

ボラン材としての粉碎フライアッシュについて

準 員 北海道電力株式会社土木部 酒 井 賢 一

1. 概 説

フライアッシュについては、近年宇部興産関西電力が、この利用研究を進め、良質なものはダム用コンクリートに混入使用が可能であり、その具有する各種の利点も充分発揮せしめ得る事が明かとなつて来た。かくして昭和30年発電開始した、東京電力須田貝ダムにおいて、フライアッシュを使用するに至つた。これが日本においてダム工事に使用した最初のものである。この事は従来廃棄処置に多額の費用と労力を要した厄介な廃物たる「灰」を、逆に火力発電所の有用な副産物とするのみでなく、優れた多くの性質を有するダム工事新材料として、日本のダム技術に大きな進歩をもたらしたと言えよう。

一方当社産フライアッシュについても、これが有効利用を検討中であつたが、その成果も纏まり年度中には生産計画をもつに至つた。茲にその計画概要並びに品質試験の結果を報告する。

2. 産 出 計 画

当社火力発電所の設備能力は認可出力合計 176MW でこれらの中には所謂老朽火力も含まれているが、微粉炭燃焼方式火力設備が大部分を占め 159 MW である。これら火力発電所における年間捨灰生成量は 50,000 t を超えるものと考えられるが、集塵器構としては設備費、維持費の比較的少ないサイクロン系が大部分を占め、今回採取対象としている砂川第2発電所もマルチサイクロンよりのフライアッシュである。

砂川第2発電所は、当社の誇る最新鋭 base load station (出力 35,000 KW 昭和30年1月運転開始)であり、フライアッシュ採取に対する条件が最もよいとの結果を得て、産出計画をたてた。

即ち、マルチサイクロンにより集塵したフライアッシュを粉碎し製品化するものである。マルチサイクロン灰出しホッパーより空気輸送して、所定の粉碎機室に導き原料タンク内に集積する。これを粉碎して製品タンク内に貯蔵する方式である。

3. 粉 碎 方 式

サイクロン系フライアッシュの利用については、曩に

当社が電力技術研究所に、その研究方依頼中であつたが、粉碎する事により以降報告の如き良好な結果が得られるに至つた。

試験方法並びに試験結果については、電研よりの報告書¹⁾を参考に詳述する。

極微粒子粉碎法としては、理論的に考察すると次の通りの方法が考えられる。

- (1) 主として摩擦作用による方法
- (2) 主として摩擦、衝撃作用による方法
- (3) 主として衝撃作用による方法

各作用別に粉碎機を表3-1の如く選定し、試験に供した。

表—3-1. 試験用粉碎機名

粉 碎 法	粉 碎 機 名	製 造 者 名
摩 擦	Jet Pulverizer	栗本鉄工 K. K.
摩擦、衝撃	Air Mill	新三菱重工 K. K.
衝 撃	Disintegrater Fuji Atomizer	奈良機械製作所 富士産業 K. K.

上記粉碎機により天々試料を作製し、比較試験を実施したものである。

4. 粉碎フライアッシュの物理的性質

粉碎試料は、砂川第2発電所マルチサイクロンより採取したもので、ブレン法比表面積 2,000 cm²/g, 325メッシュ (44 μ) 標準篩残分 50% 程度のものである。

粉碎したフライアッシュの粉末度としては、ブレン法比表面積及び 325メッシュ (44 μ), 170メッシュ (88 μ) 標準篩残分で表わしたが、この外粒度分布状態を調べる為に沈降法である風篩法、及びアンドリーゼンピペット法によつて粒度分析を行なつた。

ブレン比表面積、標準篩残分及び風篩残分の試験結果は表4-1の通りである。

更に 15 μ 以下の微粒部分の粒度分析を行なうため、アンドリーゼンピペット法により試験を行ない、これとロットレル系の微粒子の多い良質のフライアッシュの粒度分布と比較した結果は表4-2及び図—1の通りである。

