

石炭灰（クリンカアッシュ）の利用について

A Study on Multi-Purpose Usage of Coal Clinker Ash

岩尾 秋和* 中野 功二* 坂口 善雄*
力武 和夫** 永松 義博*** 日高 英二***

Akikazu IWAO* Kouji NAKANO* Yosio SAKAGUCHI*

Kazuo RIKITAKE** Yoshihiro NAGAMATSU*** Eiji HIDAKA***

1. はじめに

石炭火力発電所から発生する石炭灰（燃え殻）には、電気集じん装置で集められたいわゆるフライアッシュとボイラー底部で回収される燃え殻を破砕機で粒状に砕いたクリンカアッシュとがある。石炭灰のうちフライアッシュはこれまで主にセメント原料として有効利用されてきたが、その他多くの燃え殻は産業廃棄物として埋め立て処分されている。最近、環境問題の高まりとともに、廃棄物のリサイクルが重要な時代となり、石炭灰においても多くの用途が考えられ、また商品化も進んでいる。

一方、造園分野においては都市の発展とともに庭園や公園が増設され、造園の必須材料としての自然界の砂利や石材が乱獲されることとなった。これは自然環境保全に逆行することとなり、資源の保護及び有効活用が緊急な課題となっている。そこで、再生資源の有効活用を図る取り組みとして、石炭灰の再資源化を研究する段階で、クリンカアッシュを造園材料としての利用に着目した。

今回は、クリンカアッシュを特殊な接着剤で固めて、園路広場の舗装材や緑石ブロックとして商品化し、造園に利用する事例について報告する。

2. クリンカアッシュの特徴

クリンカアッシュは、ボイラー内で燃焼によって生じた石炭灰の粒子が相互に凝集し、多孔質な塊となって、ボイラー底部のクリンカーホッパ（水槽）に落下堆積したものを破砕機で粒状に砕いたものである。表-1はクリンカアッシュの化学成分の含有比を示したものである。主成分は、シリカ（ SiO_2 ）とアルミナ（ Al_2O_3 ）でこの2成分で全体の70～80%を占めている。その他、鉄、アルカリ・アルカリ土類金属、ホウ素やクロムなどの微量成分が含まれる。

表-1 クリンカアッシュの化学成分

成分	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_2	MgO	CaO
含有率 (%)	51.6～64.0	17.3～26.9	3.7～10.9	0.9～2.6	1.9～8.8

※ 出典 石炭灰ハンドブック

写真-1はクリンカアッシュの粒子の表面を電子顕微鏡で見たものである。径0.2～20 μm 位の小さな孔隙が多数認められ、クリンカアッシュが多孔質素材であることが判る。

図-1は各種土壌との粒子表面積を比較したものである。真砂土と比べると4倍程度の表面積を持ち、保水性に優れていることを示す。透水係数は 3.0×10^{-2} と大きく、透水・排水性は砂に近い。また、内部摩擦角が $\psi = 30^\circ$ で高いせん断強度を有している。

保水性については、自然含水比が15～30%であり、碎石や砂利に比べて高い性質を有している。

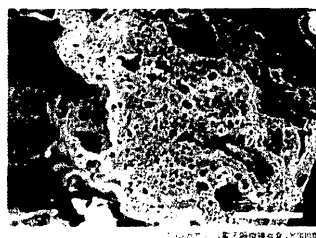


写真-1 クリンカアッシュの表面

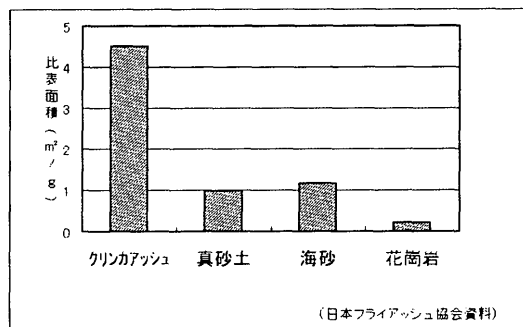


図-1 各種土壌の比表面積

クリンカアッシュはこのような性質を利用して、道路舗装材料として下層路盤に使用されることが多く、軟弱地盤の土壌改良材としても有効であることが実証されている。また、最近ではセメントの軽量骨材としての利用も注目されている。

