

■ 石炭灰のリサイクルについて



北海道電力（株）総合研究所
土木グループリーダー

小野寺 収

1. はじめに

平成12年6月、循環型社会形成推進基本法が制定され、ここで示された基本原則に基づき、一連の循環型社会関連法が整備されました。国や地方公共団体、事業者および国民がそれぞれの責務として廃棄物等のリデュース、リユース、リサイクルを促進し、天然資源の消費抑制および環境負荷の低減に努めることが求められています。

石炭灰は高炉スラグと並んで、発生量が多い点や土木材料としての有用性から、代表的な産業副産物であり、利用促進に向けた様々な取組みが全国の電力会社を中心に行われています。

そこで本稿では、石炭灰の利用状況や特徴、道路分野での最近の利用例や利用拡大に向けた北海道電力の取組みの状況について、ご紹介します。

2. 石炭灰の状況

(1) 全国状況

石炭火力は、燃料供給の安定性や経済性から、我国の総合エネルギー政策の中で原子力と並ぶ石油代替エネルギーの重要な柱として位置付けられています。第二次オイルショック以降石油からの転換が進んだ結果、平成12年度現在発電電力量に占める石炭火力の割合は、全国で18%、北海道では31%に達しています。

石炭火力発電所では、燃料である石炭に10～20%の灰分が含まれることから、発電に伴って多量の石炭灰が発生します。平成11年度実績では全国で約760万tの石炭灰が発生しており、今後も増加が予想されています。

石炭灰の全国的な有効利用率は年々増加傾向にあり、平成11年度実績では発生量の81%にあたる約610万tが有効利用されています。利用の内訳は、セメント原材料（粘土の代替）を主としたセメント分野が67%と大半を占め、地盤改良や土木工事等の土木分野が11%、建材ボードや人工軽量骨材等の建築分野が5%などとなっています。近年セメント生産量は横ばいあるいは減少傾向にあり、今後セメント原材料としての利用拡大は難しいことから、土木・建築等の分野での利用拡大が全国的な課題となっています。

石炭灰は、廃棄物処理法上は産業廃棄物（燃え殻・ばいじん）に分類され、有償で売却利用されないものについては、当然ながら事業者に適正な処理を行う責任が課せられています。

一方、平成3年4月施行された再生資源の利用の促進に関する法律（リサイクル法）、およびリサイクル法を拡充改正し平成13年4月施行された資源の有効な利用の促進に関する法律（資源有効利用促進法）において、電気業の石炭灰は建設副産物と同様、指定副産物とされています。事業者は指定副産物を再生資源として利用促進するための設備の整備、技術開発等に努めることが責務とされています。

(2) 北海道電力の状況

北海道電力は3箇所の石炭火力発電所（奈井江、砂川、苫東厚真）を保有しており、ここから発生する石炭灰の利用状況の推移は図-1に示すとおりです。全国と同様、年々利用率が向上し平成13年度実績で92%となっています。しかし、北海道電力の主力電源である海外炭火力の苫東厚真発電所では82%に止まっており、5.4万tの石炭灰は利用されずに最終処分場に埋立て処理しています。苫東厚真発電所の石炭灰利用内訳を見ると、図-2のとおりセメント原材料（粘土代替）が64%を占めています。

