

石炭灰の物理・化学・工学的特性の詳細については本論文の趣旨から省略する。石炭灰は、シリカSilicaとアルミナAluminaと主たる化学成分とし、所定の溶出試験において法令で定める有害物質の溶出限界をすべて下回る材料である。粒子は有孔質、ガラス質で球状とるものが多い。工学的性質は、非塑性で、土質分類とすると「シルト質砂」や「低圧縮性のシルト」に属し、見掛け上を転圧時の挙動も一般の砂質土に近いものであるが、ポゾラン作用等、一般鉱物土と異なる材料特性と有する。本論文では、利用を論ずるに当って是非、知っておくべき重要特性と述べる。

1) 石炭灰は産業副産物(By-Product)である・・・石炭灰は廣義には「石炭燃焼に伴う副産物」であり、法的にも有効利用とさまざられるものではない。無用物として廃棄される場合には、産業廃棄物とるし、その処理が、「管理型」に指定され「管理型産業廃棄物」となるのである。

2) 石炭灰は「人工ポゾラン材料」である・・・今から約2000年も昔、古代ローマ人は南イタリアのヴェスヴィオ火山の麓のPozzoli地方の大量に厚く堆積する、石灰分に富んだ肥沃な火山灰に、これまた欧州中でどこも豊富にある石灰石と粉砕、加温して練り固めると、たいへん丈夫なブロックになることと発見し、この火山灰とPozzoli火山灰-Pozzolanaと呼び、さらに、これが今日の「Pozzolan」(の語源)にまつ。一種の原始的であるが天然セメント、またはコンクリートの発祥であり、これを用い、今日見る、数多くの競技場、城塞、水路橋等に残っている。

この火山灰-Pozzolanに石灰と混ぜて固まる水化作用と「ポゾラン作用」という。石炭灰それ自身は硬化する性質はいいが、適量^{ホソ}の加温と練固めにより、不溶性で、かつ造粒-固化-硬化-安定化、する作用(潜在水硬性)があり、その作用メカニズムは、まったくポゾラン作用そのものであり、したがって石炭灰は「人工ポゾラン材料」なのである。この灰が先に述べた如く一般鉱物土と異なる特記すべき点であり、また更に特筆すべきことは、その成分の類似性より、セメント、石こうなどと親和性の高いことで、たとえば重量比で2%程度のセメントと添加すれば安定化し、5%程度で、自然状態で約1年~15年に相当するポゾラン作用が約1週間で発現される。この作用(強度)の果達は約30年に及ぶことが知られている。したがって、利用の進んだ欧米では、このような処置と工場規模で合理的かつ経済的に行ない、付加価値の高い土木材料利用と広範囲に、大量に行い企業化に成功している。ところで、特に、これから利用に当って注意すべき事として、大気環境保全のため低NOx(注:窒素酸化物発生と低減すること)燃焼に伴い、灰の粒子形状、未燃分(注:主にカーボン)が、従来の例として、写真-1のように粒度組成の整ったもの、つまり未燃分を1~2%台と少なかつたものから、写真-2のように不整い、塊状化、未燃分の増加(注:5%を超えるものもある)等、に変わりつつあるため、特に集材直接利用の場合は、その影響がどのように現われるか十分事前に究明する必要がある。なお、この点について筆者の識見によれば、当面、土木材料として実用利用対象になるのは、集材のまゝ利用では、初期のポゾラン作用の発現度より判断して未燃分 $\sim 8\%$ 以内程度のものまで。また、ポゾラン作用を補うため、または早期強度を求める目的からセメント等、添加剤を用いる場合でも現行の経済面からは、石炭灰に対する重量比で添加量10%以内まで利用可能とる品質範囲のものとるよう。

