

ペーストによるフライアッシュの使用に関する研究

正員 国分 正胤*
 正員 三村 通精**
 正員 上野 勇***
 正員 細谷 浩正****

STUDY OF USE OF FLY ASH IN PASTE FORM

By Dr. Eng., Masatane Kokubu, C.E. Member, Michiyoshi Mimura, C.E. Member,
 Isamu Ueno, C.E. Member, and Hiromasa Hosoya, C.E. Member

Synopsis: This paper discusses the results of studies on use of fly ash pre-mixed with water to form a paste which is stored in large quantities, continuously agitated, and dispensed in small amounts instead of being used in conventional powder form. Basic studies conducted at the Department of Civil Engineering, University of Tokyo as well as studies at the fly ash Development Company are described and it is concluded that (1) when used in paste form the uniformity of fly ash is considerably improved and control in the case of air-entrained concrete is facilitated while handling problems usually encountered with fly ash are easily solved, (2) when fly ash is used in paste form workability and other properties of concrete are improved and mixing time can be shortened, and (3) a fly ash paste plant is less costly than a plant where fly ash is used in powder form and is less subject to breakdowns.

要旨 本文は、フライアッシュを用いる場合に、粉末のまま用いる代りにあらかじめこれを水と練り混ぜてペーストとして大量に貯蔵し、攪拌しながら少しづつ用いることについて研究した結果を論じたものである。すなわち、東京大学土木工学教室で行なった基礎研究について述べるとともに、電源開発KK奥只見工事現場に設置したフライアッシュペーストプラントで行なった研究の結果を述べ、(1) ペーストとして用いれば、フライアッシュの均等性がいちじるしく改善され、AEコンクリートの場合にも管理が容易になるばかりでなく、フライアッシュの取扱い上の困難も容易に解決できること、(2) ペーストとして用いれば、粉末のまま用いる場合よりもコンクリートのウォーカビリチーその他の性質が改善され、またコンクリートの練り混ぜ時間が短縮できること、(3) フライアッシュペーストプラントは粉末で用いる場合のプラントにくらべて、一般に安価であって故障も少ないと結論したものである。

1. 緒論

フライアッシュは優秀なポゾランであって、水理構造物のコンクリートに適当に使用すれば、ウォーカビリチー・強度・水密性・耐久性・等を改善するばかりでなく経済的にもなる。なお、マツシブなコンクリートに用いれば、硬化熱も緩和され一層有利となる場合が多い。

最近における、ダムおよびその他のコンクリート工事の隆盛につれて、フライアッシュの需要は増加の一途をたどっているが、その生産量も火力発電所の急速な拡充によって飛躍的に増加しているので、フライアッシュの使用方法について研究することは大いに必要なことと考えられる。

フライアッシュは火力発電所の二次製品であるから、これを大規模で重要な工事に用いる場合には、まず良質で均一な製品を選ぶことが大切であることは論をまたない。しかし、このように良好な製品を用いるとしても、なお各種の困難な問題点が考えられる。すなわち、(1) JIS A 6201-1958****に合格するフライアッシュであっても、粉末度および含有炭素量が工事中にいくぶん変動し、これが AE コンクリートの管理を困難にする場合があること、(2) 一部のフライアッシュは、貯蔵中に固まる傾向があるので、空気式の輸送が困難となったり、ま

* 工学博士 東京大学教授 工学部 土木工学教室

** 電源開発KK奥只見建設所長

*** 電源開発KK奥只見建設所ダム工区長

**** 電源開発KK奥只見建設所ダム工区員

***** 日本工業規格 フライアッシュ

た、サイロからの引き出しや計量が困難となったりする場合があること、(3) フライアッシュは軽くて飛散しやすいので、計量設備に防塵の処置を講ずる必要があること、(4) フライアッシュの需要は夏季に激増するが、その生産量は電力負荷の大きい冬季には多いが夏季には少なくなり、工事現場で必要量を入手するのに困難となる場合があること、等である。

フライアッシュをコンクリートの混和材料として活用するためには、これらの困難を解決するための方法について研究することがぜひ必要である。困難を解決する一方法として、フライアッシュをあらかじめ水に溶しペーストとして使用する方法を考案し、昭和 29 年から現在までこの方法について研究している。

本論文は、ペーストによるフライアッシュの使用について東京大学土木教室および電源開発 KK 奥只見工事現場で研究した成果を取りまとめたものである。

研究の実施に当っては吉田徳次郎先生より御懇意なる御指導を賜わった。ここに謹んで厚く御礼申上げる。なお、現場実験にさいし積極的に御協力いただいた鹿島建設 KK 奥只見出張所の技術者各位、ならびに終始熱心に実験に従事していただいた東京大学土木教室コンクリート実験室および電源開発 KK 奥只見建設所コンクリート試験室の諸君に厚く御礼申上げる。

2. ペーストによるフライアッシュの使用に関する基礎研究

(1) ペーストによるフライアッシュの使用が、コンクリートの均等性およびウォーカビリチーにおよぼす影響

AE コンクリートの場合にフライアッシュを用いると、フライアッシュの微粉末およびフライアッシュ中に少量ふくまれる活性炭素によって、AE 剤が吸着される。従って所望の空気量を得るために、単位 AE 剤量を、フライアッシュを用いない場合よりも相当に増加する必要が起るが、単位 AE 剤量が増加する程度は、フライアッシュの品質によっていちじるしく相違する。土木学会フライアッシュ小委員会の共通試験結果にも、フライアッシュを用いない場合の 1.3 倍～9 倍の単位 AE 剤量となったと報告されている¹⁾。

単位 AE 剤量が増加する程度は、フライアッシュの粉末度および活性炭素量の変動によって変化するのであって、単位 AE 剤量を一定に保ってコンクリートをつくれば空気量が変化する。フライアッシュは火力発電所の二次製品であるから、粉末度および含有炭素量がある程度まで変動することは避けられないことである。従って、フライアッシュを粉末のまま AE コンクリートに用いると、良質のフライアッシュでない限り活性炭素の含有量、粉末度、等の変動によって、コンクリートの空気量およびウォーカビリチーが変化し、コンクリートの管理が困難となる場合が多いと考えられる。

土木学会のフライアッシュ小委員会では、先般、フライアッシュの共通試験¹⁾を行なったが、その試験試料においては、これらの変動が認められたことがある。この試料は入念に混合してブリキ缶へ入れ密封して実験室に届けられたものであるが、粉末のまま上部から少しずつ同じ配合のコンクリートに用いた場合、図-1 のように、コンクリートの空気量、スランプおよび強度が変動したことがある。すなわち、それぞれ 3 分間練り混ぜた 10 バッチのコンクリート {粗骨材の最大寸法 = 25 mm, 単位セメント フライアッシュ量 ($C+F$) = 300 kg, フライアッシュによるセメントの置き換え率 ($F/(C+F)$) = 25%} において、空気量は 5.2～2.9%, スランプは 6.4～2.6 cm, 材令 28 日における圧縮強度は 389～319 kg/cm² と変化した。

図-1 は共通試験の試料 No. 106¹⁾において認められた変動であって、No. 106 の試料は、あまり良好なフライアッシュではない。従って、あらゆるフライアッシュにおいてこの程度の変動が生ずると限らないが、これが入念に混合された試料であり、コンクリートは十分に練り混ぜられたプラスチックなものであったことを考慮すると、よほど良質なフライアッシュでない限り、AE コンクリートの管理が困難となる場合のあることを暗示するものである。

図-2 は 5 バッチ分のフライアッシュをあらかじめ水にとかして濃度（水フライアッシュ重量比を濃度と呼ぶことにする）60%のペーストとして貯蔵し、このペーストをよくかくはんしながら所定量ずつ計量して用いた場合における、コンクリート諸性質の変動を示したものであって、空気量は 5.0～3.8%, スランプは 5.3～3.0 cm, 28 日圧縮強度は 340～313 kg/cm², の変動に過ぎない。この実験結果は、フライアッシュをペーストとして用いれば、コンクリートの均等性がいちじるしく改善され、コンクリートの品質管理が容易になることを明瞭に示すものである。

フライアッシュが火力発電所の二次製品であるために起こる不便として、その生産量が一定していない点もあげられる。河川流量の多い夏季には、火力発電所の負荷率を落すことが多く、これがためにフライアッシュの生産量は減少する。

図-1 フライアッシュを用いたコンクリートの諸性質の変動

粗骨材の最大寸法=25 mm, 単位セメント フライアッシュ量 ($C+F$)=300 kg, 単位水量=127 kg, フライアッシュによるセメントの置き換え率=25%, 共通試料 No.106 のフライアッシュを粉末のまま使用した。セメントも共通試料のものを用いた。単位ビンゾール量=103 g

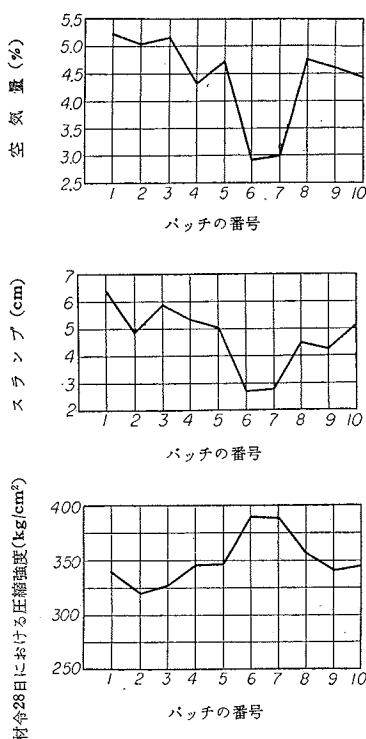
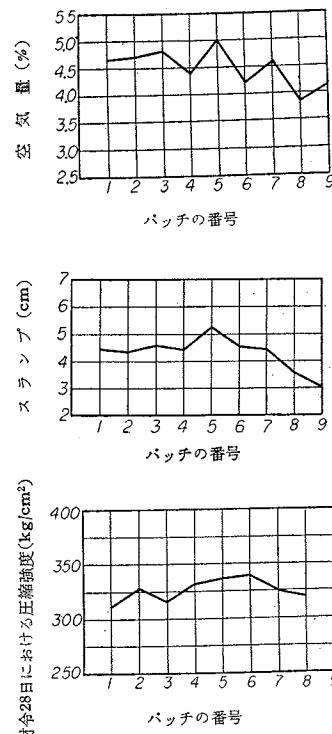


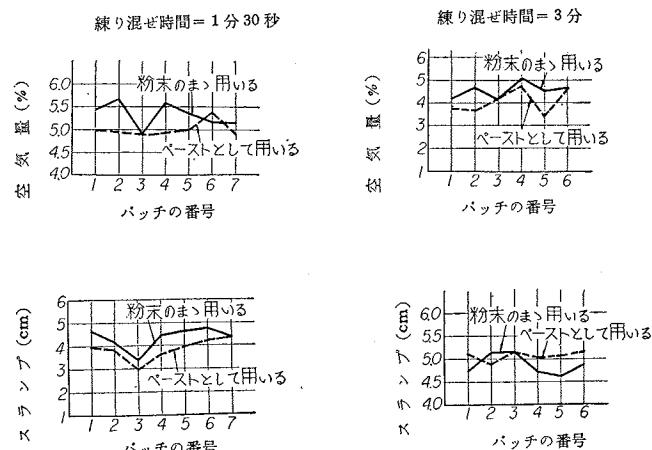
図-2 フライアッシュを用いたコンクリートの諸性質の変動

粗骨材の最大寸法=25 mm, 単位セメント フライアッシュ量 ($C+F$)=300 kg, 単位水量=127 kg, フライアッシュによるセメントの置き換え率=25%, 共通試料 No. 106 のフライアッシュをペーストとして使用した。セメントも共通試料のものを用いた。単位ビンゾール量=110 g



しかし、この時期は一般に工事の最盛期であるので、フライアッシュの需要が供給を上まわり、工事現場でフライアッシュの所要量を入手するのが困難となる場合も多い。この困難は、新鋭火力発電所の新設とともに現在では次第に解消しつつあると思われるが、小河内ダム*, 田子倉ダム**, 等においては、供給量不足のために所望量の 1/2~1/3 だけを使用したと工事記録に述べられている。奥只見ダムにおいても、昭和 33 年度には、固まる傾向の少ないフライアッシュだけを用いたために、供給量が不足し所望量の 1/3 を使用したことにどまったのである。このような供給量の不足が予想される場合でも、数工場のフライアッシュを混用することにすれば工事に支障を来たすおそれは少なくなる。

図-3 フライアッシュを用いたコンクリートの諸性質の変動
A, B, 2社のフライアッシュを等量ずつ混用した。粗骨材の最大寸法=25 mm, 単位セメント フライアッシュ量 ($C+F$)=300 kg, フライアッシュペーストは、濃度(水フライアッシュ比)を 55% とし、手で練り混ぜた。フライアッシュによるセメントの置き換え率($F/(C+F)$)=25%, 単位水量=129 kg



* 佐藤志郎: 小河内ダム工事報告, 土木学会誌 第43巻12号 (昭和32年12月)

** 電源開発KK田子倉建設所, コンクリート製造年報 昭和33年度

図-3 は、2種類のフライアッシュを50%ずつ混用したコンクリートについて、粉末のまま用いた場合とペーストとして用いた場合における、コンクリートの空気量およびスランプの変動を、連続した6~7バッチにおいて比較したものである。図-3には、練り混ぜ時間が短かい場合には、ペーストとして用いる場合の方が均等性が向上することが示されている。数種のフライアッシュを混用する場合には、ペーストによる使用が計量に便利であるばかりでなく、コンクリートの均等性を高めるためにも有利であると思われる。