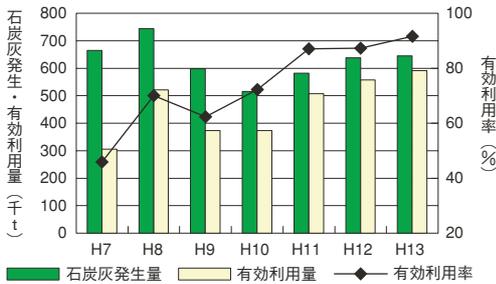


図-1 北海道電力の石炭灰利用状況の推移

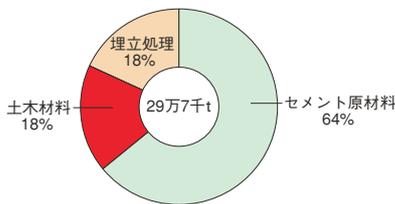


図-2 苫東厚真発電所の石炭灰利用内訳（平成13年度）

苫東厚真発電所では、平成14年6月、4号機（70万kW）が営業運転を開始し、今後石炭灰発生量のさらなる増加が予想されることから、特に苫東厚真発電所の海外炭灰の土木材料等への有効利用拡大を目指し、技術開発に取り組んでいます。

3. 石炭灰の性状

石炭灰は、発電所の燃焼方式や回収箇所により性状の異なるものが発生します。

北海道電力の石炭火力では、苫東厚真発電所3号機を除き一般的な型式である微粉炭燃焼ボイラを採用してお

ります。微粉炭燃焼ボイラは、石炭を微粉炭機で粉碎してボイラに吹込み燃焼させるもので、発生する石炭灰は、高温の燃焼ガス中を浮遊する球形微粒子を電気集塵機で捕集した「フライアッシュ」と、ボイラ底部に落下した石炭灰を破碎した「クリンカアッシュ」に大別されます。

一方、苫東厚真発電所3号機は加圧流動床ボイラを採用しております。このボイラは、粉碎した石炭と石炭灰を加圧容器内のボイラで混合燃焼させるもので、炉内脱硫が可能なのが特徴のひとつであり、カルシウム含有量の多い「P F B C 灰」が発生します。

3種類の石炭灰は表-1に示すとおり、異なる性状を有しており、それぞれの特徴を活かした利用が可能です。

石炭灰の代表的な利用方法には、以下のようなものがあります。

① フライアッシュ

フライアッシュは、セメントの水和物である水酸化カルシウムと反応し、シリカ質化合物を徐々に生成して硬化する、いわゆる「ポゾラン活性」を有する球形の粉体です。セメントに混合してフライアッシュセメントとしたり、コンクリート混和材としてセメントの一部を置換使用することで、コンクリートの単位水量や単位セメント量の低減、水和熱の抑制、長期強度の増進などに優れた効果を発揮することから、ダムコンクリート等に多くの実績を有します。

また、粒度的にはシルト主体ですが、液性・塑性指数がN Pで微細な砂の特性を持つ、ほぼ絶乾状態の粉体であり、粘性土の物性を砂質土系に改良し含水比を低下させることから、不良土改良材としても利用されています。

② クリンカアッシュ

クリンカアッシュは、多孔質な砂礫状材料であり、締固め特性に優れ、軽量で透水性が良いことから、道路の凍上抑制層や軽量盛土材等として利用されています。

③ P F B C 灰

P F B C 灰は、フライアッシュと同様の粒度分布の粉体ですが、形状は不定形でカルシウム化合物の含有量が多い点がフライアッシュと異なっています。水と反応する自硬性があるため、フライアッシュ以上の不良土改良効果が期待でき、地盤改良等への利用が図られていますが、発生量が少なく安定供給が難しい点が課題です。

表-1 石炭灰の性状（苫東厚真発電所産の標準偏差範囲）

石炭灰の種類	密度 (g/cm ³)	粒度組成 (%)				pH	特徴
		礫分	砂分	シルト分	粘土分		
フライアッシュ	2.10~2.31	0	4~16	72~92	3~15	8.0~13.2	球形粉体状のポゾラン
クリンカアッシュ	2.18~2.41	17~51	39~61	5~23	1~5	8.2~9.8	多孔質砂礫状で軽量
P F B C 灰	2.46~2.66	0	13~25	33~76	5~48	12.6~13.0	自硬性を有する粉体

