

フライアッシュについて

関電フライアッシュKK* 本 間 昶

1. フライアッシュとポゾラン

フライアッシュは微粉炭燃焼ボイラの煙道ガスから、集じん器で捕集した微粉灰であつて、その主成分はシリカである。

ポゾランとは、火山性の天然材料から得られたシリカ成分であつて、それ自身では水硬性はないが、微粒子状態で水分の存在する場合には、石灰よりの水酸化カルシウムと反応して不溶性の化合物を形成するものである。その使用は古くローマ時代において、石灰と混合し結合材として使われてきた。しかしポルトランドセメントが発明されてからは、ポゾランの結合材としての使用はすたれたが、最近になつて良質ポゾランをセメントと混用すると、化学的にも物理的にも、コンクリートの性能が著しく改善されることが明かになるにおよんで、ポゾランはセメント混和材という新使命をおびて、再び登場することになった。

ポゾランには火山灰を初めとして、天然に産するものまたは天然産に熟処理を行うもの、および工業的副産物として生産されるものなどがあつて、それらの性能および組成も多様で、したがつてまたその性能も異つている。このうち質、量および価格の何れの点からも、ポゾランとして最もすぐれているのは、新鋭火力発電所で採取されるフライアッシュである。

フライアッシュの研究は、米国では20年位前から初められ、その性能が天然ポゾランより優れていることが発見されて、各種コンクリート工事のセメント混和材、およびその他広範に利用されている。わが国では漸く7～8年前からその利用が研究され、多くの優秀な特質を有することが明かになると共にその価格もセメントに比して廉いので、需要は逐年増加して現在では生産がこれに追付かない位である。

一般に火力発電所にとつて灰の処理は厄介な問題であつて、埋立に使用する位しか利用の道がなく、少なからぬ費用をかけて捨てられている。昨年の全国火力発電所の石炭消費量は1,100万tで、その灰量は300万tの多きに達するので、その処理費は莫大なものと見られる。このうちフライアッシュがポゾランとして活用されることは、コンクリートの質的改善の外に、発電所にとつても

廃物利用と経費節減の二重の利益を得られることになりその効果は決して少なくないであろう。

2. フライアッシュの性質

セメント混和材として用いられるフライアッシュについては、日本工業規格(JISA6201—1958)に定められている。前述のようにフライアッシュは火力発電所の副産物であるため、その品質は、石炭の種類や運転条件その他によつて多少の差を生ずることは免れない。以下フライアッシュの性質について重要と思われる事項を述べる。

(1) 粒子の形状と色

フライアッシュの粒子は大部分表面硝子状の完全に近い球状をしている。このことは他の粉碎して作つたポゾラン材とは、いちじるしく異なる点であつて、これがコンクリート施工上大切な役目をするといわれている。

色は一般に灰白色のものが多いが、白味の勝つたものから、黒味をおびたものは、未燃炭素の極微粒子を含んでいるためであつて、その程度が軽ければ、ポゾラン活性にはほとんど影響はない。

(2) 粉 末 度

粉末度はフライアッシュの性質のうちで最も重要なものであつて、フライアッシュを混用したコンクリートの強度と密接な関係がある。一般に同一フライアッシュでは、粒度が細かい程、所要水量比も少なく、強度の出もよいが、反面比表面積が大きくなる程、団結する傾向があつて、設備によつては、取扱に支障を生ずる場合がある。一般に団結の傾向は、未燃分の少ない良質のフライアッシュに多く見られるが、固りができても、混和材としての性質には、有害な影響はない。団結の原因は未だ明かになつていないが、品質と取扱の両面から考えて、比表面積は $3,500\text{cm}^2/\text{g}$ 内外がよいように思われる。

(3) 成 分

フライアッシュの主成分はシリカであつて、普通50～60%を占め、ついでアルミナが25%内外で、その他酸化第二鉄、石灰、マグネシヤ、無水硫酸、炭素、水分などを含んでいる。この内主要なのは、シリカと炭素の含有量である。シリカはフライアッシュが優れたポゾラン活性を示す上で、主役をなすものであるから、一定以上の含有量が、絶対に必要である。炭素は強熱減量のうち、

* 兵庫県尼崎市末広町1 (尼崎第二発電所内)

その大部分を占めるものであるから、この両者はほぼ等しいと見て大差ない。炭素量が3%以下ならば、ポゾラン活性に影響しないという実験結果もあるが、品位上は無益なものであるし、またそれが活性の場合は、吸着性が増加し、A E剤の種類によつては、その所要量が多くなるから、炭素はなるべく少ないがよい。