表-1 は、粗骨材の最大寸法を100mm・単位セメント・フライアッシュ量($C+F$)を151kg・フライアッシュによるセメントの置き換え率($F/(C+F)$)を20%・単位水量を75kg・単位ボゾリス量を378g($C+F$ の0.25%)・空気量を約3.6%とし、たる型0.11m³(4切)ミキサを用いて1分30秒間練り混ぜたコンクリートについて、フライアッシュをペーストとして用いた場合と粉末のままで用いた場合における、ウォーカビリチーを

表-1 フライアッシュを用いたマスコンクリートのウォーカビリチー

粗骨材の最大寸法=100mm、西多摩工場製アソノセメントとB会社製フライアッシュとを用いた。

単位セメント・フライアッシュ量($C+F$)=151kg

フライアッシュによるセメントの置き換え率($F/(C+F)$)=20%

単位水量=75kg、絶対細骨材率=25%

ボゾリスNo.8を($C+F$)の0.25%用いた

0.11m³(4切)たる型ミキサを用い、材料全部を投入してから1分30秒間練り混ぜた

フライアッシュ	ミキサへの材料投入の順序	空気量(%)	スランプ(cm)	ウォーカビリチー	材令3月における圧縮強度(kg/cm ²)
粉末のままで用いる	ミキサを回転し一定の速度で水を注入し、使用水量の約30%の水が入ったとき、セメント、フライアッシュ、砂および砂利を同時に一様な速度で投入し、これらの投入が終ったのち残りの約30%の水を注入する。	3.8	1.3	良い	305
	ミキサを回転し一定の速度で水を注入し、使用水量の約30%の水が入ったとき、あらかじめ入念に空練りしておいたセメントとフライアッシュとの混合物、砂および砂利を同時に一様な速度で投入し、これらの投入が終ったのち残りの約30%の水を注入する。	3.7	0.7	良くない	305
	使用水量の85%の水をミキサに入れ、つぎにあらかじめ入念に空練りしておいたセメントとフライアッシュとの混合物を入れてからミキサを回転し、15秒後に砂および砂利を同時に一様な速度で投入し、これらの投入が終ったのち残りの約15%の水を入れる。	3.4	1.5	良くない	314
ペーストとして用いる	使用水量の37%の水をミキサに入れ、つぎにフライアッシュを入れてからミキサを回転し、15秒後に注水し始め、合計して約60%の水がミキサへ入ったとき、セメント、砂および砂利を同時に一様な速度で投入し、これらの投入が終ったのち残りの約15%の水を注入する。	3.5	1.2	きわめて良い	302
	使用水量の29%の水とフライアッシュとを1分間練り混ぜてフライアッシュペーストを造る。このペーストと使用水量の8%の水を入れてからミキサを回転し、15秒後に注水し始め、合計して約60%の水がミキサへ入ったとき、セメント、砂および砂利を同時に一様な速度で投入し、これらの投入が終ったのち残りの約15%の水を注入する。	3.6	1.5	きわめて良い	315
備考	(1) ボゾリスはあらかじめ練り混ぜ用水に加えておいて用いた。 (2) それぞれ3回の試験値の平均値を示した。				

比較した結果を示したものである。ウォーカビリチーは、練り混ぜたコンクリートを50cm×50cm×50cmの木箱へ詰め外径5cmの内部振動機を3箇所に挿入し締固めて観察し、これを判定した。表-1からフライアッシュをペーストとして用いれば、コンクリートのウォーカビリチーが改善されることが認められる。フライアッシュとセメントとを粉末のまま、あらかじめ混合しておいて用いた場合のウォーカビリチーは最も悪くなつた。これは、セメント粒がフライアッシュと水との接触を遅らせること、その他によるとと思われる。

表-1の圧縮強度は、それぞれ、ミキサから吐き出されたコンクリートから40mm以上の粗骨材粒をふるい去り、入念に切り返したコンクリートを用いてつくった供試体の試験結果であって、ペーストとして用いた場合の強度も粉末のまま用いた場合の強度も、ほとんど同等となっている。しかし、このような試験方法を採らずにバッチ内におけるコンクリートの強度の変動を試験したとすれば、ペーストの場合と粉末の場合とで、強度の変動は相違したと思われる。

図-4は、粗骨材の最大寸法を25mm・単位セメント・フライアッシュ量($C+F$)を300kg・フライアッシュによるセメントの置き換え率($F/(C+F)$)を25%・スランプを約4.5cm・空気量を約5%としたコンクリートのブリージング率を、ペーストとして用いた場合と粉末のまま用いた場合について、比較した結果を示したものであつて、ペーストとして用いる場合にはブリージングが減ずることが認められる。

これらの実験に用いたペーストは、手練りで練り混ぜたものであったが、圧縮空気、高速回転のミキサ、等で十分に練り混ぜたペーストを用いる場合には、コンクリートのウォーカビリチーは一層改善されると思われる。ウォーカビリチーの差は、ペーストの練り混ぜ方法のみならず、コンクリートの材料および配合、ミキサの型式および容量、練り混ぜ時間、等によっても相違し、コンクリートが硬練りであるほどペーストによる利点がいちじるしくなると思われる。

(2) ペーストによるフライアッシュの使用がコンクリートの耐久性におよぼす影響

フライアッシュと水とを練り混ぜてペーストをつくれば、フライアッシュ粒が水と接触し、粒の間に包含されていた空気泡が練り混ぜ中に相当に追い出される。従ってフライアッシュを用いたAEコンクリートにおいては、同じ空気量であってもその中のエントレインドエアーの量は、フライアッシュをペーストとして用いた場合の方が粉末で用いた場合よりも大きくなると思われる。

表-2は、同じ空気量を得るに必要な単位AE剤量をペーストとして用いる場合と粉末で用いる場合とで比較した一例である。ペーストの場合には単位AE剤量が、粉末のまま用いる場合より、10%程度増加することが示されている。これがコンクリート中のエントラップドエアーの減少によるものであるかどうかを確かめるために、コンクリートの凍結融解試験を行なった。

粗骨材の最大寸法25mm・単位セメントフライアッシュ量約300kg・フライアッシュによるセメントの置き換率25%・スランプ約4.5cmのAEコンクリートについて、フライアッシュをペーストとして用いた場合と粉末のまま用いた場合における、凍結融解に対する耐久性を比較した。単位AE剤量は、それぞれ、同じ空気量が得られるように定めたのである。用いたセメントおよびフライアッシュの試験結果は表-3のようであった。

コンクリートの空気量は2.1, 3.2, 4.4, 5.0%の4種とした。凍結融解試験方法はASTM C 290-57 T*に準じ²⁾、試験を開始した時の材令は28日である。

試験の結果は、図-5および図-6に示すようである。コンクリートの強度においては、ペーストとして用い

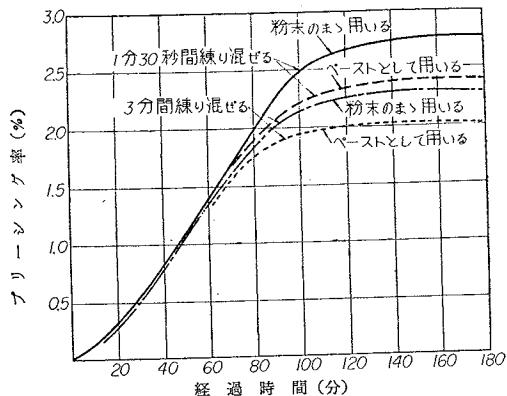
表-2 フライアッシュを用いたコンクリートにおける単位AE剤量の一例

コンクリート	フライアッシュ	練り混ぜ時間	単位AE剤量	スランプ	空気量
粗骨材の 最大寸法 =25mm	単位セメントフライアッシュ量 $(C+F)=300\text{ kg}$ フライアッシュによるセメント の置き換率 $(F/(C+F))=25\%$	粉末のまま用いる ペーストとして用 いる	2切ミキサで1分 30秒間練り混ぜる	国産AE剤 54g	4.5cm
				国産AE剤 60g	4cm
	単位水量 $(W)=129\text{ kg}$	粉末のまま用いる ペーストとして用 いる	2切ミキサで3分 間練り混ぜる	国産AE剤 40g	4.5cm
				国産AE剤 47g	4.5cm
	$C+F=300\text{ kg}$ $(F/(C+F))=25\%$ $W=129\text{ kg}$	粉末のまま用いる ペーストとして用 いる	2切ミキサで3分 間練り混ぜる	国産AE剤 48g	4.5cm
				国産AE剤 48g	4.2cm
	$C+F=296\text{ kg}$ $(F/(C+F))=25\%$ $W=123\text{ kg}$ 国産ポリス=(C+F)の0.25%	粉末のまま用いる ペーストとして用 いる	2切ミキサで3分 間練り混ぜる	国産AE剤 5g	5cm
				国産AE剤 8g	4.5cm
備考	フライアッシュペーストは、フライアッシュと水とを手で練り混ぜてつくった。 ペーストの濃度(水フライアッシュ比)は55%または60%とした。				

図-4 フライアッシュを用いたコンクリートの
ブリージング

西多摩工場製アサノ普通ポルトランドセメントを用い、A、B 2社のフライアッシュを等量ずつ混用した。

粗骨材の最大寸法=25mm、単位水量=129kg、単位セメントフライアッシュ量($C+F$)=300kg、空気量=約5%、フライアッシュによるセメントの置き換率($F/(C+F)$)=25%スランプ約4.5cm、フライアッシュペーストは、濃度(水フライアッシュ比)を55%とし、手で練り混ぜたコンクリートは2切ミキサを用いて練り混ぜた。それぞれ6~7バッチにおける平均値を試験値とした。



* Tentative Method of Test for Resistance of Concrete Specimens to Rapid Freezing and Thawing in Water.

表-3 セメントおよびフライアッシュの試験成績

西多摩工場製 アサノ普通 ポルトランド セメント	比重	粉未度		凝結		安定性 (煮沸)(mm)	曲げ強さ(kg/cm²) 3日 7日 28日	圧縮強さ(kg/cm²) 3日 7日 28日	強熱 減量 (%)	マグネ シア (%)	無水 硫酸 (%)
		88μ残分 (%)	ブレーン値 (cm²/g)	水量	始発 (時-分)						
3.16	2.6	3 120	26.0	2-36	3-13	良	239 28.6 45.7	70.5 114 208	422 0.66	1.38	1.55
区 分		シリカ (%)	湿 分 (%)	強熱減量 (%)	比 重	粉 末 度	単位水量比 ブレーン値44μふるい (cm²/g) 残分(%)	圧 縮 強 度 比 (%) 7 日 28 日 91 日			
A 会社製フライアッシュ		56.3	0.2	1.3	2.21	3 840	2.9 94	80	85	—	
B 会社製フライアッシュ		57.8	0.1	1.2	2.15	3 020	13.9 95	—	68	85	

た場合も粉末として用いた場合も大差は無かったが、凍結融解に対する耐久性においては相当な差が認められ、ペーストの場合の方が耐久性がすぐれている。これらの試験結果は、ペーストとして用いる場合には、空気泡の中のエントレインド エアーの割合が増加し、コンクリートの耐久性が改善されることを示唆するものと思われる。

以上に述べた基礎研究により、フライアッシュのペーストによる使用は、コンクリートのウォーカビリティー、均等性および耐久性を改善し、有利であることが明らかにされたが、なお、フライアッシュの取扱い上からも有利になると思われる。フライアッシュの中には、短期間の貯蔵によっても固まるものが相当にあり、運搬途中でエアー スライダー、フランクソー、等の空気式輸送機の中を通過しなくなったり、サイロやビンの出口でアーチ作用を起こして、引出し不能に陥ったりすることがある。この固まる傾向は湿度が高い場合に特にいちじるしいのであって、フライアッシュの一つの欠点ともいえる。このような傾向のあるフライアッシュでも、ペーストとしてならば容易に使用することができる。ある。

これらの利点をさらに実地に検討するため、また、フライアッシュ ペーストの取扱い装置の基準を得るとともに、これが使用上の諸注意事項を明らかにするために、3. および 4. に述べるように、奥只見ダム工事現場で研究を継続したのである。

3. フライアッシュ ペーストの取扱い装置について

(1) フライアッシュ ペーストの取扱い装置

フライアッシュ ペーストの取扱い装置は、フライアッシュと水とを短時間内に十分に練り混ぜることができるとともに、ペーストをミキサへ投入するまでの間、すなわちペースト タンク・輸送パイプ・計量槽等の中でペーストが分離を起さないようなものでなければならない。またペーストをつくるために用いる水量を、所望のコンステンシーがえられる範囲で、なるべく少なくできるようなものでなければならない。この水量は、示方配

図-5 フライアッシュを用いたコンクリートの凍結融解試験結果

西多摩工場製アサノ普通ポルトランドセメントを用い、A, B 2社のフライアッシュを等量ずつ混用した。粗骨材の最大寸法=25 mm, 単位セメントフライアッシュ量($C+F$)=302 kg, スランプ=約 3.5 cm, セメントによるフライアッシュの置き換え率=25%, 国産の AE 剤を用いた。

