では、芝が活着する前にのり面表層に変状をきたす事例が多い。そこで、シラスが多く分布する地域の河川において、シラスに短纖維を混ぜ込んだ短纖維混合補強土を堤防裏ののり面に敷設し、ガリ侵食を防いだ。のり面勾配は3割、敷設したのり長は約19m、厚さは施工方法によって異なるが10~30cm程度である。短纖維は長さ60mm、直径39μmのポリエステル製で、土に対する乾燥重量比で0.2%混合された。

出水期前に施工され、施工後3週間の時点で日雨量139mmの豪雨に見舞われたが、シラスのみで被覆したのり面は大きくガリ侵食を受けたのに対し、短纖維混合補強土で保護したのり面には変状がなかった。その後も豪雨が続き、施工後3ヶ月

間に、日雨量100mmを超えた日（最大252mm）は延べ4日、日雨量50mmを超えた日は延べ8日あったが、短纖維混合補強土で被覆したのり面には変状がなく、植生が根付いていた（写真5）。



写真5 シラスの短纖維混合補強土（施工後3ヶ月）

2.1.4 袋詰脱水処理工法

透水性を持つジオテキスタイル製の袋に、高含水比粘性土や河川・湖沼等に堆積している軟弱な土を詰め、土の流出を防止しながら脱水を促進、袋の張力をを利用して盛土や埋土に積み重ねて有効利用する工法である。袋の持つ過濾機能により、脱水時の排出水の濁度を下げるとともに、土壤に強く吸着している有害物質を袋内に封じ込めることも可能である。ここでは、平成23年3月の東日本大震災からの復興に向けて活用した事例を示す。

津波被災地では、がれきやヘドロにより用水路や下水路が閉塞、水路としての機能が失われた。水路に堆積したヘドロの速やかな撤去が求められる一方、その受入れ先確保が困難であった。そこで、ヘドロを充填用袋に充填し、脱水させた後、地盤沈下・浸水した場所の盛土材料として有効利用した。幹線用水路の延長135m、下水路の延長2,300mからの浚渫土が充填用袋に充填された。

浚渫土が自動式泥土前処理機にかけられ、混入しているがれき等の夾雜物が除去されたヘドロが泥土圧送ポンプで充填システムへ向けてポンプ圧送された。これが飛散防止機能を有する充填システムにより充填用袋に充填された（写真6）。

充填用袋は、高含水比泥土の脱水に適するジオテキスタイル製布の専用の袋材で、現場条件に応じて可搬型袋（1m³用および1.5m³用）と定置型袋（20m³用および100m³用）が用いられた。写真6に示されるものは可搬型袋で、ヘドロを充填・脱水養生してから利用箇所に運搬・設置された。定置型袋はヘドロの充填場所でそのまま盛土材として用いられた（写真7）。いずれも紫外線による袋材の劣化を防止するため覆土された。

各袋体は2日程度で20%程度減量化し、雨で再度泥状化することもなく、脱水時の排水の浮遊物濃度や硫化水素の臭気測定値も基準値を下回った。

た。土木材料としての強度はジオテキスタイルの補強効果によって発揮されるため、環境負荷の少ない復旧工事となった。



写真6 圧送されたヘドロの充填



写真7 定置型袋を用いた盛土

2.2 汚染土への対応に関する取組

汚染土への適切な対応のため、土木研究所では、「建設工事で遭遇する地盤汚染対応マニュアル(改訂版)」や「建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壤への対応マニュアル(暫定版)」⁷⁾を取りまとめてきた。

これらのマニュアルでは、発生土の汚染が判明した場合に、汚染状況の把握、汚染の周辺環境への影響の予測、汚染の拡散を防ぐあるいは許容範囲内に抑えるための対策を的確に行い、その結果を定期的なモニタリングによって確認する、という一連の対応について整理した。

しかし、新たに土壤汚染対策法の対象となった自然由来の汚染土への対応や、周辺環境への影響予測のための解析手法等、一部未解明な部分があり、これらについては現在研究を行っているところである。研究はハザード評価、リスク評価、対策を柱に行っている。

ハザード評価としては、自然由来の汚染土からの重金属の溶出特性について、連続溶出試験や大型カラム試験によって把握し、リスク評価の際に発生源において溶出する有害物質の濃度を適切に設定できることを目指している。

リスク評価としては、自然由来・人為由来のいずれの汚染に対しても、地下水流动状況や現地地盤の物理的・化学的特性、対策工の状況等を踏まえ、実際の汚染の拡散状況を再現できるような解

析手法について、土槽実験や現地観測の結果との比較により検討している。

対策としては、主として自然由来の汚染土を対象とした新たな対策工の設計・施工・維持管理手法、リスク評価を踏まえた効率的なモニタリング方法等について検討している。

3. おわりに

国土交通省により、「東日本大震災からの復興に係る公園緑地整備に関する技術的指針」⁸⁾(平成24年3月)がまとめられた。津波災害に強いまちづくりにおける公園緑地の整備のために津波堆積物等の災害廃棄物を活用する場合、考え方や方法は「建設発生土利用技術マニュアル(第3版)」や「建設工事で遭遇する廃棄物混じり土対応マニュアル」⁹⁾等に準ずることが示された。これまで整備してきた各種マニュアル類は引き続き参照され、今後も建設工事におけるリサイクルに寄与すると考えられる。

また、従来は再利用が難しかった土のさらなる有効利用を目的としたハイグレードソイルの用途拡大の取組み、汚染が判明した発生土への対応上の技術的課題に関する研究を引き続き推進し、発生土の有効利用に貢献したい。

参考文献

- 1) 土木研究所編：建設発生土利用技術マニュアル 第3版、2004.9.
- 2) 土木研究所編：建設汚泥再生利用マニュアル、2008.12.
- 3) 国土交通省：平成20年度建設副産物実態調査結果【参考資料】、2010.3.
- 4) 土木研究所編：建設工事で遭遇する地盤汚染対応マニュアル(改訂版)、2012.4.
- 5) 加藤、齋藤、稻垣、佐々木：建設発生土の有効利用技術—ハイグレードソイルー、建設の施工企画、平成25年3月号、日本建設機械施工協会、2013.3(投稿中)。
- 6) 一般財団法人土木研究センター：ハイグレードソイル研究コンソーシアム、<http://www.pwrc.or.jp/>、2002.11.
- 7) 建設工事における自然由来重金属等含有土砂への対応マニュアル検討委員会：建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壤への対応マニュアル(暫定版)、2010.3.
- 8) 国土交通省：東日本大震災からの復興に係る公園緑地整備に関する技術的指針、2012.3.
- 9) 土木研究所監修/土木研究センター編：建設工事で遭遇する廃棄物混じり土対応マニュアル、2009.10.

地盤材料としての石炭灰有効利用の現状と課題

【Key Word】

石炭灰、有効利用、地盤材料、フライアッシュ、クリンカアッシュ

木幡ゆきひろ*

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震によって東京電力福島第一原子力発電所が未曾有の事故を誘発した後、わが国の原子力発電所は1箇所を除いて、すべて停止状態にある。そのため、全国の電力事業者は、火力発電所をフル稼働させ電力供給の安定確保に努めている。特に、石炭火力発電は発電コストが安いこともあり、今後、石炭火力発電の比率が高まるにつれ石炭灰排出量が増加することは容易に想像でき、石炭灰の有効利用をさらに促進させることは喫緊の課題となるであろう。

これまで石炭灰の有効利用については、資源リサイクル推進の観点から1991年に、「資源の有効な利用の促進に関する法律」が制定され、石炭灰が指定副産物に定められたことから、その有効利用の促進が一層求められる情勢になっている。

そこで、本報では石炭灰の有効利用の現状と課題について、地盤材料としての有効利用という観点から概説することとする。

2. 石炭灰の発生量と有効利用状況

石炭灰は、電気事業の石炭火力発電所および一般事業（化学、製紙）の自家用ボイラから発生する。図1に石炭灰発生量の推移を示す¹⁾。総排出量は、2009年度で全産業合計1,000万t（電気事業：783万t、一般事業：284万t）を超えており、2011年の原発事故以降は、石炭火力発電所から排出量増加により、さらに増加していると考えられる。図2は2002年度の北海道における石炭火力発電所と製紙工場からの排出量を示しており²⁾、その発生比率は、図1に示す2002年度の全国の比率とほぼ同様である。すなわち、発生量の75%

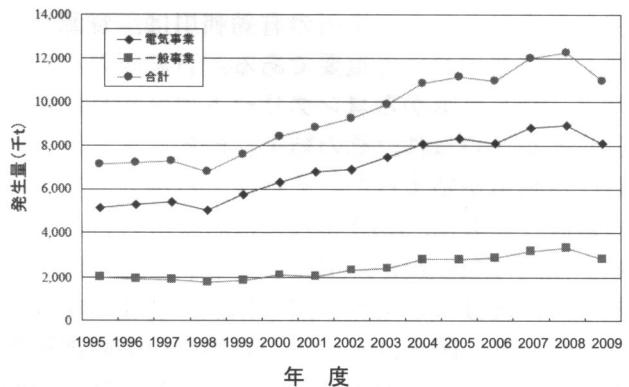


図1 石炭灰発生量の推移

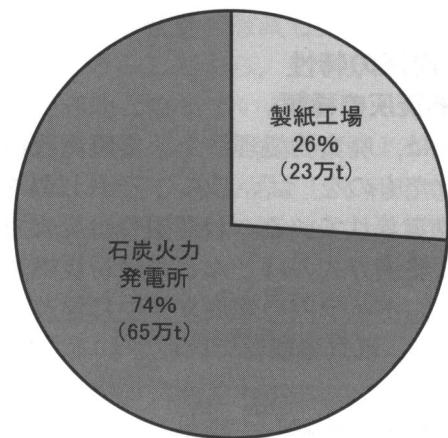


図2 北海道における石炭灰発生量（2002年度）

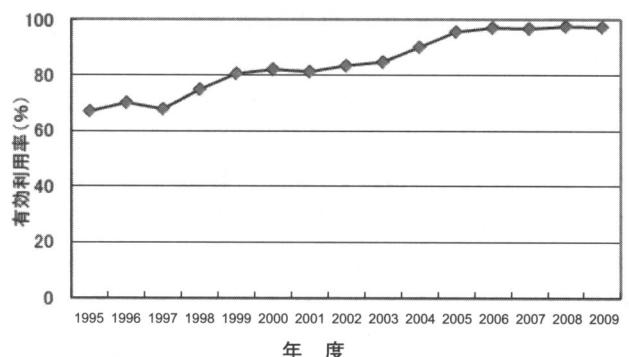


図3 石炭灰有効利用率の推移

* 室蘭工業大学大学院 工学研究科 教授

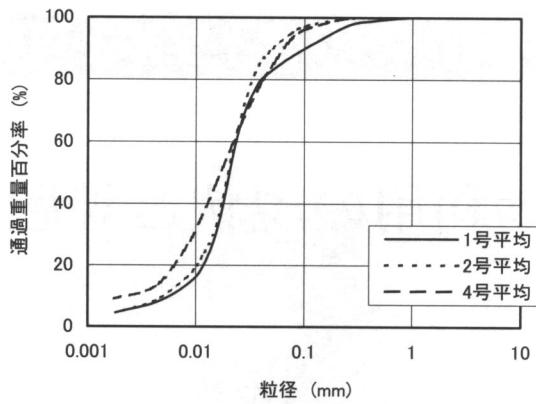


図4 フライアッシュの粒径加積曲線の例

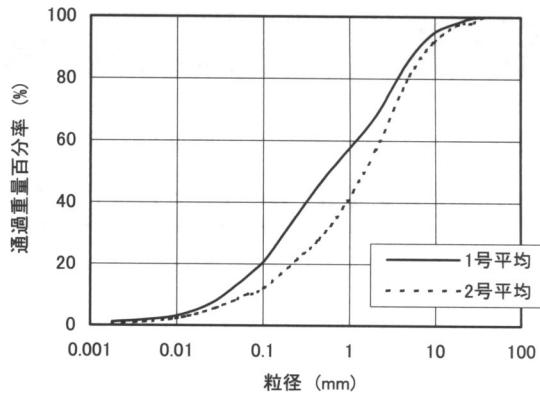


図5 クリンカッシュの粒径加積曲線の例

程度が電気事業によるものであり、石炭火力発電所から排出される石炭灰の有効利用は、資源リサイクル推進において重要である。石炭灰の有効利用は、1955年頃からコンクリート用混和材に関する研究が進められ、その結果、最初にダム建設における利用が始まった。その後、石油火力発電所の建設とともに、1970年代には石炭灰の排出量は減少傾向になったが、海外炭の導入とともに石炭灰の排出量は再び増加傾向に転じ、現在の状況に至っている。図3は石炭灰の有効利用率の推移を示しているが¹⁾、1995年度で67%だったものが2009年度で約98%になっている。このように石炭灰の有効利用はかなり進んだ状況にある。

3. 石炭灰の特性

3.1 石炭灰の種類

石炭灰は、廃棄物処理法上、集塵施設によって集められたものを“ばいじん”，それ以外を“燃え殻”と規定されている。わが国の石炭火力発電所における燃焼方式のほとんどが微粉炭燃焼方式であるため、ボイラ内の燃焼ガス中に浮遊して球形粒子となり、電気集塵器で回収される“ばいじん”をフライアッシュ、ボイラ内で燃焼によって生じた石炭灰粒子が溶解して凝集し、ボイラ底部に設置された水槽に落下堆積する“燃え殻”をクリンカッシュと称している。なお、わが国での稼働数は非常に少ないが、有害な硫黄化合物の除去のための石灰石を、石炭とともにボイラに投入し流動させながら燃焼させる加圧流動床燃焼方式では、“ばいじん”をPFBC灰、“燃え殻”をBMアッシュと呼んでいる³⁾。一方、製紙工場から発生する石炭灰は、石炭火力発電所と比較してクリンカッシュの割合が多い。以下には、わが国で一般的な石炭灰である「フライアッシュ」と「クリンカッシュ」の特性について述べることとする。

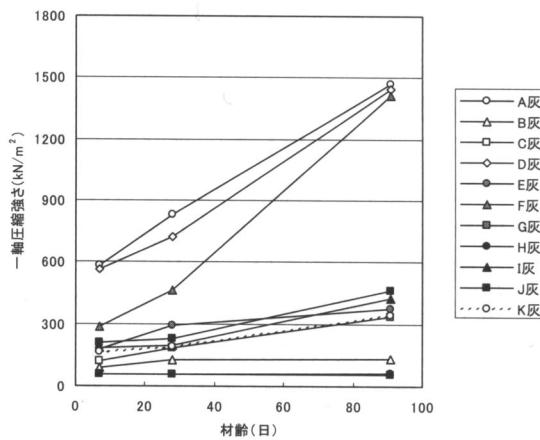


図6 フライアッシュの一軸圧縮強さ

3.2 化学的特性

フライアッシュの主な化学組成は、全体の70~80%が二酸化けい素 (SiO_2) と酸化アルミニウム (Al_2O_3) で、鉄やカルシウム等の酸化物が数%程度含まれている。クリンカッシュの化学組成は、フライアッシュと同様に、二酸化けい素と酸化アルミニウムが全体の70~80%である。両者とも、一般的な地盤材料に類似した化学組成である。pHについては、フライアッシュが10~12.5程度の場合が多く強アルカリ性であり、クリンカッシュは9程度で弱アルカリ性である。一般に、石炭灰は人工ポゾラン材料であるといわれるようシリカ質混合材である。すなわち、単体では水で練っても硬化する性質がないが、水に接すると水酸化カルシウム (Ca(OH)_2) と化合するため、不溶性があり硬化するシリカ質化合物を生成する。石炭灰の場合、十分に締固めたフライアッシュにこの水硬性が見られ、いわゆるポゾラン反応が生じる。この凝結反応はセメントと本質的に同じものであるが、ポゾラン反応による強度発現は、フライアッシュの種類により異なる。

3.3 物理・力学特性

一般的な土粒子の密度は 2.6 g/cm^3 程度である

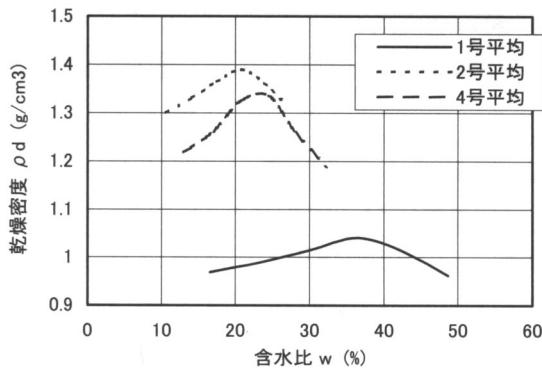


図7 フライアッシュの締固め曲線

のに対して、フライアッシュの粒子密度は 2.2 g/cm^3 程度であり、一般的な土に比べかなり軽い。フライアッシュの粒径加積曲線の例を図4に示す。平均粒径が 0.02 mm 程度で、シルト分以下の細粒分が 90% 程度の粉体である。一方、クリンカッシュの粒子密度は 2.3 g/cm^3 程度であり、一般的な砂の土粒子の密度に比べて小さい。図5はクリンカッシュの粒径加積曲線の例である。粒径幅が大きく、粒度調整碎石に似た粒度分布を示している。地盤材料の工学的分類方法で分類すると、フライアッシュは「シルト」、クリンカッシュは「砂質土」に分類される場合が多い。

図6は、北海道電力苦東厚真火力発電所2号機から発生したフライアッシュの室内作製供試体に対する一軸圧縮試験結果例である²⁾。フライアッシュの一軸圧縮強さは灰種によって大きく異なり、材齢90日で $70\sim1400 \text{ kN/m}^2$ の範囲にある。また、一軸圧縮強さが小さいG灰やH灰は、材齢によっても増加傾向を示していないことから、自硬性がないと考えられる。このように、フライアッシュの一軸圧縮強さは、原料である石炭の影響を強く受けると考えられる。

一般に、フライアッシュのせん断抵抗角 ϕ は 30° 程度で粘着力 c が大きく、クリンカッシュのせん断抵抗角 ϕ は 35° 程度で粘着力 c が小さい場合が多い。一方、透水係数については、最大乾燥密度条件におけるフライアッシュの透水係数は 10^{-5} cm/s のオーダーで「透水性の低い」材料、クリンカッシュの透水係数は $10^{-2}\sim10^{-3} \text{ cm/s}$ のオーダーで「透水性の中位な」材料といえる。

3.4 締固め特性

フライアッシュおよびクリンカッシュの締固め曲線の一例を図7及び図8に示す²⁾。フライアッシュの締固め特性は、概ね最適含水比が小さく、最大乾燥密度が大きい場合が多いが、図に示す4号のように、最適含水比が大きく最大乾燥密度が小さい場合もあり、ボイラや炭種によって大きく

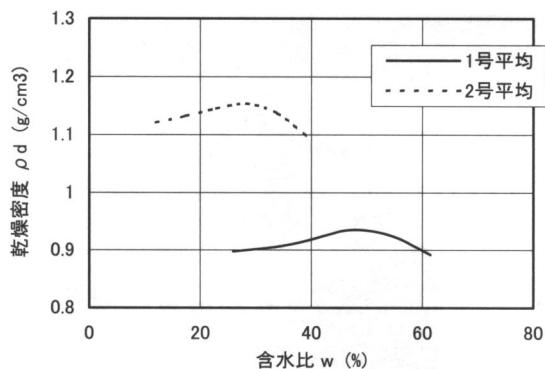


図8 クリンカッシュの締固め曲線

異なるといえる。これは未燃炭素分の影響と考えられる。一方、クリンカッシュの締固め特性は砂とは対照的に最適含水比が大きく、最大乾燥密度が小さくなる傾向がある。このため、転圧に対する抵抗性が強くなり硬い地盤になりにくく、路盤材として適用する場合には注意する必要がある。

4. 地盤材料としての石炭灰の適用

石炭灰の有効利用分野の内訳は、セメント分野が $65\sim70\%$ を占めており、次に土木分野、建築分野、農林・水産分野の順となっている¹⁾。しかし、セメント分野における利用の大半はセメント原料としての利用であり、近年の大型公共工事の減少によりセメント生産量も激減し引取り量がほぼ限界に近づいていることから、土木分野での有効利用の拡大が課題となっている⁴⁾。表1に石炭灰の主要用途別内訳を示す⁵⁾。表に示すように、石炭灰は様々な工種及び加工品として利用されている。図9は、北海道電力の石炭火力発電所から排

表1 石炭灰の主要用途内訳

石炭灰の主要用途内訳	
大分類	中分類
セメント	セメント原料(粘土代替)、普通ポルトランドセメント、フライアッシュセメント、3成分系低発熱セメント
コンクリート混和材	土木工事、建築工事、生コンクリート
地盤改良材	地盤中層材、排水改良材、軟弱地盤改良材
道路	アスファルトフィラー材、下層路盤材、凍土抑制材、遮断層材
建材	土木建築用コンクリート製品、建築用内外装材、窯業製品、人工軽量骨材
農水産	肥料、人工床土、培養土、人工漁礁材
その他	人工ゼオライト、人工軽量地盤(屋上緑化)、トンネル裏込材、軽量盛土材、コンパクションパイル中詰材、スラリー材、フライアッシュモルタル、消波ブロック用新素材コンクリート、排煙脱硫剤、高分子材料の混和材・充填剤、水処理材

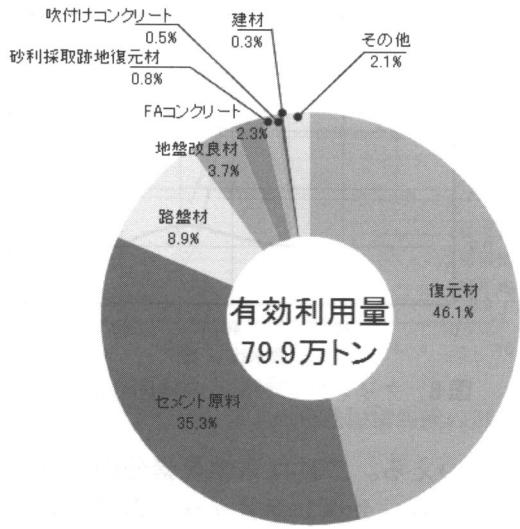


図9 北海道電力における石炭灰の利用内訳
(2011年度)

出される石炭灰の利用内訳を示している⁶⁾。約80%がセメント原料や復元材（炭坑充填用）として利用されており、路盤材としての利用は9%程度、地盤改良材や建設資材としての利用は、数%程度である。

石炭灰を地盤材料として有効利用する場合は、盛土材、凍上抑制層材、路盤材、地盤改良材、流動化充填材として適用されている。表2には、地盤材料としての利用形態と利用方法を示す²⁾。フライアッシュ単体では乾燥状態で地盤改良材としての利用があるが、フライアッシュに固化材等を混合して石炭灰混合材料としての適用が多い。一方、クリンカアッシュは盛土材や凍上抑制層材に利用可能である。写真1は、札幌市におけるクリンカアッシュの下層路盤材としての適用例であり、通常の下層路盤材に用いられる粒度調整碎石と同様の状況であることが分かるが、クリンカアッシュは品質にばらつきがあるため、下層路盤材としての利用にあたっては事前に確認が必要である。造粒材は、主にフライアッシュを対象として、添加材で固める造粒固化方式、焼成による造粒焼結方式、溶融急冷による溶融スラグ方式によって製造され、1) 強度の増大、2) 吸水膨張の防止、3) 凍上の抑制、4) ハンドリングの改善、5) 貯蔵の容易性、6) 重金属等の溶出抑制の効果が期待できる。

以上より、地盤材料としての石炭灰の利用用途は、盛土工や路盤工、地盤改良工などに適用可能であり、多くの利用量が期待できることから、この分野での有効利用の拡大が望まれる。

表2 地盤材料として利用形態と利用方法

利用形態	利用方法	フライアッシュ		クリンカアッシュ
		単身	単身+固化材	
乾燥状態	地盤改良材	○	—	—
	水分調整+強度増加	—	○	—
湿潤状態	盛土材	△	○	○
	凍上抑制層材	×	△	○
スラリー状態	路盤材	×	×	○
	流動化充填材	×	○	×

○：適する、△：利用可能であるが、事前の適正確認を要する、
×：適さない、—：対象外



写真1 クリンカアッシュの下層路盤への適用例
(札幌市手稲区西宮の沢新発寒通副道)

5. おわりに

東日本大震災による原発事故以降、石炭灰排出量の増加が予想されることから、今後、さらなる石炭灰の有効利用の拡大が喫緊の課題であり、とりわけ、使用量が多量となる地盤材料としての有効利用の促進が望まれる。さらに、土木分野における新たな有効利用方法の研究や技術開発が、産官学の連携によって推進されることが重要であると考えられる。

〈参考文献〉

- (財)石炭エネルギーセンター：石炭灰全国実態調査報告書（平成20年度実績），2010.
- 北海道循環資源利用促進協議会建設資材部会：地盤材料としての石炭灰利用マニュアル，2005.
- (社)土木学会、エネルギー土木委員会 新技術・エネルギー小委員会 石炭灰有効利用分科会：報告書「石炭灰有効利用技術について—循環型社会を目指して—」，2003.
- (財)石炭エネルギーセンター：港湾工事における石炭灰混合材料の有効利用ガイドライン，2011.
- 日本フライアッシュ協会：フライアッシュ・クリンカアッシュの用途，日本フライアッシュ協会HP.
- 北海道電力：ほくでんHP，石炭灰の有効利用実績，石炭灰有効利用量内訳（平成23年度）.

コンクリート塊、鉄軌道用バラストの再利用

【Key Word】

コンクリート塊、バラスト、再生碎石

せき ね えつ お
関 根 悅 夫*

1. はじめに

建築や土木構造物の解体・建設工事により排出されるコンクリート塊は、図1に示すように1995年度で約3,600万トン、2000年度で約3,500万トン、2005年度で約3130万トンあり、建設副産物全体の約1/3を占め、道路等の舗装から排出されるアスファルト・コンクリート塊と併せると約3/4を占める。このコンクリート塊は、「再生資源の利用の促進に関する法律」(平成3年法律第48号)いわゆる、リサイクル法の中で、原材料として利用の可能性があるものとして示されており、再資源化率が高く、約95%が再生碎石として道路の路盤材料等へ利用されている。しかし、人工材料であるコンクリート塊は、自然の碎石に比較して強度が小さい等、その品質が劣っている場合が多くあるものの、地盤材料としての検討事例は少ない。

一方、人工材料ではないが、ほぼ定量の排出が毎年あるものとして、鉄道軌道用のバラストがある。バラストは、図2、3に示すように、バラスト軌道のまくらぎを支持する材料で、良質な自然碎石が用いられている。しかし、列車の繰返し荷重による摩耗や多量の細粒分の混入の場合には、新しい材料と交換される。バラストの交換周期を30年とすると、JRに関しては、線路延長が約2万kmであるため、1万トン/年程度の排出があると推測される。

ここではコンクリート塊を盛土等の地盤材料として適用することを念頭に置いて検討した諸特性及び、排出されたバラストを再利用するために検討した結果について紹介する。

2. コンクリート塊

2.1 コンクリート塊の適用事例

コンクリート塊の利用で最も多いのは、排出されたコンクリート塊をアスファルト・コンクリートとともに再生資源化施設へ搬入し、破碎、粒度調整を行い、必要により自然碎石と混合した再生碎石の路盤材等への利用である。

そのほかに再生資源化施設に運搬せず、排出される現場で破碎し、そのまま利用する場合もある。

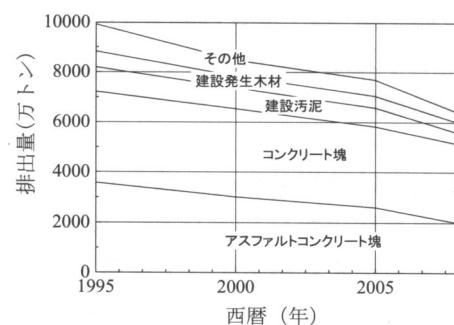


図1 建設副産物排出の推移

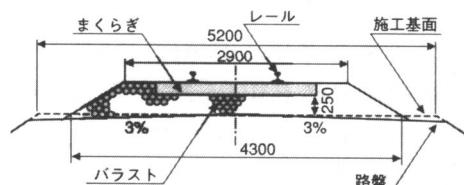


図2 バラスト軌道の概略



図3 バラスト軌道の概略

* 北武コンサルタント(株)調査役

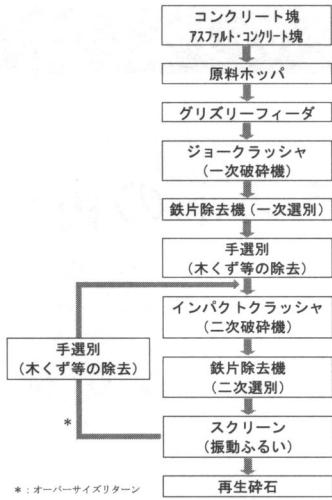


図4 再生碎石の製造フロー

コンクリート橋梁の撤去・新設工事にて、発生したコンクリート塊を現場で破碎・粒度調整し、仮設道路の路盤材やPCウェル工法の中詰め材に利用している例がある。また、兵庫県南部地震で被害を受けた堤防の復旧工事では、被災した旧堤防の護岸コンクリートを現場で圧碎機により一次破碎し、自走式の破碎機と油圧破碎機で二次破碎を行い、新堤防護岸工の基礎碎石として用いている。漁港の改修工事でも、既存防波堤の一部を取り壊し、航路を開削する際に発生したケーソンを岸壁取り付け護岸に流用し、その上部を取壊した際に発生した塊を中詰材として利用している例もある。

自然調和型防波堤整備の一環として、島式防波堤背後に海草類生育に必要な水深確保のための小段を形成するためにコンクリート塊を用いた例もある。用いたコンクリート塊は、仮設の落石防護柵に用いていた基礎ブロック ($1.25 \times 2.0 \times 2.0\text{ m}$) 約1,500個である。

また、独立行政法人都市再生機構では、団地内で排出されるコンクリート塊は、団地内で現地再生し、可能な限り再利用を図り、現地再生できない場合は、再生資源化施設に搬出し、再生碎石等を団地内で利用することとしている。

2.2 再生碎石の諸特性

再生碎石の再生資源化施設は全国に約1,200ある。再生碎石製造のフローの例を図4に示す。基本的に、コンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊を破碎し、鉄や不純物・ゴミ等を完全に取り除いた後、粒度調整を行う工程となる。製造された再生碎石は、再生粒度調整碎石(RM-40, RM-30, RM-25)、再生クラッシュラン(RC-40, RC-30, RC-20)として、主に道路の路盤材として

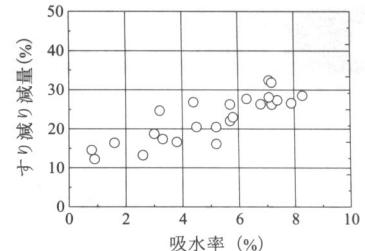


図5 吸水率と破碎率、すり減り減量

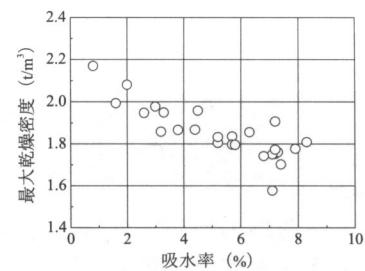


図6 吸水率と最大乾燥密度

利用されている。

この再生碎石に関して、全国26施設からの再生碎石を調査したところ、自然碎石に比べ、品質に大きなばらつきがあることがわかった^{3),4)}。

粒度については、粒径幅が広いものから狭いものまで多岐にわたり、均等係数は3~107の範囲であった。碎石の基本的性質である吸水率も0.8~8.3%とその範囲は広く、道路用碎石の吸水率は耐久性を考慮して3%以下¹⁾とされていることから、再生碎石は、良質な自然碎石より粒子内の空隙が多く、耐久性に劣ると考えられる。そこで、ロサンゼルス試験によるすり減り減量と吸水率との関係を整理すると(図5)、すり減り減量は吸水率の増加とともに増加していることがわかる。一般に、良質な自然碎石のすり減り減量は20%以下¹⁾であることから、吸水率6%以上の再生碎石は、摩耗しやすい材料であるといえる。

