

産業廃棄物(パーク灰・クリンカ)を混入したコンクリートの基礎的実験

Base experiment of concrete with industrial wastes (bark ash ・ clinker)

苫小牧工業高等専門学校環境都市工学科 正会員 廣川一巳(Kazumi Hirokawa)

苫小牧工業高等専門学校専攻科環境システム工学専攻 ○学生員 田中久恵(Hisae Tanaka)

KK イワクラ 高橋賢孝(Yoshiyuki Takahashi)

1. はじめに

産業廃棄物は発生量の増加や質的な多様化のため、その処理や資源化は困難になっている。この問題を解決するためには、焼却処分や埋め立て処分をするのではなく、長期的な対応・対策が求められている。しかし、産業廃棄物の処理をめぐり、各地で不法投棄が相次いでいるのが現状である。

本研究では産業廃棄物として、木材の樹皮等を燃料として燃やした際に発生するパーク灰とクリンカをとりあげた。パーク灰やクリンカは産業廃棄物として主に埋め立て処理されてきた。産業廃棄物を有効利用するという観点から、コンクリートに混入させ、コンクリート製品としての利用方法を考察することを本研究の目的としている。

コンクリートとして利用するうえでの資料となるように、パーク灰・クリンカをコンクリートに混入させた際の力学的性状から実用性を検討するため、モルタル供試体を用いて試験を行った。検討にあたり、実際に使用されているフライアッシュとの比較を行った。また、蛍光 X 線分析・粉末 X 線回折・SEM によりパーク灰・クリンカの化学的・視覚的分析も行った。

2. 試験方法

(1) 使用材用

クリンカとは、1000 度以上の高温で無機物などを焼成した際にできる塊状のものであるが、本研究でいうクリンカとは、木材の樹皮等を燃焼したときに排出される塊状の物体のことである(図 1)。大きいものでは 20cm、小さいものでは 5cm 程度であった。



図 1 クリンカ

このクリンカを実験前にすりへり試験機にてあらかじめ粉砕し、0.044mm 以下・0.044mm・0.074mm・0.15mm・0.3mm・0.6mm・1.2mm・2.5mm・5.0mm・10.0mm の 10 種類にふるい分けを行い、実験に用いた。

セメントには普通ポルトランドセメント(密度 3.14)、細骨材は浜厚真産陸砂(密度 2.77)、混和剤として AE 減水剤(変性リグニンスルホン酸化合物)、また、結合材の一部としてパーク灰(密度 2.46)・クリンカ(密度 2.61~2.72)・フライアッシュ(密度 2.18)を用いた。

(2) 配合・養生方法

強度試験は、JIS R 5201 セメントの物理試験方法に準じて行った。表 1 に配合表を示す。パーク灰、クリンカの他に、比較をするためフライアッシュを用いた。

表 1 配合表

	W/C (%)	W (g)	C (g)	B (g)	F (g)	K (g)	S (g)	AE (g)
Base			1800	0	0	0		
B-10				180	0	0		
F-10	50	882	1620	0	180	0	4600	18
B+F10				90	90	0		
K-10				0	0	180		

W は水、C はセメント、B はパーク灰、F はフライアッシュ、K はクリンカ、S は細骨材、AE は AE 減水剤である。Base は何も置き換えないもので、B-10、F-10、K-10 はセメントの 10%をそれぞれパーク灰、フライアッシュ、クリンカで置き換えたもの、B+F10 はパーク灰とフライアッシュでセメントの 10%を 5%ずつ置換えたものである。

供試体は各配合につき 6 本作製し、3 本ずつ用いて 7 日強度試験・28 日強度試験を行った。

養生方法は、打ち込み後に 24 時間湿潤養生し、その後脱型し水中養生とした。

3. 実験結果と考察

3.1 SEM による粒子撮影結果

(1) パーク灰粒子の形状

パーク灰粒子は大きい粒子で 100 μ m、小さい粒子で 0.1 μ m であった。粒子の形状は、球形(図 2)・不定形(図 3)・粒子の集合体(図 4)・その他の粒子の 4 種類に大きく分類できた。