(4) 比重

比重は炭種によつて異なるが、大体2.0~2.3範囲にある。同一フライアッシュでは、粉末度が細かくなる程、比重が大きくなる。

(5) 単位水量比

フライアッシュをセメントに混用すると、一般にセメント単味の場合よりも、水量比は小さくなる。同一フライアッシュの場合は、粉末度が高い程水量比が少なくなる。この現象は、粒子の形状によるものであつて、天然ポゾランと異なるところで、フライアッシュの一特性である。

3. フライアッシュの規格と市場品の品質

フライアッシュの生産カ所は沢山あるが、事業用発電所から生産されるものが最も多い。そのうち13カ所の製品品位を第1表に示す。いづれも JIS 規格に合格しているが、生産カに所より品質の相違が見られるのは、副産物であつて、発電所側の条件に支配されることが多いためである。

第1表 JIS規格と品質の範囲

試験項目	JIS規格	13種の品位範囲	
		範囲	平均
シリカ(%)	45以上	54.3~61.6	58.5
水分(%)	1以下	0.1~0.56	0.22
食熱減量(%)	5以下	0.1~2.3	1.1
比重	1.95以上	2.0~2.36	2.15
比表面積(cm ² /g)	2700以上	2920~3910	3430
44μ 篩残分(%)	25以下	1.7~17.8	8.7
単位水量比(%)	100以下	92~97	94
圧縮強度比	28日	63以上	76
	91日	80以上	93

4. フライアッシュ使用の利点

フライアッシュをセメント混和材として使用すると、多くの利点があるが、これを要約すると、次のようである。

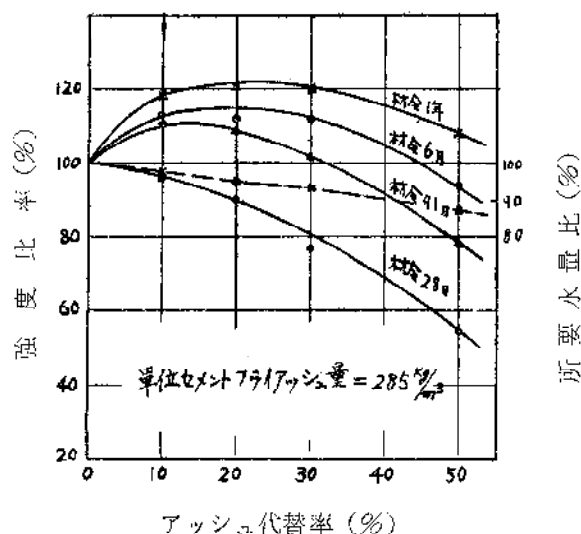
(1) ウォーカビリティの増大

練り混ぜたコンクリートのウォーカビリティが著しく増大し、プラスチックティが改善されるため、コンクリー

トの打設作業が容易となり、仕上面もまたきれいになる。これはフライアッシュの粒子が球形であるという特質によるものであつて、特に注入コンクリート工法にはフライアッシュが不可欠とされる所以である。またウォーカビリティがよくなるため、セメント単味の場合よりも、所要水量が減少する。このことは、コンクリートの質を緻密にし、強度を増す原因ともなつている。

(2) 長期強度の増加

フライアッシュを用いたコンクリートの初期強度は、曲げ圧縮とも、混入率が増す程低下するが、材令が進む



第1図 フライアッシュ代替率と圧縮強度、所要水量の関係の一例

につれて、著しく強度増進を示し、セメント単味の場合よりも10~20%強くなる。その試験結果の一例を第1図に示す。この原因は、セメントの遊離石灰と、フライアッシュのシリカおよびアルミナが結合し、この生成物が次第に硬化し、材令と共に強度を増すためである。

(3) 透水性の減少

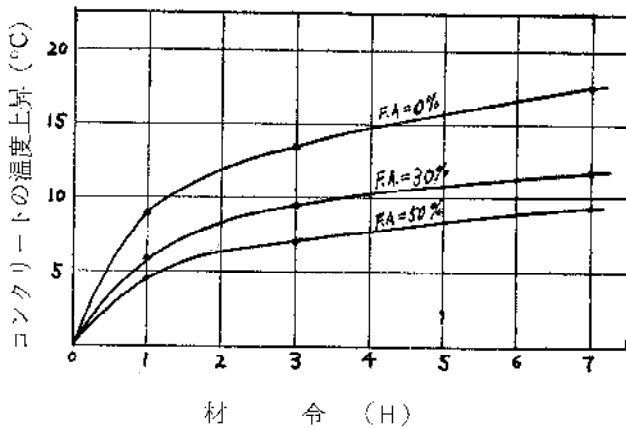
前記(2)に述べたように、セメントの水和によつて生ずる溶解性の水酸化カルシウムは、フライアッシュの成分と結合して、不溶性の化合物となるので、コンクリートの水密性が増加する。この増進の有様は強度の場合と同様であつて、日が経過するにつれて、その効果を発揮する。