4. 道路分野での最近の利用例

舗装本体への石炭灰の利用は、残念ながら現在のところ全国的にもあまり進んでいないのが現状です。一部石炭灰を使用した粒状の固化物を路盤材とする研究や、石炭灰等を安定処理材として利用した路盤材の利用が行われていますが、コストや耐久性等の面で北海道のような寒冷地の場合には、実用化までの課題が多いものと考えられます。

しかし、凍上抑制層や路床・路体材料等への利用は着実に増加してきており、道路分野においても、石炭灰は工事のコスト縮減に貢献できる再生資源として、徐々に認知されるようになってきました。

北海道における道路分野での石炭灰の最近の利用事例を紹介します。

(1) 凍上抑制層への利用

砂川市では、市内に立地する砂川発電所から発生するクリンカアッシュが道路や駐車場等の凍上抑制層として、約20年間にわたり利用されています（写真-1）。



写真-1 クリンカアッシュの利用状況

クリンカアッシュは、発電所近傍では運搬費をかけても安価であり、表-2に示すとおり優れた凍上抑制効果があること、また、保水性があり含水比が多少変化しても所定の締固め度が得られることから、施工性に優れた材料として好評を博しています。

表-2 クリンカアッシュの凍上試験結果

項目	試験結果
75 μmふるい通過百分率 (%)	16
凍上率 (%)	0.2
凍結様式	1：コンクリート状
判定	合格
設計 C B R (%)	14.2
C B R 保存率 (%)	103.7

砂川市では、単独工事で軽交通の道路等に適用箇所が限られていますが、年間約8千tのクリンカアッシュが有効利用されています。

(2) 路体盛土改良材への利用

平成13年度、日高自動車道厚真門別道路工事において、切土で発生した不良土（粘性土）を路体盛土に使用するため、改良材としてPFBC灰が利用されました。現地で採取した発生土にPFBC灰を混合して実施した室内試験の結果は、図-3および図-4に示すとおりであり、混合率が増すに伴いコーン指数、一軸圧縮強さともに向上しています。

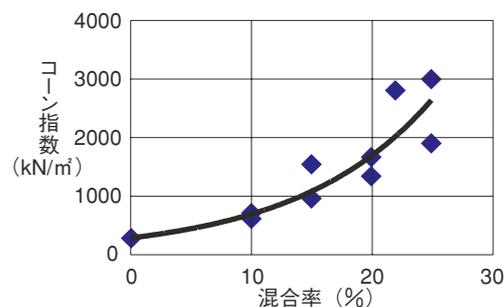


図-3 PFBC灰改良土のコーン試験結果

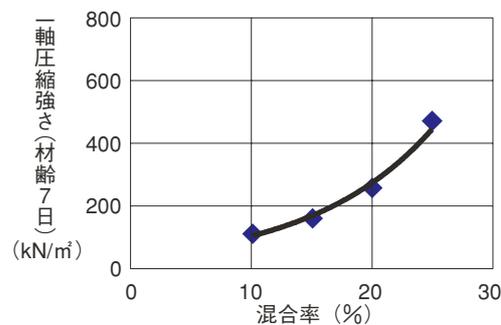


図-4 PFBC灰改良土の一軸圧縮試験結果

PFBC灰による改良土は、飛散防止の観点から不良土発生箇所に設けられた混合プラント（写真-2）で製造された後、盛土箇所までダンプトラックで運搬されました。約27,000m³の不良土が、約4,800tのPFBC灰により改良利用されました。



写真-2 混合プラントの状況

(3) トンネル坑口保護盛土への利用

平成13～14年度、一般国道229号狩場トンネル坑口付近の急崖斜面の落石・岩石崩壊対策として、既設覆道の上にエアミルクによる保護盛土が施工され、セメントの一部がフライアッシュで置換利用されました（写真-3）。