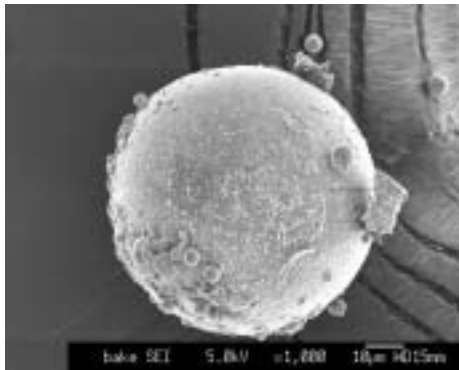


図2 球形のバーク灰粒子

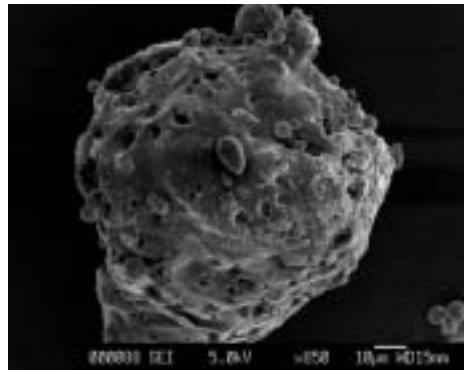


図3 不定形のバーク灰粒子

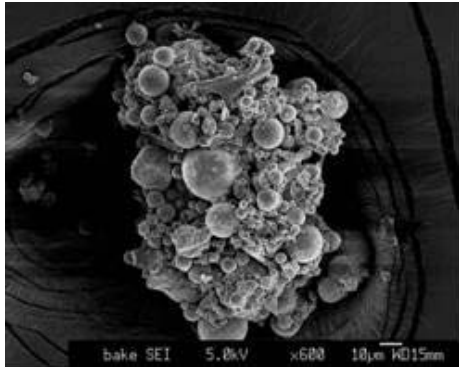


図4 粒子の集合体のバーク灰粒子

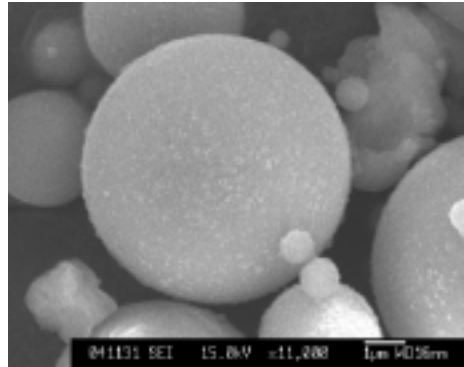


図5 フライアッシュ粒子

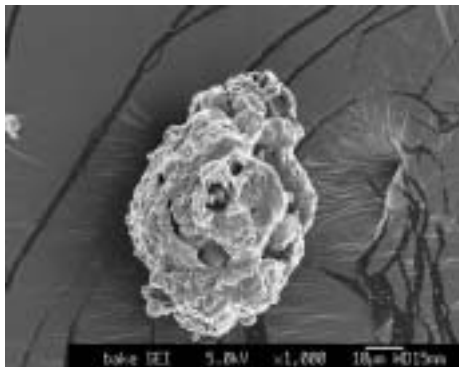


図6 凹凸のある状態（バーク灰）

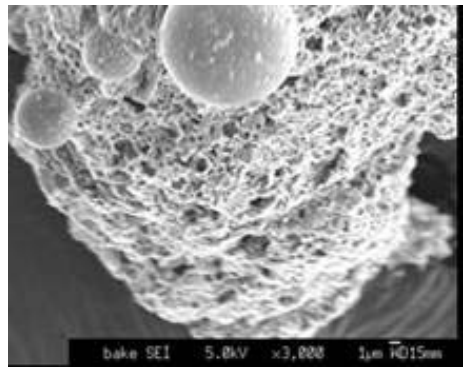


図7 多孔質な状態（バーク灰）

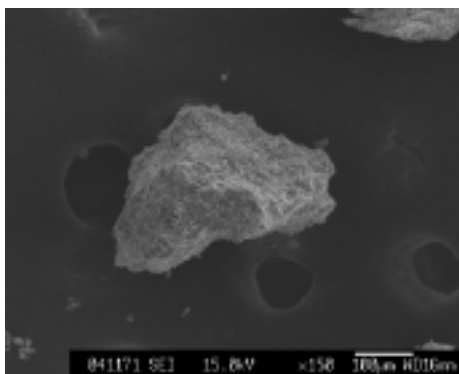


図8 角ばったクリンカ粒子

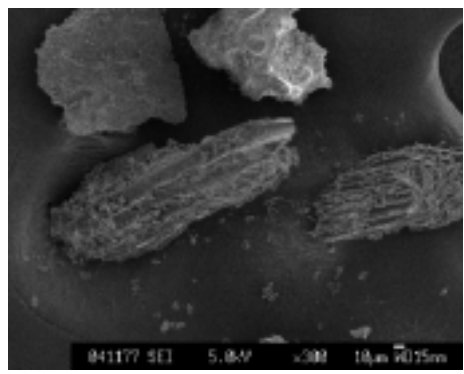


図9 繊維質なクリンカ粒子

フライアッシュの粒子（図5）と比較すると、フライアッシュ粒子は全体的に球形である¹⁾のに対し、バーク灰粒子は球形の粒子の他に、不定形や粒子の集合体のような球形ではない粒子が存在するため、フライアッシュのように流動性の改善を目的に取り扱うことは難しいと考えられる。

(2) バーク灰粒子の表面状態

バーク灰粒子の表面は大きく分けて、表面に微粒子があまり付着していない状態（図2）・凹凸な状態（図6）・多孔質な状態（図7）・その他の状態の4つに分類することが可能であった。

