

## 石炭灰の防塵処理と地盤改良への適用

嘉門 雅史・勝見 武・太田 正彦

### NON-DUSTY TREATMENT OF COAL ASH AND ITS APPLICATION AS GEOMATERIALS

By Masashi KAMON, Takeshi KATSUMI and Masahiko OTA

#### Synopsis

Coal fly ash as a by-product from fluidized bed combustion system, is expected to increase significantly, because this system has come into wide use as independent means of electric power generation in some industries due to technical advantages. The coal ash is too dusty to utilize as geomaterials, though it has the advantage of containing lime and gypsum for hardening utilization. In order to promote the utilization of the coal ash, "Non-Dusty Method" by using waste oil is proposed. The experimental evaluation on dust decrease, strength development and oil leachate shows that the coal ash treated by this method can be effectively utilized as embankment materials or soil stabilizer without dust pollution during the execution, and can realize the treatment and potential utilization of surplus soil and waste slurry or sludge generated from foundation works.

#### 1. 緒 言

流動床石炭灰は石炭火力発電の流動床ボイラーから副産される産業廃棄物で、石炭灰の中でも特に今後の発生量の増加が見込まれているものである。我が国では1973年および1978年の二度の石油危機を契機にエネルギー供給構造が見直され、石油代替エネルギーとして石炭火力発電の利用が再び検討されるようになった。それに伴い、石炭火力発電の適用における重要な課題である、石炭の燃焼に伴う $\text{SO}_x$ 、 $\text{NO}_x$ 発生による大気汚染や、燃料石炭の約1～2割の質量で副産する石炭灰の処理の問題に対して、技術開発がなされてきた。石炭火力発電における燃焼方式としては、微粉炭燃焼方式が従来の主流であったが、1980年代からは鉄鋼業や化学産業における自家発電用として流動床ボイラー式が普及するようになり、現在では電力会社での採用も計画されている。流動床燃焼式は、燃焼器内に充填された石炭粒子にガスを圧入し、流動状態で激しく混合しながら燃焼させる方式で、微粉炭方式と比較した場合広範囲の品質の炭種に適用できること、自家発電など小規模運転において効率的なこと等の利点をもっている。したがって、今後も流動床燃焼式ボイラーの適用の増加が予想されることから、現在約60万トン/年と見積もられている流動床石炭灰の排出量の増加が予想され、その有効利用の方途が求められるところである。

元来、廃棄物の多くを最終的に地盤が受け入れざるを得ないことから、逆に地盤工学の立場から廃棄物を積極的に有効利用していく試みがなされてきた。廃棄物の処理と地盤材料としての有効利用は近年確立されつつある「環境地盤工学」の分野の重要な研究課題であり、焼却灰、汚泥、スラグ、コンクリート粉末等の副産物、廃棄物が対象として取り上げられてきた。微粉炭石炭火力発電所から発生する石炭灰は其中最も代表的なものであり、我が国においてもフライアッシュセメントとしてセメント・コンクリート分野へ適

用され、また、人工島建設のための埋立材料としても施工実績がある<sup>1)</sup>。一方、流動床石炭灰は材料としての歴史が比較的新しいため、利用されずに処分されているのが現状であるが、近年その特性を活かして地盤材料への有効利用が注目されつつある<sup>2), 3), 4)</sup>。すなわち、流動床石炭灰の特徴の一つとして、燃焼時の脱硫処理によって石炭灰に残存する石灰分や石膏分の固化反応への寄与が考えられ、地盤材料や土質安定材料への適用が検討されてきたものである。石灰、石膏分の含有による水和固化特性は、当然のことながらセメント等の固化特性には及ばないため、例えば高強度改良が期待される深層混合処理よりもむしろ低強度改良が求められる路床・路盤材や浅層地盤安定処理材として試用されるケースが多い。しかしながら、このような浅層地盤改良への適用の問題点として、施工時の散布・攪拌過程での発塵が激しいことが挙げられ<sup>5)</sup>、オープンスペースでの施工が極めて困難で、有効利用の大きな妨げとなっているのが現状であることから、発塵量を抑制する方法の開発が求められている。

本研究では、以上の現状を踏まえ、セメント系安定処理の分野で開発された油脂混合による防塵処理の手法<sup>6)</sup>を流動床石炭灰に適用し、その防塵効果と地盤材料への有効利用の可能性を評価している。防塵処理は、流動床灰の再利用を推し進めるだけでなく、近年建設分野で深刻な問題となっている残土の処理と有効利用を促進する意味でも重要な意義をもつと考えられるものである。

## 2. 使用材料とその性質

### 2.1 流動床石炭灰の一般的性質と使用材料の特性

石炭灰は一般的に、ボイラーに落下するクリンカーアッシュと燃焼ガスに伴って流れるフライアッシュ（飛灰）に大別される。また、フライアッシュのうち、比較的粗粒でボイラーに隣接して設けられるホッパーに落下するシンダアッシュを、電気集塵器で収集される電気集塵灰（EP 灰）と区別することもある。本研究で対象とする流動床石炭灰は電気集塵灰であり、微粉炭燃焼式、流動床燃焼式のいずれの形式においても排出量の多いのはフライアッシュであることから、その有効利用が課題とされているものである。