締固め特性についても、最大乾燥密度は1.577~2.169 t/m³とばらつきは大きく、吸水率と最大乾燥密度との関係で整理すると(図6)、吸水率の増加とともに最大乾燥密度は小さくなつた。道路用碎石としてよく用いられる粒度調整碎石の最大乾燥密度は2 t/m³程度であることから、吸水率3%以上の再生碎石は、十分に締め固めた粒度調整碎石よりも乾燥密度は小さいこととなる。

また、環境面から、重金属に関して、26試料中11試料が土壤に係る六価クロムの環境基準値(平成3年環境庁告示第46号に定める方法による試験の検液濃度で0.05 mg/トル)を越えていたことから、再生碎石の利用において注意が必要である。

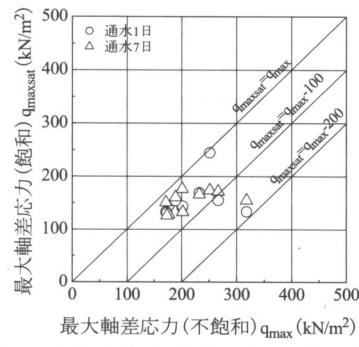


図7 吸水率と破碎率、すり減り減量

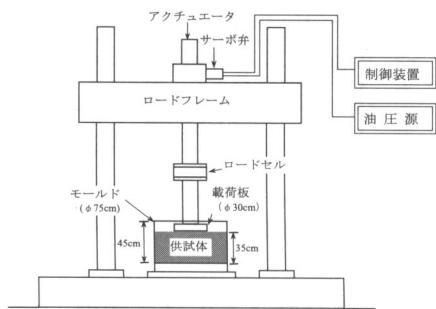


図8 試験装置の概略

コンクリート塊の強度特性については、一般的には風乾状態（不飽和状態）での三軸圧縮試験で評価している。しかし、再生碎石を地盤材料として、特に盛土材料として用いる場合には、雨水の浸透等による水の影響、すなわち飽和状態にも配慮する必要がある。

飽和状態（有効拘束圧 29.4 kN/m²）と不飽和状態の強度特性を比較するため、それぞれの最大軸差応力を比較すると（図7）、飽和状態での最大軸差応力は、不飽和状態のそれに対して小さくなる傾向を示している。せん断後の粒子破碎については、飽和状態の方が不飽和状態より粒子の破碎率が大きくなる傾向を示している。

2.3 再生碎石の繰返し荷重に対する耐久性

再生碎石を路盤や盛土の材料に利用した場合、交通荷重が作用するため、自動車や列車走行による繰返し荷重に対する耐久性が重要となる。そこで、繰返し荷重に対する耐久性について、図8に示す装置を用い、正弦波（22 Hz）、200万回の繰返し載荷を与え、載荷後の粒子破碎の状況から耐久性を評価した^{3), 4)}。

図9、10は、載荷後の粒子の破碎率を吸水率、すり減り減量との関係で整理したものである。吸水率が6%以上、すり減り減量が30%以上となると載荷応力の増加とともに破碎率が大きくなる傾向にあり、載荷応力振幅が100 kN/m²以上で顕著である。従って、吸水率が6%以上、すり減り減量が30%以上の再生碎石については、交通荷重の作用に対する十分な注意が必要となる。

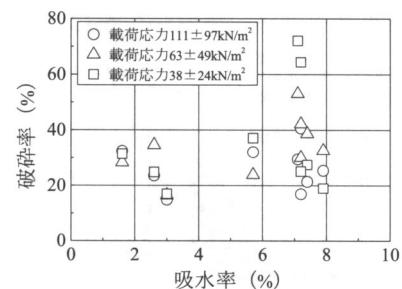


図9 吸水率と破碎率

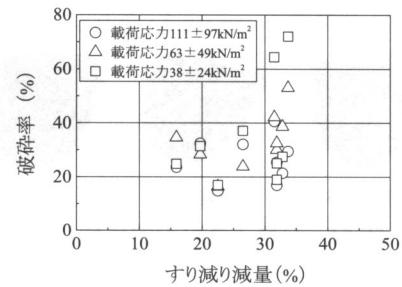


図10 すり減り減量と破碎率

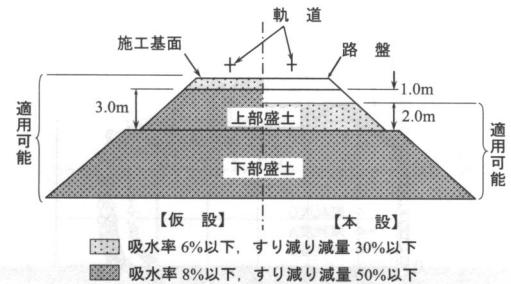


図11 盛土・路盤でのコンクリート塊の適用条件

著である。従って、吸水率が6%以上、すり減り減量が30%以上の再生碎石については、交通荷重の作用に対する十分な注意が必要となる。

2.4 鉄道における再生碎石の適用範囲

鉄道では、コンクリート塊の土構造物への適用事例は多くない。そこで、前記したように、コンクリート塊の水の影響による強度低下を含む劣化、列車の繰返し荷重による粒子破碎や沈下が吸水率、すり減り減量と関連があることから、仮線施工等の仮設や本設に適用する場合の条件を図11のように設定している^{5), 6)}。

3. バラスト再利用の検討^{7), 8)}

鉄軌道用のバラストは、稜角に富んだ良質な自然碎石であるが、列車の繰返し荷重を受け、摩耗したり多量の細粒分が混入した場合は、新しいバラストに更新される。その更新の際、排出されるバラストは産業廃棄物として処分されている。しかし、資源の有効活用、環境の観点からバラストの再利用の検討が必要である。バラストを再利用

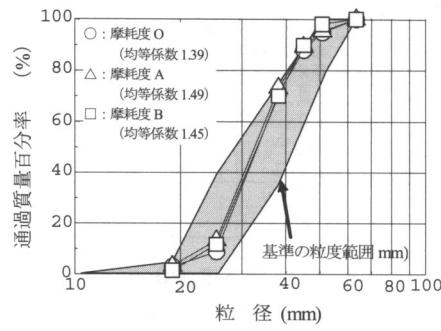


図 12 試料の粒度分布



図 13 バラスト粒子の写真の例

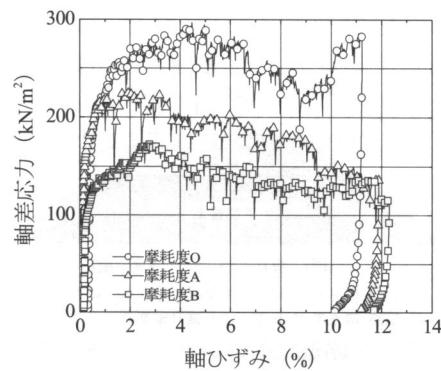


図 14 軸ひずみと軸差応力

するには、基準の粒度分布となるように粒度調整を必要とするが、基準の粒度分布となつても列車の繰返し荷重等により摩耗し、稜角性を失い、丸みを帯びたバラスト粒子が当初の性能を有するとは限らない。そこで、列車の繰返し荷重によって摩耗したバラスト粒子の強度特性、列車の繰返し荷重による沈下特性についての検討した結果を紹介する。

3.1 摩耗したバラストの粒度

摩耗したバラストの再現は、ロサンゼルス試験機により新しいバラストを強制的に摩耗させて行い、摩耗段階を摩耗度 0 (摩耗時間 0 分)、摩耗度 A (摩耗時間 10 分)、摩耗度 B (摩耗時間 35 分) の 3 種設定した。図 12 に摩耗度 O、A、B の粒度分布、および基準の粒度範囲を示す。また、摩耗度 O、A、B それぞれのバラストの写真の例を図 13 に示す。これらから、バラストの摩耗が進行しても、粒度分布の変化は少ないことがわかる。

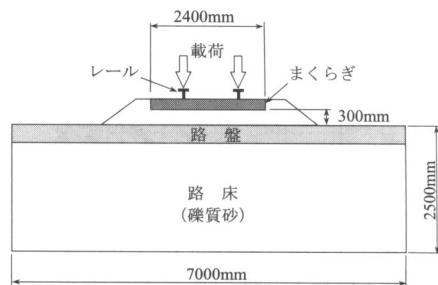


図 15 実物大模型軌道の概略

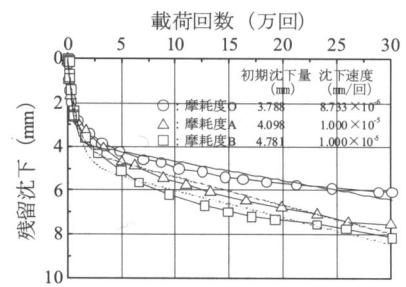


図 16 載荷回数とまくらぎの残留沈下

3.2 摩耗したバラストの強度特性

図 14 は、各摩耗段階のバラストの強度特性を把握するために行った三軸圧縮試験の結果である。最大軸差応力は摩耗度が進むにつれて小さくなる傾向を示し、粒子の摩耗とともに強度が小さくなることがわかる。

3.3 摩耗したバラストの沈下特性

摩耗したバラストを軌道に用いた場合の列車の繰返し荷重による沈下特性を把握するために、図 15 に示す实物大模型軌道を用いて繰返し載荷試験（荷重振幅 120 kN、載荷回数 30 万回）を行っている。

図 16 に示すように、各摩耗度とも載荷初期に残留沈下が急激に進行し、その後 10 万回以降は載荷回数に対して線形的に残留沈下が増加する傾向を示しており、その傾向は、摩耗の程度が進むほど顕著である。しかし、問題となる沈下を生じるような摩耗の程度については今後の課題である。

4. おわりに

コンクリート塊は様々なコンクリート構造物の撤去工事から発生するため、その品質は既設のコンクリート構造物の品質に左右される。排出されるバラストについてもその石質は多種であり、再生碎石や排出されるバラストの品質も幅広いものとなる。品質に幅がある再生碎石やバラストを地盤材料として利用する場合には、利用する再生碎石、バラストの品質と適用する構造体に対する要

求性能等を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 土木学会編：舗装工学，丸善，p 152, 1995.2
- 2) 日本道路協会編：舗装試験法便覧，p 275, 1988.11
- 3) 関根悦夫, 池田利昭: 再生碎石の地盤工学的特性, 土と基礎, Vol. 51, No. 5, pp. 31~33, 2003.5
- 4) 関根悦夫, 池田利昭: 建設・産業副産物の地盤工学的有効利用 7. コンクリート塊, 土と基礎, Vol. 53, No. 7, pp. 45~50, 2005.7
- 5) 村田修, 関根悦夫: 建設・産業副産物の地盤工学的有

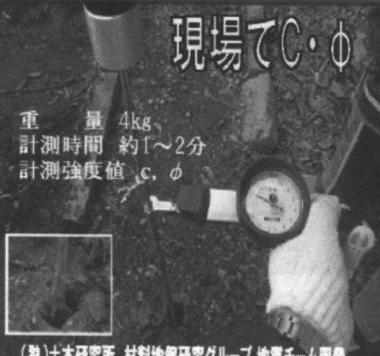
効利用 3. 鉄道での利用, 土と基礎, Vol. 53, No. 4, pp. 51~54, 2005.4

- 6) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物, 丸善, pp. 484, 2007.1
- 7) 関根悦夫, 河野昭子, 長戸博, 鬼頭昭人: 道床バラストの摩耗過程における強度・変形特性, 鉄道総研報告, Vol. 16, No. 4, pp. 5~10, 2002.4
- 8) E. Sekine, H. Kohata: Strength and Deformation Characteristics of Railroad Ballast in Abrasion Process of Ballast Particles, Proceedings of 12th Asian Regional Conference on SMGE, 2003.8

土木研究所資料 第4176号に準拠

土層強度検査棒

現場でC・φ



重量 4kg
計測時間 約1~2分
計測強度値 c, φ

(株)土木研究所 材料地盤研究グループ 地質チーム開発

SS試験と併用



Site 02
2011年12月19日14:00~

安定解析・対策工設計

土質強度等入力	入力値	標準値
過剰間隙水圧消滅時間 t_0 (m)	3.0	3.0
単位体積重量 γ (kN/m ³)	18.0	18.0
側面粘着力 c' (kN/m ²)	39.0	39.0
側面内摩擦角 ϕ' (度)	35.0	35.0
底面粘着力 c'' (kN/m ²)	0.0	0.0
底面内摩擦角 ϕ'' (度)	25.0	25.0

標準値と異なる値を入力した際には、入力値と標準値の間にマークが表示されます。

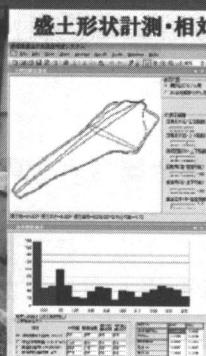
移動体体積の計算方法 [面積A×深さD] or 「幅W×長さL×深さD」

幅W/深さD比 14.9

国土地理院技術資料H-1-No.10に準拠

滑動崩落危険度評価

盛土形状計測・相対的滑動崩落発生可能性評価支援システム



GISに output; 谷埋め盛土ハザードマップ



有限会社太田ジオリサーチ

<http://www.ohta-geo.co.jp>

新東名高速道路盛土建設における重金属含有土対策

【Key Word】

改正土壤汚染対策法、自然由来重金属、遮水工封じ込め、固化・不溶化

やまわき まこと なかの まさき みしま のぶお
山脇 慎*・中野 正樹**・三嶋 信雄***

1. はじめに

平成 22 年 4 月の改正土壤汚染対策法施行により自然由来の重金属についても同法の対象となつた。特に大規模な土地の改変による発生土砂の移動を伴うことの多い公共事業において、同法の施行の影響は大きい。従来、重金属対策は掘削除去が主たる対策となっており、莫大な処理費用が必要とされた。このため、事業区域内において重金属含有土を安全かつ有効に活用する事が重要である。

NEXCO 中日本では、愛知県区間の新東名高速道路の建設に伴い発生した重金属含有土を盛土材として使用する事とし、学識経験者、矢作川沿岸水質保全対策協議会等の漁業関係者並びに地元行政を交えた委員会を開催し、その対策工を検討した。

今回、検討結果に基づく重金属対策工について報告する。

2. 新東名高速道路における重金属含有土の概要

西三河地域は变成岩類（片麻岩）が広く分布しており、砂質片麻岩および泥質片麻岩が卓越した箇所において重金属含有土が発生している。事前調査により新東名高速道路の建設用地における片麻岩の一部に我が国の環境基準を超える重金属の溶出が確認された。

2.1 重金属の判定手法

当該地域の重金属含有土は、水への溶け出し易さを示す「溶出量」において環境基準の超過が懸念された。このため、トンネル掘削においては 1

日 1 回、明かり部の掘削箇所においては岩質毎に 1 日 1 回、重金属の溶出量試験を実施しながら施工した。

溶出量試験は溶液に浸した電極の電位と電流から溶存物質の定性・定量分析を行うボルタンメトリー法を用いて行った（写真 2-1）。ボルタンメトリー法では約 10 時間で検査結果が得られるため、約 2 週間を要する公定法に比べ工事の進捗に対し効果的な検査が可能となる。

環境基準に対する判断は、事前に公定法とボルタンメトリー法の計測結果に対する相関を取り、新たな基準値を設定している。

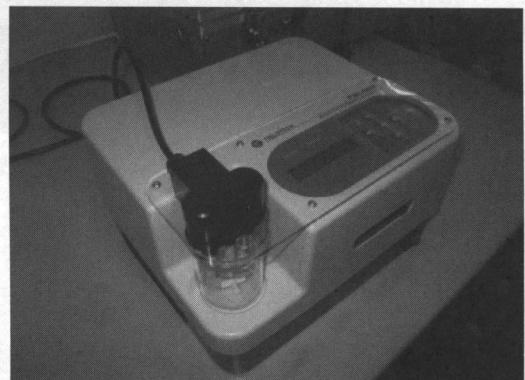


写真 2-1 ボルタンメトリー測定器具

2.2 重金属含有土発生状況

現時点では、トンネル掘削土において重金属類のうち溶出量基準（0.01 mg/l）を超えるヒ素が発生している。

環境基準を超過するヒ素の溶出量の値は平均 0.04 mg/l 程度であるが、最大 6.00 mg/l を超えるものも発生している。当現場においてはヒ素溶出量が環境基準を超えたもののうち、第二溶出量基準（0.30 mg/l）以下の土砂について対策を施した上で高速道路の盛土材として使用した。また、第二溶出量基準を超えるものはセメント再資源化施

* 中日本高速道路株式会社 名古屋支社 豊田工事事務所

** 名古屋大学大学院工学研究科 社会基盤工学専攻 教授

*** 川崎地質株式会社 参与

設に搬出して処理を行った。

3. 遮水工封じ込め工法による対策

遮水工封じ込めは、遮水材で重金属含有土を包み込み、雨水から重金属を遮断して重金属の溶出を抑える工法である。当工法による対策は過去に複数の採用事例がある。このため本稿では当現場における施工時の留意点を主に述べる。

3.1 遮水工封じ込め工法の概要

盛土構造の概要を図3-1に示す。重金属含有土をカバーシステムと底部ライナーで包みこむ工法である。カバーシステムは中弾性の合成ゴム系の遮水シート($t=1.5\text{ mm}$)を二重にして用いた。底部ライナーはペントナイト混合土による粘土層と一重遮水シートを併用する構造とした。また、地下水位より高い位置で対策盛土を構築する事により、地下水の影響を極力避ける様に配慮した。

遮水工封じ込めは、底部ライナーの構築後に通常の盛土工事と遜色ない速さで工事の進捗を図れる事、また工事完了後には雨水の侵入が無いため、維持管理が比較的容易となる利点がある。

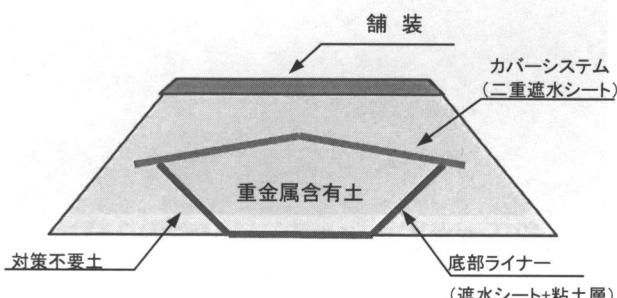


図3-1 遮水工概念図

3.2 ペントナイト混合土の品質管理

底部ライナーの粘土層として用いられるペントナイト混合土は、目標透水係数 $1 \times 10^{-8}\text{ m/s}$ 以下、

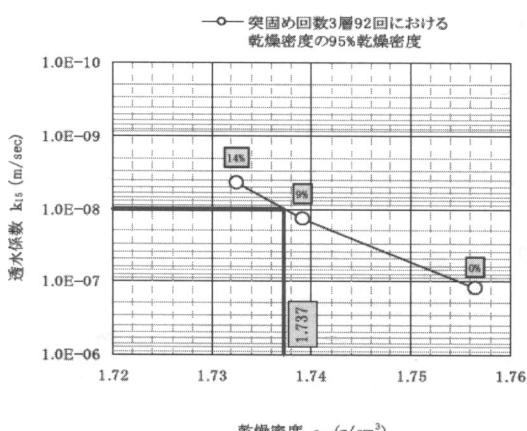


図3-2 95%乾燥密度における透水係数と乾燥密度の関係

層厚50cmを確保する事とした。ペントナイト混合土は、通常の粘土と同様、透水係数と密度に相関性があることから、配合設計においてこれらの関係を求め、遮水層として必要な管理基準値(密度)を求める。図3-2に95%乾燥密度における透水係数と乾燥密度の関係を示す。また表3-1に現地発生土の材料試験結果を示す。

表3-1 現地発生土の材料試験結果

	単位	試験結果
自然含水比 w_n	%	14.4
最大乾燥密度 ρ_{dmax}	g/m^3	1.911
最適含水比 w_{opt}	%	10.4
品質管理基準乾燥密度	g/m^3	1.737
ペントナイト添加量	%	10.5

ここでは、ペントナイト添加率10.5%、乾燥密度 1.737 g/m^3 での管理を決定した。これに基づきモデル施工を行い、品質管理基準密度を満たす転圧回数を求め、現場透水試験によりこの時の透水係数を確認した。

ペントナイト混合土の斜面部は設計厚50cmであるが、小型振動ローラーによる締固めでは十分な密度が得られないため、施工幅3mとして大型機械による締固めを行った後、不要部分を削り取った(写真3-1)。

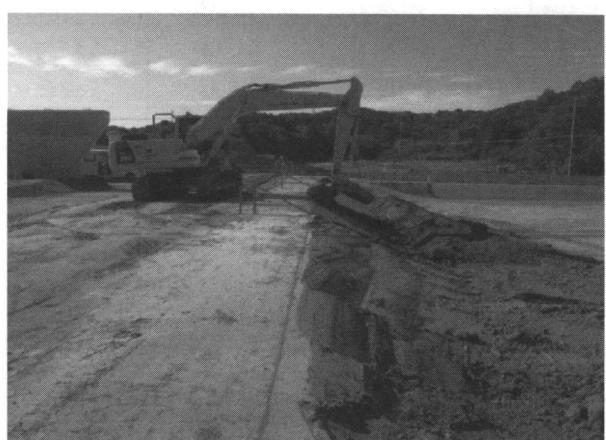


写真3-1 ペントナイト混合土斜面部の施工

3.3 雨水排水の管理

施工中の降雨対策として重金属対策盛土内部に堅坑並びに雨水排水管を設置した。

雨水排水管は沈下等による破断を防ぐため、360度コンクリートで巻き立てを行った(写真3-2)。また、雨水排水管と遮水シートの取合は弱部となるため、特殊治具を用いるなど工夫を凝らした。

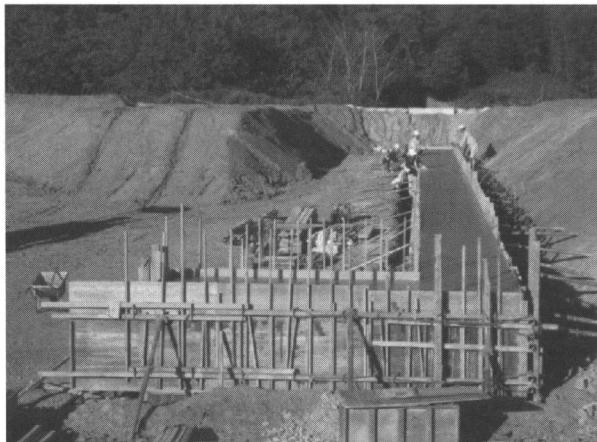


写真 3-2 雨水排水管の施工状況

工事中の雨水排水は沈砂池に導き、濁度を落とした後、河川に放流している。

重金属対策盛土上の降雨は、重金属（当現場ではヒ素）が溶出している可能性があるため、沈砂池への流入口にて1日1回ヒ素の濃度を確認した。また、ヒ素の濃度が環境基準（0.01 mg/l）を超えた場合に備え、ヒ素の吸着設備を沈砂池横に配置した（写真3-3）。また、重金属対策盛土施工中は、土壤汚染対策法に規定される周辺地下水の水質検査に加え、沈砂池や周辺河川の水質監視を行った。



写真 3-3 ヒ素吸着設備

実施している。

3.4 遮水工封じ込めの施工

図3-3に遮水工封じ込工法の断面図を示す。

最初に底部ライナーとしてペントナイト混合土による遮水層を構築した後、遮水シートを敷設する。遮水シートは現場での溶着箇所を少なくするため幅広シートを用いた。遮水シートの保護材として不織布と保護砂層（t=50 cm）を設けている（写真3-4）。

重金属含有土の盛土は対象がトンネルずりであるため、岩塊盛土の工法規定方式とした。モデル施工により一層の仕上がり厚さ50 cm、転圧回数8回を定めた。重金属含有土の対策盛土は900 m³に1回の公定分析を行い、重金属含有土の性状把握を行った。

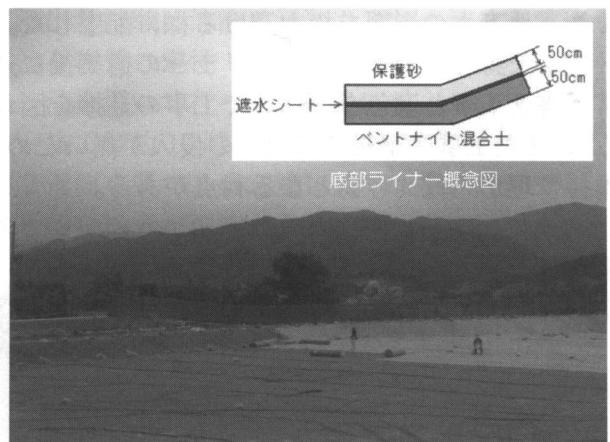


写真 3-4 遮水シート敷設状況

カバーシステムは、二重の遮水シートに加え、遮水シートの保護層として、シートの下部に30 cmの保護砂層、シート上部は不織布と50 cmの保護砂層を設けている。保護層の決定に当たっては事前に試験施工を行い、遮水シートの破断が起きない事を確認している。写真3-5は上部の保護砂層の施工が完了した状態である。

施工中において心配された降雨による重金属の流出は現在までの所発生していない。

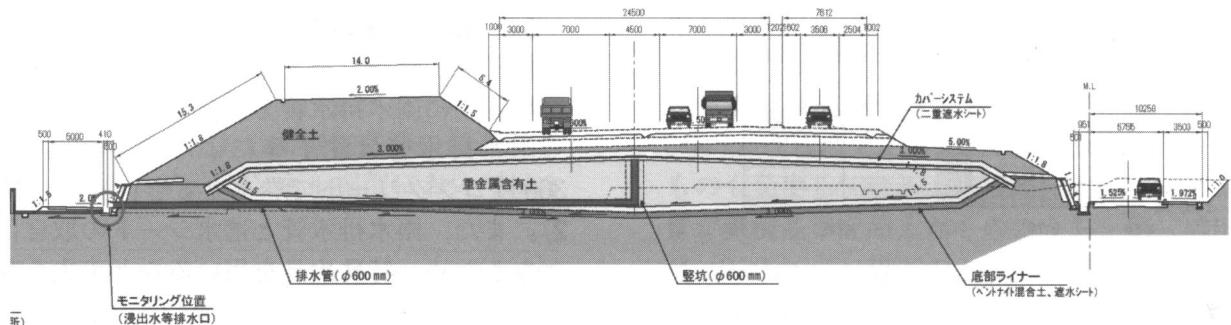


図 3-3 遮水工法標準横断図

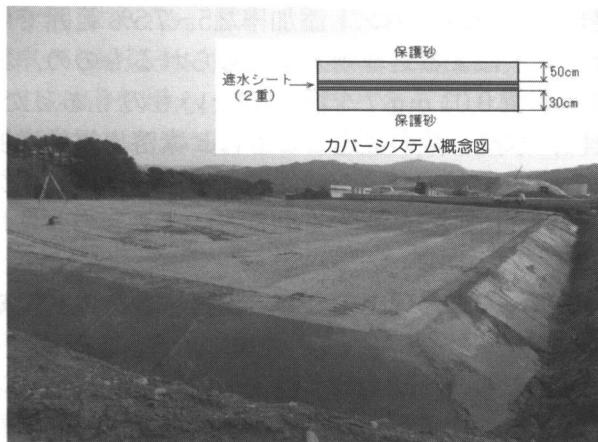


写真 3-3 カバーシステム完了状況

4. 固化・不溶化工法による対策

重金属含有土の発生状況により狭隘部においても重金属対策盛土を行う必要が生じ、不溶化工法を検討した。不溶化材等を用いた施工実績は、土壤において比較的小規模のものはあるものの、岩塊における実績はないのが現状である。ここでは、対象土が粒径の大きい岩碎であり、施工実績のある不溶化材がないことや施工規模が大きいことにより、経済性を考慮してセメント固化による不溶化工法を採用した。

4.1 固化・不溶化の確認試験

セメント固化・不溶化盛土を施工するにあたり、セメント固化による不溶化効果を把握するための室内試験を実施した。セメント固化・不溶化を確認する試験として、溶出量基準を超過するヒ素含有土を用いてセメント固化供試体を作製し、公定法によるヒ素溶出量試験、含有量試験、タンクリーチングによるヒ素溶出量試験等を実施し、セメント固化によるヒ素溶出量の削減効果を確認する。

なお、試験はヒ素含有土をクラッキングにより粒度調整（0～100 mm 程度）したもの用いた。

4.1.1 材料特性

材料試験結果を表 4-1 に示す。片麻岩の自然含水比 w_n は低く、最適含水比 w_{opt} よりも乾燥側となるため、安定処理を実施する際に加水の必要が

表 4-1 材料試験結果

試験項目	単位	試験結果
土粒子の密度 ρ_s	g/cm^3	2.701
自然含水比 w_n	%	1.5
強熱減量 Li	%	2.6
岩のスレーキング率	%	0.0
岩の破碎率	%	1.3

生じた。また、強熱減量は 2.6% と低く、風化の進んでいない岩塊と考えられる。

試験に用いた岩塊の採取方法を表 4-2 に示す。試験はヒ素の初期溶出量が異なる 4 種類の材料を用いた。採取したヒ素含有土は、自然含水比状態で非金属属性の網ふるい 2 mm を通過したものを試料土とし、ヒ素溶出量・含有量試験に供した（表 4-3）。

表 4-2 試験試料の採取方法

試料番号 (ヒ素溶出量)	採取方法
試料 1 (0.001mg/l)	ストックヤードに蓄積されたトンネルズリを、安定処理に必要な粒度となるようクラッキングにより粒度調整（100 mm～0 mm）された材料。
試料 2 (0.013mg/l)	トンネルズリにより、ヒ素溶出量が環境基準値をオーバーする岩石を取り出したもの。
試料 3 (0.37mg/l)	トンネル掘削時に部分的に存在する破碎帶より採取した試料土である。この試料土は礫分、砂分、細粒分とともに粘土化が進んでいる。今後のセメントによる固化・不溶化の研究に資するため採取した試料であり、本工事には使用されない。
試料 4 (1.7mg/l)	

表 4-3 ヒ素溶出量試験結果（公定法 2 mm 以下）

試料番号	ヒ素溶出量 As (mg/l)	ヒ素含有量 As (mg/kg)	pH
試料 1	0.001 未満	5 未満	11.5
試料 2	0.013	5 未満	8.1
資料 3	0.37	10	7.5
試料 4	1.7	180	7.7
基準値	0.01	150	—

4.1.2 六価クロム溶出量試験

セメント固化供試体による六価クロム溶出量試験を実施し、溶出量が環境基準以下であるか確認した。

添加方法は粉体添加とし、セメントと試料土を十分に混合後、JIS A 1210 で求めた w_{opt} になるように水を加えて再度十分に混合した。セメントは六価クロム溶出の恐れが少ない高炉セメント B 種を用いた。添加率は通常の安定処理で用いられる 2.5%, 5.0%, 7.5% の 3 種類とした。

供試体の作製は、JIS A 1210 に示す 10 cm モールド、2.5 kg ランマーを用いて 3 層 25 回で締め固めて供試体を作製した。作製した供試体は、温度 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ の養生室で 7 日間養生した。なお、モールドからの脱型は養生日数 1 日後に行っている。養生の終わった供試体を、木槌を用いて粗碎

を行い、非金属性の網ふるい 2 mm を通過したものを試料土とした。

六価クロム溶出試験結果を表 4-4 に示す。すべての添加率について環境基準値 0.05 mg/l 以下であり、今回の対象土である片麻岩にセメントを加えても六価クロムは溶出しないことを確認した。

表 4-4 六価クロム溶出試験結果

安定材添加率 (高炉 B 種)	六価クロム溶出量 (mg/l)
2.5%	0.002 未満
5.0%	0.002 未満
7.5%	0.002 未満

4.1.3 安定処理土のタンクリーチング試験

水浸に伴う安定処理土からのヒ素の溶出を確認するためにタンクリーチング試験を実施した。試験には表 4-2 に示すサンプリングの異なる試料 1~4 を用い、粒度調整 (D_{max} 26.5 mm) を行ったものを使用した。