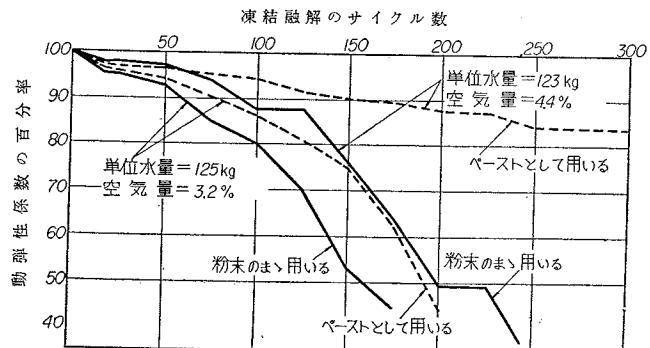
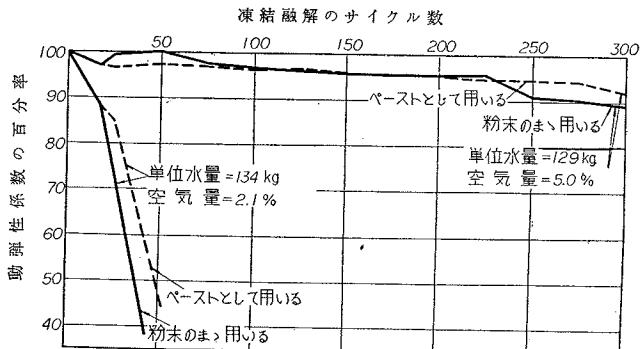


図-6 フライアッシュを用いたコンクリートの凍結融解試験結果

西多摩工場製アサノ普通ポルトランドセメントを用い、A, B 2社のフライアッシュを等量ずつ混用した。粗骨材の最大寸法=25 mm, 単位セメントフライアッシュ量($C+F$)=298 kg, スランプ=約 5 cm, セメントによるフライアッシュの置き換え率=25%, 国産ポゾリスを($C+F$)の0.25%用い、さらに国産 AE 剤を適量加えて所望の空気量とした。



合における単位水量から骨材の表面水量を減じた水量より、ある程度少ないものであることが望ましい。なお装置全体は、構造が簡単で運転が容易であり、建設費も運転費も経済的な限界内になければならないことは当然である。これらの点を考慮して、図-7、図-8、図-9に示すような装置を考案し、奥只見ダム工事現場に設備したのである。

このプラントは、 3 m^3 (112切) のミキサ4台を備えたジョンソン型バッチャー プラントに接続していて、毎時約12tのフライアッシュを処理する能力を持っている。

まず、フライアッシュを一定の比率の水とともに、円筒形の空気攪拌式溶解槽の中に投入し、所定の濃度のペーストをつくる。この溶解槽の中に直径25mmのガス管を挿入し、管の上部から圧縮空気を送り、下部で噴出させ攪拌を行なうのである。1回に溶解するフライアッシュの量は2.8tである。フライアッシュの計量は、1袋を40kgとした袋単位で行ない、また水は容積で計量している。溶解に要する時間は、フライアッシュの状態によっても異なるが、5~10分程度である。

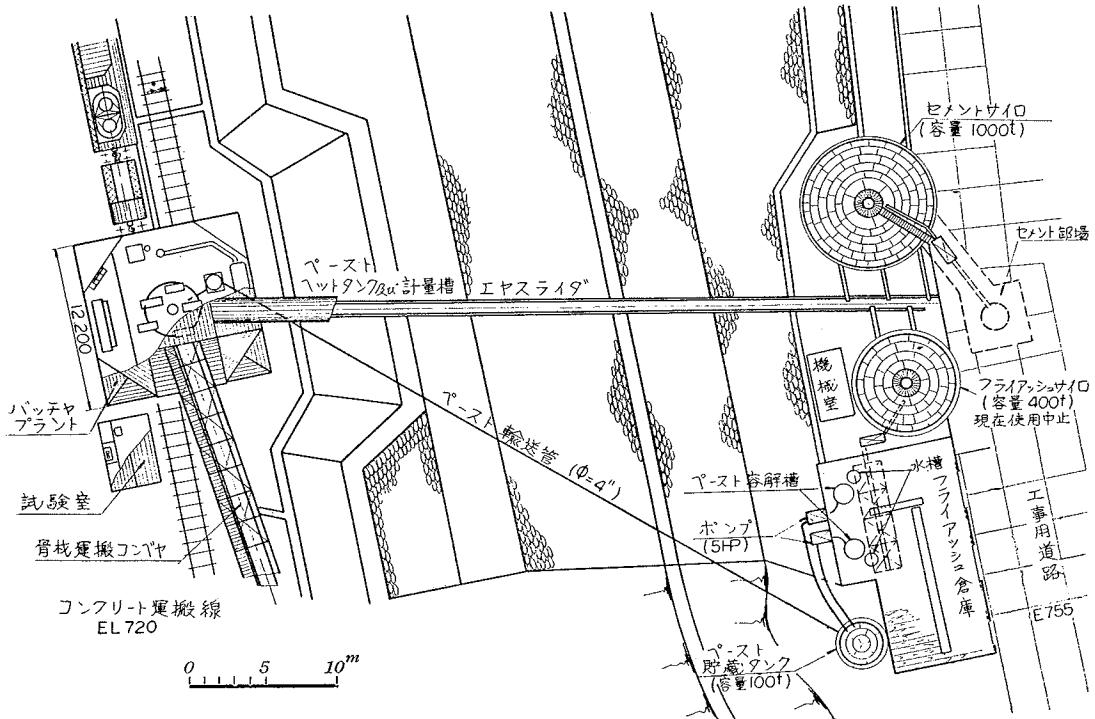
溶解したペーストは、サンドポンプにより貯蔵タンク(容量120t)に輸送する。このタンクにも空気を送り攪拌を継続する。これは、フライアッシュの品質を均等にするため、およびペーストの分離を防ぐためのものである。溶解または攪拌に使用する空気の圧力は、タンクの底部におけるペーストの圧力よりも若干大きければ足りるのであって、奥只見工事現場では、 6 kg/cm^2 程度の圧力で送られてくる圧縮空気を、 3 kg/cm^2 前後に減圧して使用している。

ヘッドタンクより先の構造は、普通のバッチャー プラントの計量装置と同様で、計量槽・コレクター ホッパーを経てミキサに至る。従って、バッチャー プラントは、フライアッシュをペーストとして使用しても特別に改造する必要は無かった。実験の結果から、ペーストがある程度長い距離をほとんど分離しないで自然流下できるようなパイプの最少勾配は、約1/10であることが確かめられた。それで、ペーストを自然流下させるパイプには、これよりゆるい勾配や凹部を、なるべく設けないようにつとめたのであって、やむを得ず設ける場合やバルブの前面などには、空気パイプを配管してペーストの分離を防いだ。

写真-1、2および写真-3はそれぞれ、フライアッシュ溶解所および貯蔵タンクの全景、溶解槽のフライアッシュ投入口、ヘッドタンクとペーストの計量槽、を示すものである。

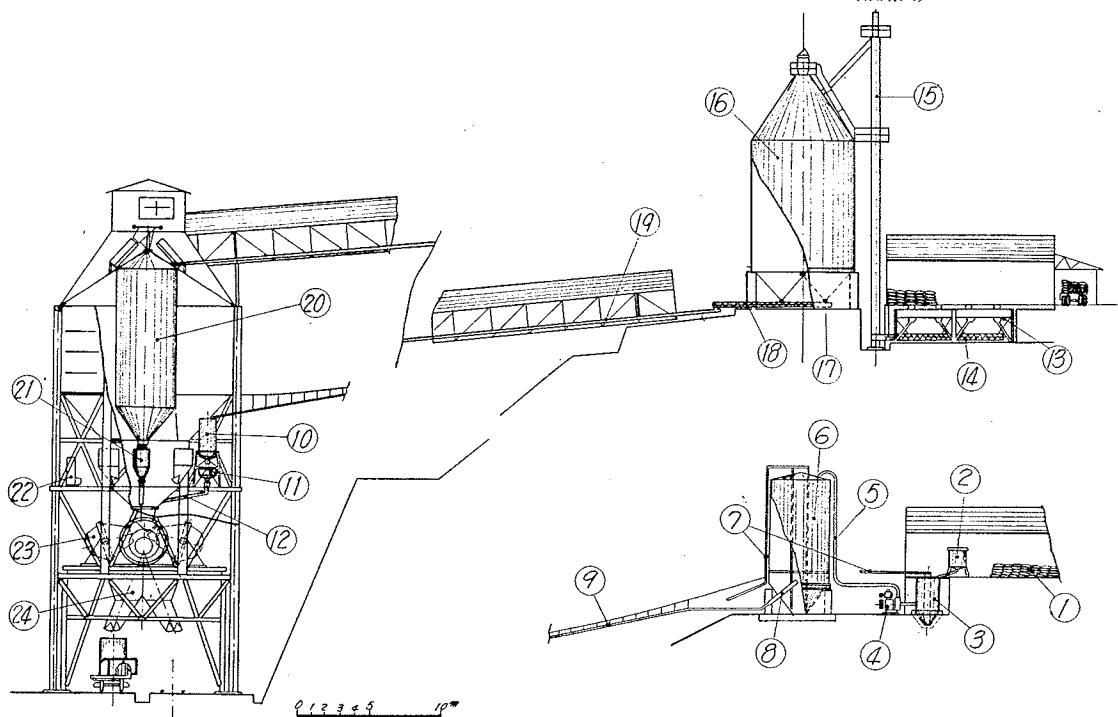
このプラントは、昭和34年8月に運転を開始して以来、同年12月までに、約31000tのフライアッシュを処理

図-7 奥只見ダム工事現場に設置したフライアッシュ ペースト プラント(一般平面図)



注：フライアッシュ サイロは粉末のままフライアッシュを練り混ぜていたとき使用したものであって現在は使用していない。

図-8 奥只見ダム工事現場に設置したフライアッシュ ベースト プラント (縦断面)



注:ベースト プラント

① 索詰めフライアッシュ (1袋 40 kg), ② 水の計量槽, ③ ベースト溶解槽, ④ ポンプ (10 HP ϕ 7.5 cm),
 ⑤ ベースト輸送管 (ϕ 7.5 cm), ⑥ ベースト貯蔵タンク (容量 120 m³), ⑦ エヤー パイプ (溶解槽や貯蔵タンクの攪拌用である), ⑧ 引出しバルブ (バッチャーハッド タンクの水位と運動させた), ⑨ ベースト輸送管 (ϕ 10 cm), ⑩ ハッド タンク (オーバーフロー付), ⑪ 計量槽 (自動遠隔操作方式), ⑫ ベースト放出管 (ϕ 20 cm コクターホッパに開口)
 ⑬ 解体ホッパ, ⑭ スクリュー コンベヤ (7.5 HP), ⑮ パケット エレベータ (7.5 HP), ⑯ フライアッシュ サイロ (容量 400 t), ⑰ ロータリーバルブ, ⑱ スクリュー コンベヤ, ⑲ エヤー スライダー, ⑳ フライアッシュ貯蔵ビン (容量 40 t), ㉑ 計量槽 (自動遠隔操作方式),
 ㉒ 計量操作盤, ㉓ ミキサ 3 m³ (112 切), ㉔ ウエット ホッパ

粉末 プラント

バッチャーブラント

図-9 奥只見ダム工事現場に設置したフライアッシュ ベースト プラント (詳細図)

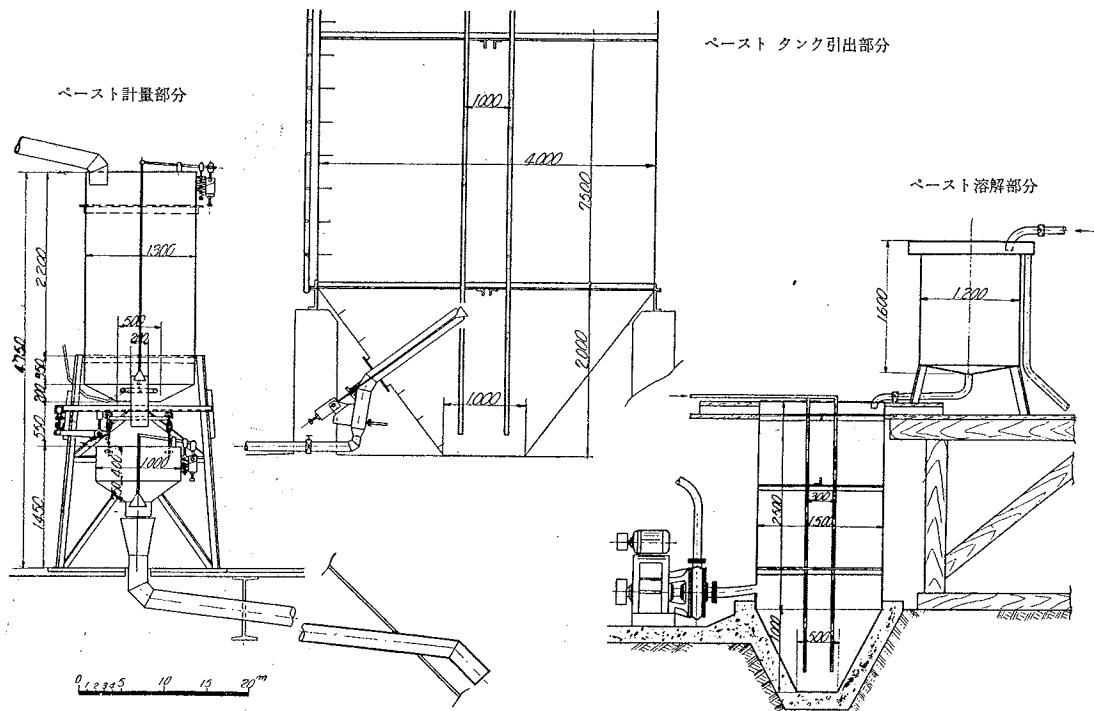


写真-1 フライアッシュ溶解所および貯蔵タンクの全景

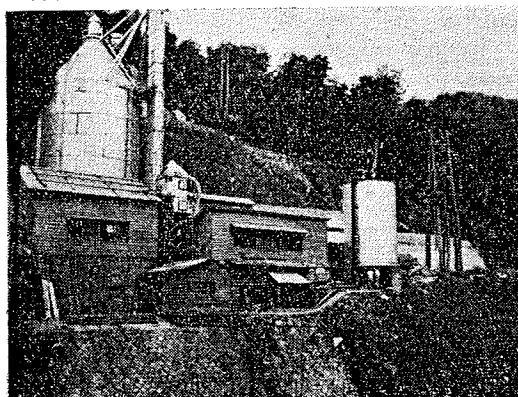
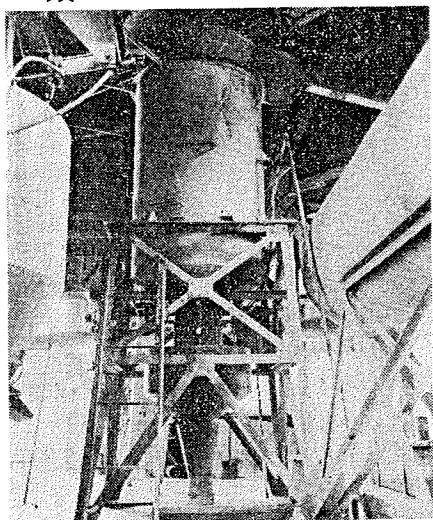