流動床ボイラーでは、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub> 対策のためにボイラー燃焼温度が 800～1000℃と低く、脱硫処理としてボイラーに石灰石が投入される。そのため、排出する石炭灰は未燃炭素分が多く黒色を呈し、石灰、石膏分の含有率が高いという特徴をもつ。**Table 1** は流動床石炭灰の化学成分を微粉炭石炭灰のそれと比較したもので、石灰分、未燃分（強熱減量）の含有率が高い分、その他の成分の存在割合が低いことが示される。ボイラー燃焼温度が低いことは灰の形状生成にも影響し、微粉炭灰がガラス化により球形中空粒子を形成しているのに対し、流動床灰は **Photo 1** に示されるように不定形の粒子形状をもつ。

本研究で実験に使用した流動床石炭灰は製鉄工場の自家発電用石炭ボイラーから排出したもので、その特性を **Table 2** に示す。流動床石炭灰の中では未燃炭素分が多く、石灰分が少ないものとして位置付けられる。未燃分を示す強熱減量値は、**Table 1** によれば一般的な流動床灰は 10～30%の範囲であるのに対し、使用材料は 30%を越えており、一方水和固化反応への影響が考えられる石灰分は **Table 1** に示される 10～30%の下限値を下回っている。その他の成分については一般的な流動床石炭灰の値の範囲内にある。土質工

Table 1 Comparison of chemical composition of coal fly ash (Unit : %).

|     | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | SO <sub>3</sub> | Ig-loss |
|-----|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-----|------------------|-------------------|-----------------|---------|
| PCA | 50-55            | 25-30                          | 4-7                            | 4-7   | 0-1 | 1-2              | 0-1               | 0-1             | 1-2     |
| FCA | 25-40            | 15-25                          | 1-3                            | 10-30 | 1-2 | 0-1              | 0-1               | 3-8             | 10-30   |

Note : PCA and FCA stand for pulverized coal fly ash and fluidized combustion coal fly ash, respectively.

学的には、シルト分が全体の80%以上を占め、均等係数は2.18、曲率係数は1.49で粒度分布は悪い。

このような廃棄物材料を一般環境下にて地盤材料として有効利用する場合、環境影響が重要なファクターとなってくる。環境庁告示第13号による溶出試験結果によれば、Table 2に示される通り規定される全ての項目において基準値を下回っており、石炭及び石炭灰の成因等を考慮しても環境汚染への負荷はほとんどないと考えられる。

Table 3は、本研究で問題としている流動床石炭灰の粉塵発生量をセメント等の建設材料と比較したものである。発塵試験

はFig. 1に示すように40cm×50cm、高さ30cmの発塵箱に試料100gを投下し、床面から25cmの高さの粉塵をレーザー粉塵計に誘導して測定する方法で行った。固化材や建設材料の発塵試験には一般的な規定はなく、この試験方法は文献6)における試験方法を参照し、ほぼ同様の形式にて行った。流動床灰は粒子密度の小さい細粒分が大半を占めているため粉塵発生量が多くなり、セメント系固化材の4倍以上、防塵処理されたセメント系固化材と比較すれば6倍以上の粉塵が発生するため、施工時でのスモーキングが問題とされることが示される。

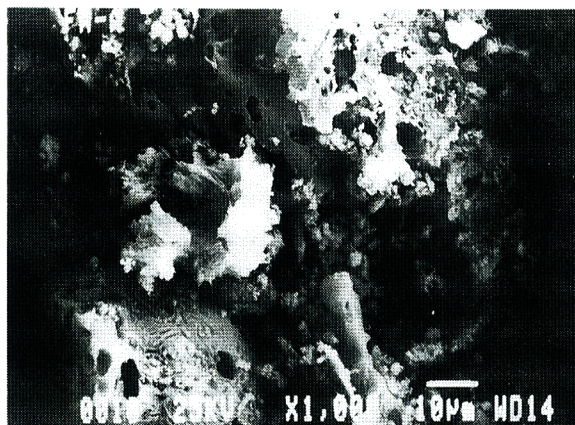


Photo 1 SEM micrographs of FCA (×1000)

Table 2 Physical properties and chemical composition of FCA used.