表-4-1 粉砕フライアッシュの物理的性質 ~ 1

粉 碎 機 の 種 類	粉 碎 状 況	比 重	比表面積 (ブレン ン法) cm ² /g	標準篩残分 (%)			風 篩 残 分 (%)			
				170 (88 μ)	200 (74 μ)	325 (44 μ)	18 μ	18 μ	27 μ	36 μ
Jet Pulverizer	粉 碎 前	1.90	1950	7.7	13.6	49.7	83.1	68.3	49.2	30.2
	粉 砕 後	供給量 120 kg/h	2.20	3360	0.7	3.0	16.2	79.6	59.6	37.5
		" 90 kg/h	2.20	3370	—	1.2	5.3	68.5	40.1	17.9
		" 60 kg/h	2.20	3850	—	0.6	3.3	66.7	38.0	14.4
Air Mill	粉 碎 前	1.99	1750	6.3	—	37.4	86.0	69.4	56.9	47.9
	粉 砕 後	No. 1	2.17	2530	0.5	1.6	19.3	78.4	54.6	31.0
		No. 2	2.17	2640	—	—	81.1	59.9	36.3	16.8
Disintegrater	粉 碎 前	1.95	2130	8.1	21.4	49.0	89.9	78.6	66.6	44.7
	粉 砕 後	粉 碎 の み	2.40	6790	0.1	0.2	3.2	52.4	34.0	15.7
		分 離 の み	2.07	—	0.2	0.8	6.3	71.7	50.8	25.9
		粉 碎 分 離 混 合	2.17	4890	0.1	0.5	4.2	62.0	52.4	20.8
Fuji Atomizer	粉 碎 前	1.97	2190	—	—	39.6	—	—	—	—
	粉 砕 後	供給量 150 kg/h	2.23	4060	—	—	3.8	—	—	—
		" 120 kg/h	2.26	4530	0.2	—	7.8	—	—	—
コットレル系フライアッシュ		2.11	3850	2.2	—	11.6	—	—	—	—
		2.12	3520	1.9	—	10.4	—	—	—	—

表-4-2 粉砕フライアッシュの物理的性質 ~ 2

フ ラ イ ア ッ シュ の 状 態		ア ン ド リ ー ゼ ン ピ ペ ッ ト 法 (沈降法) による各粒子径残分 (%)											
		2 μ	4 μ	5 μ	6 μ	8 μ	10 μ	12 μ	15 μ	20 μ	30 μ	40 μ	50 μ
粉 碎 前		—	—	9.93	—	—	97.4	94.9	93.5	87.6	75.3	63.0	51.6
粉 砕 石	Jet Pulverizer	97.3	95.8	—	94.4	91.2	86.6	—	76.5	65.7	50.6	29.2	15.6
	Air Mill	98.0	97.3	—	96.0	93.3	91.8	—	79.0	70.0	48.0	29.8	28.0
	Disintegrater	94.8	94.1	—	89.9	84.2	78.3	72.8	62.0	44.2	32.0	18.2	12.8
	Fuji Atomizer	97.3	92.7	—	88.6	81.0	74.0	—	57.0	47.0	25.9	14.3	3.5
コ ッ ト レ ル 系 フ ラ イ ア ッ シュ		96.7	92.5	—	86.6	80.4	73.8	67.7	60.2	45.7	30.3	21.0	13.0

又顕微鏡判定によると粉砕されたフライアッシュは、角ばつた 10 μ 或はそれ以下の微粒子も多く見られるが、同程度の粒形をもち球形をした微粒子も非常に多く見受けられる。この事は連鎖状のフライアッシュが解きほぐされた為と考えられ、顕微鏡で見た感じでは、Jet Pulverizer 及び Disintegrater で粉砕されたフライアッシュの 15 μ 以下の微粒子中、約 50~60% は球状をした粒子であり、Air Mill で粉砕されたフライアッシュの場合

には 20 μ 以下の微粒子のうち、約 60~65% は球形をした粒子であつた。

なお表 4-1, 4-2 から次のことが言える。

1) 粉砕石のフライアッシュの比重は、総じて粉砕前のものより増加し、その程度は微粒子の増加につれ大きくなつてゐる。

2) 篩残分は、略同程度に粉砕されたフライアッシュについて、粉砕方式に関係なく同程度を示す。この結果

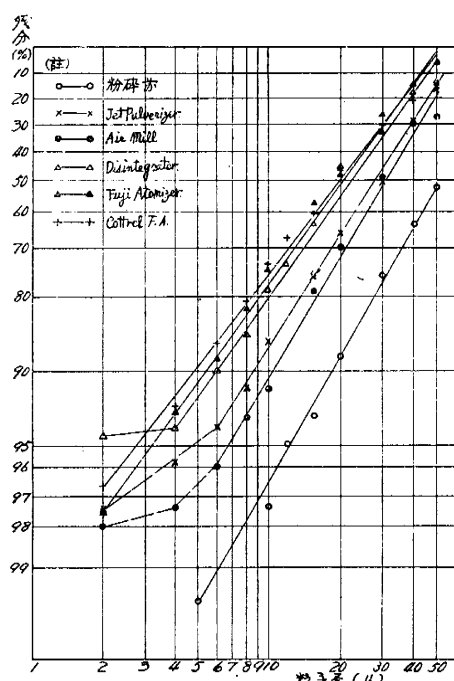


図-1 アンドリーゼンビバット法による
Rosin Rammler 線図

サイクロン系フライアッシュの粒度分布を著しく改善し、コットレル系フライアッシュに近い分布にすることができると。

3) 粉砕後の粒形破壊の程度は、最大 50% 位で、殊に微粒子 50~60% は殆んど破壊されず、球形を保っている。

5. モルタル試験

サイクロン系フライアッシュを粉砕して用いると、粉砕しないものに比し、モルタルのウオーカビリティー、曲げ強度、圧縮強度を如何に改善するか、又コットレル系フライアッシュに比しどのような結果になるかを試験する目的で、各粉砕機別に次の方法により試験した。