3. クリンカアッシュの活用

(1) 舗装材（表層）としての活用

クリンカアッシュは化学的・物理的性質に優れている以外に、自然の色合いを持ち造園資材としての利用が可能と思われる。そこで舗装材としての利用を検討した。

クリンカアッシュを舗装表層材として活用するために九州電力（株）苓北発電所において平成14年3月に試

* 九州林産株式会社

** 九州電力株式会社

*** 南九州大学

* Kyushu Rinsan Co.,Ltd

** Kyushu Electric Power Co.,Inc.

*** Minami Kyushu University

験施工を実施した。試験施工の概要は下記の通りである。

①工事名、工事数量

苓北発電所構内北側築山巡視路設置工事

路面舗装面積 90㎡

②工事仕様

路床工 …掘削路床整正、振動ローラー転圧

路盤工 …クラッシャーランC-40 10cm厚

表層路盤工…クリンカアッシュ 5cm厚

表層工 …粒度調整クリンカアッシュ+ファインファイバー3cm厚

図-2に道路舗装の構成と石炭灰の利用範囲を示した。表層路盤工のクリンカアッシュは破砕機を通す前の篩い分け前のもの（最大粒径26mm）を使用し、表層工の石炭灰樹脂合材には粒度調整したクリンカアッシュ（使用粒径 $\phi=3\sim7.5\text{mm}$ ）を使用した。今回の試験施工において接着剤は、石炭灰（燃え殻）の素材がもつ色あいや、特徴をできる限り自然に残すことが可能な工法に重点を置き、このことから接着剤は、商品名「ファインファイバー」を使用した。樹脂添加率は事前に検討・評価した資料を基に、最適混合割合の樹脂添加率10%を採用した。

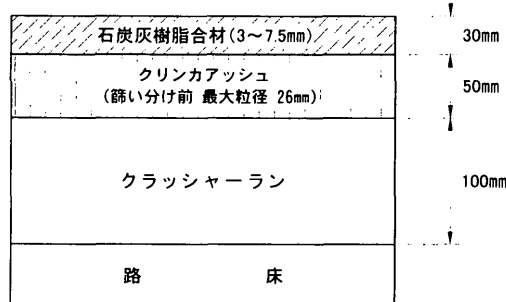


図-2 舗装断面図

③施工手順

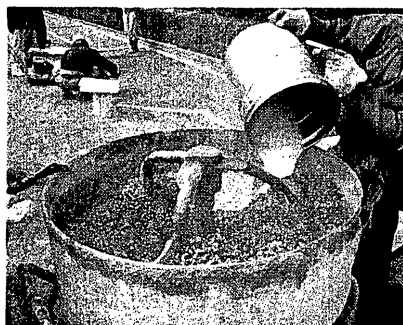
表層路盤工までの一連の施工手順は一般舗装工事に準ずる。表層工の作業手順は、写真-2に示すような工程で行った。ミキサーによりクリンカアッシュとファインファイバーを混合し、敷均し後、プレートを用いて転圧を行う。表層工の所要時間はファインファイバーの固化時間に制約されるが、材料混合後30分以内の竣工を目安に工程管理を行った。

④主要検査・試験結果

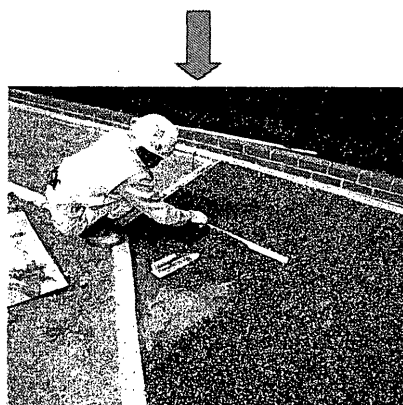
今回の試験施工ではいくつかの検査・試験を行った。試験結果を表-2に示す。試験的に樹脂の添加率と骨材径を変え、各種試験を行った。曲げ強度においては樹脂添加率12%でも最大 1.28N/mm^2 と透水性平板の1/3程度の強度しかえられなかった。圧縮強度試験で樹脂添加率を上げると若干値は大きくなるが、歩道の規格値に比べるとかなり低い。

透水試験では規定値より高い値を示し、現場舗装の試験結果もほぼ同様の値であった。また、樹脂の添加率や骨材径によって透水係数は変化するが、いずれも高い透

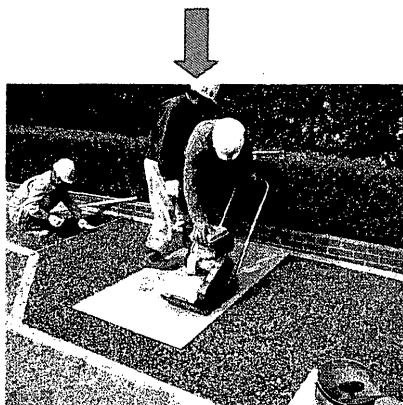
水性を示している。すべり抵抗試験（BPN）の結果は65（補正後）であり、規定値より高い値である。また、有害物抽出試験ではいずれも判定基準値以下であった。