(a) physical properties

| Particle density<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Optimum water content (%) | Maximum dry density<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Grain size distribution (%) |         |       |
|------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------|---------|-------|
|                                          |                           |                                             | -75 µm                      | 75-5 µm | 5 µm- |
| 2.40                                     | 72.0                      | 0.75                                        | 10.0                        | 81.9    | 8.1   |

(b) chemical composition (unit : %)

| SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | T-F | CaO | MgO | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | SO <sub>3</sub> | Ig-loss |
|------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|------------------|-------------------|-----------------|---------|
| 25.8             | 16.2                           | 1.7 | 8.5 | 0.5 | 0.6              | 0.4               | 4.2             | 33.7    |

(c) Leachate component (unit : mg/l)

| T-Hg    | Cd    | Pb    | Org-P | Cr (VI) | As   | CN- |
|---------|-------|-------|-------|---------|------|-----|
| <0.0005 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | 0.1     | 0.02 | 0.1 |

Table 3 Dusty level of FCA and other materials

| Sample                           | FCA  | Ordinary portland cement | Non-dusty stabilizer |
|----------------------------------|------|--------------------------|----------------------|
| Dusty level (mg/m <sup>3</sup> ) | 56.4 | 12.8                     | 7.5                  |

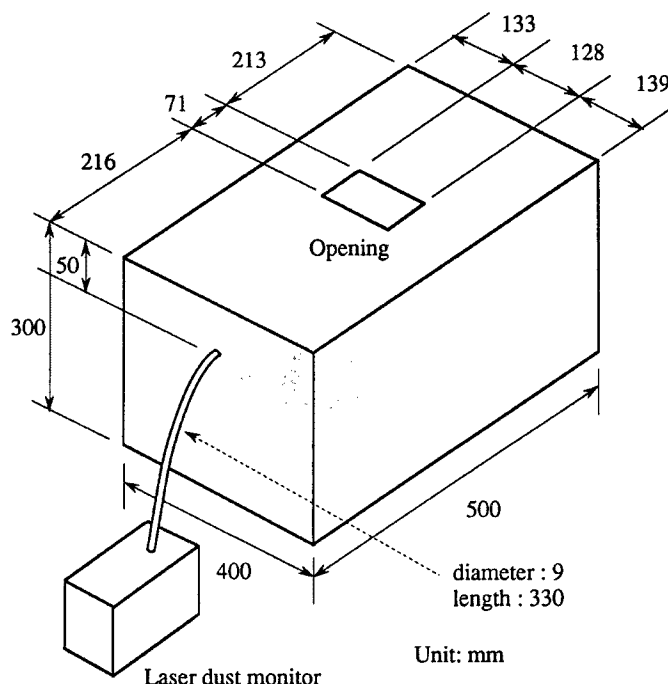


Fig. 1 Equipment for dust measurement.

## 2.2 固化材の防塵処理と適用される油脂

建設残土の処理処分の問題が深刻化するのに伴い、浅層地盤の改良が再びクローズアップされている。固化材の散布、混合による地盤改良は浅層地盤改良として最も普及しているが、近年では工事場所の制約条件と残土発生抑制の観点から、固化材の飛散によるスモッキング対策が求められることが多い。現在、固化材の防塵処理の手法として、①固化材を加湿してスラリー状あるいはウェットパウダー状にする方法、②固化材を塊状にする方法、③固化材にテフロン等の樹脂を加えて微粒子を捕捉する方法<sup>7)</sup>、④固化材と反応しない油脂などの液体を加えてウェットパウダー状にする方法<sup>6)</sup>等が開発されている。

流動床石炭灰にこのような防塵処理の手法を適用する場合、防塵処理により水和固化反応が進まず施工時に改良効果が期待できること、廃棄物の有効利用という観点から導入の容易な簡便な方式であること等が望まれる。実際の流動床ボイラーでは、流動床灰による発塵を抑えるために散水される場合があるが、放置貯蔵の間に灰が水分と反応するため、予期せず固化して取扱いに支障をきたす例も問題となっている。前述の④の手法によると、セメント系固化材に10%以下の油脂を添加することにより、地盤改良効果を保ったまま防塵処理効果を期待することが可能であることが報告されており<sup>6)</sup>、本研究での対象材料である流動床石炭灰への適用に相応しいと考えられるものである。

使用する油の選定にあたっては無害性、経済性等を考慮し、廃食用油、廃機械油、エタノール、廃ポリエチレングリコールの4種類を実験に供した。入手の問題が解決すれば処女材料よりも廃食用油や廃機械油のような廃棄材料をすることが環境および資源保全上好ましいと考えられる。廃食用油は食堂より廃棄されたもので、食用菜種油、食用大豆油、シリコンを主成分とする食用油の調理使用後のものである。廃機械油は第4石油類に分類されるコンプレッサーオイルの使用後のものである。エタノールは純度99.98%の工業用エチルアルコール、廃ポリエチレングリコールは#400を土試料の実験時の調整に用いた後のものである。

### 3. 油脂の混合による防塵処理効果

#### 3.1 混練性

2.2で述べた油脂類の流動床石炭灰への混合は、ホバート型ソイルミキサーを用いて行った。5分間混練した場合、流動床灰と油脂は十分に混合されず、部分的に油脂で団粒化した流動床灰が生成された。油脂と接触、混合しなかった流動床灰には当然のことながら防塵効果がほとんどみられなかった。混練時間を20分とした場合、油と流動床灰の塊が潰されて、流動床灰は油と十分に混ざり合ってウェットパウダー状になった。