写真-2 溶解槽のフライアッシュ投入口



写真-3 ヘッドタンクとペースト計量槽



したが、運転中故障または事故による休止は皆無であった。その間、バッチャープラントで調査したペーストの計量精度は、表-4に示すとおりであって、セメント水・骨材等の他の材料の計量精度と比較して同等であると認められる。また計量槽で行なったペースト濃度の試験結果は図-10のようであった。

フライアッシュペーストの濃度は、フライアッシュに対する水の重量比で表わした。この試験値は、容量1lのシリンドラー容器を用いてペーストの単位容積重量を測定し次式によって求めた。

$$\text{ペーストの単位容積重量 } d = \frac{W - W'}{V} \cdots \cdots (1)$$

$$\text{ペーストの濃度 } D = \left(1 - \frac{d}{\rho}\right) / (d - 1) \cdots \cdots (2)$$

ただし W : 容器とフタとペーストの重量、

W' : 容器とフタの重量、 V : 容器

の容積(水を用いて検定した), ρ : フライアッシュの比重

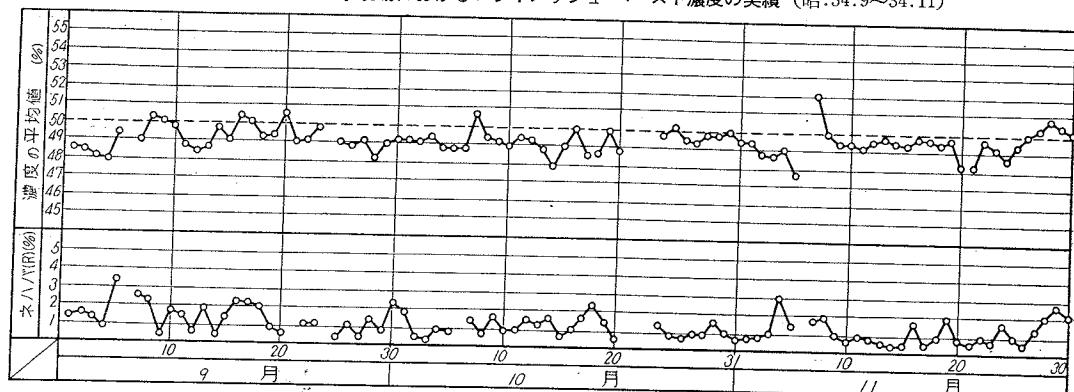
試料のペーストは、パケツで採取した2~3lのものであつて、容器へ詰めるさいには、常に攪拌して分離を防ぎながら行なつたものである。この方法による試験値を、試料を乾燥して求めた濃度と比較した結果は、表-9に示したようにほとんど同じ値となつた。また、この方法ははなはだ簡単であつて馴れてくれば数分で行なうことができるから、フライアッシュの管理試験方法として、信頼度も高く便利な方法であると思われる。

事故、休日、その他の理由により、ペーストタンクの攪拌作業が停止することも起りうる。この場合停止中にペーストは分離するが、攪拌停止期間がいちじるしく長くならない限り、再び圧縮空気を送れば容易にもとの状態に復するのである。

表-4 奥只見工事現場における、コンクリート材料計量精度の一例

材 料	計量の目標値 (kg)	誤 差		秤の容量および 最小目盛	備 考
		平均値 (kg)	標準偏差 (kg)		
セメント	295	+0.22	2.4	秤 容量 1500 kg 最小目盛 5 kg	1) 計量はすべてコンクリート $3 m^3$ に対するものである。
フライアッシュ ペースト	185	+0.29	2.4	秤 容量 500 kg 最小目盛 2 kg	2) 1日に6回各材料を計量し、 それぞれの計量値を秤の目盛りで読み取り、この読みと目標値との差を誤差とした。なお、秤の目盛りはこの試験の前後に実重量で検定したのである。
水	200	+0.64	2.2	秤 容量 750 kg 最小目盛 2 kg	
細骨材	1 570	+2.	12.		
粗骨材	玉 石 (150~80)	1 430	-9.	秤 容量 2 500 kg	
	大 砂 利 (80~40)	1 320	+1.	最小目盛 10 kg	
	中 砂 利 (40~20)	1 120	+2.		
	小 砂 利 (20~5)	1 220	+4.		

図-10 奥只見ダム工事現場におけるフライアッシュ ベースト濃度の実績 (昭.34.9~34.11)



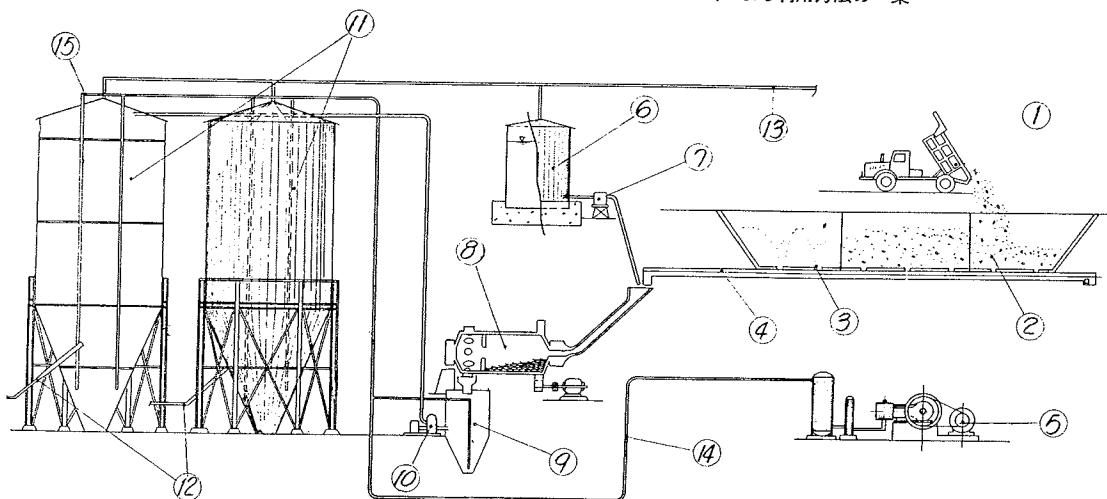
- 注 1) ベーストの試料は、1日に6回パッチャーブラントの計量槽に流入するものを採取した。
 2) 濃度の値は容量約1lのシリンドーを用い、ベーストの単位容積重量を試験して算出した。6個の測定値の平均値を図示したものである。
 3) ネハバ(R)は6個の測定値の最大と最小との差である(統計学的には $\sigma=0.3946 R$ で表わされる)。
 4) 濃度の目標値は50% (フライアッシュ100に対して水50)であるが、この期間の平均値 \bar{x} は49.4%であった。また標準偏差 σ は0.93%であった。

以上は奥只見ダム工事現場に設備したベースト プラントであるが、この種のプラントは、現場の状況に応じて適当に設計すべきものである。奥只見では、付近に工事用の大きな圧縮空気の工場があったので、ベーストの溶解、攪拌等にすべて圧縮空気を使用したのである。圧縮空気を用いるよりも、グラウトミキサ、その他を用いて練り混ぜる方が適当な場合もある。また大量のフライアッシュを、運搬用自動車その他によって正しく計量できる場合には、バラ輸送のフライアッシュを用いる方が有利となる。

フライアッシュを直接貯蔵タンクの中に投入することが可能ならば、溶解槽・ポンプ等が省略でき、プラントが非常に簡略になる。

ベースト貯蔵タンクを2基以上設けて、交互に使用するようすれば、単位 AE 剂量その他を、用いる前に調査することができて、AE コンクリートの品質管理に大いに役立ち、比較的均一性の劣るフライアッシュの利用も可能になると思われる。このようなベースト プラントを使用すれば、JIS A 6201* に合格するフライアッシュばかりでなく、現在ほとんど未利用のまま放置されているポンド アッシュ・サイクロン アッシュの使用も可能となる場合があろう。

図-11 ポンド アッシュ・サイクロン アッシュの湿式による利用方法の一案



注: ①ダンプ トラック, ②原料貯蔵ビン, ③フィーダー, ④スクリュー コンベヤ, ⑤コンプレッサ, ⑥水槽, ⑦流量調節バルブ, ⑧ミル, ⑨ベースト集合槽(エヤーにより攪拌), ⑩ポンプ, ⑪ベースト貯蔵タンク, ⑫引出バルブ(パッチャー ブラントに至る), ⑬給水パイプ, ⑭エヤー パイプ, ⑮ベースト貯蔵タンク攪拌用エヤー パイプ

* 日本工業規格 フライアッシュ

数年前に吉越盛次氏は、わが国のフライアッシュの需給状態から推して、コットレル集塵器で採取する良質のフライアッシュのみでは、到底増加してゆく需要を満たすことができないことに注目して、これ以外にサイクロン集塵器やアッシュ ポンド(ash pond)で得られる灰を破碎して使用することを提案している³⁾。すなわち、ポンドアッシュ・サイクロンアッシュも、コットレルアッシュに類似した化学成分であり、ただ大きい粒子が混っていたり、小さい粒子が幾つか結合して塊となっていたりしているのであるから、これを粉碎したりほぐしたりすれば、ポグランとして使用できると述べている。しかし、ポンドアッシュを利用する場合、乾式で粉碎しようとなれば、原料を乾燥させるためにぼう大な費用が必要となる。この場合たとえば図-11に示すように、ポンドアッシュまたはサイクロンアッシュに水を加えてミルを通過させて粉碎したものを、ペーストプラントで取扱うようすれば、原料を乾燥させる必要もなく、また品質管理が容易となる利点もあると考えられる。現在、この方法によるポンドアッシュ・サイクロンアッシュの利用について研究中である。

(2) 骨材の表面水がフライアッシュペーストの使用におよぼす制限

奥只見の場合、フライアッシュペーストの濃度(水フライアッシュ比)は50%を基準としている。すなわち、フライアッシュの重量100に対して水の重量50の割合であるが、フライアッシュの種類によっては、濃度を60%程度にする方が適当である場合もある。50~60%の濃度のペーストであれば、ダムコンクリートであっても、一般にコンクリートの練り混ぜに当って、さらに水を計量して加えることになるから、骨材の表面水量の変動に対して使用水量は調整するのが可能になると思われる。

表-5は、フライアッシュによるセメントの置き換え率を30%として、奥只見ダムで使用している各配合のコンクリートについて、フライアッシュペーストの濃度を60%とした場合、コンクリートの単位水量が増加しないための細骨材表面水量の許容限界を計算したものである。粗骨材は、ストックパイルから引出してバッチャープラントのピンに運搬する直前に再び水洗し、さらに2段の振動ふるいを用いて脱水しているので、表面水量はほとんど一定であり、その値は0.5%であった。コンクリートの単位水量は100kg前後であって、ダムコンクリートとしてはむしろ少い方の部類に属する。

表-5には、表面コンクリート($C+F=210\text{ kg/m}^3$)では細骨材の表面水量が10.3%以下、また内部コンクリート($C+F=140\text{ kg/m}^3$)では11.2%以下でなければ、この濃度のペーストは使用できないことが示されている。セメント分散剤を使用した場合はやや条件が悪くなつて、表面コンクリートおよび内部コンクリートに対して、その限界は、それぞれ8.9%および9.8%となる。

バッチャープラントにおいて1時間おきに試験した、細骨材表面水量の実績は表-6に示すようなものであった。最初の3カ月間をのぞけば、普通の場合に最高と考えられる表面水量(2σ限界)は8.7%であるから、細骨材の表面水量がペーストを使用できる限界を超えることはほとんど起らぬことがわかる。事実現在まで奥只見ダムにおいては、そのようなことは全く起らなかつた。奥只見では、細骨材の表面水量を一定にする