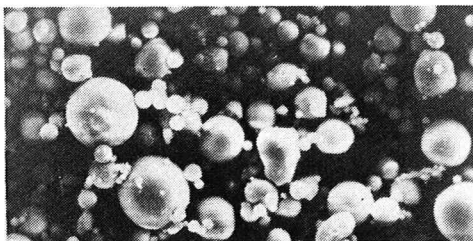


写真-1 良品フライアッシュ

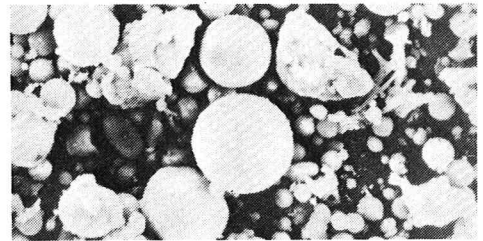


写真-2 低NOx化燃焼したフライアッシュ

3) 施工特性・・・すでに述べた如く、材料特性から土木材料としての利用に当っては(極端な云々方をすれば)きわめて運動性の一種のセメント的工法特性に支配される事が多い。するから、一番のポイントは、この材料は絞って水には、きわめて敏感な材料であることである。締固め曲線はシルト、ローム例に似ており、締固めの最適含水比と過ぎると(湿潤側)急に泥ねい化する傾向がある。したがって、締固めの最適含水比より、やや乾燥側で使用するとよい。これで密度も最大乾燥密度の90%台は得られる。更に單的にいうと、石灰灰の種類にかかわらず20%台の含水比が施工含水比としては最適範囲である。転圧締固め要領は一般厚30cm~50cmの範囲がよく、一般的な値としては茲目の方が好ましく、施工は、ブルドーザ→タイヤローラーの順が良い。

なお、対環境上、現行、最も問題視されるアルカリ溶出については、施工中、施工後、材料と水中分散させること。施工後、難透水性にふるよう十分締め固めて、ボゾラン作用の促進を図ること、等に留意すれば、幸い、わが国は一部、沿岸地帯と陳腐酸性土壌なので、土の緩衝能により、土壌、地下水に対して問題と生ずることある利用可能である。

3. 利用の現状と研究の展望

利用の現状は、表-1の昭和56年例の如く、現行は専ら、セメント分野に依存しているといつても過言では無い。しかし、将来については、一口で云えば、発生灰の性状変化を避し、および、わが国国土事情をうけ、利用に当っての経済性見地から、傾向としては、素材直接利用型よりは、改修先並固型の、安定処理型利用、または、これに類する目的の灰めく利用、例えば、軟弱地盤安定化、あるいは土質改良等の目的の灰めく利用(複合利用を含む)と、これらの灰めく研究が推進されよう。この思想は、冒頭まえきに紹介した建設省研究に已經踏まれている。

利用仕様の見直しについては表-2に述べる。これから、表-1の内容中、60年代後半については、セメント分野は減少するが、土木分野は建設関係利用が拡大が期待できるので、約200万トン以上の利用が見込めよう。また推定有効利用率は50%に達するものと期待できよう。(注:現時点では、表-1と上記の見直しを参照)。

とりわけ、現在の寒冷地における凍上抑制層材料への利用に加えて、安定処理または固形の形で路床、路盤工、埋立地などの工業用地化のため表層強化型などは一般的なものとして有望であり、また凍層混合安定処理などに用いて、セメント単独より有効利用すれば効果の均一化が計られることと研究されつつある。

特にフライアッシュを用いたR・C・C(Roller Compacted Concrete)について有望研究が進められつつある。

項目	年度	昭和56年度(実績)		昭和67年度(推定)	
		石炭灰発生量(万トン)	比率(%)	石炭灰発生量(万トン)	比率(%)
石炭灰発生量		258	100	518	100
セメント分野	セメント製造用原料	20	(7.8)	63	(12.2)
	セメント産出用	35	(13.5)	58	(11.2)
	小計	55	21.3	121	23.4
	土・埋立造成	11	(4.2)	59	(11.4)
	充填材(鉱山用)	15	(5.8)	16	(3.1)
	路盤材	2	(0.8)	12	(2.3)
	アスファルトフィラー	—	(—)	11	(2.1)
	小計	28	10.8	98	18.9
	肥料及び土壌改良剤	2	(0.8)	4	(0.8)
	骨材、人工集塊、及びその他の分野	2	(0.8)	6	(1.1)
その他の分野	小計	4	1.6	10	1.9
	合計	87	33.7	229	44.2
発電所内埋立等		171	66.3	289	55.8