セメント添加率は 2.5%, 5.0%, 7.5% の 3 種類とした。供試体作製方法は 4.1.2 と同様の方法で作製し、温度 20±3°C の養生室で 28 日間養生した。

28 日間養生後の供試体は所定の期間蒸留水に浸水させるとともに、3 日、7 日、28 日、90 日、180 日、1 年、2 年、3 年、5 年、7 年及び 10 年後に採水を行うこととした。それぞれ採水した蒸留水を環境省告示第 18 号により溶出試験を行った。また、pH は溶出操作後の検液を測定した。

図 4-1 にタンクリーチング試験結果を示す。この図は水浸日数（経過日数）に伴うヒ素溶出量の関係を示している。原土のヒ素溶出量 0.013 mg/l のものは、セメント固化後 90 日経過してもヒ素の溶出はなく、ヒ素溶出量 0.001 mg/l 未満となり環境基準値 0.01 mg/l を十分に満足している。

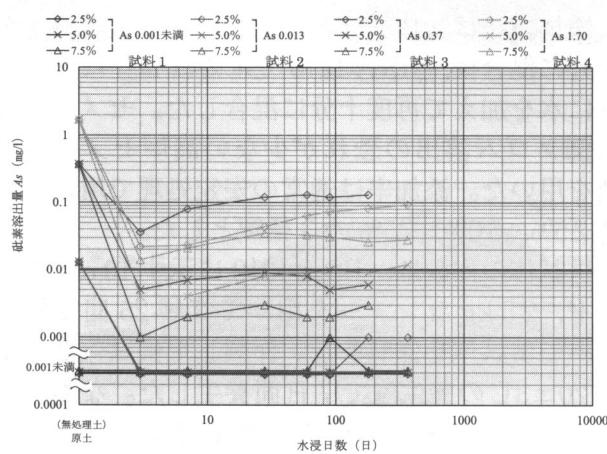


図 4-1 タンクリーチング試験結果

原土のヒ素溶出量 0.37 mg/l と 1.70 mg/l の試料は、今回のセメント添加率 2.5~7.5% 範囲ではセメントによる処理効果は認められるものの、環境基準値 0.01 mg/l を満足しないものもあった。また、水浸日数の経過とともにヒ素溶出量は増加する傾向にあった。これは固化・不溶化に必要なセメント添加率が不足したことによるものと思われる。

4.1.4 安定処理土のヒ素溶出量・含有量試験結果

試験に用いた原土は、表 4-2 に示すサンプリングの異なる 4 試料土を用いた。試料土は粒度調整 (D_{max} 26.5 mm) を行ったものを用いた。

供試体の作製は 4.1.2 と同様の方法で行った。供試体の養生効果を確認するために、3 日、7 日、28 日、60 日、90 日、180 日、1 年、2 年、3 年、5 年、7 年、10 年養生の供試体を作製した。作製した供試体は、温度 20±3°C の養生室で養生した。所定の養生が終わった供試体を用いて JIS A 1216 土の一軸圧縮試験方法に準じて一軸圧縮試験を行った。次に、一軸圧縮試験終了後の供試体を木槌などで粗碎し、非金属性の網ふるい 2 mm でふるい分け、2 mm ふるいを通過したものを分析用試料土とした。分析は風乾後、環境省告示第 18 号及び 19 号により溶出試験を行った。pH は溶出操作後の検液を測定した。

図 4-2 に安定材添加率と一軸圧縮強さの関係を示す。安定材添加率の増加に伴い、安定処理土の一軸圧縮強さも増加する。原土である片麻岩に対し、セメント安定処理は、強度発現性に有効であると言える。なお、各試料の 7 日強さを比較すると、ヒ素含有率がそれほど高くない試料 1, 2 に比べ、ヒ素含有率の高い試料 3, 4 の一軸圧縮強さは低くなり、試料 4 に関してはその強度が著しく低いものとなっている。

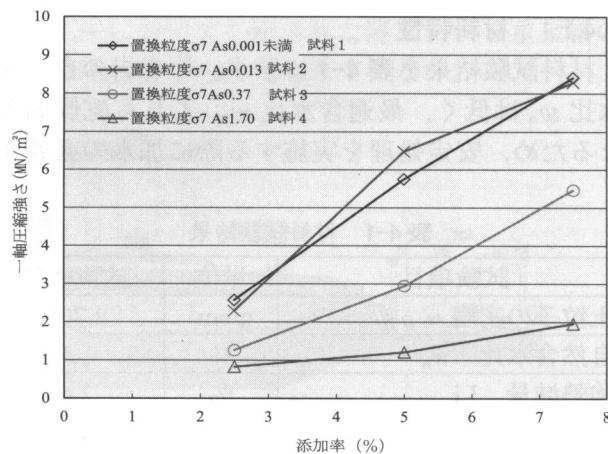


図 4-2 養生日数と一軸圧縮強さの関係

図4-3は、養生日数が一軸圧縮強さに及ぼす影響を示している。試料1,2については、安定材添加率が5%以上に対し、初期の一軸圧縮強さが約5MN/m²を超え、養生日数とともに一軸圧縮強さも増加している。しかし安定材添加率が2.5%になると、養生日数とともに一軸圧縮強さは増加するものの、その範囲は2MN/m²から6MN/m²となる。

試料3,4については、試料1,2に比べ、一軸圧縮強さは小さく、養生日数による増加も小さい。

図4-4は安定処理土の養生日数とヒ素溶出量の関係を示す。ヒ素溶出量は、3日養生でどの試料も急激に減少する。特に試料1,2については、3日以降の長時間経過してもヒ素溶出量は環境基準値0.01mg/l以下となっている。安定処理土は長時間にわたり環境基準値を満足する。試料3においても辛うじて環境基準値を満足している。一方、試料4については、安定材添加率が高いほど溶出量は抑えられる。また、どの試料も3日以降時間とともに溶出量は微増するものの、60日以降は減少傾向にある。このときのpHは試料1,2,4においてpH11~13の範囲にあり、セメントによる安定処理効果が持続していることを意味している。試料3についてのみpH7~13と幅がある。

ヒ素含有率が高い原土に対しては、低い原土に比べ、同じ安定材添加率に対する強度発現は小さ

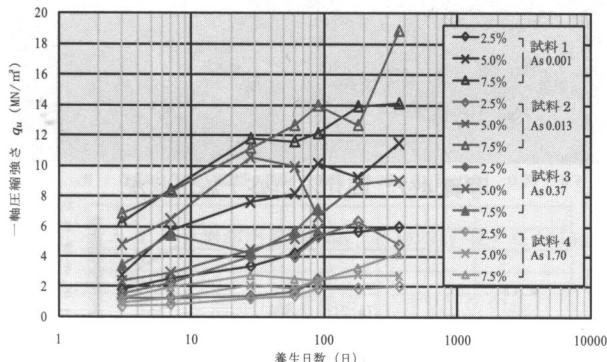


図4-3 養生日数と一軸圧縮強さの関係

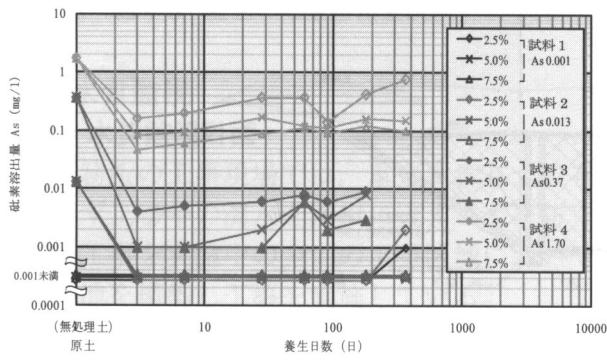


図4-4 養生日数とヒ素溶出量の関係

く、ヒ素溶出量も多くなっている。

4.1.5 固化・不溶化土のpH変化に対する長期安定性

一般的に不溶化処理土が酸あるいはアルカリに曝された場合に重金属等が溶出してくる恐れがあると言われている。これは、不溶化土の性状が不均一なため、適切なpH範囲に維持、制御できなく、重金属等の汚染土壌の安定した処理ができないことがあると考えられる。

不溶化処理土から重金属等が溶出してくる環境条件としては、pHや酸化還元電位の変化がある。つまり、不溶化処理した時のpHや酸化還元電位が、時間の経過とともに、物理化学的あるいは生物学的な要因によって変化することによる重金属等の溶出である。

今回は、セメントによる固化・不溶化処理土の長期的安定性や不溶化処理技術の安定性を判断する評価手法として、60日養生後の供試体を用いてGEPC技術標準の硫酸添加溶出試験法Iと消石灰添加溶出試験法Iを実施した。

表4-5にpH変化に対するヒ素溶出量（養生60日）を示す。ヒ素溶出量が環境基準値以下（試料1）及び環境基準値の1.3倍の試料（試料2）では、セメント固化・不溶化効果及び酸アルカリ環境変化への安定性が確認できた。ヒ素溶出量が37倍の試料3ではいずれの環境下でも環境規準以下となり、セメント固化・不溶化効果や強アルカリ条件での安定性が確認できたが、強酸環境ではヒ素の再溶出が見られ、強酸環境での安定性確認できなかった。

ヒ素溶出量が環境基準値の170倍の試料4においてもセメント固化・不溶化効果や、強アルカリ環境変化への安定性は確認できたが、強酸環境変

表4-5 pH変化に対するヒ素溶出量（養生60日）(mg/l)

原土	溶出試験条件	2.5%	5.0%	7.5%
試料1	固化不溶化後 σ_{60}	0.001未満	0.001未満	0.001未満
	硫酸添加			
	消石灰添加			
試料2	固化不溶化後 σ_{60}	0.001未満	0.001未満	0.001未満
	硫酸添加			
	消石灰添加			
試料3	固化不溶化後 σ_{60}	0.008	0.006	0.006
	硫酸添加	0.009	0.007	0.007
	消石灰添加	0.004	0.005	0.004
試料4	固化不溶化後 σ_{60}	0.37	0.12	0.11
	硫酸添加	0.41	0.14	0.12
	消石灰添加	0.21	0.086	0.072

化ではヒ素の再溶出が見られ、強酸環境での安定性は確認できなかった。

ただし、第二溶出量基準値 0.3 mg/l を超過する試料は、場外搬出処理をするために、この様な強酸環境下に置かれる場合は無い。また、第二溶出量基準値に近い試料を用いた試験結果より、第二溶出量基準値内の試料であれば長期安定性は確保されると判断出来る。

4.2 固化・不溶化盛土モデル施工

4.2.1 モデル施工実施条件

固化・不溶化盛土の実施に先立ちモデル施工を実施した。モデル施工の目的は大きく2つある。すなわち、①溶出基準を超える重金属含有土がセメント固化・不溶化処理により重金属の溶出が基準以下になることを確認すること及び②その混合方法、転圧機種、転圧回数等の施工方法を検討し、品質管理方法及び品質管理基準を決定することである。重金属含有土はセメント混合を行うため、破碎機により粒径 100 mm 以下に粒度調整している。また、事前試験結果より、セメント添加

率は対象土乾燥重量比 5% とした。

4.2.2 モデル施工の結果

モデル施工により、下記の結果を得た。

①含水比は最適含水比 w_{opt} を基本とするが、乾燥を生じやすい夏期施工等においては +2.0% 程度の加水が望まれる。②施工速度は混合後 2 時間以内に転圧を行わないとセメントの固化作用、表面乾燥により材料分離を生じる。

施工時の混合土のヒ素溶出の確認は、施工時の混合土を採取し、一軸供試体を作製し、7 日間養生を行った後、公定法分析によって行った。

4.3 固化・不溶化盛土の施工状況

モデル施工結果を踏まえ、本工事施工を行った。モデル施工と同様に重金属含有土と判定された片麻岩ずりを破碎機でスクリーンの呼び名 40 mm 、実質最大粒径 100 mm 以下に破碎し、スクリーンにより粒度調整を行った後に自走式土壤改良機によりセメントと水を混合し、盛土材とした。セメ



写真 4-1 セメント改良土混合プラント

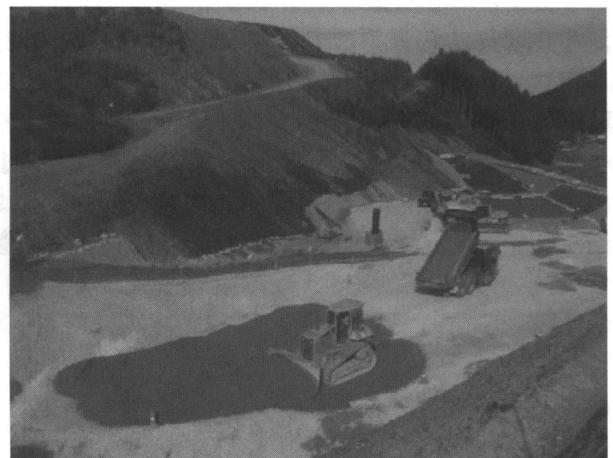


写真 4-2 固化不溶盛土施工状況

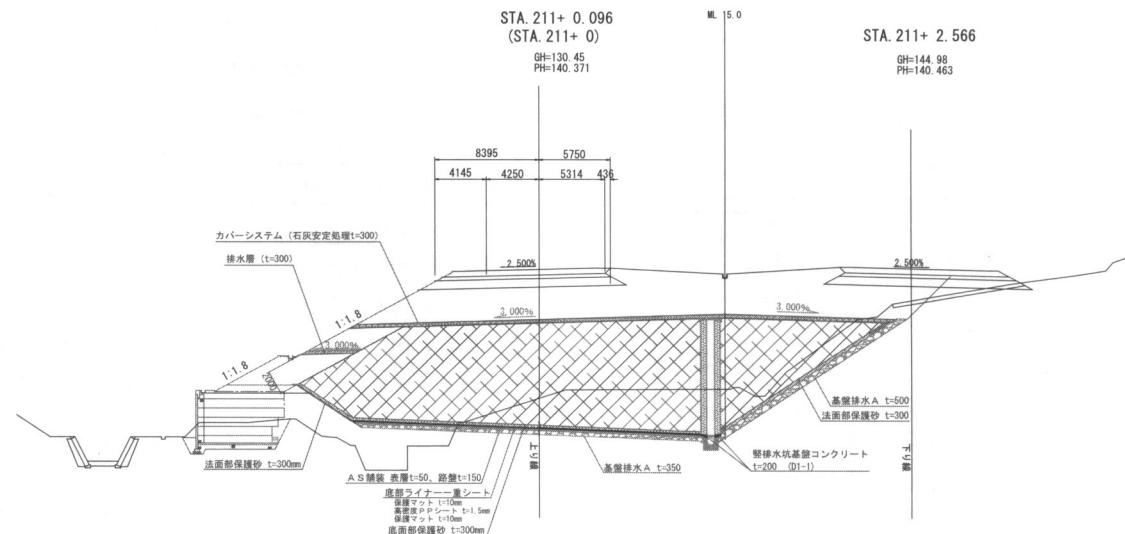


図 4-5 固化不溶化工法断面図

ント改良土の混合プラントを写真4-1に、固化不溶化盛土施工状況を写真4-2に示す。

盛土材は安定処理土として取扱い、その品質管理基準は、NEXCOの基準に従い密度比による締固め度97%以上と設定した。すなわち乾燥密度を 2.200 g/cm^3 以上としている。重金属に関する管理は 900 m^3 に1回、公定法にてヒ素溶出量を確認した。併せて環境省のガイドラインに準拠し、 100 m^3 に一回の不溶化効果の確認としてボルタンメトリー法による測定を実施した。

セメント安定処理を行った盛土を養生後に掘り返すことは非常に困難であるため、現地にてセメント混合を行った直後の材料を用いて供試体を作製し、7日養生の後、ヒ素の溶出量を確認した。

得られた結果を図4-6に示す。セメント混合土のヒ素溶出量はボルタンメトリー法による分析で99%以上が計量下限値(0.002 mg/l)以下であった。また、公定分析法においても計量下限値(0.001 mg/l)を超えるヒ素は検出されなかった。また、混合後、7日養生の一軸圧縮強さは 2.5 MN/m^2 以上と大きく、路体としては十分な強度を確認した。

固化・不溶化盛土の断面図を図4-5に示す。本工事は試験施工の位置付けで実施したため、固化・固化不溶化盛土の下層にはアスファルト舗装と遮水シートを敷設し、盛土内を通過した水を集め出来る様に配慮した。また、斜面部での施工であることから、盛土最下層には基盤排水層を構築した。

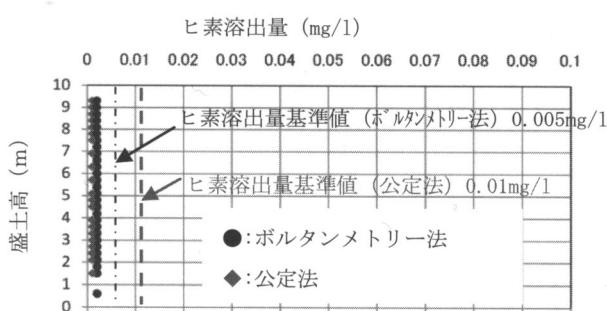


図4-6 盛土のヒ素溶出量試験結果

5. 水質監視

5.1 水質監視計画

当事務所の工事現場では、重金属含有土の有無に限らず工事中の濁水を河川に流すことを防ぐため、土工事を実施中の全ての工事区域において仮設沈砂池を構築し工事を実施している。

工事中の水質監視として、沈砂池への流入部及び河川への放流口において1日2回、濁度、pH、

電気伝導度の測定を実施している。さらに月1回、工事区域を横断する河川の上下流部において重金属類を含む水質検査を実施している。今回、重金属含有土を盛土材として使用するにあたり、重金属の盛土内排水並びに地下水への影響を監視するため、対策盛土横に観測井戸を設置し水質監視を実施した。また、既存地下水の状況把握のため地下水の上流側にも観測井を設置し同時に水質監視を実施している(図5-1)。

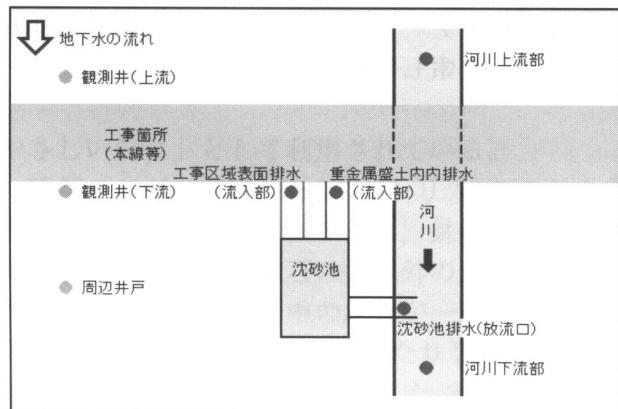


図5-1 水質監視位置概念図

5.2 水質監視結果

遮水工法における水質監視結果の代表値を図5-2に示す。沈砂池の出口、盛土脇の地下水とともにpH、ヒ素の濃度は施工中、施工後において

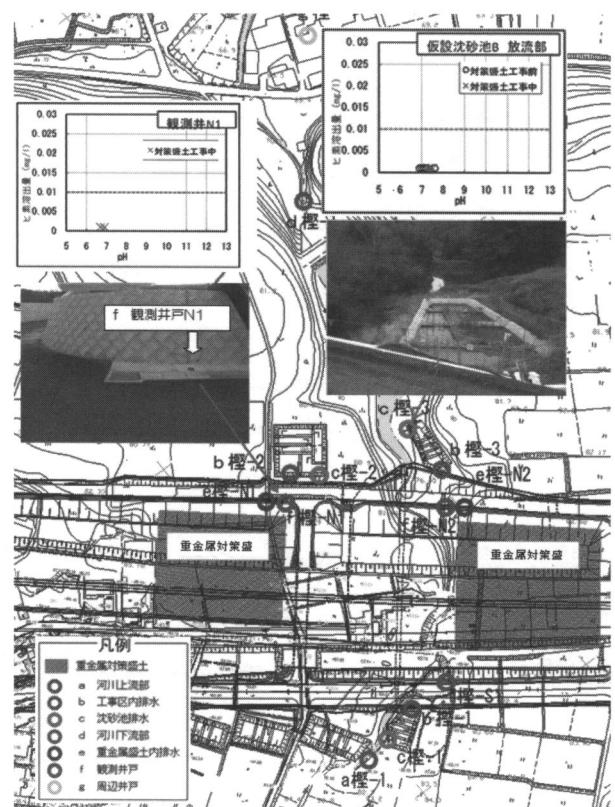


図5-2 遮水工法水質監視結果

環境基準を超える値は観測されなかった。固化・不溶化工法における地下水の水質監視においてもpH、ヒ素の濃度に異常値はなかった。固化・不溶化盛土内から排出される水についてはアルカリ性を示すため、この水を濁水処理プラントに導きpH調整を行った後河川に放流した。

6. おわりに

今回の事例では場外搬出に比べ、安価に処理を行うことができたが、それでも通常の盛土に比べれば相当高価なものになっている。同様な事象に対し今後もデータを蓄積し、より安価により安全な工法を模索して行きたい。

なお、本検討は中日本高速道路 名古屋支社豊田工事事務所において開催している「黄鉄鉱対策検討委員会」（委員長 愛知工業大学 四俵教授）において実施したものである。委員の先生方に厚く御礼申し上げる。本委員会では今後も対策盛土完了後のモニタリングや危機管理マニュアルについて継続して議論していく予定である。

参考文献

- 1) 和崎宏一, 山脇慎 (2012) 新東名高速道路建設における重金属及び黄鉄鉱を含む片麻岩の対策盛土と施工, 土と基礎, 60-7, pp 10-13

各種スラグのリサイクルの現状と今後について

【Key Word】

鉄鋼スラグ、非鉄スラグ、エコスラグ、環境安全性

佐藤 研一*

1. スラグとは何か？

スラグは、鉱石から金属を還元・精錬する際に、特定の成分が融解・分離してできたものである。スラグは本来金属製造工程を起源のものであるが、ごみなどを焼却施設で処分したときに発生する廃棄物加熱溶融起源のものもスラグと呼んでいる。さらに、金属製造工程起源のスラグは鉄鋼スラグと非鉄金属スラグに分けられ、鉄鋼スラグは、鉄鋼製品の製造工程に生まれたものである。

鉄鋼スラグは、図1に示す鉄鉱石から鋼を作り出す還元・精錬段階で生まれるシリカなどの鉄以外の成分が、石灰と溶融・結合した副産物であり、工場生産による安定した品質をベースに、省エネルギー・省資源、CO₂削減を可能にする「地球上に

やさしい資材」として利用されている。

鉄鋼スラグは石灰(CaO)とシリカ(SiO₂)を主成分としている。高炉スラグは、銑鉄を製造する高炉で溶融された鉄鉱石の鉄以外の成分と、副原料の石灰石やコークス中の灰分と一緒に分離回収されたものであり、銑鉄1t当たり290kg生成される。高炉から取り出されたスラグは、約1,500°Cの溶融状態にあり、その冷却方法によっ



写真1 徐冷スラグ¹⁾



写真2 水碎スラグ¹⁾

鉄鋼スラグ製品の製造フロー

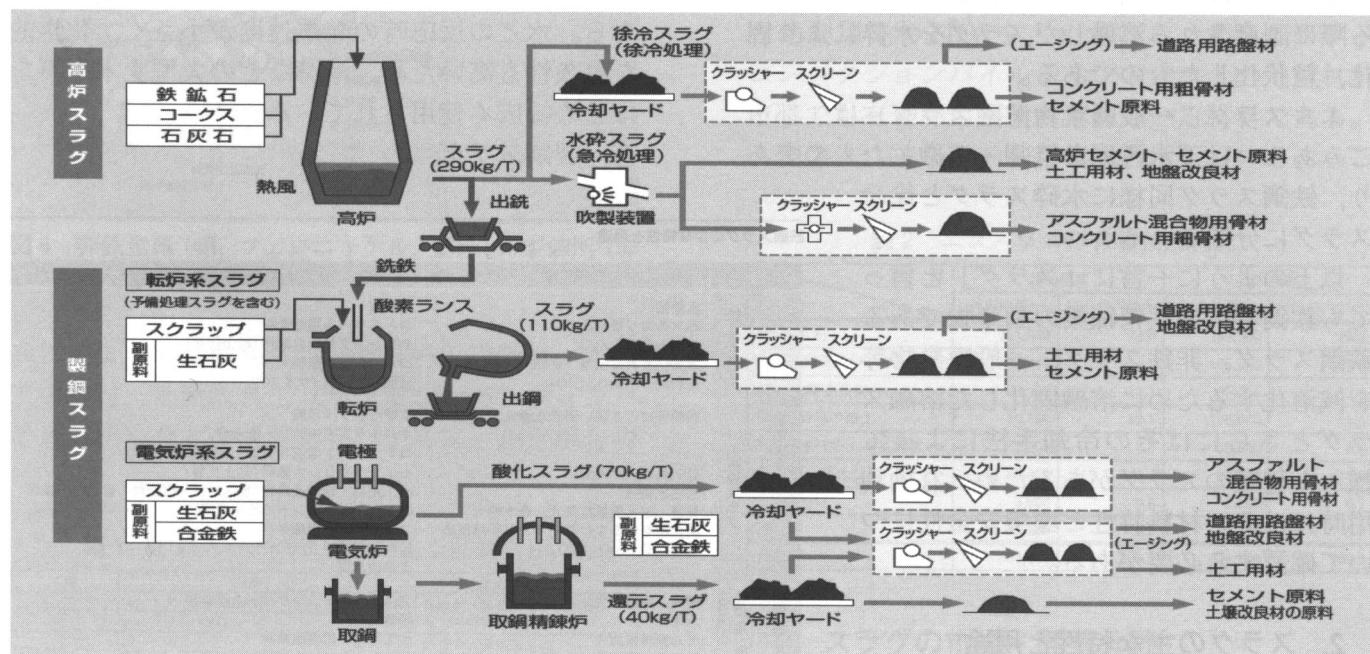


図1 鉄鋼スラグ製品の製造フロー¹⁾

* 福岡大学工学部社会デザイン工学科/教授

て、徐冷スラグ（自然放冷）と水碎スラグ（急速冷却）に分けられている。写真1、2に示すように徐冷および水碎スラグは粒径が大きく異なる。また、主な成分はアルミナ (Al_2O_3)、酸化マグネシウム (MgO) と少量の硫黄 (S) を含んでいる。

一方、製鋼スラグは、銑鉄やスクラップから成分を分離して、韌性・加工性に優れた「鋼」を製造する工程で副産されるスラグである。製鋼スラグには、転炉から生成する転炉系スラグと、スクラップを原料とする電気炉製鋼工程で生成される電気炉系スラグがある。主な成分は、酸化鉄 (FeO)、酸化マグネシウム (MgO) を含有している。

いずれのスラグの成分は、地殻や天然岩石、鉱物など自然界に存在するものであり、化学組成は普通ポルトランドセメントに類似している。

非鉄スラグには、鉄以外の金属材料の精錬時に副産される溶融したスラグを除冷碎、風碎、水碎固化したものであり、銅スラグ、フェロニッケルスラグ、亜鉛スラグがある。銅スラグは、連続製銅炉、反射炉、自溶炉などによって銅を精錬する際に副産される溶融したスラグを碎により固化、粒状化したものである。フェロニッケルスラグは、電気炉、ロータリーキルンによってフェロニッケルを製錬する際に副産される溶融したスラグを徐冷碎、風碎、水碎したものである。そして、亜鉛スラグは、熔鉱炉、半熔鉱炉で亜鉛を製錬する際に副産される溶融したスラグを水碎により固化、粒状化したものである。

エコスラグ（一般廃棄物溶融スラグ）は、都市ごみあるいは下水汚泥を焼却・溶融したものであり、鉄鋼スラグ同様に水碎スラグと徐冷スラグに分類される。

以上のように一言に「スラグ」と言つても鉄鋼業、非鉄精錬業の副産物である鉄鋼スラグ、非鉄スラグ、一般廃棄物等を減溶化するために溶融固化した溶融スラグとさらにはその冷却手法によって様々な種類のスラグがあるため、有効利用時にはその材料特性と環境安全性について確認する必要がある。

2. スラグの主な特性と用途

2.1 鉄鋼スラグ

鉄鋼スラグの生産量の推移とその用途を図2、3に示している。

各種鉄鋼スラグの生成量推移

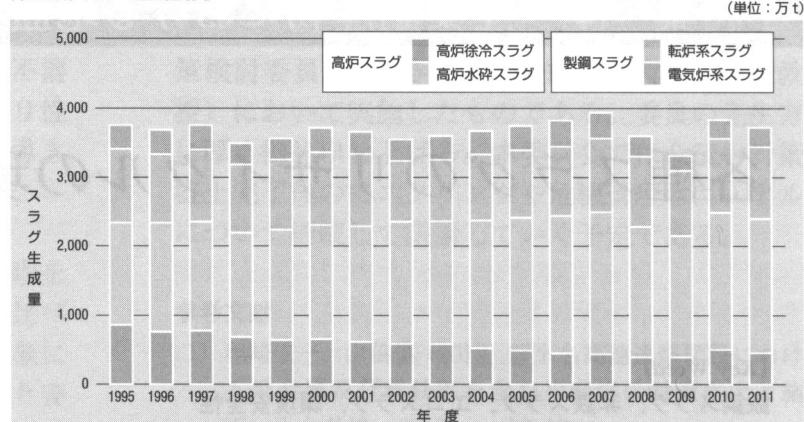


図2 各種鉄鋼スラグの生産量の推移¹⁾

① 高炉徐冷スラグ

水と反応し固まり、時間とともに強度が向上する水硬性を有しているため、大きな支持力が期待できることから砂利と同様に路盤材に使用されている。アルカリ骨材反応を生じさせる恐れもなく、さらには粘土・有機不純物を含有しないので天然骨材と同様にコンクリート用粗骨材としても利用されている。

② 高炉水碎スラグ

高炉徐冷スラグ同様、水硬性があり、アルカリ骨材反応を生じない。微粉碎による強い潜在水硬性により、高炉セメントなどに利用される。高炉スラグ微粉末は、セメントと混合することにより普通ポルトランドセメントと遜色のない性能を持つ高炉セメントとなり、長期にわたり強度が増進する。水との反応時の発熱速度が小さく、化学的な耐久性も高いため、港湾などの大型土木工事をはじめ幅広く使用されている。

③ 製鋼スラグ

鉄鋼スラグの主な特性と用途

	特 性		用 途
	高 炉 ス ラ グ	水 碎 ス ラ グ	
徐 冷 ス ラ グ	水硬性 非アルカリ骨材反応 低 Na_2O 、低 K_2O 繊維化すれば断熱・保温・吸音性 肥料成分 (CaO 、 SiO_2)	微粉碎による強い潜在水硬性 低 Na_2O 、低 K_2O 潜在水硬性 軽量、せん断抵抗角大、透水性大 塙化物を含まない非アルカリ骨材反応 肥料成分 (CaO 、 SiO_2)	路盤材 コンクリート用粗骨材 セメントクリンカ原料(粘土代替) ロックウール原料 珪酸石灰肥料(ケイカル)
高 炉 ス ラ グ	硬質、耐摩耗性 水硬性 せん断抵抗角大 FeO 分・ CaO 分・ SiO_2 分 塙化物を含まない非アルカリ骨材反応 肥料成分 (CaO 、 SiO_2 、 MgO 、 FeO)	高炉セメント原料 ポルトランドセメント混合材 コンクリート用混和材 セメントクリンカ原料(粘土代替) 土工用材・地盤改良材(裏込め材・覆土材・盛土材・路床改良材・グラウンドの排水層等) コンクリート用細骨材 珪酸石灰肥料(ケイカル) 土壤改良材	アスファルトコンクリート用骨材 路盤材 土工用材・地盤改良材 セメントクリンカ原料 コンクリート用細骨材・粗骨材(電気炉酸化スラグ骨材) 肥料用および土壤改良材
製 鋼 ス ラ グ			
転 炉 系 電 气 炉 系			