(4) 水和熱の減少

フライアッシュを混用すると、セメントの水和熱による温度上昇が減少する。その減少率は、フライアッシュの混合率とほぼ同じである。試験結果の一例を第2図に示す。

(5) 化学抵抗性の増加

酸や塩類に対する抵抗性が、セメント単味のコンクリート構造物より、フライアッシュを混用した方が、はるかに増加する。



第2図 フライアッシュを用いたコンクリートの温度上昇の一例

(6) アルカリ骨材反応による膨脹の減少

セメント-アルカリ骨材反応により、コンクリートに膨脹を生じ、強度の劣下を来たすことがあるが、フライアッシュを混用すれば、その膨脹を少なくする効果がある。

(7) 容積変化の減少と凍結融解に対する耐久性の増大

セメント硬化体は、乾燥すれば収縮するが、フライアッシュを混入すると、収縮が少なくなるので、亀裂を防止できる。また凍結融解を繰返す構造物では、耐久性が増すという実験例もある。

(8) 経済性についてコンクリートの品質改善上の利益は上述のとおりであるが、更にフライアッシュはセメントに比して価格が約半値であるから、セメントに代替される量に比例して、材料費が廉くなるという直接の大きな利益がある。

5. フライアッシュの用途

フライアッシュはその有する多くの利点から、セメント混和材として、各種のコンクリート工事に使用されているが、その主なるものをあげれば、

- (1) ダム工事：電源開発用を初め、治水用、水送用ダム等のマスコンクリートには、フライアッシュのすべての特性が活用されるので、現在では不可欠のものとなっている。
- (2) 築港関係：海水の影響を受ける港湾、護岸の構造物、および一般基礎工事、水路などに使用され、フライアッシュの耐化学性、耐透水性が活用されている。
- (3) 注入コンクリート工事：ブレンパクト工法や、グラウト工法などの、ウォーカービリティが特に必要な工法には不可欠とされている。
- (4) トンネル工事：ウォーカービリティ、強度、耐透水性の特性が活かされて、新設、補修共に多く用いられて

いる。

(5) 建築物：基礎工事は勿論、上部構造コンクリートにも、軽量と経済性の点から、需要が増加しつつある。

(6) セメント二次製品：ブロック、セメント瓦、スレートその他のセメント製品には、強度が増し、仕上りがきれいになり、その上経済的であることから、需要が多い。

(7) 道路：関東方面の国道には、既に使用されている。曲げ強度の増加、仕上の容易さ等の特性が着目され今後の需要増大が、期待される。

(8) その他：コンクリート工事以外に、フライアッシュの化学的、物理的性質の利用、例えばアスファルトの増量補強材、土質改良材、ペイント、パテの増量材、ゴムの混和材、軽量骨材の製成材などとして使用する研究は迫々進められているが、この方面の需要については、今後の研究結果にまたねばならない。

6. フライアッシュの需要と供給

昭和33年度の全国フライアッシュの需要は約15万tであつて、セメント生産量の1%にも達しない。しかしその伸びは逐年著しいものがあるので、需要量は年と共に増加するものと予想される。一方生産は、新鋭火力発電所が、フライアッシュ採取設備を併設する傾向が強いので、年間60万tの生産量に達するものも近いうちと見られる。したがつて、地域差は別として、数量的には需給のバランスは保たれるであろうが、問題は需要と生産の繁閑の時期が相反することである。一般に需要の多いダムを始め、その他のコンクリート工事は夏季に多く、冬季に少なくなるのに反し、火力発電所からのフライアッシュの生産は、夏期には不足し、冬期には過剰となるのが普通であるから、この過剰分を貯蔵して、夏季の不足を補う必要がある、このためには貯蔵設備に多額の費用を要し、経営上の負担を増すことになる。このことは、副産物であるフライアッシュの宿命であるが、年間各期を通じ、如何にして需給を調節し、フライアッシュを商品化するかが、共通した重要な課題になっている。

7. フライアッシュ採取装置

フライアッシュ採取装置には、色々の形式があるが、主要な構成要素は、一般に次のとおりである。

- (1) 集じん装置
- (2) 輸送装置
- (3) 貯蔵装置
- (4) 包装装置

この外、フライアッシュの飛散防止のため、若干の付加装置が必要であり、また集じん器の種類形式によつては、分級設備を要する場合もある。

(1) 集じん装置

微粉炭燃焼ボイラでは、石炭の含有灰分の80~85%は、フライアッシュとなり、燃焼ガス中に浮遊して、煙道を通過する。それで煙突の前に、集じん装置を設けてこれを捕集する。普通集じん装置として、採りきれぬものに、次の三種がある。