表-5 奥只見のダムコンクリートにフライアッシュペーストを用いる場合における細骨材表面水量の許容限界

項 目 斜 め 線 部 分	配合の 種類	ピンゾール 使用					ボゾリス No. 8 使用					備 考
		I	II	III	IV	V	I _p	II _p	III _p	IV _p	V _p	
単位セメント量($C+F$)(kg)	230	210	180	160	140	207	189	162	144	126		
単位フライアッシュ量($F/(C+F)$ は30%とする)(kg)	69	63	54	48	42	62	57	49	43	38		
単位水量 W(kg)	100.0	99.0	99.0	98.0	95.0	90.0	90.0	89.0	89.0	86.0		
濃度60%のフライアッシュペースト*を造るに必要な水量(kg)	41.4	37.8	32.4	28.8	25.2	37.2	34.2	29.9	25.8	22.8		
単位量の粗骨材が含む表面水量**(kg)	8.2	8.3	8.3	8.4	8.5	8.4	8.5	8.5	8.5	8.6		
AE剤・分散剤の稀薄溶液を造るために用いる水量***(kg)	3.0	3.0	2.8	2.8	2.5	3.4	3.1	2.6	2.3	2.0		
単位細骨材量(kg)	480	485	510	515	525	490	495	520	525	535		
フライアッシュペーストを用いる場合における細骨材表面水量の許容限界	(kg/m ³)	47.4	49.9	55.5	58.0	58.8	41.0	44.2	48.5	52.4	52.6	
細骨材の重量に対する百分率		9.9	10.3	10.9	11.3	11.2	8.4	8.9	9.3	10.0	9.8	
コンクリートの使用個所	溢流部表面	その他 の表面部	内 部			溢流部表面	その他 の表面部	内 部				

* 水フライアッシュ重量比60%のペーストである。

** 粗骨材表面水量の昭和34年度における実績は平均値0.509%であった。この試験値の標準偏差は0.0904%で小さいので、この欄の表面水量は0.51%として計算した。

*** ピンゾールは2%溶液でボゾリスは15.4%溶液で用いられた。ボゾリスの使用量はC+Fの0.25%とし、単位ピンゾール量は昭和34年における実績から60~50gとした。

表-6 奥只見ダム工事現場における細骨材表面水量の変動

年 月	表面水量の統計値(単位%)					実用的に最高と考 えられる表面水量 (2σ 限界)* (%)	備 考
	試料数 (n)	最高値 x_{max}	最低値 x_{min}	平均値 \bar{x}	標準偏差 σ		
昭和 33 年							
11 月	523	20.9	4.0	8.7	2.1	12.9	(1) 試料は、バッチャーブラントで 1 時間おきに連続して採取したものである。
12 月	376	15.5	5.7	9.0	1.3	11.6	(2) 採取した試料を乾燥して全含水量を求め、その値から吸水量を差引いて表面水量とした。
昭和 34 年							
4 月	344	16.8	4.9	8.5	1.4	11.3	
5 月	511	11.6	4.8	7.7	1.0	9.7	
6 月	504	10.2	3.2	6.7	1.0	8.7	
7 月	528	10.2	4.8	7.1	1.0	9.1	
8 月	468	9.9	3.1	6.4	1.2	8.8	
9 月	334	9.0	4.3	6.5	1.0	8.5	平均 8.7
10 月	667	10.2	5.1	7.1	0.8	8.7	
11 月	618	9.2	5.2	6.6	0.7	8.0	
12 月	365	9.7	5.2	7.2	0.9	9.0	
総 合				7.3	1.47		

ことに大いに努力しているのであるが、細骨材の脱水機械を用いるとか、またはストック パイルに上屋を設けるなどの方法は採っていない。ストック パイルの構造は、図-12 よび 図-13 に示すようなものであって、ストック パイルを 3 つの部分に分け、それぞれ 24 時間にわたって貯蔵・脱水・引出しを行ない、3 日サイクルで一巡させている。細骨材の粗粒率は 2.70 を目標とし、0.3 mm 以下の粒は 20% 程度である（表-12 参照）。脱水の効果をあげるために、細骨材が生産されてストック パイルに落されるとただちに約 2 m の厚さに敷き均らし、引出すときは再びブルドーザを使用して搔集めながら引出している。この方法はすぐぶる有効であって、普通わが国の現場で行なわれているように、パイルしただけで脱水を行なっていた最初の 3 カ月間にくらべて、その後は表面水量もまたその変動もかなり小さくなった。工事期間中の天候は、今まで 306 日のうち 122 日（全体の約 40%）は雨または雪の降った日であり、降水量の合計は 2700 mm であって天候に恵まれているとはいがたい。したがって、一般的のダム工事現場で、骨材の表面水量のためにフライアッシュペーストの使用が困

図-12 奥只見ダム工事現場における細骨材のストック パイル（平面図）

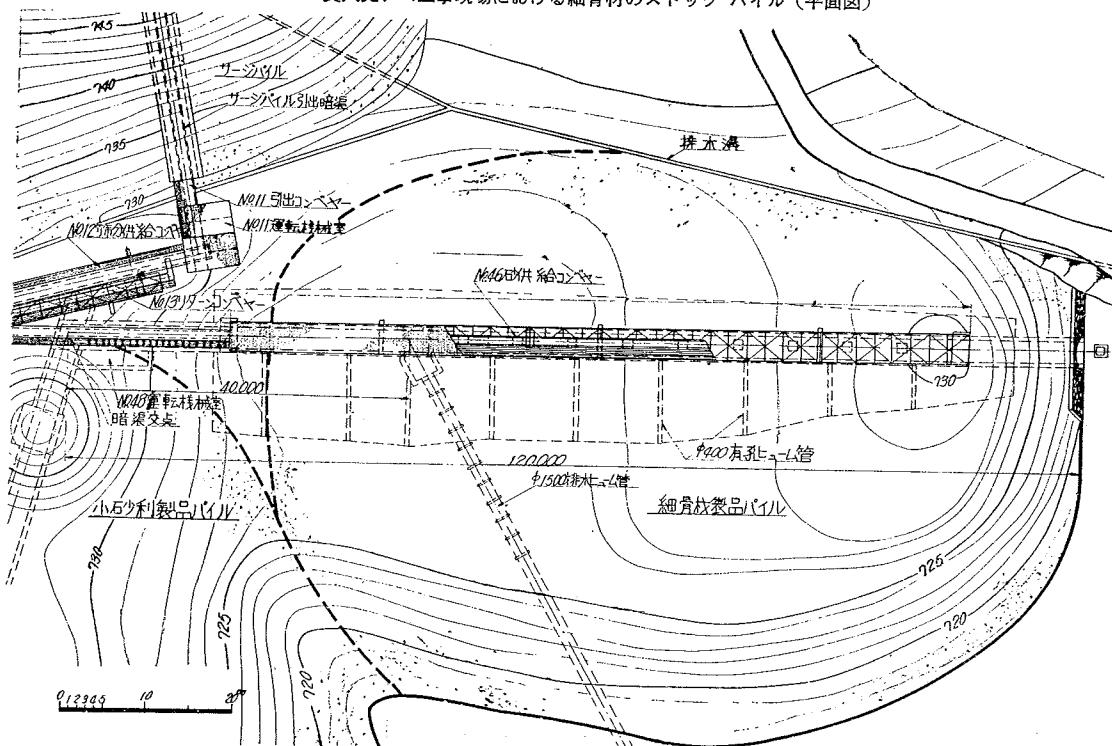
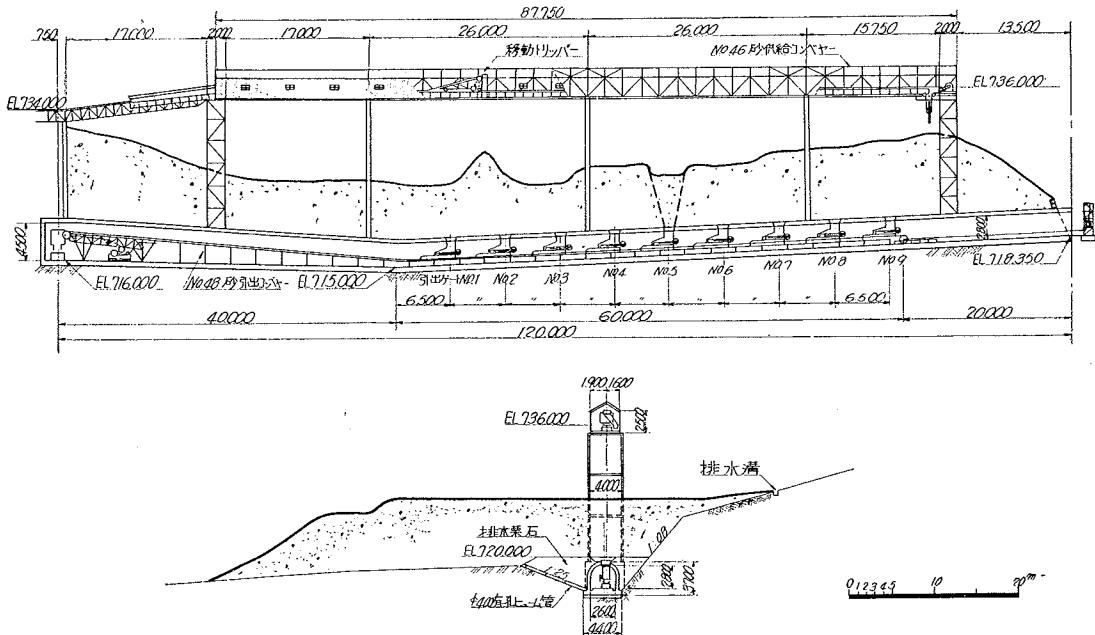


図-13 奥只見ダム工事現場における細骨材のストック パイル（縦断面図および横断面図）



難になることは、プレクーリングのためフレーク アイスを使用する場合をのぞいては、ほとんど無いと思われる。

ダムをのぞくコンクリートは、一般に単位水量が大きいから、骨材表面水量のおよぼす制限を考慮する必要の無いことは明白である。

(3) フライアッシュ ペースト プラントの建設費と運転経費

表-7 および表-8 は、奥只見ダム工事現場に設置したフライアッシュ プラントについて、ペースト方式の場合と粉末方式の場合との建設費を示したものである。ただしプラントの建設費のうち、フライアッシュ倉庫・基礎工事・バッチャーブラント内計量設備は、どちらの場合でもほとんど相違がないので除外した。なお粉末のフライアッシュを使用するプラントは、昭和33年9月 石川島コーリングの請負により完成したものであって、図-7 および図-8 に示すようなものである。

表-7 および表-8 によれば、フライアッシュをペーストとして取扱うとプラントの費用は約460万円であ

表-7 奥只見ダム工事現場におけるフライアッシュ
プラントの建設費
(フライアッシュ ペーストで取扱う場合)

名 称	仕 様	個 数	金 額 (円)
給水パイプ配管	$\phi 4''$ 150 m	1	310 000
エヤーバイブ配管	$\phi 2''$ 140 m, $\phi 1\frac{1}{2}''$ 20 m	1	133 000
ペーストバイブ配管	$\phi 4''$ 300 m, $\phi 3''$ 50 m	1	605 000
ペースト溶解槽	製作据付をふくむ	2	242 000
水 計 量 槽	同 上	2	60 000
ペーストタンク*	同 上	1	1 000 000
同上引出バルブ	制御装置付き	1	600 000
サンドボンブ	10 HP $\phi=3''$	2	620 000
雜 設 備			20 000
コンプレッサ**	50 HP		620 000
雜 經 費			368 000
計			4 578 000

注：* このペーストタンクの容量は 120 t であるが、もし粉末の場合と同じ容量 400 t をもたせようとすると、金額は 2 000 000 円となる。

** コンプレッサド エヤーは付近のエヤー系統からとっているので、工事期間中 27 月の損料 (1 カ月当り 23 000 円) を計上した。

表-8 奥只見ダム工事現場におけるフライアッシュ
プラントの建設費
(フライアッシュ粉末で取扱う場合)

名 称	位 様	個 数	金 額
解袋ボッパー	1式 4コ滑り板つき	1	940 000
スクリューコンベヤ	$10'' \times 7.6$ m 7.5 HP	1	470 000
パケットエレベータ	揚程 21.0 7.5 HP	1	1 600 000
400 サイロ	直径 7.5 m 高さ 12.0 m	1	5 080 000
ロータリーバルブ	12'' サイロ引出用	4	480 000
エマジエンシゲート	同 上	4	140 000
エヤーレーション	同 上	1	146 000
装置	スクリューコンベヤ	1	886 000
	$10'' \times 8.3$ m 7.5 HP	1	1 552 000
エヤースライダー	$l=47$ m 10 HP	1	1 730 000
同 上 橋 梁	$l=50$ m	1	800 000
脱 濡 機	科研ゲル 出力 20 kW	1	300 000
バックフィルター	エヤースライダー 終端	1	740 000
制 御 装 置	配管配線		400 000
雜 設 備	運搬費	1	900 000
	据付費	1	1 660 000
外 国 特 許 料	計	1	840 000
	計		18 664 000

るが、粉末で取扱うと約 1800 万円で 3 倍以上であり、ペースト プラントの貯蔵タンクの容量が粉末プラントに比して小さい点を考慮しても、なお 2.5 倍程度高いことになる。