*アルカリ骨材反応：セメント中のアルカリにより骨材が膨張する反応。コンクリート構造物のひび割れや崩壊を招く場合がある。

図3 鉄鋼スラグの主な特徴と用途¹⁾

水硬性があり大きな支持力が期待できることから路盤材として用いられる。粒子密度と硬度が高く耐摩耗性に優れていることから、アスファルトコンクリート用骨材に使用されている。また、せん断抵抗角が大きく、粒子密度と単位体積重量が大きいことから、土工用材、地盤改良材（三度コンパクションパイル用材）としても使用されている。

2.2 非鉄スラグ

非鉄スラグは、図4に示す非鉄スラグの製造所により副産物として生産されている。精錬所は全国各地に分散しているため、非鉄スラグを使用する際は非鉄スラグの特性だけではなく、精錬所から使用場所への運搬方法を考慮する必要がある。銅スラグは、銅製錬の際に銅精鉱を処理する溶鍊炉で発生するスラグである。現在は、国内5製錬所で製造されている。銅スラグは、密度が大きく粒度は砂と同等であり、水硬性もほとんどない。

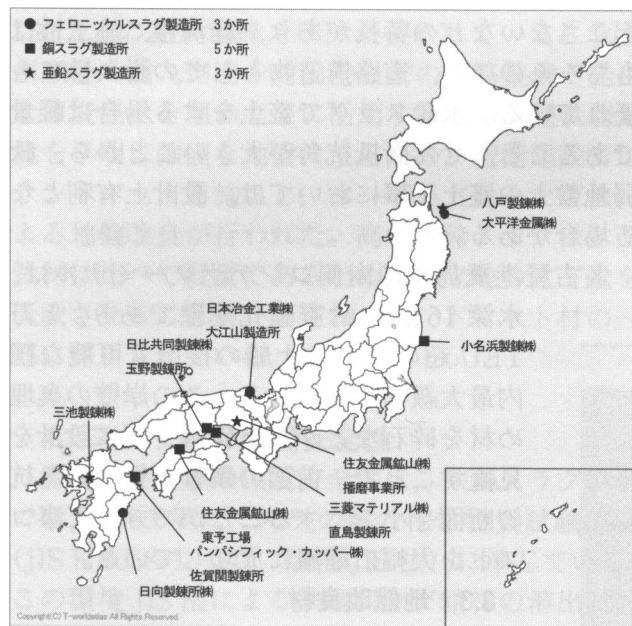


図4 非鉄金属（銅、フェロニッケル、亜鉛）の製錬所（非鉄スラグの製造所）²⁾

このような特徴からコンクリート用骨材、本体工中詰材、地盤改良工（サンドコンパクションパイル工法）などの地盤材料、アスファルト混合物

表1 非鉄スラグの工種及び主な品質項目²⁾

工種	用途	主な品質項目
コンクリート工	コンクリート用細骨材	粒度・粗粒率・絶乾密度・吸水率・微粒分量・単位容積質量
	コンクリート用粗骨材	
地盤改良工	バーチカルドレーン・サンドマット材	粒度・細粒含有量・透水性
	サンドコンパクションパイル用材	粒度・細粒含有量・透水性・水硬性
本体工	中詰材	最大粒度・単位体積重量・膨張収縮性
	盛土材・覆土材・載荷盛土材	締固め特性・透水性
土工	路床盛土材	粒度・含水量・修正CBR・締固め性
	路盤材	粒度
舗装工	As舗装骨材	粒度・表乾比重・吸水率

用骨材などの舗装工材料として利用されている。またコンクリート用細骨材としては、JIS化されている。工事工種及び用途別の主な品質項目の一覧を表1に示す。

フェロニッケルスラグは、フェロニッケル製錬の際に電気炉またはロータリーキルンで発生するスラグである。現在は、国内3製錬所で製造されている。フェロニッケルスラグは、密度が大きいという特徴を有し、その性状は天然材に近く、水硬性も認められない。このような特徴からコンクリート用骨材、本体工中詰材、地盤改良工（サンドコンパクションパイル工法）などの地盤材料、炉床盛土材やアスファルト混合物用骨材などの舗装工材料として利用されている。またコンクリート用細骨材としては、JIS化されている。工事工種及び用途別の主な品質項目は銅スラグと同じである。

鉛スラグは、亜鉛製錬の際の乾式の亜鉛製錬設備である熔鉱炉、半熔鉱炉で発生するスラグである。現在は、国内3製錬所で製造されている。

亜鉛スラグは、密度が大きいという特徴を有し、その性状は天然材に近く、水硬性もほとんどない。このような特徴から本体工中詰材などの地盤材料として利用されている。

2.3 エコスラグ（一般廃棄物溶融スラグ）

エコスラグは、ガラス質の材料であり、水硬性もなく、天然砂とほぼ同じ粒子密度を持つことから、砂の代替材として用いられている。特に表2に示すように道路用骨材とコンクリート用骨材で有効利用先の50%を占めている。また、サンドコンパクションパイルやサンドマットの地盤材料としても有効利用が検討されている材料である。

表2は、主な有効利用状況を示している。

表2 エコスラスの有効利用状況³⁾

要品目	2006年度		2007年度	
	利用総量(t)	利用の内訳(%)	利用総量(t)	利用の内訳(%)
道路用骨材	167,400	27.8	182,900	26.2
コンクリート用骨材(ブロックを含む)	144,800	24.0	146,200	20.9
地盤・土質改良材	79,000	13.1	95,200	13.6
最終処分場の覆土	76,700	12.7	106,900	15.3
管渠基礎材等土木基礎材	51,400	8.5	38,800	5.6
埋め戻し、盛土など	38,800	6.4	82,100	11.8
凍上抑制材	3,600	0.6	5,200	0.7
その他	41,400	6.9	40,800	5.8
合計	603,100	100.0	698,100	100.0

3. スラグの市場・需要分野

スラグの市場や需要分野については、特にとも利用率の高く、土木分野の利用事例も多い、鉄鋼スラグを地盤材料に用いている事例について

て、①道路、②港湾、③地盤改良材について紹介する。また、鉄鋼スラグを地盤材料に用いる研究に関しては、数多くの研究事例が地盤工学会、土木学会などで報告されているので、ここでは、一般的な使用分野と適用事例について紹介する。

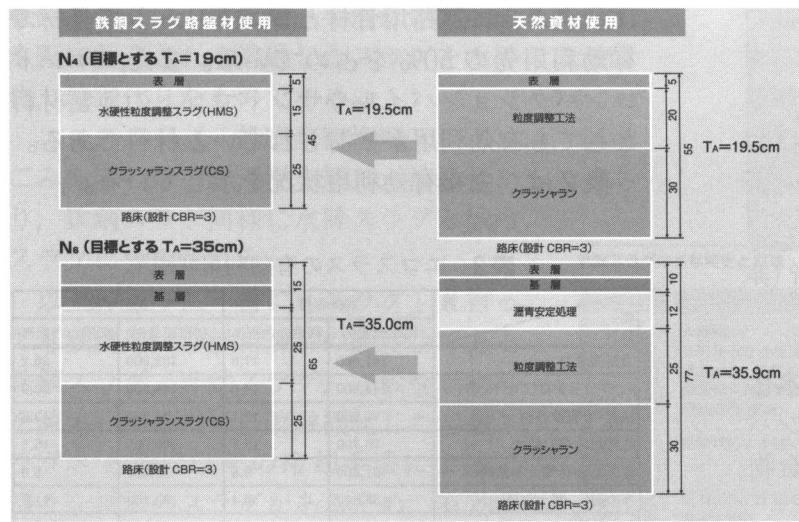
3.1 道路分野

道路用鉄鋼スラグは、高炉スラグおよび製鋼スラグを破碎・整粒し舗装用素材の路盤材やアスファルト混合物用骨材として使用されている。

鉄鋼スラグの道路用材料への活用は、1960年代から研究が開始され、前述のエージング技術、材料粒度を0~25mmに粒度調整した上層路盤(HMS-25)が開発されている。その結果、設計施工指針が作成され、アスファルト舗装要綱に組み込まれた。さらに1979年にはJISが制定され、数回の改正を経て現在のJIS A 5015に至っている。

代表的な鉄鋼スラグ路盤材である水硬性粒度調整スラグ「HMS-25」は、長期にわたって硬化するため、図5に示すように、その特長を活かした利用により一般の碎石(粒度調整碎石)よりも断面を薄くすることができる。製鋼スラグは、硬質かつ耐摩耗性に優れることからアスファルト混合物の骨材として使用されている。2002年には鉄鋼スラグ混入路盤材と鉄鋼スラグ混入アスファルト混合物が、グリーン購入法における特定調達品目に指定されている。

鉄鋼スラグ路盤材と天然資材との比較



* HMS-25: 鉄鋼スラグを0~25mmに粒度調整した上層路盤材。

図5 鉄鋼スラグによる路盤厚さの低減効果¹⁾

3.2 一般土木分野

土工用水碎スラグは、護岸の裏込め、軟弱地盤対策用の覆土、路床、盛土などに利用されている。砂状の水碎スラグは、天然砂と比べて軽量(湿潤

単位体積重量: 11~16 kN/m³)、せん断抵抗角($\phi = 35^\circ$)が大きいといった物理的、力学的特性を有する。さらに、経時に水和して固結する水硬性を有しており、地震時の液状化に対する抵抗性も大きくなる。そのため、護岸の裏込め、裏埋め材料として水碎スラグを用いると、軽いこと、せん断抵抗角が大きいことが効果的に作用して、前面の矢板などに働く主働土圧を大幅に減少させ、矢板の断面を小さくすることができる。また、完全に固結すれば地震時に液状化しなくなるため、液状化対策が不要となる。また、軟弱地盤の覆土による改良に水碎スラグを用いた場合、軽いこと、水の影響を受けないこと、トラフィカビリティに優れることから、軟弱層の側方流動の危険性や圧密沈下量も減少する。水碎スラグで造成した路床は、軟弱地盤に適した軽い路体で、交通荷重に対して大きな変形を起こさず、十分な支持強度を有する。また水硬性の発現により、繰返し交通荷重の作用の下でも浸透水による強度低下を起こさないなどの特長があり、経済性、施工性はもちろんのこと、道路構造物としての耐久性にも優れている。水碎スラグで盛土をする場合は軽量であること、せん断抵抗角が大きいことから、軟弱地盤上の盛土工事においては、設計上有利となる場合がある。

名古屋港飛島ふ頭南側コンテナターミナルは、

水深16mの耐震強化岸壁であり、1万TEU超のコンテナ船の接岸も可能な国内最大級のものである。この岸壁の裏埋め材を碎石などから水碎スラグに設計を見直すことで、前面の鋼管矢板や控え杭の断面を小さくすることができ、工事コストを大幅に縮減に成功している。

3.3 地盤改良材

鉄鋼スラグ協会は、(財)沿岸開発技術研究センターと共同で製鋼スラグの港湾工事用材料としての適用技術の研究に着手し、『港湾工事用製鋼スラグ利用手引書⁴⁾』を発行している。この手引きでは、物理特性だけでなく、神戸ポートアイランドで陸上サンドコンパクションパイル(SCP)、広島港で海上SCPの試験工事を行い、海域に与える影響も調査している。地盤改良用製鋼スラグは、天然の砂に比べて単位体積質量とせん断抵抗角が大きいという土質工学的特性を活かし、地盤改良工事の工費低減を可能とすることを示している。また、製鋼スラグの適用による海域への環境影響については、

製鋼スラグからの溶出水の pH は通常高い値を示すものの、SCP 中詰材として利用した場合にはケーシングパイプ中に封じ込められて施工され、海水と直接接触することがほとんどないため、周辺海域の pH の上昇はほとんどないことが確認されている。SCP 材料に天然砂の代替として製鋼スラグが利用可能と評価されたことで、広島港の約 400 万 t をはじめ各地の港湾で利用された。特に、瀬戸内海などでは、自然保護の観点から海砂採取を禁止する自治体が増えたこともあり、SCP 中詰材として地盤改良用製鋼スラグは急速に普及することとなった。その後、菊池⁵⁾は港湾工事で用いられた水碎スラグの特性の経年変化について報告している。この報告では、水面下にある水碎スラグは長期的には固結する傾向にあり、一軸強度、N 値は大幅にばらついているとしている。また、透水係数は、 10^{-3} cm/sec のオーダーであり、長期的に変化しないことも明らかにしている。

また、北九州空港の軟弱地盤改良工事では約 150 万 t の高炉水碎スラグが使われている。北九州空港は北九州港や苅田港などの航路整備で発生する浚渫土を埋め立てに活用するため、超軟弱地盤を早期に強固な地盤にするため、空港建設ではサンドマットを施工し、ペーパードレーン工法による地盤改良が行われた。高炉水碎スラグは、天然材に比べて軽量であるため、埋立地の沈下量を低減させることができると評価され、サンドマット材の一部に採用されている。

4. スラグ類の環境安全性

鉄鋼スラグ類の環境安全性は、鉄鋼スラグ協会では、2005 年に「スラグ類の化学物質試験方法 (JIS K 0058-1, -2)」(環境 JIS 法) に準じている。この環境 JIS 法による鉄鋼スラグ精神の溶出試験値と含有量試験値はいずれの項目も土壤環境基準や土壤汚染対策法で定める基準値をクリアしていることは知られている。

一方、2012 年に経済産業省から「コンクリート用骨材又は道路用等のスラグ類に化学物質評価方法を導入する指針に関する検討会総合報告書」⁶⁾が発刊された。この報告書では、真の循環型社会を実現するには、鉄鋼スラグ、非鉄スラグ、廃棄物溶融スラグ（スラグ類という）などの、副産物や廃棄物を由来とする建設系循環資材の利用の推進が必要不可欠であるとしている。そのためには循環資材に対する信頼を将来にわたってより安定なものにしなければならない。特に循環資材は環境安全性において配慮すべき化学物質を含む場合

があるため、資材としての安定した品質管理とともに、環境安全性に配慮する品質（以下「環境安全品質」という）の管理を確実に行う必要があるとしている。また、これらの循環資材の環境安全性評価においては、現状では土壤汚染対策法における考え方方が準用されているが、循環資材と土壤は、形態や性状、置かれている環境条件、人との接触可能性等が大きく異なり、両者を同列で評価することは適切ではない。そこで、循環資材の環境安全性の評価方法や基準について個別分野ごとに議論することは全体的な整合性の面から問題があり、分野横断的な共通理解として基本となる共通的な考え方を合意しておく必要がある。さらに、その考え方に基づき、個別分野における考え方を定め、具体的な方法を決定することが重要であるとしている。

そして、報告書では、循環資材の化学物質評価法に関する基本的考え方を示し、これに基づいて個別分野としてスラグ類の化学物質評価法の考え方を示している。基本的考え方は次の通りである。

建設系循環資材の化学物質に関する環境安全品質評価法を示すための、基本的な考え方の骨子を以下に示す。ここで建設系循環資材（もしくは、単に「循環資材」という）とは、建設材料として（循環的に）利用可能な副産物や廃棄物をいい、環境安全品質とは、土壤や地下水等の環境を保全できるような循環資材の環境安全性に関する品質をいう。

① 最も考慮すべき曝露環境に対する評価：

環境安全品質の評価は、対象とする循環資材の合理的に想定しうるライフサイクルの中で、環境安全性において最も考慮すべき曝露環境に基づいて行う。

② 放出経路に対応した試験項目：

溶出量や含有量などの試験項目は、(1) の曝露環境における化学物質の放出経路に対応させる。

③ 形態を模擬した試験方法：

個々の試験は、資料調整を含め、(1) の曝露環境における利用携帯を模擬した方法で行う。

④ 環境基準等を順守できる環境安全評価基準：

環境安全品質の基準設定項目と基準値は、周辺環境の環境基準や対策基準等を満足できるように設定する。

⑤ 環境安全品質を保証するための合理的な検査体系：

試料採取から結果判定までの一連の検査は、環境安全品質基準への適合を確認するための「環

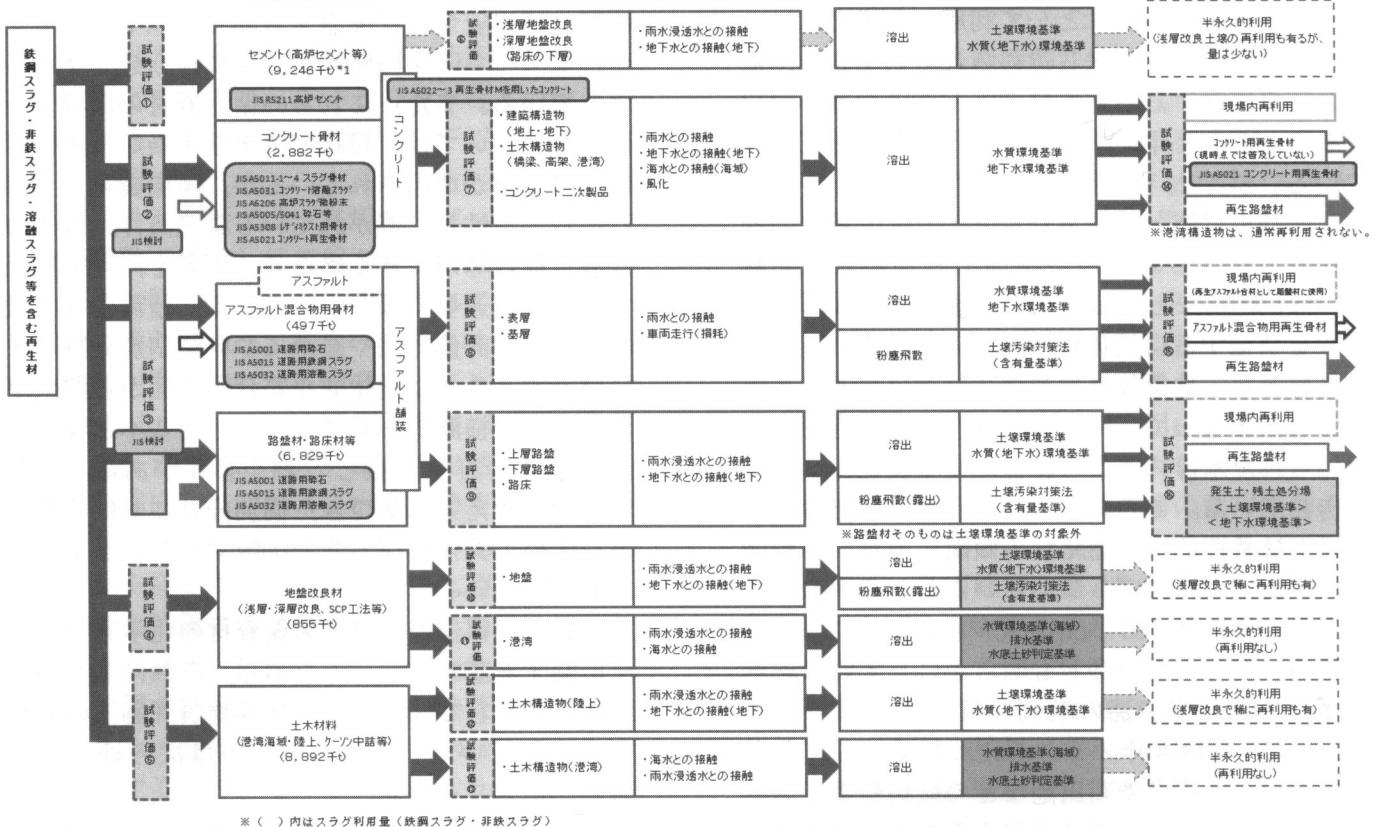


図6 鉄鋼スラグ・非鉄スラグの有効利用状況及び化学物質の排出イベント⁶⁾

境安全性形式検査」と、環境安全品質を製造ロット単位で速やかに保証するための「環境安全受渡検査」とで構成し、それぞれ信頼できる主体が実施する。

本報告書では、スラグ類のライフサイクルを考え、「コンクリート用スラグ骨材又は道路用スラグへの基本的考え方の適用」について図6のように整理し、各用途ごとのライフサイクルの最も配慮すべき暴露環境を規定し、取りまとめている、各用途に関する詳細な考え方は、報告書をされた。ここで、「初回利用」と「再利用」は、それぞれ出荷して初めに使われる用途、及び、初回以降に撤去され、再び使われる用途呼ぶこととしている。初回利用では、製造業者が出荷したスラグ製品は、セメント原料、コンクリート骨材、アスファルト混合物用骨材、路盤材・路床材、地盤改良材、土木材料として利用されていることがわかる。また、初回利用の中には半永久的に利用される用途もあるが、再利用される用途もある。例えば、コンクリート構造物は解体時に再利用されている。現在のところ、主に現場内再利用あるいは再生路盤材として利用されることが多い。ただし、港湾構造物は塩分が付着しているため、通常は再利用されない。また、アスファルト舗装は、再生

アスファルト合材として路盤材に再利用されたり、アスファルト分と骨材を分離してそれぞれ再利用したりしている。路盤材は、現場内再利用や再生路盤材として再利用されるとともに、一部は発生土として残土処分場に搬入されている。

最後に、環境安全品質を保証するための検査体系について説明をする。検査の実施は、信頼できる実施主体にて行うものとし、適切な方法で試料採取を行い、①「形式検査」と②「受渡検査」からなる合理的な検査体系によって行うものとする(図7)。

ここでいう形式検査と受渡検査の目的は以下のとおりである。

①形式検査：循環資材の品質が、循環資材から放出される化学物質の影響を受ける土壤や地下水が環境基準等の基準値を満足するものであるかどうかを判定するために、考慮すべき曝露環境を模擬した試料調製方法と評価試験方法に基づいて行う検査。

②受渡検査：出荷される循環資材の環境安全性が、既に形式検査に合格したものと同等であることを保証するために、循環資材の受渡時において、必要と認める項目について、あらかじめ定められた管理値を満足するものであるかどうかを判定す

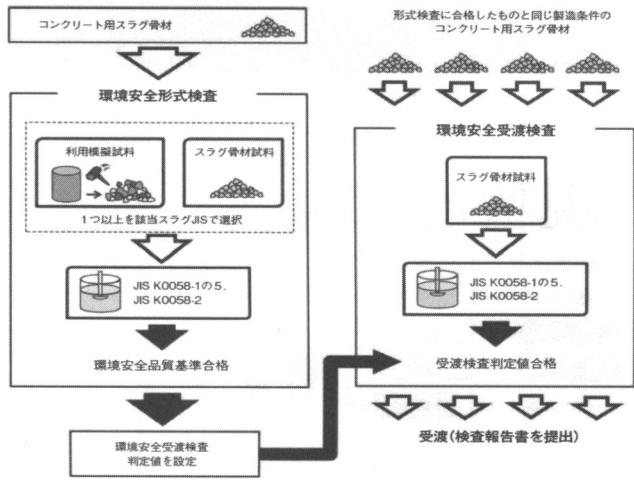


図7 環境安全品質を保証する検査体系⁶⁾

るための検査。

以上、スラグの有効利用について、各スラグの概要と使用用途、環境安性の考え方を述べた。各

種スラグは、循環型社会の構築において中心となる資材と思われる。

参考文献

- 1) 鉄鋼スラグ協会：環境資材鉄鋼スラグ，2013.
- 2) (財)沿岸開発技術センター：港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（案），2012.
- 3) (社)日本産業機械工業会：エコスラグの有効利用の現状とデータ集 2010 年度版，2011.
- 4) (財)沿岸開発技術センター、鉄鋼スラグ協会：港湾工事用水碎スラグ利用手引書，1989.
- 5) 菊池善昭：港湾工事で用いられた水碎スラグの特性の経年変化、土木学会論文集, No. 736, III-63, pp. 287-303, 2003.
- 6) 経済産業省：「コンクリート用骨材又は道路用等のスラグ類に化学物質評価方法を導入する指針に関する検討会総合報告書」、産業技術環境局産業基盤標準化推進室，2012.

災害廃棄物処理の現状と課題

【Key Word】

災害廃棄物、津波堆積物、土壤洗浄、造粒固化、リサイクル

まつ ばら たけ し
松 原 武 志*

1. はじめに

東日本大震災では、大津波により沿岸部の都市や集落が破壊され、広範囲にわたり甚大な被害をもたらした。これにより被災3県（岩手、宮城、福島）の沿岸部だけでも、1,628万トン¹⁾もの膨大な災害廃棄物が発生し、宮城県が処理しなければならない災害廃棄物量は通常の約15年分と言わわれている。また、津波により陸上に大量に堆積された土砂、汚泥等（津波堆積物）を含めると被災3県（岩手、宮城、福島）の沿岸部だけで災害廃棄物等の量は2,667万トン¹⁾に達する。この大量の災害廃棄物は復旧・復興の大きな妨げになっており、被災地の一日も早い復興に向か、災害廃棄物の早急な処理が必要とされている。

鹿島建設（株）など9社で構成する特定共同企業体は、東日本大震災により石巻ブロック（宮城県石巻市、東松島市、女川町）において発生した災害廃棄物および津波堆積物の処理業務を受託し、石巻市内の二次仮置き場に中間処理施設を整備し、災害廃棄物等の破碎・選別・洗浄・焼却処理を行っている。

本稿では、宮城県石巻ブロック災害廃棄物処理業務を通じて、災害廃棄物処理の現状と処理が進むにつれて見えてきた課題について述べるとともにリサイクルに向けての取組みについて報告する。

2. 業務概要

業務名：災害廃棄物処理業務（石巻ブロック）

発注者：宮城県

受託者：鹿島・清水・西松・佐藤・飛島・竹中土木・若築・橋本・遠藤特定共同企業体

受託金額：141,201百万円（税抜き）

業務場所：宮城県石巻市雲雀野町および潮見町

工 期：2011年9月17日～2014年3月25日

対象数量：災害廃棄物 311.8万トン

津波堆積物 29.3万m³

業務範囲：

- 設計施工業務

二次仮置き場における中間処理施設の設計施工（破碎選別施設、焼却施設、津波堆積物処理施設）

- 運営管理業務

一次仮置き場から二次仮置き場への運搬（石巻市ののみ）

二次仮置き場の維持管理運営、処理後廃棄物等の運搬処分

施設の解体撤去工

3. 施設概要

3.1 処理の流れ

災害廃棄物等の処理の基本方針は、「ブロック内処理>県内処理>県外処理」「リサイクル>処分」の優先順位で処理を行うことである。特に、がれきは『廃棄物』ではなく、『貴重な資源』であること、また最終処分場の不足から、「ブロック内でのリサイクル」を最優先に処理システムを構築し、処理を行っている。

石巻ブロックにおける具体的な災害廃棄物等の処理の流れを次に述べる。災害廃棄物及び津波堆積物は市内各所の一次仮置き場から品目別に搬入し、二次仮置き場内に設置された各種中間処理施設で処理を行う。処理施設は、ブロック内でのリサイクルを最優先に考え、廃棄物の種類ごとに、混合廃棄物を処理する施設として破碎選別施設、土壤洗浄施設を、津波堆積物を処理する施設として土壤洗浄施設、土質改質施設を、可燃物を処理する施設として焼却施設、造粒固化施設を設置し

* 鹿島建設株式会社 石巻ブロック災害廃棄物処理業務 JV 事務所

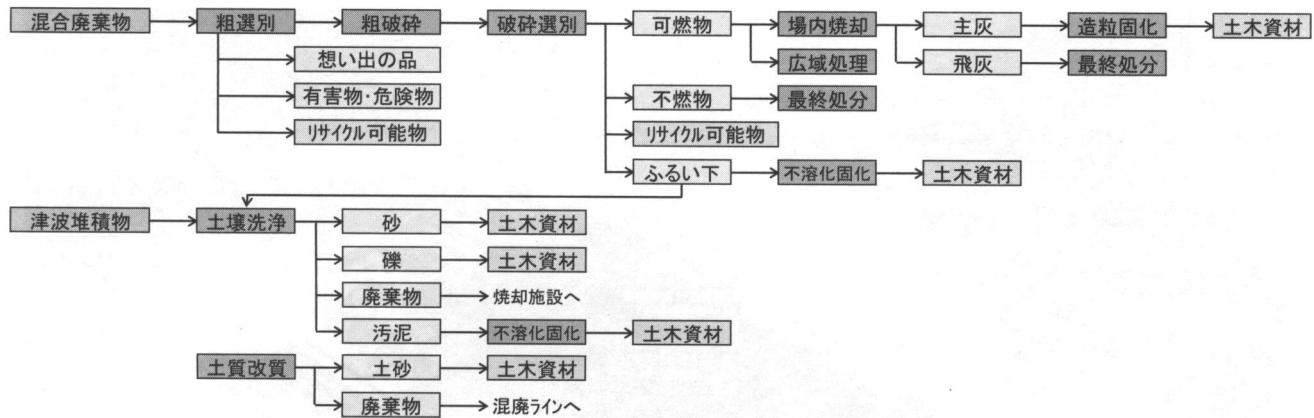


図1 混合廃棄物処理フロー

た。また、コンクリートガラ破碎施設および木くずを処理する施設として破碎施設、バイオマスボイラを設置した。図1に混合廃棄物と津波堆積物の処理フローを示す。

3.2 中間処理施設の概要

石巻ブロックでは、二次仮置き場としてAヤード、Bヤード合わせて約68haの敷地に各種中間処理施設を設置している(図2)。主な中間処理施設の概要を以下に示す。

●粗選別ヤード(写真1)

可燃混合物(木くず)及び粗大混合物(コンクリートガラ・タイヤ)、金属くず等の選別を行う。アスベスト含有物、ガスボンベなどの有害物質・危険物、写真・アルバム等の思い出の品もここで取り除く。選別後はデンマーク製の高性能破碎機で概ね30cm以下に破碎する。

●破碎選別ヤード(写真2)

4基の振動ふるい機と8基の手選別ライン、磁力選別機、風力選別機等により、リサイクル可能なものを徹底的に選別した後、不燃物、可燃物、30mm以下の土砂分(ふるい下)等に分別する。

●土壤洗浄施設(写真3)

破碎選別ヤードにて分別したふるい下及び事前調査で有害物質が含まれていることが確認されている津波堆積物を洗浄し、有害物質を除去した上で砂、礫、廃棄物等に分ける。

●土質改質施設(写真4)

事前調査で有害物質が含まれていないことが確認されている津波堆積物を改質するとともに振動ふるい機で廃棄物と20mm以下の土砂に分ける。

●コンクリートガラ破碎施設(写真5)

家屋解体等で発生し搬入されたコンクリートガラを、40mm以下に破碎しリサイクルを行う。

●焼却施設(写真6)

ロータリーキルン(2炉)、ストーカ炉(3炉)とそれぞれ焼却方法が異なる2種類の焼却炉によって多様な可燃物に対応し、国内最大規模の1日最大1,590トンを焼却する。

●造粒固化施設(写真7)