充分な混練が求められることが実用上問題であるとするならば、それは流動床石炭灰に限らずセメント系固化材においても同様である。セメント系固化材と油脂類の混合の場合も混練時間が短ければ十分に混ざり得ないことから、現場では油を噴射して固化材に混合するプラントが開発され、本防塵処理の手法を実用化している<sup>8)</sup>。したがって、このような混合手法の適用により流動床石炭灰の防塵処理が可能となると考えられる。

#### 3.2 防塵効果

油脂を混合した流動床石炭灰の発塵試験の結果を Fig. 2 に示す。発塵試験は2.1で前述した方法によった。流動床石炭灰に油脂を混合してウェットパウダー状にすると、Fig. 2 に示すように発塵量が抑制される。どの油脂を混合した場合も混合量の増加とともに発塵量は減少する。防塵効果は油脂の種類によって異なり、本研究で用いたものの中では廃食用油が最も高い防塵効果を示し、廃ポリエチレングリコールは水を用いた場合と同程度の防塵効果であった。これらの抑制された発塵量をセメントや防塵固化材と比較対照すると、油の5～7.5%の添加により流動床石炭灰の発塵量はセメントと同程度になり、10%の添加では防塵固化材よりも少ない発塵量となる。

### 4. 締め固めた流動床石炭灰の特性

#### 4.1 締め固め特性と強度発現特性

流動床石炭灰の締め固め曲線を Fig. 3 に示す。油脂類を混合した流動床石炭灰の締め固め供試体は、油脂混合後試料を1時間放置してから所定量を加水、2分間混練して、締め固めを行った。混合する油脂には前述の防塵効果の結果に鑑み廃食用油とエタノールを用い、質量比で5%および10%混合する場合について実験を行った。油脂を混合したことにより、流動床石炭灰の最適含水比（配合含水比）は5～10%低下している。最適含水比の低下は油の種類に影響されと考えられ、実験結果によると廃食用油混合の場合の最適含水比は約60%となり、エタノール混合の場合では65%であった。一方、乾燥密度は油脂の混合率の増加により上昇し、最大乾燥密度でみれば油の混合率5%で $0.05\text{g/cm}^3$ 、10%で $0.08\text{g/cm}^3$ 程度上昇している。

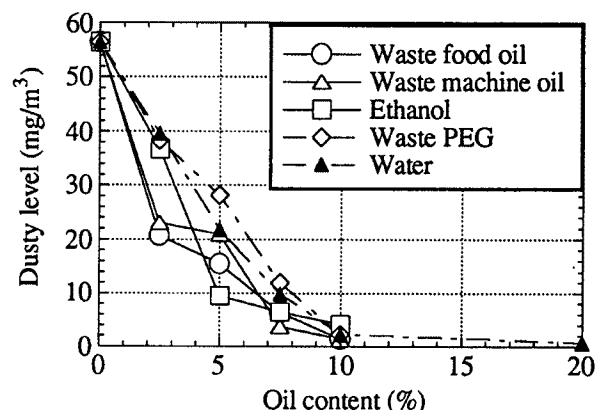


Fig. 2 Dusty level of FCA.

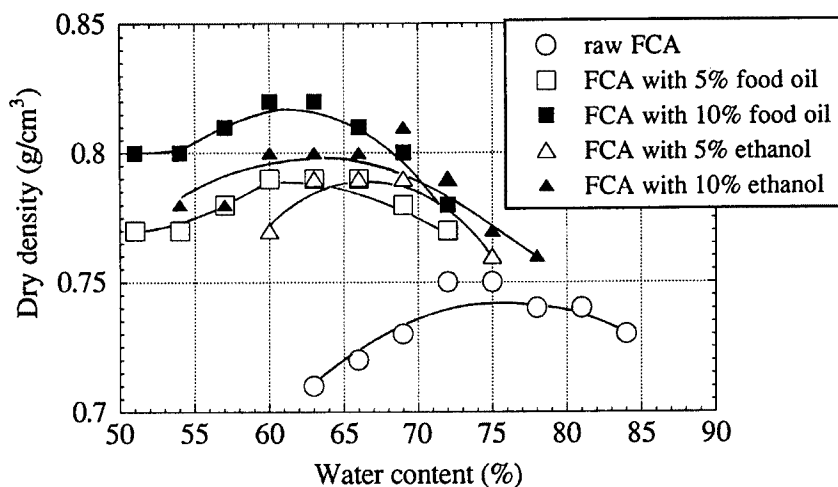


Fig. 3 Compaction curves of FCA.