運転経費については、粉末プラントが運転開始後間もなく使用中止となつたため、比較することが困難であるが、運転工・労務者の配置は全く同じであり、使用電力量はペースト プラントの方が 1 時間当たり 20~30 kWh 程度多いだけあって、わずかな差であると考えられる。

以上の比較は、奥只見のプラントについて行なつたものであるから、現場の事情が異なる場合には、この数字をそのまま適用することはできない。しかしペースト プラントの方は、パイプ・ポンプ・タンクの組合せに過ぎないので簡単であつて、(1) でも述べたように、故障も少ないが、粉末プラントはスクリュー コンベヤ・パケット エレベータ・エバー スライダなどの複雑な機械を使用し、しかもフライアッシュの防湿のためかなりはう大な装置を備えているので、建設費も高く故障も多いのは当然である。程度の差はあっても、フライアッシュをペーストとして使用することにより、プラントの建設費および運転経費を節減することが可能であるといえる。

4. ペーストによるフライアッシュの使用が、ダム コンクリートにおよぼす影響

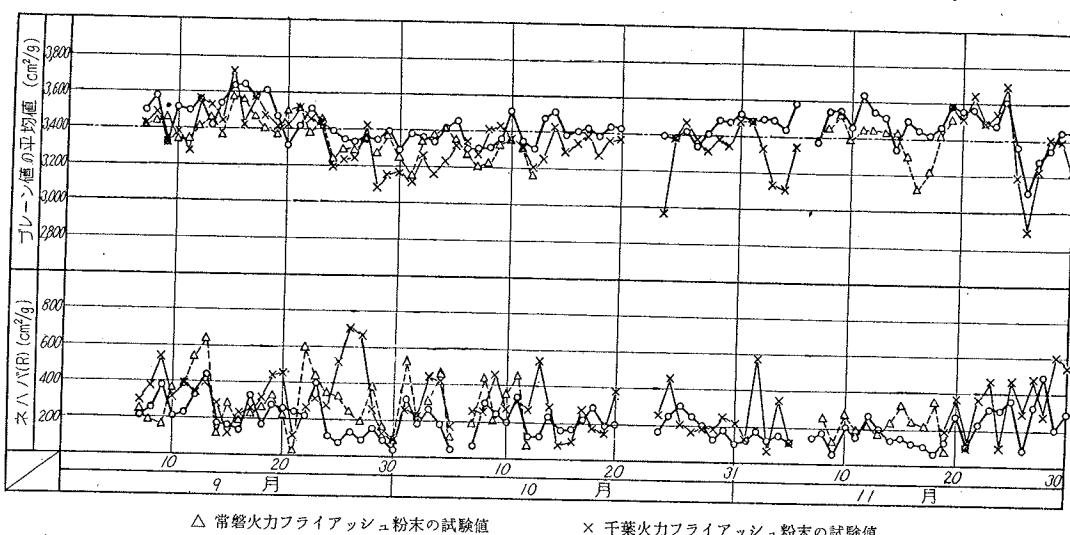
(1) ペーストとした場合のフライアッシュの均等性

従来のように空気を使用してフライアッシュの輸送・貯蔵・計量を行なうと、品質の異なつたフライアッシュを混用することはもちろん、同一種のフライアッシュを使用しても、風ふるい作用によって取扱い途中で分離を起すおそれが多くあり、これがいちじるしくなると、所望の空気量を得るのに必要な単位 AE 剤量が変動しコンクリートの空気量の管理が困難となる。しかしフライアッシュをペーストとして使用すればこのような分離を防ぐことができる。

図-14 は昭和 34 年 9 月より 11 月に至る約 3 カ月間の奥只見ダム工事におけるフライアッシュ粉末度の実績である。フライアッシュは東京電力千葉火力発電所と、常磐共同火力勿来発電所のものを 1:1 の比率で混用している(表-11 参照)。フライアッシュの粉末度はブレーン方法により試験したもので、試料は 1 日に 6 回ペーストにする直前のフライアッシュの粉末、およびペーストにしたフライアッシュをそれぞれ溶解所およびバッチャープラントで採取し、試料の状態を同一にするため、ペーストも粉末とともに約 24 時間 110°C の温度に調節した炉で乾燥したのち、乳鉢で軽く碎いて試験に用いた。

図-14 によると、原料の粉末フライアッシュにくらべてペーストにした後のフライアッシュは、粉末度のバラツキは相当に少くなり、また同時に粉末度の値自体も多少大きくなっているのが認められる。たとえば、9

図-14 奥只見ダム工事現場におけるフライアッシュの粉末度の調査結果(昭 34 年 9 月～同年 11 月)



- 注 1) 1 日に 6 回採取した試料についての試験結果を示したものであつて、平均値とは 6 個の測定値の平均値であり、ネハバ(R) は 6 個の測定値における最大と最小との差である。
 2) ペーストの試料はバッチャープラントの計量槽で採取し、フライアッシュ粉末の試料は溶解所で採取した。

月20日より10月10日に至る20日間における、千葉火力および勿来火力のフライアッシュの粉末度の平均値はそれぞれ $3290\text{ cm}^2/\text{g}$ および $3340\text{ cm}^2/\text{g}$ で、また粉末度の試験値の標準偏差は $170\text{ cm}^2/\text{g}$ および $120\text{ cm}^2/\text{g}$ であるが、これらを50%ずつ混用しペーストにしたフライアッシュでは、この値が $3390\text{ cm}^2/\text{g}$ および $97\text{ cm}^2/\text{g}$ となっている。すなわち、フライアッシュをペーストとして練り混ぜ貯蔵する間に、十分混合が行なわれ、フライアッシュの品質が均一になったのであって、2.(1)に述べた所論を実証するものである。また、フライアッシュをペーストにすれば、粉末度の値が大きくなることは、固まりとなっていたフライアッシュの粒子が攪拌によってある程度ほぐされることによると思われる。

奥只見で使用している千葉火力および常磐火力のフライアッシュは、いずれも、含有炭素量がきわめて少ないので、単位AE剤量の変動を減少させるためのフライアッシュペーストの効果を、実地に確かめることはできなかった。しかし、フライアッシュの粉末度はペーストとすることによって均等となるのであるから、含有炭素粒もペースト中に一様に分布されると思われる。なお、ペーストタンクで貯蔵している間に、少量のセメント分散剤またはAE剤を添加すれば、フライアッシュ中の活性炭素がこれらを吸着するため、所望の空気量のコンクリートを得るために、ミキサへ投入する分散剤またはAE剤の量をバッチャープラントで調整するのが容易となり、コンクリートの均等性が高められる。この場合ペーストタンクで加える分散剤またはAE剤の量は、攪拌作業によって生ずる空気泡がいちじるしくならない程度とする必要がある。

(2) 十分に練り混ぜたペーストが、コンクリートのウォーカビリチーにおよぼす影響

ペーストプラントで十分に練り混ぜたフライアッシュペーストは、手練りで練り混ぜたものよりもはるかに粘調であって、コンシスティンシーは手練りと大差ないが、分離の傾向はいちじるしく少ない。

表-9は、奥只見工事現場において、ペーストプラントで練り混ぜたペーストと手練りでつくったペーストとの単位容積重量を実測するとともに、ペースト濃度の試験値(ペーストプラントから採取した試料では乾燥法によって求めた値であり、手練りの場合にはこれを50%とした)から、空気をふくまないとしてペーストの単位容積重量(これをペースト単位容積の理論値という)を算出し、これらの単位容積重量を相互に比較した結果である。これをみると、ペーストプラントでつくったペーストの単位容積重量は、理論値と全く同一になっているが、手練りのものは理論値より相当に小さい。これは主として、プラントで十分に練り混ぜれば、集塊状をなしているフライアッシュ粒の空げきに水が浸入して空気を追い出し各粒子の周囲に水膜がゆきわたることによると思われるのであって、粉末として用いると集塊状をなして空げきを包含しているフライアッシュ粒が残存するのであろう。

写真-4は、千葉火力産のフライアッシュについて、ペーストにする以前とペーストにした後のものを、倍

表-9 フライアッシュペーストにおける単位容積重量の実績と理論値

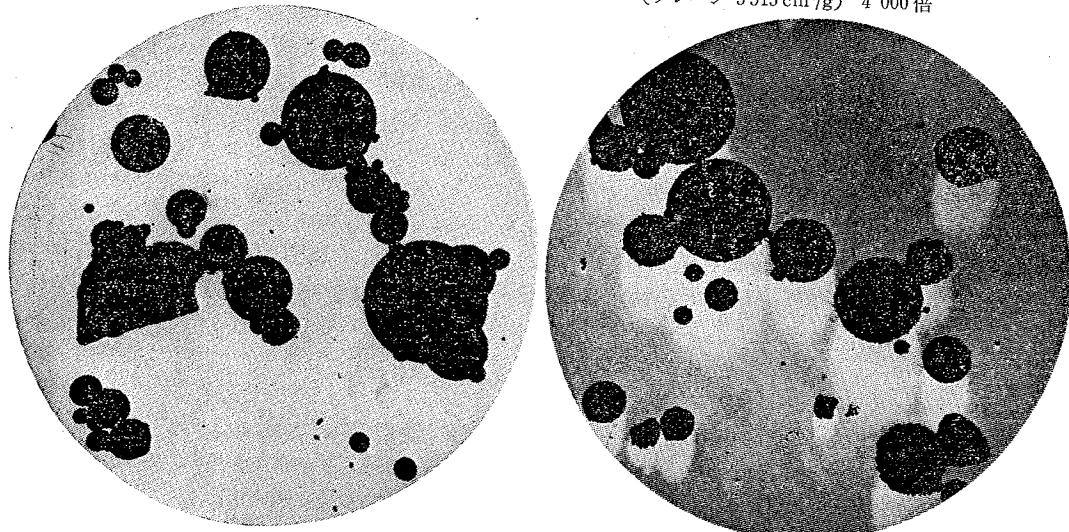
試験 月 日	ペーストプラントで練り混ぜたペースト					手練りで練り混ぜたペースト の単位容積重量(kg/m^3)			備 考	
	ペースト濃度 (%)		ペースト単位容積重量 (kg/m^3)			実測値	理 論 値	差		
	シリン ダーフ 法	乾燥法*	実測値	理 論 値**	差					
10-13	48.4	48.5	1.571	1.570	+ 1	1.542	1.561	- 19	(1) フライアッシュは東京電力KK千葉火力発電所産のもの。比重は試験期間中2.17ではほとんど変化しなかった。 (2) ペーストの目標濃度はいずれも50%である。	
-15	49.0	49.1	1.568	1.566	+ 2	1.545	1.561	- 16		
-16	50.2	49.8	1.560	1.562	- 2	1.543	1.561	- 18		
-24	49.5	50.4	1.564	1.559	+ 5	1.550	1.561	- 11		
-25	50.0	49.9	1.551	1.562	- 1	1.545	1.561	- 16		
-26	49.0	50.1	1.567	1.561	+ 6	1.559	1.561	- 2		
-29	49.7	49.8	1.563	1.562	+ 1	1.552	1.561	- 9		
11- 1	49.9	49.9	1.562	1.562	0	1.562	1.561	+ 1		
- 3	49.8	49.6	1.562	1.564	- 2	1.543	1.561	- 18		
- 4	49.8	50.0	1.562	1.561	+ 1	1.546	1.561	- 15		
-23	49.1	49.0	1.566	1.567	- 1	1.547	1.561	- 14		
-24	47.8	50.0	1.574	1.561	+ 13	1.562	1.561	+ 1		
-25	49.1	49.6	1.566	1.564	+ 2	1.554	1.561	- 7		
-26	49.9	49.0	1.562	1.567	- 5	1.538	1.561	- 23		
-27	49.9	49.7	1.562	1.563	- 1	1.545	1.561	- 16		
-29	51.7	51.3	1.552	1.554	- 2	1.545	1.561	- 16		
12- 1	50.6	50.0	1.558	1.561	- 3	1.527	1.561	- 34		
- 3	50.9	50.3	1.556	1.559	- 3	1.533	1.561	- 28		
- 4	49.2	48.9	1.566	1.568	- 2	1.528	1.561	- 33		
- 6	50.3	49.8	1.559	1.562	- 3	1.541	1.561	- 20		
平均値	49.69	49.69	1.563	1.563	0	1.545	1.561	- 16		

* ペースト約1Lを加熱乾燥し、この場合の重量の減少を水分と考えて計算した。
** 乾燥法によって求めた濃度から逆算して計算した。

写真-4 粉末の状態の千葉火力産フライアッシュ

ペーストにする以前のフライアッシュ
(プレーン $3040 \text{ cm}^2/\text{g}$) 4 000 倍

ペーストにした後のフライアッシュ
(プレーン $3515 \text{ cm}^2/\text{g}$) 4 000 倍



率約 4 000 倍の電子顕微鏡で比較した写真の一例である。ペーストにする以前のものは、フライアッシュの粒子が固まりになっているものもあるが、ペーストになるとそれが少なくなっている。

2. (1) において、フライアッシュをペーストとして用いればコンクリートのウォーカビリチーが改善されると述べたが、これはこのような現象によるものと思われる。しかし 2. に述べた実験は手練りで練り混ぜたペーストによるものであるから、プラントで練り混ぜたペーストを用いれば、コンクリートのウォーカビリチーは 2. の実験値よりもさらに改善されると信ずる。