焼却施設で発生した焼却灰のうち、主灰(燃え



写真1 粗選別ヤード



写真2 破碎選別ヤード

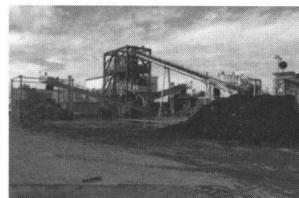


写真3 土壤洗浄施設

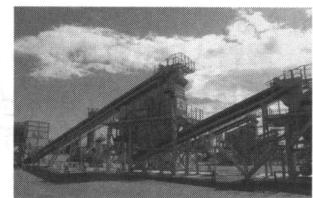


写真4 土質改質施設



写真5 コンクリートガラ
破碎施設

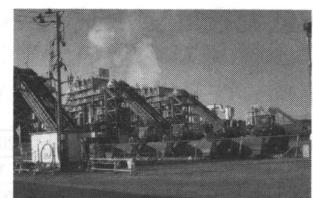


写真6 焼却施設



写真7 造粒固化施設

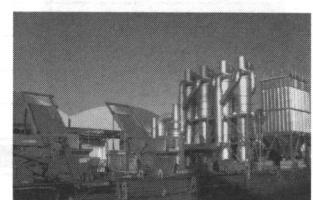


写真8 バイオマスボイラ

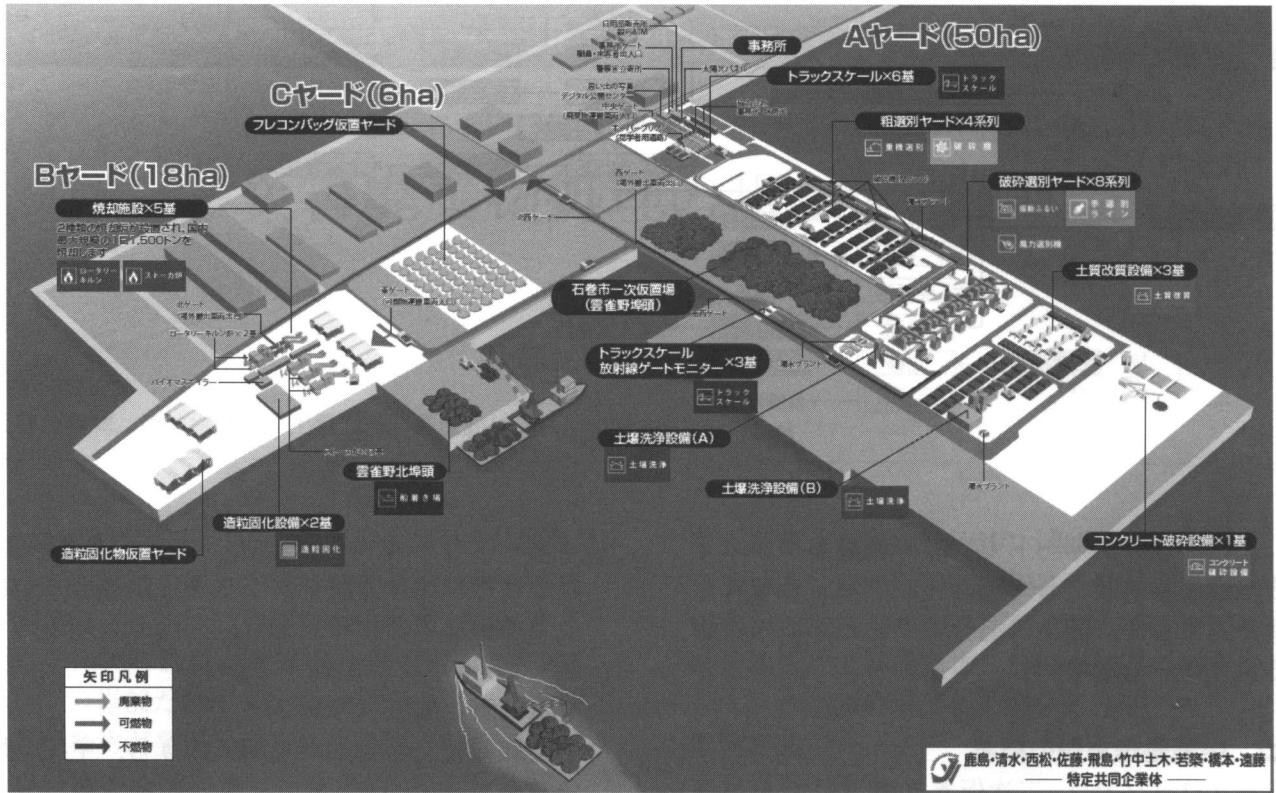


図2 施設配置図

がら)を不溶化・固化し、良質な地盤材料に改良する。

●バイオマスボイラ（写真8）

木くずを燃焼処理する。発生した熱は、造粒固化施設のストックヤードにて、焼却灰の乾燥に利用する。

4. 処理業務の現状と課題

4.1 処理状況

2011年10月から建設工事に着手したが、施設建設予定地に災害廃棄物等が既に仮置きされていたため、その災害廃棄物等を先ず始めに撤去しないと施設建設ができない状況であった。当初計画



写真9 フレコンバック詰めした混合廃棄物

表1 業務工程表

年月	2011			2012												2013												2014			
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
既存廃棄物撤去・処分	フレコンバック仮置き																														
運搬	廃棄物																														
	津波堆積物																														
粗選別																															
中間処理	土壌洗浄																														
	土質改質																														
破碎	混合物																														
	コンクリートガラ																														
焼却処理																															
搬出処分																															
解体・復旧																															

では、施設建設予定地に仮置きされている混合廃棄物は速やかに県外の中間処理施設に搬出し、選別処理を行う予定であったが、放射能問題がクローズアップされ、県外搬出が不可能になったため、4 m³の特殊フレコンバックに袋詰めし、市内各所に仮置きした（写真9）。

その後、本格的に施設建設工事に着手し、2012年5月から中間処理施設の一部（粗選別、破碎選別、焼却施設）が稼働し、2012年9月までに木くず処理施設を除く全施設が本格稼働し、現在昼夜体制で廃棄物処理を進めている。表1に工程表を示す。また、2012年12月末現在の災害廃棄物、津波堆積物の搬入および搬出量を表2に示す。

表2 搬入・搬出実績（2012年12月末現在）

二次仮置場への搬入量	
災害廃棄物	502,941 t
津波堆積物	73,844 t
計	576,785 t
搬出量(一次仮置場から直接搬出した分も含む)	
コンクリートガラ	414,695 t
アスファルトガラ	12,780 t
金属くず	21,735 t
木くず	7,654 t
飼料	3,232 t
紙	5,968 t
量	10,418 t
可燃物	43,786 t
可燃系混合廃棄物	12,076 t
混合廃棄物	51,976 t
不燃物	4557 t
焼却灰	24,576 t
砂・礫・土砂	43,191 t
改質土砂	17,369 t
不消化固化物	23,404 t
造粒固化物	15,803 t
その他(タイヤ、魚網等)	15,783 t
小計	729,003 t
焼却量	
焼却処理量	154,993 t
減容化量	99,650 t

4.2 広域処理の状況

当初計画では、災害廃棄物量の約5割弱を県外処理（広域処理）に委ねなければ、工期内に処理が完了しない想定であった。その後、災害廃棄物量を精査した結果、当初想定の半分程度まで災害廃棄物量は減少したが、依然として、数十万トン

を広域処理に委ねなければならない状況である。

前述のとおり、放射能問題により広域処理が難しい状況の中、青森県、山形県、茨城県、東京都、福岡県北九州市等の協力を得て、広域処理を進めている（写真10）。今後は災害廃棄物の残量を考慮しながら、広域処理の必要量を精査していく予定である。

4.3 混合廃棄物の処理状況と課題

混合廃棄物処理において、当初は混合廃棄物の組成や比重を過去の災害（東海豪雨、福井豪雨）の実績から推定していたが、仮置き場ごとの組成、比重を調べたところ、仮置き場によって大きく異なることが判明した（表3）。

仮置き場ごとの混合廃棄物の組成で想定以上に土砂が多いことから、粗選別前にトロンメル等による分級を行い、事前に細粒分を選別することとした。この結果、混合廃棄物中の土砂分の割合が変動しても、事前に土砂分を分級することにより、粗選別、破碎選別施設への負荷変動を軽減させることができた。

表3 一次仮置き場の混合廃棄物の組成

仮置場	A	B	C
比重	1.0	0.6	0.3
組成	可燃物	約10%	約70%
	不燃物	約30%	約20%
	5mm未満	50%以上	約30%

4.4 混合廃棄物ふるい下の処理状況と課題

図1で示した通り、混合廃棄物を破碎選別した後に発生する30 mm以下の土砂分（ふるい下）は、木くず等の可燃物が混入したものであり、そのままで土木資材としてのリサイクルが難しいことから、土壤洗浄施設で分級洗浄処理を行い、砂と礫、廃棄物に分ける計画としている。当初は混合廃棄物から発生する細粒分の割合は重量比で15%程度を見込んでいたが、実際には50%前後となっている。また、木くず等の可燃物の割合は、



写真10 北九州への船積搬出状況

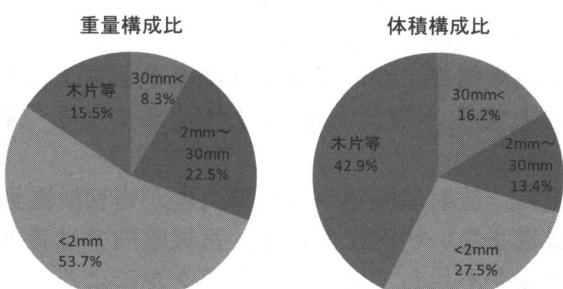


図3 ふるい下の組成状況

※試運転実績より

重量比では約15%であるが、体積比では約40%を占めていることが実績から確認されている（表2）。

土壤洗浄施設にはもともと碎石中の異物を除去することを目的としてゴミ取り装置を設けていたが、実績では体積比で40%を超える木片等が混入していたため、想定していた処理能力を発揮することが困難であった。そのため、土壤洗浄施設のゴミ取り機能を増強することで、想定量の処理とリサイクル資材としての品質確保が可能となつた。

4.5 津波堆積物の処理状況と課題

津波堆積物は、一次仮置き場から搬出する前に約900m³ごとに土壤分析を行い²⁾、土壤汚染対策法に定める有害物質の基準を超過したものについては、土壤洗浄施設において分級洗浄処理を行い、基準を超過しなかつたものについては、土質改質施設において改質選別を行い、廃棄物と20mm以下の土砂に選別する。

当初、土壤洗浄を行う津波堆積物量は、汚染原因施設（PRTR届出施設・下水処理場・廃棄物処理施設）周辺に堆積した人為的な汚染土壤量から体積比で10%程度を見込んでいた。土壤分析の結果、津波堆積物の半分以上に有害物質による基準超過が確認され、土壤洗浄を行う津波堆積物は、当初想定量を大きく上回った。また、そのほとんどが自然由来である可能性が高いと推定された。今後は、土壤洗浄による処理量の増加に伴い、土壤洗浄以外の処理方法の検討も実施していく予定である。

5. 災害廃棄物等のリサイクルについて

5.1 リサイクルに向けた取り組み

解体家屋からのコンクリートガラ、改修道路からのアスファルトガラを土木資材としてリサイクルするのはもちろん、前述の通り混合廃棄物を徹底的に選別してリサイクル可能な木くず、金属くず、コンクリートガラなどを回収することで60%以上のリサイクル率を目標としている。

混合廃棄物から分けた細粒分（ふるい下）および津波堆積物については土壤洗浄や土質改質を行うことで土木資材としてリサイクルする（4.4、4.5参照）。

更に、放射能問題から広域処理が当初計画通りには進まない状況にある中、宮城県内では管理型処分場が不足しており、リサイクルによる最終処分量の低減が求められている為、当初の計画にはなかった焼却灰の造粒固化および土壤洗浄汚泥の

固化不溶化によるリサイクルに取り組んでいる。その内容を次に述べる。

5.2 焼却灰の造粒固化によるリサイクル

焼却後の主灰は、当初計画では県外のセメント工場にセメント原料として搬出する計画であったが、放射能問題により県外での処理が困難になった。このため『ブロック内でのリサイクル』を実現すべく、焼却灰のリサイクル方法を比較検討した結果、主灰にセメントと不溶化剤を添加して造粒固化を行い、土木資材としてリサイクルを行う方式を採用した。現在ストーカー炉、ロータリーキルンの主灰について造粒固化を行っている。

5.3 土壤洗浄汚泥の固化不溶化によるリサイクル

混合廃棄物から分けた細粒分（ふるい下）や津波堆積物を土壤洗浄することにより発生する汚泥については、当初計画では管理型処分としていたが、管理型処分場が不足していることから、固化不溶化施設を新たに設置し、不溶化剤と中性固化材を添加し、土木資材としてリサイクル利用を行うこととした。

5.4 リサイクル資材の活用について

環境省通知（2012年5月25日）³⁾により、災害廃棄物由来のリサイクル材を公共工事で使用する場合の諸要件が示された。主な要件は以下の通りである。

- 分別、又は中間処理したもの
- 有害物質を含まないもの
- 生活環境保全上の支障を生じるおそれがないこと
- 構造、耐力上の安全性等構造物が求める品質を満たしていること

この通知によると津波堆積物、ガラスくず、陶磁器くず、又はふるい下等に由来するリサイクル資材は上記要件等を全て満たすことで廃棄物に該当せず土木資材としてリサイクル利用が可能となる。宮城県はこの通知を受けて2013年1月に環境省通知の運用に関する考え方⁴⁾を示した。このことにより、今後、災害廃棄物等のリサイクルがより一層進むものと思われる。

石巻ブロックにおける主なリサイクル利用先は以下の通りであるが、全てのリサイクル先が決定しているわけではない。今後は、前述の環境省、宮城県の通知等に則り、一刻も早いリサイクル先の確保に努めることが重要となっている。

- 焼却灰の造粒固化物、土壤洗浄汚泥の固化不溶化物（写真12、13）

石巻港の港湾埋立資材としてリサイクルする計

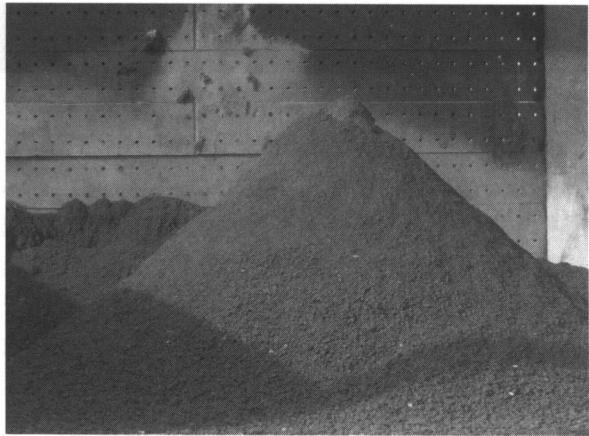


写真 12 焼却灰の造粒固化物

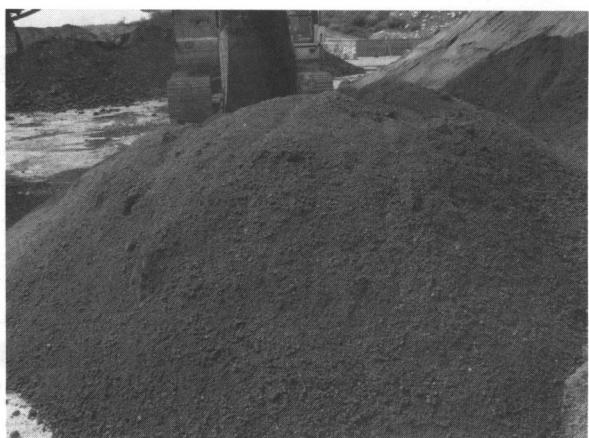


写真 13 土壌洗浄汚泥の固化不溶化物

画であり、リサイクルにあたっては約 900 m³ごとに石巻港の埋立土砂受入基準⁵⁾を満足していることを確認している。既に焼却灰の造粒固化物については、強度・膨張性・溶出等について長期安定性試験を実施している。

●コンクリートガラ

石巻港の港湾埋立資材としてリサイクルする他に、復興住宅造成資材や地盤沈下に伴う嵩上げ資材として利用されている。

6. おわりに

東日本大震災から 2 年が経過し、災害廃棄物処理も徐々に成果が表れ、形として見えてきたところである。今回の災害廃棄物は地震による倒壊に起因するものより津波由来の廃棄物が大半を占め、廃棄物の量にしても性状にしても今までほとんど例のないものである。従って、本稿の中でも処理を進める中で発生したいいくつかの課題を紹介したが、実際には細かい課題まで含めると枚挙に暇がないのが実情である。今後も技術的な課題が多く出てくることが予想されるが、これまで培った技術と英知を生かし、災害廃棄物処理を通じて地元の復興に貢献していくつもりである。

〈参考文献〉

- 1) 環境省：東日本大震災に係る災害廃棄物処理進捗状況・加速化の取組（平成 25 年 1 月 25 日）
- 2) 環境省：東日本大震災津波堆積物処理指針（平成 23 年 7 月 13 日）
- 3) 環境省：東日本大震災からの復旧復興のための公共工事における災害廃棄物由来の再生資材の活用について（平成 24 年 5 月 25 日）
- 4) 宮城県：「東日本大震災からの復旧復興のための公共工事における災害廃棄物由来の再生資材の活用について（平成 24 年 5 月 25 日環境省通知）」の運用に関する県の考え方について（平成 25 年 1 月）
- 5) 宮城県：石巻港埋立土砂の受入基準

最終処分場の現状と課題

【Key Word】

産業廃棄物、一般廃棄物、安定型最終処分場、管理型最終処分場

遠藤和人*・山田まさと**

1. 廃棄物の種類

産業廃棄物は表1に示す通り、廃棄物の処理及び清掃に関する法律(昭和45年12月25日、以下、廃掃法とする)の第二条第4項第一号で定められた6種と、廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令(昭和46年9月23日、以下、施行令とする)の第二条で定められた14種類の合計20種類の廃棄物を指す(これ以外に輸入廃棄物等もあるが、ここでは言及しない)。表1に示す13号廃棄物とは、施行令第二条第十三号で定められた廃棄物のことであり、処分するために処理した産業廃棄物を指している。産業廃棄物のうち、紙くず、木くず、繊維くず、動物系固型不要物については、業種が限定されており、かつ、事業活動における原料や材料として利用されたもののみが該当するので、従業員が出したごみは一般廃棄物として取り扱われる場合が多い(自治体によって異なる場合がある)。建設工事から生じる廃棄物については、平成23年3月30日に発出された課長通知(建設工事から生じる廃棄物の適正処理について(通知)、環廃産第110329004号)による建設廃棄物処理指針(平成22年度版)に示されている。本指針は、用語の定義も含み、分かりやすい説明が記述されており、ご一読頂きたい。

一般廃棄物とは、廃掃法第二条第2項で定められている通り、産業廃棄物以外の廃棄物を指す。品目が定まっていないので、一般廃棄物の性状は安定しておらず、種々雑多な廃棄物が該当し、家庭から排出される燃えるごみやその焼却灰等が代表的な一般廃棄物である。事業系一般廃棄物という分類もあるが、法律や政令上では定義されておらず、自治体の条例で定められている場合が多い。

表1 産業廃棄物の品目分類

品 目	業 種 指 定	備 考
1 燃え殻	全ての事業活動	廃掃法第二条
2 汚泥	全ての事業活動	廃掃法第二条
3 廃油	全ての事業活動	廃掃法第二条
4 廃酸	全ての事業活動	廃掃法第二条
5 廃アルカリ	全ての事業活動	廃掃法第二条
6 廃プラスチック類	全ての事業活動	廃掃法第二条
7 紙くず	建設業、パルプ、制止、新聞、出版業等	施行令第二条第一号
8 木くず	建設業、木材・木製品製造業、パルプ製造等	施行令第二条第二号
9 繊維くず	建設業、繊維工業等	施行令第二条第三号
10 動植物性残さ	食品製造、医薬品製造等	施行令第二条第四号
11 動物系固型不要物	畜場解体獣畜、食鳥処理場処理物等	施行令第二条第四号の二
12 ゴムくず	全ての事業活動	施行令第二条第五号
13 金属くず	全ての事業活動	施行令第二条第六号
ガラス・コンク 14 リート・陶磁器くず	全ての事業活動	施行令第二条第七号
15 鉱さい	全ての事業活動	施行令第二条第八号
16 がれき類	全ての事業活動	施行令第二条第九号
17 家畜ふん尿	畜産農業のみ	施行令第二条第十号
18 動物の死体	畜産農業のみ	施行令第二条第十一号
19 ぱいじん	全ての事業活動	施行令第二条第十二号
20 13号廃棄物	全ての事業活動	施行令第二条第十三号

* 独立行政法人国立環境研究所/主任研究員

** 独立行政法人国立環境研究所/室長

事業系一般廃棄物とは、通常、事業活動に伴って排出される廃棄物のうち、産業廃棄物でないものを指す。また、災害廃棄物は産業廃棄物に該当しないので、結果的に一般廃棄物として取り扱われる。これら以外にも、特別管理一般廃棄物や特別管理産業廃棄物と呼ばれる、爆発性、感染性その他の人の健康又は生活環境に係る被害を生じるおそれがある性状を有する物として政令で定めるものがある。

2. 廃棄物最終処分場

2.1 安定型最終処分場

産業廃棄物の埋立処分は、品目毎に分類されており、廃プラスチック類、ゴムくず、金属くず、ガラス・コンクリート・陶磁器くず、がれき類の5品目と、これら産業廃棄物に準じるものとして環境大臣が指定する産業廃棄物については、安定型産業廃棄物と呼ばれ、安定型最終処分場に分類される遮水設備や水処理施設のない地中にある空間を利用する処分の方法によって埋立処分される。すなわち、遮水工や浸出液処理施設がなく、通常の土壌埋立と同様に取り扱われる。そのため、安定型処分場の浸透水の水質には地下水基準が適用される。

環境大臣が指定する産業廃棄物とは、環境省告示第105号（平成18年7月27日）に定められた“廃石綿又は石綿含有産業廃棄物の処理に由来するもの”であり、有害物の溶出が基準以下である鉱さい（安定型鉱さい）が指定されている。

安定5品目のうち、がれき類とは“工作物の新築、改築又は除去に伴って生じたコンクリートの破片その他これに類する不要物”であり、いわゆる建設廃棄物に相当する。先に示した建設廃棄物処理指針にも示されているが、平成10年6月16日に交付された環境庁告示第34号「工作物の新築、改築又は除去に伴って生じた安定型産業廃棄物の埋立処分を行う場合における安定型産業廃棄物以外の廃棄物が混入し、又は付着することを防止する方法」では、排出源分別を徹底することと、混合して排出された建設混合廃棄物を手、ふるい、風力、磁力、電気等によって処理して選別し、熱しゃく減量が5%以下であるものを安定型産業廃棄物として埋立処分できることが示されている。この熱しゃく減量5%の考え方については、混乱する場合が多いが、建設混合廃棄物の処理物のみに適用され、熱しゃく減量5%以下の木くずや紙くず等の安定型産業廃棄物以外の産業廃棄物が混入してもよい、という意味では無い。

熱しゃく減量の測定は、厚生省課長通知（昭和52年11月4日）である「一般廃棄物処理事業に対する指導に伴う留意事項について」の別紙2に示される方法であり、105°C ±5°Cで十分に乾燥させた破碎廃棄物20~50グラムを600°C ±25°Cの電気炉に入れて3時間後の質量減量率によって算定する。同様の用語として、強熱減量がよく混同されるが、これは、日本工業規格や地盤工学会基準で示される通り、750°C ±50°Cにて1時間強熱後の質量減量率であり、温度や強熱時間が異なる。

安定型最終処分場には、安定5品目や安定鉱さい、そして、建設混合廃棄物処理物のうち熱しゃく減量が5%以下のものが埋立てられるが、規制上、これらが化学的に安定であるかどうかを判定する必要性は無く、基本的には品目（排出源含む）によって規定されており、安定型産業廃棄物以外の混入は、処分場受入時の展開検査によって判断することとなっている（一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める省令（昭和52年3月14日）の第二条第2項第二号ロ、以下、省令とする）。しかしながら、展開検査が目視判定であることから、安定型処分場にとって夾雜物となる化学的に不安定な廃棄物の混入を皆無にすることは困難である。このことは、安定型処分場建設時の判例文¹⁾としても読み取れる。例えば、福岡県川崎町や千葉県富津市の判例では、「安定五品目の中には、有害物質が混入することは不可避である」といった現行法令の限界を示す内容となっている。また、総務省の広報誌である「ちょうせい」の第28号²⁾には、産業廃棄物最終処分場の建設等の差止めという特集があり、水戸裁判所での事例が掲載されており、公害等調整委員会事務局主査によるコメントとして「安定型処分場の維持管理が適正にされることはもちろんですが、処分場のあり方そのものの見直しも今後の課題といえるでしょう。」と締めくくられている。特に、水戸裁判所の事例対象となっている安定型処分場は、遮水シートを敷設する安定型であるが、遮水シートが破損される可能性も否定できないことも判決根拠となり、建設中止の仮処分が申し渡されている。日本弁護士連合会では、以上と同様の理由により「安定型産業廃棄物最終処分場が今後新規に許可されないように求める意見書」³⁾も公表されている。

安定型産業廃棄物のほとんどは、化学的に安定であり、埋立処分を行ってもガスの発生や汚水の発生を生じさせることは無いが、問題は、その安定型産業廃棄物に付着もしくは混入してしまう夾

雑物をいかにして除去、もしくは排除するか、という点である。また、有機物量を評価する際、熱しゃく減量という考え方も問題となる。強熱温度が600℃である場合、有機物のみではなく、粘土鉱物やセメントコンクリートの結晶水も蒸発して減量するため、強熱による減量率では有機物の指標とならない場合も多い。また、固体中の有機物には、易水溶性や難水溶性のものが混在していることから、全てが水に溶け出すものではなく、水溶性でない有機物は、短期的には、汚水やガス発生に顕著な影響を与えない可能性が大きい。そのため、熱しゃく減量で代替される有機物含有量は、ガスや汚水発生の指標として適切であるとは言い難い。そのため、水溶性有機炭素量(DOC)などの指標を用いることが考えられる。易分解性、難分解性の有機物の存在量も影響することから、安定型処分場にとって問題となる有機物の存在量を判定する有効な指標や考え方、判定手法などを明確にする必要があると考えられる。

2.2 管理型最終処分場

管理型最終処分場は、産業廃棄物の埋立処分場であり、図1に示すように遮水工や浸出水処理施設等、浸出液によって公共の水域及び地下水を汚染するおそれがないように必要な措置を講じた廃棄物最終処分場である(施行令第三条第三号〇)。埋立可能品目は、施行令第六条第1項第三号に詳述されており、表1の20品目のうち、廃酸と廃アルカリ、液状物は埋立処分することができない。また、汚泥等の泥状物については含水率を85%

以下にし、燃え殻、汚泥、ばいじん等は有害物質が環境省令で定める基準に適合していることが条件となっている。この“環境省令で定める基準”は、「金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める省令」(昭和48年2月17日総理府令第5号)に記されており、その判定方法は「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法」(昭和48年2月17日環境庁告示第13号)に示される溶出試験である。よって、管理型に埋立可能な産業廃棄物の判定は、金属等の含有量ではなく、溶出液の濃度によって決められている。これは、封じ込め措置がとられた施設へ埋立を行うことから、そこから発生する浸出液に着目すれば周辺環境を保全可能であり、そのためには含有量ではなくて埋立物から溶出する物質濃度を知れば良い、という考えに基づくと推察される。一方で、有機物については、施行令第六条第一項第二号ヲに示されており、有機性の汚泥や動植物性残さ、家畜ふん尿等の腐敗物が40%を超えている場合、埋立高さを1層当たり50cm以下とし、50cm以上の土砂で覆うことが要求されている。このような腐敗物主体でなければ、1層当たりの埋立高さは300cmであるため、有機物埋立に対して厳しい基準といえる。

以上のように、管理型最終処分場の場合、埋立可能な廃棄物の品目や排出源、埋立物の含水比等が規定されており、一般廃棄物に比較すれば埋立てられる物は明確である。しかしながら、これら埋立基準を満足していたとしても、有機物自体の埋立量の規制はなく、同じ品目であったとしても

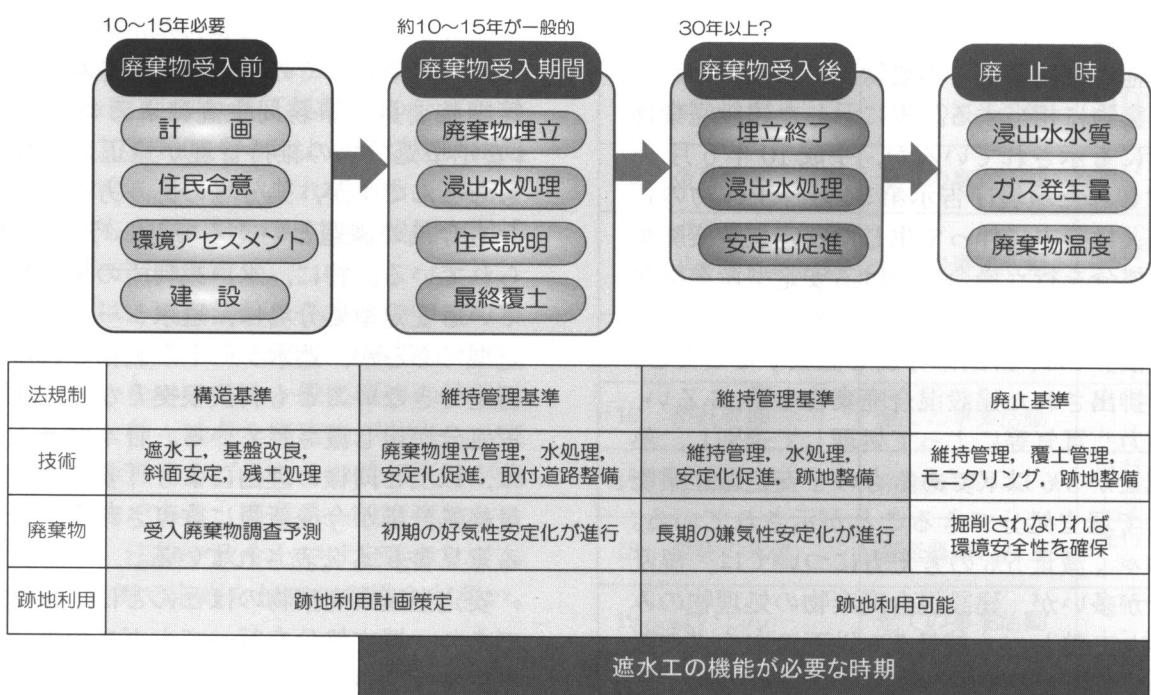


図1 管理型廃棄物最終処分場・一般廃棄物処分場の一生

その性状が多様であることから、結果的に浸出水の水質が排水基準を満足するまでには時間を要する場合もある。平成 18 年に環境省が都道府県と政令市に対して行ったアンケート調査⁴⁾によると、埋立終了もしくは廃止した処分場について、安定型 (n=91) では 87%，管理型 (n=30) では 63% が終了から 4 年未満で廃止もしくは廃止予定であり、8 年以上が安定型で 4%，管理型で 13% であった。また、終了した処分場の約半数が、廃止予定年は不明もしくは未定であった。平成 20 年に（社）全国産業廃棄物連合会が事業者に対して行ったアンケート調査⁵⁾によると、安定型と管理型を合わせて (n=52) 埋立処分終了から廃止までの期間は 5 年以内が 73% を占め、10 年以上が 13% であった。以上は、ほとんどの最終処分場が埋立終了後 4~5 年以内に廃止に至るが、1 割程度は維持管理期間が長期化することを示している。このような維持管理期間の違いをもたらす原因が明らかにされないと、何も対策がとれないままに、いつ終わるともしれない維持管理が続けられ、不運にも資金が尽きて管理が放棄されるという事態を引き起こしかねない。維持管理期間を実質的に決定付ける保有水等の水質が、埋立終了後、どのような要因で減衰してゆくのか、統計的なモニタリングや処分場形状や埋立廃棄物の質の影響等を知ることが必要である。

2.3 一般廃棄物処分場

一般廃棄物処分場の構造は、管理型の産業廃棄物処分場と同じである。一般廃棄物処分場の場合、品目が決められておらず、産業廃棄物でない廃棄物すべてであるため、厨芥類等の直接埋立も行われる。平成 20 年の統計では、90% 以上が焼却等の熱処理が行われているが、1% 強の一般廃棄物が直接埋立されている。一般廃棄物の場合、品目指定が無いために、特に古い処分場では、種々雑多なものが埋め立てられている場合が多い。災害廃棄物が一般廃棄物として埋め立てられることも一因と考えられる。また、昭和の時代に整備された一般廃棄物処分場では、施行令第三条第三号口に示される「浸出液によって公共の水域及び地下水を汚染するおそれがないように必要な措置」を講じていない処分場も存在する。平成 10 年に厚生省によって公表された“遮水工又は浸出液処理施設を有しない最終処分場”のうち、共同命令（施設の構造基準と維持管理基準であり、現在の省令）違反と認められ、かつ、処分基準（施行令第三条第三号口）違反の恐れが強い最終処分場が 80 施設、共同命令の適用は無いが、処分基準違反