締固めた流動床石灰炭の強度特性を Fig. 4 に示す。供試体はセメント協会標準試験法「セメント系固化材による安定処理土の試験方法」に準拠して作製した。配合含水比は Fig. 3 の締固め曲線から得られた最適含水比を採用した。ただし、油脂を混合しない石灰炭の場合、最適含水比で加水混合、締め固めると、混練時のコンシステンシーの変化により強度低下がみられることから<sup>9)</sup>、最適含水比より低い水準の含水比(70%)にて供試体を作製している。油の混合率が増加すると発現強度は低くなり、混合率5%で油非混合のものの70~110%程度の強度発現がみられたものが、混合率10%では40~80%程度に低下している。また、混合する油脂の種類によっても強度発現特性は異なり、廃食用油を5%混合した場合は油脂非混合のものの80~110%の発現強度が得られているが、エタノールを混合した場合は強度低下が著しく、強度低下率は最大で約60%にも達する。しかし、いずれの場合も材令7日で1MPa以上の強度を発現していることから、路床や路盤、路体への適用が可能であるものと考えられる。

油脂混合してから突き固めを行う

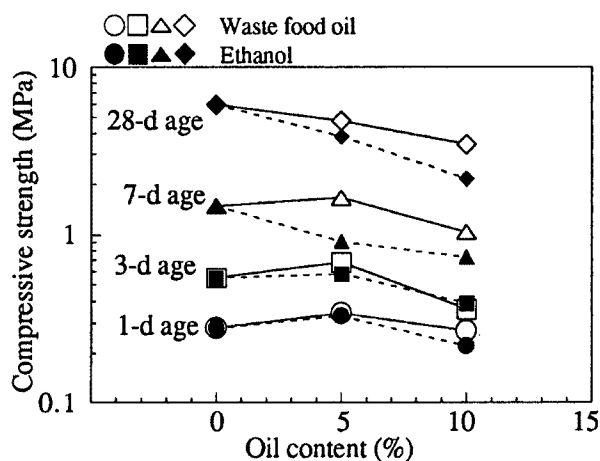


Fig. 4 Strengths of FCA mixed with oil.

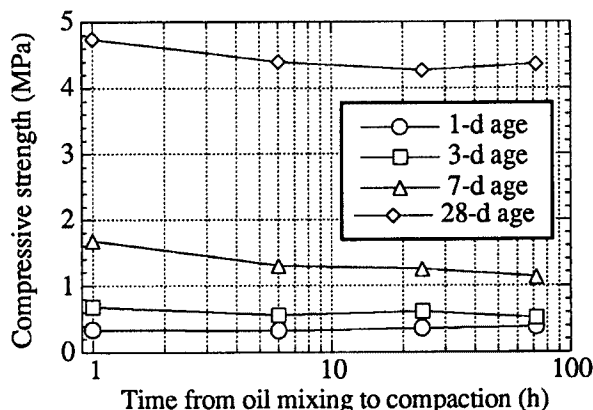


Fig. 5 Strengths and time from oil mixing to compaction.

までの時間を長くした場合の強度発現特性は **Fig. 5** に示す通りである。実験は廃食用油 5 % 混合の場合のみについて行った。油脂混合から 3 日程度経過しても、油脂混合直後に締め固める場合と同等の強度発現特性を期待できるものと考えられる。防塵処理のために加水した場合、水和反応が進行してしまうことが問題となったが、油脂を混合した場合は貯蔵しておいても固化効果の顕著な低下はみられない。セメント系固化材の場合、防塵処理後 2 週間の放置が可能であることも報告されていることから<sup>6)</sup>、流動床灰についても本手法の実用性が考えられる。

#### 4.3 油脂の溶出特性

**Table 4** は締め固めない試料及び固化した試料からの油分の溶出試験結果である。溶出試験は、環境庁告示第 3 号「産業廃棄物に含まれる油分の検定方法」に準じたが、同法が鉱物油のみを対象とするものであるため、動植物油と鉱物油の総量を測定するよう部分的に変更した。**Table 3** によると、締固めと養生によって油分の固定化が進行するが、防塵処理灰からは締固め後でも油の溶出が見られる。油分のほとんどは植物油のため、鉱物油に対する溶出基準値を定めた総理府令第 5 号の「検液 1 リットル中に 100 ミリグラム以下」を基準とすることはできないが、河川や地下水脈に隣接するような現場での使用には注意が要される。特に、重要な問題として、どのような油がどのような環境影響を及ぼすかということを把握する必要がある。

Table 4 Leachate oil from FCA

|                                 | Waste oil content (%) |      |      |
|---------------------------------|-----------------------|------|------|
|                                 | 0                     | 5    | 10   |
| before compaction<br>cured 28-d | <5                    | 1400 | 3100 |
|                                 | <5                    | 250  | 780  |

Note : Test method was in accordance with the one settled by the Environmental Agency, but total leaching oil, not only mineral oil, was measured.

Unit : mg/l.