1) 38℃ 密封養生モルタル試験法

A.S.T.M. C 311-53 T に規定している「ポルトランドセメントコンクリート用混和剤としてのフライアッシュ暫定試験法」に準じて配合比 1:2 の標準配合及び試験配合の供試体を作製した。1組の配合は次の通りである。

2) 21℃ 水中養生モルタル試験法

J.I.S.R 5201 に規定している方法に従つて、配合比 1:2 の標準配合及び試験配合の供試体を作製した。1組の配合は次の通りである。

表-5-1 モルタル試験配合表

試 料	標 準 配 合	試 験 配 合
ポルトランドセメント	520 g	338 g
フ ラ イ ア ッ シュ	0 "	$182 \text{ g} \times \frac{\text{フライアッシュの比重}}{\text{セメントの比重}}$
豊 浦 標 準 砂	1040 "	1040 g
水	フロー値が 200~215 mm となるに必要な水量	

表-5-2 モルタル試験配合表

試 料	標 準 配 合	試 験 配 合
ポルトランドセメント	520 g	セメント+フライアッシュ = 520 g
フ ラ イ ア ッ シュ	0 "	として重量比 20% をフライアッシュで代替する
豊 浦 標 準 砂	1040 "	1040 g
水	フロー値が 200~215 となるに必要な水量	

試験結果は表 5-3 の如く、何れの粉砕機における場合も粉砕によるモルタルの強度増進率は大きく、特に Jet Pulverizer 及び Disintegrater を用いた場合の密封養生によるモルタル強度百分率は、各ダム示方書に規定してある規格値の 85% を上廻り、又 21℃ 水中養生による場合も同様に極めて良好な結果を示して居り、コット

レル系フライアッシュに遜色ない結果を示した事は注目に値する。

又使用水量百分率も初期の予想に反して何れも減少した。これは粉砕作用により、粗粒子が粉砕されると同時に、球状をなした細粒子が互にブドー状に結合したまま急冷され、凝固し粗粒子となつていたものが解砕され、

表—5-3 粉砕フライアッシュ混入モルタル試験結果

フライアッシュ種別			比 重	比表面積 (ブレン法) cm ² /g	38℃ 密 封 養 生 (代替率 35% V) 材令 28 日						21℃ 水 中 養 生 (代替率 20% W) 材令 91 日						
粉 砕 方 法		配 合			使用水量		曲げ強さ		圧縮強さ		使用水量		曲げ強さ		圧縮強さ		
					cc	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	cc	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	
Jet Pulverize	標準配合		—	—	316	100	76.8	100	432	100	316	100	81.6	100	523	100	
	試験配合	粉 砕 前	1.90	1950	354	112	55.5	72	274	63	352	111	67.1	82	378	72	
		粉 砕 後	2.20	3360	313	99	76.4	100	394	91	320	101	80.8	99	492	92	
Air Mill	標準配合		—	—	316	100	81.0	100	441	100	316	100	81.8	100	538	100	
	試験配合	粉 砕 前	1.99	1750	335	106	59.5	73	295	67	334	106	68.5	84	423	79	
		粉 砕 後	2.17	2530	314	99	73.6	91	352	80	324	102	71.5	88	448	83	
Disintegrater	標準配合		—	—	320	100	79.6	100	460	100	318	100	78.0	100	513	100	
	試験配合	粉 砕 前	1.95	2130	340	106	54.0	68	272	59	340	107	55.3	71	275	54	
		粉砕のみ	2.40	6790	300	94	90.6	114	436	95	298	94	78.7	101	418	82	
		分離のみ	2.07	—	315	99	73.3	92	339	74	313	98	58.1	75	326	64	
		粉砕分離混合	2.17	4890	302	94	73.1	92	408	89	302	95	65.8	84	377	74	
Fuji Atomizer	標準配合		—	—	—	100	78.5	100	455	100	—	—	—	—	—	—	
	試験配合	粉 砕 前	1.97	2190	—	111	61.3	78	293	65	—	—	—	—	—	—	
		粉 砕 後	2.26	4530	—	99	96.9	123	440	97	—	—	—	—	—	—	
Cottrel Fly Ash	標準配合		—	—	320	100	55.4	100	364	100	320	100	68.1	100	390	100	
	試験配合		2.08	3150	300	94	55.2	99	366	101	305	95	69.4	91	382	98	