滑らかな状態や、フライアッシュと比較すると、凹凸や多孔質な状態の表面は空隙部分に混和剤や水分を吸着

する可能性が高いと考えられる。その他の状態としては、微粒子が付着している状態のものや、ひびわれのあるものが確認された。このような表面状態の粒子が混和剤等やコンクリートに及ぼす影響は不明である。

表面状態からもパーク灰を、流動性改善を目的に取り扱うことは難しいと考えられる。

(3) クリンカの粒子の形状

どの粒度においても、角ばった粒子(図8)や、繊維質のような粒子が確認された(図9)。パーク灰のように、球形粒子は確認されなかった。

(4) クリンカ粒子の表面状態

クリンカ粒子の表面の状態は、どの粒度・形状においても微粒子が付着している状態であった(図10)。パーク灰で確認されたような、凹凸や多孔質な状態は見られなかったので、AE 剤等を吸着する可能性は少ないと考えられる。

3.2 蛍光 X 線分析装置による化学組成分析

(1) パーク灰の化学組成

蛍光 X 線分析装置によって、今回採取したパーク灰試料の化学組成について分析した結果、表2に示されるように最も多く検出された元素はケイ素(Si)で34%、次いでカルシウム(Ca)で30%、鉄(Fe)で8.4%、アルミニウム(Al)で8.4%であった。

(2) クリンカの化学組成

パーク灰と同様に、蛍光 X 線分析装置によってクリンカを化学組成について分析した結果、表2に示されるように最も多く検出された元素はケイ素(Si)で54%、次いでカルシウム(Ca)で16%、鉄(Fe)であった。