### 5. 防塵処理した流動床石炭灰の土質安定材料としての適用性

#### 5.1 実験概要

防塵処理した流動床石炭灰の土質安定材料への適用性を検討するため、2 水準の含水状態（64%，84%）の粘性土（沖積粘土，液性限界 93%，塑性限界 34%）に対する配合試験を行った。防塵処理には廃食用油を用い、流動床石炭灰に質量比で 5 % 混合した。流動床石炭灰の添加率は、含水比 64% の粘性土で質量比 15%，20%，25%，含水比 84% の粘性土で質量比 20%，25%，30% とした。粘性土と流動床石炭灰の混合は 5 分間行い、供試体の作製は土質工学会基準「安定処理土の締固めをしない供試体の作製方法」によった。

#### 5.2 強度発現特性

流動床石炭灰による安定処理土の強度発現特性を **Fig. 6** に示す。流動床石炭灰の防塵処理の有無に関わらず、粘性土の含水比が 64% の場合添加率 15% で、含水比 84% の場合添加率 20% でそれぞれ 0.1MPa 以上の強度発現がみられ、粘性土を土質材料として有効利用することが可能である。油脂混合の強度発現への影響は粘性土の含水状態により異なり、含水比 64% の粘性土の場合は油脂が早期強度の発現に貢献するのに対し、含水比 84% の粘性土の場合は防塵処理を施していない流動床石炭灰を用いた場合と比して強度が低下す

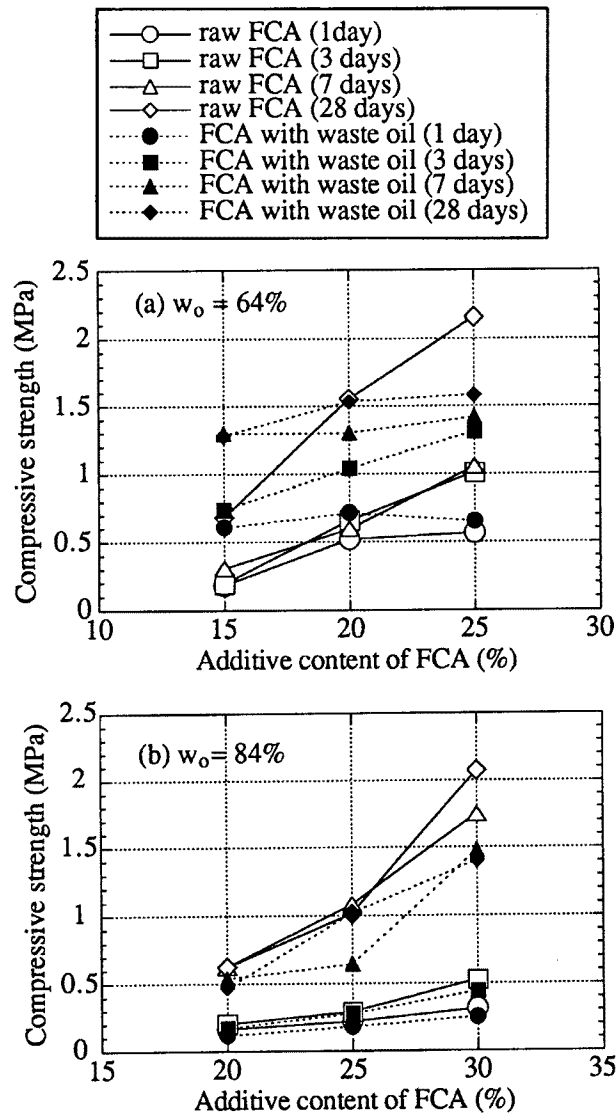


Fig. 6 Strengths of clay soil stabilized by FCA.

る結果となっている。含水比が84%の粘性土を用いた全ての場合と、粘性土の含水比が64%で防塵処理を施していない流動床石炭灰を15%添加した場合は粘性土と流動床石炭灰とが均質に混ざっているが、含水比が64%の粘性土に流動床石炭灰を20%、25%添加した場合、及び防塵処理を施した流動床石炭灰を15%添加した場合は粘性土と流動床石炭灰とが均質には混ざらず、直径1～5mm程度の粘性土の塊が残存している。

Fig. 7は密封養生後水浸した供試体の材令7日における強度特性を、横軸を水浸までの密封養生期間として示したものである。この条件では含水比の高い粘性土の場合は油脂混合により強度が増加し、含水比が低い場合は強度が低下している。供試体作製後直ちに水浸した場合、いずれの含水状態においても防塵処理を施していない流動床石炭灰を用いた供試体は強度発現しないのに対し、防塵処理を施した流動床石炭灰を用いると耐水性が向上し、残土と汚泥との区分基準である50kPa以上の強度を発現する。このことから、防塵処理を施した流動床石炭灰は、施工直後に冠水するような現場などで軟弱残土の安定処理に有効に適用しうるものと考えられる。



### 5.3 油脂の溶出特性

安定処理土からの油脂の溶出量は Table 5 に示す通りである。溶出試験は 4.3 で述べた油分の総量を測定する方法と鉱物油のみを測定する環境庁告示第 3 号の方法の両方について行った。鉱物油としての溶出はみられず、油分総量の溶出量も低い。前述の総理府令第 5 号の鉱物油の溶出基準値 100mg/l 以下を動植物油も含めた油分として広義に解釈しても、基準値を満足するため、環境影響の面からも問題はないものと考えられる。