(注) セメント分野、土木分野の有効利用量についてはその率のみを、その中間値を採用した。出典: 科学技術庁資源課編(58.12.13)資料提供。大抵、本表は、石炭灰の発生所発生灰。

表-1 石炭灰有効利用量の内訳



写真-3 R・C・C実用実証公開試験(北海道電力)

あとがき: 今後、更に付加価値の高い利用方法の開発と、石灰灰の供給体制の整備が望まれる。

参考文献: 石灰灰道路材料利用技術マニュアル(石灰灰資源化研究会 昭58.3), 建設事業の廃棄物利用技術の開発(建設省 昭61.11), 土木施工 11月臨時増刊(山海堂 '86.11),

表-2 石炭灰利用技術の見通し

分野	利用技術	今後の見通し
セメント分野	セメント製造用原料	粘土の代替は、セメント業界の自家灰利用により増加は期待出来ない。高アルミナスラグセメントの開発に期待。
	セメント混和材	鉄鋼スラグも普通はポルトランドセメントへ5%以下混合可能になり競合する。フライアッシュの品質低下により減少の一途をたどる。
	生コンクリート用混和材	空気連行混和剤等に弾力性のある製品が開発されつつあり、これが容易になれば、マスコンクリート、水理構造物への混合率20%可能。R・C・C・(Roller Compacted Concrete)開発に期待。使用セメントの30~50%混合可。
土木分野	アスファルトフィラー	スパイクタイヤ非使用地方に限られるが、既に試験的段階を終え、実用化が進みつつある。
	舗装材	アスファルト舗装砂の代替としては微量。
	路盤材	至近年中に建設省による建設事業への再生材としての使用認定が見込める見通しであり、全国大で、公共事業への使用適用材料となる。特に現状の素材型利用でなく、安定処理、固化等加工利用が本命となるので、排出側の品質管理、安定化貯蔵技術、供給体制の取組如何が問題となる。全国的に大量利用化が見込める。充填材のうち、鉱山用は主に北海道地区に限られるが、漸減しよう。
	路床材	
	埋戻材	
	充填材(鉱山用)	
	地盤安定材	
	埋立造成	
その他分野	骨材	コンクリート骨材としては適用不可能、人工軽量骨材用。
	人工軽量骨材	建築専用。但し、灰の品質変動による製品の不確定や天然石による既製品との価格競合、流通市場にも問題あり。
	人工骨材	
	瓦及びセラミック製品	瓦の場合、粘土の代替限度15%、灰の品質変動を加味すると工場操業には10%、受入側で上屋又は屋内貯蔵設備を要する。
	断熱材	市場既製品と比較して特に品質的な優利性も見当たらず、何よりも現行は経済性がない。 ただし、アンジュールについては、改定工役仕工程型工法を調査すれば、何れも新規需要が見込める。
	肥料	わが国農政見直し、肥料特性、製造価格、流通機構などから、現在操業中の電発磯子火力工場に限られよう。
	土壌改良材	強酸性土壌のpH改良、土壌透水性の改善(クリンカは水はけを良くし、粗粉は水もちを良くする)但し、作付物により適、不適があり一概に言えない。
	人工魚礁	石炭灰利用魚礁製品の性能については従来製品と遜色なし。経済性も生コンに対して30~40%安。(総合で10~15%安)。沿岸魚田再開発への採用期待。
	有価物回収	この研究は米国先例でも、経済性は、あるものもあるが、先づ、工場建設に莫大な投資を要する、といわれている。リスク大。日本ではP S。
	ゴム・プラスチック用充填剤	今後のフライアッシュの品質変動に対する管理技術の開発、変動に対する利用業界の受忍限界如何が問題である。
	脱硫脱硝剤	石炭灰、石灰、石ころからなる新しいタイプの脱硫剤で、石炭灰利用率50%以上。100万kW級P Sで、1年間の石炭灰使用量約30万トンになる。脱硫コストの大幅低減も期待できる。国内外で同一種の研究例はないが、問題点として現在、本方法に対する脱硫理論が未解明なこと、また使用済脱硫剤の利用方法開発等がある。現在実用化装置研究段階。 日・米・英・独・西独・中国に特許申請