のおそれが強い処分場は 343 施設とされている。一部の処分場では、処分基準違反を適正化するために鉛直遮水壁を設けて浸出液処理施設を設置した処分場もあるが、ごくわずかである。平成 10 年より適正化が順次進められているが、今後も継続して実施する必要がある。その際、施行令や省令に準拠する構造となるよう闇雲に対策したのでは、経済的に行き詰まる可能性もある。法律的には難しい可能性もあるが、その不適正処分場が周辺環境に及ぼすリスクを正確に知り、必要に応じた適正な費用対効果を有する対策を施すことが重要であり、処分場の健全性を適切に診断する技術が求められている。

3. おわりに

廃棄物最終処分場は、不要物となったものを廃棄物として埋立処分する場所である。ものの循環から考えると末端に位置しているが、来るものを受け入れているだけでは、その処分場の維持管理が長期化する懼れがあり、エンドオブパイプの技術のみでは適正に安定化することが経済的にも技術的にも厳しいといわざるを得ない。当然ながら、自然の成り行きで廃棄物の安定化を待つだけでは、最終処分場が工学的に機能しているとは言えず、廃棄物を安定化させる施設としては成り立っていないことになる。1990 年代より、持続可能型埋立という概念が議論され始めたが、最終処分場を微生物反応や洗い出しによって安定化促進型とするか、埋立廃棄物を選定して低負荷反応器となるような場とするか、さらに厳選した廃棄物や埋立前処理を施して最終安定化物を埋め立てる土地造成型の場にするか、より上流側の廃棄物の質の制御を併せ、埋立処分場を土地資源として利活用できる技術システムが必要である。現在の廃棄物類型を大きく見直し、質を制御できる廃棄物管理を目指すことも重要なと考える。

引用文献

- 1) 日水コン（2009）：平成 20 年度最終処分場に係る在り方検討業務報告書
- 2) 小暮敏郎（2002）：産業廃棄物最終処分場の建設等の差止め、ちょうせい、第 28 号、22-23
- 3) 日本弁護士連合会（2007）：安定型産業廃棄物最終処分場が今後新規に許可されないように求める意見書
- 4) 環境省（2006）：参考資料 4 産業廃棄物最終処分場に係る維持管理に関するフォローアップ調査結果、最終処分場維持管理積立金に係る維持管理費用算定ガイドライン
- 5) （社）全国産業廃棄物連合会（2008）：産業廃棄物最終処分場の維持管理に係るアンケート調査結果

警戒区域等における地質調査手法の一例

【Key Word】

放射能、放射線、放射性物質、警戒区域、地質調査、除染等業務、特定線量下業務

佐藤 謙司*・西村 修一**

1. はじめに

東京電力(株)福島第一原子力発電所の事故により生じた放射性物質による汚染環境を一日でも早く除染・解消し、安全かつ円滑に復旧・復興を進展させることが求められている。復旧・復興に必要な施設の計画・設計のため地質調査を行うにあたっては、放射性物質の作業者への影響等に配慮した安全確保が課題となる。

このような背景を踏まえ、全地連では平成23年度の事業として環境省からの委託を受け「放射性物質の作業者への影響等に配慮した地質調査手法に関する調査」を実施し、実際の調査事例も参考に検討、取りまとめを行った。本稿では、法的に規制されている「除染特別区域等」に該当する地域で作業をする際に要求される安全管理を踏まえた調査の進め方や措置の基本的な考え方などについて紹介する。

2. 放射性物質の基礎知識¹⁾⁽²⁾

当該区域に立ち入るには事前に特別教育を受講することが必須で、その内容から放射性物質の基礎知識に関する事項を以下に概説する。

(1) 放射線と放射能

放射線と放射能の関係は、図1に示すようなイメージで表される。ほとんどの元素は、安定な状態で原子や分子として存在している。わずかに存在する不安定な原子は、粒子や電磁波を放出して、徐々に安定な原子に変化する。このときに放出する粒子や電磁波が「放射線」である。放射線を出す物質を「放射性物質」、放射性物質が放射線を出す能力を「放射能」と呼ぶ。

同図に示すように、電球の光に相当するのが「放

射線」とすれば、電球自身は放射線を出す「放射性物質」、さらに電球を発光する能力(性質)が「放射能」となる。

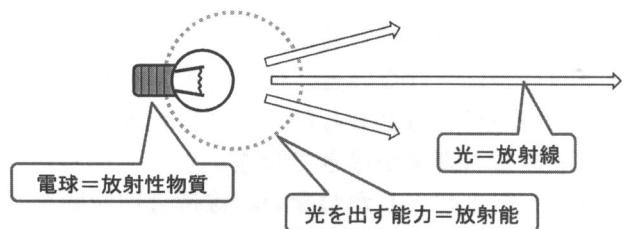


図1 放射線と放射能の関係イメージ²⁾

(2) 放射線の種類とその性質

放射性物質の種類によって、放出する放射線の種類が異なる。主な放射線の種類としては、 α 線、 β 線、 γ 線、中性子線などがある。

放射線には、物質を透過する性質があり、その透過力の強弱は、放射線の種類によって図2のような違いがある。

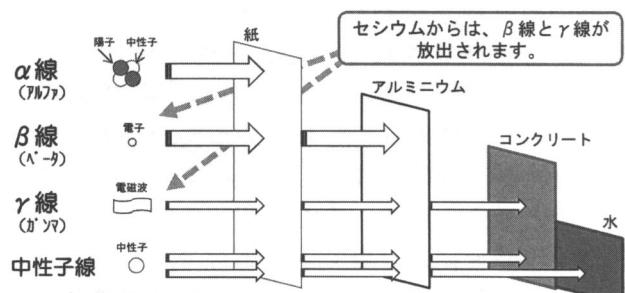


図2 放射線の種類と性質²⁾

(3) 放射性物質の半減期

放射性物質が、放射線を放出して別の原子核に変化し、半分に減るまでの期間を半減期という。ヨウ素131の半減期は8.0日、セシウム134は2.1年、セシウム137は30.2年である。

* 応用地質株式会社 東京支社長

** 中央開発株式会社東京支社 地盤環境部長

(4) 放射能や放射線を表す単位

放射能の強さや放射線の影響を表す単位には、「ベクレル」や「シーベルト」などがある。

ベクレル (Bq)：放射性物質の持つ放射線を出す能力を表すもので、1秒間に壊れる原子の数で強さを表している。

シーベルト (Sv)：放射線が人体に与える影響の度合いを表している。

シーピーエム、カウントパーティツツ (cpm)：放射線測定器で計測される放射能の強さで、1分間に計測された放射線の数を表している。

グレイ (Gy)：物体や人体の組織が受けた放射線の強さを表している。

(5) 外部被ばくと内部被ばく

人体が放射線を受けることを被ばくといい、被ばくには外部被ばくと内部被ばくがある。

外部被ばくは、放射性物質が体の外にあり、体外から放射線を受けるこという。外部被ばく線量は、地域の空間線量率と被ばくした時間によって決まる。

内部被ばくは、放射性物質が体の中に入り、体内から放射線を受けることである。内部被ばく線量は、吸気中や摂取した水・食品中の放射性物質の種類や量、摂取経路、物理的半減期や代謝等による減少の程度などによって決まる。

(6) 放射線の防護

地質調査等を行う際の放射線の防護の考え方としては、大きく「外部から受ける線量の低減」と「放射性物質の身体への付着と取り込みの防止」がある。

外部から受ける線量をできるだけ低くする方法には次のようなものがある。

- 放射線源を除去する：使用する道具や、通路など、周囲にある放射線源をできるだけ除去して、作業中の線量率の低減を心掛ける。
- 遮へいする： γ 線は密度の大きい遮へい物で低減することができる。
- 放射線源から距離をとる：放射線源が点とみなせる場合は、放射線の強さは距離の2乗に反比例して減少するため、高い汚染が認められる場所等からできるだけ距離をとるよう配慮する。
- 作業時間を短くする：作業中に受ける線量は、「線量率×作業時間」で決まる。作業時間の短縮を図ることも重要な要素となる。

放射線の身体への付着と取り込みを防ぐ方法には次のようなものがある。

- 休憩場所のクリーン化を図り、身体に付着したものや体内へ取り込むおそれのある放射性物質を取り除く。

- 保護具（防じんマスク等）を適切に着脱する。

- 作業場所で飲食や喫煙等を行わない。

(7) 被ばくの影響と被ばく限度

放射線による人体への影響を図3に示す。

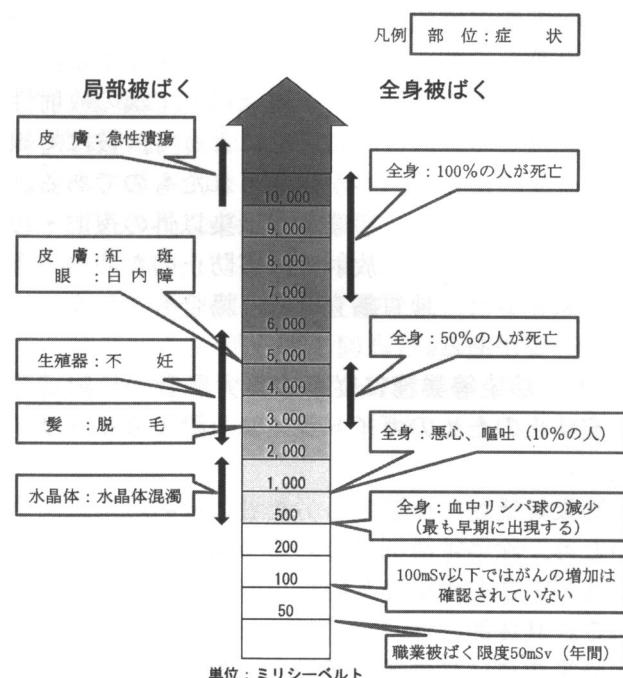


図3 放射線被ばくの人体への影響²⁾

労働者が受ける電離放射線を可能な限り少なくするよう努めることが法令等の基本原則とされており、がんなどの障害発生のおそれのないレベル以下とするため、線量限度が表1のとおり定められている。

表1 被ばく線量限度²⁾

項目	線量限度
● 作業者	5年間で100mSv かつ 1年間で50mSv
※ 女性（妊娠する可能性がないと診断された方を除く）	3月間で5mSv
※ 妊娠中の女性	妊娠中 1mSv

3. 関連する法令やガイドライン

放射線障害防止に関する法令やガイドライン等には、次のものがある。

(1) 除染電離則

「東日本大震災により生じた放射性物質により汚染された土壌等を除染するための業務等に係る電離放射線障害防止規則」の略称で、平成24年1月1日から施行され、平成24年7月1日には、避

難区域の見直しに伴い、「除染特別地域等（除染特別地域ならびに汚染状況重点調査地域）」で除染作業以外の生活基盤の復旧や、製造業の事業などが開始・再開されることを受け、改正されている。改正のポイントは以下のとおりである。

- ・1万Bq/kgを超える汚染土壌等を扱う特定汚染土壌等取扱業務を除染等業務に加える。
- ・平均空間線量率が2.5μSv/時を超える場所で行う除染等業務以外の業務を特定線量下業務と称し、新たに除染電離則の適用とする。

即ち、作業場所において取り扱う土壌の放射性物質濃度と空間線量の組合せによって、被ばく線量管理や措置等の内容が規定されたものである。

この改正により、事業者が除染以外の復旧・復興作業を行う場合の放射線障害防止のための措置が体系化され、地質調査を行う場合もこれを遵守する必要がある。

（2）除染等業務に従事する労働者の放射線障害防止のためのガイドライン（除染ガイドライン）

除染等業務に従事する労働者の放射線障害防止のため、除染電離則に定める事項のほか、事業者が講ずることが望ましい事項が一体的に示されている。具体的には、「除染特別地域等」において、除染等業務に従事する労働者の放射線障害防止対策として、被ばく線量管理、被ばく低減措置、汚染拡大防止、教育、健康管理などについてまとめられている。

（3）特定線量下業務に従事する労働者の放射線障害防止のためのガイドライン（特定線量下ガイドライン）

特定線量下業務を対象に上記（2）と同様の趣旨で作成されたものである。

（4）特別教育テキスト

現地に立入る作業指揮者や労働者は、事前に特別教育を受講する必要があり、そのため下記のテキストのほか、実技教育用資料なども作成されている。

- ・除染等業務特別教育テキスト改訂版（H24.7 厚生労働省電離放射線労働者健康対策室編）
- ・特定線量下業務 特別教育テキスト（H24.7 厚生労働省電離放射線労働者健康対策室編）

4. 地質調査手順の紹介³⁾

「除染特別地域等」における基準以上の空間線量や放射能濃度の土壌を扱う環境下での地質調査では、「立入り申請」「事前準備」「放射線量や作業区分に応じた防護措置」「休憩や汚染検査場所の

設置」「使用資機材の取り扱い」などの事項について、通常の作業の進め方や安全管理に付加しなければならない点がある。ここでは、該当エリアにおける地質調査手順として、検討すべき課題と対処方法の事例を紹介する。

（1）警戒区域への立入り申請

警戒区域への立入りは制限されているため、同区域内での地質調査にあたっては、事前に申請書を作成提出し、自治体の許可を得る必要がある。申請には、発注機関から当該立入が公的機関の委託・発注であることを示す確認書が必要である。

（2）調査地の放射線量の事前把握

作業計画段階においては、既往データから調査地の放射線量について概要を把握し放射線防護措置の内容を設定する。調査段階では、これに先立ち調査地の放射線量等を測定し、防護措置の見直しや確定ならびに作業基準の設定に反映させる。

現地での放射線量等測定方法の詳細については、前記のガイドライン等に詳述されている。

当然ながら放射線量の事前測定作業を含め、平均空間線量が2.5μSv/時を超える地域においては、個人線量計による被ばく管理が必要である。

（3）作業計画の作成・周知

地質調査の業務実施にあたっては作業計画を作成し、その内容を作業員に周知する。

作業計画は、2.5μSv/時以上の空間線量かつ1万Bq/kgを超える特定汚染土壌環境において地質調査を行う場合に必須で、この場合には作業指揮者を定め、作業届を労働基準監督署に提出する必要がある。作業届は除染ガイドライン添付の様式に従い、業務単位で提出することを原則とするが、場所が離れた作業を含む場合は、作業場所ごとの提出となる。

地質調査は、地点を移動しながら実施するという特性を有しているため、地点毎に放射線防護の必要性や措置の内容が異なる可能性があることから、作業員に環境と必要な措置を明確に示す上でも、全ての作業を対象として、作業計画を明示し、周知することが望ましい。

作業計画には次の事項を示す。

- ・作業の場所（飲食・喫煙が可能な休憩場所、汚染検査場所を含む）。
- ・作業の方法（作業者の構成、機械等の使用方法、作業手順、作業環境等を含む）。
- ・被ばく線量の測定方法（空間線量率、土壤放射能濃度、水中放射能濃度、粉じん濃度）。
- ・被ばくを低減させるための措置（線量測定方法、作業短縮等の被ばく軽減方法、被ばく線

量目標値の設定を含む)。

- ・使用する機械、器具等の種類および能力。
- ・労働災害が発生した場合の応急の措置。

(4) 放射線量に応じた作業区分について

地質調査等の実施においては、以下に示す放射線量等に応じた作業区分を概ねの目安として作業時間や作業体制(例えば2班交代制など)を計画する必要がある。

1) 空間線量が $0.23 \mu\text{Sv}/\text{時}$ を下回る場合

被ばく量が年間 1 mSv 以内と換算できる線量で、「除染特別地域等」に該当しないレベルであり、特段の措置を講じる必要はないと考えられる。

2) $0.23 \mu\text{Sv}/\text{時}$ 以上 $2.5 \mu\text{Sv}/\text{時}$ 以下の場合

$2.5 \mu\text{Sv}/\text{時}$ とは、放射線管理区域として明示することが求められている3ヶ月につき 1.3 mSv (1年間換算で 5 mSv) を週40時間、1年52週という労働時間で割り戻した1時間当たりの値である。事前線量測定によって、本範囲内の線量状況であることが確認できた場合は、特定汚染土壌の取り扱いに該当する場合を除き、線量管理等は不要とされている。

3) $2.5 \mu\text{Sv}/\text{時}$ を超える場合

放射線管理区域相当として外部被ばくに対する線量管理を必須とするレベルであり、特定線量下業務に該当するため、作業に応じて必要な被ばく低減措置等を講じる。特定汚染土壌に該当する場合は下記4)を参照。

4) 特定汚染土壌取扱業務に該当する場合

空間線量が $2.5 \mu\text{Sv}/\text{時}$ を超え、特定汚染土壌を扱う場合は、外部被ばく、内部被ばくに対して特段留意した実施体制を要する。例えば空間線量が $3.8 \mu\text{Sv}/\text{時}$ は、終日滞在することを前提として年間 20 mSv に達する線量レベルである。年間 20 mSv は、表1に示した5年間で 100 mSv という線量限度の年平均値に相当する。特定汚染土壌が地表に面的に分布するエリアは、空間線量も高いレベルとなるため、適切な防護措置を計画、周知、実施することが必要である。

5) その他

地質調査従事者は、今後の復旧の進展につれ該当区域内において複数の業務に従事する可能性があるため、特定の業務あるいは期間に被ばく線量が過度に累積するような管理体制とならないよう留意する必要がある。また、作業員に対する放射線防護措置の設定と安全作業体制の確立においては、次の点に留意する。

- ・防護服等の着用時の作業性や作業の安全性を考慮する。

- ・放射線量、熱中症対策などを考慮して作業時間、作業サイクル、班体制を最適化する。
- ・特に、現場での休憩や飲食等が制限された状況での作業を要する場合は、熱中症や疲労の蓄積に対する配慮が大変重要である。

(5) 作業時の放射線防護措置の内容

地質調査等における作業員の放射線障害防止措置は、特定汚染土壌を取り扱う業務に該当するか否かと、高濃度粉じん作業に該当するか否かで概ね規定される。

1) 基本的な事項

該当区域内における地質調査において、作業員に対する基本的な事項として以下のものがある。

- ・立入り前に必要な健康診断の受診、特別教育を行う。
- ・被ばく放射線の上限：表1に示す線量限度を厳守する。例えば1回当たり最大 1 mSv 以内、直近1年間で 20 mSv を超えないなど、管理基準を明確にして管理を行うことが望ましい。
- ・個人線量計の携帯：作業場所および移動経路の空間線量レベルに応じて、線量計の携帯等による外部被ばく測定を適切に実施する。
- ・集団での行動：調査箇所への出入は可能な限り集団で行う。
- ・情報提供・作業同意：放射線知識、放射線状況、リスク情報の提供と、当該作業場所での勤務について書面で同意を得る。
- ・スクリーニング：警戒区域への出入時には必要なスクリーニングを実施。
- ・各作業員の被ばく記録の保存や、事後必要に応じた健康診断等を受診させる。

内部被ばくの測定については、取り扱う汚染土壌等の放射性物質濃度および作業中の粉じん濃度に応じ、表2に示す方法で実施する。

表2 内部被ばく線量の測定方法²⁾

	高濃度汚染土壌等 (50万Bq/kg超)	左記以外 (50万Bq/kg以下)
高濃度 粉じん作業 (10 mg/m^3 超)	3ヶ月に1回の内部 被ばく測定を行う	スクリーニングを実 施する
上記以外の作業 (10 mg/m^3 以下)	スクリーニングを実 施する	スクリーニングを実 施する*

* 突発的に高い粉じんにばく露された場合に実施

2) 作業員の保護具・作業服

作業区分、放射線量区分に応じて、作業員は適切な保護具、作業服を着用する。

除染ガイドラインによると、高濃度粉じん作業かつ高濃度汚染土壌の状態にあっては、防塵マスクが全く使用されない無防備な状況を想定した場合、内部被ばく実効線量が1mSv/年を超える可能性がある。高濃度粉じん作業に該当するかどうかは、除染ガイドラインにより次のとおり判断する。

- ・土壤等のはぎ取り、アスファルト・コンクリートの表面研削・はつり、除草作業、除去土壌等の袋詰め、建築・工作物の解体等を乾燥した状態で行う場合は、 10 mg/m^3 を超えるとみなす。地質調査においても伐開作業をはじめとする準備工その他で該当する作業を行うに際しては、十分に対処する必要がある。
- ・上記にかかわらず、作業中に粉じん濃度の測定を行った場合は、その測定結果によって高濃度粉じん作業に該当するかどうか判断する。

表3 作業環境に応じた作業服・保護具²⁾

【作業服】

	高濃度汚染土壌等 (50万Bq/kg超)	左記以外 (50万Bq/kg以下)
高濃度 粉じん作業 (10mg/m ³ 超)	長袖の衣類の上に全 身化学防護服（例： 密閉型タイベックス ツーツ）、ゴム手袋（綿 手袋と二重）、ゴム長 靴	長袖の衣類、綿手 袋、ゴム長靴
上記以外の作業 (10mg/m ³ 以下)	長袖の衣類、ゴム手 袋（綿手袋と二重）、 ゴム長靴	長袖の衣類、綿手 袋、ゴム長靴

【防じんマスク】

	高濃度汚染土壌等 (50万Bq/kg超)	左記以外 (50万Bq/kg以下)
高濃度 粉じん作業 (10mg/m ³ 超)	捕集効率 95%以上のもの	捕集効率 80%以上のもの
上記以外の作業 (10mg/m ³ 以下)	捕集効率 80%以上のもの	捕集効率 80%以上のもの*

*草木や腐葉土の取扱等作業の場合にはサージカルマスク等の着用で差支えない

3) 調査地点の防護措置

調査地点の放射線量が高い場合に、作業員の放射線被ばく量の低減、並びに機材への付着量を軽減させる措置として、以下のような事項が考えられる。

- ・搬入、搬出、給水等のルートについては、幅の余裕をもって伐開作業を行い、樹木や草木との人や機材の接触による汚染や粉じんの発生を防ぐものとする。

- ・調査地点は、可能な場合は機材置場も含めて汚染された表土の除去を行い、地面からの線量を軽減する。表土の剥ぎ取り深度は、事前調査の被ばく線量の測定によって判断された厚さ（5~10cm程度を想定）とする。
- ・作業箇所に近接する樹木がある場合は、枝払いを行いロッド等の機材や作業員が接触しないように空間スペースを確保する。
- ・除去した表土等は、フレコンバッグ等に詰めて影響のない場所に仮置きする。

(6) 休憩施設の設置

休憩場所は、除染ガイドラインに従い以下の事項に準拠した場所を設定する。

- ・高濃度の土壤等が近傍にないこと。
- ・休憩は一斉に行い、作業中断後20分間程度は飲食や喫煙をしない。
- ・作業場所の風上が望ましく、少なくとも風下方向に移動しない。
- ・飲食や喫煙を行う前に、手袋、防じんマスクなどの保護具を外し、手を洗う等の除染措置を講ずる。高濃度汚染土壤等を取り扱った場合は、飲食前に身体等の汚染検査を行う。
- ・作業中に使用したマスクは、飲食・喫煙中に放射性微粒子が内面に付着しないように保管するか廃棄する。
- ・作業中の水分補給については、熱中症予防等のためやむを得ない場合に限るものとし、作業場所の風上に移動した上で、手袋を脱ぐ等の汚染防止措置を行った上で行う。

以上のほかトイレの確保も必要で、十分な休憩ができる、洗浄水、廃棄衣類・保護具等の管理、保管などにも対処するには、専用の建屋を用意することも考慮する必要がある。

(7) 汚染検査場所の設置

汚染検査場所を独自に設ける場合は、除染ガイドラインに従い以下の諸事項に準拠した設置、運営を行うものとする。

- ・駐車、洗浄、汚染検査スペースおよび汚染廃棄物の一時保管のための設備が設けられる場所を借用することが望ましい。
- ・検査場所管理のため、建屋の借用もしくはテント等の仮設も可能である場所とすることが望ましい。
- ・設備として、資機材の線量確認用の放射線測定器、高圧水洗浄機、洗濯機等を設置し、洗浄等に要する水の確保が必要である。
- ・搬出する資機材等の線量を確認し、必要に応じて洗浄や再測定を行う。

- ・GM 計数管による測定結果で表面線量率が 13,000 cpm を超えているものは搬出できない。
- ・搬出する資機材、車両等の洗浄は、できる限り水の使用を控えるため草や泥を濡れたウエスやブラシ等で先に取り除き、除去できなかった汚染物質に対して高圧水による洗浄で除染を行うことが望ましい。
- ・洗浄にあたる作業員は、洗浄水を浴びないように合羽等を着用するものとし、必要な着替えスペース等を確保する必要がある。
- ・洗浄に使用した水の処理については、地権者、関係機関等と同意した方法とする必要がある。

(8) 使用する資機材等に講じる措置

調査に使用する資機材等については、放射線防護措置を考慮し、持ち込んだ資機材はすべて安全に搬出することを原則に運用管理する必要がある。

また、汚染の拡散を防ぐことを念頭に、調査に伴い発生する様々な状況への対処を図ることが求められる。

ボーリングマシン・ポンプ・その他機材：調査終了後搬出することを前提として、管理・運用を行う。マシンの設置箇所や資機材の置場など作業に使用する範囲は、必要な除草、表土剥ぎ、整地などをを行い、作業中の汚染影響を極力排除する。機材の汚染状況は定期的に確認を行う。足場板などの木材は、放射性物質が付着しやすいため取り扱いに留意する。

測量・仮設資材：測量作業や伐採作業などに使用する機材、モノレール等を含む仮設資材についても、持ち込みにあたって可能な範囲で汚染防護措置を講じ、汚染状況を計測して管理する。

搬入・搬出車両：作業車両と通勤車両は、必要台数を限定し固定的に運用する。これらの車両に対しては座席その他に必要な養生を行って使用する。車両の汚染状況については定期的に確認し、汚染の蓄積状況等に応じて適切な管理を行い、洗浄その他の対応を行う。なお、レンタカーなどを使用する場合は、返却時の汚染管理基準を事前に確認する必要がある。

水供給：調査に使用する用水等については、調査地に近い箇所で、給水可能な施設を選定することを基本とする。現地で、沢水などをポンプで給水することが必要な場合は、給水経路の放射線量や、ポンプ設置個所の底泥などの放射線量を事前に確認し、底泥を巻き上げた場合の線量の影響などを考慮し、利用の可否も含めた判断が必要である。

コア試料：コア箱に収納した試料については、仮

置き場所もしくは保管施設の設置などを検討する必要がある。

地下水位等モニタリング：自動記録水位計を使用するなど観測に立入る回数を少なくする方法を検討する。計測器は観測孔の中に収納するなど、汚染物質の付着を極力抑えられる構造を考慮する必要がある。

孔内試験：被ばく低減措置を講じ、線量測定によって、搬出可能な管理を行う。

サンプリング試料：線量測定によって、搬出可能かを確認する必要がある。

泥水、残土処分：泥水バックは周囲の表土を剥ぎ取り、周囲から水が流入しにくい構造とすることを検討する必要がある。作業終了後の泥水、スライムは原則として容器や土のう等に集積し、線量確認の上、予め検討・協議した処理方法によって適切な処分を行う必要がある。

5. おわりに

本稿の地質調査手法に係る部分は、全地連で作成した「除染特別区域等における地質調査と積算事例に関する講習会テキスト」に基づくものである。同テキストは、全地連会員企業が福島第一原子力発電所事故後に放射性物質に対する防護を必要とする条件下で実施した地質調査の事例から、作業において配慮すべき事項を整理したものであり、こうした知見と、事故後に逐次更新されてきた法令や通達事項等に基づき、放射線に対する配慮が必要な地域内で地質調査を実施するため、留意すべき事項を取りまとめたものである。

本稿ならびに同テキストは、法令や通達等を直接示すことが目的ではなく、特別な環境下で地質調査業務を遂行する上で課題と認識した事項について、対処や措置の案などを示したものであるが、数少ない限定的な事例に基づいており、今後数多くの地質調査が行われていく中で、より安全性を高めるための手法の改善やノウハウの蓄積を図っていくことが必要である。

〈引用資料〉

- 1) 農林水産省（2011）放射性物質の基礎知識
- 2) 厚生労働省（2012）除染等業務特別教育テキスト改訂版
- 3) 一般社団法人全国地質調査業協会連合会（2012）除染特別区域等における地質調査と積算事例に関する講習会テキスト

島根半島北岸の大規模地すべりと最近の被災事例

【Key Word】

地すべり、島根半島、グリーンタフ、GPS観測、アンカーアーク

かた やま なお き
片 山 直 樹*

1. はじめに

島根県北東部に位置し日本海に面した島根半島は、出雲市大社の日御崎から松江市美保関の地蔵崎に至る東西65km、南北15~20kmの半島である。この一帯は標高200mから500mの丘陵地となっており、北岸は日本海の荒波によって浸食された海食崖や沈水海岸が連続し、海岸線は主に急峻な斜面となっている。

また、島根半島は日本海拡大時に活発だった海底火山の噴出物、いわゆるグリーンタフが広く分布する地帯でもあり、これに起因した地すべりが多く発生している。

このような地形・地質的特徴を持つ島根半島の中央部北岸に、規模の大きい地すべりが発生している地区「地合地すべり」がある。ここでは、地合地すべりの概要と地区全体の地すべり活動状況を概説し、最近の被災事例として平成23年9月の台風12号および15号に関連して発生した地すべり被害とその対策事例について紹介する。

2. 地すべり地の概要

島根半島中央部の日本海側に面する「地合地すべり」は、昭和36年に農林水産省構造改善局により地すべり防止区域に指定され、昭和36年から41年にかけて地表水・地下水排除工を主体とする第一期事業として地すべり対策工事が行われた。

その後、平成4年頃から地すべり活動が再び活発化し、家屋への被害や海岸線での崩壊が顕著となり、平成6年から平成11年にかけて第二期事業が行われた。

この第二期事業における地質調査の結果、当初想定していた地すべり規模（移動層厚十数m程度）よりも深く大規模な地すべりである可能性が指摘されたため、続く第三期事業（平成12年~19年）、第四期事業（平成20年~24年）において引き続き地質調査や地すべり対策工事を実施している。