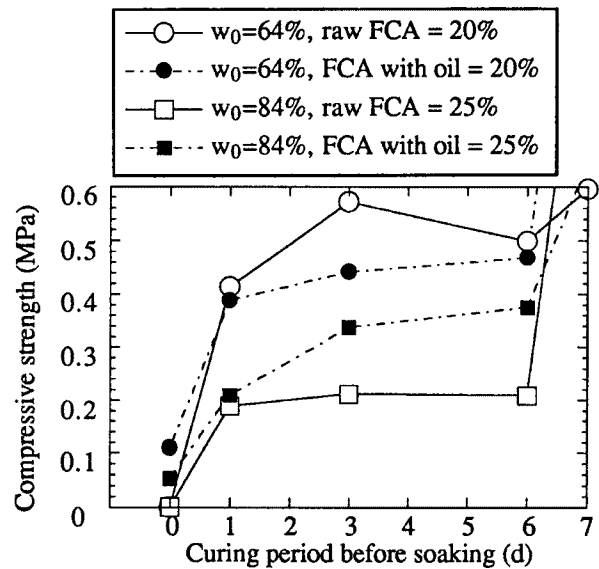


Fig. 7 7-day Strengths of FCA stabilized soil.

Table 5 Leaching oil from soil stabilized by FCA

| Waste food oil<br>/FCA (%) | Additive<br>content of<br>FCA (%) | Oil leaching (mg/l) |           |
|----------------------------|-----------------------------------|---------------------|-----------|
|                            |                                   | Mineral oil         | Total oil |
| 0                          | 0                                 | <3                  | <3        |
| 0                          | 25                                | <3                  | <3        |
| 5                          | 15                                | <3                  | 19        |
| 5                          | 20                                | <3                  | 34        |
| 5                          | 25                                | <3                  | 31        |

Note : Mineral oil was measured in accordance with the test method settled by the Environmental Agency, and total leaching oil was also measured.

## 6. 防塵処理した流動床石炭灰の建設汚泥固化材料としての適用性

### 6.1 実験概要

掘削工事などで排出される建設汚泥の処理と有効利用のために著者らは建設汚泥の有効利用システムの考え方を示し、固化処理のために流動床石炭灰の適用を提案している<sup>10)</sup>。防塵処理した流動床石炭灰による泥水固化処理効果を検討するため、豊潤ベントナイトを水と混合して作製したベントナイト泥水（密度 1.04g/cm<sup>3</sup>，ファンネル粘性 24.3s）に流動床石炭灰を質量比 50%，更に固化材として炭酸アルミニート系塩材（CAS 材，Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>：Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>：CaCO<sub>3</sub>：セメント：強アニオン性高分子凝集剤＝40：21：30：7：2）を 4 種類の添加率（泥水質量比 4%，7%，10%，13%）で添加して配合試験を行った。供試体の作製は 5.1 に示す手法と同様である。

Table 6 Strengths of FCA-CAS-slurry mixtures

| Additive content of CAS (%) | Aging (d) | Compressive strength (kPa) |                     | Strength ratio [B]/[A] (%) |
|-----------------------------|-----------|----------------------------|---------------------|----------------------------|
|                             |           | by raw FCA [A]             | by FCA with oil [B] |                            |
| 4                           | 1         | 4                          | 4                   | 100                        |
|                             | 3         | 10                         | 16                  | 160                        |
|                             | 7         | 66                         | 87                  | 132                        |
|                             | 28        | 335                        | 291                 | 87                         |
| 7                           | 1         | 7                          | 7                   | 100                        |
|                             | 3         | 21                         | 21                  | 100                        |
|                             | 7         | 102                        | 107                 | 105                        |
|                             | 28        | 470                        | 445                 | 95                         |
| 10                          | 1         | 11                         | 10                  | 91                         |
|                             | 3         | 28                         | 21                  | 75                         |
|                             | 7         | 136                        | 138                 | 101                        |
|                             | 28        | 633                        | 746                 | 118                        |
| 13                          | 1         | 20                         | 12                  | 60                         |
|                             | 3         | 33                         | 22                  | 67                         |
|                             | 7         | 165                        | 133                 | 81                         |
|                             | 28        | 841                        | 724                 | 86                         |

Table 7 Leaching oil from FCA-CAS-slurry mixtures

| Waste food oil /FCA (%) | Additive content of FCA (%) | Additive content of CAS (%) | Oil leaching (mg/l) |           |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|-----------|
|                         |                             |                             | Mineral oil         | Total oil |
| 0                       | 0                           | 0                           | 9                   | 69        |
| 0                       | 50                          | 4                           | <3                  | <3        |
| 5                       | 50                          | 4                           | <3                  | 90        |
| 5                       | 50                          | 7                           | <3                  | 47        |
| 5                       | 50                          | 10                          | <3                  | 47        |
| 5                       | 50                          | 13                          | <3                  | 49        |

Note : Mineral oil was measured in accordance with the test method settled by the Environmental Agency, and total leaching oil was also measured.