また、2. (2) にはペーストとして用いた場合には、粉末のまま用いた場合よりも、コンクリートの耐久性が改善される理由を述べたが、前記の実験結果はこの推論を実証するものと思われる。したがって、ペーストを十分に練り混ぜて用いれば、水密性も改善され強度もある程度まで増加するものと推定される。

(3) ペーストによるフライアッシュの使用が、ダムコンクリートの練り混ぜ時間におよぼす影響

奥只見ダム工事現場において 3 m^3 (112 切) ミキサを用い、粗骨材の最大寸法 150 mm ・単位セメント フライアッシュ量 ($C+F$) 160 kg ・フライアッシュによるセメントの置き換え率 ($F/C+F$) 30% ・単位水量 96 kg ・スランプ約 2 cm ・空気量約 3% のコンクリートを練り混ぜ、フライアッシュをペーストとして使用した場合と粉末のまま使用した場合における、ミキサの練り混ぜ性能を比較した。練り混ぜ時間は、それぞれの場合について、30 秒、1 分、1 分 30 秒、2 分、3 分、の 5 種に変化させた。

セメントは日本セメント KK 埼玉工場製中庸熱ポルトランドセメント (表-10 参照) を、フライアッシュは東電フライアッシュ KK (新東京火力発電所) 製のもの (表-11 参照) を、骨材は表-12 に示す粒度のものを用いた。

試験は、昭和 34 年 8 月 7 日から同年 8 月 20 日までの間に行なったが、ミキサは特定の一基を用い、練り混ぜ用羽根を絶えず点検して、摩耗が認められたさいにはただちに肉盛りを行ない、ミキサの状態を一定に保つよう

表-10 セメントの試験成績

(1) 化学成分

強熱減量	不溶残分	シリカ	アルミナ	酸化鉄	酸化カルシウム	マグネシア	無水硫酸	合計	遊離石灰
0.91	0.58	23.03	3.89	3.89	63.94	0.92	1.94	99.09	0.26

(2) 物理的性質

比重	粉末度		凝結					安定性 (煮沸)	フロー (mm)	強さ (kg/cm^2)							
	ブレイン値 (cm^2/g)	88 μ 残分 (%)	温度 (°C)	湿度 (%)	水量 (%)	始発 (時・分)	終結 (時・分)			曲げ			圧縮				
										3 日	7 日	28 日	91 日	3 日	7 日	28 日	91 日
3.19	3 080	2.3	2.3	20.0	87	2-49	4-07	良	249	32.0	41.0	70.0	83.4	126	175	396	513

表-11 フライアッシュの試験成績

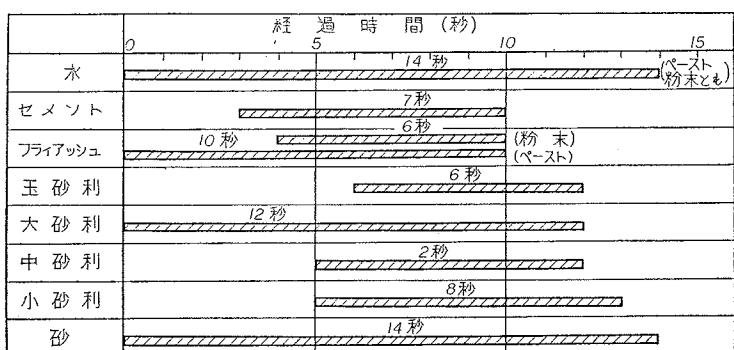
工場名	化学成分(%)							比重	粉末度		メチレンブルーの吸着量(mg/g)	単位水量比(%)	圧縮強度比(%)				
	湿分	強熱減量	シリカ	アルミナ	酸化鉄	酸化石灰	マグネシア		88μ残分(%)	44μ残分(%)	ブレーン値(cm²/g)		7日	28日	91日		
東京電力新東京火力発電所	0.10	1.41	54.22	27.45	5.19	6.07	1.59	0.83	2.19	1.8	—	3,220	0.40	92	87	122	130
東京電力千葉火力発電所常磐共同火力勿来発電所	0.18	1.21	55.04	28.83	4.87	4.87	1.57	0.45	2.20	2.8	—	3,400	0.28	90	86	120	124
0.13	0.04	60.64	26.80	3.44	4.57	1.01	0.35	2.15	—	4.1	3,100	0.10	89	101	147	—	

備考 単位水量比および圧縮強度比は電源開発KKの示方書によって試験したものである。すなわちセメントの30%をフライアッシュで置き換えたモルタルについて試験し、その養生は40°Cの水中養生であって、JISの規定とは相違している。

表-12 骨材の試験成績

区分	細骨材 (仕入沢産カ コウ岩碎砂)	粗骨材 (仕入沢産カ コウ岩碎石)		
比重	2.64	2.69		
吸水量	1.6%	0.6%		
粒度	(mm) 10~5 5~2.5 2.5~1.2 1.2~0.6 0.6~0.3 0.3~0.15 0.15以下 粗粒率	% 0.9 6.8 23.4 27.8 21.6 13.1 6.4 2.74	(mm) 150~80 80~40 40~20 20~10 10~5 8 10~5 2.74	% 28 26 22 16 8 8 10 2.74

図-15 ミキサへの材料投入順序



特に注意を払った。ミキサへの材料投入の順序は図-15のようであった。

試験に用いたコンクリートの試料は、ミキサ中のコンクリート全量を一旦その直下のウェットホッパに落し、その堆積の上部中部下部からそれぞれ採取した。それぞれの試料について、スランプ・空気量・圧縮強度ならびに JIS A 1119-1953* に規定するモルタルの単位容積重量差を試験し、3回の試験における平均値をその試験値とした。圧縮強度および空気量試験は、40 mm以上の粒をふるい去ったコンクリートについて行なったのであって、空気量試験は JIS A 1128-1960** によった。試験の結果は、図-16、17 および 表-13 に示すようであった。

図-16、図-17 および 表-13 から次のことが認められる。

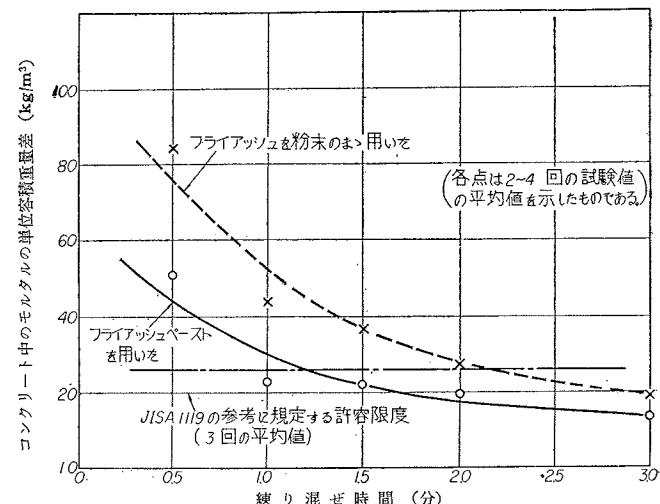
コンクリート中のモルタルの単位容積重量差は、フライアッシュをペーストとして用いた場合にも粉末で用いた場合にも、練り混ぜ時間とともに減少するが、ペーストとして用いた場合の方が常に小さい。

JIS A 1119-1953 の参考に規定する単位容積重量差の許容値 26 kg/m³ (3回の試験における平均値) が得られる練り混ぜ時間は、粉末の場合は2分10秒ペーストの場合は1分10秒であっていちじるしく相違している。

ミキサ中におけるコンクリートの強度の差においても、全く同様な傾向が認められるのであって、ペーストの場合の方が強度差が相当に小さい。

これらの結果は、フライアッシュを使用するコンクリートを均等に練り混ぜるには、ペーストとして用いる方

図-16 練り混ぜ時間とモルタルの単位容積重量差との関係



* 日本工業規格 ミキサで練り混ぜたコンクリート中のモルタルの単位容積重量差の試験方法

** 日本工業規格 まだ固まらないコンクリートの、圧力による試験方法(空気室圧力方法)

表-13 奥只見ダム工事現場におけるミキサの練り混せ性能試験結果

(1) フライアッシュペースト使用

練り混ぜ 時 間	コンクリートのスランプ(cm), および空気量(%)						モルタルの単位容積重量				コンクリートの 圧縮強度 σ_{28} (供試体は $\phi 15\text{ cm}$ 高さ 30 cm)				
	下 部		中 部		上 部		下 部	中 部	上 部	単位容積 重量差	下 部	中 部	上 部	差の最大値	
	分	秒	cm	%	cm	%	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	
3-00	0.6	3.2	0.6	2.9	2.0	2.7	2259	2260	2263	4	168	171	154	17	
	〃	0.8	3.0	0.6	3.1	1.5	3.4	2259	2269	2269	10	130	144	135	14
	〃	-	-	-	-	-	2270	2251	2274	23	-	-	-	-	
平均 12														平均 16	
2-00	1.1	2.3	0.4	2.3	0.9	2.3	2244	2260	2261	17	166	155	162	11	
	〃	1.2	2.8	1.3	2.8	2.2	3.2	2282	2299	2275	24	148	153	141	12
	〃	1.2	3.4	1.5	3.3	2.0	3.9	2294	2302	2310	16	145	140	130	15
平均 19														平均 13	
1-30	2.8	3.4	2.6	3.4	2.6	3.3	2256	2242	2246	14	117	130	125	13	
	〃	0.5	3.0	0.4	2.7	0.5	2.3	2259	2289	2285	30	154	151	124	30
	〃	0.5	2.7	1.0	3.0	1.3	3.1	2298	2311	2331	33	151	154	140	14
	〃	0.2	3.0	0.8	3.3	0.5	3.2	2270	2276	2279	9	123	140	142	19
平均 22														平均 19	
1-00	0.2	2.3	1.6	2.7	2.0	3.3	2270	2210	2239	60	130	159	134	29	
	〃	0.4	2.4	0.8	2.6	1.1	3.5	2306	2308	2310	6	168	174	123	51
	〃	0.6	3.2	0.7	3.0	0.9	3.0	2287	2291	2273	18	154	134	134	20
	〃	2.7	3.5	2.6	2.0	3.0	4.3	2261	2272	2267	11	-	-	-	-
平均 23														平均 33	
0-30	0.0	2.3	0.8	2.5	1.8	3.5	2281	2256	2205	76	153	232	130	102	
	〃	0.4	2.4	0.8	2.0	0.0	2.6	2316	2317	2290	27	240	167	138	102
平均 52														平均 102	

(2) フライアッシュ粉末使用

練り混ぜ 時 間	コンクリートのスランプ(cm), および空気量(%)						モルタルの単位容積重量				コンクリートの 圧縮強度 σ_{28} (供試体は $\phi 15\text{ cm}$ 高さ 30 cm)				
	下 部		中 部		上 部		下 部	中 部	上 部	単位容積 重量差	下 部	中 部	上 部	差の最大値	
	分	秒	cm	%	cm	%	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	
3-00	2.5	3.2	1.5	3.4	1.1	2.9	2241	2253	2263	22	122	137	135	15	
	〃	0.6	2.7	0.5	2.5	0.8	2.8	2217	2207	2225	18	167	167	158	9
平均 20														平均 12	
2-00	1.0	3.1	1.1	2.8	0.5	3.1	2270	2249	2261	21	151	151	158	7	
	〃	3.5	4.0	2.6	3.4	3.3	4.1	2227	2229	2235	8	118	124	108	16
	〃	0.4	3.1	0.0	2.3	0.8	3.2	2258	2272	2331	73	121	130	123	9
	〃	1.0	3.2	1.0	2.9	2.7	4.0	2237	2237	2228	9	-	-	-	-
平均 28														平均 11	
1-30	0.6	2.8	0.5	2.9	1.1	3.1	2293	2301	2250	51	147	163	146	17	
	〃	0.3	2.4	0.9	2.8	0.7	3.0	2274	2302	2267	35	168	215	199	47
	〃	1.1	3.2	2.0	3.5	2.2	3.6	2244	2233	2218	26	115	165	124	50
平均 37														平均 38	
1-00	0.2	2.5	1.5	3.1	0.5	3.0	2296	2231	2294	65	168	144	129	39	
	〃	1.7	3.4	1.3	2.8	1.3	3.2	2276	2262	2285	23	151	232	172	81
	〃	-	-	-	-	-	-	2319	2276	2275	44	194	185	202	17
平均 44														平均 46	
0-30	0.6	2.9	1.1	3.3	0.4	2.5	2279	2228	2215	64	129	101	178	77	
	〃	0.7	2.5	1.0	2.7	0.4	2.5	2296	2191	2269	105	-	-	-	-
平均 85														平均 77	

- 注: 1) フライアッシュは東京電力KK新東京火力発電所製のものを用いた。フライアッシュペーストの濃度(W/F)は60%とした。
 2) コンクリートは、粗骨材の最大寸法=150 mm, 単位セメントフライアッシュ量($C+F$)=160 kg, フライアッシュによるセメントの置き換え率($F/C+F$)=0.30, 単位水量(W)=96 kg, 絶対細骨材率(s/a)=24%である。
 3) 圧縮強度は、それぞれ供試体2個の試験値の平均値を示した。

がはるかに有利であること、所要のウォーカビリチーのコンクリートを得る必要な練り混ぜ時間は、ペーストとして用いれば相当に減ずることができること、等を明瞭に示すものである。