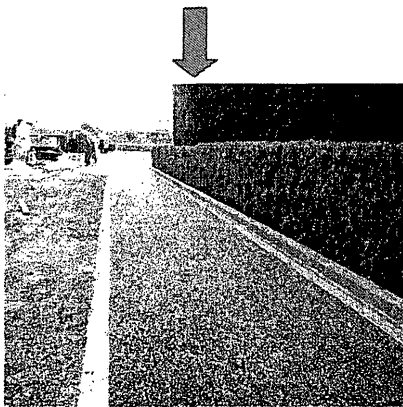
1. 材料混合
クリンカアッシュにファインファイバーを混入する



2. 敷均し



3. 転圧
プレート使用



4. 完了
養生4時間程度

写真-2 クリンカアッシュによる園路舗装施工

これらの試験結果を基に現場施工の表層工仕様を決定した。試験施工の透水試験においても事前試験と同様の

表-2 石炭灰樹脂合材 材料試験結果一覧表

試験項目	樹脂添加率 (%)	骨 材			試験結果	規格値	備 考
		3.0~7.5 mm	3.0~21 mm	1.5~21 mm			
曲げ強度試験 1 試料 3 本 15*15*53 cm	8	1			0.622 (N/mm ²)	(N/mm ²)	JIS A 1106
	8		1		0.662	コンクリート平板 4.0 以上	載荷 λ 240, 荷重 12 kN 荷重 8~9 kN
	10	1			1.17	透水性平板 2.7~3.0 程度	透水性平板としての JIS 規格値 規定なし
	10		1		1.02		
	10			1	0.982		
	12	1			1.28		
	12			1	1.25		材令 28 日
	計	3	2	2			7
圧縮強度試験 1 試料 3 本 $\phi 10 \times H 20$ cm	8	1			0.836 (N/mm ²)	歩道 16 以上 (N/mm ²)	JIS A 1108
	8		1		0.836		
	10	1			1.50		
	10		1		1.69		
	10			1	1.30		
	12	1			2.22		
	12			1	2.43		材令 28 日
	計	3	2	2			7
透水試験 変水位法 1 試料 1 本 30*30*3 cm	8	1			3.17 (cm/sec)	1.0×10^{-2} (cm/sec) 以上	佐藤道路型試験法 目標値 1.0×10^{-1} (cm/sec) 以上
	8		1		3.01		
	10	1			2.96		
	10		1		3.06		
	10			1	1.67		
	12	1			3.19		
	12			1	2.22		
	計	3	2	2			7
すべり抵抗試験 1 試料 1 本 30*30*3 cm	8	1			70 (BPN)	40 (BPN)	舗装試験法便覧 6-5
	10	1			68		
	10		1		70		
	10			1	73		
	12	1			64		
	計	3	1	1			5
合 計		12	7	7			26



写真-3 施工後6ヶ月状況写真

値が得られ、現場施工でもクリンカアッシュの特性は損なわれていない。また試験施工地は定期的に経過観察を実施しているが、品質に重大な影響を及ぼすような変化

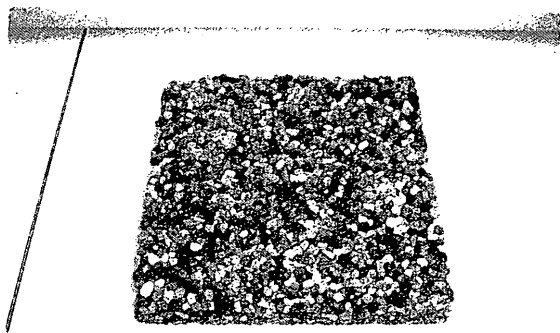
はなく、目詰まり等の発生もない。写真-3

以上の試験結果からクリンカアッシュを舗装材として使用した場合、表面がノンスリップ状をなし、超透水性があると言える。雨水の地下水還流を助け微生物の棲み処ともなり、環境に優しい製品となりうる。しかし、強度的には若干の問題があるため、園路・屋上・ベランダなどの荷重のかからない場所の施工や植栽基盤（保水性に着目した）の代用など部分的な施工が適していると思われる。