写真-3 狩場トンネル坑口保護盛土

エアミルクの要求品質は、湿潤密度 $0.56\text{g}/\text{cm}^3$ 以下、材齢28日の一軸圧縮強さ $500\text{kN}/\text{m}^2$ 以上であり、通常この条件を満足するセメント量は、約 $300\text{kg}/\text{m}^3$ となります。今回フライアッシュを $110\text{kg}/\text{m}^3$ 使用することで、単位セメント量を $200\text{kg}/\text{m}^3$ に低減でき、材料費の低減が図られました。

現場の品質試験結果は、表-3に示すとおり灰種によらず一軸圧縮強さ $500\text{kN}/\text{m}^2$ 以上を満足しており、エアミルクへのフライアッシュの適用性が実証されました。なおこの工事では、約 $4,200\text{t}$ のフライアッシュが有効利用されました。

表-3 一軸圧縮強さの品質試験結果

項目	灰種			計
	A	B	C	
データ数	50	20	31	101
最大値 (kN/m^2)	740	830	760	830
最小値 (kN/m^2)	560	550	530	530
平均値 (kN/m^2)	621	622	593	612
標準偏差 (kN/m^2)	37	73	51	52
変動係数 (%)	5.9	11.7	8.7	8.5

5. 石炭灰の利用拡大に向けて

石炭灰の利用促進のためには、技術開発はもちろんですが、品質と供給の安定化や低価格化が欠かせません。北海道電力では、従来混合セメントやコンクリート混和材向けにほぼ限られていた石炭灰の用途拡大を図るため、平成8年、総合研究所に「石炭灰研究プロジェクトグル

ープ」を設立しました。これまでに大学や開発局など各方面からのご協力をいただきながら、石炭灰の性状把握や様々な用途への適用性検討を行った結果を基に、自社工事で有効性を実証し、各種官庁工事等に採用していただいております。現在は「道路用アスファルトフィラーへの適用」「吹付けコンクリートへの適用」等を目指した研究に取り組んでおり、今後も道路分野を含めた建設工事のコスト縮減に寄与する技術開発を進めていく予定です。

石炭火力の主力である、海外炭火力から発生する石炭灰は、燃料炭の輸入先がオーストラリア、カナダ、中国など多岐にわたり、炭種も数十炭種にのぼることから品質変動が避けられず、有効利用を阻害する要因となっていました。そこで炭種毎の石炭灰性状を環境面を含めて把握するとともに、品質変動を抑制する対策として、苫東厚真発電所4号機に、石炭灰の自動品質分析装置、分級装置、ブレンディングサイロ等の設備を設置しました。今後これらの設備を活用して、ユーザーニーズにお応えできる品質の石炭灰を効率的に供給していく計画です。

また、今年10月には、北海道電力の石炭灰販売を行っている北電興業（株）が産業廃棄物処分事業の免許を取得し、苫小牧市でフライアッシュにセメントを混合した固化材「Fドライ」の製造販売を開始しました。これはフライアッシュを現場でより安く使いやすくするため、従来現場でセメントと混合して利用されていたフライアッシュを、プレミックスして低価格でお届けするものです。是非一度ご利用いただけましたら幸いです。

北海道電力は、今後も石炭灰の「利用技術開発」「品質対策」「低価格化対策」に総合的に取り組み、建設工事のコスト縮減、循環型社会の実現に貢献していきたいと考えています。

6. おわりに

産業副産物は需要に無関係に発生するので、利用促進を図るうえで、需要と供給を量的、位置的、時間的、品質的にバランスさせるための設備や仕組みが必要となります。しかし、安定した需要が見込めないと、このような対策を講ずることも困難であり、利用促進が図られない側面もあります。

今回ご紹介したような取組みを、様々な機会をいただいで各方面へPRさせていただいておりますが、自治体の補助事業では、新材料を採用しづらいといったようなお話を聞くこともあります。社会のニーズであるコストの縮減と循環型社会の形成を両立させる有効なツールとして、石炭灰をより幅広くご活用頂けるよう今後も努めてまいりますので、各位のご理解とご協力を切にお願いする次第です。