これまでの調査結果より、地合地すべりには大きく4つの地すべりブロックが存在すると考えられており、これらのうち最大規模は幅380m×長

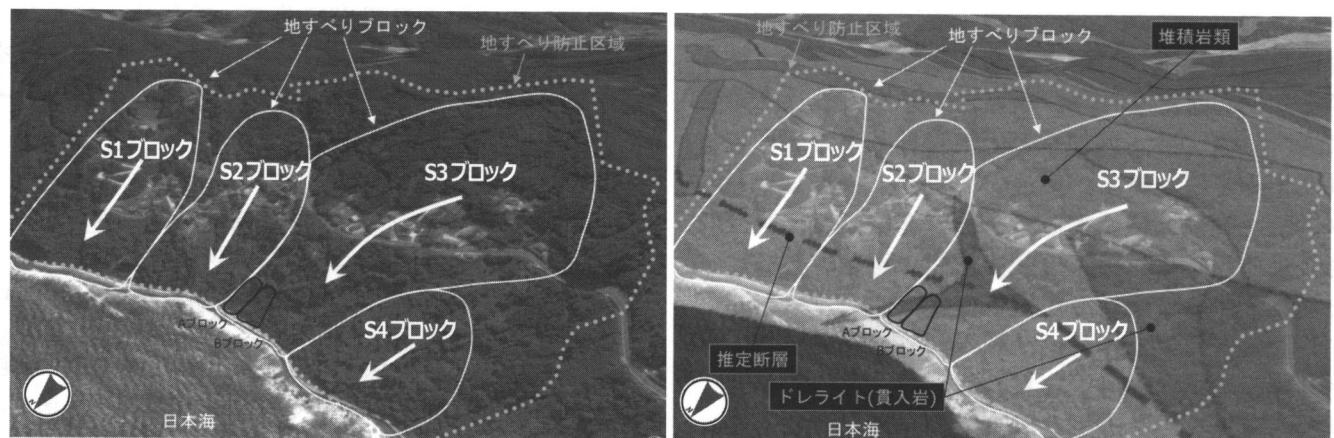


図1 地すべり防止区域全体鳥瞰図（左）と地質分布図（右）

* 株式会社 日本海技術コンサルタンツ 調査設計部
調査グループ

さ 500 m × 移動層厚 70 m 程度である (図 1)。

部分的にドレライトの貫入が認められる (図 1)。

3. 地質概要

当該地すべり地付近では、新第三紀前期中新世の堆積岩類の砂岩、泥岩、凝灰岩から構成され、

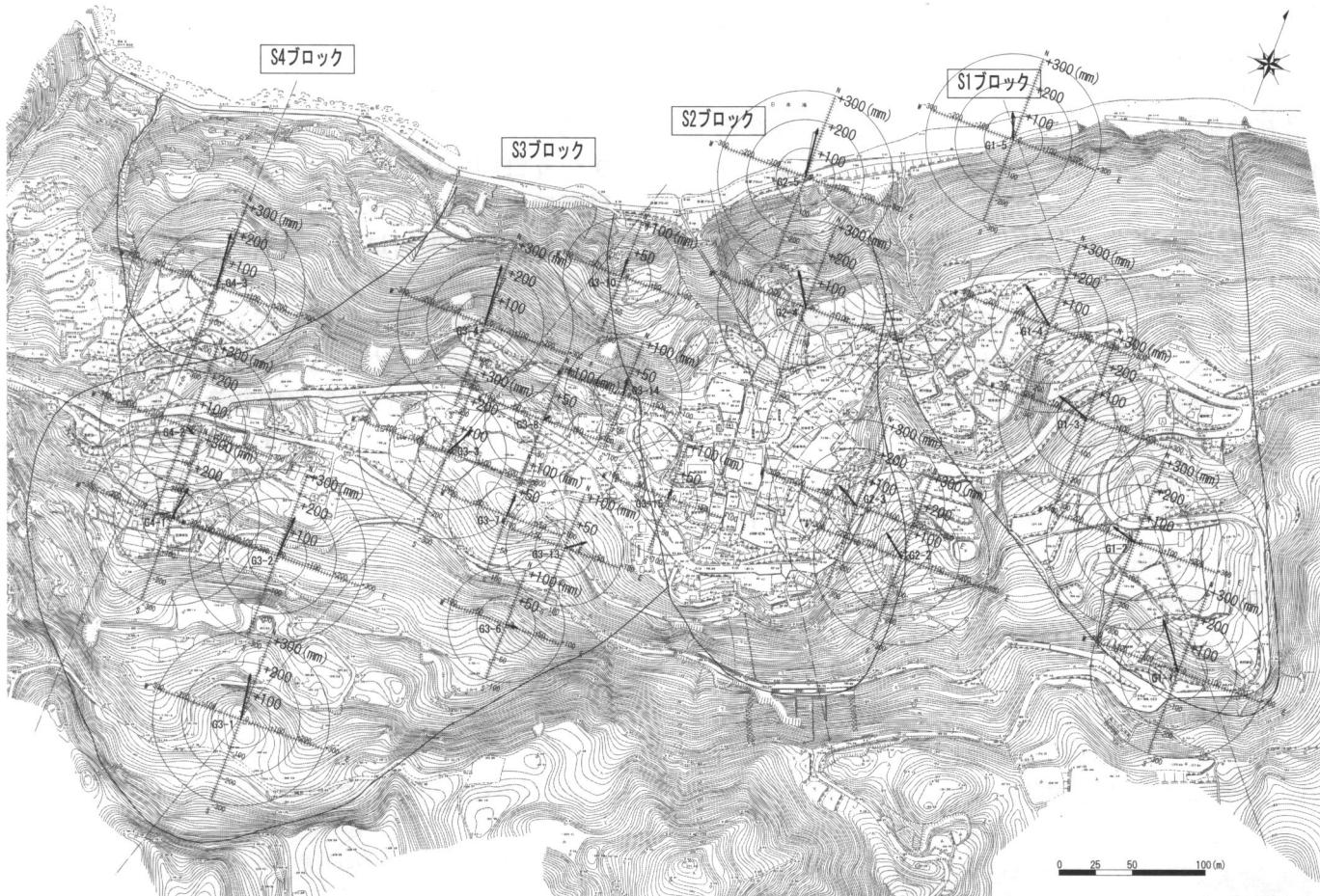


図 2 代表観測点での GPS 観測結果総括平面図

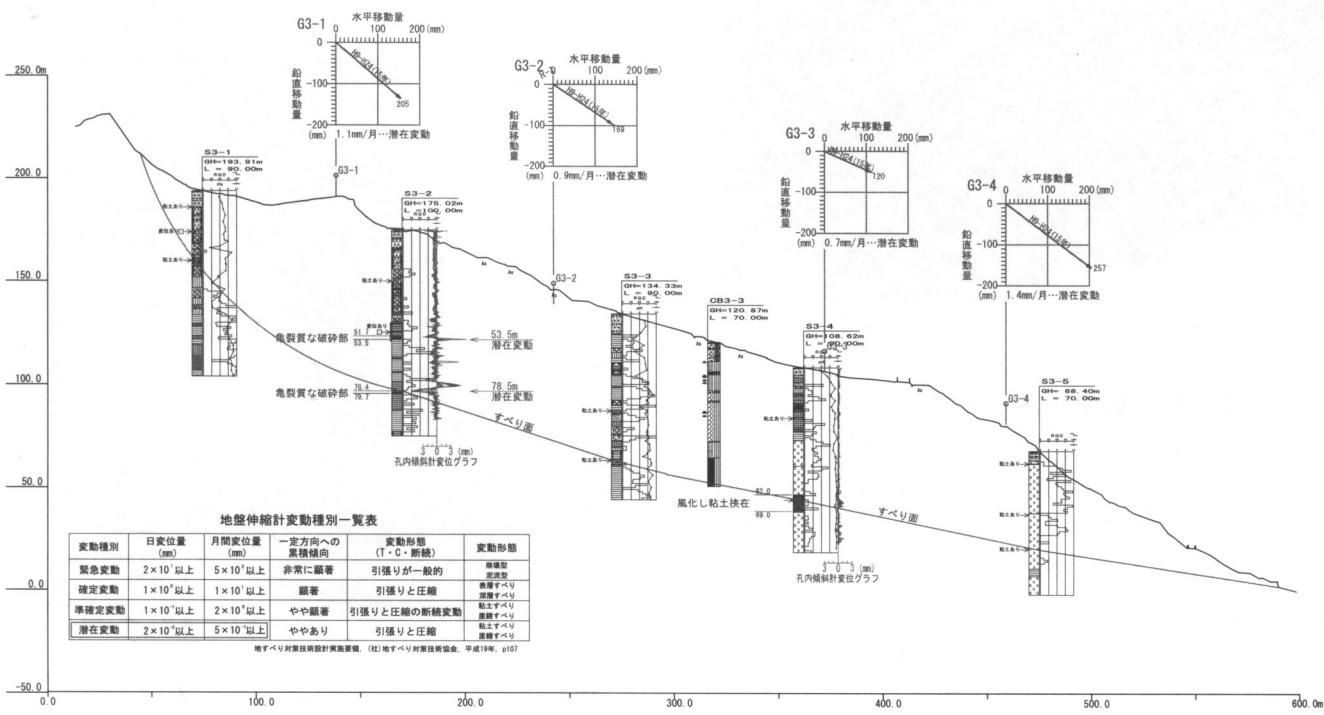


図 3 GPS 観測結果総括断面図 (S3 ブロック)

している。観測点は平成9年に19点設置し、平成21年に10点の追加を行った。

これまでの観測結果より、全体平均で年間8mm(月間0.7mm)の水平移動を生じている(図2)。また、各観測点では鉛直方向への変位も見られ、それらを考慮すると最大移動量は年間16.5mm(月間1.4mm)となる(図3)。これは、地盤伸縮計による地すべり変動種別に当てはめると“潜在変動”レベルとなり、極めて緩慢な滑動が継続的に進行している地すべりであるといえる。

5. 近年の地すべり被災事例

(1) 被災状況

近年被災した箇所は、S3ブロック末端右側部であり、隣接するS2ブロックとの境界部付近となる(前掲図1参照)。

発生した崩壊(以下、Aブロック)は、小規模な谷地形に地表水あるいは地下水が集中的に供給された影響で生じた表層崩壊であった(写真1)。

一方、この崩壊箇所と西側で隣接する斜面上部に明瞭な滑落崖が連続しており、崩壊には至っていないが滑動を生じた箇所(以下、Bブロック)が確認された。踏査段階では、Bブロックの移動層が比較的厚い可能性が高く、背後に控えるS3ブロックの安定性に影響を及ぼす可能性も考えられ、早急に安定化を図る必要があった。



写真1 Aブロック崩壊直後の様子

(2) 被災時の気象状況

これらの被災が生じた平成23年9月に、大型で強い勢力の2つの台風(12号、15号)が島根県東部に接近した。これらの台風により当該地区でも多量の降雨となり、9/1~9/5間で102mm、9/16~9/21間で268mmの累積雨量が観測された。特に台風第15号の影響による降水量が多く、この影響でAブロックの崩壊が発生した。

(3) 調査結果概要

[Aブロック；幅10m×長さ50m×深さ3m]

現地踏査の結果、Aブロックについては完全に移動層が崩落し安定していると判断されたが、その背後の緩斜面に過去の地すべり痕跡と思しき連続する段差地形を認めたため、背後斜面への影響が懸念された。このため、Aブロック上部の緩斜面にて地盤伸縮計観測(T-1), ボーリング(BV-1)ならびにパイプ式歪計観測を実施した結果、地すべり性の変位は認められず、背後斜面への影響は無いと判断された。

また、崩壊面には崖錐堆積物と凝灰岩の地質境界を認め、その境界付近の凝灰岩層内には広範囲に変質した白色粘土層を挟在しており、常時湧水の滲出が確認できた。この白色粘土層はBV-1でも確認でき、12°程度の北傾斜を示す流れ盤であることがわかった。このため、地表からの浸透水はこの白色粘土層に規制されて流下し、Aブロック頭部付近に集中的に供給されやすい性状であり、これが崩壊素因の一つと考えられた。

[Bブロック；幅25m×長さ60m×深さ8m]

Bブロック内の2箇所でボーリング(BV-2, BV-3)とパイプ式歪計観測を行い、地盤伸縮計観

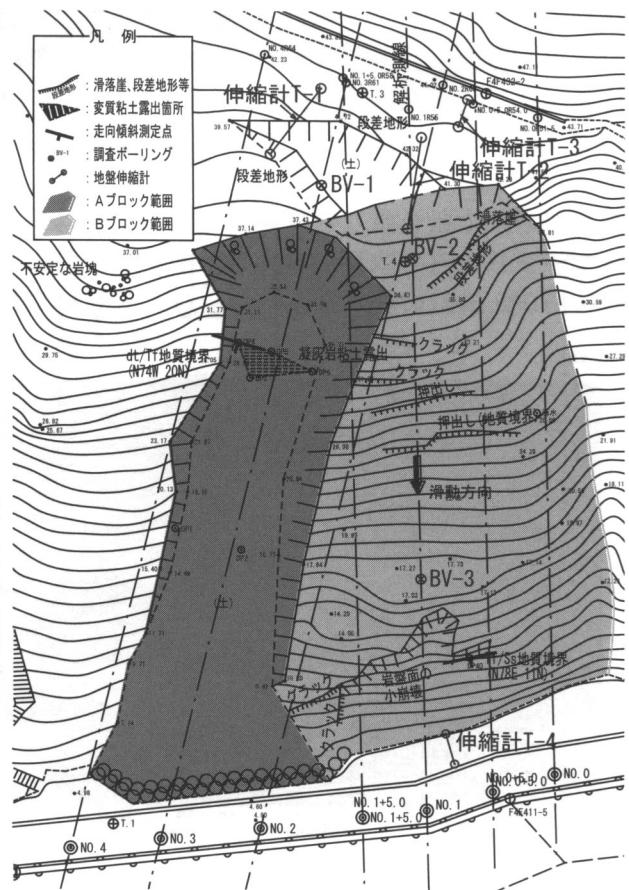


図4 被災箇所概要平面図

測を頭部付近で2箇所(T-2, T-3)と末端部(T-4)で実施した。

ボーリングの結果、表層を層厚6m程度の崖錐堆積物が覆い、その下位は熱水変質を被った凝灰岩が分布することがわかった。凝灰岩は全体的に亀裂質で、白色粘土化した部分を複数個所挟在した状態であった。なお、当該斜面は過去に切土がなされたため、崖錐堆積物と凝灰岩の境界部が斜面中腹で解放された状態となっていた。

パイプ式歪計観測では、それぞれの孔において2つの深度で歪量の累積が認められた。深部の歪検出深度は、斜面末端からほぼ直線で結ぶことができ、既往調査結果を考慮すると、山頂からの大規模地すべりブロックであるS3ブロックのすべり面であると考えられた。

一方、浅所で検出された歪については、最大 $640\mu\text{/月}$ と大きく、降雨に呼応して歪増加が認められ地盤伸縮計の動きと連動していることを確認した。

このため、浅所の歪検出深度とコア状況を考慮し、Bブロックのすべり面深度を決定した(図5)。

なお、各孔の孔内水位は、亀裂質な岩盤の影響で逸水した状態であり、周辺地下水の賦存形態は

岩盤中の裂縫水が主であると考えられた。

(4) Bブロックの地すべり機構

S3ブロックのすべり面が相対的に浅所に現れる斜面末端部では、潜在的に滑動しやすい状態にあったと考えられる。この状況下で隣接するAブロックの崩壊によりBブロック右側部が下方に引きずられ、またその後はそれまで存在していた側面摩擦抵抗が喪失したことにより不安定化し、亀裂質な凝灰岩層内に新たなすべり面が形成されたものと推察される。

また、凝灰岩を覆う崖錐堆積物との境界付近には、Aブロックで認められたものと連続する白色粘土層が接しており、浸透水が崖錐堆積物に集中的に供給されやすい状態となっていた。このため、この地質境界をすべり面の一部とした小ブロックで滑動が発生したものと考えられる。

(5) 対策工法概要

Aブロックに対しては、不安定土塊が全て崩落した状態であったため、今後の浸食および小崩壊防止のため吹付け柱工を計画した。

一方Bブロックに対しては、抑制工として水抜

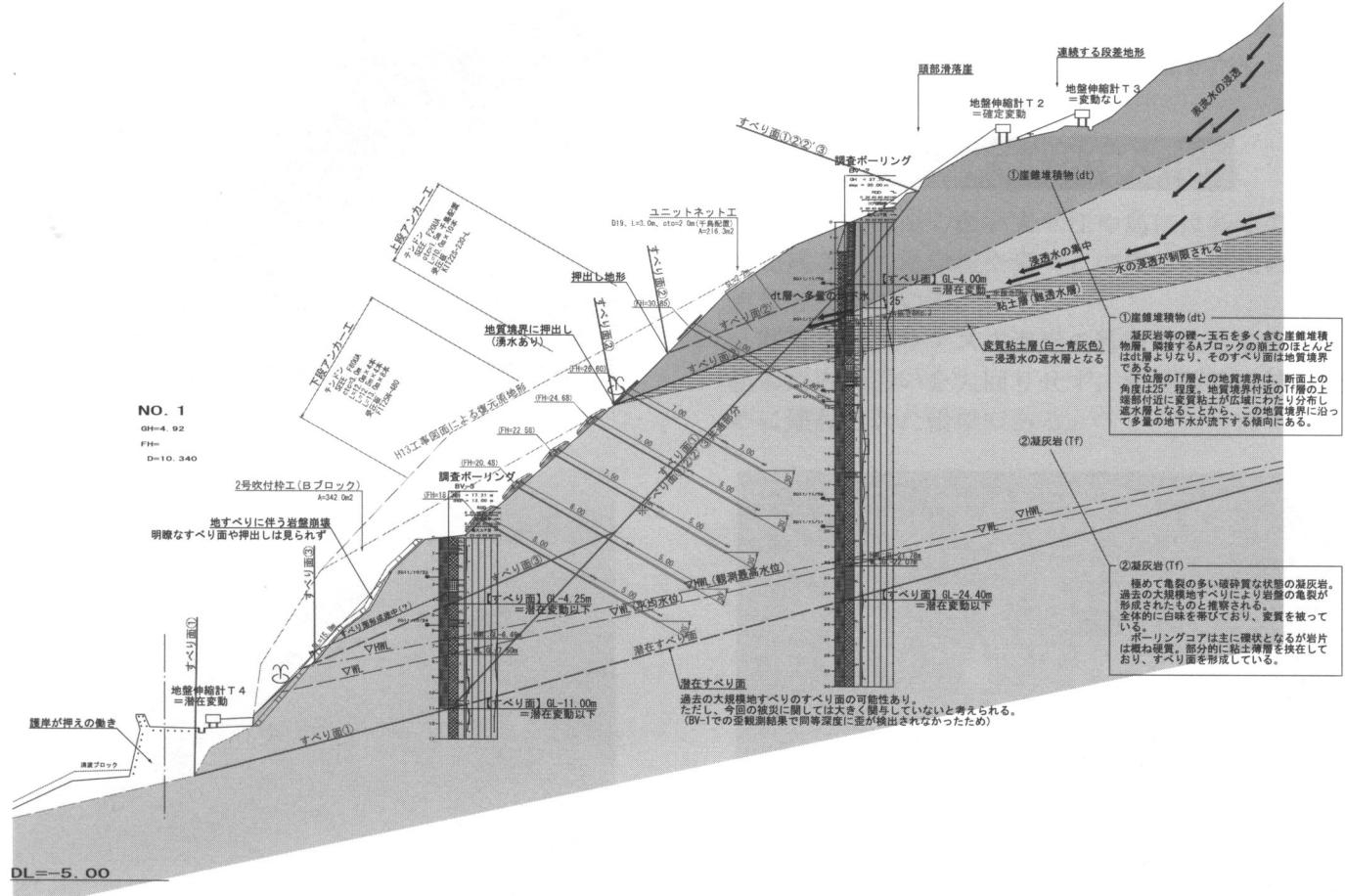


図5 Bブロック解析および対策断面図

きボーリング工、抑止工としてアンカー工を計画した。水抜きボーリング工は、白色粘土層に規制されブロック頭部に供給される浸透水を除去することが目的である。アンカー工は、B ブロック全体の安定化に加え、崖錐堆積物による活発な小ブロックの滑動抑止のため、2 種類のアンカーを選定し計 6 段（26 基）の計画としている。

6. おわりに

地合地すべりは、大規模地すべりが緩慢に継続している箇所である。現在、地表水・地下水排除

工を主体とした対策が進行中だが、完全に地すべりを抑え込むまでには時間が必要である。よって、今後も地すべりの圧力が蓄積される斜面末端部では崩壊や小規模な地すべりが発生するものと思われる。このような場合、背後に控える大規模な地すべりの影響を考慮しつつ、被災箇所に対して適した工法を選定することが非常に重要と考える。

最後に、島根県出雲県土整備事務所農林工務部の皆様には、資料の引用についてご了承いただき、末尾ながら謝意を表します。

各地の残すべき地形・地質

志摩地方のリアス式海岸 (三重県鳥羽市・志摩市・南伊勢町)

リアス式海岸の概要

三重県中西部の志摩半島には、リアス式海岸と呼ばれる複雑に入り組んだ海岸線が発達しており、風光明媚なことから伊勢志摩国立公園に指定されている。

リアス式海岸が続く志摩市周辺には、英虞湾、的矢湾、五ヶ所湾および贊湾などの大きな内湾の中に大小様々な島や無数の入り江がある。特に英虞湾は、以下の空撮写真に示すような美しい風景であり「21世紀に残したい日本の風景100選」第6位に選ばれている。

英虞湾は“真珠のふるさと”と言われ、御木本



写真1 英虞湾中心部の空撮写真*



写真2 先志摩半島方向を望む空撮写真*

幸吉らを創始者として波穩やかで清楚な海に棲息するアコヤ貝を用いて真珠の養殖が盛んに行われており、無数の筏が海上に並び風情をかもしだしている。(写真1、写真2)

リアス式海岸と土木構造物の調和

リアス式海岸の深い入り江や島には多くの橋梁が建設され、海岸線や島々との美しい調和のある風景となっている。

写真3は、リアス式海岸の特徴である深く入り込んだ内湾沿いを大回りせず、最短距離で結ぶために建設された橋梁である。



写真3 贊湾の南島親子大橋（空撮*）

先志摩半島の中間には、英虞湾と太平洋を結ぶ深谷水道〔全長 660 m・幅 15 m〕と呼ばれる運河があり、真珠養殖と密接に関わりのある土木遺跡である。真珠養殖にとって湾奥での冷水滞留による赤潮の発生は大敵である。この運河は、黒潮流れる太平洋の海水を引き入れて湾内水温を上げ赤潮の発生を抑制するため、真珠養殖が盛んであった昭和 7 年に完成したものである。(写真 4)



写真 4 深谷水道の風景

志摩市周辺の地質

英虞湾を中心とする志摩市周辺の地質は、西南日本外帯の地質区に属する中生代白亜紀の付加体で、厚い砂岩層と砂岩泥岩互層を主体とする四万十累層群の矢層群が広く分布する。(図 2, 写真 5)

的矢層群は、一般に大陸側に高角度で傾斜しており、一部にチャート・緑色岩・礫岩等を含むものである。

先志摩半島周辺では、的矢層群を不整合に被覆する第四紀更新世の海成段丘堆積物である鵜方層が分布している。



図 2 志摩市周辺の地質 (文献 1 : 一部加工)

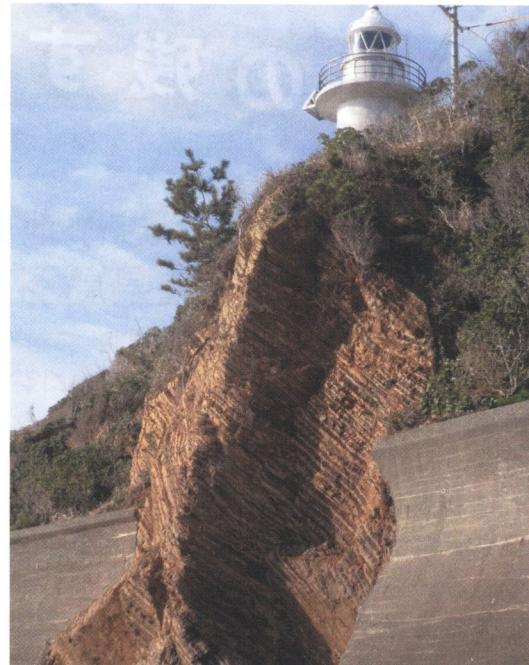


写真 5 志摩半島最南端に位置する
麦崎灯台直下の的矢層群 (砂岩泥岩互層)

先志摩半島の外洋に面する海岸線は、随所に波の浸食によって海食崖が発達しており、崖上は標高 20~40 m 程度の隆起海食台となっている。この海食台の上に鵜方層が載っている。

志摩市周辺では、外洋側に海食崖のほかに海食洞、内湾側に魚骨状・鋸歯状の小島群などの特殊地形が数多く点在している。

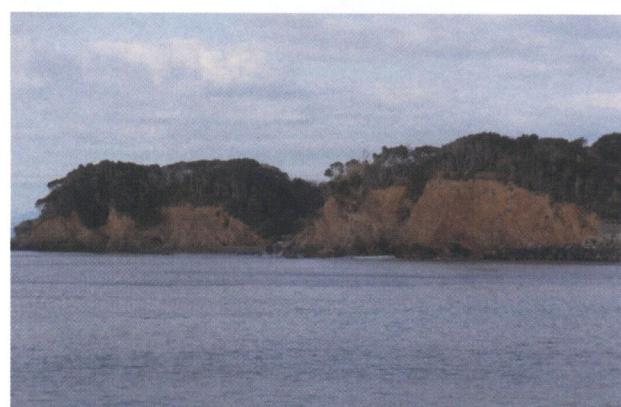


写真 6 先志摩半島 (太平洋側) の海食崖

【参考文献・写真提供】

- 1) 三重県地質図 (S=1:200,000) S55.3 三重県
- 2) 写真提供 (空撮写真*)
 - ・松本高正氏 (志摩市)
 - ・財団法人 伊勢志摩国立公園協会
<http://www.ise-shima.or.jp>

[基礎地盤コンサルタンツ(株)]

中部支社 山本 勇]

各地の博物館巡り

香川県坂出市 香川県立五色台少年自然センター自然科学館



香川県立五色台少年自然センター 自然科学館の正面

五色台と自然科学館

香川県高松市の西端に「五色台」と呼ばれる風光明美な溶岩台地があります。ここは、香川県最古の旧石器時代の国分台（こくぶだい）遺跡があり、この地に分布する「サヌカイト」用いた石器が多く発見されています。

「香川県立五色台少年自然センター自然科学館」は、五色台の頂上付近にあり、自然科学および人文科学に関する教育活動を通じて、青少年の科学意識の向上、創造力の開発及び自然に親しむ心を育てることを目的として1970年に設置された教育研究機関です。当館は、県内中学校の集団宿泊学習における野外体験学習の指導、生物・地学・人文の各領域の資料収集や調査研究、親子自然体験教室等の主催行事などを通して、自然科学等に関する教育の発展に貢献しています。

展示の内容

展示物は次のように、主に1階と2階に分けて展示されていますが、建物の手前左側には五色台に分布するサヌカイト・馬蹄石・珪化木が並べられて展示されています。なお、本館は2階が玄関になっています。

1階展示内容

1)生物展示：植物・動物の展示

2階展示内容

1)地学展示：香川県及び県外の岩石及び化石
2)人文展示：県内出土の考古資料(石器・土器等)



写真1 玄関手前の岩石の展示



写真2 香川県の地質標本

「メタセコイア」の命名者である三木茂博士は、香川県出身者であり、三木茂博士とメタセコイアに関する展示物もあります。ここには、世界最古のナマズ科化石が展示されています。この化石は、新生代第三期中新世（約1500万年前）の瀬戸



写真3 世界最古のナマズ化石

内海火山岩類である讃岐層群の凝灰岩中から産出したものです。

この化石は、直接触れる事はできませんが、「ふれてみようコーナー」では、直径 60 cm 以上もあるアンモナイトの化石や珪化木など多数の化石や岩石が直接触れられるコーナーがあり、見て・触れることで、化石や岩石がより身近なものに感じられます。

また、香川県東かがわ市松原の国指定天然記念物である「ランプロファイヤー岩脈」の標本も展示されています。ランプロファイヤーは、煌斑岩（こうはんがん）と呼ばれ、全自形粒状の組織を呈する塩基性の火成岩です。

興味ある標本として、備讃瀬戸大橋の地質標本があります。標本名は「日比間海底試錐地質実態標本（R-2）」で海底から 100 m までの地質標本が展示されています。



写真4 日比間海底試錐地質実態標本

地学展示には、県外の岩石標本も多数あり、私が日頃見る事の出来ない岩石を観察でき、地質に従事する基としてとても参考になりました。

B 人文展示 県内出土の考古資料（石器・土器等）

主に旧石器時代の国分台遺跡に関する標本が展示されています。石器標本はサヌカイトを用いたものが多数展示されており、土器は、古墳時代から平安時代にかけてつくられた「須恵器（すえき）」



写真5 国分台遺跡より発掘された土器・石器標本

と呼ばれる土器で、当時の美濃・和泉・播磨と並ぶ、朝廷御用達のブランド品です。

C 生物展示 植物・動物の展示

主に香川県内に繁茂または生息する動植物の標本を展示しています。水辺の野鳥や動物のはく製や樹木の標本等多岐に亘って多数展示され

ており、見ている内に時間が過ぎてしまいました。

また、大きな標本として、ミンククジラの骨格標本が展示されています。瀬戸内海において、ミンククジラが捕獲される事は、非常に稀な事だそうです。

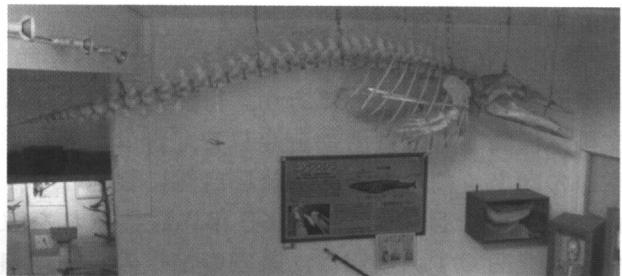


写真6 生物展示の標本

自然科学館には、まだまだたくさんの自然標本があり、今回記載致しました内容は、私の個人的な嗜好に偏ったものであり、十分な紹介が出来ているとは思えません。

香川県にお寄りの際には、風光明美な五色台の山頂付近、自然にあふれた中にある「自然科学館」に一度来館されてはどうでしょうか。

また、訪館した折に御案内及び説明いただきました自然科学館の職員の皆さんに感謝の意を表し、ここに御礼致します。

〈アクセス〉

○交 通

- ・JR 駅から車で約 25 分
- ・JR 坂出駅から車で約 30 分
- ・坂出 IC から約 30 分

○開館時間 9:00~17:00

○休館日 土・日曜、祝日、年末年始
(ただし、特別開館日を除く)

○入場料 無料

(四国地質調査業協会 株式会社東洋地質 木村崇浩)

天と地の恵みがもたらす喜び と地域への恵み

1. はじめに

大地の恵みといえば、おおよその人は第1に農作物をイメージするのではないかでしょうか。私も多分に漏れませんが、地質関係に携わる私の職歴上、第2に思い浮かぶものは温泉です。東北には、地から湧き出る天と地の恵みが数多くあります。私が工事を担当したあぽん西浜の紹介からはじめ、東北の各県から1温泉ずつエピソードを交えて紹介します。

2. 山形県一鳥海温泉

鳥海温泉は鳥海山麓に位置し、吹浦漁港近くの西浜海水浴場と国道7号に挟まれた庄内砂丘地にあります。それまで鳥海山の日本海側では高温温泉が得にくいという定説があり、遊佐町では温泉開発が行われることはありませんでした。菅原町長の発案で温泉開発が実現しました。海浜に温泉を、という遊佐町民の永年の夢をかなえる温泉は、昭和61年7月に湧出し、「鳥海温泉・西浜源泉」と命名されました。

泉質は、pH7.0のナトリウム—塩化物温泉で、冷え症や疲労回復などの効能があります。温泉利用施設として同町が昭和63年に完成させた温泉保養センター「あぽん西浜」があります。ネーミングは町民からの公募で決定したもので、「あぽん」とは庄内地方の方言で「お風呂」とか「お風呂に入る」という意味です。

この温泉は、ポンプアップすると2m³/分以上の湧出量があり、自噴量も700リットル/分以上あったと記憶しています。源泉からあぽん西浜までの約700mを自噴する源泉を引湯する自然流下式の配管工事を私が担当しました。

いよいよ通水（通温泉）試験となり、胸躍らせましたが、自然流下してくれず慌てました。源泉

にガスを若干含むためと考え、源泉建屋の地上部でドレンバルブを若干開いてエア抜きしたら、なんと、源泉が流れはじめ、あぽん西浜の貯湯槽に流れ出ました。この時の感動は、私にとっては温泉が湧出した時以上のものがありました。

浴槽では湯がエメラルドグリーンとなり、何とも言えずいい色です。杖を突いてきた人が、杖を忘れて帰っていくという盛況ぶりでした。

3. 青森県一深浦温泉

深浦町は津軽国定公園内にあり、海岸段丘は白神山系に連なり、なかでも畳千枚を敷いて酒宴をしたと伝えられる千畳海岸、入前崎、弁天島と絶景があります。深浦温泉はこの美しい海岸線を有する深浦町の中心部、深浦港より500m程山手に入った中沢地区にあります。深浦町長からの委託により、平成4年3月31日に満足できる温泉が湧出し、「深浦温泉・桜沢源泉」と命名されました。泉質はpH7.6のナトリウム—塩化物泉で、神経痛、冷え症、病後回復期、健康増進などです。

4. 岩手県一巣郷温泉

巣郷温泉は、国道107号線を岩手県北上市から秋田県横手方面に向かう沿道に湧出した温泉で県境に隣接しています。この地域は那須火山帯に属し、金属鉱床が多く、かつては多くの金属鉱山が稼働していましたが、現在はすべての鉱山が休・廃止されています。