## 6.2 強度発現特性

流動床石炭灰とCAS材による強度発現特性をTable 6に示す。CAS材の添加率や流動床石炭灰の防塵処理の有無に拘わらず、処理土は7日材令で50kPaを越える一軸圧縮強さを発現し、土質材料として取り扱うことが可能になる。さらに、CAS材添加率が7%以上の場合0.1MPa以上の強度発現を示し、埋立土や裏込め材として用いることが可能である。また、材令7日以降も強度増加が続くことから、路体や路床、路盤等として利用することも考えられる。油脂を混合した流動床灰による処理土の強度を非混合の流動床灰によるものと比較すると材令28日で85~120%程度であり、油脂混合処理に起因する強度低下は無視しうると考えられる。防塵処理を施した流動床石炭灰を用いた場合、非処理のものをを用いるよりも少ないCAS材添加でより高い初期材令強度を得ることができ、汚泥の迅速処理の観点から有効と考えられる。

### 6.3 油脂の溶出特性

Table 7 に示す油脂の溶出特性の試験は 5.3 と同様に行なった。油脂の溶出量は総理府令第 5 号の基準を下回っており、環境への影響も問題はないものと考えられる。また、溶出量は混合された量に比べて大幅に少ないため廃油の固定化という効果も大きく、本法は廃油の有効利用法としても適用可能なものと思われる。

## 7. 結 言

本研究で得られた結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 流動床石炭灰はセメント等と比較して粉塵発生量が著しいが、油脂などの液体を 5～10% 程度混合することでウェットパウダー状になり、粉塵発生が抑制される。
- (2) 防塵処理を施した流動床石炭灰は灰単味で十分な強度を持ち、防塵処理を施していない流動床石炭灰同様、路床材や路盤材、盛土材への適用が考えられる。
- (3) 防塵処理を施した流動床石炭灰は処理後 72 時間を経過してもその強度特性に大きな変化はみられず、防塵処理から使用までの放置時間の強度発現への影響は小さい。
- (4) 防塵処理を施した流動床石炭灰を土質安定材として用いた場合、水浸条件下での改良効果が特に優れており、軟弱地盤の改良や残土・建設汚泥処理に有効利用し得るものと考えられる。
- (5) 今後は本手法の実用化のために、油脂の溶出問題に関連し、どのような油がどのような環境影響を及ぼすかを明らかにして材料の選択のためのガイドラインを示すとともに、防塵処理システムの開発と提案等を行う必要があると考えられる。

本研究の遂行にあたり、防塵処理の手法についてご助言頂きました明石工業高等専門学校 澤 孝平教授、友久誠司助教授、(株)コトー 鈴木一幸氏、試料およびデータをご提供頂きました(株)神戸製鋼所、(株)鴻池組、三星化学(合)、京都大学生協同組合宇治食堂の関係各位に深謝致します。

## 参 考 文 献

- 1) Kawasaki, H., Horiuchi, S., Akatsuka, M. and Sano, S.: Fly-ash slurry island II. Construction in Hakucho Ohashi Project, Jour. Mater. Engrg., ASCE, Vol. 4, No. 2, 1992, pp. 134-152.
- 2) 西 勝・山縣正明・井奥哲夫・辻本敏治：石炭灰を利用した安定処理路床の支持力評価，第28回土質工学研究発表会講演集，1992，pp. 2407-2408.
- 3) 山元淳史・新嶋洋明・大洞正量・福元洋一・片岡義尚：流動床灰の道路土工材への適用に関する研究，土木学会第45回年次学術講演会講演概要集第3部，1990，pp. 462-463.
- 4) 嘉門雅史・勝見 武・今西秀公：流動床ボイラー石炭灰の固化処理による有効利用，廃棄物埋立地盤の跡地利用に関するシンポジウム発表論文集，1991，pp. 89-94.
- 5) 嘉門雅史・勝見 武：流動床ボイラー石炭灰の基礎地盤改良工への適用例，第27回土質工学研究発表会論文集，1992，pp. 2333-2334.
- 6) 澤 孝平・友久誠司・厚東篤志・鈴木一幸：防塵性固化材の開発について，第28回土質工学研究発表会論文集，1993，pp. 2607-2608.
- 7) 中村洋一・大神年彦：防塵固化材によって安定処理した有明粘土の強度特性，第28回土質工学研究発表会論文集，1993，pp. 2609-2610.
- 8) 澤 孝平・友久誠司・雀部和男・厚東篤志・鈴木一幸：油脂系無粉塵固化材の防塵性について，第29回土質工学研究発表会論文集，1994，pp. 3-6.
- 9) Kamon, M. and Katsumi, T.: Utilization of Coal Fly Ash from Fluidized Bed Combustion System,

GEOENVIRONMENT 2000, ASCE, (in Submitting).

- 10) Kamon, M. and Katsumi, T. : Utilization of Waste Slurry from Construction Works, Proc. 13th ICSMFE, Vol. 4, 1994, pp. 1613-1616.