(3) フライアッシュとの比較

フライアッシュ・パーク灰・クリンカの主な元素をまとめたものを表2に示す。

表2 主な元素

	Si	Ca	Al	Fe
フライアッシュ	56	5	25	5
パーク灰	35	30	8	8
クリンカ	54	16	—	14

一般的なフライアッシュの元素組成と比較すると、パーク灰試料ではケイ素(Si)とアルミニウム(Al)濃度が低く、カルシウム(Ca)濃度が高い結果となった。

一方、クリンカはフライアッシュと比べて、ケイ素(Si)濃度が同等で、カルシウム(Ca)と鉄(Fe)濃度が若干高い結果となった。

パーク灰とクリンカでは、成分だけで見るならば、パーク灰よりクリンカの方がフライアッシュに近い組成であり、ポゾラン反応²⁾が期待できると考えられる。

3.3 クリンカの木材・鉄混入率

大きい粒度のクリンカには釘や木が目視でも確認でき、

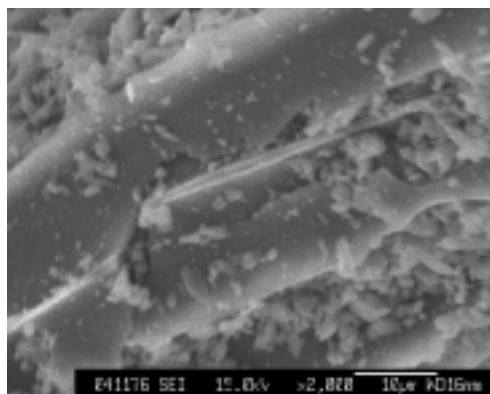


図10 微粒子が付着しているクリンカ粒子

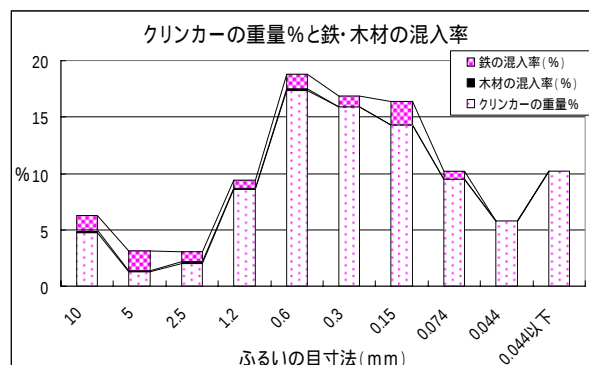


図11 クリンカの鉄と木材の混入率

クリンカには木材や鉄が含まれていることが分かった。そこで、ふるい分けたクリンカを粒度ごとに鉄と木材の混入率を調べた。木材については、100 gのクリンカ試料を採取し、水に入れ浮いたものを木材とし、鉄については木材と同様に100 gのクリンカ試料を取り、マグネットに付着するものを鉄として扱った。図11はクリンカの重量(全体量に対する%)と、各クリンカにおける鉄と木材の混入率(各クリンカの量に対する%)を示したものである。

木材はどの粒度においても少量であったが、木材の割合が最も多かったクリンカは10.0 mmで4.6%であった。次いで2.5 mmの3.3%、5.0 mmの2.6%、その他のクリンカは1.0%未満であった。0.074 mm以下のものについては水に浮いているものが灰と木材の区別がつかなかったため、混入率は0として扱った。

鉄については、最も割合が大きかったのは5.0 mmの55.1%で、次いで2.5 mmの30.5%、10.0 mmの20.7%、その他の混入率は10.0%未満であった。2.5 mm～10.0 mmふるいにとどまるものはほとんど釘であった。

3.4 強度特性

(1) パーク灰で置き換えた場合の圧縮強度・曲げ強度

図12より、圧縮強度に関して次のことが考えられる。パーク灰でセメントの10%を置き換えたもの(B-10)は、フライアッシュでセメントの10%を置き換えたもの(F-10)と比較して、28日強度は小さかったが、なにも置き換えないもの(Base)と比較すると、フライアッシュのようにポゾラン反応がされていないと考えられる。また、パーク灰とフライアッシュでセメントの10%を置

き換えたもの (B+F10) は、7 日強度・28 日強度ともに F-10 より強度は低い、その他の配合のものと比較すると強度は大きい値を得た。ちょうど Base と F-10、または B-10 と F-10 の中間的な結果となった。これは、フライアッシュの混入量が強度に影響していると考えられる。

(2) パーク灰を混入した場合の曲げ強度

図 13 より曲げ強度に関しては、圧縮強度と同様に B-10% はフライアッシュほど強度が得られなかったが、Base と比較しても強度低下は大きいものではなかったと考えられる。曲げ強度においても B+F10 は F-10 と、その他の配合との中間的な強度となった。

(3) クリンカで置き換えた場合の圧縮強度・曲げ強度

図 14 より、クリンカでセメントの 10% を置き換えた場合 (K-10) の 7 日強度における圧縮強度は細かい粒度の方が、若干強度が高い傾向があると考えられる。また、その強度は Base や B-10 とほぼ同等の結果を得た。