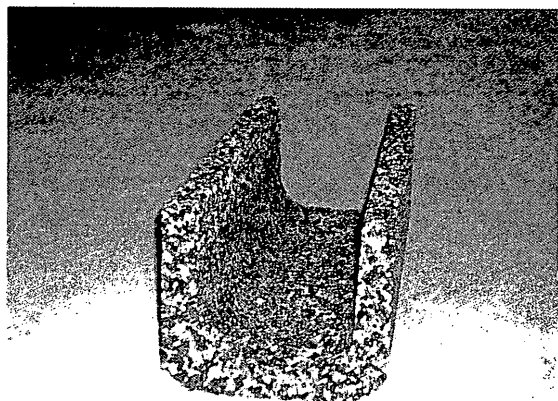
(2) 軽量ブロックとしての活用

園路舗装の技術の応用として軽量ブロックの商品化が考えられる。クリンカアッシュを選別し、最適な規格の粒子を集め、型枠に入れて接着材で固めると、自然色のブロックができる。このブロックの特徴は軽量で超透水性があり、路面舗装と同様に表面はノンスリップ状（東京都歩道基準 40 BPN 以上）をなしている。写真-4 に平板ブロックの製品例を示す。用途は、大規模な施工が

困難な園路や広場及び屋上庭園の舗装材等に最適と思われる。しかも、速乾性の接着剤を使用するので施工現場での製作も可能である。また、型枠を替えると写真－5のようなU型側溝や縁石ブロックなどあらゆる形状の2次製品を製作することが可能である。



写真－4 平板ブロック製品



写真－5 U型側溝ブロック製品

(3) マルチング材（化粧砂利）として活用

クリンカアッシュの活用方法としてマルチング材(化粧砂利)としての活用も考えられる。比較的大粒のクリンカアッシュを集めると、庭園の化粧砂利として、また写真－6のように観葉植物などのマルチング材として利用できる。軽量で保水性があるので乾燥防止にもなる。



写真－6 観葉植物マルチング

4. 製品の環境保全効果

クリンカアッシュは石炭火力発電所からの石炭の燃え殻であり、無菌状態で発生し、素材をそのまま利用するので自然界に悪影響を与えることはない。また接着剤も環境に配慮したものを使用し、製品を製造・施工することにより、屋上庭園や公園などに造園的な環境を広げる、環境にやさしい製品（技術）といえる。

さらに、自然公園などでこの製品を使用した場合、コンクリート構造物に比べ、小動物や昆虫類・微生物が生息しやすい環境づくりも可能になる。また最近の都市部におけるヒートアイランド現象にも、この製品を壁面緑化や屋上緑化の基盤材に使用することにより、断熱効果が期待できる。

5. まとめ

石炭火力発電所から発生する大量の石炭灰は、リサイクル可能な資源であることに着目し、有効利用することが大切であり、再利用・再資源化の推進は環境保全につながる重要な仕事でもある。また、都市部ではヒートアイランド現象の緩和を目指した屋上緑化の動きも活発になり、あらゆる分野での取り組みが強化されている。屋上緑化には今回提案する製品の特徴（軽量・環境にやさしい）が、活かされる絶好の機会ととらえ、活用したい。

今後は、これまでのような自然界における砂利採取が困難な時代となり、造園資材もこの製品（再生資源）の積極的な活用が望まれる。

引き続き、経過観察を定期的に行い他の透水性舗装と比較できるようなデータを収集する計画である。

また、クリンカアッシュについては、その物理的な特徴である「植物の根への水供給や舗装面温度の低下によるヒートアイランド現象の抑制」等、環境にやさしい造園材料として、さらに研究開発を推進したい。

参考文献

- 1) 日本フライアッシュ協会：石炭灰、第3版
- 2) 有限会社ワイズ：ファイン・ファイバ・ファイロン、カタログ
- 3) 環境技術協会：石炭灰ハンドブック、12年版
- 4) 九電産業株式会社：コールサンド、カタログ

名 称：荅北発電所構内北側築山巡視路設置工事

所 在 地：熊本県天草郡荅北町年柄荅陽 1091

発 注 者：九州電力株式会社 荅北発電所

設 計 者：九州電力株式会社 荅北発電所

施 工 者：九州林産株式会社

規 模：路面舗装面積 90㎡

施工期間：平成14年2月21日～平成14年3月15日