微粒子となつたものが、相当数あるように考えられるので、その為流動性が増すものと思われる。以上の結果から判断すると粉砕による球状破壊の悪影響は差程大でなく、サイクロン系フライアッシュは粉砕する事によつて充分使用可能と言ひ得る。

6. コンクリート試験

粉砕フライアッシュ混入モルタル試験の結果は非常に良好であつたので、引続きコンクリート供試体を作製し試験した。

表—6-1 コンクリート試験配合並びに強度試験結果

事 項	標準配合	試 験 配 合				
		原 粉	Jet Pulverizer 粉 砕	Air Mill 粉 砕	Disintegrater 粉 砕	Cottrel Fly Ash
中庸熱セメント (kg/m ³)	245	170	170	170	170	170
フライアッシュ (kg/m ³)	0	75	75	75	75	75
細 骨 材 (kg/m ³)	795	740	771	760	774	785
粗 骨 材 (kg/m ³)	1270	1270	1270	1270	1270	1270
水 (kg/m ³)	145	150	142	145	141	135
所要水量比 (%)	100	103	98	100	97	93
水セメント比 (%)	59.2	61.2	58.0	59.2	57.6	55.1
細骨材比 (%)	38.5	36.9	37.8	37.5	37.8	37.2
ス ラ ン プ (cm)	5.3	5.3	5.1	5.3	5.5	5.8
練上りコンクリート温度 (°C)	27	26.5	26.2	29	26.5	28.1

材 令	強 度	標準配合	試 験 配 合				
			原 粉	J. P.	A. M.	D. I.	C. F. A.
7 日	圧縮強さ (kg/cm ²)	78	33	46	41	49	44
	強度率 (%)	100	42	59	53	63	56
	引張強さ (kg/cm ²)	7.3	3.2	4.4	3.4	4.7	4.5
	強度率 (%)	100	44	60	47	64	62
28 日	圧縮強さ (kg/cm ²)	259	121	150	132	157	143
	強度率 (%)	100	47	58	51	61	56
	引張強さ (kg/cm ²)	21.4	12.1	15.3	12.1	13.1	14.7
	強度率 (%)	100	57	72	57	61	69
91 日	圧縮強さ (kg/cm ²)	297	226	292	251	281	279
	強度率 (%)	100	76	98	85	95	94
	引張強さ (kg/cm ²)	27.7	20.3	25.2	21.9	22.4	24.6
	強度率 (%)	100	74	91	79	81	89
σ_{91}/σ_{28}	圧縮強さ (%)	115	187	195	190	179	189
	引張強さ (%)	129	169	165	181	171	167

試験方法は J.I.S.A 1108「コンクリート圧縮強さ試験方法」に従って行ない、使用セメントは、中庸熱セメントを用い、試験配合に対しては重量で 30% のフライアッシュに置換えた。その配合並びに強度試験結果は、表 6—1 の通りである。

表によると、モルタル試験の場合同様所要水量比の減少が見受けられ、且強度率も良質コットレル系フライアッシュに比し何等遜色ない。

材齢 28 日と 91 日強度の増加率は、単味コンクリートに比し、フライアッシュ混入時は 7~8 割大で、即ちポゾラン活性の為である。

長期強度より粉碎方式を検討すると、摩擦方式による差別粉碎方式（粗粒子を粉碎し、細粒子はできる限り粉碎しない方式）が粒子形状等の品質も勘案し、最も好ましい様に考えられる。

7. 結 び

粉碎フライアッシュについて試験結果を要約すると次の通りである。

- (1) 粉末度は、粉碎する事により所要粒度（比表面積 3,000 cm²/g 以上）になし得る。
- (2) 粉碎により比重は何れも増加する。これは球質内

部が均質を保たれていない事に起因するものと考えられる。

(3) 粉碎によりフライアッシュの形状は球形を大して破壊しない。併し方式により多少相違するが、目的はポゾラン活性の増加にあり、粉碎を受ける粒子の数を必要最少限に止める差別粉碎方式が好ましく、試験結果によると摩擦方式のものが好ましい。

(4) 粉碎フライアッシュ混入時のモルタルのコンシステンシーは、良質のコットレル系フライアッシュより多少おとるが、支障となる程ではない。

(5) サイクロン系フライアッシュは、粉碎する事により、モルタル或はコンクリートの品質を改善し、ポゾラン活性に富み、コットレル系フライアッシュ同様ポゾラン材として充分使用に耐えうる。

以上の結論を得て、当社においては本年採取設備実施の運びに至つたもので、本法実施の可否につき始終熱心に試験を担当された電力技術研究所河原友純氏に深甚なる謝意を呈する次第であります。

参 考 文 献

- 1) 電力技術研究所報 Vol. 5, No. 5 1955.
電力技術研究所報告（土木 55047）1955.