湯田町が巣郷地区の公共諸施設と既設温泉施設への温泉の補充を目的として「巣郷温泉・第2号源泉」の掘削委託をし、昭和53年12月温泉の湧出に成功しました。3号源泉も昭和60年4月に湯量・温度ともに2号源泉を上回る湧出に成功しました。泉質はpH9.2の単純硫黄泉で、疲労回復などのほか、飲用適応症は糖尿病、痛風などです。

5. 宮城県一切込温泉

切込温泉は、宮崎町役場から北西に約7キロ「陶芸の里」切込焼記念館の南側に掘削した温泉です。同町は宮城県の北西部に位置し、鳴瀬川の支流田川の流域の農山村で、アスパラガスの栽培、肉牛の放牧が盛んです。平成3年5月に完成「切込温泉・切込源泉」と命名されました。

pH 7.3 のナトリウム一塩化物泉で、運動麻痺、疲労回復などほか、飲用適応症は慢性消化器病などです。平成6年7月に温泉施設として陶芸の里に温泉交流センター「ゆ～らんど」が完成。陶芸の里には、東北を代表する焼き物「切込焼」の展示施設がありましたが、温泉保養施設ができ、さらにグレードアップされました。



写真1 宮城県一切込温泉

6. 秋田県一湯の岱温泉

湯の岱温泉はJR奥羽本線鷹巣駅から南東に約11kmはなれた湯ノ岱丘陵地にあります。鷹巣町は、秋田杉の製材集散地として活気をみせ、また伝統行事の綴子の大太鼓が有名です。

この地域には以前から硫化水素臭の自然湧水が2~3箇所あったため、昭和21年に住民が上総掘で掘削したところ低温の湯が湧出し、地名のように温泉に関連ある地区といわれてきました。鷹巣町は地質的に油田第三系と緑色凝灰岩の境界部であることから、秋田県で天然ガスの開発を目的に昭和41年から42年にボーリングを行いましたが黒鉱や天然ガスは出ませんでした。

昭和51年12月に温泉掘削に着手しましたが厳しい地質条件のため困難を極め、昭和52年3月末に温泉の湧出に成功し、「湯ノ岱温泉・鷹巣源泉」と命名されました。泉質はpH 7.6のナトリウム一カリウム一硫酸塩・塩化物温泉で、適応症は動脈硬化症、切り傷、疲労回復などです。昭和54年

に町営の湯の岱温泉湯治場が作られ、付近の散策路とあわせて豊かな緑と自然が楽しめます。

7. 福島県一柳津温泉

柳津温泉は、日本三大虚空蔵尊のひとつで福満虚空蔵尊を祭る靈巖山圓蔵寺の境内に湧出する温泉で、日本で温泉のあるお寺はここだけです。柳津町は福島県の西部にあり奥会津の玄関口にあたり、「只見・柳津県立自然公園」に囲まれる風光明媚な農村地帶です。この地域には温泉がなく、昭和26年頃から北方12kmに位置する西山温泉より引湯していました。到着温度も低く、加温経費も増大し、各旅館ではこれに苦慮していました。「日本三大虚空蔵尊があり、年間200万人が訪れるのに、お参りして東山温泉などへ行ってしまうなんてもったいない。ちゃんとした温泉があればその何割かは地元に泊まってくれる。」この一言で町長は新たな源泉開発に踏み切りました。

昭和62年4月に地下700m付近より46.8℃、510リットル/分の温泉が湧出しました。源泉地点には「会津柳津温泉の由来」という掲示があり、この一節に「山と川と緑の自然豊かな人情味あふれる柳津に、このような温泉源があったことは「天の恵」、「地の恵」の成す業といわざるを得ない。」とあり、町の喜びがどれほどのものかを知ることができます。この温泉は「会津やないづ温泉・柳の湯源泉」と命名され、pH 7.0のナトリウム一塩化物泉、適応症は疲労回復、切り傷などです。

8. おわりに

温泉に入り湯上りといえばビールです。ビールといえば、もうひとつの大地の恵み「枝豆」ですよね。冒頭紹介したあぽん西浜は庄内の北、庄内の南の私の地元鶴岡市には、某ビールの宣伝で一躍全国に有名になった「だだちゃ豆」があります。鶴岡市の白山地区の土壤でないといいくらだだちゃ豆の種を持っていても美味しい豆はできないと言われます。私は、このだだちゃ豆の栽培を自宅近くの櫛引町の会社敷地で挑戦しています。本物に負けないくらい美味しいできました。農業素人の私の見解では、どうも庄内地方の風送塩が関係しているのではないかと思っています。

温泉とビールとだだちゃ豆、「大地の恵み」を充分に楽しみましょう。

〈参考文献〉

- 1) 地には熱き泉あり、桂木公平、平成8年
〔株式会社ダイヤコンサルタント 秋山純一〕

地質情報研究部門における陸域地質図整備

みや ざき かず ひろ* なか さわ つとむ**
宮 崎 一 博*・中 泽 努**

1. はじめに

産業技術総合研究所（以下 産総研と略す）地質調査総合センター地質情報研究部門では、陸域地質図、火山地質図、海洋地質図など各種地質図の作成を行っています。以下では、地質情報研究部門における5万分の1地質図幅、20万分の1地質図幅、及び20万分の1日本シームレス地質図の作成の概要を紹介します。さらに、都市平野部の地質情報を充実させる新たな取り組みとして、「地質地盤図」の作成について紹介します。

地質図は、ラフラインの構築・産業立地・廃棄物処分場・資源エネルギー開発・観光資源開発・地質災害対策など様々な社会的課題を解決するための基盤的な情報の1つとして利用されています。地質情報研究部門では、5万分の1地質図幅、20万分の1地質図幅、及び20万分の1日本シームレス地質図の作成を行っています。5万分の1地質図幅は、野外調査を基に作成する詳細な地質図で、日本各地域の地質の標準確立を目指しています。20万分の1地質図幅は、主に既存地質資料の編纂により作成され、地層・岩体・火山・断層・鉱床の分布と広域的地質構造との関係を統一的に理解するのに必須です。20万分の1日本シームレス地質図は、日本全国の地質を統一凡例で表した地質図で、地層・岩体の区分の違いによる不連続（つなぎ目）が存在しません。従って、衛星情報、地球物理図、地球化学図など他のデータとの統合を行い易くなっています。今後作成を行う「地質地盤図」は平野部の地下地質情報として都市計画やハザードマップ作成等への利活用を想定しています。

* (独)産業技術総合研究所地質調査総合センター
地質情報研究部門 副研究部門長

** (独)産業技術総合研究所地質調査総合センター
地質情報研究部門 情報地質研究グループ長

2. ミッション

日本列島は地殻変動が活発な場所に位置します。安全かつ安心な産業活動や社会生活を実現し、持続的発展が可能な社会を維持するためには、国土及び周辺地域の地質に関する状況を適切に把握することが求められます。地質情報の整備は国家的事業として経済産業省が実施する「地質の調査」と位置づけられ、産総研にそれが付託されています。地質調査総合センターでは、これを国的情的基盤整備計画の下で、社会のニーズに対応しつつ計画的かつ着実に実施しています。地質調査総合センターでは、各種地質図類の整備計画を中期目標“国土及び周辺域の地質情報の整備と利用拡大”の中で位置づけており、これを基に中期計画が立てられています。産総研の第3期中期計画（2010年度～2014年度）の中では、都市基盤整備・防災等の観点及び地質情報の標準化と体系化の観点から重要な地域を重点的に5万分の1地質図幅20区画の作成、全国完備を達成した20万分の1地質図幅については、更新の必要性の高いものについて3区画の改訂、日本全域については最新の地質学的知見に基づき、地層及び岩体区分の構造化と階層化を行った次世代の20万分の1日本シームレス地質図の作成を掲げています。さらに、都市平野部では新たに「地質地盤図」の作成を進めています。

地質情報研究部門では、5万分の1地質図幅、20万分の1地質図幅及び20万分の1日本シームレス地質図の作成を陸域地質図プロジェクトとして実行しています。陸域地質図プロジェクトは、専門性の異なる複数の研究グループから構成されています。中核となる研究グループは層序構造地質研究グループ、地殻岩石研究グループ、シームレス地質情報研究グループ、火山活動研究グループです。さらに、平野地質研究グループ、情報地

質研究グループなど部門内の他の研究グループ、産総研地質分野他ユニットの研究者、大学、公的機関、民間の研究者の協力を得て陸域地質図プロジェクトを実行しています。

3. 地質図作成の歴史

地質調査総合センターの前身である地質調査所では、明治1882年の創設以来、各種地質図の作成を行ってきました。地質調査所で作成される地質図は、主に野外調査と室内研究をもとに作成される地質図と、主に既存地質資料の編纂により作成される地質図の2種類に区分されます(図1)。野外調査と室内研究をもとに作成される地質図は、明治時代の40万分の1予察地質図に始まり、20万分の1地質図幅、戦前の7万5千分の1地質図幅、戦後の5万分の1地質図幅と、年代を追うごとに小縮尺から大縮尺の地質図へ移り変わっています。主に既存地質資料の編纂により作成される地質図も、100万分の1地質図、50万分の1地質図、20万分の1地質図と、小縮尺から大縮尺へと作成の主体が移行するとともに、定期的に改訂が行われています。最近では、全国を統一の凡例で表した20万分の1日本シームレス地質図の作成が行われるようになりました。

4. 5万分の1地質図幅の作成

5万分の1地質図幅は、国土地理院発行の5万

地質調査総合センター（地質調査所）における地質図作成の歴史

1880 1890 1900 1910 1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020

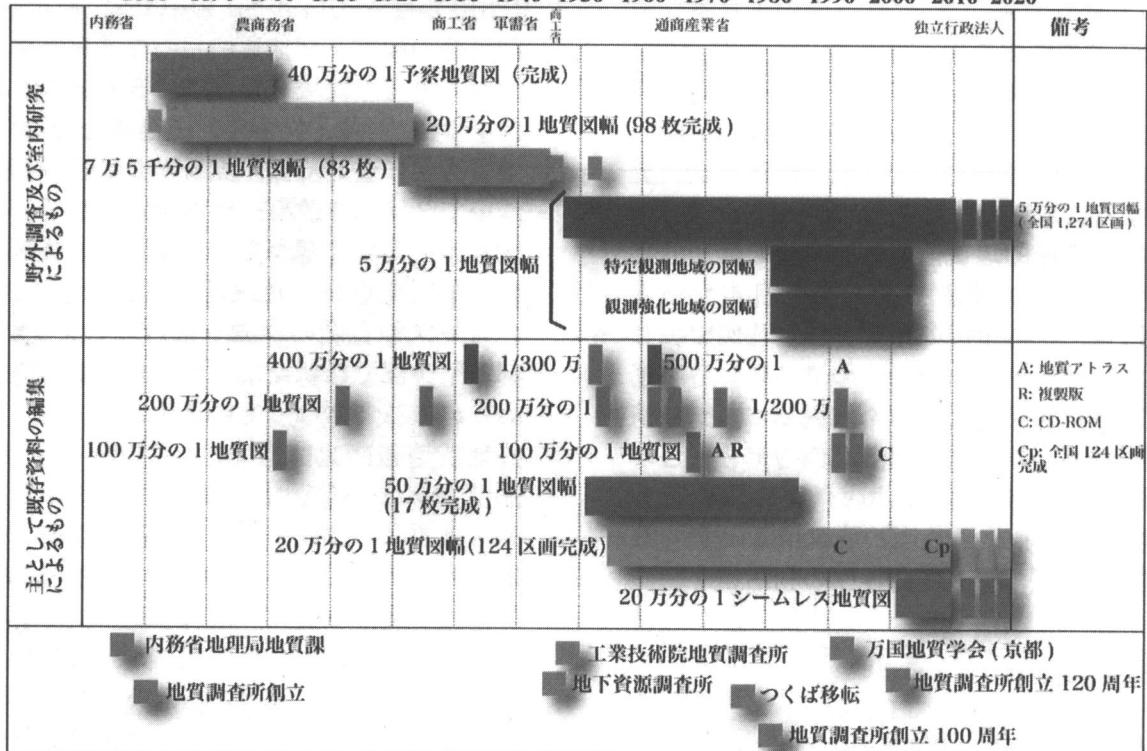


図1 地質総合センター（地質調査所）における地質図作成の歴史

分の1地形図の区画ごとに作成された地質図で、日本全国では1,274の区画が存在します。このうち、7万5千分の1地質図幅で作成された地域を含め、現在までに総区画数の約74パーセントの作成が終了しています(図2)。

5万分の1地質図幅は、詳細な野外調査と最新の地質学的知見に基づき作成されます。5万分の1地質図幅1枚の作成には、平均すると延べ250日の野外調査、採取した試料の分析などの室内実

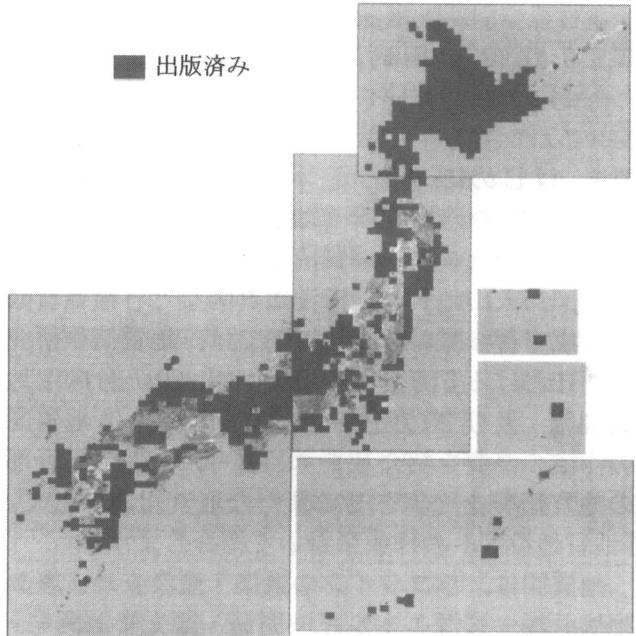


図2 5万分の1地質図幅整備状況

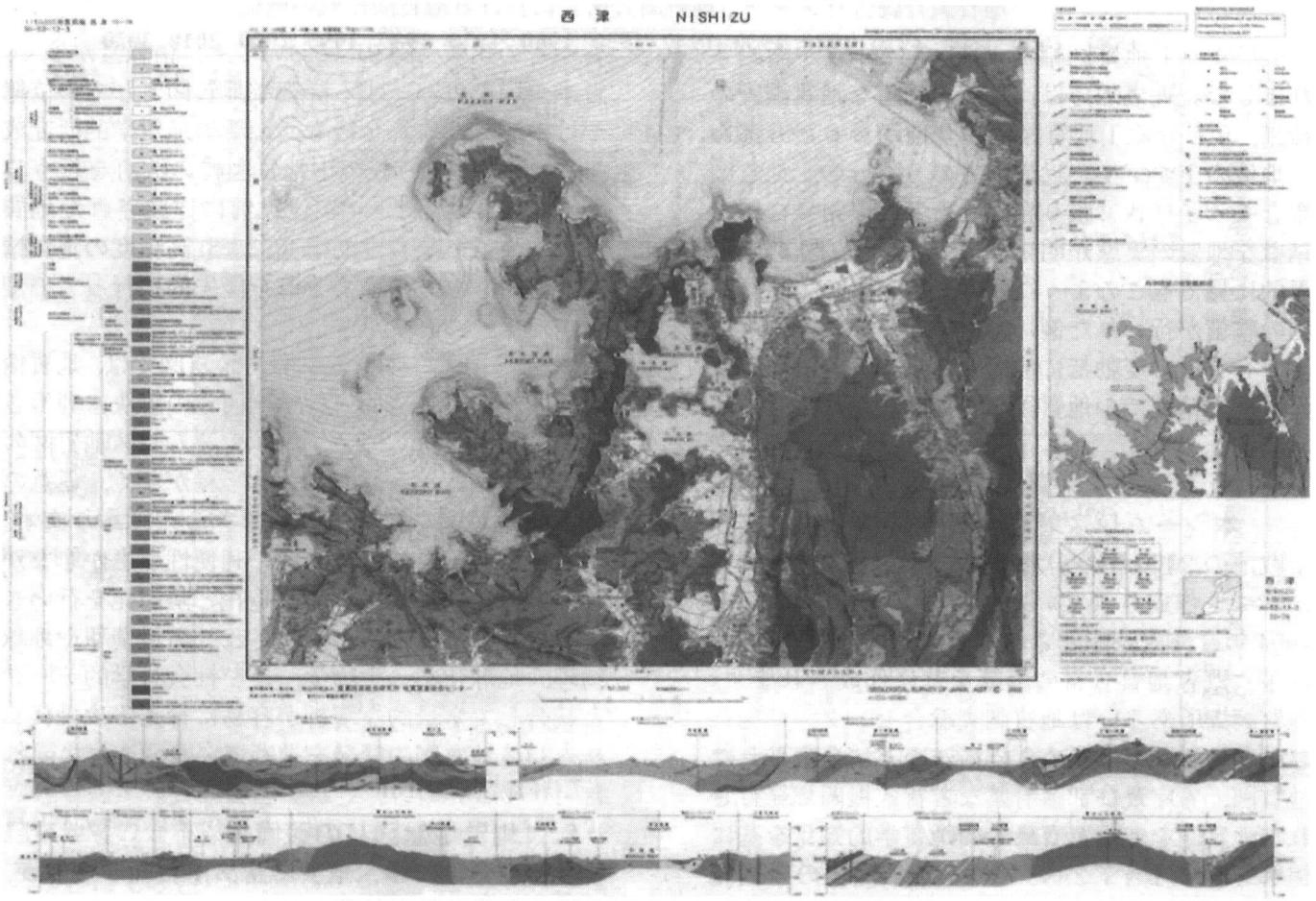


図3 5万分の1地質図幅「西津」(中江ほか, 2002)

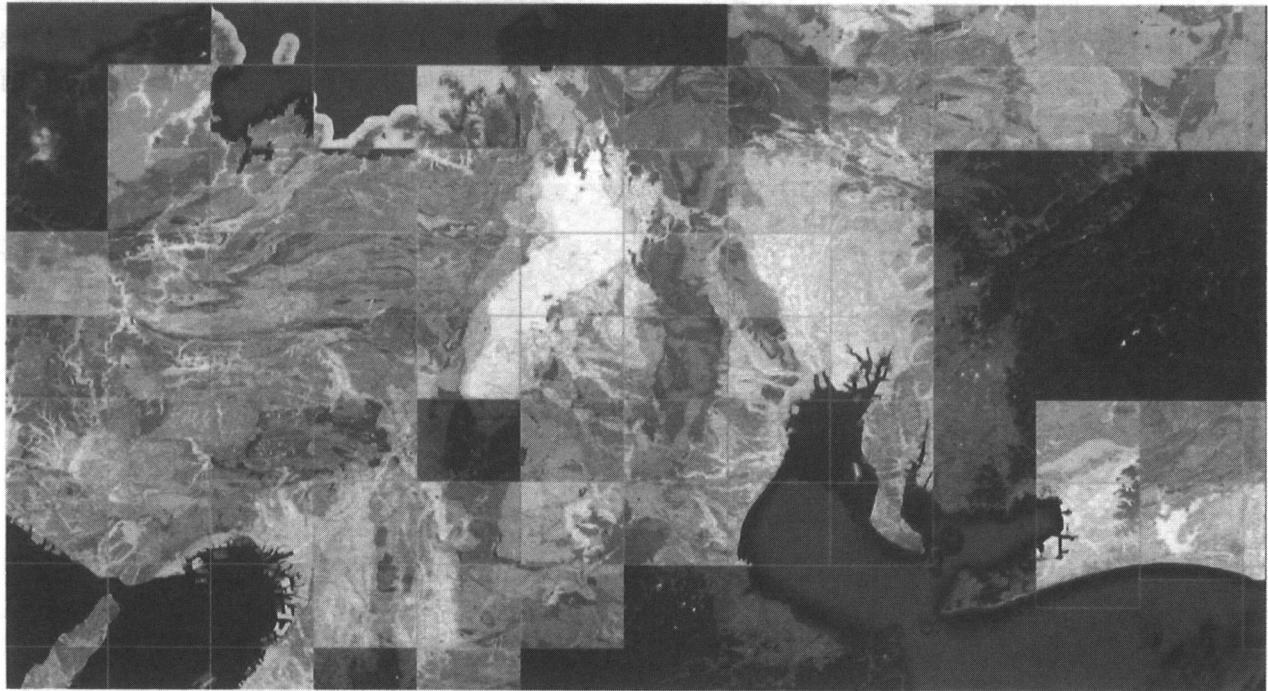


図4 近畿地方の5万分の1地質図幅のモザイク表示（地質図Naviを使用）

験、地質原図・地質断面図の作成、研究報告書のとりまとめを行い、完成までに4-6年を要します。1枚の地質図には、野外調査で得られた膨大な情報が集約されています（図3）。5万分の1地質図幅では、独自の調査に基づく質の高い地質図幅を作成することを目指していますが、未整備地域が

多く残る中、どの地域を優先して作成するかは重要な問題となります。陸域地質図プロジェクトでは、国の知的基盤整備計画を基に、1) 都市基盤整備・防災等の観点から重要な地域、2) 地質標準の確立の観点から重要な地域を優先して作成を行っています。

5万分の1地質図幅は1951年に作成が開始されました。近畿地方は、長年の地道な地質調査の結果、5万分の1地質図幅の整備がもっとも進んだ地域の1つです。近畿地方の5万分の1地質図幅をモザイク状に張り合わせると、非常に複雑で精緻な地質の実態が明らかになります(図4)。世界的に見てもこのような精度で5万分の1地質図幅の整備が行われた例は少ないと思われます。世界でも有数の変動帶に位置する日本列島では、このような精度での地質図の整備が欠かせません。

5. 20万分の1地質図幅及び20万分の1日本シームレス地質図の作成

戦前の20万分の1地質図幅は、主に野外調査に基づき作成されていました。これとは異なり、1954年に作成が開始された20万分の1地質図幅は主に既存地質資料の編纂を基に作成されます。地質調査所あるいは地質調査総合センターで発行された地質図をはじめ、学術誌などに公表された地質図、省庁及び都道府県など行政機関で発行された地質図を使用し、最新の地質学的知見を基に編纂を行います。20万分の1地質図幅の全国完備には54年の歳月を要しています。日本全国でなされた地質学的研究の蓄積があつてはじめて20万分の1地質図幅の全国完備を達成できたと言えます。

20万分の1地質図幅は、後述するシームレス地

質図との比較(図5)においても、情報量が多く、日本全国をカバーする詳細な地質図としての位置づけが明確です。今後も、最新の地質学的研究成果に基づき20万分の1地質図幅の改訂を行うことが必要です。1960年代以前に作成された地質図幅や最新の地質学的研究により高精度の地質情報が蓄積された地域の改訂を優先的に行っていく予定です。

20万分の1日本シームレス地質図では、地質情報が広範囲な社会的・科学的問題の解決に利用されることを目指しています。シームレス地質図の最大の利点は、空間的につなぎ目がなく、任意の場所の地質図を自在に表示できる点にあります。次世代シームレスでは、この利便性を生かしながら、地層及び岩体区分の構造化と階層化を行います。最新の地質情報が反映され、衛星情報や地球物理、地球化学、生物学、及び社会科学的データと統合して定量的な解析が容易に行える次世代シームレス地質図の開発を進めています。

6. 「地質地盤図」の整備

都市平野部では、地表に露出する地層のほか、地下にどのような地層が分布しているかを地質図に表現することが重要です。これまでの平野部の地質図幅では、ボーリングデータに基づいて幾つかの地質断面図を作成したり、地質図(平面図)に地層境界や埋没谷地形の等高線を描いて地下の

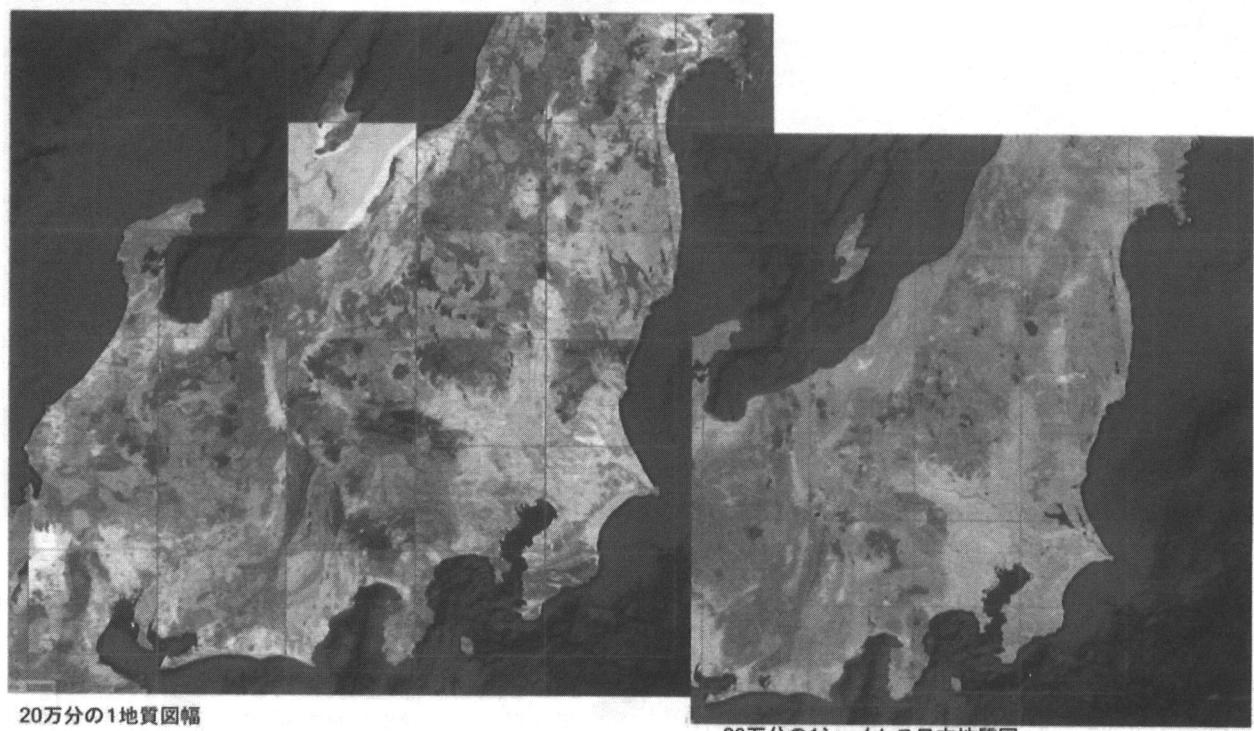


図5 関東周辺地域の20万分の1地質図幅のモザイク表示(左)と同地域の20万の1シームレス地質図(右)(地質図Naviを使用)

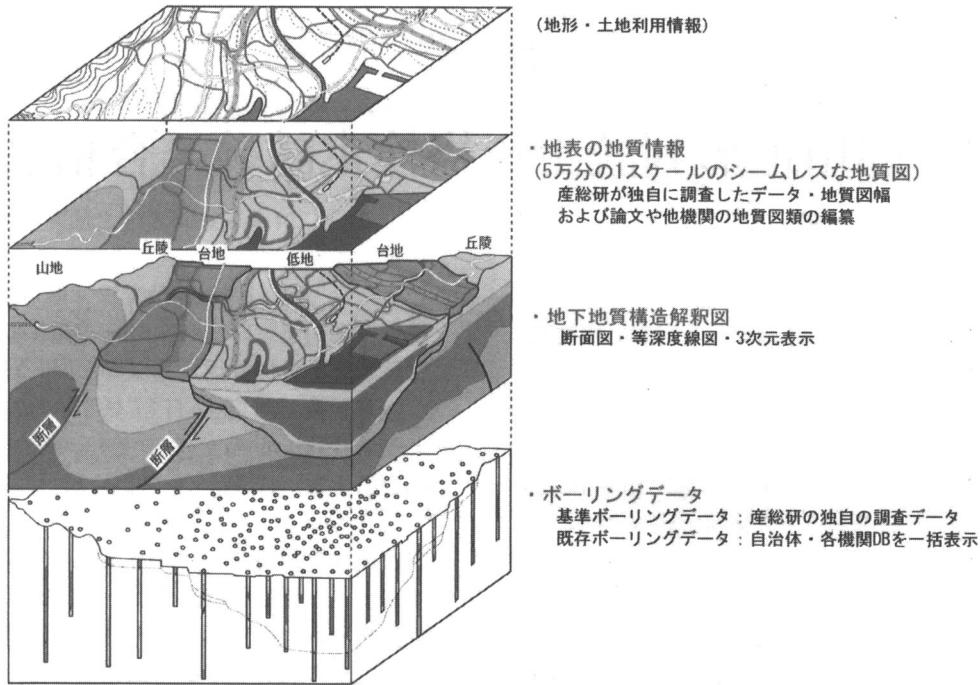


図6 今後整備をすすめる「地質地盤図」の基本コンテンツ

地層の分布形態を表現していましたが、紙ベースの地質図・地質断面図では表現に限界があり、詳細な地層の分布形態を表すことは困難でした。一方、最近は各種地質図類のデジタル化が一般化し、ウェブ配信を前提とした地質地盤情報整備も進めることができ可能になってきました。そこで平野部についてはウェブを利用して配信することを前提とした「地質地盤図」の整備を試行します。

「地質地盤図」の作成にあたっては、5万分の1スケールのシームレスな地質図（平面図）をベースに、地下地質構造を表現するための数多くの地質断面図、そしてデータが豊富にある地域では地下の3次元地質モデルの表示も行う予定です（図6）。それとともに地質断面図や3次元地質モデル作成のもととなったボーリングデータをウェブ上で参照できるようにします。解釈の基となるボーリングデータは、公共工事等の土質ボーリングデータが中心となります。土質ボーリングデータについては自治体等関係機関が既にデータベースを構築している地域ではそのデータベースにリンクする形で参照することが適切です。しかし土質ボーリングデータは極めて簡素な記載でしかなく、それだけでは地下地質構造を解釈することはできません。地層対比のための基準データを独自のボーリング調査によって整備し、その基準ボーリングデータを軸に既存の土質ボーリングデータを対比して地下地質構造の解釈がなされるべきと考えます。「地質地盤図」はこのような地道な作業をベースに整備されます。

「地質地盤図」の整備は、ボーリングデータの収

(地形・土地利用情報)

- 地表の地質情報
(5万分の1スケールのシームレスな地質図)
産総研が独自に調査したデータ・地質図幅
および論文や他機関の地質図類の編纂

- 地下地質構造解釈図
断面図・等深度線図・3次元表示

- ボーリングデータ
基準ボーリングデータ：産総研の独自の調査データ
既存ボーリングデータ：自治体・各機関DBを一括表示

集を加速させ、ボーリングデータベースを量的に充実させるとともに、基準ボーリングデータが加わることで質も高めることができます。また、これらボーリングデータやそれらを基に解釈された地質図、3次元地質モデル等を統合し「地質地盤図」としてウェブ配信をすることで、今まで以上に地質情報が利用しやすくなり、さらには平野部の地下地質情報として都市計画やハザードマップ作成等に活用されることが期待されます。このような「地質地盤図」整備をまずは千葉県北部で試行し、その後、関東平野南部に展開させる予定です。

7. おわりに

日本列島は地球上でもっとも活動的な場の一つである島弧海溝系に位置し、結果として非常に複雑な地質構造をなしています。そのような国土の環境、資源、エネルギーを有効に利用していくためには、地質情報の体系的な整備が不可欠です。地質情報研究部門では、5万分の1地質図幅、20万分の1地質図幅、20万分の1日本シームレス地質図、及び「地質地盤図」の作成を通じて、地質情報の体系化的整備を目指していきます。

〈引用文献〉

- 中江 訓、小松原琢、内藤一樹（2002）：西津地域の地質・地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），産総研地質調査総合センター，90p.
地質図Navi (<http://gsj-seamless.jp/geonavi/>)