(4) クリンカで置き換えた場合の曲げ強度

図 15 より、K-10 の曲げ強度はどの粒度のクリンカの場合においても、その他のものより若干低い強度となった。

4. 結論

以上の実験・分析結果から、産業廃棄物 (パーク灰・クリンカ) を混入したコンクリートの基礎的な実験結果として次のような結論を導くことができた。

- (1) パーク灰粒子は球形以外の粒子の割合が多く、表面状態は空隙のあるものもあり、クリンカ粒子は角ばっているが、空隙は少ない状態であった。
- (2) パーク灰とフライアッシュでセメントの 10% を置き換えた場合の強度については、フライアッシュでセメントの 10% を置き換えた場合と、何も置き換ええない場合、またはパーク灰でセメントの 10% を置き換えた場合の中間的な強度となった。
- (3) パーク灰は、10% 程度までならばセメントの増量材として使用してできる。
- (4) クリンカでセメントの 10% を置き換えた場合の強度は、フライアッシュでセメントの 10% を置き換えたものと比較して圧縮強度は若干強い傾向があり、曲げ強度は小さい傾向があった。

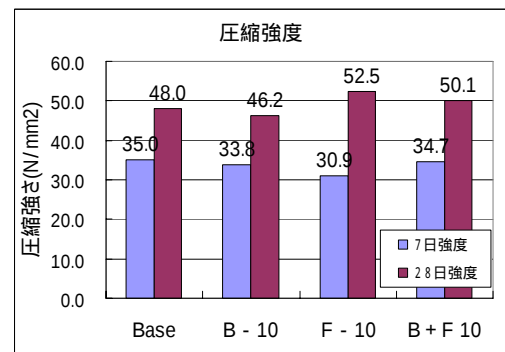


図 12 圧縮強度試験結果

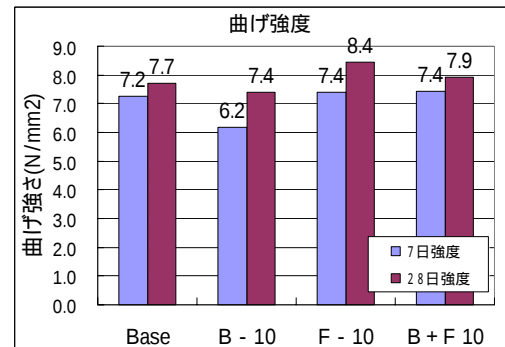


図 13 曲げ強度試験結果

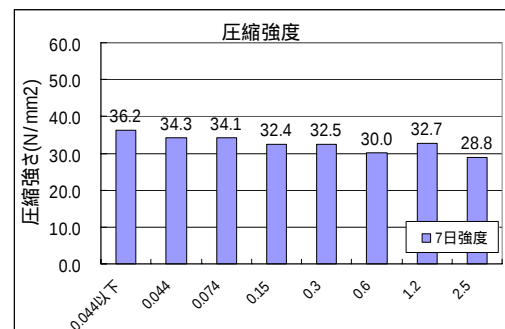


図 14 圧縮強度試験結果

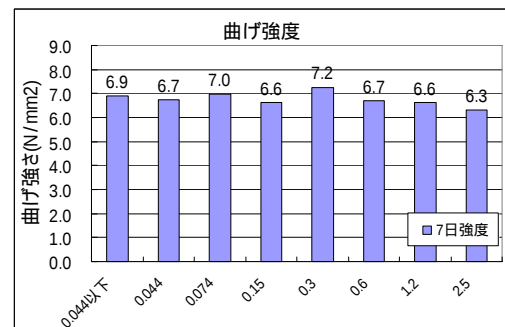


図 15 曲げ強度試験結果

参考文献

- 1) R.K.Dhir 他三井健郎・抄訳：Contribution of PFA to Concrete Workability and Strength Development, コンクリート工学 Vol.27 No.8, pp.68 ~ 72, 1989
- 2) 山崎・佐藤：ボゾラン・フライアッシュがコンクリートに及ぼす影響, コンクリート工学 Vol.19 No.11, pp.68 ~ 74, 1981