(a) サイクロン集じん器

サイクロン集じん器は、多筒式を用いても、その効率は85%以下であるから、これによつて捕集されるフライアッシュは、粉末度が低くて、JIS規格に合格しない場合が多い、これから規格品を得ようとすれば、分級器にかけて、粗粒を除かなければならないから、設備費が高くつき、採取量もまた少ない。一般に、サイクロン集じん器のみでは、フライアッシュ採取用には適しない。

(b) コットレル電気集じん器

コットレルで捕集したフライアッシュの粒度分布は、5~10 μ の粒子が最も多く、比表面積は3,000内外またはそれ以上の粉末度を示し、そのまま規格フライアッシュとして、採集できるものもある。一般に粒度分布は、微粉炭の粉末度、炭種および燃焼状態によつて、かなり変化するから、粒度が荒くなつて、不合格品となることもある。この場合は、集じん器入口側ホッパーの粗粉を捨てることによつて、粉末度を調整し、規格品を採取することができる。

以上は、既設集じん器を利用して、後からフライアッシュを採取せんとする場合であつて、最初から計画する場合には、次の方法による。

(c) コットレル—サイクロン組合せ集じん器この方式は、最近の新設火力発電所には、専ら採用されているもので、コットレルの前にサイクロン集じん器を設け、これで粗粉を取り去り、残りの細粉を、コットレルで捕集するものである。この方式においては、両集じん器の捕集容量を如何に定めるかによつて、フライアッシュ採取設備の構成が変つてくる。

(i) 最初から、コットレルで捕集されるフライアッシュの粉末度が、比表面積3,200~3,500程度におけるように、前置サイクロンの特性を設計する場合である。この場合は、コットレルの分担が比較的多くなるので、その形も多少大きくなるが、前置サイクロンは単に分級器の役目をすればよいから、構造が簡単なものでよいばかりでなく、爾後の分級処理を必要としないので、設備が簡単になる。若し前置サイクロンをボイラ負荷に応じてその効率を調整し得る構造とすれば、フライアッシュの粒度調節に都合よい。

(ii) 前置サイクロンの効率を高くし、コットレルの負担を軽くする組合せであつて、この場合、コットレル

で捕集されるフライアッシュは、粉末度が極端に高くなり、品質はよくても、団結して取扱上支障を生ずるのでそのままでは、著しく商品価値を減殺するばかりでなく、その量も非常に少なくなる。したがつて、サイクロンで捕集したものを更に分級器にかけて粗粒分を除いた残分と混合して、適當の粉末度のフライアッシュを作る必要がある。この方式では、集じん装置の建設費は(i)より安くなろうし、粉末度の調節も自由になるが、分級および混合装置のため、設備が複雑となり、設備費が高くなることは免れぬ。

(2) 輸送装置

輸送方式にも、色々の種類があるが大別すれば、次の三種になり。

(a) 空気輸送

真空式と圧送式とがあるが、前者は比較的短距離に、後者は長距離輸送に適し、普通は集じん器ホッパーから、サイロまでの輸送に用いられる。集じん器の近くに、中間タンクを設ける場合には、この両者間は真空式とし、中間タンクからサイロまでを圧送式とする場合が多い。

空気式は比較的大きな動力を要し、設備も複雑になるので、操作に注意を要するが、通路は簡単かつ自由であつて、バンド以外の磨損も少ないといわれる。

(b) 機械輸送

スクリュウコンベヤ、チェーンコンベヤ、バケットエレベータなどを用うる方式であつて、一般には比較的短い小廻り輸送に用いられる場合が多い。これらの装置は構造単純なため、操作も簡単で、動力もまた少なく、適当に設計されたスクリュウコンベヤは、磨損も少ないが、長距離輸送には必ずしも適當でない。

ベルトコンベヤは、主として袋詰製品の貯蔵、積出しの輸送に用いられる。

(c) エヤースライドコンベヤ

エヤースライドコンベヤは、構造簡単であつて、ほとんど磨損がなく、保守に手数がかからないといわれているが、傾斜を要するので、主に短距離輸送に用いられる。

(3) 貯蔵装置

粉体貯蔵には、鋼板製またはコンクリート製のサイロを設ける。フライアッシュは貯蔵期間が長くなつても、品の低下はないが、フライアッシュによつては、下積部分が固結して出ない場合があるから、その対策が必要である。