ペーストの場合と粉末の場合との相違は、コンクリートの配合・フライアッシュの使用量・コンクリートのコンシスティンシー・ミキサの型式および容量、等によって異なり、上記のようないちじるしい相違が、プラスチックなコンクリートにおいても認められるとは限らないが、硬練りのコンクリートとくにダムコンクリートにおいては、フライアッシュをペーストとして用いる方が均等性およびウォーカビリチーを改善し、コンクリートの練り混ぜ時間を短縮し、さらに耐久性・水密性等を向上させ、いちじるしく有利となると考えられる。

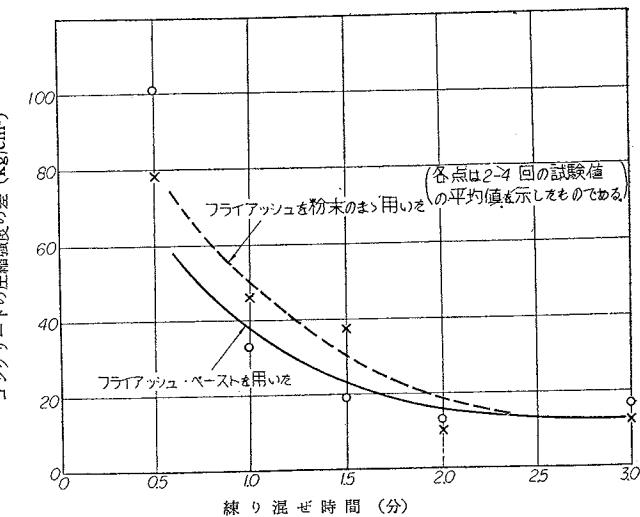
(4) 奥只見ダム コンクリートの品質について

奥只見ダムのコンクリートは、付近に適当な堆積砂砾がないために骨材はすべて碎石および碎砂を用い、また配合もコンクリートの温度上昇を抑制し、かつ、工事費の節約をはかる目的で、ダム内部では、単位セメントフライアッシュ量 ($C+F$) を 140 kg としフライアッシュによるセメントの置き換え率 ($F/C+F$) を 30% としていて、単位セメント量を相当に減じている。しかし現在（昭和 35 年 8 月）すでにダム総容積の 75% におよぶ

表-14 奥只見ダム コンクリートの圧縮強度試験結果

供試体の材令	コンクリートの配合	項目	昭和33年 総合	昭和 34 年									
				4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	
3カ月	II 配合 $C+F=210 \text{ kg}$	試験値の数 強度の平均値 (kg/cm^2) 変動係数 (%)	19 389 15					129					
	III 配合 $C+F=180 \text{ kg}$	試験値の数 強度の平均値 (kg/cm^2) 変動係数 (%)	19 307 14	52 306 17	85 298 16	56 281 11		314					
	IV 配合 $C+F=160 \text{ kg}$	試験値の数 強度の平均値 (kg/cm^2) 変動係数 (%)				18 205 11	117 214 15	174 215 16	114 201 15	19 203 19			
	V 配合 $C+F=140 \text{ kg}$	試験値の数 強度の平均値 (kg/cm^2) 変動係数 (%)							56 154 19	139 136 18	147 152 19	103 140 18	
6カ月	II 配合 $C+F=210 \text{ kg}$	試験値の数 強度の平均値 (kg/cm^2) 変動係数 (%)						119					
	III 配合 $C+F=180 \text{ kg}$	試験値の数 強度の平均値 (kg/cm^2) 変動係数 (%)				55 340 11			369				
	IV 配合 $C+F=160 \text{ kg}$	試験値の数 強度の平均値 (kg/cm^2) 変動係数 (%)				18 251 8	117 260 13	173 256 13	114 254 13	19 260 17			
	V 配合 $C+F=140 \text{ kg}$	試験値の数 強度の平均値 (kg/cm^2) 変動係数 (%)							56 205 14	139 190 18	146 193 18	103 178 16	
備考	(1) 40 mm 以上の粒をふるい去ったコンクリートについて試験した。供試体は直徑 15 cm、高さ 30 cm のシリンダーで、21°C の水中養生を行なったものである。 (2) 各試験値は、それぞれのバッチのコンクリートを代表するものであるが、バッチごとに 1 個の供試体によって求めた試験値である。												

図-17 練り混ぜ時間が、ミキサ中におけるコンクリートの強度の差におよぼす影響



約 1 200 000 m³ のコンクリートを施工したが、前記のような単位セメント量でも、ダム コンクリートは適当なウォーカビリチーを持ち、品質および品質の変動も所期の程度に管理されていると思われる。表-14 は、昭和 34 年度中に打込んだ約 750 000 m³ のコンクリートの品質管理試験結果であって、強度および強度の変動がほぼ満足すべき状態にあることが示されている。

このような成果が得られたのは、セメント・骨材等の材料が適当に管理され、計量および練り混ぜの作業も順調に進められることによるが、フライアッシュをペーストとして使用したことでも大いに寄与しているのは疑う余地がない。なお、ペーストによつたので、固まりやすくて粉末のままで使用困難であったフライアッシュも使用することができ、昭和 33 年のように供給量の不足によってフライアッシュの使用を中止する事態を招かずには済んだのである。

5. 結論

フライアッシュをペーストとして用いる方法について、東京大学土木工学教室および電源開発 K K 奥只見工事現場で研究した結果、実験の範囲内で次のことがいえると思われる。

(1) 均等質なコンクリートをつくるためには、用いるフライアッシュが均等なものであることがぜひ必要であるが、AE コンクリートの場合にフライアッシュを粉末のまま用いると、特に良質なものでない限り、粉末度・炭素含有量・等の変動によって空気量が変化し、コンクリートの管理が困難となる場合がある。しかし、フライアッシュをあらかじめ水と練り混ぜペーストとして大量に貯蔵し、圧縮空気その他の適当な方法でこれを攪拌しながら使用すれば、フライアッシュの均等性はいちじるしく改善され、AE コンクリートの場合にもコンクリートの管理は容易となる。たとえば、同じ配合のコンクリートを連続して約 10 パッチ練り混ぜたとき、フライアッシュを粉末のまま用いた場合には空気量は 5.2~2.9%・スランプは 6.4~2.6 cm・材令 28 日における圧縮強度は 389~319 kg/cm²・と変動したが、ペーストとして用いた場合には空気量は 5.0~3.8%・スランプは 5.3~3.0 cm・圧縮強度は 340~313 kg/cm² となった。また、奥只見工事現場で、ブレーン方法による粉末度の試験値の標準偏差が 170 cm²/g であるフライアッシュと 120 cm²/g である フラッシュとを等量ずつ用いて十分に練り混ぜてつくったペーストから、約 20 日にわたって試料を採取してそれぞれ乾燥して粉末度を試験した結果、標準偏差は 97 cm²/g となり、ペーストとすることによって均等なフライアッシュが得られることが実証されたのである。

(2) フライアッシュを連続して大量に使用する工事現場では、豊水期におけるフライアッシュの生産量低下によって所要量の入手に困難を来たす場合がある。なお良質のフライアッシュでも、吸湿その他によって固まる傾向がいちじるしいものがあり、これを空気式の方法で取扱うと輸送・計量・等が困難となる場合もある。フライアッシュをペーストとして用いれば、この取扱い上の困難を容易に解決できるのみならず、数種のフライアッシュの混用も可能となるから、所要量の入手が困難となるおそれも少なくなる。また、この方法によれば、含有炭素量が比較的多く品質の均一性において幾分劣るフライアッシュでも、重要な工事の AE コンクリートに使用することができると思われる。

(3) フライアッシュをペーストとして用いれば、粉末のまま用いる場合よりもコンクリートのウォーカビリチーが改善され、また、均等なコンクリートを得るに必要な練り混ぜ時間を短縮することができる。たとえば粗骨材の最大寸法 150 mm・単位セメント フライアッシュ量 160 kg・フライアッシュによるセメントの置き換え率 30%・空気量約 3%・スランプ約 2 cm のダム コンクリートを 3 m³ ミキサで練り混ぜる場合、ミキサから排出されるコンクリート中におけるモルタルの単位容積重量差の 3 回の試験値の平均値を 26 kg/m³ 以内とするためには、フライアッシュを粉末のまま用いる場合には 2 分 10 秒を必要としたが、ペーストとして用いる場合には 1 分 10 秒となった。ペーストとして用いる方法が有利となる程度は、単位セメント量・単位フライアッシュ量・骨材の粒度および粒形・コンクリートのコンシスティンシー・空気量・ミキサの型式および容量・等によって相違するが、硬練りのコンクリートほど、有利になる。

(4) フライアッシュをペーストとして用いれば、粉末のまま用いる場合よりもコンクリートのウォーカビリチーが改善されるのみならず、耐久性・水密性・等も幾分改善される。たとえば、粗骨材の最大寸法 25 mm・単位セメントフライアッシュ量 300 kg・フライアッシュによるセメントの置き換え率 25%・スランプ 4.5 cm・空気量 3.2% のコンクリートの凍結融解試験を行なった結果、動弾性係数が 60% に低下する時の凍結融解のくり返し数は、粉末のまま用いた場合は 140 サイクル ペーストとして用いた場合は 180 サイクルであった。これらのサイクル数は、セメント骨材およびフライアッシュの品質・コンクリートの配合および空気量・コンクリー

トの材令および含水状態・供試体の寸法・試験の方法・等によっていちじるしく異なり、空気量が多いコンクリートではペーストの場合と粉末の場合との差が少なくなるのは当然であるが、前記の実験結果は、一般にペーストの場合の方が有利であることを示すものと思われる。

(5) フライアッシュ ペーストの練り混ぜおよび貯蔵の設備は、工事現場の規模・フライアッシュの品質および使用量・その他によって適当に設計すべきものであって、練り混ぜのためには圧縮空気を用いても高速回転の羽根を用いても良いと思われるが、用いるフライアッシュの均一性があまり良好でない場合には貯蔵タンクを2基設け交互に使用するのが得策と思われる。

ペーストの輸送には、適当に配置したパイプを通じ自然流下またはサンドポンプで流し送って好結果が得られた。自然流下による場合は、その勾配が1/10より急であることが必要である。用いるペーストの濃度*は、フライアッシュの品質・パイプの直径および勾配・混和材料使用の有無、等によって相違するが、輸送中にペーストが分離しないようなものであることが必要であり、一般に50~60%程度が適当と思われる。

ペーストの貯蔵タンク・計量設備のヘッドタンク・等には、圧縮空気その他によってペーストの分離を防ぐための処置を講ずる必要がある。ペーストの計量は、水と同様の方法で重量によるのが適当と思われる。

これらのペーストの取扱い装置は、ある程度以上の規模の工事では、粉末で取扱う場合の装置にくらべて、建設費ははるかに安価であり、故障も少なく運転費も高くないことが実証された。

(6) 工事現場における骨材の表面水量がはなはだしく多い場合には、フライアッシュをペーストとして用いることが不可能となることも考えられるが、ダムコンクリートのように単位水量のいちじるしく少ないコンクリートにおいても、骨材の処理についてある程度の注意を払えば、この使用が可能であることが実証された。従って、一般的コンクリート工事において、骨材の表面水量によってペーストの使用が制限されることはないと考えられる。

(7) フライアッシュをペーストとして用いる場合、ペーストの品質管理は、容量1l程度のシリンダー容器を用い、これに満たしたペーストの重量を測定しペーストの濃度を算出して、これを行なうのが便利である。

これを要するに、フライアッシュを用いて均等質なAEコンクリートをつくるためには、フライアッシュをペーストとして用いるのが一般に有利である。特に硬練りのコンクリートの場合には、コンクリートのウォーカビリティー、他の性質も改善され、練り混ぜ時間も短縮できるのであって、すこぶる有利となる。

参考文献

- 1) 国分・河原・太賀(土木学会フライアッシュ小委員会):各種フライアッシュの共通試験報告、土木学会論文集第68号・別冊(1-1)昭和35年5月
- 2) 国分正胤:各種AE材の使用方法に関する研究、土木学会論文集第23号、昭和30年2月
- 3) 吉越盛次:混和材としてのフライアッシュに関する研究、土木学会論文集第31号、昭和30年11月

* フライアッシュ量に対する水量の比を濃度と称した。

 質問

国分正胤・上野 勇・三村通精・細谷浩正：ペーストによるフライアッシュの使用に関する研究

(シンポジウムの席上におけるもの)

渡辺・笠井・武藤の三氏より下記のような質問があったが、本文の中にそれぞれに対する回答がもり込まれてあるので講演者の行なった答弁は省略する。

質問者：渡辺一郎氏（中部電力KK）

フライアッシュをペーストとして使用すると、骨材の表面水量の調節が困難になるのではないか。なお骨材の表面水量を、一層厳密に一定に保つ必要を生じないか。また、単位AE剂量の調節が困難になることはありますか。

質問者：笠井伍郎氏（宇部興産KK）

フライアッシュをペーストとして用いる場合、これを水と同様に扱うことができますか。

質問者：武藤正躬氏（中電興業KK）

フライアッシュをペーストにして使用する場合の注意事項およびこれの輸送方法についてうかがいたい。

昭和35年12月5日印刷
昭和35年12月10日発行 土木学会論文集第71号・別冊(4-3) 定価 230円(税10円)

著者 東京都新宿区四谷一丁目 土木学会フライアッシュ小委員会 国分正胤、外
発行者 東京都新宿区四谷一丁目 社団法人 土木学会 末森猛雄
印刷者 東京都港区赤坂溜池5番地 株式会社 技報堂 大沼正吉

発行所 法人 土木学会 振替東京 16828番

東京都新宿区四谷一丁目 電話(351) 5138・5139・5130