サイロアッシュを引き出すには、チェーンコンベヤあるいはエヤースライドによるものが多い。引出されたフライアッシュを袋詰機まで輸送するには、(b)または

(c)の方法が、一般に採用されている。

製品貯蔵の必要ある場合には、袋詰室に隣接して、適当容量の倉庫を設ける。

(4) 包装装置

包装はセメントの場合と同じで、自動袋詰機を使用する。二連式または三連式を一人で処理するものも多く、能力は一機1時間当り 25 t に達するものもある。

(5) 分級および混合装置

分級器として、現在使用されているものは、サイクロン式のものと、回転翼を有する式のものがある。分級器は性能がよくて、分級粒子限界がシャープなもので、分級点がある程度調整できる構造のものが望ましい。

混合機には、機械式と空気式とがある。二種のフライアッシュの混合比率が変化せず、比重や粒径の異なる粉体が均一に混合されるような装置を選ぶことが必要である。

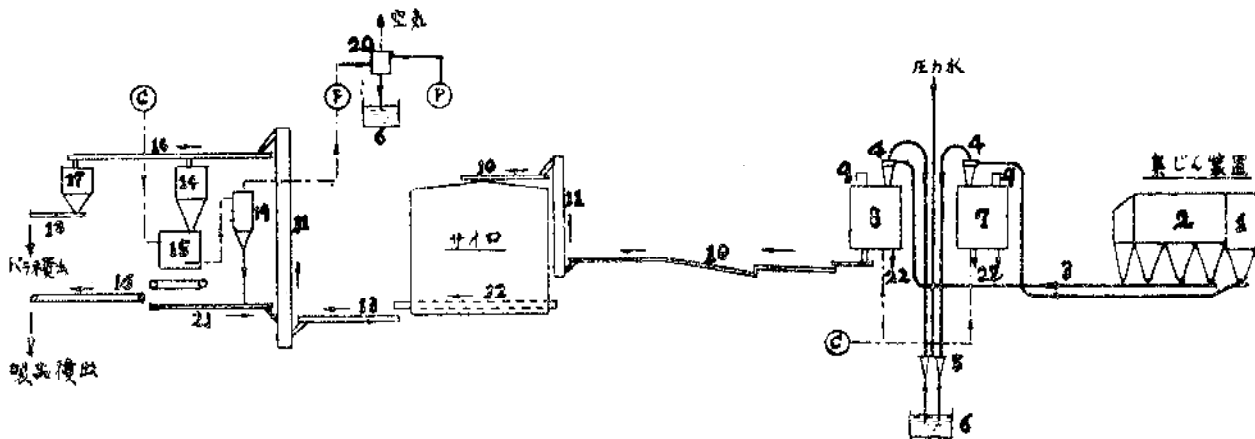
(6) 付属装置

フライアッシュは極微粒子を多量に含んでいるので、飛散し易いから、その対策を考えねばならない。空気輸送の場合は、普通末端排気処理には、バグフィルタを設けるか、あるいはまた、水洗浄化法を採用する。

袋詰の際、飛散するフライアッシュは、送風機を別に設けて、空気と共に吸引し、分離装置でこれを回収した上、排気は適当な方法で浄化する。

(7) 採取装置の一例

以上で、フライアッシュ採取上必要な各装置についてその概要をのべたが、これらの組合せ方によつて、現在色々な形式の採取設備が採用されている。一例として、関西電力大坂発電所の設備の方式を、第2図に示す。この設備では、集じん装置に、マルチクロン-コットレルの組合せを採用し、それから中間タンクまでの輸送は、真空式とし、中間タンク以後は、スクリュウコンベヤとケバットエレベータによる輸送方法を採用している。



- | | | |
|--------------|------------------|------------------|
| 1. マルチサイクロン | 10. スクリュウコンベヤ | 19. 回収用セパレータ |
| 2. コットレル | 11. バケットエレベータ | 20. 水洗浄化器 |
| 3. 真空輸送管 | 12. 引出チェーンコンベヤ | 21. 回収用スクリュウコンベヤ |
| 4. サイクロン | 13. 集積用スクリュウコンベヤ | C コンプレッサー |
| 5. ハイドロバヤ | 14. パッカサービスホッパ | F 送風機 |
| 6. アッシュポンド | 15. パッカ | P ポンプ |
| 7. コースアッシュビン | 16. ベルトコンベヤ | 22. 放棄用シュート |
| 8. フライアッシュビン | 17. サービスホッパ | |
| 9. バグフィルタ | 18. パラ積スクリュウコンベヤ | |

第 3 図 大坂発電所フライアッシュ採取設備略図